

Contaminazione da nitrati nelle acque sotterranee della pianura torinese-cuneese: quadro generale e ruolo dei corsi d'acqua

Manuela Lasagna, Domenico Antonio De Luca

Dipartimento di Scienze della Terra – Università di Torino manuela.lasagna@unito.it; domenico.deluca@unito.it

Nitrate contamination of groundwater in the Torino-Cuneo Plain: general overview and rivers' role

ABSTRACT: This study aims at investigating the physical and chemical effects of interactions between groundwater and surface water – streams in particular – on nitrate contamination, and the consequent nitrate reduction. The analysis on the interaction between groundwater and streams was carried out in the Torino-Cuneo Plain (Northern Italy). Six nitrate concentration profiles were found, intersecting the main rivers and streams in the plain. The most important evidence of nitrate reduction in groundwater is near Po River and Stura di Demonte River. In fact, in the alluvial deposits close to these gaining rivers, groundwater shows a lowering in nitrate levels, with concentrations close to zero. The reasons for this lowering can be connected to: a) very deep flow paths that groundwater, with a recharge zone located in areas where the nitrate input is low, follows before discharging into the rivers; b) the presence of hyporheic and riparian buffer zones near the streams where nitrates can be reduced through denitrification process.

Key terms: Groundwater, Surface water, Nitrate contamination, Denitrification, Hyporheic zone, Riparian buffer zone
Termini chiave: Acque sotterranee, Acque superficiali, Contaminazione da nitrati, Denitrificazione, Zona iporeica, Zona ripariale

Riassunto

Nella valutazione della contaminazione da nitrati delle falde idriche, il rapporto tra acque superficiali e acque sotterranee è spesso trascurato. In realtà, i corsi d'acqua possono creare i presupposti sia per un aumento che, più spesso, per una attenuazione dei nitrati nelle acque sotterranee.

Nel caso di una attenuazione dei nitrati, le interazioni tra acque sotterranee e fiumi dipendono principalmente: a) dalla presenza di particolari zone o ambienti nei pressi dei corsi d'acqua, quali le zone ripariali e le zone iporeiche; b) dalle relazioni di alimentazione o drenaggio tra fiumi e acque sotterranee.

Le fasce ripariali sono zone di terreno disposte lungo i corsi d'acqua, caratterizzate da un suolo e una vegetazione fortemente influenzati dalla presenza dell'acqua. Tali settori sono ritenuti da molti Autori uno dei più efficaci sistemi per la riduzione dei flussi di inquinamento diffuso presenti nelle zone agricole di pianura. La zona iporeica rappresenta, invece, lo strato di sedimenti localizzato all'interfaccia tra le acque superficiali e il letto dei fiumi. In tali aree avvengono reazioni chimico-biologiche, generate dall'incontro tra i due sistemi idrici, che influenzano fortemente la qualità dell'acqua.

Le relazioni esistenti tra acque sotterranee e superficiali, infine, condizionano la variazione di concentrazione dei nitrati, soprattutto nelle zone più

prossime ai corsi d'acqua.

Il ruolo dei corsi d'acqua nella attenuazione della contaminazione da nitrati è stato indagato e approfondito nella pianura torinese-cuneese (Piemonte). In tale area i corsi d'acqua principali incidono i depositi alluvionali (Pleistocene medio - Olocene), costituiti da sedimenti prevalentemente sabbioso-ghiaiosi; tali depositi ospitano un acquifero non confinato.

Le acque sotterranee risultano in stretta connessione con il reticolato idrografico. I corsi d'acqua principali della pianura torinese-cuneese generalmente alimentano l'acquifero in prossimità degli sbocchi vallivi, fenomeno ben osservabile per il T. Maira e il T. Gesso; nella zona centrale della pianura essi diventano drenanti nei confronti delle acque sotterranee.

Il Fiume Po e il Fiume Stura di Demonte rappresentano i corsi d'acqua più importanti della pianura, per le loro dimensioni e il carattere fortemente drenante nei confronti degli acquiferi.

Lo studio della distribuzione dei nitrati ha evidenziato come i tenori di nitrati nei fiumi e nelle acque sotterranee, sebbene non paragonabili nelle concentrazioni, mostrino un *trend* comune: le concentrazioni massime nei corsi d'acqua, infatti, sono state rilevate in aree con elevati livelli di nitrati in falda. Inoltre i tenori di nitrati nei fiumi e nelle acque sotterranee aumentano da monte verso valle, a causa dell'arricchimento in nitrati connesso agli apporti da fertilizzanti azotati e reflui fognari principalmente nelle zone di bassa pianura.

Lo studio dei rapporti tra acque superficiali e acque sotterranee, eseguito attraverso la realizzazione di sei profili di concentrazione dei nitrati che intersecano i corsi d'acqua principali, ha evidenziato che gli effetti più evidenti sulle variazioni di concentrazione dei nitrati in falda sono da imputarsi, alla scala studiata, a corsi d'acqua con una forte azione drenante, come ad esempio il Fiume Stura di Demonte e il Fiume Po. Nei settori adiacenti tali corsi d'acqua, infatti, è stato rilevato un abbattimento delle concentrazioni di nitrati nelle acque sotterranee, talora fino a valori prossimi a 0 mg/l.

A tali fenomeni si può associare un processo di denitrificazione in corrispondenza delle zone ripariali e iporeiche dei corsi d'acqua, che crea una forte diminuzione delle concentrazioni di nitrati nelle vicinanze dei corsi d'acqua. Quest'ultimo fenomeno ha luogo verosimilmente in corrispondenza sia delle sponde sia degli alvei dei fiumi sopra citati.

Per il Fiume Po, che ha un'elevata azione drenante nei confronti delle acque sotterranee e costituisce il recapito a scala regionale delle stesse, l'abbattimento dei nitrati può essere imputato anche al richiamo di acque sotterranee provenienti da circuiti di flusso profondi. Tali acque sono generalmente caratterizzate da bassi tenori di nitrati, in quanto le aree di ricarica sono ubicate nelle zone pedemontane, a basso apporto di contaminanti; inoltre tali acque sono soggette a possibili fenomeni di denitrificazione nelle porzioni più profonde degli acquiferi.

1. Introduzione

La contaminazione da nitrati nelle acque sotterranee e superficiali è un fenomeno ormai diffuso in molte nazioni. L'origine di tale fenomeno può essere connesso alla presenza di scarichi industriali, fognature dei centri urbani e impianti di depurazione, anche se più diffusamente è conseguenza dell'utilizzo di fertilizzanti azotati sintetici e concimi organici nel settore agricolo.

La possibile attenuazione delle concentrazioni di nitrati nelle acque sotterranee dipende da due fenomeni principali: a) processo di denitrificazione; b) processo di diluizione.

La denitrificazione è un processo che può ridurre significativamente i nitrati nelle acque sotterranee e che consiste nella riduzione dei nitrati ad azoto elementare o protossido di azoto. Tale fenomeno è stato osservato a diverse scale (Gillham & Cherry, 1978; Kölle *et alii*, 1983; Postma *et alii*, 1991; Korom, 1992; Starr & Gillham, 1993; Toda *et alii*, 2002; Deernard *et alii*, 2005; Lasagna *et alii*, 2006), tuttavia i suoi effetti sui flussi di nitrati nei contesti di interazione tra acque superficiali e sotterranee non è ancora ben documentato.

Il processo di diluizione, al contrario, rappresenta il fenomeno di riduzione di concentrazione di un soluto quando due fluidi a diverso tenore dello stesso soluto entrano in contatto. In particolare il fluido a

concentrazione maggiore riduce la propria concentrazione mescolandosi con il fluido a concentrazione minore. La diluizione comporta, quindi, una mitigazione della contaminazione da nitrati, pur senza rimuoverli dal sistema. Nelle acque sotterranee il processo di diluizione gioca un ruolo predominante nella riduzione dei nitrati: in particolare, maggiore è la capacità di diluizione, maggiore la riduzione dei nitrati (De Luca & Lasagna, 2005; Lasagna, 2006; Debernardi *et alii*, 2007). Il processo di diluizione si concretizza, inoltre, quando acque sotterranee e acque superficiali a diversa concentrazione di nitrati entrano in contatto e si mescolano (McMahon & Böhlke, 1996; Kayabali *et alii*, 1999; Winter *et alii*, 1998; Lasagna, 2006).

Lo scopo di questo studio è investigare come le interazioni tra corsi d'acqua e acque sotterranee influisca nella attenuazione della contaminazione da nitrati nella falda superficiale del settore torinese-cuneese della pianura piemontese.

2. Modalità di interazioni tra corsi d'acqua e acque sotterranee

Le zone di acquifero adiacenti i corsi d'acqua vengono generalmente considerate aree ad elevata vulnerabilità intrinseca.

In realtà, in funzione delle interazioni esistenti tra fiumi e acque sotterranee, i corsi d'acqua possono creare i presupposti per un aumento o, più spesso, un'attenuazione della contaminazione nelle acque sotterranee.

Tali interazioni dipendono da: a) presenza di particolari ambienti nei pressi dei corsi d'acqua quali le zone ripariali e le zone iporeiche; b) relazioni di alimentazione o drenaggio tra fiumi e acque sotterranee.

2.1 Le zone ripariali e le zone iporeiche

Le zone ripariali (Figura 1) costituiscono le aree disposte lungo i corsi d'acqua, caratterizzate da un suolo e una vegetazione fortemente influenzati dalla presenza dell'acqua stessa. Secondo molti Autori, tali zone costituiscono uno dei più efficaci sistemi per la riduzione dei flussi di inquinamento diffuso presenti nelle zone agricole di pianura (Hill, 1996).

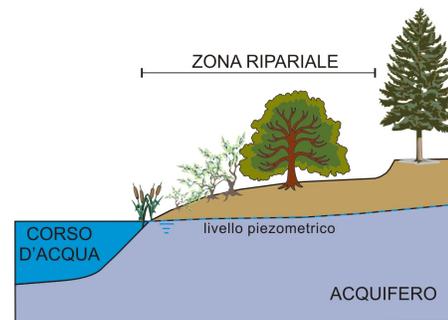


Figura 1: Immagine schematica di una zona ripariale.
Figure 1: Schematic representation of a riparian buffer zone.

La capacità delle fasce ripariali di rimuovere i nitrati dalle acque sotterranee dipende: a) dalle condizioni riducenti nei sedimenti saturi e ricchi di sostanza organica presenti nelle fasce stesse, che creano i presupposti per processi di denitrificazione di tipo biologico (Korom, 1992); b) da processi di depurazione delle acque sotterranee connessi all'azione delle piante che assorbono i nutrienti e li immobilizzano nelle strutture vegetative.

Le zone iporeiche (Figura 2) rappresentano lo strato di sedimenti localizzato all'interfaccia tra le acque superficiali e l'acquifero, in cui si verifica il mescolamento dell'acqua del fiume con quella sotterranea. All'interno della zona iporeica avvengono reazioni chimiche e biologiche che possono influenzare in modo importante la qualità dell'acqua. Inoltre la zona iporeica ospita una varietà di microrganismi in grado di modificare le caratteristiche chimiche dell'ambiente acquatico per mezzo della loro attività metabolica (Jones & Mulholland, 2000; Edwardson *et alii*, 2003; Jonsson, 2003; Kazezyilmaz-Alhan & Medina, 2006). Quest'ultimo fenomeno, in particolare, è in grado di ridurre anche fortemente le concentrazioni di nutrienti quali i nitrati (Hinkle *et alii*, 2001; Pretty *et alii*, 2006).

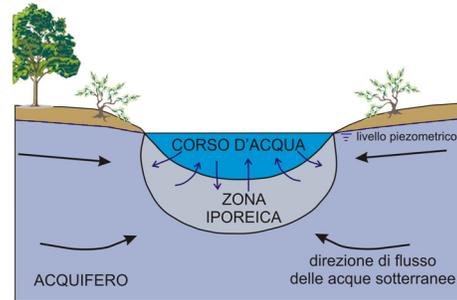


Figura 2: Immagine schematica della zona iporeica.
Figure 2: Schematic representation of a hyporheic zone.

2.2 Relazioni di alimentazione o drenaggio tra fiumi e acque sotterranee

Le interazioni tra corsi d'acqua e acque sotterranee che influenzano le concentrazioni di nitrati in falda, in relazione ai possibili rapporti tra livello del fiume e livello piezometrico, possono essere di due tipologie (Figura 3): corsi d'acqua drenanti che vengono alimentati dalle acque sotterranee o alimentanti che vengono drenati dalle acque sotterranee.

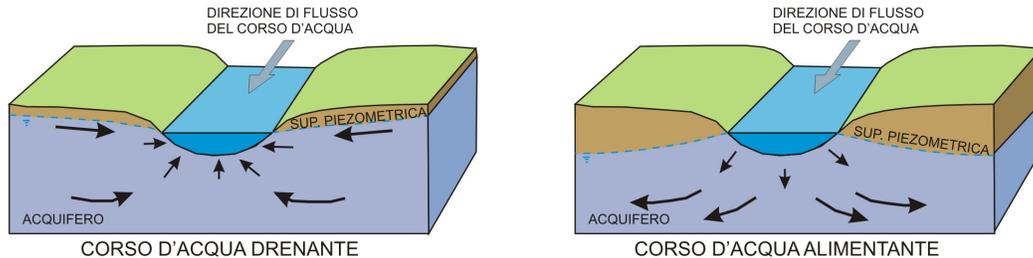


Figura 3: Relazioni di drenaggio o alimentazione tra fiume e acque sotterranee.
Figure 3: Interaction of groundwater and streams: schematic representation of a gaining stream and a losing stream.

I corsi d'acqua alimentanti sono responsabili di due differenti situazioni, in funzione del rapporto tra concentrazione dei nitrati nelle acque superficiali e sotterranee; nel dettaglio, se il tenore di nitrati nel fiume è superiore rispetto alle acque sotterranee, il mescolamento delle acque superficiali con quelle sotterranee determina un incremento dei tenori di nitrati in falda; tale incremento è maggiormente rilevabile nelle zone più prossime al corso d'acqua. Al contrario se il tenore di nitrati nelle acque superficiali è inferiore rispetto alle acque sotterranee, il mescolamento delle acque superficiali con quelle sotterranee determina una riduzione del tenore di nitrati in falda, anche in questo caso nei settori più prossimi al corso d'acqua.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua drenanti, il percorso di flusso delle acque sotterranee ha un effetto rilevante sulla concentrazione dei nitrati nei fiumi. Se acque sotterranee con un'elevata concentrazione di nitrati defluiscono in un acquifero ben ossigenato e senza

attraversare zone ripariali, esse raggiungono il corso d'acqua con una concentrazione di nitrati non modificata rispetto a quella iniziale (Figura 4).

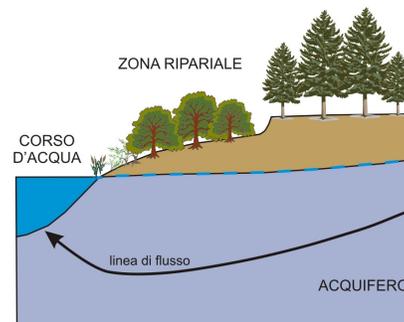


Figura 4: Corso d'acqua drenante: il flusso idrico sotterraneo fluisce verso il corso d'acqua drenante senza attraversare zone ripariali.
Figure 4: A gaining stream: groundwater follows a shallow flow path without passing beneath riparian buffer zone.

Al contrario, se le acque sotterranee scorrono superficialmente attraversando zone anossiche quali le zone ripariali, o se provengono da circuiti di flusso profondi (Figura 5), in cui possono avere luogo i processi di denitrificazione, la concentrazione di nitrati subisce una forte attenuazione rispetto a quella iniziale.

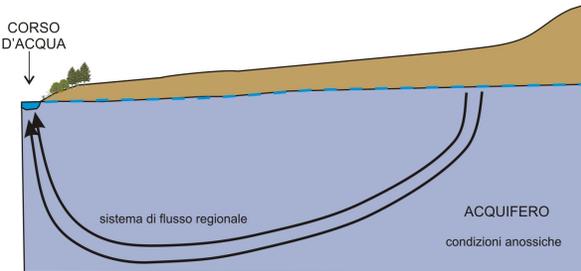


Figura 5: Corso d'acqua drenante: il flusso idrico sotterraneo fluisce verso il corso d'acqua drenante percorrendo circuiti di flusso profondi.

Figure 5: A gaining stream: groundwater follows a relatively deep flow path before converging and discharging rapidly upward to stream.

3. Area di studio

La pianura torinese-cuneese, che si estende su una superficie di circa 2500 km², si sviluppa tra una quota massima di circa 600 m s.l.m. e una minima di circa 200 m s.l.m., in corrispondenza della confluenza tra il Torrente Stura di Demonte ed il Fiume Tanaro. I principali corsi d'acqua che fluiscono nell'area in esame sono il Fiume Po e i suoi affluenti, tra i quali i torrenti Maira e il Varaita, che scorrono nella pianura cuneese, e i torrenti Pellice e Chisola, nella pianura torinese; inoltre di grande importanza regionale vi sono il Fiume Tanaro e il Fiume Stura di Demonte, che scorrono nel territorio provinciale cuneese.

La pianura torinese-cuneese rappresenta un serbatoio idrico di grande importanza regionale.

3.1 Assetto geoidrologico

L'area della pianura torinese-cuneese è delimitata ad ovest e a sud dai rilievi alpini, costituiti da rocce impermeabili o da rocce permeabili per fessurazione e localmente per carsismo; a nord dal Torrente Sangone; ad est dalle colline del Bacino Terziario Piemontese (BTP), costituite da depositi marini pre-pliocenici, impermeabili o localmente permeabili per fessurazione. Al margine nord-orientale dell'area è localizzato l'Altopiano di Poirino.

La sequenza litostratigrafica tipica della pianura torinese-cuneese risulta costituita dall'alto verso il basso da (Figura 6):

- unità dei Depositi Fluviali (Pleistocene medio - Olocene) avente spessore variabile da alcune decine di

metri nel settore settentrionale dell'area alle centinaia di metri nel settore meridionale, in corrispondenza alla pianura cuneese. Tale unità, costituita da sedimenti prevalentemente sabbioso-ghiaiosi, ospita un acquifero non confinato. Talora i depositi fluviali sono caratterizzati dalla presenza di livelli fortemente cementati, in particolare nella parte alta della conoide del T. Maira, che non sembrano mostrare una elevata continuità laterale; allontanandosi dalla fascia pedemontana di conoide, il grado di cementazione delle alluvioni diminuisce, con una percentuale sempre più alta di frazioni fini. La componente ciottolosa-ghiaiosa, sempre dominante, è accompagnata da sabbie per lo più associate a ghiaie e livelli limoso-argillosi in corpi lenticolari;

- unità dei Depositi Fluviali dell'Altopiano di Poirino (Pleistocene medio - Olocene), localizzati al margine nord-orientale della pianura in corrispondenza dell'Altopiano di Poirino. Secondo quanto riportato nella carta geologica dell'Altopiano di Poirino alla scala 1:50.000 (Forno, 1982), la parte alta della successione stratigrafica dell'altopiano è caratterizzata da depositi fluviali (Pleistocene medio-Olocene) di natura prevalentemente limosa-argillosa con locali intercalazioni ghiaiose e sabbiose (Unità dei Depositi Fini Fluviali). Lo spessore totale dei depositi fluviali dell'Altopiano di Poirino è variabile da 10 a 30 m. I depositi più antichi, presenti nel settore centrale e meridionale dell'altopiano, sono intensamente pedogenizzati. Inferiormente sono presenti i terreni plio-pleistocenici a facies continentali (Unità dei Depositi di Transizione Villafranchiani) e a facies marine (Unità dei Depositi Marini Pliocenici);

- unità dei Depositi di Transizione Villafranchiani (Pliocene sup. - Pleistocene inf.) caratteristica dell'ambiente di sedimentazione deltizio-lacustre-palustre; tale unità, che risulta costituita da depositi fini di natura limoso-argillosa alternati a livelli di depositi sabbiosi e ghiaiosi, ospita un sistema acquifero multifalda;

- unità dei Depositi Marini (Pliocene) costituita da depositi sabbiosi marini in facies di "Astiano", caratterizzati da un ricco contenuto fossilifero, e dai sottostanti depositi argilloso-siltoso-sabbiosi marini in facies di "Piacenziano". Le sabbie astiane costituiscono un acquifero con buona produttività, spesso sfruttato da pozzi acquedottistici;

- sedimenti pre-pliocenici, ubicati alla base della colonna stratigrafica, costituiti dal basamento roccioso alpino e dai depositi marini del BTP.

3.2 Ricostruzione della superficie piezometrica della falda superficiale

Dalla carta piezometrica della pianura torinese-cuneese (Figura 7), riferita a giugno-luglio 2002, emerge che la morfologia della falda superficiale segue a scala regionale generalmente l'andamento della superficie topografica.

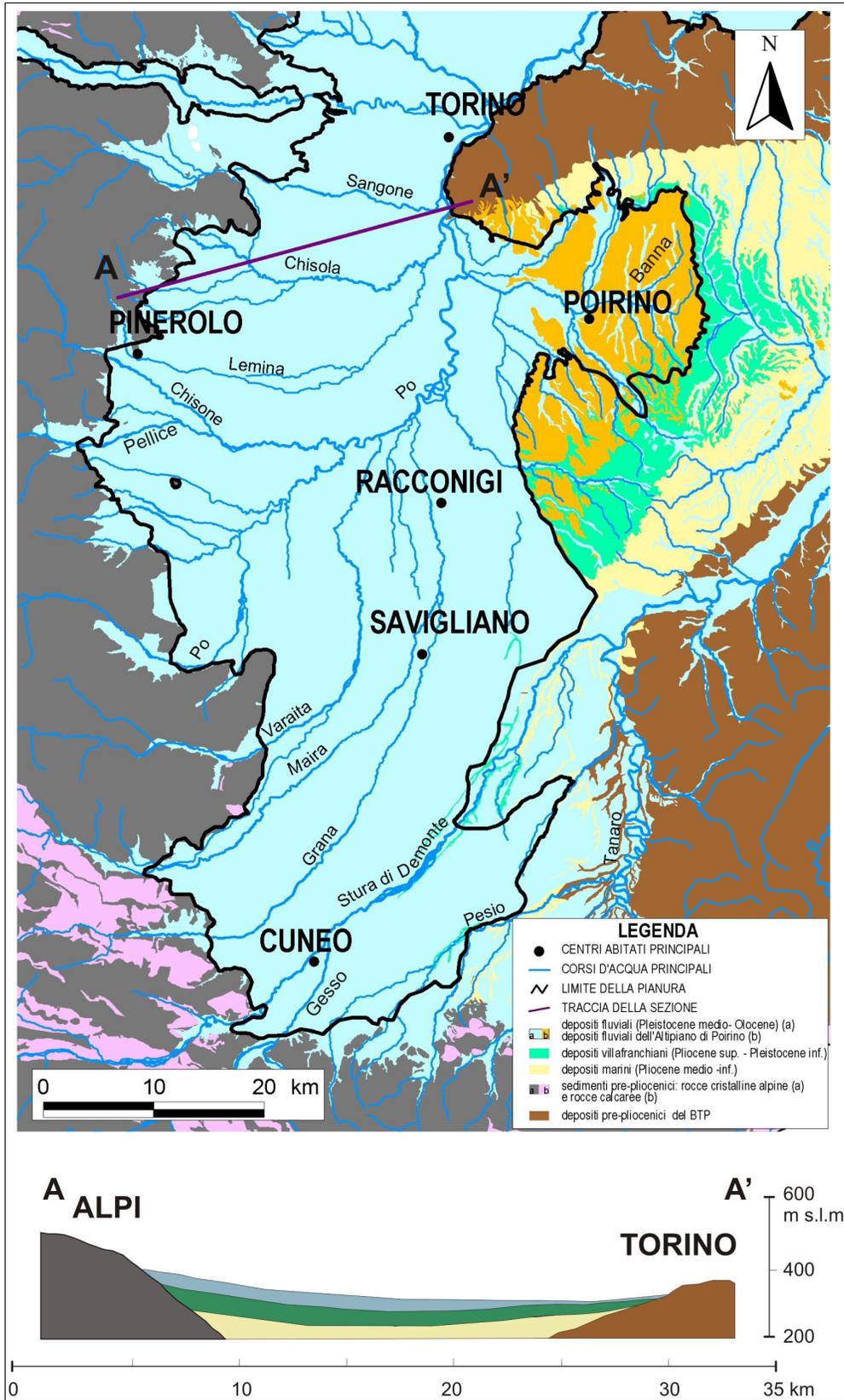


Figura 6: Carta delle unità idrogeologiche della pianura torinese-cuneese e sezione litostratigrafica schematica.
 Figure 6: Hydrogeological scheme of the Torino-Cuneo plain and simplified cross section.

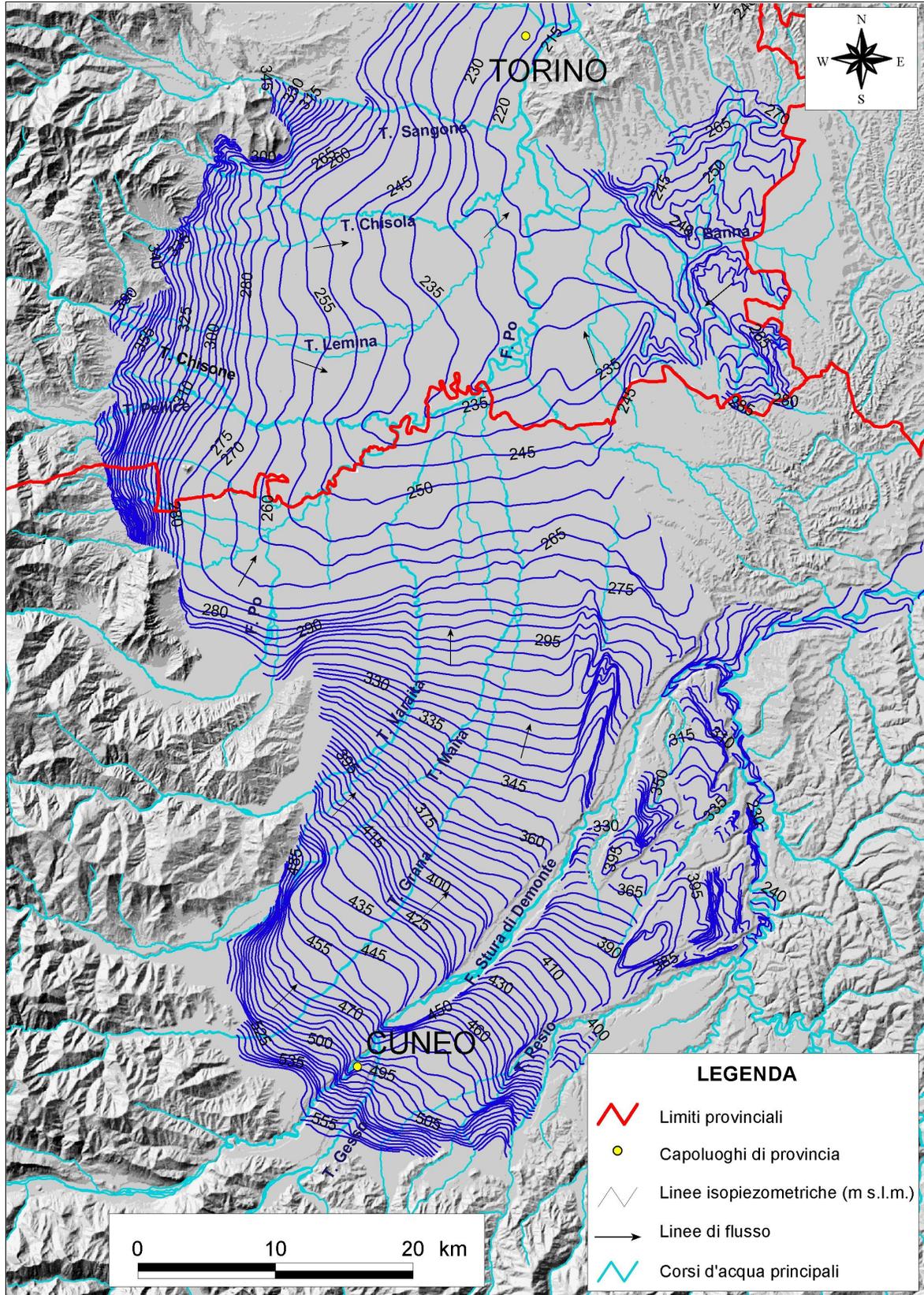


Figura 7: carta delle isopiezometriche della falda idrica a superficie libera nella pianura torinese-cuneese (Estate 2002).
Figure 7: Water table map of shallow unconfined aquifer in the Torino-Cuneo plain (Summer 2002).

La falda freatica è ospitata nell'Unità dei Depositi Fluviali, e l'acquifero presenta spessori progressivamente minori da sud a nord; la produttività di tale acquifero risulta maggiore in corrispondenza delle alluvioni recenti dei corsi d'acqua e nel settore meridionale della pianura, a causa della presenza di depositi a granulometria più grossolana. La ricarica della falda freatica avviene sia direttamente dalle piogge, sia attraverso l'alimentazione proveniente dalle perdite dei corsi d'acqua naturali e dei canali di irrigazione.

Nel settore centro-meridionale della pianura torinese il flusso della falda superficiale assume una direzione da ovest verso est mentre più a sud, in provincia di Cuneo, la falda freatica mostra una direzione generale di deflusso da sud-ovest verso nord-est nella parte centro meridionale dell'area, e da sud verso nord nel settore settentrionale.

Sull'Altopiano di Poirino la falda freatica è ospitata nelle intercalazioni più grossolane presenti nei depositi fluviali potenti alcune decine di metri (Unità dei Depositi Fluviali Fini). In questa zona il flusso idrico sotterraneo è generalmente diretto verso ovest, cioè verso il livello di base regionale rappresentato dal F. Po. La falda scorre da sud e da nord verso il Torrente Banna, che costituisce l'elemento drenante più importante a livello locale. La presenza di depositi postvillafranchiani, generalmente fini, con copertura loessica, determina la formazione di falde molto superficiali, talora sospese rispetto alla falda libera e con portate del tutto trascurabili a scala regionale; tali falde non sono state considerate ai fini della costruzione della carta piezometrica.

Nella pianura torinese meridionale il gradiente idraulico varia tra valori massimi, compresi tra 1.5 e 3.3% in corrispondenza del margine alpino ad ovest, e valori minimi intorno a 0.1% osservabili ad est. Nel tratto mediano, parallelamente ad una brusca diminuzione del gradiente idraulico (da 0.6 - 0.7% a valori inferiori a 0.3%) si assiste alla comparsa di fontanili.

Nel settore centro - settentrionale della pianura cuneese il gradiente idraulico risulta generalmente basso, variando in un intervallo compreso tra 0.01 e 0.015%.

Nella pianura cuneese meridionale, in sinistra orografica del Fiume Stura di Demonte, il gradiente idraulico diminuisce da monte verso valle. In particolare sono presenti valori pari a 0.2% nei settori pedemontani, con una anomalia, pari a 0.02%, nei settori di pianura nel Comune di Cuneo; nel settore centrale si assiste ad una diminuzione progressiva dei valori del gradiente idraulico, e valori che si attestano tra 0.1% e 0.03%.

Nel settore centro - meridionale, in destra orografica del Fiume Stura di Demonte, il gradiente idraulico diminuisce da monte verso valle, con massimi pari a 0.5% fino a valori di 0.04%.

Sull'Altopiano di Poirino, infine, i valori maggiori di gradiente idraulico, pari a 1.2%, si possono osservare verso sud e verso nord, laddove aumentano le pendenze topografiche.

La morfologia della superficie piezometrica della falda superficiale evidenzia il rapporto di interconnessione con il reticolo idrografico.

Il Fiume Po e il Fiume Stura di Demonte rappresentano i corsi d'acqua più importanti della pianura, per le loro dimensioni e il carattere fortemente drenante nei confronti degli acquiferi; il Fiume Po, inoltre, rappresenta il recapito regionale della falda, verso cui fluiscono tutte le acque sotterranee.

I corsi d'acqua principali della pianura generalmente alimentano l'acquifero in prossimità degli sbocchi vallivi, sebbene tale fenomeno sia spesso non rilevabile alla scala della carta piezometrica riportata; nella zona centrale della pianura essi diventano drenanti nei confronti delle acque sotterranee. Il Torrente Pellice, ad esempio, alimenta la falda in corrispondenza allo sbocco nella pianura; tale azione si rileva fino alla confluenza nel Torrente Chisone, a valle della quale il rapporto si inverte e il corso d'acqua diviene drenante nei confronti della falda in maniera sempre più marcata procedendo verso il Fiume Po. Anche il Torrente Chisone mostra, qualche km a valle rispetto allo sbocco in pianura e fino alla confluenza con il Torrente Pellice, un blando effetto di alimentazione della falda. Il Torrente Chisola esercita, invece, una costante azione drenante. Il Torrente Sangone è alimentante nel primo tratto allo sbocco in pianura; qui il rapporto con la falda freatica risulta di sostanziale indipendenza. Verso la confluenza con il Fiume Po, infine, si osserva un lieve effetto drenante.

Nella pianura cuneese il Fiume Tanaro, con il suo andamento meandriforme ed incassato, svolge un'azione drenante in tutta l'area. Il Torrente Maira e il Torrente Gesso alimentano l'acquifero in prossimità degli sbocchi vallivi; quindi, procedendo verso la porzione centrale della pianura, essi diventano drenanti nei confronti delle acque sotterranee. I Torrenti Grana e Varaita mostrano un'azione debolmente drenante nella parte centrale della pianura; tuttavia è meno evidente l'azione alimentante in corrispondenza agli sbocchi vallivi.

Sull'Altopiano di Poirino il controllo esercitato dalla morfologia sulla falda superficiale porta ad una concordanza tra gli elementi del rilievo e la geometria della superficie piezometrica, per cui in corrispondenza delle valli si sviluppano assi drenanti e parallelamente agli alti morfologici si allungano spartiacque piezometrici; di conseguenza, tutti i corsi d'acqua svolgono un'azione drenante nei confronti della falda.

4. Distribuzione dei nitrati nell'acquifero superficiale

Al fine di evidenziare l'entità della contaminazione da nitrati nella falda superficiale della pianura torinese-cuneese, sono stati elaborati i dati chimici di acque sotterranee prelevate in 341 pozzi e piezometri filtrati unicamente nell'acquifero superficiale.

In dettaglio, è stata eseguita una campagna di campionamento tra febbraio ed aprile 2004, su 186 punti di misura tra pozzi e piezometri. Le analisi chimiche delle acque sotterranee sono state eseguite presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino e A.R.P.A. Piemonte.

I dati chimici sono quindi stati interpolati con lo scopo di ricostruire una carta della distribuzione areale dei nitrati (Figura 8). L'elaborazione dei dati di concentrazione dei nitrati è stata condotta separatamente per aree con differenti caratteristiche. In particolare sono stati utilizzati come limiti di interpolazione le scarpate dei terrazzi lungo il Fiume Stura di Demonte e il Fiume Po;

tali corsi d'acqua, fortemente incassati e ad azione drenante, separano infatti aree in cui le acque sotterranee non entrano in contatto tra loro.

Dall'analisi di tale cartografia è emerso che le zone maggiormente contaminate da nitrati sono ubicate in destra idrografica del Fiume Stura di Demonte, con concentrazioni anche superiori a 90 mg/l, e sull'Altopiano di Poirino, dove i nitrati raggiungono concentrazioni fino a 320 mg/l.

Tenori inferiori di nitrati, tuttavia superiori ai limiti di legge di 50 mg/l, si possono rilevare tra il Fiume Stura di Demonte e il Torrente Varaita, e lungo la direttrice Centallo - Savigliano - Racconigi.

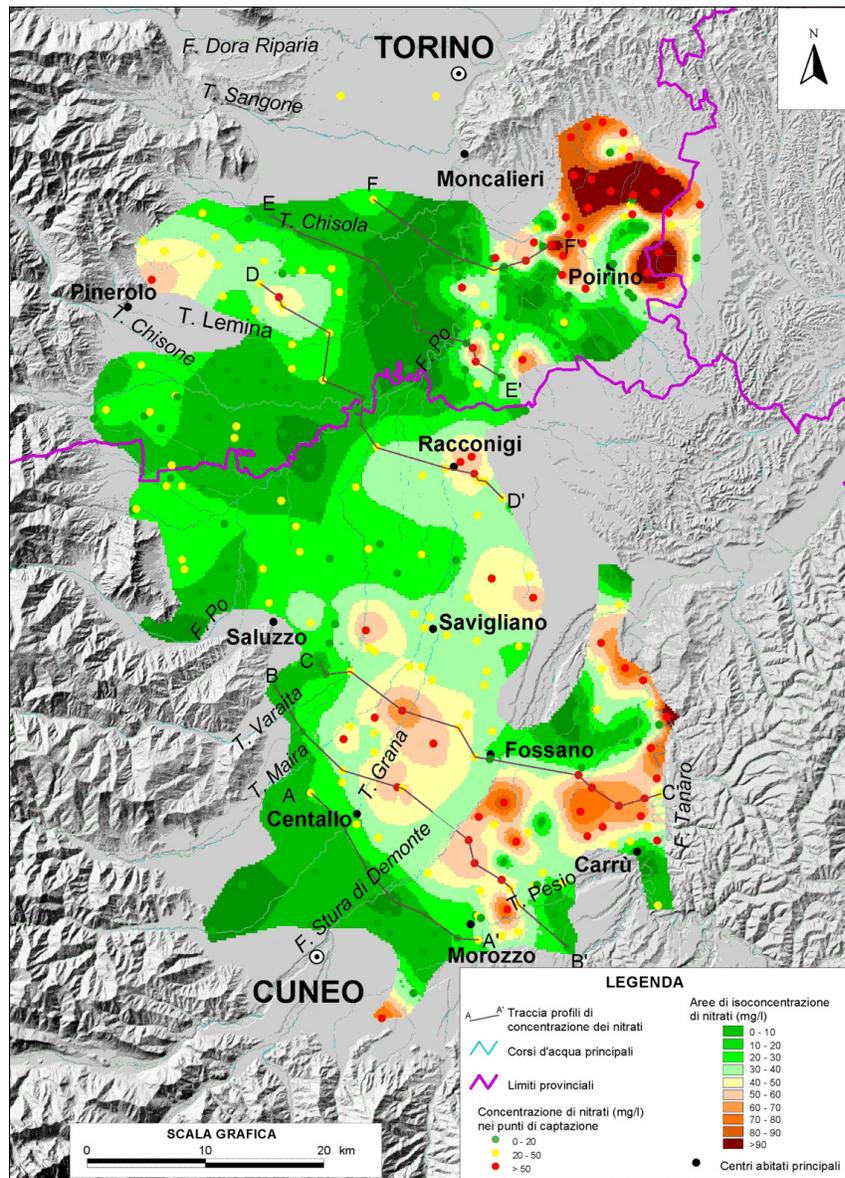


Figura 8: carta della distribuzione areale dei nitrati nell'acquifero superficiale della pianura torinese-cuneese (febbraio - aprile 2004) e traccia dei profili di concentrazione dei nitrati.

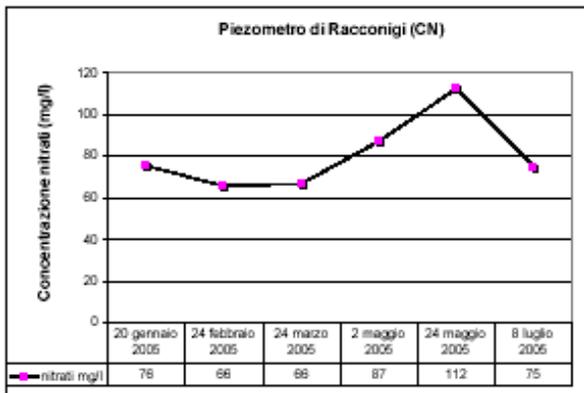
Figure 8: Nitrate distribution in groundwater of shallow aquifer of Torino-Cuneo plain (February - April 2004 sampling campaign) and traces of nitrate concentration sections.

Le concentrazioni di nitrati nell'acquifero superficiale sono generalmente soggette a variazioni stagionali, talora anche consistenti. In particolare nelle zone di media e bassa pianura, maggiormente sfruttate a scopo agricolo, la presenza di una variazione delle concentrazioni di nitrati nel corso dell'anno è verosimilmente connessa alle pratiche di ferti-irrigazione; tali attività determinano un incremento dei nitrati in falda nei periodi successivi all'apporto di nitrati al suolo che si verifica nei mesi primaverili (marzo-aprile). Il mese di maggio è, infatti, nell'area in esame il mese più piovoso (Biancotti *et alii*, 1998) e l'aliquota delle precipitazioni che va a costituire le acque di infiltrazione è in grado portare in soluzione e lascivare i nitrati presenti sul suolo attraverso la zona non satura fino all'acquifero.

Nel piezometro localizzato in Comune di Racconigi (Tabella 1), utilizzato per la caratterizzazione chimica della falda superficiale, è emerso che il tenore di nitrati, pari a 76 mg/l nel gennaio 2005, è diminuito fino a un minimo di 66 mg/l nei mesi di febbraio e marzo, quindi è aumentato fino a 112 mg/l nel mese di maggio, per poi ridiminuire a luglio 2005.

Tabella 1: variazione del tenore di nitrati nel piezometro di Racconigi (CN).

Table 1: Nitrate concentration variations in groundwater of Racconigi piezometer.



Al contrario nelle aree di pianura poste a quote altimetricamente superiori e maggiormente vicine ai rilievi alpini sono state osservate concentrazioni di nitrati nelle acque sotterranee generalmente inferiori a 50 mg/l, e con deboli variazioni stagionali; tali concentrazioni sono verosimilmente connesse all'assenza di ampie aree agricole e/o di spandimento di fertilizzanti azotati, e quindi di bassi apporti di nitrati.

5. Distribuzione dei nitrati nei corsi d'acqua

È stato esaminato il tenore di nitrati in corrispondenza di 12 corsi d'acqua della pianura torinese-cuneese in differenti punti di misura lungo il rispettivo alveo. I corsi d'acqua esaminati sono stati: Banna, Chisola, Gesso,

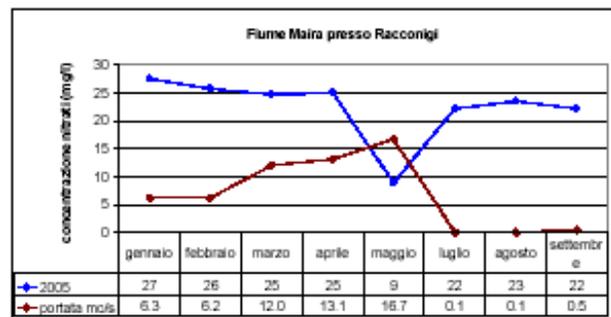
Grana, Maira, Pellice, Pesio, Po, Sangone, Stura di Demonte, Tanaro e Varaita. Le analisi chimiche dei campioni di acqua sono state eseguite da A.R.P.A. Piemonte nell'ambito del monitoraggio mensile dei corsi d'acqua. Le analisi chimiche riportate sono riferite al valore medio relativo al periodo febbraio-aprile 2004 (Figura 9).

Nelle acque superficiali le concentrazioni di nitrati sono risultate molto variabili, comprese tra 2 mg/l e 27 mg/l, e quindi sempre inferiori a 50 mg/l. Tenori di nitrati più bassi si rinvenivano nei settori montani dei corsi d'acqua; al contrario nei tratti fluviali ubicati nella bassa pianura le concentrazioni di nitrati risultano più elevate. Si può esaminare ad esempio il caso del Torrente Maira, che presenta tenori di nitrati di circa 5 mg/l nel tratto pedemontano, valori di circa 20 mg/l nei settori più a valle, in prossimità di Savigliano e, ancora più a valle in corrispondenza del Comune di Racconigi, concentrazioni di 24 mg/l.

Le concentrazioni di nitrati nelle acque superficiali risultano soggette a variazioni stagionali, come per le acque sotterranee. Generalmente il *trend* delle concentrazioni di nitrati nelle acque sotterranee mostra marcate variazioni nel corso dell'anno, ma piccole modificazioni tra anni successivi, considerando lo stesso periodo di misura (Ruiz *et alii*, 2002). In Tabella 2 sono riportate le variazioni del tenore di nitrati nelle acque del Fiume Maira, presso Racconigi (CN). Da tale diagramma emerge una concentrazione minima di nitrati in corrispondenza del mese di maggio 2005 (9 mg/l), mentre per gli altri periodi monitorati la concentrazione presenta piccole variazioni e si mantiene su valori di 22-27 mg/l. Il diagramma mostra inoltre la variazione della portata media del Fiume Maira nel punto di monitoraggio ubicato presso Racconigi. Le concentrazioni dei nitrati nelle acque superficiali e le portate medie del Fiume Maira sono dati derivanti dal monitoraggio delle acque superficiali condotto dalla Regione Piemonte (<http://gis.csi.it/acqua/default.asp>).

Tabella 2: Variazione del tenore di nitrati (mg/l) nelle acque del Fiume Maira, presso Racconigi (CN), e portata media del corso d'acqua (m³/s).

Table 2: Nitrate concentration (mg/l) variations in Maira River, near Racconigi, and mean river discharge (m³/s).



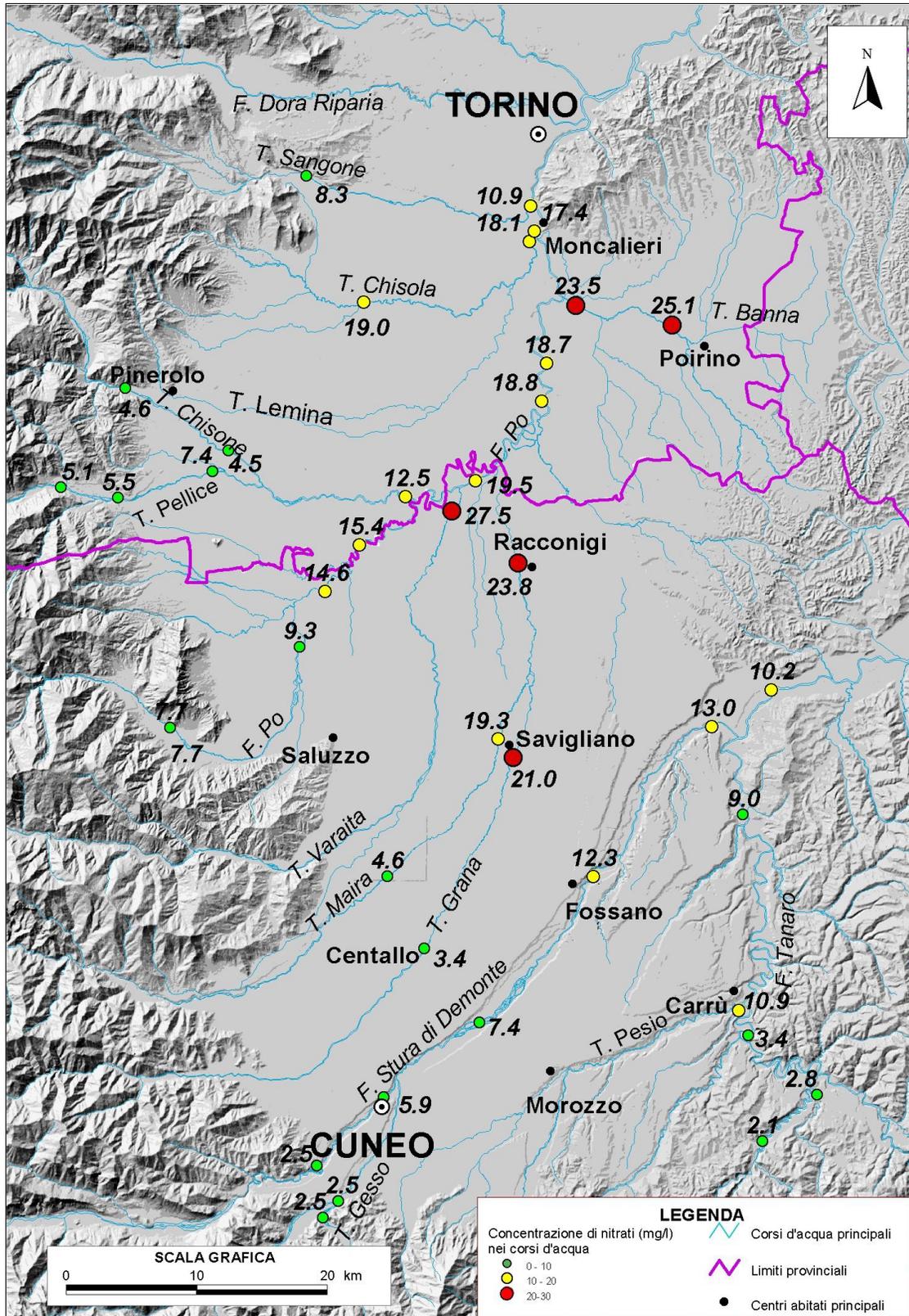


Figura 9: Carta della distribuzione dei nitrati nei corsi d'acqua della pianura torinese-cuneese (febbraio - aprile 2004).
 Figure 9: Nitrate distribution in the rivers of Torino-Cuneo plain (mean concentrations in February - April 2004 sampling campaign).

Il corso d'acqua presenta una portata massima nel mese di maggio 2005, in concomitanza con le concentrazioni minime di nitrati nello stesso. Verosimilmente, le basse concentrazioni di nitrati sono connesse alle elevate portate che defluiscono nel fiume in maggio, consentendone la diluizione.

Sebbene differenti, le concentrazioni di nitrati nei fiumi e nelle acque sotterranee mostrano un sostanziale parallelismo: le massime concentrazioni nei corsi d'acqua, infatti, sono state rilevate in aree con elevati livelli di nitrati in falda. Inoltre i tenori di nitrati aumentano da monte verso valle sia nei corsi d'acqua sia nelle acque sotterranee, a causa dell'arricchimento in nitrati delle acque connesso agli apporti da fertilizzanti azotati e reflui fognari, particolarmente elevati nelle zone di bassa pianura.

6. Relazioni tra corsi d'acqua e acque sotterranee nell'attenuazione dei nitrati

Al fine di chiarire il ruolo dei corsi d'acqua nell'attenuazione della contaminazione da nitrati, sono stati realizzati sei profili di concentrazione dei nitrati che intersecano i corsi d'acqua principali della pianura torinese-cuneese.

Tre profili sono ubicati nel settore più meridionale della pianura, e intercettano i torrenti Varaita, Maira, Grana, il Fiume Stura di Demonte e il Torrente Pesio; altri tre profili sono stati tracciati nel settore settentrionale della pianura e intercettano i torrenti Chisola e Lemina, il Fiume Po, il Torrente Varaita e Maira. I profili di concentrazione dei nitrati sono riportati in Figura 10, mentre la traccia dei profili in Figura 8. Le concentrazioni dei nitrati sono riferite alla primavera 2004. Sul diagramma (Figura 10) sono stati, inoltre, riportati il livello piezometrico della falda freatica riferito all'estate 2002 e i punti di incrocio dei profili con i corsi d'acqua. In tal modo è possibile valutare il tenore dei nitrati nelle acque sotterranee in funzione della vicinanza con i corsi d'acqua.

Analizzando i profili di concentrazione dei nitrati emerge che in corrispondenza a corsi d'acqua con azione fortemente drenante nei confronti delle acque sotterranee sono osservabili fenomeni di diminuzione delle concentrazioni di nitrati in falda. In particolare, nei settori adiacenti i fiumi Po e Stura di Demonte, è stato rilevato un abbattimento delle concentrazioni di nitrati nelle acque sotterranee, talora fino a concentrazioni prossime a zero mg/l. Ad esempio in corrispondenza al profilo A-A' si passa da concentrazioni di nitrati in falda di circa 30 mg/l, in corrispondenza alla pianura cuneese, a tenori di 3 mg/l a ridosso del Fiume Stura di Demonte. Nel profilo F-F', che intercetta il Fiume Po, tenori di nitrati di circa 50 mg/l si riducono considerevolmente fino a concentrazioni di 1 mg/l.

Altri corsi d'acqua debolmente drenanti nei confronti

delle acque sotterranee non evidenziano, alla scala di studio, possibili fenomeni di attenuazione o incremento delle concentrazioni di nitrati nelle acque sotterranee.

Il fenomeno di diminuzione dei nitrati in falda è da imputarsi a:

- richiamo di acque sotterranee con bassi tenori di nitrati provenienti da circuiti di flusso profondi;
- possibili fenomeni di denitrificazione in corrispondenza alle zone ripariali e iporeiche dei corsi d'acqua.

Il richiamo di acque sotterranee provenienti da circuiti di flusso profondi è ipotizzabile soprattutto per il Fiume Po, che ha una elevata azione drenante nei confronti delle acque sotterranee e costituisce il recapito a scala regionale delle stesse. Tali acque sono generalmente caratterizzate da bassi tenori di nitrati, in quanto hanno aree di ricarica ubicate nelle zone pedemontane, a basso apporti di contaminanti, e soggette a possibili fenomeni di denitrificazione nelle porzioni più profonde degli acquiferi.

A tale fenomeno si può associare un ulteriore processo di denitrificazione in corrispondenza alle zone ripariali e iporeiche dei corsi d'acqua. Il mescolamento di acque che hanno subito una denitrificazione in questi particolari ambienti con le acque legate a circuiti di flusso più superficiali, e quindi maggiormente contaminate, crea una forte diminuzione delle concentrazioni di nitrati nelle vicinanze dei corsi d'acqua. Quest'ultimo fenomeno ha luogo verosimilmente sia in corrispondenza delle sponde e dell'alveo del Fiume Po che del Fiume Stura di Demonte.

Il prelievo di campioni di acque sotterranee in punti di captazione posti ad una distanza generalmente non inferiore a 1 km dal corso d'acqua permette di escludere un possibile richiamo, da parte dei pozzi in pompaggio, delle acque dei fiumi adiacenti i pozzi. Tale conclusione è inoltre confermata dall'analisi delle acque nei piezometri della Rete di Monitoraggio Regionale posti nei pressi dei fiumi esaminati, in particolare lungo il Fiume Po, e che presentano concentrazioni di nitrati non dissimili dalle acque campionate nei pozzi.

7. Conclusioni

Il rapporto tra acque superficiali e acque sotterranee risulta essere di notevole importanza nella valutazione della contaminazione da nitrati delle falde idriche, dato che i corsi d'acqua possono creare i presupposti per un aumento o, più spesso, una attenuazione dei nitrati nelle acque sotterranee.

Il ruolo dei corsi d'acqua nella attenuazione della contaminazione da nitrati è stato indagato e approfondito nella pianura torinese-cuneese.

Lo studio della distribuzione dei nitrati nell'acquifero superficiale (Marzo 2004) e nelle acque superficiali (Febbraio-Aprile 2004) evidenzia come le concentrazioni

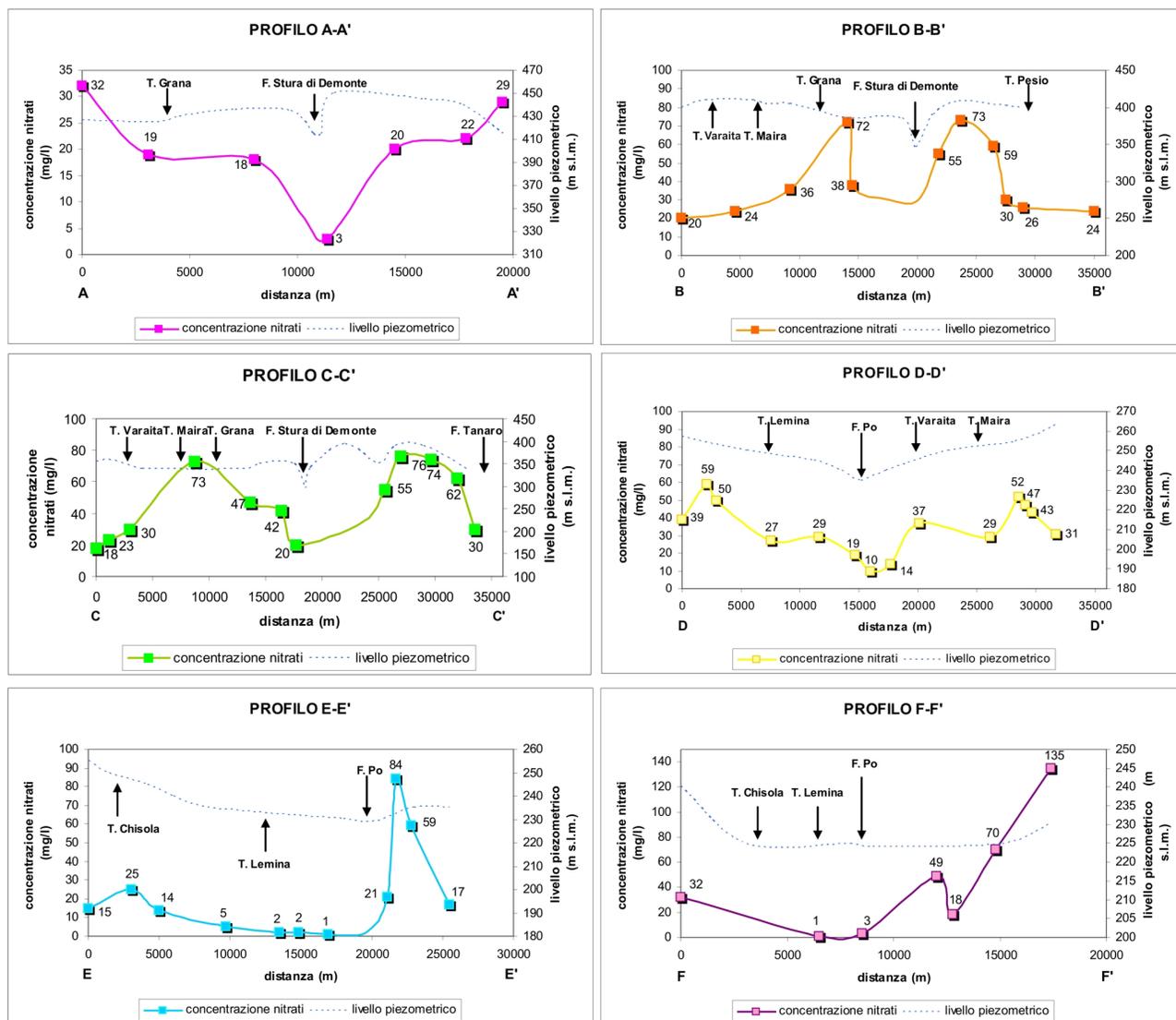


Figura 10: Profili di concentrazione dei nitrati nell'acquifero superficiale della Pianura torinese-cuneese; nei diagrammi è indicato l'andamento delle concentrazioni di nitrati (linea continua), il livello piezometrico riferito all'estate 2002 (linea tratteggiata) e i punti di incrocio dei profili con i corsi d'acqua (freccette). Le concentrazioni dei nitrati sono riferite alla primavera 2004.

Figure 10: Nitrate concentration profiles in shallow groundwater of Torino-Cuneo plain; in diagram, solid line represents nitrate concentrations, referred to spring 2004; dotted line represents the piezometric level, referred to summer 2002; the arrows indicate the intersections between profiles and watercourses

di nitrati nei fiumi e nelle acque sotterranee mostrino un trend comune: le concentrazioni massime nei corsi d'acqua, infatti, sono state rilevate in aree con elevati livelli di nitrati in falda, ed in particolare sull'Altopiano di Poirino e lungo la direttrice Savigliano - Racconigi. Inoltre i tenori di nitrati nei fiumi e nelle acque sotterranee aumentano da monte verso valle, a causa dell'arricchimento in nitrati delle acque connesso agli apporti da fertilizzanti azotati e reflui fognari, più elevati nelle zone di bassa pianura.

Al fine di chiarire il ruolo dei corsi d'acqua nell'attenuazione della contaminazione da nitrati, sono stati realizzati sei profili di concentrazione dei nitrati che

intersecano i corsi d'acqua principali della pianura torinese-cuneese. Analizzando tali profili è emerso che in corrispondenza a corsi d'acqua con azione fortemente drenante nei confronti delle acque sotterranee sono osservabili fenomeni di diminuzione delle concentrazioni di nitrati in falda. In particolare, nei settori adiacenti i fiumi Po e Stura di Demonte è stato rilevato un abbattimento delle concentrazioni di nitrati nelle acque sotterranee, talora fino a concentrazioni prossime a zero mg/l. Altri corsi d'acqua debolmente drenanti nei confronti delle acque sotterranee non evidenziano, alla scala di studio, possibili fenomeni di attenuazione o incremento delle concentrazioni di nitrati nelle acque

sotterranee.

Tale fenomeno è da attribuirsi sia al richiamo di acque sotterranee con bassi tenori di nitrati provenienti da circuiti di flusso profondi e con aree di ricarica ubicate

nelle zone pedemontane a basso apporto di contaminanti, in particolare per il Fiume Po, sia a fenomeni di denitrificazione in corrispondenza alle zone ripariali e iporeiche dei fiumi Po e Stura di Demonte.

Bibliografia

- Biancotti A., Bellardone G., Bovo S., Cagnazzi B., Giacomelli L., Marchisio C., 1998. Precipitazioni e temperature. Collana studi climatologici in Piemonte (CD-ROM). Regione Piemonte, Università degli Studi di Torino.
- De Luca D.A., Lasagna M., 2005. Aquifer role in reducing nitrate contamination by means of the dilution process. Proceedings of the 6th International Conference "Sharing a common vision of our water resources", Menton, France, 7-10 September 2005, Paper EWRA066c, 17 pp.
- Debernardi L., De Luca D.A., Lasagna M., 2005. Il processo di denitrificazione naturale nelle acque sotterranee in Piemonte. Proceedings of AVR05 and 4th National Congress on the Protection and Management of Groundwater - Reggio di Colorno (PR), Italy, 21-23 September 2005, Paper ID 176, 27 pp.
- Debernardi L., De Luca D.A., Lasagna M., 2007. Correlation between nitrate concentration in groundwater and parameter affecting aquifer intrinsic vulnerability. *Env. Geol.* In press.
- Edwardson K.J., Bowden W.B., Dahm C., Morrice J., 2003. The hydraulic characteristics and geochemistry of hyporheic and parafluvial zones in Arctic tundra streams, north slope, Alaska. *Advances in Water Resources*, Volume 26, Issue 9, pp. 907-923.
- Forno M.G., 1982. Studio geologico dell'Altopiano di Poirino. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 5, 129-162, 1 carta geol. 1:50.000.
- Gillham R.W., Cherry J.A., 1978. Field evidence of denitrification in shallow groundwater flow systems: *Water Pollut. Res. Can.*, 13(1), pp.53-71.
- Hill A.R., 1996. Nitrate removal in stream riparian zones. *J. Environ. Qual.* 22, pp. 743-755.
- Hinkle S. R., Duff J.H., Triska F.J., Laenen A., Gates E.B., Bencala K.E., Wentz D.A., Silva S.R., 2001. Linking hyporheic flow and nitrogen cycling near the Willamette River - a large river in Oregon, USA. *Journal of Hydrology*, Volume 244, Issues 3-4, pp 157-180.
- Jones J.B., Mulholland P.J. (editors), 2000. *Streams and ground waters*. Academic press.
- Jonsson K., 2003. Effect of hyporheic exchange on conservative and reactive solute transport in streams. Model assessments based on tracers tests. *Acta Universitatis Upsaliensis. Comprehensive summaries of Uppsala dissertations from the Faculty of Science and Technology* 866. 57 pp. Uppsala.
- Kayabali K., Çelik M., Karatosun H., Arıgün Z., Koçbay A., 1999. The influence of a heavily polluted urban river on the adjacent aquifer systems. *Environmental Geology* 38 (3) September 1999, Springer-Verlag, pp. 233-243.
- Kazeyılmaz-Alhan C.M., Medina M.A., 2006. Stream solute transport incorporating hyporheic zone processes. *Journal of Hydrology*, Volume 329, Issues 1-2, pp. 26-38.
- Kölle W., Werner P., Strelbel O., Böttcher J., 1983. Denitrification by pyrite in a reducing aquifer (in German). *Vom Wasser*, 61(1), pp. 125-147.
- Korom S.F., 1992. Natural denitrification in the saturated zone: A review. *Water Resources Research*, 28, pp. 1657-1668.
- Lasagna M., 2006. I nitrati nelle acque sotterranee della pianura piemontese: distribuzione, origine, attenuazione e condizionamenti idrogeologici. Ph.D. Thesis, 350 pp.
- Lasagna M., De Luca D. A., Sacchi E., Bonetto S., 2006. Studio dell'origine dei nitrati nelle acque sotterranee piemontesi mediante gli isotopi dell'azoto. *Giornale di geologia applicata* 2 (2005), pp. 137-143.
- McMahon P.B., Böhlke J.K., 1996. Denitrification and mixing in stream-aquifer system: effects on nitrate loading to surface water. *Journal of Hydrology* 186, pp. 105-128.
- Postma D., Boesen C., Kristiansen H., Larsen F., 1991. Nitrate reduction in an unconfined aquifer: water chemistry, reduction processes, and geochemical modeling. *Water Resour. Res.*, 27, pp. 2027-2045.
- Pretty J.L., Hildrew A.G., Trimmer M., 2006. Nutrient dynamics in relation to surface-subsurface hydrological exchange in a groundwater fed chalk stream. *Journal of Hydrology* Volume 330, Issues 1-2, pp. 84-100.
- Ruiz L., Abiven S., Martin C., Durand P., Beaujouan V., Molénat J., 2002. Effect on nitrate concentration in stream water of agricultural practices in small catchments in Brittany : II. Temporal variations and mixing processes. *Hydrology and Earth System Earth*, 6(3), 507-513.
- Starr R.C., Gillham R.W., 1993. Denitrification and Organic Carbon Availability in Two Aquifers. *Ground Water*, 31 (6), pp. 934-947.
- Toda H., Mochizuki Y., Kawanishi T., Kawashima H., 2002. Denitrification in shallow groundwater in a coastal agricultural area in Japan. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 63: 167-173.
- Winter T.C., Harvey J. W., Franke O.L., Alley W.M., 1998. *Ground Water and surface water - A single resource*. U.S. Geological Survey Circular 1139. U.S. Government Printing Office, 1998.