PROGETTO

NITRATI IN FALDA

Risultati preliminari del monitoraggio idrochimico ed isotopico

Documento Redatto a cura di:

Dott.ssa Cristina Arduini, Dott. Giovanni Porto, Dott. Andrea Zelioli, Dott.ssa Marta Gangemi, Dott.ssa Elisa Carraro

Elaborazioni analitiche ed isotopiche a cura di:
ARPA EMR: *dr. Andrea Dadomo, dr. Giovanni Martinelli*

DIREZIONE CENTRALE RISORSE AMBIENTALI
SETTORE RISORSE IDRICHE, CAVE E ACQUE SUPERFICIALI
Servizio Acque sotterranee e Banche Dati Idriche

MAGGIO 2008

PREMESSA 3

INTRODUZIONE 5

TOSSICOLOGIA E LIMITI DI POTABILITÀ DEI NITRATI IN FALDA 6

NORMATIVA DI RIFERIMENTO E COMPETENZE IN MATERIA DI TUTELA DELLE ACQUE 7

a. Evoluzione della normativa europea per la protezione delle acque dall'inquinamento di nitrati 7
b. Normativa nazionale 9
c. Attuazione della normativa in ambito regionale (Lombardia) 10

RISULTATI DELL'INDAGINE ISOTOPICA 12

AREA PILOTA: "*AREA 2*" 16

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO 17

METODO DI LAVORO E RISULTATI 19

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 27

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 30

PREMESSA

L'utilizzo della risorsa idrica sotterranea, a scopi diversi, presenta una serie di criticità da affrontare, sia sul piano tecnico, nell'ambito della verifica di ogni singolo progetto di opera, che sul piano della salvaguardia quali/quantitativa e della gestione e pianificazione della risorsa stessa.

Attualmente la quasi totalità delle risorse idriche utilizzate a scopo idropotabile ed industriale provengono dalle falde acquifere captate attraverso un numero molto elevato di pozzi di derivazione, dispersi sul territorio e generalmente realizzati in corrispondenza dei centri abitati.
Dal punto di vista idrogeologico i corpi idrici che caratterizzano il sottosuolo del territorio provinciale garantiscono un'elevata produttività, in particolare quelli di natura fluviale e glaciale presenti negli strati più superficiali del sottosuolo (Acquifero Tradizionale [A+B]); ma il graduale deterioramento di queste acque ha spinto gli Enti gestori al trattamento delle stesse nonché ad un progressivo approfondimento dei filtri, fino ad intercettare anche le acque più profonde contenute in sedimenti di natura marina e transizionale, aventi una limitata produttività ma discrete caratteristiche qualitative.
Va' tuttavia evidenziato come le richieste idropotabili non potrebbero essere in alcun modo soddisfatte tramite l'esclusivo contributo delle falde profonde, le quali integrano di fatto i volumi emunti dall'acquifero tradizionale, garantendo un migliore livello qualitativo complessivo delle acque distribuite.
Negli ultimi anni sono aumentate considerevolmente le richieste di utilizzo delle falde superficiali per vari usi tra cui quello geotermico. Tali utilizzi sono stati sinora giustamente favoriti dalla Pubblica Amministrazione anche in considerazione del fenomeno di innalzamento della falda registrato alla fine degli anni '90, fino ad assumere un ruolo importante nel bilancio idrico sotterraneo ma in assenza di una vera pianificazione del fenomeno.

Questi cambiamenti si sono realizzati negli ultimi 30/40 anni, periodo durante il quale sono entrate in vigore leggi più restrittive in tema di scarichi, rifiuti e bonifiche dei suoli; limitando, di fatto, le nuove sorgenti di contaminazione, con particolare riguardo a quelle di origine industriale. Nel contempo sono stati anche ridotti i limiti di concentrazione ammissibile (CMA) per molti contaminanti.
Gli interventi hanno portato ad una riduzione dei "picchi" di inquinamento, relativi generalmente a contaminazioni industriali storiche; tuttavia, con il passare degli anni, sono aumentate le dimensioni del fenomeno della contaminazione diffusa di lieve o media entità e le profondità raggiunte.

Un trend inverso hanno avuto le concentrazioni di nitrati in falda, in particolare in aree a forte vulnerabilità come il nord-milanese, dove spesso si è registrato un aumento delle concentrazioni negli ultimi 15 anni.
Lo studio che verrà di seguito illustrato, mette in relazione, nelle aree più intensamente antropizzate, lo stato di contaminazione della falda con le perdite dalla rete fognaria, gran parte di essa realizzata nel dopoguerra, la quale subisce gli effetti del tempo e del sovraccarico (acque meteoriche a causa dell'aumento dell'impermeabilizzazione, aumento degli abitanti, etc.).

Dal quadro precedentemente esposto si possono trarre alcune utili indicazioni da tenere in debita considerazione per le scelte future:

- la scelta di attribuire alle falde profonde importanza strategica per l'approvvigionamento idropotabile può rivelarsi nel corso dei prossimi anni insufficiente sia dal punto di vista quantitativo sia qualitativo, ma anche strategicamente inefficace dal punto di vista della gestione a medio e lungo termine della risorsa idrica;
- di conseguenza, lo sfruttamento indiscriminato per uso energetico o irriguo degli acquiferi produttivi superficiali, in assenza di una attenta pianificazione, potrebbe ridurre la possibilità in futuro di salvaguardare risorse indispensabili per l'approvvigionamento idrico civile ed industriale.

Per quanto detto, risulta evidente che le attività di pianificazione devono necessariamente basarsi su una attenta analisi quantitativa e qualitativa della risorsa, supportata da strumenti tecnici adeguati.
In quest'ottica, tra le attività già in corso presso la Provincia di Milano, ricordiamo l'utilizzo di tecniche isotopiche di analisi, presso il laboratorio di Eccellenza Isotopica e Radioattività ambientale di Arpa EMR (sezione di Piacenza), l'implementazione di modelli tridimensionali di falda e il tentativo di definizione di reti di monitoraggio efficienti.
In prospettiva futura, mediante lo sviluppo di tali progetti, la Provincia di Milano in accordo con altri soggetti interessati, si pone come ambizioso obiettivo la predisposizione di strumenti di supporto alle decisioni da adottarsi per affrontare le seguenti delicate incombenze:

- aggiornare i criteri di rilascio delle concessioni allo sfruttamento della risorsa idrica potabile;
- individuare aree specifiche, anche a scala comunale, quali zone di "riserva strategica" per l'approvvigionamento idrico, definendo, su queste, idonei sistemi di salvaguardia e protezione, mediante l'utilizzo di strumenti tecnici, urbanistici e gestionali;

- stabilire le priorità di intervento per quanto riguarda le azioni di recupero qualitativo degli acquiferi in funzione della situazione di rischio per l'approvvigionamento civile. Tra queste azioni sono da considerare, oltre alle attività di bonifica delle sorgenti industriali e la regolamentazione degli spandimenti agricoli, anche le azioni di recupero funzionale delle fognature maggiormente impattanti, in relazione alla vulnerabilità dell'acquifero ed alla tipologia di utilizzo prevalente dello stesso.

Va sottolineato infine come gli obiettivi sopra esposti sono di fatto già contenuti in importanti normative nazionali ed europee; in particolare la direttiva 2006/118/UE, il TU ambientale D.lgs 152/06 ed il Piano di Tutela ed Uso delle Acque della Regione Lombardia, precedentemente citate. In questo preciso ambito si inquadra il "Progetto Nitrati" in corso di svolgimento presso la Provincia di Milano, in collaborazione con ARPA Lombardia ed ARPA EMR, i cui risultati preliminari sono riportati nelle pagine seguenti.

INTRODUZIONE

La contaminazione delle acque sotterranee da nitrati è un problema che, a livello mondiale, interessa tutti i paesi industrializzati ed appare aggravarsi nel tempo.

In Italia, ed in particolare in Pianura Padana, si osservano sempre più spesso concentrazioni prossime o superiori al limite ammesso di 50 mg/l e, sebbene la causa principale del fenomeno sia normalmente attribuita alla pratica agricola, in ragione dell'incremento nell'uso di fertilizzanti in agricoltura a partire dagli anni '60-'70; recenti studi hanno individuato altre fonti origine di gran parte dei nitrati presenti nelle zone maggiormente antropizzate del territorio lombardo, tra queste sicuramente i reflui fognari e da allevamenti (Porto et al., 2006).

Nell'ambito del Progetto Nitrati, promosso dalla Giunta Provinciale nel corso degli ultimi anni, sono state svolte analisi idrochimiche ed isotopiche su alcune aree a maggiore concentrazione in falda, lavoro valorizzato da una pubblicazione internazionale "Isotopic Prospection in high vulnerabilità area of the Milano province" (Porto, Zelioli, Martinelli, Dadomo et al) e da un documento ufficiale "Nitrati in Falda_ Risultati indagine 2006", (nell'ambito della convenzione tra Provincia di Milano – Direzione Centrale Risorse Ambientali, Arpa Lombardia ed Arpa Emilia Romagna_ Prot. 87376/1858/05 del 22/12/2006).

Nel presente documento verranno illustrate alcune indicazioni preliminari ricavate dalle indagini svolte e si tenterà di approfondire l'analisi qualitativa su un'area pilota, al fine di definire una strategia operativa a scala locale.

TOSSICOLOGIA E LIMITI DI POTABILITÀ DEI NITRATI IN FALDA

Secondo l'Oms i valori guida per l'acqua minerale, per quanto riguarda il nitrato (come NO3-) sono di 45 milligrammi per litro, tenendo conto che le fonti di questi composti sono davvero tante nell'alimentazione moderna. Tale limite è in vigore anche nella legislazione italiana fin dagli anni Ottanta.

Molti studi scientifici recenti puntualizzano tuttavia sui rischi di tossicità che acque contaminate da elevate concentrazioni di nitrati presentano in seguito alla loro riduzione a nitrito; questa trasformazione avviene in seguito all'attività di microrganismi normalmente residenti nella cavità orale o lungo il tratto intestinale, oppure sviluppatesi a causa di condizioni patologiche, interessanti soprattutto l'apparato urinario (Pavoni B., 2003)

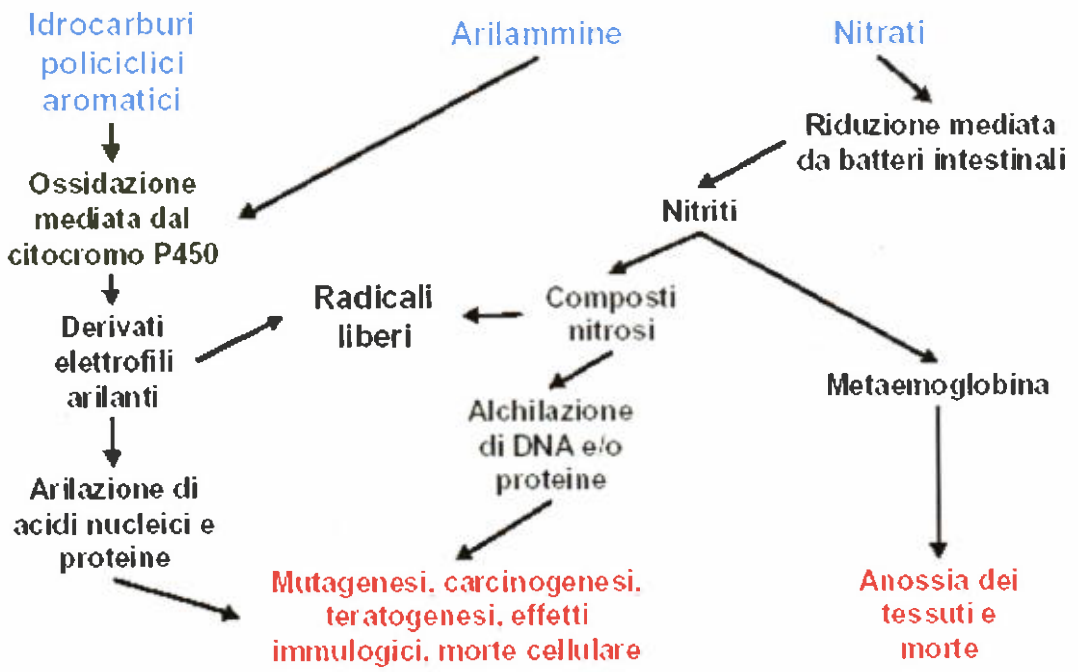


Figura 1. Principi generali di tossicologia ambiente/uomo. Università di Venezia, Dipartimento di Scienze-CNR Pallanza

NORMATIVA DI RIFERIMENTO E COMPETENZE IN MATERIA DI TUTELA DELLE ACQUE

a. Evoluzione della normativa europea per la protezione delle acque dall'inquinamento di nitrati

Negli anni 80 si è registrata una costante degradazione della situazione (l'aumento medio annuo della concentrazione di nitrati nelle acque è pari a 1 mg/l), riconducibile all'allevamento fuori terreno (polli, suini) in aree già saturate e a colture intensive, che comportano, tra l'altro, il ricorso al chemiodiserbo e alla sovraconcimazione.

La **direttiva 91/676/CEE**, nota come "direttiva Nitrati" è stata adottata dalla Comunità economica europea nel 1991 a protezione delle acque sotterranee minacciate da uno sfruttamento eccessivo del suolo agricolo, con accumulo di nitrati.

Gli Stati membri individuano sul proprio territorio:

- le acque, di superficie o sotterranee, inquinate o che potrebbero essere inquinate, sulla base della procedura e dei criteri di cui nella direttiva;
- le zone vulnerabili che concorrono all'inquinamento.

E' evidente il limite della direttiva che sta nella ristrettezza del campo di applicazione, cioè prettamente in campo agricolo.

Tale limite viene superato dalla successiva direttiva, detta "Direttiva Quadro Acque", **2000/60/CE** che fornisce un quadro d'azione completo e a lungo termine per una politica comunitaria in materia di acque.

Le principali caratteristiche innovative della direttiva sono:

- Gestione dell'acqua a livello di bacino idrografico (non amministrativa)
- Approccio combinato per il controllo inquinamento
- Integrazione di tutti gli usi, funzioni, valori dell'acqua
- Integrazione di una vasta gamma di misure economiche e finanziarie (politiche di prezzi)
- Deregulation, sussidiarietà
- Partecipazione della società civile e della stakeholders

L'obiettivo è il raggiungimento di un buono stato di tutte le acque (superficiali, sotterranee, costiere) entro il 2015, attraverso diversi step prefissati in un calendario di attuazione:

- 2003 Recepimento ed identificazione dei Distretti Idrografici

- 2004 Individuazione delle Pressioni/Impatti/Usi
- 2006 Programma di monitoraggio operativo
- 2006 Consultazione pubblica
- 2009 Piani di gestione dei bacini
- 2010 Introduzione politiche dei prezzi
- 2015 Raggiungimento del "buono stato" delle acque
- 2021 Fine primo ciclo di gestione

L'Italia si trova ancora in eccessivo ritardo rispetto ai suddetti obiettivi intermedi.

La recente **Direttiva 2006/118/CE** sulla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento parte dal presupposto che le acque sotterranee sono una preziosa risorsa naturale da proteggere, in quanto tale, dal deterioramento e dall'inquinamento chimico. Ciò è particolarmente importante per gli ecosistemi dipendenti dalle acque sotterranee e per l'utilizzo delle acque sotterranee per l'approvvigionamento di acqua destinata al consumo umano. Quindi, tenendo presente quanto sopra e data l'esigenza di conseguire livelli coerenti di protezione, il Parlamento europeo e il Consiglio hanno ritenuto opportuno stabilire norme di qualità e valori soglia e sviluppare metodologie basate su un approccio comune onde fornire criteri per valutare il buono stato chimico dei corpi idrici sotterranei e stabilire, nel contempo, come criteri comunitari, norme di qualità per i ***nitrati***, i prodotti fitosanitari e i biocidi, in coerenza con le direttive già precedentemente adottate.

Dunque, la direttiva 2006/118/CE istituisce misure specifiche per prevenire e controllare l' inquinamento delle acque sotterranee , ai sensi dell'articolo 17, paragrafi 1 e 2 della direttiva 2000/60/CE, misure che prevedono, in particolare:

- criteri per valutare il buono stato chimico delle acque sotterranee
- criteri per individuare e invertire le tendenze significative e durature all'aumento e per determinare i punti di partenza per le inversioni di tendenza.

Pertanto, con la nuova direttiva, vengono integrate le disposizioni intese a prevenire o limitare le immissioni di inquinanti nelle acque sotterranee, già prevista nell'allegato V della citata direttiva 2000/60/CE e mira a prevenire il deterioramento di tutti i corpi idrici sotterranei per mezzo di una procedura di monitoraggio concepita in modo da rilevare le tendenze significative e durature all'aumento delle concentrazioni di inquinanti ***direttamente nella risorsa naturale*** (come

nell'Allegato IV, Parte A). Le frequenze di monitoraggio e i siti di monitoraggio devono essere decise in modo tale che siffatte tendenze all'aumento siano identificate con anticipo sufficiente a consentire l'attuazione di misure intese a prevenire, o quanto meno ridurre per quanto possibile, cambiamenti significativi della qualità delle acque sotterranee dannosi per l'ambiente. Possibilmente tale individuazione viene effettuata per la prima volta *entro il 2009, tenendo conto dei dati esistenti*, nel quadro della relazione sull'individuazione delle tendenze redatta nell'ambito del primo piano di gestione del bacino idrografico di cui all'art. 13 della direttiva 2000/60/CE, e successivamente almeno ogni sei anni (All. IV, Parte A Art. 2 comma 2).

Il punto di partenza per attuare misure atte a provocare l'inversione delle tendenze significative e durature all'aumento è stabilito quando la concentrazione di inquinanti ***raggiunge il 75%*** dei valori parametrici delle norme di qualità delle acque sotterranee (di cui all'Allegato 1) e dei valori soglia stabiliti ai sensi dell'articolo 3 (All. IV, Parte B).

b. Normativa nazionale

In Italia Il **D.Lgs n°152/1999**, successivamente modificato ed integrato con il **Decreto Legislativo n°258/2000**, costituisce la normativa di riferimento per il monitoraggio e la classificazione delle acque sotterranee, indicati nell'Allegato 1, punto 4: "Monitoraggio e classificazione: Acque sotterranee"; l'obiettivo principale è l'analisi del comportamento e delle modificazioni nel tempo dei sistemi acquiferi, la significatività e la rappresentatività delle condizioni idrogeologiche, antropiche, di inquinamento in atto, delle azioni di risanamento intraprese, da verificare sistematicamente e periodicamente.
L'attività di monitoraggio produce la classificazione delle acque, tesa a definirne lo stato quantitativo, chimico ed ambientale, sintetizzabili nei rispettivi indici.

E' recente il tentativo della definizione in Italia di una legge quadro sull'ambiente con l'approvazione del **DLgs. 152/06 "Norme in materie ambientale"**, tuttavia ancora sottoposto a continue revisioni.
In materia di acque il decreto recepisce la Direttiva 2000/60/CEE, e rappresenta un vero testo unico che disciplina sia la tutela quali-quantitativa delle acque dall'inquinamento (D.lgs. 152/99, D.M. 367/03) che l'organizzazione del servizio idrico integrato (*legge Galli*). Sono stati definiti specifici

obiettivi di qualità dei corpi idrici (caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche) da raggiungere in due fasi successive: nel 2008 tutti i corpii idrici dovranno avere uno stato di qualità sufficiente e nel 2015 dovrà essere raggiunto il livello di buono.

L'art.120 comma 1, del D.lgs.152/06 prevede che le Regioni elaborino programmi per la conoscenza e la verifica dello stato qualitativo e quantitativo delle acque sotterranee all'interno di ciascun bacino idrografico.

Per raggiungere questo obiettivo è necessario individuare una rete di punti d'acqua significativi e rappresentativi delle condizioni idrogeologiche e antropiche, su cui compiere un periodico monitoraggio chimico e quantitativo.

Nella normativa attualmente in vigore in Italia si identificano come significativi, *gli accumuli d'acqua contenuti nel sottosuolo permeanti la matrice rocciosa, posti al di sotto del livello di saturazione permanente.*

La sovrapposizione dello stato quantitativo e dello stato chimico definisce lo stato ambientale del corpo idrico sotterraneo.

c. Attuazione della normativa in ambito regionale (Lombardia)

Con la **LR 12/12/2003 n. 26**,*"Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche"*, si definiscono nell'**art. 43** le funzioni delle province. In particolare, fermo restando le competenze conferite dalle leggi statali, spettano alla provincia:

gli studi e le indagini per episodi di inquinamento delle falde finalizzati al risanamento delle risorse idriche ai fini di cui all'art. 21, compresi i fenomeni di inquinamento diffuso da nitrati e legato al cattivo funzionamento dei sistemi di collettamento e depurazione.

Nel ***Piano di Tutela delle Acque della Regione Lombardia (Marzo 2006)***, vengono analizzati, nelle acque superficiali e sotterrane, gli impatti antropici e vengono definite le aree sensibili.

In particolare nell'art. 27, il PTUA individua *"...i territori dei comuni individuati nell'elenco di cui all'appendice D..."* come *"...zone vulnerabili da nitrati di origine civile..."* nello stesso articolo 27 vengono coinvolte le Autorità d'Ambito, le quali attraverso *"...i piani d'ambito individuano le misure per limitare le perdite delle reti fognarie e stabiliscono come priorità l'attuazione di dette misure nelle zone vulnerabili sopra richiamate..."*.

La **Provincia di Milano,** con il proprio *Sistema Informativo Falda* e gli Enti costituenti (ossia i PMIP - ASL di Milano, il Comune di Milano ed il Consorzio Acqua Potabile) ha già prodotto uno studio nel 1997 sul problema dei nitrati nelle acque sotterranee negli anni che vanno dal 1990 al 1995, riportandone le isoconcentrazioni su tutto il territorio della provincia e individuando gli andamenti nel quinquennio per ogni comune e per ogni pozzo (Rosti et al., 1997).

Progetto QUALFALDA

In applicazione alle indicazioni normative del DLgs n.152/99 e in base a quanto stabilito dalla Convenzione IRSA-Provincia di Milano - Direzione Centrale Risorse Ambientali, il progetto "*QUALFALDA*" (Guzzella, Arduini et al. 2005-2006) ha avuto come obiettivo principale quello di definire una prima classificazione dello stato ambientale dei principali corpi idrici sotterranei della Provincia di Milano.

La metodologia utilizzata ha permesso la realizzazione di cartografie sullo stato qualitativo dei diversi corpi acquiferi, di carte tematiche specifiche su alcuni inquinanti additivi presenti scelti in base alla disponibilità dei dati e di ulteriori carte indicanti lo stato quantitativo dei corpi acquiferi.

In applicazione alle indicazioni normative del D.Lgs n.152/99 per i corpi idrici sotterranei è prevista una fase conoscitiva per:

- La definizione dello stato chimico;
- La definizione dello stato quantitativo;
- La definizione dello stato ambientale.

Per definire lo stato chimico degli acquiferi sono state utilizzate direttamente le analisi chimiche di pozzi presenti nel territorio provinciale, mentre in questa fase, non è stato possibile definire ex-novo lo stato quantitativo degli acquiferi. Pertanto si è fatto riferimento, come previsto dal D.Lgs. 152/99, al *Piano di Tutela delle Acque della Regione Lombardia (Marzo 2006) che presenta una classificazione rappresentativa dell'acquifero Superficiale e Tradizionale*. L'integrazione di questo supporto con la caratterizzazione chimica definita in questo studio hanno permesso di definire lo stato ambientale della la Provincia di Milano per gli anni 2000-2004 così come richiesto dal D.Lgs. 152/99.

E' stato possibile rappresentare soltanto i parametri conducibilità, cloruri, ferro, manganese, solfati e nitrati. Per ciascun parametro analitico sono state definite delle classi di qualità, mediante interpolazione statistica dei dati, al fine di giungere a quattro classi sintetiche per la qualità ambientale della provincia di Milano. Risulta che le zone di peggior qualità, per quanto riguarda lo

stato dell'acquifero tradizionale, (classi 3-4) si delineano con il comune di Milano e i comuni della provincia milanese a nord e a nord-est.

L'elemento che pesa maggiormente sulla definizione di tali classi risulta essere il parametro "nitrati".

RISULTATI DELL'INDAGINE ISOTOPICA

Nell'ambito della *Convenzione tra la Provincia di Milano - Direzione Centrale Risorse Ambientali, Arpa Lombardia ed Arpa Emilia Romagna* per l'esecuzione di una campagna mirata all'identificazione dell'origine della contaminazione da nitrati nelle acque in falda nel territorio provinciale, cosiddetto "Progetto Nitrati", nel corso del 2006-2007 è stata definita la messa a punto di un metodo per l'indagine isotopica nelle aree di alta vulnerabilità della provincia di Milano.

L'obiettivo delle indagini geochimiche, negli anni passati e attuali, contemporaneamente a quelle isotopiche è di evidenziare un aumento delle concentrazioni dei nitrati nelle acque sotterranee e di ridefinire una nuova "mappa della vulnerabilità" per gli acquiferi della provincia di Milano.

A tal proposito sono stati individuati tre siti "test", che corrispondono a tre aree della provincia settentrionale; le tre zone (AREA 1, AREA 2 e AREA 3) sono state scelte da ovest ad est del territorio provinciale e dal comune di Milano fino ai comuni limitrofi settentrionali.

In tali aree sono stati campionati 37 pozzi (Figura 2), classificati a seconda della profondità dell'acquifero, sui cui campioni sono stati analizzati vari parametri chimici e alcuni isotopi stabili: ^{18}O e ^{2}H (D) in H_2O (analizzati per mezzo dello spettrometro di massa di TERMO DELTA^{plus} secondo il metodo di equilibramento); ^{15}N e ^{18}O in NO_3 (secondo il metodo di Fukada et al. 2003).

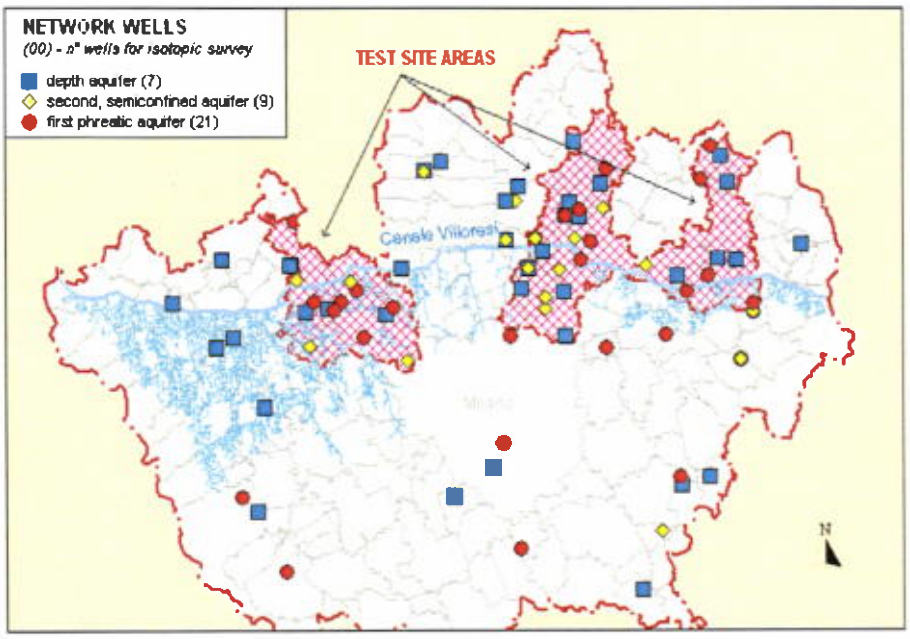
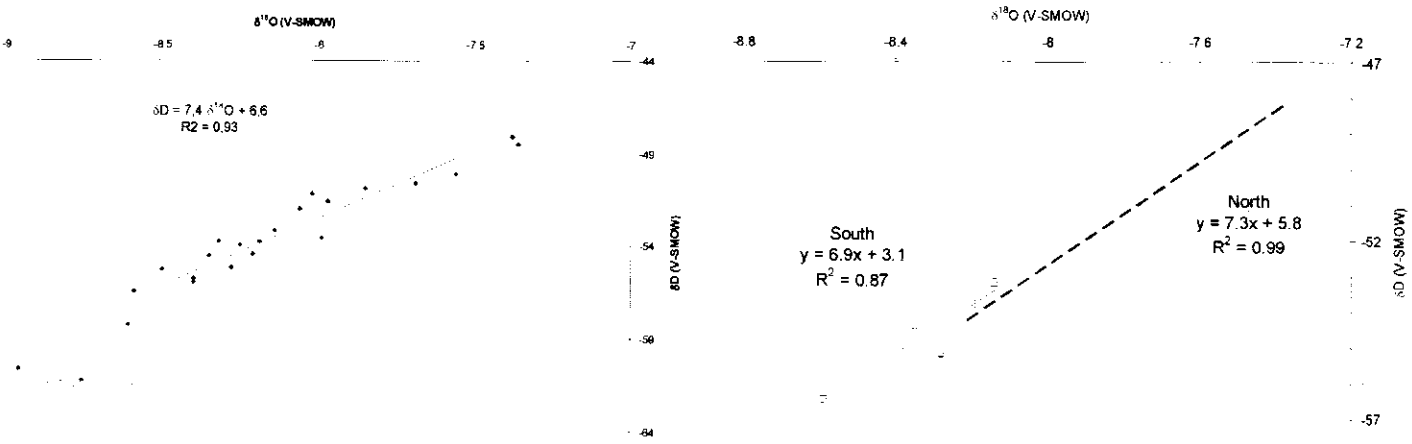


Fig. 2: Provincia di Milano – Punti falda monitorati e aree di studio.

La relazione fra $\delta^{18}O$ e δD calcolata per i campioni di acqua dei pozzi selezionati (Figura 3a), simile a quella della "Local Meteoric Water Line (LMWL)" trovata per il Nord Italia da Longinelli e Selmo (2003) indica che tutte le acque sotterranee campionate derivano da infiltrazione di acqua superficiale, ossia che negli acquiferi campionati non ci sono apporti da acque profonde della pianura, isotopicamente diverse (talora positive). I valori isotopici riscontrati nei campioni prelevati dagli acquiferi più superficiali, simili a quelli misurati da Longinelli e Selmo (2003) per la pianura lombarda, hanno consentito l'identificazione di acque a ricambio relativamente "veloce" connesse a fenomeni di precipitazione e infiltrazione locale. Le acque più profonde sono relativamente più impoverite in isotopi pesanti (^{18}O e D), indice di un ricambio "lento" e di origine alpina e sub-alpina.

Alcuni campioni di acque non molto profonde sono risultati isotopicamente più leggeri, fenomeno dovuto probabilmente alla vicinanza e al rimescolamento con le acque del Canale Villoresi. Figura 3 b.



a b

Fig. 3: Retta di regressione della composizione isotopica ($\delta^{18}O$ vs δD) delle acque sotterranee in acquiferi della provincia di Milano in generale (a) e in pozzi vicino al Canale Villoresi (b).

Nell'area a nord della provincia di Milano, con le cautele dovute all'esiguo numero di punti sperimentali, si segnala un possibile processo di diluizione tra acque a diversa profondità, evidenziato da una relazione lineare esistente fra le coppie dei valori $\delta^{18}O$-NO_3 (Figura 4). In particolare le acque caratterizzate da valori isotopici prossimi a -7,40 $\delta^{18}O$, correlabili alle precipitazioni misurate nell'area milanese (Longinelli e Selmo, 2003), sono state riscontrate nella parte più superficiale dell'acquifero e mostrano elevate concentrazioni di NO_3 (Figura 5), evidenza di un importante processo di dilavamento dei nitrati del suolo e infiltrazione locale. Le acque dei settori più profondi del tratto di acquifero considerato, caratterizzate da valori isotopici più negativi (-8,40 $\delta^{18}O$) e da minori concentrazioni di NO_3, denotano una zona di ricarica interessata da precipitazioni tipiche di altitudini maggiori ("quota isotopica equivalente") e minor carico azotato sul suolo.

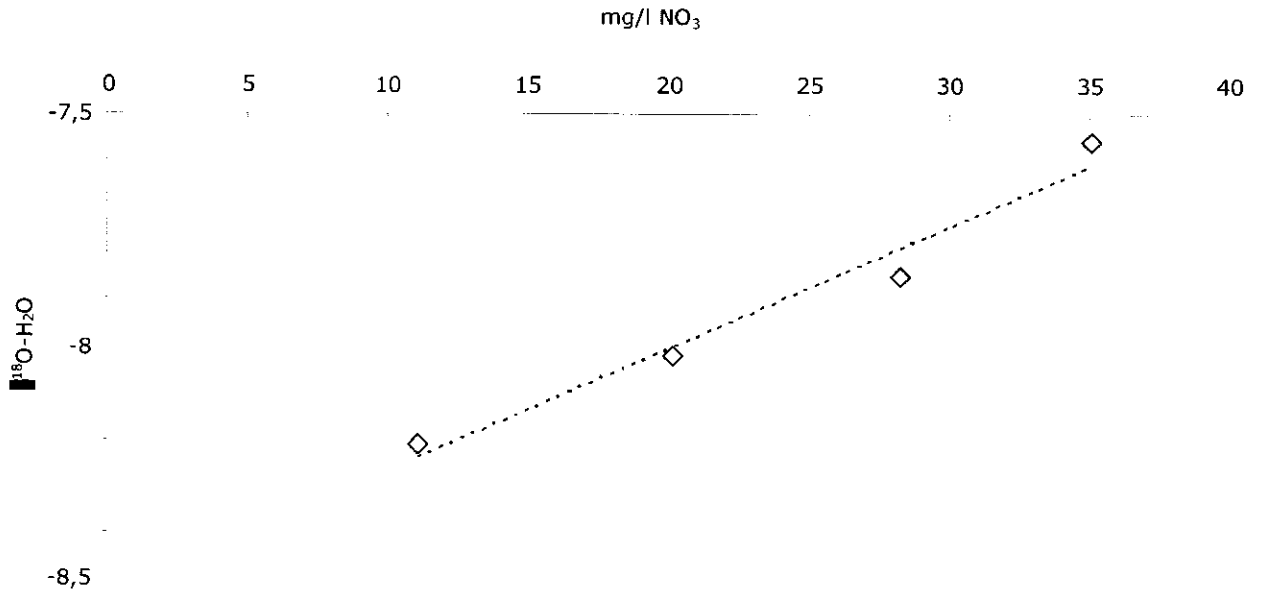


Figura 4. Traccia di un processo di diluizione evidenziati dall' andamento della concentrazione di NO3 (mg/l) vs δ18O-H2O in pozzi selezionati dell'area centro nord della provincia di Milano

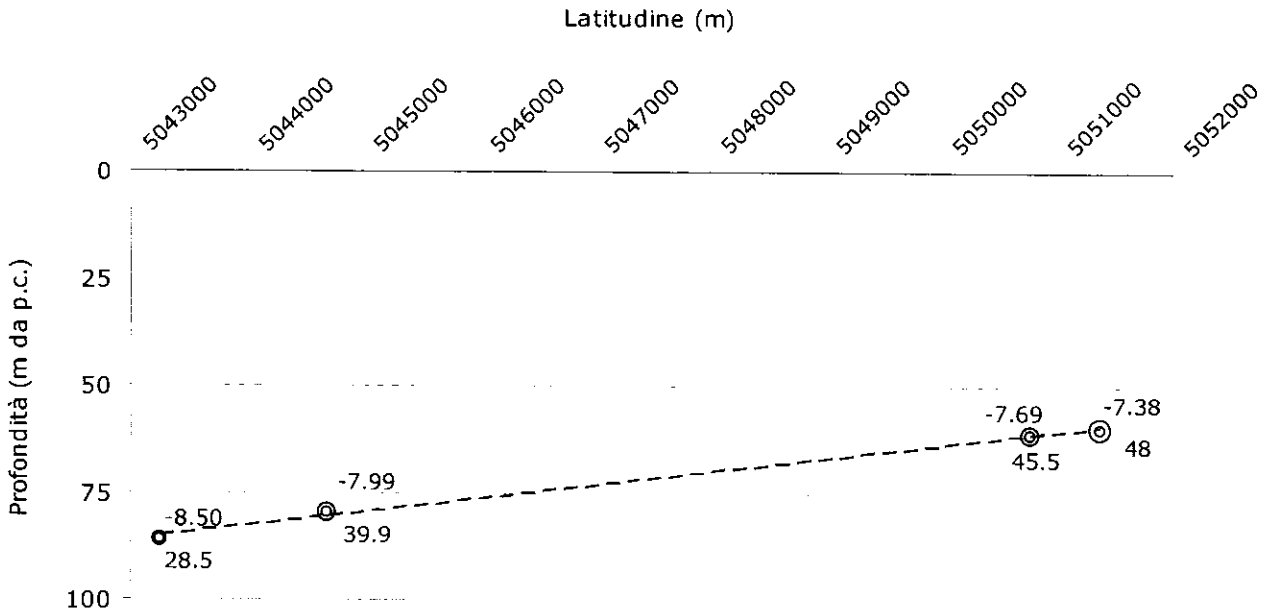


Figura 5. Sezione schematica del tratto di acquifero considerato eseguita lungo la direzione di flusso della falda (da destra a sinistra). I numeri sopra al punto di prelievo indicano il valore del □18O, i sottostanti la concentrazione di nitrato.

Dalle analisi isotopiche sui nitrati (NO_3^-), in particolare dal rapporto tra $\delta^{15}N$-NO_3 e $\delta^{18}O$-NO_3, risulta che i composti azotati presenti nei pozzi considerati hanno un'origine prevalentemente organica; valori analoghi sono stati rintracciati anche da Dadomo et al. (2005) e da Pilla et al. (2005). Figura 6.

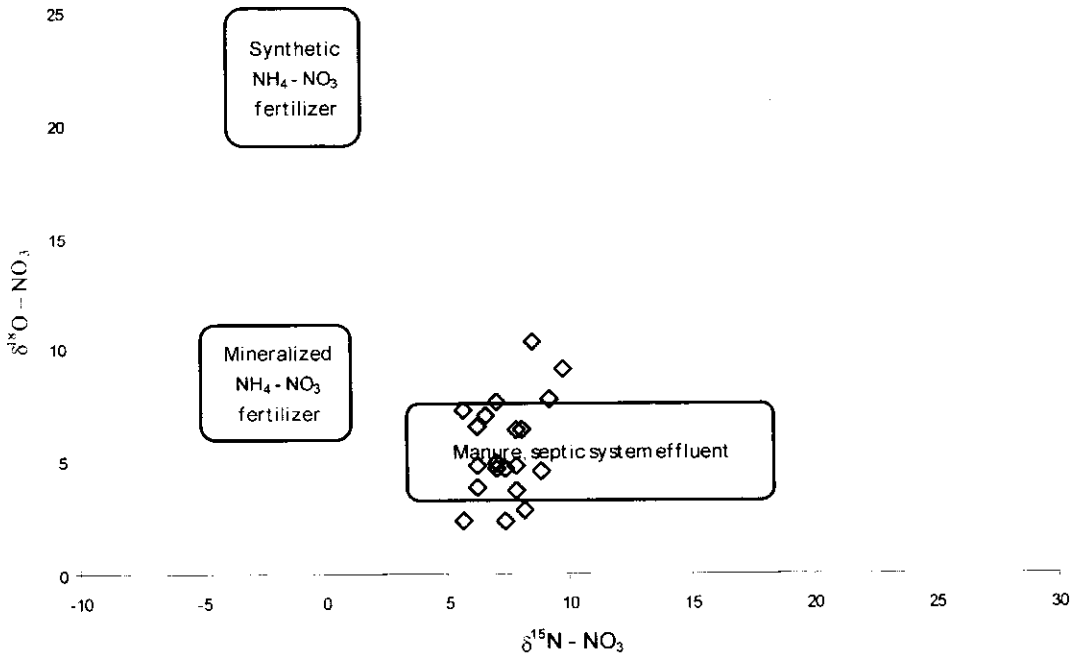


Fig. 6. $\delta^{15}N$-NO_3 vs $\delta^{18}O$-NO_3 nei pozzi campionati.

AREA PILOTA: *"AREA 2"*

I Comuni di Cinisello Balsamo, Monza e Sesto San Giovanni sono stati scelti, in virtù della quantità e della qualità dei dati disponibili, come parte di quell'area pilota più estesa "Area 2", comprendente alcuni comuni a nord di Milano. Il metodo di lavoro applicato a questa primissima indagine conoscitiva verrà in seguito implementato ed esteso alle altre aree settentrionali della Provincia, a nord-ovest ("Area 1") e a nord-est ("Area 3") di Milano; si prevede infine, ove possibile, di estendere l'indagine su tutto il territorio, con l'auspicio di poter attuare in futuro una campagna mirata all'identificazione dell'origine della contaminazione da nitrati nelle acque in falda.

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO

La Provincia di Milano è caratterizzata da sedimenti quaternari di origine fluvio-glaciale, in particolare in superficie prevalgono litotipi ghiaioso-sabbiosi che diminuiscono di granulometria da Nord a Sud. Anche in profondità si assiste allo stesso passaggio litologico (da sedimenti grossolani a fini) e tale passaggio è posto in corrispondenza di un cambiamento di ambienti deposizionali: si passa da depositi fluvio-lacustri, a depositi deltizi e di piana costiera (Villafranchiano). Questi caratteri si riflettono sulla distribuzione delle caratteristiche idrogeologiche in quanto in superficie si hanno corpi intercomunicanti di elevata permeabilità e spessore, mentre procedendo in profondità la permeabilità diminuisce e i corpi permeabili diventano sempre più isolati. Tale situazione determina la presenza di falde libere e semiconfinate nei litotipi più permeabili fini a circa 100 m di profondità, che sono contenute nell'acquifero storicamente sfruttato dalla maggior parte dei pozzi per acqua e per questo indicato come "Acquifero tradizionale". Esso viene ricaricato direttamente dalle precipitazioni meteoriche, dalle perdite dei corsi d'acqua e dagli apporti irrigui.

La ricostruzione della struttura idrogeologica ha avuto la finalità di individuare la geometria e la litologia dei differenti corpi acquiferi, cioè di quei sedimenti che tendono, per le loro caratteristiche di permeabilità e spessore, ad ospitare le acque sotterranee captate e utilizzate nella pianura milanese. Diversi sono stati gli approcci seguiti da vari Autori che si sono occupati della descrizione della struttura idrogeologica del sottosuolo della pianura milanese (Fig. 7).

L'acquifero tradizionale in certe zone della provincia di Milano è diviso un in primo e in un secondo acquifero da un orizzonte argilloso continuo, mentre nel sottosuolo del comune mancano setti argillosi in grado di separare in modo continuo l'acquifero tradizionale. L'acquifero tradizionale è formato da sedimenti caratterizzata da elevata permeabilità (ghiaie e sabbie prevalenti con subordinate frazioni di limi e di livelli cementati) da spessori da 40 a 95 m, con conducibilità idrauliche dell'ordine di $10^{-3}/10^{-4}$ m/s e trasmissività di circa $10^{-2}/10^{-3}$ m^2/s, ed è sede di falda libera. La base dell'acquifero tradizionale si rinviene tra 150 e 20 m s.l.m. e ad andamento regolare e decrescente da N a S.
I tratti fenestrati dei pozzi si concentrano nell'acquifero tradizionale e la loro lunghezza varia da 3 a 40 m confermando che è l'acquifero più sfruttato e in cui si concentrano i maggiori prelievi idrici. È da notare che è l'acquifero più vulnerabile in quanto è superficiale, non protetto da pacchi argillosi (con basse permeabilità dell'ordine di 10^{-7} m/s) in superficie e riceve apporti direttamente dalle

precipitazioni meteoriche, dalle perdite dei corsi d'acqua, dall'irrigazione e da perdite dai sottoservizi (fognature ecc).

La superficie piezometrica della falda freatica si trova a quote dal piano campagna che vanno da 20 m a 45 m.

Gli acquiferi profondi sono formati da sedimenti sabbiosi di medio-bassa permeabilità dello spessore di 3-18 m, non sono continui tra loro ma separati da pacchi argillosi dello spessore da 10 a 85 m che formano lenti sabbiose. Questi acquiferi hanno valori di conducibilità idraulica molto bassa dell'ordine di $10^{-4}/10^{-6}$ m/s nei livelli più produttivi e di trasmissività mediocre e in genere inferiore a 10^{-3} m^2/s; essi sono sede di falde confinate caratterizzate da bassa velocità di circolazione e basso tasso di rinnovamento.

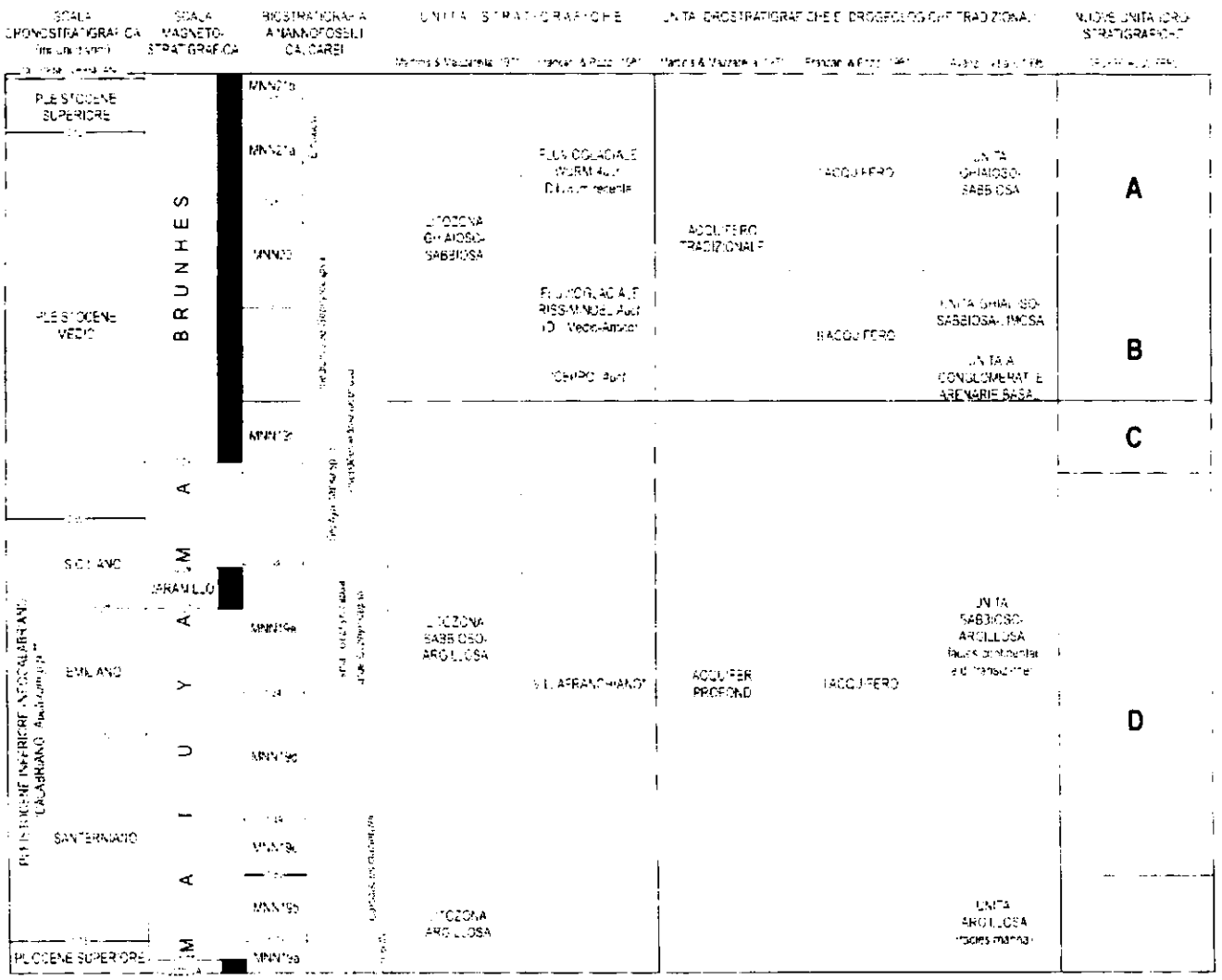
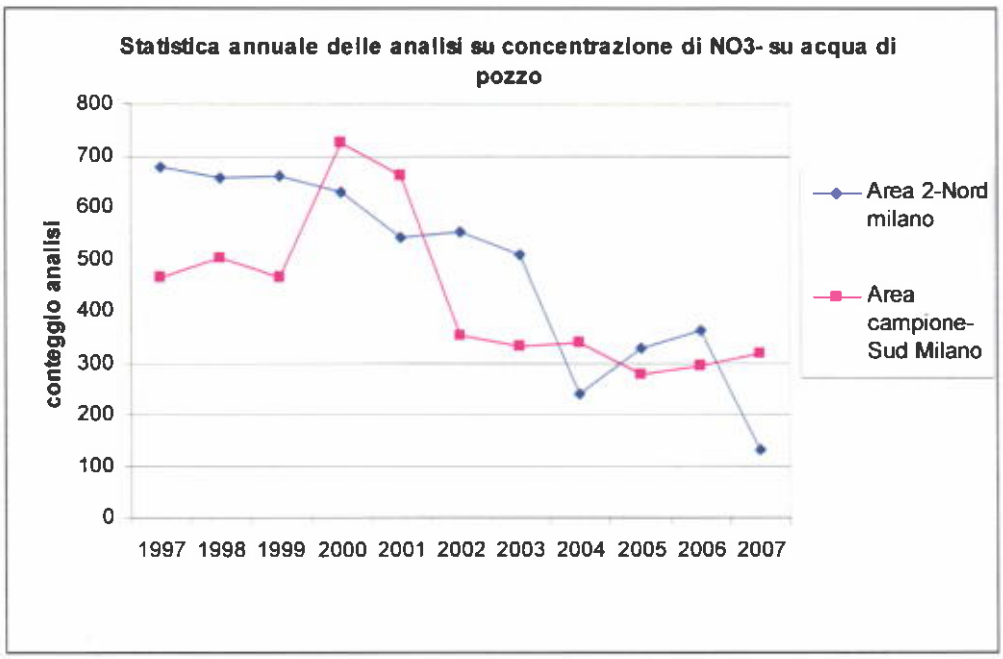


Fig.7: Schema dei rapporti idrostratigrafici secondo diversi autori (da Regione Lombardia, ENI Divisione Agip, 2002).

METODO DI LAVORO E RISULTATI

I pozzi considerati validi, per quantità e qualità dei dati disponibili di analisi delle concentrazioni di nitrato (NO3- mg/l), oggetto del presente studio sono 20 nel comune di Cinisello Balsamo, 33 nel comune di Monza e 19 in quello di Sesto San Giovanni.

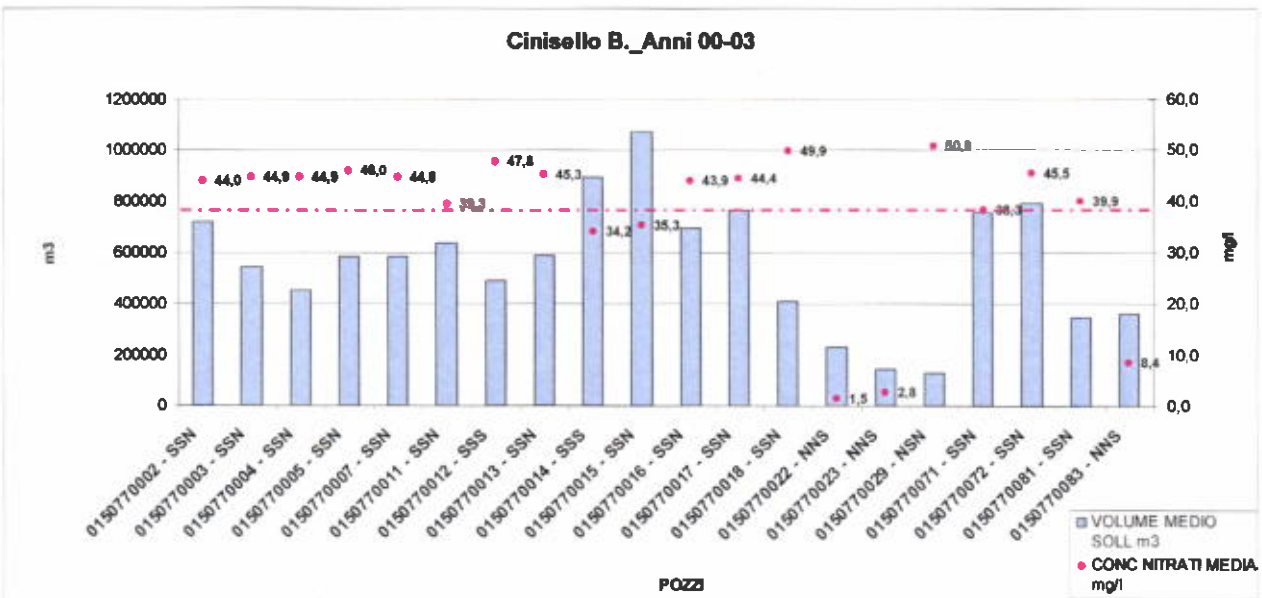
I dati delle concentrazioni di nitrato sull'acqua grezza sono disponibili per tutti pozzi considerati dal 1997 al 2007. Tuttavia dal 2003, per effetto delle nuove disposizioni in materia di acque, non sempre sono state effettuate analisi sui pozzi, ma sono state sostituite da quelle su campioni di acqua prelevata direttamente dalla rete idrica (Vedi statistica dei dati qui di seguito riportata).

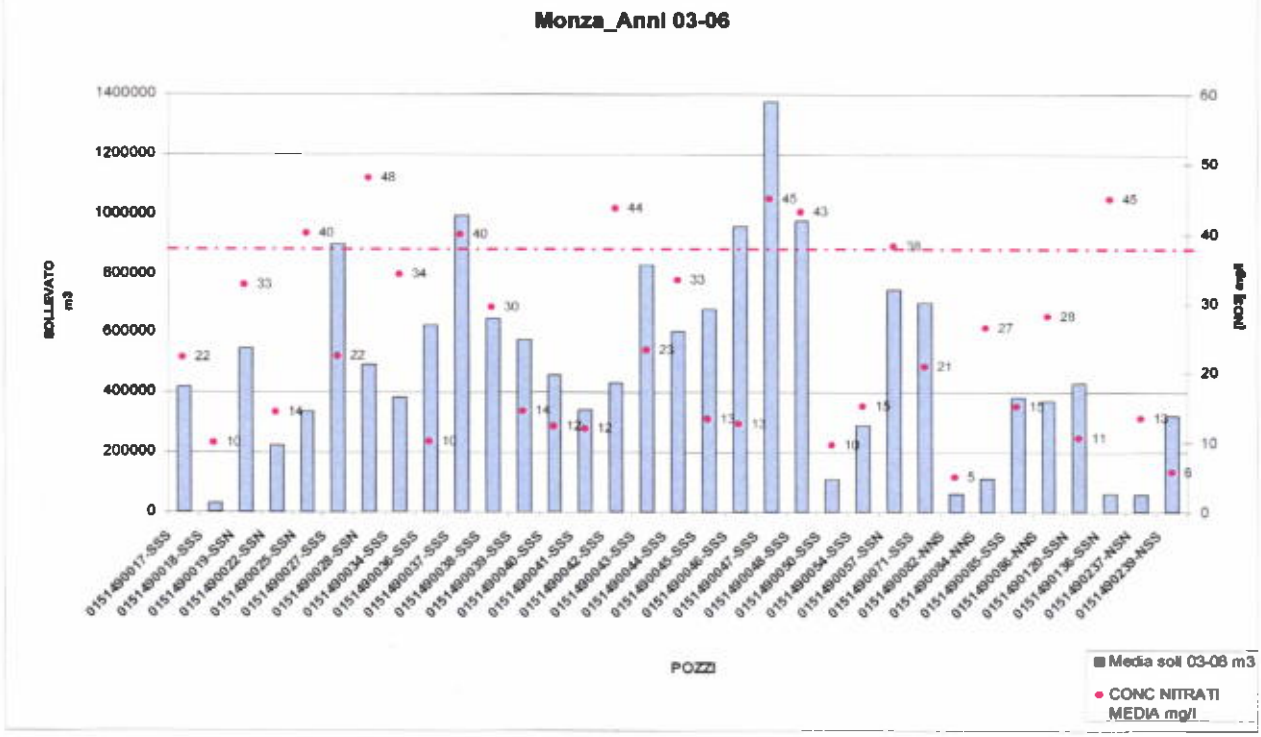


Per ogni anno è stata calcolata la media delle concentrazioni di nitrato rilevate, la media annua dei volumi idrici prelevati da ogni pozzo (media sollevato annuo) e le deviazioni standard.

I pozzi sono stati poi classificati, tramite il loro codice SIF, in base alla posizione dei filtri rispetto agli acquiferi.

Considerando le concentrazioni medie annue per ogni pozzo e i volumi relativi di acqua sollevata, a seconda degli anni per cui erano disponibili entrambi i dati, viene evidenziato, in genere, che i pozzi caratterizzati dalle concentrazioni più elevate sono quelli con i volumi di sollevato maggiore (>= 700000 m^3/anno). La criticità sta nel fatto che le concentrazioni medie di tali pozzi superano quasi sempre i ¾ del valore limite (50 mg/l), segnalato dalla linea tratteggiata. Figura 8.


Cinisello B._Anni 00-03
m3
mg/l
POZZI
VOLUME MEDIO SOLL m3
CONC NITRATI MEDIA mg/l


Monza_Anni 03-06
SOLLEVATO m3
mg/l (conc)
POZZI
Media soll 03-06 m3
CONC NITRATI MEDIA mg/l

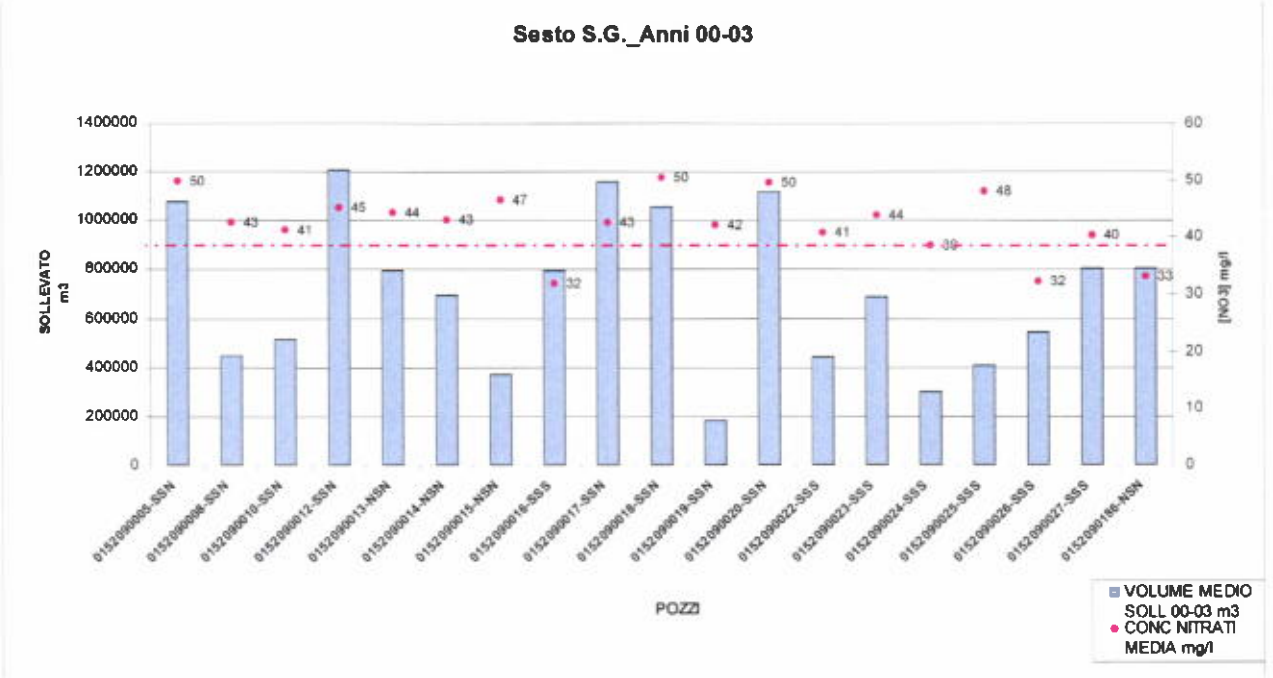
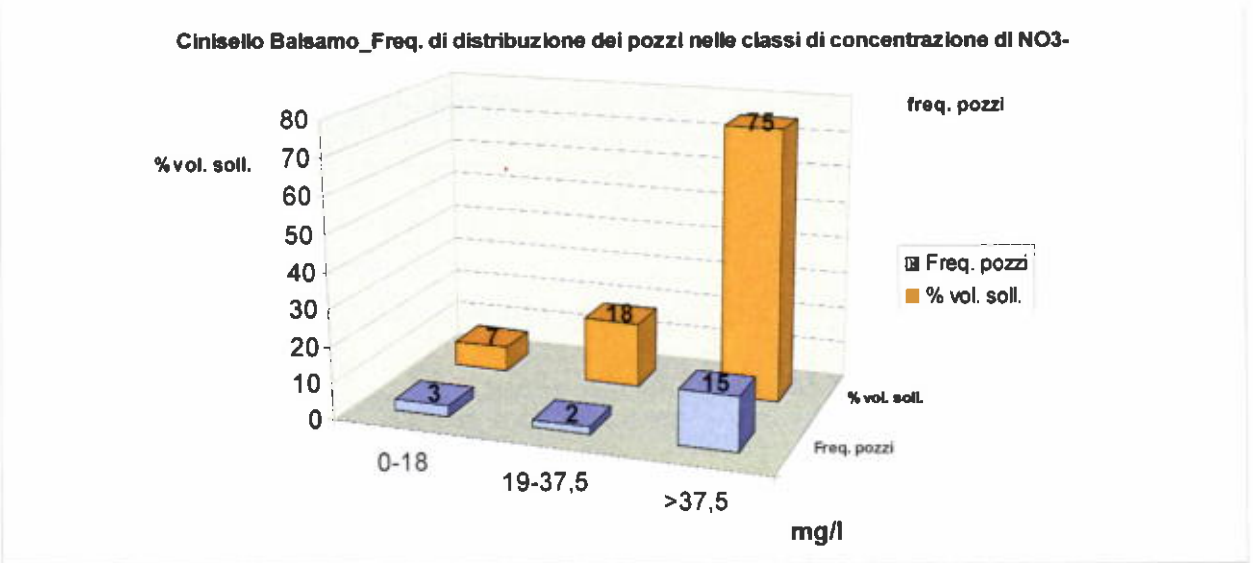
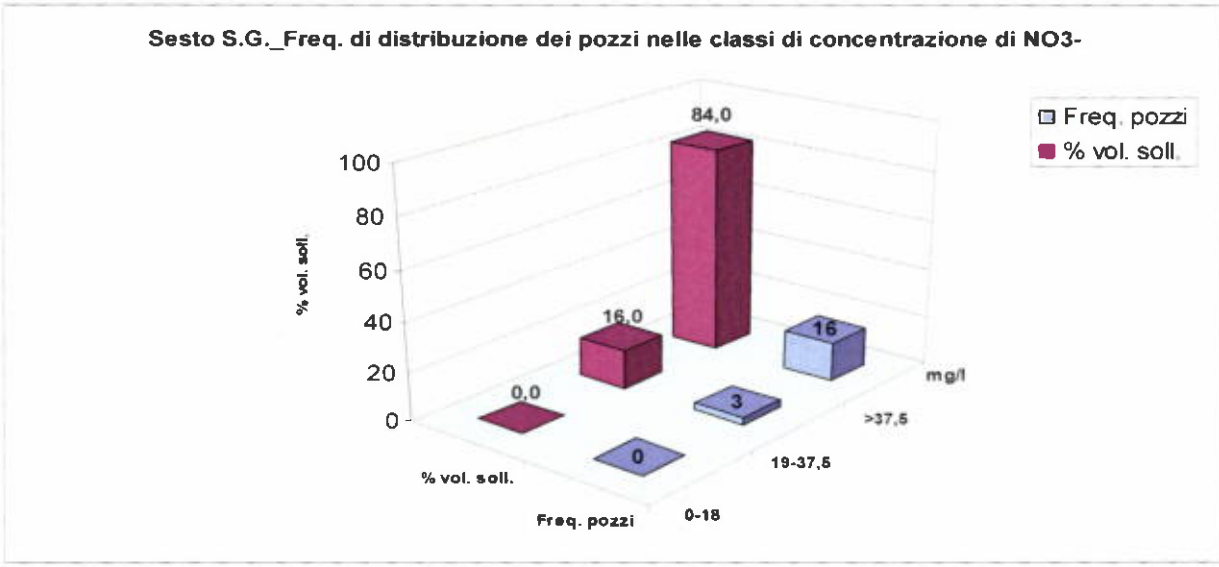


Figura 8. Rapporto concentrazione NO^3- / volume sollevato per ogni pozzo, comparato nei tre comuni. La linea tratteggiata rappresenta la soglia del 75% della concentrazione massima ammissibile (CMA).

Ciò vuol dire che la maggior parte dell'acqua prelevata dai pozzi considerati, supera mediamente 37,5 mg/l (75% della CMA) nei comuni di Cinisello B. e Sesto S. G., mentre nel comune di Monza la ripartizione risulta più omogenea, poiché i filtri dei pozzi arrivano solitamente fino all'acquifero profondo (SSS), a causa della differente situazione morfologica degli acquiferi. Questo spiegherebbe una maggiore diluizione delle alte concentrazioni di nitrato, caratteristiche degli acquiferi superficiali. Figura 9.





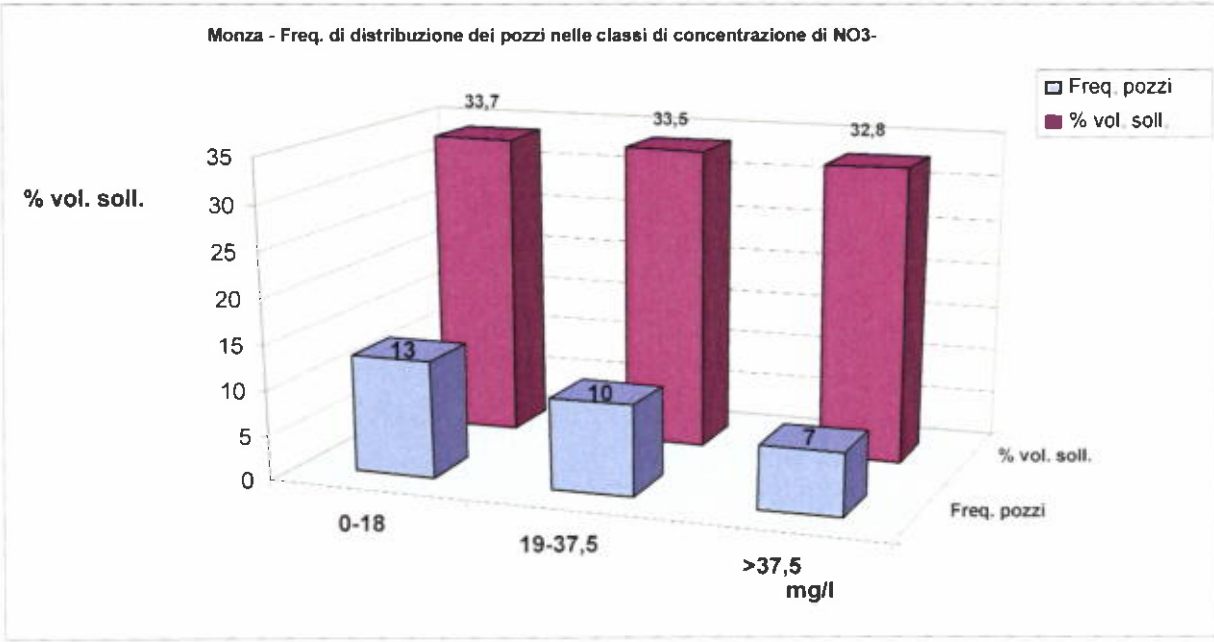
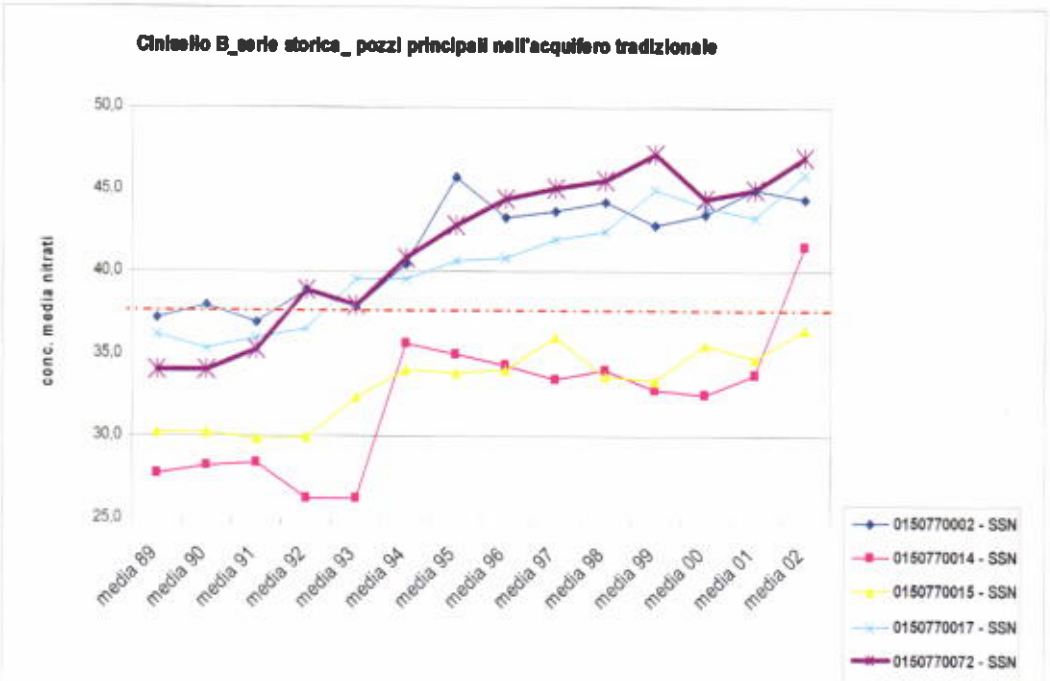
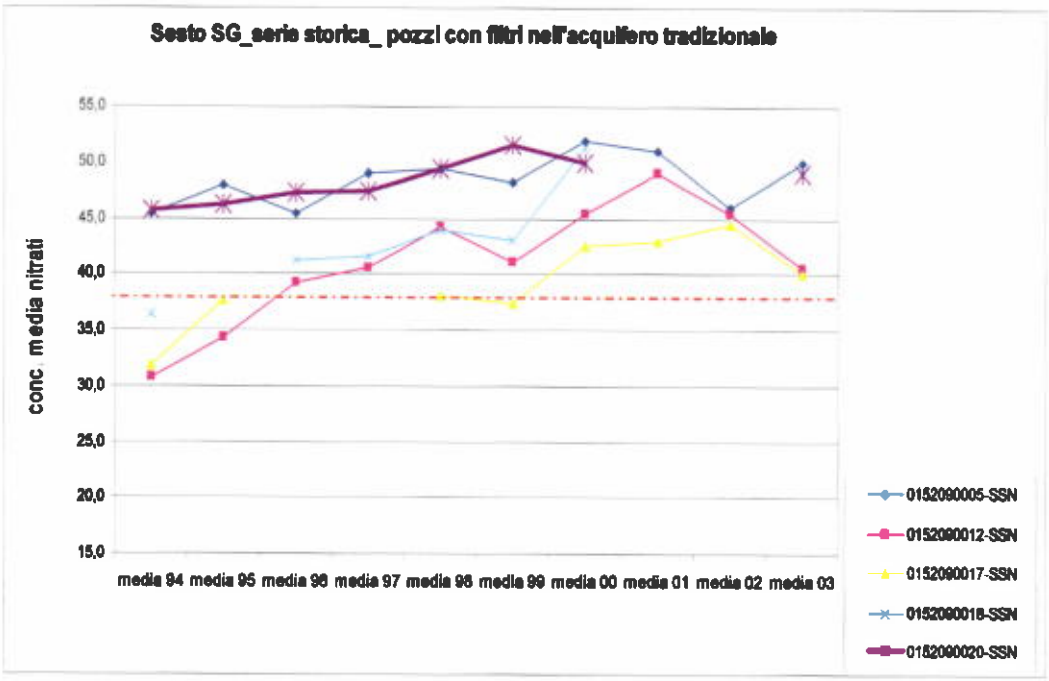


Figura 9. Distribuzione dei pozzi nelle tre classi di concentrazione.

Sono quindi stati scelti i pozzi più rappresentativi, in base al volume sollevato annuo, per l'analisi delle serie storiche, dalle quali si evince una tendenza all'aumento delle concentrazioni medie annue, significativa nel caso del comune di Cinisello Balsamo. I pozzi analizzati nel territorio di Monza non presentano lo stesso marcato "trend" ancora una volta, a conferma del fatto che le acque più profonde esercitano una certa diluizione. In generale, tuttavia, la soglia del 75% della CMA è stata ampiamente superata. Figura 10.

Tali andamenti erano già stati evidenziati nel lavoro "Nitrati in Falda" della Provincia di Milano, che prendeva in analisi gli andamenti della concentrazioni di nitrati sui pozzi di vari comuni dal 1990 al 1995 (Rosti et al., 1997).





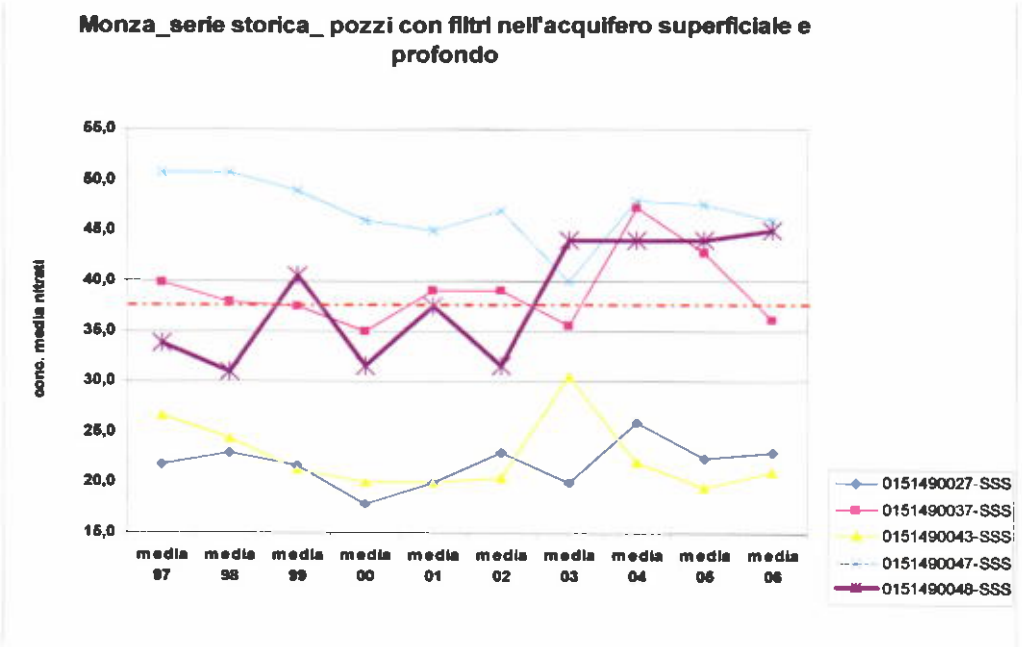
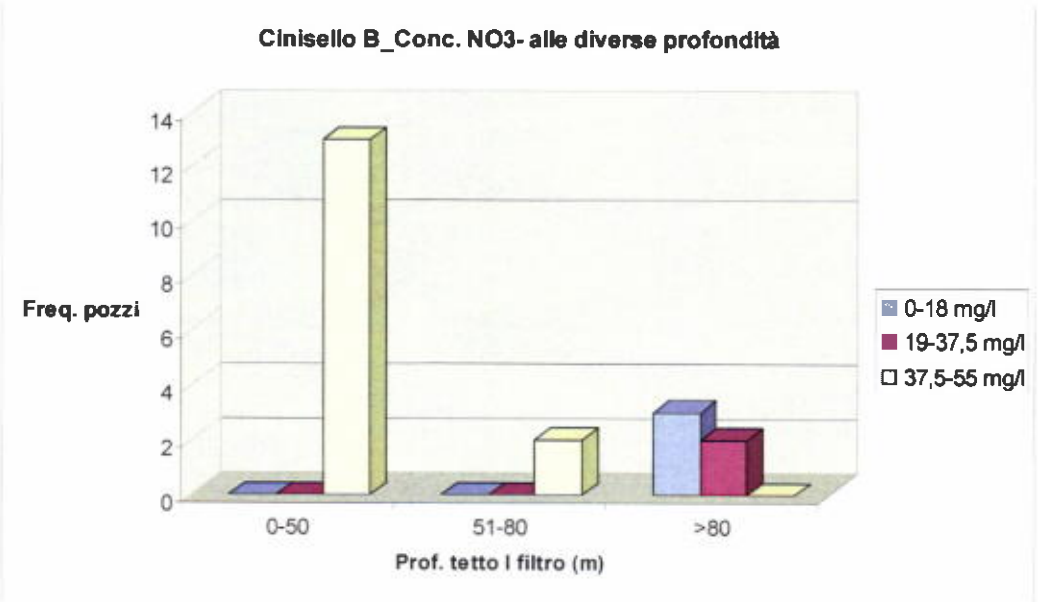
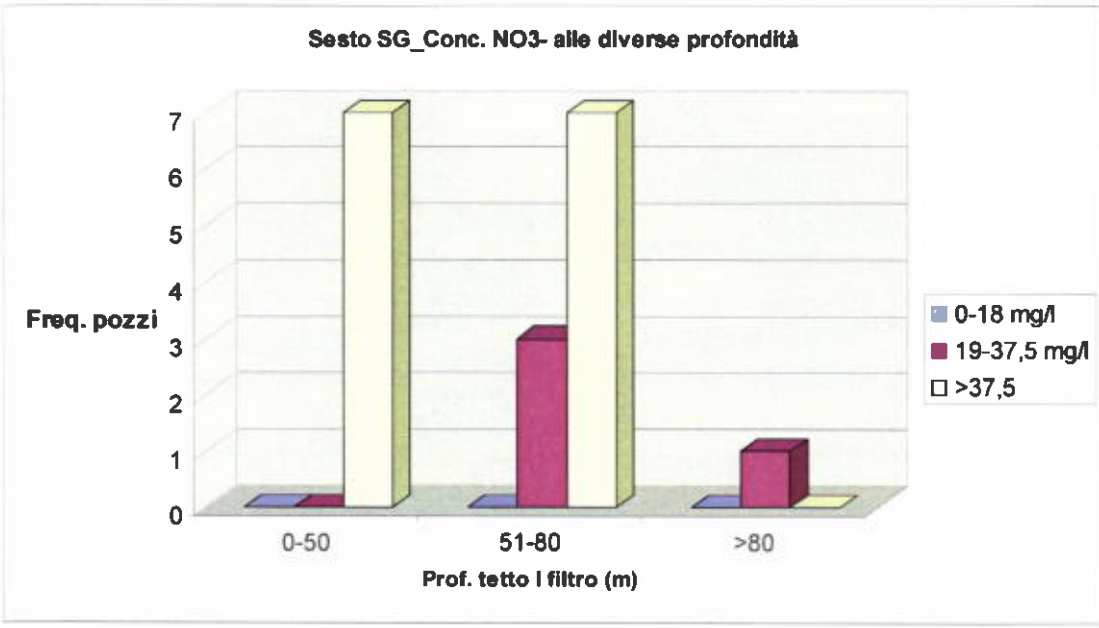


Figura 10. Serie storica fatta sui pozzi più sfruttati. La linea tratteggiata rossa segnala la soglia del 75% della CMA (37,5 mg/l).

Classificando i pozzi in base alla profondità del tetto del primo filtro risultano particolarmente contaminati da NO_3^- gli acquiferi più superficiali (fino a 50 metri di profondità). Figura 11.





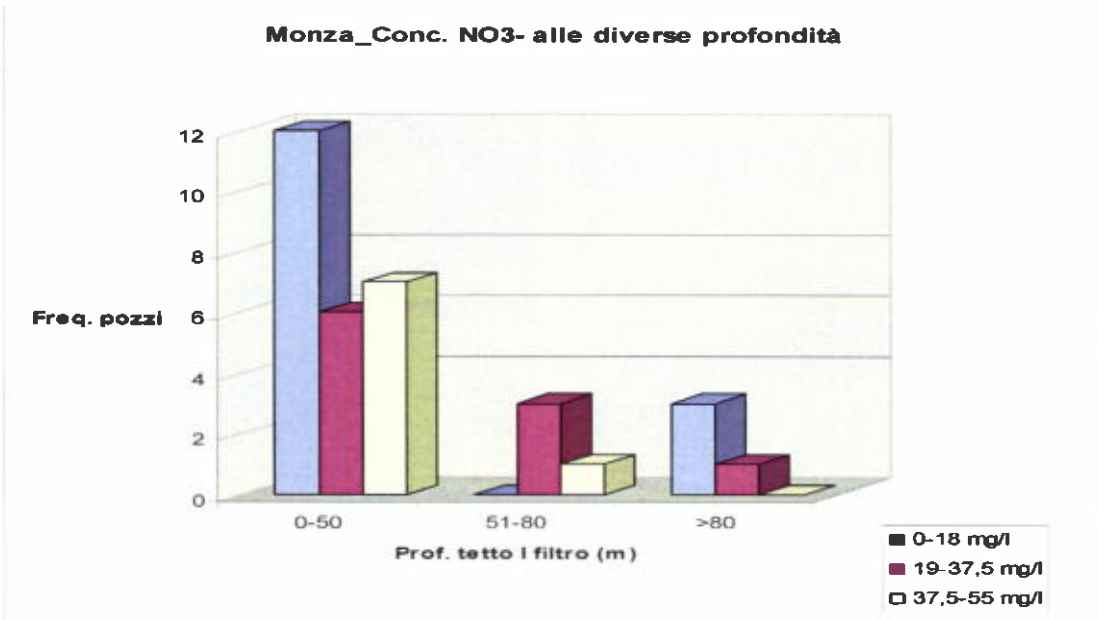


Figura 11. Ripartizione delle classi di concentrazioni a seconda della profondità del tetto del primo filtro.

Sono stati ripresi anche i dati isotopici, selezionando o evidenziando solo i valori che riguardano un'area circoscritta all'area pilota (Cinisello B., Lissone, Monza, Sesto San Giovanni, Muggiò).
Risulta che le acque di questa area sono tra quelle più "isotopicamente pesanti" analizzate nell'intera provincia, quindi prevalentemente alimentate da precipitazioni locali. Figura 12.

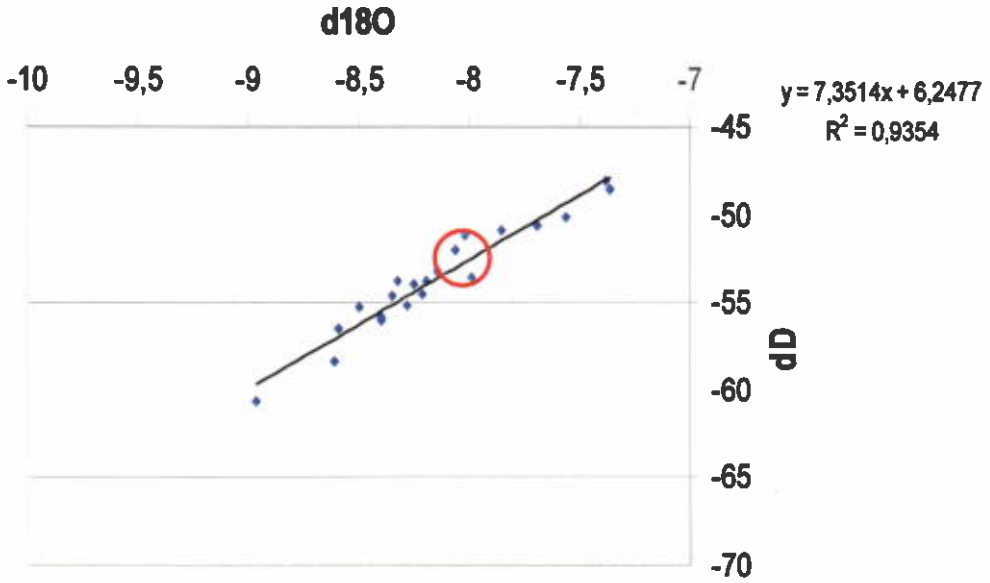


Figura 12. Regressione lineare dei rapporti isotopici $\delta^{18}O$ vs δD nelle acque sotterranee della provincia settentrionale di Milano. La selezione identifica i campioni provenienti dall'area pilota di Cinisello Balsamo, Monza, Sesto San Giovanni, Muggiò e Lissone.

Dall'analisi isotopica dei rapporti $^{18}O/^{15}N$ del nitrato (NO_3^-) risulta che la natura del carico azotato delle acque analizzate in questa area è di origine organica e biologica, in accordo con i risultati ottenuti per le aree di studio della provincia settentrionale. Figura 13.

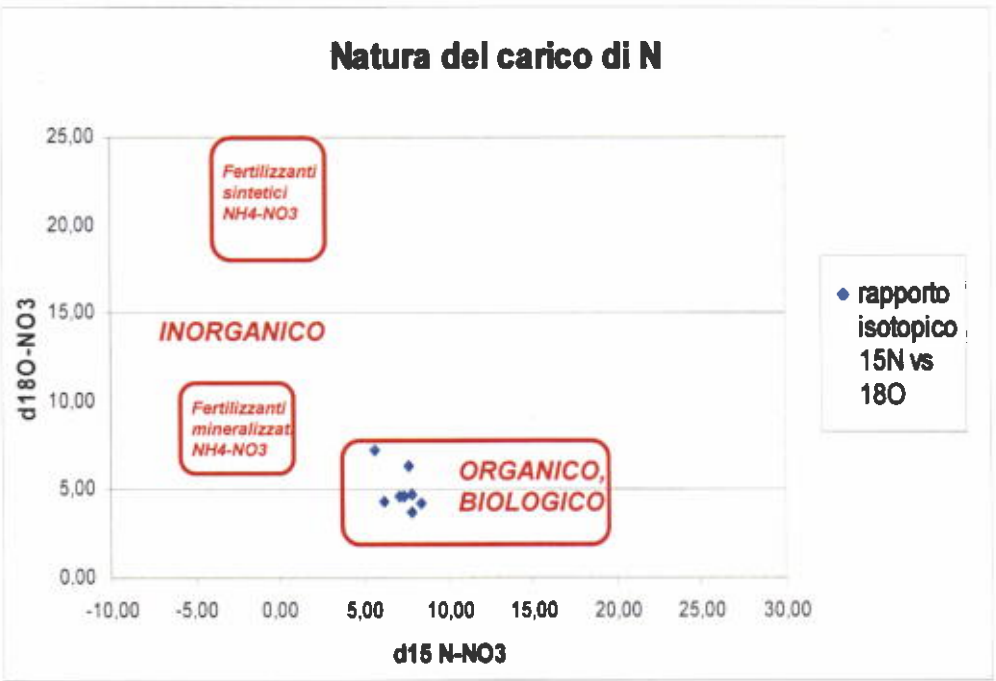


Figura 13. Natura del carico di N in base ai rapporti isotopici $\delta^{18}O$ vs $\delta^{15}N$ del nitrato nelle acque analizzate.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente lavoro di indagine preliminare su un'area pilota della provincia settentrionale milanese, ha innanzitutto consentito di recuperare e di ordinare i risultati di una notevole attività eseguita nel passato che, oltre a definire la qualità delle acque sotterranee milanesi, rappresenta un'ordinata base di partenza sulla quale impostare il lavoro futuro; ha inoltre consentito di descrivere, con un buon margine di precisione, la presenza di nitrati nelle acque profonde del territorio milanese, con particolare riferimento ai pozzi utilizzati anche a fini potabili ed evidenziando situazioni di particolare criticità.
Gli studi condotti nel corso del 2006 e del 2007 su acquiferi in aree selezionate della Provincia di Milano hanno evidenziato che l'impiego congiunto di parametri idrogeologici, geochimici e isotopici può permettere una migliore conoscenza degli acquiferi considerati. In particolare i dati disponibili hanno permesso di evidenziare i processi di interazione acqua-roccia e superficie-falda. Le aree di ricarica e infiltrazione, che coincidono con situazioni di maggiore vulnerabilità, sono state più precisamente identificate e le componenti azotate classificate su base isotopica. Tutti i campioni di acque sotterranee ricche in nitrati risultano contaminati da composti azotati di origine organica. Le specificità delle zone investigate sulla disponibilità ambientale di composti azotati inducono a ritenere che i fenomeni di inquinamento osservati derivano prevalentemente da attività di origine antropica e da allevamenti zootecnici.
In particolare la rete fognaria presente nelle aree investigate è imputabile di buona parte dei fenomeni di inquinamento da nitrati.

Nei comuni indagati, nella maggior parte dei pozzi pubblici, si sono verificati spesso superamenti della soglia critica d'intervento (il 75% del limite consentito dalla legge, cioè 50 mg/l).
Peraltro questo accade sempre se consideriamo solo l'acquifero tradizionale, da cui proviene la maggior parte dell'acqua sollevata dai pozzi pubblici.
Analizzando la serie storica dei dati sui pozzi risulta spesso evidente una tendenza all'aumento.
Le analisi delle concentrazioni di nitrato dal 2004 ad oggi, spesso, sono state fatte in rete idrica e non consentono alcuna considerazione omologa alle precedenti in quanto:

- la serie storica si basa su pochi anni
- l'acqua prelevata direttamente dall'acquedotto non è puntualmente collocabile né all'area di provenienza né al tipo di acquifero
- non è identificabile una tendenza

- le acque subiscono in rete rimescolamenti di varia natura (e.g. diluizione con acque provenienti da impianti di trattamento e/o da pozzi più profondi e caratterizzati da bassi valori di nitrati)

Queste considerazioni ci spingono ad affrontare con maggiore impegno la tutela delle falde superficiali in quanto da esse maggiormente dipende la qualità delle acque distribuite ai cittadini.
Nello specifico gli obiettivi auspicabili con la prossima fase del progetto riguardano:

- definizione in dettaglio delle aree provinciali (suddivise per Comune) maggiormente a rischio nitrati, sia per quanto riguarda le acque di falda che per quanto riguarda quelle distribuite; tale indagine sistematica, secondo le indicazioni della nuova normativa europea in materia di acque sotterranee (Dir.118/06 UE);
- creazione di un "Osservatorio Nitrati", realizzato a schede, per ogni comune o area omogenea, che potrà essere pubblicato e consultato on-line;
- monitoraggio sulle aree a rischio, secondo i criteri contenuti nella nuova direttiva europea (Dir.2006/118/UE):
    - integrazione dei dati raccolti nel 2006, con analisi chimiche, isotopiche e specifiche su traccianti antropogenici
    - definizione di un protocollo di monitoraggio adeguato (cadenza campionamento, parametri idrochimici, parametri isotopici, traccianti ...)
    - aggiornamento delle informazioni sui trend di contaminazione, attraverso l'utilizzo dei mezzi informatici di comunicazione;
- definizione di specifiche strategie di gestione e risanamento della risorsa idropotabile sulla base dei risultati acquisiti nelle aree a rischio.

  Potranno essere sviluppate ipotesi operative finalizzate ad invertire il trend qualitativo delle acque di falda e distribuite attraverso:
    - l'identificazione delle aree a maggiore criticità e di quelle meno soggette a fenomeni di inquinamento e in grado di ospitare eventuali nuovi campi pozzi.
    - la valutazione quantitativa delle sorgenti contaminanti a scala locale e criteri di attenuazione delle stesse (fognature o altre sorgenti puntuali antropiche individuate)
    - l'individuazione di scenari alternativi per l'uso della risorsa a medio e lungo termine, anche con l'ausilio di modelli matematici previsionali, al fine di evitare situazioni di crisi qualitative o quantitative, e procedere ad un progressivo miglioramento della risorsa e del Servizio Idrico reso ai cittadini.

Le risorse necessarie per il raggiungimento degli obiettivi prefissati saranno in parte rese disponibili dalla Provincia di Milano ed in parte potranno essere reperite attraverso accordi e collaborazioni con gli altri stakeholders interessati alla gestione e tutela della risorsa idrica. In particolare si ritiene necessario utilizzare sinergicamente le risorse già a disposizione, tra le quali:

- Dati idrochimici di base (SIF - Sistema Informativo Falda)
- Strati informativi ambientali (SIA - Sistema Informativo Ambientale)
- Dati impiantistici e reti (ATO Milano ed ATO Provincia di Milano)
- Convenzioni con ARPA per indagini specifiche mirate (idrochimiche ed isotopiche)
- Modello numerico di Falda (ad es. Modello Innalzamento Falda, collaborazione con MM)
- Progetto MIAcqua (completamento ed integrazione delle reti di monitoraggio falda nel milanese)

Risulta inoltre essenziale garantire continuità e competenza per quanto riguarda le risorse umane utilizzate.

L'esperienza maturata fino ad oggi con il progetto Nitrati, in collaborazione con Arpa EMR ed Arpa Lombardia, dimostra l'efficacia di un approccio multidisciplinare condotto a partire dai dati di campo, privilegiando l'approfondimento su aree limitate nelle quali è maggiore la compromissione delle acque di falda.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ARDUINI C., CARRARO E., DADOMO A., GANGEMI M., JEAN P., MARTINELLI G., PORTO G., RIZZO E., SOGNI R., ZELIOLI A. (2007). *Progetto Nitrati in Falda. Identificazione dell'origine della contaminazione da nitrati nelle acque in falda nel territorio della Provincia di Milano mediante l'esecuzione di analisi idrochimiche ed isotopiche. Risultati indagine 2006.* Provincia di Milano, ARPA Emilia Romagna, Arpa Lombardia. Prot. 87376/1858/05 del 22/12/2006.

ARDUINI C, DADOMO A., MARTINELLI G., PORTO G., SOGNI R., ZELIOLI A. (2006). *Isotopic prospection in high vulnerabilità area of the Milano province (Northern Italy).* Provincia di Milano, ARPA Emilia Romagna.

BAUDO R. (2005). *Principi generali di tossicologia ambiente/uomo.* Università di Venezia, Dipartimento di Scienze - CNR DI Pallanza.

CARCANO, CIPRIANO, PICCIN (2002). Geologia degli acquiferi Padani della Regione Lombardia. Regione Lombardia, ENI Divisione Agip. S.EL.CA. Firenze.

CIVITA M. (2005). *Modelli parametrici per la valutazione dell'impatto dei nitrati sulle risorse idriche sotterranee: applicazioni e validazione.* Università degli studi di Firenze Dipartimento di Scienze della Terra.

DADOMO A, FAVA A, MARTINELLI G, RUSSO E, SOGNI R (2005) Nitrogen sources identification by hydrogeochemical and isotopic survey in aquifers of the Piacenza plain. "Aquifer Vulnerability and Risk", 2nd International Workshop, 4th Congress on the Protection and Management of Groundwater, CD Edition, ID220. Colorno, 21-22-23 Settembre 2005.

DECRETO LEGISLATIVO n. 152 del 11 maggio 1999 - Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/Cee concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/Cee relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole. (*Pubblicato sul Supplemento Ordinario n. 101/L alla Gazzetta Ufficiale n. 124 del 29 maggio 1999*).

DECRETO LEGISLATIVO 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale" pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* n. 88 del 14 aprile 2006 - Supplemento Ordinario n. 96.

DIRETTIVA 91/676/CEE del Consiglio, del 12 dicembre 1991, relativa alla protezione delle acque dell'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole. GU L 375 del 31.12.1991.

DIRETTIVA 2000/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque. GU L 327 del 22.12.2000.

DIRETTIVA 2006/118/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 12 dicembre 2006 sulla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento. GU L 372 del 27.12.2006.

GUZZELLA L., ARDUINI C., SALERNO F., MOIOLI D., RAVELLI S., DI PALMA F. Progetto Qualfalda. *Convenzione* tra IRSA – CNR e Provincia di Milano - Direzione Centrale Risorse Ambientali. Atto n. 238649/1856/05.

LEGGE REGIONALE n. 26 del 12-12-2003, Regione Lombardia. Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche. (B.U.R. Lombardia n. 51 del 16-12-2003, S.O. n.1).

LONGINELLI A, SELMO E (2003) Isotopic composition of precipitation in Italy: a first overall map. Journal of Hydrology Vol. 270:75-88.

PAVONI B. (2003). Nitriti e nitrati nelle acque e negli alimenti. Fertilizzanti, 11:17-18.

PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE della Regione Lombardia, adottato con Deliberazione del Consiglio Regionale del 22.12.2004 n. 633.

PILLA G, SACCHI E, ZUPPI G, BRAGA G, CIANCETTI G (2005) Hydrochemistry and isotope geochemistry as tools for groundwater hydrodynamic investigation in multilayer aquifers: a case study from Lomellina, Po plain, South-Western Lombardy, Italy. Hydrogeology Journal Vol. 14:795-808.

PORTO G, MAURI S, ARDUINI C (2006) *Nuova carta della vulnerabilità ai Nitrati come strumento per la pianificazione delle risorse idriche e gestione delle emergenze.* 10a Conferenza Nazionale ASITA, CD Edition,, Fiera di Bolzano, Bolzano, Bolzano, 14 - 17 novembre 2006.

ROSTI G., ARDUINI C, BERETTA G.P., DI PALMA F., (2001). *Osservazioni sulla geometria della base dell'acquifero tradizionale nel territorio della Provincia di Milano.* Provincia di Milano, Sistema Informativo Falda: Quaderni Direzione Centrale Ambiente Settore Suolo, Sottosuolo e Industrie a Rischio.

ROSTI G., ARDUINI C, ZELIOLI A., PORTO G., (1997). *Nitrati in falda – Anni 1990/95.* Provincia di Milano, Comune di Milano, Azienda Consorzio Acqua Potabile, Azienda USSL – PMIP (Milano, Parabiago, Lodi, Monza). Quaderno n. 1 – Sistema Informativo Falda, Provincia di Milano.