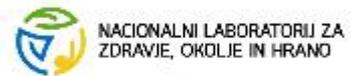


Programma per la Cooperazione Transfrontaliera Italia-Slovenia  
2007-2013

## Progetto GEP



### WP6

## LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELLE FONTI D'ACQUA CARSIICHE

a cura di Janja Kogovšek, Metka Petrič (IZRK ZRC SAZU)



*Progetto GEP finanziato nell'ambito del Programma per la Cooperazione Transfrontaliera Italia-Slovenia 2007-2013, dal Fondo europeo di sviluppo regionale e dai fondi nazionali.  
Projekt GEP Sofinanciran v okviru Programa čezmejnega sodelovanja Slovenija-Italija 2007-2013 iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj in nacionalnih sredstev*



Ministero dell'Economia  
e delle Finanze



REPUBLIKA SLOVENIJA  
SLUŽBA VLADE REPUBLIKE SLOVENIJE ZA RAZVOJ  
IN EVROPSKO KOHEZIJSKO POLITIKO



2007-2013  
cooperazione territoriale europea  
programma per la cooperazione  
transfrontaliera  
Italia-Slovenia  
evropsko teritorialno sodelovanje  
program Čezmejnega sodelovanja  
Slovenija-Italija



Progetto cofinanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale  
Projekt sofinancira Evropski sklad za regionalni razvoj

## 1. LINEE GUIDA

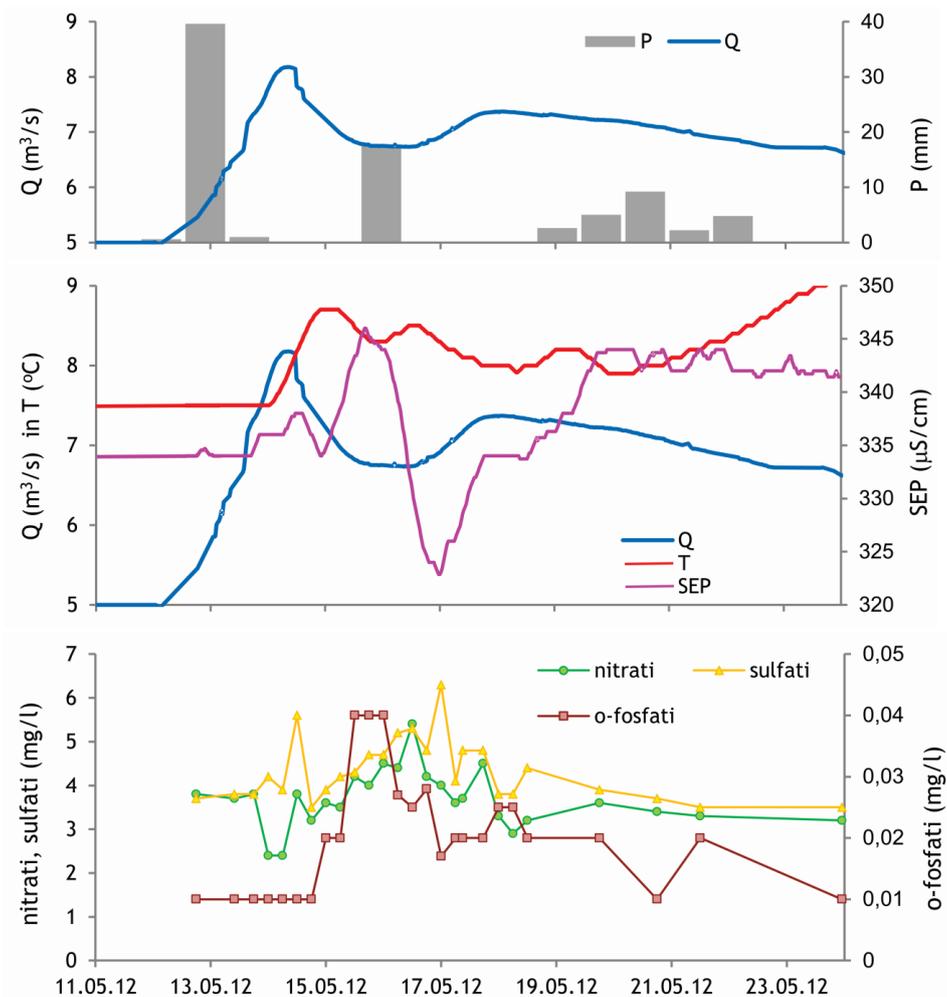
Le caratteristiche organolettiche delle fonti carsiche variano notevolmente nelle diverse condizioni idrologiche (morbida, piena, magra,...) e quindi nel programmare il monitoraggio della qualità delle acque in funzione preventiva delle contaminazioni, è necessario tenere conto del regime idrologico pregresso. Volendo riassumere l'intero spettro dello stato di qualità (i valori massimi e minimi degli elementi contaminanti), il monitoraggio va svolto in condizioni idrologiche differenti. Numerose ricerche eseguite (Kogovšek & Pipan, 2008a, 2008b; Kogovšek & Petrič, 2008) dimostrano che durante le piene che avvengono dopo un lungo periodo di siccità (sia in fase di aumento delle portate che in fase di decremento) è più semplice rilevare la presenza di sostanze contaminanti. Nel caso di precipitazioni intense è necessario campionare con continuità all'inizio della piena, nella fase di aumento, dopo il culmine di deflusso e al ritorno nelle condizioni di deflusso di partenza. Le variazioni in concentrazione delle sostanze cambiano molto velocemente durante le piene e perciò bisogna iniziare a campionare all'inizio delle precipitazioni per poi continuare il monitoraggio ad intervalli di 2-3 ore. È importante prendere più campioni durante il montare della piena in quanto in questo periodo, di solito, i cambiamenti del chimismo sono maggiori. Il monitoraggio della qualità delle fonti d'acqua carsiche, allora, è collegato direttamente alla dinamica del flusso idrico.

Le ricerche eseguite fino ad oggi hanno dimostrato che il trasporto delle sostanze inquinanti è significativo solamente in occasione di precipitazioni molto forti, perché queste comportano notevoli portate in uscita dalle sorgenti carsiche. Per pianificare quando e quanto campionare, si deve valutare preventivamente il regime delle precipitazioni e stabilire le condizioni al contorno necessarie al monitoraggio. La credibilità e la validità della valutazione dipendono dalla conoscenza del funzionamento del sistema carsico. Questa è sufficientemente completa solo nel caso che vi siano conoscenze scientifiche interdisciplinari pregresse.

Per pianificare il monitoraggio della qualità delle acque è necessario acquisire i dati sui deflussi nel tempo idrologico (almeno due anni) o almeno quelli sui livelli misurati su stramazzi o sezioni attrezzate. Contemporaneamente è molto utile misurare la temperatura e la conduttività elettrica delle acque, perché le variazioni nel tempo di questi parametri ci aiutano a definire il regime delle acque, il passaggio delle acque residenti e l'arrivo di quelle di neoinfiltrazione (che sono quelle che trasportano il contaminante), i caratteri di carsificazione dell'acquifero. Solo in base a questi dati è possibile interpretare i risultati delle analisi svolte. Le misurazioni dei parametri fisici descritti si possono eseguire senza grandi difficoltà e la strumentazione di misura e le attrezzature per la messa in posto sono relativamente economiche.

I punti di campionamento nei territori carsici sono di diverso tipo. Generalmente il monitoraggio della qualità si esegue nelle sorgenti carsiche. Tuttavia spesso molto importanti, se non essenziali, sono anche punti acqua di osservazione posti a notevoli distanze dalle sorgenti. Sono proprio le cavità carsiche che intercettando la falda profonda ci danno la possibilità di ottenere informazioni utili e in tempo. Purtroppo le difficoltà di accesso alle acque fluenti ipogee rendono oneroso il monitoraggio, possibile solamente con la messa in posto di stazioni di complessa manutenzione e per le quali è indispensabile personale qualificato. Gli esperti nel campo della qualità delle acque non sono in genere specializzati per scendere nelle profonde grotte carsiche.

L'unica soluzione che si offre è la collaborazione con gli speleologi della zona. Negli acquiferi intergranulari la terebrazione di fori consente di ottenere facilmente dati sulle caratteristiche delle acque, ma ciò non vale per gli acquiferi carsici, nei quali la circolazione delle acque è disomogenea e non univocamente prevedibile. Molto spesso i fori attrezzati a piezometro sono troppo poco rappresentativi per la descrizione dello stato della qualità delle acque di fondo utilizzate come risorsa idropotabile.



**Immagine 1:** Andamento di precipitazioni (P), portata (Q), temperatura (T) e conduttività elettrica (EC) e risultati di analisi chimiche su campioni testati. Si evidenzia il tipico variare dei parametri nelle diverse condizioni idrologiche.

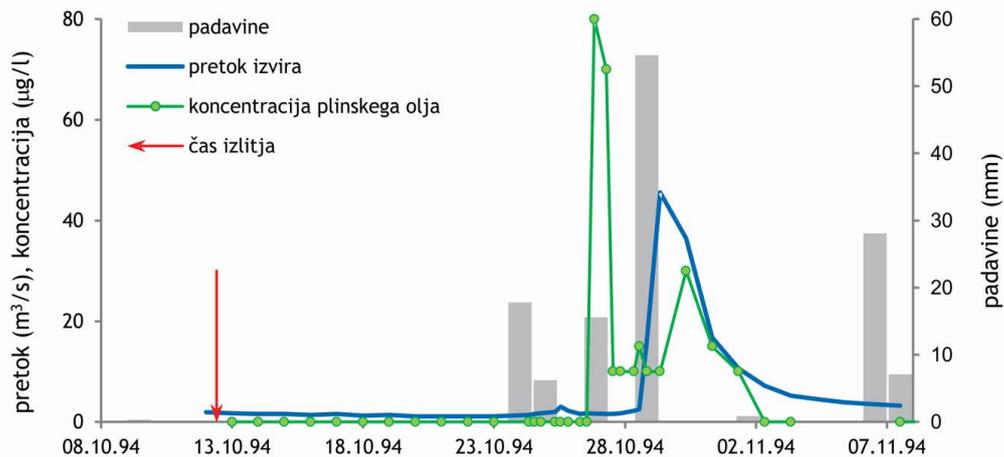
## 2. MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DI FONTI D'ACQUA CARSICHE NEI CASI DI EMERGENZA

Le linee guida generali qui descritte sono da seguire anche in eventi di emergenza, ma vanno adattate al fatto che in questi casi, si parla in genere di un episodio di inquinamento noto sia come punto di iniezione, sia come sostanza contaminante, sia come quantità sversata. Episodio che avviene in una idro struttura di cui si conoscono le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e idrodinamiche.

La diffusione delle sostanze, le direzioni di deflusso sotterraneo, le modalità di inquinamento dipendono soprattutto dalle caratteristiche idrogeologiche del territorio. Le direzioni e le caratteristiche del flusso dell'acqua e del trasporto di sostanze inquinanti si possono valutare solo in base alle ricerche idrogeologiche precedentemente svolte. I dati essenziali a grandi linee si trovano generalmente in letteratura. È necessaria tuttavia la collaborazione degli idrogeologi, per migliorare la certezza delle previsioni sulle modalità di diffusione e sul tempo di inquinamento nelle fonti di acqua interessate. Sono naturalmente di aiuto per reagire e intervenire nel modo più efficace, anche le esperienze pregresse su eventi di emergenza del passato (Drew & Hözl, 1999; Knez et al., 2011).

Sulle modalità di trasferimento degli inquinanti negli acquiferi carsici influiscono notevolmente anche le condizioni idrogeologiche. Durante i periodi di siccità, il percolò in profondità dei

contaminanti è solitamente molto veloce, vista l'alta permeabilità dell'insaturo, ma giocano un ruolo fondamentale gli orizzonti meno permeabili dove gli inquinanti si accumulano. Sono però decisivi i ruoli dello stato idrologico pregresso della zona vadosa e la sua locale permeabilità complessiva. Diverso è infatti il fluire verso il livello di base in funzione sia del gradiente idraulico delle acque sia dell'ampiezza dei vani allagati e della loro continuità, che favoriscono il veloce spostamento verso i punti sorgentizi. Se, invece, la traduzione in profondità dell'inquinamento si svolge in modo disperso e meno intensivo è più facile che ci siano immagazzinamenti e lenti fluenti verso le sorgenti. Solo le precipitazioni intense durante o dopo l'incidente (anche dopo più mesi) spingono le acque contaminate verso le fonti. Quando, la zona vadosa, a causa di precedenti precipitazioni è saturata, il trasporto dell'inquinante verso le sorgenti procede velocemente.



**Immagine 2:** A seguito di un incidente stradale avvenuto il 12 ottobre 1994 si è avuto uno sversamento di 16 m<sup>3</sup> di gasolio. Il monitoraggio è inizialmente avvenuto una volta al giorno e, dopo le precipitazioni del 24 ottobre tre volte al giorno. Dopo un iniziale calo della concentrazione di gasolio avvenuto il 29 ottobre si è avuta una seconda ondata di contaminazione che non è stata seguita appieno perché era diminuita la frequenza dei campionamenti. È quindi opportuno continuare i campionamenti frequenti ben dopo i primi picchi. Durante il periodo di osservazione attraverso la sorgente è passato solamente il 0.5% del gasolio sversato.

## 2.1 Acquisizione di dati in casi di eventi straordinari

Per la valutazione della vulnerabilità di una sorgente carsica in caso di inquinamenti accidentali è preliminarmente necessario acquisire i dati essenziali sull'incidente e sulle condizioni idrauliche dell'acquifero.

Si devono definire:

- **La località in cui è avvenuto l'incidente:** coordinate esatte della località, modalità di sversamento e di infiltrazione;
- **Tipo e quantità del contaminante;**
- **Condizioni idrologiche:** dati sulle portate o sui livelli di acqua nelle sorgenti interessate (dati tratti dall'operatore o dalla pubblicazione sul sito dell' Agenzia ambientale) e osservazione delle previsioni del tempo.

In base alle conoscenze pregresse e alle caratteristiche del territorio in cui è avvenuto l'incidente è necessario:

- definire le fonti in pericolo ed elaborare la **lista dei punti di campionamento**;
- organizzare il monitoraggio ed acquisire i dati registrati dalla rete di stazioni di misura in essere nel bacino di alimentazione delle sorgenti sulle **precipitazioni** e sui **deflussi** o sui **livelli** nei punti di prelievo e/o misura;
- elaborare il **programma di monitoraggio e campionamento**.

## 2.2 Monitoraggio e campionamenti

Per svolgere un efficace controllo sull'evoluzione della qualità delle acque in casi di incidente, è importante pianificare il campionamento. Dato che gli acquiferi carsici sono sistemi eterogeni con funzionamento estremamente complesso e reagiscono velocemente a cambiamenti delle condizioni idrologiche, per garantire un efficace monitoraggio della qualità delle acque è molto utile la collaborazione di esperti nel campo dell' idrogeologia carsica.

La progettazione dei tempi e dei modi di monitoraggio deve tenere conto sia delle modalità con cui è avvenuto lo sversamento che le caratteristiche climatiche precedenti e seguenti il momento di contaminazione:

- **Inquinamento in un corso d'acqua** (deflusso veloce): il primo campionamento va effettuato il prima possibile al fine di stabilire la qualità delle acque prima dell'incidente. Poi si campiona in un intervallo più lungo (per esempio una volta al giorno) ma con la contestuale analisi dei campioni. Quando si rileva l'arrivo del contaminante, di solito dopo le prime precipitazioni e il conseguente aumento di deflusso, si deve campionare con intervalli più brevi (ad esempio tre volte al giorno). Quando il livello di acqua si abbassa, l'intervallo può essere nuovamente prolungato (una volta al giorno) anche se in caso di precipitazioni successive, è possibile l'arrivo di ulteriori ondate di contaminazione pur nel quadro di un generale abbassamento delle concentrazioni.
- **Inquinamento sulla superficie carsica** (l'infiltrazione e la contaminazione sono collegate al regime delle precipitazioni): si consiglia di svolgere il primo campionamento al più presto possibile e di proseguire poi in un intervallo più lungo (ogni 2 o 3 giorni). Dopo precipitazioni abbastanza intensive da dar origine ad una piena, si dovrebbe campionare con intervallo più breve (2 o 3 volte al giorno). Quando le portate alle sorgenti diminuiscono l'intervallo può essere nuovamente prolungato. In caso di precipitazioni intense successive, è opportuno tornare a prelievi frequenti, consci che dopo ogni precipitazione abbondante aumenta notevolmente, in quantità e per lungo tempo, l'infiltrazione efficace.

La pianificazione dei campionamenti successivi è funzione **dei risultati ottenuti**: se si è accertato un inquinamento nelle acque sorgive l'intervallo di campionamento può essere limitato all'accertamento dell'abbassamento significativo dei tenori di contaminante nelle acque. Nel caso di sversamento superficiale, dato che il processo di infiltrazione può durare a lungo, andrebbe accertata la presenza di contaminante dopo le precipitazioni intense anche per lunghi periodi (uno o più anni).

## 2.3 Elaborazione dei risultati dei rilievi e delle analisi

L'elaborazione ed il confronto fra tutti i dati rilevati rende possibile la progettazione efficace del monitoraggio successivo alla contaminazione. In base ai dati sulla quantità dell'acqua fluiva durante il periodo di osservazione (il deflusso) e in base alle concentrazioni dei parametri di contaminazione rilevati durante il monitoraggio, è possibile calcolare la quantità del contaminante complessivamente fluiva attraverso la fonte d'acqua. Questo dato rende possibile la valutazione della possibilità di inquinamento in successive ondate di piena e la definizione dei tempi di monitoraggio necessari per dichiarare il cessare delle allerte e per assicurare la qualità della risorsa dopo un incidente nel tempo.

Anche il periodo di monitoraggio in una fonte di acqua carsica in cui non si è rilevato l'inquinamento dipende dalla quantità del contaminante versato, dalle caratteristiche idrogeologiche del territorio e dalle condizioni idrologiche all'atto dello sversamento (piena, magra, morbida...).

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Drew, D., Hötzl, H. (ur.), 1999: Karst Hydrogeology and Human Activities.- A.A. Balkema, 322 pp, Rotterdam, Brookfield.
2. Knez, M., Petrič, M., Slabe, T. (ur.), 2011: Krasoslovje v razvojnih izzivih na krasu I - Voda. Založba ZRC, 167 pp, Ljubljana.
3. Kogovšek, J., Pipan, T., 2008a: Kemijsko-fizikalne in biološke metode za ocenjevanje kakovosti kraških vodnih virov. V: Luthar, O. et al. (ur.), Kras [trajnostni razvoj kraške pokrajine]. Založba ZRC, str. 69-71, Ljubljana.
4. Kogovšek, J., Pipan, T., 2008b: Monitoring fizikalnih, kemijskih in bioloških parametrov v izbranih kraških izviri, rekah in jami. V: Luthar, O. et al. (ur.), Kras [trajnostni razvoj kraške pokrajine]. Založba ZRC, str. 72-76, Ljubljana.
5. Kogovšek, J., Petrič, M., 2008c: Onesnaženje z avtocest in odlagališč odpadkov. V: Luthar, O. et al. (ur.), Kras [trajnostni razvoj kraške pokrajine]. - Založba ZRC, str. 77-81, Ljubljana.