



## Verso la gestione sostenibile delle acque sotterranee: il progetto GEcoRA nel bacino del Fiume Adige

Tiziana Di Lorenzo,  
Diana M.P. Galassi,  
Andrea Marchetti,  
Daniela Castaldo,  
Dina Del Tosto,  
Barbara Fiasca,  
Enrico Gattone

Dipartimento di Scienze  
Ambientali,  
Università dell'Aquila

Nicola Dell'Acqua,  
Paola Sartori

Autorità di Bacino  
del Fiume Adige

Le principali direttive europee in materia di tutela della risorsa idrica, la WFD 2000/60/CE (Water Framework Directive) e la GDD 2006/118/CE (Groundwater Daughter Directive), costituiscono una base normativa *"trasparente, efficace e coerente"* a tutela di una risorsa che *"non è un prodotto commerciale al pari degli altri, bensì un patrimonio che va protetto, difeso e trattato come tale"* (GDD 2006/118/CE). L'Unione Europea 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"* (GDD 2006/118/CE) e sancisce che la tutela delle stesse è indispensabile al mantenimento della qualità degli ecosistemi acquatici superficiali e terrestri. Sebbene le Direttive Quadro abbiano contribuito in maniera decisiva al miglioramento delle procedure di controllo di qualità della risorsa idrica, permane immutata la visione abiotica del comparto idrico sotterraneo. Infatti, mentre per la prima volta la WFD 2000/60/CE riconosce la dimensione ecologica delle acque superficiali, si assiste a un silenzio normativo, ormai preoccupante, in merito alla dimensione ecologica delle acque sotterranee, sebbene sia noto da tempo che esse rappresentino un ecosistema complesso, spesso fortemente interagente con gli ecosistemi superficiali (Gibert *et al.*, 1994). L'acqua sotterranea svolge, infatti, un ruolo di trasporto di materia ed energia tra gli ecosistemi acquatici epigei e quelli ipogei, e costituisce, insieme al substrato geologico, l'habitat vitale di numerosi micro-meio e macro-organismi (Bo-

tosaneanu 1986; Wilkens *et al.*, 2000; Chappelle, 2001), ospitando comunità diversificate, costituite da un numero straordinario di organismi, tra cui dominano Batteri, Protisti, Turbellari, Rotiferi, Nematodi, Anellidi, Molluschi, Crostacei, Acari, Pesci e Anfibii. Gli elementi biologici rivestono un ruolo attivo all'interno degli ecosistemi ipogei, partecipando ai cicli biogeochimici e alla degradazione e riciclo della sostanza organica. Stante l'assenza di luce e, conseguentemente, di organismi fotosintetici, la risorsa trofica disponibile è di origine alloctona (ovvero, proveniente dagli ambienti superficiali sia terrestri sia acquatici), le catene alimentari sono corte e semplificate, e i primi anelli della catena sono costituiti da batteri eterotrofi (più raramente autotrofi). Gli organismi animali che costituiscono le comunità sotterranee rivestono un ruolo fondamentale nel processo di rigenerazione dei sali organici, stimolando la crescita batterica che è basilare per la depurazione delle acque sotterranee dalle sostanze inquinanti, soprattutto di natura organica. D'altro canto, le abbondanze numeriche degli organismi animali in acque sotterranee dipendono non tanto dalla quantità di sostanza organica presente, quanto piuttosto dalle densità delle colonie batteriche, la cui sopravvivenza è fortemente condizionata dall'inquinamento da sostanze tossiche. Pertanto, gli organismi sotterranei sembrano essere molto sensibili allo stress ambientale, sia naturale sia di origine antropica e, per tale ragione, possono rappresentare un efficace dispositivo di controllo della qualità degli acquiferi (Ward *et al.*, 1998; Simon & Benfield, 2001; Boulton *et al.*, 2002). La ricchezza in specie

delle comunità ipogee sembra dipendere sia da fattori storico-geografici, che ecologici, anche a piccolo denominatore di scala (Galassi *et al.*, *in stampa*): le specie stigobionti (specie che compiono l'intero ciclo biologico in acque sotterranee e che ne dipendono per la sopravvivenza) sono spesso filogeneticamente isolate, ed alcune antiche linee filitiche si sono probabilmente stabilite nelle acque sotterranee prima della separazione del Nord America dall'Eurasia, nel tardo Mesozoico o addirittura nel Giurassico, durante la frammentazione della Pangea (Botosaneanu, 1986; Holsinger, 1988; Humpreys, 2000; Galassi, 2001). Il livello di endemismo riscontrabile tra le specie stigobionti è molto elevato, e per tale ragione spesso le specie sono confinate in areali ristretti o a una singola località su scala globale. Come conseguenza delle peculiarità ecologiche che caratterizzano l'ambiente acquatico sotterraneo (assenza di luce, ridotta dimensione degli spazi vitali, scarsità di risorsa trofica), gli organismi stigobionti presentano uno spiccato numero di specializzazioni morfologiche, fisiologiche e comportamentali (Gilbert & Deharveng, 2002): sono depigmentati e anoftalmi/microftalmi, e quindi percepiscono l'ambiente che li circonda mediante strutture sensoriali alternative (chemiocettori, tigmocettori) ed esibiscono una struttura corporea tendente all'elongazione (Fig. 1) che consente loro una maggiore possibilità di movimento negli angusti spazi interstiziali; sono onnivori e longevi, caratterizzati da un metabolismo lento, bassi tassi riproduttivi e scarsa fecondità.

Sebbene la dimensione ecologica delle acque sotterranee sia ormai nota da qualche tempo, solo nel 2001 si presenta la reale possibilità di gettare le prime basi per la formulazione di linee-guida da sottoporre all'UE in merito ai concetti di qualità biologica delle acque sotterranee e della conservazione di habitat sotterranei acquatici di particolare interesse. Il progetto PASCALIS 2001-2004, (*Protocols for the Assessment and Conservation of Aquatic Life In Subsurface* - [www.pascalis-project.com](http://www.pascalis-project.com)), finanziato dall'UE nell'ambito del V Programma di Ricerca e Sviluppo Tecnologico, ha avuto come risultato la formulazione di un primo Piano d'Azio-

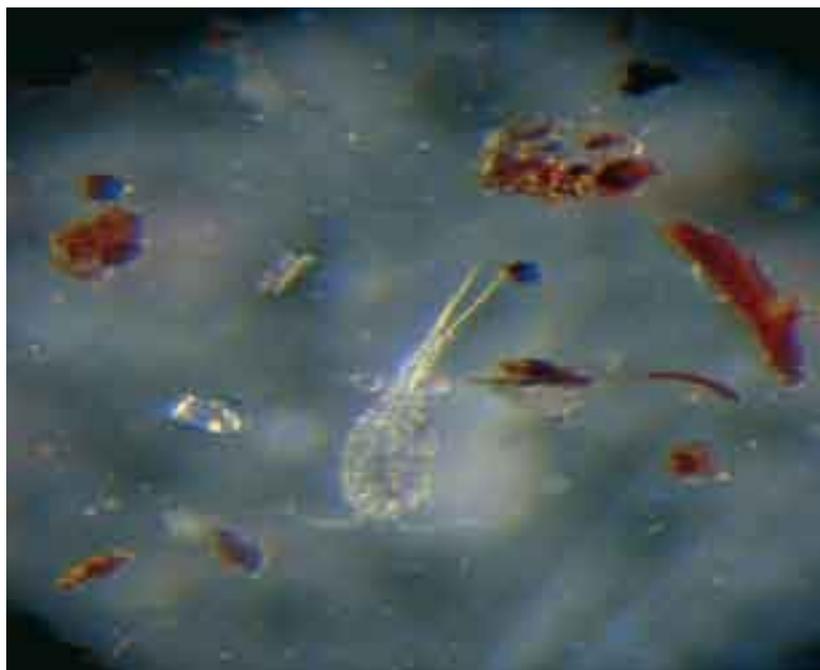


Fig. 1  
Immagini di copepodi stigobionti (*Crustacea Copepoda*). In alto, stereomicroscopia (*Diacyclops italianus*). A sinistra, microscopia elettronica (*Nitrocella pescei*).

ne per la Conservazione della Biodiversità Acquatica Sotterranea, partendo, in primo luogo, dalla ricognizione di un elevato numero di habitat di diversa tipologia e procedendo poi alla valutazione ed identificazione delle specie animali che vivono in questi habitat. Il progetto ha, inoltre, attivato una rete di monitoraggio degli habitat acquatici ipogei su scala europea, includendo nell'analisi 6 regioni disposte lungo un gradiente sud-europeo (la regione carsica del Walloon in Belgio, il Jura Settentrionale e la valle del Têt in Francia, i Picos de Europa in Spagna, i Monti Lessini in Italia ed il Massiccio del Krim in Slovenia). L'Università degli Studi dell'Aquila, rappresentata dal gruppo di ricerca in Stigobiologia del Dipartimento di Scienze Ambientali, è stata coinvolta nel progetto ed ha eseguito la ricognizione della biodiversità acquatica della Lessinia veronese, evidenziando zone ad alto valore biologico. Tuttavia, la dimostrazione dell'esistenza di forme di vita in acque destinate spesso al

consumo umano, scaturita dal progetto PASCALIS, non è riuscita ancora a incidere sugli aspetti legislativi comunitari e, come già menzionato, la GDD 2006/118/CE non fa alcun riferimento alla qualità ecologica delle acque sotterranee.

Sorprendentemente, un'embrionale consapevolezza dell'esistenza della dimensione ecologica delle acque sotterranee si è fatta strada in Italia, prima dell'emanazione della WFD 2000/60/CE. In particolare, il D. Lgs. 152/99 (Allegato 3) già citava le bioce-nosi ipogee in relazione al rilevamento delle caratteristiche dei bacini idrografici ed all'analisi dell'impatto esercitato dall'attività antropica. Benché non ne enfatizzi in alcun modo il potere informativo, l'Allegato 3 del D. Lgs. 152/99 (ripreso integralmente nell'Allegato 3 alla parte III del recente D. Lgs. 152/06) costituisce un importante *punto di repero* normativo, che valorizza l'approccio biologico, inserendolo nel contesto della pianificazione territoriale a scala di bacino idrografico. Sulla base delle conoscenze acquisite in lunghi anni di attività di ricerca e facendo riferimento alla seppur scarsa normativa esistente, il gruppo di ricerca dell'Università dell'Aquila ha definito una serie di protocolli analitici finalizzati alla formulazione di progetti pianificatori sostenibili dell'uso della risorsa idrica sotterranea, ovvero una politica di gestione che salvaguardi non solo la fruibilità a vari scopi delle acque sotterranee, ma anche gli habitat e le specie che costituiscono dei veri e propri *warning systems* di impatto antropico. In tale contesto normativo si inserisce il primo tentativo di formulazione di una metodologia di valutazione del rischio ecologico in acque sotterranee, denominata *GEcoRA* (*Groundwater Ecological Risk Assessment*) (Di Lorenzo, 2006). I dati necessari per la prima formulazione di *GEcoRA* sono stati ottenuti da un'intensa attività di monitoraggio biologico e chimico, e dall'analisi del territorio e delle attività antropiche di 4 bacini idrografici (Bacino di Fumane, Bacino di Valpantena, Bacino dello Squaranto e Bacino dell'Alpone-Tramigna) in Provincia di Verona nell'ambito del progetto PASCALIS. La ricerca ha avuto la finalità di valutare il rischio ecologico dei sistemi acquatici

sotterranei afferenti a tali bacini e di proporre una serie di indicazioni per la gestione sostenibile degli stessi, basate sul livello di rischio ecologico.

## L'INTERFACCIA TRA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E RICERCA SCIENTIFICA: IL GEMELLAGGIO ADB ADIGE-UNIVAQ

La *joint venture* tra l'Autorità di Bacino dell'Adige (AdB Adige) e l'Università dell'Aquila (UNIVAQ) ha consentito l'estensione della metodologia *GEcoRA* al bacino dell'Adige, quale strumento d'integrazione e implementazione per un'adeguata pianificazione delle acque sotterranee di un settore del bacino. Il progetto dal titolo: "*GEcoRA in acque sotterranee profonde nel bacino del fiume Adige*", realizzato in collaborazione con APPA Trento, si inserisce a pieno titolo nelle specifiche pianificatorie indicate nella Parte III del D. Lgs. 152/06. Nell'ambito di tale progetto sono stati identificati 66 punti di prelievo (pozzi), sulla base delle informazioni scaturite dai data-base del catasto pozzi dell'Autorità di Bacino dell'Adige, della Trentino Servizi, del Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento, dell'Istituto Agrario di San Michele all'Adige e del Consorzio Atesino di Bonifica di Trento. Il criterio di selezione dei siti ha avuto la finalità di creare una maglia, quanto più omogenea, di punti di campionamento sull'intera area d'indagine, corrispondente alla fascia di piana alluvionale che va da Gardolo a Mezzocorona (Fig. 2). Il campionamento chimico-fisico, biologico e quantitativo, è stato articolato in due serie di replicati temporali: la prima campagna di raccolta è stata eseguita nella primavera 2006 e la seconda nell'autunno dello stesso anno, rispettivamente all'inizio e alla fine della stagione agricola. La rete di monitoraggio ha, inoltre, preso in considerazione la tipologia degli usi (domestico, agricolo, industriale) delle acque nei singoli punti di prelievo, al fine di valutare l'influenza delle differenti esigenze di captazione ed emungimento sulla qualità ecologica dei settori di acquifero indagato. La qualità ecologica è stata stima-

ta in base all'integrazione della qualità chimico-fisica e biologica dei siti monitorati: in primo luogo, si è valutata la classe di qualità chimico-fisica, che è stata attribuita secondo quanto riportato nel testo normativo (ovvero valutando la concordanza dei valori medi dei parametri chimico-fisici con i valori soglia), quindi è stata stimata la qualità biologica applicando un indice europeo definito CV (*Conservation Value*), già largamente usato in altri studi ecologici (Stoch *et al.*, 2004). I siti pregevoli dal punto di vista biologico e chimico-fisico sono stati eletti quali SIE (*Siti di Importanza Ecologica*) e segnalati in ottemperanza all'articolo 117 del D. Lgs. 152/06 (*Aree designate per la protezione degli habitat e delle specie*).

## RISULTATI

### *Caratterizzazione idrogeologica*

La porzione di valle dell'Adige che va da Mezzolombardo a Mattarello è caratterizzata dalla presenza di un acquifero multistrato dato da sabbie con ghiaia, con interposti livelli sabbioso-limosi aventi funzione di aquitard. Lo spessore e la continuità di questi aumentano con il crescere della profondità, mentre diminuisce la presenza degli orizzonti ghiaioso-sabbiosi. L'acquifero atesino può essere definito semiconfinato con uno spessore variabile fino ai 50 m. In corrispondenza dello sbocco nella valle principale degli affluenti in sinistra e destra idrografica, l'acquifero è interdigitato con gli acquiferi di conoide del Noce, Avisio, Fersina e Gola (Fuganti *et al.* 2005). La prima falda è alquanto superficiale e il tetto è più profondo solo nella parte alta del conoide del torrente Avisio con spessori che si aggirano intorno ai 20 metri. La copertura si riduce gradualmente man mano che il conoide si apre sulla piana dell'Adige, raggiungendo, nei punti misurati a ridosso del fiume, i 6-7 m. Analogamente al conoide dell'Avisio, la falda è più profonda anche nella zona tra Mezzolombardo e Mezzocorona, sul conoide del fiume Noce. Qui la copertura è ridotta a causa dei notevoli rimaneggiamenti effettuati nel corso del XIX secolo per deviare il corso del Noce e permettere la costruzione della linea ferroviaria, lo sviluppo urbanistico, viario, agricolo e industriale. La pro-

fondità massima della falda misurata nella Piana Rotaliana è pari a 17,25 m con valori che degradano rapidamente fino all'abitato di Grumo. In mezzo alla Piana, la profondità della falda varia tra 1 e 2,5 m, con minimi sotto ai 100 cm nel settore antistante l'abitato di Nave San Rocco. Fanno naturalmente eccezione i punti di campionamento immediatamente a ridosso dei rilievi che bordano la piana alluvionale, dislocati quindi sopra i depositi detritici di versante.

### *Caratterizzazione chimico-fisica*

La classe chimico-fisica è stata attribuita in base alla procedura definita nel D.Lgs. 152/06 ovvero verificando la conformità della media dei valori registrati nelle due diverse campagne così come indicato al punto B.4.5. dell'allegato 1 alla parte III del D.Lgs. 152/06 (i valori soglia di confronto sono quelli della tabella 19 dell'ex D.Lgs. 152/99). Dei 66 siti monitorati, 55 sono risultati in I-II classe (Elevata - Buona), 8 in III (Sufficiente) e i restanti 3 in IV (Mediocre). I 3 siti in IV classe presentano una leggera contaminazione da fitofarmaci mentre quelli in III presentano concentrazioni di ammonio > 0,05 mg/l. Si tratta tuttavia di pozzi dislocati nella zona di Nave S. Rocco, caratterizzati da un aquiclude con elementi di torbiera. Le concentrazioni rilevate non sono quindi imputabili ad impatto antropico quanto piuttosto alle caratteristiche naturali dell'aquiclude.

I 66 siti monitorati con due prelievi a cadenza semestrale presentano una concentrazione media di nitrati (mediata sulle due campagne) inferiore ai 50 mg/l. Come tale, benché l'attività prevalente nell'area di studio sia di tipo agricolo, il comprensorio indagato non è eleggibile quale zona vulnerabile ai nitrati di origine agricola ai sensi del D.Lgs. 152/06.

Tutta l'area indagata è interessata da attività agricola e come tale suscettibile di inquinamento da fitofarmaci. Il livello di vulnerazione è stato definito confrontando le concentrazioni dei principi attivi rilevati con i valori limite indicati nell'allegato V alla parte quarta del D.Lgs. 152/06 e con quelli più restrittivi indicati nell'Allegato 1 alla direttiva 2006/118/CE. In quest'ultima, i valori

limite per le "sostanze attive nei pesticidi [intesi quali prodotti fitosanitari e biocidi], compresi i loro pertinenti metabolici, prodotti di degradazione e di reazione sono fissati a 0,1 µg/l per i singoli principi attivi e 0,5 µg/l per la somma di tutti i pesticidi individuati e quantificati nella procedura di monitoraggio". In relazione alla normativa di cui sopra, 3 siti presentano concentrazioni di fitofarmaci superiori a quanto indicato, nello specifico GEC006, GEC032 e GEC019. I principi attivi rilevati in concentrazioni superiori a quelle fissate dalla normativa sono 6: simazina, endosulfan solfato, oxadixil, metadixil, iprodion e penconazolo.

#### Caratterizzazione biologica

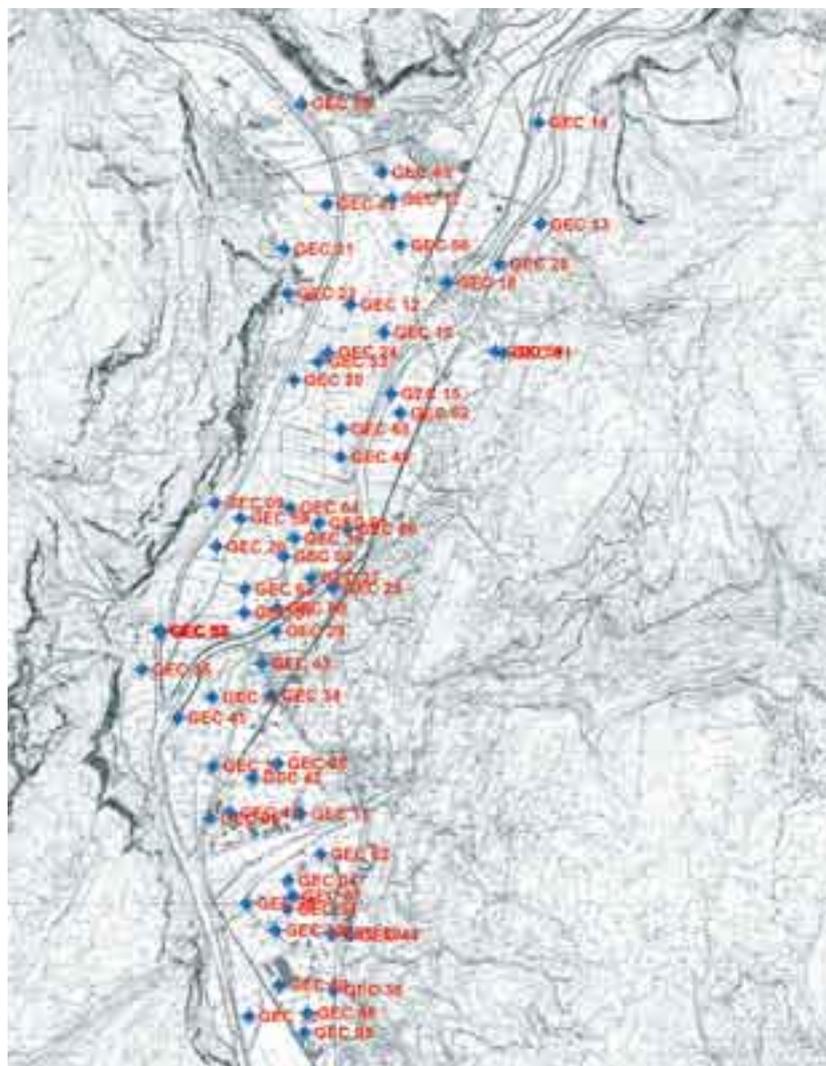
In entrambe le campagne di monitoraggio il taxon Crustacea Copepoda ha rappresentato quasi il 95% della biocenosi campionata. Tale gruppo tassonomico è stato quindi eletto quale gruppo di riferimento (o gruppo fo-

cale *sensu* Hammond, 1995): le analisi statistiche, la selezione dei SIB (Siti di Interesse Biologico) e dei SIE (Siti di Interesse Ecologico), necessari per ottemperare all'articolo 117 del D.L. 152/06, sono state realizzate sui dati concernenti il solo gruppo focale e per inferenza, estese a tutta la biocenosi sotterranea, con un livello di confidenza del 5%. Nella campagna di maggio, ad inizio stagione agricola, sono state raccolte complessivamente 16 specie di copepodi, di cui 9 stigobionti, 2 stigofile e 5 stigossene. Nella campagna di ottobre, a fine stagione agricola, sono state rinvenute 17 specie, di cui 6 stigobionti, 2 stigofile e 9 stigossene. Non sono state rinvenute specie endemiche nell'area in esame. Il valore della ricchezza specifica (RS) è stato confrontato con quello misurato negli acquiferi della Lessinia veronese. Tale comprensorio territoriale funge da area di riferimento per analisi comparative della composizione delle comunità sotterranee nel territorio italiano (De Broyer *et al.*, 2004; Michel *et al.*, in press). Negli acquiferi della Lessinia sono state rinvenute 12 specie di copepodi stigobionti (Di Lorenzo, 2006), ovvero 3 in più rispetto agli acquiferi indagati. Tuttavia l'area indagata in Lessinia è pari a circa 400 km<sup>2</sup>, ben più ampia di quella investigata nella provincia di Trento, che si aggira intorno ai 40 km<sup>2</sup>. Per unità di superficie esaminata, la densità specifica è quindi più elevata a Trento, qualificando la Piana dell'Adige trentina quale sito ad elevato livello di stigodiversità.

#### Vulnerabilità intrinseca integrata bio-idrogeologica

Il territorio compreso tra gli abitati di Lavis e Zambana si sviluppa sul conoide del torrente Avisio, costituito prevalentemente da sabbie e ghiaie con elevati valori di permeabilità. La profondità della falda varia da 20 m nella parte alta del conoide a meno di 5 m nella porzione prossimale al fiume Adige. Pur presentando una copertura molto permeabile, lo spessore dei sedimenti nella fascia più elevata del conoide conferisce alla falda sottostante un certo grado di protezione. Man mano che si procede verso l'Adige lo spessore della copertura diminuisce progressivamente e con esso il fattore di pro-

Fig. 2  
Area di studio  
e posizione  
dei pozzi monitorati.



tezione della falda. Aumenta quindi il grado di vulnerabilità che passa da "Elevato" ad "Estremamente elevato" nelle ultime propaggini del conoide in cui la falda è prossima al piano campagna. Fa eccezione la porzione sud (località Roncafort) in cui il grado di vulnerabilità torna a "Elevato" per una copertura costituita essenzialmente da limi e sabbie intercalate. Nella zona di Zambana Nuova, la protezione della falda è piuttosto scarsa con una tessitura dei terreni composta prevalentemente da ghiaie e sabbie e ghiaie intercalate. Pertanto il grado di vulnerabilità va da "Elevato" ad "Estremamente elevato". "Elevato" è anche il grado di vulnerabilità nell'area della confluenza tra Adige e Noce. Qui la falda soggiace sotto una copertura di sabbie e limi intercalati. L'acquifero della porzione mediana della piana dell'Adige investigata presenta due livelli di vulnerabilità. Nella fascia direttamente a contatto del fiume Adige, tra le ultime propaggini dei conoidi del Noce a nord e dell'Avisio a sud, la falda è protetta da sabbie e sabbie e limi intercalati di uno spessore variabile, mediamente inferiore ai 5 m. La presenza di materiali fini fa propendere la scelta per un grado di vulnerabilità "Elevato", mentre la sola presenza di sabbie porta la vulnerabilità al grado di "Estremamente elevato". L'acquifero dell'area compresa invece tra il Noce e l'Adige è protetto da limi e limi e argille. Sebbene tali litotipi conferiscano il massimo grado di protezione della falda, la scarsa soggiacenza della stessa (prossima al piano di campagna in certi punti) non consente di scendere al di sotto del livello "Medio" di vulnerabilità. Il settore compreso tra l'abitato di Mezzolombardo e Mezzocorona è caratterizzato da depositi grossolani costituiti da sabbie e ghiaie intercalate con spessori variabili. La soggiacenza della falda dal piano di campagna supera i 10 m, profondità che fa assegnare all'area un grado di vulnerabilità "Alto". Procedendo nella piana in direzione sud-est, la profondità della falda si riduce progressivamente al di sotto dei 10 m. La copertura è sempre costituita da depositi grossolani altamente permeabili che innalzano il livello di vulnerabilità ad "Elevato". Nel settore di Grumo - San Michele e nelle ultime propaggini del co-

noide del Noce in direzione sud, la protezione della falda è decisamente scarsa. La profondità della stessa dal piano di campagna è ridotta a meno di 5 m (anche a 2 m in taluni punti) e i litotipi che vi si rinvencono sono anche qui ghiaie e ghiaie e sabbie intercalate. Tale tipologia e lo spessore del tetto della falda alzano il rischio al grado più alto: "Estremamente elevato".

L'analisi della componente stigossena negli assemblaggi biocenotici di habitat acquatici sotterranei è attualmente ritenuta un potente strumento informativo del grado di connessione di tali ambienti con quelli acquatici di superficie (Malard *et al.*, 1996a,b; Danielopol *et al.*, 1997; Bruno *et al.*, 2003; Di Lorenzo *et al.*, 2003a,b). La fauna stigossena gioca il ruolo di indicatore di scambi idrici attivi tra i due ecosistemi (AED - *Active Exchange Describers sensu* Lafont *et al.*, 1992). Intesi in tal senso, gli stigosseni hanno fornito informazioni utili per la valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi a scala di sito, essendo questa legata soprattutto alla presenza, dimensione e densità di vie di infiltrazione efficace. Per questo motivo l'informazione biologica è stata integrata con quella idrogeologica: il valore della vulnerabilità intrinseca delle porzioni di acquifero nell'intorno di tutti i pozzi è stato corretto dell'informazione biologica, portando i valori stimati al livello immediatamente superiore nei casi in cui siano stati rinvenuti copepodi stigosseni nei siti campionati. Copepodi stigosseni sono stati rinvenuti in 19 pozzi e, in base a quanto descritto precedentemente, la vulnerabilità intrinseca idrogeologica degli acquiferi di pertinenza è stata elevata alla classe direttamente superiore.

#### *Selezione dei SIE*

I SIE (Siti di Interesse Ecologico) sono siti sotterranei caratterizzati da un'elevata qualità biologica (SIB = Sito di Interesse Biologico) e chimico-fisica. In questa fase progettuale, è stato utilizzato un protocollo di individuazione di siti di acque sotterranee di interesse ecologico formalizzato presso il Laboratorio di Stigobiologia dell'Università dell'Aquila, sulla base di criteri stabiliti da Stoch *et al.* (2004). L'individuazione dei SIB è stata condotta calcolando un indice ideato

durante il progetto PASCALIS (*Protocols for the Assessment and Conservation of Aquatic Life in Subsurface* - [www.pascalis-project.com](http://www.pascalis-project.com)) e definito Valore di Conservazione (CV - *Conservation Value*). Nell'area indagata, i valori di CV variano da 0 a 11,39. A livello sito-specifico, il valore massimo è superiore a quello rilevato in acquiferi della stessa tipologia strutturale nella Lessinia veronese, dove  $CV_{max} = 10,17$ , calcolato sul taxon Copepoda (Di Lorenzo, 2006). Tuttavia, il CV dell'intero acquifero provinciale (inteso come somma dei CV di ogni sito) risulta inferiore a quello registrato in Lessinia (20,21 contro 31,49). In entrambi i casi, le differenze, dovute più all'assenza di endemiti stretti che ad una bassa ricchezza specifica, sono imputabili a fattori come la paleogeografia delle aree a confronto o la diversa pressione antropica che non alla dimensione delle aree indagate o allo sforzo di campionamento che sono del tutto comparabili (Di Lorenzo, 2006; Galassi *et al.*, in stampa). Sedici pozzi sono caratterizzati da un CV pari a 0 (siti completamente azoici), sette dei quali si concentrano a Nave S. Rocco. Siti con valori di CV diversi dallo zero si collocano quasi uniformemente su tutta l'area di indagine. Particolarmente degni di menzione sono gli acquiferi nel comprensorio di Mezzocorona,

caratterizzati da valori di  $CV > 6$  e candidati, pertanto, ad essere eletti siti di interesse biologico (SIB). La selezione dei siti prioritari in termini di conservazione è stata realizzata applicando il Principio di Complementarità, così come definito da Justus & Sarkar (2002). Sono stati così individuati 5 SIB. Tutti i SIB selezionati presentano una classe chimica di qualità pari alla I o alla II (la classe di qualità è stata individuata secondo i criteri illustrati nel paragrafo "Caratterizzazione chimico-fisica"), ad esclusione del sito GEC064, che pertanto non è eleggibile quale SIE. Il sito è stato sostituito con il GEC020, che ha un valore di CV più basso, ma ospita la specie *Diacyclops maggii*, assente in tutti gli altri siti. Per le condizioni biologiche e chimiche, il sito GEC020 rispetta il principio di complementarità ed è pertanto eleggibile quale quinto SIE. I cinque SIE, che costituiranno un primo elenco di aree prioritarie ai sensi dell'articolo 117 del D.L. 152/06, sono, quindi, i pozzi GEC020, GEC056, GEC024 rispettivamente localizzati a Nogarole, Mezzocorona, Mezzolombardo e GEC065 e GEC003 a Nave S. Rocco.

#### *Il GEcoRischio negli acquiferi della Piana dell'Adige*

Per ognuno dei siti-pozzi campionati si è successivamente proceduto alla valutazione del rischio ecologico in acque sotterranee sviluppata nel Laboratorio di Stigibiologia dell'Università dell'Aquila (Di Lorenzo, 2006). Tale procedura innovativa è definita *GEcoRA (Groundwater Ecological Risk Assessment)*. *GEcoRA* consiste in un'analisi del rischio ecologico, mediante la valutazione delle pressioni esercitate alla superficie degli acquiferi, della vulnerabilità intrinseca degli stessi e del danno potenziale agente sulla componente biologica degli ecosistemi acquatici sotterranei. Il rischio è stato formalizzato in termini matematici nella seguente equazione:

$$R = P \times V \times D$$

dove:

R = Rischio ecologico ovvero il rischio di perdita potenziale della funzionalità ecologica, intesa come capacità del sistema idrico sot-



Fig. 3  
Valori del GEcoRischio:  
GEcoRischio Basso = BLU;  
GEcoRischio Medio = VERDE;  
GEcoRischio Alto = GIALLO;  
GEcoRischio Elevato = ARANCIO.

terraneo a supportare una fauna autoctona diversificata e come potenzialità allo sfruttamento a fini agricoli, potabili, industriali, etc.;

P = Probabilità di accadimento dell'evento impattante;

V = Vulnerabilità intrinseca dell'acquifero;

D = Danno ecologico potenziale.

Per ognuno dei 66 siti (pozzi) indagati, si è proceduto al calcolo di P (Probabilità di accadimento dell'evento impattante) verificando la presenza assenza dei CDP (Centri Di Pericolo) insistenti nell'intorno dei pozzi. Nello specifico sono stati presi in considerazione: gli agglomerati urbani ed industriali, gli scarichi civili ed industriali, i cimiteri, gli allevamenti zootecnici, i depositi interrati di carburante, le aree agricole, le zone estrattive e le discariche. Se si esclude il sito GEC057, localizzato a Roverè della Luna e caratterizzato da rischio "Medio", tutti i pozzi collocati nel settore di piana che comprende Mezzocorona, Mezzolombardo, San Michele all'Adige e Grumo sono caratterizzati da rischio Alto. Esso decresce nella zona di Nave S. Rocco (Basso) per incrementare di nuovo presso Zambana e Lavis, ove raggiunge valore di "Elevato" per poi scendere di nuovo ad "Alto" a valle di Gardolo. I centri di pericolo che si riscontrano nel settore di piana che va da Mezzocorona a Mezzolombardo, soggetto ad un GEcoRischio "Alto", sono molteplici e di diversa natura; sono presenti quelli relativi ai centri abitati, alle zone industriali, alla viabilità, quelli legati all'agricoltura (essenzialmente vite e melo) e in sporadici casi, all'allevamento bovino. Nel settore di Grumo - San Michele (GEcoRischio "Alto") e nelle ultime propaggini del conoide del Noce in direzione sud, i CDP presenti sono legati quasi esclusivamente allo sviluppo viario e a fenomeni insediativi per la presenza dell'autostrada, della rete ferroviaria e di una ben articolata struttura urbana con un tessuto industriale in rapida crescita. Nelle zone mediane della piana, antistanti gli abitati, la coltivazione della vite e del melo costituiscono i principali centri di pericolo dell'acquifero della piana dell'Adige. Nell'area di Nave S. Rocco, a GEcoRischio "Basso", i CDP rilevati sono essenzialmente col-

legati all'attività agricola mentre assai scarsamente rappresentati sono i CDP legati ai complessi industriali e agli agglomerati urbani. In questo settore della Piana, il GEcoRischio assume valori bassi, pur essendo "Elevata" o "Estremamente elevata" la vulnerabilità intrinseca. Le numerose attività produttive industriali di diversa natura, la fitta rete viaria e la struttura insediativa ben sviluppata costituiscono dei centri di pericolo rilevanti per gli acquiferi sottostanti gli abitati di Zambana e Lavis. Proprio a Zambana Vecchia è presente l'unica fossa Imhoff insistente sul settore di piana esaminato. Tale forte pressione antropica associata a livelli di vulnerabilità "Elevata" ed "Estremamente elevata" sottopongono tale settore ad un GEcoRischio Elevato. Da Gardolo fino a Madonna Bianca prevalgono i CDP di tipo urbano ed industriale, con forte densità di depositi di carburante, mentre sono molto ridotti i CDP legati all'attività agricola e zootecnica. Il GEcoRischio associato a tali zone è comunque "Alto". È stato realizzato il confronto con il GEcoRischio calcolato nell'area di riferimento per l'Italia, la Lessinia veronese, in cui, relativamente alle aree individuate dal criterio temporale, un quarto dei siti (su un totale di 77 pozzi) ricadeva nella fascia di GEcoR "Basso" ( $0 \leq \text{GEcoR} \leq 0,20$ ), due quarti in quella di GEcoR "Medio" ( $0,21 \leq \text{GEcoR} \leq 0,40$ ) e il restante quarto in GEcoR "Alto" ( $0,41 \leq \text{GEcoR} \leq 0,60$ ). Dall'analisi effettuata, i siti indagati non risultavano soggetti ad un GEcoR "Elevato" o "Estremamente Elevato". Tale condizione è in linea con la dislocazione dei siti indagati che sono collocati nelle campagne veronesi ad una certa distanza dal grande centro urbano di Verona.

#### *Minimizzazione del GEcoRischio*

In base ai risultati ottenuti è stato pertanto possibile distinguere 4 fasce di GEcoRischio (Fig. 3). Una zona a GEcoR "Basso" è localizzata in prossimità di Nave S. Rocco mentre due macroaree caratterizzate da un GEcoRischio "Alto" corrispondono rispettivamente al settore di Piana che va da Mezzolombardo-Mezzocorona fino agli abitati di Grumo e San Michele all'Adige, comprensivo della parte di Piana antistante gli abitati (Piana

Rotaliana), e al settore di Piana compreso tra Gardolo e Madonna Bianca. Le vocazioni territoriali delle due macroaree sono diverse: nella prima sono prevalenti le attività legate all'agricoltura, nella seconda, quelle urbane-industriali. La macroarea soggetta ad un GEcoRischio "Elevato" è quella del settore che va da Zambana a Lavis.

In accordo con De Broyer *et al.* (2004), la gestione e la pianificazione delle fasce territoriali dovrebbero differenziarsi in funzione del livello di rischio riscontrato e dell'effettiva vulnerazione, o impatto, rilevato. In generale, l'uso del territorio e le attività antropiche condotte nelle zone a rischio "Medio-Basso" sono ritenuti compatibili con la sopravvivenza dello stigobiota e non alteranti l'integrità ecologica, fermo restando che sarebbe auspicabile eseguire, per ogni modifica dell'uso del territorio, una valutazione della potenziale variazione del GEcoR. Nel caso di zone soggette ad un GEcoR "Alto-Elevato", l'approccio gestionale dovrebbe mirare alla mitigazione delle pressioni ritenute particolarmente pericolose, mentre nel caso di GEcoR "Estremamente Elevato" la pianificazione dovrebbe essere finalizzata ad una riduzione delle pressioni antropiche esercitate sul territorio. Le attività di mitigazione delle pressioni antropiche andrebbero concertate e calate nelle realtà sito - specifiche previa analisi costi-benefici mentre quelle di riduzione non riguardano la realtà dell'area indagata che è risultata non soggetta ad un livello di GEcoR "Estremamente Elevato".

### RINGRAZIAMENTI

Si desidera in questa sede ringraziare tutte le persone e gli Enti che, attraverso il loro supporto logistico, strumentale e interpretativo, hanno reso possibile l'attuazione del progetto. Un particolare ringraziamento va ai Dr. Michele Lorenzin, Dr.ssa Chiara Defrancesco e Dr.ssa Alessia Fuganti (APPA Trento). Si ringraziano inoltre il Dr. Ernesto Santuliana del Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento, il Dr. Ing. Franco Zanuso dell'Autorità di Bacino dell'Adige, il Consorzio Atesino di Bonifica di Trento, l'Istituto di S. Michele all'Adige e tutti i privati che hanno gentilmente messo a disposizione i loro pozzi ai fini del campionamento.

### BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale. (GU n. 88 del 14-4-2006- Suppl. Ordinario n. 96).

Di Lorenzo T. (2006) Valutazione del rischio ecologico in ambienti idrici sotterranei: applicazione agli acquiferi saturi della Lessinia veronese (Verona - Italia). Tesi di Dottorato, Università degli Studi di L'Aquila, 107 pp.

European Community (2000) Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 - Establishing framework for community action in the field of water policy. *OJL*, 327: 1-7.

European Community (2006) Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 - On the protection of groundwater against pollution and deterioration. *OJL*, L. 372/19.

Galassi D.M.P., Huys R. & J.W. Reid (2007) What lies beneath: Copepoda, groundwater diversity and the surrogacy hypothesis. *Freshwater Biology* (in stampa).

Gibert J., Stanford J.A., Dole-Olivier M.J., Ward J.V. (1994) Basic Attributes of Groundwater Ecosystems and Prospects for Research. In: Gibert J., Danielopol D.L., Stanford J.A. (eds.), *Groundwater Ecology*, Academic Press San Diego: 7-40.

Stoch F., Malard F., Castellarini F., Dole-Olivier M.J. (2004) PASCALIS D8 Deliverable for workpackage 7: statistical analysis and identification of indicators. <http://www.pascalis-project.com>.