

CODICE ARMONICO

2008

Secondo congresso di scienze naturali
Ambiente toscano

A cura di

Valentina Domenici, Alessandro Lenzi
e Elvezio Montesarchio

Edizioni ETS



CODICE ARMONICO 2008

Secondo congresso di scienze naturali
Ambiente toscano

A cura di Valentina Domenici, Alessandro Lenzi e Elvezio Montesarchio



Edizioni ETS

Questo volume è stato realizzato grazie al contributo di:



Museo di Storia Naturale di Rosignano Marittimo



Comune di Rosignano Marittimo



REA Rosignano Energia Ambiente spa



Termimpianti snc

Museo di Storia Naturale di Rosignano Marittimo
www.musrosi.org - tel. 0586 767052 - info musrosi@tiscali.it

Comitato organizzatore:

Alessandro Lenzi, Carlo Baldacci, Sara Baldacci, Bruno Brizzi, Carla De Santi, Valentina Domenici, Pierluigi Lenzi, Laura Leoni, Giacomo Luppichini, Elvezio Montesarchio, Pierpaolo Piombanti, Alessandro Riga, Marcello Santinelli

Comitato scientifico:

Daniele Antonini, Massimo Antonini, Roberto Autieri, Bruno Brizzi, Pierdomenico burgassi, Gabriele Cacialli, Rita Cervo, Ferruccio Chiesa, Giorgio Culivicchi, Francesco Lenzi, Giacomo Lorenzini, Renzo Mazzanti, Paolo Orlandi, Carlo Pretti, Paolo Squarci

© Copyright 2008
EDIZIONIETS
Piazza Carrara, 16-19, I-56126 Pisa
info@edizioniets.com
www.edizioniets.com

Distribuzione
PDE, Via Tevere 54, I-50019 Sesto Fiorentino [Firenze]

ISBN 978-884672019-1

indice

1.	Ricostruzione della dinamica idrogeologica dell'antica cassa di colmata Tanali (ANPIL Tanali, Comune di Bientina) <i>M. Ambrosio, M.T. Fagioli, C. Curcio, R. Chierici, M. Lupi</i>	9
2.	Risultati dell'indagine preliminare sul Sito di Interesse Regionale "Monte Pelato", Rosignano Marittimo (LI) <i>R. Branchetti, F. Sammartino</i>	20
3.	Ripple marks e tracce fossili nelle formazioni del Cretaceo superiore del Rio Ardenza, Livorno <i>F. Sammartino, M. Bisconti, A. Borzatti de Loewenstern, E. Carnieri</i>	30
4.	Storia evolutiva tardo-olocenica del corso terminale del fiume Cecina <i>G. Moratti, M. Benvenuti, M. Bonini, M. Ricci, C. Tanini, P. Squarci</i>	35
5.	Raccontare la scienza <i>Classe 4E Liceo Scientifico "Leonardo da Vinci", Firenze</i>	44
6.	Calanchi e biancane, suggestive forme d'erosione nelle argille delle colline toscane <i>G. Lari</i>	53
7.	Rapida panoramica sullo sviluppo delle conoscenze geologiche nella provincia di Livorno e dintorni dalla metà del secolo XX <i>R. Mazzanti</i>	61
8.	Modificazioni ambientali e faunistiche durante l'Olocene sull'Isola di Pianosa (Arcipelago Toscano, Italia): le evidenze malacologiche <i>E. Carnieri, M. Bisconti</i>	66
9.	La xenodiversità animale delle acque interne italiane: la situazione in Toscana <i>E. Tricarico, S. Cianfanelli, E. Lori, A. Nocita, F. Gherardi</i>	70
10.	Nidificazione della Cicogna bianca (<i>Ciconia ciconia</i>) nel Comune di Cascina (PI) <i>E. Zarri</i>	77
11.	Il comportamento di ovoposizione nella vespa sociale <i>Polistes dominulus</i> : preliminari indizi di un comportamento ritmico <i>A. Cini, V. Lecat, T. Monnin</i>	83
12.	Possibile attività pronuba svolta dall'ape (<i>Apis mellifera</i> : Hymenoptera, Apoidea) nell'impollinazione dell'olivo (<i>Olea europaea</i>) <i>S. Marcucci, G. Flamini, M. Pinzauti, M. Conidi, L. Filippi, G. Bedini, A. Felicioli</i>	89
13.	Analisi climatica dell'isola di Pianosa <i>I. Nicotra, F.P. Vaccari, A. Crisci</i>	94

14.	Caratterizzazione geochimica dei suoli dell'area urbana di Siena ed utilizzo dei lombrichi come bioindicatori <i>F. Nannoni, G. Protano, F. Riccobono</i>	103
15.	Distribuzione, mobilità e biodisponibilità di Co, Cr, Cu, Ni, Sr e Zn nel sistema roccia-suolo-pianta in Toscana meridionale <i>S. Rossi, G. Protano, F. Riccobono</i>	113
16.	Contenuti e distribuzione del tallio in suoli e piante spontanee della Toscana meridionale <i>A. Pisani, G. Protano, F. Riccobono</i>	122
17.	Il biomonitoraggio degli inquinanti atmosferici: il caso dell'ozono <i>C. Nali, G. Lorenzini</i>	130
18.	Il capriolo (<i>Capreolus capreolus</i> L.) come bioindicatore della qualità dell'ambiente in Toscana meridionale <i>F. Baroni, L.A. Di Lella, A. Pisani, E. Pizzetti, G. Protano, F. Riccobono</i>	138
19.	L'evoluzione biologica nei percorsi e nei laboratori didattici di zoologia e antropologia presso il Museo di Storia Naturale del Mediterraneo di Livorno <i>M. Bisconti, E. Carnieri, A. Roselli</i>	146
20.	"I Musei narrano la Scienza": un progetto educativo <i>M.R. Ghiara, C. Petti, A. Mormone, M. Rossi</i>	153
21.	La redazione della Carta dello Stato di Conservazione della Natura a supporto della gestione naturalistica di un Sito d'Importanza Comunitaria: il caso delle Colline delle Cerbaie e del Padule di Bientina <i>S. Bacci, A. Bernardini, R. Corsi, F. Malfanti, M. Petrolo</i>	160
22.	Le torbiere a sfagno della Lucchesia <i>L. Zocco Pisana, R. Narducci, P.E. Tomei</i>	166
23.	Dall'ambiente un aiuto per l'ambiente: l'impiego di biofitofarmaci per un'agricoltura sostenibile <i>G. Vannacci, S. Sarrocco</i>	170
24.	Il sistema di aree protette della Provincia di Livorno <i>F. Ruggeri</i>	175
25.	Una bellezza da salvaguardare: le Orchidee della costa toscana <i>G. Baldassari</i>	183
26.	Per una flora critica dei macromiceti nel territorio pisano <i>R. Narducci, M. Marchetti, P.E. Tomei</i>	186
27.	Chiave di determinazione del sottogenere <i>Telamonia</i> (<i>Agaricales, Cortinarius</i>) delle leccete toscane <i>D. Antonini, M. Antonini</i>	190
28.	Andar per funghi... in mare? <i>G. Vannacci</i>	196

29.	Catture e rendimenti da pesca di reti da posta con differenti colorazioni nel litorale di Castiglioncello (LI) <i>R. Silvestri, P. Sartor, R. Baino, B. Francesconi, M. Ria, M. Sbrana</i>	202
30.	Caratteristiche delle catture del rombo di rena <i>Bothus podas podas</i> (Delaroche, 1809) <i>M. Ria, R. Baino, R. Silvestri, F. Serena</i>	205
31.	La metodologia CARLIT nell'ambito del monitoraggio marino costiero del litorale toscano <i>D. Pelli, E. Cecchi</i>	210
32.	Le Secche della Meloria: un fiore all'occhiello del mare toscano <i>A.M. De Biasi, L. Pacciardi</i>	218
33.	Studio sulle presenze fitozoobentoniche in due aree situate tra Capo Pero e l'Isola di Palmaiola individuate come possibili siti per il deposito di piloni in cemento armato antipesca a strascico <i>R. Bedini, M. Pertusati, F. Batistini</i>	221
34.	Riproduzione ed allevamento dell' <i>Octopus vulgaris</i> in Toscana: ricerche e risultati nel periodo 2002-2007 <i>F. Lenzi, T. De Wolf, S. Lenzi</i>	229
35.	Studio sulla popolazione e sulle abitudini alimentari di <i>Galeus melastomus</i> (Rafinesque, 1810) nel Mar Ligure Sud-orientale <i>G. Bulgheri, M. Scali, A. Voliani</i>	237
36.	L'invasione delle specie aliene e i cambiamenti climatici globali: l'esempio di <i>Caulerpa racemosa</i> var. <i>cylindracea</i> sulle coste italiane <i>L. Pacciardi, A.M. De Biasi</i>	243
37.	Controllo ambientale sulla biometria e demografia di coralli solitari nel mar Mediterraneo <i>S. Goffredo, E. Caroselli, E. Pignotti, G. Mattioli, F. Zaccanti</i>	248
38.	Diversità delle comunità fitoplanctoniche nelle acque costiere toscane <i>S. Cappella, C. Nuccio, L. Lazzara</i>	258
39.	Il Pesce San Pietro <i>G. Neto</i>	268
40.	La Mazzancolla <i>G. Neto</i>	270
41.	Le Torpedini <i>G. Neto</i>	272
42.	Cervello umano: quale destino? <i>F. Chiesa</i>	274
	Indice alfabetico delle parole chiave	283
	Indice degli Enti rappresentati	287

Se dovessi pensare a quale ragione ci ha spinto ancora una volta a proporre la seconda edizione di questo congresso, potrei dire solo questo: una sana ostinazione e perseveranza, una autentica passione per la scienza e la divulgazione che accomuna tutti coloro che hanno contribuito alla organizzazione. Dovendo però fare una prefazione non posso fare a meno di pensare alla mia personale esperienza di cultore delle scienze naturali e di socio fondatore della Associazione «Amici della Natura Rosignano» e per far questo partirò dal nostro Museo di Storia Naturale che ha sede in una scuola, la scuola elementare «Europa» di Rosignano Solvay. Il nome adesso è del tutto normale, ma negli sessanta, quando fu costruita, questo nome, fu una autentica sfida. Si cominciava a parlare di Europa, si capiva che quegli orizzonti che sino pochi anni prima qualcuno aveva creduto di aprire ed estender, anzi, di squarciare letteralmente con quella sciagurata vicenda della seconda guerra mondiale, ora si potevano dischiudere con il dialogo e la cultura. Quella scuola divenne allora, l'emblema di questa sfida. Non fu dunque un caso che fosse chiamato a dirigerla un uomo dotato di talento e di grandi visioni, il professor Aldo Benincasa. Io in quegli anni frequentavo questa scuola, magica, bellissima, moderna, con ogni classe intitolata ad un paese europeo, grecia, iberia, regione danubiano carpatica, svezia e così via. Il Professore ci aveva abituato ad imparare le cose ascoltando grandi personaggi, esploratori, scrittori e scienziati come Thor Heyerdahl, Bruno Vailati, Folco Quilici che vennero a tenere conferenza a noi, dei bambini, a noi che forse non capivamo a fondo ciò che ci dicevano ma che eravamo una scommessa per il futuro. Eravamo allora come dei piccoli acusmatici dell'antica scuola pitagorica. Ascoltavamo per utilizzare in futuro gli argomenti che ci venivano forniti. Da allora la curiosità per il sapere mi ha rapito e la conservo viva anche nelle mie iniziative presso il Museo di Storia Naturale di Rosignano Solvay oltreché nell'ambito professionale. È con questo spirito, o se volete con questo 'sacro fuoco' di conoscenza, che abbiamo organizzato questo congresso; con la precisa volontà di dare occasione a tutti coloro che sono studiosi di scienze naturali, siano essi del mondo accademico o studiosi animati da spirito scientifico, di comunicare i risultati delle proprie ricerche, svolte con passione e con quella curiosità che anima da sempre l'uomo, la ricerca del perché delle cose, la ricerca dei meccanismi che regolano la natura che noi, un po' poetizzando abbiamo chiamato ricerca del 'codice armonico'.

Rosignano, 3 Marzo 2008

*Museo di Storia Naturale di Rosignano Solvay
Associazione Amici della Natura Rosignano
il Presidente Alessandro Lenzi*

Ricostruzione della dinamica idrogeologica dell'antica cassa di colmata Tanali (ANPIL Tanali, Comune di Bientina)

Michele Ambrosio¹, Maria-Teresa Fagioli*¹, Chiara Curcio¹, Roberta Chierici², Matteo Lupi³

Parole chiave: idrogeologia, aree umide, statistica

L'oasi del Tanali è quanto rimane di una cassa di colmata abbandonata e completamente rinaturalizzata, con aspetti florofaunistici molto prossimi a quelli originali dell'ambiente umido perilacustre dell'antico lago di Bientina, sede di endemismi faunistici.

Negli ultimi due decenni è stata notata una marcata riduzione sia della superficie che dei tempi di permanenza dei corpi idrici superficiali che ne caratterizzavano le zone umide nei periodi piovosi.

Per quantificare il fenomeno, che minaccia la conservazione della biodiversità del biotopo, e progettare adeguate contromisure è stata avviata un'indagine dettagliata dell'idrogeologia dell'area in relazione al suo interno ed alle precipitazioni meteorologiche.

La ricostruzione della dinamica idrogeologica dell'oasi è stata ottenuta attraverso lo studio stratigrafico di dettaglio su una rete di sondaggi superficiali, appositamente realizzati, e l'analisi dei rapporti fra la variazione dei livelli della falda superficiale, in continuità con i corpi idrici liberi, e gli apporti meteorici.

L'analisi comparata di freatimetrie mensili e piovosità giornaliere ha identificato differenti zone i cui livelli freatici si correlano con le precipitazioni con ritardi compresi fra i tre ed i quattro mesi.

La zonazione idrogeologica concorda con l'eterogeneità areale dei terreni, già riscontrata dalle stratigrafie, e indica negli apporti sotterranei provenienti dal prospiciente fianco del Monte Pisano la principale fonte di ricarica idrogeologica.

Gli apporti superficiali che storicamente alimentavano la cassa di colmata risultano ad oggi avere effetti moderati ed effimeri.

Lo sviluppo successivo del lavoro con la quantificazione dei fenomeni osservati, attraverso modellazione numerica, consentirà il collaudo comparativo virtuale delle contromisure possibili per mitigare la crisi idrica dell'Oasi.

Introduzione

La tutela della biodiversità di aree di riconosciuto interesse naturalistico ha come presupposto imprescindibile, comprendere il mantenimento delle condizioni fisiche peculiari di ciascun habitat. Per le aree umide la stessa persistenza di superfici di acqua libera (chiarì) può essere minacciata da un'ampia varietà di cause, sia naturali che di origine antropica.

L'ANPIL di Tanali è un'area le cui caratteristiche idrogeologiche derivano da azioni antropiche inizialmente mirate alla sua trasformazione da area umida ad area stabilmente emersa, da dedicarsi alle coltivazioni.

Il parziale fallimento del tentativo, ed il conseguente abbandono pluridecennale, hanno consentito una rinaturalizzazione che ha riprodotto un ambiente molto prossimo a quello dell'originaria fascia perilacustre.

Nell'ultimo decennio è stata osservata una progressiva riduzione dei tempi di permanenza e delle dimensioni dei chiari, con conseguente minaccia per la sopravvivenza di flora e fauna che li abitano.

Per studiare specifiche contromisure al fenomeno osservato, nell'ambito di una collaborazione fra AFgtc e Lega Ambiente Valdera (gestore dell'Oasi), è stato organizzato ed eseguito uno studio idrogeologico di dettaglio esteso nell'arco di un anno idrologico.

Risultati e valutazioni, hanno consentito di produrre un modello concettuale della circolazione idrica sotterranea e superficiale dell'area, che costituirà la base per una modellazione numerica quantitativa, indispensabile per progettare e quantificare le contromisure collaudandole preventivamente in modo «virtuale».

Inquadramento idrogeologico dell'area e cenni paleogeografici

La pianura Bientinese (figura 1) può considerarsi, in prima approssimazione, fin da epoca Pleistocenica, come l'ultimo tratto della valle del fiume Serchio, quando questo (fino ad epoca medievale) confluiva, almeno parzialmente ed occasionalmente, in Arno.

Come la maggior parte della pianura di Pisa, l'area è stata interessata dalle trasgressioni marine, che l'hanno a tratti trasformata in un vasto golfo di mare sottile (Sinus Pisanus) che ha occupato a più riprese, sin dal Pliocene Superiore, l'intera pianura pisana fin oltre l'attuale abitato di Pontedera.

Dal termine dell'ultima glaciazione, circa 14000 anni fa, fino all'età etrusca, il fiume Auser (il Serchio degli etruschi e dei romani), che non tagliava ancora verso il mare attraverso la soglia di Ripafratta, correva lungo la piana ad est del Monte Pisano, ma la sua confluenza in Arno veniva progressivamente ostacolata dal sovralluvionamento generato dall'Arno stesso. L'Arno, infatti, correva pensile, sbarrando sia il proprio affluente Auser, che tendeva quindi a tracimare da Ripafratta, sia l'ultimo tratto, pianeggiante, della sua valle, che si impaludava e rimaneva sommerso sempre più a lungo.

Il Lago di Bientina si è quindi originato come lago di sbarramento da sovralluvionamento, ad opera dell'Arno, occupando dall'epoca etrusca fino al diciottesimo secolo l'area morfologicamente depressa tra i rilievi del Monte Pisano ad ovest e delle Cerbaie ad est. Probabilmente sin da epoca romana, e sicuramente da epoca tardo medievale, vari raggruppamenti di

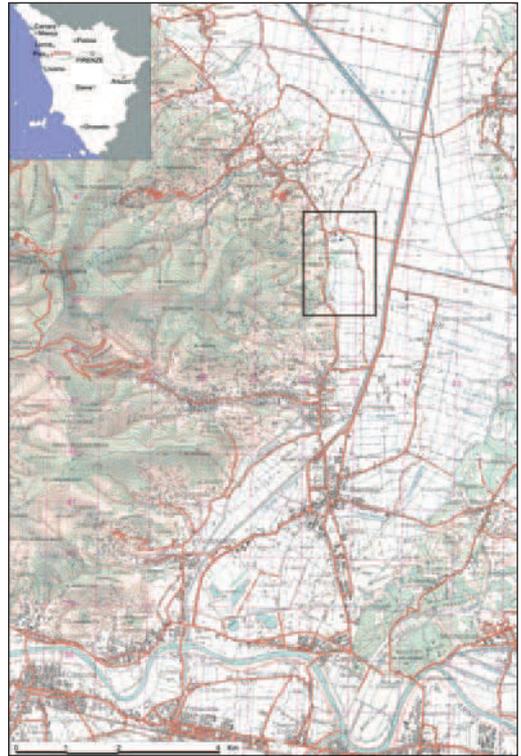


Figura 1: Ubicazione dell'area di studio.

umani hanno tentato, di volta in volta, di alzare o abbassare artificialmente il livello del lago, sia per fini agronomici che di navigabilità, che politici e militari (l'area era al punto triplo di confine tra territorio pisano, lucchese e fiorentino, e più volte lo stratega di turno ha cercato di usare il lago per affogare «il nemico» fosse esso assediato o assediante).

gli autori

¹ AF Geoscience and Technology Consulting s.r.l. Campo (PI) afconsulting@afgtc.com

² Libera professionista Volterra (PI) robertach@interfree.it

³ Borsista Heriot-Watt University (Edinburgh) matteo.lupi@email.it

* autore per corrispondenza

Alla metà del diciannovesimo secolo, immediatamente prima dell'unità d'Italia, con un grandioso e, per l'epoca, audacissimo progetto, il Granducato di Toscana faceva aprire un sottopasso idraulico (detto «La Botte») al di sotto del letto dell'Arno per consentire lo svuotamento del lago verso i bassopiani e le paludi di Coltano e di Calambrone che all'epoca circondavano a nord e ad est la città di Livorno.

L'opera, tuttora efficiente ed in esercizio, non ha però mai garantito il costante mantenimento all'asciutto dell'intera area dell'ex bacino lacustre, e solo negli ultimi sessanta o settant'anni, con l'impiego di impianti idrovori, il prosciugamento è stato completato, ferma restando la frequente sommersione invernale delle parti morfologicamente più depresse della conca dell'ex lago.

L'oasi di Tanali (cassa di colmata e problematiche)

L'attuale oasi naturalistica «Bosco di Tanali» (figura 2) è ubicata ai piedi del fianco orientale dei Monti Pisani al margine dell'antico lago di Bientina; essa comprende una cassa di colmata realizzata agli inizi del XX secolo con il doppio scopo di laminare i picchi di piena del rio Tanali e del rio della Valle degli Alberi (corsi d'acqua a regime torrentizio che drenano il fianco orientale del Monte Pisano) consentendone il deflusso regimato attraverso il canale Emissario e



Figura 2: Ubicazione dell'Oasi di Tanali.

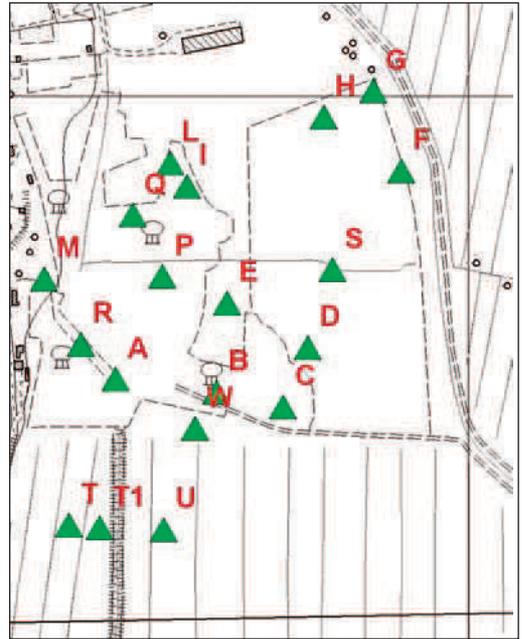


Figura 3: Ubicazione dei sondaggi stratigrafici e piezometri.

catturare i sedimenti, da detti torrenti trasportati, utilizzandoli per innalzare il livello del terreno e prevenirne la periodica sommersione in previsione della sua messa a coltura.

Il primo obiettivo è stato pienamente raggiunto, mentre il secondo, stante la modesta quantità del trasporto solido dei due rii affluenti è fallito poiché i tempi di ultimazione del colmamento sono risultati troppo lunghi per mantenere un significato economico.

Neppure i tentativi di frazionare il colmamento, di cui restano le vestigia degli arginelli interni alla cassa, hanno avuto successo.

Una concausa del fallimento della bonifica può essere individuata nella subsidenza generalizzata che ha interessato l'intera conca lacustre prosciugata a causa delle riduzioni delle pressioni neutre all'interno dei sedimenti lacustri ed alla loro conseguente compattazione per i fenomeni di sovraconsolidamento conseguenti l'emersione. Evidenza del fenomeno è emersa anche dallo studio delle sezioni stratigrafiche che mostrano un abbassamento di circa 1m delle porzioni di sedimenti di colmata che poggiano sul lacustre rispetto a quelle con al letto i depositi grossolani di conoide.

Metodi sperimentali

L'area della cassa di colmata del Tanali, benché già oggetto di studi di tipo naturalistico su flora e fauna, non risultava essere mai stata indagata, specificamente, dal punto di vista idrogeologico.

La mancanza di dati bibliografici, ha imposto un'indagine di campagna, mirata anche alla ricostruzione stratigrafica di base, almeno dei depositi più superficiali che ospitano la falda i cui affioramenti costituiscono le aree umide d'interesse.

Di seguito sono riportate le fasi del lavoro di terreno:

- Rilievo planimetrico GPS degli elementi morfologici minori non presenti nella cartografia esistente (fossi, arginelli interni alla cassa).
- Esecuzione di n. 18 sondaggi superficiali (eseguiti con campionatore per suoli di tipo Edelman e carotatore continuo inguainante AF) con profondità da 2 a 9 m, ciascuno attrezzato con piezometri a tubo aperto. Lettura diretta sul campo dei campioni ed interpretazione stratigrafica. L'ubicazione dei sondaggi stratigrafici (figura 3)

è stata fortemente controllata dalle necessità logistiche di raggiungibilità e di minimizzazione dell'impatto sull'assetto vegetazionale esistente; queste esigenze hanno limitato la possibilità di distribuire a maglia regolare i punti di campionamento e misura ma tale disomogeneità non è stata ritenuta critica viste le ridotte dimensioni dell'area ed il relativamente alto numero di sondaggi.

- Rilievo altimetrico delle teste dei piezometri mediante livellazione tecnica dal mezzo.
- Campagne freatiche, con cadenza mensile, sui piezometri (misurazioni da giugno 2006 a maggio 2007).

I dati ottenuti in campagna sono stati sistematizzati su GIS. La successiva elaborazione ha comportato l'interpretazione e la correlazione delle stratigrafie, la costruzione delle carte isofreatiche mensili (integrate con il metodo Natural neighbor), lo studio statistico delle relazioni fra le serie temporali freatiche di ciascun piezometro e le pluviometrie giornaliere delle due stazioni meteorologiche più prossime di San Giovanni alla Vena e Monte Serra.

Stratigrafia

La porzione direttamente indagata di sottosuolo della colmata di Tanali risulta a microscaletta piuttosto complessa, mentre a mesoscaletta può essere ragionevolmente sintetizzata in 4 orizzonti; essi vengono descritti di seguito dal più superficiale al più profondo. La figura 4 riporta alcune stratigrafie significative eseguite nell'area di studio.

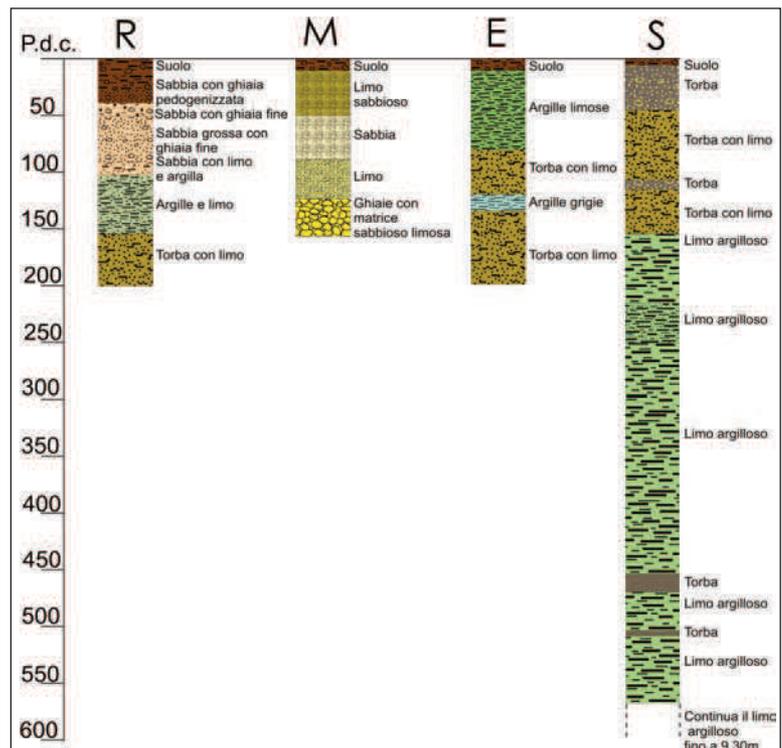


Figura 4: Sezioni stratigrafiche: Sez. R ed M rappresentative del pedemonte, Sez. E ed S rappresentative dell'area centrale della colmata.

- **Orizzonte superficiale ricco di materia organica:**

Orizzonte ad elevatissima componente organica e subordinata componente minerale a granulometria limosa. Questo orizzonte, fortemente pedogenizzato in superficie, risulta arealmente molto variabile sia in spessore (da 30 cm fino ad 1 m) che nella percentuale di componente organica. La conducibilità idraulica varia da media ad elevata in funzione della pressoché totale assenza di compattazione della sua componente organica costituita quasi esclusivamente da resti di vegetazione erbacea palustre. Si tratta di un deposito recentissimo, sin ma soprattutto post colmamento, in cui gli apporti di sedimento risultano estremamente subordinati rispetto all'accumulo di materia vegetale autoctona.

- **Orizzonte di colmata:**

Orizzonte a totale composizione minerale, con granulometria prevalentemente limo argillosa ma con locale occorrenza di livelletti ghiaiosi o sabbiosi subcentimetrici, più frequenti in prossimità del pedemonte. Gli spessori sono molto variabili da 0.2 m ad 1 m, fino a 0 in alcuni sondaggi. Si tratta di un deposito di colmata i cui spessori sono stati controllati dalle quote topografiche della superficie preesistente e le granulometrie dalla maggiore o minore prossimità con il punto d'immissione delle onde di piena.

La conducibilità idraulica è molto bassa ma risulta fortemente anisotropa, con valori pressoché nulli in verticale e medi in orizzontale.

- **Orizzonti di limi e torbe:**

Orizzonte potente, con spessore variabile dai 2 ai 7 m, costituito mediamente dal 70% di sedimento limo-

so e per il restante 30% da frammenti di vegetazione prevalentemente erbacea palustre ma occasionalmente anche arborea, dispersi nella matrice limosa. L'orizzonte risulta sempre molle e poco consolidato. Si riconoscono almeno due livelli totalmente torbosi, probabilmente rappresentanti episodi di prolungata emersione, in una sequenza prevalentemente palustre. Non sono rari livelletti sabbiosi, di sabbia sciolta, di potenza subdecimetrica; unici livelli a permeabilità medio-alta all'interno di un orizzonte nell'insieme ben poco permeabile.

Ancora una volta la conducibilità idraulica è fortemente anisotropa, molto bassa in verticale, media in orizzontale.

Questo orizzonte, in prossimità del pedemonte, risulta eteropico e spesso intercalato con livelli di ghiaia e sabbia a matrice limosa privi di componente organica, con ogni probabilità derivanti da una maggior prossimità delle zone di provenienza del trasporto solido. L'intero orizzonte è ascrivibile ad un ciclo di sedimentazione, a carattere prevalentemente palustre precedente il colmamento.

- **Orizzonte di argilla limosa lacustre:**

Si ritrova solo in alcuni sondaggi a profondità superiori ai 2 m. È costituito in prevalenza da argille grigie, molli, microstratificate, con frequenti intercalazioni di limo e rare di torba. La permeabilità del deposito è molto bassa. Questo orizzonte è stato considerato, nel presente studio, come il basamento impermeabile della sequenza studiata, anche se a rigore, non si può escludere, nei tempi lunghi, una sua moderata capacità di scambio idrico.

Dall'esame delle correlazioni stratigrafiche (figura

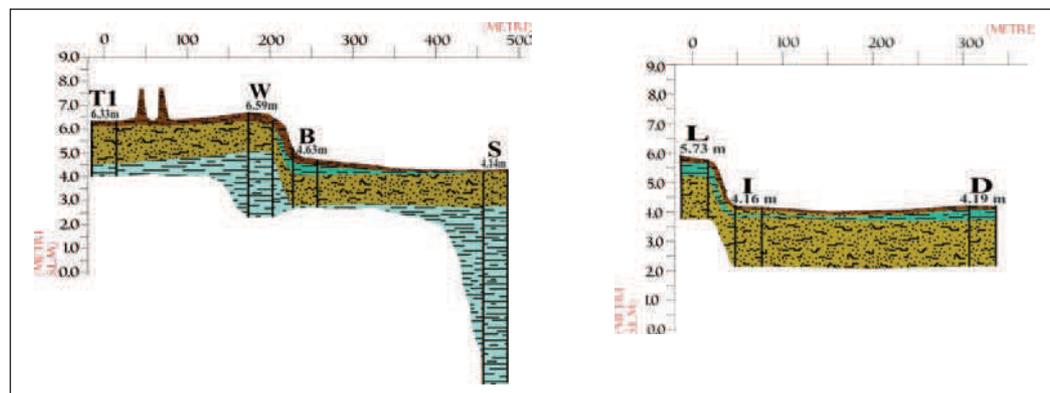


Figura 5: Sezioni stratigrafiche correlate.

5) si sono potuti osservare i rapporti stratigrafici fra interno ed esterno della cassa di colmata e fra lato pedemonte e zona più prossima alla conca lacustre. Le sezioni della figura 5 (realizzate con scala delle altezze esagerata 30:1 rispetto all'orizzontale) mostrano un relativamente brusco approfondimento dell'orizzonte di colmata. È ragionevole supporre che tale orizzonte si sia sedimentato in piano o su una superficie a debolissima pendenza. La relativamente brusca variazione di quota (circa 1m) può essere, in prima approssimazione, attribuita a compattazione differenziale dei sottostanti limi torbosi; compattazione differenziale indotta dalla progressiva riduzione delle pressioni neutre e dalla compattazione del sottostante orizzonte di torbe e limi, conseguenza di lungo termine del prosciugamento del lago e del crescente carico litostatico dei materiali di colmamento.

Freatimetrie

Le misure freatimetriche mensili sono riportate in tabella 3 mentre la figura 6 riporta una selezione delle carte freatimetriche più significative dell'andamento della falda superficiale.

Il deflusso sotterraneo risulta seguire, in linea di massima, un andamento da est ad ovest in accordo con i gradienti topografici dell'area e con la presenza, ad est del rilievo del Monte Serra (zona di ricarica) ed ad ovest del canale Emissario che agisce da drenaggio.

L'escursione totale della falda, nel corso dell'anno idrologico, risulta di poco superiore ad 1.6 m. In dettaglio si può notare il periodico formarsi (giugno 2006, febbraio 2007, maggio 2007) di un innalzamento dei livelli piezometrici nella zona centrale della

Tabella 1: Misure freatimetriche mensili.

Piezometro	Coordinate Gauss-Boaga	Quota piezometro (mm s.l.m.)	FREATIMETRIE (mm s.l.m.)										
			Giugno -06	Luglio -06	Agosto -06	Settembre -06	Ottobre -06	Dicembre -06	Gennaio -07	Febbraio -07	Marzo -07	Aprile -07	Maggio -07
A	1630524.03; 4845617.63	4162	4692	2882	2712	2482	2273	2822	3112	3812	3772	3552	3422
B	1630660.61; 4845600.40	4634	3854	3594	3304	3254	3274	4834	4264	4634	4394	4134	4114
C	1630750.68; 4845580.27	4270	3820	3520	3380	3510	3520	4570	4270	4540	4270	4150	4220
D	1630784.14; 4845660.76	4191	3671	3301	3111	3171	3231	4691	4111	4521	4191	4191	4191
F	1630909.86; 4845899.53	3660	3220	2780	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	1630871.80; 4846007.16	3670	3230	2870	-	2450	2547	3920	3670	3970	3670	3500	3530
H	1630804.94; 4845971.89	3644	3324	2854	2594	2554	2614	3894	3694	3844	3644	3544	3524
I	1630620.44; 4845878.73	4168	3638	3398	3228	3318	3298	4148	3838	4138	3898	3798	3778
L	1630597.83; 4845910.39	5731	5331	4931	4661	4751	4731	5491	5561	5691	5651	5481	5491
M	1630427.16; 4845753.35	9907	8347	8347	8347	-	-	-	-	-	-	-	-
P	1630587.30; 4845756.41	5339	4229	4149	3969	3889	3839	4909	4989	5339	5489	4809	5289
Q	1630547.19; 4845839.76	6157	5407	5107	4727	4507	4517	5507	5567	5737	5627	-	-
R	1630477.21; 4845665.25	8262	6782	6432	6442	6382	6262	7022	7082	7722	7622	7342	7262
S	1630816.90; 4845765.65	4141	3791	3551	3331	3311	3351	4641	4141	4471	4141	4161	4141
T	1630460.70; 4845420.41	6330	-	-	4720	4870	-	-	-	-	-	-	-
U	1630589.07; 4845414.62	6599	-	-	5049	-	-	-	-	-	-	-	-
E	1630674.69; 4845721.15	4191	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T1	1630502.61; 4845416.10	6330	-	-	-	-	-	-	5740	5790	5680	-	-
W	1630630.36; 4845550.67	6599	-	-	-	-	-	-	-	6289	5809	5669	5789

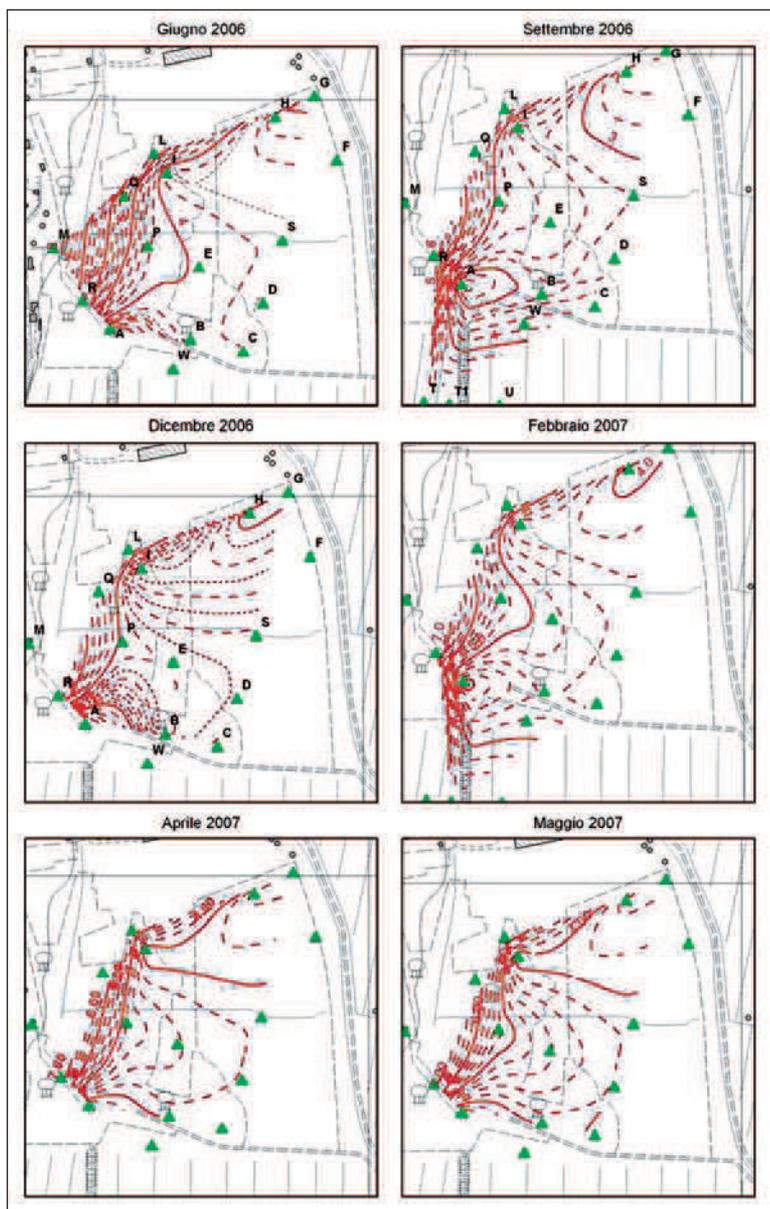


Figura 6: Carte delle freatimetrie.

cassa di colmata, mentre pressoché sistematicamente i suoi fianchi nord e sud (nord in particolare) non mostrano variazioni di rilievo. Nelle carte piezometriche di Fig 6 ciò è evidenziato dal periodico avvanza-

re e ritrarsi di una protuberanza delle curve isofreatiche; tale avanzamento risulta marcatamente diacrono rispetto ai periodi di massima precipitazione (figura 7) e non può quindi essere direttamente riferito all'afflusso superficiale dei rii Valle degli Alberi e Tanali.

Dall'andamento regolare dei livelli freatici nei piezometri si differenzia nettamente il piezometro A.

Questo comportamento può essere spiegato con la sua posizione in un punto idraulicamente complesso; esso infatti è molto prossimo all'ingresso del tratto artificiale del rio Tanali nella cassa di colmata. L'ingresso è marcato dalla presenza di un ponte in muratura le cui fondazioni agiscono di fatto da sfioratore e, subito prima del ponte, l'alveo artificiale del Tanali è sottopassato da una chiavica che collega direttamente il microbacino in sinistra del rio con il drenaggio esterno alla cassa che raggiunge direttamente il canale Emissario. L'andamento freaticometrico del piezometro A (interno alla cassa) suggerisce una marcata influenza locale di detto nodo idraulico; influenza che esula dal suo funzionamento di progetto disturbando al contempo il normale andamento della falda all'interno dell'Oasi.

Relazione falda piovosità

In prima approssimazione, i fattori principali che controllano l'andamento della falda superficiale nell'Oasi sono: gli apporti diretti sia per precipitazioni meteoriche sulla zona che per gli afflussi dei due rii che vi sfociano, la ricarica laterale sotterranea e l'andamento generale della falda dell'intero alveo dell'ex lago di Bientina.

Per una prima valutazione degli effetti di ricarica diretta e ricarica sotterranea si è proceduto ad un'analisi statistica delle relazioni fra freatimetria e piovosità derivanti dalle due stazioni pluviografiche più prossime (Monte Serra e San Giovanni alla Vena).

L'analisi degli effetti del terzo componente (strettamente correlato al deflusso) sarà possibile solo dallo studio dei risultati della modellazione numerica attualmente in corso. Al momento si considereranno quindi, solo gli effetti della ricarica.

Gli effetti della ricarica diretta e sotterranea sono stati indagati calcolando la correlazione delle serie cronologiche freatimetriche di ciascun piezometro con l'andamento delle precipitazioni medie giornaliere (Stazioni Monte Serra e San Giovanni alla Vena) per intervalli di tempo crescenti precedenti ciascuna misura (giorni 5, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180).

La figura 8 mostra per le stazioni Monte Serra e San Giovanni alla Vena i diagrammi dei coefficienti di correlazione contro l'ampiezza dell'intervallo di tem-

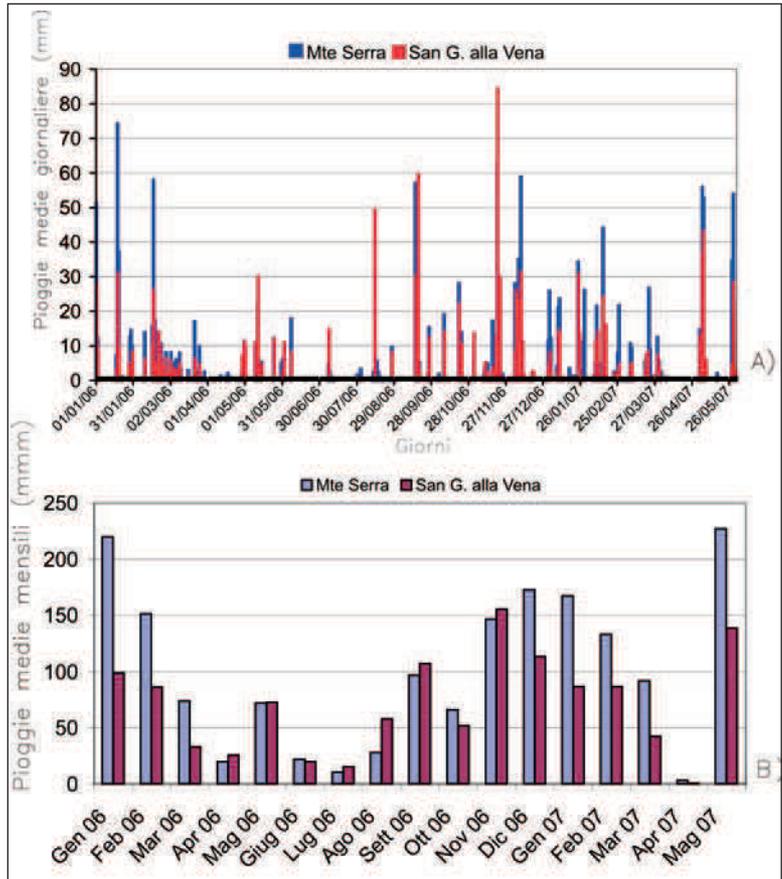


Figura 7: Istogramma pioggie medie A) giornaliere e B) mensili per le stazioni di Monte Serra e San Giovanni alla Vena.

po su cui sono state mediate le precipitazioni medie pregresse.

Dall'analisi multivariata delle correlazioni esistenti fra piezometrie, piovosità del Monte Serra e piovosità di San Giovanni alla Vena è risultato che la serie temporale meglio correlata con le piezometrie è quella del Monte Serra per cui di seguito si descriverà in dettaglio solo quest'ultima.

I periodi di significativa correlazione fra serie temporali freatimetriche e pluviometrie medie pregresse sono risultati 105 e 135 giorni; a 5 giorni si riscontra un picco secondario, non uniforme per tutti i piezometri e chiaramente riconducibile agli apporti diretti. I picchi significativi a 105 e 135 giorni permettono di distinguere due famiglie di piezometri che peraltro

riflettono una zonazione areale di punti di misura (figura 9); con comportamento intermedio fra i due gruppi si osserva solo il piezometro G, all'estremo nord-est dell'area, con picco a 120 giorni.

La correlazione ottimale per i piezometri più prossimi al monte (R, P, Q, L) si ha con le precipitazioni medie giornaliere pregresse di 135 giorni mentre per i piezometri (B, C, D, S H, I) ubicati sul lato della cassa verso la conca lacustre, si hanno per precipitazioni medie giornaliere pregresse di 105 giorni.

Questo comportamento può essere spiegato con un'influenza prevalente di ricarica laterale (tempi maggiori) proveniente dal Monte Serra per il gruppo di piezometri del pedemonte e con una ricarica sempre prevalentemente laterale ma con significativa componente legata ad apporti superficiali ed infiltrazione diretta per i piezometri ubicati verso il bacino lacustre.

Viste le ottime correlazioni rilevate si è ritenuto opportuno per il piezometro più significativo di ogni gruppo (piezometro C per il gruppo verso la conca

lacustre e piezometro R per il gruppo al pedemonte) calcolare le rette di regressione lineare delle precipitazioni medie pregresse (ai rispettivi tempi significativi) contro la serie temporale piezometrica.

Le equazioni delle rette di regressione, rappresentate in figura 10 ed i rispettivi parametri statistici sono:

$$\text{Seriemp.C} = 3222.09 + 252.956 * \text{MS105}$$

Coefficiente di Correlazione = 0.960455

$R^2 = 92.2473 \%$

Errore Standard della Stima. = 129.475

Errore assoluto medio = 99.3847

P Durbin-Watson = 2.21163 (P=0.5183) No autocorrelazione

$$\text{Seriemp.R} = 5911.05 + 337.12 * \text{MS135}$$

Coefficiente di Correlazione = 0.960173

$R^2 = 92.1933 \%$

Errore Standard della Stima. = 152.209

Mean absolute error = 108.875

Errore assoluto medio = 1.74059 (P=0.2137) No autocorrelazione

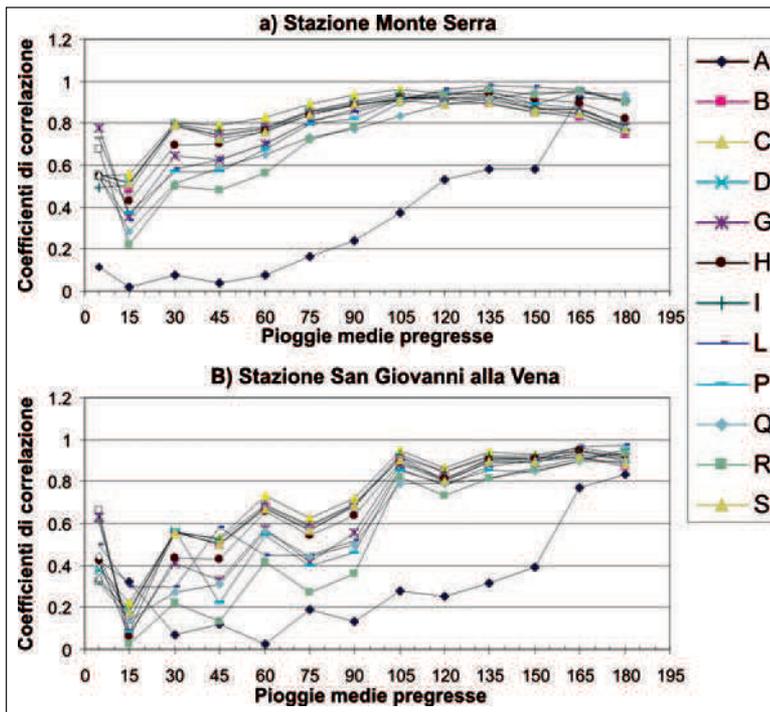


Figura 8: Diagrammi dei coefficienti di correlazione freatimetria contro l'intervallo temporale di precipitazione media pregressa per le stazioni di a) Monte Serra e b) San Giovanni alla Vena.

I dati statistici per le due regressioni indicano che c'è una significativa correlazione fra serietemp.C ed MS105 e fra serietemp.R ed MS135 al 95.0% di confidenza.

I valori di R^2 sempre maggiori del 92% indicano un buon fitting mentre il coefficiente di correlazione > di 0.96% indica forte relazione fra le variabili.

Le equazioni sono quindi direttamente impiegabili per prevedere, sulla base delle piogge pregresse, i livelli piezometrici attesi per aree significative all'interno dell'Oasi.

Nella successiva fase di modellazione questo risultato intermedio potrà venir tradotto in simulazioni previsionali dell'anda-

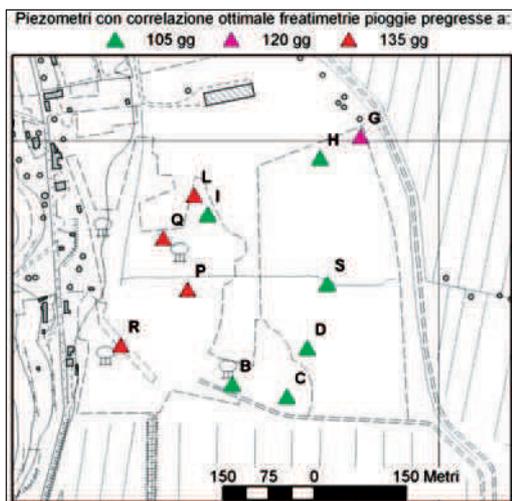


Figura 9: Raggruppamento areale di piezometri a comportamento simile. In rosso freatimetrie a correlazione ottimale a 105 gg, in verde freatimetrie a correlazione ottimale a 135 gg in blu piezometro G a correlazione ottimale a 120 gg.

mento dei chiari in funzione del regime pluviometrico con elevata attendibilità statistica.

Conclusioni

Il sottosuolo della cassa di colmata di Tanali è costituito da un «basamento» di argille lacustri sormontato da depositi palustri eteropici, lato monte, con detriti e sedimenti più grossolani; al tetto la serie di colmata ed i depositi palustri recenti affioranti.

Sia i depositi palustri che quelli di colmata mostrano chiare evidenze di subsidenza ascrivibili ad effetto del sovraccarico da colmamento ed a riduzione delle pressioni neutre dovute a drenaggio (bonifica) dei sedimenti palustri.

La falda superficiale, affiorante nei chiari, risulta, almeno parzialmente, sospesa sui livelli lacustri e mostra un andamento stagionale pulsante con ricarica prevalentemente sotterranea dal fianco del Monte Pisano. Le variazioni del livello di falda risultano statisticamente ben correlate con le piogge medie pregresse di un periodo variabile fra i 105 ed i 135 giorni, mentre la ricarica meteorica diretta e gli apporti superficiali dei rii mostrano avere influenza solo subordinata ed effimera.

Il regime idraulico originario del progetto della cassa di colmata risulta ad oggi totalmente superato dall'evoluzione idrogeologica e dalle variazioni delle condizioni al contorno, dettate dal progredire delle attività di bonifica e bonifica meccanica dall'epoca di realizzazione della colmata. L'andamento dei chiari, grazie alle relazioni di regressione calcolate, può essere previsto con un errore residuale inferiore al 5%, sulla base degli andamenti pluviometrici medi.

La successiva fase di modellazione idrogeologica numerica, attualmente in corso, mirerà alla definizione quantitativa dei fabbisogni idrici minimi necessari al mantenimento di chiari perenni, in funzione delle variazioni pluviometriche e delle condizioni di drenaggio-deflusso all'esterno della cassa.

Ringraziamenti

Si ringrazia la Lega Ambiente Valdera per il supporto fornito con l'opera dei volontari ed un particolare rin-

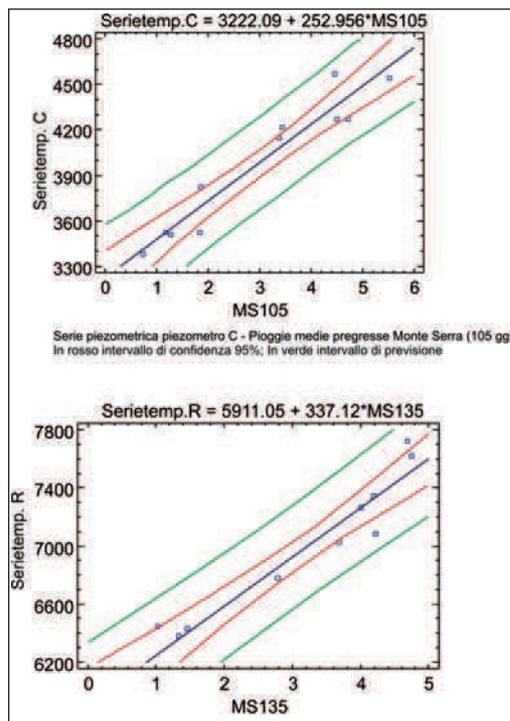


Figura 10: Diagrammi di regressione altezze freatimetriche - precipitazioni medie pregresse (105 gg per piezometro C e 135 gg per piezometro P).

graziamiento al dott. Luciano Carlotti per aver fattivamente contribuito all'impostazione generale ed alla logistica del lavoro.

Si ringraziano inoltre l'Ufficio idrografico di Pisa che ha messo gratuitamente a disposizione le pluviometrie giornaliere recenti, il Prof. Giacomo D'Amato Avanzi ed il Dott. Geol. Roberto Giannecchini che hanno deciso di dedicare all'argomento una tesi di laurea di I livello in Scienze Geologiche

Bibliografia

- [1] M. Ambrosio, L. Carlotti, M.T. Fagioli, G. Dellomonaco, Progettazione di un chiaro perenne per la sosta dell'avifauna migratoria mediante tecniche integrate di idrochimica e modellazione idrogeologica numerica nel SIR ex Lago di Bientina (PI), Codice Armonico - Primo congresso di scienze naturali della Regione Toscana Febbraio 2006 - Atti del Convegno, 2003.
- [2] Autorità di bacino del fiume Arno Piano di bacino del fiume Arno, vol. V. Firenze 1996.
- [3] C. Arias, G. Bigazzi, F.P. Bonadonna, Studio cronologico e paleontologico di alcune serie sedimentarie dell'Italia Appenninica. C.N.R., Progr. Fin. Geodinamica, Pubbl. 1981, 356: 1441-1448.
- [4] D. Barsanti, L. Rombai, La guerra delle acque in Toscana. Edizioni Medicea, Firenze 1986.
- [5] D. Barsocchini, Sull'antico corso del Serchio. Atti della R. Accademia Lucchese. Tomo XIV. Lucca 1853.
- [6] C. Bartolini, G. Pranzino, Evoluzione dell'idrografia nella Toscana centrosettentrionale. Boll. Mus. St. Nat. Lunigiana, 6-7 (1986-1987), Aulla 1988, 79-83.
- [7] M. Boccaletti, M. Coli, La tettonica della Toscana: assetto ed evoluzione. Mem. Soc. Geol. It. 1985, 25 (1983): 51-62.
- [8] G. Caciagli, Il Lago di Bientina: vicende storiche ed idrogeologiche. Bandecchi e Vivaldi Editori, Pontedera 1984.
- [9] C. Cresti, La Toscana dei Lorena. Politica del territorio e architettura. Banca Toscana, Firenze 1987.
- [10] L. Dallan, Ritrovamento di *Alephis Lyrix* nelle argille della serie lacustre di Montecarlo (Lucca) e considerazioni stratigrafiche sui depositi continentali dell'Area tra il Monte Albano e il Monte Pisano. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Nem. Ser. A 1988, 95: 1-17.
- [11] P.R. Federici, Il territorio di Bientina: dalla geologia alla storia. In «Il Padule di Bientina: aspetti naturalistici ed agronomici». Pacini Editore, Pisa 1987.
- [12] P.R. Federici, R. Mazzanti, Paleogeographic features of the drainage pattern in the Lower Arno Valley and the Serchio Valley in the Tuscany (Italy). J. Meeting on Geom. Hazard, I.G.U. (Versione italiana: L'evoluzione della paleogeografia e della rete idrografica del Valdarno inferiore). Boll. Soc. Geogr. It. 1988, ser. XI, 5: 573-615.
- [13] M. Marroni, R. Mazzanti, C. Nencini, Geologia e morfologia delle colline Pisane. Suppl. n. 1 ai Quad. Mus. Stor. Nat. di Livorno 1990, 11: 1-40.
- [14] R. Masini, L'idrografia del Serchio in epoca preistorica e storica. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Lucca 1956, pp. 18-25.
- [15] R. Mazzanti, La pianura di Pisa e i rilievi contermini, la natura e la storia. Edizioni del Cerro, Società Geografica Italiana, Roma 1994.
- [16] R. Nardi, Geologia della zona tra la Pania della Croce, Galliciano e Castelnuovo Garfagnana (Alpi Apuane). Boll. Soc. Geol. It. 1961.
- [17] C. Nencini, Il passaggio Plio-Pleistocene e i sedimenti plio-pleistocenici delle colline di Monte Castello (Pisa). Boll. Soc. Geol. It. 1983, 102: 391-398.
- [18] G. Nolledi, F. Mezzetti, Indagini idrogeologiche finalizzate alla ricostruzione ed al controllo dello stato della falda sotterranea del Padule di Bientina utilizzata per scopi potabili. Relazione tecnica per il Comune di Bientina 2003.
- [19] G. Nolledi, Valutazioni idrogeologiche sulla pianura di Lucca. Lavoro inedito, 2004.
- [20] P.E. Tomei, Il padule di Bientina e la sua flora. In «Il padule di Bientina, aspetti naturalistici ed agronomici». Pisa 1987.
- [21] P.E. Tomei, E. Guazzi, P.C. Kugler, Le zone umide della Toscana: indagini sulle componenti floristiche e vegetazionali. Regione Toscana, Firenze 2001.
- [22] L. Trevisan, G.P. Brandi, L. Dallan, R. Nardi, G. Raggi, A. Rau, P. Squarci, L. Taffi, M. Tongiorgi, Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:100000. Foglio 105 Lucca. 1-51. Min. Ind. Comm. Art., Serv. Geol. d'It. 1971, 51 pp.

Risultati dell'indagine preliminare sul Sito di Interesse Regionale «Monte Pelato», Rosignano Marittimo (LI)

Roberto Branchetti¹, Franco Sammartino*¹

Parole chiave: biodiversità, protezione habitat, specie vegetali e animali, emergenze geo-mineralogiche, aree archeologiche

Vengono esposti i risultati di una ricerca condotta sul Sito di Interesse Regionale «Monte Pelato», ubicato nel Comune di Rosignano Marittimo. Lo studio ha preso spunto da una relazione finalizzata a valutare l'incidenza degli effetti indotti dal nuovo Regolamento Urbanistico sul sito in oggetto [1].

La ricerca, effettuata nell'arco di due anni, è stata svolta da alcuni componenti del Gruppo Archeologico e Paleontologico Livornese, con il contributo dei ricercatori del Museo di Storia Naturale del Mediterraneo di Livorno e del Museo di Storia Naturale di Rosignano Solvay.

Il sito ha un'estensione di circa 835 ettari e si colloca territorialmente fra due aree del Sistema Provinciale delle Aree Protette: a sud-est il Parco dei Poggetti, distante circa 4 km, e a nord l'A.N.P.I.L Valle del Chioma, posta a circa 1 km. Il perimetro del SIR Monte Pelato dista dai centri abitati più vicini (Nibbiaia, Castelnuovo della Misericordia e Castiglioncello) circa 1 km, è quasi interamente circondato da boschi e racchiude un'area pressoché disabitata. La rete viaria minore (strade vicinali e poderali) è interamente sterrata, inadatta quindi ad un traffico veicolare intenso. La quota sale dai 40 m s.l.m. vicino alla foce del Botro Fortulla, fino ai 375 m di Monte Pelato.

Materiali e metodi

Le aree ecosistemiche presenti al suo interno (tabella 1) sono state desunte dalla «Carta d'uso del suolo» in scala 1:5000, redatta per fotointerpretazione da immagine satellitare del 2003 e controllo a terra.

L'insieme dei suddetti ecosistemi definisce un quadro ambientale eterogeneo e diversificato, dove alla prevalente presenza del bosco si unisce un'agricoltura semiestensiva condotta in modo tradizionale, con largo uso del pascolo ovino e del biologico. L'abbondanza di siepi «residue» (nei terreni a seminativo) e «rigenerate» (sui terrazzamenti abbandonati), garantisce un buon livello di naturalità all'interno dello stesso agroecosistema.

Habitat e specie vegetali

Le fitocenosi caratteristiche sono costituite da:

- Macchia mediterranea di arbusti sempreverdi con dominanza di *Juniperus macrocarpa* nelle zone cacuminali più rocciose.

gli autori

¹ Gruppo Archeologico Paleontologico Livornese, c/o Museo di Storia Naturale del Mediterraneo, via Roma 230, 57127 Livorno

* autore per corrispondenza
fsammartino@alice.it

- Macchia di sclerofille sempreverdi con infiltrazioni più o meno abbondanti di *Fraxinus ornus* (nel versante nord del Monte Pelato), *Quercus pubescens* e *Ostrya carpinifolia* (nei versanti e nelle vallicole più fresche del Poggio San Quirico e Poggio al Tedesco).

- Boschetti di caducifoglie mesofile ripariali negli alvei dei corsi d'acqua a regime stagionale.

- Lecceta lungo il corso del botro Fortulla (sponda sinistra).

- Pratelli con garighe rade, ricche di bulbose tra cui le liliacee e le orchidaceae.

- Associazioni pioniere con camefite su rocce verdi od ofiolitiche.

- Pinete di *Pinus pinaster* e *Pinus halepensis* nelle aree interessate dai rimboschimenti delle ex cave di magnesite di Castiglioncello e Campolecciano

Gli *habitat* soggetti a protezione (Allegato A1 della L.R. 56/2000), secondo la scheda «SIR B 10 Monte Pelato» della delibera di G.R. 644/04, sono riportati in tabella 2.

Ulteriori *habitat* sono stati individuati durante le indagini di campagna, tra i quali, di particolare interesse, la vegetazione pioniera delle rocce ultramafiche

(Monte Pelato [2], Monte Carvoli) con presenza di endemismi ad areale quasi esclusivamente toscano; le sorgenti con formazione attiva di travertino (Sorgente Padula e Cerri Bianchi), caratterizzate da accentuata igrofilia, presenza di stillicidi, popolamenti di crittogame; oltre 10 cavità ipogee (gallerie e condotti di aerazione di miniere abbandonate), probabili rifugi di Chiroteri ed altre specie faunistiche. Nel complesso, gli *habitat* rilevati sono riportati in tabella 3.

Ad integrazione dell'elenco floristico di tabella 4, si riporta una lista delle orchidee spontanee (non inserite nell'allegato A3 della LR 56/2000) rinvenute nel SIR Monte Pelato, dove sono state censite 18 specie pari al 43% di quelle presenti nel comprensorio dei Monti Livornesi.

Spiranthes spiralis (L.) Chevall.; *Dactylorhiza maculata* subsp. *fuchsii* (Druce) Hyl.; *Orchis provincialis* Balb. ex Lam. & DC; *Orchis morio* L.; *Orchis coriophora* L.; *Orchis purpurea* Huds.; *Serapias lingua* L.; *Serapias cordigera* L.; *Ophrys fusca* Link; *Ophrys apifera* Huds.; *Ophrys bertolonii* Moretti; *Ophrys fuciflora* (F.W. Schmidt) Moench; *Ophrys sphegodes* Mill; *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch; *Cephalanthera rubra* (L.) Rich.

Tabella 1: Ecosistemi presenti nel sito.

Tipologia di ecosistema	Uso del suolo	Superficie (ha)	Copertura %
Boschi e macchie	L1, L2, L3	743,3	88,9
Garighe su rocce	N	19,1	2,3
Ex-coltivi in fase di rinaturazione	L6, G2	7,7	0,9
Aree agricole a colture erbacee (seminativi, prati e pascoli, colture a perdere)	C1, M	53,8	6,4
Aree agricole con piante legnose (oliveti)	G1, D1	4,6	0,6
Siepi	L5	5,7	0,7
Corpi idrici (corsi d'acqua, laghetti collinari)	R, S	0,1	0,01
Area agricola urbanizzata	C3, strade	2,1	0,2
TOTALE		836,4	100

Tabella 2: Habitat soggetti a protezione.

Habitat	Cod. Corine	Cod. Nat.2000	All. Dir. 92/43/CEE
Boscaglie a dominanza di <i>Juniperus</i> sp.pl.	32.13	5210	AI
Boscaglie a dominanza di <i>Juniperus oxycedrus</i> ssp. <i>oxycedrus</i> dei substrati serpentinosi.	32.131	5211	AI
Garighe a <i>Euphorbia spinosa</i> (non rilevato dagli scriventi).	32.441		

Tabella 3: Altri habitat di particolare interesse.

Habitat LR 56/2000 (Allegato A1)	Direttiva 92/43/CEE (Allegato)	Habitat prioritario (Direttiva 92/43/CEE)	Codice Corine	Codice Natura 2000
Boscaglie a dominanza di <i>Juniperus oxycedrus</i> ssp. <i>Oxycedrus</i> dei substrati serpentinosi.	AI		32.131	5211
Sorgenti con formazione attiva di travertino. Sorgenti pietrificate con formazione di travertino (Cratoneurion)	AI	si	54.12	7220
Boschi e vecchi impianti artificiali di pini mediterranei			42.8	9540
Formazioni erbose secche seminaturali e facies coperte da cespugli su substrato calcareo (Festuco-Brometalia) (stupenda fioritura di orchidee)	AI	si	34.32 34.33	6210
Vegetazione pioniera delle superfici rocciose silicee (incluso quelle ultramafiche)	AI		62.3	8230
Cavità ipogee. Cavità artificiali di vario tipo, quali cave miniere non più attive, sotterranei				
Foreste di <i>Quercus ilex</i>	AI		45.3	9340

Specie animali di interesse regionale, comunitario o prioritarie (tabelle 5-11)

Fra i Mammiferi inseriti negli allegati IV e A2, rispettivamente della Dir 92/43/CEE e della LR 56/2000, è altamente probabile la presenza di alcune specie di Chiroterti (*Myotis* spp., *Nyctalus* spp., *Pipistrellus pipistrellus*, *Rhinolophus ferrumequinum*), che trovano il loro habitat ideale nella presenza di vaste aree boschive associate a campi aperti destinati a pascolo e alla presenza di ripari, tra i quali si ricordano le gallerie delle ex-miniere presenti in zona (miniere di ferro della Macchia Escafrullina e miniere di magnesite di Campolecciano e Castiglioncello). È auspicabile uno studio specifico che porti al censimento delle colonie presenti, all'individuazione dei rifugi e delle aree di foraggiamento al fine di predisporre le adeguate misure di protezione.

Il SIR Monte Pelato e la fascia di territorio circostante comprendente le località: Spianate, Masaccio, Bu-

cacce, Tagliola, La Macchia, Giammaria e Serre, costituiscono un'area di notevole importanza per la sosta di uccelli migratori e per la nidificazione di alcune specie inserite nella Lista Rossa Regionale [4], a rischio di scomparsa per la rarefazione degli habitat. Le aree a pascolo, le praterie, l'agricoltura semi estensiva di questi luoghi, costituiscono un ambiente residuale prezioso dal punto di vista ornitologico. Più delle moderne pratiche agricole qui sono da temere i processi di rinaturalizzazione che interessano i coltivi (abbandonati ormai da molti anni), i quali evolvono verso formazioni dense ed arborate, uniformando il paesaggio e riducendo la diversificazione degli habitat.

Nelle pozze di abbeverata di Casa San Quirico è stata rilevata la presenza di tritoni che non è stato possibile classificare (febbraio 2006).

Nel Botro Fortulla è da segnalare anche la presenza di *Anguilla anguilla* e del Mollusco *Ancylus fluviatilis*, specie non inserite negli elenchi della LR 56/2000.

Tabella 4: Specie vegetali rare o di interesse conservazionistico.

Specie	Dir 92/43/CEE (Allegato)	LR 56/2000 (Allegato)	Lista di attenzione R.E.N.A.T.O. (Status in Toscana)
<i>Alyssum bertolonii</i> Desv.		A3	Vulnerabile
<i>Allium moschatum</i> L.		A3	
<i>Armeria denticulata</i> (Bertol.) DC.		A3	A più basso rischio
<i>Asparagus acutifolius</i> L.		A3-C1	
<i>Asparagus tenuifolius</i> Lam.		A3-C1	
<i>Asplenium cuneifolium</i> Viv.		A3	
<i>Biscutella pichiana</i> Raffaelli ssp. Pichiana Raffaelli		A3	A più basso rischio
<i>Campanula medium</i> L.		A3-C	
<i>Centaurea paniculata</i> L. subsp. <i>maremmana</i> (Fiori); syn: <i>Centaurea</i> <i>aplolepa</i> Moretti subsp. <i>maremmana</i> (Fiori) Dostal		A3-C	In pericolo (*)
<i>Crocus etruscus</i> Parl.	IV	A3-C	A più basso rischio
<i>Euphorbia nicaeensis</i> All. subsp. <i>prostrata</i> (Fiori) Arrigoni		A3	In pericolo (*)
<i>Jonopsidium savianum</i> (Caruel) Ball ex Arcang.	II-IV	A3	Vulnerabile
<i>Juniperus macrocarpa</i> Sibth. et Sm.		A3	
<i>Lavatera olbia</i> L.			In pericolo critico (*)
<i>Narcissus poeticus</i> L.		A3	
<i>Narcissus serotinus</i> L.		A3	
<i>Onosma echioides</i> L.		A3	
<i>Orchis papilionacea</i> L. subsp. <i>papilionacea</i>		A3	
<i>Periploca graeca</i> L.		A3	
<i>Plantago maritima</i> L.		A3	
<i>Polygala flavescens</i> DC.		A3	
<i>Ruscus hypoglossum</i> L.		A3	
<i>Salix apennina</i> Skvortsov		A3	
<i>Serapias vomeracea</i> (Burm.) Briq.		A3	
<i>Serapias neglecta</i> De Not.		A3	
<i>Silene paradoxa</i> L.		A3	
<i>Stakys recta</i> L. subsp. <i>serpentina</i> (Fiori) Arrigoni		A3	A più basso rischio
<i>Stipa tirsia</i> Steven		A3	A più basso rischio
<i>Tymus acicularis</i> W. et K. Var. <i>ophiolithicus</i> Lac.		A3	In pericolo (*)
<i>Tulipa australis</i> Link		A3-C	
<i>Vinca minor</i> L.		A3	

Legenda lista di attenzione

II = specie vegetali di interesse comunitario la cui conservazione richiede la designazione di zone speciali di conservazione. IV = specie vegetali di interesse comunitario che richiedono una protezione rigorosa. A3 = specie vegetali di interesse regionale la cui conservazione può richiedere la designazione di Siti di Importanza Regionale (SIR). C = specie vegetali protette. C1 = specie vegetali soggette a limitazioni nella raccolta. (*) = specie segnalata nel volume «La Biodiversità in Toscana. Specie e habitat in pericolo» [3].

Tabella 5: Mammiferi di interesse conservazionistico presenti nel sito.

Specie	Nome italiano	Direttiva 92/43/CEE (Allegato)	LR 56/2000 (All.to)	L.R. 3/94	Lista di attenzione R.E.N.A.T.O. (Status in Toscana)
<i>Martes martes</i>	Martora	V	A2	P*	In pericolo (*)
<i>Mustela putorius</i>	Puzzola	V	A2	P*	In pericolo (*)
<i>Hystrix cristata</i>	Istrice	IV*		P	
<i>Muscardinus avellanarius</i>	Moscardino	IV	A2	P	A più basso rischio

Legenda lista di attenzione

IV = specie animali di interesse comunitario che richiedono una protezione rigorosa. IV* = specie prioritaria. V = specie animali di interesse comunitario «il cui prelievo nella natura e il cui sfruttamento potrebbe formare oggetto di misure di gestione». A2 = specie animali di interesse regionale la cui conservazione può richiedere la designazione di Siti di Importanza Regionale (SIR). P = specie protette. P* = specie particolarmente protette. (*) = specie segnalata nel volume «La Biodiversità in Toscana. Specie e habitat in pericolo».

Aspetti geo-mineralogici

L'area in studio è caratterizzata da notevoli affioramenti di serpentiniti dalla costa fino alla cima del Monte Pelato, interrotti nella parte centrale dai sedimenti del Cretaceo inferiore consistenti in argilloscisti e calcari silicei «Palombini», e da quelli del Cretaceo superiore formati da argilloscisti varicolori del Fortulla e dal *Flysch* di Poggio S. Quirico del Paleocene medio [5]. In queste formazioni, sul Botro Fortulla si ha un'esposizione di una piega tettonica di notevole bellezza. Nell'area di studio sono presenti anche limitati affioramenti di diabase e gabbro. Nella parte nord del SIR, si trova inoltre un modesto, ma molto interessante, affioramento di idrotermaliti, rocce originate dalla profonda alterazione di ofioliti, caratteristiche per la presenza di numerosi filoncelli di calcite e quarzo distribuiti nella massa rocciosa con andamento caotico.

Degne di nota sono le formazioni di travertino nei pressi di Occhibolleri e lungo il corso di vari torrenti. L'erosione del substrato unifero e l'esposizione ai venti impedisce lo sviluppo vegetazionale se non in forme di gariga in ampie zone del Monte Pelato, permettendo una notevole esposizione delle rocce. L'area del Monte Pelato è quella con la più ampia esposizione rocciosa naturale dei Monti livornesi.

Sul versante occidentale sono state aperte in passato

varie trincee, pozzi, cave e gallerie per la ricerca e l'estrazione della magnesite e di ossidi di manganese. Le più note sono la miniera di ferro di Macchia Escarfullina, le miniere di magnesite di Campolecciano, Castiglioncello e Macchia Escarfullina, e le cave, sempre di magnesite di Botro Masaccio, Mammellone, Santa Barbara e Speranza. Questi giacimenti, che le cave e le gallerie sono andate ad intercettare, sono di tipo filoniano e sono dovuti all'azione idrotermale di acque particolarmente ricche di anidride carbonica, risalite lungo le faglie correlate ai filoni. L'ipotesi della genesi idrotermale trova riscontro anche nella presenza delle sorgenti termali ancora attive, ricche di anidride carbonica, di Occhibolleri e Padula a nord ovest di Monte Pelato e di grande interesse naturalistico. Tracce di trincee per l'estrazione di ossidi di manganese si trovano nella zona di Campolecciano [6], inoltre a poche decine di metri dalla sommità di Monte Pelato è stata individuata di recente, una piccola galleria, lunga circa 20 m, scavata nel serpentino. Sono ancora in corso indagini per stabilire lo scopo della sua escavazione. Potrebbe trattarsi di un tentativo di ricerca di minerali di rame data la presenza di malachite e azzurrite nelle vicinanze.

In relazione alla modesta entità dell'area in studio, notevole è il numero delle specie e delle varietà mineralogiche presenti [7], oltre trenta, alcune delle quali individuate di recente, ancora in fase di studio

Tabella 6: Uccelli di interesse conservazionistico di cui è stata rilevata la presenza nel sito.

Specie	Nome italiano	Direttiva 79/409 CEE (All.)	LR 56/2000 (All.)	LR 3/94	Lista Rossa Reg.le	Lista di attenzione R.E.N.A.T.O. (Status in Toscana)
<i>Alcedo atthis</i>	Martin pescatore	I	A2	P		Minacciato
<i>Anthus campestris</i>	Calandro	I	A2	P	B*	Vulnerabile
<i>Calandrella brachydactyla</i>	Calandrella	I	A2	P		Prossimo alla minaccia
<i>Caprimulgus europaeus</i>	Succiacapre	I	A2	P		Prossimo alla minaccia
<i>Circus cyaneus</i>	Albanella reale	I	A2	P*		
<i>Circus pygargu</i>	Albanella minore	I	A2	P*	B	In pericolo (*)
<i>Coturnix coturnix</i>	Quaglia		A2		B*	Vulnerabile
<i>Falco tinnunculus</i>	Gheppio		A2	P*	B*	Prossimo alla minaccia
<i>Lanius collurio</i>	Averla piccola	I	A2	P		Vulnerabile
<i>Lanius senato</i>	Averla capirossa		A2	P	B*	In pericolo (*)
<i>Lullula arborea</i>	Tottavilla	I	A2	P		Prossimo alla minaccia
<i>Monticola solitarius</i>	Passero solitario		A2	P	B*	Vulnerabile
<i>Oenanthe oenanthe</i>	Culbianco		A2	P	B	In pericolo (*)
<i>Otus scops</i>	Assiolo		A2	P*	B*	Prossimo alla minaccia
<i>Sylvia hortensis</i>	Bigia grossa		A2	P	B	In pericolo critico (*)
<i>Sylvia undata</i>	Magnanina	I	A2	P	B*	Vulnerabile
<i>Tichodroma muraria</i>	Picchio muraiolo		A2	P	C	Vulnerabile

Legenda lista di attenzione

I = specie per le quali sono previste misure speciali di conservazione per quanto riguarda l'habitat. A2 = specie animali di interesse regionale la cui conservazione può richiedere la designazione di Siti di Importanza Regionale (SIR). P = specie protette. P* = specie particolarmente protette. B = altamente vulnerabile. B* = mediamente vulnerabile. C = specie rara. (*) = specie segnalata nel volume «La Biodiversità in Toscana. Specie e habitat in pericolo» [3].

Tabella 7: Rettili di interesse conservazionistico presenti nel sito.

Specie	Nome italiano	Dir 92/43/CEE (Allegato)	LR 56/2000 (Allegato)	Lista di attenzione R.E.N.A.T.O. (Status in Toscana)
<i>Elaphe quatuorlineata</i>	Cervone	II-IV*	A2	Vulnerabile
<i>Lacerta bilineata</i>	Ramarro	II-IV*	B	
<i>Podarcis muralis</i>	Lucertola muraiola	IV*	A2	A più basso rischio
<i>Podarcis sicula</i>	Lucertola campestre	IV*	A2	A più basso rischio
<i>Testudo hermanni</i>	Testuggine di Hermann	II-IV*	A2	A più basso rischio
<i>Anguis fragilis</i>	Orbettino		B	
<i>Tarentola mauritanica</i>	Geco		B	

Legenda lista di attenzione

II = specie animali di interesse comunitario la cui conservazione richiede la designazione di zone speciali di conservazione. IV = specie animali di interesse comunitario che richiedono una protezione rigorosa. IV* = specie prioritaria. B = specie animali protette.

Tabella 8: Crostacei di interesse conservazionistico presenti nel sito.

Specie	Nome italiano	Dir 92/43/CEE (Allegato)	LR 56/2000 (Allegato)	Lista di attenzione R.E.N.A.T.O. (Status in Toscana)
<i>Potamon fluviatile</i>	Granchio di fiume		B	Vulnerabile

Legenda lista di attenzione

B = specie animali protette.

Tabella 9: Anfibi di interesse conservazionistico presenti nel sito.

Specie	Nome italiano	Dir 92/43/CEE (Allegato)	LR 56/2000 (Allegato)	Lista di attenzione R.E.N.A.T.O. (Status in Toscana)
<i>Bufo bufo</i>	Rospo comune		B	
<i>Rana esculenta</i>	Rana verde		B1	

Legenda lista di attenzione

B = specie animali protette. B1 = specie animali soggette a limitazioni di prelievo.

Tabella 10: Pesci di interesse conservazionistico presenti nel sito.

Specie	Nome italiano	Dir 92/43/CEE (Allegato)	LR 56/2000 (Allegato)	Lista di attenzione R.E.N.A.T.O. (Status in Toscana)
<i>Rutilus rubilio</i>	Rovella	II	A2	A più basso rischio

Legenda lista di attenzione

II = specie animali di interesse comunitario la cui conservazione richiede la designazione di zone speciali di conservazione. A2 = specie animali di interesse regionale la cui conservazione può richiedere la designazione di Siti di Importanza Regionale (SIR).

Tabella 11: Insetti di interesse conservazionistico presenti nel sito.

Specie	Nome italiano	Dir 92/43/CEE (Allegato)	LR 56/2000 (Allegato)	Lista di attenzione R.E.N.A.T.O. (Status in Toscana)
<i>Charaxes jasus</i> (*)	Farfalla del Corbezzolo		A2 - B	Vulnerabile
<i>Erythromma viridulum</i> (**)	Libellula			

(*) Fonte: <http://web.rete.toscana.it/renatoapp/ListeAttenzione/Risultati.jsp>

(**) Fonte: SIRA-ARPAT http://sira.arp.at.toscana.it/sira/Bioitaly/BIT_IT5150104.htm.

ed in attesa di determinazione: *marcasite*, *pirite*, *melnikovite?*, *magnetite*, *quarzo*, *calcedonio*, *opale*, *brookite*, *anatasio*, *limonite*, *goethite*, *magnesite*, *dolomite*, *calcite*, *aragonite*, *malachite*, *azzurrite*, *barite*, *melanterite*, *epsomite*, *copiapite*, *andradite*, *vesuvianite*, *clorite*, *diallagio*, *antigorite*, *crisotilo*, *steatite*, *halloysite*, *wolchonskoite* e la rara *melanoflogite*, unico sito al mondo dove si può trovare con una certa abbondanza [8].

Da citare anche la presenza di *ematite*, di provenienza alloctona (Isola d'Elba), a testimonianza di attività metallurgiche (di varie epoche), delle quali, frequentemente, si trovano tracce lungo la costa livornese.

Aspetti paleontologici

In questo territorio non si hanno importanti giacimenti fossiliferi, comunque sono da evidenziare numerose impronte fossili, lasciate da animali invertebrati su fondali marini di oltre sessanta milioni di anni fa, individuati in diversi strati nelle formazioni del Cretaceo inferiore. Assai interessanti sono delle formazioni concentriche, anche di 20 cm di diametro,

tuttora in corso di studio, che sembrerebbero appartenere a formazioni algali, sempre del Cretaceo.

Presenze archeologiche

La presenza umana nell'area è documentata dal ritrovamento di testimonianze riferibili a periodi che vanno dal Paleolitico medio all'età contemporanea; un filo comune lega le diverse civiltà che nel corso dei secoli vi hanno lasciato tracce più o meno evidenti: lo sfruttamento delle abbondanti (e talvolta particolari) risorse naturali che la zona poteva offrire.

Il SIR è coperto per il 93% da vegetazione per cui la ricerca archeologica di superficie è particolarmente difficoltosa, comunque in alcuni punti, privi di copertura vegetale, sono state trovate tracce di frequentazione umana anche nella preistoria [9]. Sono stati raccolti in superficie alcuni manufatti di tipo Paleolitico medio in località Campolecciano, Le Spianate, alle Cave di magnesite, Casa Masaccio e a Case San Quirico. Pochissimi reperti di tipo Paleolitico superiore provengono da Pian dei Lupi, Le Serre, e Case San Quirico mentre all'Eneolitico è stata attribuita

una bellissima cuspidi di freccia in diaspro in rosso, rinvenuta negli anni sessanta del secolo scorso, sempre a Case San Quirico [10]. Il reperto è associabile alle attività di caccia praticate nella selva locale.

Di eccezionale importanza, la necropoli etrusca databile fra gli inizi del III e la fine del II a. C. scoperta a Pian dei Lupi, non distante dall'antica strada di crinale delle «Serre». La necropoli ha restituito oltre 70 sepolture, per la maggior parte a pozzetto, ma anche a cassetta, a testimonianza di pratiche rituali di incinerazione e inumazione. I corredi sono composti da suppellettili in ceramica sia acroma che a vernice nera, e da oggetti in ferro e bronzo e da ornamenti in argento e oro che rivelano la presenza di un ceto aristocratico che traeva la sua ricchezza dall'agricoltura e dal commercio delle derrate pregiate ivi prodotte [11]. Di non minore importanza la fortezza d'altura di Monte Carvoli, sempre di epoca etrusca, che conserva ancora parte delle possenti mura disposte su due livelli. La cinta inferiore (a quota 310 m s.l.m.), realizzata in blocchi di serpentinite irregolari, sovrapposti a secco, ha uno spessore di 1,5 m ed è visibile per una lunghezza di circa 465 m. La cinta superiore (a quota 350 m s.l.m.), realizzata in conci quadrati, è lunga 167 m e racchiude un'area di 1500 mq.

La frequentazione umana in epoca romana è al momento testimoniata da resti di laterizi e scarsi frammenti di vasellame, in località Poggio al Tedesco, Le Spianate e presso le sorgenti ipotermali di Occhibolleri e Padula. In quest'ultima località furono rinvenuti, nella seconda metà dell'Ottocento, abbondanti reperti costituiti da vasi, utensili e numerose monete di età romana, che attesterebbero una frequentazione della sorgente per scopi termali [12]. Al medioevo potrebbe essere riconducibile la presenza della chiesa di S. Giusto di Monteremo, di cui si è persa ogni traccia, ubicata secondo Virgili ad ovest del Poggio S. Quirico, non distante dal torrente Fortulla [13].

Per quanto concerne l'Età moderna una rappresentazione del territorio in esame è fornita dal plantario allegato all'Estimo di Castelnuovo della Misericordia (1795) dove compaiono interessanti toponimi derivati dal sistema di vita dell'epoca, ora legati all'economia del bosco (Porcareccia di S. Quirico alto, Carbonaia dei Cerri Bianchi, Piazza di Mattiolo, etc.) ora alla presenza di sorgenti di acque «minerali» (del Crocino, di Occhibolleri) [14]. All'età contemporanea risale il «Muraglione», possente diga costruita intorno alla metà dell'Ottocento nell'alta valle del Fortulla per raccogliere riserve d'acqua necessaria al funzionamento di alcuni mulini posti più a valle [15].

Conclusioni

L'indagine di campagna ha confermato il pregio ambientale e naturalistico dell'area, rafforzando quanto riportato nella bibliografia di riferimento. Sono state individuate emergenze geo-mineralogiche e nuovi *habitat* ed è stato implementato l'elenco delle specie animali e vegetali di interesse regionale presenti nel SIR. Visto l'elevato valore delle componenti ecosistemiche in gioco, considerata l'ampiezza dell'area di studio e le testimonianze storico culturali che l'uomo vi ha lasciato in passato, è auspicabile che a questa indagine «preliminare» segua una ricerca multidisciplinare più approfondita, così da definire in maniera ancor più esaustiva il quadro ecologico delle conoscenze ed il ruolo che le componenti biologiche ed antropiche rivestono nella strutturazione del paesaggio. Tali conoscenze ci appaiono indispensabili per orientare correttamente le scelte gestionali dell'area, così da garantire un adeguato livello di protezione e, di conseguenza, il mantenimento di un'elevata soglia di biodiversità.

Ringraziamenti

L'implementazione dei dati censuari sulle specie di interesse regionale o comunitario è stata condotta con il contributo di persone di fiducia, che qui ringraziamo e rammentiamo:

Dott. Carlo Baldacci (Gruppo Ornitologico, Mus. Stor. Nat. di Rosignano Solvay): comunicazione scritta.

Dott. Mairo Mannocci, Sig. Bruno Quochi (Gruppo Botanico Livornese e Gruppo Italiano per la Ricerca sulle Orchidee Spontanee, Mus. Stor. Nat. del Mediterraneo di Livorno): comunicazione scritta

Dott. Alessandro Voliani (ARPAT - Livorno).

Bibliografia

[1] R. Branchetti, *Relazione per la valutazione di incidenza sui siti di interesse regionale: «ZPS Tomboli di Cecina» e «SIR Monte Pelato»*. Comune di Rosignano Marittimo: 2007.

[2] L. Zocco Pisana, P.E. Tomei, *Contributo alla conoscenza della flora livornese: gli affioramenti serpentini di Monte Pelato e Poggio alle Fate*. Quad. Mus. Stor. Nat. Livorno 1990, 11: 1.

[3] Regione Toscana, *La Biodiversità in Toscana. Specie e habitat in pericolo*, 2002.

- [4] P. Sposimo, G. Tellini, Lista Rossa degli uccelli nidificanti in Toscana. Riv. Ital. Orn, 1995, 64 (2): 131.
- [5] E. Bartoletti, A. Bossio, M. Esteban, R. Mazzanti, R. Mazzei, G. Salvatorini, G. Sanesi, P. Squarci, Studio geologico del territorio comunale di Rosignano Marittimo in relazione alla carta geologica alla scala 1:25.000. Suppl. 1, Quad. Nus. St. Nat. Livorno. 1985, 6: 33.
- [6] P. Savi, G. Orosi, Notizie geologiche e chimiche intorno alle acque acidule e ferruginose di San Quirico presso Livorno, Livorno: 1894.
- [7] R. Nannoni, F. Sammartino, I minerali dei Monti Livornesi. Ed. Calderini, Bologna: 1979.
- [8] M. Grassellini Troysi, P. Orlandi, Sulla melanoflogite del Fortullino (Livorno). Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie A. 1972, 79: 245.
- A. Lenzi, 1996. La melanoflogite di località Fortullino, Informatore, Giornale del Museo di Storia Naturale di Rosignano Solvay. 1996, 1: 10.
- [9] F. Sammartino, Ritrovamenti preistorici nel territorio di Rosignano M.mo, Suppl. 1, Quad. Mus. Stor. Nat. Livorno. 1985, 6: 185.
- [10] G. Cremonesi, A. M. Radmilli, Guida alla sezione preistorica del Museo Archeologico di Firenze. Firenze: 1963.
- [11] A. Maggiani, S. Palladino, E. Regoli, La necropoli di Pian dei Lupi, St. Etr. 2007, 71: 146.
- [12] P. Vigo, Montenero, Guida storico-urbanistica-descrittiva con appendice di documenti nediti. Tip. Gius. Fabbreschi, Livorno: 1902.
- [13] E. Virgili, Le pievi e i castelli della Diocesi Pisana nella Marittima (secoli XI-XVI). Pacini Editore (Pi): 1995.
- [14] G. Milanesi, R. Branchetti, 1995. Strade di pietra. Vie d'acqua e di vento. Un viaggio tra memoria e progetto. Pisa: 1995.
- [15] R. Branchetti, M. Taddei, Antichi mulini del territorio livornese. Comune di Livorno. Quaderni dell'Ambiente 11. Pisa: 2006.

Ripple marks e tracce fossili nelle formazioni del Cretaceo superiore del Rio Ardenza, Livorno

Franco Sammartino*¹, Michelangelo Bisconti^{1,2}, Antonio Borzatti de Loewenstern^{1,3}, Emiliano Carnieri^{1,4}

Parole chiave: ripple marks, tracce fossili, arenarie, argilliti, siltiti, Cretaceo superiore, Rio Ardenza

In questo lavoro vengono descritti i ripple marks e le tracce fossili di animali invertebrati individuate sull'alveo del Rio Ardenza presso Livorno, negli affioramenti di Formazioni del Cretaceo superiore del Complesso Alloctono Intermedio con arenarie, siltiti e argilliti. Si tratta di impronte lasciate da onde e correnti sottomarine e dall'attività di vari organismi sulla superficie di fondali, principalmente piste dovute all'attività di spostamento (repichnia), riposo (cubichnia), esplorazione (fodinichnia), nutrimento (pascichnia), ma anche tracce di tane (domichnia). Difficilmente questi tipi di tracce fossili consentono di individuare la specie che le ha prodotte mentre sono determinanti per la ricostruzione dell'ambiente. Le caratteristiche geomorfologiche del sito e lo stato di conservazione di queste paleosuperfici rendono questa località particolarmente adatta all'inserimento in un percorso didattico-scientifico all'interno del «Parco dei Monti Livornesi», insieme ad altre tuttora in corso di studio, necessitando quindi di un'azione di tutela e salvaguardia.

Introduzione

L'area di studio comprende un tratto di circa 150 m dell'alveo del Rio Ardenza, posto fra le quote di 40 e 42 m slm; l'area è individuabile sulla carta IGM con le coordinate 43° 30' 50"N, 2° 05' 30"E (figura 1).

In questo tratto l'alveo del torrente, in passato molto stretto e coperto da fitta vegetazione, è stato recentemente sottoposto a lavori di sistemazione idraulica che lo hanno allargato notevolmente, in alcuni punti anche fino a 20 m. In questo tratto sono affiorate formazioni sedimentarie tettonicamente disturbate con strati inclinati e pieghe, anche rovesciate, che si individuano anche dall'osservazione delle impronte e controimpronte di invertebrati. Precedentemente ai lavori, le formazioni che attualmente sono esposte sugli argini, erano coperte da frane e da terreno alluvionale; dette strutture sono emerse anche nell'alveo

del torrente che, in alcuni tratti, è da esse attraversato. Si tratta in prevalenza di strati di laminita siltitiche e argillitiche di colore grigio-nerastro intercalate a strati di arenarie molto fini dello spessore variabile da 10 a 40 cm anch'esse di colore grigio, con superfici di ossidazione beige-marrone chiaro e con presenza di olistostromi di argilliti e calcari silicei. Sulla base delle microfaune rinvenute (foraminiferi, poriferi e radiolari), queste formazioni, che in passato affioravano solamente sul lato sinistro del Rio Ardenza a quote relativamente più alte rispetto all'alveo, sono state attribuite genericamente al Cretaceo superiore [1]. Insieme a queste alternanze si osservano sequenze di deposizioni torbidity insieme a strutture sedimentarie come *ripple marks*, *load casts*, *flute marks* e strutture di bioturbazione.

Sulle argilliti e sulle siltiti sono stati rinvenuti numerosi icnofossili riconducibili ad attività di animali invertebrati attivi sul substrato o immediatamente al di



Figura 1: Località di rinvenimento
Mappa di parte del corso del Rio Ardenza. Nel riquadro è indicata la località di rinvenimento degli icnofossili descritti in questo lavoro. Il lato lungo del rettangolo rappresenta circa 150 m.

sotto di esso. L'obiettivo di questo lavoro è descrivere preliminarmente le tipologie principali di icnofossili rinvenuti in questo sito in modo da fornire un quadro paleoecologico del bacino di sedimentazione Cretaceo superiore.

Materiali e metodi

Gli icnofossili rinvenuti si trovano quasi esclusivamente su una delle superfici esposte di blocchi derivanti dalla frantumazione meccanica degli strati laminatici, argillitici e siltitici operata da mezzi meccanici nel corso dei lavori di sistemazione idraulica. I blocchi sono stati recuperati in parte e sono conservati presso il Museo di Storia Naturale del Mediterraneo di Livorno. Gli icnofossili sono generalmente ben conservati e per il loro studio non è stata necessaria alcuna operazione di preparazione meccanica o chimica. Per lo studio degli icnofossili e della mineralogia dei campioni si è fatto uso di lenti di ingrandimento e di uno stereomicroscopio binoculare con massimo potere di magnificazione di 40x.

Descrizione dei materiali

Ripple marks

Le superfici sulle quali si sono conservati i *ripple*

marks sono in quantità nettamente inferiori a quelle nelle quali si osservano resti di attività biologiche. Si tratta quasi sempre di micro-increspature da correnti, dove la lunghezza e l'ampiezza delle onde, sono in media rispettivamente 2 e 1,5 cm, indicative di uno scorrimento medio/basso (lento) delle acque. Solamente in pochi frammenti dall'aspetto fisico fresco, rimossi dalla giacitura originale dall'azione delle ruspe, si conservano impronte di onde anche di 5 cm di lunghezza, ma sempre con un'ampiezza limitata ad un massimo di 2 cm (figura 2).

Icnofossili

Le impronte fossili di attività biologiche di invertebrati si sono conservate in vari strati ancora in posto e su singoli blocchi derivanti dalla demolizione meccanica degli strati stessi. Nei campioni prelevati si sono osservate diverse tipologie di icnofossili: trappole agro-alimentari (*agrichnia*), strutture di nutrizione (*fodinichnia*), strutture di abitazione (*domichnia*) e di reptazione (*repichnia*) (figure 3 e 4) [2, 3].

Gli icnofossili più spettacolari comprendono alcune trappole agro-alimentari (*agrichnia*) in parte illustrate in figura 3 (nn. 2, 7, 10). Nei campioni studiati si osservano strutture a gallerie formanti reticoli dati da

gli autori

¹ Museo di Storia Naturale del Mediterraneo, via Roma 234, 57127, Livorno. E-mail: fsammartino@alice.it

² Museo di Storia Naturale del Mediterraneo, via Roma 234, 57127, Livorno. E-mail: zoologia.museo@provincia.livorno.it

³ Museo di Storia Naturale del Mediterraneo, via Roma 234, 57127, Livorno. E-mail: a.borzatti@provincia.livorno.it

⁴ Museo di Storia Naturale del Mediterraneo, via Roma 234, 57127, Livorno. E-mail: e.carnieri@provincia.livorno.it

*autore per corrispondenza

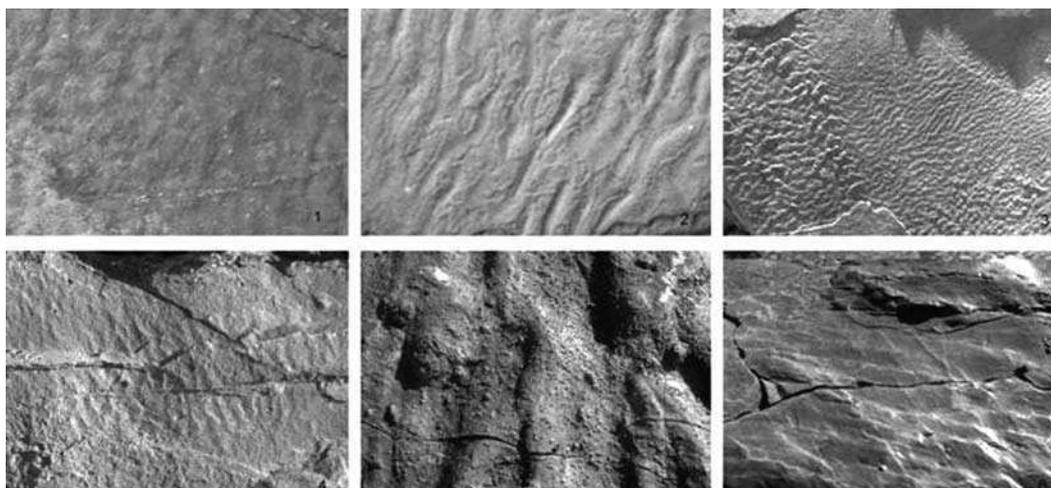


Figura 2: Ripple marks

Esempi di ripple marks osservati sulle laminiti siltitiche e argillitiche del Cretaceo superiore del Rio Ardenza (Livorno). Le immagini non sono in scala (per avere un'idea delle dimensioni delle strutture, v. testo).

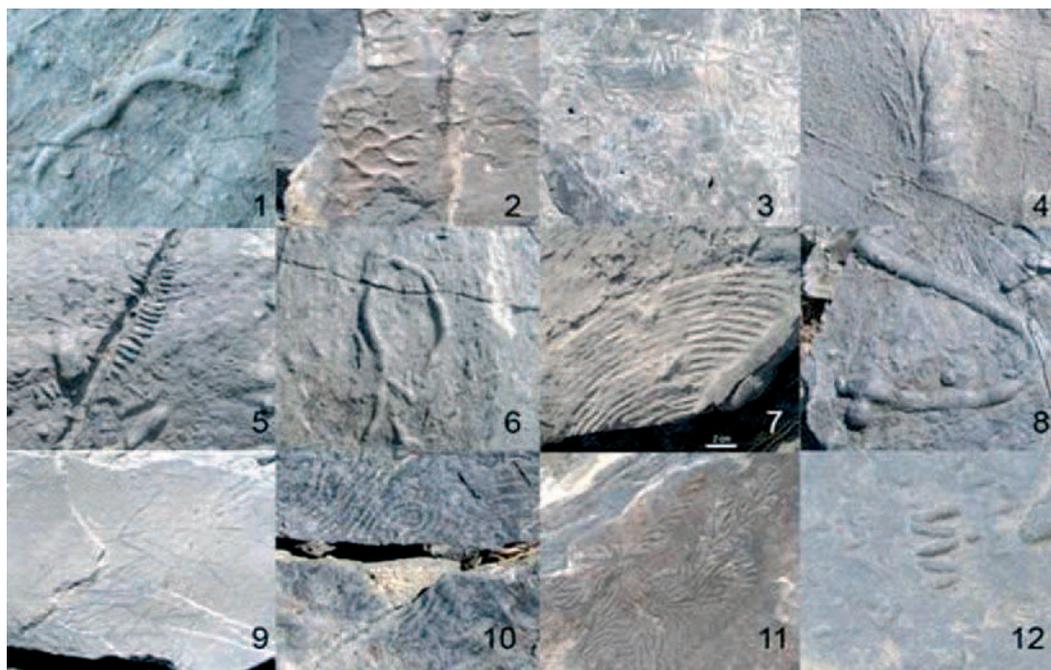


Figura 3: Esempi di icnofossili dal Cretaceo superiore del Rio Ardenza (Livorno).

1, repichnia; 2, agrichnia (*Paleodictyon* isp.); 3, fodinichnia (*Phycodes* isp.); 4, fodinichnia; 5, probabile repichnia (cfr. *Gyrolithes* isp. attraversato da frattura); 6, repichnia; 7, agrichnia (cfr. *Spirorhaphe* isp.); 8, repichnia; 9, fodinichnia (*Chondrites* isp.); 10, pascichnia (*Helminthoidea* cfr. *H. labyrinthica*); 11, fodinichnia; 12, fecal pellets.

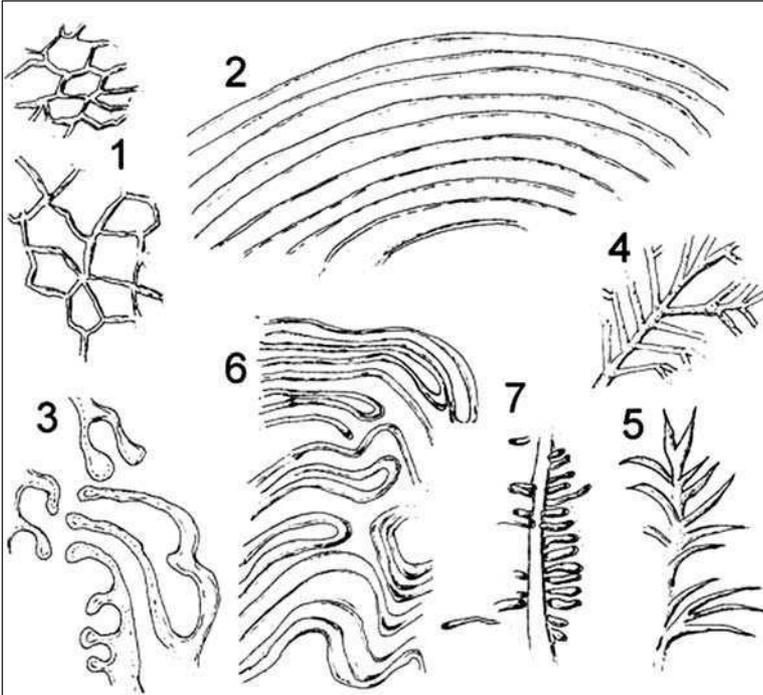


Figura 4: Schemi di icnofossili dal Rio Ardenza. 1, *agrighnia* (*Paleodictyon* isp.); 2, *agrighnia* (*Spiroraphe* isp.); 3, *agrighnia* (cfr. *Graphoglyptid* isp.); 4-5, *fodinichnia*; 6, *fodinichnia*; 7, probabile *repichnia* (cfr. *Gyrolithes* isp. attraversato da frattura).

una successione di moduli esagonali (*Paleodictyon* isp.), strutture costituite da gallerie ad andamento spiraliforme sviluppate parallelamente alla superficie dello strato (*Spiroraphe* isp.).

Si tratta di piste lasciate da animali vagili in cerca di cibo, che si spostavano sulla superficie del substrato o appena al di sotto, con andamento spesso spiraliforme e meandriforme, creando delle gallerie che non si incrociavano mai. La maggior parte di queste impronte sono attribuite ad anellidi, ma anche ad artropodi e molluschi. (figura 3, nn. 7, 10). Queste strutture sono caratteristiche di depositi pelagici ed emipelagici costituiti da detrito finissimo e sono costruiti da invertebrati fossatori, dal corpo molto sottile, che passavano svariate volte nelle gallerie allo scopo di catturare i microrganismi ed i batteri rimasti intrappolati. Si tratta di piste e tane disposte in modo parallelo alla superficie del fondale, con andamento geometrico regolare, disegnando spirali, meandri complessi e reticolati (figure 3 e 4).

abbondanti sostanze nutritive (figura 3, nn. 3, 4, 9, 11; figura 4, nn. 4, 5).

Discussione

Gli icnofossili rinvenuti nelle laminit del Cretaceo superiore del Rio Ardenza sono tipici dell'*icnofacies Nereites* che è indicativa di un ambiente alla base di scarpate continentali, profonde oltre i 200-300 m, con acque calme. Una conferma viene dai tipi di attività indicati dalle impronte, principalmente *pascichnia*, *agrighina* e *fodinichnia*, caratteristiche di ambiente batiale e indicative di una buona ossigenazione del fondo marino. La straordinaria abbondanza di *fecal pellets* e di gallerie di nutrizione suggerisce un intenso popolamento del fondale particolarmente sviluppato sulla superficie o immediatamente al di sotto di essa. La presenza di icnofossili del tipo *Chondrites* isp. mostra però anche attività di nutrizione sviluppa-

Nel caso delle strutture di nutrizione del tipo *fodinichnia*, si tratta di gallerie di animali essenzialmente detritivori, poco mobili, che utilizzano le sostanze trofiche contenute nei sedimenti. Questi animali scavano gallerie a forma di U o ramificate in tutte le direzioni, che non si intersecano mai fra di loro, allo scopo di individuare sostanze nutritive. Praticamente da una galleria principale dipartono numerosi cunicoli, dai quali a loro volta vengono scavate diramazioni secondarie. Importanti indicazioni paleoecologiche ci vengono date dalle strutture tipo *fodinichnia*, perché le numerose ramificazioni, quando sono presenti, sono indicative della presenza di

te verticalmente tra gli strati suggerendo abbondante presenza di materia organica sepolta.

Alcuni icnofossili non illustrati in questo lavoro sono da riferirsi a forme simili a *Rusophycus* e suggeriscono abbondante presenza di artropodi come trilobiti e crostacei ma al momento nessun macrofossile riferibile a questi gruppi è stato scoperto nei sedimenti analizzati.

Il bacino di sedimentazione delle argilliti e calcari silicei del Cretaceo superiore del Rio Ardenza doveva dunque essere densamente abitato da invertebrati a corpo molle e artropodi. La notevole diversità degli icnofossili documenta dunque un vasto repertorio comportamentale esibito da differenti specie di invertebrati e mostra soprattutto attività di nutrizione a carico di materia organica depositatasi sulla superficie degli strati o sepolta suggerendo l'esistenza di una catena di detrito ben sviluppata probabilmente dipendente dalla precipitazione di resti organici da quote superiori nella colonna d'acqua.

Bibliografia

- [1] A. Lazzarotto, R. Mazzanti, C. Nencini, *Quad. Mus. Stor. Nat. Livorno*. 1990, 11 (Suppl. 2): 1.
- [2] A. Seilacher, *Biogenic sedimentary structures*. In *Approaches to Paleoechology*. Wiley & Sons: New York: 1964a.
- [3] A. Seilacher, *Sedimentology*. 1964b, 3: 253.

Storia evolutiva tardo-olocenica del corso terminale del fiume Cecina

Marco Benvenuti^{1,2}, Marco Bonini², Giovanna Moratti^{*2}, Marianna Ricci¹, Chiara Tanini¹, Paolo Squarci³

Parole chiave: pianura alluvionale, geomorfologia, tettonica attiva, Olocene, fiume Cecina, Toscana

Nuovi dati stratigrafico-sedimentologici, geomorfologici e morfotettonici, raccolti durante il rilevamento geologico svolto nell'ambito della Convenzione fra la Regione Toscana e l'Istituto di Geoscienze e Georisorse del CNR, hanno permesso una ricostruzione dettagliata dell'evoluzione del corso terminale del Fiume Cecina durante l'Olocene. In particolare, viene messa in evidenza, per la prima volta, l'avulsione in tempi storici del corso del Cecina. L'analisi di alcune sezioni stratigrafiche in una cava attiva di fronte alla città di Cecina, correlate a dati di pozzo ed a dati geomorfologici e tettonici, indica che dalla fine del Pleistocene e per la maggior parte dell'Olocene il corso del Cecina era spostato verso nord, dove, al suo sbocco in mare, formava un delta cuspidato. La piana dove scorre attualmente il Cecina era la corrispondente area di deposizione da sovralluvionamento e questa configurazione è persistita fino alla fine del 16° secolo, quando piene eccezionali hanno causato la migrazione verso sud-ovest del corso del Cecina nell'attuale posizione. Tale area, interessata da una faglia normale, presentava una forte subsidenza e poteva quindi agire da richiamo per l'avulsione del fiume. Con questo lavoro presentiamo quindi un esempio in cui due fattori, climatico e tettonico, hanno concorso a favorire l'avulsione del Cecina. Entrambi i fattori sono stati essenziali per lo sviluppo di questo processo: la subsidenza tettonica può essere considerata il fattore predisponente, mentre l'evento di piena eccezionale rappresenta il fattore scatenante che porta alla completa avulsione fluviale.

Introduzione

La dinamica geo-morfologica delle pianure costiere è regolata da una complessa interazione tra le oscillazioni eustatiche, la mobilità tettonica, la variabilità climatica e, in particolare negli ultimi millenni, le varie attività umane. Tra gli aspetti che caratterizzano tale dinamica si considera, in questo studio, l'instabilità (avulsione) dei canali fluviali prossimi ad una foce. L'avulsione è un processo di migrazione, talora estremamente rapida, dei canali fluviali su cui può agire un'ampia gamma di fattori intrinseci o esterni al sistema fluviale [11]. Fra questi, nel presente studio si discute il ruolo della tettonica attiva nel determinare, gradualmente o improvvisa-

mente, modificazioni dei gradienti topografici tali da influenzare l'equilibrio dei sistemi fluviali [8,9]. In aggiunta, si considera l'effetto concomitante del regime delle portate fluviali che, durante eventi di piena eccezionale, può determinare condizioni di instabilità dei canali fluviali con improvvisi cambiamenti di corso.

Il caso di studio si riferisce all'evoluzione tardo-olocenica, con particolare riferimento a periodi storici, del tratto terminale del Fiume Cecina in prossimità del litorale toscano, argomento più ampiamente trattato in una recente pubblicazione [12]. Oltre a documentare attraverso l'integrazione di dati geomorfologici, geologico-strutturali, stratigrafico-sedimentologici e storico-archeologici la dinamica avulsiva di questo tratto

fluviale, il presente studio vuole enfatizzare come un approccio geologico all'analisi di cambiamenti idrografici recenti possa supplire alla carenza di informazioni sulla storia del territorio in esame.

Inquadramento geo-morfologico

Il Fiume Cecina (figura 1a), scorre per circa 80 km tra la Toscana centrale e la costa tirrenica drenando un bacino idrografico di circa 900 km² in cui si alternano tratti morfologici significativamente diversi. I ripidi pendii della porzione prossimale si impongono sulle rocce carbonatiche, terrigene e ignee (ofioliti) appartenenti alle unità tettonico-stratigrafiche toscane, che costituiscono l'ossatura della catena nordappenninica. La maggior parte del corso del fiume, tuttavia, si sviluppa su morfologie meno acclivi associate ai depositi, in gran parte clastici, sia continentali che marino-costieri, dei bacini neogenici di Radicondoli e Volterra e della fascia costiera dove affiorano sedimenti di età prevalentemente quaternaria. Sui depositi di quest'area recenti rilevamenti geologici di dettaglio, promossi dalla Regione Toscana e effettuati dagli scriventi (figura 1b), hanno stimolato una revisione di studi morfo-stratigrafici precedenti [16]. In particolare, evidenze morfologiche e stratigrafiche hanno consentito di suddividere la pianura alluvionale olocenica in due distinte unità terrazzate; unità 5, quella più elevata e più antica, unità 4, la più bassa e più recente.

Due aspetti specifici della geomorfologia costiera sono particolarmente interessanti per la discussione di questo studio: 1) la foce di tipo-estuario del Fiume Cecina e 2) il tratto di costa sabbiosa a nord di Cecina, tra Capo Cavallo e Punta Tesorino, caratterizzato da una morfologia piano-cuspidata. Si cercherà di dimostrare come queste due evidenze siano strettamente connesse e prodotte da cambiamenti idrografici recenti.

Descrizione dei dati a sostegno di un'avulsione storica del tratto terminale del Fiume Cecina *Evidenze geomorfologiche e storico-archeologiche*

La costa tra Capo Cavallo e Punta Tesorino (figura 2b) si caratterizza come un litorale sabbioso che nell'immediato entroterra risulta costituito da cordoni paralleli formati in antichi ambienti litoranei durante gli ultimi 2.000 anni [2,5]. La risultante morfologia

cuspidata, riferita a fenomeni di rifrazione del moto ondoso [3], prosegue nella parte sommersa della spiaggia e nella piattaforma come indicato dal trend batimetrico dell'altofondo noto come Secche di Vada (figura 1c). A fronte di tale morfologia, l'attuale foce del Fiume Cecina mostra un assetto di tipo estuario, priva cioè di un apparato deltizio in accrescimento come invece è presente alle foci dei fiumi Arno e Ombrone [6] rispettivamente a nord e sud dell'area di studio (figura 2a, 2c). A prescindere dalle minori dimensioni del bacino idrografico del Cecina rispetto a questi fiumi, l'assenza di un delta appare anomala similmente, peraltro, a quanto si verifica per il Serchio e il Magra, due ulteriori fiumi che sfociano nel Mar Ligure (figura 2d, 2e). Nel caso del Fiume Serchio l'assenza di un delta all'attuale foce esprime uno spostamento del corso fluviale avvenuto in gran parte per intervento umano a partire dal 5° secolo D.C [1,12]. La presenza/assenza di delta sul litorale tirrenico settentrionale potrebbe quindi essere determinata da persistenza in una stessa posizione o spostamento recente dei corsi d'acqua.

Un'osservazione accurata della morfologia della pianura cecinese a nord del fiume, effettuata mediante l'analisi di foto aeree e della cartografia topografica in scala 1:10.000, mette in evidenza una stretta depressione lineare, enfatizzata dall'andamento della curva di livello dei 10 metri, più bassa da 1 a 3 metri circa relativamente alla pianura circostante (figura

gli autori

¹ Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze, Via G. La Pira 4 - 50121 Firenze, marcob@geo.unifi.it

² CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse, Via G. La Pira 4 - 50121 Firenze, mbonini@geo.unifi.it; gmoratti@geo.unifi.it

³ CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse, Via Moruzzi 1 - 56124 Pisa, paolosquarci@virgilio.it

* autore per corrispondenza
CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse, Via G. La Pira 4 - 50121 Firenze, gmoratti@geo.unifi.it

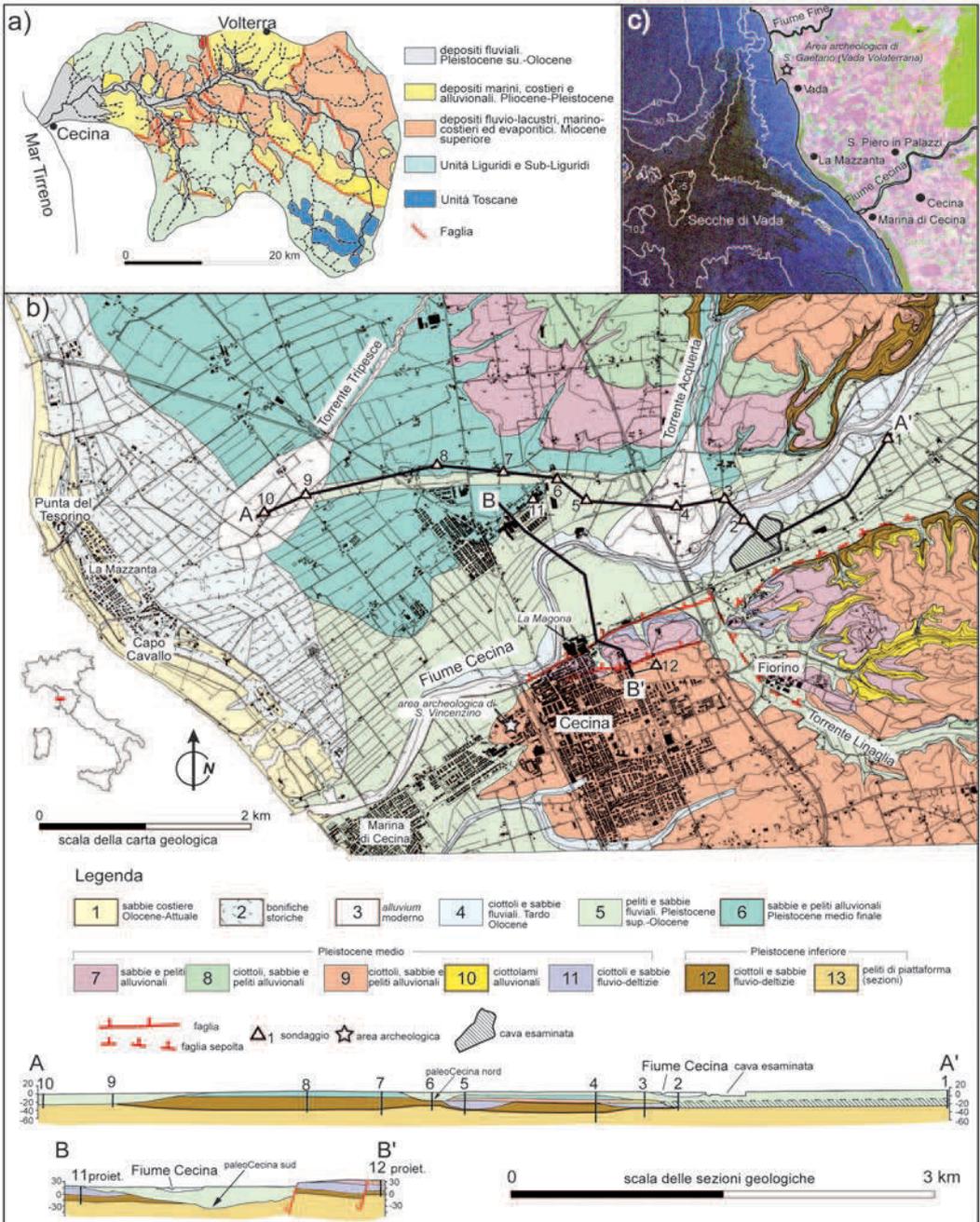


Figura 1: (a) Carta geologica semplificata del bacino idrografico del Fiume Cecina. (b) Carta geologica dell'area di studio (modificata dai rilevamenti degli autori per il Servizio Geologico della Regione Toscana). (c) Batimetria delle Secche di Vada [3].



Figura 2: Localizzazione e tipi di foce di alcuni fiumi toscani: (a) delta cuspidato del fiume Ombrone [6]; (b) estuario del fiume Cecina; (c) delta cuspidato del fiume Arno [6]; (d) estuario del Fiume Serchio; (e) estuario del fiume Magra.

3a). Tale depressione è più o meno in asse con la costa piano-cuspidata a nord della foce del Cecina e si raccorda con il corso del fiume. L'esame morfologico indica inoltre che tale depressione è parzialmente occupata dalle piccole conoidi alluvionali dei torrenti

Acquerta e Tripesce che sembrano essere progradate sulla morfologia preesistente.

La dinamica del controllo antropico del territorio costiero posto tra le attuali foci dei fiumi Cecina e Fine è frammentariamente registrata da evidenze archeologiche e storiche. Le testimonianze materiali di antichi insediamenti lungo la costa in esame sono fornite dal sito di S. Gaetano (figura 1c), nei pressi di Vada, dove un villaggio risalente al 9° secolo a.C. divenne, tra il periodo Ellenistico ed il primo Medio Evo, un'area portuale e commerciale [14] di grande importanza per l'antica Volterra. La prima struttura, indizio di un'occupazione stabile dell'area intorno all'attuale città di Cecina, è rappresentata dalla villa romana di S. Vincenzino, edificata sulla sponda meridionale del Fiume Cecina, precisamente su un terrazzo alluvionale 5 metri al di sopra della pianura (figura 1b). Il poeta *Rutilio Namaziano* nella cronaca del suo ritorno definitivo in Gallia (*De Reditu Suo*, primo libro), racconta in forma poetica il suo approdo a S. Gaetano che evidentemente nel 5° secolo d.C. era ancora l'unico luogo di attracco operativo sulla costa tra Cecina e Vada. Il poeta descrisse un breve soggiorno nella villa del suo nobile amico *Albinus*, ritenuta coincidente con la

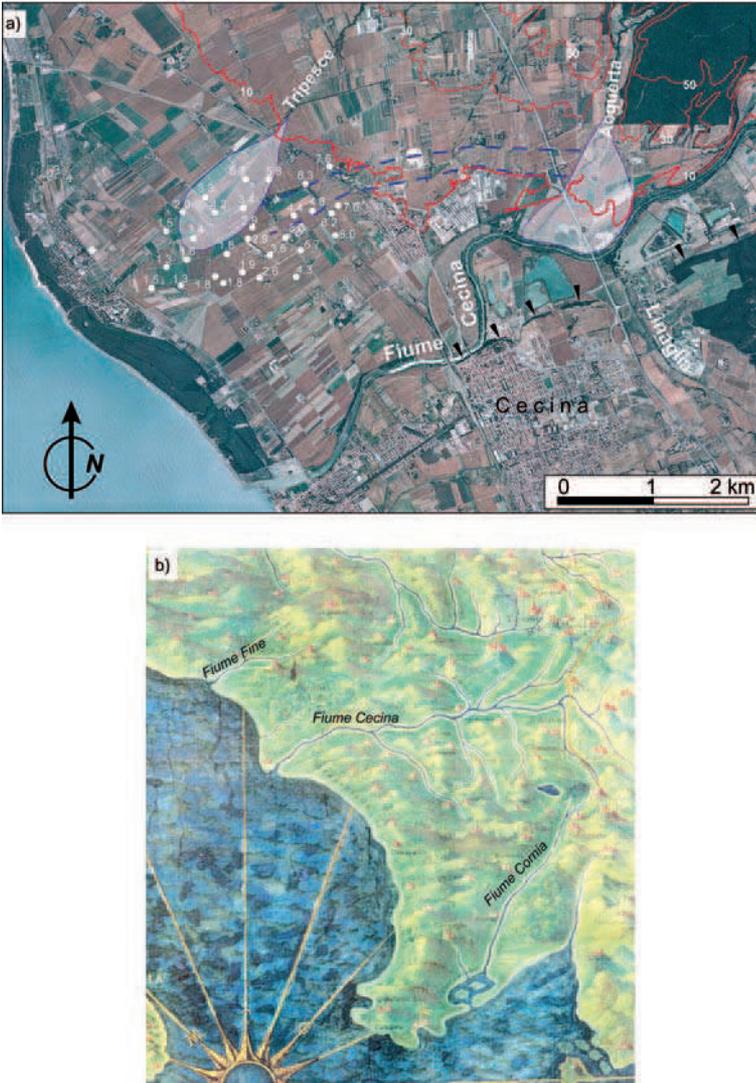


Figura 3: (a) Foto aeree del corso terminale del Fiume Cecina. I triangoli neri indicano la scarpata morfologica. La linea tratteggiata indica l'antico corso del Cecina. I coni alluvionali dell'Acquerta e del Tripesce. (b) Parte della Carta Etruria di Egnazio Danti che illustra la Toscana costiera fra i fiumi Fine e Cornia, sulla quale è evidente delta del Fiume Cecina [10].

Villa di S. Vincenzino [7]. *Rutilio Namaziano* giunse alla villa di *Albinus* verosimilmente da terra e non dalla foce del Cecina che doveva trovarsi più a nord dell'attuale [14]. Di fatto, il poeta descrisse l'area costiera visibile dalla villa come un luogo caratterizzato da lagune poco profonde (saline) connesse al mare da piccoli canali [*De Reditu Suo*, primo libro; 7] senza fare riferimento ad alcuna ampia foce fluviale come attualmente visibile dallo stesso punto di vista. Le prime testimonianze certe di un assetto morfologico e idrografico della pianura cecinese coincidente con l'attuale, sono fornite da alcune edificazioni medicee (il Fitto e la Magona del Ferro) realizzate tra la fine del 16° e l'inizio del 17° secolo in sinistra del fiume, nei pressi dell'attuale cittadina di Cecina. La fondazione delle città di Marina di Cecina e Cecina, risalente rispettivamente alle prime metà dei secoli

18° e 19°, testimonia una piena urbanizzazione solo a seguito di bonifiche della porzione meridionale della pianura alluvionale, fino ad allora un territorio paludoso ed acquitrinoso.

Un'ulteriore evidenza di variazioni geografiche e specificatamente idrografiche, è fornita dal repertorio storico di cartografia geografica che documenta questo territorio fin dal primo 16° secolo. In queste carte, reperibili all'Istituto Geografico Militare di Firenze, fino al tardo 1500 la foce del Cecina è rappresentata molto vicino alla città di Vada. Nella mappa-

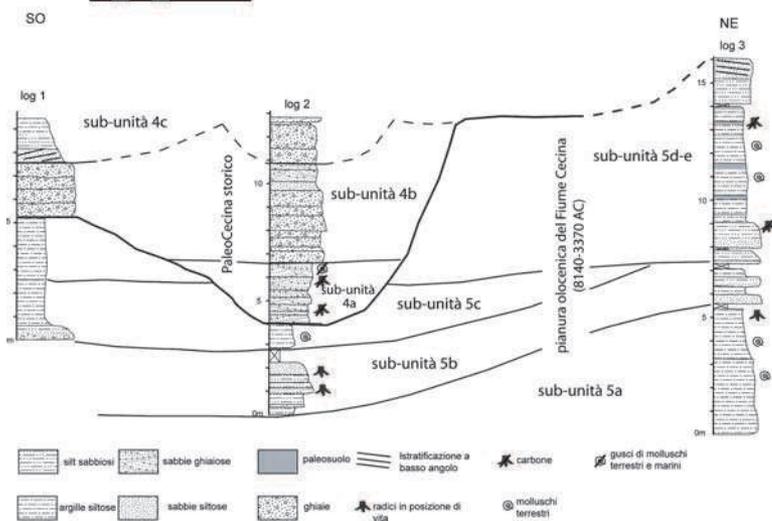


Figura 4: (a) Localizzazione e (b) correlazione di tre sezioni stratigrafiche misurate in una cava attiva presso Cecina, sulle unità 4 e 5.

arazzo *Etruria* (figura 3b), realizzata da Egnazio Danti nel 1580 quale elemento della Galleria Vaticana delle Carte Geografiche [10], si nota inoltre un chiaro andamento cuspidato della foce del Fiume Cecina che sembra ben corrispondere al tratto tra Capo Cavallo e Punta del Tesorino.

Evidenze stratigrafico-sedimentologiche

La presenza di cave attive in sinistra idrografica del

Fiume Cecina, circa 5 km a monte della foce, ha permesso un'osservazione particolareggiata dei depositi alluvionali costituenti le unità 4 e 5 in cui viene suddivisa la pianura del fiume.

Fronti di cava alti fino a 15 metri mettono in ottima esposizione i depositi riferiti a tali unità. Sulla base dei caratteri litologici e sedimentologici cinque sub-unità vengono definite nell'unità 5 mentre l'unità 4 è stata suddivisa in tre sub-unità, nell'insieme descritte in dettaglio in un recente articolo [figura 4; 13]. Campioni di sostanza organica (legno carbonizzato, gusci di molluschi terrestri) hanno consentito la datazione delle varie sub-unità con il metodo del radiocarbonio. Le unità 5 e 4 si differenziano significativamente in termini litologici: pelitico-sabbiosa l'unità 5, ghiaioso-sabbiosa l'unità 4. Tali differenze esprimono processi ed ambienti di sedimentazione diversi, seppure in un generale contesto alluvionale, succedutisi durante l'evoluzione olocenica della pianura (si veda [13] per ulteriori dettagli) e che verranno discussi di seguito. L'unità 4 in particolare tra la fine del 16° e l'inizio del 17° secolo.

Discussione e conclusioni

Evidenze diverse supportano l'ipotesi di una recente e relativamente rapida avulsione verso sud del Fiume Cecina che avrebbe anche causato la disattivazione di un apparato deltizio alimentato da questo fiume. La particolare morfologia piano-cuspidata della costa tra Capo Cavallo e Punta del Tesorino è un'evidenza convincente di un antico delta dominato da moto ondoso (figura 5a) alimentato da canali del Fiume Cecina le cui vestigia sono in parte visibili nella depressione ad andamento ovest-est a nord dell'attuale fiume. La migrazione del canale distributore verso sud determinò l'interruzione dell'apporto sedimentario al delta che entrò in progressiva erosione a causa del moto ondoso (figura 5b).

La stratigrafia della pianura alluvionale in sinistra dell'attuale Cecina rivela che per la maggior parte dell'Olocene la pianura ha ricevuto sedimenti fini di esondazione (unità 5). Solo dal tardo 16° secolo un canale fluviale, in cui transitava e si accumulava materiale grossolano (unità 4), era chiaramente localizzato nella posizione dell'attuale corso d'acqua. Evidentemente i pochi secoli intercorsi da quando il fiume sfocia nella sua attuale posizione non hanno consentito l'accrescimento di un nuovo apparato deltizio, determinando quindi la configurazione a estua-

rio che caratterizza l'attuale foce.

I dati storico-archeologici corroborano ulteriormente l'ipotesi di un recente spostamento verso sud del corso fluviale: 1) gli insediamenti più antichi sono a nord di Vada; 2) la costa prospiciente l'attuale cittadina di Cecina era in epoca tardo-romana priva di una foce significativamente ampia da poter essere attribuita al Fiume Cecina; 3) la cartografia geografica storica fino al tardo 1500 rappresenta la foce del Cecina, di forma cuspidata, posta poco a sud di Vada; 4) solo a partire dalla fine del 1500 si comincia a occupare e ad edificare un territorio che fino ad allora doveva essere acquitrinoso, come è normale per una pianura alluvionale costiera, quindi insalubre e poco praticabile. L'incisione naturale di un nuovo canale del Cecina unita ad importanti opere di bonifica messe in atto soprattutto nel 18° e 19° secolo, favorirono il drenaggio di questo territorio rendendolo pienamente fruibile.

Benvenuti et al. imputano questa recente modificazione idrografica a due fattori concomitanti. Il primo fattore, considerato predisponente, è relativo alla possibile tettonica attiva che interessa il tratto terminale della valle del Fiume Cecina. Dati morfostrutturali descritti in dettaglio in Benvenuti et al., individuano nel tratto rettilineo in sinistra del fiume, compreso tra la costa e la zona di Fiorino (figura 3a), una faglia normale ad andamento OSO-ENE (Faglia di Cecina), che ribassa la pianura e sul cui lato rialzato si sviluppa l'abitato di Cecina. Il tratto della faglia fino alla valle del Torrente Linaglia è decisamente più «fresco» in termini morfologici rispetto a quello nord-orientale, che risulta più frastagliato. Tale evidenza suggerisce un'attività recente del tratto sud-occidentale. La ricostruzione del sottosuolo attraverso la pianura alluvionale (sezioni geologiche in figura 1b), presentata in Benvenuti et al. (in stampa), indica una possibile paleovalle tardo-quadernaria del Cecina (sezione B-B' in figura 1b, figura 5), colmata da alcune decine di metri di sedimenti, che si addossa verso la faglia di Cecina. Nell'insieme questi elementi suggeriscono che l'attività recente di tale struttura può aver significativamente condizionato lo sviluppo del tratto terminale del fiume. Una maggior subsidenza verso sud, infatti, avrebbe favorito una migrazione (come nel caso) o persistenza della posizione del canale in questa zona. L'attività tettonica, evidentemente, non è stata continua come dimostra la posizione più settentrionale occupata dal canale durante parte dell'Olocene, periodo in cui si può ipotizzare una stasi tettonica.

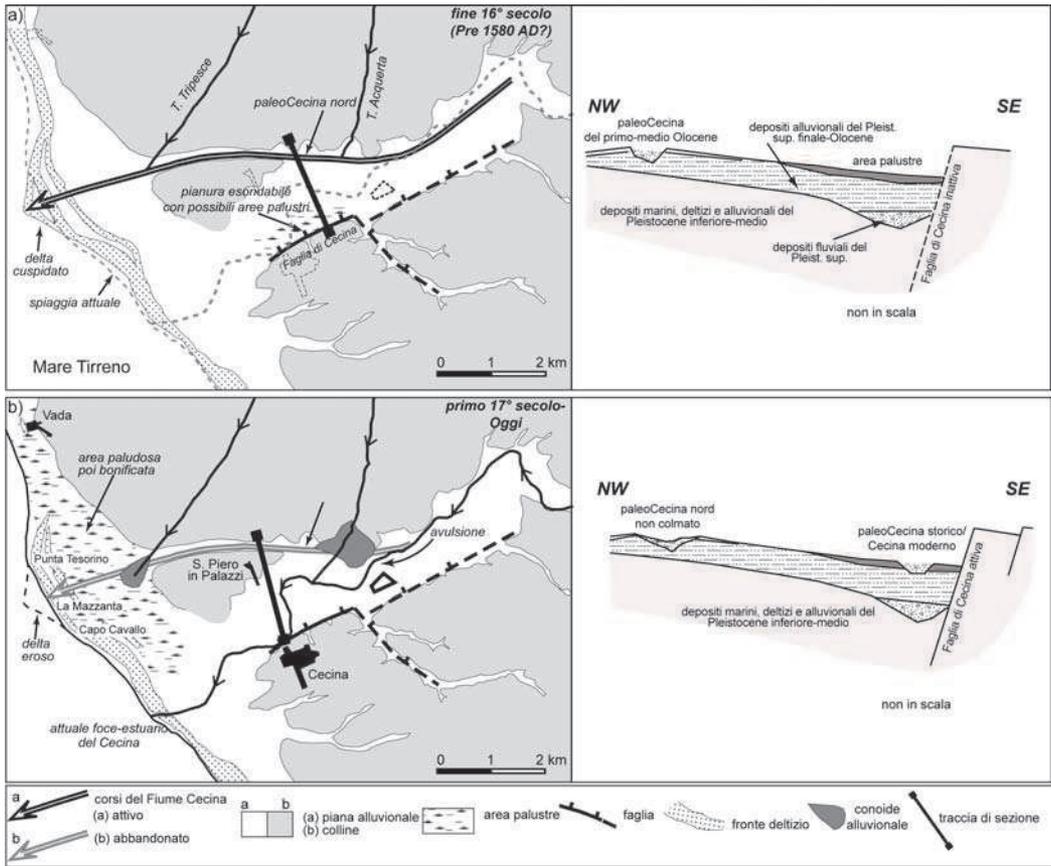


Figura 5: Evoluzione del drenaggio del Fiume Cecina alla fine del 16° secolo e all'inizio del 17° secolo, e relative sezioni geologiche schematiche, non in scala.

Il secondo fattore, considerato scatenante per l'avulsione fluviale, è da ricercare nella dinamica della portata fluviale regolata dalla variabilità climatica. La cartografia geografica storica da un lato, e l'edificazione del Fitto e della Magona del Ferro dall'altro, vincolano lo spostamento del canale fluviale tra la fine del 1500 e l'inizio del 1600, intervallo confermato anche dalla datazione radiocarbonica dell'unità 4 che registra un paleocanale del Cecina su cui si è impostato l'attuale corso. Dati sulla frequenza e grandezza degli eventi di piena nei fiumi europei del 16° secolo [15] indicano, per l'Italia centro-settentrionale, piene frequenti e di piccola-media intensità nella prima metà del secolo e piene relativamente meno frequenti, ma più catastrofiche, nella seconda metà. Il

regime idroclimatico del 16° secolo, quindi, potrebbe aver reso via via meno stabile il canale del Fiume Cecina a nord dell'attuale. Eventi di piena eccezionale, come quella che colpì duramente Firenze nel 1589 [4,15], avrebbero infine causato il brusco superamento definitivo di un equilibrio geomorfico precario inducendo il corso fluviale a spostarsi più a sud. In conclusione i dati geo-morfologici presentati in questo studio integrano e colmano le lacune della documentazione storica di eventi che necessariamente ebbero un importante impatto su questo territorio costiero. La mancata documentazione storica della trasformazione territoriale è da imputare alle condizioni di depopolamento di un'area che a lungo non aveva garantito condizioni fisiche e sanitarie favore-

voli a stabili insediamenti umani. In casi come questo si comprende come le Scienze Naturali, in particolare le Scienze della Terra, e le Scienze Umane debbano e possano sempre più integrarsi per meglio comprendere e gestire i rapidi cambiamenti ambientali in atto o possibili in un prossimo futuro.

Ringraziamenti

Lavoro svolto nell'ambito di una Convenzione fra Servizio Geologico della Regione Toscana e Istituto di Geoscienze e Georisorse del CNR.

Bibliografia

- [1] B. Della Rocca, R. Mazzanti, E. Pranzini, *Geogr. Fis. Din. Quat.* 1997, 10: 56.
- [2] D. Bresci, S. Carli, E. Pranzini, L. Rossi, *Studi Costieri.* 2006, 11: 17.
- [3] E. Aiello, C. Bartolini, G. Gabbani, R. Mazzanti, E. Pranzini, G. Valleri, *Boll. Soc. Geol. It.* 1981, 100: 339.
- [4] E. Caporali, M. Rinaldi, N. Casagli, *Giorn. Geol. Appl.* 2005, 1: 177.
- [5] E. Pranzini, ARCA, Firenze, 1996.
- [6] E. Pranzini, *Geomorphology.* 2001, 38: 125.
- [7] F. Donati, *L'Africa romana.* 2002, 1: 8.
- [8] J. Peakall, M. Leeder, J. Best, P. Ashworth, *Basin Research,* 2000, 12: 413.
- [9] J.M. Holbrook, S.A Schumm, *Tectonophysics.* 1999, 305: 287.
- [10] L. Gambi, A. Pinelli, 1997. *La galleria delle carte geografiche in Vaticano.* Panini Editore, Modena, 1997.
- [11] L.S. Jones, S.A Schumm, *Spec. Publ. Int. Ass. of Sediment.* 1999, 28: 171.
- [12] M. Benvenuti, M. Mariotti-Lippi, P. Pallecchi, M. Sagri, *The Holocene.* 2006, 16: 863.
- [13] M. Benvenuti, M. Bonini, G. Moratti, M. Ricci, C. Tanini, *Geomorphology.*
- [14] M. Pasquinucci, P. Gambogi, *Proc. 19° Conv. Studi Etruschi e Italici, Volterra.*
- [15] R. Brazdil, R. Glaser, C. Pfister, P. Dobrovolny, J-M Antoine, M. Barriendos, D. Camuffo, M. Deutsch, S. Enzi, E. Guidoboni, O. Kotyza, F.S. Rodrigo, F.S. *Clim. Change.* 1999, 43: 239.
- [16] R. Mazzanti, *Boll. Soc. Geol. It.,* 1983, 102: 419.

Raccontare la scienza

Classe 4E Liceo Scientifico «Leonardo da Vinci», Firenze

Parole chiave: didattica, scienze naturali, scuola, scuola dell'obbligo, didattica interattiva

Fra le scuole superiori fiorentine, il «Leonardo da Vinci» è il più antico Liceo Scientifico. Fondato nel 1924, poco dopo la riforma Gentile, possiede una ricchissima collezione scientifica, consistente in strumenti, reperti animali, vegetali ed umani, fossili, minerali, rocce etc. Dal 2003 il corso E della scuola sta procedendo al restauro ed al riordino delle collezioni, con l'intento di realizzare un Museo Didattico-Scientifico aperto al pubblico: in quest'ottica, dal 2005 il Liceo ha aperto il Museo ed i suoi laboratori – di informatica, chimica, fisica e biologia – alle scuole elementari e medie del territorio, realizzando il «Museo Aperto», un progetto di divulgazione scientifica che prevede di far effettuare esperienze ai ragazzi della scuola dell'obbligo coadiuvati, in qualità di tutor d'aula, dagli studenti dei corsi sperimentali di Scienze, coordinati dal Conservatore del Museo, il prof. Alessandro Fei. Al momento attuale più di 1500 alunni delle scuole, fiorentine e del comprensorio, hanno partecipato, in orario extrascolastico, alle esperienze del progetto «Museo Aperto».

Come trasformare una collezione scientifica liceale in un Museo Didattico-Scientifico interattivo

Le Scienze Fisiche, Chimiche e Naturali rivestono un ruolo centrale nella formazione del ragazzo: fin dalla più tenera età i bambini sono portati ad osservare il mondo naturale che li circonda, con un'attrazione spiccata verso quei fenomeni che tendono ad assumere una dimensione fantastica (il caso «dinosauri» è l'esempio più eclatante, anche per i bambini in età prescolare). La scuola primaria è molto sensibile a tal riguardo: fin dal primo anno si cerca di far capire quale sia il lavoro dello scienziato, ma purtroppo la carenza di spazi adibiti a svolgere esperienze obbliga i maestri a limitarsi alla visione di filmati didattici. Anche nel corso delle visite ai musei scientifici universitari – visite che, peraltro, raramente vengono effettuate nel primo ciclo – il tempo riservato alle esperienze è limitato e si contano sulle dita di una mano i musei che, sulla falsariga dell'*Explora-*

torium di San Francisco, propongono percorsi didattici di scoperta.

Eppure le prime esperienze di didattica interattiva applicata alle scienze sono state condotte proprio in Italia, a seguito dell'intuizione geniale di Luigi Bombicci (1833-1903): nel 1884 il grande naturalista decide di realizzare un Museo Didattico Scientifico¹ che in novanta cassetti raccoglie «piccoli oggetti attinenti ai tre regni della Natura e che riguardano le necessità umane del vestire, del mangiare e dell'abitare», con lo scopo precipuo di «far circolanti, come lo sono i libri di una biblioteca, e da cantonale a cantonale², quindi da classe a classe, i cassetti delle novanta collezioni». L'iniziativa riscuote un tale successo da essere premiata con una medaglia d'oro all'Esposizione Italiana di Torino nel 1898, con un'altra medaglia d'oro all'Esposizione Agricola di Villa Borghese a Roma nel 1899 ed un'altra ancora, molto più prestigiosa, nell'ambito dell'Esposizione Universale di Parigi del 1900.

Anche se molte scuole recepiscono l'idea di Bombic-

ci, attrezzandosi con strumenti per dimostrazioni e reperti da poter mostrare in classe, il museo itinerante bolognese rimane per il primo quarto del Novecento un polo essenziale per la didattica delle scienze: ancora nel 1925 il direttore centrale della Pubblica Istruzione afferma esplicitamente che «il Museo Bombicci è il più completo e geniale sussidio didattico per le scuole», mentre l'anno successivo il professor Giuseppe Michele Ferrari, titolare della cattedra di Pedagogia dell'Università di Bologna, lo definisce «un sussidio indispensabile per far conoscere ai propri allievi il metodo induttivo da seguirsi nei primi gradi dell'insegnamento e per preparare i futuri professori di Pedagogia degli Istituti Magistrali».

Nel 1926 la riforma Gentile istituisce il Liceo Scientifico, con l'obiettivo di potenziare l'istruzione matematica, fisica e scientifica in senso lato. La lezione di Bombicci è ormai così radicata da far sì che l'insegnamento delle scienze – fino ad allora limitato allo stadio puramente descrittivo – non possa più essere disgiunto dall'osservazione in classe di reperti scientifici e dall'effettuazione di esperienze pratiche.

In questo stesso anno a Firenze viene costituito il primo liceo scientifico, intitolato a Leonardo da Vinci³.



Figura 1: Modelli di fiori della rinomata ditta Bren-del acquistati dalla prof.ssa Zoli attorno al 1935.

La nuova istituzione scolastica ha bisogno di materiali ad uso didattico: molte associazioni scientifiche ed industrie – tra cui le prestigiose *Officine Galileo* di Rifredi – offrono spontaneamente modelli di strumenti scientifici, animali impagliati ed altri sussidi didattici. Ma il Museo, così come oggi si presenta, non nasce in questa fase: le collezioni sono catalogate in modo sommario, disperse negli armadi o riposte, senza alcun criterio espositivo, nel Gabinetto di Scienze; i singoli campioni sono purtuttavia a disposizione dei docenti, che li portano con sé in aula a supporto delle lezioni.

Pochi anni dopo il Ministero della Pubblica Istruzione delinea una nuova figura a sostegno della didattica, il *Docente Tecnico Laureato*⁴, ruolo che nel nostro Liceo viene ricoperto da Angela Zoli, ancor oggi ricordata come «la preziosa Angiolina».

Rinunciando alla cattedra, in anni di paziente lavoro ella riesce ad acquisire un notevole quantitativo di materiale utile per l'insegnamento curricolare delle materie scientifiche in tutti e quattro gli anni del Liceo (dalla seconda alla quinta classe): preziosi modelli di piante e fiori, ossa umane – tra cui uno scheletro umano completo – animali impagliati, vetreria, carte murali ed altro ancora.

In concomitanza con il trasferimento della scuola nella sede attuale di Via de' Marignolli la cattedra di scienze viene assegnata al prof. Umberto Zingoni, il quale rapidamente conquista la fiducia della professoressa Zoli, sostituendola nel ruolo di curatore. A lui si deve la creazione del Museo didattico quale oggi lo vediamo: «il mio obiettivo divenne riempire tutti gli 'spazi vuoti' del reparto Scienze con armadi contenenti materiale scientifico in modo da creare, seppur nella sua limitatezza, un Museo di Scienze costituito da pezzi non asportabili altro che in casi eccezionali». Giorno dopo giorno, dando prova non solo di un grande amore per le Scienze, ma anche di una non comune capacità organizzativa, egli riesce a trasformare i corridoi del settore scientifico in un Museo vero e proprio, allestendo una collezione zoologica (composta sia da animali impagliati che in formalina), di reperti paleontologici, invertebrati, conchiglie (tra cui un preciosissimo esemplare di *Tridacna gigas*), campioni di rocce, minerali e, fiore all'occhiello, uno splendido diorama della fauna appenninica in estate⁵. Nel 1982 il prof. Zingoni va in pensione e sembra che il Museo sia destinato all'oblio.

Nel decennio successivo la scuola italiana vive una vera e propria “rivoluzione copernicana”: la didattica quotidiana deve adeguarsi all'informatizzazione



Figura 2a: Alcune vetrine (Paleontologia, Zoologia degli Invertebrati, Osteologia, Botanica) del Museo Didattico-Scientifico del Liceo «Leonardo da Vinci» realizzate dal prof. Zingoni nel 1962.



Figura 2b: Alcune vetrine (Mineralogia e Petrografia; Meraviglie del Mare) del Museo Didattico-Scientifico del Liceo «Leonardo da Vinci» realizzate dal prof. Zingoni alla fine degli anni Sessanta.

ed all'avvento di Internet; i docenti si devono confrontare con nuovi mezzi di comunicazione mentre si fa sempre più strada l'idea del *dialogo educativo*, con il conseguente abbandono della paludata *lezione frontale*.

Con sempre maggiore frequenza si parla di centralità della persona, di intersoggettività, di itinerari di scoperta e di percorsi interattivi, al punto che alcuni pedagogisti ventilano la possibilità, in un futuro quanto mai prossimo, di poter «*educare animando e al tempo stesso animare educando*», nella convinzione, come afferma il pedagogista genovese Gianfranco Calabrese, che «*la didattica e l'animazione non sono solo percorsi che s'intersecano e si richiamano a vicenda, ma diventano, nella loro ricchezza epistemologica, un unico itinerario, che come*

Tabella 1: Le collezioni del Museo Didattico-Scientifico.

Il Museo attualmente è suddiviso nelle seguenti sezioni
Botanica: un erbario di piante mediterranee, una collezione di licheni, modelli microscopici di tessuti vegetali, una ricca collezione di vetrini di tessuti vegetali, modelli macroscopici di fiori e piante ed un orto botanico per piante officinali, aromatiche e medicamentose.
Entomologia: scatole entomologiche di coleotteri ed una collezione di farfalle.
Anatomia, istologia e fisiologia umana: reperti ossei umani (tra cui tre scheletri completi), organi in formalina, modelli in gesso e plastica del corpo umano, una ricca dotazione di vetrini istologici umani di organi sani e non, strumenti per effettuazione di esperienze di fisiologia umana.
Malacologia: due collezioni di conchiglie mediterranee e tropicali, una collezione di celenterati, antozoi, madrepore etc.
Mineralogia: cinque collezioni di minerali, una collezione di modelli di cristalli, strumenti per la misurazione dei cristalli.
Paleontologia: una collezione di vertebrati del Quaternario, una collezione di ostriche fossili, una collezione dei più comuni fossili-guida recentemente implementata con bellissimi esemplari di crostacei.
Petrografia: una collezione petrografica di rocce italiane, una collezione di pietre ornamentali, un microscopio polarizzante ed una serie di vetrini per osservazioni petrografiche.
Planetario virtuale: affianca i due planetari meccanici, rispettivamente del Settecento e dell'Ottocento.
Strumenti scientifici: strumenti per esperimenti di meccanica, ottica, acustica, termologia e calorimetria, elettrologia ed elettromagnetismo.
Zoologia: collezioni di uccelli, di mammiferi impagliati, di invertebrati marini, una collezione osteologica, una di preparazioni in formalina ed un acquario per pesci tropicali d'acqua dolce.



Figura 3: L'acquario per pesci tropicali, prima innovazione del nuovo Conservatore, prof. Alessandro Fei.



Figura 4: Intervento di accoglienza scientifica per il 1° anno della scuola primaria «Le stanze della scienza».

fine vuole formare la persona in modo armonico».

Nel dicembre 2003 il prof. Alessandro Fei, titolare della cattedra sperimentale di Scienze Naturali⁶, decide di seguire le orme del prof. Zingoni: una volta nominato nuovo Conservatore inizia, assieme agli alunni dell'ultimo anno, a riordinare il materiale ed a restaurare le collezioni. Nella primavera 2005 il restauro è praticamente completato: con l'aiuto degli studenti del triennio del corso E, sperimentale di Scienze Naturali, il prof. Fei decide quindi di dare avvio ad una serie di esperienze di didattica interattiva

rivolte agli alunni della scuola dell'obbligo, gettando così le basi di un vero e proprio Museo Didattico-Scientifico aperto al pubblico⁷.

Il progetto «Museo Aperto»

Dall'anno scolastico 2005/06 il Museo ospita il «*Museo Aperto*», un progetto di didattica interattiva delle scienze, che ha come obiettivo cardine la realizzazione di esperienze pomeridiane nelle quali gli alunni

della scuola dell'obbligo sono i protagonisti. I giovani ed i giovanissimi possono infatti:

a) assistere a dimostrazioni di laboratorio, condotte da un docente o un tecnico di laboratorio relative a fenomeni inerenti il mondo delle Scienze fisiche, chimiche e naturali;

b) effettuare semplici esperienze nei laboratori del Liceo, sotto la guida di un docente o di un tecnico di laboratorio, coadiuvati da uno o più studenti del triennio dei corsi sperimentali di Scienze

Tabella 2: Prospetto riepilogativo delle attività del «Museo Aperto».

	Esperienze di Fisica	Esperienze di Chimica	Esperienze di Biologia	Studenti ospitati	Studenti del Liceo coinvolti
A.S. 2005/06	17	2	11	724	33
A.S. 2006/07	12	2	13	650	45
A.S. 2007/08	9	1	18	660	81
	Docenti della scuola primaria coinvolti	Docenti della scuola secondaria coinvolti	Esperienze per la scuola primaria	Esperienze per la scuola secondaria di I grado	Tecnici di laboratorio coinvolti
A.S. 2005/06	19	13	18	12	3
A.S. 2006/07	16	15	9	18	3
A.S. 2007/08	26	13	17	13	4



Figura 5: Esperienza «Staticamente» (scuola secondaria di I grado).



Figura 6: Esperienza «L'enigma del moto» (scuola secondaria di I grado).

del Liceo in qualità di *tutor d'aula*.

L'iniziativa riscuote un notevole successo, al punto che viene ripetuta per i tre anni successivi.

La tabella 2 fornisce un prospetto riepilogativo delle attività finora effettuate.

Punto fermo del progetto è l'assoluta mancanza di schemi "preconfezionati": le singole esperienze vengono ideate e realizzate assieme ai docenti referenti delle varie scuole ospitate, in modo da armonizzarsi il più possibile con le singole programmazioni, affinché l'evento sperimentale diventi parte integrante delle medesime.

Al momento attuale sono stati ideati e realizzati tre diversi tipi di esperienze per la scuola dell'infanzia, dieci per la scuola primaria ed altri dieci per la scuola secondaria di I grado⁸, ma niente vieta di progettare ancora altre a seguito di specifiche richieste dei singoli docenti.

Novità di quest'anno è la realizzazione dei cosiddetti «interventi di accoglienza scientifica» tenuti da studenti dei corsi sperimentali del triennio di Scienze Naturali e del Piano Nazionale Informatica-PNI: nel corso di tali interventi gli studenti stessi sono chiamati a "mostrare la scienza" ai più giovani – tanto agli alunni della scuola primaria quanto a quelli della secondaria di I grado – attraverso la realizzazione in prima persona di esperienze di fisica, chimica, biologia nonché presentando attività didattiche da loro stessi ideate e realizzate.

Al momento dell'adesione al Progetto vengono predisposte le schede con i requisiti richiesti e le eventuali necessità, come nello schema riportato in Tabella 3.



Figura 7: Esperienza «Aiutiamo Mamma Aquila» (scuola primaria).

A termine di ogni esperienza è previsto uno specifico momento di rielaborazione, consistente nella stesura di un breve testo o un disegno per i bambini della scuola primaria, e di una relazione sull'esperienza svolta per i ragazzi della secondaria di I grado. Infine, previo appuntamento, i *tutor d'aula* incontrano i bambini direttamente nelle loro classi per un ulteriore momento di approfondimento.

Trasmettere la scienza ai "fratelli minori"

La grande novità del *Museo Aperto* è proprio il coinvolgimento in prima persona degli studenti, cosa che permette loro di poter trascendere la stretta dimensione di "discenti" a favore di una maggiore intera-

Tabella 3: Una scheda descrittiva di un'esperienza.

ESPERIENZA «I SEGRETI DELL'ACQUA»*Ogni alunno è affiancato da un tutor**I bambini verranno divisi in due gruppi, uno davanti all'acquario e l'altro nel laboratorio di Biologia, al microscopio.***Osservazione acquario**

Con la presente esperienza si intende offrire agli alunni un'esperienza di acquariofilia, improntata sullo studio del comportamento di una comunità di pesci tropicali (es. ruolo della pinna caudale e delle pinne ventrali; distribuzione del mangime ai pesci e verifica delle gerarchie alimentari; distinzione tra carnivori, erbivori e detritivori etc.). Naturalmente si esaminerà anche il ruolo che hanno le piante nell'acquario, la funzione della luce, la catena alimentare etc. Conviene effettuare delle fotografie dei vari animali. Tener presente che lo spazio non è eccessivo e che i ragazzi devono stare seduti per terra. È comunque un'esperienza coinvolgente. Si raccomanda il silenzio – i pesci ci sentono benissimo! – e non si deve assolutamente battere sul vetro.

Prerequisiti: *nessuno*.Sede dell'esperienza: *corridoio davanti all'acquario*.Apparecchi antinfortunistici richiesti: *nessuno*.Richieste particolari: *indossare il grembiule (per non sporcarsi i vestiti)*.**Infusori**

Con la presente esperienza s'intende offrire ai bambini l'occasione di avvicinarsi, forse per la prima volta, alla microscopia, attraverso l'osservazione della vita microscopica dell'acqua. Si prenderà in esame una colonia di infusori, protozoi unicellulari presenti nell'acqua stagnante. Gli alunni saranno invitati a riconoscere «cosa si nasconde» in una goccia d'acqua, cercando di individuare le più comuni specie (*Paramecium spp.*, *Vorticella spp.*, *Copepoda spp.* etc.). I bambini saranno coinvolti in un appassionante «gioco» nel quale si chiederà loro di «contare» i protozoi che ciascuno riesce a vedere, facendo una specie di «gara» a chi ne individua di più o di forme diverse. Infine, utilizzando il microscopio proiettore, vengono osservati i batteri presenti, ingrandendo il vetrino a 650 X.

Prerequisiti: *nessuno*.Sede dell'esperienza: *aula di Biologia*.Apparecchi antinfortunistici richiesti: *nessuno*.Richieste particolari: *nessuna*.

Figura 8: Esperienza «I segreti dell'acqua: gli infusori» (scuola primaria).

zione con l'ambiente scolastico che quotidianamente li circonda.

Trovare le parole giuste per spiegare a bambini della scuola primaria concetti complessi può risultare difficile, ma al contempo quanto mai stimolante: spesso i ragazzi riescono ad avvicinarsi alla materia in modo diverso da come farebbe un docente, applicandosi al massimo per farsi capire e coinvolgere i loro interlocutori. Eloquente, a tal proposito, è il commento di uno dei tutor al termine di un incontro: «non è assolutamente pesante prepararsi, perché sono ragazzi come noi». Inoltre il tipo di approccio, tutt'altro che convenzionale, al museo permette di infrangere quella «quarta parete» che troppo spesso nei Musei scientifici si frappone tra il visitatore e l'oggetto ammirato: dover maneggiare un campione, prelevandolo dalla vetrina, ed «utilizzarlo» permette di vincere quel sacro e reverenziale timore che troppo spesso

si traduce in una sorta di distacco nei riguardi dello scienziato e della stessa idea di scienza.

Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento va al prof. Danilo Torre, già Direttore del Museo di Paleontologia – ora Sezione Paleontologia del Museo Nazionale di Storia Naturale – dell'Università di Firenze ed attuale Presidente del Museo Fiorentino di Preistoria, per i preziosi consigli durante la stesura del lavoro. Si ringraziano inoltre i proff. Massimo Agapito, Alessandro Fei, ed Umberto Zingoni per la collaborazione offerta. Si ringraziano infine le proff. Rosa Chiricosta ed Alessandra Feri per l'attenta lettura del manoscritto.

Appendice: le esperienze finora progettate per le classi della scuola dell'obbligo

Tutte le esperienze sono effettuate sotto la guida dei *tutor d'aula*, del tecnico di laboratorio e dei docenti.

Esperienze per la scuola dell'infanzia

A nanna, amici animali!: i bambini allestiscono dei semplici «nidi» dei vari animali, utilizzando la ricca collezione zoologica.

Le case degli animali: i bambini allestiscono dei semplici diorami illustranti situazioni del mondo animale quali il sottobosco, gli uccelli sulla riva del mare etc. utilizzando la ricca collezione zoologica.

Shhh! Parlano i nostri amici pesci: i bambini osservano l'acquario ed imparano a riconoscere il maschio, la femmina, ed imparano il ruolo dei singoli componenti dell'acquario (gli animali carnivori, gli erbivori, i pulitori etc.) e le piante. Successivamente, attraverso un gioco didattico, ripetono i movimenti dei pesci nell'acquario.

Esperienze per la scuola primaria

Al termine di ogni esperienza viene richiesta la produzione, da parte dei bambini, di un disegno o di un testo. Successivamente, il docente coordinatore ed i *tutor d'aula* si recano nella scuola ospitata incontrando nuovamente i bambini, per raccogliere i loro commenti e rispondere alle eventuali curiosità emerse a seguito dell'esperienza.

Biologia

Aiutiamo mamma aquila: i bambini allestiscono un diorama utilizzando le collezioni di animali impagliati del Museo.

Portiamo a casa il topino Johnny: il percorso, appositamente studiato per una prima della scuola primaria, prevede di realizzare un insolito e coinvolgente «gioco dell'oca» con gli animali impagliati, attraverso il quale i bambini sono invitati a studiare il movimento degli animali ed il loro comportamento.

I segreti dell'acqua: i bambini osservano l'acquario della scuola, studiando il comportamento dei pesci, ed osservano al microscopio una colonia di infusori.

Il mio amico Mortimer: i bambini, sfruttando lo scheletro – vero – conservato nell'Aula di Scienze, i modelli in plastica ed in gesso del Museo, nonché i vetrini istologici (proiettati su grande schermo), indagano il funzionamento del corpo umano.

Paleontologia che passione!: i bambini «scoprono» in appositi diorami una serie di fossili di conchiglie. Successivamente saranno individuati i generi per un confronto con le conchiglie contemporanee. Infine i bambini devono poi ridisegnare le conchiglie fossili che hanno «scoperto».

Chimica

Alla scoperta della chimica: i bambini assistono ad una simpatica presentazione di reazioni chimiche – in assoluta sicurezza – nonché determinano, attraverso l'elettrolisi di una soluzione acquosa di carbonato sodico, la formula chimica dell'acqua.

Fisica

I segreti della luce: i bambini effettuano esperimenti sulla polarizzazione della luce, sull'ottica geometrica, sull'interferenza/diffrazione della luce. Con il laser studiano la rifrazione della luce; attraverso il disco di Newton ed un prisma si studia lo spettro della luce bianca.

Zap! Elettricità!: i bambini effettuano esperimenti di elettrostatica, misurano la deflessione di un elettroscopio caricato sull'elettrizzazione dei corpi ed assistono all'accensione di un generatore di Van der Graaf; quindi viene spiegato loro il funzionamento del rocchetto di Rumkhorff, e, attraverso lo studio dei raggi catodici, viene spiegato il funzionamento del televisore.

Il grande mistero del volo: i bambini studiano la struttura dello scheletro dei volatili e la struttura dell'ala degli uccelli, arrivando al concetto di portanza aerodinamica; quindi, attraverso un semplice strumento, studiano il meccanismo del volo degli alianti e degli aerei a reazione.

Pianeti misteriosi: i bambini analizzano il planetario virtuale della scuola, imparando a riconoscere le più comuni costellazioni visibili nel nostro emisfero; inoltre osservano i pianeti del Sistema Solare, sempre attraverso il telescopio virtuale, analizzando la struttura della superficie della Luna e di Mercurio, le nubi di Venere, le nubi di Giove, gli anelli di Saturno e la struttura dei pianeti di ghiaccio. Infine i bambini osservano delle immagini delle più comuni nebulose e delle galassie più vicine, imparando a individuarle sulla volta celeste.

Esperienze per la scuola secondaria di I grado

Al termine di ogni esperienza viene richiesta la produzione, da parte dei ragazzi, di un grafico o di una relazione. Successivamente, il docente coordinatore ed i *tutor d'aula* si recano nella scuola ospitata incontrando nuovamente i ragazzi, per raccogliere i loro commenti e rispondere agli interrogativi emersi a seguito dell'esperienza.

Chimica

I segreti della chimica: i ragazzi effettuano una serie di esperienze di chimica – in assoluta sicurezza – e determinano, attraverso l'elettrolisi di una soluzione acquosa di carbonato sodico, la formula chimica dell'acqua. Si realizza ed analizza la reazione chimica fra sodio metallico ed acqua, arrivando alla impostazione di un'equazione chimica.

Fisica

Alla scoperta della luce: i ragazzi effettuano esperimenti sulla polarizzazione della luce, sull'ottica geometrica, sull'interferenza/diffrazione della luce, focalizzando il concetto di fenomeno ondulatorio. Con il laser studiano la rifrazione della luce; attraverso il disco di Newton ed un prisma studiano lo spettro della luce bianca. Con l'ausilio di uno spettroscopio Kirchhoff-Bunsen studiano lo spettro visibile di vari elementi (sodio, mercurio, cadmio). Vengono inoltre effettuate, in laboratorio di chimica, delle esperienze di saggio alla fiamma.

L'enigma del moto: i ragazzi effettuano rilevazioni sul moto rettilineo uniforme ed uniformemente accelerato sfruttando la rotaia a cuscinio d'aria del Laboratorio di Fisica. Inoltre osservano urti totalmente anelastici e totalmente elastici. Con l'apparecchio dei sette pendoli si esplora quindi la conservazione della quantità di moto.

Alla scoperta del suono: i ragazzi effettuano esperienze di acustica, focalizzando la loro attenzione sui fenomeni ondulatori, effettuando i battimenti, la risonanza e la propagazione delle onde sonore ed altre onde meccaniche.

Staticamente: i ragazzi effettuano una serie di esperienze di statica, che vanno dalla composizione delle forze alla spinta di Archimede, dall'equilibrio dei momenti alla struttura di una bilancia a due piatti.

Il magico mondo dei fluidi: i ragazzi effettuano una serie di esperienze di fluidodinamica.

I raggi catodici: i ragazzi assistono ad una dimostrazione sulla genesi dei raggi catodici fino ad arrivare al principio che ha dato origine ai nostri televisori.

Biologia

Le leggi della mitosi: i ragazzi effettuano degli studi al microscopio sulla mitosi degli apici radicali di cipolla ed osservano su grande schermo, le varie fasi su un vetrino preparato.

Indagine sul cervello dei vertebrati: i ragazzi studiano l'evoluzione dell'encefalo e del sistema nervoso dei vertebrati, evidenziando, in base all'evoluzione ed alle necessità, l'aumento di complessità delle aree cerebrali e l'aumento delle funzioni. Inoltre viene studiato, attraverso una simpatica simulazione, il meccanismo di trasmissione dell'impulso nervoso e di risposta agli stimoli nell'uomo.

La digestione dei cibi: i ragazzi studiano l'apparato digerente, individuando il ruolo dei singoli organi ed analizzando i criteri per una corretta alimentazione; attraverso l'analisi della piramide alimentare e di quello che un gruppo di loro ha mangiato a pranzo si analizza il tipo di pranzo (carente di un alimento, eccessivo, frugale etc.); inoltre viene presentata ai ragazzi una serie di diete tratte da riviste non specializzate (settimanali, rotocalchi etc.) che vengono analizzate e criticate assieme.

Piero Bargellini – le corna del cervo, affogato a causa della disastrosa alluvione del 4 novembre.

⁶ Attualmente il Liceo conta ben tre cattedre sperimentali di Scienze Naturali: tale sperimentazione è la più richiesta

⁷ In una recente intervista, il prof. Fei si è così espresso: «*Sogno un museo aperto a tutti, in cui il bambino di tre anni venga accompagnato dal nonno che gli dice: 'Dai, andiamo a vedere gli animali ed a fare gli esperimenti!' in cui non si sa chi in realtà si diverta di più...».*

⁸ L'elenco è riportato in *Appendice*.

Bibliografia

[1] Gianfranco Calabrese, *Animare l'educazione. Per una didattica interattiva. I fondamenti*, Franco Angeli editore, Milano: 2007².

[2] Comitato San Mattia: *Il Museo Bombicci*: <http://digilander.libero.it/comitatosanmattia.bo/bombicci.html> [visto il 14-1-2008].

Note

¹ Sicuramente il primo in Italia; vi sono indizi che sia il primo in tutta Europa.

² Per *cantonale* si intenda un gruppo di scuole.

³ Dal 1924 al 1957 è ubicato in Via Capponi, indi in Via Mascaccio, successivamente viene trasferito nell'attuale sede di Via de' Marignolli. Rimarrà l'unico liceo scientifico fiorentino fino al 1967, anno di fondazione del Liceo «Castelnuovo».

⁴ Oggi tale incarico viene ricoperto da due ruoli diversi: l'Insegnante Tecnico-Pratico (I.T.P.) ed il personale A.T.A. (Amministrativo, Tecnico ed Ausiliario).

⁵ In una recente intervista, il prof. Zingoni ha raccontato molti curiosi aneddoti sull'allestimento del Museo: per realizzare il diorama si faceva regolarmente chiudere dentro la scuola, uscendone solo a notte fonda; assieme ad alcuni studenti si recava nelle grotte senesi per raccogliere campioni di stalattiti e stalagmiti precedentemente fratturate da speleologi inesperti; per acquisire animali impagliati e conchiglie a prezzo d'ingrosso, ha girato «*regolarmente in terza classe, per risparmiare*» tutto il nord Italia e si è recato personalmente, nel novembre 1966, a visitare ciò che restava del piccolo zoo fiorentino delle Cascine per acquisire – dopo aver ricevuto il permesso dell'allora Sindaco di Firenze,

Calanchi e biancane, suggestive forme d'erosione nelle argille delle colline toscane

Giancarlo Lari*

Parole chiave: argilla, *badlands*, biancana, calanco, creta, mattaione

Calanchi e biancane, un tempo assai diffusi nel paesaggio toscano delle colline argillose che caratterizzano ampie zone del volterrano e delle crete senesi, sono ormai una rarità, a causa della loro sistematica distruzione con lo scopo di trasformare quei terreni ad uso agricolo o pastorale.

La salvaguardia delle ultime forme superstiti è importante per conservare memoria di un paesaggio del passato in gran parte scomparso.

Premessa

La presente nota fa seguito alla precedente, G. Lari e F. Saggini, 2006 [5], presentata il 19 febbraio 2006 a Castiglioncello, in occasione del 1° Congresso regionale toscano di Scienze Naturali *CODICE ARMONICO*. Essa completa la trattazione del tema «*Forme d'erosione: balze, calanchi e biancane*» che, oltre all'interesse scientifico nell'ambito delle Scienze della Terra, riveste valenza ed importanza di carattere didattico, ambientale e turistico, ne è la riprova l'istituzione dell'itinerario *dei calanchi*, operativo con moderna segnaletica nella campagna di Volterra (zona di S. Cipriano).

A livello di ricerca sperimentale, sul tema delle caratteristiche fisico-chimiche e mineralogiche delle argille che influiscono sulla morfologia di una regione, sono importanti gli studi effettuati negli anni '70 dai ricercatori dell'Istituto sperimentale per lo studio e la difesa del suolo di Firenze, con il suo centro sperimentale S. Elisabetta di Vicarello (Volterra); segnalo in particolare i lavori di M. Sfalanga - P.G. Malesani - S. Vannucci, 1974 [16]; M. Sfalanga - V. Rizzo, 1974 [17] - M. Sfalanga - S. Vannucci, 1975 [18].

Altro importante studio sperimentale sull'origine di

calanchi e biancane si deve al Geologo S. Vittorini, 1977 [24].

A livello divulgativo è importante lo studio di Geomorfologia del Neogene di R. Mazzanti e G. Rodolfi, 1988 [10] che tratta anche di balze, calanchi e biancane, studio a cui si rinvia per gli approfondimenti.

La presente nota, oltre alla divulgazione a livello didattico e ambientale del tema trattato, si prefigge lo scopo di richiamare l'attenzione sulla situazione di calanchi e biancane, dopo gli interventi distruttivi perpetrati a partire dalla fine degli anni '50 e protrattisi fino ad oggi, con l'intento di sensibilizzare Enti pubblici e Istituzioni preposti alla salvaguardia del territorio, affinché emanino provvedimenti di tutela di queste curiose e suggestive forme del terreno.

Calanchi e biancane: definizione e origine

Entrambi i vocaboli *calanco* e *biancana* sono di origine dialettale.

Il termine *calanco* è di origine emiliana; fu elevato al rango di termine scientifico dal naturalista Luigi Bombicci (Siena, 1833 - Bologna, 1903) nella seconda metà dell'800 e successivamente accettato dal geografo Roberto Almagià (Firenze, 1884 - Roma, 1962).

Il termine *biancana* è originario dell'area volterrana e fu ufficialmente adottato nel linguaggio scientifico da G. Stefanini, 1914 [20].

Calanchi - Minuscoli bacini imbriferi ramificati, localizzati in pendii argillosi scoscesi e generalmente spogli. Sono costituiti da una serie di solchi e creste subparalleli, ripidi, stretti e allungati. I due versanti di ciascun calanco sono incisi a loro volta da numerosi solchi minori di erosione (vallecole) subortogonali alla linea di cresta principale. Le vallecole laterali confluiscono in profonde incisioni che separano i singoli calanchi.

I calanchi si formano preferibilmente nei versanti esposti a sud, a causa del più rapido disseccamento del terreno a componente argillosa e del conseguente difficile attecchimento della vegetazione anche erbacea.

Biancane - Serie di cupolette d'argilla spoglie o quasi, a forma mammellonare e dosso arrotondato, di colore biancastro, tipico dell'argilla asciutta. Il colore chiaro è talvolta accentuato da efflorescenze di sale (Na_2SO_4).

I primi studi sulle biancane sono stati fatti nelle argille di facies piacentiana della Toscana collinare (*mattaioni* del territorio Volterrano e *crete senesi*).

Caratteristica comune a calanchi e biancane è la pressoché totale assenza di vegetazione sia arbustiva che erbacea che facilita i processi erosivi ad opera delle acque di ruscellamento.

Nella zona di S. Cipriano, presso Volterra, G. Rodolfi e F. Frascati, 1979 [14] distinsero due forme fondamentali di calanchi, denominate di tipo A e B.

Il calanco di tipo A corrisponde sostanzialmente alla descrizione tipo di cui sopra, mentre il calanco di tipo B è caratterizzato da profili meno acclivi e non troppo affilati ed è delimitato da vallecole più ampie, a fondo concavo. Tali caratteristiche strutturali permettono il parziale attecchimento della vegetazione erbacea e talvolta arbustiva negli impluvi tra due calanchi contigui.

Il territorio di calanchi e biancane è brullo, impervio e caratterizzato da solchi e precipizi scavati dall'erosione delle acque. L'aspetto paesaggistico di queste aree collinari appare tuttavia suggestivo e talvolta maestoso, soprattutto in primavera, quando l'argilla biancastra delle aree calanchive contrasta con il colore verde dell'erba spontanea circostante, della vegetazione arbustiva in fiore o con i colori vivaci delle colture di frumento e delle erbe da foraggio (trifoglio, erba medica, sulla, colza, ecc.) che crescono rigogliose nelle colline adiacenti.



Figura 1: I calanchi di S. Cipriano - Volterra (foto dell'Autore).



Figura 2: Le biancane di Mazzolla - Volterra (foto dell'Autore).

Nel Volterrano¹ l'argilla grigio-azzurra, di età Pliocene inferiore-medio, è detta anche *mattaione*, mentre nella campagna a sud di Siena la stessa argilla è nota come *creta*, da cui il termine *Crete Senesi* riservato al territorio compreso fra Siena e Montalcino.

La sorte di calanchi e biancane è strettamente legata all'agricoltura o, meglio, all'evoluzione del tipo di coltivazione agricola praticata nei terreni argillosi. Que-

l'autore

* autore per corrispondenza
Geologo - Volterra, piazza Martiri
della Libertà, 7
Tel e fax (c.a.): 0588-87106
italgeostudio@libero.it



Figura 3: I calanchi di S. Cipriano (fig. 1), su mappa IGM (F. 112 Volterra, Tavola Villamagna), sono contraddistinti da barbette con le punte convergenti verso gli assi degli impluvi. Si noti come i calanchi sono presenti solo nei versanti esposti a sud. Il cerchio in basso indica il punto di ripresa della foto di figura 1.

sti ultimi, spogli di vegetazione arbustiva ed arborea a causa del facile inaridimento dovuto alla impermeabilità dell'argilla, consentono l'attecchimento stagionale, nel periodo primaverile e autunnale, di vegetazione erbacea e, quando sono oggetto di coltivazione agricola, possono ospitare con successo soltanto monoculture. Sono dunque, i nostri in esame, paesaggi agrari assai condizionati dalla natura dei terreni e, da sempre, possono accogliere solo specifiche colture a seminativo.

I paesaggi dei *mattaioni* volterrani e delle *crete* senesi, fino alla metà del secolo scorso, erano costellati di

numerose plaghe di terreno modellate naturalmente a calanchi e biancane; la coltivazione semimeccanizzata praticata nell'ultimo trentennio della civiltà contadina (1930-1960) non aveva un gran che scalfito la morfologia naturale di queste curiose e suggestive forme d'erosione.

Le biancane furono descritte per la prima volta da G. Targioni Tozzetti 1769 [23]: «Biancana, ... dal colore quasi bianco che prende la superficie asciutta del mattaione, a cagione della fioritura salina e selenitica».

E. Repetti, 1846 [12] rammenta sia le biancane di Volterra che quelle di Asciano (SI) (figura n. 4) ed accenna al territorio «sparso di tumuli e di gibbose irregolari dune, pressoché tutte coperte di crete marnose conchigliari».

Il geografo A. Martelli, 1908 [7] ed i Geologi P. Savi, 1839 [15] e P. Principi, 1941 [11] descrissero calanchi e biancane nelle rispettive note scientifiche sul territorio volterrano.

Giuseppe Stefanini, Geologo docente universitario prima a Firenze e poi a Pisa, dedicò tre pubblicazioni [19-20-21] alle forme d'erosione dei terreni neogenici del volterrano e del senese: «balze, calanchi e biancane», accogliendo per primo in ambito scientifico il termine *biancana*, fino ad allora in uso tra la popolazione del Volterrano.

Infine, fra la fine dell'800 e i primi del 900, due grandi della letteratura restarono ammirati alla vista del paesaggio delle biancane.

Paul Borget (Amiens, 1852 - Paris, 1935) romanziere e saggista francese esprime in *Sensation d'Italie*, 1891 [1] ammirazione per il paesaggio delle biancane: «l'immens ocean des mamelons ravines ... des collines après des collines, des mamelons après des mamelons».

Gabriele D'Annunzio, nel romanzo *Forse che si, forse che no*, pubblicato nel 1910 [3] ed ambientato a Volterra, dedica varie frasi al paesaggio delle biancane: «la landa malvagia, il deserto di cenere ... la campagna gibbosa, la terra tutta occupata di tumuli, ... le biancane nell'albore lunare simili alla crosta d'un pianeta estinto ... i cumuli di creta, ove le rasure dell'acqua si disponevano come le nervature delle foglie macere, o come le rughe nelle zampe enormi dei pachidermi».

Le frasi del Borgét e di D'annunzio descrivono un paesaggio all'epoca costellato di innumerevoli biancane; oggi non è più così, le biancane sono state oggetto di sistematica distruzione in un recente passato. Con l'avvento dell'agricoltura meccanizzata, aratri trivomeri, ruspe ed escavatori hanno spianato e

distrutto le suggestive cupolette d'argilla biancastra che un tempo costellavano le lande argillose della toscana collinare.

Calanchi e biancane sono dovuti a fenomeni erosivi in terreni argillosi e danno luogo a forme tipiche, come nella campagna volterrana e nelle crete senesi, in Toscana (figure 1-2-3-4). Famosi sono inoltre i calanchi del subappennino emiliano-romagnolo (Riserva Naturale Geologica del Piacenziano [figura 5] e Parco dell'Abbadessa), i calanchi abruzzesi (Riserva di Atri), i calanchi lucani (Aliano, Tursi, ecc. [figure 6-8]), ed i calanchi presenti lungo la costa ionica della Calabria, tra Punta Stilo e Locri.



Figura 4: I calanchi di Asciano - Crete senesi (per gentile concessione di www.fotoscana.it).

Condizioni di formazione di calanchi e biancane

Poiché calanchi e biancane si formano in terreni a componente argillosa, per comprenderne l'origine occorre richiamare alcuni concetti geotecnici fondamentali sul comportamento dell'argilla.

Si tenga presente innanzitutto che comunemente vengono chiamati argillosi i terreni che in realtà sono a «componente argillosa», ossia terreni in cui l'argilla è uno dei componenti ma non l'esclusivo.

I terreni incoerenti sono distinti in 4 tipi principali e il limite fra l'uno e l'altro è funzione delle dimensioni delle particelle. Si usa definire i 4 differenti litotipi in funzione del loro diametro equivalente D (limiti A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana) espresso in millimetri:

Ghiaia: $D > 2$

Sabbia: $0,06 < D < 2$

Limo: $0,002 < D < 0,06$

Argilla: $D < 0,002$

I terreni a composizione intermedia – i più comuni – prendono il nome della frazione prevalente, seguito dal nome dei componenti quantitativamente subordinati. Esempio: argilla limo-sabbiosa; limo argillo-sabbioso, ecc.

Un terreno a componente prevalentemente argillosa, in geotecnica è detto *coesivo*, dal nome della forza che nell'argilla tiene unite le particelle.

La *coesione* varia in funzione del contenuto d'acqua, espresso dal parametro fisico W (Umidità naturale).

L'argilla, terreno pseudocoerente, quando è asciutta è dura e compatta ma, se assorbe acqua, perde gradualmente la coesione, aumenta di volume e subisce una variazione di stato fisico, passando allo stato plastico quando il contenuto d'acqua raggiunge il limite di plasticità². Successivamente l'argilla può passare



Figura 5: I calanchi di Monte La Ciocca - Vernasca - Riserva Naturale Geologica del Piacenziano (PC) (foto di Gianluca Raineri).



Figura 6: Biancane («calanchi» in dialetto lucano) di Aliano (Lucania) loc. Capobianco (foto Luigi De Lorenzo e Pierino Dilenge).

allo stato liquido se il contenuto d'acqua raggiunge il limite di liquidità.

L'argilla di calanchi e biancane, plastica in superficie, quando assorbe acqua diviene facilmente erodibile ed è sottoposta all'asportazione dello strato epidermico che può subire un processo gravitativo di colamento.

La predisposizione di un territorio alla formazione di calanchi e biancane dipende dalle proprietà del terreno coesivo affiorante, specialmente dalla granulometria e dalla composizione mineralogica.

L'argilla è composta di vari minerali distinguibili nei tre gruppi principali del caolino, dell'illite e della montmorillonite, con caratteristiche diverse per quanto riguarda la capacità di assorbire acqua. La montmorillonite è il minerale con la più alta capacità d'assorbimento, il caolino la più bassa. La morfologia delle Formazioni a componente argillosa del Neogene, può dunque variare in rapporto alla differente composizione mineralogica di questi terreni (S. Vittorini, 1977 [24]).

Quando in un sedimento argilloso prevalgono i minerali espandibili, il terreno, a causa dell'alternarsi di periodi di siccità a periodi piovosi, manifesta il fenomeno della fessurazione, fenomeno quest'ultimo che, consentendo l'infiltrazione d'acqua a profondità di alcuni metri, facilita il processo di plastificazione dell'argilla, predisponendo il terreno all'innescio di fenomeni gravitativi.

L'intensa erosione, cui sono sottoposti i teneri terreni argillosi della Toscana collinare, si manifesta con fenomeni come ruscellamenti, soliflussi, creeping e, nella forma parossistica, con frane di colamento e di scoscendimento.

Quando l'erosione diventa regolare, ordinata, ripetitiva e segue l'avvicinarsi dei cicli stagionali, le forme che ne derivano non sono più casuali e caotiche come ad esempio nei soliflussi, ma assumono un aspetto subgeometrico tipico di calanchi e biancane. Moderne ricerche sperimentali sull'origine di calanchi e biancane, in rapporto alle caratteristiche geotecniche e mineralogiche dei terreni a componente argillosa, si devono al Geologo Michele Sfalanga che, insieme ad altri ricercatori, ha finalmente chiarito alcune condizioni di esistenza di queste forme del terreno. I principali risultati di tali ricerche sono contenuti nelle seguenti note scientifiche:

1. M. Sfalanga, P.G. Malesani, S. Vannucci, 1974 [16] esaminando i terreni argillosi del Valdarno superiore, della Val d'Era e della Val d'Elsa constatano che le caratteristiche geomorfologiche e i fenomeni

d'instabilità dei versanti sono dovuti al loro contenuto d'acqua allo stato naturale che a sua volta è condizionato dalla composizione mineralogica dell'argilla.

2. M. Sfalanga, V. Rizzo, 1974 [17] affermano, in base a dati sperimentali, che le differenze morfologiche osservabili nei paesaggi argillosi, in particolare la formazione di calanchi, sono legate non solo a fattori di esposizione ma anche a caratteristiche intrinseche dei sedimenti fra cui la granulometria e la composizione mineralogica.

3. M. Sfalanga, S. Vannucci, 1975 [18] effettuano una ricerca su due differenti bacini sperimentali posti in corrispondenza, il primo della base delle Argille grigio-azzurre di età Pliocene inferiore-medio, privo di calanchi e l'altro nella parte più alta della medesima Formazione, in presenza di argille sabbiose, in un'area ricca di calanchi. Essi giungono alla conclusione che le forme calanchive presenti in uno dei due bacini sono impostate su sedimenti a parziale componente argillosa (limi argillo-sabbiosi), mentre i terreni argillosi, peculiari dell'altro bacino, a elevato tenore in minerali a reticolo espandibile e ad alta plasticità, danno luogo a morfologie stondate e a bassa acclività.

Ricerche indipendenti dal gruppo di Michele Sfalanga sono state effettuate da S. Vittorini, 1977 [24]. Questo autore, dopo aver sperimentato che i minerali dei gruppi della Montmorillonite e del Caolino hanno comportamenti opposti riguardo alla capacità d'assorbire acqua, ipotizza che esistano rapporti fra tipi di argilla e forme d'erosione.

Sperimentata la diversità mineralogica dei terreni argillosi pliocenici e pleistocenici di quattro differenti comparti (tabella 1), di cui due in Toscana, Val d'Era (PI), Val d'Orcia (SI), uno in Abruzzo, Valle del Fiume Piomba (TE) e uno in Basilicata, Valle del Fiume Basento (MT), l'Autore giunge alla conclusione che nei terreni argillosi, dove è massima la concentrazione dei minerali espandibili, si rinvengono calanchi a creste stondate e biancane (Valle del F. Basento). Laddove sono scarsi i minerali espandibili si trovano calanchi scoscesi a creste aguzze e assenza di biancane (Valle del F. Piomba).

Per quanto riguarda l'aspetto granulometrico S. Vittorini, 1977 [24] concorda con M. Sfalanga e S. Vannucci, 1975 [18] che i calanchi sono associati ai limi argillo-sabbiosi, mentre le biancane si formano in terreni a granulometria più fine (argille limose).

L'autore mette in risalto che nei calanchi l'erosione prevalente è di tipo lineare ed avviene per asportazione meccanica delle particelle dovuta al ruscellamento, mentre nelle biancane l'erosione è di tipo

areale ed avviene per plastificazione dell'argilla e conseguente colamento.

Badlands e «jaramme»

Il termine *badlands* (letteralmente «cattive terre») indica genericamente particolari regioni di bassi rilievi, prive di vegetazione, dove le rocce, profondamente incise dall'erosione, presentano forme e colori spettacolari. L'erosione è causata principalmente dall'alternarsi di periodi di piogge intense e devastanti, intervallati da lunghi periodi di siccità.

Le *badlands*, a livello internazionale e in senso lato, sono aree brulle e incolte più o meno estese in cui spicca un paesaggio arido, spoglio e desolato, impostato su terreni impermeabili ad elevato grado di erodibilità. Esse sono caratterizzate dalla presenza di tipiche e suggestive forme d'erosione.

In senso stretto le *badlands* sono identificabili con una regione dello stato americano del Sud Dakota, nell'omonimo Parco Nazionale che si sviluppa su una superficie di 982 Km², tra le Black Hills, a ovest, e il corso del Fiume Missouri a est.

Le *badlands* americane (figura 7) sono differenti da calanchi e biancane italiani, essendo stratificate e formate da alte torri e pinnacoli, tanto da assomigliare ad una sorta di *piramidi di terra*. Esse sono costituite da banchi di argille tenere ed erodibili, alternate a strati di rocce più dure (arenarie).

I terreni sedimentari delle *badlands* del Sud Dakota si depositarono nell'Era Terziaria, dall'Eocene all'Oligocene, ossia dai 37 ai 26 milioni di anni fa, mentre i terreni modellati dai calanchi e dalle biancane della Toscana sono più recenti, in genere del Pliocene e del Quaternario.

Le «*badlands*» della Lucania interessano circa il 30% del territorio regionale, nel settore sud-orientale. Esse occupano la maggior parte delle aree collinari digradanti verso il Mar Jonio comprese fra le valli dei Fiumi Agri, Sauro e Basento. In dialetto lucano il termine *calanco* indica *biancana* mentre i calanchi vengono appellati *jaramme* (burrone, precipizio), secondo quanto riferitomi dal giornalista della Gazzetta

Tabella 1: Quadro riassuntivo dei minerali argillosi presenti nei campioni delle quattro valli in esame, da S. Vittorini, 1977 [24].

Minerali argillosi	F. Era	F. Orcia	F. Piomba	F. Basento
Caolinite	(t)	xx	x	x
Illite	xxx	x	xxx	xx
Clorite	xx	t	x	X
Vermiculite	(t)	-	-	-
Illite-vermiculite	(t)	-	-	-
Illite-montmorillonite	-	xxx	-	x
Montmorillonite	(xxx)	-	(x)	xxx

xxx, abbondante; xx, presente; x, scarso; t, tracce. Le parentesi indicano una presenza discontinua.

del Mezzogiorno Salvatore Verde di Tursi.

Allo scopo di tutelare e conservare le caratteristiche naturali e paesaggistiche della zona è in via di istituzione un parco regionale che comprenderà vari Comuni delle province di Potenza e Matera, fra cui Aliano e Tursi (figura n. 6-8).

Il maestoso paesaggio dei calanchi di Aliano è stato descritto dallo scrittore Carlo Levi, 1945 [6] nel celebre romanzo storico *Cristo si è fermato a Eboli*. L'Autore, esule in quel paese alla fine degli anni '30, descrive a più riprese il paesaggio circostante: «... e da ogni parte non c'erano che precipizi di argilla bianca, senz'alberi e senz'erba, scavata dalle acque in buche, con, piagge di aspetto maligno, come un paesaggio lunare ...»; illustrando mirabilmente anche l'effetto delle intense precipitazioni concentrate in brevi periodi dell'anno: «Le argille cominciarono a sciogliersi, a colare lente per i pendii, scivolando in basso, grigi torrenti di terra in un mondo liquefatto».



Figura 7: Paesaggio delle *Badlands* americane (foto South Dakota Geological Survey - USA).



Figura 8: Calanchi (jaramme) di Tursi (Lucania) loc. Santuario di Anglona (foto Salvatore Verde).

La salvaguardia di calanchi e biancane

G. Lari e M. Cinci, 1999 [4] lanciano l'allarme sulla sistematica distruzione di calanchi e biancane per recuperare aree considerate marginali all'uso agricolo e propongono interventi legislativi di salvaguardia agli Enti locali.

Nelle Norme Tecniche d'Attuazione (Artt. 28 e 78) del nuovo Piano strutturale del Comune di Volterra, adottato con Delibera Consiglio Comunale n. 31 del 25 maggio 2007, è stata recepita la proposta, riconoscendo il valore estetico, paesistico e ambientale di calanchi e biancane e preannunciando l'emanazione di adeguate disposizioni di salvaguardia a livello di Regolamento Urbanistico.

Si segua l'esempio della Basilicata, dove per tutelare e conservare le caratteristiche naturali e paesaggistiche dell'immenso e prezioso paesaggio dei calanchi, è in via di istituzione un parco regionale la cui estensione comprenderà vari Comuni delle province di Matera e Potenza, fra cui Aliano e Tursi.

Ringraziamenti

Desidero esprimere la mia gratitudine:

- al Dr. Derric Iles, *State Geologist of South Dakota Geological Survey (U.S.A.)* per le foto del grandioso scenario delle *badlands* americane;
- a Don Pierino Dilenge e Luigi De Lorenzo di Aliano (MT) ed in particolare a Salvatore Verde di Tursi (MT), giornalista della *Gazzetta del Mezzogiorno* e Direttore del bimestrale *TURSI-TANI*, per le magnifi-

che foto inviatemi del maestoso paesaggio dei calanchi lucani;

- al Direttore del sito web www.fototoscana.it ed ai Geologi Dr. Enrico Capezzuoli e Dr. Riccardo Aquè, dottori di ricerca e contrattisti al Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Siena, per le foto delle crete senesi;

- al Dr. Gianluca Raineri, Direttore della Riserva Naturale Geologica del Piacenziano di Castell'Arquato (PC) per le foto dei calanchi del subappennino padano.

Un ringraziamento particolare a mia moglie Patrizia, docente di Scuola media, per la collaborazione prestata nella stesura finale del testo.

Note

¹ Con il termine «*Volterrano*» s'intende il vasto territorio un tempo sotto l'influenza della città-stato etrusca di Volterra (*Velathri*) e successivamente compreso entro i confini amministrativi del Municipio della città romana (*Volaterrae*). Il *Volterrano* oggi è un territorio diviso fra le province di Pisa, Firenze, Siena, Grosseto, Livorno e comprende, a nord le colline della media Val d'Era (Chianni, Terricciola, Pèccioli) e parte della Val d'Elsa (Montaione). Il confine del territorio Volterrano ad est della città è il fiume Elsa (in epoca etrusco-romana il confine giungeva fino al fiume Pesa), con il territorio di Castelfiorentino a sinistra del Fiume e di Gambassi. A sud il confine è segnato dai Comuni di Montieri e Monterotondo M.mo, mentre ad ovest il territorio volterrano giunge fino alla linea di costa e comprende Bibbona, Cecina e Vada (ex porto di Volterra).

² I limiti di plasticità (L.P.) e di liquidità (L.L.) vengono detti Limiti di Atterberg. Ai fini di classificare lo stato fisico di un'argilla è importante anche l'Indice di Plasticità ($I_p = L.L. - L.P.$).

Bibliografia

- [1] P. Bourget, *Sensations d'Italie*. Editeur Plon, Paris 1891.
- [2] G.B. Castiglioni, *Geomorfologia*. Edizioni UTET, Torino 1979, pp. 436.
- [3] G. D'Annunzio, *Forse che sì, forse che no*. Edizioni Treves, Milano 1910.
- [4] G. Lari, M. Cinci, *Salviamo le ultime biancane!*, in «*La Spalletta*» (settimanale volterrano), 22 maggio 1999, pp. II-III.
- [5] G. Lari, F. Saggini, *Volterra, l'avanzata delle balze. Le balze di Volterra fra storia e nuove conoscenze geologico-strutturali*. Estratto dagli Atti

- del 1° Congresso regionale toscano di Scienze Naturali, Castiglioncello 19.2.2006 - Tagete Edizioni, 2006.
- [6] C. Levi, Cristo si è fermato a Eboli. Edizioni Einaudi, Torino 1945.
- [7] A. Martelli, Le balze di Volterra. Riv. Geogr. It., 1908, vol. 15, pp. 91-101.
- [8] R. Mazzanti, Le vicende geologiche e la morfologia del territorio, in A. Cecchella, M. Pinna, La Caldera. Studio economico e territoriale. Centro Studi Economico Finanziari, Pisa, 1988, pp. 25-53.
- [9] R. Mazzanti, C. Nencini, Geologia della Val d'Era. Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno, 1986, vol. 7: 1-37.
- [10] R. Mazzanti, G. Rodolfi, Evoluzione del rilievo nei sedimenti argillosi e sabbiosi dei cicli neogenici e quaternari italiani, in: La gestione delle aree franose, a cura di P. Canuti ed E. Pranzini. Edizioni delle Autonomie, Roma 1988, pp. 13-60.
- [11] P. Principi, La geologia e la pedologia del comprensorio di bonifica dell'Alta Val d'Era. Tip. Mariano Ricci, Firenze 1941.
- [12] E. Repetti, Dizionario geografico, fisico e storico della Toscana. Edizioni Mazzoli, Firenze 1846.
- [13] G. Rodolfi, Forme di erosione nei sedimenti neogenici e quaternari, in: La gestione delle aree collinari argillose e sabbiose, a cura di R. Mazzanti. Edizioni delle Autonomie, Roma 1991, pp. 19-30.
- [14] G. Rodolfi, F. Frascati, Cartografia di base per la programmazione degli interventi in aree marginali - Area rappresentativa dell'Alta Valderra. 1° - Memorie illustrative della Carta Geomorfologica. Annali dell'Istituto sperimentale per la difesa del suolo, Tipografia R. Coppini & C., Firenze, 1979, Vol. X, pp. 37-80.
- [15] P. Savi, Memorie per servire allo studio della costituzione fisica della Toscana. Tipografia F.lli Nistri, Pisa 1839.
- [16] M. Sfalanga, P.G. Malesani, S. Vannucci, Relazioni fra caratteristiche mineralogiche e parametri fisici delle argille: alcune considerazioni sulla stabilità dei versanti. Annali dell'Istituto sperimentale per la difesa del suolo, Tipografia R. Coppini & C., Firenze 1974, Vol. V, pp. 229-254.
- [17] M. Sfalanga, V. Rizzo, Caratteristiche tecniche delle argille plioceniche e pleistoceniche in relazione al loro assetto morfologico. Annali dell'Istituto sperimentale per la difesa del suolo, Tipografia R. Coppini & C., Firenze 1974, Vol. V, pp. 255-277.
- [18] M. Sfalanga, S. Vannucci, Ricerche mineralogico-petrografiche sui sedimenti neoautoctoni. Annali dell'Istituto sperimentale per la difesa del suolo, Tipografia R. Coppini & C., Firenze 1975, Vol. VI, pp. 111-168.
- [19] G. Stefanini, Nicchie d'erosione nei terreni pliocenici della Val d'Era. Riv. Geogr. It., Firenze 1909, pp. 209-225.
- [20] G. Stefanini, Sulle biancane del volterrano e del senese. Riv. Geogr. It., Firenze 1914, pp. 657-667.
- [21] G. Stefanini, Le Balze di Volterra e le forme del suolo nei terreni pliocenici, in: Toscana centrale e Maremma. Guida per l'escursione scientifica e storica dell'VIII Congresso Geografico Italiano. F.lli Alinari, Firenze 1921, pp. 16-18.
- [22] J. Steiner, South Dakota badlands. Publication of the Badlands National Park. U.S. Department of the Interior - P.O. Box 6, Interior, SD 57750, 1993.
- [23] G. Targioni Tozzetti, Relazioni d'alcuni viaggi fatti in diverse parti della Toscana. 2ª Edizione, Tomo III, Stamperia Granducale, Firenze 1769.
- [24] S. Vittorini, Osservazioni sull'origine e sul ruolo di due forme d'erosione nelle argille: calanchi e biancane. Boll. Soc. Geogr. It., Ser. X, Roma 1977, vol. VI, pp. 25-54.

Rapida panoramica sullo sviluppo delle conoscenze geologiche nella provincia di Livorno e dintorni dalla metà del secolo XX

Renzo Mazzanti

Parole chiave: geologia, Toscana, tettonica, stratigrafia

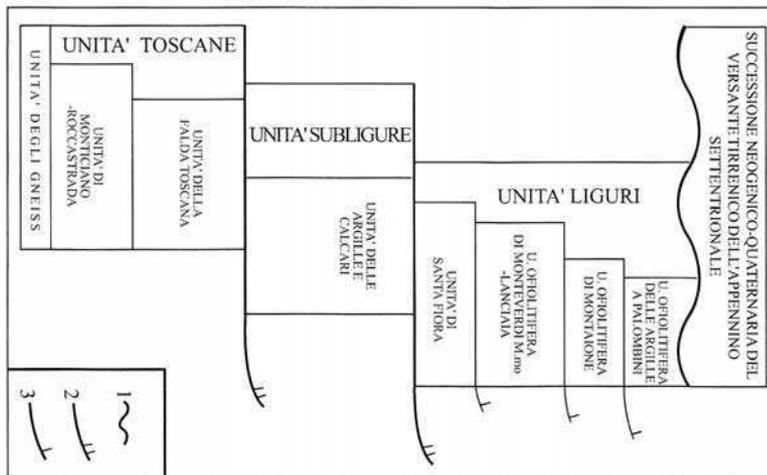
Il presente lavoro si propone di fornire un breve quadro di sintesi delle conoscenze sulla geologia toscana maturate in quasi un secolo di studi evidenziando i progressi ottenuti grazie all'introduzione delle moderne tecniche di prospezione e di indagine di laboratorio e anche grazie ad una attenta e condivisa ricerca dei meccanismi tettonici alla base della evoluzione geologica toscana.

Negli anni Trenta entrarono in crisi le teorie che spiegavano gli ingenti movimenti tangenziali necessari alla formazione delle pieghe e delle falde di ricoprimento (talora estese su centinaia di km²) con la necessità di ammettere che porzioni di crosta terrestre ad esse sottostanti avessero la possibilità di scorrere per «spingere a tergo» le falde stesse, secondo il modello classico introdotto da M. Bertrand nel 1884 per le Alpi Svizzere e reso famoso da E. Argand nel 1916 specialmente per la struttura di tutte le Alpi, veduta come conseguenza della stretta in una gigantesca morsa fra il continente Paleoeuropeo e quello Paleoafricano. Infatti, nuove conoscenze sull'interpretazione delle 'onde sismiche' hanno mostrato, in quegli anni, l'esistenza di una litosfera superficiale e a comportamento d'insieme rigido che si estende come una «crosta» su tutto il globo terrestre pur avendo composizione diversa e maggiore spessore sui continenti e minore sugli oceani. Secondo questo nuovo modo di vedere, le «zattere» continentali (in seguito dette «placche»), trovandosi a galleggiare in un fondo oceanico rigido, «pietrificato», non sarebbero libere di andare alla deriva (come indicato nel 1912 dalla teoria di A.L. Wegener pienamente accettata da E. Argand); veniva così a cadere la spiegazione di quelle forze che avrebbero «spinto a tergo» le falde nei loro movimenti di «carreggia-

mento» anche su distanze lunghissime. Altra notevole difficoltà riguardava come una «vis a tergo» potesse trasmettersi dalle radici alle fronti delle falde attraverso materiali di scarsa rigidità, come nel caso di molte delle falde riconosciute nell'Appennino Settentrionale fin dal 1907 in due lavori, contemporanei ma indipendenti, eseguiti da G. Steinmann e da L. De Launay. Fra gli studiosi di tettonica degli anni Trenta ha trovato così sempre maggiore interesse la teoria degli «scivolamenti gravitativi» per la quale il carreggiamento delle falde sarebbe dovuto in prevalenza al loro stesso peso quando fossero venute a trovarsi su piani inclinati dovuti a differenze di sollevamento del substrato. Nel 1952 G. Merla, ordinario di Geologia e Paleontologia a Firenze, pubblicava la prima vera e propria sintesi completa sull'Appennino Settentrionale dopo quella di B. Lotti, uno dei maggiori geologi rilevatori di campagna del Servizio Geologico d'Italia al quale si deve la I Edizione in scala 1:100.000 del Foglio III-Livorno, uscita nel 1884. Nella sintesi di G. Merla la «Serie Toscana» è considerata autoctona

l'autore

**Museo di Storia Naturale
di Rosignano Solvay**



Schema dei rapporti stratigrafico-strutturali delle unità presenti nella toscana meridionale: i. contatto stratigrafico erosivo. ii. sovrascorrimento primario. iii. sovrascorrimento secondario.

e continua nell'arco di circa 200 Ma (= milioni di anni) dal Trias all'Oligocene (rocce di quest'ultimo periodo corrispondono all'arenaria Macigno affiorante intorno la Calafuria lungo la costa livornese). Dalla teoria dei «cunei composti» di C.I. Migliorini, formulata nel 1933, G. Merla traeva la struttura tettonica fondamentale per la Serie Toscana: essa sarebbe stata conformata in un certo numero di «rughe tettoniche», larghe 30-40 km, allungate praticamente per tutto l'Appennino Settentrionale da NW a SE, più o meno rettilinee, parallele fra di loro e formate, appunto secondo il modello dei cunei composti, da faglie inverse (compressive) sul fianco orientale e da faglie dirette (distensive) sul fianco occidentale. Queste rughe si sarebbero evolute secondo un'onda di orogenesi parossismale, da occidente verso oriente, il cui passaggio in ogni località avrebbe coinciso con l'arrivo delle «Argille Scagliose», considerate alloctone sopra la Serie Toscana essenzialmente autoctona (la maggior parte dei Monti Livornesi è costituita da Argille Scagliose e veniva considerata appartenente alla II ruga di G. Merla, mentre l'Isola d'Elba avrebbe corrisposto alla I ruga).

Sulla natura delle Argille Scagliose, G. Merla accettava una fondamentale origine da smescolamento tettonico, secondo la formulazione ideata da F. Penta nel 1950, ma faceva notare tuttavia che in questo insieme «caotico» compaiono alcuni lembi meno scompagnati di frammenti di serie come quella delle

Ofoliti-Diaspri-Argille e calcari «Palombini» e quella della Pietraforte Alberese. Va notato che mentre gli strati della Serie Toscana sono in genere ricchi di macrofossili, gli unici comunemente studiati dai paleontologi fin dal XIX secolo, gli strati delle Argille Scagliose contengono solo microfossili e il loro studio è stato trascurato fino agli anni Sessanta quando tutte le Università cominciarono a dotarsi di ricercatori e attrezzature adatte allo studio di questi ul-

timi fossili, in precedenza curato principalmente dalle compagnie petrolifere, poco inclini a divulgare il loro utilissimo impiego in stratigrafia. Fu così che si arricchirono enormemente le conoscenze delle molte successioni stratigrafiche con scarsi o prive di macrofossili e vennero abbandonate le teorie, spesso assai fantasiose, quale quella di un prevalente smescolamento tettonico «caotico» nella stratigrafia delle Argille Scagliose.

Nel 1954 usciva, a cura di A. Malatesta, la II Ediz. del Foglio III-Livorno del Servizio Geologico d'Italia, primo di questa seconda edizione che sarà quasi completata nei vent'anni successivi e alla quale io stesso ho partecipato nel Foglio 112-Volterra (stampato nel 1965) e nel Foglio 119-Massa M.ma (stampato nel 1969), insieme a due altri geologi della nuova generazione, P. Squarci (di Rosignano) e L. Taffi (di Cecina), formati alla scuola di L. Trevisan, ordinario di Geologia e Paleontologia a Pisa, e di E. Giannini, suo assistente e in seguito ordinario di Geologia e Paleontologia a Siena. La carta geologica con la relativa nota esplicativa di A. Malatesta ovviamente è nata nell'ambito della sintesi di G. Merla che ha rappresentato il massimo successo della teoria degli scivolamenti gravitativi che, come è stato argutamente osservato nel 1984 da L. Trevisan: «...è stata accettata quasi senza resistenze...» per questo motivo principale: «...andava bene sia per i faldisti che per gli autoctonisti ed anche per i mobilisti wegeneriani e per i fissisti. Agli autoc-

tonisti e ai fissisti appariva come un accettabile compromesso, perché muoveva la pelle lasciando ferme le ossa: ai faldisti consentiva di superare certe difficoltà inerenti alla meccanica dei movimenti».

Agli inizi degli anni Sessanta nell'ambito delle attività del Centro di Geologia dell'Appennino Settentrionale del CNR (allora con sede mista presso gli istituti di Geologia e Paleontologia di Firenze e di Pisa e sotto la direzione dei proff. G. Merla e L. Trevisan) fu deciso un nuovo studio geologico della Toscana Marittima, tra i fiumi Cecina e Cornia e la regione boracifera di Larderello, con lo scopo di rintracciare buone esposizioni stratigrafiche nelle quali eseguire analisi micropaleontologiche sia negli strati della Serie Toscana sia delle Argille Scagliose sia dei sedimenti dei cicli del Miocene Superiore, del Pliocene e del Pleistocene, ampiamente affioranti in quelle località e attraversati da molte perforazioni per il vapore e il salgemma. A quei lavori ho partecipato io stesso con note particolari eseguite da solo o in collaborazione con micropaleontologi e stratigrafi, inizialmente con A. Lazzarotto (di origine veneta ma di studi livornesi e pisani), L. Giannelli, G. Salvatorini ai quali in seguito si sono aggiunti A. Bossio (livornese) e R. Mazzei. I maggiori risultati di questo insieme di ricerche sono stati la pubblicazione delle sopra ricordate II Edizione dei Fogli 112-Volterra e 119-Massa M.ma per i tipi del Servizio Geologico d'Italia. Questo filone di ricerche è proseguito con la pubblicazione di una serie di volumi, tutti documentati da carte geologiche a colori in scala 1:25.000, che ho curato per il Museo di Storia Naturale della Provincia di Livorno e che costituiscono un tutto unico riunibile in una sola carta dell'intera parte continentale della Provincia di Livorno e di parte di quella di Pisa. In sintesi i criteri adottati per l'allestimento di queste carte considerano il territorio della Provincia di Livorno (Arcipelago compreso) come un tratto della Catena Paleoappenninica, sviluppatosi nell'Oligocene Superiore-Miocene Inferiore (Piano Aquitaniano) (tra 28 e 22 Ma) per effetto della collisione fra il Margine del Paleocontinente Europeo e la Microplacca Adria, promontorio nord-orientale del Paleocontinente Africano, ed entrata in regime di collasso post-collisionale a iniziare dalla fine del Miocene Inferiore (Burdigaliano Superiore tra 18 e 16 Ma), in conformità ai principi (definiti negli anni Sessanta e Settanta) della «Tettonica a placche crostali» secondo i quali la superficie della Terra è costituita da un mosaico di «placche» mobili; per cui, in relazione a come queste interagiscono, si genera nuova crosta oceanica, che si espande appunto

dalle dorsali centrooceaniche, mentre i continenti vanno alla deriva e possono scontrarsi formando le catene montuose iungo i margini di collisione, lungo i quali avvengono i sovrascorrimenti caratteristici delle aree orogenetiche.

Per quanto riguarda lo sviluppo geologico dell'Appennino Settentrionale (al quale appartiene l'intera area della Provincia di Livorno, tranne l'Isola di Gorgona, piccola appendice delle Alpi tra il Capo Corso e la Liguria di Ponente) sono rintracciabili gli effetti di deformazioni tettoniche verificatesi in fasi diverse a iniziare dalla fine del Cretaceo Inferiore (99 Ma), ed in ambienti paleogeografici differenti, con polarità orogenetica verso l'«avampaese» adriatico. I movimenti, verificatisi durante gli eventi pre e sin-collisionali, hanno contribuito alla costruzione di un edificio a falde tettoniche di ricoprimento. Esso prevede la presenza, al di sopra dell'Unità di Monticiano-Roccastrada, corrispondente nei sondaggi all'Unità della Toscana metamorfica, di una successione di unità alloctone che, quando completa, è costituita dal basso da:

a) Unità della Toscana non metamorfica (o Falda Toscana); b) Unità Subliguri, in quanto derivano dal Dominio Subligure; c) Unità Liguri. In quanto derivano dal Dominio Ligure; formate dall'Unità di Santa Fiora, dall'Unità ofiolitifera di Monteverdi Marittimo-Lanciaia, dall'Unità ofiolitifera delle Argille a «Palombini», nell'ordine di sovrapposizione tettonica. I termini b) e c), prima delle ricerche micropaleontologiche, venivano assemblati nell'unico complesso delle Argille Scagliose. Il corrugamento di queste unità (cioè il piegamento e l'accavallamento tettonico degli strati) si è verificato, procedendo dal Dominio Ligure verso l'avampaese adriatico, dal Cretaceo Superiore all'Eocene Superiore (tra 65 e 36 Ma), fino cioè alla completa chiusura del Bacino Ligure (una sorta di paleoceanico che si estendeva tra la Paleoeuropa e la Paleoafrica. Gli eventi deformativi che cadono in questo intervallo di tempo vengono indicati con il nome di «fasi liguri».

Nell'Oligocene Superiore si struttura, in corrispondenza del margine della Microplacca Adria, un sistema orogenetico di «catena-avanfossa» (=Paleoappennino-Paleoadriatico), che contraddistingue la fase collisionale. All'interno di tale sistema si sviluppa una sedimentazione, in prevalenza clastica (cioè detritica, sabbioso-limoso-argillosa), in bacini fortemente subsidenti, detti di avanfossa, posti tra la catena montuosa e l'avampaese, ed in bacini più piccoli, detti bacini satelliti, a più debole subsidenza, situati

sulla catena. Il sistema catena-avanfossa nord-appenninico ha subito, dall'Oligocene all'Attuale, una migrazione verso l'avampaese, con spostamento inizialmente verso Est e successivamente verso NE dei depocentri (=centri di maggiore sprofondamento tettonico), ampia rotazione antioraria e graduale ricoprimento e corrugamento dei settori di avanfossa più occidentali. Gli eventi deformativi che coincidono con la fase collisionale vengono indicati con il nome di «fasi appenniniche». La strutturazione della Catena Paleappenninica si verifica nel Miocene Inferiore. Durante tale evento si determina l'accavallamento delle Unità Subliguri e Liguri sul Dominio Toscano: quest'ultimo subisce un forte corrugamento e va a sovrapporsi al Dominio Umbro-Marchigiano. La Catena Paleappenninica, pertanto, nel Miocene Inferiore si configura come un edificio a falde di ricoprimento che sarà, più tardi, in gran parte smantellato dalla tettonica distensiva (postcollisionale). Essa si è sollevata in un'area ben più occidentale rispetto a quella nella quale si estende la Catena Appenninica attuale. L'assetto strutturale della Toscana ad occidente della Catena Appenninica attuale è dominato dalle deformazioni collegate alla tettonica distensiva post-collisionale che nel Neogene e nel Quaternario (negli ultimi 18 Ma) ha determinato il collasso e lo smembramento di questo ampio settore dell'Appennino Settentrionale. Recenti studi sul Tirreno Settentrionale e sui depositi epiliguri (cioè sedimentati al di sopra delle Unità Liguri) della Toscana Marittima (Isola di Pianosa compresa) pongono l'inizio degli eventi deformativi in regime di distensione alla fine del Miocene Inferiore. A iniziare da questo momento sono stati distinti nella Toscana Marittima due diversi eventi distensivi: durante il primo evento, riferito ad un intervallo di tempo compreso tra il Miocene Inferiore ed il Superiore (tra 16 e 6 Ma), si è verificata una denudazione della crosta superiore ad opera di faglie dirette a basso angolo e geometria complessa; ne è derivata una situazione geometrica molto caratteristica, nota con il nome di «serie ridotta», che consiste nella elisione di forti spessori di successione stratigrafica e nella diretta ed anomala sovrapposizione delle Unità Liguri direttamente sulla formazione anidritica del Trias Superiore (210-200 Ma) o addirittura sui termini superiori dell'Unità di Monticiano-Roccastrada. Il grado di estensione è di almeno il 60%. Durante il secondo evento, che è riferito ad un intervallo di tempo iniziato durante la parte superiore del Miocene Superiore (circa 6 Ma), si sono sviluppate faglie a geometria listrica (cioè ripide in su-

perficie e appiattendesi in profondità, secondo i dati dei sondaggi e dei rilievi geofisici) che hanno dato origine ad un sistema di fosse tettoniche, subparallele, allungate in direzione da S-N a SE-NW, la cui apertura non si è verificata contemporaneamente ma è proceduta con gradualità da occidente ad oriente.

Il grado di estensione calcolato in questo secondo evento è sensibilmente inferiore a quello del primo e si aggira su un valore di circa il 7%.

Nella Toscana Marittima esiste un'ampia documentazione attestante che lo sviluppo sedimentario neogenico-quaternario è stato in gran parte condizionato da movimenti verticali della crosta, indotti dalla tettonica distensiva post-collisionale, con conseguenti variazioni relative del livello del mare. Molto più difficile è invece documentare, in sedimenti che siano stati notevolmente interessati dall'attività tettonica, gli effetti di una ciclicità del livello del mare derivante dalle variazioni delle masse glaciali per fattori climatici e della circolazione oceanica.

Sulla base delle analisi degli ambienti di sedimentazione e della identificazione delle discontinuità di carattere regionale è stato possibile suddividere la «Successione sedimentaria neogenicoquaternaria del versante tirrenico dell'Appennino Settentrionale» (ex «Successione Neoautoctona» per gli specialisti di vecchia maniera ancora convinti della presenza effettiva in profondità di un autoctono toscano) in otto unità deposizionali (dette UBSU; oggi giorno nessuno si salva dalle sigle!). A queste si aggiunge un'unità deposizionale in precedenza indicata come «epiligure» e corrispondente all'Arenaria di Ponsano, (località presso Volterra) nella quale affiora questo sedimento secondo lo schema seguente nell'ordine dall'alto: Unità di Chiani-Tevere-Montescudaio (Pleistocene Inferiore), Unità Pliocene III (Pliocene Superiore o, più correttamente, Villafranchiano Inferiore in quanto continentale), Unità Pliocene II (Pliocene Medio, presente a Pianosa e a Sud di Volterra), Unità Pliocene I (Pliocene Inferiore e Medio), Unità Lago-mare (Miocene Superiore), Unità di Castelnuovo (Miocene Superiore), Unità dell'Acquabona-Spichiaiola (Miocene Superiore), Unità del «Lignitifero» (Miocene Superiore, o, più correttamente, Turliano in quanto continentale), Unità di Ponsano (Miocene Medio, nel Grossetano, nel Senese e nel Volterrano) all'Isola di Pianosa Miocene Inferiore-Medio.

Quest'ultima stringata sintesi dell'Appennino Settentrionale è opera di A. Lazzarotto, attualmente ordinario di Geologia a Siena, e comparirà nelle note illu-

strative dei Fogli a scala 1:50.000 Pomarance (a cura del prof. F. Sandrelli), Massa M.ma (a cura del prof. A. Costantini), e dei Fogli di Volterra e di Rosignano M.mo (a cura mia).

Bibliografia

- [1] E. Argand, Sur l'arc des Alpes occidentales. *Eclogae Geol. Helv.* 14, 1916: 146-204.
- [2] M. Bertrand, Rapports des structures des Alpes de Glarus et du bassin houiller du Nord. *Bull. Soc. Géol., France*, 12, 1884: 318-330.
- [3] L. De Launay, La métallogénie de l'Italie et des régions avoisinantes, II. Note sur la Toscane minière et l'île d'Elbe. *X Congr. Géol. Internaz., Mexico*: 1907.
- [4] G. Merla, Geologia dell'Appennino settentrionale. *Boll. Soc. Geol. It.*, 70 (1951), 1952: 95-382.
- [5] C.I. Migliorini, Considerazioni su di un particolare effetto dell'orogenesi. *Boll. Soc. Geol. It.*, 52, 1933: 25-48.
- [6] Penta F., Sulle argille scagliose. *Atti 42° Riunione Soc. Ital. Progr. Sc. (1949)*, Roma: 1950.
- [7] Steinmann G., Alpen und Apennin. *Monatsber der Deutsch Geol. Ges.* 59, 1907: 177-183.
- [8] A. Wegener, *La Genèse des continents et de océans* (trad. Lerner). Parigi: 1915.

Modificazioni ambientali e faunistiche durante l'Olocene sull'Isola di Pianosa (Arcipelago Toscano, Italia): le evidenze malacologiche

Emiliano Carnieri*¹, Michelangelo Bisconti²

Parole chiave: isola di Pianosa, malacofauna, Olocene

È stata effettuata una comparazione tra la malacofauna terrestre rinvenuta negli strati neolitici (circa 6.300 B.P.) di Grotta Giovanna e Cala Giovanna Piano (Cala San Giovanni) e quella attuale. Si è evidenziato un cambiamento considerevole nella composizione tassonomica della comunità dei molluschi terrestri che probabilmente riflette un cambiamento complessivo degli ecosistemi dell'Isola. Vengono formulate delle ipotesi sulle relazioni biogeografiche tra la malacofauna dell'Isola di Pianosa e quelle delle altre isole dell'Arcipelago Toscano. Un confronto è stato eseguito anche sulla malacofauna marina confermando l'ipotesi che durante l'Olocene si sono verificati significativi cambiamenti della distribuzione biogeografica di molte specie.

Introduzione

L'isola di Pianosa è situata nel Mar Tirreno settentrionale e fa parte delle sette Isole dell'Arcipelago Toscano (Capraia, Elba, Pianosa, Giannutri, Giglio, Gorgona e Montecristo). È situata a tredici chilometri a Sud dell'Isola d'Elba, cinquanta dalla costa continentale e quaranta dalla Corsica. Da un punto di vista strutturale costituisce una piccola porzione emersa della dorsale Elba-Pianosa (anche detta Dorsale o Altofondo di Pianosa), che separa il bacino della Corsica dalla piattaforma toscana. Tale dorsale si allunga dallo «Scoglio d'Africa» (alcuni chilometri ad ovest dell'Isola di Montecristo) in direzione Nord-Sud, chiudendosi pochi chilometri ad Est dell'Isola di Capraia. L'Isola di Pianosa si distingue dalle altre isole dell'Arcipelago, tutte con morfologia collinare-montuosa, per il suo andamento peneplanare. Un'altra peculiarità è che Pianosa è l'unica ad essere costituita esclusivamente da terreni sedimentari di età neogenico-quadernaria.

In questi ultimi anni, a seguito della chiusura della

colonia penale nel 1998, si sono succeduti numerosi studi e progetti di riqualificazione dell'isola, che ben si presta, per sua natura, alla ricerca in vari ambiti disciplinari. Il primo agosto del 2006 la Provincia di Livorno ha approvato con Deliberazione di Giunta n. 193 il «Progetto Pianosa» che si propone, attraverso la compartecipazione di più linee finanziarie, di af-

gli autori

¹ Museo di Storia Naturale del Mediterraneo, Via Roma, 234 57127 Livorno
e.carnieri@provincia.livorno.it

² Museo di Storia Naturale del Mediterraneo, Via Roma, 234 57127 Livorno
zoologia.museo@provincia.livorno.it

* autore per corrispondenza

frontare il problema del suo sviluppo, cercando simultaneamente di salvaguardare l'ambiente naturale, promuovere un turismo eco-compatibile ed incentivare la ricerca. Anche in questo quadro si inserisce il presente studio che in particolare pone l'attenzione sui cambiamenti climatici e ambientali, cercando, ove è possibile, di individuare il rapporto tra le modificazioni ecologiche dell'Isola e l'azione umana.

Il presente lavoro costituisce il primo contributo di un'attività di ricerca sull'Isola che, partendo dai dati archeozoologici, zoologici, paleoclimatici e climatici attuali, ha lo scopo di analizzare e interpretare il cambiamento nella composizione tassonomica della comunità dei molluschi terrestri che probabilmente riflette un mutamento complessivo degli ecosistemi dell'Isola. È stato eseguito uno studio anche sulla malacofauna marina confermando l'ipotesi che durante l'Olocene si sono verificati significativi cambiamenti della distribuzione biogeografica di molte specie.

Materiali e metodi

Nel periodo luglio-settembre 2007 il personale scientifico del Museo di Storia Naturale del Mediterraneo ha effettuato la prima campagna di ricerca sulla malacofauna terrestre e marina dell'isola di Pianosa per effettuare uno studio sistematico, ecologico e biogeografico, aggiornando i dati presenti in letteratura [1, 2] e confrontando le specie attualmente presenti con quelle provenienti dallo scavo archeologico del sito neolitico di Cala Giovanna Piano [3, 4], condotto dalle Università di Pisa e Corte, in collaborazione con la Soprintendenza, dal 1997 al 2004. Durante questa prima campagna di ricerca il prelievo della malacofauna terrestre è stato effettuato in 15 stazioni lungo la costa dell'Isola e in una interna, mentre i campioni di malacofauna marina sono stati raccolti in 5 stazioni (figura 1).

È stato realizzato, inoltre, un primo censimento *in situ* delle specie marine presenti in località Cala San Giovanni, durante il quale è stata individuata una popolazione di *Pinna nobilis* L. (figura 2).

In questa fase gli esemplari raccolti sono costituiti da nicchi vuoti, poiché lo studio, per adesso, non necessita di analisi su individui prelevati ancora vivi. La classificazione degli esemplari è stata effettuata attraverso un confronto con quelli della collezione malacologica del Museo di Storia Naturale del Mediterraneo e l'utilizzo di lavori specializzati e atlanti [5, 6]. Sono stati presi in considerazione anche esemplari



Figura 1: Immagine satellitare dell'Isola di Pianosa; i pallini neri rappresentano le stazioni di raccolta della malacofauna terrestre durante le ricerche del 2007, mentre i quadratini rossi quelle della malacofauna marina.



Figura 2: Due esemplari di *Pinna nobilis* (freccie) a circa tre metri di profondità.

frammentari per avere dati più completi e il conteggio è stato effettuato prendendo in considerazione gli esemplari con umbone [7].

Risultati

Lo studio della malacofauna terrestre e marina ha fornito notizie importanti sulle caratteristiche pa-

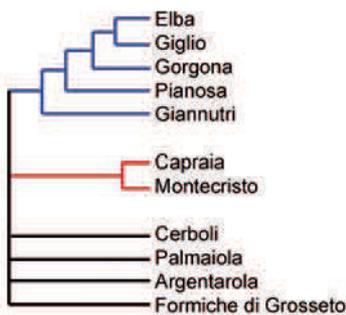


Figure 3 e 4: Cladogramma e distribuzione della malacofauna secondo la Parsimony Analysis of Endemicity (PAE).

leoambientali e climatiche dell'Isola di Pianosa [3, 4]. Infatti, le specie raccolte nel sito neolitico di Cala Giovanna Piano sono ancora viventi e, confrontandole con quelle che costituiscono i diversi ecosistemi attuali [8], è stato possibile ricostruire l'ambiente pianosino di oltre 6000 anni fa. Le analisi indicano un ambiente diversificato caratterizzato dalla presenza di dune costiere, bosco, prato, campo coltivato e habitat rocciosi. Da segnalare la presenza importante di specie tipiche di ambienti particolarmente umidi (*Ferussaccia paulucciana*, *Pleuropunctum micropleurum*, *Hygromia cincitella*) che suggerisce una certa piovosità stagionale in grado di creare microhabitat tali da consentirne la sopravvivenza. La campagna di raccolta del luglio-settembre 2007 e quelle future consentiranno di effettuare un confronto tra i dati attuali e quelli del sito neolitico. Inoltre, partendo dai dati del 1970, si cercherà in un lavoro futuro di individuare eventuali variazioni nella composizione tassonomica e nella distribuzione dei molluschi terrestri di Pianosa, determinate dalla progressiva aridità registrata negli ultimi venti anni (Nicotra com. pers.).

Le malacofaune pubblicate negli anni '70 [1] sono state utilizzate nell'ambito di uno studio finalizzato all'individuazione delle relazioni biogeografiche intercorrenti tra i molluschi delle varie isole dell'Arcipelago Toscano. Le forme listate in letteratura [1] sono state ridenominate in accordo a tassonomie più aggiornate e sono state inserite all'interno di una matrice di presenza/assenza in cui ad ogni isola è stato associato un contenuto malacologico. Questa matrice è stata sottoposta ad una analisi denominata *Parsimony Analysis of Endemicity* (PAE). Sviluppata negli anni '80 [9, 10], questa analisi è finalizzata alla rico-

struzione di un diagramma ad albero nel quale a ciascun ramo terminale è associato il nome di una delle isole considerate e in cui il *pattern* di ramificazione e la posizione relativa dei vari rami terminali corrispondono a precise relazioni di affinità biogeografica basate su condivisione di taxa. L'analisi è stata condotta utilizzando il program-

ma PAUP 4.10b [11] e tenendo presente i limiti della PAE evidenziati nella letteratura più recente [12].

Conclusioni

Il risultato dello studio consiste nel cladogramma presentato in Figura 3 dove si osserva una particolare affinità biogeografica tra le isole di Capraia e Montecristo e un grande clade nel quale sono incluse l'Elba, il Giglio, Gorgona, Pianosa e Giannutri. L'interpretazione di questo cladogramma è piuttosto complessa dato che apparentemente isole lontane come Capraia e Montecristo mostrano maggiore affinità di isole vicine come Capraia e Elba o Montecristo e Pianosa.

È probabile che particolari fattori batimetrici (fig. 4) e ecologici possano interpretare la distribuzione delle malacofaune analizzate e che questi fattori possano almeno in parte spiegare le affinità particolari osservate in queste isole. È già stato dimostrato infatti che l'estensione delle isole insieme con peculiarità ecologiche possono influenzare i risultati di una PAE [13]. Il grande *clade* che include Elba, Giglio, Gorgonia, Pianosa e Giannutri suggerisce la possibilità che in passato queste isole potessero formare un unico grande ecosistema con costante flusso genico tra un'isola e l'altra che, attraverso fenomeni di risalita del livello del mare associati alla fine dell'ultima glaciazione, è poi andato incontro a frammentazione con isolamento di singoli ecosistemi nei quali l'evoluzione delle comunità malacologiche è proceduta indipendentemente.

A questo livello, la PAE può fornire solo un primo elemento di studio e di riflessione; essa va integrata con modelli teorici di diffusione delle faune che fac-

ciano più largo uso di dati geodinamici grazie ai quali i risultati ottenuti possano essere testati e valutati positivamente o negativamente. Studi futuri utilizzeranno queste informazioni e anche dati di natura archeologica in grado di fornire indicazioni sull'evoluzione delle comunità malacologiche negli ultimi 5000 anni.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare la dott. Irene Nicotra per i dati climatici e la dott. Jessica Viacava per la realizzazione della fotografia in figura 2.

Bibliografia

- [1] F. Giusti, *Lav. Soc. ital. Biogeogr.* 1970.
- [2] F. Giusti, *Lav. Soc. ital. Biogeogr.* 1976, 5: 99.
- [3] E. Carnieri, B. Zamagni, La malacofauna marina di Pianosa, Cala Giovanna Piano. In: *Il primo popolamento olocenico dell'area corso-toscana*. Edizioni ETS, Pisa: 2000.
- [4] M. Bisconti, Malacologia del sito di Cala Giovanna Piano: paleoecologia, paleobiogeografia e prelievo antropico. In: *Preistoria e protostoria dell'area tirrenica*. Felici Editore, Pisa: 2007.
- [5] G. Repetto, F. Orlando, G. Arduino, *Conchiglie del Mediterraneo*. Museo F. Eusebio, Alba: 2005.
- [6] T. Cossignani, G. Cossignani, *Atlante delle conchiglie terrestri e dulciacquicole italiane*. L'informatore Piceno, Ancona: 1995.
- [7] P. Kouloury, C. Dounas, C. Arvanitidis, D. Koutsoubas, *Scientia Marina* 2006, 15: 573.
- [8] G. Zanchetta, F. P. Bonadonna, F. Marcolini, A. Campalini, A. Fallick, G. Leone, L. Michelucci, *Boll. Soc. Paleont. It.* 2004, 18: 331.
- [9] B. Rosen, From fossils to earth history: applied historical biogeography. In: *Analytical Biogeography: an integrated approach to the study of animal and plant distributions*. Chapman and Hall, London: 1988.
- [10] B. Rosen, A. Smith, Tectonics from fossils? Analysis of reef-coral and sea-urchin distributions from late Cretaceous to Recent using a new method. In: *Gondwana and Tethys. Special Publication of the Geological Society of London* 1988, 37: 275.
- [11] D. Swofford, PAUP* Phylogenetic Analysis Using Parsimony (*and other methods). Version 4. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts: 2002.
- [12] D. Brooks, M. Van Veller, *Journal of Biogeography* 2003, 30: 819.
- [13] M. Bisconti, W. Landini, G. Bianucci, G. Cantalamessa, G. Carnevale, L. Ragaini, G. Valleri, *Journal of Biogeography* 2001, 28: 495.

La xenodiversità animale delle acque interne italiane: la situazione in Toscana

Elena Tricarico*¹, Simone Cianfanelli², Elisabetta Lori², Annamaria Nocita²,
Francesca Gherardi¹

Parole chiave: acque interne, specie non-indigene, Toscana

Le acque interne sono particolarmente vulnerabili alle invasioni biologiche a causa di una molteplicità di fattori, tra i quali lo stretto legame con le attività umane e la rapidità di dispersione delle specie acquatiche. Come conseguenza di questo fenomeno, che si somma alla perdita e alla frammentazione degli habitat, all'inquinamento e allo sfruttamento delle risorse ittiche da parte dell'uomo, la riduzione della biodiversità nelle acque interne mondiali sta avvenendo più rapidamente che negli ecosistemi terrestri. Questo lavoro ha come obiettivo quello di tracciare un quadro generale della «xenodiversità» in Toscana. Nella lista qui presentata sono stati inclusi invertebrati (liberi o parassiti), pesci, e anche anfibi, rettili, uccelli e mammiferi legati all'acqua per il completamento del loro ciclo vitale. In Toscana, la xenodiversità animale consta di 48 specie (delle 112 registrate in Italia) che rappresentano più del 3% della fauna dulcacquicola regionale. Tra queste, 11 specie sono incluse nella lista dei più pericolosi invasori delle acque interne. In analogia con quanto osservato in Italia e in Europa, i pesci risultano essere il taxon più colpito tra i vertebrati, mentre i crostacei e i molluschi tra gli invertebrati. Il bacino dell'Arno presenta il maggior numero di specie non-indigene, ma è il bacino del Serchio-Magra ad avere la più alta densità di specie non-indigene. Le attività di pesca e di acquacoltura, molto sviluppate soprattutto nella zona del Serchio-Magra, rappresentano probabilmente le principali cause di arrivo di nuove specie in Toscana. Ulteriori studi sono necessari per approntare mirati interventi di gestione verso le specie non-indigene già stabilizzate e per identificare i nuovi potenziali invasori delle acque toscane.

Introduzione

I cambiamenti nella distribuzione delle specie sono eventi naturali, che spesso si realizzano nel corso dei tempi geologici in associazione con i fenomeni climatici [8,9]. Tuttavia, l'intervento dell'uomo come agente di dispersione è più frequente e potente dei fenomeni naturali. L'azione umana ha infatti incrementato il tasso temporale con cui le specie si diffondono e le distanze che possono percorrere, realizzando in pochi decenni quello che non si sarebbe mai potuto compiere per effetto esclusivo di eventi naturali [14]. La frequenza delle introduzioni cau-

sate dall'azione antropica è aumentata in modo esponenziale negli ultimi anni, come risultato della crescita della popolazione umana e dell'incremento delle potenzialità di intervento sull'ambiente. Un numero crescente di persone si muove più frequentemente e un sempre maggior volume di beni e di materiali è traslocato tra nazioni e continenti [17]. La combinazione di questi fattori ha determinato la comparsa di un numero crescente di specie non-indigene in tutti gli ecosistemi fino ad oggi censiti. Si stima che oltre 480000 specie non-indigene siano state introdotte nei vari ecosistemi del pianeta [17] e che queste siano arrivate a dominare negli ultimi 500 anni circa il

3% della sua superficie [8,9]. La dominanza delle specie non-indigene nei vari sistemi è rafforzata dai cambiamenti climatici, che tendono a favorirne la diffusione naturale e la proliferazione [6]. Recentemente, è stato stimato che le specie che l'uomo, per via accidentale o deliberata, introduce annualmente al di fuori del loro areale naturale di distribuzione oscillano tra le 100 e le 10000 unità [14].

Molteplici vettori possono trasportare le specie non-indigene, quali l'acquacoltura, l'agricoltura e il commercio di animali da compagnia, ma anche il mercato tramite web [8,9]. La deregolarizzazione degli scambi nazionali e internazionali ha inoltre indebolito le barriere per il commercio e la sorveglianza. Infine, l'impatto delle specie introdotte è stato reso inizialmente più intenso dal ritardo con cui il comportamento umano e le norme sociali hanno risposto ai nuovi rischi [8,9]. Mentre alcune specie non-indigene producono effetti neutrali o apportano apparenti benefici agli ecosistemi, altre possono diventare invasive, esercitando un impatto ecologico rilevante con l'estinzione locale di specie native e l'alterazione dei processi propri degli ecosistemi invasi [14]. Le specie invasive producono inoltre costi diretti alle attività produttive: è stato stimato che le specie non-indigene producono negli Stati Uniti un danno monetario complessivo di 137 miliardi di dollari l'anno [17], mentre in Italia il controllo della sola nutria per i danni ai canali e ai sistemi di irrigazione costa tra i 2 e i 4 milioni di Euro (P. Genovesi, comunicazione personale). Infine, le specie invasive possono favorire la diffusione di virus, batteri e altri parassiti che agiscono sulla salute dell'uomo [8,9].

Le acque interne rappresentano per l'uomo una risorsa indispensabile e di valore illimitato. Laghi, fiumi e aree umide contribuiscono per il 20% al valore globale dell'intera biosfera, che si stima ammontare a 33000 miliardi di dollari americani per anno [8,9]. Valori così elevati giustificano l'attuale preoccupazione per il degrado dei sistemi dulcacquicoli (come peraltro espresso dalla Direttiva Europea nel settore delle acque n. 2000/60). Questo appare inevitabilmente legato al rapido tasso di estinzione della biodiversità dulcacquicola [8,9], che si stima superiore alla velocità di estinzione di specie negli ecosistemi terrestri e marini [8,9]. A livello globale le acque interne sono state oggetto di ben note invasioni biologiche (per una revisione completa vedi [8,9]), come l'introduzione della perca del Nilo, *Lates niloticus*, nel Lago Vittoria con la conseguente estinzione di circa 200 specie di ciclidi endemici, l'alterazione del-

le comunità indigene dei Grandi Laghi americani per effetto della lampreda di mare, *Petromyzon marinus*, e della cozza zebrata, *Dreissena polymorpha*. In ambiente dulcacquicolo sono in corso anche invasioni meno note, ma altrettanto dannose, quali quelle del gambero americano *Procambarus clarkii* [7], dell'anfipode *Dikerogammarus villosus*, di varie specie di pesci, quali *Lepomis gibbosus* e *Carassius auratus*, e di *Rana catesbeiana* [8,9]. Le cause di tale vulnerabilità alla colonizzazione di specie non-indigene sono da ascrivere alla forte affinità tra l'uomo e i corsi d'acqua, in costante intensificazione (come effetto delle attività commerciali, del trasporto e della ricreazione [9]), e alle capacità dispersive delle specie dulcacquicole [9]. I sistemi dulcacquicoli sono soggetti, soprattutto alle nostre latitudini, a modificazioni nel regime termico stagionale, come risultato del riscaldamento globale, e, anche nei paesi in via di sviluppo, a un forte disturbo antropico.

Per una gestione migliore delle specie non-indigene è quindi necessario comprendere la dinamica e le cause del loro arrivo al fine di prevenire o controllare future invasioni e ridurre i loro effetti. In prima istanza è necessario conoscere la xenodiversità (vedi [13] per il significato del termine) presente nell'area interessata: attualmente in Europa sono in corso progetti che indagano la situazione nelle acque interne e marine europee (DAISIE: «Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe») e in acquacoltura (IMPASSE: «Environmental Impacts of Alien Species in Aquaculture»). In Italia, recentemente è stata

gli autori

¹ Dipartimento di Biologia Animale e Genetica, Università di Firenze, via Romana 17, 50125 Firenze
elena.tricarico@unifi.it
francesca.gherardi@unifi.it

² Museo di Storia Naturale, Sezione di Zoologia «La Specola», Università di Firenze, Via Romana 17 50125 Firenze
simone.cianfanelli@unifi.it
elisabetta.lori@unifi.it
nocita@unifi.it

* autore per corrispondenza

stilata la prima lista di specie non-indigene delle acque interne [11], analizzandone tempi, cause e modalità d'ingresso e distribuzione attuale. Nel complesso, è emerso che la xenodiversità animale italiana consta di 112 specie che costituiscono circa il 2% dell'intera fauna. Il trasporto accidentale, in associazione con partite di pesci per semina o di prodotti cerealicoli, è stata la principale causa d'ingresso degli invertebrati, mentre i vertebrati sono stati prevalentemente rilasciati in natura per via intenzionale. I continenti di origine delle specie non-indigene sono soprattutto Asia, Nord America e il resto dell'Europa, mentre le regioni italiane più colpite sono quelle del Nord e del Centro. L'obiettivo del presente lavoro è stato quello di analizzare in via preliminare la situazione nelle acque interne della Toscana, una delle regioni più colpite del Centro Italia.

Materiali e metodi

La lista è stata compilata sulla base delle informazioni reperibili nella letteratura scientifica; le informazioni raccolte sono state validate da esperti e implementate. Sulla base delle «Linee guida per la reintroduzione e il ripopolamento di specie animali e vegetali di interesse comunitario» (Ministero dell'Ambiente, 14 Febbraio 2006), sono state considerate non-indigene quelle specie arrivate in Italia dopo la scoperta dell'America (vedi [5]). Sono stati analizzati anfibi, rettili, uccelli e mammiferi legati all'acqua per il completamento del loro ciclo vitale, invertebrati (parassiti e non) e pesci. Per acque interne si intendono tutte le acque ferme e correnti sulla superficie terrestre (Direttiva 2000/60/EC del Parlamento Europeo e del Consiglio che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque). Nell'analisi sono state considerate le specie non native dell'Italia [5] e non le traslocate (specie introdotte da altri bacini italiani). Tra le specie non-indigene presenti in Toscana, sono state considerate «endemiche» quelle presenti solo in Toscana, «pandemiche» quelle presenti in almeno 15 regioni italiane. Dove possibile, per ognuna è stata indicata la distribuzione nei quattro bacini più importanti della Toscana: Arno, Serchio-Magra, Ombrone-Fiora, Tevere. Per le analisi statistiche sono stati utilizzati il G test con la correzione di Williams (G) e il test di Student per un campione (t). Il livello di significatività per il quale l'ipotesi nulla viene rigettata è $\alpha = 0.05$.

Risultati

In Toscana, sono presenti 48 delle 112 specie non-indigene segnalate in Italia (Tabella 1), senza alcuna significativa differenza tra vertebrati (29) e invertebrati (19) per la loro frequenza specifica ($G=2.08$, $df=1$, $P>0.1$). Come in Europa e nell'intera Italia, anche in Toscana gli Osteitti rappresentano tra i vertebrati il taxon più affetto da xenodiversità (figura 1A,B,C), con 24 specie non-indigene presenti contro le 19 autoctone. In Toscana, sono inoltre presenti 13 specie ittiche originarie del versante padano-veneto, ma traslocate nella nostra regione. Nel caso degli invertebrati, analogamente a quanto osservato in Europa e in Italia, i crostacei (6) e i molluschi (8) sono i taxa in cui le specie non-indigene costituiscono una frazione più elevata. Sono inoltre presenti due specie di invertebrati parassiti dei pesci (*Anguillicola crassus* e *Gyrodactylus salaris*). La figura 1A illustra il contributo di ogni taxon alla xenodiversità delle acque interne della Toscana, mentre la Tabella 2 mostra la frazione di specie non-indigene per taxon. I pesci, seguiti da mammiferi, rettili, crostacei Decapoda e crostacei Cladocera sono i taxa maggiormente affetti. La percentuale di specie non-indigene è maggiore nei vertebrati (29/92: 31.52%) che negli invertebrati (19/1389: 1.37%). Complessivamente, le specie non-indigene contribuiscono per il 3.2% alla fauna presente nelle acque interne toscane (1481 specie secondo stime di [1,2,4,16,18,19]). Il mollusco gasteropode *Helisoma anceps* (Henrard 1968) e il crostaceo Copepode *Apocyclops panamensis* possono essere considerati «endemici alieni»: il primo è riportato come sporadico solo nella nostra regione [4], il secondo è stato individuato solo nel Lago di Massaciuccoli [3]. Inoltre, in Toscana sono presenti 2 vertebrati (*Oncorhynchus mykiss*, *Rattus norvegicus*) e 4 invertebrati (*Anguillicola crassus*, *Gyrodactylus salaris*, *Haitia acuta* e *Potamopyrgus antipodarum*) non-indigeni «pandemici». Dal confronto tra i 4 maggiori bacini della Toscana, l'Arno presenta il numero maggiore di specie aliene, seguito dal bacino dell'Ombrone-Fiora, del Serchio-Magra e del Tevere ($G=26.57$, $df=3$, $P<0.001$) (figura 2A). Rapportando il numero di specie aliene presenti nel bacino all'estensione di quest'ultimo (la densità), risulta che il bacino del Serchio-Magra è il più invaso, seguito dal bacino dell'Arno, dell'Ombrone-Fiora e del Tevere ($t=4.23$, $df=3$, $P=0.02$) (figura 2B).

Tabella 1: Le specie non-indigene nelle acque interne della Toscana

Phylum/Divisione	Famiglia	Specie	Descrittore	Area nativa
Cnidaria	Olinidiidae	<i>Craspedacusta sowerbyi</i>	Lankester, 1880	Cina
Platyhelminthes/ Monogenea	Gyrodactylidae	<i>Gyrodactylus salaris</i>	Malmberg, 1957	Baltico
Nematoda/Secernentea	Anguillicolae	<i>Anguillicola crassus</i>	Kuwahara, Niimi & Itagaki, 1974	Est Asia
Mollusca/Gastropoda	Ancylidae	<i>Ferrissia wautieri</i>	(Miroli, 1960)	Nord America
Mollusca/Gastropoda	Hydrobiidae	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	(J.E. Gray, 1843)	Nuova Zelanda
Mollusca/Gastropoda	Physidae	<i>Haitia acuta</i>	(Draparnaud, 1805)	Nord America
Mollusca/Gastropoda	Planorbidae	<i>Gyraulus chinensis</i>	(Dunker, 1848)	Asia
Mollusca/Gastropoda	Planorbidae	<i>Helisoma duryi</i>	(Wetherby, 1879)	Nord America
Mollusca/Gastropoda	Thiaridae	<i>Melanoides tuberculata</i>	(O.F. Müller, 1774)	Sud Asia, Africa
Mollusca/Bivalvia	Dreissenidae	<i>Dreissena polymorpha</i>	(Pallas, 1771)	Regione Ponto-Caspica
Mollusca/Bivalvia	Unionidae	<i>Anodonta woodiana</i>	(Lea, 1834)	Est Asia
Arthropoda/Crustacea/ Cladocera	Chydoridae	<i>Alona rustica</i>	Scott, 1895	Francia, Nord Europa, Spagna, Gran Bretagna
Arthropoda/Crustacea/ Cladocera	Daphniidae	<i>Daphnia ambigua</i>	Scourfield, 1947	Nord-Sud America
Arthropoda/Crustacea/ Cladocera	Macrothricidae	<i>Wlassicsia panonica</i>	Daday, 1904	Est Europa, Kazakhistan
Arthropoda/Crustacea/ Cladocera	Moinidae	<i>Moina affinis</i>	Birge, 1893	Nord America
Arthropoda/Crustacea/ Copepoda	Cyclopidae	<i>Apocyclops panamensis</i>	(Marsh, 1913)	Sud America
Arthropoda/Crustacea/ Decapoda	Cambaridae	<i>Procambarus clarkii</i>	(Girard, 1852)	Centro-Sud USA, Nord-Est Messico
Arthropoda/Hexapoda/ Coleoptera	Sphaeriidae	<i>Cryptopleurum subtile</i>	(Girard, 1852)	Est Asia
Arthropoda/Hexapoda/ Diptera	Culicidae	<i>Aedes albopictus</i>	(Skuse, 1894)	Sud-Est Asia
Pisces	Centrarchidae	<i>Lepomis gibbosus</i>	(Linnaeus, 1758)	Nord America
Pisces	Centrarchidae	<i>Micropterus salmoides</i>	Lacépède, 1802	Nord America
Pisces	Cyprinidae	<i>Abramis brama</i>	(Linnaeus, 1758)	Europa
Pisces	Cyprinidae	<i>Aspius aspius</i>	(Linnaeus, 1758)	Europa
Pisces	Cyprinidae	<i>Barbus barbus</i>	(Linnaeus, 1758)	Europa
Pisces	Cyprinidae	<i>Barbus graellsii</i>	Steindachner, 1866	Nord Spagna
Pisces	Cyprinidae	<i>Blicca bjoerkna</i>	(Linnaeus, 1758)	Europa
Pisces	Cyprinidae	<i>Carassius auratus</i>	(Linnaeus, 1758)	Asia centrale, Cina, Giappone
Pisces	Cyprinidae	<i>Carassius carassius</i>	(Linnaeus, 1758)	Europa, Nord-Centro Asia
Pisces	Cyprinidae	<i>Ctenopharyngodon idella</i>	(Valenciennes, 1844)	Asia, Est Europa
Pisces	Cyprinidae	<i>Cyprinus carpio</i>	(Linnaeus, 1758)	Cina, Est Europa, India, Sud-Est Asia, Siberia
Pisces	Cyprinidae	<i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	(Richardson, 1836)	Cina
Pisces	Cyprinidae	<i>Pseudorasbora parva</i>	(Schlegel, 1842)	Est Asia
Pisces	Cyprinidae	<i>Rhodeus sericeus</i>	(Pallas, 1776)	Asia, Europa
Pisces	Cyprinidae	<i>Rutilus rutilus</i>	(Linnaeus, 1758)	Europa
Pisces	Ictaluridae	<i>Ameiurus melas</i>	(Rafinesque, 1820)	Nord America
Pisces	Ictaluridae	<i>Ictalurus punctatus</i>	(Rafinesque, 1818)	Nord America
Pisces	Percidae	<i>Sander lucioperca</i>	(Linnaeus, 1758)	Centro-Est Europa, Ovest Asia
Pisces	Poeciliidae	<i>Gambusia holbrooki</i>	Girard, 1859	USA
Pisces	Salmonidae	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	(Walbaum, 1792)	Est Asia, Nord America
Pisces	Salmonidae	<i>Salmo trutta trutta</i> (Atlantic lin.)	Linnaeus, 1758	Asia, Europa
Pisces	Salmonidae	<i>Salvelinus fontinalis</i>	(Mitchill, 1814)	Nord America
Pisces	Salmonidae	<i>Thymallus thymallus</i>	(Linnaeus, 1758)	Bacino del Danubio
Pisces	Siluridae	<i>Silurus glanis</i>	Linnaeus, 1758	Asia, Europa
Amphibia	Ranidae	<i>Rana catesbeiana</i>	Shaw, 1802	Nord America
Reptilia	Emydidae	<i>Trachemys scripta</i>	(Schoeppf, 1792)	Colombia, Messico, USA, Venezuela
Aves	Anatidae	<i>Cygnus olor</i>	(Gmelin, 1789)	Europa, Asia
Mammalia	Muridae	<i>Rattus norvegicus</i>	(Berkenhout, 1769)	Cina, Siberia
Mammalia	Myocastoridae	<i>Myocastor coypus</i>	(Molina, 1782)	Sud America

Tabella 2: Numero delle specie non-indigene (NIS) e delle indigene (IS) rilevate nelle acque interne della Toscana e percentuale delle specie non-indigene per ogni phylum/divisione

Phylum/Divisione	NIS	IS	Totale	% NIS
Cnidaria	1	0	1	100
Platyhelminthes/Monogenea	1	2	3	33.3
Nematoda/Secernentea	1	346	347	0.3
Mollusca/Gastropoda	6	54	60	10
Mollusca/Bivalvia	2	12	14	14.3
Annelida	0	25	25	0
Arthropoda/Crustacea/Cladocera	4	28	32	12.5
Arthropoda/Crustacea/Copepoda	1	52	53	1.9
Arthropoda/Crustacea/Decapoda	1	4	5	20
Altri Crustacea	0	33	33	0
Arthropoda/Hexapoda	2	814	816	0.2
Osteichthyes/Agnatha	24	19	43	55.8
Amphibia	1	15	16	6.3
Reptilia	1	3	4	25
Aves	1	23	24	4.2
Mammalia	2	3	5	40
Totale	48	1433	1481	3.2

Discussione

I risultati ottenuti da questo studio preliminare mostrano che la xenodiversità delle acque interne toscane consta di 48 specie non-indigene, che contribuiscono per oltre il 3% alla fauna toscana. Sicuramente questo numero è una sottostima della xenodiversità toscana, in parte perché l'interesse scientifico per le invasioni biologiche si è sviluppato solo recentemente (negli ultimi dieci anni, [8,9]), in parte perché mancano ancora conoscenze riguardo ad alcuni taxa di invertebrati (ad esempio dei Copepoda, Cladocera ed altri Artropoda). La situazione in Toscana riflette su piccola scala la situazione in Europa e in Italia. I vertebrati, specialmente i pesci, sembrano essere il taxon più colpito dalle introduzioni e la loro comparsa in natura sembra sia dovuta al rilascio per via intenzionale operato dall'uomo. Le principali cause di arrivo dei vertebrati sono infatti la pesca sportiva, il commercio, l'acquacoltura, l'allevamento. In particolare, il rilascio volontario di specie ittiche in natura è un fenomeno assai diffuso in Europa [5] e praticato intensamente in Italia, dove i controlli in passato erano assenti o inefficaci. Di conseguenza, i pesci non-indigeni sono più numerosi in Italia rispetto ad altri paesi europei [5] e rappresentano la quarta causa di minaccia per i pesci indigeni [20]. La situazione toscana riflette molto bene questa problematica: i pesci non-indigeni sono più numerosi degli indi-

geni e competono con loro (ad esempio, *Silurus glanis* in Arno o *Micropterus salmoides* nel Lago di Massaciuccoli). Per quanto riguarda gli invertebrati, in Italia il trasporto accidentale, associato alle introduzioni ittiche, sembra sia stato il vettore principale di arrivo. Una dinamica simile potrebbe essere ipotizzata anche per la Toscana, visto l'elevato numero di specie ittiche non-indigene presenti. Un'eccezione è costituita sicuramente dal gambero rosso della

Louisiana, *Procambarus clarkii*, importato intenzionalmente in Toscana per allevamento [7].

Considerando i bacini toscani, anche se l'Arno risulta essere il più esteso e popolato, la densità appare maggiore nel bacino del Serchio-Magra. L'attività di acquacoltura nella zona potrebbe spiegare questo risultato: in provincia di Lucca si registra infatti il numero più elevato di impianti di acqua dolce di tutta la Toscana (22), mentre solo 4 sono situati nelle province di Firenze e di Pistoia (bacino dell'Arno) (dati ARSIA 2002). Infine, tra le regioni del Centro Italia (Lazio, Umbria, Marche, Abruzzo, Molise) la Toscana presenta il numero più elevato di specie non-indigene (Lazio: 36, Umbria: 25, Marche: 22, Abruzzo: 13, Molise: 9). L'intensa attività di acquacoltura in Toscana potrebbe essere una delle cause maggiori di «invasività» (52 impianti in Toscana, 25 nel Lazio, 14 nelle Marche, 10 in Umbria, 8 in Abruzzo, 6 in Molise: dati da [12]).

Tra le specie non-indigene presenti in Toscana, 11 sono inserite nella lista delle 100 specie più invasive d'Europa e del mondo (DAISIE, IUCN, [15]): *Anguillicola crassus*, *Gyrodactylus salaris*, *Dreissena polymorpha*, *Procambarus clarkii*, *Aedes albopictus*, *Pseudorasbora parva*, *Salvelinus fontinalis*, *Rana catesbeiana*, *Trachemys scripta*, *Myocastor corpus*, *Rattus norvegicus*. Per alcune di queste specie è già conosciuto il loro impatto sugli ecosistemi nativi, compresi quelli della Toscana (per una revisione completa

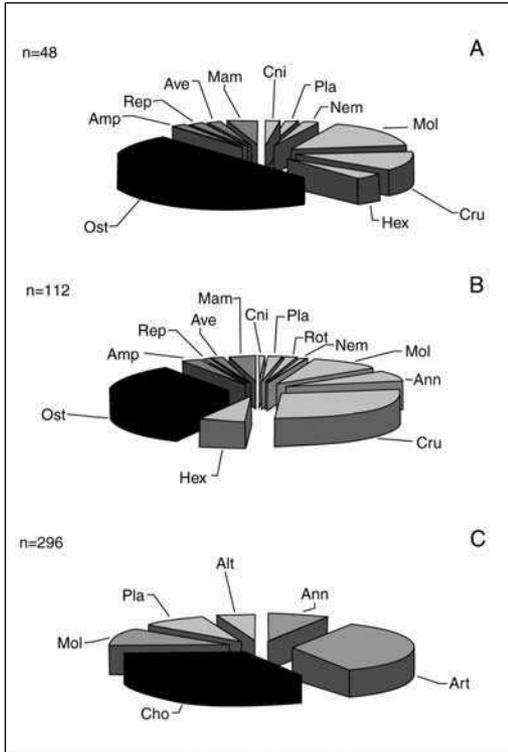


Figura 1. Frequenza (in %) della xenodiversità per taxon nelle acque interne della Toscana (A), dell'Italia (B: dati da Gherardi et al. 2007), dell'Europa (C: dati da DAISIE e IMPASSE). Ann=Annelida, Amp=Amphibia, Alt= Altri taxa, Art=Arthropoda, Ave=Aves, Cho= Chordata, Cni=Cnidaria, Cru=Crustacea, Hex=Hexapoda, Mol=Mollusca, Ost=Osteichthyes, Pla=Platyhelminthes, Mam=Mammalia, Nem=Nematoda, Rep=Reptilia, Rot=Rotifera. I Chordata della Figura 1C comprendono Osteichthyes e Agnatha.

vedi [10,11]): la superiorità competitiva sulle specie indigene (*P. clarkii*); la modificazione dell'habitat e l'alterazione della funzionalità dell'ecosistema (*M. coypus*); l'introduzione di parassiti e di agenti patogeni (*Anguillicola crassus*, *Aedes albopictus*, *Pseudorasbora parva*); i danni alle attività socio-economiche, ricreative e alla salute umana (*D. polymorpha*). Tuttavia, restano ancora scarsamente investigati gli effetti a lungo termine sulle comunità indigene. Ulteriori studi sono quindi necessari per approfondire le co-

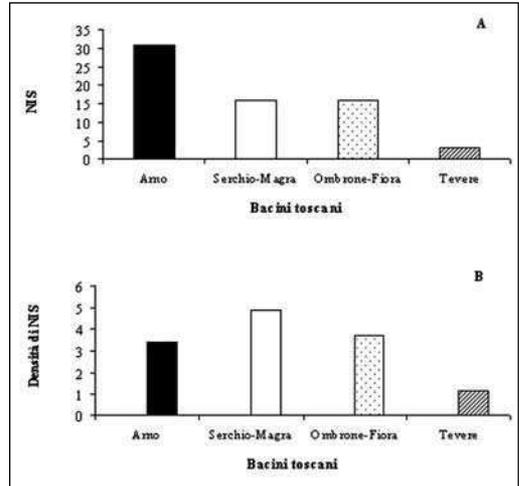


Figura 2. Frequenza delle specie non-indigene (NIS) (A) e densità di NIS (B) nei quattro bacini principali della Toscana. La densità è data da (numero di NIS presenti nel bacino/estensione del bacino) x 1000.

noscenze sulle specie non-indigene della Toscana al fine di approntare interventi mirati di gestione verso le specie già stabilizzate e di identificare (ed eventualmente prevenire) i nuovi potenziali invasori delle acque toscane.

Bibliografia

- [1] Aa. Vv., Database «Checklist della fauna italiana.mdb» http://www.minambiente.it/index.php?id_sezione=1929. Cited 1 Jun 2007: 2007.
- [2] Aa. Vv., La Banca dati del Repertorio Naturalistico Toscano (RENATO). <http://web.rete.toscana.it/renato/>: 2000.
- [3] G.N. Baldaccini, P. Ercolini, M. Mattioli, Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli: composizione ed evoluzione temporale delle comunità zooplanctonica e macrobenthonica. In: Aa. Vv. Lago di Massaciuccoli. Ricerche finalizzate al risanamento, 1997, 13: 289-346..
- [4] S. Cianfanelli, E. Lori, M. Bodon, Alien freshwater molluscs in Italy and their distribution, pp 103-121. In: Biological invaders in inland waters: profiles, distribution, and threats. Gherardi F (ed.), Springer, Dordrecht, The Netherlands: 2007.

- [5] G.H. Copp, P.G. Bianco, N.G. Bogutskaya, T. Erős, I. Falka, M.T. Ferreira, M.G. Fox, J. Freyhof, R.E. Gozlan, J. Grabowska, V. Kováč, R. Moreno-Amich, A.M. Naseka, M. Peřáz, M. Povš, M. Przybylski, M. Robillard, I.C. Russell, S. Staknas, S. Šumer, A. Vila-Gispert, C. Wiesner, J. Appl. Ichthyol. 2005, 21: 242-262. To be, or not to be, a non-native freshwater fish?
- [6] I.G. Cowx, Analysis of threats to freshwater fish conservation: past and present challenges, pp. 201-220. In: Conservation of freshwater fishes: options for the future. M.J. Collares-Pereira, I.G. Cowx, M.M. Coelho (eds.), Blackwell Science. Oxford, U.K.: 2002.
- [7] F. Gherardi, Mar. Fresh. Behav. Physiol., 2006, 39: 175-191. Crayfish invading Europe: the case study of *Procambarus clarkii*.
- [8] F. Gherardi, Biological invasions in inland waters: an overview, pp. 3-25. In: Biological invaders in inland waters: profiles, distribution, and threats. Gherardi F (ed.), Springer, Dordrecht, The Netherlands: 2007.
- [9] F. Gherardi (ed.), Biological invaders in inland waters: profiles, distribution, and threats. Springer. Dordrecht, The Netherlands: 2007.
- [10] F. Gherardi, The impact of freshwater NIS: what are we missing?, pp. 437-462. In: Biological invaders in inland waters: profiles, distribution, and threats. Gherardi F (ed.), Springer, Dordrecht, The Netherlands: 2007.
- [11] F. Gherardi, S. Bertolino, M. Bodon, S. Casellato, S. Cianfanelli, M. Ferraguti, E. Lori, G. Mura, A. Nocita, N. Riccardi, G. Rossetti, E. Rota, R. Scalera, S. Zerunian, E. Tricarico, Biological Invasions, in press, doi: 10.1007/s10530-007-9142-9: 2007. Animal xenodiversity in Italian inland waters: distribution, modes of arrival, and pathways.
- [12] ISMEA (Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare), Il settore ittico in Italia e nel mondo: le tendenze recenti. Roma: 2006.
- [13] E. Leppäkoski, S. Gollasch, S. Olenin, Alien species in European waters, pp. 1-6. In: Invasive aquatic species of Europe: distribution, impact and management. Leppäkoski E, Gollasch S, Olenin S (eds.), Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands: 2002.
- [14] D.M. Lodge, Trends in Ecology and Evolution 1993, 8: 133-137. Biological invasions: lessons for ecology.
- [15] S. Lowe, M. Browne, S. Boudjelas, M. De Poorter, Aliens 2000, 12: 1-12. 100 of the world's worst invasive alien species. A selection from the Global Invasive Species Database.
- [16] A. Nocita, S. Zerunian, Aquatic Invasions, submitted, 2007. Native and exotic freshwater fishes in Italy.
- [17] D. Pimentel, S. McNair, J. Janečka, J. Wightman, C. Simmonds, C. O'Connell, E. Wong, L. Russel, J. Zern, T. Aquino, T. Tsomondo. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions, pp. 307-329. In: Biological invasions. Economic and environmental costs of alien plant, animal, and microbe species. D. Pimentel (ed.), CRC Press, Boca Raton, USA: 2002.
- [18] S. Ruffo, F. Stoch (eds.), Checklist e distribuzione della fauna italiana. Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, Serie 2. Sezione di Scienze della Vita, 2005, 16: 1-307.

Nidificazione della Cicogna bianca (*Ciconia ciconia*) nel Comune di Cascina (PI)

Enrico Zarri*¹

Parole chiave: ornitologia, cicogna bianca, Cascina

Dopo secoli di assenza la Cicogna bianca (Ciconia ciconia), grazie a progetti di allevamento e reintroduzione in natura intrapresi da Enti ed associazioni ambientaliste, ha iniziato a nidificare in diverse regioni italiane. In Toscana dal 2005 una coppia si riproduce tutti gli anni ai margini del Padule di Fucecchio. Il ritorno della cicogna è stato favorito anche dall'adozione di misure di tutela (è una specie "particolarmente protetta") e da interventi di miglioramento ambientale che, in molte aree, hanno determinato nuove condizioni favorevoli all'insediamento della specie.

Nella primavera 2007 si sono verificati due tentativi di nidificazione nella piana pisana, di cui uno andato a buon fine; in questo lavoro vengono descritte le varie fasi dell'evento, seguito per conto del Centro di Ricerca, Documentazione e Promozione del Padule di Fucecchio su incarico del Comune di Cascina, e vengono proposti alcuni interventi per la messa in sicurezza dei nidi e per favorire l'insediamento di altre coppie.

Introduzione

La Cicogna bianca (*Ciconia ciconia*) è una specie migratrice a distribuzione eurocentroasiatico-mediterranea; nidifica alle medie latitudini in Europa, Asia Minore e Nord Africa e sverna prevalentemente in Africa, a sud del Sahara.

Le principali rotte migratorie passano per Gibilterra ed il Bosforo, ma anche l'Italia è interessata da un crescente passaggio primaverile ed autunnale, dovuto probabilmente all'aumento delle popolazioni dei paesi confinanti, come la Svizzera e la Francia [2].

Durante le migrazioni la specie è gregaria e forma grandi stormi, ma nella fase riproduttiva ha un comportamento territoriale; coppie solitarie, o localmente raggruppate, costruiscono i nidi su alberi, edifici, tralici e strutture artificiali.

Per l'alimentazione frequenta spazi aperti, generalmente di pianura: ambienti agricoli tradizionali o estensivi (ancora intervallati da incolti, siepi alberate e

canali irrigui), oppure aree umide naturali o artificiali. La Cicogna bianca si riproduceva in epoca romana in tutto il Paese (Plinio e Varrone in [5]), ma già nel XV secolo era confinata come nidificante alla Pianura Padana e forse già dal XVI secolo completamente estinta in Italia [2].

La scomparsa in tempi storici è da attribuire, in un primo momento, ai massicci prelievi di pulli a scopo alimentare (soprattutto nel Rinascimento) e, successivamente, alle diffuse alterazioni ambientali che hanno profondamente modificato le aree di alimentazione. Nella seconda metà del XX secolo, il mancato insediamento di alcune coppie di Cicogna bianca è dovuto all'abbattimento illegale di soggetti in periodo riproduttivo, nonostante che la specie sia protetta in Italia già dal 1937 [1].

Attualmente, numerose perdite sono dovute al moltiplicarsi delle linee elettriche: la folgorazione infatti costituisce, in Italia come nel resto d'Europa, una delle più importanti cause di decesso.

Considerando che, in questa situazione, un recupero spontaneo della popolazione nidificante italiana appariva poco probabile, nel 1985 la LIPU (Lega Italiana Protezione Uccelli) intraprendeva una campagna di sensibilizzazione ed un primo progetto di reintroduzione. A Racconigi (CN) veniva creato un centro di allevamento di cicogne bianche, partendo da un nucleo di individui forniti dal Centro svizzero gestito da M. Bloesch in collaborazione con la Stazione Ornitologica Svizzera di Sempach.

Altri centri specializzati venivano realizzati negli anni successivi anche in altre regioni italiane, fra cui la Toscana (Centro Carapax di Massa Marittima), contribuendo sia all'opera di sensibilizzazione nei confronti della salvaguardia della specie, sia al rilascio in natura di nuovi stock di potenziali riproduttori.

Dopo vent'anni di impegno per la conservazione della specie, nella stagione riproduttiva 2005 ben 160 coppie di Cicogna bianca nidificavano in Piemonte, Lombardia, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Emilia Romagna, Toscana, Campania, Calabria, Puglia, Sicilia e Sardegna. Gran parte dei nidi era legato, direttamente o indirettamente, a programmi di rilascio, ma le coppie dell'Italia meridionale sembravano avere origini completamente selvatiche, testimoniando anche le capacità di recupero naturale della popolazione.

La prima nidificazione allo stato libero in Toscana risale proprio al 2005, quando una coppia mista, costituita da una femmina proveniente dal Centro Carapax di Massa Marittima e da un maschio probabilmente selvatico, si insediava su un traliccio ENEL ai margini del Padule di Fucecchio (FI-PT), riproducendosi con successo anche nei due anni successivi. Nel 2005, si registrava a Campi Bisenzio (FI), il tentativo di nidificazione di un'altra femmina di cicogna, anch'essa proveniente dal Centro Carapax. Purtroppo, il ferimento e la morte del maschio interrompevano la nidificazione. Nel 2006 la stessa femmina, con un nuovo partner, deponeva le uova ad Agliana (PT), abbandonandole poi dopo un intervento di emergenza effettuato da ENEL sulla linea elettrica. Seguivano poi, nella primavera 2007, i due tentativi di nidificazione nel Comune di Cascina (PI), uno dei quali andato a buon fine, che costituiscono l'oggetto di questo articolo.

Materiali e metodi

Nel corso della stagione riproduttiva 2007, sono state

effettuate complessivamente 14 visite ai due nidi di Latignano e di Titignano (Comune di Cascina - PI), compiendo osservazioni con l'ausilio di un binocolo 8x40 ed un canocchiale 20-60 ingrandimenti.

Ci si è avvalsi inoltre anche di osservazioni e segnalazioni di appassionati del territorio, che hanno collaborato garantendo un monitoraggio continuativo dei due tentativi di nidificazione.

Risultati

Il nido di Latignano

All'inizio del mese di marzo 2007 viene segnalata la presenza di una coppia di Cicogna bianca su un traliccio ENEL, in località Latignano.

Il traliccio, lungo una linea della media tensione (15.000 volts) adiacente ad una linea dell'alta tensione, è situato a breve distanza (meno di 15 metri) da una strada provinciale molto trafficata (s.p. 31 fra Cascina e Lavoria).

Durante un sopralluogo effettuato il 9 marzo, viene effettivamente osservata sul traliccio una coppia di cicogne in fase di costruzione del nido: uno dei due esemplari è contrassegnato con un anello in PVC (leggibile a distanza), mentre l'altro non ha alcun segno di riconoscimento.

L'esemplare inanellato, che in base all'osservazione nella fase di accoppiamento (nelle cicogne non c'è un dimorfismo sessuale evidente) risulterà essere la femmina, proviene dal Centro Carapax di Massa Marittima, dove è nato nel 2003 ed è stato inanellato nel 2006. Di solito le cicogne riprodotte nei Centri di allevamento vengono trattene in cattività per almeno 3 anni, in modo da ridurre il naturale istinto migratorio e legarle maggiormente al territorio.

Dato che la nidificazione sul traliccio comporta dei rischi di elettrocuzione, il Comune di Cascina, il Cen-

L'autore

¹ Centro di Ricerca, Documentazione e Promozione del Padule di Fucecchio, Via Castelmartini n. 125/a, 51036 Larciano, PT
fucecchio@zoneumidetoscane.it

* autore per corrispondenza



Figura 1: Sito di nidificazione di Latignano (foto E. Zarri).



Figura 3: Sito di nidificazione di Titignano (foto E. Zarri).



Figura 2: Intervento di messa in sicurezza del nido (foto L. Martelli - ENEL).

tro R.D.P. del Padule di Fucecchio (coinvolto per l'esperienza pluriennale maturata grazie alla nidificazione di Fucecchio) e le associazioni ambientaliste locali concordano con ENEL un intervento di messa in sicurezza, da effettuare prima che vengano deposte le uova per evitare che l'operazione comprometta la covata.

Il 21 marzo i tecnici ENEL della Zona di Pisa salgono sul traliccio, in assenza delle cicogne, ricoprendo con una guaina di protezione il conduttore e rivestendo con un apposito nastro anche le parti metalliche

che sostengono gli isolatori; tutto ciò al fine di diminuire le possibilità di folgorazione dei due adulti e soprattutto dei nuovi nati, meno esperti, durante i primi voli.

Le cicogne non sembrano eccessivamente infastidite dal lavoro dei tecnici, nè dal disturbo dovuto ai curiosi che ormai visitano quotidianamente il nido, tenuti ad una certa distanza da una transennatura apposta dal Comune di Cascina a seguito di un'ordinanza di tutela. Nei giorni successivi avviene la deposizione delle uova, comprovata dall'alternarsi dei due partner nella cova, e tutto sembra andare per il meglio.

All'inizio di aprile inizia a frequentare i dintorni del nido anche un terzo esemplare di cicogna, riconoscibile per un anello in PVC e anche in questo caso nato presso il Centro Carapax.

Purtroppo questa cicogna entra in competizione con il maschio della coppia nidificante che il 12 aprile, probabilmente durante un conflitto con l'intruso, si ferisce gravemente (forse urtando i cavi elettrici) e riporta una brutta frattura all'articolazione dell'ala sinistra; l'animale viene catturato e condotto per le cure al CRUMA (Centro Recupero Uccelli Marini e Acquatici) della LIPU di Livorno.

L'evento mette fine di fatto alla nidificazione, dato che nel giro di pochi giorni la femmina abbandona la covata.

Il nido di Titignano

All'inizio di maggio viene segnalata una coppia di cicogne che sta costruendo il nido su un traliccio ENEL, sempre nel Comune di Cascina ma a circa 5

chilometri di distanza dal sito precedente, in località Titignano, nei pressi di una serie di capannoni della zona industriale; si tratta ancora di una linea della media tensione (15.000 volts) che passa sotto una linea dell'alta tensione.

Anche in questo caso l'ENEL ha programmato un intervento di messa in sicurezza del nido, analogo a quello realizzato a Latignano, ma quando ci si rende conto che la coppia è già in cova l'intervento viene annullato, per non rischiare di provocare l'abbandono delle uova.

Durante un sopralluogo effettuato il 5 giugno, sul nido è presente un esemplare in cova, contrassegnato con un anello in PVC: risulta inanellato nel 2006 presso il Centro Carapax di Massa Marittima, dove è nato probabilmente nel 2003.

L'altro esemplare ha solo un anello metallico, senza sigle o numeri, per cui non è possibile conoscerne l'origine anche se è probabile che provenga anch'esso dallo stesso centro di allevamento. Inoltre, è impossibile conoscere il sesso dei due esemplari, dato che non ci sono testimonianze certe sulle fasi di accoppiamento.

Certo è che si tratta di una nuova coppia rispetto a quella di Latignano, e che quindi il tentativo di nidificazione è avvenuto in maniera assolutamente indipendente in due diverse località del Comune di Cascina.

Alla visita successiva, il 12 giugno, le due cicogne si danno il cambio al nido e il partner in arrivo lascia cadere sul fondo acqua e materiale solido (sembrano residui di Gamberi della Louisiana), segno che le uova si sono già schiuse; da una posizione di osservazione sopraelevata, si riescono in effetti a vedere due pulli nati da poco.

Sembra quindi che la deposizione sia avvenuta all'inizio di maggio, con un mese di ritardo rispetto alla coppia di Latignano ed oltre un mese e mezzo dopo la coppia di Fucecchio.

Nelle settimane successive, prosegue l'allevamento dei due pulli che crescono velocemente, alimentati da entrambi i genitori. Già all'inizio di luglio, quando hanno circa un mese, vengono anche lasciati soli nel nido, almeno nelle ore centrali della giornata.

Alla fine di luglio, a circa 8 settimane di età, i giovani iniziano le prime prove di volo e a metà agosto, dopo circa 11 settimane dalla nascita, lasciano per la prima volta il nido scendendo nei campi circostanti. Anche in questa fase sono spesso da soli, a differenza di quanto avviene normalmente a Fucecchio dove i giovani sono accompagnati da almeno un genitore durante le prime esplorazioni del territorio e la famiglia



Figura 4: I genitori portano l'imbeccata al nido (foto M. Forti).



Figura 5: I giovani a sei settimane dalla nascita (foto E. Zarri).



Figura 6: I giovani a otto settimane (foto E. Zarri).



Figura 7: Prime prove di volo a circa 10 settimane (foto M. Forti).



Figura 8: I giovani in un campo vicino al nido (foto M. Forti).

rimane unita per molto tempo anche dopo l'abbandono del nido.

I giovani verranno visti per l'ultima volta nei dintorni del sito di nidificazione il 26 agosto, data oltre la quale non ci sono ulteriori segnalazioni.

Lo svernamento delle cicogne

A partire dal mese di ottobre viene segnalata di nuovo la presenza di esemplari di cicogna, nelle ore notturne, sui due nidi: a Latignano, la femmina, mentre a Titignano entrambi i membri della coppia che ha portato a termine la nidificazione. Le cicogne arrivano di solito al tramonto e lasciano il nido all'alba.

Lo stesso comportamento è stato osservato a Fucecchio dove dal 2005 la femmina di cicogna nidificante, che proviene dal Centro Carapax, passa l'inverno nelle vicinanze del nido, mentre il maschio (presumibilmente selvatico) e i giovani migrano, ritornando solo nel mese di marzo per la nuova stagione riproduttiva.

Il comportamento delle cicogne provenienti dai centri di allevamento è quindi molto diverso da quello dei soggetti adulti selvatici, che ogni anno si spostano verso i quartieri di svernamento africani subsahariani. Gli immaturi possono tuttavia tornare nei luoghi di riproduzione anche dopo 2-3 anni di vita.

Discussione

La nidificazione di Cicogna bianca a Cascina (Titi-

gnano), insieme a quella di Fucecchio, è la seconda andata a buon fine in Toscana, e ci sono buone probabilità che in futuro non solo si ripeta l'evento, ma possano insediarsi nuove coppie.

Il ritorno delle cicogne in Toscana è dovuto indubbiamente, in primo luogo, al lavoro del Centro Carapax di Massa Marittima, che negli ultimi anni ha realizzato un progetto di allevamento e liberazione in natura di esemplari con un ridotto istinto migratorio. In tutti i tentativi di nidificazione che si sono verificati dal 2005 ad oggi almeno uno dei due partner proveniva dal Centro.

Se, nel caso di Fucecchio, l'insediamento della coppia è stato certamente favorito anche da interventi di miglioramento ambientale nell'area umida, i due diversi tentativi nella Piana pisana testimoniano la ricchezza ambientale di tale territorio.

Il paesaggio della piana cascinese è formato, infatti, da un mosaico di ambienti rurali (zone a coltivazione estensiva, pascoli, incolti) e piccole zone umide (canali, chiari venatori e cave esaurite ed allagate) che nel loro complesso ammontano a qualche centinaio di ettari ed ospitano piante palustri anche rare.

In particolare, le zone umide che sono state create negli ultimi decenni dalle attività estrattive stanno andando incontro ad un rapido processo di rinaturalizzazione, costituendo habitat importanti per l'avifauna acquatica: basti ricordare le cave di Titignano, dove ha nidificato per diversi anni il Cavaliere d'Italia.

Sarebbe opportuno promuovere la tutela di questi ambienti sia tramite l'istituzione di specifiche aree protette (ANPIL o Riserve Naturali) sia con la realizzazione di interventi di manutenzione e ripristino

ambientale finalizzati alla creazione ex novo o alla rinaturalizzazione delle aree umide esistenti.

Nell'ambito delle strategie di conservazione degli ambienti di alimentazione della Cicogna bianca, è auspicabile un potenziamento della tutela e della riqualificazione degli ambienti agricoli tradizionali, dei pascoli e delle aree incolte, utilizzando gli strumenti normativi legati al recepimento dei regolamenti comunitari.

Per quel che riguarda i siti di nidificazione, in accordo con ENEL si dovranno realizzare a breve termine interventi di messa in sicurezza dei tralicci interessati e di quelli adiacenti, al fine di diminuire le possibilità di folgorazione.

Come ulteriore misura di sicurezza, il nido dovrà essere allontanato dai cavi, con una tecnica già adottata con successo anche a Fucecchio: si tratta di montare, sia sul traliccio di Latignano che su quello di Titiignano una piattaforma artificiale rialzata, riposizionandovi sopra il vecchio nido.

Successivamente potranno essere posizionate anche altre piattaforme, in modo da favorire l'insediamento di nuove coppie nidificanti. Oltre agli esemplari che già gravitano sul territorio, è possibile che i giovani, una volta raggiunta la maturità sessuale (3-4 anni), ritornino a nidificare nell'area.

Contemporaneamente, dovrà essere attuato un programma di educazione e di sensibilizzazione della popolazione residente, coinvolgendo le categorie interessate (in particolar modo gli agricoltori) e le scuole di ogni ordine e grado, per far comprendere l'importanza dell'evento e le esigenze di tutela della specie.

Infine, dovrà essere mantenuta una attività continuativa di monitoraggio dei siti di nidificazione, con l'ausilio di tutti gli Enti e Associazioni interessati ed il supporto fondamentale dei cittadini, veri custodi del ritorno della Cicogna bianca.

Ringraziamenti

Questa attività di monitoraggio non sarebbe stata possibile senza il contributo del Comune di Cascina, che ha incaricato ufficialmente con una apposita convenzione il Centro R.D.P. Padule di Fucecchio ed ha fornito il pieno appoggio dell'Assessorato all'Ambiente per le necessarie azioni di tutela della nidificazione. Si ringraziano anche, per ENEL, il responsabile del settore Comunicazione Toscana Dr. Luciano Martelli ed i tecnici locali che hanno effettuato l'intervento di messa in sicurezza del nido di Latignano; inoltre le

associazioni ambientaliste locali (Legambiente, LI-PU e WWF) che hanno dato un supporto fondamentale al controllo delle due nidificazioni tramite le proprie Guardie Ambientali Volontarie.

L'ornitologo Yuri Simoncini, che ha svolto in passato attività di inanellamento presso il Centro Carapax di Massa Marittima, ha mostrato una grande disponibilità fornendo dati preziosi sulle cicogne contrassegnate.

Infine, un ringraziamento particolare a Paola Ascani, Elena Bacchi, Bernardo e Glauco Baldassari, Mariateresa Bucciante, Maurizio Forti, Carlo Galletti, Valeria Neri, Luca Odetti, Giulia Valentini, Fabrizio Vangelisti e a tutti gli altri appassionati che con le loro segnalazioni mi hanno consentito di seguire costantemente il corso degli eventi su un territorio altrimenti troppo distante.

Bibliografia

- [1] P. Bricchetti, P. De Franceschi, N. Baccetti, *Fauna d'Italia. Aves I, Vol. 29.* Calderini, Bologna: 1992.
- [2] P. Bricchetti, G. Fracasso, *Ornitologia italiana. Vol. 1, Gaviidae-Falconidae.* Alberto Perdisa Editore, Bologna: 2003.
- [3] S. Cramp, K.E.L. Simmons (eds.), *The birds of Western Palearctic. 1. Ostrich to Ducks.* Oxford University Press, Oxford: 1977.
- [4] A. Gariboldi, A. Andreotti, G. Bogliani, *La conservazione degli uccelli in Italia. Strategie e azioni.* Alberto Perdisa Editore, Bologna: 2003.
- [5] F. Pratesi, *Esclusi dall'arca - Animali estinti e in via di estinzione in Italia.* Arnoldo Mondadori Editore, Milano: 1978.

Il comportamento di ovoposizione nella vespa sociale *Polistes dominulus*: preliminari indizi di un comportamento ritmico

Alessandro Cini*^{1,2}, Vincent Lecat², Thibaud Monnin²

Parole chiave: insetti sociali, bioritmi, orologi biologici, comportamento sociale, Hymenoptera

*Un passo fondamentale nello studio del comportamento animale è la conoscenza dei diversi moduli comportamentali propri di ogni specie. Oltre alla costruzione di un catalogo dei vari comportamenti (etogramma), è necessario anche approfondire quantitativamente ogni modulo comportamentale. Tra i vari aspetti del comportamento, quelli legati alla riproduzione sono da sempre i più seguiti dagli etologi. Nelle vespe sociali *Polistes dominulus* il comportamento di ovoposizione è studiato da oltre sessant'anni, a partire dalle pionieristiche ricerche condotte da Leo Pardi. Nonostante questa pluridecennale attenzione, alcuni aspetti di questo comportamento rimangono ancora poco definiti. Ad esempio gli aspetti temporali hanno ricevuto fino ad oggi limitata attenzione.*

In questo lavoro si fornisce una preliminare caratterizzazione del decorso temporale giornaliero della deposizione di uova in questa specie. I nostri risultati evidenziano la tendenza delle vespe a deporre durante le prime ore della mattina. La distribuzione non uniforme delle deposizioni durante l'arco delle ventiquattro ore suggerisce che tale comportamento possa essere influenzato da un ritmo endogeno di tipo circadiano.

Introduzione

Gli organismi viventi hanno evoluto molteplici adattamenti per affrontare le periodiche variazioni delle condizioni ambientali determinate dai cicli geofisici regolari (giorno solare, giorno lunare, stagioni). Di conseguenza una grande varietà di processi sia nelle piante che negli animali mostrano un andamento ritmico: il comportamento di molti animali marini, ad esempio, riflette i cicli ambientali tidali e lunari, così come variazioni stagionali molto marcate sono osservate nel comportamento di diverse specie, dalle migrazioni degli uccelli al letargo di alcuni mammiferi [1] [2].

Tra i vari cicli, quello solare è molto marcato e causa estremi cambiamenti di intensità luminosa e temperatura dal giorno alla notte. Di conseguenza molti or-

ganismi si sono specializzati nell'effettuare determinate attività in particolari momenti della giornata [2]. Numerosissimi sono gli esempi: dai movimenti di apertura e chiusura dei petali dei fiori alla ritmicità giornaliera nella capacità di fotosintesi di organismi fitoplanctonici [3] [1], dall'attività locomotoria spontanea in scoiattoli e topi [4] al ritmo di divisione delle loro cellule [5].

È ormai noto da diversi decenni che a regolare questi cicli sono orologi biologici interni all'organismo, i quali generano una ritmicità endogena con periodo circadiano (cioè con durata leggermente superiore o inferiore a ventiquattro ore), corretta poi nella fase e nella frequenza da fattori esterni, detti sincronizzatori («zeitgeber» nel termine antico). I sincronizzatori mettono quindi il ciclo interno in registro con le condizioni geofisiche locali. Tra questi fattori i più im-

portanti sono sicuramente la luce, la temperatura e l'umidità.

Gli orologi biologici, la cui presenza è stata dimostrata in quasi tutti gli organismi studiati, determinano patterns ciclici ad ogni livello di organizzazione della materia vivente, dalla sintesi di Dna al ciclo cellulare, dall'elettrofisiologia neuronale fino al comportamento animale [2].

Negli insetti sociali molta attenzione è stata recentemente rivolta al comprendere se fattori legati al comportamento sociale possano avere influenze sulla sincronizzazione dei ritmi endogeni. Molto interessanti sono ad esempio le ipotesi riguardo alla possibile influenza delle interazioni sociali intracolonia: si ritiene cioè che oltre a fattori fisici come luce e temperatura anche comportamenti sociali all'interno della colonia possano avere un ruolo determinante nel «mettere in fase» i ritmi circadiani endogeni di questi animali, funzionando così da «social zeitgeber» ([6] per le api; [7] per i bombi).

Tra i vari comportamenti che vengono effettuati all'interno delle colonie di insetti sociali e che possono essere influenzati dal funzionamento di orologi biologici interni uno ci sembra particolarmente rilevante: la deposizione di uova.

L'ovoposizione è uno dei comportamenti maggiormente presi in considerazione dagli studiosi del comportamento animale. Essa, infatti, è elemento fondamentale della vita coloniale degli insetti sociali, poiché è il mezzo per produrre la forza lavoro (le operaie) e al tempo stesso per generare gli individui riproduttori, il vero investimento riproduttivo dell'intera colonia.

Inoltre l'ovoposizione riveste notevole interesse anche per i ricercatori, poiché può essere utilizzata come misura della produttività di una colonia, del suo successo e, infine, della fitness dell'individuo deponente.

Questo lavoro prende in esame l'attività di ovoposizione in un insetto sociale, la vespa cartonaia *Polistes dominulus*. Tra i vari insetti sociali studiati dai sociobiologi, il genere *Polistes* rappresenta sicuramente uno dei cavalli di battaglia. Alcune caratteristiche come la facilità di allevamento e osservazione e la notevole flessibilità comportamentale fanno di questo genere un vero e proprio modello per lo studio dell'evoluzione del comportamento sociale [8].

Nella specie *Polistes dominulus* le colonie sono fondate all'inizio della primavera da una o più femmine fecondate. Sul nido una di esse diventa la femmina dominante (individuo alfa) e le altre subordinate, assumendo compiti da operaie come il foraggiamento

fuori dal nido o la cura della prole [9] [10]. Dopo la nascita di alcune generazioni di operaie (le colonie raggiungono dimensioni di decine o centinaia di individui [11]) nascono gli individui riproduttori che abbandonano il nido e si accoppiano. Le femmine poi si aggregano per passare l'inverno e fondare nuove colonie l'anno successivo.

Sebbene la riproduzione spetti quasi esclusivamente alla regina [12], in certe condizioni si può osservare anche la deposizione delle fondatrici subordinate o delle operaie. In colonie monoginiche (ovverosia fondate da una sola femmina) è dimostrato che una drastica diminuzione della produttività della alfa induce le operaie a deporre uova, e risultati simili sembrano applicarsi anche alle colonie con più fondatrici, nelle quali sia le operaie che le subordinate depongono uova. Tali uova vengono tuttavia rimosse dal nido, in modo che alla fine la alfa riesce a garantirsi il quasi assoluto monopolio riproduttivo [13][14].

L'ovoposizione è quindi un comportamento molto studiato, e proprio in *Polistes dominulus* molte ricerche hanno utilizzato il tasso di deposizione delle uova come stima della fitness di un particolare individuo o gruppo. Nonostante quest'ampio utilizzo si tratta di un comportamento poco conosciuto nei suoi dettagli. Mentre si conoscono ad esempio alcuni dei conflitti che possono nascere intorno alla deposizione di uova (come illustrato in precedenza) e sono conosciute alcune delle basi fisiologiche [15][16], pochissimi studi hanno preso in esame altre caratteristiche di tale comportamento, in particolare le sue caratteristiche temporali. Alcune osservazioni in natura fanno ad esempio ritenere che la deposizione non avvenga ugualmente in tutta la giornata, ma, al pari di altri comportamenti in altre specie di insetti sociali, mostri un andamento ciclico, con picchi di at-

gli autori

¹ Scuola Normale Superiore,
Piazza dei Cavalieri, 56126, Pisa

² Laboratoire Fonctionnement
et évolution des systèmes écologiques
CNRS, UMR 7625, Université Pierre
et Marie Curie, 7 quai Saint Bernard,
75 005 Paris

*autore per corrispondenza
cini_ale@yahoo.it

tività in certi momenti della giornata (Cervo, com. pers.). Si tratta tuttavia di osservazioni aneddotiche, non essendo stati condotti (a nostra conoscenza) estesi studi in proposito.

È a questo scopo che intendiamo presentare in questa sede i risultati di una valutazione preliminare di questo fenomeno.

Utilizzando un database di videoregistrazioni della vita coloniale di alcune colonie di *Polistes dominulus*, facente parte di un progetto di ricerca ancora in corso, abbiamo condotto una analisi sulla parte di dati attualmente disponibile, onde condurre uno studio pilota che possa mettere in luce eventuali linee di approfondimento sul decorso temporale dell'attività di deposizione in questa specie. Il tipo di sperimentazione condotta (registrazione tramite telecamere, rif. materiali e metodi) permette per la prima volta di approfondire il fenomeno superando il carattere inevitabilmente aneddotico delle precedenti osservazioni.

La domanda che il nostro studio si pone è quindi se l'attività di ovoposizione in *Polistes dominulus* avvenga in maniera uniforme durante l'arco delle ventiquattro ore o se possa essere individuata una preferenza per certi momenti della giornata.

Materiali e metodi

Raccolta e allevamento in laboratorio

Venti colonie poliginiche (numero di fondatrici compreso tra 2 e 5) di *Polistes dominulus* (Christ) sono state raccolte nei pressi di Firenze nel mese di giugno 2006, prima dello sfarfallamento delle operaie. La raccolta è avvenuta manualmente prima del levar del sole, quando la bassa temperatura inibisce l'attività delle vespe. Il nido e tutte le vespe presenti su di esso sono state trasportate in laboratorio, dove ogni colonia (vespe fondatrici e nido) è stata alloggiata in una gabbia di plastica delle dimensioni di cm 15x15x15 e fornita di larve di *Galleria melonella*, zucchero e acqua *ad libitum*. La temperatura è stata mantenuta tra i 28 e 33 gradi centigradi ed il ciclo di luce/buio, ottenuto tramite lampade al neon per acquario, è stato di luce dalle 7:00 alle 21:00 all'inizio dell'esperimento e dalle 6:30 alle 21:00 alla fine dell'esperimento, per mimare il più fedelmente possibile le condizioni naturali del periodo estivo. Nelle restanti ore le colonie rimanevano al buio, eccezion fatta per una piccola luce rivolta verso il pavimento (e mai verso il nido), tenuta accesa per ottenere visibilità nelle registrazioni.

Le fondatrici di ogni colonia sono state marcate sul torace con pennarelli Unipant Marker (Mitsubishi Pencil Co., Japan) al fine di permetterne l'identificazione.

L'esperimento è cominciato circa una settimana dopo lo sfarfallamento delle prime operaie, quando le colonie avevano tra le 4 e le 40 operaie sul nido.

Videoregistrazione del comportamento

Tutte le colonie sono state videoregistrate in formato S-video a 4,5 immagini al secondo, utilizzando un registratore Panasonic AG-TL750 S-VHS collegato a videocamere Sony Camcorder Digital-8. La registrazione è avvenuta in continuo 24 ore su 24 per due giorni consecutivamente, utilizzando la funzione «super night shot» onde registrare anche di notte. Al fine di minimizzare le ore di videoregistrazione da analizzare e per poter registrare il maggior numero possibile di colonie, le registrazioni sono state effettuate solo ai giorni 1+2, 5+6, 9+10, 13+14, 17+18, 21+22 dell'esperimento. Ogni videocamera riprendeva contemporaneamente due colonie diverse.

Le videocassette sono state analizzate al fine di registrare ogni ovoposizione, quale vespa la effettuasse (alfa, fondatrice subordinata o operaia), l'ora di inizio e fine della deposizione. La modalità di registrazione è stata continua all'interno dei giorni di registrazione (2 giorni circa di registrazione ogni 4). Tuttavia, re-



Figura 1: Un'operaia sta deponendo un uovo. La vespa marcata in rosso sul torace è la regina della colonia. Foto di Thibaud Monnin.

gistrando circa 27 ore su una videocassetta della durata di 3 ore, la risultante frequenza è di circa 4,5 fotogrammi al secondo. Tale frequenza è ampiamente sufficiente per individuare con sicurezza e precisione i comportamenti desiderati. Il campionamento è quindi un «all occurrences sampling», focalizzato su un solo item comportamentale (ovoposizione) ed avviene in registrazione continua.

Per riconoscere la deposizione è stato fatto riferimento a quanto riportato da Gervet [17][18] e da Liebig e collaboratori [13] e descritto qui di seguito. Nel comportamento di ovoposizione la vespa inserisce il suo addome profondamente nella celletta, con le zampe e le ali che rimangono distese all'esterno della celletta. La vespa rimane immobile per un periodo variabile tra uno e due minuti circa, dopodiché riprende attività ed estrae l'addome dalla celletta. Prima e dopo questo pattern comportamentale è frequente osservare ispezioni ripetute nella celletta da parte della vespa deponente. Questa sequenza comportamentale è stata confermata da alcune osservazioni preliminari ad occhio nudo, nelle quali si è osservata l'effettiva presenza dell'uovo al termine della suddetta sequenza di azioni.

Per il calcolo dell'ora di deposizione abbiamo considerato l'ora d'inizio della deposizione.

Le relazioni gerarchiche all'interno della colonia sono state stabilite con osservazioni comportamentali. Per le statistiche circolari è stato impiegato Oriana 2.00, seguendo le indicazioni riportate nel manuale di istruzione e le linee guida presenti in Batschelet [19].

Poiché la durata delle videoregistrazioni differiva dalle 24 ore esatte e poiché l'ora d'inizio delle registrazioni non era costante, alcuni periodi del giorno presentavano un maggior sforzo d'osservazione rispetto ad altri. Questo avrebbe potuto portare ad errori nel valutare la distribuzione delle deposizioni nell'arco delle 24 ore. Per valutare se fosse questo il caso abbiamo calcolato il numero di deposizioni presenti in ciascuno di dodici intervalli di due ore scelti arbitrariamente (es. 6-8 del mattino). Abbiamo corretto poi questi dati ponderandoli per lo sforzo di osservazione effettivo in ciascun periodo. Il confronto fra le due serie di dati (deposizioni effettuate in ogni intervallo vs numero ponderato di deposizioni effettuate in ogni intervallo) non ha mostrato differenze significative (Wilcoxon test per dati appaiati, $p > 0,05$ per ogni intervallo considerato). Abbiamo quindi deciso di utilizzare direttamente i dati non ponderati per le successive analisi.

Per testare l'uniformità delle varie distribuzioni (se cioè si trattasse di una distribuzione casuale lungo l'arco delle 24 ore o se ci fossero momenti in cui la deposizione fosse più probabile) è stato utilizzato il Rayleigh test [19].

Per confrontare le distribuzioni di vespe di differente rango abbiamo utilizzato il test di Mardia-Watson-Wheeler (Uniform Scores). Si tratta di un test non parametrico, e il suo utilizzo si è reso necessario in quanto alcuni campioni non rispettavano le assunzioni di normalità.

L'analisi del ciclo giornaliero di deposizione è stata effettuata in totale su 1056 ore di osservazione (media di 105,6 ore di osservazione per colonia, minimo=72 ore, massimo=120 ore).

Le distribuzioni prese in considerazione sono: 1) dati cumulati per tutte le colonie; 2) tutte le deposizioni delle vespe alfa di tutte le colonie («*alfa*»), 3) tutte le deposizioni delle vespe fondatrici subordinate di tutte le colonie («*fondatrici subordinate*»), e 4) tutte le deposizioni delle operaie di tutte le colonie («*operaie*»).

Risultati

La distribuzione delle deposizioni differisce da una distribuzione casuale (Rayleigh test: controlli, $n=172$, $z=9,916$, $p < 0,001$). Complessivamente si può osservare che in tutte le colonie le vespe hanno deposto preferenzialmente intorno alle ore 8.00 del mattino. La figura 2 mostra distribuzione circolare della variabile «orario di deposizione» per i dati cumulati di tutte le colonie considerate, e separatamente per le varie categorie considerate.

Relativamente all'effetto del rango, risultano significativamente differenti da una distribuzione uniforme le distribuzioni delle deposizioni delle vespe alfa e delle fondatrici subordinate, mentre non lo è la distribuzione relativa alle operaie. Il risultato della categoria operaie è di difficile interpretazione, potendo essere dovuto alla piccola dimensione del campione piuttosto che ad un'effettiva peculiarità biologica.

Considerando le distribuzioni di vespe di differenti ranghi, i risultati mostrano l'assenza di differenze statisticamente significative nella distribuzione delle deposizioni (Mardia Watson Wheeler Multisample test, usando «alfa», «fondatrici subordinate» e «operaie», $W = 7,677$, $p > 0,05$, $n = 138$, 18 e 19 rispettivamente). Non vi sono differenze cioè tra le distribuzioni degli orari di deposizione di vespe alfa, subordinate e operaie.

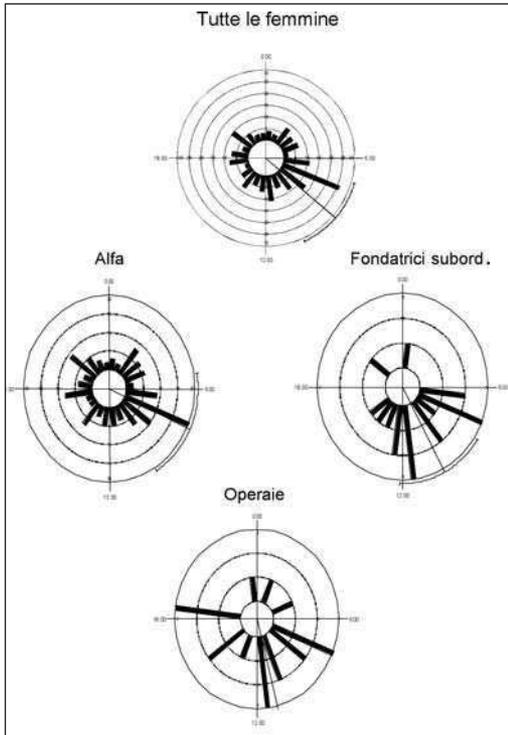


Figura 2: Distribuzione degli orari di deposizione. Gli istogrammi corrispondono al numero di deposizioni osservate. Ogni intervallo di 15° d'arco corrisponde a 1 ora. Un arco all'esterno del cerchio indica l'orario medio (raggio del cerchio) e l'intervallo di confidenza al 95%. La scala differisce nei vari grafici a causa della diversa dimensione dei campioni. I dati sono cumulati per le 20 colonie osservate. L'assenza dell'intervallo di confidenza indica la non affidabilità del parametro, poiché calcolato a partire da una distribuzione statisticamente uniforme delle osservazioni del campione.

Discussione

I risultati mostrano che l'attività di deposizione avviene lungo tutto l'arco delle ventiquattro ore, ma non risulta uniformemente distribuita, concentrandosi nelle ore del mattino, approssimativamente dalle ore 6 alle ore 12.

Nessuna differenza è riscontrabile inoltre tra i pattern relativi a vespe di vario rango (alfa, fondatrici su-

bordinate, operaie). La nostra indagine mette dunque in evidenza la presenza di un'attività di ovoposizione relativamente concentrata nel tempo, e non influenzata da fattori legati all'individuo, come il suo rango.

Questi dati mettono in luce l'esistenza di una preferenza nel periodo di deposizione durante la giornata. È ipotizzabile quindi che esista un ritmo endogeno che influenzi l'attività di deposizione, probabilmente accoppiato ad un sistema di regolazione esterno. L'esistenza di tali meccanismi nel determinare varie attività che si presentano con pattern temporali ciclici è stata discussa e dimostrata fin da tempo [1,2]. Tale eventualità andrebbe tuttavia sottoposta a controllo sperimentale, osservando l'attività di ovoposizione in totale e prolungata oscurità.

Riteniamo inoltre opportuno fare una precisazione. L'ora esatta di maggior attività di deposizione, che potrebbe essere estrapolata dai nostri dati, è a nostro avviso poco importante. Si tratta, infatti, di uno studio condotto in laboratorio, e le condizioni sperimentali potrebbero differire in qualche maniera dalle condizioni ambientali, rendendo inaffidabile il valore esatto dell'ora in cui avviene la maggior parte delle deposizioni. Inoltre, lo sforzo di campionamento è stato lievemente minore proprio in una parte del periodo in cui le vespe risultano deporre di più; questo potrebbe spostare in una certa misura l'ora esatta del picco di deposizioni.

I nostri studi suggeriscono quindi la necessità di approfondire l'analisi, allargando il database delle registrazioni del comportamento (che permetterebbe ad esempio di avere maggiori dati sulla ovoposizione delle operaie) nonché ripetendo l'esperimento in condizioni differenti. Oltre alla totale e prolungata oscurità sarebbe infatti interessante anche valutare come variazioni di fattori fisici (temperatura, umidità) o sociali (condizione della colonia quali produttività, presenza di conflitti in corso, stadio del ciclo vitale) possano influenzare il pattern di deposizione da noi evidenziato. Riteniamo dunque che future ricerche debbano spingersi in tali direzioni.

Per il momento i nostri dati possono essere utili nella futura pianificazione di esperimenti che abbiano come oggetto il comportamento di deposizione. Sapere quando è più probabile osservare un comportamento che intendiamo analizzare può permettere un rilevante risparmio di tempo e risorse, e nel caso di registrazione di comportamenti imprevedibili (a priori) come l'ovoposizione il risparmio può essere anche ingente.

Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare Dimitri Giunchi per l'aiuto nell'analisi statistica circolare e il Gruppo Vespe dell'Università di Firenze per la raccolta delle colonie. A.C. desidera inoltre ringraziare la Scuola Normale Superiore per il supporto finanziario nell'attività di ricerca presso l'Université Pierre et Marie Curie di Parigi. Il progetto di ricerca è stato finanziato dalla Fondation Fyssen (www.fondation-fyssen.org).

Bibliografia:

- [1] J.D. Palmer, *An introduction to biological rhythms*. Academic Press Inc., New York: 1976.
- [2] J.C. Dunlap, J.J. Loros, P.J. DeCoursey, *Chronobiology: biological timekeeping*. Sinauer Associates Inc., Sunderland: 2004.
- [3] J.W. Hastings, L. Astrachan, B.M. Sweeney, *J. Gen. Physiol.* 1961, 45: 69.
- [4] P.J. De Coursey, *Z. Vergl. Physiol.* 1961, 44: 331.
- [5] T. Matsuo, S. Yamaguchi, S. Mitsui, A. Emi, F. Shimoda, H. Okamura, *Science* 2003, 302-5643: 255.
- [6] D. Moore, *J. Ins. Physiol.* 2001, 47: 843.
- [7] S. Yerushalmi, S. Bodenheimer, G. Bloch, *J. of Exp. Biol.* 2006, 209: 1044.
- [8] H.E. Evans, *Proc. 10th Int. Cong. Entomol.* 1958: 449.
- [9] L. Pardi, *Boll. Entomol. Bologna* 1942, 14: 1.
- [10] L. Pardi, *Boll. Ist. Entom. Univ. Bologna* 1946, 15: 25.
- [11] S. Turillazzi, *Le società delle vespe*. Alberto Perdisa Editore, Bologna: 2003.
- [12] D.C. Queller, F. Zacchi, R. Cervo, S. Turillazzi, M. Henshaw, L. Santorelli, J.E. Strassmann, *Nature* 2000, 405: 784.
- [13] J. Liebig, T. Monnin, S. Turillazzi, *Proc. Roy. Soc. Lond. Ser. B.* 2005, 272: 1339.
- [14] A. Cini, *I conflitti riproduttivi intracoloniai in Polistes dominulus*. Tesi di Laurea, Università di Pisa: 2007.
- [15] P.F. Röseler, I. Röseler, A. Strambi, *Beh. Ecol. Sociobiol.* 1985, 18: 9.
- [16] P.F. Röseler, I. Röseler, A. Strambi, R. Augier, *Beh. Ecol. Sociobiol.* 1984, 15: 133.
- [17] J. Gervet, *Ann. Sci. Nat. (zool.)* 1964, 12: 601.
- [18] J. Gervet, *Ins. Soc.* 1964, 11: 343.
- [19] E. Batschelet, *Circular Statistics in Biology*. Academic Press, New York: 1981.

Possibile attività pronuba svolta dall'ape (*Apis mellifera*: Hymenoptera, Apoidea) nell'impollinazione dell'olivo (*Olea europaea*)

Stefano Marcucci*¹, Guido Flamini², Mauro Pinzauti¹, Mario Conidi¹, Luciano Filippi³,
Gianluca Bedini¹, Antonio Felicioli⁴

Parole chiave: impollinazione, *Apis mellifera*, *Olea europaea*, polline, composti volatili

In questo lavoro è stata indagata la possibile presenza di una sindrome ape-olivo e la possibilità di verificare l'applicazione delle varie tecniche di impollinazione guidata di tipo entomofilo su questa pianta così da incrementare il livello qualitativo e quantitativo della produzione di olive.

L'esigenza di focalizzare l'attenzione sul ruolo che gli apoidei possono avere nella impollinazione dei fiori di olivo, considerati anemofili, scaturisce, in gran parte, da tre constatazioni principali. La prima nasce dalla carenza e contraddittorietà della bibliografia disponibile sull'argomento. La seconda nasce dal fatto che il polline di olivo ha caratteristiche intermedie tra i pollini considerati anemofili e quelli considerati entomofili. In fine la terza dal fatto che molti apicoltori hanno affermato e continuano ad affermare di vedere molte api posarsi sull'olivo durante la fioritura.

Particolare attenzione è stata rivolta allo studio delle molecole volatili emesse dal polline e dall'intero fiore di olivo. Tale studio è stato condotto mediante un gas cromatografo accoppiato ad uno spettrometro di massa.

L'efficacia dell'ape mellifica è stata valutata testando branche in fioritura in differenti condizioni di isolamento con e senza insetti.

Parallelamente sono stati condotte analisi palinologiche e melissopalinologiche su mieli e scorte polliniche provenienti da nidi appositamente collocati negli oliveti utilizzati lungo la costa toscana.

Dai risultati ottenuti, si è evidenziata, per alcune condizioni ambientali, una interessante concomitanza tra elevata frequentazione dei fiori da parte delle api mellifiche ed elevata presenza di alcuni terpeni sul fiore di diverse cultivar di olivo.

Questa ricerca, pur necessitando di maggiori approfondimenti, indica una reale possibilità di messa a punto di strategie e tecniche di impollinazione guidata di questa pianta così importante nell'economia, tradizione e paesaggio italiani.

Introduzione

Il fiore dell'olivo (*Olea europaea* L.) non è nectarifero e la pianta è comunemente considerata anemofila [1]. Nonostante questo, il polline è morfologicamente intermedio tra i pollini delle specie considerate tipicamente anemofile e quelle considerate

tipicamente entomofile [2] [3] [4]. Inoltre, a sostegno di quest'ultima affermazione, alcune ricerche riportano che le api (*Apis mellifera* L.), in particolari anni, visitano il fiore dell'olivo contribuendo alla sua impollinazione [5] [6] [7] [8].

Per investigare la possibile relazione tra l'ape e l'olivo sono state condotte osservazioni dirette, è stato rea-

lizzato un test di impollinazione guidata e sono state compiute analisi palinologiche su polline e miele raccolti dai nidi. Inoltre, vista l'assenza in letteratura di lavori riguardanti l'emissione di composti volatili da parte del fiore di *Olea europaea*, è stato condotto, in due anni consecutivi, uno studio dettagliato delle molecole volatili rilasciate nell'ambiente sia dal polline che dal fiore di differenti cultivars campionate.

Materiali e metodi

Le località di coltivazione sono state scelte come rappresentanti i differenti habitat lungo la parte costiera della regione.

Le piante di olivo sono state scelte con età tra i 10 e 25 anni e coltivate seguendo le tradizionali tecniche agronomiche locali.

L'efficienza impollinatrice degli apoidei, *Apis mellifera* ligustica e *Megachile rotundata*, è stata investigata con le cvs. Leccino e Frantoio a Follonica. L'efficienza impollinatrice dei due apoidei è stata valutata testando: branche fiorite isolate da una possibile azione dell'insetto, branche fiorite isolate da una possibile azione del vento e brache fiorite isolate con al loro interno l'insetto opportunamente confinato.

Per investigare i composti volatili emessi dall'intero apparato riproduttore sono stati raccolti, per ciascun campionamento, cinquanta fiori ed immediatamente posizionati in contenitori sterili di vetro da 20ml.

Stesso procedimento è stato seguito per raccogliere i campioni di polline nei contenitori sterili di vetro da 20ml. Ogni campione di polline è stato raccolto scuotendo alcune infiorescenze all'interno dei contenitori fino ad ottenere 5mg di polline, quantità considerata sufficiente per poter svolgere le successive analisi al GC/MS. Tutti i contenitori usati per i campionamenti sono stati coperti con pellicola di alluminio ed introdotti in ambiente refrigerato per prevenire possibili alterazioni dovute alla luce ed alla temperatura. Tutti i campioni sono sempre stati analizzati entro le tre ore dalla raccolta.

Nei siti di Fosdinovo, Colognole e Follonica, ogni campione è stato raccolto in piena fioritura alle ore 12:00.

I composti volatili provenienti da ogni campione sono stati raccolti mediante Solid Phase Micro-extraction (SPME). SPME è una tecnica veloce e priva dell'utilizzo di solventi, basata sulla partizione dei volatili all'interno di una matrice campione, lo spazio di testa sopra il campione raccolto, ed una fase stazionaria

attorno ad una fibra assorbente. Successivamente, i volatili assorbiti vengono estratti termicamente dalla fibra nella porta dell'iniettore del cromatografo. Per campionare lo spazio di testa di tutti i campioni raccolti è stato utilizzato un dispositivo Supelco SPME ricoperto con polydimethylsiloxane (PDMS, 100 µm). Dopo la stabilizzazione, la fibra veniva esposta allo spazio di testa per 15 minuti alla temperatura di 25°C. A campionature finite la fibra veniva ritirata all'interno dell'ago protettivo e trasferita alla porta dell'iniettore del GC e del sistema GC/MS, in entrambi i casi usando l'iniettore alla temperatura di 250°C.

Durante la raccolta dei campioni nei siti di campionamento prescelti sono state fatte anche osservazioni dirette sui fiori degli olivi e sulle api allo scopo di determinare la frequenza delle visite sui fiori e il comportamento tenuto dall'insetto durante la visita. Inoltre sono stati prelevati campioni di miele e pollini dall'interno dei nidi che erano stati posizionati preventivamente nell'oliveto. I campioni di miele e polline raccolti sono stati analizzati mediante tecniche palinologiche.

gli autori

¹ Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose, via San Michele degli Scalzi, 2, 56126 Pisa
iccucram@inwind.it*
mpinzaut@agr.unipi.it;
mconidi69@yahoo.it
gianlucabedini@virgilio.it

² Dipartimento di Chimica Bioorganica e Biofarmacia, Via Bonanno 33, 56126 Pisa
flamini@farm.unipi.it

³ Gruppo Italiano Ricerca Orchidee Spontanee, via Napoli, 30,
57023 Cecina (LI)
luciano.filippi6@tin.it

⁴ Dipartimento di Anatomia, Fisiologia e Biochimica Veterinaria, via delle piagge 2, 56126 Pisa
a.felicioli@vet.unipi.it

* autore per corrispondenza

Risultati

Nel sito di Follonica i due tipi di apoidei utilizzati non hanno raccolto polline dai fiori degli olivi sui quali erano stati confinati.

La quantità di frutti prodotta dalle piante utilizzate a Follonica non presenta differenze tra le piante testate con gli insetti e quelle testate senza insetti. Inoltre non ci sono differenze tra le attività impollinatrici dei due tipi di apoidei e nessuna differenza di comportamento dei due tipi di api con le due cultivars esaminate. A conferma delle osservazioni, le successive analisi melissopalinoologiche sui campioni di miele, raccolti dai nidi collocati nell'oliveto, indicano percentuali di polline di olivo inferiore al 1% (tabella 1).

Tabella 1: Percentuali di polline di differenti specie vegetali individuate mediante analisi melissopalinoologiche su campioni di miele raccolti in oliveti di due località lungo la costa della Toscana.

Specie vegetale	Località	
	Follonica	Fosdinovo
<i>Acer pseud.gr</i>		1,5
<i>Brassicaceae f.</i>	41	
<i>Carduus f.</i>	<i>p</i>	
<i>Castanea</i>		<1
<i>Compositae S</i>		<i>p</i>
<i>Coronilla f.</i>	<i>p</i>	
<i>Echium</i>	9	
<i>Erica</i>		1,5
<i>Eucalyptus</i>	21	
<i>Eupatorium f.</i>		1
<i>Ligustrum</i>	<i>p</i>	
<i>Ononis f.</i>	<i>p</i>	
<i>Phacelia</i>		<1
<i>Prunus/Pyrus f.</i>		2,5
<i>Ranunculus spp.</i>		<1
<i>Rubus f.</i>	<i>p</i>	
<i>Salix</i>		<1
<i>Olea f.</i>	<i>p</i>	91
<i>Papaver</i>	20	<i>p</i>
<i>Quercus ilex gr.</i>		<1
<i>Quercus robur gr.</i>		<1
altri <2%	9	

Nella località di Fosdinovo sono state osservate molte api operaie raccogliere il polline sul fiore di olivo schiacciando le antere con le mandibole e successivamente caricare i grani di polline nella *curbicula* sul terzo paio di zampe (figura 1).



Figura 1: Ape in raccolta sul fiore di olivo. In evidenza la curbicula piena di polline.

Anche in questo caso, a conferma delle osservazioni, le analisi palinologiche svolte sia sul polline della *curbicula* che sul polline proveniente dal favo indicano percentuali di polline di olivo elevate con massimi del 100% (tabella 2). Inoltre le analisi melissopalinoologiche eseguite su campioni di miele proveniente dagli stessi nidi mostrano percentuali di polline di olivo del 91% (tabella 1).

Tabella 2: Percentuali di polline di olivo individuato, mediante analisi palinologiche, in campioni di polline raccolto sulle api e nei nidi posizionati nell'oliveto di Fosdinovo, Toscana.

Origine del campione	Polline di <i>Olea f.</i> (%)
Ape (<i>curbicula</i>)	
campione 1	100%
campione 2	100%
Favo	
campione 1	100%
campione 2	60% (<i>Quercus ilex gr.</i> 40%)
campione 3	5% (<i>Quercus ilex gr.</i> 95%)
campione 4	0% (<i>Quercus ilex gr.</i> 100%)

Dove sono state osservate api operaie raccogliere il polline dal fiore dell'olivo, le successive analisi GC/MS hanno mostrato un'alta percentuale di monoterpeni, sia dal polline (ca. 62%) che dal fiore (ca. 45%) (Tabelle 3 e 4), mentre il polline e i fiori provenienti dalle altre località dove non sono state osservate api bottinaie le percentuali erano circa il 25% e il 0,3% rispettivamente (Tabelle 3 e 4).

Discussione

Dalle analisi dei dati è possibile dire che in due delle tre località di coltivazione scelte (Follonica and Colognole) le api non hanno avuto nessun ruolo nell'impollinazione dell'olivo, mentre, a Fosdinovo, l'elevato numero di api operaie che sono state osservate sul fiore dell'olivo e i dati ottenuti dalle analisi svolte mostrano come in questa località le operaie abbiano fo-

raggiato su questo fiore.

I risultati ottenuti vanno a confermare quanto più volte indicato dal proprietario dell'oliveto del sito di Fosdinovo ed evidenziando quanto questa interazione olivo-ape sia scarsamente trattata in letteratura.

I risultati ottenuti sembrerebbero indicare che «l'effetto ambientale», sulla presenza di specifici composti volatili riscontrati all'interno del sito di indagine, sia superiore a qualsiasi «effetto cultivars», come sembrerebbe essere suggerito dalla forte somiglianza della composizione dell'aroma, sia del polline che dei fiori, riscontrata tra le due cultivars, Frantoio e Leccino, campionate a Follonica (tab. 3 e 4).

La principale differenza tra Fosdinovo e gli altri siti (indipendentemente dalla cultivar) sembra essere data essenzialmente dalla presenza, sui fiori di olivo di questa località, di una maggiore percentuale di monoterpeni.

Nonostante ulteriori verifiche siano auspicabili pri-

Tabella 3: Percentuali dei composti volatili individuati, rispetto alle cultivars, località ed anni, mediante solid-phase micro extraction (SPME) analysis su campioni di polline di olivi coltivati in Toscana.

Cultivars e Località	Leccino	Frantoio		Frantoio		Frantoio		Mortanino	Razzo	Piangente
	Follonica	Follonica	Follonica	Colognole	Colognole	Fosdinovo	Fosdinovo	Fosdinovo	Fosdinovo	Fosdinovo
Composti Volatili	2004	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2005	2005	2005
monoterpenes	33,8	28,6	21,7	15,2	13,2	70,4	64,4	63,0	64,2	59,5
Alcohols	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	tr	0,0	0,0	0,0	0,0
Phenyl propenoids	tr	tr	0,1	tr	0,0	0,9	0,6	0,5	0,7	tr
Alcohol Esters	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	tr	tr	tr	0,2
Sesquiterpenes	7,4	8,3	12,2	11,0	9,5	2,0	4,7	2,7	5,8	5,2
Aldehydes and ketones	1,2	1,7	1,8	3,2	5,4	1,0	0,8	1,0	1,8	tr
Hydrocarbons	52,7	57,7	59,8	63,2	71,1	24,2	25,9	23,2	26,0	26,6
Totale identificati	95,1	96,3	95,6	92,6	99,2	98,7	96,4	90,4	98,5	91,5

Tabella 4: Percentuali dei composti volatili rispetto alle cultivars, località ed anni individuate mediante solid-phase micro extraction (SPME) analysis su campioni di fiori completi di olivi coltivati in Toscana.

Cultivars e Località	Leccino	Frantoio		Frantoio		Frantoio		Mortanino	Razzo	Piangente
	Follonica	Follonica	Follonica	Colognole	Colognole	Fosdinovo	Fosdinovo	Fosdinovo	Fosdinovo	Fosdinovo
Composti Volatili	2004	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2005	2005	2005
monoterpenes	0,6	0,6	1,0	0,3	tr	48,9	49,6	51,2	42,0	40,4
Alcohols	0,5	0,9	0,2	1,4	1,6	0,1	0,0	0,1	0,6	0,0
Phenyl-propenoids	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alcohol Esters	14,3	18,9	10,2	11,3	10,3	3,8	3,3	1,5	4,9	2,6
Sesquiterpenes	5,9	6,1	7,0	5,6	6,7	3,7	5,3	3,5	7,0	4,5
Aldehydes and ketones	13,2	6,6	7,7	7,8	9,9	2,2	1,9	4,1	6,1	4,5
Hydrocarbons	58,9	61,3	65,4	66,9	69,8	38,3	33,2	38,4	38,8	38,2
Totale identificati	93,4	94,4	91,5	93,3	98,3	97,0	93,3	98,8	99,4	90,2

ma di pervenire a conclusioni definitive, tuttavia, la concomitanza, nel sito di Fosdinovo, di una particolare composizione dell'aroma del polline ed il peculiare comportamento delle api e da qui la spiegazione dell'uno con la presenza dell'altro è così affascinante che qualche speculazione può essere fatta, in primo luogo ad esempio potrebbe essere presa seriamente in considerazione la possibilità di poter aumentare la produttività degli oliveti analizzandone in una prima fase il chemiotipo, in modo da poter intervenire in seguito con l'introduzione sul territorio del pronubo più adatto come nel caso della zona di Fosdinovo per la quale l'ape mellifica sembrerebbe essere eleggibile come il più idoneo.

Bibliografia

- [1] A. Morettini, Olivicoltura. R.E.D.A., Roma 1972.
- [2] R.F. Wodehouse, The fundamentals of fruit production. Ed. Mc. Graw-Hill Book Comp., New York 1935, 554.
- [3] G.E. Mameli Calvino, Osservazioni sul polline dell'olivo e altri temi di studio. Annali della Sperimentazione Agraria, 1953.
- [4] G. Ricciardelli D'albore, F. Intoppa, Flora e Api: la flora visitata dalle api e dagli altri apoidei in Europa. Edagricole, 2000.
- [5] N.H. Griggs, H.T. Hartmann, M.V. Bradley, B.T. Iwakiri, J.E. Whisler, The olive pollination in California. California Agricultural Experiment Station, 1975, Bulletin n. 869.
- [6] S.E. McGregor, Insect pollination of cultivated crop plants. Agriculture Handbook 1976, 496: 267-268.
- [7] E. Barbier, L'olivier. La pollinisation des cultures. Edmond, 1986, 426-431.
- [8] S. Lavee, Biologia e fisiologia dell'olivo. Enciclopedia mondiale dell'olivo, Consiglio Oleicolo Internazionale, 1996.

Analisi climatica dell'isola di Pianosa

Irene Nicotra^{*1}, Francesco Primo Vaccari², Alfonso Crisci³

Parole chiave: isola di Pianosa, regime termico, regime pluviometrico, regime anemometrico, tendenze del clima

Scopo del presente lavoro è l'analisi climatica dell'isola di Pianosa nel periodo 1951-2002. Lo studio è stato realizzato grazie alla ricostruzione di una serie storica di dati meteorologici effettuata dall'Istituto di Biometeorologia del CNR ed all'acquisizione di nuovi dati rilevati dalla stazione meteo posizionata recentemente sul territorio, ad opera del medesimo Istituto. Attraverso l'analisi dei dati è stato possibile valutare l'andamento delle temperature e delle precipitazioni su un intervallo di tempo abbastanza ampio per poter giungere a significative conclusioni sulle tendenze del clima.

Introduzione

Pianosa (Long. 10° 04' 44" Est e Lat. 42° 35' 07" Nord) è l'isola più occidentale dell'Arcipelago Toscano e la quinta per estensione tra le sette isole che lo compongono. È situata a 13 km a Sud dell'isola d'Elba, 50 km dalla costa continentale e 40 km dalla Corsica.

È nel complesso pianeggiante, non a caso il suo nome (anticamente «Planasia») ricorda questa sua peculiarità; si presenta come un tavolato di forma sub triangolare, leggermente basculato verso Est. Ha un'estensione di 10,2 km², un perimetro costiero di circa 18 km e un'altezza topografica massima sul livello del mare di 34 m (isolotto della Scola). Complessivamente l'altitudine media dell'isola si attesta sui 18 m circa.

Per quanto sia evidente che l'influenza del mare espliciti su tutte le isole dell'Arcipelago un'azione preponderante, le differenze che si registrano tra di esse in merito ad estensione, altitudine e morfologia consentono delle diversificazioni climatiche. La conformazione topografica che Pianosa possiede le consente di godere di una tale peculiarità climatica

da farle guadagnare l'appellativo di «Sicilia della Toscana» [1]. La totale assenza di rilievi limita di fatto la condensazione delle masse d'aria e determina un regime pluviometrico nettamente inferiore a quello delle altre isole dell'Arcipelago, soprattutto rispetto ad alcune località della vicina Elba, che presenta l'altitudine maggiore nel M.te Capanne (1083 m s.l.m.). Precedenti studi climatici [2], [3] hanno già delineato le peculiarità dell'isola, che costituisce un unicum nel panorama della Toscana insulare, sebbene le recenti valutazioni sui cambiamenti a livello globale inducano a rivolgere una più approfondita attenzione alle oscillazioni climatiche intervenute sull'isola in questi ultimi anni.

Dati sperimentali

È stata ricostruita dall'IBIMET-CNR una serie termo-pluviometrica storica completa, da cui prende origine il presente studio, a partire dal 1951 sino al 2002, sulla base dei dati rilevati sull'isola e, ove mancanti, interpolando i valori con i dati delle stazioni limitrofe, apportando le dovute correzioni per even-

Tabella 1: Temperature medie mensili ed annue (in °C) nelle stazioni di Pianosa, Livorno e Grosseto nel periodo 1960-2000.

stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	media
Pianosa	9,4	9,3	10,7	13,1	16,7	20,5	23,7	23,9	20,9	17,5	13,2	10,4	15,8
Livorno	8,4	9,0	11,1	13,6	17,4	20,6	23,7	23,8	20,9	17,1	12,3	8,7	15,6
Grosseto	7,8	8,5	10,3	12,8	16,8	20,5	23,7	24,0	20,8	16,9	12,1	8,6	15,2

tuali differenze di altitudine, latitudine ed esposizione [4]. I dati più remoti sono stati estratti dai registri dei valori rilevati dalla vecchia stazione meteorologica dell'isola, inizialmente posta sul tetto della scuola ed in seguito spostata sul tetto della «Casa dell'agronomo», entrambe situate in paese, a pochi metri s.l.m. I dati più recenti provengono in forma digitale dal database meteo-climatico dell'IBIMET che prevede al rilevamento, elaborazione e restituzione delle misure fornite da una moderna stazione meteo installata sull'isola a partire dal maggio 2000 [5].

Nell'ambito e per le finalità del presente lavoro i dati giornalieri sono stati elaborati su base media mensile ed annua, onde ottenere dei valori medi utilizzabili per una ricostruzione della climatologia del periodo analizzato e per calcolare il bilancio idrico del sito oggetto di studio, necessario per la tipizzazione climatica.

Andamento delle temperature

Nella tabella 1 sono riportati per la stazione di Pianosa i valori elaborati sulla base dei dati forniti dall'IBIMET, della temperatura media mensile ed annua nel periodo 1960-2000, mentre per le stazioni di Livorno e Grosseto sono riportati i valori delle medie mensili ed annue ricavati dal sito del Comma-Med [6], calcolate sempre nel periodo 1960-2000. Si precisa che, non disponendo di dati ulteriori per le stazioni di Livorno e di Grosseto ed esclusivamente ai fini della seguente analisi, si è operato utilizzando i dati delle tre stazioni elaborati nel medesimo arco temporale, affinché fossero paragonabili.

Confrontando i dati della tabella si nota che il valore medio annuo della temperatura di Pianosa, pari a 15,8 °C, risulta leggermente più elevato rispetto alle medie annue delle due stazioni continentali costiere pressoché di pari altitudine, rispettivamente 15,6 °C e 15,2 °C. Questa considerazione si allinea con le conclusioni tratte da Vittorini [2], il quale attribuisce questa differenza sostanzialmente ad inverni più miti sull'isola per l'elevato grado di marittimità della stazione di Pianosa, come si può verificare confrontan-

do le temperature medie invernali ed estive delle tre stazioni (figura 1) e le escursioni annue (figura 2). Per quanto riguarda il regime termico, esso è simile in tutte le stazioni, sulle quali si registrano temperature medie autunnali maggiori di quelle primaverili sempre in ragione della marittimità, che prevede forti rilasci di calore legati all'inerzia del mare, come dimostra l'andamento del grafico di figura 1. La spiegazione risiede nel fatto che alle nostre latitudini le località marittime cedono durante l'autunno il calore accumulato negli strati superficiali del mare, nel cosiddetto termoclino, durante il periodo estivo (maggio-settembre), rendendo il clima autunnale termicamente più mite [2]. Il fenomeno inverso è presente in primavera nei mesi di marzo e aprile, come si può notare dalla figura 1, dove il mare agisce come accumulatore di calore.

Esaminando l'escursione media annua (figura 2), valutata sulla differenza tra la temperatura media mensile del mese più caldo e quella del mese più freddo, si nota che è minore a Pianosa rispetto alle altre stazioni marittime.

Anche questa caratteristica è imputabile alla notevole

gli autori

¹ Provincia di Livorno, Dipartimento Infrastrutture e Protezione, c/o Complesso della Gherardesca, Via Galilei, 54 - Livorno
i.nicotra@provincia.livorno.it

² Istituto di Biometeorologia del CNR, Via Giovanni Caproni, 8 - Firenze
f.vaccari@ibimet.cnr.it

³ Istituto di Biometeorologia del CNR, Via Giovanni Caproni, 8 - Firenze
a.crisci@ibimet.cnr.it

* autore per corrispondenza

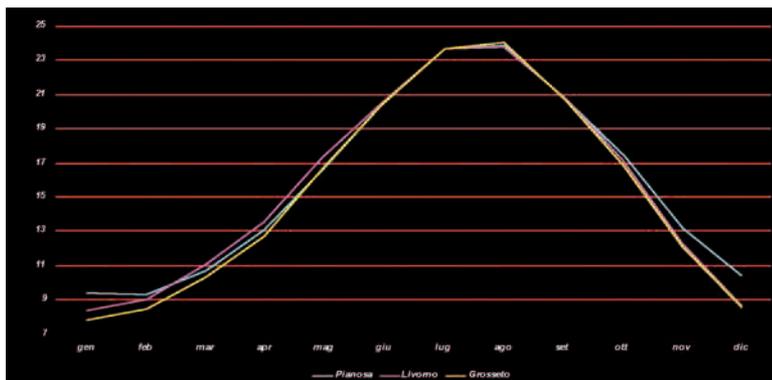


Figura 1: Diagrammi delle temperature medie mensili nel periodo 1960-2000 elaborate dai dati delle stazioni di Pianosa, Livorno e Grosseto.

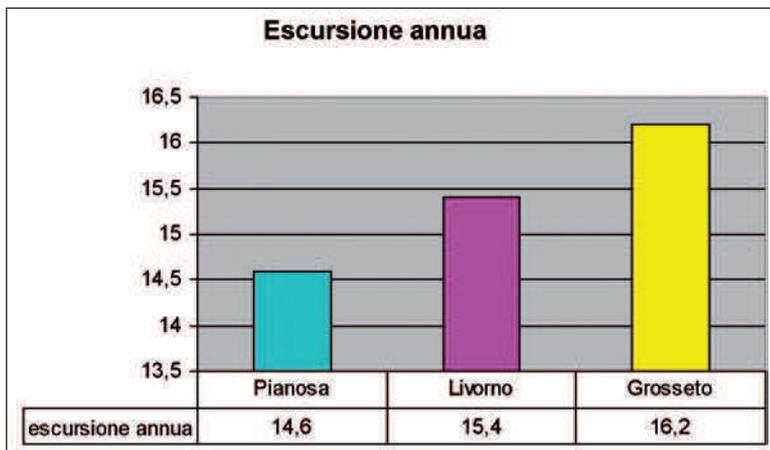


Figura 2: L'escursione annua alle stazioni marittime di Pianosa, Livorno e Grosseto (1960-2000).

le influenza del mare sul clima, che si manifesta maggiormente sulle isole di piccole dimensioni.

Se consideriamo esclusivamente le osservazioni termometriche della stazione di Pianosa (figura 3) nel periodo 1951-2002, si nota che la temperatura media annua si attesta sui 16,0 °C, valore leggermente più alto rispetto a quello di 15,8 °C del periodo 1960-2000. L'escursione annua risulta lievemente minore, passando da 14,6 °C a 14,4 °C. Il dato è da mettere in relazione all'aumento della temperatura media mensile del mese più freddo (febbraio) che passa da un valore di 9,3 °C a quello di 9,6 °C, men-

tre il valore della temperatura media mensile del mese più caldo (agosto) rimane sostanzialmente invariato (24,0 °C).

Esaminando le variazioni pluriennali si nota che il trend complessivo lineare dell'andamento delle temperature del periodo 1951-2002 è in diminuzione, con un decremento medio calcolato di 0,4 °C ogni dieci anni; in particolare a partire dal 1981 fino al 2000 le temperature medie annue si attestano al di sotto della media normale, con punte minime nel 1981 (14,0 °C) e nel 1984, anno in cui si registra il valore più basso di tutto il periodo (13,6 °C) ed uno scarto negativo dalla media normale di 2,5 °C.

Confrontando l'analisi sinora esposta con lo studio di Vittorini [2] si nota nel lungo periodo una inversione del trend delle variazioni pluriennali. Egli esamina le variazioni della

temperatura alla stazione di Portoferraio (isola d'Elba, altitudine m. 25 s.l.m.) e rileva un trend in aumento su un intervallo di trentasette anni (1933-1970) con un incremento medio calcolato linearmente di 0,12 °C ogni dieci anni. Oltremodo rilevante è il repentino aumento della temperatura che si verifica negli ultimi anni, messo in evidenza nel grafico di figura 3. Si nota che, a partire dal 1995 in cui si registra un minimo relativo pari a 14,4 °C, le temperature medie annue subiscono un continuo aumento e addirittura un'impennata negli ultimi due anni; in particolare proprio nel 2002 si registra il valore medio annuo di temperatura più alto di tutto l'intervallo esaminato, con la punta

massima di 18,8 °C ed uno scarto positivo dalla media normale di 2,7 °C.

Le osservazioni sono coerenti con la bibliografia italiana e internazionale sugli studi sui cambiamenti climatici. Il trend negativo delle temperature è da ricondurre al calo della radiazione globale osservato non solo in area mediterranea [7], [8], [9]. L'inversione della tendenza a partire proprio dal 1995 è invece legata all'evoluzione dei processi legati al Global warming [10].



Figura 3: Diagramma delle temperature medie annue registrate a Pianosa nel periodo 1951-2002. Sono indicate la retta e le curve di tendenza (II e VI ordine), con le relative equazioni, e la media normale.

Andamento delle precipitazioni

Osservando la tabella 2 si nota che la media delle precipitazioni annue registrate a Pianosa, pari a 496,1 mm di pioggia, nell'arco di tempo 1960-2000, è decisamente inferiore a quella delle stazioni marittime di Livorno e di Grosseto, rispettivamente pari a 790,3 e 656,8 mm di pioggia.

L'andamento del grafico di figura 4, costruito sulla serie dei dati riportati in tabella 2, mostra inoltre un regime pluviometrico dissimile tra le varie stazioni. Si rileva una sostanziale affinità nell'andamento delle piogge nella stagione autunnale tra le varie stazioni, con la presenza di un massimo assoluto delle rispettive curve a Pianosa e a Livorno nel mese di ottobre, e nel mese di novembre a Grosseto.

In tutte le stazioni si registra il minimo assoluto di

piogge nel mese di luglio, con un valore più basso delle altre nella stazione di Pianosa. Tuttavia, analizzando i grafici, si osserva che a Pianosa e a Livorno esiste un massimo secondario di piogge annuo, nella prima registrato in inverno (febbraio) e nella seconda in primavera (aprile), mentre a Grosseto questo massimo relativo non si riscontra. Inoltre si individua un minimo relativo nel mese di gennaio a Pianosa e di febbraio a Livorno, mentre risulta assente a Grosseto. Si verifica quindi la coincidenza di un massimo di piogge in inverno a Pianosa con un minimo a Livorno. Riassumendo possiamo operare una distinzione tra il tipo di regime pluviometrico [7] che caratterizza le tre stazioni:

- Pianosa, presenza di due massimi relativi (in autunno il massimo principale, in inverno quello secondario) e due minimi (in estate quello principale, in inverno quello secondario). Regime pluviometrico definito di tipo submediterraneo (AIPE)¹;
- Livorno, presenza di due massimi relativi (in autunno il massimo principale e in primavera quello se-

Tabella 2: Precipitazioni medie mensili ed annue registrate alle stazioni di Pianosa, Livorno e Grosseto nel periodo 1960-2000.

stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	tot
Pianosa	42,9	53,1	44,7	40,3	26,8	20,4	8,5	28,6	44,6	70,4	61,2	54,6	496,1
Livorno	62,1	54,4	60,7	64,1	49,1	42,9	17,5	42,0	87,5	125,3	108,5	76,2	790,3
Grosseto	64,5	55,5	52,4	49,9	39,2	24,0	18,6	39,0	66,0	83,4	95,4	68,9	656,8

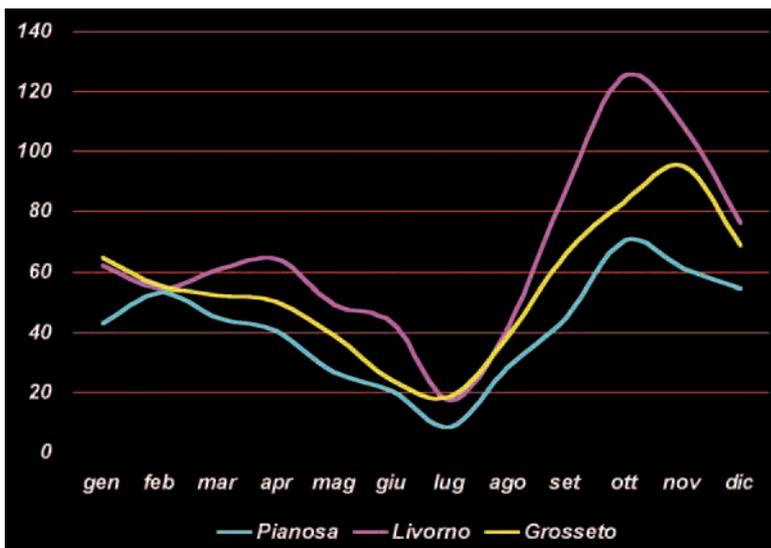


Figura 4: Diagrammi delle precipitazioni medie mensili nel periodo 1960-2000 elaborate dai dati delle stazioni di Pianosa, Livorno e Grosseto.

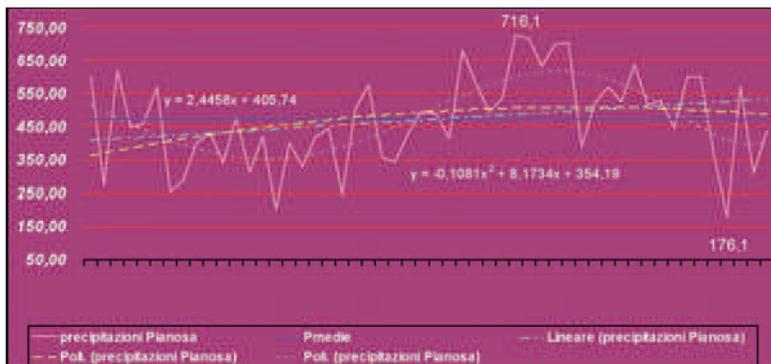


Figura 5: Precipitazioni annue a Pianosa nel periodo 1951-2002. Sono indicate la retta e le curve di tendenza (II e VI ordine), con le relative equazioni, e la media normale.

condario) e due minimi (in estate quello principale e in inverno quello secondario). Regime pluviometrico definito di tipo sublitoraneo (APIE)²;

- Grosseto, presenza di un solo massimo (autunno) e un solo minimo (estate). Regime pluviometrico di tipo submediterraneo.

È da notare la forte differenza tra i valori di precipitazioni medie annue rilevata tra la stazione di Pianosa e le altre due stazioni marittime, che è da ascrivere principalmente alla scarsità di piogge autunnali sul-

l'isola, oltre che ad una tendenza costante a piovere meno nell'arco di tutto l'anno.

Esaminando i valori delle precipitazioni nell'arco temporale 1951-2002 si rileva che il valore complessivo diminuisce leggermente, passando da 496,1 (periodo 1960-2000) a 480,7 mm di pioggia, mentre il regime rimane sostanzialmente lo stesso con la presenza di un massimo principale in inverno (febbraio), un minimo assoluto in estate (luglio) ed un minimo relativo a gennaio.

Se si osservano le variazioni pluriennali delle precipitazioni annue a Pianosa del periodo 1951-2002 (figura 5), si rileva un trend lineare in aumento, con incremento medio calcolato di 24,5 mm annui e punta massima (716,1 mm pioggia) nell'anno 1984, con uno scarto positivo dalla media normale di 245,6 mm di pioggia.

Studiando la curva legata al trend non lineare si rileva una variazione di tendenza a partire dall'anno 1989 e successivamente un andamento in diminuzione. Si registra difatti un minimo assoluto delle precipitazioni medie del periodo esaminato nel 1999, con uno scarto negativo dalla media normale di ben 294,45 mm di pioggia.

Esaminando il diagramma termo-pluviometrico delle medie mensili (figura 6) si nota una perfetta concordanza tra il minimo estivo delle precipitazioni e il mas-

simo assoluto delle temperature (luglio); nondimeno al massimo secondario delle precipitazioni corrisponde il minimo relativo delle temperature invernali (gennaio).

Per quanto riguarda le variazioni pluriennali delle medie termopluviometriche nel medesimo arco di tempo (figura 7) si osservano dallo studio delle curve dei trend non lineari come le diminuzioni delle precipitazioni si accordino perfettamente con l'aumento delle temperature medie, mentre alle diminuzioni di temperatura corrispondano aumenti delle precipitazioni. In particolare si verifica una diminuzione delle precipitazioni nel periodo 1951-1963 al quale corrisponde un aumento di temperatura; a partire dal 1963 le precipitazioni medie aumentano, con concomitante diminuzione della temperatura, fino al 1989. Dal 1989 in poi le precipitazioni diminuiscono con un contestuale aumento di temperature.

Condizioni anemometriche

In riferimento alle condizioni anemometriche dell'isola, non disponendo purtroppo di un periodo altrettanto lungo di rilevazioni anemometriche dell'IBIMET rispetto ai dati termo-pluviometrici analizzati in precedenza, ci si è limitati a studiare soltanto le osservazioni degli anni 2002-2003, per verificare se in quest'ultimo periodo ci fossero stati segnali di possibili variazioni del regime dei venti, rispetto a quanto rilevato negli studi precedenti. In particolare, analiz-

zando i dati forniti dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica per il periodo 1960-1969, Vittorini [2] conclude osservando che i venti predominati sul territorio sono quelli con direzione meridiana, ovvero i venti di sud e di nord, che presentano rispettivamente il 16,0% e il 18,6% delle frequenze medie annue. Anche lo Scirocco presenta una frequenza alta, con il 16,1%, mentre il Libeccio, vento dominante sulle coste della Toscana, presenta soltanto il 5,4% delle frequenze a Pianosa. Inoltre si rileva che i venti più veloci sono il Maestrone e la Tramontana, con velocità media ponderata rispettivamente di 27,7 e 26,1 km/h. Seguono il Grecale (24,5 km/h), i venti da Sud (22,6 km/h) e lo Scirocco (22,5 km/h). Il vento meno veloce risulta essere il Levante, con 20,1 km/h. Vittorini [2] inoltre riferisce che non esiste un

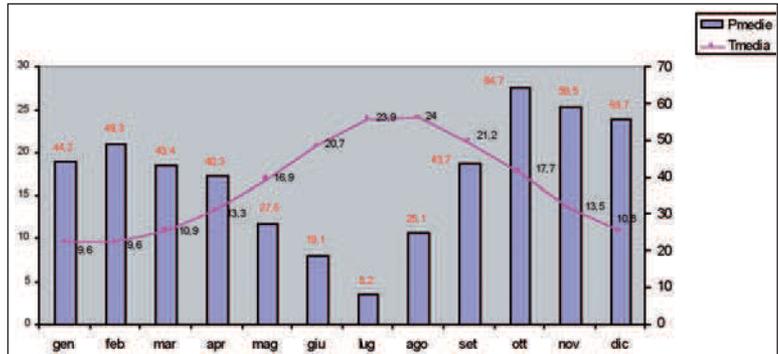


Figura 6: Diagramma termo-pluviometrico delle medie mensili calcolate nel periodo 1951-2002 (Pianosa).

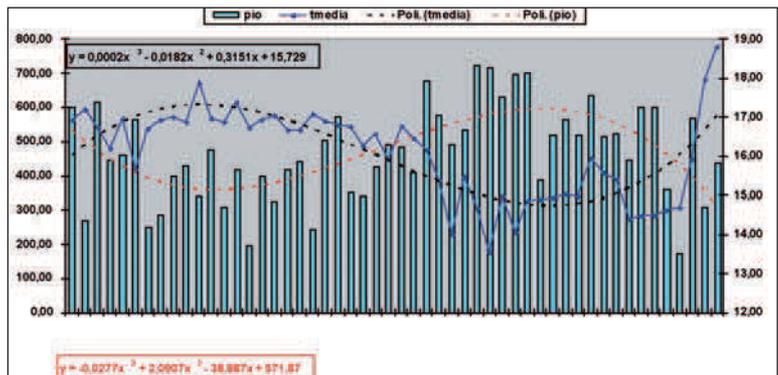


Figura 7: Diagramma termo-pluviometrico con le variazioni pluriennali delle temperature medie annue messe a confronto con le precipitazioni totali annue alla stazione di Pianosa (1951-2002).

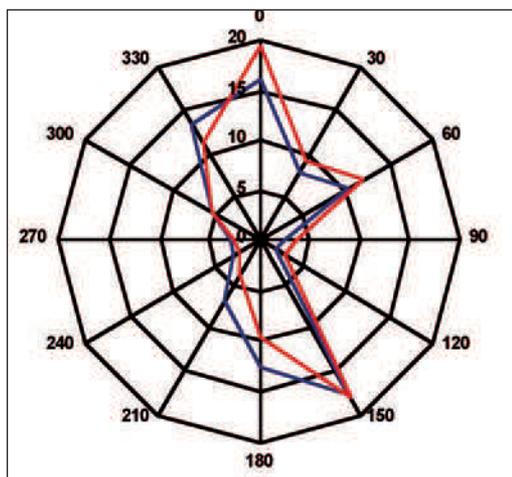


Figura 8: Distribuzione delle frequenze medie percentuali in relazione alle direzioni principali della Rosa dei Venti. Dati 2002-2003, CNR-IBIMET.

avvicinamento stagionale dei venti, poiché i venti da sud soffiano durante tutto l'anno, con un massimo a giugno, e complessivamente si verifica una maggiore ventosità durante i mesi estivi.

In figura 8 è riportata la rosa dei venti elaborata in questa sede sui dati dell'intervallo in esame e, come si può notare a prima vista, si rileva una sostanziale uniformità nella distribuzione delle frequenze analizzata rispetto all'esame compiuto da Vittorini [2]. Anche se i singoli valori delle frequenze non sono significativi, dato il breve intervallo temporale studiato, complessivamente si osserva una prevalenza dei venti del settore Nord e del settore Sud, e si riconferma la bassa frequenza del Libeccio. Studiando infine la distribuzione dell'intensità del vento relativa alle diverse direzioni (medie orarie in m/s), sono risultati quali venti più veloci lo Scirocco ed il Maestrale, rispettivamente nell'intorno delle direzioni 150° e 350° Nord. Se questo dato venisse confermato da un esame su un significativo intervallo temporale, indicherebbe un aumento rilevante dell'intensità dei venti di Scirocco, rispetto al passato.

Il tipo di clima

Per individuare il tipo di clima di Pianosa si può utilizzare il metodo di Thornthwaite [8] attraverso il calcolo dei seguenti di indici:

- indice di umidità ($I_u = e / E_p \times 100$)
- indice di aridità ($I_a = d / E_p \times 100$)
- indice di umidità globale o Moisture index ($I_m = I_u - I_a$)

(con e = eccedenza idrica annua, d = deficit idrico annuo ed E_p = Evapotraspirazione potenziale annua).

Secondo questo metodo, attraverso il calcolo del Moisture Index (I_m), si possono definire sei classi climatiche ove poter collocare il territorio oggetto di indagine, nell'intervallo temporale preso in esame. Si riportano di seguito le classi climatiche di Thornthwaite [8]:

1. tipo perumido, $I_m =$ oltre 100
2. tipo umido, $I_m = 0 \div 100$
3. tipo sub-umido, $I_m = 0 \div 20$
4. tipo sub-arido, $I_m = 0 \div -33,3$
5. tipo semiarido, $I_m = -33,3 \div -66,7$
6. tipo arido, $I_m < -66,7$

Si definisce Evapotraspirazione potenziale (E_p) la quantità massima di acqua (in mm) che evaporerebbe e traspirerebbe, in date condizioni climatiche, se le riserve idriche del suolo venissero costantemente rinnovate. Questo parametro, che dipende esclusivamente dall'energia disponibile a fare evaporare l'acqua, coincide con i bisogni idrici della vegetazione [8]. Essa si calcola partendo dai valori mensili della temperatura. Nell'ambito del presente lavoro sono stati utilizzati per Pianosa i valori medi dell'intervallo 1951-2002. Il risultato ottenuto è pari a 821,7 mm annui (tabella 3).

L'evapotraspirazione reale annua (E_r) corrisponde invece alla quantità di acqua che evapora e traspira realmente dal suolo, ed è sempre valida la relazione $E_r \leq E_p$ poiché in condizioni naturali la disponibilità d'acqua è sempre limitata [9].

Si definisce eccedenza idrica (e) annua il quantitativo di acqua (in mm) che supera l'evapotraspirazione reale nell'arco di un anno e che defluirebbe a mare o potrebbe essere utilizzata, ed è pari alla differenza tra le precipitazioni annue e l'evapotraspirazione reale annua ($P - E_r$). Si costituisce una volta superata la capacità idrica del suolo.

Il deficit idrico (d) annuo (in mm di acqua) risulta invece dalla differenza tra l'evapotraspirazione potenziale annua e quella reale annua ($E_p - E_r$).

Per il calcolo degli indici climatici con il metodo di Thornthwaite [8] è necessario disporre del valore corrispondente ad E_r .

Non essendo stato possibile misurare sperimentalmente l'evapotraspirazione reale del suolo, E_r viene calcolata approssimando il valore della capacità mas-

Tabella 3: Foglio di calcolo per la stima dei parametri relativi al bilancio idrico del bacino di Pianosa (Thorntwaite, 1948). Con il colore azzurro è contrassegnata la stagione umida, con il colore giallo la stagione secca.

Pianosa	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	valore annuo
Ep media	20,7	21,0	32,1	48,4	80,9	113,8	145,4	136,1	97,0	65,8	36,3	24,2	821,7
Er media	20,7	21,0	32,1	48,4	80,9	57,6	8,2	25,1	43,7	64,7	36,3	24,2	462,9
Pmedia	44,2	49,3	43,4	40,3	27,5	19,1	8,2	25,1	43,7	64,7	59,5	55,7	480,7
Tmedia	9,6	9,6	10,9	13,3	16,9	20,7	23,9	24	21,2	17,7	13,5	10,8	16,0
P - Ep	23,5	28,3	11,3	-8,1	-53,4	-94,7	-137,2	-111,0	-53,3	-1,1	23,2	31,5	
Ai	78,1	100	100	91,9	38,5	0	0	0	0	0	23,2	54,6	
Ai - (Ai-1)	23,5	21,9	0	-8,1	-53,4	-38,5	0	0	0	0	23,2	31,5	
eccedenza idrica (e)		6,5	11,3										17,8
deficit idrico (d)						56,2	137,2	111,0	53,3	1,1			358,8

sima d'acqua utilizzabile dalle piante a 100 mm [9]. Attraverso una serie complessa di operazioni [10], [11] si giunge ad ottenere i valori corrispondenti all'evapotraspirazione reale annua (Er), all'eccedenza idrica annua (e) ed al deficit idrico annuo (d). Possiamo riassumere i passaggi fondamentali:

$$e = P - E_r = 480,7 - 462,9 = 17,8 \text{ (mm)}$$

$$d = E_p - E_r = 821,6 - 462,9 = 358,8 \text{ (mm)}$$

Si possono dunque calcolare gli indici per la definizione della classe climatica di appartenenza:

$$I_u = e / E_p \times 100 = 2,2$$

$$I_a = d / E_p \times 100 = 43,7$$

$$I_m = I_u - I_a = 11,54 - 53,03 = -41,5$$

Risulta quindi che il clima di Pianosa, nel periodo esaminato, rientra nel tipo semiarido, secondo la classificazione di Thorntwaite [8], avendo ottenuto il valore $I_m = -41,5$ ($-33,3 < I_m < -66,7$). Questo risultato appare in linea con le conclusioni riportate da Vittorini [2], che ha ottenuto il valore $I_m = -46,2$ (decennio 1960-1969); in particolare si osserva che l'elaborazione dei dati relativi all'intervallo 1951-2002 conduce ad un indice di aridità leggermente più basso in valore assoluto, pur rimanendo sempre all'interno del range del tipo semiarido.

Conclusioni

Complessivamente si può concludere che il trend lineare di variazioni termopluviometriche sull'isola di Pianosa nell'arco di tempo analizzato (1951-2002) non desta particolari preoccupazioni, anzi la tenden-

za generale della temperatura risulta essere in diminuzione nel lungo periodo; in coerenza ad essa la tendenza generale delle piogge risulta essere in aumento. Tale affermazione è confermata dal calcolo dell'indice climatico di Thorntwaite, o Moisture index, il quale permette di porre l'isola ampiamente all'interno del range del tipo semiarido, come in passato, con un valore leggermente spostato verso il limite con il tipo sub-arido. Tuttavia, esaminando le oscillazioni termopluviometriche di più breve periodo, si osserva che, alla fine del periodo analizzato, l'isola si pone in una fase di riscaldamento come tutta l'area mediterranea, con una concomitante diminuzione delle precipitazioni. L'incompletezza della serie termopluviometrica del periodo 2002-2006 per problemi strumentali non ha consentito purtroppo l'elaborazione sistematica dei dati in questa sede, sebbene dall'esito di studi preliminari si possa confermare la tendenza rilevata nel breve periodo. A ciò si aggiungerebbe, se confermata, la rilevazione dell'aumento dell'intensità dei venti di Scirocco e della sua frequenza annuale, rispetto al passato.

I risultati conseguiti con la presente analisi su un intervallo di tempo significativo per un'analisi climatica (51 anni) confermano l'obbligo di esaminare, quando è possibile, archi temporali più ampi per raggiungere conclusioni di carattere generale sulle tendenze del clima, che devono essere validate, oltre che da valutazioni sulla bontà della strumentazione e della corretta ubicazione della stessa, anche da opportune verifiche nelle aree limitrofe. Lo studio dei dati rilevati nel lungo periodo permette inoltre di apprezzare le oscilla-

zioni di breve periodo e di inserirle nel più ampio contesto delle tendenze generali del clima.

Ringraziamenti

Si ringrazia per la disponibilità dimostrata e la gentile collaborazione: il Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano, l'Amministrazione Penitenziaria di Portoazzurro, l'Associazione Amici di Pianosa, il dott. Gabriele Brugnoli e il dott. Franco Miglietta, Alessandro Zaldei e Francesco Sabatini dell'IBIMET-CNR.

Note

- ¹ Autunno, Inverno, Primavera, Estate.
- ² Autunno, Primavera, Inverno, Estate.

Bibliografia

- [1] V. Simonelli, *Boll. R. Com. Geol. d'It.* 1889, 10: 193.
- [2] S. Vittorini, *L'Univ.* 1976, 56: 147.
- [3] F. Rapetti, S. Vittorini, *Carta climatica della Toscana centro-meridionale e insulare.* Pacini editore, Pisa: 1994.
- [4] R. Baraldi, F.P. Vaccari, M.R. Colom, M.F. Cotrufo, L. D'Acqui, *Journ. Medit. Ecol.* 2004, 5: 5.
- [5] A. Zaldei, F. Sabatini, F.P. Vaccari, F. Miglietta, *La stazione meteorologica installata a Pianosa.* In: *Il progetto PianosaLab, ricerche sugli ecosistemi terrestri dell'area mediterranea.* Forum editrice, 2000.
- [6] Comma-Med: <http://www.lamma.rete.toscana.it>
- [7] G. Stanhill, S. Cohen, *Agric. and For. Meteorol.* 2001, 107: 255.
- [8] M. Bindi, M. Pieri, L. Fibbi, G. Maracchi, *Riv. Meteorol. Aeron.* 1995, 55: 37.
- [9] L. Fibbi, M. Bindi, M. Pieri, G. Maracchi, *Riv. Meteorol. Aeron.* 1998.
- [10] M. Wild *et al.*, *Science* 2005, 308: 847.
- [11] A. Mori, *Carta dei regimi pluviometrici in Italia.* C.N.R., Roma: 1969.
- [12] C.W. Thornthwaite, *Geogr. Rev.* 1948, 38: 55.
- [13] P. Celico, *Prospezioni Idrogeologiche.* Liguri Editore, Napoli: 1986.
- [14] C.W. Thornthwaite, J.R. Mather, *Climat.* 1955, 8: 1.
- [15] C.W. Thornthwaite, J.R. Mather, *Climat.* 1957, 10: 185.

Caratterizzazione geochimica dei suoli dell'area urbana di Siena ed utilizzo dei lombrichi come bioindicatori

Francesco Nannoni*, Giuseppe Protano, Francesco Riccobono

Parole chiave: elementi in traccia, suolo, lombrichi, area urbana, traffico veicolare, Siena

Nelle aree urbane il traffico veicolare rappresenta una delle principali fonti di inquinamento dell'ambiente di superficie, la cui chimica, in seguito alla variazione qualitativa e quantitativa dei contaminanti immessi, è soggetta ad una continua trasformazione.

Nell'area di Siena è in fase di realizzazione una ricerca geochimica finalizzata alla valutazione dell'impatto del traffico veicolare sull'ambiente di superficie attraverso la determinazione dei contenuti degli elementi in traccia in differenti comparti di esposizione: aria, suolo, organismi vegetali ed animali. Siena è una città di dimensioni medio-piccole, dove le attività industriali sono limitate; pertanto nell'area urbana la principale fonte di inquinanti è rappresentata dal traffico veicolare a cui, in inverno, si aggiunge l'apporto fornito dal riscaldamento domestico.

*In questo lavoro sono riportati i risultati preliminari inerenti le concentrazioni di elementi in traccia di interesse ambientale (per es., piombo, antimonio, cadmio, nichel, rame e zinco) in suoli ed esemplari di lombrico della specie *Nicodrilus caliginosus* (Savigny), campionati in siti urbani, peri-urbani ed extra-urbani della città di Siena. Nell'ambito della ricerca sono stati determinati i contenuti totali degli elementi: Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Pd, Pt, Rh, Sb, U, Zn, nonché la loro ripartizione nelle principali frazioni del suolo (estraibile, riducibile, ossidabile e residuale) allo scopo di definire la mobilità e la biodisponibilità delle specie chimiche di interesse. Come bioindicatori della qualità del suolo sono stati utilizzati i lombrichi poiché in grado di assorbire ed accumulare gli elementi chimici sia attraverso l'assorbimento dermale sia mediante l'ingestione delle particelle di suolo.*

I dati analitici prodotti hanno indicato che piombo ed antimonio sono gli elementi chimici maggiormente influenzati dalla circolazione veicolare, con le più elevate concentrazioni medie registrate nei suoli urbani ($Pb = 112.5 \text{ mg/kg}$; $Sb = 5.6 \text{ mg/kg}$). Per cadmio, manganese, rame e zinco, nei suoli dei siti interessati dal traffico stradale, è stato riscontrato un minore incremento delle loro concentrazioni rispetto al background geochimico locale. Per gli altri elementi chimici analizzati (cobalto, cromo, ferro, nichel, uranio e platinoidi) non è stata rilevata nessuna significativa variazione dei loro livelli nei suoli dell'area di studio.

Negli esemplari di lombrico le concentrazioni degli elementi analizzati delineano un modello di distribuzione analogo a quello descritto per i contenuti totali nel suolo. Zinco e cadmio sono risultati gli unici elementi bioconcentrati, con contenuti nei lombrichi che superano di circa un ordine di grandezza quelli del suolo.

Introduzione

Nell'epoca attuale le aree urbane sono sempre più interessate da una crescente pressione antropica a causa dell'immissione nell'ambiente di superficie di una pluralità di contaminanti organici ed inorganici. Per altro nelle aree urbane è concentrata la gran parte della popolazione, con ovvie ripercussioni sull'intensità del traffico veicolare e sulle emissioni da riscaldamento domestico. Senza dimenticare che spesso, nelle immediate vicinanze delle aree urbane, possono essere presenti poli industriali ed importanti nodi stradali.

Ad oggi, il traffico veicolare sembra rappresentare la principale causa di inquinamento atmosferico in molte aree urbane. I principali inquinanti prodotti dalla circolazione stradale provengono essenzialmente dai gas di scarico e dalle particelle incombuste dei mezzi di trasporto, dall'usura delle varie componenti veicolari (per es., pneumatici, freni, carrozzeria) e dall'abrasione del manto stradale.

In particolare il traffico veicolare contribuisce all'immissione nell'ambiente di un'ampia gamma di elementi in traccia, tra cui alcuni con rilevante valenza tossicologica. Tra questi Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn sono comunemente associati al residuo incombusto del processo di combustione dei carburanti [1, 2]; Cd, Cr, Fe, Pb, Sb, Zn sono immessi nell'ambiente dal deterioramento delle componenti della struttura dei veicoli; Cd e Zn si originano per il consumo dei pneumatici, Cr, Mn, Pb e Sb dall'usura del ferodo dei freni [3, 4]; infine gli elementi del gruppo del platino, o platinoidi (Pd, Pt e Rh), vengono liberati dal deterioramento delle marmitte catalitiche.

La deposizione sul terreno dei suddetti inquinanti inevitabilmente influenza la chimica dei suoli. Ne consegue che il suolo delle aree urbane rappresenta un importante orizzonte di intrappolamento in cui numerose specie chimiche, tra cui gli elementi in traccia, possono accumularsi ed in successivo passaggio essere trasferite alla biosfera.

Infatti, elementi chimici come piombo, antimonio, rame e zinco, possono essere assorbiti attraverso meccanismi di *sorption* dai colloidi del suolo (minerali argillosi, ossidrossidi di ferro e manganese, sostanza organica), e quindi essere trasferiti nella rete trofica. A tal proposito è stata riscontrata la tendenza all'accumulo di alcune specie chimiche in organismi terricoli quali lombrichi, gasteropodi ed artropodi [5, 6, 7].

In considerazione dell'importante problematica am-

bientale sopra descritta, presso il Dipartimento di Scienze Ambientali «G. Sarfatti» dell'Università degli Studi di Siena, è stata intrapresa una ricerca finalizzata alla determinazione nell'ambiente urbano e peri-urbano di Siena dei livelli e della distribuzione, nei vari comparti (aria, suolo, pianta) degli elementi in traccia legati a vario grado al traffico veicolare e con differente valenza tossicologica.

Il presente lavoro riporta i risultati preliminari inerenti le concentrazioni di alcuni elementi chimici (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, U, Zn e platinoidi: Pd, Pt e Rh), in campioni di suolo ed esemplari di lombrico della specie *Nicodrilus caliginosus* (Savigny), prelevati nelle aree urbana, peri-urbana ed extra-urbana di Siena. Sono stati determinati i contenuti totali dei suddetti elementi nel suolo nonché la loro ripartizione nelle principali frazioni di questa matrice (estraibile, riducibile, ossidabile e residuale), allo scopo di studiarne la mobilità e la biodisponibilità.

I lombrichi (Anellidi della famiglia *Lumbricidae*) sono stati utilizzati come bioindicatori della qualità del suolo, poiché in grado di assorbire ed accumulare gli elementi chimici sia attraverso l'assorbimento dermico sia mediante l'ingestione delle particelle di suolo [8].

Materiali e metodi

L'area di studio comprende il centro urbano di Siena e le zone limitrofe, peri-urbane ed extra-urbane. Siena è una città di dimensioni medio-piccole, in cui le attività industriali sono limitate ed il traffico veicolare è stimato, in media, attorno ai 48.000 veicoli circolanti ogni giorno [9]. Quindi l'apporto di inquinanti nell'area urbana è riconducibile prevalentemente al traffico veicolare cui, nei mesi invernali, si aggiungono le emissioni del riscaldamento domestico.

gli autori

Dipartimento di Scienze Ambientali
«G. Sarfatti», Unità di Ricerca
di Geochimica Ambientale,
Università degli Studi di Siena,
via del Laterano 8, 53100 Siena, Italia
nannoni@unisi.it

* autore per corrispondenza

In base alle stime sul traffico ed a sopralluoghi preliminari, nell'area di studio sono stati individuati 24 siti di campionamento del suolo e dei lombrichi. Questi siti ricadono in zone caratterizzate da una diversa intensità della circolazione stradale (figura 1):

- aree extra-urbane non trafficate (siti 6);
- zone verdi cittadine (siti 2);
- aree peri-urbane situate in corrispondenza delle principali arterie viarie (siti 6);
- aree urbane trafficate (siti 10).

In ciascun sito è stato prelevato un campione composto di suolo superficiale (primi 20

cm) costituito dall'unione di 3 sub-campioni. Nelle stazioni di prelievo nelle aree urbane e peri-urbane il campione di suolo è stato raccolto ad una distanza massima di 2 metri dal margine stradale.

I suoli prelevati hanno un substrato litologico comune rappresentato da sedimenti marini a prevalente granulometria sabbiosa di età pliocenica (Sabbie di San Vivaldo) [10].

In 8 siti sono stati raccolti esemplari di lombrico della specie *Nicodrilus caliginosus*, per un numero complessivo di 80 (10 per stazione).

In laboratorio i campioni di suolo sono stati essiccati in stufa ad una temperatura di 40°C e setacciati al vaglio di 2 mm. Il passante è stato quartato ed un'aliquota di circa 100 grammi è stata polverizzata. Quindi 0.2 grammi di suolo polverizzato sono stati solubilizzati per digestione acida usando una miscela composta da: 2 ml HNO₃, 2 ml HCl, 1 ml HF e 1 ml HClO₄.

Per la caratterizzazione della ripartizione degli elementi chimici nella varie frazioni di suolo è stata utilizzata la tecnica dell'estrazione sequenziale che consiste nell'utilizzo di diversi reagenti in grado di rimuovere in maniera selettiva determinate fasi e/o frazioni.

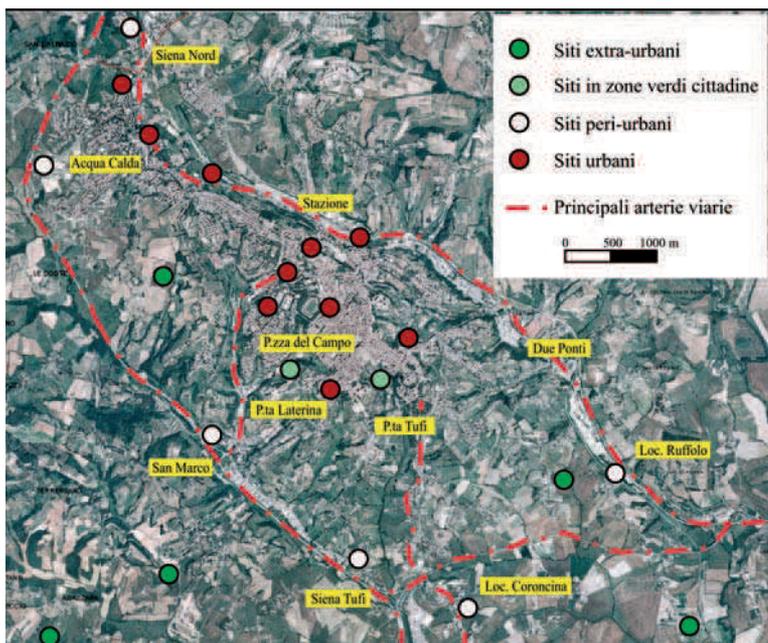


Figura 1: Area di studio ed ubicazione dei siti di campionamento.

Un'estrazione sequenziale consiste in una serie di estrazioni chimiche selettive effettuate in successione su uno stesso campione, ognuna delle quali ha una specifica capacità estrattiva ed una maggiore aggressività rispetto alla precedente. Tra le tecniche di estrazione sequenziale riportate in letteratura [11], in questo studio è stata utilizzata quella proposta dalla *Community Bureau of Reference* [12], per la quale è disponibile uno standard analitico di riferimento (*BCR701-sediment*). In base a questa procedura, ogni campione di suolo è stato sottoposto a 4 stadi consecutivi di estrazione delle seguenti frazioni:

- estraibile (F_{est}): solubile in acqua, scambiabile ed acido-solubile;
- riducibile (F_{rid}): essenzialmente legata agli ossidrossidi di Fe e Mn;
- ossidabile (F_{oss}): essenzialmente legata alla sostanza organica;
- residuale (F_{res}): presente nei reticoli cristallini di minerali residuali e di neoformazione.

Gli esemplari di lombrico sono stati accuratamente puliti attraverso un lavaggio con acqua bidistillata; successivamente allo scopo di eliminare il suolo contenuto nel tratto intestinale, sono stati spurgati per 96 h e liofilizzati. Ciascun esemplare è stato solubiliz-

zato con una miscela di acidi ultrapuri: 3 ml HNO₃ e 1 ml H₂O₂.

La determinazione dei contenuti degli elementi considerati, nei suoli e nei lombrichi, è stata effettuata per spettrometria di massa accoppiata al plasma induttivo (ICP-MS), utilizzando uno spettrometro della Perkin-Elmer.

Risultati

Contenuti totali nel suolo

Per l'illustrazione dei contenuti totali degli elementi chimici nel suolo, di seguito si farà riferimento alla concentrazione media nei suoli, raggruppati per zona di provenienza: aree urbane, peri-urbane, extra-urbane e verdi cittadine. In particolare l'abbondanza media di ciascun elemento nei suoli prelevati nel settore extra-urbano, è stata assunta quale valore del fondo geochimico naturale, o *background*. Scostamenti più o meno marcati delle concentrazioni dell'elemento rispetto al suo valore di *background*, definiti attraverso il fattore di arricchimento (FA), sono stati utilizzati come indice dell'apporto antropico dovuto essenzialmente al traffico veicolare.

Sulla base del fattore di arricchimento nel suolo, gli elementi chimici analizzati possono essere suddivisi nei seguenti gruppi:

- Gruppo 1: elementi significativamente arricchiti nei suoli delle aree urbane e peri-urbane, con FA > 4: piombo ed antimonio.
- Gruppo 2: elementi debolmente arricchiti nei suoli delle aree urbane e peri-urbane, con fattori di arricchimento nell'intervallo 1-2: cadmio, manganese, rame e zinco.
- Gruppo 3: elementi con contenuti totali nel suolo omogenei in tutte le aree considerate (FA intorno a 1): cobalto, cromo, ferro, nichel, uranio, platinoidi.

Gruppo 1: piombo ed antimonio

Nei suoli dell'area urbana, peri-urbana ed extra-urbana di Siena sono state misurate concentrazioni di piombo che variano tra 15.1 e 258.9 mg/kg. I più bassi contenuti di piombo, nell'intervallo 15.1-37.5 mg/kg (media = 22.8 mg/kg) sono stati riscontrati nei campioni di suolo prelevati nelle aree extra-urbane (figura 2). Questo intervallo di valori è da ritenersi rappresentativo del *background* geochimico dell'elemento nei suoli formati dalle Sabbie di San Vivaldo. A sostegno di ciò, analoghi contenuti di piombo (in media 19 mg/kg) [13] caratterizzano l'orizzonte

A dei suoli agricoli formati dai sedimenti sabbiosi pliocenici.

Concentrazioni di piombo significativamente più elevate del *background* contraddistinguono i suoli delle aree peri-urbane ed urbane. Nello specifico, i suoli prelevati nel comprensorio urbano, hanno un'abbondanza media di piombo pari a 112.5 mg/kg, con un fattore di arricchimento prossimo a 5. Questo livello medio di piombo scaturisce da contenuti che ricadono nell'intervallo 70-180 mg/kg, con picchi di concentrazione (Pb > 150 mg/kg) riscontrati nei suoli provenienti da settori dell'area urbana dove la circolazione degli autoveicoli è caratterizzata da ripetuti «*stop and go*» dovuti alla presenza di semafori. Questo aspetto è in accordo con il fatto che in queste condizioni di traffico aumenta l'*input* di piombo, per l'incremento sia delle emissioni legate alla combustione dei carburanti, sia dell'usura di alcune loro componenti come i freni.

Un livello medio di piombo di 92.6 mg/kg, con un fattore di arricchimento di 4.1, è stato determinato nei suoli raccolti in prossimità delle principali arterie stradali dell'area peri-urbana, le quali rappresentano le più importanti vie di accesso e di uscita dalla città [14]. Tuttavia va segnalato che in questo raggruppamento di suoli i contenuti di piombo si distribuiscono in un ampio intervallo di valori (28.0-258.9 mg/kg), con gran parte dei dati inferiori a 100 mg/kg.

Per quanto detto risulta che, nei suoli peri-urbani, nonostante il maggior numero di veicoli circolanti, la presenza di piombo è in genere inferiore a quanto registrato in quelli urbani. Questo potrebbe dipendere da più cause: i) la gran parte delle arterie viarie peri-urbane sono state realizzate o rifatte in tempi relativamente recenti (dalla fine degli anni '80 ad oggi); ii) i suoli peri-urbani, rispetto a quelli urbani, sono stati interessati in minor misura dal rilascio di piombo da parte dai veicoli alimentati da benzine rosse, in cui l'elemento era aggiunto come antidetonante (a riguardo va ricordato che l'utilizzo delle «benzine rosse» è andato progressivamente diminuendo negli anni '90, fino alla completa abolizione nel 2001); iii) solitamente la circolazione dei veicoli nelle aree peri-urbane non avviene attraverso frequenti soste e ripartenze; iv) nell'area peri-urbana non vi sono efficaci ostacoli alla diffusione degli inquinanti come invece avviene frequentemente nell'area urbana caratterizzata da strade spesso bordate da edifici.

Nei suoli raccolti in alcune delle aree verdi cittadine è stato misurato un contenuto medio di piombo di 56.5 mg/kg ed un FA di 2.5. Questo incremento delle

concentrazioni rispetto al *background* geochemico è verosimilmente dovuto alla dispersione a vasta scala di questo elemento.

Dal confronto con i dati di letteratura si deduce che le concentrazioni di piombo misurate nei suoli dell'area urbana e peri-urbana sono significativamente inferiori a quanto rilevato in altre città italiane di medio-grandi dimensioni. Per esempio nell'area urbana di Palermo la presenza di piombo nel suolo è risultata, in media, di 253 mg/kg [15], mentre un tenore medio pari a 262 mg/kg è stato trovato a Napoli, in suoli di aree urbane trafficate [16].

Nei campioni di suolo la distribuzione delle concentrazioni di antimonio è simile a quella descritta per il piombo (figura 2). I più bassi contenuti dell'elemento, tra 0.8 e 1.3 mg/kg, sono stati misurati nei suoli extra-urbani. Da contenuti intorno a 1 mg/kg, prossimi al *background*, la presenza dell'antimonio cresce nei suoli delle aree verdi cittadine (1.9 mg/kg, in media), raggiungendo la massima concentrazione nei suoli peri-urbani e urbani, con tenori medi rispettivamente di 3.7 e 5.6 mg/kg.

Nel dettaglio, nell'area peri-urbana i suoli mostrano concentrazioni di antimonio generalmente comprese tra 1.5 e 4 mg/kg, con un FA di 3.5. Più elevata è la presenza dell'elemento nei suoli del settore urbano, con valori compresi tra 1.5 e 14.8 mg/kg, ed un FA di 5.3.

Poiché l'*input* di antimonio derivante dal traffico è legato principalmente al deterioramento di alcune componenti della struttura veicolare e dall'usura del ferodo dei freni, la distribuzione dell'elemento nel suolo, come descritto per il piombo, è essenzialmente espressione dei tempi di «esposizione» dei suoli al traffico e delle modalità di circolazione degli autoveicoli. Come ulteriore conferma, i livelli più elevati di antimonio (>7 mg/kg) sono stati trovati nei suoli prelevati in prossimità degli incroci nell'area urbana.

Analoghi livelli di antimonio sono stati misurati nei suoli urbani di Palermo, con una presenza media di 3.7 mg/kg, e massimi di concentrazione di 27.5 mg/kg [15].

Gruppo 2: cadmio, manganese, rame e zinco

Nei suoli studiati le concentrazioni di cadmio, manganese, rame e zinco mostrano una distribuzione simile, che appare debolmente influenzata dagli *input* derivanti dal traffico veicolare. D'altra parte, l'origine «veicolare» di questi elementi è nota, dato che sono associati alla frazione incombusta dei carburanti nonché presenti nei pneumatici ed in varie componenti degli autoveicoli.

I contenuti più elevati dei suddetti elementi contraddistinguono i suoli delle aree peri-urbane ed urbane, con livelli medi rispettivamente di 0.22 e 0.26 mg/kg per il cadmio, 101.1 e 127.7 mg/kg per lo zinco (figura 2), 48.4 e 46.6 mg/kg per il rame, 764.7 e 632.9 mg/kg per il manganese. Si tratta, nel complesso, di livelli leggermente più elevati (FA compresi tra 1.1 e 1.6) dei contenuti medi di questi elementi nei suoli prelevati nei siti extra-urbani (Cd = 0.16 mg/kg, Zn = 79.1 mg/kg, Cu = 39.2 mg/kg, Mn = 604.4 mg/kg).

Gruppo 3: cobalto, cromo, ferro, nichel, uranio e platinoidi (Pd, Pt, Rh)

Per cobalto, cromo, ferro, nichel ed uranio non sono state riscontrate significative differenze di concentrazione tra i suoli raccolti nelle varie zone interessate da un diverso impatto antropico (figura 2). Infatti la presenza di questi elementi nel suolo rimane pressoché uniforme al variare dell'intensità del traffico veicolare, con FA intorno a 1. Ne consegue che questi elementi sono da considerarsi geogenici, ovvero elementi la cui abbondanza nel suolo è essenzialmente legata a fattori naturali, quali la geochemica e la mineralogia del substrato litologico nonché l'esito dei processi pedogenetici e di *weathering*.

A questo gruppo appartengono anche i platinoidi (palladio, platino e rodio), poiché anche per questi elementi è stata riscontrata un'uniformità delle concentrazioni nei suoli analizzati. Questo aspetto sembrerebbe non congruente con il fatto che nell'ultimo decennio, soprattutto nelle aree urbane, le concentrazioni di questi elementi nel suolo sono significativamente aumentate in relazione al loro utilizzo nelle marmitte catalitiche. Tuttavia va ricordato che in questo studio la profondità di campionamento del suolo è stata di 20 cm, mentre in letteratura è riportato che i platinoidi sono concentrati essenzialmente nei primi 2 cm [17].

Attualmente è in corso di realizzazione una ricerca per determinare la distribuzione dei platinoidi nel profilo del suolo.

Frazionamento chimico nel suolo

Di seguito sono commentati i risultati dello studio del frazionamento chimico di alcuni elementi in traccia di interesse, finalizzato alla definizione del loro comportamento nel suolo, in termini di mobilità e biodisponibilità. A riguardo l'attenzione è stata focalizzata su piombo ed antimonio, elementi che, come

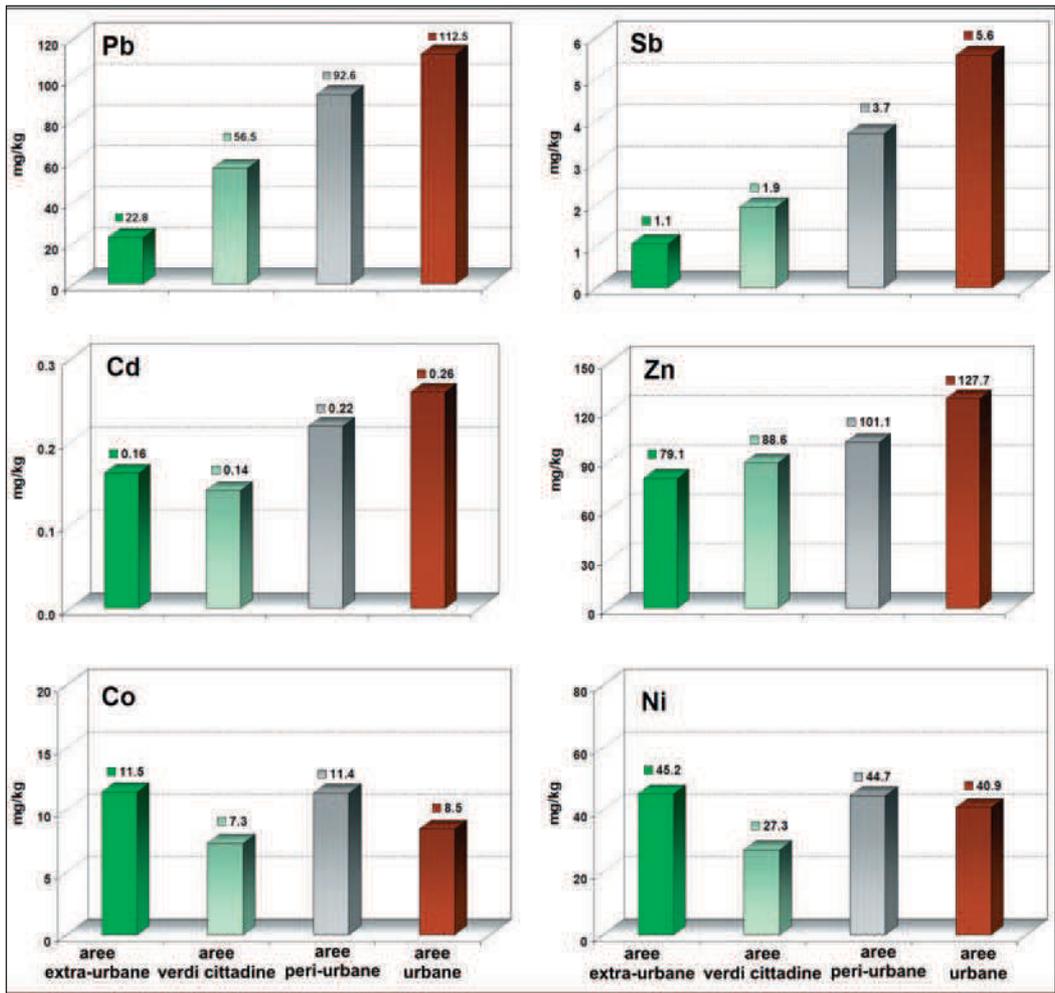


Figura 2: Contenuti medi di Pb, Sb, Cd, Zn, Co e Ni nei suoli dell'area di studio.

descritto, sono quelli maggiormente influenzati dal traffico veicolare.

Nei suoli in studio il piombo mostra un modello di ripartizione, tra le componenti del suolo, piuttosto omogeneo, caratterizzato da una preminente presenza dell'elemento nella frazione riducibile (F_{rid}), in media il 49.3% del contenuto totale, e nella frazione residuale ($F_{res} = 43.4\%$; figura 3). Questo comportamento è in accordo con i risultati di altre ricerche [18], che considerano gli ossidrossidi di ferro e manganese importanti *scavenger* di elementi pesanti. Molto minore

è l'aliquota di piombo presente nella frazione ossidabile ($F_{oss} = 6.8\%$), mentre le più basse concentrazioni sono state misurate in quella estraibile (F_{est}), pari allo 0.5% del contenuto totale dell'elemento.

Alcune interessanti differenze emergono se si considerano i campioni di suolo per area di provenienza. A tale riguardo, è stato riscontrato che, con l'aumentare dell'incidenza del traffico veicolare si ha un incremento del contenuto percentuale di piombo nella F_{rid} , con un massimo (55.2%, in media) che caratterizza i suoli dell'area urbana. Un *trend* analogo si osserva anche

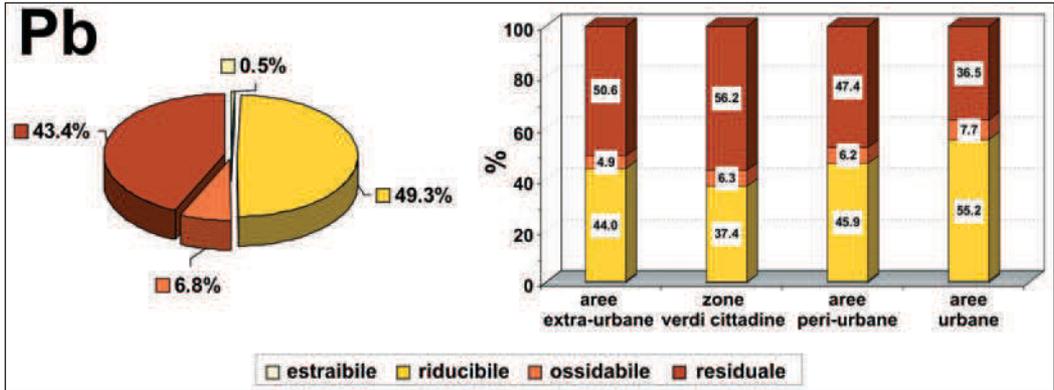


Figura 3: Frazionamento del piombo nei suoli dell'area di studio.

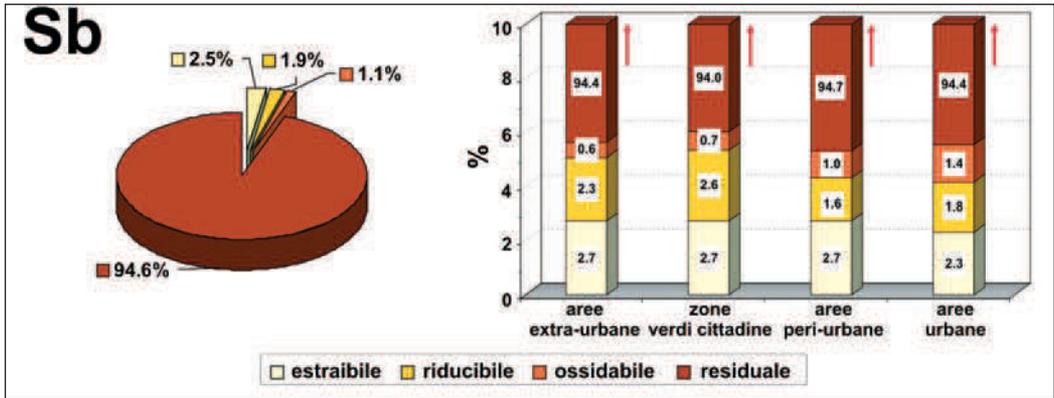


Figura 4: Frazionamento dell'antimonio nei suoli dell'area di studio.

per il piombo della frazione ossidabile, i cui contenuti percentuali variano da 4.9% (suoli extra-urbani) a 7.7% (suoli urbani). Al contrario, all'aumentare dell'influenza della circolazione stradale diminuisce la presenza percentuale di piombo nella frazione residuale, prevalente nei suoli raccolti nelle aree verdi ed in quelle extra-urbane, rispettivamente pari a 56.2% e 50.6% del contenuto totale. Rimane essenzialmente immutata l'aliquota di piombo associata alla frazione estraiibile. Quanto sopra esposto indica che gli ossidrossidi di ferro e manganese nonché la sostanza organica del suolo giocano un ruolo importante nell'assorbimento del piombo di derivazione antropica. Ne consegue che la disponibilità del piombo legato alle frazioni riducibile ed ossidabile è per lo più regolata dalle condizioni redox del suolo, che sono determinanti

per la stabilità di queste fasi *redox-sensitive* portatrici dell'elemento.

Nei suoli studiati circa il 43%, in media, del piombo totale è da considerarsi poco mobile in quanto associato alla frazione residuale. Infine, si sottolinea che l'aliquota di piombo associata alla frazione estraiibile (circa lo 0.5% del totale), rappresenta la componente di maggiore rilevanza ambientale, in quanto si tratta della frazione più mobile e biodisponibile per l'assorbimento da parte degli organismi che vivono nel suolo. Nei campioni di suolo l'antimonio è essenzialmente legato alla frazione residuale, con un contenuto percentuale medio di 94.6% (figura 4). L'aliquota restante di antimonio è pressoché equamente suddivisa tra le rimanenti frazioni analizzate: $F_{est} = 2.5\%$, $F_{rid} = 1.9\%$, $F_{oss} = 1.1\%$.

Pertanto i dati analitici ottenuti indicano che l'antimonio è un elemento da considerarsi poco mobile nei suoli in studio, anche se vanno tenute in debita considerazione le concentrazioni nella frazione estraibile.

Come mostrato in Figura 4, non si denotano sostanziali differenze nel frazionamento chimico dell'antimonio nei suoli distinti per area di provenienza. L'unica lieve diversità sta nel fatto che nei suoli prelevati nelle aree maggiormente trafficate diminuisce, di poco, l'aliquota media dell'antimonio legato alla frazione riducibile ($\approx 2.4\%$ vs $\approx 1.7\%$), mentre aumenta quella associata alla frazione ossidabile ($\approx 0.7\%$ vs $\approx 1.2\%$).

Contenuti nei lombrichi

I dati analitici relativi ai campioni di lombrico prelevati nell'area di studio hanno evidenziato che le concentrazioni degli elementi analizzati delineano, nel complesso, un modello di distribuzione conforme a quello descritto per i contenuti totali nel suolo.

Come illustrato in Figura 5, i contenuti di piombo ed antimonio (elementi del Gruppo 1), aumentano nei

lombrichi con l'incremento del traffico veicolare. Infatti, i lombrichi prelevati nei siti extra-urbani hanno i più bassi tenori di questi 2 elementi (in media, $Pb = 0.47 \text{ mg/kg}$ e $Sb = 0.10 \text{ mg/kg}$). In linea con quanto detto, significativamente più elevata è la presenza di piombo ed antimonio nelle aree trafficate, soprattutto in quelle urbane, dove si raggiungono i picchi di concentrazione ($Pb = 3.03 \text{ mg/kg}$ e $Sb = 0.32 \text{ mg/kg}$).

Tuttavia va segnalato che i livelli di piombo nei lombrichi dell'area di Siena sono nettamente inferiori a quelli trovati in esemplari della stessa specie in altri contesti urbani (130 mg/kg in media) [19].

Per quanto riguarda gli elementi del Gruppo 2, in generale si osserva un leggero incremento della loro presenza nei lombrichi raccolti nelle aree urbane e peri-urbane. A titolo di esempio, le concentrazioni di rame aumentano, in media, da 10.1 mg/kg nei siti extra-urbani non trafficati a circa 16 mg/kg nei siti maggiormente interessati dalla circolazione su strada (figura 5).

Le concentrazioni degli elementi del Gruppo 3, nei lombrichi raggruppati per area di provenienza, non mostrano significative variazioni. Nel caso del cobal-

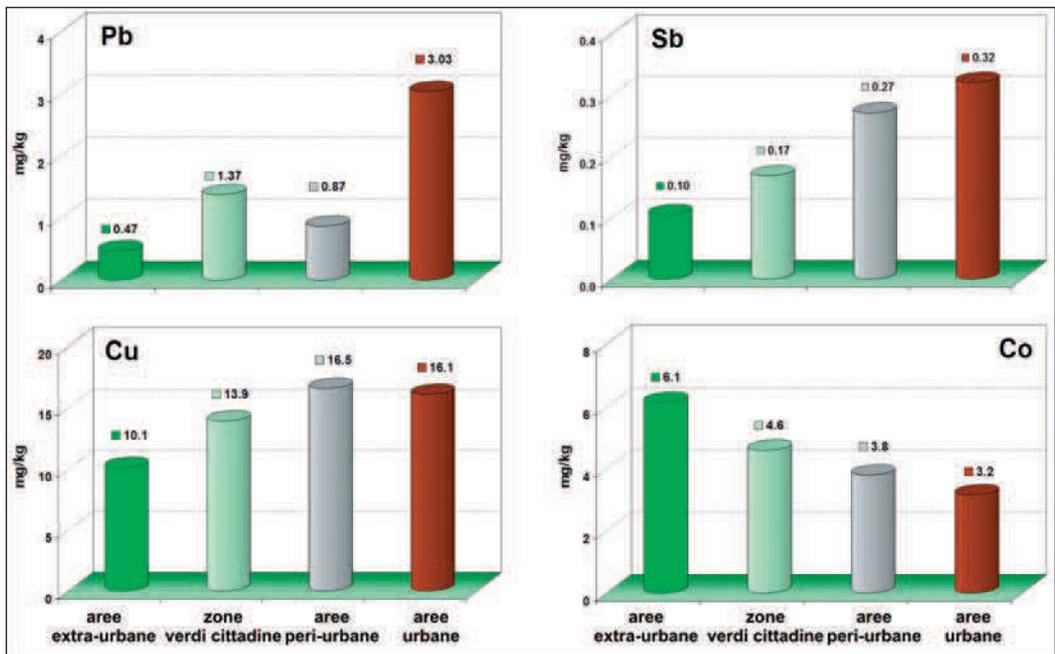


Figura 5: Concentrazioni medie di Pb, Sb, Cu e Co nei lombrichi di Siena.

to, a testimonianza del fatto che per questo elemento l'*input* derivante dal traffico veicolare è trascurabile, si riscontra un decremento dei contenuti dell'elemento passando dai siti extra-urbani (6.1 mg/kg) a quelli urbani e peri-urbani (3-4 mg/kg; figura 5).

Il confronto tra le concentrazioni totali nel suolo e nei lombrichi ha evidenziato un differente grado di accumulo degli elementi chimici analizzati. In particolare nei lombrichi Pb, Sb, Mn, Fe, Cr, Ni ed U hanno concentrazioni inferiori da 1 a 2 ordini di grandezza rispetto al contenuto totale dell'elemento nel suolo corrispondente. Co e Cu hanno mostrato abbondanze analoghe. Zn e Cd sono elementi in traccia che vengono bioconcentrati: infatti i loro contenuti nei lombrichi superano di un ordine di grandezza quelli del suolo. Questo comportamento trova conferma nei dati di letteratura [20].

Conclusioni

L'insieme dei dati analitici prodotti in questo lavoro, sui campioni di suolo e lombrico prelevati nell'area di Siena *s.l.*, consente di trarre le seguenti considerazioni.

1) Gli elementi chimici maggiormente influenzati dal traffico veicolare risultano piombo ed antimonio, che sono significativamente arricchiti nei suoli urbani e peri-urbani (FA>4). Un minore incremento delle concentrazioni rispetto al *background* geochimico locale è stato riscontrato nei siti interessati dalla circolazione stradale per cadmio, manganese, rame e zinco (FA compreso tra 1 e 2). Per gli altri elementi analizzati non è stata rilevata nessuna variazione significativa dei loro livelli nei suoli, da cui si evince che la loro presenza in questa matrice è essenzialmente imputabile a fattori e processi naturali.

2) Per quanto riguarda il frazionamento chimico del piombo, i dati analitici indicano che gli ossidrossidi di ferro e manganese ed, in minor misura, la sostanza organica giocano un ruolo importante nella ripartizione di questo elemento nel suolo. In particolare, l'aumento delle quantità di piombo legate alle frazioni riducibile ed ossidabile dei suoli in aree trafficate fa ritenere che un'aliquota del piombo di derivazione antropica sia assorbita dai suddetti colloidali del suolo.

3) L'antimonio è per lo più associato alla frazione residuale del suolo, e non sono state osservate sostanziali differenze nel frazionamento chimico di questo elemento nei suoli raggruppati per area di prove-

nienza. Tuttavia la presenza di antimonio nella frazione estraibile, quella più biodisponibile, è significativa e le quantità assolute ad essa associate aumentano al crescere dell'intensità del traffico.

4) Negli esemplari di lombrico prelevati nell'area di studio le concentrazioni degli elementi chimici analizzati delineano un modello di distribuzione analogo a quello descritto per i contenuti totali nel suolo.

5) Zinco e cadmio sono gli unici elementi in traccia bioconcentrati dai lombrichi, difatti i contenuti nei loro tessuti superano di un ordine di grandezza quelli del suolo.

Bibliografia

- [1] E. Swietlicki, S. Puri, H.C. Hansson, H. Edner, *Atmos. Environ.* 1996, 30: 279.
- [2] Y.F. Wang, K.L. Huang, C.T. Li, H.H. Mi, J.H. Luo, P.J. Tsai, *Atmos. Environ.* 2003, 37: 4637.
- [3] G. Weckwerth, *Atmos. Environ.* 2001, 35: 5525.
- [4] E. Manoli, D. Voutsas, C. Samara, *Atmos. Environ.* 2002, 36: 949.
- [5] A. Heikens, W.J.G.M. Peijnenburg, A.J. Hendriks, *Environ. Poll.* 2001, 113: 385.
- [6] D. Kennette, W. Hendershot, A. Tomlin, S. Sauvé, *App. Soil Ecol.* 2002, 19: 191.
- [7] J.E. Morgan, A. J. Morgan, *App. Soil Ecol.* 1999, 13: 9.
- [8] R. Lanno, J. Wells, J. Conder, K. Bradham, N. Basta, *Ecotox. Environ. Saf.* 2004, 57: 39.
- [9] Centro Studi ACI, Consistenza parco veicolare dell'interland senese. Automobile Club d'Italia: 2004.
- [10] A. Costantini, F.A. Decandia, A. Lazzarotto, D. Liotta, R. Mazzei, V. Pascucci, G. Salvatorini, F. Sandrelli, Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50000, Foglio 296 Siena - Servizio Geologico d'Italia. Università di Siena, Siena: *in press*.
- [11] C. Gleyzes, S. Tellier, M. Astruc, *Trend. Anal. Chem.* 2002, 21: 451.
- [12] A. Sahuquillo, J.F. Lopez-Sanchez, R. Rubio, G. Rauret, R.P. Thomas, C.M. Davidson, A.M. Ure, *Anal. Chim. Acta.* 1999, 38: 317.
- [13] G.P. Acquaviva, Lineamenti pedologici e geochimici dei suoli agricoli della provincia di Siena. Università di Siena, Siena: 2007.
- [14] Schema Metropolitan dell'Area Senese. Comune di Siena, Siena: 2005.

- [15] D. Salvagio Manta, M. Angelone, A. Bellanca, R. Neri, M. Sprovieri, *Science Total Environ.* 2002, 300: 229.
- [16] M. Imperato, P. Adamo, D. Naimo, M. Arienzo, D. Stanzione, P. Violante, *Environ. Poll.* 2003, 124: 247.
- [17] H. Wichmann, G.A.K. Anquandah, C. Schmidt, D. Zachmann, M.A. Bahadir, *Science Total Environ.* 2007, 388: 121.
- [18] C.S.C. Wong, X.D. Li, *Science Total Envir.* 2004, 319: 185.
- [19] V. Pizl, G. Josens, *Pedobiol.* 1995, 39: 442.
- [20] E.F. Neuhauser, Z.V. Cukic, M.R. Malecki, R.C. Loehr, P.R. Durkin, *Environ. Poll.* 1994, 89: 293.

Distribuzione, mobilità e biodisponibilità di Co, Cr, Cu, Ni, Sr e Zn nel sistema roccia-suolo-pianta in Toscana meridionale

Sara Rossi*, Giuseppe Protano, Francesco Riccobono

Parole chiave: elementi in traccia, sistema roccia-suolo-pianta, frazionamento chimico, estrazioni sequenziali, biodisponibilità, *Hypericum perforatum* L., Toscana Meridionale

*Il presente lavoro si propone di studiare il comportamento geochimico di sei elementi in traccia di interesse ambientale quali: Co, Cr, Cu, Ni, Sr, Zn, in sistemi roccia-suolo-pianta tipici della Toscana meridionale. Nel dettaglio, lo studio è stato realizzato in 27 stazioni ubicate in zone di affioramento di alcune delle principali litologie presenti nell'area di studio: rocce magmatiche acide (rioliti, daciti e monzograniti), intermedie (trachiti e trachidaciti) ed ultrabasiche (serpentiniti e peridotiti serpentinizzate), rocce carbonatiche (calcere cavernoso e travertino) e sedimenti argilloso-siltosi della formazione delle Argille azzurre plioceniche. In ogni stazione sono stati prelevati campioni del suolo superficiale e della roccia madre, nonché esemplari appartenenti alla specie vegetale spontanea *Hypericum perforatum* L. Gli scopi principali della ricerca sono stati: i) delineare il comportamento geochimico dei suddetti elementi in traccia nella pedogenesi; ii) ricostruire, attraverso il frazionamento chimico, la speciazione di Co, Cr, Cu, Ni, Sr, Zn nel suolo; iii) stabilire il grado di assorbimento e la traslocazione degli elementi in traccia da parte dell'*H. perforatum*.*

Gli elementi in traccia analizzati mostrano una notevole variabilità dei contenuti totali sia nei suoli che, soprattutto, nelle rocce, in cui i più ampi intervalli di distribuzione, da 2 a 3 ordini di grandezza, sono stati riscontrati per cobalto (0.8-140 mg/kg), cromo (1.3-4093 mg/kg), nickel (1-2280 mg/kg) e stronzio (0.5-1397 mg/kg).

Nei suoli formati da litologie di natura carbonatica sono stati rilevati gli arricchimenti maggiori di Co, Cr, Cu, Ni e Zn rispetto alle abbondanze nella parent rock. Unica eccezione riguarda lo stronzio che tende ad impoverirsi. Negli altri tipi di suolo in studio i contenuti degli elementi in traccia sono molto simili a quelli presenti nella roccia madre con fattori di arricchimento medi tra 0.8 e 2.

Il frazionamento chimico nel suolo ha evidenziato che Cr, Cu, Ni, Zn sono prevalentemente presenti nella frazione residuale. Importanti aliquote di Co sono associate alla frazione riducibile, mentre lo Sr è risultato l'elemento più mobile con apprezzabili contenuti nella frazione estraibile.

*L'abbondanza degli elementi in traccia nell'apparato radicale dell'*H. perforatum* è influenzata principalmente dalla natura del suolo e la traslocazione degli stessi verso le parti aeree coinvolge soprattutto le specie chimiche essenziali quali rame e zinco.*

Introduzione

La distribuzione ed il comportamento degli elementi chimici nell'ambiente di superficie sono principalmente regolati dall'insieme di reazioni e processi geochimici che intervengono nel sistema roccia-suolo-pianta. In questo sistema, il suolo riveste un ruolo chiave in quanto si trova al centro degli scambi tra le varie sfere geochimiche (litosfera, idrosfera, atmosfera e biosfera).

Un aspetto di grande rilievo rispetto alla mobilità degli elementi chimici ed il loro potenziale trasferimento alla biosfera è rappresentato dal frazionamento chimico nel suolo, ovvero dalla ripartizione degli elementi in questione nelle principali fasi e/o frazioni di questa fondamentale matrice ambientale.

Ad oggi, numerose ricerche sono state rivolte alla definizione del comportamento geochimico degli elementi chimici nella pedogenesi [1] [2], come anche alle modalità del loro trasferimento dal suolo alla biosfera [3] [4] [5]. Viceversa, sono molto scarse le ricerche geochimiche riferite allo studio del sistema roccia-suolo-pianta visto nel suo insieme [6].

L'ottica in cui si pone il presente lavoro è quella di uno studio della geochimica di sei elementi in traccia (Co, Cr, Cu, Ni, Sr, Zn) nel sistema roccia-suolo-pianta in contesti geopedologici tipici della Toscana meridionale. Questo studio è stato incentrato su alcune delle principali litologie affioranti in Toscana Meridionale, i suoli su di esse formati ed una specie vegetale spontanea e cosmopolita quale l'*Hypericum perforatum* L. La ricerca si prefigge vari scopi che consistono in: i) determinazione dei contenuti totali dei sopraelencati elementi in traccia nei suoli e nelle rocce madri; ii) definizione del loro comportamento geochimico nella pedogenesi; iii) ricostruzione, tramite il frazionamento chimico, della speciazione di Co, Cr, Cu, Ni, Sr, Zn nel suolo; iv) determinazione del grado di assorbimento degli elementi in traccia da parte dell'apparato radicale dell'*H. perforatum* nonché della loro traslocazione alle parti aeree.

Materiali e metodi

Lo studio ha riguardato 3 matrici ambientali: roccia, suolo e specie vegetali, campionate in 27 siti distribuiti sul territorio della Toscana Meridionale (Fig. 1). Le stazioni di campionamento sono state ubicate nelle zone di affioramento di alcune delle litologie più comuni tra quelle presenti nella regione. In parti-

colare, in 9 stazioni la geologia è costituita da rocce carbonatiche (calcare cavernoso e travertini in 5 siti per ciascuno), in 8 siti dai sedimenti argilloso-siltosi della formazione delle Argille azzurre (di seguito definita FAA).

Tutti i siti di prelievo ricadono in zone in cui è minimo l'impatto antropico e non sono segnalate mineralizzazioni o anomalie geochimiche di rilievo.

In ogni stazione sono stati prelevati lungo il profilo campioni del suolo superficiale autoctono (primi 20 cm) e della roccia madre. Ogni campione di roccia e di suolo è composto costituito da 3 sub-campioni raccolti entro un raggio di 10 m. Sono stati altresì raccolti in ogni stazione da 3 a 5 esemplari della specie vegetale spontanea *Hypericum perforatum* L., cresciuti sul suolo campionato.

La preparazione dei campioni di roccia per l'analisi chimica è consistita in una triturazione e polverizzazione meccanica al fine di rendere omogenea e rappresentativa un'aliquota di circa 100 g.

I campioni di suolo sono stati asciugati in stufa alla temperatura di +40°C. Quindi, sono stati setacciati al vaglio di 2 mm ed il passante è stato quartato. Un'aliquota di circa 100 g è stata polverizzata.

Circa 4 g di polvere dei campioni di roccia e di suolo sono stati utilizzati per la preparazione di pasticche per l'analisi in spettrometria di fluorescenza a raggi X. Per i suoli sono stati determinati: il pH [7], la percentuale di carbonato di calcio mediante il calcimetro De Astis, la capacità di scambio cationico (CSC) con il metodo proposto da Hendershot e Douquette [8], la percentuale di carbonio organico con la metodologia Walkley-Black [9].

Per determinare i contenuti degli elementi in traccia associati alle principali frazioni del suolo, è stata utilizzata la tecnica dell'estrazione chimica che consiste nell'utilizzo di un reagente o di una serie di reagenti in grado di portare in soluzione, in maniera

gli autori

Dipartimento di Scienze Ambientali
«G. Sarfatti», Unità di Ricerca
di Geochimica Ambientale,
Università degli Studi di Siena,
Via del Laterano 8, 53100 Siena, Italia.

*autore per corrispondenza
rossi174@unisi.it

specifica e selettiva, determinate fasi e/o frazioni del suolo. Una estrazione sequenziale consiste in una serie di estrazioni chimiche selettive effettuate in successione su uno stesso campione. Tra le numerose tecniche di estrazione sequenziale riportate in letteratura [10] [11] [12], è stata scelta in questo studio la procedura definita dal *BCR-Community Bureau of Reference* [13], di cui è, tra l'altro, disponibile uno standard analitico di riferimento (*BCR701-sediment*). Nel dettaglio, ogni campione di suolo polverizzato è stato sottoposto a 4 stadi consecutivi di estrazione delle seguenti frazioni: 1) estraibile (solubile in acqua + scambiabile + acido-solubile); 2) riducibile (legata principalmente agli ossidrossidi di ferro e manganese); 3) ossidabile (associata principalmente alla sostanza organica); 4) residuale. In Tabella 1 sono riassunte le più importanti caratteristiche dei 4 stadi della procedura di estrazione sequenziale adottata.

I campioni vegetali della specie *H. perforatum* sono stati puliti attraverso fasi successive di lavaggio: dapprima in acqua, poi in bagno ad ultrasuoni ed in soluzione di acido cloridrico al 3%. A seguire si è proceduto all'essiccazione a +40°C fino a peso costante ed ogni esemplare di *H. perforatum* è stato suddiviso in radici e parti aeree. I campioni così ottenuti sono sta-

ti polverizzati ed un'aliquota di circa 500 mg è stata solubilizzata impiegando una miscela costituita da 3 ml di HNO_3 e 0.5 ml di H_2O_2 .

I contenuti totali di Co, Cr, Cu, Ni, Sr, Zn nei campioni di roccia e suolo sono stati determinati sulle pasticche di polvere in spettrometria di fluorescenza a raggi X (XRFs), utilizzando uno spettrometro Mg^iX della Philips.

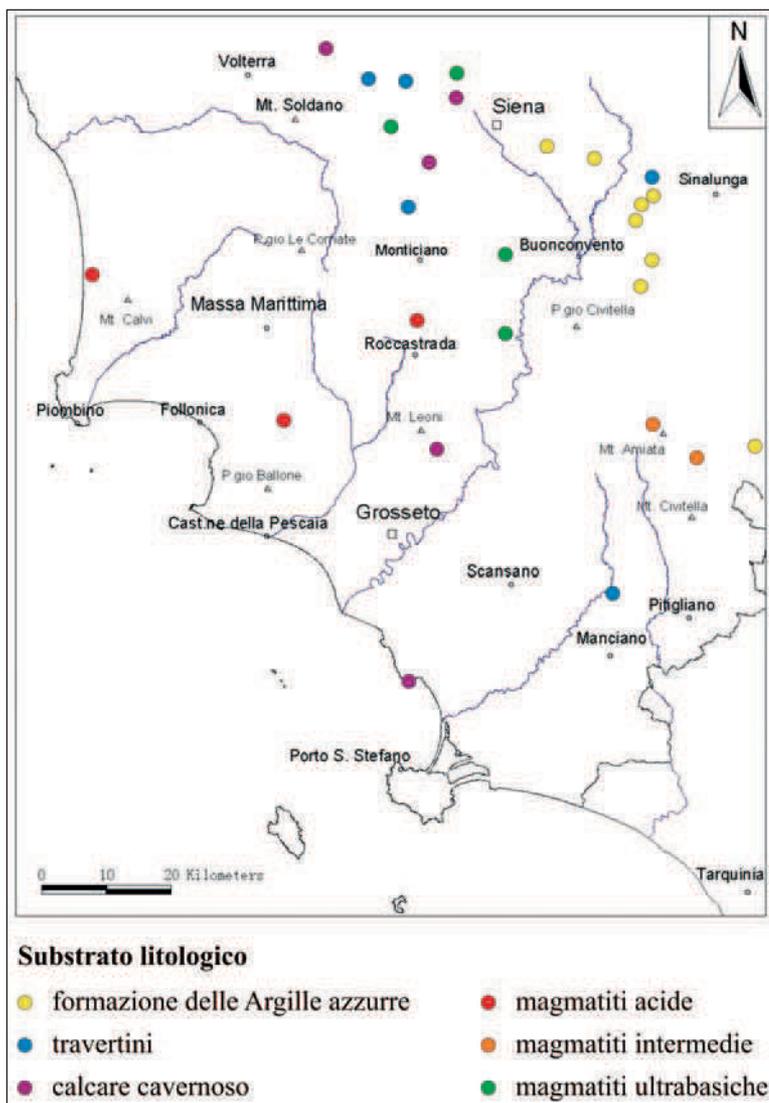


Figura 1: Ubicazione dei siti di campionamento.

Tabella 1: Schema della procedura di estrazione sequenziale adottata.

Stadio	Reagente/i	Rapporto campione (g) /reagente (ml)	Frazione
1	CH ₃ COOH 0.11M (pH 2.85)	1:40	solubile in acqua, scambiabile, acido-solubile
2	NH ₂ OH HCl 0.5M	1:40	riducibile
3	H ₂ O ₂ 8.8 M e CH ₃ COONH ₄ 1M (pH 2)	1:50	ossidabile
4	2 ml HNO ₃ + 1 ml HF + 2 ml HCl + 1 ml HClO ₄	0.2:6	residuale

Le concentrazioni degli elementi in traccia nelle 4 frazioni di suolo, ottenute con la procedura di estrazione sequenziale, e nei campioni di radici e parti aeree di *H. perforatum* sono state determinate in spettrometria di emissione ottica con sorgente al plasma ad accoppiamento induttivo (ICP-OES), avvalendosi dello spettrometro Optima 2000 DV della Perkin Elmer.

Risultati

Di seguito sono illustrati per ciascuno degli elementi in traccia analizzati le concentrazioni totali nei campioni di roccia e suolo, il comportamento geochimico nella pedogenesi, in termini di arricchimento ed impoverimento nel suolo rispetto alla roccia madre, il frazionamento chimico nel suolo, l'assorbimento da parte di *H. perforatum* e la traslocazione in questa specie vegetale.

Contenuti totali nelle rocce

Tra i tipi di rocce analizzati il nickel raggiunge i contenuti più elevati nelle litologie ultrabasiche con un livello medio di 2214 mg/kg, mentre le più basse concentrazioni (<10 mg/kg) sono state misurate in quelle carbonatiche. Nelle magmatiti acide ed intermedie l'elemento è presente in tenori che oscillano da 10 a 47 mg/kg. Una abbondanza media intorno agli 80 mg/kg caratterizza i sedimenti della FAA. Questa distribuzione del nickel nelle rocce della Toscana meridionale è in accordo con l'abbondanza media dell'elemento nelle principali litologie magmatiche e sedimentarie. Infatti, in ambito magmatico il nickel è fortemente arricchito nelle rocce ultrabasiche (2000 mg/kg) e basiche (130 mg/kg) rispetto ai termini sialici (4.5-15 mg/kg; [14] [15]). Ciò è dovuto

al fatto che nella cristallizzazione magmatica il nickel ha una forte affinità per i siti reticolari ottaedrici dei minerali ferromagnesiaci dove è altamente favorito dai requisiti energetici mostrati dalle cavità esa-coordinate dei silicati. Secondo i dati presenti in letteratura la concentrazione media del nickel è di 5 mg/kg nelle rocce sedimentarie carbonatiche, e di 70 mg/kg nelle litologie prevalentemente argillose [15].

Un *pattern* di distribuzione analogo a quello del nickel è stato rilevato anche per cobalto e cromo. Infatti, questi due elementi sono arricchiti nelle rocce ultrabasiche (117 mg/kg Co e 2971 mg/kg Cr, in media). Abbondanze inferiori di un ordine di grandezza contraddistinguono i sedimenti della FAA (17 mg/kg Co e 163 mg/kg Cr). I contenuti più bassi (Co < 7 mg/kg e Cr < 30 mg/kg) caratterizzano le magmatiti acide e soprattutto le litologie carbonatiche. La distribuzione dei tenori di cobalto e cromo nelle rocce in studio è in linea con le loro abbondanze medie nei principali tipi di rocce riportate in letteratura ([14] [15]).

Nelle rocce in studio rame e zinco presentano concentrazioni più omogenee rispetto agli elementi in traccia sopra illustrati.

In base all'abbondanza di rame è possibile suddividere le rocce in studio in 2 gruppi; il primo è rappresentato dai sedimenti della FAA calcareo cavernoso (<3.6 mg/kg) e travertini (<2 mg/kg).

Lo zinco mostra una distribuzione simile a quella del rame, con i livelli più elevati di presenza nei sedimenti della FAA intermedi (66.7 mg/kg) ed ultrabasiche (42.8 mg/kg).

Le concentrazioni di rame e zinco nelle rocce analizzate sono comparabili con i tenori medi di questi elementi nelle rocce magmatiche ed in quelle sedimentarie. Rame e zinco sono tipicamente arricchiti negli *shales* (45 mg/kg Cu e 100 mg/kg Zn) rispetto alle litologie carbonatiche (6 mg/kg Cu e 40 mg/kg Zn).

Nelle rocce magmatiche si registra usualmente un trend verso l'impoverimento dei due elementi procedendo dai termini basici a quelli sialici.

In accordo con il comportamento geochimico dello stronzio, il quale è un vicariante del calcio, il picco di concentrazione di questo elemento in traccia è stato riscontrato nei travertini (555 mg/kg, in media) ed a seguire nei sedimenti della FAAenico di una originaria successione evaporitica costituita da dolomite e anidride.

Riguardo alle litologie magmatiche, i contenuti maggiori sono stati dosati nelle magmatiti intermedie (fino a 725 mg/kg), mentre notevolmente inferiore è risultato il livello medio dell'elemento in traccia nelle magmatiti acide (81 mg/kg) e soprattutto in quelle ultrabasiche (<1 mg/kg). Questo tipo di distribuzione rispecchia il frazionamento dello stronzio durante i processi magmatici che porta ad un arricchimento dell'elemento nelle magmatiti intermedie, parallelamente all'incremento dei contenuti di calcio.

Contenuti totali nei suoli e comportamento nella pedogenesi

I dati analitici ottenuti evidenziano come il nickel si arricchisca in modo significativo nei suoli formati da rocce carbonatiche. In questi suoli l'elemento raggiunge concentrazioni medie intorno ai 90 mg/kg con un fattore di arricchimento medio (FA = contenuto elemento nel suolo / contenuto elemento nella roccia) di 11 nei suoli da calcare cavernoso e di 22.3 in quelli da travertini (Fig. 2). Negli altri contesti geopedologici studiati i contenuti nel suolo sono confrontabili con quelli della roccia madre, con FA che oscillano tra 0.9 e 1.7.

Un comportamento analogo a quello del nickel è mostrato anche da cobalto e cromo, dato che questi due ultimi elementi in traccia presentano i più elevati fattori di arricchimento nei suoli con roccia madre carbonatica. L'arricchimento è più marcato per il cromo che raggiunge in questi suoli concentrazioni tra 109 e 159 mg/kg con $FA_{trav}=82.9$ e $FA_{ccav}=28.5$. Nei suoli originatisi dalle altre litologie considerate si riscontrano contenuti medi di cromo e cobalto confrontabili con quelli della roccia madre, con fattori di arricchimento tra 0.7 e 2.

Si discostano dal trend generale i suoli da magmatiti acide in cui l'abbondanza di cromo (224.5 mg/kg, in media) aumenta significativamente rispetto a quella della roccia madre (FA=10.4).

I dati analitici di rame e zinco indicano, nel complesso, un trend di arricchimento nel suolo rispetto alle concentrazioni della roccia madre. Ciò è particolarmente evidente per i suoli formati sulle litologie carbonatiche ($FA_{trav}=41.8$, $FA_{ccv}=26.4$ per il rame; $FA_{trav}=6.5$ e $FA_{ccv}=6.5$ per lo zinco), in cui rame e zinco si attestano rispettivamente tra 30-60 mg/kg e 100-200 mg/kg. Il rame ha mostrato, inoltre, degli incrementi consistenti anche nei suoli derivati da litologie magmatiche, con il massimo che è raggiunto in quelle acide (FA=10).

Le concentrazioni di stronzio nei suoli in studio individuano 3 distinti livelli di abbondanza. I contenuti più bassi sono stati misurati nei suoli da magmatiti ultrabasiche (12 mg/kg, in media), mentre i tenori più elevati appartengono ai suoli formati dalle magmatiti intermedie (308 mg/kg) e dai sedimenti della FAA (327 mg/kg). Negli altri tipi di suolo le concentrazioni di stronzio si collocano usualmente tra 100 e 200 mg/kg. Dal confronto con le abbondanze nella roccia madre risulta che la pedogenesi determina, in genere, un impoverimento dello stronzio nel suolo. Questo *pattern* è marcato nei suoli da litologie carbonatiche ($FA_{trav}=0.3$, $FA_{ccv}=0.5$), e a seguire in quelli formati dalle magmatiti intermedie (FA=0.6) e dai sedimenti della FAA. In conclusione, si può osservare che il comportamento dello stronzio nel sistema roccia-suolo è in larga parte guidato dalle sue caratteristiche geochemiche e dalla natura delle fasi mineralogiche che ospitano questo elemento in traccia. Ciò soprattutto in termini di risposta durante il *weathering* delle fasi portatrici e per il suo potenziale ionico che lo rende, come del resto il calcio, facilmente allontanabile in soluzione. Dove il substrato è di natura carbonatica, con lo stronzio fondamentalmente associato ai carbonati, la spinta dissoluzione della calcite comporta anche un marcato allontanamento dello stronzio dal sistema. Nelle rocce in cui lo stronzio è principalmente ospitato nella struttura del k-feldspato e dei plagioclasti (per es. magmatiti acide), questi minerali, relativamente più resistenti al *weathering*, permangono, almeno in parte, nel suolo e con essi lo stronzio contenuto.

Frazionamento chimico nei suoli

Con riferimento al frazionamento del nickel nei suoli in studio, i dati analitici sottolineano una generale tendenza dell'elemento a concentrarsi nella frazione residuale (F_{res}), con percentuali rispetto al totale che variano dal 65.6 al 95.9% (Fig. 3). I contenuti percentuali

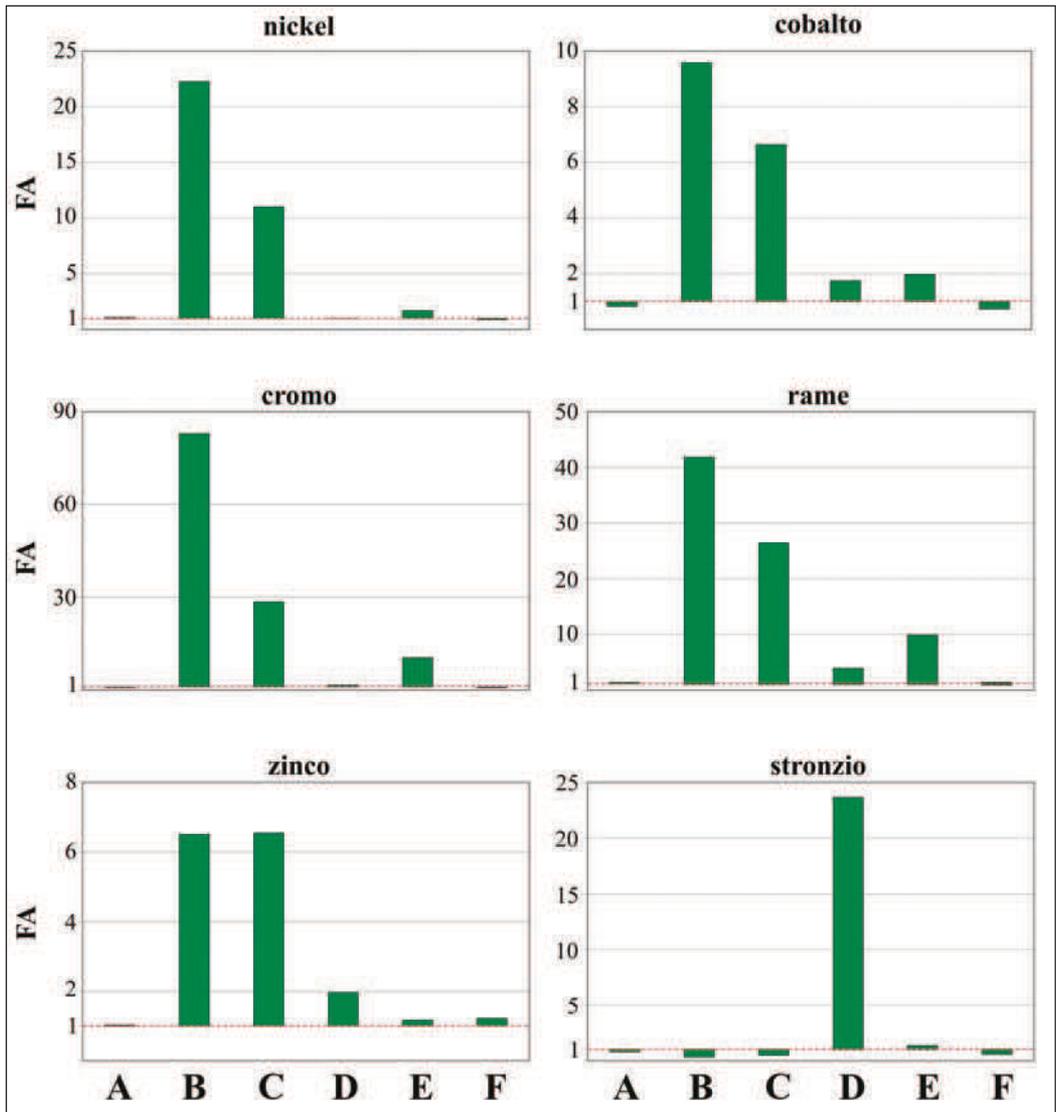


Figura 2: Fattori di arricchimento medi di Co, Cr, Cu, Ni, Sr, Zn nei suoli in studio.

più elevati, intorno al 90%, sono stati ritrovati nei suoli formati da magmatiti acide ed intermedie, mentre quelli più bassi si hanno nei suoli sviluppatasi sulle magmatiti ultrabasiche e sui sedimenti della FAA. Nelle altre frazioni del suolo considerate nel presente lavoro, i contenuti sono distribuiti nell'ordine: frazione riducibile (F_{rid}) > frazione ossidabile (F_{ox}) >

frazione estraibile (F_{estr}). La maggiore aliquota percentuale di nickel nella frazione riducibile (22%, in media) è presente nei suoli da magmatiti ultrabasiche e a seguire da quelli formati sui sedimenti della FAA_{rid} delle altre tipologie di suolo. Il trend di variazione illustrato segue la distribuzione quantitativa degli ossidrossidi di ferro e manganese nei suoli in

studio. Ciò è in modo particolare reso chiaro dalla correlazione positiva che lega i contenuti di nickel e manganese nella F_{rid} .

Nei suoli in studio i contenuti di nickel nella F_{ox} sono risultati, in genere, molto simili a quelli determinati nella F_{rid} , espressione di una distribuzione pressoché paritetica di questo elemento tra gli ossidrossidi di Fe-Mn e la sostanza organica del suolo.

Nella frazione estraibile la presenza di nickel varia tra 0.9 e 5.5%, con i contenuti più elevati nei suoli da magmatiti ultrabasiche.

Il cromo ha un comportamento molto omogeneo in tutti i suoli studiati ed è ripartito principalmente nella frazione residuale (F_{res}) con percentuali, rispetto al totale, sempre superiori al 90%. L'aliquota di cromo rimanente è distribuita nelle altre frazioni del suolo con: $F_{ox} > F_{rid} > F_{estr}$.

I contenuti medi di cromo oscillano tra 4.8% e 7% nella frazione ossidabile, e tra 1.1 e 3.3% nella frazione riducibile. La frazione estraibile è quella più povera in cromo con percentuali che vanno da 0.043 a 0.13%. Il cobalto mostra una forte affinità per la frazione riducibile dei suoli in studio, in accordo con quanto rilevato in altre ricerche [16]. Ciò è maggiormente evidente nei suoli da magmatiti ultrabasiche e da travertini in cui il contenuto medio percentuale dell'elemento è intorno al 60%. Quantità di cobalto variabili, ma confrontabili tra loro a livello di singolo campione di suolo, sono state determinate nella frazione estraibile (4.3-13.8%) ed in quella ossidabile (2.3-14.4%). I valori medi più elevati per queste frazioni sono di pertinenza dei suoli formati dai sedimenti della FAA.

I dati analitici indicano che il rame è prevalentemente associato alla frazione residuale, con contenuti medi che vanno da 53.6% (suoli da sedimenti della FAA) a 83.8% (suoli su rocce carbonatiche). Nella frazione riducibile ed in quella ossidabile il rame è presente in quantità percentuali tra loro confrontabili e talora piuttosto elevate (F_{rid} =4.6-33.1%; F_{ox} =7.9-28.1%), in linea con l'affinità dell'elemento per queste due frazioni del suolo [17].

Per quanto concerne la frazione riducibile, è da segnalare che i più elevati contenuti percentuali di rame caratterizzano i suoli legati ai sedimenti della FAA e che le concentrazioni di questo elemento in traccia aumentano all'aumentare del ferro riducibile. Una aliquota importante di rame è associata alla F_{ox} dei suoli da magmatiti acide ed intermedie (rispettivamente 28.1 e 16.1%). In questi suoli è stata rilevata una significativa correlazione tra i contenuti dell'elemento e quelli della sostanza organica. La frazione

estraibile è quella più povera in rame, con abbondanze percentuali che vanno da 0.2 al 2.5%.

La partizione dello zinco nel suolo individua una generale affinità dell'elemento per la frazione residuale, con abbondanze comprese tra il 65.3 e 93%. Un ruolo importante in riferimento alla mobilità dello zinco è rivestito dagli ossidrossidi di ferro e manganese e dalla sostanza organica. Ciò è vero soprattutto per i suoli derivati dai sedimenti della FAA, in cui le concentrazioni di zinco della F_{rid} e della F_{ox} sono rispettivamente pari al 17.5% e 15.7% del contenuto totale. Le concentrazioni più basse di zinco sono state misurate nella frazione estraibile, in genere inferiori a 1.5%.

Lo stronzio ha mostrato un frazionamento eterogeneo nei suoli in studio espressione di una partizione variabile nella frazione residuale ed in quella estraibile. Infatti, in percentuale lo stronzio è presente nella F_{res} in un ampio intervallo di valori compreso tra 11.3% (suoli da sedimenti della FAA) a 98.6% (magmatiti intermedie). Speculare è la ripartizione dello stronzio nella F_{estr} , la quale è guidata principalmente dal contenuto di carbonato di calcio (calcite) nel suolo. Esiste, peraltro, una chiara correlazione positiva tra i contenuti di stronzio nella F_{estr} e le percentuali di $CaCO_3$ dei suoli. Nelle altre frazioni studiate, la F_{rid} ha costantemente contenuti di stronzio più elevati di quelli della F_{ox} . I suoli dai sedimenti della FAA e dalle magmatiti ultrabasiche presentano le percentuali maggiori di stronzio sia nella F_{rid} (15.3% e 21.6% rispettivamente) che nella F_{ox} (5.2% e 3.3%).

Assorbimento e traslocazione nell'*H. perforatum*

I dati analitici rimarcano una chiara influenza della natura del suolo sulla abbondanza degli elementi in traccia studiati nell'apparato radicale degli esemplari di *H. perforatum*.

Le concentrazioni più elevate di stronzio nelle radici (13.69 mg/kg, in media) appartengono ai campioni vegetali cresciuti su suoli con substrato calcareo. Cobalto, cromo e nickel raggiungono il picco dei contenuti nelle parti subaeree degli esemplari raccolti su suoli derivati da magmatiti ultrabasiche (1.83, 11.88, 30.73 mg/kg rispettivamente). Rame e zinco hanno, invece, tenori piuttosto uniformi nelle radici di *H. perforatum* (Cu da 3.37 a 13.43 mg/kg; Zn da 9.65 a 31.72 mg/kg). Questo aspetto è, presumibilmente, da mettere in relazione con il particolare ruolo che i 2 elementi chimici rivestono nella fisiologia dei vegetali.

In merito alle relazioni che intercorrono tra le concen-

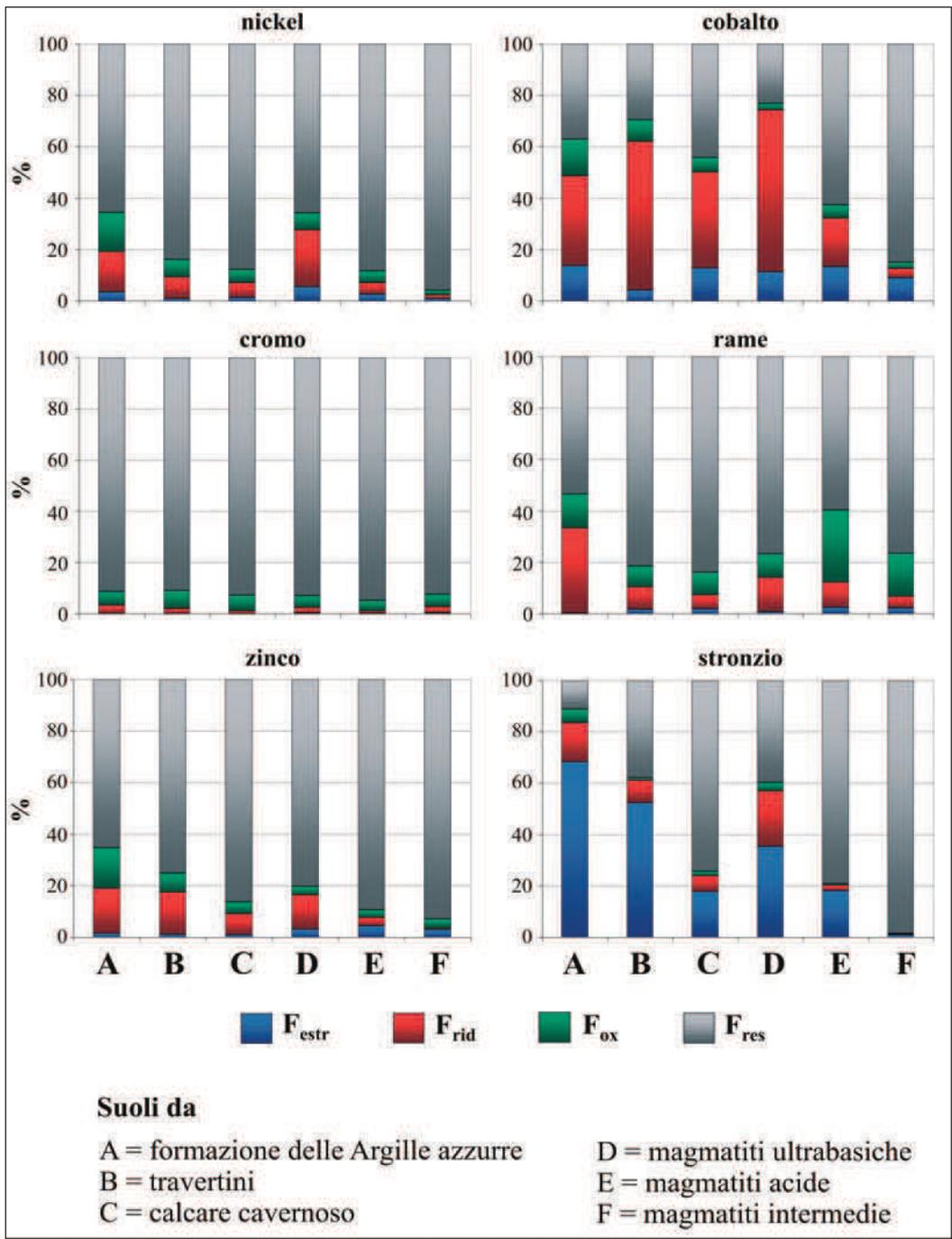


Figura 3: Frazioneamento chimico medio di Co, Cr, Cu, Ni, Sr, Zn nei suoli in studio.

trazioni degli elementi in traccia nella frazione estraibile del suolo e quelle nelle radici di *H. perforatum*, solo per nickel e stronzio si ha una correlazione positiva che sembra avere qualche influenza sul loro assorbimento radicale. Per gli altri elementi chimici non sono individuabili dei trend significativi. È ipotizzabile che nelle radici vi sia un accumulo di questi elementi in grado di mascherare le effettive relazioni presenti tra la frazione biodisponibile del suolo e l'*uptake* radicale. Il rapporto dei contenuti di Co, Cr, Cu, Ni, Sr, Zn nelle parti aeree e nell'apparato radicale, definito fattore di traslocazione (FT), fa emergere che lo zinco è l'elemento maggiormente traslocato verso le parti aeree (FT=1.7, in media), seguito dal rame con un fattore di traslocazione medio di 1.4. Il comportamento di Cu e Zn è conseguenza del ruolo chiave che entrambi gli elementi rivestono in molteplici processi enzimatici all'interno della cellula vegetale.

Anche lo stronzio è traslocato in modo apprezzabile (FT=1.2), probabilmente per la sua somiglianza geo-chimica con il calcio. Cobalto e nickel hanno, invece, contenuti nelle parti aeree più bassi di quelli nelle radici (FT rispettivamente di 0.82 e 0.74). Il cromo è certamente l'elemento meno mobilizzato dall'*H. perforatum* come sta a dimostrare un fattore di traslocazione medio pari a 0.34.

Conclusioni

A conclusione dell'illustrazione dei dati analitici ottenuti in questo lavoro possono essere fatte le seguenti considerazioni.

1) Gli elementi in traccia analizzati mostrano una notevole variabilità dei contenuti totali sia nei suoli che, soprattutto, nelle rocce. I più ampi intervalli di distribuzione dei tenori appartengono a cobalto, cromo, nickel e stronzio (da 2 a 3 ordini di grandezza), quale conseguenza dei picchi di concentrazione nelle magmatiti ultrabasiche e nelle rocce carbonatiche.

2) I *gain/loss* degli elementi in traccia nel suolo rispetto alla roccia madre, sottolineano che gli arricchimenti più marcati contraddistinguono i suoli con substrato carbonatico dove si hanno valori di FA costantemente superiori a 6 con punte fino a 83 per il cromo. Fa eccezione lo stronzio che in questi suoli risulta impoverito. Negli altri tipi di suolo in studio i contenuti degli elementi in traccia sono molto simili a quelli presenti nella *parent rock* con fattori di arricchimento medi che insistono tra 0.8 e 2.

3) Gli elementi in traccia studiati hanno evidenziato 3

differenti *pattern* di ripartizione nel suolo:

i) elementi prevalentemente associati alla frazione residuale: Cr, Cu, Ni, Zn,

ii) elementi caratterizzati da una importante aliquota, talora dominante, associata alla frazione riducibile: Co,

iii) elementi caratterizzati da una importante aliquota, talora dominante, associata alla frazione estraibile: Sr.

4) L'abbondanza degli elementi in traccia nell'apparato radicale dell'*H. perforatum* è chiaramente influenzata dalla natura del suolo.

5) Rame e zinco sono gli elementi maggiormente traslocati nelle parti aeree di questa specie vegetale, mentre il cromo è quello meno mobilizzato.

Bibliografia

- [1] T. Sterckeman, F. Douay, D. Baize, H. Fourrier, N. Proix, C. Schwartz, Appl. Geochem. 2004, 19: 89.
- [2] J.S. Munroe, G. Farrugia, P.C. Ryan, Catena 2007, 70: 39.
- [3] S. Dudka, M. Piotrowska, A. Chlopecka, Water Air Soil Pollut. 1994, 76: 333.
- [4] A. Kabata-Pendias, Geoderma, 2004, 122: 143.
- [5] I. Cattani, G. Fragoulis, R. Boccelli, E. Capri, Chemosphere 2006, 64: 1972.
- [6] J.S. Lee, H.T. Chon, J.S. Kim, K.W. Kim, J. Geochem. Expl. 1998, 65: 61.
- [7] EPA (2002). Soil and waste pH. Method 9045-D.
- [8] W.H. Hendershot, M. Duquette, Soil Sci. Soc. Am. J. 1986, 50: 605.
- [9] A. Walkley, I.A. Black, Soil Sci. 1934, 37: 29.
- [10] A. Tessier, P.G.C. Campbell., M. Bisson, Anal. Chem. 1979, 51: 84.
- [11] A.M. Ure, The Sci. of the Tot. Env. 1996, 178: 3.
- [12] C. Gleyzes, S. Tellier, M Astruc, TrAC 2002, 21: 451.
- [13] P. Quevauviller, G. Rauret, B. Griepink, Int. J. Env. Anal. Chem. 1993, 51: 231.
- [14] J.E. Mielke. Composition of the Earth's crust end distribution of the elements. In: F.R. Siegel (ed.), Review of research of modern problems in geochemistry, Paris: 1979.
- [15] C. Reimann, P. de Caritat. Chemical Elements in the Environment. Springer-Verlag, Berlin: 1998.
- [16] W. De Vos, T. Tarvainen. Geochemical Atlas of Europe. Part 2. Geological Survey of Finland, Espoo: 2006.

Contenuti e distribuzione del tallio in suoli e piante spontanee della Toscana meridionale

Anastasia Pisani*¹, Giuseppe Protano¹, Francesco Riccobono¹

Parole chiave: tallio, suolo, piante spontanee, aree minerarie, Toscana meridionale

Il tallio è un elemento chimico di notevole rilevanza ambientale in quanto è una specie molto tossica, con tossicità paragonabile a quella di elementi pesanti quali cadmio, mercurio e piombo. Tuttavia, ad oggi, sono pochi i dati disponibili sul comportamento geochimico del tallio nell'ambiente di superficie ed in particolare sul trasferimento di questo elemento alla biosfera.

In considerazione di quanto detto, è stata avviata una ricerca finalizzata alla definizione del comportamento geochimico del tallio nel sistema suolo-pianta. Il presente lavoro riporta alcuni risultati preliminari riguardanti i livelli di tallio dosati in campioni di suolo e di specie vegetali spontanee raccolti in aree della Toscana meridionale interessate da un impatto antropico differenziato. Un gruppo di campioni (Gruppo 1) proviene da zone non soggette a rilevante pressione antropica, in cui affiorano le più comuni e/o rappresentative litologie presenti nell'area di studio. Campioni di suolo e piante (Gruppo 2) sono stati prelevati anche nel distretto minerario delle Colline Metallifere e nel sito antimonifero del Tafone.

L'insieme dei dati analitici prodotti mette in evidenza una notevole variabilità delle concentrazioni di tallio nel suolo e soprattutto nelle specie vegetali erbacee ed arbustive considerate.

L'abbondanza e la distribuzione del tallio nei suoli studiati appaiono strettamente legate alla natura litologica del substrato. Nei suoli da litologie magmatiche ultrabasiche e sedimentarie del Gruppo 1 le concentrazioni di tallio sono usualmente inferiori a 1 mg/kg. Contenuti più elevati caratterizzano i suoli formati da magmatiti acide ed intermedie (1.80-5.71 mg/kg), da sedimenti alluvionali in zone minerarie (0.69-6.11 mg/kg) e da materiali di discarica mineraria (2.12-3.62 mg/kg).

Le specie vegetali studiate hanno tenori di tallio nelle radici che, nel complesso, appaiono correlate al contenuto totale dell'elemento nel suolo.

*Un importante fenomeno di accumulo di tallio è stato riscontrato negli esemplari delle specie *Silene vulgaris* L., *Plantago lanceolata* L. e *Dorycnium hirsutum* L. (Ser), cresciuti su suoli formati dai materiali della discarica mineraria del Tafone. Nelle radici di questi esemplari sono state misurate concentrazioni di tallio tra 185 e 655 mg/kg, valori più elevati di 2 ordini di grandezza del contenuto totale dell'elemento nel suolo. Per queste stesse specie è stata riscontrata una traslocazione piuttosto efficiente dell'elemento verso le parti aeree.*

*I dati analitici hanno indicato anche per la specie *Mentha aquatica* L. una capacità di concentrare tallio nelle radici (63 mg/kg, in media) e di traslocarlo nelle foglie (6 mg/kg).*

Introduzione

Il tallio è un elemento del gruppo XIII della Tavola Periodica e ha proprietà sia calcofile che litofile. È presente in natura in due stati di ossidazione Tl^+ e Tl^{3+} . La specie monovalente è quella dominante nelle condizioni di Eh e pH presenti nella maggior parte degli ambienti naturali [1].

Il tallio ha una spiccata affinità geochimica con gli elementi alcalini e sostituisce quelli di raggio ionico comparabile nei siti reticolari di vari minerali quali: plagioclasti, k-feldspato e minerali argillosi [2].

La concentrazione media di tallio nella crosta continentale è pari a 0.52 mg/kg [3], mentre in quella oceanica è di 0.013 mg/kg [4]. I contenuti nelle rocce magmatiche aumentano progressivamente dai termini ultrabasici (0.07-0.30 mg/kg) a quelli acidi, con i valori più elevati registrati nei graniti (0.6-3.5 mg/kg; [5]). Nelle rocce sedimentarie i tenori di tallio sono in genere tra 0.1 e 2 mg/kg, con un picco nelle litologie arenacee (1-3 mg/kg). Le concentrazioni più basse dell'elemento si hanno nelle rocce carbonatiche (0.01-0.14 mg/kg; [6]). Nel suolo l'abbondanza media dell'elemento è stimata 0.5 mg/kg [7].

Il tallio può essere trasferito, con relativa facilità, dal suolo alla biosfera, principalmente per la «somi-glianza» tra le specie Tl^+ e K^+ , con evidenti possibili ripercussioni sugli organismi vegetali ed animali ed anche pericolo per la salute umana [8]. È stato osservato che il grado di assorbimento del tallio da parte delle piante è, in genere, rapportabile alle concentrazioni dell'elemento nel suolo [9], secondo un processo che è altamente specie-specifico. Alcuni autori hanno dimostrato che il tallio tende ad accumularsi in piante ricche in zolfo come quelle appartenenti alla famiglia delle *Brassicaceae* [8, 10, 11, 12, 13, 14].

Il tallio può avere vari effetti sul metabolismo delle piante. Tra questi sono annoverati la riduzione delle capacità fotosintetiche e di traspirazione nonché l'inibizione della germinazione.

Questa ricerca, anche in considerazione dei non molti dati disponibili per questo elemento in traccia, intende portare un contributo alla conoscenza del comportamento geochimico del tallio nel sistema suolo-pianta attraverso lo studio dei livelli di concentrazione in suoli e specie vegetali spontanee della Toscana meridionale.

Materiali e metodi

L'abbondanza e la distribuzione del tallio nel sistema suolo-pianta sono stati studiati in campioni di suolo e di specie vegetali spontanee raccolti in aree della Toscana meridionale interessate da un impatto antropico differenziato.

Un gruppo di campioni di suolo e piante spontanee, di seguito indicato come Gruppo 1, proviene da zone della Toscana meridionale non soggette a rilevante pressione antropica. Si tratta di zone scarsamente abitate, dove le attività agricole, industriali e minerarie sono assenti o poco rappresentate. I campioni del Gruppo 1 sono stati prelevati in 25 siti in cui affiorano le più comuni e/o rappresentative litologie presenti nell'area di studio: formazione delle Argille azzurre

Un secondo gruppo di campioni di suolo e piante (Gruppo 2) proviene dal distretto minerario delle Colline Metallifere, interessato fino agli inizi degli anni '90 da una importante attività mineraria riconducibile alla coltivazione di mineralizzazioni a pirite e solfuri misti, quali quelle di Campiano, Fenice Capanne e Niccioleta. In questa zona sono stati prelevati 16 campioni di suolo formati sui sedimenti alluvionali (*overbank*) dei seguenti corsi d'acqua: Fosso Zanca, che nasce nell'area mineraria di Niccioleta; Fosso dei Noni, che drena le discariche della miniera di Fenice Capanne; T. Merse, che attraversa il comprensorio minerario Merse-Campiano. Sono stati anche raccolti 42 esemplari di specie vegetali spontanee cresciute sui suoli di cui sopra.

Al Gruppo 2 appartengono anche campioni di suolo e piante provenienti dal sito minerario antimonifero del Tafone. I campioni di suolo (n=5) e piante (n=57) sono stati raccolti nella discarica mineraria essenzialmente costituita dagli scarti di coltivazione della mineralizzazione del Tafone. Questa discarica circonda un invaso (lago del Tafone), che coincide con l'*open pit* della miniera.

gli autori

I Dipartimento di Scienze Ambientali
«G. Sarfatti», Unità di Ricerca
di Geochimica Ambientale,
Università degli Studi di Siena,
Via del Laterino 8, 53100 Siena, Italia

* autore per corrispondenza
pisani6@unisi.it

Il campionamento del suolo ha riguardato l'orizzonte superficiale rappresentato dai primi 20 cm (*topsoil*). Allo scopo di limitare gli effetti dell'eterogeneità di questa matrice, sono stati prelevati, in ogni stazione, 3 sub-campioni di suolo in un raggio di 10 m, i quali sono andati a costituire un unico campione composito. Insieme al suolo sono stati raccolti esemplari delle più comuni specie vegetali spontanee presenti nel sito. Per ciascuna specie vegetale sono stati prelevati, ove possibile, 3 esemplari.

In laboratorio, i campioni di suolo sono stati asciugati in stufa alla temperatura di +40°C, setacciati a 2 mm, quartati e polverizzati. Una aliquota di circa 200 mg della polvere ottenuta è stata solubilizzata per digestione acida aggiungendo: 2 ml di HNO₃, 2 ml di HCl, 1 ml di HF e 1 ml di HClO₄.

In laboratorio, ogni esemplare delle specie vegetali campionate è stato accuratamente ripulito dalle particelle di suolo, attraverso successive fasi di lavaggio: dapprima in acqua, poi in bagno ad ultrasuoni e quindi in una soluzione di acido cloridrico al 3%. Al termine il campione è stato risciacquato con acqua deionizzata e quindi asciugato in stufa alla temperatura di +40°C fino al raggiungimento di un peso costante. A seguire, le parti ipogee della pianta sono state separate da quelle aeree e ogni componente del campione è stata polverizzata. Una aliquota di circa 500 mg della polvere ottenuta è stata solubi-

lizzata per digestione acida mediante aggiunta di 5 ml di HNO₃ e 2 ml di H₂O₂. Per la solubilizzazione dei campioni di suolo e delle specie vegetali sono stati utilizzati reagenti ultrapuri.

I contenuti di tallio nei campioni di suolo e delle specie vegetali sono stati determinati in spettrometria di massa accoppiata la plasma induttivo (ICP-MS) utilizzando lo spettrometro Elan 6100 della Perkin-Elmer Sciex. L'accuratezza dei dati è stata determinata utilizzando i seguenti standard analitici di riferimento: SRM 2709 del *National Institute of Standard and*

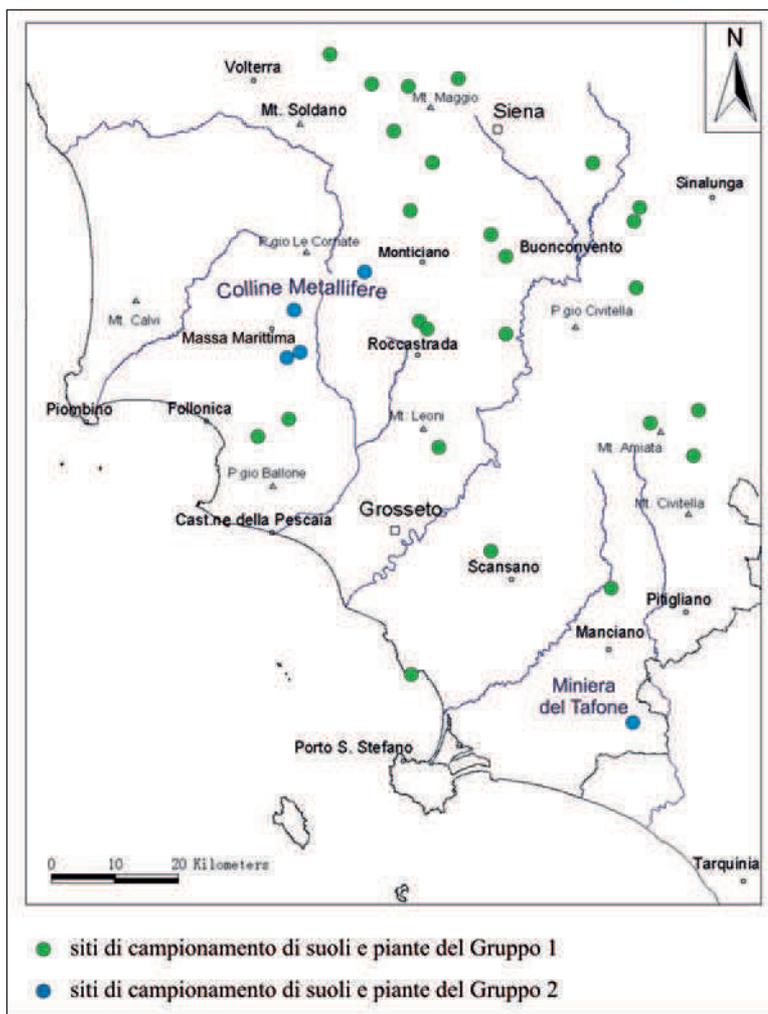


Figura 1: Ubicazione dei siti di campionamento.

Technology per i suoli, e GBW07603 (*Bush Branches and Leaves*) dell'*Institute of Geophysical and Geochemical Exploration*, per le specie vegetali.

Risultati

Suoli

In Tabella 1 sono riportate le concentrazioni di tallio misurate in suoli formati da vari tipi di substrato litologico ed in diversi contesti ambientali della Toscana meridionale.

Come in precedenza detto, i suoli in studio sono stati suddivisi in 2 gruppi. Il Gruppo 1 è rappresentato da suoli sviluppati da alcune delle più diffuse litologie magmatiche e sedimentarie affioranti in Toscana meridionale, e sono stati prelevati in zone con basso impatto antropico. Il Gruppo 2 comprende suoli campionati in aree minerarie e formati da sedimenti alluvionali e materiali di discarica.

Ad un primo esame dei dati analitici si può osservare che l'abbondanza e la distribuzione del tallio nei suoli in studio sono strettamente legate alla natura del substrato litologico.

Nei suoli da litologie magmatiche ultrabasiche e sedimentarie del Gruppo 1 le concentrazioni di tallio sono usualmente sotto 1 mg/kg. Questi tenori sono in linea con i livelli dell'elemento nei suoli non contaminati: 0.5 mg/kg [7]; 0.66 mg/kg [15]; 0.25-0.71

mg/kg [16]. A titolo di esempio, i suoli formati dai sedimenti della formazione delle Argille azzurre, provenienti per lo più dal Bacino di Siena, hanno contenuti di tallio compresi tra 0.69 e 0.87 mg/kg, con un valore medio di 0.78 mg/kg. Si tratta di concentrazioni piuttosto omogenee che suggeriscono una stima del livello medio di presenza di tallio nell'ambiente di superficie della Toscana meridionale. Ciò, tenuto conto dell'ampio sviluppo areale di questi suoli e del fatto che i sedimenti da cui essi derivano rappresentano una sorta di media geochemica delle rocce affioranti nella regione durante la sedimentazione pliocenica [17].

Come trend generale, i tenori di tallio nei suoli studiati aumentano al crescere delle concentrazioni degli elementi maggiori, potassio e sodio, e degli elementi in traccia, rubidio e bario. Questo dato è in accordo con la tendenza del tallio a «seguire» geochemicamente gli elementi alcalini, sostituendo in particolare il potassio nei siti reticolari del k-feldspato e di minerali argillosi quali illiti, vermiculiti e smectiti.

Nell'ambito del Gruppo 1, sono risultate significativamente più elevate le concentrazioni di tallio nei suoli la cui *parent rock* è rappresentata da magmatiti acide ed intermedie. Le abbondanze sono distribuite nell'intervallo 1.80-5.71 mg/kg, con un livello medio di 3.06 mg/kg. I contenuti di tallio nei suoli formati da queste rocce sono da considerarsi naturali e riflettono il *pattern* di distribuzione dell'elemento nella *parent rock* magmatica. Come sottolineato in precedenza,

il tallio tende ad arricchirsi nelle rocce magmatiche acide in quanto è presente, come vicariante del potassio, in minerali abbondanti in queste litologie, quali k-feldspato, plagioclasti e miche. I suoli del Gruppo 2, provenienti da aree minerarie della Toscana meridionale, hanno fornito contenuti di tallio variabili nell'intervallo 0.69-6.11 mg/kg (tabella 1). Le concentrazioni più elevate (5.23-6.11 mg/kg) sono state determinate nei suoli for-

Tabella 1: Contenuti di tallio nei suoli in studio.

		numero campioni	tallio (mg/kg)
Gruppo 1	suoli da litologie magmatiche ultrabasiche e sedimentarie	20	<0.1 – 1.1
	suoli da litologie magmatiche acide ed intermedie	5	1.80 – 5.71
Gruppo 2	suoli da sedimenti alluvionali (alto bacino del T. Zanca)	4	5.23 - 6.11
	suoli da sedimenti alluvionali (parte finale del bacino del T. Zanca)	4	2.84 - 3.84
	suoli da sedimenti alluvionali (Fosso dei Noni)	5	1.57 - 1.91
	suoli da sedimenti alluvionali (T. Merse)	3	0.69 - 0.74
	suoli da materiale di discarica (miniera del Tafone)	5	2.12 - 3.62

matisi dai sedimenti alluvionali presenti nell'alto bacino del T. Zanca a circa 2 km dall'area mineraria di Niccioleta. Più a valle, i tenori diminuiscono collocandosi tra 2.84 e 3.84 mg/kg. I livelli di tallio determinati nel bacino del T. Zanca sono verosimilmente influenzati dall'attività mineraria a Niccioleta come starebbe ad indicare il trend in diminuzione allontanandosi dal sito in questione.

I suoli formati dai sedimenti alluvionali del Fosso dei Noni, che drena l'area mineraria di Fenice Capanne, hanno tenori di tallio piuttosto omogenei nell'intervallo 1.57-1.91 mg/kg. I contenuti più bassi dell'elemento (0.69-0.74 mg/kg) sono stati misurati nei suoli da *overbank* prelevati nel bacino del T. Merse, a valle del comprensorio minerario Merse-Campiano.

Ad eccezione dei campioni raccolti nel bacino del T. Merse, i suoli da sedimento alluvionale del distretto minerario delle Colline Metallifere hanno tenori di tallio maggiori di quanto rilevato per gran parte dei suoli formati dalle più comuni litologie della Toscana meridionale. Ciò è in linea con il comportamento anche calcifilo dell'elemento e la tendenza del tallio ad entrare nei reticoli dei solfuri. Ne consegue che le mineralizzazioni a solfuri costituiscono una rilevante fonte di immissione dell'elemento nell'ambiente di superficie.

Nei suoli del Gruppo 2 prelevati nella discarica della miniera del Tafone e formati da materiale di coltivazione mineraria, le concentrazioni di tallio sono costantemente sopra 2 mg/kg, con un tenore medio di 2.69 mg/kg (Tabella 1). Si tratta di valori in accordo con la natura dei materiali di discarica arricchiti in solfuri (per lo più stibina ed arsenopirite).

Piante

Di seguito sono illustrati e commentati i contenuti di tallio dosati in esemplari di piante spontanee della Toscana meridionale cresciuti sui suoli appartenenti al Gruppo 1 e al Gruppo 2. Sono state analizzate le specie erbacee *Hypericum perforatum* L. e *Plantago lanceolata* L. per i suoli del Gruppo 1, e le specie erbacee (*Achillea ageratum* L., *Aster squamatus* Sprengel) Hieron., *Atriplex patula* L., *Carex pendula* Hudson, *Eupatorium cannabinum* L., *Galactites tomentosa* L., *Glyceria fluitans* L., *Holoschoenus vulgaris* (Link), *Inula viscosa* L. (Aiton), *Medicago sativa* L., *Melilotus alba* Med., *Mentha aquatica* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin., *Plantago lanceolata* L., *Reicardia picroides* L., *Silene vulgaris* L., *Trifolium*

incarnatum L.) ed arbustive (*Dorycnium hirsutum* L. (Ser), *Rosa canina* L.) per i suoli del Gruppo 2.

La concentrazione di tallio è stata determinata anche in alcune delle componenti epigee (rami e foglie) di esemplari di *Quercus ilex* L., cresciuti su suoli sia del Gruppo 1 che del Gruppo 2.

Gruppo 1: *Hypericum perforatum* L. e *Plantago lanceolata* L.

Le concentrazioni di tallio nell'apparato radicale e nelle parti aeree di esemplari di *H. perforatum* (n=48) appaiono influenzate dal contenuto totale dell'elemento nel suolo. Infatti, i livelli di presenza più elevati sono stati rilevati nei campioni cresciuti su suoli formati da magmatiti acide ed intermedie. Questi hanno concentrazioni medie di tallio di 0.12 mg/kg (range = 0.04-0.42 mg/kg) nelle radici, e di 0.05 mg/kg (range = 0.02-0.17 mg/kg) nelle parti aeree.

Gli esemplari di *H. perforatum* radicati nelle altre tipologie di suolo del Gruppo 1 hanno evidenziato tenori di tallio più bassi di un ordine di grandezza, in linea con il contenuto totale dell'elemento nel suolo. La concentrazione di tallio è risultata in media di 0.01 mg/kg nell'apparato radicale, e di <0.01 mg/kg nella parte epigea.

Un *pattern* analogo è stato riscontrato anche nei campioni di *P. lanceolata* (n=27). Infatti, le concentrazioni più elevate di tallio sono state dosate nelle piante cresciute su suoli da magmatiti acide (0.58-0.92 mg/kg nelle radici e 0.07-0.15 mg/kg nelle parti aeree). Gli esemplari raccolti, invece, su suoli con roccia madre a prevalente natura argillosa (*shales*) mostrano tenori di tallio più bassi di un ordine di grandezza (0.04-0.07 mg/kg nella radici e <0.01 mg/kg nella parti aeree).

Gruppo 2: piante erbacee ed arbustive (distretto delle Colline Metallifere)

Nei siti di campionamento dei suoli formati sui sedimenti alluvionali di alcuni dei principali corsi d'acqua delle Colline Metallifere sono stati raccolti campioni delle più comuni piante erbacee ed arbustive ivi cresciute.

Negli esemplari di *E. Cannabinum* (n=18), *G. fluitans* (n=6) e *H. vulgaris* (n=6) i contenuti di tallio nelle radici e nelle parti aeree sono risultati omogenei alla scala dell'intero distretto delle Colline Metallifere.

Nell'*E. cannabinum* sono state misurate concentrazioni dell'elemento comprese tra 0.04 e 0.59 mg/kg nelle radici, mentre nella parte aerea la presenza giunge ad un massimo di 0.02 mg/kg nel fusto, e di

0.08 mg/kg nelle foglie. Nelle specie *H. vulgaris* e *G. fluitans* i contenuti medi di tallio sono risultati rispettivamente di 0.13 e 0.23 mg/kg nelle radici, e di 0.01 e 0.03 mg/kg nella parti aeree.

Negli esemplari di *I. viscosa* (n=6) e *C. pendula* (n=6) le concentrazioni di tallio sono variabili in dipendenza dalla zona di provenienza. Riguardo all'*I. viscosa*, gli esemplari raccolti nel bacino del Fosso Zanca hanno tenori di tallio più elevati di un ordine di grandezza rispetto a quelli misurati nei campioni presi nel comprensorio minerario di Merse-Campiano, e ciò sia nelle radici che nelle parti aeree. Per le foglie di *I. viscosa* si passa da 0.02 mg/kg, in media, negli esemplari prelevati a valle delle miniere del Merse e di Campiano a 0.12 mg/kg nei campioni provenienti dal bacino del Fosso Zanca. Questo tipo di distribuzione è in linea con il trend di variazione dei contenuti totali di tallio misurati nei suoli da sedimenti alluvionali dei 2 corsi d'acqua sopra menzionati.

Anche per la specie *C. pendula* gli esemplari provenienti dal bacino del Fosso Zanca hanno mostrato concentrazioni più elevate di tallio, 2.80 mg/kg in media nell'apparato radicale e 1.01 mg/kg nelle parti aeree.

Gruppo 2: piante erbacee ed arbustive (area mineraria del Tafone)

Campioni di piante erbacee ed arbustive sono stati prelevati in 2 siti (di seguito indicati S5 e S6) ubicati nella discarica della miniera del Tafone. In ogni sito sono stati raccolti 3 esemplari per ogni specie vegetale.

Le concentrazioni di tallio misurate negli esemplari delle specie vegetali prelevate nel sito S5 individuano rispetto all'abbondanza dell'elemento 2 differenti popolazioni. Alla prima appartengono le specie *R. picroides*, *S. vulgaris*, *I. viscosa*, *T. incarnatum* e *R. canina*, in cui i tenori di tallio nelle radici si collocano usualmente sotto 0.3 mg/kg. Nelle specie della seconda popolazione di dati (*P. lanceolata*, *A. ageratum*, *G. tomentosa*, *M. sativa*) sono state misurate concentrazioni nell'apparato radicale significativamente più elevate (da 0.9 a 9.5 mg/kg). Si tratta di valori che sono nello stesso ordine di grandezza del contenuto totale dell'elemento nel suolo (2 mg/kg, in media). Complessivamente, le piante erbacee ed arbustive di cui sopra non danno luogo a fenomeni significativi di traslocazione del tallio verso le parti aeree.

Nel sito S6 le concentrazioni di tallio nelle piante erbacee ed arbustive analizzate sono risultate specie-dipendenti e notevolmente più elevate di quelle tro-

vate nel sito S5. Infatti, nelle radici degli esemplari di *S. vulgaris*, *D. hirsutum* e *P. lanceolata* di questa stazione di campionamento sono state dosate concentrazioni tra 185 e 655 mg/kg. Si tratta di valori che indicano un importante accumulo di tallio, con livelli dell'elemento nell'apparato radicale più elevati di 2 ordini di grandezza del contenuto totale dell'elemento nel suolo (3 mg/kg). In queste stesse specie vegetali sono stati riscontrati alti tenori dell'elemento anche nelle foglie (46-374 mg/kg), il che sottende importanti fenomeni di traslocazione verso le parti epigee della pianta.

Un accumulo di tallio, anche se di minore entità rispetto a quanto sopra descritto, è stato riscontrato nelle radici delle specie *I. viscosa* (22 mg/kg, in media) e *P. australis* (15 mg/kg). In queste piante si ha una diminuzione dei contenuti dell'elemento nella traslocazione dalle radici alle parti aeree, con concentrazioni nelle foglie paragonabili a quelle del suolo.

Le specie *A. patula* e *M. alba* hanno quantità di tallio confrontabili con i contenuti dell'elemento nel suolo, con un decremento di circa un fattore 10 nelle foglie. Infine, nelle specie *A. squamatus* e *A. ageratum* le concentrazioni di tallio sono minori rispetto alle altre piante erbacee analizzate, con valori intorno a 0.6 mg/kg nelle radici e 0.4 mg/kg nelle parti aeree.

Confrontando i dati analitici nel sistema suolo-pianta relativamente ai 2 siti di campionamento (S5 e S6) è da sottolineare che, a parità di contenuti totali di tallio nel suolo, alcune specie vegetali (*S. vulgaris*, *P. lanceolata* e *I. viscosa*) hanno evidenziato una diversa risposta a livello di assorbimento e di accumulo dell'elemento. Questo dato potrebbe dipendere da: i) una diversa mobilità e biodisponibilità del tallio nel suolo in relazione ad una diversa partizione dell'elemento nelle principali fasi costituenti il suolo stesso; ii) una eterogeneità molto spinta del suolo (formatosi da materiali di discarica) a piccola scala.

Un commento particolare è dovuto per la *M. aquatica*, specie vegetale diffusa negli ambienti umidi, che è in grado di assorbire quantità rilevanti di elementi chimici sia dal substrato su cui è radicata sia dalle acque in cui viene ad essere saltuariamente o costantemente immersa. In virtù di questa capacità di estrazione ed accumulo la *M. aquatica* potrebbe avere, in ipotesi, un potenziale impiego nelle applicazioni di *phytoremediation*.

Gli esemplari di *M. aquatica* prelevati ai bordi del lago del Tafone hanno messo in luce la spiccata capacità di questa specie di concentrare arsenico e di traslocarlo alle foglie [18]. Gli stessi campioni vegetali

hanno mostrato una capacità di accumulo anche per il tallio. Infatti, a fronte di un contenuto totale di tallio nel substrato attorno a 2 mg/kg e di circa 9 mg/L nelle acque del lago, sono state misurate nelle radici concentrazioni medie di 63 mg/kg. Nella traslocazione alle foglie l'abbondanza di tallio si riduce di circa un ordine di grandezza, essendo state dosate, nella componente epigea della pianta, concentrazioni di 6 mg/kg in media.

Gruppo 1 e Gruppo 2: Quercus ilex L.

In questo lavoro sono state analizzate foglie di esemplari di *Q. ilex* (leccio) cresciuti su suoli formati sia da rocce magmatiche acide (vulcaniti di Roccastrada) che da materiali di discarica della miniera del Tafone.

I campioni di foglie (n=5) raccolte da 5 esemplari di leccio nella zona di Roccastrada hanno fornito contenuti di tallio estremamente variabili tra 0.04 e 4.08 mg/kg. Tuttavia, in genere, i tenori di tallio sono superiori a 1 mg/kg, in linea con le concentrazioni totali dell'elemento nei suoli di questa zona (1.80-2.31 mg/kg).

Nell'area mineraria del Tafone le foglie prelevate da 2 esemplari di leccio nei siti S5 e S6, hanno dato concentrazioni di tallio tra loro diverse. Nel sito S5 i tenori nei campioni di foglie (n=10) sono distribuiti in un ampio intervallo compreso tra 0.03 e 35.2 mg/kg, con picco di frequenza dei valori intorno a 3 mg/kg e, quindi, in linea con il contenuto totale dell'elemento nel suolo.

Nel sito S6, invece, le concentrazioni di tallio dosate nei campioni di foglie di leccio (n=5) si attestano su valori che sono generalmente superiori ai 30 mg/kg, con un massimo di 92 mg/kg. Si tratta di contenuti che indicano un accumulo di tallio importante ed analogo a quanto visto per alcune specie erbacee ed arbustive ivi presenti.

Dall'esemplare di leccio del sito S5 sono stati raccolti ed analizzati anche 15 campioni di rami con diverso grado di accrescimento (da 1 a 4 anni). I risultati mostrano livelli di tallio variabili nell'intervallo 0.01-21 mg/kg ed una buona corrispondenza tra contenuti nelle foglie e nei rami. Inoltre, sembra esistere un trend in diminuzione delle concentrazioni di tallio all'aumentare dell'età dei rami.

Conclusioni

L'insieme dei dati analitici presentati in questo lavoro

mette in evidenza una rilevante variabilità delle concentrazioni di tallio nel suolo e soprattutto nelle specie vegetali erbacee ed arbustive considerate.

L'abbondanza e la distribuzione del tallio nei suoli studiati appaiono strettamente legate alla natura litologica del substrato. Le concentrazioni più elevate caratterizzano i suoli formati da magmatiti acide ed intermedie, da sedimenti alluvionali in zone minerarie e da materiali di discarica mineraria.

Le specie vegetali studiate hanno tenori di tallio nelle radici che, nel complesso, appaiono correlate al contenuto totale dell'elemento nel suolo, con valori del BAC (*Biological Absorption Coefficient* = rapporto tra il contenuto dell'elemento nelle radici e quello totale nel suolo) che si pongono usualmente tra 0.01 e 0.1. Nel trasferimento alle parti aeree i livelli di tallio diminuiscono di un fattore variabile tra 2 e 10.

Un fenomeno importante di accumulo del tallio è stato riscontrato nelle specie *S. vulgaris*, *P. lanceolata* e *D. hirsutum*. Gli esemplari di queste specie cresciuti su suoli formati dai materiali della discarica mineraria del Tafone, presentano valori del BAC compresi tra 50 e 200. Queste stesse specie rivelano anche una traslocazione piuttosto efficiente dell'elemento verso le parti aeree.

Per quanto detto l'accumulo di un elemento come il tallio in specie erbacee potenzialmente appetibili per il bestiame brado pone una questione che richiede una particolare attenzione.

I dati analitici hanno rimarcato anche per la specie *M. aquatica* la capacità di concentrare tallio nelle radici e di traslocarlo, in parte, nelle foglie.

Nelle foglie di *Q. ilex* sono state misurate concentrazioni variabili di tallio. Queste pur essendo, nel complesso, confrontabili con l'abbondanza totale dell'elemento nel suolo segnalano, talora, fenomeni non trascurabili di accumulo.

Bibliografia

- [1] B.W. Vink, *Chem. Geol.* 1993, 109: 119.
- [2] V. Jović, *Thallium*. In: C.P. Marshall & R.W. Fairbridges (eds.), *Encyclopedia of Geochemistry*. Dordrecht, Germany: 1999.
- [3] K.H. Wedepohl, *Geochim. Cosmochim. Acta* 1995, 59: 1217.
- [4] T.A. Delvalls, V. Saenz, A.M. Arias, J. Blasco, *Cienc Mar* 1999, 25 (2): 61.
- [5] K.H. Wedepohl, *Handbook of Geochemistry*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg: 1978.

- [6] A. Kabata-Pendias, Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida: 2001.
- [7] T. Koljonen (ed.), The geochemical atlas of Finland. Part. 2: Till. Geological Survey of Finland, Espoo: 1992.
- [8] T. Xiao, J. Guha, D. Boyle, C.Q. Liu, J. Chen, Sci. Total Environ. 2004, 318: 223.
- [9] J. Schoer, Thallium. In: Handbook of Environmental Chemistry, vol. 3 (c). Huntzinger editore, New York: 1984.
- [10] A. Tremel, M. Mench, Agronomie 1997, 17: 195.
- [11] A. Tremel, M. Mench, Agronomie 1997, 17: 261.
- [12] C.W.N. Anderson, R.R. Brooks, A. Chiarucci, C.J. LaCoste, M. Leblanc, B.H. Robinson, R. Simcock, R.B. Stewart, J. Geochem. Explor. 1999, 67: 407.
- [13] K.G. Scheckel, E. Lombi, S.A. Rock, M.J. McLaughlin, Envi. Sci. Technol. 2004, 38: 5095.
- [14] P. Madejón, J.M. Murillo, T. Marañón, Chemosphere 2007, 67: 20.
- [15] W. De Vos, I. Tarvainen (chief editors), Geochemical Atlas of Europe. Part.2. Geological Survey of Finland, Espoo: 2006.
- [16] A.R. Mermut, J.C. Jain, L. Song, R. Kerrich, L. Kozak, S. Jana. J. Environ. Qual. 1996, 25: 845.
- [17] G. Protano, F. Riccobono, G. Sabatini, Mem. Descr. Carta Geol. d'It. 1998, LV: 109.

Il biomonitoraggio degli inquinanti atmosferici: il caso dell'ozono

Cristina Nali*¹

Parole chiave: educazione ambientale, qualità dell'aria, smog fotochimico

*Il termine «biomonitoraggio» comprende le procedure che utilizzano indicatori biologici per trarre informazioni sullo stato dell'ambiente. Essi costituiscono un utile strumento di indagine che ben si integra con i tradizionali metodi chimico-fisici, in relazione anche ai loro ragionevoli costi di gestione. Il metodo è basato sulla individuazione e valutazione di sintomi tipici presenti su idonee specie vegetali, che vengono definite «indicatrici». Tali piante, coltivate o spontanee, devono rispondere con effetti macroscopici specifici a concentrazioni minime di un dato inquinante. Nel caso della contaminazione da ozono, la metodologia che meglio sintetizza le possibilità anche operative delle tecniche in oggetto è rappresentata dalla cv. Bel-W3 di tabacco. Essa presenta interessanti aspetti, a cominciare dalla elevata sensibilità all'ozono, essendo sufficienti esposizioni di poche ore a concentrazioni dell'ordine di 40 ppb per provocare la comparsa delle tipiche lesioni in forma di necrosi, inizialmente puntiformi e tondeggianti, visibili su entrambe le pagine della foglia. Il posizionamento nei siti di interesse avviene in contenitori in condizioni standardizzate, ponendo a confronto piante di una varietà di tabacco resistente (Bel-B) per assicurare che la manifestazione del danno fogliare sia effettivamente dovuta all'inquinante. Il Dipartimento Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose «G. Scaramuzzi» dell'Università di Pisa ha messo a punto, ormai da più di 10 anni, un sistema miniaturizzato che utilizza piantine molto giovani (15 giorni di età) di tabacco in base all'ormai consolidata capacità delle stesse di manifestare sintomi. All'interno dei programmi europei per la valutazione dei danni indotti da ozono sulla vegetazione spontanea e non, sono comunemente utilizzati due cloni di *Trifolium repens*. In questo caso, il parametro utilizzato è la riduzione di biomassa epigea del clone sensibile (NC-S) in risposta al contaminante, rispetto a quella del resistente (NC-R), che rimane tal quale. A questi bioindicatori ne sono stati affiancati recentemente altri come la *Centaurea jacea*, una specie modello da utilizzare nelle valutazioni delle risposte visive di piante autoctone all'ozono. È importante anche ricordare l'aspetto didattico che questa attività rivolge nei confronti degli studenti. A questo proposito, sono già numerose le esperienze nell'ambito dell'educazione ambientale condotte in collaborazione con le scuole (dalle materne alle superiori) toscane e umbre. Il lavoro costituisce una rassegna delle principali metodiche ad oggi in uso per il biomonitoraggio dell'ozono, evidenziandone le caratteristiche e le finalità per eseguire al meglio una corretta campagna di bioindicazione.*

Introduzione

In tutta Europa – e in particolare nel bacino Mediterraneo – si assiste all'aumento progressivo della concentrazione di ozono (O_3) nella troposfera [1]: ciò significa che «l'aria pulita» di oggi (e di domani) differisce da quella di alcuni decenni fa, con gravi conseguenze per la salute umana e non solo. Questo inquinante è in grado di alterare la composizione chimica e il clima di tale parte dell'atmosfera; pertanto, esiste un interesse crescente sulle conoscenze della sua distribuzione e sull'impatto ambientale che esso determina sia sugli organismi viventi che sui manufatti. Sebbene le aree urbane siano le fonti principali dei precursori (ossidi di azoto ed idrocarburi), a causa di ben noti fenomeni di trasporto, la presenza di livelli significativi di O_3 si osserva anche nelle zone rurali più distanti. È, quindi, evidente come sia impellente la necessità di formulare un tracciato dettagliato dei livelli del contaminante nelle zone considerate più vulnerabili. Gli studi inerenti la distribuzione di O_3 sul territorio italiano sono un campo di ricerca relativamente giovane: in questo Paese, le misure sono affidate principalmente a strumenti automatici che si basano sul principio di assorbimento dei raggi ultravioletti. Una decina di anni fa erano in funzione circa 50 analizzatori sul nostro territorio; la loro localizzazione era – purtroppo – irregolare e grandi zone geografiche, in particolare nell'Italia del Sud, risultavano non coperte. A titolo di esempio, in Toscana (22997 km², circa 3,5 x10⁶ abitanti, 287 comuni), gli analizzatori operano quotidianamente solo in 20 comuni, coprendo solo il 40% degli abitanti e il 7% dei comuni. Inoltre, solo una piccola parte di queste aree è monitorata da lungo tempo e le informazioni fornite sono comunque frammentarie e non raccolte in archivi storici.

In Italia, la comparsa di sintomi indotti da O_3 sulle piante è stata segnalata per la prima volta in Toscana all'inizio degli anni '80 [2], ma soltanto molto più tardi sono stati dimostrati gli effetti nocivi di questo inquinante sulla produttività delle piante coltivate. Danni visibili sono stati osservati su foglie di pesco in zone rurali del centro Italia, nonché su varie colture, quali fagiolo, zucchini, vite, peperone, ravanella, soia, spinacio e pomodoro. Quadri sintomatici attribuibili all' O_3 sono stati riscontrati anche sulla vegetazione naturale: *Robinia pseudoacacia*, *Ailanthus altissima* e pioppo [3].

Le zone rurali e forestali dell'Italia sono esposte a concentrazioni di O_3 che eccedono di gran lunga i livelli critici stabiliti. A maggior ragione, ciò si verifica

durante i periodi estivi particolarmente caldi, come nel 2003 quando l'Italia è stata investita da una vera e propria «ondata di calore». La figura 1 mostra l'AOT40 (esposizione accumulata sopra la soglia di 40 ppb) calcolata per nove stazioni di monitoraggio toscane (due per ciascuna delle province di Arezzo, Firenze e Pistoia e una per ciascuna di quelle di Lucca, Pisa e Prato) dall'1 al 15 agosto 2003 rispetto alla serie storica (1999-2002 + 2004): nell'ultimo giorno la differenza tra i due valori raggiungeva i 2,5 ppm h [4]. Il monitoraggio biologico può essere definito come la misura delle risposte degli organismi viventi ai cambiamenti dell'ambiente che li circonda. Dal momento che, in generale, le piante sono più sensibili alle principali sostanze inquinanti dell'aria (come l' O_3) rispetto agli animali (e, quindi, anche all'uomo), questa metodologia può essere applicata osservando e analizzando specie spontanee o coltivate presenti in una data area di studio (cosiddetto *biomonitoraggio passivo*) o condotta su soggetti selezionati esposti deliberatamente in aria ambiente in condizioni standardizzate (*biomonitoraggio attivo*). Essa può consentire una copertura capillare del territorio, con ragionevoli costi di gestione e senza vincoli per il rifornimento elettrico, del quale invece necessitano le centraline automatiche. Il tutto con valenze educative e didattiche incomparabili!

Inizialmente è stata adottata la metodologia sviluppata dagli scienziati olandesi [3] che per primi hanno stabilito e formalizzato una rete di biomonitoraggio con piante di tabacco all'interno del loro paese. Mediante questo tipo di indagini, affiancate dall'elaborazione dei dati di alcune stazioni di analisi chimico-fisica, è stato accertato anche il trasporto a lunghissima distanza (parecchie centinaia di chilometri) dell' O_3 prodotto nella enorme area metropolitana tra Washington D.C. e New York City sino all'isola di Nantucket, nell'oceano Atlantico [5]. Tra gli altri numerosi esempi si possono citare quelli relativi alla Gran

l'autore

¹ Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose «Giovanni Scaramuzzi» dell'Università di Pisa, Via del Borghetto 80 56124 Pisa
cristina.nali@agr.unipi.it

*autore per corrispondenza

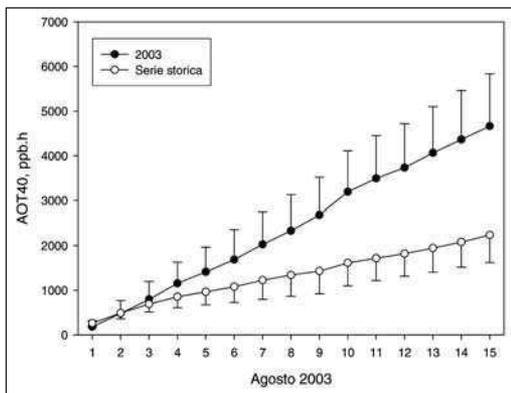


Figura 1: valori giornalieri di AOT40, osservati in nove stazioni di monitoraggio toscane nel periodo 1-15 agosto 2003, confrontati con la rispettiva serie storica (1999-2002 + 2004). Le barre verticali indicano le deviazioni standard delle medie [4].

Bretagna, ad Israele, alla Danimarca, all’Australia, agli USA, nonché a ripetute esperienze nazionali, realizzate anche in collaborazione con autorità ambientali, pubbliche amministrazioni, società private, gruppi ambientalisti ed istituzioni scolastiche, anche nell’ambito di programmi di educazione ambientale.

L’utilizzo di specifici bioindicatori si è rivelato utile per coinvolgere i cittadini nella diagnosi ambientale. Una delle funzioni chiave dello sviluppo sostenibile è, infatti, la partecipazione attiva della popolazione alle problematiche ambientali. Tuttavia, l’obiettivo finale del biomonitoraggio non è sicuramente quello di sostituire il metodo fisico-chimico convenzionale: una integrazione dei due sistemi è la soluzione più adatta per la valutazione della qualità dell’aria.

Il presente lavoro costituisce una analisi delle principali metodiche ad oggi in uso per il biomonitoraggio dell’ozono, evidenziandone le caratteristiche e le finalità per eseguire al meglio una corretta campagna di bioindicazione. Per una trattazione approfondita dell’argomento, si rimanda ad una recente rassegna [6].

Metodi sperimentali

Il biomonitoraggio dell’ozono con il sistema tabacco cvv. Bel-W3 e Bel-B

Nonostante la bontà del principio, le applicazioni pratiche di monitoraggio biologico degli inquinanti aerodiffusi sono state relativamente scarse, in relazio-

ne ad alcuni fattori limitanti. Senza dubbio, l’esempio che meglio sintetizza le possibilità, anche operative, delle metodiche in oggetto è rappresentato dalla cv. Bel-W3 di tabacco, usata sin dal 1962 per il rilevamento degli effetti dell’O₃. Essa presenta interessanti aspetti, a cominciare dalla elevata sensibilità all’agente ossidante, essendo sufficienti esposizioni di poche ore a concentrazioni dell’ordine di 40 ppb per provocare la comparsa di lesioni tipiche (figura 2) [7]. Ed è da segnalare che proprio 40 ppb è considerata la soglia discriminante tra i livelli di O₃ naturali e quelli derivanti da attività fotochimica!

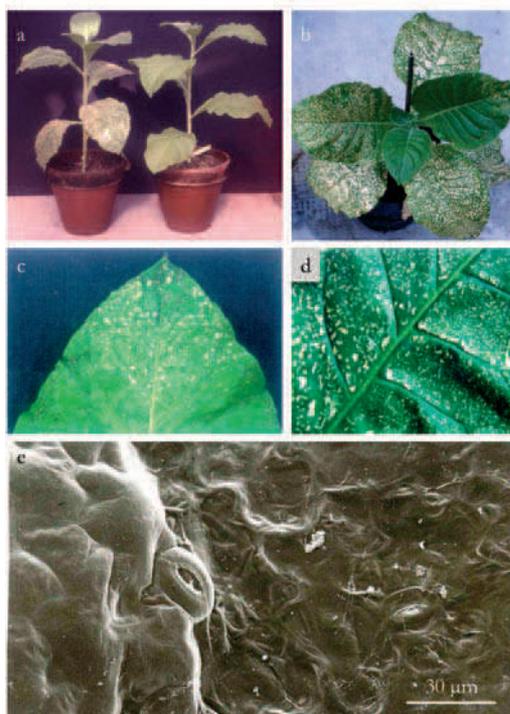


Figura 2: Biomonitoraggio dell’ozono troposferico con piante supersensibili di tabacco (*Nicotiana tabacum* cv. Bel-W3). (a): pianta adulta esposta per una settimana all’aria ambiente (a sinistra), in confronto ad una mantenuta in aria filtrata; (b): vista dall’alto: si noti la peculiare distribuzione dei sintomi nelle foglie di diversa età; (c): confronto tra lesioni fresche (di colore più scuro) e mature; (d): dettaglio di una foglia; (e): particolare al microscopio elettronico a scansione di una delle lesioni.

I sintomi sono costituiti da necrosi bifacciali tondeggianti, del diametro di alcuni millimetri, a contorno netto. Le lesioni sono facilmente identificabili e quantificabili, ed è possibile individuare se siano di vecchia o nuova formazione (il loro colore schiarisce da nerastro a bianco-avorio in pochi giorni, figura 2c); la risposta è di tipo quantitativo, essendo possibile una correlazione tra indice di danno fogliare (che è in relazione alla superficie necrotizzata) e dose a cui le piante sono esposte. Di norma, si affiancano alle piante della cv. Bel-W3, individui della Bel-B (resistenti), allo scopo di avere la certezza che le lesioni che compaiono siano effettivamente attribuibili all'O₃.

Anche se il rilevamento dei dati di campagna può essere effettuato con tecniche sofisticate di elaborazione dell'immagine, di norma, la valutazione dell'intensità delle lesioni fogliari si realizza in campo in modo sintetico, con l'attribuzione di ogni foglia ad una classe, in relazione alla percentuale di area coperta da necrosi; specifici atlanti fotografici rappresentano un utile elemento di supporto.

Il metodo è veloce e non distruttivo e non richiede particolari livelli di professionalità, anche se – trattandosi di una valutazione visiva – presenta forti rischi di soggettività. Eventuali problemi possono essere, comunque, risolti con un adeguato addestramento degli operatori [8].

La tecnica operativa finora maggiormente seguita era quella messa a punto dai ricercatori dell'Imperial College di Londra, basata sulla determinazione dell'Indice di Danno Fogliare (Leaf Injury Index, LIJ). In sintesi, ciascuna foglia viene identificata (con un numero): ciò permette di seguire nel tempo l'evoluzione dell'intensità dei sintomi; essa viene «letta» ogni settimana e le viene assegnato un indice in relazione alla diffusione delle necrosi, che viene registrato in una apposita scheda. La metodica è stata standardizzata dall'ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente; attualmente APAT, Agenzia per la protezione dell'ambiente e i servizi tecnici) [9] e, più recentemente, dall'Associazione degli ingegneri tedeschi, VDI (Verein Deutscher Ingenieure) [10].

Altri approcci

Esiste la sensazione diffusa che queste metodiche siano esposte a troppi fattori di incertezza e di rischio, in confronto ai metodi strumentali ormai consolidati. In sintesi, alcuni degli elementi in discussione sono di seguito descritti:

- la scarsità di adeguati criteri di standardizzazione, dalle modalità di scelta del materiale a quelle di

allevamento e di esposizione, sino a quelle di valutazione degli effetti; l'istituzione di centri specializzati per la conservazione del germoplasma, l'organizzazione di corsi di formazione per tecnici, la compilazione di manuali operativi, sono alcune tappe obbligatorie per lo sviluppo e la definitiva affermazione del biomonitoraggio; in questo contesto devono trovare spazio anche processi di valutazione della qualità dei dati;

- una certa incomprendimento che gli amministratori dimostrano nei confronti di queste tecniche;
- i pochi interessi economici che il biomonitoraggio lascia intravedere;
- effettivi limiti logistici, quali la possibilità di operare solo in determinati periodi dell'anno e la mancanza di adeguati bioindicatori per importanti inquinanti.

In realtà, i fenomeni biologici sono caratterizzati da un alto grado di variabilità intrinseca, dovuto alla complessità del soggetto. Il problema dell'incertezza (e quindi della qualità dei dati) è un aspetto epistemologico fondamentale per le scienze ambientali.

Un fattore operativo di notevole limitazione, ad esempio nelle campagne di monitoraggio dell'O₃ con le piante di tabacco, è costituito dalle dimensioni delle piante adulte e dalla fragilità delle loro foglie, che rendono talvolta difficoltoso l'impianto simultaneo di stazioni su aree estese. Per ovviare a questi inconvenienti, è stato sviluppato un sistema basato sull'impiego di germinelli di tabacco, allevati in piastre per colture di tessuti (figura 3), sfruttando il fatto che la



Figura 3: Una recente applicazione del biomonitoraggio: un kit miniaturizzato costituito da una piastra per colture di tessuti, nei cui pozzetti sono ospitati germinelli (1-2 settimane di vita) di tabacco supersensibile (cv. Bel-W3) all'ozono. Sono ben evidenti i sintomi indotti dall'esposizione all'aria ambiente per una settimana.

sensibilità dei cotiledoni e delle prime foglie in espansione (lunghezza anche inferiore ad 1 cm) è ben correlabile a quella delle foglie mature. Oltre alla maneggevolezza ed alla facilità di trasporto, il metodo, che è stato predisposto in forma di pratico «kit», offre il vantaggio di poter disporre in uno spazio concentrato di un ampio numero di individui (in una piastra sono ospitati 16 germinelli di Bel-W3 e 7 di Bel-B), così che la ricchezza di dati compensa in parte la loro discreta variabilità [11].

Come già accennato, di norma, la risposta dei bioindicatori è costituita dalla comparsa sulle foglie di lesioni necrotiche, che devono essere quantificate. Poiché in condizioni di campo si opera mediante scale di comparazione sintetiche, può sussistere una certa limitazione alla ripetibilità e riproducibilità dei dati, legata a fenomeni di soggettività.

Un esperimento condotto in campo risalente agli anni '80 [12] ha rivelato l'esistenza di un ampio range di variabilità nella sensibilità all' O_3 da parte di genotipi di trifoglio bianco appartenenti alla linea commerciale Regal. La propagazione vegetativa delle piante selezionate ha portato all'individuazione di due cloni a risposta differenziale: l'NC-S (O_3 -sensibile) e l'NC-R (O_3 -resistente), che sono stati successivamente saggiati per la loro utilità come bioindicatori. La particolarità del sistema è quella di mostrare, in presenza di O_3 , una differenza misurabile in termini di produzione di biomassa epigea (figura 4). Questo metodo può contribuire a valutare le perdite economiche causate dagli effetti dell' O_3 sulla produttività delle colture. La sua utilità è stata riconosciuta anche dagli addetti al settore sugli effetti dell'inquinamento atmosferico in questo ambito nel quadro del programma di cooperazione internazionale UN/ECE (ICP-Vegetation). Nel Nord dell'Europa, il trifoglio è stato individuato da tempo come un adeguato bioindicatore del livello di O_3 , in grado di sostituire l'impiego della cv. Bel-W3 di tabacco, laddove le basse temperature non ne permettono l'utilizzazione. Il suo ampio areale di diffusione e la possibilità di una misura oggettiva del danno costituiscono caratteristiche ottimali per l'impiego su vasta scala. Nell'ambito di questo programma, sono stati condotti esperimenti anche in Italia.

Estrapolare una risposta universale da queste piante e renderla applicabile alla vegetazione semi naturale è sicuramente difficile a causa delle differenze sia nella struttura genetica che nella composizione delle comunità. Le piante autoctone, che crescono in situ, sono solitamente preferite per le indagini che riguardano la vegetazione spontanea. Questi bioindicatori



Figura 4: Effetti dell'esposizione all'aria ambiente per quattro settimane dei cloni di trifoglio bianco NC-S (sensibile all'ozono, a sinistra) e NC-R (resistente, a destra).

rispondono visibilmente all' O_3 soltanto quando posti in situazioni di sufficiente irrigazione del terreno e le condizioni climatiche permettono l'assorbimento di O_3 in quantità sufficiente affinché vengano inattivati i meccanismi antiossidanti di difesa.

Di recente, è stato introdotto un bioindicatore alternativo ai sistemi già esistenti [13]. Si tratta della *Centaurea jacea*, la quale – solo dopo pochi giorni di esposizione ad O_3 – manifesta sintomi caratteristici in forma di *stipple*, che risultano identici a quelli riscontrati negli esperimenti in *open top chamber* [14]. Come prevedibile, è stata riscontrata una forte variazione intraspecifica nella risposta all'inquinante: la comparsa di effetti macroscopici, in condizioni ambientali identiche, varia in modo consistente all'interno di popolazioni provenienti da differenti zone (e, quindi, climi e livelli di inquinamento ambientale diversi).

L'esperienza italiana

La prima pionieristica esperienza di biomonitoraggio in Italia è avvenuta in Toscana nel 1983 [2]. Da allora molti studi sono stati condotti, oltre che in questa regione, anche in Liguria, Umbria, Veneto, Sicilia, in molte zone della Valle del Po e di Roma ed anche all'interno dei progetti pilota dell'Unione Europea [15]. Nella città di Firenze, studi ambientali integrati [16] hanno fornito risultati di monitoraggio biologico in accordo con quelli forniti dallo strumentale; come previsto, i bioindicatori del centro urbano erano caratterizzati da danni fogliari minori: ciò è coerente con quanto previsto per la distribuzione dell' O_3

nelle grandi aree urbane, poichè l'abbattimento di questo inquinante risulta più elevato laddove l'emissione di ossido d'azoto è più alta [3].

L'introduzione dell'uso del kit miniaturizzato di germinelli di tabacco cv. Bel-W3 e Bel-B ha permesso di ampliare ulteriormente le aree (anche remote) monitorate, rispetto a quanto consentito dal monitoraggio convenzionale, ma anche da quello biologico condotto con piante adulte. Un esempio è fornito dalla campagna condotta in Toscana, dove sono state indagate ben sette province, riscontrando la presenza di O_3 fitotossico anche nelle piccole isole di Capraia e Gorgona, le cui fonti locali di precursori dell'inquinante sono minime [17].

Ogni anno, dal 1996, talee dei due cloni di trifoglio vengono esposte in aria ambiente, secondo un protocollo comune a 32 gruppi di ricerca presenti in tutta Europa e in Nord America. La figura 5 illustra la relazione tra il rapporto tra la biomassa epigea di NC-S su quella di NC-R e l'AOT40. Le migliori correlazioni tra l'esposizione all' O_3 e il rapporto NC-S su NC-R sono state evidenziate analizzando dati provenienti da campionamenti per anni successivi in singole stazioni, piuttosto che da zone diverse, ed utilizzando la dose dell'inquinante effettivamente assorbita dalla foglia. Un metodo basato sull'uso delle mini-stazioni di trifoglio è stato sviluppato con successo da un gruppo di ricerca romano [18].

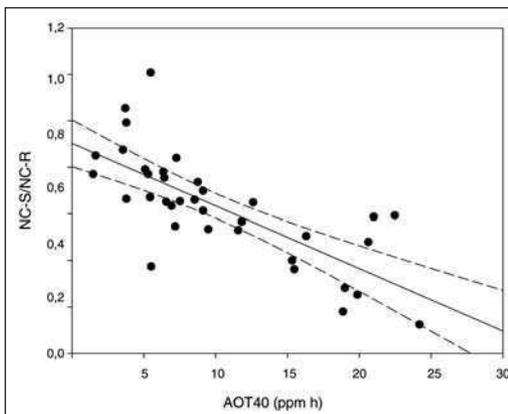


Figura 5: Associazione tra il rapporto della biomassa epigea di NC-S e quella di NC-R di trifoglio bianco e l'AOT40 nel periodo 1997-2006 a Pisa; le linee tratteggiate indicano gli intervalli di confidenza ($P < 0,05$) ($y = 9,03e^{-1} - 2,69e^{-5}x$, $R^2 = 0,55$).

Il biomonitoraggio dell'ozono nei programmi di educazione ambientale

In Italia, dopo la nascita nel 1986 del Ministero dell'Ambiente, sono state intraprese intese istituzionali per il coordinamento delle iniziative nel campo dell'educazione ambientale. La stessa legge istitutiva del Ministero stabilisce l'esigenza di sensibilizzare l'opinione pubblica su queste problematiche, anche attraverso la scuola e di concerto con il Ministero della Pubblica Istruzione. L'ultimo protocollo di collaborazione tra i due Ministeri tende a favorire una corretta conoscenza di questa tematica nel mondo scolastico e un comportamento responsabile e attivo verso il comune patrimonio ambientale. Il Ministero dell'Ambiente ha, inoltre, avviato Programmi Triennali di Tutela Ambientale e il programma INFEA (INformazione Formazione Educazione Ambientale) un progetto coordinato di interventi nei settori dell'informazione e dell'educazione ambientale, che costituiscono strumenti operativi indispensabili per operare i processi di cambiamento nell'ambito della sostenibilità dello sviluppo, così come indicato nell'Agenda XXI sottoscritta a Rio de Janeiro nel 1992.

In realtà, l'educazione ambientale è un settore di studi pedagogici e di pratiche di intervento piuttosto recente. Secondo il concetto che «più si è informati e più ci si comporta responsabilmente», l'obiettivo è quello di creare una sensibilità verso i problemi del pianeta che, come dice con uno *slogan* molto fortunato «non è nostro, ma lo abbiamo avuto in prestito dai nostri figli».

Sulla scia del progetto INFEA sono nati centri di formazione in tutta Italia, l'obiettivo comune dei quali è avvicinare il mondo scolastico (ma non solo) all'ambiente ed introdurlo attraverso un'attiva partecipazione degli alunni alle problematiche connesse. Sono ampiamente noti programmi di lavoro, in cui gli studenti partecipano ad attività sperimentali volte a scoprire le strette relazioni tra attività umane e mutamenti climatici.

In Italia sono stati compiuti alcuni studi pilota, che hanno coinvolto numerose scuole impegnate nel delineare la distribuzione dell' O_3 attraverso l'utilizzo di piante indicatrici [19, 20], rappresentando un vero caso di problem-solving. Così, sotto la supervisione dei loro insegnanti, migliaia di allievi (dai 6 ai 18 anni) hanno avuto l'occasione di intraprendere un cammino multidisciplinare in grado di integrare studi di natura biologica, chimica, ecologia, geografia, oltre ad elaborazioni di dati con tecniche di geostatistica (figura 6).



Figura 6: Esempio di elaborato in forma di poster realizzato dagli alunni di una scuola elementare al termine di una campagna di biomonitoraggio nel Comune di Livorno.

Conclusioni

L'O₃ troposferico è ormai riconosciuto come una problematica prioritaria in Europa. In particolare, in Italia, durante la stagione estiva, si riscontrano concentrazioni di questo inquinante, che eccedono sistematicamente i livelli critici di lungo e breve periodo definiti per le foreste, le colture e la vegetazione naturale [21]. Le conseguenze che questo fenomeno può causare sugli organismi devono essere considerate in modo adeguato e, quindi, il biomonitoraggio delle sostanze inquinanti dell'aria è sicuramente un mezzo fondamentale per capire le situazioni ambientali critiche, auspicando il suo uso integrato a fianco dei metodi strumentali fisico-chimici.

I mass-media sono molto interessati alla diffusione dei dati di monitoraggio biologico, in quanto la conoscenza fornita dalle piante indicatrici ha valore incomparabile sia da un punto di vista didattico che educativo: la visione di lesioni macroscopiche, che l'aria ambiente contaminata provoca agli organismi sensibili, può stimolare nel cittadino una partecipazione più profonda alle campagne ambientali.

Di fondamentale importanza risulta la discussione sull'uso futuro del tabacco cv. Bel-W3 sia come diretto indicatore di O₃ sia come riferimento della tossicità che questo inquinante determina su altre piante, in relazione ad altri bioindicatori come il trifoglio bianco e la *C. jacea*. È, inoltre, possibile ipotizzare l'impiego di piante perenni selezionate: a questo scopo, sono stati selezionati due cloni di pioppo caratte-

rizzati da una risposta differenziale all'O₃ su base fenomenologica, che rispecchia un comportamento diverso di carattere biochimico e fisiologico [3].

Il biomonitoraggio, comunque, deve ancora superare alcune limitazioni, tra le quali si citano le più importanti: una scarsa comprensione della validità e della versatilità di questo sistema e la mancanza di una procedura per la selezione, le procedure per la standardizzazione del germoplasma, l'istruzione e la valutazione degli operatori che operano in pieno campo. L'uso di tecniche semplici, quale il kit miniaturizzato di tabacco, dovrebbe essere favorito, cercando di intensificare la ricerca di base e i corsi di formazione per il personale attraverso seminari in modo da rendere più «visibile» questa metodologia.

Bibliografia

- [1] F. Meleux, F. Solmon, F. Giorgi, *Atmos. Environ.* 2007, 41: 7577.
- [2] G. Lorenzini, E. Triolo, A. Materazzi, *Riv. Ortoflorofruttic. Ital.* 1984, 68: 81.
- [3] G. Lorenzini, C. Nali, *Le piante e l'inquinamento dell'aria*. Springer, Milano: 2005.
- [4] E. Pellegrini, G. Lorenzini, C. Nali, *Water Air Soil Pollut.* 2007, 181: 401.
- [5] T.J. Kelleher, W.A. Feder, *Environ. Pollut.* 1978, 17: 187.
- [6] C. Nali, A. Francini, G. Lorenzini, *J. Environ. Monit.* 2006, 8: 25.
- [7] H.E. Heggstad, *Environ. Pollut.* 1991, 74: 264.
- [8] G. Lorenzini, C. Nali, M.R. Dota, F. Martorana, *Environ. Monit. Assess.* 2000, 62: 175.
- [9] C. Piccini, S. Salvati, *Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale*. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Roma: 1999.
- [10] VDI 3957, Part 6, 2003.
- [11] G. Lorenzini, *Appl. Biochem. Biotechnol.* 1994, 48: 1.
- [12] A.S. Heagle, J.E. Miller, D.E. Sherril, *J. Environ. Qual.* 1994, 23: 613.
- [13] H. Harmens, G. Mills, F. Hayes, P. Williams, *Air pollution and vegetation*. UNECE ICP Vegetation. Annual report 2003/2004. Centre for Ecology & Hydrology, Bangor (UK): 2004
- [14] P. Bungener, G.R. Balls, S. Nussbaum, M. Geissmann, A. Grub, J. Fuhrer, *New Phytol.* 1999, 142: 271.

- [15] Biomonitoraggio dell'ozono: <http://www.biomonitoraggio.org>.
- [16] C. Nali, M. Ferretti, M. Pellegrini, G. Lorenzini, *Env. Monit. Assess.* 2001, 69: 159.
- [17] G. Lorenzini, C. Nali, M. Biagioni, *Sci. Total Env.* 1995, 166: 193.
- [18] F. Manes, F. De Santis, M.A. Giannini, C. Vazzana, F. Capogna, I. Allegrini, *Sci. Total Env.* 2003, 308, 133.
- [19] G. Lorenzini, C. Nali, *J. Biol. Educ.* 2004, 38: 158.
- [20] C. Nali, G. Lorenzini, *Env. Monit. Assess.* 2007, 131: 201.
- [21] M. Ferretti, M. Fagnano, T. Amoriello, M. Badiani, A. Ballarin Denti, A. Buffoni, F. Bussotti, A. Castagna, S. Cieslik, A. Costantini, A. De Marco, G. Gerosa, G. Lorenzini, F. Manes, G. Merola, C. Nali, E. Paoletti, B. Petriccione, S. Racalbutto, G. Rana, A. Ranieri, A. Tagliaferri, G. Vialletto, M. Vitale, *Environ. Pollut.* 2007, 146: 648.

Il capriolo (*Capreolus capreolus* L.) come bioindicatore della qualità dell'ambiente in Toscana meridionale

Fabio Baroni, Luigi A. Di Lella*, Anastasia Pisani, Emauele Pizzetti, Giuseppe Protano, Francesco Riccobono.

Parole chiave: capriolo, bioindicatore, sangue, elementi pesanti, Toscana meridionale

*Numerosi organismi, sia animali che vegetali, sono utilizzati come bioindicatori per monitorare la qualità dell'ambiente. Alcune specie sono particolarmente adatte per la determinazione della distribuzione nell'ambiente di superficie di elementi pesanti quali: piombo, cadmio, arsenico e mercurio, e per una valutazione dei rischi di esposizione. Il capriolo (*Capreolus capreolus* L.), il membro europeo degli Odocoileini, rivela di possedere le caratteristiche di un eccellente bioindicatore, in virtù del suo comportamento e delle abitudini dietetiche. Ciò in quanto questo animale è, dal punto di vista dell'alimentazione, un brucatore ed insiste su un home-range piuttosto ristretto (1-2 km). In una tale situazione il sangue, il pelo ed alcuni organi (fegato e rene) del capriolo possono essere utilizzati per l'individuazione di eventuali contenuti anomali di sostanze inquinanti nell'area in cui l'animale vive.*

È in questa ottica che è stato varato un progetto di ricerca volto alla determinazione delle concentrazioni di un ampio spettro di elementi in traccia nel sangue ed in altri reperti (fegato, pelo e zoccolo) di esemplari di capriolo abbattuti in Toscana meridionale. Nel presente lavoro sono riportati e commentati i dati relativi ai contenuti di alcuni elementi pesanti (zinco, rame, cadmio, arsenico, mercurio e tallio) nel sangue di caprioli vissuti in zone della provincia di Grosseto. Questi dati sono stati confrontati con i risultati di una analoga ricerca condotta su caprioli del territorio senese.

Introduzione

Numerosi organismi viventi sono da tempo impiegati con successo per monitorare la qualità dell'ambiente in relazione a diverse sostanze nocive tra cui alcuni elementi pesanti. L'utilizzo di animali selvatici è risultato in certi casi decisivo per rilevare danni ambientali e per individuare percorsi di specifici contaminanti [1]. In base ad un comportamento marcatamente territoriale ed alle abitudini alimentari alcune specie di mammiferi sono risultate particolarmente adatte per la valutazione della distribuzione di elementi pesanti in un dato territorio.

Il capriolo (*Capreolus capreolus* L.), membro europeo degli Odocoileini, possiede le caratteristiche sopra citate e, dove sono presenti importanti popolazioni, risulta essere un ottimo bioindicatore della qua-

lità dell'ambiente [1, 2].

La Toscana meridionale ospita una popolazione numerosa di caprioli, che è in rapida crescita. San José et al. [3] hanno studiato il loro comportamento in tale area, indicando per questi ungulati una densità di 37 capi per km².

Per mantenere la popolazione di caprioli all'interno di adeguati limiti di densità, dagli inizi degli anni '90 anni è stata promossa nelle province di Grosseto e Siena la caccia controllata per questa specie (caccia di selezione). In tale ambito, con l'ausilio dei cacciatori coinvolti nella caccia di selezione, è stato possibile attivare un progetto di ricerca incentrato sul prelievo ed analisi di campioni di sangue e di altri reperti organici (fegato, peli, zoccolo) di caprioli abbattuti nei distretti venatori delle province di Grosseto e Siena.

L'obiettivo principale di questa ricerca è quello di

valutare la qualità dell'ambiente di un vasto territorio della Toscana meridionale attraverso la determinazione delle concentrazioni di un ampio spettro di elementi in traccia nel sangue ed in altri reperti organici di caprioli abbattuti nelle province di Siena e Grosseto. Nella prima fase della ricerca si è tentato di individuare le relazioni esistenti tra i contenuti di alcuni elementi pesanti nel sangue dei caprioli ed i lineamenti litologici e giacimentologici dell'area studiata. In Toscana meridionale, in modo particolare nella provincia di Grosseto, sono presenti numerose mineralizzazioni a solfuri che sono state intensamente coltivate fino agli inizi degli anni '90. L'attività mineraria ha avuto, e tuttora ha, ovvie ripercussioni sull'ambiente soprattutto per quanto riguarda l'immissione di elementi pesanti (per es., Pb, Zn, Cu, As, Cd, Hg, Sb) nel ciclo geochimico di superficie. In questo lavoro sono illustrati i dati analitici relativi alle concentrazioni di alcuni elementi pesanti (Zn, Cu, As, Cd, Hg, Tl) nel sangue di caprioli abbattuti nella provincia di Grosseto. Gli elementi chimici in questione sono stati scelti in considerazione del diverso ruolo che hanno negli organismi (elementi essenziali e tossici) e del possibile livello di influenza dei lineamenti geo-giacimentologici dell'area studiata. I dati analitici dei caprioli della provincia di Grosseto sono stati posti a confronto con gli esiti di una analoga ricerca condotta nella provincia di Siena [2].

Materiali e metodi

L'area di studio abbraccia un ampio settore della provincia di Grosseto, la quale, ai fini della caccia di selezione, è suddivisa in 9 distretti (figura 1). Si tratta di un territorio in larga parte ricoperto da boschi cedui e con una buona percentuale di terreno coltivato o a pascolo.

La geologia è abbastanza complessa e caratterizzata da formazioni geologiche di diversa origine, natura ed età. Le litologie dominanti sono quelle a prevalente natura argilloso e, a seguire, depositi sabbiosi e rocce arenacee. È da segnalare la presenza di importanti affioramenti di rocce silicoclastiche (Gruppo del Ferrucano) e di Calcare cavernoso.

Nella zona in studio sono presenti numerose mineralizzazioni per lo più a pirite o a solfuri misti (figura 2). Queste mineralizzazioni sono maggiormente concentrate nel Distretto 1 (comuni di Montieri, Monterotondo Marittimo e Massa Marittima). Nel Distretto 7 (comune di Castell'Azzara) ricadono le minera-

lizzazioni a mercurio dell'area amiatina.

I lineamenti geochimici del territorio in studio sono coerenti con le caratteristiche litologiche e geo-giacimentologiche. Infatti, carte geochimiche basate su sedimenti fluviali [4], hanno rivelato delle anomalie geochimiche per alcuni elementi pesanti quali: As, Cd, Cu, Pb, Sb, Zn, centrate nelle zone in cui insistono le principali mineralizzazioni dell'area e dove più intensa è stata l'attività di coltivazione mineraria. Al contrario, il territorio della provincia di Siena appare decisamente più «pulito» e non sono segnalati scostamenti significativi delle concentrazioni degli elementi di cui sopra rispetto al fondo geochimico locale.

Come detto in precedenza, questa ricerca non avrebbe potuto essere intrapresa senza l'aiuto e la collaborazione di centinaia di cacciatori delle province di Siena e Grosseto. Prima della stagione venatoria 1998-99 ogni cacciatore è stato istruito circa le modalità di campionamento del sangue e di alcuni organi del capriolo in modo da evitare possibili contaminazioni accidentali. Nonostante le raccomandazioni alcuni campioni di sangue hanno fornito valori analitici di piombo ed antimonio non plausibili e probabilmente dovute ad una modalità errata di prelievo del sangue: dal foro di ingresso del proiettile o dalla cassa toracica durante la macellazione degli animali. Questi campioni sono stati scartati ed i dati analitici relativi non sono stati utilizzati in fase di elaborazione ed interpretazione.

Per la provincia di Grosseto, in totale sono stati ricevuti 304 campioni di sangue. Di questi ne sono stati analizzati 286 e validati 268. Un approccio analogo era stato adottato in precedenza per i campioni di sangue di individui di capriolo abbattuti nella provincia di Siena nella stagione venatoria 1997-98, per un totale di 730 campioni validati.

Come si vede in figura 1, i caprioli abbattuti nella provincia di Grosseto ricadono principalmente nel setto-

gli autori

Dipartimento di Scienze Ambientali
«G. Sarfatti», U.R. Geochimica
Ambientale, Università degli Studi
di Siena, via del Laterino 8, 53100 Siena,
Italia

* autore per corrispondenza
dilella@unisi.it

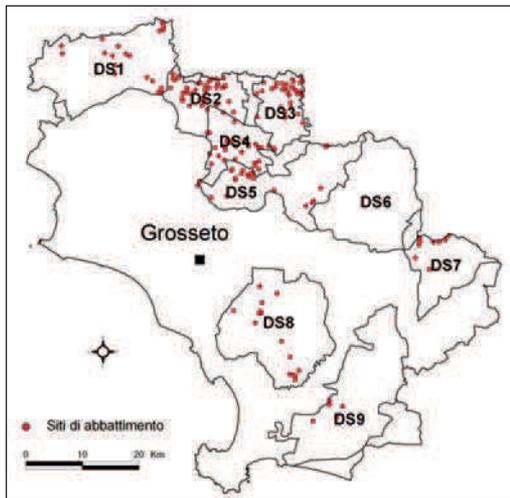


Figura 1: Area di studio suddivisa in distretti venatori ed ubicazione dei siti di abbattimento dei caprioli.

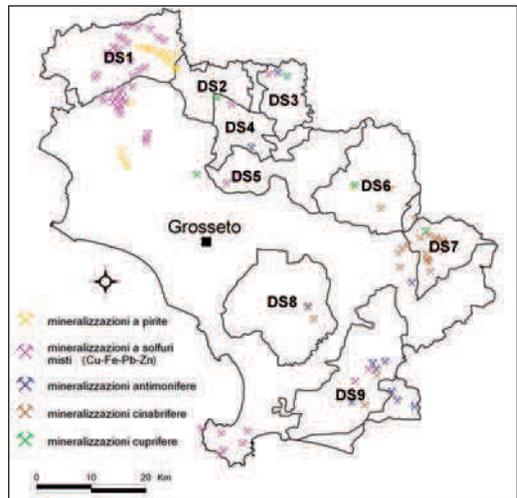


Figura 2: Ubicazione dei principali siti minerari presenti nell'area di studio.

re settentrionale. Relativamente al Distretto 9, per gran parte dei caprioli non sono state fornite le coordinate del punto di abbattimento. I relativi dati analitici sono stati pertanto utilizzati unicamente per definire le relazioni con età e sesso degli esemplari.

In laboratorio, i campioni di sangue sono stati conservati in congelatore. Per ciascun reperto, circa 2 grammi di sangue sono stati digeriti mediante attacco acido con 6 ml di HNO_3 al 70% e 1 ml di H_2O_2 al 30%. I reagenti utilizzati sono tutti del tipo ultrapuro (Baker). La solubilizzazione è stata effettuata in bombe di teflon poste in un digestore a microonde (Ethos 900 della Milestone) per 30 minuti. I preparati ottenuti sono stati filtrati, portati ad un volume di 100 ml aggiungendo acqua ultrapura e, quindi, analizzati in spettrometria di massa accoppiata al plasma induttivo (ICP-MS), utilizzando lo spettrometro Elan 6100 della Perkin-Elmer Sciex.

Lo standard analitico certificato utilizzato nella presente ricerca è stato *Trace Elements Serum Level 1 - SerenormTM* prodotto dalla SERO AS (Norvegia). L'accuratezza e la precisione sono risultate inferiori al 5% per tutti gli analiti considerati.

Per arsenico, cadmio, mercurio e tallio un numero variabile di campioni ha fornito valori di concentrazione inferiori al rispettivo limite di rilevabilità strumentale. Solo per cadmio e mercurio il numero dei dati *non-detect* è risultato non elevato e confrontabile

con la soglia del 15% oltre la quale è consigliato non procedere all'applicazione del «metodo della sostituzione semplice» [5]. Nella elaborazione statistica dei dati analitici di cadmio e mercurio le concentrazioni inferiori al limite di detezione sono state sostituite con un valore costante pari alla metà di tale limite dell'elemento.

Risultati

Di seguito sono illustrati i contenuti di due elementi essenziali (zinco e rame) e di alcuni elementi tossici (arsenico, cadmio, mercurio e tallio) trovati nel sangue dei caprioli abbattuti nella provincia di Grosseto. I dati analitici, come contenuto mediano nel sangue, sono stati confrontati con quelli analoghi determinati nel sangue dei caprioli della provincia di Siena [2].

In caso di un non corretto prelievo del fluido ematico (ad esempio attingendo direttamente alla ferita) vi può essere una influenza dei proiettili sulle concentrazioni di piombo ed antimonio nel sangue dei caprioli abbattuti (i proiettili sono usualmente costituiti da una lega di piombo con una percentuale di antimonio che può essere intorno al 3%). Per essere in grado di discriminare eventuali campioni contaminati dai proiettili è in corso un approfondimento della ricerca incentrata sull'analisi di altri reperti di capriolo

(fegato, pelo e zoccolo). Così stando le cose si è preferito non commentare, in questa sede, i dati analitici di piombo ed antimonio.

Zinco

Lo zinco è un elemento essenziale per la vita degli esseri umani e degli animali superiori, essendo l'elemento necessario per la crescita, lo sviluppo e la riproduzione degli organismi [6]. Lo zinco è anche implicato nel funzionamento della vista, dell'olfatto, del tatto e della memoria, ed una sua carenza può causare disfunzioni. Nei mammiferi, l'assunzione di zinco è dovuta essenzialmente all'ingestione di alimenti.

Lo zinco contenuto nel sangue è una parte molto piccola del totale del metallo presente nel corpo (<0,5%), sia negli uomini [7] che negli animali come, per esempio, le pecore [8]. La maggior parte dello zinco contenuto nel sangue (>75%) è associato ai globuli rossi [9].

In tabella 1 sono riportati i contenuti di zinco nel sangue dei 268 campioni di capriolo abbattuti nella provincia di Grosseto. Le statistiche per lo zinco, e per gli altri elementi considerati, sono relative sia all'in-

tero set analitico sia a dei subset basati sull'età ed il sesso degli animali. L'*home-range* piuttosto limitato di questa specie (1-2 km), rende fattibile una correlazione dei valori degli elementi pesanti trovati nel sangue degli animali con i lineamenti litologici e geochimici specifici del territorio nel quale sono vissuti.

Per lo zinco i dati analitici relativi all'intero set di campioni (n=268) indicano che le concentrazioni nel sangue ricadono nell'intervallo 2,34-45,70 mg/L, con un livello mediano di 5,05 mg/L. Questo dato è circa il doppio della concentrazione mediana di zinco (2,85 mg/L) determinata nel sangue dei caprioli abbattuti nella provincia di Siena (*range*: 0,99-5,69 mg/L). Tuttavia, nei campioni di capriolo della provincia di Grosseto la presenza di zinco nel sangue è usualmente inferiore a 10 mg/L, collocandosi con maggiore frequenza nell'intervallo 2-8 mg/L. Si tratta di valori confrontabili con l'usuale presenza dell'elemento nel sangue di mammiferi come i bovini [10].

In base al sesso dei caprioli, le concentrazioni di zinco sono risultate leggermente più elevate nei maschi (5,22 mg/L) rispetto alle femmine (4,85 mg/L), come del resto è stato riscontrato anche nei caprioli del territorio senese. Relativamente all'età i contenuti più elevati dell'elemento contraddistinguono il san-

Tabella 1: Concentrazioni, in mg/l, di zinco e rame nel sangue di caprioli abbattuti nella provincia di Grosseto.

	numero campioni	Zn		Cu	
		mediana	range	mediana	range
totale campioni	268	5,05	2,34 – 45,70	0,78	0,39 – 70,97
<i>età</i>					
piccoli	31	5,84	2,94 – 11,02	0,90	0,57 – 2,26
giovani	72	4,83	2,77 – 25,79	0,78	0,44 – 1,57
adulti	164	5,08	2,34 – 45,70	0,76	0,39 – 70,97
<i>sesso</i>					
maschi	129	5,22	2,44 – 45,70	0,80	0,43 – 70,97
femmine	136	4,85	2,34 – 18,03	0,74	0,39 – 11,33

gue degli esemplari con età inferiore ad un anno (piccoli; 5,84 mg/L); più bassi e simili tra loro sono risultati i livelli mediani nel sangue degli individui giovani (1-2 anni; 4,83 mg/L) ed adulti (>2 anni; 5,08 mg/L).

Per quanto riguarda le relazioni con i lineamenti litologici dell'*home-range* si è osservato che lo zinco, in genere, è più abbondante nel sangue dei caprioli vissuti in zone, come il Distretto 1, la cui geologia è data prevalentemente dal Calcarea cavernoso (mediana: 6,01 mg/L). I caprioli abbattuti nel Distretto 1

hanno fornito una concentrazione di zinco nel sangue pari 6,12 mg/L. Va, altresì, segnalato che all'interno di questo stesso distretto sono presenti la gran parte delle mineralizzazioni a solfuri misti ed a pirite dell'area di studio (figura 2).

Rame

Il rame è un metallo essenziale per le piante e per la crescita e lo sviluppo del corpo dei mammiferi. Gioca un ruolo importante nel metabolismo: dalla normale attività del cervello, del sistema nervoso e cardiovascolare, al trasporto del ferro fino alla protezione delle cellule contro l'ossidazione. Il rame è un elemento assunto principalmente attraverso l'ingestione di cibo ed acqua.

La concentrazione di rame ricade in genere tra 0,5 e 2 mg/L nel sangue umano [11, 12], e tra 0,2 e 1,3 mg/L nel sangue di ruminanti [10].

Le concentrazioni di rame nel sangue dei caprioli studiati variano da 0,39 a 70,97 mg/L (tabella 1); il livello mediano, pari a 0,78 mg/L, è confrontabile con quello determinato nel sangue dei caprioli abbattuti nella provincia di Siena (0,71 mg/L). La presenza del rame nel sangue dei caprioli della provincia di Gros-

Tabella 2: Concentrazioni, in mg/l, di arsenico e tallio nel sangue di caprioli abbattuti nella provincia di Grosseto.

		As	Tl
	<i>numero campioni</i>	<i>range</i>	<i>range</i>
totale campioni	268	<10 - 226 222622645,70	<0,25 - 12,83
età			
piccoli	31	<10 - 226	<0,25 - 3,63
giovani	72	<10 - 32,40	<0,25 - 5,54
adulti	164	<10 - 133	<0,25 - 12,83
 sesso			
maschi	129	<10 - 63	<0,25 - 5,54
femmine	136	<10 - 226	<0,25 - 12,83

seto è normalmente inferiore a 1,3 mg/L, con un massimo di frequenza nell'intervallo 0,5-1,1 mg/L.

In relazione al sesso, il rame sembra essere più abbondante nel sangue degli esemplari maschi (0,80 mg/L), come è stato, peraltro, riscontrato nei caprioli abbattuti nei territori della provincia di Siena. Il rame mostra i contenuti più elevati nel sangue degli esemplari piccoli (0,90 mg/L), nonché nei caprioli vissuti in aree dove affiorano in prevalenza il Calcarea cavernoso (0,90 mg/L) e magmatici acide (0,88 mg/L). Il rame mostra, pertanto, un modello di distribuzione simile a quello già descritto per lo zinco.

Arsenico

L'arsenico è un elemento tossico, la cui tossicità è in buona parte legata alla sostituzione del fosforo in alcune fondamentali reazioni biochimiche. L'elemento è assunto dai mammiferi principalmente per digestione, respirazione e assorbimento attraverso la pelle. L'assunzione dell'arsenico da parte degli organismi è legato alla speciazione chimica ed alla solubilità, fattori che influenzano il potenziale trasferimento dell'elemento al sangue.

Secondo alcuni autori [10] il contenuto medio di ar-

senico nel sangue dei bovini si colloca intorno a 3 µg/L.

Nel sangue dei caprioli abbattuti nella provincia di Grosseto, per 228 campioni su 268 (85%), le concentrazioni di arsenico sono risultate inferiori al limite di rilevabilità strumentale (10 µg/L). Nei restanti campioni la presenza di arsenico nel sangue varia da 10 a 63 µg/L, fatta eccezione per 2 esemplari nel cui sangue sono stati misurati tenori dell'elemento sensibilmente più elevati (133 e 226 µg/L; tabella 2). Questi ultimi provengono dal Distretto 1 in cui, come detto, ricadono la gran parte delle mineralizzazioni a solfuri misti ed a pirite dell'area di studio.

I contenuti di arsenico nel sangue dei caprioli abbattuti nella provincia di Siena presentano un intervallo di valori analogo (fino a 186 µg/L). Si sottolinea, tuttavia, che l'incidenza percentuale delle concentrazioni inferiori a 10 µg/L è più elevata (97%).

Cadmio

Il cadmio non ha alcun ruolo biologico negli animali; è, infatti, tossico anche a basse concentrazioni e tende ad accumularsi negli organismi.

Ricerche condotte su campioni di sangue umano hanno indicato che le concentrazioni di cadmio sono usualmente inferiori a 15 µg/L, con un massimo di frequenza nell'intervallo 0,1-5 µg/L [11, 12, 13]. Nel sangue di bovini sono stati misurati contenuti di cadmio compresi tra <0,6 e 17,2 µg/L [10].

Le concentrazioni di cadmio nel sangue dei 268 caprioli abbattuti nella provincia di Grosseto ricadono nel *range* compreso tra <0,25 e 258,08 µg/L, con un contenuto mediano di 7,12 µg/L (tabella 3). La gran parte dei dati analitici (83%) si colloca sotto i 14 µg/L con cinque valori inferiori al limite di rilevabilità strumentale (0,25 µg/L).

Ad una prima analisi dei risultati i contenuti del cadmio nel sangue dei caprioli in studio non sembrano essere legati a specifici lineamenti litologici o giacimentologici del territorio che ricade nell'*home-range* degli animali.

Come visto per l'arsenico, le concentrazioni di cadmio nel sangue dei caprioli abbattuti nella provincia di Grosseto sono distribuiti in un intervallo di valori analogo a quello determinato per gli esemplari vissuti nel territorio senese. Tuttavia, nel sangue di questi ultimi la presenza di cadmio è risultata significativamente più bassa dal momento che nella gran parte

Tabella 3: Concentrazioni, in mg/L, di cadmio e mercurio nel sangue di caprioli abbattuti nella provincia di Grosseto.

	numero campioni	Cd		Hg	
		mediana	range	mediana	range
totale campioni	268	7,12	<0,25 – 258,08	5,57	<1 – 192,96
età					
piccoli	31	5,56	1,20 – 41,65	5,82	<1 – 21,76
giovani	72	6,37	<0,25 – 111,56	3,83	<1 – 104,30
adulti	164	7,59	<0,25 – 258,08	6,28	<1 – 192,96
 sesso					
maschi	129	7,40	<0,25 – 258,08	5,27	<1 – 94,16
femmine	136	6,49	<0,25 – 111,56	5,87	<1 – 192,96

dei campioni (73%) sono state misurate concentrazioni inferiori a 2 µg/L.

In relazione al sesso e all'età, il contenuto mediano più alto di cadmio è stato riscontrato nel sangue degli esemplari maschi (7,40 µg/L) ed in quelli adulti (7,59 µg/L).

In base ai lineamenti litologici dell'*home-range* di questi animali il cadmio sembra essere più abbondante nel sangue dei caprioli che hanno vissuto in zone dove la geologia di superficie è in prevalenza costituita da rocce silicee e silicoclastiche (mediana = 8,45 µg/L).

Mercurio

Il mercurio è un elemento pesante tossico presente in natura con numerose forme organiche ed inorganiche, qualificate da un variabile grado di pericolosità. A tale riguardo il *dimetilmercurio* (C₂H₆Hg) è la forma più insidiosa.

Nell'uomo le concentrazioni di mercurio nel sangue sono, in genere, sotto 20 µg/L [11, 12]. Al contrario poco si conosce riguardo al contenuto di mercurio nel sangue di mammiferi, come gli erbivori selvatici. Nel sangue dei caprioli studiati le concentrazioni di mercurio sono distribuite nell'intervallo <1-192,96 µg/L (tabella 3). In particolare il 19% dei campioni ha dato contenuti di mercurio al di sotto del limite di rilevabilità strumentale (1 µg/L). Nella maggior parte dei campioni, 209 su 268, sono state dosate concentrazioni inferiori a 30 µg/L e queste ricadono con maggior frequenza nell'intervallo 2-15 µg/L. I più elevati tenori di mercurio nel sangue (>50 µg/L) sono stati misurati in sei esemplari provenienti dal sud della provincia (Distretti 7 e 9), dove sono rispettivamente presenti mineralizzazioni a cinabro e manifestazioni termali.

Anche per i caprioli abbattuti nella provincia di Siena le concentrazioni di mercurio nel sangue oscillano in un ampio intervallo di valori (<10-188 µg/L), anche se la gran parte dei campioni (93%) rivela contenuti inferiori a 10 µg/L.

Nel sangue dei caprioli del territorio grossetano la concentrazione mediana di mercurio è risultata leggermente superiore nelle femmine, attestandosi sui 5,87 µg/L, contro i 5,27 µg/L dei maschi. In relazione all'età i contenuti maggiori dell'elemento contraddistinguono il sangue dei caprioli adulti (6,28 µg/L). La concentrazione mediana di mercurio più elevata appartiene agli esemplari il cui *home-range* insiste

prevalentemente sul Calcare cavernoso (14,95 µg/L).

È verosimile vi sia una relazione tra i lineamenti geocimentologici dell'area di studio e le concentrazioni di mercurio nel sangue. Infatti, i contenuti mediani più elevati dell'elemento sono stati determinati nel sangue degli esemplari vissuti nei territori del Distretto 1 (15,83 µg/L) e del Distretto 7 (16,62 µg/L), zone in cui sono presenti rispettivamente le mineralizzazioni a solfuri misti e a pirite delle Colline metalifere e quelle cinabrifere amiatine (figura 2).

Tallio

Il tallio è un elemento tossico e cancerogeno. La sua tossicità è in parte riconducibile alla «somiglianza» con i cationi di alcuni elementi alcalini come il potassio al quale il tallio si può sostituire.

Riguardo al tallio sono disponibili pochi dati riguardanti il contenuto dell'elemento in organismi animali. Kemper e Bertram [14] indicano che normalmente le concentrazioni di tallio nel sangue umano variano da 0,5 a 2 mg/L.

Circa il 65% dei caprioli abbattuti nella provincia di Grosseto ha mostrato un contenuto di tallio nel sangue inferiore al limite di rilevabilità strumentale (0,25 mg/L). Nei rimanenti campioni le concentrazioni dell'elemento variano da 0,26 a 12,83 mg/L (tabella 2). All'interno di questo intervallo la gran parte dei dati analitici ricade al di sotto di 1,5 mg/L, mentre i livelli più elevati (>3 mg/L) caratterizzano il sangue di alcuni caprioli del Distretto 1.

Conclusioni

Insomma dei dati analitici riportati in questo lavoro, relativi alle concentrazioni di zinco, rame, arsenico, cadmio, mercurio e tallio nel sangue di 268 caprioli abbattuti nella provincia di Grosseto, consente di operare le considerazioni che seguono.

Nel sangue dei caprioli in studio la concentrazione degli elementi chimici dosati mostra una notevole variabilità. Gli intervalli più ampi nella distribuzione dei tenori sono stati riscontrati per cadmio e mercurio.

La gran parte dei dati analitici ottenuti per zinco, rame, arsenico, cadmio, mercurio e tallio è confrontabile con l'usuale intervallo di presenza di questi elementi nel sangue di mammiferi.

In relazione al sesso dei caprioli, zinco, rame e cad-

mio evidenziano le più elevate concentrazioni mediane nel sangue dei maschi, il mercurio in quello delle femmine. Gli esemplari adulti hanno fornito i contenuti più elevati di cadmio e mercurio nel sangue, mentre gli individui giovani quelli di zinco e rame.

In base ai lineamenti geo-giacimentologici dell'area in studio, risulta che, a livello mediano, i tenori più elevati di zinco, arsenico, mercurio e tallio appartengono al sangue dei caprioli abbattuti nel territorio del Distretto 1, dove sono presenti numerose mineralizzazioni a pirite ed a solfuri misti. Una relazione analoga si riscontra per le concentrazioni di mercurio nel sangue degli esemplari provenienti dal Distretto 7, nel quale ricadono numerose mineralizzazioni cinabrifere del campo minerario amiatino.

L'intervallo delle concentrazioni di zinco, rame, arsenico, cadmio e mercurio nel sangue dei caprioli abbattuti nelle province di Grosseto e Siena, non mostra significativi differenze. Tuttavia, non vi è dubbio che i contenuti in assoluto più elevati degli elementi in studio e la loro incidenza quantitativa sono propri dei caprioli vissuti nella provincia di Grosseto.

Bibliografia

- [1] B. Bobek, K. Perzanowski, W.L. Regelin, Global Trends. In: Wildlife Management. Transaction vol. 1. 18th IUGB Congress. Swiat Press, Krakow-Warszawa: 1991.
- [2] F. Baroni, G. Protano, F. Riccobono, G. Sabatini, Essential and toxic elements in roe deer blood (Siena County, Italy). In: Trace Elements in the Environment - Their Distribution and Effects. Elsevier, Amsterdam: 2000.
- [3] C. San Josè, S. Lovari, N. Ferrari, Acta Theriolog. 1997, 42 (2): 235.
- [4] G. Protano, F. Riccobono, G. Sabatini, Mem. Des. Carta Geologica d'Italia 1998, 55: 119.
- [5] EPA, Practical Methods for Data Analysis. EPA QA/G-9, QA00 Update. In: Guidance for Data Quality Assessment. Office of Environmental Information, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.: 2000.
- [6] F.K. Ohnesorge, M. Wilhelm, Zinc. In: Metals and Their Compounds in the Environment, VCH-publisher, Weinheim: 1991.
- [7] National Research Council. Zinc. Committee of medical and biological effects of environmental pollutants, National Academy of Sciences, Washington D.C.: 1978.
- [8] N.D. Grace, J. Agric. Res. 1983, 26: 59.
- [9] K.M. Hambridge, C.E. Casey, N.F. Krebs, Zinc. In: Trace Elements in Human and Animal Nutrition (5th edition), Academic Press Inc., New York: 1986.
- [10] M. López Alonso, J.L. Benedito, M. Miranda, C. Castillo, J. Hernández, R.F. Shore, Sci. Total Environ. 2000, 246: 237.
- [11] C. Minoia, E. Sabbioni, P. Apostoli, R. Pietra, L. Pozzoli, M. Gallorini, G. Nicolau, L. Alessio, E. Capodaglio, Sci. Total Environ. 1990, 95: 89.
- [12] P. Heitland, H.D. Köster, J. Trace Elem. Med. Biol. 2006, 20: 253.
- [13] U. Forstner, Cadmium. In Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg: 1980.
- [14] F.H. Kemper, H.P. Bertram, Thallium. In Metal and Their Compounds in the Environment. Ernest Merian, Weinheim: 1991.

L'evoluzione biologica nei percorsi e nei laboratori didattici di zoologia e antropologia presso il Museo di Storia Naturale del Mediterraneo di Livorno

Michelangelo Bisconti¹, Emiliano Carnieri^{*1}, Anna Roselli¹

Parole chiave: antropologia, evoluzione biologica, laboratorio didattico, Museo di Storia Naturale, zoologia

Vengono illustrati i percorsi e i laboratori sull'evoluzione biologica, con particolare riferimento ai primati non umani e alla specie umana, svolti presso il Museo di Storia Naturale del Mediterraneo di Livorno. I percorsi sono stati seguiti per lo più da allievi delle Scuole Primarie. Questi studenti mostrano livelli di preparazione disomogenei ma comportamenti, capacità di ragionamento critico e sistemi di credenze formati in ambienti extra-scolastici molto omogenei. La gran parte dei problemi incontrati nella didattica dell'Antropologia fisica, come anche della Zoologia generale, potrebbero essere risolti attraverso un sistematico insegnamento dell'evoluzione biologica, e di concetti di base inerenti a biodiversità e filogenesi.

Introduzione

Nel corso degli ultimi anni le indicazioni ministeriali per la preparazione delle attività didattiche delle Scuole Primarie e Secondarie per quanto riguarda la trattazione dell'evoluzione biologica, e in particolare dell'origine ed evoluzione dell'uomo, sono andate verso un ridimensionamento evidente [1, 2, 3]. Attualmente, la preistoria viene affrontata nel corso del terzo anno della Scuola Primaria nell'ambito dei programmi di Storia e Scienze. Gli interventi dei docenti prevedono la trattazione di aspetti di Antropologia fisica con l'illustrazione delle caratteristiche anatomiche delle specie di primati strettamente correlate all'evoluzione umana e la descrizione dell'origine e dello sviluppo della tecnologia umana basata sulla lavorazione della pietra. Parallelamente, si tratta delle forme di economia preistorica che possono essere dedotte sulla base della documentazione archeologica e dell'origine di comportamenti astratti e complessi come la sepoltura dei defunti e la nascita dell'arte e di forme di spiritualità. La funzione di una istituzione scientifica come il Mu-

seo di Storia Naturale del Mediterraneo di Livorno (MSNM) nel contesto della didattica relativa alla biologia evuzionistica in queste categorie scolastiche non può che essere di ausilio alla didattica frontale svolta nelle classi. Naturalmente si tratta di un aiuto in grado di utilizzare strumenti normalmente non disponibili nelle scuole e che derivano dalla conservazione di materiale zoologico all'interno di collezioni scientifiche; detto materiale è in parte reso fruibile ad un vasto pubblico attraverso l'allestimento di settori espositivi. Parallelamente a questo aspetto che ha a che fare con la natura stessa del museo, la realizzazione di laboratori didattici all'interno di un Centro di Educazione Ambientale (CEA) e la disponibilità di personale specializzato in discipline-chiave come l'Antropologia, le Scienze della Terra, la Fisica, la Botanica e la Zoologia consente al MSNM una partecipazione attiva all'insegnamento delle scienze naturali in scuole di ogni ordine e grado. Nell'ambito della didattica dell'Antropologia e della Zoologia la disponibilità di reperti e modelli, in parte conservati all'interno delle collezioni e in parte acquisiti allo scopo di consentire l'esecuzione di percorsi di laboratorio,

permette la realizzazione di una serie di attività calibrate su studenti di diverse fasce d'età garantendo l'erogazione di un servizio di ausilio all'insegnamento dell'Antropologia e della Zoologia ad una fascia di utenza molto vasta.

Materiali e metodi

Il MSNM dispone di due settori espositivi direttamente legati alle tematiche dell'evoluzione umana (la Sala dell'Uomo e la Sala dell'Uomo nel Mediterraneo) e di uno che tratta la storia della vita sulla Terra (Sala di Geo-Paleontologia). In particolare nella prima vengono illustrate le tappe fondamentali dell'evoluzione della nostra specie attraverso calchi di fossili, diorami e una serie di strumenti litici e manufatti provenienti da vari siti localizzati in provincia di Livorno. I reperti sono inseriti all'interno di un contesto fatto di didascalie esplicative e immagini grazie alle quali si forniscono informazioni immediatamente comprensibili di molti aspetti della vita degli ominidi. La Sala dell'Uomo nel Mediterraneo dispone invece di una estesa collezione di reperti archeologici e di copie di strumenti litici e metallici che rappresentano testimonianze della vita di *Homo sapiens* dal Mesolitico fino agli albori dell'età storica. Due diorami presentano infine uno spaccato di vita del Neolitico e l'officina di un fabbro protostorico.

L'impiego coordinato di materiali didattici (calchi di primati e ominidi) insieme con i settori espositivi ha consentito l'elaborazione di percorsi interattivi di Antropologia nei quali gli studenti osservano e individuano direttamente sui reperti quelle caratteristiche che sono state utilizzate dagli studiosi per definire i modelli dell'evoluzione umana. Il concetto del Laboratorio di Antropologia prevede dunque un'attività di osservazione attenta e critica da parte degli studenti che dovrebbe consentire loro di concettualizzare somiglianze e differenze tra le varie specie umane e di primati in modo da ricostruire la sequenza di cambiamenti che si è realizzata nel corso dell'evoluzione. I percorsi didattici di Antropologia fisica che vengono realizzati presso il CEA del MSNM sono quattro: *I Primati, Origine ed evoluzione dell'uomo, Alla scoperta dello scheletro umano e Il paleoantropologo sullo scavo*. I primi tre fanno uso della collezione didattica e dei settori espositivi; il quarto prevede l'esecuzione di uno scavo simulato.

Domande e pregiudizi

Gli oltre 1300 studenti che hanno seguito i percorsi di Antropologia fisica presso il MSNM hanno mostrato una preparazione globalmente omogenea. Nel presente lavoro poniamo l'attenzione alla domanda tra le più ricorrenti che gli studenti hanno fatto liberamente durante gli incontri. Questo quesito rivela un certo indottrinamento operato in ambienti extrascolastici di cultura non evolutivista: *Se l'uomo deriva dalle scimmie, perché non vediamo le scimmie trasformarsi sotto i nostri occhi in esseri umani?* Questa domanda è circolata spesso in ambienti non evolutivisti ed è stata variamente formulata agli scriventi da numerose persone, giovani e meno giovani, dalla scarsa preparazione scientifica ed evolutivista. Si tratta di una questione formulata sulla base di una grande mancanza di conoscenza in materia evolutivista. È ovvio che le scimmie non si trasformano in esseri umani. È ovvio che le scimmie (tutte le scimmie o solo alcune? Non è chiaro dalla domanda) non si sono trasformate in esseri umani nel senso intuitivo del termine. La trasformazione è avvenuta nel corso di milioni di anni e si è realizzata in una particolare linea di scimmie antropomorfe [4] (quindi non tutte le scimmie si sono trasformate in esseri umani, tant'è vero che esistono molte specie di primati non umani ancora viventi). È ovvio che la trasformazione non si è mai svolta nell'arco di poche ore o pochi secondi come la domanda sembra lasciar credere ma i cambiamenti si sono susseguiti a piccole o piccolissime dosi di generazione in generazione e in presenza di cambiamenti genetici che si sono affermati nelle popolazioni per selezione naturale secondo le leggi di *Hardy-Weinberg*. La domanda, così com'è formulata, mostra una totale ignoranza della teoria dell'evoluzione per selezione naturale, ignoranza che evidentemente porta ad una visione distorta del cam-

gli autori

¹ Museo di Storia Naturale del Mediterraneo, via Roma 234, I-57100, Livorno
zoologia.museo@provincia.livorno.it
e.carnieri@provincia.livorno.it
a.roselli@provincia.livorno.it

* autore per corrispondenza

biamento evolutivo. Come si vedrà nelle conclusioni di questo lavoro, una piena conoscenza della nuova sintesi darwiniana rappresenterebbe un punto di partenza molto importante per affrontare ogni aspetto della storia evolutiva dell'uomo e degli altri organismi. Domande e affermazioni di questo tipo inducono a ritenere che l'approccio con il quale si insegna l'evoluzione biologica va radicalmente rivisto.

Difficoltà della didattica dell'evoluzione umana

Sono stati individuati alcuni aspetti critici nelle interazioni tra operatore e studenti, emersi in circa tre anni di didattica dell'evoluzione umana al MSNM. L'attenzione verrà focalizzata su tre categorie di problemi: capacità di ragionamento critico, passato *vs.* presente, *story-telling*.

Capacità di ragionamento critico

Quanto gli studenti affrontino criticamente l'oggetto di studio denominato Evoluzione umana è difficile a dirsi. Le risposte date frequentemente a domande ripetute ad ogni incontro suggeriscono che in realtà gli studenti fondino la loro conoscenza più sulla memorizzazione di dati che sull'approfondimento e sulla piena comprensione degli argomenti trattati. Gli incontri del Percorso 2 del Laboratorio di Antropologia al MSNM cominciano sempre con una domanda formulata dall'operatore: «Secondo voi, quali sono gli animali più simili all'uomo?» La risposta è sempre la stessa e viene fornita in maniera corale e ad alta voce dagli studenti: «Le scimmie». La seconda domanda posta dall'operatore è più insidiosa: «Perché?» L'operatore specifica poi i termini della questione: «Quali sono quelle caratteristiche comuni al corpo delle scimmie e degli esseri umani che fanno dire agli studiosi che esseri umani e scimmie sono così simili?» A questa domanda segue di solito un silenzio lungo qualche decina di secondi. Il silenzio è poi rotto da uno studente che statisticamente formula la seguente risposta: «Le scimmie sono gli animali più simili all'uomo perché l'uomo discende dalle scimmie». In realtà questa non è una risposta alla domanda perché non fornisce quelle caratteristiche fisiche richieste dall'operatore che dovrebbero supportare l'affinità morfologica di esseri umani e scimmie. La risposta fornita dallo studente prevede la ricostruzione di un percorso storico (filogenetico) ef-

fettuata a partire da comparazioni morfologiche e genetiche che lo studente di 9 anni non è in grado di padroneggiare. E questo ultimo punto è dimostrato dal fatto che questo studente non è stato in grado di fornire il dato biologico richiesto. Altre risposte statisticamente molto comuni sono le seguenti: «Le scimmie sono simili all'uomo perché camminano su due gambe», «perché hanno uno scheletro», «perché hanno un grosso cervello». Ovviamente ogni risposta viene accuratamente smontata dall'operatore. Una risposta più interessante, ma ancora formalmente lontana da ciò che si è richiesto, è «Le scimmie sono simili all'uomo perché hanno le mani». Naturalmente la *manus* (l'estremità dell'arto anteriore dotata di dita) è tipica di tutti i tetrapodi dal Devoniano (circa 360 milioni di anni fa) a oggi (con rare eccezioni) per cui la risposta non è accettabile. Da questa risposta deriva però una pletora di affermazioni: «perché con le mani possono stringere oggetti», «perché con le mani possono prendere cose», etc. Alla fine di questo lungo percorso di ragionamento si arriva al concetto di pollice opponibile, un concetto che la stragrande maggioranza degli studenti conosce già per averlo studiato a scuola prima di arrivare al museo. Nel momento in cui la risposta corretta viene indicata («Le scimmie sono simili all'uomo più di ogni altro animale perché scimmie e uomo hanno il pollice opponibile») allora tutti gli studenti si meravigliano di non averci pensato prima e molti si lamentano che si erano dimenticati questo dettaglio. Naturalmente ci sono anche altre caratteristiche corporee comuni a esseri umani e scimmie (si tratta dei caratteri diagnostici dell'ordine *Primates*) ma per motivi di tempo e di chiarezza in questa fase ci si limita a richiedere questo particolare dettaglio agli studenti mentre altre caratteristiche (occhi frontali etc.) vengono presentate dall'operatore. Le risposte fornite alla domanda dell'operatore permettono di fare alcune osservazioni. Dire che tutti i primati camminano su due gambe significa o che gli studenti non hanno fatto mai esperienza di scimmie (improbabile: tutti sanno com'è fatto uno scimpanzé, un orango o un gorilla) o che gli studenti non danno peso a ciò che conoscono di questi animali. Infatti quando l'operatore spiega il meccanismo locomotorio dello *knuckle-walking* quasi tutti gli studenti affermano di conoscerlo.

Un'altra domanda formulata dall'operatore alla quale gli studenti rispondono in modo molto variegata è la presente: «Ci sono oggi altri animali bipedi oltre all'uomo sul nostro pianeta?» Le risposte tipicamente

prevedono la sequenza che viene riportata di seguito: «L'uomo», «Le altre scimmie», «Il canguro», «Il coniglio», qualche raro studente arriva a dire che il serpente e il cavallo camminano su due gambe. Una singola studentessa di III Elementare nell'anno 2006-2007 ha detto timidamente: «I pesci». L'operatore chiede esplicitamente di non tirare a indovinare ma si direbbe che la strategia della classe è quella di dire un gran numero di animali sperando di individuare la risposta giusta per puro caso. Qualcuno, dopo un po', arriva a dire «La gallina», «Il gabbiano», «Il piccione» ma ci vuole un po' perché gli studenti arrivino a generalizzare e a dire «Gli uccelli». Dopo che la risposta più generale è stata fornita ed è stata esaltata dall'operatore, alcuni studenti continuano a ripetere nomi di uccelli diversi convinti di dire qualcosa di nuovo e di corretto anche se in realtà stanno fornendo un'informazione ridondante e non più richiesta.

Le risposte fornite a queste domande e la frenesia con cui gli studenti si accalcano per rispondere (di solito sbagliando) mostrano una generale volontà di partecipazione e di esibizione di sé stessi, ma una scarsa padronanza degli argomenti trattati e una altrettanto scarsa capacità di riflessione critica sugli oggetti della questione. Nonostante ci sia una pausa di riflessione a seguito della domanda relativa al perché le scimmie sono considerate gli animali più simili all'uomo, pure con grande difficoltà gli studenti arrivano a dare una risposta al limite dell'accettabile e dopo un percorso di affinamento che può durare parecchi minuti. Sembra quasi che si formi una sorta di blocco mentale che impedisce il ragionamento e l'osservazione. Oppure, in alternativa, preparandosi all'incontro al MSNM, gli studenti si sono limitati a studiare la lezione a memoria senza realmente comprendere ciò che stavano studiando. È questa una possibilità da considerare seriamente vista anche la generale inadeguatezza dei libri di testo nei quali gli argomenti evolutivisti sono trattati con una certa velocità e con ben pochi schemi esplicativi. D'altra parte una certa superficialità da parte degli studenti si evince dalle risposte fornite alla domanda sul bipedismo in animali non umani che rende conto del fatto che esistono meccanismi comportamentali che portano gli studenti ad esibirsi anche se attraverso affermazioni che mostrano tutta la confusione che hanno nella mente e una scarsa capacità di riflessione critica. Da questo punto di vista risultano premiate quelle strategie didattiche volte ad indurre una partecipazione attiva alla lezione da parte di tutti gli studenti ma risultano altresì penalizzate le strategie didatti-

che volte a far sì che gli studenti comprendano realmente ciò che viene loro insegnato.

Passato vs. presente

Esiste una generale difficoltà a parlare dell'evoluzione degli organismi (e dell'uomo) dal momento che per vari motivi è facile che nella mente degli studenti si generi una confusione tra presente e passato.

Un primo elemento di confusione riguarda l'atteggiamento che gli studenti delle Scuole Primarie hanno nei confronti dei primati non umani: gli studenti parlano normalmente delle scimmie al passato, come se oggi non vi fossero altri primati al di fuori dell'uomo sul nostro pianeta. Ed è piuttosto difficile far capire a bambini di 9 anni che in realtà esistono molte specie diverse di scimmie che vivono contemporaneamente agli esseri umani. Questo punto è anche uno dei motivi che porta a far rispondere ad alcuni studenti che le scimmie sono gli animali più simili all'uomo perché l'uomo discende dalle scimmie: in altre parole, una volta c'erano le scimmie e poi queste si sono «evolute» in esseri umani; in questo modo è facile concludere che grazie a questo meccanismo oggi ci sono gli esseri umani e le scimmie non ci sono più. Naturalmente si tratta di una idea sbagliata che deriva da un'immagine lineare del processo evolutivo che prevede la formazione, nella mente degli studenti, di una vera e propria *schala naturae* culminante con l'origine della nostra specie. Per risolvere questo problema occorre promuovere una comprensione della filogenesi modellata sul concetto di «cespuglio» e non di scala. Occorre che gli studenti sappiano e comprendano profondamente il fatto che le specie che esistono oggi hanno milioni di anni di evoluzione alle spalle e occorre che imparino a capire il concetto di «antenato comune» che rende conto della particolare situazione evolutiva nella quale sono implicati l'uomo e lo scimpanzé. Il concetto di antenato comune dovrebbe essere anche in grado di consolidare l'idea dell'origine dell'uomo a partire da un particolare gruppo di scimmie antropomorfe demolendo i preconcetti e le concezioni erronee, come ad esempio quella secondo la quale uomo e scimmie antropomorfe si sono staccate a partire da un non-primato, cioè la tupaia [5]. In questo senso uno strumento didattico non facile da usare ma di eccezionale potenza è l'albero filogenetico. Comparando graficamente diversi alberi filogenetici è immediatamente evidente la differenza tra le concezioni espresse

dai vari autori, anche se nella maggior parte dei casi si vince chiaramente il fatto che l'antenato comune alle scimmie antropomorfe attualmente viventi e l'uomo era una scimmia antropomorfa. Il problema esaminato in questo paragrafo si ripresenta sotto molteplici forme durante lo svolgimento degli incontri. L'evoluzione umana viene illustrata al MSNM attraverso l'uso di calchi di fossili e viene presentata come una sorta di «viaggio nel tempo virtuale». L'operatore pone la massima cura nel separare bene ciò che fa riferimento al passato e ciò che invece fa riferimento al presente. In generale il viaggio nel tempo viene effettuato in maniera il più possibile ininterrotta in modo da non ingenerare confusione nella mente degli studenti. Sfortunatamente, nel momento in cui si devono trattare le prime conquiste tecnologiche degli ominidi si deve interrompere il viaggio nel tempo e bisogna tornare al presente. Nella filosofia che sta alla base del percorso su origine ed evoluzione dell'uomo, in accordo con le linee espresse da Tibone [6] nel capitolo sull'evoluzione umana, assume una grande importanza la collocazione delle caratteristiche fisiche e comportamentali umane all'interno del mondo naturale. In altre parole, dato che uno degli argomenti più importanti di questo percorso consiste nel passaggio da scimmie antropomorfe a ominidi, occorre che gli studenti comprendano il fatto che le caratteristiche umane si sono originate a partire da caratteristiche non umane che possiamo rintracciare nelle scimmie antropomorfe. In questo senso risulta particolarmente efficace la narrazione delle forme di cultura che sono state messe in luce all'interno di macachi, scimpanzé e altri primati per trasmettere agli studenti un concetto di cultura che sia il più generale possibile e che sia biologicamente ben fondato. Inoltre, è molto importante che gli studenti conoscano le capacità manipolatorie delle scimmie antropomorfe che, in certi casi, sono in grado di usare oggetti naturali con scopi ben precisi e che, in altri casi, sono in grado di progettare e realizzare veri e propri strumenti fino ad arrivare a scheggiare la pietra per ottenere lame e coltelli. La descrizione di questi comportamenti nelle scimmie antropomorfe attualmente viventi riporta gli studenti alla credenza che ciò che viene descritto *era* parte del repertorio comportamentale di primati che oggi non esistono più essendo stati sostituiti dall'uomo che è portatore di una cultura materiale ben più sofisticata. Nonostante il fatto che la coesistenza di uomo e scimmie antropomorfe sia stata pienamente affermata, sottolineata ed enfatizzata dall'operatore trat-

tando del bipedismo, pure la credenza che le scimmie abbiano preceduto l'uomo appare così radicata nelle menti degli studenti da riaffiorare di continuo costringendo l'operatore a riprendere di nuovo il discorso sulla contemporaneità dei primati attualmente viventi e i concetti di filogenesi già spiegati.

In conclusione, si direbbe che agli studenti mancano due concetti fondamentali grazie ai quali i problemi enunciati in questo paragrafo dovrebbero poter essere risolti: il concetto di filogenesi e quello di biodiversità. Gli studenti mostrano un approccio eminentemente storico alla biodiversità dei primati e apparentemente dimenticano o ignorano il fatto che attualmente, sul nostro pianeta, esiste una diversità primatologica importante. Essi inoltre non hanno chiaro il fatto che questa diversità ha avuto una sua storia evolutiva e che i rapporti di parentela tra le specie attualmente viventi possono essere illustrati da alberi filogenetici interpretabili come successione di eventi di speciazione a partire da una sequenza di antenati comuni. Per procedere allo studio dell'evoluzione umana nella maniera più corretta appare dunque fondamentale la conoscenza dei primati attualmente viventi. Sfortunatamente, le scuole che hanno frequentato i percorsi del MSNM solo in rarissimi casi hanno optato per questo tipo di approccio prenotando il percorso N. 1 del Laboratorio di Antropologia per l'appunto intitolato *I Primati*.

Story-telling

Mentre la disponibilità di documentari, film e libri sulla storia naturale può aiutare a costruire una dettagliata mappa della diversità animale in bambini dai 3 ai 6 anni, questi stessi mezzi di comunicazione sono in grado di costruire delle credenze molto radicate nelle menti di bambini dai 6 anni in avanti indipendentemente dalla qualità delle informazioni che attraverso di essi vengono trasmesse. Per esempio, in un recente documentario è stata narrata per immagini la vita di uno degli australopiteci più famosi: Lucy. In questo documentario si sono visti momenti di vita come il camminare, l'attraversare fiumi, la gravidanza, l'alimentazione e aspetti della vita emotiva non documentabili attraverso l'indagine scientifica (quali il disinteresse verso membri del gruppo feriti o morenti). Ebbene, questo documentario si è impresso così vividamente nella mente di un gran numero di bambini di III Elementare che è difficilissimo far capire loro che si tratta di una ricostruzione frutto in

gran parte delle scelte registiche di un documentarista e che molte delle cose ivi illustrate non possono essere date per buone. La narrazione rappresenta un meccanismo potentissimo di trasferimento di informazioni. Essa è dunque in grado di costruire credenze e sistemi di credenze che si radicano assai fortemente nelle menti dei giovani studenti. Mentre la narrazione può essere molto importante per iniziare a fornire informazioni embrionali sulla diversità degli esseri viventi a bambini in età pre-scolare, essa tende ad essere immagazzinata come verità incontrovertibile da studenti delle Scuole Primarie. Il suo uso scolastico ed extra-scolastico dovrebbe dunque essere calibrato attentamente da personale adeguatamente preparato in grado di comprendere pienamente la bontà dell'informazione che attraverso la narrazione viene veicolata.

Conclusioni

Dalle osservazioni espresse in questo studio si possono evincere le seguenti conclusioni.

Gli studenti mostrano una generale attenzione e un notevole interesse verso gli argomenti oggetto della didattica svolta nell'ambito del Laboratorio di Antropologia del MSNM. Essi apprezzano le lezioni e le visite alle sale del museo e interagiscono continuamente con l'operatore partecipando attivamente agli incontri attraverso contributi che vanno dalla narrazione del loro vissuto personale alle risposte alle domande formulate dall'operatore.

Mentre le strategie didattiche volte a far sì che gli studenti partecipino alle lezioni in maniera attiva risultano vincenti, in quanto i bambini effettivamente partecipano con un certo trasporto alle lezioni, quelle volte a far sì che gli studenti apprendano in maniera critica le informazioni che vengono loro trasmesse risultano in gran parte fallimentari. I bambini imparano molte cose a memoria ma non sono quasi mai in grado di utilizzare le informazioni imparate per rispondere a domande precise formulate in un contesto extra-scolastico. In generale si nota una tendenza a rispondere in maniera casuale alle domande senza una vera e propria riflessione. È opportuno che gli insegnanti vigilino su questi meccanismi e che approfondiscano il livello di conoscenza e di comprensione ottenuto dai loro studenti.

Nelle menti degli studenti si formano diversi cortocircuiti logici dovuti al mancato sviluppo di una piena comprensione di concetti biologici importanti. In

particolare, esiste una generale tendenza alla formazione di un concetto di *scala naturae* nella mente degli studenti per cui tutte le scimmie si sono trasformate in esseri umani; questo concetto porta un gran numero di studenti a credere che i primati non umani siano una realtà del passato e che oggi non esistano più. Inoltre, la descrizione del processo evolutivo umano in termini narrativi conduce gli studenti a prendere per vere le narrazioni di ipotetici momenti di vita di primati estinti (tra cui ominidi) veicolate attraverso documentari-fiction molto attraenti dal punto di vista grafico. È noto che la narrazione rappresenta un meccanismo molto potente attraverso il quale è possibile trasmettere informazioni e il suo utilizzo a fini didattico-educativi è ragionevole. È però fondamentale tenere presente il fatto che attraverso la narrazione è possibile trasmettere un gran numero di informazioni non direttamente attinenti all'argomento di cui si sta trattando, informazioni che spesso volte non sono supportate da prove scientifiche. In virtù della sua potenza, la narrazione di questi aspetti non scientificamente provati può radicare nella mente degli studenti credenze non accettabili sul piano scientifico e di difficile eradicazione. La narrazione, come meccanismo didattico-educativo, andrebbe dunque usata con grande cautela e dovrebbe essere sempre assistita da personale adeguatamente preparato che sia in grado di far discernere agli studenti ciò che può essere dimostrato attraverso l'evidenza da ciò che invece dipende dalla fantasia dei registi.

Uno dei più importanti problemi della Biologia contemporanea è rappresentato dal fenomeno della biodiversità e dei processi che sono stati responsabili della formazione dell'attuale diversità biologica sul nostro pianeta. Gli studenti che hanno frequentato i percorsi del Laboratorio di Antropologia e del Laboratorio di Zoologia hanno mostrato una generale scarsa conoscenza del fenomeno e una scarsa capacità di riflessione e di ragionamento sulle forme e sulle abitudini degli animali. Lo studio della diversità della vita rappresenta il punto di partenza per una piena comprensione dell'evoluzione biologica e dell'evoluzione dell'uomo. È opinione degli scriventi che gli insegnanti debbano porre una maggiore attenzione all'analisi di questo fenomeno per mettere gli studenti in condizioni di poter affrontare argomenti via via più complessi e più legati ai meccanismi dell'evoluzione biologica. In caso contrario, la risposta degli studenti ad una presentazione superficiale di questo fenomeno o alla sua totale omissione è co-

stituita da una cattiva comprensione, dalla formazione di preconcetti e di sintesi personali basate su informazioni (spesso erronee) raccolte in ambienti extra-scolastici. Questo tipo di risposta porta, insieme con quanto esposto precedentemente, alla formazione di credenze non scientificamente informate di difficile o difficilissima eradicazione.

Gli insegnanti hanno a disposizione uno strumento molto importante e utile alla comprensione del processo storico che ha condotto all'origine dell'attuale biodiversità (entro la quale si colloca l'uomo): l'albero filogenetico. È questa una rappresentazione schematica che rende conto dei tempi dell'origine delle specie e del fatto che le specie che vediamo oggi sono il risultato di lunghi periodi di evoluzione indipendente a partire dall'antenato che condividono con specie a loro particolarmente imparentate. L'albero filogenetico è uno strumento eccezionale per la sua generale intuitività e perché è in grado di veicolare molte informazioni in immagini facilmente comprensibili e memorizzabili. Naturalmente è necessario che gli insegnanti spendano del tempo per trasferire agli studenti un vocabolario in grado di consentire loro una autonoma interpretazione degli alberi filogenetici in maniera metodologicamente corretta.

È possibile che gli operatori del CEA del MSNM continuino ad effettuare percorsi didattici e di laboratorio sugli argomenti di cui si è parlato in questo studio. Tuttavia, è fondamentale che gli insegnanti cooperino attivamente con il mondo dell'università e della ricerca scientifica affinché si possano veicolare agli studenti non solo le nozioni ma anche i metodi e gli strumenti interpretativi di cui hanno bisogno per sviluppare la propria, indipendente capacità di ragionamento critico. È questo uno dei fini della ricerca e della cultura scientifica in generale che dovrebbe essere perseguito attraverso un processo di più attiva integrazione tra scuole di diverso ordine e grado, editoria scolastica e mondo della ricerca.

Bibliografia

- [1] MIUR, *I nuovi ordinamenti scolastici. Strumenti e materiali per l'innovazione*. Ufficio Regionale Scolastico per la Toscana, 2004.
- [2] Ministero Pubblica Istruzione, *Indicazioni per il curricolo per la scuola dell'infanzia e per il primo ciclo di istruzione*. Roma: 2007.
- [3] T. Pievani, *In difesa di Darwin*. Bompiani, Milano: 2007.

[4] J. Finarelli, W. Clyde, *Paleobiology* 2004, 30: 614.

[5] S. Pavone, B. Gallicano, *Biologia*. Le Monnier, Firenze: 1999.

[6] F. Tibone, *Facciamo scienze*. Volume B, Vita. Zanichelli, Bologna: 2004.

«I Musei narrano la Scienza»: un progetto educativo

Maria Rosaria Ghiara*¹, Carmela Petti¹, Angela Mormone², Manuela Rossi²

Parole chiave: musei, educazione e didattica museale, scienze della Terra

I musei svolgono una funzione educativa sempre più incisiva e, operando di concerto con la scuola, possono contribuire a migliorare il livello dell'istruzione pubblica ampliando il panorama delle informazioni. Il Centro Musei delle Scienze Naturali dell'Università di Napoli Federico II ha ideato, sulla base di indicazioni fornite dai docenti delle scuole elementari, medie e superiori, il progetto «I Musei narrano la Scienza».

Il progetto ha la finalità di iniziare i giovani alla curiosità scientifica, al rispetto della natura e alla conoscenza del patrimonio museale.

Sono stati elaborati percorsi didattici per i diversi cicli scolastici, che si basano sull'attenta osservazione dei reperti del museo, potenziando così, nei giovani, la capacità di analisi. Questi oggetti reali, custoditi in luoghi ricchi di storia, consentono di far conoscere ai giovani il ruolo fondamentale che la scienza ha avuto e continua ad avere nello sviluppo della società civile.

Nell'esecuzione del progetto un importante ruolo è stato svolto dagli operatori museali. Il dialogo costruttivo con gli operatori ha consentito agli studenti di interiorizzare facilmente i concetti scientifici e di cogliere i molti aspetti del nostro pianeta con il quale certamente hanno instaurato un rapporto più corretto.

Premessa

Sono trascorsi ben sedici anni da quando il Parlamento italiano ha approvato la Legge 113* che pone solide basi atte a favorire la diffusione della cultura scientifica e la valorizzazione del patrimonio tecnico-scientifico di interesse storico conservato nei musei del nostro Paese. La Legge 113 favorisce la valorizzazione ed il potenziamento delle istituzioni impegnate nella diffusione della cultura scientifica, sostiene l'istituzione di nuove strutture e, in particolare, auspica un loro efficace ed incisivo coordinamento. Purtroppo quanto auspicato non si è verificato e l'Italia appare, ancora oggi, un paese refrattario allo sviluppo della scienza; il calo delle iscrizioni alle facoltà scientifiche e le più o meno esplicite rimo-

stranze mosse al mondo della scienza da alcune frange della società, sono una chiara testimonianza di questo infausto clima.

Nei fatti sono state supportate solo poche istituzioni, per motivi essenzialmente politici, e alcune insistenti nelle regioni a statuto speciale; l'auspicato coordinamento, infine, è del tutto inesistente.

Fra le varie componenti che hanno contribuito a far perdere fascino e credibilità alla scienza sicuramente un ruolo fondamentale è giocato dal modo in cui la stessa è presentata. In merito, non esistono »linee guida« univoche ed universalmente accettate su come comunicare la scienza. I convegni internazionali di *Public Communication of Science and Technology* trattano prevalentemente dell'interazione fra scienziati e giornalisti scientifici e quindi, della comunica-

zione scientifica tramite articoli su quotidiani e periodici o per mezzo di trasmissioni televisive. La comunicazione scientifica nei musei, negli *science center* o nella stessa scuola è del tutto ignorata.

Per modificare questa tendenza i musei scientifici devono impegnarsi sempre di più nel campo della divulgazione scientifica. È più che mai necessario, quindi, portare a conoscenza dei cittadini, sin da quando sono studenti, i progressi conoscitivi conseguiti grazie alle ricerche scientifiche ed i relativi benefici per la collettività. Carlo Rubbia suggerisce di seguire gli insegnamenti del grande Galileo: « Nel divulgare la scienza Galileo cercava di risvegliare lo spirito scientifico moderno nelle menti del maggior numero possibile di persone. Cercò di portare la scienza fuori dalla cerchia ristretta degli scienziati facendone un fenomeno di interesse generale che permeasse tutti i livelli della società. E mise un'energia straordinaria in questo tentativo... Imitiamolo in maniera più umile ma ugualmente infaticabile».

Il pubblico dei musei scientifici è costituito essenzialmente da scolaresche. Ciò impone alla didattica museale [1] precisi criteri che, solo se funzionali con le attività scolastiche, produrranno un efficace apprendimento nei giovani visitatori [2].

Non va dimenticato, infine, che il percorso formativo non si limita a quanto sviluppato nelle aule scolastiche e che, sempre più, gli studiosi suggeriscono di utilizzare l'innata capacità educativa dei musei.

Il ruolo dei musei scientifici

Nel corso della «storia», i musei hanno spesso modificato il proprio ruolo in funzione di precise richieste ed esigenze sociali [3]. In merito a tali mutamenti, Eilen Hooper-Greenhill [4] ha sottolineato che i musei esplicano in maniera ottimale la loro funzione di offrire «conoscenza» solo se le innovazioni e le tradizioni sono sapientemente bilanciate.

I musei siano essi d'arte o scientifici sempre più devono legittimare la propria esistenza in quanto istituzioni che simboleggiano la nostra storia e la nostra cultura [5]. Pertanto il compito fondamentale dei musei scientifici nell'attuale millennio è senza dubbio quello di rendere la scienza accessibile a tutti i cittadini sottolineando il ruolo fondamentale che essa ha avuto e che continua ad avere nello sviluppo della società civile. Ciò ha richiesto una precisa specializzazione degli operatori museali e una definizione delle personalità e dei comportamenti degli utenti

del museo [6]. A tal fine sono state intensificate le collaborazioni tra i musei scientifici e gli esperti di didattica museale e di pedagogia sperimentale [7] che hanno consentito di formulare tecniche di presentazione ed informazione atte a rendere le visite ad alto impatto cognitivo [8].

In particolare, i musei scientifici «storici» fortemente collegati allo sviluppo storico-sociale del proprio territorio, si caratterizzano per la presenza di collezioni per buona parte connesse alla didattica ed alle ricerche; sono veri e propri archivi della memoria dell'evoluzione scientifica che gli studenti devono poter aprire ed esplorare [9]. Le collezioni sono in grado di trasmettere ai giovani stimoli e suggestioni tali da suscitare la loro curiosità, elemento essenziale per attivare il desiderio di conoscenza [10].

Guida scientifica, operatore didattico, animatore... Una categoria senza un nome, senza tutela

In un articolo del dicembre 2005 sul *Journal of Science Communication*, Paola Rodari e Maria Xanthoudaki [11] illustrano il ruolo e le varie tipologie «dell'esercizio di persone, in gran parte costituito da giovani studenti, che accoglie i visitatori nei musei, *science center*, mostre, laboratori, festival, etc», ovvero «l'interfaccia umana» tra il museo ed il pubblico.

L'importante ruolo di questa categoria è testimoniato dalla presenza, nel convegno del giugno 2005, del CSITE (*European Collaborative for Science and Technology Exhibitions*), di ben due sessioni di discussione centrate su questo tema.

In sintesi, è emerso che questa categoria, definita ora «animatore» ora «guida scientifica» oppure «*educator médiateur*», non ha un univoco profilo profes-

gli autori

¹ Centro Musei delle Scienze Naturali
Università degli Studi di Napoli Federico II,
via Mezzocannone, 8 - 0134 Napoli

² Dipartimento di Scienze della Terra
Università degli Studi di Napoli Federico II,
via Mezzocannone, 8 - 80134 Napoli

* autore per corrispondenza
mghiara@unina.it

sionale né tanto meno una formazione omogenea e ciò non solo fra i vari paesi, ma anche nell'ambito dello stesso paese e delle diverse istituzioni.

È noto che il linguaggio scientifico è rigoroso; ci si domanda: perché coloro che comunicano la scienza non devono essere esclusivamente individuati su queste basi e confusi o assimilati agli «animatori», simpaticissimi signori che ci fanno divertire nei villaggi delle vacanze? Il significato della parola è importante e non deve ingenerare false attese, non deve ingenerare confusione!

Va inoltre rimarcato che chi fa comunicazione scientifica non fa attività ludica; si è fortemente scivolati in una cattiva interpretazione dei modelli diffusi negli USA che vedevano nella sola strada del gioco l'accesso alla conoscenza. È auspicabile che chi fa comunicazione scientifica si attenga alla prassi scientifica europea che vede, nei ragazzi, uomini in formazione. In merito alla comunicazione scientifica, Emiliano Ricci, nel suo libro «La magia della scrittura» [12], afferma: «Il principale problema nel comunicare la scienza è quello del linguaggio» e precisa «chi deve comunicare la scienza si trova nel ruolo di interprete che traduce da una lingua complessa a una lingua più accessibile» ma che non deve perdere il rigore e la precisione. Va inoltre sottolineato che la crescita di richiesta di cultura, connessa con lo sviluppo del turismo culturale che ha aperto la porta al cosiddetto «valore economico associabile ai musei» [13], non autorizza a svilire la professionalità e la funzione di chi è impegnato a comunicare la scienza, né il ruolo del museo.

In merito, si è ingenerata una pericolosa confusione fra educazione museale e *marketing* dei musei*. Due aspetti importanti ma che non vanno confusi. Nicoletta Gazzeri, nel seminario «Educazione museale e *marketing*: per una definizione non conflittuale di ambiti e scopi» tenutosi ad Alba del 2004, ha sottolineato che il problema nasce in assenza di equilibrio e precise distinzioni fra questi due aspetti del mondo museale.

Occorre rimarcare, infine, che il dilettantismo in scienza è estremamente dannoso poiché laddove dovrebbe regnare il rigore ci si imbatte nel pressappochismo, e dove bisognerebbe incontrare una visione ampia e articolata si rischia di entrare nel particolarismo semplicistico. In sintesi, se si continua a percorrere questa strada si allontana sempre più il cittadino dalla scienza e, dequalificando le professionalità, si rinuncia ad educare.

La struttura proponente il progetto

Il Centro Musei delle Scienze Naturali dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, istituito nel 1992, è costituito dai seguenti quattro musei: Real Museo Mineralogico (1801), Museo zoologico (1813), Museo di Antropologia (1881), Museo di Paleontologia (1932). Il Centro occupa una superficie di circa 4000 mq ed il patrimonio museale è costituito da più di 150.000 reperti. Grazie al non indifferente impegno economico messo a disposizione dall'Università degli Studi di Napoli Federico II per sostenere le sue attività, i musei sono aperti al pubblico dal lunedì alla domenica e anche nei giorni festivi.

L'alto valore scientifico e storico delle collezioni, in gran parte legate a ricerche effettuate sin dagli ultimi anni del Settecento dai ricercatori che operarono e operano presso l'Ateneo Fridericiano, e il rilevante interesse artistico e culturale delle sale espositive [14] ne fanno una struttura che si pone in chiara evidenza nei confronti delle altre istituzioni museali nazionali ed internazionali.

Nella veste di educatore e di divulgatore della scienza si rivolge a soggetti eterogenei che vanno dagli studenti di ogni ordine e grado, ai cultori ed amanti del mondo della natura ed a chi desidera ampliare il proprio bagaglio di conoscenze [15]. Il Centro Museale ha conseguito un'ampia esperienza in merito alle diverse categorie di pubblico per le quali ha predisposto specifiche opportunità di fruizione.

Perché il progetto educativo?

Dalla bibliografia si evince che il museo è un luogo educativo interattivo che si caratterizza per il trasferimento, tramite i reperti, delle conoscenze scientifiche. Richard Sandell [16] sostiene che i musei contribuiscono ai processi di «inclusione sociale a livello individuale e di comunità» e sottolinea, inoltre, che partecipare alle attività dei musei può produrre esiti positivi non solo a livello individuale, quali l'incremento dell'autostima o della creatività, ma anche a livello di intere comunità quale «catalizzatore per la rigenerazione sociale». Il museo è quindi un luogo di incontro e di scambio culturale ove si apprende dalle collezioni, dalle mostre e dai percorsi didattici realizzati.

I musei naturalistici della Federico II si trovano in una regione che rappresenta, per gli elementi geologici, paleontologici e mineralogici, per le rarità biologiche e i paesaggi spettacolari, un'area a forte voca-

zione naturalistica. A fronte di questo straordinario patrimonio, sono operanti solo sporadiche strutture idonee all'educazione naturalistica e alla valorizzazione del territorio.

Il Centro, nei suoi quindici anni di attività, si è fortemente impegnato a sperimentare e mettere a punto tecniche di comunicazione scientifica per trasmettere conoscenza e messaggi tesi al rispetto e alla protezione degli ambienti naturali, cercando di sviluppare un legame emotivo e spirituale fra il cittadino e la natura. Mai come in questo momento storico la regione Campania necessita di abitanti che si impegnino per proteggere il territorio dallo scempio.

Stephen Jay Gould biologo, geologo e noto divulgatore scientifico, ha ben sottolineato che «non si lotta per salvare qualcosa che non si ama», e l'assenza di conoscenza induce a non amare la natura.

Il progetto è stato ideato e realizzato per favorire e facilitare l'apprendimento delle scienze naturali e per porre solide basi al concetto che il rispetto del patrimonio naturalistico è un dovere e che deve essere un elemento costante che ci accompagna per tutto l'arco della vita [17].

Il progetto vuole far conoscere al meglio il mondo della scienza poiché un giovane che impara a correlare con metodo scientifico i dati ottenuti dalle sue osservazioni sarà sempre in grado di elaborare ragionamenti affidabili e saprà fare scelte corrette.

Il progetto educativo: «I Musei narrano la Scienza»

In numerosi incontri con docenti della scuola è emerso che la mineralogia e la litologia sono discipline quasi sempre non adeguatamente trattate nel corso delle lezioni di scienze. Muovendo da questi contatti è stato predisposto un progetto educativo che ha recepito queste esigenze e che è parte integrante di un protocollo d'intesa con la Direzione Generale dell'Ufficio Scolastico Regionale per la Campania.

Elemento essenziale di tutte le tecniche di comunicazione museale è la centralità dei «reperti» che riescono a trasmettere, con relativa facilità, importanti e complessi concetti scientifici.

Pertanto, nell'organizzazione del percorso didattico, particolare cura è stata rivolta alla scelta dei reperti, che devono avere valenza storica e scientifica per veicolare in maniera incisiva le conquiste della scienza e le potenzialità degli studi scientifici nel migliorare la vita dell'uomo senza interferire nega-

tivamente sull'ambiente.

I progetti che coinvolgono il mondo della scuola sono di non facile attuazione per i seguenti motivi:

a) riluttanza e diffidenza degli insegnanti ad intraprendere nuove sperimentazioni; b) limitazione delle risorse economiche disponibili e mancanza di personale specializzato; c) necessità di predisporre percorsi didattici differenziati in relazione all'età dei discenti e alla tipologia della scuola di provenienza; d) necessità di svolgere un lavoro continuativo e non saltuario; e) organizzare attività di laboratorio che consentano agli studenti di verificare e sperimentare autonomamente [18].

Tralasciando il punto a) e parte del punto b) la cui trattazione esula da questo articolo, per il Centro è stato prioritario preparare gli operatori che illustrano i percorsi didattici. Poiché il Centro non ha fra il personale strutturato questa figura professionale, sono stati selezionati e formati giovani laureati in discipline naturalistiche, afferenti ad associazioni onlus.

Gli operatori museali presentano agli insegnanti e studenti, una serie di percorsi didattici caratterizzati da diverse tematiche, illustrandone le finalità essenziali. Scelto il percorso, inizia una sorta di viaggio virtuale alla scoperta della natura dove gli studenti ed i reperti sono i protagonisti e l'operatore funge da importante intermediario il cui compito è quello di facilitare la metamorfosi degli *oggetti* in concetti scientifici. I percorsi hanno come obiettivo primario, non solo quello di far conoscere le scienze, ma anche di far comprendere che nei territori, anche se fortemente antropizzati e degradati, ci si può adoperare per migliorare la situazione ambientale.

Gli operatori museali, nell'organizzazione esplicativa, non tralasciano gli elementi letterari, storici, sociali e artistici largamente presenti nei quattro musei naturalistici della Federico II e pongono particolare accento sulla centralità dell'uomo nell'avanzamento delle conoscenze.

Per quanto attiene il punto c) sono stati predisposti percorsi didattici di due livelli: uno calibrato per gli studenti delle scuole elementari e delle scuole medie inferiori, ed uno per le scuole medie superiori. I percorsi sono costruiti evitando una eccessiva specializzazione, al fine di non incutere nello studente un senso di soggezione, e le informazioni sono fornite in forme semplici, cercando di mettere in chiara evidenza quei fenomeni naturali che spesso non sono palesi o che non emergono spontaneamente.

La moderna ricerca scientifica nel campo delle scienze naturali, inoltre, tende ad analizzare i singoli argo-

menti sotto molteplici angolazioni ed a ricercare le opportune correlazioni. Questo è un aspetto particolarmente curato nella programmazione dei percorsi. In sintesi, lo studente è continuamente incoraggiato ad analizzare ed esplorare autonomamente i complessi sistemi naturali [19]. Gli studenti sono coinvolti in prima persona in quanto è data loro la possibilità di interagire manualmente con i reperti e di osservare gli stessi con strumenti di facile uso (punto e).

In merito al punto d) ogni percorso consente di approfondire solo alcuni aspetti delle discipline naturalistiche e solo al termine dell'intero ciclo di visite lo studente avrà realizzato un percorso formativo completo ed interiorizzato gli elementi essenziali del mondo della natura.

Le offerte educative sono soggette alla valutazione per stimarne la produttività e l'impatto cognitivo. Pertanto gli studenti compileranno delle schede predisposte da colleghi del Dipartimento di Scienze dell'Educazione e del Laboratorio di Pedagogia sperimentale dell'Università degli Studi di Roma 3 e che verranno da loro elaborate.

Qui di seguito vengono descritti, a titolo d'esempio, due percorsi formativi, scelti tra i dodici predisposti. Percorso didattico di primo livello «In laboratorio con Michelangelo», tematica trattata: il colore dei minerali e la pittura.

Sono previsti due incontri da due ore ciascuno.

Il percorso inizia con la visita guidata nelle sale del museo. L'operatore museale condurrà gli studenti verso le vetrine dove sono esposti bellissimi reperti dagli splendidi colori; si soffermerà di fronte a quelle in cui sono esposti minerali che, pur essendo schedati con lo stesso nome, presentano colorazione marcatamente differente. Nei giovani visitatori nasceranno spontanee richieste di spiegazione concernenti l'origine ed il perché delle variazioni di colore. Sarà l'operatore museale che, a seconda del livello scolastico, spiegherà l'assorbimento selettivo della luce solare policromatica e quindi la comparsa, nei minerali, dei colori. Il percorso proseguirà con le attività svolte autonomamente in laboratorio. Qui ogni studente farà osservazioni dirette su cristalli e rocce, effettuerà osservazioni al microscopio e scoprirà interessanti fenomeni legati all'interazione tra il raggio di luce e il minerale. Preliminarmente saranno state illustrate in forma schematica le varie parti di un microscopio. Dopo aver appreso che i minerali sono stati utilizzati dall'uomo per produrre tempere e malte colorate sin dalla preistoria, come testimoniano le pitture rupestri, i ragazzi vedranno un cortometraggio tratto dal



Figura 1: Studenti di 4a elementare in visita al Real Museo Mineralogico.

film « La ragazza con l'orecchino di perla» in cui è riprodotto il clima della bottega del pittore olandese Jan Vermeer (1632-1675). Nel filmato è ben documentato il lavoro di preparazione dei colori sin dal momento dell'acquisto dei minerali che avveniva in farmacia. I garzoni e lo stesso artista passavano giornate intere a macinare e miscelare malachite, cinabro, lapislazzuli, ocra. Agli studenti saranno mostrati i minerali citati nel filmato e ne saranno illustrate le proprietà e la genesi. L'operatore museale si soffermerà anche ad illustrare le caratteristiche mineralogiche delle cosiddette terre coloranti e delle ocre e farà riferimenti alla moderna industria del colore. A questo punto il laboratorio si trasformerà in una bottega rinascimentale e con l'ausilio di mortai, di spatole, oli e altri strumenti di lavoro, gli studenti impareranno a ottenere pigmenti provenienti dal mondo naturale con i quali realizzeranno un dipinto.

Percorso didattico di secondo livello «Dal museo al complesso vulcanico del Somma-Vesuvio».

Tematica trattata: inquadramento geo-vulcanologico del Somma-Vesuvio; minerali e rocce.

Sono previsti due incontri da due ore ciascuno e un'escursione di cinque ore.

È un percorso educativo che vuol far conoscere il complesso vulcanico del Somma-Vesuvio e le problematiche connesse con il rischio vulcanico su cui i media di tutto il mondo discutono molto.

Gli operatori museali iniziano il percorso con la «storia» del complesso vulcanico e, avvalendosi di rappresentazioni grafiche, di modelli tridimensionali e di brevi filmati, mettono in chiara evidenza l'alternarsi di manifestazioni laviche effusive e di manifesta-



Figura 2-3: Studenti di 5a elementare impegnati nel percorso educativo «In laboratorio con Michelangelo».

zioni esplosive. Queste ultime sono descritte con particolare cura sia per quanto attiene la loro dinamica che la loro capacità distruttiva di cui vengono illustrati esempi storici.

Si passa quindi, a visionare le collezioni di minerali e rocce di cui il Real Museo di Mineralogia è particolarmente ricco; alcune collezioni sono considerate uniche e sono meta di numerose visite anche da parte degli specialisti.

Gli studenti spesso restano sorpresi dalla notevole varietà di specie cristalline prodotte dal Somma-Vesuvio. I minerali vengono presentati nella loro reale giacitura e lo studente realizza, con relativa facilità, che esistono precise relazioni tra minerali e ambiente di formazione. Lo studente imparerà a distinguere i minerali di alta temperatura presenti nelle lave da quelli di relativamente bassa temperatura connessi con le attività fumaroliche ed idrotermali; quello che era un quadro mineralogico complesso e diversificato diviene agli occhi dello studente un quadro via via più semplice in cui riesce a leggere precisi messaggi scientifici. Tra questi le strette relazioni tra l'abbondanza dei gas ed il carattere esplosivo di alcune manifestazioni. Gli operatori museali puntualizzeranno che il controllo delle manifestazioni gassose in atto è un metodo per stabilire la pericolosità di un vulcano. In laboratorio e con l'ausilio dei microscopi gli studenti rivedranno in dettaglio gli aspetti mineralogici e petrografici discussi durante la visita alle collezioni cui potranno aggiungere nuovi elementi quali quelli relativi alle sequenze di cristallizzazione e alla stabilità dei minerali.

Il percorso didattico, infine, contempla una escursione di cinque ore al complesso vulcanico del Somma-

Vesuvio. Gli studenti rivedranno rocce e minerali ma con un occhio ormai allenato a cogliere gli elementi importanti, inoltre, prenderanno visione delle apparecchiature installate per segnalare con congruo anticipo, eventuali riprese dell'attività. Il Vesuvio non sarà più visto come un pericolo incombente ma come un luogo che ci aiuta a comprendere meglio la dinamica del nostro pianeta.

Note

- * Nuova legge sulla divulgazione della cultura scientifica.
- * Da Lewis, 1991: *marketing* è il processo di gestione che conferma la missione di un museo ed è responsabile dell'efficace identificazione, anticipazione e soddisfazione dei suoi utenti.

Bibliografia

- [1] E. Nardi, *Didattica generale e didattica museale: continuità e autonomia*. CADMO, Anno V, 13/14, 1997: 47-53.
- [2] B. Vertecchi, *Il museo come dimensione dell'apprendimento*. CADMO, Anno V, 13/14, 1997: 75-84.
- [3] S. Alpers, *Il museo come modo di vedere*. In: *Culture in mostra Politiche e politiche dell'allestimento museale*, a cura di I. Karp, S.D. Lavine, CLUEB, 1995: 4-13.
- [4] E. Hooper-Greenhill, *I Musei e la formazione del sapere. Le radici storiche, le pratiche del presente*. Il Saggiatore, 1992: pp. 286.

- [5] M. De Luca, Comunicazione ed educazione museale. In: *Comunicare la cultura* Franco Angeli, Napoli: 2007.
- [6] E. Nardi, L'esperienza del Museo. Un'indagine sul pubblico in Italia. In: *Musei e Pubblico. Un rapporto educativo* a cura di E. Nardi, Franco Angeli, 2004: 11-34.
- [7] L. Solima, Dall'informazione alla conoscenza: indagine sulla comunicazione nei musei italiani. In: *Museo e pubblico un rapporto educativo* a cura di E. Nardi, Franco Angeli, Milano, 2004: 113-127.
- [8] A. Nuzzaci, Esposizioni temporanee e collezioni permanenti. Un'analisi comparata dei pubblici per migliorare la qualità della proposta didattica. In: *Musei e Pubblico. Un rapporto educativo* a cura di E. Nardi, Franco Angeli, 2004: 35-66.
- [9] M.R. Ghiara, C. Petti, Didattica e minerali, ovvero duecento anni di Museo. *CADMO*, Anno IX n. 27, 2001: 115-121.
- [10] E. Nardi, Evoluzione e continuità della didattica nei musei scientifici. In: *Atti del Bicentenario del Real Museo Mineralogico* a cura di M.R. Ghiara e C. Petti, 2001: 65-73.
- [11] P. e M. Rodari, M. Xanthoudaki, *Journal of Science Communication* 4 (4): 2005.
- [12] E. Ricci, Divulgazione scientifica: dialogo tra scienza, giornalismo e persuasione. In: *La magia della scrittura*, Sperling & Kupfer: 2005.
- [13] L. Solima, La gestione imprenditoriale dei musei. CEDAM, A. Milanese, Padova: 1998.
- [14] Aa. Vv., *I Musei Scientifici dell'Università di Napoli Federico II*, a cura di A. Fratta, Fridericiana Editrice Universitaria, Napoli: 1999.
- [15] E. Nardi, I Musei universitari: un laboratorio per la didattica. In: *Atti del Convegno Decennale del Centro Musei delle Scienze Naturali 1992-2002*, a cura di M.C. del Re e di M.R. Ghiara, Napoli, 2003: 45-48.
- [16] R. Sandell, Social inclusion, the museum and the dynamics of sectoral change. In: *Museum and society*, 1 (1), 2003: 45-62.
- [17] F. Pesarini, Musei di Scienze Naturali. In: *Leggere il Museo Proposte Didattiche*, a cura di E. Nardi., SEAM editore, 2001: 163-196.
- [18] J. Bloom, I musei della scienza e della tecnica di fronte al futuro. In: *Scienza in pubblico: Musei e divulgazione del sapere*, a cura di J. Durant, CLUEB, 1998: 17-32.
- [19] F. Drugman, Imparare dalle cose. In: *Imparare dalle cose. La cultura materiale nei musei*, a cura di R. Riccini, CLUEB, 2003: 11-23.

La redazione della Carta dello Stato di Conservazione della Natura a supporto della gestione naturalistica di un Sito d'Importanza Comunitaria: il caso delle Colline delle Cerbaie e del Padule di Bientina

Stefano Bacci*¹, Andrea Bernardini¹, Raffaello Corsi², Francesca Malfanti²,
Massimiliano Petrolo¹

Parole chiave: fitocenosi, vegetazione potenziale, piano di gestione, emergenze naturalistiche, sfagneta, sito d'importanza comunitaria

Il presente studio deriva da una più ampia progettualità promossa e condotta in seno al Polo Ambientale «Colline delle Cerbaie/Padule di Bientina», istituzione pubblica che riunisce la Provincia di Pisa e le Amministrazioni Comunali insistenti sui territori del SIC e dei SIR «Cerbaie» (SIR63), «Montefalcone» (SIR64), «ex-alveo del Lago di Bientina» (SIRB03), comprendendo anche l'ANPIL «Bosco Tanali» di Bientina.

La ricerca è stata effettuata usufruendo delle professionalità tecnico-scientifiche dell'Ecoistituto delle Cerbaie e di Legambiente Valdera.

Lo studio, svoltosi nel periodo marzo-dicembre 2007, ha avuto lo scopo di aggiornare puntualmente lo stato delle conoscenze ecologico-floristico-vegetazionali del territorio dei SIR interessati, intendendo pervenire all'elaborazione di uno strumento utile da un lato alla conoscenza degli ecosistemi/ambienti/specie presenti e dall'altro alla gestione sostenibile degli stessi in un'ottica di conservazione della diversità bioecologica.

Lo strumento è rappresentato dalla Carta dello Stato di Conservazione della Natura con la relazione allegata.

Introduzione

Le Colline delle Cerbaie e il Padule di Bientina rappresentano un territorio ricco ancora di ambienti di pregio e di ecosistemi rari con associazioni e specie vegetali che ne fanno uno dei luoghi a più alta biodiversità della Regione Toscana.

Le Cerbaie sono costituite da un pianalto (altitudine massima 115 metri s.l.m), situato fra la valle dell'Arno a sud ed i Paduli di Bientina e Fucecchio rispettivamente a ovest e est, che risulta costituito prevalentemente da sabbie fini fluvio-lacustri del Pleistocene, ghiaie e conglomerati alloctoni del M. Pisano e delle Alpi Apuane, con affioramento di sabbie gialle Plioceniche di facies marina nel versante meridionale. I brevi corsi d'acqua che percorrono il pianalto hanno

solcato abbastanza profondamente il substrato di sabbie e conglomerati, originando stretti «vallini» in cui si registrano condizioni microclimatiche che hanno consentito una variegata presenza floristica e la sopravvivenza di fitocenosi relittuali di clima freddo anche a quote altimetriche molto basse.

Il Padule di Bientina è un'importante area umida residuo di un più ampio lago (l'ex-Lago di Sesto) e racchiusa fra le Cerbaie a est e il Monte Pisano a ovest e delimitata a sud dalla piana dell'Arno e a nord da quella di Lucca. In molte stazioni del Padule resistono ambienti ad elevata complessità costituiti da cenosi vegetali di pregio ormai scomparse nei dintorni.

L'area delle Colline delle Cerbaie è attualmente designata come Sito d'Importanza Comunitaria ai sensi della Direttiva CEE 43/92 «Habitat». Il Padule di

Bientina è Sito d'Importanza Regionale ai sensi della LR 56/2000.

Le conoscenze sulle tipologie e lo stato di conservazione degli ecosistemi presenti in questa parte di Toscana derivano da studi e ricerche condotti in maniera sistematica negli ultimi cinquant'anni da studiosi che, progressivamente, hanno ampliato il quadro dei dati acquisiti, nonostante, e la presente ricerca lo ha dimostrato con una quantità rilevante di scoperte inedite, molte porzioni di questo territorio risultano ancora poco note o addirittura inesplorate.

È stato infatti solo nella seconda metà del '900 che Di Moisé ha eseguito quella che ancora oggi è l'indagine floristica di maggior dettaglio riferita al comprensorio in oggetto anche se questo autore inserisce nell'area di studio anche territori che non possono essere compresi in quel complesso collinare indicato con il nome di Cerbaie come il laghetto di Sibolla. Più recentemente Arrigoni, in un ampio studio di carattere vegetazionale, arricchisce ulteriormente i dati floristici di questo territorio. Attualmente la flora nota per il comprensorio ammonta a circa 800 entità; di queste alcune specie reperite in passato non sono state ritrovate recentemente, mentre altre precedentemente non segnalate – sono state rinvenute solo in questi ultimi anni.

Dati sperimentali

Le ricerche sono state condotte con osservazioni dirette sul campo e la metodologia utilizzata ha teso a operare con la seguente griglia criteriale:

- determinazione della cenosi (formazione) vegetale – COSA È;
- determinazione del valore ambientale e dello stato di conservazione della cenosi – QUANTO VALE/COME È;
- determinazione delle indicazioni di gestione della cenosi – COSA FARE.

Il *valore ambientale* di un ecotopo è dato dalla presenza di ecosistemi e/o specie protette e/o d'interesse regionale e/o di valore biogeografico ai sensi della LR 56/00.

Lo *stato di conservazione* di un ecotopo è dato dal suo livello di integrità strutturale e funzionale.

L'ecotopo può essere definito come un'unità di paesaggio:

- con simili e omogenee caratteristiche territoriali fisiche (condizioni topografico-edafiche e ambientali – temperatura, umidità, luce...);

- con simili caratteristiche biologiche relative:
 - a) a popolazioni di organismi anche differenti ma aventi simili esigenze ecologico-ambientali;
 - b) alla struttura fisica e al grado di vitalità di tali popolazioni;
 - c) alla presenza di particolari specie vegetali;
- con un'*identità ecologica* che può dipendere, oltre che dai suddetti fattori biologico-fisici, anche dal rilevato rapporto valore ambientale/stato di conservazione.

La natura *fitocenotica* dei vari ecotopi, corrispondente al peculiare complesso di popolazioni vegetali presenti in una stazione con specifici caratteri fisici, è stato quindi il criterio iniziale con cui si sono lette le unità di paesaggio con la conseguente suddivisione del territorio in fitocenosi/formazioni vegetali.

Il passo successivo ha implicato l'utilizzo della *lente naturalistica* con i fattori legati all'importanza/integrità delle risorse presenti, arrivando a determinare l'attribuzione successiva degli ecotopi alle varie classi grazie alla valutazione qualitativa del rapporto valore ambientale/stato di conservazione.

Tale combinazione di fattori ha prodotto una classificazione di aree che risponde, a una visione immediata, più a criteri di valore/stato (che divengono centrali nella definizione del quadro analitico) che a determinanti ecologiche che comunque rimangono, per molti aspetti, condizionanti la natura qualitativa degli ecotopi.

Risultati

1. La classificazione delle aree e la Carta dello Stato di Conservazione della Natura

I dati acquisiti tramite la ricerca sul campo sono stati tradotti su GIS in scala 1:10.000, pervenendo all'elaborazione della *Carta dello Stato di Conservazione*

gli autori

¹ Ecoistituto delle Cerbaie,
Corso Garibaldi, 4 - 56024 San Miniato (PI)
info@ecocerbaie.it

² Legambiente Valdera,
Via Fiumalbi, 9 - 56025 Pontedera (PI)
legambientevaldera@yahoo.com

* autore per corrispondenza

della Natura dei territori SIC e SIR delle Cerbaie e del Bientina che è stata realizzata suddividendo il territorio in esame in cinque classi areali corrispondenti a stati progressivi di valore ambientale/stato di conservazione. Dalle aree in cui si è rilevato il più alto valore/conservazione (classe 1) a quelle in cui il livello di degrado ha raggiunto stadi difficili da renderli reversibili (classe 5).

Classe 1 - Aree di massima protezione

Aree in cui sono presenti ecotipi di massimo pregio ambientale per cui è necessaria una gestione attiva mirata alla conservazione (*querco-carpineti di fondo-valle, ontanete, tilio-carpineti*).

Classe 2 - Aree di conservazione

Aree in cui sono presenti ecotipi di pregio ambientale e/o in fase di successione progressiva per i quali è necessaria una gestione di tipo conservativo e/o tradizionale (*querzeti misti, fustaie di pino marittimo con sottobosco di latifoglie, querzeti aperti in fase progressiva, saliceti, fragmiteti, prati naturali con specie protette*).

Classe 3 - Aree potenziali

Aree in cui sono presenti ecotipi potenziali e/o degradati per i quali sono necessari interventi di monitoraggio attivo e/o di gestione finalizzati al recupero funzionale (*boschi invasi da Robinia pseudoacacia, fustaie di pino marittimo a bassa densità di latifoglie, arbusteti post-incendio, pioppete in fase di rinaturalizzazione, arbusteti a rosacee, incolti*).

Classe 4 - Aree trasformate

Aree in cui sono presenti ecotipi antropizzati (*semi-nativi, colture arboree, maneggi*)

Classe 5 - Robinieti

Aree in cui sono presenti ecotipi a dominanza assoluta di *Robinia pseudoacacia*.

La Carta dello Stato di Conservazione è risultata come da immagine seguente, essendo l'area cromaticamente considerata il confine dei diversi SIR presenti.

Si è avuta pertanto una ripartizione percentuale delle diverse aree così quantificata:

Classe 1	Aree di massima protezione	8%
Classe 2	Aree di conservazione	35%
Classe 3	Aree potenziali	30%
Classe 4	Aree trasformate	22%
Classe 5	Robinieti	5%

2. Considerazioni di gestione

Da ciò si evince l'elevata diversificazione ecologica sia dal punto di vista tipologico che conservazionistico, producendo un mosaico complesso che descrive una situazione in notevole dinamismo ambientale in cui, come tendenza generale, comprovata anche dalle analisi comparate realizzate negli ultimi anni, si riconosce il progressivo impoverimento delle cenosi/stazioni di pregio con la non sporadica perdita esiziale di specie e associazioni (figura 1). La causa più frequente, oltre agli effetti spesso non secondari di diffusi incendi e estensivi e poco accurati tagli fitosanitari (per il *Matsucoccus feytaudi*), risulta essere la gestione forestale che, quasi sempre, non tiene conto dei dinamismi spesso involutivi innescati da interventi che non

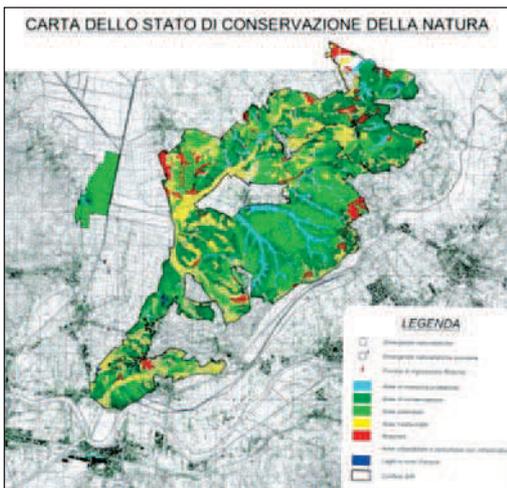


Figura 1: La *Gentiana palustre* (*Gentiana pneumonanthe* L.), specie vulnerabile secondo il Libro Rosso della Flora italiana (Conti et al., 1992 e 1997), scomparsa (o non più ritrovata) negli ultimi anni nelle Cerbaie.

considerano né la presenza di cenosi di pregio né i processi di impoverimento ambientale che si possono attivare (invasione di *Robinia*, distruzione fisica di stazioni, alterazione strutturale dell'ecosistema per dissesti, cambiamenti di illuminazione...).

La classificazione nelle diverse aree ha permesso di determinare una griglia progressiva di necessità di interventi utili per il mantenimento e l'implementazione del patrimonio ambientale ad oggi presente, pervenendo a un modello di analisi che consente, al pianificatore/gestore, di operare nei prossimi anni considerando, in via non facoltativa, il grado e il valore degli ambienti da preservare.

Ogni classe prevede quindi delle indicazioni di gestione generali che intendono indirizzare verso gli obiettivi prefissi le azioni e gli orientamenti di utilizzo dei soprassuoli. Ogni azione sul territorio dovrà quindi, nello specifico della situazione particolare, valutare l'intervento secondo i dinamismi innescabili nell'ottica della conservazione.

Le aree a massima protezione, ad esempio, sono rappresentate da cenosi forestali in cui si conserva la maggior parte delle risorse naturalistiche che hanno reso questo territorio Sito d'Importanza Comunitaria. I boschi integri dei vallini (i quercu-carpineti con farnia e rovere, le ontanete, i tilio-carpineti) hanno mantenuto una struttura e una funzionalità tale da essere ritenuti relitti bioecologici in quanto ospitanti comunità di piante che sono caratterizzate da rarità assoluta o da bizzarria biogeografica in ragione della disgiunzione netta dai loro areali di diffusione, rappresentati dalle alte latitudini o elevate altitudini.

Un tratto di foresta a farnia e carpino bianco, con sporadici tigli selvatici, noccioli e roveri esprime un lembo relitto di antica foresta planiziale diffusa nel periodo pre-neolitico nel territorio contermini e ospita popolamenti, assolutamente sorprendenti, di campanellini invernali – *Leucorum vernum* – e bucaneve – *Galanthus nivalis* – a fine inverno, fioriture inimmaginabili di arisari – *Arisarum proboscideum*, agli selvatici – *Allium ursinum* – e latree – *Lathraea clandestina* – a marzo-aprile, apparizioni di gerani nodosi – *Geranium nodosum* – a maggio-giugno mentre i tigli iniziano a effondere il profumo dei fiori intensi.

E, negli angoli più remoti, oltre ad altre stazioni, morfo-ecologicamente bizzarre, non è raro scovare un cuscinetto di sfagno accompagnato dalla fedele felce florida – *Osmunda regalis* – e dall'accessoria lonchite minore – *Blechnum spicant* -, testimoniando ulteriormente il valore assoluto di queste stazioni delicatissime.

Questi ambienti, sempre più rarefatti, necessitano di gestioni conservative in cui eventualmente progettare utilizzi compatibili con il rinnovo e l'ampliamento delle risorse ancora presenti.

3. Cenni sulla flora e sulle cenosi di pregio

La ricerca ha consentito altresì di aggiornare le conoscenze floristiche dell'area oltre che di rinvenire siti di estremo interesse naturalistico.

Sono stati infatti individuati 60 siti denominati *Emergenze Naturalistiche* di cui 21 classificati *prioritari* in ragione della loro estensione e/o complessità. Si tratta di stazioni areali o puntiformi in cui sono presenti ecosistemi e/o specie vegetali protette e/o d'interesse regionale costituenti i cosiddetti *Relitti ecologici*, siti cioè in cui sono sopravvissute piante tipiche di climi del passato e/o di ambienti oggi scomparsi e che oggi rivestono un'importanza eccelsa in ragione della loro rarità o interesse biogeografico.

Tali emergenze sono state cartografate con un simbolo poligonale bianco, apponendo un asterisco per quelle considerate prioritarie.

Di tutti e 60, si può affermare come 42 rappresentino scoperte inedite, ciò confermando una volta di più, l'assoluta rilevanza ambientale (oltre che fertilità scientifica) del territorio delle Cerbaie.

Fra le scoperte inedite più interessanti, le stazioni di *Ranunculus trichophyllus* Chaix., *Ornithogalum pyrenaicum* L., *Hepatica nobilis* Miller, specie fino ad oggi non segnalate per le Cerbaie, nuovi siti di *Hottonia palustris* L. (figura 2), *Hydrocotyle vulgaris* L., *Ophioglossum vulgatum* L., *Melampyrum pratense* L., *Utricularia minor* L., *Potamogeton polygonifolius* Pourret, *Leucorum aestivum* L., *Dictamnus albus* L., specie date in via di scomparsa oltre a presenze arboree di pregio assoluto e dal notevole valore biogeografico come saltuarie comparse di *Fagus sylvatica* L. o estese porzioni di versanti orientati verso i quadranti settentrionali a *Tilia cordata* Miller.



Figura 2: *Hottonia palustris* in emersione nel vallino omonimo sulle Cerbaie.

Meritano una menzione particolare le aree a sfagno (*Sphagnum* sp. pl.) (figura 3) costituenti, nelle stazioni meglio conservate, superfici di qualche centinaio di metri quadri e, nei siti residuali e meno complessi, cuscinetti di qualche metro quadro che compaiono in situazioni morfologiche diversificate, in ogni caso comunque sempre testimoniando pregresse estensioni ben più rilevanti e oggi alterate.



Figura 3: Sfagneta della Sammartina con *Drosera rotundifolia* corsica.

Delle 28 stazioni a sfagno censite nel territorio in esame, ben 17 risultano nuove segnalazioni, fra cui alcune di rilevante pregio naturalistico per estensione e/o complessità, con specie associate di notevole valore come *Osmunda regalis* L. (figura 4), *Potamogeton polygonifolius* Pourret, *Hydrocotyle vulgaris* L., *Nymphaea alba* L., *Blechnum spicant* L.



Figura 4: *Osmunda regalis*.

Una citazione particolare per la stazione di *Drosera rotundifolia* L. subsp. *corsica* Maire, presente in una delle sfagnete meglio conservate e, ad oggi, costituente forse l'unico sito al mondo segnalato per questa sottospecie

Fra le altre specie vegetali meritevoli di speciale tutela, in ragione della loro importanza e diffuse per lo più nelle aree di massima protezione (classe 1), si citano altresì *Leucojum vernum* L. (figura 5), *Galanthus nivalis* L., *Allium ursinum* L., *Arisarum proboscideum* (L.) savi, *Asarum europaeum* L., *Viburnum*

opulus L., *Geranium nodosum* L., *Narcissus poeticus* L., *Carex elata* L., *Cirsium palustre* (L.) Scop., *Nuphar luteum* L., *Hypericum mutilum* L., *Lathraea clandestina* L., *Veratrum album* subsp. *lobelianum* Bernh., quest'ultima presente in un'unica stazione umida in un fondovalle ombroso dal chiaro significato relittuale, a soli 25 m s.l.m. e perciò ed al limite altitudinale inferiore per il territorio italiano.



Figura 5: *Leucojum vernum*.

Conclusioni

La ricerca in oggetto ha permesso un rilevante aggiornamento dello stato di conoscenze delle risorse naturalistiche del territorio delle Cerbaie e del Bientina, anche determinando la scoperta di cenosi e specie inedite o date per scomparse a testimonianza del valore ambientale dell'area.

L'obiettivo ultimo è stato produrre uno strumento in grado di iniziare a orientare la pianificazione e la gestione delle risorse (in primo luogo forestali) in modo da invertire la tendenza dell'impoverimento progressivo della variabilità biologica e volgere verso modelli di utilizzo del soprassuolo arboreo improntati alla selvicoltura naturalistica verso un bosco multifunzionale. Il territorio, le Istituzioni, le Associazioni e gli Enti di Ricerca sono impegnati in questo non semplice processo volto a tutelare il valore ambientale di una delle aree a più elevata biodiversità della Toscana.

Ringraziamenti

Un ringraziamento particolare alle Amministrazioni Comunali presenti nel territorio dei SIR studiati oltre alla Provincia di Pisa per il sostegno e il supporto tecnico-economico-amministrativo profuso in questo anno di ricerca con l'auspicio di una sempre maggiore e proficua collaborazione volta alla tutela del patrimonio ambientale del territorio.

Bibliografia

- [1] P.V. Arrigoni (1995), Documenti per la Carta della vegetazione delle Cerbaie (Toscana settentrionale). *Parlatorea* 2: 39-71.
- [2] A. Bottini (1919), *Sfagnologia italiana*. Reale accademia dei lincei, Roma, ser. V, 13 (1): 1-88.
- [3] B. Di Moisè (1959), Ricerche sulla vegetazione dell'Etruria. XII. Flora e vegetazione delle «Cerbaie» (Valdarno inferiore). *Nuovo Giorn. Bot. Ital.*, n.s., 65: 601-745. 1958.
- [4] G. Ficini, A. Giordani, P.E. Tomei (1982), *Potamogeton polygonifolius Pourret* (indagini sulle zone umide della Toscana, XI). *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem.*, ser. B, 88: 337-341. 1981.
- [5] F. Garbari, P.E. Tomei (1982), Stato dell'ambiente e prospettive di tutela dei bacini palustri di Porta, Massaciuccoli, Bientina e Fucecchio (Toscana occidentale). *Atti tavola rotonda «La salvaguardia dei laghi e delle zone umide in Italia»*. A.G.E.I. Roma: 265-276.
- [6] D. Lamberti, M. Raffaelli, G. Fiorini (1993), Il lago di Sibolla in Toscana. Stato attuale del biotopo e indagine sulla sfagneta. *Inf. Bot. Ital.*, 25: 177-188.
- [7] R. Pichi Sermolli (1936), Gli *Eriophorum* del laghetto di Sibolla. *Nuovo Giorn. Bot. Ital.*, n.s., 45: 1-36.
- [8] P.E. Tomei (1976), Il bacino di Bientina ambiente umido da salvare. *Riv. Arch. St. Econ. Cost. Lucca* 4 (2): 27-32.
- [9] P.E. Tomei (1983), Le zone umide della Toscana: stato attuale delle conoscenze geobotaniche e prospettive di salvaguardia. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem.*, ser. B, 89: 345-361. 1982.
- [10] P.E. Tomei (1985), La flora e la vegetazione del laghetto di Sibolla. Studi ed interv. sperim. per la conserv. del laghetto di Sibolla. *Min. Agric. For. Pisa*: 149-177.
- [11] P.E. Tomei (1987), Il padule di Bientina e la sua flora. Il padule di Bientina, aspetti naturalistici ed agronomici. *Pisa*: 57-66.
- [12] P.E. Tomei, M. Cenni (1986), Il Bosco di Chiusi e la Paduletta di Ramone. *Quad. Mus. Stor. Nat. Livorno* 7: 55-79.
- [13] P.E. Tomei, F. Garbari (1978), Il padule di Bientina, le Cerbaie e il lago di Sibolla. *Nat. Mont.* 25 (4): 27-33.
- [14] P.E. Tomei, F. Garbari (1979a), Indagini sulle zone umide della Toscana. I. Il padule di Fucecchio. *Lav. Soc. Ital. Biogeogr.*, n.s., 6: 123-144. 1976.
- [15] P.E. Tomei, F. Garbari (1979b), Sfagnete di S. Lorenzo a Vaccoli. In: «Gruppo di lavoro per la conservazione della Natura della Società Botanica Italiana. Censimento dei biotopi di rilevante interesse vegetazionale meritevoli di conservazione in Italia». Vol. 2, Scheda 9-42, Camerino.
- [16] P.E. Tomei, F. Garbari (1981), Il significato biogeografico delle entità vegetali relitte negli ecosistemi palustri. «Problemi scientifici e tecnici della conservazione del patrimonio vegetale». *C.N.R.*, AC/1/96-110: 59-62.
- [17] P.E. Tomei, A. Giordani (1978), Il genere *Drosera* in Toscana. *Giorn. Bot. Ital.* 112: 324.
- [18] P.E. Tomei, G. Longombardo, A. Lippi (1991), Specie vegetali igrofile delle zone dulciacquicole della Toscana pianiziale: aspetti floristici e bioecologici. *Pacini editore, Pisa*, 82 pp.
- [19] P.E. Tomei, G. Pistolesi (1980), Indagine sulle zone umide della Toscana. III. Aspetti floristici e vegetazionali del padule di Bientina. *Nota preliminare. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem.*, ser. B, 86: 377-406. 1979.

Le torbiere a sfagno della Lucchesia

Luca Zocco Pisana*¹, Roberto Narducci², Paolo Emilio Tomei³

Parole chiave: torbiere, sfagno, Lucca, conservazione ex-situ

La Toscana settentrionale è ricca di zone umide, fra queste si sono rivelate di particolare pregio naturalistico le torbiere acide a sfagno. Si tratta di microecosistemi relitti legati a quelle vicende paleoclimatiche che caratterizzarono l'Europa durante il glacialismo quaternario. Nel territorio lucchese, e precisamente sul Monte Pisano, si ritrovano due di questi singolari biotopi, la «Tavola» e la «Piaggina». In essi, oltre a Briofite del genere Sphagnum, crescono diverse Fanerogame rare o minacciate di scomparsa, fra queste: Drosera rotundifolia L., Rhynchospora alba (L.) Vahl, Utricularia minor L.; sono presenti anche alcuni macromiceti caratteristici.

Questi biotopi oggi vivono in condizioni abbastanza precarie, principalmente per motivazioni legate alla disponibilità idrica; in relazione a ciò nell'Orto Botanico di Lucca è stata realizzata una piccola torbiera dove vengono conservate ex situ le specie ricordate.

Introduzione

La Toscana settentrionale, a ragione delle sue caratteristiche geopedologiche, è caratterizzata da numerose zone umide, di notevole interesse naturalistico.

Nell'ambito di queste aree si trovano biotopi di particolare pregio naturalistico: le torbiere acide a sfagno. Si tratta di microecosistemi relitti legati a quelle vicende paleoclimatiche che caratterizzarono l'Europa durante il glacialismo quaternario.

Dati sperimentali

Nel territorio comunale lucchese, e precisamente sul Monte Pisano, a Sud-Est della valle del Guappero, presso il paese di San Lorenzo a Vaccoli, si ritrovano due di questi singolari biotopi, la «Tavola» e la «Piaggina» [11,14].

Le torbiere di San Lorenzo a Vaccoli sono torbiere «geogene» formatesi in condizioni minerotrofiche. Si tratta in particolare di torbiere «soligene di sorgente» alimentate da acque che si accumulano in depressioni o che possono essere più o meno fluenti sul terreno formando talvolta pozze; rientrano nell'ambito delle torbiere basse acide.

La più piccola, di circa 400 mq, è situata ad una quota approssimativa di m 50 s.l.m. in località «Piaggina», la maggiore invece – posta ad un'altezza di m 90 s.l.m – occupa una area umida di circa 2000 mq ed è compresa in una vegetazione di tipo mesofilo, caratterizzata dalla presenza di *Calluna vulgaris* (L.) Hull, *Erica scoparia* L., *Ulex europaeus* L., *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Cornus sanguinea* L., *Danthonia decumbens* (L.) DC., *Blechnum spicant* (L.) Roth, *Anemone nemorosa* L., ecc., oltre che di *Pinus pinaster* Aiton di introduzione antropica [2].

Queste due torbiere poggiano su un substrato geologico [9] rappresentato da «Scisti di S. Lorenzo» e so-

no alimentate dalle acque meteoriche e di sorgente. Esse sono caratterizzate da cumuli di sfagni, con *Sphagnum palustre* L. e *S. subnitens* Russow et Warnst. e da pozze di acqua. Sopra i cuscini di *Sphagnum*, crescono diverse Fanerogame rare o minacciate di scomparsa, fra queste: *Drosera rotundifolia* L., *D. intermedia* Hayne, *Rhyncospora alba* (L.) Vahl e *Gentiana pneumonanthe* L. Sono presenti anche alcuni macromiceti caratteristici fra cui di particolare interesse: *Cortinarius huronensis* Ammirati & A.H. Sm., *Galerina sphagnorum* (Pers.) Kühner, *Hypholoma elongatum* (Pers.: Fr.) Ricken [7,8,15].

Nei piccoli depositi di acqua si ritrovano *Potamogeton polygonifolius* Pourret e *Utricularia minor* L., specie anch'esse oggi molto rare.

La flora

Magnoliophyta

Alnus glutinosa (L.) Gaertner

Callitriche stagnalis Scop.

Carex distans L.

Carex pairae F.W. Schultz

Drosera intermedia Hayne

Drosera rotundifolia L.

Eleocharis acicularis (L.) R. et S.

Frangula alnus Miller

Gentiana pneumonanthe L.

Hypericum mutilum L.

Juncus acutiflorus Ehrh.

Juncus effusus L.

Juncus subnodulosus Schrank

Molinia arundinacea Schrank

Phragmites australis (Cav.) Trin.

Potamogeton polygonifolius Pourret

Potentilla erecta (L.) Rauschel

Rhynchospora alba (L.) Vahl

Schoenus nigricans L.

Serratula tinctoria L.

Succisa pratensis Moench

Utricularia minor L.

Pteridophyta

Blechnum spicant (L.) Roth

Osmunda regalis L.

Bryophyta

Sphagnum palustre L.

Sphagnum subnitens Russow et Warnst.

Mycophyta

Alnicola escharioides (Fr.: Fr.) Romagnesi

Cortinarius huronensis Ammirati & A.H. Sm.

Entoloma elodes (Fr.: Fr.) P. Kumm.

Entoloma rhodopolium (Fr.: Fr.) Kummer

Galerina paludosa (Fr.) Kühner

Galerina sphagnorum (Pers.) Kühner

Hygrocybe cantharellus (Schwein.: Fr.) Murrill

Hypholoma elongatum (Pers.: Fr.) Ricken

Laccaria tortilis (Bolton) Cooke

Leccinum rufum Schaeff. & Kreisel

Mycena epipterygia (Scop.: Fr.) Gillet

Mycena galopus (Pers.: Fr.) Kummer

Rickenella fibula (Bull.: Fr.) Raith.

Trichoglossum hirsutum (Pers.: Fr.) Boud.

Risultati

Specie di particolare interesse

Magnoliophyta

Rhynchospora alba (L.) Vahl

Si tratta di specie circumboreale in Italia molto rara; in Toscana ora è presente solo a Sibolla, sul Monte Pisano e a Massaciuccoli, dove assume significato di relitto microtermo glaciale. È specie elusiva e da noi può essere individuata, a fatica, solo quando è fiorita.

Gentiana pneumonanthe L.

Specie eurosiberiana, un tempo frequente nell'Italia settentrionale, ora è divenuta rara quasi ovunque; in Toscana è stata ritrovata recentemente sul Monte Pisano – alla Piaggina – e alle Cerbaie. Nel XIX secolo

gli autori

¹ Orto Botanico di Lucca,

Via del Giardino Botanico 14

55100 Lucca

lzoccopisana@comune.lucca.it

² Orto Botanico di Lucca,

Via del Giardino Botanico 14

55100 Lucca

roberto1956@supereva.it

³ Dipartimento di Agronomia

e Gestione dell'Agroecosistema

dell'Università di Pisa,

Via San Michele degli Scalzi 2 - 56124 Pisa

petomei@agr.unipi.it

* autore per corrispondenza

era stata indicata anche per le colline di Montecarlo, ma non è stata più ritrovata [13]. In verità nelle stazioni da noi esaminate, la specie non vegeta propriamente sul substrato torboso della sfagneta – come sostengono alcuni – ma nelle immediate vicinanze e precisamente nei molinieti che sempre si insediano ai margini di questi biotopi. Specie elusiva, come la precedente, è visibile nel mese di settembre perché in piena antesi.

***Drosera intermedia* Hayne e *Drosera rotundifolia* L.**
Entrambi specie microterme tipiche delle torbiere acide, hanno rispettivamente distribuzione subatlantica e circumboreale. Sono definite rare per l'Italia continentale e in quella peninsulare compaiono solo in Toscana [3,11], dove sono segnalate a Sibolla, sulle Cerbaie, sul Monte Pisano – alla Piaggina, alla Tavola e sopra Buti – e, limitatamente a *D. rotundifolia*, nelle paludi di Massaciuccoli.

***Utricularia minor* L.**

Specie centroeuropea indicata per le Alpi e per l'Appennino [3], in Toscana oggi è nota per un'unica stazione sul Monte Pisano, quella della «Tavola». La presenza di questa Lentibulariaceae al lago Marruchetone, presso Capalbio, non è stata recentemente confermata [6].

***Potamogeton polygonifolius* Pourret**

La specie è distribuita nell'Europa atlantica ma è anche presente, con diverse disgiunzioni, nei settori orientali del continente e in Nord Africa. In Italia è da considerarsi rara [3,4,5,11] ed in Toscana è sempre legata alle torbiere a *Sphagnum*.

Mycophyta

***Cortinarius huronensis* Ammirati & A.H. Sm.**

Conosciuto anche come *Cortinarius palustris* (Moser) Nezd., appartiene alla sezione *Dermocybe* del genere *Cortinarius* e si caratterizza, rispetto alle specie simili, per il cappello bruno verdastro, gambo concolore provvisto di ornamentazioni rossastre. Specie molto rara, particolarmente frequente alla Piaggina.

***Galerina sphagnum* (Pers.) Kühner**

Simile a *Galerina paludosa* (Fr.) Kühner, si riconosce da questa per il gambo non decorato, l'odore e il sapore di farina.

La specie era sinora segnalata in Toscana per l'Appennino pistoiese nella sfagneta delle Lamacce – Riserva

naturale di Campolino – e al Lago delle Bruciate – alta Valle del Sestaione [1]. Si tratta di una nuova segnalazione per la Toscana.

***Hypholoma elongatum* (Pers.: Fr.) Ricken**

Presenta un cappello piccolo (fino a 2 cm) il quale contrasta nettamente con il gambo (in parte inserito nel substrato) che può raggiungere e superare i 10 cm.

Tipico delle torbiere a *Sphagnum* di tutta Europa, è particolarmente comune in alcune regioni centrali e settentrionali del continente (Polonia), mentre risulta raro in Italia. Si tratta, come nel caso precedente, di una nuova segnalazione per la Toscana.

Conclusioni

Questi biotopi oggi vivono in condizioni abbastanza precarie, principalmente per motivazioni legate alla disponibilità idrica; in relazione a ciò nell'Orto Botanico di Lucca è stata realizzata una piccola torbiera dove vengono conservate ex situ le specie ricordate [12].

Bibliografia

- [1] D. Antonini, M. Antonini, Libro rosso dei Macromiceti della Toscana. Dal censimento alla Red list. Regione Toscana - A.R.S.I.A. - A.G.M.T., Tipolito Duemila srl, Campi Bisenzio (FI): 2006.
- [2] A. Bertacchi, A. Sani, P.E. Tomei, La vegetazione del Monte Pisano. Provincia di Pisa, Pacini Editore, Pisa: 2004.
- [3] F. Conti, G. Abbate, A. Alessandrini, C. Blasi, An annotated checklist of the Italian vascular flora. Palombi Editore, Roma: 2005.
- [4] G. Ficini, A. Giordani, P.E. Tomei, Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., ser. B 1981, 88: 337-341.
- [5] G. Ficini, A. Giordani, P.E. Tomei, Inform. Bot. Ital. 1981, 13 (2-3): 172-175.
- [6] E. Guazzi, P.E. Tomei, Atti Mus. civ. Stor. nat. Grosseto 1995, 15: 23-53.
- [7] R. Narducci, Macromiceti del bacino del lago di Massaciuccoli. Contributo alla conoscenza micologica. Parliamo di funghi, L'Ancora, Viareggio 2002: 16-20.
- [8] R. Narducci, P. Petrucci, Macromiceti reperiti in provincia di Lucca negli anni 1985-1994 con le indicazioni dei luoghi e degli ambienti di raccolta. In: Contributo alla conoscenza dei macromiceti

che crescono nella provincia di Lucca. Comunità Montana della Garfagnana, Orto Botanico «Pania di Corfino». Tipografia Editrice Pisana, Pisa: 1995.

[9] A. Rau, M. Tongiorgi, Mem. Soc. Geol. It. 1974, 13 (3): 227-408.

[10] P.E. Tomei, *Drosera rotundifolia* L. In: «Flora da proteggere. Indagini su alcune specie vegetali minacciate o rare in Italia», Errepiesse, Pavia: 1984a.

[11] P.E. Tomei, *Potamogeton polygonifolius* Pourret, In: «Flora da proteggere. Indagini su alcune specie vegetali minacciate o rare in Italia», Errepiesse, Pavia: 1984b.

[12] P.E. Tomei, Riv. Mus. civ. Sc. Nat. «E. Caffi», Bergamo 1996, 18: 65-68.

[13] P.E. Tomei, La flora: appunti e considerazioni, In: Le Cerbaie, la natura e la storia, Pacini Editore, Pisa: 2004.

[14] P.E. Tomei, L. Mariotti, Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., ser. B 1978, 85: 262-267.

[15] P.E. Tomei, R. Narducci, A. Lippi, Prodro-mo alla flora macromicetica della provincia di Lucca. Provincia di Lucca: 1997.

[16] P.E. Tomei, F. Rapetti, G. Ficini, Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., ser. B 1984, 91: 221-232.

Dall'ambiente un aiuto per l'ambiente: l'impiego di biofitofarmaci per un'agricoltura sostenibile

Giovanni Vannacci*¹, Sabrina Sarrocco²

Parole chiave: biofitofarmaco, lotta integrata, eco-compatibile

Con il termine «biofitofarmaco» si indica un fitofarmaco il cui principio attivo è costituito da uno o più microrganismi antagonisti vitali impiegabili nella difesa contro patogeni, erbe infestanti, insetti nocivi e nematodi parassiti. In alcuni casi, questi prodotti possono esercitare anche un'azione fitostimolatrice.

I meccanismi d'azione con cui gli antagonisti agiscono direttamente nei confronti dell'organismo nocivo includono l'antibiosi e la produzione di enzimi litici, il micoparassitismo e la competizione per i siti d'infezione e per i nutrienti. Alcuni antagonisti sono in grado di esercitare anche un'azione indiretta, attraverso l'induzione di resistenza nella pianta ospite nei confronti dei patogeni.

I biofitofarmaci possono essere utilizzati su numerose specie vegetali e trovano possibilità di impiego nella lotta ai patogeni tellurici, dei semi, delle parti aeree e del post-raccolta. In questo campo di applicazione, l'impiego dei lieviti sta, negli ultimi anni, riscuotendo largo consenso da parte dell'opinione pubblica poiché si tratta di microrganismi da sempre utilizzati in numerosi e comuni processi alimentari.

Il mondo della ricerca e numerose aziende, in Italia e all'estero, sono da anni attivamente coinvolti in ciascuno dei passaggi chiave che portano allo sviluppo e alla registrazione di un biofitofarmaco, a partire dalla selezione dei potenziali antagonisti fino a giungere alla messa a punto dei metodi per la produzione di biomassa su vasta scala e alla formulazione del prodotto da commercializzare. Attualmente, in Italia, sono registrati e distribuiti alcuni biofitofarmaci il cui principio attivo è costituito da funghi o batteri impiegabili nella difesa di piante di interesse agrario. Sebbene questi prodotti non rappresentino la panacea per risolvere tutti i problemi legati alla difesa delle colture, ci troviamo di fronte ad un valido strumento che consente di ridurre l'impiego di fitofarmaci a base di composti di sintesi in strategie di lotta integrata e che fanno della sicurezza il loro punto di forza.

Con il termine «biofitofarmaco» si indica un fitofarmaco il cui principio attivo è costituito da uno o più microrganismi antagonisti vitali impiegabili nella difesa contro patogeni, erbe infestanti, insetti nocivi e nematodi parassiti. In alcuni casi, questi prodotti possono esercitare anche un'azione fitostimolatrice favorendo la crescita e lo sviluppo delle piante ospiti.

I biofitofarmaci trovano impiego principalmente in

agricoltura biologica, i cui fondamenti prevedono il non utilizzo di composti chimici di sintesi nella lotta ai patogeni vegetali. Questo principio rientra nella più ampia, e ormai classica, definizione di lotta biologica che Cook e Baker nel 1983 descrissero come «Riduzione degli effetti indesiderabili di un organismo attraverso l'azione di un altro organismo che non sia l'ospite o l'uomo».

In generale, i biofitofarmaci sono costituiti da un

principio attivo e da co-formulanti. Il principio attivo deve essere in grado di svilupparsi nell'ambiente in cui viene immesso, deve essere efficace nei confronti del patogeno bersaglio e non deve creare problemi all'uomo e all'ambiente, mentre i co-formulanti devono garantire una shelf life (intervallo di tempo entro il quale è garantita la sopravvivenza di almeno il 50% del principio attivo contenuto nel prodotto) adeguata, devono favorire lo sviluppo e l'attività dell'antagonista e devono risolvere i problemi tecnologici connessi con l'applicazione. Un buon biofitofarmaco deve essere efficace, economico e affidabile: i risultati ottenuti devono essere ripetibili e riproducibili.

L'impiego di biofitofarmaci mostra numerosi vantaggi ma, al contempo, alcuni svantaggi. Tra gli aspetti positivi derivanti dall'impiego di questi fitofarmaci, la sicurezza per le persone (durante il trasporto, l'utilizzo del prodotto e per i residui che permangono sui prodotti vegetali) e per l'ambiente (grazie soprattutto al limitato spettro d'azione e ai trascurabili effetti collaterali nei confronti degli ecosistemi) sono i principali punti di forza. Ma si deve anche considerare che se uno dei principali limiti dell'impiego di fitofarmaci a base di composti di sintesi risiede nell'elevata probabilità di insorgenza di ceppi patogeni resistenti, questo problema, al contrario, difficilmente insorge nei confronti dei microrganismi utilizzati come biofitofarmaci. Un altro vantaggio nell'utilizzo di questi prodotti risiede nella possibilità di avvalersi delle conoscenze biotecnologiche, attualmente sempre più all'avanguardia, al fine di migliorare le performance dei microrganismi antagonisti utilizzati come principio attivo oppure per facilitare la produzione e la conservazione del prodotto. I microrganismi antagonisti possono essere sottoposti a miglioramento genetico attraverso mutagenesi (per mezzo di induzione di mutazioni o selezione di mutanti naturali) e ricombinazione per via sessuata o asessuata (anastomosi e fusione di protoplasti) o attraverso trasformazione. Nei primi due casi si ottengono organismi migliorati ma non geneticamente modificati.

In realtà i biofitofarmaci non rappresentano la soluzione di ogni problema per la lotta ai patogeni vegetali; accanto ai non pochi vantaggi fin qui elencati, è doveroso analizzare criticamente anche gli svantaggi che l'utilizzo di questi prodotti implica. In un confronto diretto tra biofitofarmaci e farmaci di sintesi, i primi appaiono più lenti nel produrre gli effetti desiderati con, inoltre, un'efficacia biologica inferiore. Questo è dovuto al fatto che, trattandosi comunque di organismi viventi, richiedono un certo tempo per mani-

festare la loro attività e, quindi, sono poco efficaci in presenza di una elevata pressione del patogeno bersaglio e risultano essere molto sensibili alle condizioni ambientali. Un altro aspetto importante dal punto di vista economico, che non sempre gioca a favore dell'impiego dei biofitofarmaci in alternativa a fitofarmaci di sintesi, è rappresentato dal ridotto spettro d'azione. Questo fattore, seppure interessante da un punto di vista ambientale in quanto riduce l'impatto delle applicazioni, riduce anche il mercato potenziale del prodotto, rendendolo meno remunerativo.

Infine, particolare attenzione deve essere rivolta ad una corretta conservazione dei biofitofarmaci al fine di garantire la vitalità del principio attivo e preservarne l'azione antagonista. Temperatura e umidità rappresentano parametri ambientali critici che influenzano sensibilmente la *shelf life* del prodotto.

Allo sviluppo di un biofitofarmaco concorrono quattro fasi principali: l'isolamento, la selezione, la produzione di biomassa e la formulazione, cui seguono il confezionamento e la distribuzione. Ciascuno di questi passaggi risulta essere critico. In generale, la scelta dell'antagonista dovrebbe essere condotta tra quei microrganismi che meglio si adattano all'ambiente in cui il patogeno trova le condizioni ideali per accrescersi e svilupparsi e che si riproducono mediante strutture particolarmente interessanti per la produzione di biomassa (conidi, clamidospore, spore batteriche...) e pronte a riprendere l'attività vegetativa non appena le condizioni ambientali lo consentono.

I biofitofarmaci possono essere utilizzati non solo in strategie di agricoltura biologica ma anche, e meglio ancora quando compatibili con i principi attivi di origine chimica, in una gestione integrata delle malattie vegetali, permettendo, comunque, di ridurre l'impie-

gli autori

Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose «G. Scaramuzzi»,
Sezione Patologia Vegetale,
Facoltà di Agraria, Università di Pisa,
Via del Borghetto, 80 - 56124 Pisa
Tel. 050571556

¹ g.vannacci@agr.unipi.it

² sarrocco@agr.unipi.it

* autore per corrispondenza

go di composti chimici. Dal punto di vista applicativo l'utilizzo di questi prodotti mostra, attualmente, difficoltà maggiori rispetto all'impiego di fitofarmaci classici, soprattutto se si considera che la maggior parte degli operatori è ancora poco preparata a gestire prodotti di questo tipo. Alla luce degli aspetti positivi e negativi fin qui elencati appare evidente che, a volte, il rapporto tra costi e benefici derivanti dall'utilizzo di biofitofarmaci non è sempre favorevole.

Per conoscere meglio come un biofitofarmaco lavora, è interessante descrivere quelli che sono i meccanismi d'azione con cui gli antagonisti agiscono nella lotta ai patogeni. Questi meccanismi si dividono in diretti o indiretti, a seconda che il loro effetto sia rivolto direttamente o meno al patogeno bersaglio. Tra i meccanismi diretti ricordiamo l'antibiosi e la produzione di enzimi litici, il micoparassitismo e la competizione per i siti d'infezione e per i nutrienti. Tra quelli indiretti, l'induzione di resistenza nella pianta ospite nei confronti dei patogeni è sicuramente il meccanismo più affascinante e meno conosciuto in quanto studiato solo recentemente.

L'antibiosi prevede la liberazione, da parte dell'antagonista, di composti che risultano essere nocivi per un altro organismo, in questo caso il patogeno. L'antibiosi è dimostrata in un gran numero di microrganismi; tra i batteri le pseudomonadi e tra i funghi alcuni isolati appartenenti al genere *Gliocladium* e *Trichoderma* ne rappresentano gli esempi più noti.

Con il termine lisi enzimatica si intende un fenomeno di distruzione, disintegrazione, dissoluzione o decomposizione di materiale biologico. La produzione di enzimi litici rappresenta un meccanismo che consente ad alcuni antagonisti di produrre e rilasciare enzimi in grado di degradare e distruggere strutture vitali del patogeno bersaglio, come ad esempio la parete fungina. Entrambi i meccanismi appena descritti, sebbene basati su il rilascio di composti chimicamente differenti, sono trattati congiuntamente poiché si tratta di meccanismi che agiscono a distanza, in cui non è previsto il contatto tra patogeno e antagonista. La diffusibilità delle sostanze prodotte dall'antagonista rappresenta il vantaggio maggiore di questo meccanismo d'azione. Tuttavia, l'impiego di biofitofarmaci contenenti microrganismi in grado di produrre composti antibiotici potrebbe portare ad una sfavorevole e indesiderata insorgenza di resistenza da parte del patogeno bersaglio e/o risultare tossico per altri organismi diversi da quello da combattere.

Il micoparassitismo è sicuramente il più affascinante

dei meccanismi d'azione diretti adottati da un fungo antagonista nei confronti di funghi patogeni. Con il termine micoparassitismo si intende il parassitismo di un fungo nei confronti di un altro. A differenza dei due meccanismi precedentemente descritti, in questo caso il contatto fisico tra i due organismi è fondamentale. Il micoparassitismo si può realizzare attraverso tre fasi; la crescita direzionale dell'antagonista verso il patogeno, l'adesione dell'antagonista sulle ife del patogeno, che può avvenire attraverso la formazione di coilings (avvolgimenti ifali) o mediante strutture simili ad appressori, e, infine, il rilascio di enzimi litici da parte dell'antagonista che distruggono la parete del fungo patogeno causandone la morte per svuotamento del citoplasma e/o la penetrazione da parte delle ife dell'antagonista. Il micoparassitismo risulta essere un meccanismo molto utile per combattere quei patogeni che sopravvivono attraverso strutture di quiescenza, come, ad esempio, gli sclerozi. Esistono molti lavori che riportano l'attività micoparassitaria di funghi antagonisti nei confronti di funghi fitopatogeni formanti sclerozi, quali *Sclerotinia sclerotiorum* o *Sclerotium rolfsii*. Questi patogeni polifagi danno luogo a malattie definite ad interesse semplice, in cui l'intensità dei danni alla pianta ospite risulta essere direttamente correlata con l'inoculo iniziale del patogeno, quantificabile con il numero di sclerozi presenti. Utilizzare un antagonista in grado di micoparassitizzare e, quindi, distruggere gli sclerozi, rappresenta una valida strategia per ridurre l'inoculo iniziale del patogeno. Il micoparassitismo può essere anche altamente specifico, come nel caso del fungo biotrofo *Sporidesmium sclerotivorum*. Se da una parte l'utilizzo di un fungo biotrofo specifico rappresenta un vantaggio per l'efficacia del biofitofarmaco e per il suo limitato impatto ambientale, dall'altro questo comporta anche svantaggi in quanto riduce il mercato potenziale e crea difficoltà nell'allevamento, per la produzione di biomassa, del microrganismo antagonista.

Un altro meccanismo d'azione interessante dal punto di vista ecologico è la competizione, che può essere per specifici nutrienti (quando questi sono disponibili in quantità limitanti), o per i siti d'infezione. Uno dei principali composti per i quali si verifica una forte competizione è rappresentato dal ferro che molto spesso risulta essere poco disponibile nel terreno. Molti microrganismi antagonisti riescono a vincere la competizione per questo elemento grazie al rilascio di molecole a basso peso, con elevata affinità per il ferro, chiamate siderofori, sottraendo, di fatto, il poco ferro alla disponibilità dei patogeni e limitando-

ne, così, la crescita.

La competizione per i siti d'infezione permette, invece, una difesa mirata e si presta molto bene alla lotta ai patogeni che hanno specifici siti d'attacco. Già nel 1978 fu dimostrato che si poteva impiegare il batterio antagonista *Agrobacterium radiobacter* K84 per la lotta al batterio fitopatogeno *Agrobacterium tumefaciens*, agente causale della galla del colletto di numerose specie vegetali. Sempre avvalendosi dello stesso meccanismo d'azione, altrettanto efficaci si sono dimostrati alcuni isolati di *Fusarium oxysporum* saprofiti nella lotta a diverse *formae speciales* di *F. oxysporum*, agenti causali di tracheofusariosi. In ambedue i casi gli organismi antagonisti occupano le ferite attraverso le quali il patogeno guadagna l'accesso alla pianta, impedendo l'infezione.

In aggiunta a questi meccanismi che agiscono direttamente nei confronti dei patogeni, è opportuno parlare anche dell'induzione di resistenza, meccanismo d'azione indiretto. In questo caso l'applicazione di un antagonista può indurre nella pianta ospite reazioni di difesa simili a quelle attivate in piante resistenti. Queste risultano, spesso, non specifiche e, quindi, ad ampio spettro e con minori probabilità di selezionare organismi resistenti. Anche questo meccanismo, però, può avere alcuni svantaggi riconducibili alla produzione di metaboliti sgradevoli e tossici o ad una riduzione nella produzione da parte delle piante difese.

È importante, comunque, considerare che raramente un antagonista si avvale di un singolo meccanismo d'azione. In realtà l'antagonismo risulta essere il frutto del sinergismo di due o più meccanismi d'azione che portano al contenimento della malattia.

I biofitofarmaci possono essere utilizzati nella difesa di numerose specie vegetali e trovano possibilità di impiego nella lotta ai patogeni dei semi, di origine tellurica, delle parti aeree e del post-raccolta. Il seme risulta essere il teatro delle prime fasi di lotta non solo nei confronti dei patogeni trasmessi per seme, ma anche verso i patogeni di origine tellurica. I patogeni trasmessi per seme possono avere diverse localizzazioni sul/nel seme e questo comporta che non tutti gli antagonisti, e quindi non tutti i meccanismi d'azione, risultano efficaci allo stesso modo nei confronti dei diversi patogeni.

Alcuni aspetti tecnici inerenti la concia dei semi, quindi l'applicazione dell'antagonista, possono influenzare l'efficacia di un biofitofarmaco. La dose efficace dell'antagonista, l'uniformità della copertura della superficie del seme, l'uniformità della distribuzione dell'antagonista nella massa dei semi e, infine,

il microambiente in cui l'antagonista si svilupperà dopo la semina sono fattori critici che possono segnare il destino di un biofitofarmaco. Tanto più un antagonista si trova in condizione di sviluppare rapidamente, tanto maggiore sarà la sua efficacia. È possibile migliorare l'efficacia e l'affidabilità di un biofitofarmaco che agisce sui semi intervenendo sia sull'ambiente che sul principio attivo. Nel primo caso è possibile avvalersi dell'evoluzione della tecnologia sementiera (confettatura, condizionamento osmotico...), mentre nel secondo caso si può ricorrere all'utilizzo di sostanze selettive per l'antagonista al fine di ampliarne lo spettro d'azione e garantirne una buona efficacia anche in condizioni avverse.

Un altro campo d'applicazione dei biofitofarmaci è la lotta ai patogeni tellurici. In questo caso si ricorre all'introduzione nel terreno di microrganismi antagonisti, strategia alternativa ad altre più conservative che prevedono la gestione della microflora residente attraverso l'utilizzo di terreni naturalmente repressivi (se esistenti), l'induzione di repressività tramite la monocoltura, l'impiego di ammendanti organici o compost e l'utilizzo di trattamenti chimici e fisici subletali. Gli antagonisti introdotti possono avere breve persistenza nell'ambiente, il che comporta un minor impatto ambientale ma anche una minore durata degli effetti, oppure lunga persistenza che, se da una parte assicura una maggiore durata degli effetti, dall'altra comporta un maggior impatto ambientale. L'impiego di biofitofarmaci nella lotta ai patogeni tellurici ha come scopo principale la riduzione dell'inoculo del patogeno attraverso la distruzione diretta, la riduzione della germinazione o della crescita dei propaguli oppure la sostituzione del patogeno nei residui colturali ma può anche indurre resistenza nelle piante allevate nei terreni trattati.

I biofitofarmaci possono essere impiegati anche nella lotta ai patogeni delle parti aeree. Le foglie e le superfici esterne delle piante sono ecosistemi complessi e rapidamente variabili nel tempo (es. giorno-notte) e nello spazio. Per questo motivo gli antagonisti da sviluppare come principio attivo del prodotto devono essere ben adattati a quegli ambienti e devono rispondere rapidamente ai cambiamenti. C'è anche da considerare che molti patogeni delle parti aeree hanno una lunga fase all'interno dell'ospite e sono difficilmente raggiungibili dall'attività di antagonisti (salvo quando questi inducono meccanismi di resistenza). Più interessanti sono quei patogeni, come gli Oidii, che hanno una lunga fase epifittica e, quindi, risultano più facilmente aggredibili.

L'ultimo campo d'applicazione di un biofitofarmaco è la lotta ai patogeni del post raccolta. In questo caso, più che negli altri appena descritti, esistono alcune difficoltà da superare che consistono nella riserva del consumatore ad accettare la presenza di microrganismi sulle parti eduli. Inoltre le temperature di conservazione del prodotto vegetale, spesso prossime a 0°C, rappresentano una condizione ambientale fortemente selettiva per la sopravvivenza e l'azione dell'antagonista da impiegare. In molti casi la ricerca si è orientata verso l'impiego di lieviti naturali isolati dagli stessi prodotti che si intende difendere. Questi microrganismi hanno molti pregi. Si sviluppano e moltiplicano molto rapidamente mostrando una lunga persistenza sui prodotti trattati. I lieviti risultano più resistenti di molti patogeni alle condizioni estreme di conservazione e sono compatibili con i processi industriali di conservazione. Hanno esigenze nutrizionali semplici (produzione poco costosa) e si possono formulare in modo da garantire facilmente il mantenimento di una adeguata shelf life. I lieviti non sono patogeni per i prodotti vegetali e sono sicuri per la salute umana (molti non crescono a 37°C e non producono antibiotici o altri metaboliti tossici). Inoltre questi microrganismi riscuotono il favore dell'opinione poiché si tratta di microrganismi da sempre utilizzati in numerosi e comuni processi alimentari.

In ogni caso è bene sottolineare che per ottenere buoni risultati in termini di contenimento delle malattie è indispensabile un'approfondita conoscenza della biologia ed epidemiologia dei patogeni che si intende combattere e degli antagonisti che si intende utilizzare.

Dal punto di vista economico, infine, i biofitofarmaci mostrano costi di sviluppo e registrazione inferiori rispetto a quelli dei fitofarmaci di sintesi. Abbiamo più volte ricordato il mercato potenziale cui questi farmaci si rivolgono. Da un punto di vista assolutamente generale, l'esperienza ci insegna che è più facile selezionare microrganismi in grado di manifestare efficacia in specifiche nicchie (ambienti pedoclimatici ben definiti, colture protette, ...) in quanto, trattandosi di organismi, devono essere messi in condizione di crescere adeguatamente. Ma in questo caso il mercato non è più sufficiente a garantire la copertura delle spese di ricerca, sviluppo e registrazione, si deve quindi cercare microrganismi in grado di svolgere la loro attività in condizioni assai diverse (mercato più ampio), ma questo è molto difficile e può portare all'ottenimento di risultati erratici. Per stimolare la crescita del settore sarebbe opportuna,

pur salvaguardando la sicurezza d'impiego dei prodotti, una ulteriore riduzione dei costi di registrazione, in modo da consentire anche a piccole imprese la commercializzazione di prodotti registrati e destinati a specifici e limitati campi di impiego.

Il mondo della ricerca e numerose aziende, in Italia e all'estero, sono da anni attivamente coinvolti in ciascuno dei passaggi chiave che portano allo sviluppo e alla registrazione di un biofitofarmaco, a partire dalla selezione dei potenziali antagonisti fino a giungere alla messa a punto dei metodi per la produzione di biomassa su vasta scala e alla formulazione del prodotto da commercializzare. Attualmente, in Italia, sono registrati e distribuiti alcuni biofitofarmaci il cui principio attivo è costituito da funghi o batteri impiegabili nella difesa di piante di interesse agrario. Questi prodotti sono utilizzati nella lotta a patogeni delle parti aeree quali, ad esempio, Oidii attraverso l'impiego del fungo *Ampelomyces quisqualis* (micoparassita), nella lotta a patogeni tellurici formanti sclerozi mediante il fungo *Coniocyrtium minitans*, micoparassita delle strutture di quiescenza, o nei confronti di batteri fitopatogeni come *Agrobacterium tumefaciens*, attraverso la competizione per i siti di infezione da parte di *Agrobacterium radiobacter*.

In conclusione, sebbene questi prodotti non rappresentino la panacea per risolvere tutti i problemi legati alla difesa delle colture, essi costituiscono validi strumenti, che fanno della sicurezza il loro punto di forza, che possono consentire la riduzione dell'impiego di fitofarmaci a base di composti di sintesi in strategie di lotta integrata o che rappresentano, ad esempio in agricoltura biologica, una delle poche risorse a disposizione degli agricoltori per la difesa delle colture.

Bibliografia

- [1] K.F. Baker, R.J. Cook, *Biological control of plant pathogens*. W. H. Freeman and company, San Francisco, California: 1974.
- [2] H.D. Burges, *Formulation of microbial biopesticides*. Kluwer Academic Publishers Group, Dordrecht, Netherlands: 1998.
- [3] R.J. Cook, K.F Baker, *The nature and practice of biological control of plant pathogens*. American Phytopathological Society, St. Paul, MN: 1983.
- [4] A. Matta, *Fondamenti di patologia vegetale*. Patron editore, Bologna: 1996.
- [5] G. Vannacci, M.L. Gullino, *Acta Hort.* 2000, 532: 79.

Il sistema di aree protette della Provincia di Livorno

Francesca Ruggeri*

Parole chiave: aree protette, vegetazione, flora, fauna

Il lavoro intende fornire un primo contributo alla conoscenza del sistema di aree soggette a protezione nell'ambito del territorio provinciale di Livorno.

Le realtà di interesse naturalistico ricadenti nella Provincia di Livorno, caratterizzata da una estrema varietà di ambienti, comprendono zone umide costiere dulciacquicole o salmastre, ambienti costieri rupicolosi o dunali, zone fluviali o tratti di torrenti, aree forestali, boschive o di macchia collinari, zone di gariga.

A tale varietà di habitat corrisponde un patrimonio faunistico ricco e differenziato, con la presenza di specie particolarmente significative, mentre tra le emergenze floristiche sono da segnalare specie relictive di epoca terziaria, nuclei di flora altamente specializzata e specie soggette a protezione secondo la normativa regionale, nazionale e comunitaria.

Introduzione

Vari sono gli studi e le indagini scientifiche, relativi a siti di rilevanza naturalistica del territorio provinciale o a singole componenti floristiche e faunistiche di tali aree, che ci forniscono conoscenze approfondite, tramite lavori di tesi o pubblicazioni scientifiche.

Informazioni sulle tipologie di ambiente sono ricavabili dalla ricca cartografia storica e indicazioni botaniche, zoologiche, geologiche compaiono negli scritti di Naturalisti-Viaggiatori e studiosi sin dal XVIII secolo, riguardanti territori di particolar rilievo, quali ad esempio la pianura pisano-livornese e le colline pisano-livornesi [1-12].

La finalità del presente lavoro è però quella di presentare un quadro omogeneo di riferimento che includa le varie tipologie di aree protette esistenti nella Provincia di Livorno, individuate ai sensi della L.R.T. 49/95, uniformando le conoscenze derivanti dai vari

studi scientifici, e che risulti in grado di fornire indicazioni salienti sulla tipologia di habitat, sulla copertura vegetazionale, sulle specie principali floristiche e del popolamento animale.

Risultati e discussione

Il sistema di aree protette del territorio provinciale livornese comprende due parchi (Parco Provinciale

l'autore

Provincia di Livorno
U.O. Salvaguardia della Natura
Via S. Anna 4 - 57123 Livorno
parco4@provincia.livorno.it

* autore per corrispondenza

Tabella 1: Le aree protette della Provincia di Livorno.

Tipologia Area Protetta	Denominazione	Anno Istituzione	Comune/i interessato/i	Estensione (ha)
Parco Provinciale	Monti Livornesi	1999	Livorno, Collesalvetti, Rosignano M.mo	1329
Parco Interprovinciale	Montioni	GR 1998	Follonica, Massa Marittima	6399
		LI 1998	Suvereto, Piombino	
Riserva Provinciale	Padule Orti-Bottagone	1998	Piombino	Riserva: 126 Area contigua: 374 ca.
Riserva Provinciale	Oasi della Contessa	2004	Collesalvetti	Riserva: 22 ca. Area contigua: 103 ca.
ANPIL	Fiume Cecina	1997	Cecina	199
ANPIL	Macchia della Magona	1998	Bibbona	1636
ANPIL	S. Silvestro	1998	Campiglia M.ma	699
ANPIL	Baratti-Populonia	1998	Piombino	1272
ANPIL	Sterpaia	1998	Piombino	248
ANPIL	Montioni	2001	Suvereto	151
ANPIL	Parrana S. Martino	2004	Collesalvetti	125
ANPIL	Colognole	2004	Collesalvetti	246
ANPIL	Foresta Montenero	1999	Livorno	679
ANPIL	Torrente Chioma	1999	Livorno	144
ANPIL	Foresta Valle Benedetta	1999	Livorno	211
ANPIL	Parco Chioma	1999	Rosignano M.mo	437

dei Monti Livornesi, Parco Interprovinciale di Montioni), due Riserve Provinciali (R.N.P. Padule Orti-Bottagone, R.N.P. Oasi della Contessa) e dodici Aree Naturali Protette di Interesse Locale (ANPIL), regolarmente iscritte nell'elenco ufficiale delle aree protette della Regione Toscana (9° aggiornamento ai sensi del D.G.R.T. n. 842 del 26.11.2007).

Parco Provinciale dei Monti Livornesi e ANPIL contigue

Il Parco dei Monti Livornesi e le sei ANPIL del territorio di Livorno, Collesalvetti e Rosignano costituiscono il cosiddetto Sistema di Aree Protette dei Monti Livornesi, per un totale di oltre 3300 ha di natura protetta.

La copertura vegetazionale comprende vaste zone di macchia mediterranea con specie caratteristiche quali *Arbutus unedo* L., *Asparagus acutifolius* L., *Ci-*

stus salvifolius L., *C. incanus* L., *Clematis flammula* L., *C. vitalba* L., *Erica arborea* L., *Hedera helix* L., *Ligustrum vulgare* L., *Lonicera caprifolium* L., *L. implexa* Aiton, *Myrtus communis* L., *Phillyrea angustifolia* L., *P. latifolia* L., *Pistacia lentiscus* L., *Rhamnus alaternus* L., *Rosa canina* L., *R. sempervirens* L., *Rubia peregrina* L., *Smilax aspera* L., zone fortemente degradate dagli incendi a *Calycotome spinosa* (L.) Link, *C. villosa* (Poir) Link, *Calluna vulgaris* (L.) Hull, *Cistus* sp. pl., *Erica scoparia* L., *Genista germanica* L., *Genista pilosa* L., pinete a *Pinus halepensis* Mill. e *P. Pinaster* Aiton, aree boscate e forestali (2062 ha di Complesso Demaniale Forestale "Colline Livornesi") di latifoglie miste decidue a *Quercus cerris* L., *Q. pubescens* Willd. e *Acer campestre* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Euonymus europaeus* L., *Fraxinus ornus* L., *Ostrya carpinifolia* Scop., *Ruscus aculeatus* L., *Sorbus domestica* L., *S. torminalis* (L.) Crantz, *Viburnum tinus* L., boschi mesofili lungo i corsi d'acqua e nelle valli più umide (Valle del Tor-

rente Ugione, Morra e Camorra, Valle del Chioma) ad *Alnus glutinosa* (L.) Gaertner, *Carpinus betulus* L., *Corylus avellana* L., *Fraxinus oxycarpa* Bieb., *Quercus robur* L., *Salix alba* L., *S. purpurea* L., *Ulmus minor* L., con tipica vegetazione ripariale (*Carex* sp. pl., *Juncus* sp. pl.) e specie quali *Asplenium adiantum-nigrum* L., *Ceterach officinarum* DC., *Phyllitis scolopendrium* (L.) Newman e *Lythrum salicaria* L., *Petasites albus* (L.) Gaertner.

Tra le specie d'interesse floristico: *Bromus inermis* Geysler, *Galium mollugo* L., *Papaver apulum* Ten., *Silene latifolia* Poiret [13].

Da segnalare il nucleo forestale secolare di *Quercus ilex* L. presso le sorgenti di Colognole, le preziose testimonianze delle foreste di laurifille terziarie della Valle della Sambuca e del Chioma (*Laurus nobilis* L., *Ilex aquifolium* L., *Prunus mahaleb* L., *Periploca graeca* L.), la stazione di *Galanthus nivalis* L. nell'alta Valle del Torrente Ugione, i nuclei di *Quercus suber* L. della Valle Benedetta e i contingenti di flora serpentinicola di Poggio Corbolone, La Focerella, Monte Maggiore, Poggio alle Fate che annoverano specie quali *Alyssum bertolonii* Desv., *Armeria denticulata* (Bertol.) Dc., *Asplenium cuneifolium* Viv., *Centaurea aplolepa* Moretti subsp. *carueliana* (Micheletti) Dostál, *Euphorbia spinosa* L., *Iberis umbellata* L., *Ionopsidium savianum* (Caruel) Ball, *Iris chamaeiris* Bertol., *Plantago serpentina* All., *Stachys recta* L. subsp. *recta* var. *serpentina* Fiori, *Thymus acicularis* Waldst. & Kit. var. *ophiolicus* Lacaita, *Tulipa australis* Link. Lecceta, macchia mediterranea e bosco mesofilo registrano un popolamento animale in cui l'avifauna è ben rappresentata, con specie sedentarie, migratrici o svernanti, da passeriformi comuni, quali *Motacilla alba*, *Troglodytes troglodytes*, *Erithacus rubecula*, *Luscinia megarhynchos*, *Turdus merula*, *T. philomelos*, *Cettia cetti*, *Sylvia borin*, *Phylloscopus collybita*, *Regulus ignicapillus*, *Aegithalos caudatus*, *Parus caeruleus*, *P. major*, *Certhia brachydactyla*, *Remiz pendulinus*, *Oriolus oriolus*, *Garrulus glandarius*, *Fringilla coelebs*, *Serinus serinus*, *Carduelis chloris*, a silvidi di macchia (*Sylvia atricapilla*, *S. cantillans*, *S. hortensis*, *S. melanocephala*, *S. undata*), a columbidi (*Columba palumbus*, *Streptotelia decaocto*, *Streptotelia turtur*), picidi (*Jynx torquilla*, *Dendrocopos major*, *Picus viridis*) e specie quali *Cuculus canorus*, *Caprimulgus europaeus*, *Upupa epops*. Tra gli accipitriformi *Pernis apivorus*, *Circaetus gallicus*, *Accipiter nisus*, *Buteo buteo*, tra i falconiformi *Falco naumanni*, *F. tinnunculus* e *F. peregrinus*, tra gli strigiformi *Tyto alba*, *Otus scops*, *Athene noctua*, *Strix aluco*, *Asio otus*.

Tra i mammiferi, risulta dominante la presenza di *Sus scrofa*, oltre a *Vulpes vulpes*, *Hystrix cristata*, *Sciurus vulgaris*, *Glis gliris*, *Muscardinus avellanarius*, *Erinaceus europaeus*, *Lepus europaeus*, *Oryctolagus cuniculus*, *Capreolus capreolus* e mustelidi quali *Meles meles*, *Martes foina*, *M. martes*, *Mustela nivalis*.

Tra i rettili *Coluber viridiflavus*, *Lacerta viridis*, *Testudo Hermannii*, *Vipera aspis*.

In prossimità dei torrenti, nelle aree più fresche ed umide di bosco deciduo, nei corsi d'acqua e nelle pozze temporanee compaiono *Bufo bufo*, *Rana kl. esculenta*, *Rana dalmatina*, *Natrix natrix*, una ricca ittiofauna (*Leuciscus cephalus*, *Rutilus rubilio*, *Anguilla anguilla*) e fauna minore rappresentata da Gerridi, Notonectidi, Girinidi, oltre a Plecotteri e Tricotteri.

Rilevante la presenza di *Telphusa fluviatile* e di *Dolichopoda schiavazzii* [14], ortottero rilevato nelle cisterne dell'Acquedotto Leopoldino; per il Torrente Morra e la Val di Chioma vengono segnalati *Rana italica*, *Salamandrina terdigitata* e *Triturus carnifex*.



Figura 1: Parco Provinciale dei Monti Livornesi (da Archivio Provincia di Livorno).

Parco Interprovinciale di Montioni

Il Parco di Montioni si estende per oltre 6300 ha nella zona collinare compresa tra i bacini dei fiumi Cornia (ad ovest) e Pecora (ad est) ed interessa il territorio della Provincia di Livorno per ca. 4500 ha e quello della provincia di Grosseto per ca. 2000 ha. L'ANPIL Montioni, in Comune di Suvereto, si estende per 150 ha ca. al margine nord-ovest del Parco.

Gran parte dell'area protetta è caratterizzata da copertura forestale (patrimonio agricolo-forestale regionale) degradata a bosco o a macchia alta, dato lo storico sfruttamento per ricavarne carbone per l'in-

dustria siderurgica; nel parco insistono due Riserve Statali (Riserva Naturale Integrale “Poggio Tre Cancelli” – 100 ha ca. e Riserva Naturale di popolamento animale “La Marsiliana” – 440 ha ca.).

La copertura vegetazionale comprende zone prevalenti di lecceta (51%) e di cerreta (39%), affiancate da macchia mediterranea e rimboschimenti a *Pinus halepensis* Mill., *Pinus pinea* L., *Pinus pinaster* Aiton, *Pinus radiata* D. Don, *Cupressus sempervirens* L.; presenti anche querceti termofili a *Quercus pubescens* Willd. e sugherete, mentre nell'area più settentrionale è presente un nucleo di *Castanea sativa* Mill.

Le leccete compaiono sottoforma di popolamenti costituiti da *Quercus ilex* L. e percentuali elevate di sclerofille sempreverdi, quali *Erica arborea* L., *Arbutus unedo* L., *Phyllirea* sp. pl., *Viburnum tinus* L. o in associazione con *Quercus cerris* L., *Q. pubescens* Willd. e *Fraxinus ornus* L., *Acer monspessulanum* L., *Sorbus domestica* L., *S. torminalis* (L.) Crantz, *Crataegus* sp. pl., *Prunus spinosa* L.

Nelle cerrete, in proporzione minore, si segnalano *Quercus ilex* L., *Quercus pubescens* Willd., *Fraxinus ornus* L., seguite da *Acer monspessulanum* L., *A. campestre* L., *Sorbus domestica* L., *S. torminalis* (L.) Crantz, *Ulmus minor* Miller, *Carpinus betulus* L., *Cornus mas* L., *Ligustrum vulgare* L., *Ruscus aculeatus* L., *Pyrus pyraeaster* Burgsd., *Malus florentina* (Zuccagni) CK Schneider.

Nelle formazioni a *Quercus pubescens* Willd. dominante sono presenti esemplari di *Quercus cerris* L. e *Quercus ilex* L., oltre a *Fraxinus ornus* L., *Acer monspessulanum* L. e sclerofille come *Arbutus unedo* L., *Phyllirea* sp. pl., *Viburnum tinus* L.; nelle formazioni a *Quercus suber* L. dominante sono presenti *Arbutus unedo* L. e *Erica arborea* L.

La macchia mediterranea vede il prevalere di *Arbutus unedo* L., *Erica arborea* L., *Myrtus communis* L., *Phyllirea* sp. pl., *Pistacia lentiscus* L., con esemplari arborei di *Quercus ilex* L.

Le zone a gariga e di macchia bassa, derivanti dalla degradazione dell'originaria copertura forestale, sono colonizzate da *Cistus salvifolius* L., *C. monspeliensis* L., *Erica arborea* L., *Spartium junceum* L. e *Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis*, *Rhamnus alaternus*.

Nelle zone di radura da segnalare specie d'interesse come *Ophrys apifera* Huds. e *O. bertolonii* Moretti [15].

L'avifauna è rappresentativa dell'habitat boschivo di querceti misti e di sclerofille sempreverdi, con *Garrulus glandarius*, *Colomba palumbus*, *Picus viridis*, *Jynx torquilla*, *Lanius collurio*, *Lanius senator*, *Sylvia*

atricapilla, *Sylvia melanocephala*, *Sylvia undata*.

Presenze rilevanti di *Scolopax rusticola*, *Certhia brachydactyla*, *Carduelis spinus*, *Coccothraustes coccothraustes*.

Tra i rapaci diurni *Buteo buteo*, *Circaetus gallicus*, *Accipiter nisus*, *Pernis apivorus*, *Falco columbarius*, *Falco peregrinus* e tra i notturni *Stryx aluco*, *Tyto alba*, *Athene noctua*, *Otus scops*.

Tra i mammiferi *Sus scrofa*, *Capreolus capreolus*, *Dama dama*, *Vulpes vulpes*, *Hystrix cristata*, *Meles meles*, *Martes foina*, *Mustela nivalis*, *Erinaceus europaeus*, *Lepus europaeus*, *Sciurus vulgaris*, *Rhinolophus ferrumequinum*, *Muscardinus avellanarius*.

Da confermare la presenza di *Canis lupus*, *Felis silvestris*, *Martes martes*, *Mustela putorius*, *Elyomys quercinus*, *Suncus etruscus*.

L'erpetofauna annovera *Testudo hermanni*, *Elaphe quatuorlineata*, *Elaphe longissima*, *Coronella* sp. e tra gli anfibi *Triturus carnifex* e *Rana dalmatina*.



Figura 2: Parco Interprovinciale di Montioni (da Archivio Provincia di Livorno).

Riserva Provinciale Padule Orti-Bottagone e ANPIL Sterpaia

La Riserva Padule Orti-Bottagone, in Comune di Piombino, si estende lungo la fascia settentrionale del golfo di Follonica, nella casa di colmata del Fiume Cornia, e costituisce un lembo relitto delle storiche estensioni palustri della bassa Val di Cornia.

Ridotte aree umide caratterizzano anche l'ANPIL della Sterpaia che si estende per ca. 248 ha lungo il litorale orientale di Piombino.

Il Padule di Orti-Bottagone è rappresentativo di due tipologie di area umida: la zona di Orti è caratterizza-

ta da tipica vegetazione delle aree umide salmastre, con formazioni alofite a *Halimione portulacoides* (L.) Aellen, *Salicornia* sp. pl., *Salsola soda* L., *Limonium* sp. pl., mentre la zona di Bottagone presenta tipica vegetazione delle aree umide dulciacquicole (fragmiteti, scirpeti, prati umidi a giunchi e ciperacee).

Tra le specie da segnalare *Epipactis palustris* (L.) Crantz, *Orchis palustris* Jacq., *Puccinellia palustris* (Seenus) Hayek, *Zannichellia palustris* L. ssp. *pedicellata* (Wahlenb. et Rosén) Hegi [16].

Presenti esemplari arborei di *Tamarix africana* Poir., *Fraxinus oxycarpa* Bieb., *Salix alba* L.

La componente faunistica più rilevante è l'avifauna, sia a livello di nidificanti – tra cui sono presenti specie d'interesse (*Ixobrychus minutus*, *Ardea purpurea*, *Circus aeruginosus*, *Rallus aquaticus*, *Himantopus himantopus*, *Acrocephalus melanopogon*) – sia come specie svernanti e migratrici rappresentative dei *Podicipediformes*, *Pelicaniformes*, *Ciconiiformes*, *Phoenicopteriformes*, *Anseriformes*, *Accipitriformes*, *Galliformes*, *Gruiformes*, *Charadriiformes*, *Coraciiformes* e *Passeriformes*.

Segnalata la presenza di anfibi, quali *Triturus carnifex*, *Triturus vulgaris*, *Bufo bufo*, *Bufo viridis*, *Hyla intermedia*, *Rana* kl. *esculenta* e di *Emys orbicularis* e *Natrix natrix* tra i rettili.



Figura 3: Riserva Provinciale Padule Orti-Bottagone. L'area umida salmastra di Orti (da Archivio Provincia di Livorno).

La confinante ANPIL Sterpaia è caratterizzata da nuclei relitti di bosco allagato planiziale a *Fraxinus oxycarpa* Bieb., con presenze di *Quercus cerris* L. e di ibridi tra *Quercus robur* e *Q. pubescens*, da aree palustri salmastre con formazioni alofite a *Salicornia* sp. pl. e *Limonium* sp. pl.

Rilevante la presenza di *Triglochin bulbosum* L. subsp. *barrelieri* (Loisel.) Rouy.

Interessante anche la zona relitta dunale con *Anthemis maritima* L., *Ammophila arenaria* R. et S., *Eryngium maritimum* L., *Euphorbia paralias* L., *Medicago marina* L., *Pancreatium maritimum* L. e, nel retroduna, i raggruppamenti di *Tamarix gallica* L. e *T. africana* Poir.

Riserva Provinciale Oasi della Contessa

La Riserva Oasi della Contessa, situata nel territorio comunale di Collesalveti, è costituita da un'area umida di 18 ha ca. (22 ha di riserva), contornata da campi di bonifica (area contigua di ca. 100 ha), rappresentativa dell'antico sistema di paludi costiere della pianura pisano-livornese.



Figura 4: *Himantopus himantopus* nella Riserva Provinciale Oasi della Contessa (foto F. Ruggeri).

La copertura vegetale è rappresentata da fragmiteto misto a tifeto, con estensioni di prato umido a *Carex* sp. pl., *Juncus* sp. pl. e nuclei di *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla, *Eleocharis* sp. pl., *Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla, *Spartanium erectum* L. [17].

Fortemente depauperata la componente arborea igrofila (*Fraxinus oxycarpa* Bieb., *Ulmus minor* Miller, *Tamarix gallica* L.).

L'area è popolata da avifauna acquatica durante lo svernamento e la migrazione [18, 19] ed è sito di nidificazione di *Tachybaptus ruficollis*, *Anas platyrhynchos*, *Gallinula chloropus*, *Fulica atra*, *Charadrius dubius* e passeriformi di canneto quali *Cettia cetti*, *Acrocephalus scirpaceus*, *Acrocephalus arundinaceus*.

Tra le presenze abituali nella Riserva si segnalano *Tachybaptus ruficollis*, *Bubulcus ibis*, *Egretta garzetta*, *Ardea cinerea*, *Anas platyrhynchos*, *Anas crecca*, *Anas*

clypeata, *Gallinula chloropus*, *Fulica atra*, caradriformi quali *Himantopus himantopus*, *Vanellus vanellus*, *Philomachus pugnax*, *Gallinago gallinago*, *Tringa erythropus*, *T. Totanus*, *T. nebularia*, *T. ochropus*, *T. glareola*, *Actitis hypoleucos* e specie quali *Alcedo atthis*, *Merops apiaster*, *Anthus pratensis*, *A. spinoletta*, *Motacilla flava*, *M. alba*, *Remiz pendulinus*.

Specie di rilievo *Ixobrychus minutus*, *Ardea purpurea*, *Anser anser*, *Tadorna tadorna*, *Circus aeruginosus*, *Rallus aquaticus*, *Pluvialis apricaria*, *Limosa limosa*, *Coracias garrulus*.

Cospicua la presenza di *Bufo viridis* e *Rana kl. esculenta*, presente anche *Natrix natrix*.

ANPIL Fiume Cecina

Il corso del Fiume Cecina è tutelato dall'istituzione di tre ANPIL, di cui una in Comune di Cecina e le altre in Comune di Riparbella e Montescudaio [20].

L'area fluviale nel basso corso del Cecina mostra forti caratteri di degrado e la copertura vegetazionale relittuale è costituita da vegetazione ripariale, fragmiteti, formazioni a giunchi e carici; *Populus* sp. pl., *Fraxinus oxycarpa* Bieb., *Salix* sp. pl. fanno parte della componente arboreo-arbustiva igrofila.

La zona del Paduletto, a sud della foce del Cecina, è rappresentativa delle antiche aree palustri costiere con fragmiteti e tifeti che ospitano specie quali *Cettia cetti*, *Acrocephalus scirpaceus*, *Acrocephalus arundinaceus*, *Remiz pendulinus*. Altre specie rintracciabili lungo il corso del fiume e nel Paduletto: *Gallinula chloropus*, *Alcedo atthis*, *Merops apiaster*, *Motacilla alba*. Presenti nell'ANPIL anche pinete a *Pinus pinea* L., *Pinus pinaster* Aiton, *Pinus halepensis* Mill.



Figura 5: Fiume Cecina (da Archivio Provincia di Livorno).

ANPIL Macchia della Magona

L'ANPIL Macchia della Magona si estende sui rilievi collinari fuori dall'abitato di Bibbona per oltre 1600 ha, entro i confini dell'ANPIL è compresa la Riserva Biogenetica Statale di Bibbona, un arboreto sperimentale di 6 ha [20].

La copertura vegetale è dominata dai boschi di *Quercus ilex* L., a cui si associano nelle zone meno aride *Quercus cerris* L. e *Ostrya carpinifolia* Scop., e dalla macchia mediterranea alta, risultato dello sfruttamento della copertura arborea sin dal XVI secolo per ricavarne legna da impiegare nelle ferriere.

Nel forteto dominano *Quercus ilex* L. e *Arbutus unedo* L., affiancati da *Erica* sp. pl., *Viburnum tinus* L., *Pistacia lentiscus* L., *Phillyrea* sp. pl. e specie lianose quali *Clematis* sp. pl., *Lonicera* sp. pl., *Rubia peregrina* L., *Smilax aspera* L., *Tamus communis* L.

Il popolamento faunistico annovera mammiferi (*Sus scrofa*, *Vulpes vulpes*, *Capreolus capreolus*, *Hystrix cristata*, *Meles meles*, *Martes martes*, *Sciurus vulgaris*) e una ricca avifauna (*Buteo buteo*, *Pernis apivorus*, *Circaetus gallicus*, *Milvus migrans*, *Lanius collurio* e *L. senator*, *Erithacus rubecula*, *Garrulus glandarius*, *Columba palumbus*, *Sylvia melanocephala*, *S. atricapilla*, *S. undata*, *Picus viridis*).

Gli anfibi sono rappresentati da *Rana italica* e *Bombina pachypus*; tra i rettili sono presenti *Testudo hermanni* e *Elaphe quatuorlineata*.



Figura 6: Macchia della Magona (da Archivio Provincia di Livorno).

ANPIL S. Silvestro

L'ANPIL S. Silvestro si estende per 700 ha ca. sui rilievi collinari a nord di Campiglia Marittima, com-

prendendo un'importante area mineralogica sfruttata sin dal VII secolo a.C. [20].

La copertura vegetazionale vede zone di macchia alta a *Quercus ilex* L., *Arbutus unedo* L., *Phillyrea* sp. pl., alternarsi a macchia bassa a *Myrtus communis* L., *Rhamnus alaternus* L., *Phillyrea angustifolia* L., *P. latifolia* L., *Pistacia lentiscus* L., a garighe a *Cistus incanus* L. e *Olea oleaster* Heff. e Link., *Helicrisum stoechas* L., o a *Juniperus oxycedrus* L., *J. phoenicea* L. e *Globularia alypum* L.

Da segnalare specie di interesse floristico quali *Iris chamaeiris* Bertol., *Ophrys apifera* Huds., *Jonopsidium savianum* (Caruel) Ball e *Crocus etruscus* Parl., *Ranunculus garganicus* Ten., *Biscutella cichoriifolia* Loisel., *B. pichiana* Raffaelli,

Per la fauna da segnalare *Phyllodactylus europaeus* e, tra gli uccelli, specie d'interesse quali *Monticola saxatilis*, *Tichodroma muraria*, *Sylvia hortensis*, *Lanius collurio*, *L. senator*, *Caprimulgus europaeus*, *Lullula arborea*, *Otus scops*.



Figura 7: La rocca di S. Silvestro (da Archivio Provincia di Livorno).

ANPIL Baratti-Populonia

L'ANPIL si estende per oltre 1200 ha, comprendendo la parte settentrionale del promontorio di Piombino e la fascia costiera del Golfo di Baratti [20].

Il promontorio di Piombino presenta un mosaico interessante di formazioni vegetali: da zone di macchia alta a *Quercus ilex* L., *Arbutus unedo* L., *Phyllirea* sp.pl., *Rhamnus alaternus* L., a nuclei di macchia bassa ad *Olea oleaster* Heff. e Link. e *Juniperus phoenicea* L., a settori forestali a *Castanea sativa* Mill., *Ostrya carpinifolia* Scop. e *Ulmus minor* Mill., sino

ad ambienti rupicoli costieri, colonizzati da *Anthyllis barba-jovis* L., *Crithmum maritimum* L., *Senecio cineraria* DC., *Helichrysum stoechas* L., *Lotus cytisoides* L., *Limonium* sp. pl.

Specie floristiche rilevanti: *Chamaerops humilis* e *Daphne sericea*.

Il promontorio di Piombino riveste notevole importanza quale zona di osservazione dell'avifauna svernante e in migrazione. Tra le specie d'interesse: *Sula bassana*, *Falco peregrinus*, *Larus audouinii* e *Apus pallidus*, *Anthus campestris*, *Sylvia hortensis*, *S. undata*, *Oenanthe hispanica*.

Tra i mammiferi *Mustela putorius*; tra i rettili *Phyllodactylus europaeus*.



Figura 8: ANPIL Baratti-Populonia (da Archivio Provincia di Livorno).

Bibliografia

- [1] G. Targioni Tozzetti, Relazioni d'alcuni viaggi fatti in diverse parti della Toscana per osservare le produzioni naturali, e gli antichi monumenti di essa. Forni, Bologna: 1768-1779.
- [2] G. Menabuoni, Storia naturale delle adiacenze di Pisa, Lido Toscano da quella parte, e Colline di Tramontana. In: Atti della Real Società economica di Firenze detta dei Georgofili. Firenze: 1796.
- [3] P. Savi, Studi geologico-agricoli sulla pianura pisana 15 febbraio 1856. In: Continuazione Atti dell'Accademia dei Georgofili. Firenze: 1856.
- [4] T. Caruel, Prodromo della Flora Toscana. Firenze: 1860-64.
- [5] A. Preda, N. Giorn. Bot. It. 1895, 2: 108 e 217.
- [6] A. Preda, Bull. Soc. Bot. It. 1896, 1: 6.
- [7] E. Barsali, Bull. Soc. Bot. It. 1904: 202.
- [8] S. Sommier, Bull. Soc. Bot. It. 1905: 166.

- [9] A. Fiori, *Ann. R. Ist. Sup. For. Nat.* 1919-20, 5: 149.
- [10] A. Chiarugi, *Bull. Soc. Bot. It.* 1923: 106.
- [11] F. Rodolico, *La Toscana descritta dai naturalisti del 700*. Firenze: 1945.
- [12] G.C. Martini, *Viaggio in Toscana (1725-1745)*. Modena: 1969.
- [13] C. Ansaldo, F. Garbari, S. Marchiori, *Quad. Mus. St. Nat. Livorno* 1988, 9: 45.
- [14] G. Barsotti, *Storia Naturale dei Monti Livornesi*. Belforte & C., Livorno: 2000.
- [15] A. Cenerini, *Aspetti floristici e vegetazionali del parco di Montioni*. Leopoldo II, Follonica: 1994.
- [15] D. Viciani, L. Lombardi, *Parlatorea* 2001, 5: 101.
- [17] F. Ruggeri, *BIOGEOGRAPHIA* 2005, 26: 521.
- [18] F. Ruggeri, *Avocetta* 2005, 29: 84.
- [19] E. Arcamone, N.E. Baldaccini, F. Garbari, F. Ruggeri, *Atti Soc. tosc. Sci. nat. Mem. Serie B* 2004, 11: 135.
- [20] G. Ceccolini, A. Cenerini, *Toscana. Parchi e Aree protette. Il mio Amico*. Roccastrada (GR): 2004.

Una bellezza da salvaguardare: «Le Orchidee della costa Toscana»

Glauco Baldassari*

Parole chiave: costa toscana, Orchidee spontanee, ambiente, salvaguardia

Uno degli aspetti più interessanti, da un punto di vista floristico, è la presenza nel nostro territorio di numerose specie di orchidacee spontanee distribuite dalle zone retrodunali costiere sino alle zone collinari e montane subito a ridosso della costa (Monti Pisani, Monti Livornesi, Colline Pisane, Colline Metallifere, etc.).

Uno dei problemi più urgenti è la salvaguardia di tali beni attraverso una politica che favorisca la conoscenza ed il rispetto per tutti gli aspetti del nostro particolarissimo ambiente. Esso si sviluppa in una vasta gamma di territori diversi che vanno, come già detto, dalle dune costiere alla garriga, dalle zone umide alla macchia mediterranea. In ognuno di questi ambienti si sviluppano particolari associazioni vegetali, delle quali le orchidee fanno parte integrante.

Sarebbe impossibile in questo ambito descrivere tutte le specie presenti (circa 90); qui mi limiterò ad allegare alcune immagini delle orchidee più particolari sia per bellezza che per rarità, nella speranza che questo piccolo assaggio stimoli la ricerca e la protezione di queste bellissime piante.

Ho cominciato ad interessarmi alle orchidee spontanee dopo aver conosciuto l'amico e socio, mai dimenticato, Luigi Baldi.

Il suo amore per questi bellissimi fiori mi ha contagiato a tal punto che mi sono messo anch'io sulle tracce di questo aspetto della nostra flora in compagnia dei soci dell'Associazione Pisana Scienze Naturali (APSN). In brevissimo tempo siamo riusciti ad individuare circa 40 specie diverse distribuite sul territorio che va dalla costa fino ai monti retrostanti. Il lavoro non è ancora terminato, restano ancora molte specie da fotografare.

Stiamo preparando un piccolo lavoro sul territorio Pisano senza nessuna pretesa scientifica: vorrà essere solo un omaggio ad una delle bellezze della nostra terra e, soprattutto, un omaggio al caro Luigi che ci ha trasmesso questa passione.

«Atlante fotografico delle orchidee del territorio Pi-

sano»: questo sarà il titolo. Auspichiamo che possa essere un piccolo contributo alla conoscenza, anche se solo visiva, di questo aspetto delle nostre terre. Porterà sicuramente ad una maggiore consapevolezza della tutela e della salvaguardia degli ambienti floristici attraverso una sempre maggiore diffusione della conoscenza a tutti i livelli, un impegno a far rispettare le normative sulle tutele ambientali, una

l'autore

Associazione Pisana Scienze Naturalie
dell'Uomo «Luigi Baldi»,
Via S. Agostini, 20/B - 56121 Pisa
knmer1470@tiscali.it

* autore per corrispondenza

adeguata segnalazione a mezzo palinature delle specie protette e cartelli esplicativi direttamente nelle zone interessate.

Troppo spesso si vedono villeggianti e escursionisti calpestare e raccogliere questi fiori delicatissimi per poi abbandonarli lungo i sentieri perché ormai avvizziti. Molte volte sono dovuto intervenire per fermare lo scempio e non sempre con dei buoni risultati. Indifferenza o addirittura fastidio era quello che ottenevo, senza contare brutte risposte.

Spero che questa iniziativa sia utile a smuovere le acque e, nel futuro, l'amore per il nostro ambiente e il nostro paesaggio tocchi il cuore di tutti e ci spinga a proteggere e migliorare le nostre coste e le nostre montagne e colline.

Materiali e metodi

Le ricerche e le foto sono state effettuate durante un anno e mezzo su tutto il territorio con particolare riferimento alle colline e alle montagne subito a ridosso della costa.

Individuati gli habitat, si è proceduto alla ricerca e alla classificazione delle specie presenti, cercando di individuare tipi particolari oltre alle forme classiche. Ad ogni habitat normalmente corrispondono specie simili salvo alcune peculiarità e si possono individuare alcuni ibridi ed alcuni albinati (fiori decolorati).

Abbiamo annotato minuziosamente data, località e ambientazione di ogni specie in modo da potere successivamente osservare le rifioriture ed eventualmente lo spostamento di areale e una maggiore o minore diffusione.

Le fioriture spaziano da fine inverno (fine febbraio, inizi di marzo), proseguono in primavera ed estate fino ad arrivare con specie particolari sino a fine ottobre (*Spiranthes spiralis*).

La ricerca continuerà anche quest'anno e spero di poterla concludere in tarda estate.

Conclusioni

Sono state individuate circa 40 specie riferite a diversi generi. Nella seguente tabella delle principali specie rinvenute, si può osservare una grande diversificazione sia di generi che di specie che ricalcano perfettamente le differenze di ambienti della nostra costa.

Questo ci dà la misura dell'importanza della protezione dell'ambiente nel quale queste nostre bellezze vivono e si sviluppano: un invito, quindi, ad adoperarsi rivolto a tutte le organizzazioni od enti che hanno a cuore la tutela del territorio. Una particolare attenzione a tutte quelle azioni che servano ad aumentare la sensibilità su queste tematiche ed a migliorare la diffusione della cultura naturalistica e ambientale del nostro paese.

Alcune orchidacee della costa toscana

<i>Spiranthes</i>	<i>Orchis purpurea</i>	<i>Ophris fusca</i>
<i>Spiranthes spiralis</i>	<i>Orchis morio</i>	<i>Ophris apifera</i>
	<i>Orchis coriophora</i>	<i>Ophris speculum</i>
<i>Platanthera</i>	<i>Orchis papilionacea</i>	<i>Ophris speculum garganica</i>
<i>Platanthera bifolca</i>	<i>Orchis anthropophora</i>	<i>Ophris tirrenica</i>
<i>Platanthera chlorantha</i>	<i>Orchis laxiflora</i>	
		<i>Limodorum</i>
<i>Gymnadenia</i>	<i>Anacamptis</i>	<i>Limodorum abortivum</i>
<i>Gymnadenia conopsea</i>	<i>Anacamptis pyramidalis</i>	
		<i>Cephalanthera</i>
<i>Dactylorhiza</i>	<i>Serapias</i>	<i>Cephalanthera rubra</i>
<i>Dactylorhiza fuchsii</i>	<i>Serapias neglecta</i>	<i>Cephalanthera longifolia</i>
<i>Dactylorhiza sambucina</i>	<i>Serapias vomeracea</i>	
	<i>Serapias laxiflora</i>	<i>Epipactis</i>
<i>Orchis</i>	<i>Serapias lingua</i>	<i>Epipactis helleborine</i>
<i>Orchis pauciflora</i>		
<i>Orchis simia</i>	<i>Ophris</i>	<i>Listera</i>
<i>Orchis tridentata</i>	<i>Ophris ciliata</i>	<i>Listera ovata</i>

Ringraziamenti

Ringrazio in primo luogo l'amica Elena Baldi che ha consentito l'utilizzo delle ricerche effettuate da Luigi Baldi e, in egual misura, mio figlio Bernardo: senza

le sue foto e le sue classificazioni tutto il lavoro non sarebbe stato possibile.

Confido ancora nel loro aiuto per portare a termine la pubblicazione dell'Atlante fotografico in progetto.



Figura 1: *Ophris tyrrenica* Figura 2 e 3: *Cephalanthera longifolia* Figura 4 e 5: *Orchis anthropophora*



Figura 6 e 7: *Epipactis helleborine*

Figura 8 e 9: *Orchis papilionacea*



Figura 10: *Ophris sphegodes*

Figura 11 e 12: *Orchis simia*



Figura 13 e 14: *Ophris apifera*

Figura 15 e 16: *Orchis morio*

Per una flora critica dei macromiceti nel territorio pisano

Roberto Narducci*¹, Mauro Marchetti², Paolo Emilio Tomei³

Parole chiave: flora micologica, macromiceti, Pisa

Le specie di macromiceti censite per la provincia di Pisa ammontano a oltre 1.600. Diverse entità risultano rare o in pericolo di scomparsa, tra queste una decina sono nuove anche per la Toscana e oltre un centinaio ascrivibili alla lista rossa toscana

Ricordiamo tra le altre: Amanita boudieri Barla, Battarraea phalloides (Dicks.: Pers.) Pers., Hygrocybe spadicea (Scop.) P. Karst., Inocybe dunensis P.D. Orton e Xerocomus ichnusanus Alessio, Galli & Littini. Alcuni gruppi inoltre si presentano complessi e necessitano di discussione.

In relazione a questo gli autori stanno lavorando, a partire dal 2006, alla compilazione di una flora critica del territorio pisano, estremamente ricco anche per ciò che riguarda la presenza dei funghi carnosi.

A partire dalla seconda metà dell'800 fino ad oggi, sono state raccolte numerose informazioni sulla componente micologica del territorio pisano. Ciò è dovuto all'interesse dimostrato principalmente da studiosi legati all'Università di Pisa che per circa un secolo si sono occupati dello studio dei macromiceti presenti in loco. Recentemente agli studiosi del settore si sono affiancate istituzioni pubbliche interessate alla conoscenza del territorio e sensibili sia alla salvaguardia che alla valorizzazione ambientale; l'Ente Parco Regionale Migliarino-San Rossore-Massaciuccoli, l'Amministrazione Comunale di San Giuliano Terme, ecc. hanno contribuito alla conoscenza di questa importante componente ecosistemica con il loro sostegno finanziario.

In relazione ai dati pubblicati: le specie di macromiceti censite per la provincia di Pisa ammontano a oltre 1.600, tra queste diverse entità risultano rare o in pericolo di scomparsa, una decina sono nuove per la Toscana e oltre un centinaio sono ascrivibili alla lista rossa toscana (Antonini e Antonini, 2006). Gli autori, a partire dal 2006, hanno iniziato l'esame critico dei

diversi macromiceti presenti nel territorio pisano.

Materiali e metodi

Il lavoro in primo luogo prende in esame la numerosa bibliografia disponibile; a tutt'oggi i lavori individuati sono precisamente i seguenti: Aa.Vv., 1858-64; Arcan-geli, 1889, 1892, 1895, 1899, 1911; Berlese e Peglion, 1892; Mattiolo, 1896, 1903; Barsali, 1903, 1904, 1905, 1906; Petri, 1909; Verona, 1932; Monti, 1976, 1979, 1993; Monti e Ficini, 1980; Gorreri e Marchetti, 1991; Gremigni, 1994; Narducci e Caroti, 1996; Marchetti e Gorreri, 1999; Monti *et al.*, 1999, 2001; Aa.Vv., 1999; Aa.Vv., 2000; Franchi *et al.*, 2001; Fantoni e Narducci, 1999; Antonini *et al.*, 2000; Narducci e Cecchini, 2000; Narducci e Petrucci, 2000; Turco *et al.*, 2004; Della Maggiora *et al.*, 2004; Franchi e Marchetti, 2004; Tomei *et al.*, 2005; Narducci, 2005 e 2006; Cecchini e Narducci, 2006, 2007; Franchi *et al.*, 2006.

Parimenti si è iniziato l'esame dei materiali d'erbario già in parte studiati da altri autori (Martinoli, 1962;

Arrigoni, 1981; Del Prete e Monti, 1984; Amadei, 1987, 1993; Dini, 1994; Narducci e Caroti, 1996; Narducci e Cecchini, 2006).

Infine campagne di raccolta sul campo hanno già iniziato a fornire, e ancora forniranno, i materiali necessari per la definizione di gruppi critici e per il reperimento di nuove entità che in vero già si sono iniziate a ritrovare.

Considerazioni

Già ad un primo esame dei materiali disponibili risulta che alcuni gruppi si presentano complessi e necessitano di discussione.

A titolo esemplificativo possiamo ricordare che nell'ambito del genere *Tricholoma* risultano di difficile interpretazione entità della Sottosezione *Terrea* (Konrad et Maublanc) Bon; gli sporocarpî afferenti a questo gruppo, nel territorio pisano, sono assai comuni sia nelle leccete collinari sia nelle aree costiere e presentano taglia medio piccola con odore e sapore più o meno «farinacei». Tra le specie di questo gruppo si ricordano *Tricholoma terreum* (Schaeff.: Fr.) P. Kumm., *T. triste* (Scop.) Quél., *T. gausapatum* (Fr.: Fr.) Quél. per la Stirpe «*terreum*» e *T. myomyces* (Pers.: Fr.) J.E. Lange, *T. sculpturatum* (Fr.) Quél., *T. quercilicis* (Bon, R. Narducci & P. Petrucci) R. Narducci & P. Petrucci per la Stirpe «*sculpturatum*»; quest'ultima entità era stata precedentemente descritta come *Tricholoma ramentaceum* (Bull.: Fr.) Ricken var. *quercilicis* Bon, R. Narducci & P. Petrucci (Bon et al., 1996).

gli autori

¹ Orto Botanico di Lucca,
Via del Giardino Botanico 14 - 55100 Lucca
roberto1956@supereva.it

² Via Goya 12 - 56010 Ghezzano
San Giuliano Terme (PI)
marchettimauro@aliceposta.it

³ Dipartimento di Agronomia e Gestione
dell'Agroecosistema
via San Michele degli Scalzi 2 - 56124 Pisa
petomei@agr.unipi.it

* autore per corrispondenza

A proposito delle numerose entità interessanti, inserite nella Red-list della Toscana, e individuate già in questa prima fase della ricerca si segnalano ad esempio:

Amanita boudieri Barla, Marina di Vecchiano, nel retroduna, sotto giovani esemplari di *Pinus pinaster* e *Arbutus unedo* (Franchi et al., 2006).

Battarraea phalloides (Dicks.: Pers.) Pers., Monte Castellare, gariga e lecceta (Cecchini e Narducci, 2007).

Hygrocybe spadicea (Scop.) P. Karst., San Rossore, in una zona prativa ai margini del bosco (Franchi et al., 2006).

Inocybe dunensis P.D. Orton San Rossore, dune (Franchi et al., 2006).

Xerocomus ichnusanus Alessio, Galli & Littini, Monte Castellare, sotto sughere (Narducci, 2001).

La flora macromicetica della provincia di Pisa si è rivelata, e viepiù si sta rivelando, molto ricca di specie interessanti; in riferimento a ciò è sembrato opportuno preparare un compendio delle conoscenze sull'argomento, dove tutte le specie possono essere trattate criticamente in modo da avere un quadro esaustivo sulle problematiche legate ai funghi carnosi presenti nel territorio pisano.

Conclusioni

Il lavoro ha prodotto la seguente rassegna bibliografica:

Aa.Vv., *Erbario Crittogamico Italiano. I serie. Tip. Del. R.I. de' Sordo-muti, Genova: 1858-64.*

Aa.Vv., *I funghi in Toscana (mappatura e censimento dei macromiceti epigei)*. A.R.S.I.A. - A.G.M.T., a cura di L. Tofacchi e M. Mannini, in cui compaiono contributi di C. Barluzzi, I. Filippi, E. Laganà, M. Mannini, R. Narducci, C. Perini, E. Salerno, L. Tofacchi, Bandecchi e Vivaldi, Pontedera (PI): 1999.

Aa.Vv. (2000), Atti del XVII Comitato Scientifico dell'Associazione Gruppi Micologici Toscani (AGMT). Buti 19, 21 novembre 1999.

L. Amadei, Note sull'Herbarium Horti Pisani: l'origine delle collezioni. *Museol. Sci.* 1987, 4 (1-2): 119-129.

L. Amadei, L'Erbario di Giovanni Arcangeli a Pisa. *Museol. Sci.* 1993, 10 (3-4): 235-246.

D. Antonini, M. Antonimi, Libro rosso dei Macromiceti della Toscana. Dal censimento alla Red list. Regione Toscana, A.R.S.I.A. - A.G.M.T. Tipolito Duemila srl, Campi Bisenzio (FI): 2006.

- D. Antonimi, M. Antonini, A. Cecchini, R. Narducci, Aspetti conservazionistici sulla micoflora delle ANPIL Monte Castellare e Valle delle Fonti. Primo Contributo. In: I Monti Pisani: il ruolo delle ANPIL per la conservazione e la valorizzazione del territorio, a cura di E. Fantoni e R. Narducci, Felici Editore, Pisa: 2000.
- G. Arcangeli, Sopra due funghi raccolti nel Pisano. Bull. Soc. Bot. Ital., in Nuovo Giorn. Bot. Ital. 1889, 21 (3): 434-436.
- G. Arcangeli, Brevi notizie sopra alcune Agaricidae. Bull. Soc. Bot. Ital. 1892 (2): 172-176.
- G. Arcangeli, Sopra una mostruosità di *Lentinus tigrinus*. Nuovo Giorn. Bot. Ital., n.s. 1895, 2: 57-62.
- G. Arcangeli, Sopra vari funghi raccolti nell'anno 1898. Bull. Soc. Bot. Ital. 1899 (1): 16-22.
- G. Arcangeli, Sul parassitismo di alcuni funghi. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Proc. Verb. 1911, 20: 13-16.
- Arrigoni M. (1981) – Revisione dell'erbario micologico dell'Orto Botanico pisano. Tesi di Laurea. Anno accademico 1980-1981.
- E. Barsali, Conspectus Hymenomycetum Agri Pisani. Bull. Soc. Bot. Ital. 1903 (1): 11-22.
- E. Barsali, Aggiunte alla micologia pisana. Bull. Soc. Bot. Ital. 1904 (3): 78-82.
- E. Barsali, Aggiunte alla micologia pisana. Terza nota. Bull. Soc. Bot. Ital. 1905 (6): 201-205.
- E. Barsali, Aggiunte alla micologia pisana. Quarta nota. Bull. Soc. Bot. Ital. 1906 (5-6): 93-98.
- A.N. Berlese, V. Peglion, Micromiceti toscani. Contribuzione alla flora micologica della Toscana. Nuovo Giorn. Bot. Ital., 1892, 24 (3): 97-172.
- M. Bon, R. Narducci, P. Petrucci, Une nouvelle variete de tricholome des chenes verts: *Tricholoma ramentaceum*. (Bull. Fr.) Ri. var. *quercilicis* var. nov. Documents Micologiques XXVI, 1996, 102: 13-16.
- A. Cecchini, R. Narducci, I macromiceti della Macchia di San Rossore, primi risultati delle indagini in corso. In: «Codice Armonico». Primo congresso di scienze naturali della Regione Toscana, a cura di Valentina Domenici e Alessandro Lenzi, Zadigroma Editore, Roma 2006, pp. 243-246.
- A. Cecchini, R. Narducci, (2007), Macromiceti del Comune di San Giuliano Terme: stato delle conoscenze. Internos. Quaderni di Botanica del Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agro-ecosistema, Università di Pisa, 1: in stampa.
- M. Della Maggiora, F. Tolaini, D. Antonini, M. Antonimi, Elenco dei macromiceti epigei segnalati per il territorio regionale dal 1900 al 2003. Supplemento a: «Storia della Micologia in Toscana», a cura di Daniele Antonini e Massimo Antonimi, Associazione Gruppi Micologici Toscani (AGMT), Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo Forestale (ARSIA): 28-30, Tip. Valdarnese, S. Giovanni Valdarno (AR): 2004.
- C. Del Prete, G. Monti, Collezione dell'«Herbarium Horti Pisani»: le raccolte micologiche. Mic. Ital. 1984, 1: 83-87.
- S. Dini, Il genere *Peziza* Dillenius ex Bulliard: revisione del materiale conservato nell'Herbarium Horti Pisani. Tesi di Laurea, Anno accademico 1993-1994: 1994.
- E. Fantoni, R. Narducci, Due aree protette sul Monte Pisano: Le A.N.P.I.L. di Monte Castellare e Valle delle Fonti. Parliamo di funghi 1999, G.M.C., Camaiore 1999: 11-14.
- P. Franchi, M. Giovannetti, L. Gorreri, M. Marchetti, G. Monti, La Biodiversità dei Funghi del Parco. Inventario della flora micologica del Parco naturale Migliarino San Rossore Massaciuccoli. Leonardo - Istituto di Ricerca sul Territorio e l'Ambiente, Università di Pisa - Ente Parco Migliarino San Rossore Massaciuccoli. Felici Editore, Ghezano, San Giuliano Terme (PI): 2006.
- P. Franchi, L. Gorreri, M. Marchetti, G. Monti, Funghi e ambienti dunali. Indagine negli ecosistemi dunali del Parco Naturale Migliarino San Rossore Massaciuccoli. Ente Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli - Università di Pisa, Dip. di Scienze Botaniche, Grafiche 2000, Ponsacco (PI): 2001.
- P. Franchi, M. Marchetti, Funghi clavarioidi. VI. Una bella specie mediterranea della sez. Neoformosae. Parliamo di funghi 2004, G.M.C., Camaiore 2004: 30-33.
- L. Gorreri, M. Marchetti, Funghi del Parco. Consorzio del Parco Naturale Migliarino San Rossore Massaciuccoli. Bandecchi & Vivaldi, Pontedera: 1991.
- G. Gremigni, Radionuclidi nei funghi e nel terreno prelevati nel parco naturale Migliarino - S. Rossore - Massaciuccoli e nelle colline livornesi a seguito dell'incidente di Chernobyl. Provincia di Livorno - Consorzio Parco Naturale «Migliarino - S. Rossore - Massaciuccoli». Supplemento n. 3 al vol. 11 (1990) dei Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno- Tip. O. Debante e F., Livorno: 1994.
- M. Marchetti, L. Gorreri, I funghi del Parco Mi-

- gliarino, San Rossore, Massaciuccoli. Ente Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli, Litografia Felici, Pisa: 1999.
- G. Martinoli, L'Erbario Pellegrini acquisito dall'Herbarium Horti Botanici Pisani. Nuovo Giorn. Bot. Ital. 1962, 69 (1-3): 182-184.
- O. Mattiolo, *La Delastria rosea* Tul. in Italia. Bull. Soc. Bot. Ital. 1896 (7): 177-180.
- O. Mattiolo, I funghi ipogei italiani raccolti da O. Beccari, L. Caldesi, A. Carestia, V. Cesati, P.A. Saccardo. Mem. Regia Accademia delle Scienze di Torino, ser. 2, 1903: 331-366.
- G. Monti, Materiale per una flora micologica della provincia di Pisa. I: macromiceti della selva costiera. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., ser. B, 1976, 83: 146-189.
- G. Monti, Macromiceti rari o nuovi del Monte Pisano (Toscana nord-occidentale). Micol. Ital. 1979, 3: 19-22.
- G. Monti, Su alcuni casi di intossicazione da *Entoloma lividum* (Bull.) Quélet in Toscana. Annali Museo Civico Rovereto 1993, 8: 271-276.
- G. Monti, M. Ansaldi, M. Marchetta, Prodromo della flora micologica della provincia di Pisa. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., ser. B, 1999, 106: 23-63.
- G. Monti, G. Ficini, Studi sulla flora e vegetazione del Monte Pisano (Toscana Nord-Occidentale). 6. I Macromiceti (Materiale per una flora micologica della provincia di Pisa. 2.), Webbia 1980, 34 (2): 677-706.
- G. Monti, S. Tommasi, S. Maccioni, Macromiceti rari o nuovi nella tenuta di San Rossore (Pisa), descrizione e osservazioni critiche. Micol. Ital. 2001, 1: 19-34.
- R. Narducci, Erbario del G.M.L. Costituzione, vicissitudini e prime specie iconografate. Bollettino del Gruppo Micologico Lucchese «B. Puccinelli», Felici, Pisa 2001, 2: 6-17.
- R. Narducci, Segnalazioni floristiche - Flora Micologica. In: «Notule floristiche per la Toscana», a cura della Sezione Toscana della Soc. Bot. Ital., 2005, pp. 35-42.
- R. Narducci (2006), Le sugherete dei Monti Pisani e primi dati sulle indagini micologiche in corso. Associazione Gruppi Micologici Toscani (A.G.M.T.), processi verbali del convegno di studi di Vernio (PO), autunno 2005.
- R. Narducci, V. Caroti, Catalogo dei macromiceti presenti nell'erbario di Cesare Bicchi in Lucca. Bull. Orto Bot. Lucca 1996, 1 (1): 1-42.
- R. Narducci, A. Cecchini, Primo elenco di macromiceti censiti nelle A.N.P.I.L. di Monte Castellare e Valle delle Fonti. In: «Aspetti biologici delle AN-PIL Monte Castellare - Valle delle Fonti e di alcune aree contermini dei Monti Pisani», a cura di E. Fantoni e R. Narducci, Felici Editore, Pisa: 2000.
- R. Narducci, A. Cecchini, Herbarium Horti Botanici Lucensis, schede micologiche enumerate. V centuria. Bull. Orto Bot. Lucca, 2006, 4 (1): 3-7 (in stampa).
- R. Narducci, P. Petrucci, Funghi: divinamente buoni e mortalmente cattivi. In: Monte Castellare - Valle delle Fonti, due Aree Protette dei Monti Pisani. Aspetti naturalistici e storici, a cura di E. Fantoni e R. Narducci, Felici Editore, Pisa: 2000.
- L. Petri, Flora Italica Cryptogama, Gasterales. Cappelli, Rocca S. Casciano: 1909.
- P.E. Tomei, U. Macchia, R. Narducci, Flora e vegetazione delle dune costiere. In: Le dune costiere in Italia - la natura e il paesaggio, a cura di U. Macchia, E. Pranzino e P.E. Tomei, Felici Editore, Ghezzano (PI): 2005.
- E. Turco, E. Fantoni, Mariannelli, Disseccamenti da *Biscognauxia mediterranea* (De Not.) O. Kuntze in un popolamento di *Quercus morisii* Borzi. Interventi di risanamento. Informatore Fitopatologico 2004, 4: 50-53.
- O. Verona, Conspectus Mycetum Agri Pisani. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem. 1932, 42: 143-190.

Chiave di determinazione del sottogenere *Telamonia* (*Agaricales*, *Cortinarius*) delle leccete toscane

Daniele Antonini*¹, Massimo Antonini¹

Parole chiave: *Fungi*, *Cortinarius*, *Telamonia*, *Quercus ilex*, Toscana

Nel presente contributo gli autori propongono una chiave di determinazione dei taxa appartenenti al sottogenere Telamonia (Cortinarius) osservati sul territorio toscano e associati a Quercus ilex. Indagini sulla micoflora delle foreste mediterranee a sclerofille hanno permesso uno studio particolareggiato sulla distribuzione regionale del genere Cortinarius, in cui si evidenzia una notevole rappresentatività delle Telamonia. In completamento alla chiave, per i taxa segnalati in associazione a Quercus ilex, sono state integrate note sui caratteri tassonomici discriminanti e sull'ecologia.

Introduzione

La conoscenza della flora micologica delle leccete riferita al genere *Cortinarius* è ancora parziale, nonostante recenti studi, soprattutto in Spagna e Francia, abbiano contribuito a metterne in risalto l'enorme potenziale. Nella letteratura micologica non compaiono studi particolareggiati dedicati alla conoscenza dei taxa appartenenti al Sottogenere *Telamonia* presenti sul territorio regionale. Esistono invece numerosi contributi monografici, soprattutto in ambito europeo, che sono stati per noi fondamentali durante la valutazione dei dati tassonomici per la classificazione della maggior parte dei taxa contenuti in questa chiave. Indispensabili i fascicoli di «*Atlas des Cortinaires*», usciti ininterrottamente dal 1990 (Moënné-Loccoz & Reumaux, 1990a, 1990b - Bidaud et Al., 1990, 1991-2000, 1997 e 2000-2006), e quelli di «*Cortinarius Flora Photographica*» (Brandrud et Al., 1990-1998); oltre ai lavori di Moser (1983), Trescol (1986), Arnold (1993) e molti altri testi sui cortinari come, ad esempio, gli articoli di Chevassut & Henry (1975, 1978 e 1988).

A livello nazionale, è stata recentemente proposta

una chiave generale, che include anche le *Telamonia*, pubblicata nella quinta parte della monografia «*Il Genere Cortinarius in Italia*» (Antonini et al., 2007).

Materiali e metodi

La stesura della chiave di determinazione è derivata da accurate indagini macro - e microscopiche mirate a evidenziare i caratteri eterogenei più discriminanti. Per la misurazione delle spore ci siamo avvalsi di elaborazioni statistiche basate sul calcolo dell'ellisse di isoprobabilità (Antonini et Al., 2002). L'analisi delle ornamentazioni sporali, oltre al microscopio ottico, è stata effettuata su immagini fornite da microscopi

gli autori

¹ Centro Studi Micologici AGMT,
Via Ferrucci, 626 - 51036 Larciano (PT).
centrostudi.agmt@yahoo.it

* autore per corrispondenza

elettronici e scansione. Nella stesura della chiave, per maggiore semplicità di utilizzo, abbiamo proposto dicotomie anche su base ecologica.

Chiave di determinazione

Sottogenere *Telamonia*

Typus: *C. torvus* (Fr. 1818) Fr. 1838, Epicr. Syst. Mycol.: 293.

1. Basidiomi che presentano una cuticola marcata-mente igrofana → 2

1. Basidiomi con cuticola poco o non igrofana → 21

2. Basidiomi con presenza di velo rosso, distintamente evidente alla base del gambo
→ *C. bulliardii* (Pers.: Fr.) Fr.

2. Basidiomi dalle colorazioni del velo bianche, giallastre, verdastre, olivastre, bluastre, non rosse → 3

3. Basidiomi con velo biancastro o giallastro e presenza di violetto evidente almeno sulle lamelle → 4

3. Basidiomi con violetto assai fugace anche sulle lamelle che presentano un velo biancastro, giallastro, olivastro, verdastro, con tracce rare ed evanescenti di violetto → 11

4. Basidiomi con evidenti tracce di violetto, presenti in particolar modo sul gambo. Gambo tipicamente radicante e rastremato verso la base. Colorazioni specificatamente bicolori → *C. cagei* Melot^(*)

^(*) Cuticola molto igrofana. Cappello 15-50 mm, per lungo tempo conico-campanulato e con il margine inflesso. Rivestimento pileico da bruno-rossastro a ocraceo con sfumature violette evanescenti. Lamelle di colore bruno-violetto pallido. Gambo rastremato alla base, radicante, più o meno violetto. Odore terroso-rafanoide. Spore 8,5-10 x 5,2-6,5 µm, non molto ornamentate. Frequente in associazione con *Quercus* spp., *Fagus* e *Abies*.

4. Basidiomi con tracce di violetto evidenti soltanto sulle lamelle nei giovani basidiomi, con gambo non o raramente radicante. Spore marcatamente verrucose → 5

5. Basidiomi con cappello più o meno squamoso o fibrilloso, con odore marcato di pelargonio → 6

5. Basidiomi con odore non di pelargonio, talvolta con odore più o meno intenso simile al legno di cedro → 7

6. Basidiomi con presenza di colorazioni violette sulla cuticola, sulle lamelle e sul gambo. Cuticola talvol-

ta squamosa. Spore generalmente più larghe di 5-5,5 µm → *C. flexipes* (Pers.: Fr.) Fr.^(*)

^(*) Basidiomi generalmente di piccole dimensioni, con cappello inferiore a 50 mm, a lungo campanulato, ricoperto da fini squamette biancastre su fondo più o meno brunastro, con tonalità violette incostanti. Lamelle più o meno violette. Gambo subconcoloro al cappello, violetto all'apice. Odore come di pelargonio. Spore 7,5-8,5 x 5-5,5 µm, con ornamentazioni più marcate all'apice. Specie abbastanza diffusa sotto latifoglie e conifere.

6. Basidiomi dalla cuticola fibrillosa e con leggero odore di pelargonio. Spore generalmente più strette di 5,5 µm; allungate, fino a 10-10,5 µm → *C. diasemospermus* var. *diasemospermus* Lamoure^(*)

^(*) Specie di piccole dimensioni con cappello solitamente inferiore a 30 mm, campanulato, fibrilloso, bruno-grigiastro o bruno-ocraceo. Lamelle fitte, da subconcolori al rivestimento pileico a violette. Gambo fusiforme, radicante, slanciato, rivestito da fini fibrille biancastre. Odore lieve, come di pelargonio. Cresce in associazione con latifoglie, raro nell'areale mediterraneo.

7. Portamento gracile, cappello conico-campanulato con tipico umbone centrale, gambo esile, slanciato, odore con componente di legno di cedro → 8

7. Portamento dei basidiomi non propriamente gracile. Cappello raramente conico-campanulato. Odore non come legno di cedro. Molti *taxa* risultano arrosanti → 9

8. Habitat in associazione a conifere → *C. decipiens* (Pers.) Fr. var. *decipiens*

8. Habitat in associazione a latifoglie → *C. decipiens* (Pers.) Fr. var. *hoffmannii* Reumaux^(*)

^(*) Cappello a lungo campanulato, di solito inferiore a 40 mm, bruno-grigiastro scuro, con margine più o meno appendicolato. Lamelle fitte, talvolta con riflessi violetti, subconcolori al rivestimento pileico. Gambo esile, slanciato, radicante, ricoperto dal velo fibrilloso, biancastro-grigiastro. Odore leggero come di legno di cedro. Spore 8,5-10 x 5-6 µm, più ornamentate alla sommità. Frequente nelle querce mediterranee.

9. Odore aromatico caratteristico, come di prezzemolo → *C. petroselineus* Chevassut & Rob. Henry^(*)

^(*) Cappello fino a 50-55 mm, da campanulato a piano-convesso. Cuticola di colore bruno-castano, nerastra con tempo umido, con sfumature violette evanescenti. Lamelle fitte, talvolta con riflessi violetti. Gambo cilindrico, slanciato, ricoperto da pruina biancastra. Odore complesso con componenti di farina e di prezzemolo. Spore 8-9 x 5-6 µm, con ornamenta-

zioni più marcate alla sommità. Habitat prevalente in associazione a latifoglie, più diffuso nell'areale mediterraneo.

9. Con odori diversi, subnulli → **10**

10. Lamelle più o meno giallastre. Spore di grande taglia, generalmente più lunghe di 10 µm → *C. casimiri* (Velen.) Huijsman^(*)

^(*) Cappello fino a 40 mm, campanulato con umbone centrale persistente. Rivestimento pileico di colore bruno-rossastro. Lamelle pallide, subconcolori al rivestimento pileico. Gambo cilindrico, rivestito da fibrille o fioccosità biancastre. Spore 10,5-12 x 6-7 µm, con ornamentazione bassa. Habitat in associazione a latifoglie.

10. Lamelle non così giallastre. Crescita perlopiù primaverile. Spore generalmente inferiori a 10 µm di lunghezza → *C. vernus* H. Lindstr. & Melot^(*)

^(*) Cappello fino a 40 mm, campanulato-convesso, con largo umbone. Rivestimento pileico liscio, lucente, brunastro scuro o anche nerastro con tempo umido. Lamelle con filo biancastro. Gambo cilindrico o leggermente allargato alla base, rivestito da velo fibrilloso bianco-grigiastro, con sfumature violette evanescenti. Spore 7,5-8,5 x 5-6 µm, con ornamentazioni pronunciate, subspinulose. Tipicamente primaverile ma segnalato anche in tardo autunno, associato a betulle, faggi e querce, segnalato anche in lecceta.

11. Basidiomi con velo biancastro, ocreaceo o giallastro pallido, senza tracce evidenti di pigmento violetto → **12**

11. Basidiomi solitamente annerenti, con presenza di un velo verdastro, olivastro o giallastro → *C. uraceus* Fr.^(*)

^(*) Cuticola caratteristicamente bruno-rossastra con riflessi olivastri, tendente ad annerire. Lamelle bruno-rossastre. Gambo sfumato di olivastro. Carne ocreaceo-brunastro, olivastro, tendente all'annerimento. Spore 8,5-10 x 5-6 µm, con ornamentazione marcata. Habitat in associazione soprattutto a conifere ma rinvenuto anche in presenza di querce.

12. Basidiomi dal portamento slanciato, con cappello raramente superiore a 3-4 cm, gambo sericeo. Odore come di iodio o di pelargonio → **13**

12. Basidiomi di dimensioni più massicce e cappello superiore a 3-4 cm, con gambo liscio o con presenza di un anellino. Perlopiù privi di odore iodato o di pelargonio → **15**

13. Basidiomi dalle colorazioni vivaci della cuticola, giallo-ocra-arancione, fibrillosa per effetto del velo; con odore iodato → *C. vicinus* Bidaud, Cons., D. Antonini & M. Antonini^(*)

^(*) Cappello conico-campanulato, con piccolo umbone ottuso e con margine inflesso, biancastro. Cuticola molto igrofana, di colore bruno-arancio-rossastro. Lamelle ventricose, seghettate, subconcolori al rivestimento pileico. Gambo esile, inguainato dal velo bianco. Tipico delle quercete acidofile.

13. Colorazioni meno vivaci, più cupe → **14**

14. Cappello fibrilloso di colore bruno-castagno. odore caratteristico di pelargonio → *C. pelargonioibustus* Rob. Henry^(*)

^(*) Cappello non superiore ai 20 mm, campanulato, con il margine biancastro, fibrilloso. Cuticola assai igrofana, bruno-castana con tempo umido. Gambo allungato, slanciato, più o meno flessuoso, rivestito da fibrillosità biancastre o grigio-argenteate. Odore caratteristico come di pelargonio. Spore 8,5-9,5 x 5-6 µm, con ornamentazione marcata. Habitat in associazione a latifoglie: betulle, castagni e querce; raro in lecceta.

14. Cappello con forforosità evidente, dalla colorazione bruno-castana o anche bruno-rossastra, ocreacea a tempo secco; senza odore di pelargonio → *C. croceofurfuraceus* Rob. Henry ex Rob. Henry^(*)

^(*) Cappello non superiore ai 30 mm, conico-convesso, con il margine biancastro. Rivestimento pileico assai pruinoso, forforaceo, striato, translucido con tempo umido, bruno-castagno o bruno-rossastro con tempo umido, poi ocreaceo. Gambo esile, grigiastro pallido, e longitudinalmente solcato percorso da tonalità fulve, ricoperto sporadicamente da fibrillosità biancastre. Spore 8,5-9,5 x 5-6 µm, con ornamentazioni più marcate alla sommità. Associato a latifoglie.

15. Basidiomi che presentano, in larga parte, un caratteristico anellino, bianco o giallastro, sul gambo. Colori «hinnulei» sulla cuticola, con cappello contraddistinto dalla presenza di un umbone centrale → **16**

15. Basidiomi solitamente con velo biancastro, privi di un anellino evidente nel gambo → **20**

16. Cuticola poco igrofana, con velo assai evanescente → **17**

16. Cuticola decisamente igrofana, con velo generalmente marcato → **18**

17. Gambo nettamente radicante e allungato → *C. hinnuleoradicatus* Bidaud, Moëgne Locc. & Reumaux

17. Gambo non radicante → *C. lepidus* Moëgne-Locc.^(*)

^(*) Cappello 50-60 mm, conico-campanulato, con margine inflesso, seghettato. Rivestimento pileico appena igrofano,

bruno-rossastro. Gambo bulboso, subconcolore al cappello, con tracce velari assai evanescenti. Spore 7,5-8,5 x 5-6 µm, marcatamente ornamentate. Habitat in associazione a latifoglie.

18. Velo abbondante, lanoso, fioccoso, molto evidente anche sul bordo del cappello. Portamento robusto. Cuticola nel giovane interamente ricoperta dal velo,. Gambo imbrunente → *C. hinnuleovelatus* Reumaux^(*)

^(*) Cappello fino a 70-80 mm, interamente coperto da resti di velo bianco, almeno nel giovane; con margine inflesso. Lamelle ocracee, argillacee o ocraculo chiaro. Gambo bulboso, tendente a macularsi di brunastro; cortina abbondante. Caratteristico dei boschi, igrofili e tendenzialmente acidofili, di latifoglie. Spore 8-9 x 5-6 µm, subspinulose. Frequente nelle sugherete, meno diffuso sotto leccio.

18. Velo assai meno evidente. Portamento slanciato. Gambo non imbrunente → **19**

19. Odore gradevole, fruttato. Reazione marcata con la tintura di guaiaco. Spore 8-10 x 5-6 µm → *C. conicoides* Bidaud^(*)

^(*) Cappello fino a 40 mm, da campanulato a convesso, margine appendicolato per il velo. Rivestimento pileico bruno-rossastro poi ocraceo o giallo-ocra. Gambo radicante con resti di velo biancastri, evidenti. Spore ellissoidali, piuttosto verrucose. Specie caratteristica dei suoli calcarei, soprattutto nelle faggete. Rara in zona mediterranea.

19. Odore sgradevole come di muffa. Reazione subnulla con la tintura di guaiaco. Spore lievemente più piccole → *C. conicus* (Velen.) Rob. Henry^(*)

^(*) Specie iconograficamente ben rappresentata dagli Autori di «*Flora Phographica*» con lamelle abbastanza rade; gambo ocraceo-giallastro, assai velato e con macule scure per effetto della disidratazione. Habitat in associazione a svariate latifoglie, saltuariamente presente in lecceta.

20. Basidiomi con velo biancastro, sericeo, talvolta formante una calza più o meno fugace. Cuticola che, soprattutto a tempo umido, presenta una colorazione arancio o albicocca. Gambo radicante, spesso obeso. Crescita cespitosa. Spore non molto verrucose → *C. furtimornatus* Chevassut & Rob. Henry^(*)

^(*) Cappello brunastro pallido, bruno-arancio, ocraceo con tempo secco, con tonalità carnicine. Cuticola annerente alla manipolazione. Gambo tipicamente radicante, fusoidale. Specie caratteristica dell'areale mediterraneo, in particolare in associazione con leccio.

20. Basidiomi con velo biancastro, cuticola a tempo

umido non marcatamente albicocca, gambo radicante, slanciato, ma raramente cespitoso. Odore come di iodio o come di aceto → *C. acetosus* (Velen.) Melot^(*)

^(*) Cuticola tipicamente pruinosa, con lamelle fulve e odore caratteristico, netto nelle lamelle e nella carne. Spore 8,5-9,5 x 5-6 µm, da ellissoidali a subamigdaliformi, dalla marcata ornamentazione. Diffuso nell'areale mediterraneo, soprattutto in associazione a *Quercus* spp.

21. Cuticola liscia o fibrillosa → **22**

21. Cuticola tipicamente sericea, con evidenti tracce, più o meno fioccoso, di velo bianco; talvolta squamettata. Basidiomi dalle colorazioni brunastre, monotone, con lamelle più o meno violette → **25**

22. Cuticola fibrillosa o liscia, con tracce di violetto. Gambo con presenza di una calza o di decorazioni biancastre o violette → **23**

22. Cuticola tipicamente fibrillosa. Gambo con vistose tracce di velo giallastro o ocraceo, formante una zebratura più o meno evidente. Basidi perlopiù bisporici. Spore tondeggianti → *C. luteoperonatus* Bidaud & Cheyde^(*)

^(*) *C. luteoperonatus* è un *taxon* molto vicino a *C. lebretonii*. Secondo Bidaud & Cheyde (1991), lo differenziano la presenza di un marcato pigmento giallo, la diversa ornamentazione sporale e, soprattutto, la presenza di numerosi basidi bisporici. Possiamo anche aggiungere che *C. luteoperonatus* presenta una taglia più robusta, è dotato di un pigmento blu più vistoso, ha reazioni negative alla fenolanilina e al formolo, e cresce tipicamente sotto querce termofile sempreverdi.

23. Basidiomi con presenza di una tipica calza più o meno inguainante → *C. torvus* (Fr.) Fr.^(*)

^(*) Spore 9-10,5 x 5,5-6,5, con ornamentazioni più marcate verso la sommità. Specie piuttosto frequente in associazione a latifoglie, sia in habitat montani che mediterranei.

23. Basidiomi privi di calza o di anello evidenti → **24**

24. Gambo con vistose decorazioni a forma di zebreature. Spore 8,5-9,5 x 5-6,5 µm, con ornamentazione più marcata alla sommità. Odore come di *C. torvus* → *C. tigrinipes* Bergeron f.ma *suaveolens* D. Antonini & M. Antonini^(*)

^(*) Cappello fino a 70-80 mm, bruno-grigiastro, nocciola, maculato di giallastro. Gambo subconcolore al rivestimento pileico, violetto verso l'apice, tipicamente decorato da zebreature di velo giallo-ocraceo. Odore dolciastro caratteristico. Habitat in associazione a latifoglie, compresi gli ambienti mediterranei, dove è stato segnalato sia in quercete caducifoglie sia presso querce sempreverdi.

24. Gambo privo di calza, con evidenti tracce di velo biancastro formante una zona anulare. Odore rafa-noide. Spore lunghe fino a 13-14 μm → *C. subamethy-steus* Rob. Henry^(*)

^(*) Cappello fino a 60 mm, bruno-ametista, successivamente bruno-fulvo, forforoso-micaceo verso il bordo. Lamelle con tonalità violette. Gambo fusiforme o bulboso, violetto verso l'apice, con una zona anulare per il velo biancastro. Spore ellissoidali, con ornamentazione poco spessa. Habitat tipicamente in associazione a querce.

25. Basidiomi dotati di un velo bianco molto abbon-dante, che lascia evidenti tracce sul cappello e so-prattutto sul gambo → **26**

25. Basidiomi privi di velo abbondante e dalle colo-razioni sordescenti → **27**

26. Gambo terminante in un bulbo marginato evo-cante un *Phlegmacium* → *27 C. chevassutii* Rob. Henry^(*)

^(*) Cappello fino a 60-80 mm, grigio-brunastro, fibrillato, con margine ondulato. Lamelle fitte, da grigio chiaro a ocre, infine bruno-grigiastre. Gambo subconcolore al rivestimento pileico ma ricoperto da pruina biancastra derivante dal velo; terminante con un bulbo spesso marginato (20-30 mm di diametro). Spore 7,5-8,5 x 4,5-5,5 μm , da ellissoidali ad amigdaliformi. Specie tipicamente mediterranea, asso-ciata a querce, abbastanza frequente in leccete.

26. Gambo senza bulbo marginato → **28**

27. Odore tipico, duplice, con componente aromati-ca come di «mirabelle» mista a rafanoide. Habitat in associazione a latifoglie, prevalentemente faggi → *C. diosmus* Kühner var. *diosmus*

27. Odore meno marcato. Habitat in associazione a latifoglie mediterranee. Gambo con una sorta di volva basale molto marcata → *C. diosmus* Kühner var. *araneosovolvatus* Bon & Gaugué^(*)

^(*) Cappello fino a 60 mm, bianco o biancastro all'inizio, rico-perto dal velo bianco, poi grigio-brunastro, caffelatte, ocreo. Gambo da biancastro a subconcolore al cappello, cilin-drico, un po' radicante; con una specie di volva biancastra alla base, assai fioccosa. Specie segnalata esclusivamente in area mediterranea, con predilezione per le querce sempreverdi.

28. Odore caratteristico come di «mirabelle» o di iris → **29**

28. Con odori diversi, rafanoidi, fruttati o subnulli → **30**

29. Spore fino a 10-10,5 μm di lunghezza. Cuticola solitamente feltrata → *C. hillieri* Rob. Henry^(*)

^(*) Cappello, almeno nel giovane, ricoperto dal velo bianco-argenteo, poi feltrato e di colore brunastro-ocraeo, caffel-latte o anche fulvo. Gambo robusto, talvolta obeso. Odore tipico come di mirabelle, d'iris o di brioche appena sfornata. Spore 9-10,5 x 5,5-7 μm , ellissoidali, piuttosto verrucose. Cresce associato a latifoglie, più o meno calcicole, in boschi termofili o strettamente mediterranei.

29. Spore di taglia più grande. Cuticola talvolta areo-lata → *C. diffractosuavis* Chevassut & Rob. Henry^(*)

^(*) Cappello poco velato nel giovane, brunastro chiaro o bruno-rossastro, con tempo secco un po' areolato. Spore 10-12,5 x 7-8 μm , ellissoidali, abbastanza ornamentate. Ha-bitat in associazione a lecci o roverelle.

30. Cappello dalle colorazioni sordescenti; gambo con una zona anulare distinta e con base cotonosa → *C. cinereobrunneolus* Chevassut & Rob. Henry^(*)

^(*) Specie caratteristica delle leccete, dal cappello bruna-stro, più o meno uniforme, non maculato, con gambo che presenta una marcata zona anulare e una zona basale coto-nosa, biancastra. Spore 9-10,5 x 5,5-6,5 μm , da ellissoidali a su-bamigdaliformi, con ornamentazione non molto spessa.

30. Basidiomi con cappello dalle colorazioni sorde-scenti ma privi di zona anulare evidente sul gambo → **31**

31. Gambo annerente. Cappello dai colori sporchi, più o meno brunastri. Gambo tipicamente obeso, concolore o subconcolore al rivestimento pileico ma tendente ad annerire con l'età o dopo la manipolazio-ne. Odore caratteristico come di prezzemolo. Spore 9,5-11 x 5-6,5 μm , da ellissoidali a subamigdaliformi. → *C. suillo-nigrescens* Rob. Henry ex Reumaux^(*)

^(*) Specie segnalata in associazione a latifoglie, soprattutto calcicole, ritrovata anche in alcune leccete toscane.

31. Gambo non annerente. Cappello con colori me-no sporchi, più tenui. Gambo clavato un po' violetto, odore subnullo → *C. strenuipes* Rob. Henry^(*) (= *C. aprinus* Melot?)

^(*) Cappello fino a 10-12 cm, grigio-brunastro pallido o an-che bruno-rossastro, percorso da fibrille innate, ornato spo-radicamente da residui velari biancastro-argentei. Lamelle fitte, subconcolori al rivestimento pileico, talvolta sfumate di violetto. Gambo clavato, subconcolore al cappello, un po' violetto verso l'apice, con tracce sporadiche di velo fibrillo-so o leggermente fioccoso. Spore 8,5-11 x 6,5-7 μm , amigda-liformi, con ornamentazione più marcata alla sommità. Ha-bitat in associazione a latifoglie, presente anche in ambienti mediterranei, in substrati prevalentemente calcicoli.

Conclusioni

Questo contributo vuole essere un primo approfondimento monografico agli studi specifici già pubblicati sui macromiceti più rari e rappresentativi della micoflora mediterranea [1,2]. Tra le numerosissime collezioni a nostra disposizione abbiamo classificato e incluso nella chiave ventinove *taxa* di *Cortinarius* appartenenti al Sottogenere *Telamonia*, tutti segnalati in associazione a *Quercus ilex*.

Considerata la vastità del territorio in cui sono distribuite le leccete in Toscana, ricoprendo infatti una buona percentuale della superficie interessata dai boschi, e la frequenza relativamente bassa delle indagini svolte fino ad oggi, possiamo ritenere il quadro conoscitivo attuale ancora parziale e preliminare.

Bibliografia

- [1] D. Antonini, M. Antonini, Macromiceti nuovi, rari o specifici della regione mediterranea. *Fungi non delineati XXII*m 2002: 1.
- [2] D. Antonini, M. Antonini, G. Consiglio, Methods for the interpretation and the evaluation of spores in the genus *Cortinarius*. *IMC7, Book of Abstracts*, Oslo: 2002.
- [3] D. Antonini, M. Antonini, G. Consiglio, Chiave per la determinazione dei sottogeneri. In *Il Genere Cortinarius in Italia. Parte terza*. A.M.B. Fondazione Centro Studi Micologici, Trento: 2005.
- [4] D. Antonini, M. Antonini, G. Consiglio, Chiave per la determinazione dei taxa - parti 1-5. In *Il Genere Cortinarius in Italia. Parte quinta*. A.M.B. Fondazione Centro Studi Micologici, Trento: 2007.
- [5] Arnold N., Morfologisch-anatomische und chemische Untersuchung der Untergattung *Telamonia* (*Cortinarius*, *Agaricales*). *IHW Verlag*, Eching: 1993.
- [6] A. Bidaud, J.-L. Cheype, *Cortinarius luteopersonatus* sp. nov. *Bull. FAMM* 1991, 12: 35.
- [7] A. Bidaud, P. Moëgne-Loccoz, P. Reumaux, *Atlas des Cortinaires. Pars III-X*. Éd. Féd. Myc. Dauphiné-Savoie, Lyon: 1991-2000.
- [8] A. Bidaud, P. Moëgne-Loccoz, P. Reumaux, *Atlas des Cortinaires. Les Cortinaires Hinnuloïdes. Hors-série n° 1*. Éd. Féd. Myc. Dauphiné-Savoie, La Roche-sur-Foron 1997.
- [9] A. Bidaud, X. Carteret, G. Eyssartier, P. Moëgne-Loccoz, P. Reumaux, *Atlas des Cortinaires. Pars XII-XV*. Éd. Féd. Myc. Dauphiné-Savoie, Marlioz 2002-2006.
- [10] T.E. Brandrud, H. Lindström, H. Marklund, J. Melot, S. Muskos, *Cortinarius Flora Photographica. 1-4*. *Cortinarius* HB, Matfors 1990-1998.
- [11] G. Chevassut, R. Henry, Six *Cortinaires méditerranéens nouveaux du chêne vert* (*Qu. ilex*) dans le Bas-Languedoc. *Doc. mycol.* 1975, V (20): 23.
- [12] G. Chevassut, R. Henry, *Cortinaires nouveaux ou rares de la région Languedoc-Cévennes*. *Doc. mycol.* 1978, VIII (32): 1.
- [13] G. Chevassut, R. Henry, *Cortinaires nouveaux ou rares de la région Languedoc-Cévennes* (3ème note - suite n° 2). *Doc. mycol.* 1988, XIX (73): 45.
- [14] P. Moëgne-Loccoz, P. Reumaux, *Atlas des Cortinaires. Pars I-II*. Éd. Féd. Myc. Dauphiné-Savoie, Annecy: 1990.
- [15] M. Moser, Die Röhrlinge, und Blätterpilze. In: W. Gams, *Kleine Kryptogamenflora. Band IIb/2. 5 Aufl.* G. Fischer, Stuttgart: 1983.
- [16] F. Trescol, *Cortinaires des chenes verts*. *Annales n. 2*, F.A.M.M. 1986.

Andar per funghi... in mare?

Giovanni Vannacci*

Parole chiave: micologia marina, Ascomycota, biodiversità

La grande maggioranza delle persone conosce i funghi per quello che possono offrire gli scaffali dei supermercati o per le ricette che si trovano sui libri di cucina. Molti conoscono i funghi che crescono nei boschi e che affascinano per le loro forme, colori e profumi. Pochi, purtroppo, sanno che i funghi ci accompagnano, nel bene e nel male, nella nostra vita quotidiana e che la gran parte di essi sono microscopici. Dei funghi ad habitat marino si sa ancora meno. Solo nel 1944 c'è stata la prima indagine sistematica su questo gruppo di funghi. Da allora strada ne è stata fatta, ma la Micologia marina rimane una branca della Micologia poco indagata.

*Ma cosa è un fungo marino? I funghi marini obbligati crescono e si riproducono esclusivamente in habitat marini o negli estuari, i facoltativi possono crescere e riprodursi anche in acqua dolce o in habitat terrestri. La gran parte sono saprotrofi e decompongono substrati organici, incluso quelli ricchi di lignina; pochi sono parassiti di alghe o crescono in coralli o formano associazioni tipo licheni. Sono in grado, quando si comportano da patogeni di causare gravi danni, come *Aspergillus sydowii* su Gorgonie. A tutt'oggi quasi tutti i funghi marini conosciuti appartengono all'ordine degli Ascomycota ed agli Ascomiceti mitosporici.*

La Micologia marina è ancora nella sua infanzia, veramente poco si sa sulla biodiversità dei funghi marini, sulla loro distribuzione geografica o sulla loro presenza in regioni quali l'Artico o l'Antartico. L'interesse dell'uomo per i metaboliti secondari prodotti da questi funghi potrebbe spingere ad approfondire le ricerche su questi organismi. In fin dei conti, sotto la superficie del mare si svolge una quotidiana battaglia tra organismi diversi per il possesso delle scarse risorse disponibili ed i mezzi chimici impiegati dai funghi marini in questa lotta potrebbero rivelarsi nuovi ed estremamente utili per l'uomo.

Introduzione

Tra qualche giorno, dal momento in cui vengono scritte queste pagine, si terrà a Penang, Malesia, il X Marine and Freshwater Mycology Symposium (2-6 dicembre 2007). Il primo di questa serie di simposi si era tenuto in Germania nel 1966 e, successivamente, i micologi marini si erano incontrati a cadenza circa quadriennale. In questi ultimi qua-

ranta anni una discreta massa di informazioni si è accumulata sulla tassonomia, ecologia e, in particolare, sulla distribuzione geografica dei funghi marini. Dobbiamo, tuttavia, ricordare che la prima segnalazione di un fungo (*Sphaeria posidoniae* su *Posidonia*, attualmente *Haloththia posidoniae* (Dur. and Mont.) Kohlm.) in ambiente marino è avvenuta nel 1846 ad opera di Montagne [7], anche se il lavoro da molti riconosciuto come catalizzatore delle ricerche in que-

sto campo è quello di Barghoorn e Linder (1944) nel quale Linder descrive 25 specie di funghi marini lignivori. In effetti, nei cinquanta anni successivi la sua pubblicazione sono stati descritti circa il 90% dei funghi marini attualmente riconosciuti.

Con il termine «fungo marino» non si definisce un raggruppamento sistematico ma un gruppo ecologico, ed i funghi marini appartengono, in effetti, a molte famiglie diverse. La definizione comunemente accettata di fungo marino è quella di Kohlmeyer e Kohlmeyer (1979): i funghi marini obbligati crescono e sporulano solamente in ambiente marino o negli estuari, i facoltativi possono crescere in ambiente marino ma anche nelle acque dolci o in habitat terrestri. Il sistema migliore per isolare funghi marini è quello di esaminare il materiale organico direttamente prelevato dal mare e ricercarvi la presenza di fruttificazioni fungine; la tecnica di seminare substrati nutritivi con lo stesso materiale consente un maggior numero di isolamenti, ma spesso si tratta di organismi che si ritrovano casualmente nell'acqua di mare sotto forma di spore o altre forme di resistenza, ma sono di provenienza terrestre. In questi casi è necessario dimostrare sperimentalmente che il fungo isolato è in grado di crescere e riprodursi quando allevato in acqua marina.

Aspetti sistematici

La conoscenza dei funghi marini e di quelli isolati dalle mangrovie è ancora allo stadio di catalogazione e accettabili indici di diversità non sono ancora disponibili. Stime approssimative indicano in 800/1000 [16] – 1500 [14] le specie note, con l'esclusione di quelle formanti licheni. Molte di queste sono specie nuove o non sono state ancora adeguatamente descritte. Hyde [12] indica in 444 le specie di funghi marini superiori (*Dikarya*, *sensu* [10], e Mitomiceti) con una netta predominanza degli *Ascomycota* (tabella 1).

Più recenti stime [26] indicano un totale di 465 specie di *Ascomycota* e 10 di *Basidiomycota* e devono, inoltre, essere considerati i funghi isolati dalle foreste di mangrovie, vere e proprie riserve di biodiversità in cui ne sono stati identificati 625, dei quali circa 200 sono obbligati marini. Si deve, tuttavia, osservare che una parte di questi possono ritrovarsi anche in ambienti marini diversi dalle mangrovie. Infine esistono i *Chytridiomycota*, 35 specie, e gli *Zygomycota*, 16 specie (<http://www.marinespecies.org>), stime da conside-

Tabella 1: Generi e specie di funghi marini.

Taxon	Generi	Specie
<i>Dikarya</i>		
<i>Ascomycota</i>	177	360
<i>Basidiomycota</i>	7	10
Mitomiceti		
<i>Coelomycetes</i>	23	28
<i>Hyphomycetes</i>	28	46
Totale	235	444

Da Hyde, 2000, modificato

rarsi puramente indicative. Il numero delle specie fungine, non solo marine, è destinato certamente ad aumentare nel tempo sia in conseguenza delle ricerche sempre più estese ma anche via via che al concetto di specie basato su caratteri morfologici si sostituirà quello di specie filogenetica basato su caratteri molecolari. Questo consentirà di suddividere quello che su base morfologica viene oggi considerata una singola specie, in specie filogeneticamente diverse (specie criptiche).

La predominanza degli *Ascomycota* è assolutamente netta e sembrano essersi evoluti per trarre vantaggio dall'ambiente acquatico, con i loro microscopici corpi fruttiferi e le spore fornite di appendici che aiutano la dispersione e l'ancoraggio ai substrati solidi. Tra gli *Ascomycota*, l'ordine più rappresentato tra i funghi marini è quello degli *Halosphaeriales* (non più accettato, ed i cui membri sono stati inclusi in parte nei *Microascales* ed in parte nei *Lulwortiales* [10], *l.c.*). Ma come si sono evoluti i funghi marini? Kohlmeyer [18] ipotizzò che il carattere «marino» potesse essere, negli Ascomiceti, primario o secondario. In altre parole alcuni di essi si sarebbero evoluti direttamente da antenati marini (antenati comuni alle alghe rosse) mentre altri avrebbero riacquisito tale carattere a se-

l'autore

Dipartimento di Coltivazione e difesa
delle specie legnose «G. Scaramuzzi»
Università di Pisa - Tel. 050571556
g.vannacci@agr.unipi.it

* autore per corrispondenza

guito del ritorno in ambiente marino, ma a partire da più recenti antenati terrestri. Studi molecolari recenti [13] non riescono a chiarire se il progenitore comune dei funghi abbia avuto origine in ambiente marino, mentre sembra molto probabile che la diversificazione dei taxa maggiori all'interno del regno dei funghi sia avvenuta in ambiente terrestre prima della colonizzazione delle terre emerse da parte delle piante (colonizzazione, tra l'altro, favorita dalla simbiosi tra *Glomeromycota* e piante). In ogni caso, nei funghi superiori il carattere «marino» sembra essere un carattere acquisito da funghi terrestri che sono ritornati all'ambiente marino.

I funghi nell'ecosistema marino

Al momento non esistono prove convincenti che singole specie fungine siano confinate a paesi o continenti ed i funghi marini non costituiscono unità «floristiche» discrete come le alghe. In generale la composizione del micobiota dipende dalla temperatura dell'acqua piuttosto che da quella dell'aria e i funghi possono essere suddivisi in due grandi gruppi, le specie pantemperate e le specie pantropicali senza che a questi termini sia dato un significato geografico troppo spinto. L'assenza di barriere fisiche e la presenza di correnti fa sì che specie dei due gruppi possano ritrovarsi mischiate, in particolare nelle zone di confine tra le due regioni. Alcune specie possono essere considerate cosmopolite, come *Corollospora maritima*, altre tipiche di regioni ben definite, come *Asteromyces cruciatus* per le regioni temperate; funghi che hanno specificità per alcuni ospiti seguono la distribuzione degli stessi, ad es. *Keissleriella blepharospora* colonizza radici e germinelli immersi di *Rhizophora* spp (Mangrovie) e si ritrova ovunque il suo ospite possa vivere (grazie alla corrente del Golfo, può essere trasportata per centinaia di miglia fino alla costa della Carolina del Nord negli Stati Uniti). Lo stesso vale per le specie che colonizzano specificamente alghe, anche se, spesso, parassiti hanno una distribuzione più limitata delle alghe che li ospitano [18]. Funghi sono stati ritrovati anche in materiale prelevato ad elevate profondità ma, in molti casi, questi funghi sono stati isolati a pressione e temperatura dei laboratori dove tale materiale è stato esaminato. Non si può escludere, quindi, che le spore o i frammenti di micelio che hanno dato origine a quei ritrovamenti si siano trovati a quelle profondità casualmente, provenendo da orizzonti superiori o, addirittura,

dalla superficie, ed in una fase di vita latente; importante, in questi casi, potrebbe risultare la valutazione della barotolleranza di questi organismi [21]. Indagini molecolari recenti [2] suggeriscono che ad alte profondità i funghi sono rari e predominano lieviti con sequenze simili a quelle di organismi che si ritrovano in superficie suggerendo una storia di frequenti scambi tra ambienti terrestri e marini.

Funghi marini possono vivere come saprofiti a spese di sostanza organica di origine vegetale od animale, come parassiti di piante e animali e come simbiotici di alghe. Substrati diversi quali sedimenti, alghe, sostanze lignocellulosiche, fogliame, spoglie di animali, strutture calcaree di molluschi e coralli, materiali di origine antropica possono supportare la crescita saprotrofica dei funghi. Sul legname che si ritrova in mare aperto è frequente il reperimento di *Halosphaeriales*, caratterizzati dall'avere aschi deliquescenti e liberazione passiva delle ascospore, le quali sono caratterizzate dall'avere appendici di varia forma e dimensioni che ne favoriscono la flottazione e l'ancoraggio ai materiali in sospensione nell'acqua. Nelle mangrovie, ed in particolare su materiali lignocellulosici presenti nell'orizzonte compreso tra le linee di alta e bassa marea, si ritrovano ascomiceti caratterizzati dall'avere ascospore espulse attivamente dagli aschi (una volta riferiti alla classe *Loculoascomycetes*), prive di ornamenti ma spesso dotate di una guaina mucillaginoso. Nei periodi di bassa marea queste caratteristiche favoriscono la dispersione e l'ancoraggio delle ascospore sui materiali non coperti dalle acque.

I funghi marini sono i maggiori decompositori delle sostanze lignocellulosiche che entrano nell'ecosistema marino. Tra le diverse componenti del legno, la cellulosa è degradata più facilmente, mentre la lignina appare più resistente. *Corollospora maritima* e *Monodictis pelagica* sono esempi di funghi marini con elevata capacità cellulolitica (la cellulosa degradata può anche essere di origine animale, come quella presente nei Tunicati) mentre *M. pelagica* e *Nia vibrissa* sono in grado di demolire la lignina. I funghi marini possono comportarsi da endoliti, penetrando rocce calcaree, gusci di molluschi o Cirripedi (Denti di cane) dove possono utilizzare la sostanza organica mineralizzata o stabilire rapporti simbiotici o parassitari con i loro ospiti; importante è la loro presenza negli scheletri di coralli, dove sono ampiamente rappresentati e con i quali, in condizioni normali, convivono in equilibrio, ma quando le barriere coralline sono in situazioni di stress possono causare gravi danni [8].

Le scarse informazioni circa l'esistenza di simbiosi tra funghi marini ed altri organismi ci dicono che queste possono essere di tre tipi: licheni, micoficobiosi e micorizze.

I licheni (ne sono note 28 specie [11]) si trovano principalmente sulle rocce nella fascia compresa tra alta e bassa marea e sono, quindi, immersi ciclicamente, rari sono i licheni costantemente immersi [17], la componente algale è microscopica e può vivere indipendentemente dal fungo.

Le micoficobiosi sono associazioni mutualistiche tra un fungo sistemico ed una macroalga, sono associazioni obbligate e predomina l'habitus dell'alga (Kohlmeyer e Kohlmeyer, *l.c.*), infine le micorizze sono di tipo vescicolare – arbuscolare e si ritrovano su alofite che crescono nelle lagune salmastre. No micorizze sembrano esistere per fanerogame marine [23].

Rapporti di natura parassitaria tra funghi ed organismi marini sono ben noti da tempo [24]. Predominanti sono gli *Oomycetes* (non appartengono al Regno dei funghi, anche se comunemente sono considerati tali) ma anche rimanendo tra i funghi superiori si può ricordare *Fusarium solani* che causa infezioni dell'esoscheletro di crostacei, *Scolecobasidium* che infetta massicciamente i coralli nelle isole Andamane e *Lasiodiplodia theobromae*, isolato da stadi giovanili di *Tridacna crocea* (curiosamente questo fungo attacca piante terrestri diverse ma causa anche cheratiti, onicomicosi ed altre malattie nell'uomo, anche se raramente). Di grande interesse, sia per i danni causati sia per le probabili connessioni con il riscaldamento globale, è il caso dell'aspergilloso delle gorgonie [15]. Osservata per la prima volta nel 1995 nelle Antille olandesi (Saba), si è diffusa fino a Trinidad e Colombia a sud e Messico e Florida a nord. In alcuni siti in Florida è arrivata a distruggere il 50% dei coralli, con grande variabilità tra sito e sito. I sintomi della malattia sono ben evidenti e consistono in lesioni, dove il tessuto viene distrutto, circondate da aloni fortemente pigmentati. L'agente causale è *Aspergillus sydowi*, saprotrofo comunemente isolato da terreno, che potrebbe aver raggiunto i coralli o trasportato con le sabbie africane da forti correnti aeree [9] o con materiale in sospensione trasportato da importanti corsi d'acqua (Mississippi o Orinoco). Certo che, non essendo il fungo in grado di riprodursi in ambiente marino, è necessario un continuo apporto di inoculo dall'esterno in quanto la diffusione del patogeno tramite porzioni di corallo infetto è poco efficiente. *A. sydowi* è un patogeno opportunisto adattatosi all'ambiente marino, la sua temperatura

ottimale di crescita è di circa 30°C e sembra essere favorito da abbondanti disponibilità di azoto. Appare evidente come fattori antropici e non antropici (eutrofizzazione, inquinamento, riscaldamento globale) possano influire pesantemente sull'incidenza delle malattie in organismi acquatici [19]; nel 1999 anche in Liguria fu segnalata una elevata mortalità di gorgonie, in coincidenza di un improvviso aumento di temperatura delle acque, ed anche in questo caso i coralli erano estensivamente attaccati da protozoi e funghi (ma non *A. sydowi*) [4].

I funghi marini: una risorsa per l'uomo

Come in tutti gli ecosistemi, anche in mare i funghi devono mantenere il possesso del territorio per poterlo utilizzare ai propri fini. Tra le diverse strategie che possono mettere in atto, l'uso di sostanze chimiche, enzimi o sostanze ad attività antibiotica, appare di grande interesse visto che le stesse sostanze chimiche possono essere vantaggiosamente sfruttate dall'uomo. Non è certo una novità che il mare fornisca metaboliti di grande importanza; la produzione della porpora di Tiro era già una fiorente industria più di 3500 anni fa, ed il suo precursore veniva estratto dalle secrezioni ipobranchiali di alcuni molluschi (ne occorrevo molte migliaia per ottenere un grammo di colorante il cui costo, in certi periodi, era molto superiore a quello dell'oro) [22]. In tempi molto più recenti l'industria farmaceutica ha utilizzato la Cefalosporina C come precursore delle cefalosporine, ma la Cefalosporina C è un antibiotico prodotto da *Cephalosporium acremonium*, isolato, e studiato, da Brotzu nel 1945 in acqua di mare prelevata in prossimità dello scarico di una fogna nel porto di Cagliari (<http://www.unica.it/~webcontu/brotzu/brotzu2.htm>). Negli anni '60 l'ambiente marino cominciò ad essere seriamente considerato una importante risorsa, nuovi metaboliti bioattivi sono stati scoperti e screening industriali sono stati avviati [27]; in definitiva l'interesse per essi è andato estendendosi [3]. Tuttavia, nonostante il rapido progredire nelle tecniche di isolamento e nell'individuazione di nuovi metaboliti, la biodiversità dei funghi marini è tuttora poco sfruttata.

I metaboliti secondari di interesse economico includono polichetidi, alcaloidi, terpenoidi, enzimi ed altre sostanze [20]. Spesso queste sostanze sembrano essere prodotte esclusivamente da funghi marini, ad es. gli enzimi alginolitici sono prodotti da specie di

ascomiceti marini quali *Asteromyces cruciatus*, *Corolospora intermedia*, and *Dendryphiella salina* [22] ma non da ascomiceti terrestri [25].

Se, da un lato, la ricerca si indirizza verso funghi marini obbligati, per l'ovvia considerazione che vivendo in un ecosistema differente dai funghi terrestri potrebbero esprimere metaboliti diversi, non devono essere trascurati i funghi marini facoltativi in quanto i metaboliti secondari sono isolati specifici e, quindi, anch'essi potrebbero rivelarsi interessanti. Un più recente approccio all'isolamento di sostanze interessanti per l'uomo, parte dalla constatazione che metaboliti secondari diversi sono espressi da un organismo quando allevato in presenza di un altro organismo o di suoi metaboliti. In tal modo sono stati isolate tre nuove chetoglobosine (citotossiche verso cellule tumorali) da *Phomopsis asparagi* (isolato dalla spugna *Rhaphidophlus juniperina*) allevata in presenza di un inibitore (prodotto dalla spugna *Jaspis splendens*) della F-actina [5] e nuovi peptidi antimicrobici prodotti da un isolato di *Emericella* sp. In co-cultura con l'attinomicete marino *Salinispora arenicola* [6] aprendo la via a nuove ed entusiasmanti scoperte.

Prospettive

Gli oceani rappresentano l'ultima frontiera per l'uomo sulla Terra. Le enormi potenzialità che essi nascondono e la loro fragilità di fronte ai cambiamenti climatici impongono un approfondimento delle conoscenze su tutti i fronti.

Le ricerche sui funghi marini sono ancora in uno stadio giovanile. Esistono ambienti (Artico, Antartico, profondità degli oceani) per i quali le informazioni sono scarse o nulle. Anche numerosi aspetti della fisiologia richiedono approfondimenti, a partire da quelli relativi alla tolleranza al sale o alle elevate pressioni. Strettamente connesse con queste, sono le ricerche sul metabolismo e sui metaboliti, inclusi gli esopolimeri che ornamentano molti tipi di spore e la cui conoscenza potrebbe rivelarsi interessante non solo per le possibili applicazioni, ma anche per la comprensione del loro ruolo nell'ecologia di questi organismi. Strumenti e strategie di ricerca moderne cominciano ad essere applicate ai funghi marini. Recentemente è stato reso pubblico l'intero genoma di un lievito marino, *Debaryomyces (Torulaspora) hansenii* (<http://cbi.labri.fr/Genolevures/deha.php>); questo è un fatto molto positivo, ma quanto può essere rappresentativo dei funghi marini un lievito? I fun-

ghi filamentosi hanno un genoma molto più grande, si rende quindi necessario il sequenziamento di un fungo filamentoso marino, che consentirebbe di affrontare il problema di definire quali sono le caratteristiche differenziali tra un fungo marino e la sua controparte terrestre; lo stesso dicasi per gli *Oomycetes*; sono disponibili molte sequenze di *Phytophthora* patogene di piante e queste potrebbero essere confrontate con sequenze di *Halophytophthora* (marino). Conoscenze molecolari sono anche indispensabili se vogliamo affrontare il problema della filogenesi di questi organismi e se vogliamo rendere disponibili strumenti per una loro rapida e non equivoca identificazione. È dimostrato che i funghi presenti in habitat marini sono coinvolti in eventi disastrosi per altri organismi, spesso in conseguenza di condizioni di stress, strumenti che consentono una loro identificazione rapida e certa, sono indispensabili anche per comprendere l'epidemiologia di queste malattie e le cause che predispongono ad esse.

Questa breve digressione sulle prospettive non vuole e non può essere esaustiva, ma ha soltanto lo scopo di sollecitare l'interesse e la curiosità dei lettori per un settore, la Micologia marina, che necessita di risorse umane e materiali e promette eccitanti scoperte.

Bibliografia

- [1] E.S. Barghoorn, D.H. Linder, Farlowia 1944, 1: 395.
- [2] D. Bass, A. Howe, N. Brown, H. Barton, M. Demidova, H. Michelle, L. Li, H. Sanders, S.C. Watkinson, S. Willcock, T.A. Richards, Proc. Royal Soc. B: Biol. Sci. 2007, 274: 3069.
- [3] D.S. Bhakuni, D.S. Rawat, Bioactive marine natural products. Springer, Netherlands: 2005.
- [4] C. Cerrano, G. Bavestrello, C.N. Bianchi, R. Cattaneo-Vietti, S. Bva, C. Morganti, C. Morri, P. Picco, G. Sara, S. Schiaparelli, A. Siccardi, F. Sponga, Ecology Letters. 1999, 3: 284.
- [5] O.E. Christian, J. Compton, K.R. Chritian, S.L. Mooberry, F.A. Valeriote, P. Crews, J. Nat. Prod. 2005, 68: 1592.
- [6] O. Dong-Chan, C.A. Kauffman, P.R. Jensen, W. Fenical, J. Nat. Prod. 2007, 70: 515.
- [7] C. Durieu de Maisonneuve, Flore d'Algerie Cryptogamie Premiere Partie, Imprimerie Imperiale, Paris: 1846, p. 502.
- [8] S. Golubic, G. Radtke, T. Le Champion-Alsward, Trends in Microbiology 2005, 13 (5): 229.

- [9] D.W. Griffin, C.A. Kellog, *EcoHealth* 2004, 1: 284.
- [10] D.S. Hibbett et al., *Mycological Research* 2007, 111: 509.
- [11] K.D. Hyde, E.B. Gareth Jones, E. Leano, S.B. Pointing, A.D. Poonyth, L.L.P. Vrijmoed, *Biodiversity and Conservation* 1998, 7: 1147.
- [12] K.D. Hyde, S.B. Pointing, *Marine mycology. A practical approach*. Fungal Diversity Press, Hong Kong: 2000.
- [13] T.Y. James et al., *Nature* 2006, 443: 818.
- [14] E.B.G. Jones, J.I. Mitchell, *Biodiversity of marine fungi*. In: *Biodiversity: International Biodiversity Seminar* (A. Cimerman e N. Gunde-Cimerman eds.), Nat. Inst. Chem. and Slovenia Nat. Comm. for UNESCO, Ljubljana: 1996.
- [15] K. Kim, G.W. Smith, *Gorgonia-Aspergillus* pathosystem: review of a fungal disease affecting Caribbean sea fan corals. In: R.C. Cipriano, I.S. Shchelkunov, M. Faisal. (eds.), *Health and diseases of aquatic organisms: bilateral perspective*. Michigan State University, Sheparstown, West Virginia: 2005.
- [16] P.M. Kirk, P.F. Cannon, J.C. David, J.A. Stalpers, *Dictionary of the fungi*, 9th Ed. CAB International, Wallingford (UK): 2001.
- [17] J. Kohlmeyer, D.L. Hawksworth, B. Volkman-Kohlmeyer, *Mycological Progress* 2004, 3(1): 51.
- [18] J. Kohlmeyer, E. Kohlmeyer, *Marine Mycology, The higher fungi*. Academic Press, London: 1979.
- [19] K.D. Lafferty, J.W. Porter, S.E. Ford, *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 2004, 35: 31.
- [20] K. Liberra, U. Lindquist, *Pharmazie* 1995, 50: 583.
- [21] R. Lorenz, H.P. Molitoris, *Mycological Research* 1997, 101: 1355.
- [22] P.E. McGovern, H. Michel, *Accounts of Chemical research* 1990, 23: 152.
- [23] S.L. Nielsen, I. Thingstrup, C. Wigand, *Aquatic Botany* 1999, 63(3-4): 261.
- [24] N. Ramahia, *Indian Journal of Marine Sciences* 2006, 35: 380.
- [25] S. Sarrocco, S. Fanti, G. Vannacci, *Journal of General and Applied Microbiology* 2004, 50: 229.
- [26] K. Schaumann, G. Weide, *Hydrobiologia* 1990, 204-205: 589.
- [27] F. Sponga, L. Cavaletti, A. Lazzarini, A. Borghi, I. Ciciliato, D. Losi, F. Marinelli, *J. Antibiot.* 1999, 70: 65.
- [28] C.A. Shearer, E. Descals, B. Kohlmeyer, J. Kohlmeyer, L. Marvanova, D. Padgett, D. Porter, H.A. Raja, J.P. Schmit, H.A. Thorton, H. Voglmayr, *Biodivers. Conserv.* 2007, 16: 49.

Catture e rendimenti da pesca di reti da posta con differenti colorazioni nel litorale di Castiglioncello (LI)

R. Silvestri*¹, P. Sartor², R. Baino¹, B. Francesconi², M. Ria¹, M. Sbrana²

Parole chiave: piccola pesca, reti da pesca, Mar Ligure meridionale

Reti da posta con diversi colori sono comunemente usate lungo le coste del Mar Mediterraneo dalle marinerie della piccola pesca professionale. L'abbondanza delle catture e la composizione in specie vengono confrontate tra identici tramagli con differenti colorazioni: bianca, gialla, rossa e nera. Differenze significative sono state trovate sia per la cattura complessiva, sia per alcune specie, a causa del colore della rete: la rete bianca è sempre risultata la meno catturante.

Introduzione

La piccola pesca costiera, la più diffusa in ambito mediterraneo, è una attività di grande valore economico, ecologico, sociale e culturale. I sistemi di pesca artigianale sono un'attività di prelievo ittico a basso impatto sull'ambiente marino, sono selettivi e consentono una buona redditività con un limitato consumo di carburante. Le reti da posta sono certamente l'attrezzo maggiormente utilizzato dalle marinerie della piccola pesca [1]. Perché in Mediterraneo le marinerie della pesca artigianale usano spesso reti da posta di colore diverso tra loro? Reti bianche (non colorate) sono in uso in alcune marinerie del nord e centro Italia e sulla costa francese, reti color rosso scuro o marrone in uso prevalentemente lungo le coste centro meridionali italiane, reti color giallo nel Mediterraneo di levante, in particolare Grecia, Turchia e Cipro, reti color nero opaco in tutto l'Adriatico. Esiste un effetto tra colore delle reti e catture? L'uso di colorazioni diverse è dovuto solo alle locali tradizioni di pesca oppure esistono effetti sulle specie bersaglio? Grazie ai finanziamenti SFOP (Regione Toscana e U.E.), è stato realizzato questo progetto di ricerca per conoscere gli effetti del colore delle reti sulle catture e sui rendimenti di pesca.

Materiali e metodi

In un tratto di mare costiero immediatamente a nord di Castiglioncello sono state effettuate 18 giornate di pesca con cadenza stagionale dall'autunno 2005 all'estate 2006, in due aree con fondale rispettivamente roccioso e sabbioso. La profondità di pesca è sempre stata compresa tra i 3 e gli 8 metri. Per ogni uscita sono state calate in sequenza otto pezze di tramaglio di 200 m ciascuna con le quattro differenti colorazioni scelte per l'indagine: bianca, gialla, rossa e nera (figura 1). Le pezze sono state disposte in successione

gli autori

¹ Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana, ARPAT, Area Mare, RIBM - Via Marradi 114, 57126 Livorno
r.silvestri@arpat.toscana.it

² C.I.B.M. - Centro Interuniversitario di Biologia Marina, Livorno

* autore per corrispondenza



Figura 1: Le pezze di reti colorate pronte per essere calate.



Figura 3: Vengono salpate le reti gialle su fondo duro.



Figura 2: Fase di salpata, è il turno delle reti bianche.



Figura 4: Le specie catturate vengono separate per colore di rete.

sistematica a rotazione, in modo che su ogni tratto di costa dell'area scelta agissero tutti i quattro colori. Quindi, per ogni campionamento è stato calato un totale di 1600 m di rete a tramaglio.

La rete usata è il tipico *tramaglino* (figura 2) della marineria livornese, prevalentemente utilizzato per la cattura di triglie di fango e di scoglio, scorfani e pesce da minestra, con maglie del panno interno di 22 mm di lato e di 160 mm di lato per le maglie dei pareti esterni. I rendimenti totali e quelli delle specie più abbondanti di ciascun tipo di rete sono stati comparati con l'Analisi della Varianza.

Risultati

Sono state catturate in totale 109 specie: 76 pesci, 16

crostacei, 12 molluschi e 5 echinodermi. La composizione delle specie catturate nei due tipi di fondo, roccia e sabbia, è risultata alquanto diversa: solo 33 specie in comune tra le due aree, mentre 42 sono state catturate solo su roccia (figura 3) e 34 solo su sabbia. La rete bianca ha catturato un numero di specie sensibilmente inferiore alle altre reti: su fondo roccioso ha pescato 37 specie, mentre la gialla ne ha catturate 46, la nera 47 e la rossa 53. Sulla sabbia la rete bianca ha fornito 39 specie, mentre le altre reti da 43 a 47 specie. La tabella 1 riassume i risultati dei confronti tra le catture ottenute da ciascun tipo di rete.

La rete bianca, che in realtà è una rete in poliammide non colorato, ha sempre fornito rendimenti inferiori a quelli delle altre tre reti. Questa rete è stata la meno efficiente per le specie distribuite prevalentemente su fondale roccioso; per le specie maggiormente pre-

Tabella 1: Confronti tra reti sulla base delle catture in numero, sia totali, sia per singola specie. È riportata la posizione (rango) ottenuta da ciascuna rete nei confronti. Significatività statistica: *** ($p < 0,001$); ns (non significativo).

	habitat preferenziale	rete bianca	rete gialla	rete rossa	rete nera	Significatività (Anova)
Numero di specie		4	2	1	3	
Catture totali (roccia)		4	1	2	3	***
Catture totali (sabbia)		4	1	3	2	***
<i>Botus podas podas</i>	sabbia	4	3	1	2	ns
<i>Diplodus annularis</i>	roccia/sabbia	4	3	1	2	ns
<i>Diplodus vulgaris</i>	roccia	4	3	1	2	***
<i>Lithognathus mormyrus</i>	sabbia	4	1	3	2	ns
<i>Mullus surmuletus</i>	roccia	4	1	2	3	***
<i>Sepia officinalis</i>	roccia/sabbia	4	2	3	1	ns
<i>Serranus scriba</i>	roccia	4	1	2	3	***
<i>Scorpaena porcus</i>	roccia	4	1	2	3	***
<i>Symphodus tinca</i>	roccia	4	2	3	1	***
Somma dei ranghi		48	21	24	27	

senti su sabbia o senza evidenti preferenze tra sabbia e roccia, le catture della rete bianca, anche se sempre inferiori, non hanno mostrato differenze significative con quelle delle altre reti (figura 4).

Nei confronti tra le tre reti «colorate», non sono emerse differenze statisticamente significative (figura 5); comunque, la rete gialla ha in genere fornito i rendimenti maggiori. Per la struttura in taglie delle specie catturate non sono state evidenziate differenze significative tra le reti: il colore, quindi, non sembra aver influito sulla selettività dell'attrezzo.



Figura 5: Il lavoro in laboratorio dopo ogni giornata di pesca.

Conclusioni

La rete bianca ha sempre rendimenti più bassi delle altre tre reti. Per le pezze colorate, non sono emerse differenze tali da far prevalere nettamente un attrezzo sull'altro; comunque, dai risultati ottenuti può talvolta essere individuato un colore della rete in grado di ottimizzare i rendimenti mirati alla cattura di alcune specie. In particolare la triglia di scoglio (*Mullus surmuletus*) e lo scorfano nero (*Scorpaena porcus*) sembrerebbero preferire il giallo, il sarago (*Diplodus vulgaris*) e lo sparaglione (*Diplodus annularis*) il rosso, la seppia (*Sepia officinalis*) appare catturata maggiormente dalla rete color nero. Inoltre questi risultati screditerebbero la convinzione di alcune marinerie che ritengono le reti bianche più efficaci per la cattura, in particolare dei cefalopodi.

Bibliografia

[1] M. Ferretti, E. Tarulli, S. Palladino, Classificazione e descrizione degli attrezzi da pesca in uso nelle marinerie italiane con particolare riferimento al loro impatto ambientale. Quaderni ICRAM 2002, 3: 126 pp.

Caratteristiche delle catture del rombo di rena *Bothus podas podas* (Delaroche, 1809)

Michela Ria¹, Romano Bains*¹, Roberto Silvestri¹, Fabrizio Serena¹

Parole chiave: pesca, morfometria, distribuzione, Mar Tirreno

Dati di cattura di Bothus podas nel Tirreno settentrionale, relativi agli ultimi 20 anni, provengono dalla pesca a strascico e da quella artigianale con vari tremagli e reti monofilo da imbrocco. I rendimenti di pesca sono analizzati relativamente alla distribuzione geografica, alle distribuzioni di taglia e alla struttura d'età. Le correlazioni morfometriche tra la lunghezza e il peso individuale sono confrontate con quelle relative ad altre aree di presenza della specie sia in Mediterraneo, sia in Atlantico.

Nel Tirreno settentrionale la specie si concentra soprattutto nel Golfo di S. Vincenzo dove raggiunge densità anche di 2 kg/km², ma risulta anche presente tra Viareggio e Marina di Carrara, a nord di Castiglioncello e intorno all'Isola di Capraia.

Il range batimetrico di presenza è documentato tra 5 e 63 m di profondità con taglie tendenzialmente maggiori allontanandosi dalla costa; non si hanno comunque evidenze di reclutamento o concentrazione dei giovani. Le taglie osservate sono comprese tra 7 e 17 cm con pesi individuali tra 10 grammi fino a oltre 60 grammi.

Introduzione

Il rombo di rena è una specie bentonica tipica dei fondi sabbiosi costieri del Mar Mediterraneo e dell'Atlantico orientale dalle Azzorre fino al limite della Namibia (figura 1).

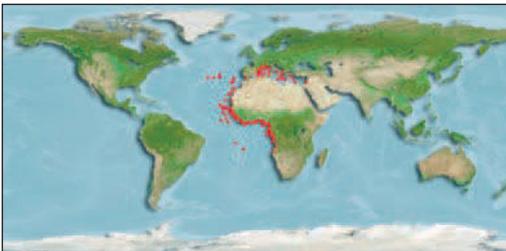


Figura 1: Distribuzione geografica delle segnalazioni di *Bothus podas* (da fishbase.org).

Pur trattandosi di una specie facilmente identificabile, a causa delle sue limitate dimensioni e dello scarso valore commerciale, nonché della sua ridotta abbondanza, le conoscenze biologiche presenti in letteratura sono tuttora relativamente carenti e datate [1] e [2].

Considerando che la specie è soggetta alla pesca professionale sia dello strascico, sia della pesca artigianale, sono state anche analizzate le tipologie di cattura di entrambi gli attrezzi.

Materiali e metodi

Le informazioni relative alla distribuzione geografica, alle abbondanze e alle caratteristiche biologiche, provengono da oltre 800 campionamenti eseguiti nell'ambito del programma GRU.N.D (Gruppo Na-

zionale Demersali) negli anni dal 1985 al 2006. Si tratta di pesche realizzate con la rete a strascico tradizionale (tartana con apertura verticale di 1,5 m) sui fondali nell'area prospiciente le coste settentrionali della Toscana, dalla foce del Fiume Magra fino all'Isola d'Elba. Tali campionamenti sono stati effettuati a profondità comprese tra 10 e 600 m e ciascuna pescata ha una durata di circa un'ora. Con simile design statistico dal 1994 al 2006 sono stati realizzati ulteriori 470 campionamenti nell'ambito del programma internazionale MEDITS [3].

Altri 520 campionamenti sono stati realizzati con varie reti da posta (tramagli, imbrocco e incastellate) nel periodo 1990-2006. Tali reti sono state collocate nella zona a nord di Castiglioncello a profondità comprese tra 2 e 30 metri su varie tipologie di fondale.

Gli indici di abbondanza sono espressi come chilogrammi per chilometro quadrato nel caso della pesca a strascico e come grammi per 100 metri nel caso delle reti da posta.

Le analisi morfometriche sono state eseguite su un subcampione di 195 esemplari provenienti da entrambi i metodi di pesca.

L'andamento dell'indice di biomassa (CPUE) è stato valutato solamente per le reti da posta, in quanto le catture dello strascico sono risultate troppo limitate per consentire un'analisi sull'asse temporale.

Quando è stato possibile calcolare il peso medio individuale sono state analizzate le variazioni di quest'ultimo al variare della profondità di cattura.

Dai dati raccolti sono state ottenute anche le distribuzioni di frequenza della lunghezza della specie per le due tipologie di attrezzo.

Le informazioni riguardanti la taglia e il peso dei singoli individui sono state utili per la definizione della correlazione tra la lunghezza e il peso, ed il confronto con i parametri della specie presenti in letteratura per altre aree.

La struttura d'età è stata valutata utilizzando la Von Bertalanffy Growth Formula di Schintu et al. [4] per le catture ottenute sia con lo strascico, sia con le reti da posta.

Sono inoltre stati analizzati tramite l'ANOVA i rendimenti ottenuti con le reti da posta di 4 differenti colorazioni: bianco, giallo, rosso e nero.

Risultati

Per quanto riguarda la zona di distribuzione spaziale della specie nel Mar Tirreno settentrionale (figura

2), questa è diffusa principalmente lungo la costa del Golfo di San Vincenzo, dove ha densità medie di 2 kg/km² e può raggiungere valori massimi di densità di 23 kg/km².

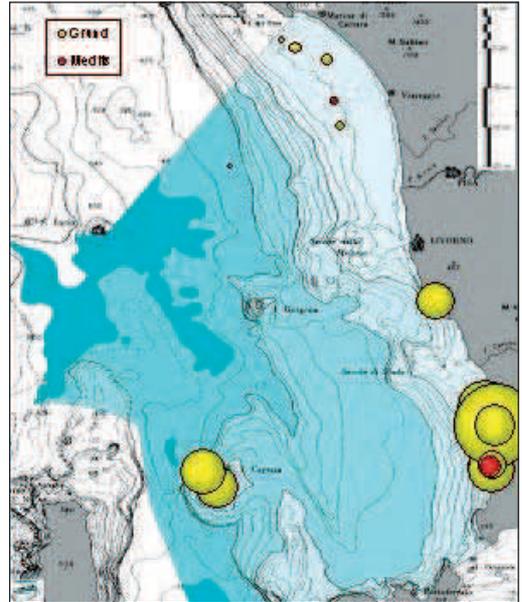


Figura 2: Localizzazione e abbondanza di *Bothus podas* rilevati durante i trawl survey Grund e Medits.

La specie è presente inoltre a nord di Castiglioncello e intorno all'isola di Capraia (fino a 7 kg/km²) e in quantità minori, non più di 0,5 kg/km², tra Viareggio e Marina di Carrara. Per quanto riguarda la profondità di presenza della specie, questa risulta essere compresa tra 5 e 63 metri.

Relativamente alle catture realizzate con le reti da posta (figura 3), non si osservano differenze significative tra le diverse tipologie di rete (tramaglio, im-

gli autori

¹ Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana, ARPAT, Area Mare, RIBM - Via Marradi 114, 57126 Livorno
r.baino@arpat.toscana.it

* autore per corrispondenza

brocco e incastellata), bensì tra le tipologie di fondale. Rendimenti medi di 7 grammi per km di rete si ottengono sui fondi sabbiosi, 3 g/km su fondi misti o fangosi, mentre le catture su fondi rocciosi si possono considerare trascurabili.

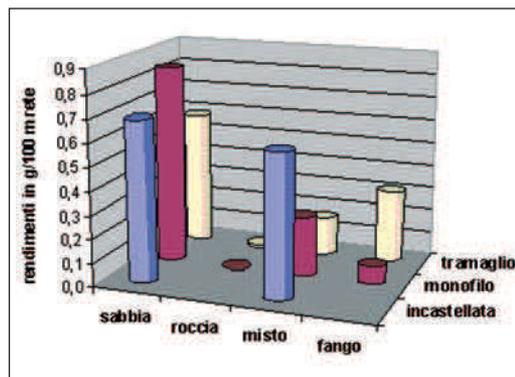


Figura 3: Rendimenti di cattura delle reti da posta.

Dal confronto tra le diverse correlazioni lunghezza-peso (figura 4), ottenute dai dati raccolti nel Tirreno settentrionale (tabella 1) e quelle riportate in letteratura, non emergono differenze significative. Si può solamente notare che i pesi maggiori, a parità di taglia, si osservano nelle Azzorre [5] e in Egitto [6], mentre valori leggermente inferiori a quelli toscani si registrano in Grecia [7] e nel Mar Tirreno meridionale [2].

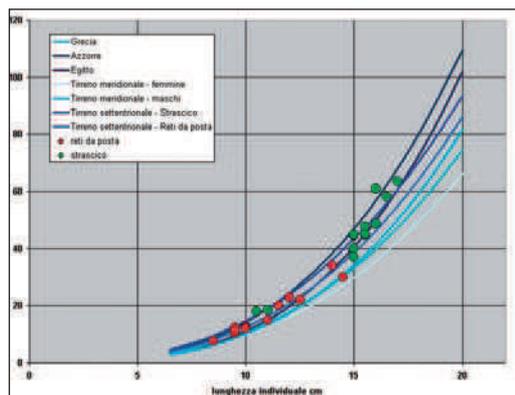


Figura 4: Confronto tra le correlazioni Lunghezza-peso.

Tabella 1: Risultati della correlazione lunghezza-peso di *Bothus podas* in Toscana.

	strascico	reti da posta
a	0,032	0,021
b	2,67	2,78
r ²	0,96	0,98

Le distribuzioni di taglia ottenute con lo strascico e le reti da posta sono rappresentate in figura 5: il test del Chi² rileva una differenza statisticamente significativa (P=0,004). Gli organismi di dimensioni maggiori sono catturati principalmente con lo strascico: il 45% degli esemplari di 15 cm di taglia vengono catturati con tale attrezzo. Le taglie inferiori sono invece catturate praticamente in ugual misura sia con lo strascico che con le reti da posta.

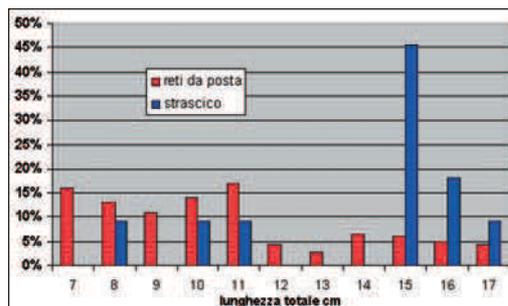


Figura 5: Distribuzione di frequenza delle taglie relative alle catture con i due diversi attrezzi.

Le catture ottenute con le diverse colorazioni delle reti da posta sono illustrate in figura 6. Tali catture sono state confrontate utilizzando un test ANOVA ad un fattore sui valori percentuali degli individui catturati da ogni tipologia di attrezzo sul totale delle catture della specie. Tale test non ha evidenziato differenze significative tra le diverse colorazioni di rete (P=0,686). Le distribuzioni di taglia delle catture ottenute con i quattro colori della rete non hanno evidenziato sostanziali differenze nelle dimensioni degli esemplari catturati, né un chiaro andamento modale. L'intervallo di taglia delle catture è risultato compreso tra 7,0 e 17,5 cm LT, mentre la taglia media di cattura per attrezzo è risultata molto simile e compresa tra 11,7 e 12,6 cm LT.

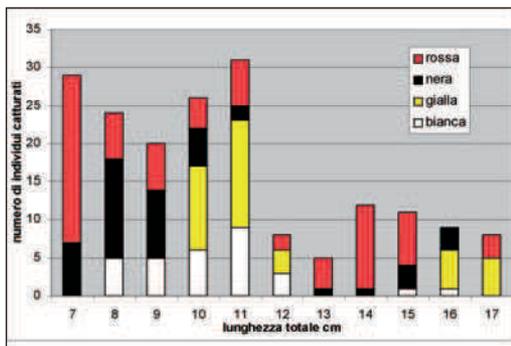


Figura 6: Distribuzione di frequenza delle taglie relative alle catture con le quattro colorazioni delle reti da posta.

I dati degli individui catturati sono stati analizzati anche sotto il punto di vista dell'età (figura 7).

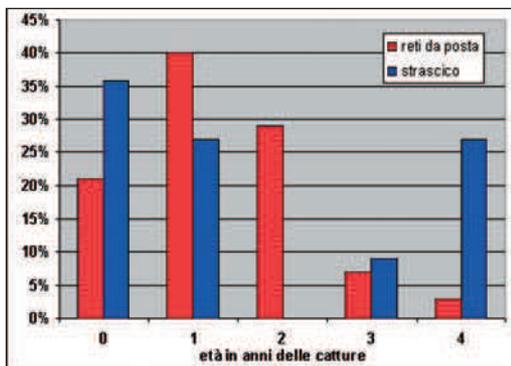


Figura 7: Distribuzione di frequenza delle taglie relative alle catture con le quattro colorazioni delle reti da posta.

La stima dell'età individuale è stata ricavata dai valori di lunghezza e dai parametri di crescita della Von Bertalanffy [4]. La maggior parte degli organismi catturati sia con lo strascico che con le reti da posta appartengono alla classe di età 0+ e 1+. Gli esemplari della classe 2+ sono catturati esclusivamente con le reti da posta, mentre quelli della classe 4+ sono catturati quasi esclusivamente con lo strascico. Per quanto riguarda la classe di età 3+ le catture sono trascurabili e ripartite praticamente in ugual misura tra le due diverse tipologie di attrezzo.

Discussione e conclusioni

La distribuzione batimetrica della specie è in accordo con quanto riportato in letteratura per il Mar Mediterraneo centrale da Schintu et al. [4].

I parametri della correlazione tra la lunghezza e il peso scaturiti dall'analisi dei dati raccolti con lo strascico e con le reti da posta risultano intermedi rispetto a quelli presenti in letteratura a livello delle Azzorre [5], dell'Egitto [6], della Grecia [7] e del Tirreno meridionale [2].

La struttura d'età delle catture effettuate sia con lo strascico che con le reti da posta è caratterizzata dalla maggior presenza di esemplari della classe di età 0+ e 1+ e conferma quanto già riportato in letteratura da Arena et al. [2].

Per quanto riguarda la cattura della specie i rendimenti principali si registrano nella zona del Golfo di San Vincenzo e sui fondi sabbiosi della zona a nord di Castiglioncello. La struttura di taglia delle catture effettuate con le due diverse tipologie di pesca risulta essere significativamente differente come dimostrato dal test del chi-quadro: nel caso dello strascico si ha una prevalenza di esemplari di taglie maggiori rispetto a quelle degli organismi catturati con le reti da posta. L'analisi delle catture effettuate con reti da posta di differenti colorazioni non mostra invece differenze significative né per quanto riguarda i rendimenti ottenuti né per quanto riguarda la struttura di taglia delle catture stesse, per cui sembra che il colore del panno sia ininfluente per questa specie sia in relazione ai quantitativi catturati, sia alla taglia.

Bibliografia

- [1] M. Passariello, P. Schintu, A. Belluscio, G.D. Ardizzone, Accrescimento ed alimentazione di *Bothus podas* (Delar.) nel Mar Tirreno. *Oebalia*, Suppl., Vol. XVI-2, 1990, pp. 719-720.
- [2] G. Arena, M.L. Bianchini, S. Greco, Biometria e parametri di crescita del rombo di rena, *Bothus podas podas*, nel Tirreno meridionale. *Oebalia*, Vol. XVII, Suppl., 1992, pp. 119-121.
- [3] P. Abelló, J.A. Bertrand, L.G. de Sola, C. Papaconstantinou, G. Relini, A. Souplet, Mediterranean Marine Demersal Resources: the Medits International Trawl Survey (94-99). *Sci.Mar.* 2002, 66 (2), pp. 9-17.
- [4] P. Schintu, M. Passariello, A. Belluscio, G.D. Ardizzone, Growth and diet of *Bothus podas* (Pi-

scies: Bothidae) in the Central Mediterranean Sea. Sci. Mar. 1994, 58 (4), 359-361.

[5] R.D.M. Nash, A.J. Geffen, R.S. Santos, The wide-eyed flounder, *Bothus podas* Delaroche, a singular flatfish in varied shallow-water habitats of the Azores. Neth. J. Sea Res. 1991, 27 (3/4): 367-373.

[6] M. Abdallah, Length-weight relationship of fishes caught by trawl off Alexandria, Egypt. Naga ICLARM Q. 2002, 25 (1): 19-20.

[7] D.K. Moutopoulos, K.I. Stergiou, Length-weight relationship of fish species from the Aegean Sea (Greece). J. Appl. Ichthyol. 2002, 18 (3): 200-203.

La metodologia CARLIT nell'ambito del monitoraggio marino costiero del litorale toscano

Dario Pelli, Enrico Cecchi* (A.R.P.A.T)

Parole chiave: WFD 2000/60/CE, CARLIT, EQR, macroalghe, stato ecologico, Toscana

L'applicazione della European Water Framework Directive (WFD, 2000/60/CE) richiede la valutazione dello stato ecologico delle acque costiere per poi attuare piani di gestione che evitino futuri peggioramenti della qualità del litorale, e dove necessario la incrementino. Per raggiungere e mantenere un buono stato ecologico dei corpi idrici, la WFD dà le linee generali su come valutare tale stato.

Una nuova metodologia, denominata CARLIT (Cartography of Littoral and upper-sublittoral rocky-shore communities), basata sulla presenza e l'abbondanza delle macroalghe colonizzatrici del piano mesolitorale e del sottopiano superiore dell'infralitorale, è stata proposta da vari paesi mediterranei per il monitoraggio e la valutazione della qualità biologica delle acque costiere, al fine di adempiere ai requisiti dettati dalla WFD 2000/60/CE. Questa metodologia combina la mappatura delle comunità e le informazioni disponibili sull'importanza ecologica delle comunità stesse come indicatori di qualità dell'acqua, per stabilire un indice (EQR) che soddisfi i requisiti della WFD.

Scopo dello studio è stato quello di applicare la metodologia CARLIT nell'ambito del monitoraggio marino costiero in Toscana secondo quanto descritto dalla Direttiva europea 2000/60/CE.

Gli obiettivi di tale metodologia sono stati: ottenere una mappatura delle specie macroalgali indicative di qualità ambientale, relative ai piani mesolitorale e infralitorale superiore; ottenere l'indice di qualità ecologica (EQR), che ha permesso di classificare i corpi idrici nelle cinque categorie di stato ecologico previste dalla WFD (elevato, buono, sufficiente, scarso e cattivo).

Nella sua totalità la costa livornese è rappresentata per il 52% da un elevato stato ecologico, il 28% è in buone condizioni, l'11% è in condizioni ecologiche sufficienti, e il 9% ha uno stato ecologico scarso.

Il CARLIT ha mostrato alcuni vantaggi rispetto alle altre tecniche utilizzate per il monitoraggio marino costiero, ma tuttavia possono essere fatte alcune modifiche per adattare questa metodologia alle caratteristiche morfologiche della costa toscana.

Introduzione

Le macrophyte bentoniche, a causa della loro condizione sedentaria, integrano gli effetti dell'esposizione a lungo termine ai nutrienti o ad altri inquinanti, con conseguente diminuzione o perfino la scomparsa di molte specie sensibili e la loro sostituzio-

ne con specie più resistenti, tionitrofile o specie opportunistiche [1]. Perciò, gli studi sulle comunità di macroalghe sono stati considerati utili per analizzare i cambiamenti della qualità dell'acqua [2]; le macroalghe sono, infatti, uno degli elementi biologici chiave da considerare nella determinazione dello stato di qualità ecologica dei corpi idrici come previsto dalla WFD.

La metodologia CARLIT seguendo la Direttiva europea 2000/60, è basata sulla presenza e l'abbondanza di specie indicative (comunità bentoniche mesolitorali e del sottopiano superiore dell'infralitorale), ed è inoltre ufficialmente riconosciuta come strumento di monitoraggio istituzionale in Catalogna dal 1999. Utilizzando la mappa-

tura delle specie indicative e le informazioni disponibili sull'importanza ecologica delle suddette specie come indicatori di qualità dell'acqua, il CARLIT permette di stabilire l'indice EQ. Tale indice prende in considerazione le aree oggetto di studio in riferimento a condizioni standard ed è espresso come un valore numerico compreso tra zero e uno.

Materiali e metodi

Lo studio è stato effettuato lungo la costa toscana nel tratto che va dal porto di Livorno (LAT 43,53619; LONG 10,29791) fino alla località Lillatro (Vada) (LAT 43,38218; LONG 10,43066), per una lunghezza lineare di costa di 24 km. La costa livornese presenta un'elevata diversità morfologica e diversi gradi di urbanizzazione; per tale motivo è stata suddivisa in ulteriori 8 corpi idrici sulla base delle indicazioni della Direttiva europea 2000/60/CE. Gli 8 corpi idrici individuati sono: A) Livorno, B) Antignano, C) Romito, D) Sonnino, E) Quercianella-Chioma, F) Fortullino-Quercetano, G) Castiglioncello e H) Rosignano Solvay.

Il campionamento è stato eseguito lungo la totalità della costa rocciosa presente nel suddetto tratto di mare.

L'unità di campionamento è stata rappresentata da settori di costa, ognuno di 30 m lineari [3].

I corpi idrici altamente modificati dall'uomo, come le parti interne di porti o porticcioli, non sono campionati perché non rispecchiano la qualità ambientale delle coste adiacenti.

Il rilevamento sul campo è stato effettuato mediante l'utilizzo di una piccola imbarcazione mantenuta il più vicino possibile alla costa. Il campionamento è stato effettuato nel minor periodo di tempo possibile

Tabella 1: EQ calcolato per le sei situazioni geomorfologicamente rilevanti nelle condizioni di riferimento.

Situazione	Tipo di costa	N/A	EQ _i
1	Blocchi	Artificiali	12,1
2	Bassa	Artificiali	11,9
3	Alta	Artificiali	8,0
4	Blocchi	Naturale	12,2
5	Bassa	Naturale	16,6
6	Alta	Naturale	15,3

(4 giorni) in modo da ridurre gli effetti della variabilità stagionale associata alle comunità litorali usate come indicatori [4] e [5]. Il miglior periodo per sostenere questo tipo di studio nel Mediterraneo Nord-occidentale è la primavera (da Aprile a Giugno), ma questo può variare quando si considerano altre aree geografiche. Le categorie sono state identificate e direttamente annotate su mappe (foto satellitari) stampate su fogli in poliestere impermeabili.

La presenza e l'abbondanza di diverse comunità mesolitorali e infralitorali non è solo determinata dalla qualità dell'acqua o dal disturbo antropogenico, ma risponde anche alla naturale variabilità morfologica dell'ambiente costiero [6].

Quindi, i fattori geomorfologici influenzano molto la stabilità e lo sviluppo delle comunità litorali descritte in ogni settore di costa campionato. Ogni fattore geomorfologico considerato è stato diviso in diverse categorie, i.e. situazioni geomorfologicamente rilevanti (tabella 1).

Le informazioni ottenute sia sulla distribuzione delle categorie di comunità, sia sulle variabilità geomorfologiche sono state trascritte su un supporto grafico georeferenziato (e.g. carte nautiche). Alla costa possono

gli autori

¹ darpel@yahoo.it

² A.R.P.A.T.: Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana. Via Marradi, 114. Livorno

* autore per corrispondenza

essere apportati forti cambiamenti fisici da un anno all'altro (dovuto alla costruzione di nuovi porti o moli, dragaggi, formazioni di spiagge), e, quindi, le carte geografiche devono essere regolarmente aggiornate.

Calcolo dell'indice EQR

I livelli di sensibilità (tabella 2) che considerano la vulnerabilità e la resistenza delle comunità agli stress ambientali riferiti alla qualità dell'acqua sono stati assegnati ad ogni categoria di comunità secondo la scala proposta da Ballesteros et al. nel 2007 [7]. I valori della tabella vanno da 1 a 20, incrementando dai peggiori ai migliori livelli di sensibilità.

Tabella 2: Sensitivity level delle principali categorie di comunità.

Categoria	Sensitivity level
Cystoseira 5	20
Trottoir	20
<i>Posidonia oceanica</i>	20
<i>Cymodocea nodosa</i>	20
<i>Zostera noltii</i>	20
Cystoseira 4	19
Cystoseira 3	15
Cystoseira 2	12
<i>Cystoseira compressa</i>	12
Cystoseira 1	10
<i>Corallina elongata</i>	8
<i>Haliptilon virgatum</i>	8
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	6
Coralline incrostanti	6
Alghie verdi	3
Alghie azzurre	1

Una prima valutazione di qualità ambientale dei tratti di costa (i.e. corrispondente ad un corpo o qualunque tratto di costa) può essere calcolato come:

$$EQ = \frac{\sum (l_i * SL_i)}{\sum l_i}$$

Dove:

EQ qualità ambientale di un determinato tratto di costa,

l_i lunghezza della costa occupata dalla comunità di categoria i ,

SL_i livello di sensibilità della comunità di categoria i .

Come stabilito dalla WFD (2000/60/CE), per assicurare comparabilità fra i differenti sistemi di monitoraggio è stato calcolato un ecological quality ratio (EQR). Questo rapporto rappresenta la relazione fra i valori osservati nei siti oggetto di studio e i valori osservati nei siti di riferimento (tabella 1).

Il rapporto è quindi espresso come un valore numerico tra zero e uno, con alto stato ecologico rappresentato dai valori vicini ad uno e cattivo stato ecologico per i valori vicini a zero:

$$EQR = \frac{\text{Valori osservati per i parametri biologici}}{\text{Valori di riferimento per i parametri biologici}}$$

L'EQR di ogni settore di costa è quindi calcolato come il quoziente tra l'EQ ottenuto nello studio del sito e l'EQ ottenuto nei siti di riferimento corrispondenti alla stessa «situazione geomorfologicamente rilevante». Quindi, l'EQR di una costa è calcolato in accordo alla seguente formula:

$$EQR = \frac{\sum (EQ_{ssi} * l_i)}{\sum l_i}$$

Dove:

i : situazione,

EQ_{ssi} : EQ nel sito di studio per la situazione i ,

EQ_{rsi} : EQ nel sito di riferimento per la situazione i ,

l_i : lunghezza di costa nello studio per la situazione i ,

L'EQR assume valori da 0 a 1. In accordo alla WFD, i corpi idrici sono stati classificati in 5 classi di stati ecologici (ES) come definisce l'Annesso V della WFD, che variano da un alto stato ecologico ad un cattivo stato ecologico. L'assegnamento dei confini nei valori di EQR corrispondenti a differenti classi di stato ecologico devono allinearsi con la definizione di classi della Direttiva e devono essere stabiliti attraverso l'intercalibrazione [8]. In un primo approccio viene proposta la corrispondenza tra EQR e Classi di Stato Ecologico come riportato in tabella 3.

Risultati

I sette corpi idrici analizzati sono risultati così strutturati: le zone di Livorno, Antignano e Quercianella-Chioma corrispondenti ai corpi idrici A, B ed E appartengono allo stato ecologico *elevato* con valori di EQR superiori a 0,75; risultano ad un livello *buono* le località Romito, Sonnino e Fortullino-Quercetano (corpi idrici C, D ed F) i cui valori di EQR sono compresi tra 0,60 e 0,75; Castiglioncello (G) ha un livello *sufficiente* (EQR tra 0,40 e 0,60) mentre lo stato ecologico di Rosignano Solvay (H) corrisponde al valore di *scarso* (EQR tra 0,25 e 0,40) (figura 1).

I risultati sono stati trascritti su carte nautiche georeferenziate usando un Sistema di Informazione Geografica (GIS) (figura 2). Con il programma GIS, è stato possibile riportare su carta tutti i punti geografici di interesse presi sul campo con il GPS.

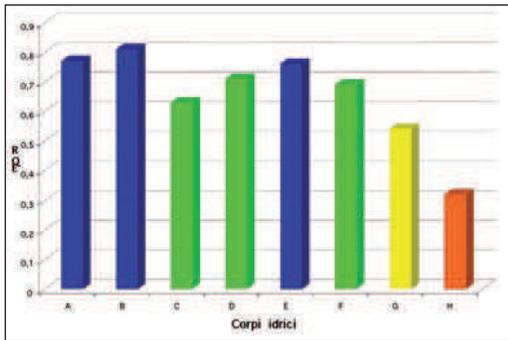


Figura 1: Rappresentazione grafica del valore di EQR per ogni corpo idrico.

Nella sua totalità la costa livornese è rappresentata per il 52% da un elevato stato ecologico, il 28% è in buone condizioni, l'11% è in condizioni ecologiche sufficienti, e il 9% ha uno stato ecologico scarso (figura 2). Non sono state registrate condizioni di stato ecologico a forte disturbo (cattivo).

Le parti interne di porti e porticcioli non sono state considerate perché incluse nella categoria di corpi

Tabella 3: Grado di disturbo e stato ecologico per i differenti valori di EQR.

EQR	Disturbo	Stato	Colore
>0,75 - 1,00	Nessuno o molto poco	Ottimo	Blu
>0,60 - 0,75	Leggero	Buono	Verde
>0,40 - 0,60	Moderato	Sufficiente	Giallo
>0,25 - 0,40	Rilevante	Scarso	Arancione
0,00 - 0,25	Forte	Cattivo	Rosso

idrici altamente modificati che non rappresentano la qualità ecologica del mare aperto. Comunque, alcune comunità sviluppatesi in tali aree sono dominate da alghe azzurre-verdi, quindi tali zone devono essere assegnate ad un pessimo stato ecologico.

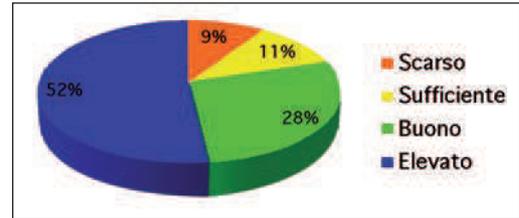


Figura 2: Valori in percentuale degli stati ecologici nel totale di area campionata.

L'analisi dei corpi idrici in base al ricoprimento percentuale dei Sensitivity Level (figura 3), mette in evidenza che A e B sono caratterizzati da valori di percentuale simili per i singoli taxa. I corpi idrici C, D, E, F, e G hanno un andamento omogeneo, con differenze per la località Romito (C) che presenta maggiore percentuale del SL 6, dovuta alla presenza di popolazioni incrostanti, la zona Fortullino-Quercetano (F) che ha un alto input di valore 12 (giustificato dall'abbondanza di *Cystoseira compressa*) e Castiglioncello (G) che presenta una maggior percentuale di bassi SL a causa della forte antropizzazione. Il corpo idrico H, che rappresenta la zona di Rosignano Solvay, è invece caratterizzata da livelli di sensibilità più bassi.

I corpi idrici A e B (Livorno e Antignano rispettivamente) sono quelli che raggiungono i Sensitivity Level più alti, anche se mostrano un'alta eterogeneità nelle categorie. Per quando riguarda Livorno si nota una divisione del corpo idrico in due parti, la prima

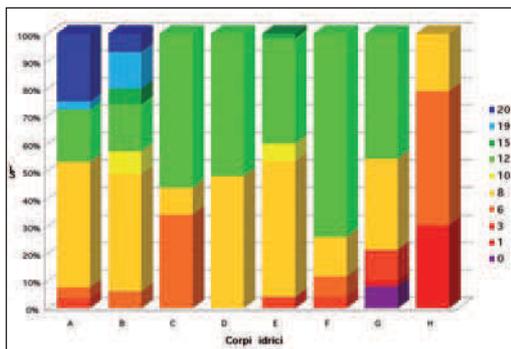


Figura 3: Rappresentazione in percentuale dei singoli Sensitivity Level all'interno di ogni corpo idrico.

caratterizzata da Sensitivity Level bassi, e la seconda dove si notano valori di sensibilità più alti. Gli alti valori di SL sono dovuti alla prateria di Posidonia in località «3 Ponti» - «scalinata» di Antignano. Ciò è giustificato dall'allontanamento dal porto e dal centro di

Livorno. Il corpo idrico B (Antignano) risulta essere molto eterogeneo, causa la presenza di molte modificazioni da parte dell'uomo (moletti, gettate di cemento, muri di sostegno).

Gli altri corpi idrici risultano invece più omogenei nella distribuzione delle categorie, ma si fermano a livelli di sensibilità inferiori. Eccezione è il tratto più a sud di Castiglioncello (G) dove si notano bassi valori di SL in corrispondenza in alcuni piccoli moli realizzati con rocce calcaree molto compatte che non hanno permesso lo sviluppo algale. Anche nel tratto nord di Rosignano (corpo idrico H) si registra un lungo tratto con Sensitivity Level 1, in corrispondenza del nuovo molo del porto di «Cala de' Medici».

Progressione lineare dei Sensitivity Level all'interno dei corpi idrici

In ascissa sono riportati i settori di 30 metri in successione da nord a sud.

In ordinata sono invece rappresentati i Sensitivity Level.

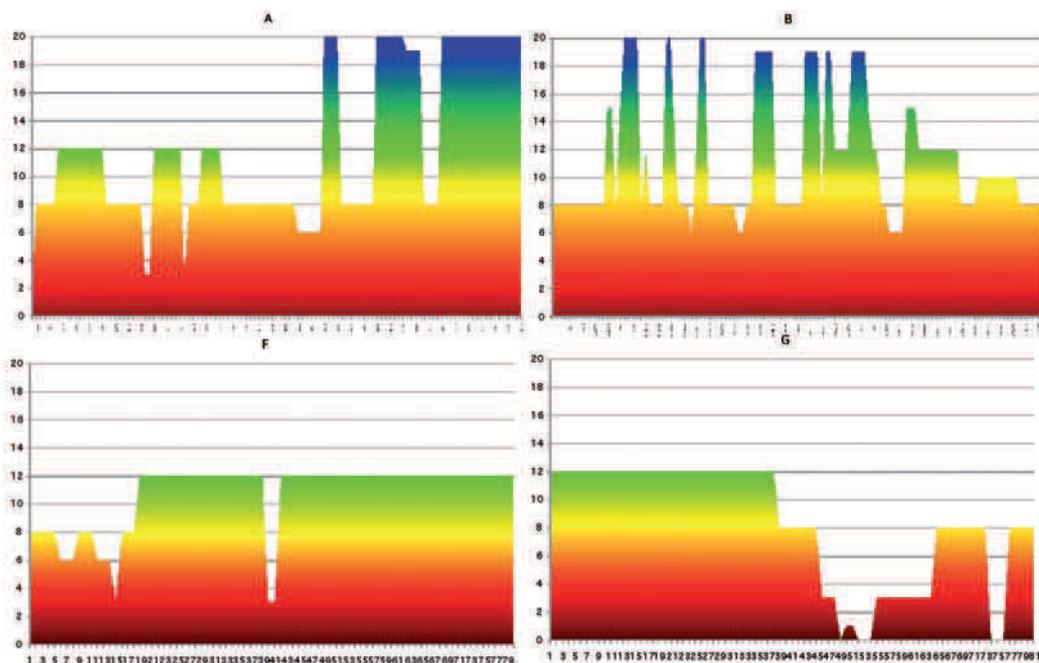


Figura 4: Rappresentazione grafica dei siti A) Livorno, B) Antignano, F) Fortullino-Quercetano, G) Castiglioncello.

Discussione

Analizzando la costa nella sua continuità, si può notare che i livelli di sensibilità all'interno del corpo idrico A (Livorno) sono risultati più bassi nel primo tratto di costa, cioè a ridosso del porto di Livorno. Nel complesso lo stato di qualità ecologico di questo corpo idrico si posiziona ad un livello elevato, cosa insolita per una città di queste dimensioni. Tale valore è giustificato dalla presenza di specie come *Cystoseira brachycarpa* var. *balearica* e *Posidonia oceanica* che corrispondono ad alti livelli di Sensitivity Level. Procedendo verso Sud, la qualità ecologica si mantiene su standard elevato-buoni, per poi diminuire nuovamente nei centri abitati di Castiglioncello e Rosignano. In questi ultimi due corpi idrici è stato registrato uno stato di qualità ecologico rispettivamente sufficiente e scarso. Il motivo di questi risultati è la totale assenza di specie ad alta valore di sensibilità. Tale fatto può essere attribuito oltre agli apporti dell'impianto di depurazione di Rosignano Solvay e di altri impianti produttivi, anche alla costruzione del recente braccio del porto turistico «Cala de' Medici» che ha sostituito solo da pochi anni la costa originaria ed è risultato privo di forme algali ecologicamente importanti.

Non essendoci lavori precedenti che descrivono la struttura del popolamento algale presente nell'area di Rosignano Solvay, risulta difficile cercare di capire come tale popolamento si sia evoluto nel tempo, anche se è riconosciuto l'avanzamento del limite superiore del substrato sabbioso con conseguente scomparsa di parte delle comunità algali.

Dal punto di vista ecologico, si riscontra che i popolamenti macroalgali individuati durante il monitoraggio confermano gli studi che già erano stati fatti in questa zona negli anni più recenti [9] e [10] e [11]. Il piano mesolitorale superiore è caratterizzato dalla presenza delle specie fotofile *Nemalion helmintoides*, *Rissoella verruculosa* (associazione a *R. verruculosa*, [12]). L'infralitorale superiore invece, presenta popolamenti fotofili caratterizzati per la maggior parte dal genere *Laurencia* sp., *Dictyota* sp. e le specie *Padina pavonica* e *Acetabularia acetabulum*. Nelle zone più antropizzate i popolamenti fotofili mesolitorali sono caratterizzati dai generi *Gelidium* sp., *Pterocladia* sp. e *Enteromorpha* sp.

Dove le condizioni sono più sciafile queste specie sono sostituite da un popolamento caratterizzato da Corallinacee incrostanti e da specie appartenenti ai generi *Corallina* sp. e *Peyssonnelia* sp. situazione caratteristica per tale tipo di ambiente [13].

Studi fitobentonici che hanno interessato l'intera costa livornese e che possono essere utilizzati come riferimento per valutare eventuali modificazioni della struttura dei popolamenti risalgono alla fine degli anni '60. Sostanzialmente i popolamenti superficiali non sembrano aver subito importanti modificazioni perlomeno nella parte più settentrionale dell'area investigata, che era stata oggetto anche dello studio precedente. Le uniche differenze riscontrate sono da riferire all'abbondanza del genere *Cystoseira* [14], infatti, segnala *Cystoseira amentacea* var. *stricta* (Montagne) Savageau come la specie più abbondante della zona di «Calignai» (corpo idrico Romito), mentre tale specie è risultata totalmente assente in tutta l'area campionata. In particolare, nell'area di «Calignai» si è registrata la presenza della sola *Cystoseira compressa* che corrisponde a Sensitivity Level più bassi rispetto a *Cystoseira amentacea* var. *stricta*.

Per quanto riguarda l'aspetto metodologico, il CARLIT ha mostrato alcuni vantaggi rispetto alle altre tecniche utilizzate per il monitoraggio marino costiero: non è una metodologia distruttiva, infatti si basa su tecniche visive; è veloce, visto che le specie rappresentative sono poche e facili da riconoscere; i brevi tempi di lavoro in laboratorio permettono un veloce trattamento dei dati e riducono i costi totali del monitoraggio.

Lo sviluppo della cartografia e la sua georeferenziazione è un processo piuttosto lento, ma una volta che il GIS è stato creato può essere usato da un anno all'altro con poche modifiche. I valori di EQR e la valutazione finale dello stato ecologico sono veloci e facili da conseguire una volta che il GIS è stato sviluppato e il monitoraggio sul campo è stato compiuto.

Sembra però, che le sei situazioni di riferimento geomorfologicamente rilevanti siano un numero troppo esiguo per le caratteristiche morfologiche del tratto di costa oggetto di questo lavoro. Infatti, nei corpi idrici di costa alta naturale, il popolamento di *Cystoseira compressa* (SL 12) è risultato assente nelle aree in cui l'inclinazione della costa si avvicina ai 90 gradi. Inoltre, la specie *Cystoseira brachycarpa* var. *balearica* (SL 20) è risultata assente nelle zone di forte idrodinamismo (figura 5), come per esempio nel tratto di costa del Romito dove era presente solo in alcune pozze riparate.

Quindi, la geomorfologia della costa ha un peso rilevante sui risultati del monitoraggio, tanto che in zone considerate usualmente ad alto stato ecologico (e. g. Romito), dove si attendevano valori alti di EQR, è sta-



Figura 5. *Cystoseira compressa* nel corpo idrico Romito.

to ottenuto invece un indice EQR inferiore al corpo idrico di Livorno.

Dunque, per una corretta valutazione dello stato ecologico di tutto il tratto di costa monitorato sarebbe necessario inserire nelle situazioni geomorfologicamente rilevanti un parametro «inclinazione della costa» e un altro parametro «distanza dalla zona dei frangenti».

Un'altra nota positiva del CARLIT è la possibilità immediata di individuare fonti puntuali di acque dolci, sia naturali che di scarico (figura 6) segnalate dalla presenza di alghe verdi e quindi da un abbassamento dei Sensitivity Level.



Figura 6: Esempio di mappa utilizzata durante il campionamento con particolare di uno scarico.

Un limite di questa metodologia è legato al fatto che nelle varie categorie di valutazione vengono considerate specie come *Posidonia oceanica* che si sviluppa

no in habitat a profondità maggiori rispetto ad altre specie come quelle appartenenti genere *Cystoseira*. È risultato quindi, che in alcune zone di estesa piattaforma dell'infraforale superiore, dove si sviluppa una prateria di *Posidonia oceanica*, come ad esempio in zona «3 Ponti» - «scalinata» di Antignano, sono stati registrati paradossalmente valori più alti rispetto alla zona del Romito, che ospita comunque la prateria di *Posidonia oceanica*, ma per le sue caratteristiche morfologiche, solo a profondità maggiori.

Conclusioni

I risultati di EQR ottenuti nel presente studio assegnano valori tra buono ed elevato per tutti i corpi idrici della costa livornese, eccezion fatta per Castiglioncello e Rosignano Solvay, raggiungendo i limiti minimi stabiliti dalla WFD per il 2016, per quanto riguarda l'aspetto macroalgale.

Bassi valori di qualità nel tratto di costa tra Castiglioncello e Rosignano Solvay possono essere dovuti alla forte pressione antropica cui questa area è soggetta, sia dal punto di vista turistico che industriale. Non essendoci lavori precedenti che descrivono la struttura del popolamento algale presente nell'area, risulta difficile capire come si sia evoluto nel tempo. Tali risultati suggeriscono comunque che la zona debba essere monitorata con particolare attenzione proprio in relazione al basso livello di qualità riscontrato con questa metodologia. Il confronto con i dati rilevati nel tratto di mare livornese che presenta una morfologia simile conferma la criticità di questo tratto di costa.

Nel loro insieme i popolamenti non hanno mostrato cambiamenti importanti nella composizione specifica rispetto a quanto descritto in studi effettuati alla fine degli anni '60, anche se la sostituzione di *Cystoseira amentacea* var. *stricta* con *Cystoseira compressa* in zona «Calignaia» può essere legata ad un peggioramento delle condizioni ecologiche dell'area.

Per quanto riguarda la metodologia utilizzata si ritiene che essa possa rappresentare un buon compromesso tra risultati ottenuti e la velocità di applicazione nell'ambito del monitoraggio costiero. Tuttavia, le sei situazioni geomorfologicamente rilevanti sono risultate insufficienti a rappresentare le situazioni reali riscontrate nel monitoraggio causando spesso una difficoltà di individuazione della fascia da campionare. Queste incertezze sono andate sicuramente a vantaggio della zona di Livorno che presenta una va-

sta prateria di *Posidonia oceanica* (SL 20) a basse profondità (1-2 m) rispetto al settore del Romito dove la prateria, comunque presente, ha inizio a profondità maggiori. Per l'utilizzo di tale indice può quindi essere proposto un incremento delle situazioni geomorfologicamente rilevanti e una maggiore definizione della fascia da campionare.

Bibliografia

- [1] S.N. Murray, M.M. Littler, Patterns of algal succession in a perturbed marine intertidal community. *Journal of Phycology* 1978, 14: 506-512.
- [2] P.G. Fairweather, Sewage and the biota on seashores: assessment of impact in relation to natural variability. *Environmental Monitoring and Assessment* 1990: 14, 197-210.
- [3] L. Mangialajo, N. Ruggieri, V. Asnagli, M. Chiantore, P. Povero, R. Cattaneo-Vietti, Ecological status in the Ligurian Sea: The effect of coastline urbanisation and the importance of proper reference sites. *Marine Pollution Bulletin* 2006.
- [4] E. Ballesteros, Production of seaweeds in Northwestern Mediterranean marine communities: its relation with environmental factors. *Scientia Marina* 1989, 53: 357-364.
- [5] E. Ballesteros, Structure and dynamics of North-Western Mediterranean marine communities: a conceptual model. *Oecologia Aquatica* 1991, 10: 223-242.
- [6] E. Ballesteros, Els vegetals i la zonació litoral: espècies, comunitats i factors que influeixen en la seva distribució. *Arxius de la Secció de Ciències*, 101, Institut d'Estudis Catalans, Barcelona 1992: 1-616.
- [7] E. Ballesteros, X. Torras, S. Pinedo, M. Garcia, L. Mangialajo, M. De Torras, A new methodology based on littoral community cartography dominated by macroalgae for the implementation of the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin* 2007, 55: 172-180.
- [8] C. Vincent, H. Heinrich, A. Edwards, K. Nygaard, J. Haythornthwaite, Guidance on typology, reference conditions and classifications systems for transitional and coastal waters. CIS Working Group 2.4 (COAST), Common Implementation Strategy of the Water Framework Directive, European Commission 2002.
- [9] F. Serena, Le alghe del litorale livornese: studio sperimentale sui popolamenti sciafili superficiali di zona battuta. Tesi di laurea, Univ. degli Studi di Pisa 1982.
- [10] L. Benedetti-Cecchi, Variability in abundance of algae and invertebrates at different spatial scales on rocky sea shores. *Marine Ecology Progress Series* 2001, 215: 79-92.
- [11] L. Benedetti-Cecchi, E. Maggi, I. Bertocci, S. Vaselli, F. Micheli, G.C. Osio, F. Cinelli, Variation in rocky shore assemblages in the northwestern Mediterranean: contrasts between Island and the mainland. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 2003, 293: 193-215.
- [12] J. Feldmann, Recherches sur la végétation marine de la Méditerranée. La cote des Alberès. *Revue Apologique* 1937, 10: 1-339, 1-20.
- [13] C.F. Boudouresque, Recherches de bionomie analytique, structurale et expérimentale sur les peuplements benthiques sciaphiles de Méditerranée occidentale (fraction algale). Thèse, Univ. Aix-Marseille II, France 1970.
- [14] F. Cinelli, Primo contributo alla conoscenza della vegetazione algale bentonica del litorale di Livorno. *Pubbl. Staz. Zool. Napoli* 1969, 37: 545-566.

Le Secche della Meloria: un fiore all'occhiello del mare toscano

A.M. De Biasi*, L. Pacciardi

Parole chiave: Aree Marine Protette (AMP), Secche della Meloria, biodiversità, Mar Ligure Meridionale

Le Secche della Meloria rappresentano un ambiente di bassi fondali rocciosi che coprono una superficie di circa 35-40 km² situati a 5 km al largo della costa livornese. La bellezza e l'unicità di questa area erano già stati messi in risalto negli anni sessanta quando il Prof Bacci propose le Secche come «parco marino sperimentale».

Nonostante siano trascorsi quaranta anni, le Secche della Meloria continuano a destare l'interesse dei ricercatori per la varietà e la ricchezza dei popolamenti che ancora oggi in essa sono insediati.

L'obiettivo del presente lavoro è quello di riassumere le principali conoscenze scientifiche di questa area per testimoniare come questa Secca sia al tempo stesso unica, per la presenza dei catini (nome attribuibile ai pescatori locali), formazioni rocciose scavate nella panchina (beach rock) e rappresentativa delle biocenosi più ricche e produttive del Mediterraneo.

Inoltre, nel presente lavoro, si vuole mettere in risalto che, per la biodiversità di habitat, ricchezza specifica e filetica, rappresentatività degli ambienti mediterranei, unicità ed endemismi, la salvaguardia della Meloria costituisce un punto di partenza per la realizzazione di un sistema con gestione integrata di parchi interconnessi costituiti da piccole aree vicine rappresentative delle eterogeneità locali.

Introduzione

Le Secche della Meloria rappresentano un ambiente di bassi fondali rocciosi situati a circa 5 km al largo della costa livornese. Fin dagli anni sessanta esse sono state oggetto di numerosi studi molto specialistici mirati ad indagare aspetti biotici [1,2,3] ed abiotici [4]. Solo il lavoro del Prof. Bacci [5] rappresenta un tentativo di fornire una conoscenza sinecologica dell'area grazie al quale è emerso l'elevato valore naturalistico della secca tanto che lo stesso autore l'aveva proposta come «parco marino sperimentale».

Tuttavia tale proposta non ha avuto seguito per molti anni sebbene il tratto di mare antistante la costa livornese fosse stato indicato dal Ministero dell'Am-

biente come idoneo per l'istituzione di un parco marino (legge 979/82).

Negli anni novanta il Centro Interuniversitario di Biologia Marina ed Ecologia Applicata di Livorno si fa promotore di nuove indagini al fine di approfondire la conoscenze fino ad allora acquisite e per verificare

gli autori

Centro Interuniversitario Biologia Marina ed Ecologia Applicata, Viale N. Sauro 4, 57127 Livorno, Italia

* autore per corrispondenza
a.debiasi@cibm.it

le condizioni della secca a circa 30 anni dalle indagini del Prof. Bacci.

Inizialmente è stata condotta un'indagine su larga scala necessaria per mappare le biocenosi dominanti e successivamente sono stati condotti studi di dettaglio finalizzati alla caratterizzazione dei catini, peculiari formazioni rocciose scavate nella panchina originatesi a seguito di fenomeni di ingressione marina per erosione della beach rock [6].

L'obiettivo di questo lavoro è quello di riassumere le conoscenze scientifiche dell'area per testimoniare come questa Secca sia al tempo stesso unica, per la presenza dei catini e rappresentativa delle biocenosi più ricche e produttive del Mediterraneo.

Inoltre verranno messe in risalto le caratteristiche per le quali attualmente il Ministero dell'Ambiente sta varando il Decreto Istitutivo ed il Regolamento dell'Area Marina Protetta (AMP) «Secche della Meloria».

Materiali e metodi

I rilevamenti finalizzati all'individuazione delle biocenosi presenti sono stati condotti nel 1996-98 utilizzando il side scan sonar (SSS).

L'indagine tramite SSS è stata effettuata trainando lo strumento alla velocità di 1,5-2 nodi lungo linee di navigazione teoriche precedentemente definite. Il sonar è stato tarato con una frequenza di uscita di 100 kHz ed un range di 50-100 metri per lato a seconda della profondità indagata.

Dopo l'analisi preliminare dei sonogrammi sono state individuate le zone a segnale di dubbia interpretazione ed in quei casi i dati sono stati integrati con riprese subacquee tramite R.O.V. (Remote Operating Vehicle) ed immersioni dirette.

I dati raccolti hanno consentito la realizzazione di una carta tematica.

A seguito di questa indagine erano stati rilevati molti catini e dato che essi fino ad allora erano stati descritti in maniera superficiale gli studi successivi sono stati focalizzati alla conoscenza delle loro caratteristiche morfologiche e dei popolamenti meio e macrobentonici che li abitano.

La mappatura di queste formazioni è stata condotta tramite SSS utilizzando la base cartografica 1:5.000 ottenuta digitalizzando i rilievi batimetrici forniti dell'Istituto Idrografico della Marina Militare di Genova.

Il popolamento macrobentonico è stato investigato in 15 catini prelevando il sedimento tramite operatore subacqueo. Per ciascuna replica sono stati prele-

vati 4 litri di sedimento. Il campione è stato setacciato su maglia 0,5 mm, fissato in formalina tamponata all'8%, quindi sottoposto a sorting. Gli organismi sono stati determinati al più basso livello tassonomico possibile, contati e conservati in alcool al 70%.

Lo studio della meiofauna [7] è stato condotto prelevando il sedimento tramite core di plexiglas di 3,5 cm di diametro. I campioni sono stati conservati in formalina al 10%. Gli organismi sono stati estratti mediante decantazioni multiple, identificati e contati.

Risultati

L'indagine condotta tramite SSS ha consentito di rilevare che la prateria di *Posidonia oceanica* (L.) Delile rappresenta l'elemento dominante delle Secche delle Meloria. Occupa prevalentemente la parte occidentale e sud-occidentale della secca colonizzando vaste aree dai primi metri di profondità fino alla batimetrica dei 30 metri con valori di ricoprimento che raggiungono il 60%. In prossimità della torre e nel settore orientale della secca la prateria mostra evidenti segnali di degrado legati alla vicinanza del porto e all'azione degli ancoraggi. Le ampie distese di matte morta, vestigia della prateria ormai scomparsa, sono colonizzate da *Caulerpa racemosa* (Forsk.) J. Agardh, alga invasiva ad affinità calda introdotta in arcipelago toscano a metà degli anni novanta.

Il coralligeno è presente ai margini esterni nel settore occidentale tra i 20 ed i 50 metri di profondità dove forma dei banchi colonizzati da *Eunicella singularis* e nella parte settentrionale in corrispondenza della testa di Tramontana. Più superficialmente, nella parte centrale della secca, sono presenti delle creste rocciose con orientamento NE SW assimilabili al coralligeno dominati da poriferi, briozoi e *Parazoanthus axinellae*. Esso, nel sua parte W-SW degrada sul Detritico Costiero presente con differenti facies.

Sebbene scarsamente descritto, anche il corallo (*Corallium rubrum*) è presente in alcuni settori della secca.

Nell'area antistante la torre, in particolare nel settore NW sono presenti i catini. Ne sono stati identificati 27. Presentano diverse morfologie ma tutti sono scavati nella roccia e hanno forma pseudocircolare. De Biasi e Gai [8] hanno descritto tre tipologie fondamentali sulla base dell'inclinazione delle pareti che vanno da una giacitura quasi orizzontale ad una completamente verticale caratterizzata talvolta da canali di erosione che creano peculiari «terrazzi» so-

spesi. Il sedimento che si deposita sul fondo dei catini può variare da sabbia a ghiaia, ma in tutti i casi esso risulta di origine organogena.

Dall'indagine del macrozoobenthos condotta in 15 catini su 27 ha portato alla raccolta di 10023 individui appartenenti a Anellidi (86 specie), Molluschi (26 specie), Crostacei (72 specie), Echinodermi (6 specie), Nematodi (39 specie). Sono inoltre stati campionati Platelmini e Nemertini non determinati a livello specifico ed alcuni esemplari dell'unico rappresentante in Mediterraneo degli Acrani, *Branchiostoma lanceolatum*, noto anche come Anfiosso.

Fra le specie rare si sottolineano *Stenothoe elachista*, *Caprella lilliput* che raggiungono nei catini densità elevatissime pari rispettivamente a 1292 ± 343 ind/m² e 458 ± 55 ind/m² [9].

Gli studi relativi alla meiofauna hanno consentito di descrivere nuove specie e addirittura di segnalare per la prima volta nei nostri mari il phylum Loricifera [10] costituito da organismi microscopici pseudocelomati, probabilmente parassiti e predatori, che vivono tra i granelli di sabbia. Fra le specie di nuova descrizione merita sottolineare il Copepode *Meloria-stacus ctenidis* il cui nome è stato dato come omaggio alle secche [11].

Conclusioni

La Meloria, nonostante la superficie limitata (35–40 km²) presenta una elevata variabilità morfologica che consente l'insediamento di popolamenti diversificati. Nell'area coesistono praterie di *P. oceanica*, coralligeno, Detritico Costiero, considerate tra le biocenosi più ricche e produttive del Mediterraneo [12].

Questa caratteristica conferisce alla secca il carattere di rappresentatività del nostro mare, che secondo alcuni sarebbe condizione necessaria per realizzare una area marina protetta (AMP).

Secondo altre scuole di pensiero un'area è meritevole di protezione se presenta delle peculiarità uniche o un elevato numero di endemismi.

La presenza dei catini e la ricca e rara fauna bentonica che li colonizza conferisce alla secca anche il carattere di unicità fatto che consente di superare la diatriba emersa dalla Convenzione sulla Biodiversità di Rio (1992), che pone il dubbio se sia preferibile salvaguardare ambienti «ricchi» o ambienti «unici».

Purtroppo la realizzazione di aree marine protette viene spesso vista dai cittadini in un'accezione proibizionistica, un limite ai propri diritti.

Il possedere sul proprio territorio aree meritevoli di tutela dovrebbe essere motivo di orgoglio, ma gli interessi personali sono spesso prevalenti e posti al centro delle proprie attenzioni.

Occorre chiarire che le rinunce richieste ai cittadini sono sempre modeste e limitate a zone ristrette e che, al contrario i benefici possono essere molti. Le AMP ben gestite sono un fiore all'occhiello per tutti i cittadini e proprio per questo ne richiamano altri disposti a spendere tempo e denaro con ottime ricadute sul territorio.

Nell'ottica della salvaguardia dell'ambiente, l'istituzione delle Secche della Meloria dovrebbero costituire un punto di partenza per la realizzazione di un sistema con gestione integrata di parchi interconnessi costituiti da piccole aree vicine rappresentative delle eterogeneità locali [13].

Dato il crescente impatto antropico che grava sulle nostre coste questo approccio appare l'unico possibile per garantire che anche le generazioni future possano godere di questo patrimonio naturalistico.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Accademia Navale di Livorno per il supporto logistico, l'Istituto Idrografico della Marina di Genova per aver messo a disposizione i dati batimetrici per la realizzazione delle carte. Si ringrazia inoltre F. Gai per la collaborazione in tutte le fasi dello studio.

Bibliografia

- [1] M. Sordi, Boll. Pesca Pisc. Idrobiol. 1969, 24: 105.
- [2] F. Cinelli, Boll. Pesca Piscic. Idrobiol. 1971, 26: 5.
- [3] G. Cognetti, A.M. Varriale, Boll. Pesca Pisc. Idrobiol. 1972, 27: 263.
- [4] G. Fierro, F. Miglietta, G.B. Piacentino, Boll. Pesca Pisc. Idrobiol. 1969, 24: 115.
- [5] G. Bacci, G. Badino, E. Lodi, L. Rossi, Boll. Pesca Pisc. Idrobiol. 1969, 24: 5.
- [6] G. Barsotti, G. Badino, E. Lodi, L. Rossi, Boll. Pesca Pisc. Idrobiol. 1974, 24: 5.
- [7] M.A. Todaro, Meiofauna; il popolo della sabbia; il microscopico mondo animale delle Secche della Meloria. Debate, Livorno: 1997.
- [8] A.M. De Biasi, F. Gai, Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Serie B 2000, 63.
- [9] A.M. De Biasi, F. Gai, L. Pacciardi, Atti 110: 3.

Studio sulle presenze fitozoobentoniche in due aree situate tra Capo Pero e l'Isola di Palmaiola individuate come possibili siti per il deposito di piloni in cemento armato antipesca a strascico

R. Bedini*¹, M. Pertusati¹, F. Batistini¹

Parole chiave: fitozoocenosi bentoniche, fondali, pesca a strascico

Oggetto del presente studio è la caratterizzazione fitozoobentonica di due aree situate tra Capo Pero e l'Isola di Palmaiola e individuate come possibili siti per il deposito di piloni in cemento armato con la funzione di dissuasori contro la pesca a strascico. L'impiego di tecniche di visual census, di campionamento fotografico e di campionamento standard del sedimento dei fondali ha consentito di fornire una descrizione su ampia scala delle forme di vita presenti nelle aree di indagine, con particolare riferimento alle biocenosi sessili. L'analisi ha mostrato come i fondali delle due aree di studio non ospitano comunità animali o vegetali di particolare interesse naturalistico né specie sessili o sedentarie protette o, comunque, tali da far ritenere dannosa per l'habitat la posa in opera di barriere sottomarine. Queste ultime produrranno effetti benefici per l'ecosistema locale, impedendo di fatto la pesca a strascico e inducendo un incremento della biodiversità e della ricchezza specifica del fondo marino interessato. Infatti i piloni forniranno occasioni di rifugio e un substrato di colonizzazione per molti organismi marini sia vegetali che animali.

Introduzione

Su incarico dell'Autorità Portuale di Piombino l'Istituto di Biologia ed Ecologia Marina di Piombino ha effettuato uno studio sulle presenze fitozoobentoniche in due aree situate tra Capo Pero (Isola d'Elba) e l'Isola di Palmaiola, individuate come possibili siti per il deposito di piloni in cemento armato come dissuasori per la pesca a strascico in aree dove la stessa è vietata.

Materiali e metodi

L'area di studio è rappresentata da 2 siti che sono stati segnalati dall'Autorità Portuale di Piombino tra Capo Pero (Isola d'Elba) e l'Isola di Palmaiola (figura 1): sito A (42° 51' 25" N-010° 27' 60" E, profondità 36 m) e sito B (42° 51' 85" N-010° 27' 30" E, profondità 35 m). Lo studio ha previsto l'acquisizione di documentazio-

ne fotografica e di dati tramite visual census e campionamento standard. I rilevamenti sono stati condotti con il supporto logistico di un battello con 2 subacquei professionisti ed un biologo a bordo per 4 giornate di immersione con A.R.A. (5-8 giugno 2006). Ogni giornata sono stati prelevati 6 campioni prelevati in aree diverse dello stesso sito seguendo lo schema riportato in figura 2a.

In corrispondenza di ciascuno dei 2 siti sono state selezionate in modo casuale 4 aree rappresentate da 4 cerchi bianchi in figura 2b. Per ogni area sono stati

gli autori

^{*1} Istituto di Biologia ed Ecologia Marina di Piombino, P.za Bovio 3/4 Piombino
museomare@biomare.it

* autore per corrispondenza

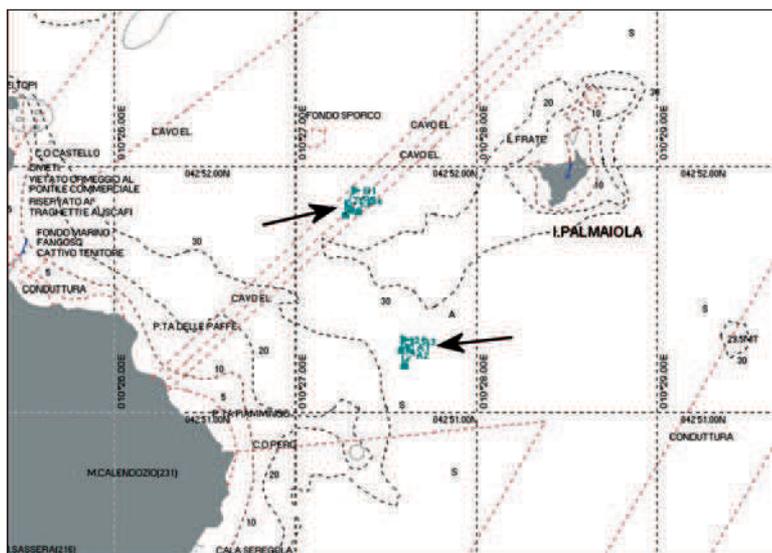


Figura 1: Carta batimetrica con evidenziate le aree interessate dallo studio.

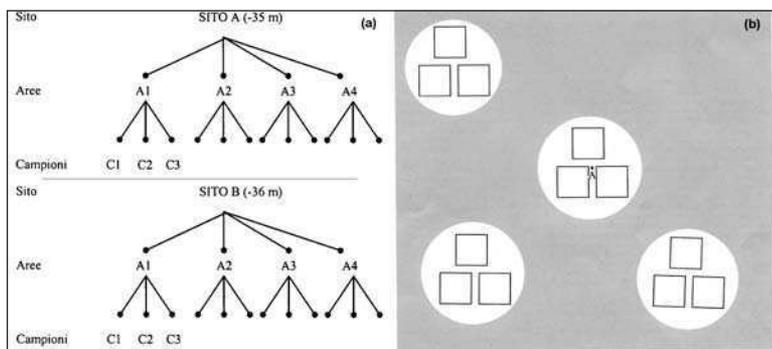


Figura 2: (a) Schema generale di campionamento seguito nei 2 siti di studio e (b) dettaglio dello schema seguito per le aree del sito A.

prelevati tre campioni, per un totale quindi di 24 campioni da analizzare.

Tecniche di indagine

Visual census: questa tipologia di indagine implica l'identificazione delle specie nel loro habitat naturale. Il ricercatore si muove lentamente e a breve distanza dal substrato, in questo modo annota le specie che incontra. Con questo tipo di indagine è possibile ac-

quisire dati di tipo quantitativo come ad esempio il tipo di specie presenti e la loro distribuzione spaziale [2,8]. Sono stati compilati record dettagliati di tutte le specie incontrate nelle due aree indagate.

Campionamento fotografico: l'impiego della documentazione fotografica, che è di uso comune negli studi di natura bionomica e di dinamica delle comunità diventa di fondamentale ausilio quando si debbano compiere studi di carattere descrittivo, dove è necessaria una caratterizzazione generale dell'ambiente con descrizione su ampia scala delle forme di vita presenti [1]. Nel corso dei campionamenti è stato acquisito materiale fotografico riguardante il tipo di fondale e le biocenosi sessili vegetali ed animali presenti. Le foto hanno anche permesso, in alcuni casi, di identificare con maggior sicurezza alcuni organismi os-

servati durante le immersioni. Per la documentazione fotografica è stata utilizzata una fotocamera digitale subacquea Canon Power Shot G1.

Campionamento standard: nelle due aree indagate sono stati prelevati campioni di sabbia, con metodologia random, per la successiva analisi in laboratorio delle specie presenti. La sabbia è stata prelevata con una paletta all'interno di un quadrato di dimensioni 20X20 cm e quindi chiusa in sacchetti di polietilene [1,5,10]. In laboratorio gli animali presenti nei cam-

pioni sono stati separati dal sedimento attraverso la tecnica del sorting e quindi identificati con l'impiego di uno stereomicroscopio binoculare modello Leica MS 5. Questo tipo di indagine ha consentito un'analisi di tipo qualitativo del popolamento prevalente nelle due aree indagate.

Risultati

Il giorno 05/06/2006 alle ore 14.00 è stata effettuata l'immersione subacquea nel sito B. A causa della forte corrente è stata effettuata una parziale ispezione del sito e sono stati prelevati i campioni nelle aree B1 e B2. L'area B2 ha le coordinate indicate per il sito B (42° 51.850N e 010° 27.300E), l'area B1 ha coordinate 42° 51.885N e 010° 27.305E. L'area B1 è situata a circa 65 m a nord di B2. Le profondità rilevate dal profundimetro erano 36,5 m in B2 e 37,5 m in B1.

Il giorno 06/06/2006 alle ore 14.00 è stata effettuata l'immersione per il campionamento dell'area B3 di coordinate 42° 51.830N e 010° 27.270E e dell'area B4 di coordinate 42° 51.840N e 010° 27.340E. Nelle aree B3 e B4, che distano da B2 rispettivamente 67 m in direzione sud-ovest e 76 m in direzione sud-est, sono state rilevate profondità di 35,5 m e 36 m. Lo stesso giorno 06/06/2006 alle ore 16:00 è stata eseguita un'altra immersione per il campionamento nelle aree A1 e A2 del sito A. L'area A1 ha le coordinate indicate per il sito A (42° 51.250N e 010° 27.600E), mentre l'area A2 ha coordinate 42° 51.220N e 010° 27.595E. Le profondità rilevate erano di 36,5 m in A1 e 37 m in A2.

Il giorno 07/06/2006 alle ore 11:00 è stata completata l'ispezione del sito B, perlustrando un'area di 100 m di raggio intorno ad esso. Tale indagine è consistita in una ricerca visiva finalizzata all'individuazione di eventuali praterie di *Posidonia oceanica* (L.) Delile e di fondi duri con presenza di gorgonie. Durante l'immersione sono state effettuate alcune foto dei fondali. Ancora in data 07/06/2006, alle ore 17:00 è stata effettuata l'ispezione del sito A con le stesse modalità e scopi del sito B. Anche durante questa immersione sono state scattate delle foto del fondale marino per documentarne le caratteristiche.

In data 08/06/2006 alle ore 13:00 è stata campionata l'area A3 di coordinate 42° 51.275N e 010° 27.630 E e l'area A4 di coordinate 42° 51.280N e 010° 27.580E. La profondità di A3 era di 35,5 m e quella di A4 di 36 m.

Visual census

Dall'osservazione viva durante le immersioni, i due siti sembrano avere stesse caratteristiche. Il fondale è di tipo sabbioso misto a ghiaie e ciottoli. Nella parte superficiale (circa 2 cm) del substrato sono presenti accumuli di resti calcarei organogeni di vari organismi marini (conchiglie, alghe calcaree, Briozoi, Celerati, Echinodermi, alghe rosse calcaree, ecc.). Il sottostante sedimento è costituito prevalentemente da sabbia con una importante frazione di sedimento fine (fango). I sedimenti sono stati indagati fino ad una profondità di circa 7-8 cm, in quanto la presenza dello zoobenthos è concentrata nei livelli superficiali dei sedimenti.

Sul fondo esistono aree occupate da uno strato sottile (2-3 cm) di accumuli di resti organici di alghe e *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813, trasportati e depositati dalle correnti insieme a Briozoi e conchiglie di Gasteropodi e Bivalvi.

Gli organismi che costituiscono il macrozoobenthos più frequentemente rilevati nei due siti sono costituiti prevalentemente da oloturie della specie *Holothuria tubulosa* (Gmelin, 1788), da ricci marini delle specie *Stylocidaris affinis* (Philippi, 1845), *Spatangus purpureus* (O.F. Müller, 1776), *Sphaerechinus granularis* (Lamarck, 1816), alcuni asteroidei, ascidiacei della specie *Phallusia mamillata* (Cuvier, 1815), da pochi crinoidi mobili. Per quanto concerne il fitobenthos, è stata rilevata la presenza di alghe rosse calcaree (corallinacee) appartenenti ai generi *Lithophilum* e *Lithothamnium*.

Nel corso dell'esplorazione subacquea, almeno nel raggio di 100 m di distanza da ciascuno dei due siti, non è stata riscontrata la presenza né di importanti formazioni rocciose né di praterie di *Posidonia oceanica* o di gorgonie.

Campionamento fotografico

I fondali indagati risultano essere composti superficialmente da ghiaia sabbiosa e sabbia ghiaiosa (figure 4a e b) con aree limitrofe melmose e con numerosi frammenti di conchiglie di bivalvi e gasteropodi.

Campionamento standard

Nella tabella 1 sono riportate le specie animali identificate all'interno dei sedimenti campionati nei 2 siti indagati.

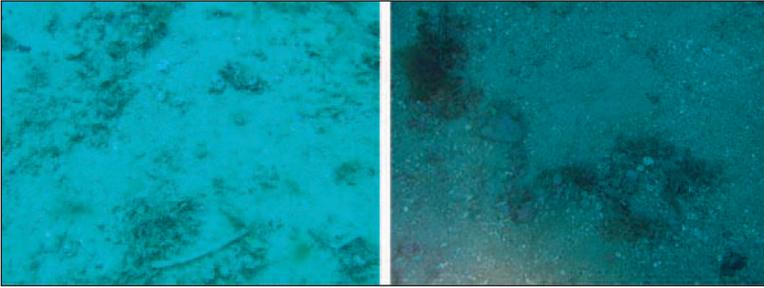


Figura 3: Fotografie dei fondali delle 2 aree indagate. Fondale ghiaioso-sabbioso (a), e sabbioso-ghiaioso (b).



Figura 4: *Ophiopsila aranea*

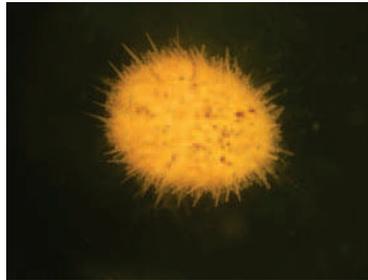


Figura 5: *Echinocyamus pusillus*



Figura 6: *Anapagurus petiti*

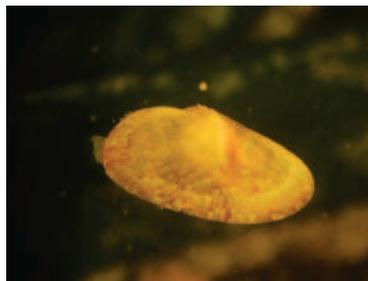


Figura 7: *Gari costulata*



Figura 8: *Chone filicaudata*

Nelle figure 4-8 sono rappresentate alcune delle specie animali identificate nel corso del presente studio all'interno dell'area di indagine.

Conclusioni

Dai dati rilevabili dallo studio dei campionamenti effettuati si evince che i fondali delle due aree indagate (figura 1) non presentano comunità animali o vegetali di particolare interesse naturalistico né specie sessili o sedentarie protette o, comunque, tali da far ritenere dannosa per l'habitat la posa in opera di barriere sottomarine. La modificazione del fondale, ad opere ultimate, sarà collocabile nella classe dei disturbi ambientali lievi, incapaci di modificare negativamente la struttura delle biocenosi esistenti in queste aree [11].

L'accatastamento dei piloni infatti, dato il tipo di fondale, creerà presumibilmente un intorbidimento dell'acqua tutto intorno la «piramide» e le correnti potranno estendere l'area di fondale interessata al fenomeno, ma questo non produrrà problemi particolari perché dall'ispezione subacquea è stata esclusa, in un raggio

Tabella 1: Nella prima colonna è riportata la lista totale delle specie censite. Di ognuna viene indicata la presenza/assenza in ognuna delle 4 aree indagate nel sito A e nel sito B.

Specie censite divise per gruppo sistematico	Aree di campionamento nei siti A e B							
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4
CNIDARI								
<i>Actinauge richardi</i> (Marion, 1882)						X		
<i>Arachnanthus oligopodus</i> (Cerfontaine, 1890)							X	
MOLLUSCHI								
<i>Mitrella scripta</i> (Linnaeus, 1758)				X				
<i>Glans aculeata</i> (Poli, 1795)					X			
<i>Glycymeris glycymeris</i> (Linnaeus, 1758)					X			
<i>Gari costulata</i> (Turton, 1822)						X		
<i>Plagiocardium papillosum</i> (Poli, 1795)							X	
ANELLIDI								
<i>Melinna palmata</i> (Grube, 1870)	X							
<i>Onuphis conchylega</i> (M. Sars, 1835)	X	X		X			X	
<i>Owenia fusiformis</i> (Delle Chiaje, 1841)	X		X	X		X		
<i>Amphictene auricoma</i> (O.F. Müller, 1776)		X				X	X	
<i>Lumbrinereis fragilis</i> (O.F. Müller, 1776)		X						
<i>Maldane glebifex</i> (Grube, 1860)		X			X			
<i>Chone filicaudata</i> (Southern, 1914)			X			X		
<i>Hyalinoecia bilineata</i> (Baird, 1870)			X					
<i>Hyalinoecia tubicola</i> (O.F. Müller, 1776)			X					
<i>Laonome kroyeri</i> (Malmgren, 1866)			X					
<i>Nephtys incisa</i> (Malmgren, 1865)			X					
<i>Odontosyllis dugesiana</i> (Claparède, 1864)			X	X				
<i>Syllis vittata</i> (Grube, 1840)			X					
<i>Nephtys hombergii</i> (Audouin et M. Edwards)				X				

Tabella 1

Specie censite divise per gruppo sistematico	Aree di campionamento nei siti A e B							
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4
<i>Clymene gracilis</i> (Sars, 1862)					X			
<i>Stenelais boa</i> (Johnston, 1839)					X			
<i>Ammotrypane aulogaster</i> (Rathke, 1843)						X		
<i>Hyalinoecia brementi</i> (Fauvel, 1916)						X		
<i>Megalomma vesiculosum</i> (Montagu, 1815)						X	X	
<i>Eunice vittata</i> (Delle Chiaje, 1828)							X	
<i>Glycera rouxi</i> (Audouin & Milne Edwards, 1833)							X	
<i>Psammolyce arenosa</i> (Delle Chiaje, 1841)							X	
<i>Stylarioides flagellata</i> (Sars G.O., 1871)							X	
<i>Terebellides stroemi</i> (M. Sars, 1835)							X	
<i>Anobothrus gracilis</i> (Malmgren, 1866)								X
<i>Arabella iricolor</i> (Montagu, 1804)								X
<i>Dasybranchus caducus</i> (Grube, 1846)								X
<i>Eusyllis blomstrandii</i> (Malmgren, 1867)								X
<i>Lumbriconereis latreilli</i> (Audouin & Milne-Edwards, 1834)								X
<i>Phyllodoce mucosa</i> (Oersted, 1843)								X
CROSTACEI								
<i>Ampelisca ledoyeri</i> (Bellan-Santini & Kaim Malka, 1977)	X			X				
<i>Leucothoe spinicarpa</i> (Abildgaard, 1789)	X			X				
<i>Haploops dellavallei</i> (Chevreux, 1900)			X					
<i>Leucothoe lilljeborgi</i> (Boeck, 1861)			X		X	X		
<i>Lysianassa longicornis</i> (Lucas, 1849)			X	X				
<i>Maera inaequipis</i> (Costa, 1857)			X				X	X
<i>Paguristes oculatus</i> (Linnaeus, 1767)			X					
<i>Pontocrates arenarius</i> (Bate, 1858)			X					

Tabella 1

Specie censite divise per gruppo sistematico	Aree di campionamento nei siti A e B							
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4
<i>Ampelisca diadema</i> (Costa, 1853)				X				
<i>Ampelisca multispinosa</i> (Bellan-Santini & Kaim Malka, 1977)					X			
<i>Ampelisca brevicornis</i> (Costa, 1853)						X		
<i>Ebalia deshayesi</i> (Lucas, 1845)						X		
<i>Leptocheirus mariae</i> (G. Karaman, 1973)						X		
<i>Anapagurus petiti</i> (Dechancé & Forest, 1962)								
<i>Rhachotropis glabra</i> (Ledoyer, 1977)								X
ECHINODERMI								
<i>Brissus unicolor</i> (Leske, 1778)	X							
<i>Amphipholis squamata</i> (Delle Chiaje, 1828)			X			X		
<i>Ophiopsila aranea</i> (Forbes, 1845)			X			X		
<i>Echinocyamus pusillus</i> (O.F. Müller, 1776)				X		X		
<i>Acrocnida bracciata</i> (Montagu, 1804)				X			X	
<i>Ophiura albida</i> (Forbes, 1839)							X	

molto ampio, qualsiasi presenza di fanerogame marine, o specie animali sessili che potrebbero risentire del deposito sulle proprie strutture del limo e del particolato sabbioso diffuso (come ad esempio gorgoniacei). Le «piramidi» di piloni diventeranno protezione e rifugio con gli anfratti che creeranno ed un substrato di colonizzazione per molti organismi marini sia vegetali che animali. La struttura funzionerà anche da nursery per molte specie animali sia pelagiche che bentoniche e necto-bentoniche quali Pesci, Molluschi, Crostacei come è stato ampiamente dimostrato in studi sulle barriere artificiali in Italia e all'estero (Rapporto sul Workshop Barriere Artificiali, Ancona, 2001). È stato ad esempio dimostrato, già da molti anni, che poche ore dopo la messa in opera sul fondale marino di strutture artificiali [4,12] le stesse cominciano a essere colonizzate. L'insediamento sui piloni di biocenosi di substrato duro fornirà inoltre

possibilità di pascolo per molte specie ittiche.

Pertanto dai dati forniti dal presente studio si evince che l'area indagata è compatibile con la messa in opera di barriere artificiali quali quelle proposte. Esse produrranno effetti benefici per gli ecosistemi locali, impedendo di fatto la pesca a strascico e inducendo un incremento della biodiversità e della ricchezza specifica del fondo marino interessato. Costituiranno infine una «impalcatura» per attività di biocostruzione [9] da parte di Briozoi [6,7], Anellidi, Bivalvi o di altre specie colonizzatrici che concorrono nell'aumento della biodiversità locale [3].

Ringraziamenti

Si ringrazia per l'autorizzazione ai campionamenti, la sosta dell'imbarcazione ed il supporto logistico: l'Au-

torità Portuale di Piombino, la Capitaneria di Porto di Portoferraio, la Delegazione di spiaggia di Cavo, la Delegazione di spiaggia di Rio Marina. Per la fornitura di materiale ai biologi subacquei: le aziende Kodak e Nike Italia.

Bibliografia

- [1] M. Abbiati, Metodi di campionamento biologico subacqueo. In Lezioni del corso formativo per ricercatore scientifico subacqueo, a cura di Marco Abbiati. I.S.S.D., Pisa: 1991.
- [2] F. Biagi, Valutazioni visive delle Fauna Ittica. In: Lezioni del corso formativo per ricercatore scientifico subacqueo, a cura di Marco Abbiati. I.S.S.D., Pisa: 1991.
- [3] C.N. Bianchi, La biocostruzione negli ecosistemi marini e la biologia marina italiana. Biol. Mar. Medit. 2001, 8 (1): 112-130.
- [4] J.C. jr. Carlisle, C.H. Turner, E.E. Ebert, Artificial habitat in the marine environment. Calif. Dep. Fish Game Fish Bull. 1964, 124: 1-90.
- [5] F. Cinelli, E. Fresi, L. Gazzella, Ricerche su popolamenti bentonici su substrato duro del porto di Ischia. Infralitorale fotofilo (Macrofite e Isopodi liberi). Arch. Oceanograf. Ital. 1976, 18 (3): 169-188.
- [6] S. Cocito, F. Ferdeghini, C. Morri, C.N. Bianchi, Patterns of bioconstruction in the cheilostome bryozoan *Schizoporella errata*: the influence of hydrodynamics and associated biota. Mar. Ecol. Progr. Ser. 2000, 192: 153-161.
- [7] F. Ferdeghini, S. Cocito, C. Morri, C.N. Bianchi, Living bryozoan buildups: *Schizoporella errata* (Waters 1878) (Cheilostomatida, Ascophorina) in the northwestern Mediterranean (preliminary observations). In Proceedings of the 11th International Bryozoology Association Conference. Smithsonian Tropical Research Institute. A. Herrera Cubilla, J.B.C. Jackson (eds.), Panamá: 2000.
- [8] M.C. La Mesa, M.C. Gambi, M. Dappiano, I sistemi a fanerogame marine. In: Manuale di Metodologie di Campionamento e Studio del Benthos marino mediterraneo. Biol. Mar. Medit. 2003, 10 (suppl.): 145-189.
- [9] M. Sarà, Research on coralligenous formations: problems and perspectives. Pubbl. Staz. Zool. Napoli 1969, 37 (suppl.): 124-134.
- [10] M. Sarà, A. Balduzzi, F. Boero, M. Pansini, D. Pessani, R. Pronzato, Analisi di un popolamento bentonico di falesia del promontorio di Portofino: dati preliminari. Bull. Mus. Ist. Biol. Univ. 1978, 46.
- [11] J.P. Sutherland, The fouling community at Beaufort, North Carolina: a study in stability, Am. Nat. 1981, 118: 499-519.
- [12] H.C. Turner, E.E. Ebert, R.R. Given, Man-made reef ecology. Calif. Dep. Fish Game Fish Bull. 1969, 1: 46-120.

Riproduzione ed allevamento dell'*Octopus vulgaris* in Toscana: ricerche e risultati nel periodo 2002-2007

F. Lenzi*, T. De Wolf, S. Lenzi

Parole chiave: *Octopus vulgaris*, polpo, allevamento paralarvale, acquacoltura, nuove specie

*La ricerca in oggetto racchiude l'attività svolta nel periodo 2002-2007, nell'ambito del progetto di sviluppo dell'acquacoltura Toscana co-finanziato dall'ARSIA. Sono presentati i risultati delle prove fatte presso la Maricoltura di Rosignano Solvay (di seguito MRS). La ricerca si colloca nel più ampio panorama internazionale ed in particolare Mediterraneo, che vede vari gruppi di ricerca e strutture impegnate ormai da anni [15] nel tentativo di portare a chiusura il ciclo completo di riproduzione dell'*Octopus vulgaris* in condizioni controllate. Allo stato attuale delle conoscenze di ricerca infatti, ed in particolare agli inizi di questo progetto non era possibile accrescere in cattività paralarve di polpo riprodotte in condizioni di allevamento oltre i 30-40 giorni di vita.*

Introduzione

Questa ricerca ha potuto verificare come ormai la costituzione ed il mantenimento di uno stock di riproduttori in cattività, consente di avere elevate sopravvivenze dei soggetti adulti e ottime percentuali di fecondazione delle femmine con relative abbondanti deposizioni di uova. Le femmine fertili, in cattività riescono a deporre tra le 50.000 e 300.000 uova, con quantità crescenti in relazione alla maggiore taglia.

In condizioni di allevamento si ottengono mediamente delle schiuse di paralarve viabili superiori al 90%. Il miglioramento della gestione di tutto il ciclo dei riproduttori fino alla fase della schiusa delle uova ha consentito di aumentare sia la quantità di uova prodotte per femmina, sia la schiusa di quelle viabili e come conseguenza finale siamo riusciti ad ottenere paralarve alla schiusa con un potenziale di crescita superiore a quello che si poteva ottenere solo alcuni anni fa.

In letteratura sono riportate sopravvivenze sino ai 30 giorni di età di paralarve riprodotte che arrivano a circa il 50% [3,6,13] per poi scendere rapidamente a

meno del 20% dopo i 40 giorni [3]. Nella ricerca effettuata presso la Maricoltura di Rosignano Solvay fino al 2005, sopravvivenze superiori al 35% sono state ottenute sino a circa 45 giorni di età con una sopravvivenza finale massima di 75 giorni che colloca questi risultati tra quelli più promettenti sino al momento conosciuti. Nella seconda fase della ricerca sviluppata fino alla fine del 2007, per la prima volta siamo riusciti ad ottenere l'accrescimento di giovanili di polpo riprodotti ed allevati in totali condizioni controllate arrivando ad ottenere alcune decine di polpi con oltre 80 giorni di età con un individuo che ha raggiunto i 160 giorni di vita. Questo risultato pone la ricerca all'avanguardia a livello internazionale e dovrà servire

gli autori

¹ Maricoltura di Rosignano Solvay,
Via P. Gigli Loc. Lillatro,
57013 Rosignano Solvay

* autore per corrispondenza
mrs.fl@sysnet.it

per stimolo per approfondire con sempre maggiore convinzione la strada per inserire il polpo a pieno titolo tra le nuove specie economicamente ed ecologicamente sostenibili.

Materiali e metodi

Costituzione e condizionamento dello stock di riproduttori

Il reperimento dei riproduttori attraverso cattura di animali selvatici avviene solitamente nel mese di settembre e si protrae sino alla fine di ottobre, quando raggiunto un numero consistente di esemplari adulti (generalmente tra 30 e 40 sopra i 500g di peso) tra maschi e femmine. I polpi sono stati tutti reclutati con la cattura attraverso nasse, posizionate la mattina presto e raccolte dopo poche ore in modo da far rimanere gli animali il minor tempo possibile dentro l'attrezzo.

Gli animali sono stati mantenuti in vasche rettangolari da 5 m³ in PRFV, ciascuna con ricambio continuo di acqua di mare con ciclo termico naturale, disposte all'aperto. La gestione dei parametri fisici dell'acqua è stata mantenuta costante negli anni in quanto ha sempre garantito ottimi risultati di sopravvivenza e ambientamento da parte degli animali selvatici.

In base alle esperienze maturate il rifugio più gradito e di facile gestione per gli adulti, sono tubi in PVC di forma cilindrica e/o curva di dimensioni adeguate a quelle degli animali.

Gli adulti sono stati alimentati con congelato (granchi, cozze, gamberi e pesci vari).

A fine primavera le femmine che cessano di alimentarsi nelle vasche di stabulazione, vengono spostate nel settore di emissione. Lo spostamento avviene quando il loro comportamento tipico (rimangono molto rintanate e non si alimentano) è sintomatico del fatto che sicuramente si sono accoppiate e sono prossime alla deposizione; le femmine vengono trasferite ciascuna in una vasca da 1000l con fotoperiodo artificiale controllato e temperatura dell'acqua mantenuta costantemente attorno ai 21 C°.

Deposizione e mantenimento delle uova

La deposizione delle uova da parte delle femmine, inizia generalmente verso maggio ed avviene all'interno dei tubi che gli animali hanno scelto come rifugio (foto 1).

Le femmine protraggono la deposizione per un pe-

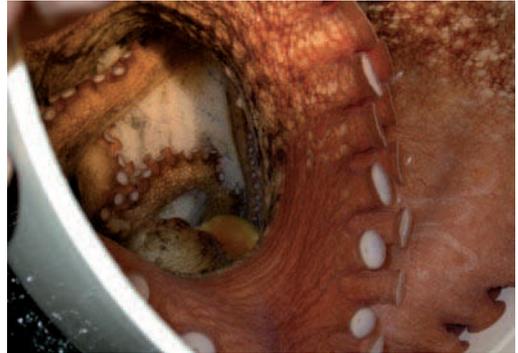


Foto 1: Femmina con le uova.

riodo variabile tra 5 e 10 giorni. Le uova sono state lasciate in presenza delle cure parentali della madre in quanto in base alle esperienze maturate negli anni, abbiamo visto che questo consente una schiusa pressoché totale delle paralarve.

Disegno sperimentale allevamento paralarve

Il disegno sperimentale, è stato impostato in modo da cercare di capire quale fosse la fonte alimentare con le potenzialità maggiori.

Le paralarve sono state sottoposte a regimi alimentari diversi che sono riportati nella tabella 1. I vari trattamenti sono stati impostati per valutare come la fonte alimentare diversa poteva generare differenze, come era logico aspettarsi dopo le precedenti esperienze ed i vari lavori riportati in letteratura [6,11,12,13,16].

Allo scopo sono state allestite, varie combinazioni di fattori fisico-alimentari (in vasche da 500l nel settore sperimentale dell'avannotteria denominato minihat-chery). Tali vasche erano soggette alle stesse condizioni fisiche (luce e temperatura salvo che nei trattamenti specifici, come riportato in tabella) e chimiche (ossigeno e sostanze disciolte). Tutti i parametri erano condizionati e costantemente controllati. Ogni trattamento è stato condotto in duplicato.

Produzione di fitozooplancton

Fitoplancton - L'alga unicellulare utilizzata per le vasche con questo trattamento è stata la *Nannochloropsis spp.* con concentrazioni di circa 700.000 cellule/ml in vasca di allevamento.

Tabella 1: Disegno sperimentale prove in minihatchery periodo 2002-2004.

Trattamento	ALIMENTAZIONE						FOTOPERIODO		RICAMBIO
	Alghe	Rotiferi	DCDH A Art	Art M-L (Prolonβ)	Artemia congelata	Alimento inerte	14L/10D	24L	
1. Controllo negativo: Digiuono	NO	NO	NO	NO	NO	NO	X		SI
2. Controllo Positivo	SI	NO	SI	SI	NO	SI	X		SI
3. Artemia nauplii (InstarII-III)	NO	NO	SI	NO	NO	NO	X		SI
4. Artemia varie dimensioni	NO	NO	SI	SI	NO	NO	X		SI
5. Tutto alimento vivo	SI	SI	SI	SI	NO	NO	X		SI
6. Solo alimento inerte. Sifonatura quotidiana!	NO	NO	NO	NO	NO	SI	X		SI
7. Solo alimento vivo - 24h luce	SI	SI	SI	SI	NO	NO		X	SI
8. Artemia congelata	NO	NO	NO	NO	SI	NO	X		SI
Trattamenti per vasca	Repl 1	Repl 2							
1. Controllo negativo: Digiuono	C7	-							
2. Controllo Positivo	B6	B4							
3. Artemia nauplii (InstarII-III)	C6	C4							
4. Artemia varie dimensioni	B5	B3							
5. Tutto alimento vivo	B7	C3							
6. Solo alimento inerte. Sifonatura quotidiana!	B8	C3							
7. Solo alimento vivo - 24h luce	B9	B8							
8. Artemia congelata	C5	C3							
NOTE:	- Luce su tutte le vasche: 50-250lux								
	- densità: 6larve/l								
	- entrata acqua a doccia								
	- nessun substrato nelle vasche								
	- solo alimento inerte: Sifonatura Quotidiana								

Zooplankton - La produzione di alimento vivo è iniziata con la produzione di artemie EG (580 µm instar I) che sono sempre state arricchite con A1DHA Selco® per 24 h a 26 C°, prima di essere somministrate alle larve (750-850 µm instar II - instar III).

Un grande sforzo produttivo è stato dedicato alla produzione di artemie adulte di varie età. Le dimensioni degli adulti variavano dai 12mm fino ai 20mm. Le dimensioni sono ovviamente riferite ad artemie di età diverse, comprese tra 4 e 10 giorni. Prima di essere somministrati alle paralarve questi adulti sono stati arricchiti con Prolon (alimento sperimentale prodot-

to da INVE Technologies) per circa 3-5 ore. Questo arricchitore ha le seguenti caratteristiche, lipidi >25%; proteine >17%; ceneri 10%; 3 HUFA >100mg/g PS; Vit. A 835000 UI/kg; Vit. D3 80000UI/kg; 3600mg/kg; 4000 mg/kg; EPA 20 mg/g; 25 mg/g.

Distribuzione del fitozooplankton

La coltura algale matura è stata raccolta la mattina stessa del suo utilizzo e distribuita varie volte al giorno nelle vasche di allevamento larvale per poter

mantenere la concentrazione costante.

Le artemie EG sono state distribuite sempre dopo filtrazione dalla vasca di arricchimento e successivo lavaggio in filtro immerso con maglia da 120 µm. Le artemie adulte sono state raccolte dalla vasca di arricchimento risciacquate con lo stesso procedimento usato per le EG e sono state distribuite con le stesse modalità e frequenza, in ragione di un mantenimento di una concentrazione minima di 1-2 art./ml. A seguito delle indicazioni degli anni precedenti nel 2007 è stato solo modificato l'arricchimento per le artemie adulte (con almeno una lunghezza di 15mm). È stato infatti utilizzata la versione ProLon®, somministrata per 48h ad un concentrazione di 300ppm/12h.

Parametri fisici

Idrologia e ricambi

L'idrologia della vasca è stata impostata per essere la più ridotta possibile, per cercare di non creare troppo disturbo alle larve in particolare nei primi giorni della loro alimentazione con preda viva, vista la loro tendenza alla passività natatoria. Sono state quindi evitate correnti preferenziali che tendessero a creare degli addensamenti di larve in zone circoscritte. Il ricambio è stato mantenuto costante durante il giorno con un flusso pari a circa il 100% di ricambio/giorno.

Temperatura

Questa gestione dei ricambi ha fatto sì che non ci fossero delle oscillazioni di temperatura marcate nelle 24h (nell'ordine di +/-1,5 °C) con una media di circa 23 °C. Il condizionamento dell'acqua è avvenuto mediante uso di pompe di calore.

Intensità luminosa

L'illuminazione è stata garantita per via diretta attraverso lampade alogene da 150W la cui luminosità è stata regolata in modo da fornire 500-800 lux alla superficie dell'acqua.

Fotoperiodo

È stato adottato un fotoperiodo di circa 14 ore di luce piena e 10 di buio.

Areazione

L'aerazione è stata impostata in modo blando in modo da non creare eccessive turbolenze, ma allo stesso tempo ha garantito una omogenea distribuzione sia delle larve che delle prede vive.

Allevamento larvale

Con le prime deposizioni avvenute nella tarda primavera inizi estate, abbiamo sempre potuto lavorare per mettere a punto in particolare la tipologia e la struttura delle vasche e gli alimenti da somministrare. Le prime deposizioni annuali sono sempre state una sorta di test per le deposizioni successive.

A seguito dei risultati ottenuti da queste prove sono state allestite vasche da 1000l fino a 6000l nel settore di allevamento larvale, replicando i migliori trattamenti ottenuti nei piccoli volumi (500L).

Risultati

Riproduttori

Per quanto riguarda la gestione del parco riproduttori, siamo riusciti ad ottenere un buono standard di allevamento che ha consentito di far ambientare rapidamente gli animali catturati in mare e da questi poi di poter ottenere buone deposizioni sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo. Le femmine riescono a deporre generalmente alla fine della primavera, tra le 20.000 e le 300.000 uova. La quantità di uova emesse è direttamente proporzionale alle dimensioni degli animali. Le uova mantenute in presenza di cure parentali schiudono sempre con oltre il 95% di viabilità, mentre le uova che sono state fatte schiudere senza le cure parentali, non superano il 60% di paralarve viabili. Durante il periodo di ricerca sono state ottenute deposizioni quantitativamente significative (>100.000 uova) da oltre il 50% degli animali.

Risultati che confermano e migliorano i risultati già ottenuti in precedenza e descritti in letteratura [2,4,6].

Allevamento larvale

Il risultato più evidente delle prove effettuate fino al 2005 in vasche con volumi diversi, è che nei grandi volumi (6000l) e con basse densità (>5larve/l) la sopravvivenza è risultata essere maggiore. Rispetto ai vari tipi di trattamento effettuati in Minihatchery per valutare l'effetto dei vari regimi alimentari (grafico 1), quello che emerge chiaramente è la elevata sopravvivenza raggiunta nelle vasche alimentate con artemia di varie dimensioni ed in particolare con alte percentuali di artemia adulta. A seguito di queste indicazioni, ed in particolare dai risultati ottenuti nelle vasche da 6000l, abbiamo avuto la conferma che l'apporto di artemia

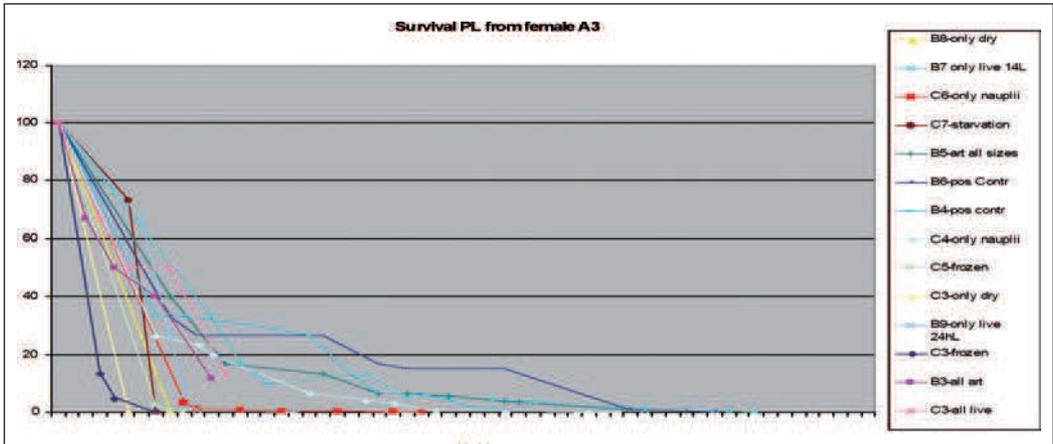


Grafico 1: Sopravvivenza nei vari regimi alimentari in vasche da 500L in Minihatchery.

adulta è decisivo per elevare la sopravvivenza. Qui infatti siamo riusciti ad ottenere sopravvivenze attorno al 45% a 45 giorni ed a produrre alcune migliaia di paralarve oltre i 50 giorni di età. Come sopravvivenza massima ottenuta siamo riusciti ad arrivare fino a 75 giorni. Questi risultati sono molto significativi, in quanto da quello riportato in letteratura anche nei lavori più recenti [3,6,13] le sopravvivenze indicate sono inferiori. Negli anni successivi siamo riusciti ad ottenere simili sopravvivenze anche in vasche da 1000L. Nel 2006 si sono raggiunti i 73 giorni di sopravvivenza

massima e sopravvivenze attorno al 40% sino ai 35-40 giorni di vita.

È interessante notare come (grafico2) le lunghezze totali fossero comparabili nei vari trattamenti ad eccezione del trattamento con le artemie adulte arricchite, che ha avuto degli accrescimenti decisamente molto superiori. Questo si è riflesso anche in una sopravvivenza assoluta e percentualmente superiore.

Nel corso del 2007 siamo riusciti ad ottenere giovani di polpo, che con una decina di esemplari hanno superato i 90 giorni di vita.

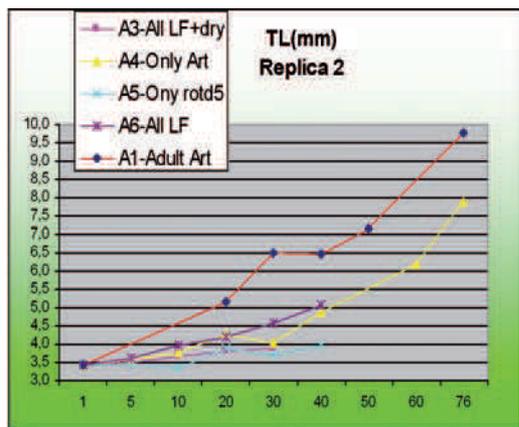
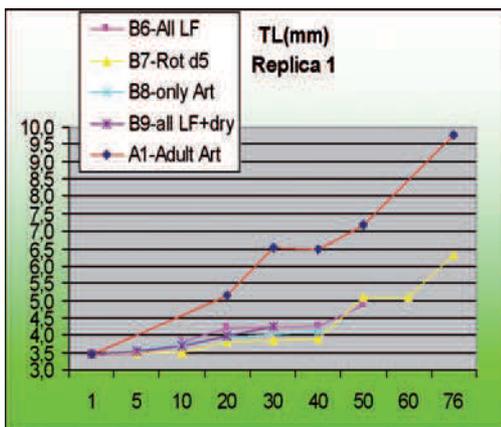


Grafico 2. Crescita delle paralarve nelle 2 repliche MRS 2006: All LF+dry (tutto live food + alimento secco); Only Art (solo artemia arricchita); Only rot d5 (solo rotiferi fino al giorno 5); All LF (tutto live food); Adult Art controllo (solo artemie adulte).

Discussione

Nel corso degli anni 2005 e 2006 della ricerca sono stati compiuti notevoli progressi per quanto riguarda in particolare la sopravvivenza media delle paralarve, che si è attestata nei migliori trattamenti ad oltre il 30% a 45 giorni di età superiori a tutti i migliori risultati sino ad oggi riportati in letteratura [3]. Nel corso delle prove di allevamento svoltesi presso la MRS nel 2006, la massima età raggiunta è stata di 78 (foto 2) giorni ma con temperatura media di allevamento di circa 25°C (circa 2°C superiore a quella usata negli anni precedenti) che quindi corrispondono ad un'età di circa 1950°C/Giorno contro una massima età di 1725°C/Giorno raggiunta nel periodo di ricerca nell'anno precedente, questo in via del tutto teorica potrebbe far estrapolare una proiezione di età di circa 85 giorni a 23°C.

Un notevole progresso è stato ottenuto per quanto riguarda le dimensioni delle paralarve, che a parità di età con i precedenti anni mostravano degli accrescimenti significativamente superiori (lunghezza totale TL:10,3mm a 65giorni, contro gli 9,8mm registrati di media nel corso del 2006; misure ottenute anestetizzando con etanolo al 2% come descritto da Villanueva R. 1995). Questi maggiori accrescimenti sono senza dubbio da attribuire alla somministrazione in grande quantità di metanauplii di artemia ed artemia adulta che si è rivelata fondamentale per cercare di soddisfare le esigenze energetiche e metaboliche delle paralarve. L'accrescimento maggiore ha coinciso con la somministrazione di artemie adulte ed arricchite con Prolon®/48h come riportato nel grafico 2 relativamente alle ultime due prove effettuate nel 2006.



Foto 2. Paralarva di polpo di 78 giorni, confrontata con una moneta da 1 cent.

L'alimento Prolon®, nella sua formulazione finale è la risultante di vari affinamenti avvenuti negli anni e formulati dai laboratori di Inve Technologies in Belgio. La composizione finale di questo alimento è riportato nella tabella 2.

Tabella 2: Composizione della formulazione finale di Prolon®.

Composizione%	
Proteine crude	18,6
Grassi	29
Amido	32,3
Acqua	7
Altro	13,1
HUFA mg/g	100
DHA/EPA	2

Le analisi degli acidi grassi sono state effettuate presso i laboratori dell'Artemia Reference Centre di Gent, Belgio, secondo Ways and Hanahan (1964), esterificazione secondo Lepage and Roy (1984 e 1986) ed iniezione su gascromatografo.

Analisi (FAME) alimento vivo somministrato

Le analisi dimostrano un contenuto notevole in acidi grassi poli insaturi, e soprattutto in DHA e EPA. Questo ci spinge a cercare di arricchire le prede vive con questi componenti. Comparando le analisi delle prede vive e le paralarve a giorno 0, si evidenzia come gli arricchitori usati hanno avuto un profilo abbastanza adeguato.

È interessante notare come tutte le prede vive avevano un alto contenuto proteico e un livello di arricchimento in acidi grassi poli insaturi molto alto. Anche il rapporto DHA/EPA era >1.5 che è da considerarsi elevato, almeno per le artemie metanauplii. Questi alti valori di arricchimento probabilmente hanno consentito di aumentare notevolmente le sopravvivenze ed aumentato gli accrescimenti come precedentemente descritto. Le artemie adulte malgrado abbiano consentito di superare la fase bentonica e di arrivare ai primi esemplari di polpo con età fino oltre i 5 mesi di vita, probabilmente non hanno ancora quei livelli di arricchimento necessari per garantire delle percentuali di sopravvivenza ancora superiori dopo i 70 giorni di vita, questo rimane forse l'aspetto più importante sul quale lavorare in futuro. L'ottenimento delle uova e successivamente delle paralarve avviene ormai con successo, confermando che an-

Tabella 3: Valori nutrizionali delle prede vive fornite alle paralarve.

Preda	Total Protein% on DW	Total FAME% on DW	DHA (mg/gDW)	Sum (n-3)HUFA (mg/g DW)	DHA/EPA
Artemia InstarII/III	54	24	34	60	1.6
Artemia meta-nauplii 2-3mm (6h arricch. Prolon®)	56	22	29	55	1.8
Artemia adulta 8-20mm (48h arricch. Prolon®)	44	65	4,3	12,8	0,6

che questa fase è conosciuta a sufficienza e pronta per un apporto numerico importante anche in ottica produttivo-commerciale. In effetti questo passaggio è quello più importante per quanto riguarda la sostenibilità di una produzione in prospettiva di allevamento commerciale. La gestione e l'ottenimento delle paralarve viabili in quantità e qualità soddisfacenti ad un approccio produttivo (si parla di alcune centinaia di migliaia di paralarve a stagione riproduttiva da un parco riproduttori di circa 10 femmine) sono il punto di partenza indispensabile per poter pensare di intraprendere i successivi stadi di allevamento.

L'allevamento della paralarve effettuato in vasche cilindriche a fondo leggermente bombato di 1000L e 500L di volume ed ad una temperatura media di allevamento di 23°C +/- 1°C, con fotoperiodo 12h/L-12h/B, ha confermato che la strada da perseguire con decisione è quella di un allevamento con prede vive riprodotte in impianto almeno nella prima fase sino ai 30/40 giorni di età.

Nella stagione riproduttiva 2007 per la prima volta è stato possibile portare allo stadio di giovanili delle paralarve riprodotte in cattività. L'alimentazione che sino ai 65giorni di vita è stata solo a base di artemia adulta arricchita con Prolon® per 48h, ha avuto un periodo di sovrapposizione per circa 15giorni con della polpa di granchio sminuzzata, e quest'ultima è divenuta l'alimentazione unica oltre il giorno 80.

Da questo momento i polpi hanno assunto un comportamento prevalentemente bentonico, utilizzando un tubo in plastica come rifugio.

Nel 2007 è anche aumentata la sopravvivenza assoluta ed il numero di animali con una decina di individui

che hanno superato i 90giorni di età. Per la prima volta siamo arrivati allo stadio giovanile con individui superato i 160 giorni di vita. Questi giovanili hanno raggiunto i 14mm per il mantello e circa 18mm (foto 3) per i tentacoli con un numero di ventose medie per ogni tentacolo di 50 (foto 3).



Foto 3: Giovanile a 125 giorni di vita.

Conclusioni

Questa ricerca ha negli anni evidenziato sempre maggiori progressi in termini di età assoluta delle paralarve e di percentuale di sopravvivenza nelle varie classi di età. Lo sviluppo e la gestione di un allevamento in condizioni completamente controllate, compresa la parte di produzione dell'alimento vivo è l'obiettivo finale.

L'aver raggiunto lo stadio giovanile dimostra che è tecnicamente possibile ottenere in condizioni controllate lo sviluppo di giovanili di polpo. L'ulteriore

passo è quello di verificare la possibilità di arrivare ad avere animali riprodotti in condizioni controllate, capaci di accrescersi con velocità tali da essere interessanti dal punto di vista commerciale.

L'obiettivo di riprodurre giovanili di polpo attraverso un processo completo di gestione riproduttori, fecondazione deposizione delle uova ed ottenimento delle paralarve è stato raggiunto.

Rimangono da affinare ed ottimizzare i metodi di allevamento per poter ottenere numeri ed accrescimenti che possano a tutti gli effetti far parlare del polpo come una vera nuova specie per l'acquacoltura.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'ARZIA per il suo contributo indispensabile alla realizzazione di questa ricerca.

Bibliografia

- [1] S.V. Boletzky, P. Fioroni, Embryo inversions in *Incirrate Octopods*: the state of an enigma. *Journal of Cephalopod Biology* 1990, 1 (2): 37-57.
- [2] P. Cagnetta, L. Zezza, R. Perniola, Preliminary trials on octopus (*Octopus vulgaris c.*) rearing under controlled conditions. XXXIII Simposio Internazionale di Zootecnica: 22nd-24th April 1998, Alghero, New Species for Mediterranean Aquaculture 1998: 175-182.
- [3] J.F. Carrasco, C. Rodriguez, Z. Rodriguez, Cultivo intensivo de pulpo (*Octopus vulgaris*, Cuvier 1797), en tanques parabólicos de 30l utilizando como base de la alimentación zoeas vivas de crustáceos. In: Libro de Actas. IX Congreso Nacional de Acuicultura, Octubre 2005, Sevilla, Spain 2005, pp. 191-194.
- [4] T. De Wolf, V. Courtens, U. Capiferri, F. Lenzi, Broodstock maturation and paralarvae rearing of the common Octopus *Octopus vulgaris* in Tuscany. In: Book of Abstracts, World Aquaculture 2004, 1st-5th March 2004, Hawaii, US. Aquaculture - An ecologically sustainable and profitable venture, 2004: 158.
- [5] J. Iglesias, F. Sanchez, J. Otero, C. Moxica, Ongrowing, reproduction and larvae rearing of octopus (*Octopus vulgaris c.*), a new candidate for aquaculture in Galicia (NW Spain). Proceedings of the workshop on New Species fo Aquaculture, Faro Portugal, 20-21 November 2000, 53-55.
- [6] J. Iglesias, J. Otero, C. Moxica, L. Fuentes, F.J. Sanchez, The completed life cycle of the octopus (*Octopus vulgaris*, Cuvier) under culture conditions: paralarval rearing using *Artemia* and zoeae, first data on juvenile growth up to 8 months of age. *Aquaculture International* 2004, 12: 481-487.
- [7] F. Lenzi, G. Cittolin, E. Ingle, E. Tibaldi, Allevamento del polpo (*Octopus vulgaris*): Riproduzione e allevamento larvale in avannotteria industriale. *Ricerca per lo sviluppo dell'acquacoltura Toscana*, 2002: 73-83
- [8] F. Lenzi, U. Capiferri, T. De Wolf, Paralarval rearing of the common octopus *Octopus vulgaris*: State of the art in Italy. *Book of Abstracts Aqua 2006*, Florence, Italy 2006: p. 523.
- [9] G. Lepage, C.C. Roy, *The Journal of Lipid Research*, 1984, ASBMB.
- [10] G. Lepage, C.C. Roy, Direct transesterification of all classes of lipids in one-step reaction. Notes on methodology. *The Journal of Lipid Research* 1986, 27: 114-120.
- [11] J. Navarro, R. Villanueva, Lipid and fatty acid composition of early stages of cephalopods: an approach to their lipid requirements. *Aquaculture* 2000, 128: 143-152.
- [12] J. Navarro, R. Villanueva, The fatty acid composition of *Octopus vulgaris* paralarvae reared with live and inert food: deviation from their natural fatty acid profile. *Aquaculture* 2003, 219: 613-631
- [13] S. Okumura, A. Kurihara, A. Iwamoto, T. Takeuchi, Improved survival and growth in *Octopus vulgaris* paralarvae by feeding large type *Artemia* and Pacific sandeel, *Ammodytes personatus*. Improved survival and growth of common octopus paralarvae. *Aquaculture*, 2005, 244: 147-157.
- [14] C. Rodriguez, J.F. Carrasco, M. Rodriguez, Engorde de juveniles de pulpo (*Octopus vulgaris*, Cuvier 1797) en jaula en aguas del Principado de Asturias. In: Libro de Actas. IX Congreso Nacional de Acuicultura, Octubre 2005, Sevilla, Spain 2005, pp. 219-222.
- [15] R. Villanueva, Experimental rearing and growth of planktonic *Octopus vulgaris* from hatching to settlement. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1995, 52: 2639-2650.
- [16] R. Villanueva, N. Koueta, J. Riba, E. Boucaud-Camou, Growth and proteolytic activity of *Octopus vulgaris* paralarvae with different food rations during first feeding, using *Artemia* nauplii and compound diets. *Aquaculture* 2002, 205: 269-286.

Studio sulla popolazione e sulle abitudini alimentari di *Galeus melastomus* (Rafinesque, 1810) nel Mar Ligure Sud-orientale

Gabriele Bulgheri, Marco Scali, Alessandro Voliani*

Parole chiave: *Galeus melastomus*, Mar Ligure Sud-orientale, contenuti stomacali, indici di biomassa e densità

Nell'ambito di questo lavoro, tra le specie della famiglia Scyliorhinidae presenti nel Mediterraneo, è stato scelto Galeus melastomus in quanto abbondantemente presente nei nostri mari e catturato come specie accessoria (by-catch) nella pesca dei crostacei decapodi come Nephrops norvegicus, Parapeneus longirostris, Aristeus antennatus, Aristeomorpha foliacea, tutte specie caratteristiche delle zone batiali. Le informazioni relative a Galeus melastomus ottenute in oltre 1000 prelievi fatti con una rete a strascico nel Mar Ligure sud-orientale, realizzati tra il 1985 e il 2002, hanno permesso di elaborare i dati di oltre 10000 esemplari. Sono state analizzate le distribuzioni geografiche, come indici di biomassa e di densità, e i contenuti stomacali. Sono state individuate aree di nursery che nella stagione estiva sono risultate a profondità meno elevate rispetto a quelle preferite dagli esemplari adulti. I gruppi che sono risultati maggiormente predati sono i Crostacei, i Cefalopodi e gli Osteitti. È risultato anche che la specie si alimenta con qualsiasi tipo di cibo che proviene dall'alto, come ad esempio gli scarti di cucina gettati in mare dalle navi.

Galeus melastomus (figura 1) è una specie demersale appartenente alla famiglia Scyliorhinidae, come *Scyliorhinus canicula* (Linnaeus, 1758) e *Scyliorhinus stellaris* (Linnaeus, 1758). È un piccolo squalo che può raggiungere dimensioni che vanno oltre i 60 cm; esiste un leggero dimorfismo sessuale in quanto le femmine raggiungono dimensioni maggiori dei maschi. Vive in prevalenza su fondali fangosi e colonizza le biocenosi del sistema batiale prediligendo i margini della scarpata continentale e quindi fasce batimetriche comprese tra i 200 ed i 1000 metri, sebbene le maggiori concentrazioni di individui si abbiano tra i 300 ed i 550 metri [1]. *Galeus melastomus* presenta caratteristiche tipiche degli squaliformi; il corpo affusolato, la testa schiacciata e il muso lungo e appuntito gli conferiscono una notevole idrodinamicità, tale da renderlo un perfetto predatore. Presenta due piccole pinne dorsali e la

caudale è piuttosto allungata con un profilo lineare; quest'ultima può raggiungere fino al 13-18% della lunghezza totale. Sono presenti cinque fessure branchiali per lato, al di sotto delle quali si protendono due pinne pettorali molto ben marcate. La bocca presenta, su entrambe le arcate delle mandibole, numerose file di piccoli denti acuminati, ognuno con una

gli autori

ARPAT Agenzia Regionale Protezione Ambientale della Toscana - Area Mare
Via Marradi, 114 57126 Livorno

* autore per corrispondenza
a.voliani@arpat.toscana.it

punta centrale più prominente delle due laterali; la mucosa interna è caratterizzata da un colore nero così come il peritoneo e per questo viene denominato comunemente «boccanera».

Depone uova protette da un guscio corneo i cui vertici non si prolungano in filamenti arricciati (cirri) come gli altri scyliorhinidi. I piccoli escono dall'uovo dopo un periodo medio di circa 5 mesi e alla nascita sono già lunghi più di 9 cm.

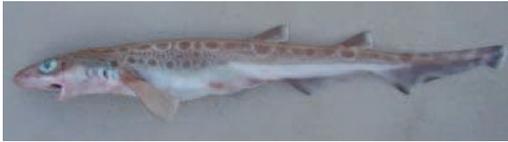


Figura 1: *Galeus melastomus*

Materiali e metodi

Il presente lavoro è stato realizzato adoperando i dati provenienti da campagne sperimentali di pesca a strascico effettuate a partire dal 1985 nelle acque del Mar Ligure Sud-orientale, acquisiti in seguito all'attivazione del progetto di ricerca nazionale GRUND [2], finalizzato alla valutazione delle risorse demersali, a cui si è aggiunto nel 1994 un progetto di ricerca comunitario denominato MEDITS [3].

Compressivamente sono stati utilizzati i dati provenienti da oltre 1100 cale. L'area indagata è di circa 10.000 km², si estende dalla linea di costa fino al limite delle acque territoriali corse ed è compresa tra le coste settentrionali dell'Isola d'Elba e la foce del Magra.

Il numero di esemplari ed il peso del campione sono stati rilevati direttamente a bordo del motopesca. In laboratorio sono stati rilevati la lunghezza totale del corpo al mezzo centimetro inferiore, il sesso, la maturità ed il contenuto stomacale.

Per la stima degli indici di biomassa (kg/km²) e di densità (n°/km²) è stata considerata l'area effettivamente strascicata durante ogni cala, ottenuta moltiplicando l'apertura della rete per la distanza percorsa (ricavata mediante le coordinate di inizio e fine cala).

Le informazioni georeferenziate così ottenute sono state utilizzate per la rappresentazione della distribuzione geografica della specie con l'estensione «Spatial Analyst» del programma Arc View [4].

L'analisi delle taglie è stata effettuata su circa 10.000 esemplari. Per verificare se nelle popolazioni di *Galeus melastomus* esistono distribuzioni geo-

grafiche e batimetriche diverse in relazione alle dimensioni degli esemplari, le taglie sono state divise in 4 classi: piccoli (da 10 cm fino a 17 cm), medio-piccoli (da 18 a 30 cm), medio-grandi (da 31 a 41 cm) e grandi (maggiore di 42 cm). La suddivisione in taglie è stata scelta con questi intervalli in riferimento ai grafici illustrati in figura 2, dove è riportata la distribuzione degli individui in funzione delle dimensioni.

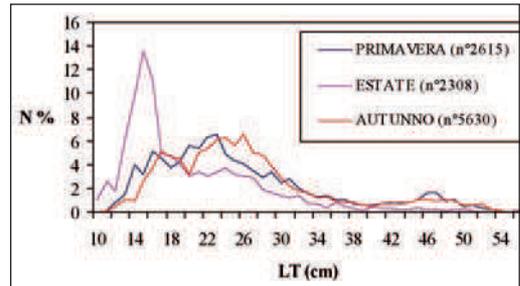


Figura 1: Distribuzioni percentuali delle taglie di *Galeus melastomus*.

Il limite di 17cm per i piccoli è stato scelto in riferimento alla classe modale dei giovani, più evidente in estate; il valore di 31cm è stato stabilito perché comprende approssimativamente il secondo gruppo modale; il valore di 42cm si riferisce alla taglia in corrispondenza della quale sono stati rilevati i più piccoli esemplari con gonadi mature per entrambi i sessi.

È stata eseguita anche un'analisi stagionale associando agli intervalli di taglie le tre stagioni di campionamento (primavera, estate e autunno). In questo modo è stato possibile verificare particolari distribuzioni in rapporto alle diverse stagioni.

Il contenuto stomacale di 709 esemplari di *G. melastomus* è stato espresso come percentuale di frequenza delle prede rinvenute negli stomaci non vuoti [5]. Gli individui sono stati suddivisi in relazione alle dimensioni (maggiori o minori di 31 cm); questo ha permesso di poter osservare le diverse abitudini alimentari legate all'età. È stata anche eseguita un'analisi stagionale dei contenuti gastrici, separando gli esemplari campionati in estate, autunno e primavera; tale suddivisione ha permesso di stabilire eventuali preferenze predatorie del «boccanera» legate alle stagioni.

Tabella 1: Indici di biomassa medi (kg/km²) per ogni strato batimetrico.

PROFONDITÀ (m)	INDICE DI BIOMASSA	d.s.
0-50	0	0
50-100	0	0
100-150	0	0
150-200	0	0
200-250	0	0
250-300	0,64	0,45
300-350	15,02	10,62
350-400	50,04	63,16
400-450	51,72	9,61
450-500	116,4	80,96
500-550	93,5	59,37
550-600	156,16	139,86
600-650	62,82	88,85

Risultati

Galeus Melastomus ha dimostrato un'ampia distribuzione nel bacino Ligure Sud-orientale e nelle campagne di pesca a strascico è stato catturato nell'intervallo batimetrico compreso da 250 fino a 650 m, anche se le catture più consistenti sono avvenute tra 450 e 600 m. Nella tabella 1 sono riportati gli indici di biomassa espressi in kg/km² e le relative deviazioni standard per intervalli batimetrici di 50 m.

L'analisi degli indici di biomassa e di densità ha consentito di disegnare le carte di figura 3. Le carte così ottenute mostrano alcune differenze poiché i maggiori contributi di biomassa sono stati individuati a profondità più elevate, mentre i valori più alti di densità sono relativi a due aree meno profonde.

L'analisi delle taglie ha evidenziato una distribuzione spaziale piuttosto diversa tra individui classificati come grandi e piccoli, ed ha anche consentito di individuare due aree di concentrazione dei giovani localizzate a Nord dell'Isola di Capraia.

I contenuti gastrici di *G. melastomus* hanno presentato una elevata diversità nell'alimentazione, essendo state riscontrate 46 categorie di prede, anche se

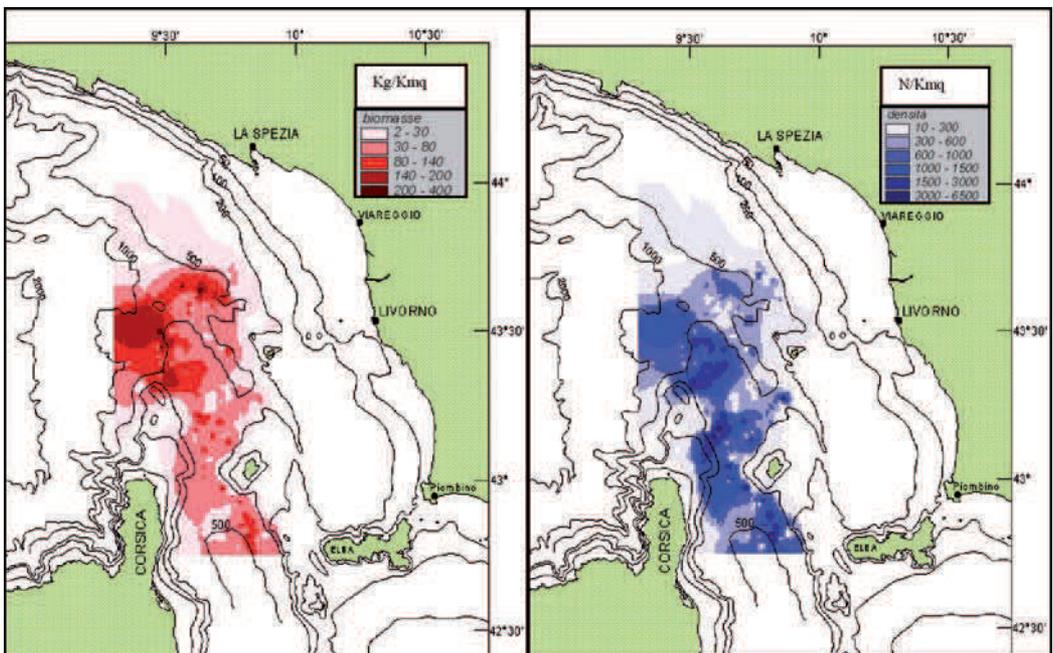


Figura 2: Distribuzione geografica degli indici di biomassa (sinistra) e densità (destra) di *Galeus melastomus*.

Tabella 2: Sintesi dell'analisi stomacale.

Analisi stomacale di <i>Galeus melastomus</i>		PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO	PICCOLI	GRANDI	
TOTALE	709	109	487	113	367	342	
VUOTI	104	21	64	19	62	42	
NON VUOTI	605	88	423	94	305	300	
	n°	%	%	%	%	%	
CROSTACEI	429	70,91	85,23	71,63	54,26	76,07	65,67
DECAPODA	304	50,25	63,64	47,04	52,13	44,92	55,67
ISOPODA	5	0,83	0	1,18	0	1,64	0
AMPHIPODA	1	0,17	1,14	0	0	0	0,33
MYSIDACEA	24	3,97	0	5,2	2,13	7,21	0,67
STOMATOPODA	1	0,17	0	0	1,06	0	0,33
EUPHASIACEA	114	18,84	22,73	19,62	11,7	26,89	10,67
CEFALOPODI	216	35,7	19,32	34,99	54,26	26,56	45
CEFAL. n. i.	193	31,9	12,5	31,91	50	24,92	40
SEPIOIDEA	22	3,64	5,68	2,36	7,45	1,97	5,33
TEUTHOIDEA	5	0,83	0	0,71	2,13	0,66	1
OCTOPODA	2	0,33	0	0,24	1,06	0,33	0,33
THALIACEA	95	15,7	7,95	16,08	21,28	12,13	19,67
PYROSOMATIDA	95	15,7	7,95	16,08	21,28	12,13	19,67
PESCI	183	30,25	15,91	31,91	36,17	26,89	33,67
OSTEICHTHYES	181	29,92	15,91	31,91	34,04	26,89	33
SELACI	2	0,33	0	0	2,13	0	0,67

quelle dominanti sono risultate 6-7.

Nella tabella 2 sono riportati, in sintesi, i dati delle principali categorie espresse in % di frequenza delle prede rinvenute negli stomaci non vuoti, suddivise per stagione e dimensione degli esemplari di *Galeus melastomus*.

Risulta evidente come i crostacei decapodi siano le prede più abbondanti, in particolare tra gli individui adulti e nel periodo primaverile; le specie più frequenti sono risultate *Calocaris macandreae* e *Phasiea sivado*. Gli eupasiacei sono predati prevalentemente dagli individui piccoli soprattutto in primavera, mentre i cefalopodi, i taliacei e gli osteitti divengo-

no le prede preferite dagli individui adulti in autunno. Nei cefalopodi particolare importanza è rivestita dall'ordine Sepioidea dei quali molto frequenti sono stati i rinvenimenti di becchi e cristallini perché più difficilmente digeribili dai succhi gastrici rispetto agli altri tessuti.

Tra gli osteitti sono state individuate numerose categorie, tra le quali anche alcune specie di interesse commerciale come *Merluccius merluccius* e *Phycis blennoides*; la loro scarsa frequenza di apparizione suggerisce che si tratti comunque di prede occasionali. La famiglia dei Mictophidi è stata quella maggiormente riscontrata tra le prede; dall'analisi degli

otoliti sono stati identificati i generi *Diaphus* e *Hypophum* e le specie *Notoscopelus elongatus*, *Lampanyctus crocodilus* e *Mictophnum punctatum*. Probabilmente le piccole dimensioni di questi pesci che colonizzano il sistema batiale favoriscono la predazione da parte di *G. melastomus*. In due casi sono stati riscontrati anche pesci cartilaginei, un individuo di *Etmopterus spinax*, di piccole dimensioni, e un giovane di *G. melastomus*.

Analizzando i contenuti gastrici, è stata rilevata la presenza di resti vegetali verosimilmente derivanti dagli scarti di cucina delle imbarcazioni di passaggio, come pezzi di pomodori, frammenti di peperoni e altro, che possono lentamente raggiungere anche elevate profondità. In particolare nella zona oggetto di indagine, la probabilità che questi resti pervengano in mare è maggiore che in altre zone poiché è frequentata dalle navi che percorrono le rotte verso i porti di Livorno e Genova.

Discussione e conclusioni

G. melastomus presenta una distribuzione geografica e batimetrica abbastanza ampia. I maggiori contributi di biomassa sono dati da individui grandi che stazionano a profondità più elevate [1] [6] [7], mentre i valori più alti di densità sono dati da esemplari piccoli. Questo è da attribuirsi al fatto che esistono aree con un marcato addensamento di giovani, definite aree di nursery. Sebbene gli esemplari di piccola taglia possano risultare sottostimati a causa della selettività del campionatore, in alcune zone la popolazione di *G. melastomus* risulta essere composta prevalentemente da questi esemplari, in particolare nelle aree con profondità di circa 300 m.

Dall'analisi stagionale, il «bocanera» presenta un reclutamento continuo, sebbene in estate il fenomeno risulti più marcato, in accordo con Relini Orsi e Wurtz [8] per una zona prossima all'area campionata (Mar Ligure Settentrionale).

Il fatto che le giovani reclute e i riproduttori frequentino aree diverse, ha stimolato la ricerca di una spiegazione di questo fenomeno. Considerando improbabile uno spostamento passivo delle uova con la corrente, come succede spesso negli osteitti che hanno uova pelagiche, rimangono altre due possibilità: il trasferimento dei riproduttori verso le aree di nursery per la deposizione o lo spostamento attivo dei giovani in un percorso analogo. Delle due ipotesi la seconda ci sembra la più probabile in quanto

nelle vicinanze delle aree di nursery non sono mai stati campionati esemplari prossimi alla deposizione, mentre nelle aree di concentrazione degli adulti, gli esemplari pescati sono risultati spesso in fase di emissione delle uova, tanto da espellerle durante la manipolazione successiva alla cattura; inoltre nelle distribuzioni di taglia degli esemplari catturati nell'area di nursery non sono mai risultati predominanti i giovani della taglia corrispondente all'uscita dall'uovo (circa 10 cm LT), ma di dimensioni maggiori (circa 15 cm), indicando che è trascorso un certo periodo di tempo dalla schiusa al momento della cattura.

L'analisi dei contenuti gastrici ha permesso di produrre una notevole base conoscitiva sui rapporti trofici che questo predatore ha con altri organismi caratteristici dei fondali batiali. Le categorie di prede riscontrate sono risultate comuni ad altri Autori che hanno svolto studi analoghi in aree limitrofe come Relini Orsi e Wurtz [8] nel Mar Ligure Settentrionale e Sartor [9] nel Mar Tirreno Settentrionale. Tuttavia anche per altre zone come il Mar Adriatico Meridionale, è stato accertato che le classi prevalenti di individui predati dal bocanera sono sempre crostacei, osteitti e cefalopodi [10] [11] sebbene in rapporti diversi: gli osteitti prevalgono rispetto ai cefalopodi nel Mar Adriatico, la situazione si rovescia nel Mar Ligure. I crostacei rimangono comunque la classe maggiormente predata.

L'analisi del contenuto stomacale rispetto a gruppi di taglia ha evidenziato alcune differenze nell'alimentazione, imputabili al fatto che al crescere delle dimensioni del predatore aumenta l'importanza delle prede di maggiori dimensioni; i cefalopodi divengono una preda rilevante con l'aumentare della taglia e questo sembrerebbe risultare anche per gli osteitti sebbene con un divario inferiore.

È stata rilevata una variazione stagionale osservata anche da altri Autori [9], che riguarda i crostacei eufasiacei; questi risultano essere maggiormente predati dai giovani nella stagione primaverile rispetto alle altre. Tra i decapodi, *Calocaris macandreae* è frequente negli individui più grandi.

Dall'analisi dello spettro trofico risultano evidenti le caratteristiche fondamentali della dieta di *Galeus melastomus*, cioè la presenza di prede appartenenti sia al dominio bentonico che a quello pelagico, come già affermato da Relini Orsi e Wurtz [8] e da Wurtz e Vacchi [12] nel Mar Ligure, e lungo le coste tunisine da Capapé e Zaouali [6]. Sono infatti presenti specie legate al fondo, più o meno strettamente, come

Alpheus glaber, *Calocaris macandreae* e i brachiuri che possono anche infossarsi nel sedimento, ma si trovano anche frequentemente specie viventi nella colonna d'acqua capaci di compiere ampi spostamenti verticali legati soprattutto al ritmo del giorno e della notte come il crostaceo decapode *Phasifea sivado*, i cefalopodi e gli osteitti Mictophidi.

Sono stati spesso rinvenuti negli stomaci grandi scaglie cicloidi, resti vegetali derivanti dagli scarti di cucina e resti di pesci ossei come vertebre e mandibole che appartenevano senza dubbio a esemplari di grosse dimensioni; questo conferma il fatto che *G. melastomus* possa essere considerato uno spazzino dei fondali, come definito da Serena *et al.* [1] e che in parte si nutra di resti dei pasti di grandi predatori che cacciano a batimetrie superiori.

Numerosi predatori attaccano una possibile preda senza esercitare una scelta; anche il «boccanera» sembra che sfrutti ogni risorsa alimentare afferrando a caso qualsiasi cosa proviene dall'alto.

Un'annotazione interessante riguarda il ritrovamento negli stomaci di un esemplare di *Etmopterus spinax*, uno squaletto demersale comune a queste profondità, ma generalmente poco predato a causa di due grosse spine dorsali. Inoltre appare interessante aver rilevato un caso di cannibalismo a carico di un giovane esemplare.

Dall'insieme delle conclusioni sembra acquistare credito l'ipotesi che *G. melastomus* sia una specie di comportamento gregario; questo ci viene suggerito dal fatto che spesso è stata verificata la predazione di animali di grossa taglia, fatto che implica una strategia di attacco di gruppo. Inoltre sembra che la specie viva in gruppi di individui con dimensioni abbastanza omogenee; questo ci viene indicato dalle carte che indicano una separazione delle aree di maggior frequenza dei diversi gruppi di taglie, ma anche dal fatto che la specie non esita a praticare il cannibalismo, fenomeno che è solitamente accompagnato proprio dalla separazione fisica dei piccoli dagli adulti.

Infine, considerata la grande abbondanza della specie, sarebbe interessante che l'abitudine della marineria di Viareggio di commercializzare il prodotto senza pelle per superare la reticenza all'acquisto da parte dei consumatori, potesse essere ampliata alle altre comunità di pescatori. Potrebbe in questo modo aumentare il reddito dei pescatori e contemporaneamente diminuire lo scarto dei prodotti della pesca.

Bibliografia

- [1] F. Serena, A. Abella, *Galeus melastomus*. In: Synthesis of the knowledge on bottom fishery resources in central Mediterranean (Italy and Corsica). Biol. Mar. Medit. 2000, 6 (suppl. 1): 58.
- [2] G. Relini, Actes de colloques IFREMER, 2000, 26: 46.
- [3] J. Bertrand, L. Gil de Sola, C. Papaconstantinou, G. Relini, A. Souplet, Biol. Mar. Medit., 2000, 7 (1): 1.
- [4] ESRI, Arcview GIS. Enviromental Systems Research Institute, 1996.
- [5] E.J. Hyslop, J. Fish. Biol., 1980, 17: 411.
- [6] C. Capapé, J. Zaouali, Arch. Inst. Pasteur, 1976, 53 (3): 281.
- [7] A. Tursi, G. D'Onghia, A. Matarrese, C. Carroppo, Oebalia, 1990, 16, suppl.: 782.
- [8] L. Relini Orsi, M. Wurtz, Quad. Lab. Biol. Pesca, 1975, 2: 17.
- [9] P. Sartor, Alimentazione e relazioni trofiche di pesci demersali di platea e scarpata continentale nel Mar Tirreno Settentrionale. Università di Pisa. Pisa: 1993.
- [10] G. Bello, Atti soc. it. Sci. Nat. Museo civ. storia nat. Milano, 1993, 134 (I): 33.
- [11] N. Ungaro, G. Marano, R. Marsan, Accad. Pugliese delle Scienze, Atti e Relazioni, 1994, 49: 195.
- [12] M. Wurtz, M. Vacchi, Quad. Lab. Tecnol. Pesca, Ancona, 1981, 3 (1): 155.

L'invasione delle specie aliene ed i cambiamenti climatici globali: l'esempio di *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* sulle coste italiane

Lorenzo Pacciardi*¹ e Anna Maria De Biasi¹

Parole chiave: specie invasive, *Caulerpa racemosa*, cambiamenti climatici

Le invasioni biologiche da parte di specie aliene rappresentano una minaccia per l'integrità delle comunità naturali di piante ed animali ed anche per la conservazione di specie minacciate, nonché per la salute e l'economia umana.

Questo studio si propone di evidenziare come i cambiamenti climatici che nell'ambiente marino si manifestano principalmente con un aumento delle temperature, possano favorire l'invasione e la colonizzazione da parte di specie alloctone provenienti da zone più calde.

*L'alga ad affinità calde *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* fornisce un esempio di questi fenomeni di invasione. Essa, giunta in Mediterraneo dal sud dell'Australia, è stata segnalata da oltre 10 anni. Attualmente, questa specie mostra un areale di distribuzione molto ampio ed è abbondantemente presente lungo le coste toscane dove colonizza vasti tratti di fondale, dalla superficie fino ad oltre 50 m di profondità. Essa si ritrova dalle secche della Meloria (LI) alle isole dell'arcipelago prevalentemente su fondi rocciosi e secondariamente su quelli mobili ad essi circostanti.*

Questa invasione rappresenta uno dei più gravi episodi di invasione nel Mar Mediterraneo e sta provocando effetti negativi sulle biocenosi autoctone danneggiando le associazioni algali e le praterie di fanerogame native, ma anche la meiofauna ed i popolamenti macrozoobentonici di fondi molli.

Il cambiamento delle temperature del mare ed in particolare l'attenuazione delle basse temperature invernali consente l'insediamento e la proliferazione di questa specie invasiva a testimonianza concreta del riscaldamento del nostro mare.

Introduzione

Le invasioni biologiche da parte di specie alloctone rappresentano una minaccia per l'integrità e la biodiversità delle comunità naturali di piante ed animali ed anche per la conservazione delle specie, nonché per la salute e l'economia umana. Il valore della biodiversità come indicatore dello stato di salute dell'ambiente e del funzionamento degli ecosistemi risulta largamente accettato non solo nella comunità scientifica, ma anche dai media e dal-

l'opinione pubblica. Purtroppo la maggior parte dell'attenzione in passato è stata rivolta verso gli ambienti terrestri e la biodiversità marina ha ricevuto solo una frazione dell'attenzione rivolta agli ecosistemi terrestri. La perdita di biodiversità nell'ambiente marino è un tema di particolare interesse, ma ad oggi si conosce ancora poco delle relazioni tra specie native e specie introdotte e della conseguente riduzione della ricchezza specifica nei sistemi naturali. Il processo per cui popolazioni di specie native sono soppiantate da specie introdotte è parte di un profon-

do mutamento dell'ecosistema marino operato dall'uomo che si attua attraverso la distruzione degli habitat, l'inquinamento, e l'aumento della temperatura del Mar Mediterraneo. Le fluttuazioni climatiche, infatti, esercitano un ruolo fondamentale sui popolamenti marini e sulla loro biodiversità attraverso: effetti diretti sugli organismi (la temperatura causa cambiamenti nella sopravvivenza e nel successo riproduttivo, nei pattern di dispersione e nel comportamento delle specie); effetti mediati da interazioni biotiche (conferendo vantaggio competitivo ad una specie tra due specie che si sovrappongono); effetti indiretti attraverso le correnti oceaniche.

Alcuni autori hanno evidenziato come, ad esempio, piccole variazioni climatiche possano generare grandi cambiamenti nelle comunità marine attraverso la regolazione della predazione di specie chiave [1]. Patchey et al., [2] hanno dimostrato che il riscaldamento dell'ambiente può alterare le reti trofiche ed il funzionamento degli ecosistemi acquatici.

I pattern di biodiversità del Mediterraneo stanno subendo dei cambiamenti che possono esser correlati all'aumento della temperatura del mare. Negli ultimi anni, ad esempio, si sta verificando un progressivo riscaldamento del Mar Ligure ed un concomitante aumento di specie di acque calde che si insediano formando popolazioni stabili. Simili espansioni verso nord degli areali geografici di specie di acque calde sono stati osservati anche in aree al di fuori del Mar Mediterraneo come il canale della Manica, Madeira, la Carolina del Nord e la California a testimonianza della globalità di questo fenomeno [3].

Alcune invasioni da parte di specie alloctone, tuttavia, hanno attirato maggiormente l'attenzione dei ricercatori a causa degli impatti evidenti che hanno provocato sulle biocenosi autoctone. Storicamente la maggior parte degli studi di questo filone hanno riguardato specie introdotte provenienti dal Mar Rosso attraverso il canale di Suez («migranti lessepsiani»).

Seppur non appartenenti a questa categoria, il caso più noto e meglio studiato di invasione nel Mare Nostrum è quello di due clorofyte: *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh (A.K.A. "l'alga killer"), e *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Sonder) Verlaque, Huisman and Boudouresque [5].

La specie *Caulerpa taxifolia*, conosciuta come «alga killer», introdotta incidentalmente dal Museo Oceanografico del Principato di Monaco nel 1984, ha invaso rapidamente le coste francesi e quelle del nord della Liguria. Essa in 15 anni si è insediata stabilmente raggiungendo le coste francesi, italiane, spagnole,

tunisine e croate [4]. Successivamente è stata segnalata un'altra specie introdotta anch'essa appartenente alle caulerpales: *Caulerpa racemosa*. Questa alga, probabilmente introdotta con le stesse modalità della *C. taxifolia*, inizialmente è stata sottovalutata nel suo potenziale invasivo, ma a lungo andare si è rivelata più pericolosa ed è riuscita a diffondersi più dell'alga killer.

L'obiettivo di questo studio è quello di riassumere lo stato di conoscenze relative all'invasione di *C. racemosa* lungo le coste italiane e le sue interazioni con gli effetti dei cambiamenti climatici che stanno avvenendo nel Mar Mediterraneo.

Risultati

L'alga *Caulerpa racemosa*, ad affinità calda tipica della costa sud-occidentale australiana, è stata segnalata nel Mediterraneo meridionale fin dai primi anni 1990. Quest'alga estremamente invasiva si è espansa velocemente raggiungendo le coste di 11 paesi (Tunisia, Libia, Egitto, Cipro, Turchia, Grecia, Malta, Croazia, Italia, Francia e Spagna) e, spingendosi recentemente fino alle coste delle isole Canarie, ben oltre i confini del Mar Mediterraneo [5].

Fu osservata per la prima volta sulle coste della Libia [6] ed in seguito in molte zone del Mediterraneo tra cui la Grecia e Creta, Albania, Spagna, Tunisia, Turchia, e Croazia.

C. racemosa ha prosperato lungo le coste francesi ed è stata osservata nel Golfo di Marsiglia (Provenza, Francia), nella Baia di Tolone, Hyères e Villefranche sur Mer [7] dove dal 1997 è divenuta piuttosto comune.

Altre segnalazioni sono pervenute da Cipro [8] dove è stata ritrovata anche sotto i 70 m di profondità, dall'isola di Malta e dalle isole Baleari. Le prime segnalazioni lungo le coste italiane risalgono al 1993 nella Sicilia sud orientale e all'isola di Pantelleria. In tale area essa si è espansa rapidamente ed attualmente è

gli autori

¹ Centro Interuniversitario di Biologia Marina ed Ecologia Applicata G. Bacci di Livorno, V.le N. Sauro 4, 57127 Livorno

* autore per corrispondenza
lorenzopacciardi@cibm.it

presente lungo tutta la costa siciliana.

Nel 1994, durante una campagna di monitoraggio dell'alga killer *C. taxifolia* (Vahl) C. Agardh nel Mar Mediterraneo, fu osservata alle secche della Meloria nel tratto di mare antistante la città di Livorno, ed in seguito è stata individuata lungo tutto il litorale toscano [9]. Essa è presente lungo le coste continentali e insulari della nostra regione colonizzando anche le isole del Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano, insediandosi primariamente sui fondi rocciosi (figura 1) e secondariamente su quelli mobili ad essi circostanti. Studi eseguiti nel 1997, dopo la prima segnalazione di *Caulerpa racemosa* in toscana, hanno messo in evidenza la velocità di diffusione di quest'alga, che è passata da un'area di 3000 mq ad una di 300 ha in soli 2 anni [10]. Oggi è rinvenuta comunemente nella flora marina delle aree superficiali di Liguria, Sardegna, Campania, Puglia, Calabria e Lazio.

Attualmente non esistono mappe e valutazioni accurate delle superfici colonizzate da *C. racemosa* nel Mar Mediterraneo ed il parametro utilizzato per stimarne la diffusione è l'estensione lineare della costa antistante le zone invase. Utilizzando questa misurazione possiamo stimare che circa 80 km di linea di costa francese siano attualmente invasi da *C. racemosa*, 120 km alle isole Baleari (Spagna), 15 km in Croazia e 500 km lungo le coste dell'Italia occidentale (dalla Liguria alla Sicilia), ma vista la sua velocità di diffusione probabilmente queste stime risultano già obsolete.

La suddetta invasione rappresenta uno dei più gravi episodi del genere nel Mar Mediterraneo e sta provocando effetti importanti sulle biocenosi autoctone,

erodendo la biodiversità e modificando la struttura dei popolamenti algali di fondo duro e le praterie di fanerogame marine (figura 2).

L'ampio areale di distribuzione deriva dalla sua capacità di riproduzione asessuata, dalla sua rapida crescita, e dalla sua tolleranza all'inquinamento. La sua dispersione avviene tipicamente grazie alle attività antropiche legate al mare che contribuiscono a diffonderla, ad esempio, con le ancore delle imbarcazioni, attraverso la pesca, con le carene delle navi, e con le acque di zavorra.

Gli effetti dell'invasione sui popolamenti algali di fondi duri e sulle praterie di fanerogame marine sono stati analizzati in molti studi [11,12,13,14], mentre quelli sulla meiofauna ed i popolamenti macrozoobentonici di fondi molli sono molto limitati [8,15]. Nonostante dall'esame di varie fonti bibliografiche tale ambiente risulti ampiamente colonizzato in special modo nel piano circalitorale.

C. racemosa può affermarsi rapidamente grazie alla sua capacità di riprodursi per frammentazione, attraverso una riproduzione sessuata, ed alla possibilità di utilizzare le sue estremità sferiche (ramuli figura 3) come propaguli.

È in grado, inoltre, di produrre Caulerpenina (sesquiterpenoide), un metabolita citotossico che costituisce un meccanismo di difesa dagli erbivori, e che è in grado di aumentare le capacità di competizione dell'alga (effetto antifouling).

La clorophyta grazie ai suoi stoloni che si accrescono velocemente può soppiantare completamente le comunità algali autoctone raggiungendo in sei mesi una copertura del 100% del substrato, riducendo il



Figura 1: *Caulerpa racemosa* sui fondali rocciosi della costa nord elbana.



Figura 2: L'alga fotografata nelle vicinanze di una prateria di *Posidonia Oceanica* (L.) Delile.



Figura 3: Ingrandimento dei ramuli dell'alga fotografata lungo le coste livornesi.

numero di specie e quindi la diversità della comunità invasiva. Ciò può avvenire anche su fondali rocciosi in comunità macroalgali ad elevata biodiversità. A Cipro, ad esempio, in circa sei anni tale alga è riuscita a soppiantare completamente la comunità a *Posidonia oceanica* (L.) Delile, formando degli aggregati molto densi che coprono completamente il fondale [16]. *C. racemosa* interagendo con il phytobenthos può causare delle variazioni nell'abbondanza e nella struttura dei popolamenti macrobentonici di fondi mobili che vivono immediatamente al di sotto di esso. In uno studio sull'impatto dell'alga sul benthos di fondi molli nell'area di Cipro da Argyrou [8], ad esempio, è stata evidenziata una proliferazione della componente macrozoobentonica a policheti, a bivalvi ed echinodermi a scapito di una riduzione della componente a crostacei e gasteropodi. Tale impatto può avere conseguenze devastanti anche per l'uomo visto che un'alterazione delle reti trofiche correlate al macrozoobenthos può tradursi in una riduzione dell'abbondanza delle specie ittiche di interesse commerciale che si nutrono di organismi macrobentonici.

Conclusioni

Il cambiamento delle temperature del mare ed in particolare l'attenuazione delle basse temperature invernali ha permesso l'insediamento e la proliferazione di questa specie invasiva a testimonianza concreta del riscaldamento del nostro mare. La sopravvivenza di questa specie e quindi la sua proliferazione nel Mar

Mediterraneo avviene, infatti, non grazie ad un aumento dei valori massimi di temperatura che si verificano tipicamente al termine della stagione estiva, ma piuttosto a causa dell'attenuazione delle rigide temperature invernali. Il ciclo annuale dell'alga prevede che essa con l'inizio della primavera e con l'aumento delle temperature del mare (aprile-maggio), inizi a svilupparsi ed a proliferare raggiungendo la sua massima rigogliosità in concomitanza dei picchi di temperatura che si verificano tipicamente alla fine della stagione estiva (ottobre-novembre). Questa fase che corrisponde anche al periodo di massima diffusione si attua prevalentemente grazie alla riproduzione vegetativa la quale avviene con la formazione di stoloni indipendenti (lo stolone si ramifica e dopo alcuni mesi muore nel punto di ramificazione, generando due talli separati) che consente una rapida colonizzazione del substrato. Questo periodo si alterna a quello di riposo vegetativo che va da dicembre a maggio, periodo nel quale essa adotta delle forme di sopravvivenza che gli consentono di sopportare le rigide temperature invernali. Da dicembre a maggio diminuiscono, infatti, la copertura e la biomassa dell'alga che spesso riduce o elimina del tutto i ramuli mantenendo soltanto gli stoloni che riescono a sopravvivere fino all'estate successiva ed a riprendere lo sviluppo vegetativo. È proprio l'innalzamento delle rigide temperature invernali attribuibile al cambiamento climatico globale che ha consentito, congiuntamente ad una fase di resistenza e di risparmio energetico attuata dall'alga, l'instaurarsi di popolazioni stabili di questa specie. Tali popolazioni, essendo in pratica permanenti, non consentono ai popolamenti macroalgali nativi ed agli altri popolamenti invasivi di ripristinare la struttura originaria approfittando di un periodo di recessione della specie alloctona. Anzi, le alterazioni provocate da questa specie, risultano potenziate nella stagione successiva.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare L. Piazza dell'Università degli studi di Pisa per i preziosi consigli scientifici.

Bibliografia

- [1] E. Sanford, Science 1999, 283: 2095-2097.
- [2] O. Petchey, L. McPhearson, P.T. Casey, P.J. Morin, Nature 1999, 402:69-72.

- [3] C.N. Bianchi, C. Morri, Mar. Poll. Bull. 2000, 40 (5): 367-376.
- [4] B. Galil, Mar. Poll. Bull. 2007 (55), 7-9: 314-322.
- [5] M. Verlaque, J. Afonso-Carrillo, M. Candalaria Gil-Rodríguez, C. Durand, C.F. Boudouresque, Y. Le Parco, Biol. Inv. 2004, 6: 269-281.
- [6] M. Nizamuddin, Bern, Elga Publishers 1991, 230 pp.
- [7] A. Meinesz, D. Simberlo, D. Quammen, University of Chicago Press 2003, 360 pp.
- [8] M. Argyrou, A. Demetropoulos, M. Adjichristophorou, Oceanol. Acta 1999, 22: 517-528.
- [9] A.M. De Biasi, F. Gai, A. Vannucci, Biol. Mar. Medit. 1999, 6: 376-379.
- [10] L. Piazzì, E. Balestri, M. Magri, F. Cinelli, Crypt. Alg. 1997, 18: 343-350.
- [11] M. Verlaque, Oceanol. Acta 1994, 17: 1-23.
- [12] L. Piazzì, G. Ceccherelli, F. Cinelli, Mar. Ecol. Prog. Ser. 2001, 210: 149-159.
- [13] L. Piazzì, D. Balata, G. Ceccherelli, F. Cinelli, Crypt. Alg. 2003, 24: 233-243.
- [14] G. Ceccherelli, D. Balata, L. Piazzì, Journal of Exp. Mar. Biol. Ecol. 2002, 280: 1-11.
- [15] R. Sandulli, D. Carriglio, S. Deastis, A. Marzano, M. G. D'abbabbo, D. Gerardi, S. De Zio Grimaldi, Chem. Ecol. 2004, 20 (1): S379-S386.
- [16] A. Capiomont, E. Breugnot, M. Den Haan, A. Meinesz, Bot. Mar. 2005, 48: 80-83.

Controllo ambientale sulla biometria e demografia di coralli solitari nel mar Mediterraneo

Stefano Goffredo¹, Erik Caroselli*¹, Elettra Pignotti², Guido Mattioli³, Francesco Zaccanti¹

Parole chiave: accrescimento dei coralli, *Dendrophylliidae*, densità scheletrica, irradianza solare, temperatura di superficie del mare

*Uno dei fattori fondamentali determinanti la biogeografia dei coralli e delle formazioni coralline è la variazione latitudinale della temperatura di superficie del mare e dell'irradiazione solare. Mentre per i coralli tropicali l'influenza dei parametri ambientali sull'accrescimento è studiata frequentemente, per i coralli temperati i dati su questa problematica sono molto scarsi. La relazione tra fattori ambientali e caratteristiche biometriche e demografiche è stata valutata nei coralli Mediterranei *Balanophyllia europaea*, specie zooxantellata, e *Leptopsammia pruvoti*, specie azooxantellata. L'accrescimento allometrico del disco orale è risultato opposto nelle due specie. All'aumentare delle dimensioni del polipo, mentre il disco orale di *B. europaea* tendeva alla forma ovale, quello di *L. pruvoti* tendeva alla forma circolare. È ipotizzabile che la forma ovale di *B. europaea* rappresenti un adattamento allo stress da sedimentazione caratteristico dell'habitat illuminato e aperto della specie. *L. pruvoti*, colonizzando le volte di grotte o anfratti con il polo orale rivolto verso il basso, non sarebbe soggetta agli effetti negativi della sedimentazione. In entrambe le specie, la temperatura mostrava un effetto maggiore sui parametri biometrici rispetto all'irradianza. Nella specie zooxantellata la temperatura descriveva una percentuale della varianza dei parametri biometrici superiore rispetto alla specie azooxantellata (3.9-63.8% in *B. europaea*; 0.2-1.2% in *L. pruvoti*). È ipotizzabile che l'effetto della temperatura sui parametri dell'accrescimento sia amplificato dal processo di fotosintesi delle zooxantelle, in grado di influenzare il tasso di calcificazione. Mentre i fattori ambientali non influenzavano le caratteristiche demografiche di *L. pruvoti*, la temperatura esercitava un effetto negativo sulla densità di popolazione di *B. europaea*. Questo effetto potrebbe essere la conseguenza di una diminuzione della fecondità dei polipi, dovuta ad una minore disponibilità di risorse a supporto della gametogenesi, a causa dell'inibizione della fotosintesi a temperature elevate. In conclusione, il forte effetto della temperatura sulla biometria e demografia di *B. europaea* sembra dipendere dal processo fotosintetico delle zooxantelle simbiotiche. Questo è il primo studio sull'influenza dei parametri ambientali sulla demografia di sclerattinie del Mediterraneo.*

Introduzione

La variazione dei parametri ambientali dovuta alla latitudine è un fattore causale sostanziale della distribuzione globale dei coralli [1]. La distribuzione degli atolli e delle principali scogliere coralline del mondo, limitata tra 30° N e 30° S di latitudine [2], suggerisce che l'accrescimento dei coralli decresca

ad elevate latitudini sino ad un punto dove lo sviluppo di formazioni coralline cessa [3]. «L'accrescimento» dei coralli si compone delle tre caratteristiche collegate di calcificazione annuale, densità scheletrica e tasso di estensione lineare (calcificazione = densità scheletrica x estensione lineare; [4]), il cui esame è indispensabile per valutare l'effetto dei parametri ambientali sull'accrescimento dei coralli [5]. Queste tre variabili

sono state studiate lungo un gradiente latitudinale nei generi *Porites* e *Montastrea* e la loro variazione è stata messa in relazione con le variazioni di temperatura e illuminazione associate alla latitudine [4, 6]. In colonie del genere *Porites* dell'arcipelago delle Hawaii, della Grande Barriera Australiana e della Thailandia, si riscontrano correlazioni negative con la latitudine sia per la calcificazione che per l'estensione lineare, comportanti un incremento della densità scheletrica delle colonie [6]. In *Montastrea*, del Golfo del Messico e del Mar dei Caraibi, si riscontrano correlazioni negative con la latitudine per calcificazione e densità scheletrica, comportanti una tendenza all'incremento del tasso di estensione lineare [4]. Anche in coralli solitari della famiglia Fungiidae è nota una relazione negativa tra tasso di accrescimento e latitudine [7].

Per le zone temperate, studi sulla relazione tra variazione dei parametri ambientali e accrescimento dei coralli sono molto scarsi. In *Plesiastrea versipora* è descritto un incremento del tasso di calcificazione all'aumentare della temperatura simile a quanto riportato per i coralli tropicali, sebbene a temperature minori [8]. In questo articolo si verifica la relazione tra variazione latitudinale dei fattori ambientali (irradianza solare e temperatura del mare in superficie) e accrescimento e dinamica di popolazione in due coralli del Mare Mediterraneo, *Balanophyllia europaea* (Risso 1826) e *Leptopsammia pruvoti* (Lacaze-Duthiers 1897).

B. europaea è una sclerattinia solitaria, non ermatipica, zooxantellata ed endemica del Mar Mediterraneo [9]. A causa della simbiosi con le zooxantelle, la distribuzione di questo corallo è ristretta tra 0-50 m di profondità [9], dove la sua densità di popolazione può raggiungere le decine di individui per metro quadrato [10]. La biologia riproduttiva è caratterizzata da ermafroditismo simultaneo e ovoviviparità [11]. *L. pruvoti* è una sclerattinia solitaria, non ermatipica, azooxantellata ed è distribuita nel bacino del Mediterraneo e lungo le coste atlantiche europee dal Portogallo fino all'Inghilterra meridionale. È uno degli organismi più frequenti in caverne ed anfratti sottomarini, che colonizza tra 0-70 m di profondità, con densità di migliaia di individui per metro quadrato [9]. La biologia riproduttiva è caratterizzata da gonocorismo e ovoviviparità [12].

In questo articolo viene presentata la biometria dei polipi di *B. europaea* e *L. pruvoti* in popolazioni disposte lungo un gradiente latitudinale, e si valutano gli effetti delle variazioni ambientali sulla forma del polipo e sulla densità di popolazione.

Dati sperimentali

Nel periodo dal 9 Novembre 2003 al 30 Settembre 2005, sei popolazioni di *Balanophyllia europaea* e *Leptopsammia pruvoti*, sono state campionate lungo un gradiente latitudinale, da 44° 20' N a 36° 45' N (Figura 1). In ogni località è stato campionato un transetto per ogni specie. Per *B. europaea* il transetto consisteva in 3 quadrati di 1 m² ciascuno, disposti in linea, distanti tra loro 5 m e situati lungo una scogliera esposta a sud, ad una profondità di 5-7 m. Per *L. pruvoti* il transetto consisteva in 3 rettangoli di 0.00425 m² ciascuno, disposti in linea, distanti tra loro 3 m e collocati in anfratti, ad una profondità di 15-17 m. Per ogni transetto sono stati raccolti tutti i polipi presenti. Il campionamento è stato eseguito alle profondità dove in precedenza è stata studiata la biologia riproduttiva delle due specie, presentanti elevate densità di popolazione [10, 11, 12].

I coralli raccolti sono stati seccati a 50 °C per quattro giorni. Tutti gli scheletri sono stati osservati al binocolare per individuare gli esemplari più piccoli e rimuovere i frammenti di substrato e gli eventuali depositi calcarei prodotti da altri organismi. La lunghezza (*L*: asse maggiore del disco orale), larghezza (*l*: asse minore del disco orale) e altezza (*h*: asse oroborale) dei polipi è stata misurata con un calibro ventesimale e la massa scheletrica secca (*M*) è stata misurata usando una bilancia di precisione [7, 11, 12]. Il volume del polipo (*V*) è stato stimato applicando

gli autori

¹ Marine Science Group, Dipartimento di Biologia Evoluzionistica Sperimentale, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, Via F. Selmi 3, 40126 Bologna

² Taskforce per le Analisi Statistiche Marine & Freshwater Science Group Association, Via A. Costa 174, 40134 Bologna

³ Unità Operativa di Radiologia e Diagnostica per Immagini, Ospedale di Porretta Terme, AUSL di Bologna Via Roma 16, 40046 Porretta Terme Bologna

*autore per corrispondenza
erik@marinesciencegroup.org

la formula $V = \frac{L}{2} \times \frac{l}{2} \times h \pi$ [11, 12]. La densità scheletrica (D) è stata calcolata dividendo M per V . La densità di popolazione è stata ottenuta come: (1) N , numero di individui per unità di area ($N m^{-2}$), (2) G , grammi per unità di area ($g m^{-2}$), (3) P , percentuale di copertura del fondo. Tutti i dati relativi alla popolazione di Calafuria di *B. europaea* sono stati ricavati da un precedente studio sull'accrescimento e la dinamica di popolazione di questa specie [10].

Nel periodo 2003-2005, è stata ottenuta la temperatura di superficie del mare per ogni popolazione, utilizzando i dati della Rete Mareografica Nazionale dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT; disponibile su <http://www.apat.gov.it>). I dati di irradianza solare ($W m^{-2}$) sono stati ottenuti dall'International Cloud Climatology Project (ISCCP; disponibile su <http://ingrid.ldgo.columbia.edu/>).

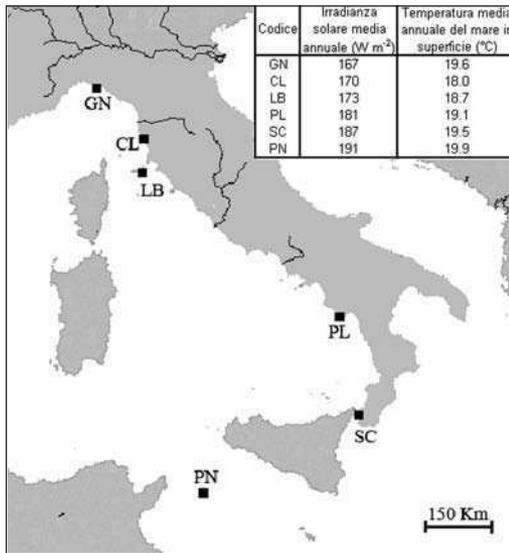


Figura 1: Mappa delle coste italiane con indicate le stazioni di campionamento in cui sono stati raccolti i coralli (abbreviazioni e coordinate delle stazioni in ordine decrescente di latitudine: GN Genova-Portofino, $44^{\circ} 20' N$, $9^{\circ} 08' E$; CL Calafuria, $43^{\circ} 27' N$, $10^{\circ} 21' E$; LB Isola d'Elba, $42^{\circ} 45' N$, $10^{\circ} 24' E$; PL Palinuro, $40^{\circ} 02' N$, $15^{\circ} 16'' E$; SC Scilla, $38^{\circ} 01' N$, $15^{\circ} 38' E$; PN Isola di Pantelleria, $36^{\circ} 45' N$, $11^{\circ} 57' E$). Per ogni stazione sono indicati i valori di irradianza e temperatura.

Queste due variabili sono state scelte come riferimenti per valutare l'influenza dei parametri ambientali sulla biometria dei polipi [4].

Per ovviare alla distribuzione non Gaussiana dei dati del campione, per il calcolo della significatività di alcune regressioni è stato utilizzato il coefficiente di correlazione a ranghi di Spearman. L'analisi di covarianza, i Kruskal-Wallis test, i coefficienti di correlazione di Spearman e le correzioni di Montecarlo per campioni

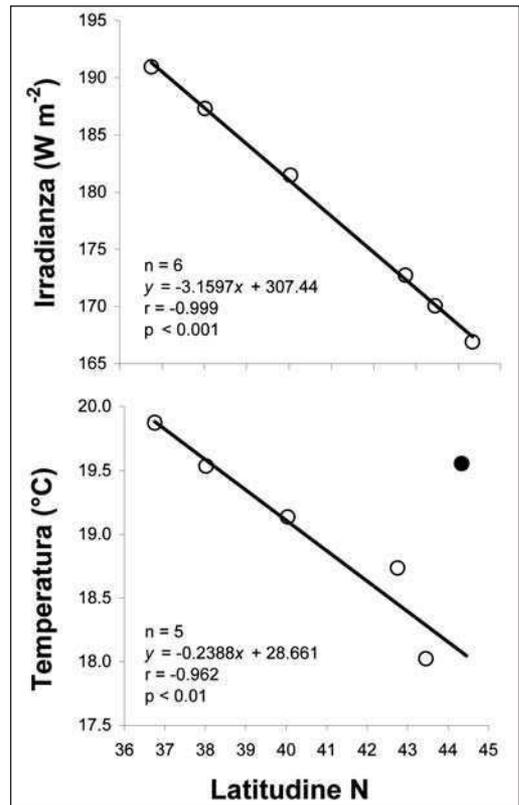


Figura 2: Relazione tra i parametri ambientali (irradianza solare media annuale e temperatura media annuale del mare in superficie) e la latitudine delle stazioni di campionamento. Il punto nero indica la temperatura della stazione di Genova-Portofino, caratterizzata da particolari condizioni locali che determinano lo scostamento della temperatura dal valore normale a quella latitudine, esclusa dal calcolo del coefficiente di correlazione. n = numero di stazioni; r = coefficiente di correlazione di Pearson.

poco numerosi sono stati calcolati con il programma SPSS 12.0 (Apache Computer software Foundation).

Risultati

I valori di irradianza solare e temperatura del mare in superficie per ogni stazione di campionamento sono indicati in figura 1. Mentre l'irradianza mostrava una correlazione con la latitudine, la temperatura correlava in maniera significativa solo escludendo dal calcolo della regressione la località di Genova-Portofino. Questa stazione è caratterizzata da condizioni locali particolari (APAT; disponibile su

<http://www.apat.gov.it>) e notoriamente presenta una temperatura più alta rispetto all'attesa per quella latitudine (temperatura media annuale di superficie del Mar Ligure = 18.0 °C, Portofino = 19.6 °C) (figura 2). La lunghezza del polipo (figura 3) è stata scelta come parametro biometrico principale in quanto produceva la migliore correlazione con la massa scheletrica e rappresenta la dimensione di riferimento negli studi di biometria, biologia riproduttiva e dinamica di popolazioni di *Balanophyllia europaea*, *Leptopsammia pruvoti* e di altri coralli solitari [7, 10, 11, 12, 13]. La larghezza, l'altezza, il volume e la massa del polipo correlavano positivamente con la lunghezza in entrambe le specie (Figure 4 e 5). La densità scheletrica, mentre in *B. europaea* correlava positivamente con la lunghezza solo in due popolazioni (Palinuro e Pantelleria), in *L. pruvoti* correlava negativamente in tutte le popolazioni (Figure 4 e 5). In entrambe le specie, le relazioni tra i parametri biometrici e la lunghezza non erano omogenee tra le popolazioni (analisi di covarianza, $p < 0.05$).

L'accrescimento della larghezza del polipo rispetto a quello della lunghezza risultava diverso nelle due

specie (figure 4 e 5). In *B. europaea* si evidenziava una relazione allometrica; la sua lunghezza aumentava più rapidamente della larghezza, risultando in una progressiva ovalizzazione del disco orale con l'aumento delle dimensioni del polipo (in tutte le popolazioni, l'intervallo di confidenza IC dell'esponente dell'equazione di regressione < 1 , 0.52-0.90, IC 95%, figura 4). *L. pruvoti* presentava o un accrescimento isometrico (Scilla e Pantelleria, l'intervallo di confidenza dell'esponente dell'equazione di regressione contiene 1, 0.96-1.01, IC 95%) o un accrescimento allometrico, con la lunghezza che aumentava meno rapidamente della larghezza (Genova-Portofino, Calafuria, Elba e Pantelleria, l'intervallo di confidenza dell'esponente dell'equazione di regressione > 1 , 1.00-1.10, IC 95%, figura 5), risultando in una progressiva circolarizzazione del disco orale con l'aumento delle dimensioni del polipo.

In entrambe le specie, la lunghezza media degli individui campionati non era omogenea tra le popolazioni (Kruskal-Wallis test, $p < 0.001$). Per questo, l'analisi della correlazione tra variabili ambientali e parametri biometrici è stata eseguita applicando sui dati il

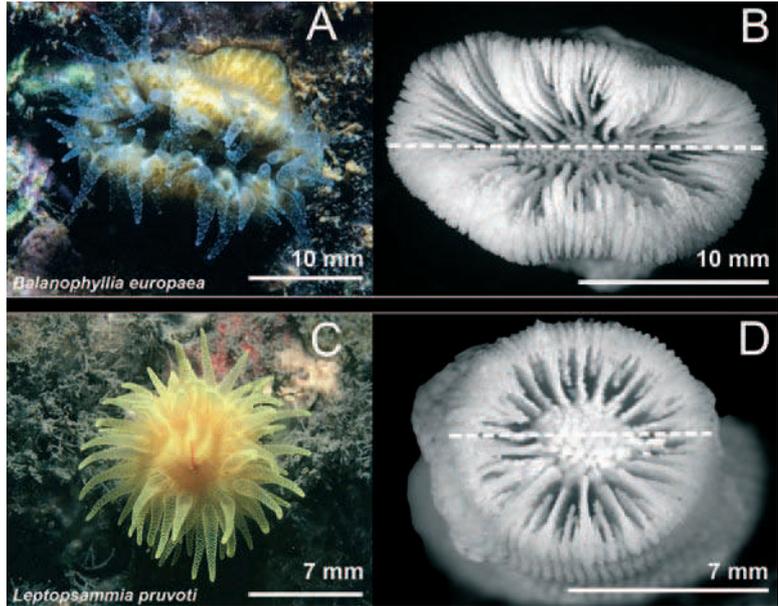


Figura 3: Esempari di *Balanophyllia europaea* (a polipo vivo; b scheletro) e *Leptopsammia pruvoti* (c polipo vivo; d scheletro) dalle popolazioni di Genova-Portofino. La linea tratteggiata indica la larghezza del polipo (L: asse maggiore del disco orale).

metodo dei valori aggiustati rispetto alla lunghezza. In entrambe le specie, i valori aggiustati medi dei parametri biometrici non erano omogenei tra le popolazioni (Kruskal-Wallis test, $p < 0.05$). In *B. europaea*, mentre lunghezza, larghezza, altezza e volume del polipo correlavano positivamente con l'irradianza e

la temperatura, massa e densità scheletrica correlavano negativamente (figura 6). In tutti i casi, la temperatura descriveva una percentuale della varianza del parametro biometrico da 2.5 a 7.4 superiore rispetto all'irradianza (la % di varianza del parametro biometrico descritta dalla temperatura variava dal

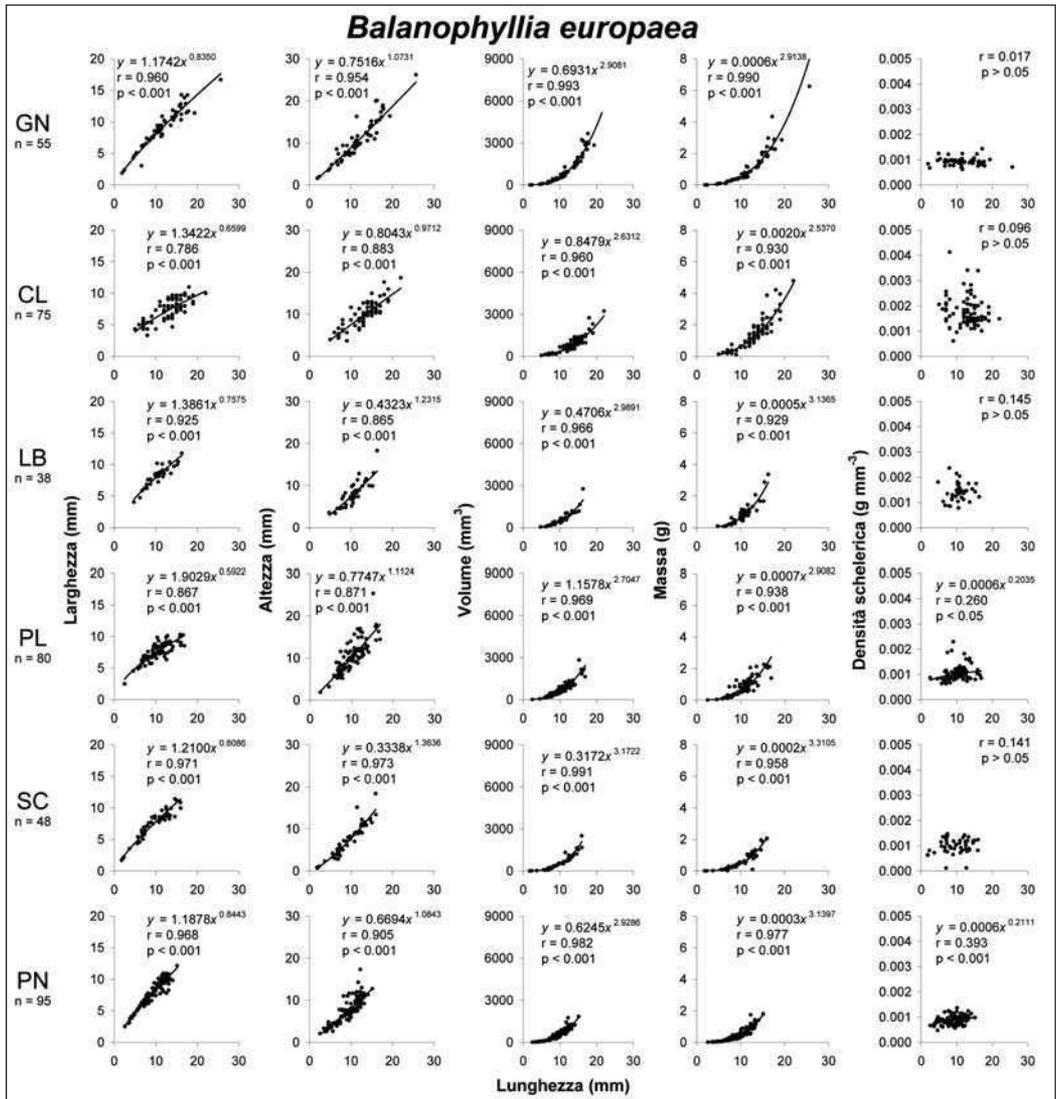


Figura 4: *Balanophyllia europaea*. Dipendenza dei parametri biometrici dalla lunghezza del polipo nelle sei popolazioni. n = numero di individui; r = coefficiente di correlazione di Pearson. Le popolazioni sono disposte in ordine decrescente di latitudine,

3.9% nel caso della larghezza al 63.8% nel caso della massa scheletrica). In *L. pruvoti*, l'irradianza non descriveva la variazione di nessun parametro biometrico. Lunghezza, altezza, volume e densità scheletrica risultavano correlati con la temperatura, che descriveva dallo 0.5% della varianza nel caso del volume al

1.2% nel caso della lunghezza (figura 6). La temperatura mostrava un effetto sui parametri biometrici più marcato in *B. europaea* rispetto a *L. pruvoti* (r^2 della relazione tra il parametro biometrico e la temperatura da 3 volte superiore nel caso della lunghezza a 638 volte superiore nel caso della massa scheletrica).

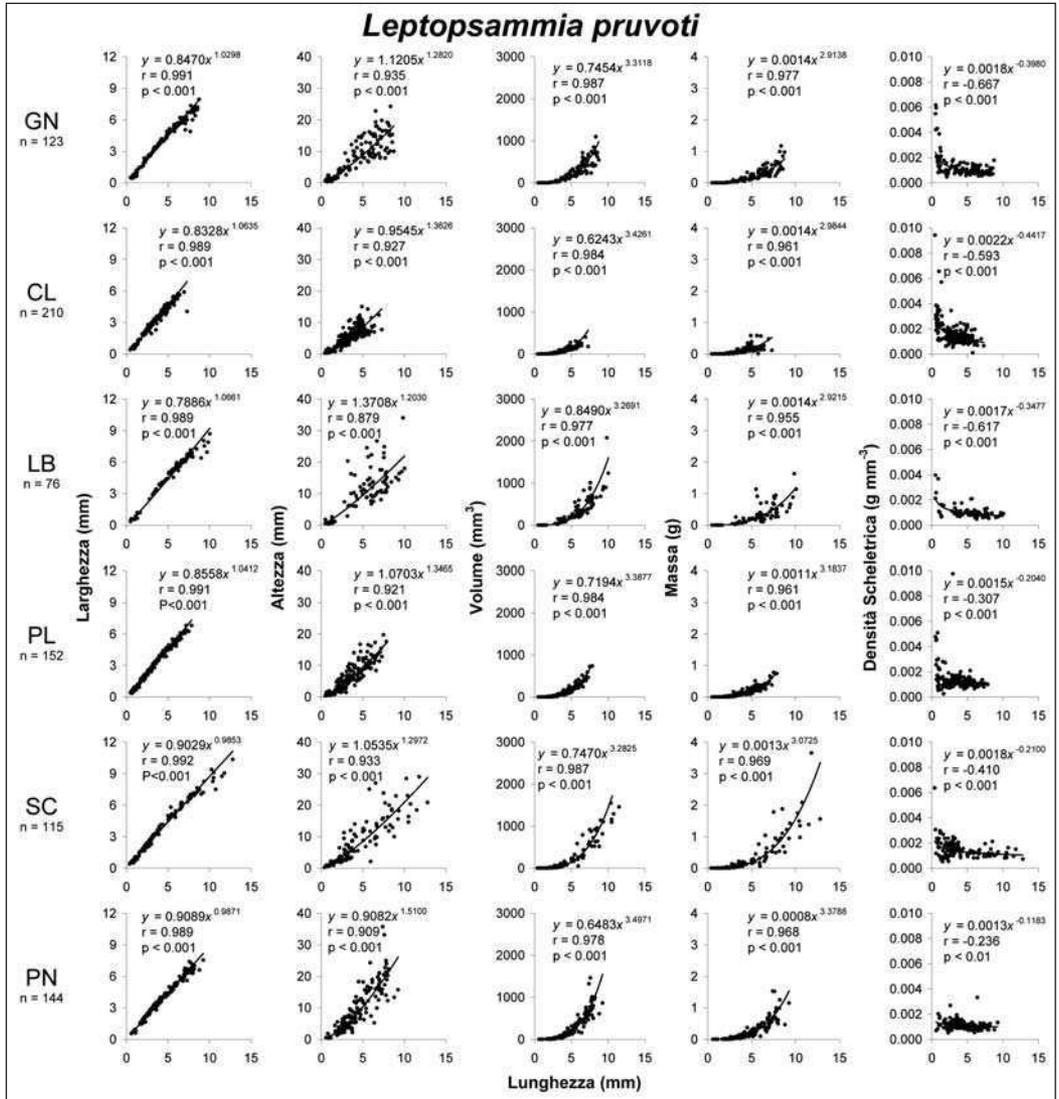


Figura 5: *Leptopsammia pruvoti*. Dipendenza dei parametri biometrici dalla lunghezza del polipo nelle sei popolazioni. n = numero di individui; r = coefficiente di correlazione di Pearson. Le popolazioni sono disposte in ordine decrescente di latitudine.

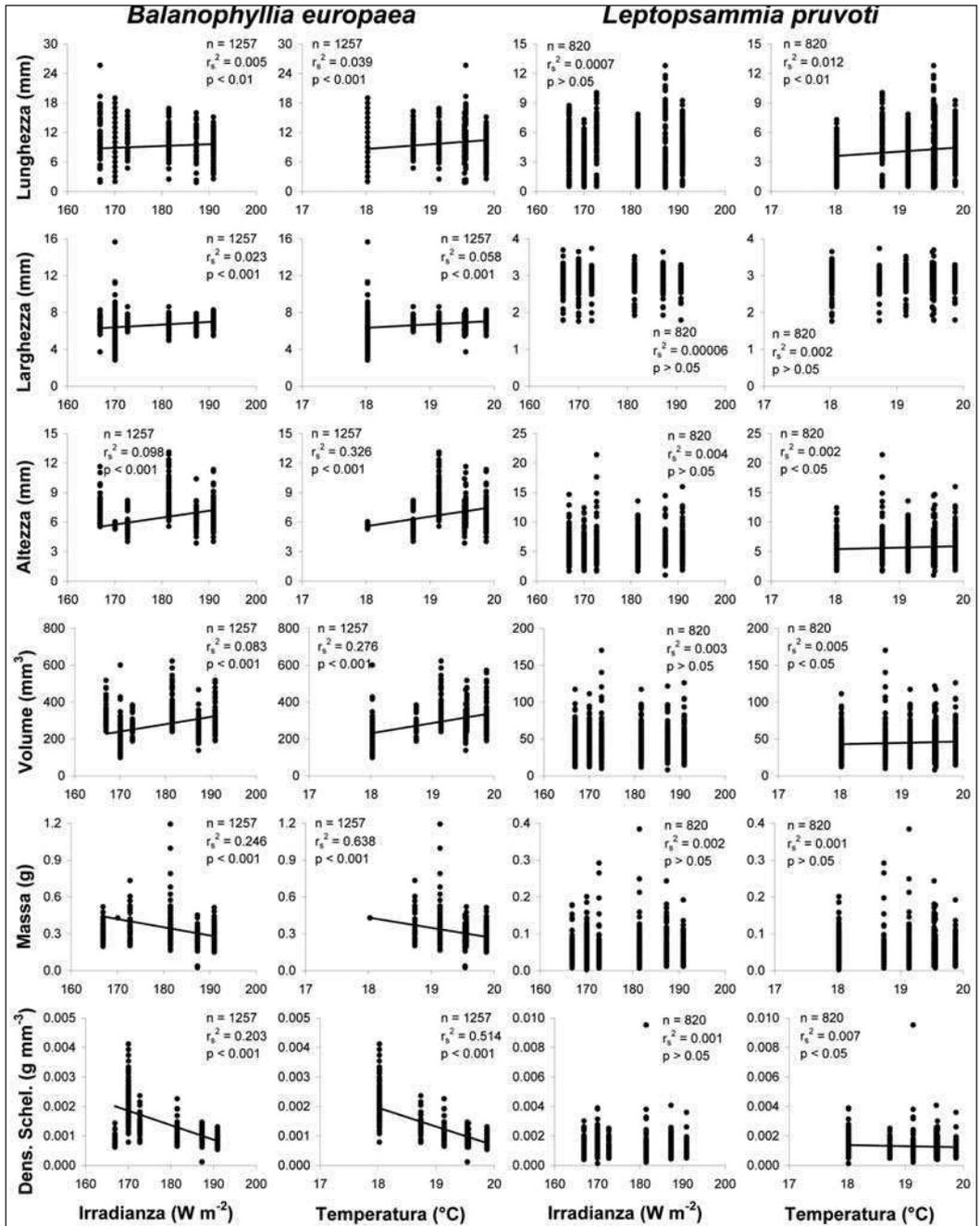


Figura 6: Variazioni dei parametri biometrici rispetto all'irradianza media annuale e alla temperatura media annuale del mare in superficie. r_s^2 = coefficiente di determinazione di Spearman; n = numero di individui. La scala dell'asse delle ordinate è diversa nelle due specie.

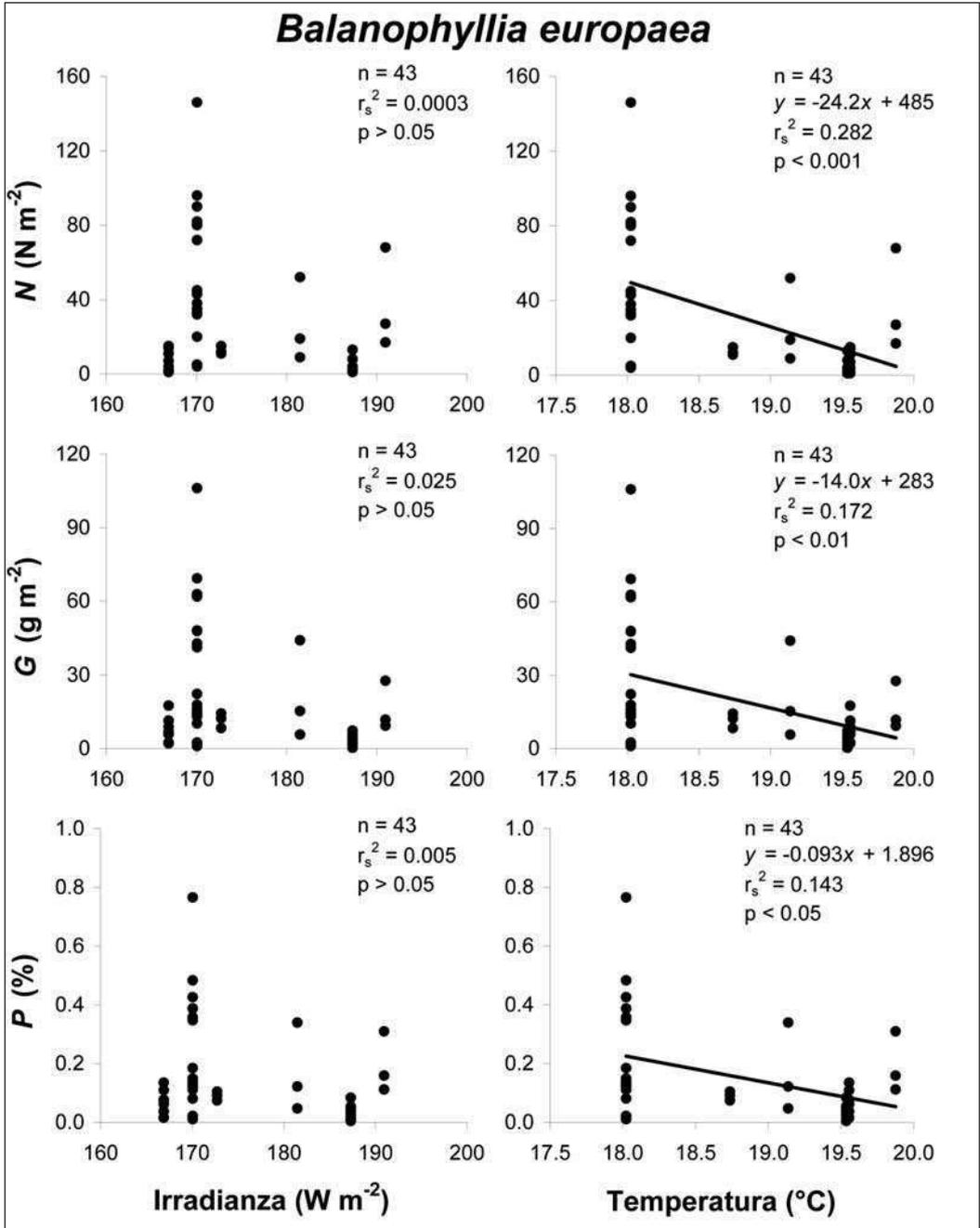


Figura 7: *Balanophyllia europaea*. Variazioni dei parametri di densità di popolazione rispetto all'irradianza solare media annuale e alla temperatura media annuale del mare in superficie. N numero di individui per metro quadrato, G percentuale di copertura del fondo.

In *B. europaea* la densità di popolazione non risultava omogenea tra le popolazioni (Kruskar-Wallis test, correzione di Montecarlo per campioni poco numerosi, $p < 0.001$), mostrando una correlazione negativa con la temperatura (figura 7). In *L. pruvoti* la densità di popolazione era omogenea tra le popolazioni (Kruskar-Wallis test, correzione di Montecarlo per campioni poco numerosi, $p > 0.05$) con un valore medio di $N = 10155 \text{ N m}^{-2}$ (ES = 1317), $G = 2030 \text{ g m}^{-2}$ (ES = 232) $P = 15.4\%$ (ES = 1.4).

Discussione

La differenza rilevata tra le due specie nella relazione tra densità scheletrica e dimensioni del polipo potrebbe essere interpretata in termini di rapporto tra calcificazione ed estensione lineare. All'aumentare delle dimensioni, i polipi di *Balanophyllia europaea* presentano una diminuzione progressiva del tasso di estensione lineare [10] e del tasso di calcificazione (dati non pubblicati; in preparazione). La diminuzione parallela di questi due tassi è in grado di mantenere la densità scheletrica tra valori medi di $0.001\text{-}0.002 \text{ g mm}^{-3}$ indipendentemente dalle dimensioni del polipo, in 4 delle 6 popolazioni studiate (Genova-Portofino, Calafuria, Elba, Scilla). Nelle popolazioni di Palinuro e Pantelleria, il tasso di calcificazione diminuisce meno rapidamente del tasso di estensione lineare (dati non pubblicati), determinando la correlazione positiva rilevata tra densità scheletrica e dimensioni del polipo. In *Leptopsammia pruvoti*, come descritto in diversi altri coralli solitari [7, 10], verosimilmente il tasso di estensione lineare diminuisce all'aumentare delle dimensioni del polipo. La diminuzione della densità scheletrica all'aumentare delle dimensioni del polipo potrebbe essere dovuta ad un decremento del tasso di calcificazione superiore a quello del tasso di estensione lineare. Si stanno pianificando ulteriori studi sui tassi di accrescimento di questa specie mediante tecniche radiologiche e misurazioni sul campo, per chiarire la relazione tra densità scheletrica e dimensione dei polipi.

La differenza nel rapporto biometrico tra gli assi del disco orale riscontrata tra le due specie potrebbe essere correlata allo stress da sedimentazione. La sedimentazione può esercitare diversi effetti negativi sui coralli, impedendo la crescita e la calcificazione [14], interferendo con la respirazione, il nutrimento e la fotosintesi [15], danneggiando i tessuti del polipo [16], abbassando la fecondità e interferendo col pro-

cesso di colonizzazione del substrato [17]. I coralli possono adottare diverse strategie per prevenire questi effetti negativi, ad esempio comportamenti di espulsione del sedimento o forme di crescita resistenti. La forma ovoidale del disco orale è una di queste forme di resistenza, in quanto diminuisce l'area soggetta a sedimentazione e favorisce l'eliminazione del sedimento dalla superficie del polipo [13]. La relazione allometrica tra larghezza e lunghezza del polipo riscontrata in *B. europaea*, determinante una progressiva ovalizzazione del disco orale, potrebbe prevenire i danni causati dalla sedimentazione, che altrimenti occorrerebbero all'aumentare delle dimensioni del polipo [10]. I polipi di *L. pruvoti*, caratterizzati da una progressiva circolarizzazione del disco orale, non necessitano di strategie di resistenza alla sedimentazione, in quanto colonizzano le volte di grotte e anfratti con il polo orale orientato verso il basso.

Le correlazioni tra variabili ambientali e parametri biometrici mostrano un'influenza maggiore della temperatura rispetto all'irradiazione in entrambe le specie. Il fatto che quest'influenza sia molto più marcata in *B. europaea*, specie zooxantellata, rispetto a *L. pruvoti*, specie azooxantellata, suggerisce che l'effetto della temperatura sui parametri biometrici sia mediato dagli effetti della temperatura sulla fotosintesi delle alghe simbionti di *B. europaea*. Nei coralli zooxantellati la fotosintesi favorisce la calcificazione [18] ed entrambi i processi hanno una temperatura ottimale [8, 18]. In *B. europaea*, il forte decremento della densità scheletrica, all'aumentare della temperatura del mare, dipende dall'attenuazione del tasso di calcificazione (dati non pubblicati, in preparazione) che potrebbe derivare da un'inibizione del processo fotosintetico a temperature elevate. In *L. pruvoti*, il debole effetto della temperatura sulla densità scheletrica dipenderebbe dall'assenza delle zooxantelle e quindi del collegamento tra fotosintesi e calcificazione.

La distribuzione spaziale degli adulti è influenzata dal numero di individui prodotti per atto riproduttivo («*offspring*») e dalla capacità di dispersione [19]. Teoricamente, una bassa fecondità associata ad un'elevata capacità di dispersione larvale dovrebbero determinare una bassa densità ecologica delle popolazioni. Al contrario, un'elevata fecondità associata ad una limitata capacità di dispersione larvale comporterebbero un'elevata densità locale delle popolazioni [10]. Nei coralli simbiotici una porzione significativa dell'energia necessaria alla gametogenesi e allo sviluppo embrionale e larvale è fornito dai fotosintati

prodotti dalle zooxantelle [20]. La bassa densità di popolazione in *B. europaea* rispetto a *L. pruvoti* dipenderebbe dalla minore fecondità dei polipi e dalla maggiore capacità di dispersione delle sue larve [10, 11]. Il decremento della densità di popolazione di *B. europaea* all'aumentare della temperatura potrebbe dipendere da una diminuzione della fecondità dei polipi, conseguente ad un decremento dell'efficienza fotosintetica delle zooxantelle simbionti a temperature superiori a quelle ottimali [18], comportante minori risorse energetiche per la gametogenesi [20]. *L. pruvoti*, non avvalendosi del supporto trofico derivante dalla fotosintesi, manterrebbe la densità di popolazione intorno al valore medio rilevato indipendentemente dalla temperatura. Ulteriori studi sulla biologia riproduttiva delle due specie in diverse popolazioni situate lungo un gradiente latitudinale potrebbero chiarire il rapporto tra fecondità dei polipi e temperatura del mare.

Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare L. Bortolazzi, M. Ghelia, G. Neto, L. Tomesani, per la preziosa assistenza subacquea nella raccolta dei campioni. I diving center Centro Immersioni Pantelleria, Il Pesciolino, Polo Sub, Sub Maldives, hanno fornito assistenza logistica sul campo nelle stazioni di campionamento. Bologna Scuba Team e Scientific Diving School hanno collaborato alle attività subacquee. Il Marine Science Group (<http://www.marinesciencegroup.org>) ha fornito il supporto scientifico, tecnico e logistico. H.R. Lasker, J. Bilewitch e N. Kirk (State University of New York at Buffalo), hanno fornito preziosi commenti che hanno migliorato la stesura definitiva di questo articolo. La ricerca è stata finanziata dall'Associazione dei Tour Operator Italiani (ASTOI), da Marine & Freshwater Science Group Association (<http://www.msgassociation.net>), dalla donazione Canziani e dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR). Gli esperimenti sono conformi alla legislatura italiana corrente.

Bibliografia

- [1] J. A. Kleypas, J. W. McManus, L.A.B. Menez, *Am. Zool.* 1999, 39: 146.
- [2] D. W. Kinsey, P. J. Davies, Carbon turnover calcification and growth in coral reefs. In *Biogeochemical Cycling of Mineral Forming Elements*. Elsevier Press. Amsterdam: 1979.
- [3] R. W. Grigg, *Coral Reefs* 1982, 1: 29.
- [4] J.P. Carricart-Ganivet, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2004, 302: 249.
- [5] R.E. Dodge, G.W. Brass, *Bull. Mar. Sci.* 1984, 34: 288.
- [6] R.W. Grigg, *Proc. 4th Int. Coral Reef Symp.* 1981, 1: 687.
- [7] S. Goffredo, N.E. Chadwick-Furman, *Mar. Biol.* 2003, 142: 411.
- [8] S.A. Howe, A.T. Marshall, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2002, 275: 63.
- [9] H. Zibrowius, *Mem. Inst. Oceanogr. (Monaco)* 1980, 11: 1.
- [10] S. Goffredo, G. Mattioli, F. Zaccanti, *Coral Reefs* 2004, 23: 433.
- [11] S. Goffredo, S. Arnone, F. Zaccanti, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2002, 229: 83.
- [12] S. Goffredo, J. Radeti?, V. Airi, F. Zaccanti, *Mar. Biol.* 2005, 147: 485.
- [13] B.W. Hoeksema, *Neth. J. Zool.* 1991, 41: 112.
- [14] D.K. Hubbard, *Coral Reefs* 1986, 5: 117.
- [15] G.J. Telesnicki, W.M. Goldberg, *Bull. Mar. Sci.* 1995, 57: 527.
- [16] C.S. Rogers, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1990, 62: 185.
- [17] F.T. Te, *Coral Reefs* 1992, 11: 131.
- [18] F.A. Al-Horani, *Sci. Mar.* 2005, 69: 347.
- [19] T.P. Hughes, A.H. Baird, E.A. Dinsdale, N.A. Moltschanowskyj, M.S. Pratchett, J.E. Tanner, B.L. Willis, *Ecology* 2000, 81: 2241.
- [20] B. Rinkevich, *Mar. Biol.* 1989, 101: 259.

Diversità delle comunità fitoplanctoniche nelle acque costiere toscane

Silvia Cappella¹, Caterina Nuccio*¹, Luigi Lazzara²

Parole chiave: fitoplancton, diversità specifica, acque costiere toscane, BioMarT

Una delle caratteristiche più note delle comunità fitoplanctoniche è la grande diversità specifica, evidenziabile anche dall'osservazione di piccoli campioni d'acqua in cui si ha la contemporanea presenza, seppur per breve tempo e con abbondanze non elevate, di una grande varietà di specie, che contribuiscono a strutturare comunità complesse e diversificate. Queste comunità variano inoltre la loro composizione al variare delle condizioni ambientali, sia in senso spaziale che temporale e, alle latitudini temperate, determinano una successione stagionale con caratteristiche evidenti e riconoscibili anche in base alla struttura dei popolamenti e quindi alla diversità. Condizioni fortemente perturbate, come nel caso delle acque eutrofizzate, favoriscono lo sviluppo eccessivo solo di poche specie, evidenziando una riduzione della diversità, che quindi diventa un fondamentale elemento di valutazione della qualità delle acque.

A questo scopo si è fatto finalmente strada nell'ultimo decennio il concetto di «stato ecologico», come espressione integrata di caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche da valutare ai fini del controllo, della conservazione e della gestione degli habitat acquatici, come stabilito dalla Direttiva 2000/60/CE sulle acque. In questo senso la Regione Toscana, in collaborazione con ARPAT e Museo «La Specola» di Firenze, ha promosso il progetto BioMarT (Biodiversità Marina Toscana), mirato proprio alla valutazione della biodiversità delle comunità fito- e zoobentoniche lungo le coste toscane. Nell'ambito dei rilevamenti BioMarT è stata effettuata una prima raccolta di campioni per la valutazione dell'abbondanza, della composizione e della diversità specifica delle comunità fitoplanctoniche, insieme a quella delle condizioni trofiche (nutrienti e biomassa autotrofa), in alcuni punti ritenuti rappresentativi delle acque costiere toscane (Cala di Forno, Cerboli, Calafuria).

I risultati hanno evidenziato condizioni oligotrofiche e di debole mesotrofia e popolamenti fitoplanctonici non abbondanti, non oltre l'ordine di grandezza di 10^5 cell L^{-1} . Domina numericamente la frazione nanoplanctonica (2-20 μm), con molti flagellati appartenenti a diverse classi, ma sono presenti anche molte forme microplanctoniche (20-200 μm), soprattutto diatomee, che contribuiscono alla grande varietà di specie rilevata in ogni campione. La biodiversità è infatti generalmente alta, sia nell'aspetto della ricchezza specifica (280 taxa in totale) che in quello della equitabilità, come indicano gli alti valori dell'indice di Shannon, che varia tra 3 e 5 bits $cell^{-1}$. Le comunità presentano dei tratti caratteristici con una variazione stagionale abbastanza evidente dalla composizione, senza fioriture anomale, ma anzi con una presenza costante di una grande varietà di organismi, a delineare una complessità e una diversificazione fitoplanctoniche riferibili a un ecosistema marino costiero in condizioni non degradate.

Introduzione

Il fitoplancton rappresenta la componente dei produttori primari vivente in sospensione nella colonna d'acqua (pelagica), più diffusa e ubiquitaria, con dimensioni (unicellulari) e morfologie (tendenti al massimo rapporto superficie/volume) ritenute adattamenti specifici all'ambiente acquatico per una ottimale assimilazione nutritiva e una opposizione all'affondamento.

Già dal secolo scorso [1] è nota l'alta diversità che si riscontra nelle comunità fitoplanctoniche, definita come «il paradosso del plancton» per il fatto che anche campioni di piccolissimi volumi d'acqua contengono un gran numero di specie coesistenti. Lo sviluppo delle ricerche condotte sulla dinamica di queste comunità, ha successivamente permesso [2] di chiarire che il fitoplancton è stato considerato un paradosso solo perché lo si è studiato secondo una scala di riferimento troppo vasta, combinando processi che agiscono su scale diverse. L'ambiente acquatico, pur potendo essere considerato relativamente isotropo nella scala spaziale delle masse d'acqua superficiali, aventi caratteristiche più (temperatura, salinità) o meno (nutrienti) conservative in un arco di tempo stagionale, presenta al contrario un'alta variabilità delle stesse condizioni in quelle scale spazio-temporali che direttamente riguardano l'accrescimento e l'assimilazione del fitoplancton, cioè l'ambito spaziale micrometrico e temporale di minuti-giorni. Questa ampia «chiazza» a piccola scala dell'ambiente può quindi consentire lo sviluppo e la contemporanea presenza di un grande numero di specie.

La diversità del fitoplancton presenta inoltre, particolarmente nei cicli stagionali delle nostre latitudini, una variazione temporale dovuta ai cambiamenti della composizione, alle interazioni tra il raggruppamento di specie presenti e alle opportunità presentate dalle risorse ambientali e dalla loro ripartizione, che può essere considerata rappresentativa dei diversi stadi della successione fitoplanctonica ed esserne quindi attributo di riconoscimento in condizioni non perturbate [3] [4]. Schematizzando, lo stadio iniziale si considera quello della fioritura primaverile in un ambiente ricco di risorse dove la diversità è bassa per la dominanza della/e specie in accrescimento, poi la diversità aumenta fino ad un massimo valore rappresentativo della massima ripartizione delle ormai scarse risorse disponibili e quindi della fase più matura della successione. Le diverse situazioni sono evidenziabili dalle cosiddette «curve ran-

go-frequenza» che assumono forme diverse nei diversi stadi [5].

Lo studio sintetizzato in questo articolo si inserisce da una parte all'interno della continuità di ricerche sulla ecologia del fitoplancton neritico ed oceanico dell'Alto Tirreno Toscano svolte da anni dall'Università di Firenze [6] [7] [8] [9], dall'altra nell'ambito dei progetti promossi dalla Comunità Europea relativi alla valutazione dello stato ecologico delle acque costiere degli stati membri. Valutazione che si fonda non solo sui dati abiotici, ma anche e soprattutto su quelli biotici, cioè sulla conoscenza delle caratteristiche delle varie comunità (fitobenthos, zoobenthos, angiosperme, fitoplancton) definite *Biological Quality Elements*, cioè gli elementi di qualità biologica a cui fare riferimento per le classificazioni [10].

In questo ambito, la Regione Toscana ha elaborato un programma mirato alla valutazione della biodiversità marina in Toscana (BioMarT) in collaborazione con ARPAT ed il Museo «La Specola» di Firenze. È stato previsto lo studio delle comunità fito- e zoobentoniche dei litorali toscani rocciosi e sabbiosi per la definizione di un repertorio naturalistico, l'individuazione delle biocenosi vulnerabili, delle specie rare e dei siti di elevato interesse conservazionistico nel mare della Toscana. A questo si è affiancata la descrizione delle condizioni fisiche e trofiche delle acque e della consistenza, composizione e diversità delle comunità fitoplanctoniche, ulteriore elemento fondamentale della rete trofica marina per valutare lo stato delle acque costiere. In questo lavoro vengono descritti i primi risultati ottenuti nel tentativo di fornire informazioni sulla biodiversità fitoplanctonica come indice dello stato di salute delle acque costiere toscane e sull'eventuale grado di cambiamento che i luoghi possono avere subito nel corso del tempo.

gli autori

¹ Dipartimento di Biologia Vegetale, Università di Firenze, Via P.A. Micheli 1 50121 Firenze

² Dipartimento di Biologia Animale e Genetica, Università di Firenze, Via Romana 17 - 50121 Firenze
luigi.lazzara@unifi.it

* autore per corrispondenza
catnuccio@unifi.it

Materiali e metodi

Le campagne di rilevamento si sono svolte dal giugno 2005 in collaborazione tra il Dipartimento di Biologia Animale e Genetica e il Dipartimento di Biologia Vegetale. Sono state effettuate nove uscite in mare in stagioni diverse, in tre dei siti campionati nell'ambito del progetto BioMarT, aree ritenute rappresentative delle coste toscane (figura 1), anche in riferimento alle informazioni pregresse di cui disponiamo: due stazioni antistanti la costa del Parco dell'Uccellina, davanti alla spiaggia di Cala di Forno, denominate CdF10 a circa 700 m dalla costa e con fondale intorno a 10 m, e CdF20 a circa 800 m dalla costa e con fondale intorno a 20 m, una stazione in prossimità dell'isolotto di Cerboli situato nel canale di Piombino, a distanza di circa 1300 m dalla costa e fondale di circa 30 m, e la stazione di Calafuria, di fronte all'omonima località della costa toscana più settentrionale a distanza di circa 300 m dalla costa e fondale di circa 40 m.



Figura 1: Ubicazione delle stazioni di campionamento.

In tutte le stazioni sono stati effettuati profili batimetrici di temperatura, conducibilità, salinità e ossigeno disciolto mediante sonda multiparametrica (Idronaut Ocean Seven 701) e prelievi di acqua alle varie profondità, destinati alle analisi chimiche e biologiche. I campioni d'acqua sono stati raccolti mediante bottiglie Niskin da 5 L e portati nel più breve tempo possibile nei laboratori a Firenze per le filtrazioni e i trattamenti necessari alle analisi. 3 L di acqua per ogni profondità sono stati filtrati sottovuoto su filtri Whatman GF/F per la successiva estrazione e determinazione dei pigmenti liposolubili mediante spettrofluorimetria (Perkin Elmer LS5) [11] [12] e HPLC (Shimadzu Class VP) [13] [14]. Una quota variabile tra 1 e 2 L di acqua è stata filtrata utilizzando lo stesso tipo di filtri, per la determinazione del peso secco (80°C per 24 ore) e del peso secco meno le ceneri (380°C per 48 ore). 100 ml di acqua filtrata sono stati fissati con HgCl_2 per la successiva determinazione dei nutrienti inorganici disciolti (N-NO_2^- ; N-NO_3^- ; P-PO_4^{2-} ; S-SiO_2) mediante AutoAnalyzer 3 (Bran-Luebbe). 250 ml di acqua prelevata sono stati fissati con formaldeide neutralizzata (concentrazione finale 1%), per l'osservazione del fitoplancton al microscopio ottico rovesciato (Zeiss IM, Zeiss IM35) dopo sedimentazione (50 o 100 ml) su camere di conteggio. Su ogni campione sono state effettuate due osservazioni: a 400x su una porzione dell'area di sedimentazione fino a raggiungere un numero di almeno 200 individui contando tutti gli organismi incontrati e questi sono i conteggi trattati nel seguito dei risultati; a 160x su tutta l'area di sedimentazione, per la quantificazione del solo microplancton (20-200 μm) che solitamente è presente in quantità notevolmente minore della componente nanoplanctonica. Tutte le analisi sono state condotte con metodologie standard [15] a cui si fa riferimento anche per i testi consultati per la determinazione del fitoplancton. Nella categoria «Altro plancton» sono inseriti flagellati nanoplanctonici, alcuni di incerta determinazione con morfologie assimilabili a diversi gruppi autotrofi, mixotrofi ed eterotrofi (*Prasinophyceae*, *Dictyochophyceae*, *Chrysophyceae*, *Incertae sedis*). Per il calcolo della diversità specifica è stato utilizzato l'indice di Shannon [16] che, calcolato per ognuno dei campioni osservati, è assimilabile ad una diversità, cioè come quella del più piccolo campione analizzabile.

Risultati

Le comunità fitoplanctoniche si sono caratterizzate per scarse densità cellulari, in tutti i siti e i mesi campionati (figura 2). Le densità più elevate, inferiori a 200000 cell L⁻¹, sono state riscontrate a settembre nello strato più superficiale, sia a Calafuria che a Cala di Forno (figura 2b, h, j). I minimi si osservano nei mesi autunno-invernali (figura 2c, f) e in estate (figura 2e, g, i), intorno a 20000 cell L⁻¹. Negli unici due rilievi primaverili (figura 2a, d) si notano di nuovo valori un po' più alti, soprattutto a Cerboli. Osservando la composizione tassonomica si possono sintetizzare alcune caratteristiche generali sulla variazione temporale dei diversi gruppi fitoplanctonici. Le diatomee sono scarsamente presenti ma determinano le abbondanze massime a settembre a Calafuria, hanno una certa importanza relativa in autunno-inverno (figura 2c, f) e appaiono più presenti anche in estate a Cala di Forno (figura 2g, i) soprattutto con forme bentoniche appartenenti alle *Pennales* che in acque basse facilmente si risospendono e vanno a far parte del popolamento planctonico. I dinoflagellati sono presenti con maggiore importanza relativa in tarda primavera-estate (figu-

ra 2a, b, e, g, i) ma non oltre un 25% circa. I coccolitofori (*Haptophyceae*) sono più presenti in estate (figura 2e, g, i), sia a Cala di Forno che a Cerboli, dove rappresentano rispettivamente dal 25 al 50% circa del popolamento, soprattutto per la presenza di *Emiliana*

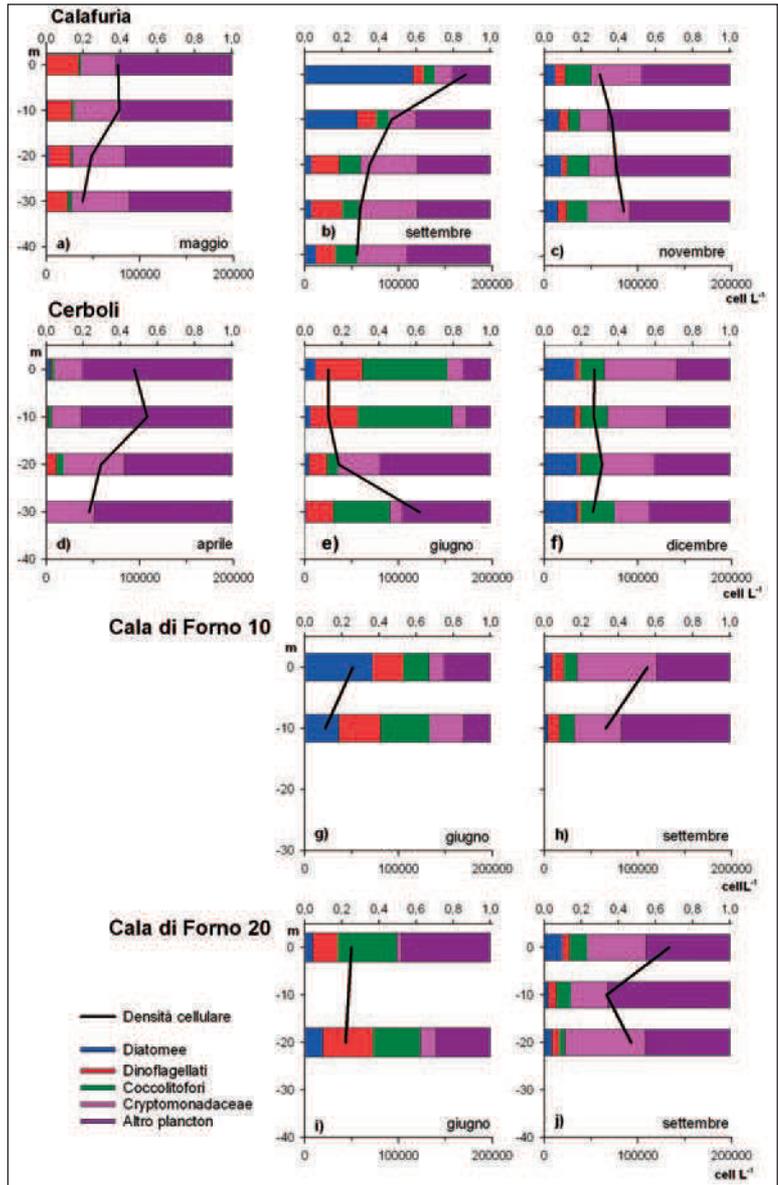


Figura 2: Profili verticali di densità cellulare totale e densità relative dei diversi gruppi fitoplanctonici nei tre siti e nei mesi indicati.

huxleyi, una delle specie più diffuse e abbondanti del Mediterraneo. Alcune *Cryptomonadaceae*, relativamente più tipiche di acque costiere, sono più costantemente presenti con importanza relativa variabile tra

minimi contributi estivi e massimi, fino al 40%, in autunno-inverno determinando infatti, insieme ai flagellati del gruppo Altro plancton, gli aumenti di densità visibili a settembre (figura 2h, j). Questo gruppo contribuisce spesso

notevolmente alle densità totali, particolarmente in primavera (figura 2a, d) soprattutto a Cerboli e nei periodi autunnali (figura 2c, h, j), ma si tratta di una ventina di specie nanoplanctoniche di classi diverse per le quali è più difficile riconoscere univocità di comportamento.

Dalle osservazioni microscopiche abbiamo individuato un totale di 280 specie a diversi livelli di identificazione, dalla sola appartenenza alla classe fino alla varietà, in relazione al gruppo di appartenenza. Tra queste, 186 appartengono al microplancton (20-200 μm) che raramente domina in densità cellulari, al contrario del nanoplancton (2-20 μm), ma che contribuisce decisamente alla ricchezza specifica, soprattutto per la diffusa presenza di molte specie con scarse quantità. Questa considerazione mette in luce proprio uno degli aspetti più evidenti di queste comunità: la grande diversità specifica, cioè la presenza in tutti i periodi di un grande numero di specie coesistenti.

L'analisi dell'indice di

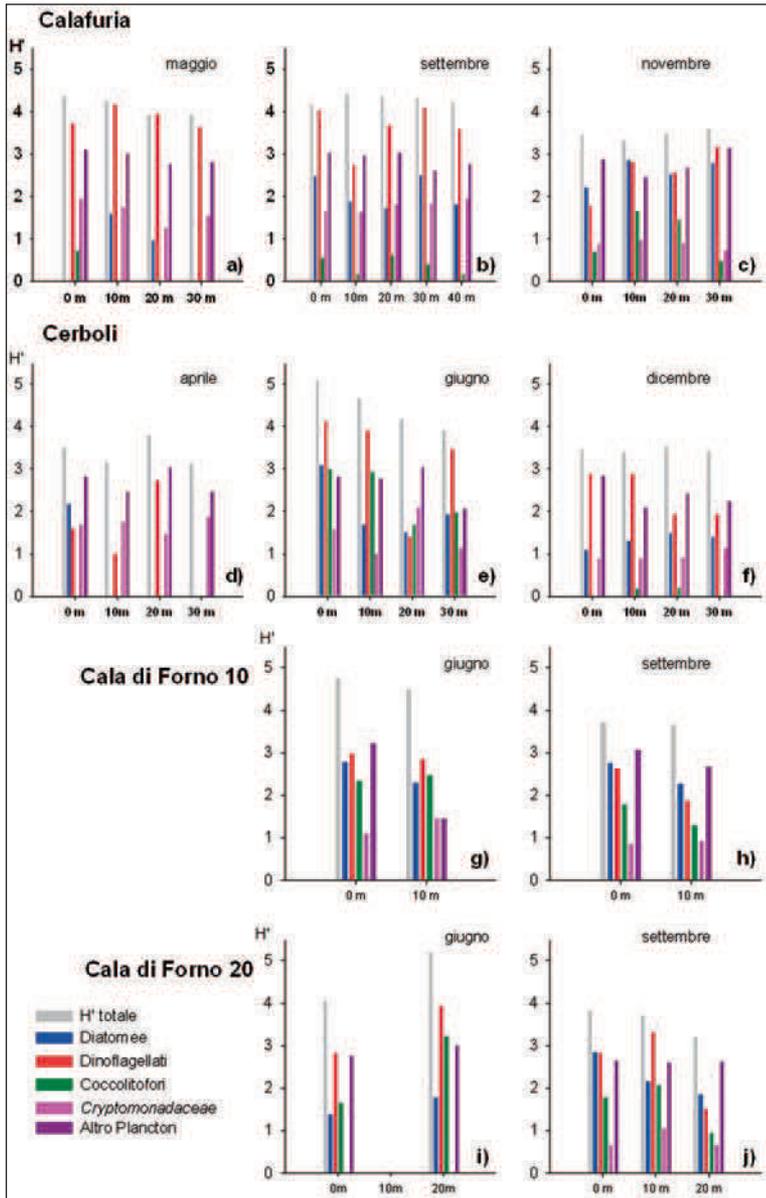


Figura 3: Diversità totale e dei diversi gruppi fitoplanctonici ($H' = \text{bit cell}^{-1}$) nei tre siti e nei mesi indicati.

Shannon (H'), evidenzia valori generalmente alti con massimi intorno a 5 bit cell⁻¹ ricorrenti soprattutto a giugno (figura 3e, g, i) e minimi, non inferiori a 3 bit cell⁻¹, inverno-primaverili (figura 3c, d, f). I dinoflagellati contribuiscono maggiormente alla diversità (figura 3), particolarmente per la presenza di un grande numero di forme atecate nanoplanctoniche, seguiti dai flagellati raggruppati in Altro plancton, categoria costantemente presente con una grande varietà di forme. Calafuria presenta minori variazioni stagionali e i valori più alti a settembre.

Le caratteristiche e le variazioni della diversità specifica sono sintetizzabili confrontando la distribuzione dei valori calcolati in relazione al numero di specie presenti rispetto alla diversità massima (figura 4). La diversità varia tra 3 e 5 bit cell⁻¹, in un ambito di equità ($e = H'/H'_{max}$) mai inferiore a 0.6 e che arriva anche a 0.9: in relazione al numero di specie presente ogni volta, l'indice tende ad avvicinarsi a quello massimo possibile.

Non abbiamo campionato nessuna situazione di piena fioritura con forte dominanza di una o poche specie sulle altre; l'unica evidente dominanza è stata quella di *Asterionellopsis glacialis* a Calafuria a settembre, forse già in fase calante e in un popolamento comunque ricco (58 taxa) di molte altre specie, che potrebbe appunto indicare uno stadio non iniziale della successione stagionale.

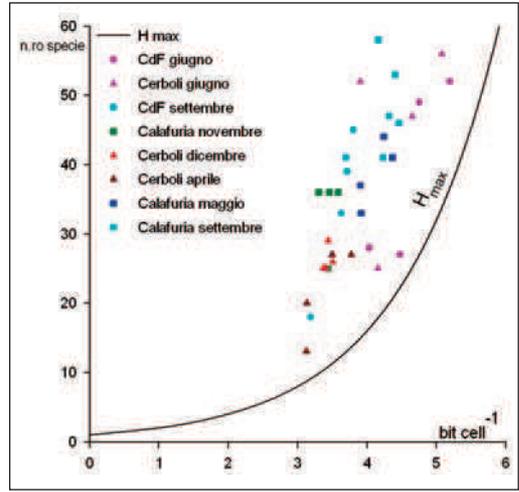


Figura 4: Indice di diversità di tutti i campioni analizzati. È tracciata la curva della diversità massima, $H_{max} = \text{Log}_2 S$, con $S =$ numero delle specie.

Ordinando le specie in base alle presenze percentuali rispetto al totale dei campioni (figura 5a) ed in base alla loro densità totale calcolata (figura 5b), si osserva una distribuzione in cui una quindicina è presente almeno nel 70% circa dei casi (figura 5a) e una decina di

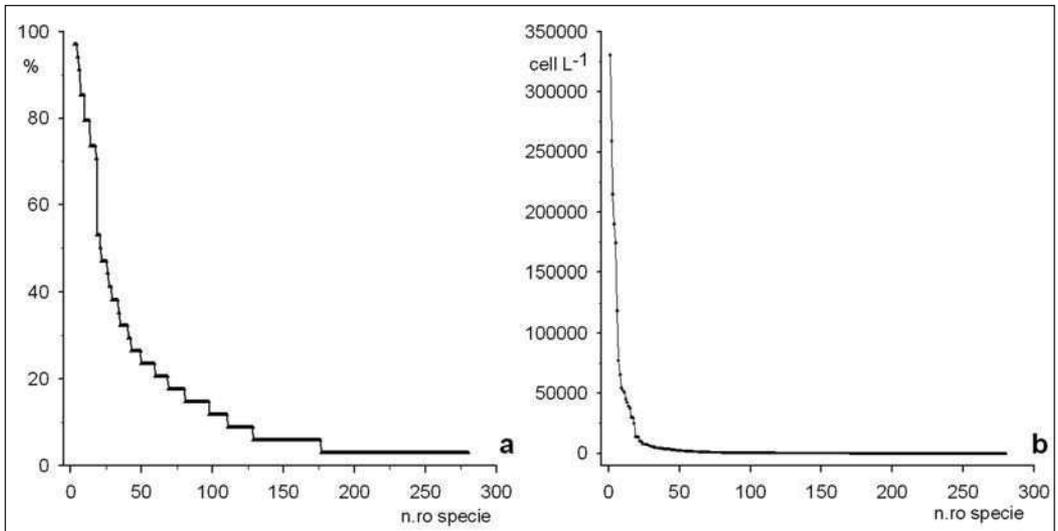


Figura 5: Distribuzione di tutte le specie fitoplanctoniche ordinate: a) in base alle presenze relative; b) in base alla densità totale (somma delle densità cellulari di ogni campione).

queste (figura 5b) corrisponde a quelle che nel totale hanno raggiunto le più alte densità. Si tratta di nanoplancton appartenente a classi diverse e la prima in rango (più frequente e più abbondante) risulta una *Cryptomonadacea* (*Plagioselmis* cf. *prolonga*), segue la stessa decina di specie in tutti e due i casi, seppure non nello stesso ordine: *Emiliania huxleyi* (*Haptophyceae*), un'altra *Cryptomonadacea*, *Ollicola vangoorii* (*Chrysophyceae*) e *Paulinella ovalis* (Incertae sedis), rispettivamente mixotrofa ed eterotrofa, alcuni flagellati appartenenti alle *Prasinophyceae* (*Pseudoscofieldia marina*, *Tetraselmis* sp., *Pyramimonas* sp.) e altri di cui non è ancora possibile l'attribuzione certa. L'unica forma microplanctonica è la diatomea *Cylindrotheca closterium*, mentre la maggior parte del microplancton risulta presente tra le 200 specie presenti in meno del 10% dei campioni (figura 5a).

Tra gli organismi microplanctonici si riscontra quasi costantemente la dominanza delle diatomee con alcune specie presenti in maniera più indifferenziata o con maggiore presenza nei mesi invernali (*Lioloma pacificum*, *Licmophora gracilis*, *Asterionellopsis glacialis*, *Thalassionema nitzschioides*), altre, appartenenti alle *Centrales*, più tipicamente invernali (*Chaetoceros* spp.) o estive (*Proboscia alata*, *Leptocylindrus danicus*, *Guinardia striata*) e una notevole presenza in tarda estate-autunno, quando si verifica la fioritura di *Asterionellopsis glacialis* insieme ad una certa quantità di altre forme tipiche (*Pseudonitzschia* spp., altri *Chaetoceros* spp.). Tra i dinoflagellati compaiono molte forme tectate che contribuiscono notevolmente alla quantità di biomassa autotrofa, come *Ceratium furca*, *C. fusus*, *Prorocentrum gracile*, *P. micans*, *Mesoporos* spp., *Torodinium robustum*, insieme ad alcune forme note come eterotrofe (*Protoberidinium* spp., *Gyrodinium* spp.). Inoltre, tramite questi conteggi, sono risultati presenti anche molti altri coccolitofori (*Haptophyceae*) più rari ma di taglia più grossa, come *Anoplosolenia brasiliensis*, *Calcidiscus leptoporus*, *Coronosphaera mediterranea*, *Discosphaera tubifer*, *Scyphosphaera apsteinii*, *Syracosphaera pulchra* e *Umbilicosphaera sibogae*, che aumentano notevolmente il grado di diversificazione di questo gruppo che, nella frazione nanoplanctonica, è prevalentemente rappresentato soltanto da *Emiliania huxleyi*.

Discussione e conclusioni

L'indagine effettuata sulla componente fitoplanctonica delle acque costiere toscane nel contesto del pro-

getto BioMarT non è stata certamente esaustiva per quanto riguarda la ricostruzione dell'intero ciclo annuale di variazione di queste comunità. Abbiamo però delineato un quadro aggiornato sia sulle condizioni ambientali, particolarmente sullo stato trofico, sia sulle caratteristiche fondamentali delle comunità fitoplanctoniche che ci permette così di esprimere una valutazione sullo stato delle acque al presente in confronto alle conoscenze precedentemente acquisite.

Le sostanze nutritive ed i loro rapporti sono fattori fondamentali che influenzano lo sviluppo del fitoplancton ed è da considerarsi normale che le acque costiere siano più eutrofiche delle acque marine del largo, per gli apporti terrigeni naturali e a causa delle attività antropiche, di modo che è maggiore l'eventualità di fioriture anomale che determinino alterazioni nell'ecosistema. Le condizioni trofiche delle acque toscane (tabella 1) non appaiono differenziabili tra i siti, con concentrazioni nutritive generalmente basse, soprattutto del fosforo, spesso al limite di rilevanza, e variazioni riconducibili ai normali cicli stagionali di disponibilità e consumo senza particolari apporti anomali: le concentrazioni più alte sono in inverno, quando sono maggiori sia gli apporti terrigeni che quelli dovuti all'isopnicia delle acque, ed i minimi sono estivi, per le ragioni opposte. La situazione dei rapporti tra nutrienti, come già evidenziato nelle acque dell'Arcipelago Toscano [9] [17], ha indicato una maggiore fosforo carenza nei mesi inverno-primaverili rispetto all'estate, quando peraltro il consumo fitoplanctonico è solitamente minore. I silicati sono raramente minori di 1 µm, valore spesso indicato come soglia di limitazione per l'accrescimento delle diatomee, ma più che per il silicio di per sé, una limitazione per le diatomee potrebbe crearsi a causa di un rapporto sbilanciato rispetto a nitrati ed ortofosfati [17]. Anche i valori di clorofilla *a*, indicatori della biomassa autotrofa, appaiono (tabella 1) simili in tutti i siti e sostanzialmente di scarsa entità, oscillando tra un massimo primaverile di 0.419 mg m⁻³ a Cerboli, dove peraltro notiamo le medie nutritive più alte, e minimi estivi di un ordine di grandezza inferiori.

Nelle nostre valutazioni mancano i riferimenti al periodo tra dicembre e aprile, durante il quale avrebbe potuto instaurarsi la fioritura primaverile delle diatomee, ma non possiamo affermare niente di certo anche se, indicazioni indirette (le minori concentrazioni nutritive primaverili rispetto alle invernali, la diminuzione di silicati tra la fine della primavera e l'inizio dell'estate, l'aumento di contributo della frazione organica al particolato totale sempre nello stesso periodo)

Tabella 1: Concentrazioni medie + deviazione standard, massimi e minimi dei nutrienti (μM), di clorofilla a (chl , mg m^{-3}) e delle densità cellulari totali (cell L^{-1}).

Località	NO_2+NO_3	PO_4	SiO_2	Chl	dens. cell.
Cala di Forno	0.948 ± 0.917	0.049 ± 0.022	1.761 ± 0.295	0.144 ± 0.028	70188 ± 35068
Cerboli	1.306 ± 0.699	0.055 ± 0.029	2.144 ± 0.654	0.241 ± 0.118	61176 ± 31096
Calafuria	0.517 ± 0.421	0.036 ± 0.026	1.642 ± 0.272	0.222 ± 0.079	75342 ± 32262
media	0.922 ± 0.749	0.046 ± 0.027	1.856 ± 0.495	0.217 ± 0.099	68978 ± 32209
max	3.248	0.128	2.894	0.419	170476
min	0.749	0.027	0.495	0.052	21542

sembrerebbero supportare questa ipotesi [17].

Da un primo confronto con i dati pregressi acquisiti lungo il litorale toscano si evidenzia che le acque dell'Uccellina negli anni '70 [6], mostravano un forte arricchimento invernale di nitrati (fino a $6 \mu\text{M}$) che permanevano poi intorno a $1 \mu\text{M}$ per il resto dell'anno. Le indagini ripetute negli anni '80 [18] hanno evidenziato una maggiore variabilità, soprattutto con concentrazioni molto alte di nutrienti e irregolarità nel ciclo della clorofilla a che raggiungeva 1 mg m^{-3} . Medie annuali di ordine simile sono state rilevate anche alla fine degli anni '90 nelle acque di Giglio e Giannutri [9]. Si evidenzia quindi uno stato oligotrofico, con concentrazioni nutritive e di clorofilla a simili o più basse di quelle medie dei cicli stagionali passati, confrontabili con una recente classificazione [19] che indica lo stato di qualità ecologica (EQS) per le acque marine della Grecia (tabella 2). Come si vede, le concentrazioni qui mostrate rientrano nell'ambito della oligo-mesotrofia, tutt'al più con la possibilità di collocarsi nella fascia più alta della bassa mesotrofia, e comunque in corrispondenza di uno stato di qualità delle acque alto-buono.

Le osservazioni sulle comunità fitoplanctoniche, seppure frammentate in periodi non contigui, mostrano una relativa similarità di comportamento tra le località: densità totali generalmente dell'ordine di 10^4 cell L^{-1} (tabella 1) con minimi estivi a dominanza di dinoflagellati e coccolitofori, fioriture limitate non oltre l'ordine di grandezza di 10^5 cell L^{-1} dovute a diatomee, in primavera o tarda estate, oppure a *Cryptomonadaceae*, sempre in primavera, o a *Emiliania huxleyi*.

Nelle prime indagini condotte lungo il litorale dell'Uccellina [7], la presenza e le fioriture di diatomee erano molto più abbondanti che nei nostri campioni, forse appunto favorite dalle condizioni

nutritive più ricche favorevoli ad accrescimenti consistenti (fino a $800000 \text{ cell L}^{-1}$) di diatomee nano-planctoniche (*Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* spp. *Chaetoceros* spp.), solitamente più tipiche di ambienti eutrofici. Nei nostri campioni la presenza delle diatomee è data da una grande varietà di specie microplanctoniche con scarse densità e che possono accrescersi forse in seguito a input di nutrienti che non costituiscono, lungo le coste toscane indagate, uno stato continuo di eutrofia.

Rispetto alle brevi serie temporali degli anni '80 e '90 nelle acque dell'Arcipelago [9] [17], possiamo senz'altro confermare alcune caratteristiche stagionali delle comunità fitoplanctoniche e della presenza di alcune specie. Per le diatomee *Pennales* si conferma la presenza più continua di *Cylindrotheca closterium* e *Thalassionema nitzschioides*, con una maggiore tipica presenza del fitoplancton invernale; *Asterionellopsis glacialis* è la diatomea che è stata sempre rilevata nell'Arcipelago con le fioriture più abbondanti, sia in marzo che in novembre [8] [9], anche *Pseudonitzschia* spp. si conferma maggiormente nei mesi tardo estivi-autunnali [9]. Tra le dia-

Tabella 2: Classificazione dello Stato di Qualità Ecologia (EQS) delle acque marine in base alle concentrazioni di clorofilla a , secondo Simboursa et al., 2005.

Eutrophication scale	Chl a (g/L)	EQS
Oligotrophic	<0.1	High
Lower mesotrophic	0.1-0.4	Good
	0.4-0.6	Moderate
Higher mesotrophic	0.6-2.21	Poor
Eutrophic	>2.21	Bad

tomee *Centrales*, si conferma la maggior tipicità estiva di *Proboscia alata*, *Leptocylindrus danicus*, *Guinardia striata* mentre *Chaetoceros* spp. è prevalentemente invernale [9].

Riguardo alle altre classi fitoplanctoniche le determinazioni tassonomiche sono risultate in molte occasioni meno certe ma possiamo comunque sottolineare le caratteristiche stagionali fondamentali che vedono, tra i dinoflagellati, la dominanza di tecati microplanctonici (*Ceratium* spp., *Prorocentrum* spp.) in tarda primavera e nanoplanctonici (*Heterocapsa* spp.) in estate insieme a *Gymnodiniaceae* sempre prevalentemente nanoplanctoniche. Le *Cryptomonadaceae* appaiono presenti durante tutto l'anno, con una prevalenza tra l'inverno e la primavera, come già evidenziato [9] [20], tra i coccolitofori, *Emiliania huxleyi* è la specie più presente e più abbondante con dei massimi estivi. Riguardo a tutto il gruppo di Altro Plancton è evidente che questo risulta una parte spesso maggioritaria per quanto riguarda le densità numeriche dei popolamenti fitoplanctonici, che potrebbe quindi influenzare anche le componenti zooplanctoniche, ma è al momento difficile poterlo meglio caratterizzare dal punto di vista della composizione, data la fragilità e le scarse evidenze morfologiche degli organismi. Anche questo popolamento si presenta molto differenziato e non si sono mai verificate fioriture anomale.

Un'ultima osservazione sulla composizione dei popolamenti riguarda la presenza di specie tossiche o potenzialmente tossiche: oltre alla diatomea *Pseudo-nitzschia* spp. sono state osservate alcuni dinoflagellati (*Akashivo sanguineum*, *Prorocentrum lima*, *Prorocentrum minimum*, *Dinophysis sacculus*) ma in casi sporadici e con un numero estremamente esiguo di individui che, almeno al momento, non fanno pensare alla possibilità di accumulo di sostanze tossiche nell'ambiente o negli organismi vettori.

Una caratteristica fondamentale di queste comunità che si succedono nel corso dell'anno è l'alta diversità specifica. Un primo dato di ricchezza specifica è il numero di taxa individuati, 280, e la costante copresenza nei campioni di un alto numero di specie con un basso numero di individui. Tutti i valori dell'Indice di Shannon evidenziano un'alta equitabilità, soprattutto in estate, periodo dello stadio maturo della successione fitoplanctonica. La rappresentazione delle curve di distribuzione degli individui tra le specie [16], che abbiamo elaborato [17] ma qui non mostriamo per brevità, disegna quasi sempre distribuzioni di tipo «geometrico» o a «bastone spezzato», cioè quelle

che rappresentano stadi avanzati della successione fitoplanctonica in un ambiente con le risorse totalmente ripartite tra gli individui e che sono già note nell'ambiente Mediterraneo [5]. Ciò significa che non abbiamo colto gli eventuali momenti di piena fioritura e che si conferma possibile una generale limitazione ad abbondanti accrescimenti dovuta all'oligotrofia ma che l'ambiente determina una forte differenziazione delle comunità fitoplanctoniche nano- e microplanctoniche che porta al massimo sfruttamento delle risorse disponibili.

Possiamo in conclusione affermare che, nell'ambito dei dati raccolti e analizzati, le acque costiere toscane non presentano particolari anomalie che facciano pensare a disturbi o perturbazioni che possano determinare situazioni di emergenza, come le fioriture fitoplanctoniche di anomala abbondanza o addirittura tossiche, da cui si possono sviluppare poi le condizioni a rischio per tutto il sistema, come l'eccesso di sostanza organica e l'eventuale stato di anossia conseguente. Sarebbe interessante poter sviluppare queste prime conclusioni tramite il monitoraggio di un intero ciclo annuale con campionamenti più frequenti in tutte le stagioni e poter approfondire la tassonomia delle specie presenti per poter avere un quadro più completo ed esauriente delle caratteristiche del fitoplancton costiero toscano.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato realizzato con contributo della Regione Toscana, Progetto BioMarT.

Bibliografia

- [1] G.E. Hutchinson, *Am. Nat.* 1961, XCV-882: 137.
- [2] G.P. Harris, *Phytoplankton ecology, structure, function and fluctuation*. Chapman and Hall, London: 1986, 384 pp.
- [3] R. Margalef, *Adv. Front. Plant Sci.* 1963, 2: 137.
- [4] C.S. Reynolds, *Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge: 2006, 535 pp.
- [5] G. Jacques, P. Tréguer, *Écosystèmes pélagiques marins*. Masson, Paris: 1986, 243 pp.
- [6] C.R. Lenzi Grillini, L. Lazzara. *Giorn. Bot. It.* 1978, 112 (3): 157.

- [7] C.R. Lenzi Grillini, L. Lazzara. *Giorn. Bot. It.* 1980, 114 (5): 199.
- [8] C. Nuccio, M. Innamorati, L. Lazzara, A. Mancuso. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A* 1995, Suppl. CII: 151.
- [9] M. Innamorati, G. Mori, C. Nuccio, L. Massi, C. Melillo, M. Mannucci, B. Terreri, A. De Pasquale, F. Polonelli. *Indagine sulle mucillaggini nel Mar Tirreno. In: Processi di formazione delle Mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno (MAT). Rapporto finale, ICRAM, Roma: 2003.*
- [10] G. Casazza, C. Lopez Y Royo, E. Spada, C. Silvestri. *Proceedings of the Seventh International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, Medcoast 05, Ozhan, 2005: 755.*
- [11] O. Holm-Hansen, C.J. Lorenzen, R.W. Holmes, Strickland J.D.H. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 1965, 30: 3.
- [12] L. Lazzara, L. Massi, C. Nuccio, N. Biondi, M. Innamorati. *Nat. Progr. Ant. Res., ROSSMI-ZE 93-95, Data Rep. I, 1997: 229.*
- [13] F. Vidussi, H. Claustre, J. Bustillos-Guzmán, C. Cailleau, J.C. Marty. *J. Plank. Res.* 1996, 18: 2377.
- [14] R.G. Barlow, D.G. Cummings, S.W. Gibb. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1997, 161: 303.
- [15] M. Innamorati, I. Ferrari, D. Marino, M. Ribera D'Alcalà (a cura di), *Metodi nell'ecologia del plancton marino. Nova Thalassia* 1990, 11: 372 pp.
- [16] E.P. Odum, *Basi di ecologia. Piccin Nuova Libreria, Padova: 1988, 494 pp.*
- [17] S. Cappella. *Diversità delle comunità fitoplanctoniche nelle acque costiere toscane. Tesi di Laurea Magistrale in Scienze Biologiche, Università di Firenze, Firenze: 2007, 82 pp.*
- [18] G. Mori, M. Innamorati, L. Massi, C. Nuccio, F. Lavista, L. Nidiaci. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A* 1995, Suppl. CII: 281.
- [19] N. Simboura, P. Panayotidis, E. Papatheanasiou. *Ecological Indicators* 2005, 5: 253.
- [20] M. Innamorati, L. Lazzara, C. Nuccio, P. Senesi, G. Buracchi. *Oebalia* 1990, XVI-1: 93.

Il pesce San Pietro

Gianni Neto



L'aspetto è inconsueto e bizzarro, ma proprio per questo inconfondibile. Chiunque si trovi davanti il pesce San Pietro lo riconoscerà immediatamente. Non esiste, se non altro alle quote raggiungibili dai subacquei ricreativi, un pesce con cui possa essere confuso. La forma del corpo, alta e fortemente compressa lateralmente, l'occhio grande e dalla forma ovale, i lunghi raggi della spina dorsale, ma, soprattutto, la grande macchia rotonda di colore scuro presente su entrambi i lati del corpo. L'origine popolare vuole che siano le impronte delle dita lasciate da San Pietro (da qui il nome comune), il quale, dovendo pagare una tassa, mise una mano in acqua e prese un pesce (il nostro amico, appunto) che all'interno della bocca custodiva una moneta. Questa è la leggenda, ma anche Linné, il naturalista svedese a cui si deve la nomenclatura binomia, deve essere rimasto colpito dalla regalità di questo pesce, tanto da consacrarlo addirittura al Re del Dei, Giove, denominandolo *Zeus faber*. Abbastanza comune lungo tutte le nostre coste, il San Pietro non è, però, un incontro frequente. Le cause sono diverse, la prima è data dal fatto che, generalmente, vive a profondità superiori ai cento metri e si spinge in acque meno profonde solo nel periodo riproduttivo che coincide con la fine dell'inverno e la primavera. Le spiccate abitudini notturne sono un'ulteriore motivo della scarsità degli incontri, se poi ci aggiungiamo l'ambiente di vita prediletto: distese fangose, sabbiose e praterie di Posidonia, abbiamo un quadro completo del perché il pesce San Pietro lo si incontra raramente in immersione. Tutto questo non significa che immergendosi lungo le spettacolari pareti rocciose che contraddistinguono le coste italiane, non si abbia la possibilità di vedere da vicino questo splendido animale, tutt'altro. Nei mesi in cui l'acqua è piuttosto fredda, come ad esempio febbraio o marzo, in alcuni luoghi particolari, come la costa ligure, o le isole Tremiti, o ancora, lo stretto di Messina e l'arcipelago toscano, vi sono molte probabilità di imbattersi in questo particolare pesce.



Occorre l'occhio allenato, però, il mimetismo del San Pietro è impressionante. Agevolato dal corpo compresso, assumendo la posizione frontale rispetto alla preda o al pericolo, risulta pressoché invisibile. Solo il leggero movimento delle pinne dorsali e anali, il suo silenziosissimo mezzo di propulsione, possono rivelarne la presenza. L'animale, ben consapevole delle sue doti mimetiche, sfrutta questa caratteristica per procacciarsi il cibo costituito principalmente da pesci e molluschi. Avvicinatosi silenziosamente alla vittima prescelta, quando ancora si trova ad una distanza che nessuna preda considera pericolosa, lascia partire la sua arma letale: la bocca. Ho avuto modo di assistere un paio di volte a questa scena, sempre di notte e sempre nell'impossibilità di documentarla. Il movimento è rapidissimo, quasi invisibile, ci si accorge che è successo perché il pesciolino che vedi a diversi centimetri di distanza davanti al caratteristico muso imbracciato del San Pietro, improvvisamente... sparisce! La bocca ha la capacità di allungarsi a dismisura, creando una depressione nella quale la vittima viene risucchiata senza alcuna possibilità di reazione. L'aria innocente e paciosa, la simpatia che ispira, e l'apparente lentezza del nuoto (in realtà è capace di repentini scatti), non devono trarre in inganno, il San Pietro non è un pacifico ed innocuo pesciolino, ma un formidabile e vorace predatore. Può raggiungere i sessanta centimetri di lunghezza e oltrepassare i sei chilogrammi, le femmine sono più grandi. I giovani, superato lo stadio larvale, assumono le sembianze degli adulti. Un paio di volte mi è capitato di imbartermi in questi piccoli pesci, identici ai genitori, dalle dimensioni di una moneta da cinque centesimi.



l'autore

**Museo di Storia Naturale
Via Monte alla Rena, 41
57016 Rosignano Solvay**

La mazzancolla

Gianni Neto



Il nome scientifico è, come spesso accade, impronunciabile: *Penaeus kerathurus*. Pochi di noi, se non «addetti ai lavori», sanno di cosa si tratta. Diversamente, se la chiamiamo con il nome comune, Mazzancolla, tutti abbiamo ben chiaro cosa sia. Crostaceo molto comune, oggetto di pesca intensiva e di allevamento, la mazzancolla si trova nei mercati ittici in ogni periodo dell'anno. È necessaria, però, una precisazione: quella che di solito troviamo sul bancone del pescivendolo, ha poco a che fare con la mazzancolla mediterranea, infatti, si tratta di una specie molto simile alla nostra, ma di origine asiatica (*Penaeus japonicus*), che è stata introdotta negli anni settanta a scopo di allevamento a fini commerciali. *Penaeus kerathurus* è una specie autoctona del Mediterraneo, dove frequenta i fondali sabbiosi e fangosi a profondità variabili dai venti ai cento metri. Come molte altre specie animali viventi in questa tipologia di ambienti, è di abitudini notturne, di giorno vive sepolta nei fondi costieri, in acque salmastre e in zone prossime alle foci dei fiumi con fondale detritico. Si nutre di piccoli organismi e svolge anche l'importante funzione di «spazzino» cibandosi di animali in decomposizione. L'aspetto è quello tipico dei gamberi: corpo rivestito da una corazza che costituisce l'esoscheletro, occhi pedunculati e una coppia di lunghe antenne. Il corpo risulta compresso lateralmente, il cefalotorace è ricoperto dal carapace dal quale partono tredici paia d'appendici. Il capo è ornato da una vistosa e robusta cresta seghettata che culmina con un rostro appuntito. La parte inferiore del corpo è protetta da placche addominali molto resistenti, con una coda ampia a forma di ventaglio. Il



colore varia dal marrone chiaro al giallo o grigio, l'estremità della coda è azzurro chiaro. Ancora una volta la notte ci offre l'opportunità di osservare da vicino un abitante marino nel suo ambiente naturale, occorre prestare molta attenzione per individuare il soggetto, poiché, se non abbiamo la fortuna di trovarlo a spasso per il fondale –evento raro ma non impossibile- risulta molto difficile scorgere gli occhi che fuoriescono appena dalla sabbia. E anche quando è allo scoperto, attenzione a non distrarsi, le tecniche di fuga che mette in atto sono di tre tipi: la veloce corsa sul fondo, il tipico nuoto a scatti all'indietro usato dai gamberi, e l'infossamento veloce. Il periodo migliore per fotografare i soggetti più grandi (circa 25 cm), è l'estate, quando si avvicinano alla costa per la riproduzione.



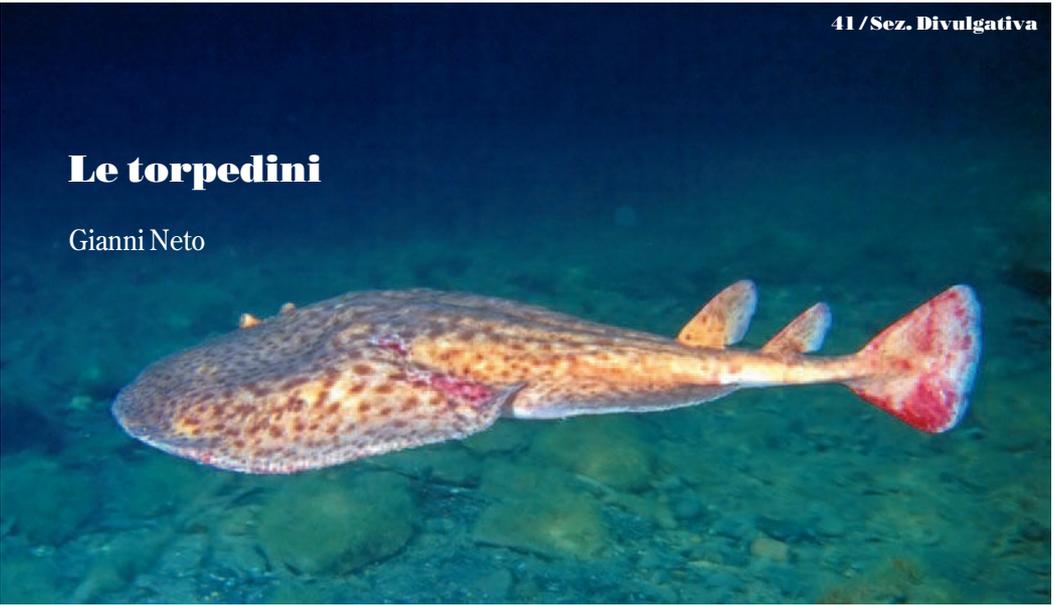
l'autore

**Museo di Storia Naturale
Via Monte alla Rena, 41
57016 Rosignano Solvay**

Le torpedini

Gianni Neto

Hanno il corpo tondeggiante e privo di scaglie, gli occhi, piccoli e ravvicinati collocati sul lato superiore. La bocca è situata sul lato inferiore, come in tutti i pesci piatti. Una coda sottile sormontata dalle pinne dorsali. Sono temute dai pescatori e dai subacquei per via delle scariche elettriche che possono emettere, sono le Torpedini. Appartendenti all'Ordine dei Raiformi, Famiglia Torpedinidae, le torpedini sono, alla stregua delle razze e degli squali, pesci dallo scheletro cartilagineo (Classe Selaci o Condroitti). Vivono generalmente adagiate sul fondo nei fondali fangosi e sabbiosi a profondità non elevate. La caratteristica peculiare di questi animali è la possibilità di emanare scariche elettriche che, in alcuni casi, possono raggiungere i 220 volt. La finalità delle scariche elettriche è prevalentemente di difesa e di offesa, oltre che di comunicazione con altri individui, inoltre, recenti teorie vi attribuiscono anche funzioni di riconoscimento durante il periodo riproduttivo. Per il subacqueo l'incontro con la torpedine è piuttosto raro, immergersi nelle distese sabbiose non piace a tutti. Ma se vogliamo ricercare dei soggetti che normalmente non incontriamo nel corso delle nostre immersioni, dobbiamo prendere in considerazione anche l'immersione in ambienti poco congeniali alla nostra attività subacquea. I fondali sabbiosi e fangosi sono gli ambienti ideali per scoprire un'infinità di specie animali che magari abbiamo visto solo sui libri, o al massimo sul banco della pescheria sotto casa. Come sempre, il momento ideale per andare alla ricerca dei nostri soggetti è la notte, solo dopo il calare del sole, infatti, le distese sabbiose si animano di una moltitudine di animali che durante



il giorno sembrano non esistere. La pratica in questi casi è determinante, solo con l'esperienza si potranno cogliere quei piccoli segnali, differenti da specie a specie, che ogni abitante delle sabbie lascia dietro di sé. Una volta riconosciuto, non resta che seguire la traccia, se di questa si tratta, oppure osservare molto attentamente nei pressi di un piccolo rilievo, sicuramente avremo delle gradite sorprese. Le specie di torpedini presenti nei nostri mari sono tre, la più comune è la Torpedine marezzata (*Torpedo marmorata*), dal colore rossiccio con macchioline scure, segue la Torpedine occhiuta (*Torpedo torpedo*), con cinque evidenti ocelli sul dorso, e la rara Torpedine nera (*Torpedo nobiliana*). La specie più comune è anche quella che raggiunge le dimensioni maggiori, può, infatti, arrivare a circa un metro di lunghezza, anche se la taglia media è di 35/40 centimetri.

l'autore

**Museo di Storia Naturale
Via Monte alla Rena, 41
57016 Rosignano Solvay**

Cervello Umano: quale destino? (ovvero: *Homo sapiens sapiens*, una specie in declino?)

Ferruccio Chiesa*

Parole chiave: homo sapiens, cervello, neurone, intelligenza, evoluzione

Tra i mammiferi, la specie umana è quella dotata di una maggiore capacità intellettuale, conseguente alla straordinaria evoluzione anatomico-funzionale del cervello che, nel corso degli ultimi tre milioni di anni, si è sviluppato in grandezza del 250%.

Questo eccezionale sviluppo, che ha portato in particolare ad estensione ed ispessimento della corteccia come sede precipua di funzioni superiori (autoconsapevolezza, pensiero astratto, sublimazione artistica), è andato gradualmente a ridursi nell'ultimo dei tre milioni di anni, fino ad annullarsi e forse anche iniziare una lenta regressione, in tempi attuali.

Diverso il trend evolutivo in altri primati, in particolare per lo scimpanzé (il cui DNA condivide oltre il 90% dei geni umani), nei quali lo sviluppo volumetrico del cervello è in costante fase di incremento.

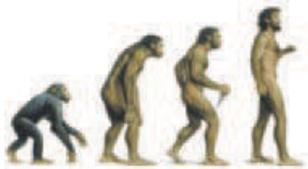
Il supporto genetico allo sviluppo cerebrale – avvenuto in seguito a mutazioni – è strettamente legato alle problematiche sociali ed intellettuali poste dai rapporti con l'ambiente (sopravvivenza) e con i propri simili (competitività, guerre, alleanze).

*La competizione dell'*Homo sapiens sapiens* con l'*Homo sapiens neanderthalensis* portò alla estinzione di quest'ultimo, in virtù di una maggiore capacità intellettuale del primo.*

A partire da tempi «storici» l'uomo ha risolto molti dei suoi problemi attraverso una organizzazione sociale sempre più garante dei propri diritti mentre il rapporto diretto con l'ambiente è stato delegato a mezzi e strutture meccaniche, ad agricoltura intensiva, a industrializzazione diffusa.

La tecnologia, le comunicazioni mediatiche, la facilità e la superficialità con cui l'uomo moderno acquisisce dati di ogni genere i apesce sembrano rappresentare un ostacolo alla stimolazione di nuove mutazioni genetiche in grado di incrementare la struttura e la funzione del cervello.

Una regressione neuro-intellettuale, compensata in pratica da supporti tecnologici roboticamente sempre più sostitutivi della intraprendenza soggettiva, sembra rappresentare un inquietante limite alla evoluzione della nostra specie.



Ieri



Oggi



Domani

Il cervello umano

Il cervello umano è tradizionalmente oggetto di studio da parte di discipline specialistiche mediche, come la Fisiologia e la Neurologia; la ricerca sulla sua specifica funzione, oltre all'approfondimento di un più noto controllo bio-meccanico dell'intero organismo, sfocia poi in una complessa e difficile serie di molteplici livelli interpretativi – spesso formulati soltanto in ipotesi – che toccano astrazioni del pensiero stesso, quali la Psicologia, la Filosofia, la definizione di Autocoscienza e le loro stupefacenti interconnessioni.

In questa sede tuttavia vorrei riferirmi all'aspetto biologico evolutivo del cervello umano, approfondendo, per quanto possibile, la storia della sua differenziazione anatomica e funzionale rispetto agli altri mammiferi, considerandolo non più con i filtri deformanti di discipline applicative, bensì nei confronti di casualità naturali che lo hanno coinvolto.

In questo senso la mia comunicazione diviene argomento accettabile di pura biologia ed il cervello oggetto di interesse puramente evolucionistico.

In un volume medio di 1300ml il cervello umano contiene circa 100 miliardi di neuroni, ciascuno dei quali è in connessione sinaptica con 50-100.000 altri neuroni. Ne nasce una «rete» nervosa enorme, capace di funzioni motorie, sensoriali ed intellettive dalla straordinaria potenzialità, superiore a quella ipotizzabile per il più sofisticato computer o per assemblamento di più computers attuali.

In pratica l'uomo, per limitazioni imposte da un apprendimento iniziale fortemente limitato da una didattica elementare rigidamente contenuta, selettiva e innaturale, utilizza una minima parte delle sue capacità cerebrali.

Il cervello di un genio della scienza, della musica o della poesia, non differisce anatomo-istologicamente dal cervello dell'uomo di strada: è probabile che, per motivi tuttora ignoti, l'uomo superiore riesca spontaneamente ad utilizzare in modo migliore quella macchina intellettuale che tutti possediamo, ma non sappiamo gestire se non parzialmente.

Altissimi, rispetto agli altri parenchimi, i consumi energetici del cervello rispetto all'intero organismo: pur rappresentando solamente il 2% del peso corporeo questo organo assorbe il 15% dell'intera circolazione ed utilizza il 20% dell'Ossigeno ed il 50% del Glucosio.

Del pari elevata la sua fragilità, tanto che è sufficiente un arresto del circolo di 10 secondi per in-

durre uno stato di incoscienza (blocco generalizzato di sinapsi), mentre il protrarsi di ischemia per oltre 10 minuti genera danni irreversibili al neurone (arresto dell'equilibrio elettrico di membrana, invasione massiva di Calcio con attivazione di enzimi autolitici, acidificazione, attivazione di apoptosi caspasi-1 mediata, iperproduzione di radicali liberi dell'Ossigeno).

Artefice primo della componente energetica del neurone è il mitocondrio, corpuscolo citosolico di ancestrale origine batterica, all'interno del quale si svolge la reazione vitale più importante, in base alla quale dall'incontro enzimaticamente controllato tra Ossigeno (proveniente dalla respirazione) e Idrogeno (proveniente dalla pompa protonica indotta dalla respirazione interna mitocondriale), si genera la energia necessaria alla sintesi di ATP e si libera, come unica scoria, semplice acqua.

La folla dei neuroni costituisce soltanto una porzione del cervello, rappresentando sia la materia grigia (agglomerati di cellule neuronali), sia la materia bianca (fasci di fibre nervose originate dai neuroni stessi).

Il resto del cervello è costituito da liquidi (sangue, 100ml; liquidi interstiziali, 200ml; liquor, 100ml) e da numerosissime cellule delle nevroglia (1000 miliardi), nel rapporto di 10: 1 con i neuroni.

In pratica dunque la vera parte funzionante del cervello si riduce a meno di un Kg.

La sola corteccia cerebrale, che mediante i solchi da cui è suddivisa copre la superficie di 2500mm², occupa un volume di 600cm³.

Alle cellule gliali, che non hanno alcuna attività nervosa, è stata attribuita in tempi recenti una funzione di estrema importanza, quali protettrici dei neuroni, attorno ai quali costituiscono una sorta di microambiente ottimale per gli scambi di Ossigeno e Glucosio, unici alimenti del neurone che non possiede alcuna scorta di materiale bio-energetico, e deve essere costantemente rifornito tramite il flusso sanguigno e la mediazione gliale.

Le cellule gliali, che sono sprovviste di contatti sinaptici, sono separate dai neuroni da minimi spazi

l'autore

Cardiologo, Medico Herbarico
La California (Bibbona - Li)
cardisub@libero.it

* autore per corrispondenza

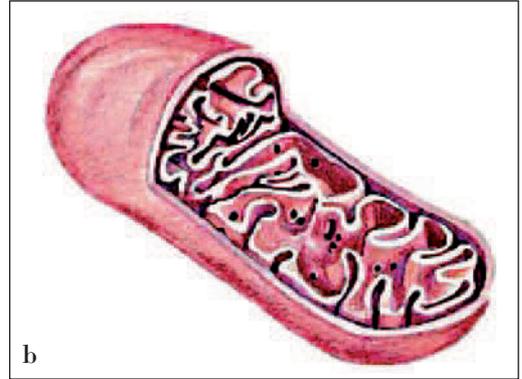


Figura 1: In A: neurone spinale sul cui corpo e dendriti si connettono numerosissime sinapsi (da Alberts, modificato). In B: aspetto istologico di un mitocondrio.

(0,02 metri) e presentano un consumo metabolico analogo a quello delle cellule nervose: con particolari prolungamenti (pedicelli) costituiscono attorno ai capillari cerebrali una difesa (barriera emato-encefalica) contro sostanze chimiche che potrebbero danneggiare i neuroni.

Oltre alla funzione propriamente neuro-intellettuale, all'interno del cervello si svolgono attività di tipo neuro endocrino, con produzione di ormoni oppioidi locali (endorfine, encefalite), messaggeri chimici intra ed extra-cellulari (ossido nitrico, noradrenalina, vasopressina, acido gamma-aminobutirrico, acido glutammico, serotonina, dopamina) e neuropeptidi. La rete neuronica, apparentemente fissa, possiede elevate caratteristiche di dinamicità e mutabilità: su queste doti si basa la grande capacità «plastica» del cervello, capace di sopperire – anche a livello patologico – al deficit di alcuni centri con l'attivazione sostitutiva di altre sedi funzionali. Esigenze di comunicazione e commutabilità vengono così ovviate e l'intero apparato encefalico appare nello stato di «dispositivo ibrido», con possibili prestazioni di ogni genere, molto più elevate dei più sofisticati computers attuali.

L'attivazione della rete neuronale si avvale di stimoli elettrici (polarizzazione di membrana, potenziale d'azione) e di principi chimici neurotrasmettitori.



Figura 2: Sezione istologica (colorazione del Golgi) di corteccia cerebrale di mammifero evoluto (cane); regione olfattoria. In nero le cellule nervose (neuroni).

L'intelligenza

Non c'è alcun dubbio ormai che l'intelligenza – somma di caratteristiche intellettive proprie dell'uomo – nasca dalla enorme rete costituita dall'attonico numero di sinapsi e interneuroniche: è stato calcolato come il numero di sinapsi di un solo cervello umano risulti superiore al numero di astri presenti nell'universo.

E tuttavia due cose ancora sfuggono alla nostra conoscenza.

La prima inevasa domanda sull'intelligenza riguarda i meccanismi fisico-chimici che la determinano; la seconda difficoltà risiede nella sua stessa definizione semantica.

Considerata un tempo, come la fede, dono di dio, l'intelligenza, vera artefice del razionale riscatto umano contro credenze ed illusioni, non trova ad oggi definitive spiegazioni scientifiche, ma soltanto ipotesi, su cui lavorare intensamente. Caduta scientificamente l'idea di un dualismo tra corpo e spirito, cui apparterebbe l'intelligenza, questa dote umana deve essere ricercata, allo stesso modo con cui si ricerca l'origine della vita, nel rapporto tra risposte proteiche a stimoli biochimici e adeguamento all'ambiente.

Le più semplici forme di vita hanno un rapporto difensivo-offensivo nei confronti dell'ambiente sostanzialmente ostile: la stringente necessità di sopravvivenza affina nella evoluzione i meccanismi attivi e reattivi che, in qualche caso, possono apparire intelligenti, anche se di intelligenza vera non si tratta, bensì di istinto ed apprendimento specifici, geneticamente acquisiti da mutazioni selettive.

Negli animali a noi più vicini, compaiono forme di intelligenza rudimentale, spesso soltanto apparente e mediata da fenomeni di imitazione o abitudine e da valutazioni prevalentemente affettive.

Non esistono nell'animale autoconsapevolezza e pensiero astratto, cardini su cui si appoggia il nostro intelletto.

È stato necessario un cervello enormemente più sviluppato per far nascere, dalla complessità delle reazioni chemio-neuro-psichiche, quella scintilla differenziale, già presente nell'uomo di Neanderthal ma mirabilmente affinata nella attuale intelligenza umana.

Aleatoria anche la ricerca di una correlazione con l'intelligenza artificiale: nel 1956 un congresso internazionale di eminenti fisici si propose di risolvere con metodiche informatiche in 10 anni tutti i principali problemi matematici e psicologici in discussione.

Dopo oltre 50 anni tale assunto è fallito, se non per la

risoluzione di alcune partite di scacchi e la progressione – peraltro solo utilitaristica – della robotica.

Problematica infine, anche in relazione alla mancanza di una specifica conoscenza dei meccanismi primi dell'intelligenza, è la sua stessa definizione.

Affascinanti ipotesi, tra le quali l'idea del grande fisico inglese Roger Penrose che il cervello e quindi l'intelligenza possano basarsi non su leggi fisiche euclidee, bensì su meccanismi della fisica quantistica, necessitano di una quanto mai difficile conferma sperimentale.

Alcuni riferimenti classici denotano come il problema fosse presente e spesso mal posto anche nell'antichità.

Per Platone l'intelligenza era: «ciò che distingue classi sociali ed è distribuita da dio in maniera diseguale». Per Aristotele, «tutte le persone – tranne gli schiavi – esprimono intelligenza, che differisce nei singoli individui in base all'insegnamento ricevuto e all'esempio».

Definizioni evidentemente legate alla condizione storica e sociale dell'epoca, senza particolari approfondimenti di psicologia soggettiva.

In tempi attuali, pur nelle difficoltà di definire qualcosa che sfugge perfino alla autocomprensione, l'intelligenza è «la facoltà di apprendere e risolvere sia i problemi pratici posti dall'ambiente sia quelli astratti posti dal ragionamento puro».

Alcuni autori (Howard Gardner) suddividono l'intelligenza in varie categorie (linguistica, musicale, spaziale, matematica ecc.); altri (Robert Sternberg) la vedono come un insieme di varie abilità cognitive.

Di fatto sappiamo che l'intelligenza cresce fino ai 20 anni di età, resta vivace e stabile per alcuni decenni, declina poi intensamente con l'età senile.

Questo andamento correla forse con la quotidiana perdita apoptotica di almeno 300.000 neuroni a partire dal terzo decennio di vita.

L'evoluzione del cervello umano

Lo sviluppo del cervello umano evidenzia un fenomeno biologico eccezionale ed unico nella storia della vita sul pianeta: nessun altro animale, in un tempo relativamente breve (poche decine di milioni di anni) ha mostrato analogia velocità evolutiva (figura 3). In effetti, mentre per il resto degli esseri viventi le mutazioni sono intervenute con estrema lentezza mutazioni in numerosi geni e in tempi relativamente brevi.

Queste caratteristiche evolutive hanno posto la specie umana in una posizione di estremo privilegio, nei confronti degli altri esseri viventi.

È tuttavia singolare l'osservazione di come l'encefalo umano, sviluppatosi in grandezza del 250% nel corso di tre milioni di anni, abbia mostrato nell'ultimo milione una costante riduzione della progressione volumetrica, attualmente pressoché nulla, se non tendente ad una iniziale, lenta regressione.

È altrettanto sorprendente osservare come la evoluzione del cervello degli altri primati ed in particolare del *Pan troglodytes* (o scimpanzé) che condivide con l'uomo oltre il 90% dei geni umani, non abbia subito riduzioni in tempi recenti, evidenziando un discreto avvicinamento neurologico alla nostra specie (figura 4). L'*Homo sapiens sapiens* non è stato l'unico rappresentante della specie umana sul pianeta: almeno un'altra specie, l'*Homo sapiens neanderthalensis*, è vissuta sul pianeta e si è estinta circa 35.000 anni fa. Considerato a lungo come una tappa evolutiva dell'uomo sapiente, l'uomo di Neanderthal è stato di fatto, come dimostrano i recenti studi sul suo DNA, una vera specie umana, vicinissima alla nostra anche se non interfecunda. La separazione del Neanderthal dal *sapiens sapiens* è avvenuta circa 600.000 anni fa.



Figura 3: Reperti fossili che testimoniano la evoluzione volumetrica del cranio umano negli ultimi milioni di anni.

Ad una struttura fisica tarchiata e massiccia, ad una notevole forza fisica assai superiore alla nostra, faceva da contrappunto una minore capacità neuro-intellettiva, con ogni probabilità dovuta a difficoltà di fonazione, conseguenti a differente conformazione laringea. Un notevole livello culturale è dimostrato dal seppellimento dei morti con relativi riti funebri, da culti reli-

giosi, da graffiti e disegni lasciati in grotte nel nord della Spagna e della Francia.

Il volume cerebrale dell'uomo di Neanderthal era maggiore del nostro e questa osservazione crea perplessità: una «qualità», la nostra, che supera la «quantità» della specie affine? oppure si tratta di una differente distribuzione di componenti encefaliche con una relativa carenza di neuroni, assunto che non potremo mai verificare in assenza di reperti istologici?

Dedito a raccolta e caccia ed organizzato in piccoli gruppi familiari, l'uomo di Neanderthal dovette soccombere nel confronto con la nostra specie che già socialmente e culturalmente evoluta stava risalendo attraverso l'Asia minore per occupare i territori posti a Nord, da cui, per converso, l'uomo di Neanderthal, spinto dalla glaciazione, stava discendendo.

Oltre a fornire eccezionali spunti di riflessione filosofica e religiosa, la vicenda del Neanderthal si pone come paradigma biologico di incomparabile valore indicando come tra forza ed intelligenza non può che prevalere, almeno a livello evolutivo, la seconda.

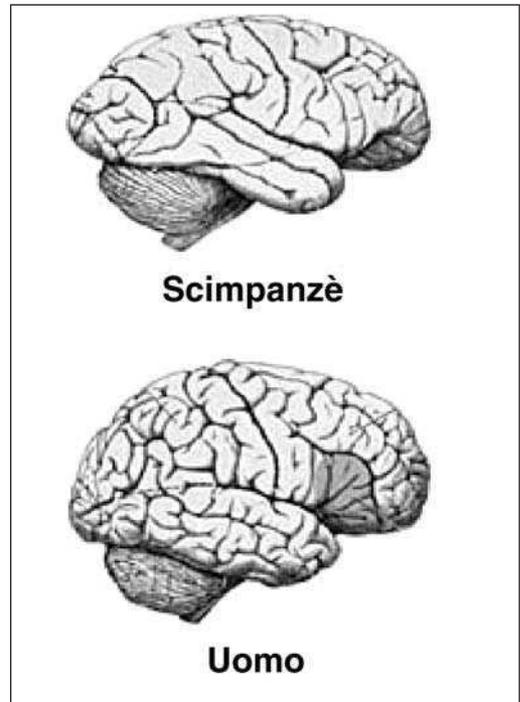


Figura 4: Aspetto esterno del cervello di *Homo sapiens sapiens*, rispetto a quello del *Pan troglodytes* (scimpanzé).

L'*Homo sapiens sapiens*, sopravvissuto al confronto e rimasto da 35.000 anni unico rappresentante della sua specie sul pianeta si è comunque ulteriormente evoluto. Oggi il genoma umano risulta identico al 99,99 in ogni individuo: il rimanente 0,01 implica differenze secondarie, come il colore della pelle e degli occhi o la predisposizione ad alcune malattie

A parte la tesi creazionistica, smentita nella sua staticità dalle evidenze evuzionistiche ed abbandonata ormai dalla quasi totalità dei ricercatori, le principali ipotesi e tappe sullo sviluppo della specie umana negli ultimi secoli sono per sommi capi così schematizzabili:

Prima del 1800: Immutabilità delle specie (fedeltà al creazionismo religioso)

1800-

Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829) - Ereditarietà dei caratteri acquisiti

Charles Darwin (1809-1882) - Teoria della Selezione naturale

1900-

Yacques Monod (1910-1976) - Il caso e la necessità sono artefici della selezione naturale

Konrad Lorenz (1903-1989) - Lo stimolo alla crescita della neocortex è dato dalle funzioni simboliche, originate dai riti funebri

James Watson e Francis Crick - Scoperta della struttura del DNA (1953)

2000-

Istituto ENCODE (The Enciclopedia of DNA Elements) - Interpretazione del DNA umano (2007): si conferma definitivamente che l'evoluzione consegue a mutazioni geniche

A livello cerebrale stimoli alla evoluzione sono rappresentati dal complesso dei comportamenti sociali (Wilson), quali il conformismo, l'aggressività, l'altruismo, l'omosessualità: stimoli diffusi e tanto permeanti l'intera sfera psico-intellettiva da incidere selettivamente su definitivi processi di codificazione genica.

Un impegno ed una evoluzione della coscienza umana sembra dunque precedere la modificazione (codificazione) della forma.

La dimostrazione di questo assunto è data dalla recente scoperta da parte di Bruce Lahn delle due ultime mutazioni avvenute nell'uomo con conseguente aumento volumetrico del cervello. Si conferma così definitivamente che l'evoluzione consegue a mutazione di geni.

La penultima mutazione risale a 37.000 anni orsono (epoca della scomparsa dell'uomo di Neanderthal) e riguarda il gene denominato «microcefalina». La sua origine consegue a stimoli legati alla nascita dell'arte e della musica, allo sviluppo delle pratiche religiose, alla fabbricazione di utensili.

L'ultima mutazione è avvenuta 5800 anni orsono a carico del gene «ASPM», stimolato dai riflessi sull'uomo del grandioso sviluppo delle civiltà mesopotamiche.

Considerazioni conclusive

Desiderio di dominanza sull'ambiente e sui nostri simili, competizione esistenziale, impegno relativo alla soluzione di problemi sociali sono dunque alla base della evoluzione cerebrale, quali certi e determinanti stimoli alla codificazione genica di mutazioni che comportano aumento del volume cerebrale.

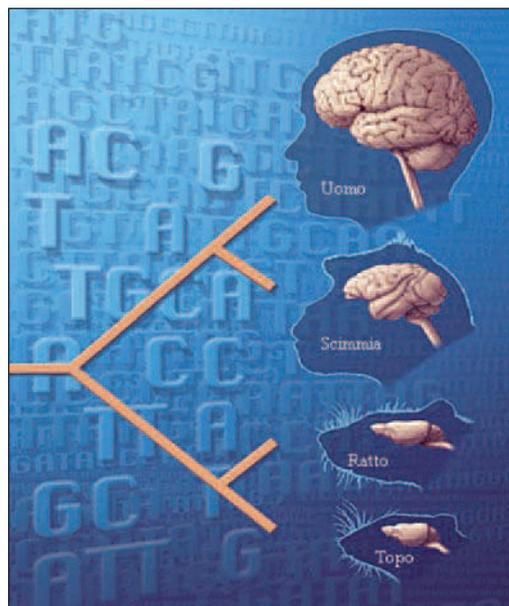


Figura 5: A partire da un progenitore comune ogni specie ha percorso separatamente la sua via evolutiva (da B.Lahn, modificata).

All'impegnativo gioco infantile – palestra fisico-intellettuale per il futuro del soggetto – si è sostituita la sedentaria alienazione delle play-stations; la prona asuefazione a filmati televisivi ha preso il posto della lettura, stimolo ed attività mentale per eccellenza.

La politica più che vissuta, è ampiamente subita; l'arte ridotta ad elementare cenno artistico; la religione tempestata di dubbi, anche nella mente dei credenti. Non una «aurea mediocritas», bensì una ancor più banale «mediocritas communis», da cui poche scintille nascono e vengono subito sopite.

Un malinteso ma comunque presente benessere sociale, la riduzione della mortalità infantile, l'aumento della vita media e le grandi conquiste della medicina pur rappresentando consolanti punti di riferimento dell'uomo contemporaneo, vanno al tempo stesso togliendogli quella volontà naturale di incentivazione, che è stata fino ad ieri vigorosa fonte di evoluzione.

La precarietà di interessi apre spazi a negativismi e stati ansiosi o depressivi.

L'insoddisfazione quotidiana nasce dalla superficialità dell'esistere.

Siamo di fronte ad un vero regresso, di tipo infantile, che non chiede più al nostro cervello una costante estremizzazione di livelli funzionali.

Ed è proprio di fronte a questa caduta di elevati interessi con frustranti occasioni di insufficienza intellettuale che il nostro cervello sembra essersi adagiato in una situazione di sufficienza attuale, cessando, finiti i veri stimoli, di migliorare la sua forma.

Da non sottovalutare anche il recente cambiamento dei rapporti dell'uomo con la selezione naturale: un tempo, avvenuta e codificata una mutazione migliorativa, era la mortalità a renderla diffusa nelle generazioni successive. Il miglioramento genetico rendeva più longevi, e quindi quantitativamente e generazionalmente prevalenti sugli altri i suoi portatori.

In tempi recenti la mortalità nella specie umana, enormemente ridotta, è stata selettivamente sostituita dalla fertilità.

Ma si è statisticamente evidenziata una correlazione negativa tra fertilità e intelligenza, per cui si attua una sorta di paradosso, in base al quale la selezione naturale produce oggi uomini più longevi ma meno intelligenti.

A termine di questa breve ed incompleta analisi critica sul cervello della specie umana, nella impossibilità di emettere conclusioni che non siano parziali o puramente soggettive, è necessario aggiungere alcune domande, nelle cui risposte si compendia, forse, una buona parte del futuro della nostra meravigliosa

macchina pensante.

Quale azione sulla evoluzione del cervello potrà conseguire all'indiscriminato consumo, anche in età infantile, di farmaci a spiccata attività neurotrofica?

L'uso sempre più diffuso di droghe pesanti avrà una sua ripercussione sulla evoluzione o sulla involuzione del cervello?

Un ulteriore incremento super-globalizzante della attuale tecnologia rappresenterà in un futuro anche prossimo una definitiva paralisi intellettuale per l'uomo?

Ed infine: i meccanismi ormai alterati della selezione darwiniana continueranno a ridurre ulteriormente, in maniera anche indipendente dalla dimensione cerebrale, l'intelligenza umana?

Domande tragiche e al tempo stesso impegnative sulle quali, finché sarà possibile, dovremo attentamente e profondamente riflettere.

Bibliografia

- [1] B. Alberts et alii, *Biologia molecolare della cellula*. Zanichelli, Bologna: 1996.
- [2] G. Barsanti, *Una lunga pazienza cieca: storia dell'evoluzionismo*. Einaudi, Torino: 2005.
- [3] M.B. Berne, M.N. Levy, *Fisiologia*. C.E. Ambrosiana, Milano: 2005.
- [4] E. Boncinelli, *Le forme della vita: l'evoluzione e l'origine dell'uomo*. Einaudi, Torino: 2006.
- [5] F. Chiesa, *Intelligenza umana e intelligenza artificiale: stato dell'arte*. Neurochir. Progr., Livorno: Dicembre 1999.
- [6] A.T. Cianciolo, R.J. Sternberg, *Breve storia dell'intelligenza*. Il Mulino, Bologna: 2007.
- [7] M.V. Flinn, D. Geary, C.V. Ward, *Why human evolved extraordinary intelligence?*. *Evolution and Human Behavior* 2005, 26: 10-46.
- [8] H. Gardner, *Formae mentis. Saggio sulla pluralità della intelligenza*. Feltrinelli, Milano: 2002.
- [9] M.S. Park, A.D. Nguyen, H.E. U.H.S. Aryan, M.L. Levy, K. Semendeferi, *Evolution of the human brain: changing brain size and the fossil record*. *Neurosurgery*, 2007 Mar, 60 (3): 555-62.

indice alfabetico delle parole chiave

(i numeri indicano i progressivi degli articoli)

ACCRESCIMENTO DEI CORALLI	37
ACQUACOLTURA	34
ACQUE COSTIERE TOSCANE	38
ACQUE INTERNE	9
ALLEVAMENTO PARALARVALE	34
AMBIENTE	25
ANTROPOLOGIA	19
APIS MELLIFERA	12
AREE ARCHEOLOGICHE	2
AREE MARINE PROTETTE (AMP)	32
AREE MINERARIE	16
AREE PROTETTE	24
AREE UMIDE	1
ARENARIE	3
ARGILLA	6
ARGILLITI	3
ASCOMYCOTA	28
BADLANDS	6
BIANCANA	6
BIODISPONIBILITÀ	15
BIODIVERSITÀ	2, 28, 32
BIOFITOFARMACO	23
BIOINDICATORE	18
BIOMART	38
BIORITMI	11
CALANCO	6
CAMBIAMENTI CLIMATICI	36
CAPRIOLO	18
CARLIT	31
CASCINA	10
CAULERPA RACEMOSA	36
CERVELLO UMANO	42
CICOGNA BIANCA	10
COMPORTEMENTO SOCIALE	11
COMPOSTI VOLATILI	12
CONSERVAZIONE EX SITU	22
CONTENUTI STOMACALI	35
CORTINARIUS	27
COSTA TOSCANA	25
CRETA	6

CRETACEO SUPERIORE	3
DENDROPHYLLIIDAE	37
DENSITÀ SCHELETRICA	37
DIDATTICA	5
DIDATTICA INTERATTIVA	5
DISTRIBUZIONE	30
DIVERSITÀ SPECIFICA	38
ECO-COMPATIBILE	23
EDUCAZIONE AMBIENTALE	17
EDUCAZIONE E DIDATTICA MUSEALE	20
ELEMENTI IN TRACCIA	14, 15
ELEMENTI PESANTI	18
EMERGENZE GEO-MINERALOGICHE	2
EMERGENZE NATURALISTICHE	21
EQR	31
ESTRAZIONI SEQUENZIALI	15
EVOLUZIONE BIOLOGICA	19
FAUNA	24
FITOCENOSI	21
FITOPLANCTON	38
FITOOECENOSI BENTONICHE	33
FIUME CECINA	4
FLORA	24
FLORA MICOLOGICA	26
FONDALI	33
FRAZIONAMENTO CHIMICO	15
FUNGI	27
GALEUS MELASTOMUS	35
GEOMORFOLOGIA	4
HYMENOPTERA	11
HYPERICUM PERFORATUM L.	15
IDROGEOLOGIA	1
IMPOLLINAZIONE	12
INDICI DI BIOMASSA E DENSITÀ	35
INSETTI SOCIALI	11
IRRADIANZA SOLARE	37
ISOLA DI PIANOSA	8, 13
LABORATORIO DIDATTICO	19
LOMBRICHI	14
LOTTA INTEGRATA	23
LUCCA	22
MACROALGHE	31
MACROMICETI	26
MALACOFUNA	8
MAR LIGURE MERIDIONALE	29, 32
MAR LIGURE SUD-ORIENTALE	35
MARTIRRENO	30
MATTAIONE	6

MAZZANCOLLA	40
MICOLOGIA MARINA	28
MORFOMETRIA	30
MUSEI	20
MUSEO DI STORIA NATURALE	19
NUOVE SPECIE	34
OCTOPUS VULGARIS	34
OLEA EUROPAEA	12
OLOCENE	4, 8
ORCHIDEE SPONTANEE	25
ORNITOLOGIA	10
OROLOGI BIOLOGICI	11
PESCA	30
PESCA A STRASCICO	33
PESCE SAN PIETRO	39
PIANO DI GESTIONE	21
PIANTE SPONTANEE	16
PIANURA ALLUVIONALE	4
PICCOLA PESCA	29
PISA	26
POLLINE	12
POLPO	34
PROTEZIONE HABITAT	2
PROVINCIA DI LIVORNO	7
QUALITÀ DELL'ARIA	17
QUERCUS ILEX	27
REGIME ANEMOMETRICO	13
REGIME PLUVIOMETRICO	13
REGIME TERMICO	13
RETI DA PESCA	29
RIO ARDENZA	3
RIPPLE MARKS	3
SALVAGUARDIA	25
SANGUE	18
SCIENZE DELLA TERRA	20
SCIENZE NATURALI	5
SCUOLA	5
SCUOLA DELL'OBBLIGO	5
SECCHIE DELLA MELORIA	32
SFAGNETA	21
SFAGNO	22
SIENA	14
SILTITI	3
SISTEMA ROCCIA-SUOLO-PIANTA	15
SITO D'IMPORTANZA COMUNITARIA	21
SMOG FOTOCHIMICO	17
SPECIE INVASIVE	36
SPECIE NON INDIGENE	9

SPECIE VEGETALI E ANIMALI	2
STATISTICA	1
STATO ECOLOGICO	31
SUOLO	14, 16
TALLIO	16
TELAMONIA	27
TEMPERATURA DI SUPERFICIE DEL MARE	37
TENDENZE DEL CLIMA	13
TETTONICA ATTIVA	4
TORBIERE	22
TORPEDINI	41
TOSCANA	4, 9, 27, 31
TOSCANA MERIDIONALE	15, 16, 18
TRACCE FOSSILI	3
TRAFFICO VEICOLARE	14
VEGETAZIONE	24
VEGETAZIONE POTENZIALE	21
WFD 2000/60/CE	31
ZOOLOGIA	19

indice degli Enti rappresentati

A.R.P.A.T., Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana, Via Marradi 114, 57126 Livorno

AF Geoscience and Technology Consulting srl, Campo (PI)

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana, Area Mare, Livorno

Associazione Pisana Scienze Naturali e dell'Uomo "Luigi Baldi", Via S. Agostino 20/b, 56121 Pisa

C.I.B.M. – Centro Interuniversitario di Biologia Marina, Livorno

Centro di Ricerca, Documentazione e Promozione del Padule di Fucecchio, via Castelmartini 125/a, 51036 Larciano (PT)

Centro Interuniversitario Biologia Marina ed Ecologia Applicata "G. Bacci", Viale N. Sauro 4, 57127 Livorno

Centro Interuniversitario di Biologia Marina ed Ecologia Applicata G. Bacci di Livorno, V.le N. Sauro 4, 57127 Livorno

Centro Musei delle Scienze Naturali Università degli Studi di Napoli Federico II, Via Mezzocannone 8, 80134

Centro Studi Micologici AGMT, Via Ferrucci 626, 51036 Larciano (PT)

CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse, Via G. La Pira 4, 50121 Firenze

CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse, via Moruzzi 1, 56124 Pisa

Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema dell'Università di Pisa, Via San Michele degli Scalzi 2, 56124 Pisa

Dipartimento di Anatomia, Fisiologia e Biochimica Veterinaria, via delle Piagge 2, 56126 Pisa

Dipartimento di Biologia Animale e Genetica, Università di Firenze, via Romana 17, 50125 Firenze

Dipartimento di Biologia Animale, Università di Firenze, via Romana 17, 50121 Firenze

Dipartimento di Biologia Vegetale, Università di Firenze, via P.A. Micheli 1, 50121 Firenze

Dipartimento di Chimica Bioorganica e Biofarmacia, via Bonanno 33, 56126 Pisa

Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose "G. Scaramuzzi", Sezione Patologia Vegetale, Facoltà di Agraria, Università di Pisa, Via del Borghetto 80, 56124 Pisa

Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose, via San Michele degli Scalzi 2, 56126 Pisa

Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti", Unità di Ricerca di Geochemica Ambientale, Università degli Studi di Siena Via del Laterino 8, 53100 Siena

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze, Via G. La Pira 4, 50121 Firenze

Dipartimento Scienze della Terra UNI-Pisa, Via Santa Maria 53, 56126 Pisa
Ecoistituto delle Cerbaie Legambiente Valdera, Gruppo Biodiversità, Via Fiumalbi 9,
56025 Pontedera (PI)
Gruppo Italiano Ricerca Orchidee Spontanee, via Napoli 30, 57023 Cecina (LI)
Heriot-Watt University, Edinburgh
Istituto di Biologia ed Ecologia Marina di Piombino
Istituto di Biometeorologia del CNR, Via Giovanni Caproni 8, 50100 Firenze
Laboratoire Fonctionnement et évolution des systèmes écologiques CNRS, UMR 7625,
Université Pierre et Marie Curie, 7 quai Saint Bernard, 75 005 Paris
Liceo Scientifico “Leonardo da Vinci”, Firenze
Maricoltura di Rosignano Solvay, Via P.Gigli snc I, 57013 Rosignano Solvay (LI)
Marine & Freshwater Science Group Association c/o Dipartimento di Biologia Evoluzio-
nistica Sperimentale, Università di Bologna, Via Selmi 3, 40126 Bologna
Marine Science Group, Dipartimento di Biologia Evoluzionistica Sperimentale, Alma
Mater Studiorum, Università di Bologna, Via F. Selmi 3, 40126 Bologna
Museo di Storia Naturale del Mediterraneo, Via Roma 234, 57127 Livorno
Museo di Storia Naturale Rosignano Marittimo
Orto Botanico di Lucca, Via del Giardino Botanico 14, 55100 Lucca
Provincia di Livorno, U.O. Salvaguardia della Natura, Via S. Anna 4, 57123 Livorno
Scuola Normale Superiore, Piazza dei Cavalieri, 56126 Pisa
Studio Italgo, Piazza Martiri della Libertà 7, Volterra (PI)
Taskforce per le Analisi Statistiche Marine & Freshwater Science Group Association, Via
F. Selmi 3, 40126 Bologna
Unità Operativa di Radiologia e Diagnostica per Immagini, Ospedale di Porretta Terme,
AUSL di Bologna, Via Roma 16, 40046 Porretta Terme (BO)

Finito di stampare nel mese di marzo 2008
in Pisa dalle
EDIZIONI ETS
Piazza Carrara, 16-19, I-56126 Pisa
info@edizioniets.com
www.edizioniets.com

L'attenzione sempre crescente verso le problematiche ambientali e l'impatto delle attività umane sul territorio non possono prescindere dalla conoscenza del territorio stesso.

Per questo motivo la ricerca e lo studio di tutti gli aspetti scientifici, dalla geologia alla biologia, dalla chimica ambientale alle scienze naturali, diventano fondamentali.

Questo volume, che raccoglie i contributi scientifici e divulgativi provenienti dal mondo accademico, istituzionale, museale e amatoriale, è il frutto della seconda edizione del Congresso *Codice armonico 2008*, Congresso di scienze naturali dedicato all'Ambiente toscano.



ISSN 978-884672019-1



788846 720191

