

## Differenziazione idrogeochimica e isotopica dei circuiti idrici sotterranei nel settore sud-occidentale della pianura piemontese

Adriana Albanese, Annalisa Bove, Luciano Masciocco

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Torino  
adriana.albanese@unito.it, annalisa.bove@unito.it, luciano.masciocco@unito.it

### *Hydrogeochemical and isotopic differentiation of groundwater pathflows in the south-western Piedmont plain*

**ABSTRACT:** In the subsoil of the Piedmont plain, groundwater generally flows through two principal aquifer systems. A superficial aquifer complex constituted by fluvial and glaciofluvial quaternary deposits and a deeper aquifer complex represented by Plio-Pleistocene deltaic deposits and in some cases Pliocene marine sands. These two hydrogeological complexes are generally well distinguished for lithologic separations. In the present study, the groundwater of two sample zones in the south-western Piedmont plain, whose subsoil is characterized by lack of evident separating levels, has been investigated from a geochemical and isotopic point of view. The shallow groundwater shows electrical conductivity and total dissolved salts about twice the levels of deeper groundwater, so revealing the existence of differentiated circuits as in the rest of the region. First stable isotopes analyses show higher recharge zones for deeper groundwater flow paths compared to the shallow ones.

*Key terms:* Piedmont plain, Aquifer, Groundwater, Hydrogeochemistry, Isotopes

*Termini chiave:* Pianura piemontese, Acquifero, Acque sotterranee, Idrogeochimica, Isotopi

### **Riassunto**

Nel sottosuolo della pianura piemontese, le acque sotterranee circolano generalmente attraverso due principali sistemi acquiferi. Un complesso acquifero superficiale, costituito da depositi quaternari glaciali e fluvioglaciali, e un complesso acquifero più profondo, rappresentato da depositi transizionali, principalmente del Plio-Pleistocene, o, laddove il substrato marino sia più vicino alla superficie, dalle sabbie del Pliocene in facies astiana. Questi due complessi idrogeologici risultano generalmente ben distinti sulla base di separazioni litologiche.

Nel presente lavoro, sono state analizzate dal punto di vista geochimico e isotopico le acque sotterranee di due aree campione della pianura piemontese sud-occidentale, il sottosuolo delle quali risulta caratterizzato dalla mancanza di evidenti setti impermeabili.

Le acque sotterranee campionate da pozzi irrigui poco profondi mostrano una conducibilità elettrolitica e un contenuto in sali disciolti circa doppi rispetto alle acque campionate dai pozzi idropotabili della zona, filtrati solo a profondità maggiori, rivelando la presenza anche in tali zone, come nel resto della regione, di circuiti idrici sotterranei differenziati.

Le prime analisi sugli isotopi stabili dell'idrogeno e dell'ossigeno indicano zone di ricarica più elevate per il circuito idrico profondo rispetto a quelle (locali) dell'acquifero superficiale.

### **Premessa**

È stato effettuato uno studio chimico e isotopico delle acque sotterranee in corrispondenza di aree campione della pianura piemontese, allo scopo di individuare eventuali differenziazioni della circolazione idrica sotterranea, anche in assenza di separazioni idrauliche apprezzabili dal punto di vista litografico.

La ricerca si inquadra nel territorio della pianura piemontese, ove studi pregressi hanno permesso la differenziazione a scala regionale di un complesso acquifero superficiale (non confinato) e da uno più profondo principalmente in base alla presenza di livelli fini con spessori ed estensioni areali tali da garantire un buon grado di confinamento di quest'ultimo.

### **Studi per la definizione del modello idrogeologico della pianura**

Da numerosi anni il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino è impegnato nella definizione del modello concettuale degli acquiferi della pianura piemontese (Bortolami *et alii*, 1976; Bortolami *et alii*, 1980; Antonelli R. *et alii*, 1981; Antonelli R. *et alii*, 1985; Carraro F., 1985; De Luca D.A. *et alii*, 1985; De Luca D.A. *et alii*, 1987; Comazzi M. *et alii*, 1988; Baratelli C. *et alii*, 1989; Barbero T. *et alii*, 2007; De Luca D.A. *et alii*, 1995; Bortolami G. *et alii*, 1996; Canavese P. A. *et alii*, 2004 a; Castellaro M. *et alii*, 2004; Abatucci G. *et*

alii, 2005; Biancotti A. *et alii*, 2005; Bove A. *et alii*, 2005).

Le ricerche hanno comportato la ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo, integrata con la geologia di superficie, derivata dall'elaborazione di più di 2000 stratigrafie relative a pozzi, sondaggi e piezometri.

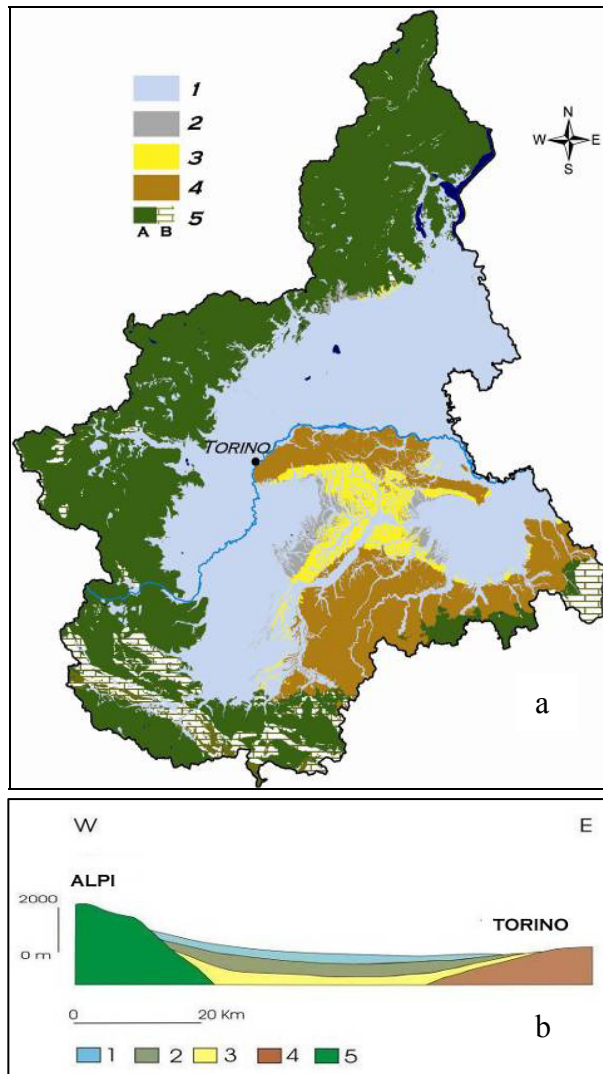


Figura 1 – Carta geoidrologica della Regione Piemonte (a) e sezione litostratigrafica schematica (b): 1. sedimenti alluvionali grossolani del Quaternario superiore, ospitanti una falda a superficie libera; 2. sequenze del Villafranchiano, contenenti un sistema multifalदे in pressione; 3. depositi sabbiosi marini del Pliocene in facies astiana, contenenti una falda idrica in pressione; 4. depositi marini prepliocenicici, a prevalente composizione fine, impermeabili o localmente permeabili per fratturazione; 5. rocce cristalline impermeabili o poco permeabili per fessurazione (Bove *et alii*, 2005).

Figure 1 - Geohydrological map of Piedmont Region (a) and schematic lithostratigraphic cross section (b): 1. Upper Quaternary coarse sediments, representing an unconfined aquifer; 2. Villafranchian multi-layered confined aquifer; 3. Pliocene marine sands ("Astian facies"), representing a confined aquifer; 4. pre- Pliocene essentially clayey marine sediments (no permeability or locally low fissure permeability); 5. crystalline rocks (no permeability or low fissure permeability) (Bove *et alii*, 2005).

tigrafica del sottosuolo, integrata con la geologia di superficie, derivata dall'elaborazione di più di 2000 stratigrafie relative a pozzi, sondaggi e piezometri. L'assetto litostratigrafico e idrogeologico della pianura piemontese, derivante di tali studi, è stato schematizzato nel modo seguente (Fig. 1): a partire dalla superficie si evidenzia un primo acquifero, costituito da depositi fluviali e fluvio-glaciali grossolani del Pleistocene superiore-Olocene e sede di una falda idrica a superficie libera; al di sotto di esso, è posto un complesso idrogeologico più profondo, costituito da sedimenti di ambiente transizionale tra il marino e il fluviale (deltizio, lacustre, palustre) riferibili al Villafranchiano (Pliocene medio - Pleistocene inferiore), rappresentati da un'alternanza di livelli grossolani acquiferi e livelli fini impermeabili. Talvolta, laddove per motivi strutturali il substrato marino si avvicina alla superficie della pianura, il complesso profondo è rappresentato dai sedimenti sabbiosi del Pliocene in facies astiana. In generale, il complesso profondo rappresenta un acquifero compartimentato contenente falde in pressione di qualità pregiata; per tale ragione - e per la sua minore vulnerabilità all'inquinamento rispetto al complesso più superficiale - esso viene destinato allo sfruttamento a fini idropotabili.

Il modello idrogeologico sopra descritto ha fornito le basi per la progettazione, e la successiva realizzazione a cura della Regione Piemonte, di due reti di monitoraggio quali-quantitativo delle acque sotterranee della pianura piemontese (De Luca D.A. *et alii*, 1992; Beretta G.P. *et alii*, 1995; Beretta G.P. *et alii*, 1996; Beretta G.P. *et alii*, 1999; Balsotti R. *et alii*, 2004; Canavese P. A. *et alii*, 2004 a, b, c): l'una, destinata al complesso acquifero superficiale, costituita da più di 500 punti; l'altra, di oltre 200 punti, destinata a quello profondo.

Le elaborazioni dei dati analitici del monitoraggio delle acque sotterranee definiscono un *cachet* chimico differenziato per i due complessi acquiferi: le acque relative alla falda superficiale mostrano conducibilità elettrolitica e concentrazioni dei principali elementi disciolti superiori a quelle riscontrate nel complesso delle falde profonde (Tabb. 1 e 2). In parte tale differenziazione può essere attribuita all'inquinamento antropico proveniente dalla superficie (specialmente per lo ione nitrato): la classificazione qualitativa dei corpi idrici sotterranei mostra infatti come la falda superficiale sia interessata da impatto antropico da "significativo" a "rilevante", mentre le falde profonde rappresentino una risorsa di grande valore da tutelare (Balsotti R. *et alii*, 2004). D'altro canto però, una differenziazione così generalizzata su tutti gli elementi maggiori nel senso di una mineralizzazione meno marcata nelle acque del complesso più profondo, al contrario di ciò che dovrebbe avvenire nel caso di una normale stratificazione delle acque, induce ad ipotizzare una diversa alimentazione per i due complessi acquiferi.

Tabella 1 – Principali caratteristiche chimico-fisiche delle acque della falda superficiale della pianura piemontese (dati medi dalla rete di monitoraggio della Regione Piemonte; anni 1999-2005).  
*Table 1 - Main physical-chemical characteristics of superficial groundwater in Piedmont plain (main data from Piedmont Region monitoring network; years 1999-2005).*

Provincia	Cond (µS/cm)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	TH (mg/l CaCO <sub>3</sub> )
AL	731	41	49	69	380
BI	350	17	40	33	143
CN	639	33	33	74	332
NO	213	7	13	19	99
TO	419	14	29	36	209
VC	406	17	20	37	198
<b>media</b>	<b>459,7</b>	<b>21,5</b>	<b>30,7</b>	<b>44,7</b>	<b>226,8</b>
AT*	1383	102	21	229	616

\*Per la provincia di Asti la zona di pianura corrisponde al fondovalle del Fiume Tanaro, ove è presente solo un acquifero superficiale che poggia direttamente sul substrato marino impermeabile pre-pliocenico.

Tabella 2 – Principali caratteristiche chimico-fisiche delle acque delle falde profonde della pianura piemontese (dati medi dalla rete di monitoraggio della Regione Piemonte; anni 1999-2005).  
*Table 2 - Main physical-chemical characteristics of deep groundwater in Piedmont plain (main data from Piedmont Region monitoring network; years 1999-2005).*

Provincia	Cond (µS/cm)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	TH (mg/l CaCO <sub>3</sub> )
AL	512	21	20	33	275
BI	233	16	5	14	88
CN	424	6	10	49	240
NO	167	4	6	9	73
TO	335	11	12	25	172
VC	261	7	7	11	122
<b>media</b>	<b>322,0</b>	<b>10,8</b>	<b>10,0</b>	<b>23,5</b>	<b>161,7</b>

L'attuale normativa nazionale e regionale relativa all'uso, tutela e gestione delle acque sotterranee (Regione Piemonte, 1996; Repubblica Italiana, 2006) distingue e definisce la falda superficiale e quelle profonde, riservando queste ultime all'uso potabile e vietandone l'interconnessione con la falda superficiale a causa di opere e/o attività antropiche.

È risultato pertanto indispensabile individuare una base dell'acquifero superficiale delle aree di pianura, anche come strumento di governo da parte della Pubblica Amministrazione per l'autorizzazione alla costruzione di nuovi pozzi, la chiusura o il ricondizionamento di pozzi inidonei, l'autorizzazione ad attività estrattive sotto falda, etc.

Gli studi per l'identificazione della base dell'acquifero superficiale sono stati condotti in un primo momento sul settore di pianura della provincia di Torino e successivamente estesi all'intera pianura piemontese (Bortolami *et alii*, 2002; Regione Piemonte, 2002). A tal fine, è stato utilizzato un preciso criterio litostratigrafico individuando la base in corrispondenza del primo livello impermeabile del complesso idrogeologico profondo di spessore (≥ 8 metri) e continuità laterale (≥ 1,5

chilometri) tali da garantire un adeguato grado di confinamento degli acquiferi sottostanti. Considerando la prevalente componente orizzontale del flusso idrico, tale superficie è stata estesa per interpolazione anche nelle aree in cui la ricostruzione litostratigrafica non evidenziava presenza di livelli impermeabili, delineando uno spessore medio dell'acquifero superficiale di circa 50 metri.

Per valutare l'attendibilità di tale ricostruzione è sorta la necessità di verificare la presenza di circuiti idrici sotterranei differenziati, anche in assenza di separazioni litostratigrafiche, utilizzando metodologie geochimiche e isotopiche.

### Scelta dei siti campione per lo studio della differenziazione dei circuiti idrici sotterranei

I due siti campione sono situati nel settore di pianura piemontese compreso tra le province di Torino e di Cuneo (Figg. 2 e 3), indicato dagli studi pregressi come una delle zone a scarsa differenziazione litostratigrafica. L'assetto litostratigrafico del primo sito campione (area 1) è evidenziato dai dati relativi ai pozzi acquadottistici di Cercenasco (TO1P) e Scalenghe (TO2P) in provincia di Torino (Tabb. 3 e 4), mentre quello del secondo sito (area 2) è stato desunto dalle stratigrafie dei pozzi acquadottistici di Cavallerleone (CN1P) e Cavallermaggiore (CN2P) in provincia di Cuneo (Tabb. 5 e 6). Nelle aree di studio, la ricostruzione effettuata a scala regionale pone la base dell'acquifero superficiale a 50 metri di profondità.

Per lo studio geochimico e isotopico sono state campionate le acque provenienti sia dai pozzi acquadottistici citati che, come si può desumere dalle Tabelle 3, 4, 5 e 6, sono filtrati esclusivamente al di sotto della base dell'acquifero superficiale, nonché su campioni provenienti da diversi pozzi irrigui limitrofi a quelli acquadottistici (da TO1S a TO10S per l'area 1 e da CN1S a CN10S per l'area 2) ma con profondità inferiore a tale superficie (Fig. 3).

### Studio idrogeochimico

I n. 4 campioni provenienti dai pozzi acquadottistici profondi e i n. 20 campioni prelevati dai pozzi irrigui più superficiali sono stati analizzati presso i laboratori del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino. I risultati analitici relativi ai principali parametri chimico fisici delle acque (Conducibilità elettrolitica, pH, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sono visualizzati nelle Tabelle 7 e 8.

Anche se, generalmente, tutte le acque analizzate mostrano una facies prevalentemente bicarbonato-calcica (cfr. diagrammi di Schoeller nelle Figg. 4 e 5), si nota chiaramente una maggiore mineralizzazione (quasi doppia) nelle acque prelevate dai pozzi irrigui superficiali (conducibilità elettrolitica media = 542 µS/cm) rispetto a

quella riscontrata nei pozzi acquedottistici filtrati a profondità maggiori (conducibilità elettrolitica media = 307  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Tutti gli ioni analizzati mostrano tenori superiori nelle acque dei pozzi più superficiali rispetto a quelle profonde, testimoniando come, anche in queste zone, la circolazione idrica sotterranea sembri differenziata in due circuiti separati: l'uno superficiale, vulnerabile all'inquinamento ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ), con ricarica locale, che permette interscambi tra l'acqua di infiltrazione, la matrice litologica e i gas della zona non satura; l'altro più profondo con alimentazione da settori in cui l'infiltrazione è più rapida e la capacità di dissoluzione dei minerali più ridotta.

Tabella 3 – Stratigrafia del pozzo acquedottistico TO1P.

Table 3 – Stratigraphical data of the public drinking water well TO1P.

Base dei livelli da p.c. (m)	Descrizione litologica
2,0	suolo agrario
5,0	ghiaia e ciottoli
8,0	argilla
25,0	ghiaione
30,0	sabbia fine
47,5	ghiaia
48,5	sabbia
51,5	ghiaia
53,0	argilla
55,0	sabbia fine
63,0	ghiaia
58,0	sabbia argillosa
73,0	ghiaia
76,0	argilla
<b>FILTRI</b>	da 57 a 63 m
	da 68 a 74 m

Tabella 4 – Stratigrafia del pozzo acquedottistico TO2P.

Table 4 – Stratigraphical data of the TO2P public drinking water well.

Base dei livelli da p.c. (m)	Descrizione litologica
1,8	terreno vegetale
32,5	ghiaia e ciottoli
34,0	sabbia argillosa
40,0	ghiaia e sabbia
43,0	argilla e ghiaia
46,0	ghiaia e sabbia
60,0	sabbia fine
65,0	ghiaietto e sabbia
68,0	argilla gialla
80,0	ghiaia e sabbia
92,0	sabbia argillosa
100,0	argilla grigia
110,0	limo blu
<b>FILTRI</b>	da 62 a 65 m
	da 69 a 79 m

Le analisi effettuate sugli elementi minori (Al, Ba, B, Be, Cd, Cr, Fe, F, Li, Mn, Hg, Ni, Pb, Cu, Sr, V e Zn) mostrano tenori al limite della rilevabilità o tali da non

fornire contributi per la differenziazione delle acque sotterranee della zona.

L'ipotesi di due circuiti idrici sotterranei con diverse aree di alimentazione è stata quindi verificata tramite l'utilizzo degli isotopi stabili dell'acqua (Bortolami G., 1977; Bortolami G. *et alii*, 1978; Zuppi *et alii*, 1983; Fritz P. & Fontes J.Ch., 1986; Bortolami *et alii*, 1996).

Tabella 5 – Stratigrafia del pozzo acquedottistico CN1P.

Table 5 – Stratigraphical data of the CN1P public drinking water well.

Base dei livelli da p.c. (m)	Descrizione litologica
1,0	terreno vegetale
2,0	ghiaia e e terriccio
4,0	ghiaietto
7,0	ghiaia sabbiosa
36,0	ghiaia e ciottoli
41,0	ghietto fine e sabbia
45,0	sabbia fine argillosa
48,0	ghiaia sciolta
62,0	sabbia fine
73,0	sabbia argillosa
76,0	argilla sabbiosa
82,0	argilla gialla
86,0	argilla marrone
90,5	argilla biancastra
<b>FILTRI</b>	da 52 a 62 m

Tabella 6 – Stratigrafia del pozzo acquedottistico CN2P.

Table 6 – Stratigraphical data of the CN2P public drinking water well.

Base dei livelli da p.c. (m)	Descrizione litologica
2,2	terreno vegetale
24,5	ghiaia e sabbia argillosa
25,0	argilla
30,0	ghiaia e sabbia argillosa
32,0	sabbia e ghiaia pulita
32,3	argilla
34,0	ghiaia e sabbia pulita
50,0	ghiaia e sabbia argillosa
57,0	ghiaia e sabbia pulita
60,0	ghiaia e sabbia argillosa
64,0	ghiaia e sabbia grossa pulita
74,3	ghiaia e sabbia argillosa
82,7	argilla bluastra
84,0	ghiaia e sabbia pulita
90,0	sabbia ghiaiosa
98,0	sabbia fine
110,0	argilla
<b>FILTRI</b>	da 64 a 74 m
	da 84 a 95 m

## Studio isotopico

I campionamenti per le analisi isotopiche sono stati effettuati in due successive campagne nei pozzi indicati in Fig. 3.

Presso i laboratori del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino, sono stati misurati i rapporti degli isotopi stabili dell'ossigeno ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) e dell'idrogeno ( $^2\text{H}/^1\text{H}$ ).

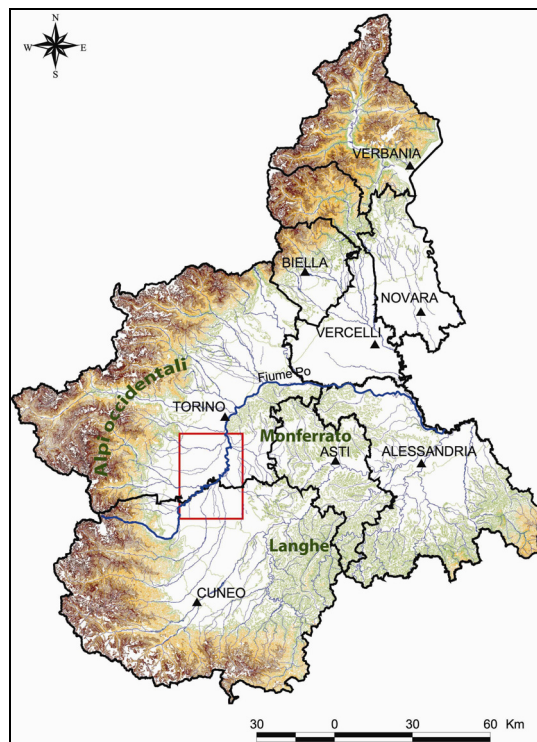


Figura 2 – Ubicazione dell’area di studio.  
Figure 2 - Location of the study area.

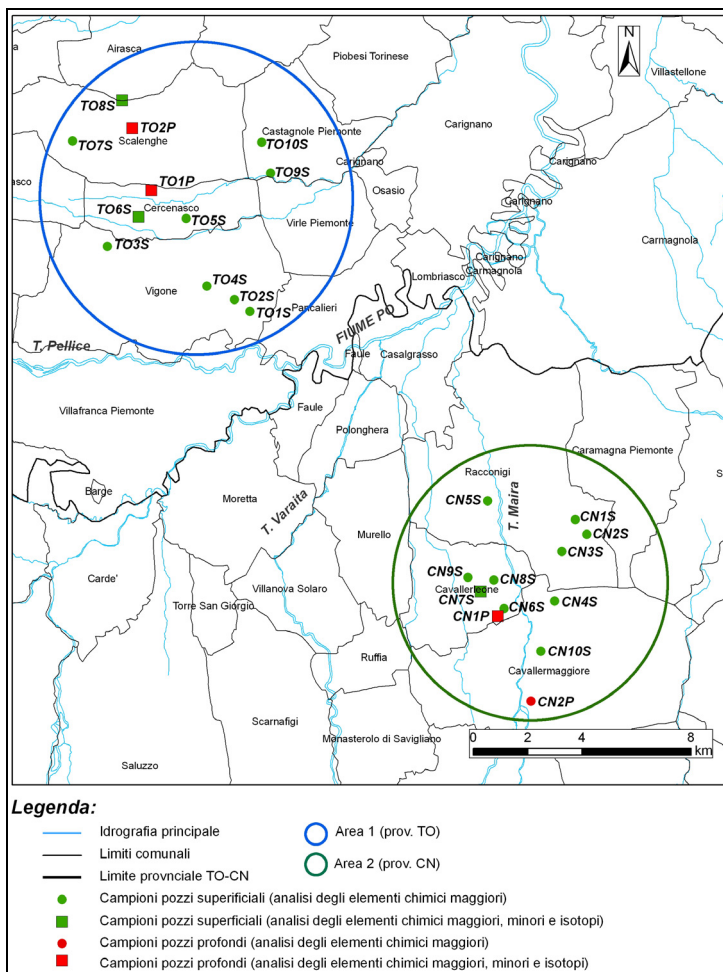


Figura 3 – Ubicazione dei siti campione per il prelievo delle acque sotterranee da analizzare.  
Figure 3 - Location of sample sites for groundwater analyses.

Tabella 7 - Analisi chimiche delle acque sotterranee del sito campione “area 1”.  
Table 7 - Chemical analysis of “area 1” sample site groundwater.

Cam pione	Profondità (m)	Comune	pH	Cond. (µS/cm)	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	Mg <sup>++</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	k <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
TO1S	12	Vigone	7,3	632	111,4	13,7	6,1	2,2	12,7	307,5	33,1	27,8
TO2S	40	Vigone	7,4	663	115,8	15,3	6,1	3,6	16,9	340,5	34,4	38,3
TO3S	20	Vigone	7,5	540	95,4	11,8	3,6	1,7	7,6	303,0	19,1	31,6
TO4S	26	Vigone	7,4	596	99,7	16,4	5,2	3,5	11,0	320,0	24,8	33,1
TO5S	25	Cercenasco	7,5	678	102,6	19,8	10,0	12,2	19,0	348,4	35,0	33,6
TO6S	26	Cercenasco	7,3	610	104,6	15,4	5,2	1,7	12,0	360,6	25,3	32,9
TO7S	30	Scalenghe	7,0	422	63,4	13,6	4,4	1,4	8,9	207,7	23,5	32,7
TO8S	30	Scalenghe	6,9	441	57,0	17,6	4,8	1,7	21,0	176,0	26,5	49,4
TO9S	25	Castagnole P.te	7,7	385	62,5	7,9	3,1	1,4	5,9	219,9	18,6	16,8
TO10S	14	Castagnole P.te	7,5	449	66,5	17,4	3,4	1,5	5,5	260,4	27,1	14,3
TO1P	76	Cercenasco	8,1	343	54,0	10,5	3,5	1,7	3,9	197,3	17,2	12,7
TO2P	110	Scalenghe	8,2	270	39,6	8,8	4,6	1,6	2,2	161,1	10,5	6,4
<b>VALORI MEDI FALDA SUPERFICIALE</b>			<b>7,3</b>	<b>542</b>	<b>87,9</b>	<b>14,9</b>	<b>5,2</b>	<b>3,1</b>	<b>12,0</b>	<b>284,4</b>	<b>26,7</b>	<b>31,1</b>
<b>VALORI MEDI FALDA PROFONDA</b>			<b>8,1</b>	<b>307</b>	<b>46,8</b>	<b>9,6</b>	<b>4,0</b>	<b>1,6</b>	<b>3,1</b>	<b>179,2</b>	<b>13,8</b>	<b>9,5</b>

La relazione fra δ ‰ <sup>18</sup>O e δ ‰ <sup>2</sup>H nelle acque sotterranee campionate mostra un allineamento congruente con la retta meteorica mondiale (Craig H., 1961) piuttosto che con quella delineata dalle

precipitazioni del bacino del mediterraneo (Gat J. R. & Carmi I., 1970), evidenziando apporti meteorici prevalentemente di origine atlantica (Fig. 6).

Tabella 8 - Analisi chimiche delle acque sotterranee del sito campione "area 2".

Table 8 - Chemical analysis of "area 2" sample site groundwater.

Cam pione	Profon dità (m)	Comune	pH	Cond. (µS/cm)	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	Mg <sup>++</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	k <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
CN1S	25	Racconigi	7,2	830	154,9	12,3	10,7	1,3	32,0	305,1	69,0	101,3
CN2S	30	Racconigi	7,1	830	138,7	14,4	9,5	1,2	28,6	286,8	68,5	70,2
CN3S	30	Racconigi	7,2	750	109,0	21,4	6,1	1,2	20,0	244,1	71,4	65,0
CN4S	20	Cavallermaggiore	7,1	762	110,6	18,5	7,3	1,1	25,0	256,3	70,5	58,9
CN56	25	Racconigi	7,1	680	85,6	27,8	5,3	1,2	18,0	231,9	74,0	50,5
CN6S	18	Cavallerleone	7,0	630	88,7	32,8	5,3	1,0	21,4	256,3	72,7	50,1
CN7S	15	Cavallerleone	7,2	720	107,4	27,2	4,7	1,2	21,7	280,7	73,0	48,0
CN8S	20	Cavallerleone	7,2	705	110,6	16,5	6,4	1,2	20,3	244,1	69,9	50,3
CN9S	15	Cavallerleone	7,0	648	96,4	33,0	6,1	1,1	22,4	268,5	72,8	45,5
CN10S	30	Cavallermaggiore	7,2	667	101,0	25,2	6,6	1,2	20,7	262,4	74,3	54,9
CN1P	90,5	Cavallerleone	7,6	425	53,1	25,4	4,1	1,1	1,7	205,0	73,8	5,9
CN2P	110	Cavallermaggiore	7,7	430	52,6	25,7	4,1	1,1	1,3	207,5	73,9	5,3
<b>VALORI MEDI FALDA SUPERFICIALE</b>			<b>7,1</b>	<b>722</b>	<b>128,0</b>	<b>18,8</b>	<b>8,6</b>	<b>1,3</b>	<b>26,3</b>	<b>283,7</b>	<b>71,6</b>	<b>78,1</b>
<b>VALORI MEDI FALDA PROFONDA</b>			<b>7,7</b>	<b>428</b>	<b>52,9</b>	<b>25,5</b>	<b>4,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,5</b>	<b>206,2</b>	<b>73,9</b>	<b>5,6</b>

Tabella 9 – Analisi degli isotopi stabili delle acque sotterranee dei siti campione.

Table 9 – Stable isotope analyses of the sample sites groundwater.

Campione	Comune	1° campagna		2° campagna	
		δ ‰ <sup>18</sup> O	δ ‰ <sup>2</sup> H	δ ‰ <sup>18</sup> O	δ ‰ <sup>2</sup> H
TO8S (falda superficiale)	Scalenghe (TO)	-9,94	-71,96	-10,36	-71,62
TO2P (falda profonda)	Scalenghe (TO)	-11,39	-81,20	-11,38	-80,56
TO6S (falda superficiale)	Cercenasco (TO)	/	/	-10,36	-72,02
TO1P (falda profonda)	Cercenasco (TO)	/	/	-11,37	-79,38
CN7S (falda superficiale)	Cavallerleone (CN)	-12,25	-88,54	-10,82	-76,11
CN1P (falda profonda)	Cavallerleone (CN)	-12,24	-86,69	-12,44	-87,73

Le analisi isotopiche delle acque campionate sembrano mostrare una buona differenziazione dei due circuiti ipotizzati: infatti quelle provenienti dai pozzi più superficiali presentano un contenuto in isotopi pesanti maggiore di circa 1 δ ‰ in <sup>18</sup>O e di circa 10 δ ‰ in <sup>2</sup>H (ben al di sopra dell'errore di misura, i cui range sono visualizzati intorno ai punti diagrammati in Fig. 6) rispetto a quelle dei pozzi più profondi (Tabella 9).

Considerando trascurabile alla scala della presente ricerca l'effetto latitudine, come pure l'effetto di stagionalità a causa dei tempi di residenza delle acque sotterranee, la differenziazione isotopica sembra attribuibile a una differente altitudine delle aree di ricarica dei due circuiti idrici ipotizzati. In particolare la zona di alimentazione del circuito profondo dovrebbe situarsi a quote più elevate (δ ‰ più negativi) rispetto a quella (locale) del circuito superficiale, confermando lo scenario ipotizzato dallo studio idrogeochimico.

## Conclusioni

Lo studio idrogeochimico sembra confermare la presenza nel sottosuolo della pianura piemontese di due circuiti idrici sotterranei, anche in assenza di nette separazioni litostratigrafiche: l'uno più superficiale mostra una mineralizzazione derivante principalmente dalla dissoluzione della matrice litologica, durante l'infiltrazione locale delle acque meteoriche attraverso la

zona non satura, e secondariamente da inquinamento antropico; l'altro più profondo, caratterizzato da una mineralizzazione inferiore, verosimilmente a causa di un'alimentazione da zone in cui l'infiltrazione è più rapida e l'impatto antropico minore.

Tale modello sembra trovare delle prime conferme anche dalle poche analisi effettuate sugli isotopi stabili dell'acqua, che mostrano una ricarica del circuito idrico più profondo da zone poste a quote più elevate.

Dal punto di vista isotopico, il modello dovrà sicuramente essere integrato oltre che da ulteriori dati analitici sulle acque sotterranee anche da quelli relativi alle acque di precipitazione e del reticolo idrico superficiale.

L'utilizzo degli isotopi radioattivi potrebbe infine fornire indicazioni sulle età delle acque dando un contributo fondamentale alla ricerca.

## Ringraziamenti

Questo studio è stato realizzato nell'ambito della ricerca: "Definizione di nuove metodologie operative su base idrogeochimica e idrogeologica per il riconoscimento e la definizione dei corpi idrici sotterranei" finanziata da una borsa CIPE della Regione Piemonte. Si ringrazia la Direzione Pianificazione delle Risorse Idriche della Regione Piemonte. Si ringraziano altresì i Proff. Ciancetti e Dragoni per la lettura critica del manoscritto e per il contributo al suo miglioramento.

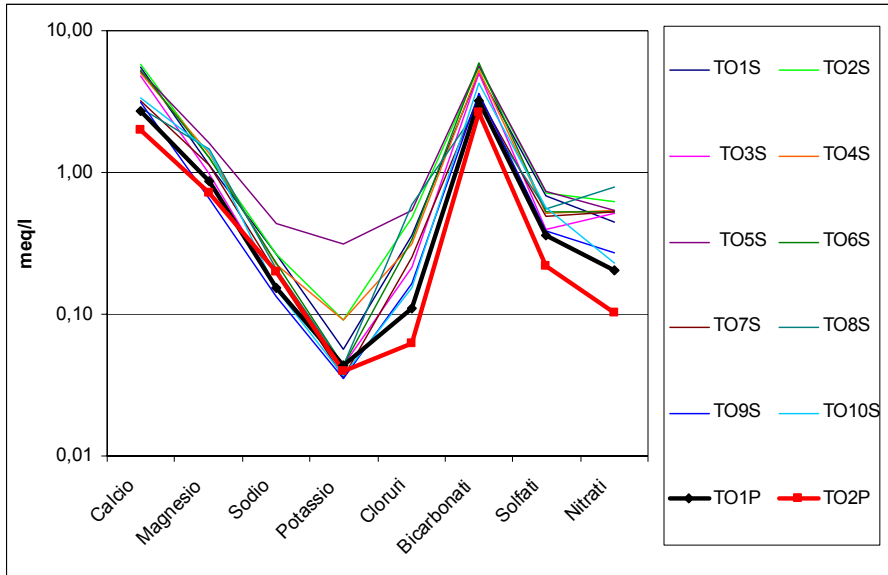


Figura 4 – Diagramma di Shoeller relativo alle acque sotterranee dell'area campione 1.  
 Figure 4 – Shoeller's diagram for groundwater of the sample site 1.

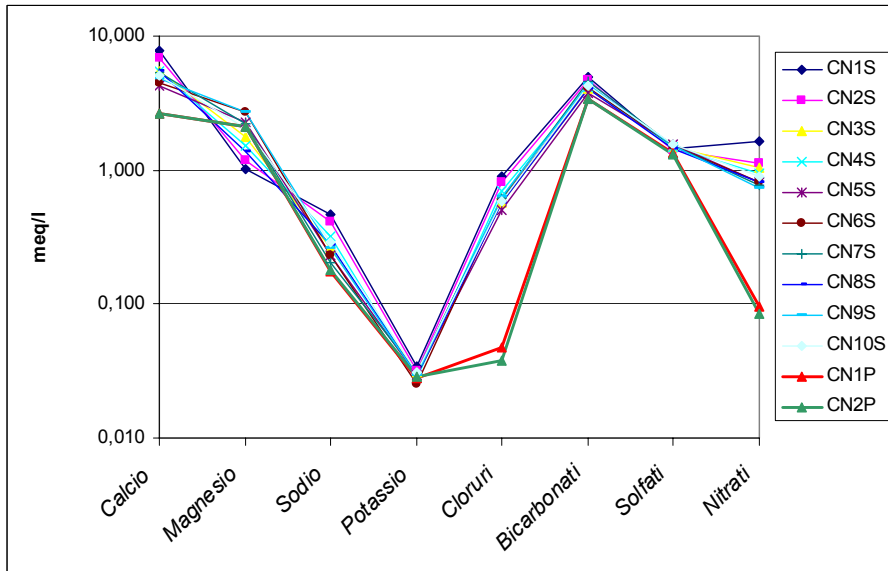


Figura 5 – Diagramma di Shoeller relativo alle acque sotterranee dell'area campione 2.  
 Figure 5 – Shoeller's diagram for groundwater of the sample site 2.

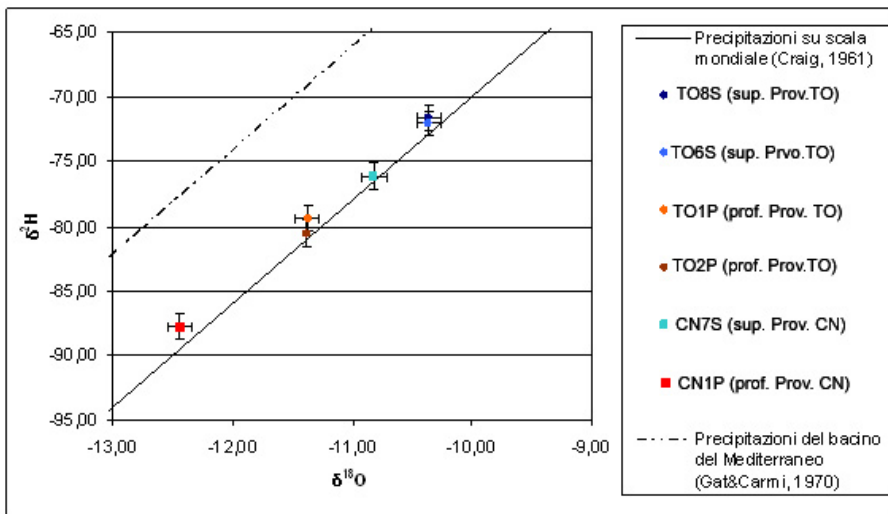


Figura 6 – Relazione tra  $\delta \text{‰}^{18}\text{O}$  e  $\delta \text{‰}^{2}\text{H}$  nelle acque sotterranee dei due siti campione.  
 Figure 6 – Diagram  $\delta \text{‰}^{18}\text{O}$  vs  $\delta \text{‰}^{2}\text{H}$  relative to the groundwater of the two sample sites.

## Bibliografia

- Abatucci G., Clemente P., De Luca D.A., Lasagna M., Masciocco L. (2005). Deep groundwater resources in Piedmont plain (northern Italy). EWRA European Water Resources Association. 6th International Conference "Sharing a common vision of our water resources". Conference Proceedings. Menton, 7-10 September 2005. EWRA-066B, 1-25.
- Antonelli R., Bortolami G., Braga G., Dal Prà A., Francani V., Francavilla F., Giuliano, Manfredini M., Pellegrini M., Petrucci F., Pozzi R., Stefanini S. (1981). Indagine sulle falde acquifere profonde della pianura padana. Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque 3 (2), 9-70.
- Antonelli R., Francani V., Pellegrini M., Stefanini S. (1985). Ricerche idrogeologiche. Stato delle conoscenze sulla geologia della pianura padana, 51-58.
- Balsotti R., Governa M.E., Negro G., Petricig M., Sesia E. (2004). Evoluzione della rete di monitoraggio delle acque sotterranee della Regione Piemonte e classificazione dello stato ambientale dei corpi idrici sotterranei ex D.Lgs. 152/99. Marius, 117-147. Regione Piemonte - Direzione Pianificazione Risorse Idriche.
- Baratelli C., De Luca D.A., Masciocco L., Zuppi G.M. (1989). Idrogeologia del settore settentrionale della provincia cuneese. Atti del convegno "Canali in Provincia di Cuneo". Società per gli Studi Storici, Archeologici ed Artistici della Provincia di Cuneo, in collaborazione con CNR-IRPI, Università di Torino e Politecnico di Torino.
- Barbero T., De Luca D.A., Forno M.G., Masciocco L., Massazza G., (2007). Stratigraphic Revision of the Subsoil of the Southern Turin Plain for hydrogeologic purposes. Proceedings Italian National Workshop - Developments in Aquifer Sedimentology and Ground Water Flow Studies in Italy. Memorie APAT, Roma.
- Beretta G.P., De Luca D.A., Faliero P., Filippini G., Masciocco L. (1995). Progettazione e gestione sperimentale di una prima rete di monitoraggio nel settore sud-occidentale della pianura cuneese (Cuneo). Atti del 2° Convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi.
- Beretta G.P., De Luca D.A., Ferrari A., Filippini G., Masciocco L., Masseroni P. (1996). Design and management of a first groundwater monitoring network in the multilayered aquifers of Novara plain (Italy). Proc. of First International Conference on "Impact of industry on groundwater resource.
- Beretta G.P., De Luca D.A., Filippini G., Masciocco L., Negro G., Viotto C. (1999). Monitoraggio delle acque sotterranee: criteri generali ed esempio di applicazione del D.lvo 152/99 sulla tutela delle acque dall'inquinamento in un settore della pianura piemontese. Atti del 3° Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III Millennio, Parma, Quaderni di Geologia Applicata, Pubblicazione del C.N.R. n° 2000.
- Biancotti A., Bortolami G., De Luca D.A., Masciocco L. (2005). Hydrogéologie et gestion des eaux souterraines dans le Piémont (Italie nord-occidentale). Première Colloque international d'Hydrogéologie. Université de Fès. Revue Geomagreb n° 3.
- Bortolami G., Maffeo B., Maradei V., Ricci B., Soriana F. (1976). Lineamenti di litologia e geoidrologica del settore piemontese della pianura padana. Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, 28 (1), 7-37.
- Bortolami G., Francesi E., Ricci B. (1980). Lineamenti idrogeologici della provincia di Torino con riferimento allo stato idrogeochimico delle falde de sottosuolo dell'area ecologica di Torino. Provincia di Torino - Assessorato ecologia - Servizio protezione ambiente.
- Bortolami G., De Luca D.A., Germani F., Masciocco L. (1996). Studio per la caratterizzazione delle falde idriche sotterranee del settore terminale del bacino della Dora Baltea. Ingegneria e Geologia degli Acquiferi 7, 25-30.
- Bortolami G., De Luca D.A., Masciocco L., Morelli di Popolo e Ticineto A. (2002). Le acque sotterranee della Provincia di Torino. Carta della base dell'acquifero superficiale. Note illustrative. Provincia di Torino, 1-32.
- Bove A., Casaccio D., Destefanis E., De Luca D.A., Lasagna M., Masciocco L., Ossella L., Tonussi M. (2005). Idrogeologia della pianura piemontese (14 articoli scientifici e 55 carte tematiche). Regione Piemonte - Direzione Pianificazione Risorse Idriche.
- Canavese P.A., Beretta G.P., De Luca D.A., Forno G., Masciocco L. (1999) - Successione stratigrafica e distribuzione degli acquiferi nel sottosuolo del settore centrale e meridionale dell'Altipiano di Poirino. Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Science, 12 (2), 195-206.
- Canavese P.A., De Luca D.A., Filippini G., Governa M.E., Masciocco L., Negro G. (2004 a). Progettazione della rete di monitoraggio delle acque sotterranee della Regione Piemonte: I progetti PR.I.S.M.A.S., PR.I.S.M.A.S. II e VALLE TANARO. Marius, 11-30. Regione Piemonte - Direzione Pianificazione Risorse Idriche.
- Canavese P.A., De Luca D.A., Masciocco L. (2004 b). La rete di monitoraggio delle acque sotterranee ella Regione Piemonte: Quadro idrogeologico. Marius, 33-65. Regione Piemonte - Direzione Pianificazione Risorse Idriche.
- Canavese P.A., De Luca D.A., Masciocco L. (2004 c). Idrochimica e stato di qualità delle acque sotterranee della pianura piemontese: prime indicazioni derivanti dalle rete di monitoraggio della Regione Piemonte (biennio 1999-2000). Marius, 69-113 Regione Piemonte - Direzione Pianificazione Risorse Idriche.
- Carraro F. (1985). Il "Villafranchiano" e il Quaternario continentale. Stato delle conoscenze sulla geologia della pianura padana, 19-36.
- Castellaro M., De Luca D.A., Lasagna M., Masciocco L. (2004). Idrogeologia e qualità delle acque sotterranee nel tratto astigiano del fondovalle del fiume Tanaro. Acque Sotterranee, 88, anno XXI, 30-42.
- Craig H. (1961). Isotopic variations in meteoric water. Science 133, 1833-1834.
- Comazzi M., De Luca D.A., Masciocco L., Zuppi G.M. (1988). Lineamenti idrogeologici del Piemonte. In "Studi Idrogeologici sulla Pianura Padana, 4, CLUP, Milano.
- De Luca D.A., Masciocco L., Zuppi G.M. (1985). Studio idrogeochimico della Pianura Alessandrina. Studi Idrogeologici sulla Pianura Padana, 1, 31-49, CLUP, Milano.
- De Luca D.A., Masciocco L., Ricci P., Zuppi G.M. (1987). Studio Idrogeologico della Pianura Alessandrina. Studi Idrogeologici sulla Pianura Padana, 3, 5.1-5.17, CLUP, Milano.
- De Luca D.A., Filippini G., Masciocco L., Zuppi G.M. (1992). Proposta di una rete di monitoraggio a scala regionale delle acque sotterranee. Atti della Giornata di Studio su Caratterizzazione e monitoraggio degli acquiferi, GEOFLUID '92.
- De Luca D.A., Masciocco L., Scarato P. (1995). Idrogeologia e vulnerabilità degli acquiferi del settore sud-occidentale della pianura torinese. Atti del 2° Incontro Internazionale dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, Peveragno (Cuneo), 308-313.
- Fritz P. & Fontes J.Ch. (1986). Handbook of environmental isotope geochemistry. Vol 2, 557 pp
- Gat J.R. & Carmi I. (1970). Evolution of the isotopic composition of atmospheric water in the Mediterranean Sea area. J. Geoph. Res., 75, 3039-3048.
- Regione Piemonte (1996). Legge Regionale, n° 22. Ricerca, uso e tutela delle acque sotterranee. B.U. 8 maggio 1996, n. 19
- Regione Piemonte (2002). Identificazione del modello idrogeologico concettuale degli acquiferi di pianura e loro caratterizzazione. Relazione Tecnica. Regione Piemonte - Direzione Pianificazione Risorse Idriche.
- Repubblica Italiana (2006). Decreto legislativo 3 aprile 2006, n°152. Norme in materia ambientale. Suppl. Ord. G.U. serie generale 88.
- Zuppi G.M., Bortolami G. (1983). Hydrogeology: a privileged field for environmental stable isotopes application; Italian examples. Rend. Soc. Ital. Min. Petrol., 38 (3), 1197-1212.