

Torrenti montani

Quaderni habitat

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio
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

"Torrenti montani · La vita nelle acque correnti"

a cura di Fabio Stoch

testi di

Marco Cantonati · Valeria Lencioni · Bruno Maiolini · Mauro Marchetti · Karin Ortler · Mario Panizza · Sergio Paradisi · Margherita Solari · Fabio Stoch

illustrazioni di

Roberto Zanella

progetto grafico di

Furio Colman

foto di

Archivio Museo Friulano di Storia Naturale (Ettore Tomasi) 47/1, 47/3, 49/1, 50/1, 50/2, 50/3, 51/1, 51/2, 51/3, 54, 55/1, 55/2, 55/3
Marco Cantonati 31/1, 31/2, 32/1, 32/2, 32/3, 34/1, 34/2, 35/1, 35/2, 39
Massimo Capula 134
Ulderica Da Pozzo 9, 10, 27, 28, 46, 58, 110, 139, 148, 151, 153
Adalberto D'Andrea 6, 63, 132
Massimo Domenichini 141
Maria Manuela Giovannelli 60/2
Luca Lapini 90, 92, 97, 98
Valeria Lencioni 20, 100
Bruno Maiolini 56, 60/1, 65/2, 68/1, 71, 74/1, 74/2, 79/1, 112, 145
Mauro Marchetti 124
Michele Mendi 95
Andrea Mocchiutti 23
Giuseppe Muscio 26, 42, 52, 119, 120, 130, 135, 137
Karin Ortler 40, 45, 49/2, 53
Sergio Paradisi 85, 87
Parco Naturale delle Foreste Casentinesi (Nevio Agostini) 7, 18, 80, 122, 129, 147
Roberto Parodi 96/1, 96/2
Ivo Pecile 13, 66
Margherita Solari 47/2, 59, 116, 150
Fabio Stoch 62, 68/2, 103/1, 103/2, 103/3, 114, 115, 138
Roberto Zucchini 65/1, 67, 70, 79/2, 91, 93, 127

©2002 Museo Friulano di Storia Naturale · Udine

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

ISBN 88 88192 07 7

In copertina: sorgenti dell'Arzino in Carnia, Friuli (foto Ulderica Da Pozzo)

QUADERNI HABITAT

Torrenti montani

La vita nelle acque correnti

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO
MUSEO FRIULANO DI STORIA NATURALE · COMUNE DI UDINE

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

Indice

Introduzione 7
Sergio Paradisi

Idrogeologia 13
Mauro Marchetti · Mario Panizza

Flora e vegetazione 29
Marco Cantonati · Karin Ortler

La fauna ad invertebrati 57
Bruno Maiolini · Valeria Lencioni

La fauna a vertebrati 81
Sergio Paradisi

Ecologia dei torrenti montani 101
Fabio Stoch

Aspetti di conservazione e gestione 121
Mauro Marchetti · Mario Panizza · Sergio Paradisi · Fabio Stoch

Proposte didattiche 149
Margherita Solari

Bibliografia 155

Glossario 156

Indice delle specie 157



Introduzione

SERGIO PARADISI

La montagna assume indubbiamente aspetti di grande fascino quando accanto allo slancio delle vette, ai pascoli dalle meravigliose fioriture, ai boschi solenni e misteriosi, l'acqua si eleva a protagonista del paesaggio.

Lo scorrere delle acque sui pendii, sia che si mostri nell'impeto dei flutti che prorompono dalle lingue glaciali, nella miriade di rigagnoli argentei che dilagano sui versanti, nell'aspetto ridente del limpido ruscello sorgivo che percorre il pascolo, nel fragore della grande cascata, è da sempre fonte di attrazione per l'uomo, che ne ha fatto in passato la sede privilegiata di alcune sue attività e lo vede oggi come ambiente "da cartolina", sufficientemente lontano dai grandi insediamenti umani

da essere considerato luogo incontaminato e di bucolica serenità. Tuttavia la realtà che sta dietro a quest'immagine oleografica è diversa. L'elevata pendenza, l'alta velocità di corrente che ne consegue, la temperatura bassa o molto bassa, il ridotto grado di trofia, concorrono a fare del torrente montano un ambiente severo e selettivo. Le comunità animali e vegetali che vi sono insediate sono più povere rispetto a quelle di un fiume di pianura e costituite da elementi specializzati. Ma essere specializzati significa anche essere vulnerabili: ecco, il torrente d'alta quota è forse, prima di tutto, un ambiente vulnerabile. Anche per sua stessa natura, poiché si tratta di un luogo dove gli eventi meteorici inducono un ringiovanimento del paesaggio pressoché continuo, impedendo ai popolamenti animali e vegetali di pervenire ad un assestato stadio di maturità: è come se le biocenosi del torrente fossero perennemente pioniere. È chiaro che in tale contesto interventi umani poco accorti, anche modesti, possono turbare i delicati accorgimenti che consentono il perpetuarsi delle forme di vita che ivi trovano dimora.



L'Acquacheta in Appennino Tosco-Emiliano

I torrenti montani sono da sempre fonte di attrazione per l'uomo

Le attività tradizionali della gente di montagna (pastorizia, selvicoltura) hanno avuto in verità conseguenze generalmente molto limitate sull'ecosistema del torrente; le fonti inquinanti in quota sono poche, gli insediamenti di piccola entità. Negli ultimi anni poi queste attività, con il noto fenomeno dell'abbandono della montagna (e dell'alta montagna in particolare) sono fortemente diminuite. Ma in concomitanza, ed in parte anche in conseguenza di tale andamento demografico, vi è stata necessità di condurre interventi di altro tipo. E questi interventi non sono né modesti né scarsamente impattanti, e spesso sono tali da privare il torrente, anche dal punto di vista paesaggistico, dell'aura di Eden che gli abbiamo finora attribuito. Briglie, canalizzazioni, sistemazioni, derivazioni, arginature sono opere di forte impatto ambientale, volte a piegare il torrente al volere dell'uomo. Certo, si tratta di interventi spesso giustificati da necessità idrauliche e di sicurezza degli insediamenti umani. Ma troppe volte il torrente - paradossalmente, vista l'assoluta naturalità con cui viene percepito dal sentire comune - è visto solo come sterile contenitore, come via preferenziale che l'acqua dei ghiacciai o piovana segue per giungere a valle; e basta. Le comunità animali e vegetali che lo popolano non vengono prese in considerazione nell'esecuzione di tali opere, e ne risultano spesso profondamente modificate, e talora compromesse per sempre.

Di questo intende parlare il presente volume dedicato ai torrenti montani, dove verranno esaminati in dettaglio gli aspetti geologici, botanici e faunistici delle acque correnti italiane d'alta quota. Parlando di torrenti però non ci riferiamo ad un habitat unico e omogeneo: affrontiamo in realtà un complesso mosaico di tipologie ambientali che spesso presentano aspetti geologici e biologici molto diversi tra loro. Sono torrenti montani i corsi d'acqua delle Alpi e degli Appennini, quelli che scendono dai contrafforti lavici dell'Etna ed i piccoli rii temporanei dell'entroterra sardo, dove la storia geologica dell'isola ha creato un mondo biogeografico del tutto diverso da quello della penisola. Sono torrenti i corsi d'acqua gelidi ed impetuosi che scendono dai ghiacciai alpini, ma anche le fiumare che nelle assolate giornate estive sono ridotte a letti di ghiaia con un aspetto che ricorda più un deserto che un corso d'acqua. Non è stato possibile per questo motivo affrontare nel volume tutte le tematiche ambientali che l'ecosistema "torrente" pone; è stato deciso pertanto di dedicare il libro ai torrenti montani propriamente detti, limitando l'area geografica all'arco Alpino ed all'Appennino settentrionale, e fermando la trattazione verso Sud, in linea di massima, ai corsi d'acqua abruzzesi e laziali.

Il volume è dedicato a tutti gli aspetti naturalistici dei torrenti, ma non solo; vi è un'articolata trattazione anche dei pericoli che mettono in forse la sopravvivenza dei loro fragili popolamenti: con la speranza che, come sempre, la divulgazione della conoscenza si traduca nella consapevolezza di ciò che stiamo perdendo e in una più diffusa volontà di conservazione.



Un torrente delle Alpi in visione invernale



Idrogeologia

MAURO MARCHETTI · MARIO PANIZZA

11

Le acque che scorrono sulla superficie terrestre formano il deflusso superficiale, studiato da alcune branche delle scienze della Terra quali l'idrologia, l'idraulica e la geomorfologia. Per comprendere caratteristiche ed evoluzione dei corsi d'acqua è infatti importante conoscere sia i parametri relativi alla fisica dei fluidi sia le geometrie degli alvei e lo sviluppo del reticolo idrografico, sia i fattori strutturali del bacino idrografico (litologia, grado di fratturazione, etc.) e le condizioni climatiche, che influenzano i processi di modellamento fluviale.

I corsi d'acqua dei rilievi alpini e di quelli appenninici differiscono alquanto fra loro poiché risultano fortemente condizionati sia dalle litologie molto diversificate, che affiorano nei rispettivi bacini, sia dalle forti differenze di energia del rilievo, in genere maggiore nei bacini alpini. Anche le condizioni climatiche risultano diverse tra bacini alpini e appenninici, perché i primi possono essere ubicati a fasce altitudinali più elevate, in cui predomina l'ambiente periglaciale.

■ Inquadramento geologico

Il territorio italiano è particolarmente ricco di aree montane e collinari; queste rappresentano rispettivamente il 35.2% e il 41.7% dell'intera superficie italiana. Le aree montuose sono notoriamente disposte lungo due catene (le Alpi e gli Appennini) che appartengono ad un sistema montuoso esteso dallo stretto di Gibilterra fino all'Indonesia.

L'evoluzione di questo sistema montuoso è assai complessa: per la parte che riguarda l'area circummediterranea, le varie porzioni di catena rappresentano una serie di tratti tettonicamente deformati, in cui i processi di raccorciamento e di accavallamento della crosta continentale non sono stati omogenei. L'avvio di tali fenomeni si fa risalire al limite Giurassico-Cretacico (circa 150 milioni di anni fa). Nel Cretacico si arresta la subduzione del fondale oceanico ed entrano in collisione diretta le due sponde del continente eurasiatico e africano; iniziano perciò a verificarsi sovrascorrimenti che interessano via via parti più rilevanti della crosta continentale. La fase di maggior attività per le nostre Alpi è l'Eocene superiore-Oligocene (40-20 milioni di anni fa). Nel successivo Neogene prosegue la fase orogenetica, molto intensa durante il Miocene nell'Appennino Toscano e nel Plio-Pleistocene nell'Appennino esterno.

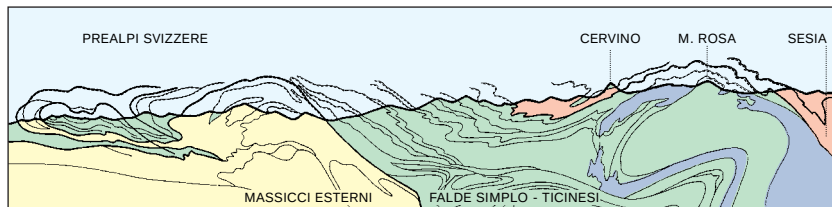
Le catene dell'Europa meridionale sono formate da falde rovesciate verso

La forre sono uno degli aspetti più tipici di morfologia torrentizia in rocce poco erodibili

Nord: la loro struttura è decisamente asimmetrica poiché sono costituite da falde accavallate le une sulle altre e traslate di centinaia di chilometri. La catena Appenninica è invece accavallata verso l'Adriatico.

Le Alpi costituiscono un'unità geografica ben definita, di circa 1000 km di lunghezza e 150-200 km di larghezza e sono caratterizzate da numerose cime che superano i 3500 m di quota. L'intenso evento tettonico oligo-miocenico, che ha portato alla formazione delle Alpi, è stato seguito da una fase erosiva che ha ridotto la catena - alla fine del Miocene superiore - ad una serie di bassi rilievi; l'attuale conformazione è dovuta ai successivi sollevamenti plio-pleistocenici. Gli Appennini sono una catena lunga circa 1000 km dove poche cime superano i 2000 m di quota: le massime quote si rinvencono nel tratto abruzzese-laziale (Gran Sasso 2912 m) e l'Etna ne rappresenta la cima più elevata (3223 m).

Le maggiori differenze che caratterizzano le Alpi dagli Appennini risiedono nel grado di tettonizzazione delle due catene, nell'entità del sollevamento e nel comportamento duttile o fragile delle loro formazioni rocciose. Questi elementi interagiscono in modo diretto o indiretto con altri fattori, ad esempio l'erodibilità delle litologie e le condizioni climatiche, contribuendo a determinare un tasso di erosione che varia significativamente da area ad area. La differenza più significativa per l'evoluzione dei torrenti montani è sicuramente costituita dalla diversa composizione litologica del substrato affiorante su Alpi e Appennini. Pur nella loro complessità, infatti, si può affermare che sulle Alpi affiorano con grande continuità rocce piuttosto resistenti all'erosione, ad esempio intrusive e metamorfiche in quelle occidentali, calcaree in quelle centrali e orientali, vulcaniche e dolomitiche in quelle veneto-trentine. Negli Appennini, le litologie sono invece meno coerenti, come argille, marne e arenarie, mentre sono poco rappresentate rocce cristalline e metamorfiche; in alcune aree sono presenti rocce vulcaniche, a luoghi costituite da tufi e ceneri con uno scarso grado di resistenza all'e-



Le Alpi poggiano su di un basamento pre-Triassico costituito da rocce prevalentemente granitiche o metamorfiche a comportamento più rigido di quello delle soprastanti coperture sedimentarie. Questo basamento affiora più diffusamente nel settore occidentale delle Alpi italiane. Le Alpi Calcaree Meridionali, in cui ricadono quasi completamente quelle italiane centro-orientali, poggiano su un basamento paleoafricano, coperto da una potente successione di sedimenti (e rare vulcaniti) spesso oltre 10 km.

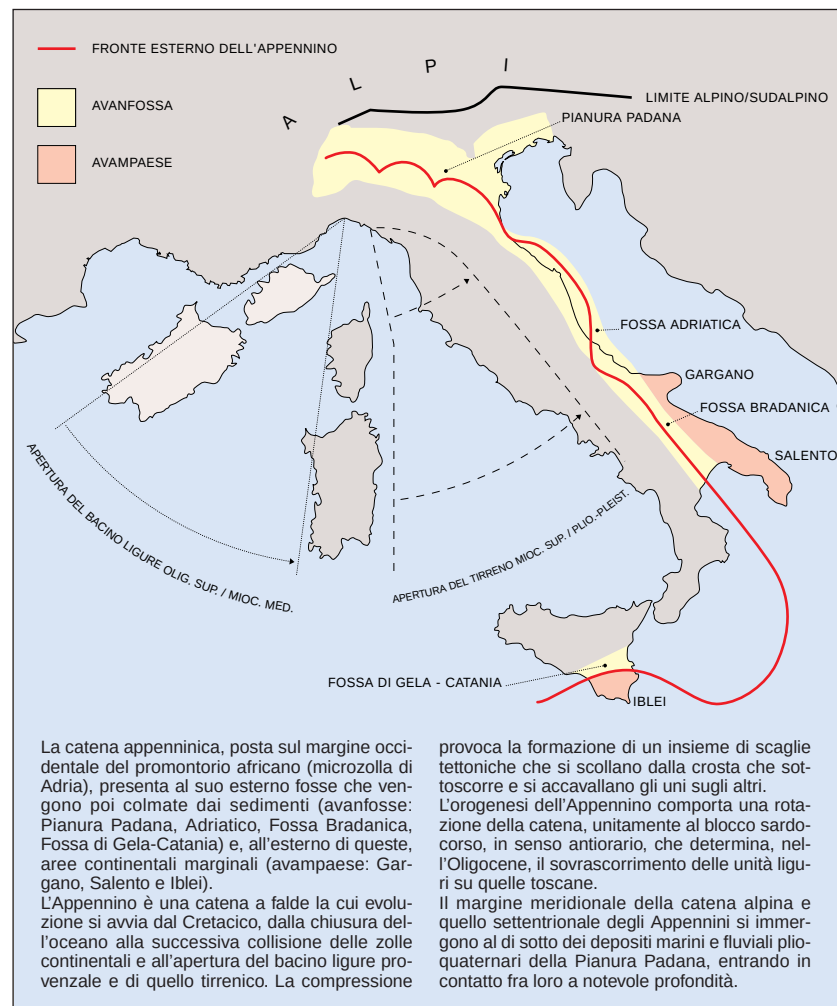
Durante le compressioni dell'orogenesi alpina, la successione si è affastellata verso sud ripiegandosi e raccorciandosi grazie allo sviluppo di un fitto sistema di piani di scorrimento (faglie) inclinati verso nord.

Sezione geologica schematica attraverso le Alpi occidentali che esemplifica il sistema a falde sovrapposte della catena. Giallo: Dominio Elvetico; verde: Dominio Pennidico (in azzurro la zona piemontese) arancio: Dominio Austridico.



Un torrente incide un massiccio montuoso della Valle Aurina (Trentino)

rosione. Spiccano tuttavia nel panorama appenninico alcuni tratti contraddistinti da litologie meno erodibili, in forte rilievo su un paesaggio caratterizzato in genere da pendenze blande: tra queste sono da ricordare le coperture vulcaniche laziali, le arenarie del crinale toso emiliano e romagnolo, i calcari della successione umbro-marchigiana, le rocce cristalline e metamorfiche delle Apuane e i resti del basamento metamorfico con intrusioni di granitoidi ercinici (formatisi durante l'orogenesi ercinica, datata alla fine del Carbonifero, circa 300 milioni di anni fa) dell'arco calabro-peloritano.



La varietà delle rocce comporta una diversa resistenza agli agenti esogeni e allo scorrere delle acque superficiali, condizionando anche il trasporto solido dei corsi d'acqua. In quelli appenninici, il trasporto solido totale, confrontato con quello dei corsi d'acqua alpini, indica una maggior percentuale di componente in sospensione rispetto a quella di fondo. Un'altra differenza è data dalla distribuzione generale dell'energia del rilievo, definita anche come altitudine relativa. Si può notare infatti che le quote medie dei vari bacini idrografici presentano dislivelli decisamente maggiori sulle Alpi e le cime più alte delle due catene riflettono questa condizione. Le quote maggiori hanno ripercussioni sul microclima dei bacini imbriferi e conseguentemente sulle tipologie di alimentazione idrica: in quelli più elevati vi sono, ad esempio, situazioni nivoglaciali. La presenza di ghiaccio e neve implica inoltre importanti azioni di disaggregazione fisica (crioclastismo) capaci di provocare la formazione di ingenti quantità di detriti, che arrivano abbondanti negli alvei per effetto dello scorrimento delle acque superficiali, della forza di gravità e delle valanghe.

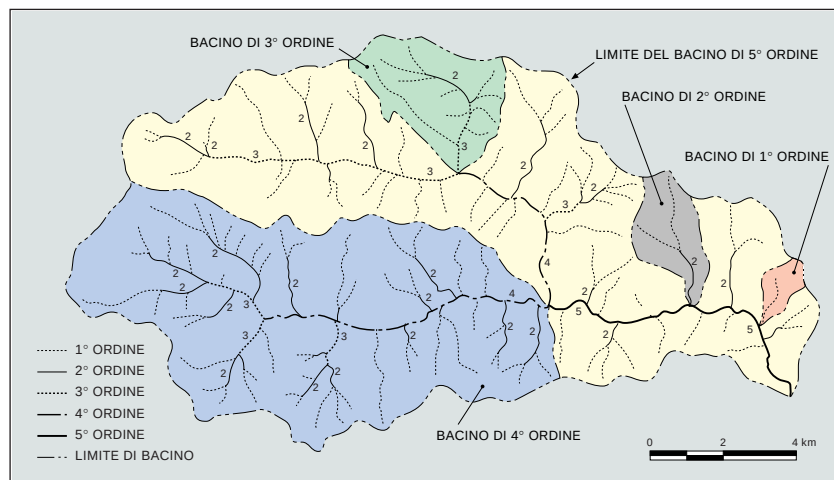
I bacini idrografici alpini presentano anche una dimensione media maggiore rispetto a quelli appenninici e ciò influisce in generale sia sull'alimentazione che sulle portate e la lunghezza dei corsi d'acqua.

Le due catene sono state interessate inoltre da un diverso grado di modellamento da parte dei ghiacciai. Le Alpi, durante l'ultimo acme glaciale (25 000-17 000 anni fa) erano sepolte da un'unica calotta glaciale da cui emergevano solo le cime più elevate, mentre gli Appennini presentavano piccoli ghiacciai, originati in prossimità dei crinali più alti ed esposti a Nord. I ghiacciai oltre a modellare le principali vallate hanno prodotto una grande mole di sedimenti, in buona parte ancora immagazzinati entro i bacini idrografici. Questi detriti offrono una disponibilità di materiale trasportabile dai torrenti, di gran lunga superiore a quella che potrebbe risultare disponibile come sola conseguenza della disaggregazione fisica nelle attuali condizioni morfoclimatiche.

■ Idrografia

Bacino idrografico. L'acqua che scorre sulla superficie del rilievo si organizza in reticoli idrografici e tutti i corsi d'acqua, anche quelli occasionali, drenano un determinato bacino idrografico. Quest'ultimo rappresenta l'area entro cui, supponendo nulla l'infiltrazione e l'evapotraspirazione (superficie immaginata impermeabile e senza copertura vegetale), una qualsiasi precipitazione liquida o solida (pioggia, neve, grandine, etc.) è convogliata al canale principale che sottende il deflusso idrico dell'intera area.

Il bacino idrografico confina con altri bacini ed è diviso da questi da un limite detto linea di spartiacque o di displuvio. Non sempre vi è coincidenza tra questo spartiacque superficiale e quello sotterraneo, per effetto delle infiltrazioni che

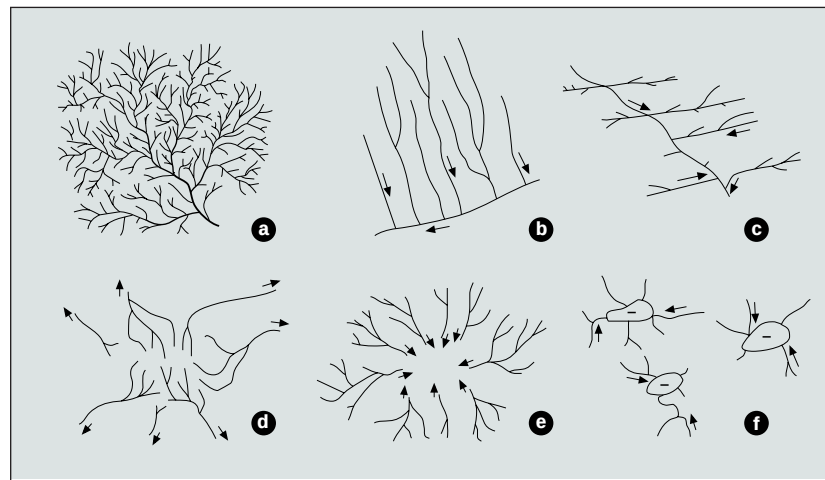


I bacini e i relativi reticoli idrografici possono essere studiati dal punto di vista morfometrico, attraverso la suddivisione in segmenti ai quali viene attribuita una gerarchia. Sono detti segmenti del 1° ordine i tratti che si alimentano direttamente da sorgenti o da ruscellamento diffuso; dalla confluenza di segmenti del 1° ordine si originano segmenti del 2° ordine;

dalla confluenza di questi si originano quelli del 3° ordine, e così via. Corsi d'acqua del 2° ordine sottenderanno perciò bacini del 2° ordine che costituiscono sottobacini di bacini di ordine maggiore. L'esempio è quello del bacino idrografico del Torrente Isorno, situato al confine tra Piemonte e Canton Ticino (Svizzera) e relativo reticolo idrografico.

possono produrre un flusso sotterraneo verso un altro bacino (perdita) o da un altro (guadagno). Il disegno del reticolo idrografico nel bacino, costituito dal corso d'acqua principale e dai suoi affluenti, è detto *pattern* del drenaggio. Questo può assumere disegni molto diversi, il più delle volte condizionati dalla struttura geologica.

Evoluzione del reticolo idrografico. Lo sviluppo del reticolo idrografico in tutta l'area circummediterranea, e quindi anche sui rilievi italiani, è stato condizionato da un importante evento accaduto durante il Messiniano (Miocene superiore, 4-5 milioni di anni fa) quando il Mediterraneo rimase isolato dall'Atlantico. Precedentemente la loro comunicazione avveniva attraverso un passaggio posto a Nord della catena betica, nell'attuale Spagna meridionale, ed attraverso un altro passaggio posto a Sud della catena del Rif, nell'attuale Marocco. La chiusura avvenuta per effetto dell'avvicinamento Africa-Europa (prima si chiuse il passaggio settentrionale e poi quello meridionale) avvenne in poche decine di migliaia di anni. L'effetto di questa chiusura, durante un periodo caldo, fu l'evaporazione quasi totale del Mediterraneo, tanto che in molti luoghi si depositarono evaporiti (soprattutto gessi). Parallelamente, sulle terre emerse si verificò un'erosione nei reticoli idrografici per effetto dell'erosione regressiva a partire dal livello di base marino più basso. Per dare un'idea dell'entità dell'ap-



Il reticolo dendritico (a), dal caratteristico disegno ad albero, è tipico delle aree a litologie argillose ed omogenee, ad esempio quelle collinari dell'Appennino Settentrionale. Il reticolo parallelo (b) è fortemente condizionato da versanti rettilinei ad elevata acclività come quelli delle principali vallate alpine. Il reticolo angolare (c), legato a faglie e fratture su litolo-

gie competenti, si sviluppa, ad esempio, nelle prealpi trentine. Il reticolo radiale è caratteristico dei rilievi isolati, ad esempio i colli Euganei (centrifugo, d) o delle depressioni quali i laghi vulcanici del Lazio (centripeto, e). Il reticolo disordinato (f) è tipico di aree di recente modellamento o soggette a particolari processi di erosione, come quella carsica.

profondimento del reticolo idrografico, si pensi che la base della depressione dei principali laghi prealpini (Garda, Maggiore, Como, Iseo) si trova a profondità di più di 500 m sotto l'attuale livello del mare. Le depressioni lacustri sono poi state riempite negli ultimi 5 milioni di anni da sedimenti, ma i loro fondali sono tuttora al di sotto del livello del mare.

Altri periodi decisamente critici per il reticolo idrografico delle Alpi e degli Appennini corrispondono alle grandi glaciazioni pleistoceniche (Pleistocene: 1 800 000-10 000 anni fa). Sulle Alpi, sulla base dei depositi glaciali ritrovati, sono stati individuati almeno cinque picchi freddi corrispondenti a grandi glaciazioni: Donau, Günz, Mindel, Riss, Würm. Durante le fasi fredde i bacini idrografici erano sottoposti a situazioni complesse e non uniformi lungo tutta la penisola italiana. Le Alpi, ad esempio, erano coperte da un'unica grande calotta, da cui emergevano solo i picchi più elevati e ripidi, le cui terminazioni giungevano fino ai margini della Pianura Padana. Le precipitazioni erano meno abbondanti che attualmente, a causa dell'instaurarsi di condizioni anticicloniche sulla massa glaciale. Nelle circostanti pianure si estendevano perciò paesaggi di steppa (condizioni arido-fredde), mentre sui rilievi agivano intensamente i processi glaciali che contribuirono al rimodellamento delle principali valli alpine e all'approfondimento generalizzato del reticolo. Si rimodularono in questi periodi molti livelli di base; infatti l'escavazione glaciale delle valli principali e lo



Un torrente in area appenninica (Ponte della Brusia, Bocconi, Forlì)

stazionamento in queste di ingenti spessori di ghiaccio ha potuto sostenere livelli di base più elevati per i ghiacciai affluenti laterali, producendo quelle che oggi appaiono valli sospese, ove tali affluenti si gettano nella valle principale con un salto, dando origine a cascate, a volte spettacolari. Durante le glaciazioni, quindi, si genera sulle Alpi una forte produzione di detrito e un approfondimento del reticolo; nella parte valliva, allo sbocco in pianura, si hanno invece imponenti accumuli sedimentari che, ad esempio, colmano tutta la Pianura Padana fino al Po. L'influsso del mare, il cui livello è più basso di circa 100 m rispetto all'attuale, non sembra aver prodotto effetti significativi sulla parte montana del reticolo. Negli Appennini, durante le fasi glaciali, non c'erano grandi masse glaciali e nessuna lingua di ghiaccio giungeva nelle antistanti pianure. Il paesaggio era dominato da condizioni di tipo periglaciale (crionivale); soltanto sulle parti più interne dell'Appennino Settentrionale (crinale tosco-emiliano) e sui rilievi dell'Abruzzo erano presenti apparati glaciali di piccole e medie dimensioni.

Le condizioni periglaciali hanno comportato una disgregazione fisica molto intensa non accompagnata da un analogo approfondimento del reticolo idrografico. Questo si trovava così nelle condizioni di non smaltire tutti i sedimenti che si producevano sui versanti e venivano recapitati ai suoi corsi d'acqua. Caratteristici sono i depositi che vanno sotto il nome di "grèzes litées", tuttora presenti soprattutto sui versanti delle regioni umbro marchigiane. In Pianura Padana si assiste alla deposizione, per esempio durante l'ultimo massimo glaciale, di ghiaie nei conoidi alluvionali: queste fra l'altro costituiscono la zona di alimentazione delle falde idriche di tutta la pianura emiliana.

Dopo la fine dell'ultima glaciazione (Olocene), il reticolo ha subito variazioni di minor entità: le principali sono da attribuirsi ai cambiamenti della tipologia della copertura vegetale e soprattutto della sua densità. Quest'ultima è in parte influenzata dalle condizioni climatiche, caratterizzate durante l'Olocene da piccole oscillazioni di temperatura e umidità, ma anche, soprattutto a partire dal Neolitico e ancora più dal periodo romano, dal popolamento umano e dalle relative attività. Si riconoscono perciò periodi di forte erosione del reticolo in seguito a disboscamenti (soprattutto nel Neolitico, nel periodo romano e in età moderna) e periodi di minor erosione, in qualche caso di stabilità, in seguito all'abbandono e alla riforestazione montana, come nell'alto medioevo o nella seconda metà del XX secolo. Quest'ultimo periodo, in particolare, è uno dei più complessi da interpretare poiché allo spopolamento della montagna, che provoca la riforestazione, si sono accompagnate altre azioni dell'uomo, con effetti contrastanti. Ad esempio, l'abbandono stesso, facendo mancare la manutenzione del bosco e dei pendii, provoca a breve termine un aumento dell'erosione del suolo; la mancanza di controllo e gli interessi economici innescano la pratica degli incendi dolosi che si riflettono, nella stagione piovosa, in imponenti fenomeni erosivi; la risistemazione artificiale (opere che regolano il flusso idrico, rimboschimenti artificiali, etc.) hanno invece un effetto regimante contrario, cioè ostacolano i processi erosivi.

Alimentazione dei corsi d'acqua. L'alimentazione dei corsi d'acqua è uno dei parametri più importanti che caratterizzano la quantità e la qualità delle acque disponibili nei torrenti, nonché il loro regime ovvero la distribuzione stagionale delle portate. I corsi d'acqua che drenano bacini piccoli e con litologie omogenee sono contraddistinti da alimentazione semplice dovuta alle precipitazioni o alla fusione del ghiaccio o della neve, oppure all'emersione di una falda, mentre nei bacini più grandi di ordine elevato l'alimentazione è spesso complessa e influenzata dai diversi apporti idrici degli affluenti.

Possiamo in generale riconoscere un'alimentazione di tipo pluviale quando l'origine dell'acqua è da imputarsi direttamente alle precipitazioni. I fiumi soggetti a questa alimentazione presentano un regime caratterizzato da portate di piena in concomitanza con i periodi di massima piovosità e da magre in occasione delle stagioni secche. Questo andamento stagionale risente perciò delle condizioni climatiche generali in cui risiede il bacino idrografico. Nell'Appennino settentrionale, dove l'alimentazione è tipicamente pluviale, si verificano condizioni di piena soprattutto nel periodo autunnale, in concomitanza con le precipitazioni stagionali più intense, e in misura minore nel periodo primaverile. Le magre, al contrario, si riscontrano nel periodo estivo e in quello invernale, con una maggior preponderanza nel primo, per effetto sia dell'elevata evapotraspirazione sia della scarsa alimentazione. Esistono luoghi, condizionati da particolari



Lo scioglimento dei ghiacci rappresenta una modalità di alimentazione dei torrenti montani

situazioni climatiche, come le aree liguri e del Piemonte meridionale, dove la disposizione delle catene alpina e appenninica in prossimità della costa interferisce con le masse d'aria di provenienza atlantica, favorendo il verificarsi di rovesci temporaleschi molto intensi sul finire della stagione estiva, responsabili di piene catastrofiche. Situazioni simili sono caratteristiche anche della regione calabrese e comunque in una certa misura di tutto il versante occidentale della catena appenninica. Altra situazione particolare è quella delle Prealpi Veneto-Friulane, dove l'incu-

nearsi di masse d'aria più fredda, provenienti dalle pianure centro europee e a volte anche dalle regioni siberiane, provoca l'instaurarsi di fronti perturbati che si stabilizzano per lunghi periodi sull'area e determinano periodi di prolungate precipitazioni, soprattutto nei mesi autunnali.

L'alimentazione è di tipo glaciale quando i corsi d'acqua derivano dalla fusione del ghiaccio. In questo caso le portate di piena si registrano nei periodi di più intenso scioglimento del ghiaccio, ovvero nei periodi estivi, mentre le portate di magra si registrano durante i mesi più freddi.

Se l'alimentazione non dipende dallo scioglimento del ghiaccio ma della neve (alimentazione nivale), le portate di piena sono anticipate alla primavera e decrescono con l'avanzare della stagione calda per effetto della riduzione della copertura nevosa sul territorio. L'alimentazione è prevalentemente nivale nei bacini situati alle quote più elevate delle regioni montuose italiane; le portate di piena raggiungono i massimi nei mesi di maggio-giugno per decrescere fino alla successiva piena primaverile. In alcuni bacini posti alle quote più elevate del settore occidentale della catena alpina sono presenti corsi d'acqua con alimentazione di tipo nivoglaciale; in essi le portate sono date dallo scioglimento sia della neve sia del ghiaccio. Tra i corsi d'acqua che presentano questo tipo di alimentazione sono da annoverare diversi affluenti di Dora Baltea, Dora Riparia, Sesia e Ticino; più ad oriente lungo la catena alpina sono da annotare anche alcuni affluenti dell'Adige.

Sorgenti. Nei torrenti di montagna può assumere una certa rilevanza la presenza di sorgenti, le cui portate possono determinare il regime del corso d'acqua stesso. Quando la quantità d'acqua che fuoriesce è costituita da un semplice sgocciolio si parla piuttosto di stillicidio, quando invece la portata è misu-

Le sorgenti di emergenza (a) variano di ubicazione e possono scomparire temporaneamente in conseguenza della portata variabile della falda durante l'anno. Se affiorano lungo un fondo vallivo, tendono ad abbassarsi di quota col deprimersi del livello freatico e a raggiungere quote più elevate durante le fasi di livello massimo mentre, se sono localizzate in una cavità, possono scomparire durante le fasi di basso livello freatico.

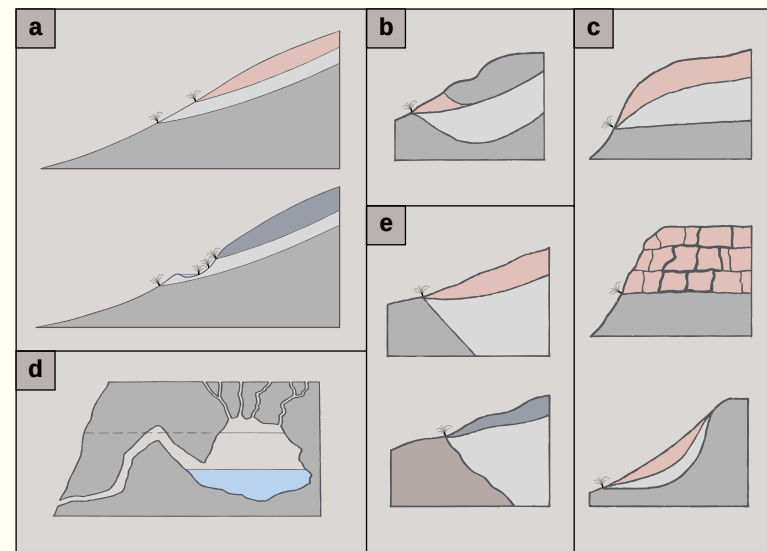
Le sorgenti di trabocco (b) si originano dove le acque, accumulate in un serbatoio sotterraneo, sfiorano da una soglia di troppo pieno e fuoriescono.

Le sorgenti di contatto (c), molto comuni, sgorgano per deflusso della falda in un terreno permeabile al contatto con una formazione impermeabile. Questo contatto può essere di natura stratigrafica (superficie di strato; trasgressioni, etc.), tettonico (sovrascorimenti, faglie, etc.), per effetto di forme e depositi recenti (corpi di frana, morene,

alluvioni, etc., su litotipi meno permeabili sottostanti). Queste sorgenti hanno ubicazione fissa; non sono soggette a spostamenti al variare del livello freatico. Quando quest'ultimo varia si può assistere a sorgenti con portata variabile fino a sorgenti che si attivano solo in situazioni particolari di alto livello freatico. Un esempio caratteristico in questo senso è quello delle sorgenti carsiche (d) nei massicci carbonatici dove la permeabilità è dovuta principalmente alla circolazione nelle fessure e nelle fratture piuttosto che per porosità della roccia stessa.

Le sorgenti di sbarramento (e) sono dovute all'emersione dell'acqua sotterranea a causa di ostacoli impermeabili che ne contrastano il movimento.

Le sorgenti di fessura infine sono determinate dalla presenza di faglie, fratture, ogni altro tipo di percorso preferenziale, ad esempio condotti carsici, che permettono la fuoriuscita di acqua da un punto ben preciso.



rabile si parla propriamente di sorgenti. Tra i termini utili per definire la provenienza di acqua da una sorgente si parla di sorgiva, di fonte, di polla e nel caso di un intervento antropico di fontana.

Le sorgenti rappresentano l'emersione di una falda acquifera. Nel caso di terreni permeabili, si generano entro tali sedimenti falde acquifere in cui l'acqua si muove con velocità che dipendono sia dalla permeabilità del mezzo attraversato sia dalla pendenza della falda. Quando il tetto della falda incontra la superficie topografica, essa emerge dando origine alle sorgenti. Una sorgente è pertanto una zona, puntiforme o diffusa, in cui la falda sotterranea incontra la superficie topografica ed emerge. La venuta alla luce dell'acqua di falda può essere dovuta alla filtrazione attraverso sedimenti o rocce porose o attraverso condotti preferenziali, in genere costituiti da superfici di discontinuità (superfici di strato, contatti tra formazioni a diversa permeabilità, fratture e faglie, etc.). Le sorgenti montane perciò sono distinte in diverse tipologie e tra queste le più comuni sono: sorgenti di emergenza, sorgenti di trabocco, sorgenti di contatto, sorgenti di sbarramento, sorgenti di fessura.

Le sorgenti si possono presentare isolate, ma a volte sono raggruppate in aree circoscritte o allineate lungo particolari strutture geologiche (ad esempio un limite tra formazioni permeabili e impermeabili). Questi allineamenti di sorgenti di contatto possono essere particolarmente frequenti, come nel caso dei flysch dell'Appennino o delle arenarie sovrapposte alle litologie fini e impermeabili dell'alto Appennino emiliano (ad esempio ai piedi della Pietra di Bismantova).

Caratteristiche chimico-fisiche delle acque. Le acque che scorrono nei torrenti di montagna sono caratterizzate da un regime termico che è funzione della loro alimentazione e da una composizione chimica che è invece funzione sia dei terreni attraversati nel suo scorrere in superficie sia, ancora più sensibilmente nel caso delle acque di sorgente, dalla composizione dei terreni attraversati prima di sgorgare in superficie.

Il chimismo delle acque è determinato dagli ioni disciolti. Il trasporto di tali ioni in soluzione non è dipendente dall'energia del corso d'acqua, ovvero dalla sua portata e dalla sua velocità, ma piuttosto dalla composizione delle rocce attraversate e dall'aggressività delle acque stesse (pH).

Tra gli ioni più comuni si trovano in soluzione gli ioni carbonato (CO_3^{2-}), cloro (Cl^-), solforico (SO_4^{2-}), i cationi sodio (Na^+), potassio (K^+), calcio (Ca^{++}) e magnesio (Mg^{++}) nonché la silice disciolta (SiO_2).

La prevalenza di alcuni ioni sugli altri dipende dai terreni attraversati, ad esempio acque che scorrono entro massicci carbonatici presenteranno pH basico e risulteranno ricche di ioni calcio e di carbonati in genere. Se invece le acque attraversano massicci cristallini caratterizzati da rocce in cui abbondano quarzo e feldspati (ad esempio graniti, gneiss, scisti), come nel caso della parte più in-



Area carsica d'alta quota (Alpi Giulie) priva di reticolo drenante superficiale

terna della catena alpina, le acque presenteranno un pH acido e saranno ricche di silice. Se vengono attraversati terreni particolari come i gessi triassici che affiorano significativamente nella successione umbro-marchigiana, le acque si arricchiranno in calcio e solfati. Acque ricche di ioni sodio e cloro si riscontrano nei terreni salati da poco abbandonati dal mare (generalmente nelle aree di pianura costiera) o nelle aree dove sono presenti particolari sorgenti minerali. Maggiori concentrazioni di ioni magnesio si registrano in quelle aree dove abbonda questo elemento, come ad esempio in tutte le aree dolomitiche.

La misura del trasporto in soluzione può essere effettuata mediante esami di laboratorio che individuano il contenuto di ioni disciolti; tale dato si può esprimere secondo scale di misura differenti. Una delle misure più utilizzate è la durezza, ovvero il contenuto di calcio e magnesio dell'acqua (durezza totale). La durezza si misura in gradi idrotimetrici di cui i più comuni sono quelli francesi (1 °F corrisponde a 10 mg/l di ione Ca^{++}). Sulla base della durezza in gradi francesi, le acque sono classificate in: molto dolci (0-7), dolci (7-14), mediocrementi dure (14-22), abbastanza dure (22-32), dure (32-54), molto dure (>54). Una misura semplice da eseguire è il residuo fisso a 180 °C che si ottiene facendo evaporare a 180 °C un litro d'acqua. Particolarmente aggressive si dimostrano le acque di fusione nivale per la ridotta presenza di cationi disciolti e la relativa abbondanza di acido carbonico.

In alcune aree dei rilievi italiani si possono verificare inoltre importanti modificazioni nel chimismo delle acque per cause antropiche. Tra le principali sono si-

curamente da annoverare quelle relative al forte inurbamento soprattutto per ragioni turistiche in alcune aree alpine. Le principali conseguenze della notevole pressione demografica in queste aree ha provocato soprattutto nel dopoguerra un aumento a volte significativo di alcuni inquinanti: coliformi, metalli pesanti, nitrati, fosfati. Nei pressi delle arterie stradali di comunicazione possono poi verificarsi aumenti anomali di idrocarburi e cloruri; questi ultimi dovuti alla pratica dello spargimento di sali clorurati antighiaccio. Nelle aree dove tradizionalmente è consistente l'allevamento (bovino sulle Alpi, suino e ovino sugli Appennini) si possono registrare anomali valori di nitrati e nitriti disciolti.

Regime idraulico. I corsi d'acqua si possono suddividere in due grandi gruppi: quello dei fiumi e quello dei torrenti. Questi due gruppi sfumano l'uno nell'altro e in parte si sovrappongono in una zona di transizione anche piuttosto ampia. Un fiume è un corso d'acqua perenne in cui le velocità e conseguentemente le pendenze dell'alveo sono basse (pendenze in generale minori di 0.5%). I torrenti al contrario sono caratterizzati da pendenze e quindi velocità maggiori; d'altronde il termine torrente, in latino *torrens*, deriva da "torreo" ovvero "che ribolle". Il termine è spesso utilizzato in senso figurato a testimoniare la veemenza del flusso in determinate circostanze, ad esempio torrente di lacrime, d'ingiurie, di passione, etc.

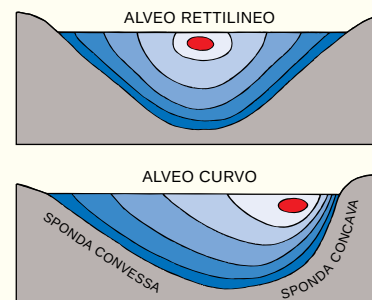
Le velocità nei torrenti montani sono molto varie e risentono sia del regime sia della tipologia di alimentazione del corso d'acqua. Si possono avere portate di magra quasi nulle; inoltre durante le magre le velocità possono anche divenire molto basse, nell'ordine di 0.1 m/sec, mentre in occasione delle piene si possono raggiungere elevate velocità, anche maggiori di 10 m/sec. Ne deriva che, pur essendo caratterizzati da portate totali inferiori a quelle dei fiumi, i torrenti sono dotati di una competenza di gran lunga superiore. La competenza di un corso d'acqua è definita dalla dimensione massima dei singoli clasti trasportabili. Tale dimensione è strettamente controllata dalle velocità raggiunte nell'alveo oltre che dall'altezza della lama d'acqua; al contrario, la quantità totale di trasporto solido è invece proporzionale alla portata del corso d'acqua. Ne consegue che in generale possiamo osservare a partire dalle parti alte del bacino idrografico via via verso la foce un incremento del volume di materiale trasportato (carico solido) e una contemporanea diminuzione della granulometria del materiale che subisce trasporto (competenza).

La conseguenza dei fenomeni di prelievo e di sedimentazione lungo i torrenti può essere una modificazione del profilo longitudinale dello stesso. Nel caso si determini un'erosione lungo un tratto del torrente, si assiste ad una diminuzione di pendenza del corso d'acqua a valle del tratto in esame e un'aumento di pendenza nel tratto a monte. Questi processi sono responsabili a loro volta di incrementi del tasso d'erosione a monte del tratto in esame e diminuzione nel

Velocità

La velocità dell'acqua rappresenta l'indicatore più efficace per valutare lo stato energetico di un torrente.

Alle velocità più elevate corrispondono infatti i processi erosivi in alveo più intensi, mentre alle basse velocità si generano i processi di sedimentazione in alveo. La distribuzione delle velocità in alveo non sono omogenee; infatti le velocità più elevate si concentrano al centro dei canali poco al di sotto della superficie libera nel caso di alvei rettilinei o in prossimità della sponda concava nel caso di alvei curvi.



Distribuzione delle isotachie (linee di uguale velocità) in alveo rettilineo e in alveo curvo. In rosso la zona a maggior velocità della corrente (filone)

Già nella prima metà del XX secolo si era capito che i processi di erosione, trasporto e sedimentazione dipendevano dall'entità delle velocità. Nel diagramma di Hjulström del 1935 si può apprezzare questo concetto.

Da questo grafico si nota che per le particelle più fini, con diametro minore di 0.05 mm, una volta che siano state prese in carico non si sedimentano, nemmeno se le velocità divengono prossime a zero, proseguendo il loro percorso lungo il torrente fino al livello di base costituito da un lago o addirittura dal mare.

Portata

La portata (Q) di un corso d'acqua è il volume d'acqua che attraversa la sezione dell'alveo nell'unità di tempo ed è espressa dalla formula:

$$Q = A v$$

dove A è l'area della sezione e v è la velocità media dell'acqua. La portata si esprime in m³/sec o meno frequentemente in l/sec.

Le misure di portata si eseguono in apposite sezioni di misura, misurando il livello idrometrico raggiunto dall'acqua (idrometri), mentre l'andamento di queste in funzione del tempo viene analizzato utilizzando grafici detti idrogrammi. In Italia il Servizio Idrografico mantiene in attività numerose stazioni di misura ed i dati da esso ricavati sono inseriti in apposite pubblicazioni.

La registrazione, protratta per un periodo sufficientemente lungo, dell'entità delle portate di piena avvenute nel passato consente, attraverso metodi statistici, di stimare le portate massime corrispondenti a tempi di ritorno, ad esempio di cento, duecento, mille anni. Queste portate con tempi di ritorno particolari sono utilizzati per la progettazione di opere specifiche lungo i corsi d'acqua.

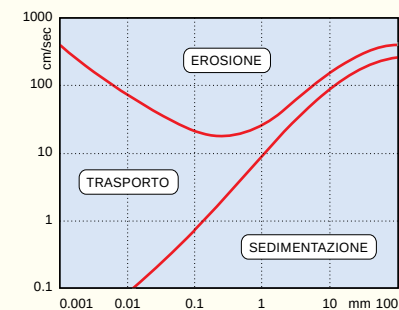


Diagramma di Hjulström. In ascissa il diametro dei detriti in mm, in ordinata la velocità della corrente in cm/sec



L'elevato trasporto solido causa forte torbidità

tratto a valle. Analogamente, nel caso di sedimentazione lungo un settore del torrente, si assiste ad una diminuzione di pendenza a monte del tratto suddetto e un aumento della pendenza a valle. Quando, come bilancio di un intervallo sufficientemente lungo (esempio un anno), il corso d'acqua ha mantenuto più o meno la stessa pendenza, si dice che questo ha raggiunto il profilo d'equilibrio. Un torrente tende a raggiungere, attraverso i processi di erosione e di sedimentazione, un proprio caratteristico profilo d'equilibrio. Quando ciò avviene, il volume dei detriti che sopraggiungono nell'alveo del torrente dai versanti e dal tratto d'alveo a monte viene evacuato totalmente nel tratto a valle. Dal punto di vista dei detriti

che si muovono nell'alveo, un torrente in equilibrio presenta perciò un bilancio nullo. In un diagramma cartesiano, avente in ordinata le altezze sul livello del mare e in ascissa le distanze dalla sorgente, il profilo longitudinale di un corso d'acqua in equilibrio è in via teorica di tipo iperbolico con pendenze via via minori dalla sorgente alla foce.

La foce rappresenta un punto di riferimento fisso, detto livello di base, al di sotto del quale il corso d'acqua non può approfondire il proprio alveo. Il mare è il livello di base generale; vi sono altresì altri livelli di base locali dovuti alla confluenza di un torrente in un corso d'acqua gerarchicamente più importante oppure all'immissione in un lago naturale o artificiale.

Lungo i torrenti montani sono facilmente osservabili concentrazioni di clasti con dimensioni rilevanti, superiori a quella che dovrebbe corrispondere alla competenza del torrente. Questi grandi ciottoli o massi derivano non tanto dal trasporto diretto operato dalle acque nel torrente quanto piuttosto da azioni gravitative dai versanti sul corso d'acqua o da riesumazione per erosione operata dal corso d'acqua dei clasti di dimensione minore fino a che le sponde ed il fondo del canale risultano costituiti quasi completamente da materiale intransportabile. In questa situazione il canale non può subire ulteriore erosione poiché i clasti grossolani difendono dall'erosione i depositi sottostanti a granulometria più fine formando perciò una sorta di protezione del canale, da cui discende la definizione di "canali armati". La disposizione dei grossi massi nei torrenti di montagna è particolarmente importante perché contribuisce a for-

mare degli aggregati di clasti, sostenuti dai blocchi più voluminosi che determinano il tipico profilo a gradinata detto dagli anglosassoni a "step and pool". La spaziatura e il rilievo di queste discontinuità nei corsi d'acqua montani sono particolarmente significativi sia per valutare la dispersione di energia nel corso d'acqua, per effetto della scabrosità dell'alveo e dei risalti idraulici dovuti alle cadute di velocità a valle di ogni gradino, sia per l'ecologia del torrente stesso, in quanto a tratti veloci e poco profondi si alternano tratti più profondi di acque calme.

Il trasporto solido nei torrenti montani è profondamente condizionato dalle litologie presenti nel bacino idrografico, dalla stabilità dei versanti prossimi al

torrente, dai processi attivi predominanti su tali versanti, nonché dalla tipologia di alimentazione del torrente stesso. Non è quindi possibile definire a priori, sulla base delle caratteristiche idrauliche (ad esempio portate e velocità), le modalità prevalenti di trasporto solido. Torrenti, infatti, che attraversano aree a litologie fini, facilmente erodibili come quelle ad esempio dell'Appennino emiliano, sono soggetti a preponderanza di trasporto in sospensione rispetto a quello di fondo. In queste aree, soprattutto in occasione delle intense piogge autunnali, si assiste ad un aumento della torbidità delle acque conseguenti al dilavamento superficiale nel bacino di alimentazione e all'instaurarsi di processi gravitativi lenti sui versanti.

Torrenti alimentati dalla fusione dei ghiacci sono in genere caratterizzati da acque lattiginose per esclusivo trasporto in sospensione. Torrenti che attraversano regioni in cui affiorano litotipi prevalentemente competenti, ad esempio aree calcaree, dolomitiche, cristalline, presentano prevalenza di trasporto di fondo rispetto a quello in sospensione, soprattutto se il materiale che giunge all'alveo si è originato per effetto del crioclastismo e se i processi di trasporto sul versante sono dovuti principalmente a crolli piuttosto che a dilavamento superficiale. Nella maggior parte dei casi vi è comunque una netta differenza nella tipologia del trasporto nei torrenti tra le fasi di piena e quelle di magra. Quest'ultima in genere è caratterizzata dalla scarsità di trasporto di fondo mentre quello in sospensione può continuare, soprattutto in presenza di rocce argillose o di sedimenti fini lungo l'alveo.



Tipico profilo a gradinata (step and pool)



Flora e vegetazione

MARCO CANTONATI · KARIN ORTLER

29

■ Alghe e licheni acquatici

In condizioni normali, quando non si siano verificati da poco eventi disastrosi, quali piene pronunciate e improvvise o inquinamenti da sostanze chimiche tossiche, il greto di un torrente appare animato da chiazze di colore con toni che vanno dal marrone scuro-nero al rossiccio e con molte varietà di verde e verde-azzurro. Responsabili di queste vivaci colorazioni sono alghe, licheni e muschi acquatici (da cui il termine di Vegetationsfärbungen, cioè colorazioni dovute alla vegetazione acquatica, utilizzato dagli Autori tedeschi). Anche le rive, dove non siano intervenute opere di rettificazione e di cementificazione degli argini, non si presentano mai brulle, ma con una ricca copertura di piante acquatiche, cespugli e alberi, sempre meno adatti a tollerare periodi di sommersione e con sempre minori esigenze d'acqua, a mano a mano che ci si allontana dal torrente.

Mentre i muschi acquatici e igrofilo sono particolarmente diffusi nella zona delle sorgenti e le piante superiori acquatiche preferiscono le acque più lente e i fondali sabbiosi e limosi dei grandi fiumi di pianura, il torrente di montagna, dove la velocità di corrente è elevata, è decisamente dominato dalle alghe. In genere questi organismi vengono associati alle coste marine, o in casi particolari ai laghi, non alle acque correnti dell'ambiente montano. Eppure essi, anche se in modo non appariscente, colonizzano rapidamente ogni corso d'acqua, dal più insignificante al più impetuoso, in pianura come alle quote più elevate.

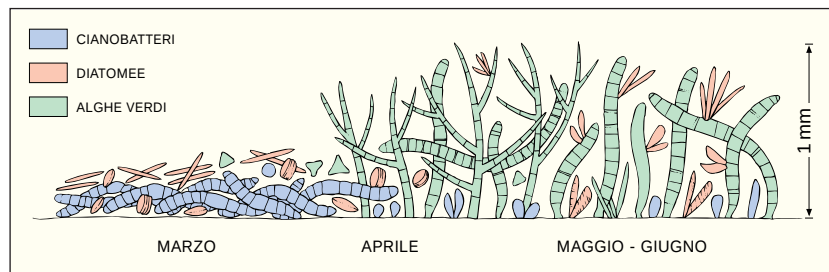
Il termine alghe è diventato di uso comune, spesso però viene impiegato in modo scorretto per definire anche vere e proprie piante superiori adattate all'ambiente acquatico, per esempio il ranuncolo d'acqua. Su un piano diverso, il termine è impreciso anche dal punto di vista rigorosamente sistematico, e viene oggi utilizzato per lo più solo in modo informale per indicare un insieme molto vario di organismi. Dovendo più precisamente indicare il termine "alghe", si potrebbe proporre la seguente definizione: piante acquatiche di dimensione e organizzazione molto eterogenea, comunque prive di tessuti conduttori specializzati, e non distinte in parti assimilabili a radici, fusto e foglie (sono cioè tallofite e non piante superiori). Includono organismi di dimensioni che vanno dai pochi millesimi di millimetro di un cianobatterio alle decine di metri di lunghezza delle alghe brune giganti (*Macrocystis*), che crescono sulle rive degli oceani. Sono

Le sorgenti dell'Arzino in Carnia (Friuli): alghe e licheni coprono gran parte dei massi affioranti

piante le cui cellule possono rispondere all'uno o all'altro dei principali schemi costruttivi esistenti nel mondo animato: lo schema procariotico, con cellule senza un nucleo differenziato, proprio dei batteri e dei cianobatteri, e quello eucariotico, caratterizzato invece da un nucleo ben distinto dal citoplasma e avvolto da membrane, proprio di tutti gli altri organismi. Carattere unificante è il modo in cui si procurano l'energia per l'esistenza, tramite fotosintesi ossigenica (che richiede cioè ossigeno), resa possibile dalla presenza del pigmento fotosintetico verde "clorofilla *a*", tipico sia dei cianobatteri che di tutti i vegetali. Tuttavia, i vari gruppi di alghe si distinguono molto tra loro per gli altri pigmenti (accessori, fotoprotettivi) che contengono, e variano enormemente in alcune caratteristiche ultrastrutturali, fisiologiche, biochimiche, e nelle modalità riproduttive, tanto da differenziarsi, da questo punto di vista, più di quanto un uomo differisca da un riccio di mare o da un insetto.

■ Variazioni stagionali delle alghe nei torrenti

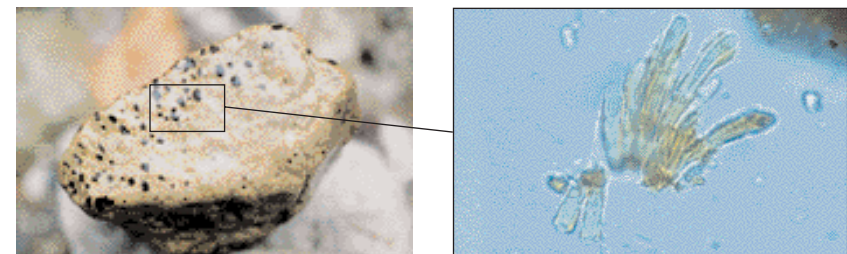
La comparsa e lo sviluppo di numerose specie algali dei torrenti segue, nei climi temperati, chiari andamenti stagionali. Il cianoprocarionta *Phormidium autumnale* si sviluppa prevalentemente, come suggerisce il nome, nei mesi autunnali; la crisofita *Hydrurus foetidus* predilige i mesi freddi; la clorofita *Cladophora glomerata* raggiunge il massimo grado di copertura a fine estate e inizio autunno; la rodofita *Bangia atropurpurea* si sviluppa prevalentemente all'inizio della primavera. Le variazioni di abbondanza di queste macroalghe si possono percepire e quantificare a livello macroscopico, misurando direttamente sul campo il grado di copertura ed eventualmente determinandone lo spessore. Per le diatomee questo è possibile solo nel caso di fioriture eccezionali (es. *Diatoma* spp., *Gomphonema olivaceum* var. *calcareum*, *Melosira varians*), che paiono avvenire in un ambito stagionale ben definito. Numerosi lavori pubblicati sui torrenti sembrano tuttavia indicare che le variazioni delle specie più abbondanti in termini percentuali nelle associazioni di diatomee non siano molto pronunciate.



Variazioni stagionali nei popolamenti algali (le dimensioni delle singole alghe sono indicative e i colori esclusivamente evocativi) presenti su rocce e ciottoli di un torrente (aspetto microscopico)

Cianobatteri. Tra le alghe che occupano le zone del torrente più difficili da colonizzare, in quanto presentano le condizioni ambientali più severe - come quelle che vanno periodicamente in secca, a causa delle variazioni di portata, e i massi delle rive, resi umidi solo dagli spruzzi generati dalle turbolenze dell'acqua - si trovano i cianobatteri. Essi vengono definiti con questo termine o con quello di cianoprocarionti, perché dotati di struttura procariotica come i batteri e non eucariotica come le altre alghe. Tuttavia contengono clorofilla *a*, e non batterioclorofilla come i batteri fotosintetici, e la loro fotosintesi è ossigenica, come quella di alghe, muschi e piante superiori. Molti posseggono un numero sufficiente di caratteri da consentirne lo studio tassonomico con i metodi tradizionali applicati alle alghe, cioè con osservazioni sulla morfologia, eseguite al microscopio ottico o a quello elettronico a scansione e a trasmissione. Questo ha fatto in modo che fin quasi ai nostri giorni i cianobatteri siano stati studiati per lo più da algologi come "alghe verdi-azzurre" o "cianofite". Tuttavia, quelli che l'illustre ecologo e algologo spagnolo

Ramón Margalef definì "*los bacteriólogos chauvinistas*" sostengono che i cianobatteri andrebbero studiati unicamente attenendosi alle metodiche di studio per i batteri. Questa polemica ricorda la semplicità strutturale (procariotica) di questi organismi, che li avvicina appunto ai batteri e che permette loro di colonizzare gli ambienti più inospitali, quali la tundra artica, le pareti rocciose delle montagne e le acque a temperature molto elevate delle sorgenti termali (per questo stesso motivo sono stati tra i primi organismi a comparire sulla terra qualche miliardo di anni fa). In questi ambienti, i cianobatteri sono sottoposti ad un intenso irraggiamento ed all'impatto di quantitativi notevoli di radiazioni ultraviolette, in grado di causare danni rilevanti al patrimonio genetico. Essi rispondono con tutta una serie di adattamenti, come il movimento attivo con il quale si allontanano dalla luce eccessiva, efficienti meccanismi di riparazione dei danni a livello molecolare, la presenza di sostanze fotoprotettive. Questi aspetti fisiologici e biochimici vengono studiati con sempre maggiore attenzione, oggi che la preoccupazione

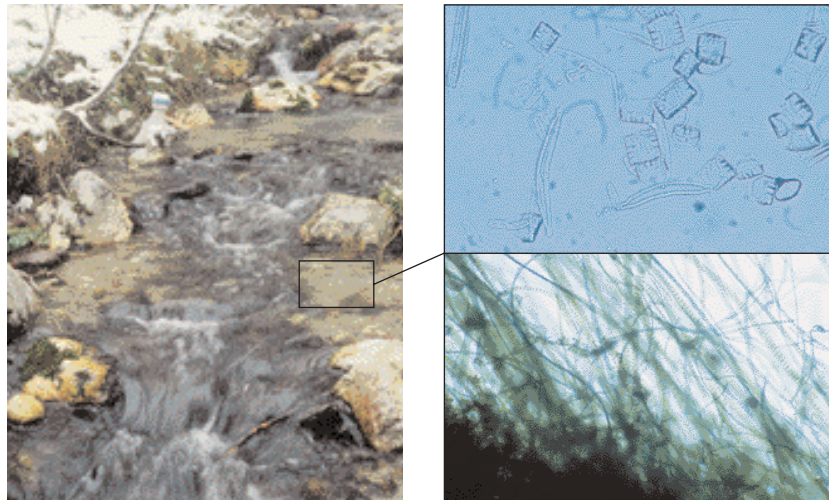


Le macchie bruno scure sono colonie di *Chamaesiphon geitleri*, un cianobattere comune in torrenti montani su substrati carbonatici e con acque pulite e vivaci. Nel riquadro, alcune cellule del cianobattere viste al microscopio (1000 x), circondate da una guaina frastagliata

per la riduzione dell'ozonosfera porta alla necessità di comprendere sempre più chiaramente i meccanismi di protezione dalla radiazione ultravioletta. I principali pigmenti accessori dei cianobatteri (ficocianina blu e ficoeritrina rossa) conferiscono al greto dei torrenti montani le colorazioni più vivaci: zone o massi rossi o rossicci, piccole macchie bruno scure, aloni turchesi sotto i sassi, chiazze verde scuro sui ciottoli. Alcune specie si proteggono dal disseccamento con guaine robuste che avvolgono le loro cellule, come *Chamaesiphon polonicus*, che occupa tipicamente quelle parti del torrente che occasionalmente, o stagionalmente, vanno a secco con il diminuire del flusso d'acqua. Il substrato preferito dai cianobatteri dei torrenti è quello epilittico (massi e ciottoli), tuttavia crescono anche su altri substrati, come muschi, piante acquatiche o altri cianobatteri (come avviene nel caso di *Chamaesiphon amethystinus*, che si trova generalmente sui filamenti di un altro

cianoprocariota, *Tolypothrix distorta*). La maggior parte dei taxa presenta un'ampia distribuzione geografica, spesso mondiale. Non mancano tuttavia specie molto rare, per esempio il già citato *Chamaesiphon amethystinus*. E. Rott e collaboratori classificando, nel 1999, le alghe delle acque correnti austriache sotto vari aspetti (225 corsi d'acqua considerati), indicano quasi la metà dei cianobatteri come "molto rari" per la frequenza. Molti taxa sono buoni indicatori di qualità dell'acqua.

Diatomee. Il gruppo di alghe presente con il maggior numero di specie e di individui all'interno del torrente, e più in generale negli ambienti acquatici, è quello delle diatomee. Tra le poche tipologie di corso d'acqua che colonizzano scarsamente c'è quella dei torrenti glaciali "tipici", caratterizzati da portate notevoli (almeno nelle stagioni e nelle ore del giorno più calde) e da acque cariche di fine detrito minerale. Per il



Il greto di un torrente montano con un'imponente fioritura di una microalga diatomea (*Diatoma*). Nel riquadro in basso i nastri formati dalle cellule algali (circa 60x), in quello in alto i frustoli silicei delle diatomee in visione laterale e a forma di rettangolo (400x)

resto, si trovano ovunque vi sia un po' di umidità, dalle crepe nel terreno dei deserti agli oceani. Sono organismi unicellulari, microscopici (millesimi di millimetro), ma possono riunirsi in aggregati che, nei momenti di intensa fioritura, diventano vistosi, come patine, coperture, feltri o filamenti finissimi, con colori che vanno dal bruno-dorato al marrone scuro. È questo il caso di specie di *Diatoma*, le cui cellule, aderendo l'una all'altra, formano lunghi nastri che, in condizioni particolari, possono ammassarsi e coprire il greto di ruscelli con acque non troppo rapide. Ogni cellula delle diatomee è racchiusa da due valve costituite da silice amorfa, molto simile strutturalmente all'opale e al vetro. Queste valve si incastrano tra loro come scatola e coperchio in una scatola per scarpe o in una cappelliera: i tipi di simmetria più diffusi tra le diatomee sono infatti quella bilaterale e quella radiale. Questo semplice criterio è il fondamento per la tradizionale distinzione delle diatomee in due grandi gruppi: Pennales e Centrales. Tale suddivisione ha un profondo significato ecologico, oltre che morfologico, perché corrisponde ai due grandi habitat colonizzati dalle diatomee: quello bentonico (rive e fondali dei corpi d'acqua) e quello planctonico che corrisponde alle acque libere, tipico soprattutto di laghi ed oceani. Le diatomee sono poco note ai non specialisti, a causa delle loro dimensioni modeste, ma hanno un'importanza enorme negli ambienti acquatici. Dominano frequentemente anche il plancton degli oceani, e sono così alla base di reti alimentari da cui dipendono importanti settori della pesca, e quindi il sostentamento di intere popolazioni umane. Sono responsabili di circa un quarto della produzione primaria globale, superando foreste pluviali e savane, che sono di gran lunga i biomi terrestri più

produttivi. Le forme eleganti delle diatomee ispirano anche composizioni artistiche, ottenute dalla giustapposizione delle valve in una resina su un vetrino per microscopia. Le valve sono così belle anche per la complessa e ricca serie di dettagli morfologici (punti, strie, fasce ecc.) che le caratterizzano. Questi dettagli sono fondamentali nell'identificazione di queste alghe; il riconoscimento delle specie di diatomee si basa generalmente solo sui particolari strutturali della "scatola" silicea che contiene le loro cellule. Tra le caratteristiche strutturali più vistose, nelle Pennales si può trovare una sottile fessura che, suddivisa in due rami, percorre longitudinalmente la valva: si tratta del cosiddetto rafe. Da molto tempo si era intuito che questa struttura è collegata con le capacità di movimento di certe diatomee, ma il meccanismo esatto è tuttora in corso di studio ed è veramente complesso: attraverso questa fessura del rafe la cellula emetterebbe dei "bastoncelli molecolari", che aderiscono al substrato a un'estremità e sono agganciati alla membrana cellulare dall'altra: una contrazione farebbe quindi avanzare la cellula, i bastoncelli si sgancerebbero e il processo si ripeterebbe. La capacità di compiere movimenti attivi è particolarmente importante per le specie che vivono sul fango (habitat epipelico) e su altri substrati molli, in quanto consente alle microalghe di tornare sulla superficie illuminata nei momenti opportuni (sono tipicamente mobili ed epipeliche numerose specie dei generi *Navicula* e *Nitzschia*). Altre specie (come quelle del genere *Cocconeis*) hanno una sola delle due valve provvista di rafe e utilizzano mucillagini emesse da quest'ultimo per aderire saldamente a substrati duri (per esempio sassi e rocce: habitat epilittico). In altri casi ancora l'adesione viene

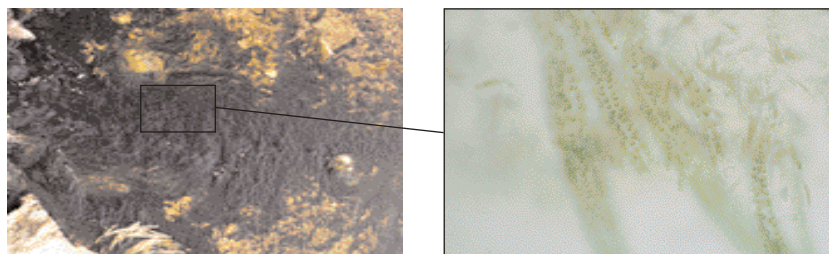
assicurata da tenaci cordoncini mucillaginosi, secreti da gruppi di pori che si trovano a una o ambedue le estremità della valva. Questa varietà di meccanismi di movimento o di adesione permette alle diatomee di colonizzare tutte le zone di un torrente montano: dalla parte centrale con correnti veloci, alle anse laterali, dove si possono formare più facilmente accumuli di materiale organico. La moltitudine di specie e le loro diverse esigenze ecologiche consentono la colonizzazione dei torrenti più diversi: da acque a mineralizzazione estremamente ridotta sino a quelle cariche di carbonati, e da acque pulite a quelle soggette a inquinamento organico o a contaminazioni da metalli pesanti.

Crisofite. Un gruppo di alghe vicino alle diatomee, che contengono pigmenti accessori e sostanze di riserva simili, comprendente specie planctoniche con scaglie silicee che formano caratteristiche cisti silicizzate, sono le crisofite o alghe dorate. Questo gruppo è tuttavia rappresentato nei torrenti montani quasi esclusivamente da una specie: *Hydrurus foetidus*. Non è raro, in escursioni autunnali o invernali, notare tratti di greto di torrenti di montagna (in particolare su roccia carbonatica), dove l'acqua è particolarmente impetuosa, resi quasi neri dall'imponente sviluppo delle

strutture filamentoze frangiate, lunghe anche diverse decine di centimetri, di questa crisofita. Nei casi in cui lo sviluppo è molto pronunciato, per esempio in presenza di un moderato aumento dei nutrienti algali (come nelle vicinanze di una malga), si avverte anche nell'aria un odore caratteristico. Quest'odore (poco gradevole, che ricorda il pesce avariato) diviene pungente se si spappola tra le dita una di queste strutture filamentoze di consistenza mucillaginosa: a ciò si riferisce l'epiteto specifico "foetidus". L'esame microscopico rivela che le sue cellule, strutture ovoidali verdastre con riflessi bruno-dorati di pochi millesimi di millimetro, sono in realtà immerse in una comune matrice mucillaginosa all'interno delle strutture a forma di filamento, dette tecnicamente cenobi.

Quest'alga si trova preferenzialmente in acque fredde, dalla bocca dei ghiacciai fino a quote medie, tuttavia anche le condizioni di portata o illuminazione potrebbero giocare un ruolo importante nello sviluppo, visto che, pur permanendo perlomeno con stadi amorfi o mucillagini, essa tende a ridurre la propria presenza in estate anche in ambienti come le sorgenti di montagna, nelle quali la temperatura è quasi costante e si mantiene bassa.

Clorofite. Ai toni di colore bruno di



Le strutture filamentoze sono cenobi dell'alga dorata *Hydrurus foetidus*, tipica dei tratti torrentizi a corrente veloce (in autunno e in inverno). Nel riquadro le cellule di quest'alga (strutture ovoidali verdi); le strutture allungate e arcuate sulla destra dell'immagine sono cellule di diatomee (*Fragilaria arcus*)

diatomee e crisofite, e verdi-azzurri, turchesi o rossicci dei cianobatteri, spesso, nei torrenti di montagna, in particolare in presenza di contaminazione organica e in estate, si affiancano chiazze di filamenti verdastri o coperture crostose verdi. Non è raro inoltre vedere ciuffetti di filamenti verdi crescere su muschi acquatici. Si tratta di alghe appartenenti al gruppo ampio ed eterogeneo delle alghe verdi, o clorofite, le uniche a contenere gli stessi pigmenti clorofilliani (clorofilla *a* e *b*) e la stessa sostanza di riserva (amido) di muschi, felci e piante superiori. In particolare, nelle zone del torrente interessate dalle variazioni di livello, è possibile notare i filamenti semplici (= non ramificati) di alghe verdi dell'ordine delle Ulotrichales. Quelli delle Zygnemales si rinvencono invece soprattutto in acque calme e pulite. I tre generi più comuni di quest'ultimo gruppo si distinguono al microscopio grazie alla forma del cloroplasto, che è a spirale in *Spirogyra*, a barra in *Mougeotia* e a stella in *Zygnema*.

Piuttosto rare nei torrenti e in genere limitate alle anse laterali, dove si hanno depositi di sabbia e sostanza organica, sono invece le Desmidiaceae, considerate da taluni le più belle tra le alghe. Le desmidiacee, assai più comuni in altri ambienti quali le torbiere, presentano cellule con rigorosa simmetria bilaterale



Un impetuoso torrente di montagna. Le patine (feltri) rosse sui massi lungo le rive sono dovute all'alga verde *Trentepohlia* sp. Nel riquadro i filamenti ramificati con le cellule rosse per la presenza di pigmenti carotenoidi

rispetto a un solco equatoriale e dotate di una parete cellulosica provvista di una ricca ornamentazione, che le fa in effetti somigliare a piccoli gioielli.

Nei ruscelli sorgivi e nelle sorgenti calcaree può trovarsi una specie rara e in chiaro regresso, *Oocardium stratum*, le cui cellule sono inserite come tappi sopra depositi calcarei tubolari. A quote medio-basse, in particolare su rocce calcaree e con acqua ricca di sali nutritivi, non è raro imbattersi in dense coperture dovute ai filamenti riccamente ramificati delle Cladophorales. Il genere più comune di questo gruppo è *Cladophora*, che al microscopio si distingue per la particolare ramificazione e le cellule multinucleate. Le alghe verdi tuttavia non conferiscono ai torrenti necessariamente colorazioni verdi. In montagna non è raro osservare i massi della zona degli spruzzi, sulle rive di torrenti almeno stagionalmente impetuosi, accendersi di un bel colore rosso-arancione in primavera e in autunno. Si tratta di alghe verdi dell'ordine delle Trentepohliales, collocato sulla linea evolutiva che ha portato alle piante superiori terrestri, le cui cellule si riempiono di una miscela detta ematocromo, con pigmenti carotenoidi.

Carofite. Un tempo incluse nelle alghe verdi, alle quali sono accomunate dalla presenza degli stessi pigmenti (clorofilla *a*

e *b*) e sostanze di riserva (amido), le alghe a candelabro o carofite vengono oggi considerate un gruppo indipendente, in particolare per le peculiarità strutturali del tallo e delle strutture riproduttive. Più comuni nelle acque ferme, nei torrenti esse si trovano soprattutto in anse laterali, o comunque in zone dove la corrente più debole, consente la deposizione di sedimenti fini. Preferiscono acque pulite e substrato carbonatico e possono formare praterie sommerse. Sono macroalghe e vengono spesso confuse dai non specialisti con piante acquatiche superiori. Hanno l'aspetto di piantine lunghe anche diverse decine di centimetri, con talli pluricellulari formati da cellule internodali allungate e cellule nodali più corte, attorno alle quali vi sono rametti disposti in verticilli, che a loro volta portano altri verticilli di rametti più piccoli. Spesso la piantina si presenta coperta da precipitati di natura carbonatica. Molte specie emanano un caratteristico odore d'aglio. I generi più comuni sono *Chara* e *Nitella*.

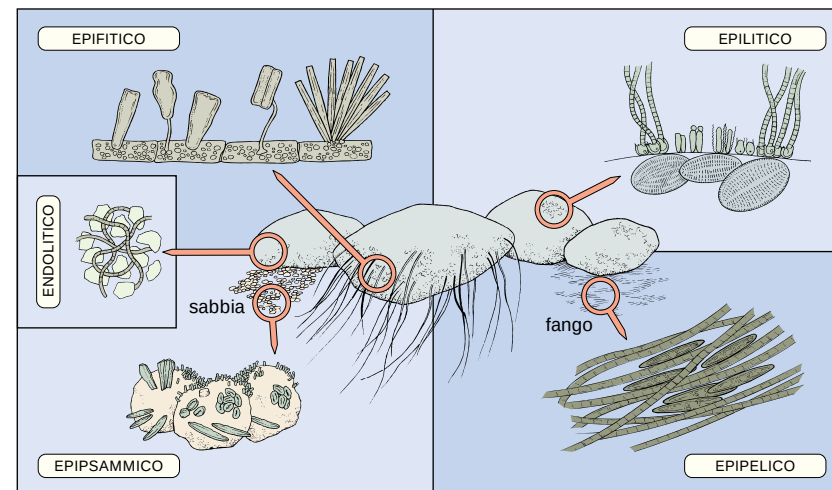
Xantofite. In alcuni torrenti si possono trovare talli verdi dall'aspetto molto particolare: sono talora così compatti da ricordare la spugna rigida usata dai fioristi per le composizioni floreali quando è inzuppata d'acqua. In questo caso non si tratta però di alghe verdi, ma di specie del genere *Vaucheria*, appartenenti alle xantofite, o alghe gialle, un gruppo che non contiene clorofilla *b* e che, come sostanza di riserva, non utilizza l'amido, ma la crisolaminarina. Come criterio di distinzione tra xantofite e alghe verdi è infatti possibile utilizzare reagenti che colorano specificamente l'amido, come lo iodio. Dalla morfologia assai diversa, ma pure importante e diffuso, è il genere *Tribonema*, che comprende diverse specie che formano lunghi filamenti non ramificati nei torrenti di montagna.

Rodofite. Le alghe rosse o rodofite, comuni in mare, sono invece piuttosto rare in acqua dolce, dove troviamo poche specie, che però presentano quasi tutte caratteristiche di grande interesse. *Hildenbrandia rivularis* forma splendide macchie circolari di un rosso intenso, in particolare in ruscelli a quote modeste. *Lemanea fluviatilis*, con i suoi talli con strutture nodose separate da internodi, è specie dall'ampia valenza ecologica, decisamente reofila (adattata alla corrente) e che può perfino spingersi a quote molto elevate nei torrenti glaciali. La specie più curiosa è tuttavia l'alga rossa filamentosa *Bangia atropurpurea*, presente con forme apparentemente quasi identiche sia nella zona interessata dalle variazioni di livello e in quella bagnata dalle onde sulle rive del mare, degli oceani e dei grandi laghi, sia su massi e altri substrati duri in torrenti di vario tipo. Da decenni sono in corso dettagliati studi - morfologici e sul ciclo riproduttivo, ecofisiologici (adattamento a mezzi di coltura con salinità molto diverse), cariologici e, più recentemente, biochimici e di genetica molecolare - per stabilire se queste forme marine e d'acqua dolce appartengano effettivamente tutte a un'unica specie, o siano da considerarsi entità distinte. Particolarmente comune nei torrenti di montagna è *Audouinella hermanni*, che forma talli delle dimensioni di pochi millimetri color porpora-violetto sui sassi o su altre piante acquatiche.

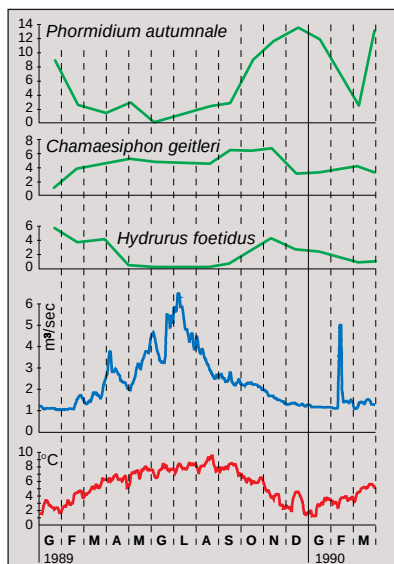
Feofite. Le feofite o alghe brune, alle quali appartengono numerosissime specie che vivono sulle coste di mari e oceani, tra cui le alghe di maggiori dimensioni in assoluto, comprendono nelle acque dolci un numero limitatissimo di specie (per esempio *Heribaudiella fluviatilis*). Nei torrenti si trovano prevalentemente a quote moderate.

■ Biogeografia delle alghe dei torrenti e specie minacciate

La distribuzione geografica delle alghe è di difficile interpretazione. Infatti, accanto a un gran numero di specie comuni a più gruppi montuosi, anche di continenti diversi (come le Alpi e l'Himalaya) si conoscono entità la cui distribuzione, allo stato attuale delle conoscenze, pare esclusiva di un unico massiccio montuoso. In altri casi, relativamente alle diatomee, si è potuta confermare una distribuzione che, pur essendo ampia, esclude alcune aree: *Fragilaria arcus* var. *recta*, per esempio, è presente nelle regioni artiche e antartiche e nell'Asia orientale, ma non sulle Alpi. In generale, comunque, poiché la maggior parte dei gruppi di alghe produce forme di resistenza che possono essere efficacemente diffuse dal vento, dagli uccelli acquatici ecc., si ha una prevalenza di specie cosmopolite o a distribuzione molto ampia. Per quanto riguarda le diatomee, questo è particolarmente vero per le specie caratteristiche di acque inquinate o moderatamente contaminate, e rende quindi applicabili o adattabili con relativa facilità a torrenti di tutto il mondo i metodi di valutazione della qualità dei corsi d'acqua basati sulle diatomee. Alla luce di queste considerazioni, non sorprende quindi che le differenze tra la flora algale dei torrenti alpini ed appenninici siano molto modeste. Negli Appennini, rispetto alle Alpi, le zone di distribuzione longitudinale delle specie algali, spesso riconoscibili lungo un corso d'acqua - quasi sempre con varianti locali - si presentano compresse e, ovviamente, sono situate a quote più basse. Per cause naturali e per i fenomeni di



I principali habitat delle microalghe dei torrenti. La figura mostra i popolamenti algali tipicamente associati ai principali tipi di substrati, compresi quelli capaci di perforare le rocce carbonatiche penetrando al loro interno (habitat endolitico)



Variabilità stagionale nei valori di copertura di alcune specie di alghe e corrispondenti variazioni di portata (m³/s) e temperatura (°C)

tità anche significative di sali nutritivi e temperature più elevate, nel corso inferiore (per esempio i cianobatteri *Oscillatoria* spp., le diatomee *Navicula* spp., *Nitzschia palea* e *Surirella ovata*, e le desmidiacee *Closterium leibleinii* e *Staurastrum punctulatum*).

L'ampia distribuzione e il legame spesso intimo tra certe condizioni ambientali e la presenza di una determinata specie di alga fanno in modo che molti ritengano che i tentativi di redigere liste rosse (cioè di specie minacciate) per le alghe, e per le diatomee in particolare, portino sostanzialmente a riconoscere ambienti acquatici meritevoli di tutela (per le diatomee soprattutto ambienti d'acqua dolce oligotrofici e distrofici), cui queste alghe sono intimamente legate. Come sottolineato da Lange-Bertalot, nella sua lista rossa delle diatomee della Germania, la protezione di questi ambienti acquatici si presenta particolarmente problematica, perché essi subiscono non solo impatti diretti (per esempio l'inquinamento organico), ma anche l'apporto di inquinanti atmosferici (che in parte sono anche nutrienti) con le precipitazioni. Per quanto riguarda distribuzione e rarità delle specie di alghe, va tuttavia sottolineato che, in particolare in Italia, il lavoro da fare è ancora molto, poiché esistono diverse aree in cui la flora algale delle acque correnti è tuttora da esplorare o insufficientemente conosciuta. Si rischia così che alcune opinioni circa la supposta rarità e distribuzione di certi taxa siano dovute al numero limitato di informazioni disponibili.

inquinamento organico che generalmente aumentano procedendo verso valle, lungo un corso d'acqua le specie algali tendono, infatti, a mostrare una tipica distribuzione longitudinale, caratterizzata da specie prevalentemente epilittiche, tipiche di acque pulite, veloci e fredde, nella parte alta (per esempio il cianobatterio *Chamaesiphon polonicus*, le diatomee *Diatoma mesodon* e *Fragilaria arcus*, la crisofita *Hydrurus foetidus* e la rodofita *Lemanea fluviatilis*), da specie con una maggiore esigenza di sali nutritivi e in grado di sopportare variazioni di temperatura più ampie, nel tratto medio (per esempio le diatomee *Cymbella affinis* e *Cocconeis placentula*, la clorofita *Cladophora glomerata* e la xantofita *Vaucheria geminata*) e da specie tolleranti la presenza di quan-



Un lichene del genere *Verrucaria*

■ I licheni acquatici

Non tutte le patine e croste colorate dei torrenti montani sono determinate da alghe e cianobatteri, molte sono costituite da licheni acquatici. Si tratta, tuttavia, di organismi tuttora poco studiati e per i quali quindi si dispone di un numero limitato di informazioni. I licheni acquatici, come tutti i licheni, derivano dall'associazione (simbiosi) di un'alga (una clorofita o una cianofita) e di un fungo (un ascomicete). L'alga mette a disposizione i glucidi (zuccheri) che è in grado

di produrre con la fotosintesi, e il fungo a sua volta offre un ambiente protetto e provvede a un'efficiente assunzione di acqua e sali dall'esterno. Spesso, nei torrenti, si osservano coperture crostose dai margini più o meno definiti, grigie, nere, brune e verdastre, sovente con variazioni di colore nel tallo e con strutture ovoidali nerastre: i periteci, che contengono le spore del fungo. I periteci possono essere anche vistosi e assumere la forma di verruche: è a questa caratteristica che deve il proprio nome il comune genere *Verrucaria*, che colonizza sia il substrato siliceo che quello carbonatico, e sia le zone del torrente in piena corrente che quelle marginali bagnate solo dagli spruzzi.

Le condizioni di illuminazione sono un fattore ambientale molto importante nel determinare la distribuzione dei licheni acquatici. Tra le specie che tollerano condizioni di illuminazione ridotta si possono citare, a titolo di esempio, *Verrucaria hydrela* e *Porina chlorotica*. In generale, tra i licheni acquatici la capacità di tollerare il disseccamento può essere più o meno pronunciata. Alcune specie (come *Verrucaria funckii*) non sopportano nemmeno periodi piuttosto brevi di esposizione all'ambiente subaereo. Al contrario, altre sono sensibili a periodi prolungati di sommersione (per esempio *Dermatocarpon luridum*, che colonizza la zona che viene inondata solo in occasione delle piene). Questo determina frequentemente una zonazione verticale delle specie rispetto ai livelli di magra e piena, che diventa particolarmente evidente su massi che si immergono nell'acqua con grandi superfici omogenee non eccessivamente inclinate. Questa forma di distribuzione verticale si incontra spesso anche per i muschi acquatici e igrofilii e verrà discussa nel relativo paragrafo. Alcuni licheni formano associazioni tipiche con specie di muschi ed epatiche in torrentelli di media montagna, in particolare su substrato siliceo. L'analisi di queste associazioni può fornire importanti informazioni sulla qualità complessiva e sul livello di integrità di questi corsi d'acqua montani.

■ Briofite e piante superiori

I torrenti montani si distinguono per una corrente rapida, uno scorrimento turbolento, un'erosione intensa e temperature poco elevate: tutte condizioni sfavorevoli alla vita delle briofite (muschi ed epatiche) e delle piante vascolari. Lo scorrimento tumultuoso dell'acqua non permette effettivamente che una crescita limitata di muschi e piante propriamente acquatici, molti dei quali presentano tuttavia un'ampia distribuzione geografica. La velocità di corrente e la litologia del substrato - che influenza il chimismo dell'acqua (acque acide, circumneutrali o alcaline) - sono i principali fattori che determinano le comunità di piante che si possono insediare nei torrenti.

Uno sviluppo più rilevante ha invece la vegetazione delle rive e dei greti. Poiché la portata subisce marcate variazioni stagionali, si possono distinguere diversi tipi di associazioni vegetali. Nelle zone del greto del torrente che vengono sommerse frequentemente anche con modeste variazioni di livello dell'acqua, si possono sviluppare soltanto piante pioniere, capaci di crescere e fruttificare con rapidità durante i periodi di magra, prima che la successiva piena sommerga di nuovo tutta la zona. Ai margini di questa prima fascia vegetazionale, nella zona coinvolta dalle variazioni stagionali di livello (regolari, ma meno frequenti), si possono trovare anche cespugli resistenti alle inondazioni, come per esem-

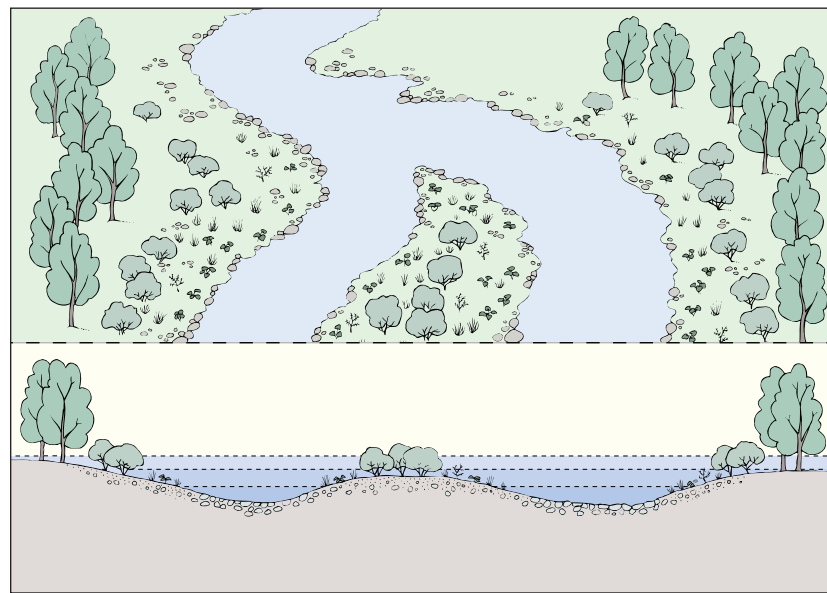


Un aspetto tipico dell'alveo di un torrente montano

pio i salici. Nelle zone, infine, che vengono inondate solo occasionalmente, cespugli e alberi costituiscono un bosco ripario.

Per sopravvivere in questi ambienti particolari e soggetti a cambiamenti notevoli nel corso di una stagione, le piante superiori si sono dovute adattare sia a inondazioni durante i periodi di portata massima, sia alla siccità durante quelli con portata minima. Nei paragrafi seguenti verrà spiegato attraverso quali meccanismi.

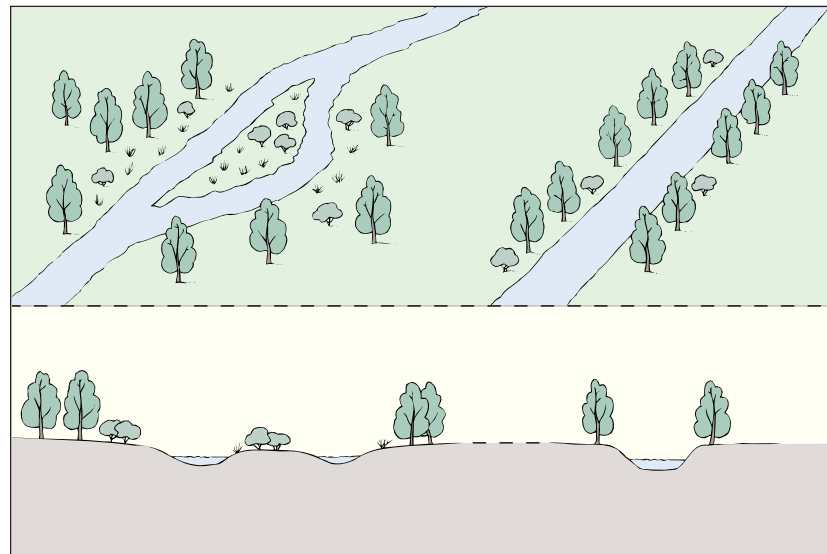
Lo spiccato dinamismo costituisce il tratto distintivo - e forse anche quello più affascinante - di questi ambienti. Il torrente, a ogni piena pronunciata, mette in movimento il greto, trasporta quantità notevoli di materiale di grosse dimensioni (fino a un terzo del volume dell'acqua!), ridisegna il corso dei canali in cui può suddividersi, sommergendo ostacoli ed esponendone di nuovi, erode le sponde e i piedi dei pendii, mentre deposita materiali grossolani nelle piane. Questo continuo ed estremo dinamismo contrasta con le esigenze di stabilità degli insediamenti e delle opere dell'uomo che, sia sulle Alpi sia sugli Appennini, insediandosi in prossimità di ambienti torrentizi, ha dovuto frequentemente affrontare le conseguenze del dissesto idrogeologico (frane, instabilità dei versanti, trasporto solido, erosione). La vegetazione che si sviluppa sui versanti all'esterno della zona inondata in occasione delle piene di maggiore entità (piena alluvionale) non presenta particolari legami con il torrente, se si eccettua forse la



In un torrente montano diversi tipi di vegetazione occupano aree più o meno frequentemente inondate.



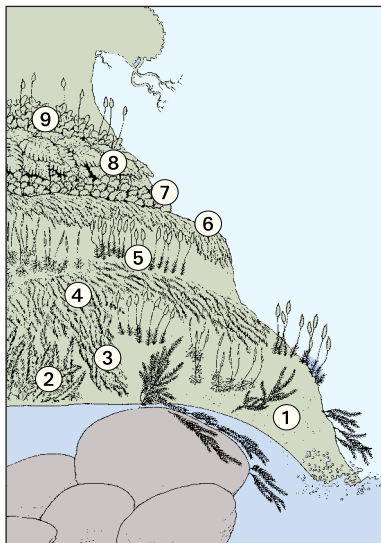
La vegetazione riparia



Confronto fra una situazione naturale e semiartificiale dell'ambiente torrentizio

presenza di specie indicatrici di umidità nel sottobosco di queste foreste. La messa a dimora su questi versanti di specie erbacee, arbustive o arboree idonee rappresenta una delle misure più valide contro i dissesti talora generati dai torrenti, ad esempio nei casi di erosione al piede del pendio.

Diversamente dalla vegetazione dei versanti, che, quando è indisturbata, dipende dalle caratteristiche climatiche locali ed è quindi zonale, la vegetazione intimamente legata ai corsi d'acqua è maggiormente svincolata dal clima e per questo presenta notevoli caratteri di uniformità nella sua struttura essenziale in tutta l'Europa centrale ed è definita azonale. Tuttavia i torrenti montani in generale sono ormai da considerarsi habitat estremamente bisognosi di tutela. Infatti, torrenti in condizioni naturali, come vengono descritti in questo capitolo, con spiccate variazioni della portata e ampie zone colonizzate da cespugli e boschi ripari, sono sempre più rari. L'intervento dell'uomo è pesante: oltre che all'inquinamento, alla rettificazione del loro corso e alla costruzione di argini artificiali, i torrenti sono sottoposti anche ad abbassamenti dell'alveo con escavazioni di sabbia e ghiaia. In questi ambienti stravolti, molte piante specializzate non sono più in grado di sopravvivere. La vegetazione riparia di un torrente montano in condizioni naturali svolge invece funzioni essenziali: offre cibo e riparo alla fauna associata a questi ambienti, contribuisce allo smaltimento dei sali nutritivi (nitrati e fosfati) che entrano nel torrente dal bacino di alimentazione, favorisce il consolidamento delle sponde. Le valli dei corsi d'acqua costituiscono an-



Briofite presenti sulle rive di un ruscello montano ombreggiato su substrato calcareo. Sott'acqua crescono briofite acquatiche come *Platyhypnidium riparoides* (1). Appena sopra il livello della portata media troviamo *Cratoneuron filicinum* (2) e *Dichodontium pellucidum* (3), seguiti da *Brachythecium rivulare* (4) e *Didymodon spadiceus* (5). *Hygrohypnum luridum* (6), *Fissidens cristatus* (7) e *Ctenidium molluscum* (8) si presentano al livello della portata massima, mentre l'epatica tallosa *Conocephalum conicum* (9) cresce nella zona che non viene inondata nemmeno in occasione delle piene.

buzione non è affatto regolare, ma dipende dalle condizioni ambientali, che sono mutevoli e possono cambiare ad ogni aumento marcato di portata. La riproduzione di queste piante vascolari acquatiche è sostanzialmente vegetativa, poiché i semi non sono in grado di germogliare nell'acqua corrente. In questi casi la colonizzazione avviene per frammentazione, tramite parti di pianta in grado di generare un nuovo individuo trasportate dalla corrente.

Le briofite (muschi ed epatiche), invece, dipendono dall'acqua per la riproduzione. I muschi non si riproducono per mezzo di fiori e semi, ma a partire da una struttura filamentosa esile e verde, il protonema, che si forma quando le spore germinano e sulla quale si differenziano i gameti maschili e femminili. Quelli maschili hanno bisogno di acqua, anche solo di una goccia di pioggia o di rugiada, per raggiungere e fecondare quelli femminili, dai quali si sviluppa una nuova briofita.

A differenza delle piante vascolari, inoltre, le briofite non sono in grado di rego-

che significativi canali di diffusione per piante originarie di altri piani vegetazionali o di altre aree floristiche. Questo è possibile grazie a vari fattori: la capacità dell'acqua corrente di trasportare non solo semi e propaguli vegetativi, ma anche intere piante o loro frammenti; la ridotta pressione competitiva caratteristica degli accumuli alluvionali e delle zone temporaneamente inondate; la formazione di nuovo terreno quando il torrente è in piena; un efficace apporto d'acqua e nutrienti, che consentono il rapido sviluppo di piante anche molto esigenti; la capacità di animali che vivono in prossimità del torrente di trasportare semi (fondamentale per la colonizzazione delle zone a monte).

La flora acquatica. Non esistono piante vascolari adattate esclusivamente alla vita nelle acque correnti. Alcune specie proprie delle acque stagnanti sono in grado di svilupparsi anche in torrenti e ruscelli, solo però nelle zone in cui l'acqua è più calma. La loro distri-

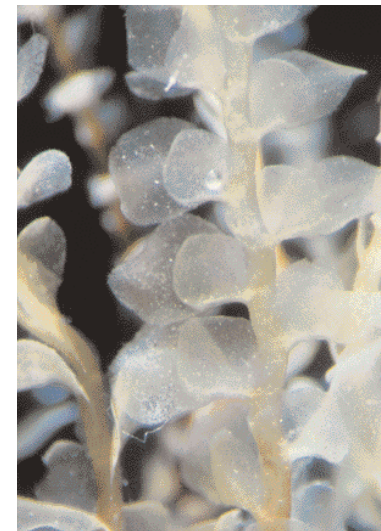
lare attivamente i processi di traspirazione, e per questo in generale occupano ambienti più o meno umidi, anche se evitano a loro volta situazioni torrenziali tipiche, con forte velocità di corrente, e prediligono acque tranquille (sorgenti), dove costituiscono estesi cuscinetti e tappeti, sommersi oppure emersi. Il gruppo delle briofite si colloca dal punto di vista sistematico in posizione intermedia tra alghe e piante vascolari (pteridofite e piante superiori), e comprende le epatiche e i muschi.

Le epatiche - il gruppo più primitivo - possono presentarsi in forma tallosa con struttura lobosa, e in forma fogliosa, che implica una suddivisione tra fusti e foglie senza nervatura, come in *Scapania undulata*. La loro morfologia

gracile fa sì che spesso le epatiche acquatiche vengano danneggiate dai moti turbolenti dell'acqua o dai materiali da essa trasportati. La struttura dei muschi è già più complessa rispetto a quella delle epatiche e, con una netta differenziazione tra foglie e fusti, ricorda quella delle piante vascolari. L'acqua corrente, però, impone anche ai muschi acquatici notevole flessibilità e resistenza alla trazione. Un ancoraggio efficace può essere fondamentale per la sopravvivenza. Alcune specie (per esempio *Fontinalis antipyretica*) sono malgrado tutto capaci di fissarsi sui ciottoli con rizoidi primitivi e possono formarvi tappeti anche densi. Spesso la disposizione delle foglie dei muschi acquatici è molto fitta e in vari casi unilaterale. I fusti e i rami sono allungati, le punte delle foglie sono ridotte e la nervatura rinforzata. I muschi sono molto sensibili al disseccamento, non ci sono però numerose briofite che si sviluppano direttamente nell'acqua: la maggioranza preferisce zone bagnate solo in parte o sommerse solo periodicamente.

Le briofite si sono adattate anche alle basse temperature tipiche dei torrenti montani. Per la fotosintesi hanno infatti bisogno dell'anidride carbonica libera, che è disciolta in quantità maggiori in acque fredde. Studi recenti hanno evidenziato che il tasso fotosintetico di muschi adattati a sorgenti fredde diminuisce con l'aumento della temperatura dell'acqua.

Come anche per altri organismi, il tipo di substrato svolge un ruolo fondamentale nel condizionare la presenza di numerose specie all'interno del torrente. Così, il genere *Cratoneuron* si trova unicamente su substrati calcarei, mentre



L'epatica *Scapania undulata*



I muschi possono coprire gran parte dei massi presenti lungo le rive dei torrenti

Scapania undulata predilige corsi d'acqua su substrato siliceo. Anche tra le briofite esistono peraltro specie indifferenti, come *Brachythecium rivulare*.

Le cenosi di muschi acquatici sembrano presentarsi in maniera abbastanza omogenea sia in Italia che in Europa centrale. In Italia, per esempio, sono state descritte sia per le Alpi che per l'Appennino cenosi a *Platyhypnidium riparioides* (che aderisce alle pietre formando cespi talvolta abbastanza grossi), con le specie compagne *Fontinalis antipyretica* e *Brachythecium rivulare*. Il grado di copertura può variare notevolmente in relazione alle caratteristiche ambientali delle singole stazioni (in particolare la velocità di corrente).

Vegetazione pioniera delle rive e dei greti. Dove le rive e le sponde dei torrenti sono così basse da essere inondate frequentemente, anche in caso di variazioni di livello minime (e in questo modo vengono arricchite di sostanze nutritive), crescono comunità con piante erbacee annuali, come diverse specie di poligoni (*Polygonum* spp.).

Durante i periodi di magra, quando il livello dell'acqua decresce, in condizioni naturali presto si possono osservare delle piante erbacee colonizzare i greti dei torrenti. Questa vegetazione pioniera assume una caratteristica distribuzione a mosaico, corrispondente alla distribuzione delle diverse frazioni di ghiaia e sabbia depositate dall'acqua durante le piene, a seconda delle differenti velocità di corrente.

Nei torrenti si possono rinvenire anche specie orofile, come la gipsifila strisciante (*Gypsophila repens*), la linaria alpina (*Linaria alpina*) e il garofanino di

Dodonaeus (*Epilobium dodonaei*). Si tratta di piante - definite in tedesco Alpengschwemmlinge - tipiche dei detriti ghiaiosi alpini e subalpini, i cui semi sono fluitati fino al piano altitudinale montano dove, nelle zone alluvionali, trovano condizioni adeguate al loro sviluppo. Come in alta quota, devono crescere, fiorire e fruttificare velocemente. Una produzione di semi rapida ed elevata garantisce infatti una ricolonizzazione efficace, dopo un eventuale aumento del livello dell'acqua. A causa, per esempio, di un temporale violento, il livello dell'acqua nel torrente può alzarsi, sommergendo le piante che vengono così trascinate dalla corrente; dai loro semi può però avere inizio un nuovo ciclo vitale.

In questo ambiente le piante erbacee devono tollerare non solo i periodi di sommersione, ma anche quelli di siccità. A questo scopo, seguono il livello della falda acquifera con le radici, oppure riducono la loro traspirazione con la struttura xeromorfa delle foglie e una morfologia simile a quella degli arbusti nani. È questo il caso del camedrio alpino (*Dryas octopetala*), che forma bassi cuscinetti con fusti legnosi striscianti. Le sue foglie coriacee ricordano le foglie delle querce: sono oblungho-ellittiche, dentellate e lunghe fino a 3 cm, con una lanugine bianca sulla pagina inferiore. Produce fiori solitari a forma di coppa, rivolti verso l'alto, di colore bianco-panna e larghi fino a 4 cm, con stami gialli; seguono frutti piumosi e argentei altrettanto piacevoli, presenti tutta l'estate. La vegetazione pioniera si alterna a macchie di vegetazione più fit-



Linaria alpina (*Linaria alpina*)



Garofanino di Dodonaeus (*Epilobium dodonaei*)



Camedrio alpino (*Dryas octopetala*)

ta, costituita da distese di praterie di tipo steppico con graminacee, come la canna spondicola (*Calamagrostis pseudophragmites*, caratteristica del *Calamagrostietum pseudophragmitis*, un'associazione che si sviluppa prevalentemente nella parte sud-orientale dell'Europa centrale). Il suo culmo eretto e foglioso fino alla sua sommità può raggiungere un metro e mezzo di altezza. Con le sue propaggini sotterranee riesce a colonizzare velocemente nuove aree sabbiose, anche dopo essere stata sommersa, ed è in grado di riaffiorare alla superficie anche se viene ricoperta da ghiaia e sabbia.

Nella piana alluvionale del torrente si vengono quindi sorprendentemente a incontrare specie provenienti da altri ambienti, e ciò determina un tipo di vegetazione del tutto particolare.

Zona interessata dalle variazioni stagionali di livello. Nelle zone coinvolte dalle variazioni di livello stagionali, che vengono inondate con minore frequenza, si insediano già i primi cespuglieti. I semi di salici e di altri cespugli possono germogliare e le piante possono svilupparsi fino a una certa altezza prima che la piena successiva inondi nuovamente la zona.

Diverse specie di salici si sono adattate perfettamente alle condizioni ambientali proprie del torrente. Durante i periodi di sommersione, un ancoraggio efficace tramite un esteso sistema di radici, la forma lanceolata delle foglie e l'estrema flessibilità dei rami e dei fusti consentono alla pianta di sopravvivere alla forza della corrente assecondandola. Inondazioni frequenti, che implicano quasi sempre un accumulo di detriti, presuppongono anche una capacità enorme di rigenerazione: con lo sviluppo di forti ricacci dal colletto e di radici avventizie, questi salici riprendono velocemente a crescere.

Un'altra modalità di adattamento è la capacità di evitare i danni causati da una carenza di ossigeno a livello dell'apparato radicale, quando nel terreno inondato si hanno condizioni anaerobie. Un eventuale accumulo di etanolo - un prodotto tossico della respirazione anaerobia - viene evitato in diversi modi. Numerose lenticelle nella parte inferiore del tronco facilitano la diffusione sia dell'ossigeno verso le radici, sia dell'etanolo verso l'esterno del fusto. Molte specie di salici sono anche in grado di produrre metaboliti non tossici, come piruvato e acido glicolico.

I torrenti della fascia collinare e montana delle Alpi e dell'Appennino settentrionale sono regolarmente costeggiati da saliceti puri o misti, nei quali le specie dominanti sono il salice rosso (*Salix purpurea*) e il salice ripario (*Salix elaeagnos*). Nelle forre umide e fresche dell'Appennino subentra anche il salice dell'Appennino (*Salix apennina*). Terreni sabbiosi e limosi, soggetti a periodiche inondazioni, sono caratterizzati, oltre che dal salice rosso, anche dalla presenza della tamerice alpina (*Myricaria germanica*).

Il salice rosso si presenta come un arbusto espanso, riconoscibile per i suoi ra-

mi sottili, flessibili e spesso sfumati di rosso. Le foglie di forma oblunga possono raggiungere gli 8 cm, sono seghettate per lo più solo nella metà apicale, di un colore da verde scuro a verde-azzurro. Gli esili amenti compaiono a inizio e metà primavera prima delle foglie; quelli maschili hanno antere porpora, poi gialle.

La tamerice alpina ha un portamento elegante, con una fronda leggera glaucescente, fiori rosa pallido e semi caratterizzati da ciuffetti di peli stipitati. È sensibile alla siccità e viene sostituita nei letti ghiaiosi dei tratti superiori dei torrenti montani - caratterizzati da una forte oscillazione del livello della falda acquifera, con conseguente aridità estiva - dai salici ripari. Questi ultimi si presentano come arbusti folti, a portamento eretto, con getti esili di colore grigio vellutato. Le loro foglie sono lunghe fino a 20 cm, lineari e intere, di colore verde scuro, grigie nella fase giovanile e tomentose sulla lamina inferiore; i loro bordi sono paralleli e revoluti, l'apice è acuto. In primavera, insieme alle foglie, compaiono amenti verdi,

esili, lunghi 3-6 cm; quelli maschili hanno antere gialle. A queste specie si associano, a seconda delle diverse condizioni climatiche, geomorfologiche e pedologiche, elementi più termofili, come il salice da ceste (*Salix triandra*), o continentali, come il salice di monte (*Salix myrsinifolia*), o più spiccatamente montani, come il salice barbuto (*Salix daphnoides*; associazione: *Salicetum elaeagno-daphnoidis*, una delle comunità vegetali più tipiche delle vallate alpine e quindi una delle prime a essere state descritte).

Le piante devono essere anche in grado di superare la siccità durante i periodi in cui la portata è minima e, a questo scopo, seguono con le loro radici le acque freatiche. In particolare, l'olivello spinoso (*Hippophae rhamnoides*) può ridurre la traspirazione con la struttura xeromorfa delle sue foglie. Questo arbusto ha getti spinosi portanti foglie lineari, di colore grigio-verde e lunghe fino a 6 cm, con squame da argento a bronzo su entrambe le pagine. In primavera



Salice rosso (*Salix purpurea*)



Tamerice alpina (*Myricaria germanica*)

I salici, con circa 300 specie, preferiscono gli spazi aperti delle regioni temperate settentrionali, ma sono presenti in tutto il mondo, tranne che in Australia. A causa della loro rusticità e della loro resistenza al freddo, crescono anche in alta quota e in zone boreali, dove si presentano come arbusti nani, mentre nelle zone con clima più mite predominano arbusti e alberi. Un notevole numero di specie cresce sui terreni alluvionali fluviali e su terreni scoperti. Per la loro rapidità nella crescita e la capacità di sviluppare forti ricacci dal colletto, diverse specie oggi vengono frequentemente impiegate per stabilizzare le rive di torrenti e di fiumi, o zone soggette a un'elevata erosione, come spesso si trovano in alta montagna.

Mentre le foglie dei salici che popolano ambienti meno umidi sono più o meno ovate, quelle dei salici che colonizzano le rive dei torrenti e dei fiumi sono più lanceolate. Questa forma delle foglie e l'enorme flessibilità dei rami e dei fusti garantiscono una minore opposizione alla corrente in caso di inondazione, abbassando così il rischio che la pianta venga spezzata o sradicata. È appunto per la loro estrema flessibilità che i rami del salice da ceste (*Salix triandra*) e del salice rosso (*Salix purpurea*) sono stati usati in passato per la produzione di vimini.

Nel tardo inverno compaiono, prima delle foglie o contemporaneamente, i piccoli fiori. Non hanno petali e sono portati in amenti femminili e maschili, sempre su piante diverse. Quelli maschili sono di solito più decorativi e il loro polline viene diffuso dal vento. Tra i salici si trovano anche specie mellifere particolarmente importanti, perché forniscono nettare all'inizio della primavera, quando scarseggiano ancora altri fiori. Dai fiori femminili maturano in una capsula piccoli semi quasi privi di riserve. Anche essi vengono diffusi dal vento. Sono permeabili e germinano con estrema rapidità, in condizioni climatiche e stagionali favorevoli, fin dal primo giorno.

Questo fatto, mentre facilita la colonizzazione delle aree scoperte con falda freatica superficiale, risulta però fatale quando il seme cade in zone ombreggiate o su terreni insufficientemente umidi, poiché le plantule muoiono quasi subito.

Le colture di salice hanno avuto in passato una discreta importanza nell'economia agricola, soprattutto nella pianura padana,



Salice ripario (*Salix elaeagnos*)



Salice ripario (*Salix elaeagnos*)

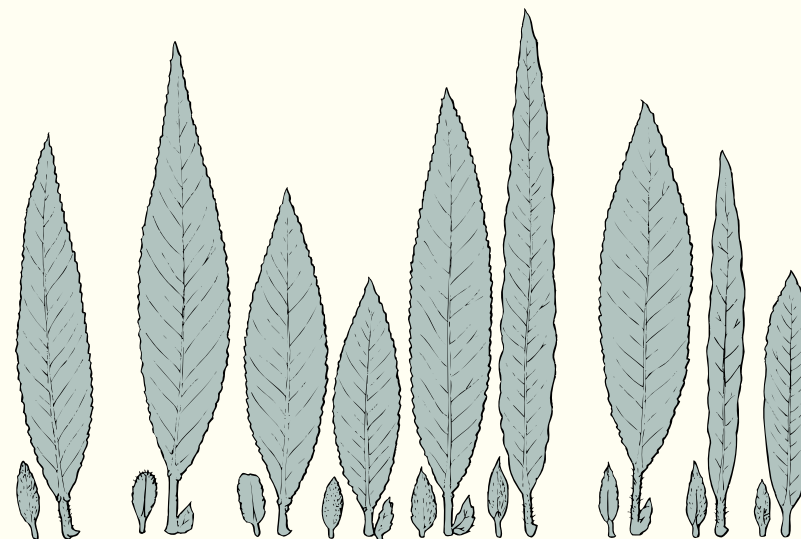


Salice rosso (*Salix purpurea*)

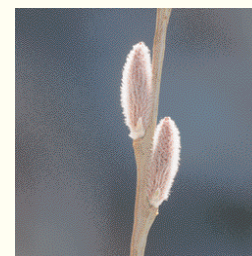
dove varie specie venivano coltivate per ricavarne il combustibile necessario ai forni da pane e per altri usi, come nella produzione artigianale di oggetti in vimini, in carpenteria, nella fabbricazione di utensili, ecc. I vimini non erano infatti utilizzati per realizzare esclusivamente semplici ceste e panieri, ma anche altri prodotti, come nasse da pesca, sostegni

per le viti o altre piante legnose coltivate a spalliera, legacci per i tetti di paglia degli edifici rurali e per imballaggi.

Va ricordato in particolare l'uso farmaceutico della salicina, un glucoside dalla potente azione febbrifuga, presente soprattutto nella corteccia di quasi tutte le specie di salice, da cui un tempo si estraeva l'acido salicilico.



Adattamenti morfologici delle foglie di varie specie di salice alla corrente. Da sinistra a destra: salice comune (*Salix alba*), salice fragile (*Salix fragilis*), salice odoroso (*Salix pentandra*), salici da ceste (*Salix triandra discolor* e *Salix triandra triandra*), salice da vimini (*Salix viminalis*), salice barbuto (*Salix daphnoides*), salice ripario (*Salix elaeagnos*), salice rosso (*Salix purpurea*)



Salice rosso (*Salix purpurea*)



Salice comune (*Salix alba*)



Salice comune (*Salix alba*)

produce minuscoli fiori giallo-verdi, in racemi lunghi fino a 2 cm. Sulle piante femminili, i fiori sono seguiti da frutti sferici, larghi fino a 8 mm, di un bel colore arancione vivace, con un alto contenuto di vitamina C e persistenti fino alla primavera successiva. L'olivello spinoso popola i terrazzamenti silicei, situati sopra il livello delle piene, ed è particolarmente rigoglioso nei fondivalle esposti a Sud.

Zone inondate solo in occasione delle piene. Lungo i torrenti montani delle Alpi, agli aggruppamenti a cespugli succede l'ontano grigio (*Alnus incana*; associazione: *Alnetum incanae*, particolarmente sviluppata nelle vallate di gruppi montuosi con elevazioni notevoli e capace di dominare anche in luoghi dove si è accumulato pochissimo humus), sostituito dall'ontano nero (*Alnus glutinosa*) nelle zone con inverni più miti. I saliceti e l'olivello spinoso hanno preparato il suolo, con un accumulo graduale di sabbia e ghiaia, che rende possibile la crescita di questi alberi. Gli ontani si sono adattati sia alle piene occasionali, sia alla mancanza di aria nei terreni umidi. Grazie a lenticelle poste alla base del tronco, viene garantito il rifornimento di aria alle radici superficiali sommerse. Inoltre, sulle radici sono presenti dei tubercoli che contengono batteri in simbiosi con la pianta e in grado di fissare l'azoto dell'aria, compensando in questo modo la carenza di azoto del terreno.

Negli ambienti torrentizi, talvolta una combinazione di determinate condizioni decide quale specie riesce a colonizzare la zona dopo una piena. I semi degli ontani maturano infatti in estate, un periodo durante il quale le portate dei torrenti diminuiscono, consentendo così la crescita di questi alberi. I semi del salice comune (l'associazione *Salicetum albae* è la comunità vegetale delle piane alluvionali, che fiancheggia i principali fiumi della Pianura Padana e dell'Italia centrale) e del salice fragile (*Salix fragilis*), invece, maturano in giugno, quando la portata dei torrenti montani è massima e non si sono ancora costituite aree adatte per la colonizzazione. Inoltre, la durata della capacità di germinare di questi semi è limitata a pochi giorni, così che non sopportano il trasporto con l'acqua. Essi trovano quindi più facilmente condizioni favorevoli al loro sviluppo lungo il tratto



Salice comune (*Salix alba*)

In Italia sono presenti spontaneamente 4 specie di ontano: l'ontano grigio (*Alnus incana*), diffuso sui terreni alluvionali del centro-nord; l'ontano nero (*Alnus glutinosa*, vedi foto), diffuso lungo i fiumi e i ruscelli e nei boschi paludosi; l'ontano verde (*Alnus viridis*), tipico dei pendii alpini, dove la neve si sofferma più a lungo e le valanghe sono frequenti; l'ontano napoletano (*Alnus cordata*), frequente nei boschi montani delle regioni meridionali.

Forse a causa della preferenza degli ontani per terreni molto umidi, numerosi botanici ritengono che il termine latino *Alnus* derivi dal celtico "al lan", che significherebbe "stare presso le rive". Poiché il legno dell'ontano nero tende ad indurirsi quando rimane a lungo sommerso in acqua, era quello un tempo più utilizzato nella costruzione delle palafitte. Per la proprietà del suo legno di divenire, appena tagliato, d'un rosso arancione molto vivo, l'ontano si è caricato inoltre di un profondo significato simbolico: era considerato l'albero della vita dopo la morte.

Alto fino a 30 e più metri, a portamento rotondeggiante o piramidale, l'ontano nero è un albero robusto che si lascia facilmente riconoscere per le foglie.

La foglia è largamente ovata e spesso rotondeggiante, irregolarmente seghettata ai margini e, questo è un carattere ben evidente, sprovvista di una vera punta, o, più spesso, smarginata e rientrante all'apice. La pagina superiore è di un verde scuro e lucido, quella inferiore è di un verde più chiaro, un po' opaco, e provvista di ciuffi di peli rossastri in corrispondenza della biforcazione delle principali nervature.

L'ontano grigio, alto fino a 10-15 metri, si riconosce per la sua corteccia di colore grigio-scuro. Le sue foglie sono ovate, lunghe fino a 10 cm e larghe 5, con una dentellatura doppia lungo il margine e con un apice appuntito. La



pagina superiore è di colore verde scuro, quella inferiore grigia e pelosa.

I fiori degli ontani si presentano in amenti separati sulla stessa pianta alla fine dell'inverno e all'inizio della primavera, prima della fogliazione. Quelli maschili, lunghi 10 cm, sono raggruppati in ciuffi di amenti penduli agli apici dei rami. Il polline viene diffuso dal vento. I fiori femminili, separati sulla stessa pianta, si riuniscono in amenti ovoidali e lunghi 1-2 cm. Da questi ultimi si sviluppano durante l'estate i frutti legnosi di colore marrone scuro e lunghi 2 cm. Queste "false pignette" legnose sono generalmente presenti sui rami durante tutto l'anno.

I loro semi sono provvisti di una struttura speciale, piena d'aria, che consente loro di diffondersi molto efficacemente con l'acqua corrente, mentre con il vento riescono a raggiungere una distanza non superiore a 30-50 metri e mantengono la capacità di germinare anche per 12 mesi. Essendo piante pioniere, gli ontani crescono velocemente nella fase giovanile, ma raramente superano i 100-120 anni di vita.

Il legno da esso ricavato, per la sua proprietà già ricordata di indurirsi in acqua, è tutt'oggi ricercato per lavori idraulici. È invece sensibile all'esposizione all'aria e trova modesto impiego sia come combustibile che come materiale da tornio o da falegnameria. La corteccia, ricca di tannino, si usava con successo nella concia delle pelli.



L'associazione a farfaracci (*Petasites* spp.)

inferiore dei corsi d'acqua, su terreni sabbiosi e limosi dove formano fitti boschi ripari. Anche le basse temperature invernali svolgono probabilmente un ruolo selettivo fondamentale.

Nell'ombroso sottobosco degli ontaneti, le piante pioniere e i salici propri delle zone più vicine al torrente - preferendo un ambiente ben illuminato - non sono più in grado di crescere. I suoli di questi habitat, pur essendo ancora a uno stadio evolutivo iniziale, vengono arricchiti di sostanze nutritive ad ogni inondazione. Così, al margine degli ontaneti e nelle radure, sono frequenti i consorzi di erbe alte o megaforbie (termini derivati rispettivamente dal tedesco Hochstauden e dal francese megaphorbiées), come per esempio la girardina silvestre (*Aegopodium podagraria*) e la scrofularia nodosa (*Scrophularia nodosa*). In genere si tratta di piante nitrofile, igrofile, a rapido accrescimento, alte oltre un metro. Tra la flora del sottobosco va menzionata la felce penna di struzzo (*Matteuccia struthiopteris*), con altezze fino ad un metro e mezzo. Spesso si possono anche incontrare i farfaracci (*Petasites* spp.), i cui fitti steli portano in primavera i fiori maschili e femminili in capolini purpurei o bianchi su piante diverse. Solo dopo la fioritura si sviluppano le foglie basali, cuoriformi o reniformi, con un diametro fino a 60 cm, che costituiscono fitte cenosi erbacee.

Nelle zone poco influenzate dalle inondazioni, agli ontani si affiancano alberi tipici dei boschi ripari delle zone collinari, come il frassino comune (*Fraxinus excelsior*), il pioppo bianco (*Populus alba*) e il pioppo nero (*Populus nigra*).

Il frassino comune è caratterizzato da foglie pennate, lunghe fino a 30 cm, con 9-13 foglioline oblunghie ovate, lunghe fino a 10 cm e larghe 3. I fiori sono esili,

viola, senza petali e sbocciano in primavera, prima delle foglie, da gemme quasi nere. I frutti alati e penduli, prima verdastri, poi marrone pallido, maturano in densi grappoli.

I pioppi appartengono alla famiglia delle salicacee. Come i fiori dei salici, anche quelli dei pioppi si presentano in amenti maschili e femminili penduli e lunghi fino a 5 cm (quelli del pioppo nero) o fino a 10 cm (quelli del pioppo bianco). I semi, però, sono più vistosi: le capsule piccole e verdi si aprono per rilasciare i semi coperti di una peluria bianca simile a cotone grezzo, che contribuisce a un'efficace diffusione col vento. Le foglie del pioppo nero sono triangolari od ovate, lunghe e larghe fino a 10 cm, con la pagina superiore lucida e quella inferiore opaca. Le foglie del pioppo bianco, invece, sono simili a quelle dell'acero, con 2-5 lobi, possono essere lunghe fino a 10 cm e larghe fino a 7 cm. Quando sono mature hanno la superficie superiore liscia, mentre una peluria fitta, bianca, ricopre la pagina inferiore.

Lungo i torrenti alpini si può sviluppare ancora un altro tipo di bosco ripario, con presenza di pino silvestre (*Pinus sylvestris*). Insieme ai salici, queste conifere colonizzano alluvioni torrentizie calcaree, soggette a sommersioni solamente in anni eccezionali, per la durata di 1-2 giorni. Il pino silvestre, infatti, pur avendo un'ampia valenza ecologica (cresce sia nelle torbiere, sia su terreni aridi come i pendii rocciosi, sia sui detriti alluvionali torrentizi), non tollera inondazioni che durino più di alcuni giorni.



Pioppo nero (*Populus nigra*)



Pioppo nero (*Populus nigra*)



Felce penna di struzzo (*Matteuccia struthiopteris*)



La fauna ad invertebrati

BRUNO MAIOLINI · VALERIA LENCIONI

57

Per definizione, gli invertebrati bentonici sono i piccoli animali che vivono, almeno in una fase della loro vita, a contatto con il substrato. Quelli di maggiori dimensioni (che superano cioè il millimetro di lunghezza) prendono il nome di "macroinvertebrati": tra questi, gli insetti rappresentano sicuramente la componente più importante. Nei torrenti montani prevalgono gli ordini dei ditteri, efemerotteri, plecoteri e tricoteri.

Gli invertebrati dei torrenti montani si trovano a dover affrontare e superare nel corso della loro vita due principali ostacoli, la velocità della corrente ed il freddo, che, in condizioni estreme, possono divenire proibitivi per la vita. Questi ostacoli vengono superati grazie a straordinari adattamenti.

Per quanto riguarda la corrente, si va dall'appiattimento dorso-ventrale del corpo (come negli efemerotteri eptageniidi) alle potenti ventose dei ditteri blefari- ceridi, alle corone di uncini dei ditteri simuliidi. La corrente non è però solo qualcosa contro cui lottare, ma rappresenta anche un continuo flusso di cibo da monte verso valle ed è un ottimo mezzo di dispersione.

Ben più problematico è stato invece sviluppare, nel corso dell'evoluzione, una serie di adattamenti per resistere al freddo. La temperatura è infatti considerata da molti autori come il fattore che più influenza l'ecologia, la distribuzione e l'evoluzione degli invertebrati sia acquatici che terrestri (deposizione e schiusa delle uova, tasso di crescita, accoppiamento, strategia riproduttiva, modelli di attività, regime alimentare, ecc.). Gli invertebrati che vivono ad elevate latitudini ed altitudini hanno adottato varie strategie per superare il lungo e rigido inverno. La presenza della copertura nevosa e/o di ghiaccio, la siccità, il forte vento, le rigide temperature e la scarsità di cibo sono i nemici più temibili. Gli invertebrati che vivono nei torrenti possono sfruttare la corrente per trasferirsi più a valle e quindi sfuggire al pericolo di congelamento o essiccamento, oppure trovare rifugio nelle acque sotterranee. Ma numerosi sono i casi in cui questi organismi superano l'inverno senza spostarsi: la capacità di questi invertebrati, in particolare degli insetti, di sopravvivere in ambienti così severi deriva da una serie di adattamenti fisiologici, biochimici, morfologici, comportamentali ed ecologici: possiamo ricordare la produzione di melanina, la riduzione delle dimensioni, lo sviluppo di fitta peluria, la nutrizione e l'accoppiamento a terra anziché in volo (a cui si associa la riduzione o scomparsa delle ali), la costruzione di bozzoli, la quiescenza, la diapausa e la resistenza al freddo.

Ninfa di plecoterio



Il freddo è una sfida che gli invertebrati dei torrenti montani devono affrontare

La quiescenza è una risposta diretta e temporanea a condizioni sfavorevoli che viene sospesa non appena si ha il ripristino della situazione favorevole, mentre la diapausa è una risposta diretta a condizioni sfavorevoli che, una volta iniziata, non può più essere sospesa fino a quando non sia trascorso un certo periodo. Negli insetti acquatici la diapausa riguarda le uova o le larve mature, più difficilmente le pupe e quasi mai l'adulto. La lunghezza del giorno (fotoperiodo) è uno dei fattori che controllano la transizione da uno stato fisiologico all'altro. In ambiente artico è stato osservato anche il fenomeno della diapausa prolungata, ovvero la possibilità di prolungare anche per molti anni la fase di inattività finché le condizioni ambientali non diventano effettivamente favorevoli (il ciclo vitale di alcuni ditteri della famiglia dei chironomidi può durare fino a 6-7 anni). La resistenza al freddo, ovvero la capacità di sopravvivere esposti a temperature al di sotto dello zero per un periodo prolungato (anche diversi mesi a $-40/-50^{\circ}\text{C}$) senza subire alcun danno, si può ottenere attraverso due strategie: l'ibernazione e il super-raffreddamento. L'ibernazione prevede il congelamento dell'emolinfa e di tutti i liquidi extracellulari, ma non della matrice cellulare. La temperatura alla quale i cristalli iniziano a formarsi e la durata del processo di congelamento sono sotto il controllo di alcune sostanze chimiche, quali polioli, zuccheri, amminoacidi e proteine complesse ad alto peso molecolare chiamate THPs (Thermal Hysteris Proteins). Queste sostanze, nel loro complesso, abbassano il punto di congelamento dei fluidi corporei aumentandone la densità



La corrente: un ostacolo per gli invertebrati ma anche un efficace mezzo di dispersione

e, formando legami con le molecole d'acqua, riducono la possibilità di formazione dei cristalli di ghiaccio.

Il "risveglio" primaverile è in genere un processo molto veloce e le stesse sostanze che hanno permesso l'ibernazione rappresentano una fonte di amminoacidi e carbonio alla fine del disgelo, quando nell'ambiente le risorse di cibo possono essere ancora scarse. Per gli insetti ibernanti la morte sopraggiunge quando l'esposizione a molti gradi sotto lo zero ($-30/-50^{\circ}\text{C}$) si protrae per molti mesi consecutivi o se vengono esposti a temperature ancora più basse ($-60/-80^{\circ}\text{C}$) anche per brevissimi periodi o ancora se si dovessero verificare più cicli consecutivi di gelo e disgelo.

Il super-raffreddamento, più comune tra gli insetti acquatici, consente la sopravvivenza in ambienti in cui la temperatura scende al di sotto dello zero (al massimo -20°C) per periodi lunghi, mantenendo invece tutti i fluidi corporei allo stato liquido. In questi insetti il punto di congelamento viene spostato da $-5/-10^{\circ}\text{C}$ (come è per la maggior parte degli insetti) a $-20/-25^{\circ}\text{C}$ grazie all'accumulo nei fluidi corporei di anticongelanti della stessa natura di quelli accumulati dalle forme ibernanti e all'eliminazione o riduzione delle sostanze che possono agire come nucleatori di ghiaccio. Tra gli anticongelanti viene accumulato frequentemente il glicerolo, che in alcuni insetti può raggiungere una concentrazione pari al 10-14% del peso fresco dell'animale.

Tricladi. I tricladi (o planarie) si rinvenivano frequentemente nelle acque fresche e ben ossigenate di torrenti montani, soprattutto in quelli di origine sorgentizia e di piccole dimensioni, della cui fauna costituiscono un elemento caratterizzante.

Questi piccoli animali sono facilmente identificabili per il corpo fortemente appiattito e allungato con il quale aderiscono tenacemente al substrato anche in condizioni di elevata velocità di corrente. Predano piccoli invertebrati quali larve di insetti, crostacei, gasteropodi e anellidi, ma possono nutrirsi anche di animali già morti. Nell'alto corso dei torrenti montani la specie più frequente è *Crenobia alpina*, ben adattata alla corrente veloce e alle basse temperature, sostituita più in basso da *Dugesia gonocephala* e *Polycelis felina*. Benché in Italia siano note meno di 20 specie, per lo più di acque lente o stagnanti, la loro presenza nei torrenti può essere rilevante per la consistenza delle popolazioni e per l'influenza sulla comunità macrobentonica in quanto predatrici specializzate.



Planaria

Molluschi. La classe dei molluschi è poco rappresentata nei torrenti montani in quanto la maggior parte delle specie d'acqua dolce predilige ambienti di acque ferme o a debole scorrimento, sia per la difficoltà di reperire fonti alimentari adatte che per la loro scarsa mobilità. Fanno eccezione poche specie e tra

*Ancylus fluviatilis*

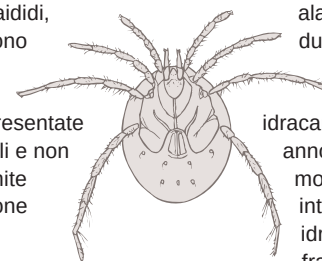
queste il polmonato *Ancylus fluviatilis*. Nei tratti medio-bassi dei torrenti sono presenti anche specie del genere *Pisidium*, piccoli bivalvi che vivono nei substrati sabbiosi e ciottolosi.

Oligocheti. Gli oligocheti colonizzano svariati ambienti d'acqua dolce e nei torrenti si trovano in diversi microhabitat: fondi sabbiosi o melmosi, substrati duri a ciottoli e ghiaia, zone di accumulo di detrito organico, vegetazione sommersa, ecc. Gli oligocheti di più piccole dimensioni (per esempio alcuni naididi) possono anche colonizzare l'ambiente interstiziale. Dove c'è vegetazione sommersa si trovano frequentemente i naididi, che strisciano sul fondo e nuotano anche liberamente nell'acqua tra le piante acquatiche. I naididi sono per lo più detritivori o erbivori, ma non

mancano le specie carnivore. Nei sedimenti fini si trovano in genere tubificidi e lumbriculidi, che si nutrono dei batteri associati al sedimento stesso, come i lombrichi terrestri. I tubificidi possono essere anche molto abbondanti nei sedimenti ricchi di detrito organico ed in genere sono le forme dominanti a profondità superiore al metro. Dove la granulometria è grossolana, la corrente è veloce e il tenore di ossigeno elevato, si possono trovare anche gli enchitreidi, in grado di colonizzare anche gli ambienti terrestri. Tra gli oligocheti che popolano le acque correnti, solo naididi, lumbriculidi e tubificidi sono famiglie strettamente acquatiche e le prime due sono le meglio rappresentate nei tratti di torrenti glaciali e non glaciali al di sopra del limite superiore della vegetazione arborea.

Irudinei. Gli irudinei, più noti come sanguisughe, contano specie per lo più dulciacquicole, sia di acque correnti che ferme. L'adesione al substrato e il movimento avvengono tramite ventose per cui necessitano di ambienti con substrati duri quali massi, sassi, ciottoli. Il tratto torrentizio dei fiumi è quindi un ambiente ottimale per le specie di acqua corrente, limitate verso l'alto dalla temperatura (non si riproducono con temperature dell'acqua inferiori a 10-11 °C) e verso il basso dall'aumento di tratti sabbiosi o limosi. Poche sono le specie che si rinvenivano nei tratti intermedi, in particolare *Erpobdella testacea*, *E. octoculata* e *Dina lineata*, predatrici di altri invertebrati bentonici e capaci di resistere a condizioni di moderato inquinamento organico; altre specie (*Dina krasensis*, *Trocheta bykowski*) possono spingersi nei tratti sorgentizi, ma a quote modeste. Tali specie possono tuttavia essere numericamente rilevanti.

Acari. Gli acari (vedi disegno) sono aracnidi lunghi pochi mm; sono molto abbondanti nella fauna del suolo, in particolare nella lettiera, dove mostrano uno straordinario esempio di radiazione adattativa, con decine di migliaia di specie note. Solo poche famiglie si sono adattate a vivere nelle acque dolci (idracari). Un gruppo di famiglie, note complessivamente come idracnelle, contano svariate migliaia di specie nelle acque dolci; anche una famiglia prevalentemente marina, gli alacaridi, conta rappresentanti dulciacquicoli. Tra gli ambienti d'acqua dolce che sostengono le specie di idracari più interessanti si annoverano le sorgenti di montagna e l'ambiente interstiziale. Nelle sorgenti gli idracari costituiscono una frazione importante della



fauna cosiddetta crenobia, cioè esclusiva di questi ambienti; richiedono sorgenti perenni e non inquinate. Nell'ambiente interstiziale, ossia nel materasso ghiaioso e sabbioso sul fondo dei torrenti, sono presenti specie che presentano adattamenti alla vita nelle acque sotterranee, quali l'assenza di occhi e di pigmento. Il ciclo biologico degli acari d'acqua dolce è straordinario per la sua complessità. L'eccezionalità si manifesta già all'inizio del ciclo: all'interno dell'uovo si sviluppa una "prelarva" la quale si trasforma in una larva che abbandona l'uovo e diviene parassita di una larva acquatica di insetto (ad esempio di un chironomide), di cui succhia i liquidi interni (emolinfa) e che sfrutta per farsi trasportare in nuovi ambienti (comportamento foretico). Da qui in poi il ciclo diviene ancora più complesso, passando attraverso tre stadi successivi

(protoninfa, quiescente; deutoninfa, simile all'adulto, ma con tre paia di zampe, libera e predatrice; tritoninfa, nuovamente quiescente). Infine la tritoninfa si trasforma in adulto; quest'ultimo ha tipicamente quattro paia di zampe, come tutti gli aracnidi, ed il corpo diviso in due parti, una anteriore (gnatosoma, che porta le parti boccali) ed una posteriore (idiosoma, che porta le zampe). La superficie del corpo è ricoperta da setole e ghiandole; queste ultime emettono probabilmente un secreto sgradevole, che protegge gli idracari dai predatori.

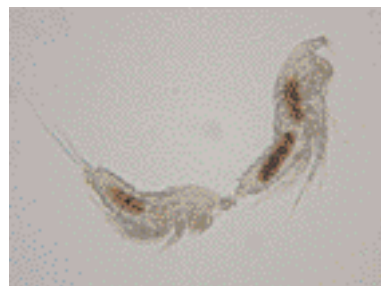
Tutti gli idracari sono predatori di altri invertebrati acquatici e sono molto sensibili alla qualità delle acque. Nelle sorgenti e nei torrenti italiani sono presenti con numerosi generi e specie; tra i generi più diffusi ricordiamo *Lebertia*, *Hydrovolzia*, *Partnunia*, *Sperchon*, *Thyas*. La fase foretica, cioè di trasporto, del loro ciclo vitale spiega perché difficilmente abbiamo tra gli acari specie endemiche; la maggior parte delle specie acquatiche hanno infatti areali di distribuzione ampi e si rinvencono casualmente un po' dovunque lungo l'arco alpino e nell'Appennino.

Crostacei. La maggior parte dei crostacei presenti nei torrenti montani non supera il millimetro di lunghezza e appartiene a quella frazione della fauna nota come meiofauna.

Gli organismi della meiofauna vivono in genere sul fondo dei corsi d'acqua e nelle acque tranquille, a stretto contatto con il substrato (epibentonici) o all'interno di esso, tra i granuli di ghiaia e sabbia (fauna interstiziale), anche a notevole profondità.

Indubbiamente i crostacei più abbondanti nelle sorgenti e nei torrenti alpini sono i copepoditi; si tratta in assoluto degli organismi più comuni del nostro pianeta,

avendo colonizzato praticamente tutti gli habitat ove sia presente acqua (dai mari e oceani ai laghi, pozze, stagni, fiumi e torrenti, sino alle piccolissime raccolte d'acqua nei tronchi degli alberi, i muschi ed il terreno umido, le grotte, le acque interstiziali e persino le minuscole pozzette d'acqua che si formano in condizioni favorevoli sui ghiacciai himalaiani a oltre 5000 m di quota). Sono crostacei dall'aspetto inconfondibile, dotati di un solo occhio (da cui il nome di *Cyclops* riservato ad uno dei generi più noti); il corpo, munito di due lunghe antennule e due corte antenne, è fornito di cinque paia d'arti rematori (da cui il nome copepoditi, che deriva dal greco e significa "piedi a remo") e termina con un'appendice bifida, la furca, fornita di lunghe setole. La femmina reca una o due sacche ovigere; dall'uovo sguscia una larva (nauplius), molto diversa dall'adulto, che dopo un certo numero di mute (in genere 5) si trasforma in un subadulto (copepodite), che non si riproduce; dopo 5 ulteriori stadi giovanili, con la sesta muta i copepoditi si trasformano in adulti. I sessi si riconoscono facilmente poiché nella maggior parte dei copepoditi dei nostri torrenti i maschi hanno le antenne ingrossate e prensili, idonee ad afferrare la femmina durante l'accoppiamento. Le



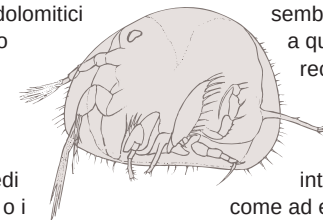
Coppia in copula del copepode arpaticoidale *Bryocamptus tatrensis*

specie molto frequenti nei torrenti e nelle sorgenti d'alta quota, in prevalenza muscicole ed interstiziali, appartengono all'ordine degli arpaticoidi (ed in particolare ai generi *Attheyella*, *Bryocamptus*, *Maraenobiotus*, *Hypocamptus*, *Moraria*, *Parastenocaris*); alcune specie sono molto rare e localizzate a ristrette aree delle Alpi e dell'Appennino, altre sono tipicamente boreoalpine, cioè presentano un areale che comprende l'Europa settentrionale e le Alpi (raramente le montagne più alte dell'Appennino), residuo di una ben più ampia distribuzione durante i periodi glaciali. Un altro ordine, quello dei ciclopoidi, predilige i tratti di fondovalle; sono qui abbondanti nell'ambiente interstiziale i rappresentanti dei generi *Acanthocyclops*, *Diacyclops* e *Speocyclops*.

Accanto ai copepoditi, troviamo nell'ambiente sorgentizio ed interstiziale altri gruppi di crostacei di minute dimensioni. Tra questi possono essere localmente abbondanti nelle sorgenti calcaree gli ostracodi. Il corpo degli ostracodi è avvolto da un carapace bivalve (da cui il nome: ostracode deriva dal greco e fa riferimento alla "conchiglia" che protegge le parti molli del corpo e le appendici); l'aspetto è sovente tondeggiante, o a fagiolo.

Anche tra gli ostracodi non mancano le specie interstiziali, cieche e depigmentate. Tra i generi più diffusi in particolare nei massicci dolomitici (la presenza di un elevato tenore di sali di calcio è indispensabile per impregnare il loro carapace) ricordiamo *Potamocypris*, *Cypria* (vedi figura), *Pseudocandona*, o i più rari *Cavernocypris* e *Cryptocandona*.

La presenza di altri



gruppi tassonomici di microcrostacei nell'ambiente interstiziale è occasionale; possiamo trovare talora cladoceri, ampiamente diffusi negli ambienti di superficie, o più eccezionalmente i rappresentanti (ciechi e depigmentati) dello straordinario ordine dei batinellacei, esclusivi di acque sotterranee e recentemente rinvenuti anche a quote elevate sulle Alpi.

Possono essere invece frequenti in alcuni torrenti i crostacei di maggiori dimensioni, in particolare i crostacei anfipodi che, in alcuni torrenti di fondovalle, possono divenire molto importanti come numero di individui e, data la loro biomassa, essere tra le più importanti fonti alimentari per i pesci. Sono generalmente associati a tratti torrentizi medio-bassi, con velocità moderata di corrente, e alle quote più elevate sono presenti solo in poche stazioni relitte; lungo l'arco alpino sono frequenti le specie *Gammarus fossarum*, *G. balcanicus* ed *Echinogammarus stammeri*, sostituiti in Appennino da *Gammarus* aff. *italicus*, *Echinogammarus veneris* ed *Echinogammarus tibaldii*. Altri rappresentanti sono presenti nelle sorgenti e nell'ambiente interstiziale, sono completamente ciechi e senza pigmento, ed appartengono al genere *Niphargus*, che conta in Italia quasi un centinaio di specie.

Nelle sorgenti di montagna non è infrequente *Niphargus strouhali*, che sembra prediligere ambienti posti a quote superiori ai 2000 m; recentemente sono stati rinvenuti rappresentanti del genere *Niphargus* anche nell'ambiente interstiziale a quote elevate, come ad esempio nei torrenti glaciali ai piedi del massiccio del Bernina, in Svizzera.

Gli altri rappresentanti dei crostacei



Gambero d'acqua dolce (*Austropotamobius pallipes fulcisianus*)

prediligono i torrenti a quote basse e si rinvencono solo eccezionalmente nei tratti montani. Tra questi molto diffuso è anche il gambero d'acqua dolce (*Austropotamobius pallipes fulcisianus*), che appartiene all'ordine dei decapodi; predilige i tratti puliti e ben ossigenati dei torrenti a quote più modeste, ma può in particolari condizioni, come in Trentino, risalire anche sino ai 1500 m di quota. In Italia il gambero è diffuso in gran parte dell'Italia settentrionale e si spinge lungo l'Appennino sino alla Basilicata, divenendo meno frequente man mano ci si sposta verso Sud. Un tempo molto più diffuso e abbondante, è stato soggetto per lunghi periodi ad un prelievo indiscriminato per la prelibatezza delle sue carni, ed ha subito negli ultimi anni una notevole contrazione numerica, in parte dovuta anche alla sua sensibilità al peggioramento della qualità delle acque. Per questo motivo il suo prelievo è oggi vietato da numerose normative regionali, ed è tutelato a livello comunitario dalla Direttiva Habitat.

Efemeroteri. Gli efemeroteri devono il nome alla breve durata della loro fase adulta (*ephemeros* = che dura un giorno e *pteron* = ala). Spesso infatti gli adulti di questo ordine non hanno un apparato masticatore funzionante e vivono per il poco tempo concesso dalle riserve

energetiche accumulate durante la fase larvale, sempre acquatica. Sono diffusi sia in laghi, paludi e pozze sia nelle acque correnti, dove trovano gli ambienti più propizi dalle quote medie al fondovalle. Diverse specie sono abbastanza tolleranti verso forme moderate di inquinamento organico, per cui è possibile trovare popolazioni consistenti anche in corsi d'acqua qualitativamente compromessi. In Italia sono note 94 specie, delle circa 300 presenti in Europa.

Gli efemeroteri sono considerati un ordine piuttosto primitivo, vicino a quello degli odonati, con uno sviluppo di tipo emimetabolico. Il ruolo ecologico degli efemeroteri nei torrenti montani è di notevole importanza e in condizioni propizie essi possono rappresentare la componente dominante della comunità macrobentonica, in termini sia di numero di individui sia di biomassa complessiva. Le neanidi e le ninfe sono quasi tutte erbivore e a loro volta rappresentano una importante risorsa alimentare per altri invertebrati acquatici e per i pesci. Dopo lo sfarfallamento diventano prede di molti uccelli, di pipistrelli e ancora dei pesci che li catturano nella delicata fase della metamorfosi, che in molte specie avviene sul pelo dell'acqua. Questo è noto ai pescatori e gli efemeroteri adulti sono i più imitati nella raffinata arte della costruzione di esche artificiali. Gli efemeroteri occupano i più svariati microhabitat fluviali con adattamenti morfofisiologici peculiari. Alla famiglia degli eptageniidi appartengono quattro generi (*Epeorus*, *Rhithrogena*, *Ecdyonurus* e *Heptagenia*) accomunati dall'appiattimento dorso-ventrale delle ninfe. L'aspetto generale del corpo, con capo, addome e femori appiattiti, viene reso ancor più idrodinamico dalla forma e disposizione delle branchie addominali, utilizzate come efficace ventosa per aumentare l'aderenza al substrato. In



Ninfa di efemerottero del genere *Baetis*

questo modo le ninfe possono affrontare condizioni di elevata corrente restando nel sottile strato a contatto con il substrato, dove la velocità è sempre molto ridotta. A questa famiglia appartengono le specie più rappresentative dei tratti più alti dei torrenti: *Epeorus alpicola*, *E. sylvicola*, *Rhithrogena loyolaea*, *R. alpestris* e *Ecdyonurus alpinus*.

Caratteristiche simili agli eptageniidi sono presenti nell'unica specie italiana della famiglia oligoneuriidi, *Oligoneuriella rhenana*, anch'essa presente in torrenti alpini ed appenninici con elevata velocità di corrente. Le ninfe di queste due famiglie, dall'aspetto generale "piatto", vengono anche definite litofile, per la tendenza a vivere sulla superficie di sassi e massi sommersi.

Un secondo gruppo di famiglie comprende ninfe nuotatrici (o iponeofile), dal corpo affusolato e idrodinamico, con i tre cerci caudali robusti e frangiati, utilizzati come efficaci timoni o remi. Vi appartengono la grande famiglia dei betidi e quella dei sifonuridi, quest'ultima con una sola specie italiana, tipica di ambienti lacustri o di acque a debole scorrimento. Le numerose specie della famiglia betidi occupano in gran numero il tratto medio-basso dei torrenti montani, con alcune che possono spingersi a colonizzare i tratti più a monte, come *Baetis alpinus*, frequente in tutte le regioni italiane.

Comune nei torrenti è anche *B. rhodani*, specie ad ampia diffusione e con larga valenza ecologica, per cui è diffusa sia in ambienti torrentizi incontaminati che nei tratti di fondovalle più compromessi. Un terzo gruppo di ninfe è adattato a muoversi strisciando sul fondo (erpofile) ed è rappresentato dalle famiglie cenidi, leptoflebiidi, efemerellidi. Generalmente questi efemeroteri sono associati ad ambienti acquatici a lento decorso con abbondante sedimento organico, tuttavia essi possono essere localmente abbondanti anche nel tratto medio-basso dei torrenti.

Infine esistono ninfe scavatrici (orittofile), raggruppate nelle famiglie efemeridi e polimitarcidi, con processi mandibolari e zampe anteriori modificate per scavare gallerie sul fondo di fiumi e torrenti. Sono poco diffuse nei tratti torrentizi, prediligendo corsi d'acqua di pianura a lento decorso. Fa eccezione *Ephemera danica*, localmente anche abbondante, in torrenti con fondo ghiaioso e sabbioso.



Subimmagine di efemerottero del genere *Baetis*



Cordulegaster bidentatus

Odonati. Gli odonati (o libellule) sono gli insetti a sviluppo larvale acquatico che raggiungono le maggiori dimensioni (fino a 6 cm di lunghezza). Gli adulti sono ottimi volatori e possono essere visti a considerevole distanza dai luoghi di sfarfallamento. L'abilità nel volo permette loro la colonizzazione di molti ambienti acquatici, quasi sempre di acque ferme o a lento decorso, con poche specie tipiche di ambienti torrentizi. Occasionalmente specie di acque ferme possono essere rinvenute in anse o pozze ai margini di torrenti o comunque dove si sviluppa un'abbondante vegetazione acquatica. Le ninfe, come gli adulti, sono predatrici di altri invertebrati, girini ed avannotti che catturano grazie ad una struttura boccale tipica detta "maschera". Si tratta di una sorta di tenaglia a molla che a riposo viene tenuta piegata e può scattare in avanti per catturare le prede di passaggio. Si tratta quindi di una caccia da appostamento, con le ninfe quasi sempre ferme e ben mimetizzate tra la

vegetazione acquatica.

L'ordine degli odonati è distinto in due gruppi: zigotteri o damigelle e anisotteri o libellule propriamente dette. Al primo gruppo appartiene un solo genere esclusivo delle acque correnti, *Calopteryx*, con tre specie diffuse in Italia (*C. virgo*, *C. haemorrhoidalis* e *C. splendens*) anche nei tratti torrentizi medio-bassi. Tra gli anisotteri, due famiglie contano specie adattate alle acque correnti: cordulegastri e gomfidi. La prima conta un solo genere italiano (*Cordulegaster*) che comprende poche specie, tutte di ragguardevoli dimensioni e con fase larvale in torrenti a lento decorso e ruscelli. Le ninfe dei gomfidi hanno aspetto più piatto e tozzo e vivono tra il fango del fondo ma anche tra la ghiaia di ruscelli montani.

Plecotteri. I plecoteri derivano il loro nome dal greco (*pleco* = intreccio e *pteron* = ala), per la tipica posizione in cui gli adulti tengono le ali a riposo, intrecciate a forcice a coprire l'addome. È forse l'ordine più rappresentativo della fauna bentonica nei torrenti montani in quanto molte specie sono particolarmente adattate ad ambienti con acque fredde, molto ben ossigenate e pure. Per questo motivo e per il diffuso inquinamento dei tratti fluviali di fondovalle, i plecoteri sono quasi sempre confinati in torrenti al di sopra di 600-700 m s.l.m. Oltre che alle loro strette esigenze ecologiche (stenoecia), la loro espansione è anche limitata dalla scarsa propensione al volo degli adulti. Nel mondo sono note poco più di 3000 specie e di queste circa 400 appartengono alla fauna europea. In Italia sono presenti, allo stato attuale delle conoscenze, 144 specie, raggruppate in 21 generi distribuiti in 7 famiglie. Una particolarità dei plecoteri è l'uso di

segnali sonori ottenuti tambureggiando con l'addome sul substrato (*drumming*). Il fenomeno è stato ampiamente studiato e la registrazione ed analisi dei suoni hanno chiarito che si tratta di veri e propri linguaggi. Il ritmo delle battute e la frequenza con cui si ripetono le sequenze differiscono da specie a specie e tra maschi e femmine. In alcuni casi è stata addirittura verificata l'esistenza di "dialetti" in popolazioni della stessa specie ma geograficamente distanti. I plecoteri dell'emisfero settentrionale (Palearico e Nearctico) vengono suddivisi nei due grandi gruppi dei sistelognati e degli eulognati. Al primo appartengono specie in cui gli adulti non hanno un apparato boccale funzionante e quindi non si nutrono.



Ninfa di plecoteri del genere *Perla*

Le ninfe sono generalmente onnivore e spesso abili predatrici negli ultimi stadi di sviluppo. Gli eulognati comprendono invece specie in grado di nutrirsi anche allo stadio adulto che può condurre vita subaerea per qualche settimana. Sia gli adulti sia le ninfe sono vegetariani, nutrendosi di alghe, muschi e detrito vegetale.

Lo sviluppo è di tipo emimetabolico e la durata della fase larvale è generalmente di un anno, ma sono noti cicli di durata biennale, come ad esempio in *Dinocras cephalotes*.

Il numero di mute per raggiungere lo stadio adulto è generalmente alto e compreso tra 10 e 20, con un massimo noto di 33 in *Dinocras cephalotes*, la specie che raggiunge le maggiori dimensioni, con femmine alate lunghe oltre 30 millimetri. Giunte a maturità, le ninfe si portano fuori dall'acqua e compiono l'ultima muta da cui uscirà l'insetto adulto. Nella maggior parte dei casi questo avviene in primavera, ma sono documentati molti casi di sfarfallamento invernale, con adulti che volano e si accoppiano sulle rive innestate. Per lo più si ha una sola generazione per anno (specie univoltine), ma, in condizioni favorevoli, alla prima generazione primaverile può seguire una seconda autunnale (specie bivoltine) come ad esempio in *Nemurella pictetii*. L'aspetto generale delle ninfe ricorda quello di alcuni efemerotteri, da cui si distinguono per la presenza di due soli cerci caudali e l'assenza di branchie addominali.

Le neanidi e le ninfe dei plecoteri, pur essendo tipiche di torrenti di montagna, non sono particolarmente adattate a resistere alla corrente e vanno ad occupare i microhabitat caratterizzati da bassa velocità dell'acqua, come gli ammassi di foglie, la parte inferiore di sassi e massi, le acque relativamente calme delle pozze.

I plecoteri sono ampiamente diffusi in tutti i corsi d'acqua montani e possono rappresentare oltre il 50% del popolamento macrobentonico in condizioni particolarmente favorevoli. Dopo i ditteri, sono il gruppo che colonizza le acque a quote più elevate, anche con specie di grandi dimensioni, come *Dictyogenus fontium*, del quale sono state trovate popolazioni fino a 2800 m di quota sulle Alpi. Altre specie di minori dimensioni e tipiche dei tratti più a monte (specie



Plecottero adulto del genere *Chloroperla*

reofile-orofile) sono *Protonemura ausonia*, *P. caprai*, *P. elisabethae*, *P. brevistyla*, *Nemoura murtoni*, *N. obtusa*, *Leuctra rosinae*, *L. festai*, *L. teriolensis*, *Isoperla rivulorum*, *Perlodes intricatus*, *Siphonoperla montana* e *Chloroperla susemicheli*. Nei tratti medi si incontrano altre specie di grandi e medie dimensioni quali *Perla grandis*, *Dinocras cephalotes*, *D. ferreri*, *Dictyogenus ventralis*, *Perlodes intricatus*, *Isoperla rivulorum*.

Un cenno particolare merita il genere *Tyrrhenoleuctra*, comprendente la sola specie italiana *T. zavattarii*, endemica di torrenti sardi e corsi.

Eterotteri. Sono comuni negli ambienti acquatici allo stadio sia di ninfa sia di adulto. Derivano il loro nome dal fatto di possedere "ali diverse" (*heteros* = diverso; *pteron* = ala), ovvero ali anteriori parzialmente sclerificate e ali posteriori completamente membranose. Ninfa e adulto sono molto simili e il passaggio

dall'una all'altro avviene attraverso trasformazioni graduali di forma e dimensioni: questo tipo di metamorfosi viene indicato con il termine di paurometabolia. Gli eterotteri acquatici prediligono le acque stagnanti, anche se molte specie possono trovarsi nei corsi d'acqua, in genere presso le rive, nelle pozze, nelle anse calme dei fiumi o comunque nelle zone a corrente ridotta. Alcuni eterotteri, i gerromorfi, vivono sulla superficie dell'acqua, mentre altri, i nepomorfi, vivono sott'acqua. I primi marciano o pattinano sulla superficie dell'acqua sfruttando la tensione superficiale, mentre i secondi marciano sul fondo o nuotano tra la vegetazione. La maggior parte delle specie è predatrice e caccia altri insetti, acari e ragni. Le specie di maggiori dimensioni succhiano anche girini, avannotti e uova di anfibi e pesci. Le forme di dimensioni più piccole hanno un regime alimentare onnivoro e si nutrono anche della microfauna bentonica, di alghe microscopiche e di detriti organici.

Tra i generi più frequenti nei torrenti, soprattutto presso le rive, *Gerris*, *Aquarius* e *Velia*. *Aquarius najas* è specie esclusiva dei torrenti, ove frequenta le anse tranquille e le pozze d'acqua profonda.

Coleotteri. Rappresentano l'ordine di animali più numeroso, contando almeno 350 000 specie, di cui almeno 10 000 fanno parte della fauna italiana. Alcune famiglie si rinvencono nelle acque dolci, sia correnti che stagnanti. Sono gli unici insetti olometaboli che si possono rinvenire nell'ambiente acquatico sia allo stadio larvale che adulto. I coleotteri acquatici adulti mantengono comunque sempre la capacità di volare, che utilizzano per andare alla ricerca di condizioni ambientali migliori. Nell'ambiente dei torrenti si possono

distinguere due categorie di coleotteri acquatici adulti: i nuotatori, rappresentati da ditiscidi, aliplidi e idrofilidi e i marciatori, rappresentati da driopidi, elmidi, idrenidi ed eloforidi. I primi hanno frange di peli natatori sulle zampe, mentre i secondi sono dotati di robuste unghie che conferiscono loro la capacità di aggrapparsi al substrato. Gli adulti acquatici possiedono il sistema respiratorio tracheale tipico delle specie terrestri, per cui hanno sviluppato vari adattamenti che permettono loro di immagazzinare riserve di aria per periodi di immersione anche piuttosto lunghi. I ditiscidi, gli aliplidi, gli idrofilidi, gli idrenidi e gli eloforidi risalgono di tanto in tanto verso la superficie per procurarsi una riserva di aria atmosferica. Durante il rifornimento di ossigeno, l'animale può assumere diverse posizioni. I ditiscidi e gli aliplidi, per esempio, si mettono a testa in giù, in posizione obliqua, portano l'estremità posteriore a contatto con l'interfaccia acqua-aria e catturano una bolla d'aria che finisce nella camera sottoelitrale, ovvero nell'intercapedine tra l'addome e le elitre. I gas espirati vengono poi emessi sotto forma di bollicine. Gli idrofilidi, gli idrenidi (vedi disegno) e gli eloforidi invece si dispongono con il corpo inclinato verso l'alto e attraverso le antenne convogliano l'aria nella camera sottoelitrale. Due di queste famiglie, idrenidi ed eloforidi, sono acquatici solo allo stadio adulto, mentre la famiglia degli elodidi presenta solo gli stadi giovanili acquatici. Il regime alimentare dei coleotteri è molto vario, sia nelle larve sia negli adulti. Tra i coleotteri acquatici adulti i ditiscidi sono carnivori predatori, gli idrofilidi sono onnivori mentre le restanti



famiglie sono in genere erbivore. Le larve sono carnivore predatrici nei ditiscidi e negli idrofilidi, erbivore succhiatrici negli aliplidi ed erbivore o detritivore nelle restanti famiglie. I coleotteri acquatici prediligono, in generale, gli ambienti ripari caratterizzati da una ridotta velocità di corrente e da bassa profondità, soprattutto dove c'è vegetazione e tende ad accumularsi materiale organico. Per questo non si rinvencono nei tratti più alti dei torrenti montani, dove la velocità di corrente, l'instabilità dell'alveo e l'elevata erosione delle rive non favoriscono la colonizzazione da parte dei coleotteri. È possibile rinvenirli alle quote più elevate in zone umide perfluviali che hanno il ruolo ecologico di "aree rifugio", dove le condizioni ambientali sono meno estreme.

Ditteri. L'ordine dei ditteri è uno dei più ricchi di specie nella classe degli insetti. I ditteri hanno colonizzato, nei diversi stadi del loro ciclo vitale, pressoché tutti gli ambienti, escluse le distese oceaniche. I ditteri comprendono più della metà degli insetti acquatici e come larve occupano una vasta gamma di biotopi, dai torrenti alle sorgenti, ai laghi, agli stagni e alle paludi. Sono insetti a sviluppo completo (= olometaboli) con fase giovanile (larva e pupa) terrestre o acquatica, mentre l'adulto vive sempre in ambiente subaereo. Alcune specie sono semi-acquatiche e vivono nel suolo umido, nella carcasse di animali o in cavità marcescenti di piante. Tra le larve di ditteri si trovano esempi di tutti i modelli di nutrizione, comprendendo sia fitofagi e detritivori, sia predatori. Questi insetti derivano il loro nome dal



Larve di chironomidi

fatto di possedere, allo stadio adulto, solo le ali del paio anteriore (dittero significa "con due ali"), mentre quelle posteriori sono trasformate in bilanceri (appendici a forma di clava) atti a stabilizzare il volo. Sulla base della morfologia dell'antenna degli adulti si distinguono due sottordini di ditteri: i nematoceri e i brachiceri. I primi hanno antenne lunghe, moniliformi e composte da numerosi articoli, un corpo slanciato come quello di una zanzara e zampe lunghe e sottili. I brachiceri sono invece caratterizzati da antenne corte e aspetto generale tozzo, esemplificato da quello di una mosca.

I ditteri comprendono un'ampia varietà di forme e adattamenti e possono colonizzare in massa ambienti fortemente inquinati o comunque inospitali per la maggior parte degli altri insetti, quali le acque cloacali, sulfuree e termali e le fredde acque dei torrenti glaciali. Questo fatto è legato alla capacità delle larve di alcune specie di tollerare basse concentrazioni di ossigeno disciolto grazie all'accumulo di pigmenti respiratori simili all'emoglobina o alla possibilità di realizzare la respirazione anaerobica (cioè in assenza di ossigeno). Le larve sono sub-cilindriche, sottili e vermiformi o carnose e tozze (sono rare

le forme appiattite dorso-ventralmente) e sono caratterizzate dall'assenza di zampe articolate. Possono essere presenti pseudopodi (cioè "false zampe") in diverse posizioni, dotati o meno di uncini, spiracoli, tubi o filamenti respiratori. Durante la fase pupale gli individui possono restare liberi o racchiudersi in bozzoli rigidi, nell'acqua o sul terreno. Gli adulti vivono in genere al massimo un mese, periodo durante il quale avvengono l'accoppiamento (in volo, sulla vegetazione, a terra o persino nell'acqua) e la deposizione delle uova. I ditteri comprendono numerose specie adulte ematofaghe che attaccano l'uomo ed altri vertebrati a sangue caldo (i ceratopogonidi, i culicidi e i simuliidi sono noti per il loro morso irritante) e possono essere vettori di malattie.

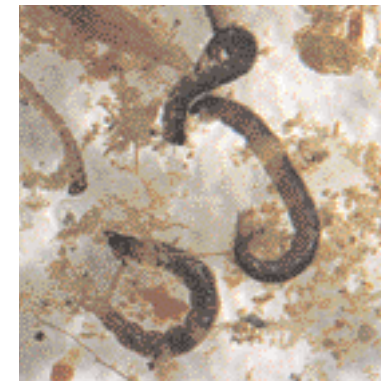
Nonostante l'ampia varietà di forme presenti nell'ordine, all'interno delle singole famiglie vi è un certo grado di uniformità morfologica. Tra i nematoceri il capo (capsula cefalica) è completamente sclerificato ed estroflesso, quindi ben visibile (larve eucefale) o solo parzialmente sclerificato, ridotto e infossato nel torace (larve emicefale). Le larve dei brachiceri sono, salvo rare eccezioni, emicefale o acefale, ovvero hanno capo fortemente ridotto, con poche parti sclerificate, e parzialmente o completamente represso nel torace. La segmentazione del corpo è di solito evidente, ma senza una chiara distinzione tra zona toracica e addominale.

Le larve di molti ditteri, specialmente di quelli con fase giovanile acquatica, sono poco conosciute e spesso, per identificare la specie, è necessario allevarle fino allo stadio adulto. Le famiglie più rappresentate nei torrenti montani sono quelle dei blefariceridi, ceratopogonidi, chironomidi, dixidi, limoniidi, psicodidi, simuliidi, taumaleidi e

tipulidi tra i nematoceri, quelle degli antomiidi (o muscidi), atericidi, dolycopodidi, empididi e straziomidi tra i brachiceri. In particolare, chironomidi e simuliidi sono i gruppi più abbondanti nei torrenti d'alta quota e gli unici presenti, salvo qualche eccezione, nei torrenti glaciali. Più a valle troviamo empididi e limoniidi, quindi taumaleidi, blefariceridi e atericidi.

Chironomidi. I chironomidi sono la famiglia di insetti più rappresentata negli ambienti d'acqua dolce, sia per numero di specie sia per abbondanza di individui. Nel mondo sono note circa 15000 specie e di queste più di 400 sono presenti in Italia. Si distinguono otto sottofamiglie di cui cinque presenti nel nostro Paese: tanipodine, diamesine, prodiamesine, ortocladie e chironomine. Mentre gli adulti vivono in ambiente aereo, gli stadi giovanili colonizzano i più svariati habitat d'acqua dolce: da torrenti, laghi e sorgenti di montagna a fiumi, stagni e laghi di pianura; da acque incontaminate e ricche di ossigeno ad acque molto inquinate; da ambienti poveri (oligotrofici) ad ambienti particolarmente ricchi di nutrienti (eutrofici).

Alcune specie hanno colonizzato le acque marine, rimanendo per lo più nella zona compresa tra la bassa e l'alta marea ed altre l'ambiente terrestre. I chironomidi comprendono molte specie ad ampia valenza ecologica (euricie) ma anche entità stenoece, cioè incapaci di vivere in condizioni diverse da quelle verso le quali mostrano uno stretto adattamento. Per questo i chironomidi sono buoni indicatori biologici, capaci di segnalare anche minime variazioni delle condizioni ambientali in cui si trovano. Per esempio, la presenza nei corsi d'acqua di larve di diamesine, in particolare di alcune specie del genere *Diamesa*, quale *D. steinboeckii*, è indice di condizioni di

Larve di chironomidi del genere *Diamesa*

"glacialità", essendo i tipici colonizzatori di questi ambienti.

Nei torrenti montani i chironomidi sono certamente i ditteri più abbondanti, sia in termini di numero di individui che di specie. Alle quote più elevate e negli ambienti più estremi, quali i primi tratti di torrenti glaciali (*Krya*), i chironomidi sono in genere gli unici invertebrati presenti. È nota una chiara successione longitudinale (da monte a valle) non solo a livello di specie ma anche di sottofamiglia. Nei tratti più a monte, dove le acque sono fresche e ben ossigenate, abbondano le diamesine e le ortocladie. A queste due sottofamiglie appartengono diverse specie reofile e stenoterme fredde, ovvero adattate a vivere nelle acque turbolente, torbide e costantemente fredde dei torrenti glaciali. In particolare, le larve di *Diamesa* spp. mostrano gli adattamenti più svariati alla corrente veloce e al substrato instabile, tra cui: a) lo sviluppo di lunghi e robusti unghioni per aggrapparsi al fondo; b) l'allungamento degli pseudopodi posteriori per aumentare la base di appoggio al substrato e quindi la stabilità della larva; c) la costruzione di astucci di sabbia cementati con la saliva per proteggersi dalla corrente. Inoltre molte di

queste larve si stabiliscono preferibilmente nelle piccole depressioni che si trovano sulla superficie dei ciottoli per evitare di rimanere schiacciate in caso di rotolamento in alveo dei ciottoli stessi. Queste specie dipendono per il nutrimento essenzialmente da materiale organico trasportato dal vento (spore, pollini, frammenti vegetali, insetti morti) che rimangono intrappolati nei ghiacci e vengono rilasciati nelle acque dei torrenti con il disgelo.

Le larve hanno lunghezza variabile da 2 a 30 mm e la loro colorazione va dal grigio al giallo bruno, al violetto, all'arancione, al rosso e al verde. In particolare, alcune specie della sottofamiglia delle chironomine (per esempio *Chironomus* del gruppo *thummi*) hanno una colorazione rossastra caratteristica: sono i comuni "vermi rossi" che vengono spesso utilizzati come mangime per pesci d'acquario e in natura vivono in acque con elevato inquinamento organico. Il colore rosso sangue è dovuto alla presenza nella loro emolinfa di un pigmento respiratorio molto simile all'emoglobina umana, che permette a queste larve di respirare anche in ambienti poveri di ossigeno. Tutte le larve hanno aspetto vermiforme, ovvero un corpo allungato diviso in segmenti, spesso coperto di setole e senza vere e proprie zampe. Hanno solo due paia di "pseudozampe", un paio anteriore ed uno posteriore, munite di uncini, che usano per aggrapparsi al substrato.

Il tipo di vita e la stessa morfologia delle larve dei chironomidi sono fortemente condizionati dalle abitudini alimentari. Alcune larve sono erbivore e raschiano la copertura algale e batterica del substrato su cui vivono, altre sono detritivore e raccolgono piccole particelle di detrito organico depositate sul fondo ed altre ancora sono carnivore e predano piccoli animali. Queste ultime appartengono per

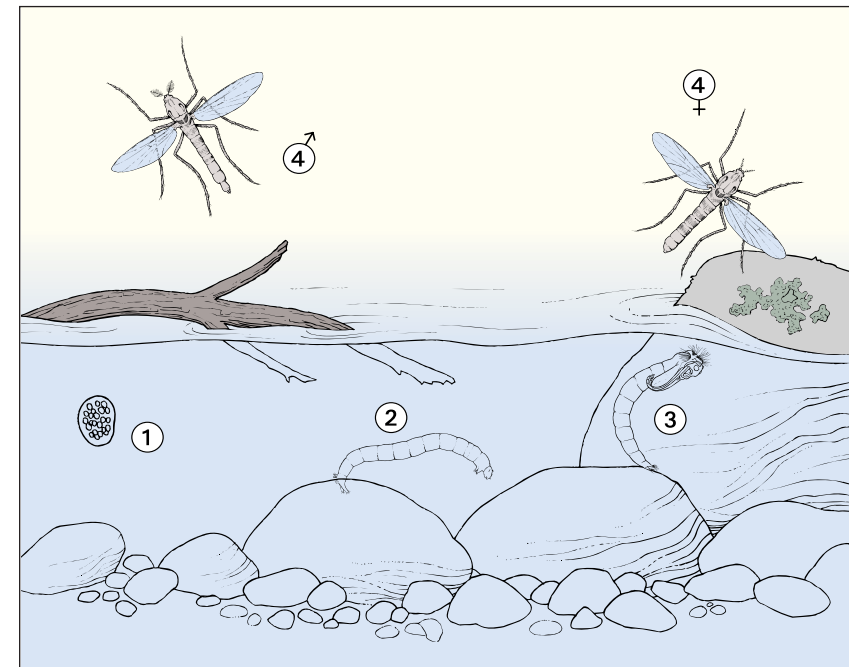
lo più alla sottofamiglia delle tanipodine. Le larve predatrici possiedono tutta una serie di adattamenti per questo tipo di vita: mento scarsamente sclerificato in modo da poter inghiottire prede intere, mandibole a forma di falce e funzionanti come tenaglie, lingua cospicua e sclerificata che, ruotando all'indietro, spinge la preda all'interno della faringe, antenne retrattili che danno al capo una forma più idrodinamica e pseudopodi molto allungati che consentono rapidi movimenti a scatti. In altre sottofamiglie la sclerificazione del mento e il movimento obliquo delle mandibole permettono di raschiare alghe e detrito dalle superfici sommerse. I chironomidi che vivono sul fondo sabbioso-limoso dei laghi in genere costruiscono tubi all'interno dei quali le larve, ondulando il corpo, creano una corrente d'acqua che convoglia le particelle di cibo (alghe, batteri, ecc.) contro una rete appositamente costruita sul fondo col secreto salivare. La larva periodicamente ingerisce la rete e la sostituisce con una nuova. Alcune specie scavano anche sottili gallerie nelle foglie sommerse di piante acquatiche. Infine alcune specie sono simbiotiche e parassite di altri invertebrati.

Le pupe hanno dimensioni e colore simili a quelli delle larve, ma la parte anteriore del corpo è ingrossata per la presenza degli astucci delle antenne, delle zampe e delle ali dell'adulto. Le pupe possono nuotare liberamente o, nelle specie viventi nei tubi, rimanere parzialmente incluse nel tubo larvale stesso. Gli adulti sono lunghi da poco meno di 1 a circa 14 millimetri ed hanno antenne molto lunghe, piumose solo nei maschi. Il loro esile corpo è simile a quello delle zanzare, da cui si distinguono per avere il torace gibboso, che fa in parte scudo al capo, e per l'apparato boccale, che nei chironomidi è di tipo succhiante, ma non pungente. I chironomidi sono per questo

noti anche come "moscerini che non pungono". Hanno lunghe zampe che agitano in modo caratteristico durante il volo che appare così "gesticolante" (dal greco *chironomeo* = "gesticolo"). Le femmine depongono le uova sulla superficie dell'acqua o in prossimità delle rive, riunendole in masse gelatinose libere o attaccate ad un substrato. Le larve che ne fuoriescono subiscono un ridotto numero di mute (4 o 5) prima della metamorfosi. Lo sfarfallamento avviene in genere in primavera/estate e/o in autunno e la vita degli adulti è breve e finalizzata all'accoppiamento e alla successiva deposizione delle uova.

Per quanto riguarda la distribuzione altitudinale dei chironomidi nei torrenti, le zone torrentizie più a monte, dove la temperatura dell'acqua in estate non

supera i 3-4 °C, sono caratterizzate dall'assoluto dominio della sottofamiglia delle diamesine con il genere *Diamesa*, rappresentato da specie quali *D. steinboeckii*, *D. latitarsis*, *D. goetghebueri*, *D. bertrami* e *D. zernyi*. Altro diamesino presente nei tratti più a monte e talvolta dominante (nei torrenti non glaciali) è *Pseudokiefferiella parva*. Nei torrenti non glaciali si trova anche *Pseudodiamesa branickii*, particolarmente abbondante tra i muschi e le alghe. A fianco delle diamesine si possono trovare alcune ortoclaidiine, quali *Orthocladus thicnemanni*, *Orthocladus frigidus*, *Eukiefferiella minor*, *Eukiefferiella brevicar* e *Tvetenia calvescens*. Verso valle, le ortoclaidiine tendono a divenire la sottofamiglia meglio rappresentata, sia come numero di individui che di generi e



Rappresentazione schematica del ciclo di sviluppo dei ditteri chironomidi: uova (1); larva (2); pupa (3); adulto o immagine (maschio 4? e femmina 4/)



Esemplare adulto di dittero simuliide

specie (*Chaetocladius* gr. *piger*, *Heleniella* spp., *Corynoneura* spp., *Thienemanniella partita*, ecc.). Nel fondovalle diamesine ed ortoclaidiine lasciano il posto alle chironomine, rappresentate, nei torrenti montani, per lo più da *Micropsectra* gr. *atrofasciata*. **Simuliidi.** Insieme ai chironomidi, i simuliidi sono tra i primi colonizzatori delle acque correnti d'alta quota, dove possono dar luogo a focolai che, in condizioni favorevoli, diventano numericamente imponenti. Trascorrono la fase larvale sempre in acque correnti, dove si insediano nei punti di maggior velocità. Si tratta di un gruppo molto antico e il fossile di una pupa testimonia la loro esistenza già 160 milioni di anni fa, in pieno periodo giurassico. Attualmente sono note oltre 1500 specie e di queste circa 400 vivono in Europa e una settantina in Italia.

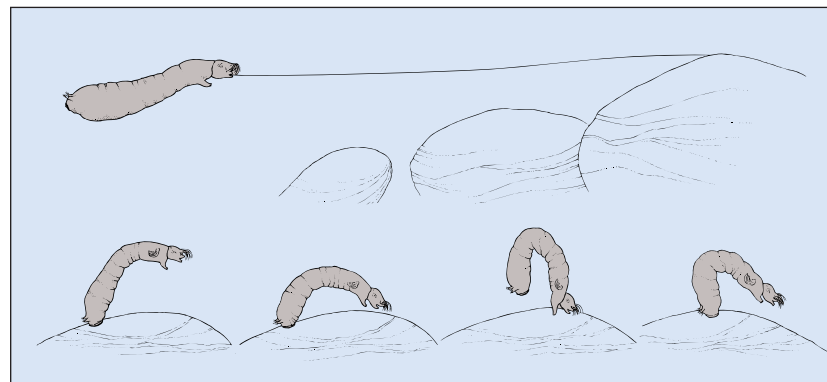
I costumi di vita dei simuliidi sono particolarmente interessanti sia nella fase larvale sia in quella adulta. Le larve hanno una forma caratteristica, con addome rigonfio verso l'estremità posteriore, conferendo all'animale una forma leggermente piriforme.

Si nutrono di particellato organico fine e di batteri, filtrati con appositi organi, detti



Larve di ditteri simuliidi

ventagli cefalici o mandibolari. Questi derivano dalla trasformazione di parti labiali che si sono evolute in ventagli formati da una serie di rami, generalmente tra 30 e 50, sui quali sono inseriti trasversalmente numerosi peli, a formare un efficace apparato di cattura. Le larve sono provviste di ghiandole sericigene con le quali producono un liquido coloso che attaccano al substrato formando un appiglio. Su questo si agganciano con uncini presenti sia sull'unico pseudopodo toracico che in fondo all'addome. Alternando la presa con le due serie di uncini e costruendo nuovi appigli, sono in grado di muoversi su superfici lisce anche controcorrente, per trovare i microambienti dove la velocità dell'acqua è maggiore e quindi maggiore la quantità di filtrato nell'unità di tempo. Per muoversi verso valle utilizzano ancora le ghiandole sericigene, incollando la bava al substrato e "filando" con grande velocità una "corda di sicurezza" alla quale restano attaccate finché non sono giunti nella posizione desiderata. Questo originale sistema permette alle larve di simuliidi di occupare anche le superfici lisce di massi esposti alla corrente, dove pochi altri macroinvertebrati possono resistere,



La particolare tecnica utilizzata dalle larve dei simuliidi per spostarsi in acqua controcorrente

evitando così problemi di competizione per lo spazio e il pericolo di essere predati. In ambienti torrentizi con vegetazione macrofita in alveo possono aderire, in numero impressionante, sulle diverse parti delle piante e un singolo stelo d'erba sommersa può ospitare 200-300 larve. Le larve attraversano da sei a nove stadi di crescita e quindi costruiscono un bozzolo di forma più o meno triangolare all'interno del quale iniziano la metamorfosi. Nella sottofamiglia dei prosimuliini il bozzolo è appena accennato e non ha una forma definita.

Gli adulti hanno l'aspetto di piccole mosche gobbe, dal "naso" schiacciato (da cui derivano il nome) e le femmine di molte specie sono ematofaghe. Il pasto di sangue è una necessità dettata dall'esigenza di assumere ferro organico per portare a maturazione le uova. La scelta dell'ospite a cui suggerire il sangue è piuttosto rigida e così esistono specie che attaccano uccelli (sottogeneri *Eusimulium* e *Nevermannia*), cavalli (sottogenere *Wilhemia*), bovini (*Prosimulium latimucro*, *P. rufipes*, *Simulium ornatum*, *S. intermedium*, *S. variegatum*, *S. paramorsitans*). Nel caso di attacchi massivi a bovini

l'intensa reazione anafilattica può provocare la morte dell'animale e casi di morie si sono avuti in diverse regioni alpine, a partire dagli anni settanta. Gli attacchi avvengono sempre di giorno e mai al coperto, per cui il ricovero immediato del bestiame è sufficiente ad evitare danni estremi. Anche l'uomo può essere punto, ma generalmente senza gravi conseguenze, se non in caso di soggetti allergici.

Lo sviluppo di focolai larvali è generalmente favorito da un leggero aumento dell'inquinamento organico e dalla conseguente maggior disponibilità di batteri e particellato organico nell'acqua. Livelli elevati di inquinamento invece limitano la presenza dei simuliidi anche per la riduzione di superfici lisce disponibili, che in questi casi si ricoprono di patine batteriche e perfitiche. La distribuzione altitudinale delle specie è relativamente ben prevedibile in quanto molte specie sono strettamente legate al proprio ambiente (stenocie). Le zone torrentizie più a monte rappresentano l'incontrastato dominio della sottofamiglia prosimuliini, e alcune specie (*Prosimulium latimucro*, *P. rufipes*) sono in grado di colonizzare i primi metri dei torrenti glaciali alpini, con temperature

medie intorno a 0°C. In ambiente appenninico si trovano *P. albense* e *P. calabrum*, la prima estesa fino alla Sicilia, la seconda endemica di torrenti calabresi. Insieme ai prosimuliini, ma a quote meno elevate, si rinvenivano specie della grande sottofamiglia dei simuliini, appartenenti al sottogenere *Nevermannia*, diffuse sia sulle Alpi che sugli appennini, come *Simulium vernum*. Esempi di specie endemiche appenniniche sono *S. fucense* e *S. marsicanum*.

Nei tratti torrentizi intermedi si rinvenivano numerose specie dei sottogeneri *Simulium*, *Eusimulium*, *Obuchovia* e *Tetisimulium*, alcune tolleranti (*Simulium ornatum*, *S. variegatum*) o molto tolleranti (*S. intermedium*) verso forme di inquinamento organico.

Limoniidi. I limoniidi sono una famiglia di ditteri molto ricca di specie (se ne conoscono circa 230 per l'Italia), la maggior parte delle quali è diffusa nelle regioni settentrionali, con poche specie legate ai torrenti. Le larve di alcune specie sono tipiche della fanghiglia presso le rive, altre vivono in tubi di seta coperti di detrito tra le piante sommerse e possono essere erbivore, detritivore o carnivore.

I generi più frequenti nei torrenti d'alta quota sono: *Dicranota*, *Rhypholophus* e *Tricyphona*.

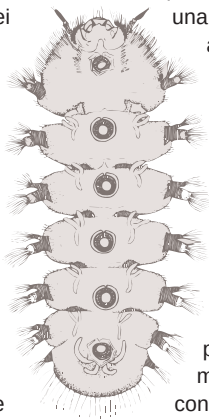
Taumaleidi. In Italia sono presenti con 14 specie appartenenti a quattro generi. Di questi, *Thaumalea* è il più diffuso nei rilievi alpini. A prima vista le larve sono molto simili ai chironomidi, con cui possono essere confusi. Si distinguono per la capsula cefalica leggermente schiacciata, setolosa e munita di piccole protuberanze dorsali. Inoltre,

posseggono un solo pseudopodio addominale anteriore ed uno posteriore e una larga placca dorsale sclerificata su ogni segmento del corpo. Le larve dei taumaleidi sono frequenti nei torrenti e nelle sorgenti montane sulle rocce bagnate dagli spruzzi e da un sottile velo di acqua corrente (larve igropetriche). **Blefariceridi.** Sono tra i ditteri meglio adattati a vivere in acque con elevata velocità di corrente, grazie alla particolare architettura delle larve (vedi disegno) che le rende inconfondibili. La

parte dorsale del corpo è formata da una serie di archi tondeggianti, adatti

a scaricare la forza della corrente. Sulla parte ventrale possiedono delle potenti ventose che permettono loro di rimanere aderenti al substrato anche sotto le cascate più impetuose. Le ventose dei blefariceridi sono le più funzionali e perfezionate fra quelle che compaiono tra gli insetti: sono dotate di una vera e propria pompa formata da una possente muscolatura che produce il vuoto, consentendo una perfetta adesione al substrato. Ciascun disco adesivo è munito di una fessura anteriore che permette il distacco della ventosa e quindi la locomozione. I segmenti addominali, separati da strozzature evidenti, sono muniti di pseudopodi piccoli e conici, di ciuffi branchiali e di appendici laterali.

Le larve si nutrono raschiando la patina batterica e peritica che si sviluppa su substrati formati da ampie superfici lisce sottoposte ad elevate velocità di corrente. Anche le pupe vivono attaccate al substrato negli stessi ambienti in cui si trovano le larve ed hanno dimensioni simili a quelle delle larve mature (5-12 mm). Le pupe aderiscono al substrato tramite 3 o 4 punti di attacco situati in



posizione ventrale lungo i due lati dell'addome.

I blefariceridi sono considerati indicatori di buona qualità ambientale, in quanto molto sensibili a diverse forme di inquinamento. La sensibilità di questi ditteri all'inquinamento non deriva esclusivamente dall'intolleranza fisiologica alle alterazioni chimico-fisiche dell'acqua, ma anche ad una serie di effetti indiretti, primo fra tutti la ridotta aderenza al substrato dovuta alla formazione eccessiva di patine batteriche, alghe filamentose e muschi, che ricoprono i substrati in ambienti eutrofici. Data la scarsa mobilità delle larve e l'abitudine di occupare la parte superiore dei massi, i blefariceridi sono anche sensibili alle improvvise variazioni di portata che tipicamente si verificano in torrenti sottoposti a regimazione idroelettrica. La loro presenza in un torrente ne testimonia quindi le buone condizioni trofiche e idrauliche. In Italia sono presenti 5 generi e 13 specie, tutte d'acqua dolce. Tra queste, *Liponeura cinerascens* che con le due sottospecie *minor* e *cinerascens*, occupa le acque a maggior altitudine, rispettivamente sulle Alpi e sulla dorsale Appennino-Alpi Marittime.

Atericidi. Si tratta di una piccola famiglia di brachiceri con larve tutte acquatiche e adulti talvolta ematofagi (vedi disegno) su altri artropodi o su mammiferi. Sono frequenti in torrenti con basso o moderato carico organico. Le larve vivono in genere nelle zone del torrente dove le acque sono meno impetuose, infossate nella sabbia o tra la ghiaia, tra le cortecce di rami sommersi o ancora tra i muschi.



Molto caratteristica è la deposizione delle uova da parte delle femmine di molte specie, le quali si riuniscono in gran numero sui rami di un albero sospeso sopra l'acqua e vi depongono un ammasso di uova sul quale rimangono alla fine appesi i corpi delle femmine morte. Le larve cadono poi direttamente nell'acqua corrente sottostante.

Tre sono le specie più diffuse nei torrenti: *Atherix ibis*, *Ibisia marginata* e *Atrichops crassipes*.

Empididi. È una famiglia numerosa, con almeno 270 specie note sinora in Italia. Si tratta di un gruppo ubiquitario, che ha conquistato praticamente tutti gli ambienti, compresi quelli alle quote più elevate (oltre i 2000 m s.l.m.), con larve terrestri, acquatiche e semi-acquatiche. Nei torrenti vivono tra i muschi e le pietre o sui sedimenti fini e umidi delle rive. La capsula cefalica è ridotta e gli uncini mandibolari sono particolarmente sviluppati. Questo è legato alle abitudini alimentari delle larve, che sono voraci predatrici, in genere di simuliidi e chironomidi.

Altre famiglie di ditteri. Per quanto riguarda le altre famiglie di ditteri, molte comprendono anche specie capaci di vivere in ambienti molto particolari quali i residui di fogna, le acque di scolo, le acque termali e salmastre, ecc. Tra queste gli psicodidi, i ceratopogonidi, i muscidi e gli straziomiidi.

Nei torrenti queste famiglie di ditteri si trovano in genere nelle zone di maggiore accumulo di detrito organico, dove è presente una vegetazione sommersa o nei tratti in cui prevalgono i sedimenti fini (sabbia e limo).

Tricotteri. I tricotteri derivano il loro nome dalle parole greche *thrix*, *trichos* (pelo) e *pteron* (ala), per l'aspetto degli adulti in volo, simili a farfalle dalle ali pelose e dai colori generalmente attenuati. A riposo invece le quattro ali sono piegate a formare una sorta di tetto sull'animale. In Italia sono note più di 330 specie, suddivise in una ventina di famiglie. Gli adulti sono crepuscolari o notturni e volano spesso in grandi sciami nuziali nelle sere d'autunno in vicinanza di corsi d'acqua o intorno a fonti di luce. Particolarmente interessanti sono i costumi delle larve, che conducono tutta vita acquatica sia in acque correnti sia ferme (unica eccezione il genere *Enoicyla*, con ciclo biologico completamente terrestre). L'unicità delle larve dei tricotteri è data dalla capacità di costruire una vasta gamma di ricoveri, con forme e finalità diverse. Relativamente ai ricoveri larvali possiamo distinguere i tricotteri in tre categorie: con astuccio mobile, con ricovero fisso e libere. Alla prima categoria appartengono la maggior parte delle specie, che costruiscono astucci intorno al proprio corpo con lo scopo di proteggersi ed aumentare la resistenza nei confronti della corrente. La tecnica costruttiva consiste nella produzione di una sostanza collosa con la quale fissano materiale inorganico (sabbia, sassolini, vedi disegno) oppure organico (nicchi di molluschi, pezzetti di foglie, cauli, semi, bastoncini). La forma è cilindro-conica con materiale inorganico nelle famiglie dei sericostomatidi, odontoceridi, bereidi, e con materiali prevalentemente organici o misti nelle famiglie dei brachicentrini, lepidostomatidi, leptoceridi, limnefilidi.



Forme particolari si hanno nella famiglia degli idroptilidi, le cui minuscole specie costruiscono piccoli ricoveri di seta e granelli di sabbia a forma di borsellino; i goeridi inseriscono pietruzze più grosse a fianco degli astucci cilindrici, usate come bilancieri per evitare il rovesciamento; i glossosomatidi invece costruiscono ricoveri a forma di gobba di cammello, con un'apertura in ciascuna delle due cuspidi. La tecnica costruttiva delle larve dei tricotteri è stata messa a profitto da alcuni gioiellieri che hanno allevato larve in un acquario contenente grani, bastoncini e laminette d'oro, piccole pietre preziose di vario tipo, ottenendo così degli originalissimi ed unici gioielli "biologici". Le larve di altre famiglie (idropsichidi, policentropodidi, filopotamidi) costruiscono invece ricoveri fissi di sola seta, non a scopo di protezione, ma di raccolta di alimenti. Si tratta di vere e proprie "ragnatele" di forma più o meno conica e con l'apertura verso la corrente, capaci di filtrare, o meglio pescare, la sostanza organica viva o morta che la corrente trasporta. Queste larve sono munite di pigopodi con lunghe setole a formare delle piccole "scope" con le quali spazzolano le reti radunando il "pescato" per nutrirsi. Le reti vengono costruite sotto sassi e massi o comunque dove la velocità dell'acqua non è tale da danneggiarle. Infine i tricotteri comprendono specie (famiglia dei riacofilidi), le cui larve non costruiscono alcun tipo di ricovero, ma conducono vita libera e sono predatrici di altri macroinvertebrati bentonici. Lo sviluppo è di tipo olometabolico e quando si avvicina il momento della



Astuccio larvale di tricottero limnefilide

metamorfosi le larve viventi in foderi trasportabili si arrampicano su massi o altre sporgenze, fissandosi nei pressi della superficie dell'acqua. Anche l'apertura anteriore del ricovero viene chiusa e la metamorfosi ha inizio. È frequente osservare lunghe collane di questi astucci pupali ordinatamente disposti su massi emergenti lungo linee segnate dal livello medio dell'acqua. I tricotteri privi di astuccio si impupano invece all'interno di un ricovero appositamente costruito e ancorato sotto i sassi, racchiusi in un bozzolo sericeo. La scarsa mobilità della maggior parte delle larve dei tricotteri li rende particolarmente vulnerabili ai repentini cambiamenti di portata e non è raro trovarli miseramente spiaggiati in seguito al ritiro delle acque dopo un temporale. Questa condizione tuttavia si verifica molto più frequentemente in torrenti regimati da esigenze di produzione idroelettrica. Le variazioni di portata sono anche rilevanti, questa



Esemplare adulto di tricottero

volta per cause naturali, in torrenti alimentati prevalentemente da acque di fusione glaciale. Nel complesso quindi la scarsa mobilità, la preferenza di ambienti con velocità di corrente medio-bassa e il prevalente ruolo trofico di tagliuzzatori-raccoglitori di sostanza organica grossolana (per lo più foglie morte), limitano per lo più la presenza dei tricotteri ai tratti sotto la vegetazione arborea. Questo tuttavia non ne esclude la colonizzazione di ambienti particolarmente favorevoli anche a quote che superano i 2500 m s.l.m. Nel tratto superiore troviamo specie orofile e stenoterme di acque fredde tra cui *Rhyacophila tristis*, *Philopotamus montanus*, *Plectronemia conspersa*, *Drusus discolor*; più in basso queste specie sono sostituite da altre, a più ampia valenza ecologica, quali *Rhyacophila torrentium*, *Hydropsyche instabilis*, *Potamophylax cingulatus*, *Sericostoma pedemontana*.



La fauna a vertebrati

SERGIO PARADISI

81

■ Ittiofauna

I salmonidi dei torrenti italiani. L'elemento faunistico che il sapere popolare accosta con maggiore immediatezza al torrente montano è la trota. In realtà, a ben guardare, la distribuzione di questo pesce non appare limitata a tale tipologia di acque, andando a comprendere ad esempio anche gli ampi corsi pedemontani, i grandi laghi prealpini di origine glaciale, le risorgive della bassa pianura. Si tratta di ambienti accomunati da acque fresche o decisamente fredde - con una temperatura che solo occasionalmente e per brevi periodi tocca valori prossimi ai 20° C, restandone di solito ben al di sotto - e da una conseguente buona ossigenazione. È proprio in base all'elevato fabbisogno di ossigeno di questo pesce, conseguente a un metabolismo particolarmente attivo, che va individuato lo stretto legame tra la trota e il torrente alto-montano, ove la turbolenza dell'acqua aumenta il tenore di ossigeno, portandolo spesso a livelli di sovrasaturazione. È questo il tratto di corso d'acqua che gli idrobiologi classificano come "zona a salmonidi superiore e media" o senz'altro, "zona a trota" tout court.

La trota è dunque, relativamente all'ittiofauna, la specie-guida di queste acque, quella cioè che per il suo migliore adattamento alle condizioni ecologiche risulta dominante, se non addirittura l'unica presente. Ma si fa presto a dire trota: quale trota popola le acque dolci italiane? La domanda richiede una risposta che è tutt'altro che scontata, e costituisce il terreno di ricerca e confronto su cui tuttora si cimentano, con opinioni non sempre univoche, molti studiosi. Secondo Tortonese - autore, nei primi anni Settanta, dei due volumi della "Fauna d'Italia" dedicati ai pesci ossei - le trote italiane apparterrebbero tutte alla specie *Salmo trutta*, polimorfa e politipica, caratterizzata da grande variabilità nella taglia, nella livrea, nel comportamento, capace di dare origine a varietà locali ed ecotipi. In particolare la forma nominale *Salmo trutta trutta*, cui viene ricondotta la trota di torrente o trota "fario", è considerata presente in tutte le regioni (Sicilia e Sardegna comprese); accanto ad essa sono riconosciute due sottospecie endemiche: la trota "marmorata" (*Salmo trutta marmoratus*), distribuita nel Po e nei suoi affluenti di origine alpina, e il carpione del Garda (*Salmo trutta carpio*), presente solo nel più esteso dei laghi italiani. Non viene invece dato valore sistematico alla trota "lacustre" e alla trota "sarda" o "macrostigma".

Salamandrina dagli occhiali (*Salamandrina terdigitata*)

Trota marmorata (*Salmo [trutta] marmoratus*)Trota fario (*Salmo [trutta] trutta*)Trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*)Trota mediterranea (*Salmo [trutta] macrostigma*)

Una ventina d'anni dopo, Gandolfi e Zerunian proposero una diversa interpretazione sistematica, per altro non ritenuta risolutiva dagli stessi Autori. In tale quadro viene concesso rango di specie al carpione del Garda (*Salmo carpio*) e al carpione del lago di Posta Fibreno (*Salmo fibreni*). Viene inoltre proposto di considerare *Salmo trutta* una "superspecie" rappresentata in Italia da tre "semi-specie" (intese quest'ultime come popolazioni che hanno completato solo in parte il processo di speciazione): esse sono la trota fario (*Salmo [trutta] trutta*), ampiamente diffusa in tutta la Penisola in seguito a semine e ripopolamenti, ma per gli Autori autoctona forse solo in alcuni torrenti dell'arco alpino; la trota mediterranea o macrostigma (*Salmo [trutta] macrostigma*), presente nei tributari tirrenici dell'Italia centro-meridionale e insulare; la trota marmorata (*Salmo [trutta] marmoratus*), endemica del distretto padano-veneto.

Il dubbio sull'autoctonia della trota fario è una questione ancora aperta. Nel 1936 l'itttiologo Edoardo Gridelli così scriveva riguardo alla situazione friulana: "La fario manca nelle acque del versante adriatico della Venezia Giulia e del Friuli, oppure, se vi si trova, la sua presenza è dovuta a immissioni recenti. È invece indigena nelle acque del versante danubiano"; cioè unicamente nei corsi della conca di Tarvisio, tributari del Danubio tramite la Gail e la Drava. L'affermazione categorica del Gridelli sull'assenza della fario dai corsi alpini tributari dell'Adriatico (perlomeno da quelli friulani) è stata progressivamente mitigata dagli Autori successivi, fino all'ipotesi che voleva la marmorata tipica dei corsi di fondovalle e di pianura, mentre la fario restava relegata ai torrenti d'alta quota. Quest'ipotesi però presenta l'incongruenza concettuale della presenza di due sottospecie in simpatia, all'interno dello stesso bacino fluviale. È vero che la fario e la marmorata hanno tendenza a diversificare habitat e alimentazione, ma è parimenti vero che la marmorata si rinviene in molti casi anche in acque d'alta quota, specie se di portata non proprio infinitesimale (1 m³/s) e se poco o nulla interessate a immissioni di fario.

Secondo il Gridelli, le prime semine di fario nei fiumi della regione friulano-giuliana risalirebbero al 1906, quando vennero immesse nell'Isonzo uova provenienti dall'incubatoio di Ilidze, presso Sarajevo. Proprio agli inizi del '900, sostenuta dalle continue immissioni a fini alieutici, la fario ha cominciato l'espansione che l'ha portata ad essere di gran lunga il salmonide più diffuso sul territorio nazionale. È tuttavia importante sottolineare che l'allevamento della trota e l'introduzione nei corsi d'acqua del materiale ittico così ottenuto non sono pratiche recenti: i primi allevamenti su scala industriale vennero impiantati in varie nazioni europee attorno alla metà del 1800, mentre in Italia il primo allevamento ittico sorse in Piemonte nel 1860. Di pochi anni successivi sono alcuni impianti friulani e trentini, mentre nel 1885 risultano già funzionanti due impianti demaniali promossi dal Governo italiano: il Regio Stabilimento Ittiogenico di Brescia, operante con varie filiali e decine di piccoli incubatoi in tutto il Nord Italia, e lo

Stabilimento di Roma. La quasi totalità delle fario allevate in questi allevamenti (e immesse nei nostri corsi d'acqua) era - ed è del resto ancor oggi - di ceppo "atlantico". La diversità tra queste fario "atlantiche", quelle dei fiumi tributari del Mediterraneo e quelle che popolano le acque del bacino danubiano non è sempre evidente sulla base dei caratteri morfologici, ma è ben rilevabile ricorrendo a tecniche biochimiche e di genetica molecolare. L'ipotesi dell'autoctonia della fario nel bacino padano richiederebbe pertanto il rinvenimento in quest'area di popolazioni "mediterranee". Di recente, studi morfologici e molecolari hanno rivelato che alcune popolazioni di fario presunte indigene delle Alpi piemontesi (torrenti Ripa, Chisone e pochi altri) sono filogeneticamente più vicine alle trote di ceppo mediterraneo che non alle popolazioni originate da ripopolamenti. Analoghe considerazioni - basate però solo su caratteri morfologici - sono state avanzate per le trote di alcuni piccoli corsi dell'Appennino reggiano, come ad esempio il torrente Riarbero (alto bacino del Secchia). Si tratta in ogni caso di torrenti prossimi agli spartiacque alpino ed appenninico, molto vicini cioè alle testate di valli percorse da tributari del Tirreno e cioè da acque appartenenti all'areale della trota mediterranea. Per questo motivo tale presenza potrebbe trovare spiegazioni in eventi geologici (ad es. fenomeni di cattura fluviale per erosione regressiva, o inversioni dell'alto corso dei fiumi nelle valli alpine in epoca glaciale) o più semplicemente in transfaunazioni ad opera dell'uomo.

Alla domanda iniziale - quali trote popolano i torrenti italiani? - è quindi possibile rispondere, allo stato attuale delle conoscenze, riassumendo quanto sopra esposto. In tutti i corsi che affluiscono nel Po e nei tributari adriatici veneto-friulani è autoctona la trota marmorata; essa non è presente negli affluenti di destra del Po, a iniziare dal Belbo: l'assenza è probabilmente dovuta alle caratteristiche degli alvei, ricchi di sedimenti fini e non idonei alla sua riproduzione. Autoctone sarebbero anche alcune popolazioni di fario dell'Appennino reggiano e del Piemonte occidentale, affini alla macrostigma. Quest'ultima risulta distribuita in vari corsi del versante tirrenico e ionico dell'Italia centro-meridionale e in alcuni fiumi delle due isole maggiori e della Corsica.

Mentre la biologia delle popolazioni italiane di macrostigma risulta ancora poco indagata, le conoscenze relative a marmorata e fario sono invece piuttosto buone e mostrano fra i due taxa varie analogie, ma anche alcune differenze. In entrambe è simile il comportamento riproduttivo. La maturità sessuale viene raggiunta dalle femmine al 3° anno d'età, mentre i maschi risultano maturi al 2° anno per quanto riguarda la fario, al 3° per la marmorata. Il periodo di frega è determinato da vari fattori, tra cui la temperatura e il fotoperiodo. All'avvicinarsi del momento dell'ovodeposizione la trota cessa di nutrirsi e risale i corsi d'acqua alla ricerca dei siti adatti; questi consistono in zone a profondità ridotta, con corrente compresa tra 20 e 60 cm al secondo, che determina un fondo con ghiaie di adatta granulometria. Giunta sul luogo di frega la femmina scava,



Trota fario (*Salmo [trutta] trutta*)

usando il ventre e la pinna caudale, una depressione di 20-40 cm di diametro in cui depone le uova che, una volta fecondate, vengono ricoperte di ghiaia con l'uso della pinna caudale; in tal modo vengono a trovarsi sotto 5-15 cm di ghiaia e sono così relativamente al riparo da insidie ambientali. Una buona circolazione interstiziale è di grande importanza per garantire l'ossigenazione delle uova deposte: la costipazione delle ghiaie dovuta alla deposizione di limi equivale alla distruzione delle zone di frega.

L'accrescimento non è particolarmente rapido. In una troticoltura di pianura alimentata da acque di risorgenza le trotelle fario nell'autunno dell'anno di nascita raggiungono in media il peso di 25 grammi e la lunghezza di 12-15 centimetri, ma ben altra cosa è il torrente montano. In natura infatti i risultati sono nettamente inferiori e sono in ogni caso dipendenti dall'ambiente: in generale vi è una correlazione con i valori altitudinali e in ultima analisi con la temperatura, che influenza direttamente i processi metabolici. Il carattere oligotrofico dei piccoli corsi d'alta quota gioca ovviamente la sua parte, come pure la quantità di energia consumata per opporsi alla velocità della corrente; pertanto le trote dei torrenti montani, pur vitalissime, mostrano sempre taglie ridotte e accrescimento lento. È interessante ancora notare che, per quanto riguarda la trofia, le acque "dure", proprie dei distretti calcarei, risultano più favorevoli delle acque scorrenti su graniti, offrendo in genere una maggiore abbondanza di organismi macrobentonici.

Oltre alla velocità di accrescimento, l'ambiente condiziona anche la taglia massima raggiunta. La trota fario raggiunge normalmente nelle acque correnti italiane dimensioni attorno ai 50 cm di lunghezza con un peso di 1,2 - 1,5 chilogrammi; lo stesso si può dire per la macrostigma, mentre nettamente maggiore

è la taglia raggiungibile dalla marmorata, per la quale sono noti esemplari ben superiori al metro di lunghezza con pesi prossimi ai 20 chilogrammi. Nei rii d'alta montagna la taglia rimane molto inferiore a queste misure e si mantiene in genere al di sotto dei 30 cm (raggiunti al quarto-quinto anno d'età).

Pur essendo la trota strettamente carnivora, il suo spettro alimentare è assai ampio, comprendendo invertebrati appartenenti ai più svariati gruppi tassonomici: oligocheti, crostacei, insetti acquatici e insetti terrestri accidentalmente caduti in acqua; i vertebrati sono ovviamente rappresentati soprattutto da piccoli pesci (la predazione può riguardare anche i conspecifici), ma occasionalmente anche da anfibi e dalle loro larve. Alcuni soggetti possono avere un'alimentazione specializzata che talvolta porta a variazioni dei caratteri organolettici della carne: è il caso delle cosiddette "trote salmonate", nelle quali il particolare colore arancio della muscolatura è prodotto dall'assunzione di carotenoidi (ad esempio l'astaxantina, presente nel corpo di alcuni crostacei).

I salmonidi introdotti. Oltre alle trote sinora citate, i nostri torrenti ospitano con frequenza due specie affini provenienti dal Nord America, introdotte a fini alieutici. La più nota è *Oncorhynchus mykiss*, la trota iridea (o trota iridata, o trota arcobaleno). Indicata fino a non molti anni fa come *Salmo gairdneri*, questa specie, importata per la prima volta in Europa dal Nord America attorno al 1880 (dove è nota come "rainbow trout"), conta oggi popolazioni naturalizzate anche in Sud America, Sud Africa, Asia australe e Nuova Zelanda. Benché vi siano popolazioni selvatiche in Austria e in alcune zone dell'ex Jugoslavia, nelle acque europee la specie è da considerarsi non acclimatata, in quanto generalmente non si riproduce. Anche in Italia i casi di riproduzione in acque libere, pur documentati, restano comunque un'eccezione e la diffusione dell'iridea risulta pertanto fluttuante, essendo legata in maniera contingente alle immissioni, negli ultimi anni in sensibile calo. L'iridea è la tipica trota "da pescheria", cioè la specie in assoluto più allevata nelle troticolture europee in virtù di un miglior coefficiente di conversione del cibo (e quindi di una più rapida crescita) rispetto alle trote nostrane.

L'altro salmonide americano occasionalmente immesso nelle nostre acque è il salmerino di fonte (*Salvelinus fontinalis*), originario delle regioni nord-orientali dell'America settentrionale, ove popola i fiumi che si gettano nell'Atlantico e nella Baia di Hudson, dal Nord della Georgia al Labrador. Come l'iridea, è stato introdotto in Europa alla fine del XIX secolo. Nei territori di origine (dov'è nota come "brook trout") la specie è presente anche con forme migratrici anadrome (che migrano cioè dai corsi d'acqua al mare); in Europa si mantiene stabilmente nelle acque dolci. Nelle acque italiane il salmerino di fonte ha mostrato difficoltà a costituire popolazioni stabili nei torrenti: l'habitat e lo spettro alimentare simili a quelli delle trote indigene danno luogo a fenomeni di competizione che portano

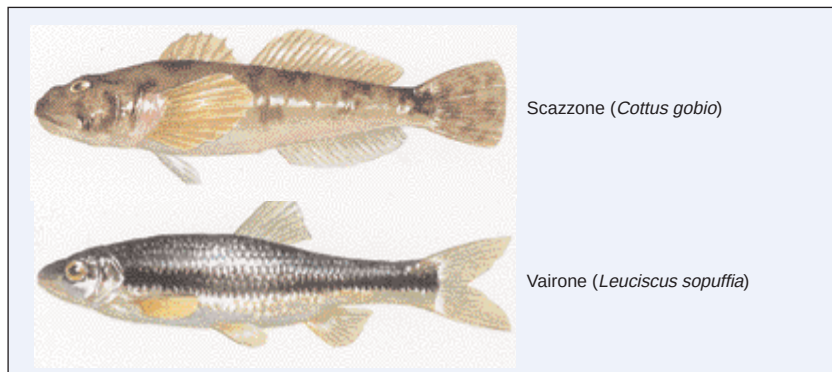


Trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*)

solitamente alla scomparsa della specie dai corsi d'acqua in cui viene introdotta, scomparsa cui potrebbero non essere estranee anche difficoltà a riprodursi in modo adeguato. La sua immissione ha avuto invece maggior successo in alcuni laghi in quota. Le popolazioni acclimate sono distribuite in modo molto frammentario sull'arco alpino e nell'Appennino settentrionale.

Un altro salmerino, *Salvelinus alpinus*, è presente e autoctono nelle acque alpine, sia pure in modo assai localizzato. In realtà la specie ha ampia diffusione circumpolare ed è presente lungo tutte le aree costiere dei mari artici e nei fiumi che vi sfociano, in cui si comporta da migratore anadromo; nell'arco alpino è da considerarsi un relitto glaciale. In Italia il salmerino è indigeno quasi certamente solo in alcuni laghi alpini del Trentino-Alto Adige; attualmente, in seguito a immissioni, esistono popolazioni acclimate in vari bacini lacustri d'alta quota dell'arco alpino e dell'Appennino settentrionale. Contrariamente a quanto accade a latitudini più settentrionali, i salmerini delle Alpi sono legati in modo esclusivo all'ambiente lacustre, dove avviene la riproduzione; il reperimento di esemplari in torrente è perciò occasionale.

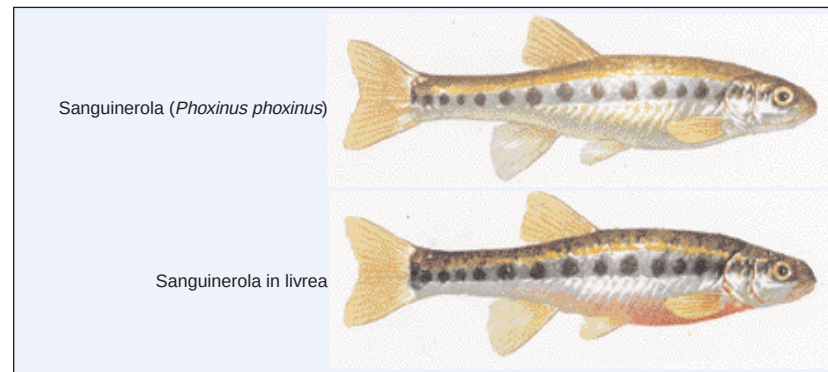
Altre specie ittiche. Oltre ai salmonidi citati, ben poche sono le altre specie ittiche rinvenibili nei corsi alto-montani; la più ricorrente tra queste è lo scazzone (*Cottus gobio*), distribuito su tutto l'arco alpino e, con popolazioni isolate, in vari corsi dell'Appennino settentrionale, sia sul versante padano che su quello tirrenico. La specie ha raggiunto l'Italia probabilmente dal distretto danubiano, in seguito a fenomeni di cattura fluviale tra l'alto corso di fiumi cisalpini e transalpini, distribuendosi poi - durante le fasi di regressione marina conseguenti alle glaciazioni (e di concomitante espansione del paleo Po) - nei bacini del distretto pa-



dano-veneto. Catture fluviali pleistoceniche fra corsi degli opposti versanti appenninici hanno verosimilmente determinato la successiva penetrazione nel distretto toско-laziale. Si tratta di un pesce di piccola taglia (raramente raggiunge i 15 cm), attivo durante le ore crepuscolari e notturne, la cui morfologia ne denuncia le abitudini bentoniche e la scarsa disposizione al nuoto sostenuto: l'aspetto è tozzo, la testa è grande rispetto al corpo, con occhi spostati verso l'alto, la bocca è ampia e pare rivolta verso l'alto. Frequenta acque fresche e ossigenate, dalla pianura fino ad oltre 1200 metri sul livello del mare.

Con la trota lo scazzone dà vita ad una associazione caratteristica, con mutui rapporti di predazione e di concorrenza alimentare: lo spettro trofico comprende invertebrati bentonici, ma anche uova di pesce e avannotti, non escludendo quelli della propria specie. Lo scazzone si riproduce da febbraio a maggio; la femmina depone qualche centinaio di uova sulla volta di un riparo ricavato dal maschio al di sotto di un sasso o di un altro oggetto sommerso. Ogni maschio induce in genere più femmine a deporre nella propria cavità, e accudisce le uova (potendo però, come si è detto, divorarne una parte!) fino alla schiusa, che ha luogo dopo 2-3 settimane.

Altre specie ittiche, tipiche della regione a salmonidi inferiore dei corsi d'acqua possono, in condizioni idrologiche particolari, risalire verso acque più marcatamente montane. Tra queste il temolo (*Thymallus thymallus*), che in Italia presenta una distribuzione molto simile a quella della trota marmorata. Fino ad alcuni decenni fa era abbondante in quasi tutti i tributari di sinistra del Po e in alcuni di quelli di destra (Tanaro, Bormida), e poi nell'Adige, Brenta, Piave, Livenza, Meduna, Tagliamento, Isonzo; in alcuni torrenti del versante padano dell'Appennino settentrionale è stato introdotto in tempi recenti. Questa specie gregaria è da sempre considerata indicatrice di acque pulite ed è in effetti andata rarefacendosi con il progressivo deterioramento delle condizioni ambientali. È per questo motivo che negli ultimi decenni molte popolazioni di temolo



italiane sono state sostenute da immissioni, effettuate in molti casi con materiale di provenienza danubiana.

Parzialmente sovrapposta alla distribuzione della trota è anche quella di due ciprinidi, il vairone (*Leuciscus sopuffia*) e la sanguinerola (*Phoxinus phoxinus*); entrambi frequentano le acque fresche e ossigenate dei corsi pedemontani e collinari e delle risorgive della pianura, ma si rinvencono non di rado anche a quote elevate. Si tratta di due specie gregarie di piccola taglia che si intrattengono in banchi in prossimità del fondo, evitando comunque la zona a maggior turbolenza; frequentano anche laghetti oltre i 2000 m di quota. La sanguinerola, che prende il nome dal color rosso vermiglio che tinge le parti inferiori del maschio nel periodo riproduttivo, è autoctona in Italia nel distretto padano-veneto, mentre il vairone è indigeno dei distretti padano-veneto e toско-laziale. Soprattutto quest'ultima specie è però oggetto di transfaunazioni più o meno volontarie (è noto l'uso che ne fanno i pescatori come pesce-esca) che hanno dato luogo a popolazioni isolate in vari corsi appenninici al di fuori dell'areale originario.

Nelle acque appenniniche la zona a salmonidi inferiore assume connotazioni diverse rispetto alle acque alpine: condizionano il popolamento ittico le quote sul livello del mare oggettivamente più basse, le conseguenti condizioni idrologiche, le vicende geologiche che hanno determinato le faune dei diversi distretti. Procedendo verso valle, la progressiva rarefazione della trota va di pari passo con la comparsa e l'incremento della presenza di varie specie di ciprinidi reofili: il barbo (*Barbus plebejus*), il cavedano (*Leuciscus cephalus*), il già citato vairone, cui possono accompagnarsi nelle acque del versante padano il barbo canino (*Barbus caninus*) e nei tributari tirrenici di Toscana, Lazio e Campania il barbo appenninico (*Barbus meridionalis*) e il cavedano dell'Ombrone (*Leuciscus lucumonis*). La distribuzione di tutte queste specie nell'area appenninica ha subito in tempi recenti molte alterazioni ad opera dell'uomo.

Il torrente montano nella sua facies tipica non appare certo come l'ambiente ideale ad ospitare degli anfibi; purtuttavia lungo il suo corso sono frequenti piccoli ambienti marginali (anse con acqua semistagnante, rami minori a debole corrente, minuscoli affluenti da ruscellamento, pozze temporanee, lembi di torbiera) che offrono a questi animali buone opportunità residenziali o perlomeno riproduttive. Certamente laghetti, pozze d'alpeggio, torbiere estese, stagni e fondovalle impaludati sono habitat più favorevoli, ma l'incontro con un anfibio lungo le sponde di un rio di montagna è un avvenimento consueto, non foss'altro che per il microclima umido che si instaura nelle vicinanze del corso d'acqua.

Uno di questi incontri, specialmente con tempo piovoso, può riguardare la salamandra pezzata (*Salamandra salamandra*), diffusa in tutta Europa e relativamente comune nei boschi collinari e montani di tutta la nostra Penisola, fino a quote ben superiori ai 1000 metri sul livello del mare. Questo animale elusivo, di abitudini notturne o crepuscolari, ha generalmente costumi terragnoli. È comunque legata all'acqua nel primo periodo di vita: le femmine infatti trattengono le uova fecondate all'interno del proprio corpo e partoriscono alcune decine di larve branchiate in ruscelli a corrente non elevata o, più raramente, in raccolte di acqua stagnante. I piccoli sono di norma già ben formati in autunno, ma vengono partoriti nella tarda primavera (in estate a quote elevate). Le larve, che si nutrono di invertebrati bentonici, pervengono allo stadio adulto nell'arco di alcuni mesi.

Sulla catena alpina e sui rilievi dinarici vive anche la salamandra nera (*Salamandra atra*); l'incontro con questo anfibio - sul versante meridionale delle Alpi possibile solo a quote elevate, oltre il limite della vegetazione arborea - è un evento raro ed occasionale, e certamente non legato alla vicinanza di ambienti



Salamandra pezzata (*Salamandre salamandra*)

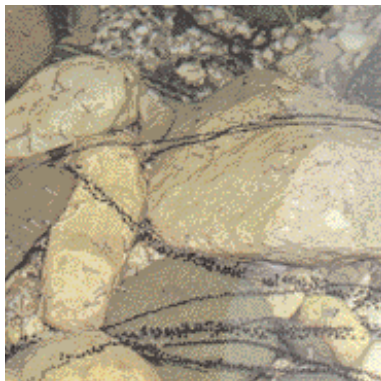
acquatici. La salamandra nera può prescindere infatti dalla presenza di acque correnti o stagnanti in quanto si tratta di un urodelo viviparo: dopo un periodo di gestazione molto lungo, che può durare anche quattro anni, la femmina partorisce uno-due piccoli (raramente tre o quattro) perfettamente metamorfosati.

Acquatico dalla primavera inoltrata alla tarda estate è invece il tritone alpestre (*Triturus alpestris*), che per il resto dell'anno frequenta i sottoboschi umidi mostrando abitudini fossorie. La riproduzione - che vede il maschio impegnato in rituali di corteggiamento - segue il periodo di quiescenza invernale; ambienti d'elezione sono laghetti alpini, stagni e torbiere; la specie può però essere rinvenuta anche nelle pozze marginali e nelle anse tranquille delle acque correnti dei torrenti. Le larve si sviluppano nei mesi estivi e rimangono in acqua fino al compimento della metamorfosi, segnata dal riassorbimento delle branchie, mentre gli adulti in agosto iniziano a rientrare nei quartieri autunnali. In Italia la specie è presente sull'arco alpino (ove è presente la sottospecie nominale), sulle Alpi Marittime, Appennino Ligure, Tosco-Emiliano e Laziale (*Triturus alpestris apuanus*) e, con popolazioni relitte, in alcune località della provincia di Cosenza (*Triturus alpestris inexpectatus*). Il tritone alpestre è l'unico urodelo acquatico che si rinventa oltre i 1500 metri sul livello del mare; a quote inferiori è possibile incontrare altre specie ad esso molto simili per biologia, aspetto e comportamento: il tritone crestato meridionale (*Triturus carnifex*), presente in tutta la Penisola, e il tritone punteggiato (*Triturus vulgaris*), assente nelle regioni meridionali.

In Italia la specie è rappresentata da due sottospecie così differenziate dal punto di vista morfologico, eco-etologico e genetico da aver fatto più volte supporre che si tratti di due specie distinte. La sottospecie nominale (*Triturus vulgaris vulgaris*) nel nostro paese si trova soltanto sulle Alpi Giulie e Carniche ove è legata a zone paludose situate all'origine di alcuni fiumi e torrenti montani. La forma me-



Tritone alpestre (*Triturus alpestris*)



Uova di rospo comune (*Bufo bufo*)

ridionale (*Triturus vulgaris meridionalis*) è invece più tipica della Pianura Padana e delle colline che la circondano pur potendo superare la quota di 800 metri. Sugli Appennini è vicariata da *T. italicus*, che lungo le aste fluviali può spingersi a discrete quote.

Ma il più importante urodelo italiano legato ai torrenti appenninici è certamente la salamandrina dagli occhiali (*Salamandrina terdigitata*), che nei tratti montani dei ruscelli depone le uova e completa lo sviluppo larvale. Si tratta di un urodelo di pochi centimetri di lunghezza, ma di enorme importanza evolutiva e conservazionistica. È infatti un endemita appenninico, unico rappresentante vivente di un genere di antiche origini; si tratta forse dell'unico genere di vertebrato veramente esclusivo del nostro paese, al punto che la salamandrina dagli occhiali è stata utilizzata come simbolo dell'Unione Zoologica Italiana.

Tutti gli urodeli (e anche le loro larve) sono strettamente carnivori e ricercano prede vive: lo spettro alimentare comprende soprattutto invertebrati acquatici, ma gli adulti predano anche uova e larve di altri anfibi.

Gli ambienti acquatici marginali più sopra descritti consentono la presenza - e in qualche caso la riproduzione - anche di alcuni anuri: non è raro osservare nelle residue pozze laterali del torrente i tipici cordoni di uova o i girini neri del rospo comune (*Bufo bufo*), il più grande anfibio europeo, in grado di spingersi anche oltre i 2000 metri. Due specie di piccole dimensioni che abbisognano solo di piccole raccolte d'acqua temporanee per riprodursi sono la raganella (*Hyla* spp.) e gli ululoni (*Bombina variegata* e *B. pachypus*). Le raganelle, tuttavia, ben di rado frequentano le porzioni più elevate dei bacini imbriferi, mentre l'ululone dal ventre giallo (*B. variegata*), piuttosto comune nell'Italia nord-orientale, è in grado di spingersi fino ai 1900 metri di quota. Pur prediligendo pozzanghere, stagni ed abbeveratoi per il bestiame, si riproduce anche nelle anse più tranquille dei torrenti montani. Sugli Appennini esso è vicariato da una forma affine (*B. pachypus*) che mostra analoghe tendenze ecologiche.

L'anuro tipico della montagna è però la rana temporaria (*Rana temporaria*); l'areale italiano della specie comprende l'Arco Alpino e l'Appennino settentrionale. È una specie di bosco che può essere rinvenuta ben oltre i 2000 metri di quota, fino nelle mughete e negli arbusteti nani al di sopra del limite della vegetazione arborea; si incontra facilmente anche nei pascoli umidi ed è frequente sulle sponde prative dei torrenti. Si riproduce preferibilmente nelle torbiere e nei

laghetti montani, ma talvolta è possibile osservare i suoi girini in vene laterali del torrente. Ogni femmina depone qualche migliaio di uova e non è infrequente imbattersi in impressionanti assembramenti di girini; solo un ridotto numero di esemplari sopravviverà però fino al quarto anno, età in cui viene raggiunta la maturità sessuale. L'elevata mortalità solitamente dipende non tanto dai predatori quanto dai fattori ambientali; tuttavia va messo in rilievo che le indiscriminate immissioni di trote e salmerini operate in pressoché tutti i torrenti montani, ma soprattutto in molti piccoli laghetti d'alta quota che non ospitavano pesci, costituiscono un reale pericolo di estinzione per le popolazioni di anfibi di questi delicati ambienti. Altra rana rossa di montagna è la rana italica (*Rana italica*), rinvenibile in molte zone dell'Appennino, talora anche oltre i 1000 metri di altitudine; più piccola della temporaria, frequenta di preferenza le sponde delle acque correnti, ed è un importante endemita della fauna italiana.

Fra i pochi predatori naturali presenti nel torrente d'alta quota, un posto di rilievo spetta alla biscia d'acqua dal collare (*Natrix natrix*), che deve il nome alle due caratteristiche macchie chiare quasi sempre presenti dietro il capo, doppiate da due chiazze semilunari scure. Questo serpente, molto frequente in Italia, si trova in tutti gli ambienti acquatici; è un ottimo nuotatore e il suo spettro alimentare comprende soprattutto gli anfibi e le loro larve e i pesci di piccola taglia; invertebrati possono rientrare nella dieta degli esemplari giovanili. È comune anche in ambiente montano: le grosse femmine, che spesso sono rinvenibili anche in ambienti moderatamente xerici lontano dall'acqua, possono spinger-



Ululone dal ventre giallo (*Bombina variegata*)

si anche oltre i 1500 metri di altitudine, e la loro alimentazione va a comprendere soprattutto rospi, rane, micromammiferi e lucertole. Pur essendo l'unico rettile acquatico a queste quote, la biscia d'acqua dal collare non è però il solo serpente che si possa incontrare sulle sponde del torrente montano: il bosco ripariale moderatamente umido, specie lungo i corsi di fondovalle, è congeniale alla presenza del saettone (*Elaphe longissima*), mentre i massi e le ghiaie dei greti possono essere siti di termoregolazione sia per colubridi sia per viperidi. Fra questi ultimi, preferenza per ambienti con un certo grado di umidità manifesta il marasso (*Vipera berus*), ora presente in Italia solo sull'arco alpino, certamente uno dei serpenti meglio adattati alle alte quote. Strette affinità corologiche ed ecologiche con il marasso, con cui spesso coabita, sono evidenziate dalla lucertola vivipara (*Zootoca vivipara*). Le Alpi e la Pianura Padana rappresentano il margine meridionale del suo vastissimo areale che comprende buona parte del continente euroasiatico. Alle nostre latitudini la microtermia della specie ne limita la presenza agli ambienti montani e submontani al di sopra dei 600-700 metri di altitudine e ad alcune stazioni di pianura infrigidite dal fenomeno delle acque di risorgenza, ove vive la forma ovipara *Z. v. carniolica*.

■ Ornitofauna

Contrariamente ai corsi idrici di pianura, in condizioni di naturalità frequentati da una ricca avifauna che trae giovamento dalla varietà degli habitat, dalla ricchezza di nicchie ecologiche e dalla buona disponibilità trofica, il torrente montano costituisce un ambiente severo, che offre ben poche opportunità agli uccelli acquatici.

Una sola specie risulta in questo ambiente strettamente legata per tutto l'arco dell'anno all'elemento liquido: si tratta del merlo acquaiolo (*Cinclus cinclus*), singolare passeriforme presente sia sull'arco alpino sia sull'Appennino.

La straordinaria peculiarità di questo animale consiste nell'estrema disinvoltura con cui non solo si immerge e nuota, ma anche cammina sul fondo del torrente, procedendo di solito in senso contrario alla corrente e aiutandosi con movimenti equilibratori delle ali e della coda.

Queste immersioni possono durare anche una quindicina di secondi, e consentono al merlo acquaiolo di catturare gli organismi di cui si nutre: principalmente invertebrati bentonici, ma anche uova e avannotti di pesci; la dieta comprende occasionalmente una componente vegetale molto ridotta, costituita soprattutto da semi caduti in acqua.

La specie risulta più frequente come nidificante fra i 500 e i 1700 metri di quota, ma nelle zone prealpine può nidificare fin quasi in pianura, mentre sono peraltro note nidificazioni oltre i 2200 metri nelle Alpi occidentali. Il nido, di forma sferica, viene costruito con muschio e altro materiale vegetale nelle immediate



Merlo acquaiolo (*Cinclus cinclus*)

vicinanze dell'acqua, non di rado sotto un ponte o dietro una cascatella, spesso inserito nella cavità di una roccia o di un muro o fra le radici di un albero, ma anche celato fra le erbe della sponda.

Tra marzo e aprile, secondo un calendario influenzato dalla quota e dall'andamento della stagione, avviene la deposizione delle uova, che schiudono dopo 15-18 giorni. I piccoli vengono nutriti da entrambi i genitori e dopo una ventina di giorni abbandonano il nido. In questa fase non sono ancora in grado di volare, ma sono già piuttosto abili nel nuoto, e iniziano così un processo di affrancamento dai genitori che li porterà in tempi piuttosto brevi - altre 4 o 5 settimane - a distribuirsi lungo il corso d'acqua natio o in altri torrenti con erratismi anche di svariate decine di chilometri.

In generale il merlo acquaiolo è molto legato alla zona di nidificazione. Tuttavia spostamenti verticali verso il fondovalle vengono attuati nei mesi invernali dai soggetti che vivono alle quote maggiori, e nelle stagioni più sfavorevoli alcuni individui possono comparire anche in pianura. L'abbandono del territorio si determina talvolta in seguito ad alterazioni ambientali, in quanto la specie si rivela assai sensibile alla qualità dell'acqua ed ai mutamenti del regime idrologico del corso: ciò avviene, verosimilmente, per i conseguenti riflessi sulla disponibilità trofica.

Altre - poche - specie ornitiche, pur senza aver nulla dell'acquaticità del merlo acquaiolo, nidificano regolarmente lungo le sponde del torrente. Una di queste

Beccafico (*Sylvia borin*)Ballerina bianca (*Motacilla alba*)

è lo scricciolo (*Troglodytes troglodytes*) che nidifica, con poche eccezioni, in aree montane e collinari a quote comprese tra i 500 e i 2000 metri. In marzo-aprile il maschio, fortemente territoriale e non di rado poligamo, costruisce uno o più nidi di muschio di forma globosa a pochi metri d'altezza dal suolo, di regola nei sottoboschi umidi e ombrosi e spesso in vicinanza di un corso d'acqua. La cova e l'allevamento della prole sono invece lasciati alla femmina (o alle femmine). Quasi sempre, solitamente a giugno, viene effettuata una seconda deposizione. Lo scricciolo è presente - nelle aree adatte - in tutto il territorio italiano. Le poche coppie che nidificano in pianura mostrano precise esigenze microclimatiche e sono quasi sempre localizzate nei boschi ripariali. Analogo discorso vale per il beccafico (*Sylvia borin*), un piccolo silvide che in Italia nidifica sull'Arco Alpino e sull'Appennino settentrionale ad altitudini solitamente tra i 900 e i 2000 metri, preferendo i lariceti radi, la fascia degli arbusti contorti e - in particolare - i freschi cespuglieti che bordano i torrenti. La

specie nidifica sporadicamente a quote inferiori, in aree collinari, e di rado anche in pianura, dove risulta sempre associata a sponde con folta copertura vegetale a salici e ontani. Il beccafico ha un comportamento alquanto schivo, ed è localizzabile soprattutto al canto.

La presenza di questo silvide, migratore transahariano, è esclusivamente estiva. Meno elusive e di frequente incontro sulle rive del torrente sono due specie tra loro affini, la ballerina bianca (*Motacilla alba*) e la ballerina gialla (*Motacilla cinerea*), ubiquista la prima, più strettamente legata all'acqua la seconda. Il nido della ballerina gialla viene posto in ogni tipo di anfratto in vicinanza della sponda; talvolta vengono anche utilizzati vecchi nidi di scricciolo o di merlo acquaiolo. Entrambe le specie sono comuni nelle aree collinari e montane di tutta la Penisola; la densità è minore in pianura, in special modo per la ballerina gialla.

■ Mammalofauna

I mammiferi presenti nei territori montani in Italia costituiscono un gruppo di specie discretamente numeroso, ma di ben pochi di essi si può dire che risultino legati in senso stretto ad ambienti d'acqua dolce, e al torrente d'alta quota in particolare. Le sue sponde conoscono le scorribande dei camosci, il pascolo vigile delle marmotte, le cacce dell'ermellino e i frenetici andirivieni di invisibili roditori; ma per elencare le specie veramente acquatiche - che

svolgono cioè alcune delle loro abituali attività dentro l'elemento liquido - bastano ampiamente le dita di una mano. Due di esse sono minuscoli insettivori la cui "acquaticità" è suggerita già dal nome: il toporagno d'acqua (*Neomys fodiens*), diffuso in quasi tutte le regioni italiane, ma assente dalle isole e dal meridione d'Italia, e il toporagno acquatico di Miller (*Neomys anomalus*), diffuso in tutta la Penisola. Pur essendo i più grandi tra i topiragno italiani, si tratta di specie di piccolissima taglia (70-90 mm esclusa la coda il primo, appena più piccolo il secondo) e come tali caratterizzate da un forte tendenza al raffreddamento e da un conseguente elevatissimo livello metabolico indispensabile a mantenere costante la temperatura corporea, tanto più se gli ambienti frequentati sono a clima rigido. Ecco perciò che le frequenze cardiaca e respiratoria sono molto alte; anche la ricerca del cibo è frenetica e continua, e avviene sia a terra che sott'acqua. *Neomys fodiens* appare fra i due il più adattato all'ambiente subacqueo disponendo, lungo tutta la parte inferiore della coda e sui margini delle zampa posteriori, di frange che ne migliorano l'attitudine al nuoto. In *Neomys anomalus* tali strutture sono presenti in misura ridotta e, per quanto riguarda la coda, sono del tutto assenti o limitate alla porzione terminale. Entrambe le specie sono in grado di chiudere le aperture auricolari durante l'immersione.

Lo spettro alimentare comprende invertebrati terrestri ed acquatici, ma anche anfibi e pesci di piccola taglia e le loro larve; un ausilio alla cattura delle prede viene dalla saliva, che contiene sostanze tossiche trasmesse con il morso. Recenti ricerche indicano che *Neomys fodiens* è in grado di raggiungere fonti alimentari anche profondamente sommerse, mentre *N. anomalus* limita le sua attività trofiche alla superficie delle torbiere ed ai prati umidi. La tana è sotterranea, ed è costituita da una cavità collegata all'esterno da cunicoli, almeno uno dei quali sbocca in genere sotto il pelo dell'acqua; parte di essa viene tappezzata da erbe, muschi e altri residui vegetali a costituire il nido del parto. Questi

Toporagno d'acqua (*Neomys fodiens*)



Puzzola (*Mustela putorius*)

toporagni sono fortemente territoriali: non solo le immediate vicinanze della tana, ma anche il territorio di caccia vengono attivamente difesi dall'ingresso dei conspecifici con un grado di aggressività alquanto elevato. I combattimenti che ne conseguono, pur violenti, sono però molto ritualizzati e pertanto di solito privi di conseguenze gravi. *Neomys fodiens* è la specie più territoriale, mentre *N. anomalus* appare più gregario.

Uno dei carnivori forestali più legati alle fresche e umide golene boschive degli alvei fluviali è la puzzola (*Mustela putorius*), che in questi ambienti ricerca soprattutto anfibi e topi. La specie è in fase di regresso in tutta l'Europa occidentale, ma sopravvive in gran parte degli impervi tratti montani delle aste fluviali alpine ed appenniniche.

Parlando di mammiferi acquatici non si può non citare la lontra (*Lutra lutra*). Questo magnifico carnivoro, estremamente esigente sia dal punto di vista trofico, sia dal punto di vista delle scelte ambientali, diffuso fino alla metà del '900 - sia pure con densità diverse - in tutti gli ambienti acquatici del nostro Paese, è oggi probabilmente il mammifero a maggior rischio di estinzione non solo in Italia, ma nell'intera Europa. Le cause del drammatico e simultaneo crollo verticale delle popolazioni europee di questo mustelide vanno ricercate in una pluralità di fattori: la vulnerabilità derivante dallo status di superpredatore, e quindi da una densità in natura di per sé normalmente non elevata; la riduzione degli habitat idonei alla presenza della specie, costituiti da estesi boschi ripariali, dovuta agli imponenti mutamenti ambientali sopravvenuti - soprattutto

in pianura - in conseguenza delle grandi opere di bonifica e dell'imporsi dell'agricoltura intensiva; il generalizzato degrado del reticolo idrico, soggetto a sempre maggiori alterazioni antropiche; il prolungato protrarsi dell'attività venatoria sulla specie, considerata "nociva" in Italia fino al 1978; l'impatto di eventi negativi occasionali, come ad esempio gli investimenti stradali, su popolazioni già numericamente esigue.

Ma il fattore decisivo, quello che ha fatto della flessione numerica della lontra in tutta l'Europa occidentale un evento sincrono, repentino, silenzioso e inizialmente sottostimato, è stato quasi certamente il massiccio impiego in agricoltura di pesticidi organoclorurati (DDT, Aldrina, Dieldrina, Lindano ed Eptaclor). A queste sostanze, ormai bandite da gran parte dell'Europa, si è più tardi aggiunta un'altra categoria di pericolosi inquinanti, i policlorobifenili (PCB), utilizzati anche in Italia fino al 1983 come fluidi idraulici, plastificanti, dielettrici, scambiatori di calore, additivi negli olii lubrificanti. Fra l'altro ancor oggi la combustione di varie materie plastiche porta alla liberazione di PCB, che nell'atmosfera possono essere trasportati a grande distanza. Tutte queste sostanze sono liposolubili, estremamente stabili, soggette a lentissimi fenomeni di bioaccumulo, e sono in grado di provocare una flessione della fertilità positivamente correlata alla loro concentrazione nell'organismo dei predatori.

Le conseguenze, per quanto riguarda il nostro Paese, sono emerse con drammatica evidenza da una imponente indagine condotta da vari gruppi di ricercatori su tutto il territorio italiano: i risultati, pubblicati nel 1986, vedevano le ultime popolazioni di lontra disperse e confinate in un esiguo numero di bacini fluviali. Da allora il declino è ancora proseguito. In Italia la lontra oggi sopravvive soltanto in alcune zone depresse del centro e meridione, con un numero di effettivi che secondo le più ottimistiche stime non supera le 130 unità.

Va detto comunque che le lontre sono tendenzialmente animali di pianura o di collina. Con l'aumento di quota, infatti, la produttività degli ecosistemi fluviali decresce, i corsi d'acqua diventano oligotrofici, e la disponibilità di risorse si fa complessivamente molto limitata. Per questo motivo, anche in condizioni ottimali la densità popolazionale della specie è inversamente correlata all'altitudine; attorno ai 400 metri cala drasticamente fino a raggiungere valori subliminali nelle aste fluviali d'alta quota, ove la presenza della specie è sempre stata sporadica e limitata a ben precise fasi del ciclo vitale. Le maggiori quote sono infatti dominio stagionale dei giovani esemplari in dispersione: in questa fase essi risalgono i minori affluenti, si disperdono alla cieca lungo i versanti vallivi, superano i crinali - spingendosi talora sino ai 2000 metri - e assicurano lo scambio di geni fra le popolazioni dei diversi bacini imbriferi. Nell'attuale realtà italiana questo avviene molto raramente, e fra i problemi delle nostre popolazioni di lontra va annoverato certamente anche l'isolamento genetico.



Ecologia dei torrenti montani

FABIO STOCH

101

Molto spesso, nella comune percezione del territorio in funzione dell'uso umano, il torrente di montagna è visto come una via di deflusso, di drenaggio delle acque che scorrono entro un alveo per raggiungere il più rapidamente possibile la pianura. Drenaggio che spesso equivale anche a smaltimento dei reflui delle attività umane.

Questa visione, che potremmo definire quasi "ingegneristica", giustifica gli interventi sui corsi d'acqua, il tentativo perenne di piegare la natura al volere dell'uomo al fine di far giungere l'acqua in pianura nel modo più rapido ed indolore possibile, evitando i danni che le piene arrecano agli insediamenti ed alle attività produttive umane. Si tratta tuttavia di una visione limitante, poiché illustra solo parte della realtà. Infatti, dal punto di vista dell'ecologo, il torrente è un ecosistema, o meglio una successione di ecosistemi che si susseguono dalla sorgente alla foce, ognuno dei quali ospita comunità animali e vegetali diversificate. In questo capitolo verrà illustrato il funzionamento di questo ecosistema, e verranno esaminati i fattori che ne regolano la struttura e la diversità.

■ Le zonazioni dei corsi d'acqua

Nell'ambito degli studi sulla distribuzione della flora e della fauna delle acque correnti assume particolare rilievo l'individuazione delle "zone ecologiche" che si susseguono dalla sorgente alla foce dei corsi d'acqua. Le zonazioni furono originariamente individuate soprattutto in funzione della distribuzione della fauna ittica, ed uno dei pionieri di questa ricerca fu l'ittiólogo francese Marcel Huet nell'immediato dopoguerra. I lavori di Huet hanno posto in luce come la struttura del popolamento ittico vari in relazione alla pendenza dei corsi d'acqua, venendo influenzata da tutti i parametri chimici, fisici e morfologici che con la pendenza sono strettamente correlati. Si tratta della famosa "regola delle pendenze", che distingue i popolamenti ittici lungo un ideale corso d'acqua in base ad alcune "specie guida" caratteristiche di ogni singola zona piscicola (altre specie che mostrano preferenze per una determinata zona vengono dette "specie di corteggio"). Questa classificazione è stata (ed è tuttora) largamente usata nell'Europa centro-settentrionale - sulla cui realtà ambientale è stata tarata - e con modifiche viene utilizzata anche in Italia. L'uso delle "zone piscicole" ha comun-

Alle quote più elevate i torrenti possono essere alimentati dal lento e continuo sciogliersi di nevi e ghiacci

que principalmente un valore pratico più che teorico, poiché trascura il resto della fauna.

Secondo Huet, lungo il corso di un fiume si vengono a distinguere quattro zone:

- zona a trota: acque veloci, fredde e ben ossigenate, con substrato a granulometria eterogenea (roccia, massi, ciottoli, ghiaia grossolana) e assenza di vegetazione acquatica; specie guida: trota fario e scazzone; eventuali specie di corteggio: pochi ciprinidi reofili, quali sanguinerola e vairone;
- zona a temolo: acque meno veloci, ma ancora fredde e ben ossigenate; substrato ghiaioso a granulometria costante; vegetazione sommersa in prevalenza algale e muscinale, ma compaiono le prime macrofite nei tratti a corrente più lenta; specie caratteristica è il temolo, accompagnato da salmonidi e alcuni ciprinidi reofili;
- zona a barbo: la pendenza dell'alveo diminuisce e la corrente rallenta; l'ossigenazione è ancora buona; il substrato è ghiaioso e sabbioso, la copertura macrofittica si fa consistente; il barbo, specie guida, è accompagnato da cavedano ed altri ciprinidi;
- zona ad abramide: la pendenza diviene molto dolce, la corrente è lenta, il substrato prevalentemente fangoso e la copertura macrofittica consistente; l'abramide (*Abramis brama*) è assente dalla nostra fauna; in Italia la specie guida è quindi considerata la carpa, accompagnata da tinca, scardola, alborella, triotto.

Le prime due zone costituiscono l'insieme delle "acque a salmonidi" - e sono quelle che interessano i torrenti di montagna - mentre le ultime due quelle delle "acque a ciprinidi", confinate alle aree collinari e pedemontane, nonché ovviamente a quelle pianiziarie. Questa semplice suddivisione è di estrema utilità pratica, tant'è vero che in Italia è stata adottata anche da una recente normativa di legge (D.L. 25 gennaio 1992 n. 130) che recepisce una direttiva comunitaria (attuazione della direttiva 78/659/CEE sulla qualità delle acque dolci che richiedono protezione e miglioramento per essere idonee alla vita dei pesci).

Il concetto di "zonazione ecologica" delle acque correnti è stato ribadito in seguito da Illies e Botosaneanu in un lavoro "storico" apparso nel 1963, da considerarsi come una vera trattazione organica del problema, con particolare riferimento alla componente macrobentonica. Centrato principalmente sul concetto di "zonazione", il lavoro di Illies e Botosaneanu distingueva essenzialmente tre grandi "zone ecologiche" che sono state denominate, con una terminologia ancor oggi largamente usata, *crenal* (o *krenal*, zona delle sorgenti), *rhithral* (ruscelli e torrenti) e *potamal* (fiumi di pianura). Per ogni zona, piuttosto eterogenea, sono state poi indicate delle sottozone (si parla allora di *ipocrenal*, *epi-*, *meta-* e *iporhithral* e di *epi-*, *meta-* e *ipopotamal*). Ad ognuna di queste tre zone corrispondono indubbiamente popolamenti macrobentonici molto diversi tra loro (le comunità animali insediate in queste zone hanno desinenza in -on: pertanto ad esempio viene definito *crenon* il popolamento tipico del *crenal*). Esiste ovvia-

mente una corrispondenza tra popolamenti macrobentonici e popolamenti ittici; pertanto al *rhithral* si può far corrispondere la zona a salmonidi, mentre al *potamal* corrispondono essenzialmente le zone a ciprinidi.

La delimitazione di queste zone non è netta, nè è semplice applicare questa classificazione a tutte le regioni; la morfologia del territorio in cui si trova il reticolo idrografico oggetto di studio può alterare drasticamente lo schema proposto. Queste metodiche "tradizionali" utilizzate nel definire le zone ecologiche sono ritenute da parte di molti idrobiologi insoddisfacenti per la mancanza di un metodo scientificamente "rigoroso" per stabilire l'appartenenza tipologica di un tratto di corso d'acqua, carenza che lascia ampio spazio alle scelte soggettive. Questo problema è complicato dal fatto che le zone non sono ben delimitate, ma sovente sfumano le une nelle altre accavallandosi. Secondo l'idea originale di Illies e Botosaneanu, ogni volta che un affluente di rilievo confluisce con il corso d'acqua oggetto di studio, le variazioni di portata causerebbero variazioni nella composizione delle comunità macrobentoniche; non si tratta tuttavia di un fatto comprovato e generalizzabile. A questi metodi "storici" si sono affiancati pertanto negli ultimi anni moderni metodi matematici (statistica multivariata) che consentono, con l'aiuto degli elaboratori elettronici, di raggruppare le stazioni studiate (classificazione gerarchica) o di ordinarle lungo assi (ordinamento) in base alla somiglianza dei loro popolamenti faunistici.



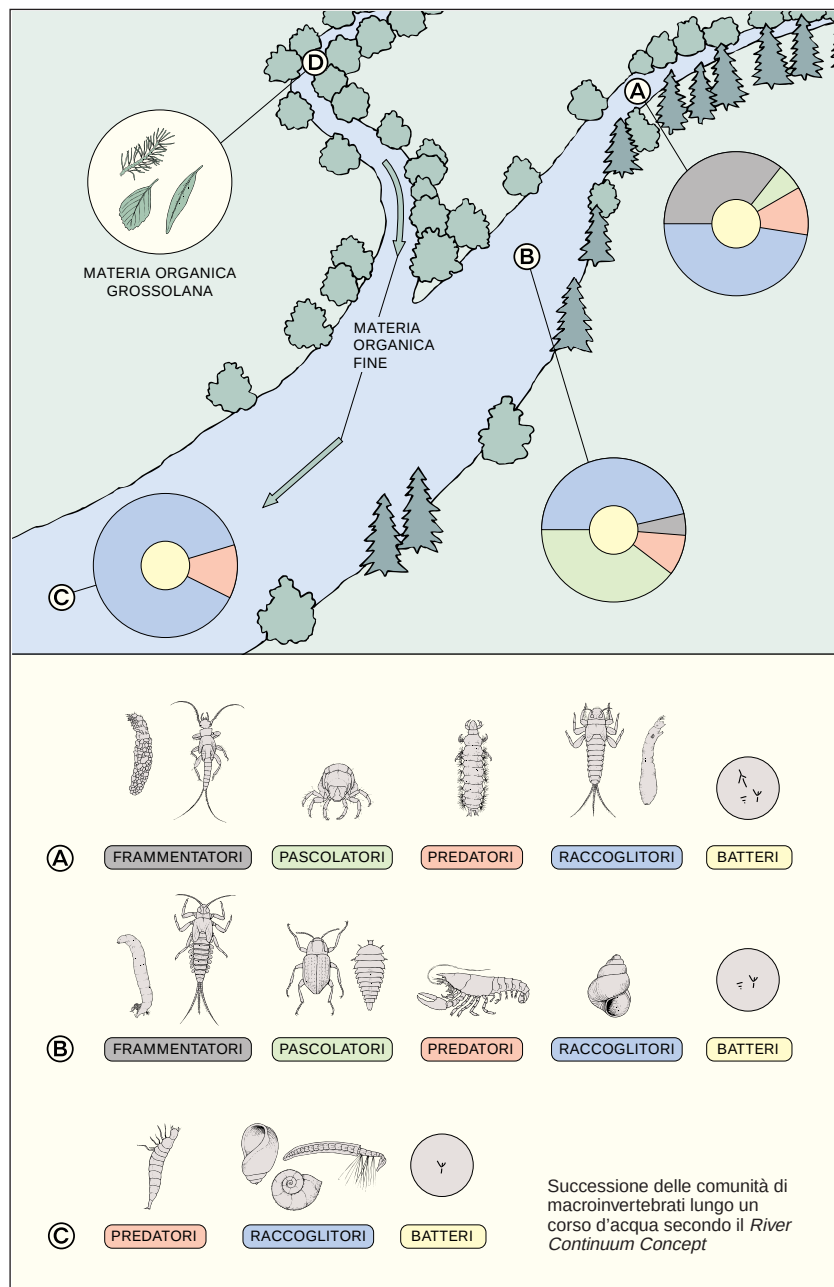
Crenal (zona delle sorgenti)



Metarhithral (zona intermedia dei torrenti)



Iporhithral (zona inferiore dei torrenti montani)



■ Il River Continuum Concept

Nonostante l'interesse e l'utilità pratica di suddividere i corsi d'acqua in "zone ecologiche", il concetto stesso di zonazione è stato ritenuto da alcuni ricercatori non solo impreciso, ma addirittura privo di significato, poiché non terrebbe conto del fatto che le comunità a monte influenzano quelle a valle attraverso il trasporto di materia da parte dell'acqua corrente. Secondo questi studiosi, il corso d'acqua si configura come una successione di ecosistemi dalla sorgente alla foce. Gli autori americani Vannote, Minshall, Cummins, Sedell e Cushing sono stati, in un lavoro passato alla storia dell'ecologia, i proponenti del *River Continuum Concept*. Secondo questo modello, la struttura delle comunità varia gradualmente dalla sorgente alla foce dei fiumi senza soluzioni di continuità, in funzione della pendenza, della velocità della corrente e di tutti i fattori fisico-chimici (temperatura, ossigeno e sali disciolti nelle acque), morfologici (granulometria del substrato) e trofici (presenza di sostanza organica particellata) ad essi legati.

Nonostante questo concetto sia molto convincente da un punto di vista teorico, è tuttavia innegabile che molti corsi d'acqua mostrano bruschi cambiamenti delle condizioni ambientali (in particolare del regime idraulico) che contribuiscono ad una reale zonazione delle comunità biologiche. Numerose e giustificate sono state pertanto le critiche al concetto di *continuum*. In realtà, come molto spesso accade nelle dispute scientifiche, la verità sembra stare nel mezzo, o anzi, in questo caso, da ambo le parti. I concetti di zonazione e continuum sono in realtà due modi diversi per rappresentare lo stesso fenomeno e sono stati già ampiamente dibattuti in altri campi, come ad esempio nella fitosociologia (la branca della botanica che si occupa di studiare le associazioni vegetali). Il *continuum* è infatti un concetto teorico, che parla di un gradiente dalla sorgente alla foce che può essere in parte ideale e serve a formulare teorie che vanno successivamente testate per via sperimentale. Qualsiasi continuum teorico calato nella realtà locale si frammenta in più zone ecologiche in funzione delle particolarità del territorio: la zonazione è pertanto l'aspetto reale del *continuum*, ed è molto utile per inquadrare le comunità in uno schema pratico e facilmente comprensibile.

■ Ecologia degli invertebrati bentonici

Gli invertebrati bentonici dei corsi d'acqua, cioè tutti quegli organismi che vivono in prossimità del substrato o al suo interno, possono essere ascritti a tre grandi gruppi ecologici. Con il termine microfauna intendiamo tecnicamente tutti quei microscopici organismi che passano attraverso un retino con vuoto di maglia di 60 μm (60 millesimi di millimetro); vi appartengono la maggior parte

dei protozoi, molti nematodi e gli stadi giovanili di organismi di maggiori dimensioni. La microfauna dei corsi d'acqua è ancora pochissimo studiata e pertanto non ce ne occuperemo in questa sede.

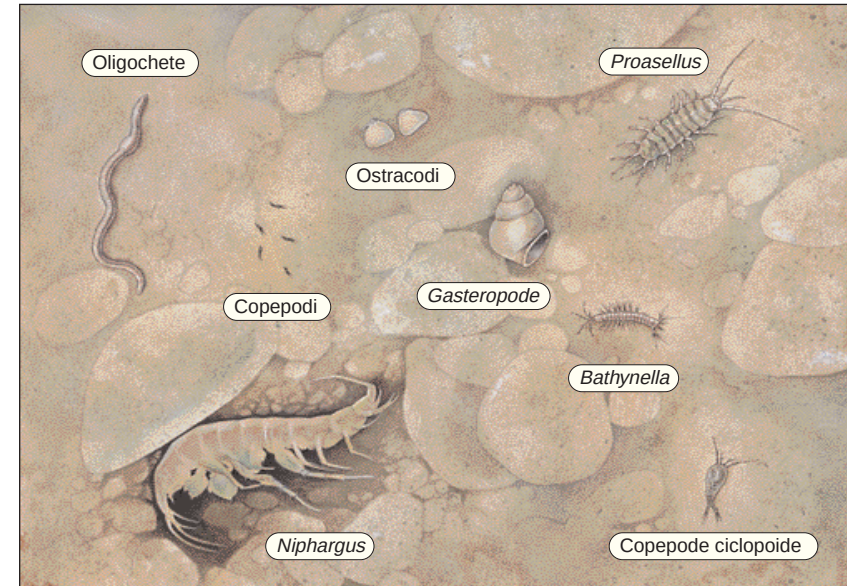
La meiofauna raggruppa tutti quegli animali che sono trattenuti dal setaccio o retino precedentemente citato, ma passano invece attraverso un retino con vuoto di maglia di 500 μm . Si tratta grossolanamente di organismi di taglia inferiore al millimetro: oligocheti, nematodi, acari, copepodi, ostracodi.

Infine i macroinvertebrati vengono trattenuti da un retino con vuoto di maglia di 500 μm ; vi appartengono i più noti abitatori delle acque correnti; ne abbiamo parlato diffusamente nel capitolo dedicato agli invertebrati.

Esaminando superficialmente questa classificazione, si potrebbe pensare che i macroinvertebrati siano i più importanti componenti delle comunità dei torrenti; le loro maggiori dimensioni fanno ritenere che in termini di biomassa siano gli organismi più abbondanti, ed il fatto che sono largamente studiati ed utilizzati come indicatori farebbe supporre che da soli siano sufficienti a caratterizzare l'ecologia dei corsi d'acqua. In realtà l'esperienza dimostra che non è così. I pochi studi effettuati sulla densità della meiofauna dei torrenti ha dimostrato che questa, in termini sia di numero di individui sia di biomassa, è talora largamente superiore a quella dei macroinvertebrati. Ne deduciamo che i macroinvertebrati sono ampiamente studiati solo perché più facilmente campionabili ed identificabili, ossia solo perché si avvicinano maggiormente alla scala di percezione dell'occhio umano.

La meiofauna. Nei torrenti di montagna la meiofauna popola l'ambiente delle acque cosiddette "interstiziali", ossia le acque che scorrono negli interstizi che separano i granuli di ghiaia e sabbia. Naturalmente il fattore più importante che condiziona l'abbondanza e distribuzione della meiofauna è dato dalla granulometria del substrato: l'ampiezza degli interstizi pone dei limiti fisici alle dimensioni della fauna. Se i granelli di sabbia sono troppo piccoli (fatto che accade raramente nei torrenti di montagna, ma è più frequente nei fiumi di pianura), anche gli spazi interstiziali saranno piccoli - spesso colmatati da detrito organico - e la meiofauna sarà molto povera. Quando invece i granuli di ghiaia sono troppo grossi, come nei tratti ad elevata pendenza, il flusso dell'acqua tra i granuli sarà troppo elevato ed anche in questo caso la meiofauna sarà povera. Abbiamo invece una ricca fauna interstiziale nei tratti con spessi depositi di ghiaia fine e sabbia grossolana.

Anche la stabilità delle condizioni chimico-fisiche è importante; nel tratto posto immediatamente sotto la superficie del substrato sul fondo dei torrenti (la cosiddetta "zona iporreica"), le fluttuazioni dei parametri ambientali sono marcate e la meiofauna è composta in prevalenza da organismi occasionali in questo ambiente (freatosseni), o che conducono in questa zona solo una parte del lo-



La fauna dell'ambiente interstiziale

ro ciclo vitale (freatofili, in particolare giovani larve di plecoteri e ditteri chironomidi). Andando invece più in profondità nel sedimento le condizioni ambientali sono più stabili e le acque, seppure meno ossigenate, fluiscono in modo più lento e costante; è questo il luogo dove potremo trovare i freatobi, cioè gli organismi esclusivi dell'ambiente interstiziale. I freatobi sono una particolare categoria di stigobi, nome molto in uso che raggruppa tutti gli organismi che sono esclusivi delle acque sotterranee.

Lo studio dei freatobi si è sviluppato in particolare nella seconda metà del secolo scorso; le difficoltà sono insite soprattutto nel metodo di campionamento idoneo a sondare l'ambiente interstiziale. Due sono le principali metodiche di raccolta di questi organismi, tecnicamente molto semplici. La prima (che dagli ideatori prende il nome di metodo Karaman-Chappuis) consiste nello scavare delle buche nella ghiaia e nella sabbia non lontano dalla riva del torrente; l'acqua interstiziale che riempie la buca dopo un certo lasso di tempo (che dipende dalla permeabilità del substrato) viene raccolta con un recipiente e filtrata attraverso un retino a maglie fitte. Il secondo metodo (metodo Bou-Rouch) richiede l'uso di una pompa manuale, che si applica ad una sonda metallica bucherellata nel tratto terminale; la sonda viene infissa nella ghiaia sul fondo del torrente, in cui può esser fatta penetrare anche per 1-2 m di profondità (a seconda del tipo di substrato) e con essa si aspira l'acqua interstiziale contenen-

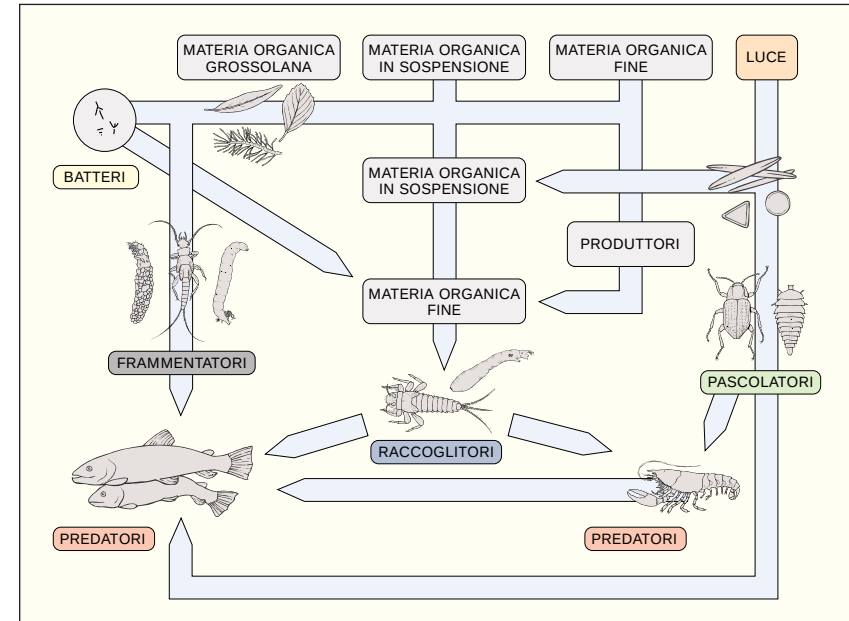
te i freatobi. L'applicazione di questi semplici metodi ha dischiuso agli scienziati un intero nuovo mondo di esseri stranissimi, ciechi e depigmentati, con organi di senso molto sviluppati e modificazioni del corpo idonee a raggomitolarsi tra i granuli di sedimento (forme volvazionali), o dal corpo allungato atto a infilarsi negli interstizi tra granulo e granulo (forme allungate e vermiformi).

A misura di quanto si sale lungo il corso dei torrenti e si raggiungono quote più elevate, man mano la granulometria del substrato diviene più grossolana ed il nutrimento più scarso; la diversità dei freatobi diminuisce pertanto con la quota. I freatobi sono dunque poco abbondanti nei tratti glaciali, ma non per questo assenti; anzi proprio in questi tratti si rinvenivano alcune specie rare e talora endemiche, esclusive di un'area limitata a pochi massicci alpini.

Macroinvertebrati e categorie funzionali. Nelle acque correnti l'attenzione degli ecologi è stata rivolta principalmente al ruolo funzionale che gli invertebrati, come consumatori, rivestono nella rete alimentare e pertanto alle modalità con le quali si procurano il cibo. Il pioniere di questi studi fu l'americano Cummins che nel 1974 ideò uno schema che attribuisce gli invertebrati dei torrenti a quattro categorie principali:

- frammentatori (*shredders*): sono invertebrati che si nutrono di detrito (detritivori) e, alimentandosi, frammentano la sostanza organica grossolana (cioè le cui particelle hanno un diametro superiore ai 2 mm); appartengono a questa categoria, ad esempio, le larve di tricoteri limnephilidi, molte larve di plecoteri, i crostacei antipodi
- collettori (*collectors*): sono detritivori che si nutrono della sostanza organica fine (cioè particelle di diametro inferiore ai 2 mm) che possono procurarsi in due modi; i raccoglitori (*gatherers*) la raccolgono dal fondo, dai detriti organici e dai sedimenti (esempio: larve di efemeroteri scavatrici come quelle del genere *Ephemer*; oligocheti; molte larve di chironomidi; la maggior parte della meiofauna); i filtratori (*filterers*) filtrano invece l'acqua corrente ricavandone le particelle alimentari trasportate dalla corrente (ad esempio le larve di ditteri simuliidi, le larve di tricoteri idropsichidi)
- pascolatori (*grazers*)-raschiatori (*scrapers*): si nutrono delle alghe e dello strato organico attaccato al substrato o a detrito grossolano (tronchi, foglie, ecc.) che possono prelevare o raschiare con l'apparato boccale appositamente conformato; vi appartengono ad esempio i coleotteri elmidi, gli efemeroteri epitageniidi o, tra i raschiatori, i gasteropodi
- predatori (*predators*): vi appartengono i carnivori, che predano altri invertebrati; tra questi ad esempio gli irudinei, le larve di odonati, i coleotteri ditiscidi, i chironomidi tanipodini; appartengono ovviamente a questa categoria, pur non essendo invertebrati, i pesci come salmonidi e cottidi.

Naturalmente si può intuire come le abbondanze relative delle diverse cate-



Rete alimentare di un torrente montano

rie debbano necessariamente variare lungo un corso d'acqua, in funzione principalmente della disponibilità di sostanza organica. Il *River Continuum Concept* ha come suo punto fermo la graduale variazione della disponibilità di sostanza organica dei diversi tipi spostandosi dalla sorgente alla foce di un corso d'acqua e pertanto presuppone che le reti alimentari varino di conseguenza in un modo che può essere predetto dalla teoria. I frammentatori sono in genere più abbondanti nei tratti superiori dei corsi d'acqua (dove, in funzione della velocità della corrente, è maggiormente disponibile la sostanza organica grossolana); i filtratori aumentano gradualmente scendendo lungo un torrente, finché la corrente non diviene troppo lenta, rendendo inefficiente il meccanismo di filtrazione; i pascolatori sono più abbondanti nei tratti intermedi dei torrenti; infine i raccoglitori sono dominanti nei tratti inferiori, nei fiumi di pianura o nelle anse laterali dei torrenti di montagna ove vi è accumulo di detrito. Tutti questi organismi pertanto svolgono quello che viene definito "riciclaggio della sostanza organica": si nutrono cioè, ad eccezione degli erbivori, di detrito grossolano e fine, "riciclandolo". Il ruolo di questi organismi è pertanto fondamentale anche nel riciclaggio della sostanza organica prodotta da fenomeni di inquinamento (ad esempio da scarichi fognari), contribuendo a quello che viene definito "potere autodepurativo" di un corso d'acqua.



Zone a rapide e cascatelle (riffles e runs) si alternano a pozze (pools) in un torrente montano

■ I fattori che regolano la biodiversità

Il rhithral dei torrenti (con le sue acque fresche ed il substrato ciottoloso e ghiaioso, ricco di interstizi e idoneo ad albergare numerosi organismi) rappresenta il corso d'acqua ideale per la coesistenza di un elevato numero di specie, cioè quello che oggi viene definito "ambiente ad elevata biodiversità".

La biodiversità dei torrenti può venire spiegata in funzione di due distinti ambiti temporali, uno storico ed uno ecologico. Da un punto di vista storico, la diversità è il prodotto finale della radiazione adattativa in un ambiente che cambia lentamente in un lungo periodo di tempo, a partire da iniziali colonizzatori: la nascita di nuove specie in questi ambienti è conseguenza della distribuzione della fauna, dell'isolamento dei bacini idrografici e della selezione naturale che opera per lunghi periodi di tempo. Da un punto di vista ecologico, è importante la variabilità delle condizioni ambientali: questa può essere funzione di eventi eccezionali (come nel caso di una piena o di un intervento antropico), o continua nel tempo (come per le variazioni stagionali di temperatura e nutrienti) e nello spazio (variazioni di velocità della corrente e granulometria del substrato lungo un corso d'acqua).

In alcuni corsi d'acqua la variabilità nel tempo delle condizioni ambientali è molto modesta; è questo il caso dei rivoli che escono dalle sorgenti. In altri, come nel tratto rhithrale, si assiste a variazioni cicliche, che possono essere previste con semplici modelli matematici in funzione delle condizioni climatiche dell'area. In altri ancora (torrenti intermittenti, o corsi d'acqua effimeri) prevalgono variazioni brusche e che possiamo prevedere sono in parte, come piene improvvise e siccità durante i periodi meno piovosi. Gli invertebrati delle acque correnti sviluppano strategie di vita molto differenziate che permettono alle diverse specie di adattarsi alle diverse condizioni ambientali. In genere pertanto un ambiente moderatamente variabile nel tempo e nello spazio, come il rhithral, è più ricco di specie che non un ambiente costante come una sorgente; quando tuttavia la variabilità supera un certo valore soglia e il torrente diviene intermittente, assistiamo ad un brusco calo della diversità. Questa teoria è stata sviluppata per la prima volta dall'americano Connell nel 1978 ed è nota con il nome di "*Intermediate Disturbance Hypothesis*".

In un corso d'acqua non sono importanti solamente le variazioni longitudinali delle caratteristiche ambientali, cioè i cambiamenti che si verificano dalla sorgente alla foce, ma è egualmente importante la varietà delle condizioni ambientali che si possono osservare in un unico sito. Se infatti ci avviciniamo alla riva di un torrente in un punto qualsiasi e osserviamo criticamente l'ambiente che appare ai nostri occhi, ben difficilmente ci troviamo di fronte ad un ambiente unico ed uniforme. Piuttosto, l'impressione sarà quella di un mosaico di microambienti: pozze profonde (*pools*) si alternano a tratti a rapide e cascatelle

Vivere nelle acque correnti significa avere importanti vantaggi ma anche alcuni svantaggi rispetto ad organismi acquatici che vivono in ambienti con acque ferme quali laghi, stagni, pozze. Possiamo riassumere i vantaggi ricordando il beneficio di un costante flusso di materia organica e il rinnovarsi continuo dell'acqua che assicura buona ossigenazione e la risoluzione in breve tempo di improvvisi cambiamenti chimici o fisici. Gli svantaggi sono essenzialmente dovuti al pericolo di perdere contatto con il proprio habitat, perché portati via dalla corrente.

Muoversi contro corrente è prerogativa di animali con ottime capacità natatorie e quindi riguarda quasi esclusivamente i pesci, in particolare i salmonidi come le trote, di cui sono note le migrazioni riproduttive verso monte. Gli invertebrati invece hanno solamente la possibilità di lasciarsi trasportare verso valle dalla corrente stessa. Questo fenomeno è molto diffuso e in un qualsiasi momento è possibile trovare una parte della comunità bentonica "dispersa" o "fluttuante" nel corpo d'acqua. L'insieme degli organismi trasportati passivamente dalla corrente prende il nome di "drift". Il fenomeno è ampiamente studiato per il fondamentale ruolo che svolge nel complesso funzionamento dell'ecosistema fiume.

Sono state distinte quattro tipologie di

drift: catastrofico, comportamentale, distribuzionale e costante.

Per "drift catastrofico" si intende quello associato ad improvvisi e consistenti cambiamenti di portata, velocità, temperatura o condizioni chimiche. In queste situazioni di stress gli organismi bentonici vengono rimossi o disturbati ed entrano in massa nel flusso di corrente.

Il "drift comportamentale" è causato dall'attività specifica di ciascun individuo e può essere attivo (organismi che si lasciano andare per sfuggire ad un predatore) o passivo (organismi trascinati in sospensione mentre si nutrono in una zona con pochi appigli). La frequenza di questi eventi è relativamente bassa e legata ai comportamenti "a rischio" di ciascuna specie.

Per "drift distribuzionale" si intende la migrazione verso valle di stadi giovanili e può interessare molti individui in momenti diversi e ogni taxon mostra una periodicità tipica sia stagionale che giornaliera. Infine il "drift costante" è quello dovuto ad "incidenti" che fanno perdere il contatto con il substrato, non dovuti a specifici comportamenti. Riguarda pochi individui e non ha periodicità prevedibile.

Una volta entrato nel drift l'organismo percorre un tratto verso valle finché non riprende contatto con il substrato. Ciò avviene in condizioni favorevoli quali il ral-

lentamento della corrente in un'ansa, il passaggio su un raschio ricco di appigli ecc. La distanza percorsa varia da pochi metri a qualche decina o più in dipendenza delle condizioni ambientali e delle abilità di ciascuna specie. Si pensi ad esempio ad una larva di chironomide, priva di appendici articolate e alla ninfa di un efemerottero, capace di nuotare nella direzione voluta e con sei zampe provviste di unghie terminali. L'evento di trasporto nel drift potrà ripetersi più volte nel corso della vita di una larva acquatica e quindi la distanza compresa tra il punto di deposizione dell'uovo e quello in cui si completa la metamorfosi, con la fuoriuscita dello stadio adulto, può essere considerevole. Per compensare questa discesa a valle, gli adulti risalgono in volo il corso d'acqua e depongono le uova a monte per iniziare un nuovo ciclo biologico (ciclo di colonizzazione).

Gli organismi acquatici hanno tendenza al drift diversa, più o meno accentuata in dipendenza delle abitudini di vita e della forma del corpo. Sono considerati più propensi al drift gli efemerotteri, seguiti da ditteri simuliidi e chironomidi, quindi plecoteri, e infine stadi giovanili di tricoteri. In fondo alla scala troviamo i crostacei anfipodi, i tricladi e gli irudinei, in cui la scarsa tendenza al drift è accompagnata alla mancanza di una fase alata in grado di compensare il trasporto verso valle.

Il drift, con poche eccezioni, è più intenso nelle ore di buio, con picchi dopo il tramonto e prima dell'alba. Ciò è stato messo in relazione alla necessità di evitare la predazione da parte di cacciatori a vista come i pesci. In zone in cui questi sono assenti, come in quelle più alte dei torrenti, è stata osservata una minore propensione al drift notturno da parte di quasi tutti gli organismi. Questa ipotesi è stata confermata da molte ricerche sperimentali ma vi sono anche organismi che non sono prede appetibili e che tuttavia tendono a entrare nel drift in ore notturne.



(*riffles* e *runs*); ciottoli e massi si intercalano a tratti a ghiaia grossolana e depositi di ghiaia fine o sabbia; le rive sono talora dolci e spoglie, talora vegetate, talora ripide e franose, talora ricche di muschi. Anche il regime idrologico varia, con tratti assorbenti (*downwelling*), in cui l'acqua si disperde tra le ghiaie di fondo, e tratti di emersione (*upwelling*), in cui l'acqua dal sotto-suolo riemerge in superficie. Questo mosaico ambientale è ben noto agli ecologi, poiché nel suo ambito ogni specie animale ricava una propria nicchia ecologica; ne consegue che mosaici ambientali complessi ospitano una fauna ricca e diversificata, mentre ambienti omogenei o resi omogenei dall'intervento dell'uomo ospitano una fauna semplificata o talora banale.

Tutti questi microambienti (che gli ecologi anglosassoni indicano con il termine di *patch*) non sono tuttavia statici nel tempo; si tratta di ambienti dinamici, che cambiano in funzione del regime idraulico di un corso d'acqua. Cambiamenti di questo tipo portano a fluttuazioni cicliche della biodiversità e contribuiscono ad arricchirla; questa teoria, enunciata dall'inglese Townsend, va sotto il nome di *patch dynamics*.

Per comprendere più a fondo il problema della complessità ambientale dovremmo però osservare un torrente non con i nostri occhi, ma con gli occhi di un pesce o di un invertebrato. Se immaginassimo per un momento di cambiare prospettiva e



Sorgente reocrena in sottobosco: in questa tipologia predominano i frammentatori

di osservare il fondo di un fiume come fossimo efemerotteri, tutto ci apparirebbe in modo diverso. Ecco che diverrebbero enormi le fessure e gli spazi tra i ciottoli o i granelli di ghiaia, che erano impercettibili all'occhio umano; ecco che piccole variazioni di corrente, che ci sembravano insignificanti, diverrebbero piene tumultuose; ed infine i piccoli pulvini di muschi ci apparirebbero ora come complesse ed inestricabili foreste.

Naturalmente, se pensassimo di osservare il tutto al microscopio, immedesimandoci in un acaro o in un copepode, la complessità dell'ambiente sarebbe ancora maggiore, i piccoli interstizi tra i granelli di ghiaia o sabbia diverrebbero grotte e labirinti e lo spazio in cui poter abitare o nascondersi aumenterebbe a

dismisura. Da questa semplice ed immaginaria descrizione possiamo facilmente comprendere che la complessità dell'ambiente aumenta progressivamente col diminuire dell'unità di misura: un tratto di torrente lungo 10 metri per noi umani, appare immensamente più lungo ad un efemerottero, che lo misura in millimetri e pertanto rileva tutte le piccole asperità del fondale che può abitare. Questo fenomeno è ben noto in ecologia (ed è riconducibile alla natura "frattale" dei corsi d'acqua) e spiega molti aspetti di questi ambienti che finora potevamo solo intuire. Spiega ad esempio perché sono molto più importanti gli organismi della meiofauna rispetto ai macroinvertebrati: principalmente perché per essi lo spazio abitabile è incredibilmente superiore. Ma spiega soprattutto perché un torrente è molto più ricco di vita di un canale costruito dall'uomo: nel torrente abbiamo un mosaico di microambienti che l'uomo, nel suo tentativo di sostituirsi alla natura, non è in grado di ricreare.

■ Ecologia delle sorgenti

Le sorgenti di montagna (ascrivibili al *crena*) appartengono a due tipologie.

Sorgenti reocrene. Nelle sorgenti reocrene l'acqua fuoriesce con discreta velocità di corrente dalla roccia, dal detrito grossolano o anche dal terreno di sottobosco. La fauna che predilige le sorgenti di questo tipo è dominata dai frammentatori, quali larve di plecoteri e tricoteri, accanto a numerosi ditteri, in parti-

colare chironomidi. Sono presenti, spesso in minor misura, efemerotteri eptageniidi, ditteri psicodidi, crostacei anfipodi; tra la meiofauna dominano gli acari acquatici ed i copepodi arpattoicoidi, che conducono vita prevalentemente muscicola o interstiziale. Sono in genere più ricche, sia qualitativamente sia quantitativamente, le sorgenti in cui la corrente è meno impetuosa, quelle che si aprono sui versanti a minor pendenza, in sottobosco o ricche di muschi che offrono ospitalità ad un elevato numero di invertebrati. Nel caso in cui la sorgente scenda lungo una parete rocciosa, può formare solo una sottile lamina d'acqua che scorre verticalmente; si parla in questi casi di ambiente igrope-trico, che possiede una fauna molto particolare, ricca di crostacei arpattoicoidi, tricoteri e soprattutto larve di ditteri (chironomidi, taumaleidi, psicodidi, tipulidi, straziomiidi), talora esclusivi di questi ambienti.

Sorgenti elocrene. In questa tipologia di sorgenti l'acqua che fuoriesce diffusamente dal terreno, in funzione della modesta pendenza, non forma un rivolo unico in cui scorrere bensì si disperde in pozze e pozzette che vengono lentamente drenate da numerosi rivoli, a corrente debole, per poi confluire in uno o più collettori. Sono sorgenti tipiche delle aree a pascolo, ma si ritrovano talora anche in sottobosco. La fauna è diversa da quella delle sorgenti reocrene e risulta arricchita di elementi tipici di acque a lento decorso (raccoglitori, pascolatori, raschiatori), quali larve di efemerotteri, tricoteri limnefilidi, coleotteri ditiscidi e, tra la meiofauna, copepodi ciclopoidi; quando il tenore in calcio lo consente, vi abbondano molluschi gasteropodi e bivalvi.

Gli ambienti di sorgente sono notoriamente considerati "stabili"; le variazioni circadiane (cioè nell'ambito delle 24 ore) e stagionali di temperatura e del chimismo delle acque sono notoriamente piuttosto contenute. La temperatura in particolare varia in funzione della quota delle sorgenti, con cui è negativamente correlata; recenti ricerche svolte nel Trentino hanno dimostrato come le fluttuazioni giornaliere di questo parametro siano impercettibili, inferiori all'errore strumentale. Anche l'ossigeno disciolto delle sorgenti di montagna è elevato, a differenza di quanto avviene nelle sorgenti a quote più basse. Ciò è da porre presumibilmente in relazione con il fatto che le acque di montagna, prima di



Sorgente reocrena che forma veli igrope-trici su pareti verticali

venire a giorno, attraversano in genere sedimenti grossolani molto permeabili, mentre quelle pedemontane o planiziarie attraversano strati di terreno ove i processi della decomposizione impoveriscono di ossigeno le acque. A questo proposito è stato notato che, contrariamente a quanto si potrebbe pensare, le sorgenti elocrene, in cui l'acqua esce diffusamente dal suolo, sono più ossigenate di quelle reocrene. Il chimismo delle acque è invece piuttosto variabile da sorgente a sorgente, in relazione alla tipologia delle rocce che le acque attraversano.

■ Ecologia dei torrenti d'alta quota

In tempi recenti sono state proposte diverse classificazioni per i torrenti d'alta quota e tra queste ha trovato largo consenso quella proposta da J. V. Ward nel 1994. Questo autore distingue, al di sopra della linea degli alberi ed in base all'origine, il *kryal* (tratto dominato da acque di scioglimento glaciale) dal crenal e dal rhithral. Il diverso contributo relativo di acque provenienti da scioglimento di ghiacciai, di nevai, da sorgenti e da precipitazioni, genera sensibili differenze nel regime idrologico, nella qualità chimico-fisica delle acque e quindi nella struttura delle comunità vegetali ed animali.

Queste tre tipologie sono accomunate da alcune caratteristiche generali, esclusive dei torrenti montani al di sopra della vegetazione arborea. La temperatura dell'acqua è generalmente inferiore ai 10 °C anche nel breve periodo estivo. La



Un tipico torrente d'alta quota che nasce da un piccolo nevaio (Alpi Carniche)

pendenza elevata determina una corrente veloce, associata ad elevata turbolenza, buona ossigenazione e assenza di plancton e di macrofite radicate.

La vegetazione riparia è costituita da bassi cespugli ed erbe oppure, alle quote più elevate, è assente. Questo comporta la mancanza del massiccio apporto di materiale vegetale di origine arborea, che nei tratti a valle costituisce la più importante fonte energetica del metabolismo fluviale. L'assenza di vegetazione arborea significa anche una maggior esposizione alla luce e la riduzione di microhabitat rappresentati da rami, radici esposte, ammassi di foglie.

A queste caratteristiche comuni si aggiungono importanti differenze tra le tre tipologie considerate. Il *kryal*, dominato da apporti di origine glaciale, manifesta le condizioni più difficili per la vita acquatica. L'acqua che alimenta questi tratti proviene da due distinte fonti: dalla base del ghiacciaio, per fusione dovuta all'attrito generato dal movimento della massa glaciale con la roccia sottostante e dallo scioglimento superficiale, dovuto all'azione del sole sulla superficie. La prima fonte è relativamente costante nel corso dell'anno e indipendente dalla temperatura esterna, la seconda è stagionale e con forti variazioni giornaliere in dipendenza delle condizioni meteorologiche. In estate le due componenti si sommano e si hanno aumenti di portata che possono variare di un ordine di grandezza di 5-10 volte nell'arco delle 24 ore. Tipicamente si assiste ad una curva di crescita della portata a partire dal mattino, con un massimo nel tardo pomeriggio e un minimo all'alba. Le acque provenienti da sotto la massa glaciale comprendono acque di falda e sono in genere quasi "pure" con un contenuto salino superiore a quello delle acque di scioglimento superficiale. La conseguenza di questo è un forte effetto di diluizione e le fluttuazioni di portata estive risultano associate a fluttuazioni delle caratteristiche chimiche, con un simile ordine di grandezza.

A queste condizioni di stress idraulico si aggiungono le temperature molto basse (inferiori a 4°C) e l'elevato trasporto solido. Quest'ultimo consiste di particelle di sabbia e argilla provenienti dall'esarazione della massa glaciale e tenute in sospensione dalla turbolenza. L'effetto è di ridurre la trasparenza e di esercitare un'azione abrasiva, esasperando ulteriormente le difficoltà di sviluppo della componente vegetale. La comunità zoobentonica è spesso molto semplificata e comprende poche specie molto specializzate.

In tutte le tipologie vi è un chiaro gradiente longitudinale di colonizzazione da parte degli invertebrati bentonici e la composizione qualitativa e quantitativa delle comunità si modifica da monte verso valle, adattandosi continuamente al variare delle condizioni ambientali. Questo continuo e costante variare è ben studiato e noto (si veda la discussione del *River Continuum Concept*) mentre molto meno noti sono i cambiamenti che avvengono nel tratto iniziale, quello in cui si passa dal "punto zero", ovvero dall'acqua quasi pura, pressoché priva di vita, al punto in cui si rinviene una prima comunità ben strutturata. Sulle Alpi

questo tratto va generalmente dall'origine (ghiacciai, nevai) alla linea degli alberi (1800-2000 m s.l.m.). In particolare, due ricercatori inglesi hanno elaborato nel 1994 un modello valido per i torrenti glaciali che prevede una successione di comunità zoobentoniche dalla bocca glaciale verso valle, in relazione al variare di alcuni parametri di base quali la temperatura dell'acqua e la stabilità dell'alveo. Il modello è basato su dati ricavati dalla letteratura europea ed americana ed è stato testato in diverse recenti ricerche in Europa.

In realtà, indipendentemente dall'origine, la comunità dei macroinvertebrati nei tratti più a monte dei torrenti d'alta quota è dominata, sia in numero di specie sia in numero di individui, dai ditteri chironomidi. Nei torrenti glaciali questa famiglia arriva a costituire anche il 100% della comunità in prossimità della bocca del ghiacciaio. L'abbondanza relativa di chironomidi diminuisce all'aumentare della distanza dalla sorgente indipendentemente dall'origine, mentre diventa via via sempre più importante la presenza di altri insetti quali plecoteri, efemeroteri e tricoteri. La quota e la distanza dal ghiacciaio a cui i chironomidi scendono sotto la soglia del 50% della comunità varia in funzione di diversi fattori quali l'attività del ghiacciaio, la morfologia dell'alveo, l'andamento giornaliero e stagionale della temperatura dell'acqua e della portata.

Invertebrati diversi dagli insetti quali nematodi, oligocheti, tricladi e crostacei possono essere presenti con una certa abbondanza anche nei tratti più a monte, generalmente associati a pozze laterali (oligocheti) o in zone dove vi è affioramento in subalveo di acque di falda (crostacei). Alla variabilità nello spazio si aggiunge una notevole variabilità nel tempo. La generale scarsità di risorse alimentari che caratterizza questi ecosistemi fa sì che piccole variazioni della produzione primaria possano largamente influenzare le comunità animali. La produzione primaria nei tratti criali è dovuta soprattutto allo sviluppo di alghe incrostanti (principalmente cianobatteri e diatomee) e alla crisofita *Hydrurus foetidus*. In sintesi, le acque correnti poste sopra la linea degli alberi presentano una generale diminuzione della biodiversità con l'aumentare dell'altitudine e una grande variabilità nel tempo e nello spazio.

■ Ecologia dei torrenti di fondovalle

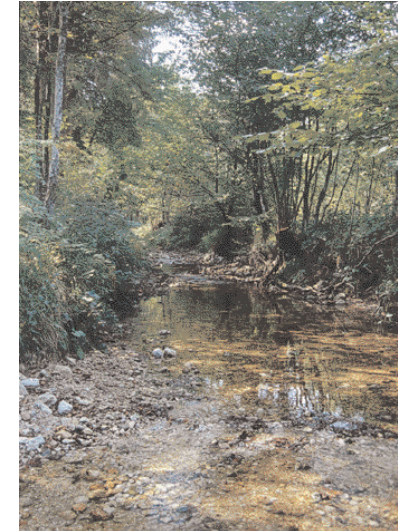
A differenza dei torrenti d'alta quota, i corsi d'acqua che attraversano tratti boschivi sono molto più ricchi di sostanza organica proveniente dalle foglie degli alberi, dai tronchi in decomposizione o, per dilavamento, direttamente dal terreno. La comunità macrobentonica è qui più abbondante ed arricchita di tutti quei consumatori di detrito la cui presenza nei tratti d'alta quota era limitata proprio dalla scarsità di cibo; si dice che questi torrenti sono più produttivi, cioè a parità di estensione producono nel corso dell'anno una maggior quantità di sostanza organica (dovuta a riproduzione ed accrescimento) rispetto ai

tratti posti a quote più elevate. Si tratta sempre di una produttività prevalentemente secondaria poiché, come discusso nella parte botanica di questo volume, la produzione primaria dovuta alle patine algali è ben poca cosa in questi tratti, in genere ombreggiati, e le macrofite acquatiche sono del tutto assenti.

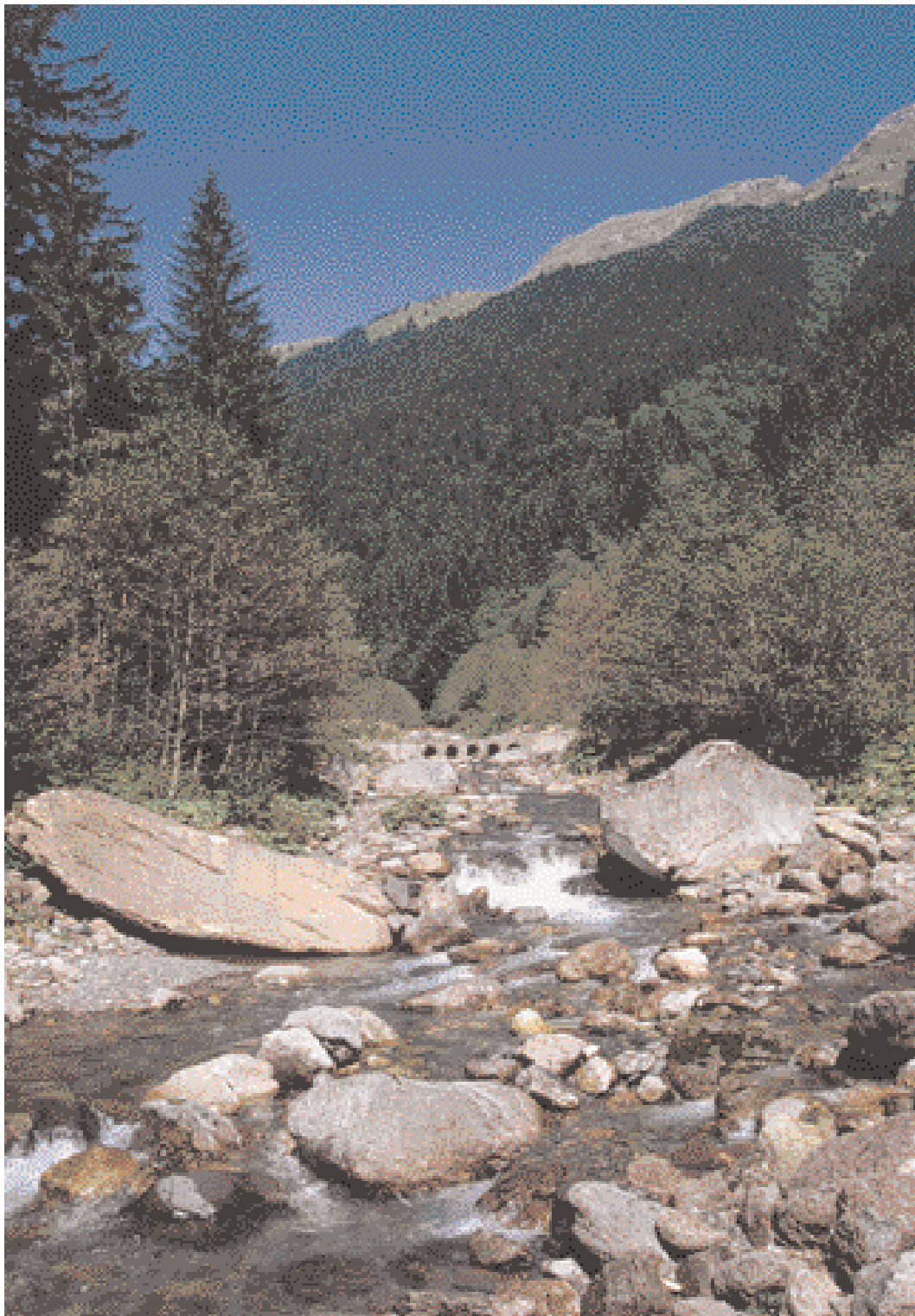
Mentre per il rhithral d'alta quota, trattandosi di un ambiente "difficile" (temperatura molto bassa, povertà di risorse), abbiamo visto che i fattori abiotici giocano un ruolo prevalente nello strutturare le comunità animali, nei torrenti di fondovalle divengono anche importanti le interazioni biotiche (in primo luogo competizione e predazione). Mentre tuttavia il ruolo dei fattori abiotici è ben documentato e studiato, quel-

lo dei fattori biotici, in relazione alla complessità del problema, è supportato da un limitatissimo numero di studi. Da questi emerge, in particolare, che la competizione ha importanza nello strutturare la comunità bentonica solo occasionalmente: ciò avviene, in particolare, quando le favorevoli condizioni trofiche e una predazione moderata permettono alle popolazioni di raggiungere densità elevate.

Riveste invece una maggiore importanza la predazione; in particolare, l'usuale presenza di pesci in questi corsi d'acqua rende ulteriormente complesse le interazioni, modulando la struttura e densità dei popolamenti a invertebrati. È noto che la predazione è più intensa in certe circostanze, ad esempio è maggiore nelle pozze (*pools*) che non nei tratti a corrente veloce (*riffles* e *runs*), probabilmente in relazione alle minori possibilità di nascondiglio offerte agli invertebrati da questi ambienti. Ed è maggiore quando la corrente è più debole e la temperatura più elevata, come nella tarda estate. Un drift elevato - e pertanto elevati tassi di immigrazione ed emigrazione - ed una corrente veloce tendono invece a minimizzare l'effetto della predazione. Anche l'arrivo di materiale dall'esterno riduce la predazione dei salmonidi sui macroinvertebrati acquatici; si è visto infatti che nel sottobosco gli insetti terricoli che cadono numerosi nell'acqua costituiscono buona parte dell'alimentazione delle trote, che sono attratte proprio dal movimento dei piccoli organismi che cadono nel torrente (fenomeno del resto ben noto ai pescatori).



Un tratto di torrente di fondovalle (Prealpi Carniche)



Degrado, tutela e conservazione

MAURO MARCHETTI · MARIO PANIZZA · SERGIO PARADISI · FABIO STOCH

121

■ Dissesti: cause ed interventi

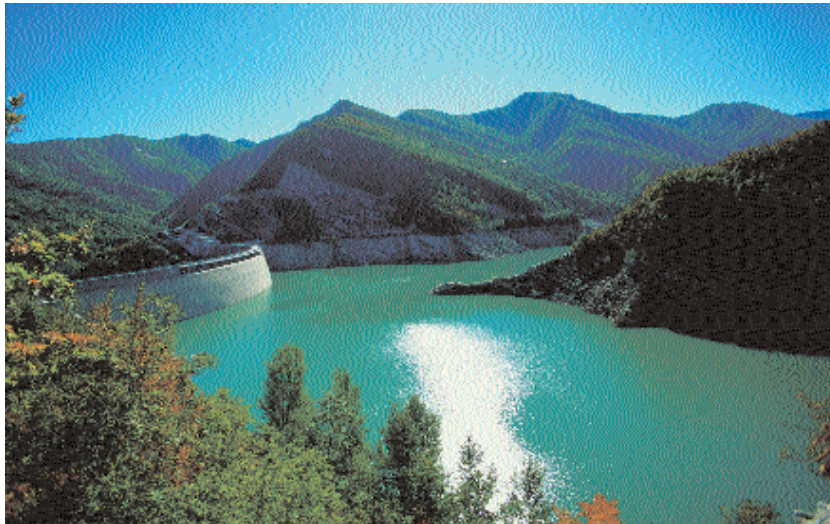
Principali dissesti. Volendo descrivere i principali dissesti che interessano i torrenti montani, nonché le loro cause, è necessario operare una distinzione fondamentale. Le cause dei dissesti possono, infatti, essere intimamente collegate ai processi geomorfologici che si evolvono entro i torrenti stessi, collegati quindi alla dinamica delle acque superficiali, oppure essere dipendenti dall'evoluzione dei versanti nel bacino. Tra i processi dovuti alla dinamica torrentizia, che conducono a dissesti, sono da ricordare le erosioni del fondo e delle sponde, lo scalzamento di opere antropiche in alveo, nonché il trasporto durante fasi parossistiche di grandi volumi di sedimenti. I processi che producono dissesti sui versanti e quindi direttamente o indirettamente sugli alvei sono numerosissimi; tra i principali sono da ricordare quelli puramente gravitativi che possono provocare frane o caduta di materiali incombenti sul torrente stesso, quelli da valanga, senza dimenticare tutte quelle azioni antropiche che conducono ad usi del suolo particolari (ad esempio, pratiche agricole quali le arature, i terrazzamenti, etc.) o ancora a variazioni nell'uso del suolo (ad esempio da bosco a pascolo o viceversa).

Erosioni nel letto del torrente. I torrenti che si trovano in condizioni erosive, anche detti torrenti di scavo, possiedono un'energia superiore a quella dispersa dalle proprie acque per trasportare il materiale già in carico. Le acque di questi torrenti tendono perciò a dissipare tutta la loro energia residua erodendo il letto e trasportando di conseguenza sempre maggior quantità di detriti. Un torrente in condizioni di equilibrio può virare verso condizioni erosive per diverse cause e anche piccoli cambiamenti possono produrre grandi effetti erosivi in alveo. Tra le cause che possono provocare erosione la principale è sicuramente costituita dall'incremento di velocità delle acque nel torrente. Nello spazio l'incremento di velocità si può produrre per restringimento della sezione del canale o per aumento delle pendenze del letto: queste due variazioni morfologiche possono avvenire per cause naturali o artificiali. Nel tempo, tra le principali si deve innanzitutto ricordare l'abbassamento del livello di base: questo provoca, a monte dello stesso, un aumento di pendenza e quindi di velocità delle acque del torrente, che determina a sua volta erosione, detta anche erosione re-

Interventi antropici sono presenti anche nei tratti superiori dei torrenti montani

gressiva poiché risale dal livello di base verso monte. Il restringimento della sezione di un torrente può essere dovuto ad azioni di scavo e di rimodulazioni artificiali del letto torrentizio, oppure può essere legata a restringimenti per parziali sbarramenti dovuti a frane, valanghe, conoidi alluvionali che apportano materiali dalle sponde o dagli affluenti.

La presenza di bacini idroelettrici nella parte alta dei bacini montani può essere causa di importanti fenomeni di erosione a valle degli stessi. Questo effetto è da imputare prevalentemente alla sedimentazione di materiale nel bacino di ritenuta e quindi alla diminuzione del trasporto solido a valle dello sbarramento. Tale riduzione determina, a valle del manufatto, un proporzionale aumento di energia potenzialmente utilizzabile per nuovi processi di erosione e trasporto da parte delle acque che divengono così molto aggressive. Il sistema di regolazione delle portate dei bacini idroelettrici può anche essere causa di importanti processi di erosione e di sedimentazione in concomitanza con le periodiche operazioni di svaso: queste possono essere effettuate per ripulire il serbatoio idrico dai sedimenti più fini che tendono ad interrare il bacino oppure possono essere dovute a piene eccezionali a monte, che non possono essere trattenuate dall'invaso, perché superano la sua capacità. L'effetto dello svaso rapido, a valle, produce un'ondata di piena rilevante e conseguentemente un'erosione accelerata, seguita, a valle, dalla sedimentazione per tratti molto lunghi di sedimenti fini; tali sedimenti sono spesso contraddistinti da alti contenuti di sostan-



Bacino artificiale in una vallata dell'Appennino Tosco-Emiliano

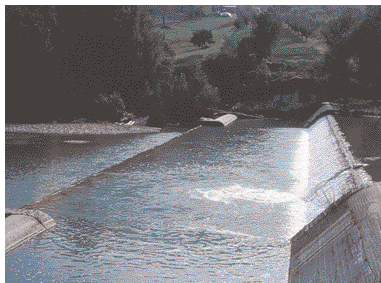
za organica e a volte anche da concentrazione di inquinanti in grado di turbare per lunghi periodi l'equilibrio ecologico dei torrenti. A proposito di queste problematiche cominciano ad essere studiati gli effetti di questi svasi nei grandi bacini lungo i principali corsi d'acqua alpini della regione francese e svizzera, dove il problema è acuito sia a causa della rilevante pressione antropica (urbanizzazione e industrializzazione delle aree) sia a causa delle ingenti portate dei fiumi (Rhône, Isère, Drôme, etc.).

Le contromisure che si possono attuare per evitare l'erosione consistono nel diminuire la velocità dell'acqua o nel rendere inerodibile il contorno dell'alveo torrentizio. Il secondo sistema è utilizzato in genere in prossimità dei centri abitati e principalmente nel loro attraversamento o, ancora, in prossimità di importanti manufatti, ad esempio le strade.

La protezione delle sponde e del fondo può essere eseguita mediante opere con caratteristiche molto diverse. L'alveo può ad esempio essere rivestito con materiale che non possa essere rimosso dalle acque del torrente: questo sistema evita l'utilizzo di opere trasversali al torrente e il conseguente innalzamento dell'alveo. Nell'attraversamento dei paesi è ad esempio necessario mantenere una sezione sufficientemente larga per permettere il passaggio delle portate di piena; in queste situazioni si tendono ad evitare eventuali innalzamenti del letto che ne ridurrebbero la sezione costringendo a compensarla mediante la costruzione di argini o muri di altezza sufficiente. Poiché da qualche anno a questa parte si tende a considerare l'impatto dell'inserimento di un'opera nel paesaggio, i progettisti si sforzano sempre più di utilizzare materiali e metodi che richiamano la naturalità, perciò sempre più raramente le opere progettate e costruite al di sopra del livello di magra sono costituite da muri in cemento armato. Alcune volte il rivestimento del canale può essere costituito da pietrame slegato, ma di dimensioni rilevanti, a volte disposto in modo da formare veri e propri muri a secco. Le cunette in calcestruzzo sono sconsigliate quando nel torrente è trasportato molto detrito e le velocità sono superiori a 2.5-3.0 m/s; in questo caso si preferisce il rivestimento in pietrame. A volte nel letto, per evitare danni, le cunette sono interrotte da soglie profondamente ancorate nelle sponde.

In alcuni casi, quando le velocità non sono troppo elevate possono essere realizzate protezioni costituite da sole opere di difesa spondale. Il punto debole di queste ultime è rappresentato dal loro piede, dove le acque tendono ad erodere più intensamente; per tale motivo vengono eseguite adeguate contromisure: fondazioni a trave, sottofondazioni su pali, massi ciclopici alla base, etc.

Una protezione delle sponde con costi decisamente più bassi, ma con grado di sicurezza minore, si può ottenere con l'utilizzo di gabbionate, che presentano il grande vantaggio di adattarsi con facilità ai cedimenti differenziali deformandosi e mantenendosi integre. Quando ne fu introdotto l'uso si pensava potessero



Briglia e controbriglia sul F. Panaro (Emilia)

re, poiché la pezzatura dei clasti impiegati è in genere tale da essere mobilitata velocemente. Strutture che permettono una rinaturalizzazione ancora più rapida si ottengono utilizzando protezioni in materiali naturali costituiti principalmente da pali di larice o di altre essenze arboree molto resistenti, a volte collegati tra loro mediante cavi di acciaio o ancora utilizzando protezioni vive mediante l'infissione di talee di salice o di ontano.

La riduzione delle pendenze del letto torrentizio si effettua realizzando briglie, che producono una serie di salti di fondo in grado da una parte di dissipare una consistente parte dell'energia e dall'altra di fissare nell'alveo delle quote predefinite. La pendenza artificialmente attribuita al torrente dovrebbe permettere il compenso tra il materiale asportato e quello depositato e perciò è detta pendenza di compensazione.

La costruzione di briglie lungo un torrente può produrre effetti sull'ossigenazione dell'acqua; infatti, a monte della stessa la riduzione di pendenza e conseguentemente della turbolenza produce una diminuzione dell'aerazione, mentre a valle del salto si produce l'effetto contrario. La presenza di briglie determina inoltre il formarsi, a monte di questa, di barre che emergono dal fondo del torrente.

Sedimentazioni nel letto del torrente. I torrenti che si trovano in condizioni di sedimentazione, anche detti torrenti di trasporto, sono in genere indice di forti processi di degradazione nel bacino.

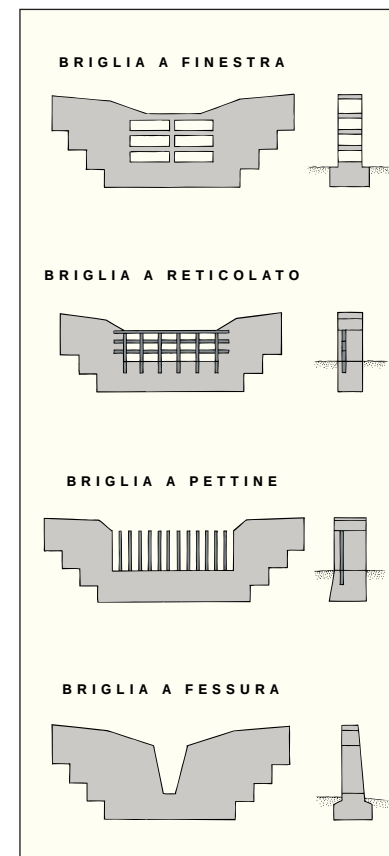
Un torrente in equilibrio può virare verso condizioni di sedimentazione principalmente per effetto dell'aumento del volume dei detriti che sopraggiungono all'alveo, come conseguenza di processi di dissesto gravitativi (frane, erosioni superficiali, valanghe, etc.) o per diminuzione delle velocità nel corso d'acqua stesso. Riduzioni di velocità sono in genere provocate da innalzamenti del livello di base locale, dovuti sia a cause antropiche come ad esempio costruzione di briglie, dighe, o altri manufatti, sia a cause naturali come l'occlusione dell'alveo per frana-menti o per la formazione di conoidi di deiezione alla confluenza con altri torrenti, più raramente a sbarramenti per valanghe o lingue di ghiaccio o altro ancora.

avere una durata limitata, in realtà si sono dimostrate sufficientemente longeve (oltre 20-25 anni), possono essere eventualmente riparate, si possono posare anche in periodi di gelo e soprattutto tra i clasti contenuti all'interno si possono depositare materiali più fini che forniscono il substrato per la vegetazione. Hanno lo svantaggio di presentare una brusca caduta nell'efficienza in caso di rottura del contenito-

Un torrente di trasporto presenta mediamente un grado di torbidità maggiore rispetto a quelli in cui prevale l'erosione, condizionando di conseguenza il popolamento animale e vegetale del torrente stesso. In generale, il sopraelevamento degli alvei nelle aree montuose non è preoccupante in relazione alle attività umane circostanti. In alcuni casi, questa tendenza costituisce invece una condizione di rischio rilevante. In particolare, nell'attraversamento di centri abitati, soprattutto se questi sono ubicati su un conoide di deiezione, o dove la sezione dell'alveo è determinata dalla luce dei ponti stradali, l'innalzamento dell'alveo può provocare inondazioni e rottura delle opere trasversali. In questi casi, non è sufficiente progettare opere lungo i corsi d'acqua; si deve pensare anche alla risistemazione idraulico forestale di tutto il bacino. In genere questi lavori sono costosi e danno risultati solo dopo tempi molto lunghi, per questo spesso non sono affrontati sistematicamente.

Per minimizzare i rischi per le strutture poste lungo il torrente, in genere si procede nell'immediato con la costruzione di briglie di trattenuta in grado di immagazzinare i sedimenti e interrompere la pendenze dell'alveo. In genere sono opere isolate, in grado di resistere all'impatto del materiale grossolano, trasportato principalmente nei momenti di piena intensa. A volte durante queste fasi parossistiche il corso d'acqua diviene sede di vere e proprie piene di fango e detriti (debris flood) definite in molti modi a seconda di qualche piccola differenza nel processo (ad esempio, debris flow, debris torrent, lave torrentielle, mure).

Particolare attenzione deve essere posta nella gestione delle aree di conoide alluvionale. I torrenti montani, quando confluiscono in una vallata principale, diminuiscono drasticamente la loro pendenza. Quest'area perciò risulta sede di importanti processi di sedimentazione torrentizia che hanno permesso la for-



Esempi di briglie aperte con relative sezioni

mazione di corpi sedimentari detti conoidi alluvionali a forma di cono o di ventaglio con l'apice rivolto verso la valle di provenienza del torrente. Le dimensioni dei conoidi sono molto varie, possono raggiungere dimensioni ragguardevoli, provocando anche lo spostamento del corso d'acqua principale verso il versante opposto o addirittura l'occlusione del fondovalle. Nelle aree montane, soprattutto lungo le principali valli alpine, i conoidi alluvionali sono sede di importanti centri abitati e risultano perciò generalmente soggette a rischio idrogeologico elevato. La gestione di queste aree è per lo più molto difficoltosa poiché non esistono soluzioni progettuali adatte per ogni tipo di situazione: ad ogni caso dovrebbero essere applicate contromisure adeguate alle specifiche condizioni locali.

Processi erosivi nel bacino di alimentazione di un torrente montano. I processi di erosione che avvengono nel bacino idrografico sono responsabili di buona parte dei detriti che giungono nel letto dei torrenti montani. Più intensi sono i processi erosivi e più sedimenti entrano nel bilancio di massa del torrente. Nelle aree montane italiane prevalgono i processi gravitativi, che originano tipologie di forme diverse, ad esempio vari tipi di frane, falde e con di detrito, etc. In alcune aree come quelle di alta montagna, soprattutto quindi sulle Alpi, possono assumere importanza non marginale gli effetti del gelo e disgelo e della neve, soprattutto per la caduta di valanghe; in altre aree, prive di vegetazione, può invece assumere una certa importanza il dilavamento delle acque superficiali, soprattutto su litologie poco permeabili e facilmente erodibili, come nelle aree argillose dell'intera catena appenninica.

A questi processi si devono aggiungere quelli antropici; questi possono accelerare o favorire l'inizio di dissesti prodotti da processi naturali. Ad esempio, la deforestazione ha prodotto in determinati periodi storici l'incremento particolarmente rilevante dell'erosione dei versanti. Si pensi ai disboscamenti operati alla fine di periodi in cui la gestione del bosco era garantita da appositi regolamenti e consapevoli protezioni. La legislazione forestale della Repubblica Veneta era all'avanguardia: ad esempio i boschi del Cadore, fondamentali per le costruzioni navali, erano particolarmente protetti. Con l'unità d'Italia, aree come quella del Montello furono "spianate" per permettere le coltivazioni. Situazione non molto differente toccò ai demani silani del Regno di Napoli, una volta incorporati in quelli sabaudi: infatti, da quel momento molti boschi subirono tagli e devastazioni non più risanabili. La pratica del disboscamento si è manifestata in tutta la sua gravità con l'arrivo dello sviluppo economico post bellico quando, per esigenze non più solamente agricole e pastorali, si è assistito alla distruzione di ceppaie anche mediante l'uso doloso degli incendi.

La pratica del pascolo, se esasperata, può provocare eccessivo calpestio, con conseguente rottura della cotica erbosa, determinando l'inizio dall'erosione dei



Sistemazione dell'alveo di un torrente, Alpi Giulie

versanti o accelerandola. Le costruzioni sui versanti producono generalmente cicatrici non protette dalla vegetazione, formazione di nuove scarpate, problemi di ristagno e circolazione delle acque superficiali e sotterranee in grado di alterare irreversibilmente l'equilibrio del versante.

Le pratiche agricole, con arature secondo le linee di massima pendenza e con specie vegetali che non proteggono il suolo, durante le stagioni critiche (ad esempio per i cereali il periodo tra la mietitura e la nuova semina), quando le precipitazioni possono assumere carattere temporalesco sono state, nel dopoguerra, responsabili, ad esempio, della forte erosione del suolo nell'Appennino centrale.

Le contromisure da adottare per ridurre i dissesti nel bacino sono estremamente varie e possono essere di tipo biologico o ingegneristico. Entrambe queste tipologie devono essere tra loro complementari per tendere ad un risultato comune, anche se sfortunatamente non sempre si riesce ad arrestare un dissesto imponente con costi accettabili. Per questo motivo, le sistemazioni dei versanti non si concludono con la predisposizione di un'opera che sia da sola risolutiva, ma devono procedere con attenzione quasi quotidiana e con piccole operazioni prolungate nel tempo.

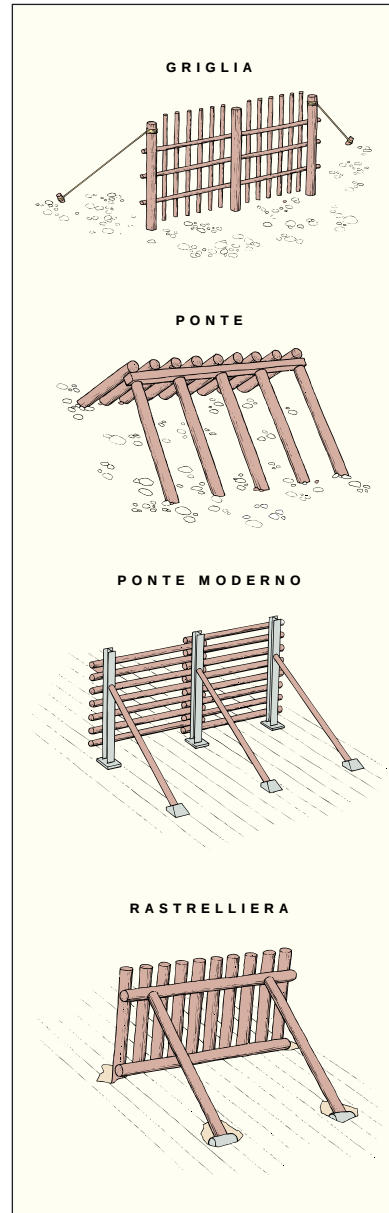
La bonifica di frane necessita di interventi complessi e costosi, ad esempio sbancamenti, costruzione di drenaggi, impermeabilizzazioni, captazione di sorgenti. Nel caso di piccoli dissesti sul versante, si procede creando dei drenaggi superficiali che tolgano l'acqua di ruscellamento dalla corona di frana, impe-

dendone l'allargamento; si possono inoltre predisporre palificate, staccionate, graticciate atte ad arrestare la discesa dei sedimenti superficiali lungo il versante e conseguentemente la perdita di suolo, nonché a rallentare le acque di dilavamento lungo il versante stesso.

Successivamente una delle pratiche più diffuse per il consolidamento della parte più superficiale del versante consiste nell'inerbimento e nel rimboschimento.

L'erosione calanchiva procede molto rapidamente ed è perciò difficile da arrestare. I metodi che vengono utilizzati consistono nella costruzione di briglie lungo le incisioni principali, per contrapporre l'abbassamento del canale, di canalette scavate nelle aree di cresta, per ridurre l'asperità del terreno, di canalette disposte a spina di pesce, che scaricano l'acqua verso le canalette di cresta.

Le valanghe, soprattutto quando interessano tutto lo spessore della coltre nevosa e viaggiano ad alta velocità (valanghe nubiformi in neve secca), possono abbattere lungo il loro percorso la totalità della vegetazione e provocare erosione del versante. Per ridurre la pericolosità si procede in genere con opere di difesa attiva, per evitarne la formazione, e con opere passive, per proteggere aree ben precise. La soluzione ideale rimane comunque la sistemazione del versante con bosco fitto d'alto fusto; ove questo non può permanere o sia degradato si provvede con opere antropiche.



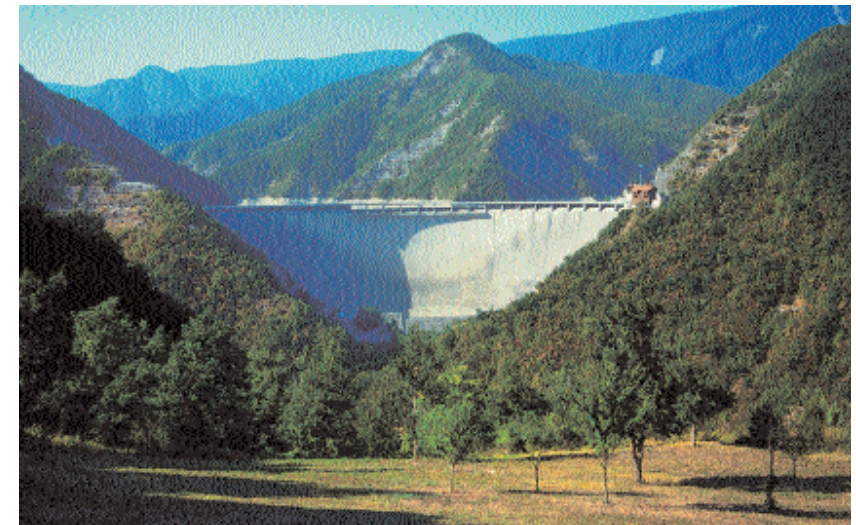
Esempi di dispositivi antivalanga (anticamente si utilizzavano fossi e terrapieni nelle aree di distacco, poi terrazette con muri a secco)

■ Sfruttamento delle acque

Non pochi corsi d'acqua montani sono sbarrati da dighe, allo scopo di formare serbatoi a fini irrigui o idroelettrici e talvolta per la regolazione delle piene o per finalità turistiche.

Fin dall'antichità l'uomo ha sentito l'esigenza di costruire sbarramenti per poter disporre di riserve d'acqua, sia per l'alimentazione di acquedotti, sia per l'irrigazione del terreno. Con lo sviluppo dell'industria idroelettrica le dighe di sbarramento hanno assunto, da quasi un secolo, dimensioni assai considerevoli. Nel 1905, infatti, il 70% della produzione di energia elettrica italiana era di tipo idroelettrico; l'Italia era il primo produttore in Europa e il terzo nel Mondo. Con l'avvento del fascismo, la percentuale di energia idroelettrica raggiunse l'85% del totale (17.44Mld di kW/h). Lo sfruttamento dell'acqua per la produzione di energia elettrica, sicuramente incentivato dal desiderio di autarchia e dalla quasi totale assenza di carbone nazionale, ebbe un notevole incentivo dalla Legge 3124 del 24 dicembre 1928 o "legge Mussolini" sulla bonifica integrale che prevedeva di stanziare grosse cifre che permettessero di realizzare, in un lasso di tempo di 14 anni, interventi per la bonifica, la difesa idraulica, la creazione di reti irrigue, la sistemazione montana e l'approvvigionamento di acqua potabile.

Lo sviluppo delle derivazioni artificiali nelle aree montane delle Alpi proseguì fino a tutti gli anni '80, anche dopo l'evento drammatico del Vajont. Grandi imprese come la SADE e poi l'ENEL hanno costruito una rete artificiale di derivazioni a sco-



La diga di Ridracoli nell'Appennino Tosco-Emiliano

I debris flow sono miscele di detriti poco classati, ad alta concentrazione, e contenenti una frazione argillosa. La parte solida del fluido può costituire fino al 90% del totale della massa. L'acqua e i detriti fini intrappolati entro i pori tra le particelle grossolane, operano da lubrificante nel movimento.

Si tratta di colate, la maggior parte delle quali si produce entro canali permanenti o semipermanenti (debris flow canalizzati). La loro origine è generalmente causata dall'ostruzione temporanea del canale, per effetto dell'accatastarsi di tronchi e detriti, e alla conseguente rottura dello sbarramento, che provoca un'improvvisa ondata di materiale misto ad acqua.

Generalmente le zone di innesco dei debris flow sono ubicate su pendii ad elevata pendenza, con poca vegetazione, dove abbondano i detriti e dove le precipitazioni possono raggiungere picchi d'intensità oraria molto elevati. Ad esempio, nelle aree dolomitiche, questi eventi si iniziano frequentemente nelle imponenti falde detritiche poste alla base dei principali gruppi montuosi.

Nelle nostre Alpi, le portate idriche che scatenano questi eventi sono dovute ai forti temporali che avvengono sul finire dell'estate oppure all'improvviso svuotamento di laghi o ancora al rapido scioglimento di neve e ghiaccio, in occasione di improvvise risalite dello zero termico (fenomeno non raro nel periodo autunnale e primaverile).

La zona di trasporto è caratterizzata da un canale bordato da argini naturali piuttosto ripidi. Durante gli eventi si sono osservate velocità del flusso che variano tra 0.5 e 20 m/s.

Nelle zone di deposito gli argini naturali convergono a formare un lobo terminale. Il corpo sedimentario risulta generalmente costituito da sedimenti con gradazione inversa dove i clasti grossolani sono disposti alla sommità del deposito. In genere il debris flow si arresta quando la frazione liquida (acqua, argilla, silt) si separa dal flusso cosicché nella massa solida aumenta l'attrito interno. Uno dei metodi per arrestare questi flussi nei torrenti è quello di far scorrere i debris flow su griglie orizzontali con lo scopo di drenarne l'acqua e quindi provocarne l'arresto.



La capacità distruttiva dell'alluvione di Sarno (1998) è stata amplificata dall'enorme quantità di materiale trasportato a valle: dopo alcuni anni e, nonostante gli interventi di risistemazione effettuati, la cicatrice nella montagna è ancora ben visibile

po idroelettrico e irriguo che ha portato, ad esempio, alla radicale trasformazione idraulica del bacino del Piave e di quello del Tagliamento.

La costruzione delle dighe comporta vari ed importanti problemi nella previsione e nell'utilizzazione degli invasi, nell'ubicazione dello sbarramento, nelle caratteristiche dei terreni di fondazione, nella sicurezza della costruzione e così via. Inoltre anche l'invaso deve garantire condizioni di tenuta e di stabilità. Le dighe venivano realizzate all'inizio esclusivamente in muratura, successivamente in calcestruzzo, talvolta armato, oppure con materiali incoerenti (dighe in terra).

In base al comportamento statico, le dighe possono essere suddivise in due categorie: a gravità e ad arco. Nelle prime la resistenza globale al carico idrostatico è ottenuta opponendovi il peso proprio della struttura: possono essere realizzate con struttura monolitica o con materiale incoerente. Nelle seconde il funzionamento statico si esplica trasferendo, almeno in parte, l'azione dei carichi, mediante spinte, sui fianchi della stretta valliva da sbancare: sono realizzate in calcestruzzo generalmente armato. Queste esigono le più accurate indagini geologiche, perché le loro fondazioni richiedono rocce di notevole compattezza, stabilità, impermeabilità e resistenza.

In Italia non esistono dighe di altezza rilevante realizzate in materiali sciolti. Tra quelle in calcestruzzo, le più significative per altezza e volume sono da citare quella del Vajont nel bacino del Piave, ultimata nel 1961 e alta 262 m, quella dell'Alpe di Gera in Val Malenco nel bacino dell'Adda, ultimata nel 1965, con un volume del manufatto pari a 2.5 milioni di metri cubi, quella di Place Mulin sul torrente Buthier nel bacino della Dora Baltea, ultimata nel 1965, con un volume pari a 1 650 000 metri cubi. Nella regione alpina le dighe sono per la maggior parte impostate su rocce magmatiche o metamorfiche. Tra le prime ricordiamo quelle sulle tonaliti del gruppo dell'Adamello (ad es. Pantano d'Avio, altezza 65 m), sui graniti di Cima d'Asta e Fortezza (ad es. Fortezza, altezza 63 m) e sui porfidi bergamaschi e atesini (ad es. Forte Buso, altezza 110 m). Tra le seconde sono da ricordare quelle impostate su gneiss e scisti di varia composizione delle Alpi piemontesi e lombarde (ad es. Valle di Lei, altezza 141 m; Frera, altezza 138 m). Qualche decina di dighe è comunque impostata su rocce sedimentarie, principalmente calcari e calcari dolomitici (ad es. Vajont, altezza 262 m; Specchieri, altezza 154 m; S. Giustina, altezza 152 m).

Nella regione appenninica sono ubicate poco meno di un terzo delle dighe italiane, situate generalmente in prossimità della dorsale. La prevalenza delle rocce sedimentarie, che affiorano lungo tutta la catena, su quelle ignee e metamorfiche comporta l'assoluta predominanza di dighe su calcari (ad es. Salto delle Balze di S. Lucia, altezza 108 m; Fiastra, altezza 87 m) o su arenarie (ad es. Sauviana, altezza 96 m; S. Eleuterio nel Liri, altezza 86 m). Alcune dighe sono invece impostate sui graniti dell'Appennino calabro e sulle rocce metamorfiche dell'Appennino ligure.



Le acque torrentizie sono all'attenzione del legislatore soprattutto per il loro sfruttamento a fini energetici

■ Legislazione

In quanto acque pubbliche, i torrenti di montagna fanno parte del demanio pubblico ossia sono proprietà dello Stato e non sono perciò soggetti ad alienazioni né usucapione.

Il Testo Unico sulle Acque del 1933 sancisce la prevalenza del diritto idraulico di tradizione latina su quello derivato dai nascenti diritti industriali; così sono esplicitati i diritti prioritari di fluitazione e navigazione su tutti gli altri.

Tra gli atti normativi deve essere ricordata, tra le altre, la Legge n. 319, del 10 maggio 1976 (norme per la tutela delle acque dall'inquinamento) che ha rappresentato un pietra miliare per la qualità delle acque, fornendo una serie di valori di riferimento per quanto riguarda gli inquinanti.

Con la Legge n. 183 del 18 maggio 1989 (norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo) integrata dalle successive disposizioni (Legge n. 253 del 7 Agosto 1990) e ulteriori atti di indirizzo e di coordinamento (DPCM 23 marzo 1990, DPCM 1 marzo 1991 e DPR 7 gennaio 1992) viene sancito l'approccio innovativo che gli interventi di gestione dei corsi d'acqua devono essere predisposti a livello di bacino idrografico. Vengono perciò istituite le Autorità di Bacino quali enti intermedi di gestione tra Stato e Regioni (e province autonome). La Legge n. 36 del 5 gennaio 1994 sancisce finalmente l'importanza della risorsa acqua che deve essere utilizzata salvaguardando le aspettative ed i diritti delle generazioni future. In questa legge comincia ad essere considerata la possibilità che le acque di un bacino idrografico non siano sufficienti a garantire tutti gli usi fin qui programmati, sancisce quindi la necessità di definire il livello di deflusso minimo vitale nei corsi d'acqua per non danneggiare gli equilibri degli ecosistemi interessati, demandando alle Autorità di bacino questi compiti. Infine si procede assicurando nella regolamentazione delle acque la priorità agli usi umani, seguiti da quelli agricoli.

Numerose sono le norme di legge attualmente vigenti a tutela della qualità delle acque e della loro biodiversità. Le vecchie leggi, volte solamente a limitare la presenza di sostanze inquinanti negli scarichi (Legge Merli) sono state fortunatamente superate di recente, mediante decreti legislativi di attuazione di direttive della Comunità Europea. Con il D.L. 25 gennaio 1992 n. 130 (attuazione della direttiva 78/659/CEE sulla qualità delle acque dolci che richiedono protezione e miglioramento per essere idonee alla vita dei pesci) è stato sostituito al concetto di concentrazione delle sostanze negli scarichi quello di concentrazione nel corpo recettore. Un ulteriore progresso è stato compiuto con il D.L. 11 maggio 1999, n. 152, recante disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento; questo decreto legislativo prescrive di utilizzare i macroinvertebrati nella sorveglianza ecologica dei corsi d'acqua ed ha lo scopo di tutelare le acque in funzione del loro uso umano (potabile, agricolo, industriale, o per la balnea-



La salamandrina dagli occhiali è tutelata dalla Direttiva Habitat

zione). Ma forse la direttiva più importante è la 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque (G.U. n. L 327 del 22/12/2000). In particolare all'art. 4 tra gli "obiettivi ambientali" si legge che gli Stati membri "attuano le misure necessarie per impedire il deterioramento dello stato di tutti i corpi idrici superficiali"; "proteggono, migliorano e ripristinano tutti i corpi idrici superficiali" al fine di raggiungere un "buono stato delle acque superficiali ... entro 15 anni dall'entrata in vigore della

presente direttiva" (salvo proroghe); attuano le misure ... al fine di ridurre progressivamente l'inquinamento causato dalle sostanze pericolose prioritarie e arrestare o eliminare gradualmente le emissioni, gli scarichi e le perdite di sostanze pericolose prioritarie". Infine gli Stati membri "provvedono a elaborare programmi di monitoraggio dello stato delle acque"; nel caso dei torrenti, i programmi in questione riguardano "la proporzione del flusso idrico nella misura adeguata ai fini dello stato ecologico e chimico e del potenziale ecologico", nonché un monitoraggio degli stessi parametri ("stato ecologico e chimico" e "potenziale ecologico").

Gli obiettivi sono complementari a quelli della "Direttiva Habitat" (Direttiva 92/43/CEE del Consiglio, 21 maggio 1992, relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche). Questa direttiva, che ha un suo regolamento attuativo (DPR 8 settembre 1997, n. 357) ed un primo aggiornamento (Direttiva 97/62/CE del Consiglio, del 27 ottobre 1997), permette una tutela dei corsi d'acqua vietando l'introduzione di specie non locali e proteggendo le specie rare, endemiche o in pericolo in essi presenti. Le specie incluse in normativa sono prevalentemente vertebrati; in particolare sono importanti per i torrenti montani l'inclusione della trota marmorata - sub *Salmo marmoratus* - e della trota macrostigma - sub *Salmo macrostigma* -, accanto a numerose specie di anfibi - come la salamandrina dagli occhiali (*Salamandrina terdigitata*). Purtroppo per gli invertebrati la normativa è ancora carente, contemplando solamente il gambero d'acqua dolce (*Austropotamobius pallipes*) oltre a qualche odonato sporadicamente presente in tali ambienti. In attesa di un suo auspicato ampliamento, la normativa è comunque attualmente il mezzo legislativo più idoneo alla tutela della biodiversità dei corsi d'acqua naturali in tutta la Comunità Europea.

■ Derivazioni idriche e sistemazioni idraulico-forestali: impatto ambientale

Sempre più spesso i torrenti si presentano ai nostri occhi con un sistema di dighe, briglie e opere di presa, e non di rado con alvei in cui l'acqua corrente è ridotta a un rigagnolo quando non sia del tutto assente. Ciò che colpisce di primo acchito è il forte impatto visivo, l'estraneità del cemento ad un paesaggio per altro connotato da caratteri di prepotente naturalità, il desolato biancheggiare dei greti asciutti, la cancellazione di straordinari spettacoli messi in scena dalle forze della natura o il loro venir relegati a ridotti lassi di tempo (esistono cascate aperte per i turisti solo a Ferragosto).

Non esiste un unico e semplice impatto di tali opere sull'ambiente, ma esiste invece una serie articolata e complessa di effetti negativi sul suolo, sul paesaggio, sulla fruizione dell'area, sull'assetto idrogeologico, sulla vegetazione e sull'ecosistema fluviale che dovrebbero essere attentamente valutati in sede di realizzazione, effetti che possono essere talvolta marcati a tal punto da escluderne la fattibilità.

L'impatto sulla fauna sotterranea. Il problema più grave riguarda l'alterazione drastica della circolazione idrica ipogea. Sappiamo che un torrente non è costituito solo da ciò che si vede: l'acqua in superficie è solo la punta di un iceberg, di una circolazione ipogea vasta e complessa. Le perdite di subalveo, attraverso le ghiaie permeabili del fondo, vanno infatti ad alimentare le falde freatiche. È ovvio che togliere l'acqua ai corsi montani e convogliarla ad esempio in canali, spesso impermeabilizzati, equivale a togliere l'acqua alle falde freatiche, pregiudicando la regolare circolazione idrica e causando un abbassamento dei livelli piezometrici. Le conseguenze negative sull'approvvigionamento idrico ad uso irriguo e potabile sono palesi, ma meno noto è l'impatto che questo può avere sulla comunità di organismi freatici, ossia sugli abitatori esclusivi delle acque sotterranee nei terreni alluvionali. Abbiamo visto come la fauna freatica sia la più importante in quanto a numero di specie endemiche e rare, cioè specie che necessitano di particolari accorgimenti di tutela; la sottrazione di acque di falda e le modifiche indotte ai deflussi ipogei dalle derivazioni idriche possono avere su queste delicate comunità effetti catastrofici ed imprevedibili.



Un torrente montano con gli evidenti segni dell'intervento antropico di risistemazione

La conseguenza più evidente delle derivazioni idriche è quella di una riduzione di portata; nel caso di prelievo totale delle acque, possiamo avere un totale prosciugamento a valle delle prese, almeno nei periodi di magra. Gli alvei soggetti ad asciutta parziale o totale vengono facilmente invasi da vegetazione, che in caso di piena può creare ostacolo al regolare deflusso delle acque e richiedere costose manutenzioni. Ma è anche evidente che queste opere, anche nei casi in cui non comportino la sottrazione totale dell'acqua in alveo, non possono non avere pesanti impatti sull'ecosistema acquatico e sugli organismi residenti. In particolare, la portata del corso a valle di un'opera di presa può risultare ridotta - per periodi anche lunghi, visto il carattere torrentizio dei corsi altomontani - a quantità inferiori a quelle che per alcuni organismi costituiscono il minimo indispensabile alla sopravvivenza.

Grazie all'aumentata sensibilità nei riguardi delle problematiche ambientali, il concetto di deflusso minimo vitale - inteso come quantità minima d'acqua da garantire a un corso affinché in esso le condizioni di vita vengano mantenute a un livello accettabile - si è fatto strada negli ultimi decenni non solo tra gli addetti ai lavori e negli strati più attenti dell'opinione pubblica, ma anche nella legislazione. È probabile che a muovere il legislatore siano state considerazioni più di tipo economico che ecologico (ad esempio la valorizzazione turistica o l'esercizio della pesca sportiva), però certamente la normativa va anche verso la salvaguardia della vita acquatica.

Ma la vita di chi? Non è una domanda retorica: condizioni idrologiche diverse permettono la vita di organismi diversi, e dunque non basta rilasciare una certa quantità d'acqua in alveo per garantire la conservazione, in condizioni di naturalità, delle biocenosi presenti in quel tratto. Li-

mitando questa considerazione solamente all'ittiofauna, una diminuzione di portata può, ad esempio, comportare una riduzione della velocità della corrente con la scomparsa delle specie a più elevata reofilia, come pure può condurre ad un aumento della temperatura dell'acqua, condizione che favorisce il passaggio da un popolamento ittico di tipo salmonicolo ad uno di tipo ciprinicolo.

A livello nazionale gli apparati normativi che contengono riferimenti al deflusso minimo vitale sono finora rappresentati dalla Legge n° 183 del 18.5.89 inerente la difesa del suolo, dal D.L. n° 275 del 12.7.1993 che apporta modifiche al Testo Unico del 1933 sulle acque e sugli impianti idroelettrici, e dalla Legge n° 36 del 5.1.1994 che dispone in materia di risorse idriche. Solo quest'ultima si spinge a parlare degli "equilibri degli ecosistemi interessati", e in tutti i casi vengono date soltanto delle linee-guida, senza alcuna indicazione quantitativa sull'entità dei rilasci.

Il fatto che questi strumenti introducano nella legislazione nazionale il concetto di deflusso minimo vitale è tuttavia un fatto importante; non si tratta ovviamente di un'importanza solo culturale, in quanto alle linee guida dettate debbono conformarsi gli atti regionali. Alcune Regioni e Province Autonome hanno già legiferato in tal senso, anche se con proposte operative non omogenee. Va detto infatti che i metodi di calcolo del deflusso minimo vitale finora proposti sono molti e alquanto diversi tra loro.

Una suddivisione può essere fatta tra metodi teorici e metodi che utilizzano variabili sperimentali.

Nel primo gruppo rientrano le metodologie che utilizzano variabili morfologiche o idrologiche relative al bacino idrografico o al singolo corpo idrico, quali ad esempio i dati sulle portate, le curve di durata delle portate medesime, le osservazioni pluviometriche. I dati di più facile reperibilità sono quelli che risultano maggiormente utilizzati: molte delle normative re-



gionali che hanno già visto la luce dispongono ad esempio semplicemente il rilascio di un certo numero di litri al secondo per chilometro quadrato di bacino idrografico sotteso.

I metodi che si basano su variabili sperimentali prevedono la raccolta di dati di carattere idrologico, morfologico e biologico mediante indagini dirette nel sito interessato dalla valutazione di deflusso minimo vitale. Ciò al fine di stabilire, con adeguate elaborazioni numeriche, la corrispondenza dei parametri così rilevati ai bisogni di una o più specie di riferimento, e di definire l'intervallo di portate più consono a garantirne la presenza. Si tratta quindi di procedure che presentano un livello di complessità maggiore e un costo di applicazione più elevato, ma che certamente risultano più mirate e capaci di fornire una miglior valutazione quantitativa dell'idoneità del corso d'acqua ad ospitare determinati popolamenti animali in una pluralità di condizioni.

L'impatto sulla vegetazione. Gli effetti sulla vegetazione possono essere diretti o indiretti. Gli effetti diretti riguardano i disboscamenti, le escavazioni o le sistemazioni legate alla realizzazione dell'impianto e delle infrastrutture connesse. Spesso si dimentica infatti che le conseguenze ambientali della derivazione idrica non riguardano solo la sottrazione di acqua: la realizzazione stessa delle opere di presa, con tutte le infrastrutture necessarie (strade, linee elettriche, condotte forzate, ecc.) e l'ingente materiale di riporto da sistemare incide sul territorio per ampie porzioni, estese ben oltre gli alvei dei corsi d'acqua. Ciò causa la manomissione di estese aree, per la realizzazione delle opere medesime, l'accesso con mezzi pesanti, la realizzazione di cantieri, la discarica di inerti. Tutte queste opere dovrebbero essere messe nel costo ambientale dell'impianto.

Gli effetti indiretti riguardano invece i danni arrecati alla vegetazione come conseguenza delle opere. Le fasce disboscate, il danneggiamento degli apparati radicali, la ruderalizzazione del paesaggio vegetale hanno conseguenze negative sulla struttura della vegetazione e si riflettono spesso in modificazioni a lungo termine. I cambiamenti climatici causati nelle vallate dalla sottrazione d'acqua o dalla realizzazione dei bacini di raccolta (laghi artificiali) portano a modificazioni dell'assetto floristico e vegetazionale; le alterazioni della circolazione idrica epigea e

soprattutto ipogea riducono la fertilità e la produttività dei suoli; l'arretramento, la scomparsa o la distruzione delle sorgive portano alla perdita di aree ad elevata diversità biologica e produttività.

L'impatto sul popolamento macrobentonico ed ittico. Le conseguenze della diminuzione delle portate sull'ecosistema fluviale (sono ovvie quelle in caso di totale captazione del corso d'acqua, che comportano la scomparsa delle comunità insediate) si possono riassumere nei punti seguenti:

- Banalizzazione della struttura delle comunità. Tipicamente, a valle di uno sbarramento o di una derivazione, o in presenza di canalizzazioni e rettificazioni, la ricchezza in numero di individui può aumentare, ma assistiamo sempre ad una drastica diminuzione del numero di specie. Lo sconvolgimento del mosaico di microambienti dovuto alla diminuzione della portata ha come conseguenza una diminuzione della biodiversità e favorisce lo sviluppo di specie tolleranti; abbiamo cioè un fenomeno analogo a quello causato dall'inquinamento organico e chimico.
- Aumento dell'eventuale carico inquinante e diminuzione del potere autodepurativo del corso d'acqua. Questo fatto è correlato alla diminuzione della portata ed alla banalizzazione delle comunità animali insediate, che porta alla riduzione della presenza di tutti quegli organismi che, riciclando la sostanza organica, funzionano da depuratori naturali dei corsi d'acqua. Ambienti con

morfologia varia e diversificata, con rive naturali, fondali a granulometria irregolare e velocità di corrente idonea ospitano in genere comunità animali e vegetali ricche e diversificate, che contribuiscono al riciclaggio della materia in decomposizione o degli inquinanti organici eventualmente presenti. Ambienti sottoposti a ricalibratura o interessati da una diminuzione di portata superiore ad un certo valore critico albergano popolamenti semplificati che non riescono a svolgere la loro naturale funzione. Sostanze inquinanti immesse in ambienti alterati non vengono riciclate in modo adeguato, con conseguente peggioramento della qualità dell'acqua e compromissione non solo degli equilibri ambientali, ma anche dell'uso umano della stessa.



Un tratto di torrente rettificato e cementato che ha perso completamente la sua naturalità

- Aumento dell'escursione termica in rapporto alla diminuita profondità, con conseguenze sui cicli biologici delle specie. Ogni specie ha le sue esigenze in fatto di temperatura per compiere il suo ciclo vitale, in particolare nel periodo riproduttivo; una alterazione del regime termico dei corsi d'acqua porta a compromissioni del successo riproduttivo delle specie insediate e, pertanto, a modificazioni delle comunità acquatiche, che in genere si traducono in una banalizzazione delle comunità.
- Variazioni nella struttura dei popolamenti ittici. In conseguenza dei fattori in precedenza elencati, le comunità ittiche, che si trovano all'apice delle catene alimentari dei corsi d'acqua, vengono squilibrate in seguito alle alterazioni indotte sul pabulum alimentare o alla compromissione delle aree di frega dovuta alla minore portata. Vengono inoltre a ridursi l'abitabilità del corso d'acqua da parte dei pesci ed i loro spostamenti, sia a scopo trofico sia riproduttivo. Tutto ciò porta ad una diminuzione della produttività ittica e secondariamente ad uno scadimento del valore ambientale e ricreativo dei corsi d'acqua.

L'impatto sul paesaggio e sulla fruizione del torrente. Le alterazioni sopra ricordate incidono in modo grave sull'estetica del paesaggio; le modificazioni possono essere quantificabili a priori e pertanto controllabili, oppure non controllabili. Le modificazioni controllabili si riferiscono sia alla realizzazione delle opere di presa e delle infrastrutture in precedenza ricordate, spesso fortemente negative dal lato paesaggistico, sia alle opere di risistemazione dell'area e di reinserimento nel paesaggio (rimboschimenti, ripristini, realizzazione di barriere) spesso di dubbio valore estetico e scarsamente compensative del depauperamento dell'ambiente. Le modificazioni non controllabili si verificano in un secondo tempo e sono conseguenti all'alterazione dell'assetto idrogeologico (instabilità dei versanti, compromissione delle falde, abbassamento delle sorgive), microclimatico e vegetazionale. Un effetto negativo non trascurabile riguarda il valore ricreativo del corso d'acqua, comprese le attività ad esso legate (pesca sportiva, fruizione turistica, sport quali il canottaggio), con ripercussioni anche di carattere economico sull'intera area.



Anche la fruizione ricreativa dei torrenti richiede ambienti naturali ed incontaminati

■ L'impatto ambientale delle escavazioni in alveo e degli svassi dei bacini

La presenza di escavazioni in alveo è purtroppo un fenomeno molto comune e diffuso nei torrenti montani. Non vi sono solo escavazioni occasionali e limitate nel tempo, volte alla costruzione di opere di pubblica utilità (opere viarie ed argini), ma anche attività estrattive che hanno pertanto un impatto continuo e prolungato sui corsi d'acqua di cui utilizzano l'alveo. La conseguenza principale di tali attività è il rilascio nei tratti a valle del materiale fine smosso o dilavato dalle ghiaie che vengono estratte. Questo materiale fine, rilasciato in quantità di gran lunga superiore a quello che la corrente è in grado di dilavare, tende a depositarsi sul fondo dei corsi d'acqua compattandone il substrato, che in alcuni casi diviene solido come fosse cementato.

Effetti simili sono dovuti anche alla periodica pulizia dei bacini idroelettrici. I bacini vanno infatti incontro ad un lento, quanto inesorabile, processo di interrimento dovuto alla deposizione di limi e fanghi che i torrenti e l'acqua di ruscellamento convogliano dai tratti a monte e dai versanti della vallata soggetta a sbarramento. Si rende pertanto necessario procedere periodicamente allo svuotamento delle acque del bacino nel tratto a valle e ad una sua pulizia. Se questa avviene in tempi molto rapidi, possiamo avere fenomeni di "debris flow", illustrati nell'apposita scheda del capitolo sull'idrogeologia dei torrenti.

Numerosi sono stati negli ultimi anni i lavori che documentano gli effetti negativi, indiretti o diretti, di queste operazioni sul popolamento macrobentonico ed in particolare su quello ittico.

Le conseguenze indirette della colmatazione degli interstizi sono legati alla sottrazione di microhabitat alla meio- e macrofauna e alla compromissione delle aree di frega per la riproduzione dei salmonidi. A valle di tali opere avremo pertanto corsi d'acqua con comunità bentoniche fortemente impoverite, con potere autodepurativo ridotto (e pertanto molto suscettibili all'inquinamento) e con una fauna ittica molto povera anche quantitativamente. Nel caso di azioni intense e molto concentrate nel tempo si assiste anche ad effetti diretti, con ostruzione delle branchie dei pesci e degli invertebrati e conseguenti morie. Gli effetti indiretti dovuti alla colmatazione degli interstizi sono quelli più gravi e necessitano di periodi molto lunghi, anche anni, per risolversi.

■ L'introduzione di specie aliene

Sono aliene (o esotiche, o alloctone) le specie estranee alla fauna di un'area. La loro introduzione è purtroppo un fenomeno sempre più frequente al giorno d'oggi. Nei torrenti montani ci troviamo di fronte a immissioni accidentali (cioè involontarie) o ad immissioni controllate, a scopo di ripopolamento o pesca-sportivo. In entrambi i casi le conseguenze sull'ecosistema originario del sito

possono essere drammatiche. Le specie aliene di introduzione accidentale sono quelle fuggite da allevamenti, o introdotte involontariamente dall'uomo (spesso negli allevamenti stessi). Uno degli esempi recenti di maggior impatto è dato dalla rapida diffusione nei torrenti montani del Piemonte di un gambero d'acqua dolce americano (*Procambarus clarkii*). Specie importata per tentarne l'allevamento, in seguito abbandonata poiché non redditizia, si è accidentalmente diffusa nei corsi d'acqua dove ha un notevole successo in funzione sia della sua adattabilità, sia della grossa taglia, che la pone ai vertici delle catene alimentari come superpredatore senza nemici naturali allo stadio adulto. La sua diffusione in Italia sembra ormai procedere a macchia

d'olio (Liguria, Toscana, Emilia Romagna, ove è presente anche in pianura) ed è ormai inarrestabile; i suoi effetti devastanti non si limitano alle specie predate, ma procedono "a cascata" lungo tutta la rete alimentare dell'ecosistema.

Le specie introdotte a scopo di ripopolamento sono invece frequenti tra i pesci; in molti casi l'introduzione non viene effettuata solo per soddisfare le esigenze dei pescatori sportivi, ma anche per ripopolare tratti impoveriti in seguito a piene o interventi antropici, considerato che oggi le briglie impediscono quasi ovunque la risalita del pesce dai tratti a valle.

Assistiamo in genere non solo all'introduzione di specie esotiche, ma anche all'introduzione di individui di specie indigene provenienti da allevamenti e pertanto geneticamente diversi da quelli originari: assistiamo a quel fenomeno noto come "inquinamento genetico".

Mentre le popolazioni indigene sono frutto di un lungo processo di selezione naturale e sono pertanto ben adattate all'ambiente, lo stesso non accade per ceppi genetici estranei, che possono andare incontro a problemi di vario tipo, in primo luogo sanitari.

Oggi l'introduzione di qualsiasi specie "non locale" è vietata espressamente dal DPR 8 settembre 1997, n. 357, art. 12; qualsiasi introduzione non giustificata da validi motivi scientifici supportati da apposito studio e preventivamente autorizzata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio è perseguibile a norma di legge.



Una specie aliena: il gambero d'acqua dolce americano (*Procambarus clarkii*)

Le scale di rimonta sono nate per facilitare l'aggrimento da parte dei pesci di ostacoli (non sempre artificiali) che impediscono loro di raggiungere, durante le migrazioni riproduttive, i siti idonei all'ovideposizione. Questo è avvenuto, per lo meno in un primo momento, sotto la spinta di considerazioni economiche più che naturalistiche, e le prime scale di rimonta sono state poste in opera laddove si trattava di tutelare la riproduzione di specie pregiate e capaci di fornire reddito, come ad esempio il salmone. Il valore commerciale attribuito ai pesci delle nostre acque interne non è mai stato elevato: questo spiega perché da noi l'esigenza di queste strutture è stata sentita solo in anni molto recenti e soprattutto il motivo per cui l'obbligo della loro posa in opera - contrariamente a quanto avviene in altre realtà - non è stato recepito a livello legislativo.

Nei Paesi in cui la costruzione delle scale di rimonta è in atto da parecchi decenni, le considerazioni sul funzionamento in pratica hanno consentito la messa a punto di varie tipologie di intervento, tutte però in sostanza riconducibili a due modelli fondamentali: le scale a bacini successivi (o scale a traverse), e le scale a rallentamento (conosciute anche come scale Denil, dal nome del loro inventore). Nelle prime l'altezza da superare viene suddivisa in una serie di bacini posti in sequenza con dislivelli ridotti e alimentati a cascata. La dimensione dei bacini deve consentire ai pesci di poterli usare anche come luogo di sosta e di riparo, e deve permettere un efficace assorbimento dell'energia cinetica dell'acqua in ricaduta. Le scale Denil consistono in canali a forte pendenza (fino al 20%), sul cui fondo e sulle cui pareti vengono predisposti una serie di deflettori di varia forma il cui compito è di ridurre la velocità della corrente.

La progettazione di una scala di rimonta deve tener presente una considerazione ovvia ma non di rado disattesa: essa de-

ve poter essere usata dal pesce. Non è sufficiente l'intenzione, per quanto lodevole, di suddividere i salti in più tratte, di addolcire le pendenze, di mitigare la velocità della corrente: senza adeguate conoscenze relative al comportamento in migrazione della specie a cui è destinato l'ausilio e ad alcuni aspetti della sua capacità natatoria (in particolare velocità di scatto e resistenza), vi è il rischio concreto di porre in opera una struttura inefficiente.

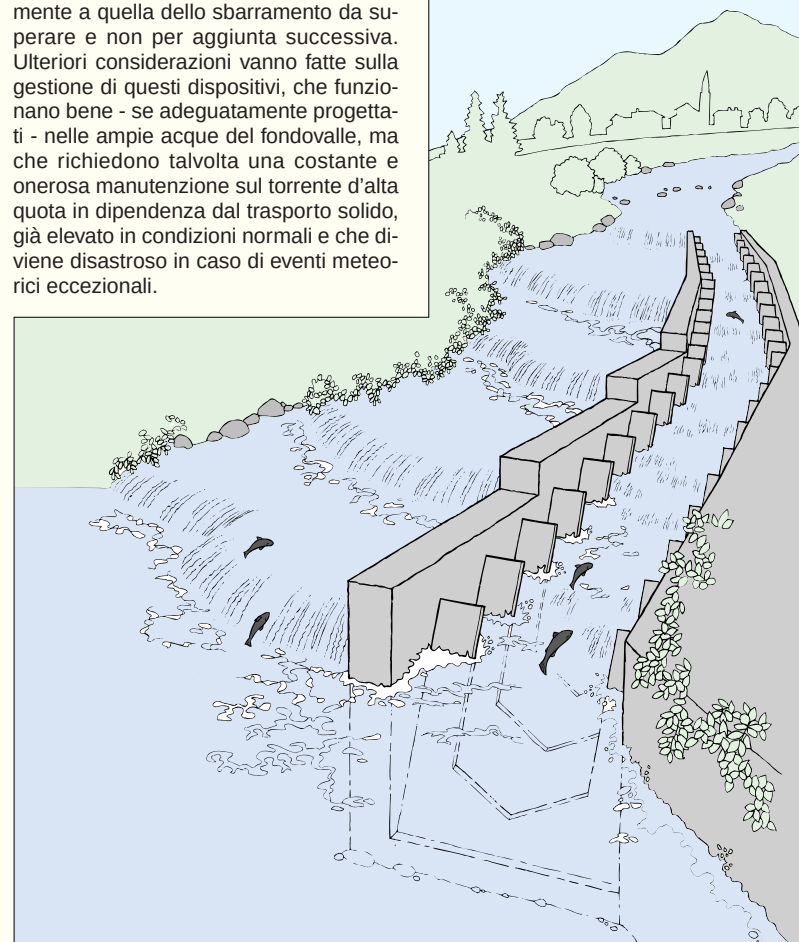
La massima velocità natatoria di un pesce (detta anche velocità di scatto, in quanto sostenibile solo per brevi periodi) viene raggiunta mediante l'impiego preminente della muscolatura bianca, che ha un funzionamento di tipo anaerobico. Nel nuoto di crociera, che può essere mantenuto per molte ore e che prevede velocità nettamente inferiori, viene invece impiegata la muscolatura rossa, aerobica. La massima velocità natatoria di un pesce può venir calcolata con buona approssimazione mediante formule che mettono in relazione il tempo di contrazione del muscolo anaerobico con la lunghezza del pesce; sul tempo di contrazione del muscolo incide la temperatura: un muscolo freddo si contrae più lentamente di un muscolo caldo. Anche la resistenza del pesce è calcolabile con opportune formule e dipende ancora dalla sua lunghezza e dalla temperatura. In sostanza, a parità di taglia un aumento della temperatura determina una più alta velocità di scatto ma un marcato calo della resistenza; a parità di temperatura invece, ad una taglia maggiore corrisponde una resistenza maggiore.

Per tutte le tipologie di scale finora messe a punto, esistono dei parametri progettuali che tengono conto di questi aspetti della fisiologia del pesce. La progettazione richiede però anche la conoscenza di altri aspetti, quali ad esempio la percentuale di portata da destinare alla struttura, il facile reperimento dell'im-

bocco da parte del pesce e, non ultima, l'attrazione che il dispositivo di risalita deve sviluppare nei riguardi dei soggetti in migrazione, che devono poterne percepire l'esistenza a una certa distanza.

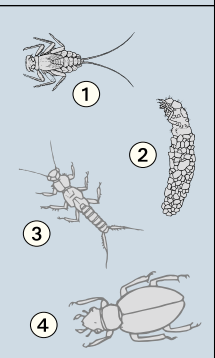
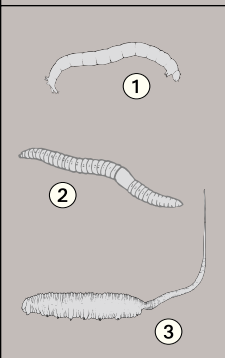
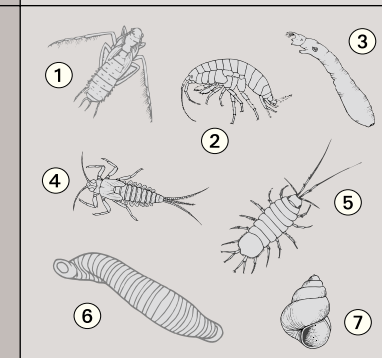
Da tutto ciò si comprende che si tratta di opere che richiedono competenze specialistiche e la cui esecuzione comporta dei costi, che possono venir mitigati se la costruzione avviene contemporaneamente a quella dello sbarramento da superare e non per aggiunta successiva. Ulteriori considerazioni vanno fatte sulla gestione di questi dispositivi, che funzionano bene - se adeguatamente progettati - nelle ampie acque del fondovalle, ma che richiedono talvolta una costante e onerosa manutenzione sul torrente d'alta quota in dipendenza dal trasporto solido, già elevato in condizioni normali e che viene disastroso in caso di eventi meteorici eccezionali.

La scala di rimonta permette ai pesci di mantenere la colonizzazione del tratto superiore del corso del torrente e, in particolare, di raggiungere gli eventuali siti riproduttivi



■ L'inquinamento e la qualità biologica delle acque

Anche se nei torrenti montani il problema dell'inquinamento sembra meno importante che nei corsi d'acqua di pianura (ove sono localizzati i maggiori insediamenti urbani ed industriali e maggiore è lo sfruttamento agricolo del territorio), tuttavia il problema non è da sottovalutare, in particolare nei corsi d'acqua appenninici, dove la maggiore accessibilità delle vallate ha avuto come conseguenza una più marcata antropizzazione. Se tuttavia per inquinamento indichiamo qualsiasi forma di degrado del corso d'acqua (da quello estetico a quello meccanico e chimico), allora il problema cambia aspetto e dobbiamo ammettere che buona parte dei nostri torrenti alpini sono gravemente inquinati. Limitando per ora la nostra attenzione alle forme "classiche" di inquinamento, cioè a quello organico e chimico (scarichi urbani, industriali, zootecnici o di altre attività produttive), va rimarcato come gli effetti sulle comunità ad invertebrati dei torrenti possano essere diretti o indiretti. Gli effetti diretti si hanno da parte delle sostanze chimiche tossiche, che colpiscono direttamente gli organismi acquatici provocandone l'intossicazione e la morte. Spesso i macroinvertebrati sono buoni bioaccumulatori, accumulano cioè nei loro tessuti particolari sostanze chimiche tossiche concentrandole quindi in precisi punti della rete alimentare. Gli effetti indiretti sono quelli più

AMBIENTE NON INQUINATO	AMBIENTE INQUINATO	AMBIENTE POCO INQUINATO
		
1. efemerottero 2. tricottero 3. plecoterro 4. coleottero idrenide	1. chironomide (larva) 2. oligochete 3. dittero sirfide (larva)	1. tricottero 2. gammaride 3. simillide 4. efemerottero betide 5. isopode asellide 6. sanguisuga 7. gasteropode

Gli invertebrati indicatori della qualità biologica delle acque a monte, in corrispondenza e a valle di una fonte d'inquinamento

subdoli, tipici degli inquinamenti organici cronici; da un punto di vista qualitativo producono un cambiamento nella composizione specifica della comunità: alcune specie, particolarmente sensibili, scompaiono. Ne risulta una fauna nel suo complesso costituita da specie più banali, cioè specie più tolleranti, ad ampia valenza ecologica. Quantitativamente si nota invece spesso un aumento in biomassa ed in numero di individui delle specie più tolleranti, che possono talora proliferare a dismisura in relazione all'abbondanza dell'alimento e all'assenza di predatori o competitori. Da quanto esposto consegue che gli invertebrati dei corsi d'acqua sono delle ottime "spie" delle condizioni ambientali e sono per questo motivo ampiamente utilizzati nella diagnosi del tasso di inquinamento dei corsi d'acqua, noto anche come "qualità biologica". Con questo termine si intende il grado di integrità degli equilibri ecologici in un corso d'acqua. L'inquinamento, nel senso più ampio del termine, compromette i microhabitat che albergano gli organismi acquatici e modifica la quantità di nutrienti sciolta nell'acqua, quando non vi siano addirittura azioni tossiche dirette di sostanze chimiche. Ciò si ripercuote negativamente sulla struttura delle comunità macrobentoniche, che si modifica sia qualitativamente sia quantitativamente. Nel complesso si verifica una diminuzione della diversità specifica della comunità, con ripercussioni negative ad ogni livello della rete alimentare.



Le limpide acque di una sorgente montana si mescolano a quelle più torbide originate dallo scioglimento delle nevi

La valutazione della qualità biologica delle acque si fonda appunto sul valore di indicatori degli esseri viventi. A tal fine sono stati sviluppati numerosi metodi biologici basati su differenti categorie tassonomiche di organismi o differenti livelli strutturali delle comunità; i più largamente usati sono i metodi basati sullo studio dei macroinvertebrati bentonici (ricordiamo che con questo termine si indicano gli invertebrati di fondo trattenuti da un setaccio di 500 µm e pertanto di lunghezza approssimativamente superiore al millimetro), divenuti di largo uso in tutti i paesi della Comunità Europea.

Lo studio dei popolamenti di macroinvertebrati bentonici ai fini della valutazione della qualità biologica consente di definire un indice biotico, cioè un numero che permette di diagnosticare il grado di compromissione degli equilibri naturali, che è correlato con il tasso di inquinamento del corso d'acqua. All'aumentare del tasso di inquinamento, il numero di specie più sensibili alla qualità dell'ambiente diminuisce, fino alla totale scomparsa di certi gruppi tassonomici (interi famiglie o generi) quando il livello di inquinamento supera una certa soglia. Gli organismi tolleranti invece trarranno vantaggio da questa situazione, che comporta una maggiore disponibilità alimentare ed una ridotta competizione. Si assisterà pertanto ad una modificazione della composizione della comunità, tanto più marcata quanto più elevato è il degrado della qualità dell'acqua. Poiché le specie tolleranti sono poche, si assisterà anche ad una diminuzione della biodiversità. Sin dai primi anni del 1900 sono stati messi a punto numerosi metodi pratici per ottenere questi indici, che si possono raggruppare sinteticamente in due gruppi: nel primo caso (*Saprobien-System* degli autori tedeschi) viene privilegiato l'aspetto della sensibilità di determinati taxa all'aumentare del tasso di inquinamento organico; nel secondo (indici biotici propriamente detti, quali l'"Indice Biologico Esteso" - E.B.I. - di largo utilizzo in Italia) viene considerato sia il valore di alcuni taxa quali indicatori biologici, sia la ricchezza in unità sistematiche (famiglie o generi) di una comunità. Di recente è stato anche proposto in Italia un indice integrato sviluppato appositamente per i torrenti alpini a spiccata oligotrofia ("Indice a Rapporto Esteso", I.R.E.) che si basa sui rapporti tra il numero di famiglie appartenenti a quattro distinte categorie di sensibilità all'inquinamento e slega pertanto il calcolo dal numero totale di taxa presenti, numero variabile in relazione alla diversità strutturale dell'habitat.

L'E.B.I., di largo utilizzo, consiste nella determinazione a livello di famiglia o di genere (a seconda del gruppo sistematico) dei macroinvertebrati raccolti mediante un retino immanicato in un tratto di corso d'acqua; in base ad una semplice correlazione della sensibilità all'inquinamento dei gruppi tassonomici identificati ed al loro numero nella stazione campionata viene attribuito un valore che in Italia va da 0 (acque di pessima qualità, pressoché azoiche) a 13-14. Le difficoltà di interpretazione consistono nel fatto che acque non inquinate possono avere un E.B.I. che varia in funzione della diversità dell'habitat e pertanto non



Negli studi di qualità biologica il torrente montano va considerato nella sua globalità, comprese le interrelazioni con l'ambiente naturale circostante

necessariamente un valore di E.B.I. più elevato indica una qualità migliore di un tratto ad E.B.I. inferiore. L'indice pertanto può fornire risultati dubbi in caso di popolamenti molto poveri (in particolare per i torrenti d'alta quota e le sorgenti). L'I.R.E. è una integrazione semplice del giudizio di qualità sviluppato appositamente per questi ambienti; richiede determinazioni a livello di famiglia e varia da 0 a 11. Un valore di 11 indica la massima qualità biologica possibile per un certo ambiente, indipendentemente dalla sua ricchezza in taxa.

Gli indici biotici consentono pertanto di stimare la qualità delle acque intesa come stato di conservazione dell'ecosistema; il trasferimento di questi valori su una cartografia a colori, di notevole impatto visivo e pertanto di immediata comprensione, prende il nome di mappaggio biologico di qualità. La cartografia fornisce un'immagine immediata dello stato di salute dei corsi d'acqua di un reticolo idrografico, facendone risaltare i punti critici.

Accanto agli indici biologici è stato di recente introdotto in Italia l' "Indice della Funzionalità Fluviale" (I.F.F.); si tratta di un metodo che non si limita solo a dare valutazioni sintetiche sulla funzionalità dell'ambiente fluviale e preziose informazioni sulle cause del suo deterioramento, ma fornisce anche indicazioni precise per orientare gli interventi di riqualificazione e stimarne preventivamente l'efficacia. Si tratta di uno strumento di particolare interesse in quanto considera l'ecosistema fluviale nella sua globalità, comprese le sue interrelazioni con l'ambiente terrestre circostante. L'applicazione dell'I.F.F. non richiede strumenti sofisticati, ma si basa sulla compilazione di un semplice questionario. Semplice tuttavia non significa banale: si tratta in realtà di una guida ad una vera e propria indagine ecologica sui corsi d'acqua.



Schede didattiche

MARGHERITA SOLARI

149

I torrenti montani possono rappresentare un ambiente di grande attrazione per i più giovani e l'acqua è un elemento spesso legato ai momenti ricreativi estivi e allo svago. Hanno altresì un fascino particolare, legato al desiderio di esplorazione, soprattutto in aree selvagge, nelle vallecole sperdute, o nei tratti iniziali dei torrenti vicino alla sorgente, difficili da raggiungere.

Tuttavia per molti non è facile apprezzare questi ambienti, a volte poco fruibili o inospitali. Per questo motivo il loro studio rappresenta uno strumento di conoscenza che permette di scoprirne aspetti meno evidenti o del tutto ignoti, di apprezzarne i segreti, di sentire con essi un legame più stretto.

La proposta didattica che segue è rivolta a chi, desideroso di trasmettere il proprio impegno per lo studio e la conservazione del territorio, voglia coinvolgere i ragazzi in un viaggio alla scoperta di un torrente montano.

Si ricorda che una proposta didattica applicabile anche a questo ambiente è stata pubblicata nel volume *Risorgive e fontanili della stessa collana*, e si intitola *Utilizzo dei macroinvertebrati come indicatori biologici in un fiume di risorgiva*. Applicazione semplificata degli indici E.B.I.

■ Studio di un torrente nel suo tratto montano

- Obiettivi: stimolare la conoscenza dell'ambiente, promuovere atteggiamenti consapevoli di rispetto e tutela; favorire la capacità di studiare il territorio seguendo un percorso di ricerca bibliografica ed esplorazione sul campo; stimolare la conoscenza attraverso la ricerca, la sperimentazione e la verifica delle nozioni teoriche; sviluppare la capacità di osservazione, analisi e confronto dei dati e la capacità di interpretazione dei fenomeni naturali osservati; maturare la consapevolezza della continua evoluzione dell'ambiente nel tratto di torrente considerato.
- Livello: ragazzi dai 13 ai 16 anni; il lavoro adeguatamente semplificato può essere proposto anche ad alunni più giovani, riducendo lo studio preliminare e concentrando l'escursione sugli aspetti più semplici.
- Attrezzatura: scarponcini e indumenti di ricambio per l'escursione. Macchina fotografica. Bussola. Eventuale attrezzatura per l'analisi delle acque.
- Consulenza: eventuali informazioni sui tratti da percorrere possono essere assunte presso le sedi del CAI.

Il torrente generato dal Fontanon di Barman nelle Alpi Giulie (Friuli)



Le impetuose acque torrentizie modellano le pareti delle forre

STUDIO PRELIMINARE

1. Individuazione di un torrente con caratteristiche di naturalità, con tratti di versante visibili per buona parte della loro altezza, accessibile al gruppo, privo di difficoltà: il tratto percorso dovrà garantire adeguata sicurezza, facilità di evacuazione, oltre che assenza di pareti strapiombanti da cui è possibile la caduta di massi (evitare i tratti di forra).
2. Ricerca da parte dei ragazzi di fonti scritte o cartografiche, anche storiche.
3. Studio in classe delle carte topografiche dell'area prescelta e di scala adeguata (preferibilmente 1:5.000 o, altrimenti quella alla scala 1:10.000 ingrandita adeguatamente). Lavoro individuale su copie della carta: evidenziare il limite del bacino idrografico, l'ordine di affluenti e rami secondari, eventuali simboli dell'idrografia come sorgenti, pozzi, cisterne, acquitrini, nevai o del rilievo come cunei, tratteggio a cestino ecc. che evidenzino pareti rocciose, forre, curve a gomito, ecc.
4. Ricerca attraverso le fonti cartografiche o bibliografiche su eventuali fonti di alimentazione quali nevai, ghiacciai, presenza di bacini artificiali, condotte o "troppopieni" di serbatoi limitrofi.
5. Ricerca sull'andamento stagionale delle precipitazioni: eventuale ipotesi sulle fasi di massima e minima portata (il concetto di portata dovrà essere illustrato in precedenza). Scelta conseguente di due periodi dell'anno in cui compiere le escursioni, in modo da visitare l'ambiente in momenti significativamente differenti.

6. Studio di una carta geologica ed estrapolazione dei dati, con particolare riferimento a litologia dei versanti, accumuli di detrito, frane, smottamenti, ecc.
7. Elaborazione di una scheda per il rilevamento (da parte dei ragazzi o, per abbreviare i tempi, dell'insegnante) che potrà contenere ad esempio: presenza di briglie o argini, larghezza media, pendenza dei versanti (debole-media-elevata), copertura vegetale dei versanti (roccia-detriti sciolti-prato-arbusteto-bosco); tratti con eventuali fasi erosive in corso e/o di accumulo; granulometria e litologia dominanti dei clasti dell'alveo; presenza di grandi massi, ipotesi sulla loro provenienza, presenza di cascate o pozze.



Visita ad un torrente

ESCURSIONE

8. Rilevamento dei dati delle schede, a gruppi, su tre o quattro tratti del torrente (o sullo stesso tratto per poi confrontarli); segnare sulla carta topografica il tratto in esame; annotare verso e direzione della corrente rispetto al Nord.
9. Ripresa fotografica dei tratti rilevati, segnando i punti da cui vengono scattate le immagini e il tratto ripreso.
10. Raccolta di altri dati interessanti non previsti: eventuale presenze o tracce di animali, presenza di rifiuti solidi o discariche, grado di impatto antropico, ecc.
11. Eventuale analisi delle acque del torrente: solitamente si misurano temperatura, pH, conducibilità con strumenti specifici, e durezza, cloruri e fosfati con gli appositi kit reperibili in commercio.

PROSECUZIONE DEL LAVORO IN CLASSE

12. Confronto dei dati e stesura di una relazione sul tratto di torrente esplorato. Deve essere chiaro che la relazione, unitamente alle immagini fotografiche scattate, deve fornirne un'immagine precisa in un determinato momento.

SECONDA ESCURSIONE

13. La seconda escursione andrebbe programmata, essendocene la possibilità, in una stagione in cui si presume possano esserci grosse variazioni nella portata del torrente, o in alternativa dopo un evento parossistico o, comunque, di piogge particolarmente intense.

14. Ripetizione delle fasi di lavoro del rilevamento a gruppi.
15. Confronto dei dati e analisi, in particolare su variazioni nella portata, nel regime, nelle forme di accumulo o deposito, nella topografia.
16. Riprese fotografiche negli stessi punti dell'escursione precedente.

CONCLUSIONE DEL LAVORO

17. Stesura delle conclusioni della ricerca. Individuazione dei fattori che causano variazioni dell'ambiente: clima, substrato più o meno erodibile, fattori antropici, frane o sbarramenti naturali, ecc.

18. Riflessione sulla necessità di tutela dell'ambiente che deve essere conservato nella sua integrità in eredità alle generazioni future, pur nella consapevolezza che un certo grado di cambiamento è insito nella normale evoluzione del territorio, in continua trasformazione.

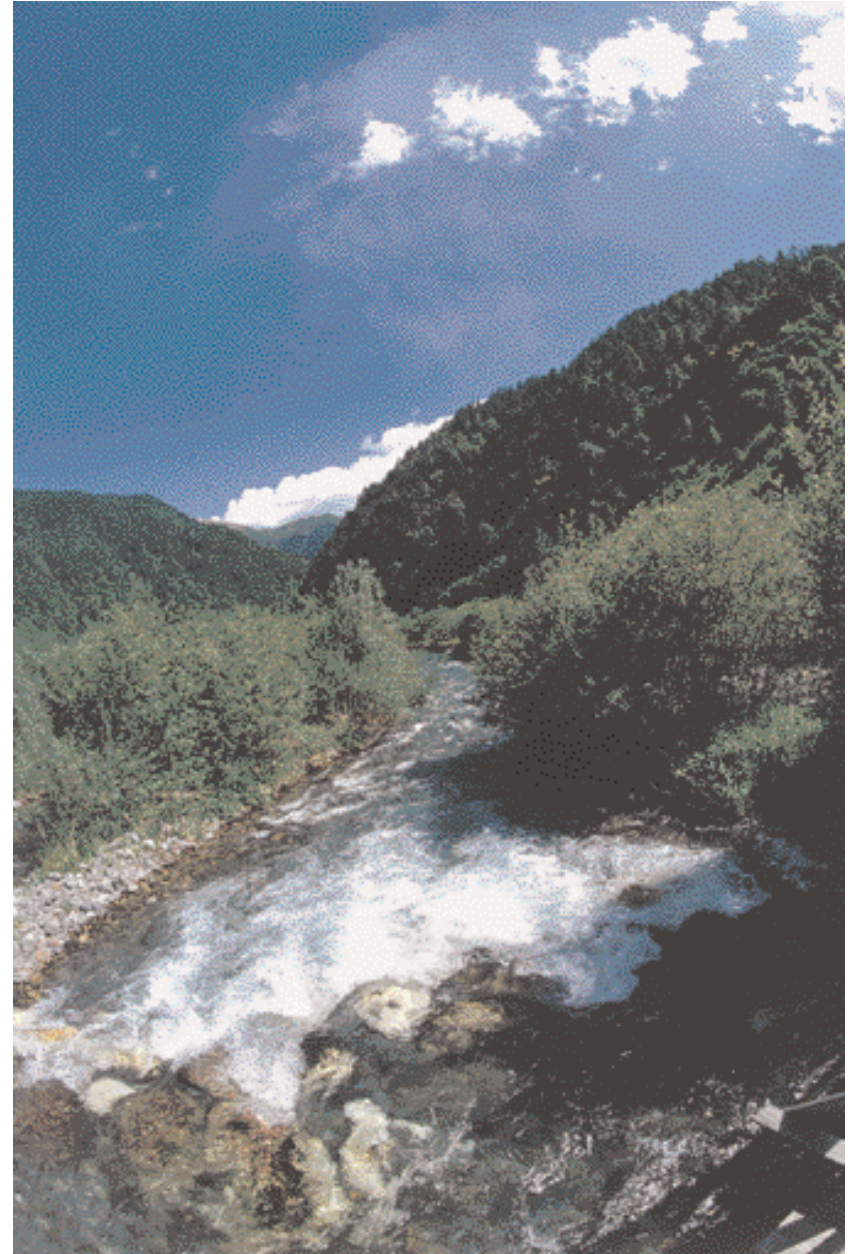
NOTE

Lo studio proposto su tempi più lunghi, ovvero come impegno pluriennale, porta a risultati migliori.

Tuttavia, cogliendo anche gli aspetti meno vistosi, il lavoro nell'arco dell'anno scolastico ha il pregio di essere meno dispersivo e di mantenere vivo l'interesse dei ragazzi anche grazie ai più intensi ritmi di lavoro.



Topografia di area montana con aste torrentizie rettilinee condizionate dall'assetto strutturale della zona



Il torrente è un elemento fondamentale del paesaggio montano

BRICCHETTI P., 1987 - Atlante degli uccelli delle Alpi italiane. *Editoriale Ramperto*, Brescia.
Testo divulgativo di notevole livello: le cartine di distribuzione delle specie trattate sono la sintesi, relativamente all'arco alpino, dei dati raccolti dal Progetto Atlante Italiano per l'avifauna nidificante.

CAMPAIOLI S., GHETTI P.F., MINELLI A., RUFFO S. (eds.), 1994-1999 - Manuale per il riconoscimento dei macroinvertebrati delle acque dolci italiane. *Provincia Autonoma di Trento*, 2 voll.
Manuale di riconoscimento, con chiavi dicotomiche ed iconografia; consente una agevole identificazione degli esemplari a livello dei gruppi tassonomici utilizzati dagli indici biotici (famiglia o genere).

CANTER-LUND H., LUND J.W.G., 1995 - Freshwater algae. Their microscopic world discovered. *Biopress Ltd*.
Testo ottimamente illustrato e con piacevoli descrizioni a carattere generale dei vari gruppi di alghe.

CASTIGLIONI G.B., 1979 - Geomorfologia. *Utet*, Torino.
Opera di grande valore, con capitoli dedicati alla geomorfologia delle acque superficiali e ai processi che avvengono sui versanti. È estremamente completo e caratterizzato da una valida parte iconografica.

CUSHING C.E., ALLAN J.D., 2001 - Streams. Their ecology and life. *Academic Press*, San Diego (USA).
Moderno trattato sull'ecologia dei torrenti; tratta tutti gli aspetti di ecologia di comunità, il River Continuum Concept, i fattori che regolano la biodiversità, la gestione delle acque e il problema delle specie aliene.

FORNERIS G., PASCALE M., PEROSINO G.C., 1996 - Idrobiologia. *Consorzio Regionale per la Tutela, l'Incremento e l'Esercizio della Pesca*, Valle d'Aosta.
Manuale rivolto agli studenti universitari ed ai tecnici del settore, ma facilmente accessibile anche ad un pubblico più vasto, presenta l'idrobiologia in funzione della gestione delle acque del territorio italiano.

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 scientifico-divulgativo di notevole dettaglio sull'ittiofauna italiana. Attuale, anche se dalla data della pubblicazione sono mutati status e posizione sistematica di alcuni taxa.

GHETTI P.F., 1997 - Manuale di applicazione: Indice Biotico Esteso (I.B.E.). I macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque correnti. *Provincia Autonoma di Trento, Ag. Prov. Prot. Amb.*, Trento.
Il manuale ufficiale per l'uso dell'Indice Biotico Esteso, con informazioni di carattere ecologico sui macroinvertebrati dulciaquicoli italiani e di idrobiologia generale.

MARCHETTI M., 2000 - Geomorfologia fluviale. *Pitagora*, Bologna.
Manuale di geomorfologia fluviale chiaro e con linguaggio semplice, corredato da una parte iconografica abbondante ed estremamente didattica.

MARTINI F., PAIERO P., 1989 - I salici d'Italia. Guida al riconoscimento e all'utilizzazione pratica. *Lint*, Trieste.
Libro su tassonomia, distribuzione, ecologia dei salici con interessanti osservazioni sui loro diversi utilizzi.

MINELLI A., RUFFO S., LA POSTA S. (EDS.) - 1995 - Checklist delle specie della fauna italiana, 110 voll.
Il più aggiornato elenco di specie animali presenti in Italia con riferimenti alla distribuzione geografica accertata nel nostro Paese.

PANIZZA M., 1992 - Geomorfologia. *Pitagora*, Bologna.
Opera didattica, utile per la sua chiarezza e usata come testo di base nei corsi universitari di geomorfologia per i futuri geologi e naturalisti. È un'opera di pregio anche per la varietà degli esempi fotografici.

RUFFO S. (ed.), 1977-1985 - Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane. *Consiglio Nazionale delle Ricerche*, 29 voll.
La più esauriente opera rivolta al riconoscimento degli animali delle acque interne italiane, anche se purtroppo incompleta. Il lavoro consiste in agili volumetti riccamente illustrati, che consentono il riconoscimento anche a livello di specie dei gruppi trattati; in alcuni casi è necessario aggiornare la tassonomia.

TORTONESE E., 1970-1975 - Osteichthyes, Fauna d'Italia, vol. X, *Calderini*, Bologna.
Testo scientifico, pur se parzialmente superato, va considerato il punto di partenza di tutte le ricerche sulla fauna ittica italiana degli ultimi trent'anni.

Glossario

> **Allopatrico**: due specie si dicono allopatriche quando i loro areali di distribuzione non si sovrappongono.

> **Alloctono**: organismo estraneo, originario di un luogo diverso da quello in cui viene ritrovato; spesso usati come sinonimi sono i termini "alieno" ed "esotico".

> **Amento**: infiorescenza spiciforme, più o meno rada, pendente o eretta. I fiori piccolissimi che la costituiscono sono unisessuati, disposti su assi gracili e provvisti di organi involucri ridotti. I semi generalmente vengono diffusi dal vento.

> **Antera**: parte superiore dello stame, sostenuta dal filamento, nella quale si formano i granuli di polline.

> **Autoctono**: originario di un determinato luogo; spesso usati come sinonimi sono i termini "indigeno" e "locale".

> **Azotofissazione**: processo biochimico tramite il quale certi batteri e cianobatteri possono utilizzare l'azoto molecolare atmosferico assimilandolo in composti organici.

> **Crenobio**: organismo esclusivo dell'ambiente di sorgente; vi appartengono ad esempio molti acari e microcrostacei.

> **Detritivoro**: organismo che si nutre di detrito, cioè della sostanza organica (sia fine che grossolana) proveniente da altri organismi, animali o vegetali, morti.

> **Endemico**: una specie si dice endemica quando il suo areale di distribuzione è ristretto; le specie endemiche sono di primaria importanza per la tutela della fauna di una regione.

> **Fotosintesi ossigenica**: tipo di fotosintesi, caratteristica dei cianobatteri e di tutti i vegetali eucariotici, che utilizza l'acqua come donatore di idrogeno e determina così la liberazione di ossigeno.

> **Freatobio**: organismo stigobio (vedi) esclusivo dell'ambiente delle acque interstiziali, ove conduce l'intero ciclo vitale; presenta particolari adattamenti quali assenza di occhi e di pigmento, corpo spesso vermiforme, organi di senso sviluppati.

> **Freatofilo**: organismo frequente nell'ambiente interstiziale, ove si riproduce, ma non ne è esclusivo; molte larve di insetti durante i primi stadi di sviluppo sono freatofile; alcuni organismi possono presentare dei preadattamenti alla vita in questo ambiente (eufreatofili).

> **Freatosseno**: organismo la cui presenza nell'ambiente delle acque interstiziali è accidentale.

> **Igrofilo**: organismo che preferisce ambienti umidi.

> **Macroinvertebrato**: invertebrato che, alla setacciatura, viene trattenuto da una maglia di 0,5 mm; le dimensioni cioè risultano, in genere, superiori ad 1 mm.

> **Orofilo**: organismo che predilige, di norma, le zone montuose.

> **Ozonosfera**: strato dell'atmosfera, situato tra i

15 e i 50 km sopra la superficie terrestre, ricco in ozono, che assorbe le radiazioni ultraviolette.

> **Pianta vascolare**: pianta superiore (felci e piante con semi) che presenta tessuto vascolare ben differenziato.

> **Pigmento accessorio**: un pigmento che assorbe energia luminosa e la trasferisce alla clorofilla che la utilizza per la fotosintesi.

> **Pigmento fotoprotettivo**: sostanza colorata in grado di schermare componenti della luce incidente potenzialmente nocive (in particolare UVB e UVA).

> **Antera**: parte superiore dello stame, sostenuta dal filamento, nella quale si formano i granuli di polline.

> **Simpatrico**: due specie sono simpatriche quando convivono assieme in porzioni dei loro areali di distribuzione; se le due specie sono raccolte assieme in una medesima stazione di indicano come "sintopiche".

> **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.

> **Tallo** (da cui talloso, tallofito): struttura vegetativa non suddivisa in parti assimilabili a radici, fusto e foglie.

> **Taxon** (pl. taxa): qualsiasi categoria tassonomica formale (per esempio, classe, ordine, famiglia, genere, specie, sottospecie, ecc.).

> **Transfaunazione**: spostamento di animali da una parte all'altra di un determinato territorio.

Indice delle specie

Abramide - 102
 Abramis brama - 102
 Acanthocyclops - 63
 Aegopodium podagraria - 54
 Alborella - 102
 Alga bruna gigante - 29
 Alnus cordata - 53
 Alnus glutinosa - 52, **53**
 Alnus incana - 52, 53
 Alnus viridis - 53
 Ancylus fluviatilis - **60**
 Aquarius - 68
 Aquarius najas - 68
 Atherix ibis - 77
 Cordulegaster crassipes - 77
 Attheyella - 63
 Audouinella hermanni - 36
 Austropotamobius pallipes fulcisianus - **64**
 Austropotamobius pallipes - 134
 Baetis - **65**
 Baetis alpinus - 65
 Baetis rhodani - 65
 Ballerina bianca - **96**
 Ballerina gialla - 96
 Bangia atropurpurea - 30, 36
 Barbo - 89, 102
 Barbo appenninico - 89
 Barbo canino - 89
 Barbus caninus - 89
 Barbus meridionalis - 89
 Barbus plebejus - 89
 Bathynella - 107
 Beccafico - **96**
 Biscia d'acqua dal collare - 93, 94
 Bombina pachypus - 92
 Bombina variegata - 92, **93**
 Brachythecium rivulare - **44**, 46
 Bryocamptus - 63
 Bryocamptus tatensis - **62**
 Bufo bufo - **92**
 Bythinella - 107
 Calamagrostis pseudophragmites - 48
 Calopteryx - 66
 Calopteryx haemorrhoidalis - 66
 Calopteryx splendens - 66
 Calopteryx virgo - 66
 Camedrio alpino - **47**
 Camoscio - 97
 Cannella spondicola - 48
 Carpa - 102
 Carpione del Garda - 81, 82
 Carpione del lago di Posta Fibreno - 83
 Cavedano - 89, 102
 Cavedano dell'Ombone - 89
 Cavernocypris - 63
 Chaetocladus gr. piger - 74

Chamaesiphon amethystinus - 32
 Chamaesiphon geitleri - **31**
 Chamaesiphon polonicus - 32, 38
 Chara - 36
 Chironomus gr. thummi - 72
 Chloroperla - **68**
 Chloroperla susemicheli - 68
 Cinclus cinclus - 94, **95**
 Cladophora glomerata - 30, 38
 Cladophora - 35
 Closterium leibleinii - 38
 Cocconeis - 33
 Cocconeis placentula - 38
 Conocephalum conicum - **44**
 Cordulegaster bidentatus - **66**
 Cordulegaster - 66
 Corynoneura - 74
 Cottus gobio - 87, **88**
 Cratoneuron - 45
 Cratoneuron filicinum - **44**
 Crenobia alpina - 60
 Cryptocandona - 63
 Ctenidium molluscum - **44**
 Cyclops - 62
 Cymbella affinis - 38
 Cypria - **63**
 Dermatocarpon luridum - 39
 Diacyclops - 63
 Diamesa - **71**, 73
 Diamesa bertrami - 73
 Diamesa goetghebueri - 73
 Diamesa latitarsis - 73
 Diamesa steimboecki - 71, 73
 Diamesa zernyi - 73
 Diatoma mesodon - 38
 Diatoma - 30, **32**, 33
 Diatomea - 30, 32, 33, 34, 37, 38
 Dichodontium pellucidum - **44**
 Dicranota - 76
 Dictyogenus fontium - 67
 Dictyogenus ventralis - 68
 Didymodon spadiceus - **44**
 Dina krasensis - 61
 Dina lineata - 61
 Dinocras cephalotes - 67, 68
 Dinocras ferreri - 68
 Drusus discolor - 79
 Dryas octopetala - **47**
 Dugesia gonocephala - 60
 Ecdyonurus - 64
 Ecdyonurus helveticus - 65
 Echinogammarus stammeri - 63
 Echinogammarus tibaldii - 63
 Echinogammarus veneris - 63
 Elaphe longissima - 94
 Enoicyla - 78
 Epeorus - 64
 Epeorus alpicola - 65
 Epeorus sylvicola - 65

Ephemera - 108
 Ephemera danica - 65
 Epilobium dodonaei - 47
 Ermellino - 97
 Erpobdella octoculata - 61
 Erpobdella testacea - 61
 Eukiefferiella brevicular - 73
 Eukiefferiella minor - 73
 Eusimulium - 75, 76
 Farfaraccio - **54**
 Felce penna di struzzo - 54, **55**
 Fissidens cristatus - **44**
 Fontinalis antipyretica - 45, 46
 Fragilaria arcus var. recta - 37
 Fragilaria arcus - **34**, 38
 Frassino comune - 54
 Fraxinus excelsior - 54
 Gambero d'acqua dolce - **64**, 134
 Gammarus aff. italicus - 63
 Gammarus balcanicus - 63
 Gammarus fossarum - 63
 Garofanino di Dodonaeus - 46, **47**
 Gerris - 68
 Gipsifila strisciante - 46
 Girardina silvestre - 54
 Gomphonema olivaceum var. calcareum - 30
 Gypsophila repens - 46
 Heleniella - 74
 Heptagenia - 64
 Heribaudiella fluviatilis - 36
 Hildenbrandia rivularis - 36
 Hippophae rhamnoides - 49
 Hydropsyche instabilis - 79
 Hydrovolzia - 62
 Hydrurus foetidus - 118
 Hydrurus foetidus - 30, **34**, 38
 Hygrohypnum luridum - **44**
 Hyla - 92
 Hypocamptus - 63
 Ibis marginata - 77
 Isoperla rivulorum - 68
 Lebertia - 62
 Lemanea fluviatilis - 36, 38
 Leuciscus cephalus - 89
 Leuciscus lucumonis - 89
 Leuciscus sopuffia - **88**, 89
 Leuctra festai - 68
 Leuctra rosinae - 68
 Leuctra teriolensis - 68
 Linaria alpina - 46, **47**
 Linaria alpina - 46, **47**
 Liponeura cinerascens - 77
 Liponeura cinerascens ssp. cinerascens - 77
 Liponeura cinerascens ssp. minor - 77
 Lontra - 98, 99
 Lucertola vivipara - 94

Lutra lutra - 98
Macrocystis - 29
Maraenobiotus - 63
Marasso - 94
Marmotta - 97
Matteuccia struthiopteris - 54, **55**
Melosira varians - 30
Merlo acquaiolo - 94, **95**
Micropsectra gr. *atrofasciata* - 74
Moraria - 63
Motacilla alba - **96**
Motacilla cinerea - 96
Mougeotia - 35
Mustela putorius - **98**
Myricaria germanica - 48, **49**
Natrix natrix - 93
Navicula - 33, 38
Nemoura mortoni - 68
Nemoura obtusa - 68
Nemurella pictetii - 67
Neomys anomalus - 97, 98
Neomys fodiens - **97**, 98
Nevermannia - 75, 76
Niphargus - 63, 107
Niphargus strouhali - 63
Nitella - 36
Nitzschia palea - 38
Nitzschia - 33
Obuchovia - 76
Oligoneuriella rhenana - 65
Olivello spinoso - 49, 52
Oncorhynchus mykiss - **82**, 86, **87**
Ontano - 52
Ontano grigio - 52, 53
Ontano napoletano - 53
Ontano nero - 52, **53**
Ontano verde - 53
Oocardium stratum - 35
Orthocladus frigidus - 73
Orthocladus thicnemanni - 73
Oscillatoria - 38
Parastenocaris - 63
Partnunia - 62
Perla - **67**
Perla grandis - 68
Periodes intricatus - 68
Petasites - **54**
Philopotamus montanus - 79
Phormidium autumnale - 30
Phoxinus phoxinus - **89**
Pino silvestre - 55
Pinus sylvestris - 55
Pioppo - 55
Pioppo bianco - 54, 55
Pioppo nero - 54, **55**
Pisidium - 60
Planaria - **60**
Platyhytnidium riparoides - **44**, 46
Plectronemia conspersa - 79
Poligono - 46
Polycelis felina - 60
Polygonum - 46
Populus alba - 54
Populus nigra - 54, **55**
Porina chlorotica - 39
Potamocypris - 63

Potamophylax cingulatus - 79
Proasellus - 107
Procambarus clarkii - **141**
Prosimulium albense - 76
Prosimulium calabrum - 76
Prosimulium latimucro - 75
Prosimulium rufipes - 75
Protonemura ausonia - 67
Protonemura brevistyla - 68
Protonemura caprai - 68
Protonemura elisabethae - 68
Pseudocandona - 63
Pseudodiamesa branickii - 73
Pseudokiefferiella parva - 73
Puzzola - **98**
Quercia - 47
Raganella - 92
Rana italica - 93
Rana italica - 93
Rana temporaria - 92
Rana temporaria - 92, 93
Ranuncolo d'acqua - 29
Rhithrogena - 64
Rhithrogena alpestris - 65
Rhithrogena loyolaea - 65
Rhyacophila torrentium - 79
Rhyacophila tristis - 79
Rhypholophus - 76
Riccio di mare - 30
Rospo comune - **92**
Saettone - 94
Salamandra atra - 90
Salamandra nera - 90
Salamandra pezzata - **90**
Salamandra salamandra - **90**
Salamandrina dagli occhiali - **80**, 92, **134**
Salamandrina terdigitata - **80**, 92, 134
Salice - 41, 48, 49, 54, 55
Salice barbuto - 49, **51**
Salice comune - **51**, **52**
Salice da ceste - 49, 50, **51**
Salice da vimini - **51**
Salice dell'Appennino - 48
Salice di monte - 49
Salice fragile - **51**, 52
Salice odoroso - **51**
Salice ripario - 48, **50**, **51**
Salice rosso - 48, **49**, **50**, **51**
Salix alba - **51**, **52**
Salix apennina - 48
Salix daphnoides - 49, **51**
Salix elaeagnos - 48, **50**, **51**
Salix fragilis - **51**, 52
Salix myrsinifolia - 49
Salix pentandra - **51**
Salix purpurea - 48, **49**, **50**, **51**
Salix triandra ssp. *discolor* - **51**
Salix triandra ssp. *triandra* - **51**
Salix triandra - 49, 50
Salix viminalis - **51**
Salmerino - 93
Salmerino di fonte - 86
Salmo [trutta] macrostigma - 83, 134

Salmo [trutta] marmoratus - 81, **82**, 83, 134
Salmo [trutta] trutta - 81, **82**, 83, **85**
Salmo carpio - 83
Salmo fibreni - 83
Salmo gairdneri vedi *Oncorhynchus mykiss* - 86
Salmo trutta carpio vedi *Salmo carpio* - 81
Salmo trutta - 83
Salmone - 142
Salvelinus alpinus - 87
Salvelinus fontinalis - 86
Sanguinerola - **89**, 102
Scapania undulata - **45**, 46
Scardola - 102
Scazzone - 87, **88**, 102
Scricciolo - 96
Scrofularia nodosa - 54
Scrophularia nodosa - 54
Sericostoma pedemontium - 79
Simulium - 76
Simulium fucense - 76
Simulium intermedium - 75, 76
Simulium marsicanum - 76
Simulium ornatum - 75, 76
Simulium paramorsitans - 75
Simulium variegatum - 75, 76
Simulium vernum - 76
Siphonoperla montana - 68
Speocyclops - 63
Sperchon - 62
Spirogyra - 35
Staurastrum punctulatum - 38
Surirella ovata - 38
Sylvia borin - **96**
Tamerice alpina - 48, **49**
Temolo - 89, 102
Tetisimulium - 76
Thaumalea - 76
Thienemanniella partita - 74
Thyas - 62
Thymallus thymallus - 89
Tinca - 102
Tolypothrix distorta - 32
Toporagno - 98
Toporagno acquatico di Miller - 97
Toporagno d'acqua - **97**
Trentepohlia - **35**
Tribonema - 36
Tricyphona - 76
Triotto - 102
Tritone alpestre - **91**
Tritone crestato meridionale - 91
Tritone punteggiato - 91
Triturus alpestris - **91**
Triturus alpestris apuanus - 91
Triturus alpestris inexpectatus - 91
Triturus carnifex - 91
Triturus italicus - 92
Triturus vulgaris - 91
Triturus vulgaris meridionalis - 92
Triturus vulgaris vulgaris - 91

Trocheta bykowskii - 61
Troglodytes troglodytes - 96
Trota - 81, 85, 89, 93, 102, 112, 119
Trota arcobaleno vedi *trota iridea* - 86
Trota di torrente vedi *trota fario* - 81
Trota fario - 81, **82**, 83, 84, **85**, 86, 102
Trota iridata vedi *trota iridea* - 86
Trota iridea - **82**, 86, **87**
Trota lacustre - 81
Trota macrostigma - 81, 83, 84, 86, 134
Trota marmorata - 81, **82**, 83, 84, 86, 89, 134
Trota mediterranea vedi *trota macrostigma* - **82**, 83
Trota salmonata - 86
Trota sarda vedi *trota macrostigma* - 81
Tvetenia calvescens - 73
Tyrrhenoleuctra - 68
Tyrrhenoleuctra zavattarii - 68
Ululone - 92
Ululone dal ventre giallo - 92, **93**
Vairone - **88**, 89, 102
Vaucheria - 36
Vaucheria geminata - 38
Velia - 68
Verme rosso - 72
Verrucaria - **39**
Verrucaria funckii - 39
Verrucaria hydreia - 39
Vipera berus - 94
Wilhemia - 75
Zootoca vivipara - 94
Zootoca vivipara carniolica - 94
Zygnema - 35

Gli autori del capitolo "Flora e vegetazione" sono grati a Carla Contessi per una rilettura del testo e a Eugen Rott (Università di Innsbruck, Austria), per aver messo a disposizione materiali per la stesura dello stesso.

Un ringraziamento a Michele Lanzinger, Direttore del Museo Tridentino di Scienze Naturali di Trento.

Un particolare ringraziamento all'Editrice Tabacco per l'autorizzazione a riprodurre la carta topografica di pag. 152 (dai tipi dell'Istituto Geografico Militare, autorizzazione n°. 5672 del 23/12/2002)

Alcuni schemi del capitolo sono rielaborati da testi specialistici da Whitford L.A., G.J. Schumacher, 1963; Pfister P., 1993; Ricek, E.W., 1977 ed Ellenberg H., 1996.

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.

Finito di stampare
nel mese di dicembre 2002
presso la Graphic linea print factory - Udine

Printed in Italy