



Sorvolando la nostra penisola, rotondeggianti specchi d'acqua del colore del cielo, circondati da rive scoscese, inevitabilmente attraggono l'attenzione anche del viaggiatore più distratto. Si tratta dei laghi vulcanici, ambienti unici per la loro genesi nel nostro Paese, che hanno da sempre accompagnato l'uomo nel suo sviluppo socio-culturale in un contesto naturale di elevata bellezza, testimoniato dagli insediamenti neolitici, dagli acquedotti romani, dai piccoli borghi medioevali.



Risultati di anni di ricerche hanno messo in evidenza gli elementi che rendono i laghi vulcanici ambienti di grande interesse per la Scienza. In primo luogo la loro origine, frutto del vulcanismo quaternario che ha generato i crateri e le caldere che ospitano oggi questi bacini.



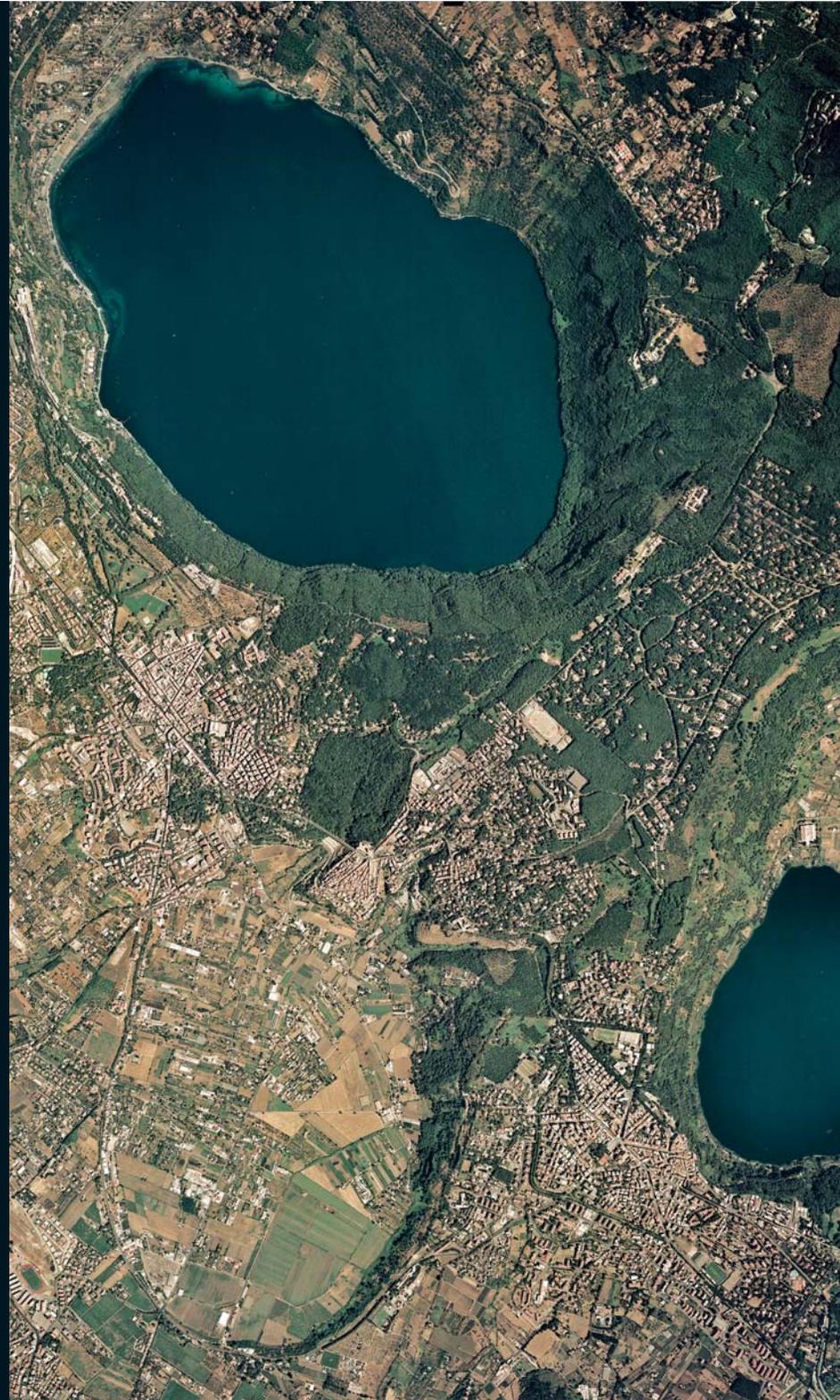
Alle peculiarità geologiche, questi laghi affiancano una natura di pregio, costituita da comunità animali e vegetali che rappresentano un serbatoio di biodiversità di inestimabile valore naturalistico.



Proprio per questi motivi, la totalità di questi ambienti è inserita in aree sottoposte a tutela. Purtroppo però numerose attività antropiche, quali la modificazione delle linee di costa, l'agricoltura intensiva, il sovra-pascolamento, il turismo, il prelievo idrico, nonché l'introduzione di specie aliene hanno causato negli ultimi decenni un peggioramento della qualità delle acque e un danneggiamento della flora e della fauna.



Questo nuovo volume dei Quaderni Habitat nasce per portare un contributo alla conoscenza e alla tutela di questi laghi, con cui l'uomo ha saputo convivere per millenni, ma che sta attualmente deteriorando in modo irreversibile.



Laghi vulcanici

Quaderni habitat

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
Museo Friulano di Storia Naturale - Comune di Udine

coordinatori scientifici

Alessandro Minelli · Sandro Ruffo · Fabio Stoch

comitato di redazione

Aldo Cosentino · Alessandro La Posta · Carlo Morandini · Giuseppe Muscio

"Laghi vulcanici - Il fuoco, l'acqua e la vita"

a cura di Fabio Stoch

testi di

Silvia Arisci · Marcello Bazzanti · Arnaldo Angelo De Benedetti · Renato Funicello · Mauro Iberite ·
Laura Lepore · Fiorenza Gabriella Margaritora · Luciana Mastrantuono · Giuseppe Morabito ·
Michela Rogora · Marco Seminara · Fabio Stoch · Daria Vagaggini

con la collaborazione di

Raffaella Berera · Vezio Cottarelli

illustrazioni di

Roberto Zanella

progetto grafico di

Furio Colman

foto di

Nicola Angeli 47, 48 · Archivio Museo Friulano di Storia Naturale 58, 60, 61, 62, 63, 64/3, 106 ·
Andrea Balestri 64/5 · Raffaella Berera e Vezio Cottarelli 90 · Compagnia Generale Ripresearee 10, 116 ·
Vitantonio Dell'Orto 98, 107, 109, 111, 112, 114, 115, 134, 135, 137 · Giuseppe Di Lieto 113 ·
Dario Ersetti 59 · Paolo Fabbro 6, 7, 15/1, 15/2, 18, 21, 38, 40, 139 · Renato Funicello 11, 22, 132, 145 ·
Mauro Iberite 55, 64/4 · Giuseppe Ippolito 86 · Luca Lapini 108, 136 · Giuseppe Morabito 45, 51, 52, 53 ·
Giuseppe Muscio 13, 26, 41, 46 · Naturmedia 99, 102 · Roberto Nistri 64/2, 103, 105, 130, 138 ·
Fabio Stoch 9, 16, 17, 20, 23, 27, 28, 29, 33, 34, 37, 42, 43, 44, 57, 64/1, 64/3a, 65, 66, 67, 68, 69, 70,
71, 72, 73, 74, 75, 80, 84, 85, 87, 89, 92, 93, 95, 96, 97, 104, 110, 121, 122, 123, 125, 126, 129, 131,
142, 143, 144 · Damiano Vagaggini 24, 25, 35, 54, 78, 79, 88, 100, 101, 117, 118, 119, 120, 124, 128

©2007 Museo Friulano di Storia Naturale · Udine

*Vietata la riproduzione anche parziale dei testi e delle fotografie.
Tutti i diritti sono riservati.*

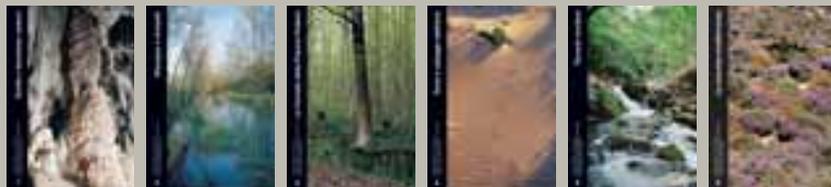
ISBN 88 88192 31 X
ISSN 1724-7209

In copertina: Laghi di Nemi e Albano, Lazio (foto Compagnia Generale Ripresearee)

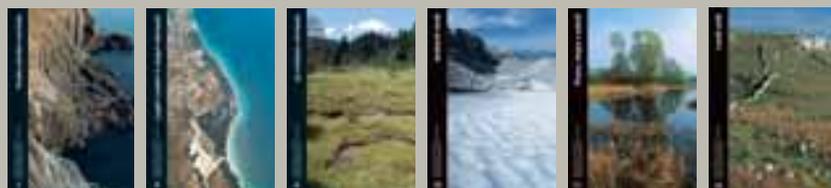
Laghi vulcanici

Il fuoco, l'acqua e la vita

Quaderni habitat



1 Grotte e fenomeno carsico
2 Risorgive e fontanili
3 Le foreste della Pianura Padana
4 Dune e spiagge sabbiose
5 Torrenti montani
6 La macchia mediterranea



7 Coste marine rocciose
8 Laghi costieri e stagni salmastri
9 Le torbiere montane
10 Ambienti nivali
11 Pozze, stagni e paludi
12 I prati aridi



13 Ghiaioni e rupi di montagna
14 Laghetti d'alta quota
15 Le faggete appenniniche
16 Dominio pelagico
17 Laghi vulcanici
18 I boschi montani di conifere



19 Praterie a fanerogame marine
20 Le acque sotterranee
21 Fiumi e boschi ripari
22 Biocostruzioni marine
23 Lagune, estuari e delta
24 Gli habitat italiani

Indice

Introduzione	7
Fabio Stoch · Daria Vagaggini	
Aspetti geologici	11
Arnaldo Angelo De Benedetti · Renato Funicello	
Idrochimica	29
Silvia Arisci · Laura Lepore · Michela Rogora	
Fitoplancon	43
Giuseppe Morabito	
Macrofite	55
Mauro Iberite	
Zooplancton	67
Fiorenza Gabriella Margaritora · Daria Vagaggini	
Zoobentos	79
Marcello Bazzanti · Luciana Mastrantuono	
Vertebrati	99
Marco Seminara	
Aspetti di conservazione e gestione	117
Fabio Stoch · Daria Vagaggini	
Proposte didattiche	139
Marco Seminara	
Bibliografia	147
Glossario	149
Indice delle specie	151

Introduzione

FABIO STOCH · DARIA VAGAGGINI

Sorvolando la nostra penisola, rotondeggianti specchi d'acqua del colore del cielo inevitabilmente attraggono l'attenzione anche del viaggiatore più distratto. Grandi e piccoli bacini dall'apparente quiete, circondati da rive più o meno scoscese, si rivelano all'osservatore più attento, per mostrare però la loro vera natura e tutta la loro complessità solo a coloro che dedicano molto del proprio tempo alla loro conoscenza.

Parliamo dei laghi vulcanici, ambienti unici della nostra penisola che, per la loro antica genesi, hanno visto gli albori dell'umanità, accompagnando da sempre l'uomo nel suo sviluppo socio-culturale in un contesto naturale di elevata bellezza.

I numerosi reperti di insediamenti umani di età neolitica trovati in prossimità delle sponde o sotto le acque dei laghi vulcanici dimostrano quanto fosse stretto il rapporto uomo-lago fin dalla preistoria, proseguito poi nei secoli successivi con gli Etruschi ed i Romani, i primi popoli ad effettuare interventi su questi ambienti a scopo di approvvigionamento idrico. Basti pensare all'Acquedotto di Traiano, detto poi dell'Acqua Paola, che ancor oggi, dopo un millennio, porta le acque del Lago di Bracciano direttamente al Fontanone del Gianicolo a Roma.

Non solo sostentamento per le popolazioni, ma anche curiosità, timore ed ispirazione poetica generavano questi particolari ambienti nell'antichità. Lo dimostrano le parole di Virgilio che, nel VI libro dell'Eneide, racconta di Enea condotto dalla Sibilla Cumana alle porte degli Inferi, situate in prossimità del Lago d'Averno (*facilis descensus Averno: noctes atque dies patet atri ianua Ditis* - facile è la discesa nell'Averno: notte e giorno è aperta la porta dell'oscura Dite).



Lago di Nemi (Lazio)

Lago Albano (Lazio): in evidenza il bordo craterico



Le redini dei nostri avi, con una invisibile linea di continuità con il passato, sono state prese oggi dai ricercatori, che finalizzano i loro studi a migliorare la conoscenza e i meccanismi che regolano questi delicati ecosistemi, o da semplici amanti della Natura che vedono nel lago vulcanico un ambiente da scoprire e rispettare.

Dalle prime ricerche, che risalgono agli ultimi anni del XIX secolo, in cui pionieri della scienza con semplici strumenti, ma tanta volontà ed entusiasmo, affrontavano lunghe camminate per effettuare i rilievi geologici o solcavano le acque con le loro imbarcazioni con l'obiettivo di creare carte batimetriche o prelevare campioni per le analisi chimico-fisiche e biologiche, arriviamo ad oggi con lo stesso entusiasmo di allora, più strumenti e maggiori conoscenze, ma ancora con tanta voglia di capire.

Risultati di anni di ricerche hanno messo in evidenza molti degli elementi che rendono i laghi vulcanici ambienti di inestimabile valore. In primo luogo sicuramente la loro origine, frutto del vulcanismo quaternario, particolarmente attivo in tutta la nostra penisola, che ha generato i crateri e le caldere che ospitano oggi questi bacini. La peculiare morfologia di questi laghi, caratterizzati generalmente da profondità elevate in rapporto alla loro superficie, è derivata proprio dai loro processi di formazione. Dietro la calma apparente delle loro acque si nascondono dunque profondi cambiamenti della crosta terrestre, con un'attività vulcanica in alcuni casi non ancora completamente estinta (permangono infatti fenomeni di vulcanismo secondario, come ad



L'area napoletana in una mappa del 1817-19, prima della bonifica dei laghi nel cratere degli Astroni

esempio fuoriuscite di gas), la stessa che probabilmente generava timori già nell'antichità.

Alla peculiarità geologica, i laghi vulcanici affiancano una natura di pregio, costituita da ricche comunità animali e vegetali che albergano nelle acque o che le utilizzano per il loro sostentamento. Le cinture vegetazionali che circondano le sponde e le macrofite acquatiche sommerse rappresentano il "polmone" di questi ecosistemi, fiancheggiate dalle diversificate microalghe, anello basilare della catena alimentare. Una fauna costituita da specie a vita libera nelle acque o strettamente legate ai fondali si alimenta e riproduce in questi ambienti, rappresentando un serbatoio di biodiversità di inestimabile valore, e la base della catena alimentare ai cui vertici si pongono i pesci e gli uccelli acquatici. Proprio per la ricchezza di questa fauna, la totalità di questi laghi è inserita in aree protette, in Siti di Interesse Comunitario (Direttiva Habitat) o in Zone Speciali di Conservazione (Direttiva Uccelli).

Tutti questi elementi potrebbero far pensare ad un rapporto uomo-natura compatibile con il sostentamento di entrambi. Purtroppo non è così. Tante sono le minacce che incombono sui laghi vulcanici e si pongono come elemento di forte discontinuità con il passato, mettendo fortemente a rischio l'integrità e gli equilibri di questi ecosistemi. La non-sostenibilità di alcune attività antropiche, quali agricoltura intensiva, sovra-pascolamento e turismo, condotte in prossimità di questi bacini, l'introduzione di specie aliene, la modificazione delle linee di costa, rappresentano solo alcuni dei fattori le cui conseguenze sono il peggioramento progressivo della qualità delle acque e il danneggiamento della flora e della fauna a cui si sta assistendo negli ultimi decenni.

Questo nuovo volume dei Quaderni Habitat si pone un duplice obiettivo: da una parte descrivere i laghi vulcanici sotto molteplici punti di vista, partendo dalla loro origine per proseguire con le caratteristiche chimico-fisiche delle acque e le comunità biologiche; dall'altra evidenziare il loro valore per la conservazione della Natura, segnalando le maggiori problematiche che gravitano intorno alla loro gestione. La speranza è che questo testo possa contribuire alla tutela di questi preziosi ambienti, con cui l'uomo per millenni ha convissuto e dei quali ha beneficiato, ma che oggi rischiano un irreversibile deterioramento.



La folla vegetazione lungo le rive del Lago di Martignano (Lazio)



Aspetti geologici

ARNALDO ANGELO DE BENEDETTI · RENATO FUNICIELLO

L'Italia è la regione d'Europa dove si è manifestato in modo più esteso ed intenso il vulcanismo quaternario, nel corso degli ultimi 2 milioni di anni. Si tratta di un fenomeno connesso all'apertura del Mar Tirreno, realizzatasi negli ultimi 10 milioni di anni e si è sviluppato lungo il margine della penisola dalla Toscana alla Campania, sia in ambiente subaereo che in ambiente subacqueo.

L'arco vulcanico peritirrenico, messo in posto nel Pleistocene-Olocene, si estende infatti lungo una stretta fascia per circa 420 km in direzione NW-SE

dalla Val d'Era, al Nord (Orciatico e Montecatini, Val di Cecina), fino al Vesuvio, a Sud, con soltanto alcuni centri all'interno (San Venanzo, Cupaello, Pollino) o vicino (Monte Vulture) al fronte delle falde della catena appenninica.

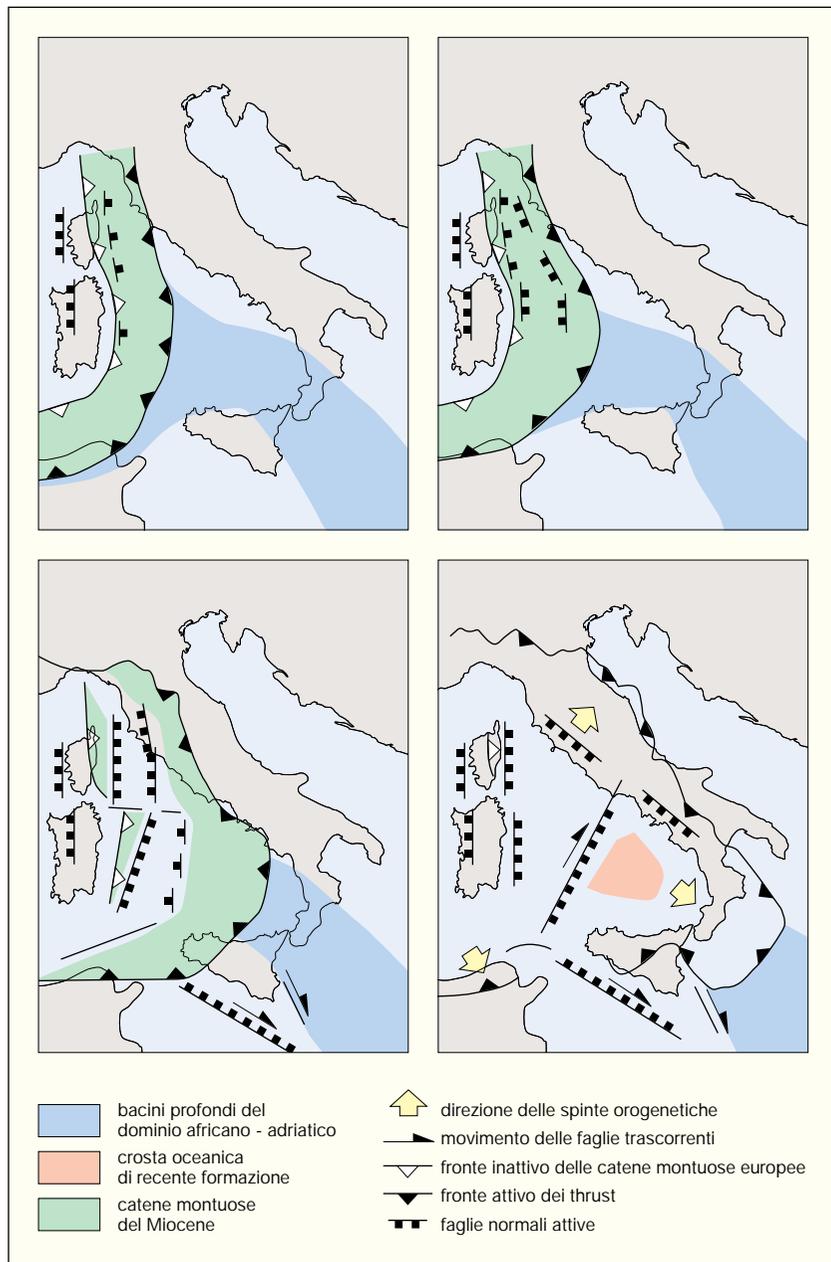
L'arco vulcanico si è sviluppato lungo il margine occidentale del "bacino di retroarco" tirrenico. Nella struttura geofisica della litosfera si individua un assottigliamento crostale e un alto flusso termico con dominio estensivo progressivo all'interno del bacino tirrenico, che nella parte meridionale costituisce uno degli elementi geodinamici più attivi dell'area italiana. Ciò ha determinato l'intrusione subcrostale di un corpo ad affinità sienitica da Larderello all'area romana (Distretto Sabatino), e la risalita di strutture di mantello profondo nel bacino tirrenico meridionale.

La tettonica distensiva si è sviluppata sin dal Miocene medio-superiore essenzialmente attraverso la formazione di faglie normali a direzione NW-SE ed immersione in direzione NE e faglie trascorrenti ad esse perpendicolari (NE-SW) che hanno smembrato la catena appenninica, formando bacini sedimentari riempiti sia da depositi di sabbie e argille spesse fino a circa 1000 m, sia da depositi di ambiente di transizione a bacini di mare meno profondo, prima dell'inizio del vulcanismo subaereo. I vulcani sono direttamente connessi a questo sistema di faglie che ha generato edifici vulcano-tettonici



Le rocce eruttive affiorano costituendo l'isola Martana al centro del Lago di Bolsena (Lazio)

Veduta aerea del Distretto vulcanico Sabatino: a sinistra la riva orientale del Lago di Bracciano, a destra il Lago di Martignano e in alto il cratere che ospitava il Lago di Stracciaccappa



Schema semplificato relativo all'apertura del Tirreno e alla migrazione del fronte della catena appenninica

come le caldere dei Colli Albani o dei Campi Flegrei o grandi sistemi di dicchi come appaiono nell'edificio vulcanico del Somma-Vesuvio.

Dati geologici e geofisici integrati mostrano che al di sotto dell'arco vulcanico e dei depositi clastici post-orogenici la successione carbonatica mesozoica-cenozoica (il Mesozoico si estende temporalmente nell'intervallo che va da circa 248 a 65 milioni di anni fa, il Cenozoico da questa data in poi) è assottigliata, accavallata ed estesa lateralmente lungo un livello di scollamento sul basamento cristallino, ubicato approssimativamente a 7-8 km di profondità.



Livelli vulcanici nel Vulture (Basilicata)

In base alla distribuzione spazio-temporale ed a criteri petrografici è possibile dividere la catena appenninica in tre province petrografiche: la Provincia Magmatica Toscana, la Provincia Magmatica Romana e la Provincia Magmatica Lucana di recente identificazione. All'interno di ciascuna di queste regioni magmatiche, rocce ignee a differente affinità petrochimica sono state eruttate all'interno delle principali associazioni magmatiche.

Dal punto di vista morfologico il vulcanismo ha determinato la formazione di: strutture calderiche come quelle di Bolsena-Laterra, di Bracciano-Sacrofano, del Vulcano Laziale (Colli Albani), dei Campi Flegrei; oppure stratovulcani come Vico, le Faete, Roccamonfina, Ventotene, Ischia, Procida, il Somma-Vesuvio, il Vulture; o ancora, complessi di domi vulcanici come il Monte Amiata, i centri di Tolfa, dei Ceriti-Manziate, dei Monti Cimini, delle isole Ponziane; oppure, infine, campi vulcanici monogenetici come nel Distretto Umbro, nei Monti Ernici o a Ponza.

Molte delle forme vulcaniche sono ancora ben conservate, tra cui coni, crateri e caldere, oltre a colate e campi lavici. Proprio crateri e caldere sono i luoghi adatti al raccoglimento delle acque sia di origine meteorica che di origine idrotermale. Ciò è dovuto tanto alle morfologie a bordi rialzati, sia dei crateri vulcanici che delle caldere, quanto alla natura stessa dei prodotti vulcanici che spesso sono caratterizzati da bassa permeabilità dando luogo, quindi, a livelli pressoché impermeabili atti ad evitare il deflusso delle acque in profondità. La formazione di un lago è quindi il prodotto di molteplici fattori, tra i quali determinante è soprattutto l'assetto strutturale ed i suoi rapporti con la falda freatica superficiale: crateri e caldere sono come dei grandi pozzi naturali alimentati da queste acque.



centri vulcanici	età		centri vulcanici	età	
	inizio	fine		inizio	fine
1 ORCIATICO-MONTECATINI	4.100.000		12 ISOLE PONZIANE	2.500.000	
2 AMIATA-RADICOFANI	1.000.000	200.000	13 MONTE GUARDIA	1.230.000	1.070.000
3 LATERA-BOLSENA	720.000	<130.000	14 VENTOTENE	>1.000.000	480.000
4 CIMINI	1.310.000	900.000	15 ISCHIA	150.000	1306 D.C.
5 VICO	410.000	90.000	16 PROCIDA	<50.000	
6 TOLFA-MANZIANA-CERITE	2.500.000		17 CAMPI FLEGREI	60.000	1538 D.C.
7 BRACCIANO-SACROFANO	600.000	<40.000	18 VESUVIO	400.000	1944 D.C.
8 COLLI ALBANI	600.000	6.000	19 VULTURE	600.000	110.000
9 MEDIA VALLE LATINA	680.000	<80.000	20 ISOLE EOLIE	1.300.000	PRESENTE
10 S.VENANZO-CUPAELLO	420.000		21 ETNA	500.000	PRESENTE
11 ROCCAMONFINA	600.000	55.000	22 USTICA	750.000	130.000

Età di inizio e intervallo di attività dei principali centri vulcanici italiani

I laghi vulcanici possono essere distinti, a seconda della loro origine, in primari e secondari. Sono da considerare come laghi vulcanici primari gli accumuli di acque ospitati direttamente dalle morfologie vulcaniche (laghi in caldere o depressioni vulcano-tettoniche e laghi craterici), trattati nel presente volume. Sono laghi vulcanici secondari tutti i bacini lacustri la cui origine è stata causata, almeno in parte, dal vulcanismo, ma che si sono sviluppati in litologie non di origine vulcanica (come i laghi da sinkhole, peculiare tipologie lacustri cui è dedicata la scheda a pag 16). Infine vanno ricordati i laghi pseudovulcanici, dovuti alla fuoriuscita di acque termali e minerali; in Italia se ne annoverano pochi casi (come il Bagno dell'Acqua, nell'Isola di Pantelleria, e il Lago di Arquà, nei Colli Euganei).



Bagno dell'Acqua (Pantelleria, Sicilia)



Lago di Arquà (Colli Euganei, Veneto)

■ Laghi calderici o da depressioni vulcano-tettoniche

Alcuni vulcani italiani sono caratterizzati dalla presenza di caldere o depressioni vulcano-tettoniche, termini un tempo distinti, ma oggi considerati sinonimi. Si tratta di vaste aree depresse all'interno di un vulcano originate dalla venuta a giorno di cospicue quantità di magma e dallo svuotamento parziale della camera magmatica e dal conseguente ribassamento di ampi settori del vulcano, a causa delle mutate condizioni meccaniche in profondità. Tra i grandi laghi vulcanici italiani quelli di Bolsena, Vico e Bracciano appartengono a questa categoria.

Lago di Bolsena. Noto con il nome latino di *Lacus Volsiniensis*, è il più grande lago vulcanico italiano (114 km²) e raggiunge una profondità di 151 m. È ubicato nell'alto Lazio, in provincia di Viterbo, ed è caratterizzato dalla presenza di due isole, la Bisentina (0,17 km²) e la Martana (0,10 km²). La sua origine è legata ai grandi volumi di magma emessi durante le prime fasi della storia del Distretto Vulcanico Vulsino (576-500.000 anni fa) che, secondo i modelli più accreditati, determinarono le condizioni per il crollo del tetto della camera magmatica parzialmente svuotata e il ribassamento della zona ad essa soprastante. La distribuzione delle alternanze di depositi vulcanici e lacustri indica

Una categoria di laghi legati in qualche modo all'attività vulcanica è quella dei laghi da sinkhole, termine inglese (sink=affondare e hole=buco) che indica degli sprofondamenti (normalmente circolari e del diametro variabile da qualche al centinaio di metri) provocati dalla formazione a debole profondità di cavità. Molto spesso, grazie alla peculiare conformazione, le aree interessate dai sinkhole divengono sede di pozze d'acqua o piccoli laghetti. Le cavità all'origine della formazione dei sinkhole possono essere prodotte dalla migrazione di sedimenti a bassa coesività sul fondo di cavità paleocarsiche. Una seconda modalità di formazione è dovuta alla dissoluzione chimica, profondamente connessa all'attività vulcanica poiché i fluidi aggressivi responsabili del fenomeno sono in questo caso ricchi in anidride carbonica (CO₂) e di acido solfidrico (H₂S).

Gli effetti della dissoluzione sono particolarmente evidenti sulle rocce carbonatiche, molto diffuse nella nostra penisola, ove danno origine alla formazione di cavità carsiche.

Tra i numerosi corpi d'acqua originatisi in questo modo meritano di essere menzionati quelli situati presso Roma (Lago Puzzo, o Lago di Leprignano, Lago Nuovo, Lago di Giulianello), nella Piana di S. Vittorino presso Rieti (tra cui il più noto è il Lago di Paterno), ai piedi dei Monti Lepini (Laghetti del Vescovo) e presso Caserta (Lago di Vairano, Lago di Corree).

Infine, nella zona delle Acque Albule (Bagni di Tivoli, Roma) è situato un campo di doline, alcune delle quali trasformate in laghetti; tra quelli ancora attivi ricordiamo il Lago di S. Giovanni, i Laghetti della Regina e delle Colonnelle (sorgenti delle acque sulfuree dette "Albule" per il loro colore biancastro, lattiginoso).



Laghetti del Vescovo ai piedi dei Monti Lepini (Lazio)

come il lago abbia subito, nel corso della sua storia, profonde modificazioni legate alla complessa evoluzione del Distretto Vulsino. Le prime grandi eruzioni sono caratterizzate dall'emissione di non meno di 50 km³ di magma; per termine di confronto, si pensi che i prodotti della famosa catastrofica eruzione del Vesuvio del 79 d.C., quella che distrusse Pompei, sono valutati essere soltanto circa 1 km³. Si verificò

successivamente una fase di intensa deposizione di scorie da attività di fontana di lava nella zona circumcalderica settentrionale (360-352.000 anni fa), cui seguirono alternanze di depositi ignimbrici, lave e depositi lacustri. Recenti scoperte archeologiche subacquee di insediamenti dell'Età del Bronzo hanno indicato che il livello del lago è rimasto per lungo tempo invariato a 294 m s.l.m. Durante l'Età del Ferro, circa tremila anni fa, vi fu una rapida elevazione, per motivi non ancora accertati, fino al massimo livello consentito dal punto naturale di tracimazione (incile) che si trovava a 306 m s.l.m. In seguito gli etruschi, per recuperare spazi agricoli, ridussero il livello a 303 m tagliando uno sperone di roccia che sbarrava il percorso del fiume Marta, in località tuttora chiamata "Sasso Tagliato". Il livello attuale del lago è determinato dall'incile in muratura e dalle paratoie di regolazione che sono state poste in epoca medioevale a circa 303,5 m s.l.m. nel porto di Marta, all'origine dell'omonimo emissario.



Lago di Bolsena (Lazio)

Lago di Vico. Il Lago di Vico, o *Lacus Ciminus*, vanta il primato di altitudine tra i grandi laghi italiani con i suoi 510 m s.l.m. Secondo la leggenda ebbe origine dalla clava che Ercole infisse nel terreno per sfidare gli abitanti del luogo; nessuno riuscì a rimuoverla. Quando lo fece Ercole, sgorgò un fiume d'acqua che andò a riempire la valle formando così il lago. Il Lago di Vico è in realtà il prodotto del riempimento dell'area calderica, soggetta a vari e ripetuti sprofondamenti successivi alla messa in posto delle grandi ignimbriti tra cui il Tufo Rosso a Scorie Nere. Al termine dell'attività eruttiva dell'intero apparato vicano (datata a circa 80.000 anni fa), le acque di falda e le acque meteoriche portarono alla graduale sommersione della caldera di Vico. Il lago è circondato dal complesso montuoso dei Monti Cimini, in particolare è cinto dal Monte Fogliano (965 m) e dal Monte Venere (851 m). All'inizio, e per molti millenni successivi, come evidenziato dalla presenza di sedimenti lacustri nell'area perilacuale, il lago aveva un'estensione assai maggiore, con il livello delle acque che arrivava infatti fino quasi ai bordi della caldera e con la cima del Monte Venere che

era una penisola nella parte nord orientale della distesa lacustre. Non è chiaro se furono gli Etruschi o i Romani a modificarne l'aspetto abbassando il livello delle acque di circa 20 m attraverso un canale artificiale sotterraneo; certo è che l'opera è antecedente alla costruzione della Cassia Cimina, nel periodo imperiale. I Farnese, intorno al 1500, ripristinarono il canale, l'attuale rio Vicano, abbassando il livello del lago di altri 3 m e regolandone le escursioni con una chiusa tuttora esistente. L'abbassamento del livello delle acque lasciò scoperta una notevole estensione di terreni coltivabili, favorendo l'insediamento di piccole comunità di agricoltori e pastori. Oggi il lago si estende per una superficie di circa 12 km² ed ha una profondità massima di 49,5 m.

Lago di Bracciano. È situato all'interno della caldera del Distretto Vulcanico Sabatino, in Provincia di Roma, nel Lazio centro-settentrionale. Secondo nel Lazio ed ottavo in Italia per superficie (57 km²), il romano *Lacus Sabatinus* ha una profondità massima di 165 m ed un volume di oltre 5 miliardi di m³. La sua forma è pressoché circolare e i tre centri abitati principali di Bracciano, Anguillara e Trevignano si collocano a distanze reciproche regolari lungo il perimetro. Circa 800.000 anni fa una serie di eruzioni vulcaniche comportò l'emersione del sistema vulcanico Sabatino; cessate le eruzioni i crateri si riempiono d'acqua formando nel tempo bacini lacustri fra cui il più importante tra quelli tuttora esistenti è certamente quello di Bracciano. La vasta depressione del lago si è formata in parte per l'azione di faglie regionali ed in parte perché la vasta

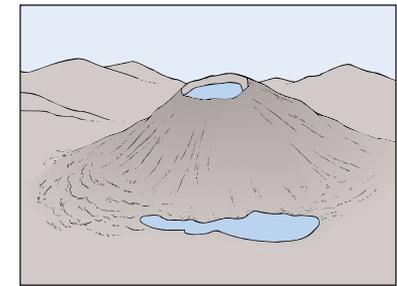


Lago di Bracciano (Lazio)

camera magmatica, che doveva trovarsi a pochi km dalla superficie e che alimentò tutti i crateri del distretto, nel suo progressivo svuotarsi, favorì il graduale crollo del tetto lungo fratture di distensione che alimentarono anche potenti colate di lava. Così, in fasi successive, tutta l'area oggi occupata dal bacino lacustre diventò un'ampia caldera. Essa si è formata in un arco di tempo compreso tra 400.000 e meno di 150.000 anni fa. Unico suo emissario naturale è il torrente Arrone che, sbarrato da una diga, viene utilizzato solo in caso di piena, mentre di norma le acque scaricano nel bacino del Tevere. L'acqua del lago a partire dall'età romana fu utilizzata per consumo potabile; l'antico acquedotto di Traiano fu restaurato da Paolo V agli inizi del '600 e perciò chiamato "Acqua Paola", acqua oligominerale nota per essere estremamente leggera, il cui fontanone terminale decora la panoramica piazza in cima al colle del Gianicolo a Roma.

■ Laghi craterici

I crateri vulcanici hanno la forma ideale per la raccolta delle acque meteoriche. Quando a tali forme si accompagnano nei depositi i requisiti di impermeabilità necessari ad evitare che le acque si infiltrino in profondità, si forma un lago craterico. Tra i laghi craterici i più comuni sono i laghi impostati sui crateri dei "maar" che sono generati da esplosioni freatiche e freatomagmatiche legate, cioè, all'interazione tra la



Due tipologie di laghi vulcanici: un lago di caldera, all'interno della conca precedentemente occupata dal cratere del vulcano, ed uno di sbarramento, ai piedi dell'apparato vulcanico

falda acquifera superficiale ed il magma in risalita. Il termine "maar" in tedesco significa "mare" e prende origine nella zona dell'Eifel, nella Germania settentrionale, caratterizzata dalla presenza di molti laghi che hanno questa origine. Come accennato, le esplosioni derivano dalla venuta a contatto del magma con l'acqua di falda. L'energia derivante dal repentino passaggio di stato dell'acqua da liquido a vapore, con aumento di volume di circa 100 volte, è il motore che genera l'esplosione e la rapida risalita del magma che viene frammentato in minutissimi elementi, della granulometria della cenere. L'acqua di cui sono ricchi i serbatoi calcarei che costituiscono la Dorsale Appenninica è la riserva ideale per interagire col magma e determinare eruzioni di questo tipo. L'interazione può avvenire a diverse profondità, ed in zone paludose od occupate da estesi specchi lacustri anche di bassa profondità si può avere il contributo delle stesse acque superficiali. È anche l'acqua stessa di un lago che sembra possa determinare le condizioni per l'innescarsi di un'esplosione.



Lago di Mezzano (Lazio)

Questa ipotesi sembra, però, in contraddizione con l'evidenza che la maggior parte dei centri vulcanici di questo tipo sono caratterizzati da una sola fase esplosiva ed i crateri da essa formati sono detti, quindi, monogenici. Esistono, tuttavia, alcuni maar dove più eruzioni si ripetono nel tempo (poligenici), per i quali i modelli secondo cui le acque del lago craterico svolgono un ruolo attivo sono da tenere in

attenta considerazione. Per questo motivo il livello dei laghi craterici è tenuto sotto attento controllo, come anche le caratteristiche fisiche e chimiche delle acque. Morfologicamente, i maar sono caratterizzati da una tipica forma svastata, ad imbuto, derivante dalla distruzione, a causa dell'esplosione, delle formazioni rocciose preesistenti, il più delle volte costituite da altri depositi vulcanici derivanti dall'attività precedente del vulcano.

I maar sono considerati tra gli oggetti vulcanici che vanno tenuti in debito conto per la valutazione del rischio vulcanico. Ciò è intrinsecamente legato alla loro natura e alle modalità della loro genesi. La particolare morfologia dei crateri da maar li predispone a possibili crolli e frane. Le esplosioni freatomagmatiche che presiedono alla loro genesi, inoltre, creano un condotto che, sebbene riempito di vari depositi, mette in comunicazione parti profonde della zona subvulcanica con la superficie che i gas possono utilizzare come via preferenziale di accumulo e flusso: i principali fattori di rischio sono legati al flusso di anidride carbonica; il suo possibile accumulo nelle profondità dei laghi da maar crea le condizioni per improvvise eruzioni di gas come il recente caso del Lago Nyos in Camerun (1984) o fenomeni di rovesciamento delle acque del lago, con possibile esondazione delle stesse. Per tali motivi nei laghi da maar l'azione dell'uomo deve assolutamente concentrarsi in una efficace azione di monitoraggio sismico, del flusso di gas e della generale stabilità dei versanti.

In Italia, appartengono a questa categoria i laghi di Mezzano nei Vulsini, Martignano e Monterosi nei Sabatini, Albano e Nemi nei Colli Albani, quelli di Monticchio nel Vulture e il Lago d'Averno nei Campi Flegrei.

Lago di Mezzano. Noto anche come *Lacus Statoniensis*, è situato all'interno della Caldera di Latera, a sua volta risultante dalla sovrapposizione di diverse caldere. È impostato all'interno di un cratere formatosi sul bordo della caldera del Vepe, che è la più recente tra le caldere monogeniche di Latera. Il cratere è un maar la cui formazione è associata all'ultima attività esplosiva all'interno



Lago di Nemi (Lazio)

Le aree vulcaniche occupate dai laghi, se bonificate, offrono terreni fertili, in particolare per l'abbondanza di minerali sia nei terreni sia nei limi lacustri. Molti bacini lacustri vulcanici sono stati pertanto bonificati ad opera dell'uomo.

Nei Vulsini le località di Lagaccione, Latera e Montefiascone ospitavano dei laghi. Tra il '600 e il '700 fu avviata nei Sabatini la bonifica dei laghi paludosi di Stracciaccappa (noto in tempi passati col nome di Lago di Straccio) e Baccano, che si realizzò nel 1828, quando la Presidenza delle Acque e delle Strade, per sopperire alla deficienza di acque dell'Acquedotto Paolo, aprì un traforo che mise in comunicazione i laghi di Martignano, Bracciano, Stracciaccappa e Baccano.

Il Brocchi nel suo "Viaggio nel Lazio: la Tuscia e l'agro pontino" del 1815-1818 riferisce come "L'osteria di Baccano è situato in un baccino circondato tutto all'intorno da eminenze, il quale una

volta era un lago, e forse anticamente un cratere. A ricordo d'uomini era in parte invaso dall'acqua alla quale fu dato esito mediante il taglio di un emissario che porta fuori le acque [...] e che prima di questa operazione stagnavano in quel sito".

Altri laghi "fossili" sono il Lago di Cese, il Lago Morto, i laghi di Riano e Polline. Nei Colli Albani esistevano i laghi di Ariccia, Castiglione, Gabii, Laghetto a Pavona, Prata Porci, S. Giuliano, Valle Marciana e il Lago Regillo, prosciugato nel XVII secolo (oggi la piana che lo ha sostituito ha il nome di "Pantano secco"). Nei Campi Flegrei, in Campania, il Lago di Agnano è stato bonificato nel 1870, mentre sono rimaste ben 75 sorgenti con temperature fino a 75°C. A Nord-Ovest del lago, presso il centro di Astroni, sono riportati in carte storiche il Lago Grande, Cofaniello Piccolo o Lago di Mezzo e Cofaniello Grande, che sono attualmente assai ridotti.



L'area originariamente occupata dal Lago di Ariccia (Lazio)

della caldera, circa 160.000 anni fa. I prodotti emessi sono quasi esclusivamente costituiti da ceneri fini e blocchi di ricaduta balistica, e si sono accumulati intorno alla depressione craterica costituendone i margini. Mentre il margine interno è molto ripido, quasi verticale, quello esterno è molto più dolce, con un angolo che raramente supera i 10-15°C. Il lago (superficie 0,5 km², profondità massima 31 m) ha un emissario (il fosso Olpeta) che attraversa la caldera per poi confluire nel fiume Fiora.



Lago di Martignano (Lazio)

Lago di Martignano. Situato ad Est del Lago di Bracciano a quota 207 m s.l.m., è noto con l'antico nome di *Lacus Alsietinus*, ha una superficie di 2,4 km² ed è, in proporzione, molto profondo, con i suoi 60 m. L'acquedotto Alsietinus, costruito nel 2 a.C. per sfruttare le acque del lago altrimenti privo di emissari naturali, alimentava la Naumachia di Augusto, ai piedi del Gianicolo, i Giardini di Cesare oltre a fattorie private e alla stessa fontana del Gianicolo. Il cratere che ospita il lago si è formato a seguito di almeno 3 eruzioni freatomagmatiche (tante sono, infatti, le unità eruttive sovrapposte e separate da paleosuoli o superfici erosive a testimonianza di periodi di stasi dell'attività vulcanica) ed è considerato, allo stato attuale delle conoscenze, l'ultimo centro attivo del Distretto Vulcanico Sabatino. Esplorazioni subacquee all'interno del lago hanno evidenziato come l'area sia stata abitata dall'uomo fin dal Neolitico. Una struttura lignea e tracce di fuochi a 32 m dall'attuale livello del lago indicano tale quota come l'antica riva, mentre grandi querce fossili testimoniano cospicue variazioni del livello del lago avvenute in tempi storici.

Lago di Monterosi. Situato nel distretto vulcanico Sabatino a 276 m s.l.m. e anticamente conosciuto come *Lacus Janulae*, ha una superficie di 0,3 km² e un diametro di 600 m, con una profondità di soli 7 m. È noto storicamente anche per l'incontro, nel lontano 1155, tra Papa Adriano IV e Federico Barbarossa che, rifiutandosi di reggere la staffa al cavallo del Papa, causò un clamoroso incidente diplomatico. Si è formato a seguito di una singola eruzione freatomagmatica di media intensità.

Lago Albano. Il Lago Albano (*Lacus Albanus*) è situato nei Colli Albani a circa 15 km dalla città di Roma, a quota 293 m s.l.m. ed ha una superficie di 6 km². È il più profondo lago craterico d'Italia (-165 m). Si tratta di un maar poligenico, generato, cioè, da più di una fase esplosiva. La stratigrafia del centro vulcanico d'Albano, studiata nel dettaglio anche per la componente di rischio per la città di Roma, ha evidenziato, infatti, che almeno sette eruzioni a carattere esplosivo si sono succedute in un intervallo di tempo che va da circa 70.000 anni fa a circa 29.000 anni fa. L'età esatta dell'ultimo episodio eruttivo si deve, tuttavia, ancora determinare. È il più importante e il più recente centro vulcanico del vulcano dei Colli Albani (o Vulcano Laziale) ed appartiene, morfologicamente, al "Litosoma di Via dei Laghi", ossia l'edificio vulcanico costruito durante l'ultima fase freatomagmatica del vulcano. Fu luogo di antichi insediamenti umani che, quasi certamente a seguito dell'attività del vulcano, si spostarono ripetutamente a varie quote nel bordo interno del cratere seguendo le oscillazioni del livello del lago. Nel 394 a.C. fu costruito dai Romani un tunnel drenante lungo circa 1200 m con doppia funzione di approvvigionamento idrico dell'area attraversata dalla galleria, tramite pozzi, e di regolazione delle stesse acque ad una quota di circa 70 m dal punto più basso del bordo craterico. Recenti studi hanno evidenziato come, nel corso della sua storia, il lago esondò più volte prevalentemente in direzione di Roma, generando distruzione negli insediamenti umani e nelle attività ad essi correlate durante tutto il Bronzo Medio (1700-1350 a.C.). Questa opera idrau-



Lago Albano (Lazio)

lica di tipo moderno può essere considerata la prima azione dell'uomo, a livello mondiale, di mitigazione del rischio vulcanico. Dal punto di vista geologico le successioni vulcaniche che si osservano nel bordo interno del cratere sono costituite da una prima sequenza basale di prodotti dell'attività del Vulcano laziale precedente le esplosioni del maar, che nell'area craterica sono stati completamente asportati, cui si sovrappongono i depositi stratificati delle sette eruzioni, alternati a paleosuoli generati durante le fasi di inattività. Attualmente il livello del lago è ad una quota di alcuni metri inferiore alla quota di sfioro del tunnel drenante. Il lago è comunque oggetto di attenti controlli sia del livello stesso che delle caratteristiche chimiche e fisiche delle acque, in quanto il significativo flusso di CO₂ (anidride carbonica) di origine profonda che interessa l'area rappresenta un motivo di preoccupazione per tutta la zona intensamente urbanizzata, poichè un suo eventuale accumulo nel fondo del lago potrebbe determinare le condizioni per una improvvisa risalita del livello delle acque.

Lago di Nemi. Il secondo e più vasto lago dei Colli Albani, con una superficie di 1,6 km², ma poco profondo (34 m), il Lago di Nemi o *Lacus Nemoensis* (quota 316 m s.l.m.) fu generato da eruzioni esplosive da collocarsi circa 150.000 anni fa. La depressione che ospita il lago è costituita da depositi di più eruzioni freatomagmatiche che originarono dallo stesso cratere. Il bordo craterico è caratterizzato dalla sovrapposizione, ai depositi dell'attività vulca-



Lago di Nemi (Lazio)

nica precedente, dei due antichi crateri che gli conferiscono una forma ovale orientata in senso meridiano. Lungo le sponde del lago sono state trovate alcune cuspidi, segno che quelle zone erano anticamente frequentate dall'uomo di Neanderthal, e sono tornate alla luce alcune tombe dell'Età del Ferro. Negli anni '30 il lago venne abbassato di 22 m per riportare alla luce due antiche navi romane del I secolo, esposte dopo alcuni restauri lungo le sponde del lago. Nel 1945 le navi vennero distrutte quasi completamente da un incendio; alcuni resti, accanto a due ricostruzioni in scala delle navi, sono attualmente conservati presso il Museo del Lago. La bassa profondità del lago, soprattutto confrontata col vicino Lago Albano, può imputarsi sia all'età antica di cessazione della sua attività e quindi al lento riempimento di sedimenti del bacino lacustre, sia alla relativa debolezza delle sue eruzioni i cui depositi, non possedendo l'energia sufficiente, sono quasi integralmente rimasti confinati nell'area craterica riducendone il volume. Il lago ha un emissario, opera probabilmente dell'antica popolazione degli Aricini, costituito da un tunnel di 1653 m di lunghezza per un dislivello totale di circa 12,5 m che fu restaurato nel 1927-28 durante i mastodontici lavori di svuotamento parziale del lago.

Laghi di Monticchio. I due piccoli laghi di Monticchio (quota 600 m s.l.m.), noti anche come "i gemelli del Vulture", occupano il doppio cratere centrale dell'apparato vulcanico del Vulture sulle sue pendici occidentali, a poca



Lago Piccolo di Monticchio (Basilicata) con la Badia di San Michele

distanza dai centri di Rionero e Melfi (Basilicata). Il Lago Grande (con una superficie di 0,4 km² e una profondità massima 38 m) e il Lago Piccolo (con una superficie di 0,1 km² e una profondità massima 35 m) sono separati da una striscia di terra larga 216 m, e si formarono circa 110.000 anni fa. L'intero complesso vulcanico del Vulture si formò in un intervallo di tempo che va da circa 600.000 a 130.000 anni fa ed è ancora oggi sede di attività sismica e di un forte flusso di CO₂, ad indicare un'attività non ancora del tutto estinta. I depositi correlati alla formazione dei laghetti sono costituiti da un'unità piroclastica di granulometria lapillosa, a composizione melilititica, stratificata con strutture dunari (Case Agostinelli), di spessore massimo di circa 4 m, affiorante su un areale con asse di dispersione verso Ovest. La mancanza dello stesso deposito nella porzione orientale della depressione che ospita il lago indica che l'eruzione non ebbe l'energia sufficiente a superare i 500 m circa che ci sono tra il bordo craterico e il fondo del lago.

Lago di Averno. È posto all'interno del complesso dei Campi Flegrei, tra il Monte Nuovo ed il Monte Grillo. Di forma ellittica, con una profondità massima di 35 m, il Lago d'Averno giace all'interno di un vulcano spento nato circa 4.000 anni fa. Il lago subì una profonda modifica ad opera di Marco Agrippa, che nel 38-36 a.C., per esigenze militari, diede avvio alla costruzione del *Portus Julius*. La sua morfologia fu sconvolta dalla recente eruzione del 1538 nota col nome di eruzione del Monte Nuovo. Il nome Averno deriva dal greco *Aor-non*, ossia luogo senza uccelli. Era credenza che tale assenza fosse dovuta al fatto che le acque del lago esalavano dei particolari gas che non permettevano la vita agli uccelli. Nella storia il Lago d'Averno è la località flegrea maggiormente evocata da Omero, Virgilio e il culto dell'oltretomba, perché ritenuta l'ingresso dell'Ade. Considerato fin dall'antichità sede dei Giganti, fu identificato con la dimora degli Inferi e del popolo dei Cimmerii, abitanti delle caverne, che fuggivano la luce del sole. Furono i Greci a voler riconoscere in questo luogo le descrizioni omeriche legate agli episodi di Odisseo. Si riteneva inoltre che il lago non avesse fondo.



Lago di Averno (Campania)

Idrochimica

SILVIA ARISCI · LAURA LEPORE · MICHELA ROGORA

Da un punto di vista strettamente idrologico, i laghi sono masse d'acque raccolte in depressioni della superficie terrestre non alimentate dal mare. La parte di territorio che circonda il lago, e che grazie alla sua pendenza fa da imbuto di raccolta delle acque piovane, è il suo bacino imbrifero (o idrografico). Lo spartiacque è la linea più alta del bacino imbrifero, per cui le acque che cadono oltre lo spartiacque non vengono convogliate al lago.

Il bacino imbrifero influisce enormemente sugli ecosistemi acquatici: la sua superficie determina il volume delle acque raccolte, la sua composizione mineralogica influenza il chimismo di base dei laghi, la sua copertura vegetale influisce nella ripartizione delle acque di ruscellamento e di evapotraspirazione. Le acque drenate si caricano poi di sostanze organiche e inorganiche, ma anche di inquinanti in funzione dell'uso prevalente (agricolo, industriale, urbano) del territorio attraversato.

Oltre alle acque che giungono al lago dalla superficie del bacino, ci sono poi altre sorgenti sotterranee rappresentate dalle acque di falda e, nel caso dei laghi vulcanici, da infiltrazioni di acque profonde originate dall'apparato vulcanico e caratterizzate da un chimismo molto particolare; il lago può in questo caso rappresentare la parte affiorante di un acquifero di dimensioni superiori.

L'ubicazione geografica determina in buona parte il comportamento fisico dei laghi: quelli del Nord Europa durante l'inverno sono ghiacciati in superficie e non possono, in quel periodo, scambiare ossigeno con l'aria; quelli tropicali e nella fascia temperata hanno uno strato superficiale più caldo che, galleggiando sugli strati più profondi, ostacola il rimescolamento delle acque



Lago di Bracciano (Lazio)



Lago di Vico (Lazio)

L'acqua è l'essenza della vita sulla terra ed è alla base della composizione chimica di ogni essere vivente. Essa regola anche il metabolismo di un lago, con le sue particolari proprietà di densità, di alta capacità termica e di comportamento nei diversi stati di aggregazione (liquido, solido e gassoso).

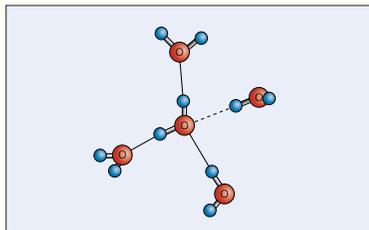
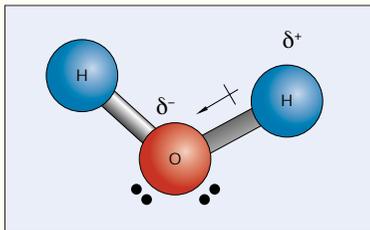
La ragione delle proprietà uniche dell'acqua è da ricercare principalmente nella sua struttura molecolare con due legami fortemente polarizzati a causa della differente elettronegatività dei due atomi impegnati nel legame, che vedono rispettivamente una parziale carica negativa sull'ossigeno (δ^-) e due parziali cariche positive sui nuclei d'idrogeno (δ^+). La polarizzazione del legame porta alla formazione di un dipolo elettrico che genera interazioni intermolecolari (cioè tra molecole adiacenti). L'interazione nella molecola d'acqua è detta legame ad idrogeno.

Nello stato solido (ghiaccio) le molecole si orientano in maniera ordinata a formare una struttura tetraedrica in cui una molecola centrale si coordina, mediante legami ad idrogeno, ad altre quattro. La particolarità del ghiaccio è che la distanza intermolecolare è maggiore che nello stato liquido, il che comporta che la densità della fase solida sia minore di quella della fase liquida. Il massimo di densità (1 g/ml) si raggiunge a 3,98°C, alla pressione di 1 atm. Al di sotto di questa temperatura la densità torna a diminuire fino a quando vie-

ne raggiunto il punto di congelamento a 0°C. La conseguenza più importante di questo fenomeno è che il ghiaccio galleggia sull'acqua e che, in un lago ghiacciato in superficie, la temperatura del corpo d'acqua sottostante si mantiene pressoché costante, per effetto della bassa conduttività termica del ghiaccio stesso che ne riduce le perdite di calore verso l'atmosfera.

La densità dell'acqua varia, oltre che con la temperatura, anche con la pressione ed il contenuto salino; infatti cresce con l'aumento della pressione (in un corpo idrico l'incremento è di 1 atm ogni 10 m di profondità) e con l'aumento del peso specifico delle sostanze disciolte. I legami ad idrogeno, che s'instaurano tra le molecole, sono responsabili anche dell'elevato calore specifico dell'acqua, ossia la quantità di calore da fornire ad un grammo di acqua affinché la sua temperatura aumenti di 1°C. L'elevata capacità termica dell'acqua spiega perché vicino ad un lago di cospicue dimensioni non si verificano forti escursioni termiche e perché corpi idrici estesi siano in grado di cedere all'atmosfera elevate quantità di calore accumulate durante i periodi caldi.

Le forti interazioni intermolecolari presenti nell'acqua ne influenzano anche la viscosità, ovvero la resistenza che il mezzo oppone ai moti al suo interno, che risulta essere particolarmente elevata (775 volte quella dell'aria).



La molecola dell'acqua e la sua struttura tetraedrica allo stato solido (ghiaccio)

e l'ossigenazione al fondo. Nei laghi alpini i livelli d'acqua più alti si verificano nella tarda primavera o in estate, quando si sciolgono le nevi; nell'Italia centrale invece si verificano in inverno, quando abbonda la pioggia. La media delle precipitazioni che cadono annualmente sull'Italia è di circa un metro e l'evaporazione mostra valori analoghi. Ciò significa che le piogge che cadono direttamente sui nostri specchi lacustri ripristinano, mediamente, solo le perdite per evaporazione. L'acqua in eccesso, quella che defluisce dall'emissario, equivale grosso modo all'apporto proveniente dal bacino, per cui i laghi alimentati da estesi bacini, come quelli alpini, hanno emissari di grande portata, mentre i laghi alimentati da piccoli bacini, come sono quelli di origine vulcanica, hanno emissari con portate esigue.

Il tempo teorico di ricambio (TR) rappresenta il rapporto tra il volume del lago e la massa d'acqua che defluisce attraverso l'emissario in un anno. Il tempo di ricambio è un indice della capacità del lago di smaltire attraverso l'emissario parte degli inquinanti che giungono dal bacino.

Nella tabella le principali caratteristiche morfometriche ed idrologiche dei maggiori laghi italiani (Garda, Iseo, Como, Maggiore), sono messe a confronto con quelle di alcuni laghi vulcanici.

LAGO	BACINO km ²	VOLUME m ³	PROFONDITÀ m	SUPERFICIE km ²	PORTATA EMIS. m ³ /sec	TEMPO RIC. anni
Garda	2350	50,35	346	370	59,5	27
Iseo	1842	7,60	251	62	59,4	4
Como	4572	22,50	410	146	158,0	4
Maggiore	6559	37,50	370	212	297,0	4
Albano	10	0,46	165	6	-	47
Nemi	11	0,03	34	1,6	-	15
Trasimeno	376	0,59	6	124	0,9	21
Bolsena	273	9,20	151	114	2,4	120
Vico	41	0,26	49,5	12	0,5	17
Bracciano	147	5,05	165	57	1,2	137
Monticchio (Gr.)	4	0,004	38	0,4	-	110

Principali caratteristiche dei maggiori laghi subalpini e di alcuni laghi vulcanici dell'Italia Centrale

Rispetto ai laghi subalpini, i laghi vulcanici presentano tempi di ricambio assai più elevati e ciò è dovuto generalmente ad una vivacità idrologica alquanto modesta da mettere in relazione alla genesi stessa di questi bacini. I laghi di Bolsena, Vico e Bracciano ad esempio, occupano la sommità di altrettanti edifici vulcanici, per cui il loro areale contribuyente rappresenta una superficie molto limitata, soprattutto se confrontata con il volume delle acque lacustri raccolte nelle relative cuvette.

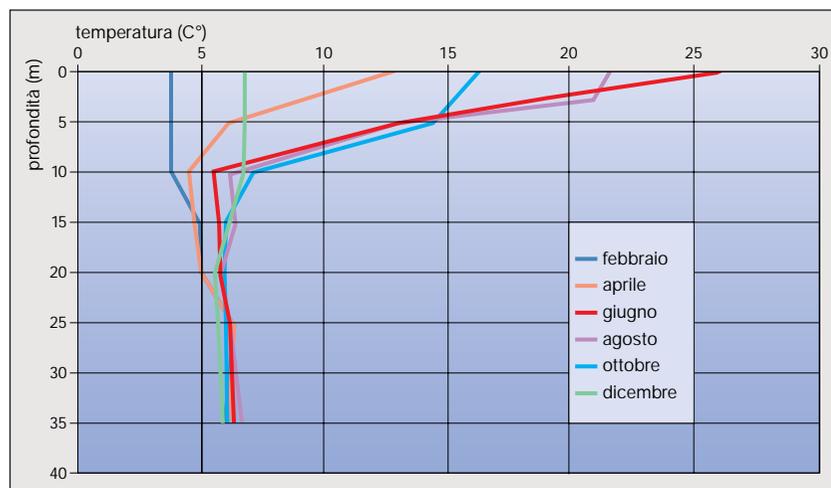
■ Temperatura e ossigenazione delle acque lacustri

Dal punto di vista termico, i laghi vulcanici dell'Italia Centrale appartengono alla categoria dei laghi temperati. Durante l'inverno questi laghi presentano una condizione di omeotermia (temperatura uniforme dalla superficie al fondo) e quindi tutta la massa d'acqua ha all'incirca la stessa densità. In primavera il lago inizia a riscaldarsi grazie alla radiazione solare. Il riscaldamento interessa però profondità modeste, poiché la radiazione infrarossa, la più efficiente dal punto di vista termico, viene fermata nei primissimi strati d'acqua. In presenza di vento si possono generare delle correnti che tendono a distribuire il calore a maggiori profondità.

Con il procedere della stagione, la temperatura atmosferica diviene via via più elevata: si determina quindi una condizione in cui il vento riesce a rimescolare sino al fondo, durante le ore notturne, soltanto le acque di laghi poco profondi.

Quando le differenze di densità fra i diversi strati diventano troppo grandi perché il lavoro del vento possa mantenere l'omeotermia, si ha una stratificazione termica, solitamente da maggio a ottobre. In questo periodo le acque sono suddivise in tre strati:

- uno strato superiore più caldo (epilimnio)
- uno strato più freddo e più profondo (ipolimnio)
- uno strato di modesto spessore che separa l'epilimnio dall'ipolimnio ed in cui si ha una brusca variazione di temperatura (termoclinio o metalimnio).



Andamento nel corso dell'anno della temperatura lungo la colonna d'acqua nel Lago Grande di Monticchio (Basilicata)

Col diminuire della temperatura, in autunno, le acque superficiali si raffreddano e tendono a mescolarsi con quelle più profonde; si instaura così un periodo di circolazione invernale, con conseguente omeotermia dell'intera massa d'acqua che permane, solitamente, da gennaio a marzo. In una situazione di omeotermia gli strati superficiali e profondi, entrando in contatto e mescolandosi, raggiungono anche da un punto di vista chimico una certa omogeneità.

Questo fenomeno riveste una particolare importanza per l'ossigenazione del corpo idrico, soprattutto per quanto riguarda gli strati più profondi del lago nei quali, con il procedere della stratificazione termica, l'ossige-



Lago di Bracciano (Lazio)

no viene via via consumato dai processi di demolizione della sostanza organica fino a raggiungere condizioni di carenza (ipossia) o di mancanza totale (anossia): si tratta di situazioni che risultano difficilmente tollerabili per la maggior parte degli organismi. L'ossigeno disciolto è un parametro di importanza fondamentale per la vita nei laghi; le acque possono arricchirsi di ossigeno per scambio diretto con l'atmosfera o attraverso la fotosintesi degli organismi vegetali. L'ossigeno può poi ritornare in atmosfera per diffusione, oppure può essere consumato dai processi respiratori di tutti gli organismi acquatici, o dai processi chimici ossidativi. L'equilibrio tra questi scambi determina la distribuzione spaziale e le variazioni temporali dell'ossigeno in un corpo d'acqua.

In alcuni laghi possono instaurarsi condizioni, dette di meromissi, per cui l'acqua di fondo non entra mai in circolazione e rimane permanentemente segregata dal resto delle acque: si tratta di un fenomeno che interessa numerosi laghi vulcanici.

Nei laghi meromittici l'isolamento degli strati più profondi, la conseguente scomparsa dell'ossigeno ed i processi di decomposizione anaerobica determinano la comparsa di vari composti ridotti, come acido solfidrico (H_2S), ammonio (NH_4^+) e metano (CH_4). I sedimenti profondi assumono un colore nero o grigio ed hanno il caratteristico odore dell'acido solfidrico. Questa condizione ha ovviamente delle conseguenze negative sugli organismi che vivono in prossimità del fondo.



Lago di Bracciano (Lazio)

■ Altri gas e composti ionici

I sistemi lacustri devono essere considerati, da un punto di vista chimico, come dei sistemi aperti in grado di interagire con l'atmosfera sovrastante, con le rocce con cui sono in contatto e con gli apporti idrici sotterranei e superficiali.

I gas presenti nell'atmosfera, in particolare l'ossigeno e l'anidride carbonica, diffondono nell'acqua secondo la legge di Henry, in base alla quale la concentrazione di un gas disciolto è proporzionale alla sua pressione parziale sulla superficie del liquido, per mezzo di una costante (k) detta costante di Henry.

La concentrazione dei gas disciolti diminuisce con l'aumentare della temperatura ed è influenzata dai processi chimici e biologici che avvengono nel mezzo acquoso.

Le fonti che assicurano un adeguato approvvigionamento di anidride carbonica (CO_2) alle acque di un lago, oltre allo scambio con l'atmosfera, sono gli apporti meteorici, in quanto la pioggia si arricchisce di CO_2 durante il suo tragitto atmosferico, e i processi respiratori degli organismi.

La CO_2 sciolta nell'acqua tende ad idratarsi, formando acido carbonico, il quale a sua volta si dissocia dando origine, per perdita di un idrogenione, allo ione bicarbonato e successivamente, perdendo il secondo idrogenione, allo ione carbonato. Il complesso di queste reazioni chimiche, ciascuna regolata da una costante di equilibrio, prende il nome di equilibrio dei carbonati e bicarbonati. Quest'ultimo determina il valore di pH delle acque ad una data temperatura (generalmente compreso tra 7 e 9 unità) e lo mantiene inoltre costante, impedendo cioè brusche variazioni indotte da sostanze acide o basiche: questo fenomeno prende il nome di effetto tampone.

L'acqua, oltre ai gas, è in grado di solubilizzare sostanze polari o polarizzabili sia di natura organica che inorganica. Come effetto della capacità solvente dell'acqua, il contenuto salino di un'acqua naturale è altamente variabile e dipende da fenomeni di interazione con l'atmosfera, di drenaggio attraverso i terreni circostanti e di scambio con i sedimenti interni al corpo d'acqua. A controllare la composizione delle acque naturali sono quindi le rocce ed i suoli presenti nel bacino imbrifero, le precipitazioni atmosferiche, i processi di

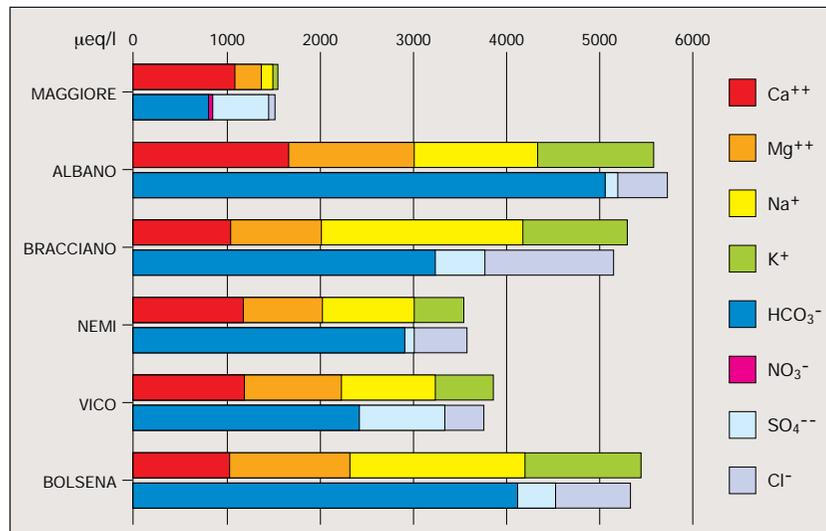


Lago Albano (Lazio)

cristallizzazione-evaporazione ed i processi biologici all'interno del corpo d'acqua (produzione-respirazione). I laghi vulcanici presentano un contenuto di sali disciolti molto elevato rispetto ad altri laghi italiani, come quelli subalpini. Infatti, si registrano valori di contenuto ionico totale che variano tra 7000 e 11000 $\mu\text{eq/l}$, mentre ad esempio nel Lago Maggiore il rispettivo valore è di 3000 $\mu\text{eq/l}$.

I principali costituenti ionici delle acque sono i cationi dei metalli alcalini ed alcalino terrosi come calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), sodio (Na^+) e potassio (K^+), i carbonati (CO_3^{--}) ed i bicarbonati (HCO_3^-), i solfati (SO_4^{--}) ed in misura minore i cloruri (Cl^-).

In base al contenuto salino le acque naturali si classificano in due categorie: acque leggere, con bassa salinità derivante di solito da drenaggio attraverso rocce ignee (scarsamente solubili), ed acque dure, contenenti alte concentrazioni di metalli alcalini ed alcalino terrosi, derivanti dal drenaggio attraverso depositi calcarei (solubili). Le acque naturali, il cui spettro ionico è determinato principalmente dalle rocce del bacino di drenaggio, sono tipicamente ricche di calcio e bicarbonato, quindi il rapporto tra i diversi ioni risulta il seguente: $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} = \text{Na}^+ > \text{K}^+$ per i cationi (ioni positivi); $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^-$ per gli anioni (ioni negativi). Nei laghi vulcanici dell'Italia centrale questo ordine viene mantenuto solo parzialmente. Il contributo marino è importante in questi laghi, che infatti presentano un contenuto elevato di sodio e cloro rispetto ai corpi d'acqua situati lontano dal mare.



Concentrazioni medie degli ioni più significativi in alcuni laghi vulcanici e nel Lago Maggiore

Oltre agli spray marini, la principale sorgente di soluti per i laghi vulcanici è il dilavamento delle rocce e dei suoli che formano il bacino, apportando principalmente bicarbonato, calcio, magnesio, solfati e sodio. Tra gli anioni i bicarbonati sono dominanti, seguiti dai cloruri che nei laghi vulcanici sono presenti in quantità superiore rispetto ai solfati. Questi laghi sono in genere caratterizzati da un buon sistema tampone, responsabile delle modeste variazioni dei valori di pH alle varie profondità. Le concentrazioni dello ione H^+ sono prossime allo zero nelle acque di questi laghi, in quanto il pH è sempre superiore a 7. I valori medi di pH vanno da circa 7.5 nel Lago di Albano a 8.1 e 8.2 nei Laghi di Vico e di Bolsena, rispettivamente. Il pH è un parametro molto importante in quanto contribuisce a creare condizioni ambientali che maggiormente influenzano le possibilità di insediamenti flora-faunistici.

I cationi calcio, magnesio, sodio e potassio hanno concentrazioni tra loro confrontabili, con una leggera predominanza del sodio nei laghi di Bolsena e Bracciano.

Infine è da notare come i nitrati siano praticamente assenti nelle acque dei laghi vulcanici ($< 10 \mu\text{eq/l}$), mentre hanno concentrazioni abbastanza elevate in vari laghi subalpini (50-60 $\mu\text{eq/l}$). I nitrati provengono per lo più dalle deposizioni atmosferiche che, nel Nord Italia come in altre aree fortemente antropizzate, ne sono particolarmente ricche a causa delle emissioni in atmosfera degli ossidi di azoto. Nei laghi vulcanici la componente di azoto maggiormente significativa è rappresentata invece dall'azoto organico.



Lago di Mezzano (Lazio)



Lago di Bracciano (Lazio)

■ I nutrienti algali: fosforo, azoto e silice

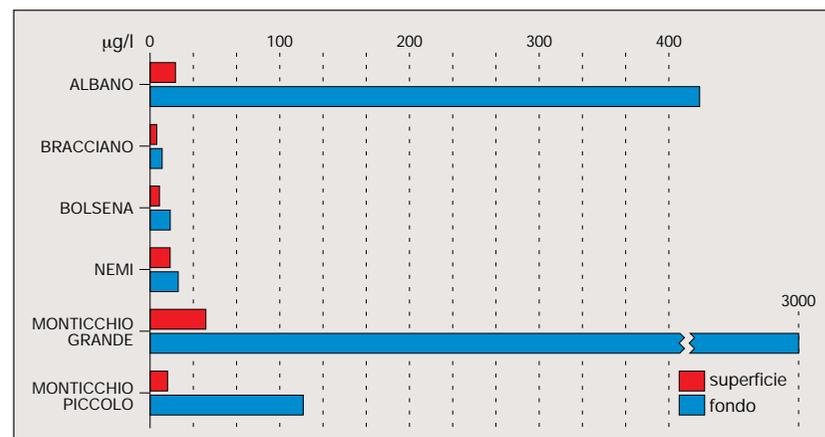
Oltre ai costituenti inorganici sopra citati, nelle acque lacustri assumono particolare importanza altri composti inorganici, comunemente identificati come nutrienti perché utilizzati nel metabolismo di alghe e microrganismi.

Il silicio, sotto forma di silice (SiO_2), è un elemento importante soprattutto per le diatomee, un gruppo di alghe che utilizzano questo elemento per la formazione del loro "rivestimento", regolandone quindi la concentrazione in soluzione. La silice in un lago presenta delle fluttuazioni stagionali evidenti, ovvero si accumula in inverno per diminuire poi drasticamente in primavera nel momento di fioritura delle diatomee.

Il fosforo, nelle sue forme altamente ossidate, come l'ortofostato (PO_4^{--}), partecipa attivamente ai cicli biologici fungendo da nutriente per gli organismi lacustri. Il fosforo presenta, come la silice, variazioni stagionali e spaziali all'interno di un lago: negli strati superficiali, dove hanno luogo i processi fotosintetici, diminuisce in corrispondenza dei periodi di massimo sviluppo algale; in estate aumenta nelle acque più profonde a causa della sedimentazione delle spoglie degli organismi provenienti dagli strati superficiali.

L'azoto, nelle forme di nitrati (NO_3^-), nitriti (NO_2^-), ione ammonio (NH_4^+) e azoto organico, è un componente nutritivo essenziale per la vita di molti organismi.

Le dinamiche dell'azoto in un lago sono legate, come quelle del fosforo, ai processi biologici e quindi all'assimilazione da parte di alghe e batteri. Il passaggio da una forma all'altra di azoto è regolato prevalentemente da microrganismi. In estate, quando l'intensità luminosa e la temperatura sono suffi-



Concentrazioni medie di fosforo totale (espresse in µg/l) in superficie e sul fondo di alcuni laghi vulcanici

cienti a mantenere un'elevata crescita algale, la produzione viene controllata dalla disponibilità di sali nutrienti. In particolare è l'elemento presente in quantità minore rispetto al fabbisogno algale a limitare la produzione. Nei laghi, in genere, l'elemento limitante è il fosforo.

A seconda del contenuto in nutrienti, un lago viene classificato in diversi stati trofici, che vanno dalla oligotrofia (pochi nutrienti e bassa produttività algale) all'eutrofia (lago molto produttivo ricco in nutrienti), passando per una condizione intermedia di mesotrofia. Lo stato trofico ha riflessi importanti sulle caratteristiche chimico-fisiche delle acque di un lago e sulla composizione delle biocenosi che lo popolano. Il fenomeno di eccessivo arricchimento in nutrienti di un lago (in particolare fosforo), dovuto agli apporti antropici, è definito eutrofizzazione. Questo processo determina uno scadimento qualitativo delle acque, con conseguenti effetti sul loro utilizzo per esempio per la potabilizzazione, l'irrigazione, la balneazione e altri usi ricreativi.

Negli anni '70 i risultati di studi di monitoraggio effettuati sui laghi vulcanici laziali da parte del C.N.R. (Consiglio Nazionale delle Ricerche) avevano messo in evidenza basse concentrazioni di fosforo e scarsa produttività di questi laghi, che erano classificati per la maggior parte come oligotrofi. Il recente aumento delle concentrazioni di fosforo, causato da attività antropiche, ha determinato una classificazione per alcuni di questi bacini nella più alta classe trofica, con il conseguente problema dello scadimento della qualità delle acque, come illustrato in dettaglio nel capitolo relativo alla gestione e conservazione.



Lago di Nemi (Lazio)

■ I metalli pesanti in traccia

Un'altra caratteristica che differenzia i laghi di origine vulcanica dagli altri corpi d'acqua è il contenuto in metalli pesanti. Confrontando le concentrazioni dei principali metalli nelle acque dei laghi vulcanici con quelle di un grande lago subalpino (Lago Maggiore), si può notare che in quest'ultimo le concentrazioni sono molto più basse, prossime



Lago Grande di Monticchio (Basilicata)

al limite di detezione delle metodiche di analisi, ad eccezione dello stronzio che è presente in alcuni minerali. I laghi vulcanici hanno in genere acque ricche di metalli in soluzione, in particolare boro e stronzio, entrambi indicatori di attività geotermica. Anche i metalli più comuni, come ferro, manganese e zinco, che derivano principalmente dalle rocce presenti nel bacino, sono presenti con concentrazioni molto più elevate nei laghi Bolsena, Albano e Monticchio rispetto al Maggiore. La spiegazione di queste caratteristiche peculiari va ricercata nella natura litologica dei bacini, caratterizzati in prevalenza da tufi litoidi e incoerenti e rocce effusive; le abbondanti strutture porose e permeabili di queste rocce permettono un forte dilavamento operato dalle acque meteoriche con conseguente arricchimento in metalli delle acque lacustri.

	BOLSENA		ALBANO		MONTICCHIO (Grande)		MAGGIORE	
	0 m	130 m	20 m	160 m	0 m	35 m	0 m	360 m
Alluminio	9	9	6	0	15	182	14	5
Boro	390	395	86	94	53	64	4	-
Bario	35	38	13	22	84	289	10	10
Rame	-	4	-	-	-	0.4	0.5	0.2
Ferro	-	25	-	75	46	5900	8	4
Manganese	-	21	-	105	99	3572	1	5
Zinco	-	20	-	-	2	2	1	1
Litio	42	41	4	4	3	3	1	-
Stronzio	420	450	753	893	479	630	208	227

Concentrazioni (espresse in µg/l) dei principali metalli pesanti nelle acque superficiali e di fondo in alcuni laghi vulcanici e nel Lago Maggiore

Fitoplancton

GIUSEPPE MORABITO

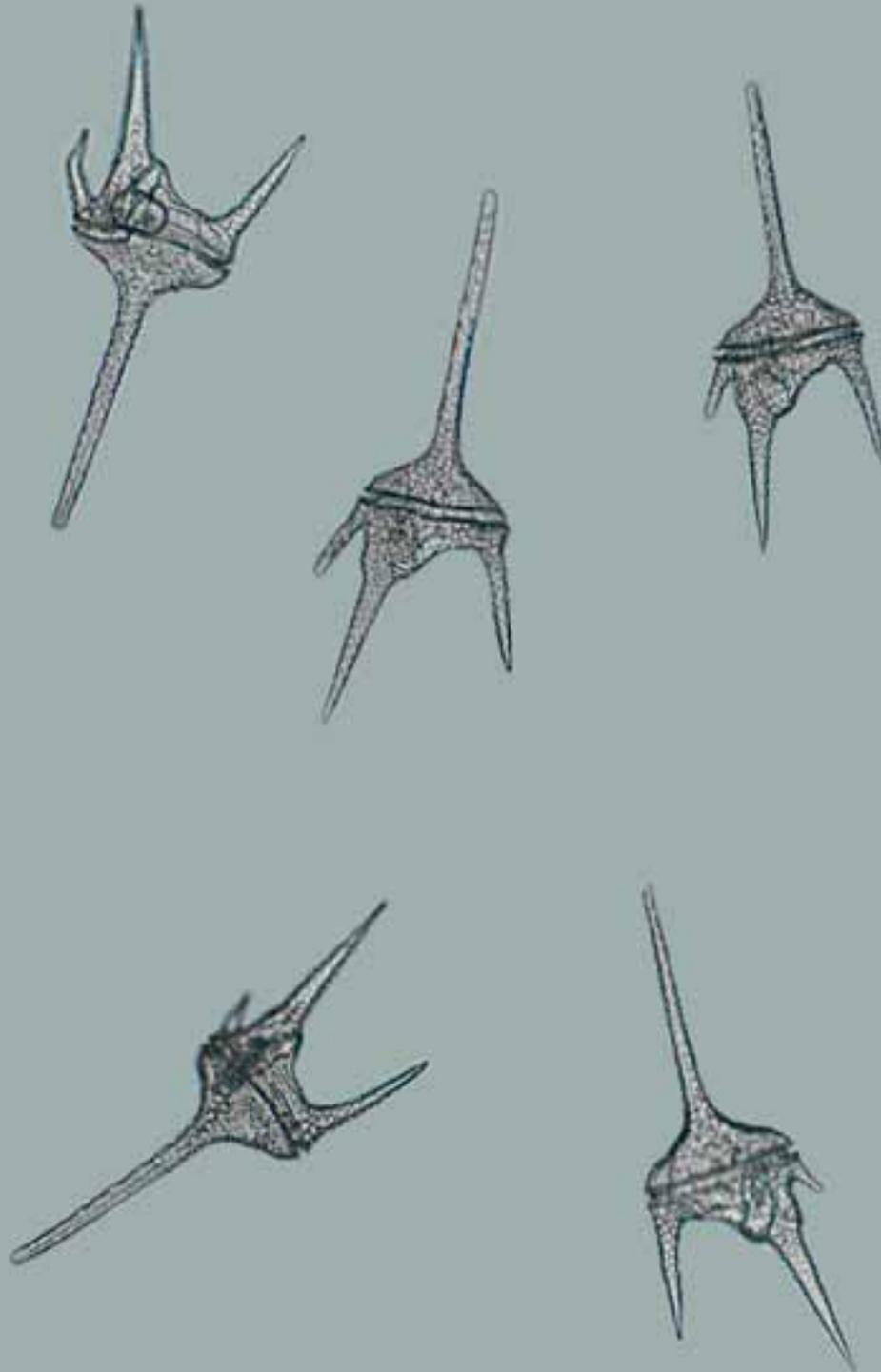
I laghi vulcanici appaiono, da un punto di vista paesaggistico, come ambienti lacustri dall'aspetto particolare: ad un primo sguardo, l'occhio dell'osservatore viene immediatamente colpito sia dalla forma caratteristica, che segue il profilo del cratere in cui la massa d'acqua è ospitata, che dalle alte sponde, la cui morfologia conferisce spesso alla conca lacustre l'aspetto di un gigantesco bacile.

Tuttavia, la raccolta di un campione d'acqua dal pelago e l'osservazione dei microscopici organismi algali in esso presenti (fitoplancton), non riserva al limnologo o al naturalista le sorprese che forse egli potrebbe attendersi: infatti, in generale, un lago vulcanico non mostra, nell'arco delle stagioni, condizioni fisiche e chimiche estreme, tali da selezionare alcune specie algali in grado di colonizzare solo questo tipo di ambienti lacustri. Al contrario, è molto comune ritrovare, anche in questi specchi d'acqua, specie fitoplanctoniche che colonizzano laghi molto diversi dai vulcanici. È comunque possibile che alcune di queste specie trovino, proprio nei laghi vulcanici, le condizioni ideali per svilupparsi diventando dominanti, grazie alla combinazione ottimale di alcuni parametri fisici e chimici, che si realizza, preferibilmente, in questi bacini.

Nella trattazione che segue, verranno dapprima presi brevemente in considerazione i fattori che, prevalentemente, guidano la crescita delle alghe planctoniche nei laghi, sottolineando le principali caratteristiche dei laghi di origine vulcanica in relazione alle variabili esaminate, con lo scopo di tracciare un quadro d'insieme dell'habitat che gli organismi algali sperimentano in questi bacini. Questo aiuterà il lettore a comprendere le ragioni per cui alcune specie fitoplanctoniche divengono dominanti in questa tipologia di ambienti lacustri.



Lago di Mezzano (Lazio)



Ceratium hirundinella

■ Fattori che regolano la crescita del fitoplancton

Le variabili che controllano la crescita del fitoplancton nelle acque lacustri sono molteplici ed interagiscono le une con le altre secondo schemi spesso difficili da comprendere. Tuttavia, è evidente che anche gli organismi del fitoplancton, come tutti i vegetali, necessitano per crescere di adeguate condizioni di luce e temperatura, oltre che, naturalmente, di nutrienti sufficienti.

Temperatura e luce. Gli studi condotti dagli ecologi del fitoplancton hanno messo in evidenza che, in ambiente lacustre, due fattori in particolare, ovvero temperatura e luce solare, sono determinanti nel condizionare il successo o meno delle singole specie algali. Analogamente a quanto si osserva in ambiente terrestre, anche in ambiente acquatico temperatura e luce devono rispettare i valori limite compatibili con la vita degli organismi vegetali e l'intervallo di questi valori può essere diverso da un organismo all'altro. Inoltre, la radiazione luminosa che penetra nella colonna d'acqua, apportando anche energia termica, è responsabile della formazione di strati d'acqua con caratteristiche termiche differenti.

La variazione stagionale della temperatura in ambiente pelagico lacustre segue solitamente, come già esposto nel capitolo relativo all'idrochimica, un ciclo regolare che vede l'alternanza tra momenti di completo mescolamento della colonna d'acqua e fasi di stratificazione. Le differenze di temperatura



Lago di Vico (Lazio)

causano differenze di densità del mezzo liquido e queste piccole variazioni condizionano drasticamente la vita delle alghe che, avendo una densità di poco superiore a quella dell'acqua, devono contrastare la naturale tendenza a sedimentare per gravità verso il fondo del lago. La sopravvivenza del fitoplancton nell'ambiente pelagico è dunque condizionata dal possedere meccanismi che permettono di rallentare la sedimentazione: per esempio le alghe possono variare la loro morfologia attraverso adattamenti quali l'aumento della superficie cellulare o la formazione di colonie, oppure possono regolare attivamente la propria posizione all'interno della colonna d'acqua, tramite strumenti di propulsione (flagelli o setole mobili), vacuoli pieni di gas o la sintesi di composti a basso peso specifico.



Dinoflagellati del genere *Peridinium*

Per quanto attiene l'intensità della radiazione luminosa, il fitoplancton mostra comportamenti variabili: alcune alghe stanno bene dove la luce è abbondante, quindi vicino alla superficie mentre altre si sviluppano meglio qualche metro sotto il pelo dell'acqua. La radiazione luminosa è però importante non solo per la sua quantità, ma anche per la sua qualità, che dipende dalla natura delle particelle in sospensione nella colonna d'acqua. Queste particelle agiscono come dei filtri colorati, selezionando alcune lunghezze d'onda dello spettro luminoso e conferendo quindi all'acqua di un lago precise proprietà ottiche ed un colore che, tipicamente, varia tra l'azzurro ed il verde, in relazione al crescere della quantità di fitoplancton, per virare verso il bruno o il giallo in ambienti dove sono presenti elevate concentrazioni di sostanze organiche complesse di origine vegetale.

La biocenosi fitoplanctonica risponde alle variazioni qualitative dello spettro luminoso con la selezione di specie che, grazie al loro corredo di pigmenti fotosintetici (molecole preposte a catturare l'energia luminosa necessaria per la fotosintesi), si presentano come le favorite per sfruttare le condizioni luminose dell'ambiente.

I primi studi limnologici sui laghi vulcanici italiani li descrivono, in prevalenza, come ambienti lacustri dalla trasparenza elevata, nei quali dunque la radiazione luminosa non rappresenta, in termini qualitativi e quantitativi, un fattore limitante per la crescita del fitoplancton: l'eccellente qualità ottica delle acque è una caratteristica originaria di questi ambienti, probabilmente legata alla loro morfologia. Infatti, i laghi occupano spesso la sommità dell'edificio vulcanico, per cui l'area da cui possono provenire acque immissarie è decisamente

modesta, soprattutto in relazione alla superficie dello specchio lacustre. Per questa ragione è estremamente difficile che giungano al lago dal bacino circostante masse d'acqua consistenti, che possano trasportare quantità significative di solidi sospesi, in grado di alterare le proprietà ottiche del lago stesso. La trasparenza elevata dei laghi vulcanici permette alla luce di penetrare fino a profondità ragguardevoli nella colonna d'acqua: a titolo di esempio, si può citare lo studio limnologico condotto alla fine degli anni '60 da ricercatori dell'Istituto Italiano di Idrobiologia di Pallanza (oggi Istituto per lo Studio degli Ecosistemi del Consiglio Nazionale delle Ricerche), durante il quale, nei laghi di Bolsena, Bracciano e Vico, si osservò costantemente una zona eufotica profonda fino a circa 30 metri. Questa caratteristica, come vedremo in seguito, ha delle conseguenze importanti sulla selezione di alcune specie algali che trovano nei laghi vulcanici condizioni di sviluppo molto favorevoli.

Nutrienti. La disponibilità di nutrienti, in particolare di quelli presenti in quantità limitante, è probabilmente il fattore che più condiziona la crescita algale, dopo luce e temperatura. A partire dai primi anni '70, le ricerche finalizzate allo studio del fenomeno dell'eutrofizzazione hanno permesso di individuare nel fosforo il principale nutriente limitante per il fitoplancton in ambiente pelagico lacustre. La maggior parte dei laghi vulcanici, come accennato nel capitolo precedente, è passata dalle originarie condizioni oligotrofiche ad uno stato di mesotrofia o eutrofia: questi cambiamenti hanno comportato anche modifica-



Lago Grande di Monticchio (Basilicata)

zioni profonde delle comunità fitoplanctoniche originarie, con la scomparsa di specie legate ad acque oligotrofiche, che sono state sostituite da altre, meglio adattate alle nuove condizioni ambientali.

Nel caso dei laghi di origine vulcanica, il risultato di questa sostituzione di specie è stata, in parte, condizionata anche dalla morfologia del bacino lacustre: questa, infatti, influisce sui processi e sulle quantità con cui i nutrienti algali si rendono disponibili per essere utilizzati dalle alghe planctoniche. Così,

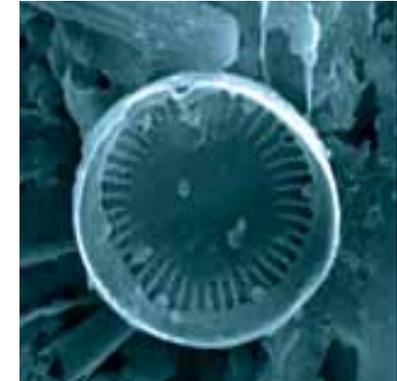
nei laghi vulcanici poco profondi, come Monterosi o il Lago Grande di Monticchio, quando si creano le condizioni per il rimescolamento della massa d'acqua, grazie alla modesta profondità anche i nutrienti inorganici mineralizzati a livello dei sedimenti possono tornare nelle acque superficiali ed essere utilizzati dalle alghe planctoniche.

Viceversa, nei laghi vulcanici più profondi la possibilità che un rimescolamento della massa d'acqua vada ad interessare i fondali lacustri è fortemente limitata: in questi ambienti i nutrienti inorganici accumulatisi in profondità rimangono segregati in strati d'acqua inaccessibili per il fitoplancton.

■ Struttura delle associazioni fitoplanctoniche

Le osservazioni di carattere generale espresse nei paragrafi precedenti ci hanno permesso di definire il quadro limnologico proprio dei laghi di origine vulcanica, delineando il complesso di condizioni che gli organismi algali devono fronteggiare per poter colonizzare questi ambienti lacustri. Riassumendo brevemente, un'alga trasportata in un lago vulcanico "tipico", si troverà in un ambiente dove la temperatura dell'acqua va incontro ad una forte escursione termica stagionale, con la formazione, nel periodo estivo, di strati d'acqua termicamente diversi e separati da forti gradienti di temperatura, dove la trasparenza è elevata e la radiazione luminosa può raggiungere profondità considerevoli, dove il ricambio della massa d'acqua è molto lento e gli apporti idrologici dal bacino imbrifero modesti. La disponibilità dei nutrienti è variabile in relazione allo stato trofico ed alla morfologia del bacino, come, del resto, si osserva comunemente in altri laghi.

La composizione specifica delle associazioni fitoplanctoniche va incontro a modificazioni stagionali, regolate dal cambiamento delle condizioni ambientali.



Cyclotella comensis



Stephanodiscus minutulus

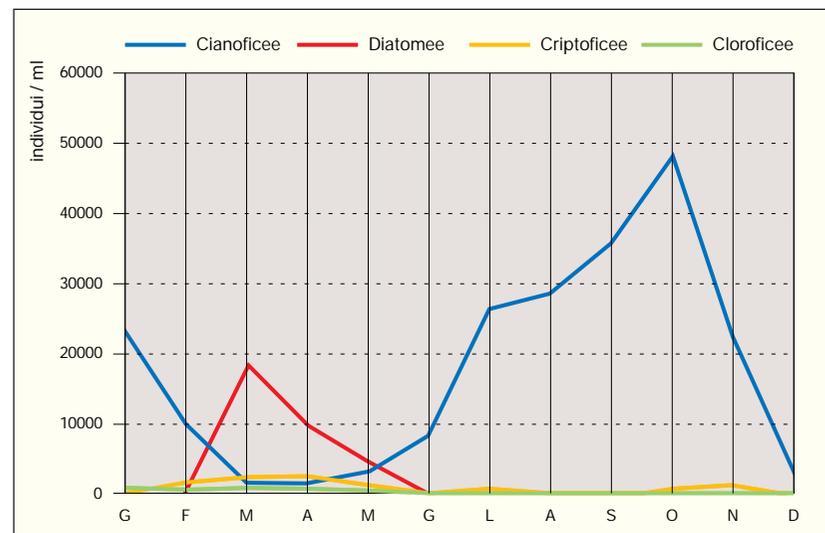
A partire dalla fine dell'inverno, quando la colonna d'acqua è in fase di mescolamento e la radiazione solare diviene più intensa, assistiamo allo sviluppo delle diatomee: queste sono le tipiche alghe pioniere, che si sviluppano rapidamente nella colonna d'acqua non ancora colonizzata da altri gruppi algali, grazie alla loro crescita rapida ed all'efficienza elevata nell'assimilare i nutrienti. Le diatomee sono caratterizzate dal possesso di un guscio siliceo detto "frustulo", che ingloba le cellule, rendendole particolarmente pesanti e, dunque, condannandole ad una rapida sedimentazione al di fuori degli strati d'acqua illuminati dalla radiazione solare. Anche per questo motivo la loro fase di crescita è strettamente legata al periodo di massima turbolenza delle acque lacustri, poiché il rimescolamento delle acque ne contrasta la sedimentazione. Nei laghi vulcanici italiani le diatomee dominanti sembrano essere le centriche, almeno stando alle informazioni che ci vengono dagli studi condotti sui laghi laziali: negli anni precedenti il peggioramento dello stato trofico, il genere più rappresentato era *Cyclotella*, all'interno del quale le specie *C. comensis*, *C. kuetzingiana* e *C. ocellata* erano tra le più abbondanti, secondo quanto riportato in letteratura. Con lo spostamento verso condizioni più elevate di trofia, queste specie di *Cyclotella* sono state, in diversi ambienti, rimpiazzate da alcune specie di *Stephanodiscus* (*S. parvus*, *S. minutulus*, *S. hantzschii*), un altro genere di diatomee centriche, che, contrariamente a *Cyclotella*, preferisce ambienti con una maggiore disponibilità di nutrienti. L'alternanza tra questi due generi è emersa in modo molto chiaro da ricerche paleolimnologiche condotte sui laghi vulcanici del Lazio, che hanno permesso di ricostruire l'evoluzione trofica attraverso l'analisi dei frustuli di diatomee depositati nei sedimenti lacustri.

Queste indagini, attraverso le quali è stato possibile stabilire la composizione della comunità a diatomee dei laghi di Nemi e Albano fin dal tardo Pleistocene, hanno rivelato l'esistenza di oscillazioni tra diatomee di acque eutrofe e diatomee di acque oligotrofe anche in periodi precedenti l'inizio delle attività antropiche, probabilmente a seguito di eventi climatici, che determinarono aumenti di temperatura delle acque, o di periodi di attività geotermica, che influirono sulla disponibilità di nutrienti algali. Informazioni di tipo paleolimnologico relative alla struttura delle associazioni fitoplanctoniche del passato si possono, purtroppo, ottenere solo per le alghe che lasciano tracce fossili, ovvero diato-

me e crisoficee. Queste ultime, peraltro, sono scarsamente rappresentate nei laghi vulcanici, come risulta sia da dati paleolimnologici, che da informazioni sulle comunità algali recenti di questi ambienti.

In generale, sia diatomee che crisoficee sono tipici esponenti della flora fitoplanctonica primaverile, non solo nei laghi vulcanici. Come spiegato nel capitolo precedente, le condizioni ambientali si modificano sostanzialmente nel passaggio dalla primavera all'estate con l'instaurarsi della stratificazione termica. I nutrienti che, rimessi in circolazione alla fine dell'inverno, avevano sostenuto la crescita primaverile delle diatomee, risultano ora quasi completamente esauriti nell'epilimnio. Tuttavia, il metalimnio può rappresentare una importante riserva di azoto e fosforo, poiché, a causa dei gradienti di temperatura e densità, la materia organica in sedimentazione si deposita, per periodi più o meno lunghi, in questo strato d'acqua. Le differenze di densità dell'acqua nel metalimnio costituiscono una barriera fisica che si oppone alla sedimentazione del materiale organico particellato che, soffermandosi all'interno di questo strato d'acqua, viene qui mineralizzato, dando origine a depositi di sali nutritivi che possono essere sfruttati dalle alghe per la crescita.

Naturalmente, non tutte le alghe sono capaci di sfruttare questa riserva: le diatomee tendono a diminuire, in questa fase stagionale, essenzialmente per tre motivi. Il primo è lo stabilirsi della stratificazione termica e la forte riduzione della turbolenza che le manteneva in sospensione; il secondo è l'esaurimento dei sali di silice, consumati per costruire il frustulo e divenuti ormai limitanti per



Andamento stagionale dei principali gruppi fitoplanctonici nel Lago di Nemi (1982)

Planktothrix rubescens è una tipica specie metalimnetica, in quanto la sua caratteristica ecologica più evidente è quella di formare densi accumuli in corrispondenza del metalimnio lacustre che, ricordiamo, è quello strato d'acqua in cui si misura il gradiente termico più elevato nel periodo di stratificazione estiva della colonna d'acqua.

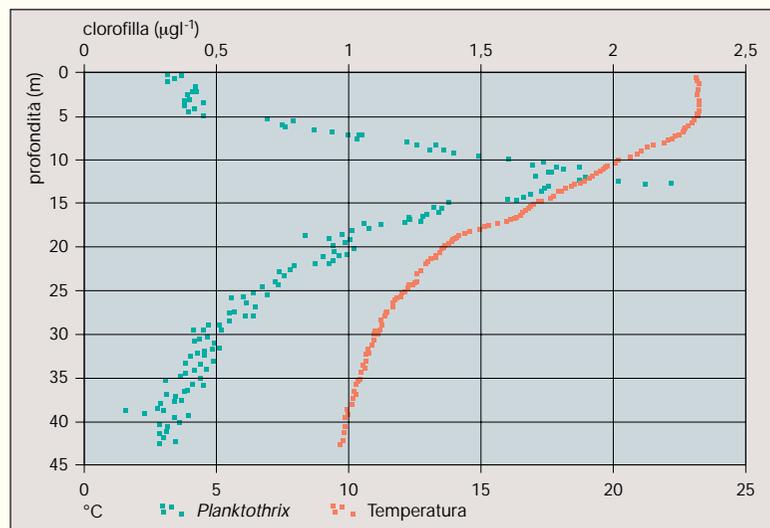
P. rubescens è una specie stenoterma fredda, con un optimum di crescita intorno ai 15°C ed è una specie sciafila, che predilige acque dove la radiazione luminosa è relativamente bassa. Dal punto di vista trofico, *P. rubescens* cresce meglio in ambienti piuttosto ricchi di nutrienti.

Questa combinazione di acque fredde, debolmente illuminate e con nutrienti abbondanti, si realizza perfettamente nel metalimnio dei laghi profondi, indicativamente localizzato ad una profondità tra i 10 ed i 15

metri: gran parte della radiazione luminosa subacquea si attenua prima di raggiungere questa profondità e, di conseguenza, anche il riscaldamento di questo strato d'acqua è limitato. Inoltre, il gradiente termico provoca differenze di densità dell'acqua che favoriscono l'accumulo metalimnetico della sostanza organica in sedimentazione, che qui viene decomposta e mineralizzata.

È quindi comprensibile che *P. rubescens* trovi nel metalimnio le condizioni ottimali per il suo sviluppo.

Questa specie è avvantaggiata anche dal possesso di particolari pigmenti fotosintetici, che, oltre a conferire a questo organismo il colore rosso, gli permettono di utilizzare in modo efficiente anche le basse intensità luminose. Inoltre *P. rubescens* possiede vacuoli gassosi intracellulari, grazie ai quali può regolare attivamente la sua posizione nello strato d'acqua.



Relazione fra la presenza di *Planktothrix rubescens* e la temperatura dell'acqua con l'aumento della profondità

la loro crescita; il terzo è la predazione da parte dello zooplancton erbivoro, in particolare dei Cladoceri, che possono ridurre sensibilmente l'abbondanza dei popolamenti algali primaverili, dando spesso luogo al fenomeno della clear-water. Si tratta di un momento stagionale in cui la colonna d'acqua risulta particolarmente trasparente a causa della rimozione delle alghe da parte dello zooplancton.

Le diatomee lasciano dunque le acque libere per lo sviluppo di altri organismi algali. Quali sono questi organismi?

Indagini sulla flora pelagica dei laghi di Nemi e Albano, compiute negli anni '30 e '40 del secolo appena trascorso, sembrano indicare le dinoflagellate tra le alghe di maggior successo nelle associazioni fitoplanctoniche estive dei laghi di origine vulcanica. In particolare, una delle specie più rappresentate era *Ceratium hirundinella*, che con la sua morfologia affascinante rappresenta una sorta di iconografia del fitoplancton lacustre. Probabilmente due sono i fattori chiave del suo vantaggio competitivo: il primo è il possesso dei flagelli, che permettono a questo organismo di spostarsi attivamente nella colonna d'acqua alla ricerca delle migliori condizioni per la crescita. Grazie alle capacità di movimento autonome, *Ceratium* è in grado di effettuare delle migrazioni tra le acque superficiali, ben illuminate, dove può svolgere la fotosintesi e lo strato del metalimnio, dove può rifornirsi di nutrienti. Il secondo fattore decisivo è rappresentato dalle dimensioni di questa alga, che le consentono di immagazzinare quantità consistenti di nutrienti e di fare quindi una buona scorta quando se ne presenta l'occasione: questa capacità è particolarmente vantaggiosa in ambienti poveri di nutrienti, come erano i laghi vulcanici italiani prima del 1960.

Nei laghi vulcanici andati incontro ad un peggioramento delle condizioni trofiche si è assistito al generale declino delle dinoflagellate, la cui posizione dominante nelle comunità algali estive è stata assunta dai cianobatteri, comunemente conosciuti anche come alghe azzurre. Le specie che hanno ottenuto il maggior successo nei laghi di origine vulcanica variano in relazione alla tipologia dell'ambiente considerato. Infatti, nei laghi vulcanici profondi si è insediata in modo quasi esclusivo *Planktothrix rubescens*, mentre in quelli a profondità modesta dominano taxa appartenenti ai cianobatteri crococcali (*Microcystis*, *Woronichinia*, *Merismopedia*). *Planktothrix rubescens* è un cianobatterio che forma colonie simili a lunghi filamenti ed è una delle specie algali meglio studiate, grazie anche alla sua vasta diffusione nel mondo ed al fatto che le sue



Planktothrix rubescens

Cianobatteri del genere *Woronichinia*

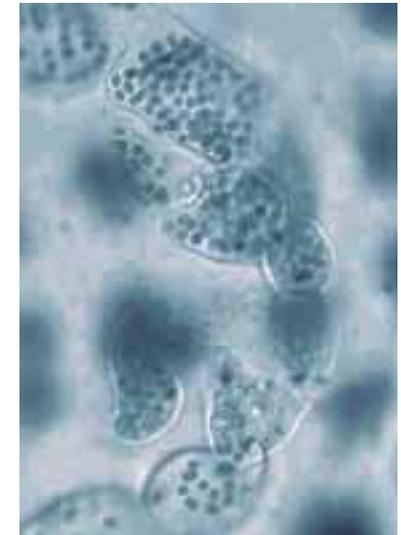
fioriture, che conferiscono alle acque un colore rosso, furono uno dei segnali più evidenti del peggioramento delle condizioni trofiche in molti dei laghi profondi europei. Le sue caratteristiche ecofisiologiche sono quindi ben conosciute e ci permettono di comprendere le ragioni che hanno portato al successo di questa specie anche nei laghi vulcanici profondi italiani (vedi scheda a pag. 50). Una colonna d'acqua trasparente fino a profondità elevate, rappresenta una nicchia ecologica ottimale per lo sviluppo di *P. rubescens*. La trasparenza naturalmente elevata dei laghi vulcanici garantisce sempre una zona eufotica sufficientemente profonda per includere lo strato metalimnetico e questo rappresenta

un ulteriore elemento che favorisce la crescita di *P. rubescens* nei laghi vulcanici profondi, come il Lago Albano e quello di Nemi. Nei laghi di origine vulcanica con scarsa profondità è raro che si formi un metalimnio stabile e che vi siano condizioni permanenti di elevata trasparenza: infatti una colonna d'acqua poco profonda può facilmente essere soggetta ad un completo rimescolamento, per esempio in occasione di vento forte, e la turbolenza può interessare anche gli strati vicini al fondo, con conseguente risospensione di materiale sedimentato ed aumento della torbidità dell'acqua. Inoltre, una colonna d'acqua poco profonda può raggiungere temperature mediamente elevate fino al fondo.

Da quanto detto in precedenza, è evidente che queste condizioni inibiscono un possibile sviluppo di *Planktothrix*, risultando invece ideali per una diversa tipologia di cianobatteri, rappresentata dalle crococcali: queste sono alghe che formano colonie globulari, di forma irregolare (*Microcystis*) o sferica (*Woronichinia*), oppure colonie regolari di forma rettangolare (*Merismopedia*). Le cellule sono immerse in una matrice mucillaginosa, che permette a questi organismi di galleggiare facilmente e di riguadagnare la superficie anche dopo episodi di rimescolamento della colonna. La maggior parte di questi cianobatteri crococcali, inoltre, sono ben tolleranti verso temperature e radiazioni luminose elevate, caratteristiche che consentono loro di colonizzare con successo gli strati più superficiali della colonna d'acqua. La scarsa profondità di questi bacini favorisce, al momento del mescolamento, il ritorno verso la superficie di notevoli

quantità di nutrienti, che erano accumulati nelle acque di fondo, innescando spesso fioriture di cianobatteri crococcali, che formano sulla superficie del lago estesi tappeti o striature. Esempi di fioriture di questi cianobatteri si possono osservare nel Lago Grande di Monticchio. L'avvento dei cianobatteri nei laghi vulcanici ha avuto anche delle ripercussioni sulla diversità della rete trofica, determinando la scomparsa di *Eudiaptomus padanus etruscus*, un copepode frequente in questi ambienti nel periodo pre-eutrofizzazione, come descritto nel capitolo sullo zooplancton. Al termine di questa trattazione risulta utile riassumere alcuni principi generali del capitolo. In primo luogo risulta che la dinamica di una biocenosi fitoplanctonica in ambiente pelagico lacustre è regolata dalla interazione di numerosi fattori fisici, chimici e biotici, la cui importanza relativa varia tra un ambiente e l'altro e nell'arco delle stagioni. Tra le variabili strutturanti la composizione in specie delle biocenosi algali, gli studi più accreditati sull'ecologia del fitoplancton hanno attribuito ai fattori fisici il ruolo più significativo nel guidare l'alternanza delle specie. Per questa ragione la descrizione delle comunità fitoplanctoniche nei laghi vulcanici ha tenuto in particolare considerazione gli adattamenti delle specie algali alle variazioni di luce e temperatura. Ma questa non è la sola ragione: infatti, l'ambiente fisico dei laghi di origine vulcanica presenta, effettivamente, alcune caratteristiche che differenziano questi dagli altri ambienti lacustri e li rendono particolarmente adatti ad essere colonizzati da alcune specie algali, peraltro non esclusive di questa tipologia di acque dolci.

La letteratura scientifica esistente sul fitoplancton dei laghi vulcanici ha però messo in evidenza come molti di questi ambienti siano estremamente vulnerabili ad un eccessivo impatto antropico: infatti, il lento ricambio idrologico di queste acque ha favorito l'accumulo, in tempi relativamente brevi, di concentrazioni elevate di nutrienti algali e il cambiamento delle caratteristiche chimiche ha innescato alterazioni, a volte profonde, della struttura delle biocenosi fitoplanctoniche, portando alla dominanza di specie algali che, in alcuni casi, possono seriamente compromettere la fruizione di queste acque. Esempio emblematico sono le fioriture di cianobatteri potenzialmente tossici, di cui alcuni casi sono stati recentemente documentati per i laghi vulcanici laziali.

*Microcystis wesenbergii*

Macrofite

MAURO IBERITE

In un bacino lacustre, in condizioni di naturalità, le comunità vegetali acquatiche e ripariali presentano una distribuzione caratteristica in cinture concentriche legate essenzialmente al livello dell'acqua e alla natura dei sedimenti. In generale il substrato sabbioso-limoso dei fondali che degradano dolcemente favorisce la presenza della vegetazione che può raggiungere livelli di copertura piuttosto elevati. I laghi



Salcerella comune (*Lythrum salicaria*)

vulcanici hanno in genere acque profonde e trasparenti che possono ospitare la vegetazione fino a 15-20 metri di profondità. È possibile schematizzare una sequenza tipica delle cinture di vegetazione di un lago con linea di costa più o meno piatta che non abbia subito alcun tipo di intervento antropico. In particolare, per un lago vulcanico con acque limpide, profonde a basso tenore di calcio, tale sequenza teorica può essere così illustrata:

1. prati su suoli idromorfi, caratterizzati da giunchi (*Juncus*), equiseti (*Equisetum*) e zigoli (*Cyperus*)
2. vegetazione arborea e arbustiva palustre costituita da salici (*Salix*), pioppi (*Populus*), ontano comune (*Alnus glutinosa*) e subordinatamente frassino meridionale (*Fraxinus oxycarpa*)
3. vegetazione riparia a grandi carici della sponda emersa, con carici (*Carex*), giaggiolo palustre (*Iris pseudacorus*), coltellaccio maggiore (*Sparganium erectum*), salcerella comune (*Lythrum salicaria*), mazza d'oro comune (*Lysimachia vulgaris*)
4. vegetazione ubicata in corrispondenza dell'interfaccia terra/acqua, fino ad una profondità di 2 m circa; è caratterizzata dalla presenza di grandi elofite (canneti) quali la cannuccia di palude (*Phragmites australis*), la lisca a foglie strette (*Typha angustifolia*) e la lisca lacustre (*Schoenoplectus lacustris*)
5. idrofite natanti (pleustofite), cioè flottanti liberamente alla superficie dell'acqua o nello strato infracquatico superiore, non ancorate al substrato quali la lenticchia d'acqua (*Lemna* sp. pl.), l'azolla (*Azolla filiculoides*), l'epatica acquatica (*Riccia fluitans*); queste comunità sono molto sensibili al moto ondoso, per cui prediligono acque calme e riparate dove il movimento dell'acqua è pressoché assente

Vegetazione lungo le rive del Lago di Nemi (Lazio): in primo piano la cannuccia di palude (*Phragmites australis*) e, in acqua, miriofillo comune (*Myriophyllum spicatum*) e brasca nodosa (*Potamogeton nodosus*)

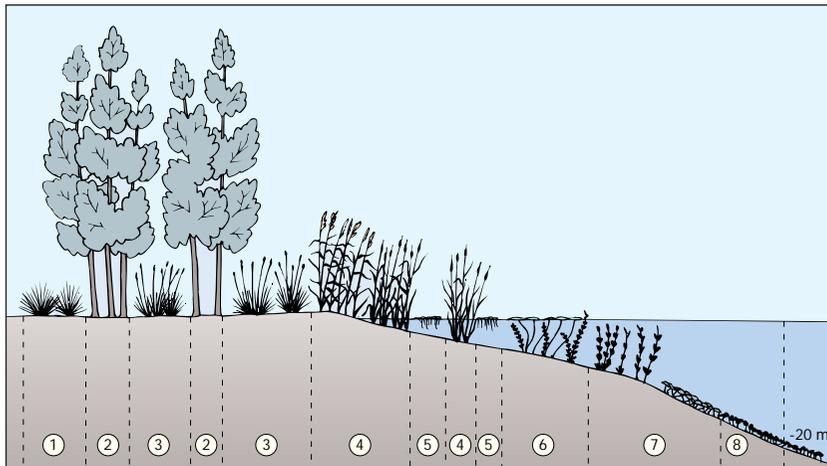


6. idrofite radicate (rizofite) flottanti, con parte dell'apparato vegetativo sommerso e parte galleggiante sul pelo dell'acqua (lamineto), compresi gli organi riproduttori come le ninfee (*Nymphaea*, *Nuphar*), la brasca nodosa (*Potamogeton nodosus*) il poligono anfibio (*Polygonum amphibium* f. *aquatica*) e il miriofillo verticillato (*Myriophyllum verticillatum*); questa cintura si insedia su substrato ricco in nutrienti, in acque a limitato moto ondoso profonde da 0,5 a 3 m circa, in genere all'esterno dei canneti o nelle schiarite di questi; in questa zona, in acque basse si insediano le cenosi dei potamogeti di piccola taglia spesso misti a zannichellia (*Zannichellia palustris*) e caracee

7. vegetazione caratterizzata da rizofite sommerse affioranti solo durante la fioritura e la fruttificazione quali la brasca arrotondata (*Potamogeton perfoliatus*) e la brasca trasparente (*P. lucens*), il miriofillo comune (*Myriophyllum spicatum*), la valisneria (*Vallisneria spiralis*) o completamente sommerse come il ceratofillo (*Ceratophyllum demersum*), la ranocchina maggiore (*Najas marina*) che spesso tipizzano con elevati indici di copertura la fascia più esterna di questa cintura; questa fascia si sviluppa fino a circa 5-6 m di profondità in base alla trasparenza dell'acqua

8. vegetazione sommersa a grandi caracee (*Chara tomentosa*, *C. hispida*) di acque profonde oligotrofe o mesotrofe; queste cenosi sono particolarmente importanti nei laghi vulcanici in quanto si sviluppano su fondali profondi fino a 15-20 m, in acque limpide, con coperture ed estensioni elevate, e sono quindi da considerare i principali produttori primari dell'ecosistema lacustre.

È comunque fondamentale sottolineare che i laghi vulcanici, per la loro morfologia imbutiforme, hanno queste cinture spesso ridotte per l'acclività del fon-



Seriazione della vegetazione lungo le rive di un lago vulcanico (i numeri fanno riferimento al testo)

do; in alcuni settori del lago a volte manca del tutto lo spazio ecologico di loro competenza. Inoltre, anche le attività umane hanno ulteriormente ridotto le comunità vegetali attraverso il disturbo meccanico e l'inquinamento.

■ Flora e vegetazione

I laghi vulcanici dell'Italia peninsulare presentano nell'insieme una varietà di ambienti molto complessa e articolata per le caratteristiche morfologiche del bacino. È necessario, inoltre, tener presente che lo stato delle conoscenze non è omogeneo e in taluni casi gli studi si riferiscono ad uno o due decenni fa. Nonostante queste disparità è possibile delineare le caratteristiche della vegetazione che questi peculiari ecosistemi ospitano.



Brasca comune (*Potamogeton natans*) nel Lago di Martignano (Lazio)

La cintura della vegetazione palustre formata da prati umidi, giuncheti, cariceti e canneti presenta il maggior impatto antropico di tipo meccanico per cui ha risentito maggiormente di tagli, diradamenti e rettifiche della linea di costa.

Nella maggioranza dei casi sono rimaste solo le elofite propriamente dette (canneti) mentre tutte le altre tipologie sono scomparse per far posto a coltivi, strade, porticcioli o centri urbani. Il canneto è dominato dalla cannuccia di palude, la più resistente delle elofite, alla quale si accompagnano rari individui di erba-sega comune (*Lycopus europaeus*), morella rampicante (*Solanum dulcamara*), vilucchione bianco (*Calystegia sepium*). Questa è la situazione che ritroviamo nei grandi laghi di Bolsena e Bracciano e in quelli di Nemi e Albano. Il canneto è frammentario e diffuso solo nei settori lontani dai centri abitati e dai coltivi; dove il fondale lo permette può estendersi anche per decine di metri verso il centro lago. Spesso la cannuccia è sostituita dalla canna comune (*Arundo donax*) che meglio tollera l'eutrofizzazione ed è favorita dal rimaneggiamento del suolo. Da segnalare al Lago di Bolsena la presenza del giunco fiorito (*Butomus umbellatus*), specie divenuta ormai molto rara nei laghi peninsulari. Le porzioni sommerse del fusto della cannuccia costituiscono inoltre un supporto per i muschi acquatici. Queste specie, molto sensibili alle alterazioni ambientali, sono ormai divenute molto rare. Sono stati comunque segnalati per i laghi di Bracciano e di Albano due specie (*Fontinalis squamosa* e *Amblystegium riparium*) buone indicatrici di qualità ambientale.

Le cenosi dominate dalla lisca a foglie strette e dalla lisca lacustre sono in genere molto più rare e ridotte a pochi lembi. La prima necessita di condi-

zioni ecologiche particolari, suolo profondo e organico; non essendo poi una pianta stolonifera come la cannuccia non sopporta l'estirpazione per cui soccombe alle pratiche di "pulizia" delle zone litoranee lacustri. La lisca lacustre è invece una specie pioniera e tende a colonizzare la fascia più profonda dei canneti raggiungendo i 2-3 m di profondità, compenetrandosi con la vegetazione delle idrofite flottanti quasi sempre rappresentate dai lamineti a poligono anfibio. Questa situazione può essere osservata a Bolsena, Vico, Nemi e ai laghi di Monticchio.

Nella riserva regionale del Lago di Vico e in quella dei laghi di Monticchio possiamo trovare ancora quelle cenosi dei prati umidi, cariceti, giuncheti e boschi ripariali che dovrebbero essere il naturale contorno di tutti i nostri laghi vulcanici. Il giunchetto meridionale (*Holoschoenus australis*), diverse specie di giunchi (*Juncus effusus*, *J. articulatus*, *J. inflexus*) e il coltellaccio maggiore (*Sparganium erectum*) caratterizzano i giuncheti, accompagnate dal giaggiolo palustre, dai capellini comuni (*Agrostis stolonifera*), dal ranuncolo sardo (*Ranunculus sardous*) dalla menta acquatica (*Mentha aquatica*) e dal caglio delle paludi (*Galium palustre*). Nei laghi di Monticchio è presente inoltre una rara formazione di una ciperacea di grandi dimensioni, il falasco (*Cladium mariscus*) di elevato pregio naturalistico. Le cenosi a grandi carici cespitose, costituite da carice spondicola (*Carex riparia*), carice falsocipero (*C. pseudocyperus*) e carice pannocchiata (*C. paniculata*), possono essere localmente molto estesi.



Lisca lacustre (*Schoenoplectus lacustris*)

Un discorso a parte meritano gli "aggallati" dei laghi di Monticchio, rappresentati da tappeti galleggianti formati dai rizomi della cannuccia che decomponendosi formano un substrato fertilissimo per lo sviluppo delle carici. Il carice falsocipero rappresenta la specie caratteristica di queste isole galleggianti. Anche questa tipologia di vegetazione è divenuta oggi assai rara a causa del disturbo antropico (taglio dei canneti, riassetto degli argini ed eutrofizzazione dei bacini).

La vegetazione forestale palustre costituisce infine un aspetto importante e suggestivo per i laghi di Monticchio; il frassino meridionale, l'ontano comune, i salici (*Salix cinerea*, *S. alba*) e il pioppo bianco (*Populus alba*) sono le specie arbustive e arboree che li tipizzano costituendo dei veri lembi di foresta ripariale ormai scomparsa in numerosi biotopi lacustri.

Anche la cintura delle idrofite flottanti ha subito, a causa dell'uomo, delle trasformazioni notevoli. Sono queste le piante più appariscenti per le loro fioriture bianche (ninfea bianca - *Nymphaea alba*, e ranucoli), gialle (ninfea gialla, morso di rana - *Hydrocharis morsus-ranae*) e rosa (poligono anfibio), ma purtroppo occupano la zona litoranea da 50 cm a 3 m di profondità utilizzata per la pesca e per gli approdi delle barche.

Nei laghi vulcanici peninsulari, alla fine degli anni '50, tale cintura era presente ed estesa in molti laghi, quali quelli di Bolsena, Bracciano e Albano. Attualmente essa è quasi del tutto scomparsa o ridotta a limitatissimi lembi di poligono anfibio.



Foresta che circonda i laghi di Monticchio (Basilicata)



Ninfea gialla (*Nuphar luteum*) e, in secondo piano, ninfea bianca (*Nymphaea alba*)

Specie rare e interessanti rimangono ancora in alcuni laghi a testimoniare una potenzialità di recupero non ancora del tutto esaurita. Il Lago di Bolsena ad esempio conserva ancora il ranuncolo a foglie capillari (*Ranunculus trichophyllus*) e alcuni individui di ninfea gialla. Il Lago di Vico e quelli di Monticchio hanno gli aspetti più interessanti. Il primo con la brasca nodosa che si associa al poligono anfibio, accompagnati dai rari ranuncoli di Baudot e peltato (*R. baudotii* e *R. peltatus*). I secondi con la rara ninfea bianca, specie emblematica della vegetazione rizofitica flottante, che ancora costruisce una cenosi ben strutturata; quest'ultima specie è segnalata anche per i piccoli bacini degli Astroni presso Napoli



Giaggiolo palustre (*Iris pseudacorus*)

(Campania) per i quali purtroppo mancano studi dettagliati. La cintura delle idrofite sommerse nel complesso ha risentito in minor misura delle trasformazioni ambientali, almeno nei grandi laghi dove l'ecosistema ha ancora una discreta capacità di autoregolazione (omeostasi). Nei bacini minori invece questa capacità è molto ridotta e l'impatto antropico può portare una notevole rarefazione di queste idrofite con la dominanza di specie molto tolleranti quali il miriofillo comune (Lago di Nemi). In generale questa cintura non presenta una copertura molto elevata, è sempre sommersa e, durante l'estate, affiorano solo le esili infiorescenze del miriofillo e delle brasche (arrotondata e trasparente).

Nei diversi laghi la composizione floristica è varia, ma in generale il miriofillo comune, il ceratofillo e la brasca arrotondata costituiscono le specie dominanti; le accompagnano la vallisneria (Bolsena, Albano), la brasca increspata (*P. crispus*) (Martignano, Monticchio) e la brasca trasparente (Bolsena, Vico, Albano). Questa vegetazione raggiunge i 5 m di profondità, ma nei laghi più torbidi e disturbati si arresta intorno a 3 m ed è rappresentata quasi esclusivamente dal miriofillo comune sempre con copertura ridotta (Lago di Nemi). Da segnalare la presenza dell'idrofita esotica nordamericana *Elodea canadensis* (peste d'acqua comune) che sta colonizzando anche i nostri laghi peninsulari (Bolsena, Bracciano, Martignano e Albano).

Le cenosi delle idrofite sommerse, in condizioni di spiccata trofia, sono caratterizzate dalla brasca delle lagune (*Potamogeton pectinatus*); ciò si verifica in corrispondenza di foci di canali, fossi e nei porticcioli.

È necessario infine sottolineare come da questa situazione generale si differenzino i laghi di Vico e Monticchio dove il numero delle idrofite è maggiore rispetto agli altri laghi, ma ancor di più le cenosi sono estese e strutturate e la specie dominante non è mai il miriofillo. Nella fascia più esterna delle idrofite sommerse, fra 4 e 6 m di profondità, il ceratofillo diviene più competitivo rispetto alle altre specie e tende a formare una cenosi monofitica compatta; questo è ciò che ritroviamo in quasi tutti i laghi considerati. Un aspetto particolare è costituito dalla ranocchina maggiore e da quella minore (*Najas marina* e *N. minor*) che caratterizzano una comunità annuale a sviluppo tardo-estivo autunnale, che succede ad altre associazioni di idrofite a diversa profondità fra 2 e 5 m. Le cenosi dominate dalle idrofite di piccole dimensioni (parvopotameti), sempre con estensioni molto limitate, si rinvergono nei laghi di Bolsena e Albano in uno spessore d'acqua in media di 30 cm, alla foce dei canali e nei diradamenti del canneto operati dall'uomo. Le comunità sono dominate da zannichella e brasca palermitana (*Potamogeton pusillus*), specie termofile tipiche di acque poco profonde e basiche.

L'ultima cintura di vegetazione della zona litoranea è caratterizzata dalle alghe del gruppo delle caracee.

La profondità dell'acqua fra 6 e 20 m riduce notevolmente la quantità di luce che raggiunge il fondo, per cui nessuna fanerogama può sopravvivere. Le caracee invece trovano a queste profondità le condizioni ideali al loro sviluppo. Nei laghi dell'Italia peninsulare queste cenosi sono state poco



Ninfea bianca (*Nymphaea alba*)

studiate, in particolare per la difficoltà di campionamento.

Nei laghi di Bolsena e Bracciano e nel piccolo bacino di Martignano le cenosi a caracee si estendono per aree molto vaste fino a 20 m di profondità. Le specie dominanti sono di grandi dimensioni (*Chara tomentosa* e *C. hispida*), le cenosi sono spesso monofitiche e producono una biomassa notevole. Nel Lago di Bolsena, ad esempio, le caracee sono presenti lungo tutto il perimetro, anche se non con la continuità descritta alla fine degli anni sessanta; ciò testimonia le buone condizioni del bacino lacustre nonostante la fascia litoranea delle elofite e delle idrofite fanerogame sia stata molto alterata. Pur essendoci



Cannuccia di palude (*Phragmites australis*)

una disomogeneità di dati riguardanti la vegetazione dei laghi vulcanici dell'Italia peninsulare, è comunque possibile trarre alcune conclusioni. La flora è nel complesso poco ricca in specie, inoltre quelle che determinano la fisionomia delle diverse fasce sono le più comuni e tolleranti i fattori di disturbo quali la cannuccia, la lisca lacustre, la brasca arrotondata, il miriofillo comune e il ceratofillo.

Nonostante ciò la presenza di specie rare (la ranocchina minore e il giunco fiorito) o sensibili alle alterazioni ambientali (il ranuncolo a foglie capillari, la brasca palermitana, la ninfea gialla e la porracchia dei fossi o *Ludwigia palustris*), evidenziano una condizione non ancora del tutto compromessa e le potenzialità di recupero di questi ecosistemi.

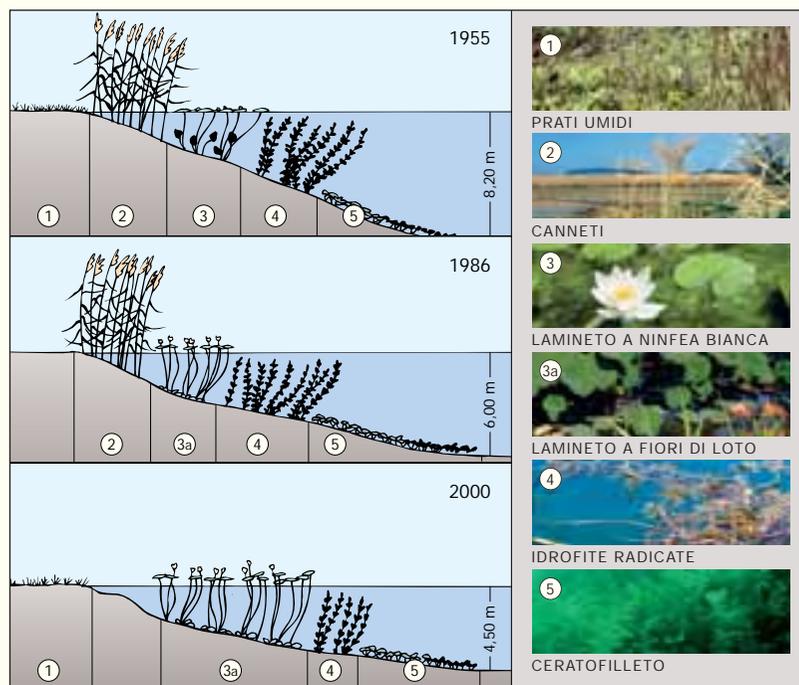
Alcuni bacini, in particolare Monticchio e Vico, sono siti ad elevata diversità sia floristica che vegetazionale e conservano gli ultimi lembi di una vegetazione ormai scomparsa altrove.

Anche grandi bacini come Bolsena e Bracciano, pur ospitando specie cosmopolite e ad ampio spettro ecologico, mantengono consistenti comunità a caracee, indicatrici di discrete condizioni di trofia. Queste alghe infatti, presenti soprattutto in acque da oligotrofe a mesotrofe, sono ritenute sensibili a un alto contenuto di fosfati nell'acqua; l'aumento di questi nutrienti viene considerato una delle principali cause della loro progressiva scomparsa. Esse infine, caratterizzando le parti più profonde della zona litoranea, costituiscono il "filtro" e il "polmone" dell'intero ecosistema.

Il Lago di Monterosi è situato a 237 m s.l.m. nella cavità di un cratere del settore NE dell'apparato vulcanico sabatino, il cui centro è occupato dal Lago di Bracciano, e rappresenta uno dei rari esempi di lago-stagno osservabili nel Lazio. Per questo bacino è possibile ricostruire un'analisi temporale delle variazioni cenologiche in quanto esiste uno studio che risale al 1955 ed uno più recente del 1987.

Il bacino lacustre, pressoché circolare, è alimentato da una sorgente, ma le variazioni del livello stagionale, che si aggirano intorno al metro, dipendono quasi esclusivamente dalle piogge e dalle pratiche agricole. La profondità massima attuale è di circa 5 m, ma negli anni '50 superava gli 8 m; la variazione è dovuta ad alcuni smottamenti e al naturale processo d'interramento.

La cintura delle elofite, caratterizzata da cannuccia di palude, lisca a foglie strette e lisca lacustre, era negli anni '50 pressoché continua lungo il perimetro del lago; alla fine degli anni '80 la tifa aveva esteso la sua popolazione evidenziando una condizione di maggior eutrofia. Attualmente, a causa dei continui tagli, i canneti sono estremamente rarefatti e discontinui. Inoltre, già negli anni '50, i prati umidi e i giuncheti erano molto ridotti, ma era ancora presente un cospicuo contingente di specie di questi ambienti: porracchia dei fossi (*Ludwigia palustris*), zigolo comune (*Cyperus longus*), mestolaccia comune (*Alisma plantago-aquatica*), menta acquatica (*Mentha aquatica*), gramignone natante (*Glyceria fluitans*), sedano d'acqua (*Apium nodiflorum*). Nello studio successivo quasi tutte queste specie era-



no scomparse, tranne la porracchia dei fossi, pianta palustre di notevole pregio ambientale, rarissima nel Lazio.

Le idrofite hanno subito una trasformazione ancora maggiore sia a causa dell'accentuarsi dell'eutrofizzazione sia per l'introduzione, agli inizi degli anni '80, del fior di loto (*Nelumbo nucifera*). Questa bellissima ninfea di origine asiatica ha grandi fiori rosa e un caratteristico frutto che ricorda la coppa forata di un annaffiatoio, ha ampie foglie peltate che emergono dalla superficie dell'acqua e un rizoma che può crescere fino a 20 m l'anno.

Negli anni '50 le idrofite si presentavano in tre fasce concentriche lungo tutto il perimetro del lago. A ridosso del canneto si estendeva il lamineto a ninfea bianca e ranuncolo peltato, seguito dalle rizofite (brasca arrotondata, brasca increspata e miriofillo comune) fino alla profondità di 5 m. La zona centrale fino agli 8 m era invece dominata da una cenosi compatta di ceratofillo. Alla fine degli anni '80 la situazione era completamente cambiata. La cintura delle idrofite flottanti era invasa dal fior di loto; delle specie autoctone il ranuncolo peltato era sparito e la ninfea bianca ridotta a pochi individui; il fior di loto ha completamente soppiantato la specie

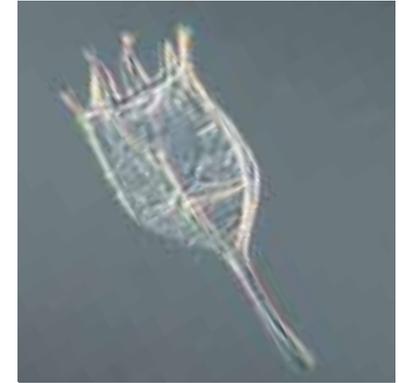
nostrana creando una cintura compatta e monofitica fra 1 e 3 m di profondità. I vigorosi rizomi di questa pianta impediscono a qualunque altra specie di crescere. Oltre i 3 m le idrofite sommerse sono attualmente rappresentate da miriofillo e ceratofillo; le diverse specie di brasche sono scomparse ad eccezione della brasca increspata presente con pochi individui. Fra tutte la più vigorosa è il ceratofillo, con elevate coperture specialmente nella zona più profonda. L'introduzione di una specie aliena (fior di loto) e le trasformazioni ambientali (interramento, pratiche agricole e alleutiche) hanno provocato un generale degrado dell'ecosistema con notevole perdita di biodiversità.

A specie rare e indicatrici di acque oligotrofe (ranuncolo peltato, brasca arrotondata, gramignone natante, sedano d'acqua) si sono sostituite altre ad ampio spettro ecologico. Il fior di loto, seppur contenuto nel suo espandersi dall'asportazione dei rizomi, sta soppiantando le specie autoctone, comprese le rizofite sommerse. La presenza di alcune specie rare e indicatrici di qualità delle acque (porracchia dei fossi, ninfea bianca) testimoniano comunque che l'ambiente non è ancora irrimediabilmente compromesso.

Zooplankton

FIorenza GABRIELLA MARGARITORA · DARIA VAGAGGINI

Fin dagli inizi del '900 le caratteristiche peculiari e l'elevata valenza naturalistica dei laghi vulcanici sono state un forte stimolo per lo sviluppo di ricerche sui popolamenti animali presenti nelle acque. I primi lavori pubblicati da Losito nel 1904 rappresentano la vera e propria scoperta e descrizione dello zooplankton che alberga nel Lago di Bracciano, con affascinanti dettagli ecologici e tassonomici che a tutt'oggi "catturano" il popolo dei limnologi. Successivamente numerose ricerche, portate avanti soprattutto dal gruppo

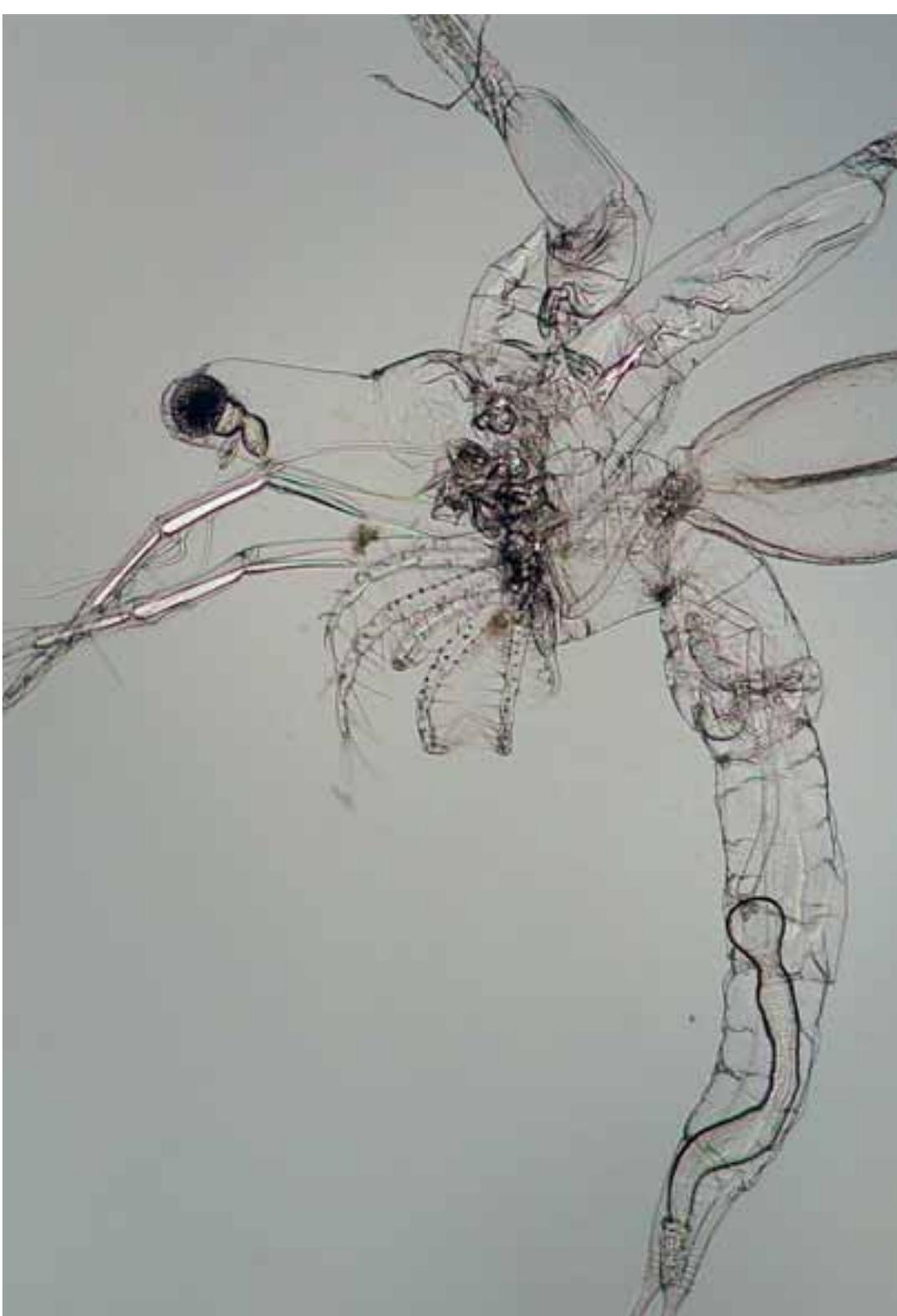


Keratella cochlearis

idrobiologico dell'Università "La Sapienza" di Roma, hanno ben investigato la composizione e le dinamiche stagionali delle biocenosi zooplanctoniche presenti in buona parte dei laghi vulcanici dell'Italia peninsulare, pur rimanendo ancora alcuni ambienti per i quali sarebbe estremamente necessario un approfondimento delle conoscenze.

Prima di affrontare discorsi specifici è utile ricordare che fanno parte dello zooplankton tutti gli organismi che vivono fluttuanti in sospensione nelle acque, soggetti al trasporto da parte dei venti e delle correnti. Secondo Hairston, limnologo dei nostri giorni, lo zooplankton rappresenta un superbo sistema per ricerche ecologiche ed evolucionistiche di tutti i tipi; tale affermazione trova le sue radici soprattutto nel ruolo primario che lo zooplankton riveste nell'ambito della catena trofica. I meccanismi di controllo delle sue variazioni temporali e spaziali sono, infatti, sia di tipo "bottom up", cioè in relazione alla dinamica del fitoplankton, che di tipo "top down", cioè dipendenti dalla predazione da parte dei pesci. Le variazioni stagionali quali- e quantitative del fitoplankton e le dinamiche della fauna ittica rappresentano dunque, anche nei laghi vulcanici, i principali elementi che influenzano lo zooplankton; ovviamente non deve essere trascurata l'influenza dei parametri abiotici, importanti soprattutto per comprendere la dinamica di quelle specie adattate ad un intervallo ristretto di caratteristiche fisico- chimiche.

Leptodora kindtii



Come sottolineato nei capitoli precedenti, i laghi vulcanici hanno come caratteristica peculiare l'elevata profondità in rapporto ad una superficie non molto estesa. Tale situazione è estremamente favorevole allo sviluppo di una distribuzione verticale (variabile temporalmente) dei popolamenti zooplanctonici lungo la colonna d'acqua, in relazione sia alle diverse caratteristiche abiotiche che alle complesse interazioni di tipo biotico (competizione, predazione).

■ Caratteristiche e distribuzione dello zooplancton

Lo zooplancton dei laghi vulcanici è costituito da rotiferi, cladoceri e copepodi. Ad ognuno di questi gruppi appartengono specie con differenti caratteristiche adattative, che strutturano una comunità notevolmente complessa.

I rotiferi sono microrganismi di dimensioni variabili da 0,04 a 1,5 mm. Il nome del gruppo deriva dall'organo rotatorio presente all'estremità anteriore dell'animale, che garantisce, attraverso il battito asincrono di numerose ciglia, un movimento del corpo di tipo elicoidale e contemporaneamente un'efficiente cattura ed incanalamento del cibo verso la bocca. Sono organismi filtratori di batteri e fitoplancton, tranne quelli del genere *Asplanchna* che sono predatori di protozoi ed altri rotiferi. La riproduzione avviene per partenogenesi, quando le condizioni ambientali sono favorevoli alla sopravvivenza della specie, e per riproduzione anfignonica al sopraggiungere di condizioni ostative. Le uova durature, prodotte mediante fecondazione, possono rimanere vitali anche per



Asplanchna priodonta

un tempo molto lungo, in attesa del ritorno di un ambiente idoneo allo sviluppo della specie.

La taxocenosi a rotiferi, tipica dei laghi vulcanici, presenta generalmente un numero di specie variabile da 10 a 15, se consideriamo la zona pelagica, che può aumentare fino a 20 se vengono incluse anche le specie che vivono strettamente legate a microhabitat litorali (zone di canneto, zone con vegetazione sommersa).



Kellicottia longispina

In genere però le specie litorali hanno comparsa molto sporadica e cicli brevi. In laghi con volume d'acqua consistente, come quelli vulcanici, i rotiferi si riproducono quasi esclusivamente per partenogenesi, in quanto le fluttuazioni dei parametri chimico-fisici non sono mai repentine, non esiste il problema del prosciugamento e la profondità elevata permette alle specie di trovare, lungo la colonna d'acqua, un optimum di condizioni per lo sviluppo. Raramente nella zona litorale compare qualche femmina con uova durature; tale situazione può essere dovuta a particolari condizioni locali che si verificano nella fascia costiera (ad esempio aumento notevole della temperatura o condizioni chimiche fortemente alterate dalla vegetazione).

Nella zona pelagica, presente praticamente in tutti i bacini, troviamo il genere *Keratella* (*Keratella cochlearis* e *K. quadrata*, a volte affiancate da *K. tecta*) che, insieme ai generi *Hexarthra*, *Synchaeta*, *Conochilus* e *Trichocerca*, predilige acque calde e si ritrova spesso negli strati più superficiali del bacino. Al contrario *Kellicottia longispina*, *Polyarthra* gr. *vulgaris-dolichoptera* (ubiquiste nei laghi vulcanici) e il genere *Filinia* (*F. terminalis* e *F. longiseta*) tipicamente albergano negli strati d'acqua più freddi e presentano massimi di densità nei periodi invernali. La descrizione dei rotiferi dei bacini vulcanici si conclude con il genere *Asplanchna* (*Asplanchna priodonta* e *A. girodi*), predatore di altri rotiferi e sempre presente nella comunità. Le specie e i generi fin qui citati hanno cicli, come si vedrà in seguito, ben individuabili stagionalmente; a questi si affiancano generi come *Brachionus*, *Lecane*, *Pompholyx*, *Ploesoma* e *Testudinella*, caratterizzati invece da comparse sporadiche e tipici dell'uno o dell'altro bacino.

Tra i crostacei, i cladoceri sono microrganismi di dimensioni generalmente comprese tra 0,2 e 4 mm; alcune specie però possono raggiungere anche dimensioni maggiori (ad esempio *Leptodora kindtii* arriva fino a 12 mm). Salvo rare eccezioni, sono caratterizzati da un carapace bivalve che racchiude il tronco, lasciando libero il capo, a sua volta ricoperto da uno scudo cefalico. Cinque o sei paia di arti fogliacei, dotati di numerose setole, convogliano



Daphnia hyalina

con il loro movimento le particelle di cibo verso la bocca. La maggior parte delle specie sono filtratrici di fitoplancton, batteri e detrito; fanno eccezione pochi generi predatori di rotiferi o di altri cladoceri. Anche i cladoceri beneficiano di una doppia modalità riproduttiva, la partenogenesi in condizioni ambientali favorevoli e l'anfigonia quando sopraggiungono caratteristiche ambientali non adatte allo sviluppo della specie. Lo sviluppo è diretto (salvo che in *Leptodora*), privo di stadi larvali, e avviene nella

camera incubatrice situata sul dorso della femmina; per partenogenesi può essere prodotta una progenie numerosa in tempi molto rapidi. Le uova dure sono racchiuse, invece, in una struttura di membrane, denominate epipio, situata sempre nella zona dorsale dell'animale, che viene rilasciata in occasione della muta e trattiene le uova fino alla schiusa, che può avvenire anche dopo molto tempo.

Nella zona pelagica dei laghi vulcanici sono presenti generalmente 4-5 specie di cladoceri. Tra le specie del genere *Daphnia*, molto frequente è *Daphnia hyalina* che si sviluppa nella maggior parte dei bacini vulcanici, più rare sono *D. galeata* e *D. rosea* (la prima rinvenuta nel Lago di Bolsena, la seconda in quello di Monterosi). *Daphnia hyalina* si presenta come specie aciclica tipica di laghi di elevata profondità, è presente infatti anche in molti laghi subalpini. Una caratteristica peculiare di questa specie, che si ritrova ad esempio nei laghi di Nemi e Bracciano, è la variazione ciclica (in genere stagionale) di alcune caratteristiche fenotipiche, che va sotto il nome di cicломorfosi. In particolare, nella stagione estiva la specie tende ad aumentare in senso verticale le dimensioni del capo, sviluppando il cosiddetto "elmetto", e in alcuni casi interviene anche un allungamento della spina terminale ed una riduzione della taglia corporea. Tali adattamenti, secondo alcuni autori, sono da mettere in relazione con i cambiamenti della temperatura dell'acqua e quindi della sua densità, e assicurerebbero un migliore galleggiamento dell'organismo. Altre teorie, più accreditate, valutano invece la cicломorfosi come una difesa adattativa verso la predazione a vista; lo sviluppo estivo del coregone potrebbe, nei bacini prima citati, essere responsabile di queste variazioni fenotipiche, che creano in linea di massima una riduzione della parte visibile del corpo e un aumento di quella invisibile (elmetto), diminuendo così per l'animale il rischio di essere predato.



Bosmina longirostris



Ceriodaphnia pulchella

Altri cladoceri che compaiono nella zona pelagica, praticamente di tutti i laghi vulcanici, sono *Bosmina longirostris* e *Diaphanosoma lacustris* (nei laghi di Vico e Monterosi è presente invece *D. brachyurum*), entrambe filtratrici, tipiche di strati d'acqua a temperatura più elevata. Nella zona litorale, ma tipicamente planctonica, si rinviene con una certa frequenza anche *Ceriodaphnia pulchella*.

Tra i cladoceri predatori, assenti però nei laghi di Vico, Monterosi, Mezzano e Monticchio, *Leptodora kindtii* è la specie più diffusa, legata ad acque calde e dipendente nel suo ciclo stagionale dalle densità dei cladoceri di dimensioni minori (come *B. longirostris*). Una particolarità degna di nota è la presenza ormai da diversi anni di *Bythotrephes longimanus* esclusivamente nel Lago di Bolsena, specie anch'essa predatrice e molto diffusa soprattutto nei laghi subalpini. Le forme di resistenza che caratterizzano i cladoceri favoriscono la colonizzazione relativamente rapida di nuovi ambienti e, con buona probabilità, *B. longimanus* è in una fase di espansione del proprio areale da Nord a Sud della penisola.

La biodiversità del gruppo aumenta notevolmente spostandosi verso la zona litorale. Qui i diversi microhabitat permettono la sopravvivenza anche di 15 - 20 specie, che vivono però in stretto contatto con le macrofite acquatiche (generi *Eurycercus* e *Simocephalus*), oppure sono bentoniche, cioè si alimentano direttamente sul fondo del bacino (ad esempio il genere *Alona*). Le specie più frequenti sono: *Acroperus harpae*, *Simocephalus vetulus*, *Eurycercus lamellatus*, *Alona rectangularis* e *Chydorus sphaericus*.

I copepodi nello zooplancton dei laghi vulcanici sono rappresentati da due ordini, i calanoidi e i ciclopoidi. Questi organismi, le cui dimensioni sono variabili da 0,5 a 4 mm, hanno un corpo allungato, costituito da cefalotorace e addome, quest'ultimo formato da quattro segmenti privi di arti e terminante con una furca armata di setole, spesso utilizzata per il riconoscimento tassonomico. Delle due paia di antenne che caratterizzano i crostacei, nei copepodi il primo è lungo e utilizzato per il nuoto, il secondo ha dimensioni ridotte. La riproduzione è di tipo anfigonico, con formazione di uova subitaneamente all'interno di sacche ovigere portate dalla femmine a livello dell'addome. In alcune specie le uova non schiudono immediatamente, ma vengono deposte e aspettano, per svilupparsi, condizioni ambientali favorevoli (uova durature). Lo sviluppo è sempre indiretto; dall'uovo schiudono delle larve dette nauplii,

fitofaghe, che si trasformano successivamente in copepoditi (simili all'adulto) e infine in adulti. L'alimentazione nello stadio adulto può essere ancora fitofaga, ma in molti casi diventa predatoria o mista, con preferenza per rotiferi o piccoli cladoceri.

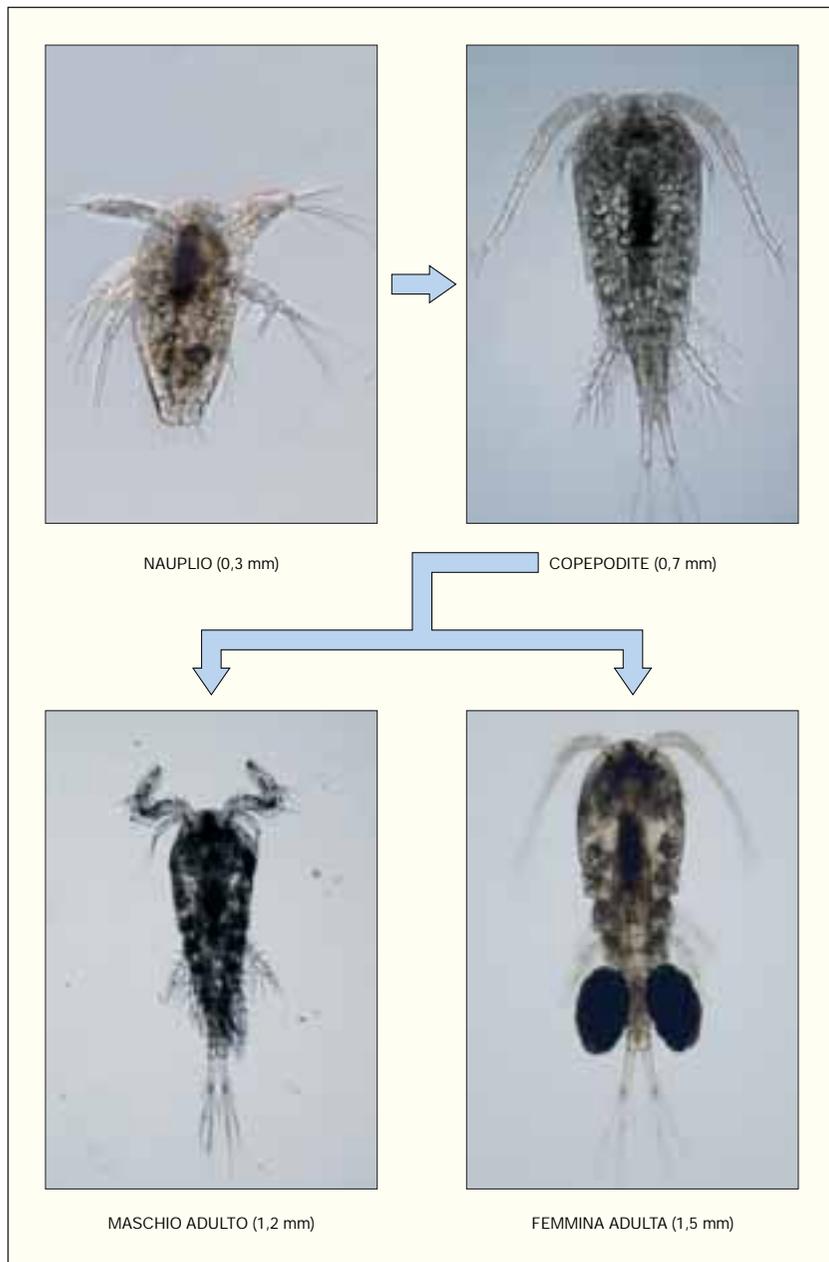
Il numero di specie di copepodi pelagici nei bacini vulcanici varia in genere da 4 a 5. Tra i calanoidi, *Eudiaptomus padanus etruscus* è specie aciclica ed ubiquista in questi ambienti; una particolarità da segnalare è la sua presenza negli anni '60 nei laghi di Nemi e Vico; attualmente recenti ricerche hanno evidenziato la sua scomparsa da entrambi i bacini. La forte eutrofizzazione dei due ambienti intorno agli anni '70, causata da scarichi civili e sostanze fertilizzanti sversati direttamente nelle acque, può essere responsabile di questa scomparsa derivante da una probabile alterazione del pabulum alimentare della specie. *Eudiaptomus padanus etruscus* è infatti una specie filtratrice e nel suo spettro alimentare sono poco edibili i gruppi algali come i cianobatteri che si sviluppano generalmente a seguito di un aumento di trofia.

Pur non essendoci studi approfonditi, un altro calanoide è segnalato per un lago vulcanico particolare, il Lago di Averno, che per la sua natura tipicamente salmastra ospita *Calanipeda aquaedulcis*, specie diffusa nella nostra penisola anche in altri stagni e laghi costieri.

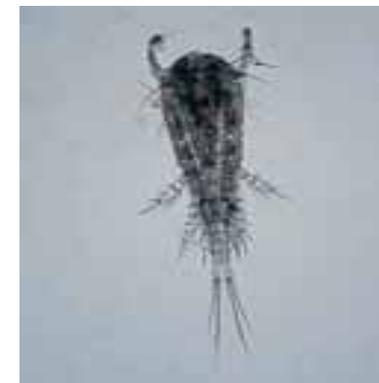
I generi tipicamente planctonici tra i ciclopoidi, presenti nei laghi vulcanici, sono *Cyclops*, *Mesocyclops* e *Thermocyclops*. Un'associazione di specie tipica che spesso si riscontra in questi bacini è costituita da *Cyclops abyssorum*



Eudiaptomus padanus etruscus

Sviluppo dei ciclopidi (*Cyclops abyssorum*)

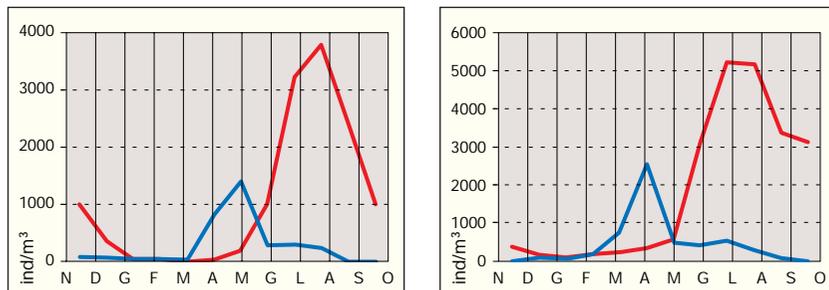
e *Mesocyclops leuckarti* o *Thermocyclops crassus*; la prima specie è tipicamente frigostenoterma, le seconde sono invece tipiche di acque più calde. La convivenza di queste specie, come si vedrà in seguito, è strutturata in maniera tale da evitare interazioni di tipo competitivo. Nei prelievi di zooplancton nella zona pelagica compaiono occasionalmente anche ciclopidi associati alla vegetazione o al fondo; tra questi ricordiamo *Eucyclops serrulatus*, *E. macruroides*, *Megacyclops viridis* e *Macrocyclus albidus*.

*Mesocyclops leuckarti*

■ Dinamiche spazio-temporali dello zooplancton

Studi sull'ecologia dello zooplancton sono stati condotti nei laghi di Bracciano, Martignano, Nemi, Vico, Monterosi e nel Lago Albano. La dinamica delle comunità zooplanctoniche in questi bacini presenta un elevato livello di complessità, determinato, in primo luogo, dalle numerose interazioni tra le specie appartenenti ai tre gruppi e, in secondo luogo, dalla variazione degli altri popolamenti (fitoplancton e ittiofauna) e dei parametri chimico-fisici. Il numero totale di specie zooplanctoniche generalmente rinvenuto nella zona pelagica è variabile da 20 a 25. I copepodi si presentano come il gruppo dominante a livello di densità e biomassa, esibendo spesso popolazioni ricche di stadi naupliari e di copepoditi. Il gruppo è presente tutto l'anno con elevate abbondanze, soprattutto per il comportamento aciclico di *Eudiaptomus padanus etruscus* che mostra buone densità in tutte le stagioni, con un massimo all'inizio del periodo primaverile. I ciclopidi, invece, si alternano stagionalmente: in primavera *Cyclops abyssorum* è ai massimi di densità, all'inizio dell'estate comincia a diminuire e compare al suo posto *Mesocyclops leuckarti*, che in piena estate presenta un picco di densità e scompare a fine autunno, lasciando nuovamente "la scena" a *C. abyssorum*.

Nei periodi di convivenza tra *C. abyssorum* e *M. leuckarti* si può osservare una distribuzione spaziale diversa delle due specie lungo la colonna d'acqua; *C. abyssorum*, da specie frigostenoterma, tende a permanere negli strati d'acqua più profondi e freddi, mentre *M. leuckarti* si rinviene nella fascia più superficiale. Una tale distribuzione, oltre ad essere in accordo con le esigenze ecologiche di queste due specie, è essenziale per evitare la competizione alimentare, che inevitabilmente si instaurerebbe essendo entrambe specie predatrici. In



Alternanza stagionale nel Lago di Bracciano (Lazio): a sinistra tra *Daphnia hyalina* (blu) e *Diaphanosoma lacustris* (rosso); a destra tra *Cyclops abyssorum* (blu) e *Mesocyclops leuckarti* (rosso)

alcuni bacini *M. leuckarti* è sostituito da *Thermocyclops crassus*, con cui raramente convive, ma sostanzialmente rimane analoga sia la variazione temporale che quella spaziale, pur non avendo le due specie una sovrapposizione alimentare in quanto *T. crassus* allo stadio adulto rimane fitofago.

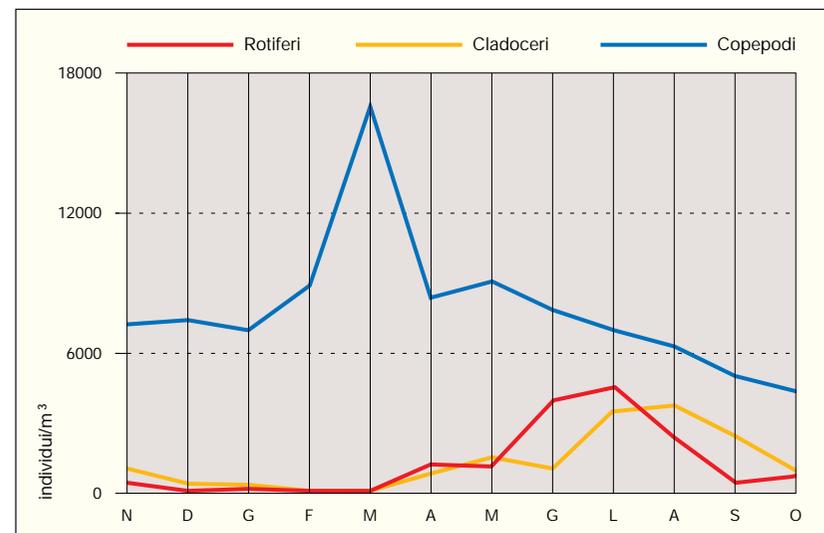
Tra i cladoceri *Daphnia hyalina* è presente tutto l'anno, ma le massime densità vengono registrate soprattutto in primavera, periodo in cui abbondano specie algali particolarmente edibili; in estate la specie subisce un vero e proprio declino con un netto crollo delle abbondanze. Tale fenomeno, noto anche in altre tipologie lacustri (come i laghi subalpini), può essere imputato secondo alcuni autori principalmente alla predazione da parte della fauna ittica, che la ciclomorfosi è in grado di evitare solo parzialmente. *Daphnia hyalina* frequenta più o meno indistintamente tutte le profondità, ma è stata notata spesso una sua migrazione verticale durante la giornata lungo la colonna d'acqua, in relazione alla presenza di predatori invertebrati quali il dittero *Chaoborus flavicans*, specie che allo stadio larvale preda preferenzialmente gli stadi giovanili.

Approfitando del declino estivo di *D. hyalina*, nella stagione più calda compaiono, con densità consistenti, *Diaphanosoma lacustris* e *Bosmina longirostris*, entrambe specie filtratrici che possono beneficiare di una maggiore disponibilità alimentare. Entrambe le specie si limitano agli strati d'acqua superficiali prediligendo temperature più elevate. Negli ambienti in cui è presente, anche il predatore *Leptodora kindtii* si sviluppa in estate, nutrendosi prevalentemente di rotiferi e di *B. longirostris*. Anche per i cladoceri è dunque evidente uno sfasamento stagionale nello sviluppo delle diverse specie, meccanismo atto a garantire una minore sovrapposizione della nicchia trofica. Una particolarità da segnalare per *D. lacustris* riguarda la modalità riproduttiva; infatti, al contrario degli altri cladoceri che quasi mai presentano in questi bacini forme di resistenza, questa specie produce uova durature prima del suo declino autunnale e, come osservato nel Lago Albano, l'anno

successivo la colonizzazione avviene a partire dalla zona litorale, con progressivo spostamento verso quella pelagica.

L'andamento stagionale dei rotiferi mostra, generalmente, basse densità del gruppo nel periodo autunno-invernale, in cui sono presenti le poche specie frigostenoterme, e un netto aumento in primavera, a carico soprattutto dei generi *Keratella*, *Hexarthra* e *Synchaeta*, presenti quando la massa d'acqua tende a riscaldarsi. La maggior parte delle specie si concentra negli strati d'acqua superficiali (fino ad un massimo di 10 m di profondità), dove è più elevata la densità del fitoplancton. Il declino estivo del gruppo è dovuto probabilmente ad una interferenza di tipo competitivo con i cladoceri (soprattutto *B. longirostris*) che, comparso in questo periodo, sono maggiormente efficienti nella cattura degli organismi fitoplanctonici.

I rotiferi in laghi in condizioni oligo-mesotrofe non compaiono con densità particolarmente elevate e lo sviluppo delle diverse specie è piuttosto equilibrato con assenza di dominanze; in laghi invece in cui il carico di nutrienti è elevato, e quindi esiste una tendenza all'eutrofia, è frequente assistere alla dominanza di una o due specie; si verificano cioè, come nel caso del Lago di Nemi all'inizio degli anni '80, delle vere e proprie esplosioni di densità. Si tratta di specie opportuniste, spesso del genere *Brachionus* che, approfittando di una aumentata biomassa fitoplanctonica edibile e di un rapido turnover, crescono in modo esponenziale raggiungendo densità elevatissime (nel caso del Lago di Nemi fino a 100.000 individui per m³).



Andamento stagionale dei gruppi zooplanctonici nel Lago di Bracciano (Lazio)

Zoobentos

MARCELLO BAZZANTI · LUCIANA MASTRANTUONO

Le comunità zoobentoniche sono rappresentate da un insieme di organismi che durante tutto o parte del loro ciclo vitale vivono a stretto contatto con il substrato (sedimenti di varia granulometria e vegetazione acquatica). In base alla grandezza dei loro componenti, si possono riconoscere un microbentos (organismi più piccoli di 0,06 mm), un meiobentos (organismi di dimensioni comprese tra 0,5 e 0,06 mm) ed un macrobentos (che comprende forme di dimensioni maggiori di 0,5 mm); le scale di riferimento sono indicative e variano a seconda degli Autori.

Le principali caratteristiche dei gruppi tassonomici costituenti lo zoobentos delle acque interne sono state ampiamente illustrate in altri volumi della serie Quaderni Habitat, ed in particolare nei volumi "Pozze, stagni e paludi" e "Laghetti d'alta quota", ai quali si rimanda per questo aspetto.

Ai fini dello studio dello zoobentos, si definisce come zona litorale lacustre un'area che va dal bordo dell'acqua ad una profondità massima che è correlata al profilo più o meno inclinato del fondale e alla trasparenza delle acque. Questi due fattori sono fondamentali poiché la zona colonizzata dalla comunità litorale in pratica si identifica con la profondità massima in cui si può sviluppare la vegetazione acquatica. Dopo tale limite inizia la zona sublitorale che si spinge fino all'inizio della zona ipolimnica, da cui si estende infine la zona profonda del lago.

Va precisato che nei laghi vulcanici del Lazio si hanno conoscenze dettagliate sul meiobentos ed il macrobentos per la zona litorale e sul solo macrobentos per quelle sublitorale e profonda; per i laghi di Monticchio e quello di Averno non esistono invece studi approfonditi.



Lago Albano (Lazio)



Palaemonetes antennarius

L'eterogeneità dei substrati litorali esige l'utilizzo di molteplici strumenti per poter raccogliere, osservare e studiare gli organismi bentonici e si incontrano numerose difficoltà nell'esecuzione di un prelievo che sia anche quantitativo.

Gli organismi associati al substrato vegetale sono quelli che mostrano i maggiori problemi a causa del significativo impedimento che la presenza della vegetazione crea al movimento in acqua degli strumenti di campionamento. Infatti per questo tipo di substrato si deve utilizzare, generalmente, una draga a trascinamento che può essere anche azionata a mano, se si tratta di acque di profondità modesta ove ci si possa immergere direttamente; se la profondità dell'acqua è maggiore, la draga viene trascinata da un'imbarcazione mediante una robusta sagola di nylon.

Questo tipo di draga può essere appesantita con strutture di acciaio che ne facilitano l'uso in acque più profonde, dove altrimenti tenderebbe a disporsi verticalmente. Nei casi in cui è possibile, si ricorre anche all'intervento di subacquei, che possono effettuare i campionamenti direttamente a profondità più precise.

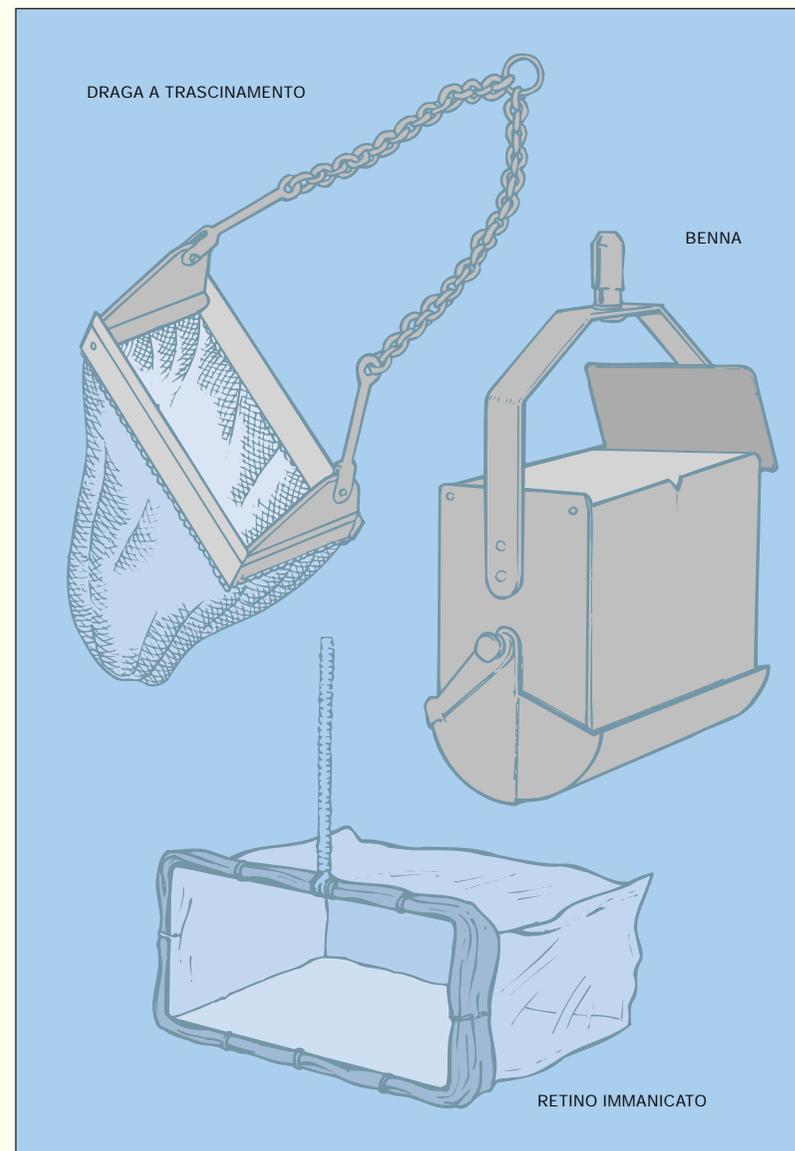
Gli organismi associati al substrato sabbioso litorale si possono campionare con le medesime draghe, ovvero con apposite draghette a chiusura, per un prelievo di tipo quantitativo. Per raccogliere i minuti rappresentanti della fauna interstiziale, che vive negli spazi tra i granelli di sabbia, si scavano delle buche profonde lungo la battigia, filtrando poi con un retino a maglia fitta l'acqua interstiziale che si raccoglie nella buca.

Per i substrati ciottolosi si possono usare retini immanicati oppure prelevare direttamente i ciottoli per raccogliere gli invertebrati attaccati ad essi, mentre sul substrato roccioso bisogna provvedere a raschiare superfici di dimensioni predefinite staccando con una certa accuratezza gli organismi che le colonizzano.

Per il substrato composto da sabbie, limo, fanghi e argilla si adoperano sia nella zona litorale che in quella sublitorale e profonda benne a chiusura o caricatori singoli o multipli (multicorer). Tali strumenti vengono azionati manualmente in acque basse o tramite un verricello a mano o elettrico in acque profonde e forniscono dati di tipo quantitativo.



Ostracode del genere *Candona* (0,8 mm), rappresentante del meiobentos



Strumenti per il campionamento dello zoobentos

Gruppi zoologici rinvenuti nell'area litorale lacustre dei laghi vulcanici dell'Italia centrale e preferenze per i diversi substrati

	VEGETAZIONE	SABBIA	LIMO	CIOTTOLI	ROCCIA
Idroidi					
Poriferi					
Turbellari					
Nematodi					
Rotiferi					
Gastrotrichi					
Oligocheti					
Irudinei					
Tardigradi					
Cladoceri					
Copepodi					
Ostracodi					
Isopodi					
Decapodi					
Anfipodi					
Efemerotteri					
Odonati					
Eterotteri					
Tricotteri					
Coleotteri					
Lepidotteri					
Ditteri					
Acari					
Briozoi					
Gasteropodi					
Bivalvi					

Numero di taxa identificati in due substrati (vegetazione e sabbia) in alcuni laghi vulcanici del Lazio

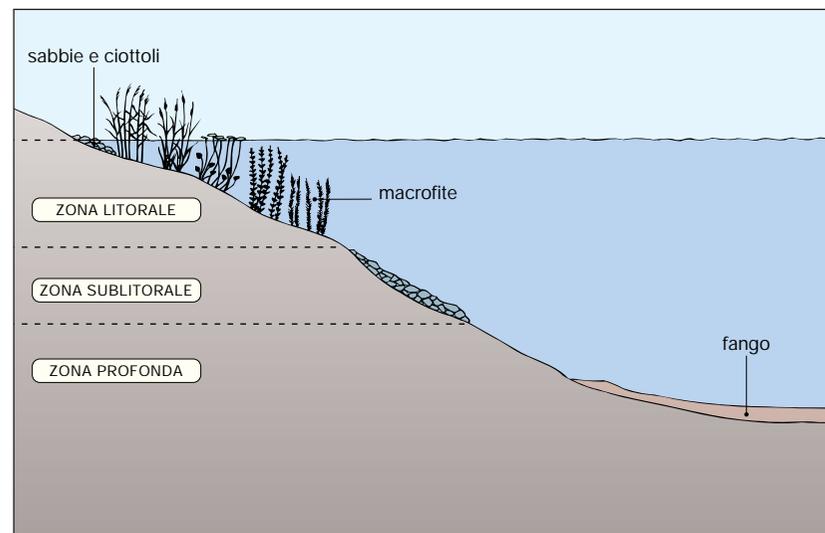
	BRACCIANO	MARTIGNANO	VICO	MONTEROSI	ALBANO	NEMI
vegetazione (totale 262)	125	117	108	83	78	61
sabbia (totale 186)	100	59	116	-	76	64

Lo zoobentos della zona litorale

Le zone litorali dei laghi rivestono grande interesse ecologico e naturalistico, in primo luogo perché rappresentano un'area lacustre caratterizzata da una molteplicità di substrati (mosaico ambientale) e dunque dalla maggiore presenza di specie di invertebrati (elevata diversità), che raggiungono anche densità solitamente cospicue.

La complessità delle comunità bentoniche e la loro abbondanza numerica sono fattori di basilare importanza per sostenere una catena alimentare equilibrata nell'ecosistema lacustre, poiché consentono un efficiente utilizzo e ricircolo della materia organica ed inorganica e favoriscono il mantenimento di una elevata biodiversità complessiva, ed in ultima analisi di una condizione ecologica ottimale, caratteristica di un ambiente pulito. Questa condizione è fondamentale anche per mantenere integri i valori estetici del sistema, altamente apprezzabili per un migliore uso ricreativo e per assicurare inoltre un adeguato livello produttivo della fauna ittica, di indubbio rilievo anche come attività economica complementare.

La zona litorale nei laghi vulcanici italiani può raggiungere circa 20 metri di profondità, nelle migliori condizioni di trasparenza e di declivio del fondale. Nei laghi di origine vulcanica, inoltre, la forma del cono è fondamentale perché può determinare la condizione di fondale molto scosceso e quindi la presenza di una zona litorale ristretta, come avviene, ad esempio, nel Lago



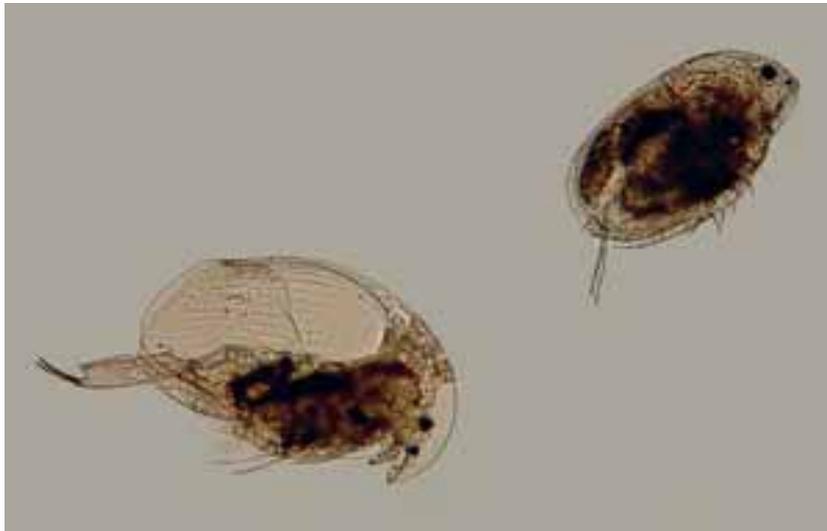
Sezione di un lago che illustra le zone di insediamento dello zoobentos

di Nemi e nel Lago Albano; ovvero nel caso di una caldera ampia (ad esempio nel Lago di Bolsena) può presentare sponde a declivio dolce e zone litorali molto ampie.

Le comunità ad invertebrati delle zone litorali hanno una composizione che si differenzia a seconda dei vari substrati cui sono associate e che possono essere così sintetizzati: a) la vegetazione acquatica; b) i sedimenti sabbiosi; c) i sedimenti limosi; d) i sedimenti ciottolosi; e) il substrato roccioso.

Il substrato che ospita il maggior numero di specie di invertebrati è quello con vegetazione, e ciò in funzione dell'ampia diversificazione dei microhabitat, mentre il substrato roccioso è quello che presenta la minore ricchezza specifica.

Gli invertebrati colonizzano i diversi substrati in relazione alle loro caratteristiche autoecologiche (le preferenze alimentari, quelle termiche, di luce e altre) e fra queste il tipo di movimento risulta molto importante. Infatti, possiamo distinguere: specie natanti (soprattutto microcrostacei, quali cladoceri e copepodi), che sono in grado di muoversi agevolmente sia in acqua libera che a diretto contatto col substrato; specie vagili o reptanti, sostanzialmente "camminatrici", quali numerose larve di insetti, idracari, ostracodi, isopodi ed anfipodi; specie striscianti, come i turbellari e i gasteropodi; specie sessili, fisse al substrato, come le spugne, gli idroidi e i briozoi; specie fossorie, che vivono infossate nei sedimenti, come numerosi oligocheti, nematodi e bivalvi.



Cladoceri associati alla vegetazione acquatica (*Acroperus harpae* e *Macrothrix hirsuticornis*)

Gli invertebrati associati alla vegetazione acquatica. La vegetazione acquatica, che nei laghi vulcanici si può spingere sino a circa 20 m di profondità, è di rilevante importanza nell'economia lacustre innanzitutto perché offre sostegno, nutrimento e rifugio ad un'elevata varietà di organismi bentonici. I vari tipi vegetazionali si dispongono in fasce o "cinture di vegetazione" secondo quanto illustrato nel capitolo Macrofite. Gli invertebrati mostrano diversa distribuzione con la profondità, in relazione alle loro esigenze ecologiche e a diversi fattori dominanti fra cui: il tipo di piante presenti (facies vegetazionale), le condizioni fisico-chimiche prevalenti (temperatura, luce, ossigeno, etc.), l'alimento presente (popolamenti batterici, algali, materiale organico particellato, etc.). Questo substrato ospita il maggior numero di specie, che, nei laghi vulcanici laziali sinora studiati, ammontano a 262, con valori che variano da un minimo di 61 (Lago di Nemi) ad un massimo di 125 (Lago di Bracciano). La ricchezza specifica è generalmente maggiore nei laghi più grandi, ma essa è altamente correlata allo stato ambientale; il peggioramento della qualità dell'acqua porta infatti a una riduzione più o meno marcata del numero di specie presenti.

Gli organismi più abbondanti in questo substrato sono i microcrostacei (cladoceri come *Acroperus harpae*, *Simocephalus vetulus*, *Alona rectangula* e copepodi come *Macrocyclops albidus*, *Eucyclops macruroides* e numerosi arpaticoidi), mentre gli oligocheti (*Amphichaeta leydigii*, *Chaetogaster diastrophus*, *Nais communis*, *Stylaria lacustris*), le larve di ditteri chironomidi (ortocladini, *Tanytarsus*, *Paratendipes*, *Parachironomus*) e i nematodi (*Theristus setosus*, *Tobrilus gracilis*,



Arpaticoidi frequenti tra le macrofite spiaggiate (*Onychocamptus mohammed* e *Nitokra hibernica*)

Lo zoobentos dei laghi vulcanici non presenta specie esclusive di questa tipologia lacustre; tuttavia, in questi ambienti sono presenti alcune specie endemiche o comunque di elevato interesse per la conservazione, che meritano di essere citate.

Tra i molluschi gasteropodi è di particolare interesse *Belgrandia latina*; descritta nel 1965, è specie endemica italiana, sinora da ritenersi esclusiva dei laghi vulcanici laziali (Bolsena, Vico, Bracciano e Martignano); la sua lunghezza è di circa 2,2 mm.

È specie endemica italiana anche il coleottero idrenide *Limnebius nitiduloides*, specie di piccole dimensioni (3 mm) diffuso dalla Liguria alla Sicilia, rinvenuto frequentemente nel Lago di Bolsena. Non si tratta di specie esclusiva lacustre; frequenta anche ruscelli e paludi.

Tra gli odonati, la libellula *Cordulegaster trinacriae* è segnalata nel comprensorio del Lago di Bracciano; non si

sviluppa presumibilmente nelle acque lacustri, ma nei piccoli ruscelli contigui, mentre frequenta le rive del lago come territorio di caccia. Inserita nella Direttiva Habitat e sottoposta pertanto a rigorosa tutela, è specie endemica italiana, diffusa dal Lazio alla Sicilia. Il Lago di Bracciano si trova pertanto al limite settentrionale del suo areale di distribuzione.

Infine, merita di essere ricordato non per il suo interesse conservazionistico, ma per la sua dannosità, un crostaceo decapode, il gambero rosso della Louisiana (*Procambarus clarkii*); si tratta di una specie aliena invasiva ed aggressiva, che scava profonde gallerie lungo le rive dei bacini e dei canali, in via di rapida espansione nell'Italia appenninica e settentrionale. Preda altri invertebrati, pesci ed anfibi, danneggiandone in alcuni casi seriamente le popolazioni locali. È stato purtroppo segnalato recentemente (2003) per il Lago di Bolsena e per quello di Bracciano (2005).



Cordulegaster trinacriae

Ethmolaimus pratensis, *Trypila glomerans*) rappresentano come numero di specie la componente più significativa. Sono molto caratteristici di questo substrato gli organismi vagili (soprattutto ostracodi, idracari e larve di insetti), striscianti (turbellari e molluschi) e sessili (spugne, idre e briozoi). In alcuni dei laghi vulcanici centro-italiani va inoltre sottolineata anche la presenza di entità tassonomiche particolarmente interessanti, come nel caso del piccolo Lago di Monterosi, in cui è stata rinvenuto un nemertino (genere *Prostoma*), che è un invertebrato estremamente raro, e che rappresenta l'unico rinvenimento nei laghi vulcanici del Lazio. Altro interessante reperto è il gasteropode *Helisoma duryi*, raro in Italia, trovato per la prima volta nel Lago Albano nel 1990 e solo recentemente nel vicino Lago di Nemi (2001).



Idracaro frequente tra la vegetazione acquatica

Gli invertebrati associati ai sedimenti sabbiosi. Il sedimento sabbioso è presente nella fascia marginale dei laghi a partire dal bordo dell'acqua fino ad una profondità di circa 1-1,5 m. Lungo il perimetro lacustre la sua estensione varia considerevolmente nei differenti laghi sia in relazione alle caratteristiche morfologiche della conca lacustre, sia al grado di fruizione umana del litorale. Infatti i laghi considerevolmente antropizzati per scopi ricreazionali e di notevoli dimensioni quali i laghi di Bracciano e Bolsena, presentano ampi tratti litorali in cui la naturale fascia vegetazionale ad elofite è stata progressivamente eliminata per acquisire spazi liberi per la balneazione. In queste zone, una volta eliminata la vegetazione, il substrato sottostante viene rapidamente dilavato della sua frazione più fine dal moto ondoso, e dunque rimane in situ la frazione sabbiosa, che va ad estendersi anche per ampi tratti, se siamo in presenza di un declivio dolce. All'interno di questo substrato, all'apparenza privo di organismi, vive un popolamento di invertebrati molto ricco di specie (anche se in numero inferiore a quello presente nel substrato a vegetazione) e numericamente abbondante. Nei laghi vulcanici studiati nell'Italia centrale sono stati infatti rinvenuti un totale di 186 taxa, il 57% dei quali appartenenti a oligocheti, chironomidi e nematodi, che sono i gruppi dominanti anche dal punto di vista quantitativo. Gli invertebrati presenti sono generalmente caratterizzati da piccole dimensioni, adatti a muoversi più facilmente nel substrato, e le specie tipiche hanno, come nei sedimenti più profondi, corpo vermiforme e movimento ondulatorio. Per questa ragione gli invertebrati dominanti sia come numero di specie che come densità sono gli oligocheti (40 taxa alcuni dei quali tipici di questo substrato, quali *Amphychaeta leydigii*, *Psammoryctides barbatus*, *Aulodrilus pluriseti*, *Haplo-*

taxis gordioides), le larve dei ditteri chironomidi (37 taxa di cui svariati ortocladini) e i nematodi (29 taxa fra cui *Chromadorita leuckarti*, *Mononchus truncatus*, *Aphanolaimus aquaticus*, *Paractinolaimus macrolaimus*). Ad essi si associa una molteplicità di altri organismi appartenenti a numerosi gruppi faunistici, alcuni particolarmente legati a questo substrato come bivalvi (*Pisidium*, *Sphaerium*), copepodi arpattoicoidi e numerosi altri, fra i quali gasteropodi (*Valvata*, limneidi), turbellari, ostracodi, isopodi e anfipodi e svariate larve di insetti appartenenti a odonati, efemerotteri, tricotteri e ditteri. Gli eccezionali organismi meiobentonici che vivono in profondità nelle sabbie, ciechi e depigmentati, fanno parte della cosiddetta fauna interstiziale, cui è dedicata una apposita scheda.

Gli invertebrati associati ai sedimenti limosi. I sedimenti limosi possono occupare le profondità al di sotto di 1 m fino al margine della scarpata (circa 20 m), naturalmente in assenza di vegetazione acquatica.

Gli organismi dominanti nei sedimenti limosi sono quelli tipici delle zone sublitorali e profonde, vale a dire invertebrati che vivono infossati nel substrato fine e ricco di nutrimento (soprattutto popolamenti batterici e materiale organico) e che all'occorrenza sono anche in grado di tollerare deficit di ossigeno. Come per il sedimento sabbioso hanno corpo tipicamente vermiforme e movimenti ondulatori, che facilitano gli spostamenti all'interno di un sedimento soffice. Questo sedimento è stato studiato nel Lago di Nemi dove le specie dominanti sono fra quelle tipiche del bentos profondo (oligocheti come *Tubifex tubifex* e



Gasteropode del genere *Physa*

Limnodrilus hoffmeisteri; larve di ditteri chironomidi come quelli del genere *Chironomus*; nematodi dei generi *Dorylaimus* e *Tobrilus*).

Gli invertebrati associati ai sedimenti ciottolosi e rocciosi. Questo substrato è solitamente presente in misura nettamente inferiore rispetto agli altri, si può trovare esclusivamente in zone marginali (intorno a 0,5-1 m di profondità) e mostra sempre una distribuzione discontinua lungo il perimetro lacustre. I gruppi di invertebrati che lo caratterizzano non sono estremamente numerosi perché devono presentare una morfologia adattata ai substrati duri, che sostanzialmente richiedono capacità di aderire o di strisciare su di essi. Le specie più caratteristiche appartengono ai molluschi gasteropodi (quali *Physa acuta* e *Theodoxus fluviatilis*) e ai turbellari (come *Dugesia tigrina* e *Dendrocoelum lac-teum*), che sono i principali componenti di questa fauna. Ad essi si associano alcuni altri organismi, che si collocano principalmente sotto i ciottoli o i massi di maggiori dimensioni, come alcune specie di irudinei (appartenenti ai generi *Helobdella* ed *Erpobdella*), in grado di aderire al substrato e di nascondersi alla vista, e numerose larve di insetti (efemerotteri, odonati, tricotteri) in grado di ancorarsi con le zampe entro gli interstizi liberi fra ciottoli e sedimenti sottostanti. Il substrato roccioso si può trovare raramente nei nostri laghi vulcanici, solitamente in laghi grandi (ad esempio nel Lago di Bolsena) e in aree estremamente limitate. Su questo substrato troveremo soprattutto specie striscianti (turbellari e gasteropodi del genere *Ancylus*) e sessili (soprattutto idroidi).



Microturbellario associato ai sedimenti sabbiosi

I diversi habitat di acque sotterranee rappresentano una riserva di biodiversità ed una componente essenziale del ciclo delle acque sia sotto l'aspetto idrologico che biologico ed il fatto che non esista regione del pianeta in cui non siano presenti consente di raggrupparli in un "ecoregno".

L'ambiente interstiziale è l'insieme degli spazi delimitati da elementi mobili quali sabbie, ghiaie e ciottoli e contenenti acqua, di diversa origine, che, in relazione con acque epigee di varia natura (laghi, mari e fiumi), costituisce l'elemento sostanziale per il popolamento di questo peculiare dominio. Non esistono dei veri e propri "confini" chimico-fisici tra i vari habitat interstiziali e vi sono numerose possibilità di relazioni tra l'ambiente epigeo ed ipogeo, non necessariamente circoscritte nello spazio e nel tempo. L'insieme dell'idrosfera sotterranea e dei suoi popolamenti è un sistema articolato e molti fra gli organismi che si rinvengono solo in questi ecosistemi appaiono estremamente specializzati. Le differenti condizioni, più restrittive, determinano infatti nuove caratteristiche del popolamento: la colonizzazione "dall'alto" delle specie epigee rallenta e gli organismi stigobi prevalgono: si assiste alla massiccia presenza di crostacei e all'assenza pressoché totale di insetti.

La fauna interstiziale mostra caratteristiche biologiche e morfologiche strettamente correlate a condizioni ambientali così particolari che hanno causato una forte pressione selettiva portando ad adattamenti simili, per convergenza adattativa, anche tra gruppi filogeneticamente distanti. Di solito questi organismi presentano una particolare biologia riproduttiva e funzioni metaboliche commisurate alla scarsità di nutrienti.

Le dimensioni corporee appaiono ridotte, il corpo è appiattito con spostamento laterale delle appendici locomotorie,

quasi totalmente depigmentato e privo di organi visivi (fotorecettori); questa carenza è compensata da recettori di sostanze chimiche e tattili.

All'interno del sistema delle acque sotterranee, l'ambiente interstiziale di arenili di laghi vulcanici è stato sicuramente quello meno studiato. Le prime ricerche risalgono agli anni '70 ed hanno interessato il Lazio. Tali studi, riferiti soprattutto a copepodi arpattoidei, hanno consentito di descrivere nuove specie e definire per i taxa già noti nuove stazioni di raccolta. Si tratta di un gruppo di crostacei prevalentemente bentonici caratterizzati da ridotte dimensioni (in genere tra 0,2 e 2,5 mm), ampiamente diffusi in tutti gli ambienti acquatici. All'interno di questo ordine i membri del genere *Parastenocaris* sono apparsi come elementi tipici: *P. pasquinii* e *P. amalasuntae*, specie endemiche della fauna italiana, sono state identificate proprio nell'ambiente interstiziale delle sabbie (psammon) del Lago di Bolsena, mentre altre specie del genere come ad esempio *P. italiana* e *P. orcina*, descritte rispettivamente per l'ambiente interstiziale dei corsi d'acqua e per grotte, hanno mostrato un'ampia valenza ecologica riuscendo a popolare anche l'ambiente interstiziale dei laghi vulcanici laziali.

Un altro genere endemico italiano recentemente descritto è *Simpliacaris*: la specie *S. veneris* è esclusiva del Lago di Vico.



Parastenocaris amalasuntae

■ Zoobentos litorale e qualità ecologica nei laghi vulcanici

La stima della qualità dell'acqua nei laghi viene solitamente ottenuta in base alla misurazione di alcuni parametri standard (trasparenza, contenuti di ossigeno ipolimnico, di clorofilla a e di fosforo totale nelle acque), ma la diagnosi della qualità ecologica complessiva non può prescindere dalla ricerca e dall'utilizzo dei parametri faunistici (bioindicatori e bioindici) utili a un corretto biomonitoraggio.

Gli studi condotti finora nei laghi vulcanici del Lazio sulla comunità ad invertebrati litorali nei due più importanti substrati (vegetazione e sabbia) hanno consentito di isolare alcuni dei parametri più significativi per questa finalità quali: ampiezza della fascia colonizzata da vegetazione, numero di taxa di invertebrati (ricchezza specifica), indice di diversità biotica (H di Shannon), numero di specie di cladoceri, abbondanza percentuale del cladocero *Chydorus sphaericus* (bioindicatore di acque ricche di nutrienti), numero di specie di nematodi, numero di specie di molluschi, ed alcuni altri.

Come si vede, questi parametri sono molto numerosi e in alcuni casi di lunga e complessa acquisizione, ed inoltre devono essere valutati nel loro insieme piuttosto che utilizzati singolarmente. Per questo motivo si riportano solo quelli che in modo più evidente tendono a diminuire col peggioramento delle condizioni ambientali, allo scopo di evidenziare la qualità ecologica valutata nel litorale dei laghi vulcanici studiati.

Substrato a vegetazione	BRACCIANO 1998	MARTIGNANO 1996	VICO 1985	ALBANO 1986	NEMI 1981	NEMI 2001
ricchezza specifica	125	117	108	78	61	71
indice di diversità (H)	4,1	3,3	3,6	3,2	2,2	3,4
n° specie di cladoceri	13	16	12	8	3	8
qualità ecologica	○○	○○	○○●	○	●	○
Substrato a sabbia	BRACCIANO 1990	MARTIGNANO 1996	VICO 1994	ALBANO 1986	NEMI 1981	NEMI 2001
ricchezza specifica	100	59	115	76	64	59
indice di diversità (H)	3,2	3,4	3,6	3,2	2,7	4,1
n° specie di nematodi	18	19	20	13	9	7
qualità ecologica	○○●	○	○	○	●	●
● pessima ○● medio-buona ○ buona ○● molto buona ○○ ottima						

Bioindicatori e bioindici utilizzati per la stima della qualità ecologica di alcuni laghi vulcanici laziali

■ Lo zoobentos della zona sublitorale e profonda

I sedimenti sublitorali e profondi costituiscono una zona estremamente importante per il metabolismo dei laghi, sia per la loro tendenza ad accumulare i nutrienti, che per la loro capacità a rilasciarli nelle acque libere quando si creano particolari condizioni chimiche (anossia).

Le comunità bentoniche sono costituite da numerose specie, appartenenti a diversi gruppi zoologici, che possono vivere in particolari condizioni ambientali mediante adattamenti fisiologici (pigmenti respiratori che presentano un'elevata affinità per l'ossigeno, glicolisi anaerobica), morfologici (presenza di branchie accessorie, maggiore irrorazione nella parte terminale del corpo) e comportamentali (abitudini a vivere in tubuli sopraelevati dal fondo, movimenti natatori), che permettono loro di superare gli eventi sfavorevoli provenienti dal contatto con i fondi e con le acque deossigenate.

Per le sue caratteristiche ambientali legate all'assenza di luce, la zona sublitorale e profonda ospita unicamente organismi zoobentonici che si alimentano di sostanza organica (detritivori) di origine animale e vegetale in decomposizione e proveniente dalla zona litorale o da quella pelagica, oppure si cibano di altri invertebrati (predatori).

Essi vivono come elementi sedentari (fossori) o mobili (striscianti o deambulanti sul sedimento e talvolta natanti per piccoli tratti, talora solo durante le ore notturne).



I nematodi sono frequenti nei sedimenti

In tutti i laghi la zona sublitorale e quella profonda ospitano un numero di specie più basso rispetto a quello riscontrabile nella zona litorale, con una riduzione consistente dei gruppi zoologici rappresentati. Questo fenomeno dipende principalmente dalla monotonia del substrato, costituito da sabbie sottili, limo ed argilla e dal conseguente scarso numero di microhabitat a disposizione della fauna, nonché dalla severità delle condizioni chimico-fisiche (eutrofizzazione e deossigenazione delle acque ipolimniche). La profondità è quindi il gradiente ambientale più importante soprattutto nei laghi profondi, quali generalmente quelli vulcanici, dove essa svolge un ruolo determinante sulla composizione e struttura della comunità bentonica. In generale, i taxa dominanti in queste zone del lago, sia come densità che come biomassa, sono oligocheti e ditteri chironomidi, a cui vanno aggiunti pochi altri gruppi, quali turbellari, crostacei (anfipodi e isopodi), ditteri (ceratopogonidi e caoboridi) e molluschi (gasteropodi e bivalvi).

Ricerche condotte negli ultimi decenni nei laghi vulcanici laziali hanno consentito di delineare con precisione il popolamento macrobentonico profondo. Le specie che vivono nella zona profonda dei laghi sono buoni indicatori biologici in quanto, grazie alla loro ampia distribuzione batimetrica ed alla relazione diretta con il substrato, risentono dell'eutrofizzazione e delle sue conseguenze in maniera più accentuata ed articolata degli altri popolamenti animali. In base alle comunità presenti è stato anche possibile effettuare una classificazione trofica di questi ambienti.

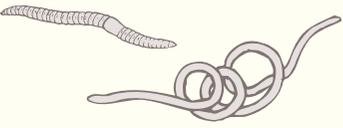
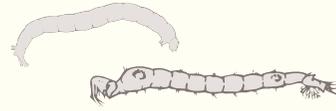


Oligochete tubificide di profondità del Lago di Martignano (Lazio)

Si ritiene pertanto utile riassumere, seppure brevemente, i risultati sinora ottenuti, sulla base dei quali per ognuno dei laghi studiati vengono brevemente illustrati i taxa rinvenuti (riportando tra parentesi quelli dominanti) la loro distribuzione batimetrica, e le condizioni ambientali generali della zona ipolimnica.

Si riporta di seguito la valenza ecologica dei taxa indicatori, che in base alla loro dominanza, hanno permesso la caratterizzazione sintetica dello stato ambientale generale dei laghi vulcanici del Lazio.

- Lago di Bolsena. Comunità composta da 43 taxa, dei quali sono ben rappresentati pressochè a tutte le profondità gli oligocheti (*Potamothenix hammoniensis*), i chironomidi (*Procladius* e *Paratendipes*), gli isopodi (*Proasellus* gr. *coxalis*) ed i bivalvi (*Pisidium* spp.). La fauna mostra una riduzione delle abbondanze e delle presenze di alcuni taxa soprattutto nei mesi di stratificazione termica estiva, come effetto della deossigenazione, solo nella parte più profonda del lago (120-150 m). Il giudizio complessivo sullo stato di trofia del lago è di oligo-mesotrofia.
- Lago di Vico. Comunità composta da 49 taxa, soprattutto oligocheti (*Dero digitata*, *Potamothenix heuscheri*, *Peloscoclex velutinus* e *Tubifex tubifex*) e chironomidi (*Micropsectra*, *Tanytarsus*, *Procladius*, *Microtendipes* gr. *pedellus* e *Paratendipes*). Sono inoltre presenti turbellari (*Dugesia tigrina*), isopodi (*Proasellus* gr. *coxalis*), ditteri caoboridi (*Chaoborus flavicans*) e bivalvi (*Pisidium* spp. e *Musculium lacustre*). La peculiarità della fauna del Lago di Vico è

Taxa	intolleranti	tolleranti	
OLIGOCHETI			
Lumbriculidae gen. spec.			
<i>Peloscoclex velutinus</i>			
<i>Psammoryctides barbatus</i>			
<i>Potamothenix heuscheri</i>			
<i>Potamothenix hammoniensis</i>			
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>			
<i>Limnodrilus claparedeianus</i>			
CROSTACEI			
<i>Echinogammarus veneris</i>			
<i>Niphargus</i> sp.			
<i>Proasellus</i> gr. <i>coxalis</i>			
DITTERI			
<i>Procladius choreus</i>			
<i>Micropsectra</i> sp.			
<i>Microtendipes</i> gr. <i>pedellus</i>			
<i>Paratendipes</i> sp.			
<i>Chironomus</i> gr. <i>plumosus</i>			
<i>Chironomus</i> (altre specie)			
<i>Chaoborus flavicans</i>			
MOLLUSCHI			
<i>Pisidium</i> spp.			
Gastropoda gen. spec.			

Valenza ecologica di alcuni taxa in base alla loro capacità di tollerare l'eutrofizzazione

senz'altro l'elevato numero di taxa (segno di buone condizioni ambientali) nella zona superiore, mentre possiamo osservare una drastica riduzione della biodiversità dai 30 m alla massima profondità (scompaiono, per esempio, i generi *Pisidium* e *Micropsectra*), a causa di una forte deossigenazione estiva che riguarda buona parte dell'ipolimnio. Il giudizio complessivo è di meso-eutrofia.



Bivalvi del genere *Pisidium*

- Lago di Bracciano. Comunità composta da ben 50 taxa, di cui la gran parte appartenente a oligocheti (*Potamothenix heuscheri*, *P. hammoniensis*, *Psammoryctides barbatus* e in minor misura il lumbriculide *Bythonomus lemani*) e chironomidi (*Micropsectra*, *Procladius*, *Microtendipes* gr. *pedellus* e *Paratendipes*). Sono presenti anche tricladi (*Dugesia tigrina*), nematodi (*Dorylaimus stagnalis* e *Ironus tenuicaudatus*), irudinei (*Dina lineata*), isopodi (*Proasellus* gr. *coxalis*), anfipodi (*Echinogammarus veneris* presente fino a 80-100 metri di profondità e *Niphargus* sp. che colonizza i sedimenti dagli 80 m in poi), bivalvi (*Pisidium* spp.) e gasteropodi (*Valvata piscinalis*, *Bithynia tentaculata* e *Belgrandia latina*). La presenza di diversi taxa anche a profondità elevate è in relazione con le ancora buone condizioni della zona profonda del lago, in cui l'ossigeno rimane presente in quantità apprezzabile anche nella stagione di stratificazione termica. Il giudizio è pertanto di oligo-mesotrofia. Va sottolineata inoltre l'elevata stabilità delle caratteristiche composizionali e strutturali della comunità negli anni, che sta ad indicare una situazione ambientale decisamente buona e pressochè invariata che rende questo lago uno dei migliori, come qualità ambientale, a livello nazionale.

- Lago di Martignano. La comunità è rappresentata da un numero di taxa inferiore (36). Oligocheti (*Potamothenix heuscheri*, *Tubifex tubifex*, *Limnodrilus hoffmeisteri* e *Psammoryctides barbatus*) e chironomidi (*Micropsectra*, *Microtendipes* gr. *pedellus*, *Procladius* e *Chironomus* gr. *plumosus*) caratterizzano il bentos sublitorale e profondo di questo lago vulcanico che presenta numerose specie in comune con il vicino Lago di Bracciano. A differenza di quest'ultimo però, in questo bacino mancano nella zona profonda le specie appartenenti ad isopodi ed anfipodi; anche a Martignano si verifica una forte riduzione di alcuni taxa e delle loro densità nella zona più profonda (dai 40 ai 60 m) a causa di una forte deossigenazione ipolimnica estiva. Il giudizio è di oligo-mesotrofia.

- Lago di Monterosi. La comunità è composta da 32 taxa, di cui principalmente oligocheti (*Dero digitata*, *Potamothrix heuscheri* e *Limnodrilus hoffmeisteri*) e ditteri caoboridi (*Chaoborus flavicans*), e secondariamente nematodi (*Tobrilus gracilis*) e ditteri chironomidi (*Procladius* e *Chironomus* gr. *plumosus*). Questo lago di modesta estensione ospita quindi una comunità composta principalmente da elementi tolleranti condizioni tipiche di un forte arricchimento in sostanza organica proveniente dalla decomposizione delle macrofite, con conseguente deossigenazione estiva ed elevati valori di pH. Il giudizio è comunque di meso-eutrofia.
- Lago di Nemi. Agli inizi degli anni '80 il popolamento sublitorale e profondo era composto da soli 16 taxa, tra cui dominava l'oligochete *Potamothrix heuscheri* a tutte le profondità di campionamento. Esso costituiva, inoltre, l'unica specie della zona più profonda del lago. Le restanti specie erano presenti soprattutto sino a 10 m di profondità. Tra i chironomidi erano abbondanti *Chironomus* gr. *plumosus* e *Procladius choreus*, notoriamente tolleranti; ad essi si aggiungeva il caoboride *Chaoborus flavicans* in basse quantità. Il lago manifestava quindi nettamente le conseguenze di un marcato inquinamento organico di tipo cronico con totale deossigenazione ipolimnica da giugno fino a novembre inoltrato. In uno studio più recente (2001-2002), condotto dopo circa dieci anni dalla deviazione degli scarichi che arrivavano al lago, il numero delle specie dei chironomidi risultava leggermente aumentato ed appariva per la prima volta *Chironomus* gr. *plumosus* alla massima profondità in inver-



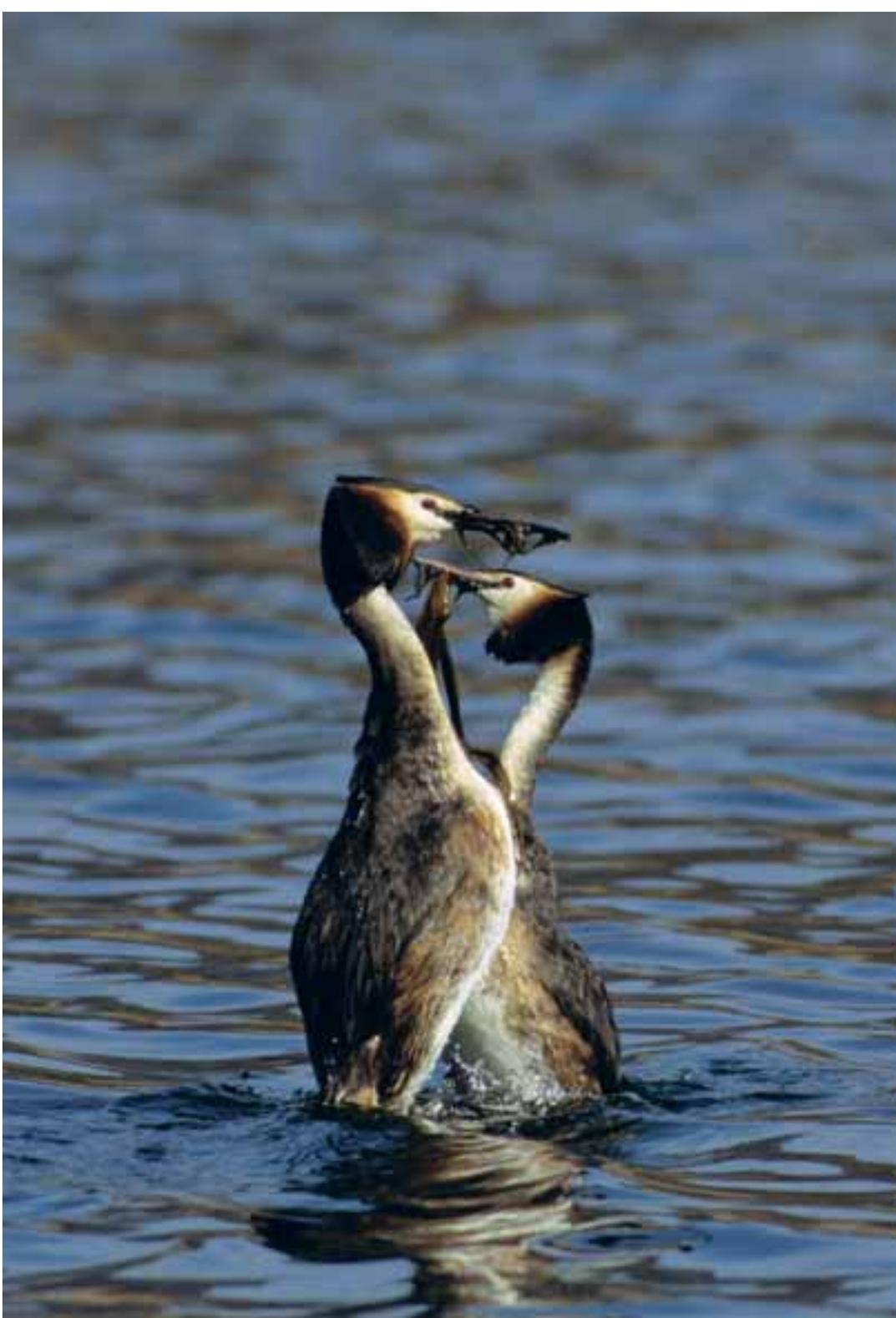
Larve di chironomidi tanitarsini

no ed il bivalve *Pisidium* spp. a 10 m per tutto l'anno. La zona profonda del lago rimane comunque quella tipica ancora dei laghi ad elevata trofia (ambiente fortemente eutrofo), anche se la deossigenazione si è rivelata meno severa.

- Lago Albano. Comunità composta da 27 taxa, prevalentemente oligocheti (*Potamothrix heuscheri* e *Tubifex tubifex*), e chironomidi (*Procladius choreus* e, secondariamente, *Tanytarsus* sp. e *Chironomus* gr. *plumosus*). Questi due gruppi si spingono fino ai 95 m di profondità. Fino a 50 m sono stati inoltre raccolti l'anfipode *Echinogammarus* cfr. *veneris* e l'isopode *Proasellus* gr. *coxalis*, e fino a 65 m i bivalvi *Pisidium* spp. Oltre i 120 m di profondità non è mai stato reperito alcun taxon a causa della totale anossia dovuta ad uno stato di meromissi che sembra perdurare da alcune centinaia di anni. La zona sublitorale e l'inizio di quella profonda indicano nel complesso una condizione di meso-eutrofia.

Benchè molti taxa risultino comuni ai laghi studiati a causa della loro vicinanza topografica, le differenze negli aspetti strutturali, quali la ricchezza tassonomica, le densità delle specie indicatrici e la loro distribuzione batimetrica sono invece molto più marcate e vanno attribuite alle condizioni ambientali differenti tra i vari bacini. Queste sono in relazione con eventuali fenomeni di pressione antropica e/o a interventi di risanamento che permettono il recupero della loro qualità o ne mantengono pressoché inalterate le condizioni originali.

Esemplare di anfipode del genere *Echinogammarus*



Vertebrati

MARCO SEMINARA

99

■ Pesci

La presenza e la distribuzione della fauna ittica nelle acque dei laghi vulcanici italiani sono dettate da numerosi fattori, ciascuno con un diverso ordine d'importanza. Il primo aspetto discriminante riguarda il fatto che praticamente tutti i più importanti laghi vulcanici italiani, escludendo i due piccoli laghi di Monticchio e il Lago d'Averno,



Cavedano (*Leuciscus cephalus*)

sono per così dire concentrati nel Lazio. Essi appartengono quindi al distretto ittiogeografico tosco-laziale, che ospita in origine nel suo reticolo idrografico un numero di specie ittiche autoctone (una decina) sicuramente inferiore rispetto a quello padano-veneto da cui è separato dallo spartiacque appenninico, e tuttavia non disprezzabile data la natura peninsulare di queste regioni e gli eventi geologici recenti che le hanno interessate.

Un altro importante fattore, accanto a quello geografico, è certamente quello climatico, che unitamente alla modesta altitudine dei laghi laziali, determina nelle loro acque, come illustrato nel capitolo Idrochimica, temperature non troppo fredde, con condizioni di omeotermia invernale e stratificazione della massa d'acqua in estate. Con l'unica eccezione del lago-stagno di Monterosi (Lazio), che si attesta sui 5 metri di profondità massima, quest'ultima è sempre cospicua nei bacini vulcanici italiani rispetto all'area di superficie, anche per i più piccoli di essi. Questo aspetto produce una differenziazione di habitat (il ripario-costiero, il sublitorale con vegetazione o roccia, il bentonico profondo e ancora l'ambiente di acque libere, superficiali o profonde), in grado di offrire risorse trofiche e siti riproduttivi ad un'ampia varietà di specie ittiche. In queste acque lacustri sono perciò presenti praticamente tutte le specie autoctone del distretto tosco-laziale, ad esclusione dei salmonidi stenotermi freddi più esigenti del genere *Salmo*.

Le specie più strettamente reofile risultano presenti solo in determinate aree di alcuni di questi bacini, poiché in generale non trovano in queste acque le condizioni di temperatura ed ossigenazione adeguate alla loro fisiologia, in particolare

Svasso maggiore (*Podiceps cristatus*)

in estate, e non dispongono che di rare zone di litorale ghiaioso-ciottoloso come letto di frega adeguato alla deposizione litofila. Un aspetto importante nel condizionare la presenza di specie reofile nei laghi vulcanici risiede nella morfologia del bacino imbrifero sversante in questi invasi: solitamente infatti, questo è di modesta superficie rispetto al lago, con forti dislivelli tra spartiacque e linea di riva, e dunque con sponde relativamente ripide che solo eccezionalmente vedono la presenza di corsi d'acqua perenni. Assai più facilmente i tributari di questi laghi sono "fossi" con portate stagionali e comunque pulsanti in dipendenza dagli eventi atmosferici, e quindi inadatti ad ospitare una fauna ittica stabile. Anche le portate degli emissari risultano spesso estremamente ridotte.

Le specie ittiche presenti originariamente nelle acque dei laghi vulcanici sono in numero relativamente modesto: il luccio (*Esox lucius*), la tinca (*Tinca tinca*), la scardola (*Scardinius erythrophthalmus*), l'alborella (*Alburnus alburnus alborella*), il latterino (*Atherina boyeri*), oltre a rovello (*Rutilus rubilio*), cagnetta (*Salaria fluviatilis*), cobite comune (*Cobitis taenia bilineata*), ghiozzetto (*Padogobius nigricans*), cui si aggiungono specie a più ampia diffusione come l'anguilla (*Anguilla anguilla*), il barbo (*Barbus plebejus*), il cavedano (*Leuciscus cephalus*), il vairone (*Leuciscus souffia*) e la lasca (*Chondrostoma genei*), o specie che, pur appartenendo alla fauna italiana, non erano anticamente presenti nei laghi del centro e del meridione d'Italia, come il persico reale (*Perca fluviatilis*), il triotto (*Rutilus erythrophthalmus*), il ghiozzetto padano (*Padogobius martensii*) e il ghiozzetto di laguna (*Knipowitschia panizzae*). Queste ultime due specie sono endemiche



Cagnetta (*Salaria fluviatilis*)

italiane. Abbiamo poi specie aliene introdotte in tempi molto antichi e naturalizzate nelle acque italiane - ad esempio la carpa (*Cyprinus carpio*) e il carasio (*Carassius carassius*) di cui è ormai accertata una provenienza asiatica - cui segue un notevolissimo elenco di specie introdotte a partire dagli inizi del 1900, fino ai giorni nostri, con un flusso tuttora in atto, proveniente sia dal territorio nazionale, sia dal continente americano, dall'Europa occidentale o balcanica, dall'Africa e dall'Asia. Tra queste vanno citate, in quanto stabilmente radicate in tutti i laghi vulcanici laziali, specie come il persico sole (*Lepomis gibbosus*), il coregone (*Coregonus lavaretus*) e la gambusia (*Gambusia holbrooki*), mentre sono acquisizioni più recenti il persico trota (*Micropterus salmoides*), il pesce gatto (*Ictalurus melas*), la pseudorasbora (*Pseudorasbora parva*), l'acerina (*Gymnocephalus cernuus*) e, fortunatamente di sporadica segnalazione, il pesce gatto africano (*Clarias gariepinus*).



Gambusia (*Gambusia holbrooki*)

L'agone (*Alosa fallax lacustris*), clupeiforme planctofago introdotto nei laghi laziali negli anni '30, è un elemento dalla particolare ecologia intraspecifica, le cui popolazioni dulciacquicole derivano da una sottospecie diadroma (*Alosa fallax nilotica*) a gravitazione mediterranea. Per l'agone, non si hanno più notizie di catture in tempi recenti.

Il numero complessivo di queste ultime specie purtroppo eguaglia e supera quello delle specie originariamente presenti, con il risultato che, ad oggi, sono presenti complessivamente nei laghi vulcanici italiani circa 30 specie ittiche. Una interessante aggiunta a questa complicata lista di taxa proviene dalla ricorrente introduzione di mugilidi (soprattutto *Mugil cephalus*) operata dai pescatori nelle acque di alcuni laghi laziali, quali Albano, Martignano, Bracciano. Lo scopo è quello di sfruttare il rapido accrescimento che questi pesci eurialini mostrano di avere in acqua dolce, pescandoli poi quando hanno raggiunto cospicue dimensioni. Non potendosi riprodurre in ambiente lacustre, questi pesci sono perfettamente controllabili quanto a consistenza dello stock presente.

La specie autoctona più emblematica dell'ecosistema lacustre è sicuramente il luccio, un grande predatore d'attesa che, grazie ad una notevole longevità, raggiunge in questi laghi dimensioni che possono superare i 130 cm, e i 20 chilogrammi di peso. Tutta la biologia del luccio è strettamente legata alla vegetazione sommersa: è questa che offre al mimetico predatore lo "sfondo" nel quale dissimulare i suoi agguati, così come, nell'immediato sottoriva, supporto e protezione per le uova di tipo adesivo che vengono deposte non appena la temperatura delle acque risale oltre i 12°C. I piccoli lucci si nutrono inizialmente

te di plancton e piccoli invertebrati, ma la loro spiccata ittiofagia non tarda a manifestarsi: già a 4-5 cm di lunghezza iniziano a predare avannotti e piccoli pesci, anche della loro specie. Questa tendenza costituisce anzi un serio ostacolo alle possibilità di allevamento, poiché il cannibalismo precoce impedisce il mantenimento e l'accrescimento in densità elevate di questi pesci. È interessante segnalare come il luccio possa integrare una dieta fondamentale piscivora con prede provenienti da altre classi di vertebrati legati all'acqua: anfi-bi anuri come rane e rospi, bisce d'acqua, arvicole acquatiche e, nel caso di individui di più grandi dimensioni, pulcini di anatidi e ralliformi e anche ratti.

In tempi più recenti, la fascia di vegetazione costiera emersa e sommersa ha subito pressoché ovunque una riduzione drastica, sia di estensione che di integrità complessiva, fattore che ha influito negativamente sull'abbondanza del luccio, come anche delle altre specie legate al litorale di questi laghi, eliminando o alterando gravemente la maggior parte delle aree riproduttive del sottocosta.

Questo discorso vale anche per il persico reale: questa specie raggiunge i 50 cm di lunghezza e, a dispetto del nome specifico (*Perca fluviatilis*), trova la sua migliore ambientazione nei laghi di una certa profondità, con un livello trofico non troppo elevato e con un'ampia cintura di vegetazione macrofita sommersa. Quest'ultima gioca un ruolo fondamentale nella stagione riproduttiva, quando le femmine vi depongono, a profondità relativamente basse, piccole e numerosissime uova (circa 150.000 per chilogrammo di peso), racchiuse in



Luccio (*Esox lucius*)

lunghi nastri gelatinosi disposti a festoni. L'importanza della vegetazione sommersa è altrettanto decisiva nella successiva fase di sviluppo, quando offre alimento e riparo all'avannotto che, riassorbito il sacco del tuorlo, inizia ad alimentarsi: dapprima di plancton costituito da piccoli crostacei associati alla vegetazione, poi di piccoli invertebrati come larve d'insetti e gamberetti del genere *Palaemonetes*,



Persico reale (*Perca fluviatilis*)

infine di piccoli pesci quando l'habitus predatorio è completamente raggiunto. Soprattutto in età giovanile, ma anche a volte in fase pienamente adulta, il persico reale mostra uno spiccato gregarismo: non è inconsueto osservare nutriti banchi di questi pesci nei pressi della fascia litorale vegetata, sfiorandone i contorni e pattugliandone il confine anche a discrete profondità.

Tinca, scardola e rovello sono tra i ciprinidi più legati alla vegetazione litorale, oltre che per la riproduzione (deposizione fitofila), anche perché questa costituisce una voce presente e importante nella loro dieta. La prima è localmente molto apprezzata e quindi ricercata dai pescatori, le altre costituiscono assieme agli altri piccoli ciprinidi le prede elettive delle numerose specie ittiofaghe che frequentano il litorale, come il luccio, il persico reale, l'anguilla e il persico trota. In realtà, l'interesse di quest'ultimo predatore va oltre, prendendo in considerazione anche specie più tipiche di acque libere (alborella, latterino) e profonde (coregone), dimostrando quella estrema versatilità che gli ha guadagnato una rapidissima affermazione nei laghi in cui è stato introdotto.

Sempre tra le specie introdotte un discorso a parte merita il coregone, la cui storia nei laghi vulcanici del centro Italia ha inizio ai primi del '900, con l'introduzione nel Lago di Bolsena di novellame proveniente dai laghi lombardi. Era questa una forma ibrida derivante da almeno due specie d'oltralpe, ma già "stabilizzata" e riproduttiva, al punto da esser già stata classificata, appunto, come specie a sé (*Coregonus lavaretus*). Alcuni autori considerano ancora questa specie appartenente alla famiglia dei salmonidi, sottofamiglia coregonine, mentre altri le attribuiscono una famiglia propria, coregonidi appunto. A seguito di ripetute introduzioni, il coregone ha attecchito in tutti i laghi laziali, ed in particolare Bolsena, Bracciano, Martignano, Vico, Albano e Nemi, diventando specie molto ricercata per le sue carni e quindi oggetto di pesca professionale (vedi scheda a pagg. 104-105). Come gli affini salmonidi, anche il coregone può facilmente essere oggetto di riproduzione artificiale a scopo di ripopolamento. Nel periodo riproduttivo, che va per questa specie frigofila da dicembre a gennaio-febbraio, viene pescato nei pressi delle rive ghiaiose e sassose, dove si

I laghi vulcanici rientrano nella classificazione di "acque principali", per le quali è previsto l'esercizio della pesca professionale. Questa è distinta dalla pesca sportiva per il tipo di licenza che richiede e per gli attrezzi di cui è consentito l'uso. Particolari disposizioni o limitazioni sono stabilite dagli Uffici Pesca delle varie province nel cui territorio ricadono i differenti laghi, ma gli strumenti impiegati (o "mestieri") sono sostanzialmente gli stessi ovunque.

Tra le reti possiamo distinguere le altàne o oltàne, utilizzate per la pesca dei coregoni o, con maglia più piccola, dei latte-rini e delle alborelle. Si tratta di reti di monofilamento di nylon molto sottile, mai poste in contatto col fondo, mantenute verticali superiormente da galleggianti e inferiormente da filo piombato o da anelli di metallo posti a distanze regolari. Sono per lo più utilizzate come derivanti, cioè trasportate dalle correnti, ma possono anche essere ancorate, magari ad una delle estremità, rimanendo flottanti alla profondità prescelta.

Un tipo particolare di rete volante, utiliz-

zata nei laghi della provincia di Roma e chiamata vòllaro o cefalàra, è una rete rettangolare da circuizione che viene calata da almeno due natanti in modo da circondare il banco di pesci, chiudendone le estremità; il vòllaro può essere chiuso tramite un cavo anche nella sua parte bassa, per poi essere salpato.

Reti tipicamente da posta sono le reti da fondo o persichiére, formate da un unico "panno" di monofilamento e maglia adeguata (di solito 8 mm per le alborelle, 30-50 mm per altri ciprinidi e per il persico reale), come anche il tremàglio o tramàglio, molto utilizzato in mare e che trova applicazione nelle acque lacustri nella zona litorale, in particolare per la cattura di tinche, persici reali e carpe. Questa rete verticale, che si cala sul fondo in prossimità della vegetazione sommersa, è costituita da tre "panni" di rete accostati (da cui il nome), dei quali quello centrale è più abbondante e a maglia più piccola, e i due laterali a maglia molto grande. Il pesce, incappando nella rete, forma immediatamente un sacco nel quale resta imprigionato.

Altra rete impiegata nel sottocosta è la sciabica, una rete a sacco con ali laterali che proseguono in lunghi cavi che ne consentono il salpaggio da terra (operato da un numero variabile di persone, fino ad una dozzina) mentre la rete struscia sul fondo. Questa operazione può in qualche caso risultare traumatica per l'integrità della vegetazione e del substrato costiero, specie se le dimensioni della sciabica sono cospicue e l'operazione viene ripetuta più volte in aree contigue.

Uno strumento da posta fissa comune a tutti i laghi in cui si eserciti una pesca professionale è il bertovello (martavéllo, cocùllo), attrezzo ad inganno di varia lunghezza e dimensione, costituito da un cono di rete sostenuto da anelli rigidi e fornito di concamerazioni a imbuto, per cui il pesce che entra può solo proseguire nella camera successiva, ma non uscire. L'ultima camera può essere aperta dall'esterno e viene periodicamente controllata dai pescatori, senza rimuovere l'attrezzo che può essere lasciato sul posto per un'intera stagione. Per invitare

i pesci ad entrare, l'attrezzo è dotato di due ali laterali e una centrale che guidano i pesci verso l'imboccatura: quest'ultima è quasi sempre rivolta verso la riva, che è raggiunta dall'ala centrale di rete allo scopo di intercettare i pesci che si muovono parallelamente ad essa. Nel bertovello possono anche essere collocate delle esche per aumentarne la pescosità.

Questi strumenti sono soprattutto utilizzati per la cattura delle anguille nel sottocosta nel periodo settembre-dicembre, quando mostrano una spiccata mobilità in particolare durante forti perturbazioni; ma catturano anche, sia pure in minor misura e in periodi differenti, molte scardole e grossi lucci, varie specie di persici, carpe, tinche e altri ciprinidi.

Altri strumenti di pesca professionale, diversi dalle reti, sono i filaccioni, o file, o lenzàre: sono lenze di varia lunghezza e consistenza, munite di molti ami e utilizzate prevalentemente per la cattura di pesci di fondo. Nei laghi qui trattati, vengono adoperate quasi esclusivamente per la pesca delle anguille (vedi foto).



porta per la deposizione. Grazie alla possibilità di spremere praticamente a secco sia i maschi che le femmine, i pescatori portano a terra le uova già fecondate, che vengono poi poste in speciali contenitori (bottiglie di Zug) simili a grosse bottiglie (8-10 litri di capacità) prive di fondo e capovolte. Una continua corrente di acqua a 6-8°C, applicata all'imboccatura delle bottiglie, mantiene in continuo movimento e ossigenate le uova che altrimenti, essendo di tipo adesivo, si incollerebbero alle pareti del contenitore subendo asfissia ed attacchi di muffe. Attualmente in alcuni laghi vulcanici laziali, in particolare nel Lago di Vico, si producono quantitativi di coregone che, oltre a sostenere il ripopolamento locale, vengono immessi anche in altri laghi del distretto e persino in laghi dell'Italia settentrionale.

Un'altra vicenda inerente le introduzioni di specie esotiche in laghi vulcanici riguarda il Lago di Nemi, in cui fu introdotto il pesce re (*Odontheistes bonariensis*, un atherinide di origine argentina ad alimentazione prevalentemente planctofaga ed elevata tolleranza alle alte temperature estive), che avrebbe dovuto sopperire alla scomparsa del coregone avvenuta a seguito dell'eutrofizzazione del bacino negli anni '70, occupandone la nicchia ecologica, e fornendo carni dalle ottime qualità organolettiche. La scelta naturalmente fu anche guidata dal fatto che il Lago di Nemi, vulcanico appunto e privo di immissari ed emissari, garantiva il completo controllo sul ciclo vitale del pesce re. Ancora oggi, con il coregone di nuovo presente nelle acque del lago, permane una popolazione di pesce re che è oggetto di pesca sportiva.



Coregone (*Coregonus lavaretus*)

■ Anfibii e rettili

Sicuramente i litorali dei laghi vulcanici italiani hanno da sempre offerto ampie estensioni di canneti e terreni allagati la cui vocazione ad ospitare anfibii è di certo elevata. È altrettanto vero però che le acque lacustri, diversamente dalla miriade di piccole acque astatiche presenti sul territorio, non offrono a quelle specie che non abbiano particolari adattamenti la protezione necessaria soprattutto nella fase riproduttiva, e successivamente in quella di vita larvale. Questi sono habitat con presenza di numerosi predatori rappresentati da molte specie ittiche, da bisce d'acqua e testuggini, da molti uccelli in grado di predare nel sottoriva (soprattutto ardeidi) e dalla varietà di insetti acquatici che sia come larve che come adulti popolano la vegetazione sommersa fin dall'immediato sottocosta (ad esempio larve di odonati, larve e adulti di coleotteri diti-scidi, neanidi e adulti di eterotteri acquatici).

Questa osservazione permette di comprendere immediatamente perché possiamo reperire nel litorale dei laghi un numero assai limitato di specie di anfibii anuri: il rospo comune (*Bufo bufo*) e assai raramente il rospo smeraldino (*Bufo viridis*), le rane verdi del complesso ibridogenetico B-H, cioè *Rana bergeri* e *Rana hispanica* (quest'ultima ibrido stabilizzato di *R. bergeri* x *R. ridibunda*, non più presente nell'areale), raramente la raganella italiana (*Hyla intermedia*). Le specie presenti sono infatti solo quelle parzialmente "protette" dalla predazione, sia per adattamenti propri dell'adulto che lo rendono



Rospo comune (*Bufo bufo*)

repellente al predatore, sia per adattamenti riguardanti il rivestimento delle masserelle o dei nastri di uova, indigesto o poco appetibile anche per molti predatori invertebrati, sia infine per adattamenti relativi alla strategia riproduttiva (detta di tipo r), che prevede il rilascio di un'ingentissima quantità di uova, atta a garantire la sopravvivenza di un sufficiente numero di individui al termine della metamorfosi.

Questa situazione generale non impedisce naturalmente che altre specie (ad esempio il tritone crestato italiano, *Triturus carnifex*) presenti nell'areale e considerate genericamente "pioniere", cioè tendenti ad espandere la loro diffusione colonizzando nuovi corpi d'acqua, risultino talora presenti con pochi individui in settori più protetti e inaccessibili del litorale (ad esempio pantani con ampia copertura di vegetazione emergente come giunchi e canne palustri).

Le specie di rettili che possiamo trovare associate alle acque dei laghi vulcanici sono la natrice tassellata (*Natrix tessellata*), tendenzialmente piscivora, la biscia dal collare (*Natrix natrix*) e la testuggine palustre (*Emys orbicularis*). A queste si affiancano di frequente in alcuni laghi le specie del genere *Trachemys*, esotiche provenienti dal Nord America che vengono vendute al pubblico come animaletti da compagnia, ma che di frequente sono rilasciate in natura una volta raggiunta una taglia non più "gestibile". È noto come di recente siano stati catturati esemplari di taglia considerevole che si andavano a nutrire del pesce ammagliato nelle reti dei pescatori professionisti.



Natrice tassellata (*Natrix tessellata*)

■ Uccelli

Tra gli uccelli molte sono le specie legate all'ambiente lacustre in generale, inclusi i laghi vulcanici. Tra i nidificanti tipici, migratori o stanziali, legati alle più ampie estensioni di canneto, vi sono lo svasso maggiore (*Podiceps cristatus*), il tuffetto (*Tachybaptus ruficollis*), il tarabusino (*Ixobrychus minutus*), il germano reale (*Anas platyrhynchos*) e occasionalmente la canapiglia (*Anas strepera*), la gallinella d'acqua (*Gallinula chloropus*), il porciglione (*Rallus aquaticus*), la fola-ga (*Fulica atra*), il martin pescatore (*Alcedo atthis*). Ricordiamo tra i rapaci il nibbio bruno (*Milvus migrans*), sempre di pattuglia sui bacini lacustri, e tra i passeriformi legati agli habitat lentici l'usignolo di fiume (*Cettia cetti*), la cannaiola (*Acrocephalus scirpaceus*), il canna-reccione (*Acrocephalus arundinaceus*), il pendolino (*Remiz pendulinus*), il beccamoschino (*Cisticola juncidis*). Sono inoltre presenti la cutrettola (*Motacilla flava*), per la sua predilezione a collocare il nido nelle coltivazioni cerealicole adiacenti gli ambienti umidi, la ballerina gialla (*Motacilla cinerea*), altro motacillide legato per la riproduzione alla presenza di acqua corrente, il gruccione (*Merops apiaster*), per esigenze legate al reperimento di terrapieni e sponde escavabili tipicamente presenti intorno alle zone umide. Talvolta la struttura geomorfologica di alcuni laghi vulcanici, con la contemporanea presenza di acqua, dirupi scoscesi e pareti rocciose, può localmente favorire specie rupicole quali il rondone (*Apus apus*), il falco pellegrino (*Falco peregrinus*), il passero solitario (*Monticola solitarius*) e il



Tuffetto (*Tachybaptus ruficollis*)



Moriglioni (*Aythya ferina*) nel Lago di Bracciano (Lazio)

gheppio (*Falco tinnunculus*), come avviene presso il Lago Albano dove le specie citate coesistono come nidificanti.

Censimenti accurati dell'avifauna svernante, di passo e nidificante sono disponibili per un numero limitato di ambienti, in particolare per quelli inseriti in aree di tutela. Tipicamente, sono i censimenti degli uccelli acquatici svernanti che forniscono il maggior numero

di dati per questi laghi, sia come numero di individui che come ricchezza di specie. Nei laghi più grandi (Bolsena e Bracciano) svernano lo svasso piccolo (*Podiceps nigricollis*) e lo svasso maggiore, che fanno registrare importanti densità (alcune centinaia di individui). In misura minore sono rappresentati tra i ciconiformi il tarabuso (*Botaurus stellaris*), l'airone bianco maggiore (*Egretta alba*) e l'airone cenerino (*Ardea cinerea*). Presente anche la quasi totalità degli anseriformi italiani, con tutte le anatre di superficie e le anatre tuffatrici e tra le oche quella selvatica (*Anser anser*) come unica rappresentante del gruppo, più volte segnalata nei laghi di Bracciano e Vico. Tra i rapaci, oltre al nibbio bruno, vanno menzionati il falco di palude (*Circus aeruginosus*) e l'albanella reale (*Circus cyaneus*). Anche alcuni uccelli limicoli trovano riparo e sostentamento durante la stagione fredda lungo le fasce perilacustri dei bacini: ne sono un esempio la pavoncella (*Vanellus vanellus*) tra i caradridi e il beccaccino (*Gallinago gallinago*) tra gli scolopacidi. Nella famiglia dei laridi figurano il gabbiano comune (*Larus ridibundus*) e il gabbiano reale (*Larus cachinnans*), mentre tra i passeriformi citiamo il forapaglie castagnolo (*Acrocephalus melanopogon*), la pispola (*Anthus pratensis*) e il migliarino di palude (*Emberiza schoeniclus*). Negli anni più recenti, durante l'inverno, trovano rifugio notturno nei canneti litorali (in special modo sul Lago di Vico) ingentissime quantità di storni (*Sturnus vulgaris*), la cui ridondante presenza garantisce il sostentamento anche ai rapaci svernanti in zona, quali il gheppio ed il falco pellegrino.

Tra i frequentatori invernali meno comuni la strolaga mezzana (*Gavia arctica*) per i laghi di Bolsena e Bracciano, l'occasionale comparsa dello svasso collarosso (*Podiceps grisegena*) avvistato nel Lago di Averno e nel Lago di Vico e dello svasso cornuto (*Podiceps auritus*) osservato nel Lago di Vico e nel Lago di Bracciano, ove appare irregolarmente anche la pesciola (*Mergus albellus*). Altro frequentatore invernale è la canapiglia, già citata tra i nidificanti, che staziona sul Lago di Vico con densità da non sottovalutare, mentre il codone (*Anas acuta*), solitamente scarso nell'entroterra, mostra una certa regolarità nel frequentare i laghi laziali. Meno abitudinaria tra le anatre la moretta grigia (*Aythya marila*),



Nibbio bruno (*Milvus migrans*)

Sgarza ciuffetto (*Ardeola ralloides*)

anch'essa presente, seppure localizzata, in alcuni laghi interni, e la rara moretta tabaccata (*Aythya nyroca*).

Fattori molto importanti per lo svernamento di massa sono la disponibilità trofica (legata alla presenza di abbondanti macrofite sommerse o di terreni allagati per le specie vegetariane, ma anche alla ricchezza di pesce per quelle ittiofaghe), l'integrità ecologica degli ambienti, il livello di disturbo antropico, al quale però diverse specie hanno di recente dimostrato di sapersi adattare: è il caso del cormorano (*Phalacrocorax carbo sinensis*), oggi in evidente espansione nei laghi vulcanici, o del moriglione (*Aythya ferina*), anatra tuffatrice svernante regolare in Italia e osservabile da sempre nella Riserva

Regionale del Lago di Vico, ma ormai da alcuni inverni e in notevole quantità (diverse centinaia di individui) anche dalla passeggiata lungolago di Anguillara Sabazia (Lago di Bracciano).

Una particolare attenzione merita la formazione sui laghi di grandi assembramenti di gabbiano comune e soprattutto di gabbiano reale (alcune centinaia, a volte migliaia di individui) durante lo svernamento: il comportamento "pendolare" di queste specie, acquisito grazie al notevole opportunismo alimentare, si esplica tra le discariche e i laghi, divenuti soprattutto quartieri-dormitorio, ma anche purtroppo collettori di ciò che di tossico o inquinante questi uccelli possono evacuare dopo i pasti in discarica.

Tra i migratori, una grande varietà di specie può beneficiare del sistema dei laghi vulcanici, anche per la loro strategica dislocazione lineare sul territorio, che offre una certa continuità di habitat lungo l'asse migratorio interno. La presenza di specie di passo inoltre è legata, oltre che allo specchio d'acqua vero e proprio, alla estensione e qualità della fasce litorali e ripariali, ma anche alla loro combinazione con aree aperte o boscate più o meno allagate, che aumentano l'eterogeneità ambientale a favore di una maggiore diversità dell'avifauna.

Oltre alle già citate specie svernanti, che durante i passi subiscono notevoli incrementi numerici, molte altre contribuiscono ad arricchire periodicamente la diversità specifica di questi ambienti. Tra gli ardeidi risulta irregolare il transito di airone rosso (*Ardea purpurea*), sgarza ciuffetto (*Ardeola ralloides*) e nitticora (*Nycticorax nycticorax*). Analogamente si comportano gli altri trampolieri di gros-

sa taglia: cicogna nera (*Ciconia nigra*), bianca (*Ciconia ciconia*), spatola (*Platalea leucorodia*), mignattaio (*Plegadis falcinellus*), fenicottero (*Phoenicopterus roseus*) e gru (*Grus grus*), mentre mostra un comportamento regolare durante la migrazione la garzetta (*Egretta garzetta*). Grazie alla destinazione a pascolo di bovini ed equini allevati allo stato brado di aree circumlacuali, anche l'airone guardabuoi (*Bubulcus ibis*), in netta espansione su tutto il territorio nazionale, fa segnalare sporadicamente la sua presenza.

La marzaiola (*Anas querquedula*), anatra migratrice per antonomasia, è migratrice regolare, come pure il codone (*Anas acuta*), che nel caso dei laghi laziali contravviene la sua naturale ten-

denza a transitare scarsamente nell'entroterra. A questi due anatidi si aggiunge l'oca lombardella (*Anser albifrons*), pure migratrice regolare. Irregolare invece la presenza della volpoca (*Tadorna tadorna*) e decisamente accidentale quella della rara casarca (*Tadorna ferruginea*). Tra i rapaci sono di comparsa irregolare il falco pescatore (*Pandion haliaetus*) e l'albanella minore (*Circus pygargus*). Si associano regolarmente alle fasce di vegetazione palustre i rallidi del genere *Porzana* (voltolino e schiribilla, rispettivamente *P. porzana* e *P. parva*), mentre per i caradriformi, quasi totalmente rappresentati, figurano come irregolari solamente il cavaliere d'Italia (*Himantopus himantopus*), l'avocetta (*Recurvirostra avosetta*) e l'albastrello (*Tringa stagnatilis*). Ai già citati laridi si vanno ad aggiungere regolarmente il mignattino e il mignattino piombato (*Chlidonias niger* e *C. hybridus*) e il gabbianello (*Larus minutus*). Tra i comuni passeriformi di canneto citiamo forapaglie (*Acrocephalus schoenobaenus*) e scaliaiola (*Locustella luscinioides*), mentre irregolare è la presenza del basettino (*Panurus biarmicus*), uccello simbolo dei canneti, e del pettazzurro (*Luscinia svecica*), altro utilizzatore della vegetazione ripariale durante i movimenti migratori. Lo spioncello (*Anthus spinoletta*) e il topino (*Riparia riparia*), entrambi legati all'acqua durante gli spostamenti migratori, transitano stagionalmente nel comprensorio dei laghi vulcanici.

Per completare il quadro relativo all'avifauna lacustre non devono essere dimenticate specie come il cigno reale (*Cygnus olor*), il fistione turco (*Netta rufina*) e l'oca del Canada (*Branta canadensis*), le cui presenze sono da attribuire prevalentemente al frutto di locali immissioni.

Garzetta (*Egretta garzetta*)

■ Mammiferi

La normale attrattiva esercitata dall'acqua quale elemento vitale sulla totalità dei mammiferi che possono essere presenti sul territorio circostante un lago fa sì che molte specie si possano rinvenire con una certa regolarità lungo le sue sponde: il cinghiale (*Sus scrofa*) alla ricerca dell'insoglio nelle aree allagate, la volpe (*Vulpes vulpes*) in caccia sul limitare delle acque nel tentativo di sorprendere folaghe e anatre, il tasso (*Meles meles*) in cerca di lombrichi nel terreno ammorbidito dall'umidità, la donnola (*Mustela nivalis*) frequentatrice del margine dei canneti, la puzzola (*Mustela putorius*), di abitudini prevalentemente notturne, che mostra una generale preferenza per gli ambienti umidi e gli specchi d'acqua, presso i quali cerca rane e piccoli vertebrati.

Poche sono però le specie strettamente legate all'acqua, che da questa dipendono per il loro ciclo vitale.

Tra gli insettivori sicuramente frequenta le sponde dei laghi il toporagno d'acqua (*Neomys fodiens*), mentre della presenza sulle rive lacustri di *N. anomalus*, il toporagno acquatico di Miller, non vi è certezza, nonostante il suo areale comprenda ampiamente i territori in cui sono presenti i nostri bacini vulcanici.

Per quanto riguarda i chiroteri, anche se difficilmente potremmo definirne una dipendenza dall'acqua, pure è ben nota l'abitudine di alcune specie, come il pipistrello di Savi (*Hypsugo savii*), il vespertilio di Capaccini (*Myotis*



Volpe (*Vulpes vulpes*)

capaccinii) o il vespertilio di Daubenton (*M. daubentonii*), di cacciare alla sua superficie insetti e, per l'ultimo di questi, anche avannotti di pesci.

Tra i roditori autoctoni solo l'arvicola terrestre (*Arvicola terrestris*) può essere considerata a tutti gli effetti strettamente legata all'acqua, anche se la sua distribuzione sulle sponde lacustri è molto irregolare.

Tra i roditori rivestono una notevole importanza due specie introdotte. La prima è il ratto delle chiaviche (*Rattus norvegicus*), abile nuotatore, oramai sinantropico e frequente serbatoio e vettore di malattie anche molto pericolose, che l'animale può diffondere nell'ambiente acquatico o trasmettere (direttamente o indirettamente) all'uomo, come la leptospirosi. La seconda è la nutria (*Myocastor coypus*), grande roditore sudamericano in continua espansione nei maggiori bacini fluviali e lacustri italiani inclusi i vulcanici, la cui presenza ha implicazioni dannose a carico di argini in cui vengono escavate le tane, e della vegetazione riparia le cui fitocenosi subiscono l'attività trofica della nutria nei confronti di alcuni elementi, che mostrano una preoccupante rarefazione.

La presenza di coltivazioni agrarie e orticole contigue ai bacini lacustri costituisce una condizione ulteriormente favorevole alla persistenza della nutria, in quanto soddisfa una parte delle sue esigenze alimentari. La lotta a questa specie ha assunto grande sviluppo in diverse regioni italiane, ma l'obiettivo dell'eradicazione totale è difficile da raggiungere soprattutto per la sua grande prolificità.



Arvicola terrestre (*Arvicola terrestris*)

Aspetti di conservazione e gestione

FABIO STOCH · DARIA VAGAGGINI

I laghi vulcanici, ecosistemi così complessi e di elevata valenza naturalistica, celano dietro un apparente stato di quiete, forse legato alle loro calme acque di antica genesi, tutta una serie di problemi che minano progressivamente i delicati equilibri che li sostengono.

È solo in tempi relativamente recenti, infatti, che l'uomo e le sue regole sociali hanno scoperto e cominciato a sfruttare in maniera incondizionata questi ambienti.

Nonostante le forme di protezione che nell'ultimo decennio sono state istituite per questi biotopi, gli specchi lacustri e le aree circostanti sono ancora soggette ad una gestione niente affatto eco-compatibile, in cui progressive e inarrestabili alterazioni del territorio vengono portate avanti con pesanti conseguenze sulla qualità delle acque e sull'integrità ecologica di questi bacini.

Le minacce provengono da diversi settori produttivi, quali ad esempio edilizia, agricoltura, zootecnia e turismo, che con il loro rapido sviluppo hanno modificato e stravolto le originarie vocazioni del territorio, alterando profondamente le zone litorali dei laghi e apportando consistenti carichi inquinanti nelle acque. I monitoraggi, ormai su serie di dati pluriennali, dimostrano nella maggior parte dei casi un progressivo peggioramento delle condizioni ambientali, con profonde alterazioni delle comunità biologiche a seguito di stress chimico-fisici (come eccesso di nutrienti e anossia).

Verranno di seguito illustrate le problematiche che interessano da vicino questi ambienti, con la speranza che in futuro la loro salvaguardia possa essere garantita attraverso politiche di gestione corrette e rispettose del patrimonio unico ed insostituibile che essi rappresentano per il nostro paese.



Lago di Nemi (Lazio)



Laghi di Nemi e Albano (Lazio) circondati da aree fortemente antropizzate

■ Antropizzazione delle rive

Molti bacini vulcanici, soprattutto quelli di maggiori dimensioni, hanno agglomerati urbani che insistono direttamente sulla fascia litorale (alcuni comuni arrivano fino a 20.000 abitanti). Nell'ultimo decennio l'espansione delle nuove costruzioni è stata ingente e molto spesso priva di piani regolatori efficienti nel garantire la salvaguardia delle aree limitrofe allo specchio lacustre. Nonostante poi la maggior parte dei laghi vulcanici sia oggetto di forme di tutela (parchi, SIC, ZPS) il problema dell'abusivismo edilizio non sembra sia stato ancora definitivamente risolto. Fortunatamente i reflui derivanti dai diversi insediamenti, nella maggior parte dei casi, sono stati raccolti in collettori che non scaricano all'interno dei bacini, ma si segnala la situazione del Lago Albano che, privo di anello fognario circumlacuale, accoglie ancora gli scarichi dei paesi, subendo ormai da diversi anni un insostenibile deterioramento della qualità delle acque. Un problema analogo si pone anche in alcuni bacini di dimensioni minori, che, pur non avendo paesi che gravitano nelle vicinanze, hanno strutture turistiche che scaricano direttamente i loro reflui, senza trattamenti adeguati, all'interno dei laghi.

Lì dove sono più limitati gli insediamenti urbani, si sviluppano lungo le rive dei laghi vulcanici estese superfici dedicate alla zootecnia e all'agricoltura. Tali attività, se non soggette a controllo, possono creare dei seri problemi di alterazione della qualità degli ambienti lacustri. In particolare, l'uso indiscriminato



Riduzione del canneto lungo le rive del Lago di Nemi (Lazio)

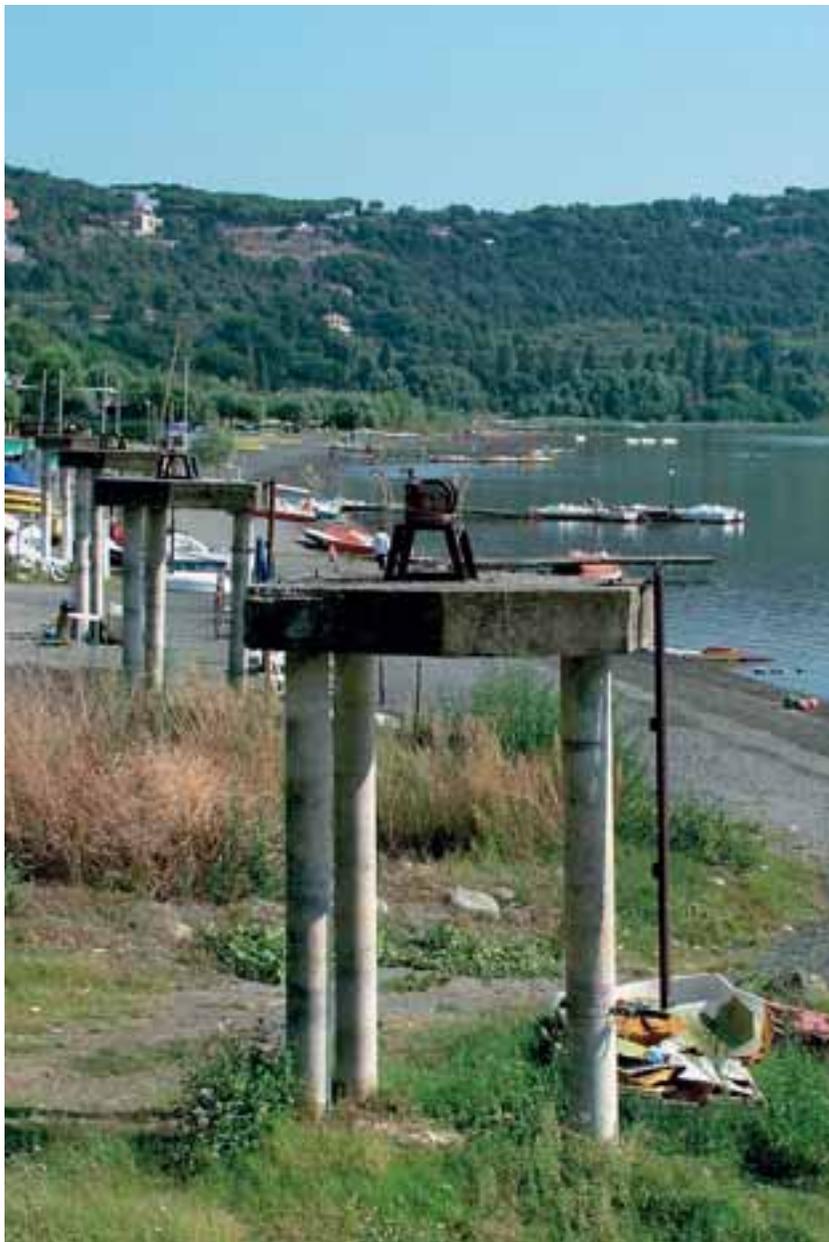
di prodotti fitosanitari e fertilizzanti può essere responsabile di gravi fenomeni di inquinamento; tali sostanze infatti, attraverso il ruscellamento o la penetrazione in falda, giungono direttamente nelle acque dei laghi. Se contengono nutrienti, quali fosforo e azoto, determinano un processo di eutrofizzazione, di cui si parlerà dettagliatamente in seguito; inoltre, prodotti fitosanitari con principi attivi bioaccumulabili possono, attraverso l'ingestione da parte degli organismi e fenomeni di biomagnificazione, raggiungere tutti i livelli della catena alimentare, creando profonde alterazioni nella dinamica delle popolazioni.

Un caso degno di nota è quello del Lago di Vico, che come la gran parte dei laghi italiani, ha subito negli anni '70 un drastico cambiamento nell'uso del suolo intorno al bacino, con una trasformazione dell'agricoltura tradizionale in sistemi di coltivazione intensiva; il lago è stato recentemente oggetto di un interessante studio da parte dell'Università della Tuscia.

Una stima dei seminativi (agricoltura estensiva) del 1954 è pari a 1064 ha che nel 1994 si sono ridotti a 177 ha, per lasciare il posto alle coltivazioni intensive di nocciolati che da 414 ha sono passate a 1235 ha. Tale cambiamento ha determinato e continua ad oggi a determinare un forte apporto di fosforo e azoto nelle acque, derivanti dalle operazioni di concimazione, e di pesticidi quali insetticidi (endosulfan, diazinone, carbaryl, lambda cialotrina), diserbanti (glufosinate e glyphosate) e fungicidi (iprodione e thiabendazole). Il lungo tempo di ricambio del bacino impedisce lo smaltimento di tali sostanze in tempi rapidi, con la conseguenza che nell'ultimo decennio il deteriora-



Stabilimenti balneari lungo le rive del Lago Albano (Lazio)



Diminuzione del livello delle acque del Lago Albano (Lazio): negli anni '50 le imbarcazioni per le gare sportive venivano attraccate alla sommità dei piloni in cemento



Il porticciolo del Lago di Bolsena (Lazio)

mento della qualità delle acque è stato progressivo. L'attività agricola, infatti, crea un inquinamento di tipo diffuso di difficile controllo poiché non esistono sorgenti puntuali; l'unica soluzione per limitare questo fenomeno è l'adozione di pratiche agricole ecocompatibili così come previsto dall'Unione Europea, compreso il mantenimento di una fascia litorale lacustre estesa ed integra che, attraverso la vegetazione, possa svolgere il ruolo di filtro per queste sostanze nocive.

Un ulteriore problema che interessa ormai la quasi totalità dei bacini vulcanici è lo sfruttamento delle rive per attività turistiche: l'affitto di ombrelloni, sdraio e imbarcazioni, durante il periodo estivo, è in netto aumento. Nell'ultimo decennio molti bacini, soprattutto i meno sfruttati, hanno subito tagli indiscriminati di zone di macchia o di canneto per adibire le aree ricavate a stabilimenti turistici. Le ripercussioni sull'ecosistema, derivanti da questi tagli di vegetazione ripariale, sono state molteplici. In primo luogo, come accennato nel capitolo Macrofite, il taglio della vegetazione autoctona ha generato una sostituzione a favore di specie invasive e opportuniste. Dal punto di vista faunistico, invece, alcune specie ittiche si sono viste private del loro habitat, con conseguente declino delle popolazioni; discorso analogo è valido per gli anfibi e i rettili che hanno assistito nel tempo ad una netta diminuzione delle aree idonee alla loro riproduzione.

Come per l'agricoltura, misure urgenti per un turismo ecocompatibile dovrebbero essere adottate, finalizzate al mantenimento della naturalità di questi ambienti, evitando quelle radicali trasformazioni che alla lunga, come dimostrano molte esperienze del nostro paese, si ripercuotono negativamente oltre che sull'ecosistema anche sull'economia dei luoghi.

■ Emungimenti

I bacini vulcanici costituiscono una riserva idrica indispensabile per il territorio che gravita intorno ad essi. Nonostante infatti le superfici non siano molto estese, le notevoli profondità garantiscono volumi d'acqua molto elevati. Seppure le acque di alcuni laghi vulcanici siano state sfruttate sin dal tempo dei Romani (ricordiamo l'Acqua Paola e l'Acquedotto allietino, che interessarono i laghi di Bracciano e Martignano), ed alcuni siano stati addirittura bonificati in epoca storica (vedi scheda a pag 22), il problema è drammaticamente peggiorato negli ultimi decenni. L'aumento del prelievo d'acqua è stato

senza dubbio determinato dalla già citata trasformazione dell'agricoltura tradizionale in agricoltura intensiva, con fabbisogno idrico notevolmente maggiore, e dall'aumento esponenziale della popolazione nei comuni che insistono su questi ambienti.

Solo per fare un esempio il volume stimato del Lago di Bracciano è pari a ben 5,05 km³. Il settore di attività che maggiormente beneficia del prelievo idrico è senza dubbio quello agricolo, a seguire la captazione degli acquedotti ed infine il settore zootecnico.

Per avere un'idea dell'entità dei prelievi, in questo bacino, sono stati recentemente riportati dall'ENEA dati sugli emungimenti nei diversi settori di attività di tutti i comuni del lago. La quantità d'acqua totale prelevata è pari a 16.418.728 m³/anno; in particolare, 10.938.520 m³/anno sono devoluti al settore agricolo (pari al 66,6% del totale), 5.330.102 m³/anno al prelievo degli acquedotti per il rifornimento dei comuni (pari al 32,4% del totale) e 150.106 m³/anno al settore zootecnico (pari all'1% del totale). A questo è necessario aggiungere i quasi 25.000.000 m³/anno (dati 2002) prelevati dall'ACEA per il rifornimento idrico della città di Roma e gli emungimenti da pozzi privati per altri usi, di cui è impossibile fare una stima in quanto molte strutture di captazione non sono regolarmente denunciate ed è noto, da studi condotti sul bilancio idrologico di questi bacini, che tale quantità prelevata abusivamente è piuttosto elevata. Da diverse fonti il quadro descritto è visto estremamente critico, poiché è stato dimostrato che attualmente gli



Il paese di Anguillara Sabazia sul Lago di Bracciano (Lazio)

apporti idrici derivanti dalle precipitazioni sono inferiori rispetto alla somma delle perdite d'acqua dovute all'evaporazione dalla superficie del bacino e agli emungimenti prima citati. Il risultato è che il livello del lago è sensibilmente diminuito. Una situazione analoga è purtroppo evidenziabile per la maggior parte dei bacini vulcanici sui quali insiste un intorno produttivo, demograficamente consistente.

A conferma di quanto esposto si riporta la situazione del Lago Albano: i dati pubblicati nel 1998 dalla Provincia di Roma evidenziano un sostanziale mantenimento del livello idrico nel periodo 1960-1980, mentre dal 1980 al 1996 si è verificato un calo delle acque di ben 160 cm. Per i 4 anni successivi (1996-2000) sono disponibili invece dati del WWF che evidenziano una perdita di livello di ulteriori 90 cm. Analogo discorso è valido per il Lago di Nemi per il quale la Provincia di Roma individua un mantenimento del livello dal 1960 al 1993, un drastico calo di 190 cm nel periodo 1993-1996 e un'ulteriore perdita, come denunciato dal WWF, di altri 50 cm nel quadriennio 1996-2000. Il trend evidenziato per i due bacini continua a tutt'oggi, dimostrando come, ancora una volta, per evitare la compromissione dei delicati equilibri di questi ecosistemi è indispensabile porre in atto misure per uno sviluppo sostenibile che mantenga i prelievi al di sotto della capacità portante di questi ambienti. Sono inoltre indispensabili monitoraggi regolari, per prevenire il superamento dei livelli di guardia, oltre i quali si va inevitabilmente incontro alla perdita della risorsa.



Opera di captazione idrica sul Lago di Bracciano (Lazio)



Serre lungo le rive del Lago di Nemi (Lazio)

■ Eutrofizzazione

Diverse sono le definizioni di eutrofizzazione; tra le prime, ma ancora attuale, si ricorda quella dell'OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) degli anni '70: "l'eutrofizzazione è un arricchimento delle acque di sali nutritivi che provoca cambiamenti tipici quali l'incremento della produzione di alghe e piante acquatiche, l'impoverimento delle risorse ittiche, la generale degradazione della qualità dell'acqua ed altri effetti che ne riducono e precludono l'uso".

Quando l'eutrofizzazione è di origine antropica (o anche detta "culturale") è un fenomeno molto rapido e reversibile se opportunamente trattato, a differenza dell'eutrofizzazione naturale che richiede tempi molto più lunghi ed è talora irreversibile.

Le cause dell'eutrofizzazione antropica, come detto in precedenza, sono essenzialmente l'uso di fertilizzanti agricoli, gli scarichi urbani, industriali e zootecnici che, confluendo nelle acque lacustri, apportano un eccessivo input di nutrienti. L'effetto di una esasperata immissione di queste sostanze provoca un eccesso di produttività primaria ed una elevata riproduzione algale. L'abbondante biomassa fitoplanctonica che si crea è maggiore rispetto alla capacità di utilizzo da parte degli organismi erbivori. L'eccesso di produzione non più controllato dalla catena da pascolo viene trasferito così alla catena del detrito, causando anossia negli strati più profondi del bacino. I microrganismi infatti decomponendo, mediante processi aerobici, la biomassa algale in eccesso consumano l'ossigeno; quando quest'ultimo non è più disponibile la degradazione avviene a carico di processi anaerobici, che liberano nelle acque composti tossici (es. H_2S).

I corpi idrici in questa situazione presentano, inoltre, formazioni di schiume algali o tappeti di alghe flottanti e netta diminuzione della trasparenza. Il danno alla vita acquatica può manifestarsi in modo diretto attraverso morie ittiche oppure indirettamente attraverso una lenta modifica della struttura delle comunità, con comparsa di specie più tolleranti e scomparsa delle specie sensibili. Ovviamente l'eutrofizzazione compromette anche gli eventuali usi della risorsa idrica, come ad esempio quello potabile e ricreativo.



Il piccolo bacino eutrofico di Monterosi (Lazio)

Il Lago di Nemi, situato nel complesso vulcanico dei Colli Albani, è un bacino profondo circa 34 m con superficie pari a 1,6 km² e tempo di ricambio stimato in circa 15 anni. Negli ultimi trent'anni il bacino lacustre ha subito profondi cambiamenti dal punto di vista trofico, soprattutto in seguito a impatti ed interventi antropici che hanno pesantemente modificato gli equilibri dei diversi comparti ecosistemici.

Negli anni '60 il lago si presentava in buone condizioni con comunità biologiche diversificate ed elevati livelli di ossigenazione delle acque. La situazione cominciò a peggiorare negli anni '70; in questo periodo infatti proliferarono scarichi puntiformi e diffusi, derivanti da attività antropiche, che si riversavano direttamente nelle acque del lago. Già agli inizi degli anni '80 un monitoraggio fisico, chimico e biologico mostrò un forte deterioramento del-

la qualità ambientale. Una grave deossigenazione interessava la zona profonda del bacino, i nutrienti (fosforo e azoto) presentavano concentrazioni molto elevate che favorivano lo sviluppo di un'ingente biomassa algale. Tutti i popolamenti, sia animali che vegetali, si concentravano nei primi metri di profondità, è ciò avveniva anche in conseguenza della scarsa trasparenza delle acque.

All'interno delle comunità si assisteva al netto predominio da parte di alcune specie o gruppi (come i cianobatteri) che in determinati periodi dell'anno andavano incontro a fioriture eccezionali.

Da segnalare, inoltre, il verificarsi di estese morie di coregoni, la presenza di molti planctonti parassitati da funghi e da alghe epizoiche e il popolamento bentonico estremamente ridotto.

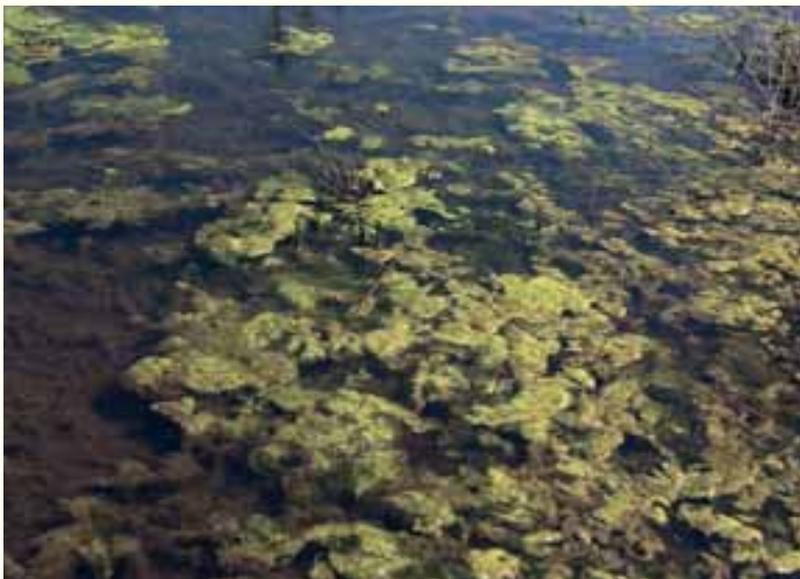
Preso atto di una situazione insosteni-

bile le amministrazioni locali provvedettero nei primi anni '90 a convogliare tutti gli scarichi in un collettore circumlacuale e a deviarli al di fuori del bacino. Un monitoraggio effettuato dall'Università "La Sapienza" di Roma, a circa 10 anni di distanza dall'intervento, ha evidenziato una situazione nettamente migliorata: il carico di nutrienti è diminuito, la trasparenza è aumentata, permettendo alla luce di raggiungere il metalimnio.

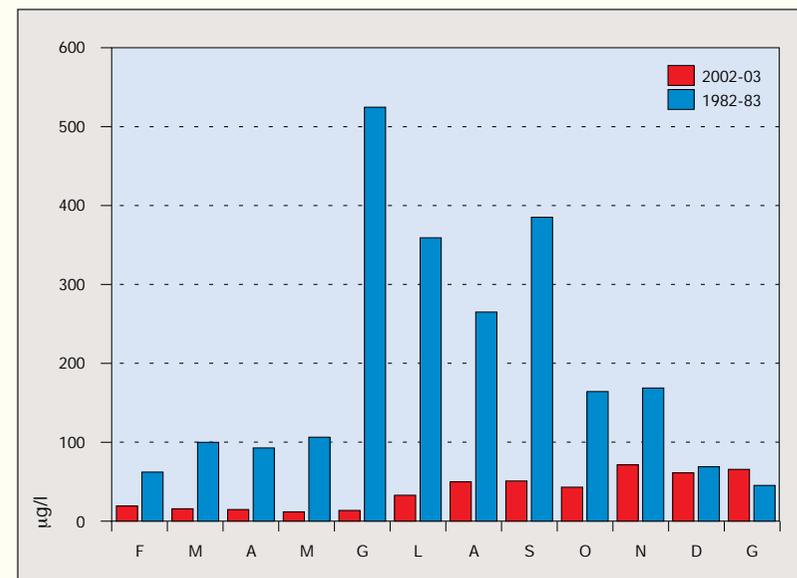
Questa situazione ha favorito il cambiamento della composizione delle cenosi algali, con lo sviluppo di *Planktothrix*, tipica specie metalimnetica (si veda il capitolo Fitoplancton). Contemporaneamente sono aumentati i livelli di ossigenazione, le comunità zooplanctoniche ed in parte quelle zoobentoniche sono risultate più diversificate e un miglior stato di salute caratterizza le popolazioni di coregone.

Nonostante questi elementi positivi il lago è classificabile ancora come eutrofico e i suoi equilibri sono tutt'oggi fortemente instabili; questo è causato soprattutto del massiccio utilizzo di fertilizzanti nelle aree agricole lungo le rive, che dilavando continuamente nelle acque apportano ancora quantità consistenti di nutrienti. Tale esperienza insegna che è indispensabile prevenire l'inquinamento di questi bacini effettuando monitoraggi periodici e adottando corrette misure dal punto di vista gestionale.

Lì dove le situazioni si rivelano già critiche un costante controllo ed un tempismo negli interventi sono fondamentali per avviare il risanamento, che avrà un esito soddisfacente solamente se verranno individuate e controllate tutte le pressioni antropiche che hanno un impatto sulla qualità dell'ambiente acquatico.



Effetti dell'eutrofizzazione lungo le rive



Concentrazioni mensili medie di fosforo lungo la colonna d'acqua nei periodi 1982-83 e 2002-03

Problemi di eutrofizzazione si pongono purtroppo per buona parte delle acque interne del nostro paese, senza esclusione dei laghi vulcanici come già accennato nei capitoli precedenti. Al momento attuale tre bacini, Vico, Albano e Nemi, presentano situazioni allarmanti, da quanto è emerso sia dai monitoraggi effettuati sui nutrienti che dalle stime degli indicatori biologici. Per il Lago di Vico una ricerca condotta alla fine degli anni '80 dall'Università "La Sapienza" di Roma dimostra una progressiva eutrofizzazione della zona profonda del bacino dovuta essenzialmente, come già ricordato, all'utilizzo di fertilizzanti per i noccioletti. Una riduzione dell'ossigeno sul fondo e una colonizzazione progressiva da parte di specie bentoniche, molto tolleranti a fenomeni di stress, sono stati i primi sintomi di un deterioramento della qualità ambientale; si affianca a questo la scomparsa di un copepode pelagico, filtratore di fitoplancton. Considerando che non sono state poste in atto misure per limitare l'apporto di nutrienti nelle acque è presumibile che permanga a tutt'oggi l'inquinamento del bacino, nonostante le potenzialità di recupero di questo ecosistema siano elevate, vista la buona naturalità della cintura vegetazionale (vedi capitolo Macrofite).

Per il Lago Albano dati recenti dell'IRSA (2000) per i nutrienti rivelano concentrazioni di fosforo totale di 348 µg/l e di azoto totale di 2420 µg/l nella zona profonda del bacino, valori che indicano una condizione di forte eutrofia, soprattutto dovuta all'azoto per il già ricordato problema della mancanza di un collettore degli scarichi civili, che determina un apporto eccessivo di sostanze



Area ad utilizzo agricolo lungo il Lago di Nemi (Lazio)

organiche nelle acque. La zona di fondo sembra essere quella più compromessa, anche a causa di uno stato di meromissi pluriennale, che determina un depauperamento della fauna con l'aumentare della profondità (fino alla sua scomparsa negli ultimi 50 m). Analisi microbiologiche hanno rilevato, inoltre, la presenza di spore di clostridi e, in alcuni periodi dell'anno, di fioriture di cianobatteri (soprattutto *Planktotrix rubescens*).

Per l'evoluzione trofica del Lago di Nemi si rimanda alla apposita scheda.

Il quadro descritto per i tre bacini è estremamente preoccupante, soprattutto per il fatto che esiste una progressività che determina un peggioramento dello stato di qualità di questi ambienti in tempi molto rapidi. Come già detto, l'intervento sul Lago di Nemi ha migliorato le condizioni del bacino rispetto a vent'anni fa; nonostante ciò i continui apporti di fertilizzanti agricoli rendono impossibile l'uscita del bacino dalle condizioni di eutrofia. Per gli altri due invasi sono indispensabili allo stesso modo misure di controllo dei fertilizzanti, ma in particolar modo per il Lago Albano il controllo degli scarichi.

Quanto evidenziato per i bacini citati costituisce una seria minaccia anche per i laghi vulcanici in migliori condizioni (come ad esempio Bolsena e Bracciano, che sono quelli di maggiori dimensioni), dove dovranno essere controllate e ridotte le pressioni antropiche al fine di evitare uno scadimento della qualità delle acque. Se non si adotteranno in un immediato futuro misure corrette a livello gestionale, il rischio di distruggere interi ecosistemi e di perdere completamente la fruibilità di questi ambienti diventerà un'ineluttabile certezza.



Nocciolieti lungo le rive del Lago di Vico (Lazio)

■ Pressione alieutica

I popolamenti ittici dei laghi qui trattati sono da sempre oggetto di attività alieutica esercitata sul piano professionale e mirata al prelievo delle specie commerciabili di maggior pregio. Successivamente, negli ultimi decenni, parallelamente allo svilupparsi di una forte domanda ricreativa, ha assunto una certa importanza l'esercizio della pesca sportiva, che in termini di specializzazione tecnologica e di diffusione di massa esercita certamente un considerevole impatto sulla fauna ittica.

Le specie maggiormente ricercate dai pescatori professionisti nell'ambito degli ambienti vulcanici, e sulle quali si incentrano spesso le problematiche relative alla tutela e conservazione degli stock autoctoni, sono in sostanza quelle catturabili con i metodi illustrati precedentemente (vedi scheda a pagg. 104-105), e cioè il coregone (specie esotica introdotta in Italia centrale all'inizio del XX secolo e ormai ampiamente naturalizzata nella maggior parte dei bacini qui considerati), il latterino, l'anguilla, il luccio, il persico reale, la tinca e la carpa. L'ordine di elencazione corrisponde anche alla scala di gradimento di queste specie sul mercato che, tranne pochissime eccezioni, è di dimensione locale, e prevede cioè il consumo del pescato nei territori immediatamente circostanti l'ambiente di prelievo. Il tipo di attrezzi impiegato, la contrazione numerica degli addetti al settore (poche decine di licenze nel complesso di tutti i bacini qui considerati, corrispondenti per lo più a famiglie interamente impegnate nell'at-



Carpa a specchi (*Cyprinus carpio*)

tività), la mancanza di veri e propri centri di raccolta del pescato, rendono questo tipo di professione paragonabile alla pesca artigianale (o "piccola pesca") esercitata nelle acque marine, le cui principali caratteristiche sono appunto l'estrema selettività e la difficoltà di quantificazione del pescato, che sfugge facilmente alle statistiche.

Generalmente, nei laghi in cui è presente una attività di pesca professiona-



Lago di Martignano (Lazio)

le, da molti anni esiste anche una attività ittiogenica di supporto, promossa e finanziata dagli enti locali responsabili della gestione del patrimonio ittico, e realizzata in collaborazione con i concessionari dei diritti esclusivi di pesca (es. laghi di Nemi e di Vico), con le cooperative di pescatori (es. Lago di Bolsena) o con i singoli titolari delle licenze (es. laghi di Bracciano e Martignano), che si premurano di fornire agli incubatoi competenti territorialmente il materiale riproduttivo (riproduttori in fase di avanzata maturazione o uova già fecondate, raccolte direttamente in natura o ottenute tramite premitura dei riproduttori maturi), da avviare poi al ripopolamento. Tale esercizio in generale garantisce la ricostituzione dello stock ittico e quindi il mantenimento di rese dell'attività di pesca che, pur remunerative, non intacchino sensibilmente il patrimonio naturale.

Un potenziale pericolo di questo tipo di attività risiede principalmente nel rischio di inquinamento genetico degli stock, in particolare in quegli anni in cui le necessità di ripopolamento non vengono soddisfatte dalla produzione locale, e devono essere integrate dall'apporto di materiale di provenienza alloctona, spesso poco controllato e selezionato.

Un ulteriore rischio, sempre riferito al periodo riproduttivo, risiede nella pesca di frodo esercitata in questi frangenti, quando esemplari di cospicue dimensioni (come i lucci) si riuniscono, in quantità anche molto consistenti, in habitat litorali spesso facilmente accessibili, dove possono essere abusivamente catturati con grave danno allo stock dei riproduttori delle specie interessate.

Con riferimento alla pesca sportiva, abbiamo accennato a come questa sia divenuta un fenomeno di massa negli ultimi decenni (alcuni milioni di tesserati in Italia) e a come l'evoluzione delle tecniche e dei materiali impiegati abbia reso notevolmente impattante una attività non condotta sul piano professionale ed indirizzata eminentemente agli individui di cospicue dimensioni appartenenti a specie a grande accrescimento, quali il luccio, il persico trota e, tra i non predatori, la carpa. Non esistono purtroppo al momento statistiche attendibili che consentano di valutare, anche approssimativamente, l'incidenza del fenomeno sportivo sulla condizione dei popolamenti ittici dei laghi vulcanici.

L'acqua e i vulcani hanno segnato anche la storia ancestrale della città di Roma, nella quale miti e leggende si confondono con gli elementi della natura. In particolare nel settore sulla riva sinistra (quello dei Sette Colli), l'acqua ha svolto un ruolo fondamentale nella modellazione definitiva del paesaggio.

Tutti i corsi d'acqua che confluivano nel Tevere provenendo dai rilievi dei Colli Albani erano caratterizzati da depositi limosi ricchi di minerali vulcanici, provenienti dall'erosione delle grandi, improvvise esondazioni che hanno caratterizzato il Lago Albano almeno sino al IV secolo a.C. È in questo periodo che, a seguito dell'esondazione del lago avvenuta durante l'assedio dei Romani a Vejo (398 a.C.), fu realizzato un tunnel drenante lungo circa 1200 m (394 a.C.) che da allora è in grado di mantenere il livello del lago a circa 70 m dalla soglia più bassa del cratere. Tito Livio, Plutarco, Dionigi d'Alicarnasso, Germanico e altri scrittori e storici romani e greci avevano tramandato l'eco di quegli eventi catastrofici.

Nel XIX secolo, geologi e archeologi hanno trovato resti archeologici sepolti da depositi di età recente, accumulati in più strati, che si possono seguire sul terreno a partire dal bordo del lago fino alla piana di Ciampino.

Geologi e archeologi contemporanei hanno recentemente individuato un'impressionante quantità di evidenze paleontologiche, archeologiche e geologiche che confermano i dati e le indicazioni che ci sono state trasmesse dagli antichi.

La novità emersa in questi ultimi anni è che tali prove non si trovano solo lungo i fianchi del cratere di Albano, ma anche nella pianura sottostante che si estende sino all'interno del Grande Raccordo Anulare, a ridosso della città. Tale pianura fu chiamata dagli autori del XIX secolo "Tavolato" e su di essa i Romani hanno impostato l'ultimo tratto

dei grandi acquedotti che raggiungono la città, mentre i contemporanei hanno realizzato un ippodromo (delle Capannelle) e un aeroporto (di Ciampino), sfruttando, gli uni come gli altri, l'unica morfologia piatta e regolare della Campagna Romana.



La galleria di scarico realizzata dai Romani nel 394 a.C per regolare il livello del Lago Albano

Il motore principale delle esondazioni improvvise del Lago Albano va cercato nella sovrassaturazione in anidride carbonica delle sue acque profonde e nei moti convettivi delle acque conseguenti al rigonfiamento del lago.

Erano eventi simili a quello osservato di recente nel Lago Nyos, in Camerun, che presenta molte analogie con il Lago Albano e che, nel 1986, ebbe una crescita improvvisa del livello delle acque fino a un loro catastrofico river-

samento nelle valli e nelle pianure sottostanti.

Ma vi sono ancora evidenze della presenza di anidride carbonica nei Colli Albani? Ebbene, tra la zona delle Acque Albule, la fascia compresa tra Capannelle e Ciampino e quella che si

estende tra la Solforata di Ardea e Trigatoria vi è ancora oggi un'impressionante frequenza di manifestazioni idrotermali fredde ricchissime di gas che, nell'insieme, sono comparabili con quelle collegate ad altri celebri vulcani attivi d'Italia.



La mappa di Sickler del 1832 con l'area dei Colli Albani a Sud di Roma

Aironc cenerino (*Ardea cinerea*)

■ Legislazione e regime di protezione

Fino ad oggi il D.Lgs. 152/99 e successive modifiche e integrazioni (s.m.i.) è stato lo strumento nazionale per la tutela e il monitoraggio delle acque; il recente recepimento però della Direttiva Acque (2000/60/CE), all'interno di un nuovo testo unico sull'ambiente (D.Lgs. 152/06), porterà nei prossimi anni a notevoli modifiche nell'ambito del monitoraggio e della gestione e tutela delle acque interne. Sulla base del D.Lgs. 152/99 e s.m.i. i laghi vulcanici, in qualità di "corpi idrici significativi", sono stati sino ad ora sottoposti a

monitoraggi semestrali. I parametri considerati in queste indagini sono stati: trasparenza delle acque, ossigeno ipolimnico, clorofilla a e fosforo totale. In base ai loro valori sono distinte 5 classi di qualità ecologica, da 1 a 5, corrispondenti alla qualità elevata, buona, sufficiente, scadente e pessima. Seguendo la Direttiva Acque, lo stato ecologico di un lago deve venir stimato utilizzando principalmente lo stato della comunità fitoplanctonica, delle macrofite, dei macroinvertebrati e della fauna ittica. A questi parametri si aggiungono elementi di qualità idromorfologica e chimico-fisica. La novità che emerge dunque dalla Direttiva Acque è la centralità dell'aspetto biologico nella valutazione della qualità ambientale.

Un altro problema che riguarda molto da vicino i bacini vulcanici è quello della presenza di sostanze pericolose (idrocarburi policiclici aromatici, prodotti fitosanitari e altri); gli obiettivi di qualità introdotti dal D.Lgs. 152/99 e fissati dal D.M. 6 novembre 2003 n° 367 introducono il monitoraggio di dette sostanze e stabiliscono il raggiungimento di alcuni standard di qualità entro il 2008 e il 2015.

All'interno dei "corpi idrici significativi", la normativa distingue le acque a specifica destinazione funzionale, cioè, per quanto concerne i laghi, acque dolci superficiali destinate alla produzione di acqua potabile ed acque destinate alla balneazione.

Per la prima categoria, in cui ad esempio è inseribile il Lago di Bracciano, le norme portano all'individuazione della possibile utilizzazione dell'acqua a scopo potabile e del tipo di trattamento (chimico-fisico-biologico) che la stessa deve subire, ovviamente a ciò si aggiunge uno specifico decreto che fissa i limiti per alcuni parametri per le acque avviate alla distribuzione (D.Lgs. 31/01). La maggior parte dei bacini vulcanici sono balneabili ed una tale fruizione viene concessa previo monitoraggio bimensile effettuato dalle autorità competen-

Raganella italiana (*Hyla intermedia*)

ti ai sensi del D.P.R. 470/82 e s.m.i., che stabilisce 12 parametri chimico-fisici e microbiologici con i relativi valori di conformità.

L'importanza dei laghi vulcanici, nell'ambito del patrimonio naturale della nostra penisola, è evidente anche dal regime di protezione che li caratterizza. Praticamente tutti, tranne i laghi di Nemi e Martignano, sono Siti di Importanza Comunitaria (SIC) ai sensi della Direttiva Habitat (92/43/CEE). Tale denominazione si riferisce a siti che contribuiscono a mantenere un habitat o una specie di interesse comunitario (riportate in appositi allegati) in uno "stato di conservazione soddisfacente". Si tratta di habitat a rischio o caratterizzanti una regione biogeografica e di specie in pericolo, vulnerabili, rare o endemiche, per i quali è necessaria l'istituzione di questi siti ai fini della loro tutela.

Numerose sono nei laghi vulcanici le specie di interesse comunitario per le quali è prevista l'istituzione di SIC (allegato II della Direttiva); basti ricordare: tra le libellule *Cordulegaster trinacriae*, specie endemica italiana; tra i pesci il cobite comune, il barbo, la lasca, la rovello, il ghiozzetto padano e il ghiozzetto di laguna, questi ultimi due endemici italiani; tra gli anfibi il tritone crestato italiano; tra i rettili la testuggine palustre; tra i mammiferi il vespertilio di Capacini, che frequenta regolarmente queste aree.

La legge prevede inoltre per alcune specie (allegato IV della Direttiva Habitat, così come recepito nell'allegato C del D.P.R. 357/97 e s.m.i.) un rigoroso regime di tutela, che ne vieta la raccolta, la detenzione, l'uccisione nonché la distruzione o il danneggiamento dei siti di sosta e di riproduzione. Tra queste



Testuggine palustre (*Emys orbicularis*)

assumono particolare rilievo la libellula *Cordulegaster trinacriae*, il rospo smeraldino, la raganella italiana, il tritone crestato italiano, la testuggine palustre e la totalità dei pipistrelli. Infine nell'allegato V la Direttiva Habitat riporta le specie che devono essere soggette a regolamentazione del prelievo; tra queste il barbo e la puzza. Nell'allegato V sono citate anche l'alosa ed il coregone, ma queste specie sono da ritenersi aliene in Italia.

Il grave problema delle specie aliene (cioè non autoctone) è affrontato dal

D.P.R. 357/97, recepimento della Direttiva Habitat, ed in particolare dall'articolo 12 del D.P.R. 120/03 (modifica ed integrazione del precedente), che recita testualmente al comma 3 "Sono vietate la reintroduzione, l'introduzione e il ripopolamento in natura di specie e popolazioni non autoctone". Ne consegue che l'introduzione di tutte le specie aliene di pesci, che in numero stanno ormai sorpassando quelle autoctone con gravi danni agli ecosistemi lacustri e sconvolgimento della catena alimentare, nonché quelle di altri gruppi (come il gambero rosso della Louisiana e la nutria) sono vietate dalla legge. Rimane il problema che per specie di grande interesse alienico (soprattutto coregone), questo divieto è rimasto di fatto inapplicato; per le sole specie introdotte da moltissimo tempo, naturalizzate e di grande rilievo per l'economia locale, sono attualmente allo studio misure legislative appropriate volte a regolamentarne le immissioni nel rispetto della tutela dell'ambiente.

Tutti i bacini vulcanici di maggiori dimensioni rientrano inoltre nel regime di protezione della Direttiva Uccelli (79/409/CEE) recepita in Italia con la Legge 11 febbraio 1992 n° 157, sono cioè classificati come Zone di Protezione Speciale (ZPS). Tali aree sono destinate alla conservazione specifica dell'avifauna minacciata o caratteristica di habitat a rischio di gravi modificazioni antropiche. Le specie degli allegati della Direttiva Uccelli che frequentano i laghi vulcanici sono numerosissime.

Ad ulteriore tutela di questi biotopi sono stati infine istituiti alcuni parchi regionali e riserve naturali (ad esempio Bracciano-Martignano, Albano-Nemi, Vico), ai sensi della Legge 6 dicembre 1991 n° 394. L'importanza di tali aree è notevole in quanto la protezione anche delle zone circostanti lo specchio lacustre, se effettuata in una fascia piuttosto ampia e adeguatamente gestita, dovrebbe garantire una riduzione delle pressioni antropiche sui bacini ed una migliore salvaguardia dei loro equilibri naturali.



Nutria (*Myocastor coypus*)

Proposte didattiche

MARCO SEMINARA

■ Limnologia pratica

- **Obiettivi:** studio del concetto di evoluzione naturale dei laghi; il lago come fenomeno geologico transitorio; processi di eutrofizzazione naturale e accelerata (culturale); principi e metodi per la valutazione dello stato trofico di un lago; realizzazione pratica di uno o più strumenti impiegati in limnologia.
- **Livello:** studenti di scuola media inferiore e superiore (12-18 anni).
- **Collaborazione richiesta:** un biologo o un naturalista con competenze in campo limnologico.
- **Attrezzatura:** materiale bibliografico e iconografico sul fenomeno dell'eutrofizzazione, cause ed effetti; documentazione relativa alla strumentazione necessaria a condurre campionamenti limnologici (rilevamento di parametri fisico-chimici, monitoraggio delle comunità vegetali e animali lacustri); termometro a pozzetto, kit per la misurazione della concentrazione di fosfati e nitrati nelle acque (disponibili quelli per acquariologia), se disponibili sonde da campo (pHmetro, conduttimetro, misuratore di ossigeno disciolto). Materiale necessario alla costruzione di uno o più strumenti limnologici (definiti di seguito). Per le analisi di laboratorio, un microscopio stereoscopico e possibilmente un microscopio ottico, capsule di vetro per l'esame del materiale, vetrini e semplice attrezzatura da microscopia (vetrini porta- e coprioggetto, aghi, pinzette, glicerina). Eventuali chiavi di determinazione per lo zooplankton.



La riva sabbioso-limosa del Lago di Vico (Lazio)

FASE PRELIMINARE

1. Introduzione relativa al concetto di evoluzione naturale dei laghi; l'eutrofizzazione come fenomeno legato alla pressione antropica e agli usi molteplici della risorsa acqua.
2. Approfondimento sui fattori che regolano il processo (cicli biogeochimici dell'azoto e del fosforo, luce, movimenti delle acque e tempi di ricambio).

Lago di Bracciano (Lazio)



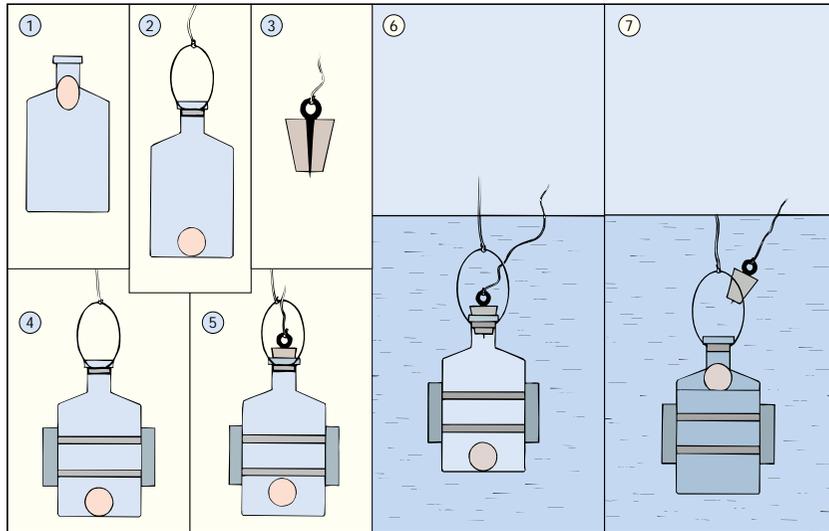
3. Metodi di indagine e criteri di valutazione dell'eutrofizzazione.
4. Individuazione di un bacino lacustre sufficientemente profondo ove sia possibile organizzare uscite su imbarcazioni allo scopo di rilevare alcuni parametri connessi allo stato di salute del lago e effettuare campionamenti su comunità biologiche.
5. Raccolta di materiale bibliografico sul bacino in questione, compresi dati sulle comunità acquatiche.
6. Individuazione di uno o più strumenti di prelievo da realizzare praticamente, previo reperimento del materiale necessario.

COSTRUZIONE DI UNA BOTTIGLIA A CHIUSURA

Scopo: la bottiglia a chiusura serve per prelevare da differenti profondità acqua per le analisi chimico-fisiche e biologiche, ad esempio in estate sopra e sotto il termoclinio.

Materiale necessario: Bottiglia in vetro (2 litri), tappo in silicone, vite ad occhiello, sagole (una di circa 4 mm di diametro, metrata, ed una più sottile), una pallina di gomma (è importante che sia galleggiante) di diametro di poco superiore a quello della bocca della bottiglia, piombo per appesantire la bottiglia, fascette (metalliche o plastiche) di misura adatta, filo di ferro rivestito. Assemblare il tutto secondo lo schema riportato nel disegno.

1. Dopo averla scaldata per ammorbidirla, inserire a forza la pallina di gomma nella bottiglia, fino a farle superare la strettoia del collo.



Assemblaggio e uso di una bottiglia a chiusura (i numeri fanno riferimento al testo)

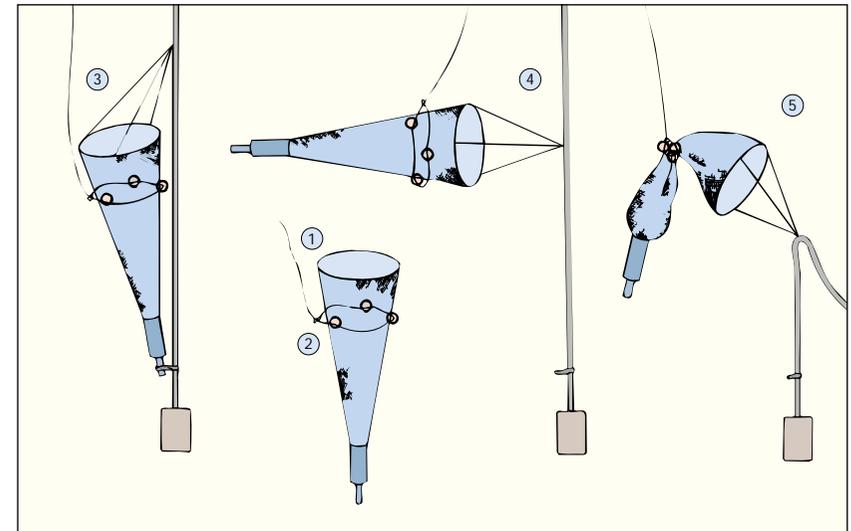
2. Con una fascetta metallica di tipo idraulico assicurare un occhiello di filo di ferro rivestito al collo della bottiglia per ancorarvi poi la sagola metrata.
3. Inserire, avvitando, la vite ad occhiello nel tappo di silicone, assicurandovi poi la sagola sottile.
4. Assicurare al corpo della bottiglia il piombo in quantità adeguata ad assicurarne l'affondamento da vuota.
5. "Caricare" la bottiglia tappandola senza troppa forza.
6. Calare la bottiglia in profondità misurando quest'ultima sulla sagola metrata, avendo cura di lasciare in bando la sagolina del tappo.
7. Tirare con forza la sagolina del tappo per stappare la bottiglia e consentire all'acqua di riempirla.
8. Salpare lentamente la bottiglia: l'acqua campionata è quella della profondità prescelta.

COSTRUZIONE DI UN RETINO A STROZZO

Scopo: il retino a "strozzo" serve per prelevare da differenti profondità campioni di plancton; le profondità di prelievo saranno in relazione alla profondità massima del lago e alla trasparenza delle sue acque.

Materiale necessario: retino da plancton, sagola, 3 anelli portachiaavi in acciaio, filo di seta per cucire, 1,5 metri di catena (diametro 4 mm), piombo (1-2 kg), elastici.

Assemblare il tutto secondo lo schema riportato nel disegno.



Realizzazione e funzionamento di un retino da plancton (i numeri fanno riferimento al testo)



Retino da plancton

1. Cucire i tre anellini intorno al retino, a 120° uno dall'altro, a circa un terzo della lunghezza del retino a partire dalla bocca.
2. Passare un capo della sagola attraverso gli anelli, fino a circondare il retino con un cappio costituito dalla sagola stessa.
3. "Caricare" il retino (punto 2), avendo cura di assicurare alla catena con un elastico il beccuccio del retino, ben steso in verticale.
4. Calando lentamente la sagola metrata, portare il retino alla profondità voluta: qui, con un leggero strattone alla sagola dello strozzo, liberare il beccuccio per far sì che il retino si ponga in posizione orizzontale per effetto del moto.
5. Percorso il tragitto prestabilito, salpare il retino con la sagola dello strozzo, impedendogli così di raccogliere altro plancton, da profondità diverse da quella prescelta, strada facendo.
6. Ricaricare il retino e ripetere l'operazione ad un'altra profondità.



Disco di Secchi

COSTRUZIONE DI UN DISCO DI SECCHI

Scopo: il disco di Secchi serve per misurare la trasparenza dell'acqua di un lago.

Materiale necessario: disco di lamiera metallica del diametro di circa 20 cm, sagola metrata, anello portachiavi in acciaio.

1. Dipingere una faccia del disco di bianco ed una di nero (utilizzare colori acrilici resistenti all'acqua).
2. Realizzare tre fori equidistanti lungo la circonferenza del disco, ai quali assicurare tre pezzi di sagola
3. Riunire i capi dei tre pezzi in un anellino metallico.
4. Assicurare un capo della sagola metrata all'anello.
5. Calare nell'acqua lentamente il disco con il lato bianco rivolto verso la superficie fino a quando non si scorge più.
6. Ritirare il disco sino a quando si scorge nuovamente.
7. La media aritmetica tra la profondità a cui il disco scompare e quella a cui ricompare ci dà la misura della trasparenza.

In alcune condizioni di illuminazione può essere conveniente usare il disco nero. L'operazione di cui al punto 6 va eseguita all'ombra per evitare i riflessi solari sul disco bianco.

ESCURSIONI

1. Escursione con un collaboratore esperto al lago prescelto, da condurre preferibilmente in estate (fine maggio-giugno o settembre per le scuole), periodo di stratificazione termica.
2. Rilevamento della temperatura alle diverse profondità mediante termometro a pozzetto.
3. Prelievo di acqua vicino al fondo e in superficie.
4. Misurazione della trasparenza dell'acqua con il disco di Secchi.
5. Misurazione mediante kit analitico e/o sonde da campo dei principali parametri dell'acqua prelevata con la bottiglia a chiusura.
6. Raccolta di campioni planctonici a differenti profondità, per successiva osservazione in laboratorio.
7. Fissaggio del campione sul posto con alcol etilico al 70%; è consigliabile non effettuare questa operazione su tutti i campioni raccolti per portarne qualcuno in laboratorio, alla fine dell'escursione, e osservare in vivo gli organismi raccolti.

OSSERVAZIONI IN LABORATORIO

1. Osservazione dei campioni planctonici prelevati al microscopio stereoscopico.
2. Osservazione in vivo degli esemplari, al fine di poter identificare facilmente i rotiferi (che sono contratti nei campioni fissati in alcol).



Campione di zooplancton del Lago di Martignano (Lazio)

3. Preparazione di vetrini da microscopio con singoli animali prelevati dai campioni fissati e immersi in una goccia di glicerina.
4. Classificazione del materiale raccolto almeno distinguendo rotiferi, cladoceri e copepodi calanoidi e ciclopidi, spingendosi ad un livello tassonomico più basso se si dispone di chiavi di determinazione e della guida di un esperto.
5. Conteggio al microscopio degli individui in ognuno dei campioni raccolti, eventualmente effettuando dei subcampioni, e calcolo, se possibile, degli individui/litro tenendo conto del volume di acqua filtrato.

FASE CONCLUSIVA

1. Caratterizzazione delle diverse profondità, ad esempio calcolando le percentuali di copepodi, cladoceri e rotiferi, o delle specie più appariscenti.
2. Sintesi ed elaborazione dei dati raccolti, con realizzazione di grafici per ogni parametro rilevato (andamento della temperatura, valori dei principali parametri eventualmente misurati alle varie profondità).
3. Attribuzione di massima del lago ad una categoria trofica sulla base di quanto rilevato.
4. Stesura di una relazione finale sotto forma di un report scientifico, riportando una introduzione (che precisi lo scopo del lavoro e descriva il lago studiato), la metodologia utilizzata, i risultati ottenuti (corredati di grafici e tabelle) ed una discussione degli stessi.



L'isola Bisentina al centro del Lago di Bolsena (Lazio)

BERTONI R., 2005 - Laghi e scienza: introduzione alla limnologia. *Aracne Ed.*, Roma.
Recente testo di introduzione allo studio dei laghi che affronta le componenti chimico-fisiche, biologiche ed idrologiche di questi ambienti.

BRUNI P., 2003 - Il Lago di Bolsena, note ambientali ad uso delle scuole. *Associazione Lago di Bolsena*.
Quaderno divulgativo che tratta le principali caratteristiche degli ambienti lacustri, con esempi e approfondimenti relativi al Lago di Bolsena.

BULLARD F.M., 1985 - I vulcani della Terra. *Newton-Compton*, Roma.
Nel libro sono presentati i principi fondamentali del vulcanismo ed una avvincente rassegna delle eruzioni dei principali vulcani del mondo con testimonianze e fonti storiche.

CAROLLO A., BARBANTI L., GERLETTI M., CHIAUDANI M., FERRARI I., NOCENTINI A.M., BONOMI G., RUGGI D., TONOLLI L., 1974 - Indagini limnologiche sui laghi di Bolsena, Bracciano, Vico e Trasimeno. *Quaderni IRSA*, 17.
La pubblicazione fornisce una descrizione completa di alcuni laghi vulcanici dell'Italia Centrale, a partire dalla climatologia e dall'idrologia, fino ad arrivare a macrofite e macroinvertebrati, passando attraverso limnologia fisica, idrochimica e plancton.

CORTINI M., SCANDONE R., 1987 - Un'introduzione alla vulcanologia. *Magma Eruzioni Vulcani. Liguori*, Napoli.
Testo che si presta sia ad una lettura a carattere divulgativo, sia ad approfondimenti sui vari argomenti e sui vulcani italiani.

GANDOLFI G., TORRICELLI P., ZERUNIAN S., MARCONATO A., 1991 - I pesci delle acque interne italiane. Ministero dell'Ambiente, Unione Zoologica Italiana, *IPZS editori*, Roma.
Testo di riferimento organico e completo sullo stato dell'ittiofauna italiana d'acqua dolce.

GIRAULT F., BOUYESSE P., RANCON J.P., 1999 - Vulcani. La descrizione scientifica, la genesi, la storia, l'attività. De Agostini, Novara.
Edizione italiana di "Volcans vus d'espace", con 40 immagini dal satellite SPOT, testo divulgativo con storia e bellissime immagini dei principali vulcani del mondo.

HARRIS G.P., 1994 - Ecologia del fitoplancton. Strutture, funzioni e fluttuazioni. CLUEB, Bologna.
Traduzione italiana, curata dal compianto Dello Ruggiu, della trattazione di Harris. Il volume affronta i diversi aspetti dell'ecologia del fitoplancton secondo un'ottica innovativa, molto attenta al ruolo dei fattori fisici quali variabili guida per la crescita del fitoplancton.

MARGARITORA F.G., 1992 - Limnology in Latium: the volcanic lakes. In: P. Gullizzoni, G. Tartari and G. Giusani (Eds). *Limnology in Italy. Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, Verbania Pallanza.
L'articolo presenta una panoramica delle informazioni disponibili nella letteratura scientifica e delle ricerche limnologiche condotte sui laghi vulcanici laziali.

MINELLI A., CHEMINI C., ARGANO R., RUFFO S. (eds.), 2002 - La fauna in Italia. *Touring Club Italiano, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio*, Roma.
Un testo di utile consultazione, divulgativo ma accurato. Tratta tutti gli aspetti della fauna italiana; un apposito capitolo è dedicato alle acque interne.

STELLA E., 1984 - Fondamenti di limnologia. *Edizioni dell'Ateneo*, Roma.
Testo didattico che espone i lineamenti generali della limnologia, con particolare attenzione agli aspetti legati all'origine e alla classificazione dei bacini lacustri, compresi quelli vulcanici.

RUFFO S., STOCH F. (eds.), 2005 - Checklist e distribuzione della fauna italiana. *Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona*, 2 serie, Sezione Scienze della Vita (con CD-ROM).
Il più aggiornato elenco sulle specie animali presenti in Italia e sulla loro distribuzione; vi sono trattati molti dei gruppi tassonomici discussi in questo volume.

TONOLLI V., 1973 - Introduzione allo studio della limnologia. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, Verbania Pallanza.
Uno dei primi testi italiani dedicati alla limnologia; riveste ancora un notevole interesse per l'approfondimento con cui vengono trattate le tematiche.

- > Abiotico: indica tutte le componenti non viventi di un ambiente naturale.
- > Acquifero: strato di roccia porosa o fessurata contenente acqua di falda; può essere libero (falde libere o freatiche) o in pressione, quando la superficie della falda è confinata superiormente da livelli impermeabili.
- > Alcalini (metalli): corrispondono al primo gruppo della degli elementi (litio, sodio, potassio, ...).
- > Alcalino-terrosi (metalli): corrispondono al secondo gruppo della degli elementi (berillio, magnesio, calcio, ...).
- > Aliena: specie giunta in un territorio, estraneo al suo areale di distribuzione, per intervento intenzionale o accidentale dell'uomo.
- > Anaerobico (processo): processo chimico che avviene in mancanza di ossigeno.
- > Anfignonia: riproduzione sessuale che avviene mediante la fecondazione, cioè l'unione del gamete maschile con il gamete femminile.
- > Anossia: assenza di ossigeno.
- > Astatiche: acque soggette a notevolissime fluttuazioni di livello in ragione del bilancio idrologico annuale.
- > Autoctona: specie originaria del territorio in esame; sin. indigena.
- > Biomagnificazione: processo che porta all'incremento negli esseri viventi, salendo di grado lungo la piramide alimentare, della concentrazione di sostanze tossiche.
- > Caldere: depressioni morfologiche di origine vulcano-tettonica e forma ellittica o circolare generate da ingenti fuoriuscite di magma concentrate in un intervallo di tempo geologicamente ristretto; ciò determina delle condizioni di instabilità al di sotto dell'edificio vulcanico che sono accomodate dal collasso dello stesso edificio nell'ordine delle centinaia di metri.
- > Carapace: nei Crostacei scudo dorsale costituito da chitina che protegge il cefalotorace, più raramente l'addome.
- > Cenosi: sinonimo di comunità; include tutte le popolazioni animali e vegetali, nel nostro caso si riferisce alla componente vegetale, che occupano un determinato ambiente (habitat).
- > Cianobatteri: organismi procarioti sempre coloniali, ad organizzazione cellulare batterica, ma in possesso di pigmenti fotosintetici che li fanno tradizionalmente includere tra le alghe per il loro ruolo ecologico.
- > Cloroficee: alghe di colore verde, solitarie o coloniali, ad organizzazione cellulare batterica, ma in possesso di pigmenti fotosintetici che li fanno tradizionalmente includere tra le alghe per il loro ruolo ecologico.
- > Clostridi: gruppo di batteri di tipo anaerobio, costituito da circa un centinaio di specie, alcune delle quali portatrici di infezioni.
- > Conduttività termica: il flusso di calore all'interno di un materiale, nell'unità di tempo e per metro quadrato. La propagazione del calore per conduzione è dovuta al fatto che nei fluidi le singole molecole possono compiere notevoli spostamenti, entrando anche in collisione con le altre molecole.
- > Detezione (limite di): il valore di concentrazione di un composto chimico corrispondente al segnale più basso misurabile sul campione analizzato, con la certezza che questo segnale non possa essere scambiato per "rumore di fondo".
- > Diadroma: specie che obbligatoriamente intraprende migrazioni dal mare all'acqua dolce e viceversa, per motivi trofici o genetici.
- > Diatomee: alghe eucariote di colore giallo bruno, solitarie o coloniali, la cui cellula è racchiusa all'interno di un guscio siliceo detto frustulo.
- > Dicchi: magma solidificato all'interno di fratture che interessano l'edificio vulcanico, lunghe anche alcuni chilometri e di spessore variabile dai pochi centimetri alle decine di metri.
- > Dinoflagellati: alghe di colore giallo bruno, sempre solitarie. Alcune specie hanno un rivestimento a piastre cellulose che racchiude le cellule. Hanno capacità di movimento autonomo, conferita dai flagelli, e possibilità di nutrirsi anche di altri organismi (per es. batteri).
- > Dipolo: coppia di particelle, di carica elettrica opposta, poste ad una certa distanza l'una dall'altra.
- > Domo vulcanico: ammasso di lava che, nella risalita e successiva solidificazione, assume una forma a cupola.
- > Elettronegatività: misura della capacità di un atomo di attrarre elettroni quando prende parte ad un legame covalente (legame che si instaura quando una coppia di elettroni viene messa in comune fra due atomi).
- > Endemico: viene definito con questo termine un organismo esclusivo di un dato territorio.
- > Epizoico: riferito ad un organismo che vive fissato ad un animale senza necessariamente esserne parassita.
- > Eufotica (zona): strato d'acqua all'interno del quale la radiazione solare incidente sullo specchio lacustre raggiunge un valore pari al 1% di quello che aveva in superficie.
- > Eurialino: pesce in grado di passare dall'ambiente marino a quello dolce e viceversa, grazie ad un raffinato controllo osmotico.
- > Eutrofia: condizione di un ambiente caratterizzato da una elevata disponibilità di nutrienti.
- > Evapotraspirazione: è una parola composta usata per descrivere l'insieme di due fenomeni evaporativi. Rappresenta la quantità d'acqua dispersa nell'atmosfera attraverso processi di evaporazione del suolo e traspirazione delle piante.
- > Faglie: fratture della crosta terrestre interessate da uno spostamento relativo dei due blocchi

generati dal taglio; si indicano come faglie trascorrenti quelle caratterizzate da una superficie di taglio verticale o subverticale in cui i due blocchi scorrono con movimento soprattutto orizzontale, faglie normali quelle con superficie variamente inclinata in cui i due blocchi si allontanano, faglie inverse quelle in cui i due blocchi si avvicinano.

- > Filogenesi: storia dell'evoluzione dei gruppi sistematici animali e vegetali
- > Fotorecettore: elemento sensoriale che riceve e trasmette gli stimoli luminosi.
- > Frigostenotermo: riferito ad un organismo adattato esclusivamente a basse temperature.
- > Glicolisi: metabolismo degli zuccheri che avviene nel citoplasma per la produzione di energia: è una tappa fondamentale della respirazione cellulare
- > Ibridogenetico (complesso): insieme costituito da specie parentali e dai loro ibridi kleptici, cioè ibridi in grado di utilizzare parte del corredo genetico di uno dei due genitori per riprodursi accoppiandosi con l'altra specie genitrice.
- > Idrogenione: atomo di idrogeno che ha ceduto un elettrone; viene indicato con H⁺.
- > Idromorfo: riferito a suolo la cui struttura e proprietà chimiche sono determinate dalla costante presenza di acqua.
- > Ignimbritici: da ignimbrite, deposito vulcanico generato da un flusso piroclastico, cioè una miscela di gas, liquido e solido frammentato che scorre in superficie ad alta velocità (anche centinaia di km/h) a seguito di un'eruzione esplosiva.
- > Insoglio: area fangosa e/o acquitrinosa.
- > Limitante (nutriente): si tratta di quel nutriente presente nell'ambiente in concentrazioni inferiori rispetto agli altri e tale da limitare la crescita degli organismi qualora venga meno la sua disponibilità.
- > Limnologico: relativo alla limnologia, cioè a quella parte dell'ecologia acquatica che si occupa di studiare i laghi come ecosistemi.
- > Litosfera: comprende lo strato più superficiale (crosta) e parte del mantello terrestre; è caratterizzato da comportamento meccanico di tipo rigido, ad esempio all'attraversamento delle onde sismiche, dato dalla presenza di materiale allo stato solido; al di sotto della litosfera si trova l'astenosfera, caratterizzata da comportamento meccanico di tipo plastico e quindi molto più deformabile.
- > Melilitica: le meliliti sono rocce vulcaniche effusive ad alto contenuto in melilite (>10 %), minerale di calcio, magnesio, alluminio e silice, caratterizzato da un basso contenuto percentuale in silice e presente in rocce sottosature.
- > Meromissi: condizione che può interessare le acque lacustri e che vede uno strato di acqua più densa o genericamente più concentrata permanere sul fondo per più anni, segregato dal resto della massa d'acqua, senza che si possa stabilire un periodo di piena circolazione. La meromissi può essere di natura ectogenica (un evento sporadico dall'esterno), crenogenica (sorgenti sotto-lacustri, che alimentano con acque ricche in soluti gli strati più profondi del lago) o biogenica

(accumulo negli strati profondi di bicarbonati e silicati derivanti da processi di decomposizione biochimica e mineralizzazione batterica).

- > Mesotrofia: condizione di un ambiente caratterizzato da una moderata quantità di nutrienti.
- > Nauplio: stadio larvale primitivo comune alla maggior parte dei Crostacei, caratterizzato dalla presenza di un solo occhio e di tre paia di arti.
- > Oligotrofia: condizione di un ambiente caratterizzato da un basso contenuto di nutrienti.
- > Paleolimnologia: scienza che ricostruisce l'evoluzione temporale degli ambienti lacustri attraverso l'esame dei resti inorganici di animali e piante estratti da carote di sedimenti lacustre.
- > Petrochimica: l'insieme di caratteristiche legate alla composizione chimica di una roccia.
- > Petrografici: dell'analisi petrografica, effettuata su sezioni sottili di roccia al microscopio polarizzatore.
- > Piroclastica: un'eruzione piroclastica è un'eruzione esplosiva che origina un flusso piroclastico, cioè una miscela di gas, liquido e solido frammentato che scorre in superficie ad alta velocità (anche centinaia di km/h) a seguito di un'eruzione esplosiva.
- > Proprietà ottiche: insieme di caratteristiche fisiche che descrivono il comportamento, in termini qualitativi e quantitativi, della radiazione solare che penetra nella colonna d'acqua.
- > Psammon: insieme di organismi acquatici viventi entro il substrato sabbioso bagnato dall'acqua, marina o continentale.
- > Reofite: specie che prediligono acque sempre correnti, anche moderatamente.
- > Rizofita: pianta dotata di rizoma, ovvero di un fusto generalmente sotterraneo, simile ad una radice.
- > Sciafilo: riferito ad organismo legato ad habitat freschi e ombrosi, ad esempio quelli tipici del più fitto sottobosco.
- > Sienitica: da sienite, roccia magmatica intrusiva, cioè solidificatasi in profondità, tipica della città di Siene in Egitto (oggi Assuan), e anticamente importata dai Romani come marmo decorativo; macroscopicamente simile al granito, ma completamente o quasi priva di quarzo, è costituita da feldspato potassico, poco plagioclasio, anfibolo.
- > Sinantropico: organismo legato strettamente all'uomo e alle sue attività.
- > Stenotermi: organismi legati ad un ristretto intervallo di temperature.
- > Stigobio: organismo esclusivo delle acque sotterranee; presenta particolari adattamenti (assenza di occhi e di pigmento, sviluppo particolare degli organi di senso) ad ambienti privi di luce e poveri di risorse.
- > Stolonifero: riferito a pianta dotata di fusto sotterraneo o meno, strisciante (stolone) che, ai nodi, sviluppa sia radici che gemme caulinari.
- > Taxocenosi: insieme delle specie di un gruppo tassonomico che si ritrovano in un determinato ambiente.
- > Taxon (pl. taxa): termine generico utilizzato per indicare un gruppo di organismi indipendentemente dal suo rango nella classificazione forma-

le: in sistematica i generi sono taxa, così come le specie.

- > Tettonica distensiva: movimenti della crosta terrestre con creazione di fratture e faglie normali e trascorrenti con generale aumento della superficie su cui vanno a distribuirsi i corpi rocciosi, e assottigliamento della crosta terrestre.
- > Trofico: relativo alla quantità di nutrienti disponibili nell'ambiente acquatico.

Indice delle specie

- Acerina - 101
Acrocephalus arundinaceus - 109
Acrocephalus melanopogon - 111
Acrocephalus schoenobaenus - 113
Acrocephalus scirpaceus - 109
Acroperus harpae - 72, **84**, 85
 Agone - 101
Agrostis stolonifera - 58
 Airone bianco maggiore - 111
 Airone cenerino - 111, **134**
 Airone guardabuoi - 113
 Airone rosso - 112
 Albanella minore - 113
 Albanella reale - 111
 Albastrello - 113
 Alborella - 100, 103, 104
Alburnus alburnus alborella - 100
Alcedo atthis - 109
Alisma plantago-aquatica - 64
Alnus glutinosa - 55
Alona - 72
Alona rectangula - 72
Alosa - 137
Alosa fallax lacustris - 101
Alosa fallax nilotica - 101
Amblystegium riparium - 57
Amphichaeta leydigii - 85, 87
Anas acuta - 111, 113
Anas platyrhynchos - 109
Anas querquedula - 113
Anas strepera - 109
Ancylus - 89
 Anguilla - 100, 103, **105**, 130
Anguilla anguilla - 100
Anser albifrons - 113
Anser anser - 111
Anthus pratensis - 111
Anthus spinoletta - 113
Aphanolaimus aquaticus - 88
Apium nodiflorum - 64
Apus apus - 109
Ardea cinerea - 111, **134**
Ardea purpurea - 112
Ardeola ralloides - **112**
Arundo donax - 57
 Arvicola terrestre - **115**
Arvicola terrestris - **115**
Asplanchna - 68, 69
Asplanchna girardi - 69
Asplanchna priodonta - **68**, 69
Atherina boyeri - 100
Aulodrilus plurisetus - 87
 Avocetta - 113
Aythya ferina - **110**, 112
Aythya marila - **110**, 111
Aythya nyroca - 112
 Azolla - 55
Azolla filiculoides - 55
 Ballerina gialla - 109
 Barbo - 100, 136, 137
Barbus plebejus - 100
 Basettino - 113
 Beccaccino - 111
 Beccamoschino - 109
Belgrandia latina - 86, 95
 Biscia dal collare - 108
Bithynia tentaculata - 95
Bosmina longirostris - **71**, 72, 76, 77
Botaurus stellaris - 111
Brachionus - 69, 77
Branta canadensis - 113
 Brasca - 61
 Brasca arrotondata - 56, 61, 63, 65
 Brasca comune - **57**
 Brasca delle lagune - 61
 Brasca increspata - 61, 65
 Brasca nodosa - **54**, 56, 61
 Brasca palermitana - 62, 63
 Brasca trasparente - 56
Bubulcus ibis - 113
Bufo bufo - **107**
Bufo viridis - 107
Butomus umbellatus - 57
Bythonomus lemani - 95
Bythotrephes longimanus - 72
 Caglio delle paludi - 58
 Cagnetta - **100**
Calanipeda aquaedulcis - 73
Calystegia sepium - 57
 Canapiglia - 109, 111
Candona - **80**
 Canna comune - 57
 Cannaiola - 109
 Cannareccione - 109
 Cannuccia di palude - **54**, 55, 57, 58, 59, **63**, 64
 Capellini comuni - 58
 Carassio - 101
Carassius carassius - 101
Carex - 55
Carex paniculata - 58
Carex pseudocyperus - 58
Carex riparia - 58
 Carice - 55
 Carice falsocipero - 58, 59
 Carice pannocchiata - 58
 Carice spondicola - 58
 Carpa - 101, 104, 105, 130, 131
 Carpa a specchi - **130**
 Casarca - 113
 Cavaliere d'Italia - 113
 Cavedano - **99**, 100
Cerathophyllum demersum - 56
Ceratium - 51
Ceratium hirundinella - **42**, 51
 Ceratofillo - 56, 61, 62, 63, 65
Ceriodaphnia pulchella - **72**
Cettia cetti - 109
Chaetogaster diastrophus - 85
Chaoborus flavicans - 76, **94**, 96
Chara hispida - 56, 63
Chara tomentosa - 56, 63
Chironomus - 89, **94**
Chironomus gr. *plumosus* - **94**, 95, 96, 97
Chlidonias hybridus - 113
Chlidonias niger - 113
Chondrostoma genei - 100
Chromadorita leuckarti - 88
Chydorus sphaericus - 72, 91
 Cicogna bianca - 113
 Cicogna nera - 113
Ciconia ciconia - 113
Ciconia nigra - 113
 Cigno reale - 113
 Cinghiale - 114
Circus aeruginosus - 111
Circus cyaneus - 111
Circus pygargus - 113
Cisticola juncidis - 109
Cladium mariscus - 58
Clarias gariepinus - 101
 Cobite comune - 100, 136
Cobitis taenia bilineata - 100
 Codone - 111, 113
 Coltellaccio maggiore - 55, 58
Conochilus - 69
Cordulegaster trinacriae - **86**, 136, 137
 Coregone - 71, 101, 103, 104, **106**, 126, 127, 130, 137
Coregonus lavaretus - 101, 103, **106**
 Cormorano - 112
 Cutrettola - 109
Cyclops - 73
Cyclops abyssorum - 73, **74**, 75, **76**
Cyclotella - 48
Cyclotella comensis - **47**, 48
Cyclotella kuetzingiana - 48
Cyclotella ocellata - 48
Cygnus olor - 113
Cyperus - 55
Cyperus longus - 64
Cyprinus carpio - 101, **130**
Daphnia - 71
Daphnia galeata - 71
Daphnia hyalina - **70**, 71, **76**
Daphnia rosea - 71
Dendrocoelum lacteum - 89

Dero digitata - 94, 96
Diaphanosoma brachyurum - 72
Diaphanosoma lacustris - 72, 76
Dina lineata - 95
 Donnola - 114
Dorylaimus - 89
Dorylaimus stagnalis - 95
Dugesia tigrina - 89, 94, 95
Echinogammarus - 97
Echinogammarus cfr. *veneris* - 97
Echinogammarus veneris - 94, 95
Egretta alba - 111
Egretta garzetta - 113
Elodea canadensis - 61
Emberiza schoeniclus - 111
Emys orbicularis - 108, 136
 Epatica acquatica - 55
 Equiseto - 55
Equisetum - 55
 Erba-sega comune - 57
Erpobdella - 89
Esox lucius - 100, 102
Ethmolaimus pratensis - 87
Eucyclops macruroides - 75, 85
Eucyclops serrulatus - 75
Eudiaptomus padanus etruscus - 53, 73, 75
Eurycercus - 72
Eurycercus lamellatus - 72
 Falasco - 58
 Falco di palude - 111
 Falco pellegrino - 109, 111
Falco peregrinus - 109
 Falco pescatore - 113
Falco tinnunculus - 111
 Fenicottero - 113
 Filinia - 69
Filinia longiseta - 69
Filinia terminalis - 69
 Fior di loto - 64, 65
 Fistione turco - 113
 Folaga - 109, 114
Fontinalis squamosa - 57
 Forapaglie - 113
 Forapaglie castagnolo - 111
 Frassino meridionale - 55, 59
Fraxinus oxycarpa - 55
Fulica atra - 109
 Gabbianello - 113
 Gabbiano comune - 111, 112
 Gabbiano reale - 111, 112
Galium palustre - 58
Gallinago gallinago - 111
 Gallinella d'acqua - 109
Gallinula chloropus - 109
 Gambero rosso della Louisiana - 86, 137
 Gambusia - 101
Gambusia holbrooki - 101
 Garzetta - 113
Gavia arctica - 111
 Germano reale - 109
 Gheppio - 111
 Ghiozzetto - 100

Ghiozzetto di laguna - 100, 136
 Ghiozzetto padano - 100, 136
 Giaggiolo palustre - 55, 58, 61
 Giunchetto meridionale - 58
 Giunco - 55, 58, 108
 Giunco fiorito - 57, 63
Glyceria fluitans - 64
 Gramignone natante - 64, 65
 Gru - 113
 Gruccione - 109
Grus grus - 113
Gymnocephalus cernuus - 101
Haploutaxis gordioides - 87, 88
Helisoma duryi - 87
Helobdella - 89
 Hexarthra - 69, 77
Himantopus himantopus - 113
Holoschoenus australis - 58
Hydrocharis morsus-ranae - 59
Hyla intermedia - 107, 135
Hypsugo savii - 114
Ictalurus melas - 101
Iris pseudacorus - 55, 61
Ironus tenuicaudatus - 95
Ixobrychus minutus - 109
 Juncus - 55
Juncus articulatus - 58
Juncus effusus - 58
Juncus inflexus - 58
Kellicottia longispina - 69
Keratella - 69, 77
Keratella cochlearis - 67, 69
Keratella quadrata - 69
Keratella tecta - 69
Knipowitschia panizzae - 100
Larus cachinnans - 111
Larus minutus - 113
Larus ridibundus - 111
 Lasca - 100, 136
 Latterino - 100, 103, 104, 130
 Lecane - 69
 Lemna - 55
 Lentichia d'acqua - 55
Lepomis gibbosus - 101
Leptodora - 71
Leptodora kindtii - 66, 69, 72, 76
Leuciscus cephalus - 99, 100
Leuciscus souffia - 100
Limnebius nitiduloides - 86
Limnodrilus claparedeianus - 94
Limnodrilus hoffmeisteri - 89, 94, 95, 96
 Lisca a foglie strette - 55, 57, 64
 Lisca lacustre - 55, 57, 58, 63, 64
Locustella luscinioides - 113
 Luccio - 100, 101, 102, 103, 105, 130, 131
Ludwigia palustris - 63, 64
Luscinia svecica - 113
Lycopus europaeus - 57
Lysimachia vulgaris - 55
Lythrum salicaria - 55
Macrocyclus albidus - 75, 85
Macrothrix hirsuticornis - 84

Martin pescatore - 109
 Marzaiola - 113
 Mazza d'oro comune - 55
Megacyclops viridis - 75
Meles meles - 114
 Menta acquatica - 58, 64
Mentha aquatica - 58, 64
Mergus albellus - 111
Merismopedia - 51, 52
Merops apiaster - 109
Mesocyclops - 73
Mesocyclops leuckarti - 75, 76
 Mestolaccia comune - 64
Microcystis - 51, 52
Microcystis weigenbergi - 53
Micropsectra - 94, 95
Micropterus salmoides - 101
Microtendipes gr. *pedellus* - 94, 95
 Migliarino di palude - 111
 Mignattaio - 113
 Mignattino - 113
 Mignattino piombato - 113
Milvus migrans - 109, 111
 Miriofillo - 61, 62, 65
 Miriofillo comune - 54, 56, 61, 63, 65
 Miriofillo verticillato - 56
Mononchus truncatus - 88
Monticola solitarius - 109
 Morella rampicante - 57
 Moretta grigia - 110, 111
 Moretta tabaccata - 112
 Moriglione - 110, 112
 Morso di rana - 59
Motacilla cinerea - 109
Motacilla flava - 109
Mugil cephalus - 101
Muscullium lacustre - 94
Mustela nivalis - 114
Mustela putorius - 114
Myocastor coypus - 115, 137
Myotis capaccinii - 114, 115
Myotis daubentonii - 115
Myriophyllum spicatum - 54, 56
Myriophyllum verticillatum - 56
 Nais communis - 85
Najas marina - 56, 62
Najas minor - 62
 Natrice tassellata - 108
Natrix natrix - 108
Natrix tessellata - 108
Nelumbo nucifera - 65
Neomys anomalus - 114
Neomys fodiens - 114
 Netta rufoina - 113
 Nibbio bruno - 109, 111
 Ninfea - 56
 Ninfea bianca - 59, 60, 61, 62, 64, 65
 Ninfea gialla - 59, 60, 61, 63
Niphargus - 94, 95
Nitokra hibernica - 85
 Nitticora - 112
 Nuphar - 56
Nuphar luteum - 60

Nutria - 115, 137
Nycticorax nycticorax - 112
Nymphaea - 56
Nymphaea alba - 59, 60, 62
 Oca del canada - 113
 Oca lombardella - 113
 Oca selvatica - 111
Odontheistes bonariensis - 106
 Ontano comune - 55, 59
Onychocamptus mohammed - 85
Padogobius martensii - 100
Padogobius nigricans - 100
Palaemonetes - 102
Palaemonetes antennarius - 78
Pandion haliaetus - 113
Panurus biarmicus - 113
Parachironomus - 85
Paractinolaimus macrolaimus - 88
Parastenocaris - 90
Parastenocaris amalasuntae - 90
Parastenocaris italica - 90
Parastenocaris orcina - 90
Parastenocaris pasquinii - 90
Paratendipes - 85, 94, 95
 Passero solitario - 109
 Pavoncella - 111
Pelosclex velutinus - 94
 Pendolino - 109
Perca fluviatilis - 100, 102, 103
Perridium - 45
 Persico reale - 100, 102, 103, 104, 130
 Persico sole - 101
 Persico trota - 101, 103, 131
 Pesce gatto - 101
 Pesce gatto africano - 101
 Pesce re - 106
 Pesciolina - 111
 Peste d'acqua comune - 61
 Pettazzurro - 113
Phalacrocorax carbo sinensis - 112
Phoenicopterus roseus - 113
Phragmites australis - 54, 55, 63
Physa - 88
Physa acuta - 89
 Pioppo - 55
 Pioppo bianco - 59
 Pipistrello di Savi - 114
Pisidium - 88, 94, 95, 97
 Pispola - 111
Planktothrix - 52, 127
Planktothrix rubescens - 50, 51, 52, 129
Platalea leucorodia - 113
Plegadis falcinellus - 113
Ploesoma - 69
Podiceps auritus - 111
Podiceps cristatus - 98, 109
Podiceps grisegena - 111
Podiceps nigricollis - 111
 Poligono anfibio - 56, 58, 59, 61
Polyarthra gr. *vulgaris-dolichoptera* - 69
Polygonum amphibium f. *aquatica* - 56

Pompholyx - 69
 Populus - 55
Populus alba - 59
 Porciglione - 109
 Porraccia dei fossi - 63, 64, 65
 Porzana - 113
Porzana parva - 113
Porzana porzana - 113
 Potamogeton - 61
Potamogeton crispus - 61
Potamogeton lucens - 56
Potamogeton natans - 57
Potamogeton nodosus - 54, 56
Potamogeton pectinatus - 61
Potamogeton perfoliatus - 56
Potamogeton pusillus - 62
Potamogeton pusillus - 94, 95
Potamogeton heuschleri - 94, 95, 96, 97
Proasellus gr. *coxalis* - 94, 95, 97
Procambarus clarckii - 86
 Procladius - 94, 95, 96
 Procladius choreus - 94, 96, 97
Prostoma - 87
Psammoryctides barbatus - 87, 94, 95
 Pseudorasbora - 101
Pseudorasbora parva - 101
 Puzzola - 114, 137
R. bergeri x *R. ridibunda* vedi *Rana hispanica* - 107
 Raganella italiana - 107, 135, 137
Rallus aquaticus - 109
Rana bergeri - 107
Rana hispanica - 107
 Ranocchina maggiore - 56, 62
 Ranocchina minore - 62, 63
 Ranuncolo - 59
 Ranuncolo a foglie capillari - 61, 63
 Ranuncolo di Baudot - 61
 Ranuncolo peltato - 61, 65
 Ranuncolo sardo - 58
Ranunculus baudotii - 61
Ranunculus peltatus - 61
Ranunculus sardus - 58
Ranunculus trichophyllus - 61
 Ratto delle chiavi - 115
Rattus norvegicus - 115
Recurvirostra avosetta - 113
Remiz pendulinus - 109
 Riccia fluitans - 55
Riparia riparia - 113
 Rondone - 109
 Rospo comune - 107
 Rospo smeraldino - 107, 137
 Rovella - 100, 103, 136
Rutilus erythrophthalmus - 100
Rutilus rubilio - 100
Salaria fluviatilis - 100
 Salcerella comune - 55
 Salciaiola - 113
 Salice - 55, 59
Salix - 55

Salix alba - 59
Salix cinerea - 59
 Salmo - 99
Scardinius erythrophthalmus - 100
 Scardola - 100, 103, 105
 Schiribilla - 113
Schoenoplectus lacustris - 55, 58
 Sedano d'acqua - 64, 65
 Sgarza ciuffetto - 112
Simocephalus - 72
Simocephalus vetulus - 72, 85
Simplicaris - 90
Simplicaris veneris - 90
Solanum dulcamara - 57
Sparanium erectum - 55, 58
 Spatola - 113
Sphaerium - 88
 Spioncello - 113
Stephanodiscus - 48
Stephanodiscus hantzschii - 48
Stephanodiscus minutulus - 48
Stephanodiscus parvus - 48
 Storni - 111
 Strolaga mezzana - 111
Sturnus vulgaris - 111
Stylaria lacustris - 85
Sus scrofa - 114
 Svasso collorosso - 111
 Svasso cornuto - 111
 Svasso maggiore - 98, 109, 111
 Svasso piccolo - 111
 Synchaeta - 69, 77
Tachybaptus ruficollis - 109
Tadorna ferruginea - 113
Tadorna tadorna - 113
 Tanytarsus - 85, 94, 97
 Tarabusino - 109
 Tarabuso - 111
 Tasso - 114
Testudinella - 69
 Testuggine palustre - 108, 136, 137
Theodoxus fluviatilis - 89
Theristus setosus - 85
Thermocyclops - 73
Thermocyclops crassus - 75, 76
 Tifa - 64
 Tinca - 100, 103, 104, 105, 130
Tinca tinca - 100
 Tobrilus - 89
Tobrilus gracilis - 85, 96
 Topino - 113
 Toporagno acquatico di Miller - 114
 Toporagno d'acqua - 114
Trachemys - 108
Trichocerca - 69
Tringa stagnatilis - 113
 Tritotto - 100
 Tritone crestatto italiano - 108, 136, 137
Triturus carnifex - 108
Trypila glomerans - 87
Tubifex tubifex - 88, 94, 95, 97

Tuffetto - **109**
Typha angustifolia - 55
Usignolo di fiume - 109
Vairone - 100
Vallisneria - 56, 61
Vallisneria spiralis - 56
Valvata - 88
Valvata piscinalis - 95
Vanellus vanellus - 111
Vespertilio di Capaccini - 114,
136
Vespertilio di Daubenton - 115
Vilucchione bianco - 57
Volpe - **114**
Volpoca - 113
Votolino - 113
Vulpes vulpes - **114**
Woronichinia - 51, **52**
Zannichellia - 56, 62
Zannichellia palustris - 56
Zigoli - 55
Zigolo comune - 64

Si ringraziano:
l'Istituto per lo Studio degli Ecosistemi (C.N.R.)
di Verbania Pallanza per i dati utilizzati in questo
volume;
l'Associazione Lago di Bolsena (Marta, VT)
e in particolare il direttore P. Bruni;
Giuseppe Di Lieto per l'aiuto prestato nella
stesura della parte relativa agli uccelli.

La responsabilità di quanto riportato nel testo,
nonché di eventuali errori ed omissioni, rimane
esclusivamente degli autori.

Il volume è stato realizzato con i fondi del
Ministero dell'Ambiente e della
Tutela del Territorio e del Mare.

Finito di stampare
nel mese di marzo 2007
presso la Graphic linea print factory - Udine

Printed in Italy