



Aspetti di conservazione e gestione

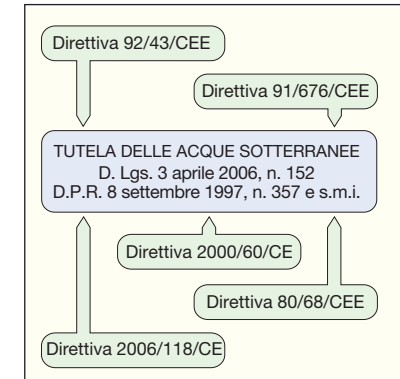
DIANA MARIA PAOLA GALASSI · MARCO PETITTA · FABIO STOCH

115

■ Il quadro normativo

In termini di legislazione europea, i punti di riferimento normativo più importanti in materia di acque sotterranee sono la Direttiva Acque (2000/60/CE), la Direttiva Acque Sotterranee (2006/118/CE) e la Direttiva Habitat (92/43/CEE). La Direttiva Acque dispone all'art. 4 che gli Stati della Comunità Europea hanno l'obbligo di proteggere, migliorare e ripristinare i corpi idrici sotterranei al fine di "conseguire un buono stato delle acque sotterranee" entro il 2015. Per la determinazione dello stato

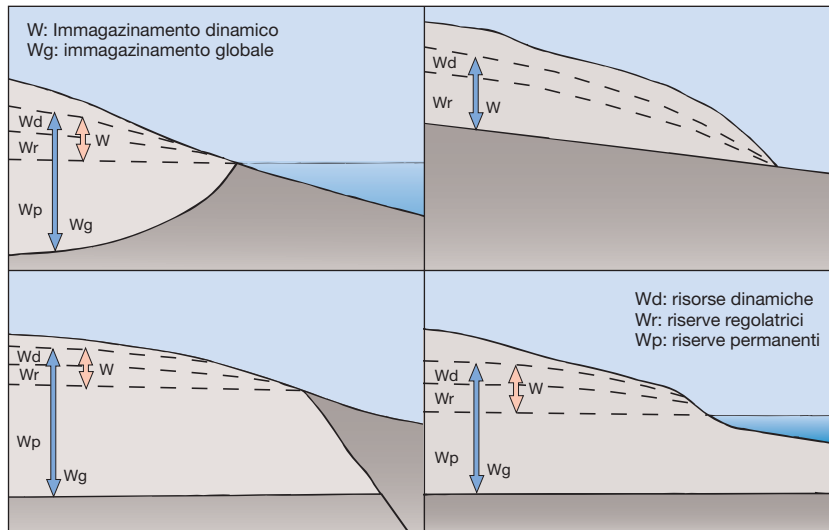
ambientale di un corpo idrico sotterraneo, la Direttiva Acque rimanda all'allegato V, dove stabilisce che il livello dello "stato ambientale" di un'acqua sotterranea debba essere desunto dallo stato quantitativo e chimico della stessa. La valutazione dello stato quantitativo "buono" è un parametro di semplice valutazione e presuppone che "la media annua del livello delle acque sotterranee deve essere tale che le estrazioni a lungo termine non esauriscano le risorse idriche sotterranee disponibili". Lo stato chimico di un corpo idrico sotterraneo può definirsi "buono" se le concentrazioni degli inquinanti non presentano effetti d'intrusione salina o di altro tipo, se non superano gli standard di qualità applicabili ai sensi di altri atti normativi comunitari e non comportano un deterioramento significativo della qualità ecologica o chimica delle acque superficiali né arrecano danni significativi agli ecosistemi terrestri direttamente dipendenti dal corpo idrico. Bisogna attendere il 2006, quando, con l'emanazione della Direttiva Acque Sotterranee, viene formulato un elenco minimo degli inquinanti su cui gli Stati Membri sono chiamati a fissare dei valori soglia. L'Unione Europea, attraverso la Direttiva Acque Sotterranee, riconosce che *"le acque sotterranee sono la riserva di acqua dolce più delicata, oltre che la più cospicua dell'UE, e costituiscono, soprattutto, una fonte importante dell'approvvigionamento pubblico di acqua potabile in numerose regioni"*. Tra le



Direttive e leggi nazionali riguardanti la qualità delle acque sotterranee

Captazione da pozzo al limite di un acquifero carbonatico (Fucino, Abruzzo)

numerose definizioni date nelle due Direttive manca tuttavia quella che eleverebbe l'acqua sotterranea alla dignità delle acque superficiali: la risorsa idrica sotterranea è essa stessa un ecosistema. Già nel 1991, tuttavia, l'Agenzia Olandese per l'Ambiente, la RIZA/RIVM, aveva prodotto per conto dell'UE un rapporto sull'uso sostenibile della risorsa ipogea, specificando chiaramente che il concetto di sostenibilità doveva essere imprescindibilmente legato al *"mantenimento delle funzioni potenziali dei corpi idrici sotterranei tra cui figurava la capacità di ospitare una fauna autoctona e diversificata"*. La dimensione ecologica degli ambienti di acqua sotterranea è un concetto noto da decenni, tuttavia le due direttive non ne enfatizzano il potere informativo diretto e indiretto e, ciò, in netta contrapposizione a quanto stabilito per le acque superficiali, ove il biomonitoraggio è diventato elemento sostanziale per la valutazione dello stato di qualità. Tale lacuna normativa appare ancora più evidente se si considera che la Direttiva Habitat riguardante la protezione degli habitat e delle specie di interesse comunitario tocca i sistemi acquatici sotterranei solo marginalmente. Infatti, nell'elenco degli habitat di interesse comunitario (Allegato I), le acque sotterranee non vengono esplicitamente citate; sono ivi incluse solo le grotte esplorate dall'uomo e non sfruttate ad uso turistico, ma non viene fatto alcun riferimento alle parti non direttamente accessibili degli acquiferi. Nel *"Manuale di Interpretazione degli Habitat Europei"*, redatto dalla Commissione Europea nel 2003, la definizione di *"Grotte non aperte al pubblico"* non include le acque sotterranee in connessione con gli ambienti di



Rapporto tra risorse rinnovabili, riserve regolatrici (a medio termine) e riserve permanenti non rinnovabili

grotta. Inoltre, nessuna menzione viene fatta degli acquiferi alluvionali, di quelli presenti in rocce non carsificabili né delle fasce ecotonali, quali la zona iporeica, che presentano un elevato valore biologico. Le specie sotterranee elencate negli allegati II e IV della Direttiva Habitat fino al 2003 erano limitate al proteo (*Proteus anguinus*) e solo in seguito sono state introdotte altre due specie, purtroppo estranee alla fauna italiana (il gasteropode *Paladilhia hungarica* e il bivalve *Congeria kusceri*).

Un primo spiraglio di apertura normativa verso l'ecologia delle acque sotterranee arriva per la prima volta proprio dall'Italia, con il D. Lgs. 152/99, oggi abrogato e incorporato nel D. Lgs. 152/06 e s.m.i. che recepisce, tra l'altro, la Direttiva Acque. Le biocenosi ipogee sono citate nell'Allegato 3, in merito al rilevamento delle caratteristiche dei bacini idrografici e all'analisi dell'impatto esercitato dall'attività antropica, sebbene non se ne enfatizzi in alcun modo il potere informativo. Nel paragrafo concernente l'«Acquisizione delle conoscenze disponibili» sulle acque sotterranee si fa espresso riferimento all'acquisizione di dati, se esistenti, relativi alle indagini sulle biocenosi ipogee. Tali dati esistono, ma purtroppo sono stati per troppo tempo relegati alla sfera degli specialisti di settore e poco o per nulla noti ai portatori di interesse. L'Allegato 3 stabilisce inoltre che deve venire *"ricostruita la geometria dei principali corpi acquiferi presenti [nel bacino] evidenziando la reciproca eventuale intercomunicazione compresa quella con le acque superficiali, la parametrizzazione (laddove disponibile) e le caratteristiche idrochimiche, e dove presenti, quelle biologiche"*.



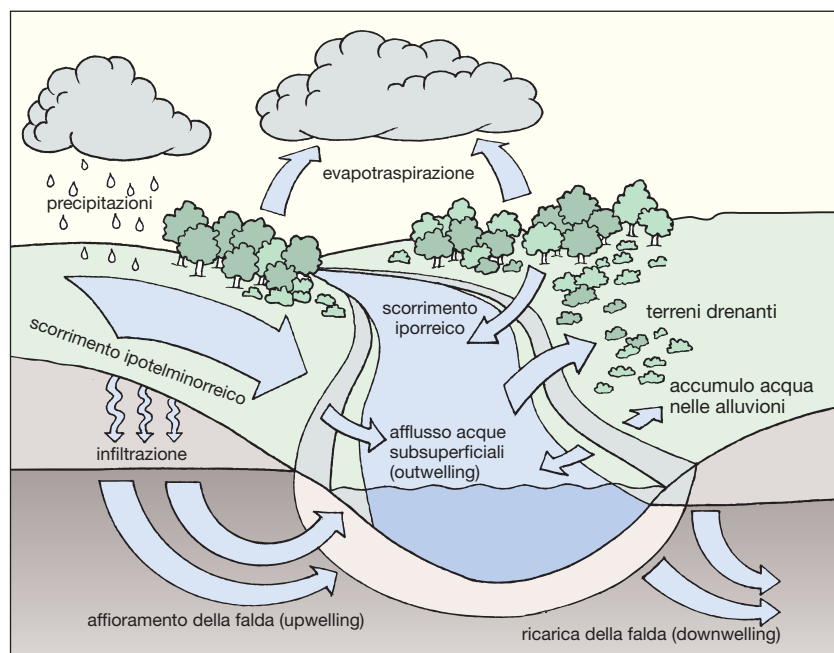
Captazione della sorgente del Fiume Peschiera (Lazio)

■ Utilizzo e sovrasfruttamento della risorsa idrica sotterranea

La disponibilità di acque sotterranee è regolata dalla capacità d'immagazzinamento degli acquiferi e dalla loro ricarica. In altri termini, secondo il tipo di acquifero e di sorgenti che lo caratterizzano, è possibile individuare e determinare il volume idrico in esso immagazzinato, comprensivo dell'insieme delle risorse e delle riserve idriche sotterranee.

La risorsa idrica rinnovabile è rappresentata dalle acque che, ogni anno, per effetto dell'infiltrazione conseguente agli afflussi meteorici, sono in grado di raggiungere l'acquifero. Poiché tale quantità tende a rinnovarsi ogni anno, sebbene con una certa variabilità, queste risorse sono identificabili come disponibili per l'uso umano e la conservazione degli ambienti naturali. Si tratta della porzione di falda più superficiale, vicina alla superficie piezometrica, che viene naturalmente erogata dalle sorgenti durante l'anno.

Più in basso, nella fascia compresa tra il livello piezometrico minimo raggiunto in fase di magra e la quota di emergenza delle sorgenti, sono ubicate le riserve regolatrici, ovvero quelle che, pur non essendo normalmente erogate dall'acquifero, possono essere erogate in funzione delle variazioni a



Schema delle interazioni tra ciclo dell'acqua, scorrimento superficiale e falda



Acque che sgorgano impetuosamente da una sorgente (Casaletto Spartano, Campania)

scala pluriennale delle precipitazioni e conseguentemente della superficie piezometrica stessa.

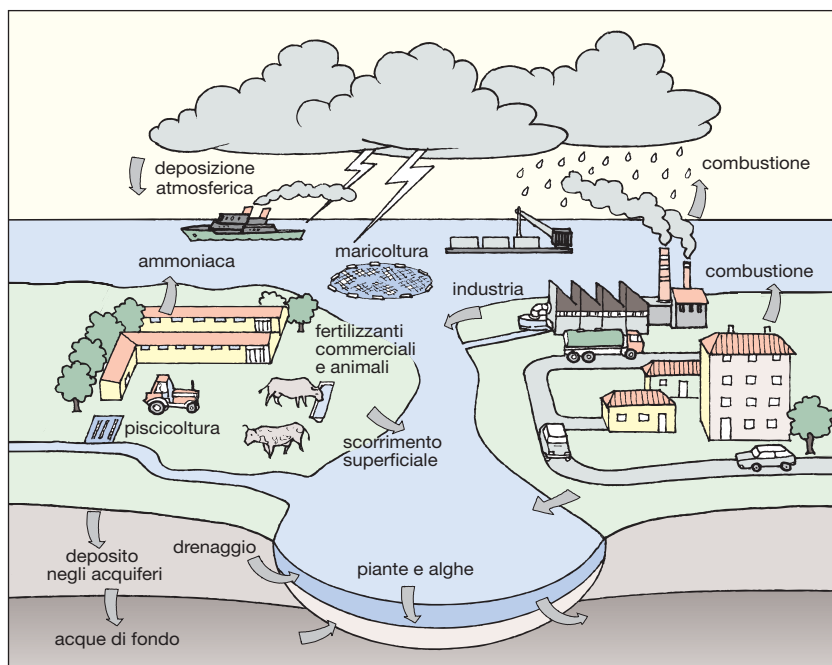
Si tratta di riserve che non è consigliabile utilizzare, ma che sono comunque disponibili in anni di magra eccessiva. Infine, al di sotto della quota topografica delle sorgenti, sono immagazzinate le riserve permanenti, scarsamente mobilitate, che rappresentano le acque presenti nell'acquifero, la cui utilizzazione è da evitare in quanto in grado di provocare l'esaurimento delle sorgenti e il sovrasfruttamento dell'acquifero. Un'errata gestione dell'acquifero tramite prelievi superiori alle risorse rinnovabili determina pertanto la diminuzione e l'esaurimento delle riserve regolatrici e finanche di quelle permanenti.

In funzione della disponibilità delle risorse rinnovabili, le attività umane utilizzano acqua per le loro necessità, prelevandole dalle sorgenti o con prelievo diretto nell'acquifero tramite pozzi, o ancora derivandole direttamente dagli specchi d'acqua fluviali e lacustri. È estremamente importante che i prelievi, all'interno di uno stesso bacino idrogeologico, ovvero nello stesso acquifero o sistema di acquiferi connessi, avvengano entro i limiti imposti dall'entità della ricarica e quindi del volume delle risorse rinnovabili. Poiché l'uomo non è comunque l'unico utilizzatore della risorsa idrica, ma anche la vita vegetale e animale hanno necessità in tal senso, negli ultimi decenni il concetto di limite massimo del prelievo connesso alla totale disponibilità è stato gradualmente sostituito dal concetto di prelievo sostenibile.

Rispetto alla totale disponibilità di risorsa rinnovabile, soltanto un'aliquota può essere utilizzata per i fabbisogni umani, mentre è necessario garantire i volumi idrici indispensabili al corretto funzionamento della sfera ecologica. Ne consegue il concetto di "deflusso minimo vitale", equivalente alla portata minima che deve essere mantenuta in ogni corso d'acqua e in ogni punto di esso, per consentire la sopravvivenza della flora e della fauna.

La determinazione del valore effettivo del deflusso minimo vitale è oggetto di numerosi studi e proposte, sulla base di approcci ecologici, idrologici e idrogeologici; l'effettiva applicabilità delle formule proposte è demandata agli organi di controllo del territorio, quali le autorità di bacino, che devono però tener conto delle concessioni idriche per uso antropico già esistenti sui corsi d'acqua.

Il fabbisogno antropico è riferibile non soltanto alle acque per uso potabile, che sono soggette ad una priorità d'uso, ma include i consumi civili e pubblici, le acque ad uso industriale e quelle ad uso irriguo-zootecnico. Quest'ultima aliquota, sia a livello globale che a livello nazionale, ha un peso notevole, attestandosi oltre il 65% dei consumi antropici. Circa il 20-25% va all'industria e per la produzione energetica, mentre soltanto il 10% in media viene



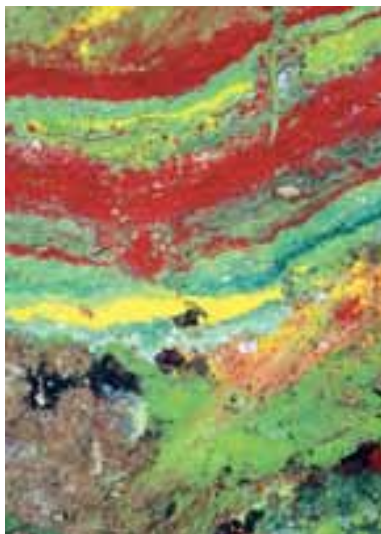
Potenziali fonti di inquinamento antropico delle acque sotterranee

utilizzato per usi civili e potabili. La necessità di calcolare anche i fabbisogni e gli effettivi prelievi antropici in un territorio rende più complessa la stesura del bilancio idrologico, che deve quantificare non solo le componenti naturali del ciclo idrologico, ma anche le riduzioni che il sistema naturale sopporta in funzione dei prelievi, redigendo un bilancio idrologico integrato, che include le componenti naturali superficiali e sotterranee nonché quelle antropiche. Non basta considerare l'effettivo prelievo, ma è necessario anche verificare quali voci del bilancio idrologico naturale sono direttamente o indirettamente influenzate dai prelievi antropici.

Ogni azione, infatti, influenza la disponibilità di altre componenti del ciclo: ad esempio, i prelievi da pozzo determinano una diminuzione della portata erogata dalle sorgenti connesse allo stesso acquifero, mentre prelievi in alveo fluviale possono influenzare il rapporto falda-fiume e determinare il drenaggio da parte di una falda che normalmente non contribuiva al deflusso superficiale. Inoltre, esiste la possibilità di un'infiltrazione indotta da attività umane, come nel caso dell'irrigazione che, immettendo altra acqua nel sistema suolo-sottosuolo, innesca la ricarica integrativa degli acquiferi sottostanti.



Stralcio di carta di vulnerabilità (Piana del Fucino, Abruzzo): i colori identificano i diversi gradi di vulnerabilità (crescente dall'azzurro all'ocra che indica alta vulnerabilità); i simboli identificano i "centri di pericolo" ovvero le attività antropiche potenzialmente in grado di immettere inquinanti nel sottosuolo



Esempio di terreno contaminato da vernici

■ Inquinamento delle acque sotterranee

Le attività antropiche non hanno soltanto un'influenza quantitativa sul ciclo idrologico naturale: le più importanti modifiche indotte sull'ambiente idrologico naturale provengono dall'inquinamento delle acque superficiali e sotterranee.

Le modalità con cui le falde possono essere inquinate dipendono innanzitutto dal tipo di inquinante e sono conseguentemente legate a specifiche attività antropiche. Inoltre, l'inquinamento può essere distinto in funzione delle sue dinamiche spazio-temporali. Si distinguono, quindi, un inquinamento da fonte agricola (i cui prodotti principali sono fertilizzanti e pesticidi), a carattere

periodico areale (riferito a specifiche stagioni e disperso su ampi territori) e un inquinamento da reflui, umani e animali, connesso a perdite fognarie, pozzi neri perdenti e attività zootecnica non controllata (inquinamento di tipo microbiologico e chimico organico), classificabile inoltre come puntuale e lineare, continuo e discontinuo. Dagli scarichi civili e da attività commerciali proviene un inquinamento di tipo chimico legato all'uso di detersivi, solventi e altri liquidi, di fonte superficiale o anche sotterranea nel caso di perdite da condotte. Più complessa e articolata è la categoria di inquinanti provenienti dalle attività industriali, tra i quali sono diffuse la classe degli idrocarburi e quella dei composti clorurati. Questi danno luogo a inquinamenti complessi, in funzione della loro presenza in falda sia in soluzione che in fase liquida separata, in grado di "galleggiare" sulla superficie piezometrica se i composti sono più leggeri dell'acqua (benzine e petrolio), ma anche di attraversare la falda quando invece sono più densi dell'acqua di falda (trielina). Fonti potenzialmente inquinanti sono le raffinerie e i siti industriali dove i prodotti chimici e gli idrocarburi vengono preparati per l'immissione sul mercato, ma anche i punti di immagazzinamento e vendita, come i serbatoi interrati dei distributori di benzina. Altre fonti di inquinamento sono rappresentate dalle discariche, che, soprattutto se abusive o non perfettamente controllate, sono in grado di diffondere in falda diverse tipologie di inquinanti organici e inorganici. La lotta all'inquinamento delle falde, stante la presenza di attività antropica potenzialmente inquinante, si basa sia sulla sua prevenzione che sul suo controllo. In termini di prevenzione, uno strumento particolarmente diffuso e utile

sono le carte di vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento, che consentono di pianificare le attività su un territorio. Tali carte si basano sul concetto di vulnerabilità, intesa come capacità intrinseca dell'acquifero di immagazzinare e trasmettere tipologie di inquinanti al suo interno. La valutazione della vulnerabilità dei singoli acquiferi, che può essere effettuata con diverse modalità e procedure, si basa prevalentemente sulla permeabilità dell'acquifero, sulla profondità della falda dalla superficie, sulla sua protezione data dal mezzo insaturo sovrastante e sulle caratteristiche della superficie topografica. Ogni acquifero viene quindi identificato con classi di permeabilità, distinte da diversi colori. Secondo elemento per

la rappresentazione della vulnerabilità è la carta delle isopieze, che consente di verificare la direzione e le modalità di deflusso delle acque sotterranee e quindi di valutare la provenienza ma anche la destinazione di un prodotto inquinante che possa raggiungere la falda. Il concetto di vulnerabilità viene integrato infine con quello di rischio, attraverso la valutazione dei potenziali produttori di inquinamento, distinti in funzione delle attività svolte (industrie, aziende zootecniche, discariche, fognature, ecc.) e classificati come "centri di pericolo".

In termini di protezione, la normativa italiana identifica la necessità di provvedere a garantire la buona qualità delle acque di falda, con diretto riferimento alle captazioni per uso idropotabile. In queste aree, si identificano delle "aree di salvaguardia" dove, in funzione della distanza dalla captazione e delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero, vengono vietate numerose potenziali attività pericolose in grado di apportare eventuali inquinanti in falda. La protezione viene attuata anche mediante le attività di monitoraggio della falda, sia in aree soggette a prelievo idropotabile, sia laddove sia manifesta la possibilità di inquinamento (aree agricole con utilizzo di fertilizzanti e pesticidi, nuclei industriali, centri urbani). In particolare, per le maggiori aree industriali, dove nell'ultimo secolo si sono sviluppate numerose attività delle quali è stato riconosciuto l'inquinamento, un'apposita normativa prevede non soltanto la necessità di evitare che l'inquinamento esistente possa estendersi al loro esterno, andando a coinvolgere falde limitrofe, ma ne rende necessaria la bonifica e il ripristino di valori degli inquinanti al di sotto delle soglie di rischio per l'uomo e la natura.



Misura delle portate con mulinello idrometrico

Con il progetto PASCALIS si è aperta la prima possibilità di gettare delle solide basi per la formulazione di linee-guida da sottoporre all'Unione Europea in merito ai concetti di bioqualità e procedure di conservazione degli ecosistemi acquatici sotterranei. In questo contesto, si inserisce la procedura di valutazione del rischio ecologico in ecosistemi acquatici sotterranei definita GECoRA (*Groundwater Ecological Risk Assessment*). GECoRA consente di pervenire alla stima del rischio di perdita di funzionalità dell'ecosistema acquatico sotterraneo attraverso la combinazione di tre fattori: la probabilità di accadimento (P) di un evento impattante causato dalle attività antropiche condotte alla superficie degli acquiferi, la vulnerabilità intrinseca (V) degli stessi e il danno ecologico potenziale (D) che le attività antropiche potrebbero causare. In realtà, le procedure di calcolo del rischio in acque sotterranee sono già da tempo utilizzate,

ma sinora il fattore D (Danno) è stato valutato come perdita potenziale dell'uso della risorsa per scopi idropotabili, agricoli e/o industriali e la sua determinazione è stata fatta in base ad evidenze chimico-fisiche o di potabilità. GECoRA parte dal presupposto che il sistema idrico sotterraneo è prima di tutto un ecosistema, che ospita una fauna autoctona, specializzata e diversificata, che risponde precocemente alle variazioni ambientali degli habitat ed è in grado di conservare "memoria" dell'evento impattante, anche quando non sussista un'evidenza chimico-fisica.

La probabilità di accadimento (P) dell'evento impattante è legata alla magnitudo della pressione antropica esercitata sul sito in esame e al tipo di Centro Di Pericolo (CDP), quali, ad esempio, insediamenti industriali e urbani, discariche di rifiuti, cimiteri, infrastrutture viarie, attività agricole, zootecniche, estrattive e altre attività impattanti gli acquiferi. In

GECoRA, la probabilità può assumere i valori $P = 0$ (pressione assente o presente, ma a bassa magnitudo), $P = 0,5$ (pressione a magnitudo media) e $P = 1$ (pressione a magnitudo elevata).

La vulnerabilità intrinseca (V) è definita come la suscettibilità specifica degli acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche ed idrodinamiche, ad ingerire e a diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido o idroveicolato, tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo. In GECoRA si richiede di attribuire la vulnerabilità intrinseca a tre classi, cui sono associati i seguenti punteggi: Bassa = 2, Media = 4 e Alta = 8.

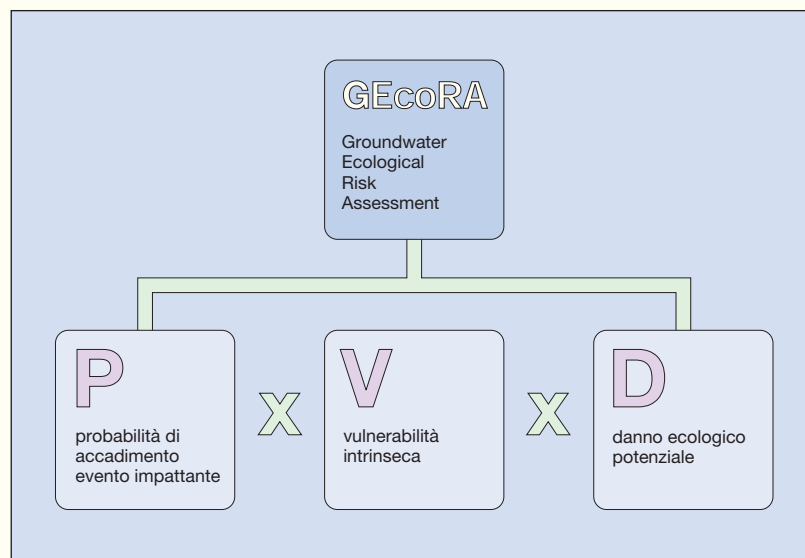
Il danno ecologico potenziale (D) è valutato come danno biologico, funzione del grado di mortalità o di alterazioni fisiologiche e metaboliche degli organismi stigobi. Per l'attribuzione del valore D, GECoRA stabilisce $D = 1$ per un danno

minimo, $D = 2$ per un danno moderato e $D = 3$ per un danno elevato.

Il rischio ecologico (GECoR), cui un sistema acquatico sotterraneo è sottoposto, è dato dalla somma dei prodotti ($P \times V \times D$) di ogni singolo CDP presente nell'area di caratterizzazione del sito in esame. I valori di GECoR ottenuti sono poi normalizzati nell'intervallo 0-1 e confrontati con i seguenti valori tabulari, che individuano, per 5 intervalli di variazione di GECoR, 5 distinte classi di rischio:

Valore	Classe	Colore
0-0,20	Bassa	Blu
0,21-0,40	Media	Verde
0,41-0,60	Alta	Giallo
0,61-0,80	Elevata	Arancione
0,81-1	Molto elevata	Rosso

A tutt'oggi, la procedura GECoRA è stata applicata agli acquiferi del Veneto, Trentino e Abruzzo.



Pozzo per approvvigionamento agricolo (Lessini, Veneto)



Una vecchia presa di acquedotto (Viarolo, Emilia Romagna)

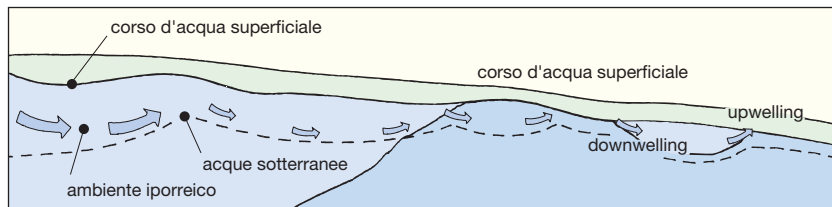
■ Stigodiversità e disturbo antropico

Le biocenosi sotterranee ed ecotonali si sono dimostrate molto sensibili alle variazioni indotte dalle attività antropiche, che in alcuni casi possono superare il limite della sostenibilità dell'ecosistema sotterraneo.

Gli inquinanti sono fattori di stress per il biota sotterraneo, poiché alterano il comportamento ecologico e fisiologico delle specie stigobie. La concentrazione di un inquinante in falda e la sua permanenza sono due variabili fondamentali, che insieme possono determinare alterazioni del ciclo vitale delle specie stigobie. In linea generale, se l'inquinante ha un tempo di permanenza limitato (giorni), gli effetti osservati sono a livello di singolo individuo e si manifestano sotto forma di disturbi del comportamento (attività di nuoto, alimentazione); se l'inquinante permane per giorni/settimane si osservano cambiamenti fisiologici e morfologici (anomalie di sviluppo) negli organismi, fino a giungere ad alterazioni del ciclo vitale a scala individuale, che può successivamente portare a cambiamenti nella struttura delle popolazioni, con conseguenze sulla struttura dell'ecosistema inquinato, se l'inquinante persiste a scala di mesi/anni. L'azione delle sostanze inquinanti sul biota è sia di tipo diretto che indiretto: i contaminanti possono alterare l'equilibrio biochimico-metabolico degli organismi per contatto diretto (ad esempio, bioaccumulazione di metalli pesanti), ma possono anche agire indirettamente alterando le condizioni chimico-fisiche naturali dell'ambiente, modificandolo fino a renderlo inadatto alla vita (ad esempio, portando a severi fenomeni di ipossia-anossia a causa di inquinamento organico). Il processo di contaminazione coinvolge, quindi, l'ecosistema sotterraneo in tutte le sue componenti, biotiche ed abiotiche. In particolare si ripercuote su cambiamenti della struttura (densità di popolazione, biomassa, diversità specifica, struttura trofica) e della funzione (produzione di biomassa, flusso di energia e nutrienti, dinamica di comunità, capacità adattative) dell'ecosistema acquatico sotterraneo.

In particolari condizioni di inquinamento organico delle acque sotterranee, può verificarsi inoltre un insediamento, stabile e duraturo, di specie stigossene. In tale situazione, gli stigosseni possono anche riprodursi, raggiungere densità di popolazione molto elevate e soppiantare gli stigobi autoctoni, alterando quindi la composizione delle comunità. Non meno importante è il danno di un tale evento sulle specie stigobie, che vengono sostituite da specie invasive alloctone. Alla luce di queste osservazioni, la struttura della comunità sotterranea può funzionare da indicatore, a breve e lungo termine, di inquinamento, sia acuto che cronico.

Non solo l'inquinamento, ma anche le alterazioni dell'alveo fluviale (arginazioni, cementificazioni, gabbionate, dighe, captazioni dirette) possono generare un disturbo nella zona iporreica, mentre gli eccessivi emungimenti di acqua di falda inducono un abbassamento della superficie piezometrica con conseguente



In ambiente iporreico si osserva abbondanza di stigosseni nei settori downwelling e di stigobi in quelli upwelling

scomparsa dei microhabitat idonei alla vita degli stigobi. Particolarmente impattanti sono, inoltre, quelle attività (ad esempio, estrattive), che producono un aumento dei sedimenti fini nei corsi d'acqua, causando il "clogging", cioè l'occlusione dei sedimenti interstiziali iporreici. La valutazione della qualità, integrità biologica e funzionalità dell'ambiente iporreico e delle modificazioni indotte dalle attività antropiche che ne possono interrompere la continuità sono oggi valutabili sulla base di sistemi esperti; ne è un esempio il metodo HyES ("Hyporheic Expert System"), di recente formulazione.

La definizione di programmi di protezione e gestione di sistemi idrici integrati, di progetti di ripristino e riqualificazione fluviale e di pianificazione dell'utilizzo delle acque sotterranee, non può pertanto prescindere da informazioni dettagliate e puntuali riguardanti la funzionalità degli ecosistemi acquatici sotterranei ed ecotonali. Per questo motivo emerge oggi la necessità di un monitoraggio integrato, cioè di un approccio analitico che combini i tradizionali metodi di indagine chimico-fisica con il monitoraggio biologico e l'uso di bioindicatori.

Nel corso dell'ultimo decennio sono stati sviluppati approcci biologici allo studio del rischio e della vulnerabilità degli acquiferi. Un esempio è rappresentato dall'utilizzo degli stigosseni riscontrati in acquiferi saturi, sia porosi che carsici, quali *Active Exchange Describers*, cioè descrittori di scambio attivo tra acque superficiali e acque sotterranee, condizione che aumenta la vulnerabilità intrinseca di un acquifero. Nasce, quindi, la possibilità di affiancare agli indicatori idrogeologici di vulnerabilità anche indicatori biologici.

Con l'acquisizione della dimensione ecologica delle acque sotterranee la procedura idrogeologica di valutazione del rischio in tali sistemi, misurato come prodotto delle pressioni antropiche e della vulnerabilità intrinseca, è stata integrata dalla stima del danno ecologico potenziale sull'ecosistema. Il danno ecologico può essere valutato in funzione del grado di mortalità o di alterazioni fisiologiche e metaboliche degli organismi che costituiscono la comunità sotterranea. In tempi recenti è nata anche una nuova procedura di valutazione del rischio ecologico in acque sotterranee, denominata GEcoRA (*Groundwater Ecological Risk Assessment*), ideata da ricercatori italiani, cui è dedicata un'apposita scheda (vedi pag. 124).

■ La conservazione degli ecosistemi sotterranei

Nel corso di questo volume è stato più volte dimostrato come le acque sotterranee non siano solo una risorsa da sfruttare per l'uso umano, bensì rappresentino un complesso ecosistema come qualsiasi corpo idrico di superficie. Non solo, ma rispetto agli ecosistemi di superficie, quelli sotterranei possiedono un "valore aggiunto", rappresentato dall'elevato interesse scientifico e culturale della loro fauna, spesso unica testimonianza vivente delle vicissitudini paleogeografiche e paleoclimatiche del nostro Paese.

Gli attuali abitanti di questi ambienti sono, infatti, il prodotto di eventi evolutivi unici: perdere la stigodiversità (cioè causare l'estinzione delle specie sotterranee) significa perdere le uniche tracce di questi eventi. Un po' come per un archeologo perdere l'unica copia esistente di un reperto. Se poi, invece del singolo reperto, venisse distrutto un grande monumento, o un'intera città di un'antica cultura (nel nostro caso l'ecosistema), ecco che la perdita culturale sarebbe insanabile.

Gli aspetti evolutivi della stigodiversità possono essere compendati nel concetto di ESU (*Evolutionarily Significant Units*, letteralmente Entità Significative dal punto di vista evolutivo).

Il concetto di ESU è stato originariamente applicato, nelle faune di superficie, principalmente alle sottospecie. Ma nelle acque sotterranee si assiste alla presenza di ESU a livello di genere, famiglia, ordine e classe, cioè interi

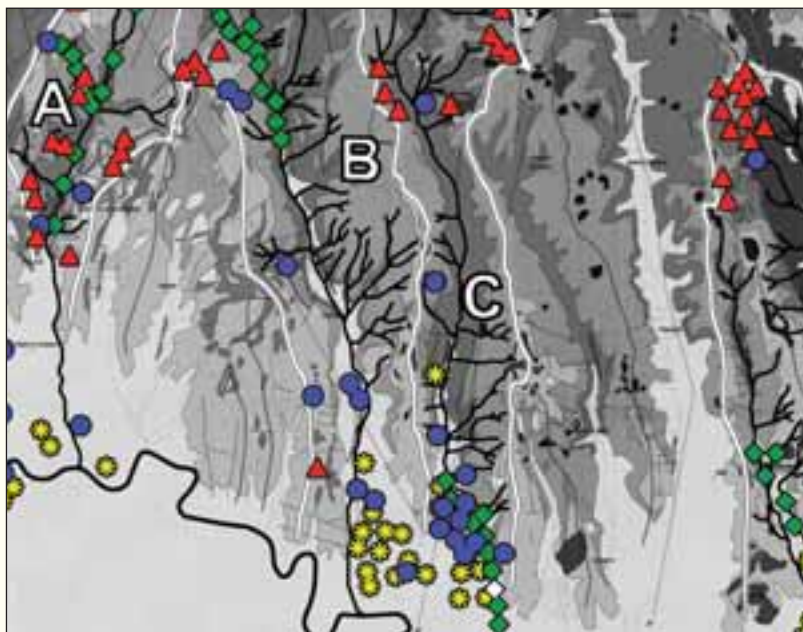


Lago sotterraneo nella Grotta di Punta Galera (Campania)

Il progetto PASCALIS (*Protocols for the Assessment and Conservation of Aquatic Life in the Subsurface*), afferente al V Programma Quadro per la Ricerca e lo Sviluppo Tecnologico (FP5 RTD) ed approvato dalla Commissione Europea nel 2001, si proponeva di definire le strategie ottimali di valutazione della stigodiversità e di fornire alla Commissione Europea le linee-guida per emanare raccomandazioni ai governi nazionali tese ad una più efficace tutela della biodiversità nell'ambiente acquatico sotterraneo. Se si escludono i ghiacciai, le acque sotterranee sono la più grande riserva di acque dolci del pianeta (97%); eppure la quasi totalità degli studi è stata condotta sulle acque superficiali e solo per queste ultime sono state adottate misure di con-

servazione della biodiversità. I principali ostacoli all'adozione di un'efficace politica di protezione della stigodiversità sono le attuali limitate conoscenze scientifiche sulla fauna delle acque sotterranee, la mancanza di strategie di conservazione e la scarsa conoscenza da parte dei portatori di interesse delle problematiche connesse a questo "mondo oscuro".

Il progetto PASCALIS si è proposto di colmare queste lacune affrontando tutte e tre le tematiche. In primo luogo è stato sviluppato un approccio integrato multiscalare allo studio della stigodiversità europea prendendo in considerazione una vasta gamma di habitat di acque sotterranee (carsici e alluvionali) in cinque nazioni (Spagna, Francia, Belgio, Italia e Slovenia), includendo nello studio



Un esempio di mappatura, secondo il progetto PASCALIS, relativa ai Monti Lessini in Veneto: A - Val Fumane, B - Val Pantena, C - Valle di Squaranto; stazioni di rilievo in ambienti carsici saturi (blu), carsici insaturi (rosso), porosi freatici (giallo) e iporreici (verde)

la quasi totalità dei gruppi tassonomici con rappresentanti stigobi e applicando differenti approcci (dal morfologico al molecolare) per la valutazione della biodiversità a livello di sito, di acquifero, di bacino o di regione geografica. In Italia questo approccio di studio è stato applicato all'area campione dei Monti Lessini veronesi. Lo scopo ultimo di questa prima fase progettuale è stato quello di individuare un protocollo rigoroso e dettagliato per ottimizzare la stima della stigodiversità a varie scale geografiche, protocollo raccolto in un manuale di semplice utilizzo.

La seconda fase del progetto ha riguardato lo sviluppo di strumenti operativi per pianificare le strategie di conservazione: individuazione di gruppi di bioindicatori, stima del valore intrinseco delle faune sotterranee dei diversi acquiferi con lo scopo di identificare le aree prioritarie per la conservazione, individuazione dei centri di diversità ed endemismo in Europa ("hotspot").

La terza fase del progetto ha avuto come obiettivi la formulazione di "raccomandazioni" per la creazione di un Piano d'Azione europeo per la conservazione della stigodiversità, la proposta di integrazione della Direttiva Habitat con specie ed habitat sotterranei di interesse comunitario e la sensibilizzazione dell'opinione pubblica creando un canale di comunicazione tra il progetto e una vasta gamma di utenti finali.

L'intento è stato quello di lavorare in contatto permanente con i gestori delle risorse idriche e degli habitat naturali, gli addetti al controllo delle acque ed il grande pubblico, in modo da soddisfare le domande sociali emergenti e fornire strumenti operativi comuni a tutti gli stati membri della Comunità Europea per conservare la stigodiversità. L'auspicio è che dallo studio si passi all'azione, trasformando questi strumenti in direttive comunitarie e leggi nazionali.



gruppi tassonomici strettamente stigobi che a maggior ragione necessiterebbero di adeguata protezione, data la loro persistenza in tempi geologici nell'ambiente sotterraneo e la loro totale scomparsa negli ambienti di superficie. La loro individuazione è di sostanziale rilevanza poiché sono taxa che non possono essere "ripristinati", trattandosi di linee evolutive isolate, prive ormai di parentele dirette con altri taxa ancora esistenti: un patrimonio scientifico di enorme rilievo per la conservazione.

Ma non è solo l'aspetto scientifico-culturale che impone la conservazione della stigodiversità e degli ecosistemi sotterranei. La loro importanza ecologico-funzionale, come ampiamente discusso parlando della natura quadridimensionale degli acquiferi, tocca da vicino gli interessi economici e la salute dell'uomo, fino a influenzare la sua stessa sopravvivenza.

Considerando i rischi, attuali e potenziali, che minacciano la struttura e l'integrità degli ecosistemi acquatici sotterranei, nonché lo stato di conservazione delle loro specie, e considerato il disinteresse manifestato dalle attuali politiche gestionali (comunitarie e nazionali), come messo in rilievo esaminando la legislazione esistente, è importante riportare alla fine di questo volume alcune "raccomandazioni" per la conservazione della stigodiversità.

Il termine "raccomandazione" è preso a prestito dai risultati del già citato progetto europeo PASCALIS, cui è dedicata una scheda (vedi a pagg. 130-131), che si conclude con una serie di indicazioni pratiche per la tutela dell'ecosistema sotterraneo.



Sorgente captata ad uso potabile (Anversa degli Abruzzi, Abruzzo)

Integrazione della conservazione della stigodiversità e della funzionalità degli ecosistemi sotterranei nelle politiche comunitarie e nazionali.

Questa integrazione dovrebbe avvenire sia a livello legislativo che di strumenti, nell'ambito delle politiche di gestione ed uso sostenibile delle risorse naturali, in particolare delle risorse idriche (Direttiva Acque e successive implementazioni e integrazioni, aggiungendo una parte sullo "stato ecologico soddisfacente") e della biodiversità (Direttiva Habitat e gestione e conservazione dei siti Natura 2000). Altrettanto importante sarebbe l'integrazione della legislazione e degli strumenti applicativi nel campo dell'uso del suolo, dell'agricol-



Estrazione di acqua ad uso irriguo

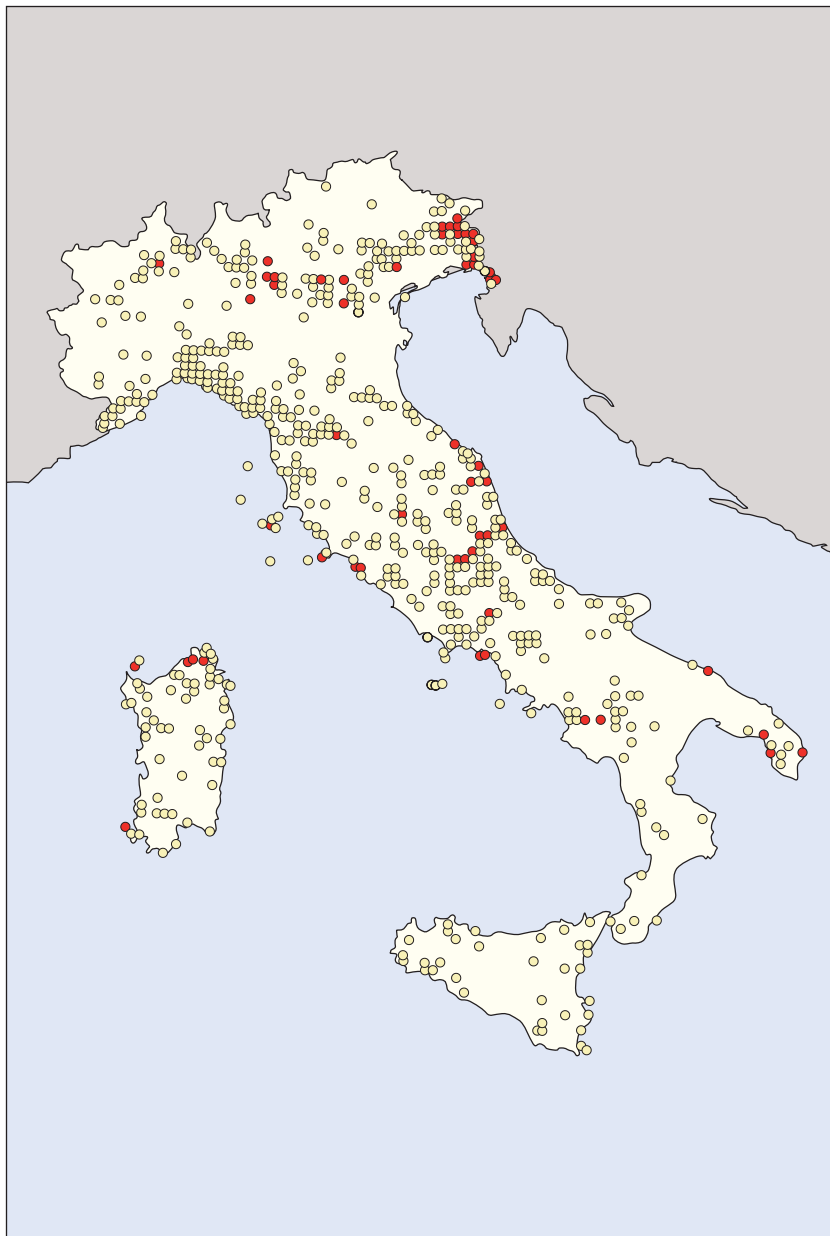
tura, della regimazione idrica dei corsi d'acqua, dei piani di bacino, delle valutazioni di incidenza e di impatto ambientale, nonché nelle strategie di monitoraggio (si veda a questo proposito la scheda sul metodo GECoRA).

Per la stigodiversità, sarebbe di fondamentale rilievo emendare gli allegati della Direttiva Habitat, inserendovi specie anche prioritarie, poiché la fauna sotterranea è ricca di specie endemiche e minacciate di estinzione, di fatto di interesse comunitario in base alle definizioni fornite dalla Direttiva stessa.

Redazione di una lista di specie e di habitat prioritari per la conservazione delle acque sotterranee, identificando i "punti focali" della stigodiversità.

Poiché le conoscenze scientifiche sono ancora disperse e la legislazione ancora fortemente carente, stabilire una lista di specie o gruppi tassonomici prioritari ai fini della conservazione (sulla base dei criteri di endemismo, rarità e relittualità filogenetica, nonché sul grado di minaccia) diverrebbe uno strumento operativo di primaria importanza per delineare le strategie di conservazione. Contemporaneamente, una lista di habitat sotterranei di grande rilievo per la conservazione in Italia potrebbe aiutare ad individuare gli acquiferi prioritari che dovrebbero essere conservati non solo come riserva idrica, ma anche come ecosistemi o corridoi funzionali.

Sono stati esplicitamente nominati gli acquiferi come unità di base per la conservazione, poiché la tutela delle acque sotterranee non può basarsi solo sulla tutela di singoli siti (grotte, sorgenti, tratti fluviali) come spesso accade



Stazioni in cui sono segnalate in Italia specie stigobie; in rosso i "punti focali" di stigodiversità sinora identificati

nelle attuali pratiche conservazionistiche. Ad esempio, la fauna e la funzionalità ecologica di una sorgente dipendono esclusivamente dallo stato di conservazione dell'acquifero di alimentazione.

Considerando inoltre le interconnessioni tra i corpi idrici sotterranei, progettare una rete di acquiferi prioritari come riserve naturali, a scala regionale o nazionale, che tenga in considerazione il loro intrinseco valore scientifico e la loro vulnerabilità alla pressione antropica, non disgiunta dal loro interesse come riserva idrica ad uso umano, potrebbe rivelarsi una strategia con grandi possibilità di successo.



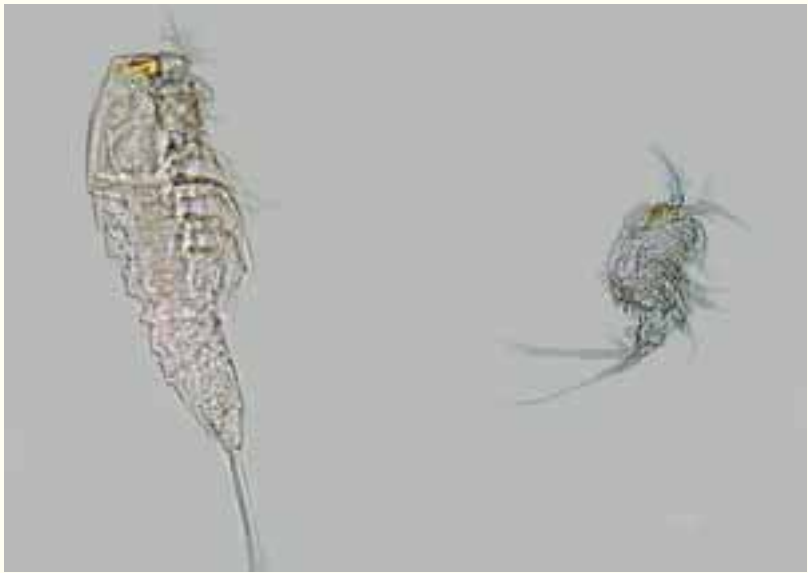
Campionamento del drift in una sorgente captata

Approfondimento delle conoscenze scientifiche e pianificazione delle strategie di monitoraggio. Poiché anche la stigologia è una disciplina in fase embrionale, approfondire e colmare i vuoti di conoscenza sarebbe di fondamentale interesse per identificare stigoregioni italiane e proporre idonee misure di conservazione. Questo dovrebbe procedere di pari passo con l'implementazione di una strategia di monitoraggio biologico degli acquiferi, che ora è pressoché assente in Italia.

È auspicabile, quindi, un ingresso a pieno titolo degli habitat sotterranei acquatici nell'elenco di quelli meritevoli di protezione. Tali indicazioni potrebbero rientrare nel recente Piano d'Azione a favore della Biodiversità promosso dalla Commissione Europea con atto del 22 maggio 2006, intitolato: «*Arrestare la perdita di biodiversità entro il 2010 e oltre - Sostenere i servizi ecosistemici per il benessere umano*». Il piano d'azione include gli obiettivi intesi ad arginare il declino della biodiversità e le misure finalizzate al raggiungimento dei suddetti obiettivi (il famoso "Obiettivo 2010") e si basa su una valutazione della perdita di biodiversità in Europa e nel mondo, nonché sulle misure adottate finora dall'Unione Europea per fronteggiare il problema. L'atto enfatizza inoltre che *"la protezione sostenibile della biodiversità trascende Natura 2000 e le specie minacciate. È per questa ragione che il piano d'azione prevede la salvaguardia e il ripristino della biodiversità e dei servizi ecosistemici"*. Forse è il momento di cominciare a pensare di proteggere questo "lato oscuro" del nostro mondo, e la sua biodiversità nascosta.

Un campo di ricerca ancora pressoché inesplorato riguarda le reazioni del biota sotterraneo agli inquinanti ambientali. Dai primi dati emersi dalla ricerca scientifica internazionale, le popolazioni stigobie possono funzionare da “sensori” a breve e lungo termine di inquinamento, sia acuto che cronico. Sebbene il monitoraggio ecotossicologico in acque sotterranee sia ancora agli albori sperimentali, i primi risultati ottenuti sembrano evidenziare una certa difficoltà operativa nel rendere il metodo ecotossicologico di vasta applicazione in acque sotterranee. I limiti principali sono rappresentati da: 1) cicli vitali lunghi delle specie stigobionti; 2) difficoltà di allevamento *in vitro*; 3) distribuzione geografica delle specie spesso molto ristretta, tanto da rendere difficile l'individuazione di una specie, o gruppo di

specie, *target*, utilizzabile a vasta scala spaziale. Siccome gli ambienti ecotonali (ambiente iporreico, sorgenti) ospitano molto frequentemente anche stigofili e stigosseni, nasce l'esigenza di dover valutare anche su queste specie l'effetto di inquinanti, quali metalli pesanti, ammonio e nitrati. Le prime ricerche in ecotossicologia acquatica sotterranea dimostrano che le specie stigobie e stigofile mostrano una sensibilità, sebbene differenziale, ad alcuni inquinanti, sia in condizioni di tossicità acuta che cronica. Sono già disponibili dati preliminari sugli effetti di alcune sostanze tossiche che si rinvenivano in falda sulle specie stigobie. Questi effetti vengono espressi in termini di concentrazione letale (LC₅₀), cioè la concentrazione di una sostanza, valutata statisticamente, che si prevede



Differenza di accrescimento tra controllo (a sinistra) e test (a destra) di *Bryocamptus echinatus* sottoposto a test cronico con Aldicarb (0,6 mg/l)

causi la morte durante l'esposizione o entro un determinato tempo consecutivo all'esposizione, del 50% degli animali esposti al trattamento. I dati qui riportati si riferiscono ad un tempo di 96 h e a valori di pH e temperatura (in genere 10,5°C) vicini a quelli delle acque sotterranee. Per quanto riguarda lo ione ammonio, ad esempio, sono state osservate LC₅₀ pari a 1,5 mg/l; per il cloro, dosato come cloro residuale e cloro libero, l'LC₅₀ è prossimo a 3 mg/l per individui acclimatati, inferiore (2,25-2,7 mg/l) per quelli non acclimatati. L'effetto tossico dello zinco sulla fauna stigobia è stato saggiato su diversi taxa: la specie più sensibile è un copepode stigobio del genere *Parastenocaris* (LC₅₀ pari a 1,7 mg/l per gli adulti e 1,27 mg/l per gli stadi di copepodite).

Gli unici dati di tossicità da fitofarmaci disponibili sulla fauna stigobia riguardano gli effetti di Aldicarb (LC₅₀ per gli adulti di *Parastenocaris* pari a 2,9 mg/l) e di Thiram (0,003 mg/l per la stessa specie). È stato inoltre osservato che lo standard di 0,1 µg/l, ammesso da normativa, non è sempre garanzia di protezione della fauna stigobia, soprattutto per quanto riguarda fitofarmaci come Aldicarb, Aldicarb-sulfoxide, Cypermethrin, Ethoprophos, Fenprothrin e Thiram. Si ritiene, inoltre, che l'effetto combinato e sinergico di più fitofarmaci (inevitabile per alcune colture che subiscono fino a più di 10 trattamenti con sostanze differenti) può condurre ad effetti tossici che si verificano a concentrazioni inferiori di quelle saggiate per la singola sostanza.

SPECIE TEST <small>*specie non appartenente alla fauna italiana</small>	TOSSICITÀ (LC ₅₀ - 96 h in mg/l)	SOSTANZA SAGGIATA
<i>Bryocamptus echinatus</i> (crostaceo copepode stigofilo)	1,26	Cromo esavalente
	2,71	Aldicarb
	14,61	Nitrato d'ammonio
<i>Parastenocaris germanica</i> * (crostaceo copepode stigobio)	2,90	Aldicarb
	1,7	Zinco
	0,003	Thiram
<i>Attheyella crassa</i> (crostaceo copepode stigosseno)	3,82	Cromo esavalente
	3,17	Aldicarb
	17,8	Nitrato d'ammonio
<i>Niphargus aquilex</i> (crostaceo anfipode stigobio)	180	Zinco
	4,5	Cadmio
<i>Caecidotea stygia</i> * (crostaceo isopode stigobio)	2,4	Cromo esavalente
	2,3	Rame
<i>Trichodrilus tenuis</i> * (anellide oligochete stigobio)	8,25	Zinco
	1,05	Cadmio



Proposte didattiche

DIANA MARIA PAOLA GALASSI

139

■ Analisi ecologica di acque sotterranee

L'analisi ecologica degli ambienti acquatici sotterranei, come proposta didattica, potrebbe in apparenza sembrare un'esperienza dedicata a specialisti di accademia o a studiosi con un avanzato "background" culturale in campo ecologico. Nella realtà, l'ecologia delle acque sotterranee, la "stigeologia", viene studiata con gli stessi strumenti e le stesse metodologie con le quali si analizzano gli ecosistemi acquatici superficiali. L'unico limite è rappresentato dall'accessibilità all'ambiente. Quindi, partiamo alla ricerca di una finestra, di un varco nel sottosuolo, per raggiungere questi mondi sommersi nell'oscurità! Un buon laboratorio naturale potrebbe essere rappresentato dall'ambiente iporreico, che, come



Campionamento Bou-Rouch in ambiente iporreico

abbiamo già visto, è un ambiente di interfaccia tra le acque superficiali di un fiume e l'ambiente freatico (l'acquifero alluvionale saturo) sottostante. L'esperienza didattica è coinvolgente; gli studenti, di qualunque ordine e grado, saranno in grado di cogliere anche intuitivamente e di verificare sperimentalmente l'esistenza di una moltitudine di connessioni tra le acque superficiali, che già conoscono ed entrano nell'immaginario bucolico della mente umana, e il vasto mondo acquatico sotterraneo, di cui hanno avuto sentore forse solo visitando una grotta attiva.

- Obiettivi: studio del concetto di ecotono acqua superficiale/acqua sotterranea, individuazione di un settore di asta fluviale in cui l'acquifero alimenta l'alveo (settore *upwelling*) e di un settore in cui è l'acqua del fiume ad alimentare l'acquifero sottostante (settore *downwelling*). Principi e metodi di campiona-

mento in ambiente iporreico. Analisi sul campo di indici visuali utili alla caratterizzazione dei diversi siti iporreici campionati. Compilazione di una scheda di campo utile alla redazione di una relazione di sintesi finale. Identificazione in laboratorio degli elementi biologici più significativi nel descrivere le comunità iporreiche. Classificazione dei taxa nelle categorie ecologiche di stigobi, stigo-fili e stigosseni. Valutazione degli impatti potenziali sull'ambiente iporreico e ripercussioni sulla sua biodiversità.

- **Livello:** studenti di scuola secondaria di 2° grado e studenti universitari.
- **Collaborazioni richieste:** un biologo ambientale con competenze in ecologia acquatica.
- **Attrezzature:** supporto bibliografico e iconografico da distribuire a ogni studente al fine di consentire una preparazione di base sull'ecologia acquatica e l'ecologia sotterranea, una pompa inerziale (pompa Bou-Rouch, o una semplice pompa da sentina), un piezometro (tubo di metallo, cavo, con fori all'estremità), un retino a maglie tarate a 100 μm , una sonda multiparametrica (o più sonde per i singoli parametri, per eseguire sul campo misure di temperatura, pH, conducibilità elettrica, eventualmente concentrazione di ossigeno disciolto), barattoli di plastica del volume di 500 ml, alcool da utilizzare come fissativo dei campioni raccolti (alternativamente, i campioni possono anche essere processati senza fissazione). Per l'attrezzatura vedi anche la scheda di pag. 45. In laboratorio sono necessari uno stereomicroscopio e un microscopio ottico a trasmissione, meglio se a contrasto di fase, perché consente una buo-



Il letto ghiaioso di un torrente glaciale ospita una particolare fauna iporreica

na visualizzazione degli organismi animali, senza che sia necessaria la fissazione e la colorazione dei preparati su vetrino. Il kit di laboratorio da distribuire agli studenti deve comprendere: due capsule Petri, un ago da smistamento, pinzette, qualche provetta di vetro o plastica, una soluzione alcolica al 70%, vaschette di vetro o plastica, vetrini copri- e portaoggetto, glicerina e aghi da dissezione. In laboratorio deve essere inoltre disponibile e accessibile a tutti un atlante iconografico degli invertebrati di acqua dolce.

FASE PRELIMINARE

1. Introduzione al concetto di ecosistema acquatico sotterraneo, con particolare riferimento alla classificazione degli acquiferi e descrizione degli habitat
2. Descrizione dell'ambiente iporreico e definizione del concetto di ambiente interstiziale. Individuazione dei principali fattori abiotici e biotici che governano il funzionamento del corridoio iporreico
3. Caratterizzazione e descrizione della fauna interstiziale, con particolare riferimento alla meiofauna
4. Descrizione dei metodi e strumenti di indagine dell'ambiente iporreico e di altri ambienti sotterranei
5. Raccolta delle informazioni relative alla geologia, idrogeologia e biodiversità acquatica del bacino selezionato per l'esperienza didattica
6. Costruzione di una scheda di campo che ogni studente dovrà compilare durante la fase di raccolta e la successiva fase di laboratorio.



Campionamento in un alveo ghiaioso



Meiofauna osservata allo stereomicroscopio

PRIMA FASE: ESPERIENZA DI CAMPO

L'esperienza di campo è articolata in due campionamenti distinti: il primo, in un settore *upwelling*, facilmente identificabile, dopo aver inserito il piezometro nel letto del fiume, facendone penetrare la parte forata nel sedimento, in quanto il livello dell'acqua all'interno del piezometro sarà più alto se confrontato con l'altezza della colonna d'acqua in alveo; il secondo campionamento verrà effettuato in un settore *downwelling*, in cui all'interno del piezometro, il livello dell'acqua sarà minore o uguale se confrontato con l'altezza della colonna d'acqua in alveo.



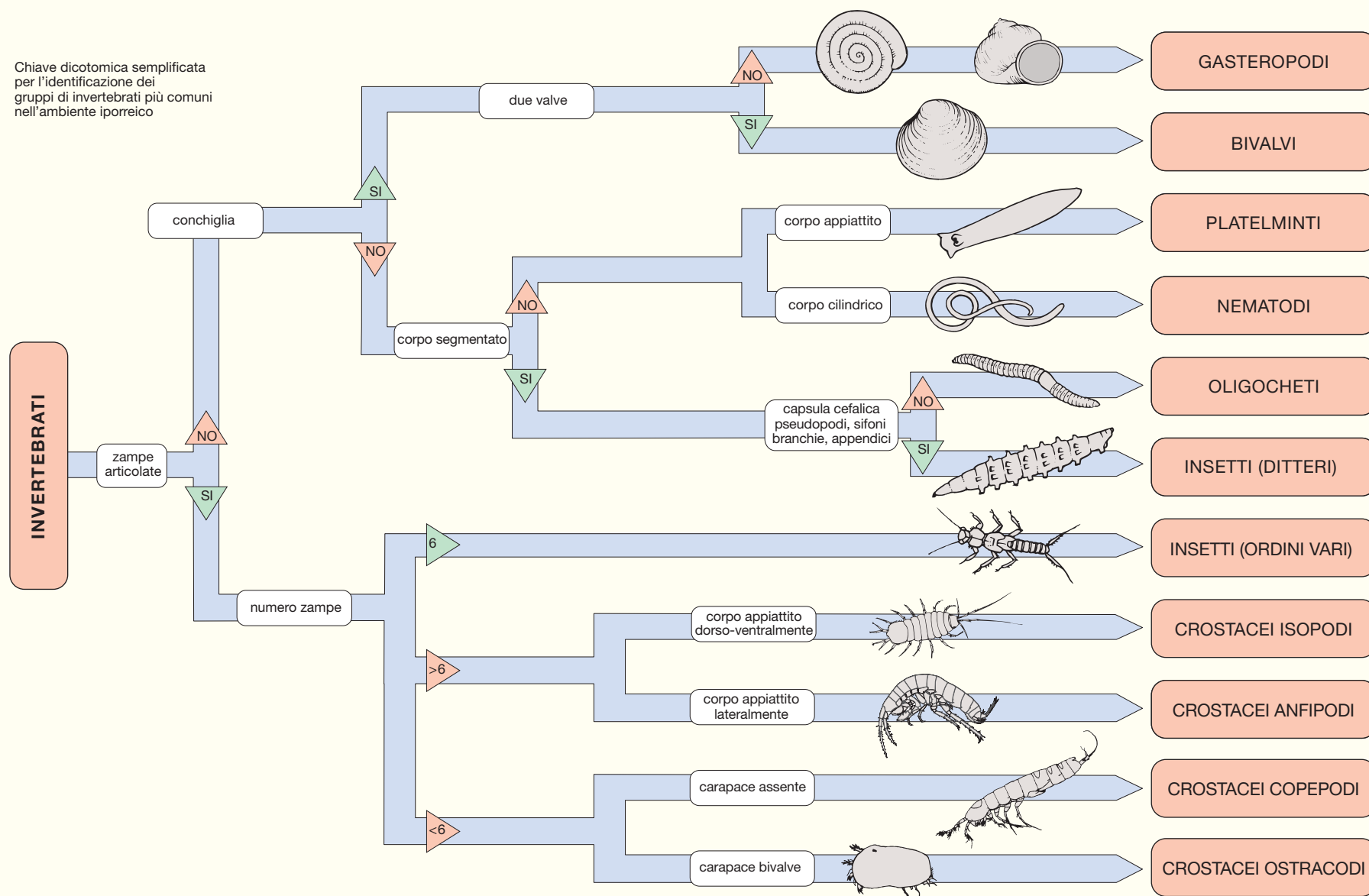
Piezometro inserito in un alveo

Su entrambi i piezometri verrà inserita una pompa inerziale a funzionamento manuale; in questo modo sarà possibile prelevare l'acqua interstiziale, insieme con i sedimenti di dimensioni minori, sostanza organica particolata intrappolata tra i sedimenti e ovviamente la fauna ivi residente. È consigliabile eseguire campionamenti quantitativi, ad esempio, di 10 litri per ogni sito, al fine di rendere successivamente confrontabili i dati raccolti da siti diversi lungo lo stesso alveo fluviale. Sul campione raccolto saranno inoltre effettuate le misure chimico-fisiche di base mediante sonda multiparametrica. Ogni studente inizierà a compilare la sua scheda, riempiendo lo schema secondo le indicazioni fornite nella fase preliminare all'escursione di campo. Una volta prelevati i campioni, essi potranno essere fissati sul campo in alcool al 30-50%, se si prevede che la fase laboratoriale avverrà dopo un lungo intervallo di tempo (una o più settimane dopo), alternativamente i campioni potranno essere conservati in un termostato, ad una temperatura che approssimi la temperatura dei siti di prelievo per un periodo non superiore a una settimana.

SECONDA FASE: ESPERIENZA DI LABORATORIO

Ogni prelievo sarà suddiviso in sub-campioni e separato in capsule Petri. Lo studente procederà allo smistamento del materiale presente nella capsula avvalendosi di uno stereomicroscopio e dovrà separare tutte le componenti animali che riesce ad individuare. Con una pipetta Pasteur o con un ago ad ansa (meno maneggevole per gli inesperti) procederà al prelievo dei singoli esemplari che verranno collocati in vaschette di vetro, in cui sia stata già versata una soluzione alcolica al 70%.

Chiave dicotomica semplificata
per l'identificazione dei
gruppi di invertebrati più comuni
nell'ambiente iporreico



SCHEDA DI CAMPO	
DENOMINAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO	
DENOMINAZIONE DEL FIUME/TORRENTE	
LOCALITÀ	
frazione, comune	
provincia	
regione	
QUOTA s.l.m.	
COORDINATE GEOGRAFICHE	
DISTANZA DALLA SORGENTE	
PORTATA (l/s)	
DATA DI RACCOLTA	
NOME DEL RACCOGLITORE	
METODOLOGIA DI CAMPIONAMENTO	
TIPOLOGIA DI CAMPIONAMENTO	
<input type="checkbox"/> quantitativo	<input type="checkbox"/> qualitativo
DESCRIZIONE DELL'HABITAT	
note	
<input type="checkbox"/> settore upwelling	<input type="checkbox"/> settore downwelling
INDICI VISUALI	
COMPOSIZIONE GRANULOMETRICA DEL SUBSTRATO	
<input type="checkbox"/> ciottoli - ghiaie dominante	<input type="checkbox"/> sabbie - argilla - limo dominante
GRADO DI ETERogeneITÀ NELLA COMPOSIZIONE GRANULOMETRICA	
<input type="checkbox"/> alto: se sono rappresentate molte classi granulometriche	
<input type="checkbox"/> basso: se due classi granulometriche sono nettamente dominanti ($\geq 70\%$)	

Si richiederà a ogni studente di identificare a grandi linee (livello di phylum, subphylum, classe) i gruppi animali raccolti (vedi anche scheda di pag. 44-45). Per gli organismi di piccole dimensioni, si potrà procedere all'allestimento di preparati microscopici, al fine di consentire un'analisi di dettaglio in microscopia ottica a trasmissione: sarà così possibile riconoscere piccoli crostacei (ad esempio, i copepodi), oligocheti e nematodi. Si potrà procedere a questo punto alla categorizzazione ecologica degli esemplari ritenuti più significativi dal docente, cercando di individuare stigobi e non-stigobi.

La distinzione tra stigofili e stigosseni non è sempre facile, perché spesso non è legata ad adattamenti morfologici: per questa ragione, sarà più corretto procedere mediante l'identificazione degli stigobi che invece mostrano comunemente evidenti caratteristiche morfologiche adattative alla vita in ambiente sotterraneo (depigmentazione, anoftalmia, miniaturizzazione, ridotto numero di uova nelle femmine ovigere, ecc.). Si potrà quindi procedere a un'analisi comparativa tra i due campioni prelevati.

Gli studenti saranno in grado di verificare che nel sito *upwelling*, l'incidenza degli stigobi è maggiore che nel sito *downwelling*, ove si attende una maggiore incidenza di non-stigobi (stigosseni e stigofili), quali gli stadi larvali di insetti (ninfe di efemerotteri e plecoteri, larve di ditteri chironomidi), che in questo ambiente trovano rifugio dalla predazione, molto forte nell'ambiente bentonico fluviale.

Lo studente annoterà tutte le osservazioni sulla sua scheda personale.

TERZA FASE: REDAZIONE DI UNA RELAZIONE CONCLUSIVA DEL LAVORO SVOLTO

In questa fase, lo studente procederà alla stesura di un elaborato scritto, dove, a un'introduzione sulle problematiche generali relative all'ambiente acquatico sotterraneo, seguirà la descrizione analitica delle procedure di campionamento in ambiente iporreico, dei risultati di laboratorio ottenuti e la discussione degli stessi, anche in un'ottica di ecologia applicata alla valutazione dei potenziali impatti prodotti, sulla meiofauna, dal disturbo antropico.



Smistamento in laboratorio

BERETTA G.P., 1992 - Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee. Tecniche per lo studio e la progettazione degli interventi di prevenzione, controllo. Bonifica e recupero. *Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale*, 18. Pitagora Editrice, Bologna.

Si tratta di un manuale decisamente finalizzato alle problematiche di inquinamento dei suoli e delle acque sotterranee, fornito di ampie basi teoriche e concettuali sul movimento dell'acqua e dei soluti nel sotto-suolo.

BOTOSANEANU L. (ed.), 1986 - Stygofauna Mundi. *E.J. Brill/Dr. W. Backhuys, Leiden*.

Esauriente e rigorosa trattazione di tutti i taxa presenti nelle acque sotterranee del mondo. Per ogni gruppo animale viene fornita una breve diagnosi, ed un elenco di tutte le specie note sino al 1985, con relativa distribuzione a livello mondiale.

CAMACHO A.I. (ed.), 1992 - The natural history of biospeleology. *Monografías, Museo Nacional de Ciencias naturales, Consejo Superior de Investigaciones científicas*, Madrid.

Esauritiva raccolta di articoli sulla biospeleologia; vari capitoli sono dedicati alle acque sotterranee, e discutono problematiche di carattere generale, quali i metodi di campionamento, l'evoluzione e la speciazione degli organismi stigobi e le problematiche di conservazione degli ecosistemi acquatici sotterranei.

CELICO P., 1986 - Prospezioni Idrogeologiche. Voll. I e II. *Liguori Editore, Napoli*.

Testo di idrogeologia quantitativa che contiene le basi teoriche applicate a situazioni e dati reali. Largo spazio è lasciato alle tecniche e metodologie d'indagine.

CIVITA M., 2005 - Idrogeologia Applicata e Ambientale. *Casa Editrice Ambrosiana, Milano*.

Un manuale moderno che unisce a solide basi teoriche una ottima iconografia. Il testo è in larga parte dedicato a problematiche ambientali e contiene soluzioni operative relative a casi di studio.

CUSTODIO E., LLAMAS M.R., 2005 - Idrologia sotterranea. *Dario Flaccovio Editore, Palermo*.

Traduzione di un manuale in largo uso nei paesi di lingua spagnola, accompagna l'approccio teorico quantitativo ad un'analisi moderna delle possibili applicazioni in campo di gestione e protezione della risorsa idrica sotterranea.

GIBERT J. (ed.), 2005 - World subterranean biodiversity. *PASCALIS European Research Programme, Villeurbanne*.

Volume che contiene gli atti di un convegno tenutosi a Villeurbanne (Francia) nel 2004; gli articoli scientifici forniscono un quadro d'insieme delle attuali ricerche sulla biologia delle acque sotterranee e riportano i primi risultati del progetto europeo PASCALIS.

GIBERT J., DANIELOPOL D.L., STANFORD J.A. (eds.), 1994 - Groundwater Ecology. *Academic Press*.

Monografia datata ma ancora unico riferimento bibliografico per chi volesse avvicinarsi allo studio degli ecosistemi acquatici sotterranei. I primi capitoli sono introduttivi e di facile accesso anche per i non-specialisti. La trattazione si fa più complessa nei capitoli successivi, dove vengono affrontati singolarmente diversi casi di studio a scala globale.

GRIEBLER C., DANIELOPOL D.L., GIBERT J., NACHTNEBEL H.P., NOTENBOOM J. (eds.), 2001 - Groundwater ecology. A tool for management of water resources. *Austrian Academy of Sciences, Institute of Limnology Vienna- Mondsee*.

Interessante monografia che affronta l'ecologia delle acque sotterranee con un linguaggio tecnico e sviluppa le problematiche inerenti la gestione della risorsa idrica sia sotto il profilo normativo che applicato. Vengono descritti interessanti esempi di gestione ecocompatibile della risorsa idrica sotterranea in vari paesi europei.

MINELLI A., CHEMINI C., ARGANO R., RUFFO S. (eds.), 2002 - La fauna in Italia. *Touring Editore Milano, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Roma*.

Un testo di utile consultazione, divulgativo ma accurato. Tratta tutti gli aspetti della fauna italiana; un apposito capitolo è dedicato alle vicissitudini paleogeografiche del nostro Paese, con vari esempi riguardanti gli organismi delle acque sotterranee.

NOTENBOOM J., VERSCHOOR A., VAN DER LINDEN A., VAN DER PLASSCHE E., REUTHER C., 1999 - Pesticides in ground water: occurrence and ecological impacts. RIVM report 601506002. <http://www.rivm.nl/>.

Rapporto dell'Agenzia Olandese per l'Ambiente in cui, per la prima volta, vengono analizzati gli impatti ecologici dei pesticidi sugli organismi animali stigobi che popolano le acque sotterranee. Particolarmente interessante è la rassegna bibliografica che rimanda ad articoli scientifici di ecotossicologia acquatica sotterranea.

RUFFO S., STOCH F. (eds.), 2005 - Checklist e distribuzione della fauna italiana. *Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, 2. serie, Sezione Scienze della Vita*, 16: 307 pp. (con CD-ROM).

Il più aggiornato elenco delle specie animali presenti in Italia e della loro distribuzione; vi è trattata la quasi totalità dei gruppi tassonomici discussi in questo volume.

WILKENS H., CULVER D.C., HUMPHREYS W.F. (eds.), 2000 - Subterranean Ecosystems - Ecosystems of the World 30. *Elsevier Science B.V., The Netherlands*.

Monografia affascinante, sia nell'iconografia che nella descrizione di habitat sotterranei unici a scala mondiale. Ad articoli divulgativi sui singoli gruppi animali stigobi si alternano casi di studio in ambienti-limite, quali ad esempio la Grotta di Movile. Interessante e relativamente semplice la trattazione degli ambienti acquatici sotterranei.

Glossario

- > Acquifero: porzione di roccia o di terreno dotata di buona permeabilità, tanto da poter ospitare una falda e conseguentemente di consentire il movimento dell'acqua al suo interno in tempi relativamente brevi.
- > Ambulacrale: in Zoologia, detto di appendice corporea atta al movimento degli organismi.
- > Anchialino: dicesi di ambiente di acque sotterranee costiere salmastre, con penetrazione di acque marine; la definizione è solitamente ristretta a cavità, come grotte e tubi di lava.
- > Anfiatlantico: taxon distribuito su entrambe le sponde dell'Atlantico; si tratta pertanto di elementi presenti sia in Europa e Africa, sia nelle Americhe.
- > Anoftalmia: assenza di occhi.
- > Antropico: fattore legato alla presenza dell'uomo e delle sue attività; epiteto spesso associato al concetto di impatto o disturbo.
- > Aquiclude: porzione di roccia o di terreno dotata di permeabilità molto bassa, tanto da poter essere considerata impermeabile; agisce da limite di permeabilità nei confronti di rocce più permeabili.
- > Aquitard: porzione di roccia o di terreno dotata di scarsa permeabilità, in grado comunque di ospitare una falda, seppure di potenzialità limitata, in cui il movimento si attua in tempi lunghi.
- > Bilancio idrologico: bilancio tra afflussi e deflussi in un bacino idrografico o idrogeologico, in cui vengono quantificate le singole componenti (precipitazione, evapotraspirazione, ruscellamento, infiltrazione efficace, prelievi antropici).
- > Bonifica: ripristino di condizioni ambientali naturali per acque sotterranee e terreni interessati da episodi di inquinamento.
- > Centro di pericolo: attività antropica potenzialmente pericolosa in quanto in grado di introdurre inquinanti nel sottosuolo e quindi in falda.
- > Conducibilità idraulica: espressione quantitativa della permeabilità, esprime la possibilità di una roccia o terreno di farsi attraversare dall'acqua gravifica.
- > Crenobionte: si dice di una specie strettamente dipendente dall'ambiente sorgivo per il completamento del suo ciclo vitale.
- > Deflusso minimo vitale: portata minima dei corsi d'acqua in grado di garantire la sopravvivenza degli ecosistemi dipendenti dal corso d'acqua o dalla sua falda.
- > Dispersione: termine generico con il quale si definisce sia l'attitudine intrinseca di una specie ad allontanarsi dal luogo di origine alla ricerca di condizioni simili o migliori rispetto al sito di origine (dispersione, diffusione o esplorazione), sia la dispersione a lunga distanza che implica il superamento di barriere fisiche da parte della popolazione; quest'ultimo processo è alla base del modello biogeografico della dispersione.
- > Distrofico: ambiente arricchito di sostanze umiche.
- > Epigeo (carsismo): componente del processo carsico che interessa la superficie terrestre e si sviluppa sulla superficie topografica.
- > Epigeo: di superficie.
- > Eterotrofo: da *eterotrofia*, che è la condizione nutrizionale di un organismo che non è in grado di sintetizzare il proprio nutrimento autonomamente a partire da sostanze inorganiche; per la sopravvivenza esso deve quindi far riferimento a composti organici pre-sintetizzati da altri organismi, che sono invece detti autotrofi.
- > Eutrofico: ambiente ricco di sostanze nutrienti.
- > Evapotraspirazione: fenomeno che sottrae al terreno parte delle acque di precipitazione, attraverso l'evaporazione e la traspirazione delle piante.
- > Falda: porzione dell'acquifero totalmente saturata, dove le acque sono libere di muoversi sotto l'azione della gravità attraverso i pori o fratture presenti nel sottosuolo.
- > Fase liquida separata: sostanza liquida scarsamente miscibile in acqua (come l'olio), presente nelle falde separatamente dalle acque sotterranee.
- > Focale: nella biologia della conservazione, si definisce focale un gruppo di specie, spesso appartenenti a un unico raggruppamento animale che, per le caratteristiche di elevata diversità e abbondanza numerica in un sito, può essere utilizzato come surrogato della ricchezza specifica totale.
- > Fotico: luminoso.
- > Freatica (superficie): la superficie piezometrica più vicina alla superficie terrestre, da cui è divisa dall'interposizione della zona insatura.
- > Gradiente idraulico: rapporto tra dislivello misurato tra due punti della falda e la loro distanza; condiziona la velocità e la direzione di deflusso delle acque sotterranee.
- > Gravifica: acqua presente nel sottosuolo che non interagisce con la matrice solida ed è in grado di muoversi in funzione della permeabilità.
- > Igropetrico: sottile strato d'acqua su substrato solido spesso ricoperto da muschi.
- > Immagazzinamento: stoccaggio di acqua negli acquiferi, a profondità tale da costituire delle riserve scarsamente mobilizzabili per cause naturali.
- > Infiltrazione efficace: aliquota delle precipitazioni che si infiltra nel sottosuolo raggiungendo la falda.
- > Inquinante: composto chimico o biologico in grado di modificare le caratteristiche dell'acqua sotterranea, determinandone un generale peggioramento, tale da limitarne o inibirne l'uso.
- > Insatura (zona): porzione del sottosuolo i cui vuoti non sono completamente occupati dall'ac-

qua; si trova tra la superficie topografica e la falda sottostante.

> Ipogeo: sotterraneo.

> Isopieze (o isopiezometriche): curve di rappresentazione in pianta della quota piezometrica; indicano la direzione della falda e consentono il calcolo del gradiente idraulico.

> Lineare (sorgente): emergenza di acque sotterranee che avviene direttamente nell'alveo fluviale di un corso d'acqua.

> Meiofauna: categoria dimensionale convenzionale, definita come l'insieme degli organismi animali di qualunque gruppo sistematico, generalmente legati all'ambiente bentonico interstiziale (*meiobenthos*), che attraversa un retino a maglie tarate a 500 µm ed è trattenuto da un retino a maglie tarate a (100) 45 µm (il limite inferiore è ancora oggetto di controversia tra gli studiosi).

> Metamerico: da *metameria*, che è la ripetizione di organi o strutture lungo l'asse longitudinale del corpo di un organismo animale.

> Microftalmia: presenza di occhi di dimensioni ridotte e, se trattasi di occhi composti, con ridotto numero di ocelli.

> Minerale (sorgente): sorgente caratterizzata da un grado di mineralizzazione superiore a quello tipico (contenuto in sali disciolti superiore a un grammo per litro).

> Nictemerale: sinonimo di *circadiano*; detto di ritmo biologico giornaliero, caratterizzato cioè da una periodicità di 24 ore.

> Oligotrofico: ambiente povero di sostanze nutrienti.

> Olobentonico: si dice di un organismo animale che trascorre l'intero ciclo vitale in ambiente bentonico, sia che abbia sviluppo diretto o indiretto; in quest'ultimo caso, sia la larva che l'adulto sono strettamente legati all'ambiente bentonico.

> Ontogenetico: relativo all'*ontogenesi*, che è l'insieme degli stadi di sviluppo che un organismo attraversa, dallo stato iniziale di zigote a quello di individuo completo.

> Permeabilità (limite di): contatto tra due rocce o terreni a differente permeabilità, tale da generare un contrasto in grado di limitare o impedire il passaggio delle acque sotterranee.

> Permeabilità (soglia di): limite di permeabilità di un acquifero che consente l'immagazzinamento di riserve permanenti in profondità.

> Permeabilità: capacità di una roccia o di un terreno di farsi attraversare dall'acqua.

> Piezometrica (superficie): insieme dei punti del sottosuolo che caratterizzano il passaggio tra la zona satura e quella insatura; rappresenta la quota della falda ed esprime l'energia potenziale dell'acqua sotterranea.

> Plesiotipico: si dice dell'habitat primitivo di un gruppo animale, cioè dell'habitat in cui presumibilmente viveva il progenitore di un gruppo, i cui membri hanno secondariamente invaso un nuovo habitat (habitat secondario).

> Psammico: si dice dell'ambiente litorale costiero sabbioso; spesso assume in ecologia acquatica un significato traslato, ad indicare l'acqua, marina, salmastra o dolce, che riempie gli spazi tra le singole particelle di sabbia.

> Riserve permanenti: porzione profonda delle acque sotterranee, non rinnovabile; costituisce appunto la riserva dell'acquifero, la cui captazione tramite pozzi può determinare il depauperamento delle acque sotterranee anche in modo irreversibile.

> Riserve regolatrici: porzione delle acque sotterranee rinnovabile su base pluriennale, che viene erogata soltanto durante periodi siccitosi, in grado di garantire l'emergenza di acque sotterranee dalle sorgenti per effetto del gradiente idraulico.

> Risorsa rinnovabile: porzione delle acque sotterranee annualmente rinnovata per effetto dell'infiltrazione efficace; corrisponde alla portata erogata su base annuale dalle sorgenti.

> Ritenzione specifica: capacità di una roccia o di un terreno di trattenere acqua al suo interno.

> Ruscellamento: componente del deflusso superficiale corrispondente alle acque che scorrono sulla superficie senza infiltrarsi nel suolo e sottosuolo.

> Satura (zona): porzione del sottosuolo i cui vuoti sono completamente occupati dall'acqua; corrisponde alla falda ed è sormontata dalla zona insatura.

> Speciazione: processo microevolutivo che porta alla nascita di una nuova specie.

> Taxon: termine generico utilizzato per indicare qualunque categoria tassonomica nella sistematica zoologica o botanica (ad esempio, specie, genere, famiglia, classe, ordine, phylum).

> Termale (sorgente): sorgente caratterizzata da temperature superiori a quelle tipiche (superiore a 20°C).

> Vicarianza: processo per il quale le popolazioni figlie si separano (ed eventualmente divergono fino a diventare specie diverse) per frammentazione di un'area unitaria, in cui era già presente una popolazione ancestrale.

> Vulnerabilità (degli acquiferi): capacità intrinseca degli acquiferi di essere interessati da episodi inquinanti.

Indice delle specie

Abyssidrilus cuspis - 51

Acanthocyclops - 55, 56

Acanthocyclops agamus - 56, 76

Acanthocyclops gordani - 56

Acanthocyclops kieferi - 56

Acanthocyclops troglophilus - 56, 73

Aktedrilus ruffoi - 52

Alzoniella - 49, 74, 76

Anthrobathynella stammeri - 59, 75

Arganiella - 76

Asellus - 73

Asellus aquaticus - 61

Asellus cavernicolus - 61

Atrioplanaria - 46

Atrioplanaria morisii - 46

Atrioplanaria racovitzai - 46

Attheyella paranaptalica - 76

Avenionia - 76

Bathynella - 59

Bathynella skoplensis - 59, 73

Belgrandia - 49

Belgrandia stochi - 49, 73

Bogidiella - 77

Bogidiella albertimagni - 65, 75

Bogidiella aprutina - 65

Bubalocerus - 47

Bythinella - 49

Bythiospeum - 49, 74

Bythiospeum calepii - 111

Carinurella - 66

Carinurella paradoxa - 66, 75

Cernovitoviella - 51, 52

Chthonasellus - 62

Chthonasellus bodoni - 62

Congerella kusceri - 117

Cypria cavernae - 53, 73

Dendrocoelum collinii - 46

Dendrocoelum italicum - 46

Diacyclops - 56, 74, 75, 76

Diacyclops charon - 56

Diacyclops gruppo *languidoides*

- 56, 75

Diacyclops languidus - 75

Elaphoidella - 57, 59, 74

Eucyclops - 56

Eucyclops graeteri - 56

Fissuria - 49, 76

Gallasellus - 62

Gammarus - 111

Graeteriella - 55, 56

Graziana - 49

Haber - 51

Haber monfalconensis - 51

Haber zavrelli - 51

Hadzia - 50, 65, 111

Hadzia adriatica - 65

Hadzia fragilis - 73

Hadzia fragilis stochi - 65

Hadzia minuta - 65, 76

Hadziella - 49, 74

Hadziella ephippiostoma - 47

Halicyclops - 56

Hauffenia - 47, 49, 74

Hauffenia subpiscinalis - 48

Hauffenia tellinii - 49

Heleobia - 95

Hexabathynella - 59

Higginsia ciccaresei - 46, 76, 84

Hispanobathynella - 59

Iglica - 49, 74

Iglica vobarnensis - 48

Ilvanella - 77

Ilvanella inexpectata - 65

Ingolfiella - 77

Ingolfiella (Tyrrhenidiella)

cottarellii - 67

Islamia - 49, 76

Islamia cianensis - 49

Istriana - 49

Istriana mirnae - 73

Lessinocamptus - 57, 74, 75

Limnosbaena finki - 60

Longigammarus - 65, 77

Longigammarus planasiae - 65

Marifugia cavatica - 50, 73

Megacyclops - 55

Meridiobathynella - 59

Metacrangonyx ilvanus - 67, 77

Metacyclops - 56

Metacyclops gasparoi - 56

Metacyclops postojnae - 56

Metaingolfiella mirabilis - 67, 76

Microcerberus - 63, 75

Microcerberus ruffoi - 63

Microcharon - 62, 63, 75

Microcharon marinus - 63

Microcharon novariensis - 63

Microlistra - 63, 73

Monodella stygicola - 60, 76, 84

Monolistra - 53, 63, 74, 87

Monolistra julia - 63

Monolistra pavani - 63

Monolistra schottlaenderi - 63

Moraria - 57

Morariopsis - 57, 73

Muceddina multispinosa - 56,

84

Niphargus - 64, 65, 66, 83, 87,

101, 107, 111

Niphargus bajuvaricus grandii -

66, 75

Niphargus dolienianensis - 66

Niphargus forelli - 74

Niphargus aquilex - 66

Niphargus bajuvaricus - 66

Niphargus gruppo *kochianus* -

66

Niphargus gruppo

longicaudatus - 66, 74

Niphargus gruppo *orcinus* - 66

Niphargus gruppo *speziae* - 66

Niphargus stygius - 66, 74

Niphargus italicus - 66, 74

Niphargus krameri - 73

Niphargus longicaudatus - 76

Niphargus longidactylus - 75

Niphargus poianoi - 76, 93, 95

Niphargus pupetta - 66, 75

Niphargus similis - 65, 74

Niphargus spinulifemur - 73

Niphargus stefanelli - 66

Niphargus steueri - 43, 66

Niphargus stochi - 73

Niphargus strouhali - 74

Niphargus stygius - 73

Niphargus transitivus - 66, 75

Niphargus tridentinus - 66

Nitocrella - 57, 59

Nitocrella psammophila - 93

Nitocrella stammeri - 76

Nitocrella stochi - 73

Orientalina - 49, 76

Paladilhiopsis - 49, 74

Paladilhiopsis robiciana - 49

Paladilhiopsis virei - 48

Paladilhiella hungarica - 117

Paracyclops imminutus - 42

Paramorariopsis - 57, 74, 75

Parapseudoleptomesochra - 59

Parastenocaris - 59, 101, 134

Parvidrilus spelaeus - 51

Pauluccinella - 49, 76

Pezzolia - 49

Phreatica - 49

Phreatica bolei - 49

Polycelis benazzii - 46

Proasellus - 61, 74, 111

Proasellus acutianus - 61

Proasellus adriaticus - 62

Proasellus amiterminus - 62

Proasellus cavaticus - 61

Proasellus diana - 62

Proasellus faesolanus - 62

Proasellus franciscoloi - 61

Proasellus cavaticus - 61, 74

Proasellus gruppo *deminutus* -

61

Proasellus patrizii - 61

Proasellus pavani - 61

Proasellus intermedius - 74

Proasellus ligusticus - 61

Proasellus patrizii - 77

Proteo - 41, 69, 70, 71, 73, 83,

88, 101, 105, 111, 117

- Proteus anguinus* - 41, 69, 73, 117
Proteus anguinus parkelj - 71
Pseudavenionia - 49
Pseudectinosoma - 57, 76
Pseudectinosoma galassiae - 57
Pseudolimnocythere - 53, 93
Pseudolimnocythere hypogea - 53, 76
Pseudoniphargus - 77
Pseudoniphargus adriaticus - 67
Pseudoniphargus africanus italicus - 67
Pseudoniphargus duplus - 77
Pseudoniphargus planasiae - 67
Pseudoniphargus sodalis - 67
Rhyacodrilus - 51
Rhyacodrilus dolcei - 51
Rhyacodrilus gasparoi - 51
Salenthidrobia ferrerii - 76
Salentinella - 66, 111
Salentinella angelleri - 66, **67**
Salentinella franciscocoli - 66
Salentinella gracillima - 66, 76
Sardohoratia - 49, 77
Sardobathynella - 59, 77
Sardopaladilhia - 49, 77
Scutariella - 47
Simplicaris - 59
Sketodrilus flabellisetosus - 52
Spelaeomysis - 60, 76
Spelaeomysis bottazzii - **60**, 61
Speocyclops - **54**, 55, 56
Speocyclops infernus - 56
Sphaeromicola sphaeromicola - 53
Sphaeromicola stammeri - 53
Sphaeromides - 50, 53, **73**
Sphaeromides virei - 63
Stenasellus - 77
Stenasellus assorgiai - 62
Stenasellus gruppo racovitzai - 62
Stenasellus nuragicus - 62
Stenasellus racovitzai - 62
Stygiomysis - 60, 76
Stygiomysis hydruntina - 61, **76**, 84
Synurella - 111
Tethysbaena argentarii - 60, 77
Tethysbaena siracusae - 60, 77
Thyrrhenidiella - 77
Trapezicandona stammeri - 53, 76
Troglocaridicola - 47
Troglocaris - 47, **68**, 73
Troglocaris anophthalmus - 68
Troglocaris planinensis - 68
Troglochaetus beranecki - 49
Troglodiptomus sketi - 55, 73
Troglomysis - 60
Tubifex pescei - 51
Typhlocaris - 41, 68
Typhlocaris salentina - **68**, 76, 84
Typhlocirolana aff. moraguesi - 63, 77
Typhlocirolana moraguesi - 63
Tyrrhenogammarus - 65, 77
Tyrrhenogammarus catacumbae - 65, 77
Tyrrhenogammarus sardous - 65

Si desidera ringraziare Tiziana Di Lorenzo, Barbara Fiasca, Dina del Tosto e Paola De Laurentiis, ricercatrici appassionate dell'Università dell'Aquila, che hanno messo a nostra disposizione dati inediti e lottano con noi per conferire dignità ecologica alle acque sotterranee.

Si ringraziano, inoltre, Enrico Gattone e Gianfranco Tomasin per il grande contributo fornito nelle difficili campagne di campionamento biologico in tutta Italia che, con i loro risultati, hanno consentito di elaborare i concetti espressi in questo volume.

Alcuni disegni sono stati rielaborati da quelli pubblicati nei citati volumi di Celico e Civita.

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

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

Finito di stampare
nel mese di giugno 2008
presso la Graphic linea print factory - Udine

Printed in Italy

