



INTERPRETAZIONE DEI DATI AMBIENTALI IN RELAZIONE
ALLA EVOLUZIONE DELLO STATO DELLE RISORSE IDRICHE
VERSO GLI OBIETTIVI DEL PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE

Tematica 3 – Valutazione dei dati di stato delle
acque sotterranee a livello areale in relazione alle
pressioni sul territorio e delle tendenze evolutive dei
principali contaminanti

Relazione tecnica finale



SC 02 - Area delle attività regionali per l'indirizzo e il coordinamento in materia ambientale

SS 02.06 – Qualità acque superficiali e sotterranee

Redazione	Funzione: Coll. tecnico professionale Nome: Riccardo Balsotti	Data:	Firma:
	Funzione: Collaboratore Nome: Alessandra Terrando	Data:	Firma:
	Funzione: Coll. tecnico professionale Nome: Stefano Buratto*	Data:	Firma:
Verifica	Funzione: Responsabile S.S. 02.06 Nome: Elio Sesia	Data:	Firma:
Approvazione	Funzione: Responsabile S.C. 02 Nome: Claudia Occelli	Data:	Firma:

* *collaborazione per l'analisi statistica*

INDICE

PREMESSA	6
ATTIVITÀ PREVISTA	7
FASE 3A.1 – RACCOLTA E ORGANIZZAZIONE DEI DATI DI STATO	8
Selezione punti.....	9
Caratterizzazione punti.....	11
<i>Elaborazione punti</i>	11
<i>Elaborazione parametri</i>	12
Elaborazione valori tipici.....	13
FASE 3A.2 – VALUTAZIONE DELL’OMOGENEITÀ DEI CORPI IDRICI SOTTERRANEI.....	14
Selezione punti validi.....	16
Individuazione analisi rappresentativa	16
<i>Metodo 1) – metodo del confronto tra media e mediana</i>	16
<i>Metodo 2) – metodo della distanza</i>	17
<i>Elaborazione A</i>	20
<i>Elaborazione B</i>	24
Database operativo	40
Valutazioni idrochimiche su base areale	46
<i>Diagrammi di Piper e Schoeller</i>	49
<i>Area AL01</i>	52
<i>Area AL02</i>	54
<i>Area AL03</i>	56
<i>Area AL04</i>	58
<i>Area AL05</i>	60
<i>Area AL06</i>	62
<i>Area AT01</i>	64
<i>Area CN01</i>	66
<i>Area CN02</i>	68
<i>Area CN03</i>	70
<i>Area IV01</i>	72
<i>Area NO01</i>	74
<i>Area NO02</i>	76

<i>Area TO01</i>	78
<i>Area TO03</i>	80
<i>Area TO05</i>	82
<i>Area TO07</i>	84
<i>Area TO08</i>	86
<i>Area TO09</i>	88
<i>Area VC01</i>	90
<i>Area VC02</i>	92
<i>Area VC03</i>	94
<i>Area VC04</i>	96
<i>Area TE05</i>	98
Prime valutazioni di omogeneità sui corpi idrici sotterranei	100
<i>Settore Alessandrino</i>	100
<i>Settore Astigiano</i>	102
<i>Settore Cuneese</i>	105
<i>Settore Eporediese</i>	106
<i>Settore Novarese</i>	107
<i>Settore Torinese</i>	110
<i>Settore Vercellese</i>	112
<i>Punti anomali</i>	114
FASE 3A.3 – VALUTAZIONE E SPERIMENTAZIONE DELLE ELABORAZIONI STATISTICHE E GEOSTATISTICHE	115
Documenti Unione Europea	115
Esperienze di applicazione in campo extra nazionale	116
Applicazione metodo	116
Applicazioni geostatistiche.....	120
<i>Analisi statistica spaziale per i dati sui nitrati</i>	121
<i>Spazializzazione dei dati</i>	122
FASE 3A.4 – VALUTAZIONE DI EVENTUALI TENDENZE EVOLUTIVE SU PARAMETRI DI PARTICOLARE RILEVANZA	134
Medie puntuali.....	134
Andamenti nei bienni.....	135
Evoluzione bienni 2000-2001 e 2004-2005	143
Medie areali	147

Studio dei trend nel settore Alessandrino	153
<i>Selezione punti</i>	<i>153</i>
<i>Valutazione dei dati biennali</i>	<i>154</i>
<i>Studio delle medie areali</i>	<i>156</i>
<i>Ricerca di trend lineare e applicazione GWstat.....</i>	<i>160</i>
FASE 3A.5 – VALUTAZIONE INTEGRATA CON I PRINCIPALI FATTORI DI PERICOLO POTENZIALE DI VULNERAZIONE PER LE ACQUE SOTTERRANEE.	171
Settore Torinese (solventi clorurati).....	172
Settore Pinerolese (nitrati)	174
Settore Alessandrino (nitrati).....	178
Settore Novarese e Vercellese (prodotti fitosanitari).....	180
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	183
BIBLIOGRAFIA.....	187

ALLEGATI

Allegato 1 – Database operativo

Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino

PREMESSA

Nell'ambito del recepimento della Direttiva Quadro Europea 2000/60/CE (WFD), e in vista degli obiettivi di qualità previsti dal PTA, risulta di fondamentale importanza la valutazione areale dei dati di stato provenienti dal monitoraggio delle acque sotterranee in relazione alle pressioni esercitate sul territorio e l'individuazione di eventuali tendenze evolutive per i principali parametri contaminanti.

Il progetto "Interpretazione dei dati ambientali in relazione alla evoluzione dello stato delle risorse idriche verso gli obiettivi del Piano di Tutela delle Acque" attraverso la tematica 3 intende infatti, partendo dai dati analitici del monitoraggio regionale, valutare l'omogeneità idrochimica degli acquiferi, sperimentando inoltre le elaborazioni statistiche e geostatistiche proposte nell'ambito di applicazione della WFD.

Per lo sviluppo di ogni singola attività si intende seguire le indicazioni contenute nelle linee guida e negli elaborati tecnici redatti dai gruppi di lavoro attivati a livello europeo per l'implementazione della WFD.

I risultati ottenuti dalle elaborazioni dei dati di stato sono stati in seguito confrontati, tramite un processo di valutazione integrata, con i principali fattori di pericolo potenziale di vulnerazione per la falda superficiale.

ATTIVITÀ PREVISTA

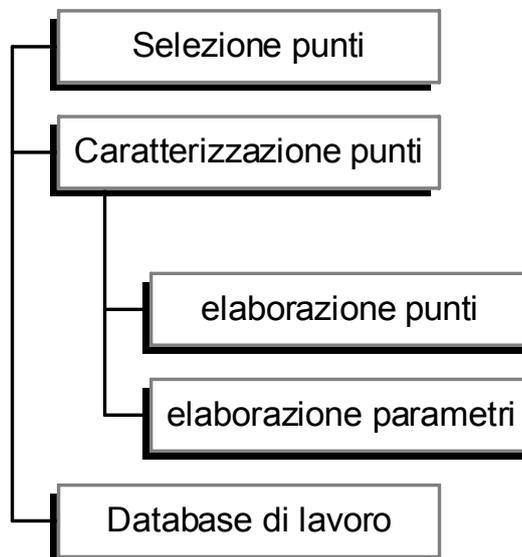
L'intero progetto ha avuto la durata di 2 anni e si è articolato nelle seguenti 5 fasi:

- Fase 3A.1 – Raccolta e organizzazione dei dati di stato
- Fase 3A.2 – Valutazione dell'omogeneità dei corpi idrici sotterranei
- Fase 3A.3 – Valutazione e sperimentazione delle elaborazioni statistiche e geostatistiche
- Fase 3A.4 – Valutazione di eventuali tendenze evolutive su parametri di particolare rilevanza
- Fase 3A.5 – Valutazione integrata con i principali fattori di pericolo potenziale di vulnerazione per le acque sotterranee

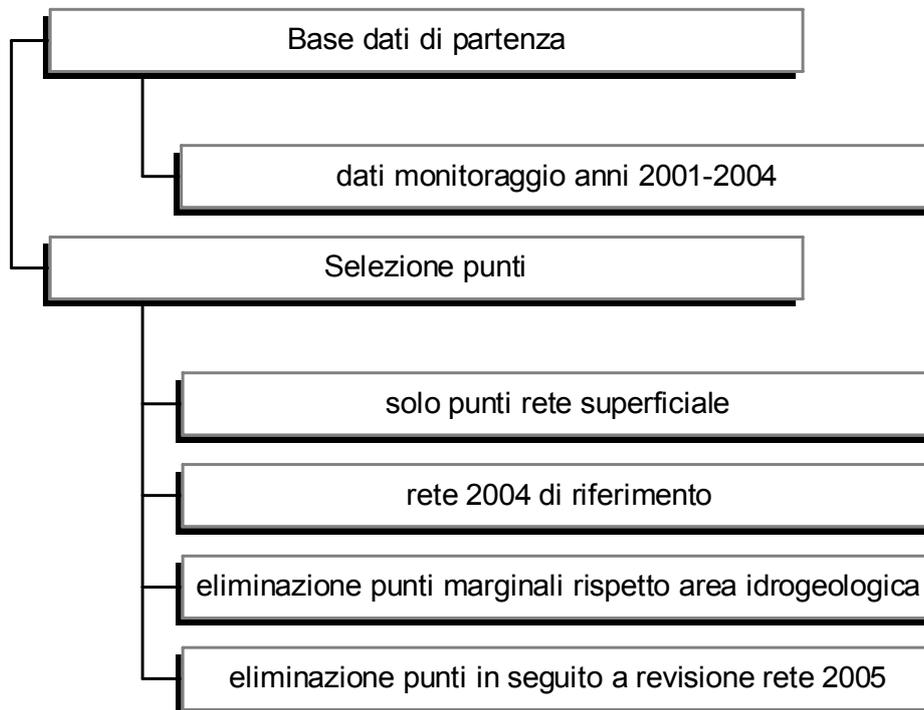
FASE 3A.1 – RACCOLTA E ORGANIZZAZIONE DEI DATI DI STATO

La fase iniziale costituisce il punto di partenza di tutto il lavoro e riveste notevole importanza in quanto porta ad una selezione meticolosa dei punti e dei rispettivi dati da utilizzare nelle elaborazioni successive, che hanno permesso di effettuare considerazioni sulla congruenza geochimica delle acque circolanti all'interno dei corpi idrici sotterranei.

La preparazione dei dati analitici al fine di creare una base dati rappresentativa di lavoro è avvenuta attraverso la selezione dei punti di monitoraggio in base alla rete 2004 ed alla successiva caratterizzazione degli stessi secondo il seguente schema:



Selezione punti



La base dati di partenza è costituita dai dati analitici ottenuti dalle campagne di monitoraggio della rete di monitoraggio regionale delle acque sotterranee (RMRAS) relative al quadriennio 2001-2004, per un totale di 801 punti considerati nel periodo, dei quali circa 600 riferiti alla falda superficiale, per un totale di 5436 campioni.

Durante gli anni di monitoraggio il numero di punti inseriti nella rete ha subito delle variazioni: alcuni pozzi inizialmente campionati sono stati nel tempo dismessi o chiusi, o sono risultati inaccessibili per indisponibilità dei proprietari a mantenere il punto in rete. Altri pozzi non sono risultati del tutto adeguati alle esigenze del monitoraggio in quanto soggetti ad un uso stagionale che li ha resi a volte inutilizzabili in caso di prelievo al di fuori del periodo di attività; queste motivazioni hanno portato alla cessazione negli anni di un certo numero di punti.

Per la finalità del progetto, al fine di avere una serie di dati significativa, alla base dati di partenza è stata operata una selezione. Pertanto sono stati presi in considerazione solo i punti relativi alla falda superficiale e si è considerata come rete di riferimento quella del 2004: i punti attivi nell'anno 2004, avendo superato i vari processi di revisione della rete, risultano più rappresentativi e significativi.

Infatti, in seguito al sostanziale processo di revisione e adeguamento della rete di monitoraggio regionale, iniziato nel 2003 e tutt'ora in corso, sono emersi alcuni aspetti

anomali, quali l'ubicazione di pozzi in porzioni esterne o marginali rispetto alle aree idrogeologiche o un'attribuzione dell'ambito di monitoraggio (superficiale o profondo) diverso da quello ritenuto in precedenza. Tali aspetti sono però stati risolti, attraverso l'eliminazione del punto o la giusta attribuzione di falda, a partire dal 2005 e quindi, in teoria, non sono compresi all'interno dei punti considerati in questa sede, in quanto riferiti al periodo 2001-2004. Questi punti sono stati comunque eliminati dal database per le successive elaborazioni.

A partire dal 2003, inoltre, come processo di adeguamento alle prime fasi di revisione, la rete è stata integrata con dei nuovi punti in aree sguarnite e con i 70 piezometri strumentati per il rilevamento automatico del livello di falda distribuiti sul territorio di pianura piemontese, che grazie alle adeguate caratteristiche di completamento garantiscono l'attendibilità dei dati di qualità anche se con una serie storica ridotta.

Nel 2005 sono stati completati 48 ulteriori piezometri, entrati a far parte della rete regionale dal 2006 e quindi non contemplati nel presente lavoro.

Come risultato della selezione il numero di punti che costituisce la base dati applicando questi criteri è risultato essere pari a 495 per un numero di campioni pari a 3395.

Caratterizzazione punti

La caratterizzazione dei punti è stata effettuata valutando il numero dei campionamenti per i punti considerati e le occorrenze dei parametri, finalizzati a valutare la consistenza dei dati prima della loro elaborazione statistica (valori tipici).



Elaborazione punti

Secondo quanto previsto dal D.Lgs 152/99 il monitoraggio prevede 2 campagne all'anno, quindi per i punti attivi dal 2001 dovrebbero corrispondere 8 campioni.

In alcuni casi il numero di campioni è risultato inferiore a causa di situazioni contingenti che non hanno permesso il campionamento.

Per ogni punto è stato determinato il numero di campioni negli anni di riferimento, come riportato nella tabella 1.

Tabella 1 – Punti di monitoraggio e relativi campioni

numero campioni	numero punti
8	294
7	86
6	22
5	11
4	5
3	72
2	4

Come si nota dalla tabella, la maggior parte dei punti presenta nel quadriennio considerato gli 8 campioni previsti, i punti con un numero di campioni inferiore a 5 sono prevalentemente quelli inseriti in rete nel 2003. Infatti i 73 punti con occorrenze pari a 3 sono riconducibili essenzialmente ai piezometri inseriti in rete nel 2003.

Elaborazione parametri

Al fine di creare una base conoscitiva utile per le elaborazioni successive sono state inoltre calcolate le occorrenze per i parametri principali e per ogni punto.

I parametri presi in considerazione sono: cloruri, nitrati, solfati, bicarbonati, calcio, magnesio, potassio, sodio e conducibilità.

Un esempio del risultato della elaborazione è riportato in tabella 2.

Tabella 2 – Esempio di occorrenze parametri per alcuni punti

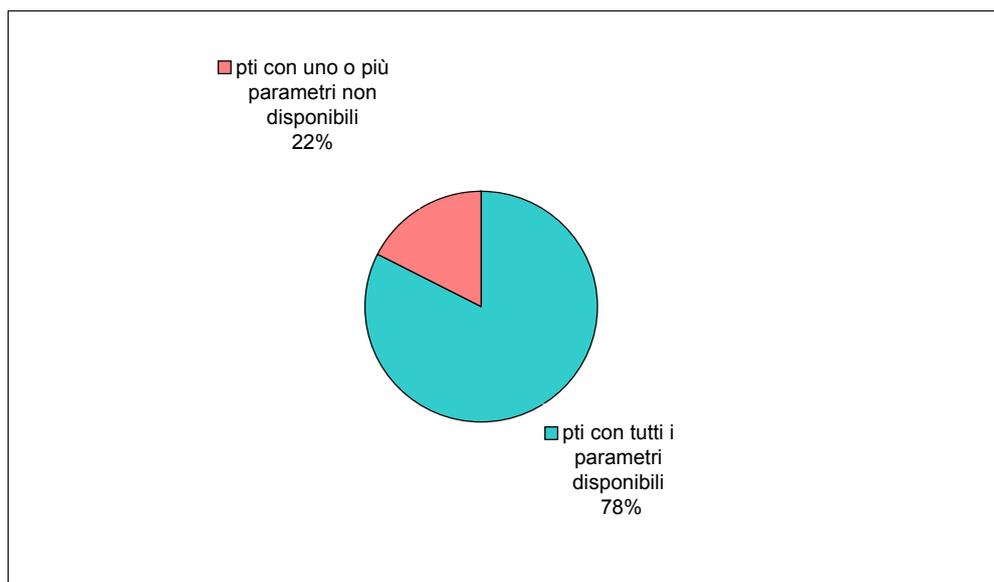
Codice punto regionale	numero campioni	CONDUCIBILITÀ ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C)	CLORURI (mg/L)	NITRATI (mg/L NO3)	SOLFATI (mg/L)	BICARBONATI (mg/L)	CALCIO (mg/L)	MAGNESIO (mg/L)	POTASSIO (mg/L)	SODIO (mg/L)
00100100001	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
00100200003	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
00100200004	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
00100410001	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
00102500001	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
00105800006	8	8	8	8	8	7	8	8	8	8

Per la maggior parte di punti al numero di campioni corrisponde lo stesso numero di analisi, ovvero le occorrenze sono uguali per ogni parametro e sono in linea col numero di campioni prelevati, indicando che le analisi risultavano complete. Tali punti sono in numero di 408, per i rimanenti 87 punti invece c'è minore concordanza.

Tale riscontro è visibile nel diagramma a torta di figura 1, in cui sono riportate le percentuali dei punti con analisi complete e dei punti per i quali non sono disponibili i dati di tutti i parametri considerati.

La mancanza di parametri può essere determinata da occasionali problemi contingenti nella esecuzione della analisi o dal processo di validazione dei dati effettuato, e comunque non risulta critica per le elaborazioni previste.

Figura 1 – Percentuali di punti con relative occorrenze parametri



Elaborazione valori tipici

Un passaggio significativo per la fase 3A.1 è stato quello di predisporre una base conoscitiva associando a tutti i punti di monitoraggio una serie di parametri statistici calcolati per tutti i parametri disponibili.

Sono quindi stati calcolati per i punti selezionati i parametri statistici:

- Minimo: valore minimo riscontrato nel periodo;
- Massimo: valore massimo riscontrato nel periodo;
- Media: valore medio calcolato;
- Mediana: valore centrale della distribuzione dei dati;
- Range: ampiezza della variazione dei dati, calcolato come differenza tra massimo e minimo riscontrati nel periodo;
- Deviazione standard: parametro che misura la variabilità dei dati nel periodo, utile a quantificare l'intervallo entro cui si distribuiscono le misure;

- Deviazione standard relativa: rapporto tra deviazione standard e media delle misure nel periodo, utile per una misura adimensionale della variabilità dei dati;
- Intervallo di confidenza 95%: individua l'intervallo di appartenenza della media delle misure con probabilità pari al 95%;
- Intervallo di confidenza 90%: individua l'intervallo di appartenenza di un singolo valore con probabilità pari al 90%.

In tabella 3 è riportato un esempio.

Tabella 3 – Esempio di valori tipici per parametro e per punto

Codice punto	Parametro	Numero misure	Minimo	Massimo	Range	Media	SD	RSD	Mediana	IC_95_ media_inf	IC_95_ media_sup	IC_90_ singola misura_inf	IC_90_ singola misura_sup
00100100001	bicarbonati	8	92.3	120	27.7	104	9.46	9.08	101	96.3	112	77.4	131
00100100001	calcio	8	24.0	32.6	8.58	27.6	2.98	10.8	27.8	25.1	30.1	19.2	36.1
00100100001	cloruri	8	6.90	21.7	14.8	11.4	4.76	41.8	10.9	7.41	15.4	-2.11	24.9
00100100001	conducibilità	8	235	330	95.0	291	35.9	12.3	303	261	321	188.9	392
00100100001	cromo tot	8	8.49	10.5	2.01	9.33	0.75	8.05	9.25	8.70	9.96	7.20	11.5
00100100001	durezza	8	125	164	39.2	144	13.1	9.15	143	133	155	106	181
00100100001	magnesio	8	15.5	19.8	4.24	17.9	1.42	7.95	17.6	16.7	19.1	13.9	21.9
00100100001	nicel	8	44.5	58.5	14.0	50.3	5.18	10.3	49.3	46.0	54.6	35.6	65.0
00100100001	nitrati	8	16.8	52.9	36.1	27.9	12.0	43.1	25.4	17.9	38.0	-6.18	62.0
00100100001	ortofosfati	8	0.00	0.32	0.32	0.13	0.14	110	0.12	0.01	0.25	-0.28	0.54
00100100001	pH	8	6.53	7.14	0.61	6.79	0.20	2.99	6.74	6.62	6.96	6.21	7.37
00100100001	potassio	8	1.70	6.74	5.04	3.12	1.64	52.6	2.67	1.75	4.49	-1.53	7.77
00100100001	sodio	8	4.31	9.78	5.47	5.93	1.80	30.3	5.47	4.43	7.43	0.84	11.0
00100100001	solforati	8	29.4	37.3	7.87	34.1	2.68	7.86	34.5	31.9	36.4	26.5	41.7
00100100001	zinco	8	0.00	55.7	55.7	6.96	19.7	283	0.00	-9.47	23.4	-48.9	62.8

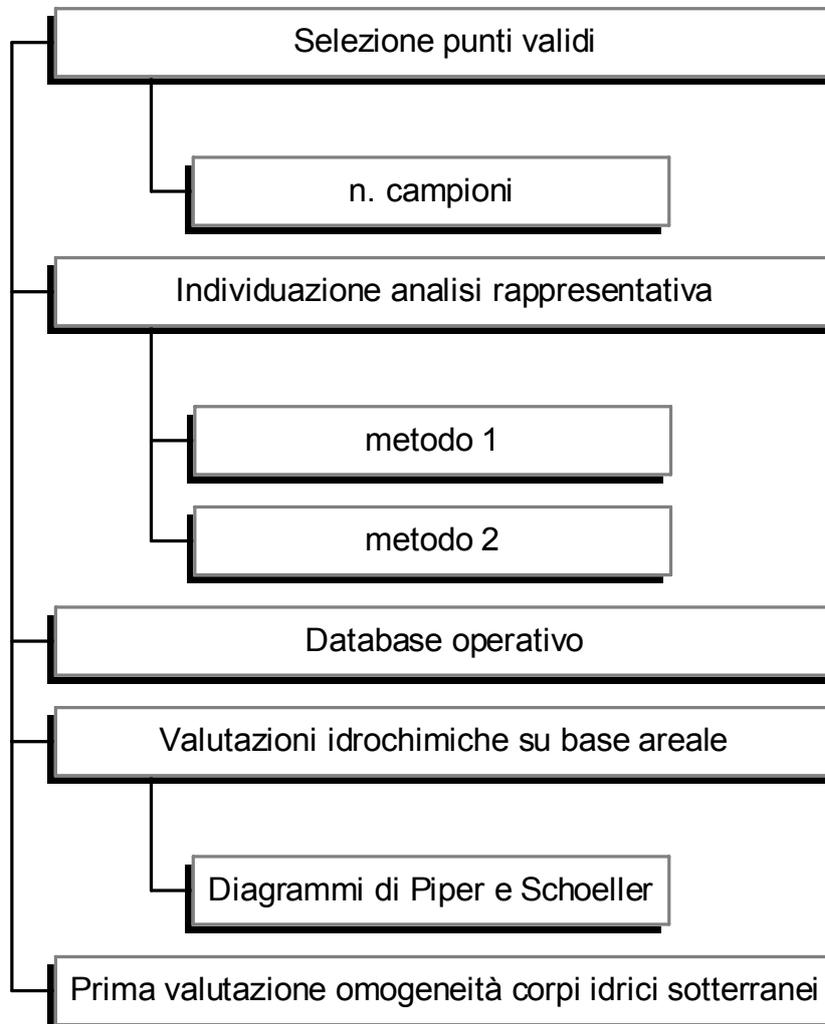
Questa base conoscitiva risulta estremamente completa e permette valutazioni diverse sui valori tipici per i vari parametri, quali la loro distribuzione, la dispersione intorno ai valori medi ecc.

FASE 3A.2 – VALUTAZIONE DELL'OMOGENEITÀ DEI CORPI IDRICI SOTTERRANEI

Per poter proseguire nelle elaborazioni, con l'obiettivo finale di valutare l'omogeneità dei corpi idrici sotterranei, è stato necessario selezionare i punti che presentano un numero di campioni adeguato e definire un'analisi chimica rappresentativa sulla base della quale poter predisporre i diagrammi di Schoeller e Piper. Questo ha permesso di

procedere quindi ad una prima valutazione dell'omogeneità dei corpi idrici sotterranei considerando come riferimento iniziale le aree idrogeologiche.

I passaggi effettuati sono sintetizzati nel seguente schema:



Selezione punti validi

Al fine di elaborare i parametri di base dei punti di monitoraggio selezionati nella prima parte del progetto, pari a 495, si è proceduto ad una ulteriore selezione dei punti, operata rispetto al numero di campioni.

Dalla valutazione delle occorrenze parametri per le finalità di questa fase si è optato per non eliminare i campioni. Sono stati quindi presi in considerazione anche i punti in cui non era stata riscontrata una completa concordanza tra il numero di campioni e le occorrenze dei parametri, ovvero i punti con analisi non complete, in quanto ciò non inficiava le successive elaborazioni.

Sono stati eliminati 3 punti di monitoraggio, con 3 o meno di 3 campioni, mentre sono stati mantenuti quelli introdotti in rete nel 2003, seppur con un numero basso di campioni, poiché considerati strategici. Questi ultimi sono 73 e sono costituiti essenzialmente da piezometri (69).

Il numero di punti è risultato quindi 492, dei quali 419 presenti in rete negli anni 2001-2004 e 73 introdotti a partire dal 2003.

Individuazione analisi rappresentativa

Per realizzare i diagrammi di Piper e Schoeller è necessario individuare un'analisi tipo per ogni punto sulla base dei dati statistici relativi ai principali parametri (calcio, cloruri, magnesio, bicarbonati, nitrati, potassio, sodio e solfati).

La ricerca dell'analisi tipo, rappresentativa del chimismo del punto, è avvenuta applicando i 2 metodi descritti di seguito.

Metodo 1) – metodo del confronto tra media e mediana

Per i parametri considerati si verifica la correlazione (lineare) tra il valore medio e quello mediano. Una buona correlazione tra i due parametri indica una distribuzione simmetrica dei dati. In questo caso il valore medio può essere assunto come rappresentativo e pertanto utilizzando i valori medi dei parametri considerati si costruisce l'analisi tipo per l'applicazione dei diagrammi di Schoeller e Piper.

La simmetria è considerata accettabile se il coefficiente di determinazione R^2 assume valori alti (superiori a 0.9) e l'equazione del modello lineare ha valore di pendenza prossimo a 1 e valori di intercetta non significativi.

Metodo 2) – metodo della distanza

Il campione rappresentativo risulta essere quello che presenta, complessivamente, la minor distanza tra i dati analitici ed i valori medi tipici dei parametri considerati.

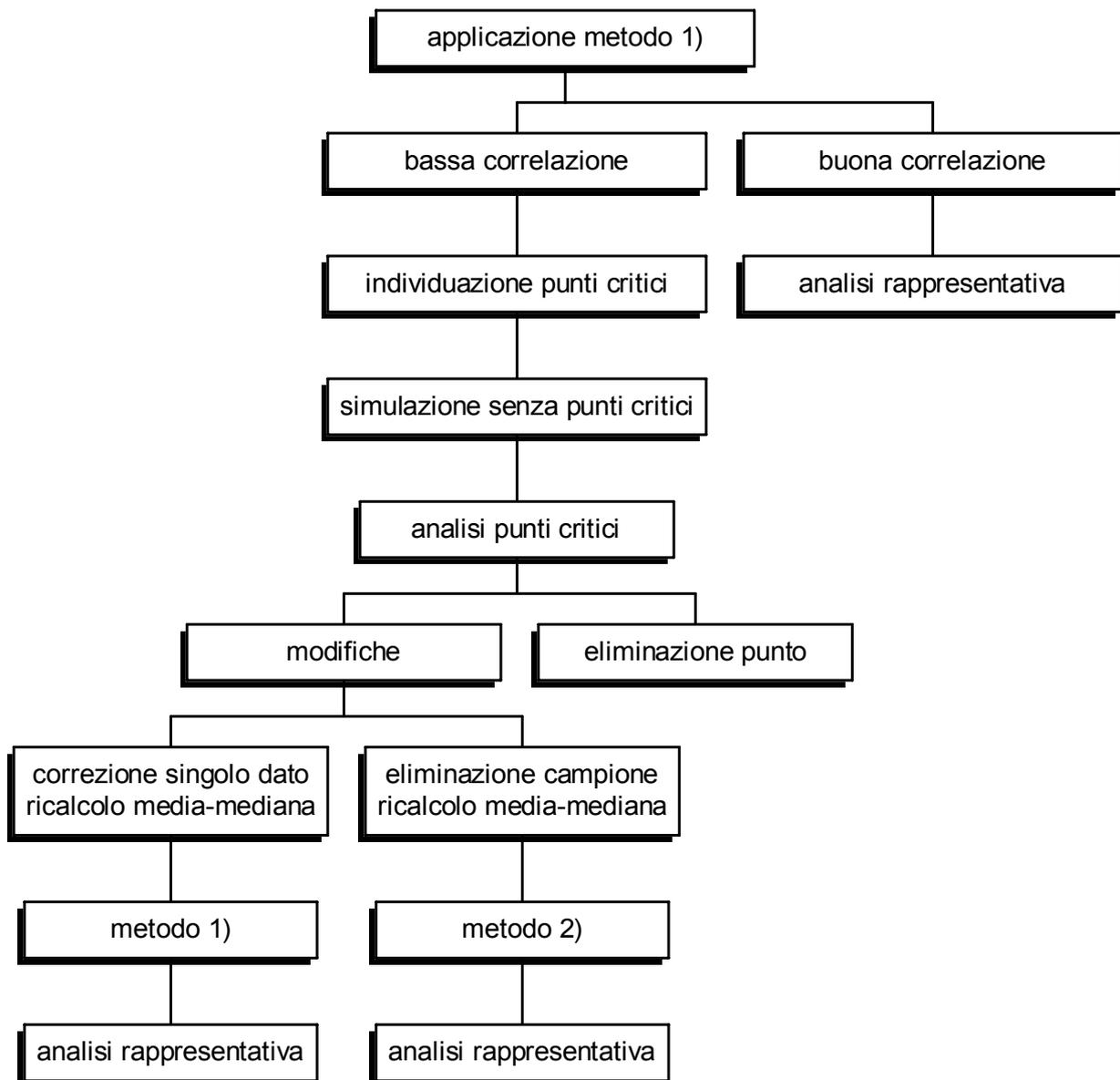
La formula utilizzata è la seguente:

$$\text{Distanza analisi } i\text{-n} = \text{RADQ} [(\text{parametro1-media parametro1})^2 + (\text{parametro2-media parametro2})^2 + (\text{parametro3-media parametro3})^2 + (\text{parametro4-media parametro4})^2 + (\text{parametro5-media parametro5})^2 + (\text{parametro6-media parametro6})^2 + (\text{parametro7-media parametro7})^2 + (\text{parametro8-media parametro8})^2]$$

La differenza tra i due metodi consiste essenzialmente nella modalità con la quale si ottiene l'analisi tipo. Con il primo metodo essa viene "costruita", con il secondo metodo viene selezionata tra quelle già disponibili.

Infatti, se i valori medi e mediani sono vicini possiamo considerare come analisi tipica non uno specifico campione ma un'analisi tipo costruita con i valori medi, mentre, in caso contrario, come analisi tipo si considera quella più vicina ai valori medi di tutti i parametri.

La ricerca dell'analisi rappresentativa è avvenuta attraverso i seguenti passi:

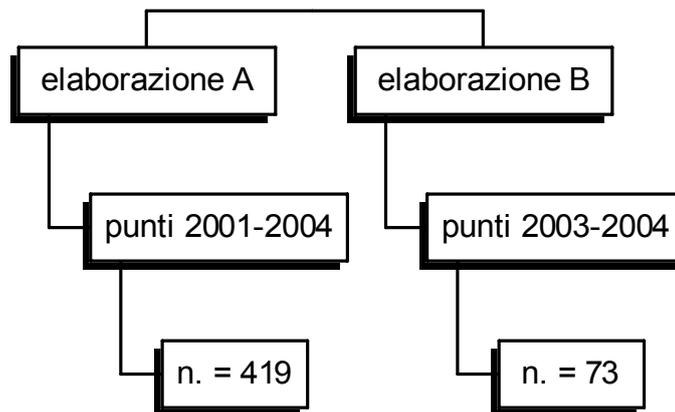


Inizialmente è stato applicato il metodo 1), producendo dei grafici di correlazione media/mediana. In caso di buona correlazione i valori medi vanno a costituire l'analisi tipica, in caso di bassa correlazione sono stati ricercati i punti critici, lontani dal trend principale, su cui è stata effettuata una valutazione di dettaglio che ha portato all'eliminazione del punto, o a correzioni di dati ritenuti evidentemente errati per quanto riguarda il singolo dato, o all'esclusione di uno o più campioni.

A seconda della variabilità dei dati per i punti critici è stato successivamente riapplicato il metodo 1), con il ricalcolo dei valori di media e mediana dopo aver effettuato le correzioni, o applicato il metodo 2). Entrambe le applicazioni hanno portato all'individuazione dell'analisi rappresentativa da utilizzare per le elaborazioni puntuali.

Dato che i punti selezionati hanno come periodo di riferimento il quadriennio 2001-2004, ma alcuni sono stati inseriti in rete solo dal 2003 e quindi presentano un numero inferiore di campioni, sono state svolte due valutazioni separate.

Le due elaborazioni sono denominate elaborazione A, relativa ai punti 2001-2004, ed elaborazione B, relativa ai punti 2003-2004.



In entrambe le elaborazioni l'applicazione del metodo per l'individuazione dell'analisi rappresentativa da utilizzare per la realizzazione dei diagrammi di Schoeller e Piper ha seguito i passaggi illustrati precedentemente.

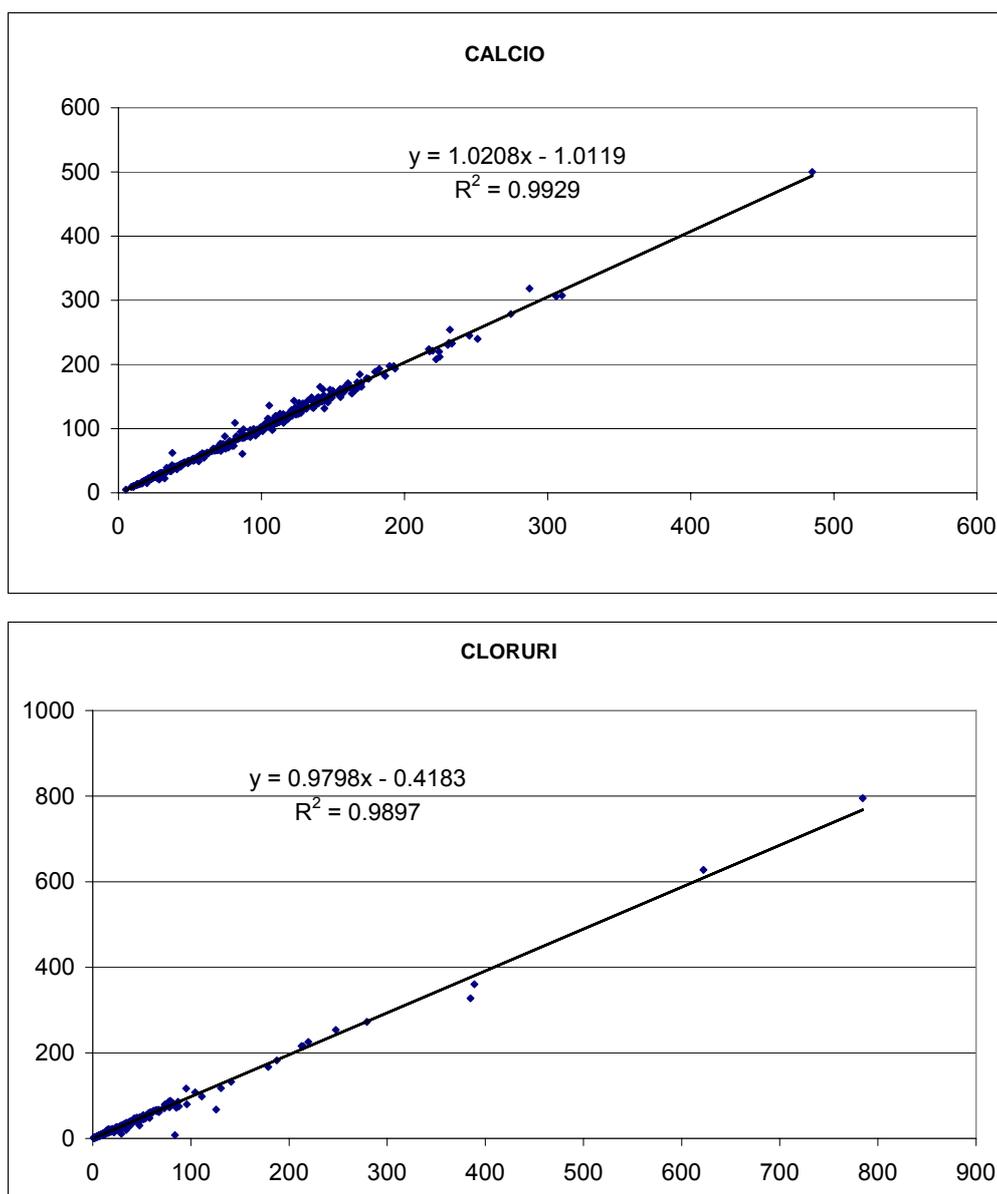
Elaborazione A

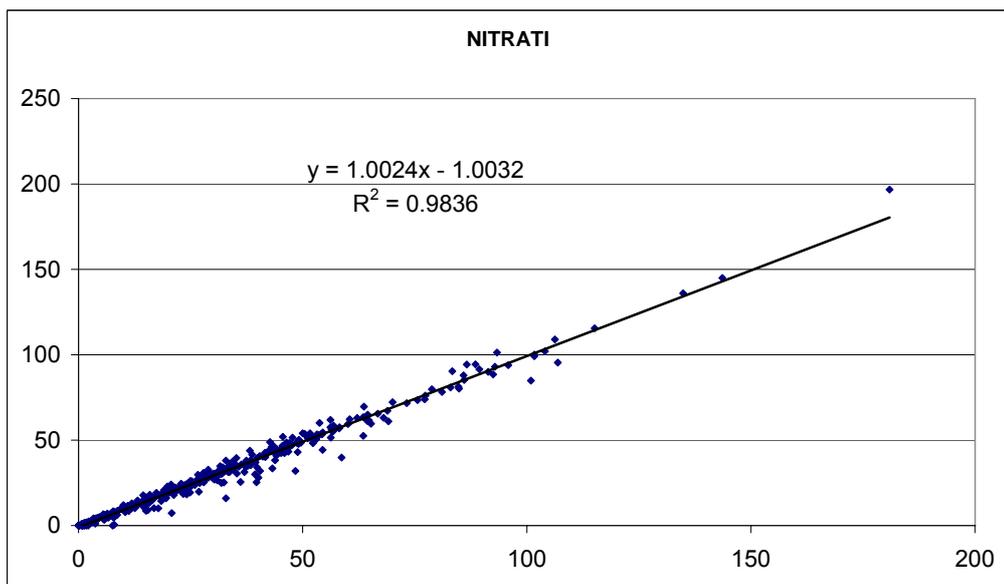
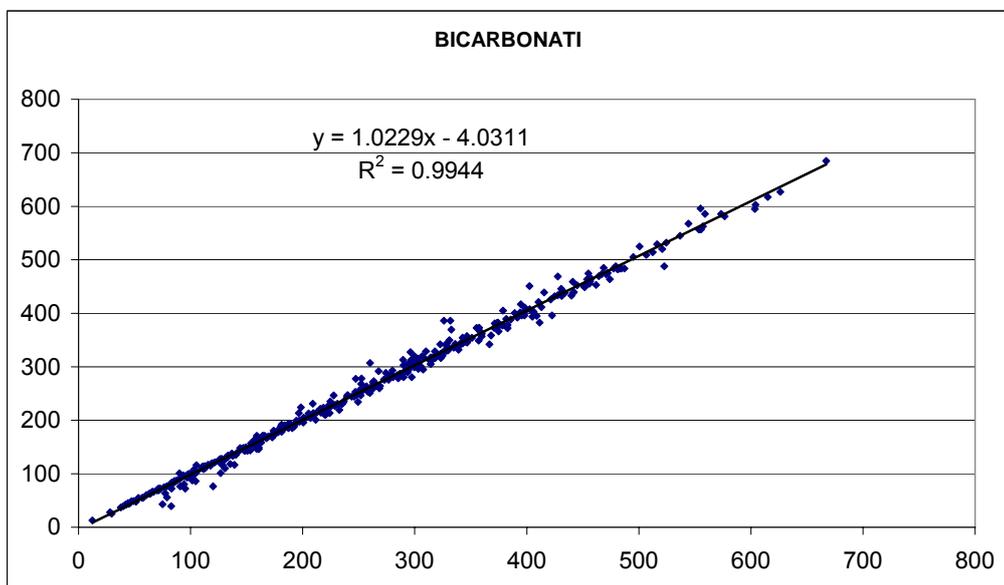
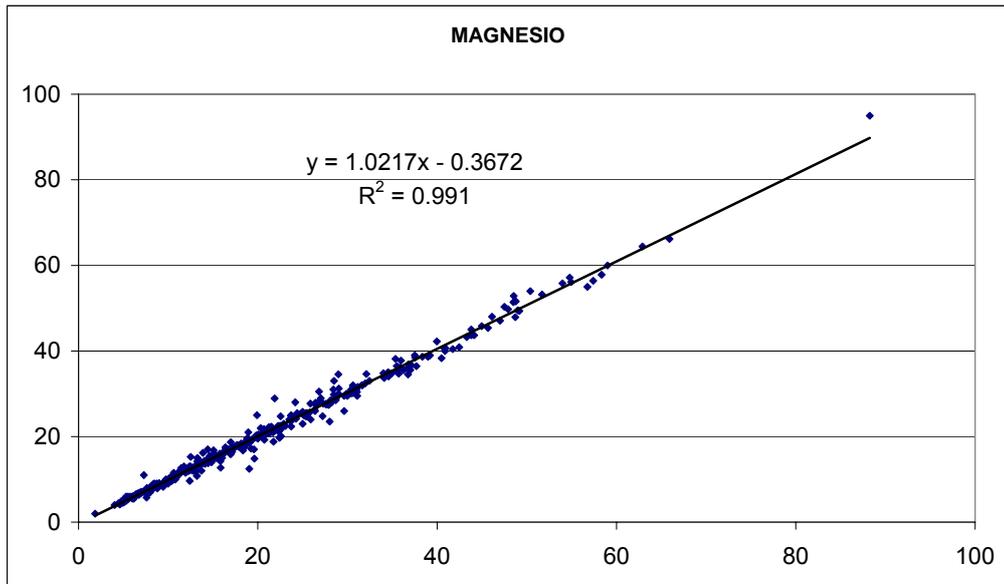
L'elaborazione A riguarda l'applicazione del metodo 1) ai punti appartenenti alla rete negli anni 2001-2004, in numero di 419.

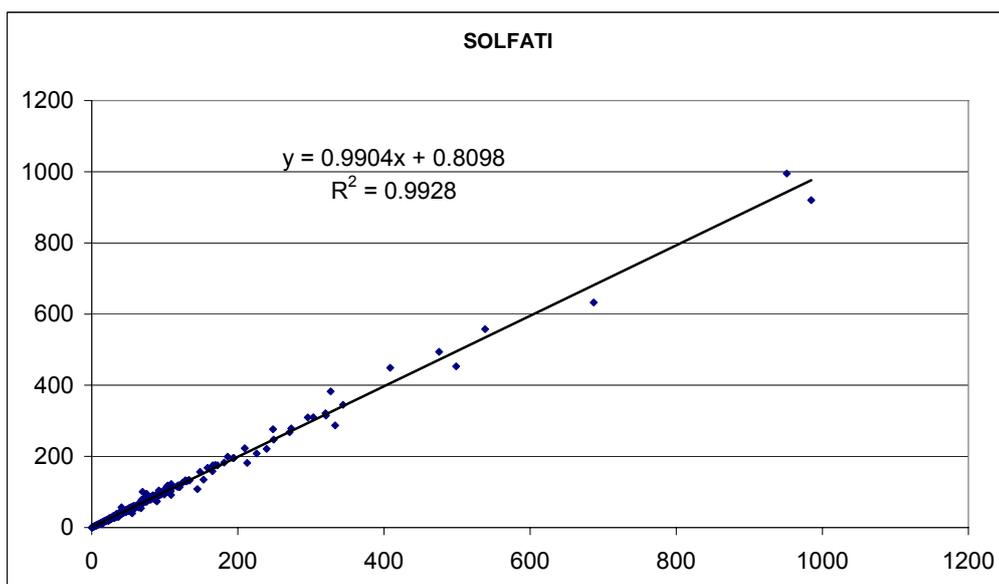
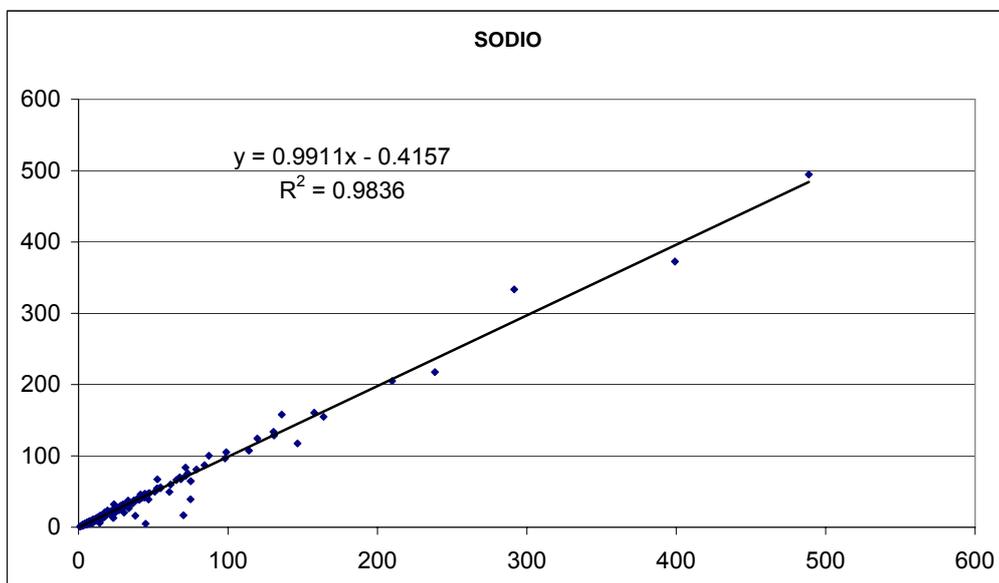
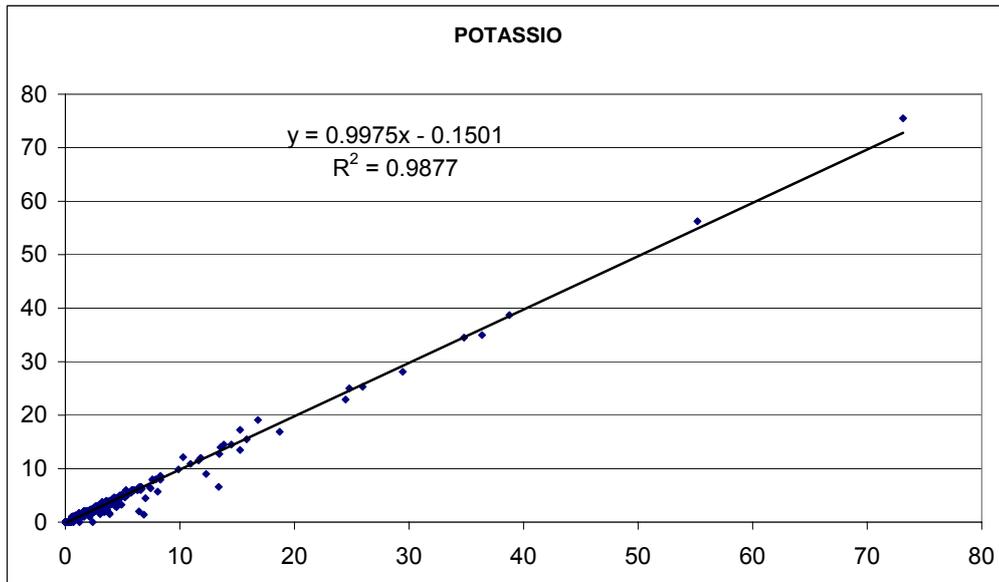
Il risultato è costituito dai grafici a dispersione, riportati di seguito (figura 2).

Tali diagrammi riportano in ascissa i valori della media ed in ordinata quelli della mediana.

Figura 2 – Correlazione media/mediana per l'elaborazione A







Dall'analisi dei grafici si nota come l'applicazione del metodo abbia dato risultati soddisfacenti per la maggior parte dei parametri, denotando una buona corrispondenza tra media e mediana.

Questo è particolarmente visibile per i parametri calcio, magnesio, bicarbonati, nitrati, potassio e solfati.

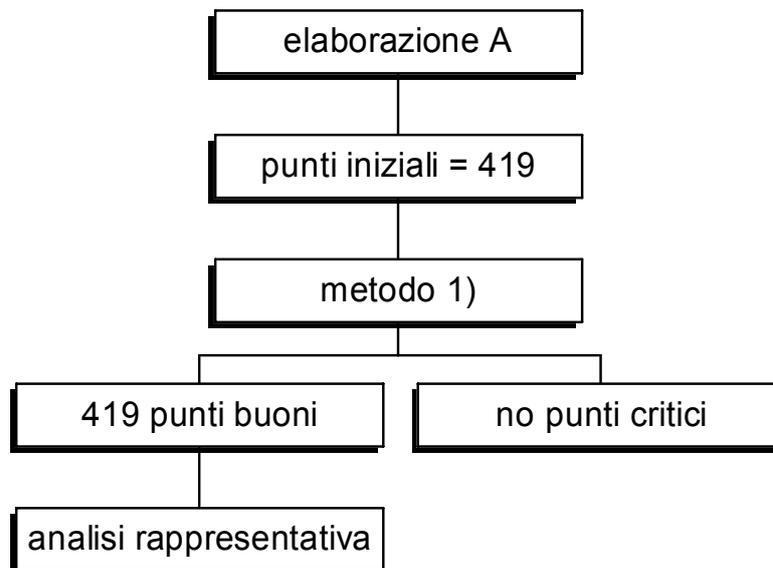
Per i parametri cloruri e sodio si nota un leggero scostamento dal trend generale determinato dalla presenza di due punti lievemente disallineati.

Per tutti i parametri considerati comunque il valore di R^2 è risultato superiore a 0.98.

In definitiva l'applicazione del metodo ha dato risultati soddisfacenti e non sono emersi punti critici particolari, per cui è stato possibile definire immediatamente l'analisi chimica rappresentativa, individuata dai valori medi tipici.

Per quanto riguarda l'elaborazione A i 419 punti vanno a costituire il database per le elaborazioni puntuali.

L'elaborazione A è riassunta nel seguente schema:



Elaborazione B

L'elaborazione B interessa 73 punti introdotti nella rete di monitoraggio regionale delle acque sotterranee nel 2003.

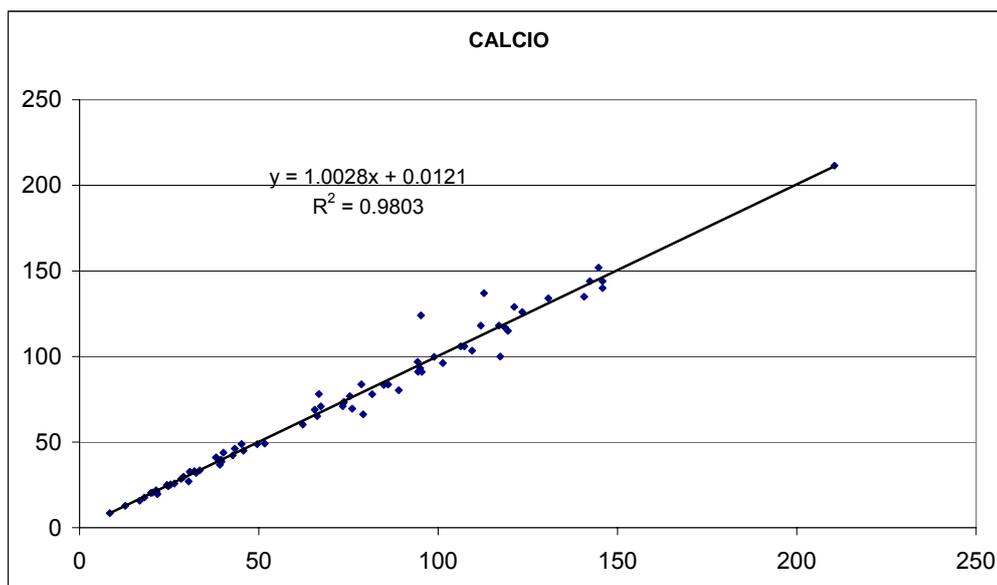
Considerando ai fini del progetto il periodo che va dal 2001 al 2004, questi punti non presentano un numero sufficiente di campioni ottimale per le elaborazioni statistiche di base, che risultano così meno consistenti. I dati relativi agli anni 2003 e 2004 sono stati allora integrati con quelli dell'anno 2005 per costituire una serie di dati più consistente.

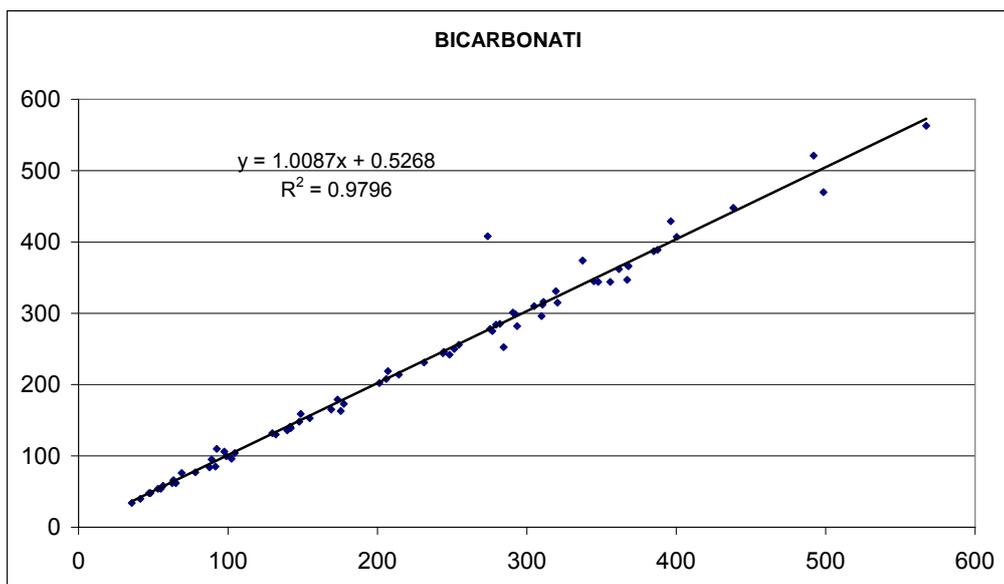
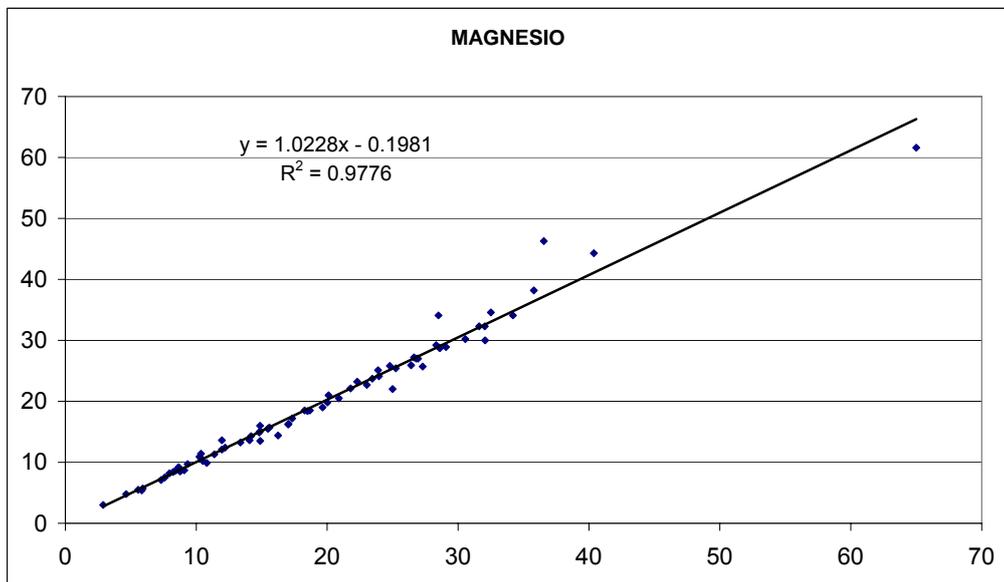
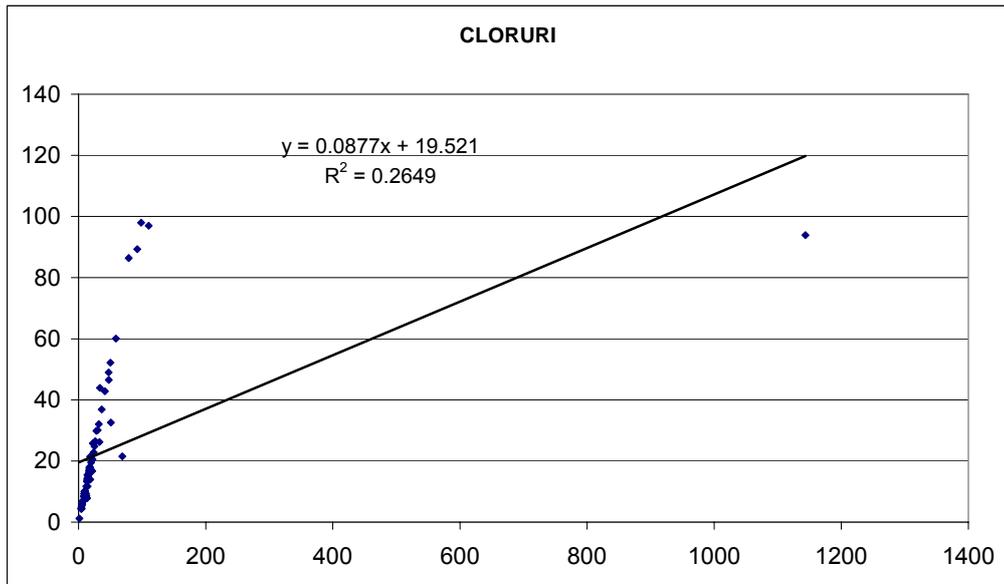
Per i punti considerati nell'elaborazione B sono stati quindi ricalcolati i valori tipici media e mediana comprendendo anche i dati 2005.

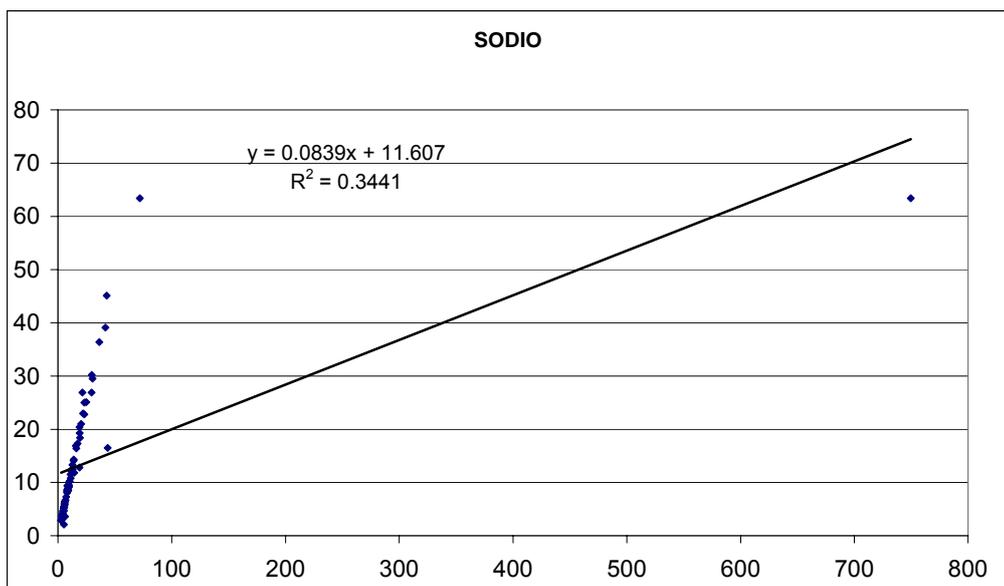
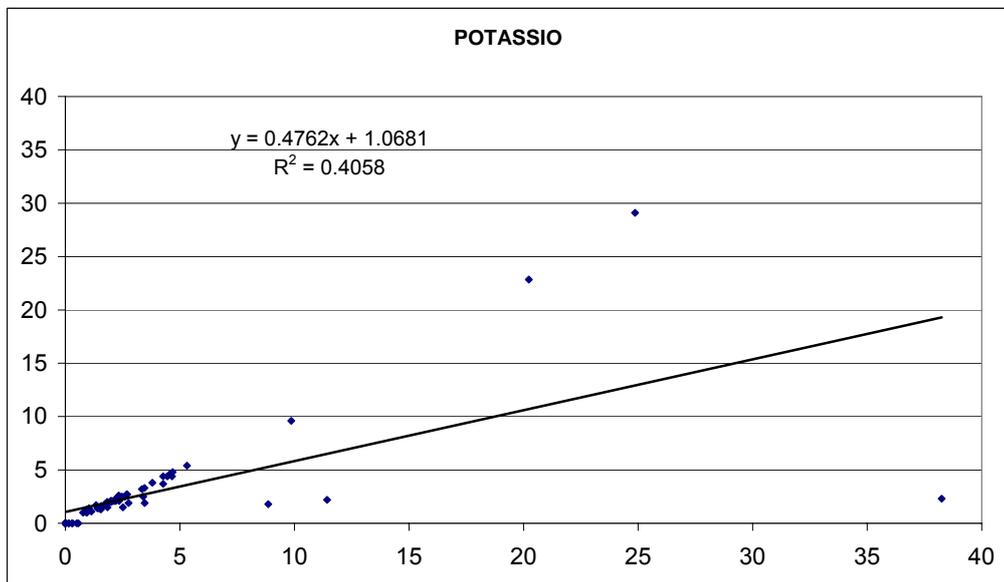
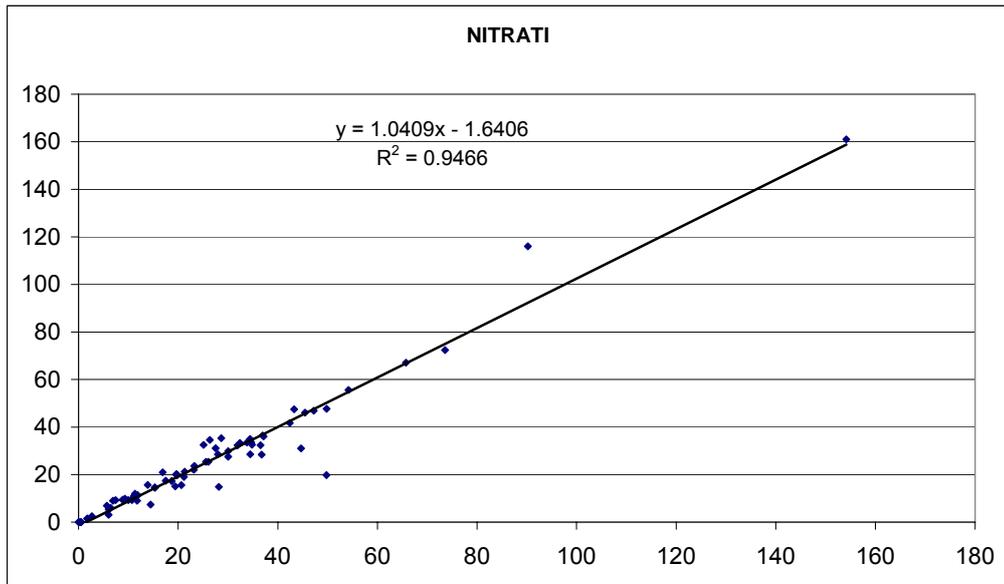
I passaggi seguiti in questo procedimento sono sostanzialmente quelli dell'elaborazione A, illustrati in precedenza. Comprendono l'applicazione del metodo 1), la ricerca di punti particolari, la loro valutazione e l'individuazione dell'analisi rappresentativa.

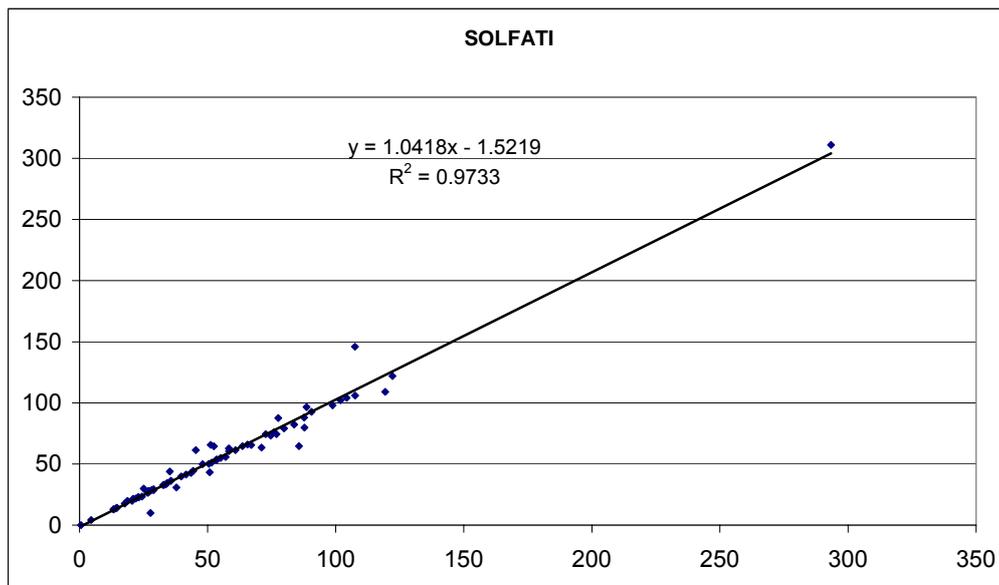
I grafici risultanti dall'applicazione del metodo 1) sono rappresentati in figura 3.

Figura 3 – Correlazione media/mediana per l'elaborazione B









Dall'analisi dei grafici emerge che i parametri cloruri, potassio e sodio presentano punti isolati dalla tendenza principale.

Il coefficiente R^2 risulta infatti non accettabile a causa di una influenza sulla linea di tendenza determinata da singoli punti isolati rispetto a tutti gli altri valori.

Per gli altri parametri si rileva una maggiore corrispondenza, nonostante la presenza di sporadici punti che si allontanano leggermente dalla linea di tendenza per i bicarbonati, il calcio ed i nitrati. I valori di R^2 sono comunque superiori a 0.94.

Sono stati pertanto individuati i punti critici, riportati in tabella 4. In alcuni casi gli stessi punti presentano contemporaneamente anomalie per 2 o 3 parametri.

Tabella 4 - Punti critici e relativi parametri

codice	HCO ₃	Ca	Cl	NO ₃	K	Na
00119710001			X		X	X
00203210001					X	
00414410001			X			X
00500310001				X		
00511800092				X		
00600310001		X				
00604710001	X	X			X	

I punti critici sono risultati 7.

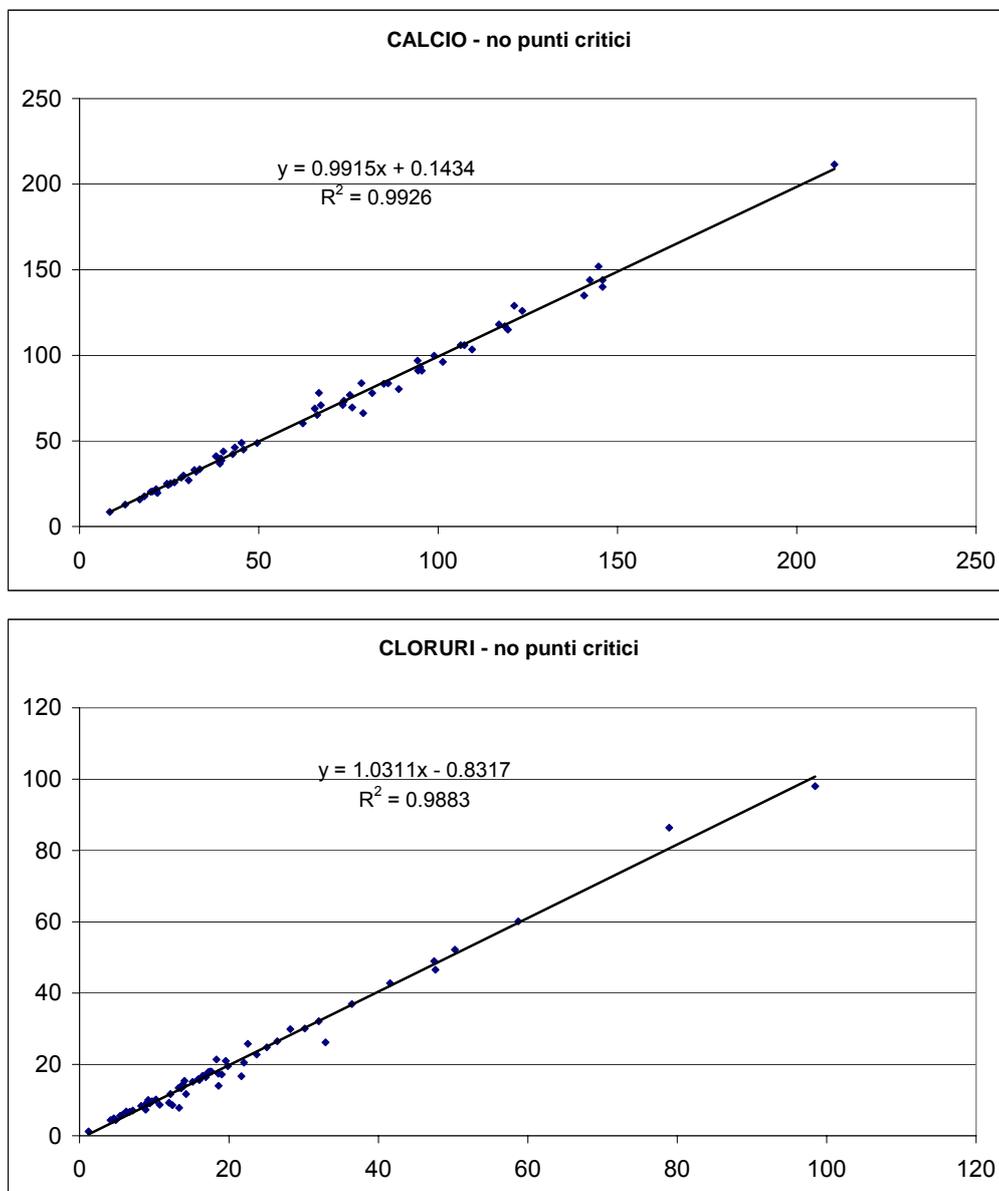
In figura 4 è riportata la simulazione dell'elaborazione, previa l'esclusione di questi 7 punti critici.

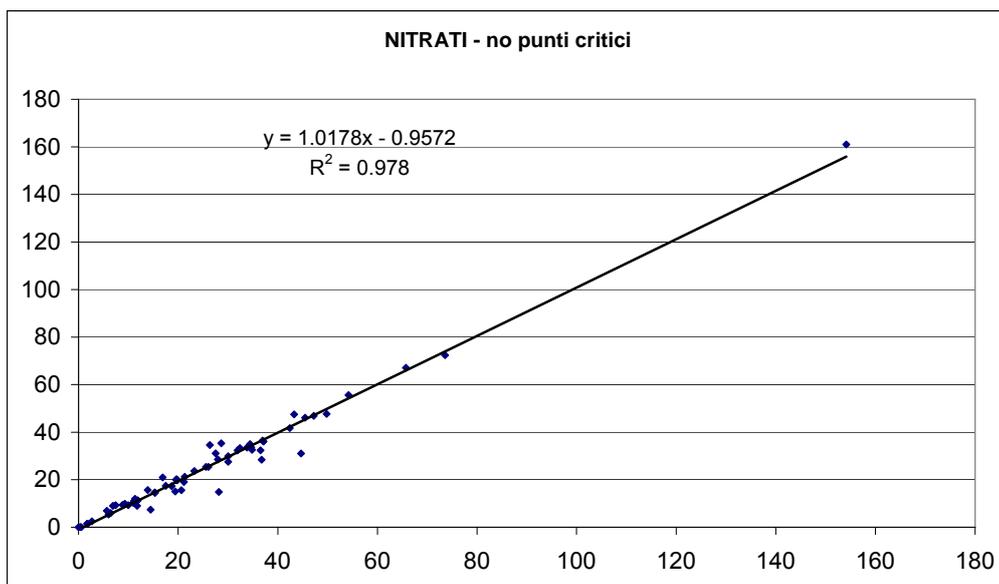
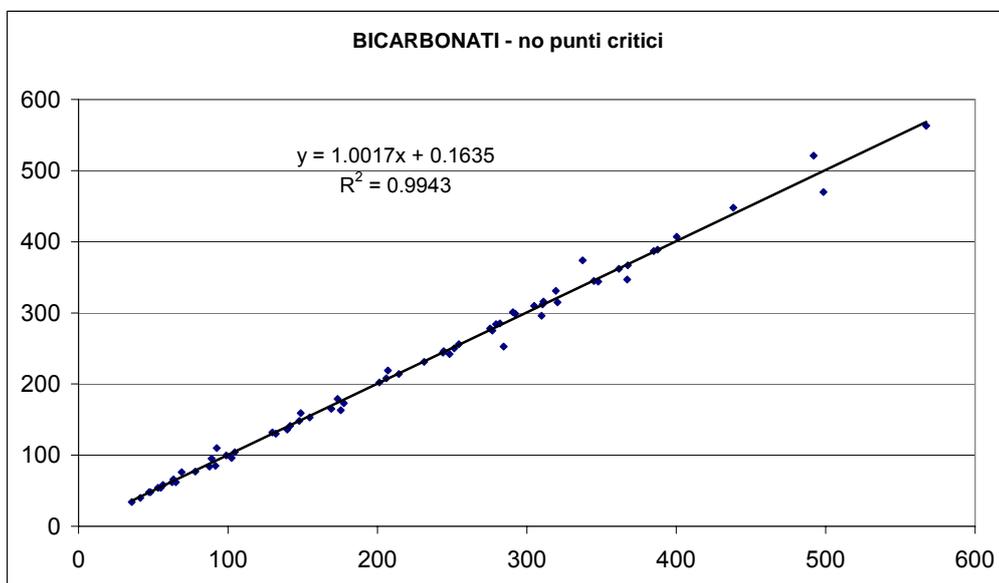
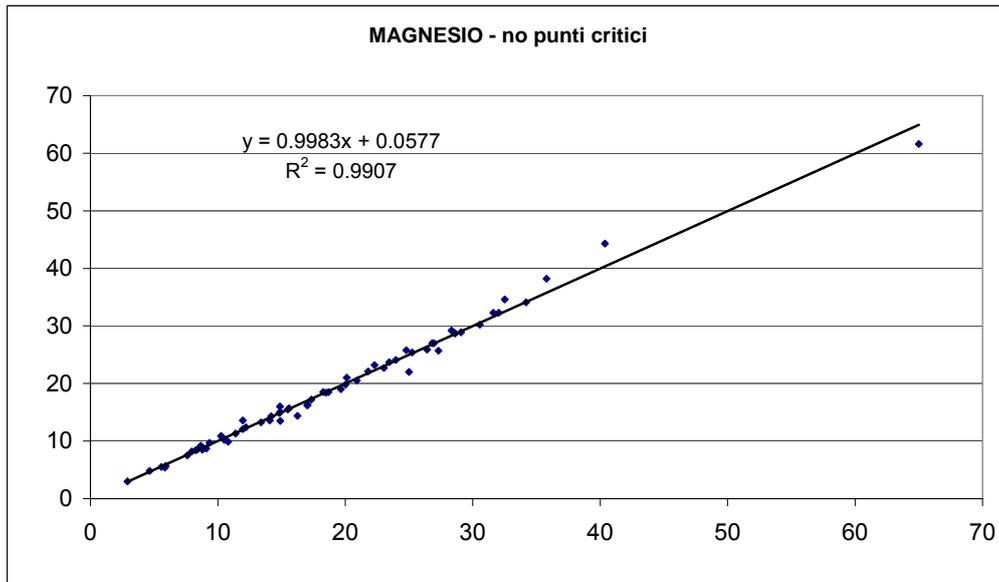
Dalla simulazione effettuata si evidenzia come la correlazione tra media e mediana aumenti con valori di R^2 che passano da 0.3649 a 0.9883 per i cloruri, da 0.4058 a 0.9827 per il potassio e da 0.3441 a 0.9833 per il sodio.

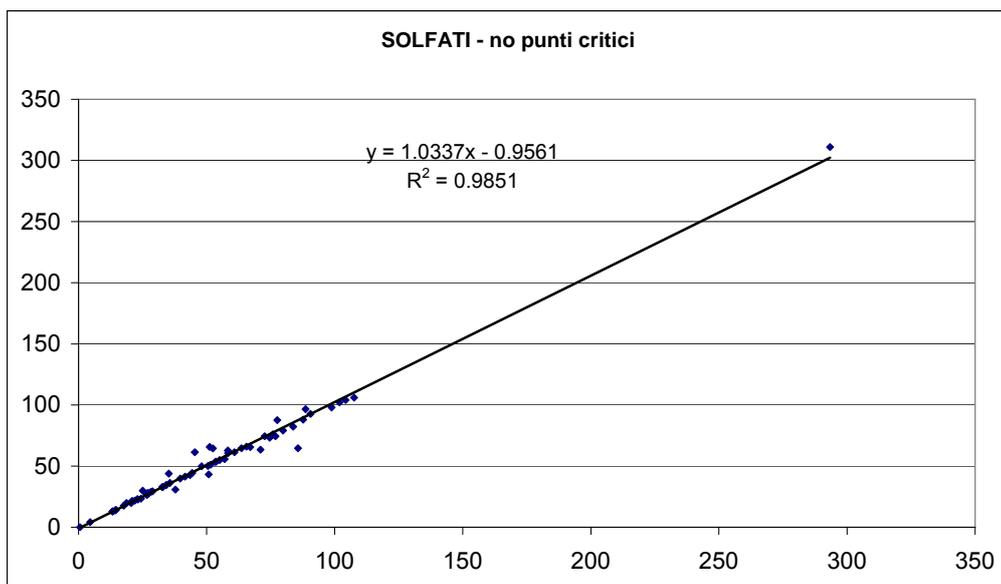
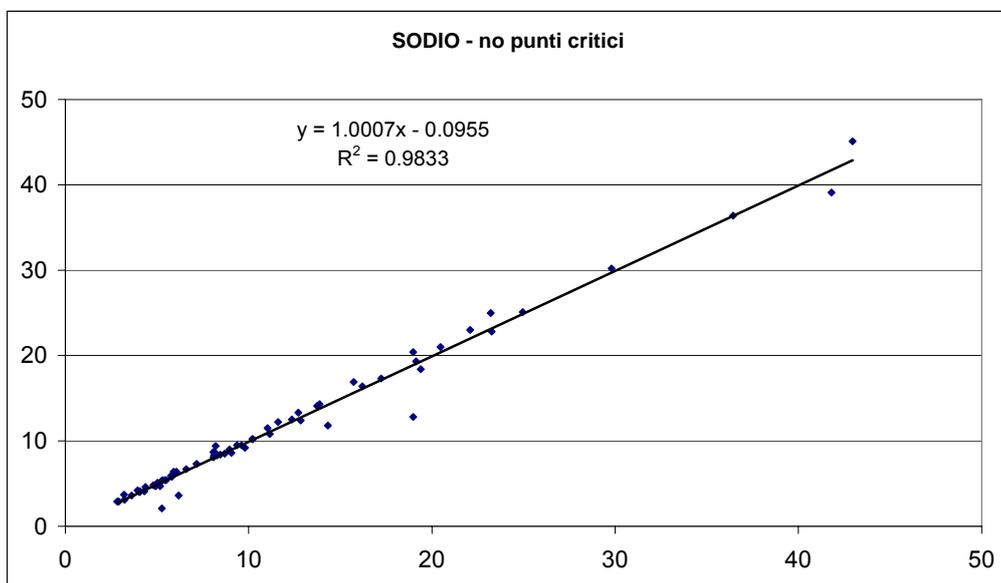
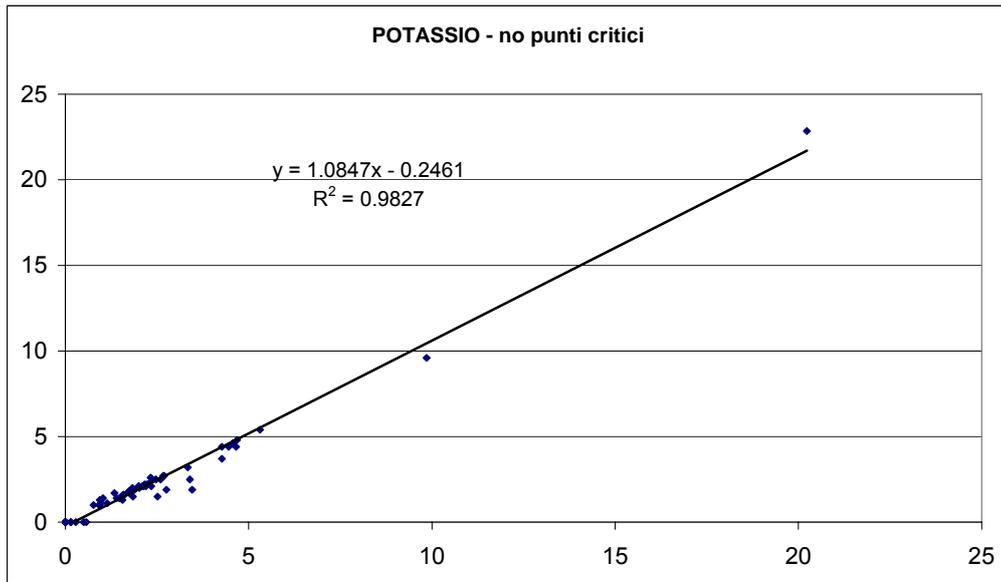
L'eliminazione dei punti critici ha prodotto inoltre un aumento di R^2 per i parametri che già avevano mostrato una buona correlazione nell'elaborazione completa, quali calcio, magnesio, bicarbonati, nitrati e solfati.

R^2 infatti raggiunge per tutti i parametri valori superiori a 0.97.

Figura 4 – Simulazione correlazione media/mediana senza punti critici







Alla simulazione è seguita un'analisi accurata dei punti critici attraverso una visione dettagliata dei singoli dati analitici per quanto riguarda i principali parametri.

Nel seguito vengono descritti i singoli punti. I colori nelle tabelle dei dati analitici indicano i parametri per cui i punti sono critici.

Punto 00119710001

I singoli dati per quanto riguarda il punto 00119710001 sono riportati in tabella 5.

Tabella 5 – Dati analitici parametri principali

Codice	data prelievo	cloruri	nitrati	solforati	bicarbonati	calcio	magnesio	potassio	sodio
00119710001	12/03/2003	28.9	2.9	5.6	375	73.6	16.1	1.8	39
00119710001	10/03/2004	3768	14.8	72.1	337	199	35.9	27.6	2454
00119710001	03/11/2004	93.9	0	12.9	517	115	25.1	0	63.4
00119710001	24/03/2005	216	3.1	8.1	366	100	26	1.5	122
00119710001	13/10/2005	36.3	6.7	10	127	19.9	3.1	3.5	50.9

Il punto 00119710001 è risultato del tutto non idoneo a qualunque tipo di elaborazione in quanto i dati confermano la presenza di influenze antropiche, in particolare un arricchimento occasionale in cloruro di sodio, che mascherano il naturale chimismo dell'acqua.

I dati quindi non si prestano alle finalità del progetto e pertanto il punto è stato escluso dalle successive elaborazioni.

Questo punto sarà comunque oggetto di approfondimenti specifici.

Punto 00203210001

I dati analitici di questo punto sono riportati in tabella 6.

Tabella 6 – Dati analitici parametri principali

Codice	Data prelievo	cloruri	nitrati	solforati	bicarbonati	calcio	magnesio	potassio	sodio
00203210001	27/03/2003	11.5	9.3	33.3	106	36.7	12	254	6.28
00203210001	17/03/2004	10	12.5	35	109	30.7	11.6	2.3	6.2
00203210001	06/10/2004	9.1	8.5	33	75	24.5	7.6	2.3	5.2
00203210001	19/04/2005	10.9	14.8	32.9	110	35.5	11.4	2.2	5.6
00203210001	05/10/2005	9.7	8.8	33.7	99	32.6	10.7	2.4	6.1

Per il punto 00203210001 è stato individuato un evidente errore di trascrizione, il valore di potassio 254 (cerchiato in rosso nella tabella) è stato ritenuto tale e corretto con 2.54. Dopo la correzione del singolo dato sono stati ricalcolati i valori tipici media e mediana e quindi riapplicato il metodo 1). Il valore medio andrà quindi a costituire l'analisi rappresentativa.

Punto 00414410001

In tabella 7 sono visibili i singoli dati.

Tabella 7 – Dati analitici parametri principali

Codice	Data prelievo	cloruri	nitriti	solfiti	bicarbonati	calcio	magnesio	potassio	sodio
00414410001	25/03/2003	21.5	24.2	30.3	146	46.2	7.1	0	16.5
00414410001	24/03/2004	192	28.2	28.5	139	53.7	8.5	1.1	112
00414410001	19/10/2004	10.7	20.8	28.2	150	57.1	7	0	12.3
00414410001	30/03/2005	11.8	22	30	135	49.2	7.1	0	9.4
00414410001	21/09/2005	41.7	17.8	28.6	135	44.6	6	0	32.1

Per il punto 00414410001 risulta anomalo il campione del 24/03/04 in quanto l'analisi non sembra essere coerente con le altre (indicata con una linea rossa in tabella).

Quel campione è stato pertanto trascurato e utilizzando le altre analisi sono stati ricalcolati i valori tipici media e mediana.

I valori medi vanno a costituire l'analisi rappresentativa.

Punto 00500310001

I dati analitici relativi a questo punto sono riportati in tabella 8.

Tabella 8 - Dati analitici parametri principali

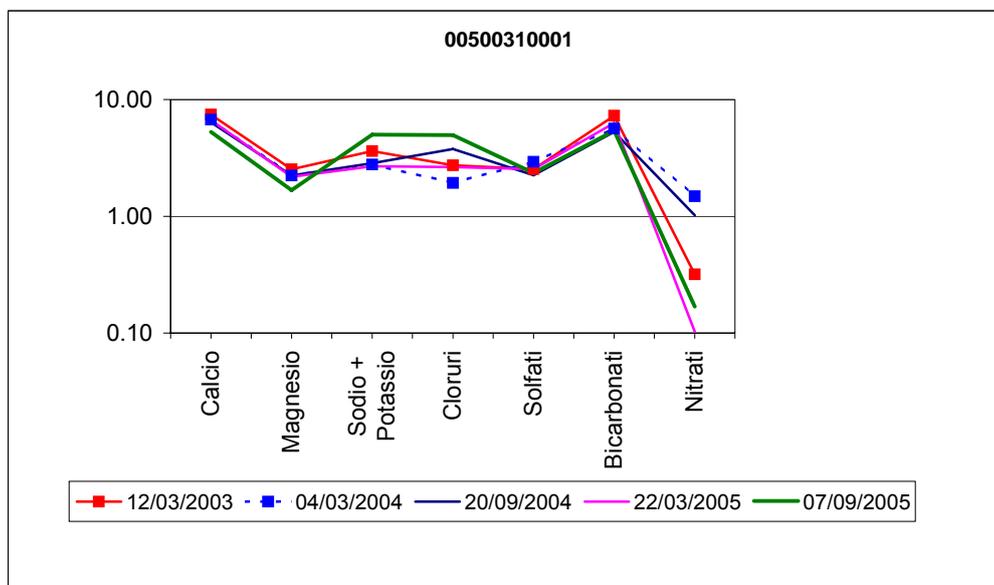
codice	data prelievo	cloruri	nitriti	solfiti	bicarbonati	calcio	magnesio	potassio	sodio
00500310001	12/03/2003	97	19.8	122	444	149	30.8	4.5	80.6
00500310001	04/03/2004	68.6	92.5	141	344	135	27.2	4	61.6
00500310001	20/09/2004	134	63.4	108	322	128	27.2	3.7	63.4
00500310001	22/03/2005	93.7	6.4	122	385	134	26.5	2.9	60
00500310001	07/09/2005	176	10.5	113	330	106	20.4	3.8	113

L'analisi dei dati mostra valori piuttosto variabili per alcuni parametri.

Per questo punto è stato elaborato il diagramma di Schoeller per i singoli campioni già in questa fase per cercare una correlazione tra le concentrazioni dei costituenti fondamentali ed individuare un chimismo predominante.

Il diagramma è riportato in figura 5. Le concentrazioni sono espresse in meq/L.

Figura 5 – Diagramma di Schoeller



Data la difficoltà di considerare un valore medio rappresentativo è stato applicato direttamente il metodo 2) senza apportare alcuna forma di correzione al dato o al campione.

Alle singole analisi è stata pertanto attribuita una numerazione per poterle distinguere ed individuare.

In tabella 9 sono visibili, oltre ai dati analitici, i valori tipici medi e il numero di analisi. I singoli passaggi per l'applicazione del metodo sono descritti nel dettaglio di seguito.

Tabella 9 - Dati analitici parametri principali e valore medio

n. analisi	data prelievo	cloruri	nitrati	solfati	bicarbonati	calcio	magnesio	potassio	sodio
1	12/03/2003	97	19.8	122	444	149	30.8	4.5	80.6
2	04/03/2004	68.6	92.5	141	344	135	27.2	4	61.6
3	20/09/2004	134	63.4	108	322	128	27.2	3.7	63.4
4	22/03/2005	93.7	6.4	122	385	134	26.5	2.9	60
5	07/09/2005	176	10.5	113	330	106	20.4	3.8	113
Valore medio		110.27	49.79	122.14	355.86	130.71	26.64	3.8	71.94



Esempio di applicazione della formula per l'analisi n. 1 (x = distanza):

$$X_1 = \text{RADQ} [(97-110.27)^2 + (19.8-49.79)^2 + (122-122.14)^2 + (444-355.86)^2 + (149-30.8)^2 + (30.8-26.64)^2 + (4.5-3.8)^2 + (80.6-71.94)^2]$$



Distanze ottenute:

$$X_1 = 96.29$$

$$X_2 = 64.68$$

$$X_3 = 46.64$$

$$X_4 = 56.22$$

$$X_5 = 94.61$$

La distanza minore è quella ottenuta attraverso il campione n. 3, che viene quindi assunto come rappresentativo del chimismo del punto.

Punto 00511800092

I dati relativi a questo punto sono visibili in tabella 10.

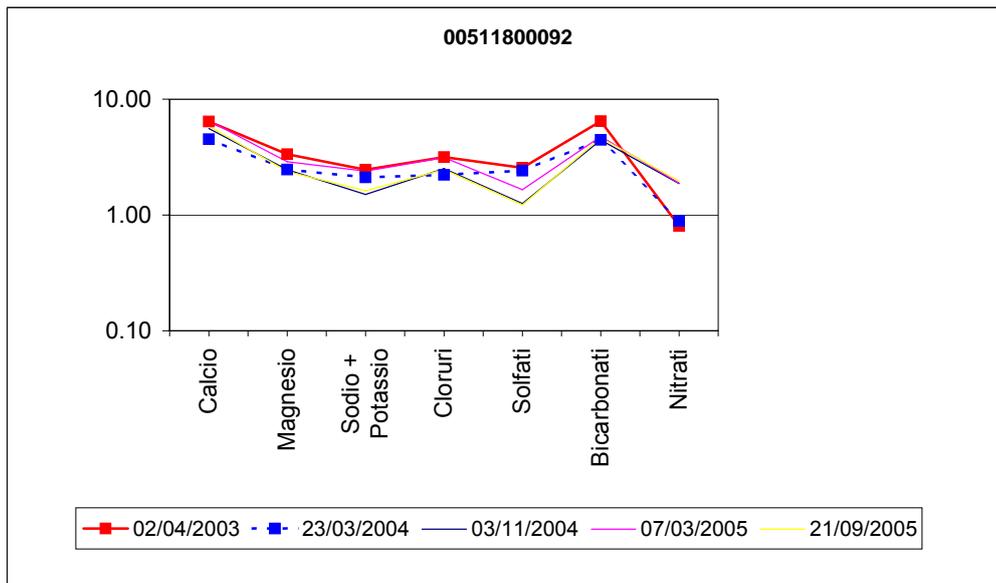
Tabella 10 – Dati analitici parametri principali

codice	data prelievo	cloruri	nitriti	solfiti	bicarbonati	calcio	magnesio	potassio	sodio
00511800092	02/04/2003	112	49.9	123	395	129	40.7	35.7	35.6
00511800092	23/03/2004	78.8	55.3	116	272	90.6	30	32.3	29.5
00511800092	03/11/2004	89.3	116	60.4	271	112	29.9	14.2	26.3
00511800092	07/03/2005	111	117	79.8	291	131	35.1	29.1	37.9
00511800092	21/09/2005	87.5	122	59	282	118	28.9	16.3	27.7

Analogamente al punto precedente questo punto è risultato critico per il parametro nitriti, mostrando una bassa correlazione tra i valori media e mediana.

Anche in questo caso è stato effettuato il diagramma di Schoeller, riportato in figura 6.

Figura 6 – Diagramma di Schoeller



Vista la scarsa significatività del valore medio come dato rappresentativo è stato applicato il metodo 2) senza apportare correzioni ai dati.

In tabella 11 vengono riportate le analisi, a cui è stato dato un numero di riconoscimento, e per ogni parametro i valori medi di riferimento per il calcolo delle singole distanze.

Tabella 11 – Dati analitici parametri principali e valore medio

codice	data prelievo	cloruri	nitrati	solfati	bicarbonati	calcio	magnesio	potassio	sodio
1	02/04/2003	112	49.9	123	395	129	40.7	35.7	35.6
2	23/03/2004	78.8	55.3	116	272	90.6	30	32.3	29.5
3	03/11/2004	89.3	116	60.4	271	112	29.9	14.2	26.3
4	07/03/2005	111	117	79.8	291	131	35.1	29.1	37.9
5	21/09/2005	87.5	122	59	282	118	28.9	16.3	27.7
Valore medio		92.39	90.21	87.8	293.43	111.89	32.07	24.87	30.4

Esempio di applicazione della formula per l'analisi n. 1 (x = distanza):

$$X_1 = \text{RADQ} [(112-92.39)^2 + (49.9-90.21)^2 + (123-87.8)^2 + (395-293.43)^2 + (129-111.89)^2 + (40.7-32.07)^2 + (35.7-24.87)^2 + (35.6-30.4)^2]$$



Distanze ottenute:

$$X_1 = 118.65$$

$$X_2 = 56.31$$

$$X_3 = 45.43$$

$$X_4 = 39.78$$

$$X_5 = 46.07$$

La distanza minore è quella ottenuta con l'analisi n. 4, che viene quindi assunta come rappresentativa.

Punto 00600310001

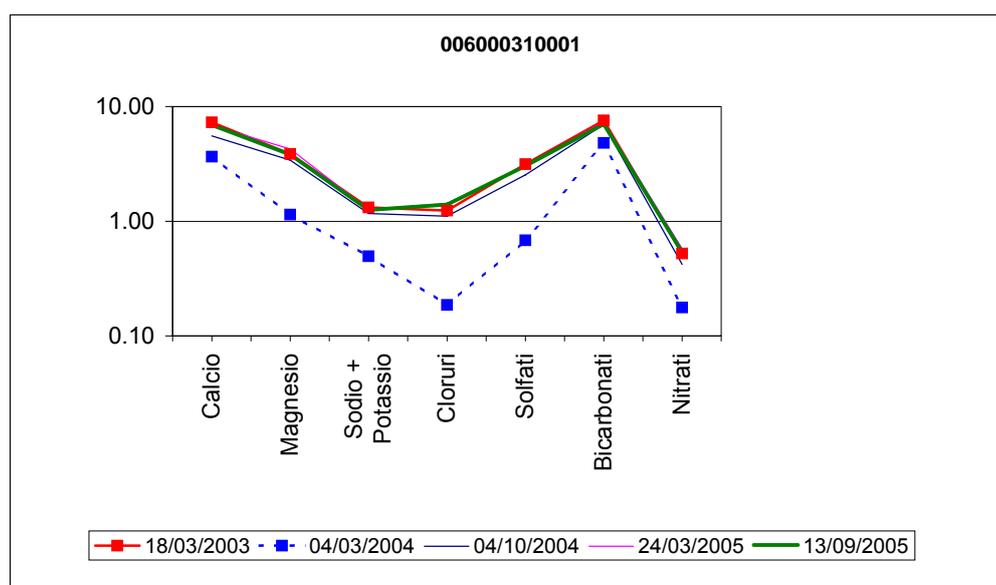
I dati di dettaglio dei parametri principali sono riportati in tabella 12.

Tabella 12 – Dati analitici parametri principali

codice	data prelievo	cloruri	nitrati	solfat	bicarbonati	calcio	magnesio	potassio	sodio
00600310001	18/03/2003	43.9	32.5	151	462	146	47	3.3	28.4
00600310001	04/03/2004	6.6	11	32.8	294	73.3	13.9	5.4	8.2
00600310001	04/10/2004	39.2	26.1	122	424	111	41.5	1.9	25.7
00600310001	24/03/2005	50.7	35.7	146	447	137	51.8	3	27.3
00600310001	13/09/2005	49.6	33.3	146	429	138	46.3	3.3	26.9

Anche per questo punto è stato riprodotto il diagramma di Schoeller, riportato il figura 7.

Figura 7 – Diagramma di Schoeller



Analizzando i dati risulta poco coerente con gli altri il campione del 04/03/2004.

Questo è ben evidente anche dal diagramma di Schoeller, dove il trend del campione del 04/03/2004 si discosta notevolmente dagli altri.

Si è quindi ritenuto di escludere questa analisi, non significativa per le finalità del lavoro, e di calcolare nuovamente i valori di media e mediana, riapplicando quindi il metodo 1).

I valori medi calcolati per ogni parametro vanno a costituire l'analisi rappresentativa.

Punto 00604710001

I dati del punto 00604710001 sono riportati in tabella 13.

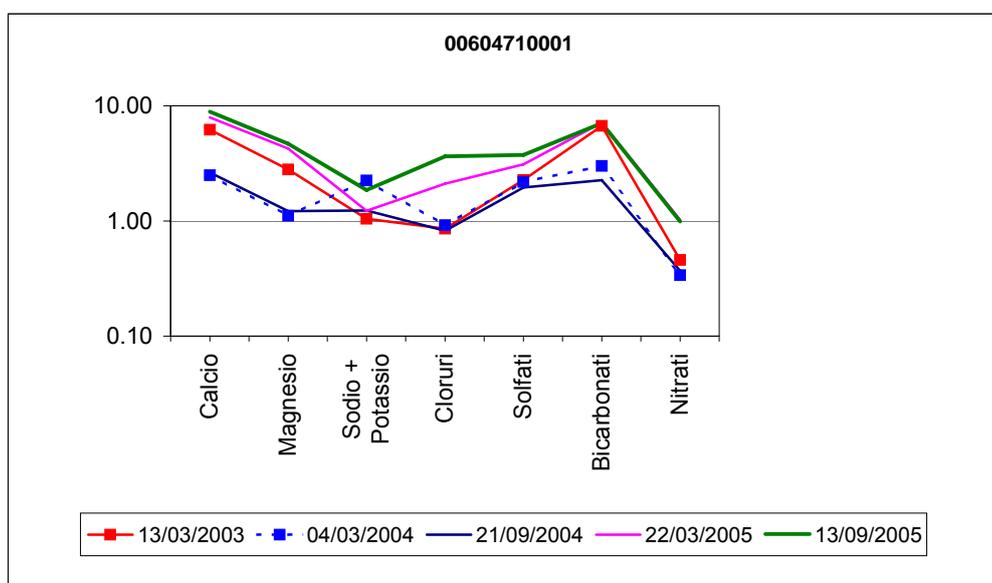
Tabella 13 - Dati analitici parametri principali

codice	data prelievo	cloruri	nitrati	solforati	bicarbonati	calcio	magnesio	potassio	sodio
00604710001	13/03/2003	30.4	28.5	109	408	124	34.1	2.2	22.7
00604710001	04/03/2004	32.6	21	105	183	50	13.5	25.2	36.8
00604710001	21/09/2004	29.1	22.9	93.7	138	52.8	14.8	11.6	21.5
00604710001	22/03/2005	74.8	63.5	149	436	159	51.8	2.1	26.9
00604710001	13/09/2005	129	61.4	180	431	178	57	2.1	41.4

Questo punto è risultato critico per più parametri.

Anche in questo caso è stato effettuato il diagramma di Schoeller, riportato in figura 8.

Figura 8 – Diagramma di Schoeller



I dati di questo punto non si presentano omogenei e difficilmente possono essere rappresentati da un valore medio.

Si è optato per l'esclusione dei due campioni relativi al 2005 e per l'applicazione del metodo 2).

Le analisi vengono escluse solo dal calcolo del valore medio da utilizzare come riferimento per l'applicazione del metodo, ma anche per loro viene valutata la distanza.

In tabella 14 vengono riportati i dati, i numeri delle analisi, i valori medi calcolati e sono indicate con una linea rossa le analisi trascurate per la media.

Tabella 14 - Dati analitici parametri principali e valore medio

n. analisi	data prelievo	cloruri	nitrati	solfati	bicarbonati	calcio	magnesio	potassio	sodio
1	13/03/2003	30.4	28.5	109	408	124	34.1	2.2	22.7
2	04/03/2004	32.6	21	105	183	50	13.5	25.2	36.8
3	21/09/2004	29.1	22.9	93.7	138	52.8	14.8	11.6	21.5
4	22/03/2005	74.8	63.5	149	436	159	51.8	2.1	26.9
5	13/09/2005	129	61.4	180	431	178	57	2.1	41.4
Valore medio		30.7	24.13	102.57	243	75.6	20.8	13	27



Esempio di applicazione della formula per l'analisi n. 1 (x = distanza):

$$X_1 = \text{RADQ} [(30.4-30.7)^2 + (28.5-24.13)^2 + (109-102.57)^2 + (408-243)^2 + (124-75.6)^2 + (34.1-20.8)^2 + (2.2-13)^2 + (22.7-27)^2]$$



Distanze ottenute:

$$X_1 = 173.03$$

$$X_2 = 67.62$$

$$X_3 = 108.15$$

$$X_4 = 225.69$$

$$X_5 = 254.00$$

La distanza minore è quella ottenuta con l'analisi n. 2, che viene quindi assunta come rappresentativa.

Infine si riassumono le operazioni effettuate sui punti critici per quanto riguarda l'elaborazione B in tabella 15.

Tabella 15 – Sintesi punti critici elaborazione B

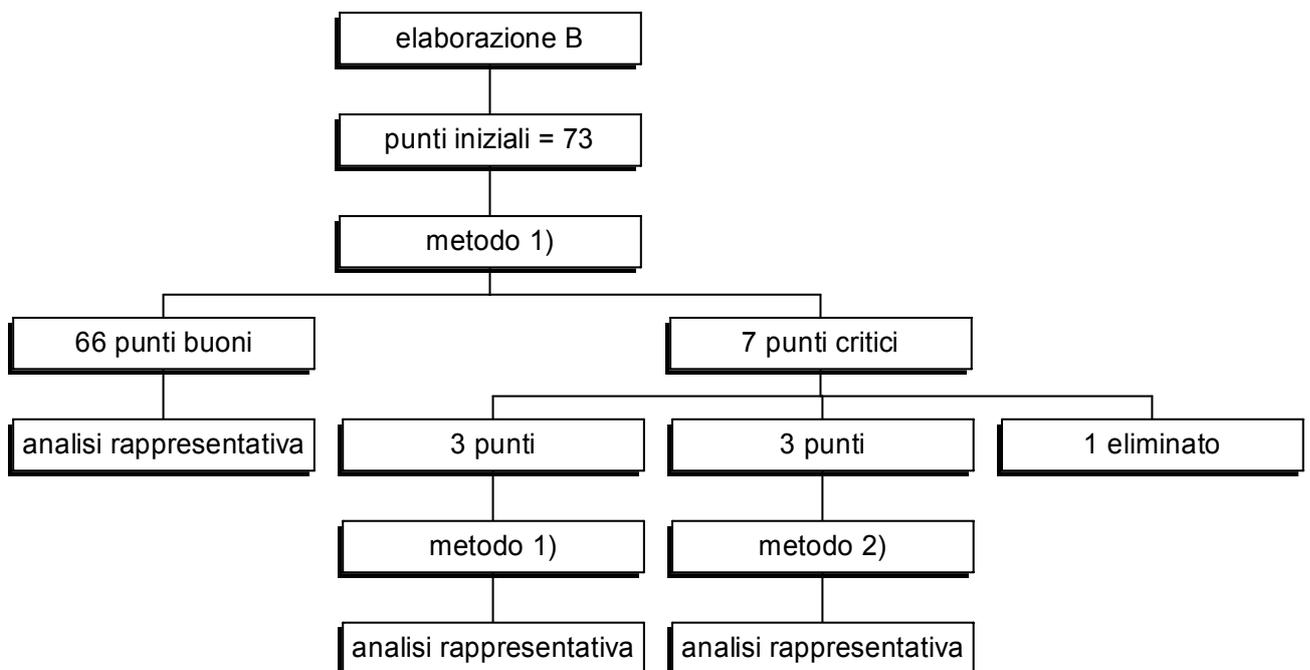
codice	tipo	azione	applicazione
00119710001	piezometro	escluso punto	
00203210001	piezometro	corretto singolo dato	Metodo 1)
00414410001	piezometro	escluso 1 campione	Metodo 1)
00500310001	piezometro		Metodo 2)
00511800092	pozzo		Metodo 2)
00600310001	piezometro	escluso 1 campione	Metodo 1)
00604710001	piezometro	esclusi 2 campioni	Metodo 2)

In conclusione, dei 73 punti iniziali, 7 punti sono risultati critici, di questi 1 è stato escluso dalle elaborazioni e per i rimanenti è stata individuata l'analisi rappresentativa.

In sintesi i 73 punti di partenza si sono così ripartiti:

- su 69 è stato applicato il metodo 1);
- su 3 è stato applicato il metodo 2);
- 1 punto è stato escluso dalle elaborazioni successive.

L'elaborazione B è riassunta nel seguente schema:



Database operativo

L'applicazione dei metodi 1) e 2) nelle elaborazioni A e B ha permesso di individuare l'analisi chimica rappresentativa per ogni punto.

I risultati delle varie applicazioni effettuate sono così riassunti:

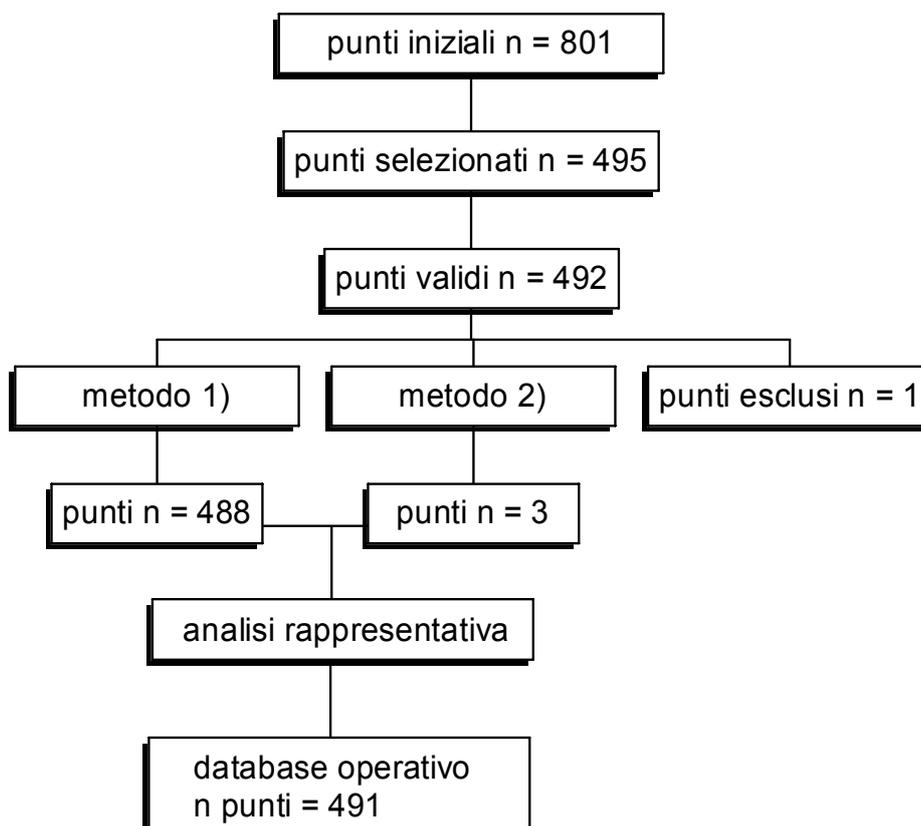
-492 punti iniziali validi;

-metodo 1) su 488;

-metodo 2) su 3;

-1 punti eliminato.

Nello schema riportato di seguito sono sintetizzati i passaggi effettuati per la creazione del database di lavoro a partire dal primo archivio dati considerato, da cui sono state operate le prime selezioni:



Il numero finale dei punti che vanno a costituire il database operativo è quindi 491, a questi punti sono associate le analisi rappresentative individuate con le elaborazioni precedenti.

Il database comprende i punti, indicati dal codice regionale, i relativi valori rappresentativi per quanto riguarda i parametri principali (bicarbonati, calcio, cloruri,

magnesio, nitrati, potassio, sodio e solfati), da utilizzare per le elaborazioni di Piper e Schoeller, le coordinate dei punti e l'area idrogeologica di appartenenza.

In tabella 16 ne è riportata una parte a titolo esemplificativo.

Tabella 16 – Esempio di database operativo

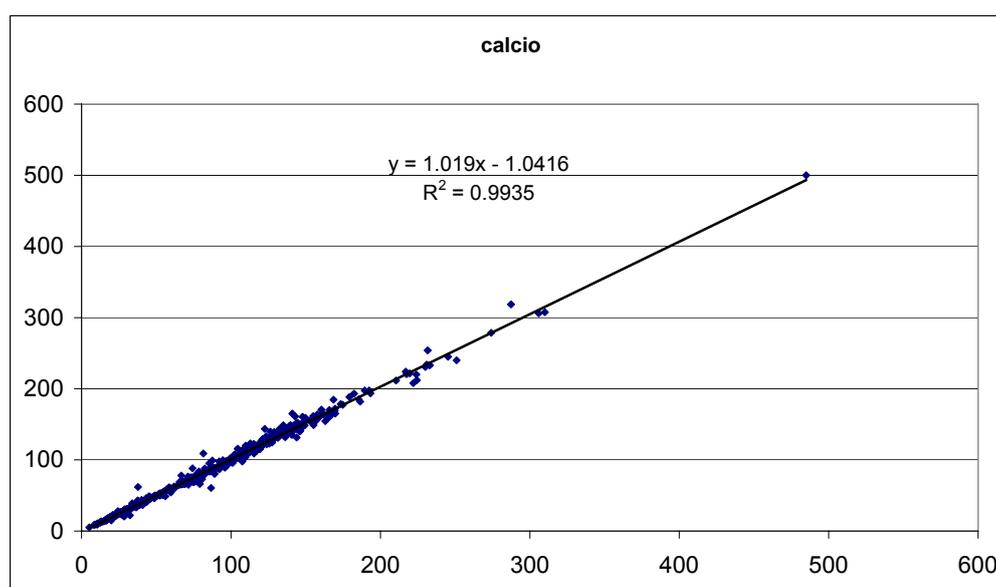
codice punto	bicarbonati	calcio	cloruri	magnesio	nitrati	potassio	sodio	solfati	UTM Est	UTM Nord	area idrogeologica
00100100001	104.23	27.6	11.38	17.89	27.93	3.12	5.93	34.11	403838	5026064	TO01
00100200003	139.13	36.79	13.44	17.59	49.59	1.85	6	27.97	379602	4975538	TO07
00100200004	126.67	16.6	14.96	20.51	38.46	0.3	6.94	27.23	379377	4976962	TO07
00102500001	94.67	26.57	5.31	6.74	11.87	2.97	6.99	16.29	365231	4962206	TO07
00105800002	247.25	99.32	7.49	9.86	19.2	1.81	4.56	33.38	396023	4974252	TO07
00105800005	200.86	65.91	5.91	10.2	3.89	0.99	8.96	40.93	395737	4975922	TO07
00105800006	277.29	94.49	9.3	9.79	18.45	1.29	4.72	34.59	393901	4974572	TO07
00105900006	135.38	61.95	32.61	17.34	86.01	4.46	10.97	52.63	401430	4967180	TO09
00106100001	209.5	60.27	35.53	25.49	85.88	24.47	31.4	55.11	414689	5036918	IV01
00106300001	85.38	22.65	8.26	10.76	19.39	3.28	6.49	19.27	396560	5004663	TO03
00106300002	97.71	26.91	7.07	10.31	12.47	0.31	4.13	19.44	391486	5003893	TO03

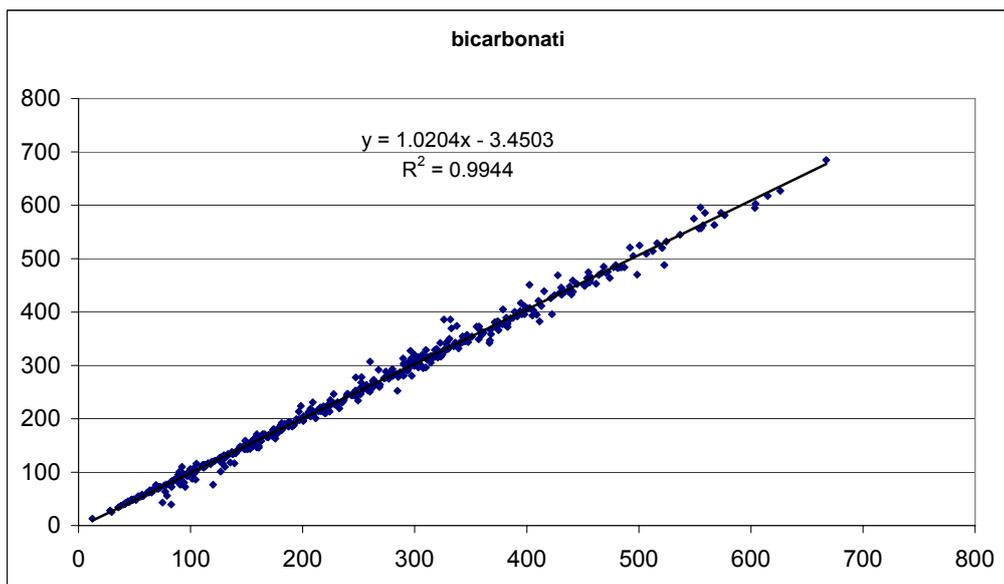
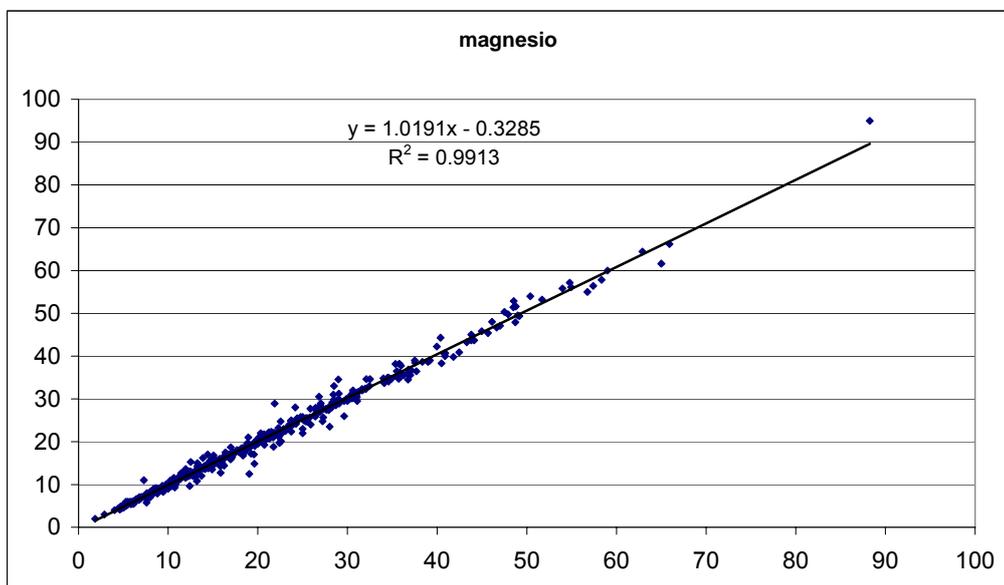
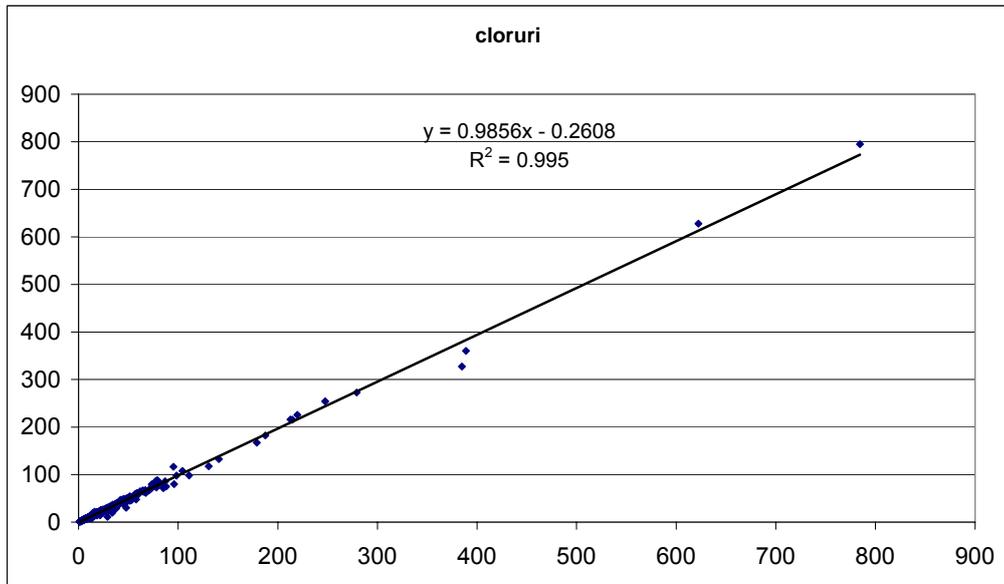
Il database completo è riportato in Allegato 1.

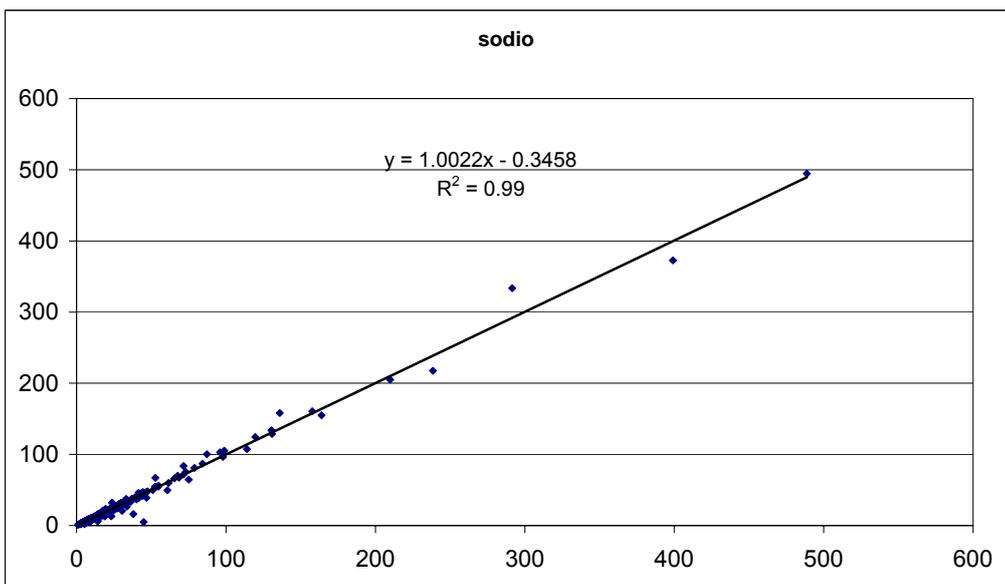
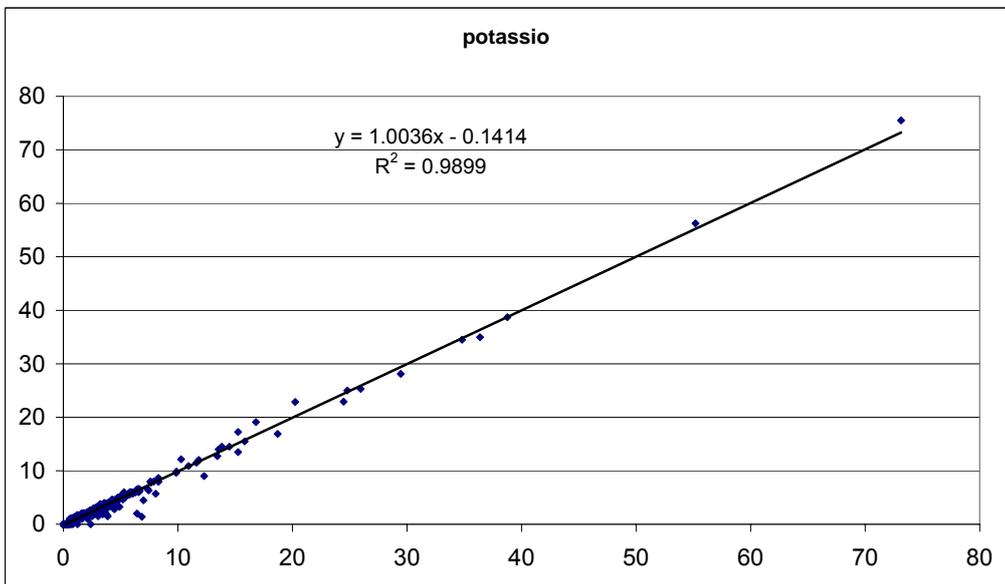
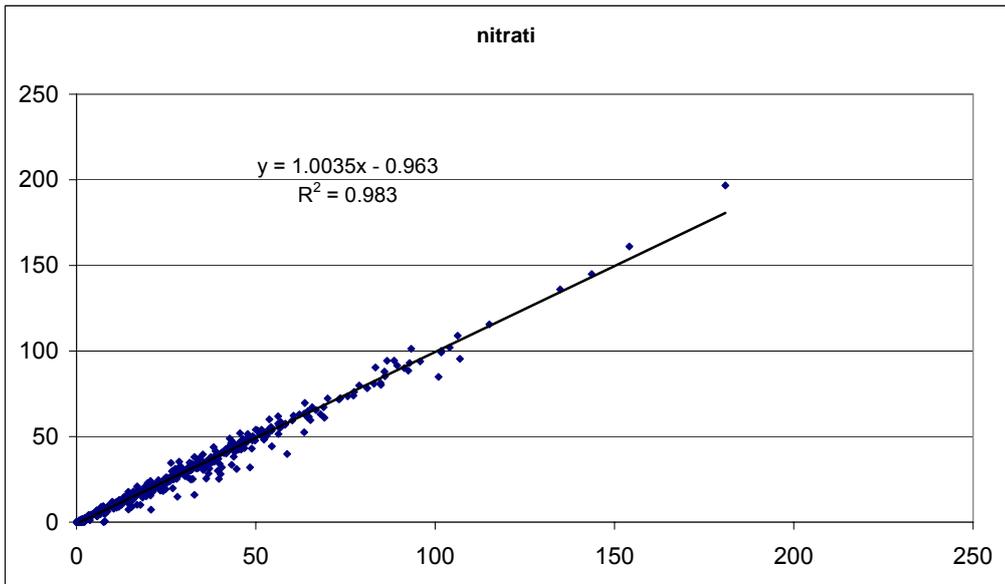
Di seguito sono riportati i grafici finali prodotti utilizzando tutti i punti del database operativo, ad eccezione dei 3 punti per cui l'analisi rappresentativa è stata individuata attraverso l'applicazione del metodo 2).

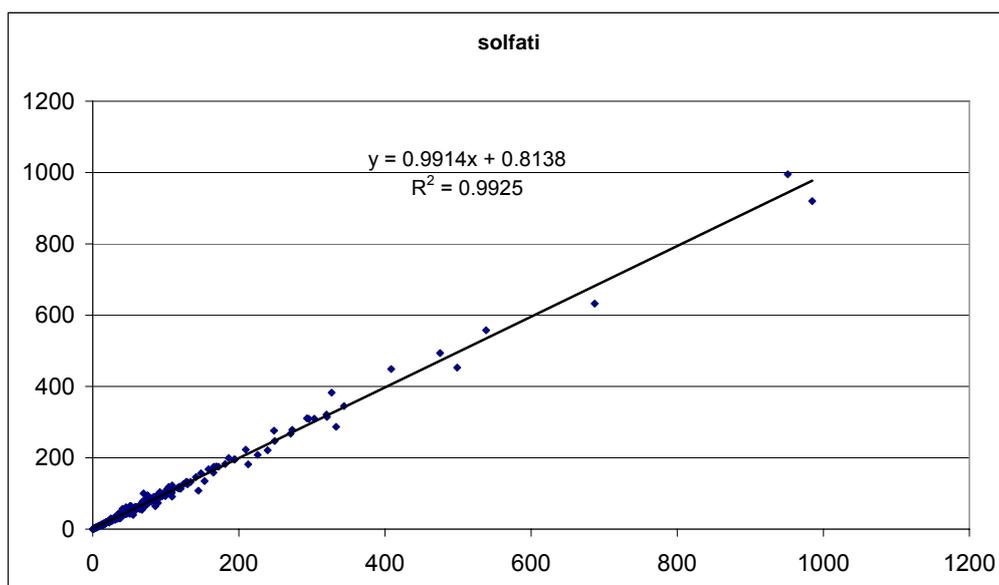
Come prevedibile la correlazione tra media e mediana è molto alta, a conferma della validità dell'analisi rappresentativa adottata.

Figura 9 – Correlazione media/mediana









Da queste rappresentazioni si può notare come i punti si addensino prevalentemente intorno a valori medio/bassi e solo pochi punti siano distanziati ed individuino valori alti. Come ulteriore verifica della coerenza dell'analisi rappresentativa è stato effettuato il bilanciamento anioni-cationi dell'analisi tipo.

Tale operazione prevede la trasformazione della concentrazione dei parametri in meq/L e il confronto tra i cationi e gli anioni.

I cationi sono dati da calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) e potassio (K^+), mentre gli anioni sono i cloruri (Cl^-), i nitrati (NO_3^-), i solfati (SO_4^{2-}) ed i bicarbonati (HCO_3^-).

L'informazione che si ottiene è espressa dalla percentuale di errore, data dal rapporto tra la differenza anioni-cationi e la loro somma. Tale percentuale non deve essere superiore al 5%, anche se si può ritenere accettabile per valori inferiori a 10.

Un esempio è riportato in tabella 17.

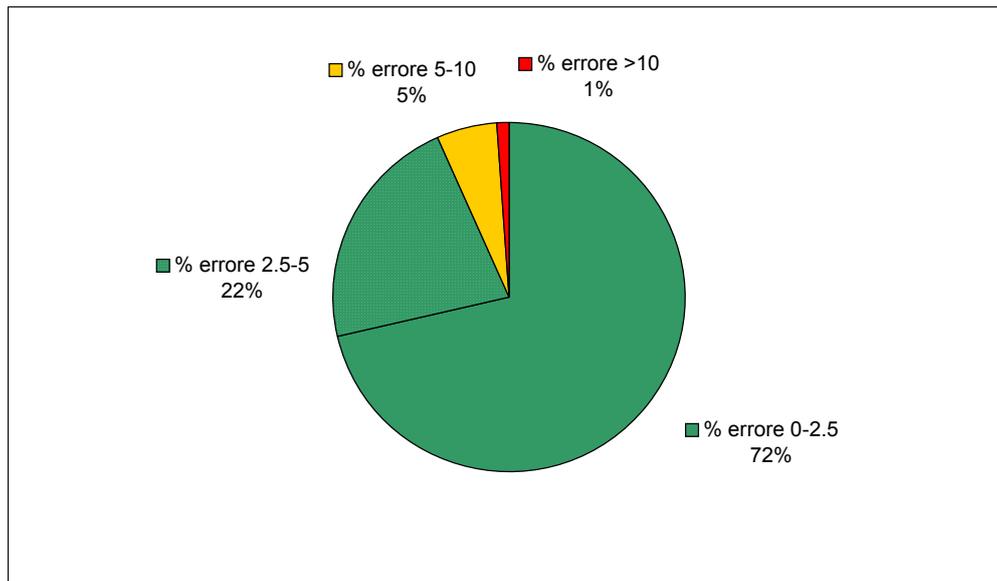
Tabella 17 – Esempio di bilanciamento anioni-cationi

codice	HCO_3^-	Ca	Cl	Mg	NO_3^-	K	Na	SO_4^{2-}	HCO_3^- meq/L	Ca^+ meq/L	Cl^- meq/L	Mg^+ meq/L	NO_3^- meq/L	K^+ meq/L	Na^+ meq/L	SO_4^{2-} meq/L	tot a/c	diff. a/c	errore %
00100100001	104.23	27.6	11.38	17.89	27.93	3.12	5.93	34.11	1.71	1.38	0.32	1.47	0.45	0.08	0.26	0.71	6.38	0.00	0.06
00100200003	139.13	36.79	13.44	17.59	49.59	1.85	6	27.97	2.28	1.84	0.38	1.45	0.80	0.05	0.26	0.58	7.63	0.45	5.91
00100200004	126.67	16.6	14.96	20.51	38.46	0.3	6.94	27.23	2.08	0.83	0.42	1.69	0.62	0.01	0.30	0.57	6.51	0.86	13.23
00102500001	94.67	26.57	5.31	6.74	11.87	2.97	6.99	16.29	1.55	1.33	0.15	0.55	0.19	0.08	0.30	0.34	4.49	-0.03	-0.62
00105800002	247.25	99.32	7.49	9.86	19.2	1.81	4.56	33.38	4.05	4.96	0.21	0.81	0.31	0.05	0.20	0.69	11.28	-0.74	-6.58

Le percentuali d'errore ottenute dal calcolo dei bilanciamenti ionici delle analisi tipo per i punti validi sono risultate soddisfacenti, la maggior parte dei punti del database operativo, infatti, presenta errori inferiori a 5.

In figura 10 sono riportate le percentuali di punti all'interno di classi di errore percentuale di bilanciamento: circa il 94% dei punti ha un % d'errore < 5, di cui il 72% < 2.5, il 5% ha un % d'errore compresa tra 5 e 10 e solo l'1% supera 10.

Figura 10 – Percentuale di punti e % errore di bilanciamento



Il database ottenuto può quindi essere considerato operativo ed essere utilizzato per le elaborazioni di Piper e Schoeller.

Valutazioni idrochimiche su base areale

Le valutazioni idrochimiche sviluppate in questa sede servono per svolgere considerazioni ai fini della verifica dell'omogeneità dei corpi idrici sotterranei della pianura piemontese, partendo dalle aree idrogeologiche, in relazione alla correlabilità dei punti ubicati al loro interno; al riguardo, le analisi tipiche dei costituenti di base dei suddetti punti sono state confrontate con l'ausilio dei diagrammi di Piper e Schoeller.

Le aree idrogeologiche rappresentano quindi la base di partenza per l'aggregazione areale dei punti di monitoraggio su presupposti fisici-idrogeologici che, in determinati settori dell'area di monitoraggio, devono essere ancora verificati e/o riesaminati.

I diagrammi di Piper e Schoeller sono stati pertanto applicati ai punti ricadenti nelle principali aree idrogeologiche come risultano dalla loro prima definizione apparsa sulla DGR 18 ottobre 2002 n. 9/R (figura 11). Tuttavia, ai fini del presente studio, sono state considerate solamente quelle aree che presentavano un numero sufficiente di punti da consentire una valutazione ottimale sulla omogeneità dei corpi idrici sotterranei, anche in relazione alla loro importanza e significatività nell'ambito dell'area di monitoraggio regionale (tabella 18). Pertanto, non sono stati considerati settori marginali con circolazioni idriche localizzate e/o con pochi punti di monitoraggio come i terrazzi, ad eccezione di TE05 (riferito alla baraggia biellese), l'area TO02 e l'area TO04, che rappresenta uno stretto lembo di pianura alluvionale tra la sponda destra del Po e le colline del Monferrato con un solo punto di monitoraggio.

Figura 11 - Aree idrogeologiche della falda superficiale (DGR 18/10/2002 N. 9R)

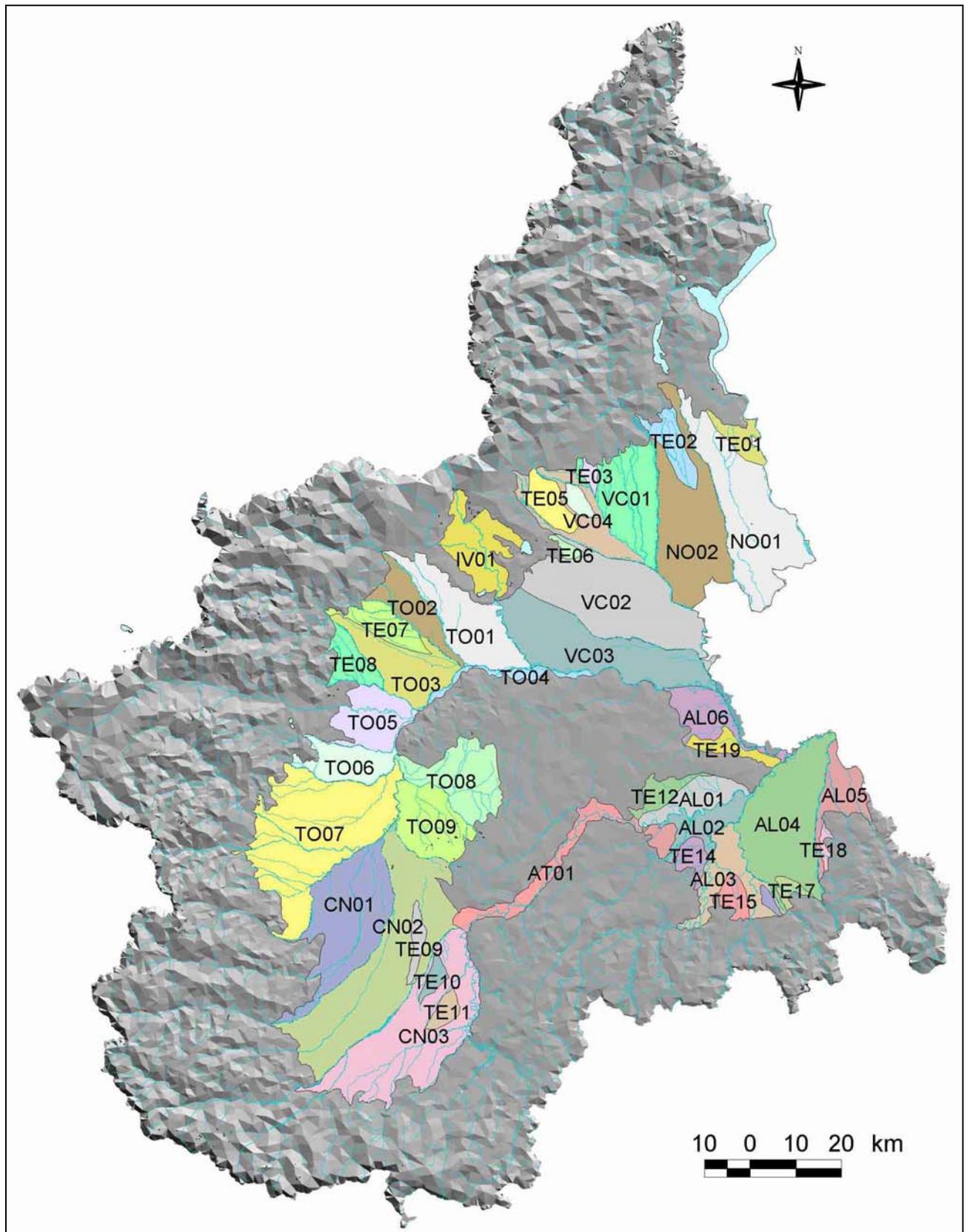


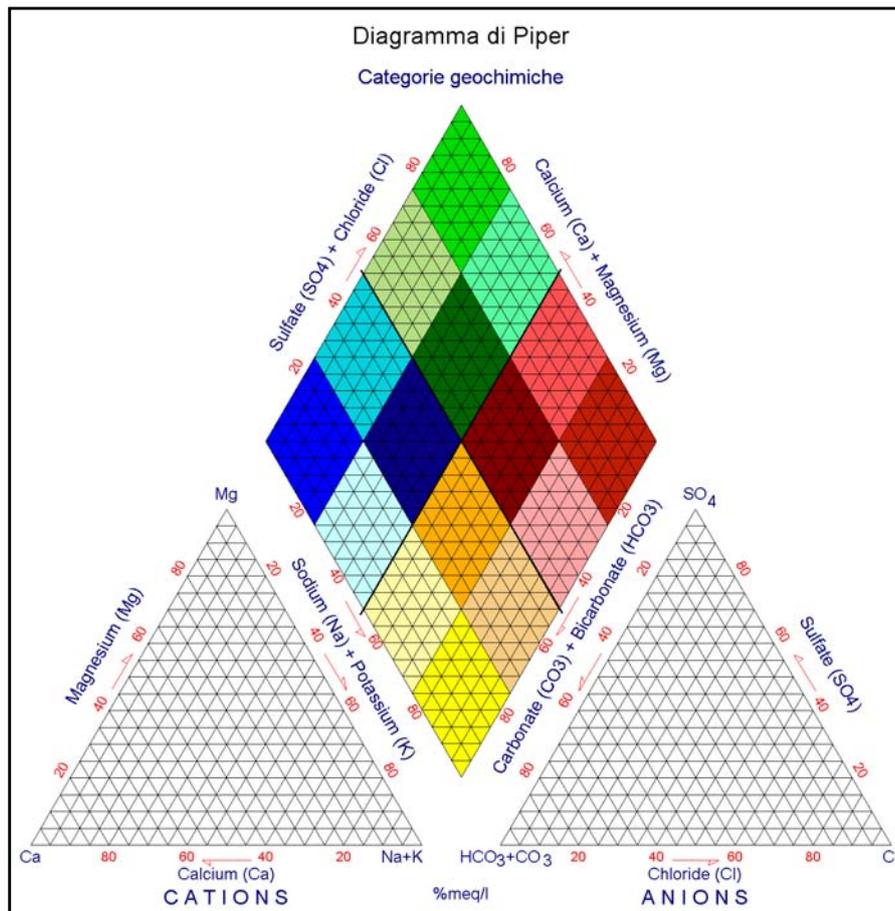
Tabella 18 - Elenco delle aree idrogeologiche considerate ai fini del presente studio

Codice area idrogeologica	Superficie area m²
AL01	113,446,489
AL02	110,644,542
AL03	165,546,814
AL04	462,982,607
AL05	125,713,602
AL06	138,238,476
AT01	144,964,789
CN01	430,805,758
CN02	676,258,727
CN03	547,810,280
IV01	213,102,275
NO01	497,105,642
NO02	439,457,111
TE05	82,067,079
TO01	292,475,848
TO03	223,924,527
TO05	184,160,448
TO07	684,054,036
TO08	238,748,261
TO09	214,902,634
VC01	276,909,568
VC02	536,957,899
VC03	457,906,153
VC04	154,566,068

Diagrammi di Piper e Schoeller

Il diagramma di Piper (figura 12) costituisce un rapido metodo grafico di caratterizzazione delle acque sotterranee in gruppi aventi caratteristiche chimico-fisiche omogenee e distinguibili da altri gruppi; esso è costituito da due triangoli equilateri sormontati da un rombo: il triangolo di sinistra rappresenta i cationi, quello di destra gli anioni. Il vertice inferiore sinistro del triangolo sinistro è occupato dal Ca^{2+} , quello di destra dalla somma di Na^+ e K^+ , quello superiore dal Mg^{2+} ; il vertice inferiore sinistro del triangolo di destra è occupato dai HCO_3^- , quello di destra dalla somma di Cl^- e NO_3^- quello superiore dai SO_4^{2-} . Ogni analisi origina tre punti, due posizionati nei due triangoli, uno per i cationi ed uno per gli anioni (proporzionalmente al contenuto relativo dei vari ioni) ed uno nel rombo localizzato all'intersezione delle rette originate dagli altri due punti e tracciate parallelamente alla retta congiungente Ca^{2+} e Mg^{2+} per i cationi e parallelamente alla retta congiungente la somma di Cl^- e NO_3^- e SO_4^{2-} per gli anioni. E' indispensabile effettuare un controllo della posizione dei punti anche nei due triangoli in quanto nel rombo sono riportate le somme di SO_4^{2-} e Cl^- e di Ca^{2+} e Mg^{2+} e quindi acque con mineralizzazioni anche diverse possono occupare la medesima posizione. All'interno del rombo le acque sono suddivise in quattro categorie tramite la suddivisione del rombo in altrettanti rombi più piccoli. Il rombo più in alto è quello delle acque cloruro e solfato calciche e magnesiache, quello di destra è quello delle acque cloruro sodiche e potassiche o solfato sodiche, quello in basso è quello delle acque carbonato sodiche e potassiche, quello di sinistra è quello delle acque bicarbonato calciche e magnesiache. Tutte le concentrazioni sono espresse in meq/L.

Figura 12 - Diagramma di Piper (1944)

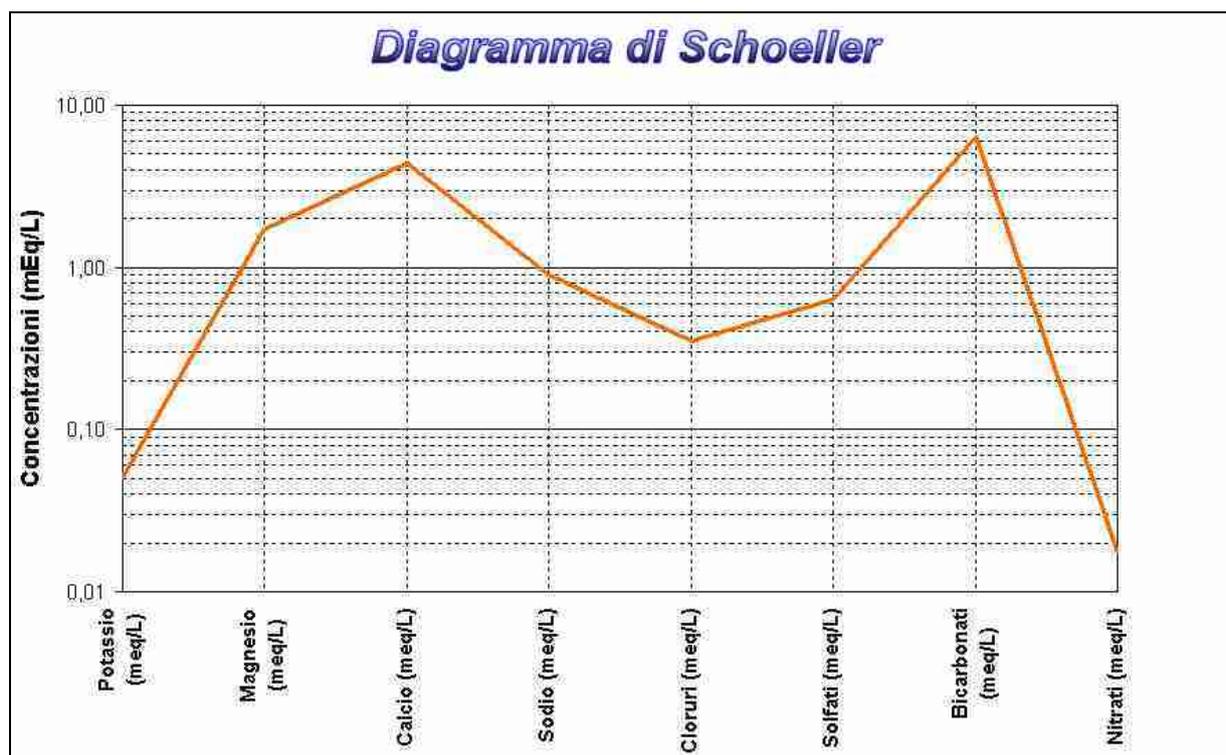


Il diagramma di Schoeller (figura 13) permette invece di caratterizzare dal punto di vista idrochimico le acque attraverso una correlazione tra le concentrazioni dei costituenti fondamentali (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, HCO₃ e NO₃) consentendo anche di distinguere (grazie alla scala logaritmica) tra acque a debole o intensa mineralizzazione.

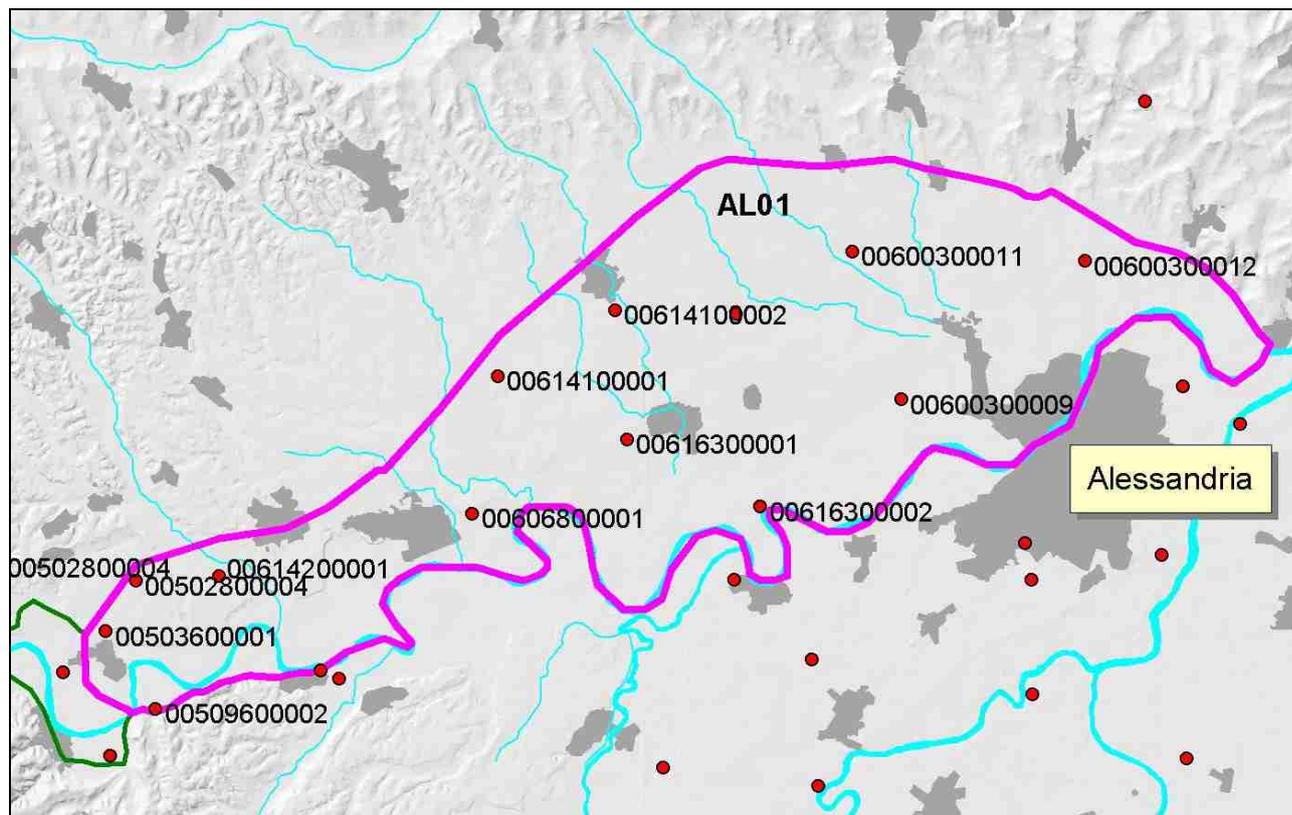
L'elemento saliente che permette di correlare acque della stessa famiglia con tenori salini diversi è la pendenza della spezzata che unisce le concentrazioni degli ioni adiacenti evidenziandone il rapporto caratteristico.

Mediante il diagramma di Schoeller è dunque possibile evidenziare sia anomalie del singolo punto di campionamento nei confronti dell'andamento tipico dell'area che la congruenza tra campioni dello stesso tipo chimico più o meno diluiti. Anche in questo diagramma le concentrazioni degli elementi considerati sono espresse in meq/L.

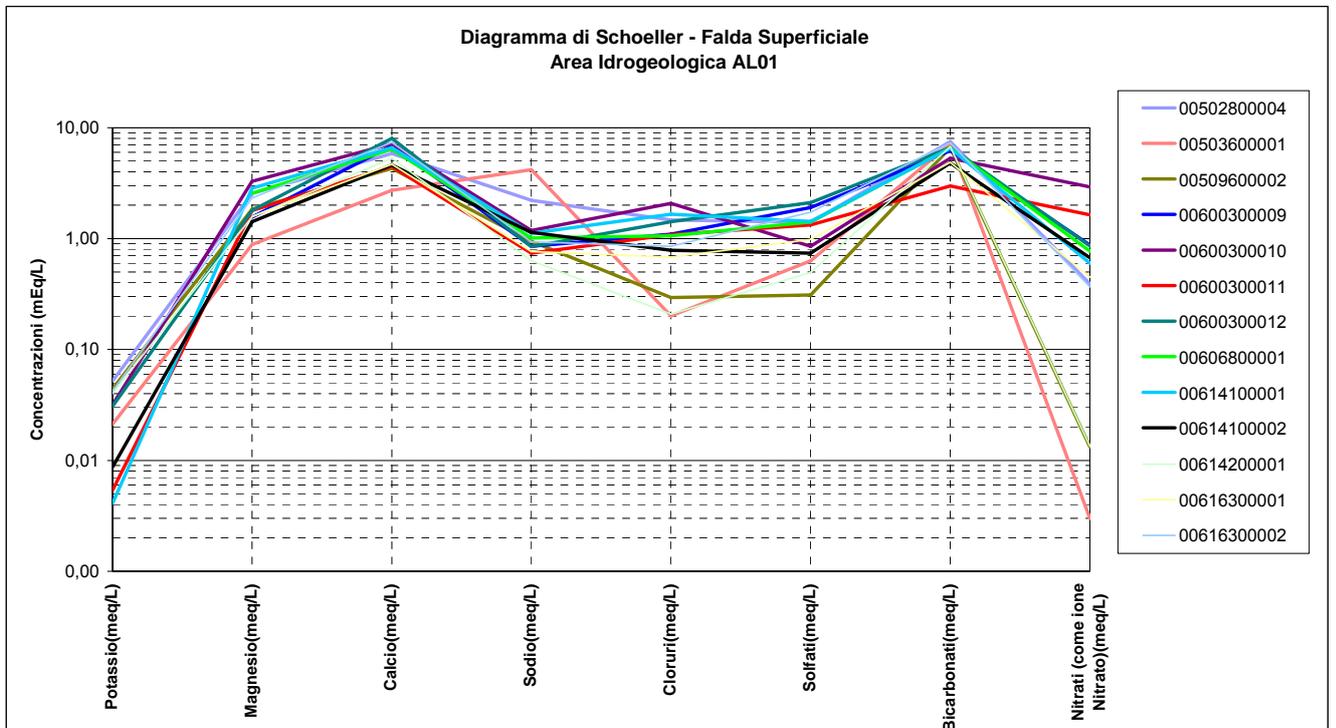
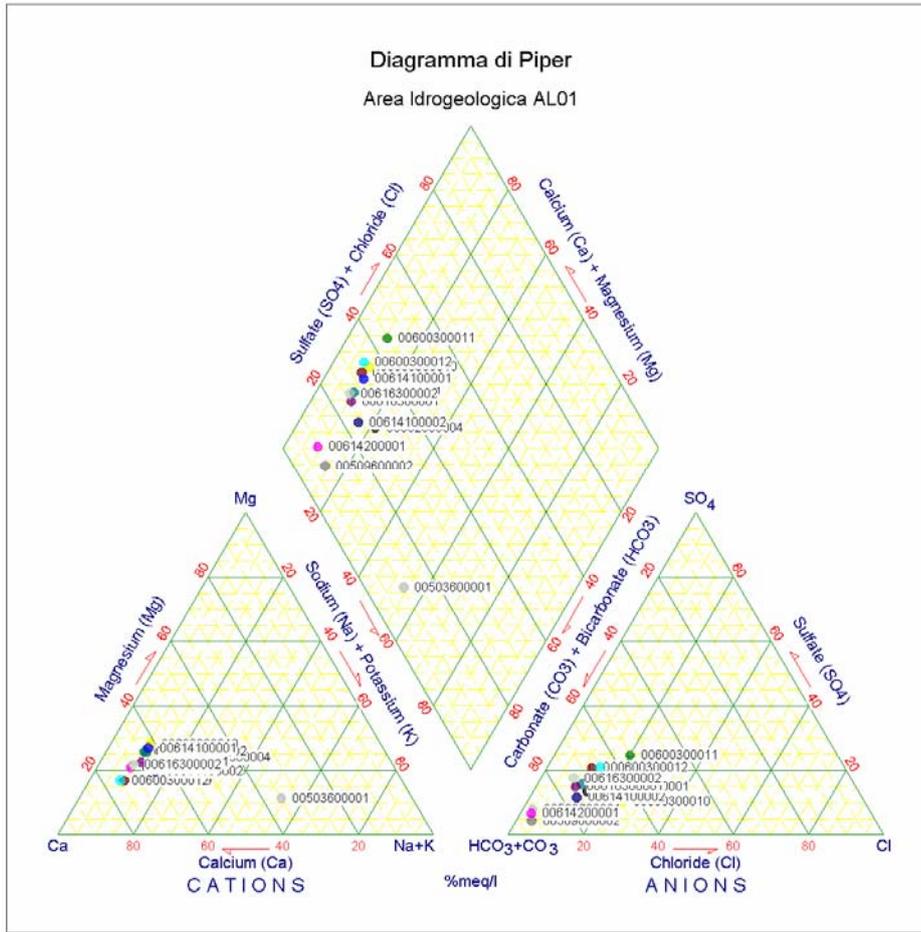
Figura 13 - Diagramma di Schoeller



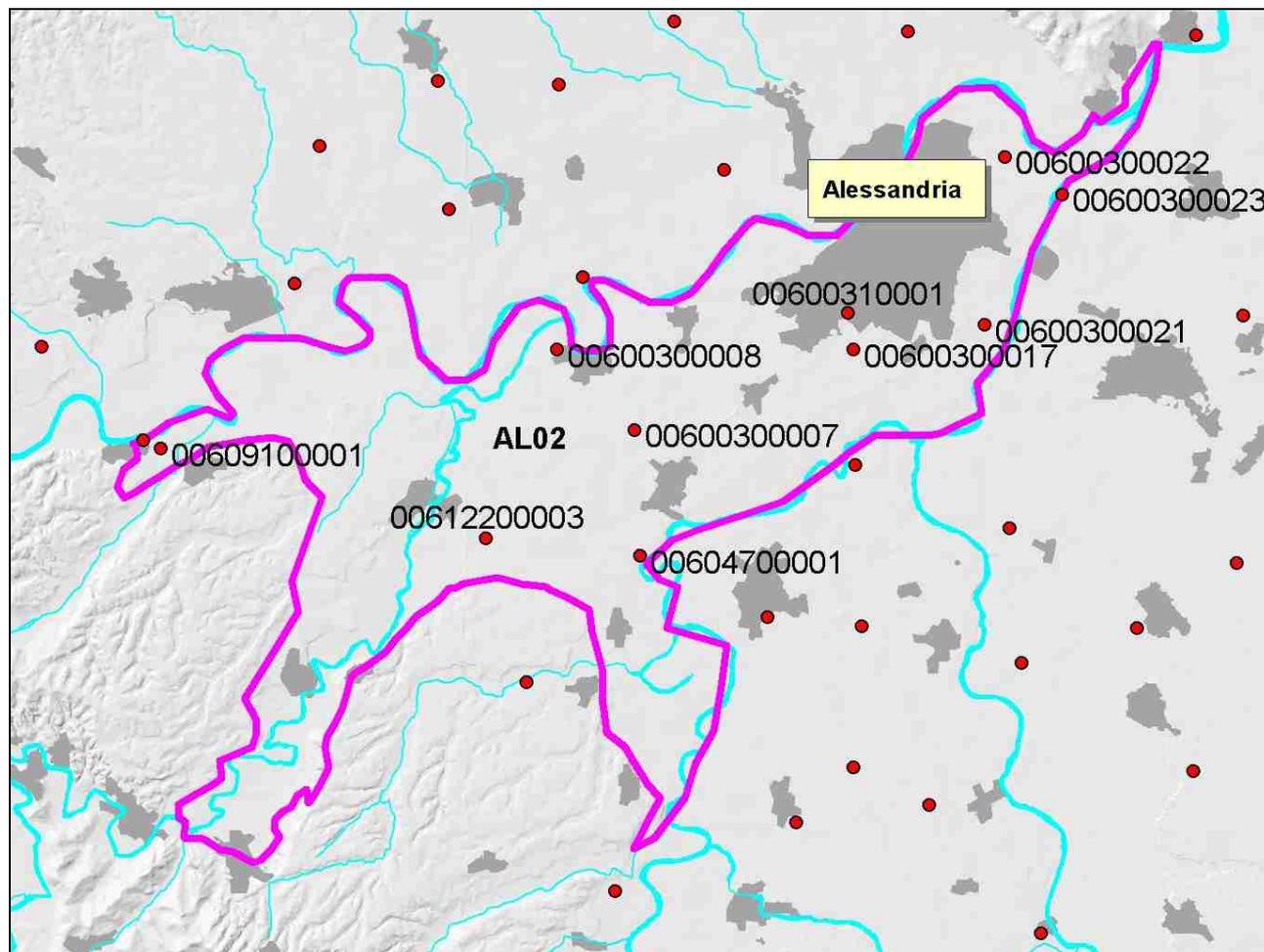
Area AL01



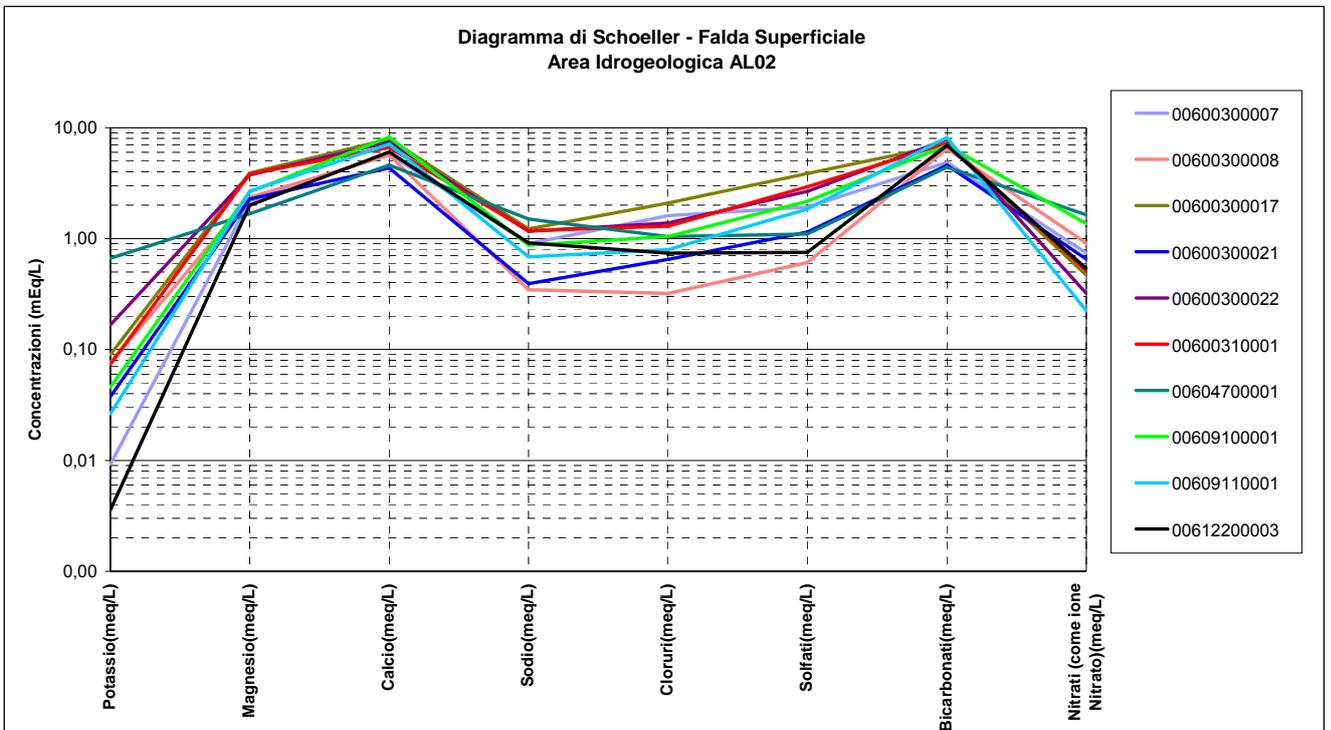
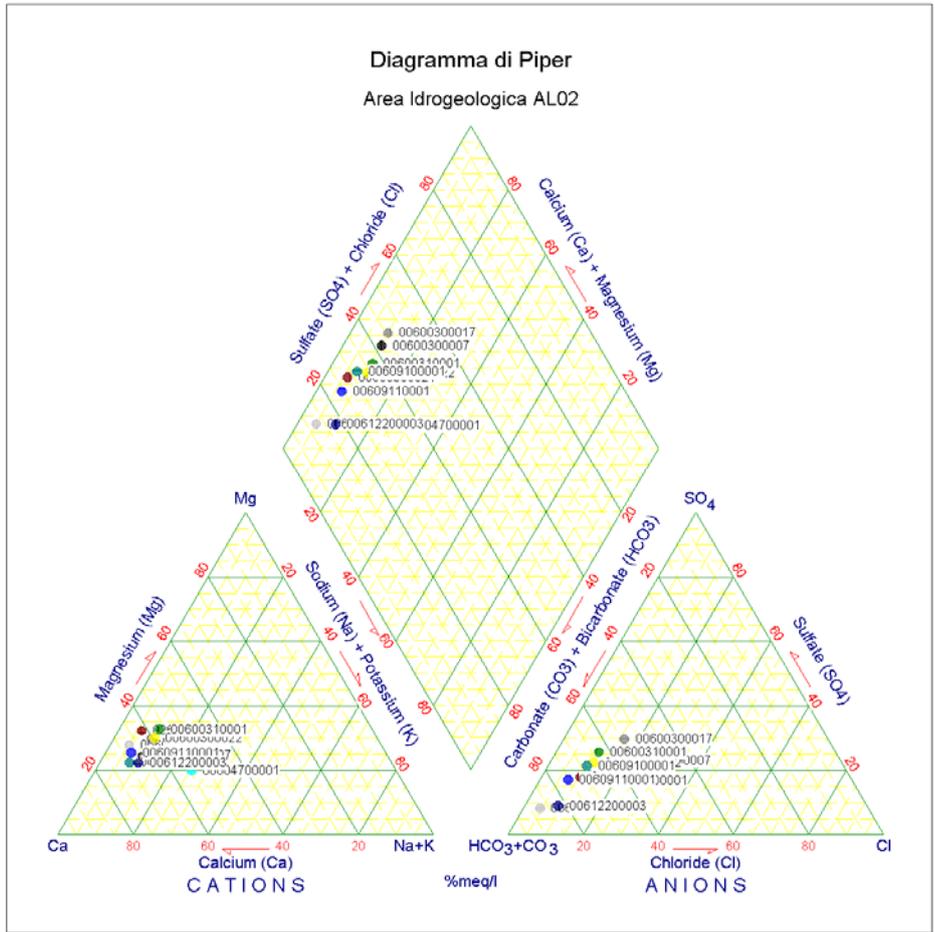
In questo settore la distribuzione dei punti di monitoraggio risulta adeguata mentre il chimismo delle acque sotterranee è di tipo bicarbonato calcico con una sostanziale sovrapposizione dei trend chimici per i punti considerati che denotano una sostanziale omogeneità. Si osservano solamente limitati distaccamenti dai trend principali come per il punto 00503600001, con chimismo bicarbonato sodico e povero in cloruri, che risulta altresì abbastanza marginale rispetto all'ambito di circolazione idrica sotterranea per l'area in questione. I punti 00509600002 e 00614200001 evidenziano minori tenori di cloruri e solfati e concentrazioni di nitrati più basse. Anche per questi si può ipotizzare un contesto idrico sotterraneo leggermente diverso, legato ad una posizione marginale e/o ad aspetti locali con una presenza inferiore di carichi azotati.



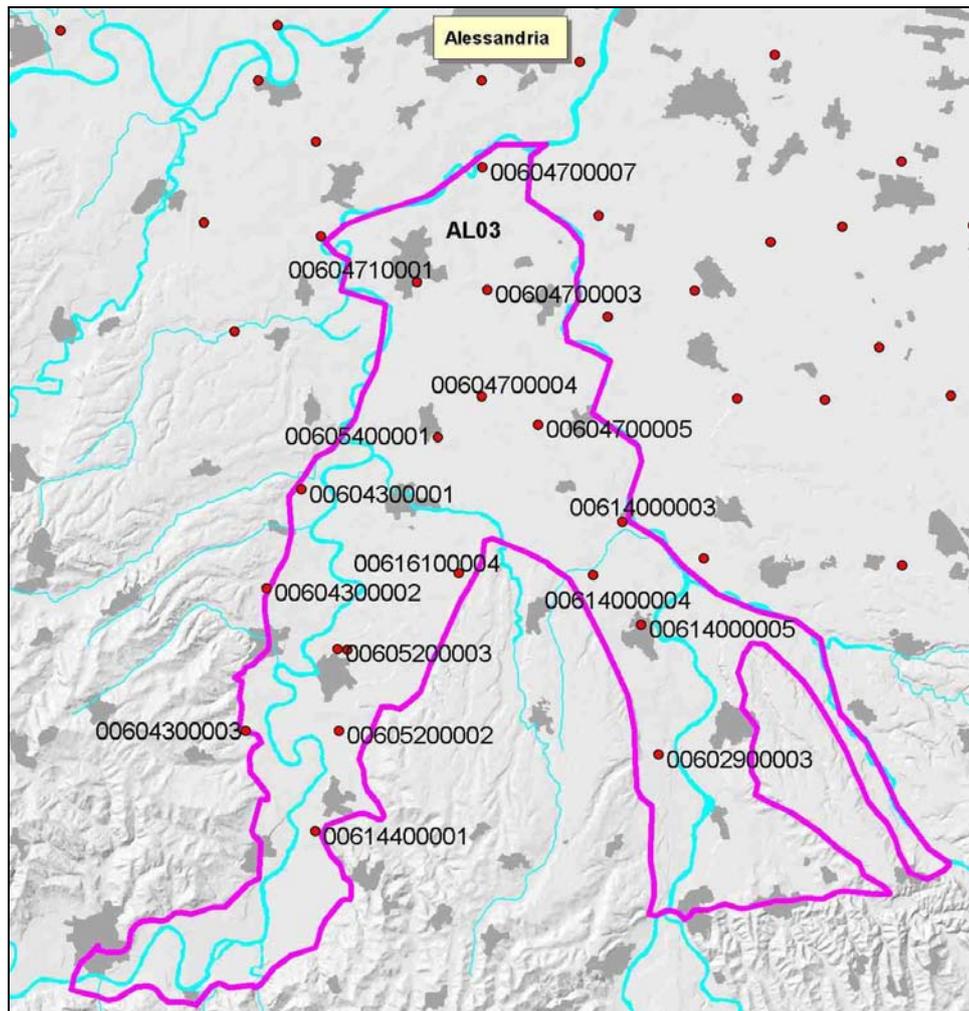
Area AL02



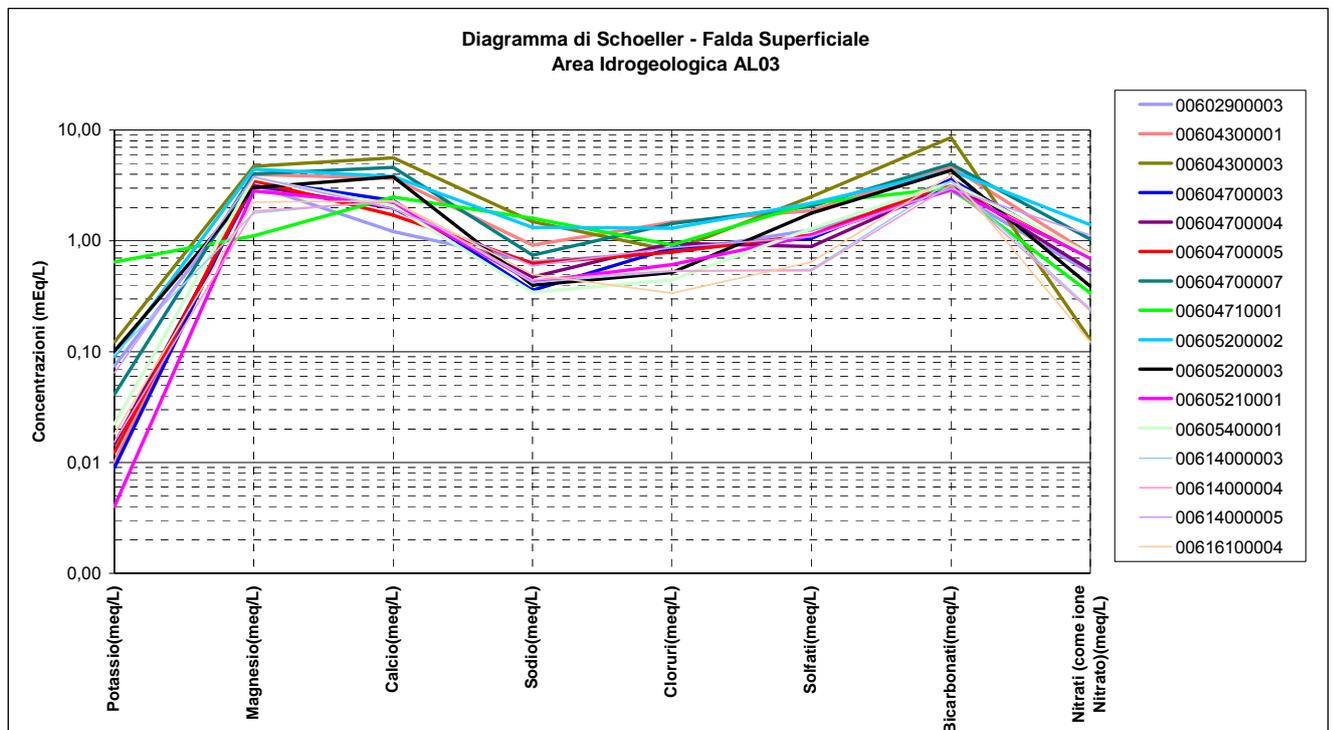
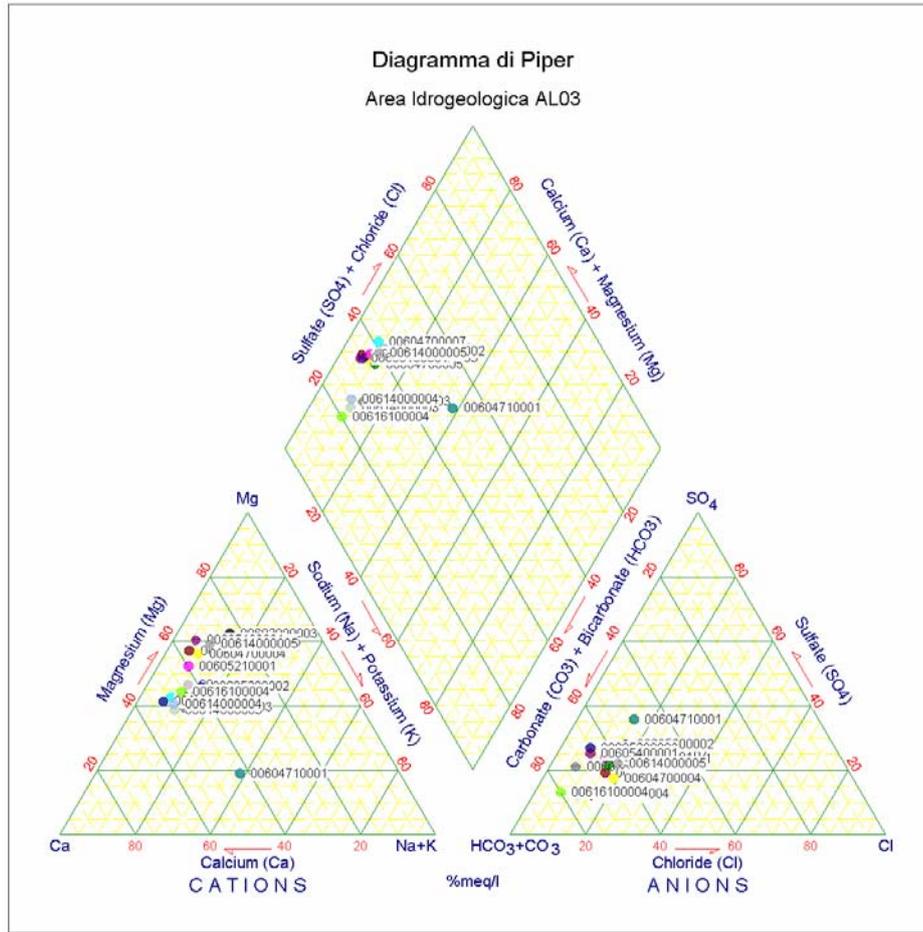
La distribuzione dei punti di monitoraggio risulta adeguata ed anche in questa area si osserva un chimismo bicarbonato calcico con un'ottima sovrapposizione dei trend dei vari punti (Schoeller) ed una ridotta dispersione (Piper). Si osserva solamente una concentrazione più bassa degli ioni cloruro e solfato nel punto 00600300008 ascrivibile presumibilmente a fattori locali.



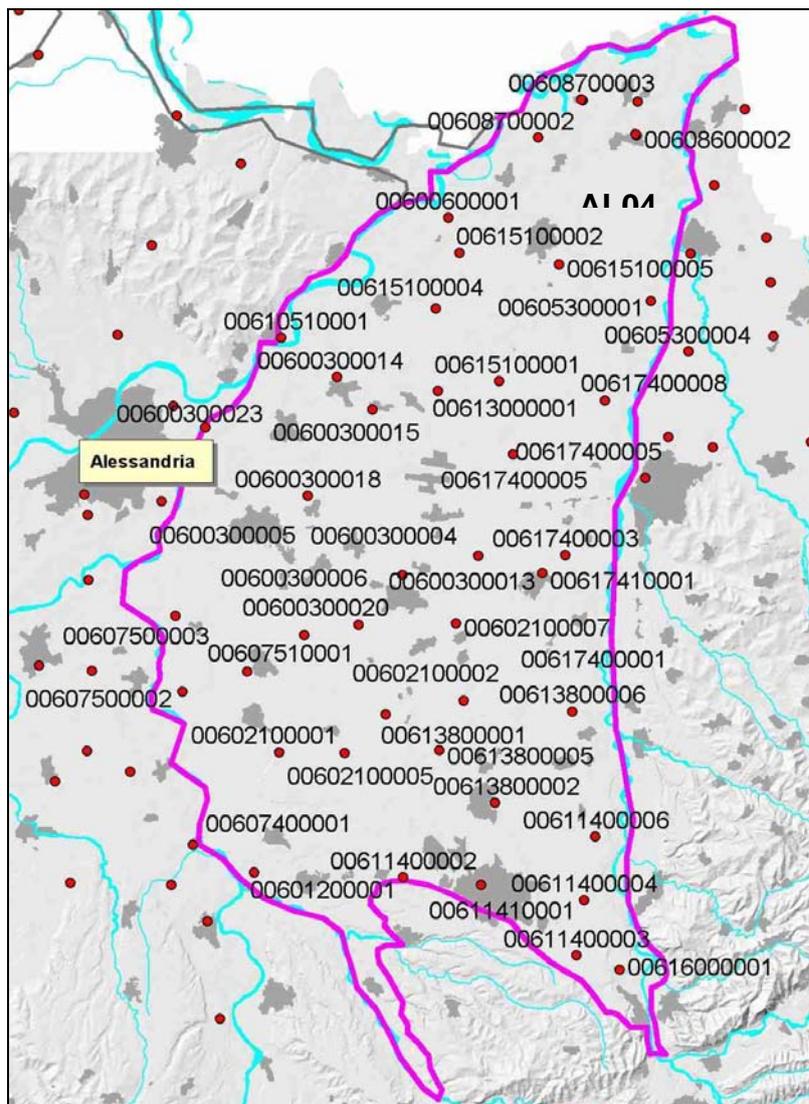
Area AL03



Anche in questa area la distribuzione di punti risulta abbastanza adeguata, si nota un carico solido disciolto leggermente maggiore rispetto alle aree AL01 e AL02 con una lieve divergenza del chimismo tra acque bicarbonato calciche ed acque bicarbonato magnesiache, ma con una sostanziale omogeneità per quanto concerne gli altri parametri considerati. Queste leggere variazioni potrebbero essere associate ad eventuali relazioni con le acque superficiali dato che la conformazione dell'area risulta in qualche modo influenzata dagli apporti del Bormida nel settore ovest e dell'Orba nel settore est con bacini di alimentazione separati. L'incremento del carico salino può essere attribuito alla presenza di formazioni calcaree (calcari e calcari marnosi) in corrispondenza del rilievo nel settore sud da cui diparte l'area idrogeologica.

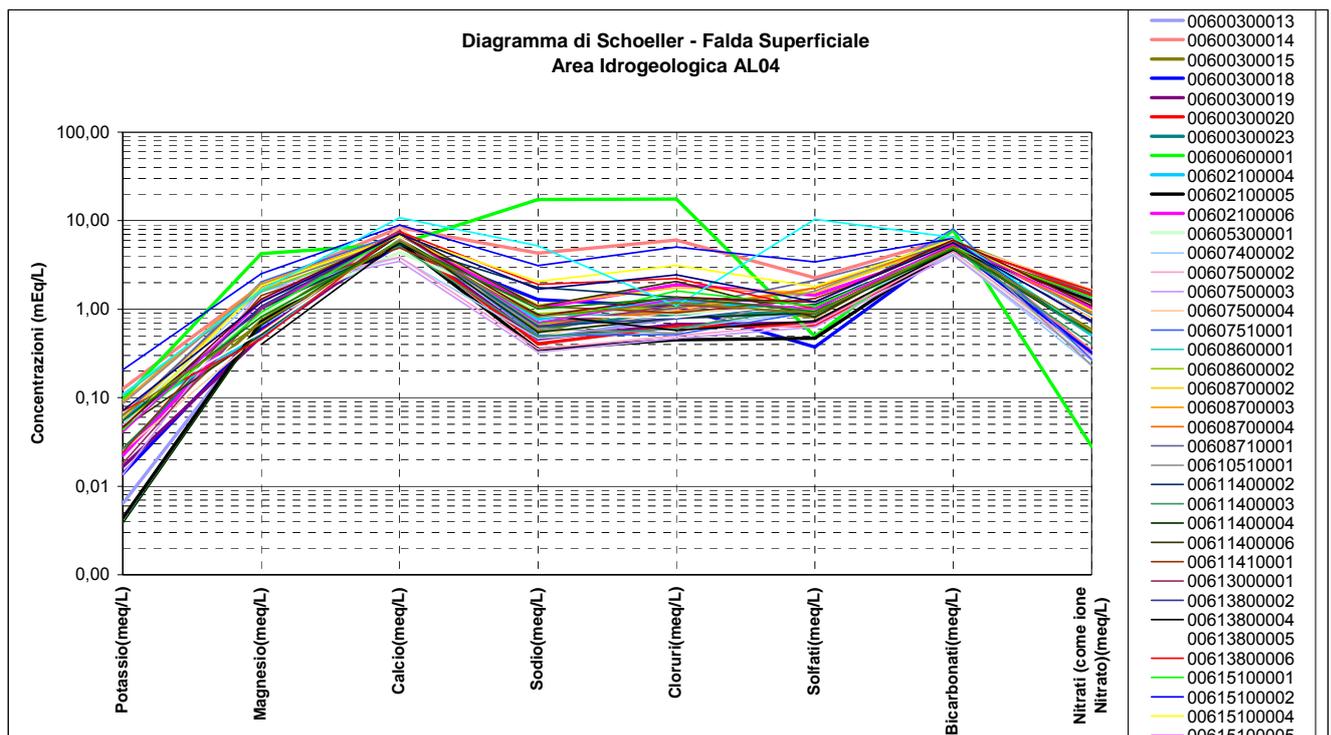
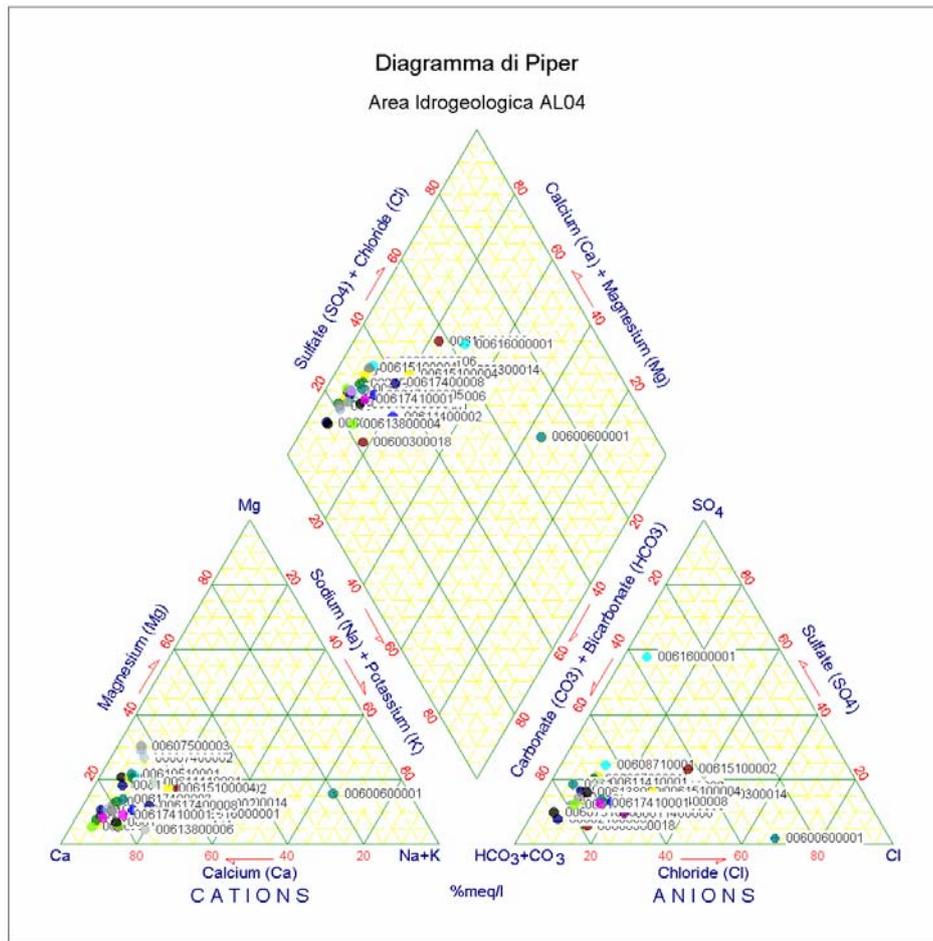


Area AL04

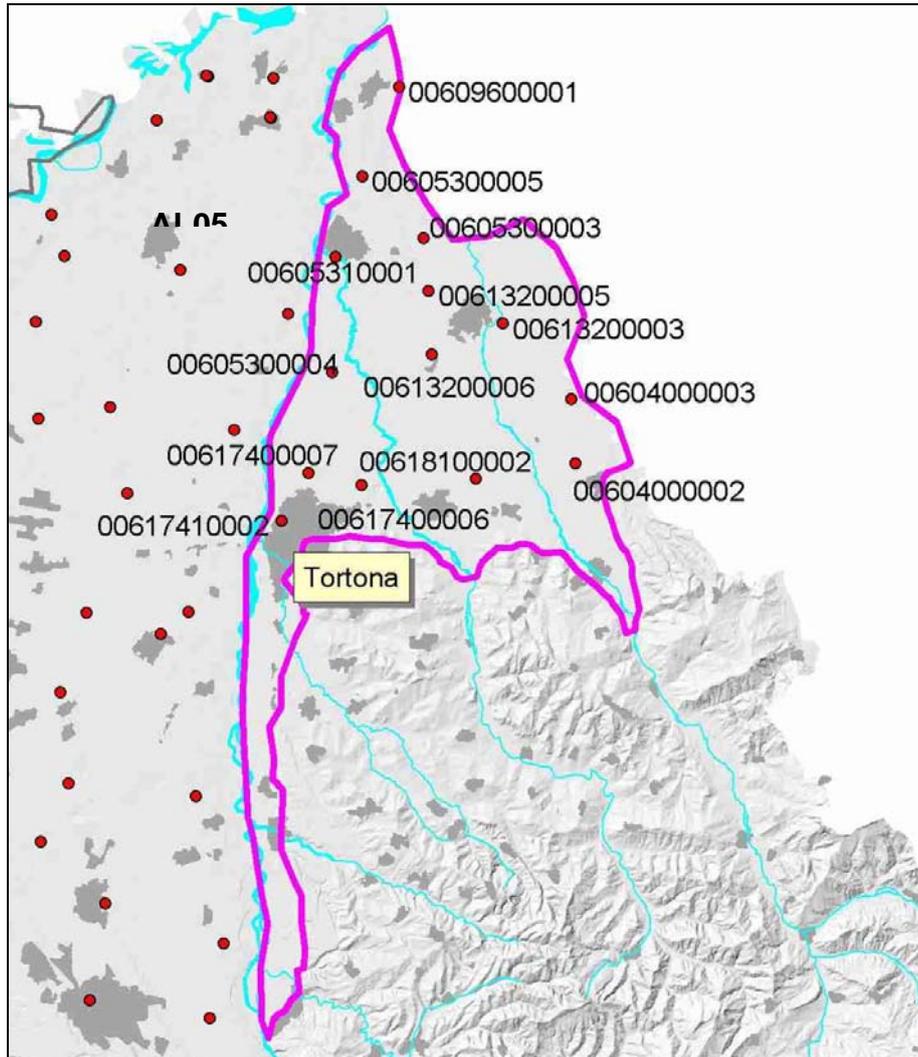


Costituisce l'area idrogeologica più ampia del settore alessandrino con numerosi punti di monitoraggio ben distribuiti sul comprensorio che nel loro insieme mostrano una chiara similitudine idrochimica verso il tipo bicarbonato calcico. Da un punto di vista geomorfologico l'area rappresenta una porzione della conoide dello Scrivia ed in parte del Bormida, quindi la presenza di depositi molto permeabili nel sottosuolo favorisce la circolazione delle acque sotterranee conferendole un carattere di uniformità. Si osservano solamente due punti anomali: uno ubicato nel settore nord dell'area (00600600001) con chimismo di tipo cloruro alcalino ascrivibile ad una situazione locale e l'altro ubicato nell'estremo settore sud dell'area (00616000001), in prossimità del rilievo appenninico, con chimismo solfato calcico, riconducibile alla presenza di

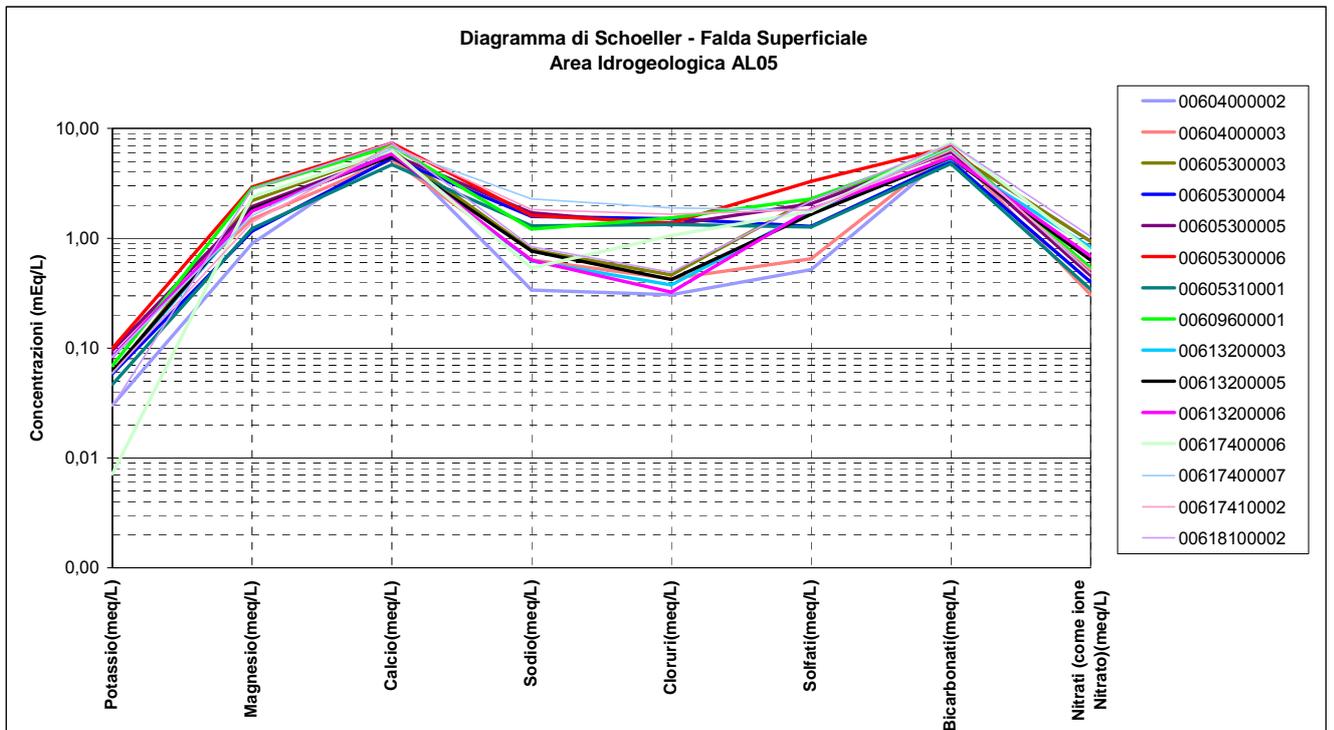
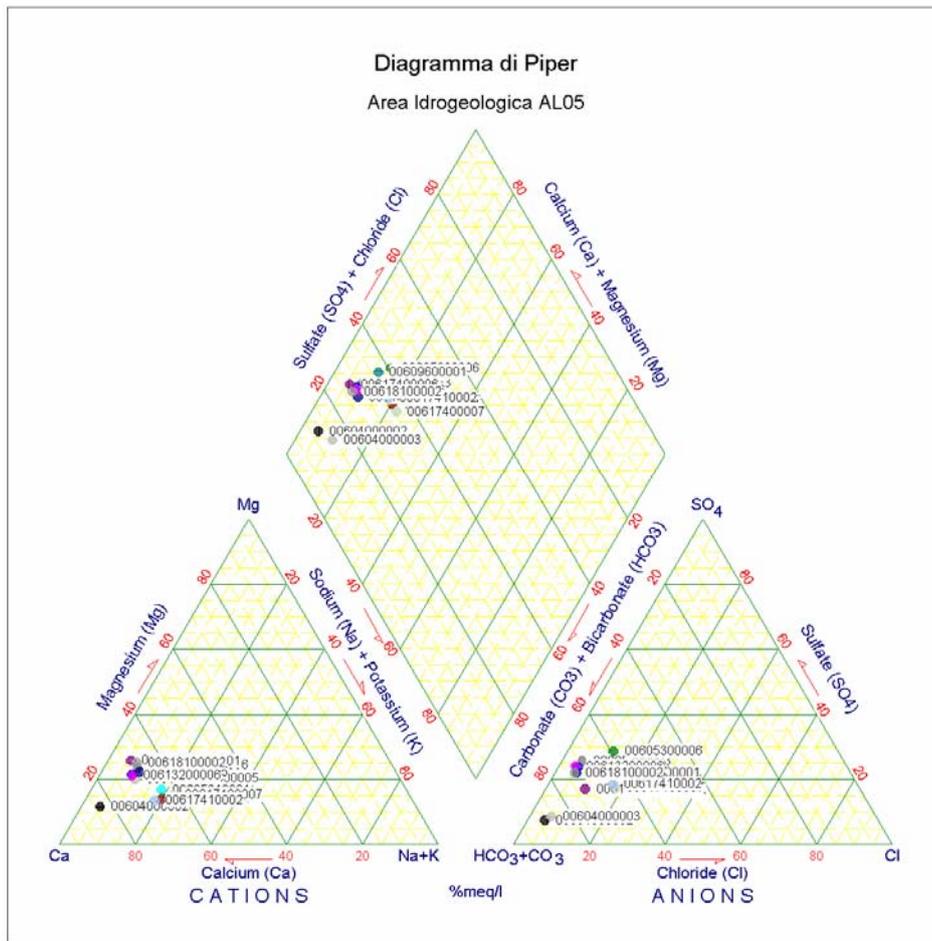
formazioni evaporitiche (gessosa solfifera) immediatamente a monte del bacino di alimentazione.



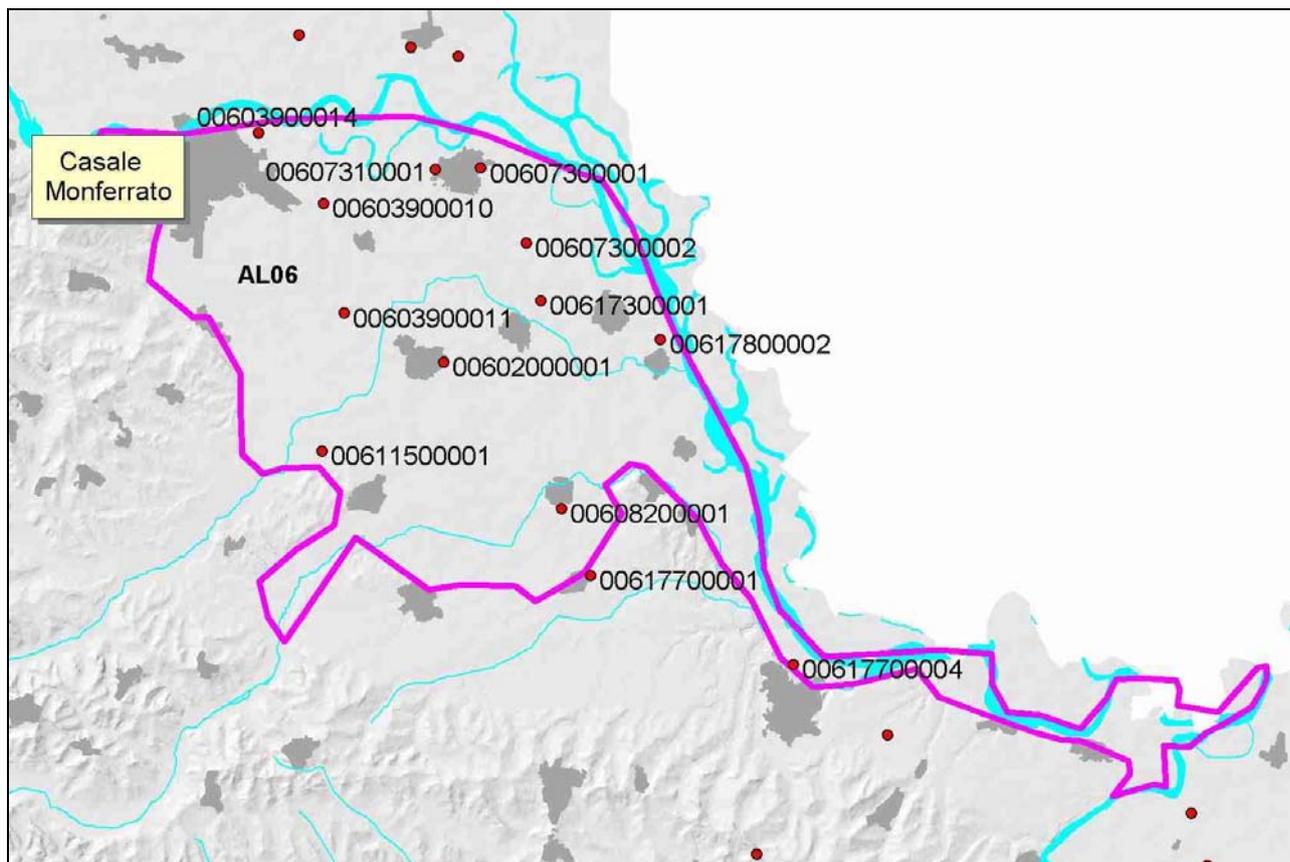
Area AL05



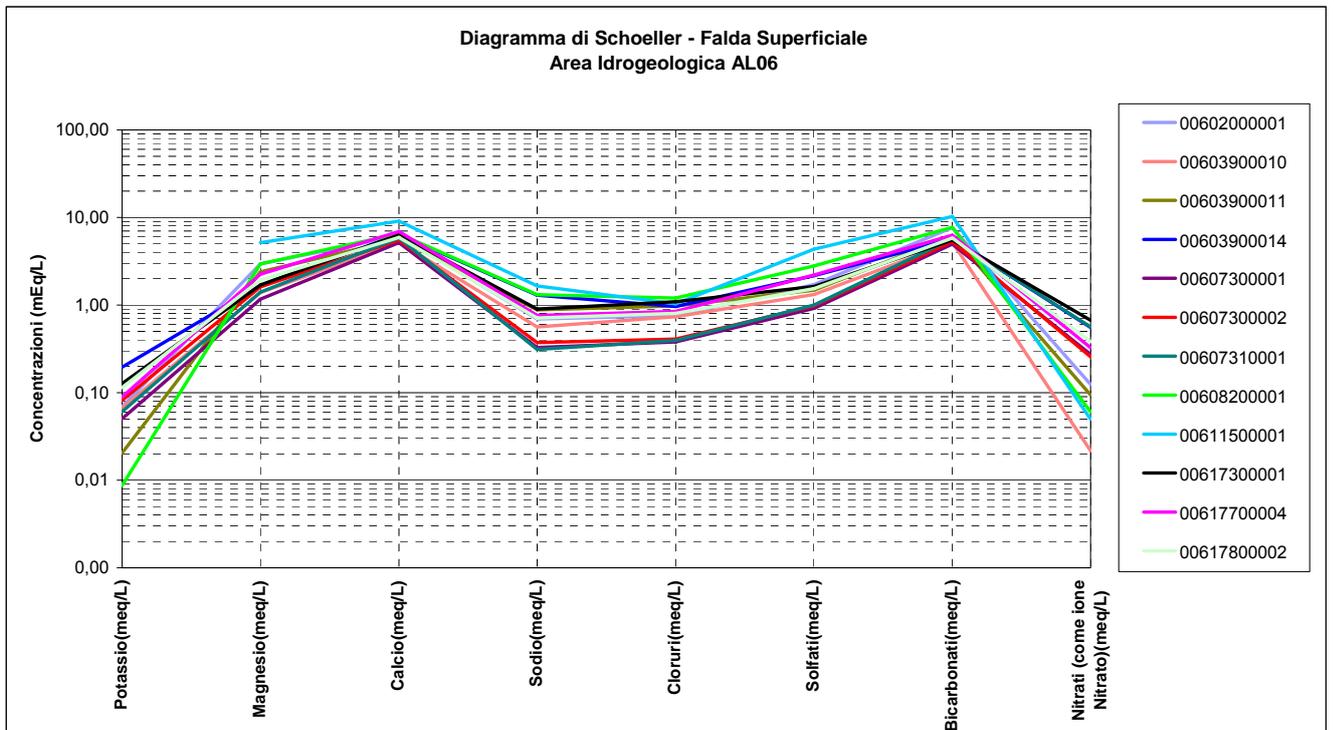
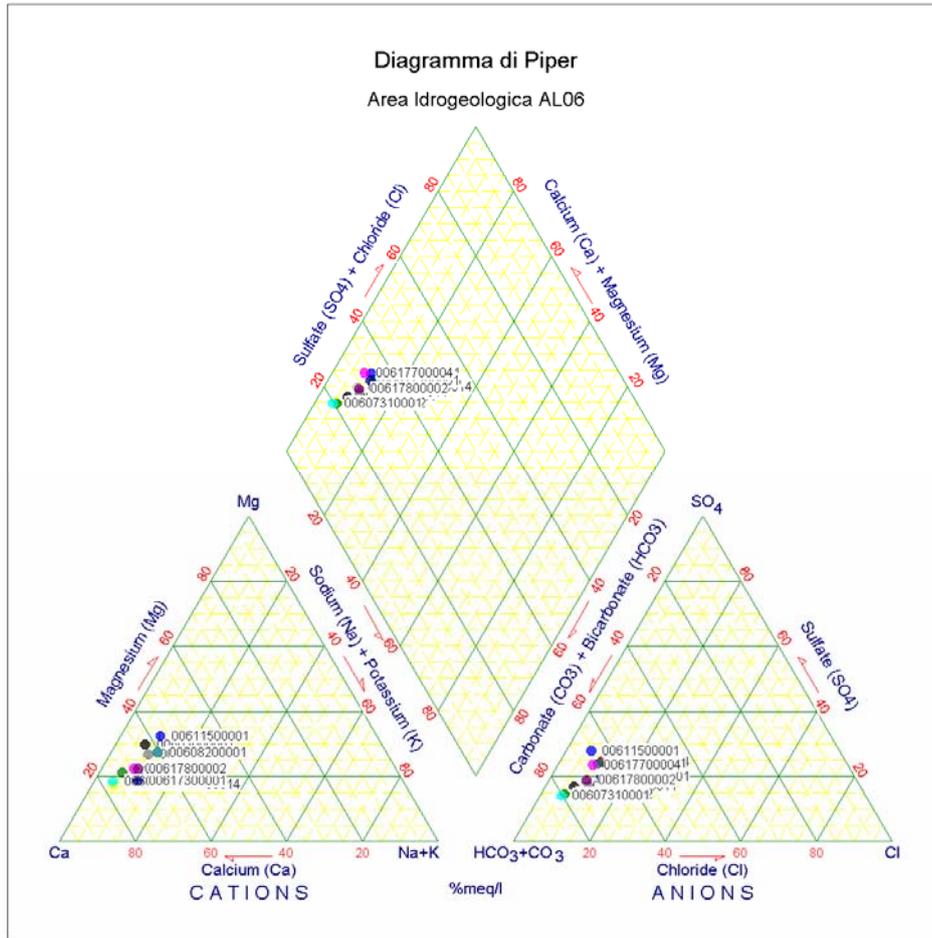
La distribuzione di punti all'interno dell'area risulta adeguata, a parte l'estrema propaggine sud, si riconosce una tendenza simile tra i punti considerati con un chimismo bicarbonato calcico; si notano leggere oscillazioni per quanto concerne gli ioni sodio, cloruro e solfati presumibilmente imputabili alla presenza, nel bacino idrogeologico e/o per interazioni con le acque superficiali, di soluzioni arricchite in questi elementi provenienti da affioramenti di rocce evaporitiche nel settore collinare a sud e SE dell'area.



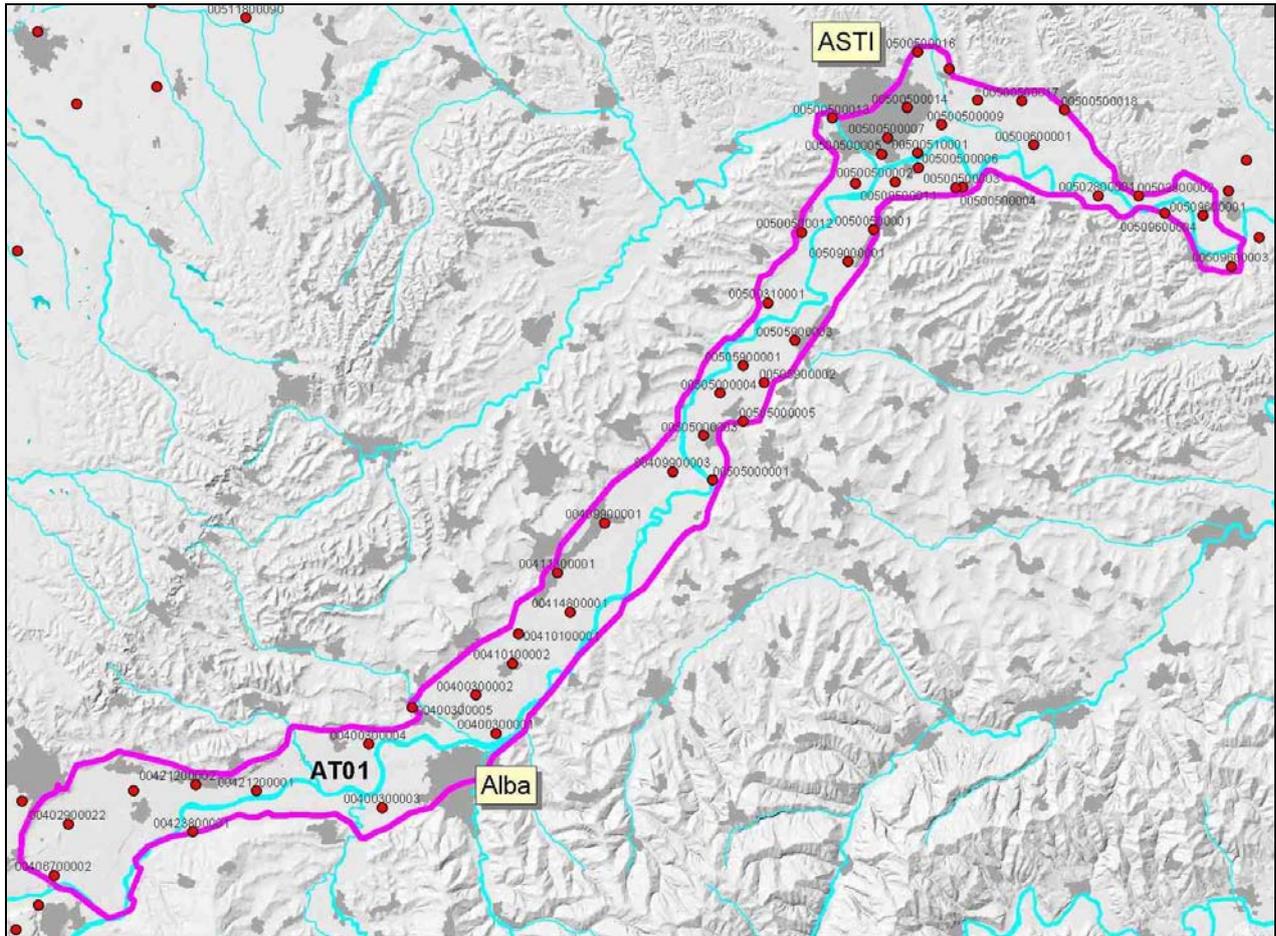
Area AL06



In quest'area, caratterizzata da una configurazione alquanto contorta e da una distribuzione non ottimale di punti di monitoraggio, si osserva una evidente affinità idrochimica con una tipologia bicarbonato calcica e una marcata sovrapposizione dei trend caratteristici (Schoeller) senza alcun fenomeno di dispersione (Piper).



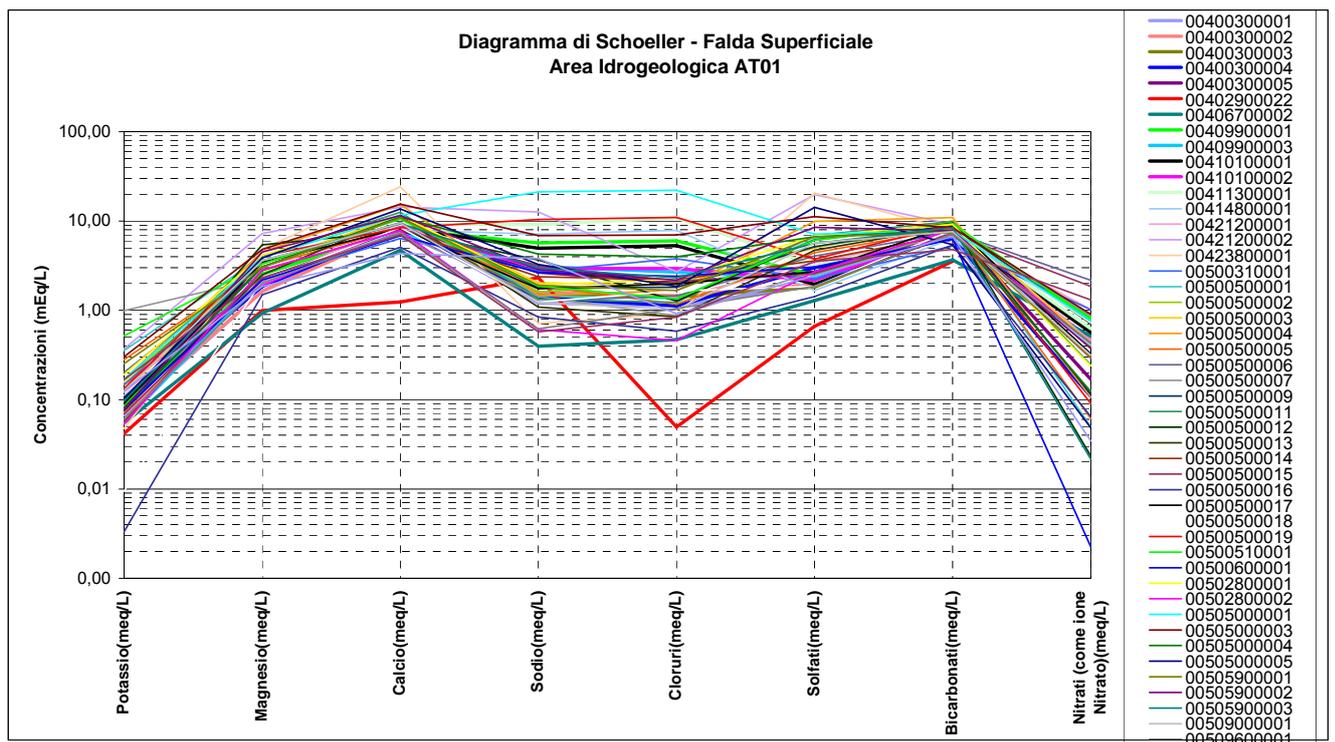
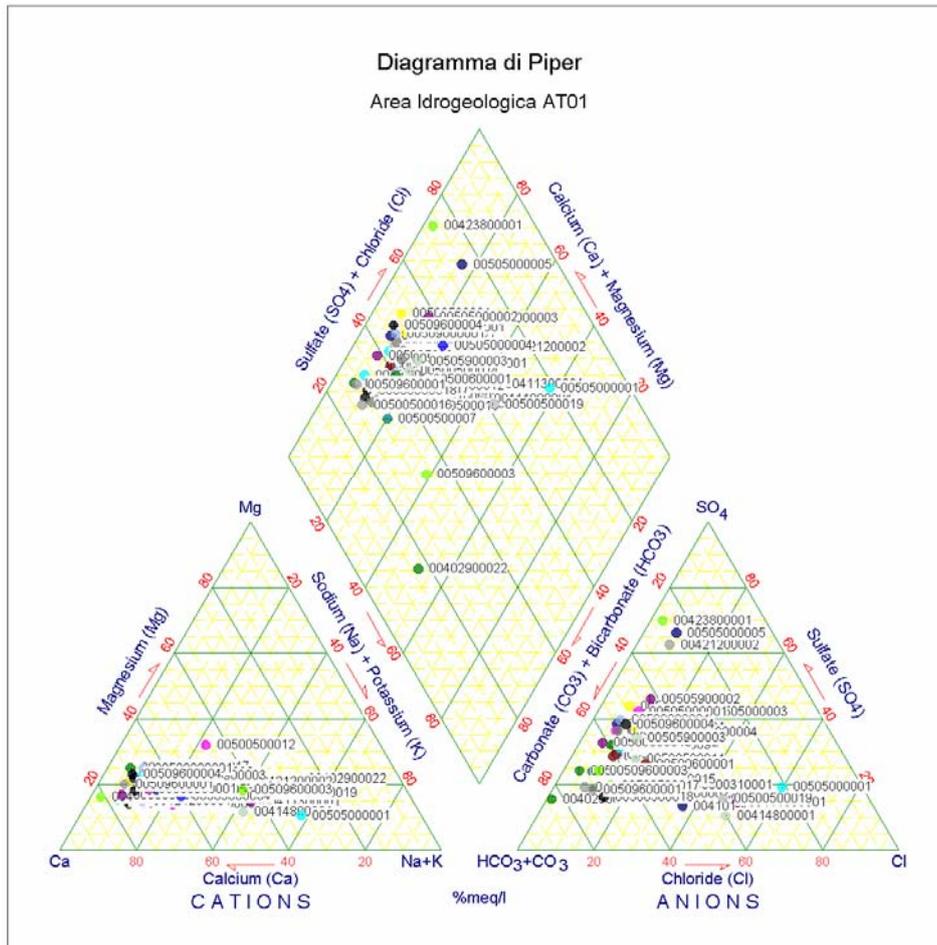
Area AT01



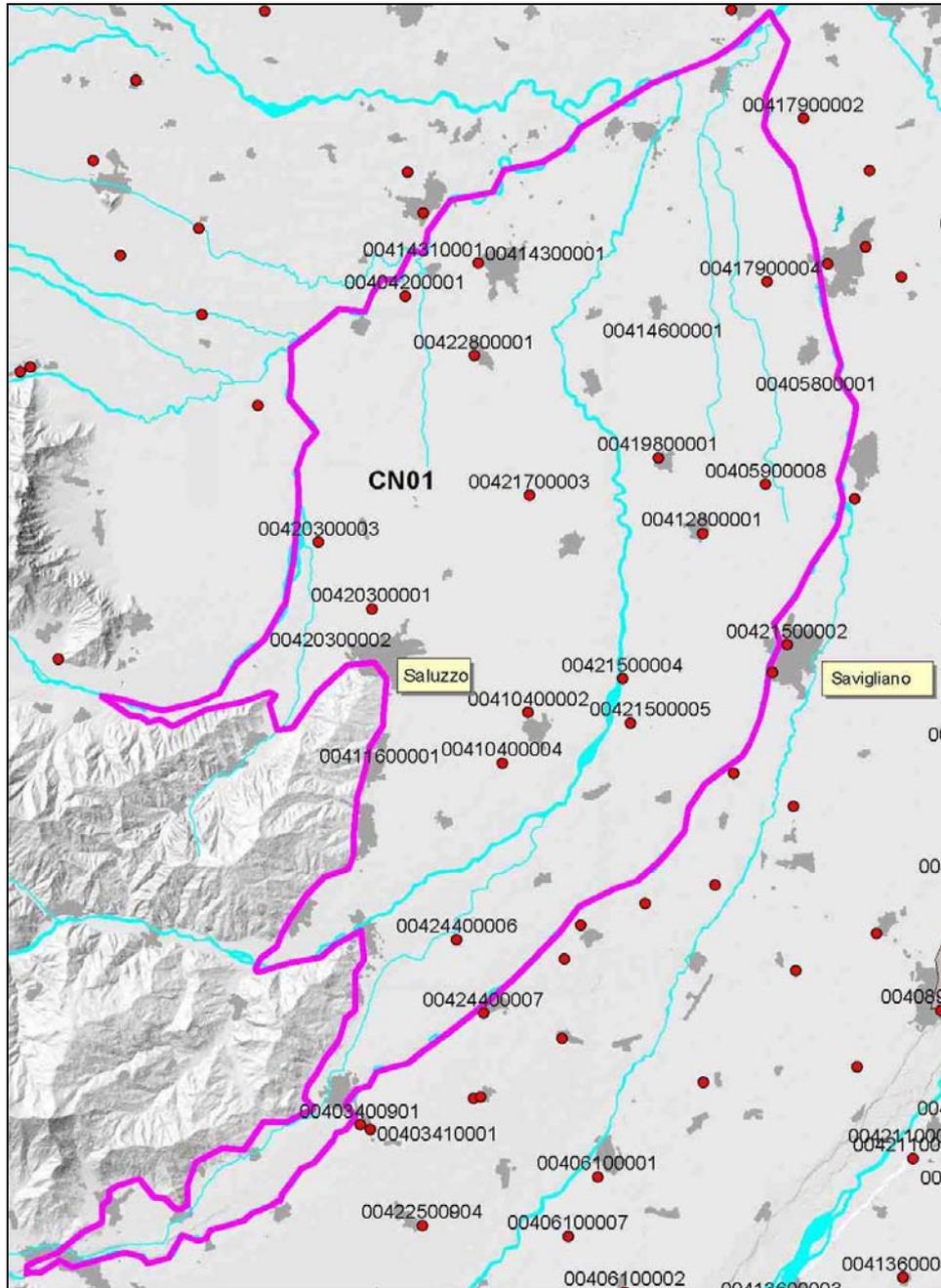
Rappresenta un'area senza i presupposti di confinamento idraulico teoricamente presenti in tutte le altre aree trattate in quanto l'asta fluviale del Tanaro costituisce una barriera idraulica tra i punti ubicati nelle sponde opposte. Inoltre, trattandosi di una valle incassata con il fiume sostanzialmente in erosione, si possono verificare delle compartimentazioni dei settori di pianura alluvionale anche in senso trasversale, interessando parti diverse del materasso alluvionale anche nell'ambito dello stesso settore orografico. Con questi presupposti ne consegue una frammentazione dei comparti acquiferi, come risulta evidente dalla disomogeneità rilevata nei grafici di Schoeller e Piper.

A complicare il quadro esistente contribuiscono anche gli aspetti geologici, dato che sui versanti opposti della valle affiorano, su ampi settori, formazioni diverse che influenzano con il loro contributo il chimismo delle rispettive circolazioni idriche sotterranee. Al riguardo, la presenza di rocce evaporitiche e calcaree favorisce da un lato l'incremento dei carichi salini e dall'altro fenomeni di acque solfato calciche e cloruro sodiche, pur

riconoscendo la prevalenza del tipo bicarbonato calcico. Resta inteso che la delimitazione di quest'area sia sotto il profilo idrogeologico che idrochimico deve essere rivista.

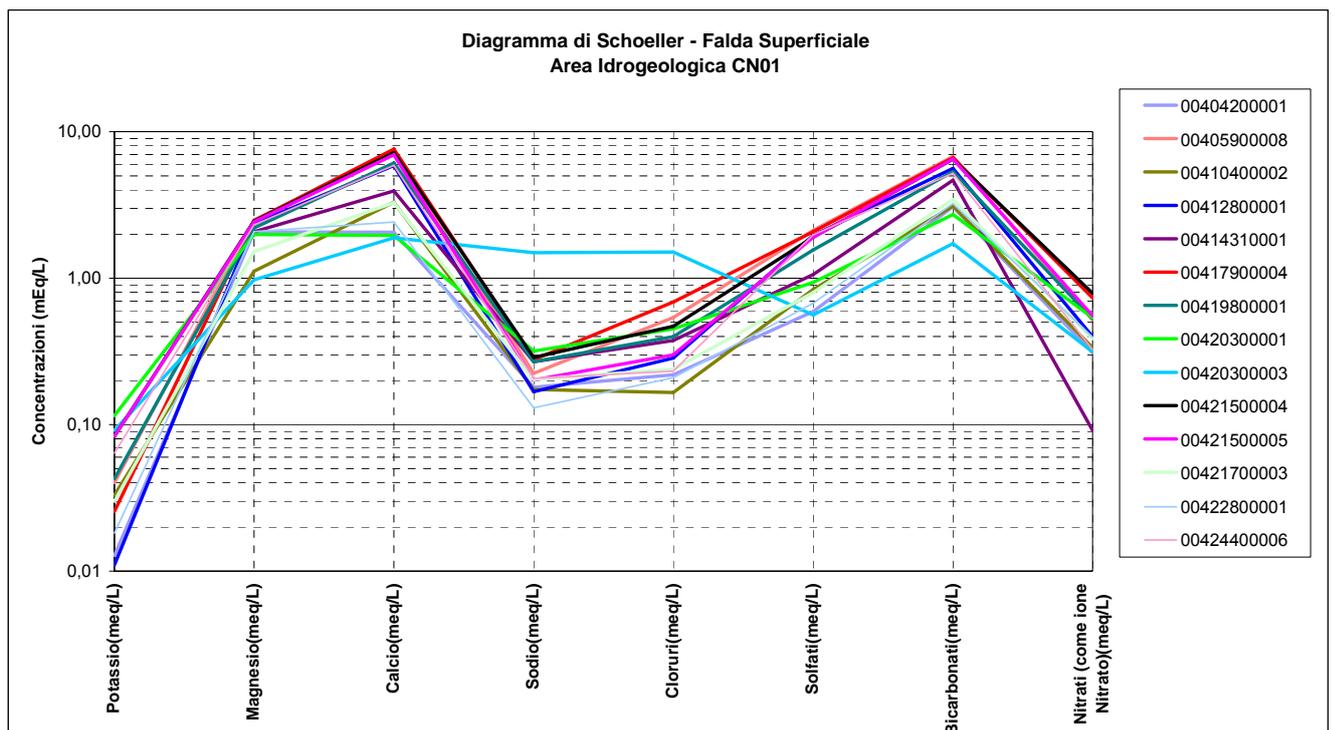
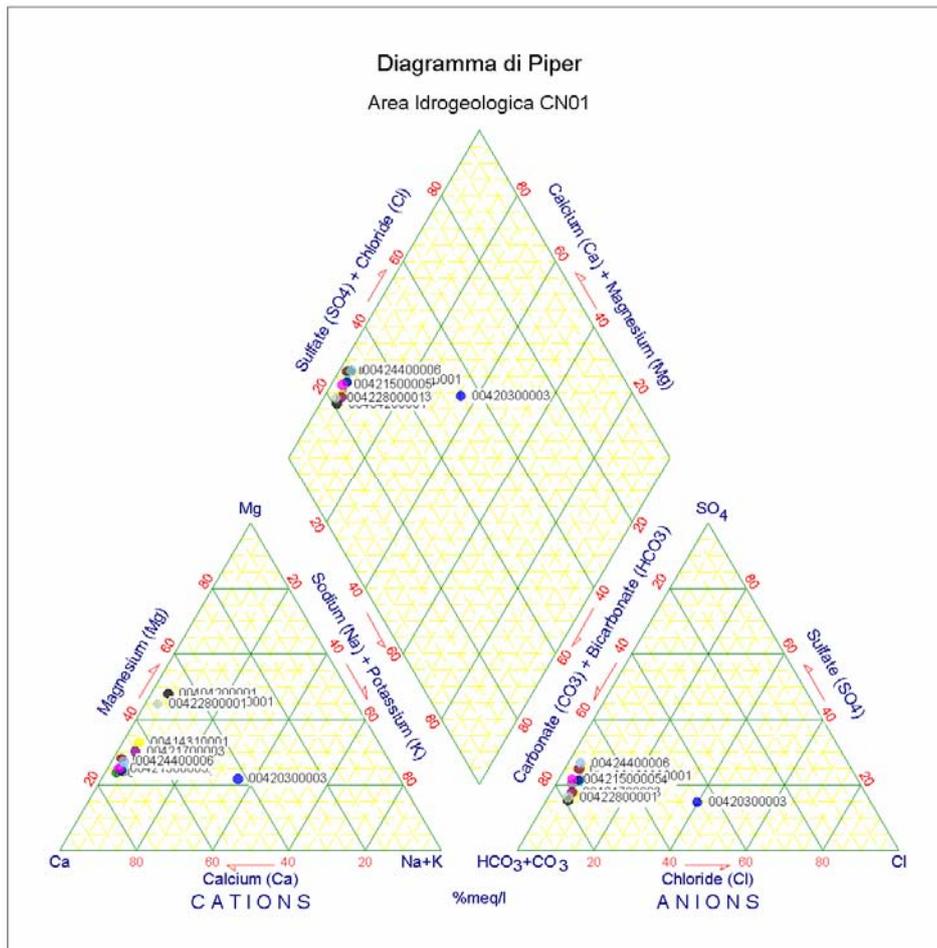


Area CN01

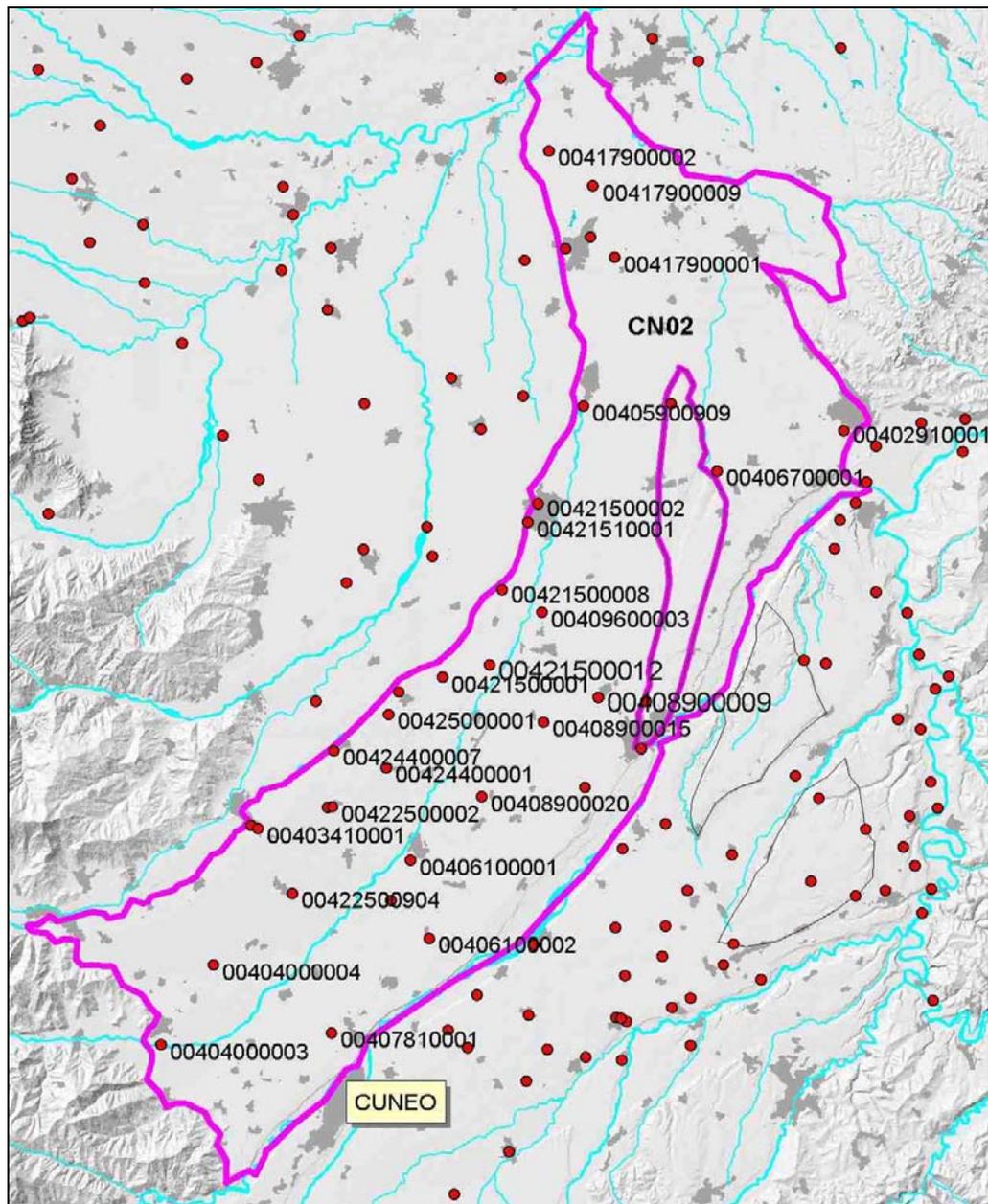


La distribuzione dei punti risulta abbastanza adeguata, si osserva un chimismo prevalente di tipo bicarbonato calcico ed una sostanziale omogeneità idrochimica, con un minore carico salino rispetto alle aree alessandrine e astigiane, a causa della presenza nel bacino di alimentazione di formazioni ignee e metamorfiche che interagiscono debolmente con le acque di circolazione, soprattutto per quanto concerne il contributo degli ioni più solubili. Si nota una sporadica divagazione dal trend generale,

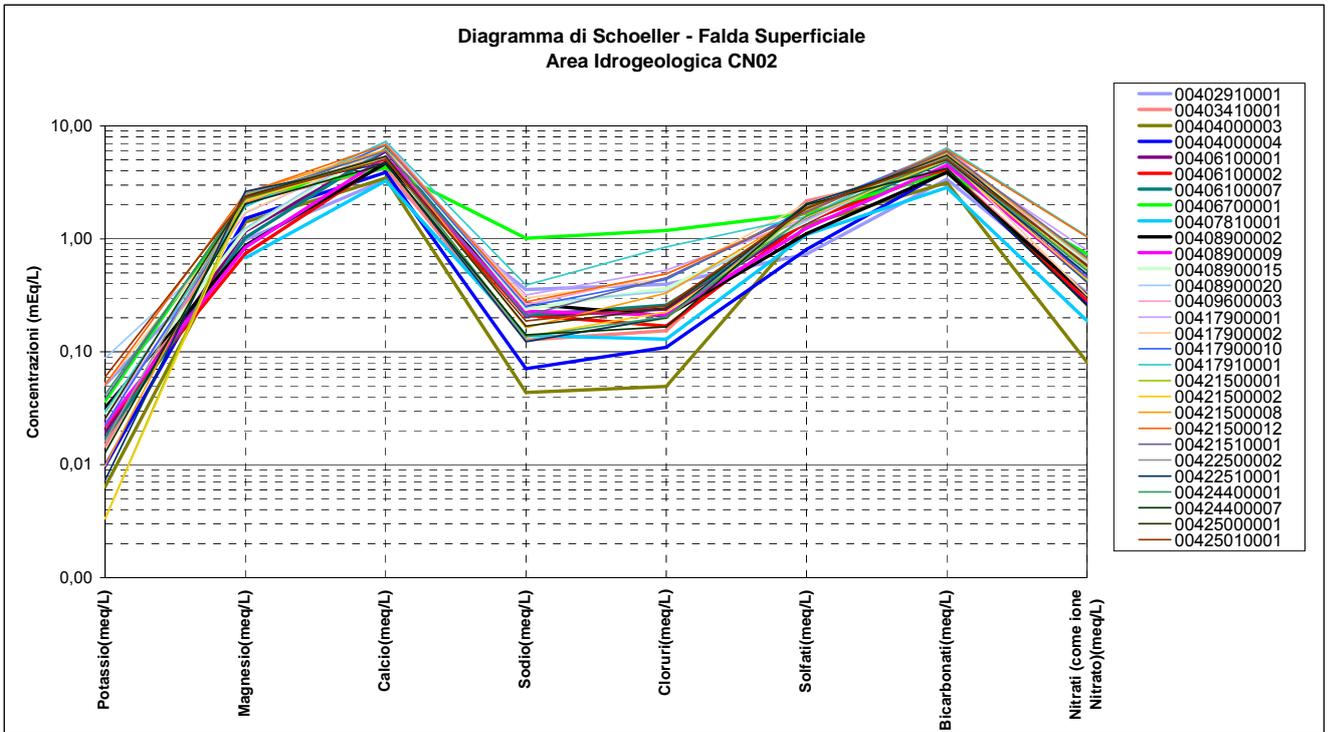
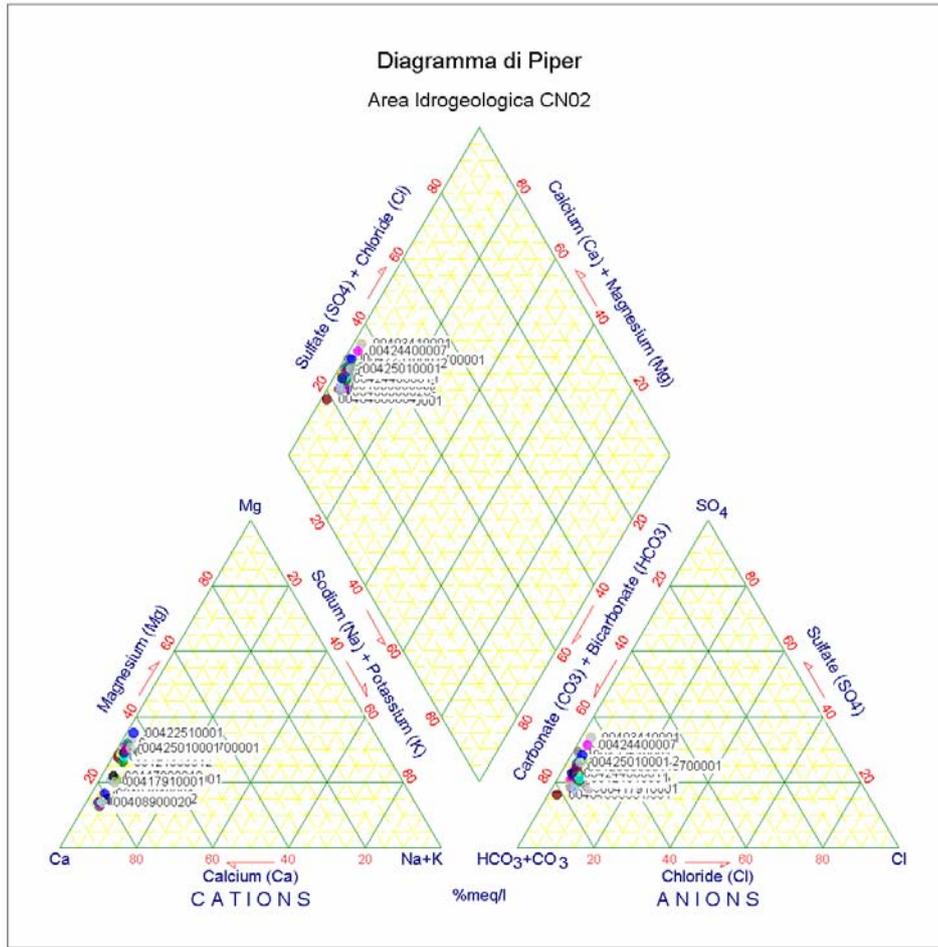
evidenziata dal punto 00420300003, che denota un apporto di acque cloruro sodiche verosimilmente da attribuire a fattori locali.



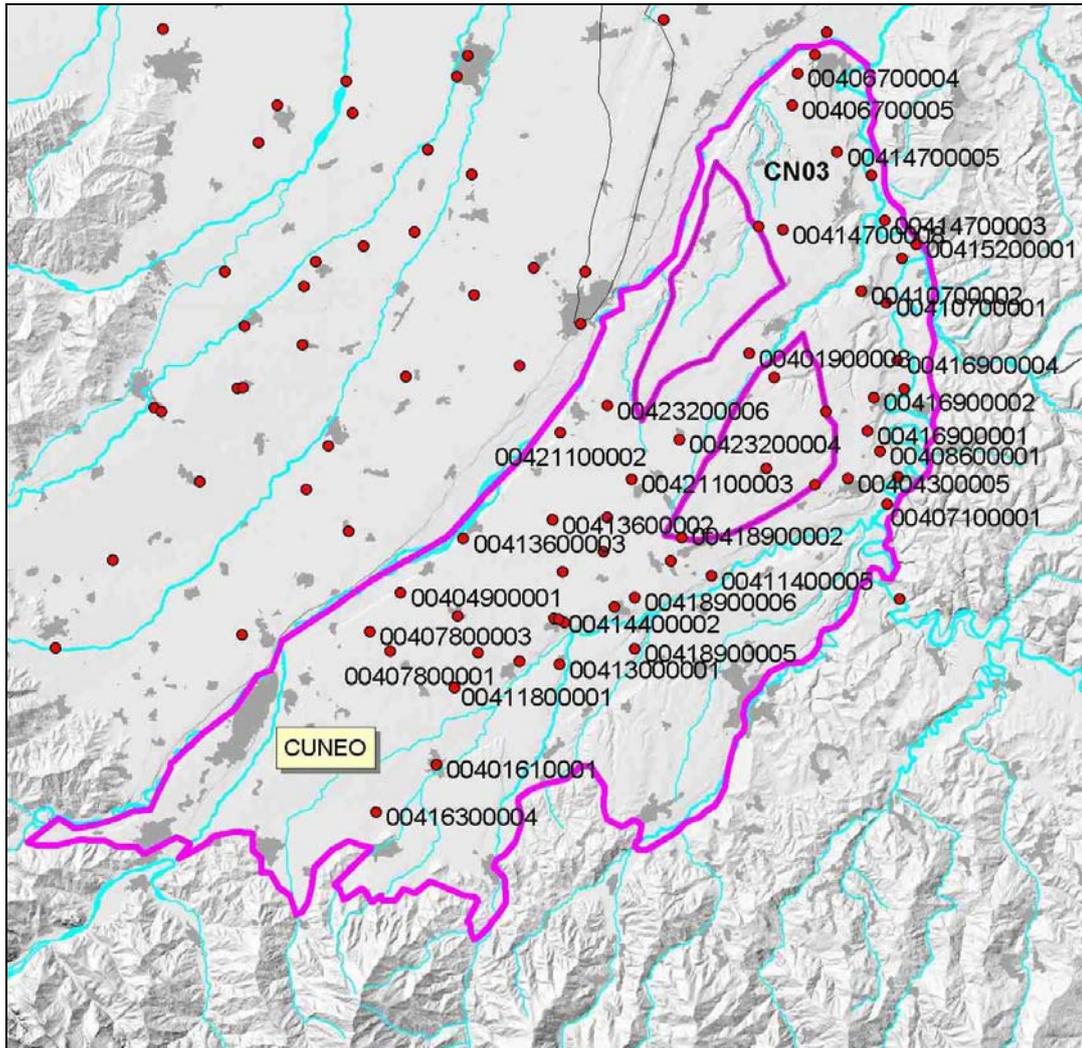
Area CN02



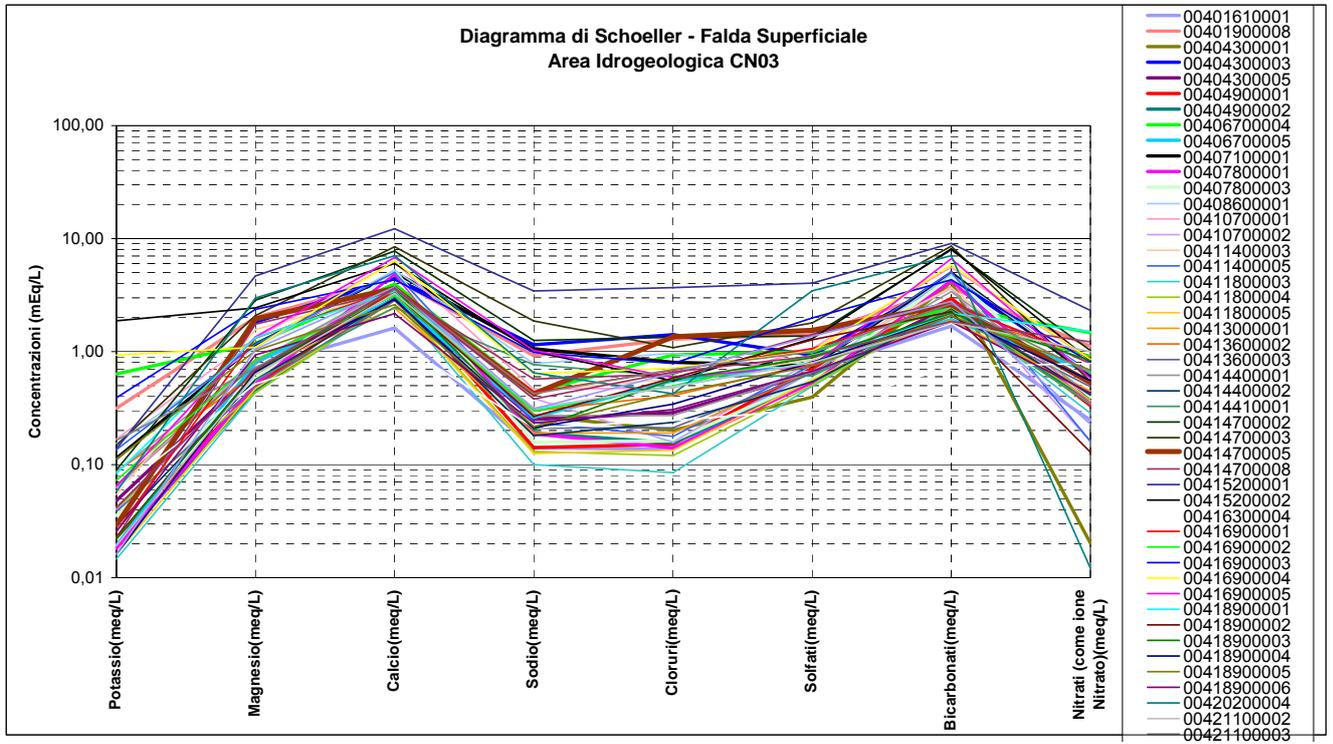
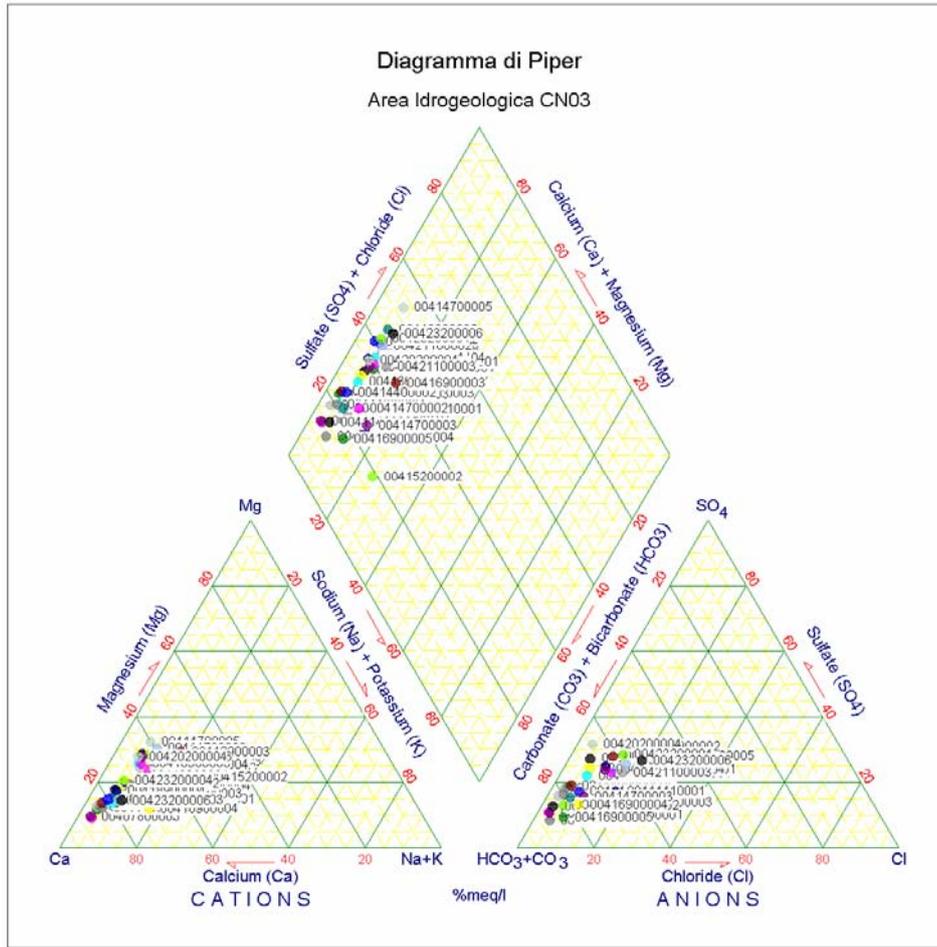
E' un'area abbastanza ampia con numerosi punti, distribuiti in modo omogeneo, che presentano un trend sostanzialmente costante (Schoeller) e una dispersione limitata (Piper), dimostrando un'elevata affinità idrochimica appartenente al tipo bicarbonato calcico. L'unico aspetto degno di nota è una certa oscillazione di sodio e cloro che non si riflette sulla tipologia delle acque, ma che testimonia la presenza di apporti cloruro sodici. Questa situazione di omogeneità idrochimica si riflette necessariamente anche sulle caratteristiche litostratigrafiche del bacino di alimentazione/circolazione dell'acquifero. Si nota una buona correlazione idrochimica con l'area CN01.



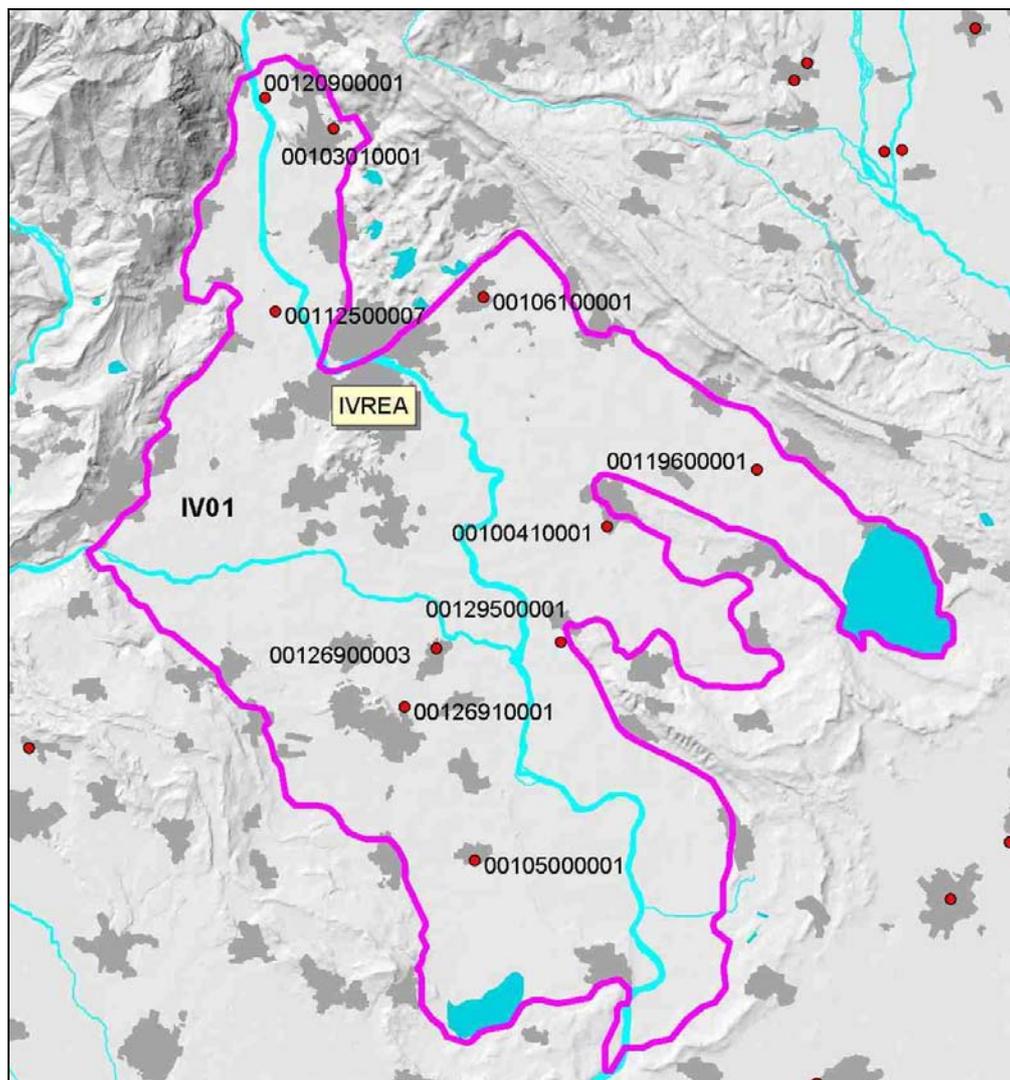
Area CN03



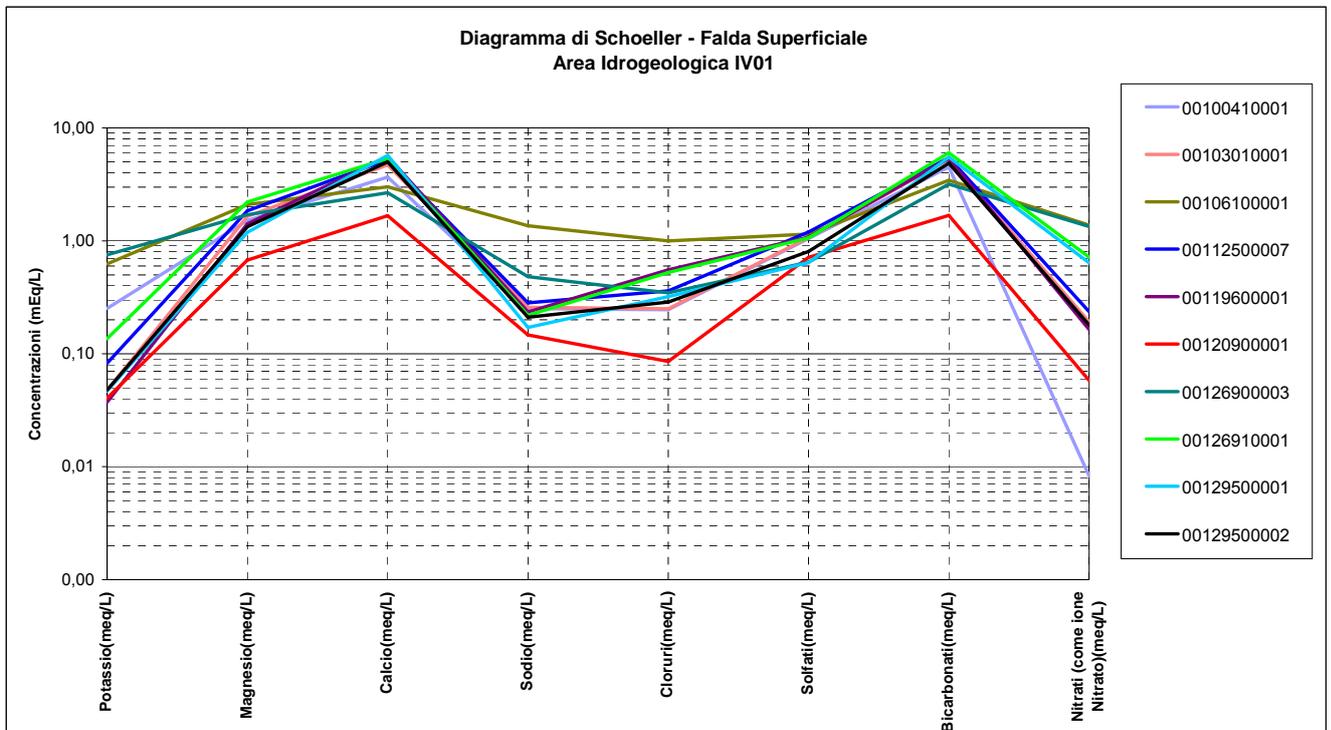
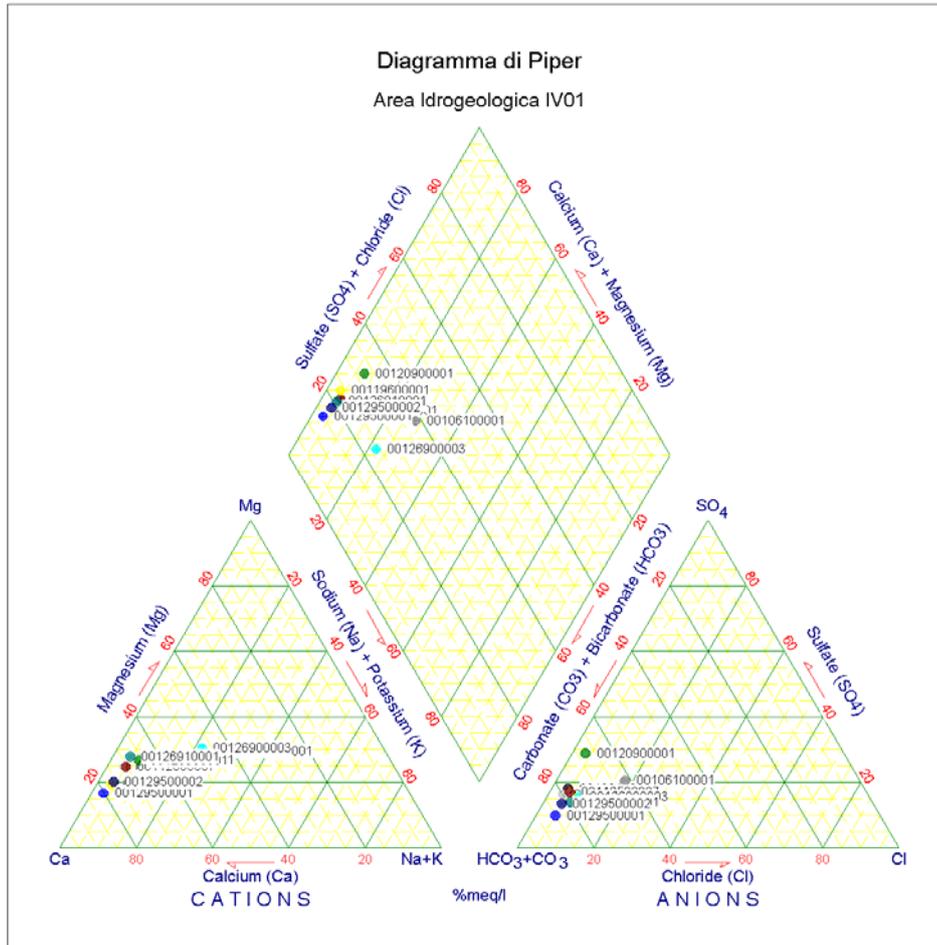
Anche questa area idrogeologica del settore cuneese risulta molto ampia e con una elevata densità di punti adeguatamente distribuiti. Si osserva un chimismo prevalente di tipo bicarbonato calcico con bassi contenuti salini e si riconosce una certa similitudine tra i trend evidenziati dai costituenti di base (Schoeller), a cui si contrappone però un'elevata dispersione per il diagramma di Piper. Queste oscillazioni dei principali costituenti ionici denotano una variabilità idrochimica ascrivibile a vari fattori: fenomeni di diluizione/concentrazione all'interno dell'acquifero, regolati dal tempo di residenza/circolazione, presenza di alternanze tra litologie più fini e grossolane, oppure una differente definizione dell'area idrogeologica, controllata anche da fattori geologici, con una possibile parcellizzazione di acquiferi al suo interno. Il panorama geochemico evidenziato da quest'area si distacca comunque da quanto osservato per le aree CN01 e CN02.



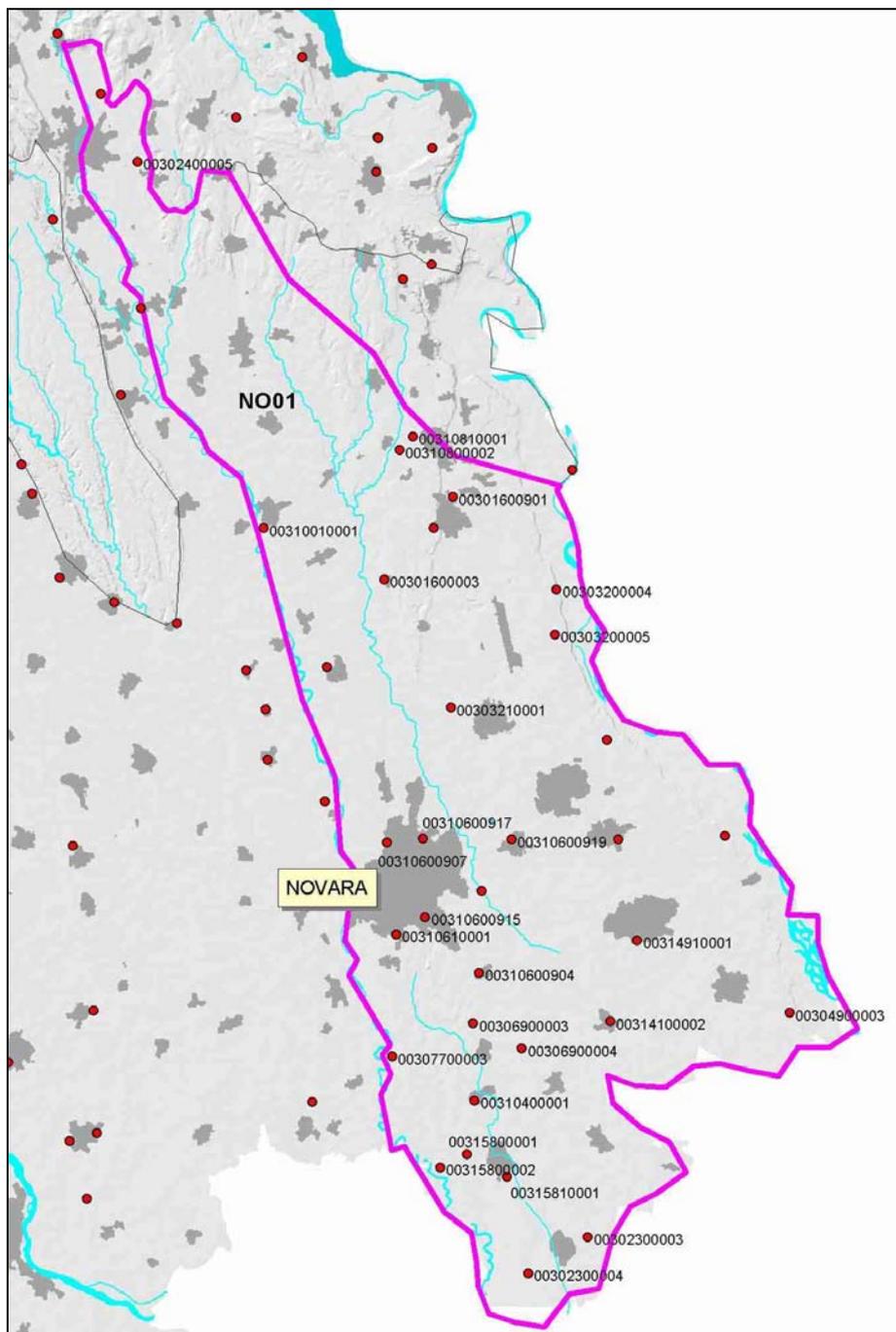
Area IV01



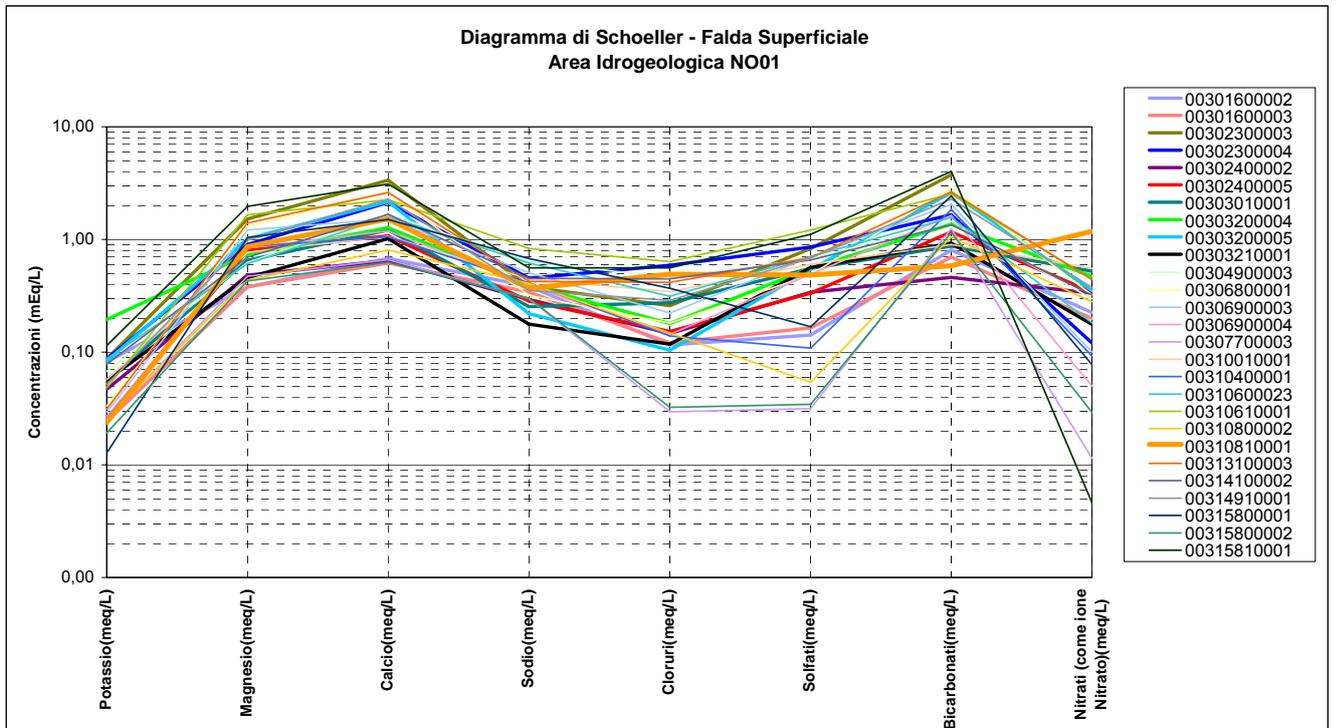
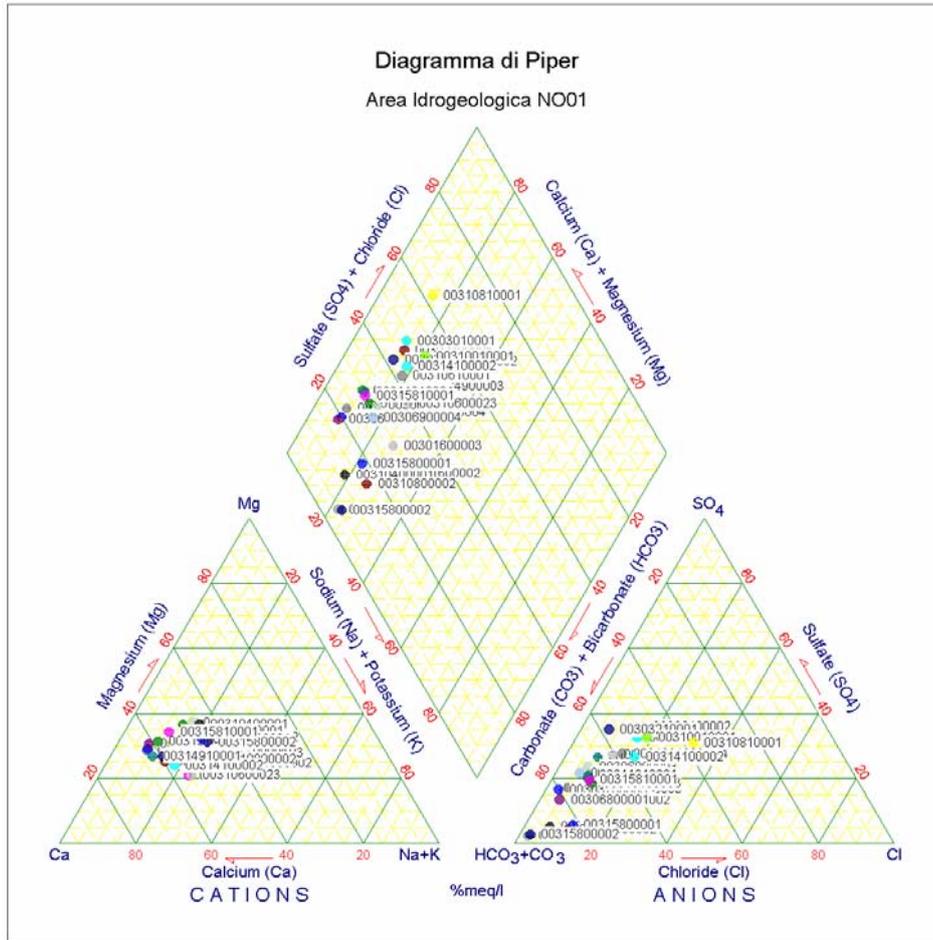
Questa area, localizzata all'interno dell'anfiteatro morenico di Ivrea, costituisce per la sua natura un settore alquanto circoscritto dove si assume una circolazione idrica sotterranea localizzata ed allo stesso tempo isolata dal contesto delle altre aree idrogeologiche. I contenuti salini leggermente più alti della norma sono riconducibili ad una più intensa solubilizzazione dei minerali provenienti dal materiale morenico (più facilmente degradabile), che interessa il bacino di alimentazione. Si osserva una distribuzione di punti non omogenea nel contesto territoriale di riferimento, probabilmente responsabile delle lievi fluttuazioni dei trend idrochimici con leggere oscillazioni dei termini sodio e cloruro, mentre il chimismo prevalente è comunque di tipo bicarbonato calcico. Si rileva il punto 00106100001 che evidenzia tenori più elevati di cloruri, solfati e sodio ascrivibili a fattori locali.



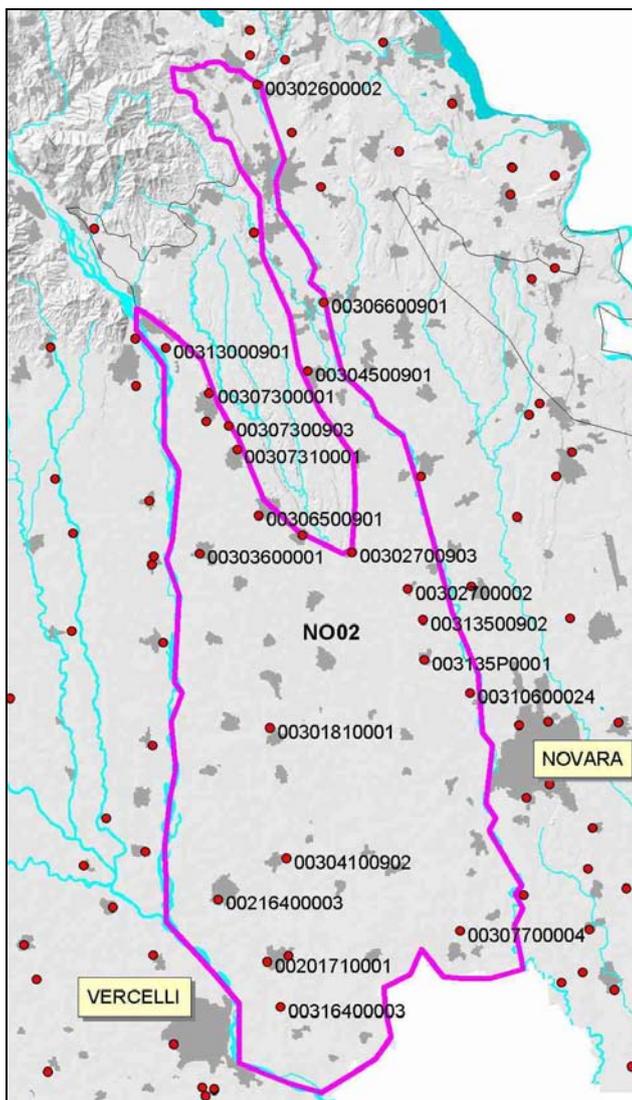
Area NO01



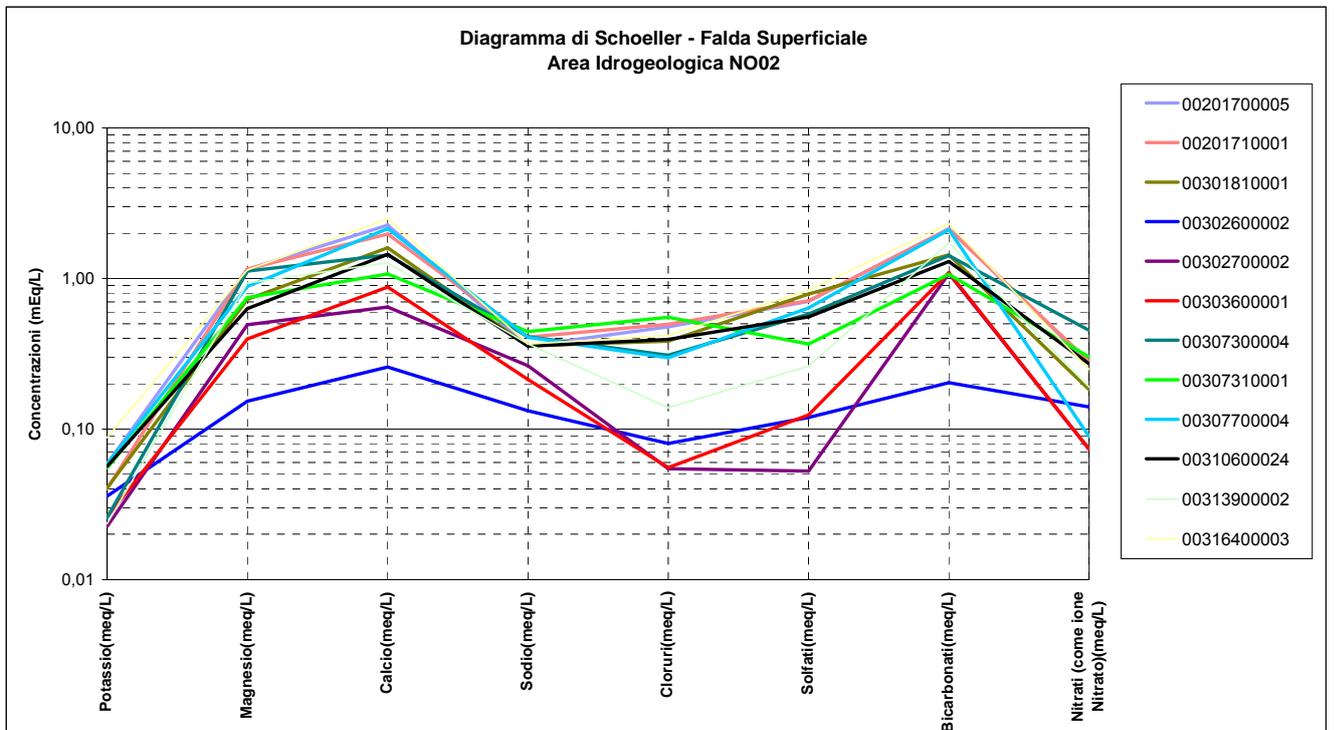
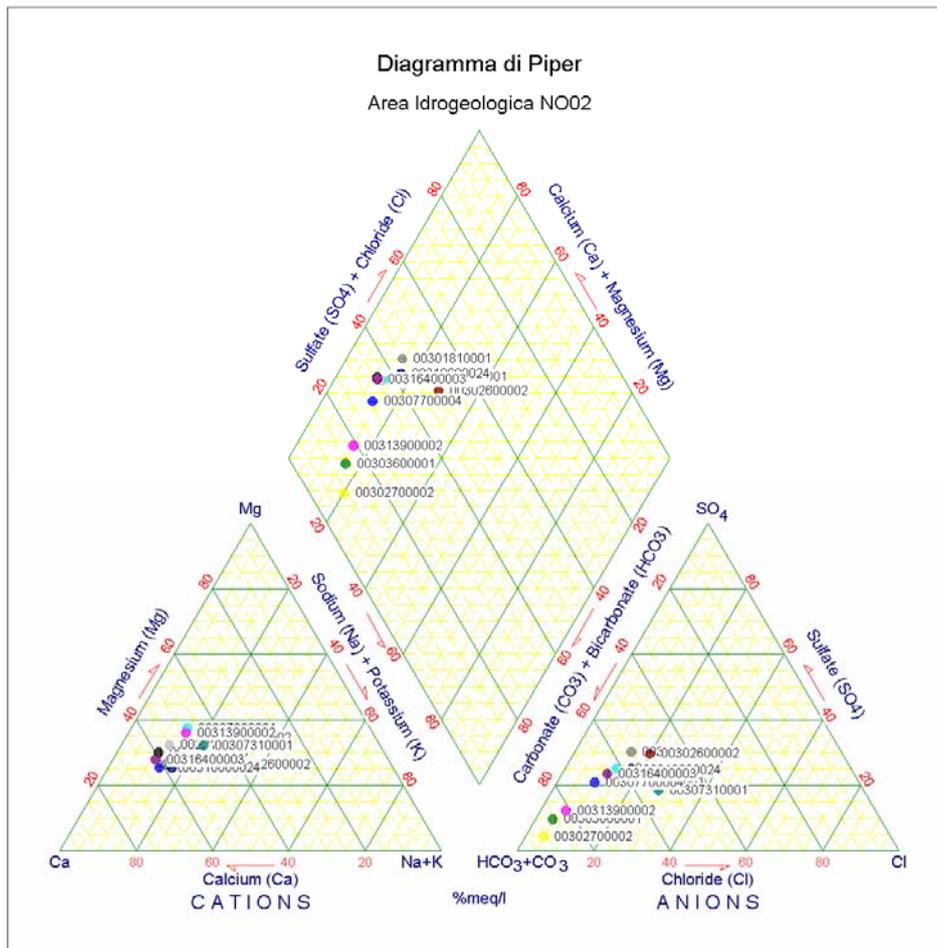
E' un'area molto ampia sviluppata in senso N-S con una distribuzione di punti non del tutto ottimale soprattutto nel settore pericollinare nord. Pur osservando una tendenza generale ad un chimismo di tipo bicarbonato calcico si osservano marcate oscillazioni soprattutto per la componente anionica (Piper). Si riconoscono delle divagazioni dal trend principale per i punti 00307700003, 00315800002 e 00310800002 che evidenziano minori contenuti di cloruri e solfati ascrivibili a fattori locali.



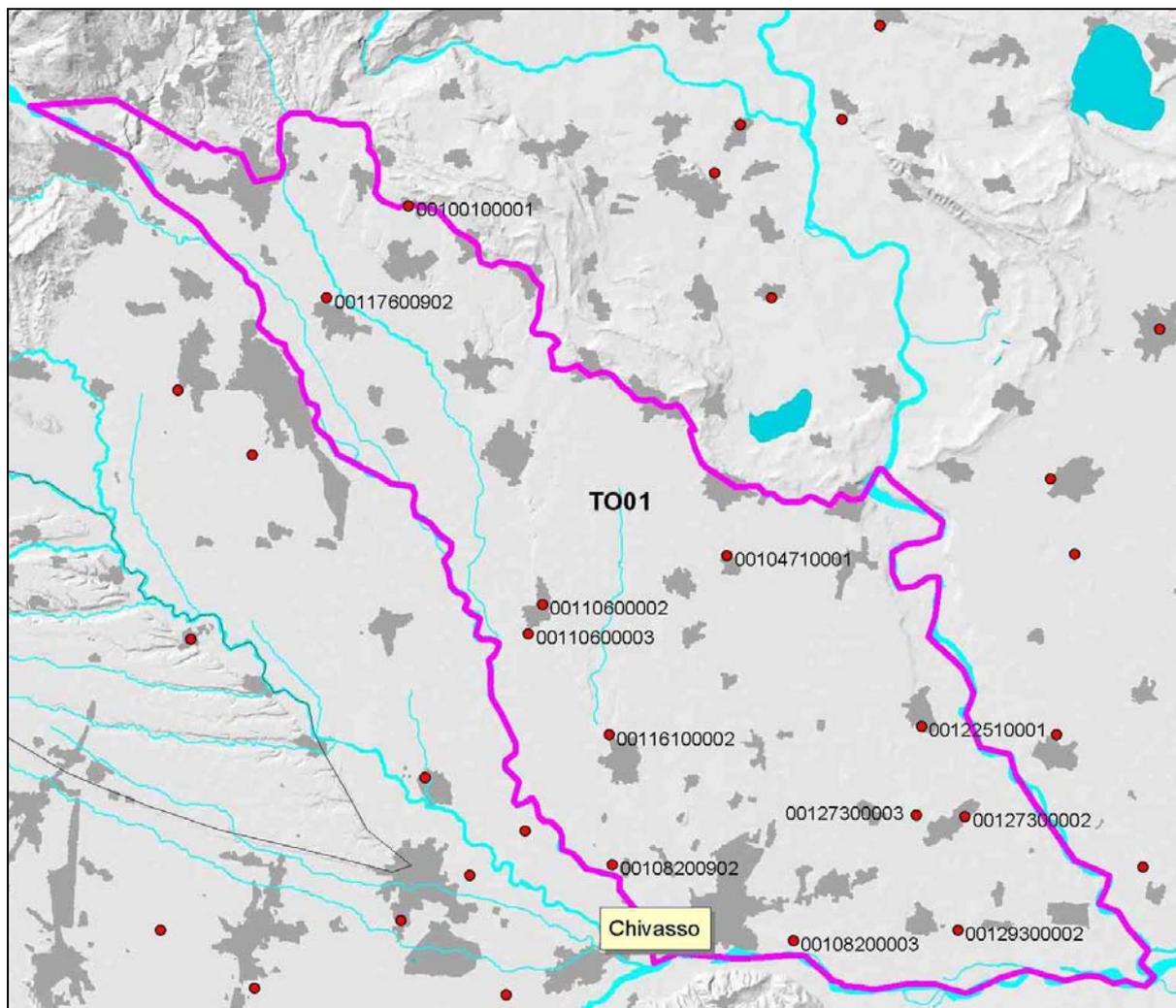
Area NO02



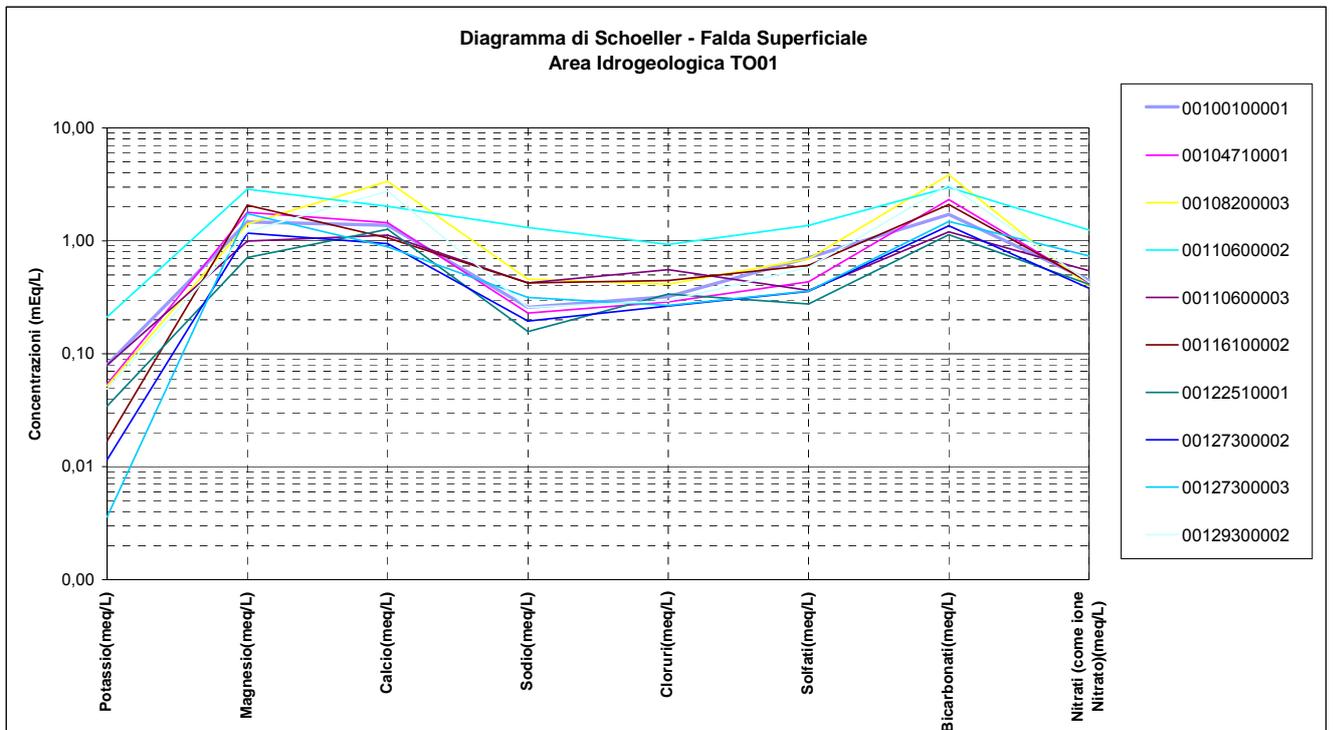
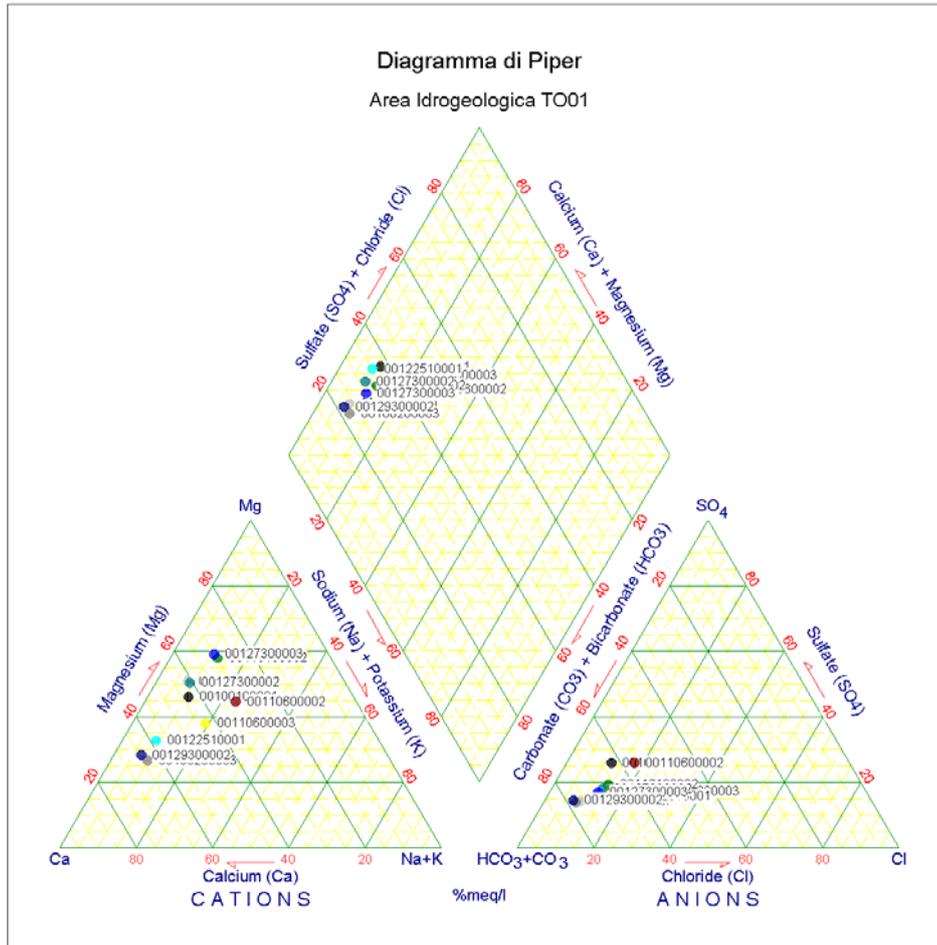
Anche questa area presenta caratteristiche analoghe alla NO01, come l'ampiezza notevole, lo sviluppo N-S (accentuato dalla valle dell'Agogna verso nord) ed una distribuzione di punti non omogenea (dovuta in particolare alla presenza di vaste aree risicole), che comporta una suddivisione in 3 principali agglomerati ubicati nei settori E, NO e S. Questa irregolarità geografica si traduce anche in una certa disomogeneità idrochimica che al di là del tipo bicarbonato calcico dominante evidenzia notevoli oscillazioni in parte imputabili anche allo sviluppo dell'area (dalle zone pedemontane alla pianura novarese s.s.), che favorisce un progressivo arricchimento delle acque verso termini leggermente più mineralizzati. Un esempio di questo fenomeno è il punto 00302600002 (ubicato all'estremo nord) che denota un basso contenuto salino per condizioni di limitata circolazione e vicinanza alle zone di ricarica dell'acquifero.



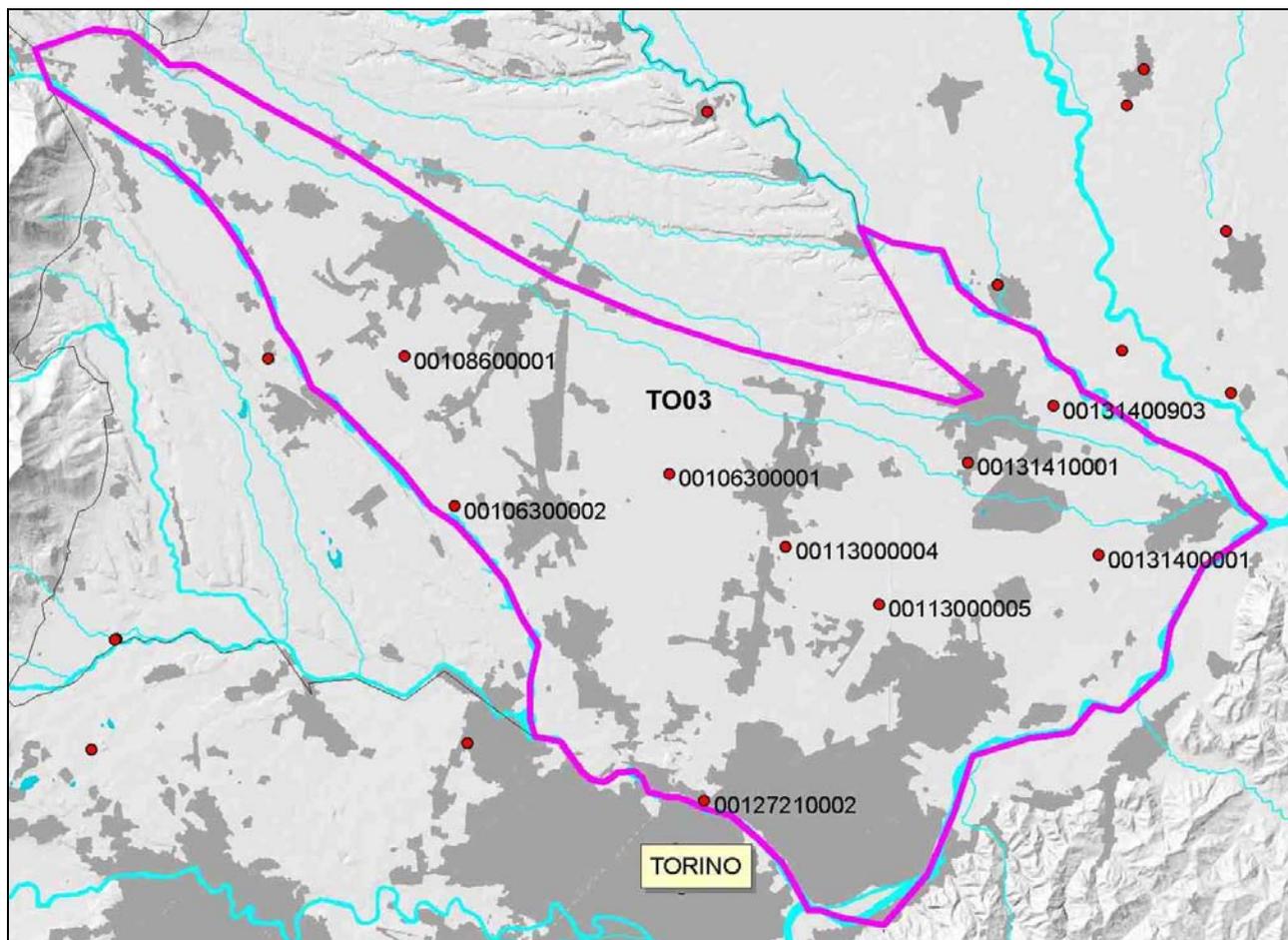
Area TO01



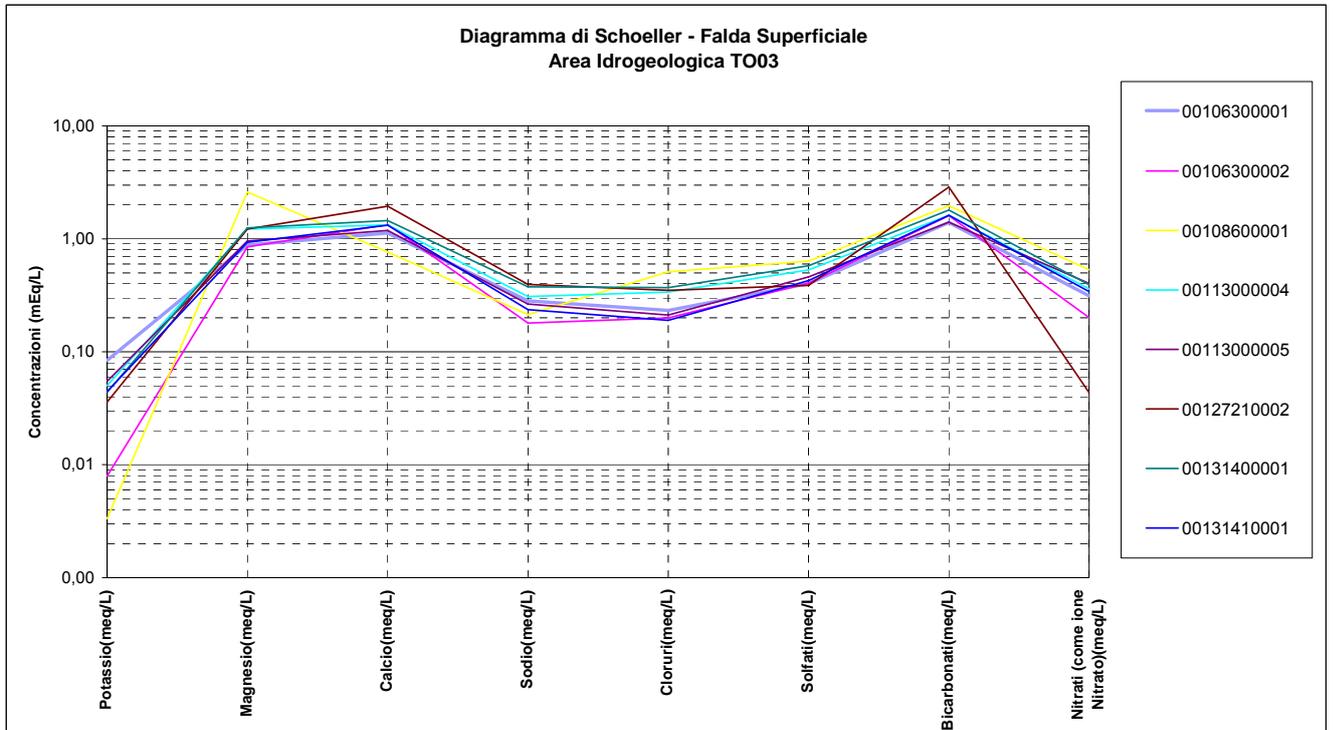
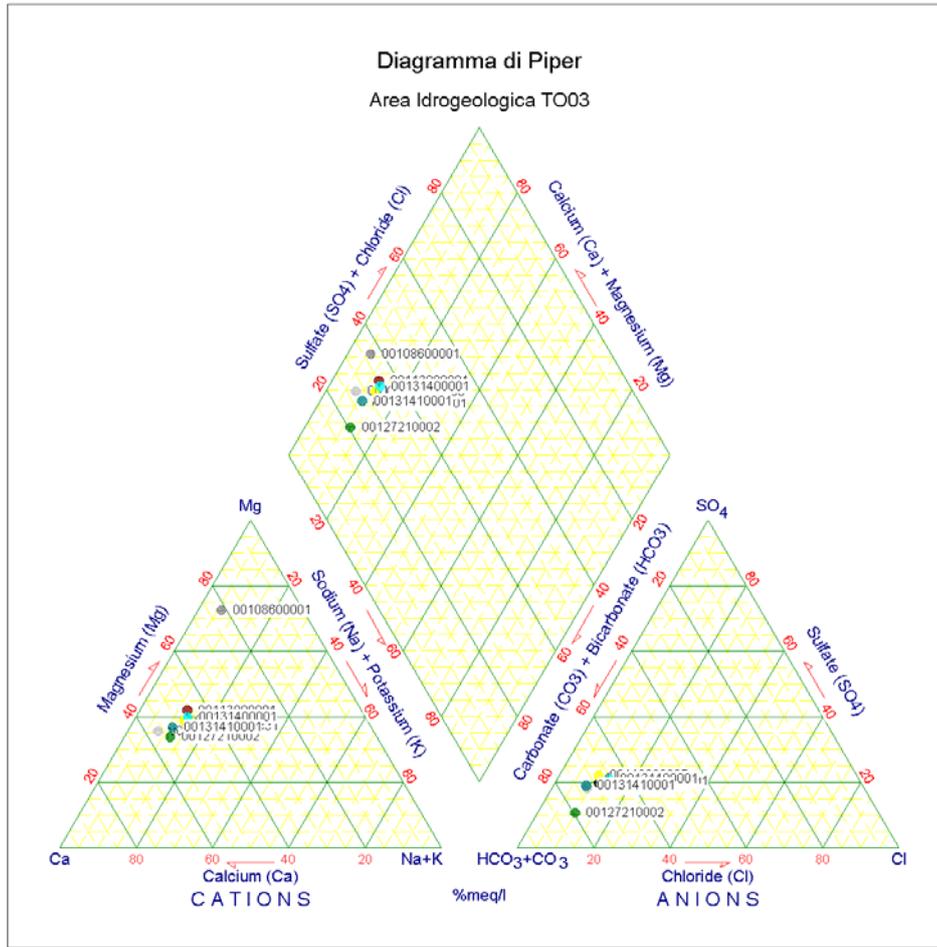
E' un'area abbastanza ampia con una distribuzione alquanto irregolare dei punti di monitoraggio. Si riconoscono due trend principali nel chimismo: il primo di tipo bicarbonato calcico ed il secondo di tipo bicarbonato magnesiaco, attribuibili all'interazione con rocce incassanti di diversa tipologia e/o a fenomeni di alterazione differenziale da parte delle acque di circolazione all'interno del bacino. Infatti, i termini magnesiaci sono da ricondurre alla presenza di formazioni contenenti minerali ferromagnesiaci che possono presentare facies diverse con maggiori o minori arricchimenti. Il pozzo 00110600002 presenta un carico salino superiore rispetto ai trend evidenziati dagli altri punti (Schoeller), attribuibile probabilmente a fattori locali.



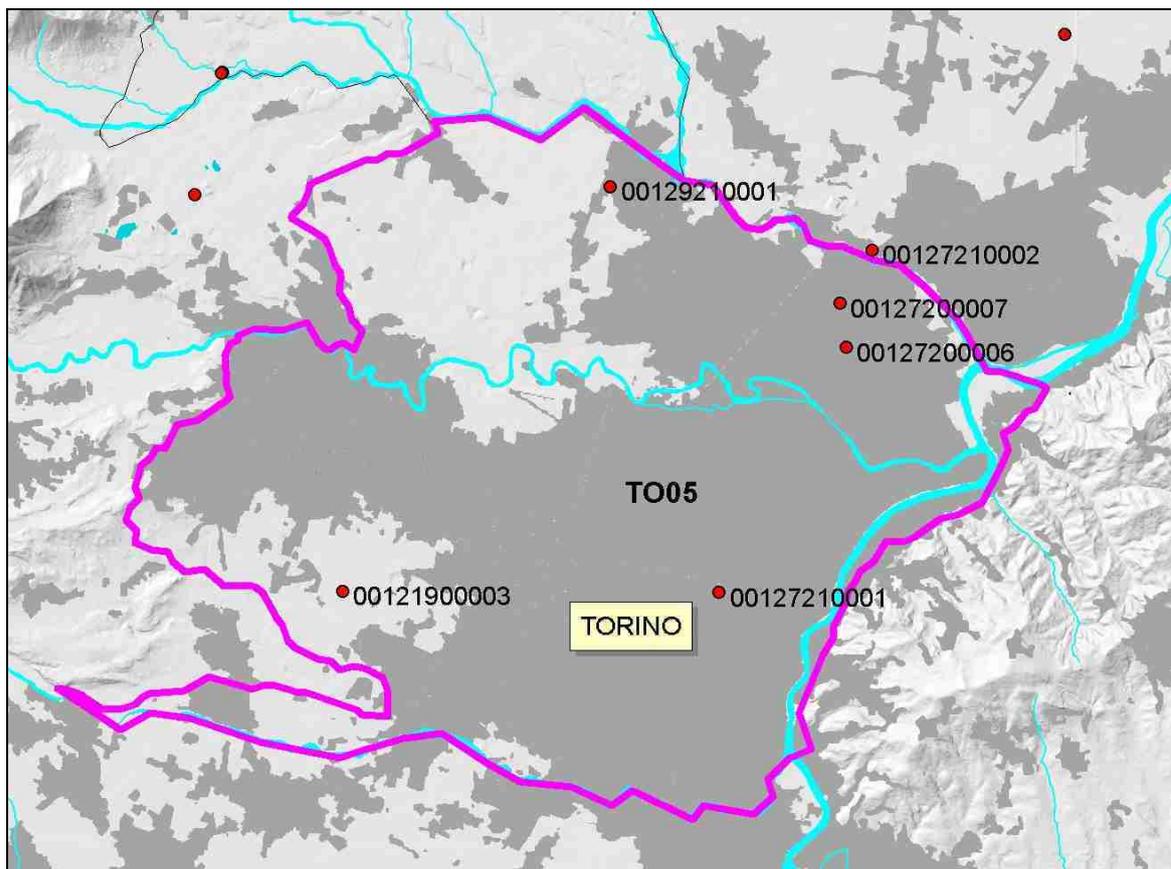
Area TO03



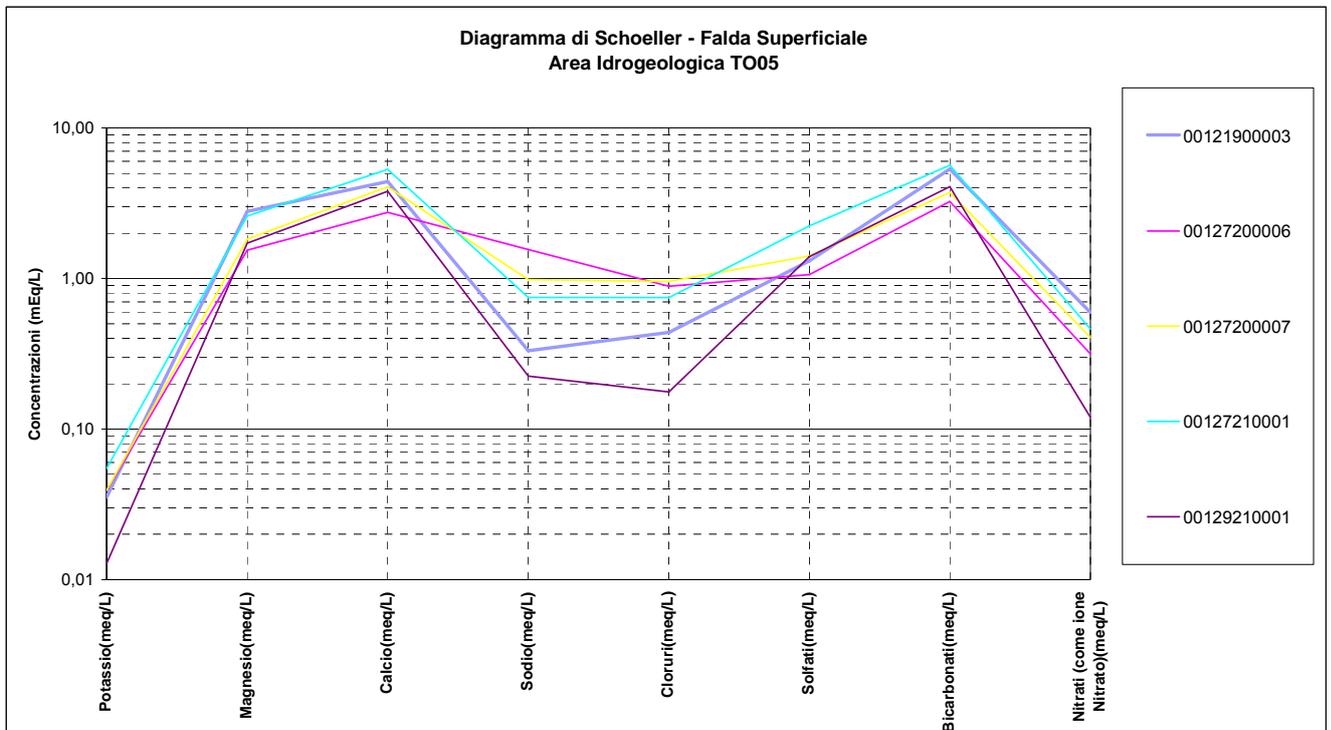
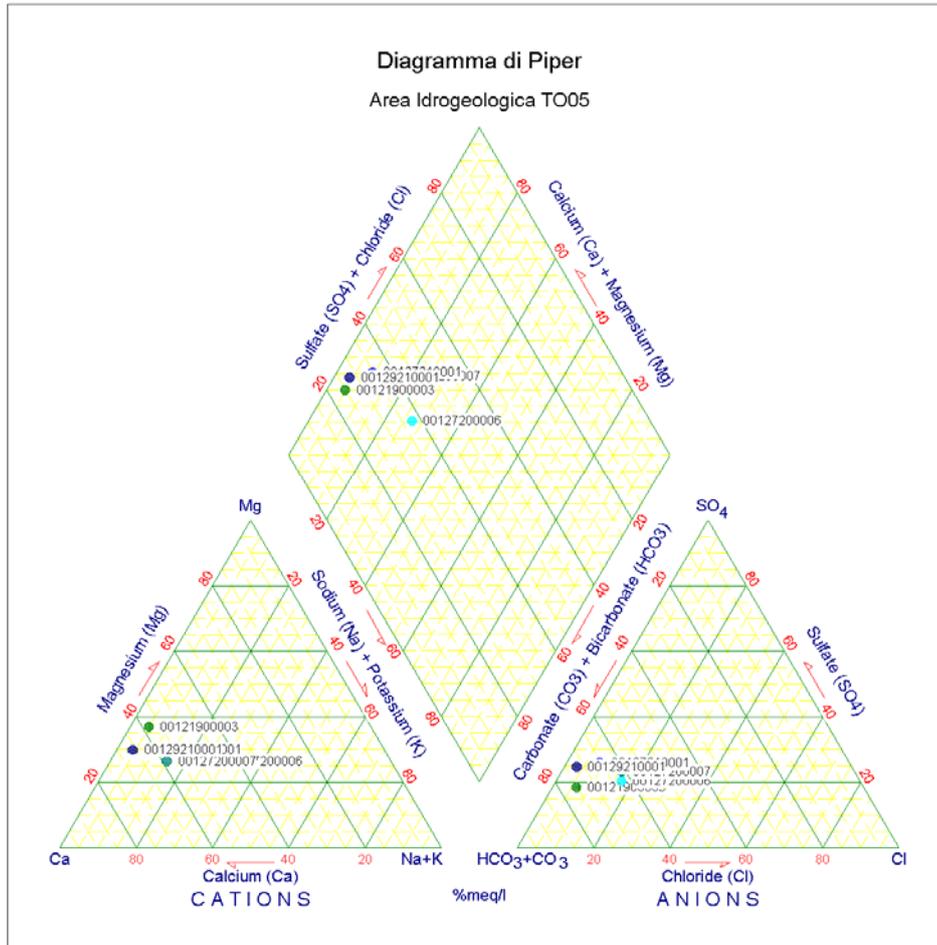
Anche per questa area ubicata a nord del settore metropolitano torinese la distribuzione dei punti non è ottimale, riscontrando una situazione di deficit nella parte inferiore e centrale ed evidenziando comunque la difficoltà di individuazione di punti di monitoraggio per la falda superficiale nelle zone intensamente urbanizzate. I diagrammi geochimici evidenziano tuttavia una buona omogeneità idrochimica con caratteristiche bicarbonato calciche; diverge da questa tendenza il punto 00108600001 che denota un andamento leggermente diverso con un chimismo bicarbonato magnesiaco.



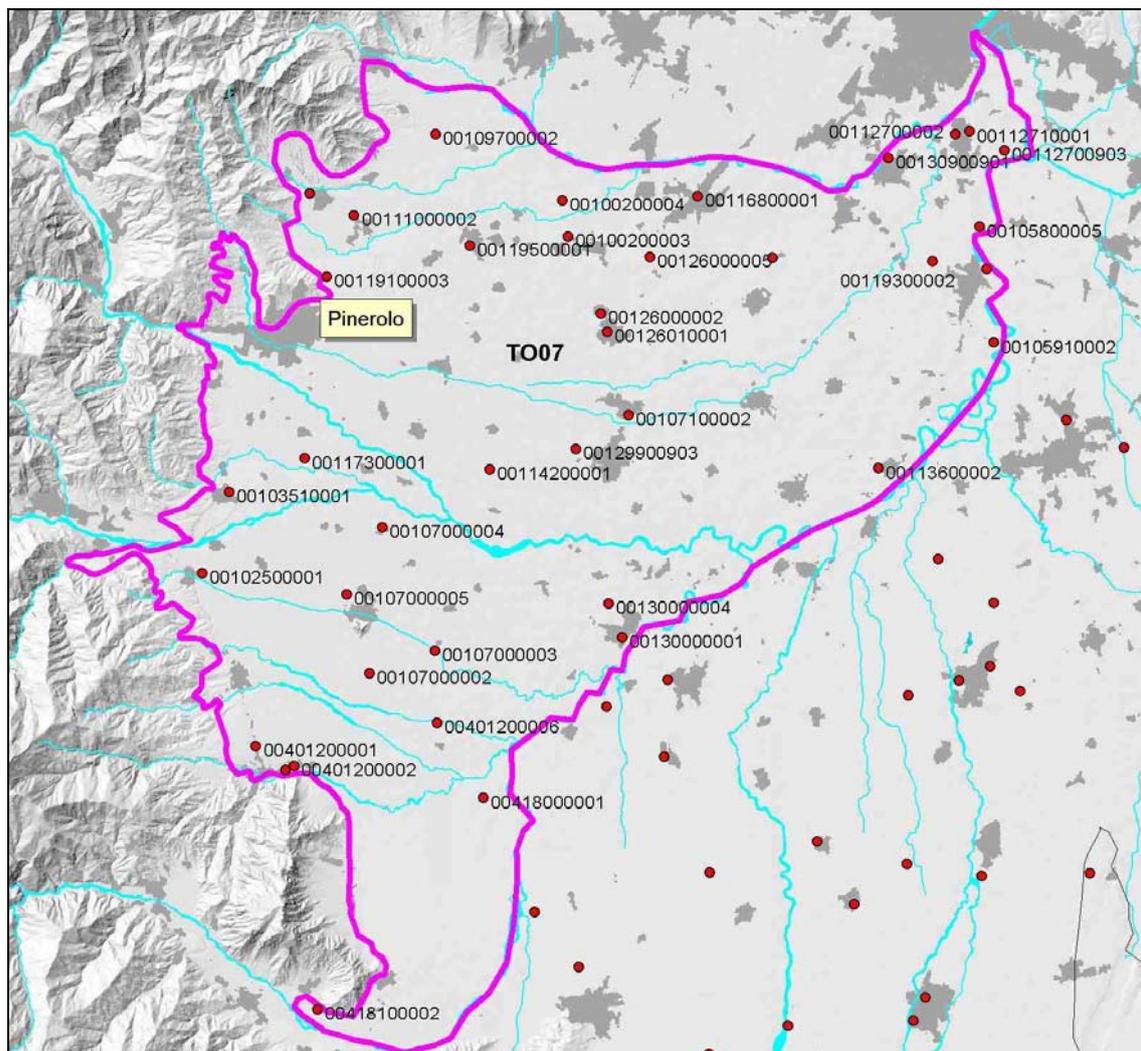
Area TO05



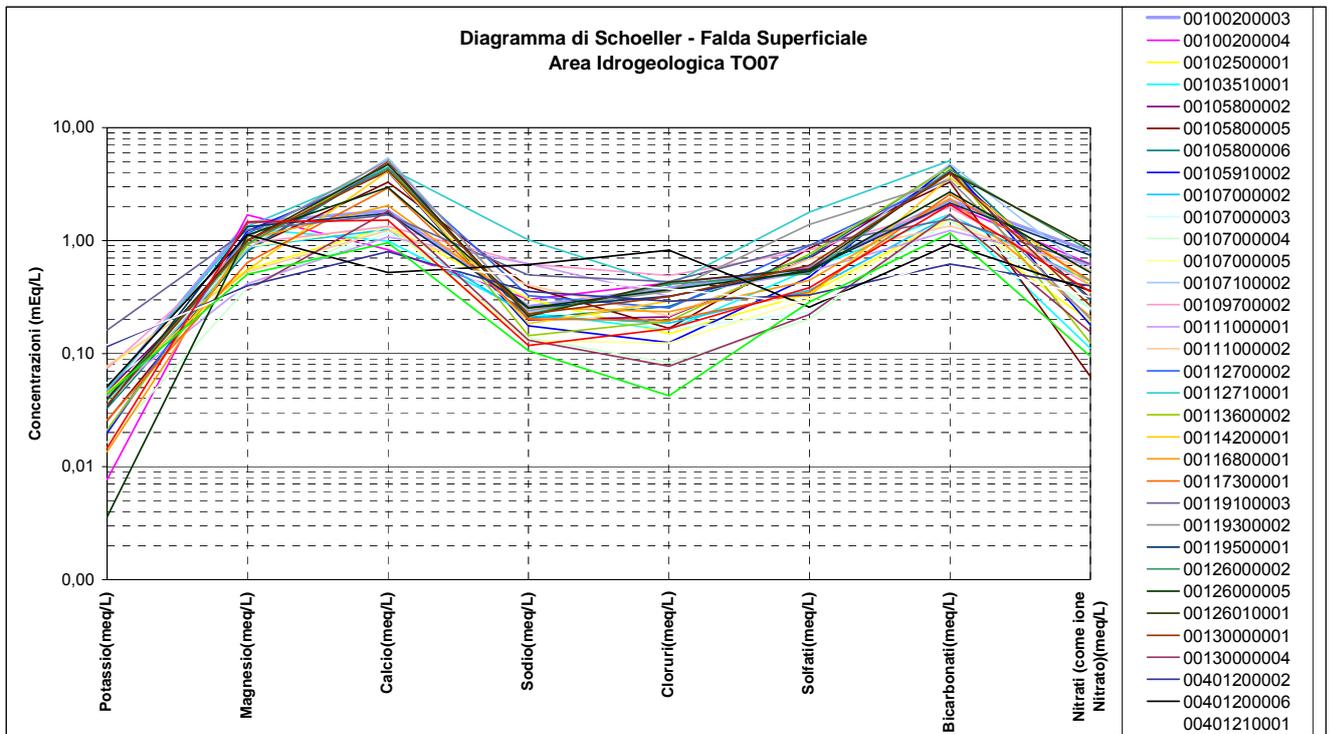
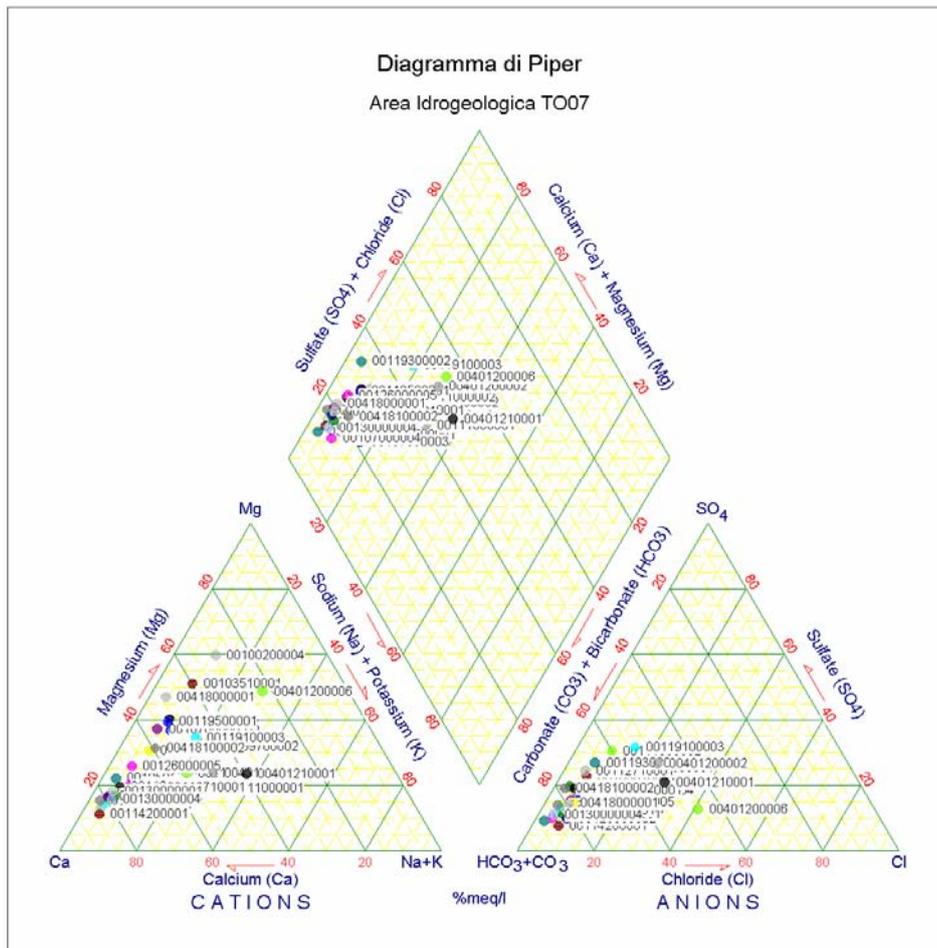
Anche in questa area, coincidente per la quasi totalità con il settore metropolitano torinese, si osserva una certa rarefazione di punti di monitoraggio per le stesse motivazioni rilevate nell'area TO04. La distribuzione non ottimale dei punti non si riflette però sulle risultanze idrochimiche, che denotano una sostanziale similitudine dei trend caratteristici per i parametri considerati (Schoeller) ed una ridotta dispersione nella zona di Piper relativa al tipo idrochimico bicarbonato calcico.



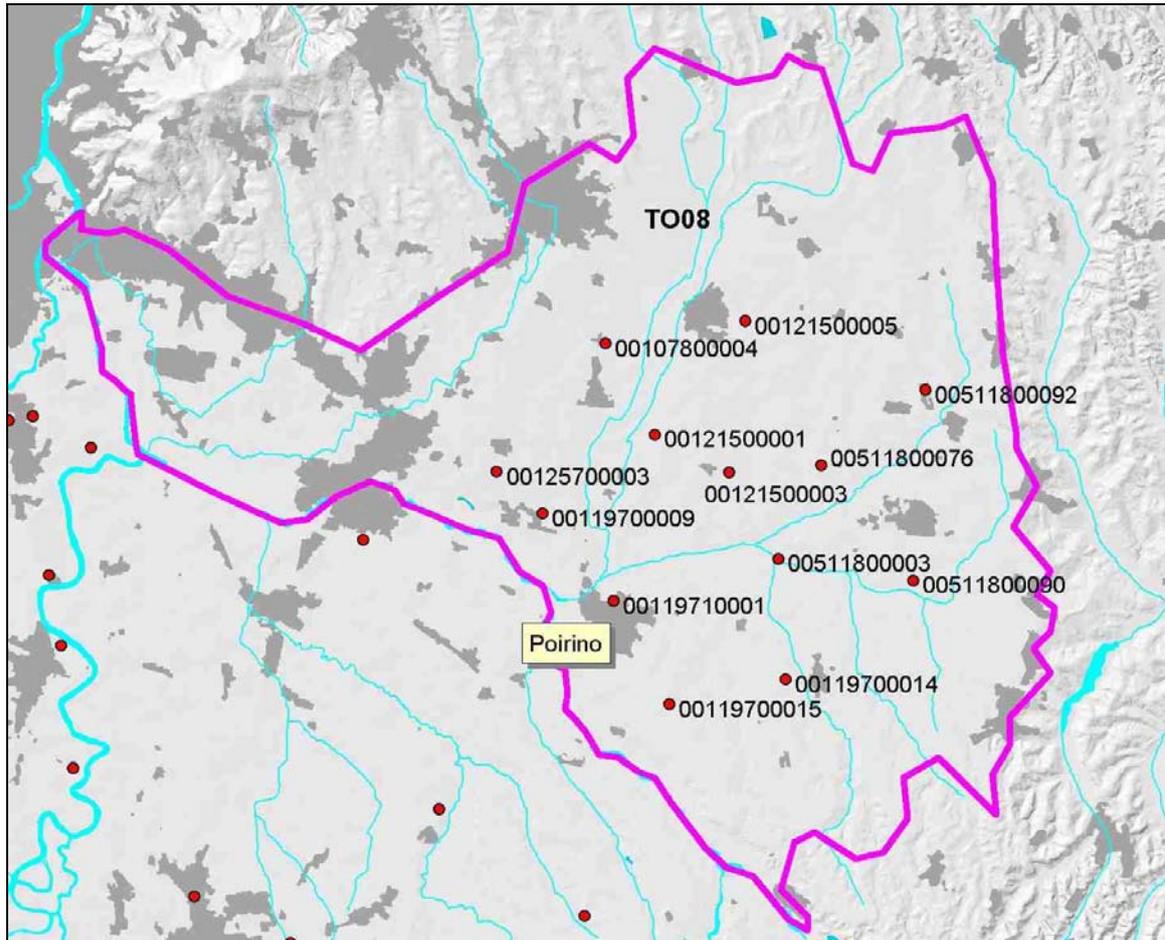
Area TO07



Costituisce una delle aree più vaste e con il maggior numero di punti (40), che risultano abbastanza distribuiti, dove si osserva una tendenza generale di tipo bicarbonato calcico e bicarbonato magnesiaco. I trend idrochimici risultano nel complesso molto simili tra loro con traslazioni, tra le spezzate che collegano le concentrazioni ioniche, alquanto limitate e comunque all'interno di un ordine di grandezza tra gli intervalli logaritmici del diagramma di Schoeller. Si distaccano dal trend generale i punti 00103500001 e 00115600001 che evidenziano, rispettivamente, un chimismo solfato calcico con un tenore salino più elevato ed una componente cloruro sodica. Ambedue i punti denotano quindi una deviazione dal trend generale probabilmente attribuibile a fattori locali.

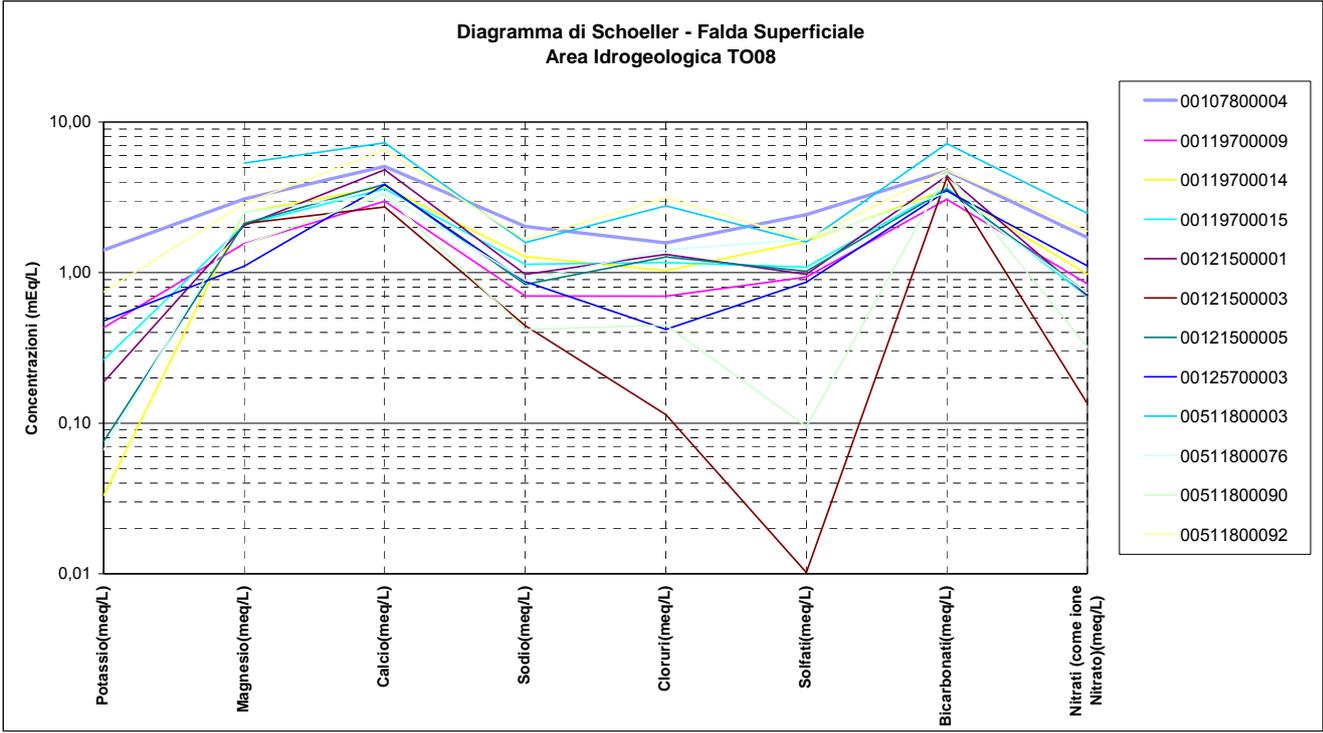
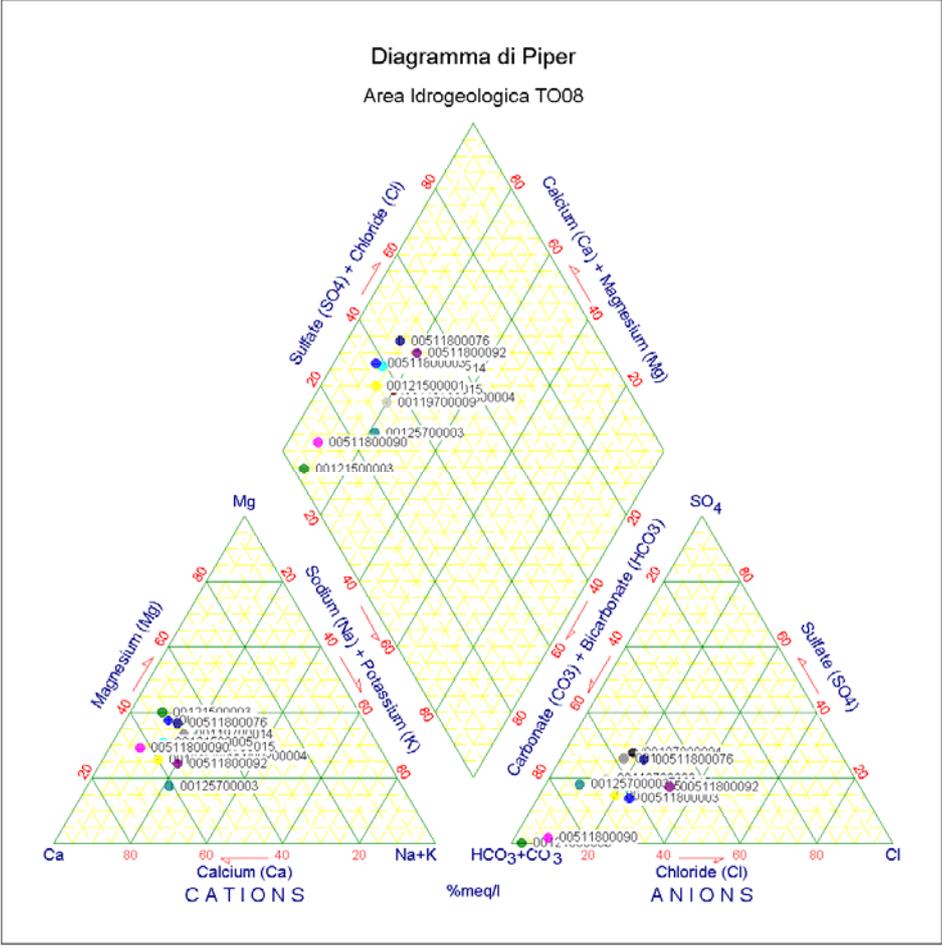


Area TO08

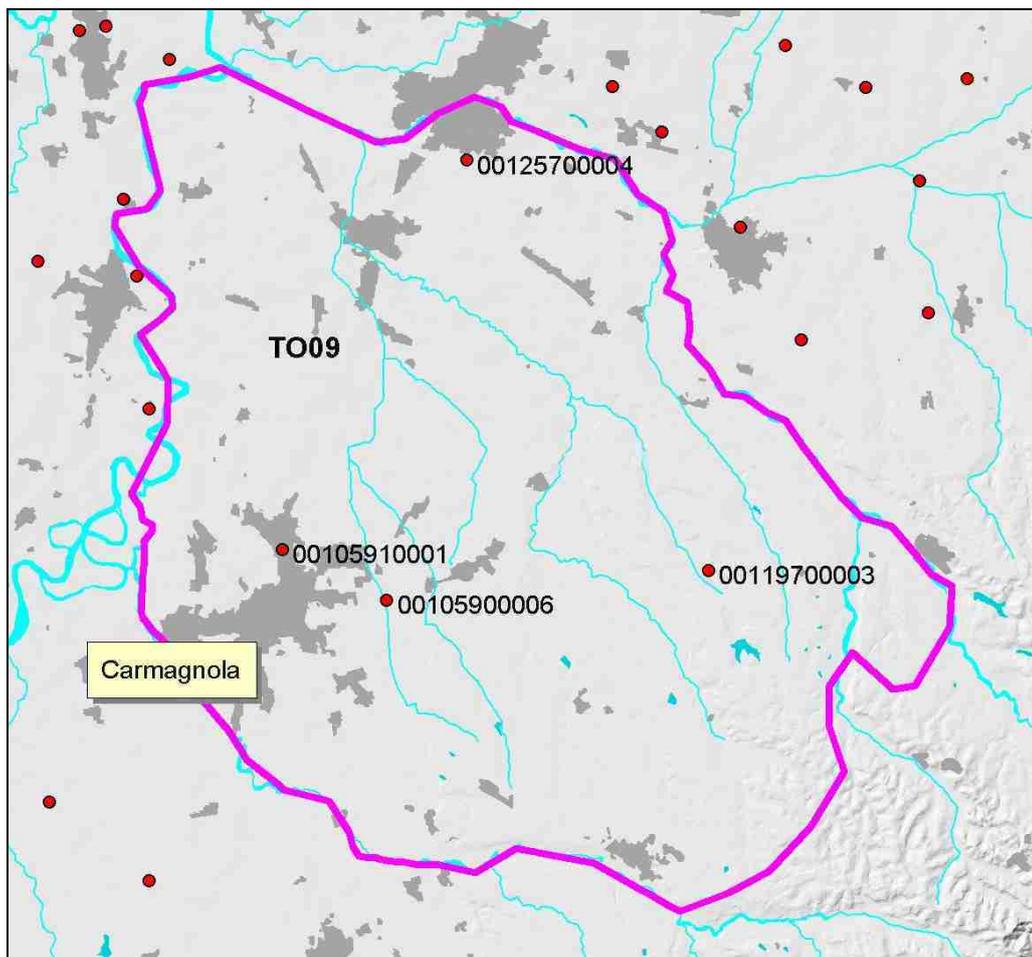


Questa area, di dimensioni abbastanza contenute, delimita la parte settentrionale dell'altopiano di Poirino e presenta una distribuzione di punti abbastanza omogenea, a parte la propaggine nel settore ovest e l'estremo settore nord. Tuttavia, lo scenario che emerge dalla valutazione dei grafici geochimici denota una certa variabilità dei trend di Schoeller a cui risponde una dispersione dei punti nel grafico di Piper. Al di là di una tipologia predominante di tipo bicarbonato calcico si osservano anche due punti (00511800090 e 00121500003) con bassi contenuti di cloruri e solfati. Questa sostanziale disomogeneità idrochimica potrebbe essere spiegata dai fattori idrogeologici, in quanto la zona è caratterizzata da un acquifero superficiale poco produttivo, associato a formazioni generalmente poco permeabili; questi elementi si potrebbero riflettere sulla circolazione idrica sotterranea favorendo l'occorrenza di compartimentazioni laterali nell'acquifero superficiale associate a circuiti non necessariamente interdipendenti, con processi di circolazione ed interazione acqua-

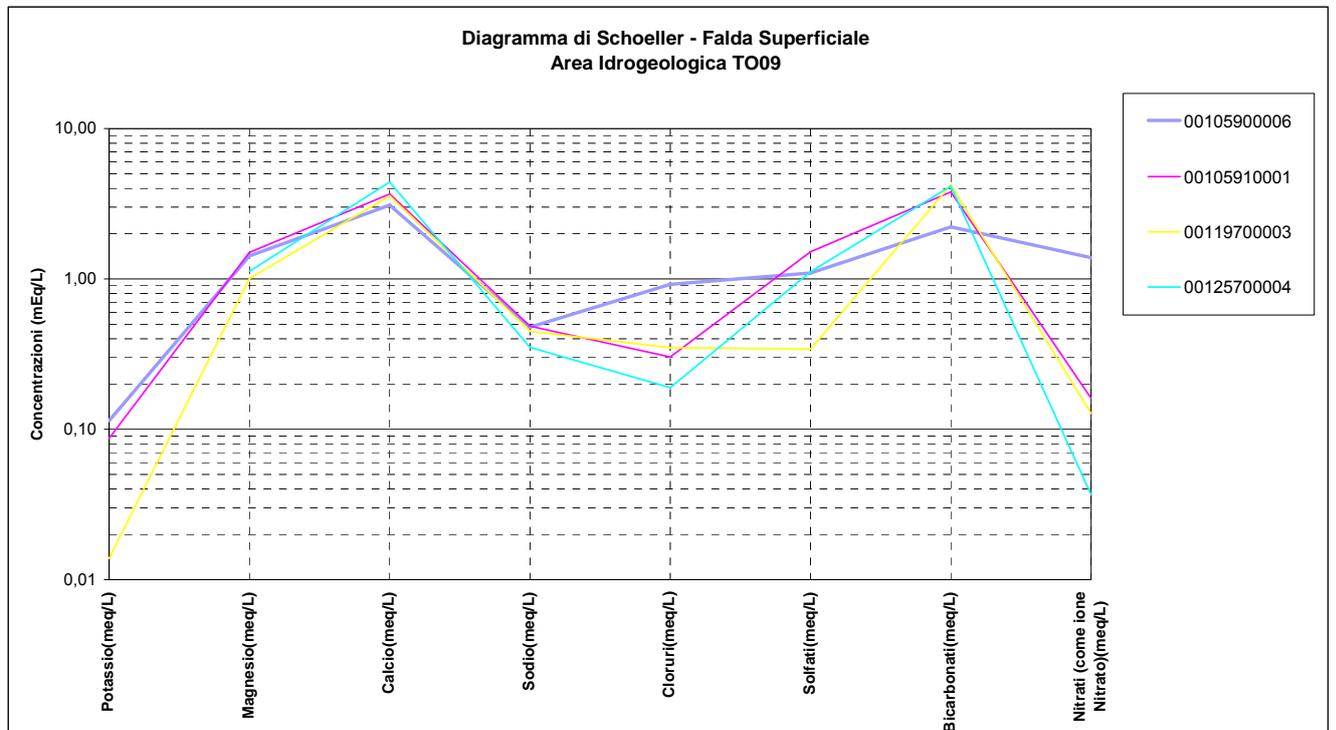
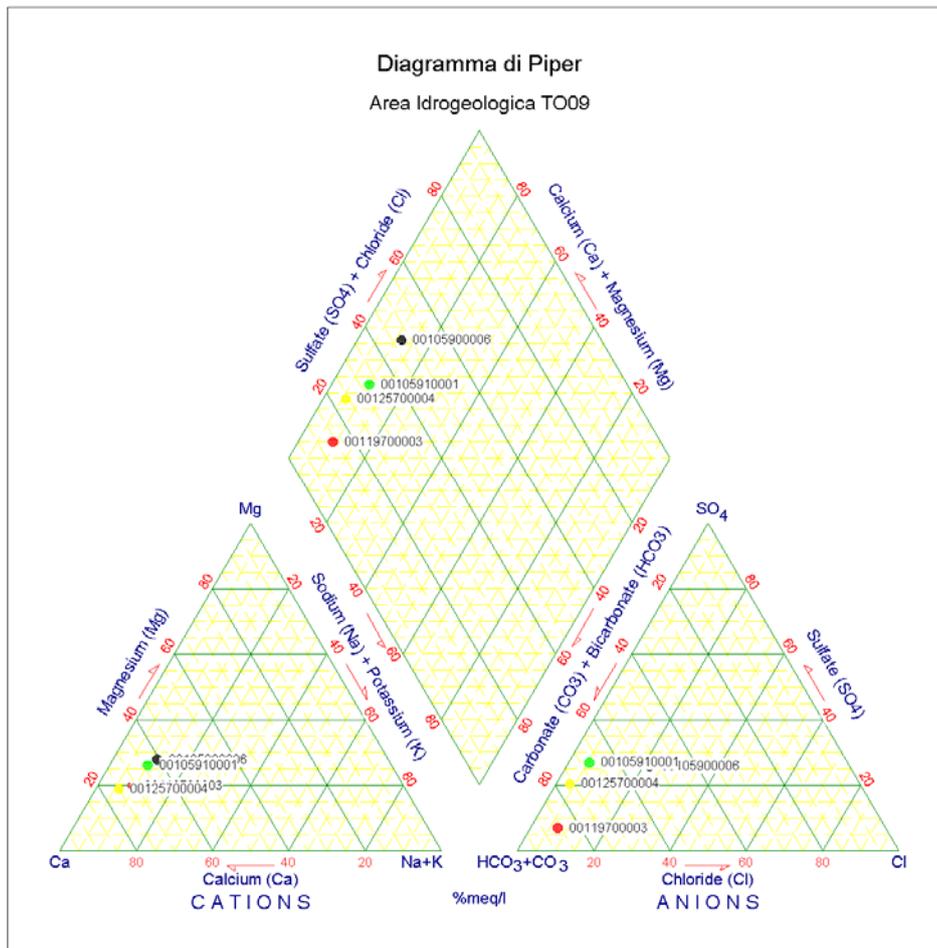
roccia sensibilmente diversi che andrebbero ad influenzare le oscillazioni idrochimiche riscontrate.



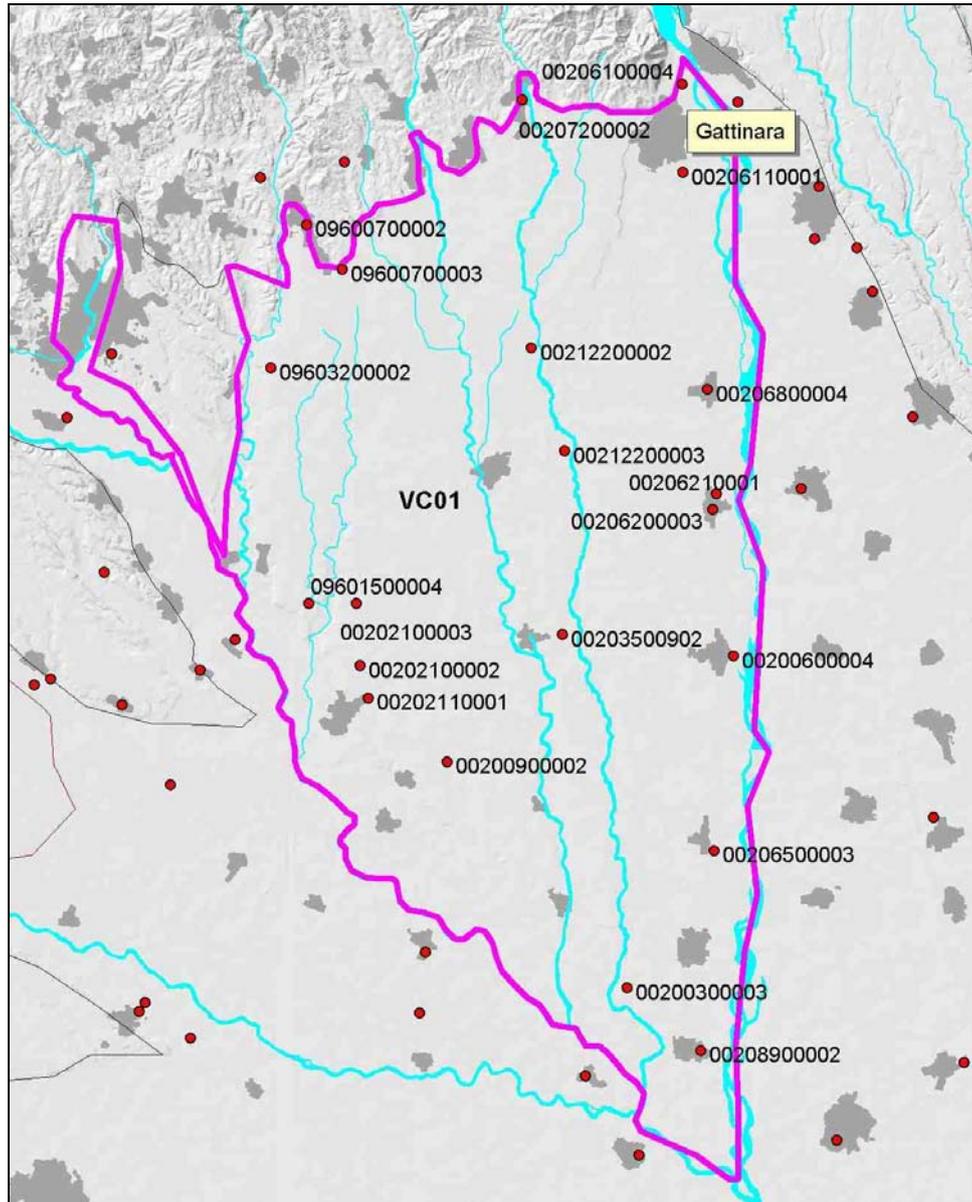
Area TO09



L'area comprende la parte sud dell'altopiano di Poirino, e a differenza di TO08 denota una distribuzione di punti poco omogenea e numericamente limitata, causata in parte dalla peculiare conformazione ed utilizzo del territorio, con una minore disponibilità di punti di monitoraggio. I trend geochimici evidenziano un'apprezzabile correlazione, anche se con presenza di oscillazioni, tra i punti considerati, oscillazioni che risultano ancora più evidenti data l'esiguità dei punti. Il punto 00105900006 si distacca leggermente dal trend generale per un maggior contenuto in cloruri e nitrati, ascrivibile anche a fattori locali e/o a fenomeni di contaminazione continua e puntuale, mentre il punto 00119700003 presenta un più basso contenuto in solfati.

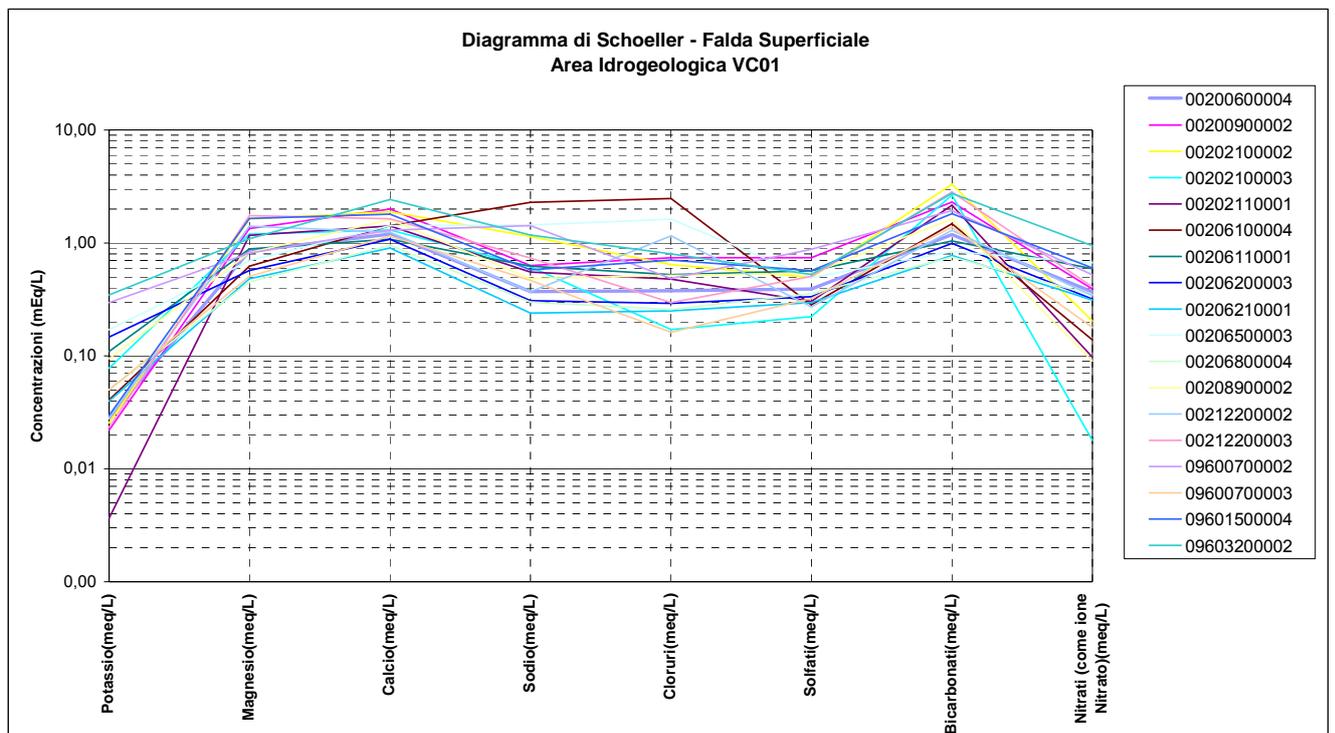
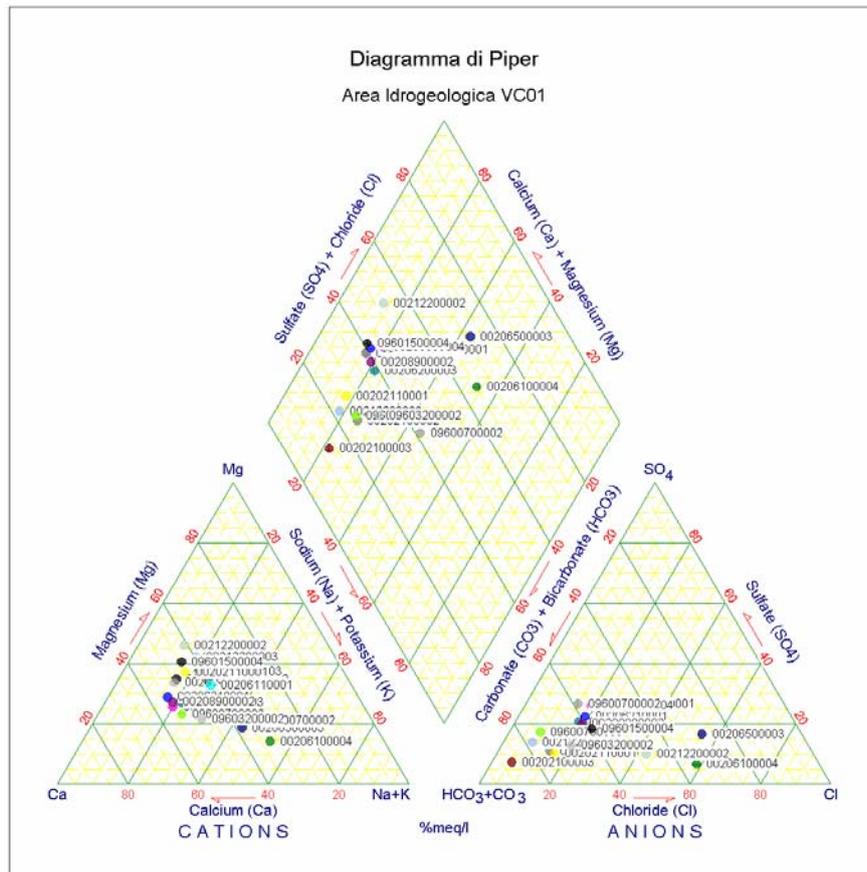


Area VC01

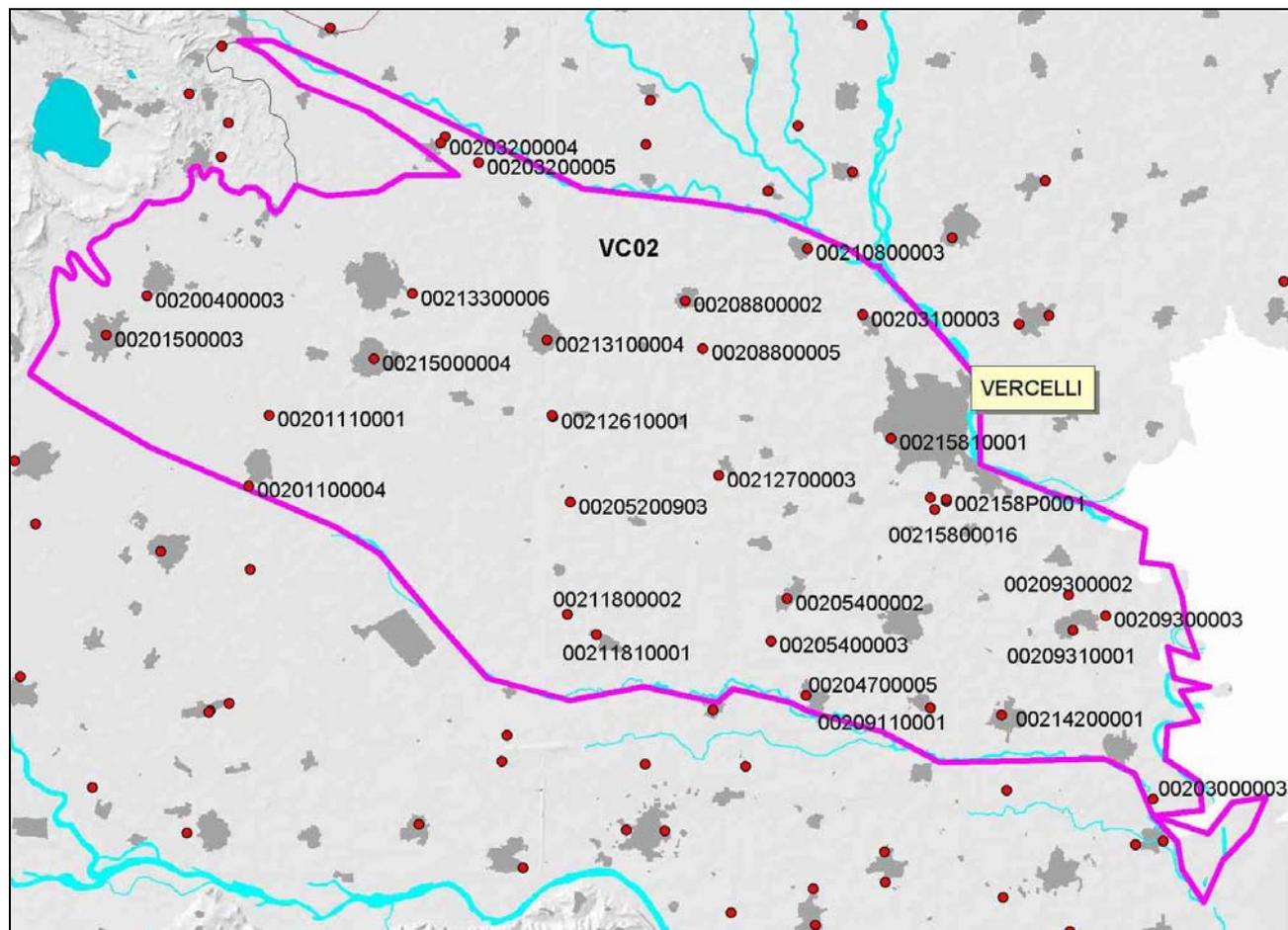


A causa del particolare uso del territorio con zone non utilizzate (baragge) e aree risicole, si nota una distribuzione dei punti non omogenea, che però evidenziano nel loro insieme oscillazioni molto contenute all'interno degli elementi caratteristici ed un chimismo prevalente di tipo bicarbonato-calcico. In questa situazione, sostanzialmente omogenea sotto il profilo geochimico, risaltano tre punti con andamenti diversi: 00206100004 ubicato a nord in una posizione apicale/marginale che evidenzia un chimismo di tipo cloruro sodico che potrebbe essere associato al contributo di acque salmastre legate ai sedimenti pliocenici sub affioranti nelle aree limitrofe; 00206500003

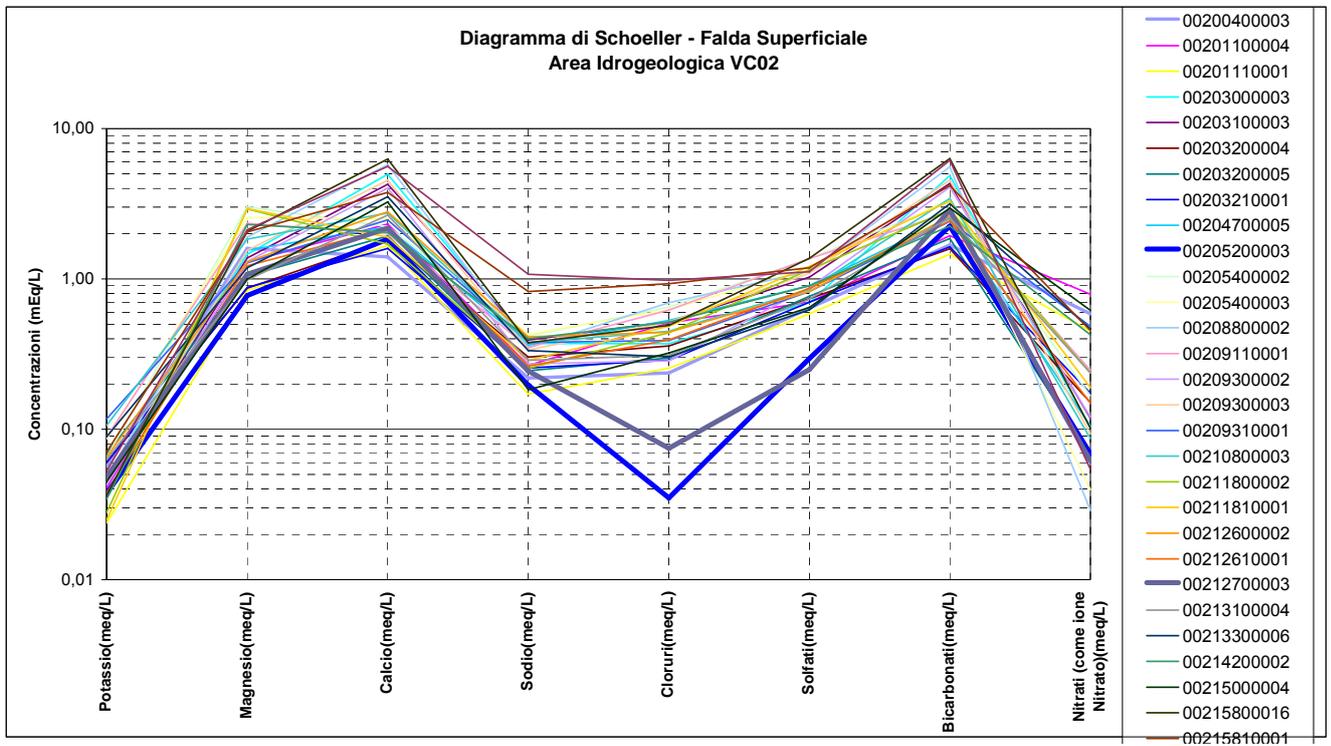
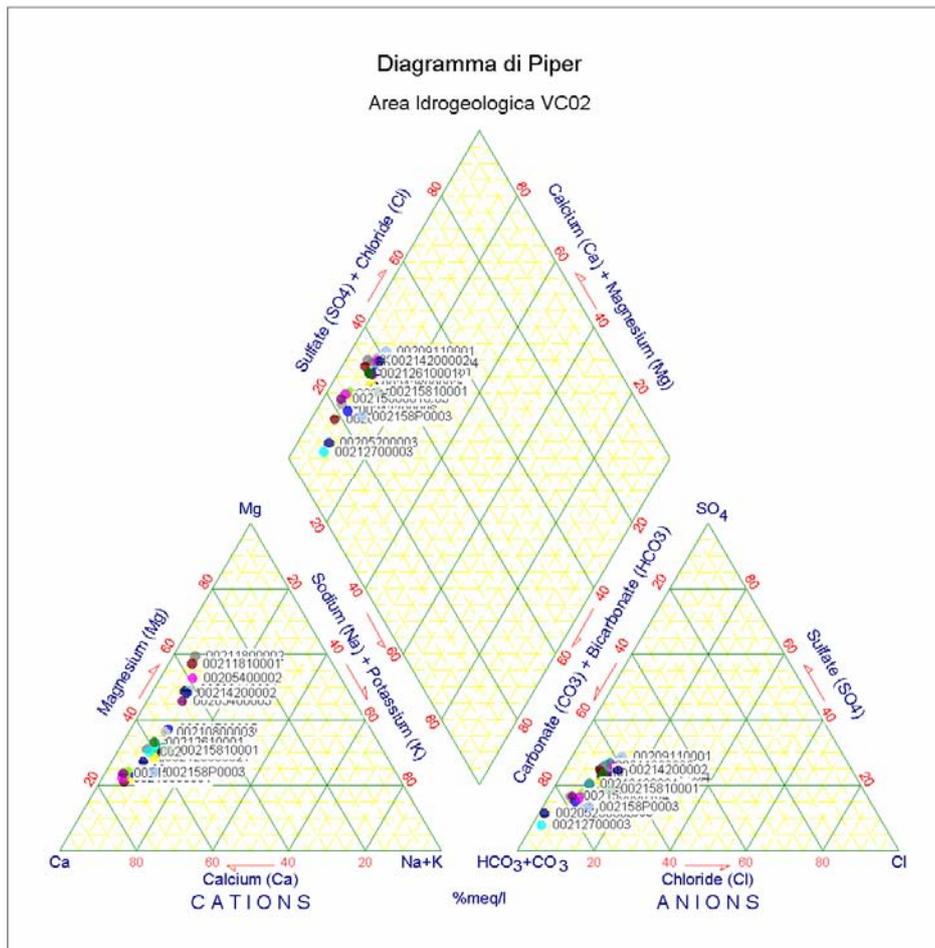
(cloruro sodico) e 00212200002 (bicarbonato magnesiaco con alti cloruri) associati a fattori locali isolati.



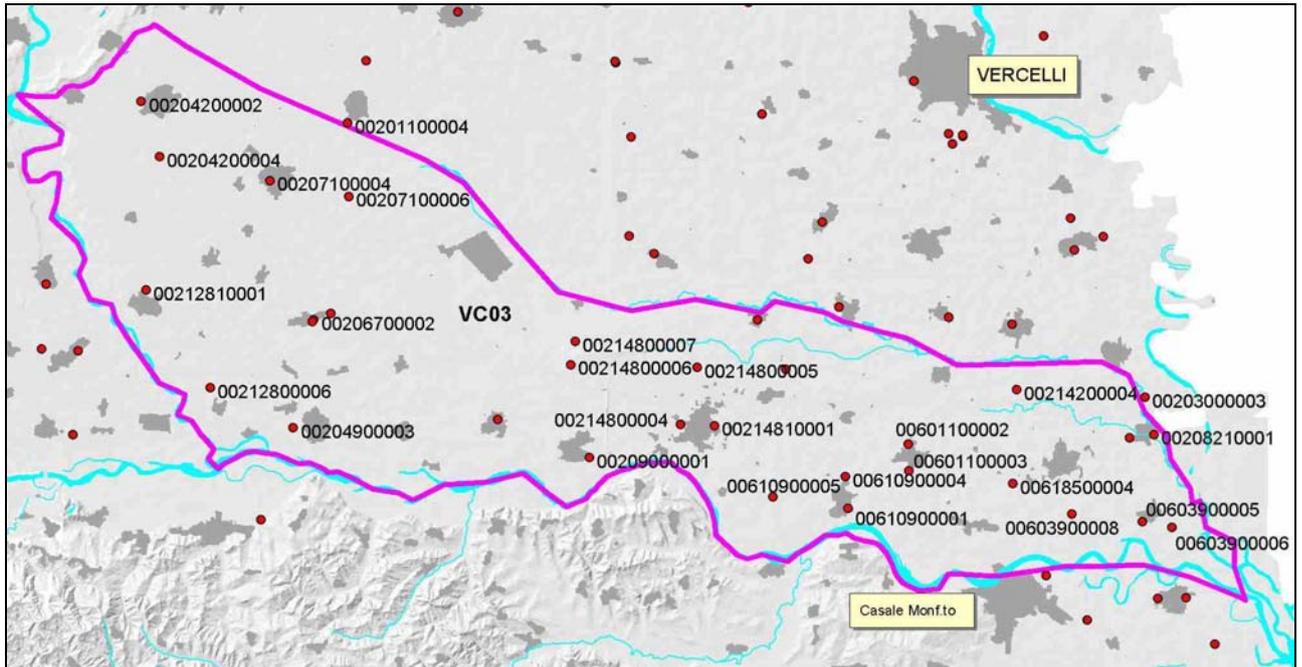
Area VC02



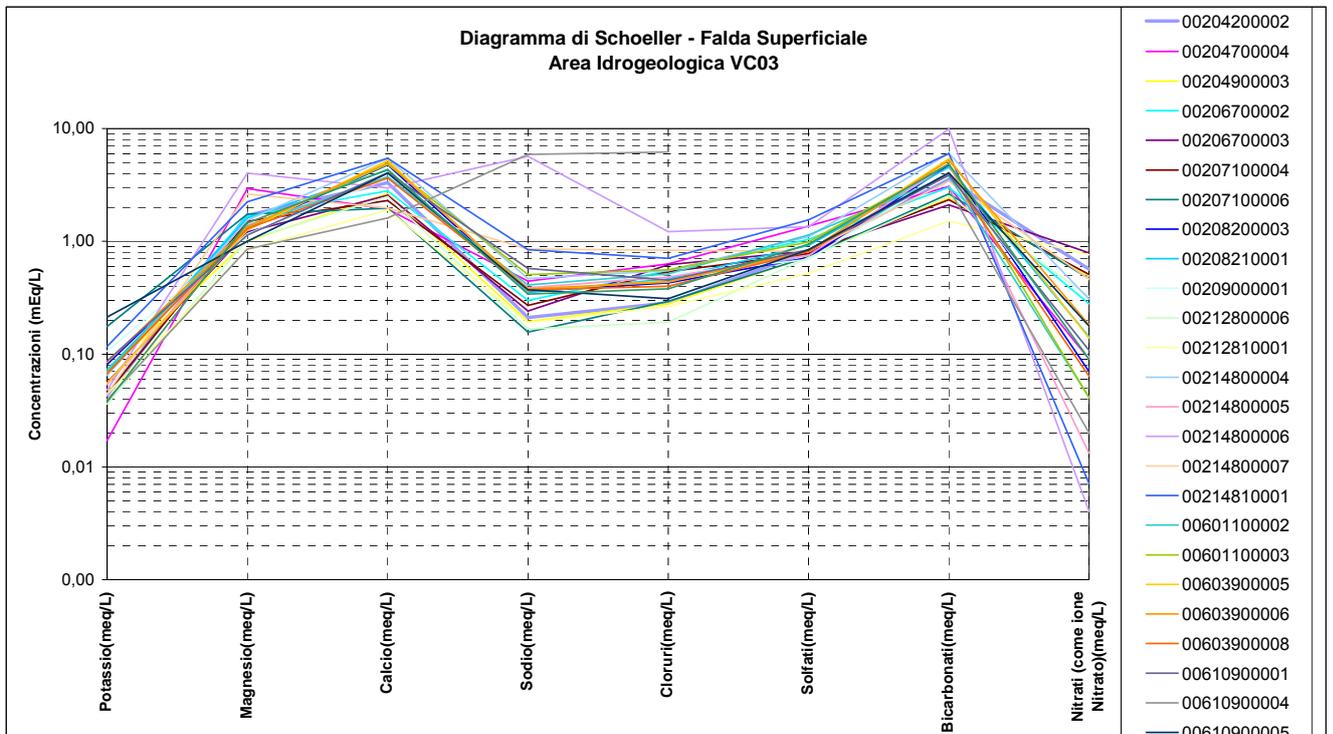
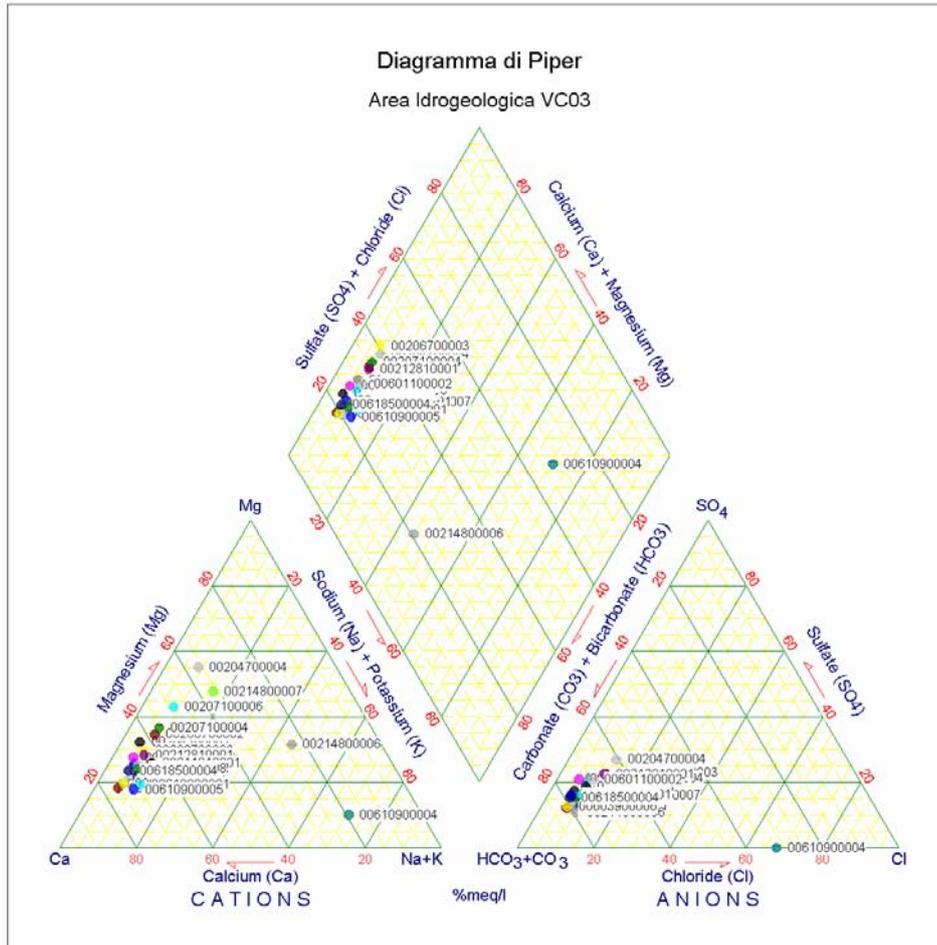
Rappresenta un'area molto estesa che si estende in direzione ONO-ESE, dalle propaggini moreniche dei Monti della Serra fino al Ticino con la presenza di ben 30 pozzi nel complesso omogeneamente distribuiti sul territorio. Si nota una sostanziale affinità idrochimica, testimoniata dagli andamenti sub paralleli delle linee di collegamento tra gli ioni in Schoeller, con il tipo bicarbonato calcico predominante, rilevando altresì un ampio trend di oscillazione tra i termini calcici e magnesiaci (Piper). Si osservano inoltre anche due modesti sottogruppi: il primo, caratterizzato da punti che denotano contenuti inferiori di cloruro e solfati (00205200003 e 00212700003), l'altro con concentrazioni leggermente superiori di sodio e cloruri (00215800001 e 002158P0003) che indicano l'influenza di fattori locali.



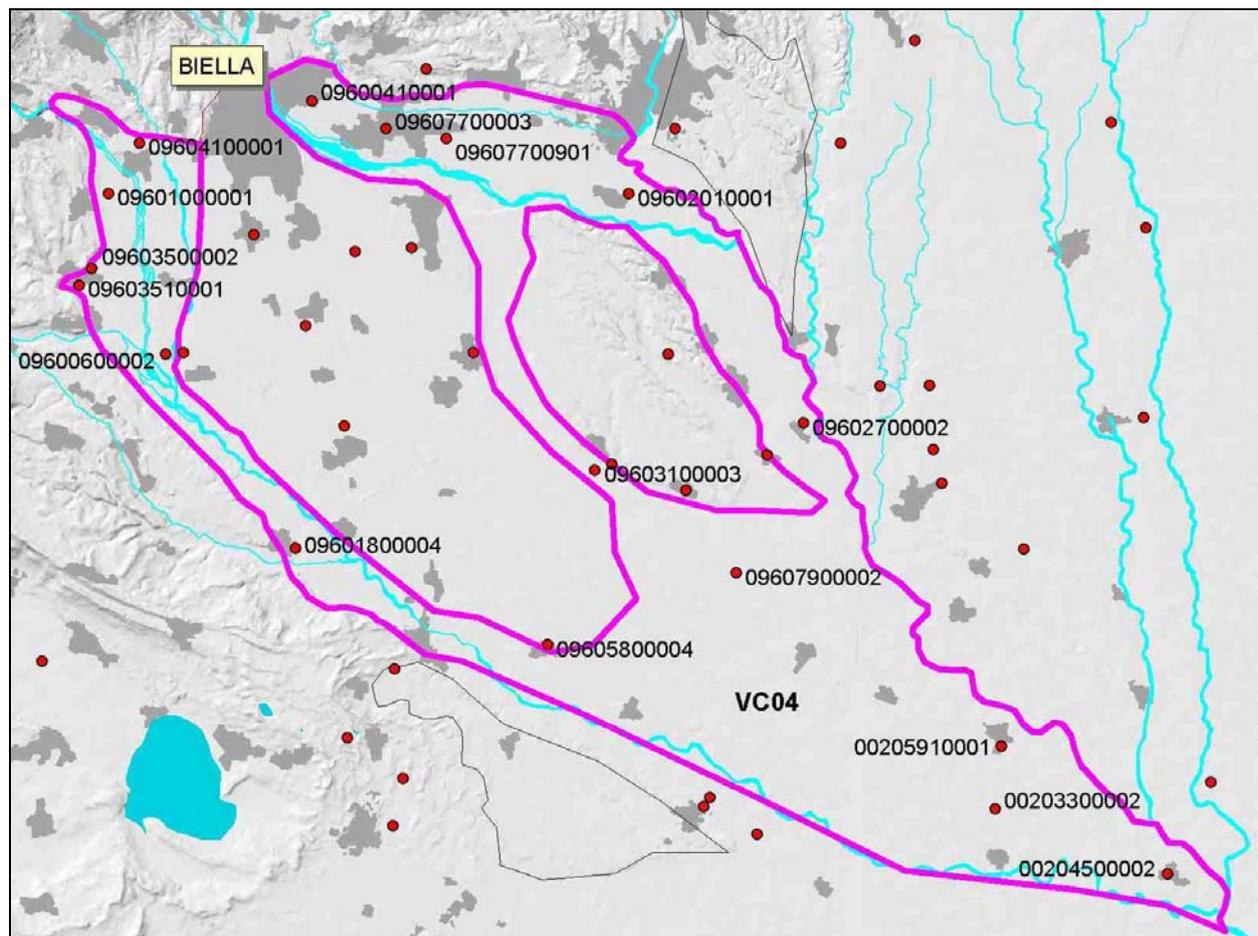
Area VC03



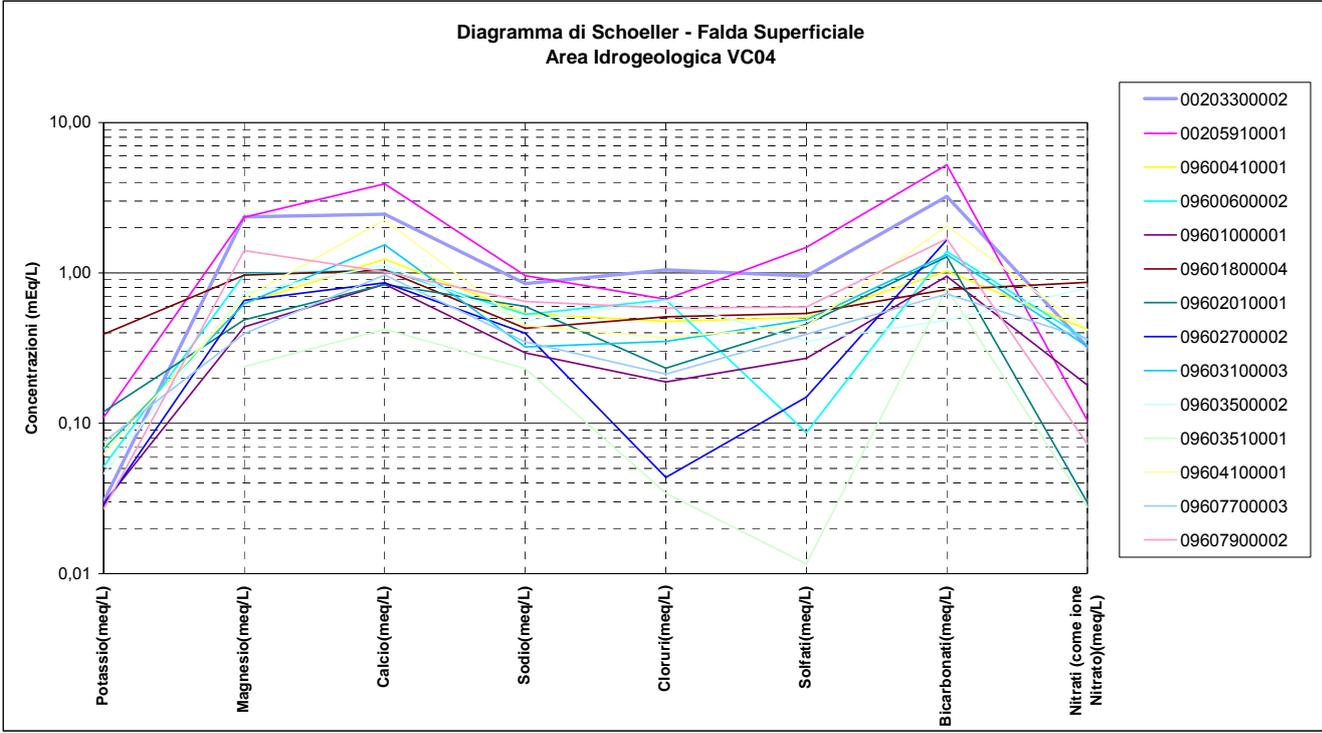
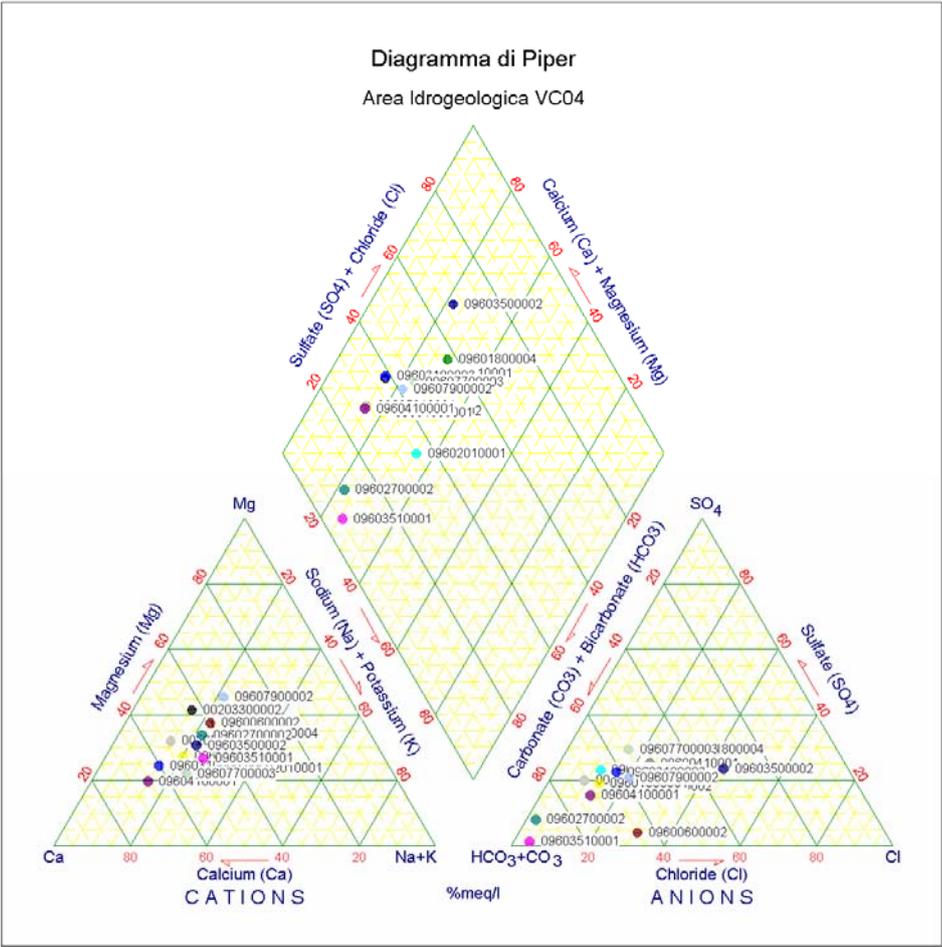
E' un area simile alla VC02 come orientazione in quanto hanno un confine longitudinale in comune che presenta una soddisfacente omogeneità nella distribuzione dei punti. Anche in questo caso si osserva una marcata analogia tra i trend idrochimici dei punti considerati che denotano un chimismo molto simile di tipo bicarbonato-calcico con lo stesso fenomeno di oscillazione, tra i termini calcici e magnesiaci, rilevato nell'area VC02. Si riconosce solo una marcata divagazione dal contesto generale rappresentata dal punto 0021480006, con chimismo cloruro sodico, legato probabilmente ad un diverso ambito geologico in quanto nell'area affiora una porzione di sedimenti marini miocenici-oligocenici. Da un punto di vista idrochimico non si riscontra comunque alcuna differenziazione tra le aree VC02 e VC03.



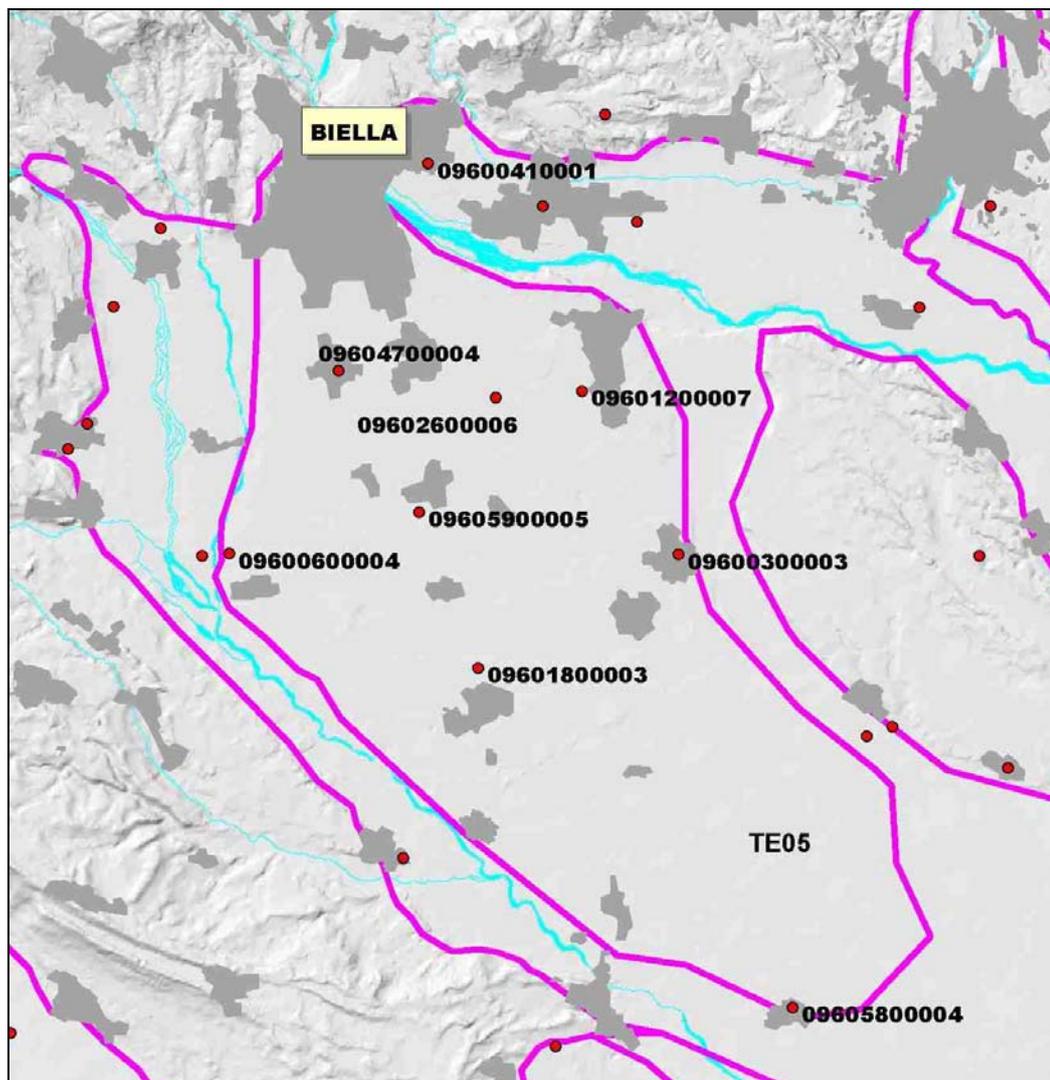
Area VC04



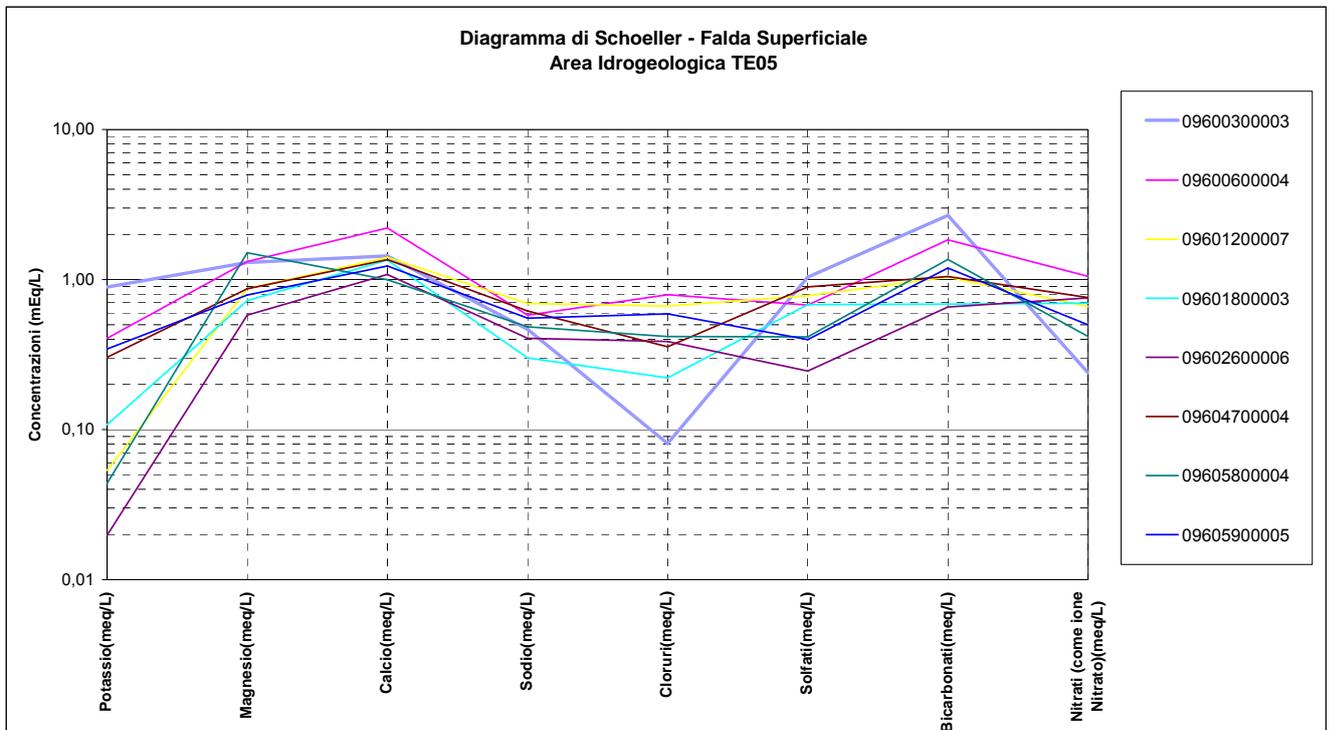
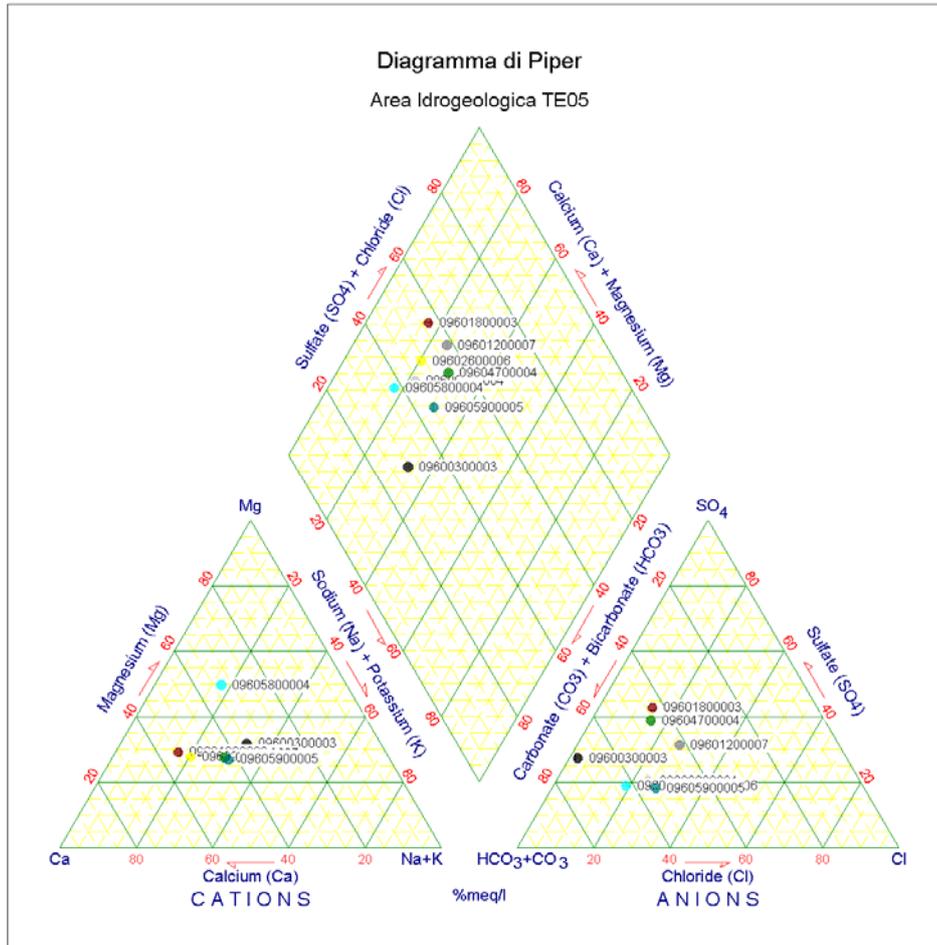
E' un'area delimitata dai corsi dei torrenti Elvo e Cervo caratterizzata da una conformazione contorta a causa della presenza di due terrazzi nella parte centrale e da una conseguente disomogeneità nella distribuzione dei relativi punti di monitoraggio. Esiste la possibilità che gli acquiferi dei terrazzi possano interagire limitatamente o parzialmente con la circolazione idrica sotterranea del settore di pianura in senso stretto; inoltre è presumibile anche un contributo da parte degli acquiferi circolanti all'interno dei depositi morenici (anche se di scarsa entità), come nel settore nord ovest dell'area in esame. Tutti gli elementi citati non depongono a favore di una omogeneità idrochimica per l'area VC04 che risalta dall'esame dei grafici di Piper e Schoeller dove si evidenzia la mancanza di familiarità tra le acque sotterranee esaminate con ampie oscillazioni tra i principali costituenti ionici.



Area TE05



Questo terrazzo ubicato all'interno dell'area VC04 denota una marcata variabilità idrochimica anche se i punti di monitoraggio sono ubicati all'interno di un settore abbastanza circoscritto. Questo aspetto può essere ricondotto alla tipologia dell'acquifero che essendo ospitato da prodotti nel complesso poco permeabili non manifesta quella continuità di circolazione su ampia scala che si riflette sul chimismo delle acque sotterranee.



Prime valutazioni di omogeneità sui corpi idrici sotterranei

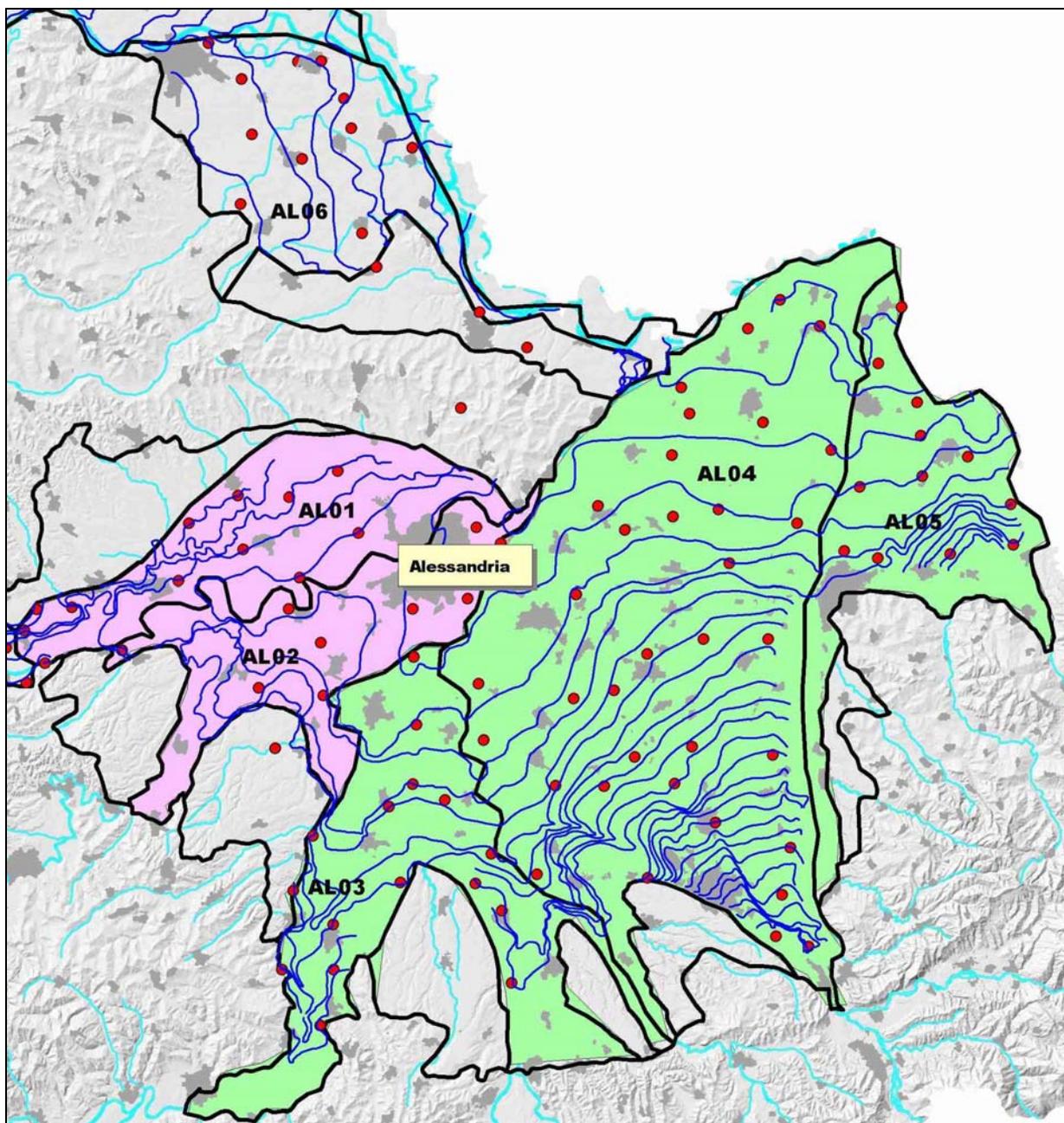
In relazione a quanto trattato in precedenza sono state effettuate alcune considerazioni sulle aree idrogeologiche, secondo dei raggruppamenti per contesto territoriale di riferimento nell'ottica di avere un quadro di insieme indirizzato alla definizione dei corpi idrici sotterranei omogenei dal punto di vista idrochimico. Nelle valutazioni che seguono vengono presi in considerazione anche aspetti di tipo geologico, idrogeologico (andamento piezometrico) e geomorfologico per arrivare alla definizione di tre situazioni tipo:

- aggregazione di aree idrogeologiche finalizzata alla definizione di corpi idrici sotterranei omogenei;
- scomposizione di aree idrogeologiche finalizzata alla definizione di corpi idrici sotterranei omogenei;
- individuazione di punti anomali, cioè punti che si discostano per le loro peculiarità dal contesto di riferimento, potenzialmente da escludere nelle successive elaborazioni ai fini del progetto.

Settore Alessandrino

Dai risultati delle valutazioni geochimiche effettuate ai paragrafi inerenti le aree idrogeologiche dell'alessandrino, emerge una situazione di similitudine per determinati settori sotto il profilo delle caratteristiche idrochimiche e dei relativi trend evidenziati. Infatti, una volta depurati i grafici di Piper e Schoeller di quei punti che denotano una influenza locale non legata ai fattori di circolazione idrica sotterranea su scala areale, si evidenzia una elevata correlazione tra le aree AL01 e AL02 e AL04 e AL05 ed in minor misura, ma sempre evidente, per le aree AL03 e AL04. Oltre agli aspetti geochimici, una valutazione degli elementi idrogeologici disponibili (carta piezometrica) rileva una situazione di non conclamato confinamento idraulico per le aree considerate, da cui deriva la possibilità di avere fenomeni di comunicazione idraulica anche se parziali. Alla luce di quanto esposto si può quindi considerare un'aggregazione che include le aree AL03, AL04 e AL05, ed un'altra che comprende le aree AL01 e AL02 (figura 14). L'area AL06 si può considerare intrinsecamente isolata e quindi non aggregabile con nessun altro settore.

Figura 14 - Aggregazione delle aree idrogeologiche AL01-AL02 e AL03-AL04-AL05 secondo settori affini dal punto di vista geochimico con controllo degli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici.



Settore Astigiano

Come trattato nella parte relativa alle valutazioni geochimiche dell'area AT01, non esistono i presupposti per individuare un'unica area di riferimento e tale area non può quindi essere considerata come un ambito idrogeologico paragonabile con altre aree idrogeologiche.

Una valutazione incrociata tra le risultanze idrochimiche ed i contesti geologico, geomorfologico ed idrogeologico ha permesso di individuare 5 settori (indicati nella tabella 19 e riportati nella figura 15 con T1, T2, T3, T4 e T5) contraddistinti da un insieme di punti che denotano caratteristiche di omogeneità sotto il profilo geochimico e che sottendono a loro volta porzioni della Valle Tanaro. A titolo di esempio nella figura 16 si riporta il grafico di Schoeller per l'area Tanaro 1 (T1) che evidenzia una sostanziale congruenza dei trend geochimici con l'eccezione del punto 00500500019 che denota l'influenza di fattori locali. Allo stesso tempo è stato altresì individuato un insieme limitato di punti che costituiscono, per la loro ubicazione e per una valutazione integrata degli elementi considerati in precedenza, delle presenze individuali senza alcuna correlazione con i punti adiacenti che esibiscono una rilevanza esclusivamente puntuale ai fini del monitoraggio.

Tabella 19 - Individuazione di settori omogenei nell'area AT01

AREA IDROGEOLOGICA AT-01 - AGGREGAZIONE DI PUNTI PER AREE DI RIFERIMENTO -		
<i>Sinistra Tanaro</i>	<i>Destra Tanaro</i>	<i>Punti Individuali</i>
TANARO 1	TANARO 2	
00502800002 (*)	00500500001	00423800001
00500500005	00500500002	00400300003
00500500007	00500500003	00502800001
00500500009	00500500004	00509600001
00500500011	00500500006	00509600003
00500500012	00509000001	00509600004
00500500013		
00500500014		
00500500016		
00500500017		
00500500018		
00500500019		
00500510001		
00500600001		
00500310001 (*)		
TANARO 4	TANARO 3	
00409900001	00505000001	
00409900003	00505000003	
00400300001	00505000004	
00400300002	00505000005	
00400300004 (*)	00505900001	
00410100002	00505900002	
00411300001	00505900003	
00414800001		
TANARO 5		
00402900022		
00406700002		
00421200001		
00421200002		
(*) punti al limite dell'area		

Figura 15 - Suddivisione dell'area idrogeologica AT01 secondo settori affini dal punto di vista geochimico con controllo degli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici

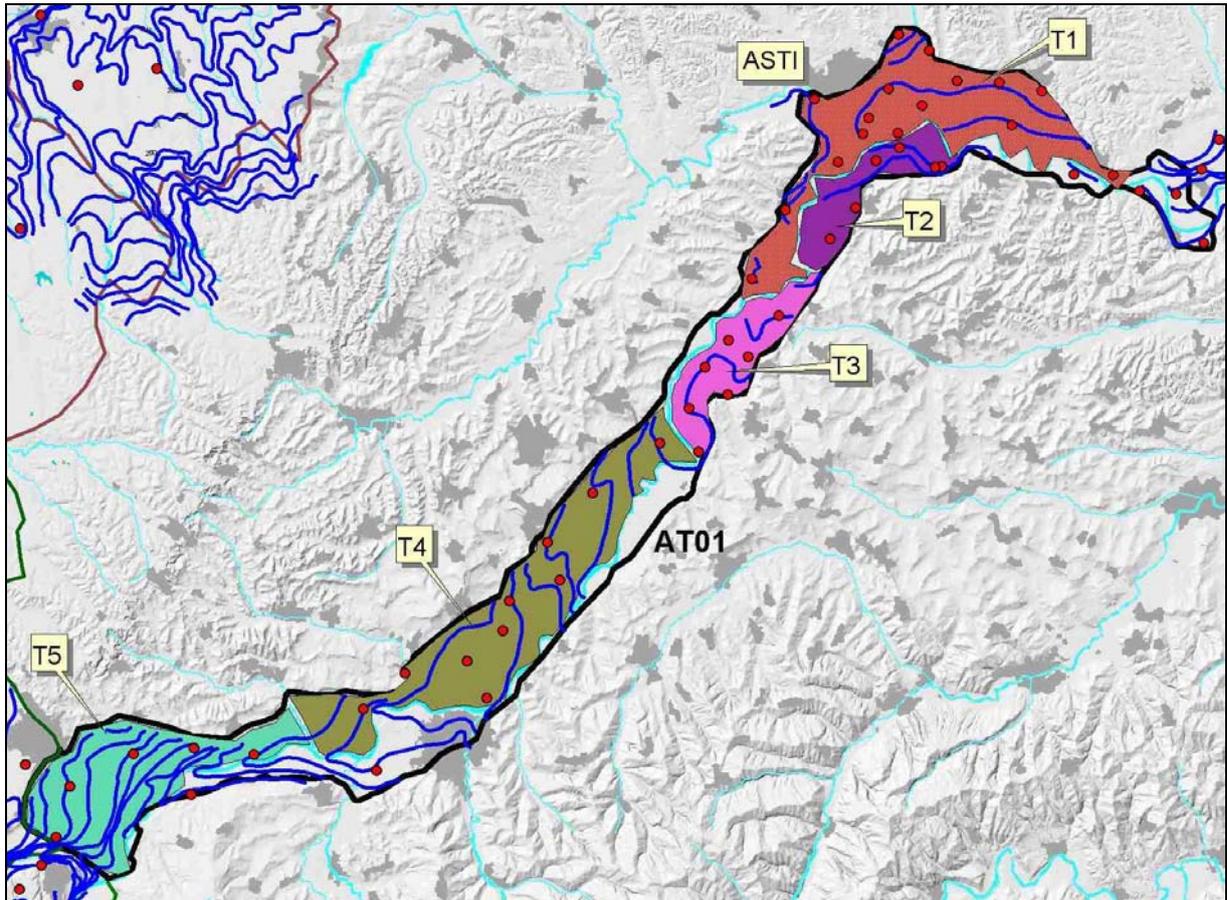
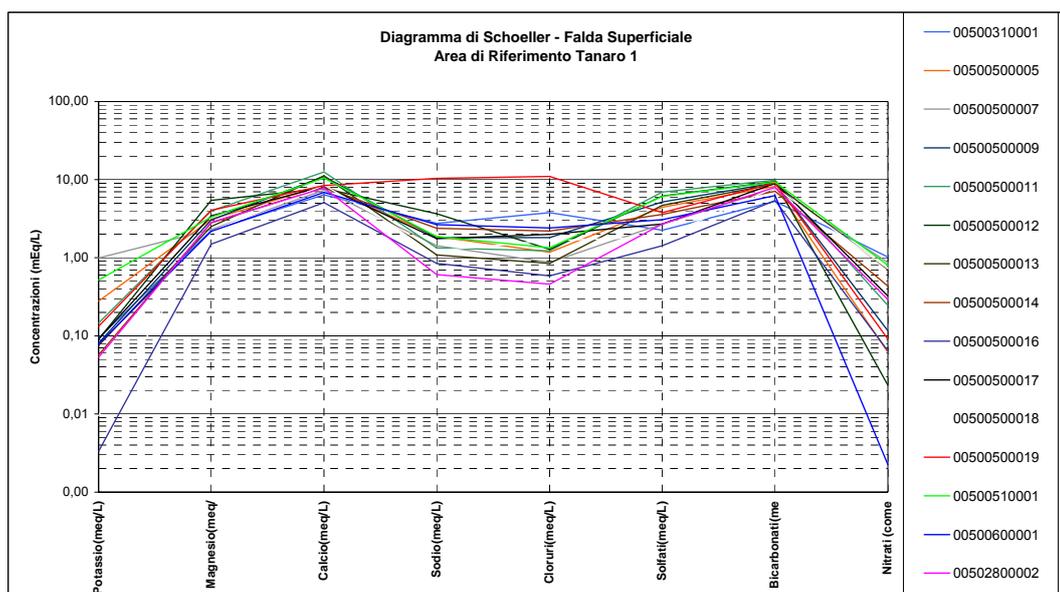


Figura 16 - Diagramma di Schoeller relativo ad una scomposizione di area idrogeologica (AT01) in una area di riferimento (Tanaro 1)

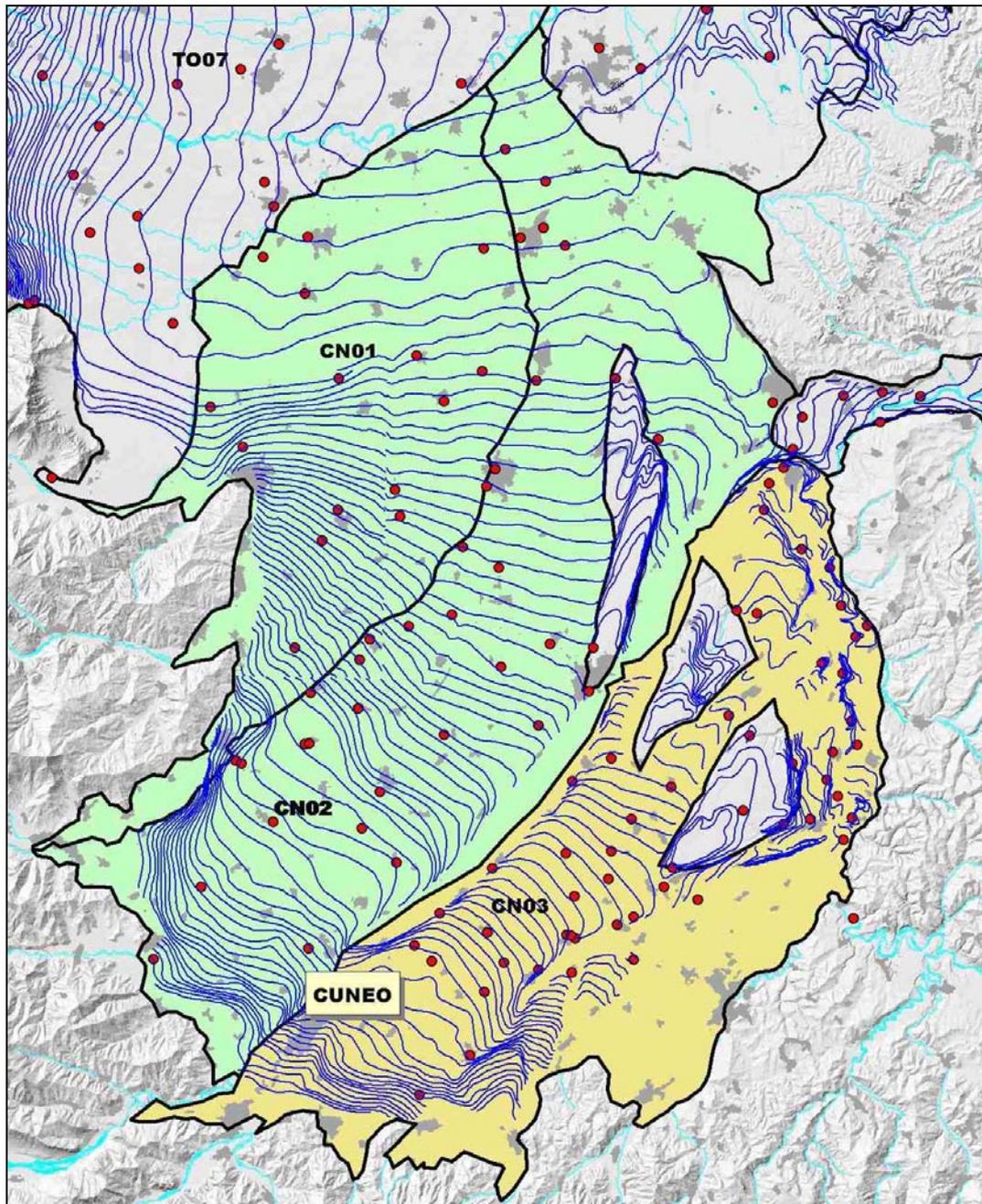


Settore Cuneese

Come evidenziato nei paragrafi precedenti riguardanti le valutazioni geochimiche, anche per alcune aree idrogeologiche pertinenti al contesto territoriale cuneese si osservano situazioni di similarità geochimica, in particolare per le aree CN01 e CN02, mentre l'area CN03 si distacca sensibilmente da una possibile aggregazione con le aree precedenti (figura 17). In tale area si rileva infatti una certa divergenza dei trend geochimici, introducendo la possibilità di una differente definizione dei suoi confini, anche su presupposti idrogeologici, visto l'andamento piezometrico irregolare, soprattutto nella parte nord, e la presenza di terrazzi. In questo caso si potrebbe prevedere anche una sua eventuale parcellizzazione in corpi idrici sotterranei secondari, come operato per l'area AT01.

Risalta, tuttavia, che per l'area CN03, in funzione delle sue complessità, siano necessari specifici approfondimenti.

Figura 17 - Aggregazione delle aree idrogeologiche CN01-CN02 secondo settori affini dal punto di vista geochimico con controllo degli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici



Settore Eporediese

Come evidenziato nel paragrafo di valutazione geochimica dell'area idrogeologica IV01, questo settore rappresenta un'area a se stante costituita da una pianura intramorenica confinata anche dal punto di vista geologico-geomorfologico. Pertanto, costituisce un corpo idrico sotterraneo separato da quello riferibile a porzioni più o meno allargate della pianura piemontese in senso stretto.

Settore Novarese

Le aree idrogeologiche del settore novarese evidenziano una situazione idrica sotterranea complessa che si riflette sulle risultanze delle elaborazioni geochimiche effettuate. Infatti la concomitanza di vari fattori, quali la notevole estensione in senso longitudinale (N-S), che favorisce l'insorgenza di gradienti di arricchimento ionico spostandosi da monte verso valle, un elevato gradiente idraulico, almeno nelle parti apicali, che origina delle circolazioni idriche sotterranee "veloci" con limitati tempi di interazione acqua roccia (che va ad amplificare il fattore precedente), uniti ad una distribuzione non ottimale dei punti di monitoraggio (come già motivato nei paragrafi dedicati), ma con una distribuzione prevalente in senso longitudinale, comporta una certa variabilità idrochimica che si riflette sulle elaborazioni geochimiche effettuate. Questo aspetto contrasta con la piezometria e con l'esame idrogeomorfico dell'Agogna, il corpo idrico che separa le due aree, da cui si deduce che quest'ultimo, per le sue caratteristiche, ed in relazione anche alla configurazione piezometrica, non appare una conclamata barriera idraulica. Tale aspetto viene in parte confermato da una valutazione separata effettuata su alcuni punti di monitoraggio ubicati abbastanza vicino tra settori di pianura opposti, in sinistra e destra Agogna (tra NO01 e NO02), che denota una sostanziale similarità idrochimica ipotizzando una possibile comune circolazione idrica sotterranea (figura 18).

Sono necessarie comunque ulteriori e più approfondite valutazioni prima di abbracciare in modo definitivo l'ipotesi di aggregazione tra le due aree idrogeologiche considerate (figura 19).

Figura 18 - Correlazioni geochimiche mediante il diagramma di Schoeller tra punti di monitoraggio ubicati relativamente vicino tra settori di pianura opposti, in sinistra e destra Agogna (tra NO01 e NO02)

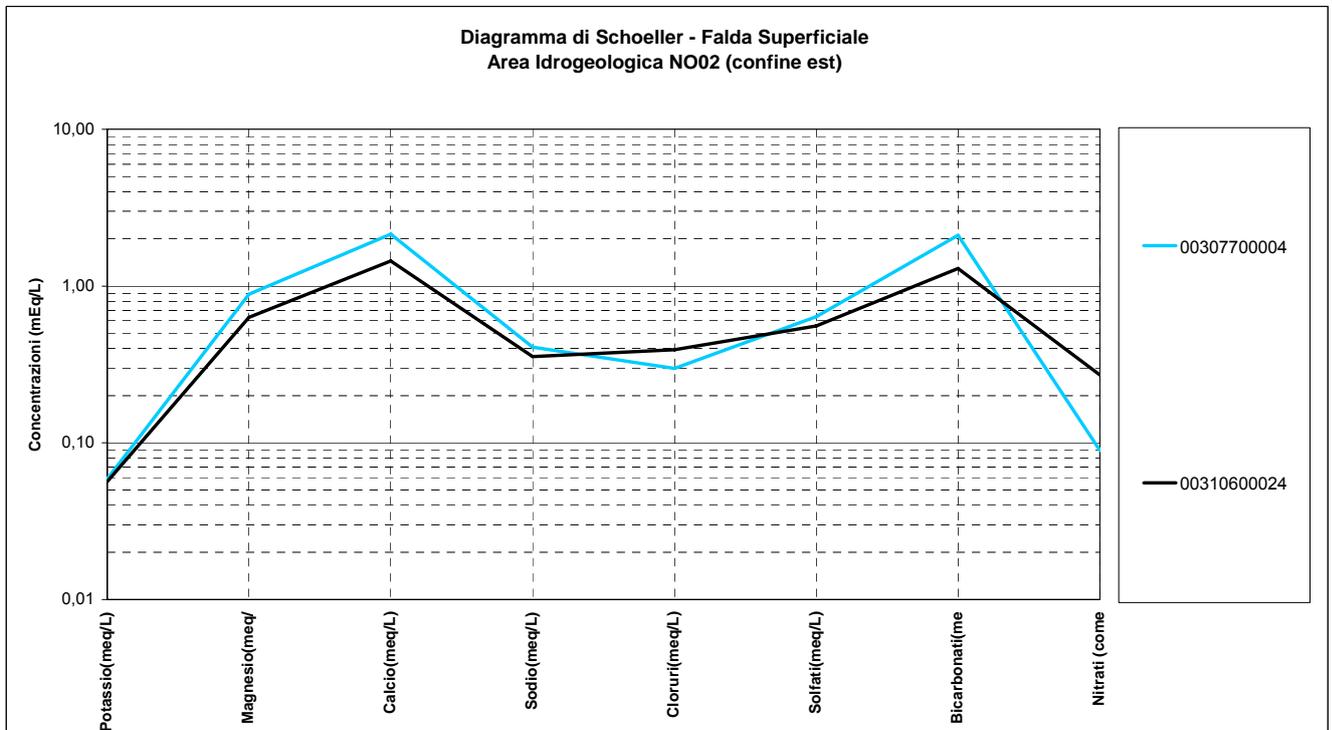
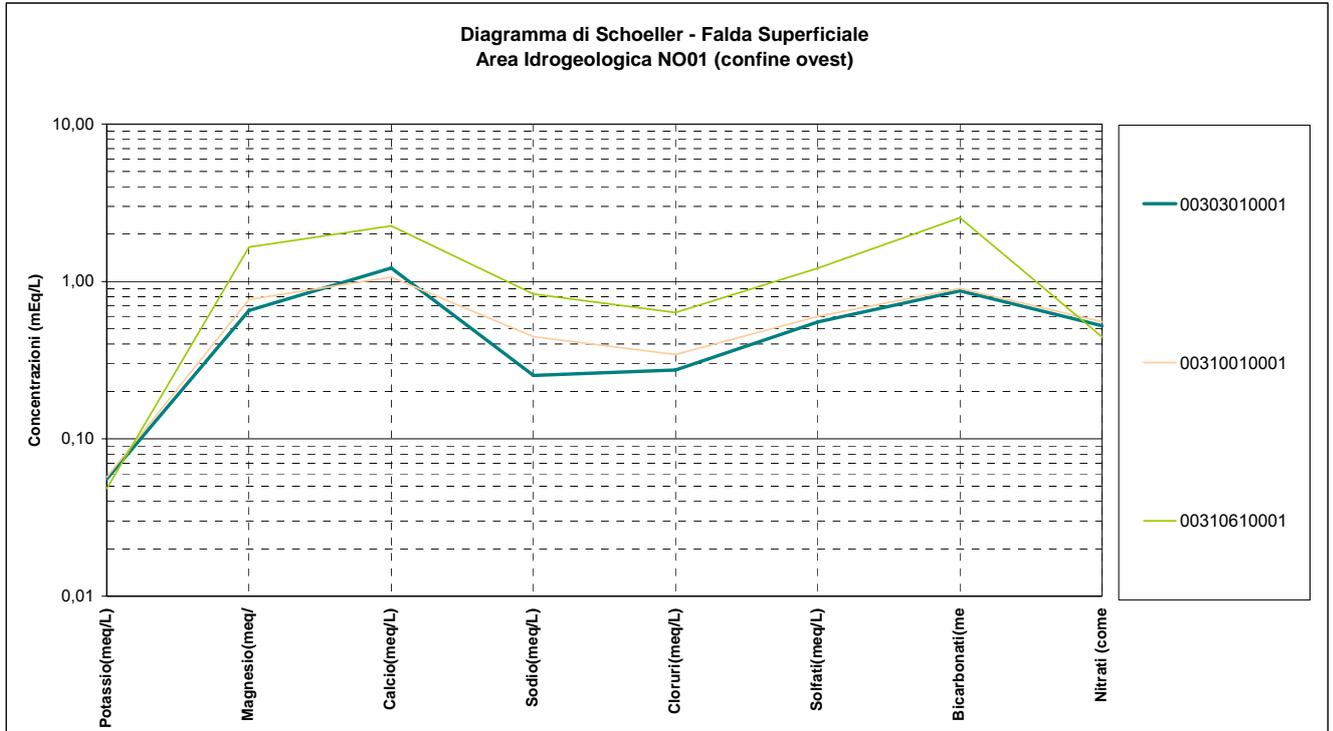
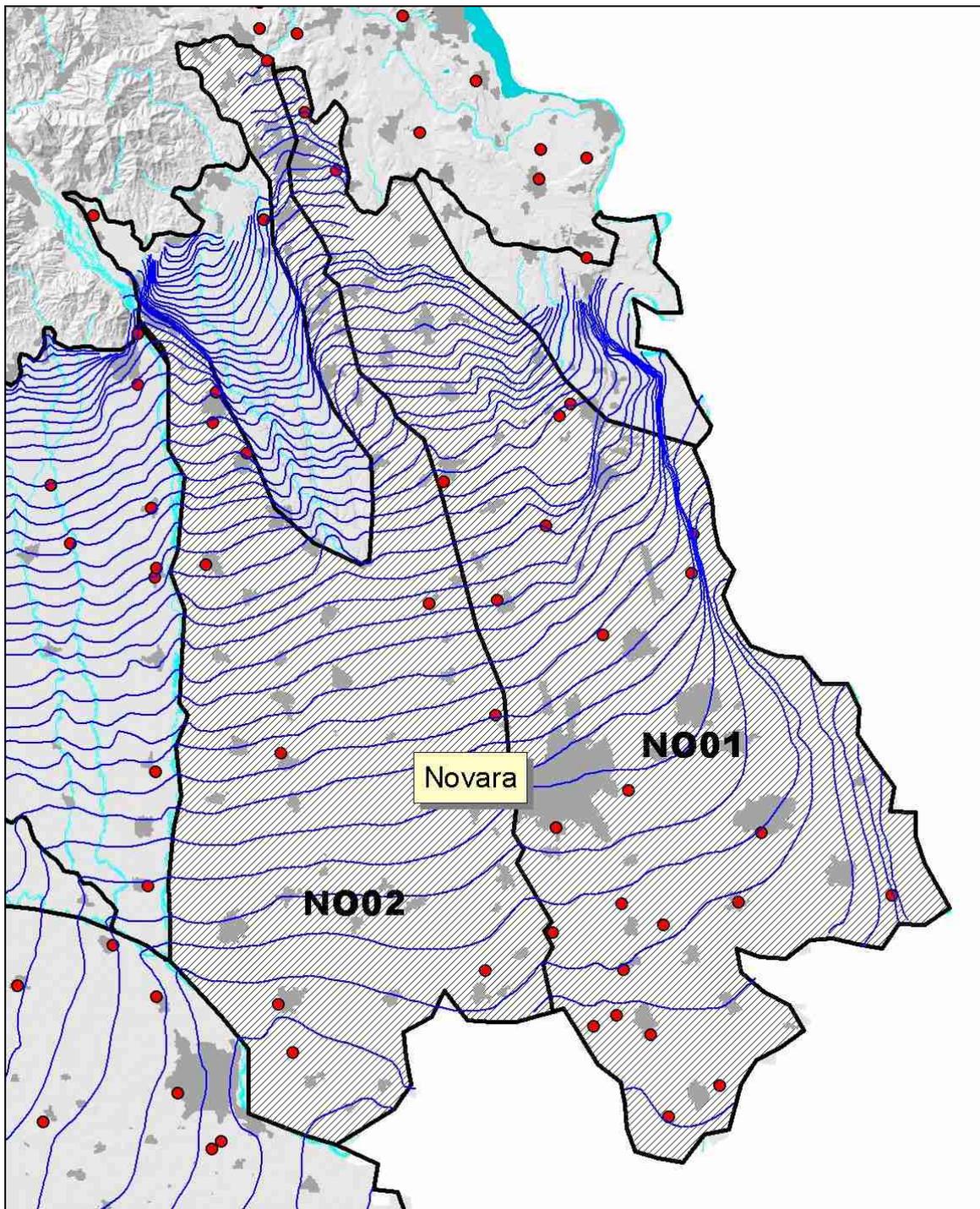


Figura 19 - Potenziale aggregazione delle aree idrogeologiche NO01 e NO02



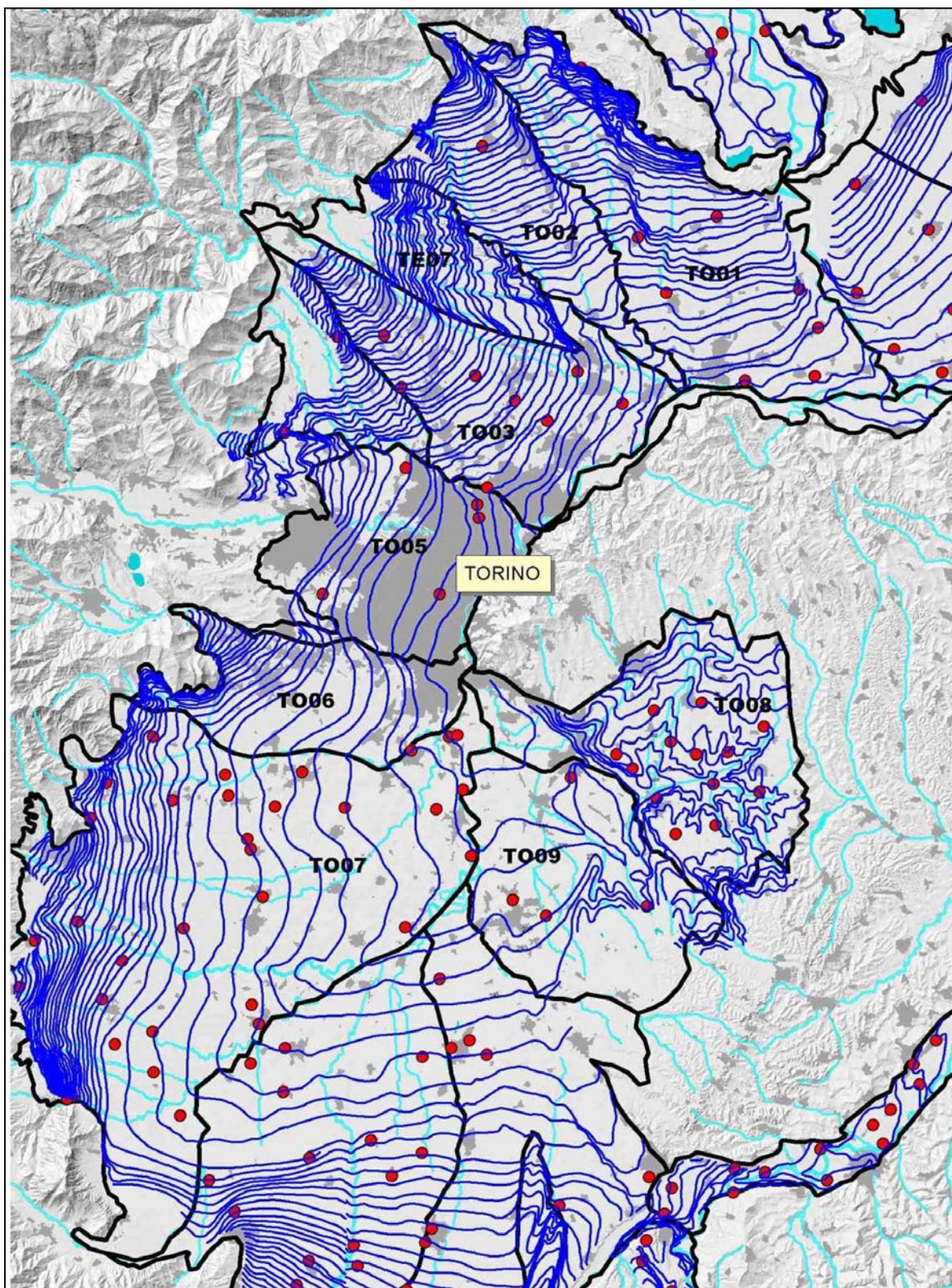
Settore Torinese

Questo settore è rappresentato da 9 aree idrogeologiche (figura 20) caratterizzate da una sostanziale individualità idrochimica. Questo aspetto non è legato tanto alle diverse circolazioni idriche sotterranee ipotizzabili, quanto alla presenza di situazioni locali che di fatto portano ad un'apparente situazione di separazione fisica tra le aree in oggetto. Infatti, la presenza di aree come TO02, TO04 e TO06, prive o con un solo un punto di monitoraggio, costituisce di fatto una situazione di "incomunicabilità" con le altre aree adiacenti. E' importante comunque risaltare che l'assenza (o l'estrema rarefazione) di punti di monitoraggio per determinate aree idrogeologiche costituisce un elemento di limitatezza intrinseca per le reti di monitoraggio delle acque sotterranee, dovuta al fatto che la costruzione di quest'ultime si basa inizialmente su presupposti esclusivamente geometrici e solo successivamente si cerca di adattarle a presupposti idrogeologici. Tutto questo riflette il normale iter di sviluppo ed evoluzione delle reti di monitoraggio delle acque sotterranee che prevede il passaggio ad un criterio idrogeologico solo dopo avere consolidato la banca dati disponibile, costruita sul modello di riferimento geometrico, e dopo avere verificato le serie storiche disponibili e le eventuali tendenze riscontrate. Inoltre, le aree sguarnite di punti possono essere ricondotte sia a settori marginali dell'area di monitoraggio, o ad aree metropolitane dove risulta difficile recuperare dei punti di controllo che non siano i piezometri appositamente costruiti.

E' interessante sottolineare, ad esempio, la notevole affinità idrochimica esistente tra TO01 e TO03, nonostante la presenza tra le due di TO02 (con un solo punto di monitoraggio), che potrebbe deporre a favore di un raggruppamento tra le tre aree; mentre TO06 (senza punti di monitoraggio) e TO07 potrebbero essere considerata un'unica aggregazione di aree basandosi però solo su presupposti idrogeologici, quindi tenendo solo conto dell'andamento piezometrico.

Un discorso a parte meritano invece le aree TO08 e T009, contigue e separate dal Banna-Rioverde, che apparentemente, per considerazioni idrogeomorfiche, non appare una rilevante barriera idrogeologica. L'esame piezometrico depone invece per una sostanziale separazione tra le due aree, come pure le valutazioni idrochimiche, anche se in presenza di una mediocre distribuzione di punti per TO09.

Figura 20 - Suddivisione delle aree idrogeologiche all'interno del settore torinese

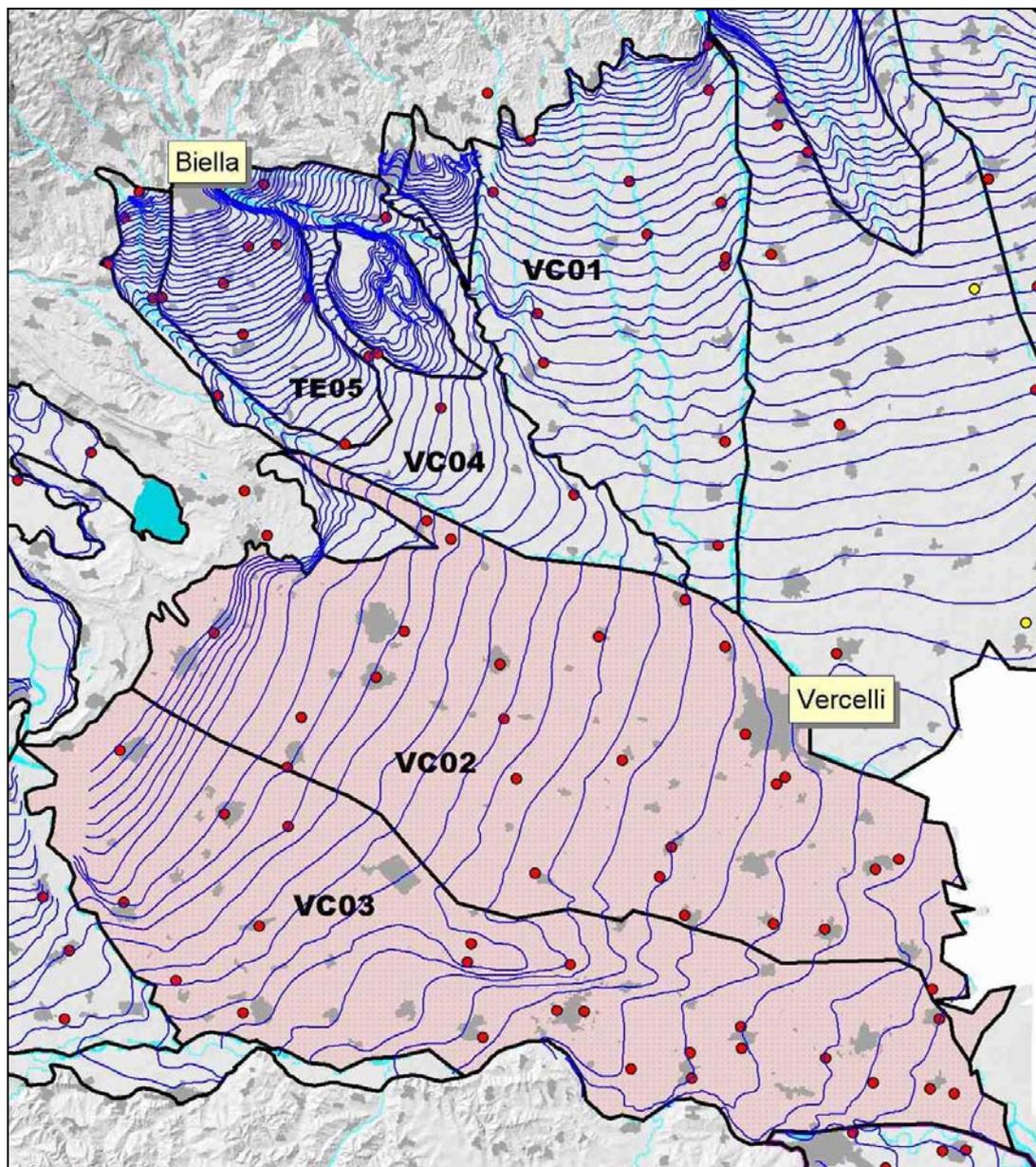


Settore Vercellese

Nell'area vercellese risalta una maggiore affinità idrochimica per le aree VC02 e VC03, un aspetto avvalorato anche dall'andamento piezometrico per il quale la Marcova non appare una conclamata barriera idrogeologica. Pertanto, queste aree potrebbero essere considerate come un unico settore (figura 21), mentre rimangono da valutare le eventuali implicazioni tra il terrazzo biellese TE05 (almeno nella sua parte terminale sud) ed il settore di pianura riferito all'area idrogeologica VC04.

Per la parte rimanente del comprensorio vercellese le risultanze dei grafici geochimici rilevano una situazione di apprezzabile omogeneità all'interno delle singole aree idrogeologiche senza evidenti elementi che possono suggerire delle ulteriori aggregazioni tra le aree adiacenti.

Figura 21 - Aggregazione delle aree idrogeologiche VC02 e VC03 secondo settori affini dal punto di vista geochimico con controllo degli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici

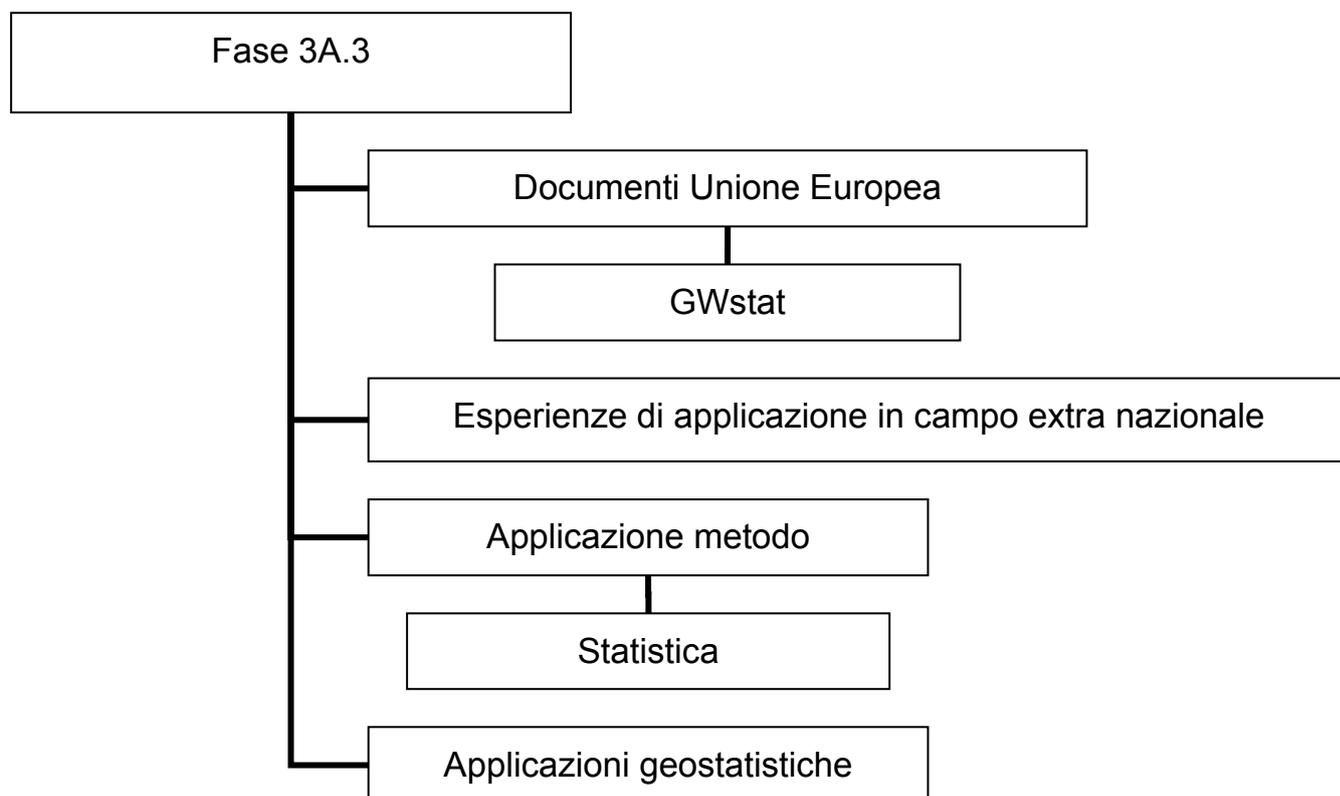


Punti anomali

Nell'ambito delle valutazioni sui punti di monitoraggio verso gli areali di pertinenza, sia come singole aree idrogeologiche che come loro aggregazione, sono stati determinati dei pozzi che si discostano notevolmente dai principali trend geochimici individuati nell'areale di competenza (si vedano ad esempio i pozzi riportati nella tabella 19 per l'area idrogeologica AT01). Questi punti evidenziano generalmente delle situazioni locali e non sono correlabili con i punti adiacenti perdendo di significato nell'ottica di una valutazione sotto il profilo idrogeologico di un settore dell'area di monitoraggio in quanto evidenziano situazioni legate a circolazioni idriche sotterranee localizzate o a situazioni contingenti in superficie nei dintorni del punto, che si riflettono sulle caratteristiche delle acque sotterranee captate. Ragionando nell'ottica di applicazione dei presupposti della WFD alle acque sotterranee, e quindi in una prospettiva più orientata alla configurazione idrogeologica relativa ad un determinato corpo idrico sotterraneo, tali punti dovrebbero essere momentaneamente sospesi da una valutazione di tipo areale idrogeologico pur non negando la loro rilevanza per il controllo di situazioni ambientali in un determinato raggio di influenza dalla loro ubicazione.

FASE 3A.3 – VALUTAZIONE E SPERIMENTAZIONE DELLE ELABORAZIONI STATISTICHE E GEOSTATISTICHE

Tale fase, che prevede la sperimentazione di elaborazioni proposte nell'ambito di applicazione della WFD al fine di identificare eventuali tendenze nei contaminanti delle acque sotterranee, è stata svolta secondo lo schema seguente:



Documenti Unione Europea

“Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results” (Grath et al., 2001) è il titolo del documento che propone lo sviluppo di particolari algoritmi e quindi un metodo statistico appropriato per identificare l'esistenza di tendenze nelle concentrazioni dei contaminanti al fine di prevenire e controllare la contaminazione delle acque sotterranee.

Il metodo statistico proposto è applicabile attraverso l'utilizzo del software GWstat, scaricabile gratuitamente dal sito web del progetto <http://www.wfdgw.net>.

Per l'utilizzo è consultabile la guida “Quo Data Institute (2001).

Il programma GWstat nasce dai gruppi di lavoro attivati a livello europeo nell'ambito del recepimento della WFD con la finalità di essere facilmente utilizzato da tutti gli Stati membri e di permettere un confronto diretto dei risultati ottenuti.

Il programma calcola:

- Indice di Rappresentatività;
- “Status Assessment” (media aritmetica, media aritmetica pesata, media Kriging e limiti di confidenza);
- Tendenza lineare;
- Inversione di tendenza.

Esperienze di applicazione in campo extra nazionale

Al fine dell'implementazione della WFD il programma GWstat è stato sperimentato in altri paesi.

In particolare è stato utilizzato da:

- Romania, per l'analisi qualitativa della falda freatica nella piana del fiume Barlad in relazione ai composti azotati, considerati fonte di rischio per l'acquifero: i dati di nitrati, nitriti e ammonio, provenienti da 31 pozzi monitorati per 8 anni, sono stati trattati in maniera statistica; oltre all'evoluzione nel tempo della concentrazione media i dati chimici sono stati infatti elaborati con GWstat per ottenere l'indice di Rappresentatività, lo status assessment e la tendenza/inversione di tendenza.
- Danimarca, in associazione con Francia, Gran Bretagna e Romania, per l'implementazione della WFD su un bacino pilota (bacino del fiume Somes): GWstat è stato applicato sia sui dati quantitativi provenienti dal monitoraggio di 98 pozzi relativi alla falda superficiale per l'individuazione di trend nel livello piezometrico (con il calcolo dell'indice di Rappresentatività e la valutazione di trend sia annuali che stagionali), sia sui dati qualitativi provenienti da un numero inferiore di pozzi (i dati di pH, conducibilità, ossigeno disciolto, nitrati, ammonio, cloruri e pesticidi sono stati spazializzati e ne è stato valutato il trend).

Applicazione metodo

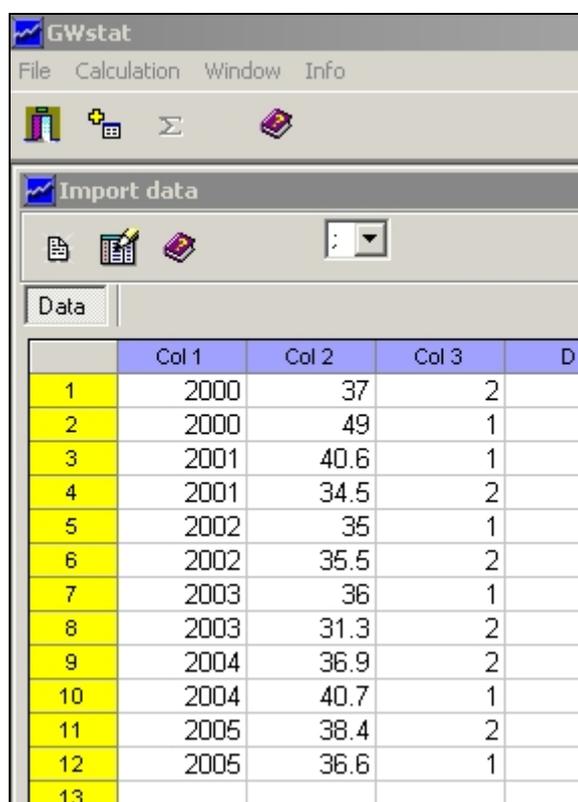
Il metodo è stato sperimentato inizialmente su di un punto, l'applicazione è stata poi estesa ad un'intera area ritenuta significativa nella fase successiva.

L'applicazione sperimentale ha riguardato il parametro nitrati, ritenuto significativo per questo tipo di elaborazione.

Per eseguire i calcoli il programma necessita che i dati vengano importati in tabelle in formato Excel 5.0/95. Questa è una limitazione, in quanto rende indispensabile il salvataggio dei files necessariamente in formato Excel in una versione non recente.

In figura 22 è riportato un esempio di dati importati; le colonne rappresentano, da sinistra a destra, l'anno di monitoraggio, il valore di nitrati in mg/L e la campagna di monitoraggio.

Figura 22 – Tabella di dati



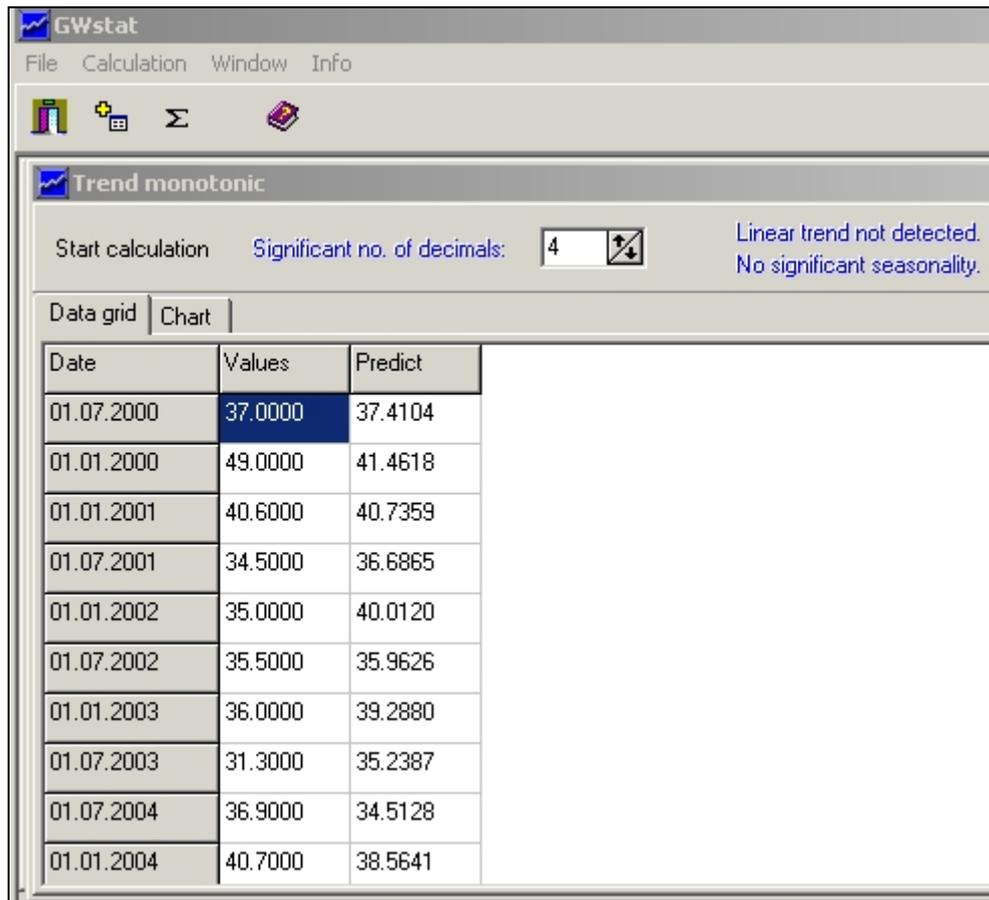
The screenshot shows the GWstat software interface. At the top, there is a menu bar with 'File', 'Calculation', 'Window', and 'Info'. Below the menu bar is a toolbar with several icons. The main window is titled 'Import data' and contains a 'Data' tab. The data table has four columns: 'Col 1', 'Col 2', 'Col 3', and 'D'. The rows are numbered 1 to 13. The data in the table is as follows:

	Col 1	Col 2	Col 3	D
1	2000	37	2	
2	2000	49	1	
3	2001	40.6	1	
4	2001	34.5	2	
5	2002	35	1	
6	2002	35.5	2	
7	2003	36	1	
8	2003	31.3	2	
9	2004	36.9	2	
10	2004	40.7	1	
11	2005	38.4	2	
12	2005	36.6	1	
13				

Una volta importati i dati, è possibile calcolare la tendenza lineare (figura 23).

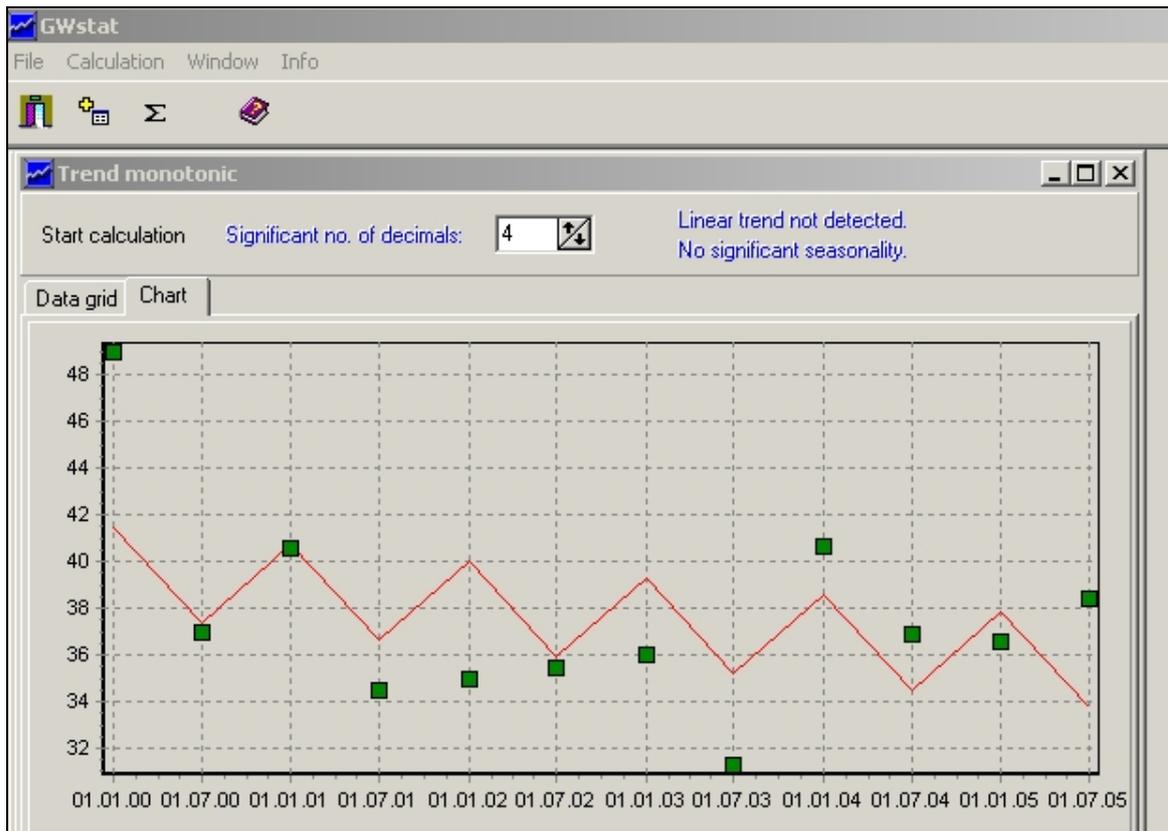
I risultati dei calcoli sono visibili a destra della videata, dove compare un commento inerente alla presenza di trend, significatività relativa e stagionalità. Nel caso dell'esempio riportato non è stata individuata alcuna tendenza lineare.

Figura 23 – Calcolo della tendenza



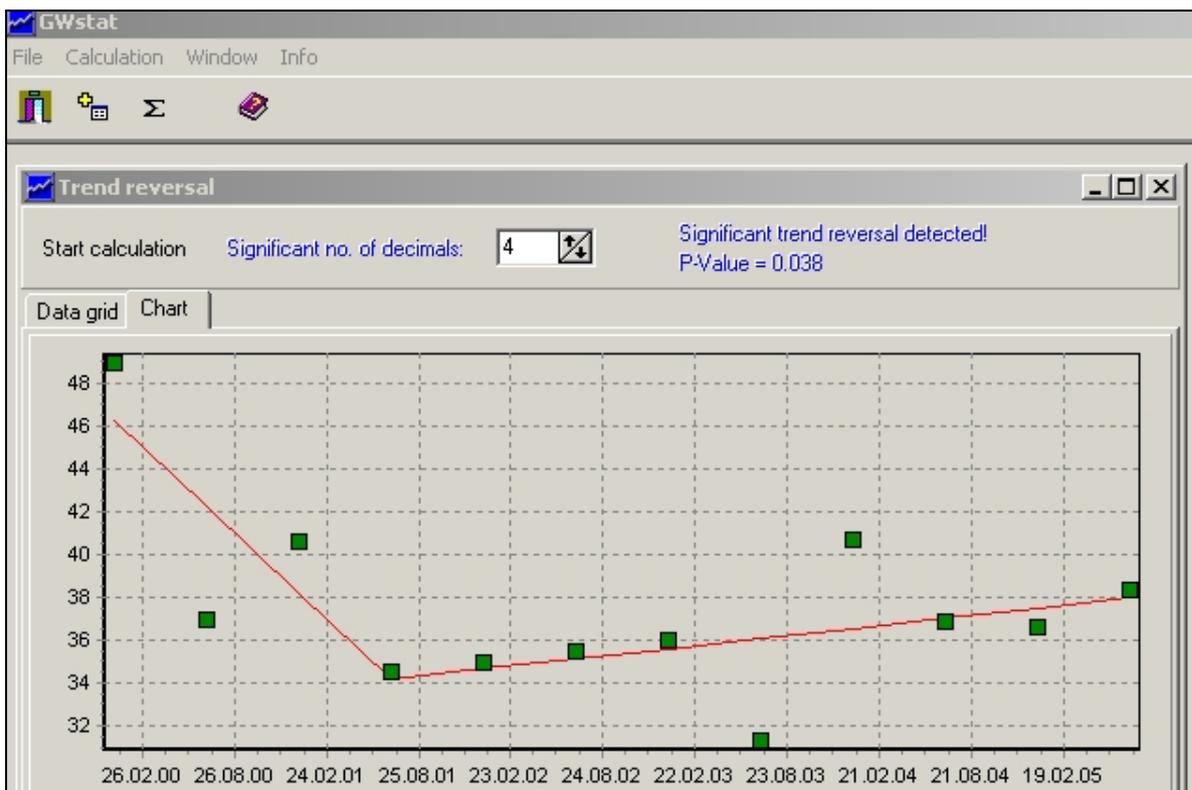
Il programma permette di visualizzare graficamente i risultati in maniera molto veloce (Figura 24).

Figura 24 – Grafico della tendenza lineare



E' stata inoltre verificata la presenza di inversione di tendenza, un esempio di rappresentazione grafica è riportata in figura 25.

Figura 25 – Grafico dell'inversione di tendenza



Il programma si è rivelato di facile utilizzo in quanto l'interpretazione dell'andamento dei dati viene fornita dallo stesso in maniera sintetica e immediata. Appare invece più laboriosa la preparazione dei database da introdurre per i calcoli e il salvataggio e la conseguente archiviazione dei risultati ottenuti.

Oltre alle applicazioni di tipo statistico il programma prevede analisi sulla distribuzione spaziale del dato, al fine di valutarne l'omogeneità e quindi la rappresentatività all'interno di un corpo idrico.

Tuttavia questa funzionalità geostatistica si è dimostrata poco adeguata, soprattutto nei confronti degli strumenti geostatistici in nostro possesso, sviluppati e verificati nell'ambito delle attività per l'aggiornamento delle zone vulnerabili da nitrati (ex DPGR 9/R). Tali elaborazioni si possono infatti considerare più evolute, complete, aggiornate ed in grado di produrre risultati superiori.

Pertanto, si è ritenuto opportuno di non sviluppare questa parte anche se incorporata in GWstat.

Applicazioni geostatistiche

Come accennato in precedenza, parallelamente alla sperimentazione di GWstat, sono state utilizzate le esperienze in campo geostatistico acquisite per finalità diverse; in particolare le elaborazioni svolte per la spazializzazione dei dati di stato sui nitrati a scala regionale (Analisi statistiche spaziali sui valori di nitrati -allegato 8- di: "Andamento dei nitrati nelle acque superficiali e sotterranee anni 2000-2005"). Tali attività si collocano nell'ambito del processo di revisione del DPGR 9/R utilizzando la suddivisione in classi proposta dalla "Direttiva Nitrati" (91/676/CEE).

I termini areali di riferimento per l'elaborazione dei dati sono state le aree idrogeologiche, considerate singolarmente o a livello di raggruppamento di aree.

Il procedimento di aggregazione delle aree ha permesso di superare il concetto delle aree idrogeologicamente separate e di considerare un numero maggiore di punti all'interno del settore di riferimento migliorando la risposta dell'algoritmo d'interpolazione geostatistica.

Nel dettaglio, il processo di revisione/aggregazione delle aree idrogeologiche inizialmente definite ha considerato i seguenti accorpamenti nell'ambito dei settori di riferimento:

Settore Alessandrino: Aree Idrogeologiche: AL01-AL02 e AL03-AL04-AL05

Settore Cuneese: Aree Idrogeologiche: CN01-CN02

Settore Novarese: Aree Idrogeologiche: NO01-NO02

Settore Torinese: Aree Idrogeologiche: TO06-TO07

Settore Vercellese: Aree Idrogeologiche: VC02-VC03

Il processo di accorpamento non è stato ovviamente implementato per tutte le aree idrogeologiche della regione in quanto vi sono situazioni per le quali è risultato invece opportuno operare una scomposizione delle aree idrogeologiche, in particolare per le aree CN03 e AT01.

L'area idrogeologica CN03, infatti, presenta evidenti disomogeneità sia per le caratteristiche idrochimiche di base dei punti di monitoraggio, che per i dati dei nitrati, denotando una possibile differenziazione al suo interno. Sono stati perciò identificati due settori: quello più a nord caratterizzato da una parcellizzazione degli acquiferi liberi principali ed uno a sud caratterizzato sostanzialmente da un unico acquifero. L'analisi geostatistica è stata pertanto applicata su due ambiti territoriali diversi in seno all'area CN03.

Per quanto riguarda invece l'area AT01, sicuramente meno importante per la problematica dei nitrati, il settore di pianura della Valle Tanaro a cui si riferisce rappresenta un'area senza i presupposti di confinamento idraulico teoricamente presenti in tutte le altre aree trattate in precedenza, dato che l'asta fluviale del Tanaro costituisce una barriera idraulica tra i punti ubicati nelle sponde opposte. Inoltre, trattandosi di una valle incassata con il fiume sostanzialmente in erosione, si possono verificare delle compartimentazioni dei settori di pianura alluvionale anche in senso trasversale, interessando parti diverse del materasso alluvionale pure nell'ambito dello stesso settore orografico.

Analisi statistica spaziale per i dati sui nitrati

Per i pozzi ricadenti in ogni singola area di riferimento individuata è stata effettuata una analisi statistica spaziale volta a verificare se esistevano anomalie nei dati. Le anomalie in questo caso risultano da un confronto tra le concentrazioni di nitrati rilevate in un determinato pozzo, in relazione ad una precisa ubicazione territoriale, ed i valori evidenziati dai pozzi limitrofi. Questo processo permette di individuare dove vi siano forti incongruenze tra i valori riscontrati in una certa zona e quelli del pozzo in esame. In particolare, si è puntato a verificare l'appartenenza di un certo pozzo all'ambito di monitoraggio di riferimento, per escludere eventuali situazioni locali da non introdurre nella successiva operazione di spazializzazione.

Si sono pertanto indagate tramite *Parallel Plot* le concentrazioni di solfati e calcio, costituenti di base delle acque con concentrazioni generalmente costanti all'interno di

una specifica area di riferimento, dei singoli pozzi in relazione alla posizione geografica e agli altri pozzi nelle vicinanze. Questo permette di individuare pozzi spazialmente vicini e correlarli al valore di concentrazione per evidenziare dove vi siano casi di valori molto difforni tra loro.

In alcuni casi si è inoltre analizzata la presenza o meno di un trend ben evidente tra la direzione di scorrimento della falda e l'andamento della concentrazione dei nitrati tramite regressione di tipo lineare su una o due variabili indipendenti che sono state utilizzate per indicare la direzione principale della falda (le coordinate x e y dei pozzi).

In ultimo si è verificata l'autocorrelazione spaziale dei dati di calcio e solfati per evidenziare la presenza di cluster nella distribuzione dei dati tramite analisi LISA e I di Moran. Con questa analisi si definisce un certo raggio di ricerca entro il quale viene valutato ogni singolo pozzo in confronto ai parametri medi della zona individuata e si producono diagrammi e cartografie nelle quali si evidenziano eventuali "outlayer" rispetto al contesto e aggregazione di pozzi fortemente correlati tra loro.

Spazializzazione dei dati

I dati sui nitrati, derivanti dai pozzi per ciascuna delle aree di riferimento e bonificati da eventuali anomalie descritte dalla analisi statistica spaziale, sono poi stati spazializzati per definire sul territorio la suddivisione di dettaglio delle aree che superano la soglia di contaminazione.

Le metodologie adottate dalla spazializzazione sono riconducibili a tre tipologie:

1. **tecnica geostatistica**, che ha lo scopo di verificare se sussistono le condizioni per la definizione di un modello di distribuzione nello spazio della concentrazione dei nitrati attraverso analisi variografica e successiva spazializzazione dei dati puntuali tramite la tecnica del kriging ordinario. L'analisi variografica è stata eseguita per ogni area di riferimento. Il variogramma esprime l'andamento della varianza campionaria al variare della distanza dei punti di campionamento presi a coppie e raggruppati per intervalli determinati di distanza (lag). Idealmente la varianza dovrebbe aumentare all'aumentare della distanza tra le coppie di punti fino a raggiungere un valore più o meno costante (sill) ad una certa distanza di separazione (range). In teoria il semivariogramma dovrebbe passare per l'origine per distanze tra i campioni tendenti a zero, ma la variabilità su microscala o rispetto ad una scala inferiore a quella del campionamento, insieme ad eventuali errori di misura, comportano una varianza non nulla per distanze tendenti a zero (effetto nugget). I campioni separati spazialmente da una distanza superiore al range possono considerarsi spazialmente non correlati.

Quando l'analisi variografica ha individuato una possibile correlazione tra l'andamento della varianza e la distanza dei pozzi presi a coppie, indice di stazionarietà e omogeneità statistica dei dati considerati, si è sviluppata la funzione del modello con la migliore approssimazione al variogramma individuato.

Dopo aver calcolato il semivariogramma sperimentale sui valori campionati, è necessario adattare un modello matematico alla serie di punti del grafico per ottenere una funzione continua. I software di geostatistica propongono alcuni modelli teorici predefiniti tra i quali scegliere, come il gaussiano, il lineare, lo sferico, l'esponenziale, con possibilità di combinazioni lineari tra due o più di essi (modelli nested).

Il modello è stato poi sottoposto ad operazioni di validazione che hanno riguardato:

- a) L'analisi dei dati prodotti dalla "cross-validazione" che consente di valutare per quali aree i modelli sono sicuramente applicabili (errori e deviazioni standard contenuti), non applicabili (errori o deviazioni standard troppo elevati), applicabili ma con evidente presenza di anomalie isolate. La cross-validazione consente di determinare lo scostamento tra il valore reale misurato di ogni singolo pozzo e il valore che si otterrebbe applicando il modello in esame. Si basa quindi sull'esclusione di un punto alla volta dalla popolazione di dati georiferiti e sulla sua stima, come se il punto non fosse stato campionato.
- b) L'analisi dei valori predetti rispetto a quelli misurati effettuata in un raggio di circa 10 metri dal pozzo, considerando che in questa distanza si voglia riscontrare un valore di predizione del modello spazializzante ancora molto simile a quello derivante dall'analisi dei campioni.
- c) L'analisi dei parametri di statistica descrittiva dei dati spazializzati messi a confronto con gli stessi parametri dei dati campionari, per individuare se con l'operazione di inferenza che si compie con la spazializzazione non si sia andati a introdurre o variare di molto le caratteristiche della popolazione originaria.

I modelli validati consentono di effettuare la spazializzazione vera e propria dei dati puntuali delle singole aree con funzioni di kriging ordinario.

L'elaborazione del semivariogramma riveste importanza, oltre che per l'analisi strutturale dei dati, anche per il suo utilizzo nelle tecniche di interpolazione dei dati note come "Kriging". Il kriging consiste essenzialmente in una media mobile pesata per la stima di un punto non campionato a partire da punti vicini noti. La forma più comune di kriging è quello ordinario, che tiene conto delle fluttuazioni locali della media, limitando

la condizione di stazionarietà del dato ad un “ λ ” intorno al punto da stimare secondo l’algoritmo:

$$z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i)$$

dove x_0 è il punto da stimare, N il numero dei valori campionati $z(x_i)$ che intervengono sulla stima del valore interpolato e λ_i sono i pesi attribuiti ad ogni singolo campione x_i .

Tra le altre caratteristiche il kriging determina i pesi da applicare tramite l’esatta inferenza del modello teorico adattato al variogramma sperimentale.

La spazializzazione del dato in un punto non noto avviene considerando un raggio di ricerca nel quale ricadono i punti campionati che contribuiscono a definire il valore stimato. Per ogni spazializzazione effettuata è stato scelto il vicinaggio che minimizza la media standardizzata dell’errore di stima per tutta l’area. Inoltre, la stima non è stata estesa all’area che va oltre l’ultimo punto utile campionato, lasciando così scoperte quelle zone di area idrogeologica, o di area aggregata, non indagate dai pozzi di monitoraggio.

2. regressione lineare per modellare il trend dei dati e analisi geostatistica sui valori dei residui, che è un procedimento sostanzialmente analogo al precedente ma opera in quei casi in cui, tramite l’analisi statistica spaziale precedente, si è evidenziato un trend strutturato nei dati in una precisa direzione dello spazio. Questo comportamento fa sì che non sia possibile predisporre un variogramma per questi dati in quanto l’andamento della varianza non tende mai a divenire asintotico, impedendo di fatto la definizione di un sill e di un range di correlazione dei dati. L’eliminazione del trend, modellato dalla retta di regressione, consente di poter effettuare l’analisi variografica sui residui dei dati dalla retta e, qualora l’analisi geostatistica individui una correlazione tra varianza e distanza, l’applicazione delle tecniche di “kriggaggio” per la spazializzazione di questi dati. Una volta effettuate le operazioni descritte per la spazializzazione tramite geostatistica e validati i modelli, si reintroducono i valori del trend nel risultato sommandoli a quelli dei residui.

3. spazializzazione tramite IDW (tecnica dell’inverso della distanza), che è stata applicata in quei casi in cui non vi erano sufficienti punti per effettuare una analisi variografica, o dove dall’analisi stessa non si riusciva a strutturare un variogramma e un modello ritenuti accettabili. Con questa tecnica i pesi per le operazioni di

spazializzazione non derivano da una analisi della popolazione campionaria, ma sono interni al modello e in funzione del quadrato della distanza dai pozzi misurati. Questa tecnica è stata scelta in quanto permette facilmente di capire il risultato dei valori spazializzati facendo riferimento ai valori dei pozzi limitrofi, al punto di stima e alla loro distanza. Per questo tipo di spazializzazione l'unica validazione proposta è l'analisi della media dell'errore e delle deviazioni standard ottenuta dalla cross validazione.

Di seguito vengono riportati i cartogrammi relativi alle spazializzazioni effettuate attraverso tecniche geostatistiche, sia per aggregazioni di aree che per singola area o scomposizione/parte di essa. Non vengono pertanto presentate le aree spazializzate attraverso la tecnica IDW e quelle non rappresentative dal punto di vista geostatistico come ad esempio TO08 e TO09.

Le aree di riferimento spazializzate sono le seguenti:

- ✓ CN01-CN02 (come aggregazione)
- ✓ CN03 (come scomposizione)
- ✓ NO01-NO02 (come aggregazione)
- ✓ VC01
- ✓ VC02-VC03 (come aggregazione)
- ✓ VC04-TE05 (come aggregazione)
- ✓ TO06-TO07 (come aggregazione)
- ✓ AL01-AL02 (come aggregazione)
- ✓ AL03-AL04-AL05 (come aggregazione)
- ✓ AT01 (solo le porzione T1 e T2)

In figura 26 viene presentato il quadro d'insieme delle aree di riferimento spazializzate dell'intero territorio regionale; in particolare, per una migliore visualizzazione, il territorio regionale è stato suddiviso in tre settori, riportati nelle figure 27, 28 e 29.

Per una migliore "leggibilità" delle cartografie e a fini sostanzialmente grafici, sono state integrate, mediante accorpamento grafico dalla superficie adiacente, piccole porzioni marginali delle aree idrogeologiche spazializzate che non risultavano coperte dalla restituzione grafica emessa dall'elaborazione geostatistica.

La figura 27 si riferisce al settore SE comprendente l'alessandrino e parte dell'astigiano. Dall'esame del cartogramma risulta evidente l'alto livello di contaminazione da nitrati nelle classi 40-50 e >50 mg/L localizzato prevalentemente nell'area AL04. Si nota la presenza di contaminazione anche nei settori ubicati a monte idrogeologico in corrispondenza del margine pedemontano; il fenomeno si mantiene costante (pur con

una certa variabilità) anche nei tratti sotto gradiente, come risalta nella parte riferibile all'area idrogeologica AL03. Si evidenzia inoltre un'ampia area sostanzialmente non contaminata corrispondente al fondovalle dell'Orba.

La figura 28 si riferisce al settore NW-S comprendente l'area torinese e cuneese.

Per quanto riguarda la parte cuneese, la restituzione grafica deriva da una spazializzazione operata su due sottoinsiemi separati dell'area idrogeologica CN03 (successivamente ricomposti ai fini grafici), e dall'accorpamento con le altre aree di riferimento (CN01-CN02 e TO06-TO07) precedentemente spazializzate.

Le zone più critiche nell'area CN03 con nuclei di contaminazione da nitrati nelle classi 40-50 e >50 mg/L sono ubicate in corrispondenza del tratto medio della Stura, in sponda destra, e del Tanaro nella parte apicale in sinistra. Queste zone sono presumibilmente riferibili (come accennato in precedenza) a circolazioni idriche sotterranee differenziate.

Anche nell'accorpamento tra CN01 e CNO2 risulta un nucleo di contaminazione nella parte apicale in sinistra Meletta con un'ampia zona centrale nella classe di nitrati 25-40 mg/L e un tratto a monte con livelli di nitrati <25 mg/L.

Il settore torinese è caratterizzato da una contaminazione significativa a valle idrogeologica di Pinerolo (area TO07) con livelli di contaminazione da nitrati nelle classi 40-50 e >50 mg/L che diminuiscono nella parte sotto gradiente e quindi con un andamento opposto a quanto rilevato nella zona precedente. L'area contaminata dovrà pertanto essere valutata in relazione ai carichi di azoto ed alla vulnerabilità intrinseca. E' importante altresì sottolineare che dalla valutazione ottenuta considerando il valore medio areale l'area TO07 non risulterebbe critica, mentre con l'analisi geostatistica si evidenzia una porzione di criticità significativa.

La figura 29 si riferisce al settore NE comprendente l'area novarese e vercellese.

Per quanto riguarda l'aggregazione VC01-VC03 si nota una zona più contaminata a monte idrogeologico analogamente a quanto osservato per l'area torinese. Si evidenzia altresì come questa zona risulti coerente con la tipologia di colture presenti e sovrapponibile alle aree non risicole. Nell'aggregazione VC04-TE05 si evidenzia solo una criticità in corrispondenza del tratto a monte idrogeologico del terrazzo TE05 coerente con il valore medio areale.

Il settore novarese evidenzia per la quasi totalità dell'area spazializzata valori di nitrati nella classe 0-25 mg/L denotando l'assenza di criticità.

Figura 26 – Aree spazializzate, biennio 2004-2005

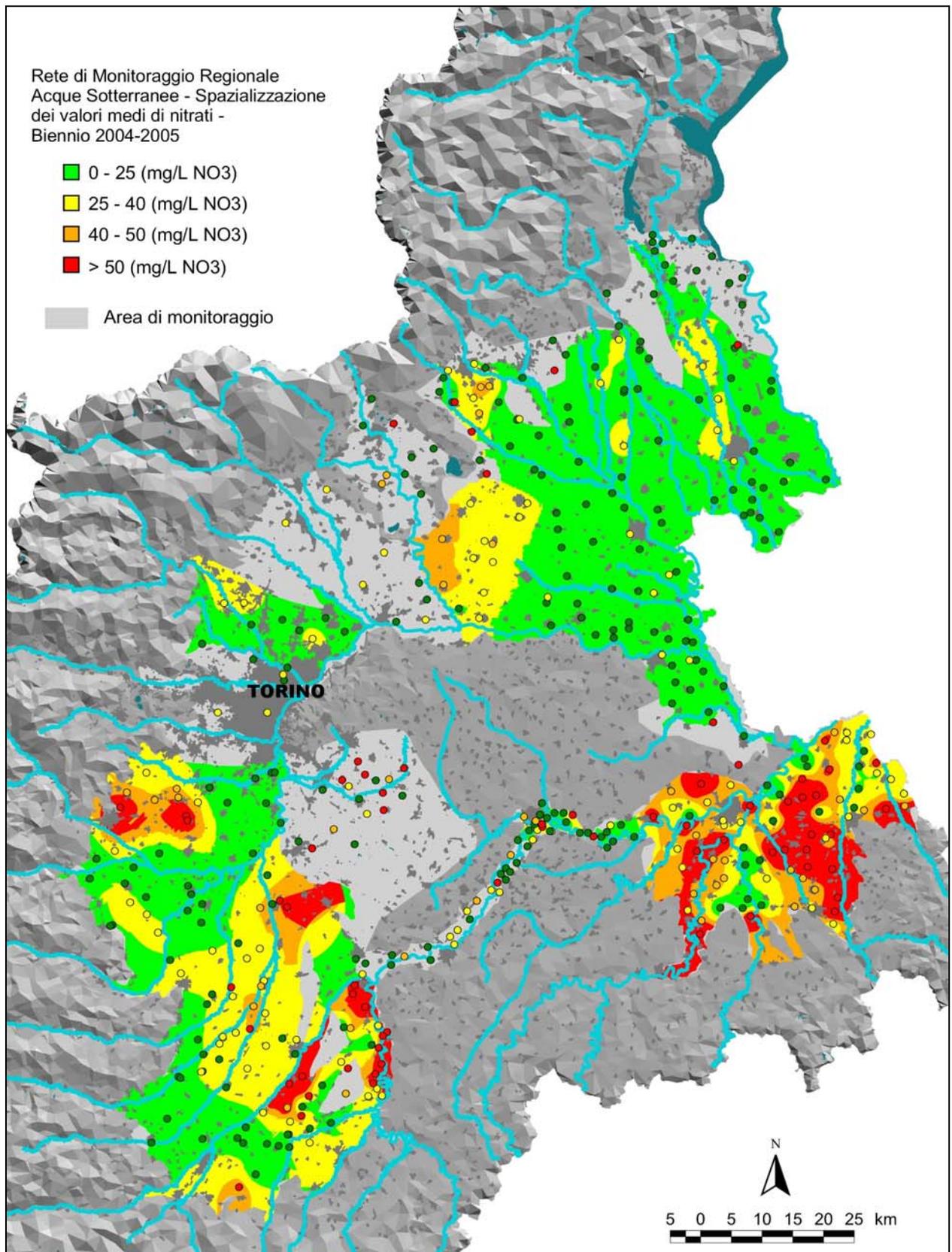


Figura 27 – Settore SE, biennio 2004-2005

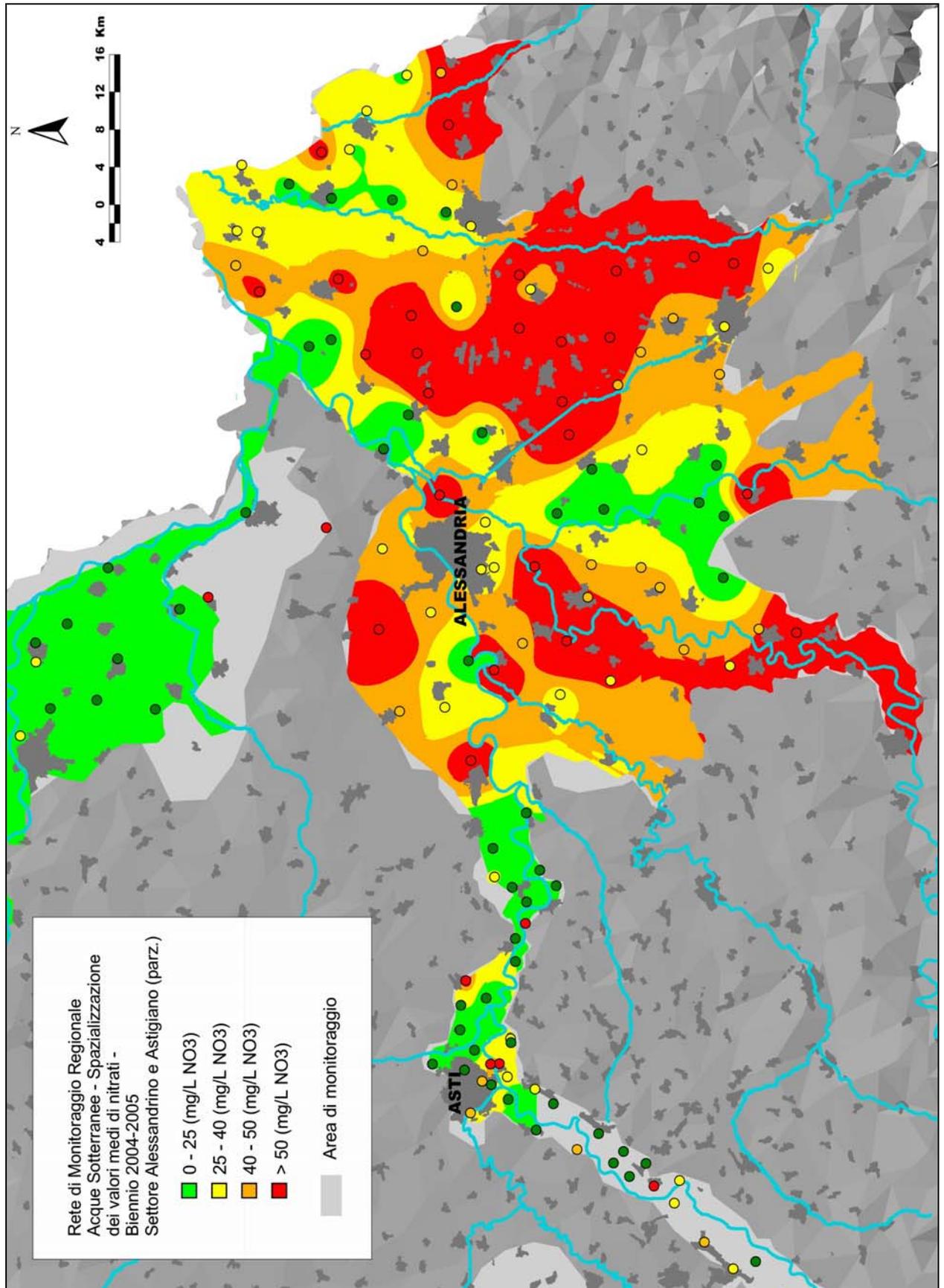


Figura 28 – Settore NW-S, biennio 2004-2005

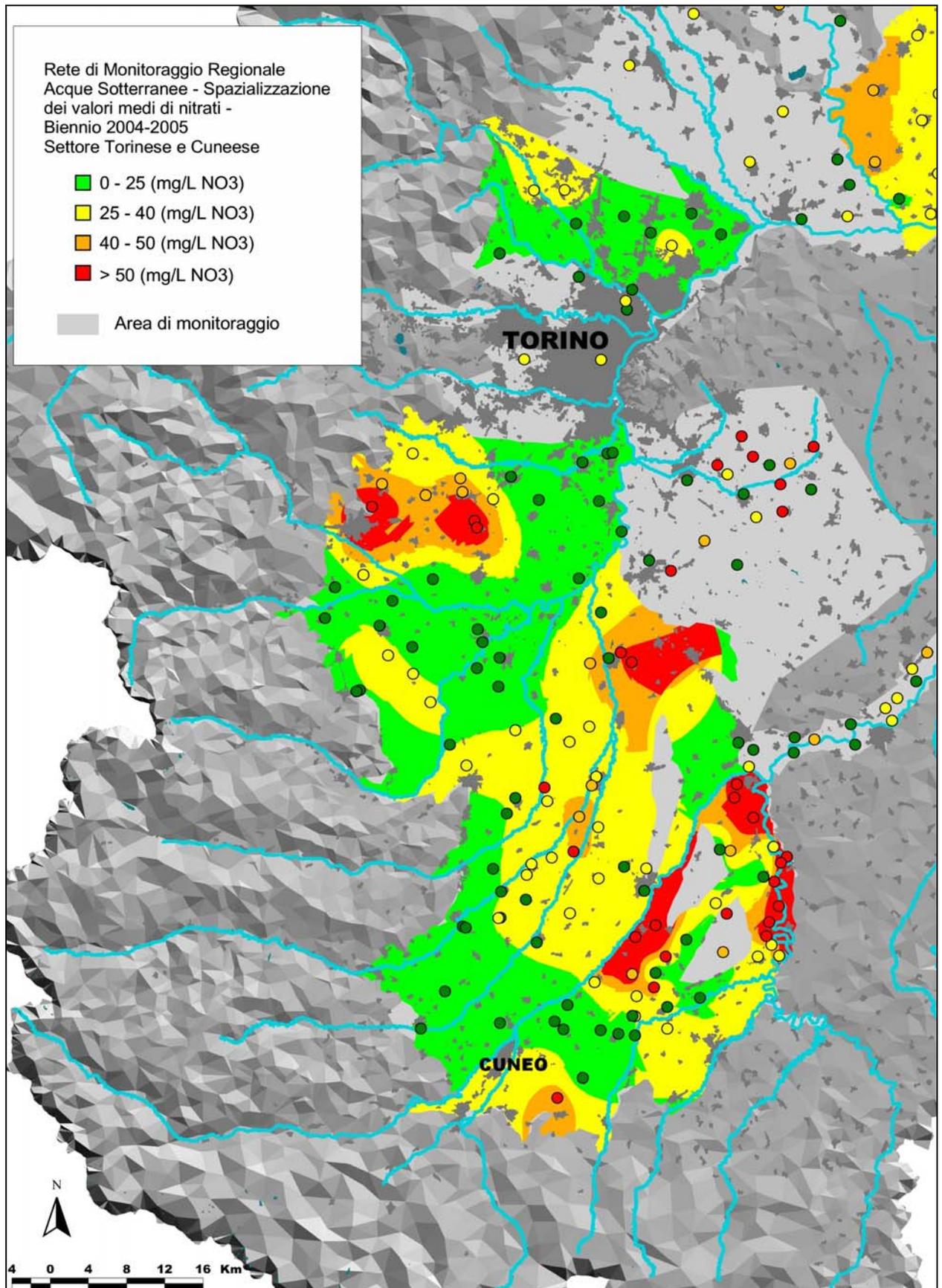
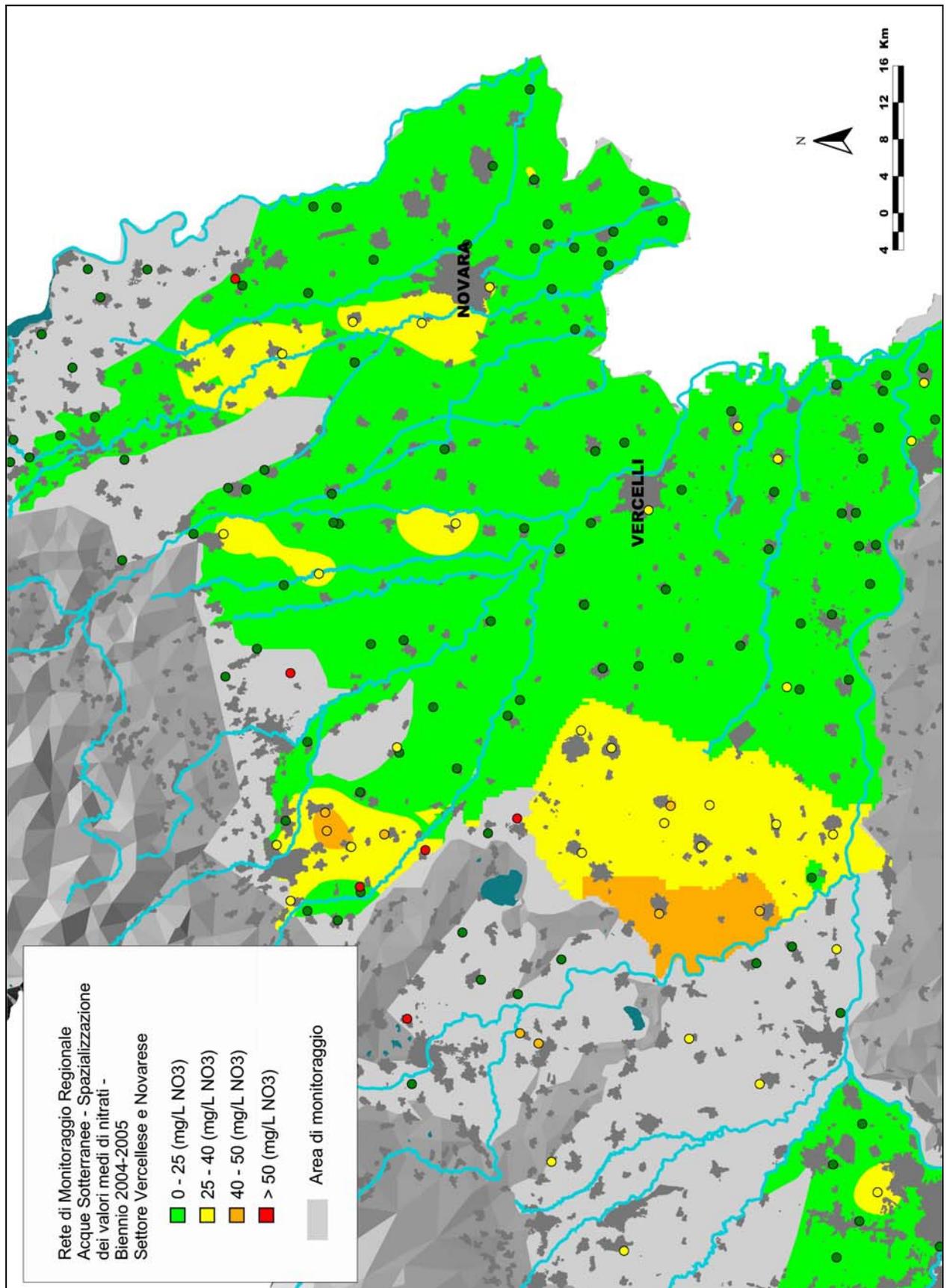


Figura 29 – Settore NE, biennio 2004-2005



Tra le aree designate (LV1 e LV2) dal DPGR 9/R è stato scelto di non considerare l'area TO04 e tutti i terrazzi, ad eccezione di TE05, in quanto privi dei requisiti minimi per effettuare valutazioni di tipo areale. Per quanto concerne invece le aree TO08 e IV01 l'applicazione dell'analisi geostatistica, utilizzando inizialmente il metodo kriging tradizionale e successivamente l'IDW, non ha consentito una rappresentazione proponibile dell'area in oggetto. Questo aspetto si desume in modo evidente dall'esame della figura 30, che riporta l'output grafico derivante dall'applicazione del metodo IDW per l'area considerata.

Figura 30 – Spazializzazione tramite IDW dell'area idrogeologica TO08



Dalle valutazioni effettuate risulta come l'utilizzo della geostatistica permetta di indagare, all'interno delle aree di riferimento considerate, sia la tendenza generale della contaminazione, ma, soprattutto, la presenza di settori a diversi livelli di contaminazione. Questo aspetto permetterà quindi di fornire, in prospettiva, un supporto conoscitivo da integrare con gli altri elementi disponibili (carichi, vulnerabilità intrinseca ecc.) al fine di ottimizzare le azioni da intraprendere.

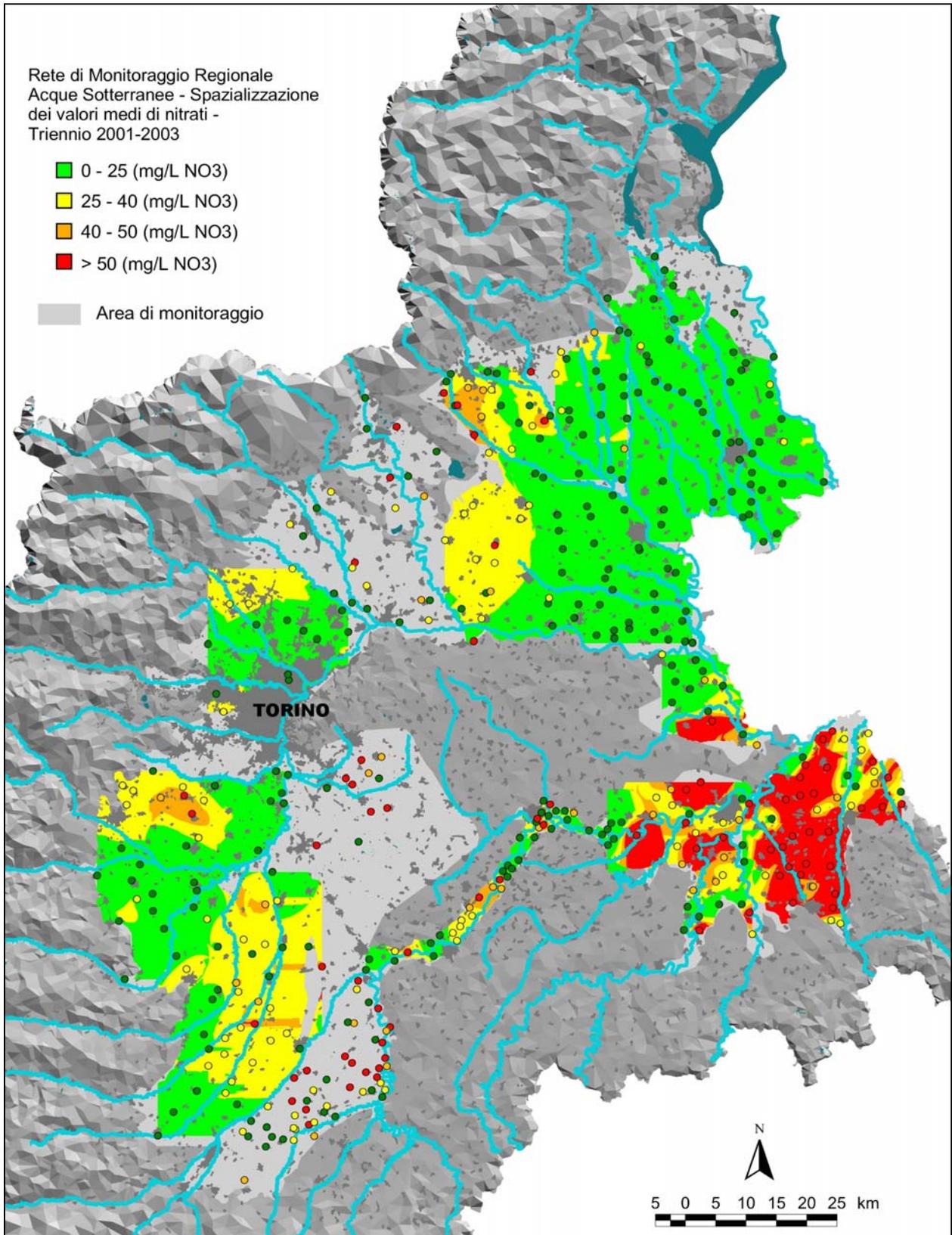
Pur considerando che la spazializzazione proposta per il biennio 2004-2005 è stata ottimizzata a vari livelli, in particolare con l'aggregazione/separazione delle aree idrogeologiche, consentendo un utilizzo ottimale dei punti e un risultato più consistente e distribuito sul territorio, si è ritenuto di riproporre comunque un confronto con la spazializzazione effettuata per il triennio 2001-2003 derivante dal progetto: *“Elaborazione dati e modellistica per l'individuazione delle zone vulnerabili*

da nitrati e da fitofarmaci e per la definizione e attuazione dei programmi d'azione" Arpa (Febbraio 2005) e riportata in figura 31.

Dalla comparazione tra i due cartogrammi appare evidente come i principali fenomeni rilevati nei settori alessandrino, torinese (TO07) e vercellese (VC02-VC03 e VC01-TE05) fossero già evidenziabili, anche se ad una minore scala di dettaglio, nella spazializzazione del triennio 2001-2003.

Per quanto riguarda invece il settore cuneese, l'analisi geostatistica proposta per il biennio 2004-2005 ha consentito la rappresentazione di un quadro più coerente, grazie all'aggregazione delle aree CN01-CN02 ed alla spazializzazione dei sottoinsiemi dell'area CN03, colmando la lacuna esistente per quest'ultima area.

Figura 31 – Aree spazializzate, triennio 2001-2003



FASE 3A.4 – VALUTAZIONE DI EVENTUALI TENDENZE EVOLUTIVE SU PARAMETRI DI PARTICOLARE RILEVANZA

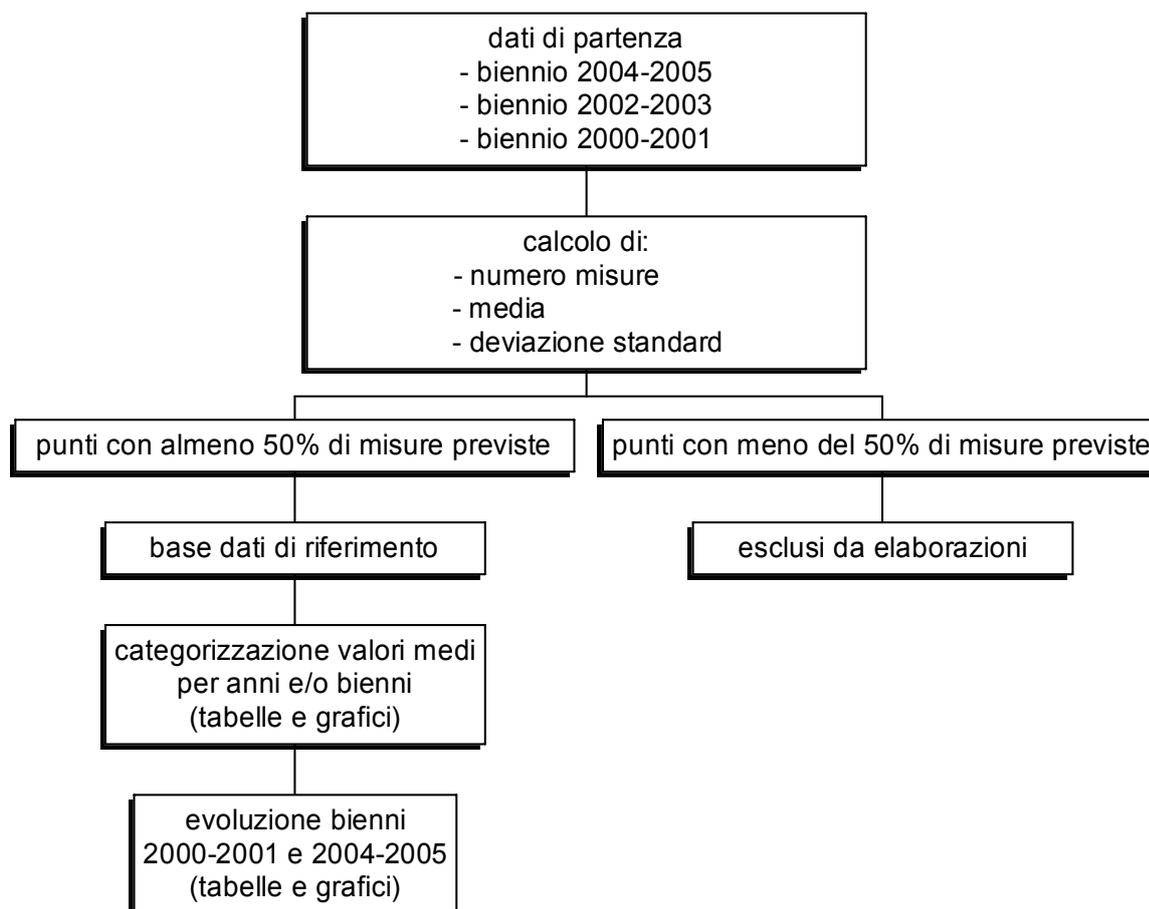
La ricerca di eventuali tendenze è stata svolta con elaborazioni specifiche riguardanti lo stato di contaminazione da nitrati.

Nell'ambito del progetto "Andamento dei nitrati nelle acque superficiali e sotterranee anni 2000-2005" (luglio 2006) sono state fatte delle elaborazioni statistiche al fine di valutare l'evoluzione del fenomeno.

Al fine di garantire la confrontabilità delle elaborazioni, sono stati presi in considerazione i punti di monitoraggio per i quali erano disponibili i dati di nitrati per tutti i bienni considerati, utilizzando come riferimento la rete di monitoraggio del 2005.

I punti utilizzati sono riferiti alla falda superficiale.

Lo schema seguito è il seguente:



La base dati ottenuta è costituita da 349 punti di monitoraggio.

Medie puntuali

Sono stati calcolati i dati medi, la deviazione standard ed il numero di misure relativi ai bienni 2000-2001, 2002-2003 e 2004-2005.

I dati così elaborati sono stati raggruppati nelle seguenti categorie di valori:

- ≤ 25 mg/L
- > 25 e ≤ 40 mg/L
- > 40 e ≤ 50 mg/L
- > 50 mg/L

Sono poi stati raggruppati i punti appartenenti alle categorie di valori definite.

Per avere un dettaglio maggiore della distribuzione dei dati medi puntuali di nitrati, i valori sono anche stati rappresentati, per i tre bienni considerati, suddividendoli in 32 categorie, ciascuna corrispondente ad un intervallo di 5 mg/L, con valori compresi tra 1 mg/L e 160 mg/L.

Una ulteriore elaborazione puntuale riguarda il confronto dei bienni 2000-2001 e 2004-2005 utilizzando le indicazioni riportate nella "Guida per le relazioni degli stati membri" per valutare l'evoluzione nel tempo delle concentrazioni di nitrati.

Andamenti nei bienni

Nella tabella 20 è riportata la distribuzione del numero di punti della falda superficiale nelle varie classi per i bienni considerati.

Nelle figure 32 e 33 i dati sono rappresentati con la suddivisione per classi e per bienni. Dalle elaborazioni a scala regionale su base biennale emerge una presenza di nitrati nelle acque sotterranee.

La classe con una numerosità di punti maggiore è quella relativa a valori ≤ 25 mg/L, rappresentata da circa il 50% dei punti.

Analogamente le classi 40-50 mg/L e > 50 mg/L rappresentano circa il 27% dei punti per la falda superficiale, mostrando, come prevedibile, una significativa contaminazione da nitrati.

L'evoluzione dei livelli di nitrati nei tre bienni mostra una sostanziale stabilità, con lievi variazioni nelle classi ≤ 25 e 25-40 mg/L ascrivibile, per i punti con valori medi intorno a 25 mg/L, a oscillazioni negli anni che possono portare ad un salto di classe.

Tabella 20 – Distribuzione dei punti nelle classi e nei bienni

classe	2000-2001	2002-2003	2004-2005
≤ 25	169	182	177
$> 25 - \leq 40$	85	72	78
$> 40 - \leq 50$	33	35	34
> 50	62	60	60

Figura 32 – Distribuzione dei punti nelle classi

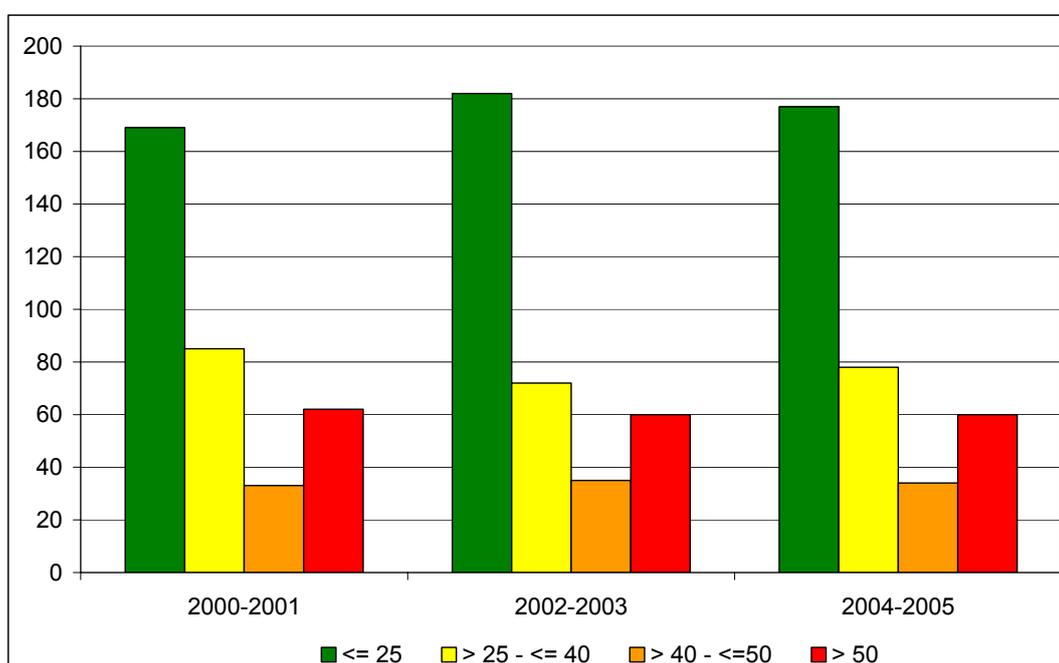
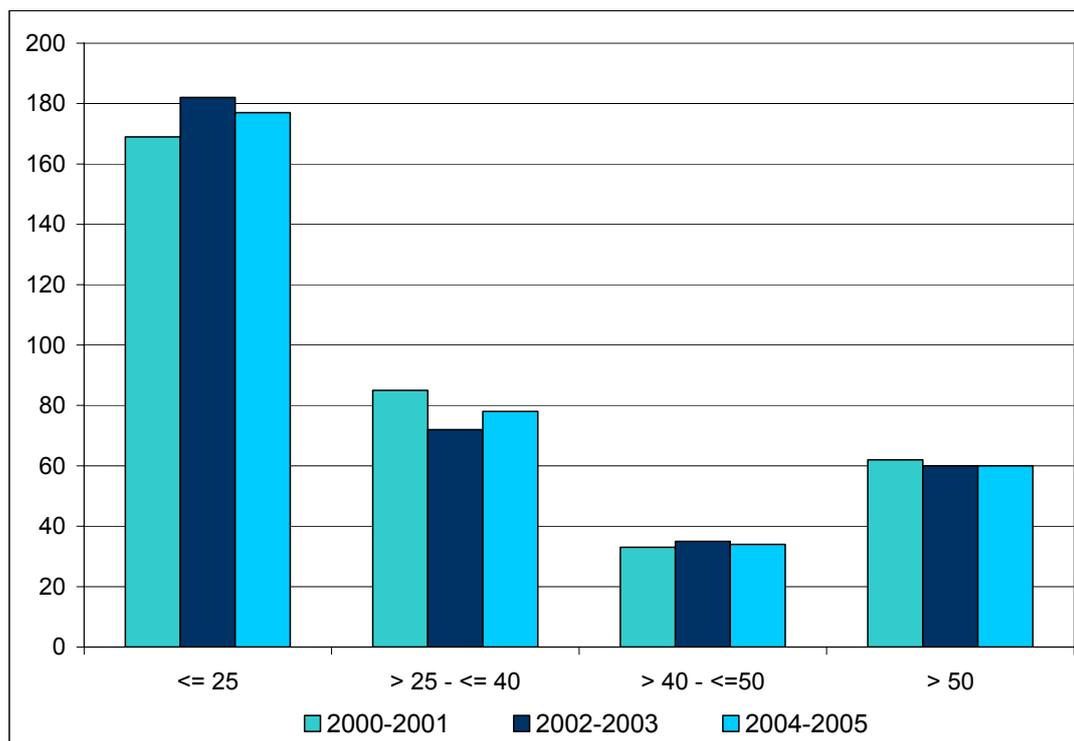


Figura 33 – Distribuzione dei punti nei bienni



Nelle figure 34, 35 e 36 è riportata la distribuzione sul territorio dei punti di monitoraggio ed i relativi valori medi di nitrati categorizzati per i bienni considerati.

Figura 34 – Distribuzione areale dei punti della falda superficiale, biennio 2004-2005

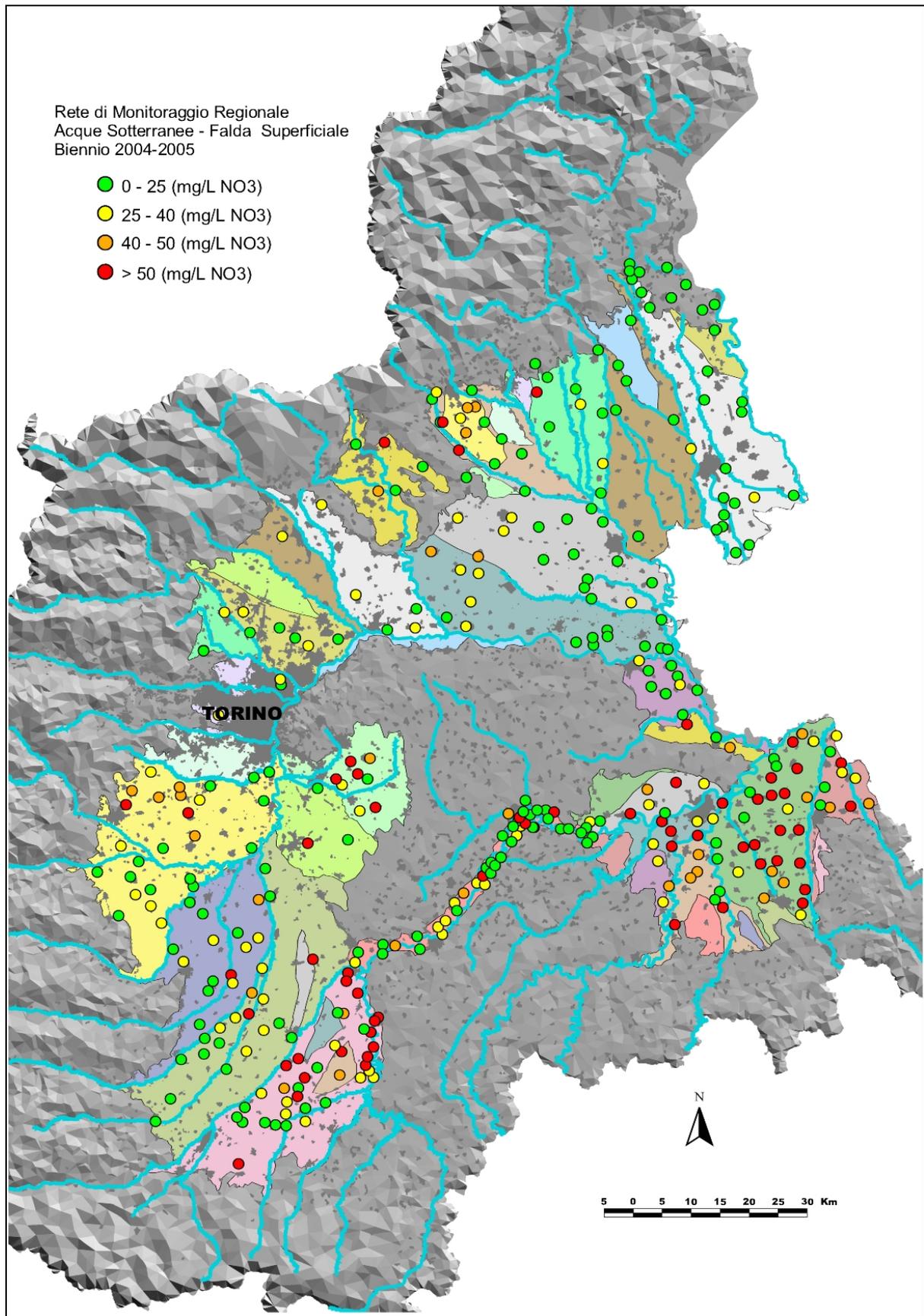


Figura 35 – Distribuzione areale dei punti della falda superficiale, biennio 2002-2003

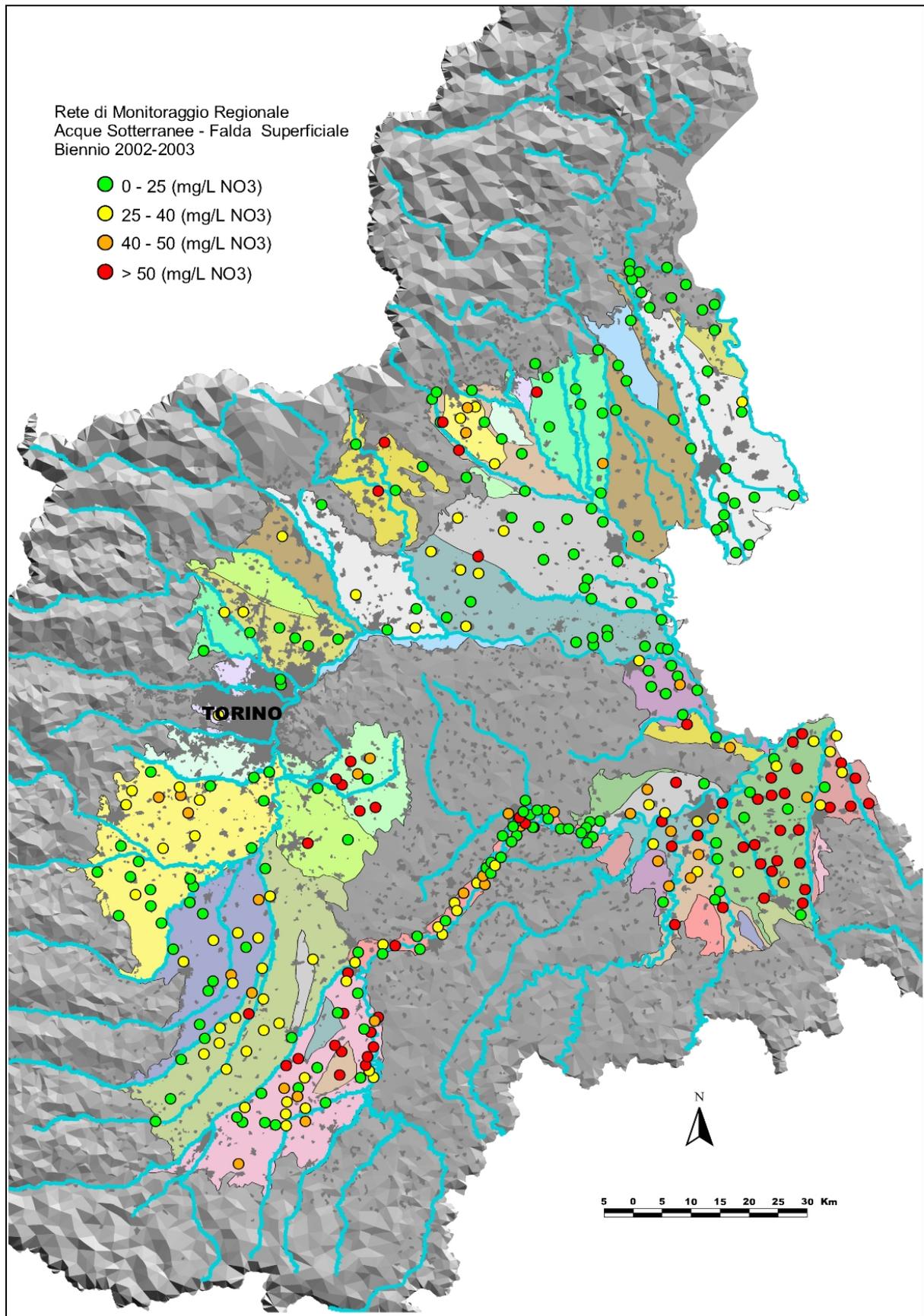
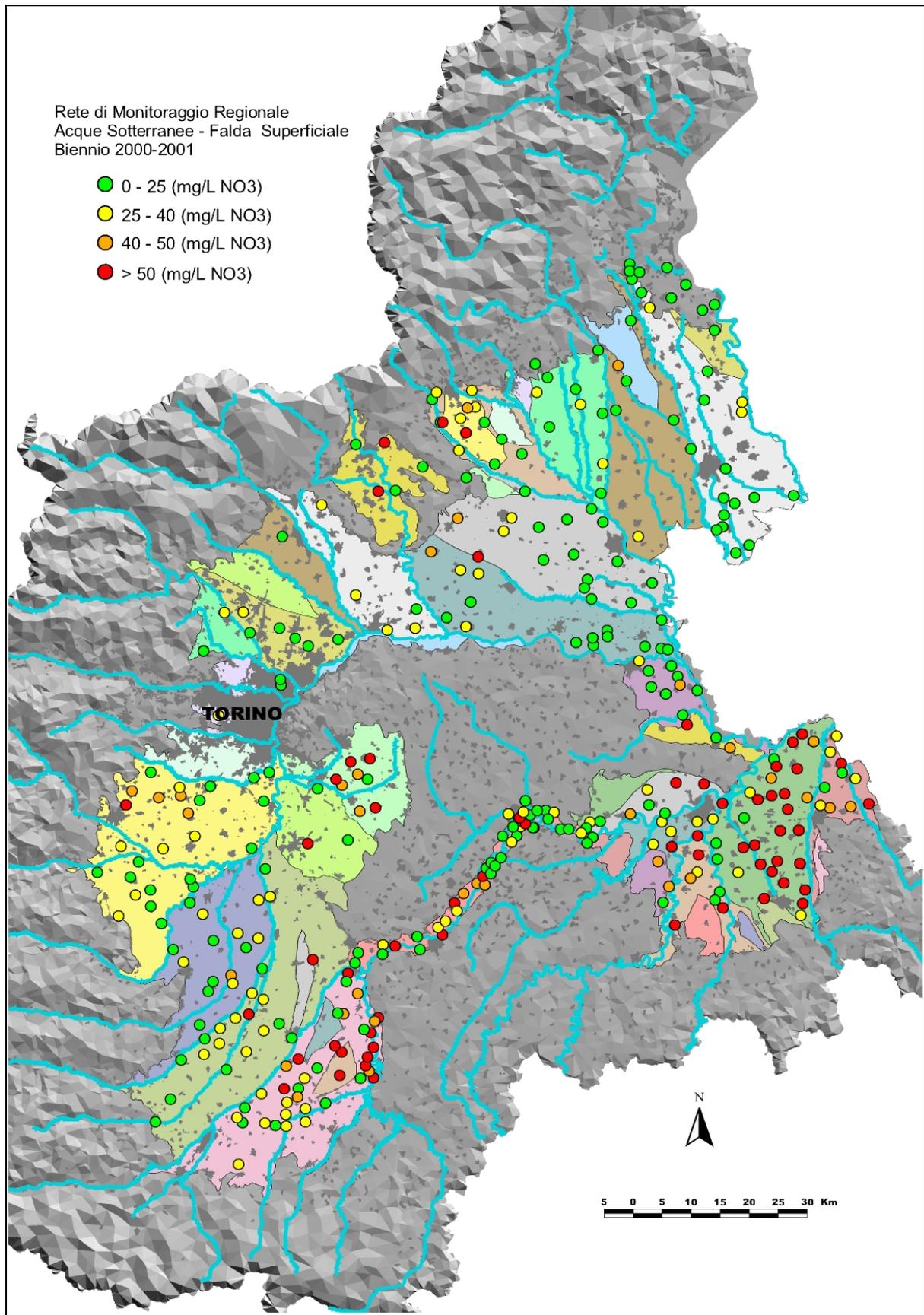


Figura 36 – Distribuzione areale dei punti della falda superficiale, biennio 2000-2001



Nelle figure 37, 38 e 39 è riportata la distribuzione dei valori medi di nitrati suddivisi in categorie di 5 mg/L per i bienni considerati.

Tale valutazione evidenzia come le classi (di 5 mg/L) con il maggior numero di punti siano quelle relative a valori di nitrati 0-5, e 20-25 mg/L.

Figura 37 – Distribuzione dei valori medi di nitrati, biennio 2004-2005

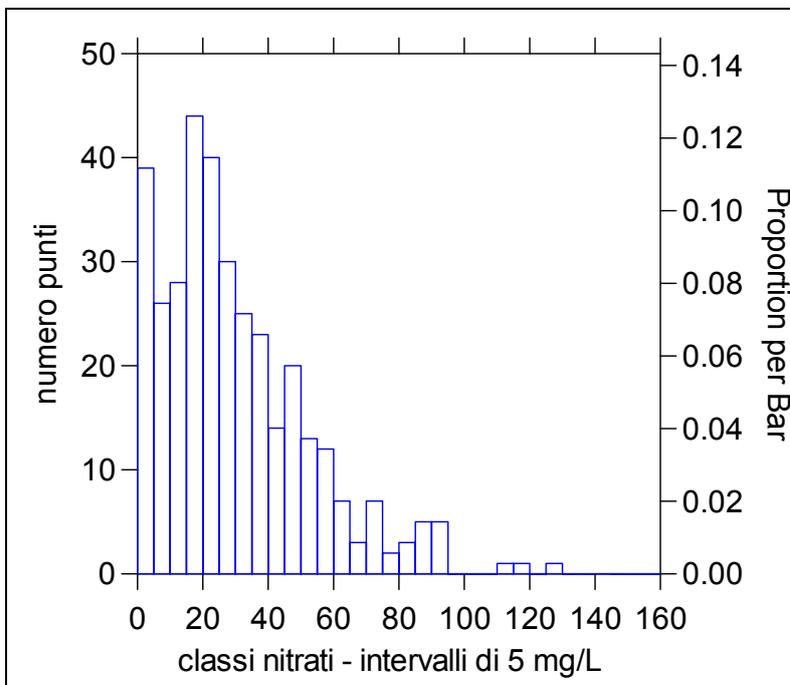


Figura 38 – Distribuzione dei valori medi di nitrati, biennio 2002-2003

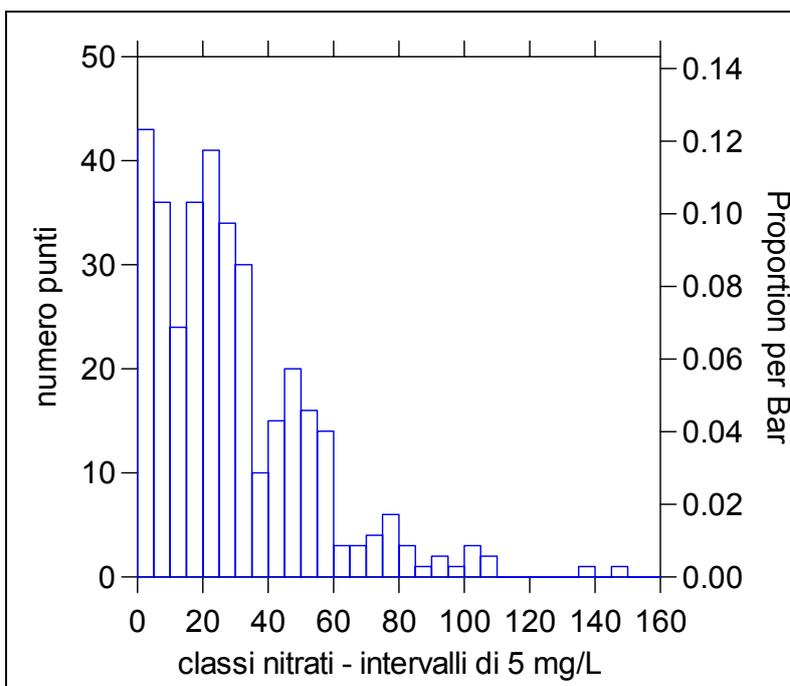
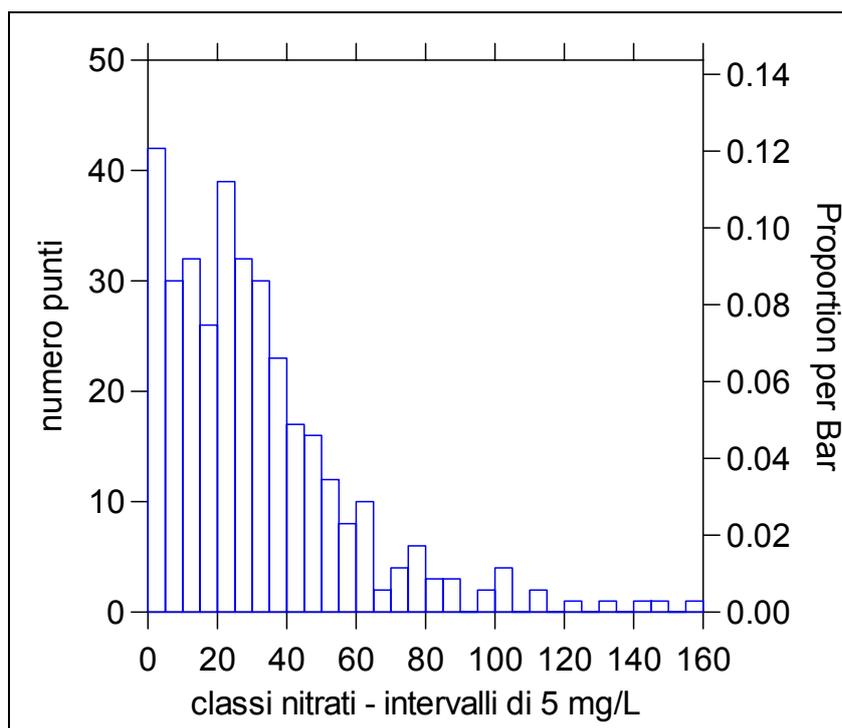


Figura 39 – Distribuzione dei valori medi di nitrati, biennio 2000-2001



Evoluzione bienni 2000-2001 e 2004-2005

Sono stati calcolati i dati medi, la deviazione standard ed il numero di misure relativi ai bienni 2000-2001 e 2004-2005, la differenza tra le concentrazioni medie dei bienni 2004-2005 e 2000-2001 e la percentuale di variazione normalizzata sul valore medio 2004-2005.

In figura 40 viene rappresentata la differenza dei valori medi di nitrati tra il biennio 2004-2005 e il biennio 2000-2001 e in figura 41 la differenza tra i bienni percentualizzata.

Dai confronti dei dati medi nei bienni 2004-2005 e 2000-2001 si evidenzia una maggiore dispersione delle variazioni dei valori assoluti determinata da un range più ampio di valori medi riscontrati, che non si rileva nel confronto delle variazioni percentuali a causa della normalizzazione dei dati sul valore medio

Figura 40 – Evoluzione nitrati bienni falda superficiale

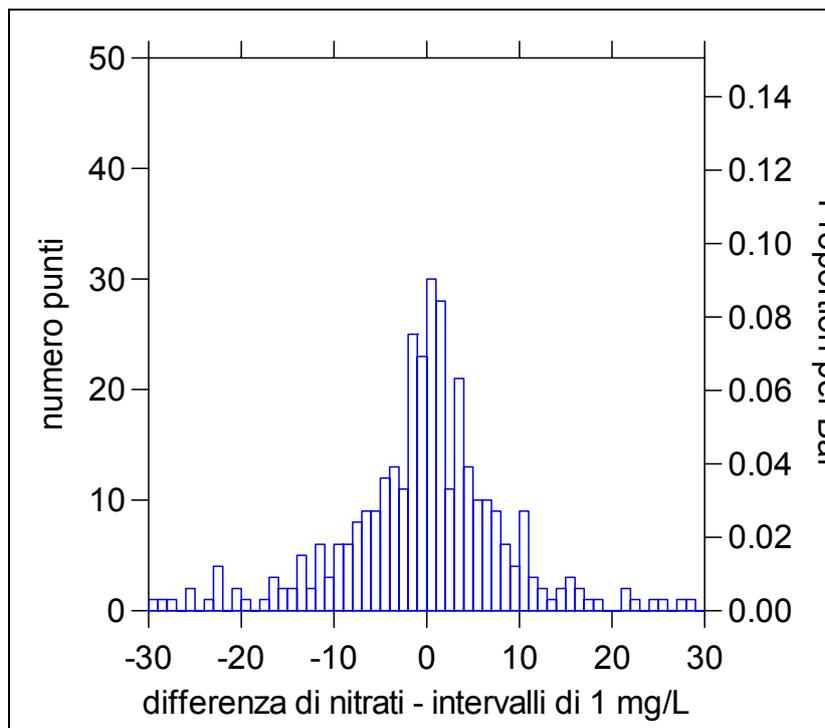
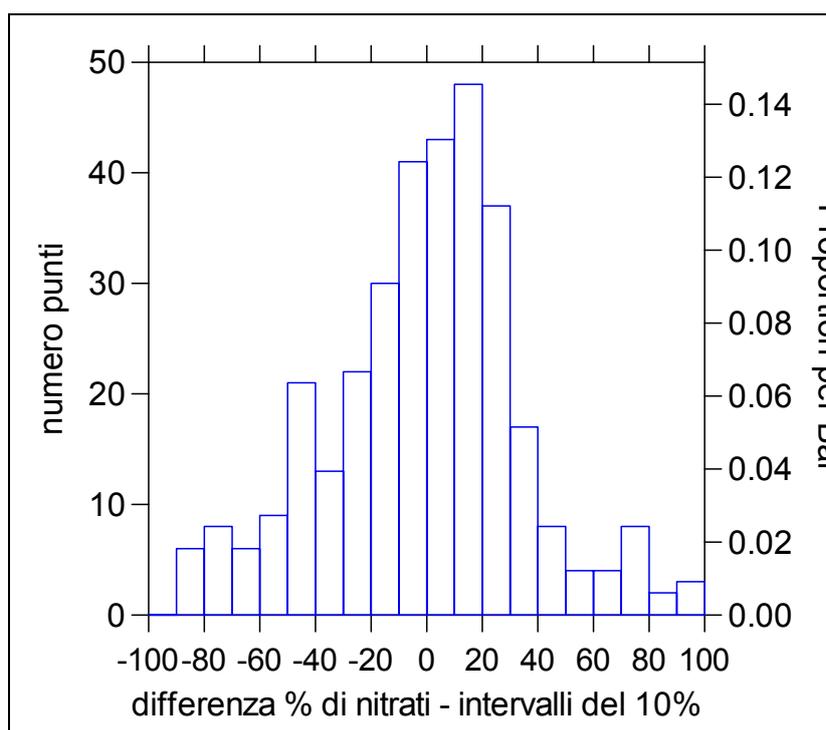


Figura 41 – Evoluzione nitrati bienni in percentuale falda superficiale



Nella figura 42 si riporta la distribuzione sul territorio dei punti di monitoraggio e le differenze delle concentrazioni tra i bienni 2004-2005 e 2000-2001, mentre nella figura 43 si mostra la differenza tra i bienni percentualizzata.

Dalla distribuzione spaziale dei punti con maggiore variabilità positiva e negativa sia in valore assoluto che in percentuale, risulta alquanto complesso, in questa fase, identificare particolari aree o aggregazioni di punti che manifestino in modo evidente una tendenza comune; tuttavia si può rilevare nel settore alessandrino una variabilità positiva nell'area idrogeologica AL04.

Figura 42 – Evoluzione nitrati nei bienni

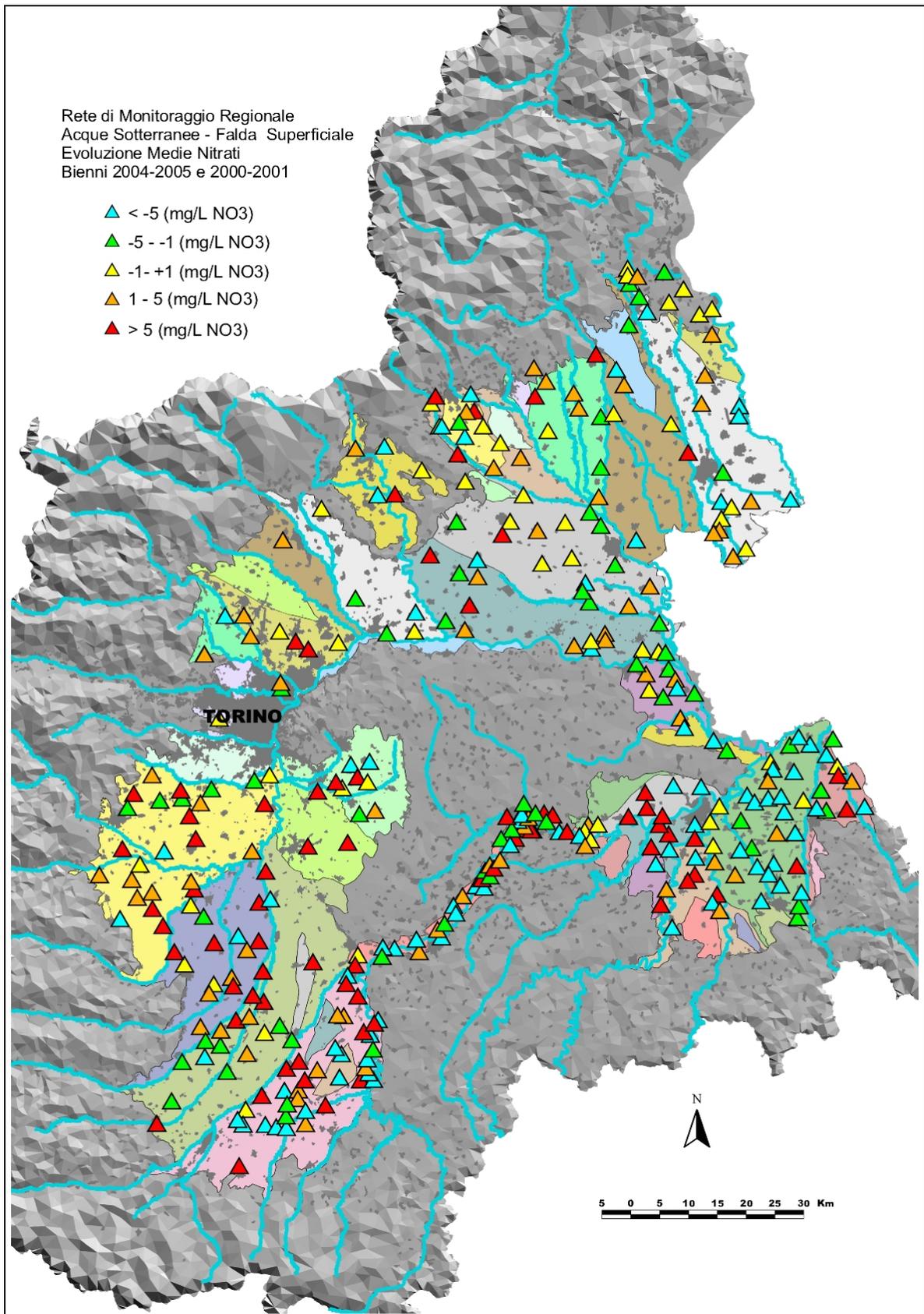
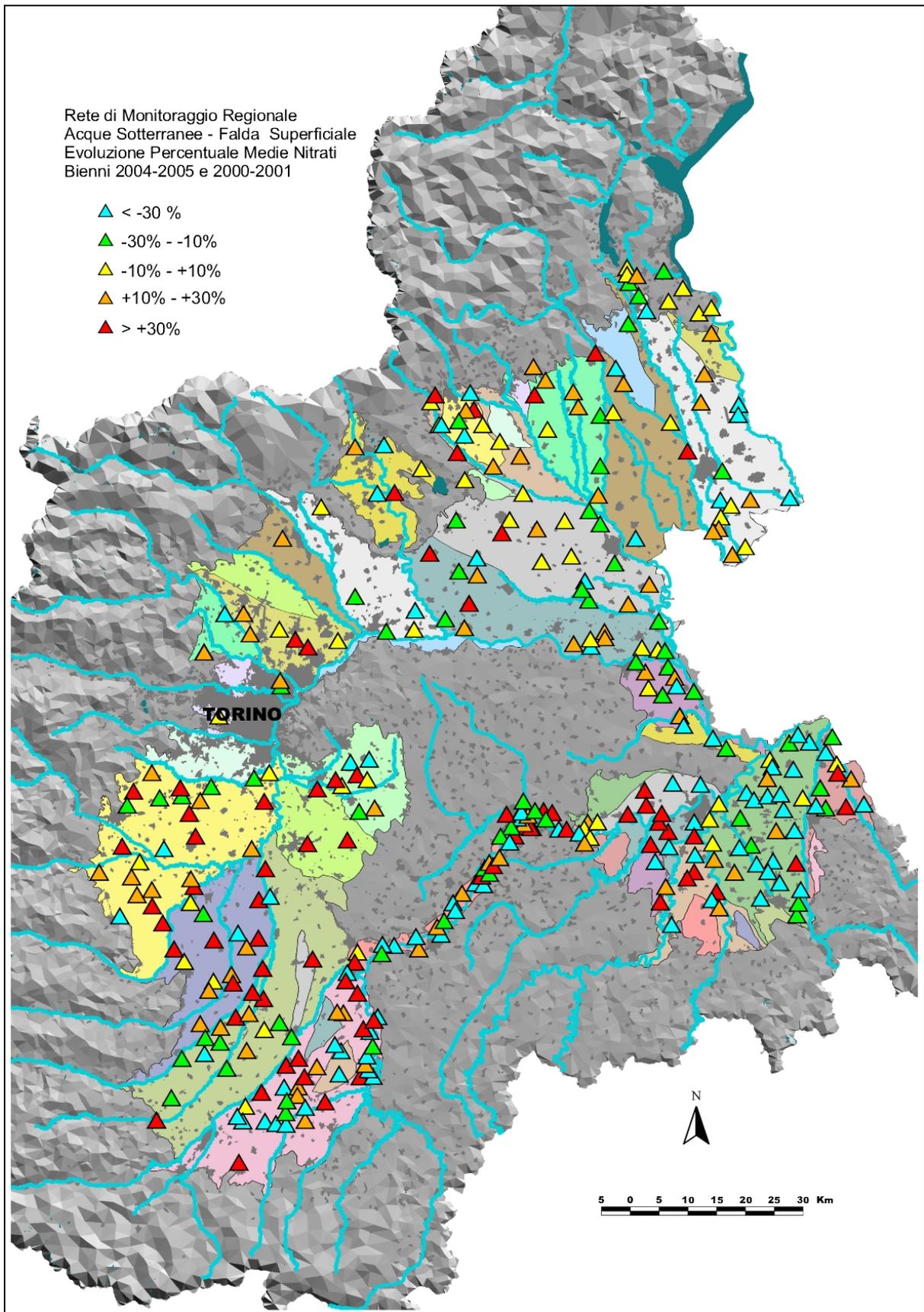


Figura 43 – Evoluzione nitrati nei bienni in percentuale



Medie areali

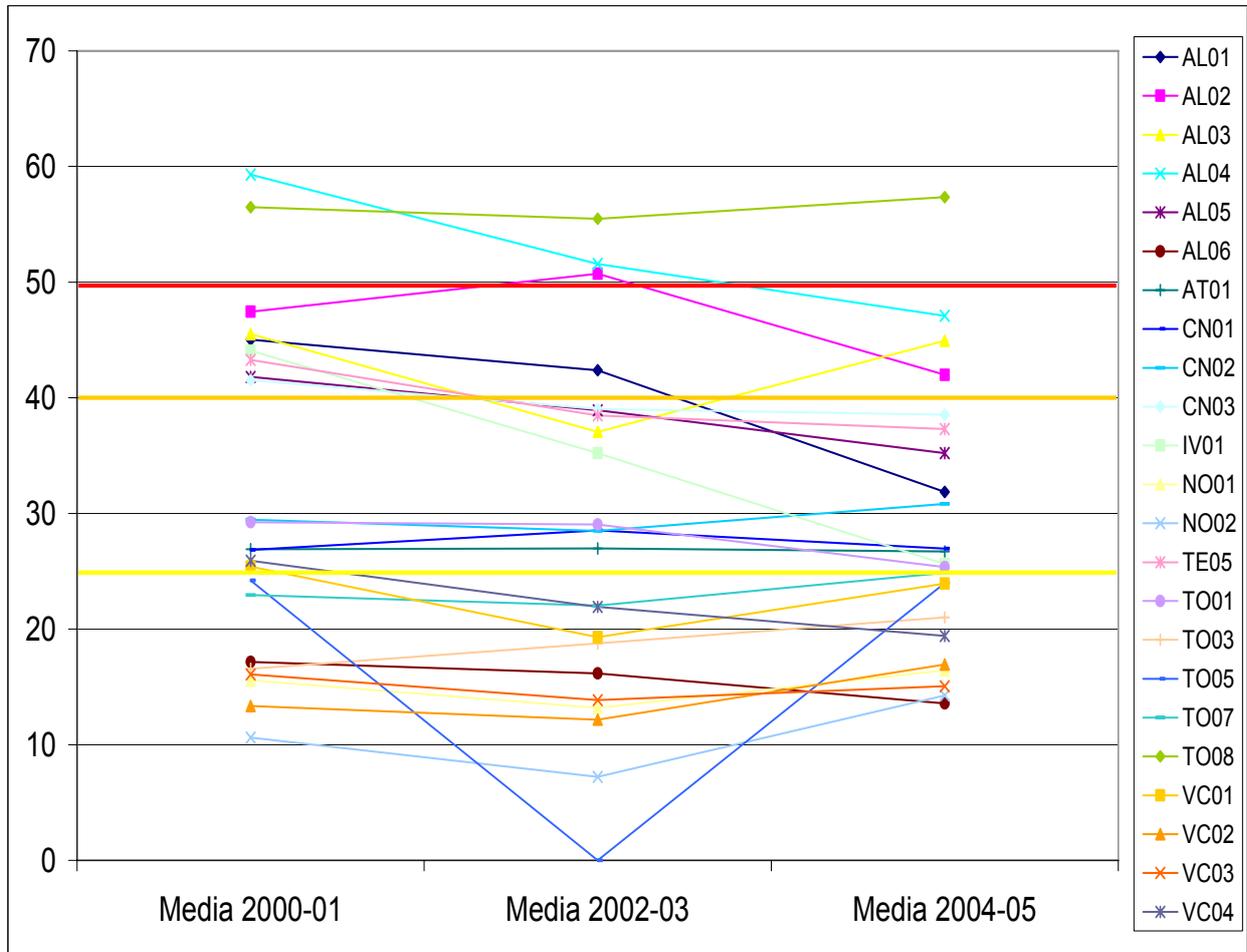
Nella tabella 21 vengono riportati i dati relativi alle concentrazioni medie e massime areali per i bienni: 2000-2001, 2002-2003 e 2004-2005.

Tabella 21 – Concentrazioni medie e massime areali, bienni 2000-01, 2002-03, 2004-05

Area idrogeologica	Media 2000-01	Massimo 2000-01	Media 2002-03	Massimo 2002-03	Media 2004-05	Massimo 2004-05
AL01	45.02	168.55	42.39	176.10	31.85	87.50
AL02	47.45	110.47	50.74	101.13	41.98	76.13
AL03	45.51	134.65	37.05	75.40	44.94	87.35
AL04	59.29	104.10	51.57	102.93	47.09	119.25
AL05	41.80	85.97	38.91	65.30	35.21	64.57
AL06	17.16	44.40	16.17	44.40	13.56	31.33
AT01	26.90	121.00	26.98	137.50	26.71	125.25
CN01	26.85	47.38	28.52	46.75	26.95	51.40
CN02	29.47	64.00	28.49	59.75	30.82	67.53
CN03	41.52	173.75	39.02	147.50	38.53	114.88
IV01	44.06	157.97	35.20	85.26	25.63	74.01
NO01	15.57	31.50	13.18	32.10	16.42	67.70
NO02	10.62	40.75	7.22	24.57	14.25	31.57
TE05	43.28	75.25	38.47	62.40	37.30	54.87
TO01	29.23	59.25	29.04	84.05	25.35	28.43
TO03	16.57	31.25	18.77	30.90	21.01	34.25
TO05	24.20	35.25			23.98	35.67
TO07	22.94	72.00	22.02	48.95	24.87	63.25
TO08	56.47	142.33	55.48	108.78	57.35	149.50
VC01	25.40	56.75	19.30	54.35	23.94	85.25
VC02	13.35	51.88	12.16	50.88	16.94	46.35
VC03	16.08	54.15	13.85	44.22	15.06	48.40
VC04	25.90	51.25	21.91	59.80	19.41	60.53

Nella figura 44 e nei cartogrammi delle figure 45, 46 e 47 viene presentato l'andamento dei valori medi di nitrati a livello areale per i tre bienni esaminati con il riferimento alle soglie delle classi di valori considerate nel DPGR 9/R.

Figura 44 – Andamento medie areali nei bienni 2000-01, 2002-03 e 2004-05



Dalle elaborazioni effettuate i settori più critici si confermano negli anni: l'altopiano di Poirino con valori medi areali costantemente superiori a 50 mg/L; il settore alessandrino con una variazione dei valori medi nelle aree idrogeologiche (generalmente contenuti), che da un lato hanno portato ad una variazione di classe, dall'altro però confermano la situazione con valori medi generalmente compresi tra 40 e 50 mg/L ed il settore cuneese con valori sostanzialmente costanti compresi tra 25 e 40 mg/L.

Figura 45 – Medie areali, biennio 2000-2001 (Prima designazione aree vulnerabili da nitrati)

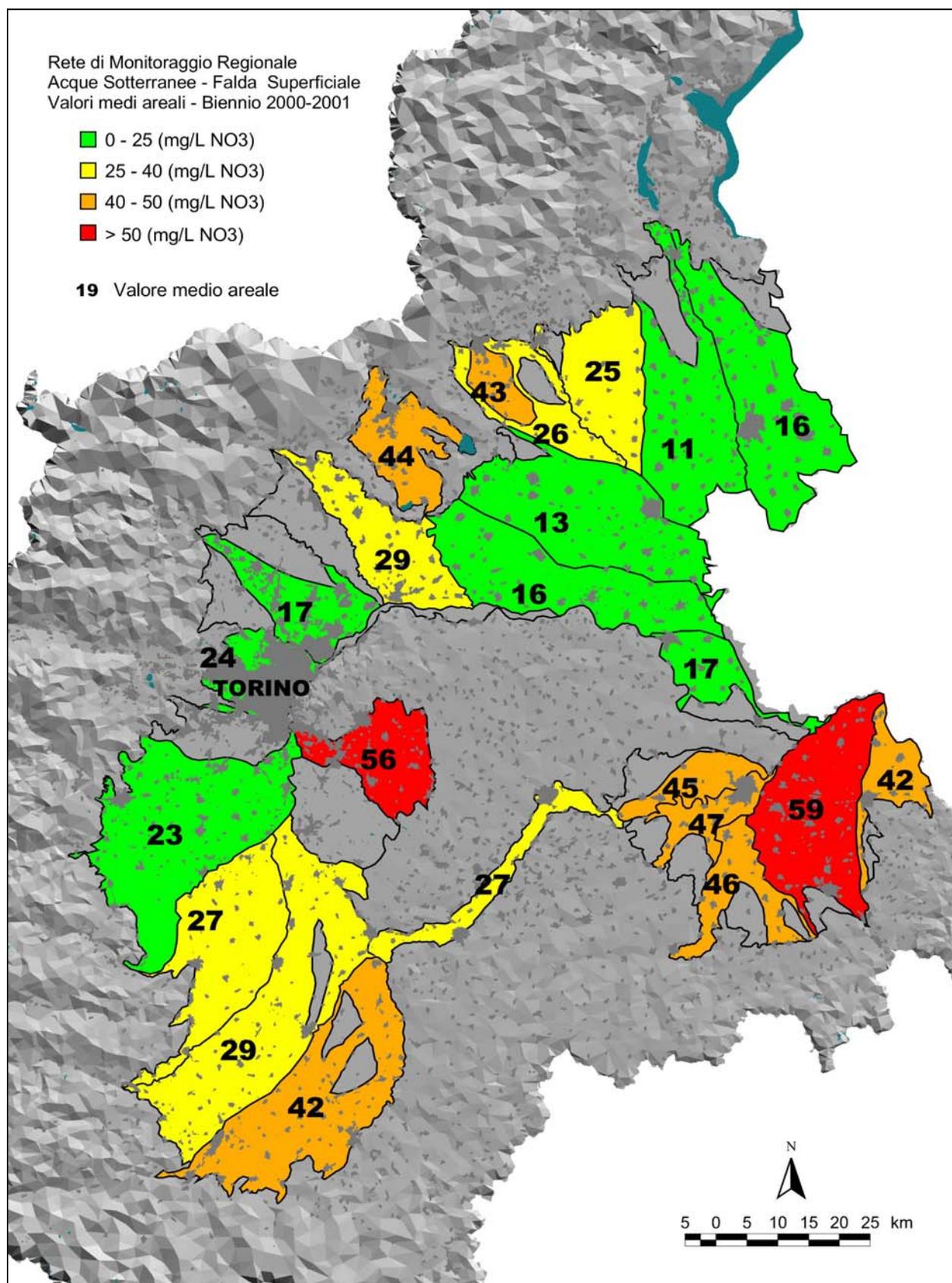


Figura 46 – Medie areali, biennio 2002-2003

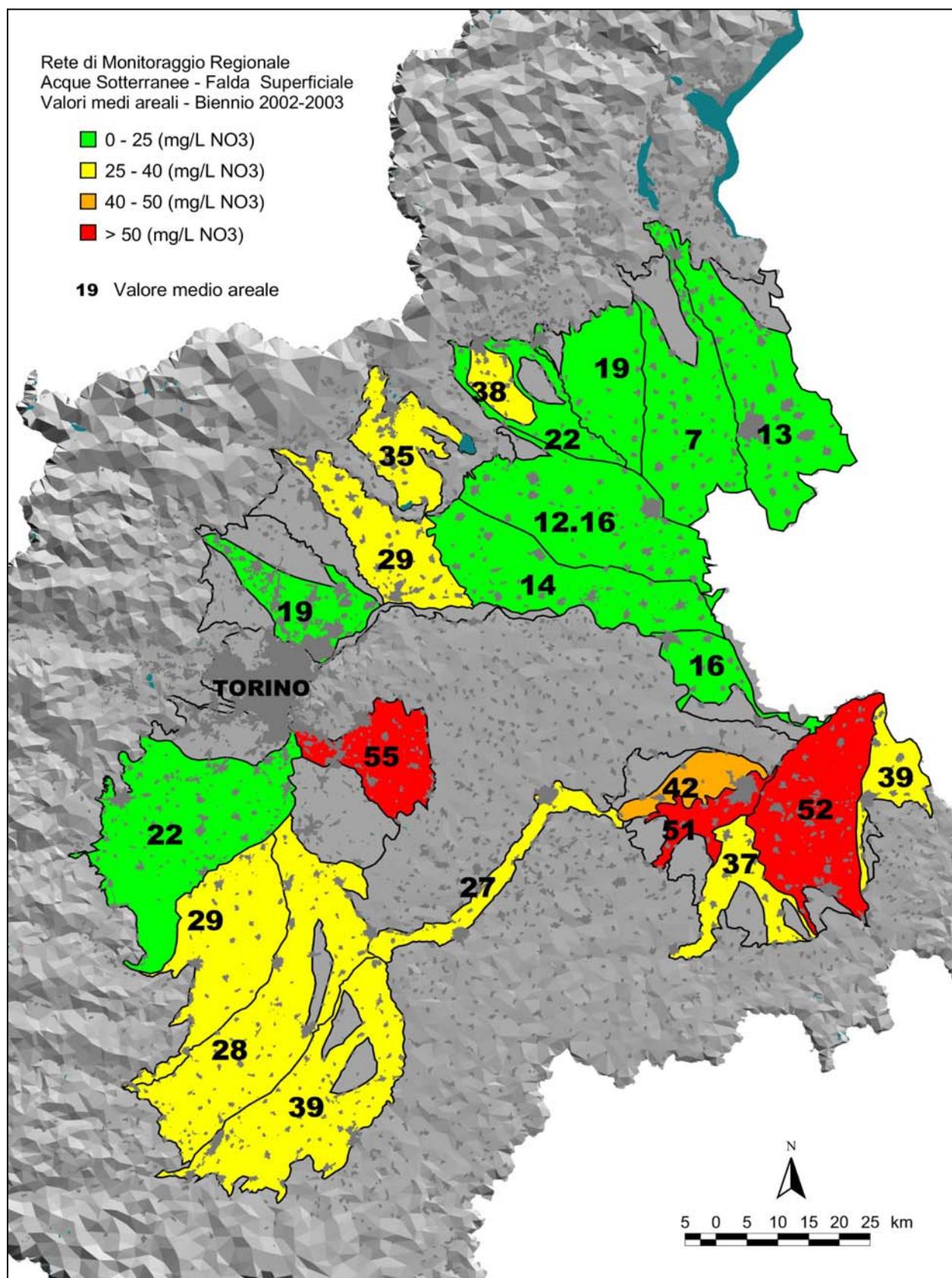
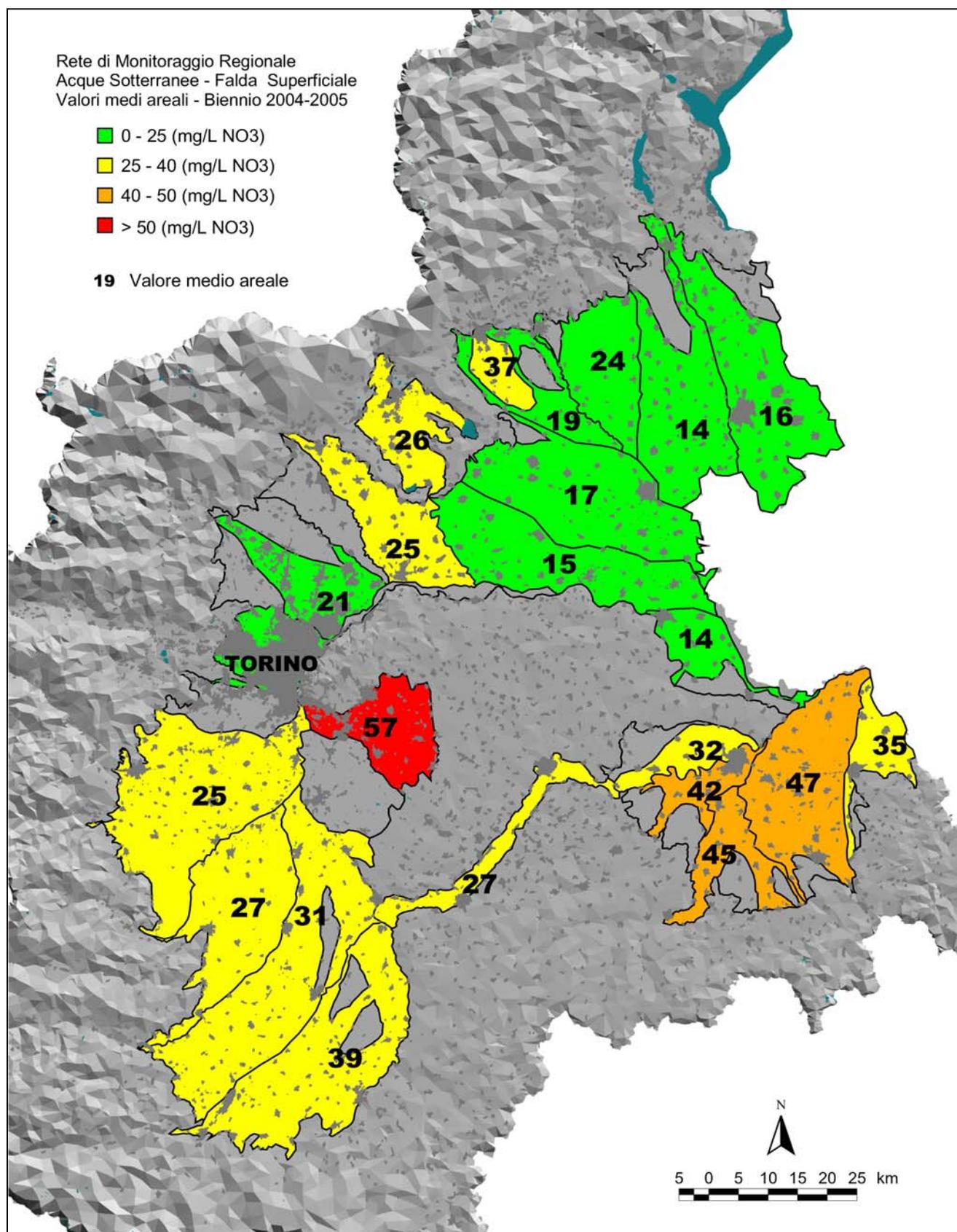


Figura 47 – Medie areali, biennio 2004-2005



E' importante sottolineare che la categorizzazione dei valori medi areali in classi può portare a variazioni di classe, come evidenziato nei cartogrammi precedenti, pur in presenza di piccoli scostamenti. Un esempio emblematico è rappresentato dall'area idrogeologica CN03, dove una variazione della concentrazione media di nitrati che passa da 41.5 mg/L nel biennio 2000-2001 a 38.5 mg/L nel biennio 2004-2005 (denotando quindi una oscillazione molto contenuta), determina in realtà una variazione dalla classe 40-50 alla 25-40 mg/L. Casi analoghi sono stati riscontrati anche in altre aree idrogeologiche.

Appare quindi evidente come le valutazioni sulla evoluzione del fenomeno, prendendo in considerazione solo la categorizzazione delle medie areali, presentino criticità evidenti quando i valori sono prossimi al cambio di classe.

Tra gli aspetti da considerare in sede di valutazione è opportuno evidenziare anche l'intervallo di incertezza della misura, che può influenzare l'attribuzione della classe.

La valutazione delle tendenze, soprattutto a livello di area idrogeologica o di aggregazioni di aree, risulta quindi un esercizio alquanto complesso che deve prendere in considerazione molteplici aspetti e che richiede un'accurata raccolta, organizzazione e successiva sintesi di tutte le informazioni disponibili.

Studio dei trend nel settore Alessandrino

La valutazione di eventuali tendenze relative al parametro nitrati è stata successivamente effettuata su un'area ritenuta significativa per la presenza del fenomeno. Tale area appartiene al settore Alessandrino ed è rappresentata dall'aggregazione delle aree AL03, AL04 e AL05.

Le elaborazioni effettuate riflettono quelle svolte a livello regionale e sono riassunte nello schema di seguito riportato:



Selezione punti

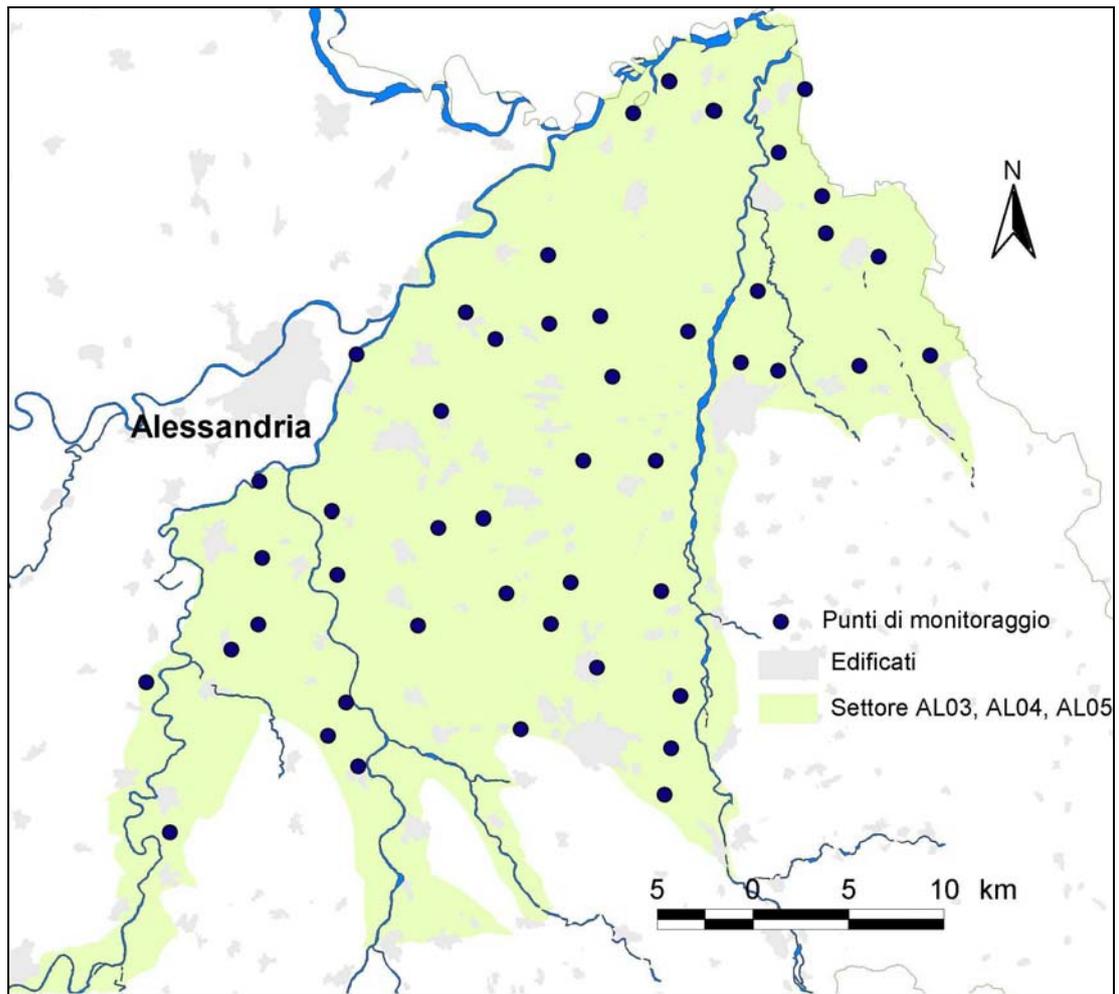
I punti di partenza sono rappresentati dai punti di monitoraggio relativi alla falda superficiale presenti nell'area considerata dal 2000 al 2005.

Sono stati giudicati congruenti per le elaborazioni i punti che presentano una continuità di dati, presentando quindi almeno un campione in ognuno degli anni considerati.

La base dati è risultata così costituita da 50 punti.

La distribuzione dei punti all'interno dell'accorpamento delle aree di riferimento è rappresentata in figura 48.

Figura 48 – Distribuzione dei punti di monitoraggio nel settore AL03, AL04 e AL05



Valutazione dei dati biennali

Per ciascun punto di monitoraggio è stata calcolata la concentrazione media dei nitrati per i bienni 2000-2001, 2002-2003 e 2004-2005.

La distribuzione della concentrazione media è rappresentata dagli istogrammi riportati di seguito (figure 49, 50, 51).

Come si può notare dall'esame di tali grafici i diversi punti di monitoraggio presentano un'elevata dispersione attorno alla media globale.

Figura 49 – Distribuzione dei valori medi di nitrati, biennio 2000-2001

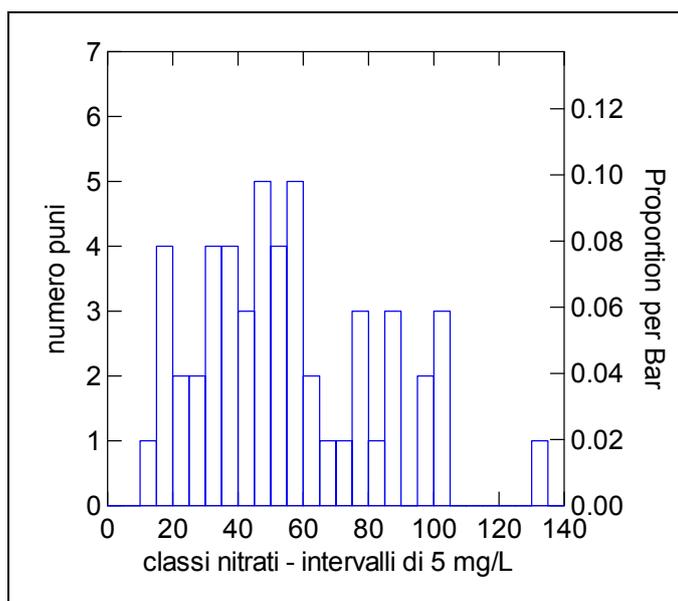


Figura 50 – Distribuzione dei valori medi di nitrati, biennio 2002-2003

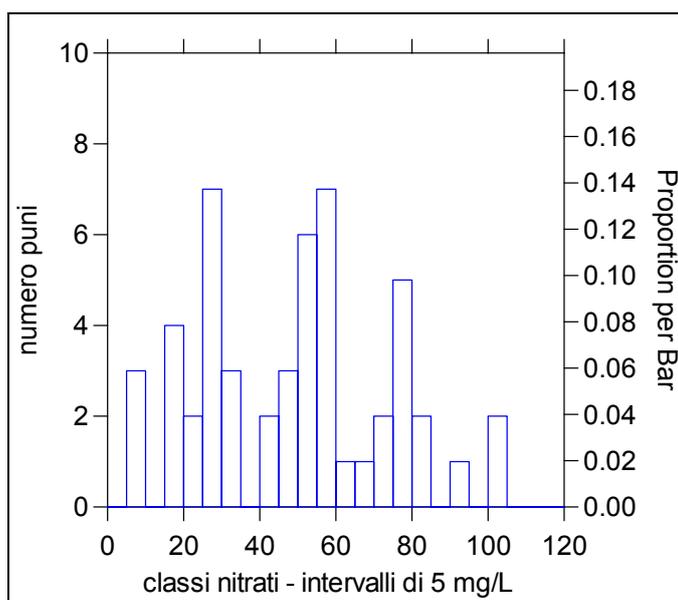
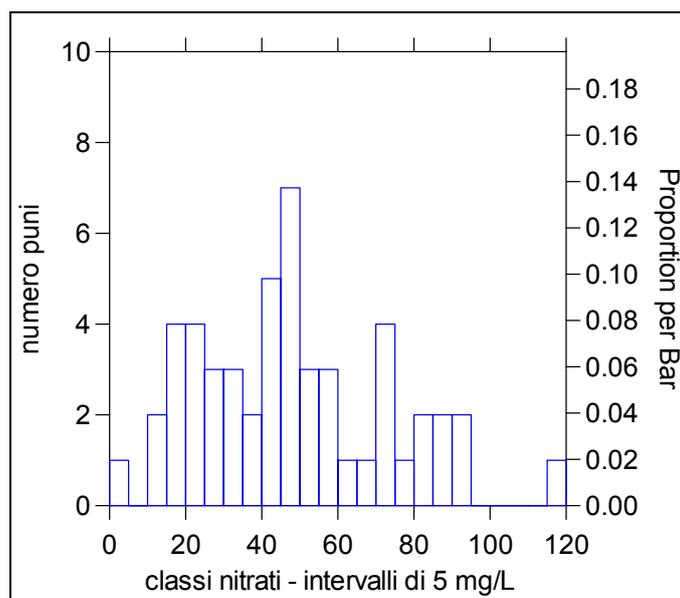


Figura 51 – Distribuzione dei valori medi di nitrati, biennio 2004-2005



Studio delle medie areali

E' stato calcolato il valore medio areale sull'aggregazione delle tre aree considerate tenendo conto dei dati di nitrati nei bienni 2000-2001, 2002-2003 e 2004-2005.

I risultati sono presentati nelle figure 52, 53 e 54.

Si nota come nel corso degli anni il valore medio areale di nitrati sia diminuito, passando da 55.18 a 48.17 mg/L, anche se, a causa dell'elevata dispersione delle concentrazioni puntuali, tale diminuzione non raggiunge la significatività statistica per confermare una tendenza alla diminuzione.

Si tratta infatti di una diminuzione su un valore medio areale, che rimane comunque prossimo a 50 mg/L e quindi al cambio di classe. Bastano infatti piccole variazioni intorno al valore soglia perché vi sia il cambio di classe.

La media areale, pur essendo un dato importante, non è quindi sufficiente ad individuare una determinata situazione ambientale e deve essere considerata anche nel contesto dei dati puntuali.

Figura 52 – Media areale, biennio 2000-2001

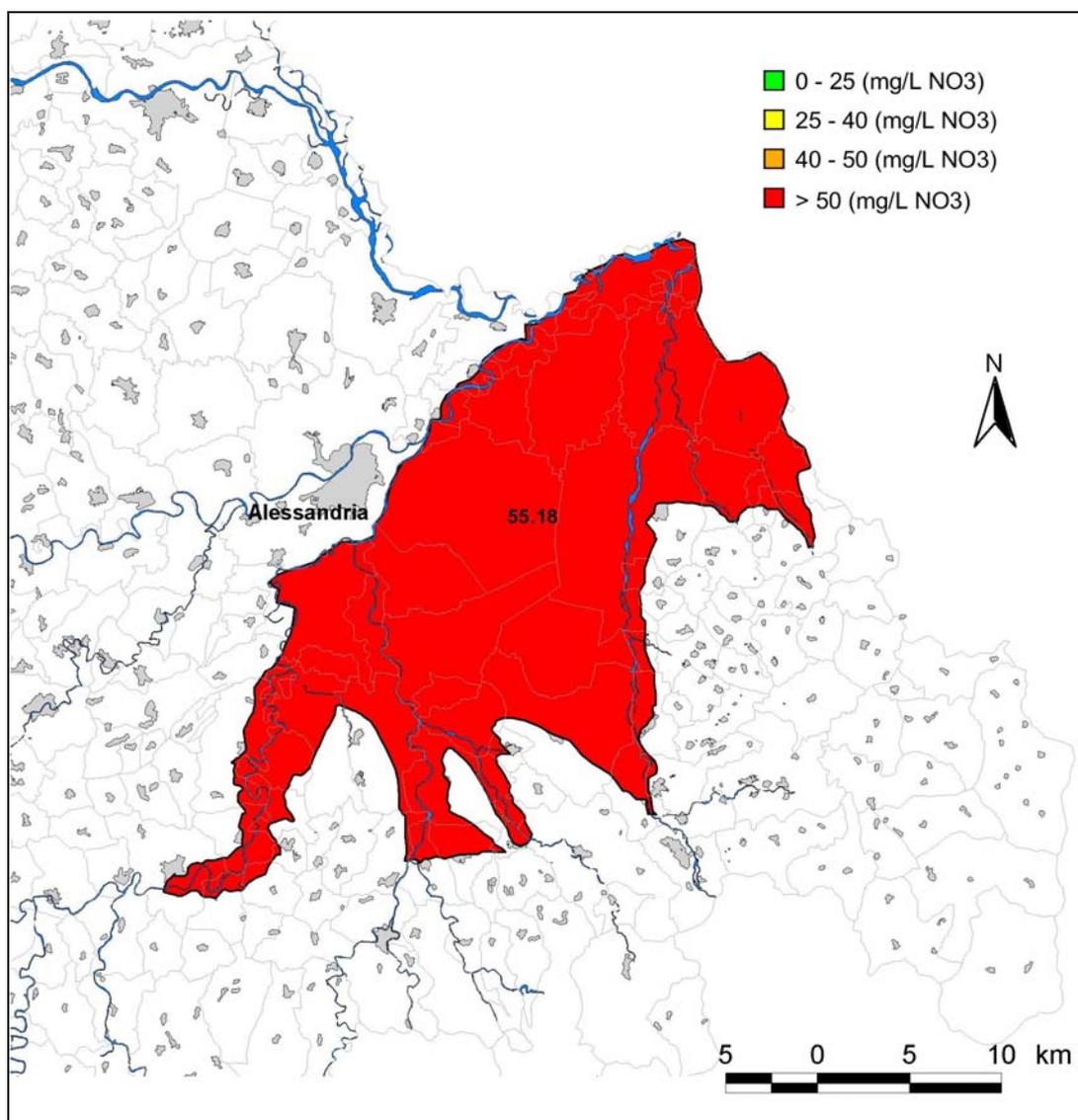


Figura 53 – Media areale, biennio 2002-2003

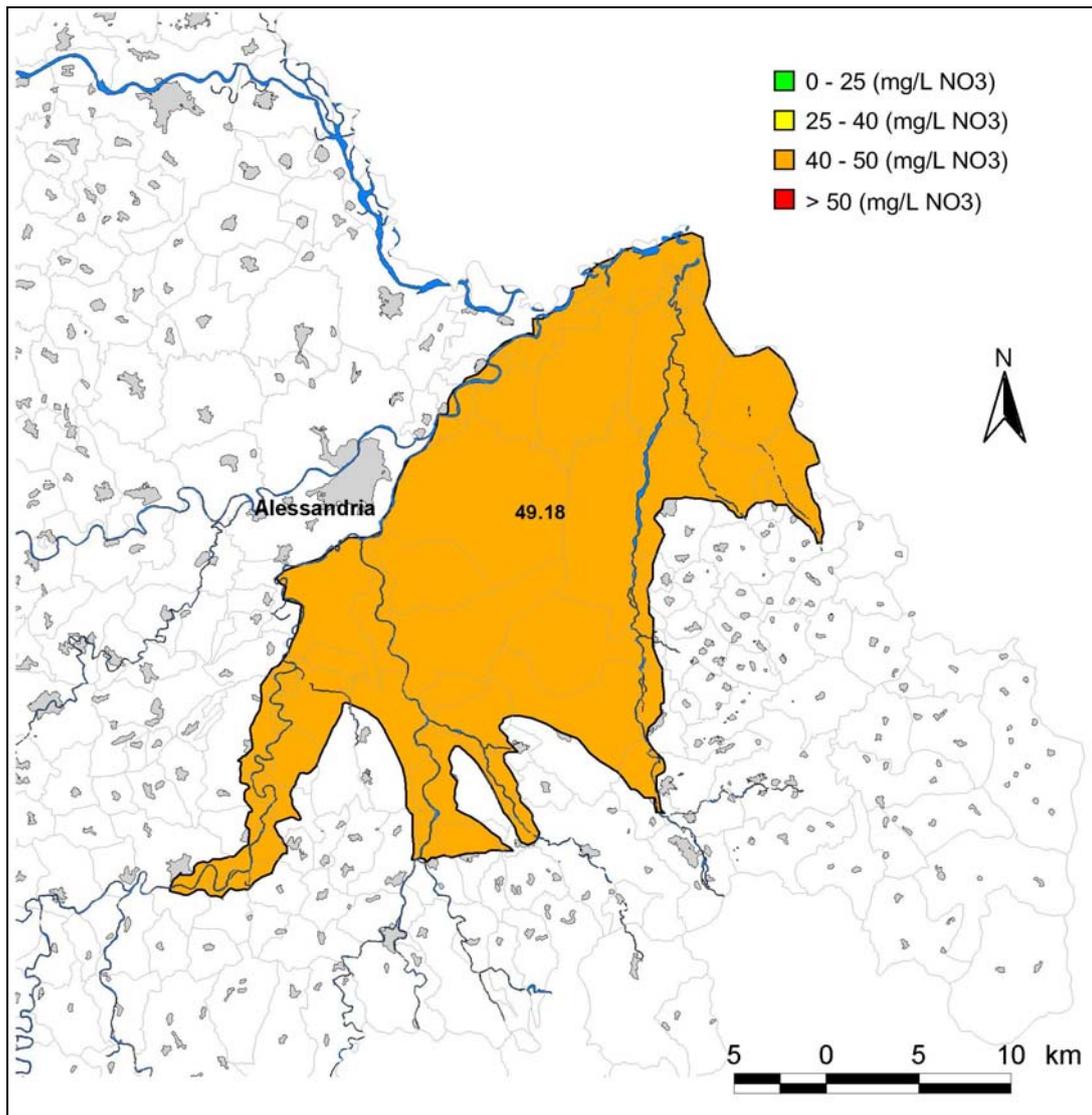
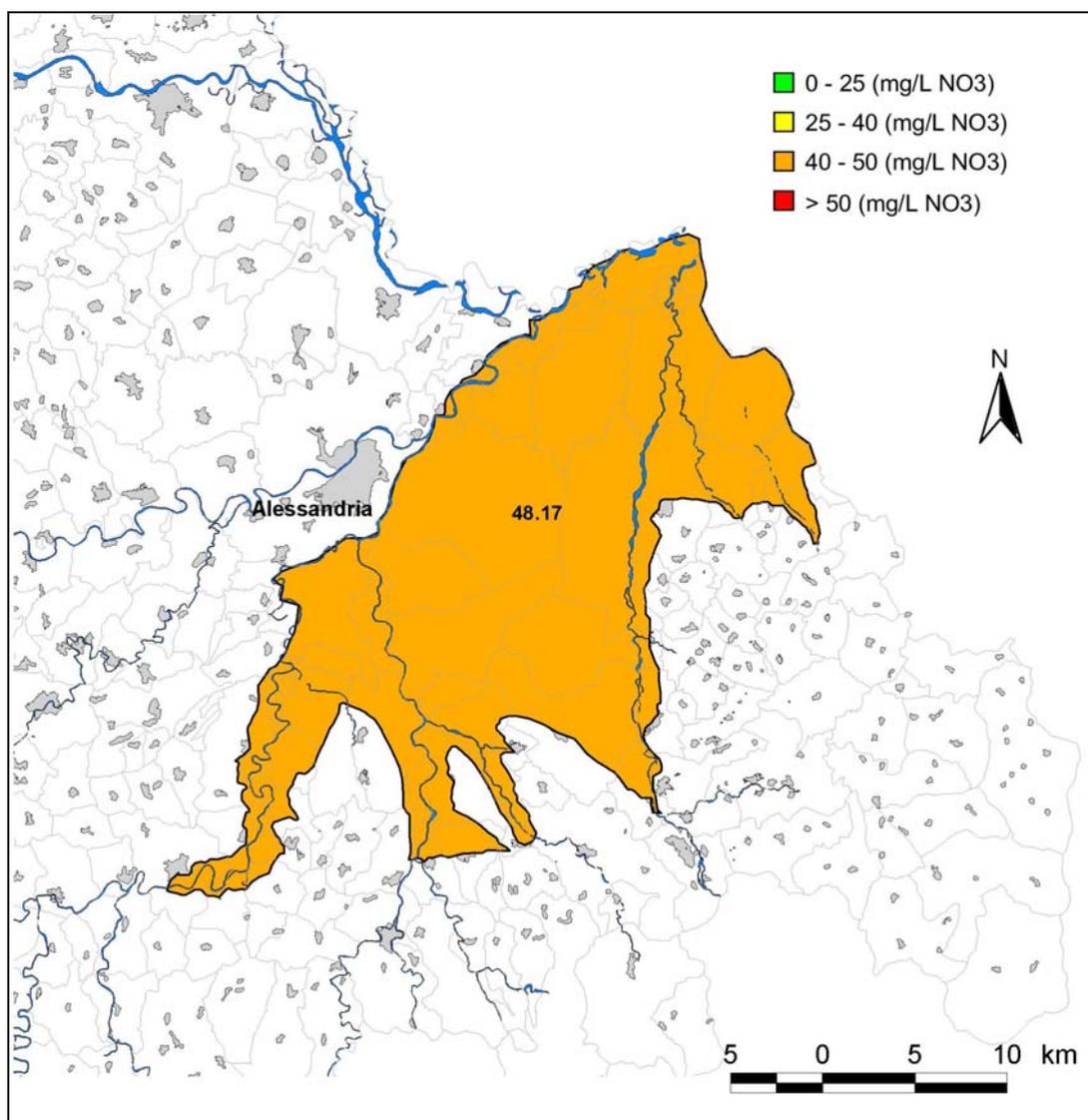


Figura 54 – Media areale, biennio 2004-2005



Ricerca di trend lineare e applicazione GWstat

La valutazione delle tendenze nelle concentrazioni del contaminante nitrati nell'area selezionata è stata effettuata applicando il software dedicato GWstat e verificando i risultati con un'analisi statistica basata sulla significatività di un modello lineare di tipo monotono (crescente o decrescente).

L'attività è stata preceduta dall'individuazione degli eventuali dati anomali attraverso l'applicazione di tecniche statistiche non parametriche (MAD = Median Absolute Deviation). Le anomalie riscontrate sono risultate numericamente trascurabili in relazione alla quantità di dati disponibili.

Sono stati quindi inseriti in GWstat i dati dal 2000 al 2005 per i punti selezionati, aventi continuità del dato nitrati nel settore considerato.

Per ogni punto di monitoraggio si è prodotto, con GWstat, il grafico temporale della concentrazione di nitrati con sovrapposizione dell'eventuale tendenza lineare crescente o decrescente, la cui significatività è esplicitata nella parte superiore di ciascun grafico.

I singoli grafici sono riportati in Allegato 2, mentre di seguito vengono mostrati tre esempi dei risultati ottenuti: trend lineare crescente (figura 55), trend lineare decrescente (figura 56), trend lineare non rilevato (figura 57).

Figura 55 – Trend lineare crescente

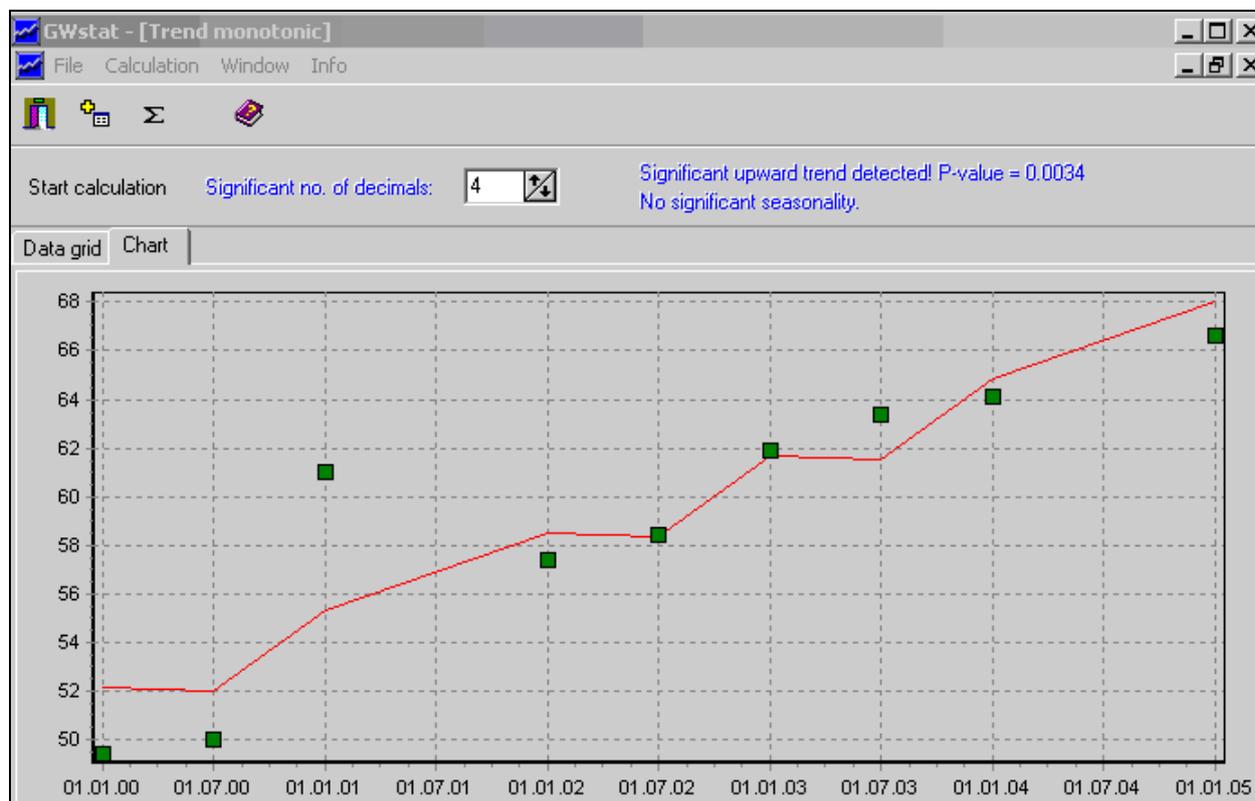


Figura 56 – Trend lineare decrescente

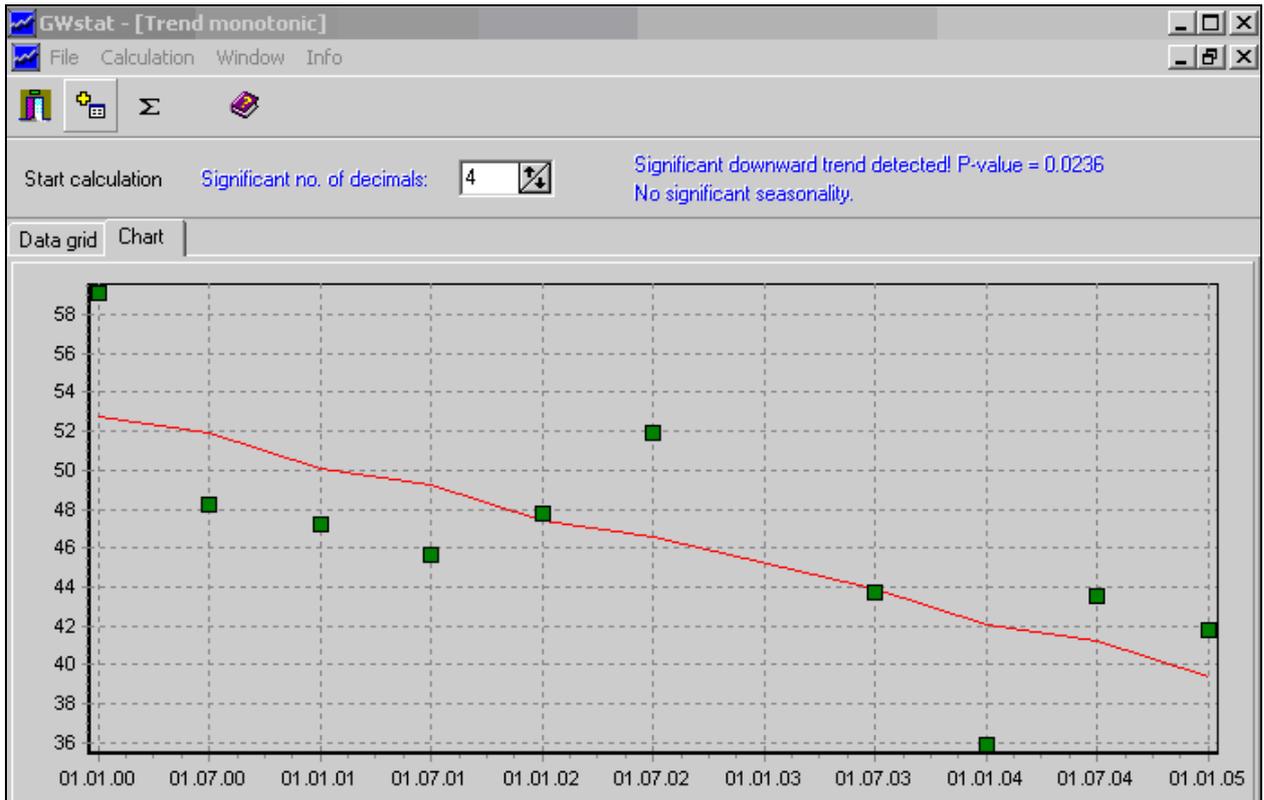
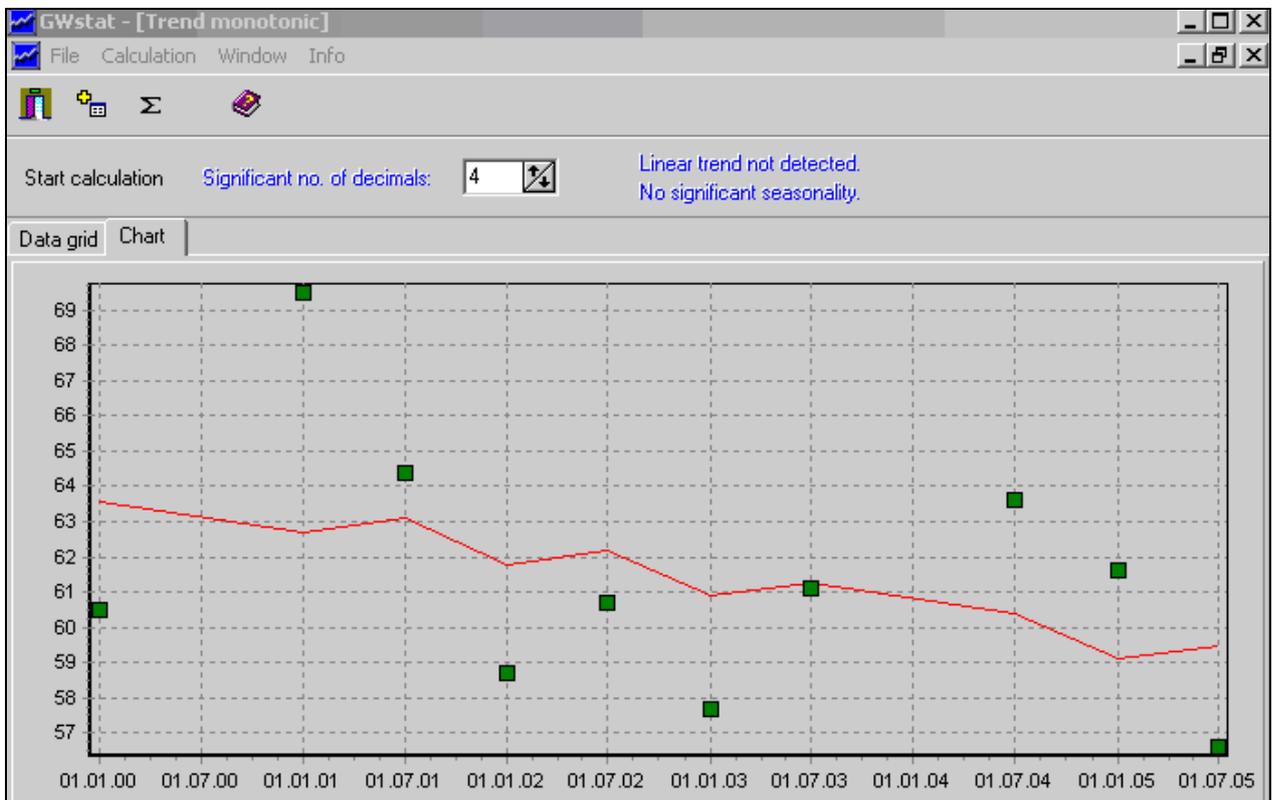
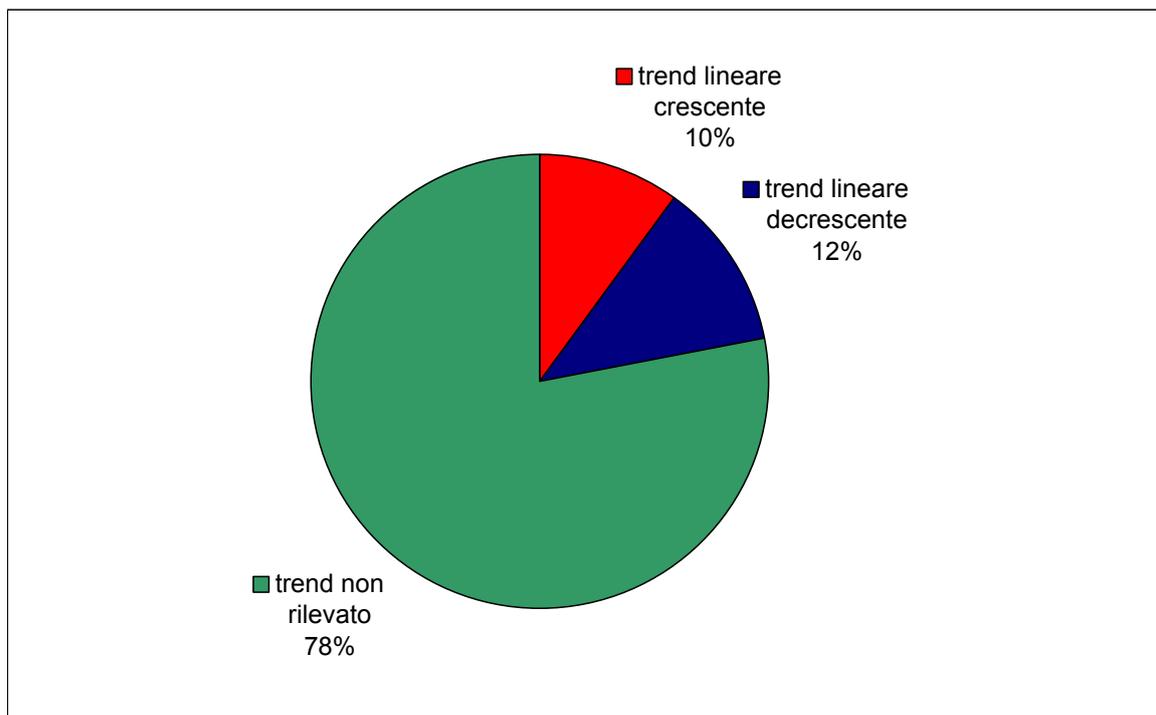


Figura 57 – Trend lineare non rilevato



La sintesi dei risultati è riportata in figura 58. Si nota come la maggior parte dei punti (78%) non presenta un trend in atto relativamente ai nitrati, mentre sul 22% dei punti è stata rilevata l'esistenza di un trend lineare. Di questi, nel 10% dei casi è stato riscontrato un trend lineare crescente e nel 12% un trend lineare decrescente.

Figura 58 – Sintesi risultati applicazione GWstat, trend lineare



I risultati ottenuti con GWstat sono stati valutati mediante un semplice studio di regressione lineare. Tale tecnica è il principale metodo che consente di stimare il miglior modello lineare per spiegare le variazioni della variabile dipendente, la concentrazione dei nitrati, in funzione della variabile tempo, rappresentata dalle diverse campagne di campionamento.

Come risultato si ottiene l'equazione esplicita del modello lineare e il coefficiente di determinazione R^2 . L'analisi congiunta di tale coefficiente e della pendenza del modello lineare (mediante l'effettuazione di specifici test statistici) porta a valutare la significatività del modello e, successivamente, l'esistenza di un trend effettivo, sia esso crescente o decrescente.

Di seguito vengono mostrati tre esempi dei risultati ottenuti: trend lineare crescente (figura 59), trend lineare decrescente (figura 60), trend lineare non significativo (figura 61).

Figura 59 – Trend lineare crescente

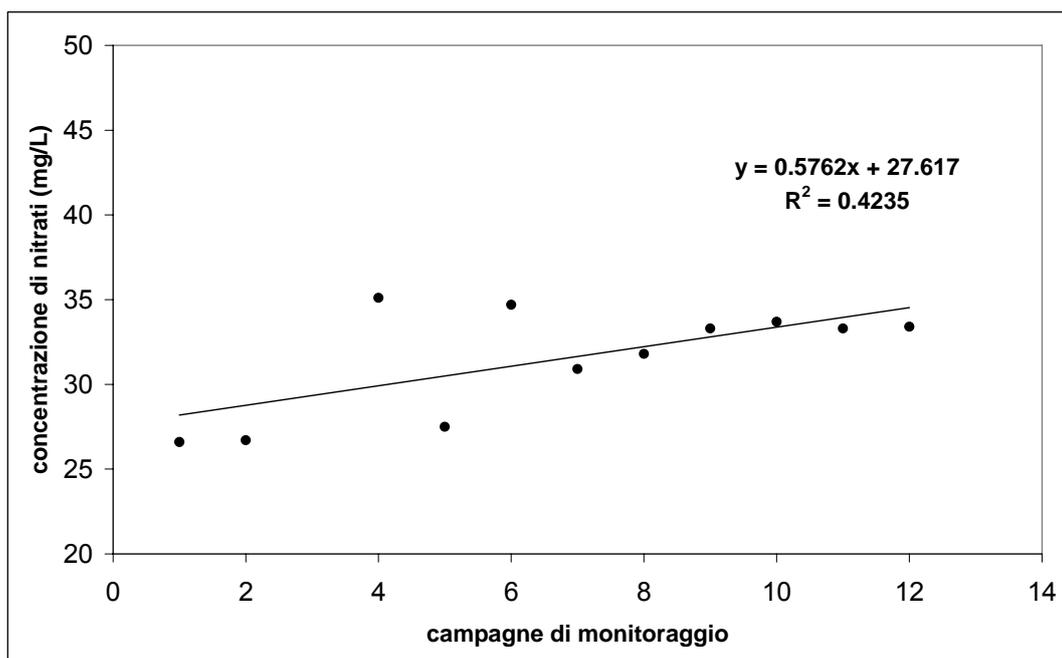


Figura 60 – Trend lineare decrescente

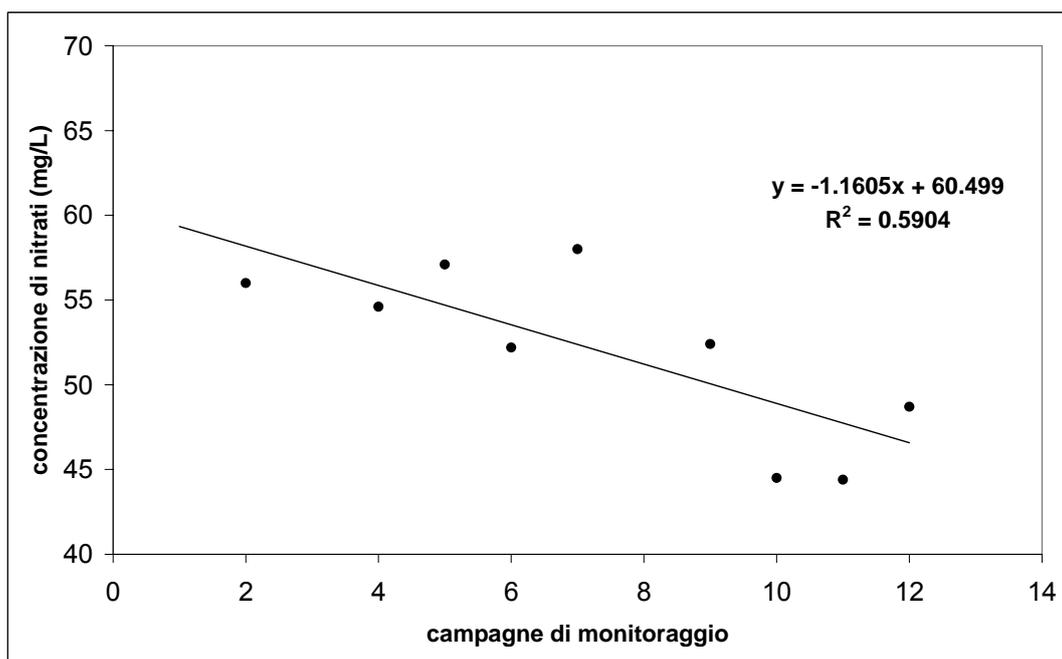
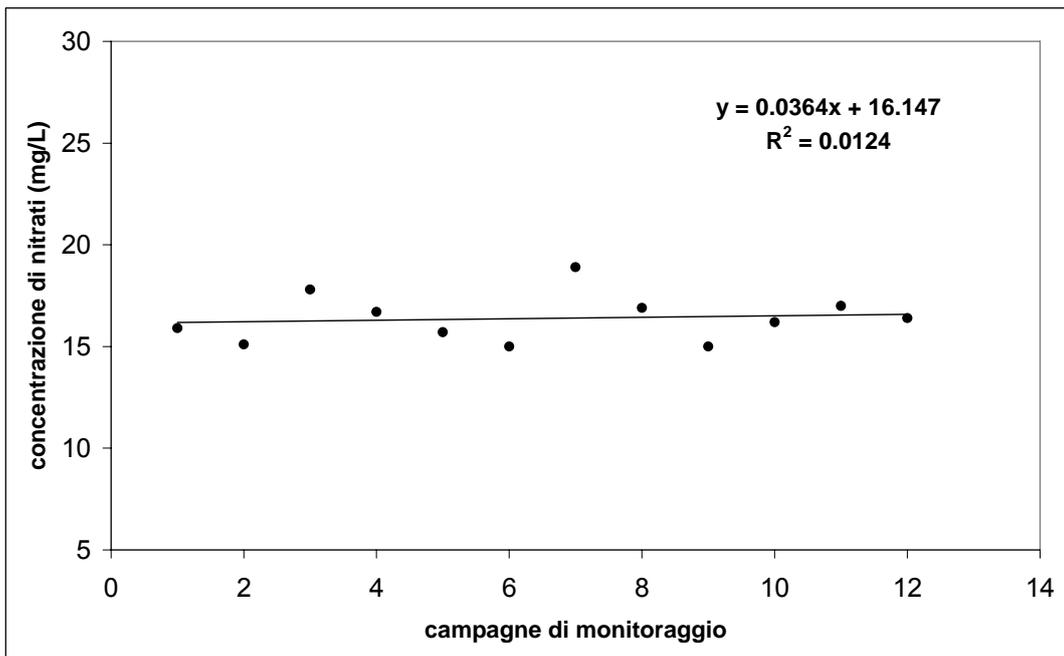


Figura 61 – Trend lineare non significativo



Lo studio delle tendenze attraverso la regressione lineare permette di individuare anche i trend deboli (il software GWstat distingue solamente tra tendenza significativa e non significativa) e i casi in cui la tendenza è lineare, ma con pendenza trascurabile, nel qual caso si potrebbe giungere a interpretazioni non corrette della situazione ambientale. Le discordanze sono risultate minime (meno del 10% dei casi) e sono riportate nella tabella che segue (tabella 22).

Tabella 22 – Valutazione dei risultati

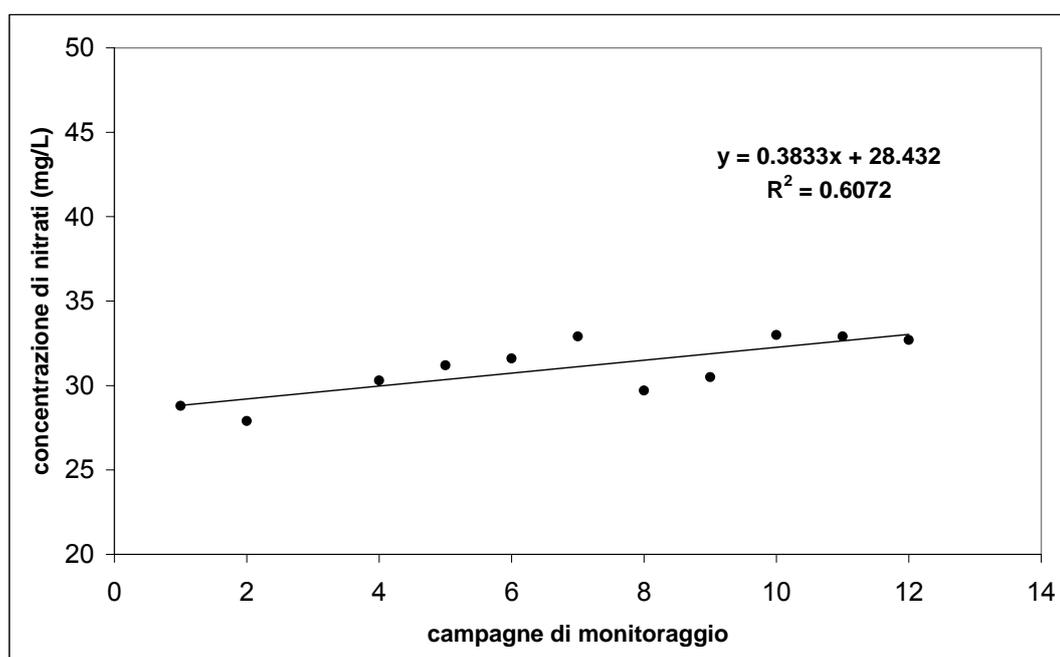
Codice	Trend lineare con GWstat	Conferma risultati	Osservazioni
00600300013	Non rilevato	SI	
00600300014	Non rilevato	SI	
00600300015	Non rilevato	NO	L'analisi regressiva lineare evidenzia un trend decrescente. L'andamento presenta componenti oscillatorie.
00600300018	Non rilevato	SI	
00600300020	Non rilevato	SI	
00600300023	Non rilevato	SI	
00602100004	Non rilevato	SI	
00602100005	Significativo crescente	SI	
00604000002	Non rilevato	NO	L'analisi regressiva lineare evidenzia un trend decrescente. L'andamento presenta componenti oscillatorie.
00604300001	Non rilevato	SI	
00604700003	Significativo decrescente	SI	
00604700004	Significativo crescente	SI	
00604700007	Significativo crescente	SI	
00605200002	Significativo decrescente	SI	
00605300003	Non rilevato	SI	
00605300004	Non rilevato	SI	
00605300005	Significativo decrescente	SI	
00605300006	Non rilevato	NO	L'analisi regressiva lineare evidenzia un trend decrescente. L'andamento presenta componenti oscillatorie.
00605400001	Non rilevato	SI	
00607500002	Non rilevato	SI	
00607500003	Non rilevato	SI	
00607500004	Non rilevato	SI	
00608600001	Significativo decrescente	SI	
00608600002	Significativo decrescente	SI	
00608700002	Non rilevato	SI	
00608700003	Non rilevato	SI	
00608700004	Non rilevato	SI	
00609600001	Significativo crescente	NO	Il trend ha solamente un significato statistico. La pendenza del modello non è tale da poter rappresentare un'effettiva tendenza all'aumento delle concentrazioni di nitrati.
00611400002	Non rilevato	SI	
00611400003	Non rilevato	SI	
00611400004	Non rilevato	SI	
00611400006	Non rilevato	SI	
00613000001	Non rilevato	SI	
00613200003	Non rilevato	SI	
00613200005	Non rilevato	SI	
00613800002	Non rilevato	SI	
00613800004	Non rilevato	SI	
00613800005	Significativo decrescente	SI	
00613800006	Non rilevato	SI	
00614000003	Non rilevato	SI	
00614000004	Non rilevato	SI	
00614000005	Significativo crescente	SI	

00615100001	Non rilevato	SI	
00615100004	Non rilevato	SI	
00617400003	Non rilevato	SI	
00617400005	Non rilevato	NO	L'analisi regressiva lineare evidenzia un trend decrescente. L'andamento presenta componenti oscillatorie.
00617400006	Non rilevato	SI	
00617400007	Non rilevato	SI	
00617400008	Non rilevato	SI	
00618100002	Non rilevato	SI	

Le cinque discordanze riscontrate possono essere riconducibili a due situazioni caratteristiche:

- per 4 punti di monitoraggio su 5 il trend non è stato rilevato da GWstat, mentre l'analisi regressiva evidenzia una tendenza alla diminuzione della concentrazione nel corso degli anni. Si evidenzia comunque che in tutti i casi la diminuzione segue un andamento oscillatorio.
- per il punto 00609600001 il software GWstat rileva un trend crescente significativo, ma l'analisi regressiva evidenzia un modello di trend significativo solo statisticamente, non rispetto alla situazione ambientale. Infatti, come mostrato nella figura seguente (figura 62), la retta regressiva ha una bassa pendenza, evidenziando una variazione di concentrazione compresa in circa 5 mg/L. In aggiunta tale escursione è addirittura inferiore all'incertezza associata alle misure di laboratorio.

Figura 62 – Punto 00609600001



Nella figura 63, vengono presentati i risultati sullo studio delle tendenze nel contesto territoriale derivanti dall'applicazione di GWstat.

Sulla carta dell'area considerata sono stati riportati i pozzi in cui non è stata rilevata alcuna tendenza (rappresentati da semplici punti) e quelli in cui è stata rilevata una tendenza crescente o decrescente, rappresentati con una simbologia specifica associata al punto.

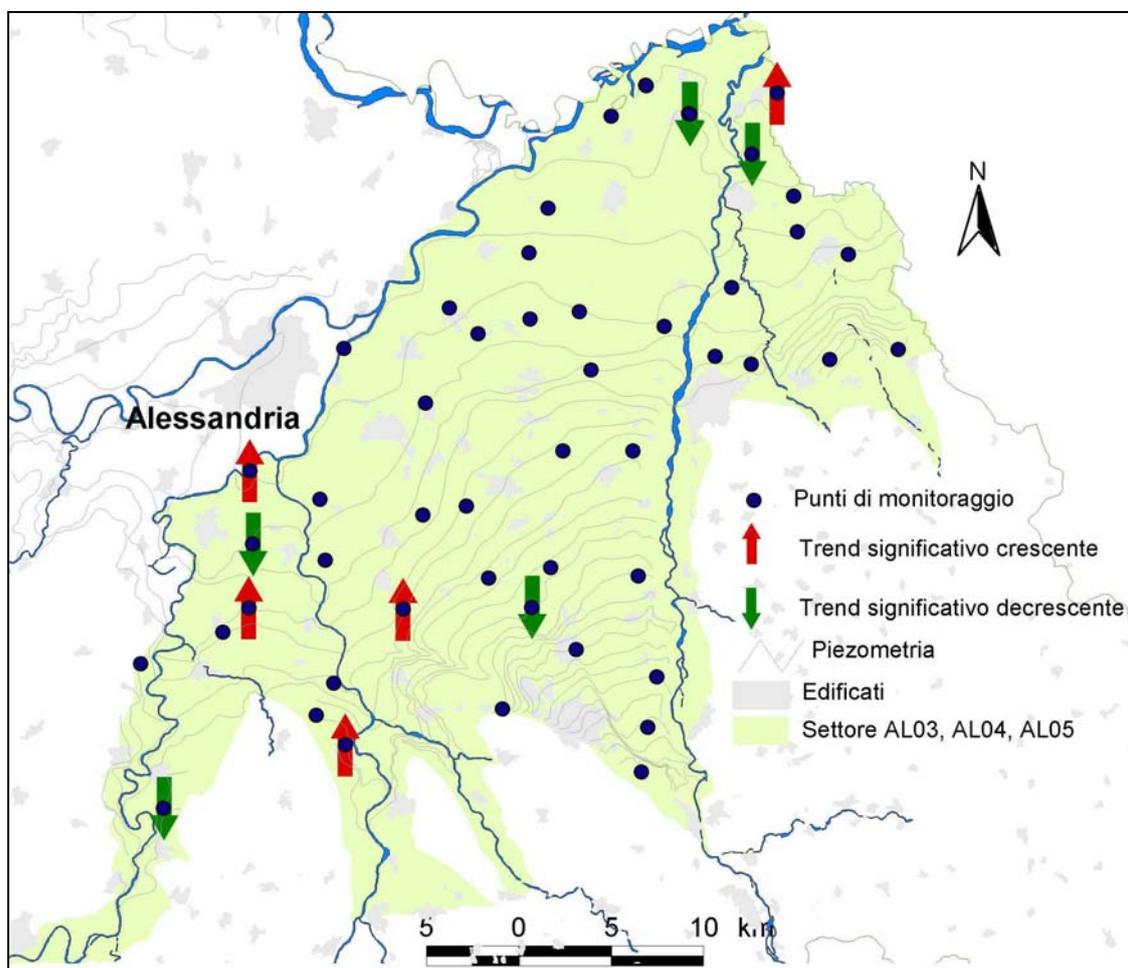
I risultati sono stati messi in relazione alla piezometria dell'area al fine per verificare l'esistenza di correlazione con l'andamento della falda.

Appare evidente che dal punto di vista della distribuzione geografica non è possibile individuare una correlazione tra l'ubicazione dei punti e la presenza o meno di un trend.

Le tendenze rilevate, infatti, seppur apparentemente concentrate a SE e a NW dell'area, non si relazionano tra di loro e sembrano piuttosto il risultato di situazioni locali che la rappresentazione di un fenomeno a vasta scala.

Anche la direzione di deflusso della falda non sembra influire sull'andamento delle concentrazioni dei nitrati.

Figura 63 – Valutazione su base territoriale delle tendenze

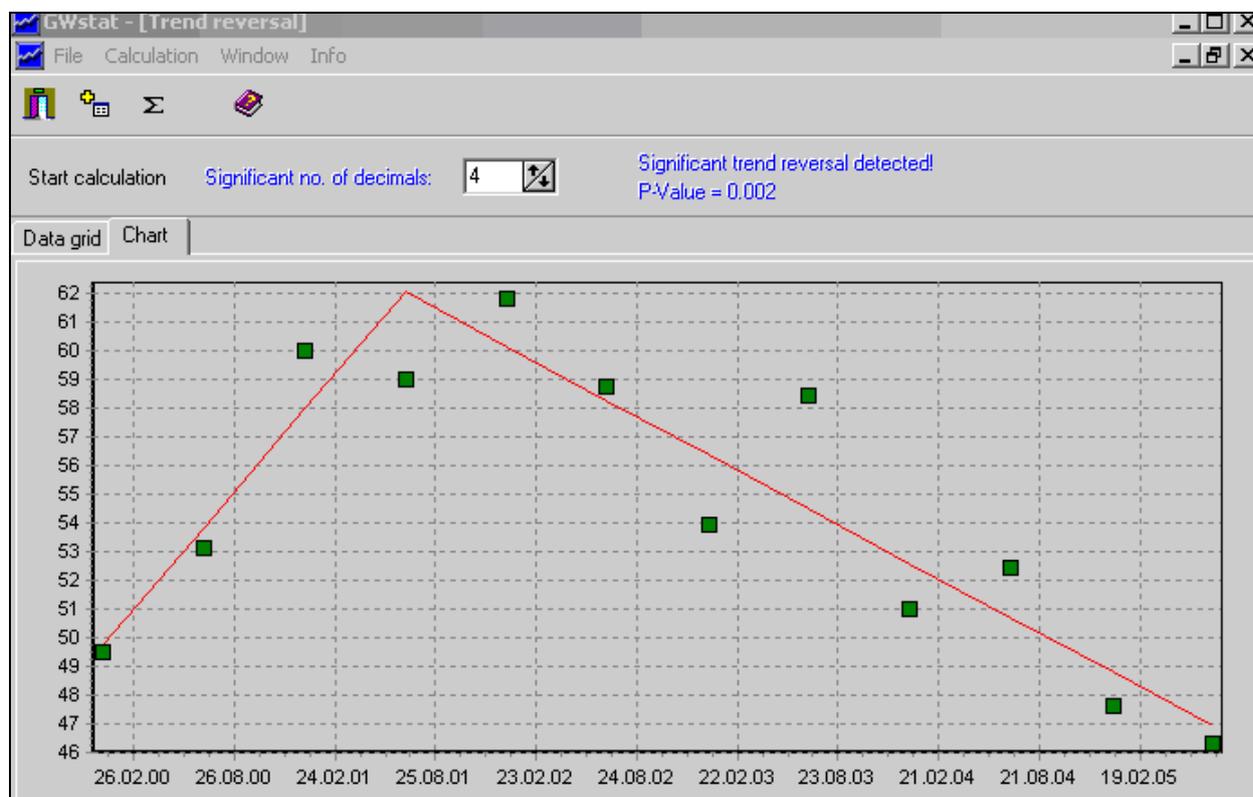


Inversione di tendenza

Oltre alla ricerca delle tendenze di tipo lineare è stata ricercata la presenza di inversioni di tendenza delle concentrazioni di nitrati nel tempo. L'applicazione di GWstat ha evidenziato inversione di tendenza significativa in 3 soli punti di monitoraggio.

I risultati ottenuti con GWstat sono stati, anche in questo caso, valutati rispetto ad un'ottica di significatività ambientale. In particolare si conferma l'inversione di tendenza individuata per il punto 00608700004 (figura 64) e precisamente un'inversione di tendenza da valori di nitrati inizialmente in aumento (da 49.5 mg/L a 61.8 mg/L) che poi diminuiscono con continuità nella seconda parte del periodo (da 61.8 mg/L a 46.35 mg/L).

Figura 64 – Inversione di tendenza, punto 00608700004



Per i punti 00607500002 e 00617400008 (figure 65 e 66), un esame più approfondito dimostra che piuttosto di un'inversione di tendenza si verifica un arresto della tendenza crescente riscontrata inizialmente e una stabilizzazione dei valori nella seconda parte del periodo. In tal caso sarebbe errato considerare l'inversione di tendenza riscontrata da GWstat come un effettivo miglioramento della situazione ambientale.

Figura 65 – Inversione di tendenza, punto 00607500002

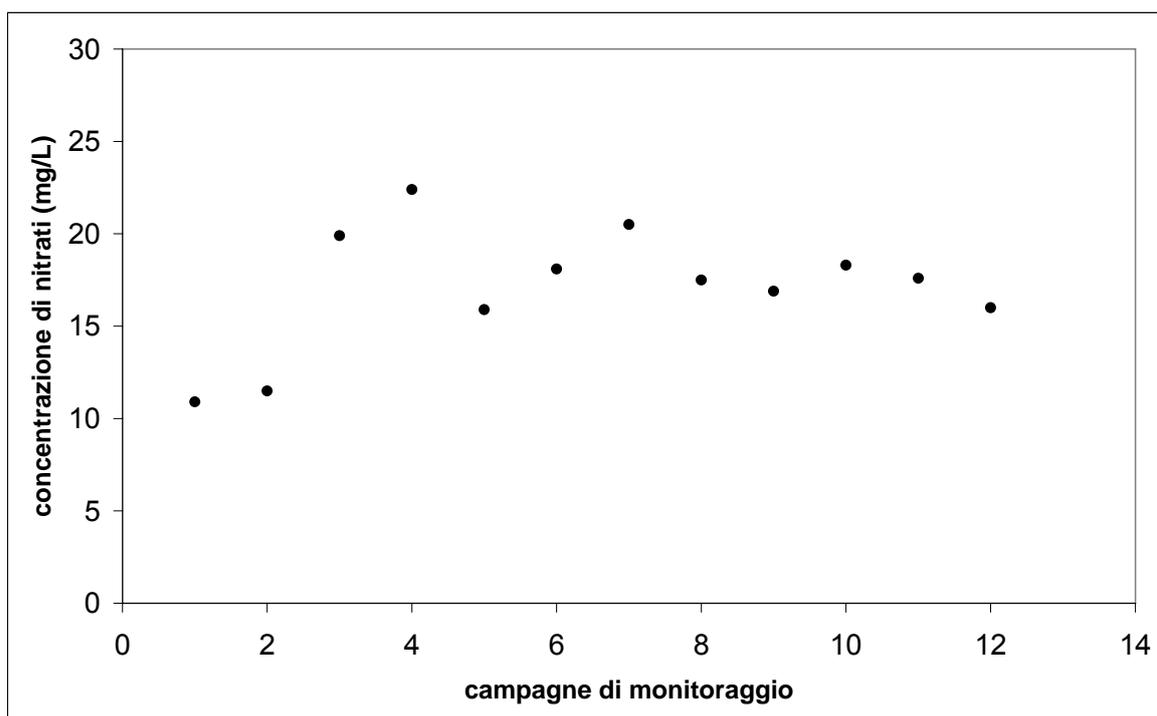
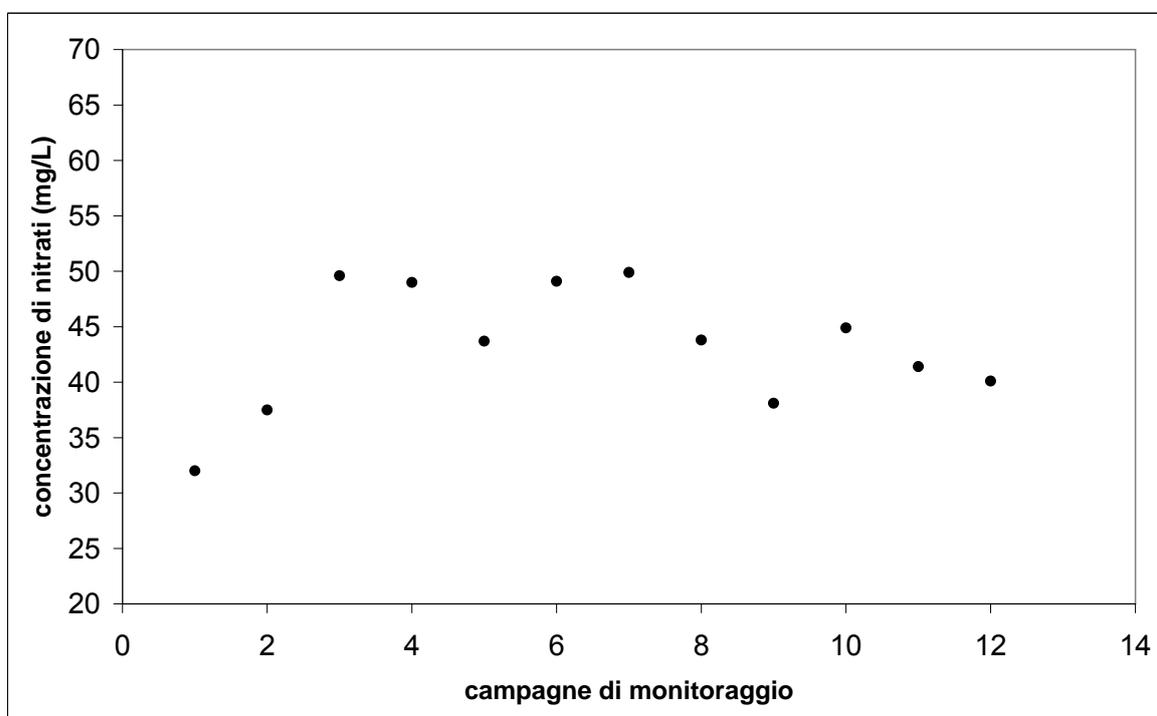


Figura 66 – Inversione di tendenza, punto 00617400008



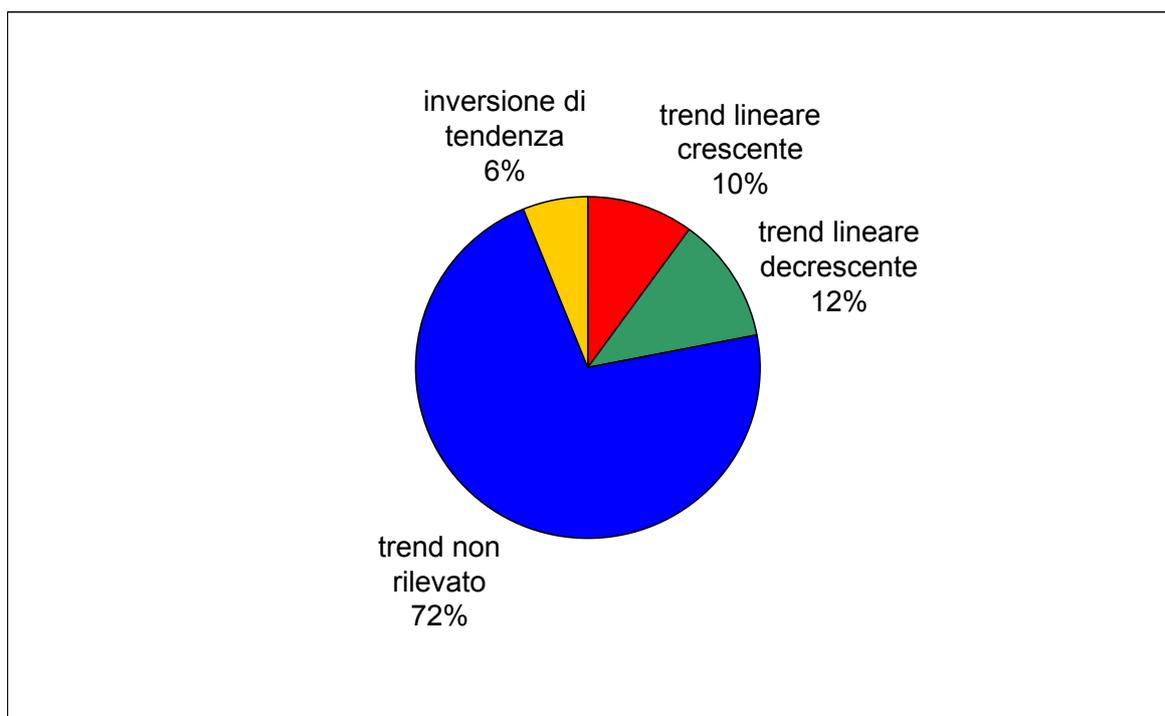
Nella figura 67 sono riuniti e sintetizzati i risultati della ricerca di presenza di tendenza e inversione di tendenza nelle concentrazioni di nitrati per l'area considerata in termini percentuali.

Si nota come la maggior parte dei punti (72%) non presenta trend in atto relativamente ai nitrati, mentre sul 22% dei punti è stata rilevata l'esistenza di trend lineare.

La percentuale di punti in cui è stata riscontrata inversione di tendenza è piuttosto bassa (6%) e quindi non significativa.

Le percentuali di punti con trend lineare crescente (10%) o decrescente (12%) grosso modo si equivalgono, indicando quindi che non esiste una tendenza predominante nell'area. Questo conferma come la diminuzione della media areale, riscontrata in precedenza, non sia significativa.

Figura 67 – Sintesi risultati GWstat



FASE 3A.5 – VALUTAZIONE INTEGRATA CON I PRINCIPALI FATTORI DI PERICOLO POTENZIALE DI VULNERAZIONE PER LE ACQUE SOTTERRANEE

Nell'ambito delle esperienze effettuate per la valutazione dei trend di contaminazione, si affrontano alcune considerazioni (sulla base delle elaborazioni eseguite), finalizzate a comprendere le eventuali implicazioni con i principali fattori di pressione insistenti sul contesto di superficie che possono interferire con lo stato delle acque sotterranee determinandone la vulnerazione.

Al riguardo si prendono in esame alcuni scenari caratteristici del contesto Piemontese, in funzione della presenza/prevalenza di determinati fattori di pressione quali l'urbanizzazione (con le relative attività produttive) e l'agricoltura, valutando la predisposizione alla contaminazione delle acque sotterranee da parte di VOC (composti organici volatili), nitrati e prodotti fitosanitari.

Il termine di confronto è rappresentato dai dati di stato più recenti (biennio 2005-2006) per la falda superficiale.

Dall'esame degli esempi di seguito riportati si deduce come l'incidenza dei principali fattori di pressione nei confronti dello stato della risorsa, in relazione alla tipologia della contaminazione rilevata (nitrati, prodotti fitosanitari e solventi clorurati), fornisca scenari a vari livelli di congruenza anche all'interno dello stesso settore considerato.

In pratica, è necessario distinguere tra situazioni in cui i fattori di pressione si riflettono sullo stato della risorsa producendo un'alterazione del suo stato naturale/iniziale, come avviene per i prodotti fitosanitari ed i solventi clorurati (pur rimanendo al di sotto dei valori di riferimento denotando così un'evidenza qualitativa) e situazioni dove (ad esempio per i nitrati), pur rimanendo valido l'aspetto precedente, da un punto di vista invece quantitativo non si può affermare che esista una correlazione diretta tra presenza e distribuzione dei fattori di pressione e lo stato delle acque sotterranee (maggiore pressione – peggiore stato). Questa deduzione tiene anche conto del fatto che l'ambiente idrico sotterraneo rappresenta un contesto sostanzialmente dinamico rispetto agli eventi che accadono in superficie: le acque sotterranee, anche se lentamente, si muovono.

Queste conclusioni evidenziano la complessità dell'ambiente idrico sotterraneo, sia per quanto riguarda la componente suolo e insaturo, che in relazione alle loro caratteristiche svolgono un importante ruolo di attenuazione nei confronti del carico potenzialmente inquinante, sia per quanto concerne la componente satura (falda acquifera). Quest'ultima può essere soggetta da un lato a fenomeni di minore o

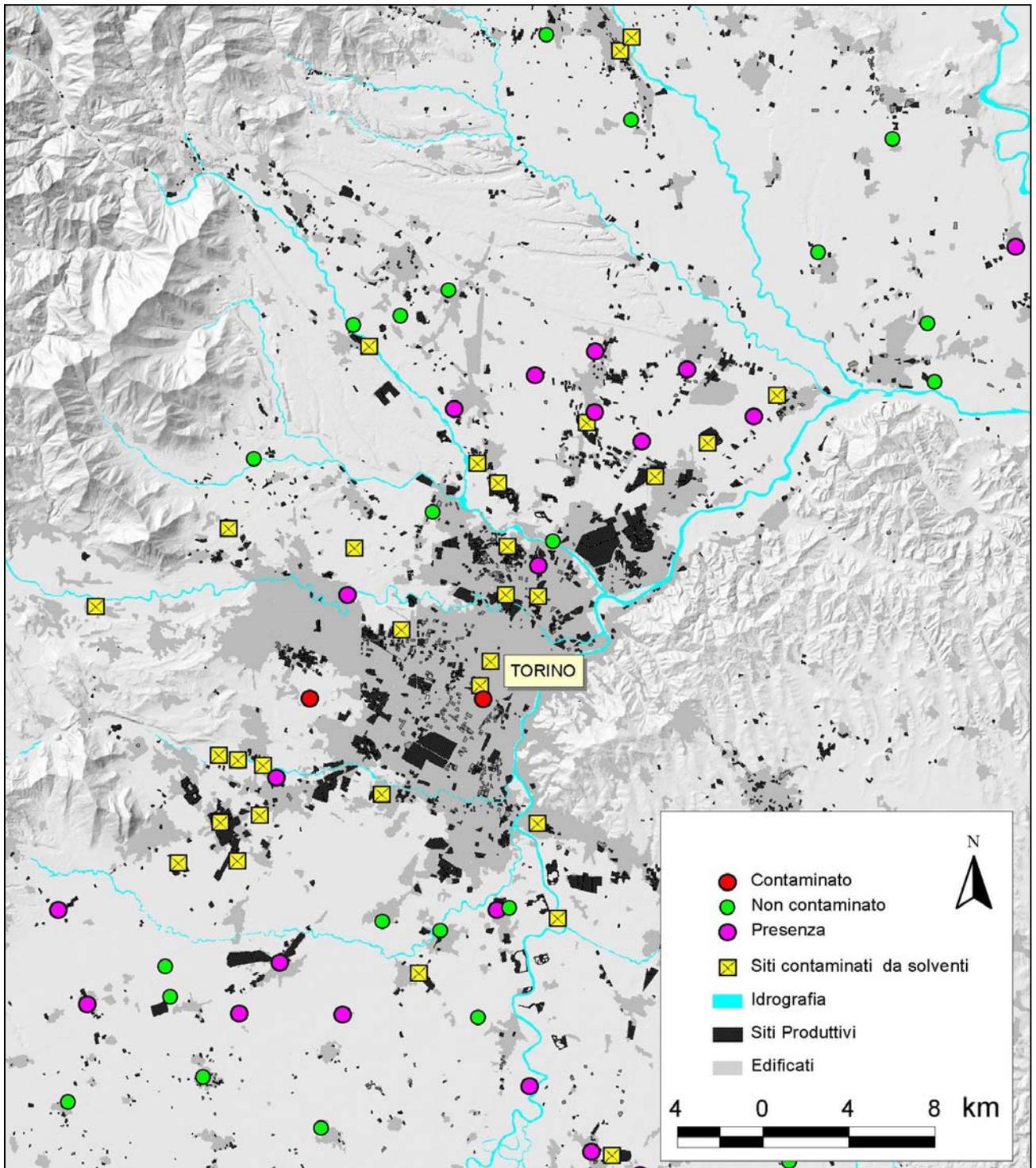
maggior oscillazione, dall'altro a fenomeni di diluizione da parte dei contaminanti provenienti dalla superficie in relazione alla sua produttività/capacità.

Di seguito vengono commentati i settori esaminati.

Settore Torinese (solventi clorurati)

Questo settore, caratterizzato da pressioni localizzate e diffuse legate all'urbanizzazione (attività produttive e siti contaminati), denota l'esistenza di numerosi punti di monitoraggio con presenza di solventi clorurati (essenzialmente Tetracloroetilene, Tricloroetilene e 1,1,1-Tricloroetano); tuttavia solo due punti risultano effettivamente contaminati ai sensi del D.Lgs 152/99 e di quanto previsto della Direttiva 2006/118/CE sulla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento (figura 68). Lo scenario che ne consegue è quello tipico della contaminazione diffusa (valori di solventi totali comunque inferiori a 50 µg/L) difficilmente riconducibile a fonti specifiche, anche in relazione alla scala di valutazione ed alla conseguente distribuzione e densità dei punti di monitoraggio (disponibili per unità di superficie) adeguati ad un monitoraggio a scala regionale. Esiste inoltre la possibilità che, in relazione alle caratteristiche chimico fisiche e chemiodinamiche di queste sostanze, ci si riferisca ad eventi avvenuti anni addietro ed anche a sorgenti non più esistenti. La presenza di ampi areali produttivi e di siti contaminati da solventi clorurati, evidenzia l'incidenza di questi elementi di pressione antropica sullo stato della risorsa per l'area considerata.

Figura 68 – Settore Torinese: caratterizzato da pressioni localizzate e diffuse legate all'urbanizzazione (attività produttive e siti contaminati)



Settore Pinerolese (nitrati)

Questo settore, caratterizzato da pressioni agricole differenziate, all'interno dell'area idrogeologica TO-07, presenta caratteristiche peculiari, in quanto la media areale per la specie nitrati per l'area idrogeologica in questione (ottenuta dal contributo di tutte le medie puntuali) rileva valori sostanzialmente bassi, ben lontani dal minimo livello di vulnerazione per i nitrati. Tuttavia, se utilizziamo l'approccio geostatistico (mediante la spazializzazione dei dati puntuali), si osserva la presenza di vulnerazione localizzata in corrispondenza ed immediatamente ad est del territorio comunale di Pinerolo (figura 69). Questa zona coincide, secondo le informazioni derivate dal Corine Land Cover, con aree adibite a seminativi associati a pratiche intensive. Le colture a seminativi si estendono anche verso est, non rilevando tuttavia in quest'ultimo settore fenomeni di contaminazione nelle acque sotterranee. L'esame della carta del surplus di azoto non risulta particolarmente congruente con lo scenario appena delineato, in quanto il nucleo con il surplus più alto si trova traslato verso est rispetto all'area a contaminazione maggiore ed i punti di monitoraggio ubicati sull'areale con il più elevato surplus di azoto non evidenziano situazioni di contaminazione delle acque sotterranee (figura 70). Una possibile spiegazione di tale fenomeno potrebbe essere associata a condizioni idrogeologiche differenziate; infatti, il nucleo con una maggiore contaminazione è associato ad uno spessore inferiore del livello saturo (ottenuto dalla differenza di quota tra la base dell'acquifero ed il livello piezometrico medio) rispetto alle aree circostanti; quindi è ragionevole ipotizzare una minore produttività dell'acquifero ed una conseguente minore diluizione a parità di carico di azoto infiltratosi dalla superficie (figura 71).

Figura 69 – Settore Pinerolese (area idrogeologica TO-07): spazializzazione dei dati sui nitrati ed uso del suolo

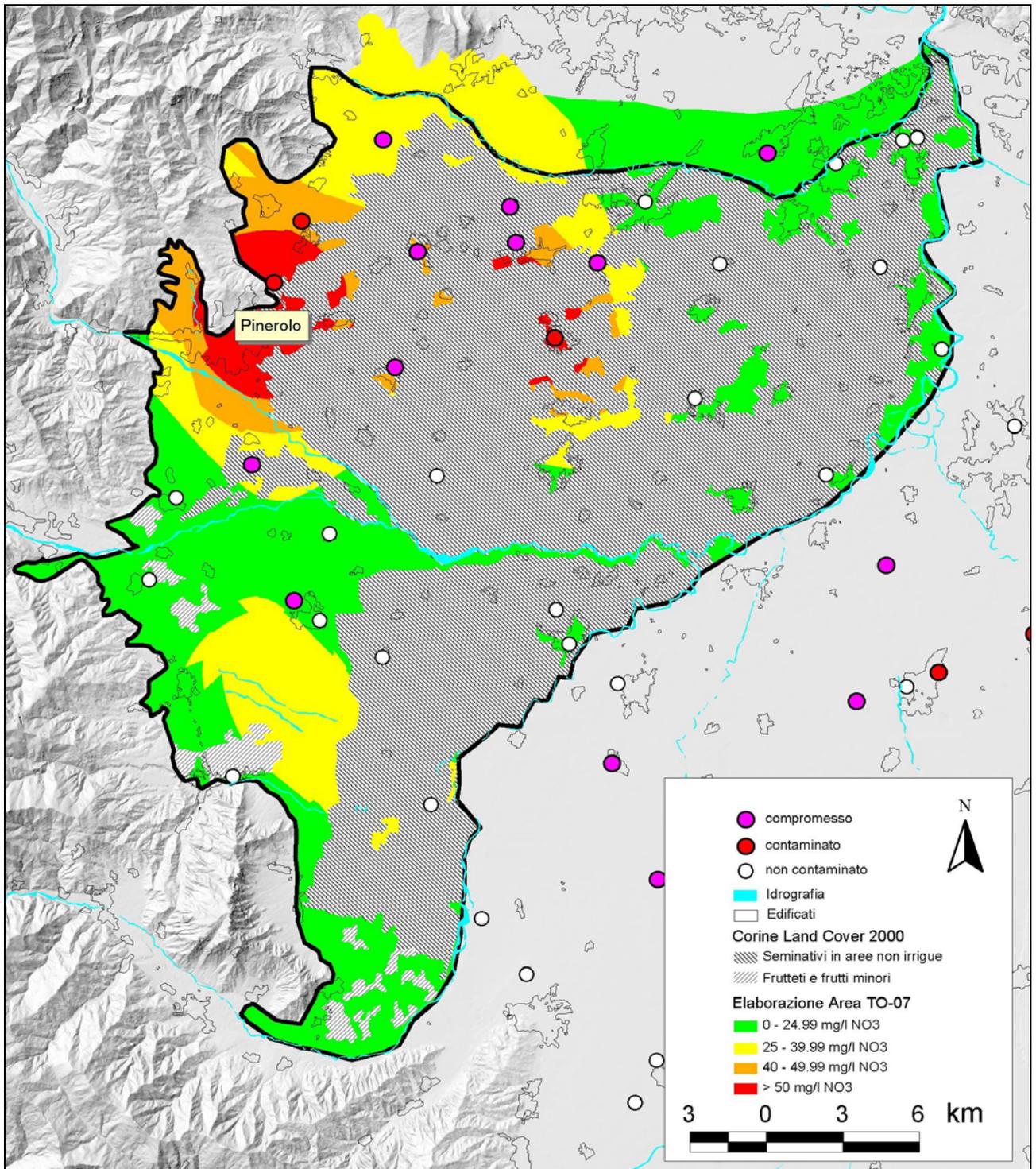


Figura 70 – Settore Pinerolese (area idrogeologica TO-07): spazializzazione dei dati sui nitrati e bilancio di azoto organico e minerale (surplus)

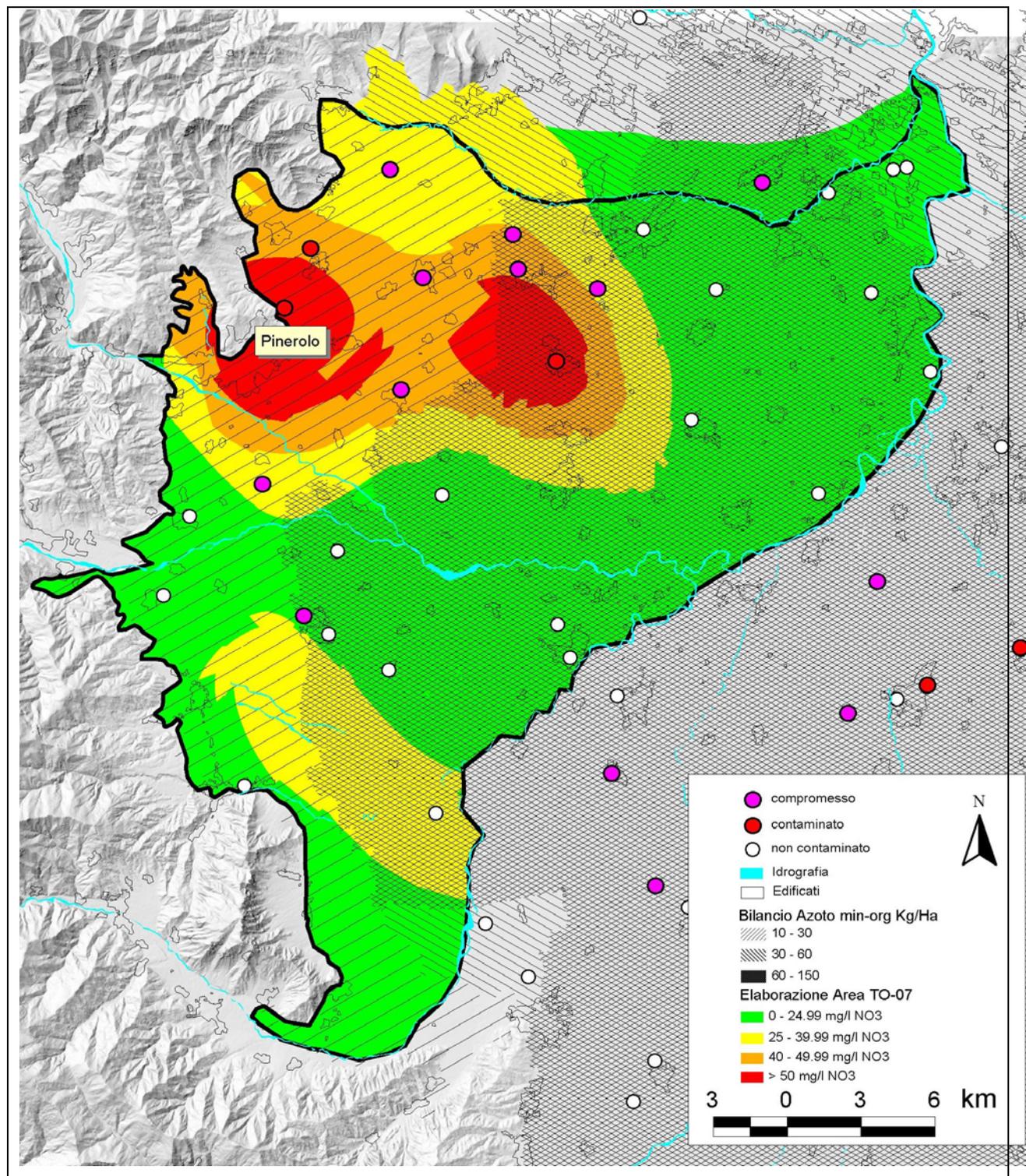
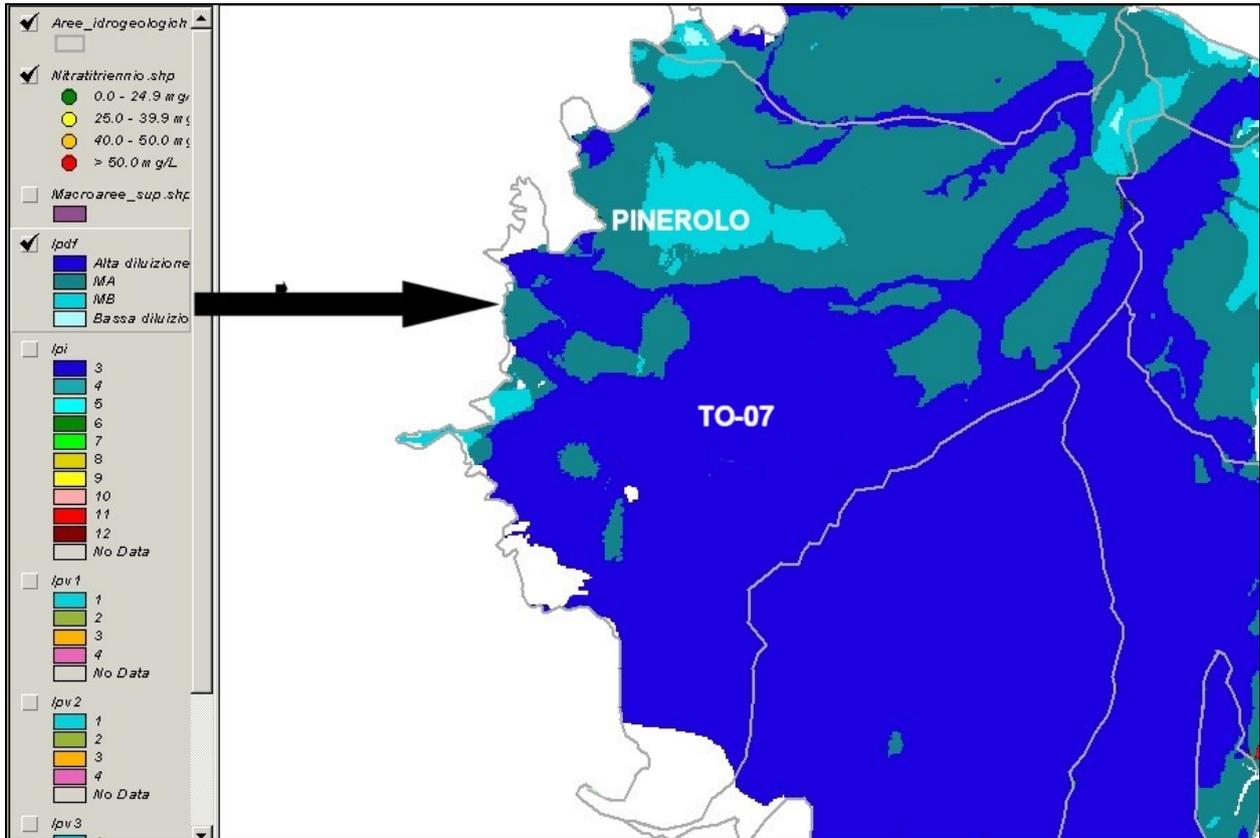


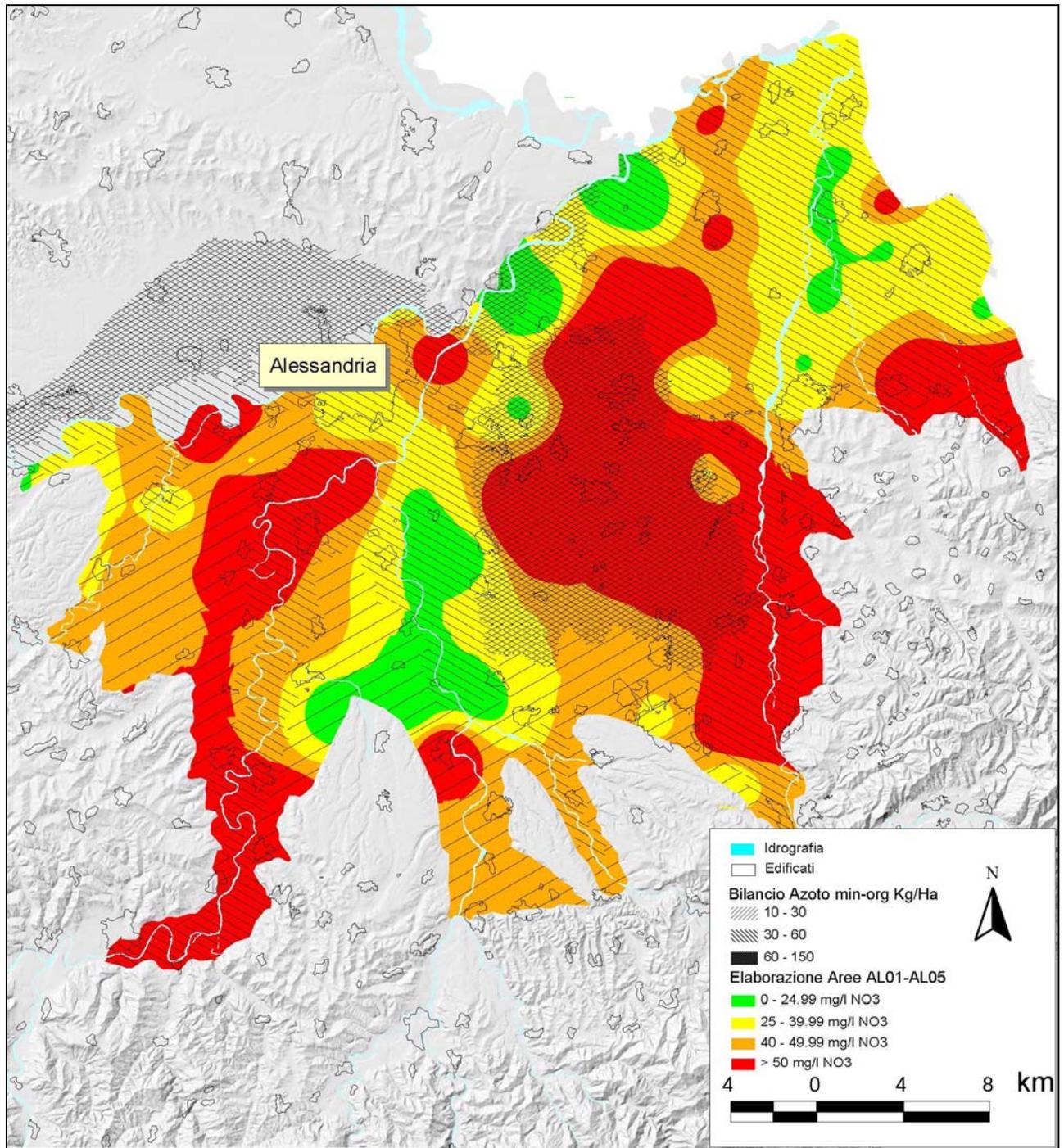
Figura 71 – Indice di diluizione per l'area idrogeologica TO-07 in funzione dello spessore del livello saturo dell'acquifero superficiale



Settore Alessandrino (nitrati)

Questa zona, caratterizzata da pressioni agricole diffuse nell'aggregazione delle aree idrogeologiche AL01-AL05, evidenzia una contaminazione diffusa da nitrati (a seguito di una pratica agricola intensiva a seminativi), come si evince sia dalle medie puntuali che dalla risultante media areale. Nella figura 72 si è proceduto ad una visualizzazione ottimale dello sviluppo e localizzazione della contaminazione mediante l'applicazione di un procedimento geostatistico. Il risultato di tale elaborazione evidenzia un'area maggiormente contaminata, ubicata nella porzione centrale del settore considerato, che denota una buona congruenza con l'areale correlato ad un maggiore surplus di azoto. Si osserva altresì come tale tendenza non sia assoluta, in quanto dall'esame dell'altro plume di contaminazione ubicato ad ovest dell'area considerata, non si osservano valori elevati di surplus di azoto, bensì un'alternanza tra valori di surplus medio e basso. La valutazione dei dati relativi allo spessore del livello saturo, in relazione ad una maggiore o minore capacità di diluizione nei confronti dei contaminanti che giungono in falda, fornisce in questo caso solo correlazioni parziali, avvalorando quanto trattato in precedenza circa la complessità dell'ambiente idrico sotterraneo e degli innumerevoli fattori che entrano in gioco nel momento in cui si tenta di interpretare o giustificare una determinata situazione ambientale.

**Figura 72 – Settore Alessandrino (aggregazione delle aree idrogeologiche AL01-AL05):
spazializzazione dei dati sui nitrati e bilancio di azoto organico e minerale (surplus)**



Settore Novarese e Vercellese (prodotti fitosanitari)

Questo settore è caratterizzato da pressioni agricole diffuse legate alla pratica risicola e all'utilizzo di prodotti fitosanitari per la risicoltura.

Lo scenario che emerge all'esame del settore Novarese-Vercellese può essere replicato su tutto il contesto di pianura Piemontese dove si osserva una presenza generalizzata e diffusa di prodotti fitosanitari (figura 73), sia in relazione all'impiego specifico (erbicida fungicida, insetticida etc), che in riferimento al tipo di coltura presente.

Questa valutazione generale, sostanzialmente di tipo qualitativo, può essere proposta anche senza l'applicazione di un procedimento geostatistica per la rappresentazione del fenomeno, non applicabile a causa dell'elevato numero di sostanze utilizzate/riscontrate (inclusi vari metaboliti), delle quantità accertate e delle relative caratteristiche chemiodinamiche dei prodotti fitosanitari.

Le sostanze più riscontrate sono come prevedibile gli erbicidi, che applicati direttamente sul terreno sono più soggetti a fenomeni di percolazione o dilavamento.

Analogamente, in relazione alla coltura prevalente nel settore Novarese-Vercellese caratterizzato da una prevalenza di zone risicole, si riscontrano specifiche sostanze attive come Bentazone, Quinclorac, Cinosulfuron e Molinate.

Da rilevare inoltre in questo settore (figura 74) un numero più elevato di punti con concentrazioni di una o più sostanze superiori a 0.1 µg/L che può essere spiegato sia da elevate pressioni che da condizioni idrogeologiche che non attenuano il fenomeno.

Figura 73 - Distribuzione dei punti con assenza, presenza o vulnerazione da parte di prodotti fitosanitari nel contesto regionale

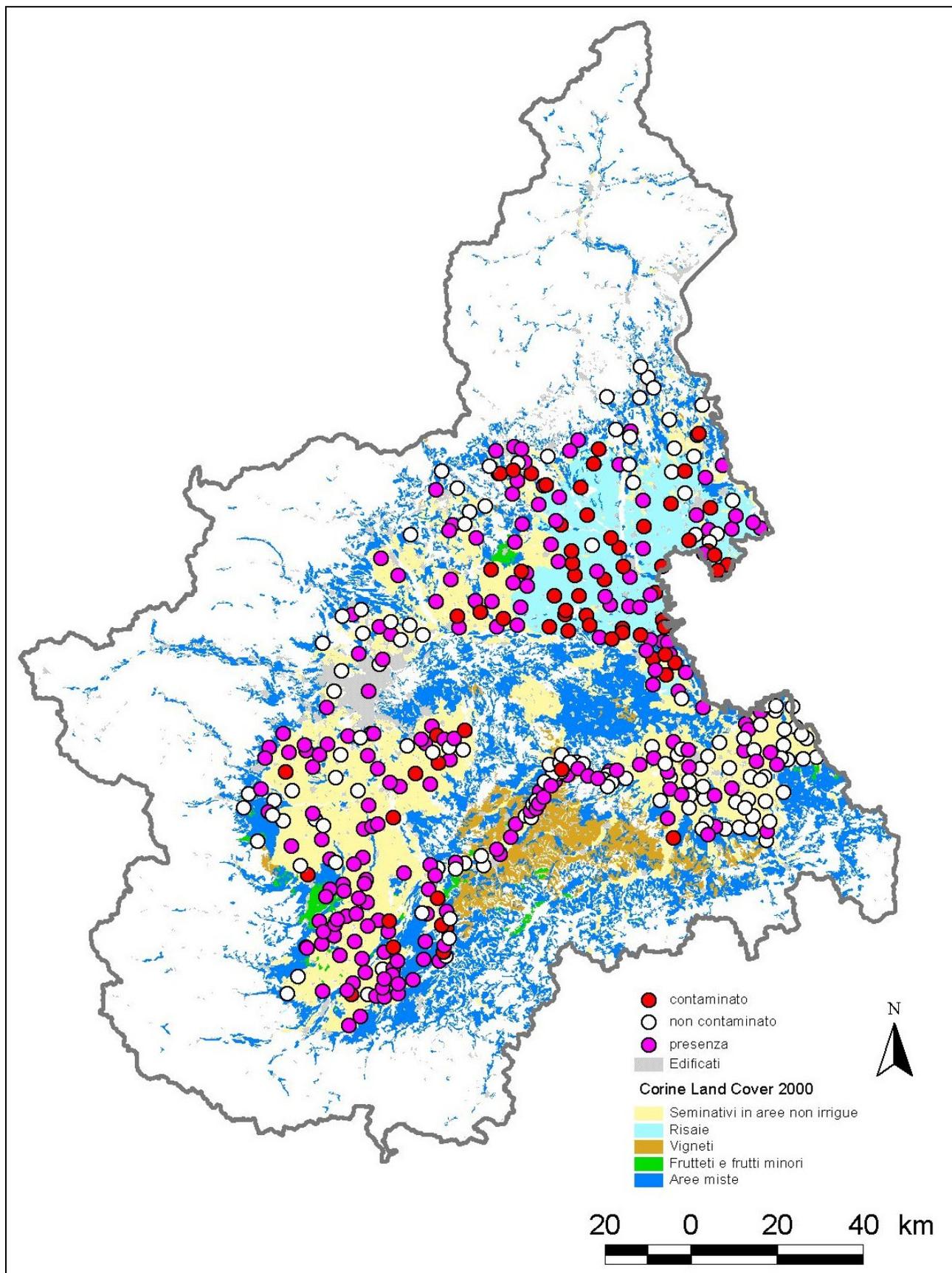
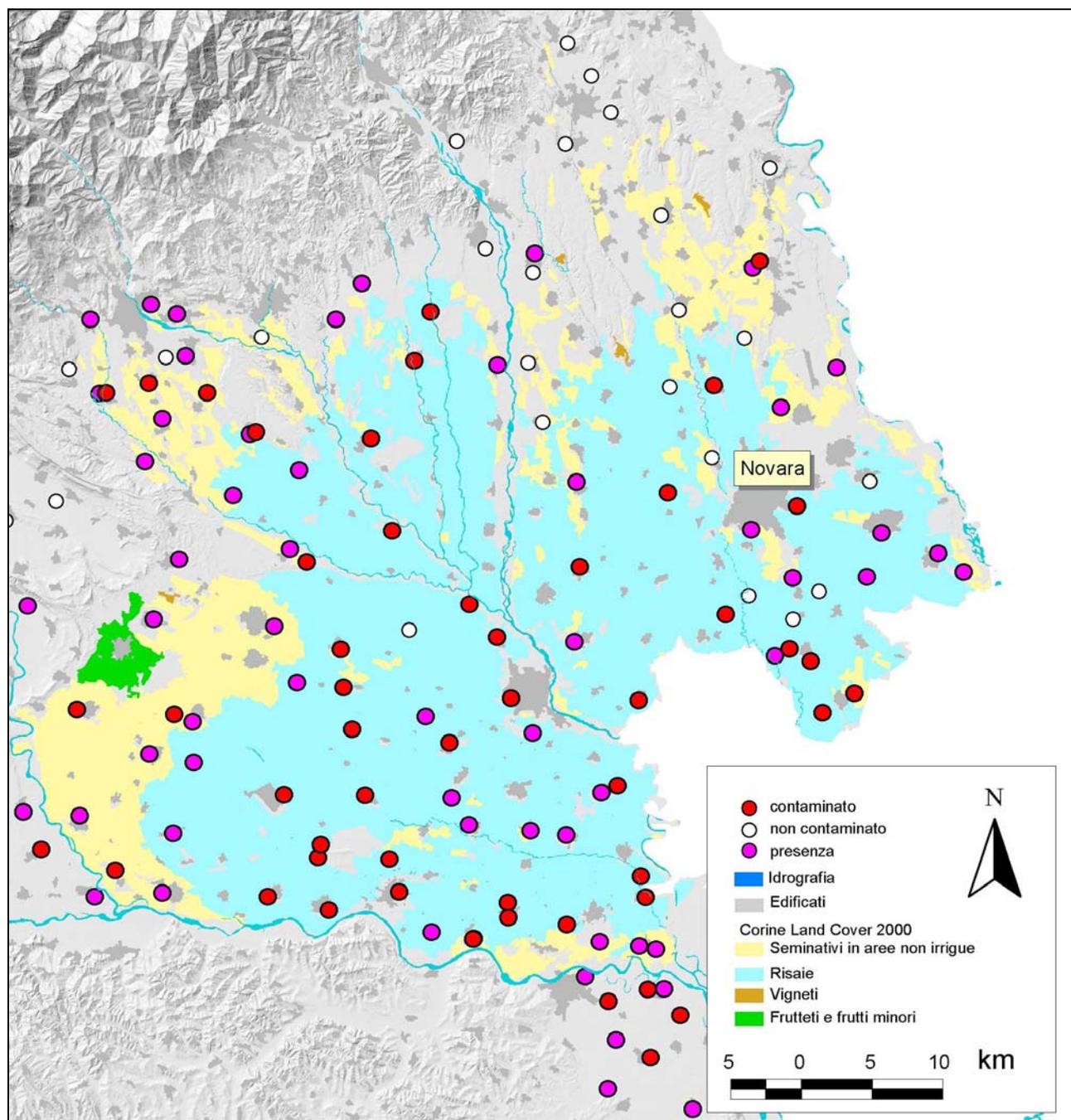


Figura 74 - Settore Novarese e Vercellese caratterizzato da pressioni agricole diffuse legate alla pratica risicola ed all'utilizzo di prodotti fitosanitari: assenza, presenza e vulnerazione



CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il processo di recepimento della Direttiva Quadro Europea sulle Acque 2000/60/CE (WFD) e quello di adeguamento agli obiettivi di qualità previsti dal PTA hanno fornito gli impulsi necessari per attuare, nell'ambito del presente progetto, una valutazione areale dei dati di stato provenienti dal monitoraggio delle acque sotterranee, tenendo conto delle pressioni insistenti sul territorio e nell'ottica di individuare eventuali tendenze evolutive per i principali parametri contaminanti.

Il progetto si è articolato partendo da una prima valutazione di omogeneità dei corpi idrici sotterranei attraverso elaborazioni idrochimiche, con l'ausilio dei diagrammi di Piper e Schoeller, partendo come riferimento iniziale dalle aree idrogeologiche della falda superficiale.

Per effettuare le elaborazioni puntuali è stata creata una base dati di lavoro, costituita da un insieme di punti dedicati alle specifiche finalità del progetto e dai relativi dati analitici da utilizzare per le elaborazioni.

La base dati operativa è stata costruita seguendo un procedimento stabilito, che ha compreso la selezione dei punti secondo determinati criteri e una prima elaborazione dei parametri principali (calcio, magnesio, bicarbonati, cloruri, nitrati, solfati, potassio e sodio) con il calcolo dei valori statistici tipici, risultati basilari per le successive operazioni.

I dati risultanti dall'elaborazione statistica sono serviti per la determinazione del "campione tipico", risultato unico e rappresentativo dal punto di vista idrochimico, per effettuare le elaborazioni di Piper e Schoeller.

L'analisi rappresentativa è stata individuata attraverso l'applicazione di due metodi statistici, innovativi ed efficienti, che hanno permesso di utilizzare nella maniera più congeniale i dati a disposizione, che si sono rivelati complessivamente consistenti.

La base dati di lavoro è stata verificata attraverso il calcolo del bilanciamento ionico, al fine di accertare la coerenza delle analisi tipo individuate, trasformandosi poi in un elemento operativo per le elaborazioni di Piper e Schoeller, che hanno permesso di effettuare le prime valutazioni idrochimiche a livello areale.

Le aree idrogeologiche sono state considerate in questa fase come termini areali di riferimento e l'elaborazione dei dati puntuali ricadenti in ciascuna area ha permesso di evidenziarne le affinità chimiche e quindi il livello di familiarità esistente, sia tra le acque sotterranee circolanti al proprio interno, che tra aree contigue, oppure di evidenziarne le incongruenze.

Oltre all'aspetto più propriamente geochimico sono stati presi in considerazione anche alcuni elementi idrogeologici, geologici e geomorfologici, che hanno permesso di effettuare ulteriori valutazioni sulle aree esaminate.

Al riguardo, sono state individuate alcune situazioni che hanno portato a considerare più aree idrogeologiche con caratteristiche affini e per le quali è ipotizzabile una comunicazione idraulica (seppur parziale) con la possibilità di aggregazione tra settori contigui. Questo aspetto ha costituito un elemento fondamentale nell'ambito delle attività a scala nazionale per una prima definizione delle "Unità di Bilancio" e dei relativi "Corpi Idrici Sotterranei" (Ground Water Bodies) che costituiranno l'"oggetto del monitoraggio" secondo i presupposti della WFD.

Sono stati messi in evidenza anche i punti che non hanno alcuna correlazione con quelli adiacenti, in seno ad una determinata area di riferimento, e riconducibili a situazioni locali e/o isolate. Tali punti dovrebbero essere momentaneamente sospesi da una valutazione di tipo areale idrogeologico (come previsto dalla WFD), pur non negando la loro rilevanza per il controllo di situazioni ambientali ubicate nel loro intorno più prossimo.

Partendo da tutte le considerazioni appena elencate sono state in seguito sperimentate le elaborazioni statistiche proposte nell'ambito di applicazione della WFD. Al riguardo è stato studiato e successivamente implementato, per le problematiche in oggetto, il software GWstat; un applicativo messo a punto dai gruppi di lavoro attivati a livello europeo, nell'ambito del recepimento della WFD, con la finalità di essere uno strumento facilmente utilizzabile da tutti gli Stati membri e di permettere un confronto diretto dei risultati ottenuti, sia per la valutazione delle tendenze che per semplici elaborazioni geostatistiche. Per quanto riguarda la funzione relativa alla valutazione delle tendenze il programma permette di calcolare: l'indice di Rappresentatività, lo "status assessment" (media aritmetica, media aritmetica pesata, media Kriging e limiti di confidenza), la tendenza lineare e l'inversione di tendenza.

Non è stata invece utilizzata la funzione geostatistica di GWstat in quanto si è dimostrata poco adeguata, soprattutto nei confronti degli strumenti geostatistici in nostro possesso, sviluppati e verificati nell'ambito delle attività per l'aggiornamento delle zone vulnerabili da nitrati (ex DPGR 9/R). Tali elaborazioni si possono infatti considerare più evolute, complete ed aggiornate, oltre a produrre risultati superiori.

La valutazione di eventuali tendenze relative al parametro nitrati è stata successivamente effettuata, con GWstat, su un'area ritenuta significativa per la

presenza di contaminazione da nitrati. Tale area, appartenente al settore Alessandrino, è rappresentata dall'aggregazione delle aree idrogeologiche AL03, AL04 e AL05 ed assimilabile ad un potenziale Corpo Idrico Sotterraneo secondo i presupposti della WFD. Sono stati inoltre verificati i risultati con un'analisi statistica basata sulla significatività di un modello lineare di tipo monotono (crescente o decrescente).

Per ogni punto di monitoraggio è stato prodotto, con GWstat, il grafico temporale della concentrazione di nitrati con sovrapposizione dell'eventuale tendenza lineare crescente o decrescente.

I risultati ottenuti evidenziano come la maggior parte dei punti (78%) non presenta un trend in atto relativamente ai nitrati, mentre sul 22% dei punti è stata rilevata l'esistenza di un trend lineare. Tra questi, nel 10% dei casi, è stato riscontrato un trend lineare crescente e nel 12% un trend lineare decrescente.

Lo studio delle tendenze attraverso la regressione lineare ha permesso inoltre di individuare anche i trend deboli (il software GWstat distingue solamente tra tendenza significativa e non significativa) e i casi in cui la tendenza è lineare, ma con pendenza trascurabile, nel qual caso si potrebbe giungere a interpretazioni non corrette della situazione ambientale. Le discordanze sono risultate minime (meno del 10% dei casi).

Pertanto, risulta evidente che dal punto di vista della distribuzione geografica non è possibile individuare una correlazione tra l'ubicazione dei punti e la presenza o meno di un trend. Infatti, le tendenze rilevate, seppur apparentemente concentrate a SE e a NW dell'area, non si relazionano tra di loro e sembrano piuttosto il risultato di situazioni locali che la rappresentazione di un fenomeno su vasta scala.

Anche la direzione di deflusso della falda non sembra influire sull'andamento delle concentrazioni dei nitrati.

Quanto evidenziato, tenendo altresì conto della rappresentatività del fenomeno per l'area considerata (anche in relazione alla selezione/depurazione ottimale operata sui dati del monitoraggio), dimostra che molto probabilmente le serie storiche disponibili sono troppo limitate nel tempo per evidenziare un qualsiasi fenomeno di tendenza. Al riguardo i documenti europei propedeutici alla WFD prevedono una disponibilità di dati per un periodo di almeno 10 anni.

Sono stati inoltre valutati i principali fattori di pericolo potenziale di vulnerazione per la falda superficiale. L'incidenza di questi ultimi nei confronti dello stato della risorsa, in relazione alla tipologia della contaminazione rilevata (nitrati, prodotti fitosanitari e solventi clorurati) per alcune aree campione del contesto piemontese, ha fornito uno

scenario a vari livelli di congruenza. In pratica è necessario distinguere tra situazioni in cui i fattori di pressione si riflettono sullo stato della risorsa producendo un'alterazione del suo stato naturale/iniziale, come avviene per i prodotti fitosanitari ed i solventi clorurati (pur rimanendo al di sotto dei valori di riferimento e denotando un'evidenza qualitativa), e situazioni dove (un esempio è rappresentato dai nitrati), pur rimanendo valido l'aspetto precedente, da un punto di vista quantitativo non si può affermare che esista una correlazione diretta tra presenza e distribuzione dei fattori di pressione e lo stato delle acque sotterranee (maggiore pressione – peggiore stato), pur tenendo conto che l'ambiente idrico sotterraneo rappresenta un contesto sostanzialmente dinamico rispetto agli eventi che accadono in superficie (le acque sotterranee, anche se lentamente, si muovono).

Queste deduzioni evidenziano la complessità dell'ambiente idrico sotterraneo, sia per quanto riguarda la componente suolo e insaturo, che in relazione alle loro caratteristiche svolgono un importante ruolo di attenuazione nei confronti del carico potenzialmente inquinante, sia per quanto concerne la componente satura (falda acquifera). Quest'ultima può essere soggetta da un lato a fenomeni di minore o maggiore oscillazione, dall'altro a fenomeni di diluizione da parte dei contaminanti provenienti dalla superficie in relazione alla sua produttività/capacità.

BIBLIOGRAFIA

Grath J. et al. (2001). Final Report: *“The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results”*, <http://forum.europa.eu.int/>

UE (2001). Annex 1 to Final Report – User Guide GWstat. Quo data GmbH Gesellschaft für Qualitätsmanagement und Statistik, Dresden, Germany.

Macalet R. et al. *Qualitative Status Analysis of the Phreatic Aquifer in the Barlad River Flood Plain concerning the Nitrogen-Based Compounds*, National Institute of Idrology and Water Management, Bucharest, Romania.

Zlate I. (2005). Implementation of the new Water Framework Directive on pilot basins (WAFDIP), TR-29, Revised NIHWG guidelines on definition, classification and characterisation of groundwaters, Arcadis Euroconsult (NL).

Drobot R. et al. (2005). Implementation of the new Water Framework Directive on pilot basins (WAFDIP), TR-30, Report on the overexploitation of groundwaters, Arcadis Euroconsult (NL).

UE (2004). Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/CE), *Groundwater body characterisation. Technical report on groundwater body characterisation issues as discussed at the workshops of 13 October 2003.*

UE (2005). Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/CE), Groundwater summary report. *Technical report on groundwater body characterisation, monitoring and risk assessment issues as discussed at the WG C workshops in 2003-2004.*

ALLEGATI

Allegato 1

Database operativo

Allegato 1 - Database operativo

codice punto	UTM Est	UTM Nord	a. i.	bicarbonati	calcio	cloruri	magnesio	nitrat	potassio	sodio	solfat
00100100001	403838	5026064	TO01	104.23	27.60	11.38	17.89	27.93	3.12	5.93	34.11
00100200003	379602	4975538	TO07	139.13	36.79	13.44	17.59	49.59	1.85	6.00	27.97
00100200004	379377	4976962	TO07	126.67	16.60	14.96	20.51	38.46	0.30	6.94	27.23
00100410001	417656	5031387	IV01	275.43	73.40	8.73	18.50	0.51	9.86	5.77	50.50
00102500001	365231	4962206	TO07	94.67	26.57	5.31	6.74	11.87	2.97	6.99	16.29
00103010001	411115	5040978	IV01	320.57	94.39	8.89	20.03	11.89	1.86	5.91	51.56
00103510001	366290	4965440	TO07	104.57	19.89	5.77	15.49	6.91	0.00	5.26	26.76
00104710001	413177	5015732	TO01	141.57	29.01	10.23	21.79	26.36	2.10	5.27	20.90
00105800002	396023	4974252	TO07	247.25	99.32	7.49	9.86	19.20	1.81	4.56	33.38
00105800005	395737	4975922	TO07	200.86	65.91	5.91	10.20	3.89	0.99	8.96	40.93
00105800006	393901	4974572	TO07	277.29	94.49	9.30	9.79	18.45	1.29	4.72	34.59
00105900006	401430	4967180	TO09	135.38	61.95	32.61	17.34	86.01	4.46	10.97	52.63
00105910001	399172	4968286	TO09	231.29	73.64	10.73	18.27	9.97	3.40	11.16	72.70
00105910002	396302	4971340	TO07	279.43	81.60	4.43	14.81	11.14	0.77	4.04	22.93
00106100001	414689	5036918	IV01	209.50	60.27	35.53	25.49	85.88	24.47	31.40	55.11
00106300001	396560	5004663	TO03	85.38	22.65	8.26	10.76	19.39	3.28	6.49	19.27
00106300002	391486	5003893	TO03	97.71	26.91	7.07	10.31	12.47	0.31	4.13	19.44
00107000002	371803	4958256	TO07	101.61	25.15	6.58	10.63	27.13	1.52	4.95	17.46
00107000003	374370	4959144	TO07	90.75	23.54	5.81	4.80	15.40	2.15	5.65	11.19
00107000004	372298	4964032	TO07	104.50	27.04	2.92	4.66	15.77	0.64	3.17	9.70
00107000005	370913	4961383	TO07	93.63	26.55	4.39	10.72	21.49	1.34	2.99	14.61
00107100002	381981	4968466	TO07	289.88	108.00	12.96	10.18	33.08	1.36	5.33	26.88
00107800004	408868	4981431	TO08	289.63	101.67	55.99	37.55	106.26	55.19	46.65	116.78
00108200003	415126	5004352	TO01	234.94	67.44	14.67	17.13	24.36	2.03	10.51	33.20
00108600001	390318	5007450	TO03	119.75	15.34	18.15	31.66	33.08	0.13	4.91	30.54
00108600003	387102	5007403	TE08	172.71	37.57	20.69	31.59	31.17	13.39	11.23	65.66
00109700002	374407	4979606	TO07	120.02	26.79	17.41	11.54	24.88	2.89	14.24	39.75
00110100003	397080	5020620	TO02	77.44	16.52	9.52	19.04	27.86	1.20	5.95	30.65
00110600002	407764	5014288	TO01	181.17	40.63	33.03	34.90	77.20	8.30	30.15	65.87
00110600003	407358	5013414	TO01	73.25	22.53	19.75	12.13	33.65	3.10	9.75	17.50
00111000001	369440	4977238	TO07	74.91	21.59	11.39	5.04	37.31	1.66	14.36	25.46
00111000002	371198	4976380	TO07	82.74	24.73	7.61	6.46	34.17	3.04	9.27	33.14
00111600001	383504	5000742	TE08	231.13	10.59	5.33	43.80	3.36	0.00	2.65	12.41
00111600002	383482	5000712	TE08	224.25	9.04	1.11	39.17	1.75	0.00	3.09	2.60
00112500007	409725	5036581	IV01	332.66	105.09	12.79	22.53	14.70	3.22	6.48	57.66
00112700002	394789	4979597	TO07	216.25	87.99	8.97	14.05	0.00	0.81	7.46	43.18
00112710001	395356	4979697	TO07	309.86	89.00	14.27	16.24	0.00	1.84	23.27	85.67
00113000004	399316	5002934	TO03	98.57	26.63	11.99	14.87	22.36	1.96	7.09	25.57
00113000005	401518	5001560	TO03	85.63	23.76	7.49	11.66	25.02	2.14	6.09	22.15
00113600002	391779	4966365	TO07	272.50	96.63	6.88	11.07	7.70	0.83	3.31	36.45
00114200001	376520	4966314	TO07	220.40	82.40	10.34	6.68	24.86	1.76	4.24	15.52
00116100002	409720	5010426	TO01	127.63	21.31	15.82	25.20	26.84	0.66	9.75	29.23
00116800001	384680	4977150	TO07	144.14	40.89	8.32	12.44	13.16	0.53	5.86	21.40
00117300001	369251	4966759	TO07	156.43	58.54	7.00	7.81	27.46	1.01	4.66	16.83
00119100003	370130	4973948	TO07	94.17	33.84	15.39	15.06	38.41	6.30	11.37	43.91
00119300002	387613	4974696	TO07	209.00	102.95	12.63	13.00	12.55	1.38	5.53	66.90
00119500001	375744	4975176	TO07	130.63	35.00	11.38	16.11	46.14	1.32	5.84	26.60
00119600001	421226	5032767	IV01	326.02	111.91	19.65	17.27	10.18	1.46	5.38	52.02
00119700003	408372	4967830	TO09	256.88	71.71	12.36	12.20	7.90	0.54	10.31	16.46
00119700009	407373	4977392	TO08	187.38	59.73	24.70	18.99	52.29	16.82	16.06	44.94
00119700014	413114	4973443	TO08	218.88	74.36	36.50	30.58	60.51	1.29	29.39	77.70
00119700015	410379	4972858	TO08	222.50	72.24	41.49	25.37	43.07	10.29	26.11	52.30
00120900001	409466	5041716	IV01	102.54	33.50	3.04	8.23	3.61	1.58	3.37	34.37

Allegato 1 - Database operativo

codice punto	UTM Est	UTM Nord	a. i.	bicarbonati	calcio	cloruri	magnesio	nitriti	potassio	sodio	solforati
00121500001	410033	4979271	TO08	267.75	96.53	46.86	25.00	43.66	7.33	22.45	46.92
00121500003	411776	4978364	TO08	260.14	54.73	4.04	25.79	8.37	0.00	10.19	0.49
00121500005	412159	4981962	TO08	218.50	77.38	45.09	25.86	45.45	2.96	19.21	49.14
00121900003	386086	4989519	TO05	325.00	88.25	15.54	34.02	37.00	1.38	7.61	62.94
00122510001	418877	5010675	TO01	69.00	25.41	11.97	8.66	25.59	1.34	3.61	13.29
00125700003	406304	4978382	TO08	212.75	77.09	14.92	13.43	68.92	18.70	20.05	41.57
00125700004	403161	4976770	TO09	252.50	88.57	6.72	13.63	2.28	0.00	8.04	53.72
00126000002	380884	4972500	TO07	257.88	87.49	14.57	11.45	50.57	1.51	5.11	24.54
00126000005	382809	4974745	TO07	164.50	59.33	13.03	13.64	32.32	0.14	5.83	25.66
00126010001	381139	4971771	TO07	243.86	95.43	15.16	12.20	54.21	1.56	4.93	26.89
00126900003	413569	5028458	IV01	194.13	53.39	12.30	20.74	83.35	29.46	11.05	31.08
00126910001	412816	5027041	IV01	367.57	107.30	18.59	26.81	44.66	5.31	5.03	51.16
00127200006	396840	4994790	TO05	198.38	55.02	31.50	18.79	19.60	1.52	35.76	51.04
00127200007	396720	4995740	TO05	227.75	81.47	33.94	22.21	25.20	1.53	22.63	67.99
00127210001	394131	4989495	TO05	344.86	106.29	26.46	31.61	28.64	2.14	17.23	107.57
00127210002	397391	4996891	TO03	175.57	39.13	12.43	14.89	2.70	1.40	9.06	18.67
00127300002	420160	5008006	TO01	83.25	18.94	9.36	14.26	23.54	0.45	4.47	17.19
00127300003	418722	5008060	TO01	90.75	17.73	9.49	21.16	45.69	0.14	7.25	17.29
00129210001	391806	4998265	TO05	248.29	76.01	6.24	20.90	7.44	0.50	5.17	67.06
00129300002	419950	5004650	TO01	190.68	55.23	10.44	14.73	26.72	1.90	5.89	27.97
00129500001	416545	5028608	IV01	336.02	114.60	11.40	14.50	39.69	1.83	3.94	30.91
00129500002	416545	5028608	IV01	297.00	100.20	10.18	16.24	11.17	1.86	4.85	38.83
00130000001	381708	4959664	TO07	240.14	83.70	11.31	12.11	16.47	1.36	5.13	29.03
00130000004	381200	4961016	TO07	103.88	36.50	2.74	4.44	9.67	0.00	3.01	10.66
00131400001	406706	5002732	TO03	109.88	29.11	13.13	15.19	24.43	1.71	8.65	27.79
00131410001	403621	5004933	TO03	98.80	26.50	6.72	11.38	21.18	1.74	5.44	20.52
00200400003	427267	5023784	VC02	102.79	28.06	8.39	19.38	36.31	2.20	5.04	30.68
00200600004	452759	5038280	VC01	72.38	24.00	13.40	10.38	22.86	1.10	8.56	18.80
00200900002	445417	5035563	VC01	140.34	40.00	26.20	16.40	24.30	0.86	14.50	35.60
00201100004	430829	5017113	VC02	118.58	46.56	18.13	15.75	49.06	1.60	6.11	33.67
00201110001	431553	5019603	VC02	89.00	33.50	9.01	10.24	27.97	0.93	3.94	28.17
00201700005	458768	5023096	NO02	130.89	45.46	16.93	14.00	16.94	2.30	8.18	33.80
00201710001	457732	5022790	NO02	129.71	39.57	17.63	14.07	17.50	1.57	9.37	34.21
00202100002	443186	5038029	VC01	202.13	37.94	22.83	19.81	12.69	1.00	26.25	23.81
00202100003	443095	5039642	VC01	162.28	26.13	6.06	14.56	1.11	3.04	14.13	10.70
00202110001	443395	5037204	VC01	132.00	28.37	17.01	14.19	6.06	0.14	12.71	14.60
00203000003	462404	5006132	VC02	296.52	99.85	13.15	17.73	6.42	1.88	8.56	33.46
00203100003	452281	5023114	VC02	262.96	85.38	18.43	16.75	7.36	1.81	9.00	49.39
00203200004	437534	5029134	VC02	96.92	36.33	12.71	10.57	9.34	2.36	6.94	35.50
00203200005	438852	5028452	VC02	113.24	38.67	10.55	12.74	4.19	2.69	5.64	36.79
00203210001	437686	5029365	VC02	99.80	32.00	10.24	10.66	10.78	2.35	5.88	33.58
00203300002	444713	5029088	VC04	196.64	49.20	37.20	28.70	20.00	1.18	19.50	45.80
00204200002	422659	5017980	VC03	215.81	66.38	10.10	20.69	35.21	1.69	4.85	38.78
00204700004	448176	5007270	VC03	187.37	38.61	22.36	35.75	5.61	0.67	10.21	65.71
00204700005	450291	5009760	VC02	153.72	44.50	18.79	18.90	6.53	1.76	8.34	43.40
00204900003	428680	5004923	VC03	146.98	53.14	9.92	12.22	30.63	2.72	4.47	35.37
00205200003	442070	5016546	VC02	136.95	36.79	1.24	9.44	4.27	1.46	4.51	14.18
00205400002	449632	5013154	VC02	198.65	44.70	23.00	36.75	10.39	2.54	9.59	65.36
00205400003	449078	5011670	VC02	206.77	50.45	22.11	31.07	2.46	3.36	9.83	57.15
00205910001	444860	5030654	VC04	319.43	78.60	23.71	28.61	6.49	4.27	22.09	71.09
00206100004	451442	5052990	VC01	90.11	28.50	87.95	7.58	8.61	1.59	52.81	13.63
00206110001	451456	5050724	VC01	63.57	21.70	18.60	10.80	36.79	4.27	14.33	27.24
00206200003	452220	5042050	VC01	60.56	21.69	10.34	6.94	19.81	5.74	7.11	16.11

Allegato 1 - Database operativo

codice punto	UTM Est	UTM Nord	a. i.	bicarbonati	calcio	cloruri	magnesio	nitriti	potassio	sodio	solfiti
00206210001	452309	5042453	VC01	47.29	18.06	8.86	5.84	19.41	1.56	5.50	14.27
00206500003	452263	5033276	VC01	51.15	28.56	57.75	8.49	41.70	6.67	33.13	23.69
00206700002	429494	5009235	VC03	183.86	56.28	19.52	20.47	17.37	2.63	6.89	50.13
00206700003	430166	5009482	VC03	128.66	51.41	22.01	14.71	49.14	2.18	5.56	39.42
00206800004	452084	5045142	VC01	45.79	19.13	9.13	5.49	21.60	1.96	6.89	17.09
00207100004	427749	5014810	VC03	142.43	46.00	19.05	18.38	31.56	1.75	6.22	37.44
00207100006	430882	5014181	VC03	160.86	39.44	10.45	21.19	28.95	6.86	3.60	34.95
00208200003	461807	5004525	VC03	290.94	95.90	15.16	15.78	4.33	3.15	8.28	34.59
00208210001	462763	5004649	VC03	277.00	86.06	16.49	19.66	8.84	2.70	8.08	44.34
00208800002	446079	5023618	VC02	340.14	115.43	24.63	23.07	1.80	1.87	8.00	54.00
00208900002	451913	5028130	VC01	99.65	32.50	18.24	10.00	5.61	3.70	11.10	25.90
00209000001	440401	5003722	VC03	251.08	72.50	18.10	14.17	5.75	4.14	8.58	33.22
00209110001	454641	5009340	VC02	169.14	40.09	22.00	28.54	15.31	3.46	8.08	65.57
00209300002	459471	5013294	VC02	249.29	80.56	10.13	15.88	7.49	1.66	6.25	41.99
00209300003	460757	5012563	VC02	276.66	90.66	18.35	18.85	5.80	1.76	7.74	52.39
00209310001	459608	5012048	VC02	147.71	49.56	13.83	15.59	30.04	4.57	8.69	39.70
00210800003	450338	5025444	VC02	209.09	55.06	15.94	22.38	5.39	4.13	8.63	40.90
00211800002	441970	5012596	VC02	175.04	34.25	15.57	35.50	14.75	1.09	5.84	55.52
00211810001	442980	5011890	VC02	201.29	38.04	17.20	35.79	11.76	0.97	6.60	58.31
00212200002	447581	5046199	VC01	78.86	25.00	41.04	17.13	21.26	1.10	8.50	13.06
00212200003	448436	5043560	VC01	172.90	32.88	10.53	21.31	25.39	0.91	16.94	24.31
00212600002	441430	5019579	VC02	159.42	56.08	15.65	15.83	4.00	2.55	9.47	39.58
00212610001	441446	5019535	VC02	148.71	43.29	13.93	14.87	9.30	1.47	6.06	41.60
00212700003	447239	5017474	VC02	174.47	43.63	2.65	13.06	3.82	1.88	5.61	11.99
00212800006	425380	5006526	VC03	153.21	49.74	6.82	12.49	20.14	1.41	3.83	34.52
00212810001	422846	5010424	VC03	92.43	38.14	9.41	10.31	47.21	1.73	4.37	25.04
00213100004	441255	5022224	VC02	155.64	53.25	11.00	12.00	14.69	2.45	6.60	35.25
00213300006	436552	5023861	VC02	192.69	70.44	10.78	14.44	28.93	3.49	7.66	29.91
00214200002	457136	5009073	VC02	136.74	40.93	18.29	28.01	26.40	1.34	9.21	43.30
00214800004	444019	5005046	VC03	366.75	109.40	19.50	18.75	19.05	2.52	10.75	52.95
00214800005	444676	5007336	VC03	299.83	74.35	17.12	16.98	0.82	2.10	8.93	36.13
00214800006	439844	5008375	VC03	604.00	59.73	43.37	48.98	0.25	1.88	130.72	64.87
00214800007	439666	5007444	VC03	208.50	39.58	29.68	31.97	28.78	1.73	19.58	39.15
00214810001	445357	5005004	VC03	367.20	109.46	25.08	27.30	0.44	4.56	19.40	74.62
00215000004	435208	5021572	VC02	180.70	65.00	11.42	12.13	38.45	1.75	4.22	31.00
00215800016	454788	5016286	VC02	385.61	125.71	17.44	25.24	6.30	1.43	8.63	65.76
00215810001	453267	5018784	VC02	254.57	75.40	32.93	25.00	28.16	2.76	18.99	57.04
002158P0003	454644	5016695.2	VC02	375.98	112.20	34.68	25.90	3.36	2.06	24.70	53.70
00301600002	471592	5046334	NO01	49.13	13.61	4.10	4.59	13.95	3.20	8.86	6.81
00301600003	469728	5044354	NO01	42.52	12.40	4.28	4.61	12.36	0.95	7.83	7.90
00301810001	457872	5034121	NO02	87.57	32.07	13.60	8.86	11.33	1.59	8.23	37.86
00302300003	477479	5019120	NO01	228.50	67.04	9.19	18.48	0.00	3.40	8.74	39.94
00302300004	475208	5017730	NO01	101.00	42.75	20.93	10.96	7.49	3.41	10.41	41.21
00302400002	458923	5062992	NO01	28.14	13.03	5.20	5.85	20.75	1.83	6.73	16.33
00302400005	460323	5060378	NO01	71.29	21.56	5.40	9.74	21.18	0.98	6.53	16.03
00302600002	457267	5065312	NO02	12.40	5.17	2.84	1.86	8.71	1.40	3.04	5.74
00302700002	464477	5040864	NO02	65.85	12.99	1.93	6.01	4.56	0.88	6.05	2.53
00303010001	467537	5041002	NO01	53.14	24.36	9.70	7.96	32.41	2.17	5.81	26.54
00303200004	476287	5043974	NO01	83.00	25.55	6.38	8.99	29.29	7.60	8.99	26.82
00303200005	476220	5042239	NO01	159.00	43.50	3.68	12.35	21.81	3.24	5.06	25.96
00303210001	472264	5039439	NO01	56.57	20.37	4.17	5.57	10.94	2.20	4.07	27.17
00303600001	454496	5042591	NO02	66.86	17.60	1.97	4.83	4.56	1.02	4.90	5.97
00304900003	485165	5027720	NO01	88.16	33.42	16.24	7.62	18.51	2.64	14.61	32.34

Allegato 1 - Database operativo

codice punto	UTM Est	UTM Nord	a. i.	bicarbonati	calcio	cloruri	magnesio	nitriti	potassio	sodio	solfati
00305800002	457098	5058157	TE02	53.41	14.70	3.10	7.50	13.26	1.54	5.96	8.17
00306800001	478221	5038210	NO01	177.90	52.30	6.42	15.93	19.94	1.30	7.31	23.31
00306900003	473110	5027314	NO01	124.88	30.41	7.90	14.79	6.22	1.14	11.64	33.69
00306900004	474966	5026354	NO01	99.43	23.79	5.10	10.29	3.10	1.05	8.97	23.59
00307300004	454953	5050367	NO02	86.57	28.71	10.97	13.63	28.09	1.01	9.44	27.93
00307310001	454826	5048999	NO02	65.14	21.49	19.57	9.09	18.71	2.16	10.20	17.61
00307700003	470028	5026042	NO01	76.43	13.27	1.05	5.72	0.71	1.00	6.85	1.52
00307700004	466991	5024297	NO02	128.71	42.93	10.56	10.79	5.55	2.30	9.36	30.59
00307900001	449466	5058334	TE02	85.67	20.52	5.34	12.03	14.75	1.16	6.50	16.00
00310010001	465129	5046323	NO01	55.00	21.36	12.17	9.34	34.44	2.23	10.24	28.89
00310400001	473166	5024356	NO01	112.46	21.17	4.93	10.48	5.76	1.00	9.46	5.21
00310600023	473421	5032413	NO01	95.20	31.93	11.11	7.43	11.28	3.42	14.20	33.89
00310600024	467451	5035828	NO02	79.00	28.94	13.95	7.68	16.84	2.21	8.16	26.75
00310610001	470169	5030734	NO01	154.71	45.19	22.53	20.11	27.53	1.89	19.14	58.30
00310800002	470305	5049320	NO01	64.14	16.17	5.24	5.28	17.40	1.00	9.35	2.60
00310800004	476898	5048565	TE01	137.63	21.39	23.69	4.02	1.83	1.28	44.81	5.07
00310810001	470804	5049846	NO01	35.57	30.41	17.43	10.50	73.59	0.93	8.46	23.19
00313100003	478638	5034390	NO01	160.78	52.26	14.73	16.99	27.25	1.22	9.75	33.14
00313900002	456318	5047648	NO02	105.25	25.51	4.93	11.38	11.82	0.92	8.45	12.58
00314100002	478335	5027388	NO01	82.58	33.50	15.83	8.48	19.95	3.05	10.36	31.53
00314910001	479365	5030506	NO01	139.57	45.73	10.23	11.96	23.23	2.01	8.11	32.96
00315800001	472871	5022282	NO01	147.75	30.11	13.07	12.63	4.79	0.50	15.57	8.08
00315800002	471847	5021786	NO01	70.00	12.51	1.15	5.20	1.81	0.75	6.91	1.65
00315810001	474391	5021420	NO01	244.43	62.26	19.84	23.96	0.29	4.46	12.84	53.37
00316400003	458386	5020600	NO02	140.33	50.06	14.83	13.87	15.48	3.43	8.42	40.17
00400300001	424610	4951349	AT01	451.25	173.50	40.13	20.00	48.38	2.63	27.75	91.25
00400300002	423920	4952656	AT01	431.13	159.63	51.63	19.75	29.50	2.75	36.50	94.38
00400300003	420760	4948807	AT01	457.38	167.00	50.00	22.88	25.00	3.88	33.88	87.50
00400300004	420302	4950983	AT01	389.13	163.13	39.88	22.50	6.75	3.50	32.00	144.50
00400300005	421765	4952226	AT01	506.63	165.63	72.75	40.88	10.50	3.25	61.63	128.00
00401200002	368846	4954577	TO07	37.71	16.00	10.29	4.83	24.71	4.50	8.17	15.86
00401200006	374451	4956300	TO07	56.75	10.43	29.14	13.71	22.38	2.00	14.14	12.38
00401210001	368515	4954430	TO07	41.29	12.74	13.27	4.64	19.63	4.69	11.04	13.34
00401610001	392228	4913577	CN03	102.43	32.49	4.86	8.77	15.33	1.59	3.23	32.64
00401900006	407284	4930958	TE11	243.75	80.38	44.50	17.63	66.75	1.13	54.88	65.13
00401900008	406147	4932042	CN03	224.71	88.00	45.71	24.43	69.14	12.29	21.14	68.14
00402900022	410102	4948254	AT01	216.38	24.88	1.75	12.13	0.00	1.63	53.13	31.88
00402910001	408535	4949031	CN02	206.00	66.76	14.06	11.96	20.66	2.00	8.20	35.27
00403410001	379961	4929455	CN02	251.43	84.81	5.44	26.41	19.69	0.57	2.91	104.29
00404000003	375240	4918815	CN02	192.25	69.25	1.75	17.13	5.00	0.25	1.00	64.25
00404000004	377800	4922755	CN02	245.88	77.88	3.88	18.50	16.63	0.38	1.63	38.75
00404200001	381115	4956920	CN01	187.50	41.25	7.75	25.13	19.25	0.50	4.13	28.50
00404300001	412315	4925294	CN03	251.75	74.38	7.13	9.63	1.25	2.50	6.25	19.00
00404300003	409109	4926159	CN03	269.00	89.13	50.00	22.25	39.88	1.13	26.38	44.75
00404300004	406916	4926883	TE11	157.13	51.88	64.50	15.88	53.63	7.00	42.86	30.00
00404300005	410558	4926418	CN03	153.88	59.13	10.25	8.38	23.38	1.88	5.75	31.00
00404900001	390632	4921288	CN03	180.38	71.25	5.38	6.00	20.63	0.88	3.25	34.38
00404900002	393170	4920266	CN03	148.63	58.88	5.50	5.50	21.63	0.75	4.38	26.00
00405900008	392909	4950714	CN01	413.00	144.14	19.13	30.43	32.25	1.57	5.14	102.00
00406100001	387409	4927884	CN02	314.13	120.25	8.50	14.25	26.13	0.75	4.75	67.38
00406100002	388307	4924070	CN02	250.57	96.86	6.00	9.00	17.57	0.86	4.86	69.57
00406100007	386440	4925930	CN02	299.17	125.00	9.17	12.50	26.50	0.67	4.83	71.83
00406700001	402345	4947037	CN02	235.29	85.43	42.14	28.43	45.57	1.43	23.29	80.43

Allegato 1 - Database operativo

codice punto	UTM Est	UTM Nord	a. i.	bicarbonati	calcio	cloruri	magnesio	nitriti	potassio	sodio	solfati
00406700002	409612	4946491	AT01	224.83	94.14	16.71	11.29	31.86	2.14	9.14	61.86
00406700004	408337	4944640	CN03	150.80	79.40	33.20	14.40	91.40	24.80	10.00	48.00
00406700005	408076	4943214	CN03	117.38	58.38	19.63	9.75	40.50	0.75	6.00	37.50
00407100001	412803	4926496	CN03	303.29	100.86	28.43	14.00	37.43	4.43	24.29	36.00
00407800001	390178	4918696	CN03	260.00	97.71	5.00	6.29	21.43	0.71	4.29	25.71
00407800003	389252	4919549	CN03	280.63	104.63	5.75	7.00	24.50	1.38	3.63	27.25
00407810001	383550	4919411	CN02	173.43	65.59	4.60	8.24	11.69	0.00	3.20	52.40
00408600001	411999	4927647	CN03	294.63	105.25	34.25	13.25	39.50	6.00	18.00	31.38
00408900002	398656	4933373	CN02	236.75	93.50	7.38	10.63	19.50	1.25	6.13	53.50
00408900009	396544	4935908	CN02	273.25	106.57	7.50	10.25	27.71	0.88	5.25	59.86
00408900015	393891	4934692	CN02	359.75	142.13	12.88	14.63	37.75	1.13	5.50	68.63
00408900020	390864	4931012	CN02	359.71	145.86	12.14	15.14	39.86	3.43	6.14	70.00
00408910001	398869	4935731	TE09	214.40	73.72	9.20	13.38	34.68	2.32	8.28	55.06
00409600003	393809	4940087	CN02	391.63	145.00	17.50	23.88	34.50	0.88	6.00	74.43
00409900001	428285	4958536	AT01	451.57	161.57	212.71	30.91	52.37	3.39	130.43	118.71
00409900003	430618	4960295	AT01	427.67	143.00	95.35	27.02	38.23	2.20	71.63	108.83
00410100001	425376	4954759	AT01	441.25	168.88	187.50	25.50	35.13	4.13	114.00	94.13
00410100002	425168	4953731	AT01	455.88	174.88	104.38	23.50	26.88	5.88	67.75	104.75
00410400002	385141	4943191	CN01	189.50	66.14	5.88	13.57	20.88	1.29	4.00	40.25
00410400004	384280	4941528	CN01	184.50	37.71	5.50	7.29	18.00	0.43	44.86	33.25
00410700001	412271	4934339	CN03	339.14	124.14	16.86	16.00	52.71	6.57	10.71	51.29
00410700002	411157	4934854	CN03	220.29	71.57	5.57	10.14	10.00	2.43	8.86	40.14
00411300001	426708	4956829	AT01	461.75	185.43	384.88	39.14	38.75	6.29	209.86	152.88
00411400003	402663	4922743	CN03	224.13	68.63	20.25	19.00	22.75	2.13	10.38	40.50
00411400004	403143	4923771	TE11	196.50	90.38	29.13	20.50	34.38	2.00	17.63	108.13
00411400005	404477	4922053	CN03	308.14	100.57	6.29	14.14	10.00	5.29	5.43	36.57
00411800003	393034	4917048	CN03	154.43	57.29	3.00	5.29	17.71	0.57	2.29	23.71
00411800004	394066	4918617	CN03	149.13	58.75	4.25	5.25	23.00	1.63	3.00	24.25
00411800005	395930	4918230	CN03	137.13	56.50	4.75	5.75	21.38	0.63	2.88	26.88
00412800001	390836	4949100	CN01	342.75	117.86	10.13	28.71	24.75	0.43	3.86	94.25
00413000001	397697	4918071	CN03	115.50	48.63	6.75	8.38	27.75	1.63	4.38	32.13
00413600002	397399	4924571	CN03	132.88	66.25	14.50	7.63	56.88	3.38	6.88	37.50
00413600003	393429	4923730	CN03	126.17	56.83	7.50	6.00	30.33	1.50	4.83	31.00
00414310001	383509	4958003	CN01	284.50	79.07	13.33	25.25	5.68	0.00	6.18	50.82
00414400001	397917	4919958	CN03	207.13	76.13	9.63	9.88	25.63	3.38	6.25	31.88
00414400002	397663	4920117	CN03	144.38	59.25	8.38	6.88	25.75	1.13	4.13	26.00
00414410001	397447	4920151	CN03	141.50	49.28	21.43	6.80	21.20	0.00	17.58	29.28
00414700002	411596	4940064	CN03	484.38	155.25	47.60	34.59	63.50	3.50	28.86	66.08
00414700003	412188	4938017	CN03	524.40	169.80	38.40	25.40	33.80	5.80	42.80	86.40
00414700005	410090	4941092	CN03	159.14	72.43	48.00	23.71	32.86	1.14	9.71	74.14
00414700008	407652	4937596	CN03	168.38	68.50	22.50	21.25	48.63	0.88	13.13	68.13
00414800001	427127	4955488	AT01	391.38	158.86	279.25	24.38	25.25	4.38	164.00	80.38
00415200001	413610	4936945	CN03	553.50	245.25	130.63	56.75	143.63	5.38	78.88	193.25
00415200002	412966	4936308	CN03	495.00	120.50	19.50	29.63	51.63	73.13	23.00	62.75
00416300004	389538	4911465	CN03	44.57	24.86	8.71	6.29	48.86	2.29	4.86	14.71
00416900001	411429	4928565	CN03	159.00	71.63	24.25	16.00	54.50	1.00	10.00	51.00
00416900002	411725	4930073	CN03	111.63	62.63	17.70	10.34	56.65	2.83	6.83	44.80
00416900003	409574	4929444	CN03	263.00	86.88	27.88	28.75	50.00	15.25	22.63	95.13
00416900004	412760	4931751	CN03	357.13	127.50	25.25	13.25	53.00	36.38	14.63	48.38
00416900005	413077	4930450	CN03	405.00	136.25	20.88	16.38	36.13	2.50	23.50	35.88
00417900001	397351	4957548	CN02	329.25	121.67	18.75	20.67	49.25	1.00	7.33	70.75
00417900002	394140	4962780	CN02	323.13	124.00	15.88	20.86	19.50	2.00	6.86	99.13
00417900004	392964	4957390	CN01	406.00	152.63	24.38	30.00	45.63	1.00	6.38	99.88

Allegato 1 - Database operativo

codice punto	UTM Est	UTM Nord	a. i.	bicarbonati	calcio	cloruri	magnesio	nitriti	potassio	sodio	solfiti
00417900010	394938	4957978	CN02	370.88	135.38	15.50	24.00	28.13	0.88	5.75	88.88
00417910001	396181	4958533	CN02	387.57	145.86	30.14	23.44	65.73	1.14	8.96	75.83
00418000001	376279	4953316	TO07	126.88	30.29	5.88	17.71	21.88	0.57	2.71	18.38
00418100002	369750	4944940	TO07	71.13	19.14	1.50	6.14	5.88	1.71	2.43	13.75
00418900001	400156	4920671	CN03	132.63	68.13	17.38	16.13	92.88	3.25	7.13	38.75
00418900002	399842	4924679	CN03	137.63	65.88	20.75	8.00	8.00	0.88	6.13	61.13
00418900003	399678	4923166	CN03	133.57	71.71	20.14	8.00	51.67	0.86	4.71	42.43
00418900004	397856	4922227	CN03	126.63	57.88	12.13	8.00	34.50	0.63	4.88	38.75
00418900005	401053	4918792	CN03	126.38	52.13	15.13	12.38	42.50	4.38	5.00	35.88
00418900006	401050	4921106	CN03	111.63	43.38	10.88	11.38	26.75	1.00	5.38	32.25
00419800001	389391	4951588	CN01	326.00	122.67	14.14	26.83	32.86	1.67	6.17	75.00
00420200004	406592	4937745	CN03	429.38	141.00	15.00	36.25	0.75	2.25	14.88	165.63
00420300001	380022	4946610	CN01	166.20	39.33	16.00	24.17	33.33	4.50	7.33	45.00
00420300003	378274	4948800	CN01	105.22	37.71	53.50	11.86	19.50	3.57	34.29	27.00
00421100002	397741	4928492	CN03	111.38	65.63	17.38	7.63	62.13	0.75	7.25	38.25
00421100003	400909	4926413	CN03	160.86	71.29	24.57	8.71	40.14	6.43	9.71	47.86
00421200001	416487	4949377	AT01	424.88	192.50	49.13	25.00	63.50	4.75	40.63	165.00
00421200002	414418	4949591	AT01	555.00	287.38	96.00	88.25	28.13	14.50	291.50	951.38
00421500001	388964	4936883	CN02	314.13	106.63	7.00	30.00	33.75	0.13	2.88	87.50
00421500002	393612	4945430	CN02	304.13	105.88	8.00	26.38	27.00	0.13	3.13	75.38
00421500004	388219	4944300	CN01	395.50	144.25	16.63	29.88	49.00	3.25	6.63	91.50
00421500005	388492	4942848	CN01	397.88	139.75	10.63	29.63	34.38	3.25	4.63	91.50
00421500008	391856	4941196	CN02	351.00	124.00	11.75	30.88	41.13	0.38	3.75	85.38
00421500012	391261	4937501	CN02	374.50	137.50	17.38	31.00	64.50	2.00	6.38	82.00
00421510001	393138	4944505	CN02	361.71	119.43	16.03	29.07	42.41	1.50	4.80	83.74
00421700003	385171	4950354	CN01	210.00	65.67	8.50	18.50	24.00	1.17	4.67	38.33
00422500002	383580	4930522	CN02	323.25	105.50	7.13	30.63	30.13	0.63	2.88	92.50
00422510001	383355	4930476	CN02	304.86	94.97	7.13	32.04	30.03	0.29	2.83	98.81
00422800001	383375	4954948	CN01	197.13	48.50	7.43	25.33	24.57	0.71	3.00	32.43
00423200004	403057	4928186	CN03	169.63	74.75	23.00	12.75	14.13	0.63	7.13	65.50
00423200006	399846	4929705	CN03	112.75	73.13	23.38	8.38	75.63	1.63	8.75	43.75
00423800001	414316	4947980	AT01	480.83	485.00	32.14	59.00	7.71	1.86	16.43	984.86
00424400001	386237	4932446	CN02	317.63	108.13	7.25	27.63	32.25	1.63	3.13	77.00
00424400006	382806	4935710	CN01	317.88	118.38	8.25	28.13	20.25	2.50	4.75	95.25
00424400007	383680	4933288	CN02	257.00	92.50	5.88	24.88	15.88	0.50	3.25	96.38
00425000001	386330	4935077	CN02	334.63	108.00	8.63	29.00	35.75	1.00	3.88	89.88
00425010001	386854	4936185	CN02	310.57	101.30	9.06	28.33	36.53	2.34	4.31	90.54
00500310001	433829	4966064	AT01	322.00	128.00	134.00	27.20	63.40	3.70	63.40	108.00
00500500001	437417	4968556	AT01	573.40	233.00	47.68	48.72	3.08	13.84	33.66	303.20
00500500002	438148	4970201	AT01	520.71	224.14	72.61	40.90	44.11	6.40	36.80	249.00
00500500003	440431	4970004	AT01	615.00	230.17	67.55	40.48	26.62	4.85	46.78	239.33
00500500004	440201	4969989	AT01	667.14	306.00	58.99	54.96	6.60	6.60	34.00	475.43
00500500005	437687	4971142	AT01	500.67	168.83	41.72	37.70	3.83	10.93	43.20	212.83
00500500006	438943	4970676	AT01	455.25	193.38	51.45	40.81	134.88	7.89	29.30	194.63
00500500007	437891	4971697	AT01	470.75	147.13	30.80	27.90	54.19	38.76	32.80	130.13
00500500009	439738	4972147	AT01	555.38	219.63	64.15	37.01	7.21	3.16	41.43	248.13
00500500011	436818	4970144	AT01	603.43	251.00	43.59	48.50	15.23	5.70	30.79	333.14
00500500012	434987	4968476	AT01	576.63	155.00	45.27	65.91	1.45	3.53	84.28	295.75
00500500013	436009	4972373	AT01	536.71	224.43	29.99	30.43	43.83	2.94	24.96	225.71
00500500014	438561	4972725	AT01	434.00	159.00	78.16	34.00	26.84	2.23	54.81	172.14
00500500015	439985	4974058	AT01	441.13	162.25	74.79	27.60	115.11	2.71	73.17	124.28
00500500016	438916	4974633	AT01	328.75	101.92	20.79	18.15	4.00	0.13	19.38	68.54
00500500017	442436	4972951	AT01	544.25	166.88	125.70	41.73	19.39	3.75	75.00	133.13

Allegato 1 - Database operativo

codice punto	UTM Est	UTM Nord	a. i.	bicarbonati	calcio	cloruri	magnesio	nitrat	potassio	sodio	solfati
00500500018	443901	4972647	AT01	482.67	169.67	58.72	26.32	45.17	0.37	28.45	89.10
00500500019	440949	4972994	AT01	557.13	168.63	388.88	49.16	5.63	5.19	238.50	181.13
00500510001	438908	4971177	AT01	567.33	210.50	47.62	40.37	49.82	20.23	42.95	293.33
00500600001	442852	4971459	AT01	381.63	137.30	85.19	26.54	0.14	3.06	60.89	148.05
00502800001	445035	4969722	AT01	559.00	231.64	79.19	50.39	14.90	7.44	44.39	327.07
00502800002	446408	4969706	AT01	487.13	156.50	16.31	34.58	18.10	2.08	13.97	129.75
00502800004	450076	4970942	AL01	456.43	116.71	52.26	31.03	24.13	2.03	50.99	67.27
00503600001	449458	4969897	AL01	442.13	60.00	83.74	12.11	0.88	1.25	146.54	32.73
00505000001	431967	4959998	AT01	474.00	232.88	784.50	47.90	46.79	6.61	488.75	344.13
00505000003	431640	4961521	AT01	512.38	310.13	247.63	58.34	56.21	11.82	157.75	538.38
00505000004	432199	4962968	AT01	481.00	222.00	140.86	37.13	7.62	3.20	98.00	320.00
00505000005	432992	4962001	AT01	331.81	274.21	65.56	47.02	3.01	4.05	75.10	687.00
00505900001	433006	4963911	AT01	453.75	217.50	59.19	36.71	18.30	9.88	44.09	320.63
00505900002	433697	4963321	AT01	472.13	231.00	77.55	54.80	23.26	3.04	65.46	408.50
00505900003	434758	4964776	AT01	516.29	186.43	82.20	44.13	1.34	3.80	68.47	270.86
00509000001	436543	4967468	AT01	464.25	189.50	36.23	43.80	19.54	4.90	28.16	272.88
00509600001	448585	4969045	AT01	427.50	105.41	29.05	19.91	18.70	1.53	70.25	76.71
00509600002	450490	4968282	AL01	402.50	85.89	10.42	22.31	0.82	1.72	21.70	14.88
00509600003	449553	4967305	AT01	411.38	86.66	32.65	22.56	2.14	4.90	87.20	117.61
00509600004	447301	4969134	AT01	293.25	139.75	29.77	28.25	81.05	6.57	13.25	169.00
00511800003	412938	4976317	TO08	438.29	145.86	98.47	65.00	154.14	0.00	36.44	76.86
00511800076	413954	4978540	TO08	207.00	67.31	50.24	30.56	45.47	2.60	20.47	79.80
00511800090	416126	4975802	TO08	282.00	66.27	15.91	18.69	19.81	0.00	9.61	4.56
00511800092	416407	4980329	TO08	291.00	131.00	111.00	35.10	117.00	29.10	37.90	79.80
00600300007	464034	4969302	AL02	296.57	115.19	57.16	26.43	45.91	0.36	20.74	92.56
00600300008	462437	4970972	AL02	394.57	113.34	11.37	28.49	56.21	2.96	7.93	29.30
00600300009	465877	4974718	AL01	378.40	137.68	38.74	18.94	54.44	0.00	19.62	91.86
00600300010	462471	4976490	AL01	322.71	143.90	73.44	39.95	180.95	1.24	27.25	41.05
00600300011	464858	4977796	AL01	181.57	89.31	38.40	21.70	101.69	0.21	16.99	63.83
00600300012	469669	4977588	AL01	402.40	160.56	50.28	21.86	53.20	1.20	19.44	101.70
00600300013	482826	4969474	AL04	305.38	128.89	28.36	8.04	82.96	0.25	10.54	43.76
00600300014	477650	4976057	AL04	394.00	167.22	214.60	22.50	20.79	4.92	98.78	108.56
00600300015	478965	4974857	AL04	357.43	146.45	43.63	9.01	92.51	1.03	12.73	39.09
00600300017	468556	4970973	AL02	430.75	157.90	74.25	47.51	29.07	3.52	28.09	185.94
00600300018	476584	4971681	AL04	312.86	107.40	37.60	7.20	19.87	0.54	29.61	17.96
00600300019	480059	4968747	AL04	266.50	125.66	23.83	5.99	88.56	0.65	10.66	33.52
00600300020	478440	4966941	AL04	290.00	126.69	22.55	6.70	89.41	0.00	9.34	31.66
00600300021	471250	4971484	AL02	280.00	86.84	23.05	27.65	40.44	1.47	9.04	54.95
00600300022	471683	4974987	AL02	479.38	148.50	48.88	45.68	19.96	6.51	26.74	128.22
00600300023	472864	4974198	AL04	318.50	120.91	31.34	12.49	64.24	0.99	14.38	43.61
00600310001	468436	4971738	AL02	440.50	133.00	45.85	46.65	31.90	2.88	27.08	141.25
00600600001	481733	4981928	AL04	477.50	109.81	622.23	51.70	1.76	3.73	399.06	23.64
00601100002	453027	5004260	VC03	232.75	74.90	18.26	16.61	2.56	2.86	9.43	54.84
00601100003	453068	5003194	VC03	296.88	96.63	19.86	16.18	2.54	2.63	11.65	47.46
00602000001	463107	4993253	AL06	466.88	123.59	26.94	35.84	7.73	2.69	15.95	82.50
00602100004	479441	4963638	AL04	328.00	141.70	45.30	6.19	56.29	2.40	17.66	45.49
00602100005	475557	4962220	AL04	310.00	113.31	15.94	8.76	32.43	0.17	8.09	22.66
00602100006	477946	4962195	AL04	296.17	132.37	67.07	12.52	63.65	0.87	23.73	69.50
00602900003	473399	4952422	AL03	174.00	24.35	28.23	38.97	31.88	2.90	14.82	60.50
00603900005	462302	5001166	VC03	328.63	104.35	15.85	15.30	8.61	2.16	8.38	39.21
00603900006	463477	5000926	VC03	318.25	99.67	15.44	16.27	11.31	3.30	8.72	39.39
00603900008	459510	5001472	VC03	247.75	73.23	14.19	15.86	3.94	2.63	8.55	39.09
00603900010	460129	4997233	AL06	316.00	104.45	26.15	16.92	1.34	2.61	12.91	63.33

Allegato 1 - Database operativo

codice punto	UTM Est	UTM Nord	a. i.	bicarbonati	calcio	cloruri	magnesio	nitriti	potassio	sodio	solfiti
00603900011	460639	4994481	AL06	378.75	112.94	34.61	29.05	5.85	0.80	20.20	70.84
00603900014	458500	4999010	AL06	346.75	128.19	34.19	20.31	34.50	7.66	29.89	103.84
00604000002	498054	4974133	AL05	371.50	127.70	10.87	10.88	58.15	1.18	7.75	24.93
00604000003	497902	4976078	AL05	395.43	104.44	15.23	18.14	19.04	3.89	14.60	31.26
00604300001	463632	4959726	AL03	284.50	73.34	52.30	48.53	47.18	0.39	21.09	90.19
00604300002	462679	4957005	TE14	189.38	29.24	14.67	35.36	7.95	3.84	14.38	75.46
00604300003	462107	4953085	AL03	522.57	113.01	29.00	57.40	7.93	4.77	34.23	120.37
00604700001	464155	4966683	AL02	268.38	92.15	36.94	20.32	101.67	25.96	34.46	52.73
00604700003	468720	4965220	AL03	218.50	46.26	30.56	43.31	43.50	0.35	8.25	50.76
00604700004	468552	4962283	AL03	197.13	39.50	33.73	38.35	33.95	0.57	10.88	42.74
00604700005	470111	4961507	AL03	200.60	34.18	28.16	42.46	45.44	0.48	14.38	54.38
00604700007	468587	4968580	AL03	301.43	92.13	50.90	48.76	64.27	1.61	17.03	98.56
00604710001	466781	4965419	AL03	183.00	50.00	32.60	13.50	21.00	25.20	36.80	105.00
00605200002	464651	4953077	AL03	262.75	76.38	46.10	53.98	86.59	3.55	30.43	104.95
00605200003	464623	4955332	AL03	263.38	75.95	18.40	36.80	24.14	3.96	9.14	85.44
00605210001	464884	4955308	AL03	177.57	42.71	21.66	34.19	43.27	0.16	9.80	53.70
00605300001	489115	4978832	AL04	253.38	88.15	31.70	10.74	17.81	2.64	23.21	50.36
00605300003	493324	4981191	AL05	373.43	126.84	16.46	26.84	58.21	2.31	18.07	109.71
00605300004	490489	4976995	AL05	307.57	107.60	53.43	14.10	24.87	2.29	36.31	61.76
00605300005	491419	4983118	AL05	374.88	115.70	46.88	23.68	28.46	3.72	39.15	99.28
00605300006	491419	4983118	AL05	415.43	147.89	48.96	35.71	30.30	3.90	37.03	158.36
00605310001	490576	4980600	AL05	290.71	94.26	47.46	14.89	21.33	1.83	29.80	60.89
00605400001	467369	4961154	AL03	205.29	41.30	15.74	44.97	46.41	0.87	7.89	61.87
00606800001	457026	4972341	AL01	397.88	127.90	37.65	31.15	47.68	0.00	23.26	67.86
00607100001	461797	4964064	TE14	280.14	116.36	32.76	16.95	41.54	0.00	16.76	62.36
00607300001	464037	4998124	AL06	302.75	103.69	13.41	14.21	16.97	1.96	7.52	43.88
00607300002	465173	4996249	AL06	324.63	110.70	14.51	19.61	15.98	3.18	8.54	47.09
00607310001	462911	4998083	AL06	347.71	116.97	13.97	17.04	34.83	2.37	7.16	48.03
00607400002	474632	4957821	AL04	252.20	76.80	21.66	19.24	14.42	1.94	10.76	45.46
00607500002	472018	4964468	AL04	274.25	77.59	17.77	21.23	18.69	2.39	8.14	32.92
00607500003	471764	4967257	AL04	248.25	69.69	16.59	20.16	16.52	0.53	7.49	30.31
00607500004	476460	4966539	AL04	342.63	169.42	34.02	6.31	104.04	0.98	11.42	47.75
00607510001	474395	4965195	AL04	492.00	144.71	18.33	24.79	16.89	2.20	11.60	45.36
00608200001	466050	4989575	AL06	468.50	130.50	42.47	35.96	3.74	0.34	30.17	133.95
00608600001	488548	4984980	AL04	340.38	123.13	32.26	19.10	30.86	4.10	19.15	83.39
00608600002	488577	4984946	AL04	346.50	122.83	37.45	19.65	35.33	4.26	20.61	76.24
00608700002	485014	4984859	AL04	358.25	139.84	61.86	20.69	56.46	2.30	25.65	74.41
00608700003	486576	4986261	AL04	346.63	137.04	35.68	23.71	50.45	3.55	15.31	83.98
00608700004	486620	4986237	AL04	359.75	126.55	33.08	22.15	56.90	3.35	16.15	82.94
00608710001	488640	4986198	AL04	337.43	121.21	36.44	22.29	33.83	2.47	16.20	101.91
00609100001	454266	4968916	AL02	422.57	164.43	36.89	32.10	84.73	1.79	20.03	104.03
00609110001	453899	4969083	AL02	498.43	142.29	28.20	32.51	13.87	1.03	15.73	88.61
00609600001	492560	4985912	AL05	398.13	138.94	54.33	34.49	33.41	2.71	27.82	109.49
00610510001	475617	4977506	AL04	400.29	123.43	19.03	23.03	14.46	3.34	13.87	77.57
00610900001	450635	5001698	VC03	235.86	81.50	16.04	13.87	6.69	3.40	13.27	40.50
00610900004	450544	5002968	VC03	178.50	32.39	219.65	10.39	1.24	1.54	135.97	0.00
00610900005	447667	5002144	VC03	247.00	80.63	11.01	12.16	10.98	8.31	8.55	40.44
00611400002	480072	4957631	AL04	299.71	108.25	48.31	12.44	53.11	2.13	40.33	54.19
00611400003	486396	4954749	AL04	296.00	102.65	21.33	15.19	24.96	0.00	11.40	51.96
00611400004	486676	4956802	AL04	285.25	135.30	28.09	8.03	78.80	0.15	12.65	43.50
00611400006	487097	4959121	AL04	344.71	149.93	72.92	6.26	73.21	1.76	24.79	39.29
00611410001	482924	4957350	AL04	292.14	98.86	32.03	17.33	34.34	0.94	24.96	63.64
00611500001	460087	4991025	AL06	626.29	182.36	36.60	62.90	3.09	0.00	38.03	209.46

Allegato 1 - Database operativo

codice punto	UTM Est	UTM Nord	a. i.	bicarbonati	calcio	cloruri	magnesio	nitriti	potassio	sodio	solfati
00612200003	460966	4967058	AL02	421.38	121.31	26.19	24.26	33.48	0.14	21.05	36.03
00613000001	481336	4975535	AL04	337.88	154.85	39.69	12.40	93.35	0.71	14.46	43.66
00613200003	495799	4978507	AL05	322.86	116.27	13.34	21.64	51.14	2.34	14.31	85.61
00613200005	493488	4979534	AL05	330.83	112.33	14.95	22.47	39.38	2.40	17.58	79.33
00613200006	493587	4977537	AL05	334.71	117.23	11.47	21.50	42.71	3.27	14.46	88.43
00613800002	483422	4960378	AL04	378.71	142.24	27.91	13.20	44.26	1.81	14.84	56.56
00613800004	482273	4964131	AL04	286.86	114.46	20.46	4.87	77.37	0.00	19.89	35.60
00613800005	481402	4962305	AL04	328.71	131.19	28.64	6.69	51.89	2.69	19.21	57.31
00613800006	486241	4963739	AL04	323.43	149.84	78.77	5.57	100.91	2.76	43.81	48.81
00614000003	472413	4958833	AL03	211.63	46.60	18.86	21.74	15.04	3.67	9.66	26.43
00614000004	471610	4957361	AL03	194.38	45.32	19.07	22.57	14.56	0.60	10.16	25.81
00614000005	472925	4955998	AL03	181.17	39.10	30.85	46.12	70.05	2.52	13.68	52.55
00614100001	457541	4975205	AL01	396.29	132.03	58.84	34.57	37.29	0.16	25.67	68.73
00614100002	459969	4976570	AL01	292.71	92.34	27.81	17.20	41.51	0.34	26.19	35.39
00614200001	451794	4971039	AL01	410.43	106.19	7.36	19.16	0.83	1.56	14.54	23.80
00615100001	483571	4975887	AL04	306.71	143.97	57.19	11.24	84.87	1.69	15.61	51.77
00615100002	482135	4980623	AL04	382.75	179.34	178.93	30.61	32.16	8.07	71.63	164.55
00615100004	481266	4978577	AL04	374.25	134.93	110.98	22.41	60.14	1.78	47.49	86.48
00615100005	485753	4980191	AL04	330.14	144.69	46.48	14.73	64.53	1.59	16.16	48.22
00616000001	487977	4954227	AL04	397.00	216.97	38.62	20.05	32.17	4.28	119.65	498.72
00616100004	467935	4957415	AL03	239.57	45.96	11.94	27.23	7.61	0.71	11.43	31.03
00616300001	460213	4973886	AL01	297.38	93.85	24.06	19.22	27.87	0.00	17.56	47.16
00616300002	462970	4972490	AL01	445.00	147.24	30.20	28.25	22.79	1.65	21.50	83.44
00617300001	465532	4994796	AL06	336.50	126.97	38.73	20.57	41.60	4.97	20.65	78.42
00617400003	485997	4969487	AL04	368.13	143.03	48.51	15.84	68.05	1.79	19.31	57.90
00617400005	484097	4973199	AL04	293.63	116.61	47.69	9.99	33.45	2.14	23.19	45.57
00617400006	491384	4973463	AL05	454.88	126.30	37.60	28.99	47.74	0.28	12.35	84.40
00617400007	489747	4973828	AL05	408.86	131.40	67.20	19.56	29.90	3.23	52.44	86.94
00617400008	487436	4975198	AL04	342.00	142.35	86.86	14.55	46.01	2.79	38.59	58.29
00617410001	485148	4968822	AL04	311.14	118.57	41.56	8.41	36.96	2.51	18.99	43.57
00617410002	488905	4972351	AL05	385.00	140.71	58.71	17.01	31.91	2.33	41.80	87.64
00617700001	466772	4987904	TE19	290.00	107.21	44.74	37.51	106.91	1.06	21.48	85.67
00617700002	474161	4983904	TE19	248.50	80.84	20.74	16.11	45.89	0.16	13.13	26.47
00617700004	471818	4985670	AL06	382.88	139.09	29.99	27.29	20.24	3.47	17.56	105.64
00617800002	468515	4993829	AL06	355.25	118.73	28.64	23.60	23.83	4.47	16.35	74.17
00618100002	494952	4973672	AL05	439.86	149.28	17.37	34.09	64.77	1.16	19.19	105.21
00618500004	457181	5002678	VC03	294.43	86.79	13.44	17.70	5.60	1.47	7.84	45.47
09600300003	431852	5040450	TE05	162.95	28.81	2.86	15.81	14.79	34.81	10.69	49.86
09600410001	427864	5046727	VC04	62.71	24.71	16.89	7.60	26.04	2.67	12.36	24.36
09600600002	424273	5040428	VC04	84.81	21.11	23.54	11.94	22.16	2.01	12.19	4.17
09600600004	424705	5040464	TE05	111.94	44.11	28.13	16.00	65.24	15.83	13.29	32.53
09600700002	441822	5049375	VC01	117.74	26.06	17.20	9.88	32.39	11.63	32.75	42.29
09600700003	442738	5048224	VC01	84.11	23.14	5.74	6.15	11.11	1.96	10.72	15.49
09601000001	422865	5044426	VC04	57.88	16.83	6.67	5.32	11.15	1.15	6.75	12.98
09601200007	430320	5043074	TE05	63.21	28.13	23.58	10.56	41.06	2.09	15.88	37.44
09601500004	441869	5039625	VC01	110.79	36.19	24.98	20.00	37.45	1.16	13.31	27.34
09601800003	428665	5038630	TE05	41.76	27.02	7.85	8.79	43.24	4.21	6.89	32.65
09601800004	427473	5035573.1	VC04	47.25	20.91	18.11	11.76	53.75	15.25	9.85	25.85
09602000005	436827	5046048	TE03	121.64	52.44	22.11	14.81	54.34	1.63	15.06	26.35
09602010001	435689	5044420	VC04	78.14	16.77	8.24	5.91	1.84	4.66	13.74	21.96
09602600006	428946	5042970	TE05	39.99	21.63	13.70	7.03	46.91	0.77	9.30	11.79
09602700002	439989	5038704	VC04	101.14	17.25	1.55	7.99	0.00	1.11	9.13	7.16
09603100003	434853	5037528	VC04	80.75	30.81	12.42	7.60	20.16	2.63	7.39	23.43

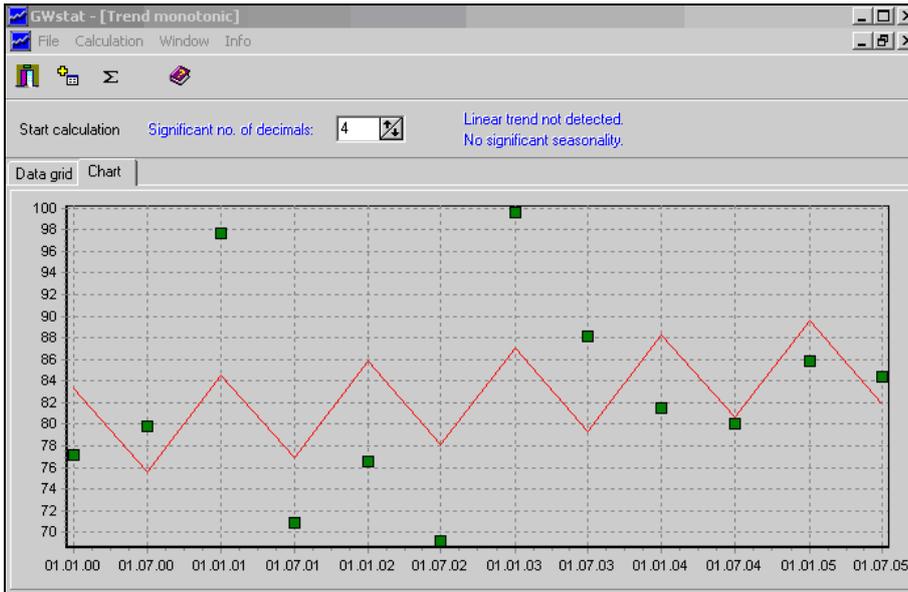
Allegato 1 - Database operativo

codice punto	UTM Est	UTM Nord	a. i.	bicarbonati	calcio	cloruri	magnesio	nitrati	potassio	sodio	solforati
09603110001	435260	5037684	TE04	91.57	39.43	78.91	26.94	37.14	2.00	23.21	35.67
09603200002	440897	5045684	VC01	167.69	48.71	28.41	13.25	58.70	13.55	27.06	25.29
09603500002	422441	5042556	VC04	29.62	22.58	23.17	8.92	49.15	1.80	11.00	16.90
09603510001	422136	5042143	VC04	48.14	8.46	1.21	2.90	1.71	0.00	5.30	0.56
09603700003	436645	5040426	TE04	96.82	30.69	36.02	15.38	25.51	1.13	20.50	25.53
09603700005	439098	5037914	TE04	228.70	59.25	37.83	35.50	95.85	1.55	44.00	54.63
09604100001	423615	5045684	VC04	125.41	45.19	13.15	8.25	25.93	2.43	10.25	21.36
09604700004	426448	5043397	TE05	63.81	27.13	12.63	10.56	47.01	11.81	14.19	42.89
09605800003	429902	5032561	TE06	157.89	40.63	13.56	28.50	36.99	1.91	12.63	72.79
09605800004	433674	5033182	TE05	82.99	19.99	14.77	18.34	25.93	1.71	11.13	19.93
09605900005	427727	5041130	TE05	72.54	24.69	20.90	9.56	30.96	13.44	12.69	19.11
09607700003	429693	5046042	VC04	44.20	19.44	7.53	4.80	22.59	2.94	8.00	18.77
09607900001	437101	5037022	TE04	230.76	26.13	8.86	32.44	35.24	1.49	41.63	46.36
09607900002	438337	5034970	VC04	102.81	20.38	20.69	17.13	4.50	1.05	14.81	28.64

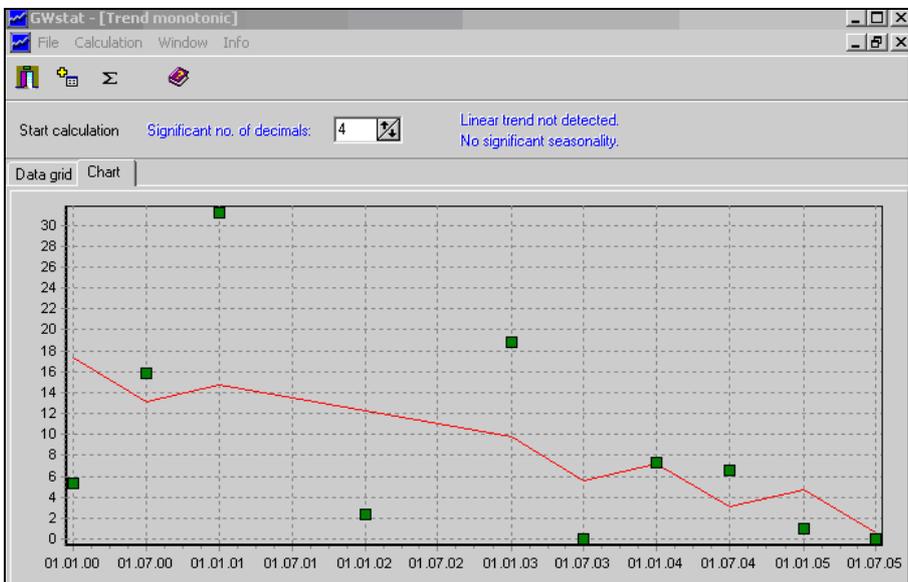
Allegato 2

Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino

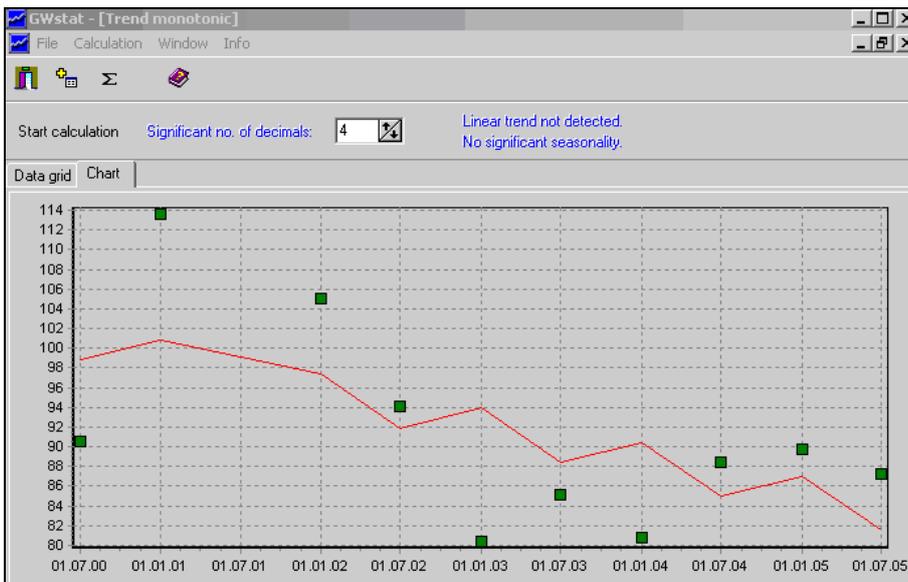
Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



00600300013

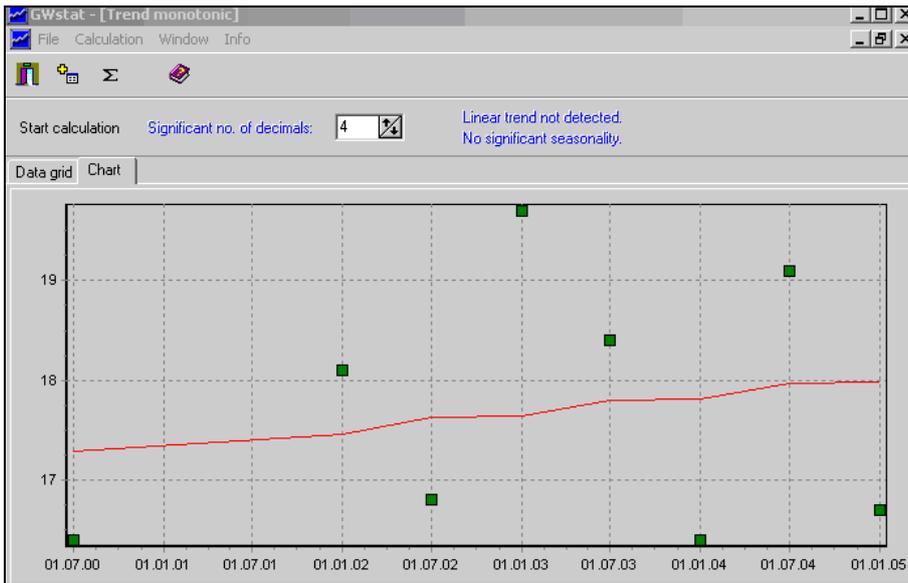


00600300014

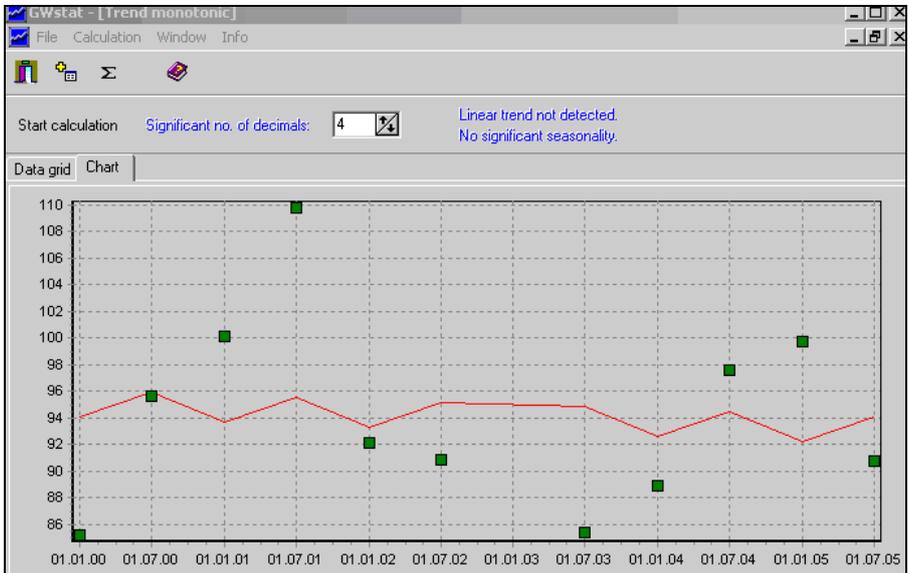


00600300015

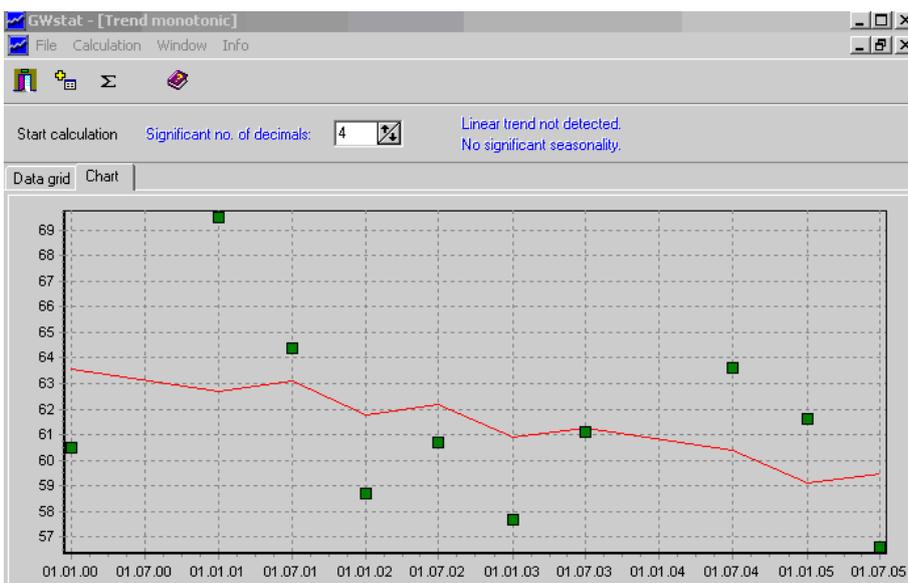
Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



00600300018

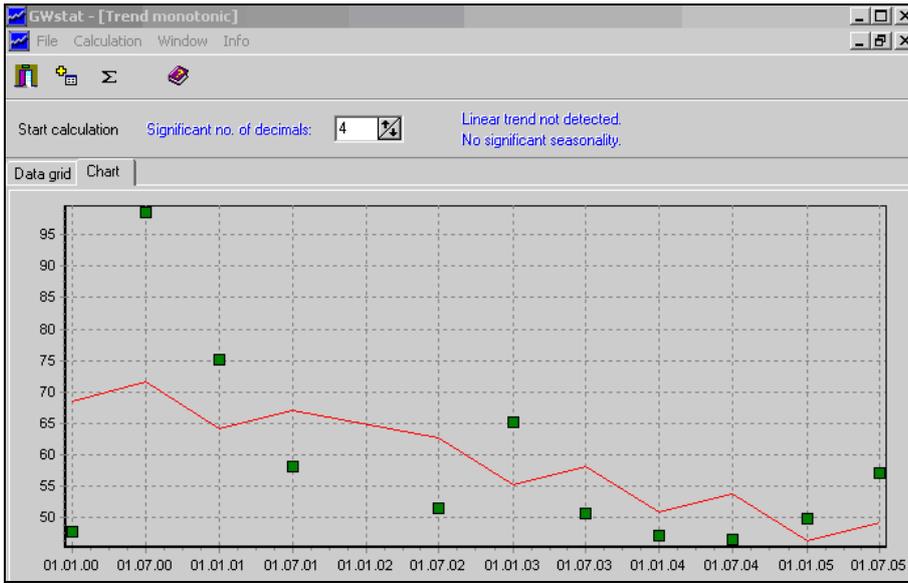


00600300020

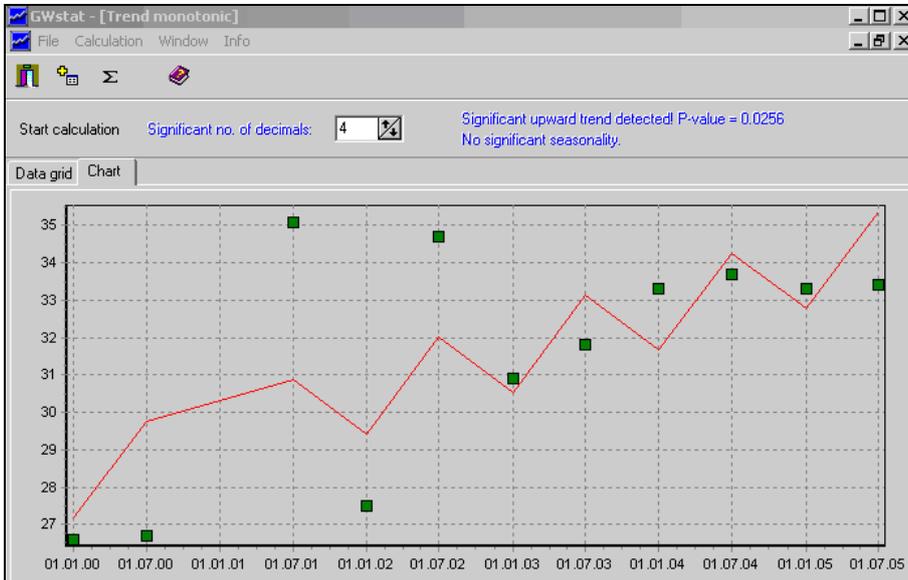


00600300023

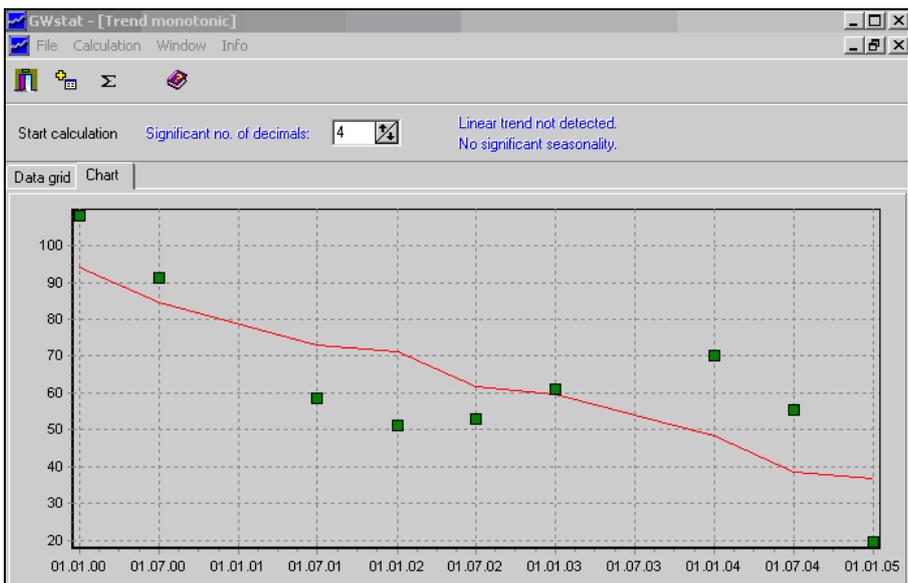
Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



00602100004

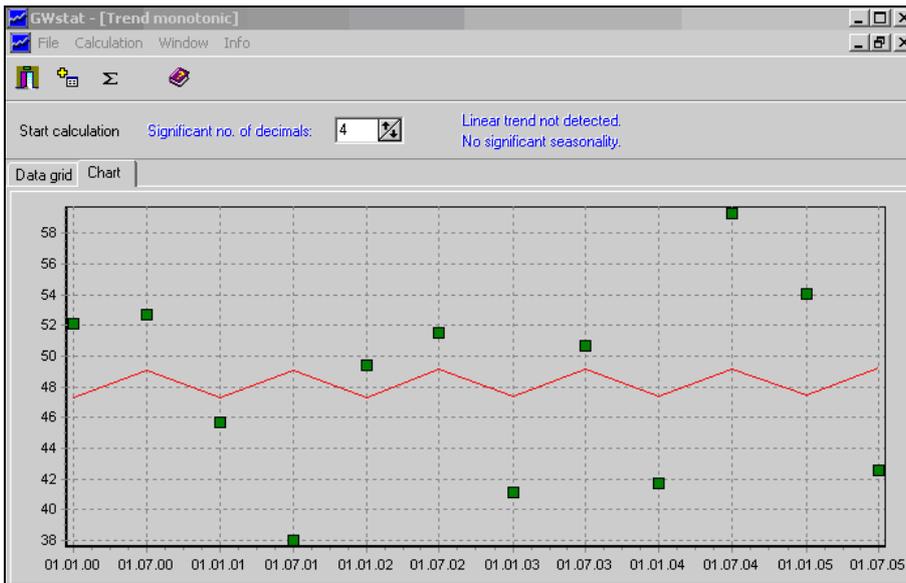


00602100005

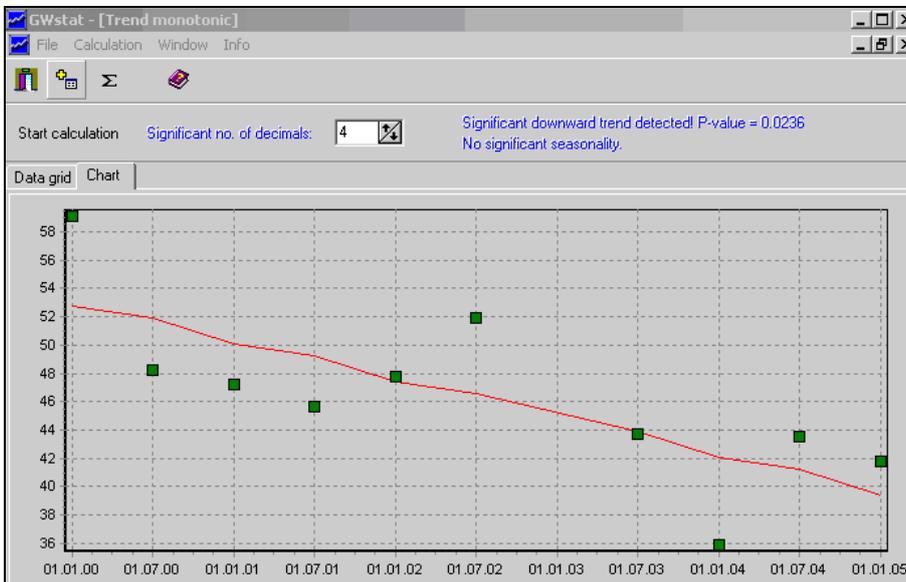


00604000002

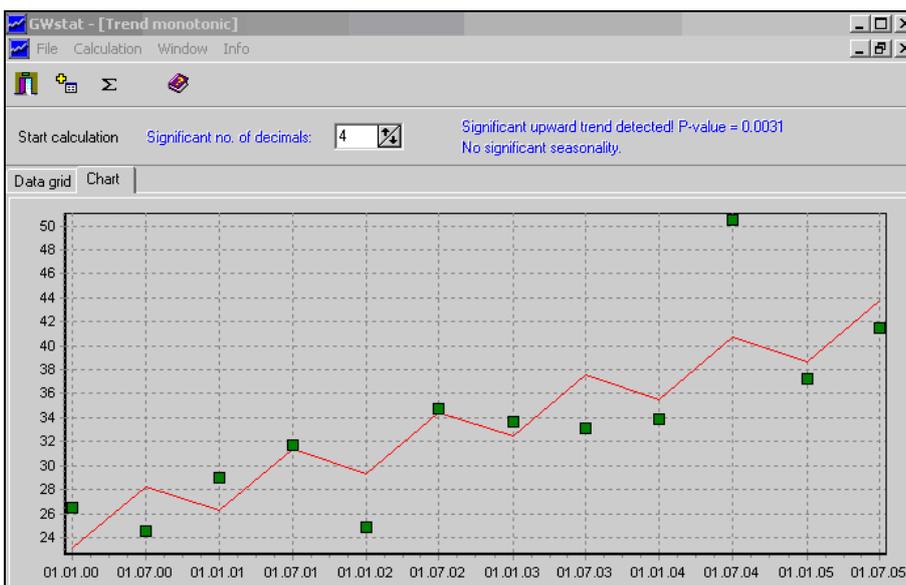
Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



00604300001

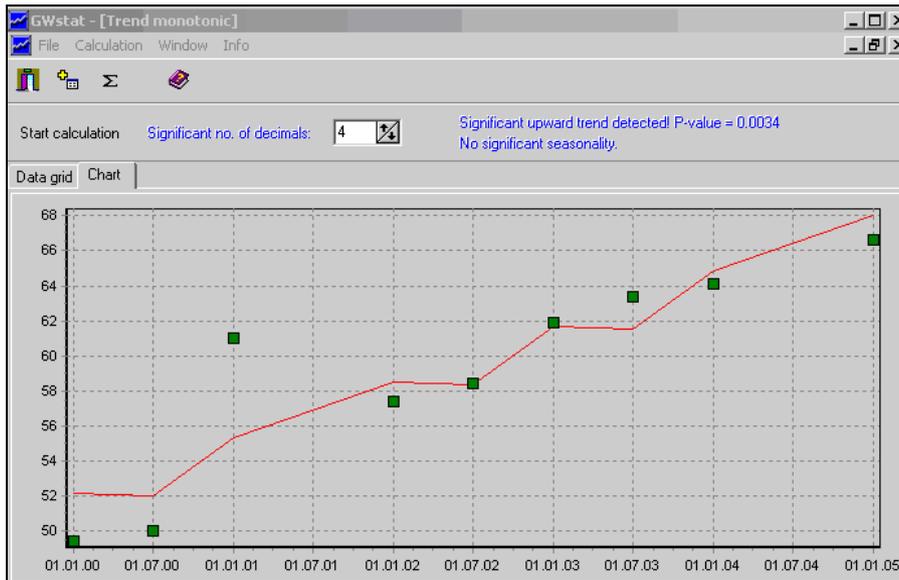


00604700003

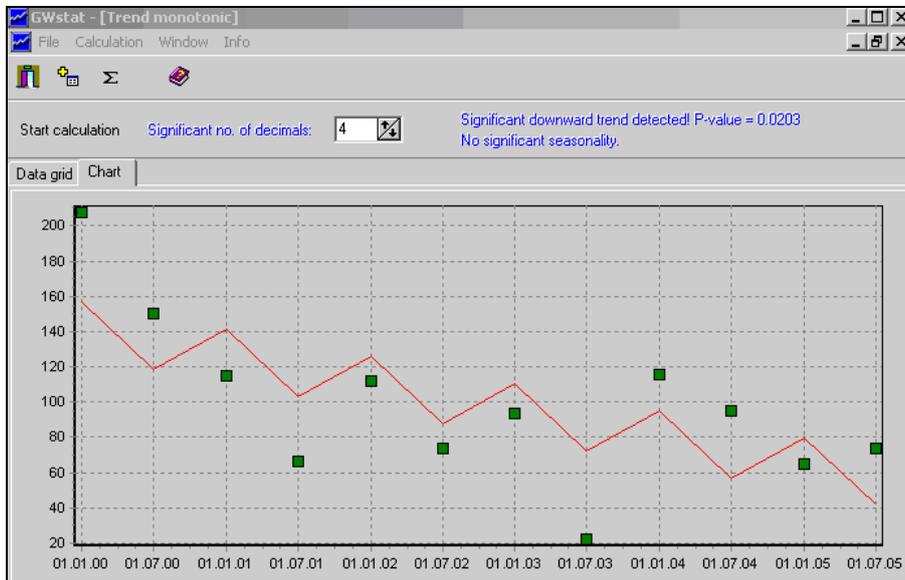


00604700004

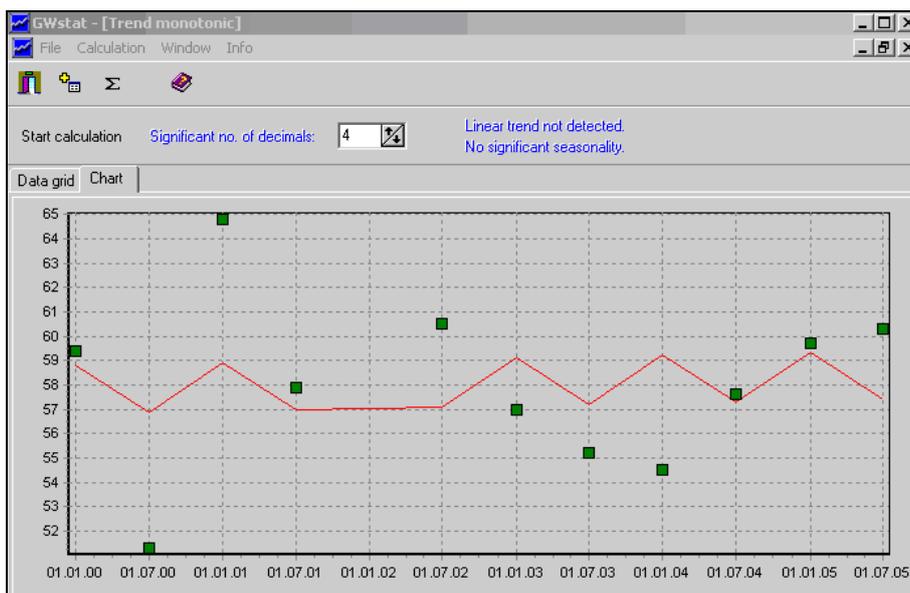
Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



00604700007

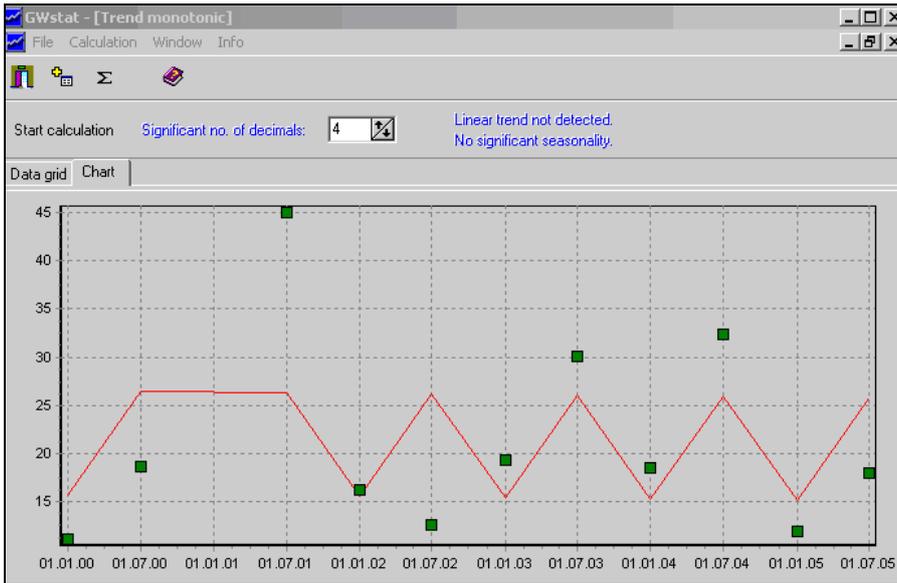


00605200002

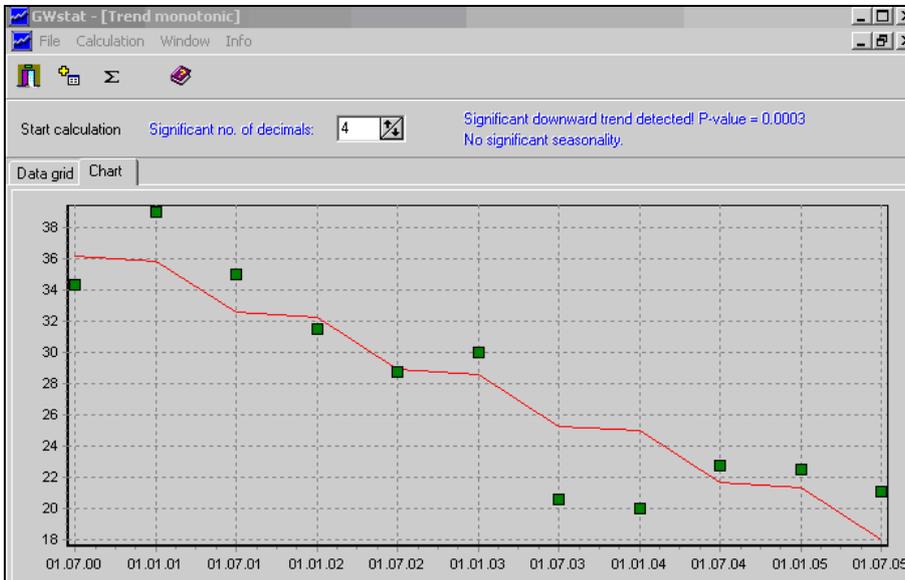


00605300003

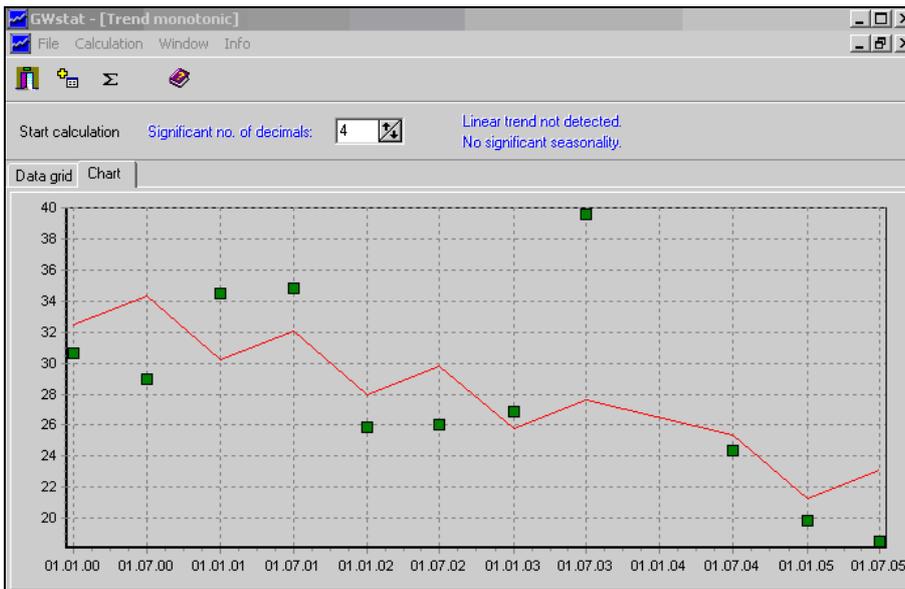
Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



00605300004

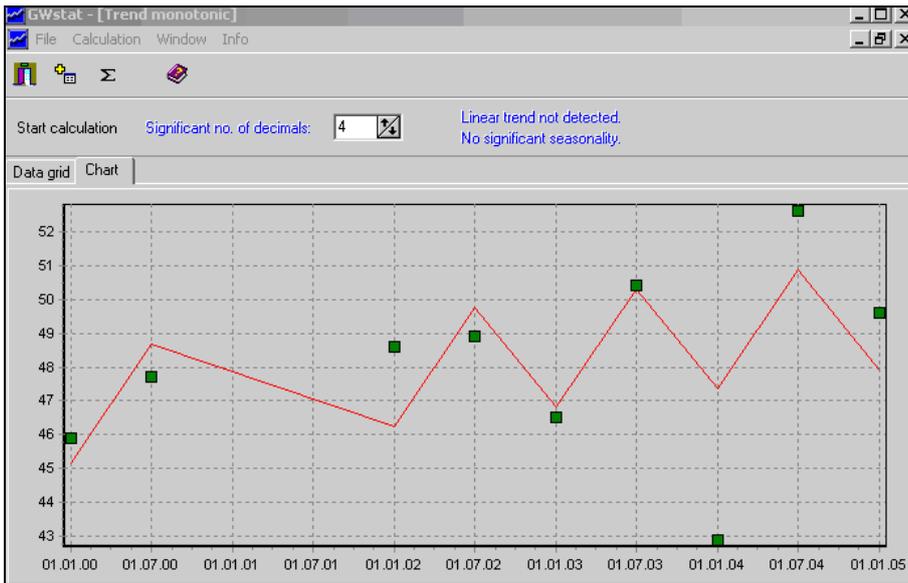


00605300005

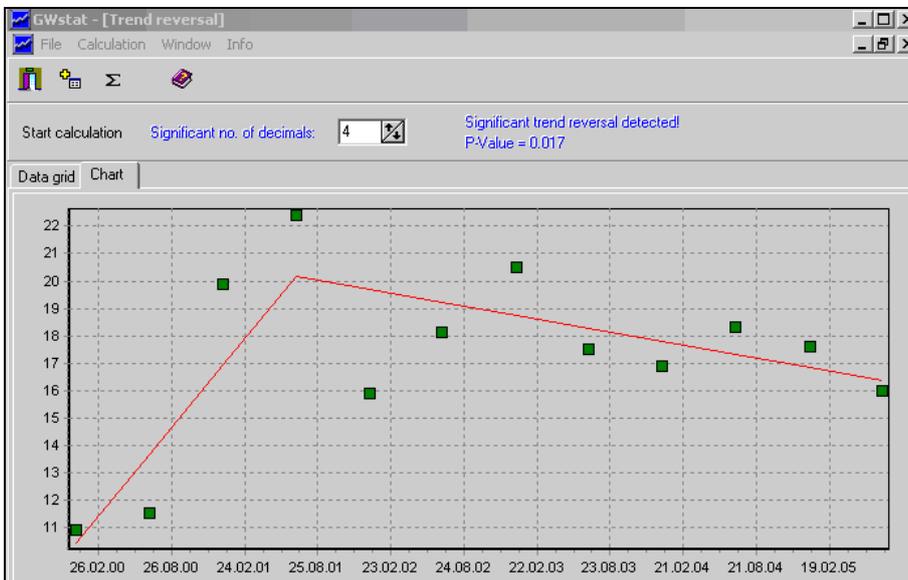


00605300006

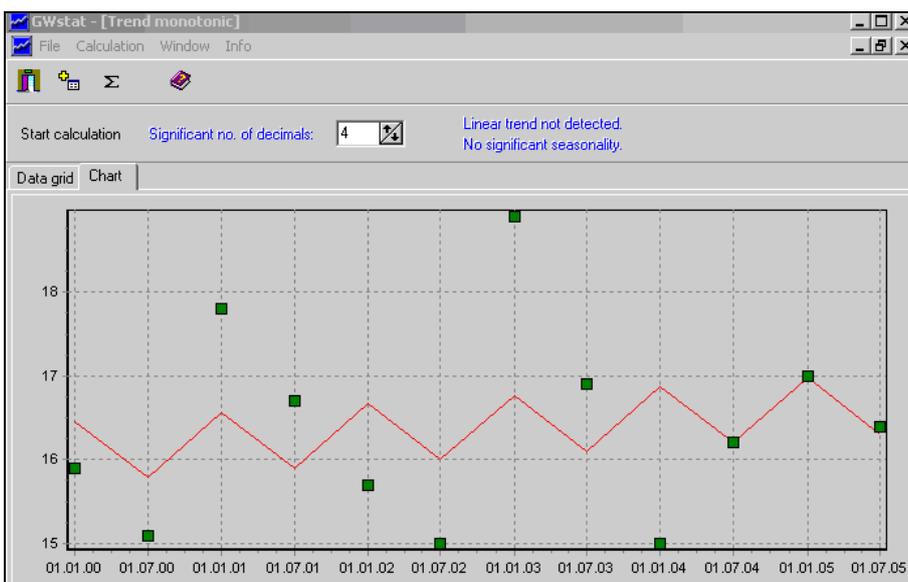
Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



00605400001

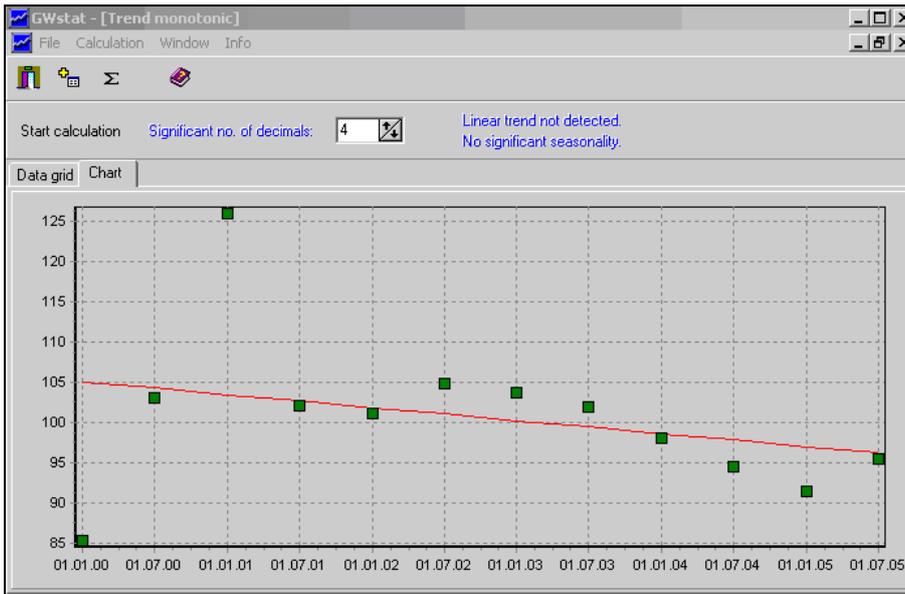


00607500002

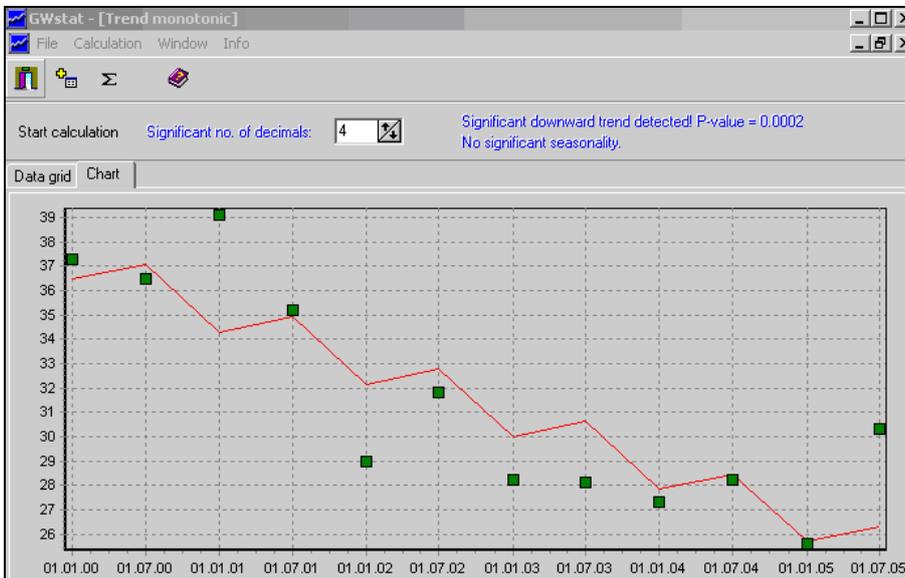


00607500003

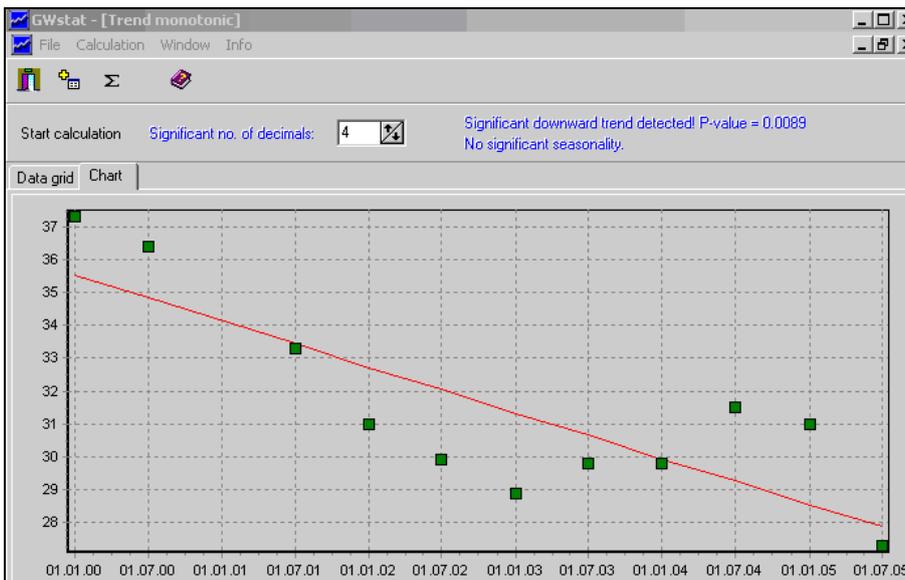
Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



00607500004

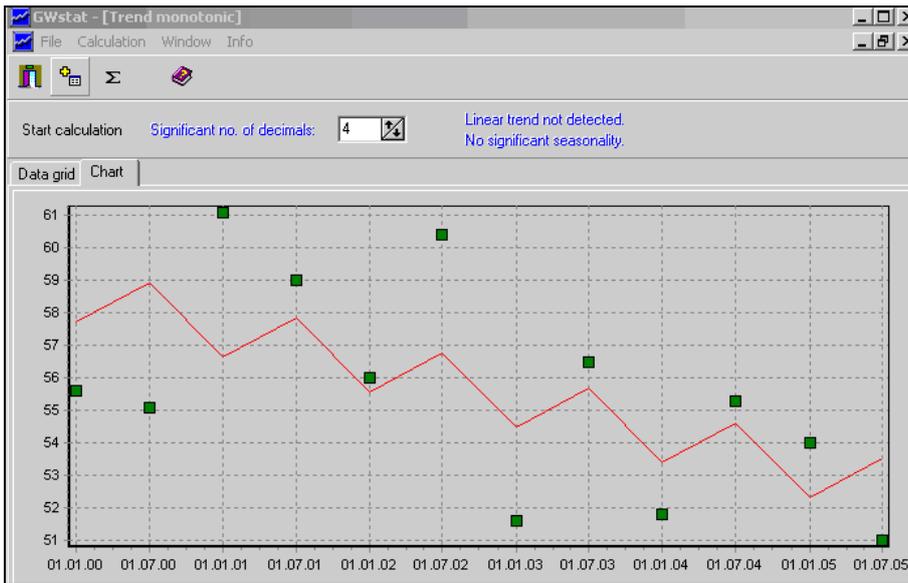


00608600001

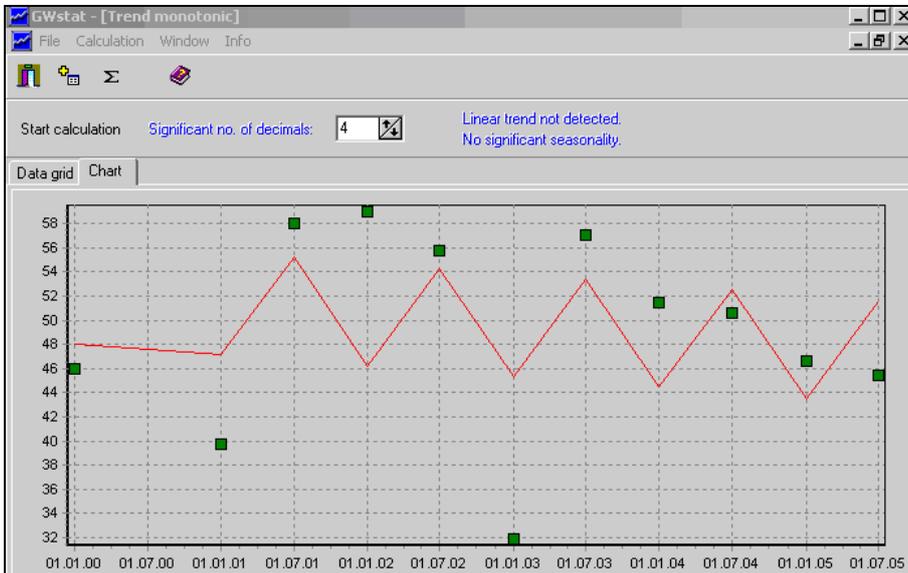


00608600002

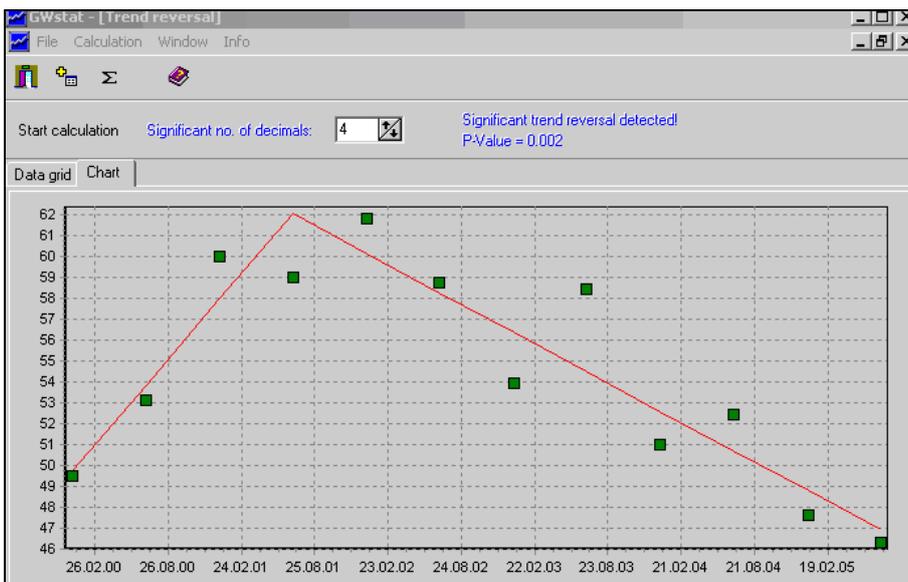
Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



00608700002

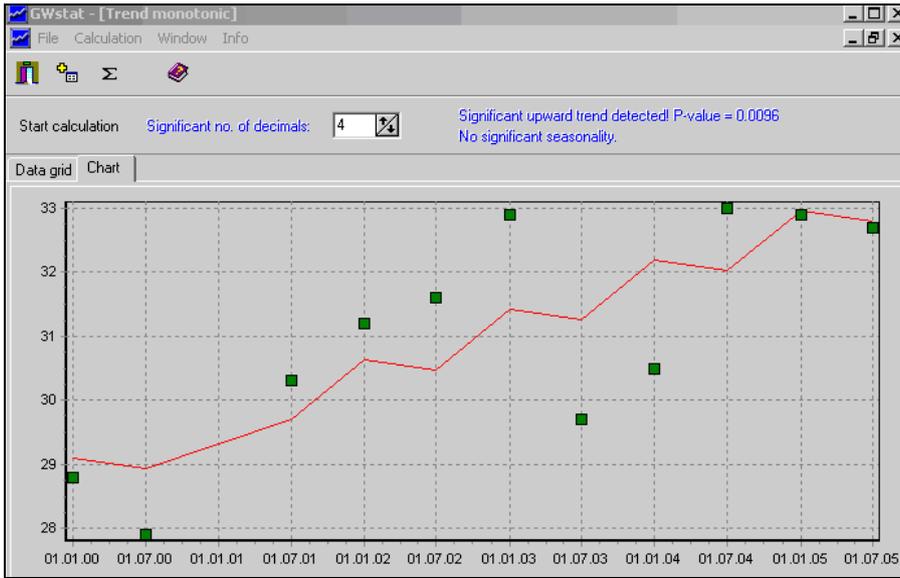


00608700003

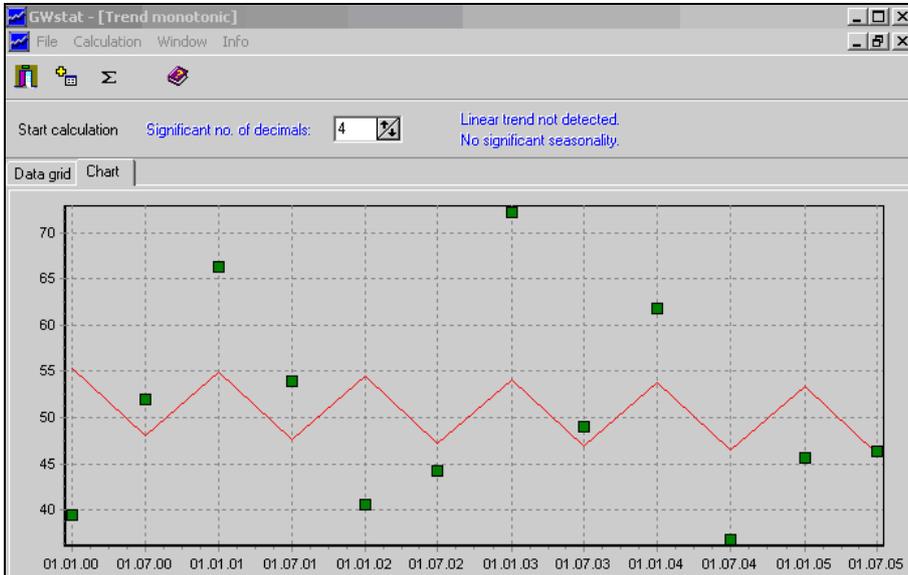


00608700004

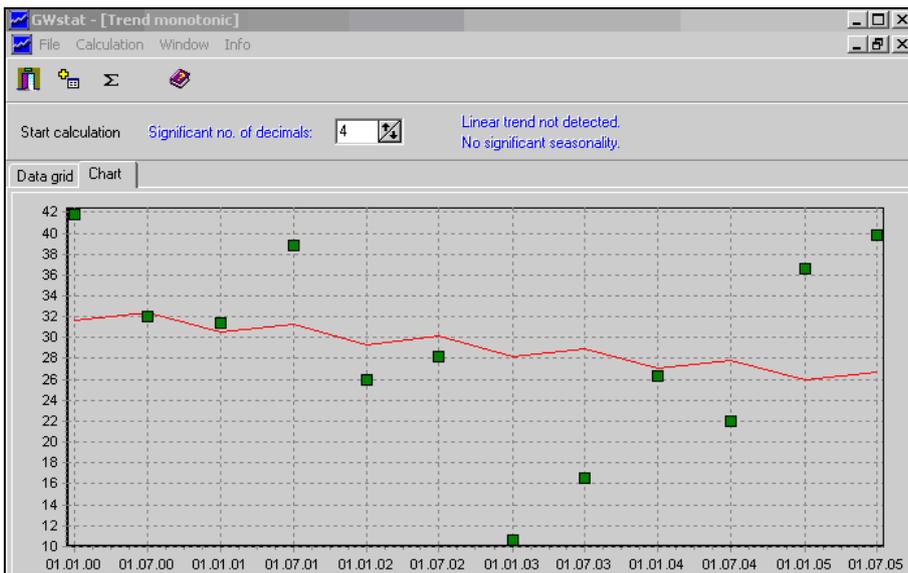
Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



0060960001

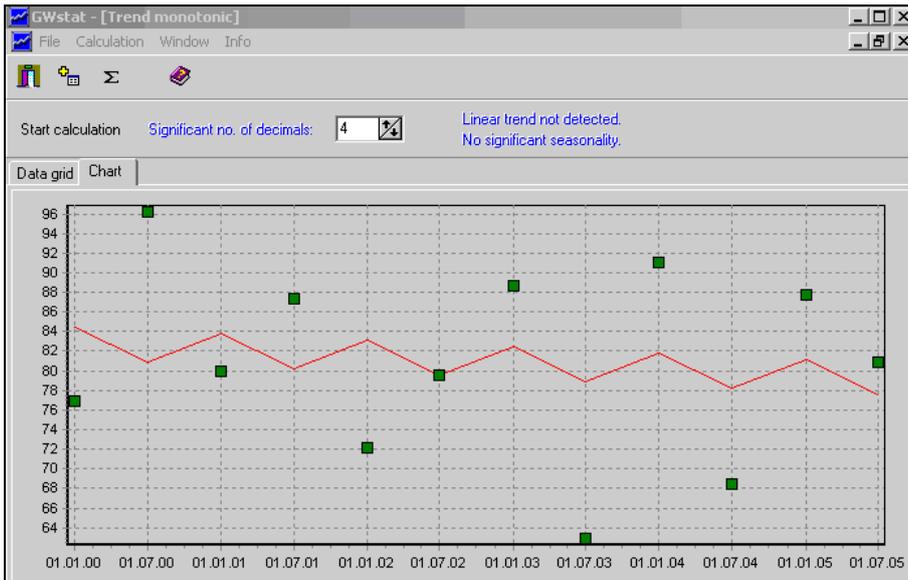


0061140002

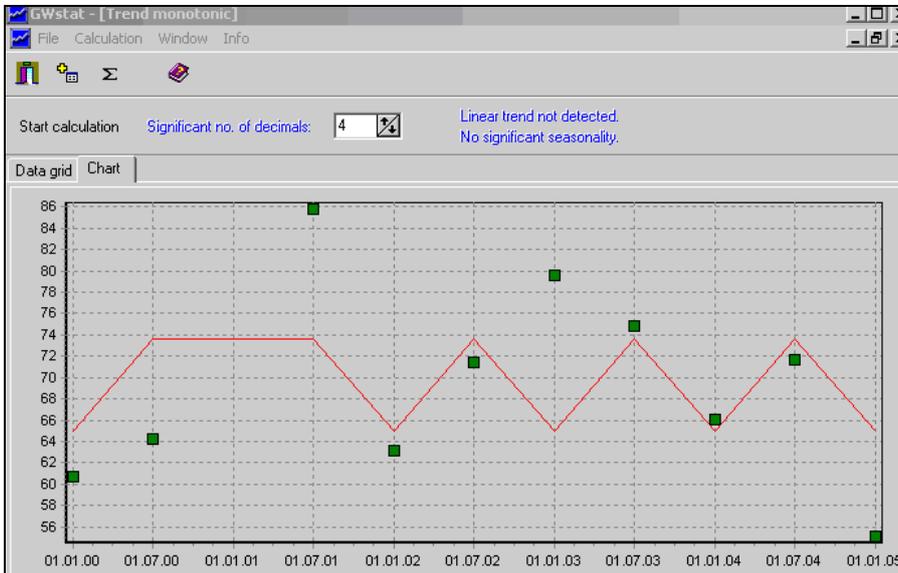


0061140003

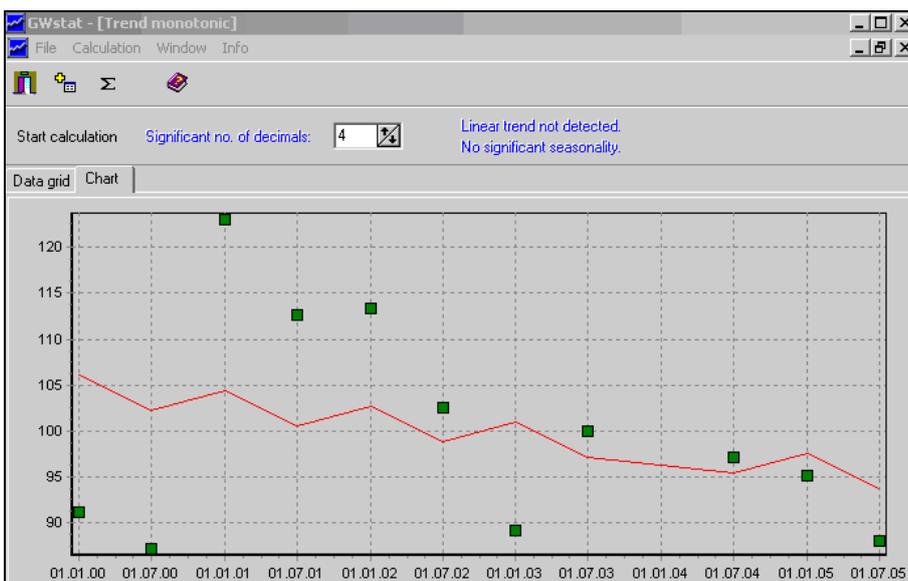
Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



0061140004

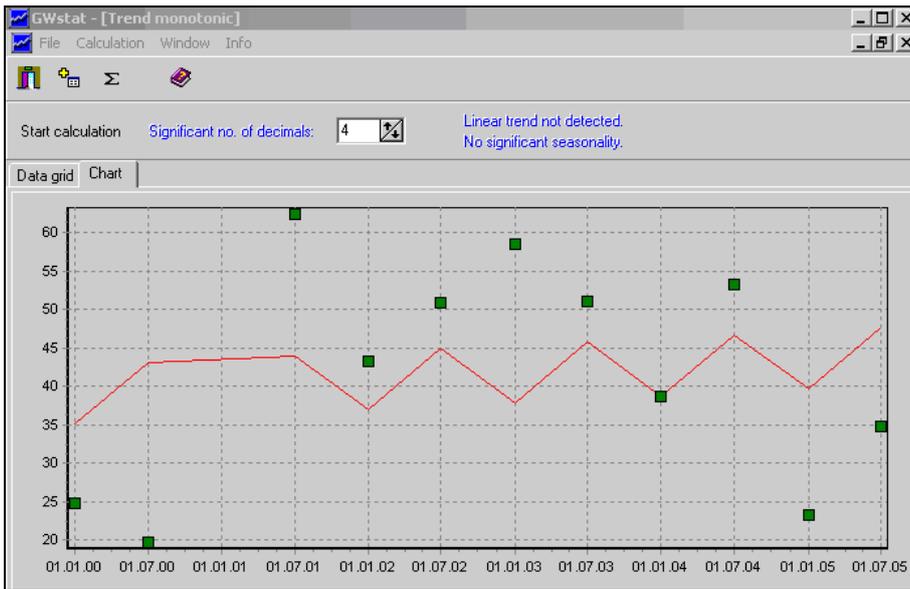


0061140006

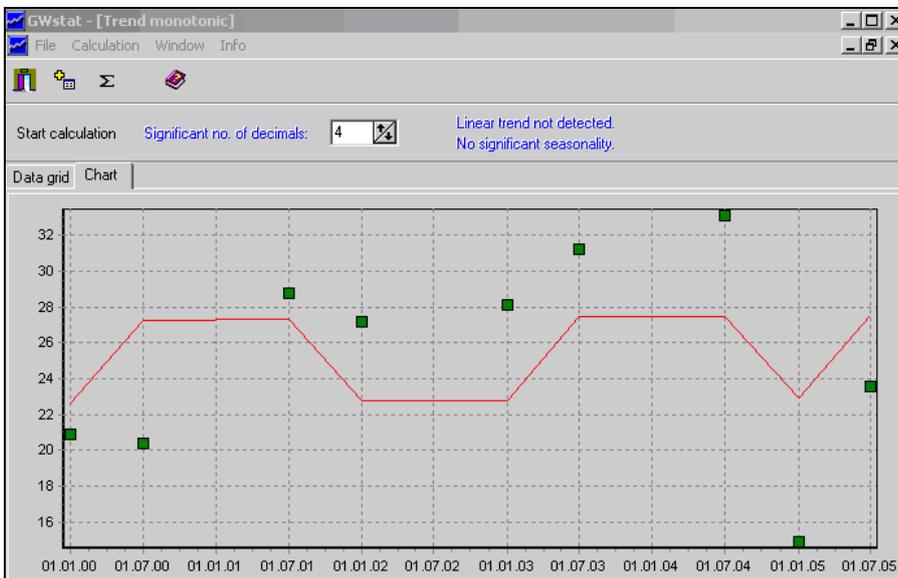


0061300001

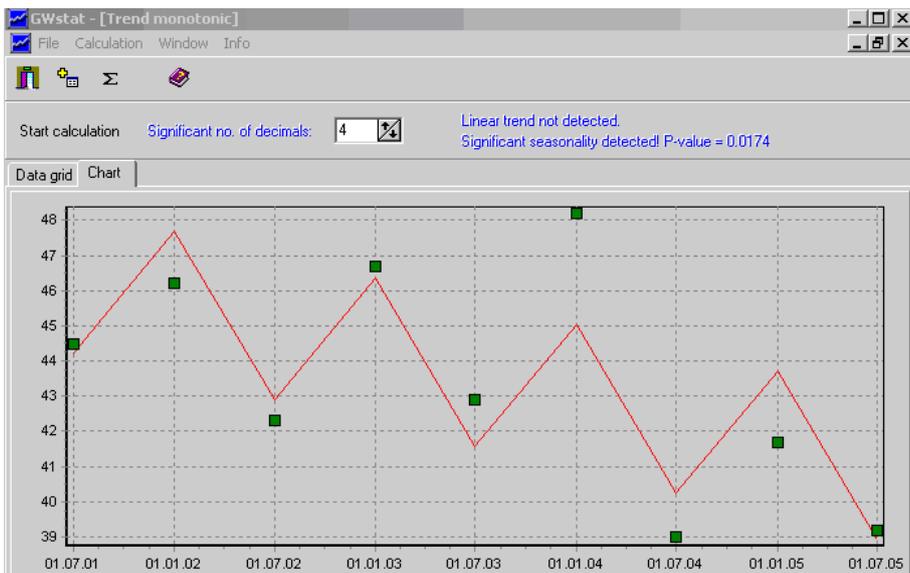
Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



00613200003

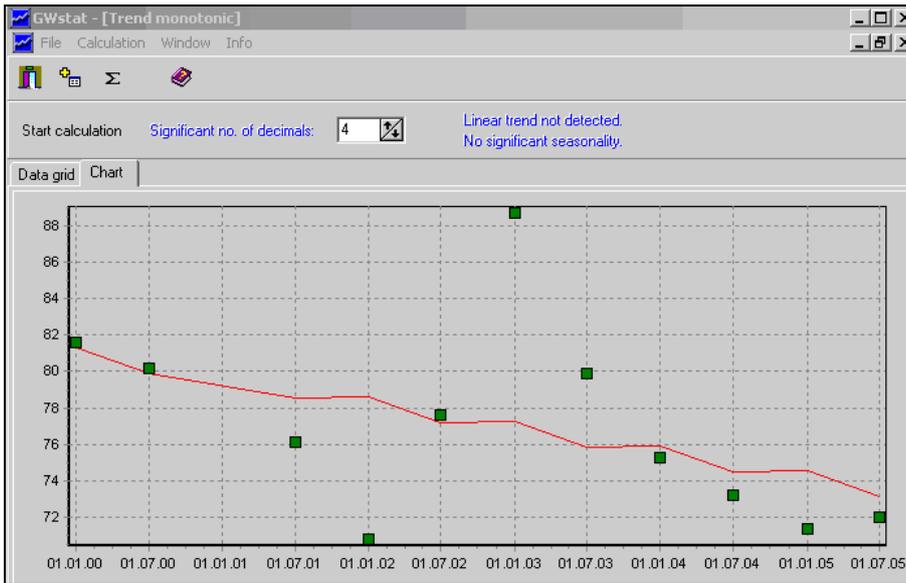


00613200005

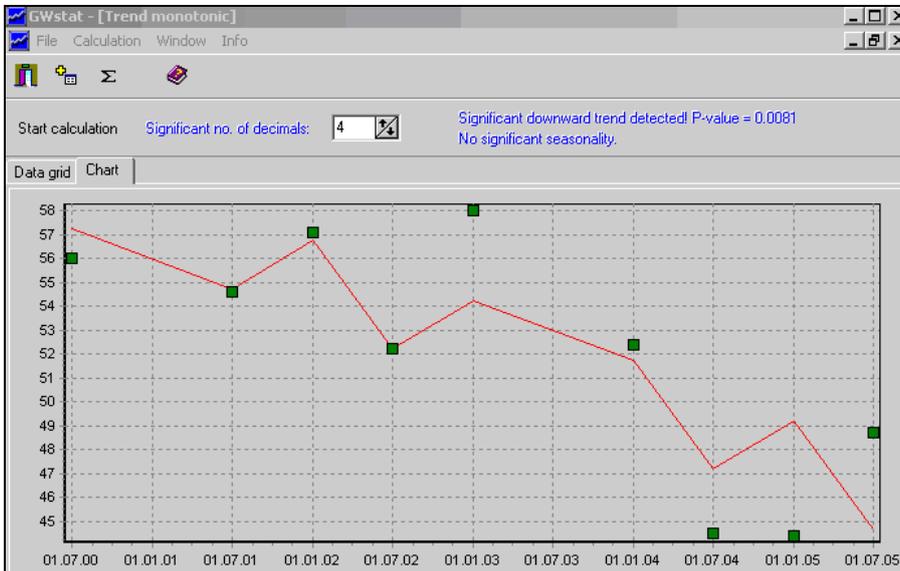


00613800002

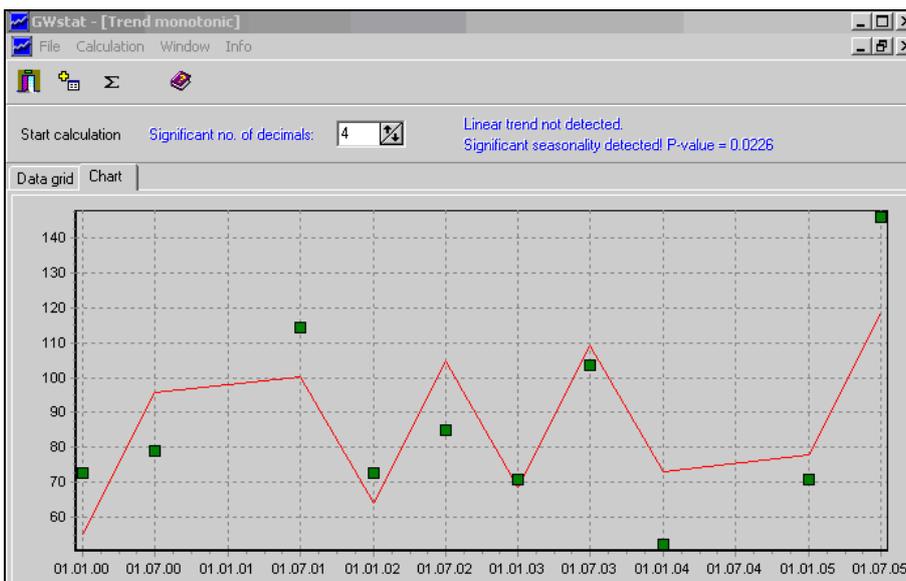
Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



0061380004

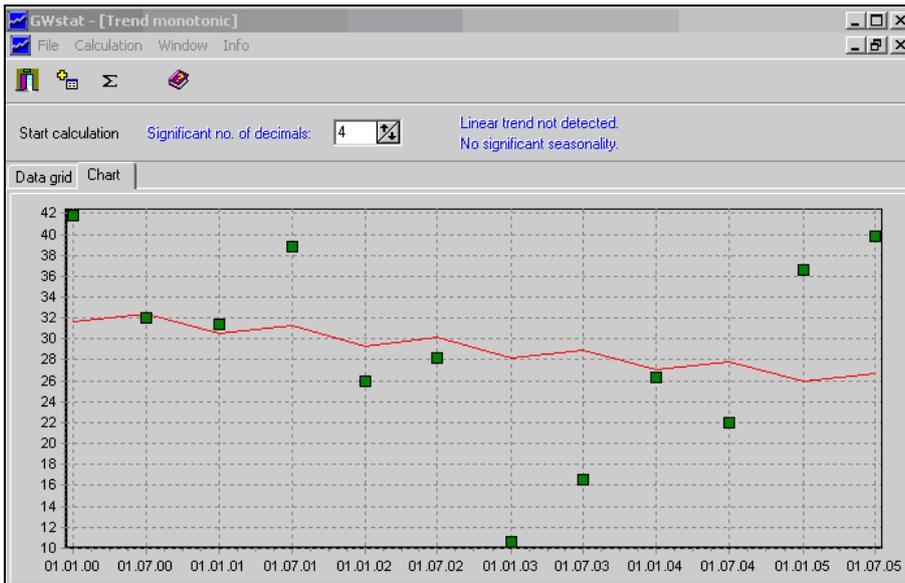


0061380005

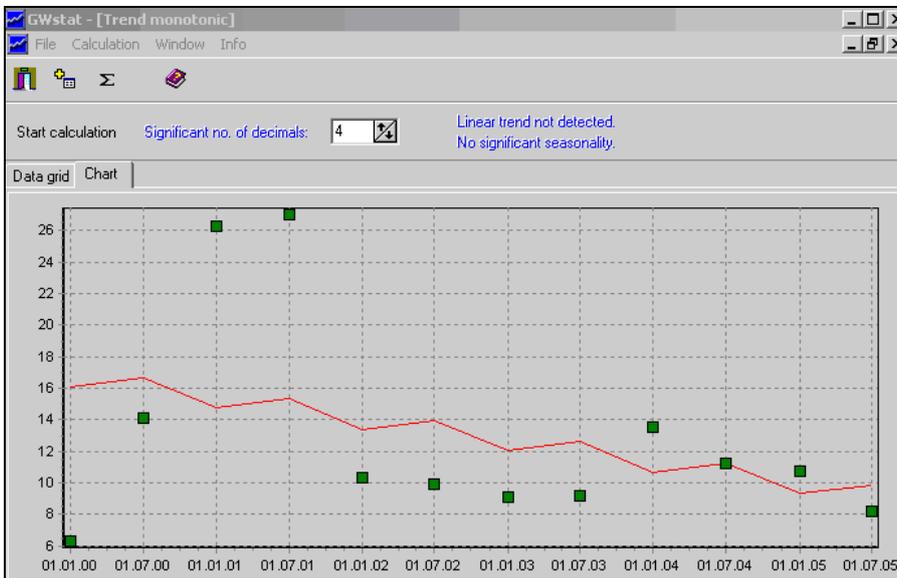


0061380006

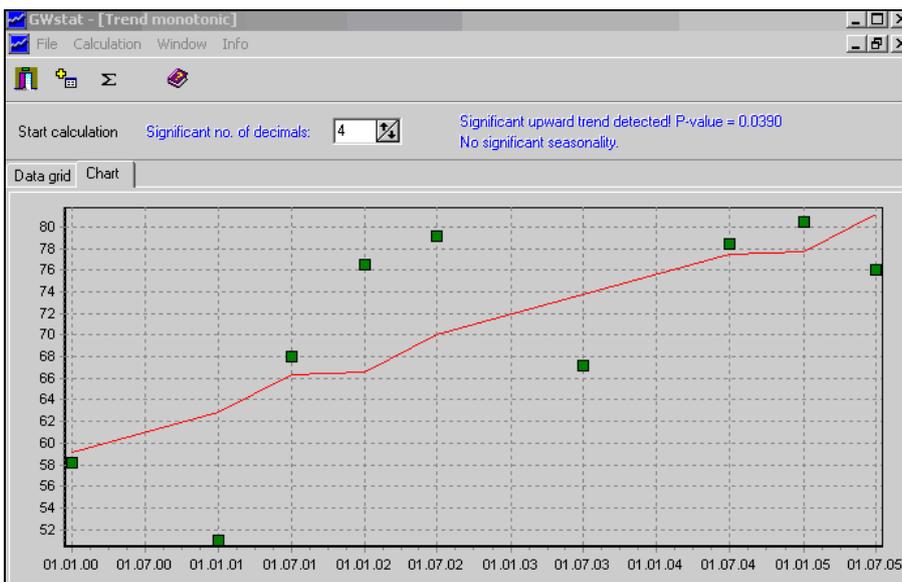
Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



0061400003

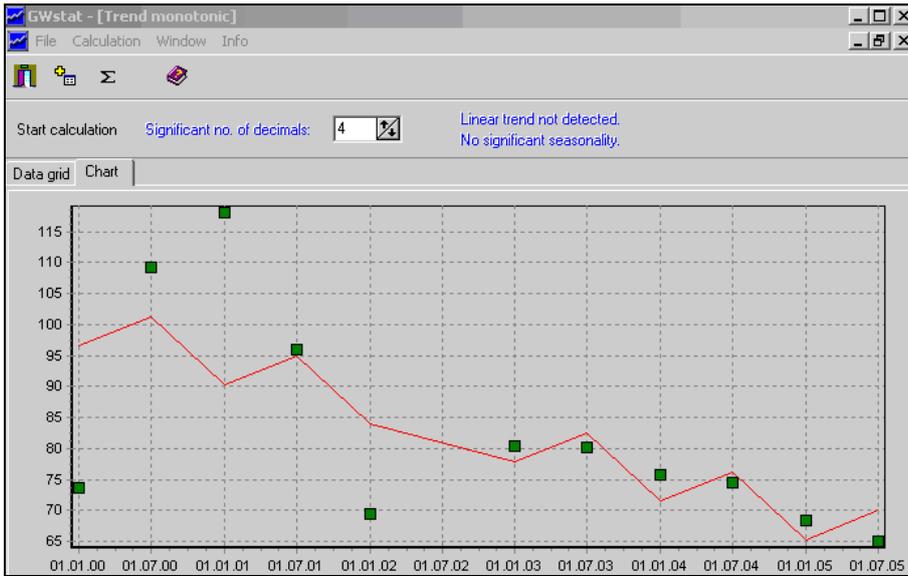


0061400004

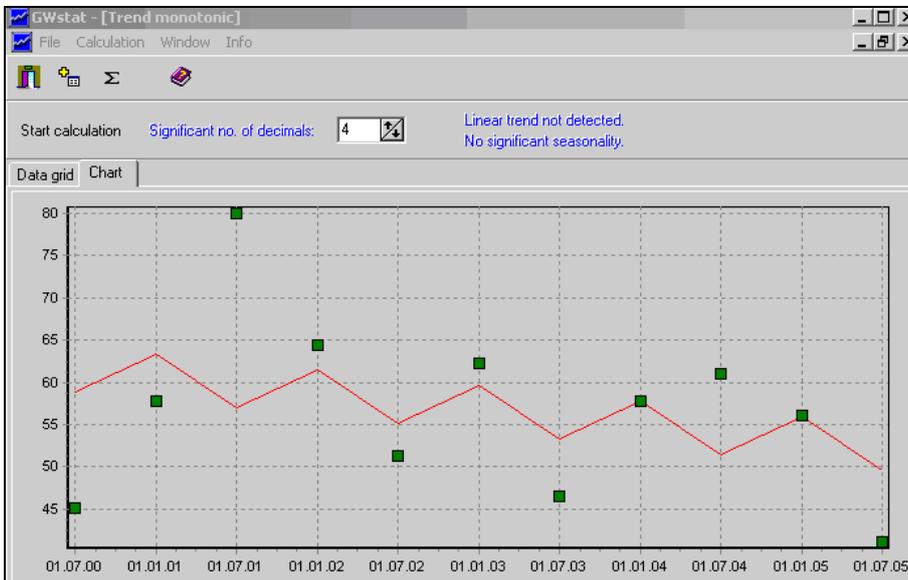


0061400005

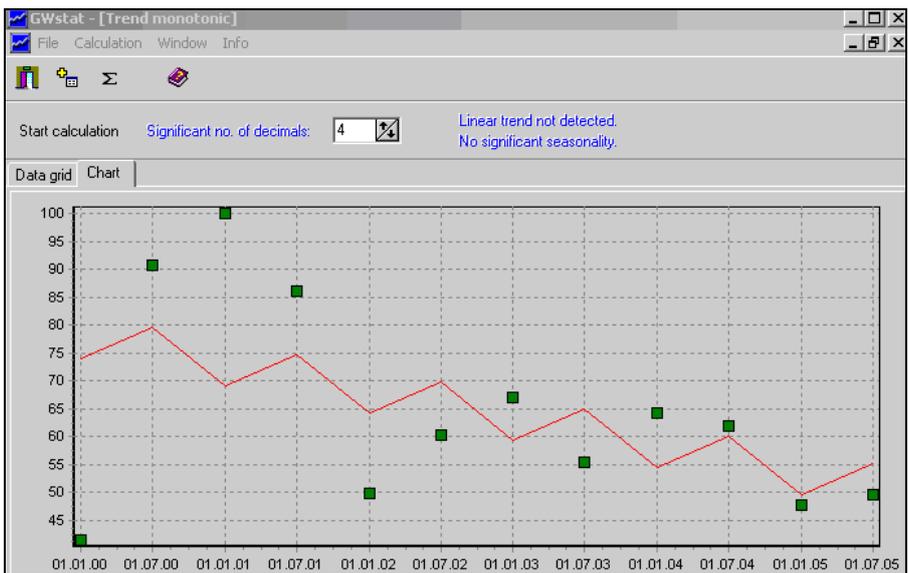
Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



00615100001

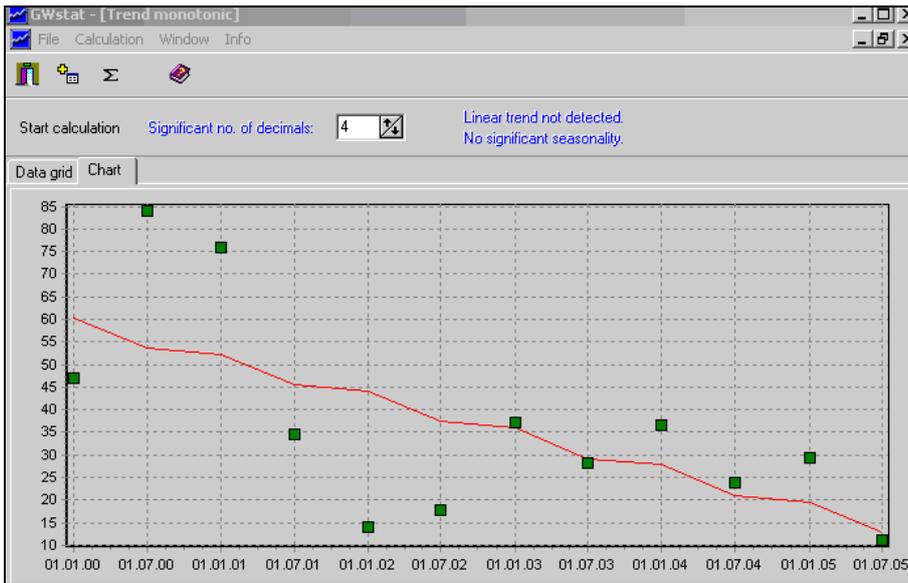


00615100004

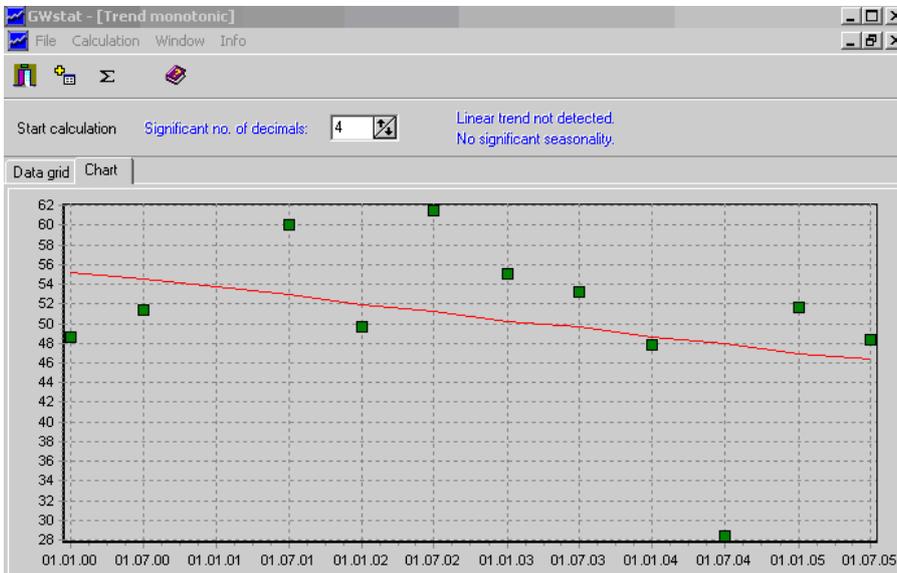


00617400003

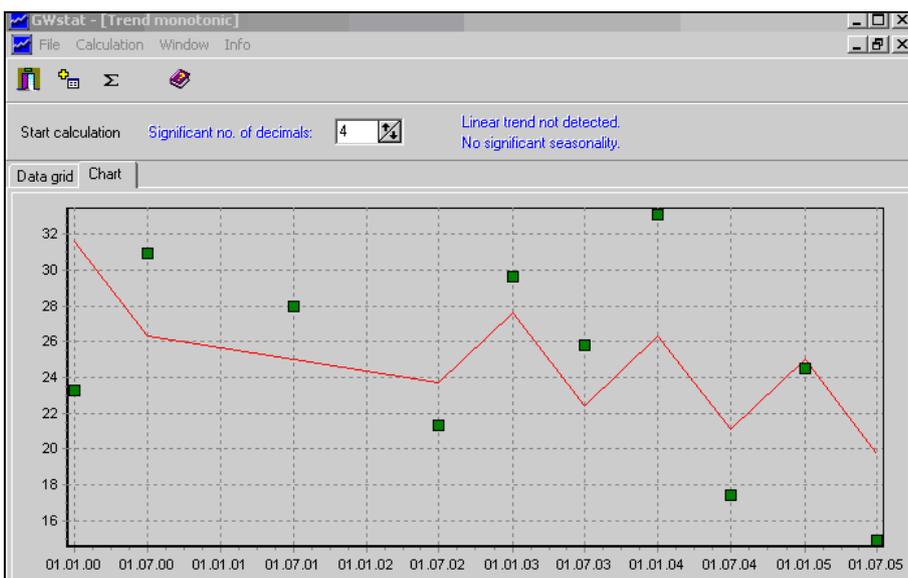
Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



00617400005

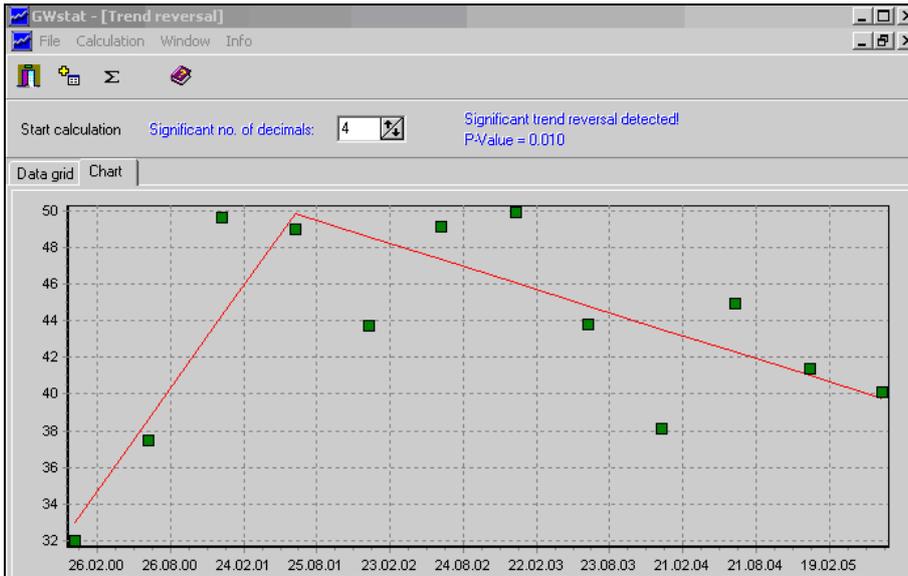


00617400006

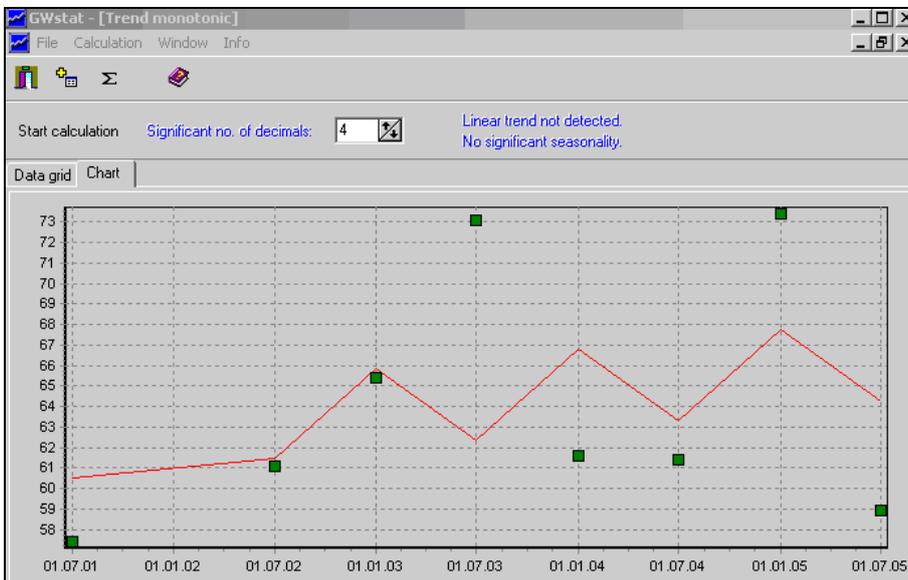


00617400007

Allegato 2 – Grafici applicazione GWstat settore Alessandrino



00617400008



00618100002