

Degrado, tutela e conservazione

MAURO MARCHETTI · MARIO PANIZZA · SERGIO PARADISI · FABIO STOCH

121

■ Dissesti: cause ed interventi

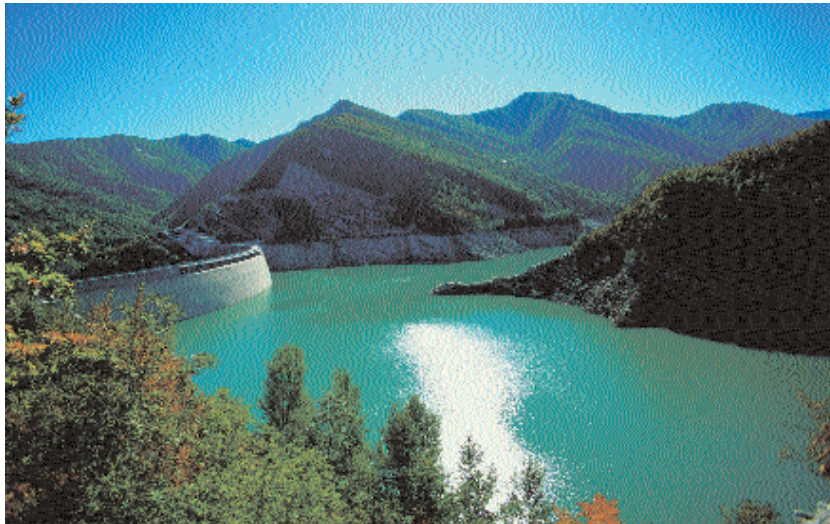
Principali dissesti. Volendo descrivere i principali dissesti che interessano i torrenti montani, nonché le loro cause, è necessario operare una distinzione fondamentale. Le cause dei dissesti possono, infatti, essere intimamente collegate ai processi geomorfologici che si evolvono entro i torrenti stessi, 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 svasso: 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 svasso 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

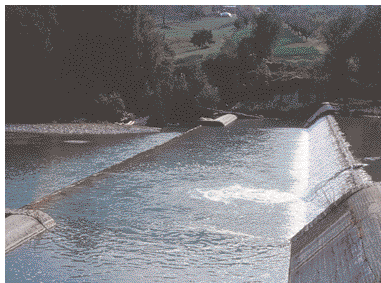
za organica e a volte anche da concentrazione di inquinanti in grado di turbare per lunghi periodi l'equilibrio ecologico dei torrenti. A proposito di queste problematiche cominciano ad essere studiati gli effetti di questi svassi nei grandi bacini lungo i principali corsi d'acqua alpini della regione 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.

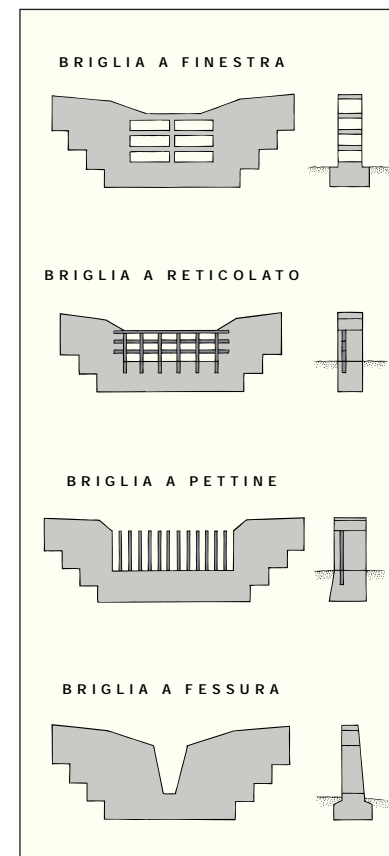
Un torrente in equilibrio può virare verso condizioni di sedimentazione principalmente per effetto dell'aumento del volume dei detriti che sopraggiungono all'alveo, come conseguenza di processi di dissesto gravitativi (frane, erosioni superficiali, valanghe, etc.) o per diminuzione delle velocità nel 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 cuticola 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.

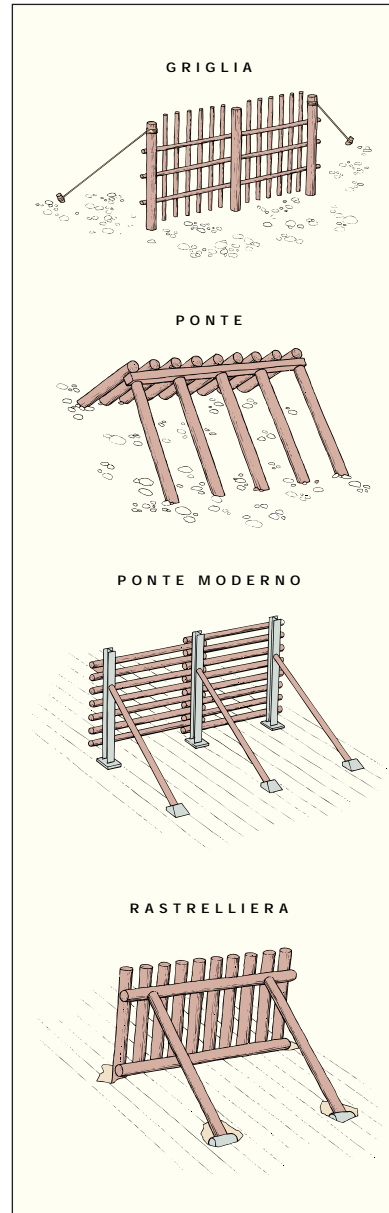
La bonifica di frane necessita di interventi complessi e costosi, ad esempio sbancamenti, costruzione di drenaggi, impermeabilizzazioni, captazione di sorgenti. Nel caso di piccoli dissesti sul versante, si procede creando dei drenaggi superficiali che tolgano l'acqua di ruscellamento dalla corona di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



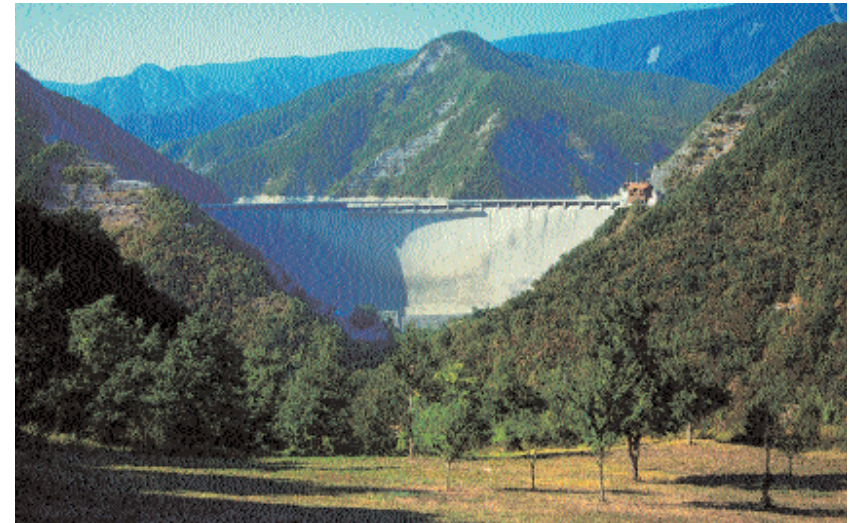
Esempi di dispositivi antivalanga (anticamente si utilizzavano fossi e terrapieni nelle aree di distacco, poi terrazzette con muri a secco)

■ 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 scarica 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.

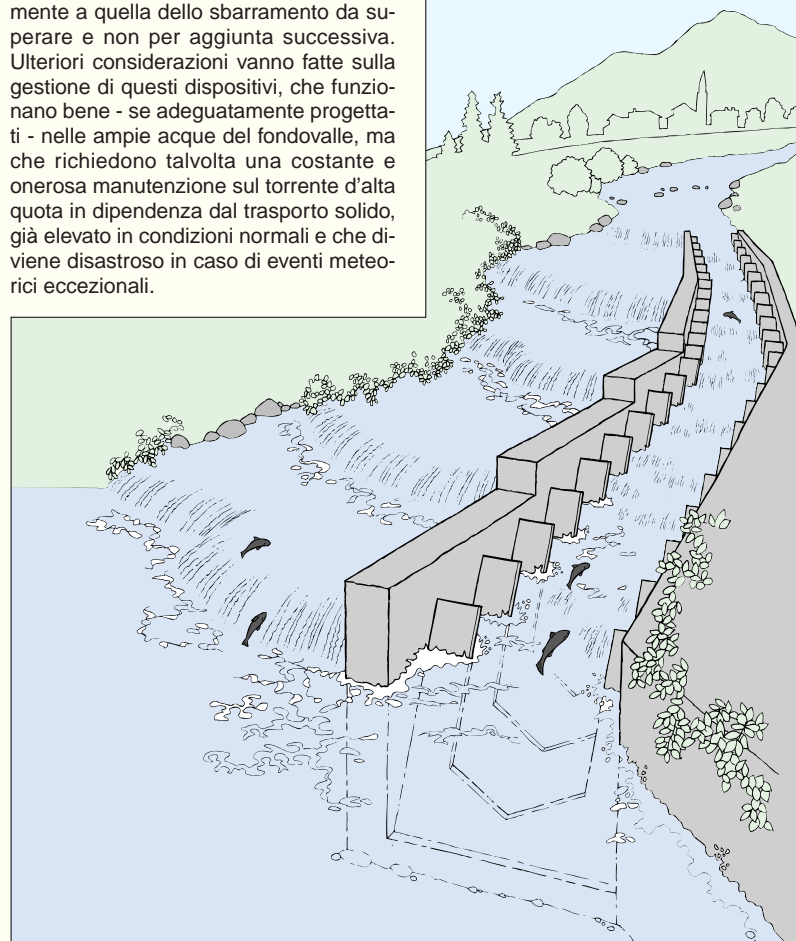
La massima velocità natatoria di un pesce (detta anche velocità di scatto, in quanto sostenibile solo per brevi periodi) viene raggiunta mediante l'impiego preminente della muscolatura bianca, che ha un funzionamento di tipo anaerobico. Nel nuoto di crociera, che può essere mantenuto per molte ore e 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.

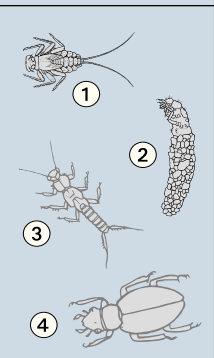
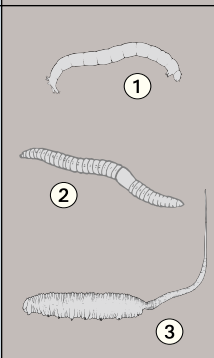
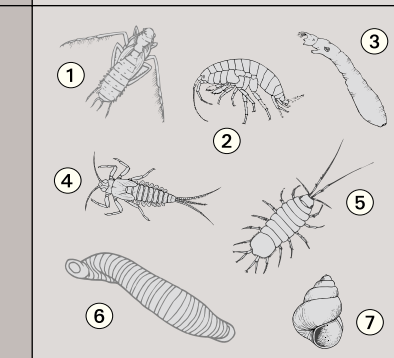
Da tutto ciò si comprende che si tratta di opere che richiedono competenze specialistiche e la cui esecuzione comporta dei costi, che possono venir mitigati se la costruzione avviene contemporaneamente a quella dello sbarramento da superare e non per aggiunta successiva. Ulteriori considerazioni vanno 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).

> **Freatoseno**: 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.

> **Simpatico**: 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 tatrensis - **62**
 Bufo bufo - **92**
 Bythinella - 107
 Calamagrostis pseudophragmites - 48
 Calopteryx - 66
 Calopteryx haemorrhoidalis - 66
 Calopteryx splendens - 66
 Calopteryx virgo - 66
 Camedio 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
 Chaetocladius 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
 Ephemer - 108
 Ephemer 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
 Gipsophila 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**
Platyhypnidium 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 hydrae - 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