



**Definizione dei valori di fondo naturale  
per i metalli nelle acque sotterranee come  
previsto dalla Direttiva 2006/118/CE e dal  
Decreto Legislativo 16 marzo 2009 n.30**

## *Struttura Specialistica Qualità delle Acque*

**A cura di:** Riccardo Balsotti, Piero Nosengo, Elio Sesia, Stefano Buratto\* (per le metodologie statistiche e gli aspetti geostatistici) e con la collaborazione di Tommaso Niccoli\*, Luca Mallen\* e Gabriele Nicolò\* (per gli aspetti geostatistici e cartografia).

(\*) *AFT – Sistema informativo ambientale*

**Data:** 30 novembre 2012



## INDICE

1. PREMESSA.....	5
2. INTRODUZIONE .....	6
2.1. Presupposti del Progetto .....	6
2.2. Contesto di riferimento e dati utilizzati .....	6
2.3. Aspetti analitici .....	7
2.4. Selezione dei metalli rilevanti .....	8
3. METODOLOGIE PER LA DETERMINAZIONE DEI VALORI DI FONDO NATURALE.....	9
3.1. Introduzione .....	9
3.2. Metodo ISPRA.....	9
3.2.1. <i>Considerazioni sull'applicabilità del metodo ISPRA nel contesto in esame ...</i>	10
3.3. Metodo BRGM .....	11
3.3.1. <i>Considerazioni sull'applicabilità del metodo BRGM nel contesto in esame ...</i>	12
3.4. Metodo BRIDGE .....	12
3.4.1. <i>Considerazioni sull'applicabilità del metodo BRIDGE nel contesto in esame</i>	13
4. DEFINIZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE.....	15
4.1. Introduzione .....	15
4.2. Inquadramento geologico .....	15
4.3. Inquadramento Idrogeologico .....	20
4.3.1. <i>Introduzione</i> .....	20
4.3.2. <i>Assetto idrostratigrafico di riferimento</i> .....	23
4.4. Correlazione con gli elementi del monitoraggio.....	24
4.4.1. <i>Introduzione</i> .....	24
4.4.2. <i>Sistema superficiale</i> .....	24
4.4.3. <i>Sistema profondo</i> .....	25
4.4.3.1. Gruppo Acquifero B .....	25
4.4.3.2. Gruppo Acquifero C .....	31
4.4.3.3. <i>Considerazioni sul Sistema Profondo</i> .....	36
4.4.4. <i>Elementi idrogeologici a supporto del monitoraggio</i> .....	36
4.5. Idrogeochimica .....	41
4.5.1. <i>Introduzione</i> .....	41
4.5.2. <i>Falda superficiale</i> .....	42
4.5.2.1. <i>GWB-S1</i> .....	43
4.5.2.2. <i>GWB-S2</i> .....	48
4.5.2.3. <i>GWB-S3a</i> .....	49
4.5.2.4. <i>GWB-S4a</i> .....	49
4.5.2.5. <i>GWB-S5a-b</i> .....	49
4.5.2.6. <i>GWB-S6</i> .....	53
4.5.2.7. <i>GWB-S7</i> .....	55
4.5.2.8. <i>GWB-S8</i> .....	56
4.5.2.9. <i>GWB-S9</i> .....	57
4.5.2.10. <i>GWB-S10</i> .....	59
4.5.2.11. <i>GWB-FTA</i> .....	60
4.5.3. <i>Falde profonde</i> .....	61
4.5.3.1. <i>GWB-P1</i> .....	63
4.5.3.2. <i>GWB-P2</i> .....	65
4.5.3.3. <i>GWB-P3</i> .....	66
4.5.3.4. <i>GWB-P4</i> .....	68
4.6. Pressioni antropiche .....	69
4.6.1. <i>Introduzione</i> .....	69
4.6.2. <i>Pressioni prevalenti sui GWB Superficiali</i> .....	69
4.6.3. <i>Pressioni prevalenti sui GWB Profondi</i> .....	70
4.6.4. <i>Analisi delle pressioni</i> .....	70
4.7. Fattori naturali che generano anomalie da metalli nelle acque sotterranee.....	74
4.7.1. <i>Aspetti petrografici e mineralogici</i> .....	75

4.7.2.	<b>Nichel</b> .....	76
4.7.2.1.	Generalità .....	76
4.7.2.2.	<i>Dinamiche in soluzione acquosa del Nichel</i> .....	76
4.7.3.	<b>Cromo</b> .....	77
4.7.3.1.	Generalità .....	77
4.7.3.2.	<i>Dinamiche in soluzione acquosa del Cromo</i> .....	78
4.7.4.	<b>Valutazioni di sintesi</b> .....	79
4.8.	<b>Interazione tra fattori antropici nella valutazione delle anomalie da metalli nelle acque sotterranee</b> .....	80
4.8.1.	<b>Introduzione</b> .....	80
4.8.2.	<b>Nichel</b> .....	80
4.8.3.	<b>Cromo</b> .....	81
4.9.	<b>Sintesi dei GWB rilevanti</b> .....	98
5.	<b>ORGANIZZAZIONE DEI DATI NECESSARI ALLE ELABORAZIONI</b> .....	99
5.1.	<b>Basi dati di riferimento alfanumeriche</b> .....	99
5.1.1.	<i>Valutazione statistica dei dati potenzialmente anomali</i> .....	99
6.	<b>INDIVIDUAZIONE DELLE AREE D'INTERESSE</b> .....	100
6.1.	<b>Introduzione</b> .....	100
6.2.	<b>Metodi statistici a supporto dell'individuazione di sub-aree di interesse</b> .....	100
6.2.1.	<i>Curva di Lorenz e indice di concentrazione di Gini</i> .....	100
6.2.2.	<i>Ellisse deviazionale standard</i> .....	100
6.2.3.	<i>Analisi di autocorrelazione Hot-Spot</i> .....	101
6.2.4.	<i>Grafico "Box plot"</i> .....	103
6.3.	<b>Individuazione delle aree d'interesse</b> .....	103
6.3.1.	<i>GWB-S1 – Nichel</i> .....	103
6.3.2.	<i>GWB-S9 – Nichel</i> .....	112
6.3.3.	<i>GWB-S3a – Nichel</i> .....	118
6.3.4.	<i>GWB-S9 – Cromo VI</i> .....	124
6.3.5.	<i>GWB-P3 – Cromo VI</i> .....	127
6.3.6.	<i>GWB-P4 - Cromo VI</i> .....	133
7.	<b>VALORE DI FONDO (VF) PER IL NICHEL E IL CROMO ESAVALENTE</b> .....	136
7.1.	<b>Approccio metodologico</b> .....	136
7.1.1.	<i>Numerosità campionaria e distribuzione statistica di riferimento</i> .....	136
7.1.2.	<i>Stima statistica del valore limite superiore</i> .....	136
7.2.	<b>Stima dei VF nelle aree d'interesse per il Nichel</b> .....	137
7.2.1.	<i>GWB-S1 - Nichel</i> .....	137
7.2.2.	<i>GWB-S9 - Nichel</i> .....	139
7.2.3.	<i>GWB-S3a - Nichel</i> .....	140
7.3.	<b>Stima dei VF nelle aree d'interesse per il Cromo esavalente</b> .....	141
7.3.1.	<i>GWB-S9 - Cromo esavalente</i> .....	141
7.3.2.	<i>GWB-P3 - Cromo esavalente</i> .....	142
7.3.3.	<i>Valori di fondo stimati per le sub-aree del GWB-P4</i> .....	144
8.	<b>SINTESI DEI RISULTATI E ATTIVITÀ COMPLEMENTARI</b> .....	145
8.1.	<b>Sintesi e analisi dei risultati ottenuti</b> .....	145
8.2.	<b>Nichel – Verifica con i dati 2010-2011</b> .....	146
8.2.1.	<i>GWB rilevanti</i> .....	146
8.2.2.	<i>Conferma delle aree di interesse e delle stime del VF</i> .....	146
8.3.	<b>Ricognizione sul Manganese</b> .....	151
8.3.1.	<i>Manganese nei GWB superficiali</i> .....	151
8.3.2.	<i>Manganese nei GWB profondi</i> .....	151
8.4.	<b>Correlazione con la parte Suolo</b> .....	155
9.	<b>CONCLUSIONI</b> .....	158
10.	<b>GLOSSARIO</b> .....	160
11.	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	161

## 1. PREMESSA

L'aggiornamento alla normativa europea in materia di acque rappresentato dalla direttiva quadro 2000/60/CE (WFD) e dalla direttiva 2006/118/CE (GWD), quest'ultima specificatamente dedicata alle acque sotterranee, si è concretato, in campo nazionale, con l'emanazione del D.L.vo. 30/2009 (che ha recepito la direttiva 2006/118/CE) e del Decreto 260/2010 che ha colmato la lacuna tecnica creatasi dopo l'emanazione del D.L.vo. 152/2006 (Norme in materia ambientale), che di fatto non incorporava gli strumenti necessari per l'effettiva attuazione e implementazione di quanto previsto dalle succitate direttive comunitarie.

La WFD introduce la definizione di "Obiettivi Ambientali" da raggiungere entro il 2015 (BUONO stato delle acque sotterranee) e contempla la definizione di un "oggetto del monitoraggio", attribuito in questo caso ai Corpi Idrici Sotterranei (Groundwater bodies) da cui l'acronimo GWB.

La definizione dello Stato Chimico che ha come obiettivo la conferma dall'analisi del rischio previsto dalla WFD, ha portato ad una categorizzazione su base areale dei singoli GWB, che si distinguono in due categorie: BUONO e SCARSO.

Ai fini della valutazione dello Stato Chimico, vengono adottati gli standard di qualità ambientale (SQA) individuati a livello comunitario ed i valori soglia (VS) individuati a livello nazionale, indicati, rispettivamente, dalle tabelle 2 e 3 della Parte A dell'Allegato 3 del D.L.vo 30/2009.

L'impegno di Arpa nell'ambito del progetto "*Definizione dei valori di fondo naturale per i metalli nelle acque sotterranee come previsto dalla Direttiva 2006/118/CE e dal Decreto Legislativo 16 marzo 2009 n.30*" ha contemplato una serie di attività, distribuite in 2 fasi, sviluppate nel corso dei 3 anni di durata del progetto.

Lo studio fa parte di un progetto più ampio denominato: "*Analisi ambientale sulla contaminazione diffusa (suolo e acque sotterranee) del territorio regionale per la definizione di valori di fondo per diverse categorie di inquinanti*" che ingloba una sezione specifica sui suoli che si concluderà nel 2013.

Il programma di attività, sviluppato nel triennio 2010-2012, è stato suddiviso in due fasi principali, la prima delle quali conclusa a Dicembre 2010 e la seconda a Novembre 2012, ripartite come segue:

### Fase 1 - Avvio

1. Raccolta ed organizzazione delle serie storiche dei dati della RMRAS
2. Verifica dei dati raccolti rispetto ai valori soglia
3. Verifica dell'applicabilità del metodo proposto da ISPRA
4. Definizione del contesto di riferimento (GWB) per l'applicazione del metodo
5. Verifica dell'esistenza di altre metodologie.
6. Adeguamento del monitoraggio per il Cromo esavalente

### Fase 2 - Applicazione

1. Consolidamento del monitoraggio del Cromo esavalente
2. Organizzazione dei dataset necessari alle elaborazioni
3. Definizione del Modello Concettuale
4. Analisi statistica dei dati
5. Applicazione sperimentale ai metalli selezionati
6. Definizione dei valori di fondo

## 2. INTRODUZIONE

### 2.1. Presupposti del Progetto

La determinazione dei valori di fondo naturale (VF) per i principali contaminanti riveste un ruolo importante nell'ambito delle implicazioni derivanti dal recepimento del D.L.vo 30/2009; infatti, per una corretta interpretazione delle anomalie e attribuirne con certezza l'eventuale origine antropica è necessario definire preventivamente i VF cioè la soglia di concentrazione di una sostanza, corrispondente all'assenza di alterazioni antropogeniche, o alla presenza di alterazioni estremamente limitate, rispetto a condizioni inalterate.

Pertanto, la determinazione dei VF rappresenta un obiettivo fondamentale nell'ambito della definizione degli effettivi Valori Soglia (VS) da considerare per un determinato inquinante per il calcolo dello Stato Chimico.

La normativa prevede che nel caso sia dimostrato scientificamente la presenza di metalli o altri parametri di origine naturale in concentrazioni di fondo naturale superiori ai limiti fissati per i VS, tali livelli di fondo costituiscono i Valori Soglia per la definizione del BUONO Stato Chimico.

Dato che gli elementi sui quali si confronta la normativa vigente e quindi il processo di determinazione dello Stato Chimico, sono i corpi idrici sotterranei (GWB), il risultato derivante dalla determinazione del VF può interessare un intero GWB, o porzioni dello stesso, e nel caso appunto i VF risultassero superiori ai VS definiti dalla normativa nazionale per una determinata sostanza, ciò comporterebbe assumere per gli areali identificati (o per l'intero GWB) un VS superiore a quello nazionale.

Nel contesto idrico sotterraneo piemontese le problematiche inerenti la determinazione dei valori di fondo naturale riguardano esclusivamente i metalli; infatti, la presenza di metalli pesanti nelle acque sotterranee può essere ricondotta sia a cause di origine antropica, che a un'origine naturale legata alla composizione delle formazioni geologiche che compongono l'acquifero, al tempo di permanenza/interazione acqua/roccia e alle condizioni chimico-fisiche del sistema.

### 2.2. Contesto di riferimento e dati utilizzati

La fonte dati per l'implementazione delle attività previste dal progetto è la Rete di Monitoraggio Regionale delle Acque Sotterranee (RMRAS) gestita da Arpa. La rete copre tutto il territorio di pianura del Piemonte e, a partire dal 2011, anche i principali fondovalle. Inoltre, è attualmente nella fase sperimentale l'inserimento delle principali sorgenti montane e collinari (previsto a partire dal 2014), come completamento delle attività di monitoraggio sull'intero territorio regionale. Nella Figura 2.1 è illustrata la configurazione della rete attuale (2012), inclusi i punti di monitoraggio relativi ai principali fondovalle e le sorgenti in via di acquisizione.

La rete per l'intervallo di tempo considerato dal progetto (2005-2009) è composta da 598 punti per lo più privati, dei quali 391 inerenti l'acquifero superficiale (inclusi 116 piezometri strumentati per il rilevamento in continuo del livello di falda), e 207 pozzi relativi all'acquifero profondo. Tutti i punti sopra citati sono sottoposti a monitoraggio qualitativo nell'ambito di due campagne effettuate a cadenza semestrale, nel periodo marzo-aprile e settembre-ottobre, di ogni anno.

Nella Figura 2.1 sono segnati in azzurro i punti inerenti l'acquifero superficiale (azzurro con puntino i piezometri strumentati), in blu i punti relativi all'acquifero profondo e in rosa le sorgenti.

Dall'anno 2000 la rete di monitoraggio è conforme a quanto previsto dal D.L.vo 152/99, mantenuto come riferimento fino al 2008 al fine di garantire la continuità ed il raggiungimento degli obiettivi di qualità previsti dal PTA.

Con l'emanazione del D.L.vo 30/2009, la rete, a partire dal 2009, risulta adeguata, anche da un punto di vista formale, ai succitati provvedimenti europei.

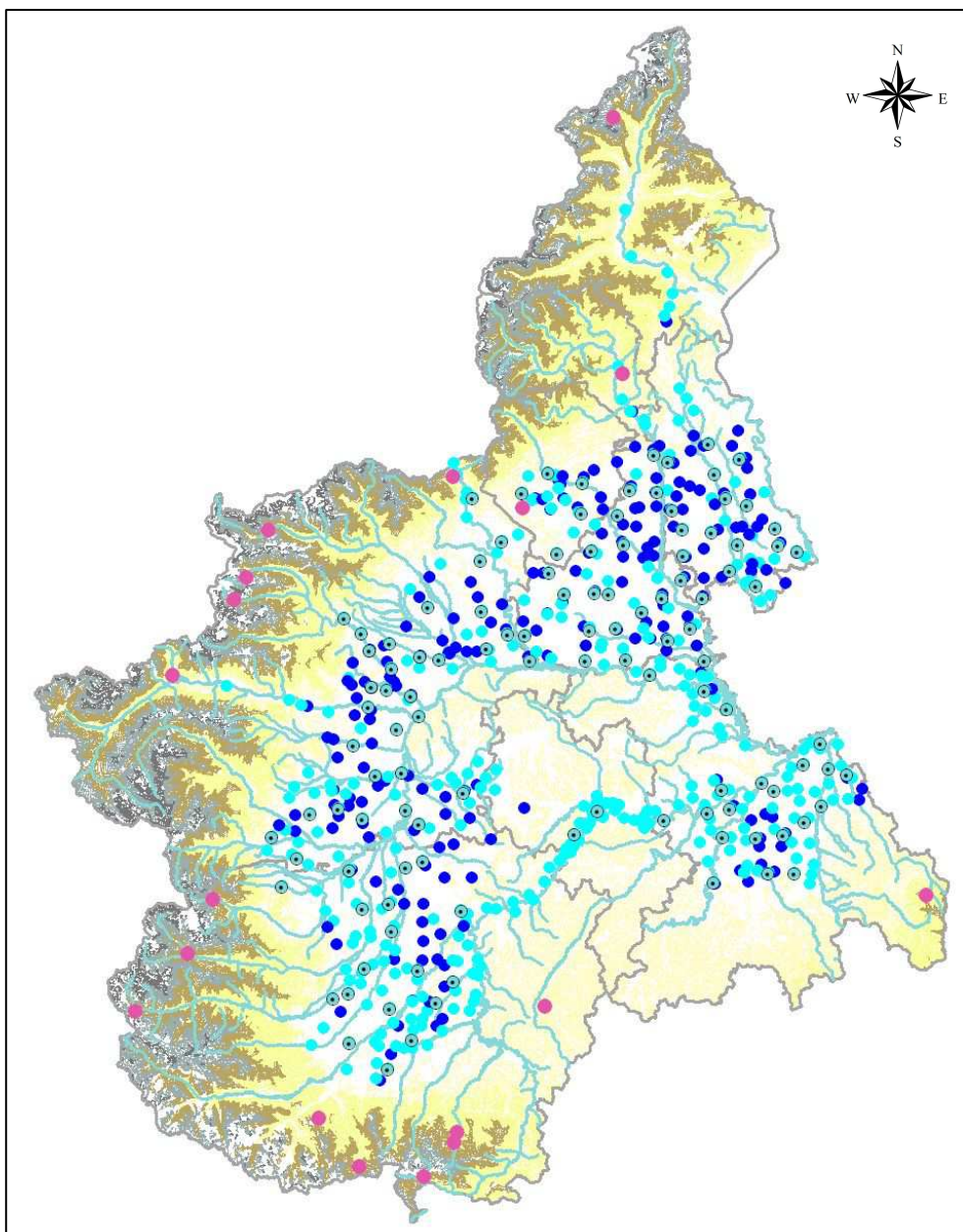


Figura 2.1: Distribuzione dei punti di monitoraggio della RMRAS

### 2.3. Aspetti analitici

Le analisi sulle acque sotterranee sono state eseguite nei laboratori della Struttura Specialistica Qualità delle Acque di Arpa Piemonte; in particolare, le determinazioni sui metalli sono state effettuate utilizzando la tecnica ICP-OES secondo le metodologie previste dalla normativa vigente. Per quanto riguarda invece il Cromo esavalente, che veniva determinato con tecniche spettrofotometriche, è stata acquisita successivamente la strumentazione necessaria all'adeguamento dell'LCL consistente nell'upgrade di una linea di cromatografia ionica (CI) che ha consentito di abbinare alla separazione dei cromati mediante CI una derivatizzazione post colonna con difenilcarbazide e una rivelazione nel visibile a 530 nm.

Questa tecnica che si basa sulla stessa reazione colorimetrica (difenilcarbazide) adottata nel metodo spettrofotometrico, garantisce una sensibilità fino a dieci volte superiore.

Il sistema e la sperimentazione e validazione del metodo di prova hanno consentito l'acquisizione dei dati di Cromo esavalente fino a 1 µg/L.

Questo aspetto si è reso necessario per ottemperare ai presupposti del D.L.vo 219/210 (attuazione della direttiva 2008/105/CE e recepimento della direttiva 2009/90/CE) che stabilisce che il limite di quantificazione (LCL) dei metodi di prova deve essere uguale od inferiore al 30% dei valori dello standard di qualità. Infatti, in precedenza l'LCL del Cromo esavalente era uguale a 5 µg/L.

È importante rimarcare come l'adeguamento del metodo, al di là di adempiere ai presupposti di legge, abbia consentito d'intercettare delle situazioni ambientali che hanno portato ad una migliore comprensione delle fenomenologie in atto nell'ambito del progetto in corso.

Pertanto, dal 2011 è stato consolidato il protocollo analitico del monitoraggio per il Cromo esavalente e per il Cromo totale nella gestione ordinaria della RMRAS; le procedure implementate con la nuova strumentazione acquisita hanno consentito di definire un LCL pari a 2 µg/L.

Per le specifiche finalità del progetto è stato adottato per il Cromo esavalente un LCL di 1 µg/L già dalla seconda campagna 2010 (mantenuto anche per il 2011), al fine di disporre di un ulteriore dettaglio nella descrizione del fenomeno nei casi e nei contesti territoriali che lo rendessero necessario.

#### **2.4. Selezione dei metalli rilevanti**

La selezione dei metalli significativi ai fini del progetto si è basata sui risultati disponibili della RMRAS tenendo conto del protocollo analitico esistente, coerente con i parametri effettivamente presenti nel contesto idrico sotterraneo piemontese. Al riguardo, sono stati considerati i seguenti metalli:

- Arsenico,
- Cadmio,
- Cromo totale,
- Cromo esavalente,
- Mercurio,
- Nichel
- Piombo.

Nel processo di verifica ai fini della selezione, sono stati valutati per ogni metallo la percentuale di punti con presenza di valori superiori al LCL e la percentuale di punti dove il valore medio risultava effettivamente superiore al VS.

Per Arsenico, Cadmio, Mercurio e Piombo sono state rilevate occorrenze inferiori al 1% sul totale delle medie dei campioni nel periodo considerato (2005-2009); questo aspetto ne ha procurato l'automatica esclusione dal procedimento di selezione in quanto non significativi per configurare scenari adatti alla determinazione di un valore di fondo naturale.

Viceversa, il Nichel e il Cromo esavalente hanno evidenziato, rispettivamente, superamenti del VS intorno al 6 % e 8%, con superamenti del LCL in percentuali di circa il 25 % e 11% (sempre sul totale delle medie dei campioni nel periodo considerato), mettendo in risalto la loro rilevanza ai fini dello studio. Per una corretta valutazione delle fenomenologie potenzialmente associate al Cromo esavalente è stato considerato anche il Cromo totale; tuttavia, per le esigue concentrazioni evidenziate, non è risultato problematico dal punto di vista ambientale.

Pertanto, i metalli considerati rilevanti ai fini dello studio sono risultati Nichel e Cromo esavalente.

Infine, è stata effettuata anche una ricognizione sul Manganese, un metallo alquanto abbondante nel contesto idrico sotterraneo piemontese (a cui spesso è stata attribuita un'origine naturale), che tuttavia non risulta tra i metalli inquinanti inseriti nella tabella 3 dell'Allegato 3 del D.L.vo 30/2009. Pertanto, esula dall'applicazione del procedimento per la determinazione del VF previsto dallo studio in oggetto.

### 3. METODOLOGIE PER LA DETERMINAZIONE DEI VALORI DI FONDO NATURALE

#### 3.1. Introduzione

In questo capitolo saranno valutate le principali metodologie disponibili per la determinazione dei Valori di Fondo naturale (VF) derivanti da studi di settore, o da esperienze specifiche sulla base dei presupposti della normativa vigente, finalizzate alla definizione degli effettivi Valori Soglia (VS) da considerare per un determinato inquinante ai fini dello stato chimico a livello puntuale e di corpo idrico sotterraneo (GWB). Tali aspetti vanno messi in relazione sia con le effettive pressioni esistenti, sia con le caratteristiche geologico-geochimiche naturali del contesto idrico sotterraneo di riferimento. Al riguardo verranno trattati il metodo proposto da ISPRA, l'esperienza del Servizio Geologico Francese (BRGM) e il metodo derivante dal progetto europeo BRIDGE.

#### 3.2. Metodo ISPRA

Il documento "Protocollo per la Definizione dei Valori di Fondo per le Sostanze Inorganiche nelle Acque Sotterranee" elaborato da ISPRA nell'aprile del 2009 è stato concepito per rispondere alle esigenze di determinazione del fondo naturale, con particolare riferimento a metalli e metalloidi, nelle acque di falda di Siti contaminati di Interesse Nazionale. E' importante rimarcare che in relazione alle problematiche ambientali che insistono su quelli che si possono definire, comunque, "siti contaminati", caratterizzati da un elevato impatto antropico sulle matrici ambientali, non sia possibile determinare veri e propri "valori di fondo naturale", cioè dovuti esclusivamente ai processi naturali che caratterizzano il corpo idrico sotterraneo, non essendo distinguibili gli apporti di inquinanti connessi alle attività antropiche da quelli connessi ai processi naturali. Pertanto, nel protocollo in questione viene inteso come Valore di Fondo (VF) *"la concentrazione di una sostanza o il valore di un indicatore in un corpo idrico sotterraneo corrispondente all'assenza di alterazioni antropogeniche, o alla presenza di alterazioni estremamente limitate, rispetto a condizioni inalterate"*, così come indicato all'art. 2.5 della direttiva 2006/118/CE e dall'Art. 2 comma 1h del D.Lg.vo 30/2009.

Quindi, una considerazione che emerge da quanto illustrato in precedenza è che un'area di monitoraggio regionale composta da una serie di GWB, generalmente caratterizzati da una notevole estensione areale, non può essere assimilata all'area di un sito contaminato (anche di grandi dimensioni). Sussistono infatti tutta una serie di implicazioni e complicazioni che riguardano, per quanto concerne i GWB, sia le pressioni insistenti (che saranno diverse, puntiformi e non omogenee), che la conformazione dell'insaturo e la complessità della circolazione idrica sotterranea all'interno di formazioni con caratteristiche e composizioni diverse.

Il metodo ISPRA (Figura 3.1), nell'ambito della definizione del "modello concettuale" prevede la raccolta ed elaborazione di tutta una serie di informazioni che riguardano:

- ricostruzione dell'assetto geologico e idrogeologico;
- valutazione delle pressioni antropiche;

per passare poi all'"organizzazione della banca dati" che contempla:

- verifica della completezza dei dati raccolti;
- revisione e selezione del set di dati raccolti;
- pianificazione di eventuali indagini ex novo;

e concludere con l'"analisi dei dati" che prende in considerazione:

- numerosità campionaria;
- trattamento dei non detect;
- individuazione e trattamento degli outliers;
- definizione della distribuzione dei dati.

L'individuazione del tipo di distribuzione che meglio approssima il campione di dati serve a definire i descrittori statistici più appropriati per stimare il VF. Dal tipo di distribuzione dipendono inoltre i test statistici da applicare per il confronto tra i due set di dati (ad esempio il set relativo ai valori di fondo e quello relativo alle concentrazioni riscontrate in un sito specifico).

Una rassegna dei descrittori statistici riconosciuti a livello nazionale e internazionale, per rappresentare il VF ha evidenziato l'assenza di un criterio condiviso sulle modalità di "determinazione della concentrazione del valore di fondo" in una determinata area.

Il VF potrà essere individuato, tra gli indicatori statistici, anche in funzione del tipo di distribuzione, ovvero tramite l'individuazione di punti di discontinuità della curva cumulativa di frequenza. Il metodo propone infine, nel caso di valutazione basata sui percentili, di riferirsi al 95°.

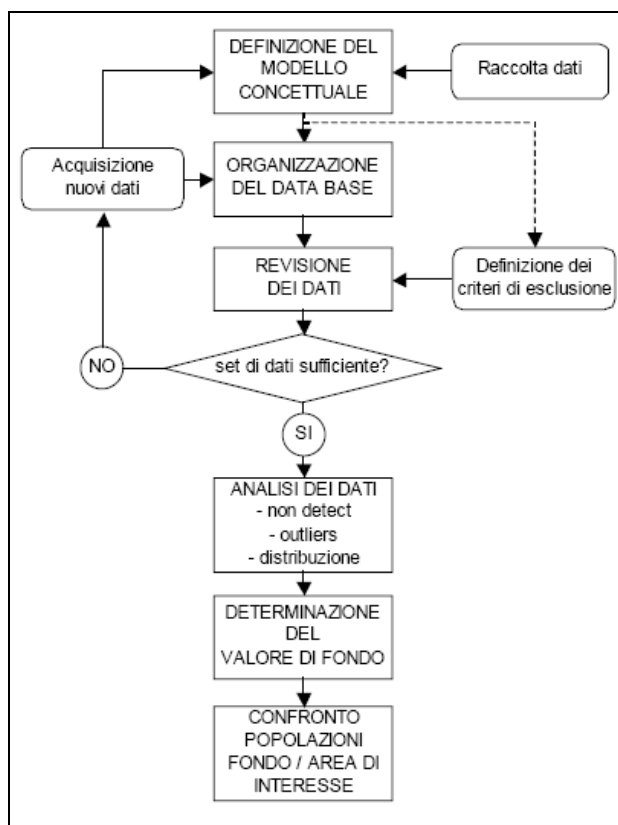


Figura 3.1: Schema della procedura per la determinazione dei valori di fondo (ISPRA, 2009)

### 3.2.1. Considerazioni sull'applicabilità del metodo ISPRA nel contesto in esame

Il metodo ISPRA prevede la possibilità di escludere certe categorie di dati ritenute troppo "coinvolte" da fattori antropici per risultare opportunamente adeguate al processo di elaborazione per la determinazione dei VF.

Ai fini del presente studio, tenendo conto delle caratteristiche dei dati disponibili e delle criticità ambientali esistenti nel contesto idrico sotterraneo piemontese, escludere i campioni che mostrano concentrazioni di contaminanti organici maggiori di 3 volte il limite di rilevabilità (assimilabile sperimentalmente al limite di quantificazione) ma soprattutto, i campioni con concentrazioni di Nitrati superiori 10 mg/L significherebbe ridurre in modo drastico i punti potenzialmente idonei. Si otterrebbe infatti una rarefazione di punti, in seno alle aree di monitoraggio, con delle densità e distribuzioni assolutamente casuali, e comunque tali da rendere improponibile l'applicazione di qualsiasi metodologia di elaborazione dati. Al riguardo, la valutazione delle medie dei Nitrati sul dataset di riferimento ha individuato per 355 punti di monitoraggio, su un totale di 598, il superamento della soglia dei 10 mg/L riferiti prevalentemente alla falda superficiale. Pertanto, si ritiene che l'esclusione di misure o punti dovrebbe essere vincolata, innanzi tutto, alla presenza di contaminanti potenzialmente legati agli elementi per i quali si calcolano i VF. Analogamente in altri GWB, caratterizzati da contaminazione diffusa da parte di pesticidi, l'esclusione dei campioni con concentrazioni maggiori di 3 volte il limite di quantificazione provocherebbe una riduzione dei punti di riferimento per i quali, ad esempio nel caso della determinazione del VF per il Nichel, non sussisterebbe alcun legame diretto o indiretto con i pesticidi.

Pur ammettendo il metodo ISPRA un fattore di "opportunità" nell'esclusione di dati ritenuti non rappresentativi è necessario sottolineare alcuni aspetti fondamentali:

- il metodo ISPRA è nato per i siti contaminati quindi delle entità abbastanza limitate dal punto di vista spaziale e con una certa omogeneità per quanto concerne le caratteristiche fisiche ambientali delle matrici ambientali coinvolte e con pressioni perlopiù uniformi;



- i GWB, cioè le entità dove s'intende applicare il metodo, rappresentano invece delle entità molto vaste e sostanzialmente disomogenee (rispetto a un sito contaminato), con pressioni localizzate e/o discontinue.

Pertanto, si ritiene necessario non applicare ai fini della determinazione del VF per Nichel e Cromo una soglia di esclusione per i punti che presentano "anomalie" da Nitrati o Pesticidi.

Viceversa è da tenere in considerazione per un'eventuale esclusione, in una seconda fase del processo, la possibile influenza di specifiche pressioni locali su singoli punti della rete.

Per quanto riguarda invece la parte più specifica riferita all'individuazione del valore di fondo VF, sembra più appropriato considerare i valori calcolati come una "stima" del VF, effettuata in funzione della distribuzione statistica che meglio si adatta ai dati e secondo le regole dell'inferenza statistica; considerando che il set di dati disponibile è da intendersi come un campione statistico rappresentativo della popolazione di provenienza. La stima ha riguardato in particolare il 95° percentile della popolazione, in accordo con quanto riportato nel capitolo 7 dell'allegato al protocollo ISPRA, in cui si afferma correttamente che quando si ha a che fare con dati ambientali (in particolare, concentrazioni di specie chimiche nei comparti ambientali: suolo, acqua, aria), le distribuzioni di probabilità più comunemente utilizzate per la loro rappresentazione sono:

- distribuzione gaussiana o normale
- distribuzione lognormale
- distribuzione gamma
- distribuzione non parametrica.

### 3.3. Metodo BRGM

Il Servizio Geologico Francese (BRGM) ha proposto un metodo finalizzato alla determinazione del fondo geochimico di un acquifero, in funzione del grado delle conoscenze acquisite in merito al sistema fisico in studio (Guide technique qualité naturelle des eaux souterraines: Méthode de caractérisation des états de référence des aquifères français, Laurence Chéry, BRGM édition, 2006). Lo schema proposto prevede quattro livelli di conoscenza:

1. informazioni di base "non geochimiche" (carta dei complessi idrogeologici, carte idrogeologiche, log stratigrafici)
2. informazioni geochimiche di base (analisi chimiche da punti di captazione)
3. informazioni geochimiche specifiche (dati acquisiti a seguito di studi di dettaglio, dati a scala locale)
4. informazioni geochimiche specifiche complementari (elementi in tracce, analisi isotopiche da acquisire mediante indagini specifiche)

Ai quattro livelli di conoscenza sopra riportati corrispondono tre possibili approcci:

- Descrizione della facies geochimica teorica a partire dalle conoscenze geologiche di base. Si basa sullo studio della correlazione geologia-fondo geochimico in base al quale è possibile definire l'ordine di grandezza della concentrazione di un determinato elemento in funzione della tipologia litologica dell'acquifero.
- Analisi dei dati geochimici esistenti ed esclusione di quelli in cui sono presenti indicatori di contaminazione antropica. Questo approccio utilizza alcuni elementi chimici caratteristici di apporti antropici come i cloruri, i nitrati, ecc.
- Analisi dei dati geochimici esistenti e definizione di quelli rappresentativi del fondo geochimico naturale mediante distinzione tra componente naturale e componente antropica sulla base dei rapporti isotopici.

Da quanto sopra evidenziato una caratteristica del metodo BRGM è il notevole risalto dato all'acquisizione ed elaborazione di dati geochimici provenienti non solo dalle acque dei punti di monitoraggio, ma anche e soprattutto dalle formazioni acquifere incassanti. Un ruolo importante è stato attribuito anche alle determinazioni isotopiche sulle acque utilizzate come elemento discriminate per distinguere le influenze sul chimismo dei fattori naturali da quelli antropici.

In questo caso la parte di analisi statistica appare subordinata a tutta una serie di informazioni di dettaglio che concorrono a definire un quadro di se per se già sufficientemente esaustivo.

### 3.3.1. Considerazioni sull'applicabilità del metodo BRGM nel contesto in esame

Il metodo BRGM rappresenta soprattutto il risultato della notevole esperienza acquisita a livello internazionale dalla scuola francese, per quanto riguarda lo sviluppo e l'applicazione di studi geochimici su acque e minerali, l'elaborazione di dati geochimici (in particolare sulle acque) con abbondante profusione di ricerche sugli equilibri in fase acquosa delle specie ioniche (semplici e complesse), sugli isotopi, nonché sulle interazioni solido-liquido. Insieme a questo si deve aggiungere un ottimale sistema di acquisizione e gestione dei dati provenienti dai monitoraggi, integrato e corredato da tutta una serie di informazioni geoscientifiche derivanti dagli studi di cui sopra. Appare evidente che un approccio di questo tipo, supportato anche da un eccellente livello per quanto concerne le caratteristiche e la rappresentatività dei punti di monitoraggio, rappresenti la soluzione più idonea per lo studio dei VF.

Spostandosi nel contesto nazionale/piemontese, nell'ipotesi di volere implementare un approccio tipo BRGM, l'aspetto che risalta immediatamente è la carenza di adeguate dotazioni geoscientifiche a supporto del dato di monitoraggio (ad una scala adeguata), nel senso che manca una preesistente definizione di tutti gli aspetti che concorrono alla determinazione del VF basata su studi dedicati che non coinvolgono necessariamente i dati del monitoraggio; ma sui quali, i dati del monitoraggio si devono necessariamente confrontare.

### 3.4. Metodo BRIDGE

Questo metodo viene trattato nell'ambito del progetto europeo "Background cRiteria for the Identification of Groundwater thrEsholds" (BRIDGE) finalizzato allo sviluppo di un approccio metodologico condiviso e all'adozione di criteri comuni per la valutazione degli aspetti connessi allo stato chimico delle acque sotterranee (determinazione dei valori soglia e dei valori di fondo naturale). E' un metodo valido essenzialmente a scala nazionale, che tiene conto della disponibilità dei dati chimici sui principali contaminanti inorganici utilizzando un approccio statistico, senza considerare gli aspetti idrogeochimici e/o idrogeologici. Il criterio per accertare i livelli di fondo naturale (NBLs – Natural Background Levels) stabilisce la possibilità di potere discriminare, su base statistica, la componente naturale da quella antropica utilizzando due principi diversi:

#### 1. Separazione delle componenti

la frequenza di concentrazione osservata per un determinato parametro viene espressa dalla sovrapposizione di due distribuzioni individuali rappresentanti la componente naturale e quella antropica (Figura 3.2). Il valore di fondo naturale (NBL) è caratterizzato dall'intervallo di confidenza della componente naturale.

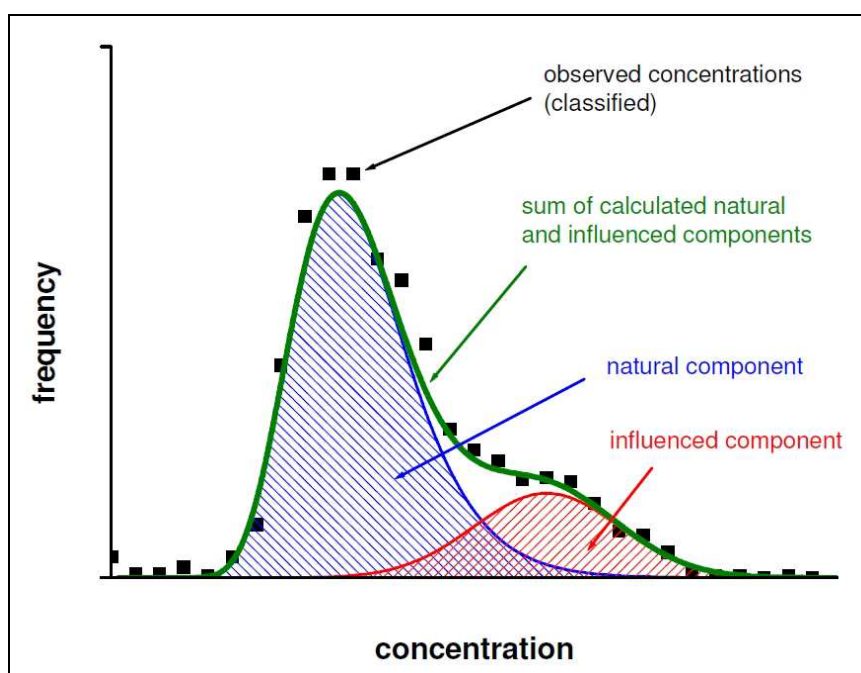


Figura 3.2: Approccio "separazione delle componenti" del metodo BRIDGE (Allegato 1 D18 BRIDGE)

La conformazione di entrambe le funzioni di distribuzione è determinata da tre termini indipendenti (ampiezza, mediana e varianza) ognuno dei quali deve essere adattato alla frequenza di distribuzione osservata mediante appositi algoritmi. L'andamento della distribuzione di concentrazione è rappresentato da due funzioni di tipo log normale riferite alla componente naturale ed a quella antropica. L'individuazione delle condizioni naturali può essere dedotta dall'esame di uno dei due parametri che influenzano la funzione di distribuzione della componente naturale; in particolare, mediana e varianza risultano i termini più comuni per la distribuzione lognormale. Tuttavia, tali parametri non forniranno mai una chiara prospettiva delle condizioni tipiche esistenti per le acque sotterranee esaminate, poiché le concentrazioni naturali saranno caratterizzate da un range di concentrazione definito da valori percentili della distribuzione della componente naturale. Questo metodo ha il vantaggio che tutti i campioni di acque sotterranee con i relativi parametri possono essere utilizzati per la definizione del NBL; ma richiede, tuttavia, una notevole esperienza in analisi statistiche.

## 2. Preselezione

Il metodo si basa sul concetto che ci sia una correlazione tra la concentrazione di un determinato indicatore e l'assenza/presenza di un'influenza antropica. Nei casi dove le concentrazioni degli indicatori risultino al di sopra un determinato valore, i relativi campioni di acque sotterranee saranno esclusi dal processo di calcolo del NBL in quanto evidentemente influenzati da un impatto antropico. Le sostanze utilizzate come indicatori sono tipici parametri di origine antropica (come VOC e pesticidi), o sostanze che si ritrovano generalmente nelle acque sotterranee in concentrazioni molto basse (nitrati, metalli pesanti etc.). Quindi, per la determinazione del NBL vengono utilizzati solamente i campioni nei quali le sostanze che fungono da indicatori o non sono determinabili o si riscontrano in concentrazioni molto basse.

Tutti i metodi di preselezione hanno lo svantaggio che non risulta sempre valida la relazione tra concentrazioni elevate di sostanze indicatore e concentrazioni elevate di altre sostanze di origine antropica, portando come conseguenza l'esclusione di diversi campioni dal processo di calcolo del NBL. Tuttavia, questo tipo di approccio è particolarmente rappresentativo e interessante per gli elementi maggiori per i quali sono disponibili molti dati ed i metodi analitici risultano efficienti, mentre per gli elementi in tracce l'utilizzo è molto più limitato.

L'applicazione di questa metodologia non richiede un'esperienza particolare in analisi statistica e può essere implementata anche su GWB con pochi campioni disponibili.

### **3.4.1. Considerazioni sull'applicabilità del metodo BRIDGE nel contesto in esame**

Questo metodo è stato utilizzato nell'ambito del processo di implementazione della WFD come criterio pilota da sperimentare in contesti diversi tra i vari scenari nazionali europei. Al riguardo, le nazioni partecipanti al progetto hanno individuato un settore specifico sul proprio territorio nazionale sul quale applicare la procedura, che ha spaziato (a seconda dei casi) dalla definizione del NBL a livello di acquifero fino ad una valutazione su scala nazionale. Sebbene il metodo aspiri ad avere un approccio condiviso tra i vari stati europei per ottenere dei risultati confrontabili, appare troppo sbilanciato sulla parte statistica; in particolare quando potrebbero essere disponibili tutta una serie di informazioni di carattere scientifico (su vasta scala) per meglio definire la problematica in esame. Infatti, le linee guida BRIDGE in materia affermano che non è obbligatorio seguire il procedimento proposto per la definizione del NBL, ma evidenziano come gli Stati Membri possono utilizzare la propria esperienza nei casi in cui siano disponibili livelli adeguati di conoscenze (ad esempio sugli aspetti geochimici e sui processi di interazione acqua-roccia), oltre ad avere la disponibilità di dati del monitoraggio consolidati (serie storiche confrontabili nel tempo). E' evidente che la determinazione del NBL nel contesto europeo rappresenta un compromesso tra validità scientifica e applicabilità generalizzata del metodo, che può accogliere più favorevolmente la seconda istanza del processo (e perciò la sua semplificazione), piuttosto che un risultato derivante da elaborazioni sofisticate riproducibile solo dalle nazioni/regioni più evolute che hanno a disposizione un bagaglio di dati e conoscenze più consistente. Al riguardo, le succitate linee guida

BRIDGE ripropongono tutti i percorsi a disposizione dei vari Stati Membri per stabilire il NBL (Figura 3.3) in funzione del livello di conoscenze acquisito e della quantità/qualità dei dati disponibili.

Per quanto riguarda lo studio in oggetto il livello di conoscenze acquisito (di tipo scientifico e geoscientifico) e la quantità/qualità dei dati disponibili a livello regionale sono compatibili con "High level of knowledge/data" e "NBL to be derived based on own approach", come contemplato dal diagramma di Figura 3.3 della proposta BRIDGE, nell'ambito quindi di un approccio più approfondito e per certi aspetti affine al metodo BRGM.

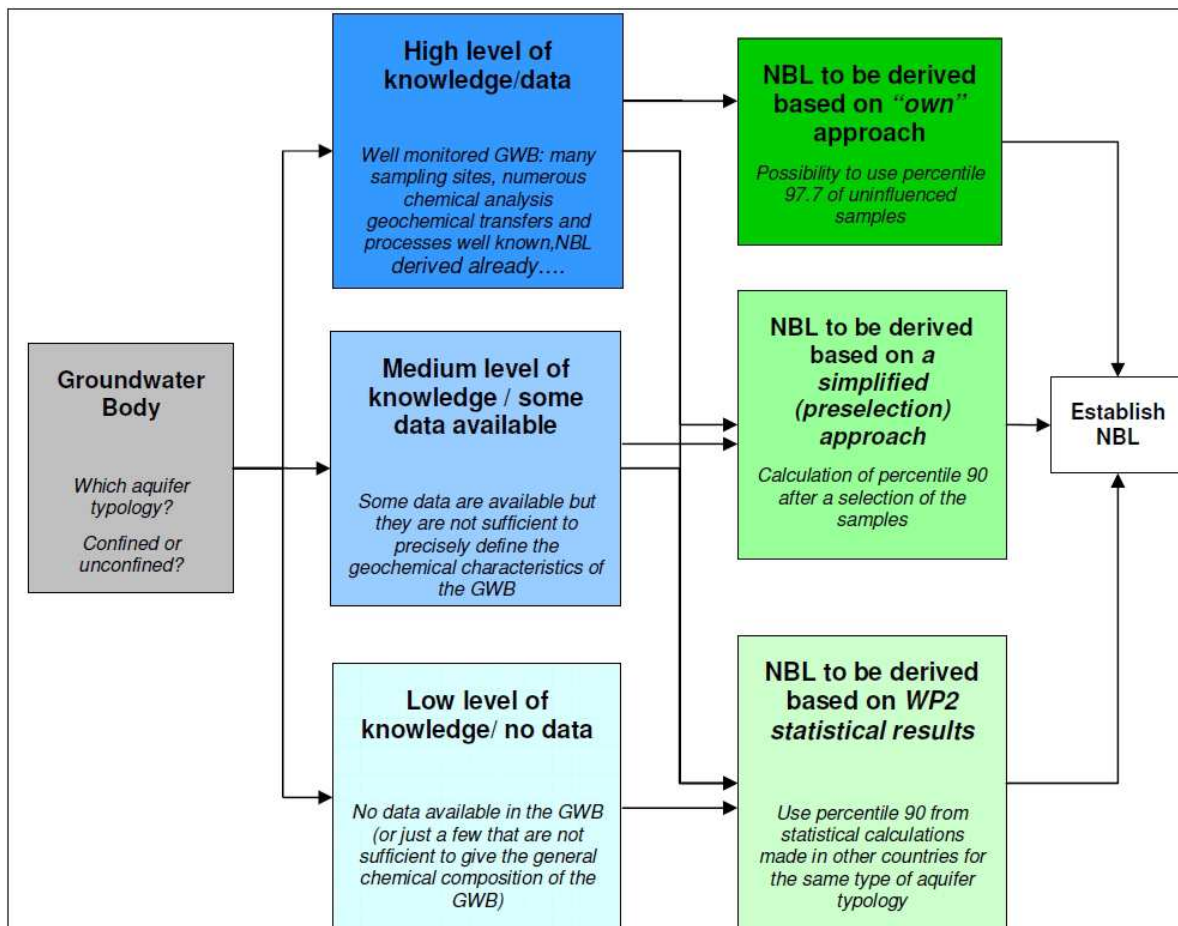


Figura 3.3: Proposta di procedura per la determinazione del NBL (Allegato 1 D18 BRIDGE)

## 4. DEFINIZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE

### 4.1. Introduzione

Nell'uso scientifico e tecnico-progettuale, un modello è una rappresentazione di un oggetto o di un fenomeno, che corrisponde alla cosa modellata per il fatto di riprodurre (evidentemente alla luce di precisi riscontri fattuali ottenuti a partire da un metodo che sia garanzia di controllabilità) alcune caratteristiche o comportamenti fondamentali in modo tale che questi aspetti possano essere mostrati, studiati, conosciuti laddove l'oggetto modellato non sia direttamente accessibile.

Un modello concettuale rappresenta concetti (entità e relazioni) tra gli elementi caratteristici di una determinata problematica, costituendo una sintesi (nel caso in esame) delle informazioni di natura storica, geologica, idrogeologica e geochemica al fine di individuare le caratteristiche geostratigrafiche, idrogeologiche e geochemiche dell'area studiata e fornire indicazioni sulla natura e l'entità dei fenomeni (anomalie) riscontrati nelle acque sotterranee, in relazione ai processi potenzialmente verificabili.

### 4.2. Inquadramento geologico

L'inquadramento geologico di supporto al modello concettuale, che spiega lo sviluppo e formazione delle unità idrogeologiche e delle conseguenti caratteristiche geochemiche delle acque sotterranee circolanti al loro interno, non può esimersi dalla comprensione dei processi geologici che hanno portato alla formazione delle Alpi ed ha tutto ciò che discende da questo evento principale. La catena alpina ha avuto origine dalla collisione tra il continente africano e il continente europeo, separati tra il Cretaceo e L'Eocene (per i confronti geocronologici si consulti la Figura 4.1)

SCALA DEL TEMPO GEOLOGICO				MILIONI DI ANNI FA	Periodo di formazione delle rocce descritte nella escursione	EVENTI PRINCIPALI (della storia geologica di Europa e Italia)	
ERATEMA	SISTEMA	SERIE E PIANO					
CENOZOICO	QUATERNARIO	Olocene		0,01			
		Pleistocene		1,7		nel Mediterraneo torna l'acqua	
	TERZIARIO	NEOGENE	Pliocene	5,3		il Mediterraneo evapora (Messiniano 6-5 Ma fa)	
			Miocene	23			
		PALEOGENE	Oligocene	36	rocce intrusive dell'Adamello		
			Eocene	55			
			Paleocene	65		inizio collisione	
			CRETACEO	sup.	95		
				inf.	140		
			GIURASSICO	Malm	152		inversione del movimento tra Africa e Europa
Dogger	180			dorsale medio-oceanica			
Lias	205						
MESOZOICO	TRIASSICO	sup.					
		Retico Norico		Dolomia Principale	oceanizzazione		
	Carnico	230	Calcere di Esino				
	Ladinico						
	medio	Anisico	240	Calcere d'Angolo			
inf.	Scitico	250	Carniola di Bovegno Servino	separazione continentale			
PALEOZOICO	PERMIANO		290	Verrucano Lombardo	inarcamento crostale		
	CARBONIFERO		354				
	DEVONIANO		410				
	SILURIANO		436				
	ORDOVICIANO		510				
	CAMBRIANO		544				
	PROTEROZOICO		2500				
ARCHEANO		4550					

Figura 4.1: Scala geocronologica semplificata



da un mare, che è stato denominato Bacino oceanico Ligure-Piemontese (BLP) per l'attuale distribuzione geografica delle rocce derivanti dai suoi fondali.

Il BLP si è aperto nel periodo Giurassico e ha iniziato a chiudersi nel Cretaceo per subduzione della litosfera oceanica al di sotto del margine africano. Durante questo processo porzioni di tale litosfera sono state delaminate e accrezionate come scaglie tettoniche a un prisma orogenico adiacente alla zona di subduzione.

Nell'Eocene il BLP si è definitivamente chiuso, si è realizzata la collisione continentale e composta la catena alpina, una catena collisionale a pieghe e falde di ricoprimento che è stata interessata da diversi eventi metamorfici e che comprende tutte le Unità tettoniche di origine oceanica (denominate anche ofioliti) e alcune unità provenienti dai margini continentali adiacenti (Unità Austroalpine sul margine africano e Unità Pennidiche in direzione dell'Europa).

Nelle Alpi occidentali le rocce di origine oceanica sono state storicamente indicate come "Zona piemontese dei calcescisti con pietre verdi", poiché comprendono le rocce derivanti dalla litosfera oceanica ("pietre verdi") e le rocce che derivano dai sedimenti marini che la ricoprivano (calcescisti). Si tratta in entrambi i casi di rocce metamorfiche, ossia rocce che hanno subito una trasformazione rispetto alle condizioni originarie a causa delle diverse condizioni di pressione e temperatura cui sono state sottoposte.

Nell'arco alpino che sovrasta l'area di pianura Piemontese, dove sussistono gli acquiferi oggetto dello studio, le unità geologiche presenti sono quindi assimilabili, sotto il profilo tettonico strutturale, a una serie di associazioni litologiche che tengono conto dei vari e complessi processi genetici succedutosi nel corso dell'orogenesi alpina e che hanno portato alla loro attuale collocazione. La situazione in esame può essere visualizzata nella Figura 4.2 dove (per quanto riguarda l'area piemontese) partendo dalle Alpi Cozie e procedendo in senso orario, si ritrova il dominio Pennidico (attribuibile al margine del continente europeo) e la Zona Piemontese cioè l'Unità con formazioni di origine oceanica che si estende in continuità fino al settore Sesia-Lanzo. Da questo punto in poi compaiono i primi lembi del dominio Australpino (attribuibile al margine africano) che proseguono in complesse compenetrazioni con le unità continentali "europee" e "oceaniche" fino alla Valle d'Ossola ed al confine lombardo.

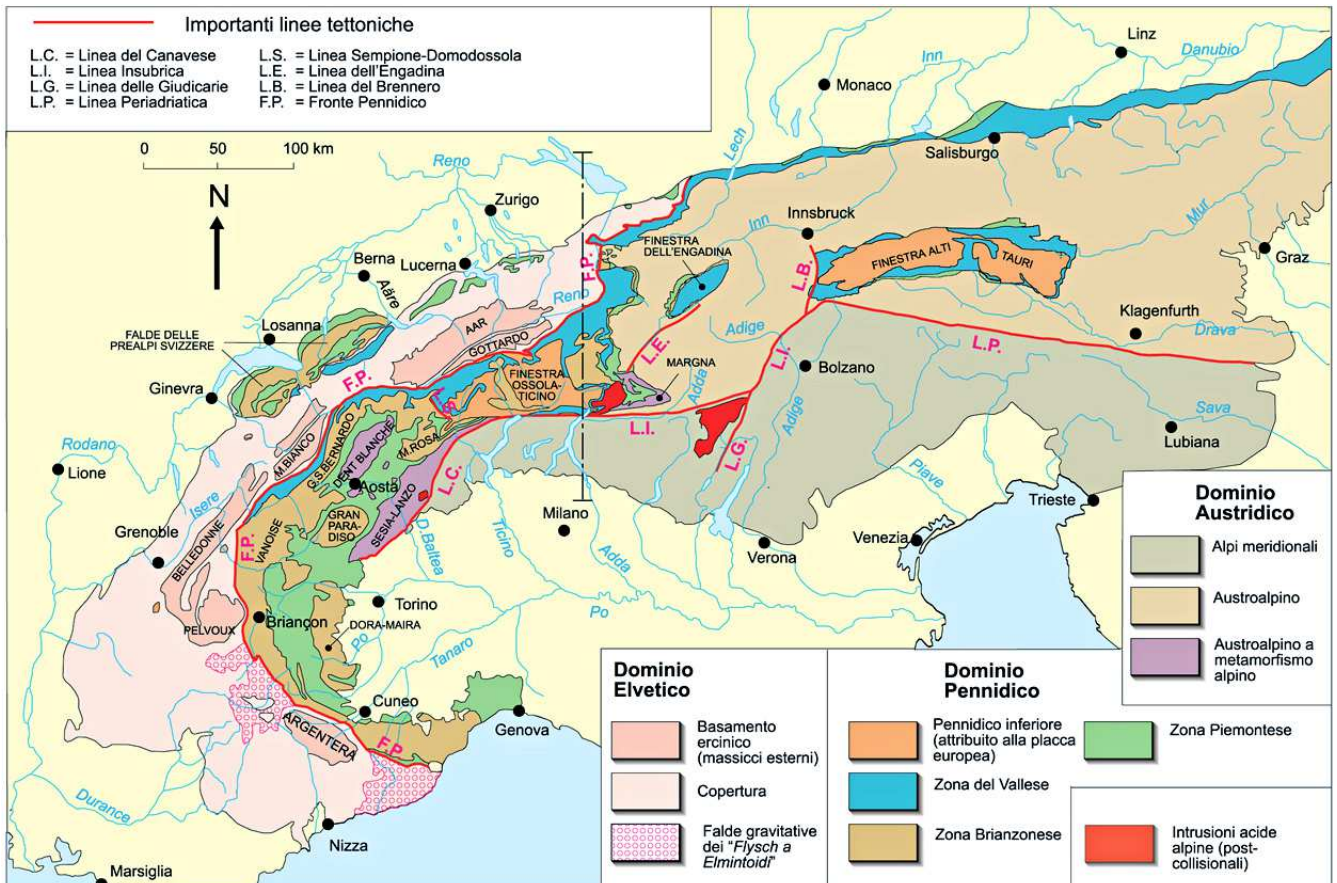


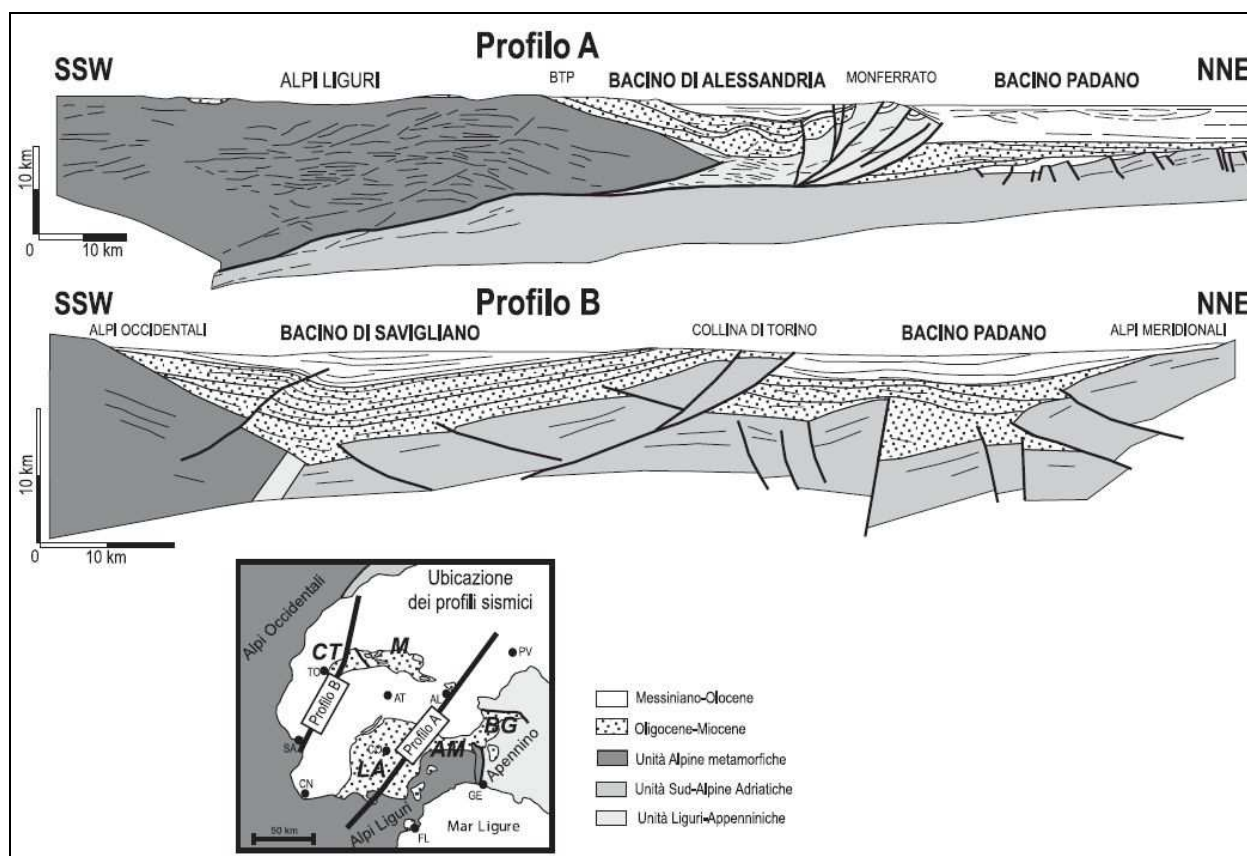
Figura 4.2: Schema tettonico strutturale delle Alpi

Contemporaneamente, ma soprattutto nelle fasi finali del processo orogenetico, iniziarono a svilupparsi intensi fenomeni di erosione dei rilievi appena formati con conseguente trasporto e successiva sedimentazione nelle aree di pianura adiacenti. Nel settore occidentale della Pianura Padana una potente successione sedimentaria, nota come Bacino Terziario Piemontese (BTP) è stata deposta nel Cenozoico durante l'evoluzione post collisionale tra Europa e Africa. Questa zona è attualmente contraddistinta dai rilievi del Monferrato-Collina Torinese e delle Langhe. Le rimanenti aree depresse presenti nel settore occidentale della Pianura Padana rappresentarono i bacini di sedimentazione di potenti successioni alluvionale originate dallo smantellamento dei rilievi alpini attivo a partire dal Messiniano superiore (alto Miocene in Figura 4.1). Tali zone, che costituiscono l'attuale area di pianura piemontese, sono contraddistinte dal Bacino di Savigliano ubicato a SO, dal Bacino di Alessandria ubicato a SE e dal Bacino Padano Occidentale, ubicato a N (Figura 4.4).

### Bacini di Savigliano e Alessandria

Il Bacino di Savigliano (Figura 4.3 profilo B e Figura 4.4), il cui asse maggiore di allungamento ha direzione N-S, risulta delimitato:

- ad ovest e a sud dalle unità metamorfiche delle Alpi Occidentali, che si approfondiscono morfologicamente verso est e nord;
- ad est dalle successioni delle Langhe, caratterizzate da una stratificazione regionale immergente verso ovest.



**Figura 4.3:** Profili geologici schematici in corrispondenza dei bacini di sedimentazione (Irace et alii, 2009)

### Bacino Padano occidentale

Il Bacino Padano presenta una forma arcuata con l'asse maggiore di allungamento in direzione E-O (Figura 4.3 profilo A e Figura 4.4) ed è delimitato:

- ad ovest e a nord dal margine alpino, rappresentato dalle unità metamorfiche alpine e dalle Alpi meridionali (le quali si approfondiscono morfologicamente verso est e verso sud);
- a sud dalle successioni della Collina di Torino, del Monferrato e dalle loro prosecuzioni sepolte, intensamente coinvolte e deformate.



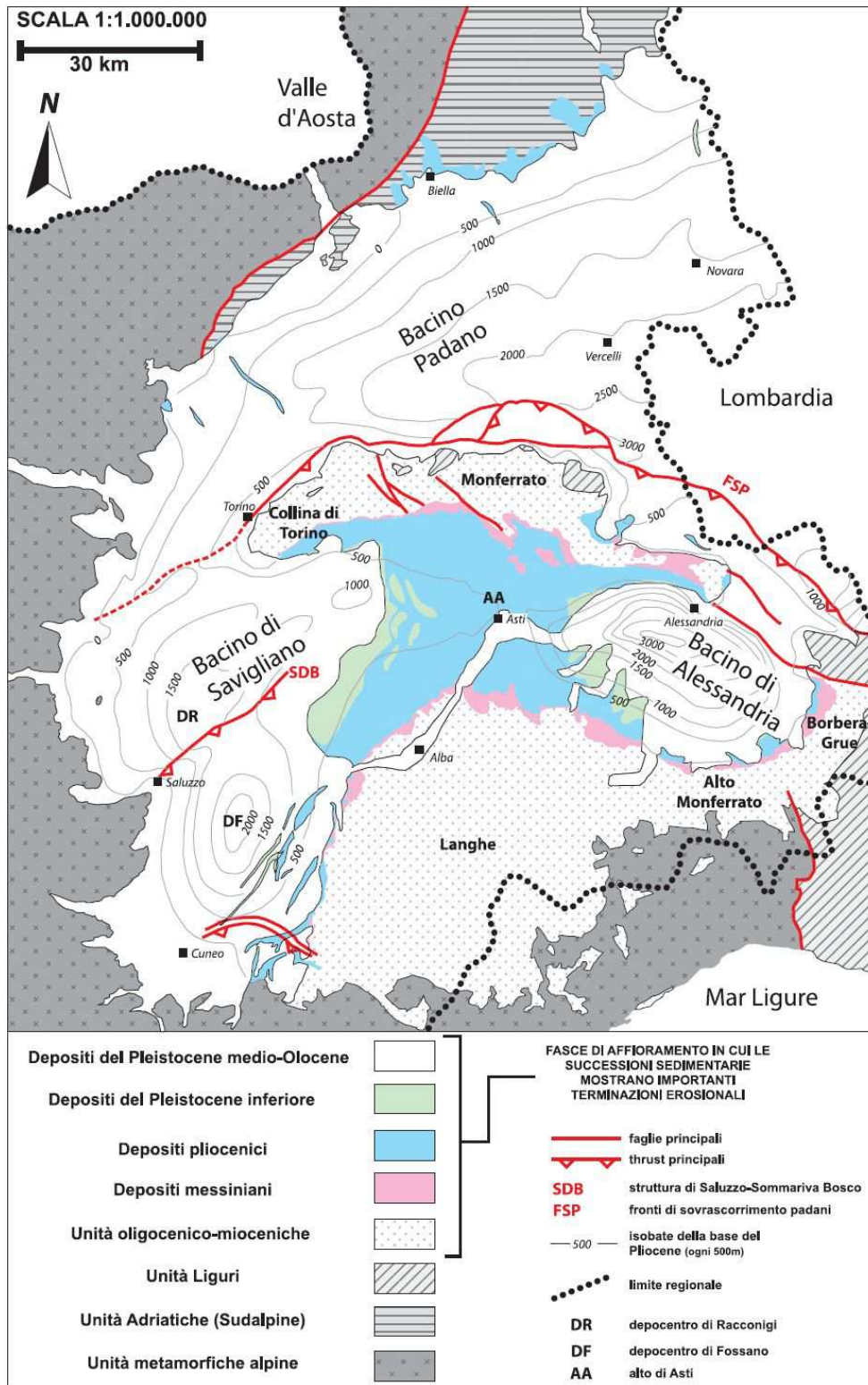
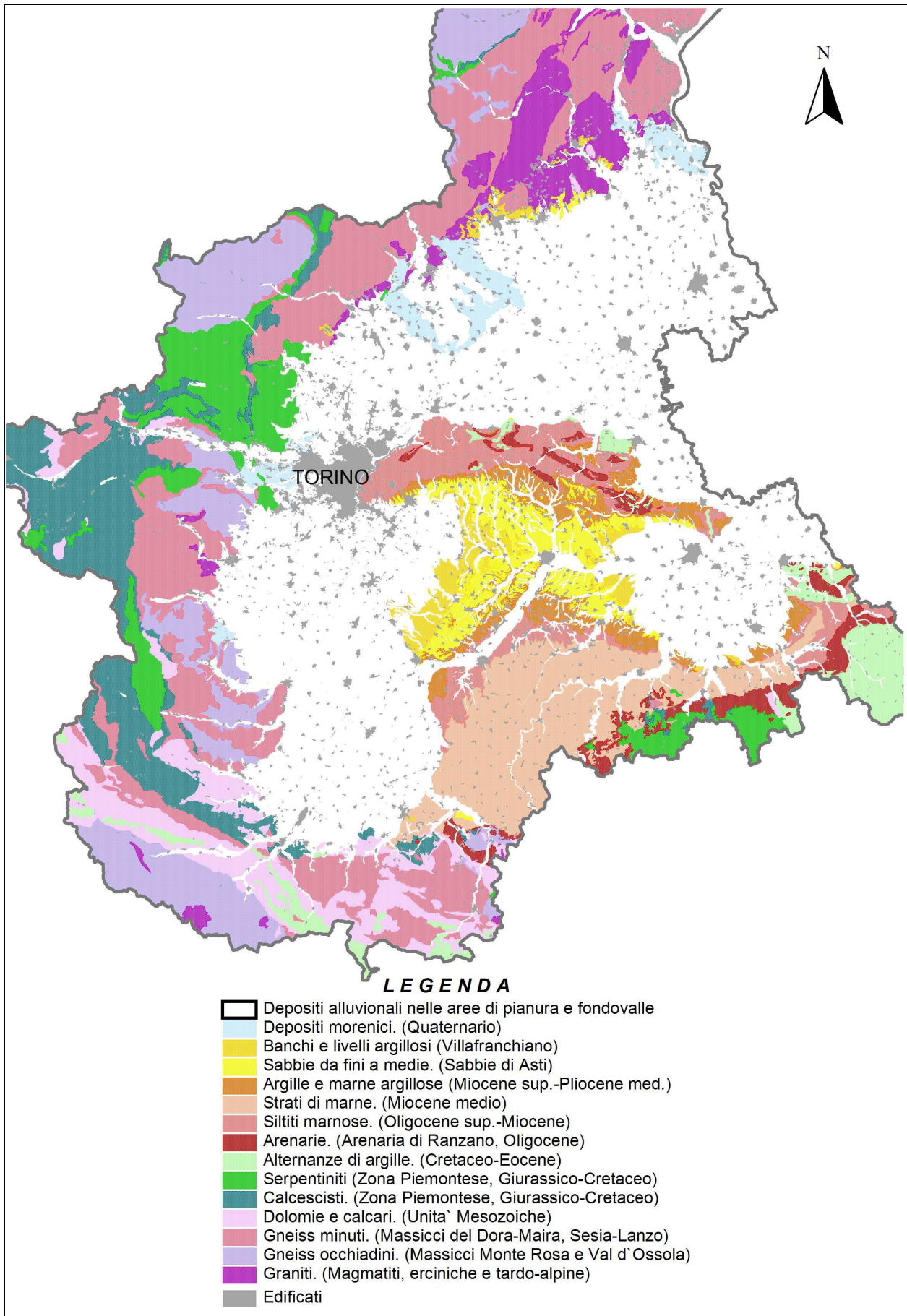


Figura 4.4: Delimitazione dei bacini di sedimentazione Piemontesi (da Irace et alii, 2009)

Nella Figura 4.5 viene infine illustrato l'assetto litologico dei rilievi che circondano l'area di pianura piemontese formata dai depositi alluvionali del Quaternario (in bianco in figura), che costituiscono il tetto dei prodotti che colmano i bacini di sedimentazione.





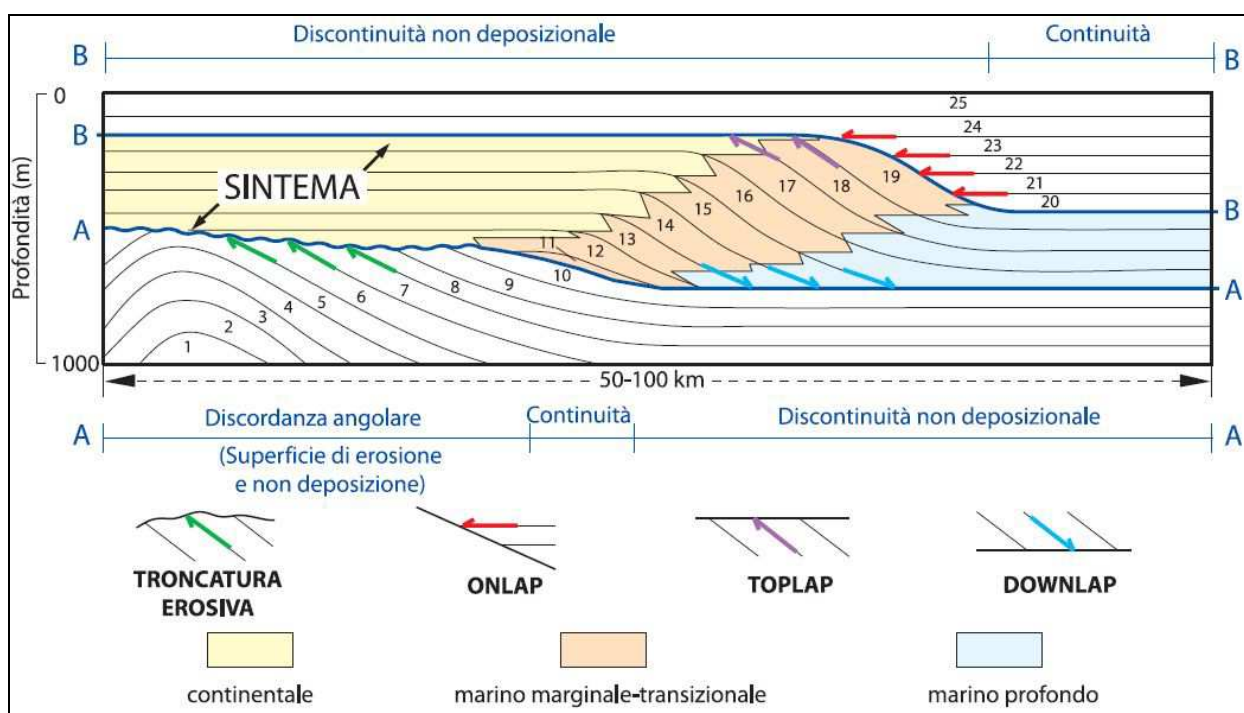
**Figura 4.5:** Stralcio della Carta Geolitologica del Piemonte (Arpa Piemonte)

### 4.3. Inquadramento Idrogeologico

#### 4.3.1. Introduzione

Ai fini della trattazione dei concetti idrogeologici di base è stato utilizzato l'approccio metodologico proposto nel documento: *“Geologia e idrostratigrafia profonda della Pianura Padana occidentale”* (Irace et alii, 2009) che introduce la nozione di “sintema” cioè *“un corpo sedimentario complesso delimitato da superfici di discontinuità stratigrafica, costituito da gruppi di strati con geometria e litologia variabili ma legati geneticamente, ossia depositi in contesti deposizionali diversi e contigui ed in continuità di sedimentazione”*. Le superfici di strato possono toccare ma non intersecare le superfici di discontinuità stratigrafica a base ed a letto dei sintemi.

L'uso di questo tipo di unità presenta il vantaggio di disporre di pacchi rocciosi delimitati da superfici con elevato valore cronostratigrafico, in quanto i sedimenti fra esse compresi, seppur appartenenti a contesti deposizionali diversi, sono stati depositi entro lo stesso intervallo temporale e, quindi, registrano nel loro insieme gli stessi fattori eustatici, climatici e tettonici che hanno controllato la loro deposizione (Figura 4.6). Si assume quindi che questa omogeneità genetica corrisponda ad una “omogeneità” di comportamento idrogeologico e delle relative proprietà.



**Figura 4.6:** Sezione stratigrafica ideale in cui è sintetizzato il concetto di sintema (Irace et alii, 2009)

La correlazione tra le successioni sepolte e quelle affioranti ha consentito di ricostruire il quadro stratigrafico-deposizionale del sottosuolo della regione Piemonte ed in particolare di distinguere, all'interno dei depositi pliocenico-quadernari, cinque sintemi:

1. sintema P1 (Pliocene inferiore, basale),
2. sintema P2 (Pliocene inferiore-medio),
3. sintema P3 (Pliocene medio-superiore),
4. sintema Q1 (Pleistocene inferiore),
5. sintema Q2 (Pleistocene medio-Olocene)

Sempre nell'ambito dello studio citato anteriormente, l'analisi congiunta dei dati sismici, di pozzo e superficiali ha permesso di distinguere, oltre ai sintemi, anche le principali associazioni di litofacies (distinte sulla base della percentuale relativa dei costituenti principali, ovvero il rapporto tra prodotti grossolani e fini) e i principali contesti deposizionali (continentale, marino marginale-transizionale e marino aperto).

Ogni sintema individuato è stato concettualmente considerato come un “Gruppo Acquifero”, cioè un corpo sedimentario complesso avente le seguenti caratteristiche:

- è costituito da gruppi di strati con geometria e litologia variabili, depositi in contesti deposizionali contigui ed in continuità di sedimentazione; i limiti di un Gruppo Acquifero, coincidono con le superfici di discontinuità stratigrafica a base ed a letto dei sintemi;
- mostra caratteristiche distintive a grande scala (distribuzione delle associazioni di facies, geometria esterna, giacitura, tessitura, geometria ed organizzazione interna, permeabilità) tali da comportare omogeneità nella risposta al flusso idrico nel modello idrogeologico concettuale.

In questo senso il Gruppo Acquifero risulta essere simile, ma non coincidente, nella sua accezione, a quello proposto nei lavori di geologia degli Acquiferi Padani della Regione Emilia-Romagna e della Regione Lombardia (AGIP, 1998, 2002); è simile in quanto corrisponde anch'esso a una Unità Idrostratigrafica Sequenziale, ma si discosta dal significato assunto in questi lavori poiché non viene definito in base alla presenza di livelli basali a bassa permeabilità (acquicludo/acquitardo). Nel caso della pianura piemontese, infatti, i singoli livelli a bassa permeabilità non mostrano generalmente spessori e soprattutto continuità tali da costituire singolarmente limiti idrogeologici significativi a scala regionale.

A livello di bacino i flussi idrici avvengono principalmente con componente parallela alla superficie di strato, quindi, a scala regionale essi sono prevalentemente confinati all'interno del medesimo Gruppo Acquifero, anche se significativi scambi verticali tra i diversi gruppi sono possibili; in buona parte dei bacini studiati, infatti, non sono stati riscontrati acquicludi estesi regionalmente, che avessero funzione di separazione idrogeologica completa.

Un altro concetto fondamentale del modello idrogeologico è quello di "Unità Idrogeologica". Essa corrisponde ad una singola associazione di litofacies o a raggruppamenti di associazioni di litofacies con caratteristiche idrogeologiche (grado e tipo di permeabilità) omogenee a scala regionale (Francani, 1985).

In base al ruolo idrogeologico (acquifero monostrato, acquifero multistrato od acquitardo/acquicludo) sono state distinte 4 classi fondamentali di Unità Idrogeologiche, a configurare quattro classi a diverso potenziale di sfruttamento idrico, decrescente dalla classe I alla classe IV (Figura 4.7).

SIMBOLOGIA	Associazioni di Litofacies (If)	UNITA' IDROGEOLOGICHE (UI)	RUOLO IDROGEOLOGICO
	<b>If 1</b> sabbie e ghiaie con subordinate intercalazioni pelitiche (peliti 0-20%, sabbie 80-100%)	<b>UI I</b>	ACQUIFERO MONOSTRATO
	<b>If 2</b> alternanze discontinue di sabbie e ghiaie prevalenti con peliti (peliti 20-40%, sabbie+ ghiaie 60-80%)		
	<b>If 3</b> alternanze discontinue di peliti e sabbie e ghiaie (peliti 40-60%, sabbie+ ghiaie 40-60%)	<b>UI II</b>	ACQUIFERO MULTISTRATO DISCONTINUO
	<b>If 4</b> alternanze discontinue di peliti prevalenti con sabbie e ghiaie (peliti 60-80%, sabbie+ghiaie 20-40%)		
	<b>If 5</b> alternanze continue di sabbie e ghiaie prevalenti con peliti (peliti 20-40%, sabbie+ ghiaie 60-80%)		
	<b>If 6</b> alternanze continue di peliti e sabbie e ghiaie (peliti 40-60%, sabbie+ ghiaie 40-60%)	<b>UI III</b>	ACQUIFERO MULTISTRATO CONTINUO
	<b>If 7</b> alternanze continue di peliti prevalenti e sabbie (peliti 60-80%, sabbie 20-40%)		
	<b>If 8</b> peliti con subordinate intercalazioni di sabbie e ghiaie (peliti 80-100%, sabbie 0-20%)	<b>UI IV</b>	ACQUITARDO / ACQUICLUDDO
	<b>If 9</b> depositi caotici a blocchi di evaporiti e carbonati immersi in una matrice pelitica (peliti 60-70%)		
	<b>If 10</b> alternanze di gessoruditi e gessareniti e peliti		

Figura 4.7: Schema delle corrispondenze tra Associazioni di Litofacies e Unità Idrogeologiche in base al Ruolo Idrogeologico (Irace et alii, 2009)

Nello schema illustrato nella Figura 4.8 viene proposto il quadro riassuntivo delle corrispondenze tra Sintemi, Gruppi Acquiferi ed Unità Idrogeologiche di Gruppo Acquifero presenti nei Bacini di Alessandria e Savigliano (parte A) e nel Bacino Padano occidentale (parte B). Per quanto riguarda le corrispondenze con le formazioni affioranti si fa riferimento ai termini contenuti nella Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000.



A

**BACINI SAVIGLIANO-ALESSANDRIA**

Scala cronostatigrafica		UNITA' AFFIORANTI CGI 1:100.000	UNITA' SEPOLTE	SINTEMI	GRUPPI ACQUIFERI	UNITA' IDROGEOLOGICHE DI GRUPPO ACQUIFERO
<b>OLOCENE</b>	0.01 Ma	DEPOSITI FLUVIALI E E FLUVIO-GLACIALI		Q2	<b>A</b>	AI AII AIV
	superiore					
<b>PLEISTOCENE</b>	medio					
	inferiore 1.8 Ma	"VILLAFRANCHIANO SUPERIORE"		Q1	<b>B</b>	BI BII BIII
<b>PLIOCENE</b>	superiore 2.6 Ma	"VILLAFRANCHIANO INFERIORE" ASTIANO		P3	<b>C</b>	CI CII CIII
	medio 3.6 Ma	"VILLAFR." "ASTIANO"		P2	<b>D</b>	DI DII DIII DIV
	inferiore	"PIAC."		P1	<b>E</b>	EI EII EIII EIV
	5.3 Ma	"PIACENZIANO"	M/P	M2	<b>F</b>	FII FIII
MIOCENE	Messiniano superiore	"MESSINIANO" "CASSANO-SPINOLA" "MESSINIANO" "F. GESSOSO-SOLF."		M1	<b>G</b>	GIV

B

**BACINO PADANO**

Scala cronostatigrafica		UNITA' AFFIORANTI CGI 1:100.000	UNITA' SEPOLTE	SINTEMI	GRUPPI ACQUIFERI	UNITA' IDROGEOLOGICHE DI GRUPPO ACQUIFERO
<b>OLOCENE</b>	0.01 Ma	DEPOSITI FLUVIALI E E FLUVIO-GLACIALI		Q2	<b>A</b>	AI AII AIV
	superiore					
<b>PLEISTOCENE</b>	medio					
	inferiore 1.8 Ma	"VILLAFR."		Q1	<b>B</b>	BII BIV
<b>PLIOCENE</b>	superiore 2.6 Ma	"VILLAFR."		P3	<b>C</b>	CII CIII CIV
	medio 3.6 Ma	"VILLAFR." "ASTIANO"		P1-P2	<b>D - E</b>	D-E II D-E III D-E IV
	inferiore	"PIACENZIANO"	M/P			
MIOCENE	Messiniano superiore					

**Figura 4.8:** Schema riassuntivo delle corrispondenze tra Sintemi, Gruppi Acquiferi e Unità Idrogeologiche (Irace et alii, 2009)

### 4.3.2. Assetto idrostratigrafico di riferimento

La pianura piemontese è contraddistinta da numerose captazioni di tipo domestico, agricolo, industriale e idropotabile che raggiungono profondità massime di 300 m. Gli acquiferi presenti in tale spessore sono ben conosciuti, sfruttati e comunemente suddivisi in un “acquifero superficiale”, la cui potenza massima è di 80 m, ed in “acquiferi profondi”.

Secondo le terminologie introdotte nel lavoro “*Geologia e geoidrogeologia profonda della Pianura Padana Occidentale, 2009*” è stato adottato il termine di “Acquiferi profondi tradizionali” per tutti gli acquiferi comunemente definiti profondi (presenti nei primi 300 m dal piano campagna) ed il termine “Acquiferi molto profondi” per tutti i restanti posti a profondità superiori. (Tabella 4.1).

Nomenclatura tradizionale	Nomenclatura usata nel lavoro		Profondità media
Acquiferi superficiali	Acquiferi superficiali	Acquiferi superficiali	0-80 m circa
Acquiferi profondi	Acquiferi profondi s.l.	Acquiferi profondi tradizionali	80-300 m circa
		Acquiferi molto profondi	oltre i 300 m

**Tabella 4.1:** Differenti nomenclature utilizzate per la definizione dei diversi acquiferi (Irace et alii, 2009)

Sulla base di tali definizioni sussiste una corrispondenza con una serie di Gruppi Acquiferi (trattati al paragrafo precedente) così come descritto nella Tabella 4.2.

Tipo di Acquifero	Gruppi Acquiferi
Acquifero superficiale	A
Acquiferi profondi tradizionali	B
	C
Acquiferi molto profondi	D
	E
	F
	G

**Tabella 4.2:** Gruppi acquiferi individuati nei Bacini di Savigliano e Alessandria (Irace et alii, 2009)

Pertanto, il contesto idrico sotterraneo di riferimento ai fini del presente studio (e della RMRAS), interessa solamente la prima parte della Tabella 4.2 (Acquifero superficiale e Acquiferi profondi tradizionali) a cui corrispondono i Gruppi Acquiferi: A, B e C.

Come sarà discusso nel paragrafo seguente gli acquiferi che rientrano nell’oggetto dello studio sono quelli “indagabili” attraverso le captazioni esistenti suddivise in prevalenza tra pozzi domestici e piezometri, per quanto riguarda l’acquifero superficiale, ed essenzialmente in pozzi idropotabili per quanto attiene l’acquifero profondo tradizionale.

Sulla base di quanto illustrato in precedenza l’acquifero superficiale è caratterizzato dal sistema Q2 e dal Gruppo Acquifero A ed interessa i depositi fluviali e fluvio-glaciali del Quaternario (Figura 4.8) sia nei Bacini di Savigliano e Alessandria corrispondenti rispettivamente alla zona cuneese e parte torinese e a quella alessandrina, che nel Bacino Padano corrispondente al novarese - vercellese e parte del torinese; si veda al riguardo la Figura 4.4.

L’acquifero profondo nella sezione tradizionale è invece caratterizzato (in generale) dai sistemi Q1 e P3 e dai corrispondenti Gruppi Acquiferi B e C corrispondenti alle sequenze Villafranchiane e (localmente) alla parte sommitale dell’Astiano.

## 4.4. Correlazione con gli elementi del monitoraggio

### 4.4.1. Introduzione

Le risultanze derivanti dagli studi di cui ai paragrafi precedenti, in particolare gli aspetti riguardanti l'assetto idrostratigrafico della Pianura Piemontese, schematizzabile in un "acquifero superficiale", la cui potenza massima è di 80 m, ed in un "acquifero profondo tradizionale" (fino a 300 m di profondità), necessitano di essere adattate al contesto della Rete di Monitoraggio delle Acque Sotterranee (RMRAS) e dei corpi idrici sotterranei (GWB) che rappresentano gli oggetti del monitoraggio ai sensi della normativa vigente. E' evidente che seguendo i presupposti di legge si sia dovuto in qualche modo semplificare e gestire delle situazioni complesse sotto il profilo geoidrologico per ottimizzare gli interventi di monitoraggio e governare delle entità (i GWB) che devono risultare caratterizzabili e correlabili a scala regionale e sui quali applicare le politiche di tutela e gestione della risorsa previste dalla normativa.

Mentre l'acquifero superficiale (assimilabile alla falda superficiale), costituito dal sintema Q2, dal Gruppo Acquifero A che interessa i depositi fluviali e fluvio-glaciali del Quaternario, è rappresentato dai GWB superficiali (Figura 4.9-A); l'acquifero profondo (assimilabile alle falde profonde) costituito dai sintemi Q1 e P3, dai Gruppi Acquiferi B e C che interessano le sequenze Villafranchiane e quelle Astiane, è rappresentato dai GWB-profondi (Figura 4.9-B).

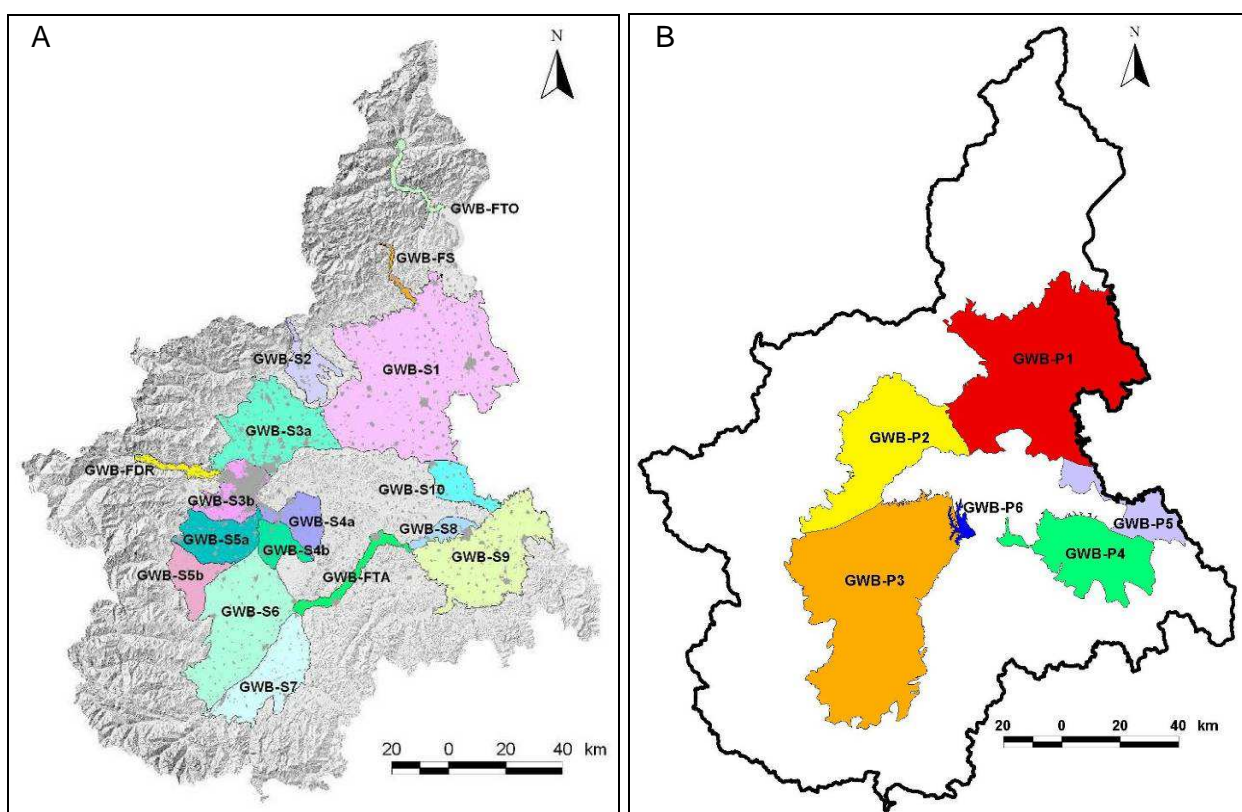


Figura 4.9: GWB del sistema idrico sotterraneo superficiale (A) e profondo (B)

### 4.4.2. Sistema superficiale

Il sistema acquifero superficiale, nell'ottica della salvaguardia e tutela della risorsa in esso contenuta (ai sensi della normativa vigente), è suddiviso in 14 GWB delimitati in senso areale da criteri piezometrici e in profondità dalla base dell'acquifero superficiale. Secondo la ricostruzione presente in "Geologia e Idrostratigrafia profonda degli acquiferi padani" (Irace et alii, 2009), tale sistema corrisponde al Gruppo Acquifero A (coincidente con il sintema Q2), del Pleistocene medio – Olocene (Figura 4.8) ed è costituito da depositi fluviali, fluvio-glaciali, lacustri ed eolici di ambiente continentale.

Nel Bacino di Savigliano il Gruppo è caratterizzato da maggiore permeabilità nelle porzioni meridionali dell'area, dove è rappresentato da un acquifero monostrato indifferenziato, da permeabilità intermedia nelle sue aree settentrionali e permeabilità minore ai suoi margini orientali.

Nel Bacino di Alessandria buona parte della pianura è contraddistinta da aree a media e alta permeabilità passanti a zone a bassa permeabilità ai margini settentrionali.

Rispetto ad altri Gruppi Acquiferi nell'area di pianura non si rilevano acquiferi multistrato discontinui, ma un unico acquifero monostrato contraddistinto da livelli pelitici che ne limitano la permeabilità senza comportare la pressurizzazione delle acque che lo permeano.

Nel Bacino di Savigliano il GA raggiunge valori massimi di potenza dell'ordine degli 80 metri in corrispondenza delle aree pedemontane (aree di conoide) e lungo i corsi d'acqua principali. Nel Bacino di Alessandria valori massimi analoghi si riscontrano nelle porzioni centro-meridionali (Figura 4.10).

Il Gruppo Acquifero è totalmente permeato da acque dolci; localmente si possono riscontrare aree (settori astigiani del Tanaro) con tenori di salinità superiori a quelli normali (seppure rientranti nei range delle acque dolci), da attribuire alla risalita di acque profonde salate in corrispondenza di strutture tettoniche e di aree di recapito dei circuiti profondi.

Anche nel Bacino Padano il Gruppo Acquifero A corrisponde al sistema Q2 costituito da depositi continentali fluviali, glaciali, fluvio-glaciali, lacustri ed eolici. Buona parte dell'area è contraddistinta da una permeabilità media che tende a ridursi nel biellese e nell'alto novarese (con comportamento da acquitarzo) ed aumentare lungo l'asta del Po. In tale area il GA raggiunge profondità massime di 100 m in corrispondenza di aree di conoide, terrazzo, base di rilievi e in aree assiali (Figura 4.10).

Questo GA risulta totalmente permeato da acque dolci anche se si possano riscontrare nelle aree prossime ai rilievi collinari del Monferrato tenori di salinità superiori ai normali da attribuire alla risalita di acque profonde salate.

#### **4.4.3. Sistema profondo**

Il sistema acquifero profondo nell'ottica della salvaguardia e tutela della risorsa in esso contenuta (ai sensi della normativa vigente), è suddiviso in 6 GWB delimitati in senso areale sulle base delle geometrie dei bacini di sedimentazione che hanno originato le formazioni acquifere. Come accennato in precedenza, la mancanza d'informazioni sulla piezometria profonda e di un numero conveniente di dati stratigrafici per effettuare correlazione tra contesti idrogeologici adiacenti, non ha consentito di ottenere una delimitazione ottimale da un punto di vista geoscientifico (soprattutto in senso verticale); ma la configurazione adottata è sicuramente adeguata ai fini dei requisiti del monitoraggio previsti dalla normativa vigente.

Secondo la ricostruzione presente in *"Geologia e Idrostratigrafia profonda degli acquiferi padani"* (Irace et alii, 2009) il sistema profondo corrisponde ai Gruppi Acquiferi B e C.

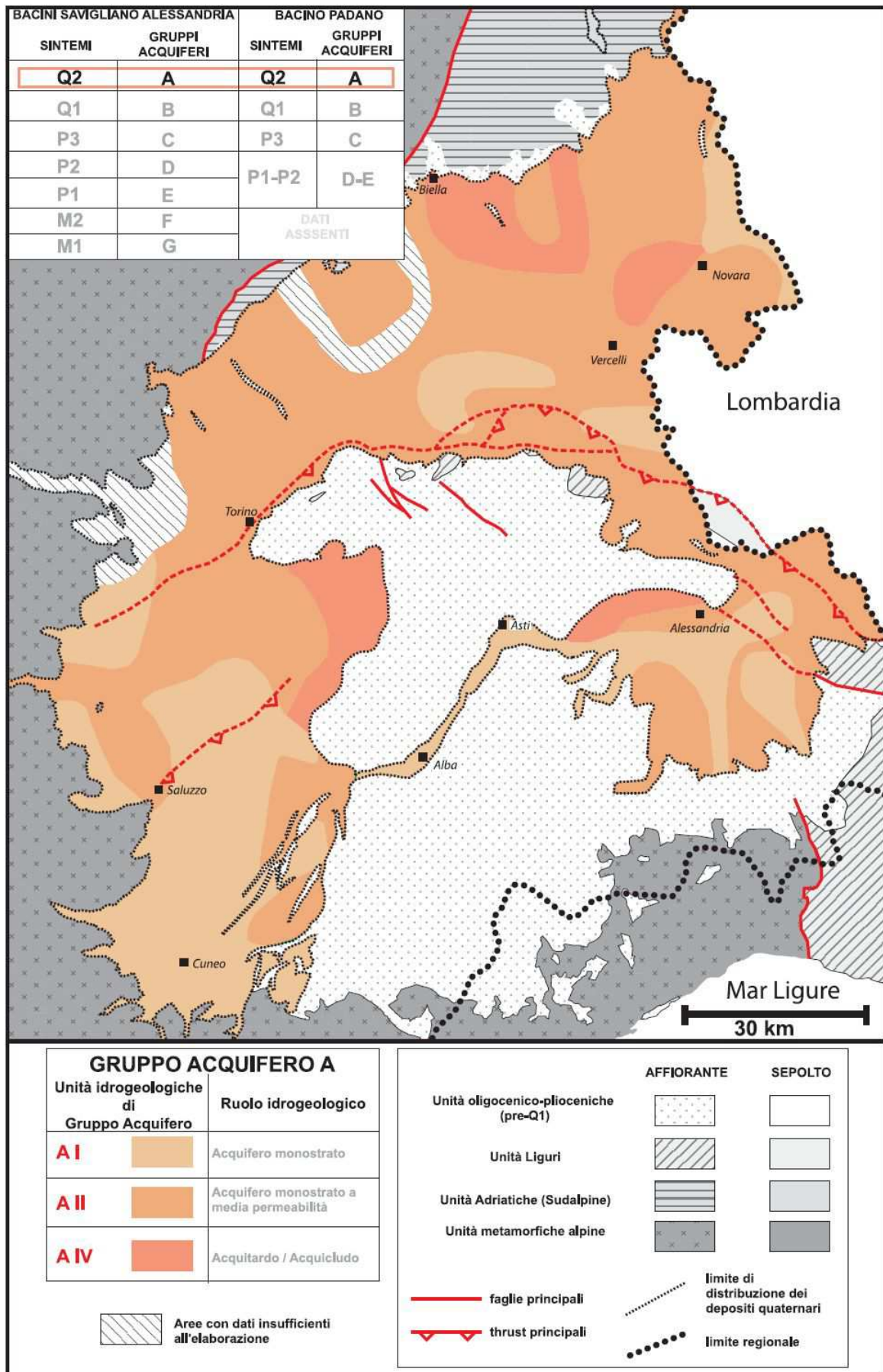
##### **4.4.3.1. Gruppo Acquifero B**

Il Gruppo Acquifero B corrisponde al sistema Q1, del Pleistocene inferiore (Figura 4.8) ed è costituito da due corpi sedimentari lenticolari nei bacini di Savigliano e di Alessandria, fisicamente separati in corrispondenza dell'alto di Asti (area di Asti e di Villafranca d'Asti). Nel Bacino di Savigliano ed in gran parte del Bacino di Alessandria è formato da depositi continentali caratterizzati da alternanze, discontinue e subordinatamente continue, di sabbie e ghiaie prevalenti con peliti. Nel Bacino di Alessandria, invece, il Gruppo è contraddistinto da facies transizionali rappresentate da alternanze discontinue di peliti con sabbie e ghiaie.

In base alle associazioni di litofacies e alla loro distribuzione è possibile distinguere all'interno del GA in esame le seguenti Unità Idrogeologiche di Gruppo Acquifero (UIG):

- un'Unità Idrogeologica indifferenziata situata principalmente ai margini meridionali ed occidentali del Bacino di Savigliano;
- un'Unità Idrogeologica maggiormente diffusa che nel Bacino di Alessandria costituisce l'unica Unità Idrogeologica presente, mentre nel Bacino di Savigliano si può riscontrare ai suoi margini orientali e settentrionali. Questa Unità è caratterizzata da acquiferi multistrato con ridotta continuità dei livelli a bassa permeabilità;
- un'Unità Idrogeologica "marginale", osservabile nelle porzioni depocentrali del Bacino di Savigliano, caratterizzata da acquiferi multistrato con elevata continuità laterale dei setti a ridotta permeabilità.





**Figura 4.10:** Distribuzione di sottosuolo delle Unità Idrogeologiche all'interno del Gruppo Acquifero A (sintema Q2) nei Bacini di Savigliano e Alessandria e nel Bacino Padano (Irace et alii, 2009)



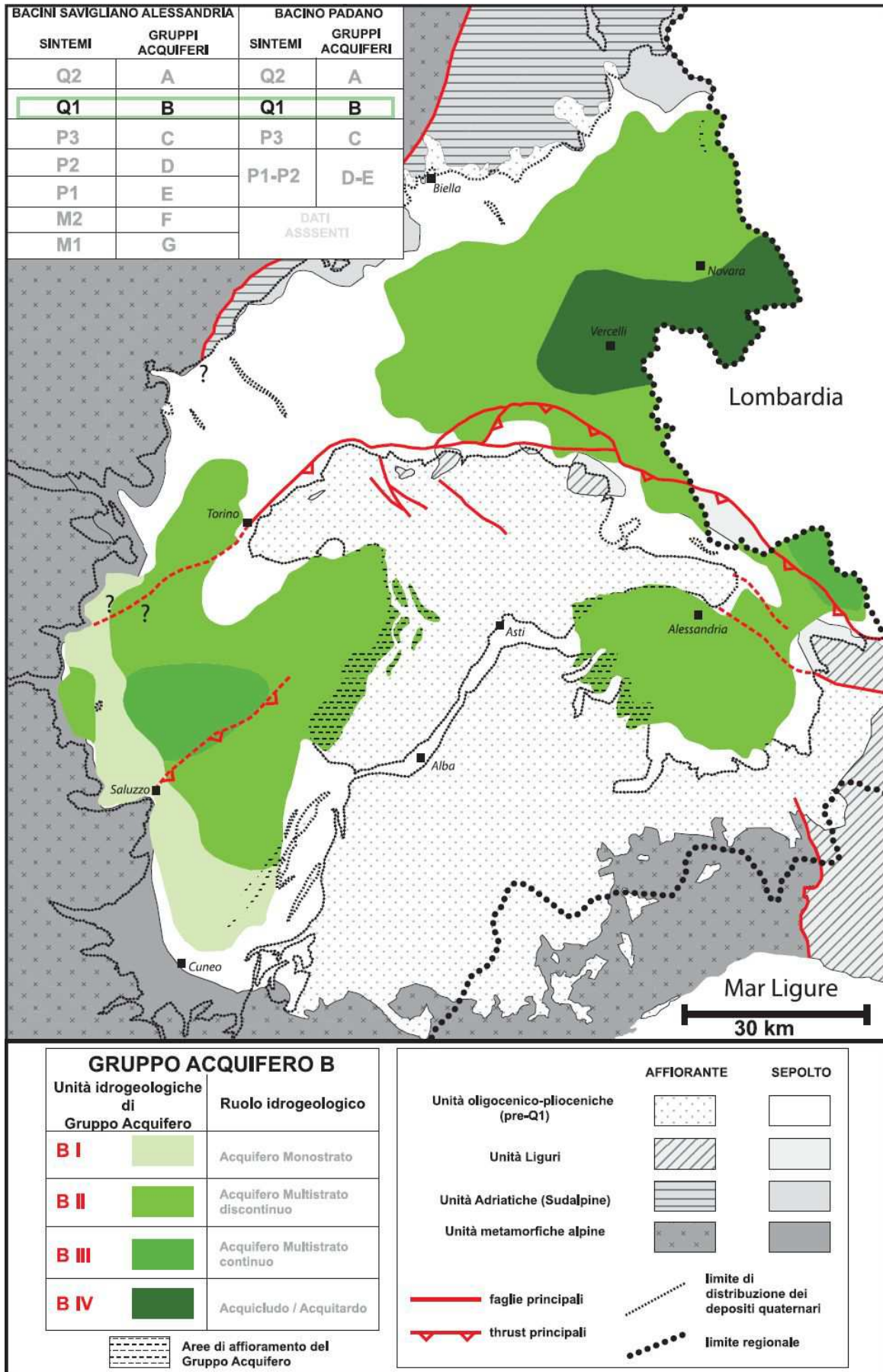
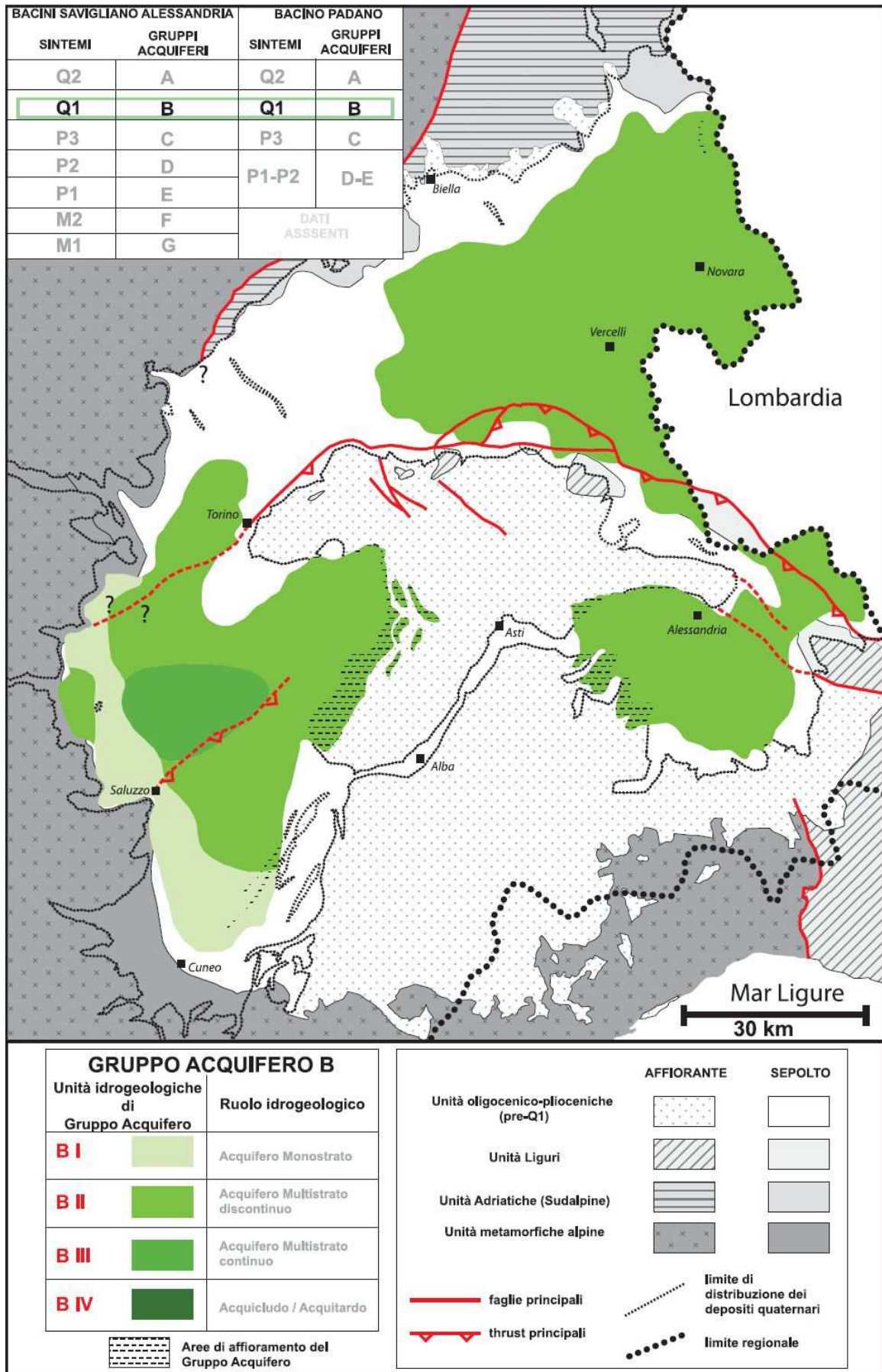


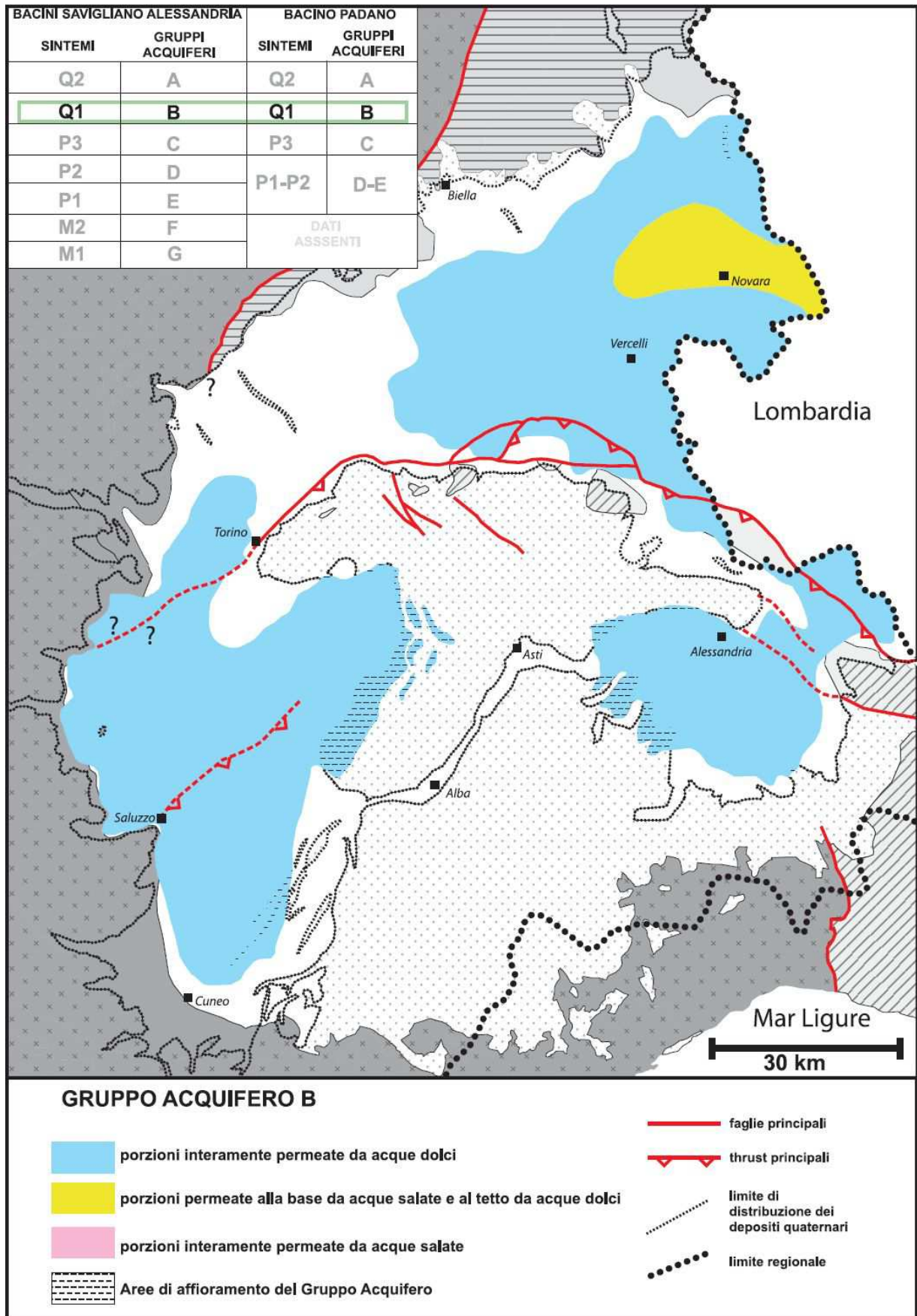
Figura 4.11: Distribuzione di superficie e sottosuolo delle Unità Idrogeologiche alla base del Gruppo Acquifero B (sintema Q1) nei Bacini di Savigliano e Alessandria e nel Bacino Padano (Irace et alii, 2009)



**Figura 4.12:** Distribuzione di superficie e sottosuolo delle Unità Idrogeologiche al tetto del Gruppo Acquifero B (sintema Q1) nei Bacini di Savigliano e Alessandria e nel Bacino Padano (Irace et alii, 2009)







**Figura 4.14:** Distribuzione delle acque a diverso tenore salino all'interno del Gruppo Acquifero B nei Bacini di Savigliano e Alessandria e nel Bacino Padano (Irace et alii, 2009)

Nelle Figure 4.11 e 4.12 è possibile osservare come vi sia una sostanziale corrispondenza tra la distribuzione delle Unità Idrogeologiche alla base ed al tetto del Gruppo Acquifero B.

Nel Bacino di Savigliano il Gruppo Acquifero raggiunge potenze massime nell'ordine dei 500-600 m (Figura 4.13) in corrispondenza di due depocentri sepolti a NO e SE della struttura di Saluzzo-Sommariva del Bosco (aree di Fossano, Racconigi, Savigliano e Poirino), mentre valori massimi di circa 250 m sono osservabili nel settore centrale del Bacino di Alessandria. Dalle rispettive aree depocentrali, i depositi del Gruppo Acquifero si assottigliano progressivamente in direzione degli attuali bordi dei due bacini. Il Gruppo Acquifero B è totalmente permeato da acque dolci (Figura 4.14).

Anche nel Bacino Padano il Gruppo Acquifero B corrisponde al sistema Q1, del Pleistocene inferiore (Figura 4.8).

Questo Gruppo è in prevalenza costituito da depositi continentali, corrispondenti ad alternanze discontinue di sabbie e ghiaie prevalenti con peliti, distribuite principalmente lungo i margini NO e S del bacino, e da alternanze discontinue di peliti e sabbie e ghiaie. Verso le zone depocentrali, il Gruppo è costituito da depositi transazionali prevalentemente rappresentati da peliti con subordinate intercalazioni di sabbie e ghiaie e da alternanze continue di peliti e sabbie e ghiaie. In base alle associazioni di litofacies e alla loro distribuzione all'interno del Gruppo Acquifero B, è possibile distinguere un'Unità principale caratterizzata da acquiferi multistrato con ridotta continuità dei livelli a bassa permeabilità. Alla base del Gruppo Acquifero questa è l'unica UI presente, mentre al tetto di questa, in area depocentrale, si riconosce un'Unità Idrogeologica dal ruolo idrogeologico di acquitardo.

Il Gruppo Acquifero presenta potenze variabili da pochi metri nelle zone di affioramento ai margini dei bacini fino a valori prossimi ai 1000 m in corrispondenza dell'area depocentrale del bacino (Figura 4.13).

Il Gruppo Acquifero è quasi totalmente permeato da acque dolci (Figura 4.14) all'infuori di un'area all'intorno di Novara, dove alla base del Gruppo è possibile riscontrare la presenza di acque salate.

#### 4.4.3.2. Gruppo Acquifero C

Il Gruppo Acquifero C corrisponde al sistema P3 del Pliocene medio (Figura 4.8).

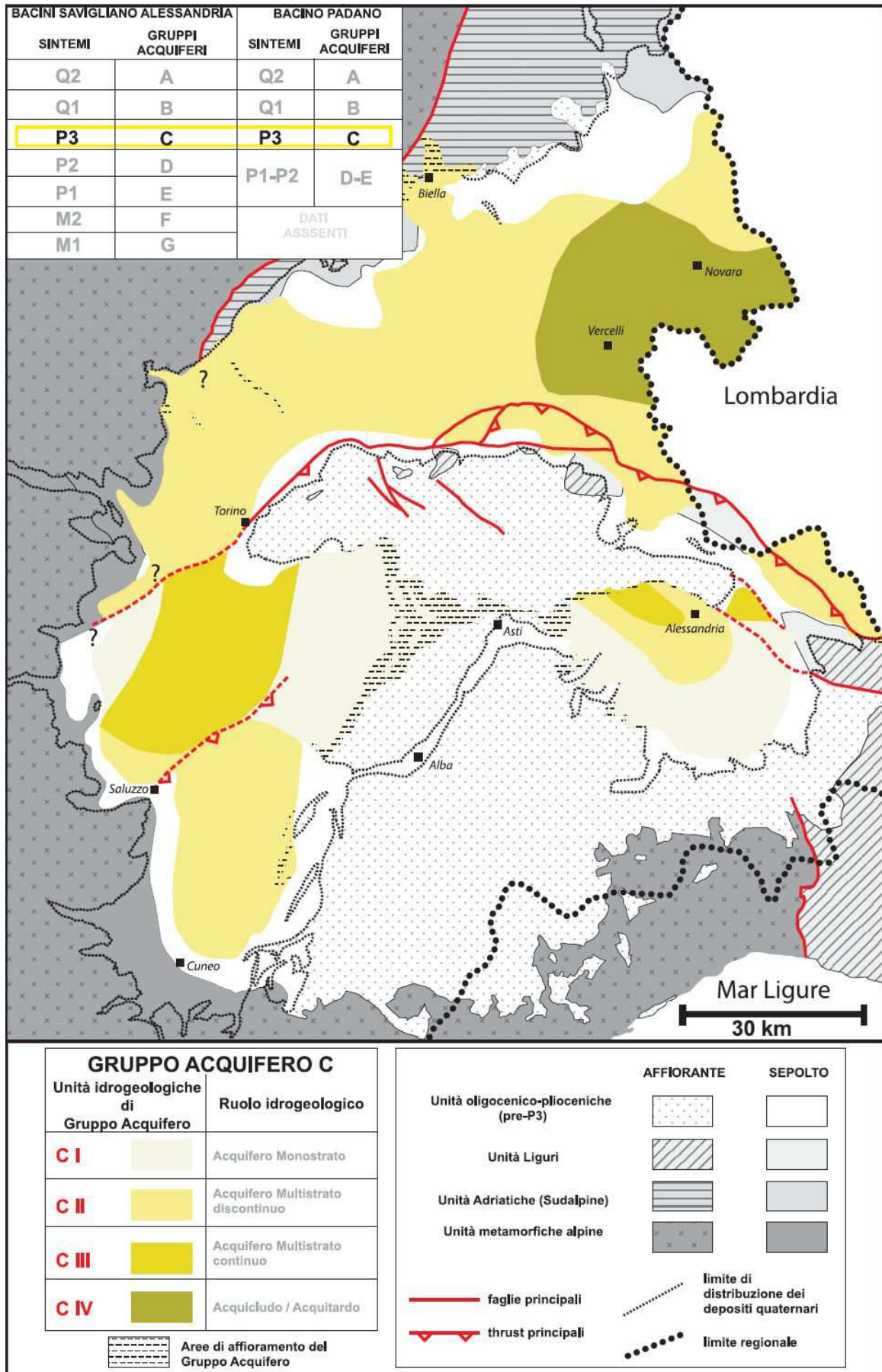
Nel Bacino di Savigliano è costituito in prevalenza da depositi continentali con abbondanti livelli di torba, rappresentati da alternanze discontinue di sabbie, ghiaie e peliti, passanti ad alternanze continue di peliti prevalenti e sabbie-ghiaiose. Verso N-NE si riscontrano depositi transazionali lagunari-deltizi, che affiorano lungo l'attuale bordo nord orientale del Bacino di Savigliano, in corrispondenza dell'alto di Asti e lungo gli attuali margini settentrionale e meridionale del Bacino di Alessandria; tali depositi sono rappresentati da sabbie e subordinate ghiaie con intercalazioni pelitiche.

In base alle associazioni di litofacies e alla loro distribuzione è possibile distinguere all'interno del GA in esame (Figure 4.8, 4.15 e 4.16) le seguenti Unità Idrogeologiche di Gruppo Acquifero (UIG):

- un'Unità CI, corrispondente ad un acquifero indifferenziato; si riscontra principalmente ai margini orientale ed occidentali del Bacino di Savigliano e in un'ampia fascia arcuata nel Bacino di Alessandria, corrispondente ai margini occidentali, meridionale ed orientali dello stesso;
- un'Unità CII, riscontrabile nelle porzioni meridionali del Bacino di Savigliano, mentre nel Bacino di Alessandria si può osservare in una stretta fascia nei suoi margini settentrionale. Questa Unità è caratterizzata da Acquiferi Multistrato con ridotta continuità dei livelli a bassa permeabilità;
- un'Unità Idrogeologica CIII, osservabile nelle porzioni centro-settentrionali del Bacino di Savigliano e in un piccolo settore settentrionale del Bacino di Alessandria, caratterizzata da Acquiferi Multistrato con elevata continuità laterale dei setti a ridotta permeabilità.

Nelle Figure 4.15 e 4.16 è possibile osservare come vi sia una sostanziale corrispondenza tra la distribuzione delle Unità Idrogeologiche alla base ed al tetto del Gruppo Acquifero C. Il GA presenta potenze variabili da pochi metri ai margini dei bacini fino a spessori massimi di 500 m nel settore centrale del Bacino di Savigliano e di 700 m nel settore centrale del Bacino di Alessandria (Figura 4.17).





**Figura 4.15:** Distribuzione di superficie e sottosuolo delle Unità Idrogeologiche alla base del Gruppo Acquifero C (sintema P3) nei Bacini di Savigliano e Alessandria e nel Bacino Padano (Irace et alii, 2009)

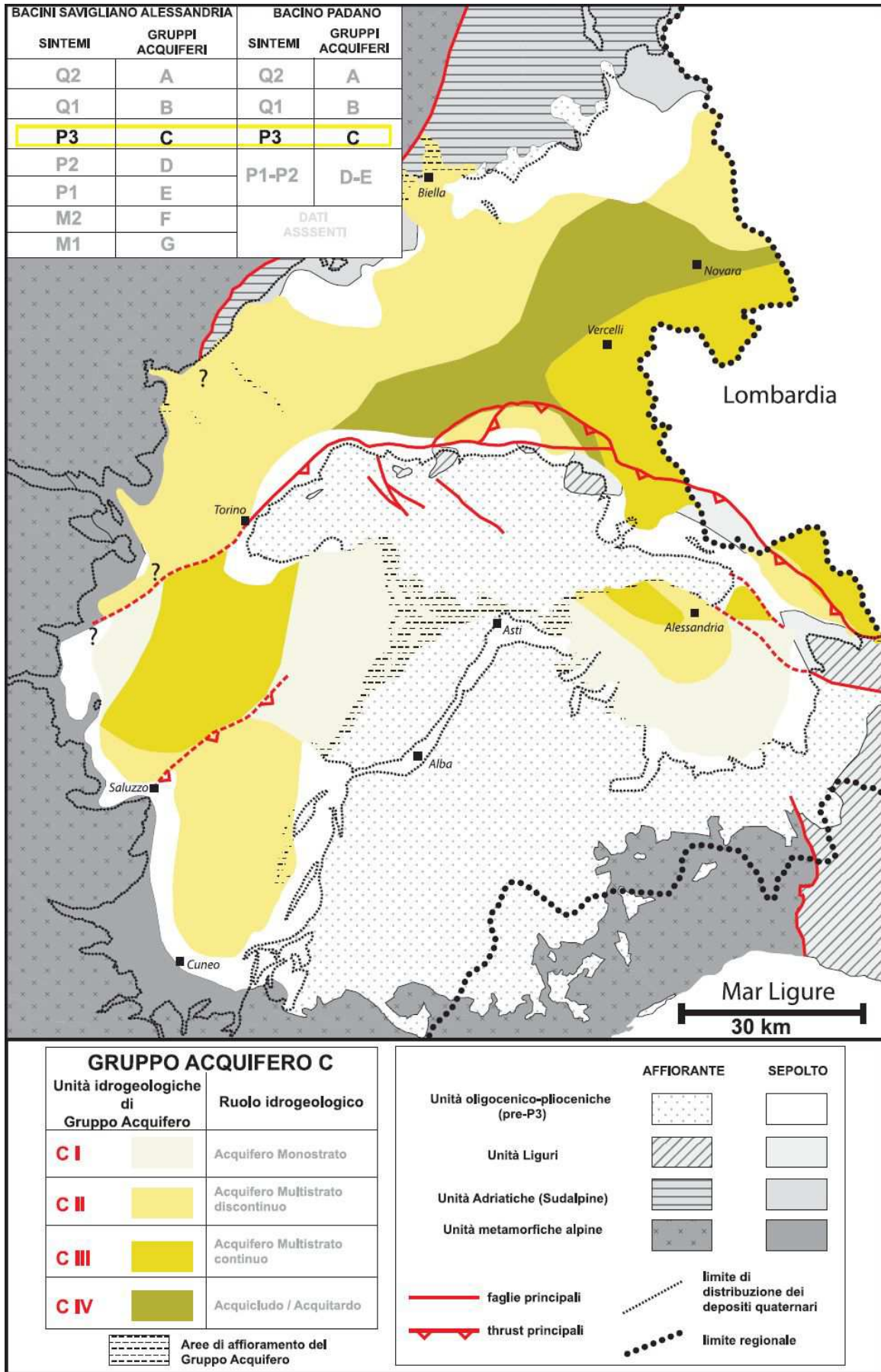
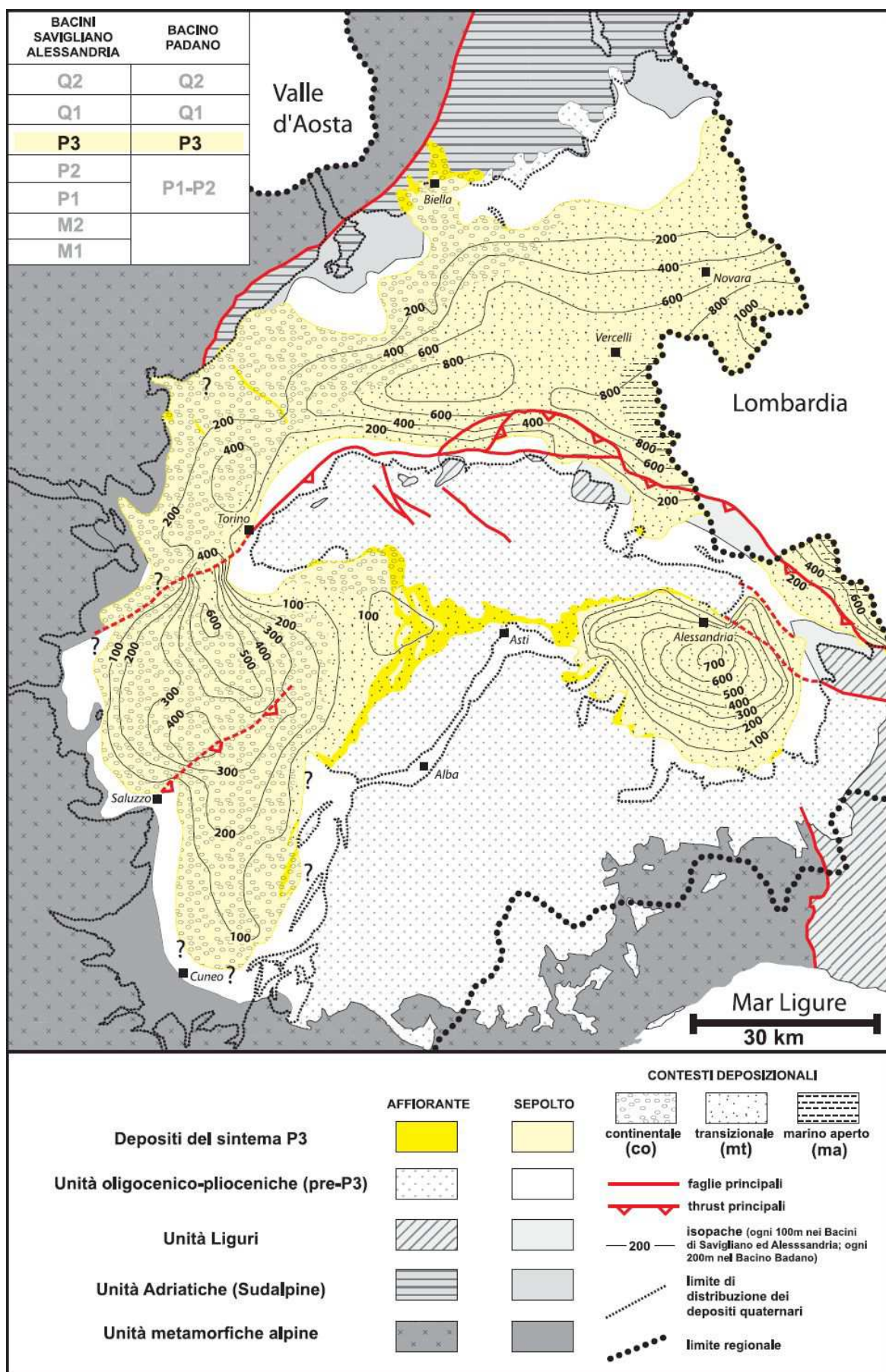


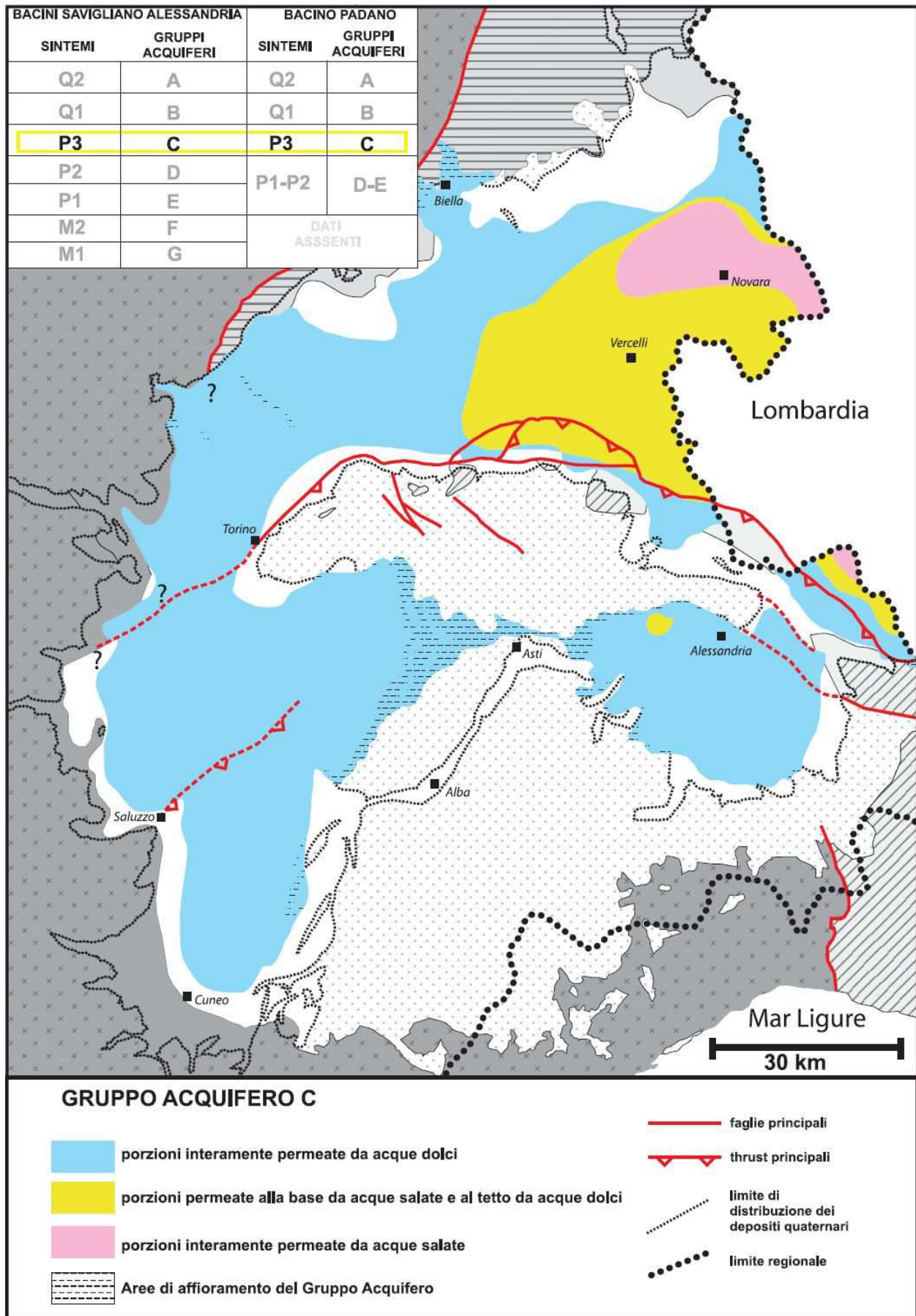
Figura 4.16: Distribuzione di superficie e sottosuolo delle Unità Idrogeologiche al tetto del Gruppo Acquifero C (sintema P3) nei Bacini di Savigliano e Alessandria e nel Bacino Padano (Irace et alii, 2009)





**Figura 4.17:** Distribuzione di superficie e sottosuolo del sistema P3 nei Bacini di Savigliano e Alessandria e nel Bacino Padano. Sono riportate le isopache e i contesti deposizionali (Irace et alii, 2009)





**Figura 4.18:** Distribuzione delle acque a diverso tenore salino all'interno del Gruppo Acquifero C nei Bacini di Savigliano e Alessandria e nel Bacino Padano (Irace et alii, 2009)

Le acque dolci permeano totalmente l'intero spessore di questo gruppo, eccetto nell'areale di Quargnento (Bacino di Alessandria) ove, nelle porzioni inferiori della successione, si posiziona l'interfaccia acqua dolce-acqua salmastra/salata (Figura 4.18).

#### **4.4.3.3. Considerazioni sul Sistema Profondo**

Come osservato al paragrafo 4.4.1 la delimitazione inferiore dei GWB profondi è marcata dall'area d'influenza dei relativi punti di monitoraggio; tuttavia, è importante risaltare come i contesti idrici sotterranei al contorno possono essere alquanto diversi (Figura 4.19):

1. il GWB-P1 (settore novarese-vercellese) attribuito in prevalenza al sistema Q1, gruppo acquifero B è composto da prodotti pleistocenici e presenta nel settore NO (area biellese) la presenza dei depositi pliocenici del sistema P3, gruppo acquifero C.
2. Il GWB-P2 (area canavese-torinese sud) è attribuito in prevalenza ai depositi pliocenici del sistema P3, gruppo acquifero C, a parte una digitazione dei prodotti più recenti (sistema Q1, gruppo acquifero B) nella parte sud.
3. Il GWB-P3 (area cuneese) è quasi interamente incluso nei prodotti pleistocenici del sistema Q1, gruppo acquifero B, a parte alcuni lembi marginali del sistema P3, gruppo acquifero C del Pliocene.
4. Il GWB-P4 (area alessandrina sud) è interamente incluso nei prodotti pleistocenici del sistema Q1, gruppo acquifero B.
5. Il GWB-P5 (area alessandrina nord) presenta la compenetrazione di un settore attribuito al sistema Q1, gruppo acquifero B (Pleistocene) con digitazioni d'indifferenziato e prodotti pleistocenici del sistema P3, gruppo acquifero C nella parte più a nord.
6. Il GWB-P6 (area Cantarana-Valmaggione) risiede essenzialmente nei prodotti pliocenici del sistema P3, gruppo acquifero C.

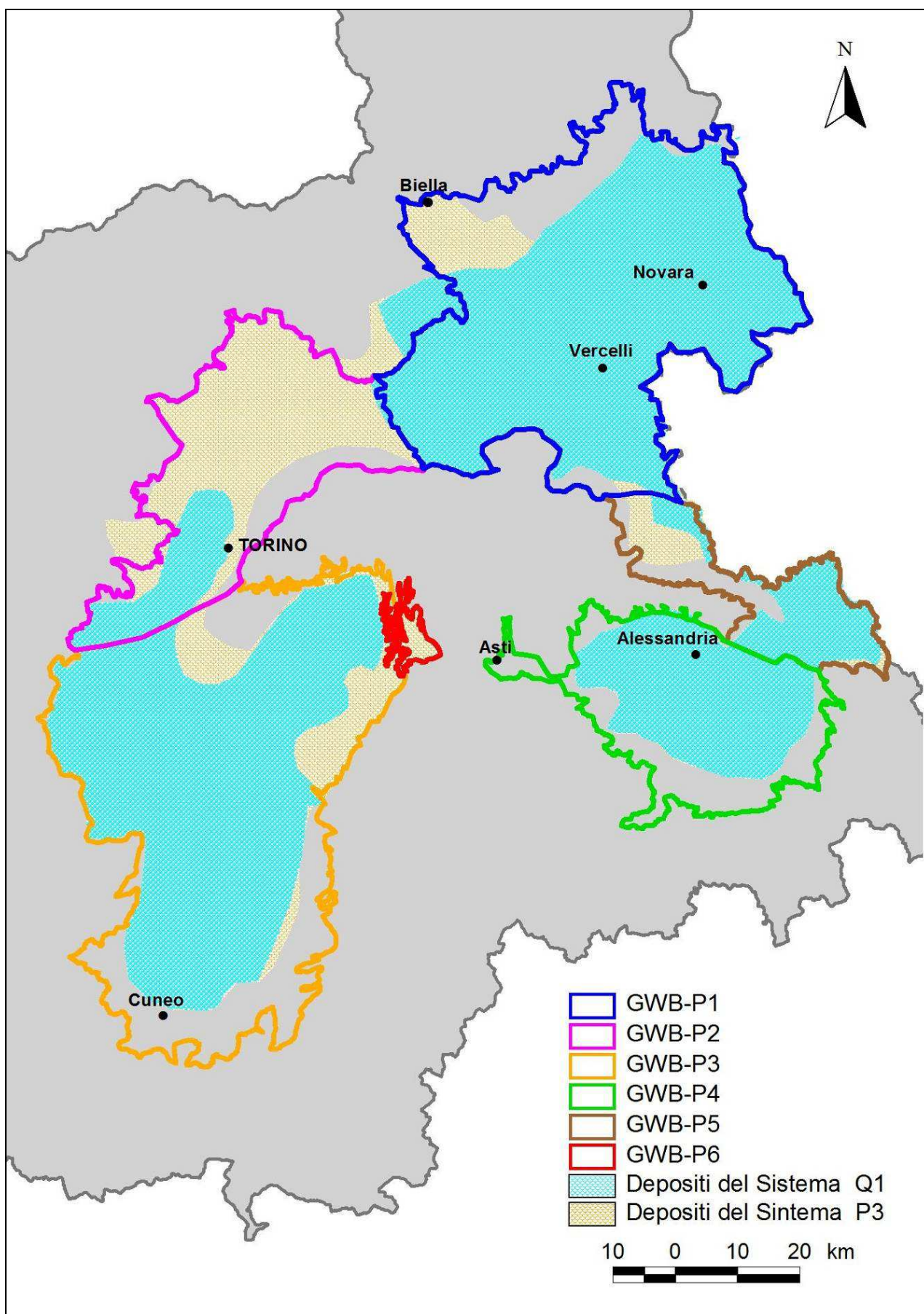
Dall'esame di quanto trattato in precedenza il sistema acquifero profondo presenta una serie di complicazioni, rispetto al sistema superficiale, che possono essere così riassunte:

- gli orizzonti acquiferi identificati nei pozzi di monitoraggio difficilmente sono correlabili tra loro lungo la traccia di un profilo idrogeologico e, conseguentemente, non possono essere spazializzabili su vasta scala;
- la presenza di falde in pressione sovrapposte complica l'eventuale correlazione tra i livelli captati tra pozzi adiacenti; quindi, alla difficoltà presente in senso orizzontale si aggiunge anche quella in senso verticale;
- la circolazione delle acque sotterranee profonde può interessare contesti idrici sotterranei diversi (anche in seno ad uno stesso GWB) caratterizzati da sedimenti depositi in periodi e ambienti differenti nell'ambito dei rispettivi bacini di sedimentazione. Tali dinamiche possono riflettersi su origine, caratteristiche e composizione dei clasti che compongono le formazioni acquifere, che a loro volta possono originare (nell'ambito dei processi d'interazione acqua-roccia) facies geochimiche peculiari (naturali) nelle acque captate dai pozzi profondi a vari livelli.

Quest'ultimo caso fornisce un ulteriore aspetto di complicazione per quanto concerne il chimismo delle acque emunte, poiché la maggior parte dei pozzi profondi filtra più di un livello permeabile che può essere associato a diverse caratteristiche geochimiche e petrografico-mineralogiche dell'acquifero di pertinenza. Infine, tali acque vengono mescolate in un'unica tipologia una volta arrivate in superficie.

#### **4.4.4. Elementi idrogeologici a supporto del monitoraggio**

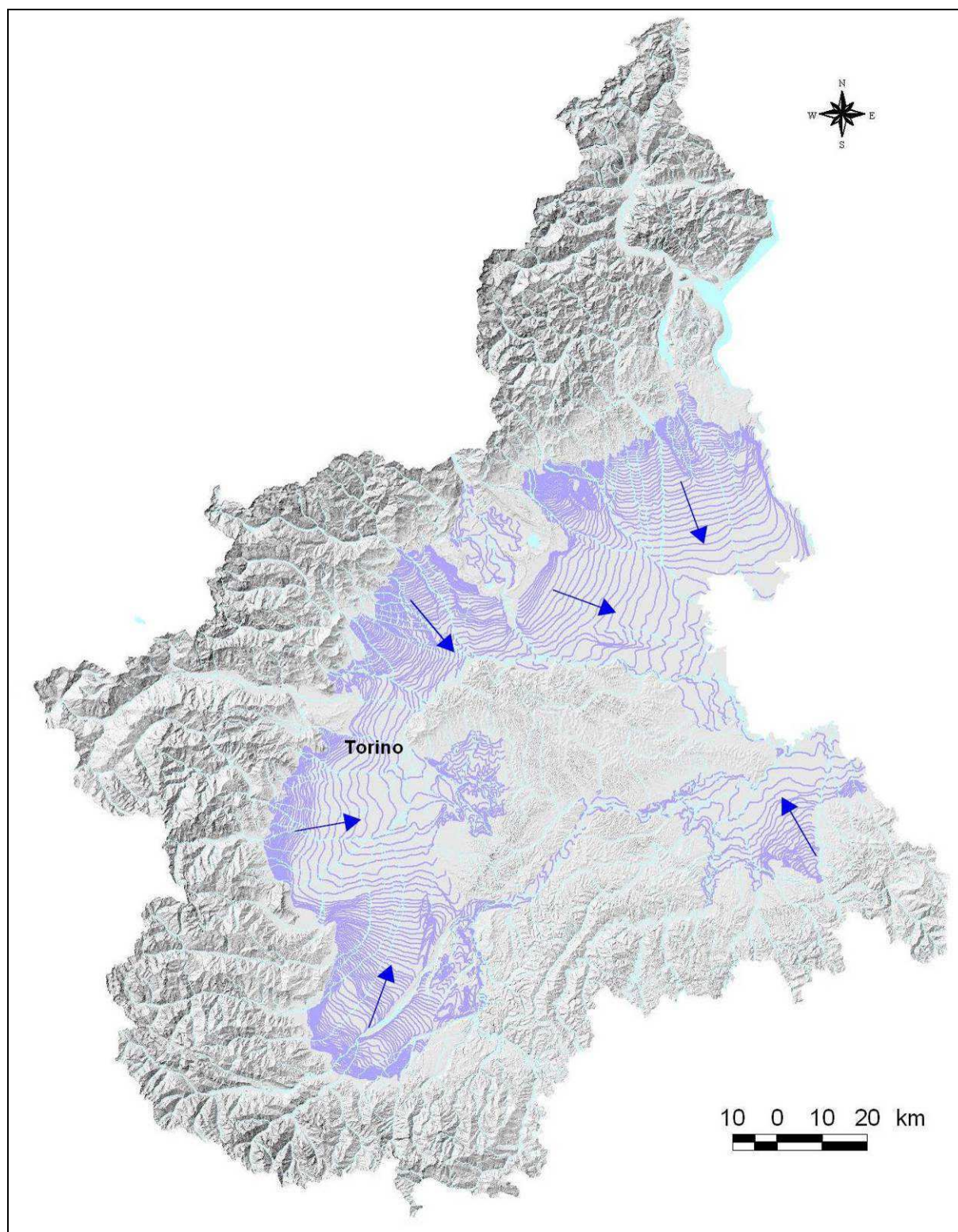
Al di là dei recenti contributi sulla Geologia e idrostratigrafia profonda della Pianura Padana occidentale (Irace et alii, 2009) i principali elementi idrogeologici a supporto del monitoraggio delle acque sotterranee sono rappresentati dalla piezometria della falda superficiale e dalla configurazione della base dell'acquifero superficiale. Queste ricostruzioni, che hanno permesso di calibrare la rete di monitoraggio delle acque sotterranee (RMRAS) e definire i relativi ambiti di monitoraggio (sistema superficiale e sistema profondo), sono state perfezionate e utilizzate nel corso degli studi e delle elaborazioni effettuati nell'ambito del PTA (Piano di Tutela delle Acque) della Regione Piemonte.



**Figura 4.19:** Schema semplificato della distribuzione dei sistemi Q1 e P3 in relazione ai GWB profondi

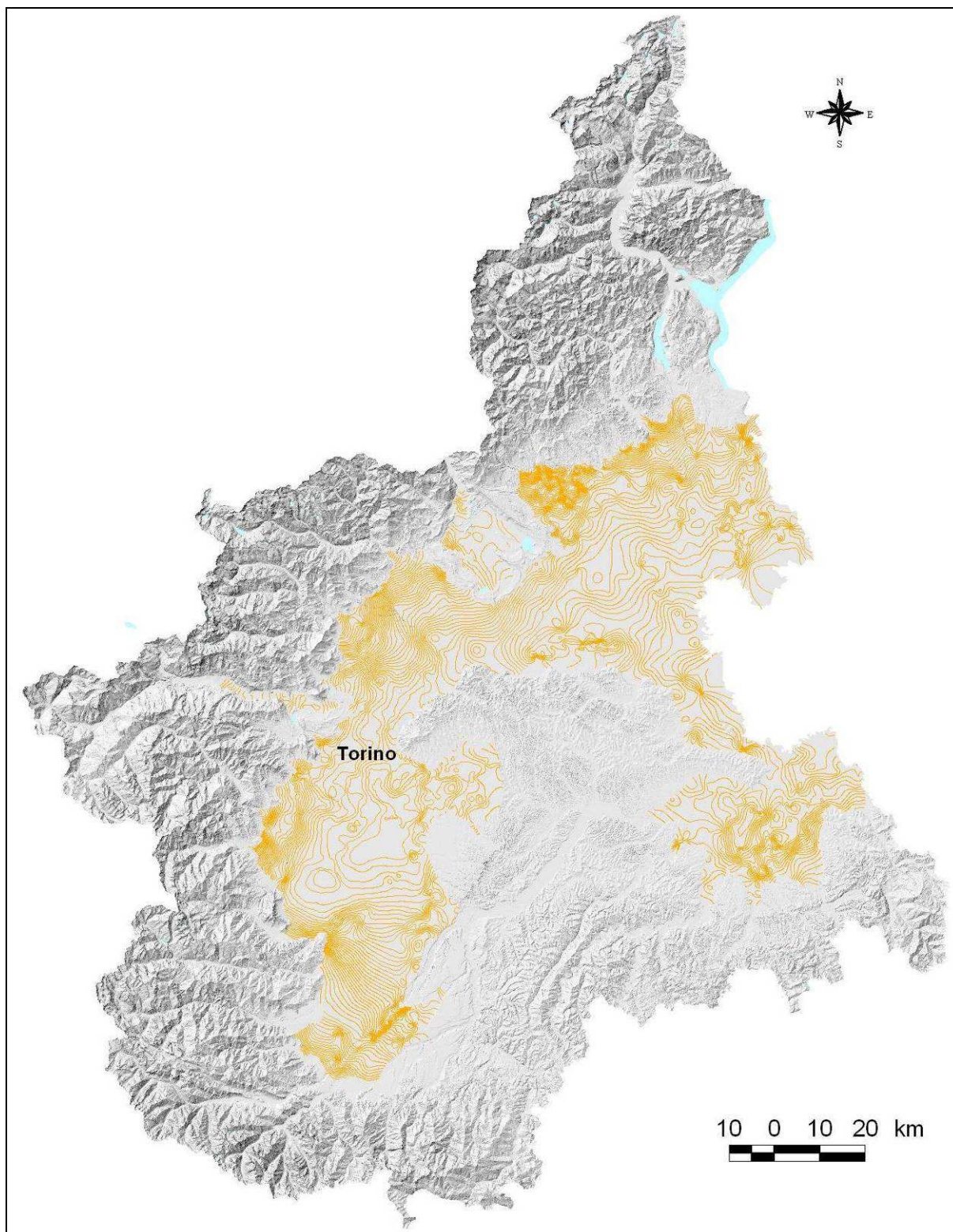


Nelle Figure 4.20 e 4.21 sono riportate, rispettivamente, la piezometria (con le principali direzioni di flusso) della falda superficiale e l'andamento della superficie d'interfaccia tra acquifero superficiale e profondo (base dell'acquifero superficiale) a scala regionale. Il confronto tra i dati piezometrici (soggiacenza) e la quota della base dell'acquifero ha consentito di calcolare gli spessori del livello saturo, che oscillano mediamente tra 10 e 50 m nei vari GWB superficiali.



**Figura 4.20:** Piezometria della Falda Superficiale nell'area di pianura del Piemonte.





**Figura 4.21:** Configurazione della superficie d'interfaccia tra acquifero superficiale e profondo.

Per quanto riguarda il sistema profondo, come accennato nei paragrafi precedenti, le informazioni sono alquanto frammentarie e non esiste una piezometria profonda di riferimento a scala regionale. In realtà sono stati fatti studi specifici che hanno portato alla ricostruzione della piezometria profonda solamente per la provincia di Vercelli.

Alcune informazioni sulla direzione di deflusso delle falde profonde sono deducibili dal lavoro di Irace et alii (2009) dove si osserva un andamento SO-NE nell'area Cuneese-Torinese (Figura 4.22), un andamento NO-SE nel settore di territorio compreso tra Torino e Novara (Figura 4.23) e, infine, un andamento principale S-N e secondario O-E nell'area Alessandrina (Figura 4.24).



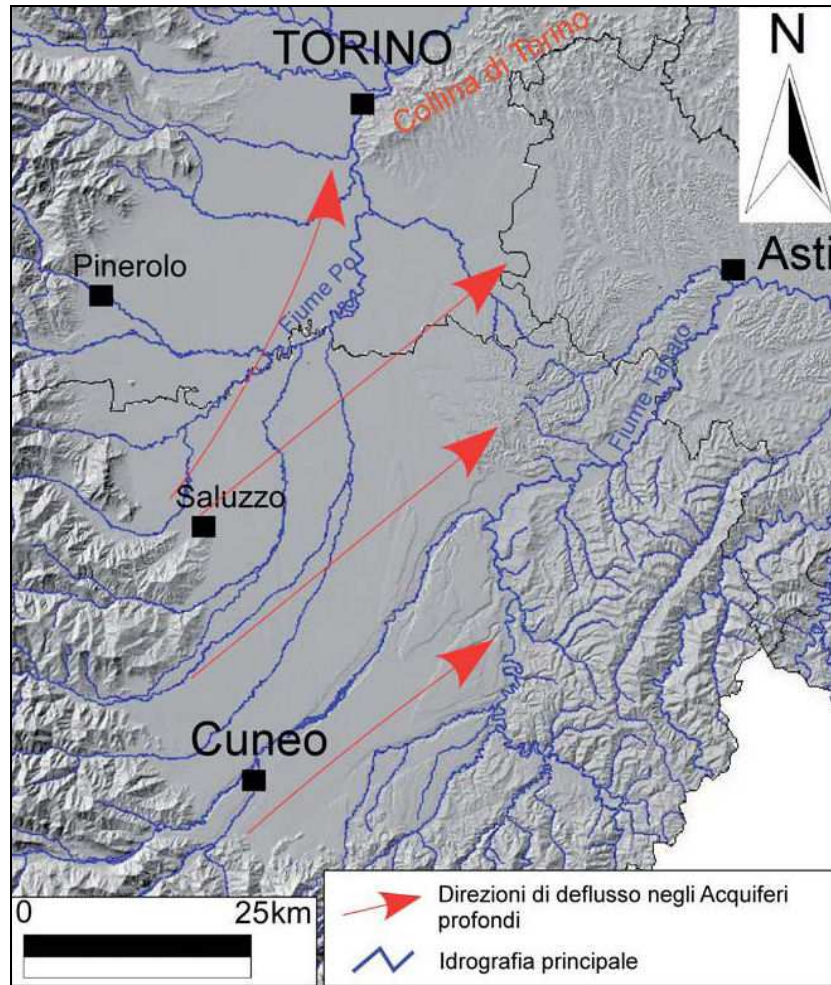


Figura 4.22: Direzioni di deflusso negli acquiferi profondi nell'area Cuneese-Torinese (Irace et alii, 2009)

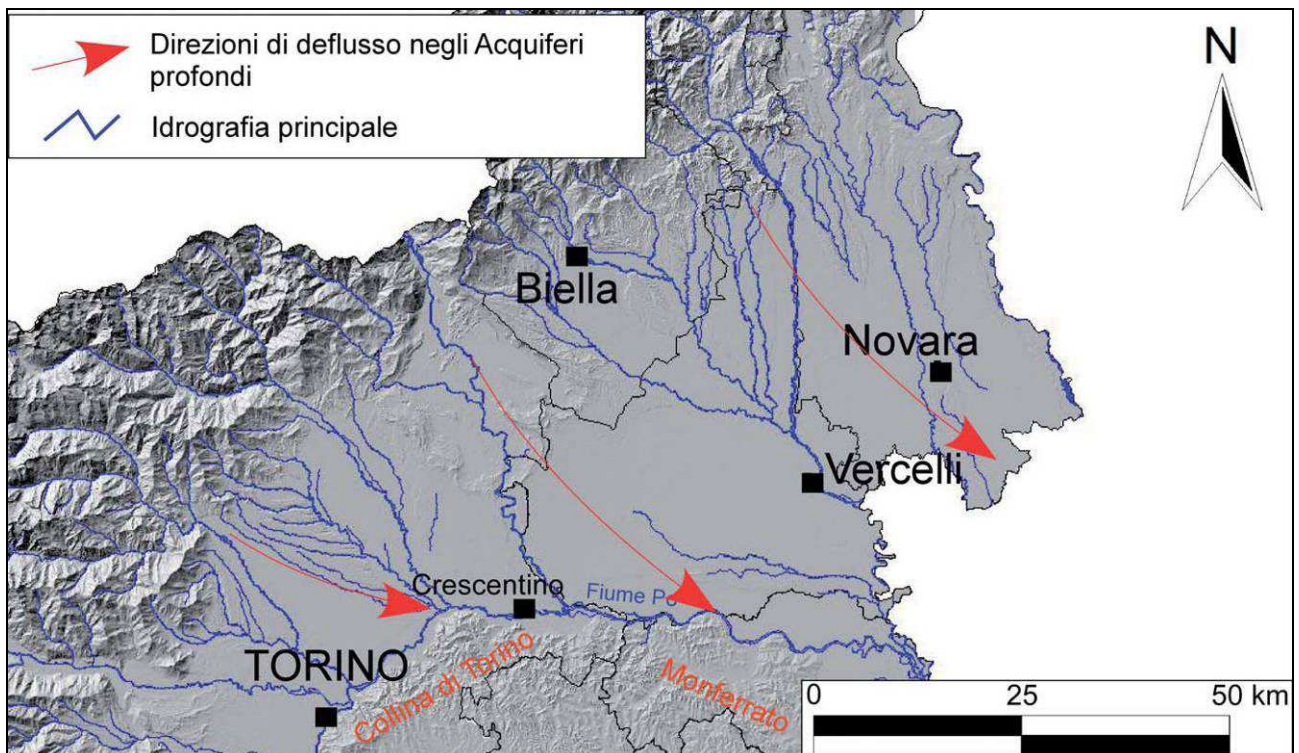
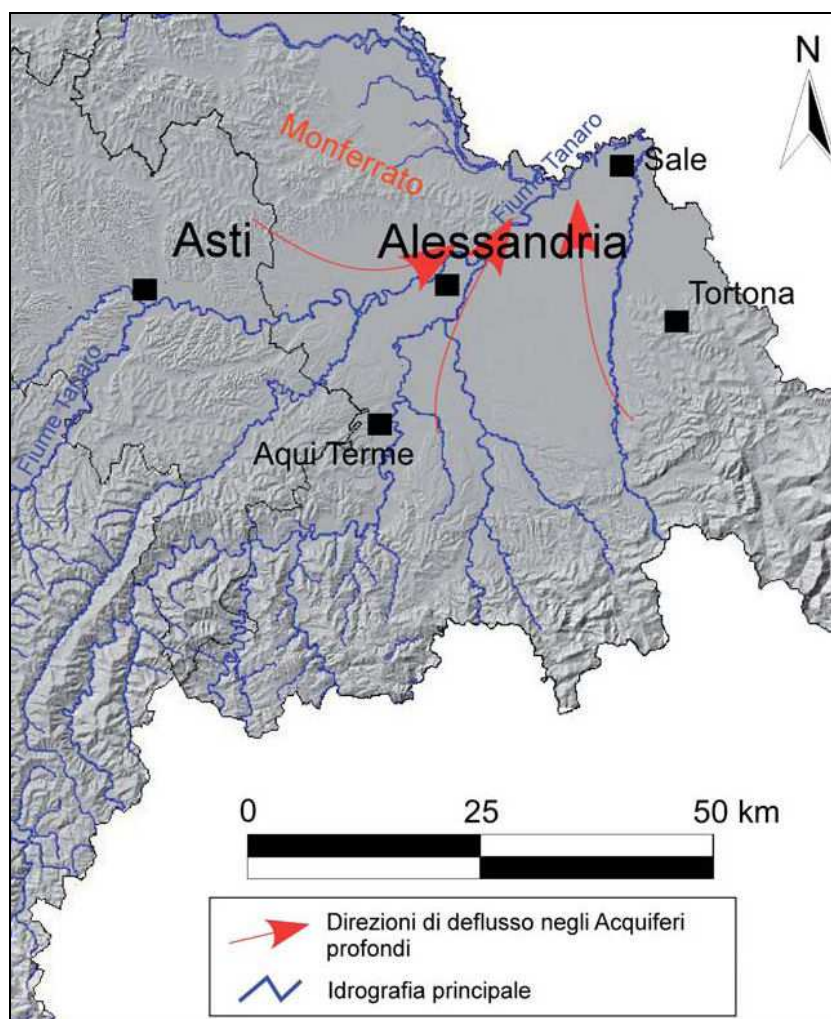


Figura 4.23: Direzioni di deflusso negli acquiferi profondi nell'area Torinese-Novarese (Irace et alii, 2009)





**Figura 4.24:** Direzioni di deflusso negli acquiferi profondi nell'area Alessandrina (Irace et alii, 2009)

## 4.5. Idrogeochimica

### 4.5.1. Introduzione

La concentrazione e ripartizione dei costituenti fondamentali delle acque (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> e NO<sub>3</sub>), attraverso opportuni diagrammi di correlazione, consentono d'individuare le principali facies idrochimiche delle falde acquifere e identificare eventuali processi di interazioni acqua-roccia che potrebbero dar luogo ad arricchimenti nei suddetti parametri. Al riguardo, sono stati acquisiti i dati degli studi Arpa per il Piano di Tutela delle Acque (PTA) con i diagrammi di Piper e Schoeller inerenti i punti della RMRAS, relativi alle Aree Idrogeologiche o "aree idrogeologicamente separate" della falda superficiale (il cui accorpamento ha dato successivamente luogo ai GWB superficiali), e quelli relativi alle macroaree delle falde profonde, che hanno costituito la base per la definizione dei GWB profondi. Tali aree rappresentano un elemento d'interesse ai fini delle valutazioni idrogeologiche di supporto alla comprensione del modello concettuale in quanto, come sotto insiemi dei GWB (in particolare per la falda superficiale), identificano circolazioni idriche sotterranee localizzate dove i processi di interazione acqua-roccia e/o particolari deflussi preferenziali possono evidenziare delle peculiarità sotto il profilo geochemico.

Il diagramma di Piper (Figura 4.25) 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, quello di destra dalla somma di Na e K, quello superiore dal Mg; il vertice inferiore sinistro del triangolo di destra è occupato dall'HCO<sub>3</sub>, quello di destra dalla somma di Cl ed NO<sub>3</sub> quello superiore dal SO<sub>4</sub>. 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 e Mg per i cationi e parallelamente alla retta congiungente la somma di Cl e NO<sub>3</sub> e SO<sub>4</sub> 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<sub>4</sub> e Cl e di Ca e Mg, 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.

Il diagramma di Schoeller è costituito da più ordinate lungo le quali vengono riportate in scala logaritmica le concentrazioni dei singoli ioni presi in considerazione successivamente uniti con una spezzata. I vantaggi di questa rappresentazione sono quelli di mantenere le concentrazioni assolute dei vari ioni e quindi rendere distinguibili acque a debole o intensa mineralizzazione e di visualizzare tramite la pendenza della spezzata che unisce le concentrazioni di due ioni il rapporto caratteristico tra i due ioni stessi; mediante il diagramma di Schoeller è dunque possibile evidenziare anomalie del singolo punto di campionamento nei confronti dell'andamento tipico regionale mediante la valutazione dei rapporti tipici tra i singoli ioni e i livelli di concentrazione degli stessi.

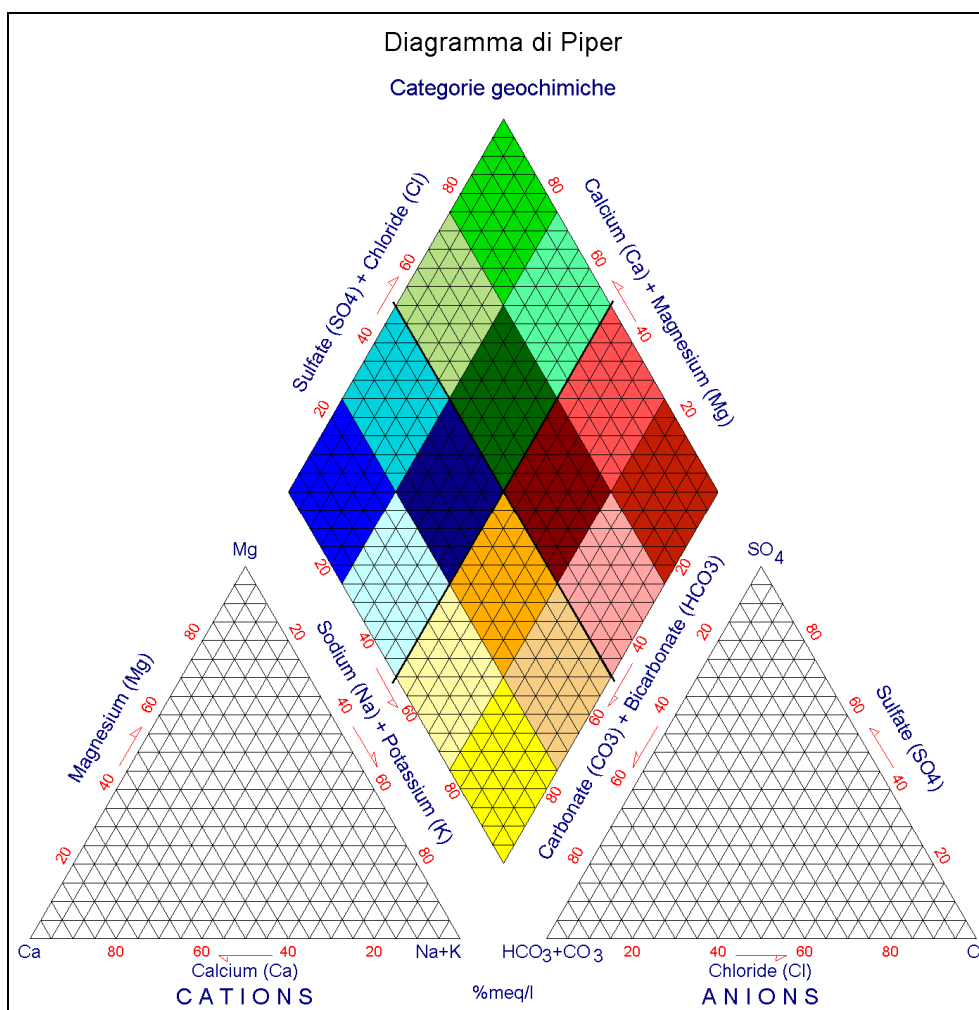


Figura 4.25: Schema del Diagramma di Piper

#### 4.5.2. Falda superficiale

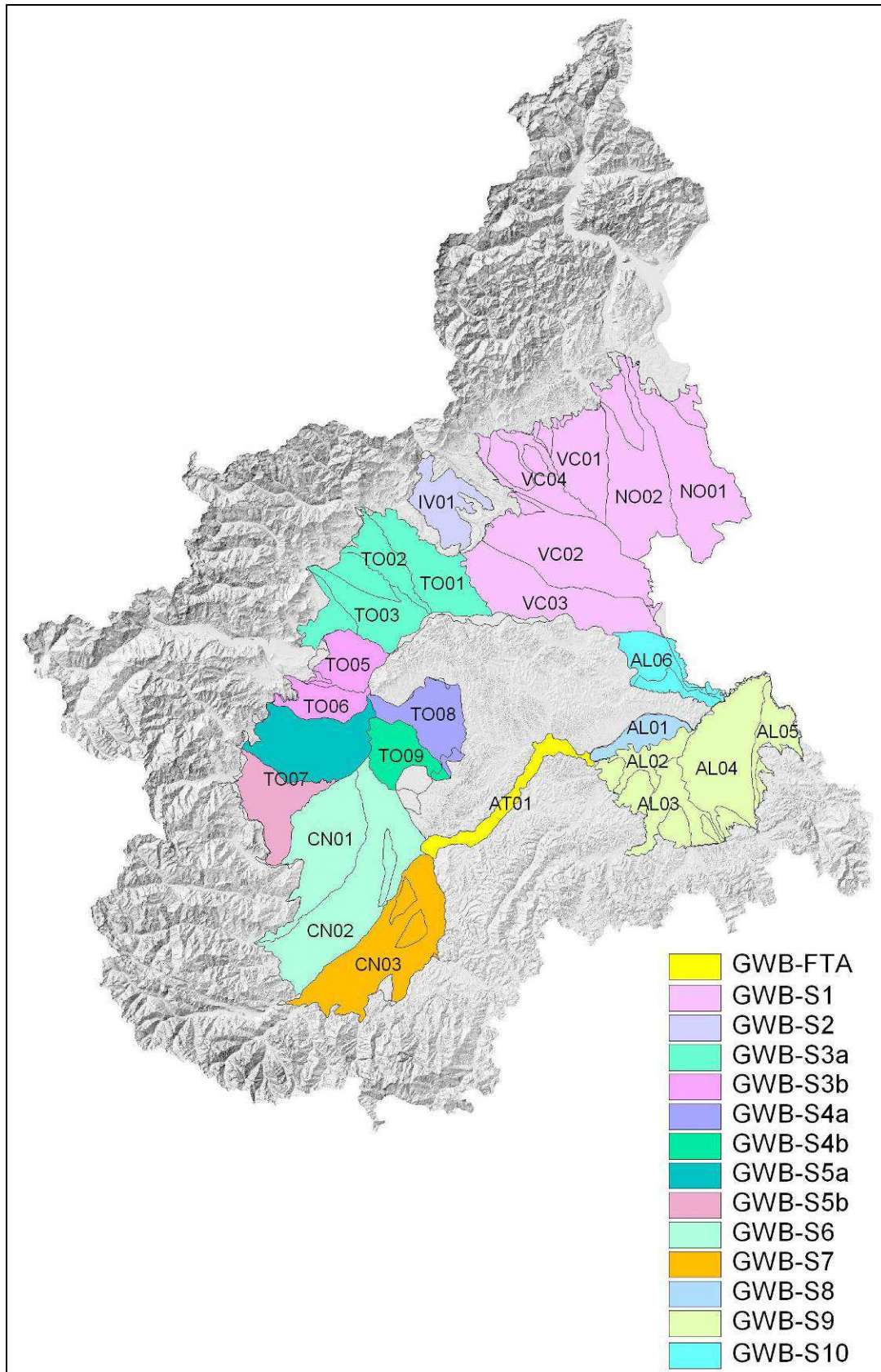
Nelle pagine seguenti si riportano i diagrammi di Piper e Schoeller per i GWB superficiali, suddivisi per Aree Idrogeologiche afferenti a ciascun GWB, secondo quanto illustrato nella Figura 4.26 e la correlazione descritta nella Tabella 4-3.

GWB-S	Area Idrogeologica	Riferimento geografico
GWB-S1	NO01	Pianura Novarese Vercellese
	NO02	
	VC01	
	VC02	
	VC03	
	VC04	
GWB-S2	IV01	Pianura Eporediese
GWB-S3a	TO01	Pianura Torinese nord
	TO02	
	TO03	
GWB-S3b	TO05	Pianura Torinese sud
	TO06	
GWB-S4a	TO08	Altopiano Poirino NO
GWB-S4b	TO09	Altopiano Poirino SE
GWB-S5a	TO07	Area Pinarolese nord
GWB-S5b	TO07	Area Pinarolese sud
GWB-S6	CN01	Pianura Cuneese sx Stura
	CN02	
GWB-S7	CN03	Pianura Cuneese dx Stura
GWB-S8	AL01	Piana Alessandrina sx Tanaro
GWB-S9	AL02	Piana Alessandrina dx Tanaro
	AL03	
	AL04	
	AL05	
GWB-S10	AL06	Area di Valenza Po
GWB-FTA	AT01	Fondovalle Tanaro

**Tabella 4.3:** Correlazione tra i GWB-S e le Aree Idrogeologiche della Falda superficiale

#### 4.5.2.1. *GWB-S1*

Quest'area contraddistinta da una superficie molto ampia denota caratteristiche peculiari in funzione del relativo ambito di circolazione delle acque sotterranee. Dall'esame dei diagrammi di Piper e Schoeller riportati nelle Figure 4.27 - 4.29 si osserva come il chimismo predominante sia il bicarbonato-calcico con bassi tenori salini soprattutto nel settore est (NO01 e NO02). Tale fenomeno è da attribuire alla composizione delle formazioni presenti nel bacino di alimentazione e circolazione delle acque sotterranee, costituita essenzialmente da rocce cristalline e dai loro prodotti di disaggregazione caratterizzati da clasti grossolani con scarsità di fini. Il contesto idrogeologico in questione, contraddistinto da un'elevata trasmissività, limita infatti notevolmente i processi d'interazione acqua-roccia producendo, come conseguenza, una bassa mineralizzazione delle acque.



**Figura 4.26:** Sovrapposizione delle Aree Idrogeologiche sui GWB superficiali



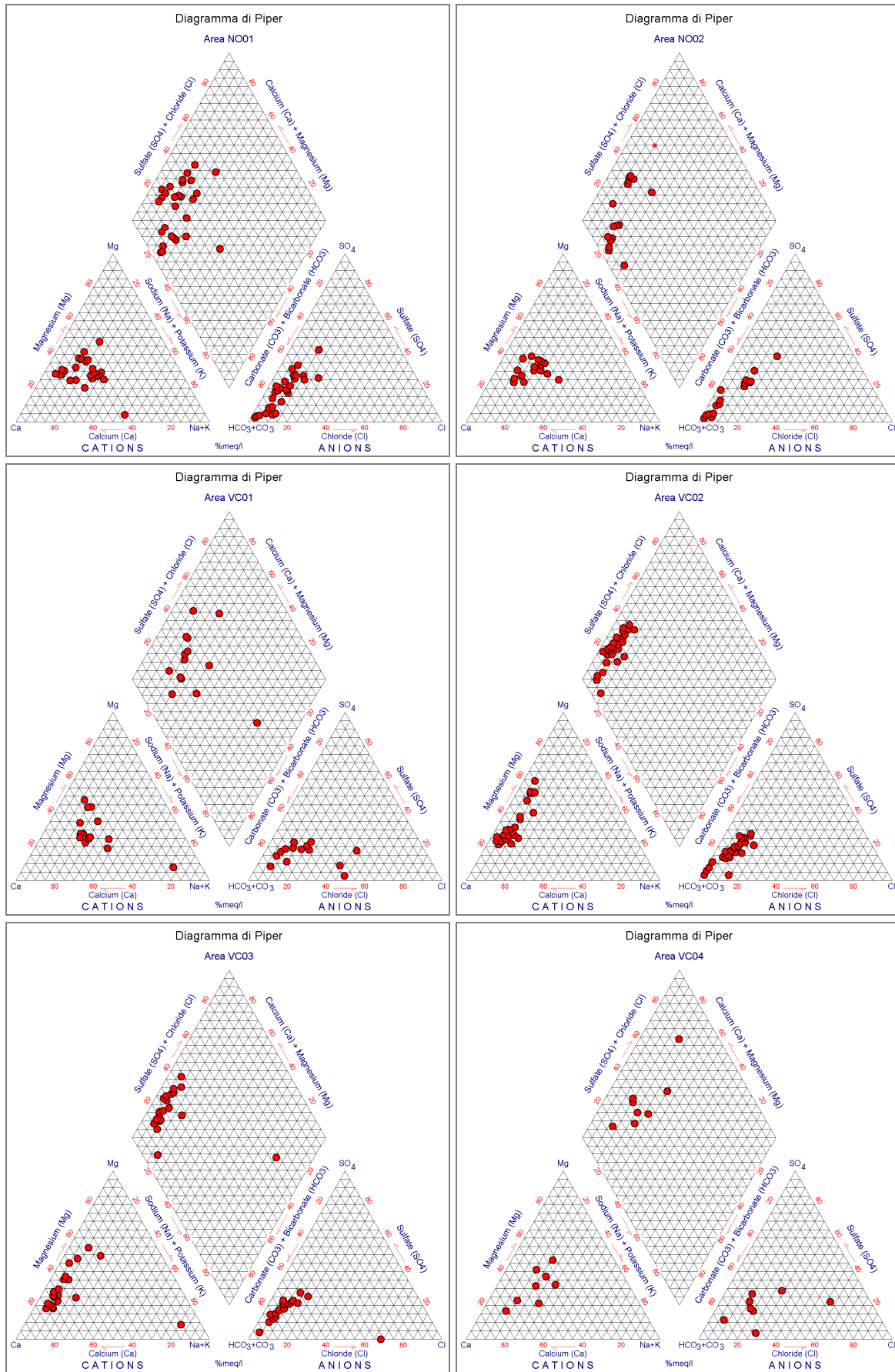


Figura 4.27: Diagrammi di Piper delle Aree Idrogeologiche che compongono il GWB-S1

Definizione dei valori di fondo naturale per i metalli nelle acque sotterranee come previsto dalla Direttiva 2006/118/CE e dal Decreto Legislativo 16 marzo 2009 n.30

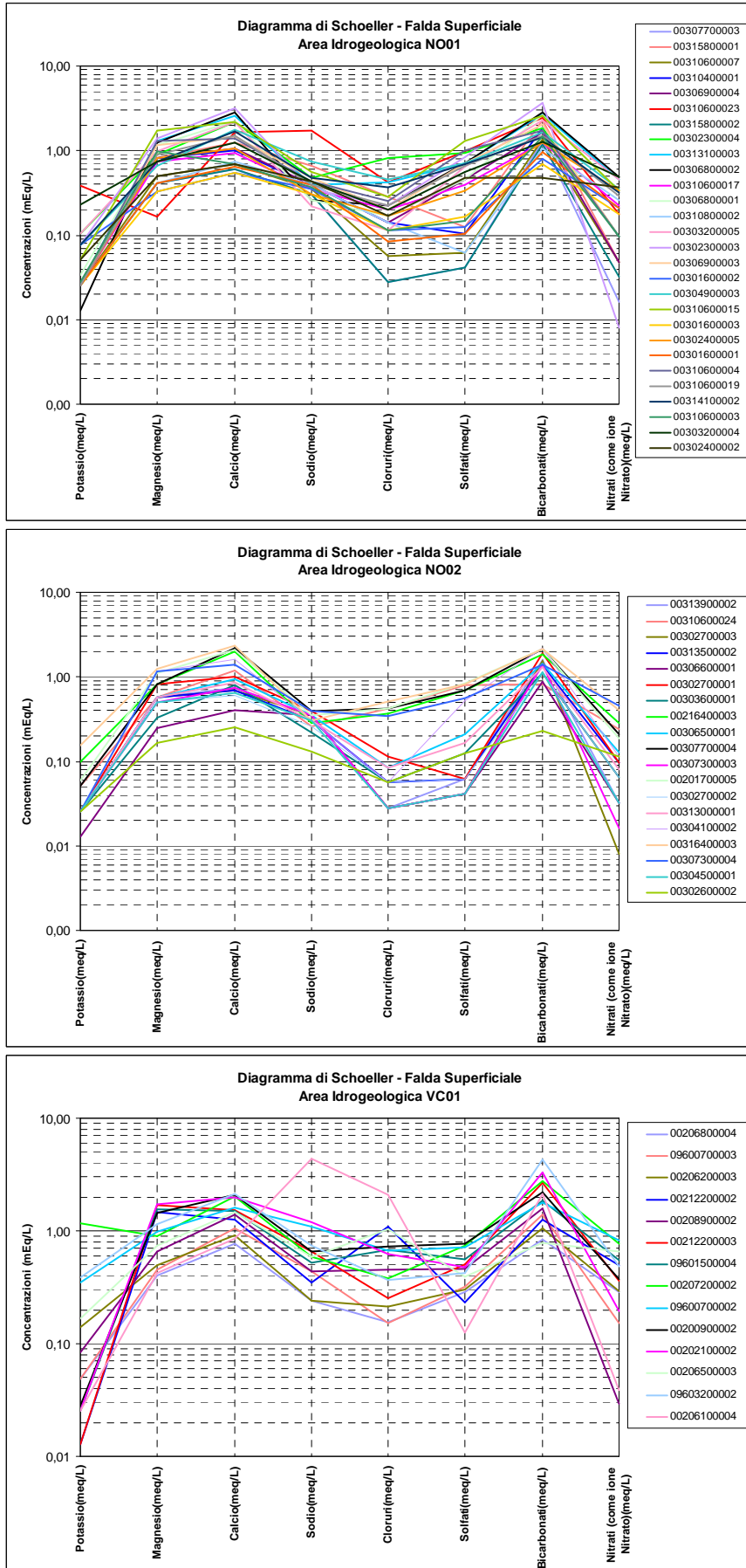


Figura 4.28: Diagrammi di Schoeller delle Aree Idrogeologiche che compongono il GWB-S1 (parte 1)

Definizione dei valori di fondo naturale per i metalli nelle acque sotterranee come previsto dalla Direttiva 2006/118/CE e dal Decreto Legislativo 16 marzo 2009 n.30

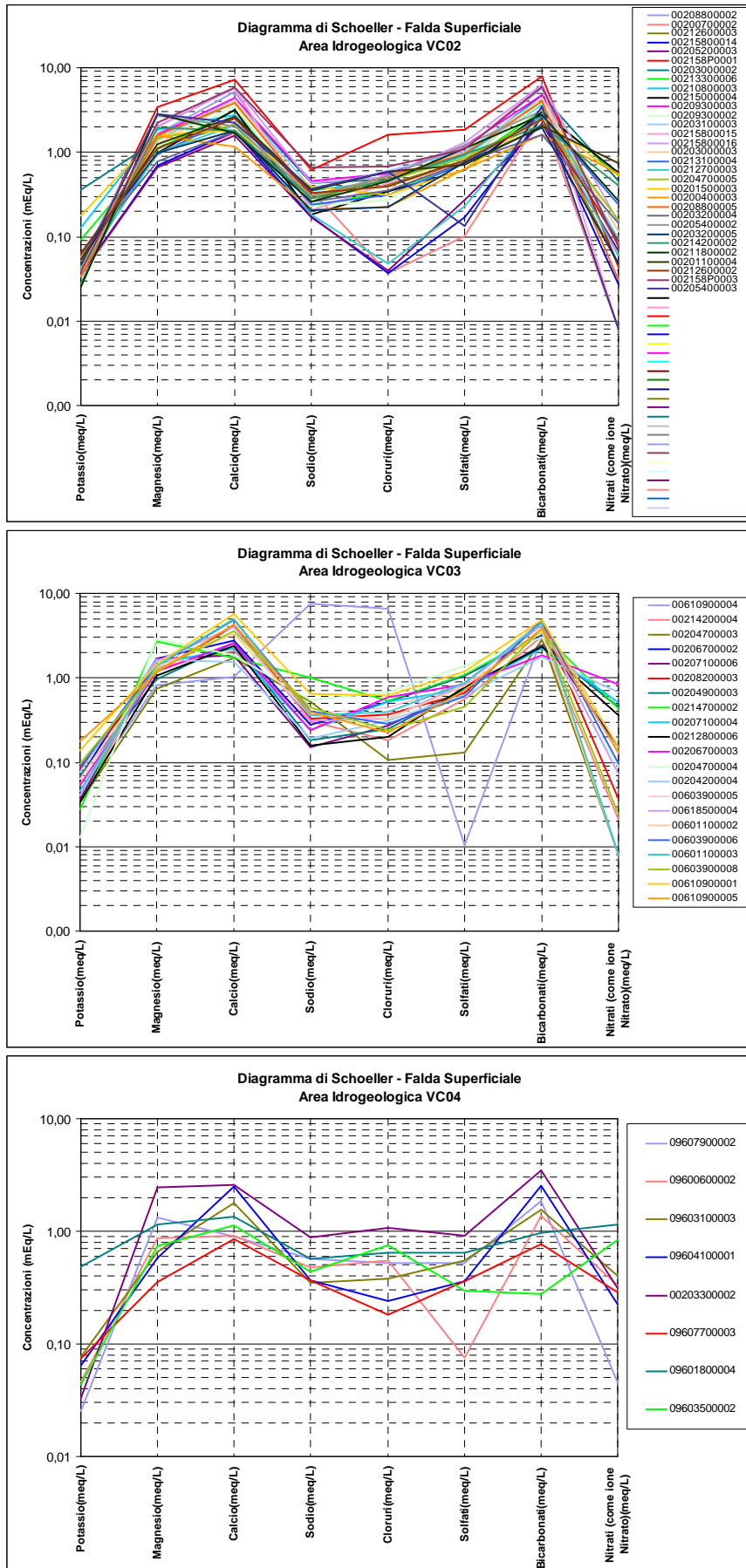
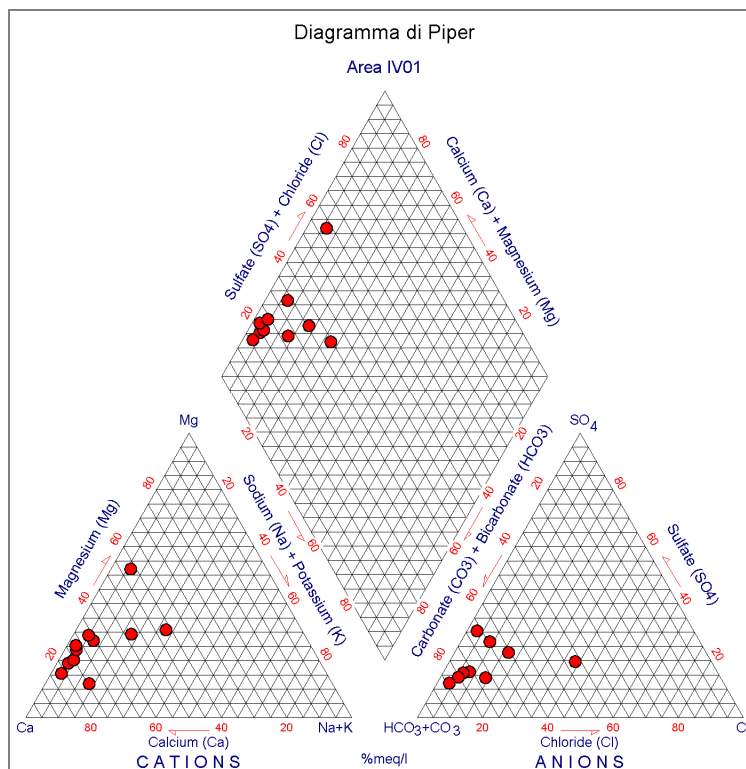


Figura 4.29: Diagrammi di Schoeller delle Aree Idrogeologiche che compongono il GWB-S1 (parte 2)

Come accennato in precedenza, in altri settori di **GWB-S1** relativi alle varie Aree Idrogeologiche che lo compongono, i diagrammi di Piper evidenziano variazioni del chimismo associati a situazioni di circolazione idrica sotterranea leggermente diversi. Si distinguono ad esempio condizioni dove il margine di oscillazione per una determinata facies geochemica è molto limitato (**VC02** e **VC03**), deponendo in favore di una circolazione omogenea ed un chimismo stabile all'interno delle rispettive Aree Idrogeologiche (in questo caso di tipo bicarbonato-calcico e bicarbonato-magnesiaco). Oppure, situazioni dove si osserva una certa dispersione della nuvola di punti implicando l'esistenza di altri elementi che influiscono sul chimismo: non solo aspetti geologici, ma anche cause antropiche o fattori locali. Inoltre, lo sviluppo prevalente dell'area in senso nord-sud, dalle zone pedemontane alla pianura novarese s.s., favorisce un progressivo arricchimento delle acque verso termini leggermente più mineralizzati. In particolare, spostandosi verso sud ed ovest, all'interno del **GWB-S1**, aumenta il contenuto salino delle acque in relazione ad una diminuzione della granulometria dei clasti e alla presenza di una matrice fine in seno all'acquifero che si ripercuote su una minore trasmissività ed una maggiore interazione acqua roccia. Infine, nei settori più propriamente biellesi (**VC01** e **VC04**) si osservano divagazioni del chimismo verso termini bicarbonato-magnesiaci e cloruro-sodici; quest'ultimi attribuibili ad un apporto dagli acquiferi più profondi per risalita lungo linee strutturali e/o alla presenza di un substrato acquifero di composizione diversa, con occorrenze di sedimenti propriamente marini riferiti al sintema **P3 (GA C)** del Pliocene (Figura 4.19).

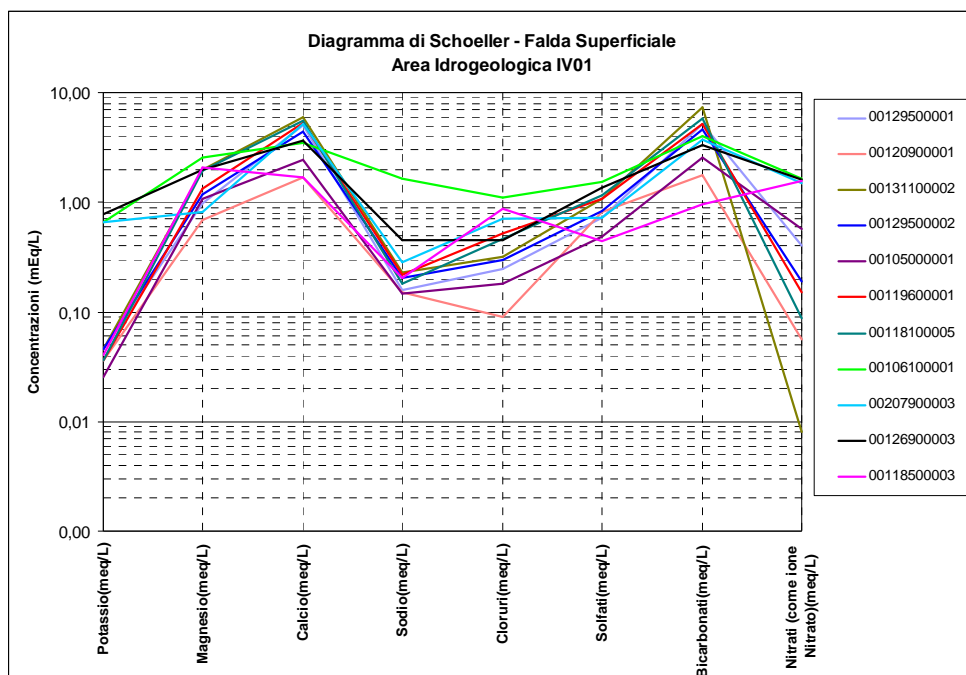
#### 4.5.2.2. **GWB-S2**

Quest'area, localizzata all'interno dell'anfiteatro morenico di Ivrea, costituisce per la sua natura un settore alquanto circoscritto con una circolazione idrica sotterranea sostanzialmente omogenea come risulta dall'esame dei diagrammi riportati nelle Figure 4.30 e 4.31. Le modeste accentuazioni dei contenuti salini riscontrate in alcuni punti sono riconducibili ad una più intensa solubilizzazione dei minerali provenienti dal materiale morenico (estremamente eterogeneo per granulometrie e composizione mineralogica), che interessa il bacino di alimentazione e circolazione idrica sotterranea. Il chimismo è comunque di tipo bicarbonato-calcico. In un solo punto si rilevano tenori più elevati di cloruri, solfati e sodio ascrivibili a fattori locali.



**Figura 4.30:** Diagramma di Piper dell' Area Idrogeologica IV01 assimilabile al **GWB-S2**





**Figura 4.31:** Diagramma di Schoeller dell' Area Idrogeologica IV01 assimilabile al GWB-S2

#### 4.5.2.3. *GWB-S3a*

Dall'esame dei diagrammi di Schoeller riportati in Figura 4.33 quest'area è caratterizzata da un chimismo prevalentemente bicarbonato-magnesiaco riconducibile alla presenza di clasti in seno all'acquifero contenenti minerali ferro magnesiaci. Anche se i corpi rocciosi che risiedono a monte del GWB-S3a presentano formazioni con tali caratteristiche, facenti parte del bacino idrografico che per infiltrazione alimenta quello idrogeologico, è presumibile che l'arricchimento in tali minerali sia attribuibile alla natura dei sedimenti che compongono l'acquifero piuttosto che ai processi di dissoluzione delle acque di scorrimento superficiale ed alla loro successiva infiltrazione. Infatti, le reazioni chimico fisiche che regolano i processi di mineralizzazione delle acque sotterranee richiedono tempi abbastanza lunghi. Tuttavia, il basso contenuto salino riscontrato nelle acque è presumibilmente da attribuire, oltre alla predominanza di clasti provenienti da rocce cristalline scarsamente degradabili, ad una trasmissività dell'acquifero medio alta.

Anche i diagrammi di Piper riportati in Figura 4.32 depongono in favore di una certa omogeneità del chimismo tra le Aree Idrogeologiche che compongono il GWB, pur con limitate dispersioni locali.

#### 4.5.2.4. *GWB-S4a*

Tale area riferita al settore NE dell'Altopiano di Poirino evidenzia un chimismo di tipo bicarbonato-calcico (Figura 4.35). Una certa dispersione nella distribuzione dei punti nel diagramma di Piper (Figura 4.34), all'interno di una superficie di area alquanto limitata, denota la presenza di un acquifero scarsamente trasmissivo con poco accentuate direzioni di deflusso idrico sotterraneo come comprovato dalla carta piezometrica.

#### 4.5.2.5. *GWB-S5a-b*

In questo settore dell'area di monitoraggio i GWB-S5a e GWB-S5b sono inclusi in un'unica area idrogeologica (TO07). Si osserva una facies geochemica prevalente di tipo bicarbonato-calcico e una secondaria di tipo bicarbonato-magnesiaco riconducibile all'influenza di minerali ferro magnesiaci. Le variazioni dei trend idrochimici (Figure 4.36 e 4.37) risultano alquanto contenute ed evidenziano una circolazione sostanzialmente omogenea e una trasmissività medio alta. Si notano tuttavia alcune divagazioni dal trend generale che rilevano, rispettivamente, un chimismo solfato-calcico con un tenore salino più elevato ed una componente cloruro-sodica attribuibili a fattori locali.

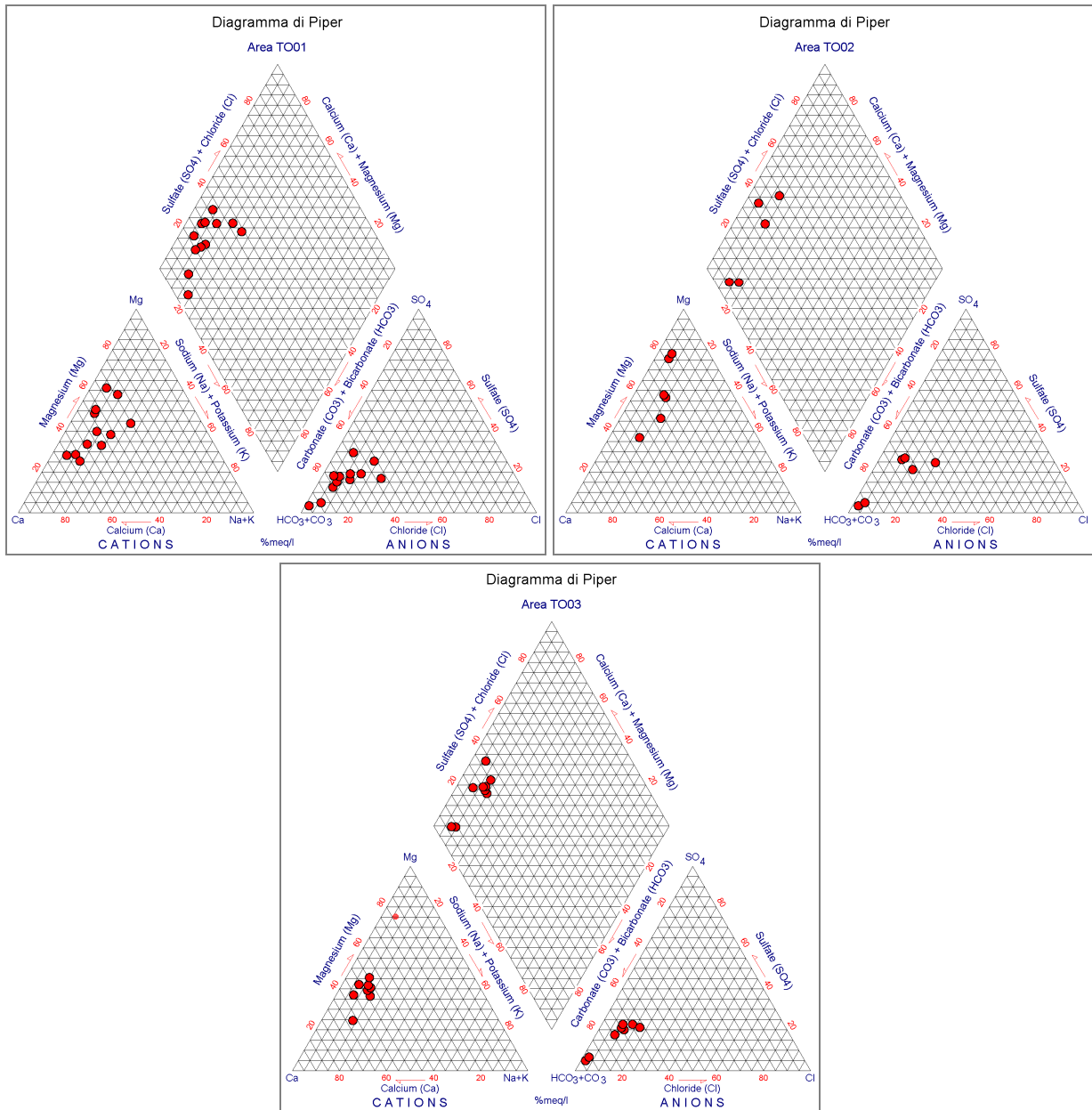


Figura 4.32: Diagrammi di Piper delle Aree Idrogeologiche che compongono il GWB-S3a

Definizione dei valori di fondo naturale per i metalli nelle acque sotterranee come previsto dalla Direttiva 2006/118/CE e dal Decreto Legislativo 16 marzo 2009 n.30

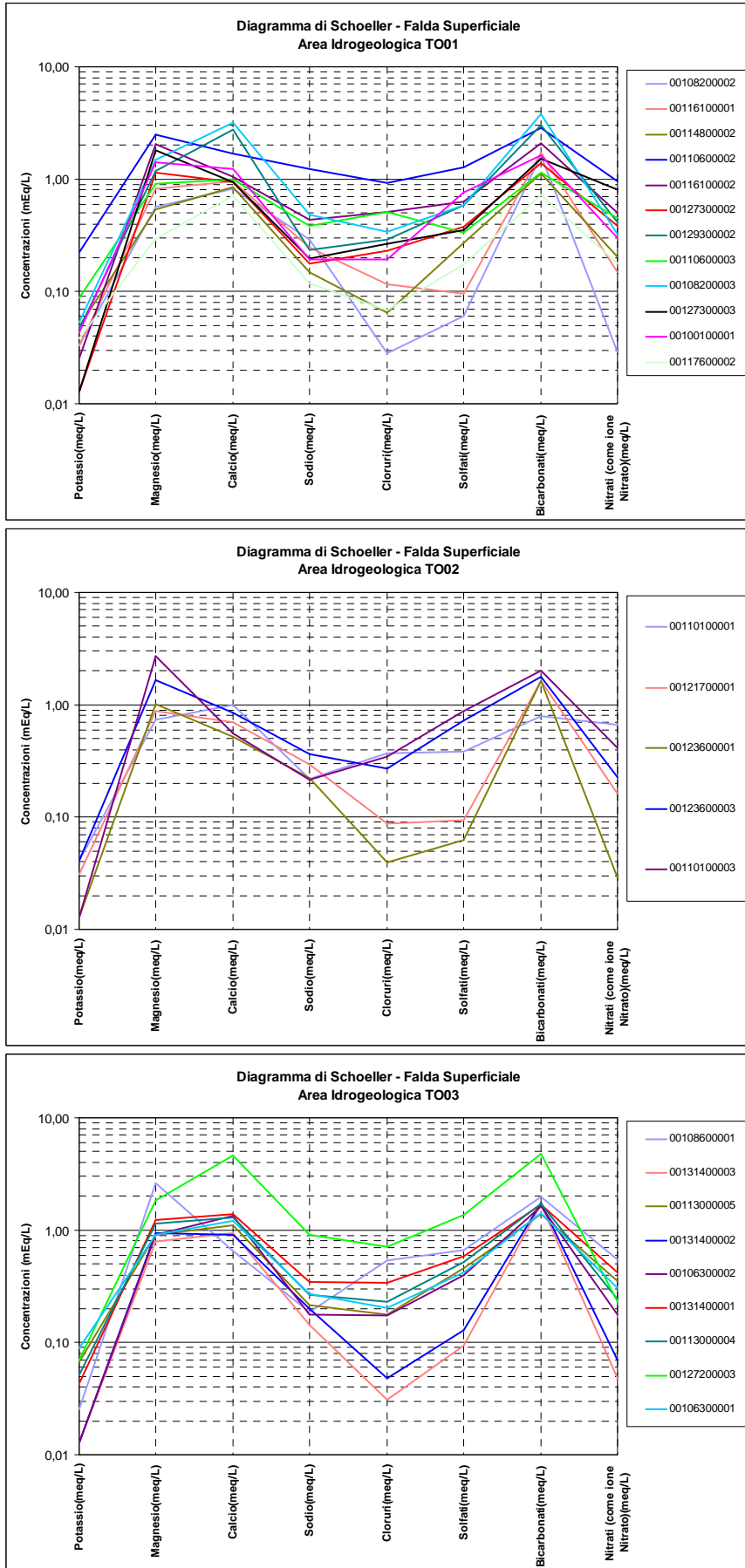


Figura 4.33: Diagrammi di Schoeller delle Aree Idrogeologiche che compongono il GWB-S3a



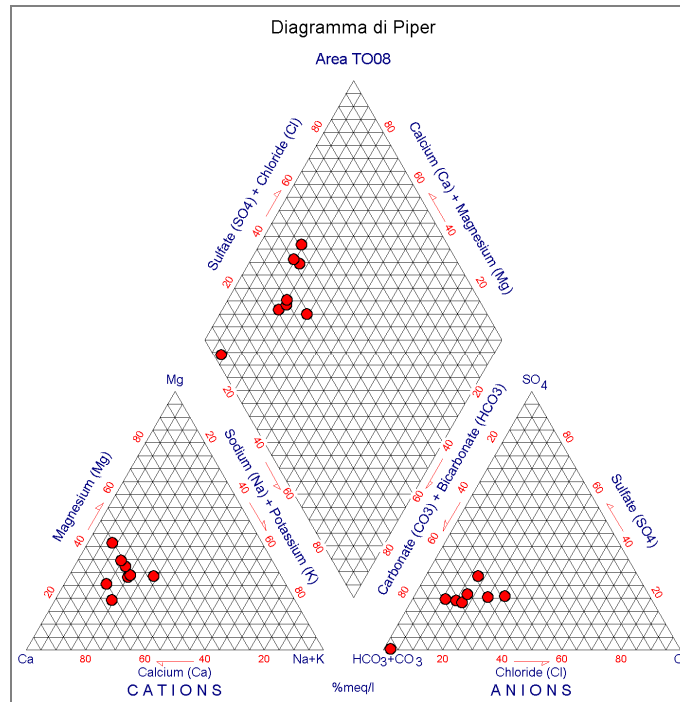


Figura 4.34: Diagramma di Piper dell' Area Idrogeologica TO08 assimilabile al GWB-S4a

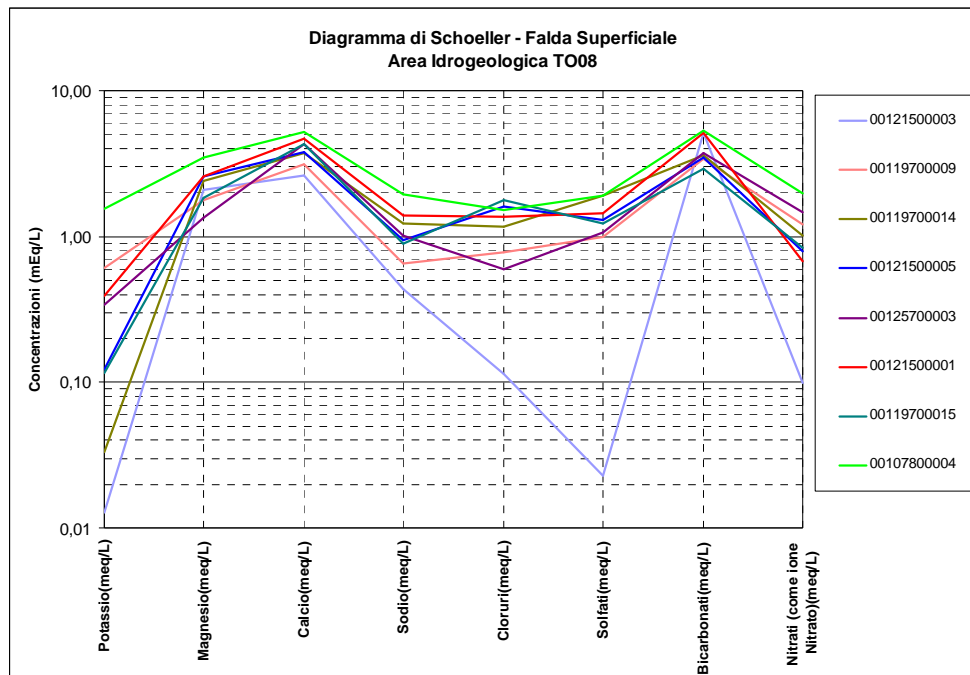


Figura 4.35: Diagramma di Schoeller dell' Area Idrogeologica TO08 assimilabile al GWB-S4a

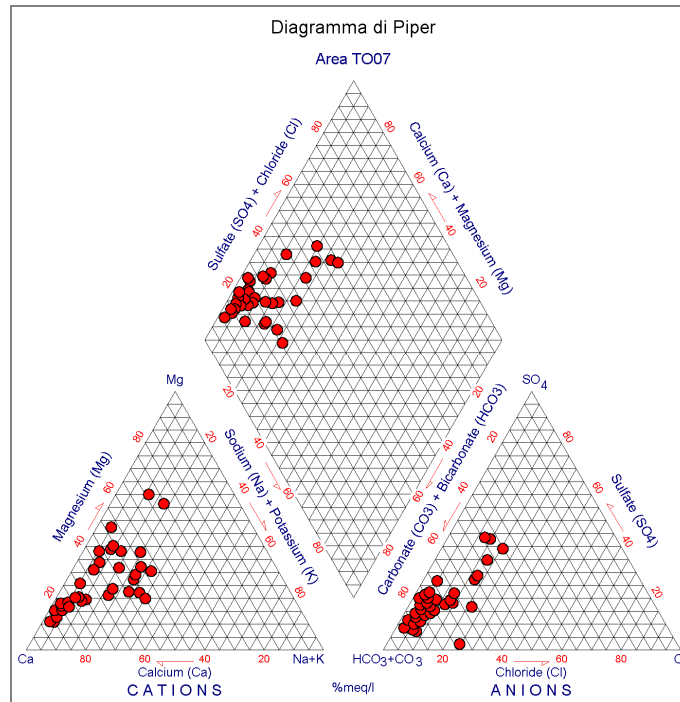


Figura 4.36: Diagramma di Piper dell' Area Idrogeologica TO07 assimilabile ai GWB-S5a e GWB-S5b

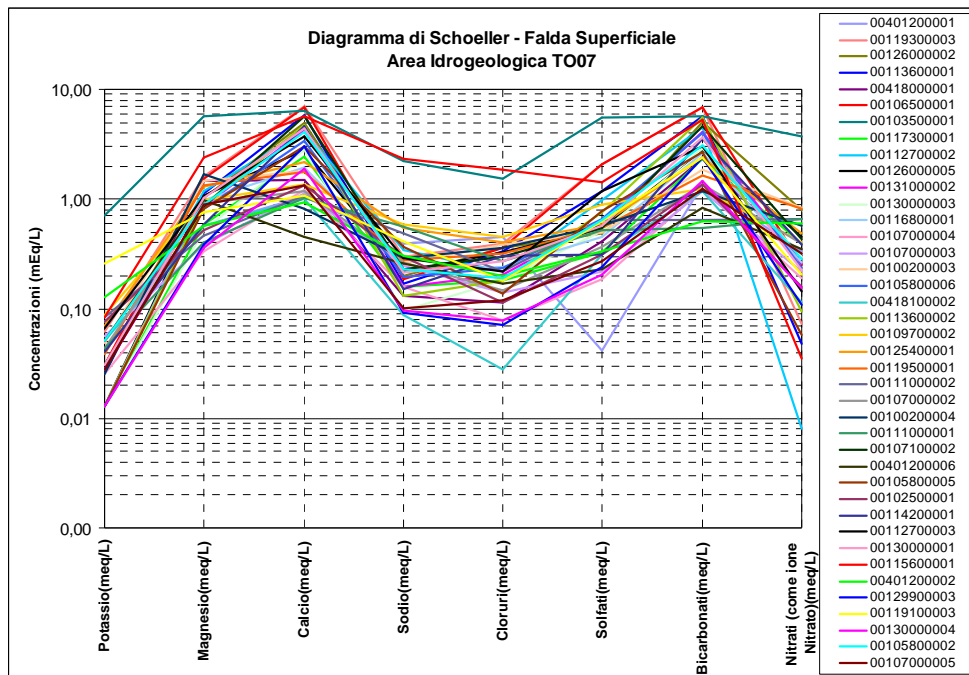


Figura 4.37: Diagramma di Schoeller dell'Area Idrogeologica TO07 assimilabile ai GWB-S5a e GWB-S5b

#### 4.5.2.6. GWB-S6

Questo corpo idrico sotterraneo è composto dalle Aree Idrogeologiche CN01 e CN02 relative al settore cuneese ovest.

Si osserva un chimismo prevalente di tipo bicarbonato-calcico sporadicamente bicarbonato-magnesiaco con un modesto carico salino (Figure 4.38 e 4.39), riconducibile alla presenza nella zona di alimentazione e nel bacino di circolazione idrica sotterranea di litoclasti provenienti da formazioni ignee e metamorfiche che interagiscono debolmente con le acque di circolazione. Si osservano comunque delle sporadiche divagazioni dal trend generale che evidenziano un carattere bicarbonato-sodico, deponendo per una possibile diluizione con acque cloruro-sodiche di provenienza profonda.

Definizione dei valori di fondo naturale per i metalli nelle acque sotterranee  
 come previsto dalla Direttiva 2006/118/CE e dal Decreto Legislativo 16 marzo 2009 n.30

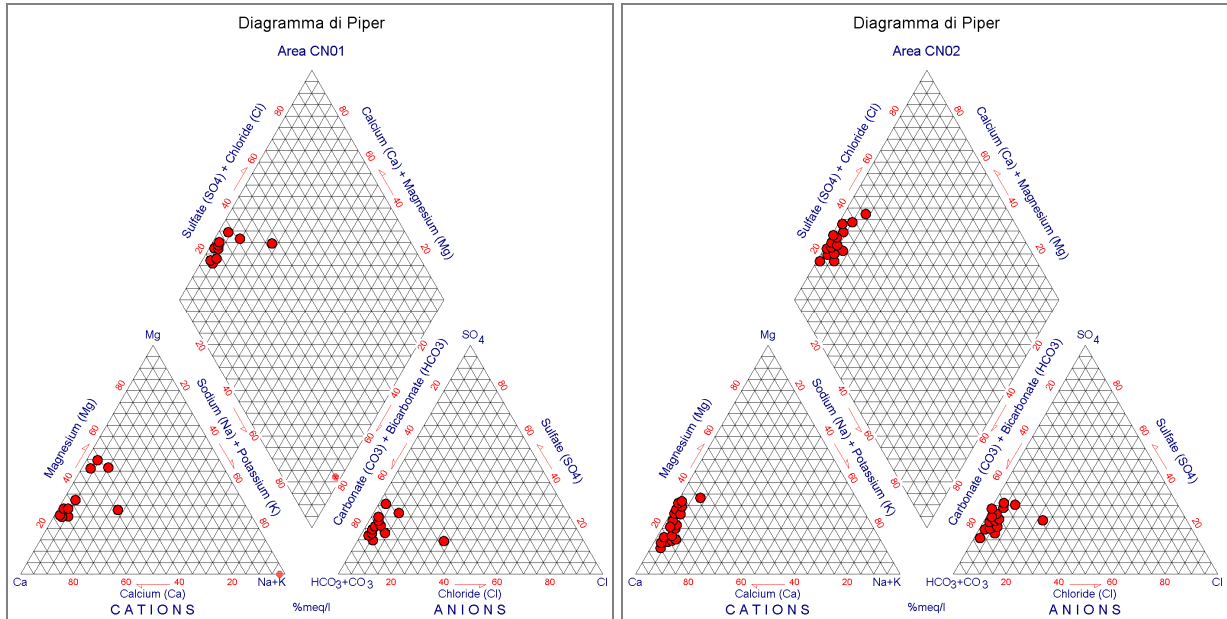


Figura 4.38: Diagramma di Piper delle Aree Idrogeologiche CN01 e CN02 assimilabili al GWB-S6

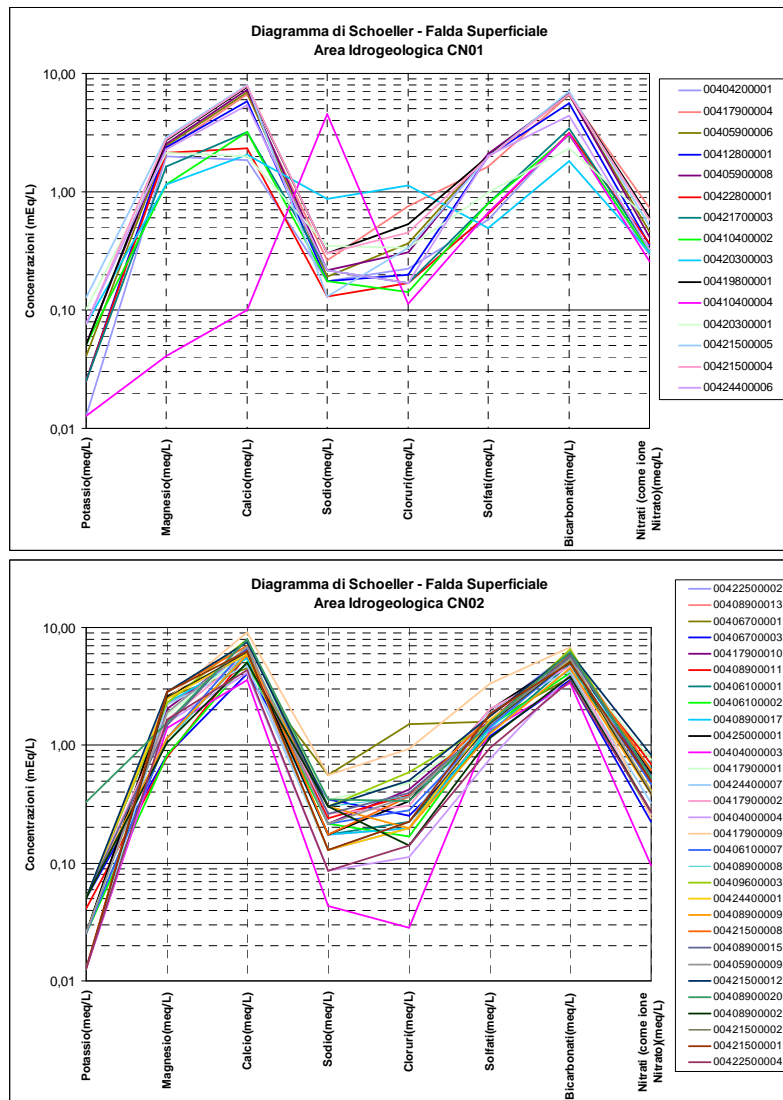


Figura 4.39: Diagramma di Schoeller delle Aree Idrogeologiche CN01 e CN02 assimilabili al GWB-S6



#### 4.5.2.7. GWB-S7

Il corpo idrico sotterraneo in questione è assimilabile all'area idrogeologica CN03 relativa al settore cuneese est.

Dall'esame del diagramma di Piper (Figura 4.40) si osserva un chimismo prevalente di tipo bicarbonato-calcico con un raggruppamento accentuato degli elementi puntuali a riprova di una circolazione idrica sotterranea omogenea con trasmissività media o elevata. Il diagramma di Schoeller (Figura 4.41) evidenzia dei bassi contenuti salini, analogamente a quanto trattato per GWB-S6, con livelli di mineralizzazione delle acque ripartiti equamente tra i vari costituenti, secondo un ordine di diluizione/concentrazione progressivo.

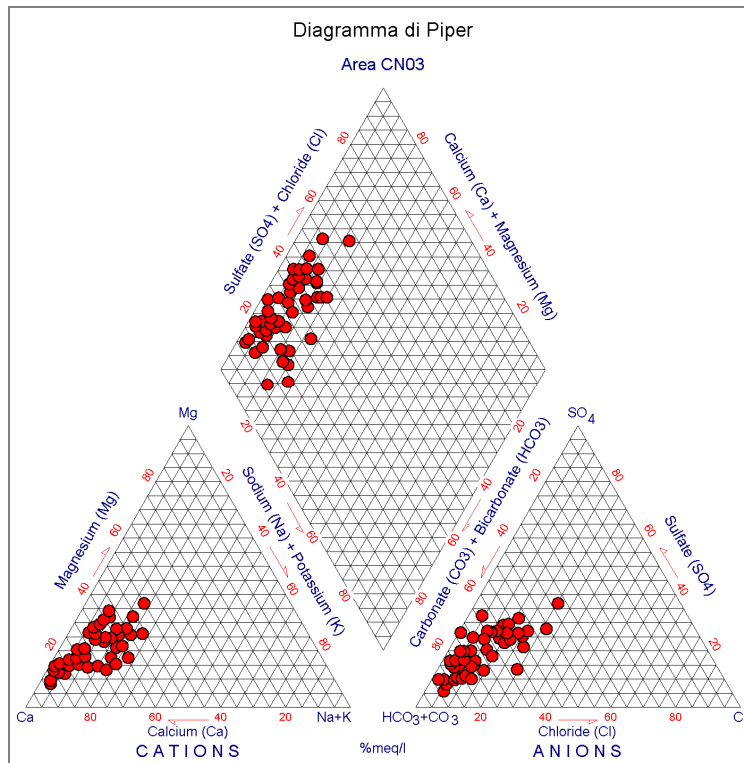


Figura 4.40: Diagramma di Piper dell'Area Idrogeologica CN03 assimilabile al GWB-S7

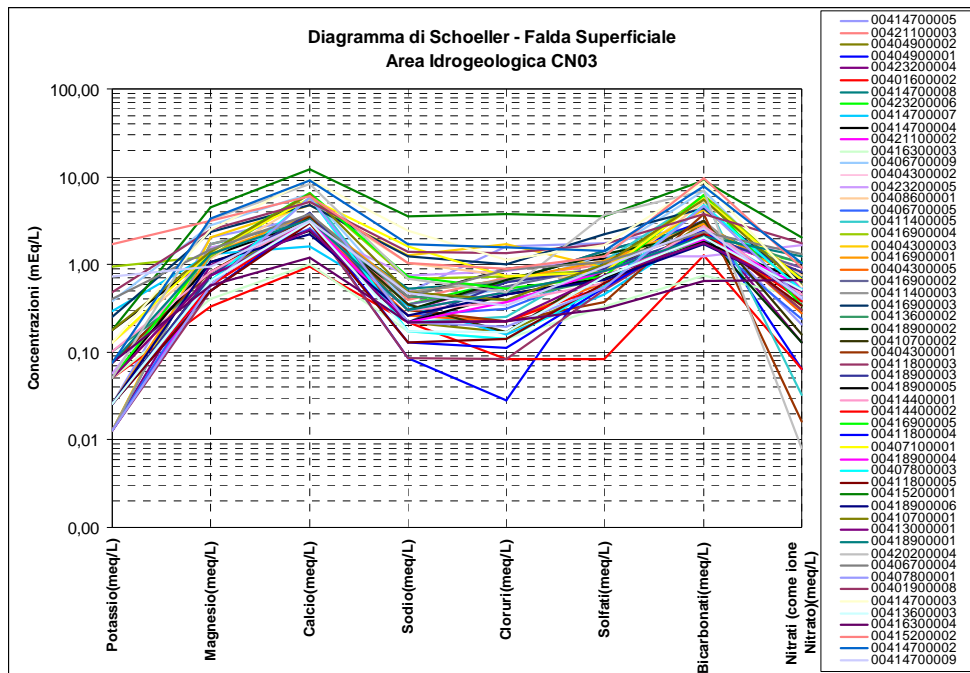


Figura 4.41: Diagramma di Schoeller dell'Area Idrogeologica CN03 assimilabile al GWB-S7

#### 4.5.2.8. GWB-S8

Questo corpo idrico sotterraneo è assimilabile all'area idrogeologica AL01 relativa al settore di pianura alessandrina in sinistra Tanaro. Si tratta di una superficie arealmente circoscritta caratterizzata da un acquifero poco trasmissivo come risulta dalla leggera dispersione dei punti nel diagramma di Piper (Figura 4.42) attribuibili ad un chimismo bicarbonato-calcico. Il diagramma di Schoeller (Figura 4.43) evidenzia un maggiore carico salino associato a processi di filtrazione lenta in litologie più fini.

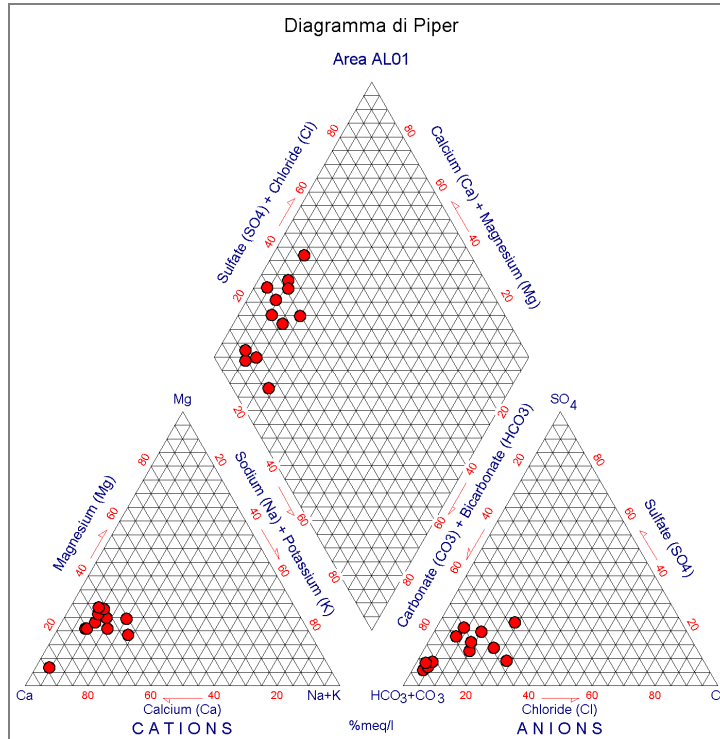


Figura 4.42: Diagramma di Piper dell'Area Idrogeologica AL01 assimilabile al GWB-S8

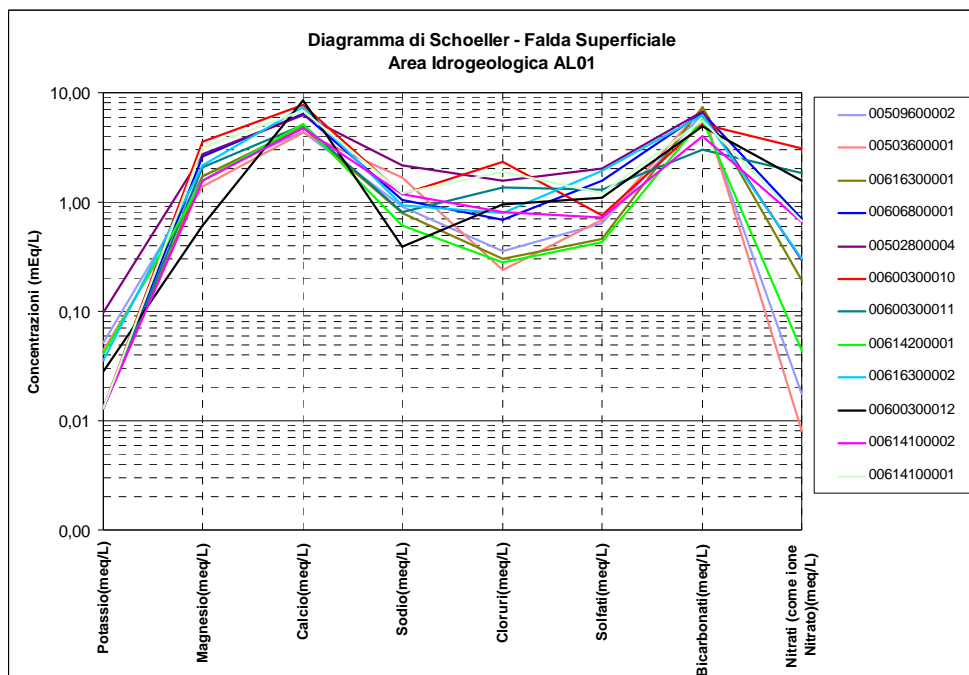


Figura 4.43: Diagramma di Schoeller dell'Area Idrogeologica AL01 assimilabile al GWB-S8

#### 4.5.2.9. GWB-S9

Questo ampio settore coincide con le Aree Idrogeologiche AL02-AL03-AL04-AL05 corrispondenti all'intera zona alessandrina in destra Tanaro.

Dall'esame dei diagrammi di Piper (Figura 4.44) si osserva un chimismo prevalente di tipo bicarbonato-calcico con occorrenze bicarbonato-magnesiache, in particolare nella zona SO (AL03 e parte di AL04) più vicina ai lembi di formazioni ofiolitiche con abbondanza di minerali ferro magnesiaci. Come osservato per altri GWB la vicinanza delle aree di pianura a rilievi formati da rocce con particolari caratteristiche mineralogiche può influenzare il chimismo delle acque sotterranee. Tale fenomeno è da associare ai frammenti delle formazioni rocciose erosi e trasportati più a valle dai processi esogeni che hanno dato poi luogo ai complessi idrogeologici sede degli acquiferi oggetto dello studio. Nel settore più a nord del GWB-S9 (parte nord di AL04) si osservano dei punti anomali con chimismo di tipo cloruro-alcalino e solfato-calcico ascrivibili all'affioramento del bacino terziario con un possibile contributo di acque fossili. I diagrammi di Schoeller (Figure 4.45 e 4.46) evidenziano una congruenza tra i vari trend geochimici denotando una circolazione omogenea con trasmissività medio alta e un carico solido disciolto leggermente maggiore rispetto alle aree considerate in precedenza. E' possibile valutare un apporto dalle formazioni calcaree ubicate immediatamente a monte del bacino di sedimentazione.

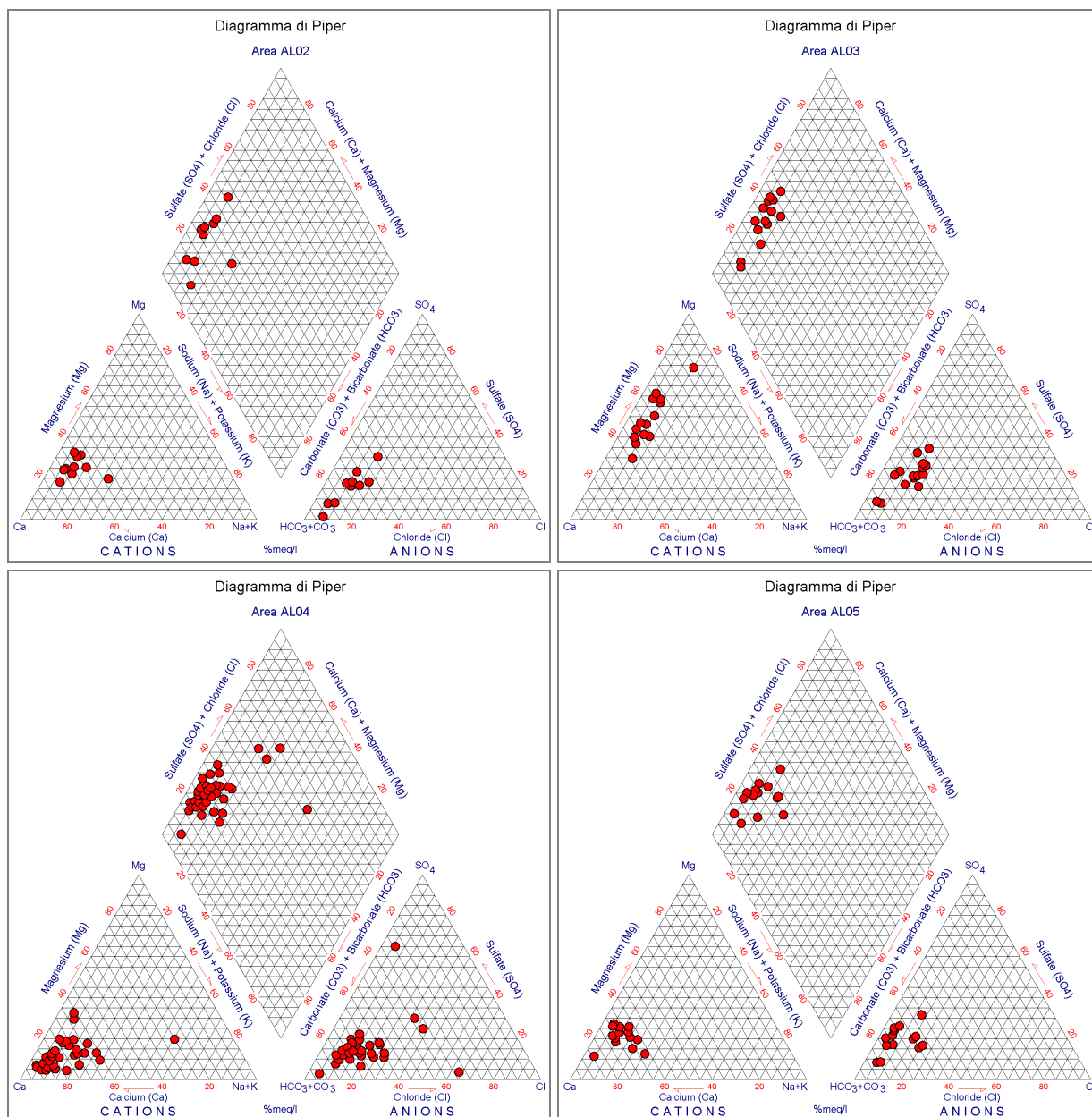


Figura 4.44: Diagrammi di Piper Aree Idrogeologiche AL02-AL03-AL04-AL05 assimilabili a GWB-S9



Definizione dei valori di fondo naturale per i metalli nelle acque sotterranee  
 come previsto dalla Direttiva 2006/118/CE e dal Decreto Legislativo 16 marzo 2009 n.30

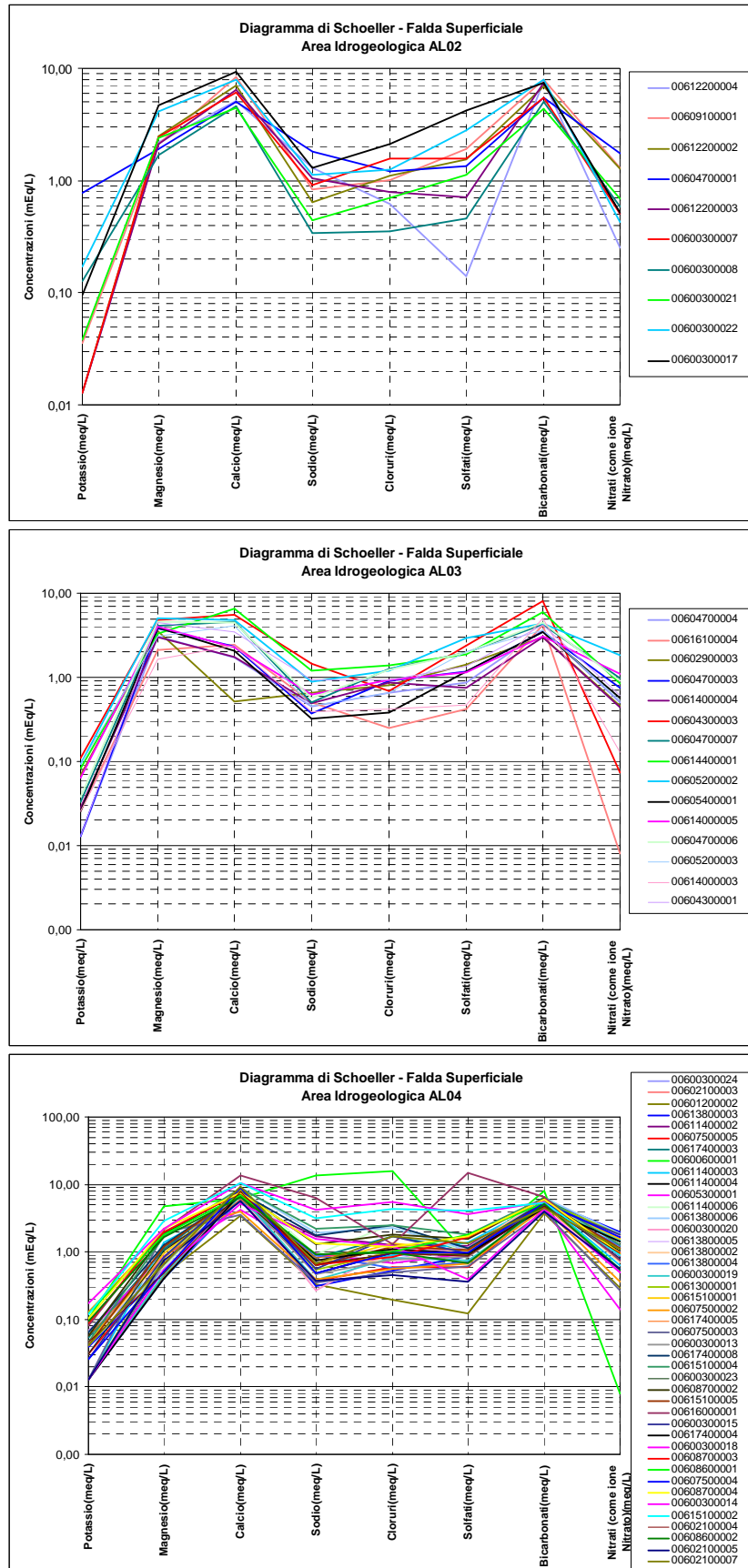
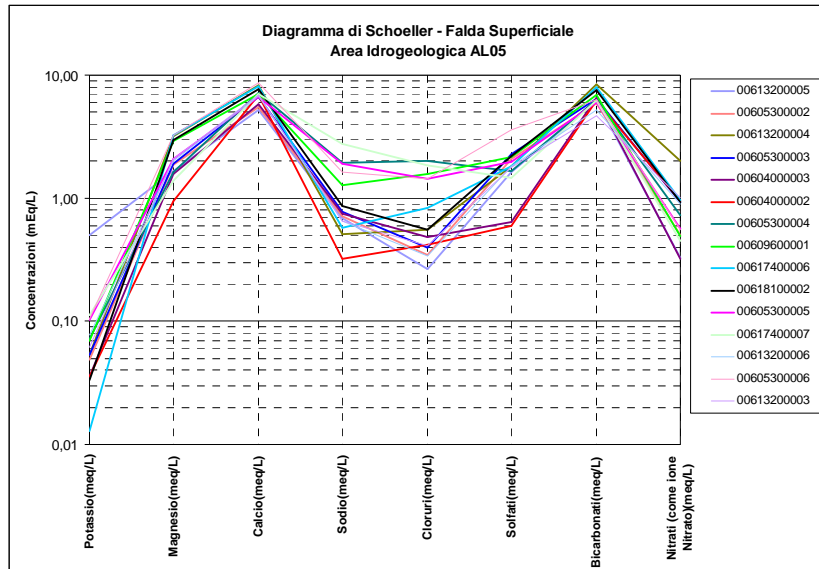


Figura 4.45: Diagrammi di Schoeller delle Aree Idrogeologiche AL02-AL03-AL04 assimilabili a GWB-S9

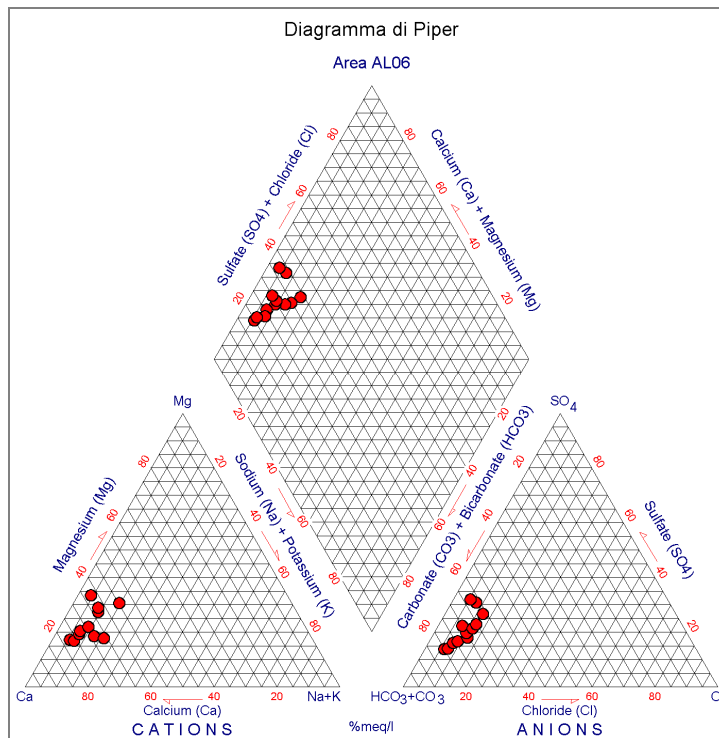


**Figura 4.46:** Diagramma di Schoeller dell'Area Idrogeologica AL05 assimilabile (insieme ad AL02-AL03 e AL04) a GWB-S9

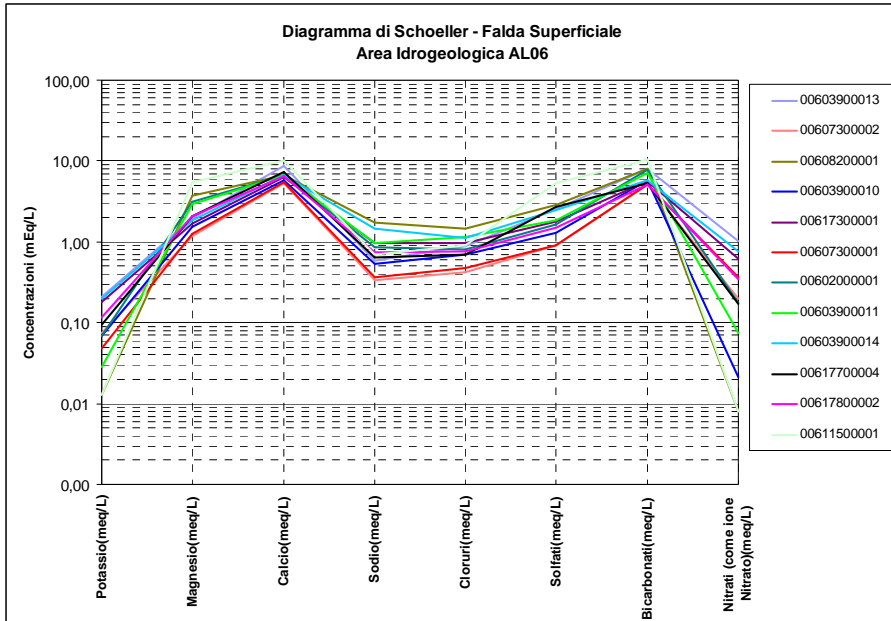
#### 4.5.2.10. GWB-S10

Il GWB in esame coincide con l'Area idrogeologica AL06 corrispondente alla pianura di Valenza tra i fiumi Po, Sesia e Tanaro.

I diagrammi di Piper e Schoeller (Figure 4.47 e 4.48) evidenziano un unico chimismo di tipo bicarbonato-calcico con una marcata sovrapposizione dei trend caratteristici, sia a livello puntuale, che come ripartizione delle concentrazioni tra i costituenti principali. Questi aspetti denotano una circolazione idrica sotterranea omogenea e un'alta trasmissività dell'acquifero.



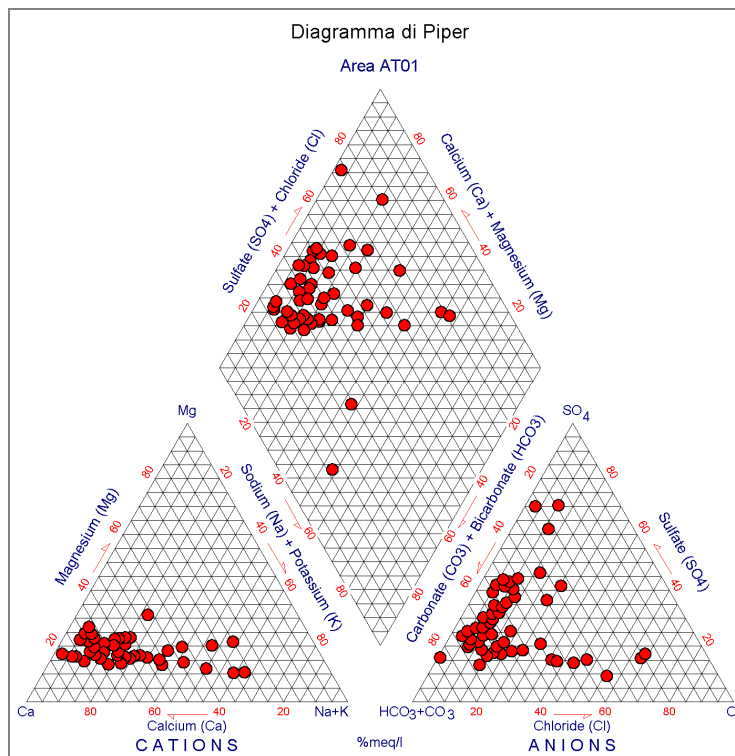
**Figura 4.47.** Diagramma di Piper dell'Area Idrogeologica AL06 assimilabile a GWB-S10



**Figura 4.48:** Diagramma di Schoeller dell'Area Idrogeologica AL06 assimilabile a GWB-S10

#### 4.5.2.11. GWB-FTA

Questo corpo idrico coincide con l'area idrogeologica AT01 corrispondente al fondovalle Tanaro. Per la sua estensione, sub parallela al corso d'acqua, è interessato da interazioni trasversali (in seno al bacino di alimentazione e influenza idrico sotterranea), che producono come risultato un'ampia diversità idrochimica come testimoniato dai diagrammi in esame (Figure 4.49 e 4.50). Infatti, la presenza di rocce evaporitiche, laddove la circolazione sotterranea permanga a contatto con queste formazioni, o il contributo di soluzioni profonde con un elevato carico salino (risalite lungo linee di frattura), può influire sui termini di tipo solfato-calcico e cloruro-sodico producendo tutta una serie di chimismi caratteristici a minore o maggiore diluizione. Si riconosce comunque una prevalenza del tipo bicarbonato-calcico.



**Figura 4.49:** Diagramma di Piper dell'Area Idrogeologica AT01 assimilabile a GWB-FTA



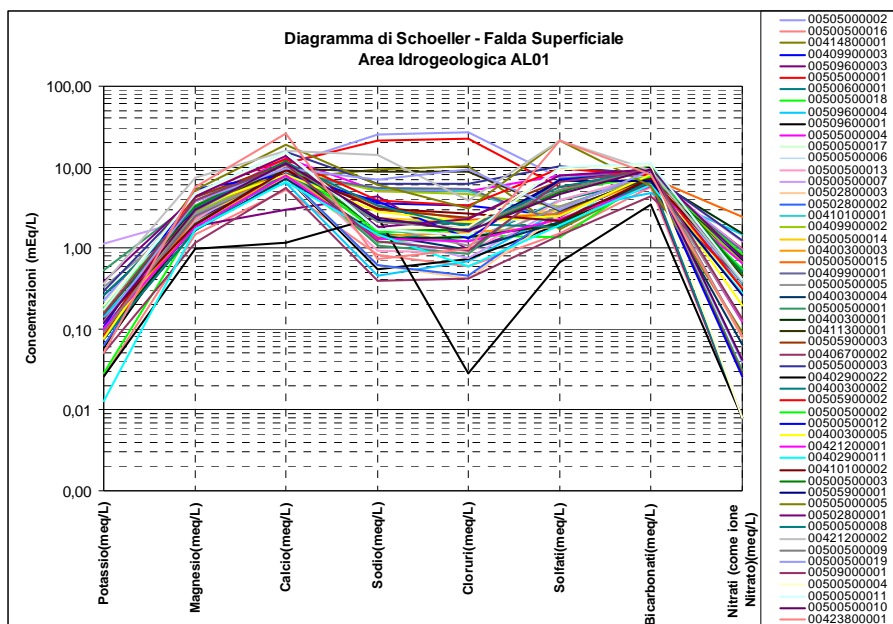


Figura 4.50: Diagramma di Schoeller dell'Area Idrogeologica AT01 assimilabile a GWB-FTA

### 4.5.3. Falde profonde

Per le Falde profonde la suddivisione dei contesti di riferimento ai fini della caratterizzazione idrochimica si era basata inizialmente sulla distinzione operata nell'ambito degli studi propedeutici al PTA e in particolare sul lavoro di De Luca et al. (2002) relativo all'identificazione del "modello idrogeologico concettuale degli acquiferi di pianura e loro caratterizzazione" derivante da una convenzione tra il Dipartimento di Scienze della Terra e la Regione Piemonte. I risultati dello studio avevano portato a individuare le seguenti macroaree (Figura 4.51):

- Pianura Biellese-Novarese-Vercellese: delimitata a N dai rilievi Alpini, ad E dal confine regionale, a S dai rilievi del Monferrato e a O dalla Serra di Ivrea e dalla stretta compresa tra i rilievi della Serra e i rilievi della collina di Torino/Monferrato; in tale area è inoltre compresa la stretta fascia di pianura relativa all'area Casalese a S del fiume Po;
- Area intramorenica della Serra di Ivrea: tale area è costituita dall'area pianeggiante limitata a N dai rilievi Alpini e a E, S e O dai rilievi dell'arco morenico della Serra di Ivrea; in realtà non esistono punti di controllo relativi alle acque delle falde profonde per tale area;
- Pianura Torinese Settentrionale: delimitata a N dai rilievi Alpini, a E dai rilievi della Serra di Ivrea e dalla stretta compresa tra i rilievi della Serra e i rilievi della collina di Torino/Monferrato, a S dai rilievi della collina di Torino e dalla stretta compresa tra il margine occidentale della collina di Torino e i rilievi Alpini e a O dai rilievi Alpini;
- Pianura Cuneese (in sinistra Stura di Demonte) e Torinese Meridionale: delimitata a N dalla collina di Torino, a E dall'Altopiano di Poirino a O e S dai rilievi Alpini e dal corso del fiume Stura di Demonte e del fiume Tanaro fortemente incassati nella pianura Cuneese;
- Altopiano di Poirino: distinto dall'area di pianura Cuneese e Torinese Meridionale per caratteristiche idrogeologiche e litostratigrafiche peculiari. Infatti, le falde profonde presenti nell'area ricevono un'alimentazione principalmente dalla pianura Cuneese e Torinese, ma anche dai rilievi della collina di Torino e del Braidese; l'area è inoltre caratterizzata da direzioni di flusso della Falda Superficiale e delle Falde Profonde del tutto opposte (Canavese et al., 1999): verso O quella superficiale, verso E quelle profonde. L'Area risulta delimitata a N dai rilievi della collina di Torino, a E dalla potente scarpata (circa 100 m) che la separa dai rilievi dell'Astigiano con andamento N-S, a S da un'altra scarpata ad andamento NE-SO e dai rilievi del Braidese, a O da una scarpata di modesta entità con altezze maggiori a S e progressivamente minori fino quasi a scomparire a N;
- Pianura Cuneese in destra Stura di Demonte: tale area risulta delimitata a N dai rilievi del Braidese; a O dai rilievi delle Langhe, a S dai rilievi Alpini e a O dal corso del fiume. Stura di Demonte e del fiume Tanaro fortemente incassati nella pianura Cuneese latu senso;

- Pianura Alessandrina-Tortonese: l'area è delimitata a N dai rilievi del Monferrato e dai limiti della regione Piemonte, a O dai limiti regionali, a S e a O dai rilievi delle Langhe.

Nel corso della realizzazione della parte idrogeologica del PTA, tenendo altresì conto del modello idrogeologico numerico testato sul contesto in esame, si è ritenuto di semplificare le delimitazioni effettuate in precedenza, anche alla luce dell'effettiva presenza/distribuzione di punti di controllo che potessero testimoniare l'esistenza di acquiferi profondi soggetti a sfruttamento. Pertanto, la suddivisione finale dei contesti di riferimento del sistema acquifero profondo risulta formata dalle seguenti "macroAree Idrogeologiche dell'acquifero profondo":

- MP1: Pianura Novarese – Biellese - Vercellese
- MP2: Pianura Torinese settentrionale
- MP3: Pianura Cuneese -Torinese meridionale - Astigiano occidentale
- MP4: Pianura Alessandrina – Astigiano orientale
- MP5: Pianura Casalese – Tortonese

Dall'esame della Figura 4.52 si evince come la suddivisione e i contorni delle macroaree idrogeologiche considerate nel PTA coincidano sostanzialmente con gli attuali GWB profondi con alcune distinzioni. Ad esempio, in seno allo macroarea MP3 (Pianura Cuneese - Torinese meridionale - Astigiano occidentale) è stato creato il GWB-P6 relativo al settore Cantarana-Valmaggione sede di uno dei più importanti campo pozzi Piemontese e caratterizzato da un contesto idrogeologico peculiare; mentre la macroarea MP4 (Pianura Alessandrina – Astigiano orientale) evidenzia un contorno più attinente al bacino di sedimentazione Alessandrino.

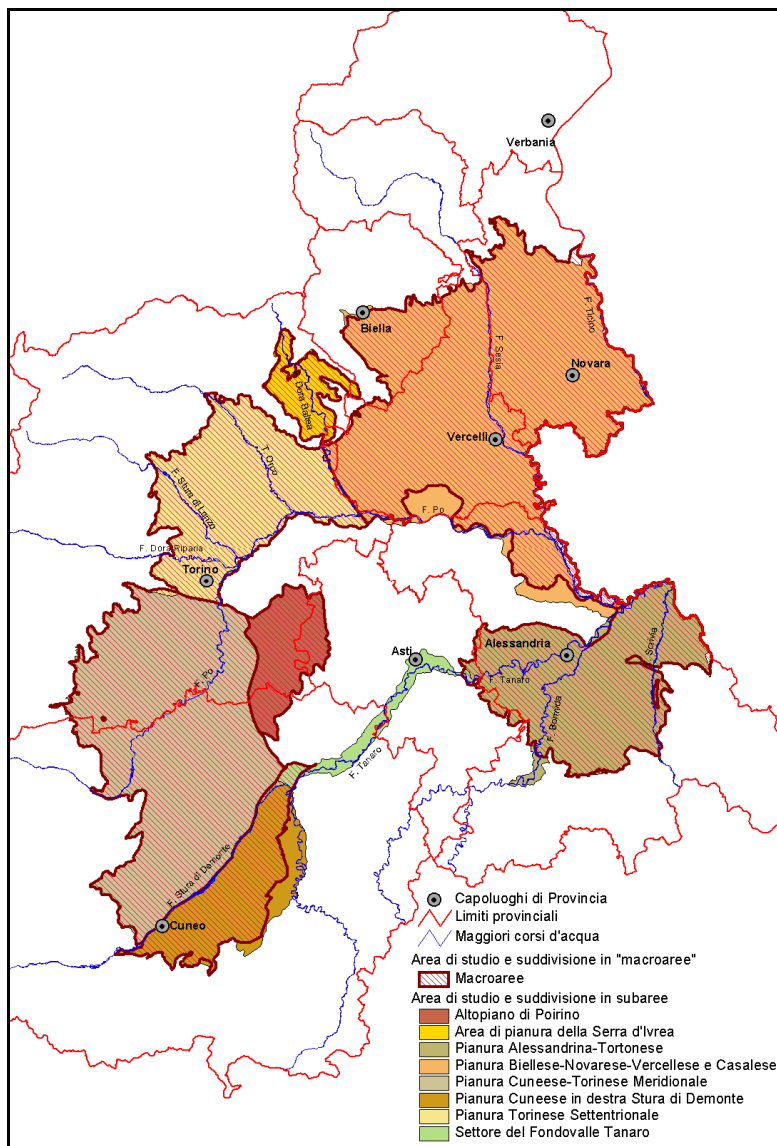
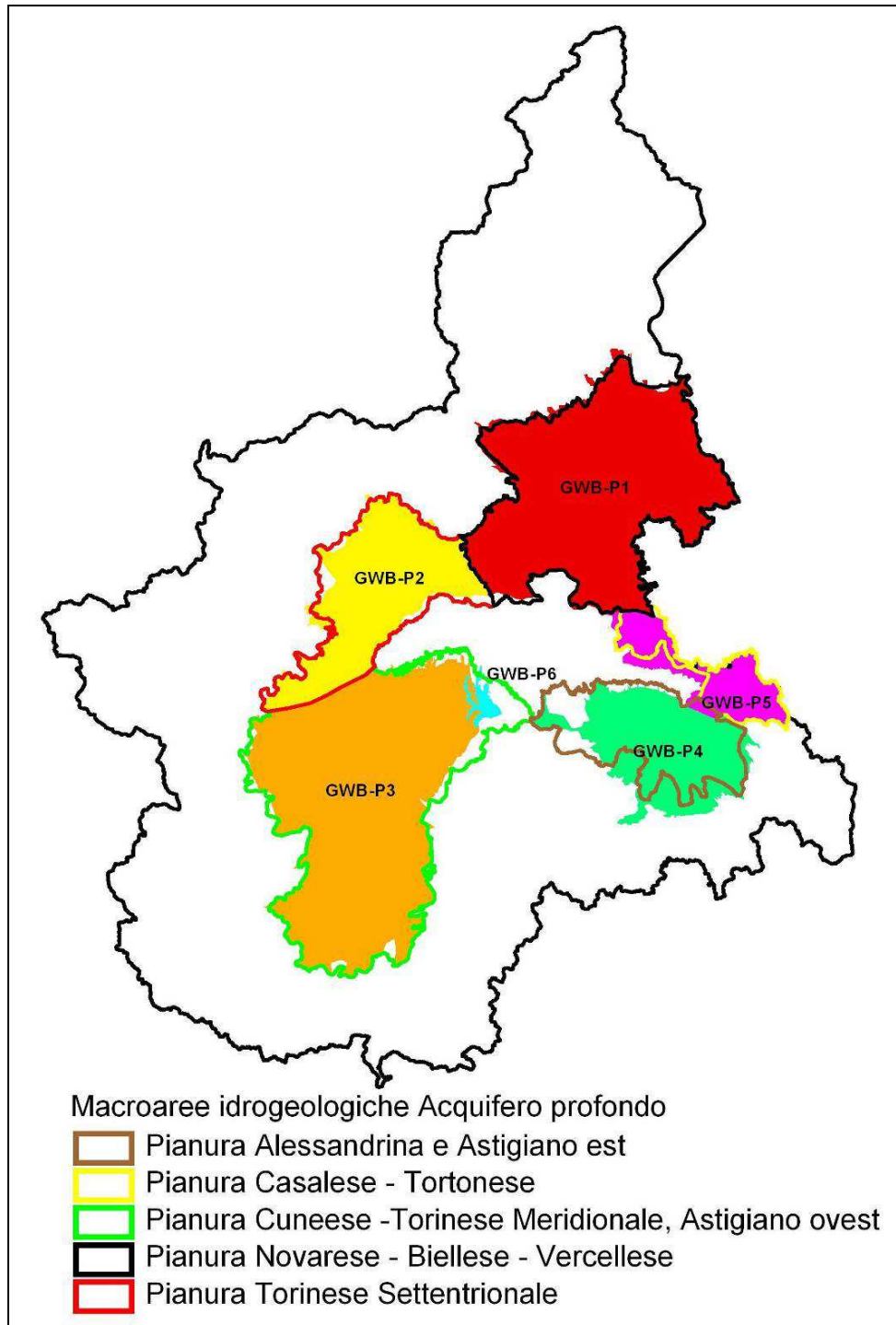


Figura 4.51: Prima suddivisione delle macroaree profonde in relazione alle sub-aree di pianura



**Figura 4.52:** Sovrapposizione delle macroaree profonde (MP) in relazione ai GWB profondi.

Nelle Figure seguenti (analogamente alla Falda superficiale) si riportano i diagrammi di Piper e Schoeller per i punti dei GWB profondi, ripartiti secondo la prima suddivisione delle macroaree idrogeologiche (Figura 4.51), ma tenendo conto delle opere effettivamente presenti sul territorio e dei relativi parametri idrogeologici sui quali si è basato il modello idrogeologico del PTA.

#### 4.5.3.1. *GWB-P1*

Questo corpo idrico sotterraneo profondo, come illustrato nella Figura 4.51, è assimilabile all'unità idrogeologica confinata e/o, localmente, semiconfinata subgiacente la pianura Novarese-Biellese-Vercellese.

Costituisce l'area più importante come numero dei punti di monitoraggio presenti; tuttavia, a prescindere da tale aspetto che potrebbe complicare il quadro interpretativo, dall'esame delle Figure 4.53 e 4.54 si rileva una certa conformità tra i trend rilevati con un pressoché uniforme

chimismo di tipo bicarbonato-calcico e un basso contenuto salino. Si riconosce inoltre un sottogruppo minore che evidenzia un chimismo di tipo cloruro-sodico; questi punti sono localizzati in un settore a est di Biella, dove sono sub affioranti i depositi pliocenici. In tal caso possono essere associati a circolazioni locali di acque saline legate alle formazioni depostesi in ambiente marino.

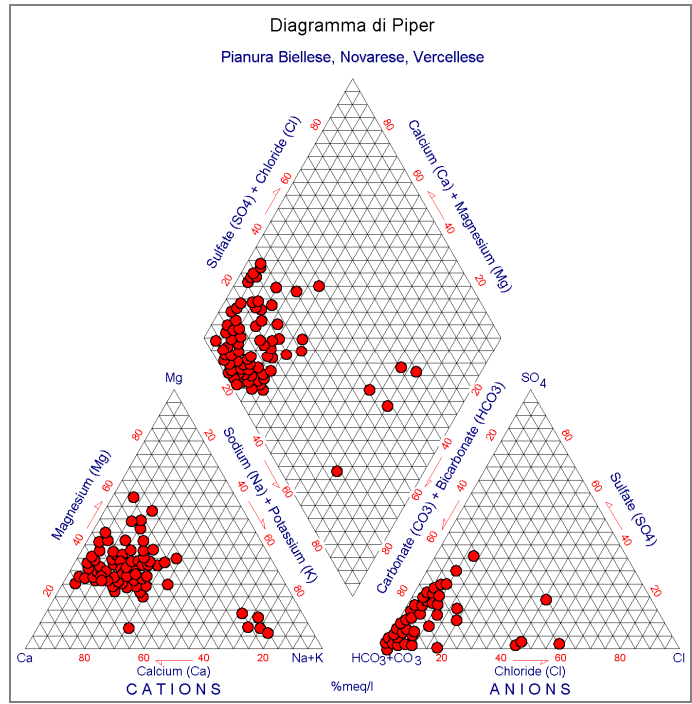


Figura 4.53: Diagramma di Piper della Macroarea Pianura Novarese-Biellese-Vercellese assimilabile al GWB-P1

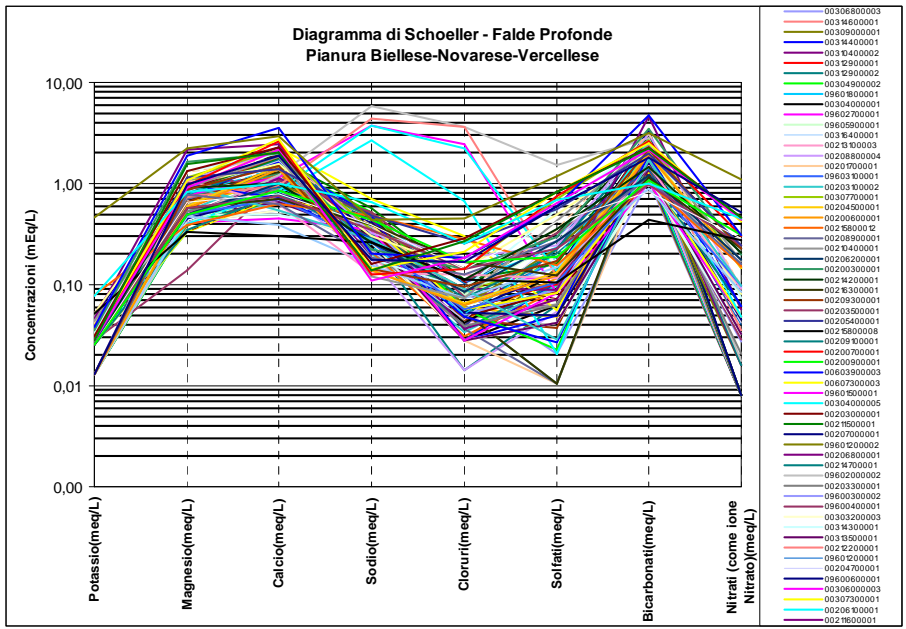


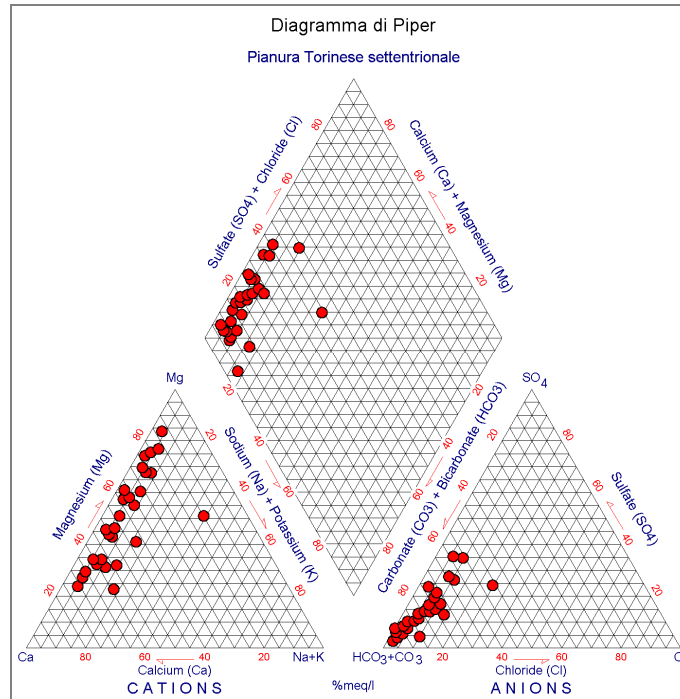
Figura 4.54: Diagramma di Schoeller della Macroarea Pianura Novarese-Biellese-Vercellese assimilabile al GWB-P1



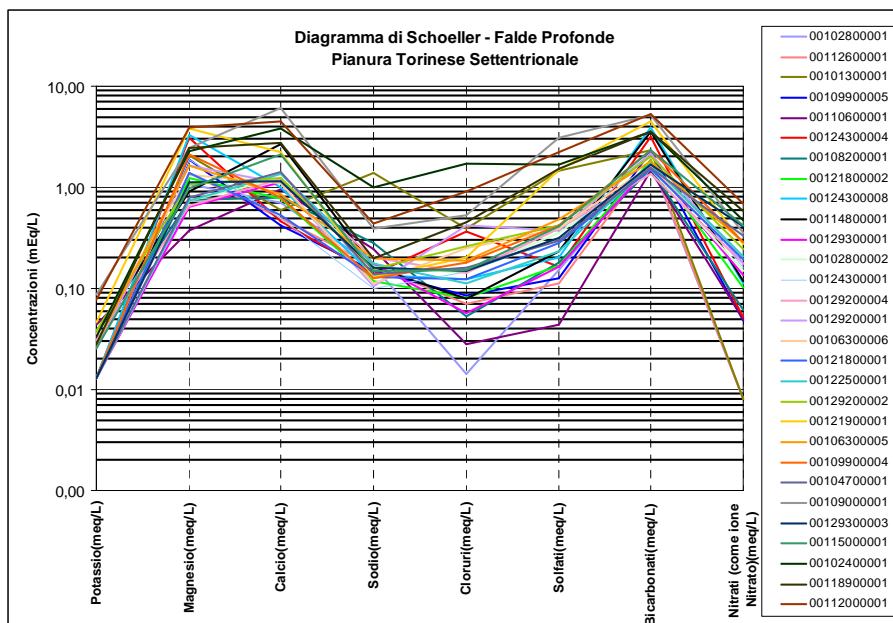
#### 4.5.3.2. *GWB-P2*

Questo corpo idrico sotterraneo profondo è assimilabile all'unità idrogeologica confinata e/o, localmente, semiconfinata subgiacente parte delle pianura Cuneese, parte del Torinese Meridionale e dell'Astigiano occidentale (Altopiano di Poirino), costituendo un vasto settore con numerosi punti di monitoraggio.

Dall'esame delle Figure 4.55 e 4.56 si osserva un'ottima congruenza dei trend relativi identificando un chimismo di tipo bicarbonato-calcico con una sostanziale omogeneità di circolazione idrica sotterranea per gli acquiferi filtrati. Si distaccano dal trend principale occorrenze localizzate che evidenziano un chimismo cloruro-sodico per un'evidente contributo profondo; oppure, una componente magnesiacca.



**Figura 4.55:** Diagramma di Piper della Macroarea Pianura Torinese sett. assimilabile al GWB-P2

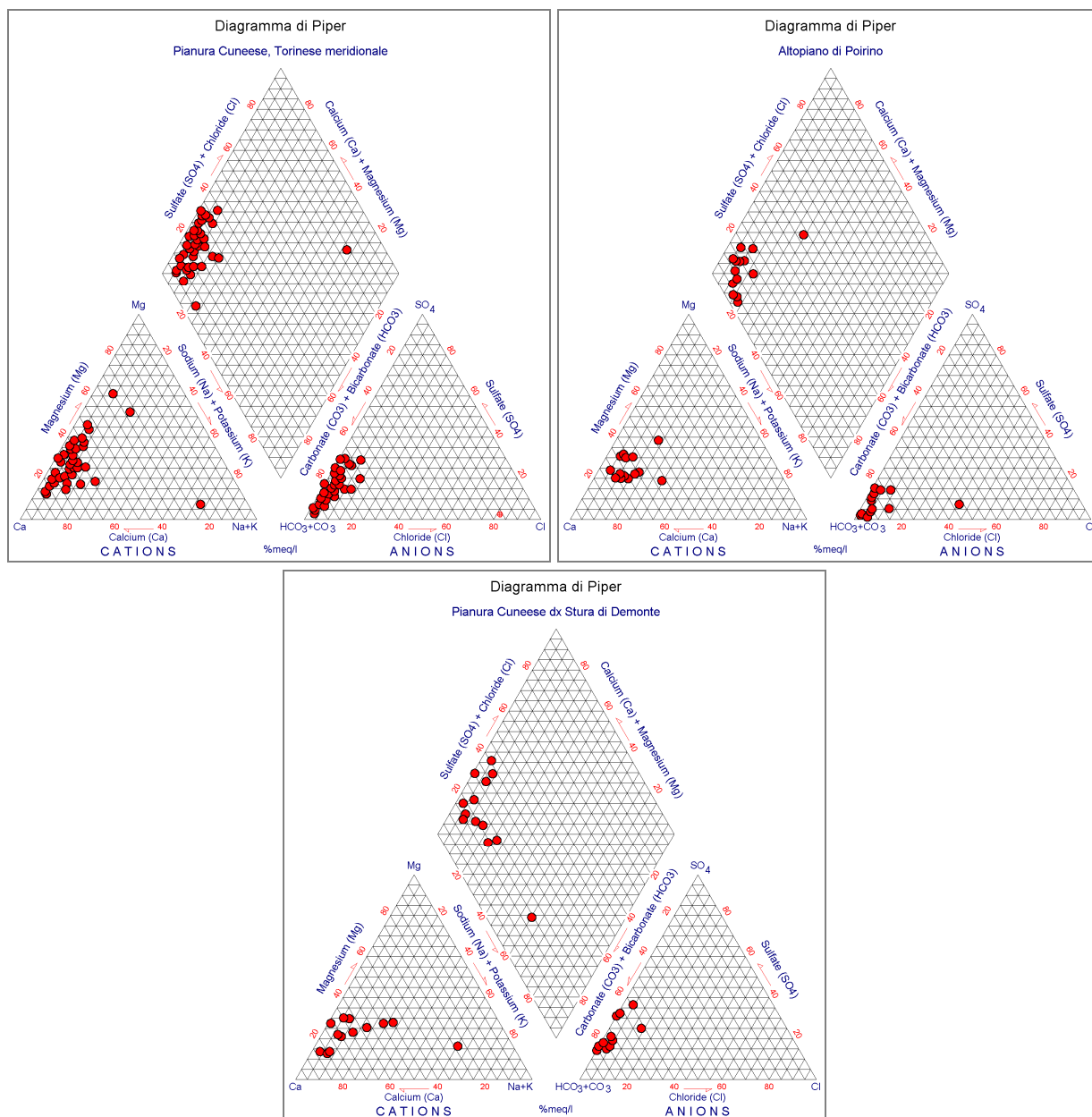


**Figura 4.56:** Diagramma di Schoeller della Macroarea Pianura Torinese sett. assimilabile al GWB-P2

### 4.5.3.3. *GWB-P3*

Questo corpo idrico sotterraneo profondo è assimilabile all'unità idrogeologica confinata e/o, localmente, semiconfinata subjacente parte delle pianure Cuneese, Torinese Meridionale e Astigiano occidentale (Altopiano di Poirino) costituendo un vasto settore con numerosi punti di monitoraggio.

Dall'esame delle Figure 4.57 e 4.58 si osserva un'ottima congruenza dei trend relativi identificando un chimismo di tipo bicarbonato-calcico con una sostanziale omogeneità di circolazione idrica sotterranea per gli acquiferi filtrati. Si distaccano dal trend principale occorrenze localizzate che evidenziano un chimismo cloruro-sodico per un'evidente contributo profondo, oppure, una componente magnesiaca.



**Figura 4.57:** Diagrammi di Piper delle Macroaree Pianura Cuneese-Torinese meridionale; Astigiano occidentale (Altopiano di Poirino) assimilabili a *GWB-P3*

Definizione dei valori di fondo naturale per i metalli nelle acque sotterranee come previsto dalla Direttiva 2006/118/CE e dal Decreto Legislativo 16 marzo 2009 n.30

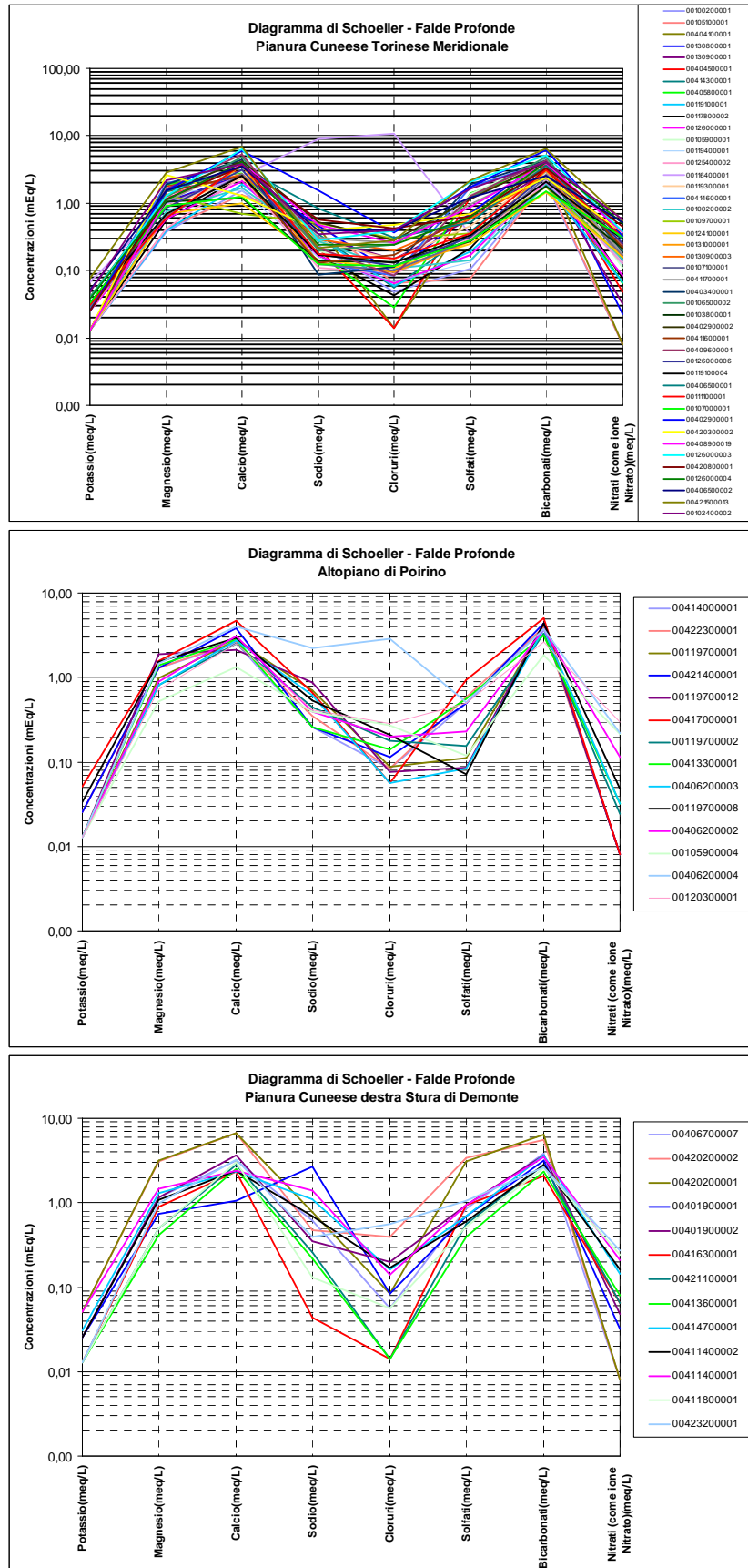
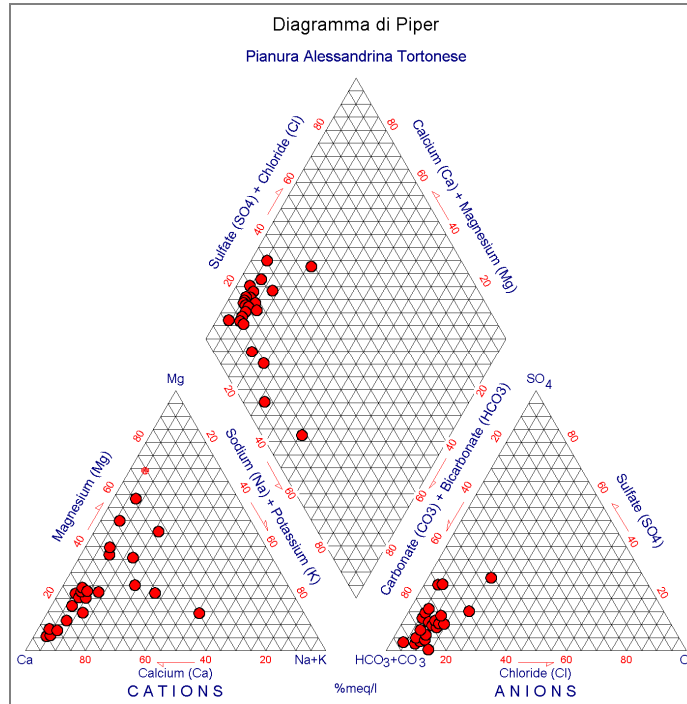


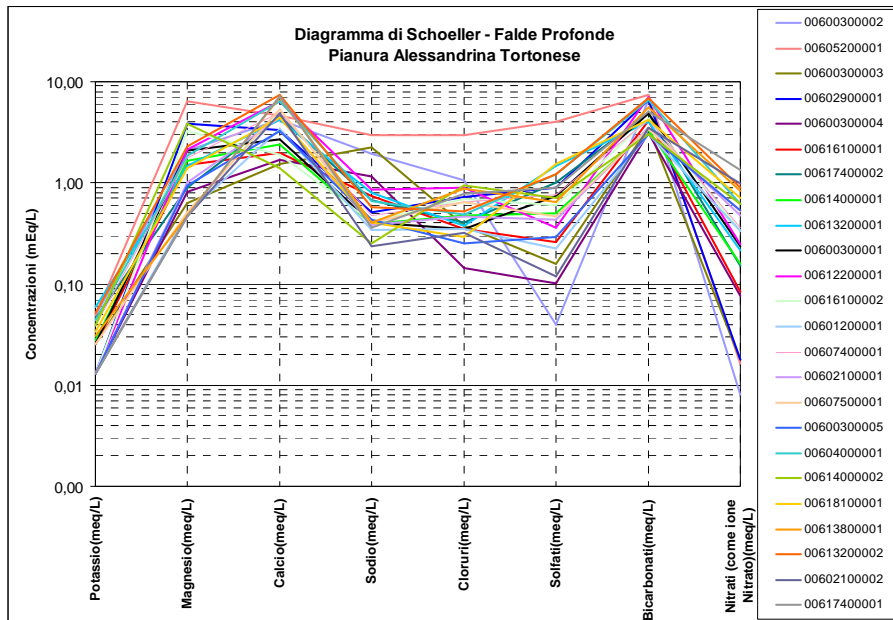
Figura 4.58: Diagrammi di Schoeller delle Macroaree Pianura Cuneese-Torinese meridionale; Astigiano occidentale (Altopiano di Poirino) assimilabili a GWB-P3.

#### 4.5.3.4. *GWB-P4*

Questo corpo idrico sotterraneo profondo è assimilabile all'unità idrogeologica confinata e/o, localmente, semiconfinata subjacente la pianura Alessandrina Tortonese. Dall'esame delle Figure 4.59 e 4.60 si osserva un andamento dei trend specifici sostanzialmente simile all'interno dell'area idrogeologica, identificando un chimismo preminente di tipo bicarbonato-calcico con divagazioni bicarbonato-magnesiache e sporadiche occorrenze cloruro-sodiche. La facies magnesiaca interessa prevalentemente i punti ubicati nella parte sud del GWB.



**Figura 4.59:** Diagramma di Piper della Macroarea Pianura Alessandrina-Tortonese assimilabile a *GWB-P4*



**Figura 4.60:** Diagramma di Schoeller della Macroarea Pianura Alessandrina-Tortonese assimilabile a *GWB-P4*



I corpi idrici sotterranei profondi **GWB-P5** e **GWB-P6** non hanno riscontro nelle macroaree profonde in quanto il primo è parzialmente incluso nella macroarea Pianura Novarese-Biellese-Vercellese e nella macroarea Pianura Alessandrina-Tortonese; mentre il secondo rappresenta una piccolissima porzione (con un unico punto di monitoraggio) all'interno della macroarea Altopiano di Poirino. Pertanto, non sono stati elaborati dati geochimici al riguardo.

## **4.6. Pressioni antropiche**

### **4.6.1. Introduzione**

La valutazione delle pressioni ha tenuto conto di quanto già affrontato nel corso del processo d'implementazione della WFD per le acque sotterranee. Partendo da una configurazione delle principali criticità incidenti su ciascun **GWB** si è passato ad una definizione di maggior dettaglio utilizzando degli indicatori specifici, disponibili a scala regionale, e al "giudizio esperto" nell'attribuzione della significatività di tali indicatori nell'ambito del contesto areale di riferimento.

Ai sensi della WFD l'analisi delle pressioni ha permesso di valutare il rischio potenziale di alterazione dello stato di qualità dei **GWB** che poteva condizionare il raggiungimento degli obiettivi di qualità.

### **4.6.2. Pressioni prevalenti sui **GWB** Superficiali**

Si fornisce di seguito una sintesi dei principali elementi di criticità per i **GWB** superficiali sulla base di considerazioni generali sulle attività presenti sul territorio e sulle caratteristiche della risorsa.

E' importante risaltare come nel caso del sistema idrico sotterraneo superficiale vi sia una correlazione diretta tra pressione e stato della risorsa legata essenzialmente a fenomeni di percolazione attraverso l'insaturo.

- GWB-S1** Pianura Novarese, Biellese e Vercellese - caratterizzata da prevalente pressione agricola (risicoltura), che modifica notevolmente la naturale ricarica dell'acquifero superficiale e, in subordine, da una pressione industriale localizzata principalmente nei settori Novarese e Biellese;
- GWB-S2** Piana inframorenica di Ivrea - caratterizzata da prevalente pressione di tipo agricolo e, in subordine, industriale;
- GWB-S3a** Pianura Torinese e Canavese tra Dora Baltea e Stura di Lanzo - caratterizzata da pressioni di tipo industriale e agricolo;
- GWB-S3b** Pianura Torinese tra Stura di Lanzo, Po e Chisola - caratterizzata da prevalente pressione di tipo industriale e, in subordine, agricolo;
- GWB-S4a** Altopiano di Poirino in destra Banna - Rioverde - caratterizzata da scarsa produttività idrica naturale e da pressioni di tipo agricolo;
- GWB-S4b** Pianura torinese tra Ricchiardo, Po e Banna - Rioverde - caratterizzata da scarsa produttività idrica naturale e da pressioni di tipo agricolo;
- GWB-S5a** Pianura Pinerolese tra Chisola e sistema Chisone-Pellice - caratterizzata da prevalente pressione di tipo agricolo e subordinata industriale;
- GWB-S5b** Pianura Pinerolese tra sistema Chisone-Pellice e Po - caratterizzata da pressioni agricole;
- GWB-S6** Pianura Cuneese - caratterizzata da prevalente pressione zootecnica e, in subordine, agricola e marginale industriale;
- GWB-S7** Pianura Cuneese in destra Stura di Demonte - caratterizzata da prevalente pressione zootecnica e agricola;
- GWB-S8** Pianura Alessandrina in sinistra Tanaro - caratterizzata da pressioni agricole;
- GWB-S9** Pianura Alessandrina in destra Tanaro - caratterizzata da prevalente pressione agricola e marginale industriale;
- GWB-S10** Pianura Casalese - caratterizzata da pressioni di tipo agricolo e industriali localizzate;
- GWB-FTA** Fondovalle Tanaro - caratterizzato da pressioni di tipo agricolo diffuso e industriale puntuale.

#### **4.6.3. Pressioni prevalenti sui GWB Profondi**

Analogamente a quanto effettuato nel paragrafo precedente per l'ambito superficiale, si riportano di seguito le stesse deduzioni per il sistema acquifero profondo. E' importante risaltare come nel caso del sistema profondo (confinato o semiconfinato) sussistano tutta una serie di fattori complessi, sia dal punto vista chemio dinamico che idrogeologico, che non possono essere, anche seppur semplicemente, schematizzabili sulla base delle pressioni insistenti sul sistema idrico superficiale.

- GWB-P1** Pianura Novarese, Biellese e Vercellese caratterizzato da prevalente pressione di tipo agricolo diffuso e subordinata industriale puntuale (settore Novarese). Si evidenzia inoltre una scarsa produttività idrica naturale ed uno scadente stato qualitativo naturale nell'area Biellese dovuta alla presenza di Ferro e Manganese;
- GWB-P2** Pianura Torinese settentrionale caratterizzata da prevalente pressione di tipo industriale puntuale;
- GWB-P3** Pianura Cuneese Torinese meridionale ed Astigiano occidentale caratterizzata da pressione quantitativa, sporadica pressione agricola ed uno scadente stato qualitativo naturale nella zona dell'Altopiano di Poirino;
- GWB-P4** Pianura Alessandrina Astigiano orientale caratterizzata da prevalente pressione agricola e da una mediocre produttività idrica naturale;
- GWB-P5** Pianura Casalese Tortonese caratterizzata da impatto agricolo;
- GWB-P6** Settore di Cantarana - Valmaggione caratterizzato da un significativa pressione di tipo quantitativo dovuto al sovrasfruttamento a scopo idropotabile.

#### **4.6.4. Analisi delle pressioni**

L'analisi è stata condotta considerando per ogni GWB del sistema superficiale il tipo e l'ampiezza delle pressioni antropiche di origine diffusa o puntuale di seguito elencate:

- aree agricole;
- aree urbanizzate;
- surplus di azoto;
- aree produttive (commerciale/industriale);
- aree adibite a discariche, cave e cantieri;
- siti contaminati.

Per ogni categoria di pressione sono stati selezionati i relativi indicatori utilizzati per l'analisi del rischio ai fini della WFD. Nella Tabella 4.4 viene riportato il riepilogo degli indicatori selezionati con il dettaglio dei dati utilizzati per il loro popolamento.







I dataset utili a popolare gli indicatori della Tabella 4.4 sono stati organizzati in ambiente GIS; si tratta di diversi livelli informativi che riportano le informazioni georeferenziate sulle pressioni (in particolare Corine Land Cover semplificato).

Per quanto riguarda la valutazione del rischio di non raggiungimento degli obiettivi di qualità fissati dalla WFD per il 2015, per ogni indicatore è stato definito il valore che determina l'attribuzione della relativa categoria di rischio.

Nella Tabella 4.5 sono riportati gli indicatori utilizzati per l'analisi delle pressioni e una categorizzazione per assegnare al GWB la categoria di rischio relativa (a rischio, non a rischio, probabilmente a rischio). La categoria di rischio per le pressioni a livello di GWB è stata determinata come indicato nella Tabella 4.6.

E' stato così possibile definire un quadro di sintesi dell'analisi delle pressioni, considerando il contributo di ogni singolo indicatore nell'ambito di un determinato GWB, come illustrato nella Tabella 4.7.

Ai fini dello studio in oggetto le categorie di rischio servono a valutare l'intensità delle pressioni (individuali e/o complessive) che incidono su un determinato GWB.

Pressione	Descrizione indicatore	Dato di origine	Campo utilizzato	Operazione	Unità misura
<p>uso_agricolo</p> 	Percentuale di aree agricole intensive sul totale del GWB	Corine Land Cover2000	Code_00 (sono selezionati i valori 211 212 213 221 222) = valore A	Percentuale uso agricolo rispetto al totale GWB $A/Totale*100$	%
<p>uso_urbano</p> 	Percentuale di aree urbane sul totale del GWB	Corine Land Cover2000	Code_00 (sono selezionati i valori 111 112 122 124 ) = valore U	Percentuale uso urbano rispetto al totale del GWB $U/Totale*100$	%
<p>N_surplus</p> 	Dato di surplus di azoto nel GWB	Surplus di azoto (Agro.Selvi.Ter)	Bil_Ntot_kg_Ha	surplus di azoto calcolata per il GWB	Kg/ha GWB
<p>uso_produttivo</p> 	Percentuale di aree produttive sul totale del GWB	Corine Land Cover2000	Code_00 (è selezionato il valore 121) = valore I	Percentuale uso urbano rispetto al totale del GWB $U/Totale*100$	%
<p>uso_discariche_cave_cantieri</p> 	Percentuale di aree adibite a discariche, cave e cantieri sul totale del GWB	Corine Land Cover2000	Code_00 (è selezionato il valore 131 ) = valore D	Percentuale uso urbano rispetto al totale del GWB $U/Totale*100$	%
<p>siti_contaminati</p> 	Densità siti contaminati nel GWB	Banca dati siti contaminati	--	Numero di siti per unità di superficie nel GWB	Numero/100 Km <sup>2</sup> GWB

**Tabella 4.4: Dati utilizzati per il popolamento degli indicatori di pressione**

Indicatore	Modalità di misura e valori ipotizzati	Categoria di rischio
Uso del suolo agricolo	% (> 50%)	A rischio
	% (< 10%)	Non a rischio
	% (10% – 50%)	Probab. a rischio
Uso del suolo urbano	% (> 20%)	A rischio
	% (< 10%)	Non a rischio
	% (10% – 20%)	Probab. a rischio
Surplus di azoto	Kg/Ha GWB ( $\geq$ 50 kg/ha)	A rischio
	Kg/Ha GWB (< 30 kg/ha)	Non a rischio
	Kg/Ha GWB (30 kg/ha-50 kg/ha)	Probab. a rischio
Uso del suolo produttivo (industriale-commerciale)	% (> 3%)	A rischio
	% (< 1%)	Non a rischio
	% (1% – 3%)	Probab. a rischio
Uso del suolo discariche, cave e cantieri	% (> 0.5%)	A rischio
	% (< 0.2%)	Non a rischio
	% (0.2% – 0.5%)	Probab. a rischio
Siti contaminati	n/100Km <sup>2</sup> GWB (> 5 siti/100Km <sup>2</sup> )	A rischio
	n/100Km <sup>2</sup> GWB (< 2 siti/100Km <sup>2</sup> )	Non a rischio
	n/100Km <sup>2</sup> GWB (2 siti/100Km <sup>2</sup> -5 siti/100Km <sup>2</sup> )	Probab. a rischio

**Tabella 4.5:** Indicatori di pressione e di relativa categorizzazione

GWB a rischio	GWB probabilmente a rischio	GWB non a rischio
<b>Indicatori R: &gt; 1</b> <b>Indicatori: R = 1 e PR &gt; 2</b>	Indicatori: R = 0 e PR > 1 Indicatori: R = 1 e PR < 3	Indicatori R: 0 Indicatori PR: < 2

**Tabella 4.6:** Categorie di rischio per le pressioni

L'analisi delle pressioni ha evidenziato come sussista, al di là di una condizione di rischio, cioè di possibile non raggiungimento degli obiettivi di qualità previsti dalla WFD al 2015, per la maggior parte dei GWB superficiali, la sussistenza (più o meno determinante) di tangibili fattori antropici che possono influenzare il chimismo originario della risorsa. Tuttavia, tali fattori possono essere attenuati dalle caratteristiche dell'ambito di esistenza e circolazione della risorsa e riguardano il suolo, le caratteristiche dell'insaturo e, non per ultimo, il processo di diluizione che può avvenire all'interno dell'acquifero. Al riguardo, nel corso di studi precedenti, era stato determinato un indicatore peculiare definito "indice di potenziale diluizione della falda" (IPDF) che considerava (da un punto di vista sostanzialmente qualitativo) la consistenza del livello saturo all'interno dell'acquifero superficiale, dalla differenza di quota esistente tra il livello piezometrico e la base dell'acquifero superficiale. Lo spessore del livello saturo e il volume relativo sono stati in seguito ricalcolati nella fase d'implementazione della WFD per il reporting WISE con dati aggiornati e di maggior dettaglio.



GWB	Rischio Aree Agricole	Rischio Surplus di Azoto	Rischio Aree Industriale e Commerciale	Rischio Aree Urbane	Rischio Siti contaminati	Rischio Aree discariche cave e cantieri	RISCHIO PRESSIONI
GWB-S1	R	PR	PR	N	PR	PR	R
GWB-S2	R	R	PR	N	N	R	R
GWB-S3a	PR	N	R	N	R	PR	R
GWB-S3b	PR	PR	R	R	R	PR	R
GWB-S4a	R	PR	PR	N	PR	N	R
GWB-S4b	R	R	N	N	PR	N	R
GWB-S5a	R	R	PR	N	PR	N	R
GWB-S5b	R	R	N	N	N	N	R
GWB-S6	R	R	N	N	N	N	R
GWB-S7	PR	PR	N	N	N	N	PR
GWB-S8	R	R	N	N	N	N	R
GWB-S9	R	PR	PR	N	PR	N	R
GWB-S10	R	R	PR	N	PR	PR	R
GWB-FTA	R	PR	PR	N	R	PR	R

**Tabella 4.7:** Attribuzione della categoria di rischio in base alle pressioni per i GWB superficiali

E' ovvio come in modo schematico un maggiore spessore del livello saturo (a parità di gradiente idraulico) denoti una maggiore propensione alla diluizione degli eventuali contaminanti che si infiltrano dalla superficie, mitigando l'impatto che potrebbe derivare; mentre uno spessore limitato del saturo con una conseguente modesta circolazione e ricambio di acque sotterranee concorrono a peggiorare ulteriormente l'impatto a parità di pressioni esistenti in superficie. In questo frangente vengono tralasciati altri fattori importanti ai fini della mitigazione dell'impatto potenziale quali soggiacenza e caratteristiche dell'insaturo, per concentrarsi esclusivamente sulla "componente liquida". Al riguardo, era stata effettuata una "mappatura" dell'IPDF a scala regionale identificando zone potenzialmente caratterizzate da un'elevata capacità di diluizione, come l'area Cuneese, da altri settori, come il Novarese-Vercellese, caratterizzati da una minore attitudine.

Pertanto, nell'ottica di approfondimenti successivi, il confronto tra gli indicatori di pressione (individuati e quantificati) e l'IPDF (indice di potenziale diluizione della falda), oltre ad un ulteriore indice che contribuisca a definire il livello di protezione esercitato da suolo e insaturo (vulnerabilità intrinseca), permetterebbe di ottenere un ulteriore affinamento delle valutazioni effettuate.

L'analisi delle pressioni che ha consentito, nel caso della falda superficiale, di configurare tutta una serie d'indicatori specifici a livello di GWB (Tabella 4.7), per le falde profonde rappresenta, invece, come accennato in precedenza, un aspetto alquanto complesso che richiede una valutazione approfondita di vari fattori, alcuni dei quali non disponibili a scala regionale, che possono essere così sintetizzati:

1. entità delle pressioni che incidono sull'acquifero superficiale sovrastante;
2. numero di pozzi profondi e relative caratteristiche di completamento.
3. potenza e continuità laterale della superficie di interfaccia tra acquifero superficiale e profondo che ne garantisce il livello di isolamento;
4. l'utilizzo di un metodo parametrico speditivo per la valutazione della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero profondo rapportato a ciascun GWB.

Il primo aspetto denota le pressioni di tipo quantitativo incidenti sulla risorsa e il secondo la possibilità che opere obsolete o con cementazioni precarie possano mettere in comunicazione gli acquiferi.

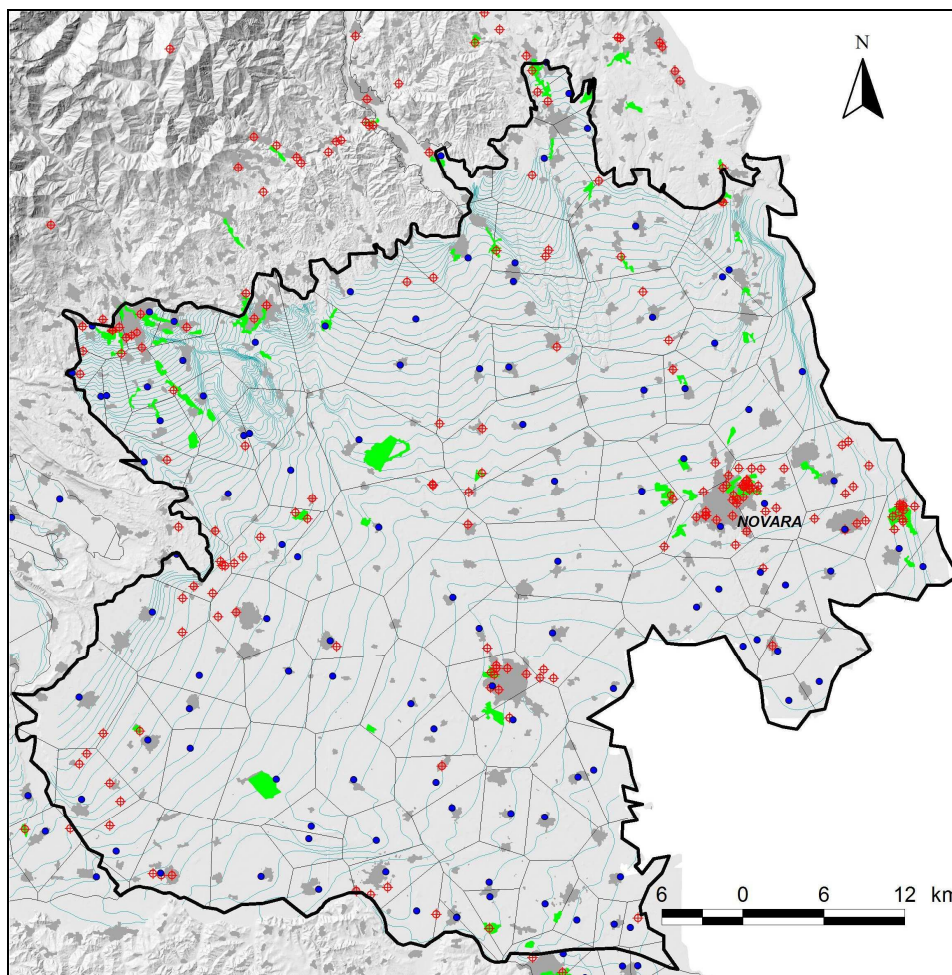
Inoltre, è importante rimarcare la sostanziale differenza che sussiste tra i due sistemi idrici sotterranei ai fini dell'interpretazione dei dati del monitoraggio; infatti, mentre l'acquifero superficiale si può configurare come un'entità che presenta una modalità di circolazione idrica

sotterranea sostanzialmente omogenea a livello di GWB, i cui punti di captazione filtrano generalmente un unico livello permeabile con peculiari caratteristiche qualitative, nel caso dei pozzi profondi i livelli produttivi possono essere molteplici, sovrapposti, più o meno confinati tra loro e non necessariamente correlabili tra pozzi adiacenti.

Pertanto, la valutazione delle pressioni per il sistema profondo non è stata sviluppata nella fase di implementazione della WFD e sarà possibile farlo soltanto quando saranno qualificabili i vari elementi in gioco con l'ausilio di studi dedicati.

Tuttavia, l'analisi delle pressioni ai fini della determinazione dei VF per i metalli richiede un approccio specifico per gli indicatori collegati a potenziali immissioni di tali elementi nell'ambiente; in primo luogo le aree produttive, i siti contaminati, le aree adibite a discariche e, in secondo luogo, le aree urbanizzate. Ad esempio la Figura 4.61 mostra l'incidenza di tali pressioni nell'ambito del contesto areale riferito a GWB-S1. La presenza di comunque limitati areali di potenziale influenza, in relazione alla superficie del GWB, tenendo anche conto della densità dei punti di monitoraggio e del fattore d'influenza puntuale determinato dai poligoni di Thiessen per ciascun punto, non concorrono a fare presagire anomalie su vasta scala (a livello di GWB), ma solo eventuali interferenze molto localizzate.

Apparirebbero invece più determinanti nella configurazione di eventuali scenari di presenza (naturale) di metalli su vasta scala i fattori geochimici legati alla solubilizzazione delle specie metalliche presenti nelle formazioni acquifere e/o la notevole capacità di diluizione dei sistemi acquiferi in relazione alle corrispondenti portate specifiche.



**Figura 4.61:** Schema delle pressioni incidenti su GWB-S1. Sono indicati: in verde le aree commerciali produttive, in rosso i siti contaminati, in grigio l'urbanizzato, in azzurro la piezometria, oltre ai punti di monitoraggio (blu) ed i relativi poligoni di Thiessen (grigio).

#### **4.7. Fattori naturali che generano anomalie da metalli nelle acque sotterranee**

I fattori naturali che possono condurre alla generazione di anomalie da metalli nelle acque sotterranee (nel caso in questione per Nichel e Cromo) sono legati essenzialmente alla

composizione delle rocce incassanti gli acquiferi ed ai processi di interazione acqua roccia che si sviluppano nel tempo all'interno di tale sistema.

Un dato che risalta dalle analisi effettuate è che tali anomalie siano comunque circoscritte a particolari settori ubicati in modo più o meno continuo all'interno di aree con caratteristiche abbastanza simili e depone in favore della presenza di situazioni peculiari che, da un lato possono interessare le caratteristiche geologiche-petrografiche-mineralogiche di una determinata porzione dell'acquifero (e del GWB afferente), dall'altro le condizioni chimico fisiche del sistema in soluzione che possono altresì innescare processi di alterazione/dissoluzione degli elementi in questione.

#### **4.7.1. Aspetti petrografici e mineralogici**

I depositi presenti all'interno dei bacini di sedimentazione (trattati al paragrafo 4.3) che nel succedersi degli eventi geologici legati alla formazione delle Alpi si sono accavallati e sovrapposti, con potenze a volte superiori ai mille metri, sono formati da clasti di varie dimensioni erosi dagli apparati alpini che costituiscono i rilievi al confine dell'area di pianura. Tali depositi con il succedersi degli eventi geologici e in concomitanza con i fenomeni di diffusione delle acque in sistemi porosi, hanno assunto la connotazione di gruppi acquiferi all'interno dei quali la circolazione delle acque sotterranee ha instaurato dei processi di alterazione/dissoluzione/trasporto nei confronti dei costituenti chimici delle masse litoidi permeate. Risulta pertanto evidente come le caratteristiche petrografico mineralogiche dei clasti incassanti possa influenzare il chimismo delle acque circolanti in una scala d'intensità del fenomeno che, partendo dai costituenti fondamentali, può coinvolgere anche gli elementi in tracce dando luogo a vere e proprie anomalie chimiche. Nel caso di metalli come Nichel e Cromo è altrettanto evidente che la sorgente del fenomeno si debba ricercare in quelle formazioni che contengono con maggiore abbondanza minerali ferro magnesiaci come le "pietre verdi" (ofioliti); oppure, i filoni mineralizzati per risalita di fluidi idrotermali che coinvolgono generalmente rocce cristalline interessate da processi tettonici profondi. Una peculiarità dei rilievi che circondano l'area di pianura oggetto di monitoraggio, dove i processi esogeni hanno originato i sedimenti che la compongono, è l'affioramento ricorrente di corpi rocciosi afferenti alla "Zona piemontese dei calcescisti con pietre verdi" (vedi Paragrafo 4.2). Si riconoscono in particolare: serpentiniti, derivanti dal metamorfismo delle peridotiti (rocce ultrabasiche del mantello superiore); metabasiti (metagabbri e prasiniti) derivati metamorfici delle rocce basiche (gabbri e basalti) che sono i tipici costituenti della crosta oceanica; calcescisti, che rappresentano la trasformazione metamorfica dei sedimenti calcarei che ricoprivano i fondali marini.

Le serpentiniti costituiscono il litotipo predominante; si tratta di rocce ultrafemiche metamorfizzate appartenenti alla famiglia delle peridotiti, rocce nelle quali quasi tutti i minerali componenti (olivina, pirosseno e a volte gli anfiboli) si sono trasformati in serpentino. Questo minerale è identificato dalla seguente formula chimica generale con le sue tre principali modificazioni:

Serpentino:  $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$

Lizardite:  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$

Crisotilo:  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$

Antigorite:  $(Mg,Fe^{++})_3Si_2O_5(OH)_4$

Nelle serpentiniti possono essere presenti, in quantità variabile ma sempre subordinata, numerosi altri minerali accessori. Ad esempio, per quanto concerne i silicati, si possono riscontrare: clorite, olivina, diopside, talco, tremolite-actinolite; mentre per i minerali metallici del ferro: cromo, nichel, cobalto, oltre a ossidi, solfuri e metalli nativi. Possono, inoltre, ritrovarsi idrossidi (brucite) e carbonati.

Ovviamente, tutte queste specie mineralogiche non si ritrovano contemporaneamente nelle serpentiniti: il tipo di associazione mineralogica dipende dalle condizioni chimico-fisiche esistenti durante il processo di serpentizzazione (che è un tipico processo metamorfico). Se i minerali accessori d'interesse industriale sono concentrati e in tenori e cubature significative si ha un giacimento minerario; in tal modo, associati alle serpentiniti, si hanno mineralizzazioni a minerali metallici (magnetite, cromite e più raramente minerali di nichel) e litoidi (amianto, talco, magnesite).

## 4.7.2. Nichel

### 4.7.2.1. Generalità

Il Nichel è un metallo bianco argenteo che subisce un'alta lucidatura. Appartiene al gruppo del ferro ed è duro, malleabile e duttile. Il Numero Atomico è 28, la temperatura di fusione: 1455°C, il Peso Atomico: 58; la Densità: 8900 Kg/m<sup>3</sup>. Lo stato di ossidazione più comune è +2, ma sono stati osservati anche complessi di Nichel in stati di ossidazione 0, +1 e +3. E' un conduttore abbastanza buono di calore e di elettricità. La maggior parte dei composti del Nichel sono blu o verdi, il metallo si dissolve lentamente in acidi diluiti ma, come il ferro, diventa passivo una volta trattato con acido nitrico.

L'uso principale del Nichel è nella preparazione delle leghe, le cui proprietà principali sono essenzialmente: resistenza, duttilità e resistenza alla corrosione ed al calore. Molti acciai inossidabili contengono Nichel: circa il 65 % del metallo consumato nel mondo occidentale sono usati per produrre acciaio inossidabile, la cui composizione può variare ma è tipicamente costituita da ferro con 18% Cromo e 8% Nichel. Il 12 % di tutto il Nichel consumato confluisce nelle superleghe. Il 23% restante è diviso tra acciai legati, batterie ricaricabili, catalizzatori e gli altri prodotti chimici, coniazione, prodotti di fonderia e placcatura.

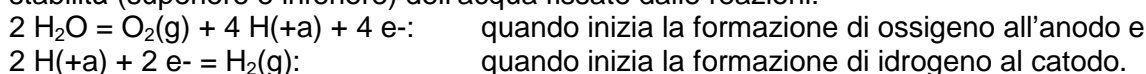
Il Nichel è facile da lavorare e può essere modellato in cavi. Resiste alla corrosione anche alle alte temperature e per questo motivo è usato in turbine a gas e motori.

I maggiori giacimenti di Nichel si ritrovano in Russia, Australia, Nuova Caledonia, Cuba, Canada e Sud Africa. La maggior parte dei minerali da cui il Nichel è estratto sono solfuri del Ferro-Nichel, come la Pentlandite; pertanto, non si ritrova mai allo stato puro, ma si rinviene associato (nel reticolo o come impurità) nei seguenti minerali:

Pentlandite:	(Fe,Ni) <sub>9</sub> S <sub>8</sub>
Magnetite:	FeO x Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Heazlewoodite:	Ni <sub>3</sub> S <sub>2</sub>
Awaruite:	Ni <sub>3</sub> Fe
Rame nativo:	Cu
Mackinawite:	(Fe,Ni)S <sub>0-9</sub>
Pirrotina:	Fe <sub>1-x</sub> S (x=0 ... x=0.2)
Violarite:	Fe <sup>2+</sup> Ni <sub>2</sub> S <sub>4</sub>
Calcosina:	Cu <sub>2</sub> S
Bornite:	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>
Covellina:	CuS
Calcopirite:	CuFeS <sub>2</sub>
Cubanite:	CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
Gersdorffite:	NiAsS
Cobaltite	C <sub>0</sub> AsS

### 4.7.2.2. Dinamiche in soluzione acquosa del Nichel

Il comportamento del Nichel nell'acquifero, o meglio sotto che forma è presumibile la sua presenza e circolazione nelle acque sotterranee, può essere schematizzato con l'ausilio di un diagramma Eh-pH. Queste rappresentazioni, conosciute anche come diagrammi di Pourbaix, servono a visualizzare i settori di stabilità termodinamica delle differenti specie riferite ad un particolare elemento in soluzione. Di seguito (Figura 4.62) viene mostrata la versione più semplice con un solo elemento (in questo caso rappresentato dal Nichel) e dalle relative specie compatibili in soluzione acquosa. Le aree di stabilità sono rappresentate come una funzione del pH e del potenziale elettrochimico (Eh), mentre le linee oblique parallele (in blu) rappresentano i limiti di stabilità (superiore e inferiore) dell'acqua fissate dalle reazioni:



Le altre linee presenti nel diagramma possono essere assimilate a equazioni di reazioni chimiche secondo tre gruppi principali:

Linee orizzontali: rappresentano le reazioni che coinvolgono elettroni ma sono indipendenti dal pH; in questo caso né gli ioni H né quelli OH partecipano al processo.



Linee diagonali: (sia con pendenza positiva o negativa) rappresentano le reazioni che coinvolgono sia gli elettroni che gli ioni H e OH.

Linee verticali: rappresentano le reazioni dove sono coinvolti sia gli ioni H e OH ma sono indipendenti dall'Eh; cioè gli elettroni non partecipano a questi processi.

Dall'esame del diagramma riportato in Figura 4.62 si evince come la specie predominante per la coppia di intervalli tipici riscontrabili nelle acque sotterranee (<6 pH <8 ed <0 Eh <1,2) sia lo ione Nichel bivalente ( $Ni^{2+}$ ).

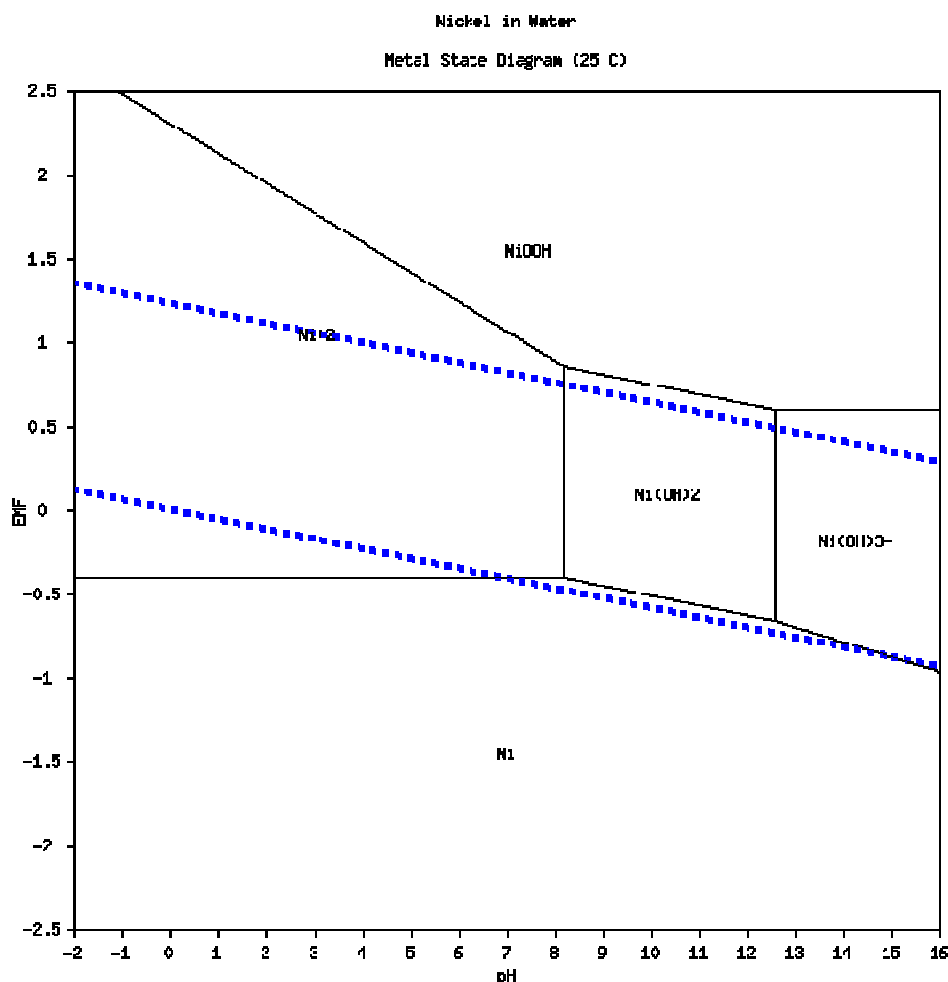


Figura 4.62.: Diagramma di Pourbaix per il Nichel

### 4.7.3. Cromo

#### 4.7.3.1. Generalità

Il Cromo è un metallo duro, lucido, color grigio acciaio; può essere facilmente lucidato, fonde con difficoltà ed è molto resistente alla corrosione. Il Numero Atomico è 24, la temperatura di fusione: 1857°C, il Peso Atomico: 52; la Densità: 7140 Kg/m<sup>3</sup>. Gli stati di ossidazione più comuni del Cromo sono +2, +3 e +6, di cui +3 è il più stabile, mentre gli stati +4 e +5 sono relativamente rari. I composti del Cromo +6 (Cromo esavalente) sono potenti ossidanti. Gli impieghi principali di questo metallo riguardano essenzialmente:

- Metallurgia: per conferire resistenza alla corrosione ed una finitura lucida: come costituente per leghe resistenti al calore (grazie alla funzione protettiva dell'ossido Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), come nell'acciaio inox; nelle leghe per resistenze elettriche al Ni-Cr (80% Ni - 20% Cr) o Fe-Ni-Cr (con tenori massimi del 30%) e nella cromatura nell'alluminio anodizzato.
- Smalti e vernici: l'ossido di Cromo (III) è un lucidante per metalli conosciuto come "green rouge", i sali di cromo colorano il vetro di verde smeraldo, il cromo è responsabile del colore rosso dei rubini ed è usato nella produzione di rubini sintetici. Il verde cromo è un ossido di cromo (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) usato nelle vernici per miniature, modellismo e pittura su vetro, il giallo cromo è un pigmento giallo brillante, PbCrO<sub>4</sub>, usato dai pittori.

- Altri impieghi: come catalizzatore; il Cromo esacarbonile  $\text{Cr}(\text{CO})_6$  è usato come additivo della benzina; il boruro di cromo  $\text{CrBr}_3$  è usato per i conduttori ad alta temperatura; la Cromite (minerale del cromo) si usa per fare impasti per la cottura dei mattoni; I sali di cromo si usano nella conciatura del cuoio. Si usa anche come mordente per tinture per stoffa; l'ossido di Cromo (IV) ( $\text{CrO}_2$ ) si usa per fabbricare nastro magnetico grazie alla maggiore coercibilità rispetto al Ferro, dato che i nastri al Cromo offrono prestazioni superiori.

Il Cromo trivalente è un oligonutriente essenziale, necessario per il corretto metabolismo degli zuccheri nel corpo umano: una carenza di cromo influenza la capacità dell'insulina di regolare il livello di glucosio nel sangue; viceversa, il Cromo esavalente è altamente tossico e mutagenico.

Il Cromo cristallizza essenzialmente nello stato di ossidazione trivalente, poiché i minerali contenenti la fase esavalente sono alquanto rari; tra questi, quello maggiormente conosciuto è la crocoite ( $\text{PbCrO}_4$ ), mentre altre mineralizzazioni ancora più inconsuete interessano i depositi evaporitici e includono il cromato ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) e il dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) combinati con sodio, potassio, calcio o bario e con percentuali variabili di solfati o altri anioni. Pertanto, la maggioranza di minerale estratta ai fini commerciali (e come Cromo trivalente) è rappresentata dalla cromite ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ); dalla quale, mediante riscaldamento in presenza di alluminio o silicio, si ottiene il cromo metallico commerciabile. Circa metà della cromite estratta nel mondo viene dal Sudafrica, altri produttori importanti sono: Kazakistan, India e Turchia. Esistono molti giacimenti vergini di cromite che sono concentrati prevalentemente in Kazakistan e Sudafrica.

#### 4.7.3.2. Dinamiche in soluzione acquosa del Cromo

Analogamente a quanto trattato per il Nichel, anche per il Cromo, nella Figura 4.63 viene illustrato il diagramma di Pourbaix per avere un'idea del comportamento di tale metallo nell'acquifero, o meglio, sotto che forma è presumibile la sua presenza e circolazione nelle acque sotterranee.

Dall'esame del grafico in Figura 4.63 si evince come la specie più comune in soluzione per le condizioni più tipiche delle acque sotterranee ( $<6 \text{ pH} < 8$  ed  $<0 \text{ Eh} < 1,2$ ) sarebbe quella trivalente ( $\text{Cr}^{3+}$ ), mentre l'area sottesa dalle specie con Cromo esavalente ( $\text{CrO}_4^{2-}$  e  $\text{HCrO}_4^-$ ) appare alquanto limitata e relegata nella parte superiore tra i limiti di stabilità dell'acqua (linee verdi tratteggiate).

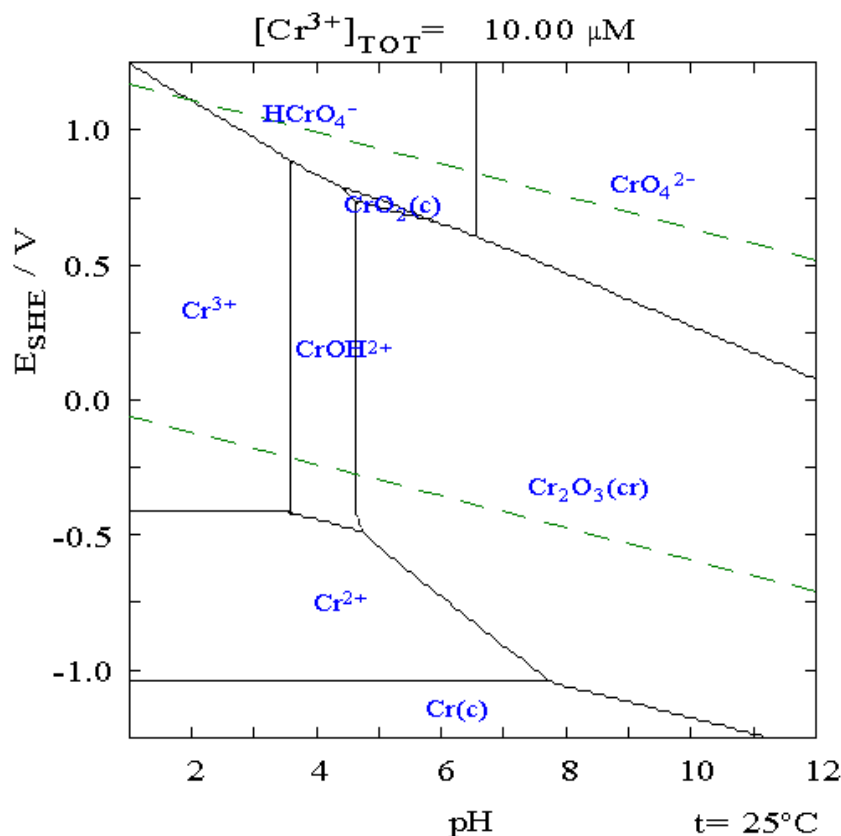


Figura 4.63: Diagramma di Pourbaix per il Cromo

La superficie interessata dalle specie con Cromo esavalente è contraddistinta dai maggiori valori di Eh e denota condizioni di ossigenazione più elevate.

#### **4.7.4. Valutazioni di sintesi**

I processi che comportano una determinata mineralizzazione delle acque sotterranee, sia per quanto concerne i costituenti di base che gli elementi accessori come i metalli, sono riconducibili alle reazioni chimico fisiche tra gli elementi presenti nei sedimenti che compongono l'acquifero e le condizioni del sistema circostante. Gli equilibri e le reazioni che si sviluppano in soluzione, in un sistema naturale come quello delle acque sotterranee, sono alquanto complessi e dipendenti da tutta una serie di variabili difficilmente schematizzabili. Anche un tentativo abbastanza semplice di comprendere la mobilizzazione e la speciazione in soluzione di Nichel e Cromo, tramite i diagrammi di Pourbaix (tenendo conto delle condizioni chimico-fisiche di esistenza e circolazione delle acque sotterranee), ha fornito un risultato plausibile per il Nichel, con il riscontro in soluzione dello ione  $Ni^{2+}$ , ed uno alquanto discordante per il Cromo. Infatti, nel caso in questione, il diagramma di Pourbaix evidenzerebbe una maggiore attitudine ad avere la specie trivalente in soluzione, mentre in realtà la ripartizione tra le due forme di Cromo predilige quella esavalente, che tra l'altro è molto più solubile e rappresenta circa l'80% delle specie di Cromo riscontrate, (come risalta anche dai dati analitici derivanti dal monitoraggio). Al riguardo, immaginando un processo di trasferimento in soluzione del metallo da una fase mineralogica oggetto di degradazione e considerando predominante la specie trivalente, il processo di ossidazione verso la fase esavalente apparirebbe complicato dall'ambiente delle acque sotterranee, tendenzialmente poco ossigenato e con valori di pH sostanzialmente neutri. Questa deduzione renderebbe pertanto difficile accettare la presenza della fase esavalente come un possibile processo naturale. Tuttavia, come accennato in precedenza, numerose sono le variabili potenzialmente in gioco che potrebbero condurre ad ottenere un risultato molto diverso ed è presumibile che i diagrammi citati, in particolare per il Cromo, non tengano conto dell'interazione di altre coppie ossido-riduttive presenti in soluzione che possono modificare gli equilibri e gli aspetti legati al trasferimento in soluzione delle specie in gioco.

Approfondimenti scientifici in questo senso sono stati forniti in dettaglio dal Servizio Geologico Francese (BRGM) che ha proposto un metodo finalizzato alla determinazione del fondo geochimico di un acquifero, in funzione del grado delle conoscenze acquisite in merito al sistema fisico in studio (*Guide technique qualité naturelle des eaux souterraines: Méthode de caractérisation des états de référence des aquifères français*, Laurence Chéry, BRGM édition, 2006); questo metodo è stato valutato nella relazione della Fase 1 del progetto.

Una caratteristica dell'approccio BRGM è il notevole risalto dato all'acquisizione ed elaborazione di dati geochimici provenienti non solo dalle acque dei punti di monitoraggio, ma anche e soprattutto dalle formazioni acquifere incassanti. Un ruolo importante è stato attribuito anche alle determinazioni isotopiche sulle acque utilizzate come elemento discriminante per distinguere le influenze sul chimismo dei fattori naturali da quelli antropici. In questo caso la parte di analisi statistica appare subordinata a tutta una serie di informazioni di dettaglio che concorrono a definire un quadro di se per se già sufficientemente esaustivo.

Il metodo BRGM rappresenta soprattutto il risultato della notevole esperienza acquisita a livello internazionale dalla scuola francese, per quanto riguarda lo sviluppo e l'applicazione di studi geochimici su acque e minerali, l'elaborazione di dati geochimici (in particolare sulle acque) con abbondante profusione di ricerche sugli equilibri in fase acquosa delle specie ioniche (semplici e complesse), sugli isotopi, nonché sulle interazioni solido-liquido. Insieme a questo si deve aggiungere un ottimale sistema di acquisizione e gestione dei dati provenienti dai monitoraggi, integrato e corredato da tutta una serie di informazioni geoscientifiche derivanti dagli studi di cui sopra.

Appare evidente che una proposta di questo tipo, supportata anche da un eccellente livello per quanto concerne le caratteristiche e la rappresentatività dei punti di monitoraggio, rappresenti un diverso approccio metodologico alla definizione del VF dei metalli.

Spostandosi nel contesto nazionale/piemontese, un limite che risalta immediatamente nell'ipotesi di volersi cimentare in un approccio tipo BRGM, è la carenza di un adeguato background geoscientifico a supporto del dato di monitoraggio (ad una scala opportuna), nel senso che manca una preesistente definizione di tutti gli aspetti che concorrono alla determinazione del VF basata su

studi dedicati che non coinvolgono necessariamente i dati del monitoraggio; ma sui quali, i dati del monitoraggio si dovrebbero necessariamente confrontare. Tali aspetti sviluppati, in Francia nel corso degli anni da BRGM, esulano ovviamente dai compiti del presente lavoro.

## **4.8. Interazione tra fattori antropici nella valutazione delle anomalie da metalli nelle acque sotterranee**

### **4.8.1. Introduzione**

Nell'ambito di una valutazione più approfondita per determinare le cause che producono anomalie di Nichel e Cromo nelle acque sotterranee, oltre ai fattori naturali trattati nel paragrafo precedente, risulta determinante comprendere il grado d'influenza della componente antropica. L'analisi delle pressioni ha permesso di individuare i settori dove la componente antropica può risultare più determinante senza tralasciare tuttavia la possibilità che anche i fattori naturali possano esercitare un certa influenza ai fini della definizione dell'anomalia complessiva. Inoltre, ai fini delle valutazioni, risulta fondamentale distinguere sia tra il tipo di metallo, ognuno dei quali può esibire un percorso di origine-mobilizzazione-riscontro peculiare, che l'ambito di circolazione idrica sotterranea. Infatti, come accennato nei capitoli precedenti, mentre per la falda superficiale l'associazione pressione-impatto-stato della risorsa hanno una corrispondenza diretta; nel caso delle falde profonde tale scenario risulta alquanto complicato, nel senso che non sempre è possibile avere la certezza che ciò che si sta misurando rispecchi veramente il contesto ambientale che s'intende investigare. Infatti, può accadere che il sistema profondo, per fattori legati alle caratteristiche delle opere di captazione o all'assetto idrogeologico locale, possa essere in comunicazione più o meno diretta con il sistema superficiale. Tale situazione può essere ulteriormente complicata dall'attività di esercizio dell'opera (pompaggio), che in modo esclusivamente puntuale può richiamare delle acque dal sistema superficiale senza implicare necessariamente una compromissione, anche seppur localizzata, del sistema profondo; questo fenomeno risulta legato spesso a fattori costruttivi dell'opera generalmente non verificabili. Tali inconvenienti, che possono fornire un'informazione imprecisa, non possono essere del tutto eliminati, anche dopo l'accurato processo di selezione dei punti di monitoraggio effettuato ai fini del progetto, e richiedono pertanto uno scrupolo maggiore nella valutazione dei risultati ottenuti.

### **4.8.2. Nichel**

Sulla base delle anomalie riscontrate dai dati del monitoraggio, la presenza del Nichel interessa, a parte situazioni isolate, sostanzialmente il contesto idrico sotterraneo superficiale. Le maggiori occorrenze appaiono localizzate nei seguenti corpi idrici sotterranei:

- **GWB-S1** (Pianura Novarese, Biellese e Vercellese)
- **GWB-S3a** (Pianura Torinese e Canavese tra Dora Baltea e Stura di Lanzo)
- **GWB-S9** (Pianura Alessandrina in destra Tanaro).

L'analisi e la sintesi di tutti i fattori esaminati concorrono a delineare uno scenario per il quale l'anomalia del metallo è riconducibile essenzialmente a un'origine naturale. Infatti, l'assenza di fonti di pressione su vasta scala per i **GWB** considerati, la non concomitanza, (nei punti esaminati) di altri metalli comunemente associati ai processi industriali in cui ricade anche il Nichel (come Zinco e Piombo), il tutto sovrapposto ad una distribuzione diffusa del fenomeno su base areale, ma comunque circoscritta a livello di **GWB**, non possono che far propendere per tale ipotesi.

Sussistono altri fattori geoscientifici che contribuiscono a delineare l'interpretazione proposta; infatti, dall'esame delle Figure 4.64, 4.65 e 4.66 si evince come i **GWB** in questione (o settori di quest'ultimi), siano relativamente vicini agli apparati montuosi caratterizzati da formazioni ofiolitiche (peridotiti, serpentiniti, metabasati e gabbri) con abbondanza di minerali ferro-magnesiaci la cui degradazione, trasporto e successiva deposizione nei settori di pianura (come sintemi) originarono le formazioni acquifere. Al riguardo, appare particolarmente eclatante la situazione riscontrata nel settore **SO** di **GWB-S3a** (Figura 4.64), che presenta i valori più elevati di Nichel. In tale zona **GWB-S3a** si trova a ridosso del massiccio di Lanzo, formato da serpentiniti e peridotiti. Anche l'andamento della direzione di deflusso della falda superficiale (che segue in prevalenza il profilo topografico-morfologico del terreno), appare orientato nella direzione delle paleo correnti fluviali che, originandosi dalla parte montuosa, defluiscono nella sottostante pianura portando in carico volumi consistenti di materiale alluvionale eroso dai rilievi. Anche i settori nord ed est di **GWB-S3a**



denotano valori anomali di Nichel riferibili al contributo dei prodotti di deposizione (che compongono gli acquiferi) di origine glaciale e fluvioglaciale associati ai processi che hanno originato l'anfiteatro morenico di Ivrea. In questo caso si suppone l'influenza di clasti di tipo serpentinitico o con caratteristiche petrografiche simili. Questo aspetto sembra avvalorato anche dai riscontri delle perforazioni per acqua effettuate nella zona ove sia stata effettuata una disamina (anche speditiva) delle caratteristiche sedimentologiche delle formazioni attraversate.

Una situazione analoga si osserva anche nella parte inferiore di GWB-S1 (Figura 4.65) immediatamente a SE dell'anfiteatro morenico di Ivrea (nella probabile direzione di propagazione delle paleo-correnti), dove i depositi glaciali e fluvioglaciali contribuirono alla formazione dell'acquifero superficiale che incorpora clasti con composizione mineralogica paragonabile a quella ipotizzata per i settori nord ed est di GWB-S3a.

Nel GWB-S9, corrispondente all'area Alessandrina (Figura 4.66), l'anomalia da Nichel denota una configurazione più complessa (rispetto alle zone precedenti), con valori medi che contraddistinguono la presenza del metallo ma senza superamenti del VS. Tuttavia, si osserva un'aggregazione di punti localizzata nel settore centro meridionale con anomalie significative di Nichel anche in questo caso riferibile alla presenza di formazioni geologiche con serpentiniti a monte del Bacino di Alessandria (a sud della carta di Figura 4.66), da dove si originarono i sedimenti che compongono l'acquifero. Nelle parti restanti di GWB-S9 si osservano punti anomali mescolati con punti non anomali in una configurazione a scacchiera per la quale non è possibile distinguere altre zone di addensamento. Le risultanze geologiche-mineralogiche-idrogeologiche per tutte le aree appena considerate vengono confermate anche dai dati geochimici; infatti, le porzioni di GWB (Aree Idrogeologiche) interessate dalle anomalie da Nichel presentano spesso un'importante componente bicarbonato-magnesiaca o magnesiaca, a testimoniare l'influenza di interazioni acqua-roccia con minerali ferro magnesiaci tipici dei complessi ofiolitici.

### **4.8.3. Cromo**

La valutazione dell'interazione tra fattori naturali e antropici sull'anomalia da Cromo, sulla base dei dati del monitoraggio, viene affrontata per quei GWB che presentano anomalie significative. E' importante rimarcare che a prescindere della ripartizione esistente tra Cromo totale ed esavalente, la specie che presenta le maggiori criticità dal punto di vista ambientale (e del relativo VS), è la forma esavalente; quindi, la valutazione del Cromo totale è stata affrontata ai fini di un più dettagliato esame dei fenomeni che coinvolgono la geochimica del Cromo esavalente.

I GWB presi in considerazione, sulla base delle medie di Cromo esavalente per il periodo 2005-2011, per le anomalie evidenziate sono i seguenti:

- GWB-S9 (settore Alessandrino del sistema superficiale);
- GWB-S3b (settore Torinese centrale del sistema superficiale);
- GWB-S5a (settore Torinese meridionale del sistema superficiale);
- GWB-P2 (settore Torinese del sistema profondo);
- GWB-P3 (settore Cuneese del sistema profondo).
- GWB-P4 (settore Alessandrino del sistema profondo)

Nelle Figure 4.67, 4.69, 4.71, 4.73 e 4.75 viene illustrata l'associazione Cromo esavalente-totale, mentre nelle Figure 4.68, 4.70, 4.72, 4.74 e 4.76 vengono riportati, oltre alla distinzione di assenza, presenza e superamento del VS per il Cromo esavalente (sulla base delle medie 2005-2011), anche le occorrenze di VOC, l'ubicazione dei siti contaminati e le aree industriali commerciali (da Corine Land Cover 2006). Per quanto riguarda i siti contaminati, si è cercato di qualificare le informazioni disponibili distinguendo, tra i siti oggetto di procedimento di bonifica, quelli con una conclamata contaminazione da Cromo (esavalente e/o totale) della matrice acque sotterranee, da quelli dove la contaminazione da Cromo interessava esclusivamente suolo e sottosuolo, ma che non poteva escludere un impatto sulle acque sotterranee determinato da concentrazioni inferiori alla concentrazione soglia di contaminazione (CSC) previste dal D.L.vo 152/2006 (Parte IV Titolo V). Inoltre, sono stati indicati anche gli altri siti contaminati che evidenziano una contaminazione delle acque sotterranee ad opera di sostanze diverse (metalli escluso il Cromo e/o VOC). Questo aspetto testimonia un contesto ambientale con pressioni di tipo industriale significative e impatto conclamato sulla risorsa.

Per quanto riguarda invece la presenza dei VOC nelle acque sotterranee, sono stati evidenziati i punti di monitoraggio le cui medie, nell'ambito del periodo considerato, abbiano manifestato valori

non nulli. Al riguardo, l'associazione Cromo-VOC va interpretata non necessariamente come un legame genetico esistente tra le due sostanze in un ambito produttivo, bensì come indicatori di una significativa pressione di tipo industriale-commerciale incidente sulla risorsa. Tra l'altro Cromo e VOC sono caratterizzati da processi chemio dinamici sostanzialmente diversi per quanto riguarda i fenomeni di percolazione, transito ed eventuale giacitura finale nell'ambiente idrico sotterraneo.

Per quanto concerne GWB-S9 nelle Figure 4.67 e 4.68 sono riportati, rispettivamente, i confronti tra le specie di Cromo e tra Cromo esavalente, VOC, aree produttive e siti contaminati.

L'esame della Figura 4.67 evidenzia una diffusione generalizzata delle due specie di Cromo in seno al GWB, pur con diverse modulazioni del fenomeno. Infatti, è possibile circoscrivere due situazioni principali: un addensamento di punti con presenza di ambedue le specie che interessa il settore centrale del GWB fino a lambire il confine con GWB-S8 ed un settore NE (di estensione più limitata) separato dal precedente da una fascia orientata in direzione NNO-SSE sostanzialmente senza anomalie. Il settore NE si distingue da quello centrale per una minore diffusione del Cromo esavalente rispetto al totale che interessa principalmente i punti ubicati nell'estrema parte NNE del GWB. I siti contaminati da Cromo totale e/o esavalente (Figura 4.68) sono ubicati principalmente nel settore centro settentrionale (hinterland Alessandrino) e nella parte SE (Novi Ligure), in questo caso la contaminazione riguarda essenzialmente suolo e sottosuolo; mentre i siti dove la contaminazione interessa la matrice acque sotterranee sono ubicati nella zona di Spinetta Marengo ed immediatamente a sud di Alessandria. Per quanto concerne invece la presenza di VOC le elaborazioni effettuate evidenziano tre settori di raggruppamento di punti vulnerati: una zona a nord di Tortona, una zona in corrispondenza ed immediatamente a nord di Novi Ligure e il concentrico di Alessandria. Con l'obiettivo di tracciare un quadro che tenga conto dei fattori naturali e antropici presenti sul territorio, al fine di comprendere le anomalie riscontrate, vengono di seguito analizzate e sintetizzate le informazioni derivanti dalle cartografie delle Figure 4.67 e 4.68. Al riguardo, si conviene che il modello concettuale basato sulla valutazione degli aspetti geoscientifici utilizzato per il Nichel è applicabile anche per il Cromo, poiché incorpora gli stessi elementi che possono giustificare un'anomalia naturale (composizione delle formazioni geologiche al contorno, chimismo delle acque sotterranee, etc.). Alla luce di quanto esposto è plausibile che il settore centro meridionale di GWB-S9 risenta di un maggiore contributo naturale dato dalla vicinanza con le formazioni ofiolitiche (in una situazione analoga a GWB-S3a) e dall'assenza di fattori di pressione, tenendo anche conto della direzione di deflusso della falda. Il settore in questione dovrebbe essere limitato a nord dalla zona di Spinetta Marengo ed a est dall'area di Novi Ligure, dove invece sono presenti importanti fattori di pressione ed una contaminazione da Cromo di conclamata origine antropica. Un discorso diverso riguarda invece il settore NE con una minore affinità ai fattori geoscientifici citati in precedenza ed una rarefazione dei siti contaminati con presenza di Cromo. Tuttavia, l'elevata presenza di punti vulnerati da VOC depone per una situazione dove le pressioni industriali incidono notevolmente sull'ambiente idrico sotterraneo e seppur all'origine non sia stata riconosciuta una pressione specifica che giustifichi l'anomalia da Cromo, il contesto è sicuramente complicato da molteplici criticità puntuali che rendono praticamente impossibile isolare un ambito territoriale apprezzabile dove l'anomalia da Cromo sia attribuibile (anche solo prevalentemente) a fattori naturali.

Nella Figura 4.69 viene riportato il confronto tra le specie di Cromo per GWB-S3b (inerente il territorio compreso dalla città di Torino e l'hinterland sud) ed il confinante GWB-S5a relativo alla pianura Pinerolese nord. In ambedue i GWB la maggior parte dei punti denota la presenza di Cromo totale, mentre la specie esavalente è molto meno rappresentata. Gli unici elementi degni di nota riguardano: la parte nord di GWB-S3b, dove si osserva una maggiore aggregazione di Cromo totale con assenza della specie esavalente (un fenomeno che interessa parzialmente anche la zona SE di GWB-S5a), e il settore di GWB-S5a tra Buriasco, Piscina e Airasca dove si riconosce la presenza simultanea delle due specie di metallo. La Figura 4.70, che riporta il confronto tra Cromo esavalente, VOC, copertura di aree industriali e siti contaminati denota uno scenario sostanzialmente diverso per i due GWB considerati. Infatti, per quanto concerne le pressioni, in GWB-S3b (a differenza di GWB-S5a) si osserva una elevata concentrazione di siti contaminati (diversi dei quali inquinati da Cromo) e superfici notevoli di zone industriali commerciali. Questo scenario viene confermato anche dalla presenza dei VOC nelle acque sotterranee: un fenomeno che interessa la maggior parte dei punti di GWB-S3b e solo un punto marginale in GWB-S5b. Alla luce di quanto esposto appare chiara la diversità esistente tra i due GWB e come questi non

possano essere trattati in modo congiunto ai fini dello studio del fenomeno, ma solo per comodità di rappresentazione cartografica. Mentre per GWB-S3b, a causa delle notevoli implicazioni antropiche (come intensità e diffusione), appare improponibile approntare un approccio statistico per la determinazione di un valore di fondo naturale per il Cromo esavalente, la situazione potrebbe essere diversa per GWB-S5a. Tuttavia, è importante rimarcare alcuni aspetti rilevanti che potrebbero inibire tale possibilità, come la potenziale limitatezza dell'area da considerare anomala (in funzione dei punti rappresentativi), e la mancanza di un supporto idrogeologico ai fini della delimitazione. In questo caso risulta difficile spiegare la presenza di punti con assenza di Cromo ubicati a monte idrogeologico di quelli invece selezionabili per la valutazione di un fondo naturale.

La Figura 4.71 riproduce per certi aspetti lo scenario della situazione precedente in quanto presenta il confronto tra le specie di Cromo per GWB-P2, cioè il corpo idrico sotterraneo profondo subjacente GWB-S3a, GWB-S3b e GWB-S5a. Si osserva una presenza generalizzata della forma totale ed esavalente in quasi tutti i punti di monitoraggio, con superamenti del VS per la forma esavalente ubicati prevalentemente nella parte SO del GWB. I punti che denotano l'assenza del fenomeno sono alquanto sporadici e marginali. La Figura 4.72 propone il confronto tra Cromo esavalente, VOC, copertura di aree industriali e siti contaminati; in questo caso, per quanto riguarda le pressioni, il contesto territoriale è il medesimo trattato per i sovrastanti GWB superficiali, mentre l'effettivo contributo (diretto e/o indiretto) di tali pressioni come impatto sull'acquifero confinato profondo non è un aspetto facilmente quantificabile. Infatti, pur supponendo fenomeni d'intercomunicazione tra il sistema idrico sotterraneo superficiale e quello profondo, non si è in grado di stabilire l'intensità e la diffusione dell'eventuale contaminazione (anomalia) da Cromo. E' innegabile che la vicinanza nella parte ovest di GWB-P2 di affioramenti con rocce ofiolitiche sia un fattore predisponente alla presenza naturale di Cromo nelle formazioni che compongono l'acquifero; tuttavia, le occorrenze di VOC nella maggior parte dei punti di monitoraggio testimoniano come questo GWB risenta in modo tangibile delle pressioni presenti in superficie e come tale aspetto vanifichi i presupposti per la determinazione di un fondo naturale senza alterazioni antropogeniche. L'unico settore del GWB dove l'influenza delle pressioni appare meno incisiva e potenzialmente più adatta per lo studio del fenomeno, è la parte nord-NNE, dove i relativi punti di monitoraggio potrebbero denotare un'anomalia da Cromo esavalente di prevalente origine naturale, anche in funzione di quanto rilevato nel sovrastante GWB-S3a per quanto concerne il Nichel. Tuttavia la ridotta ampiezza di questo contesto territoriale e la mancanza di riferimenti idrogeologici per una eventuale delimitazione del settore, non consentono di procedere con la valutazione di valori di fondo.

Nella Figura 4.73 si illustra il confronto tra le specie di Cromo per GWB-P3 (settore Cuneese del sistema profondo). Anche in questo caso, nei punti di monitoraggio, si osserva una prevalente presenza contemporanea delle due specie con alcune distinzioni, che interessano sia una fascia che decorre da Fossano a Saluzzo, sia un settore ad est di Carmagnola (dove si riscontra quasi solo Cromo totale). A NE di Carmagnola e immediatamente a est ed a sud di Fossano si ha invece una prevalenza di punti con assenza del metallo. Una delle succitate zone di coesistenza delle due specie costituisce una fascia orientata in direzione NNO-SSE, che diparte dalla periferia nord di Fossano fino a raggiungere i territori di None e Airasca (nella parte nord di GWB-P4). L'analisi delle pressioni antropiche, mediante la rappresentazione della Figura 4.74 con il raffronto tra Cromo esavalente, VOC, siti contaminati ed aree produttive, evidenzia uno scenario (come accennato in precedenza) non facilmente decifrabile. Infatti, nel caso delle falde profonde, è importante rimarcare come sia più complicata l'interpretazione dei fenomeni legati all'anomalia da Cromo, a causa delle condizioni idrogeologiche idrauliche ed idrodinamiche del sistema acquifero superficiale che, oltre alle problematiche legate a fattori puntuali localizzati, può operare sia come isolante (aquiclude), che come veicolante (aquitard o locale assenza di compartimentazione) delle problematiche ambientali presenti in superficie. Tuttavia, una sostanziale rarefazione di siti contaminati lungo il settore considerato (a parte l'occorrenza di Savigliano), la poca rilevanza di aree produttive, ma soprattutto la distribuzione dei punti vulnerati da VOC (sostanzialmente esterni all'area identificata), fanno ritenere che il settore in questione riceva una predominante influenza di tipo naturale ai fini dell'anomalia da Cromo esavalente. Questo aspetto non sembrerebbe apparentemente supportato da fattori geologici-idrogeologici e petrografici-mineralogici (manca in tal senso un riferimento ad affioramenti vicini), ma potrebbe essere ricercato nei processi erosivi

deposizionali sviluppatasi a sud del Bacino di Savigliano che hanno dato origine ai sintemi con il coinvolgimento delle formazioni ofiolitiche della zona ligure.

La Figura 4.75 illustra la situazione di GWB-P4 (settore Alessandrino del sistema profondo) subjacente il GWB-S9 (superficiale) trattato in precedenza. Un aspetto saliente che risalta dall'esame della cartografia è la distribuzione anomala dei punti di monitoraggio all'interno del GWB, con un addensamento nel settore centro orientale e una sostanziale assenza nella parte ovest. Questa situazione dipende da vari fattori come la mancanza di punti idonei a monitorare il sistema profondo, le caratteristiche dell'assetto idrogeologico locale (che esibisce uno scenario a tratti non correlabile con la zona est per la presenza di un acquifero indifferenziato), oltre al fatto di avere delimitato GWB-P4 con un criterio essenzialmente geologico deposizionale che non tiene conto di possibili disomogeneità laterali. Pertanto, in tale evenienza, è richiesto un approccio particolare nella scelta del contesto di riferimento; infatti, nell'ottica di applicare un determinato criterio per la definizione di un valore di fondo naturale, non ha senso estendere le elaborazioni ad un'area dove non ci sono punti di riscontro. Ai fini dello studio, l'area sulla quale avviare gli eventuali processi di valutazione (a prescindere dalle anomalie evidenziate) dovrebbe essere quella che include un intorno dei punti di monitoraggio effettivamente presenti, mentre le deduzioni finali dovrebbero essere configurate (in questo caso) non più a livello di GWB ma ad una porzione dello stesso. Per quanto concerne il raffronto tra le specie di Cromo, nella Figura 4.75 si osserva come la totalità dei punti evidenzia la presenza di Cromo totale a cui segue una minore rappresentatività della forma esavalente. In particolare, i punti con anomalia da Cromo esavalente sono circoscritti al centro dell'area individuata come rappresentativa, dove si rilevano anche superamenti del VS. L'analisi delle pressioni riportata nella Figura 4.76 mostra uno scenario analogo a quello considerato per il sovrastante GWB-S9 superficiale dove i siti contaminati da Cromo (totale e/o esavalente) sono ubicati principalmente nel settore centro settentrionale (hinterland Alessandrino) e nella parte SE (Novi Ligure). In questo caso la contaminazione riguarda essenzialmente suolo e sottosuolo, mentre i siti dove la contaminazione interessa la matrice acque sotterranee sono ubicati nella zona di Spinetta Marengo ed immediatamente a sud di Alessandria. Per quanto concerne invece la presenza di VOC si osserva come i punti vulnerati si trovino lungo il margine sud e SE dell'area considerata in corrispondenza dei territori di Castelnuovo Bormida, Pedrosa, Basaluzzo e Bosco Marengo. Analogamente a quanto trattato per GWB-S9 sussistono delle evidenze, per il contesto in esame, di probabili contributi di tipo naturale ai fini delle anomalie riscontrate; tuttavia a differenza di GWB-S9 risalta la difficoltà nel delimitare un'area sulla base dei riscontri puntuali escludendo le zone in corrispondenza di siti contaminati da Cromo esavalente. Infatti, benché si tratti di un acquifero tendenzialmente confinato, non si può comunque escludere un contributo minimo da parte dell'acquifero superficiale vulnerato. In definitiva, dall'analisi effettuata, il numero di punti, per i quali sarebbe plausibile un'anomalia da Cromo esavalente di prevalente origine naturale (circoscritta al settore centrale dell'area rappresentativa di GWB-P4), risulterebbe alquanto limitato. Inoltre, i punti in questione, sarebbero circondati da quelli che evidenziano anomalie di quasi certa ed esclusiva origine antropica complicando il quadro generale. Infine è interessante notare come sovrapponendo e confrontando la situazione che emerge tra i due GWB, superficiale e profondo sovrapposti (GWB-S9 e GWB-P4), si osserva che da un punto di vista idrochimico nella parte sud di GWB-P4 sussistono le medesime condizioni rilevate in GWB-S9 deponendo a favore di un contesto geochemico che può originare anomalie di tipo naturale. Anche se un confronto tramite la sovrapposizione dell'area anomala di GWB-S9 su quella ipotetica di GWB-P4 può fornire solo un risultato parziale a causa della mancanza di punti correlabili nel settore SO di GWB-P4, il quadro definitivo che emerge dalla situazione esaminata è quello del concorso di apporti naturali a minore intensità, distribuiti su un settore più ampio di territorio, con il contributo di fattori antropici a maggiore intensità di tipo puntuale.



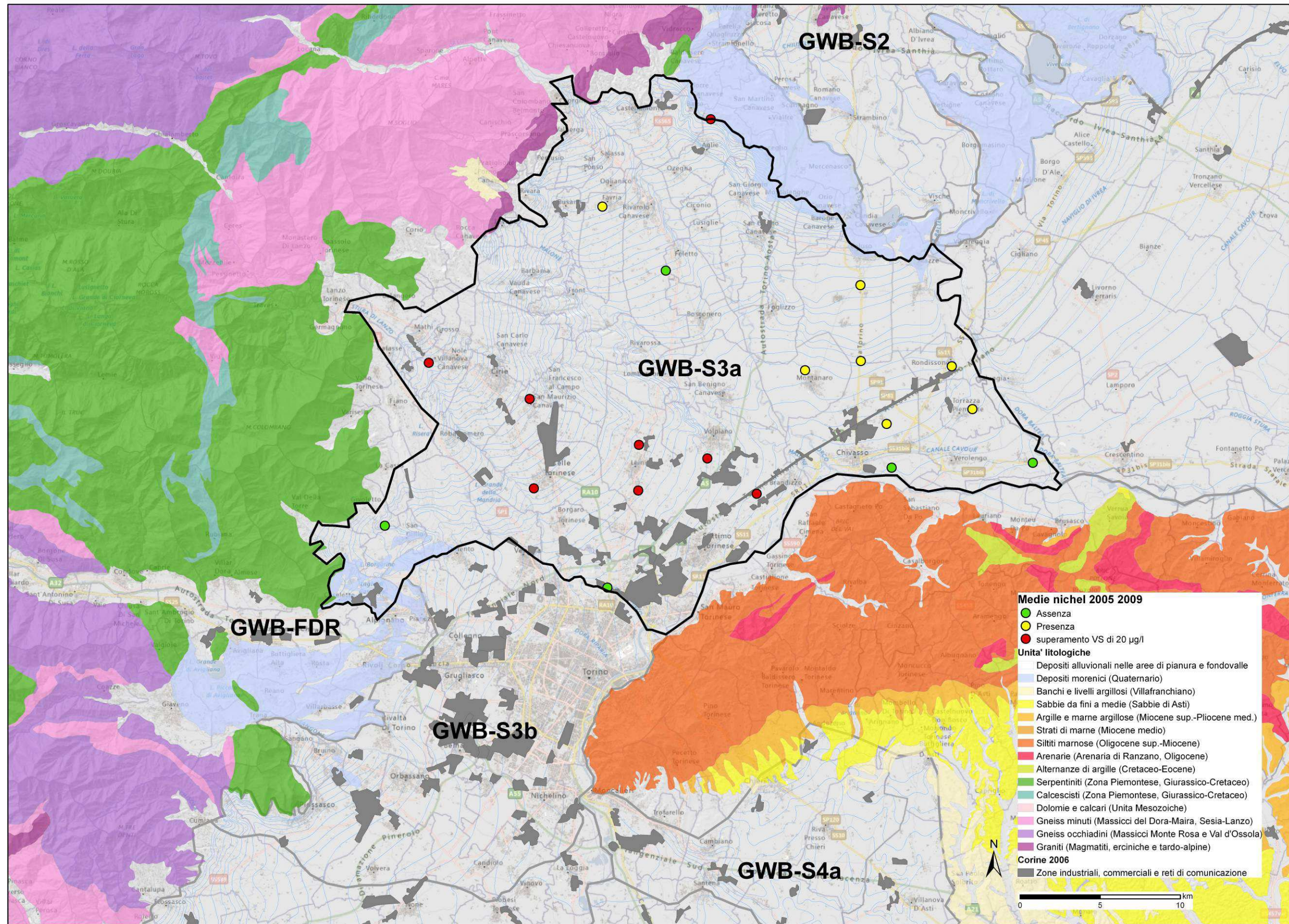


Figura 4.64: Anomalie del Nichel in GWB-S3a



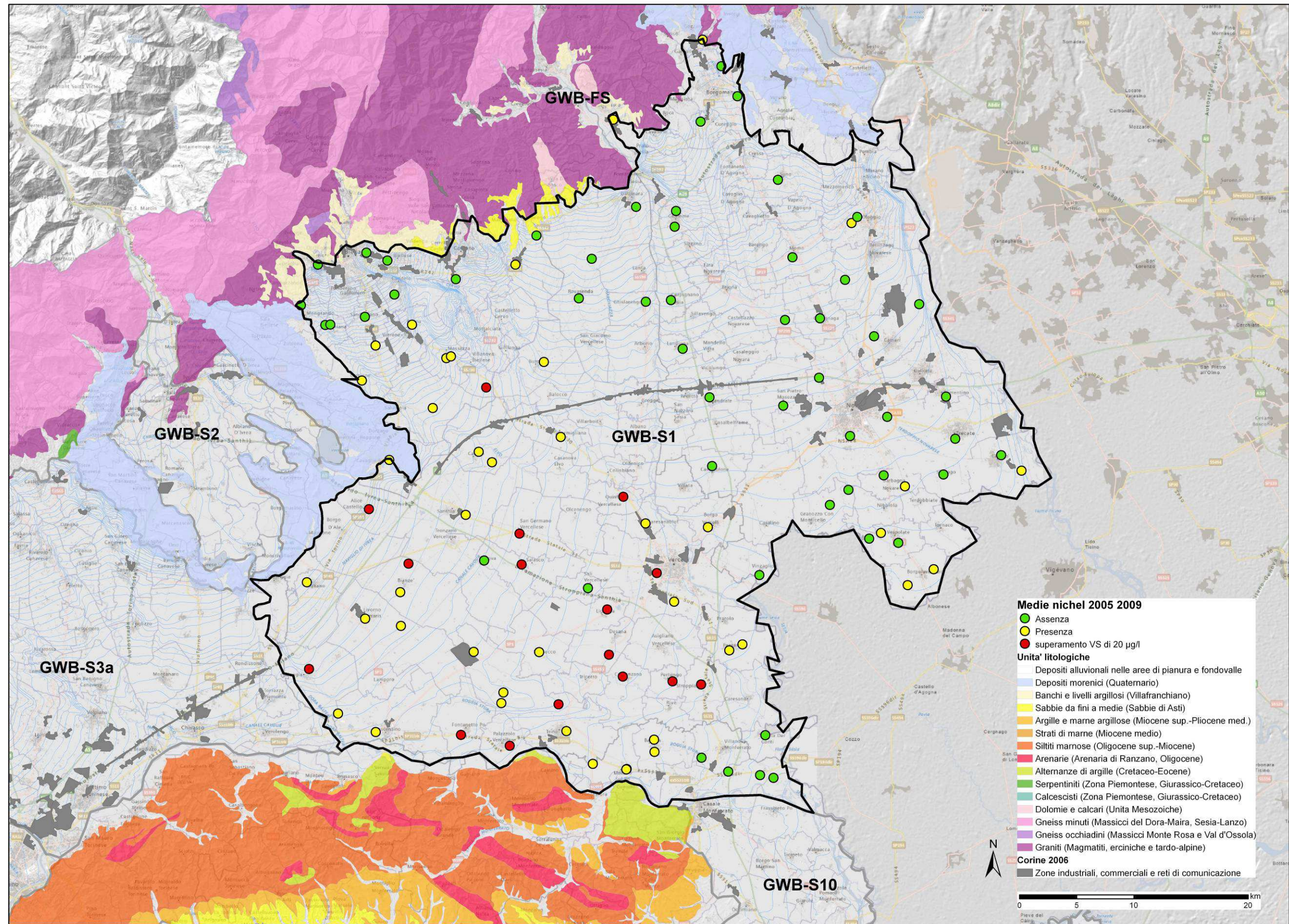


Figura 4.65: Anomalie del Nichel in GWB-S1



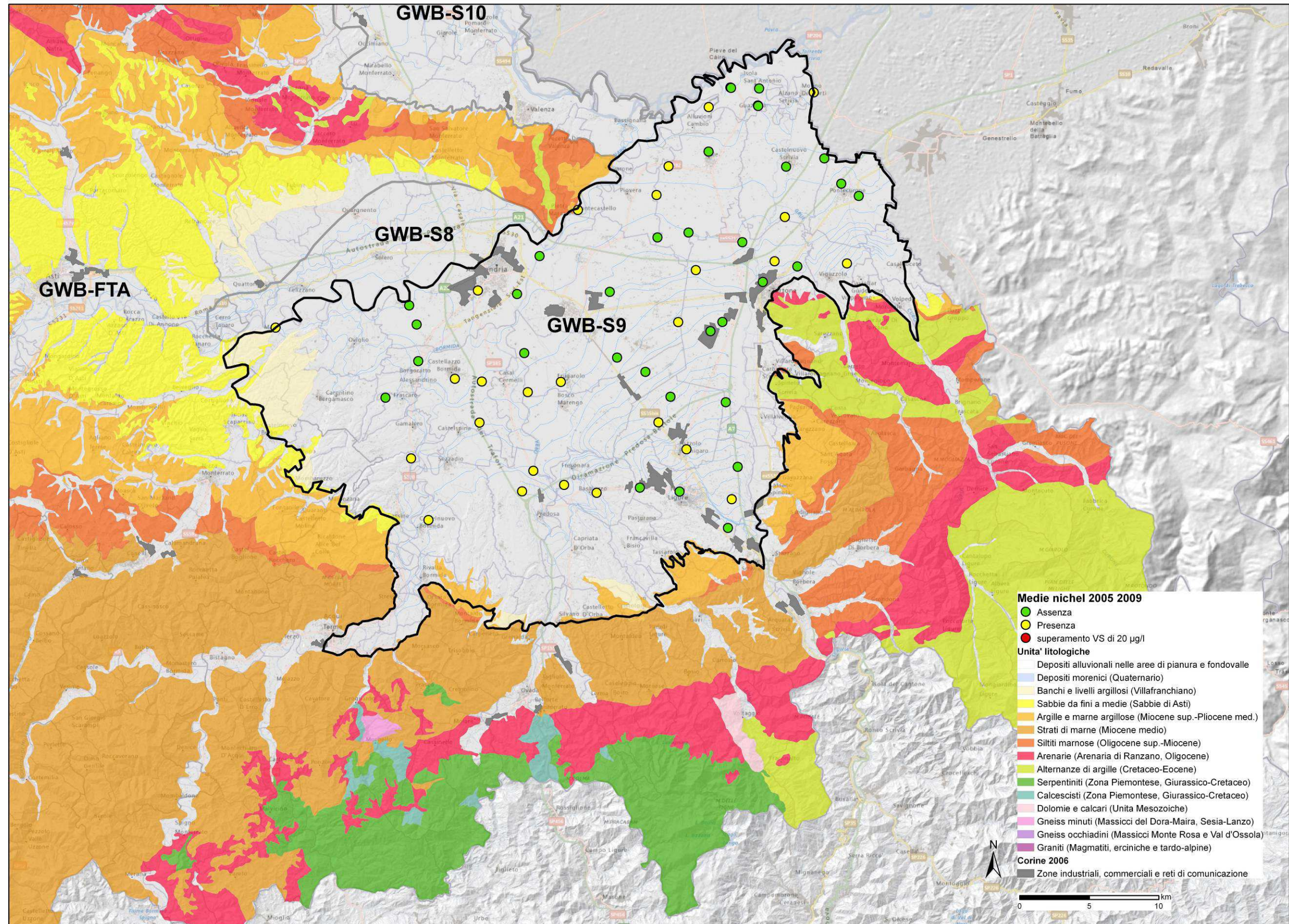


Figura 4.66: Anomalie del Nichel in GWB-S9



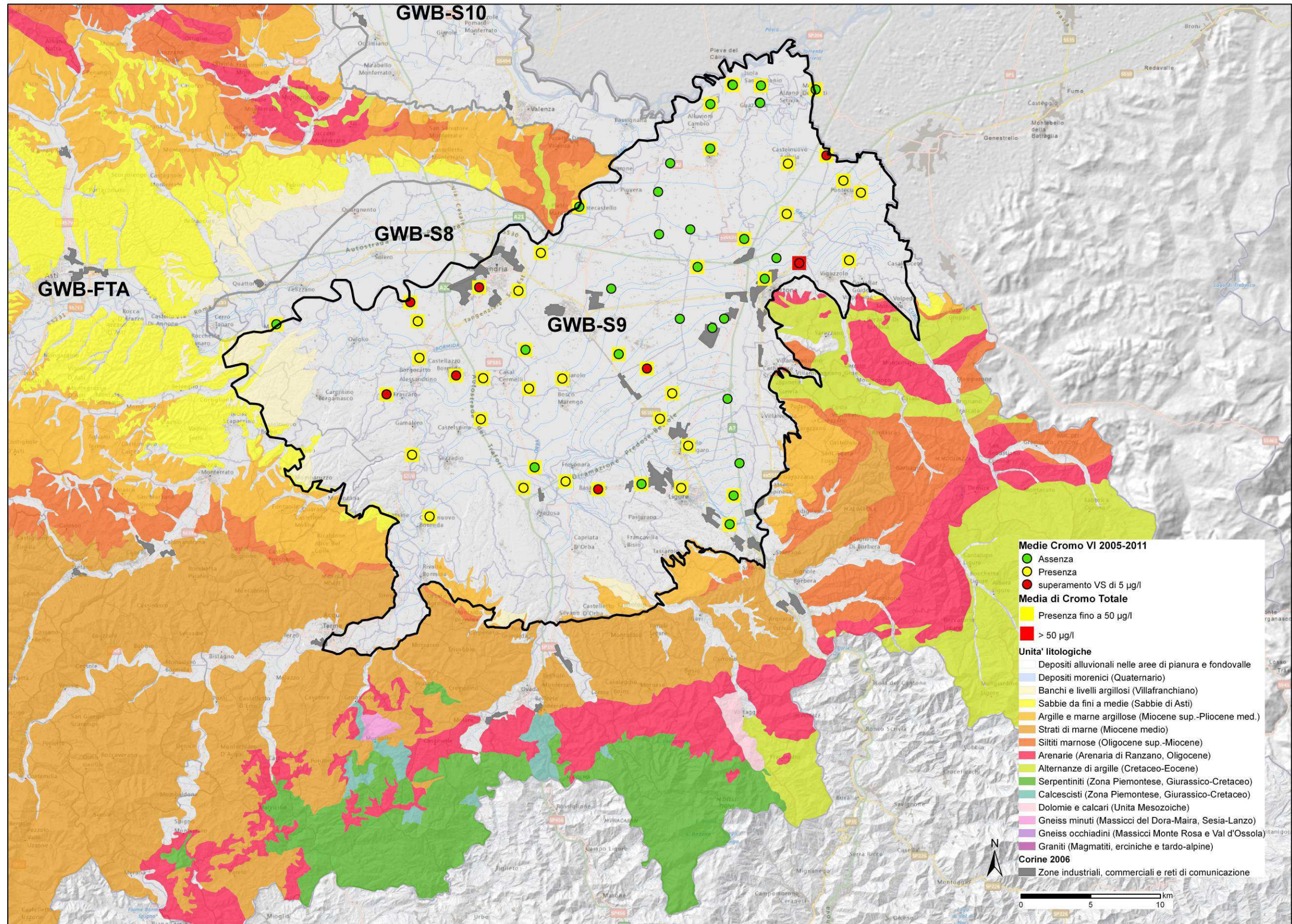


Figura 4.67: Correlazione anomalie del Cromo Tot e Cromo VI in GWB-S9



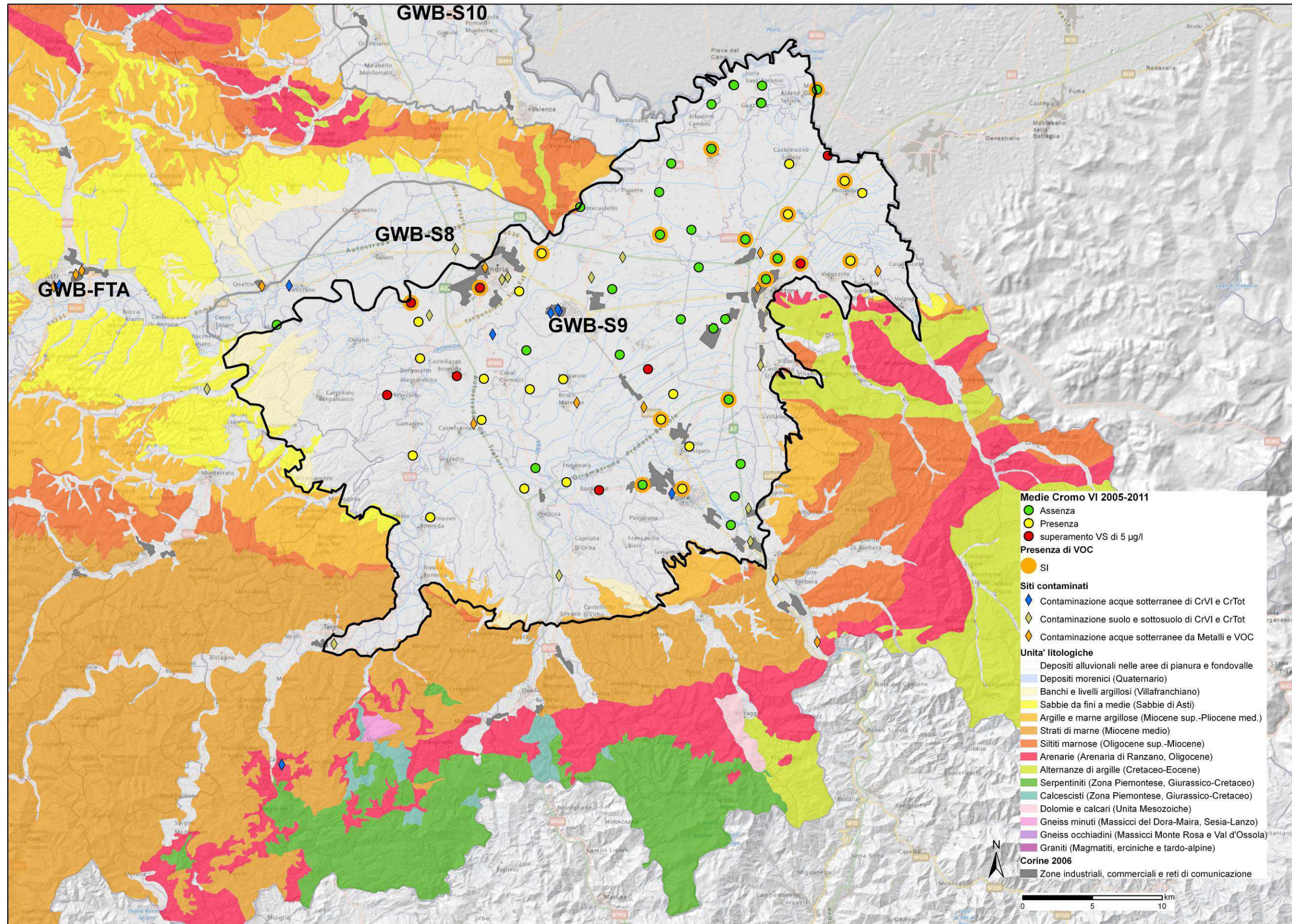


Figura 4.68: Correlazione anomalie Cromo VI e VOC con siti contaminati in GWB-S9



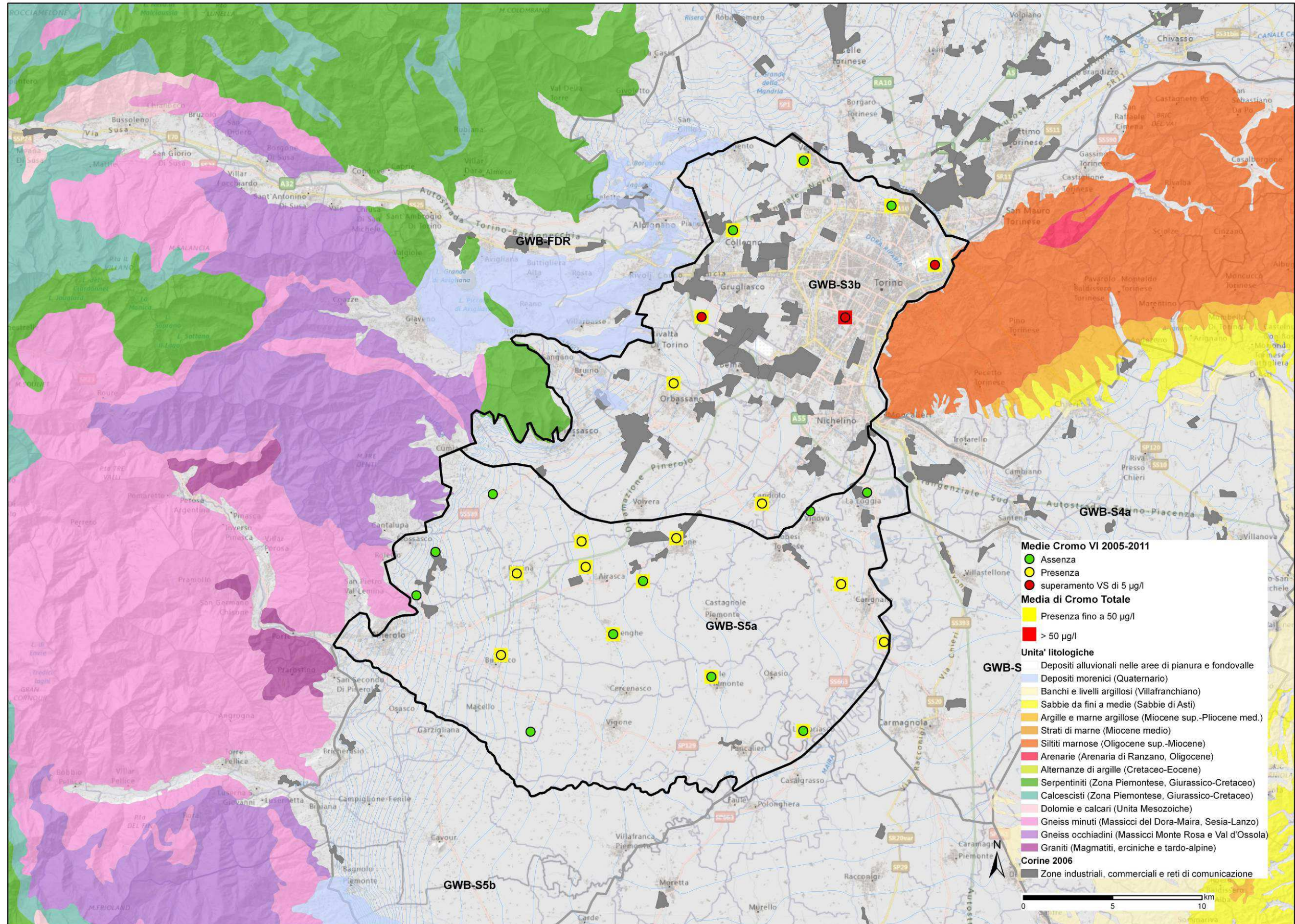


Figura 4.69: Correlazione anomalie del Cromo Tot e Cromo VI in GWB-S3b e GWB-S5a



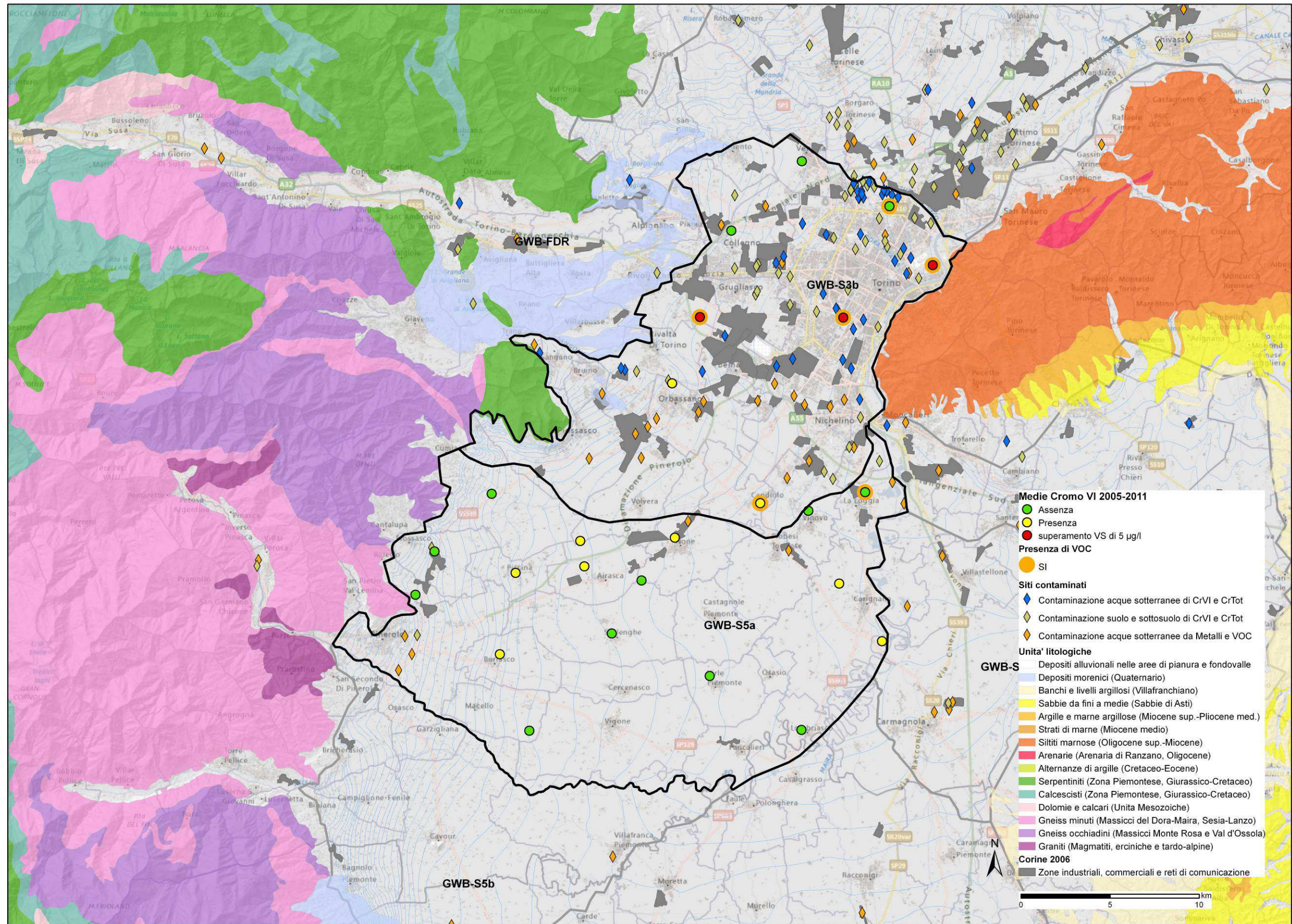


Figura 4.70: Correlazione anomalie Cromo VI e VOC con siti contaminati in GWB-S3b e GWB-S5a



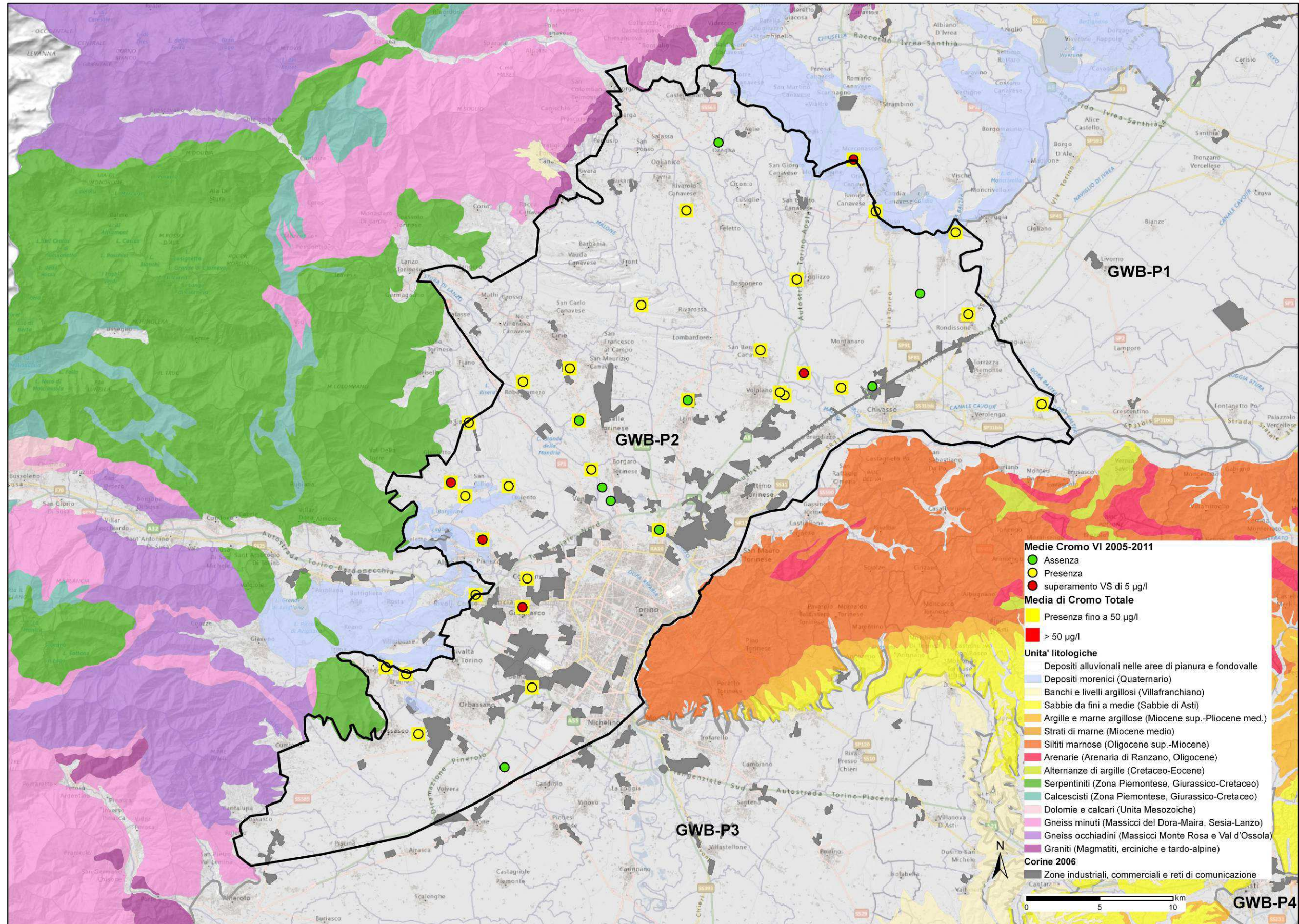


Figura 4.71: Correlazione anomalie del Cromo Tot e Cromo VI in GWB-P2



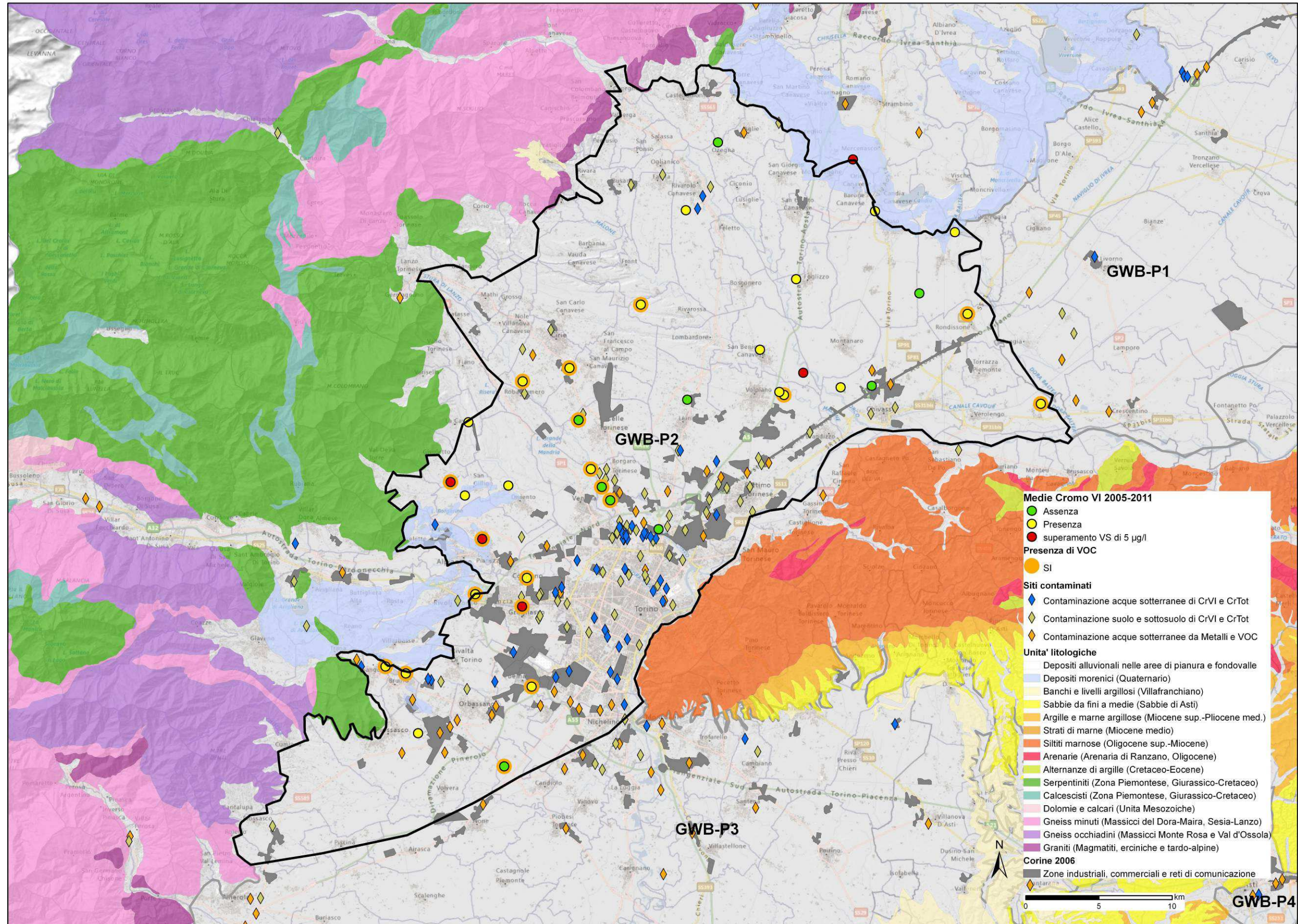


Figura 4.72: Correlazione anomalie Cromo VI e VOC con siti contaminati in GWB-P2



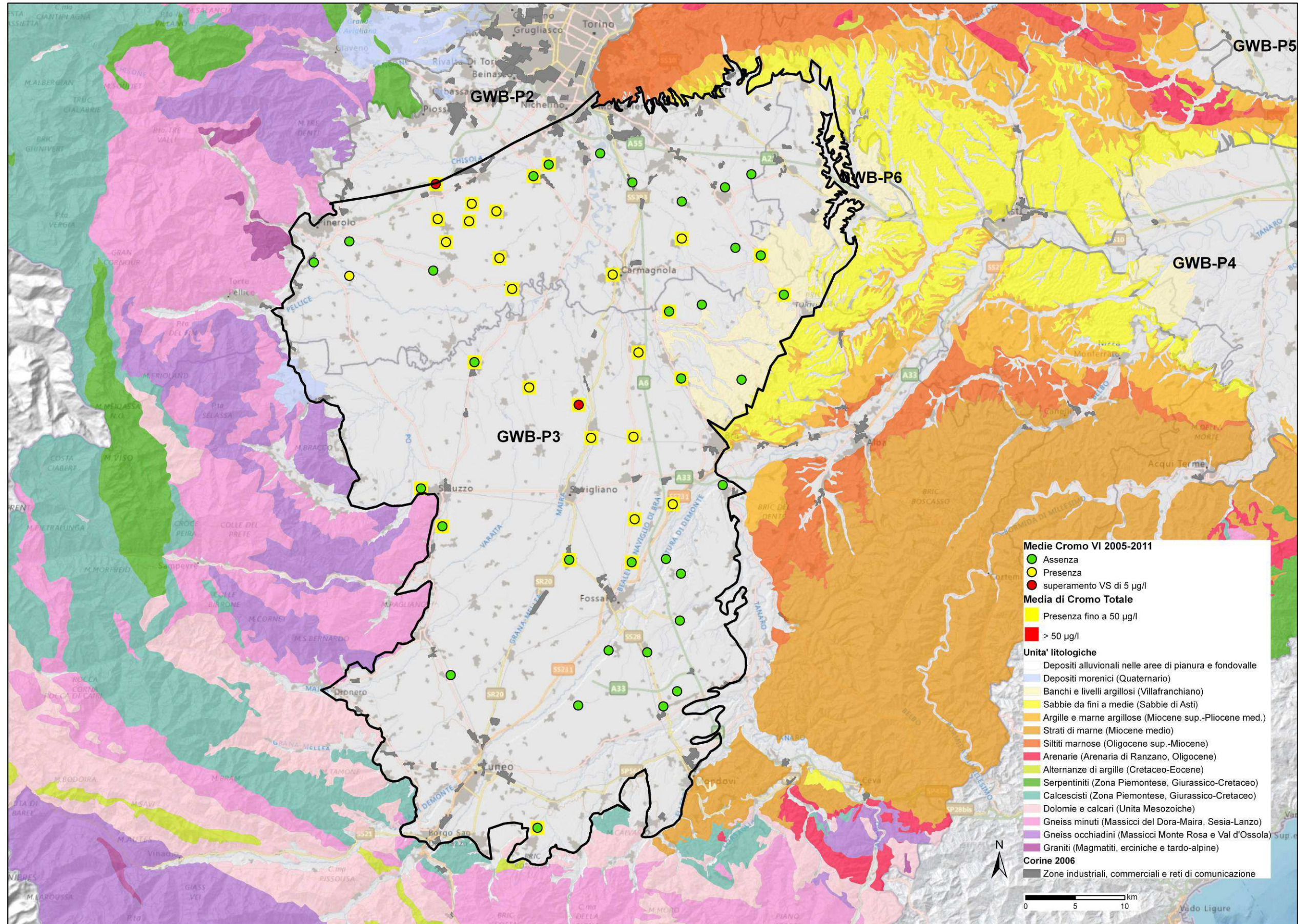


Figura 4.73: Correlazione anomalie del Cromo Tot e Cromo VI in GWB-P3



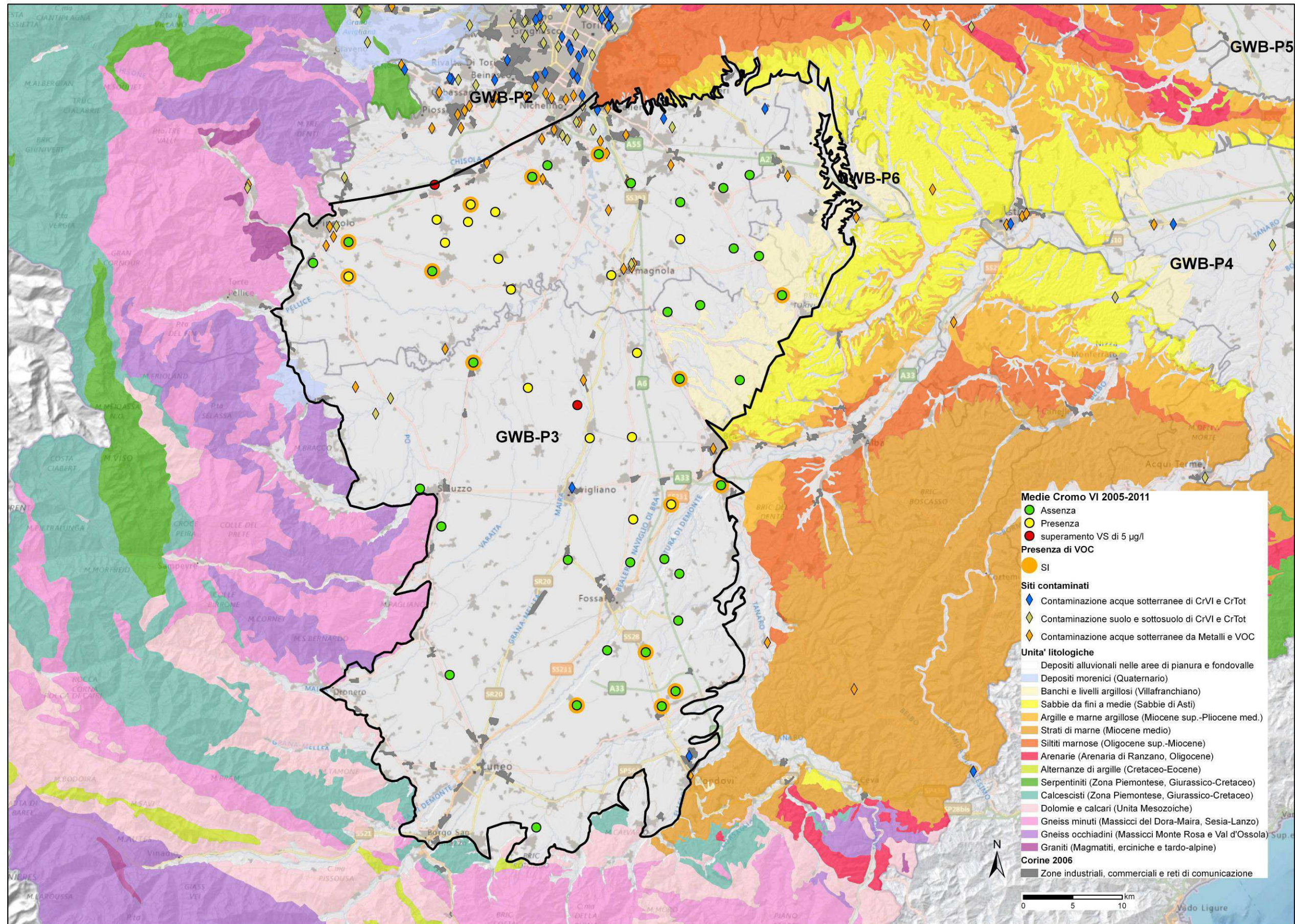


Figura 4.74: Correlazione anomalie Cromo VI e VOC con siti contaminati in GWB-P3



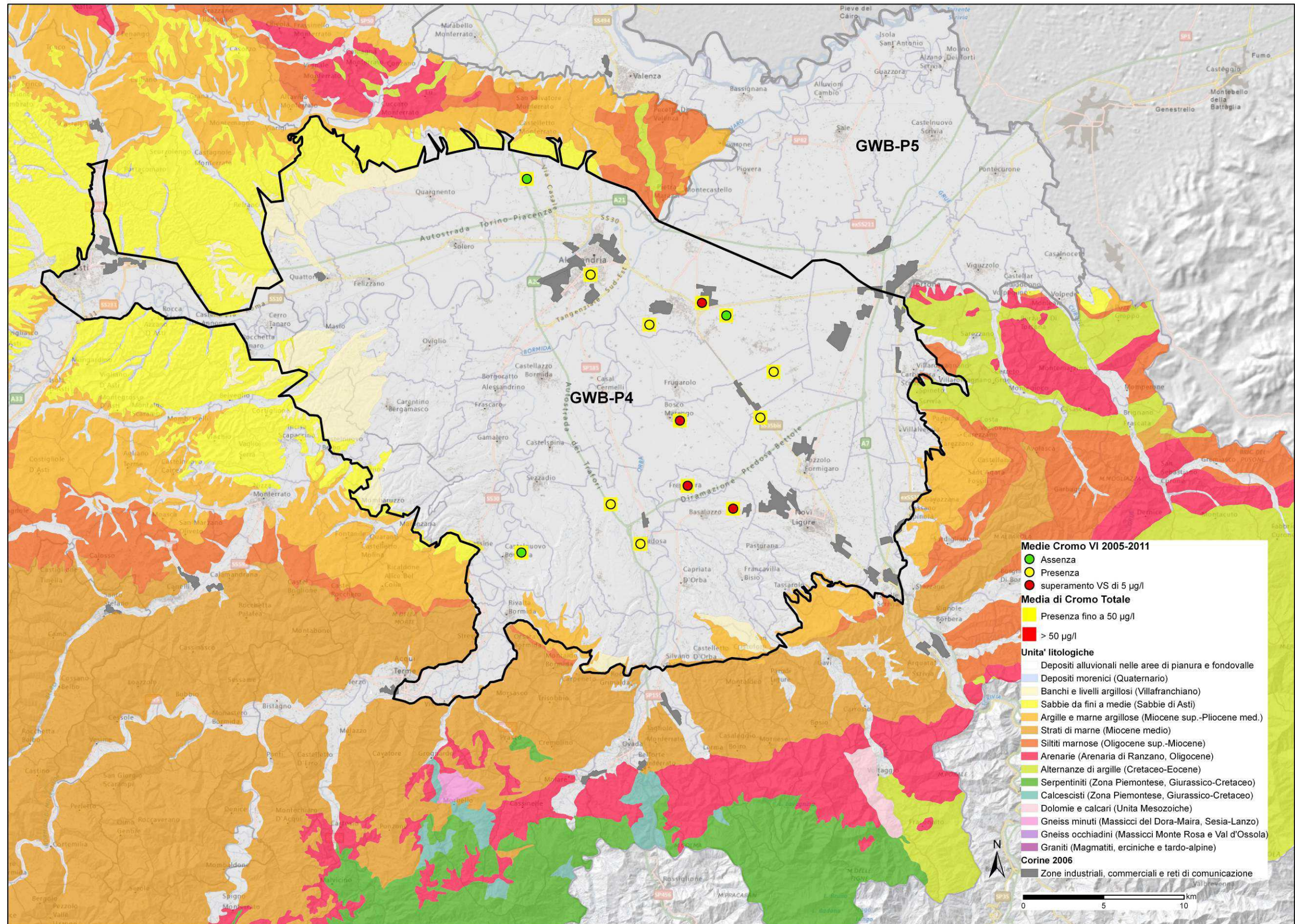


Figura 4.75: Correlazione anomalie del Cromo Tot e Cromo VI in GWB-P4



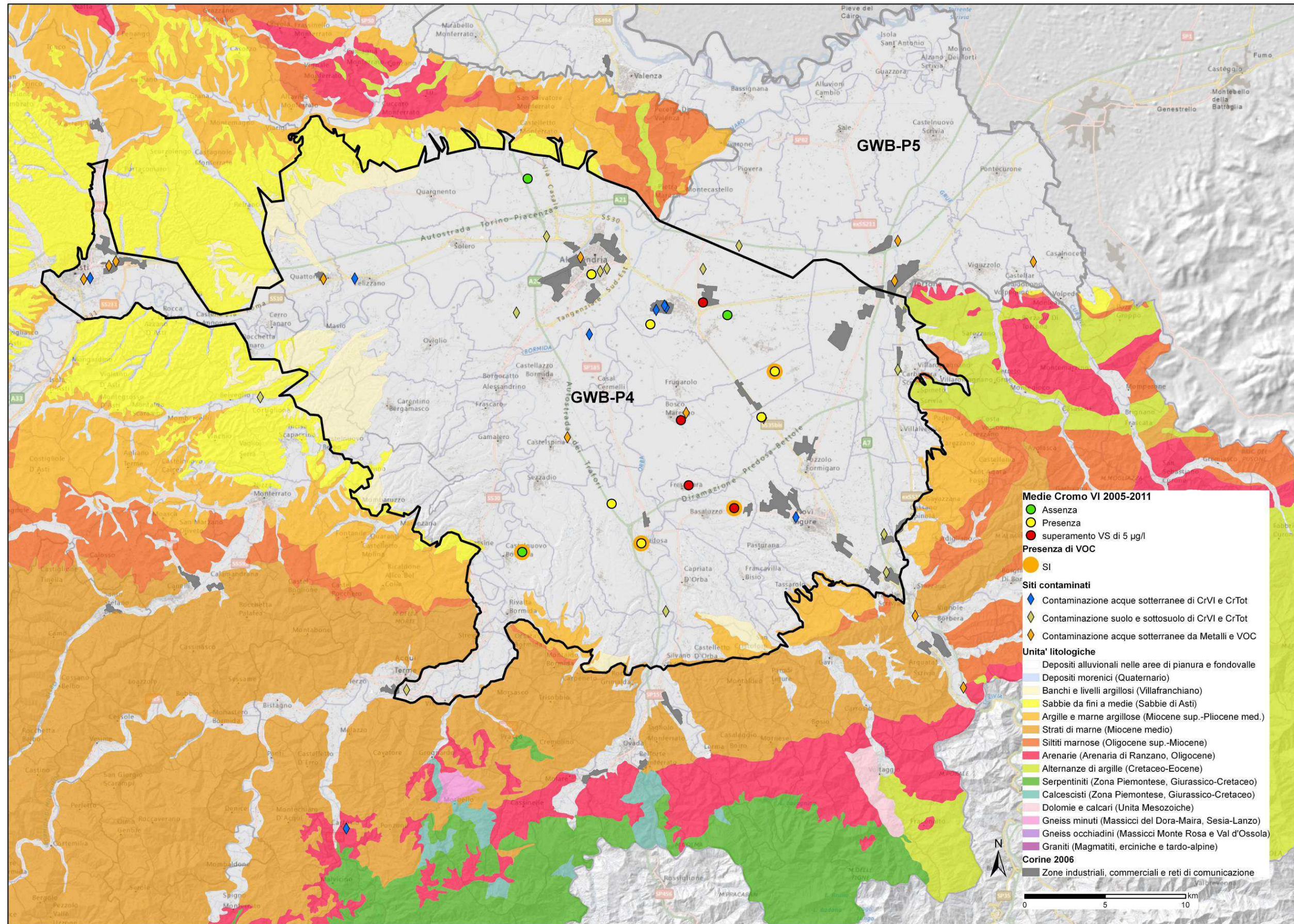


Figura 4.76: Correlazione anomalie Cromo VI e VOC con siti contaminati in GWB-P4



#### 4.9. Sintesi dei GWB rilevanti

Nell'ambito di una valutazione più approfondita per comprendere le cause che producono anomalie di Nichel e Cromo esavalente nelle acque sotterranee, oltre ai fattori naturali trattati nel paragrafo precedente, una serie di argomentazioni basate sull'analisi dei risultati geoscientifici acquisiti e sulla tipologia delle pressioni incidenti sui contesti in esame, ha consentito di comprendere, sommariamente, la possibile influenza della componente antropica. Al riguardo, si configurano scenari sensibilmente diversi sia per i metalli esaminati (Nichel e Cromo esavalente), sia per il contesto idrico sotterraneo di riferimento, tenendo conto di un'attendibilità maggiore per il sistema superficiale rispetto al profondo.

Alla luce di quanto esposto risalta che le anomalie da Nichel interessano sostanzialmente il sistema idrico sotterraneo superficiale al cui interno è possibile definire settori di anomalia con una prevalente (o esclusiva) origine naturale. Pertanto, vengono considerati rilevanti ai fini dello studio dei VF per il Nichel i seguenti corpi idrici sotterranei:

- GWB-S1 (Pianura Novarese, Biellese e Vercellese);
- GWB-S3a (Pianura Torinese e Canavese tra Dora Baltea e Stura di Lanzo);
- GWB-S9 (Pianura Alessandrina in destra Tanaro).

Per tali GWB, definiti rilevanti, nei capitoli successivi sarà implementata una metodologia complessa che inizialmente valuterà l'eventuale presenza di sub-aree sufficientemente omogenee interne al singolo corpo idrico sotterraneo, sulla base delle deduzioni effettuate nei paragrafi precedenti, (attività questa condotta seguendo un approccio multidisciplinare, comprendente anche metodi statistici e geostatistici), e successivamente opererà la valutazione dei VF basandosi, ove possibile, su opportune stime statistiche.

Per quanto concerne il Cromo esavalente la situazione è molto più complicata, oltre che dal sistema idrico sotterraneo di riferimento (superficiale o profondo), anche dalla possibile presenza contemporanea di fattori antropici e naturali che influiscono simultaneamente sulla geochimica del Cromo esavalente in soluzione. Questo scenario determinerà come conseguenza un'evidente difficoltà nella definizione di un valore di fondo per il Cromo esavalente "esclusivamente" naturale. Tuttavia, ai fini dello studio dei VF per il Cromo esavalente, sulla base delle considerazioni espresse nel paragrafo 4.8.3., vengono considerati rilevanti e quindi candidati ad essere sottoposti alle valutazioni che saranno sviluppate nel capitolo successivo i seguenti corpi idrici sotterranei:

- GWB-S9 (settore Alessandrino del sistema superficiale);
- GWB-P3 (settore Cuneese del sistema profondo);
- GWB-P4 (settore Alessandrino del sistema profondo).

Anche per tali GWB ritenuti rilevanti, nei capitoli successivi (analogamente a quanto trattato per il Nichel), sarà implementata una metodologia complessa per la valutazione della presenza di sub-aree sufficientemente omogenee interne al singolo corpo idrico sotterraneo, nell'ottica di un processo funzionale alla determinazione dei VF.



## 5. ORGANIZZAZIONE DEI DATI NECESSARI ALLE ELABORAZIONI

### 5.1. Basi dati di riferimento alfanumeriche

Per quanto riguarda il Nichel la base dati di riferimento è costituita da tutte le misure analitiche riferite al periodo 2005–2009 relative a punti di monitoraggio previsti dalla rete del 2009 (già adeguata ai presupposti della recente normativa, Direttiva 2006/118/CE e D.L.vo. 30/2009).

Questi dati sono stati strutturati in modalità aggregata calcolando, per ciascun punto rete, le medie annuali del periodo di interesse 2005–2009.

La serie delle medie annuali è stata affiancata dagli indicatori statistici di base, quali minimo, massimo, media aritmetica, mediana, 25° e 75° percentile (utili per i grafici “Box Plot”), deviazione standard assoluta e relativa (RSD% come rapporto espresso in percentuale tra la deviazione standard e la media del punto).

Tali indicatori statistici sono di fondamentale importanza sia per l'individuazione dei dati statisticamente anomali, che per definire le aree di interesse ed effettuare le stime dei VF. Infatti, la media aritmetica delle medie annuali (media di periodo) è stata utilizzata come indicatore fondamentale per individuare le aree di interesse del metallo; mentre per la stima del VF sono state valutate congiuntamente la serie delle medie di periodo e quella dei massimi della medie annuali per ciascun punto.

I dati del biennio 2010-2011 non sono stati utilizzati direttamente nelle diverse fasi del processo, bensì a posteriori, come verifica della stabilità nel tempo della distribuzione spaziale del Nichel e dell'appropriatezza dei VF stimati con i dati del periodo considerato 2005 – 2009.

Per quanto riguarda il Cromo (totale e esavalente) si è agito in modo del tutto analogo, ma i dati del periodo 2005-2009 sono stati integrati con i dati dell'annualità formata dalla seconda campagna 2010 e prima campagna 2011, per consentire di ridefinire il contributo dei valori “non-detected” 2005-2009 espressi per il Cromo esavalente con il limite di 5 µg/L. I nuovi dati sono caratterizzati da un LCL di 2 µg/L, con un dettaglio ulteriore, specificamente adottato per il progetto, che consente di documentare concentrazioni fino a 1 µg/L. Analogamente al Nichel sono stati calcolati, sia per il Cromo totale sia per il Cromo esavalente, gli indicatori statistici relativi al suddetto periodo 2005-2011.

Come considerazione conclusiva, si ritiene che il periodo considerato sia adeguato agli obiettivi di progetto, nel senso che è ragionevolmente rappresentativo della situazione odierna, in quanto non va “troppo indietro” nel tempo e contestualmente fornisce, per ciascun punto di monitoraggio, una quantità di dati sufficiente al calcolo degli indicatori statistici.

#### 5.1.1. Valutazione statistica dei dati potenzialmente anomali

Lo studio delle anomalie statistiche è stato condotto in due fasi.

Nella prima fase è stato effettuato lo studio dei dati anomali “intra-punto”, analizzando, per ciascun punto, la serie delle medie annuali del parametro di interesse. Infatti, l'affidabilità e la rappresentatività del singolo punto di monitoraggio derivano proprio dallo studio e dall'eventuale rimozione delle anomalie statistiche, in quanto potrebbero essere sintomo di una situazione troppo localizzata nel tempo (singola media annuale anomala), o fortemente instabile. In entrambi i casi non risulterebbero affidabili la serie delle medie annuali e gli indicatori statistici derivati per il punto. Per tutti i metalli indagati si è focalizzato l'esame sui punti rete le cui serie di medie annuali presentavano una dispersione significativa (RSD% > 40%), qualora tale dispersione non fosse dovuta esclusivamente alle basse concentrazioni riscontrate (infatti basse concentrazioni hanno un effetto amplificativo sulla dispersione, anche se l'escursione delle misure è limitata). I dati anomali statisticamente, se confermati tali dalle successive valutazioni, hanno comportato l'esclusione della singola media annuale o addirittura dell'intera serie delle medie annuali di un punto rete per il metallo in esame.

La seconda fase di valutazione delle anomalie è di tipo “inter-punto” e consiste nel valutare se un punto di monitoraggio può non essere rappresentativo della situazione tipica dell'area di appartenenza (GWB, sub-aree, etc.), ma esprime una condizione fortemente localizzata. Questa attività è stata sviluppata contestualmente alla individuazione dei GWB/sub-aree di interesse.

## 6. INDIVIDUAZIONE DELLE AREE D'INTERESSE

### 6.1. Introduzione

Sulla base delle risultanze del paragrafo 4.8, dove sono stati esaminati nel dettaglio la distribuzione spaziale dei valori medi di Nichel e Cromo esavalente, nell'ambito di tutti i GWB (superficiali e profondi), tenendo conto delle pressioni incidenti e dei fattori geoscientifici a supporto di eventuali contributi di tipo naturale, sono stati individuati alcuni settori di anomalia specifica, per i metalli considerati, all'interno di determinati GWB definiti al riguardo "rilevanti". Per tali GWB, in questo capitolo, si verificherà l'eventuale presenza di sub-aree sufficientemente omogenee interne al singolo corpo idrico sotterraneo, seguendo un approccio multidisciplinare comprendente metodi statistici e geostatistici (descritti sinteticamente nel paragrafo successivo). Tale approccio è coerente con quanto previsto dal metodo ISPRA che prevede l'applicazione in contesti areali omogenei per l'inquinante in esame e consente di raggiungere sicuramente una maggior dettaglio nella valutazione delle tipicità del fenomeno all'interno di ciascun GWB che una maggior precisione delle stime degli intervalli caratteristici di ciascun metallo in funzione delle sub-aree stesse.

### 6.2. Metodi statistici a supporto dell'individuazione di sub-aree di interesse

#### 6.2.1. Curva di Lorenz e indice di concentrazione di Gini

La curva di Lorenz (sviluppata da Max O. Lorenz nel 1905) è uno strumento grafico per l'analisi della equidistribuzione di una grandezza quantitativa, ovvero, nel senso contrario, della disomogeneità nella distribuzione della grandezza.

La curva di Lorenz si ottiene rappresentando sul piano cartesiano XY le frequenze cumulate relative (o quantità cumulate teoriche relative) in ascissa e le quantità cumulate effettive in ordinata.

L'area compresa tra la curva così definita e la retta di equidistribuzione (bisettrice a 45°, che rappresenta la situazione di perfetta equipartizione) è detta area di concentrazione. Maggiore è l'ampiezza di tale area e più la grandezza in esame è concentrata, ovvero meno equiripartita.

Nel nostro caso, un'area piccola indica che la zona esaminata presenta una certa omogeneità nella distribuzione del metallo, mentre un'area ampia è indicativa di una distribuzione areale più disomogenea dello stesso, come, ad esempio, quando pochi punti di misura presentano valori elevati del metallo e molti punti valori relativamente bassi dello stesso metallo.

Per una valutazione più oggettiva dei grafici delle curve di Lorenz si utilizza l'indice di concentrazione relativo di Gini ( $R_G$ ), che esprime l'ampiezza dell'area normalizzata in relazione al numero N di dati disponibili.

Nel presente studio, questi prodotti sono utilizzati per evidenziare quale incremento di omogeneità venga apportato dall'individuazione di sub-aree interne ai GWB rilevanti, in confronto al grado di omogeneità iniziale dell'intero GWB.

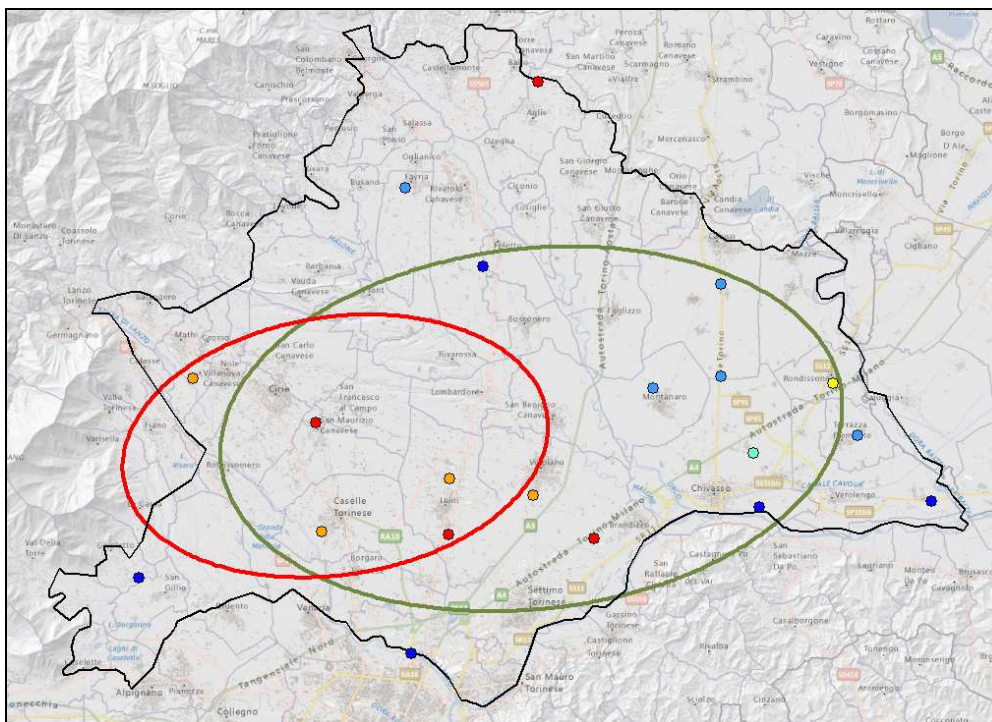
#### 6.2.2. Ellisse deviazionale standard

L'ellisse deviazionale standard è una tecnica geostatistica che può fornire utili indicazioni sulla distribuzione spaziale di un set di punti di misura oppure sulla distribuzione spaziale di una variabile misurata nei punti di misura.

Nel primo caso si calcola l'ellisse deviazionale standard usando solamente le coordinate x e y dei punti del dataset, nel secondo caso le coordinate x e y dei punti vengono pesate con i valori assunti da una variabile associata ad essi e l'ellisse che si otterrà è detta "ellisse deviazionale standard pesato".

In entrambi i casi si calcola il baricentro della distribuzione (dei punti o della variabile di interesse) e la "distanza standard" separatamente lungo le direzioni x e y. Queste due misure, assieme all'angolo di rotazione, definiscono gli assi di un'ellisse che racchiude geometricamente la porzione più significativa dei punti o della variabile oggetto di studio. La figura seguente riporta un esempio/confronto delle due modalità descritte (Figura 6.1).





**Figura 6.1:** Confronto tra ellisse non pesata (verde) e ellisse pesata (rosso)

L'ellisse rappresentata in rosso è ottenuta pesando la posizione dei punti di misura con i valori di concentrazione di un'ipotetica variabile oggetto di studio.

E' possibile notare come i punti a più alta concentrazione (in colore rosso e arancione) tendono a modificare sensibilmente l'ellisse, spostandone il baricentro e influenzando su lunghezza e orientamento degli assi.

Nel complesso la variabile di interesse appare più concentrata (meno distribuita) dei punti di misura stessi e se ne potrebbe dedurre che l'area vasta considerata non è omogenea nella variabile di interesse.

### 6.2.3. Analisi di autocorrelazione Hot-Spot

Questa tecnica consente di identificare cluster di valori alti o bassi di una variabile spazialmente distribuita. È basata sul calcolo dell'indice  $G_i^*(d)$  (Ord J.K. & Getis A., 1995): per ogni punto  $i$  del dominio spaziale in studio viene calcolata la concentrazione delle somme di valori associati alla variabile  $X$  per un dato intorno  $d$  centrato su  $i$ :

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_j w_{ij}(d)x_j}{\sum_j x_j}$$

Dove:

- $d$  = distanza di analisi,
- $i$  = punto su cui viene calcolata la statistica,
- $j$  = qualsiasi punto del dominio spaziale,
- $x$  = variabile spazialmente distribuita,
- $w_{ij}$  = pesi binari definiti sulla base della distanza  $d$ :  $w_{ij} = 1$  se  $d_{ij} \leq d$ ;  $w_{ij} = 0$  se  $d_{ij} > d$ .

Al fine di valutarne la significatività la statistica viene espressa in termini di z-score:

$$Z(G_i^*) = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{\text{Var}(G_i^*)}}$$

dove  $n$  è il numero di punti del dominio spaziale in studio, mentre:

$$E(G_i^*) = \frac{\sum_j w_{ij}(d)}{n-1}$$

Per valori positivi statisticamente significativi di z-scores, più alto è lo z-score più intenso il clustering di valori alti (punto caldo o *hot spot*). Per valori negativi statisticamente significativi di z-scores, più basso lo z-score più intenso il clustering di valori bassi (punto freddo o *cold spot*).

Nel presente studio questa tecnica è stata implementata per evidenziare in modo particolare il clustering di valori alti (*hot spot*), ovvero raggruppamenti di concentrazioni significativamente più elevate relativamente alle aree di volta in volta esaminate.

Dal momento che la distanza di analisi " $d$ " è un aspetto cardine nell'analisi *Hot Spot*, pare utile soffermarsi sul criterio per l'individuazione di tale distanza. In linea generale non esiste un'unica distanza corretta, ma dal punto di vista statistico possono coesistere più distanze significative. La scelta della distanza ottimale ai fini dell'analisi *Hot Spot* dipende, in ultima istanza, dal tipo di fenomeno che si sta indagando. Un metodo esplorativo della distanza d'analisi è quello di ricorrere al calcolo dell'indice globale "I di Moran" per distanze crescenti. Con questo metodo si individuano quelle distanze per le quali si verificano due condizioni: un alto valore dell'indice "I di Moran" (generalmente il massimo della curva o i massimi se ce ne sono più di uno) e un'alta significatività statistica. Tra le distanze individuate si seleziona quella ritenuta rappresentativa del fenomeno in esame e con questa si effettua l'analisi *Hot Spot*.

Ad esempio, il grafico riportato nella successiva Figura 6.2, conduce a considerare come distanza di analisi il valore 7500 m (7.5 km).

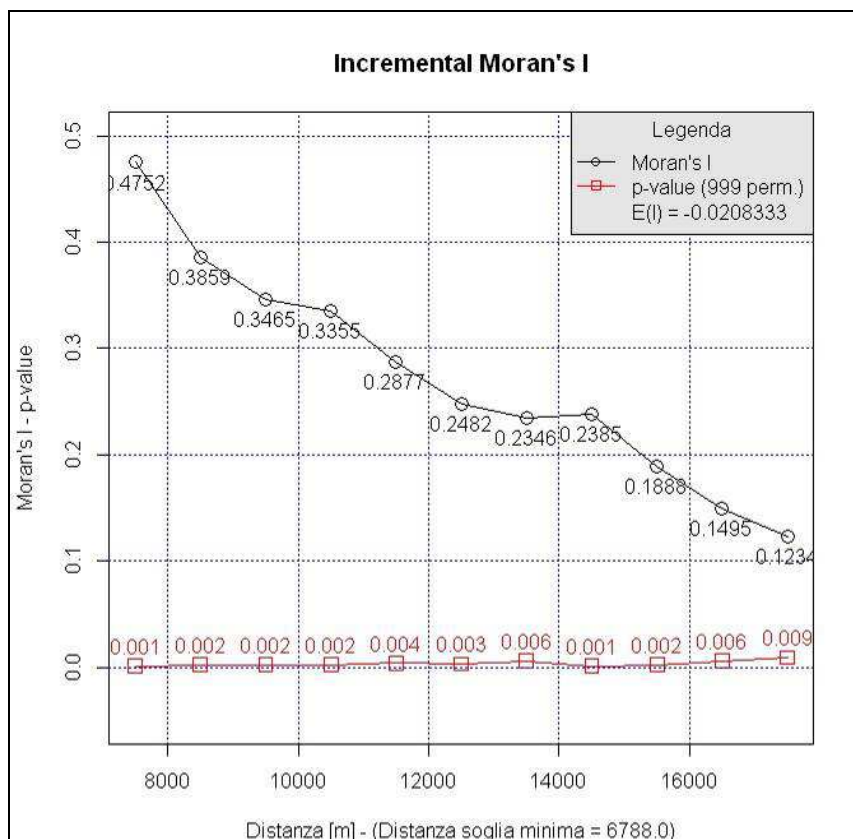


Figura 6.2: Grafico dell'indice "I di Moran" (linea nera) e sua significatività (linea rossa)



#### 6.2.4. Grafico “Box plot”

Il Box Plot è una rappresentazione grafica che permette di descrivere i valori assunti da una variabile in maniera sintetica e consente un rapido confronto con altre variabili. È solitamente composto da box (scatola), baffi, outliers e mediana. La scatola è delimitata dal 25° e dal 75° percentile e indica l'intervallo in cui ricade il 50% dei dati, mentre un 25% dei dati è inferiore e un ulteriore 25% è superiore ai valori della “scatola”. Simboli specifici (asterischi, triangolini, etc.) rappresentano i valori outliers, ovvero quei valori che distano dagli estremi della scatola più di 1,5 volte l'ampiezza della scatola stessa (IQR o distanza interquartile).

### 6.3. Individuazione delle aree d'interesse

#### 6.3.1. *GWB-S1 – Nichel*

Si può ipotizzare di partizionare il corpo idrico sotterraneo *GWB-S1* in due sub-aree, in relazione al fatto che, come si può notare dall'esame della Figura 6.3, le anomalie del Nichel (punti di colore giallo, arancio e rosso) sono concentrate nella porzione occidentale del corpo idrico, mentre i punti con assenza del fenomeno (in colore azzurro) sono ubicati prevalentemente nel settore NE. La prima sub-area, denominata *GWB-S1-A* (Figura 6.4), è la sub-area d'interesse nella quale verrà valutato il VF, mentre la seconda area che comprende la superficie rimanente di *GWB-S1* è denominata *GWB-S1-B*. Tale settore, a parte alcune occorrenze puntuali e localizzate, non è considerata zona di interesse per il Nichel in quanto le medie annuali nel periodo 2005-2009 non superano il valore di concentrazione di 4 µg/L in tutta la sub-area.

Le sub-aree indicate denotano una configurazione sostanzialmente in accordo con l'andamento piezometrico regionale, congruente con i contorni delle “aree idrogeologicamente separate” o “Aree Idrogeologiche” (Figura 6.5) trattate in precedenza. Si ribadisce come all'interno di tali aree,

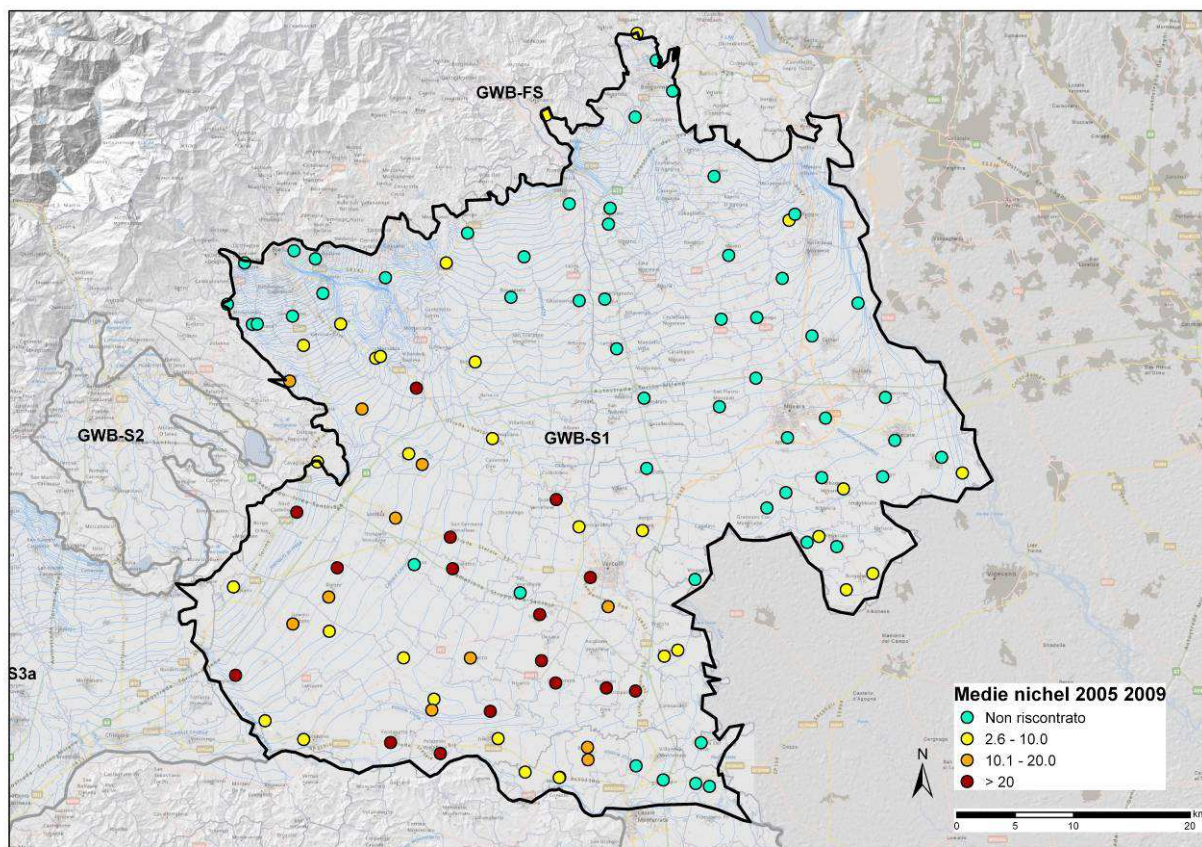


Figura 6.3: Distribuzione delle anomalie di Nichel in *GWB-S1*



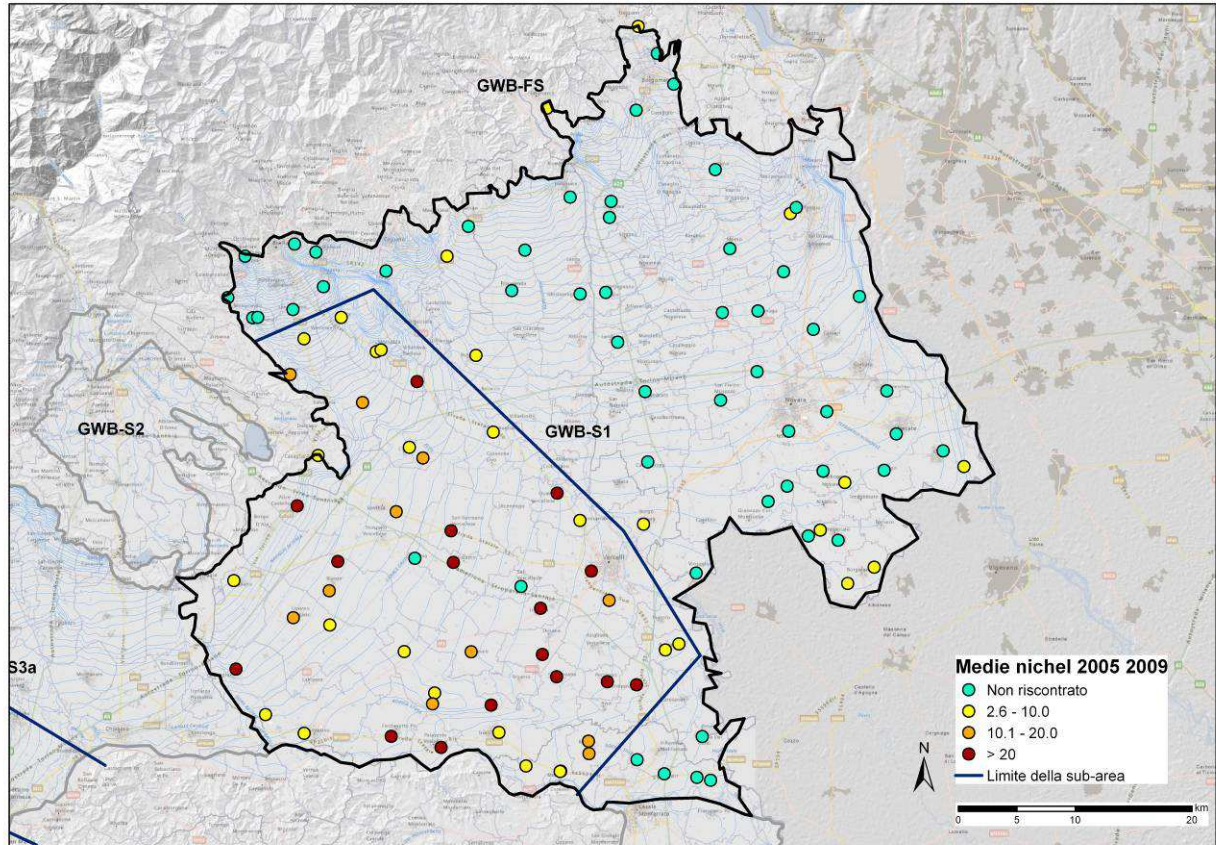


Figura 6.4: Selezione punti per la sub-area GWB-S1-A

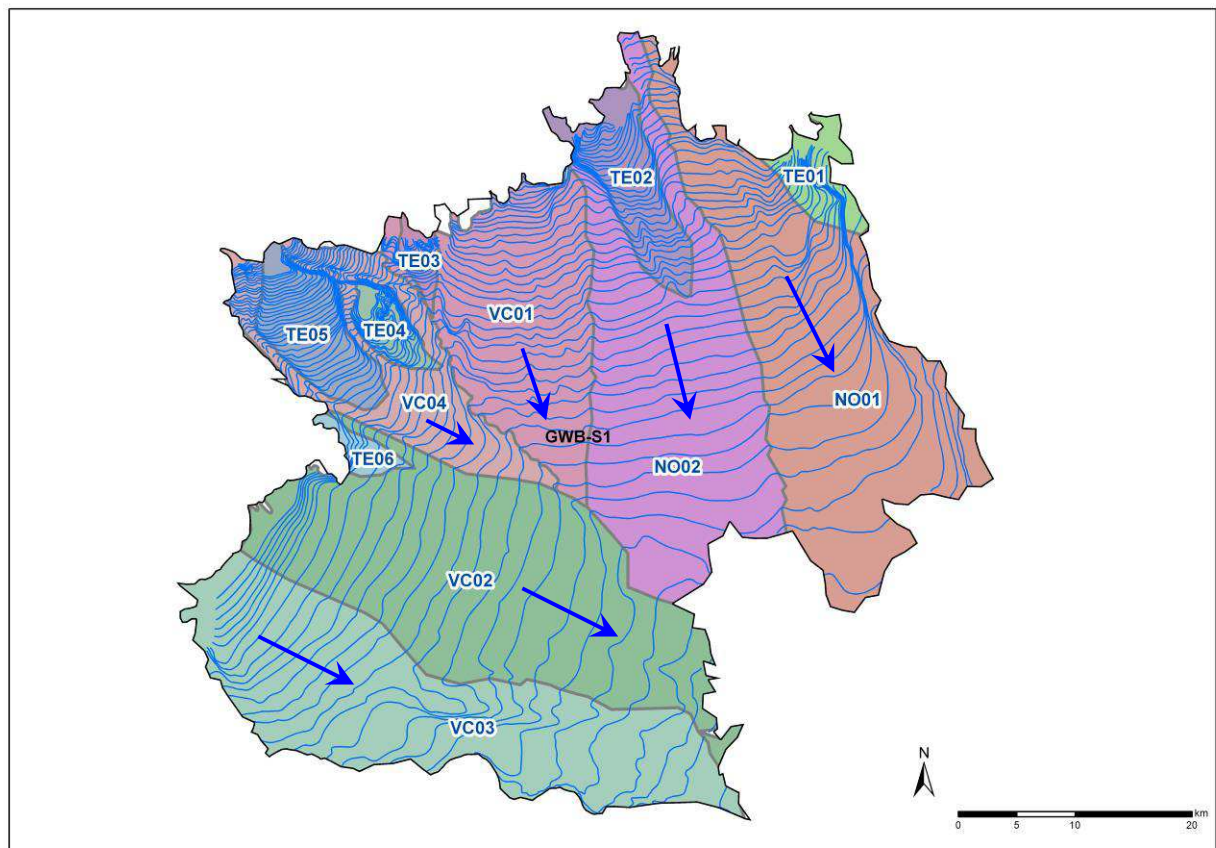


Figura 6.5: Andamento piezometrico e suddivisione in Aree Idrogeologiche del GWB-S1

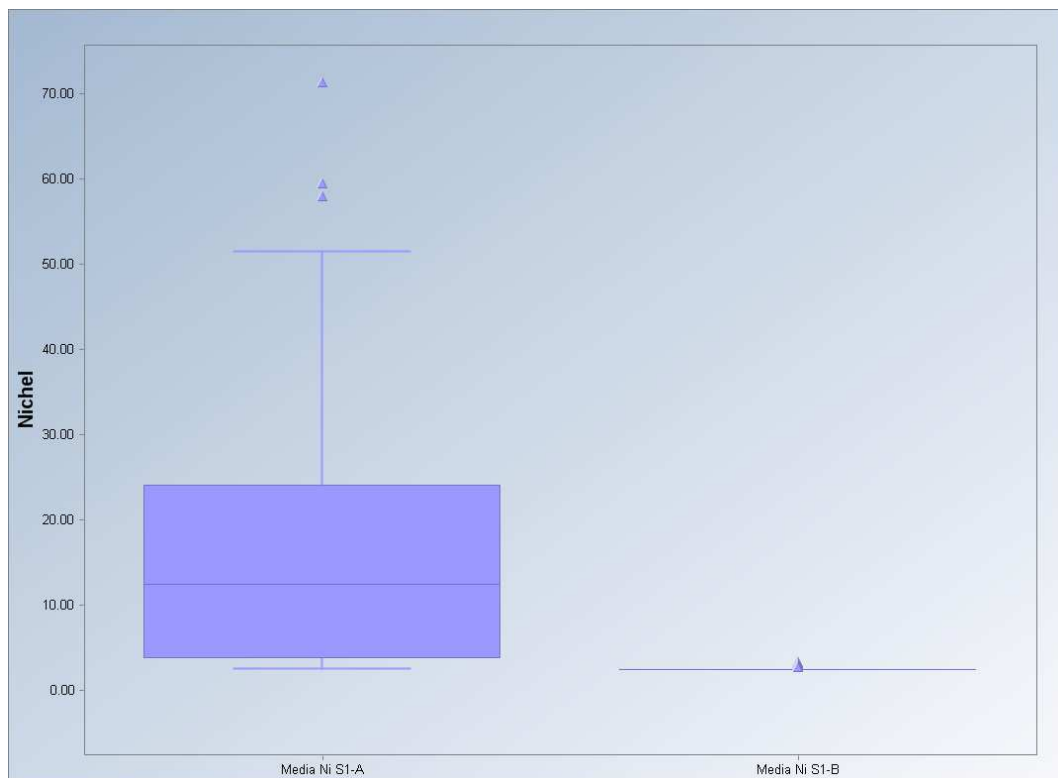


che hanno rappresentato il punto di partenza per la definizione dei GWB, si presuma una circolazione idrica sotterranea sostanzialmente omogenea.

Infatti, come evidenziato dalla Figura 6.5, GWB-S1 è composto dalle Aree Idrogeologiche NO01, NO02, VC01, VC02, VC03 e VC04. La sub-area d'interesse GWB-S1-A è per la maggior parte congruente con i settori delimitati dalle Aree idrogeologiche VC02, VC03 e VC04, mentre la sub-area GWB-S1-B, dove il fenomeno non sussiste, è localizzata in corrispondenza alle Aree Idrogeologiche VC01, NO01 e NO02.

Nel seguito di questo paragrafo si esporranno i risultati di alcuni metodi statistici/geostatistici, applicati come verifica (e quindi supporto) della presenza di sub-aree sufficientemente omogenee come ipotizzato in precedenza. Per una breve descrizione dei metodi utilizzati si rimanda al paragrafo 6.2 – Metodi statistici a supporto dell'individuazione di sub-aree di interesse.

Innanzitutto la comparazione dei box plot corrispondenti evidenzia l'assoluta diversità numerica della concentrazione del Nichel nelle due sub-aree (Figura 6.6).



**Figura 6.6:** Box plot comparativo del Nichel nelle sub-aree GWB-S1-A e GWB-S1-B

La consistenza delle sub-aree individuate è supportata anche dall'esame del grafico della curva di Lorenz dell'intero corpo idrico e delle due sub-aree (Figure 6.7, 6.8 e 6.9), e dall'indice di concentrazione relativo di Gini, sintetizzato nella Tabella 6.1.

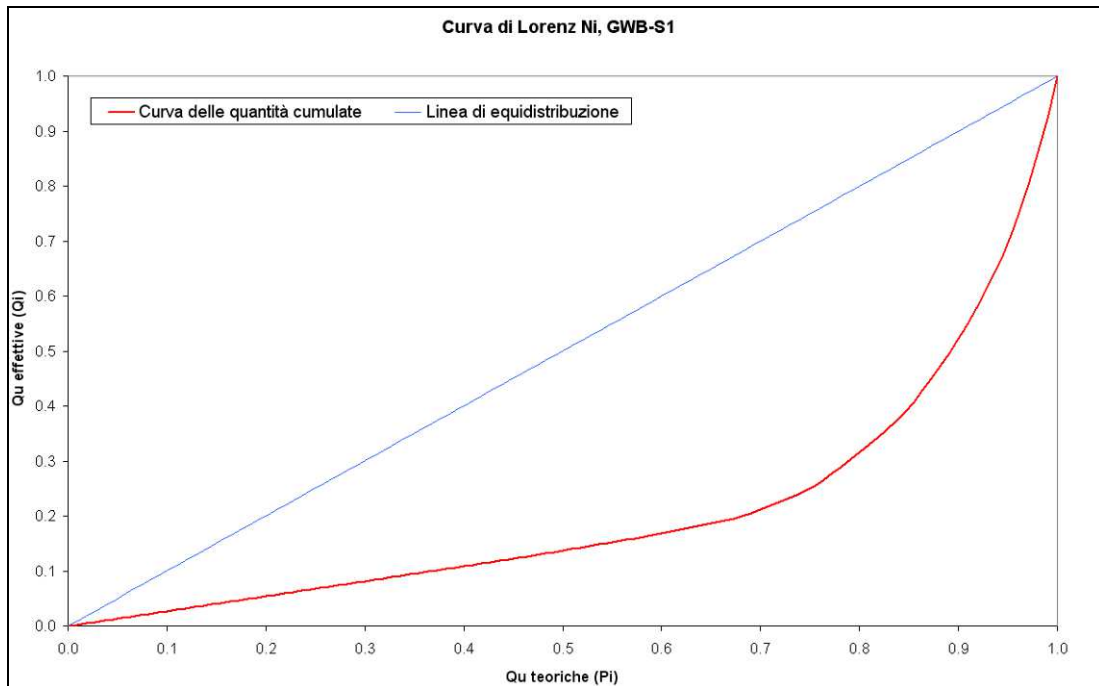


Figura 6.7: Curva di Lorenz per il Nichel nel corpo idrico GWB-S1

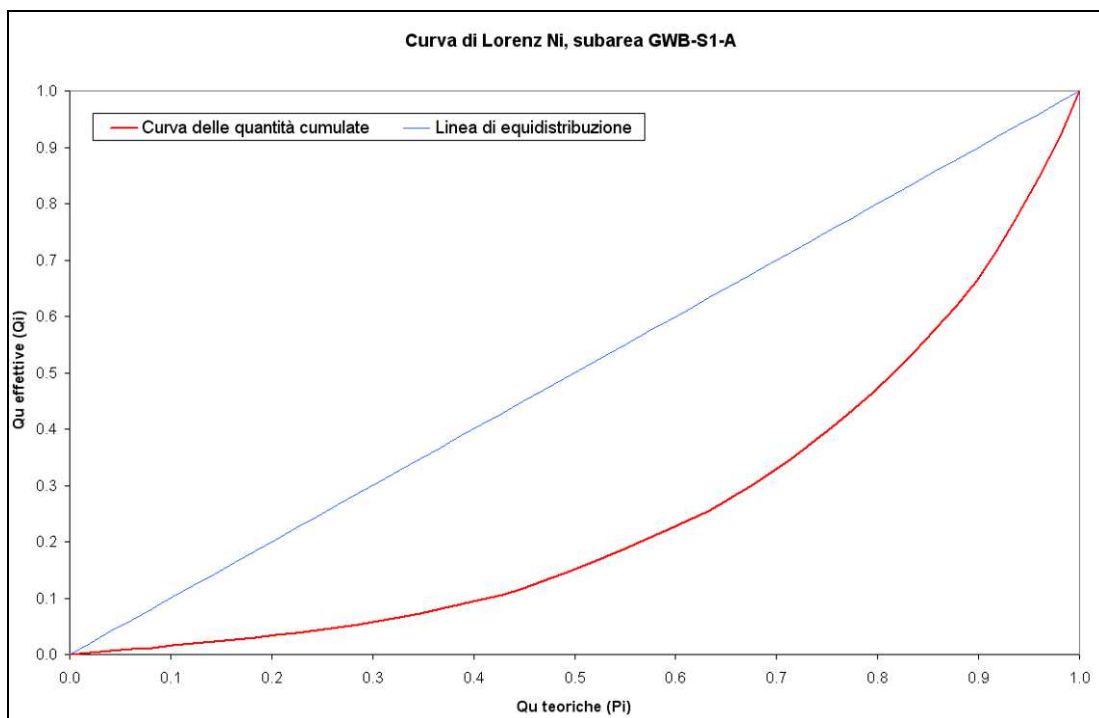
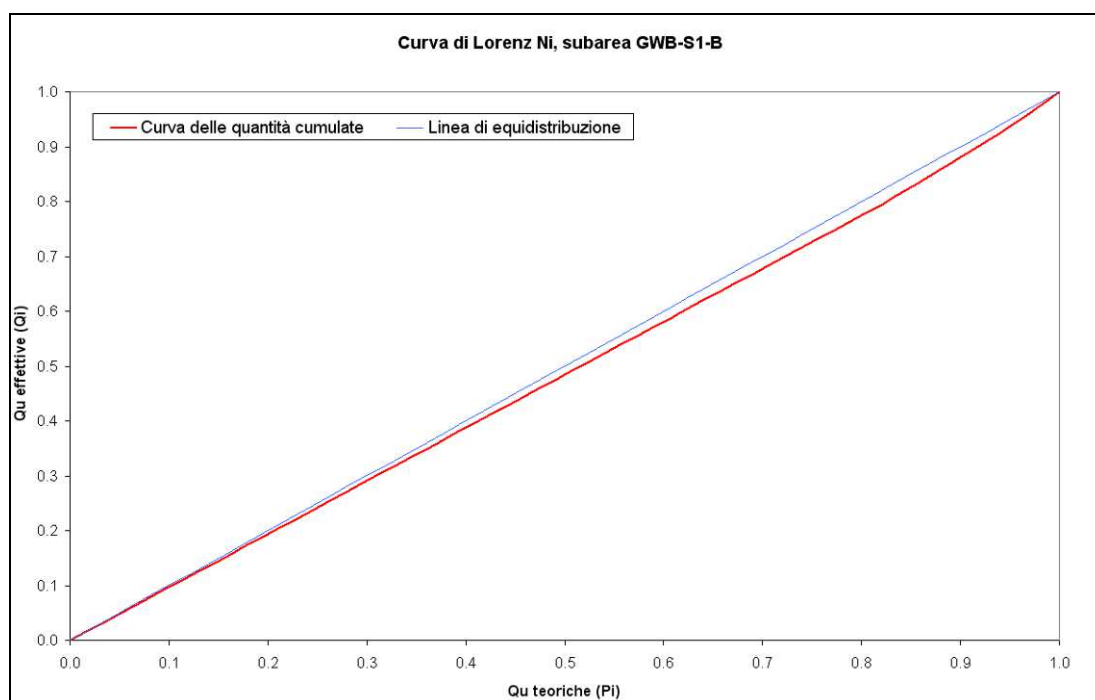


Figura 6.8: Curva di Lorenz per il Nichel nella sub-area GWB-S1-A





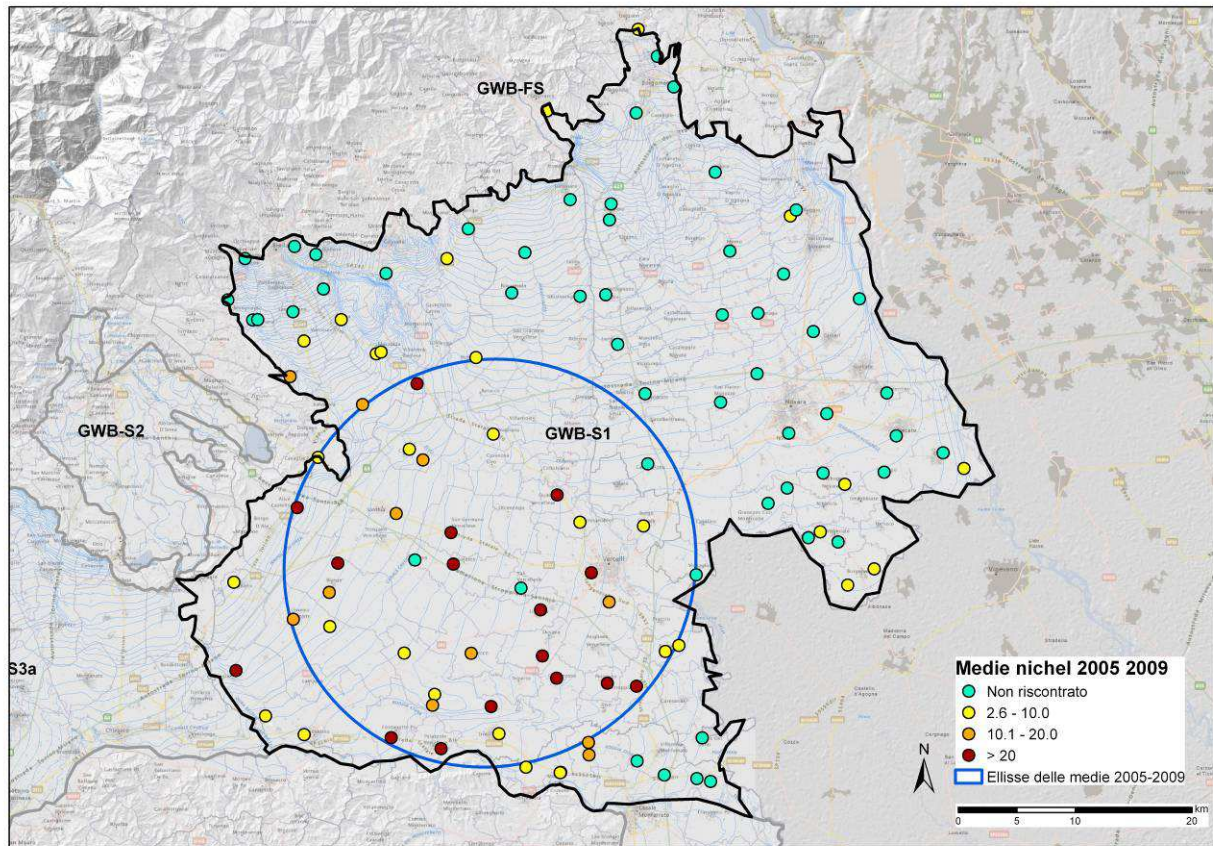
**Figura 6.9:** Curva di Lorenz per il Nichel nella sub-area GWB-S1-B

GWB-S1	Sub-area GWB-S1-A	Sub-area GWB-S1-B
0.59	0.51	0.03

**Tabella 6.1:** Sintesi dell'indice di Gini per l'intero corpo idrico e le sub-aree individuate

Dalle curve di Lorenz e dalla tabella di sintesi, si deduce che il GWB-S1 presenta nel suo complesso una pronunciata disomogeneità (indice di Gini 59%, quindi circa il 60% della disomogeneità possibile), mentre la scomposizione in sub-aree porta ad una disomogeneità inferiore nella sub-area di interesse GWB-S1-A (indice di Gini pari a circa il 50%) e soprattutto nella la sub-area GWB-S1-B, la quale risulta di fatto perfettamente omogenea (indice di Gini = 3%) e contraddistinta, come detto, da una sostanziale assenza del fenomeno.

L'analisi geostatistica in termini di ellisse deviazione standard (Figura 6.10) mostra che la maggior parte del "peso" del Nichel, inteso come concentrazione cumulata, è completamente congruente con la sub-area GBW-S1-A definita di interesse per il Nichel.

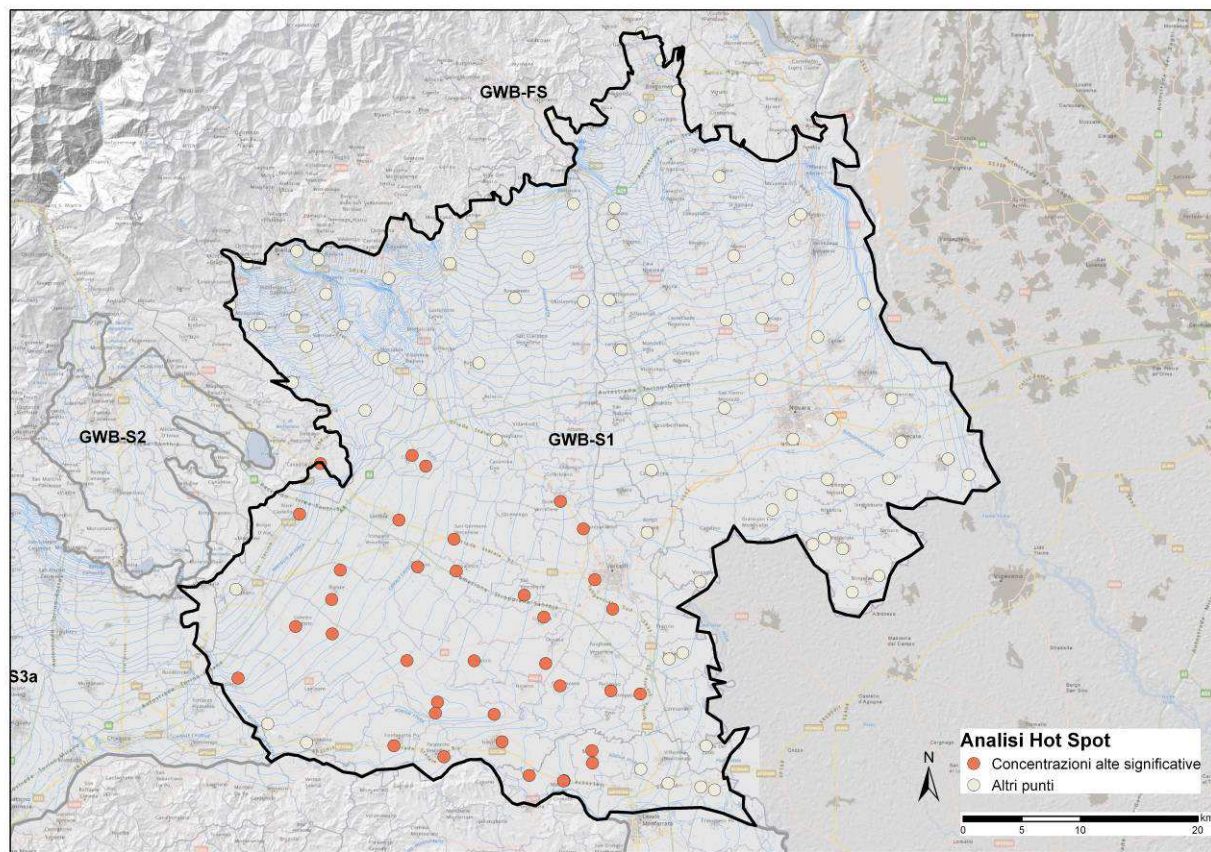


**Figura 6.10:** Ellisse deviazionale (parametro = 1 dev. standard) per il Nichel del GWB-S1

Infine, la metodologia di analisi di autocorrelazione *Hot-Spot*, e precisamente la rappresentazione spaziale dell'indice calcolato con tale tecnica, evidenzia che i punti con punteggio (z-score) positivo significativo, e quindi le concentrazioni alte e significative di Nichel, sono dislocati all'interno della sub-area GWB-S1-A (Figura 6.11).

La sintesi delle valutazioni effettuate consente di definire la sub-area d'interesse (Figura 6.12) a cui corrisponde un insieme di punti afferenti illustrati nella Tabella 6.2. Ai fini dello studio risulta pertanto fondamentale definire non soltanto uno spazio delimitato da spezzate ma, sulla base dei molteplici aspetti trattati, una superficie areale indicativa sulla quale applicare i calcoli per la stima dei VF. Infatti, nel processo di definizione della sub-area, oltre allo studio statistico, entrano in gioco una serie di elementi che contemplano sia l'area d'influenza dei punti di monitoraggio (delimitata tramite i poligoni di Thiessen), che l'effettivo ambito di circolazione delle acque sotterranee, tenendo conto dell'ubicazione dei suddetti punti e delle conoscenze idrogeologiche derivanti dal modello concettuale. Al riguardo, è importante risaltare come si possano configurare scenari differenti nel processo di delimitazione delle sub-aree nei relativi GWB d'interesse (come sarà evidenziato anche nei paragrafi successivi), in funzione delle informazioni disponibili e delle caratteristiche di tali informazioni in relazione al contesto di riferimento.





**Figura 6.11:** Analisi di autocorrelazione *Hot-Spot* (distanza di analisi 15 km) per il Nichel del GWB-S1

In tale ottica, nel caso della sub-area identificata in GWB-S1, e denominata GWB-S1-A, appare ragionevole circoscriverla secondo un presupposto prevalentemente idrogeologico che tenga conto (come trattato in precedenza) della conformazione delle aree idrogeologiche VC02, VC03 e VC04 (Figura 6.5). Tuttavia, la parte terminale (sud-est) di tale settore, non avendo evidenziato anomalie, viene esclusa dall'area computata secondo un principio che tiene conto (per questo caso peculiare) dell'area d'influenza dei punti senza anomalia. In effetti, in questa zona, ubicata in prossimità della confluenza tra i fiumi Sesia e Po, potrebbe sussistere un assetto idrogeologico diverso da quello caratteristico dell'adiacente area di pianura, in questo caso più legato ai prodotti fluviali trasportati da Sesia e Po, che ai processi che hanno dato origine alle formazioni sedimentarie di pianura in s.s. sede degli acquiferi regionali. Inoltre, esiste anche la possibilità che si manifesti una circolazione idrica sotterranea differenziale (o addirittura di sub alveo) non rilevabile alla scala del pannello piezometrico regionale. Vengono altresì esclusi dall'area computata il terrazzo TE04 (senza punti di monitoraggio e diverso contesto idrogeologico), la parte apicale di VC04 (senza punti anomali) ed il settore nord di TE05. In quest'ultimo caso i punti anomali ubicati nella parte sud del terrazzo sono associati ad una circolazione idrica sotterranea assimilabile a quella della limitrofa area di pianura, come si evince dall'esame del relativo pannello piezometrico. Pertanto, risulta plausibile anche l'influenza dell'elemento morfologico fornito dalla peculiarità di TE05, che assume la sua vera connotazione (marcato rilievo rispetto alla pianura circostante) spostandosi verso la parte nord. In tale ottica, ai fini dello studio, appare appropriato separarlo in modo trasversale non solo per le differenti anomalie dei punti afferenti, bensì per i diversi contesti idrogeologici evidenziati.

Quindi nella Figura 6.12 si riporta la superficie areale indicativa, sulla quale applicare i calcoli per la stima dei VF.

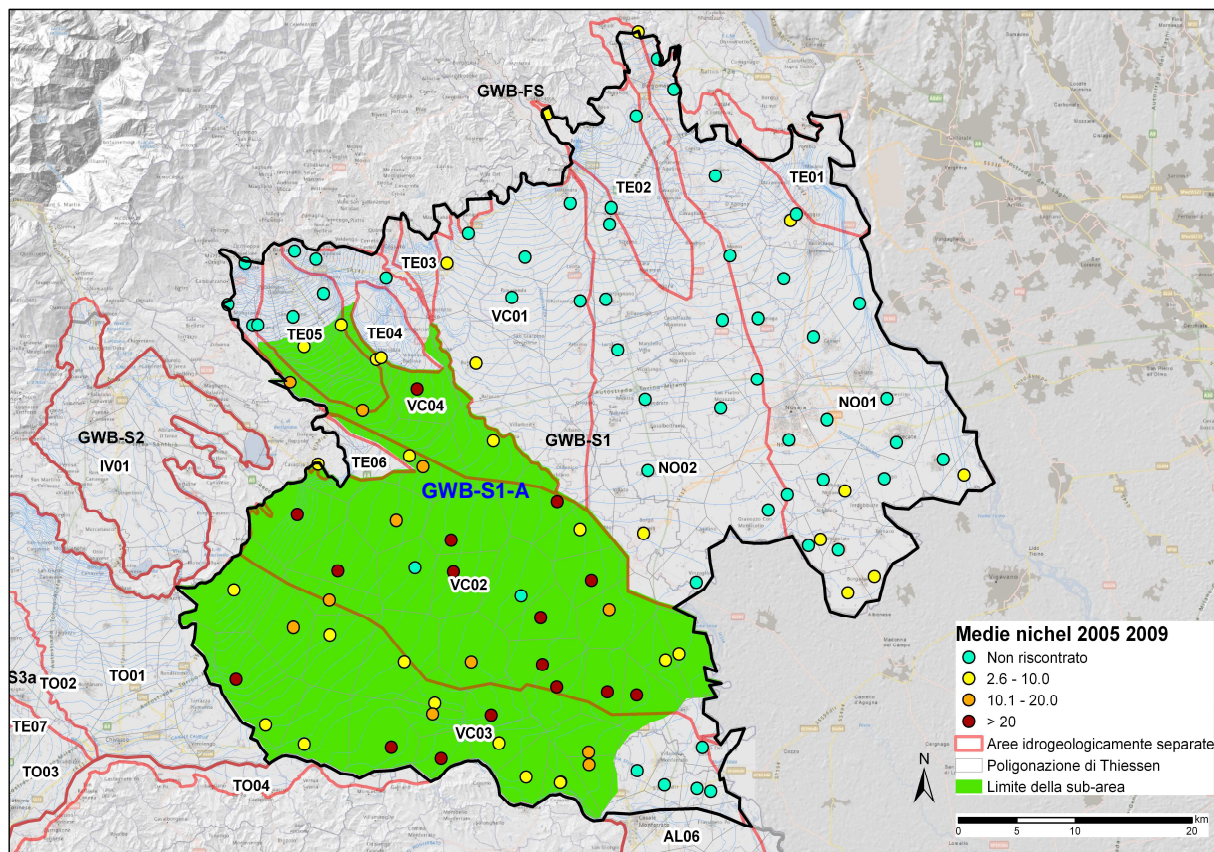


Figura 6.12: Superficie areale indicativa della sub-area GWB-S1-A sulla quale sarà stimato il VF del Nichel



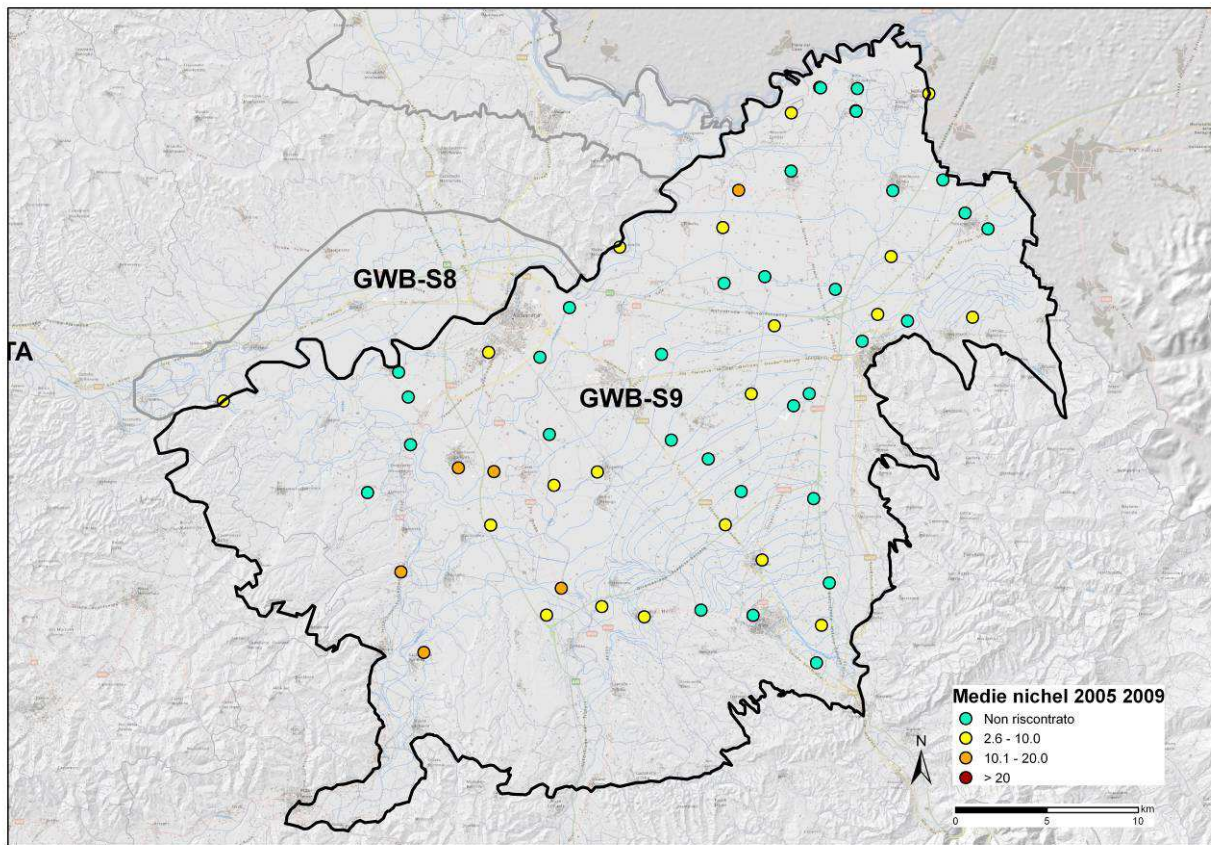
N°	Codice	GWB	Sub-GWB	Comune
1	00200410001	GWB-S1	GWB-S1-A	ALICE CASTELLO
2	00201100004	GWB-S1	GWB-S1-A	BIANZE'
3	00201110001	GWB-S1	GWB-S1-A	BIANZE'
4	00203100003	GWB-S1	GWB-S1-A	CARESANABLOT
5	00203200005	GWB-S1	GWB-S1-A	CARISIO
6	00203210001	GWB-S1	GWB-S1-A	CARISIO
7	00204200002	GWB-S1	GWB-S1-A	CIGLIANO
8	00204700005	GWB-S1	GWB-S1-A	COSTANZANA
9	00204900003	GWB-S1	GWB-S1-A	CRESCENTINO
10	00205210001	GWB-S1	GWB-S1-A	CROVA
11	00205400003	GWB-S1	GWB-S1-A	DESANA
12	00205810001	GWB-S1	GWB-S1-A	FONTANETTO PO
13	00205910001	GWB-S1	GWB-S1-A	FORMIGLIANA
14	00207010001	GWB-S1	GWB-S1-A	LIGNANA
15	00207100004	GWB-S1	GWB-S1-A	LIVORNO FERRARIS
16	00207100006	GWB-S1	GWB-S1-A	LIVORNO FERRARIS
17	00209000001	GWB-S1	GWB-S1-A	PALAZZOLO VERCELLESE
18	00209110001	GWB-S1	GWB-S1-A	PERTENGO
19	00209300003	GWB-S1	GWB-S1-A	PEZZANA
20	00209310001	GWB-S1	GWB-S1-A	PEZZANA
21	00210800003	GWB-S1	GWB-S1-A	QUINTO VERCELLESE
22	00211810001	GWB-S1	GWB-S1-A	RONSECCO
23	00212610001	GWB-S1	GWB-S1-A	SALASCO
24	00212700003	GWB-S1	GWB-S1-A	SALI VERCELLESE
25	00212800006	GWB-S1	GWB-S1-A	SALUGGIA
26	00212810001	GWB-S1	GWB-S1-A	SALUGGIA
27	00213100004	GWB-S1	GWB-S1-A	SAN GERMANO VERCELLESE
28	00213300006	GWB-S1	GWB-S1-A	SANTHIA'
29	00214200002	GWB-S1	GWB-S1-A	STROPPIANA
30	00214800005	GWB-S1	GWB-S1-A	TRINO
31	00214800006	GWB-S1	GWB-S1-A	TRINO
32	00214800007	GWB-S1	GWB-S1-A	TRINO
33	00214810001	GWB-S1	GWB-S1-A	TRINO
34	00214810002	GWB-S1	GWB-S1-A	TRINO
35	00215800016	GWB-S1	GWB-S1-A	VERCELLI
36	00215810001	GWB-S1	GWB-S1-A	VERCELLI
37	00601100002	GWB-S1	GWB-S1-A	BALZOLA
38	00601100003	GWB-S1	GWB-S1-A	BALZOLA
39	00610900001	GWB-S1	GWB-S1-A	MORANO SUL PO
40	00610900005	GWB-S1	GWB-S1-A	MORANO SUL PO
41	00610910001	GWB-S1	GWB-S1-A	MORANO SUL PO
42	09600300003	GWB-S1	GWB-S1-A	BENNA
43	09601610001	GWB-S1	GWB-S1-A	CAVAGLIA'
44	09601800003	GWB-S1	GWB-S1-A	CERRIONE
45	09601800004	GWB-S1	GWB-S1-A	CERRIONE
46	09603100003	GWB-S1	GWB-S1-A	MASSAZZA
47	09603110001	GWB-S1	GWB-S1-A	MASSAZZA
48	09605800004	GWB-S1	GWB-S1-A	SALUSSOLA
49	09607900002	GWB-S1	GWB-S1-A	VILLANOVA BIELLESE

**Tabella 6.2:** Elenco dei punti considerati nella sub-area GWB-S1-A

### 6.3.2. **GWB-S9 – Nichel**

Per il corpo idrico GWB-S9 (settore Alessandrino) la distribuzione spaziale del Nichel e dei relativi settori di anomalia è prevalentemente collocata nella zona meridionale (Figura 6.13), individuando così la sub-area di interesse GWB-S9-A (Figura 6.14).

La restante parte di GWB-S9, che per semplicità denominiamo GWB-S9-B, non denota elementi peculiari al fine dell'individuazione di ulteriori sub-aree d'interesse; infatti, si evidenziano sporadiche anomalie puntuali localizzate, non associabili ad uno specifico contesto areale con tenori medi intorno a 10 µg/L. La sub-area individuata è solo parzialmente riconducibile ad una delimitazione secondo i contorni delle Aree Idrogeologiche (Figura 6.15) comprendendo AL03 e il settore SO di AL04. Inoltre, l'andamento piezometrico di questa porzione sud del GWB è complicato da vari fattori, come la presenza di alcuni terrazzi di piccole dimensioni, che con le loro circolazioni locali possono rendere più complessa la configurazione del pannello piezometrico attribuito alla sottostante area di pianura oppure, la giacitura dei prodotti alluvionali fluviali recenti che può complicare la circolazione idrica sotterranea nelle zone immediatamente a valle dei rilievi. Tutti questi elementi possono interferire con il processo d'interpretazione e delimitazione delle aree idrogeologiche.



**Figura 6.13:** Distribuzione delle anomalie di Nichel in GWB-S9



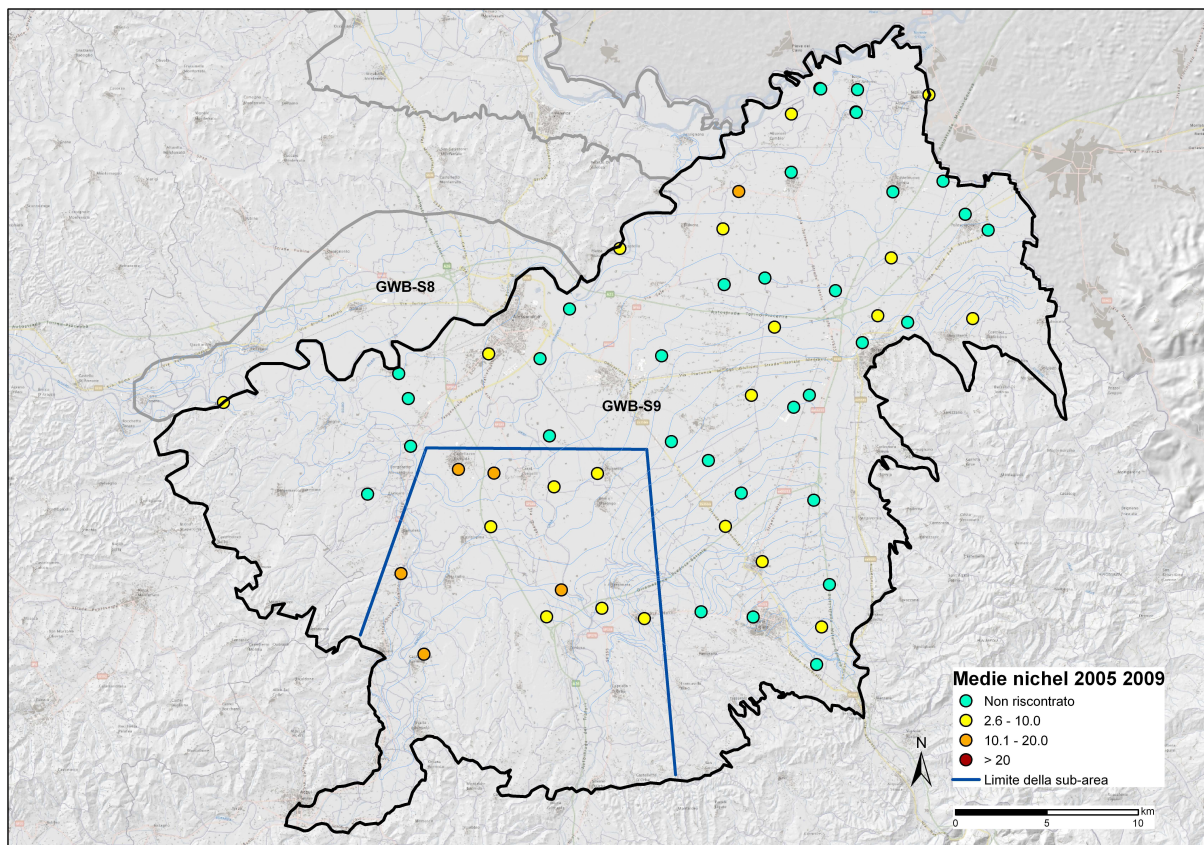


Figura 6.14: Selezione punti per la sub-area GWB-S9-A

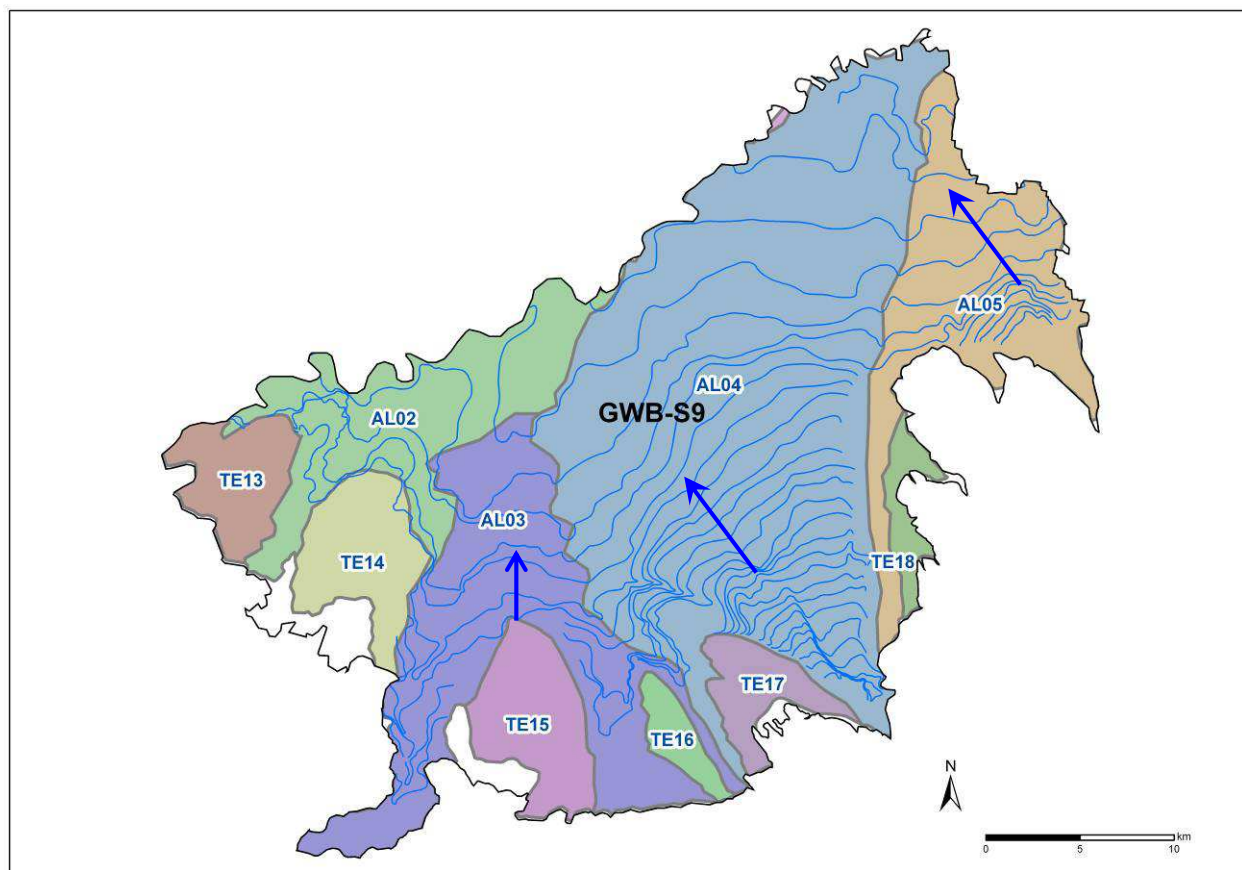
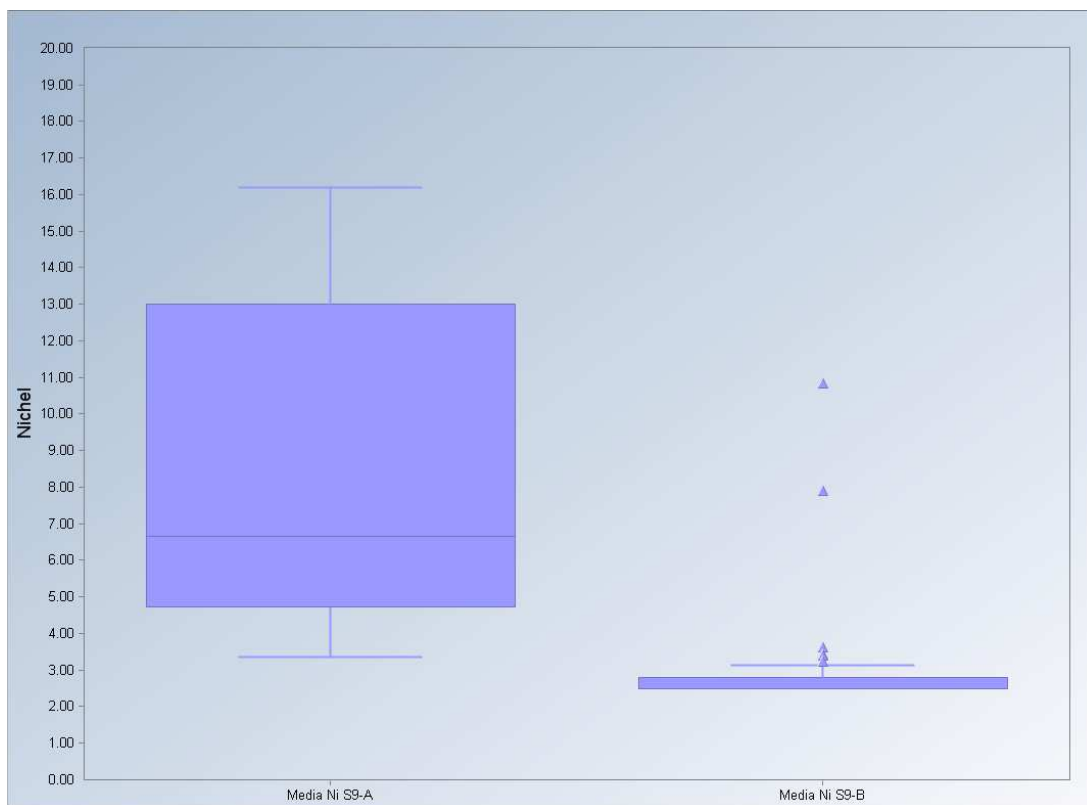
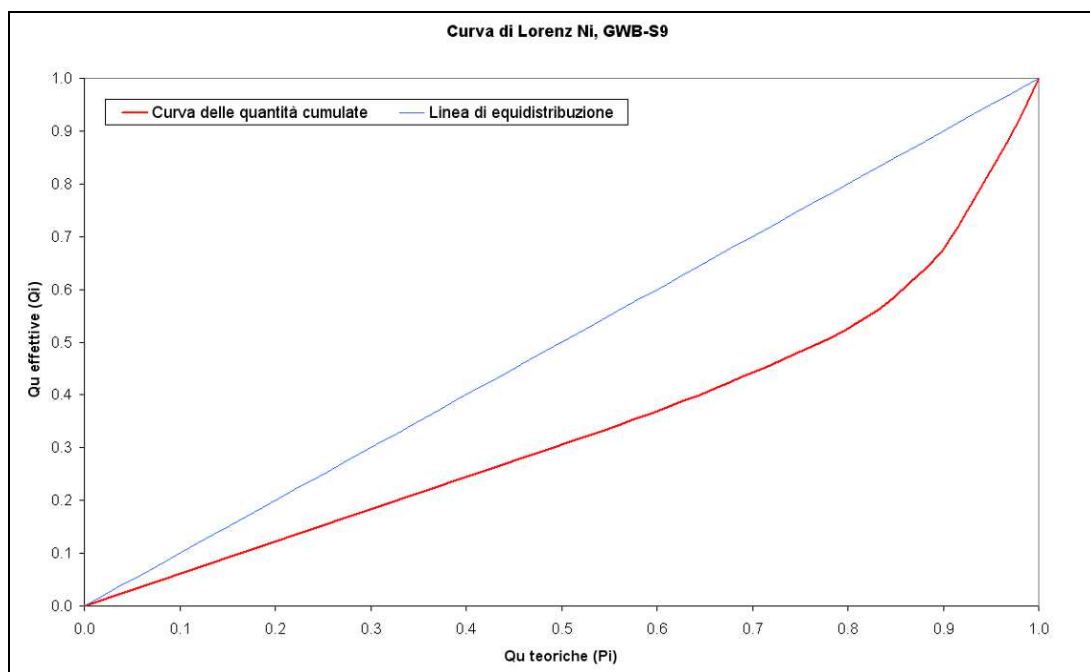


Figura 6.15: Andamento piezometrico e suddivisione in Aree Idrogeologiche del GWB-S9

Il diverso carattere della sub-area ipotizzata GWB-S9-A rispetto alla restante porzione GWB-S9-B risulta evidente dal grafico "box-plot" comparativo (Figura 6.16). La sostanziale non omogeneità complessiva della distribuzione del Nichel nell'intero corpo idrico emerge anche dai grafici che riportano le curve di Lorenz (Figure 6.17, 6.18 e 6.19), e dai valori assunti dall'indice di concentrazione relativo di Gini (Tabella 6.3) che, dal valore riferito all'intero corpo idrico pari a  $R_G = 0.32$ , si riduce a  $R_G = 0.14$  nella zona esterna alla sub-area GWB-S9-A con valori bassi di concentrazione.

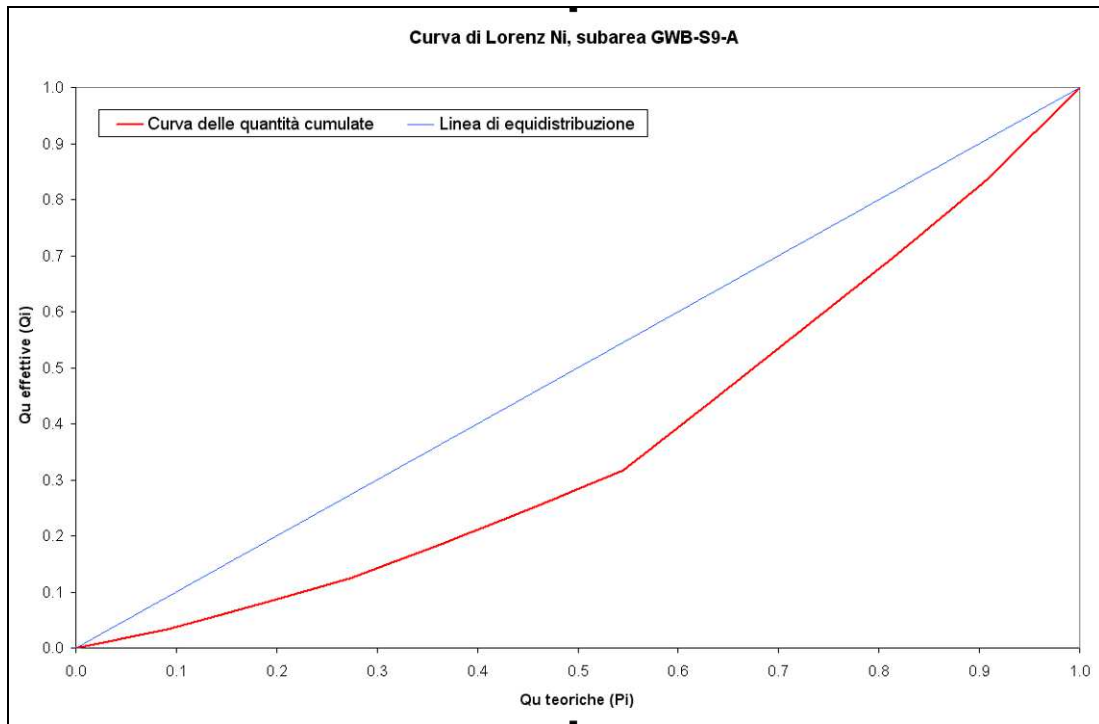


**Figura 6.16:** Box plot comparativo del Nichel nelle sub-aree GWB-S9-A e GWB-S9-B

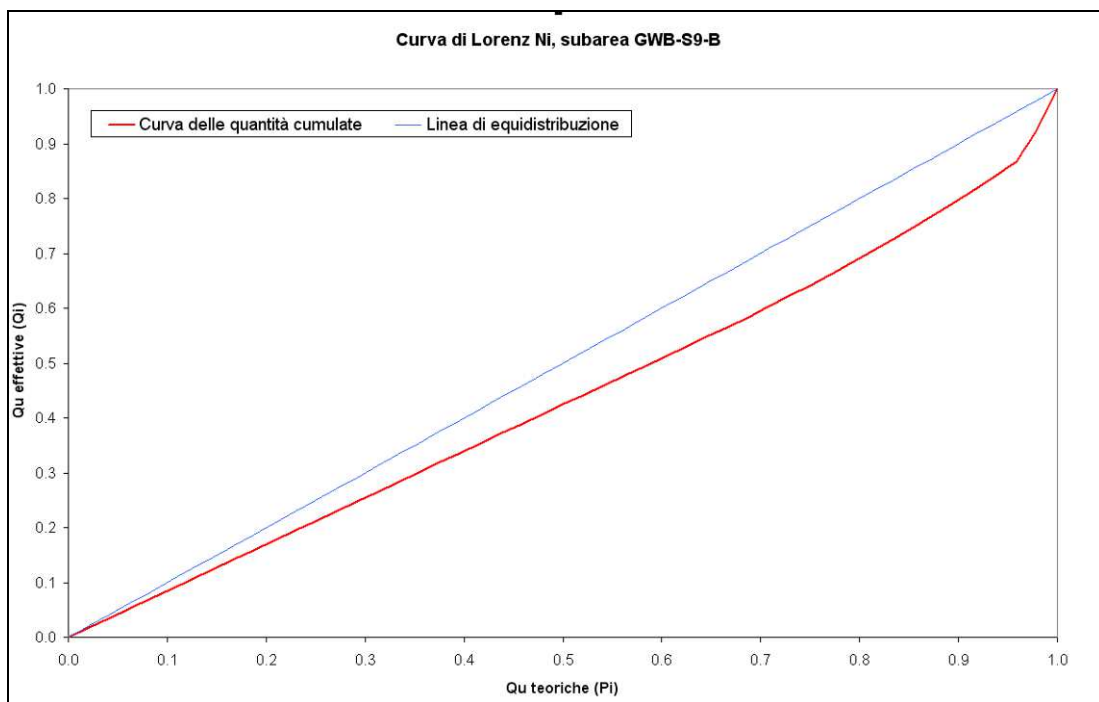


**Figura 6.17:** Curva di Lorenz per il Nichel in GWB-S9





**Figura 6.18:** Curva di Lorenz per il Nichel della sub-area GWB-S9-A



**Figura 6.19:** Curva di Lorenz per il Nichel della sub-area GWB-S9-B

GWB-S9	Sub-area GWB-S9-A	Sub-area GWB-S9-B
0.32	0.29	0.14

**Tabella 6.3:** Sintesi dell'indice di Gini per l'intero corpo idrico e le sub-aree individuate

Per quanto riguarda i metodi di conferma geostatistici, l'ellisse deviazionale standard (Figura 6.19) non è sostanzialmente concorde con la sub-area ipotizzata, in quanto si "allunga" anche nell'area esterna alla sub-area GBW-S9-A, ma ciò è dovuto principalmente alle concentrazioni del metallo che nella sub-area di interesse non assumono valori molto elevati e quindi prevale, in un certo senso, la geometria dei punti.

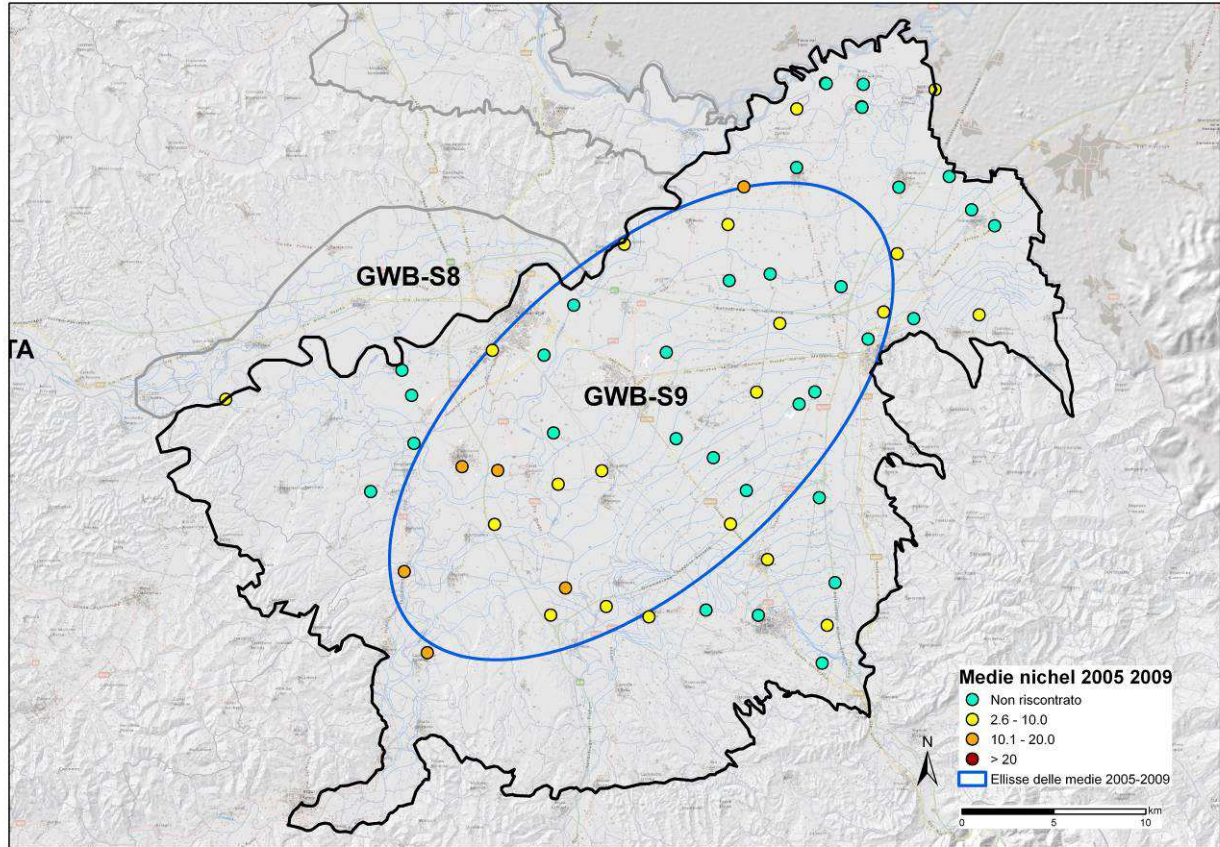


Figura 6.20: Ellisse deviazionale (parametro = 1 dev. standard) per il Nichel in GWB-S9

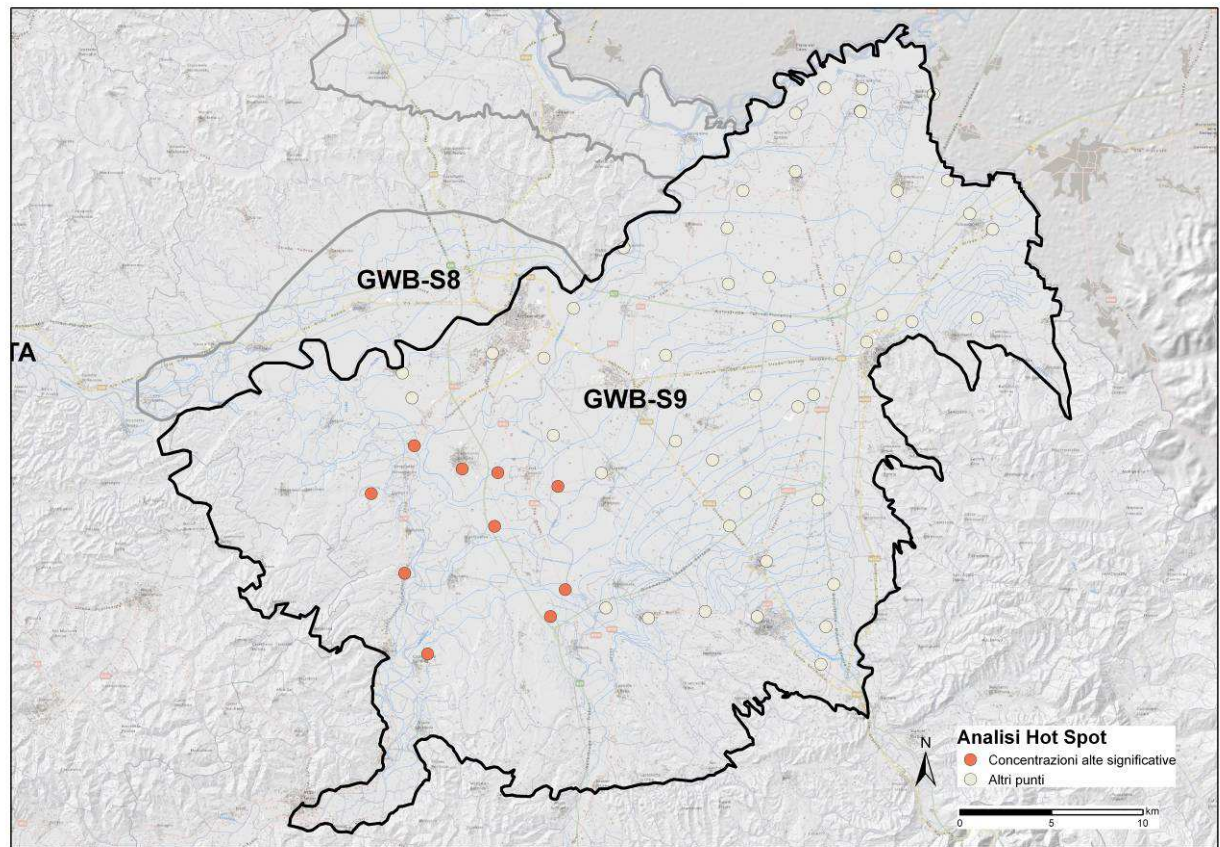


Figura 6.21: Analisi di autocorrelazione *Hot-Spot* (distanza di analisi 7.5 km) per il Nichel in GWB-S9

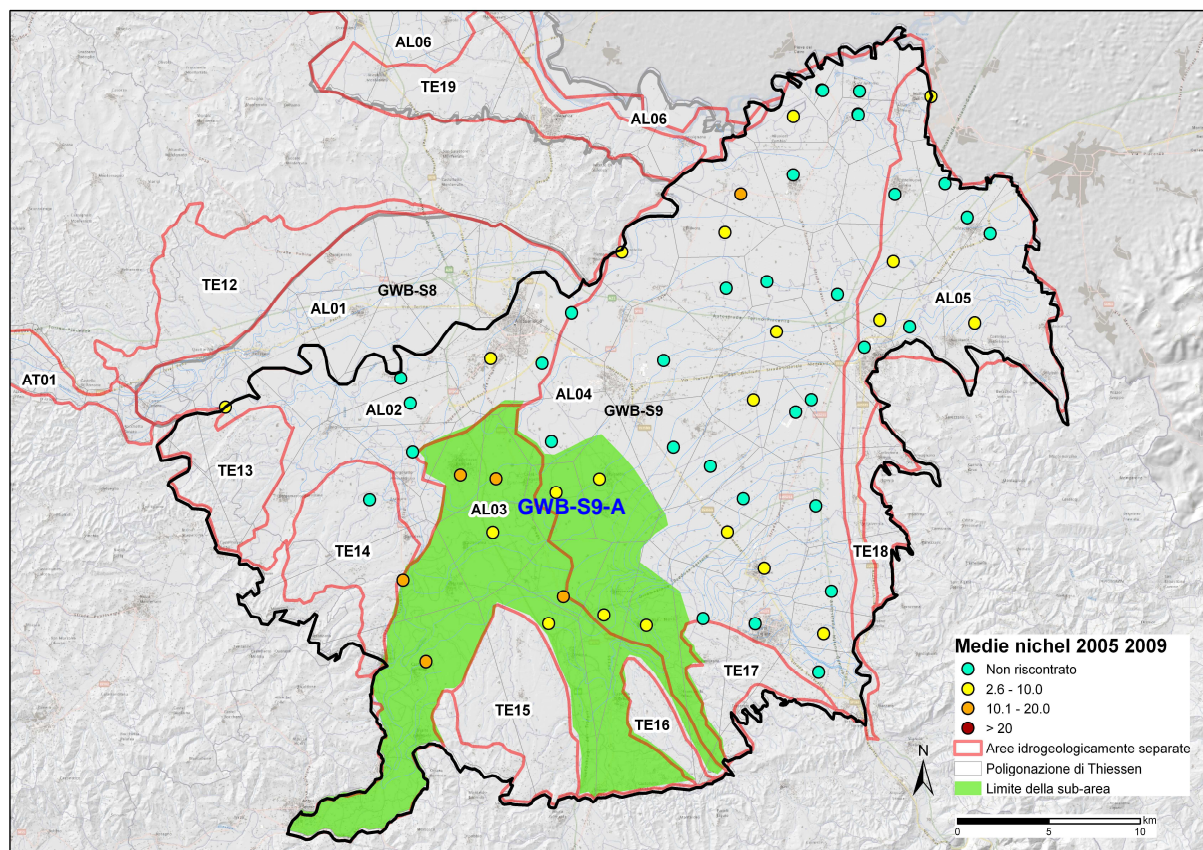


L'analisi spaziale effettuata con la tecnica di autocorrelazione *Hot-Spot* (Figura 6.21) evidenzia che il raggruppamento più significativo delle concentrazioni elevate di Nichel è interno alla sub-area di interesse GWB-S9-A.

Analogamente a quanto trattato nel paragrafo precedente la sintesi delle valutazioni effettuate consente di definire la sub-area d'interesse (Figura 6.22) a cui corrisponde un insieme di punti afferenti illustrati nella Tabella 6.4. Viene pertanto delimitata una superficie areale indicativa sulla quale applicare i calcoli per la stima dei VF.

Anche in questo caso nel processo di definizione della sub-area, oltre allo studio statistico, entrano in gioco sia l'area d'influenza dei punti di monitoraggio (delimitata tramite i poligoni di Thiessen), che l'ambito di circolazione delle acque sotterranee, tenendo conto dell'ubicazione dei suddetti punti e dell'andamento piezometrico regionale.

Pertanto, nel caso della sub-area identificata in GWB-S9, e denominata GWB-S9-A, appare ragionevole circoscriverla tenendo conto della conformazione sia dell'area idrogeologica AL03, sia del settore SO di AL04, che dei relativi andamenti piezometrici con il controllo delle aree d'influenza puntuale. (Figura 6.15). Le parti sud della sub-area relative ad alcuni terrazzi non sono considerate (in quanto senza punti di monitoraggio e riferibili ad un diverso contesto idrogeologico) e vengono pertanto escluse dall'area computata.



**Figura 6.22:** Superficie areale indicativa della sub-area GWB-S9-A sulla quale sarà stimato il VF del Nichel

N°	Codice	GWB	Sub-GWB	Comune
1	00601210001	GWB-S9	GWB-S9-A	BASALUZZO
2	00604300001	GWB-S9	GWB-S9-A	CASSINE
3	00604700003	GWB-S9	GWB-S9-A	CASTELLAZZO BORMIDA
4	00604700004	GWB-S9	GWB-S9-A	CASTELLAZZO BORMIDA
5	00604710001	GWB-S9	GWB-S9-A	CASTELLAZZO BORMIDA
6	00605210001	GWB-S9	GWB-S9-A	CASTELNUOVO BORMIDA
7	00607400002	GWB-S9	GWB-S9-A	FRESONARA
8	00607500002	GWB-S9	GWB-S9-A	FRUGAROLO
9	00607510001	GWB-S9	GWB-S9-A	FRUGAROLO
10	00614000003	GWB-S9	GWB-S9-A	PREDOSA
11	00614000004	GWB-S9	GWB-S9-A	PREDOSA

**Tabella 6.4:** Elenco dei punti considerati nella sub-area GWB-S9-A

### 6.3.3. GWB-S3a – Nichel

Per quanto concerne invece il GWB-S3a (Figura 6.23) relativo all'area del Canavese, la distribuzione delle anomalie ha permesso d'individuare due sub-aree principali, caratterizzate da anomalie di Nichel a diversa intensità e una marginale, nel settore sud-ovest, con una sostanziale assenza del fenomeno (Figura 6.24). La sub-area in cui il fenomeno si presenta con maggior intensità è in posizione centrale all'interno del corpo idrico, e viene denominata GWB-S3a-A, quella a minor intensità è denominata GWB-S3a-B.

Anche in questo caso i settori individuati sono riconducibili ai contorni di preesistenti Aree Idrogeologiche (Figura 6.25). Infatti, si nota una zona est corrispondente alle Aree Idrogeologiche TO01 e TO02, un settore centrale, coerente con le Aree Idrogeologiche TE07 e TO03, dove i valori risultano particolarmente elevati, e una zona marginale a SO con assenza del fenomeno, riconducibile all'area idrogeologica TE08.

La sub-area GWB-S3a-A che presenta la maggiore intensità del fenomeno può essere ridefinita seguendo il contorno dell'area idrogeologica TO03 (Figura 6.21) in quanto nell'area TE07, associata ad un terrazzo morfologico, non ci sono punti di monitoraggio utilizzabili ai fini del progetto. Inoltre, tale area, in considerazione della direzione e del gradiente del flusso idrico sotterraneo (alquanto diversi rispetto a TO03), costituisce un evidente settore isolato con trascurabili o nulle interazioni con il contesto di circolazione idrica sotterranea della sottostante pianura.

È altresì importante risaltare come nella sub-area GWB-S3a-A le medie del periodo considerato siano tutte superiori al VS del Nichel (20 µg/L), con due punti che raggiungono addirittura 100 µg/L e 521 µg/L in media, denotando un'accentuazione localizzata dell'anomalia riconducibile a fenomeni naturali come evidenziato nel paragrafo 3.8

D'altro canto la sub-area GWB-S3a-B caratterizzata dalla presenza attenuata del fenomeno evidenzia al suo interno un unico punto (ubicato tra l'altro in una posizione alquanto marginale lungo il confine nord di TO01) che presenta una media di periodo elevata (48 µg/L) a testimonianza di una fenomenologia estremamente localizzata. Al riguardo è importante risaltare come il suddetto punto si trovi al piede dei rilievi dei monti della Serra e sia interessato da una circolazione idrica sotterranea sostanzialmente diversa rispetto al limitrofo contesto di pianura. Tale aspetto è evidenziato dal pannello piezometrico immediatamente sotto gradiente dal punto considerato, che denota direzioni di deflusso idrico sotterraneo diverse rispetto al settore adiacente con presenza di uno spartiacque idrogeologico. Pertanto, il punto in questione non può essere considerato rappresentativo della sub-area GWB-S3a-B in quanto costituisce un ambito a se stante; infatti, in tutto il resto della sub-area, la media del periodo nei vari punti di monitoraggio è inferiore alla concentrazione di 13 µg/L e le singole medie annuali non superano mai il valore di concentrazione di 17 µg/L.



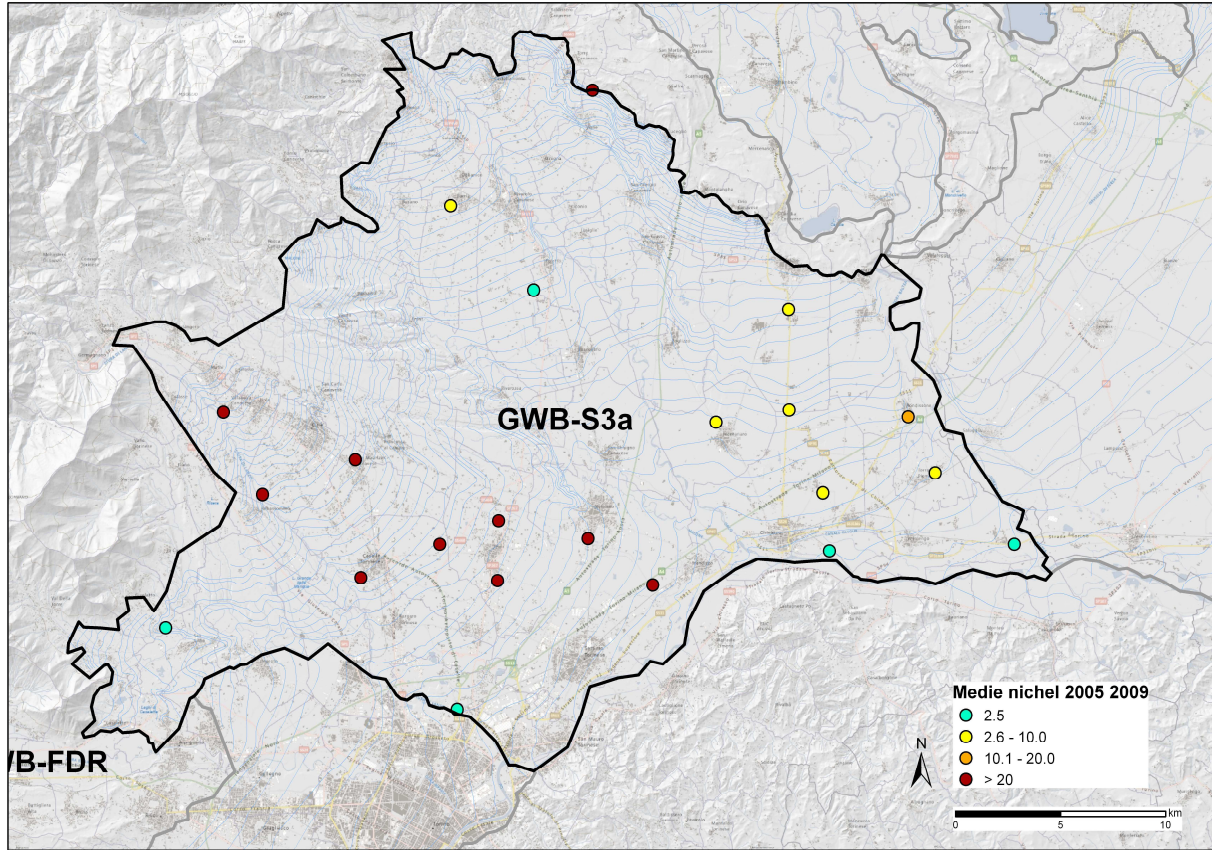


Figura 6.23: Distribuzione delle anomalie di Nichel in GWB-S3a

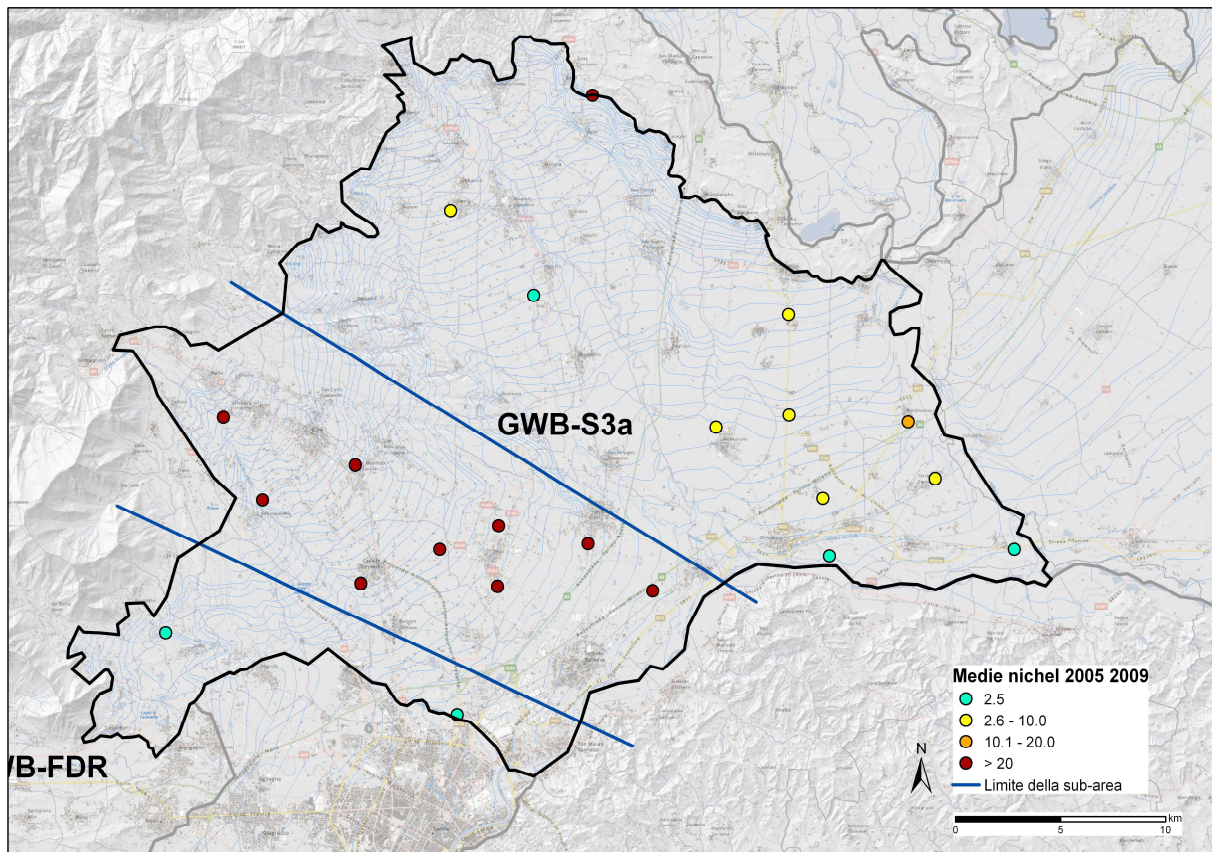
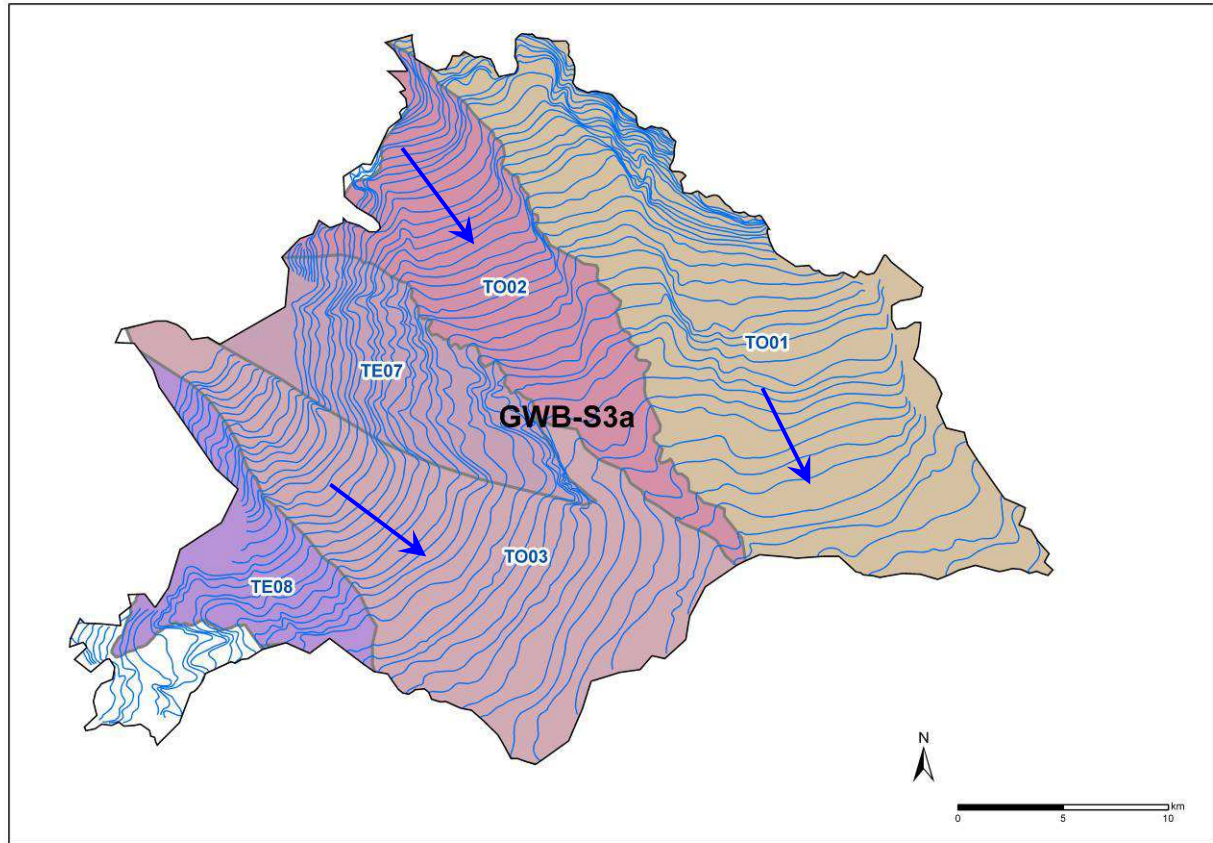


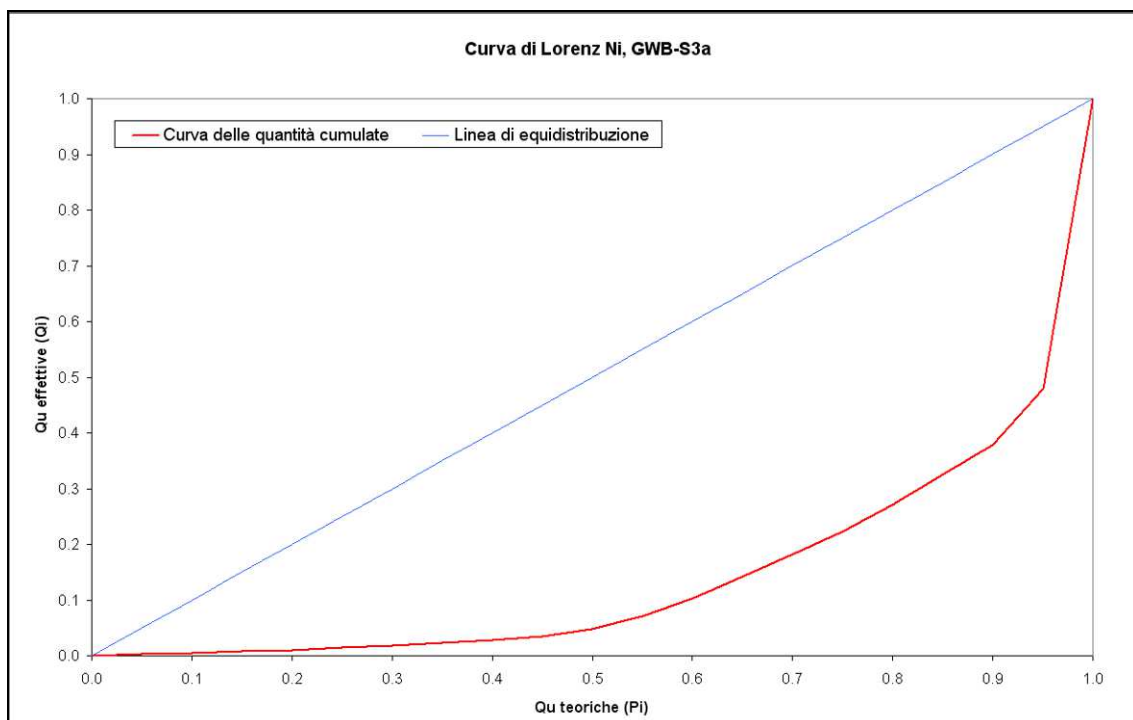
Figura 6.24: Selezione punti per le sub-aree in GWB-S3a





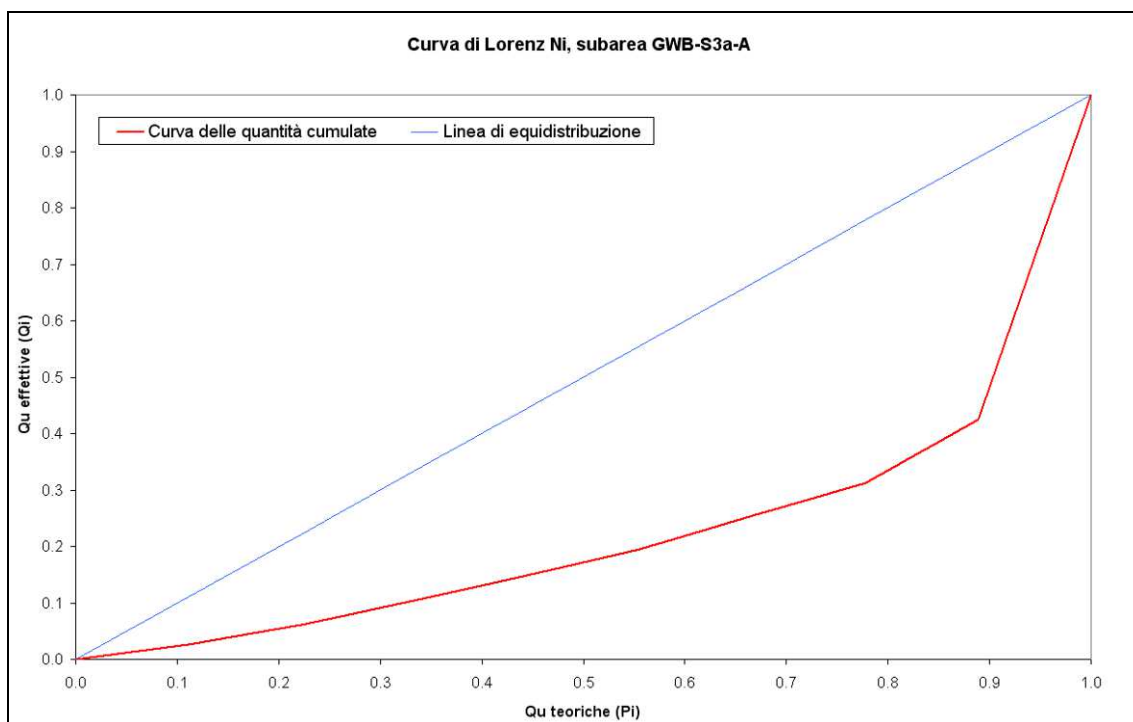
**Figura 6.25:** Andamento piezometrico e suddivisione in Aree Idrogeologiche del GWB-S3a

I grafici delle curve di Lorenz evidenziano tale pronunciata disomogeneità, non solo nel corpo idrico completo, ma anche nelle due sub-aree ipotizzate. Analogamente l'indice di Gini si mantiene sempre su valori che indicano elevata disomogeneità sia nel corpo idrico complessivo, ma tale disomogeneità è confermata anche nelle due sub-aree GWB-Sa3-A e GWB-S3a-B che si sono inizialmente ipotizzate.

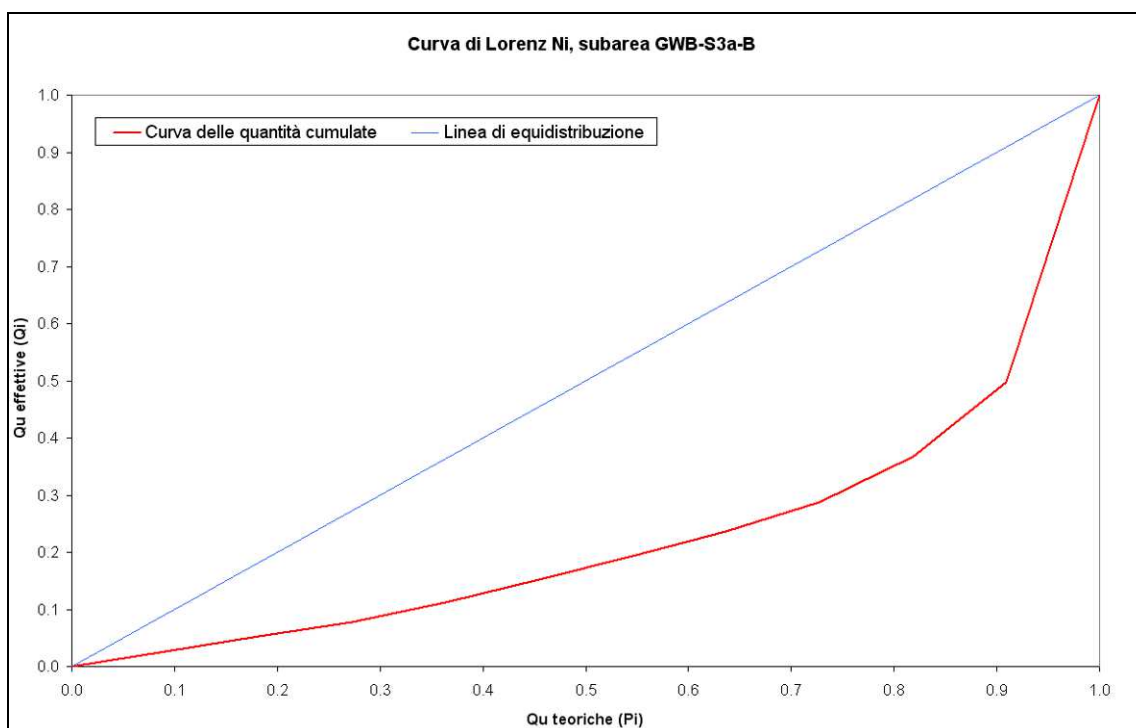


**Figura 6.26:** Curva di Lorenz per il Nichel in GWB-S3a





**Figura 6.27:** Curva di Lorenz per il Nichel della sub-area GWB-S3a-A

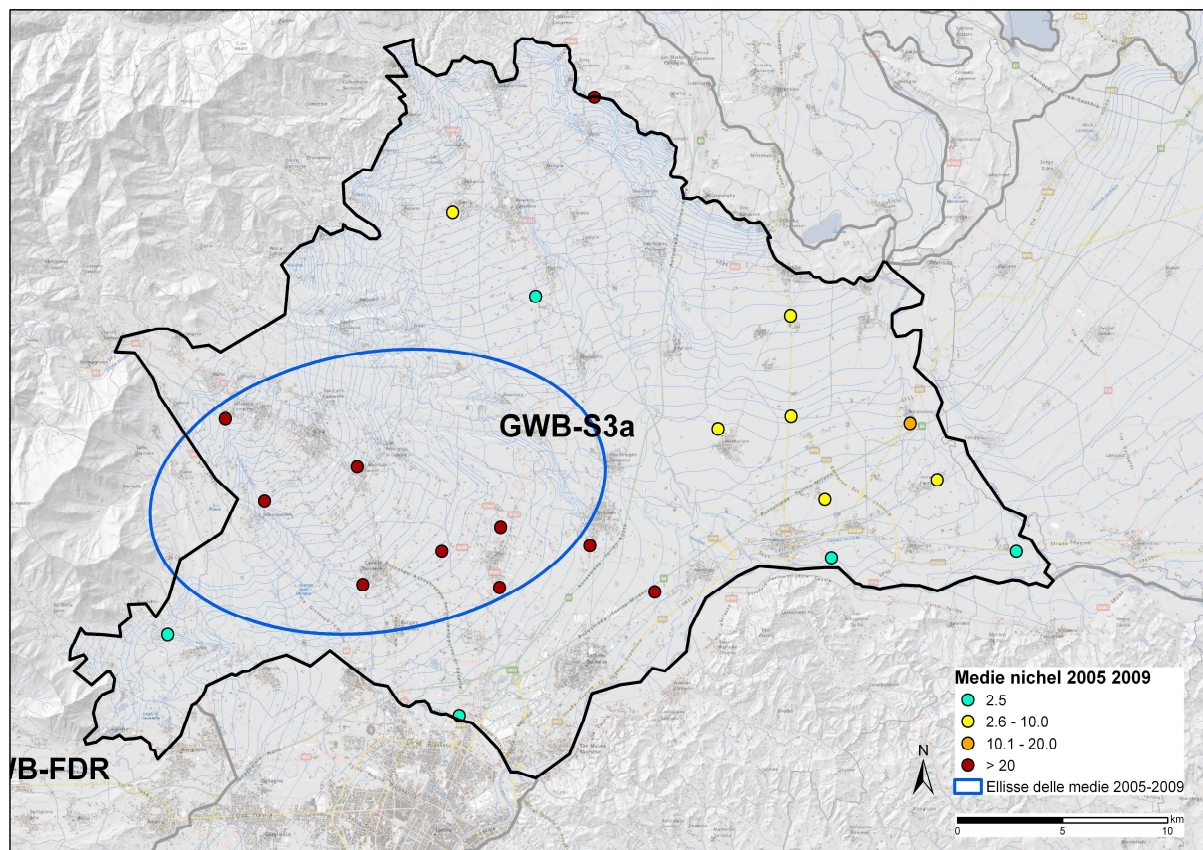


**Figura 6.28:** Curva di Lorenz per il Nichel della sub-area GWB-S3a-B

GWB-S3a	Sub-area GWB-S3a-A	Sub-area GWB-S3a-B
0.75	0.62	0.60

**Tabella 6.5:** Sintesi dell'indice di Gini per l'intero corpo idrico e le sub-aree individuate

Infine l'ellisse deviazionale (Figura 6.29) risulta collocato nella sub-area a maggior concentrazione, ma con orientamento non coerente con la forma della sub-area stessa. Infatti, agiscono in modo concomitante sia le concentrazioni presenti nella sub-area GWB-Sa3-B, che orientano l'ellisse verso tale sub-area, che le elevatissime concentrazioni nella sub-area GWB-Sa3-A, con l'effetto di includere il centro dell'ellisse e di mantenerlo di ampiezza limitata nei pressi della sub-area stessa. Per i grafici non riportati, si evidenzia che il basso numero di punti e le elevate concentrazioni rendono inutile il confronto visivo dei box-plot (risulterebbero del tutto "schiacciati") e allo stesso tempo risulta poco significativa l'analisi "Hot-spot".



**Figura 6.29:** Ellisse deviazionale (parametro = 1 dev. standard) per il Nichel in GWB-S3a

Anche in questo caso la sintesi delle valutazioni effettuate consente di definire le sub-aree d'interesse (Figura 6.30) a cui corrisponde un insieme di punti afferenti illustrati nelle Tabelle 6.6 e 6.7. Vengono così delimitate le superfici areali indicative sulle quali applicare i calcoli per la stima dei VF.

Nel processo di definizione delle sub-aree, oltre allo studio statistico, entrano in gioco sia l'area d'influenza dei punti di monitoraggio (delimitata tramite i poligoni di Thiessen), sia l'ambito di circolazione delle acque sotterranee, tenendo conto dell'ubicazione dei suddetti punti e dell'andamento piezometrico regionale a supporto della definizione delle Aree Idrogeologiche.

Come trattato all'inizio paragrafo la sub-area in cui il fenomeno si presenta con maggior intensità viene denominata GWB-S3a-A, quella a minor intensità GWB-S3a-B. La prima è sostanzialmente compresa nell'Area Idrogeologica TO03 (con l'esclusione dell'area d'influenza di un punto ubicato all'estremo sud e caratterizzato dall'assenza di anomalia), la seconda interessa le Aree Idrogeologiche TO01 e TO02 con l'esclusione del settore non conforme dal punto di vista idrogeologico dove è ubicato il punto anomalo. Nell'ambito della definizione delle aree indicative sulle quali applicare i calcoli per la stima dei VF (utilizzando lo stesso criterio adottato per le sub-aree degli altri GWB selezionati), vengono altresì esclusi i settori con assenza di punti di monitoraggio e/o riferibili ad un diverso contesto idrogeologico (come TE07) e quelli con assenza di anomalie oltre che riferibili ad un diverso contesto idrogeologico come TE08.



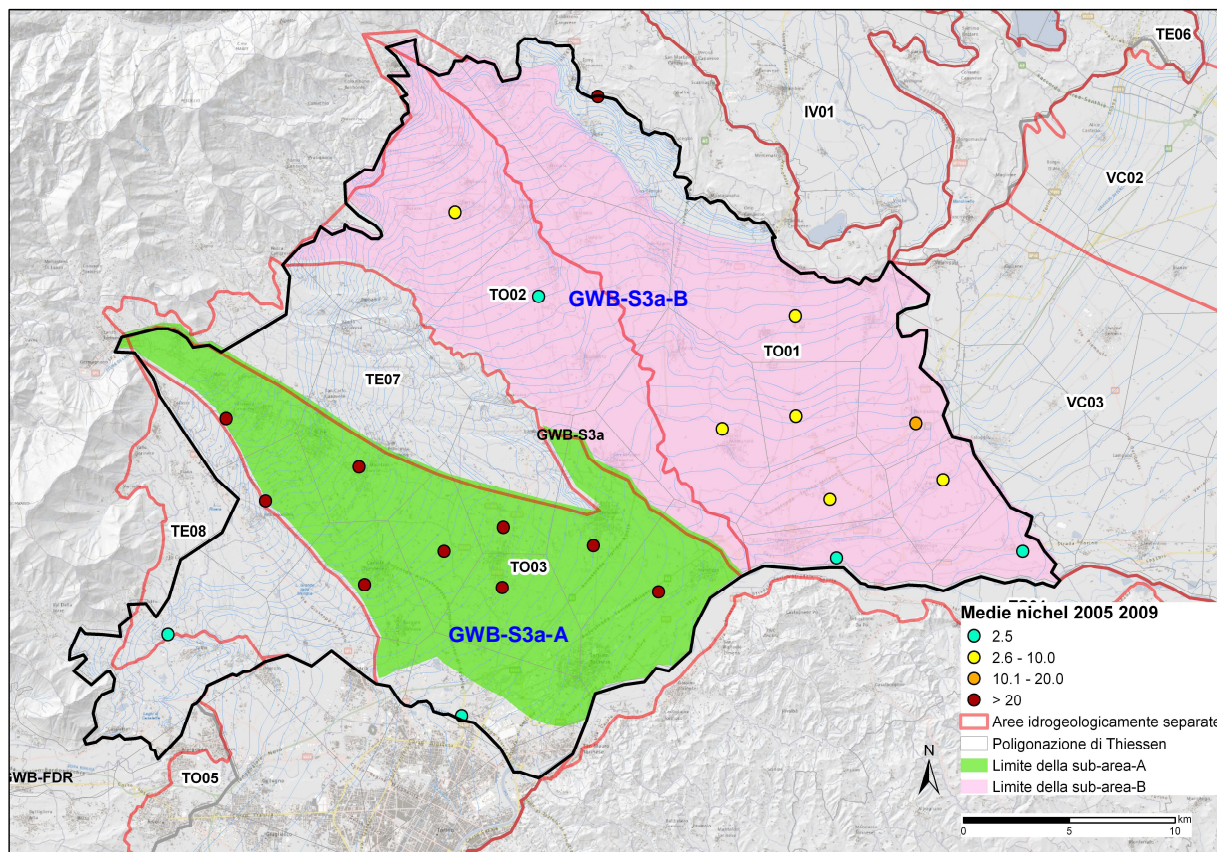


Figura 6.30 Superficie areale indicativa delle sub-aree di GWB-S3a sulle quali sarà stimato il VF del Nichel

N°	Codice	GWB	SubGWB	Comune
1	00106310001	GWB-S3a	GWB-S3a-A	CASELLE TORINESE
2	00106300001	GWB-S3a	GWB-S3a-A	CASELLE TORINESE
3	00108610001	GWB-S3a	GWB-S3a-A	CIRIE
4	00113000004	GWB-S3a	GWB-S3a-A	LEINI'
5	00113010001	GWB-S3a	GWB-S3a-A	LEINI'
6	00124810001	GWB-S3a	GWB-S3a-A	SAN MAURIZIO CANAVESE
7	00130110001	GWB-S3a	GWB-S3a-A	VILLANOVA CANAVESE
8	00131400001	GWB-S3a	GWB-S3a-A	VOLPIANO
9	00131410001	GWB-S3a	GWB-S3a-A	VOLPIANO

Tabella 6.6: Elenco dei punti considerati nella sub-area GWB-S3a-A

N°	Codice	GWB	Sub-GWB	Comune
1	00104700002	GWB-S3a	GWB-S3a-B	CALUSO
2	00104710001	GWB-S3a	GWB-S3a-B	CALUSO
3	00108200003	GWB-S3a	GWB-S3a-B	CHIVASSO
4	00108210001	GWB-S3a	GWB-S3a-B	CHIVASSO
5	00110100003	GWB-S3a	GWB-S3a-B	FAVRIA
6	00116100002	GWB-S3a	GWB-S3a-B	MONTANARO
7	00121710001	GWB-S3a	GWB-S3a-B	RIVAROLO CANAVESE
8	00122510001	GWB-S3a	GWB-S3a-B	RONDISSONE
9	00127300002	GWB-S3a	GWB-S3a-B	TORRAZZA PIEMONTE
10	00129310001	GWB-S3a	GWB-S3a-B	VEROLENGO

**Tabella 6.7:** Elenco dei punti considerati nella sub-area GWB-S3a-B

#### **6.3.4. GWB-S9 – Cromo VI**

Per il corpo idrico sotterraneo GWB-S9 (settore Alessandrino) la distribuzione spaziale del Cromo esavalente e dei relativi settori di anomalia è prevalentemente collocata nella zona centrale (Figura 6.31), individuando così la sub-area di interesse GWB-S9-A<sub>Cr</sub> (Figura 6.32). Si riconosce anche un settore con anomalie nella parte NNE del GWB; tuttavia, secondo quanto trattato nel paragrafo 3.8.3, la zona in questione è interessata da occorrenze di VOC che caratterizzano quasi tutti i punti di monitoraggio rendendola in tal modo non idonea, in ragione degli impatti antropici evidenziati, ai presupposti dello studio sui VF naturali. Pertanto, tutta l'area esterna a GWB-S9-A<sub>Cr</sub> (in seno a GWB-S9) e denominata GWB-S9-B<sub>Cr</sub> si considera non idonea allo studio dei VF e viene pertanto esclusa, con i relativi punti afferenti, alle procedure finalizzate al calcolo del VF. Tuttavia, anche per l'area d'interesse, è importante sottolineare come nel caso peculiare del Cromo esavalente si prospetti una situazione di "prevalenza" del contributo naturale piuttosto che di "esclusività" come per il Nichel; un aspetto dovuto alla presenza di siti contaminati da Cromo che origina un'ulteriore complicazione nella delimitazione di dettaglio dell'area in questione. Ad esempio, come trattato nel paragrafo 4.8.3, è stato escluso dall'area d'interesse l' hinterland alessandrino caratterizzato da vari siti contaminati da Cromo, mentre in seno all'area d'interesse compaiono 2 siti contaminati da altri metalli (Figura 4.68).

La sub-area individuata è molto simile a quella definita per il Nichel (sempre in GWB-S9) in quanto le anomalie di ambedue i metalli hanno origine dagli stessi processi genetici che coinvolgono geologia, mineralogia e petrografia delle formazioni ofiolitiche che caratterizzano i rilievi a sud del GWB. Infatti, è riconducibile ai contorni delle Aree idrogeologiche, AL03, TE14 oltre al settore SO di AI04 (Figura 6.15).

Nel caso in questione la definizione della sub-area d'interesse si è basata su elementi che non contemplano l'utilizzo di strumenti statistici e/o geostatistici, ritenuti superflui in quanto avrebbero considerato l'insieme dei dati disponibili, senza l'esclusione di una parte di essi operata per le evidenze d'impatto antropico.

Analogamente a quanto trattato nei paragrafi precedenti viene altresì delimitata una superficie areale indicativa (Figura 6.33), a cui corrisponde un insieme di punti afferenti, illustrati nella Tabella 6.8, sulla quale applicare i calcoli per la stima dei VF.

In definitiva, nel processo di definizione della sub-area, sono stati considerati sia l'area d'influenza dei punti di monitoraggio (delimitata tramite i poligoni di Thiessen), che l'ambito di circolazione delle acque sotterranee, tenendo conto dell'ubicazione dei suddetti punti e dell'andamento piezometrico regionale.

In questa circostanza (a differenza di quanto trattato nel paragrafo 6.3.3. per il Nichel), la presenza di pressioni e impatti conclamati (a causa dell'utilizzo e dispersione del Cromo nell'ambiente)



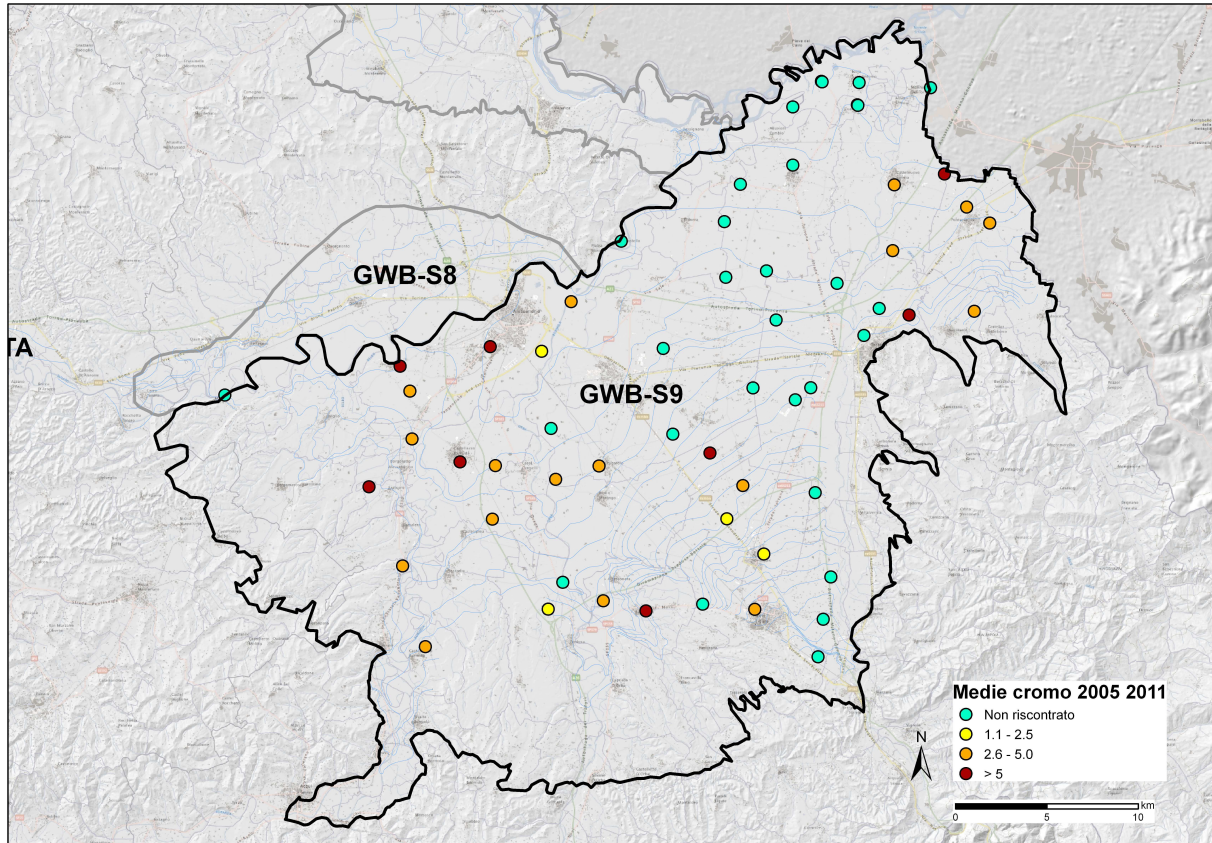


Figura 6.31: Distribuzione delle anomalie di Cromo VI in GWB-S9

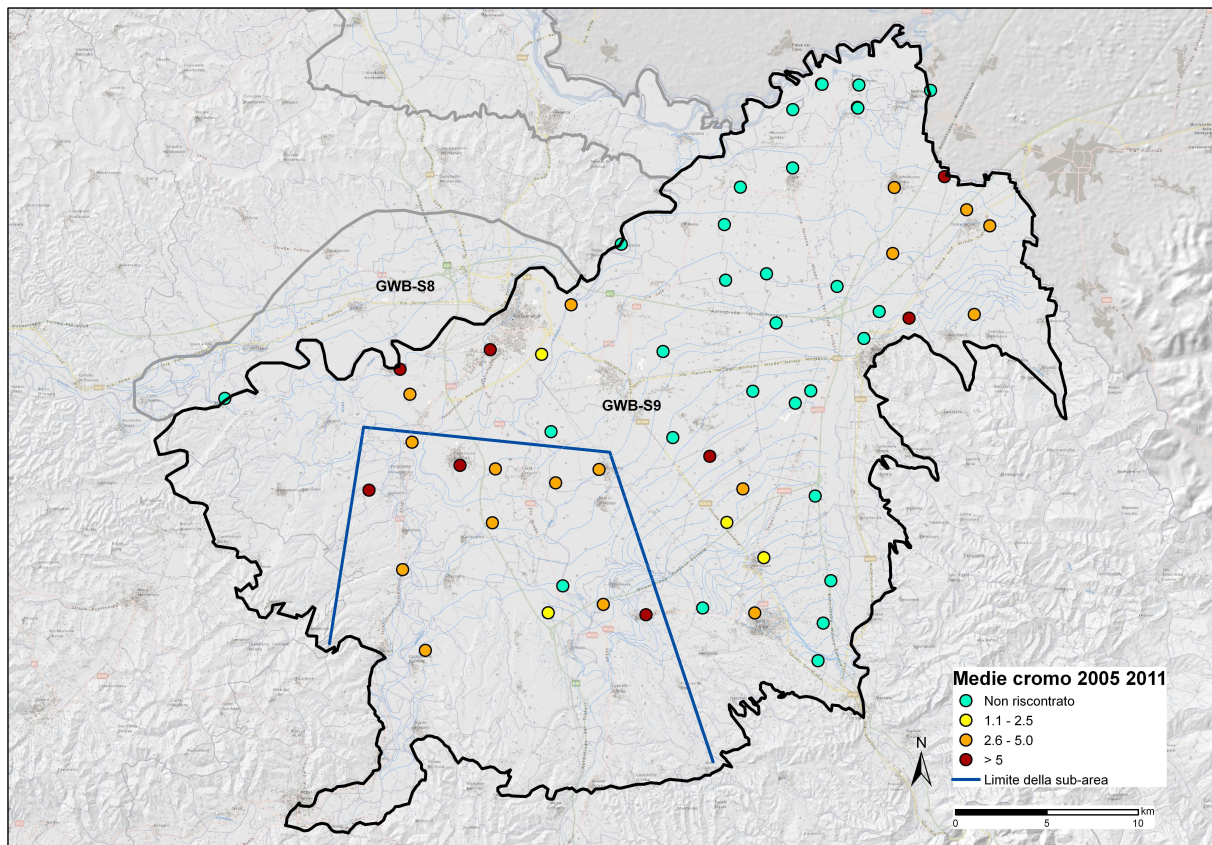
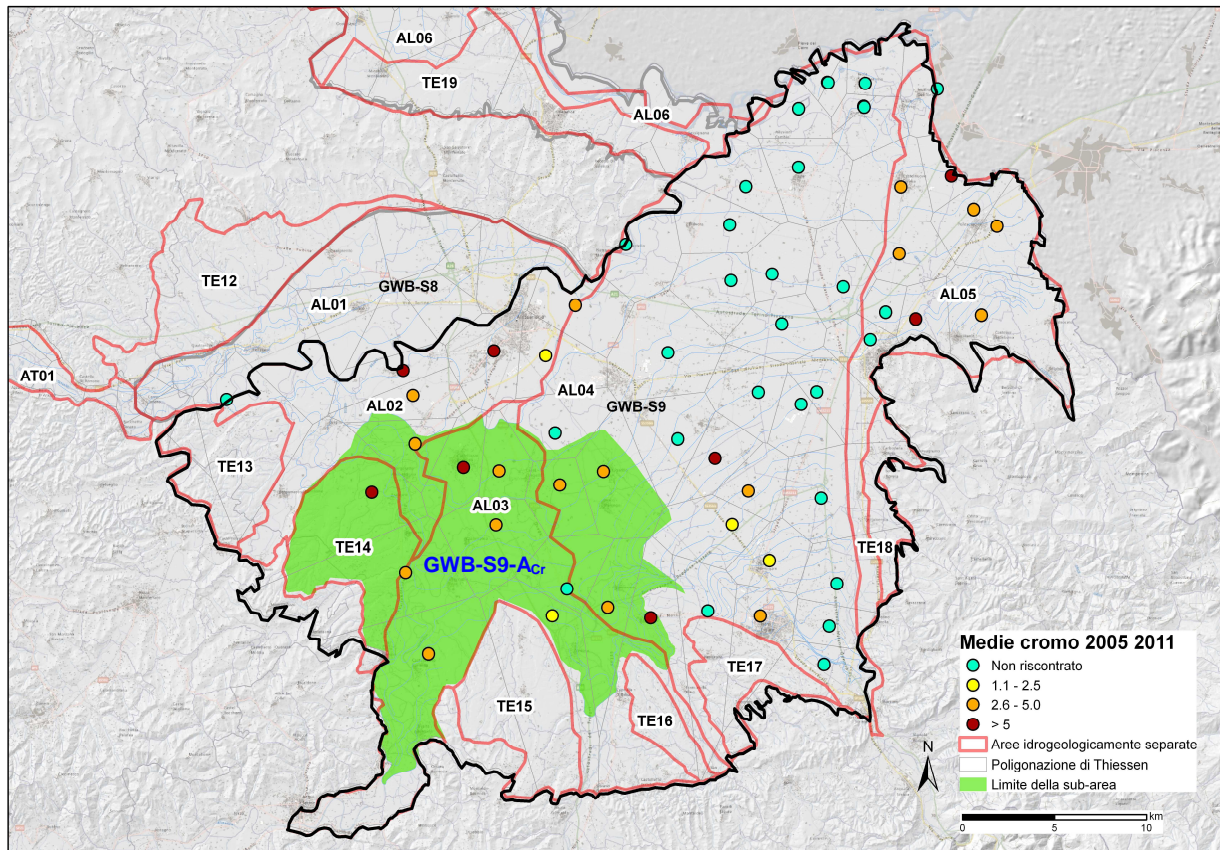


Figura 6.32: Selezione punti per le sub-area di Cromo VI in GWB-S9



hanno indotto ad una scelta più cautelativa nella delimitazione dell'area indicativa tenendo conto da un lato della presenza di eventuali siti contaminati da Cromo, dall'altro della effettiva sussistenza di circolazione idrica sotterranea testimoniata dall'esistenza del pannello piezometrico e della relativa direzione di deflusso.

Pertanto, nel caso della sub-area identificata in GWB-S9, e denominata GWB-S9-A<sub>Cr</sub>, appare ragionevole circoscriverla tenendo conto della conformazione sia dell'area idrogeologica AL03, sia del settore SO di AL04, sia degli effettivi andamenti piezometrici con il controllo delle aree d'influenza puntuale. (Figura 6.15). L'unica eccezione del caso riguarda l'area sottesa da TE14 con un unico punto di monitoraggio e assenza di elementi piezometrici. In questa situazione peculiare si è considerata significativa l'intera superficie del terrazzo in virtù di un comunque unico contesto idrogeologico arealmente limitato. Gli altri terrazzi (TE15, TE16 e TE17) non sono stati considerati in quanto senza punti di monitoraggio e riferibili ad un diverso contesto idrogeologico.



**Figura 6.33:** Superficie areale indicativa della sub-area GWB-S9-A<sub>Cr</sub> sulla quale sarà stimato il VF del Cromo VI

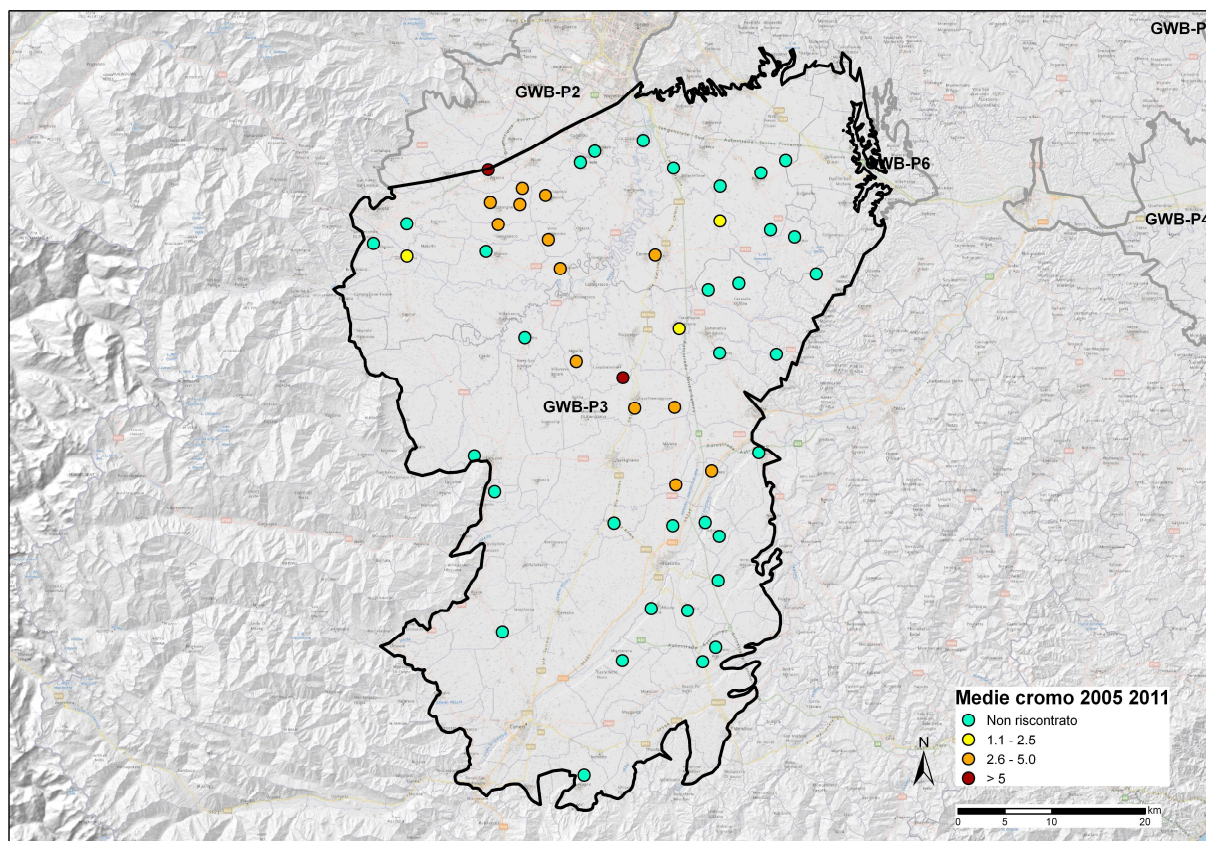


N°	Codice	GWB	Sub-GWB	Comune
1	00601210001	GWB-S9	GWB-S9-A <sub>Cr</sub>	BASALUZZO
2	00604300001	GWB-S9	GWB-S9-A <sub>Cr</sub>	CASSINE
3	00604700001	GWB-S9	GWB-S9-A <sub>Cr</sub>	CASTELLAZZO BORMIDA
4	00604700003	GWB-S9	GWB-S9-A <sub>Cr</sub>	CASTELLAZZO BORMIDA
5	00604700004	GWB-S9	GWB-S9-A <sub>Cr</sub>	CASTELLAZZO BORMIDA
6	00604710001	GWB-S9	GWB-S9-A <sub>Cr</sub>	CASTELLAZZO BORMIDA
7	00605210001	GWB-S9	GWB-S9-A <sub>Cr</sub>	CASTELNUOVO BORMIDA
8	00607100001	GWB-S9	GWB-S9-A <sub>Cr</sub>	FRASCARO
9	00607400002	GWB-S9	GWB-S9-A <sub>Cr</sub>	FRESONARA
10	00607500002	GWB-S9	GWB-S9-A <sub>Cr</sub>	FRUGAROLO
11	00607500003	GWB-S9	GWB-S9-A <sub>Cr</sub>	FRUGAROLO
12	00614000003	GWB-S9	GWB-S9-A <sub>Cr</sub>	PREDOSA
13	00614000004	GWB-S9	GWB-S9-A <sub>Cr</sub>	PREDOSA

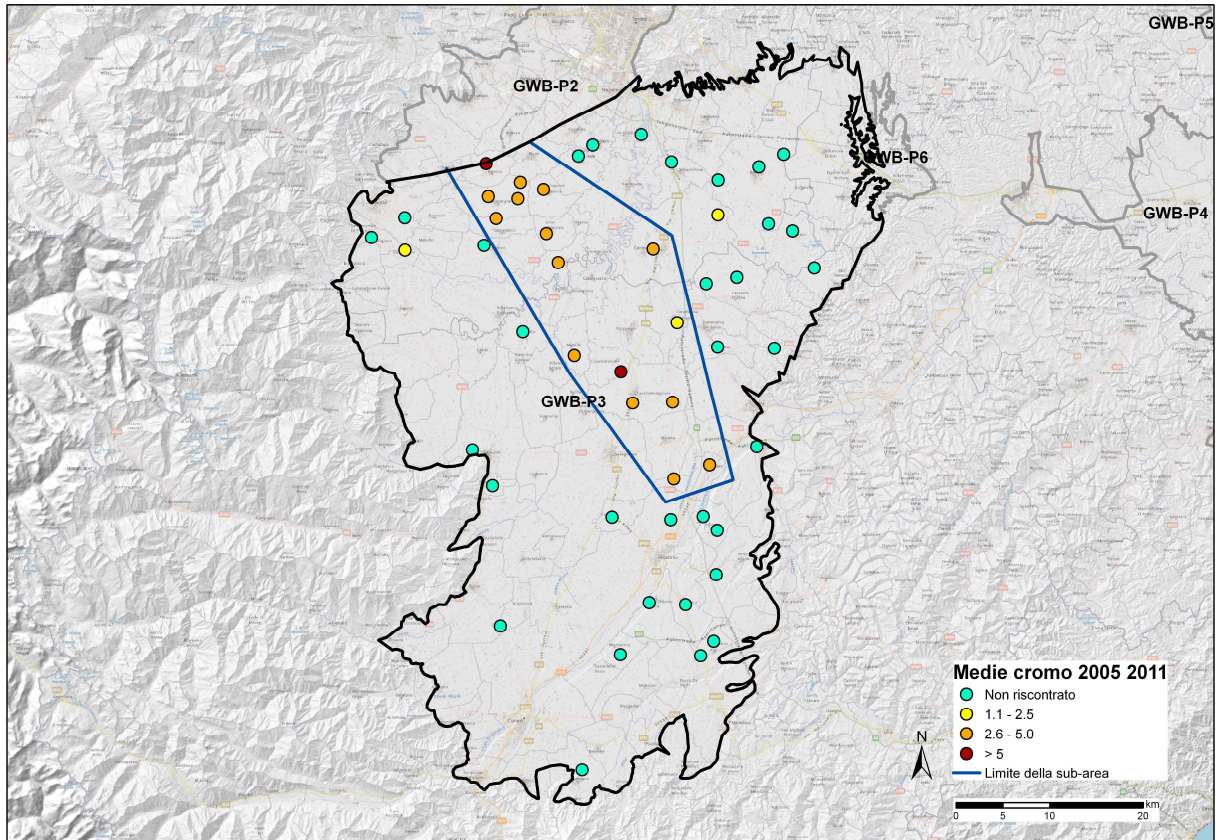
**Tabella 6.8:** Elenco dei punti considerati nella sub-area GWB-S9-A<sub>Cr</sub>

### 6.3.5. GWB-P3 – Cromo VI

Per il corpo idrico sotterraneo profondo GWB-P3 la delimitazione delle sub-aree d'interesse comporta una maggiore difficoltà a causa delle minori informazioni idrogeologiche di supporto (Aree idrogeologiche e piezometria) risultate invece indispensabili nell'ambito delle valutazioni condotte sul contesto idrico sotterraneo superficiale. Pertanto, la sub-area è stata sostanzialmente delimitata tenendo conto delle anomalie riscontrate (Figure 6.34 e 6.35).

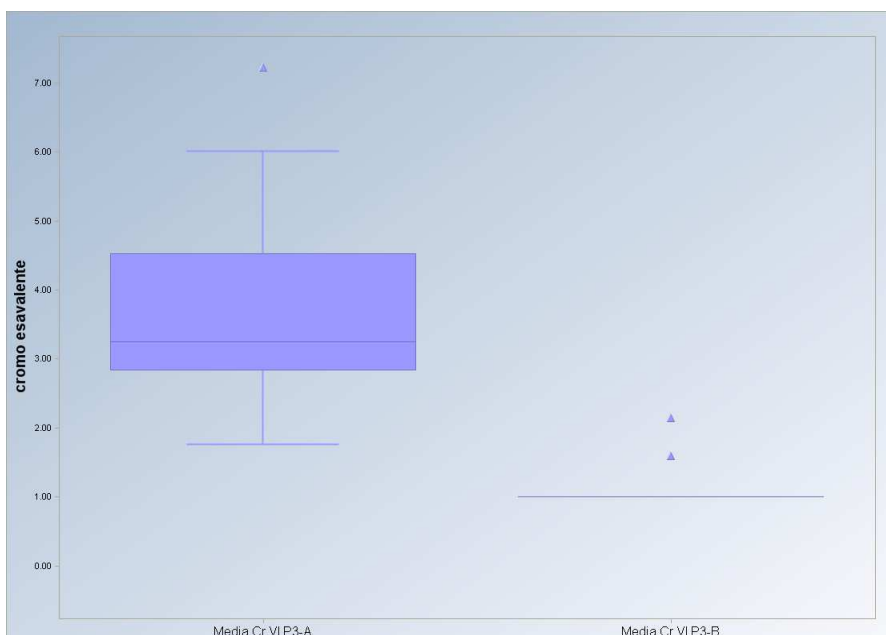


**Figura 6.34:** Distribuzione delle anomalie di Cromo VI in GWB-P3



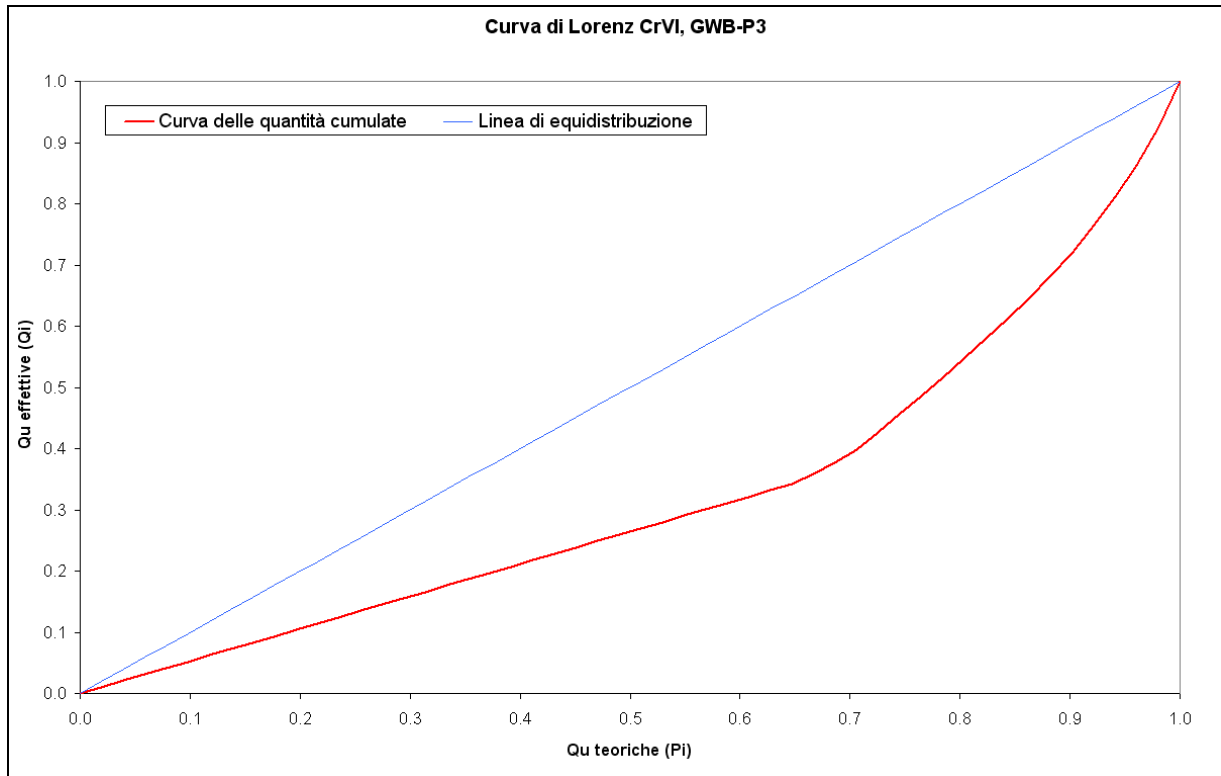
**Figura 6.35:** Selezione punti per le sub-area di Cromo VI in GWB-P3

La specificità dei valori numerici di Cromo esavalente nella sub-area di interesse rispetto alla parte esterna, è nettamente evidenziata dai diagrammi box-plot (Figura 6.36), mentre le curve di Lorenz (Figure 6.37, 6.38 e 6.39) mostrano che le sub-aree individuate sono nettamente più omogenee al loro interno rispetto all'interno corpo idrico. Infatti, mentre il corpo idrico GWB-P3 è caratterizzato da un indice di concentrazione relativo di Gini pari a  $R_G = 0.36$ , la sub-area GWB-P3-A è caratterizzata da un valore dimezzato, pari a  $R_G = 0.20$ , e l'area parte esterna GWB-P3-B ha indice di Gini  $R_G = 0.05$ , assolutamente omogenea e definita da valori di concentrazione estremamente bassi (Tabella 6.9).

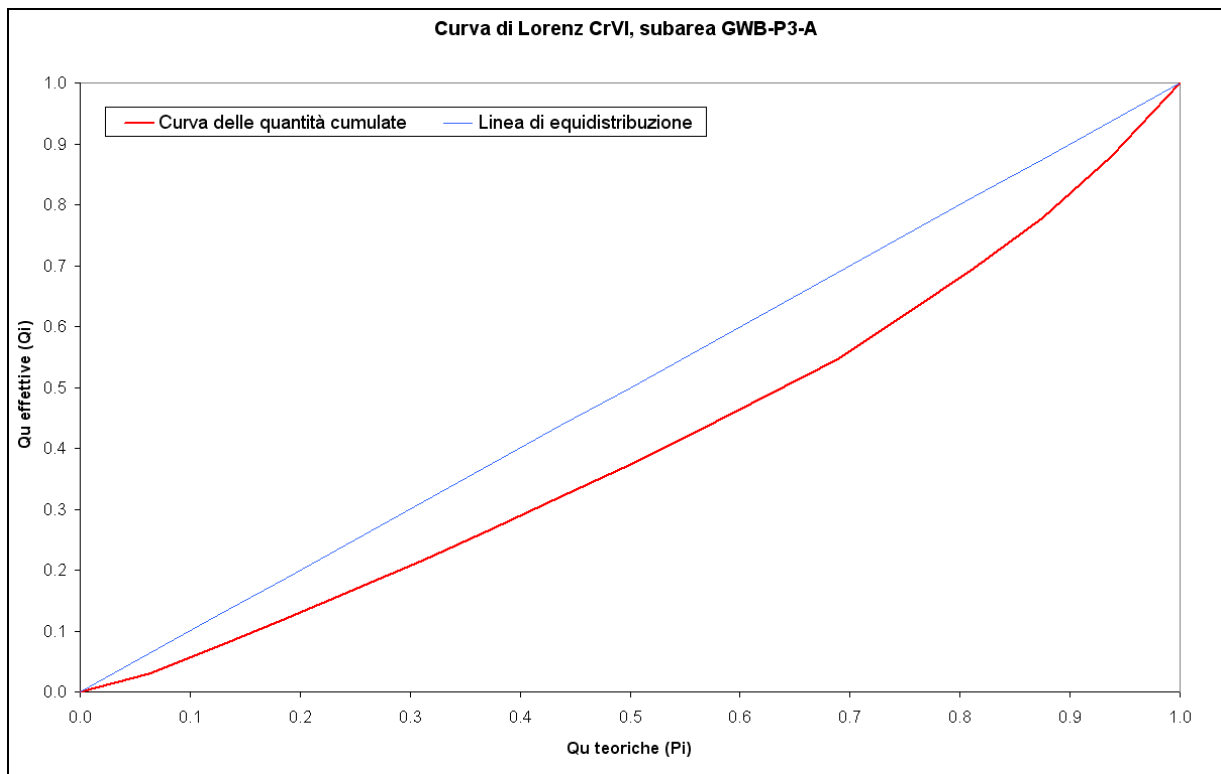


**Figura 6.36:** Box plot comparativo del Cromo esavalente nelle sub-aree GWB-P3-A e GWB-P3-B

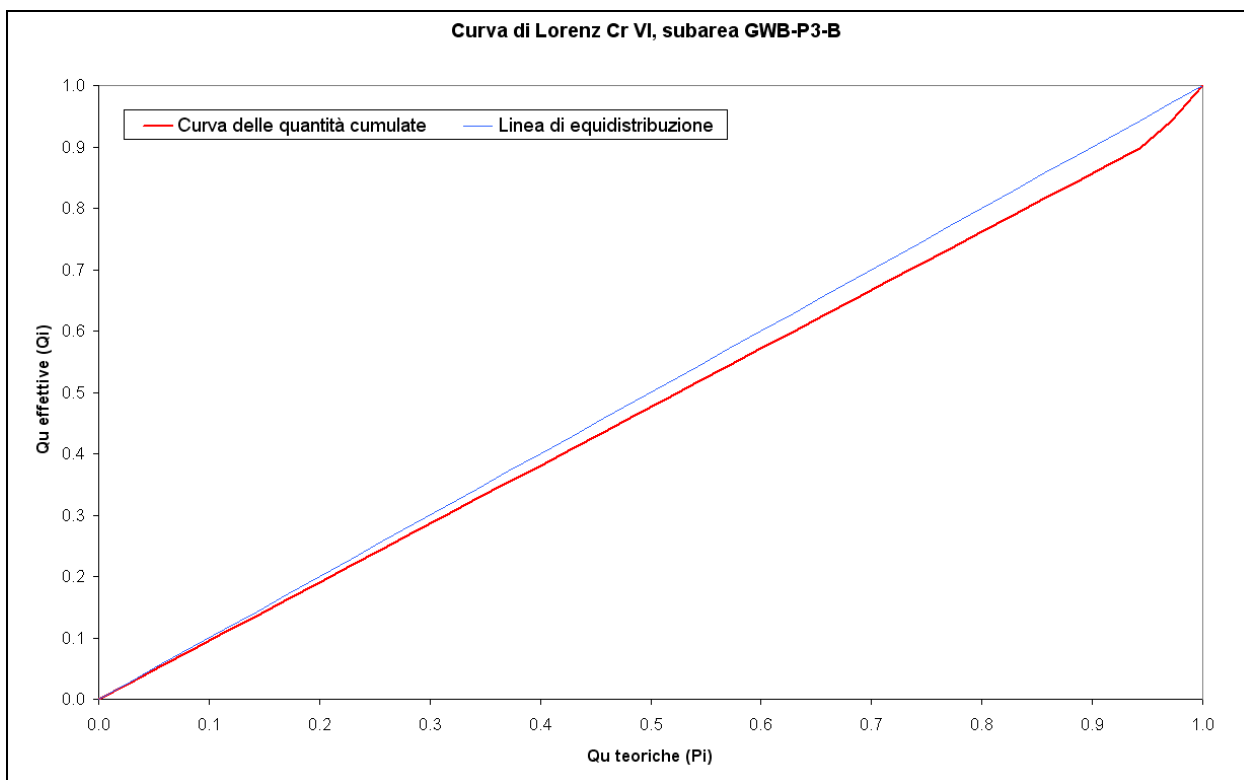




**Figura 6.37:** Curva di Lorenz per il Cromo esavalente nel corpo idrico GWB-P3



**Figura 6.38:** Curva di Lorenz per il Cromo esavalente della sub-area GWB-P3-A



**Figura 6.39:** Curva di Lorenz per il Cromo esavalente nella sub-area GWB-P3-B

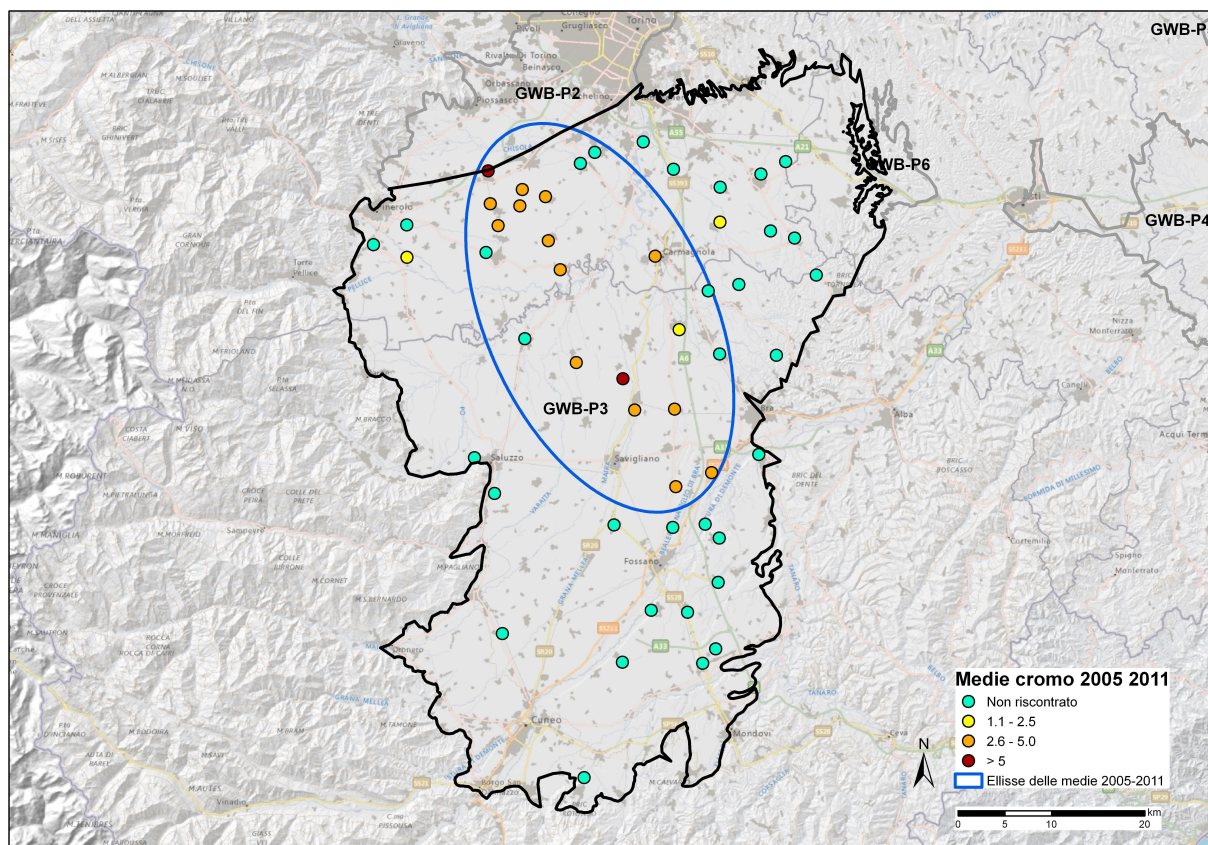
GWB-P3	Sub-area GWB- P3-A	Sub-area GWB-P3-B
0.36	0.20	0.05

**Tabella 6.9:** Sintesi dell'indice di Gini per l'intero corpo idrico e le sub-aree individuate

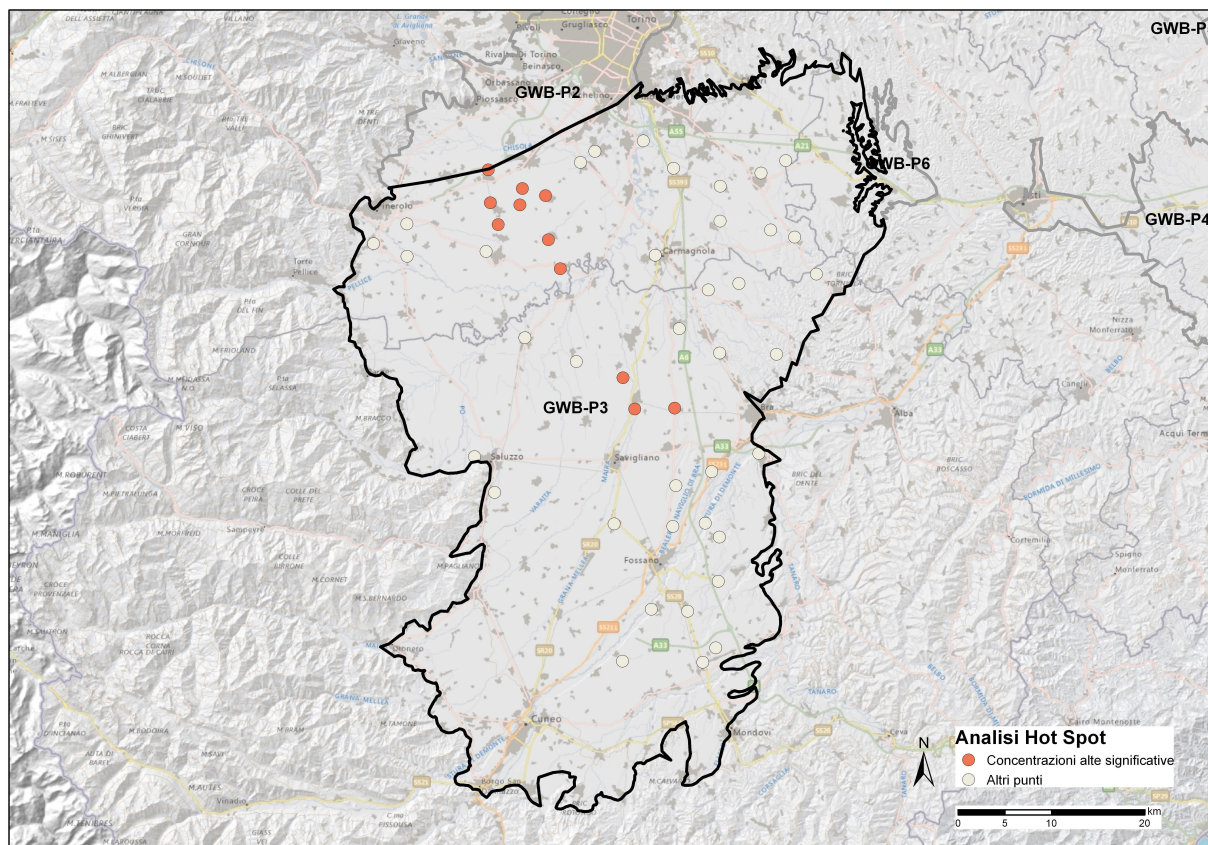
L'ellisse deviazionale standard è praticamente coincidente alla sub-area ipotizzata, sia per orientamento che per estensione (Figura 6.40) ed anche lo studio di autocorrelazione spaziale *Hot-Spot* fornisce un risultato assolutamente congruente (Figura 6.41).

Il successivo processo per una delimitazione di dettaglio della sub-area d'interesse si è fondato essenzialmente sull'impiego di strumenti geostatistici (metodo dei poligoni di Thiessen) legato all'area d'influenza dei punti di monitoraggio, sulle indicazioni generiche riguardo la direzione di deflusso delle falde profonde, oltre alle informazioni sulle pressioni e impatti sulla risorsa trattate nel paragrafo 4.8. Al riguardo, si ribadisce la difficoltà intrinseca nel correlare in modo diretto le pressioni che insistono sul territorio di superficie con l'eventuale impatto riscontrato nelle falde profonde; tuttavia, i punti che denotano il solo impatto delle specie di Cromo, senza tracce dei contaminanti indicativi degli impatti dell'ambiente di superficie (come i VOC), sono tendenzialmente associabili ad un contributo prevalentemente naturale. Ed è proprio sulla base di tali elementi che è stata delimitata la sub-area d'interesse di GWB-P3 denominata GWB-P3-A (Figura 6.42) che contiene i punti riportati nella Tabella 6.10. Tutta l'area esterna a GWB-P3-A (in seno a GWB-P3) e denominata GWB-P3-B si considera non idonea allo studio del VF e viene pertanto esclusa, con i relativi punti di monitoraggio afferenti, alle procedure finalizzate al calcolo del VF.



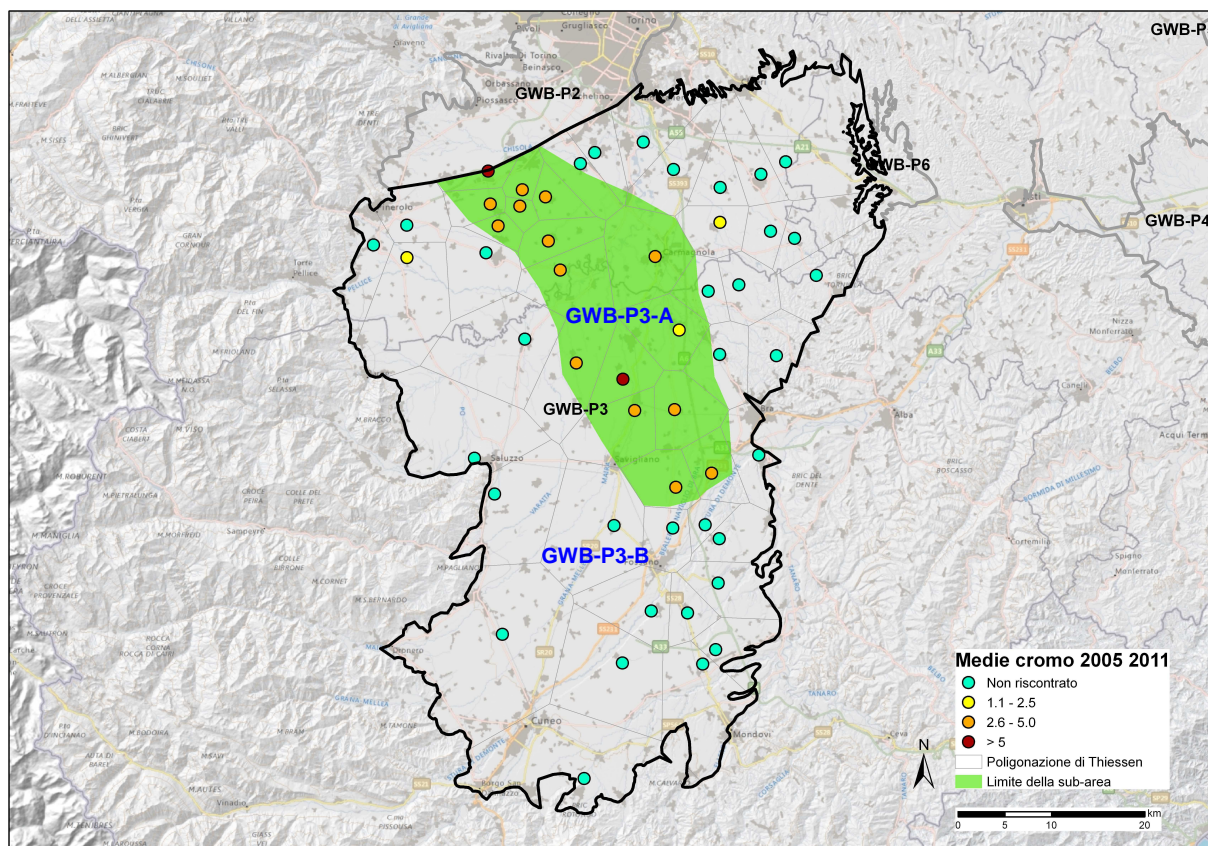


**Figura 6.40:** Ellisse deviazionale (parametro = 1 dev. standard) per il Cromo VI in GWB-P3



**Figura 6.41:** Analisi di autocorrelazione *Hot Spot* (distanza di analisi 7.5 km) per il Cromo VI in GWB-P3





**Figura 6.42:** Superficie areale indicativa della sub-area GWB-P3-A sulla quale sarà stimato il VF del CromoVI

N°	Codice	GWB	Sub-GWB	Comune
1	00100200002	GWB-P3	GWB-P3-A	AIRASCA
2	00105900001	GWB-P3	GWB-P3-A	CARMAGNOLA
3	00106500002	GWB-P3	GWB-P3-A	CASTAGNOLE PIEMONTE
4	00107100001	GWB-P3	GWB-P3-A	CERCENASCO
5	00117800002	GWB-P3	GWB-P3-A	PANCALIERI
6	00126000001	GWB-P3	GWB-P3-A	SCALENGHE
7	00126000004	GWB-P3	GWB-P3-A	SCALENGHE
8	00126000006	GWB-P3	GWB-P3-A	SCALENGHE
9	00131000001	GWB-P3	GWB-P3-A	VIRLE PIEMONTE
10	00404100001	GWB-P3	GWB-P3-A	CARAMAGNA PIEMONTE
11	00405800001	GWB-P3	GWB-P3-A	CAVALLERLEONE
12	00405900909	GWB-P3	GWB-P3-A	CAVALLERMAGGIORE
13	00405900910	GWB-P3	GWB-P3-A	CAVALLERMAGGIORE
14	00406500001	GWB-P3	GWB-P3-A	CERVERE
15	00406500002	GWB-P3	GWB-P3-A	CERVERE
16	00414600001	GWB-P3	GWB-P3-A	MURELLO

**Tabella 6.10:** Elenco dei punti considerati nella sub-area GWB-P3-A



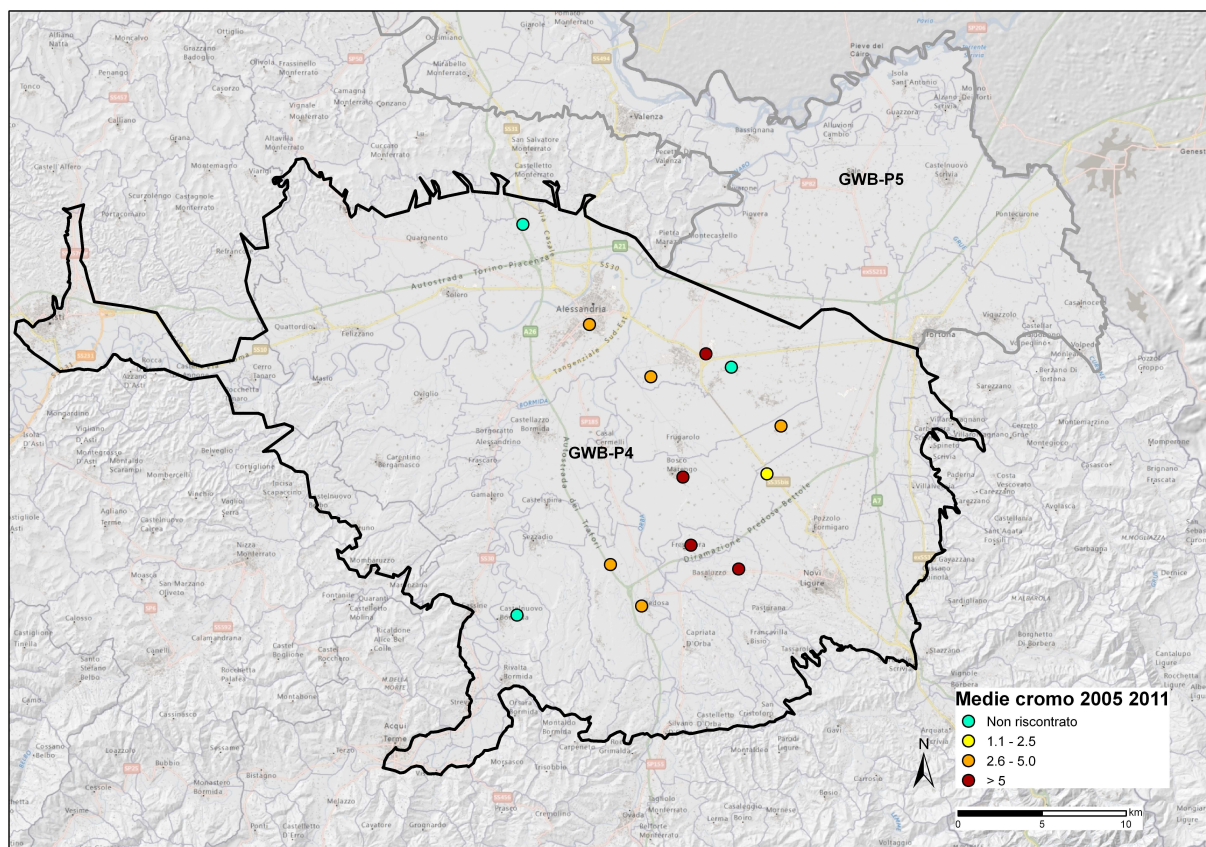
### 6.3.6. **GWB-P4 - Cromo VI**

Anche per GWB-P4 valgono le stesse considerazioni espresse per GWB-P3 sul tema delle limitate informazioni di supporto idrogeologico (a differenza del sistema superficiale) e degli altri elementi disponibili per la delimitazione delle sub-aree d'interesse. Nel caso in questione la situazione è ulteriormente complicata dall'asimmetria evidenziata dalla distribuzione dei punti di monitoraggio che permette di escludere da qualsiasi valutazione (riguardante il VF) il settore centro-occidentale del GWB (Figura 6.43). Inoltre, sulla zona in esame sussistono vari siti contaminati da Cromo esavalente (Figura 4.76); per cui le potenziali aree d'influenza, anche se prevalentemente incidenti sul contesto idrico sotterraneo superficiale, sono state escluse in via precauzionale dal processo di delimitazione della sub-area d'interesse. Il settore considerato (Figura 6.44), denominato GWB-P4-A, include 5 punti di monitoraggio dell'area centrale di GWB-P4, mentre tutta l'area circostante definita GWB-P4-B (sempre in seno a GWB-P4), viene giudicata non rilevante (alla luce delle situazioni riscontrate) ai fini della determinazione del VF per il Cromo esavalente.

Analogamente a quanto trattato per GWB-S9 anche per GWB-P4 la definizione della sub-area d'interesse si è basata su elementi che non contemplano l'utilizzo di strumenti statistici e/o geostatistici, ritenuti superflui in quanto avrebbero considerato l'insieme dei dati disponibili, senza l'esclusione di una parte di essi operata per le evidenze d'impatto antropico.

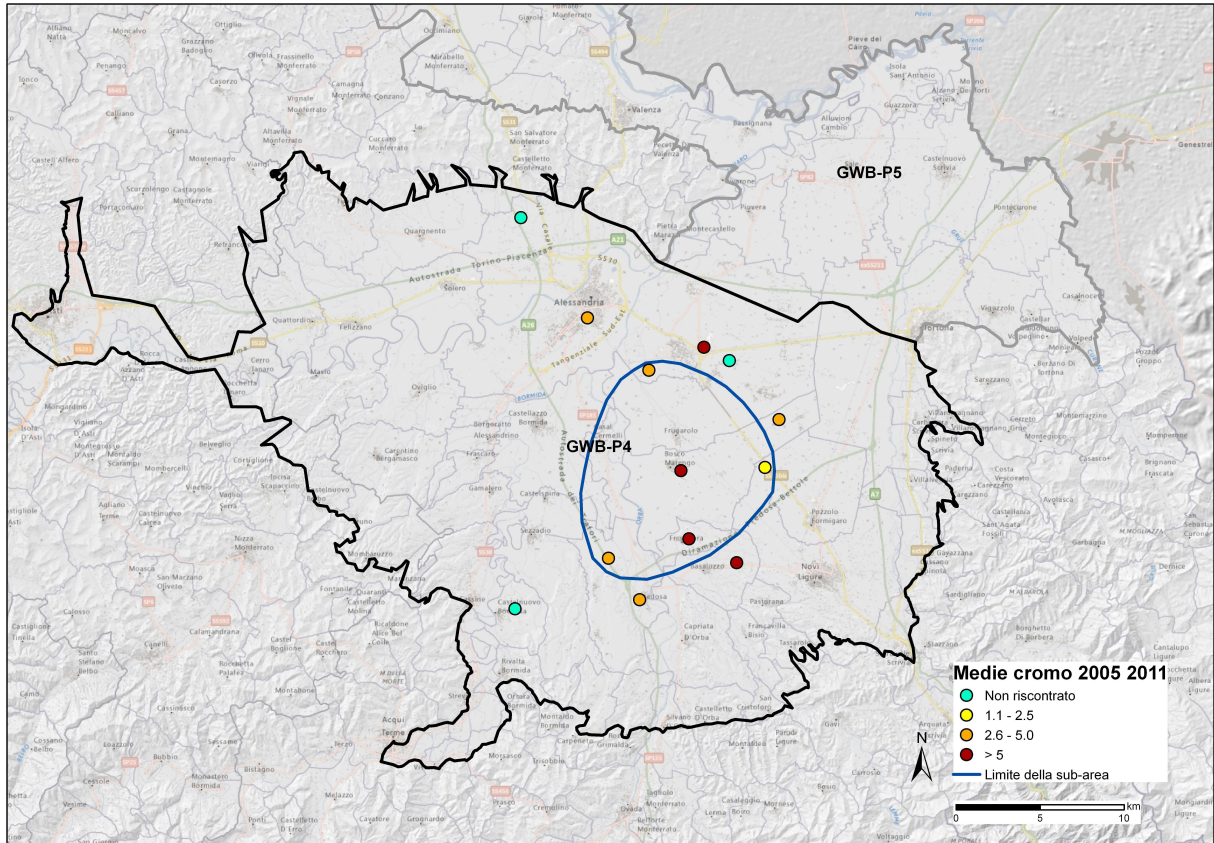
Alla luce di quanto esposto anche per GWB-P4 viene delimitata una superficie areale indicativa (Figura 6.45), a cui corrisponde un insieme di punti afferenti, illustrati nella Tabella 6.11, sulla quale applicare i calcoli per la stima dei VF.

In definitiva, nel processo di definizione della sub-area, sono stati considerati sia l'area d'influenza dei punti di monitoraggio (delimitata tramite i poligoni di Thiessen), sia le informazioni sommarie sulla direzione di deflusso delle falde profonde, tenendo conto dell'ubicazione dei suddetti punti.

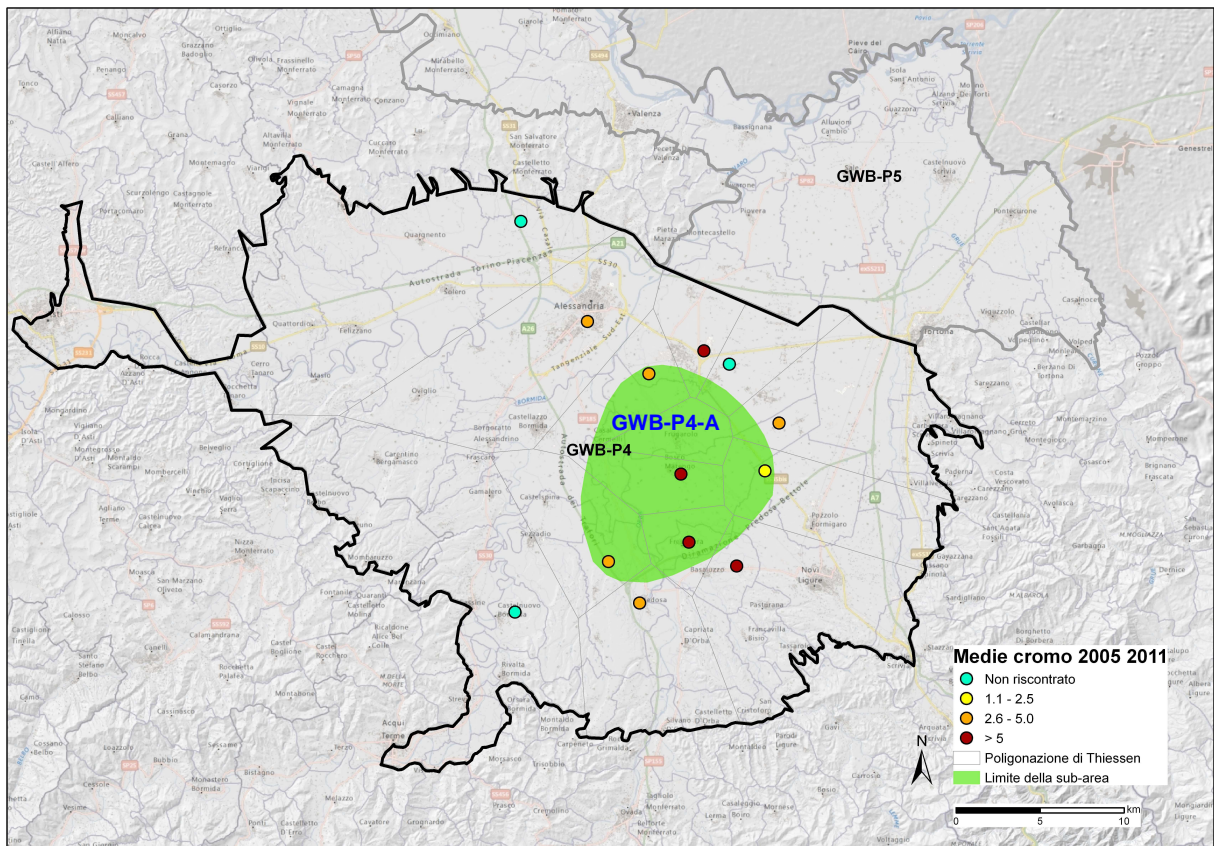


**Figura 6.43:** Distribuzione delle anomalie di Cromo VI in GWB-P4





**Figura 6.44:** Selezione punti per le sub-area di Cromo VI in GWB-P4



**Figura 6.45:** Superficie areale indicativa della sub-area GWB-P4-A sulla quale sarà stimato il VF del CromoVI



Definizione dei valori di fondo naturale per i metalli nelle acque sotterranee  
come previsto dalla Direttiva 2006/118/CE e dal Decreto Legislativo 16 marzo 2009 n.30

N°	Codice	GWB	Sub-GWB	Comune
1	00600300006	GWB-P4	GWB-P4-A	ALESSANDRIA
2	00602100001	GWB-P4	GWB-P4-A	BOSCO MARENGO
3	00607400001	GWB-P4	GWB-P4-A	FRESONARA
4	00613800001	GWB-P4	GWB-P4-A	POZZOLO FORMIGARO
5	00614000001	GWB-P4	GWB-P4-A	PREDOSA

**Tabella 6.11:** Elenco dei punti considerati nella sub-area GWB-P4-A

## **7. VALORE DI FONDO (VF) PER IL NICHEL E IL CROMO ESAVALENTE**

### **7.1.Approccio metodologico**

L'approccio metodologico impiegato considera come risultato primario l'individuazione dell'intervallo tipico di variazione dei metalli d'interesse, Nichel e Cromo esavalente, nelle aree d'interesse individuate come descritto nel capitolo precedente.

Nell'ipotesi quindi di voler delimitare tale intervallo (o range) tipico delle concentrazioni di Nichel per il periodo in esame e specifico per le aree d'interesse, è consuetudine ricercare il cosiddetto "valore limite di background".

Gli intervalli tipici delle concentrazioni di Nichel e Cromo esavalente in ciascuna area d'interesse sono superiormente delimitati da un valore numerico che nel nostro caso assume il significato di "valore limite superiore di background" e quindi possono essere espressi come:

[0; valore limite superiore]

Il problema si riduce pertanto alla stima del valore limite superiore delle concentrazioni di Nichel e Cromo esavalente che, in accordo con le recenti metodologie, dovrà essere condotta con tecniche statistiche, fatta salva la disponibilità di un numero sufficiente di dati.

Considerando che per ciascuna area di interesse i dati di dettaglio sono costituiti dalle serie delle medie annuali per tutte le annualità del periodo selezionato, relativamente ai punti di monitoraggio della rete regionale che sono inclusi nell'area stessa (per maggiori dettagli sul periodo di interesse si faccia riferimento al capitolo 5) si deve definire quale sia l'effettivo set rappresentativo dei dati che verrà utilizzato per le stime dei VF. L'utilizzo di tutte le singole medie annuali non è la soluzione migliore poiché le medie di un singolo pozzo non sono indipendenti (l'acqua di falda si muove, ma esiste spesso una forte tipicità locale). Per contro, l'uso di un solo valore sintetico di ciascun punto, come le medie di periodo (media aritmetica delle medie annuali), condurrebbe ad una sorta di stima per difetto dei valori di fondo, inferiore al reale a causa della riduzione fittizia della dispersione. Si è quindi proceduto alla valutazione congiunta del comportamento del set di dati delle massime medie annuali di ciascun punto e del set di dati della media generale di periodo di ciascun punto (tecnicamente media delle medie annuali), ottenendo così una sorta di delimitazione del valore limite di background.

#### **7.1.1. Numerosità campionaria e distribuzione statistica di riferimento**

I dati a disposizione devono essere sufficientemente numerosi per poter effettuare delle stime statistiche e solitamente si richiede che il loro numero non sia inferiore alle 30 unità, operando così con campioni statistici "non piccoli". Nel caso specifico di questo studio, poiché il numero di punti della rete di monitoraggio non sempre raggiunge tale dimensione nell'area di interesse su cui occorre effettuare le stime del VF, si può ricercare la distribuzione statistica ben adattata ai dati, muovendoci quindi in un contesto definito "parametrico" che consente di operare su set di dati anche inferiori alle 30 unità. Tuttavia, in accordo con ISPRA e altri organismi internazionali, quali ad esempio US-EPA, si ritiene che non si possano condurre stime statistiche se non sono disponibili almeno 10 dati di misura.

In tal caso quindi, si procede con la ricerca di una distribuzione statistica di riferimento, innanzitutto verificando che i dati siano rappresentativi di una (sola) popolazione statistica e indagando l'eventuale presenza di dati statisticamente anomali.

La distribuzione di riferimento può essere la "Normale" oppure, in caso negativo, una delle distribuzioni asimmetriche positive tipiche dei dati ambientali (distribuzioni "Gamma" o "Lognormale"). Se nessuna di tali distribuzioni presenta un adattamento sufficiente ai dati, si è operato in assenza di distribuzione (metodi non parametrici o "distribution-free").

#### **7.1.2. Stima statistica del valore limite superiore**

Il valore limite superiore dell'intervallo tipico di variazione del Nichel in ciascuna area di interesse può essere stimato con il 95° percentile della popolazione statistica, secondo le regole della statistica inferenziale.

Tale approccio è preferibile al semplice utilizzo del 95° percentile del set di dati, in quanto quest'ultimo è relativo ai dati stessi e non alla popolazione statistica da essi rappresentata, e



produce una distorsione in termini di sottostima tanto maggiore quanto minore è la quantità di dati disponibili.

Per la precisione si è utilizzato come stimatore il valore UTL-95% (stima cautelativa del 95° percentile della popolazione) in funzione della distribuzione di riferimento, come implementato dal software ProUCL v. 4.1.01, calcolato con un livello di fiducia pari a 0.95.

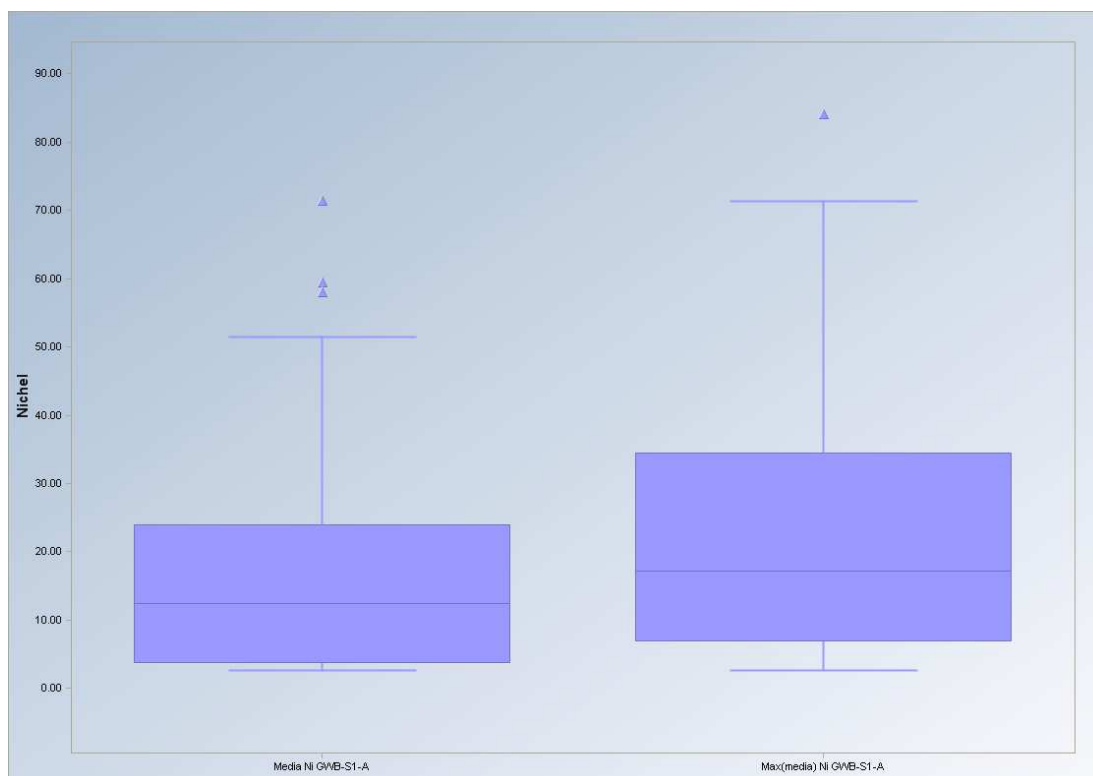
La stima del 95° percentile ha riguardato sia le medie di periodo dei punti di indagine, che le massime medie annuali.

## 7.2. Stima dei VF nelle aree d'interesse per il Nichel

### 7.2.1. *GWB-S1 - Nichel*

Nel corpo idrico GWB-S1 è stata individuata come area su cui effettuare le stime VF per il Nichel la sub-area denominata GWB-S1-A. Essa dispone di quasi 50 punti di indagine e quindi il campione statistico a disposizione ha numerosità sufficiente allo scopo.

Si verifica innanzitutto che sia il set delle medie di periodo che quello delle massime medie annuali siano rappresentativi, ciascuno, di una sola popolazione statistica, e non presentino valori statisticamente anomali.



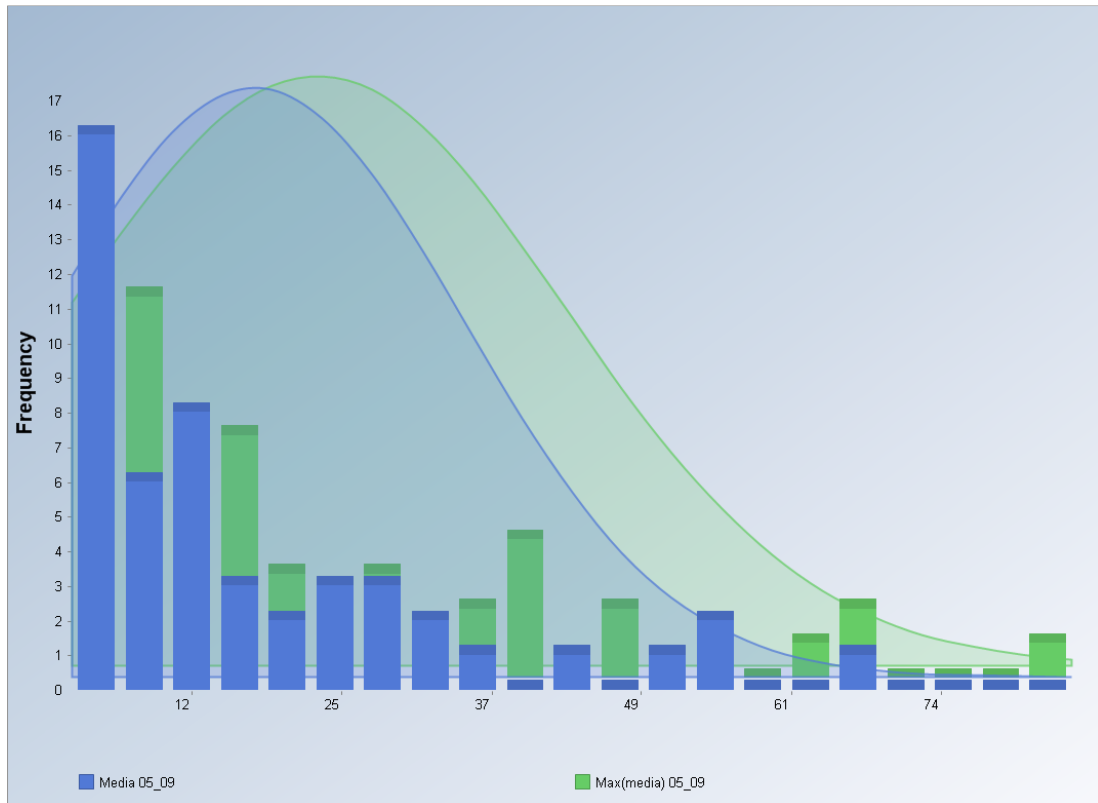
**Figura 7.1:** Box plot delle medie di periodo e delle medie massime della sub-area GWB-S1-A

I diagrammi box plot riportati in Figura 7.1 mostrano alcuni “outlier” per la serie delle medie di periodo, ma essi non sembrano essere nient’altro che il prolungamento della “coda” destra della distribuzione, in quanto l’asimmetria è molto pronunciata e di tipo “strutturale” già a partire dalla mediana interna al box. La serie delle massime medie presenta un unico valore “outlier”, che è considerato non anomalo in quanto molto vicino al “baffo” superiore del box plot.

In aggiunta i box plot evidenziano che l’utilizzo del solo set di dati delle medie di periodo porterebbe a sottostimare l’intervallo tipico delle concentrazioni di Nichel nella sub-area in esame.

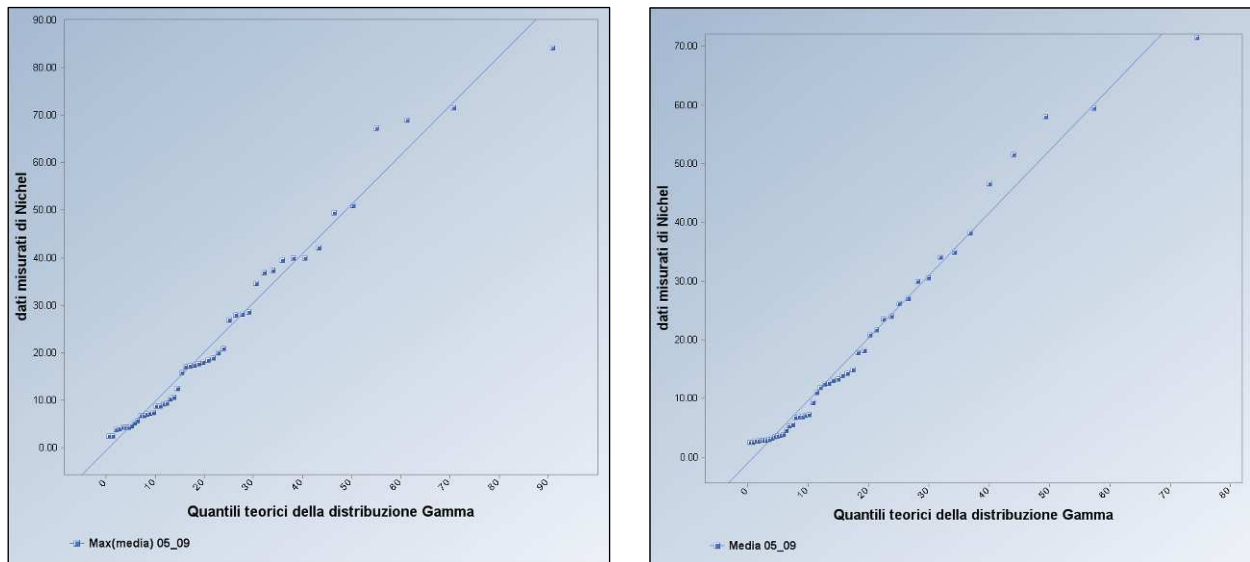
L’istogramma comparativo di Figura 7.2, esclude la presenza di diverse popolazioni statistiche, in quanto le poche classi prive di dati non individuano raggruppamenti e mostra che il set delle massime medie assume, come ovvio, valori superiori al set delle medie di periodo, ma coerenti con esse.

In conclusione, non sono presenti anomalie statistiche e quindi tutti i dati disponibili saranno utilizzati per i calcoli successivi.



**Figura 7.2:** Istogramma delle concentrazioni del Nichel nella sub-area GWB-S1-A

La distribuzione statistica di riferimento è “Gamma” per entrambi i set di dati (Q-Q plot di Figura 7.3), ricordando che la distribuzione “Gamma”, insieme alla distribuzione Lognormale, è una delle tipiche distribuzioni asimmetriche positive che caratterizzano i dati ambientali.



**Figura 7.3:** Q-Q Plot “Gamma” per media e massimo delle medie annuali Nichel GWB-S1-A

La stima del 95° percentile della popolazione, che delimita superiormente l'intervallo tipico di variazione del Nichel nella sub-area GWB-S1-A, viene effettuata in funzione della distribuzione di riferimento che è di tipo “Gamma” e precisamente con la coppia di stimatori WH (Wilson – Hilferty, 1931) e HW (Hawkins – Wixley, 1986), come implementati nel software ProUCL versione 4.1.01. I risultati ottenuti (Tabella 7.1) indicano che verosimilmente il valore limite superiore delle concentrazioni di Nichel nell'area d'interesse è contenuto nell'intervallo **[66.2 µg/L; 77.2 µg/L]**.



<b>Set dati: medie di periodo (05-09)</b>	
<i>(distribuzione statistica "Gamma")</i>	
UTL-95% metodo WH = 62.6 µg/L	
UTL-95% metodo HW = 66.2 µg/L	
(95° percentile dei dati = 58.8 µg/L)	

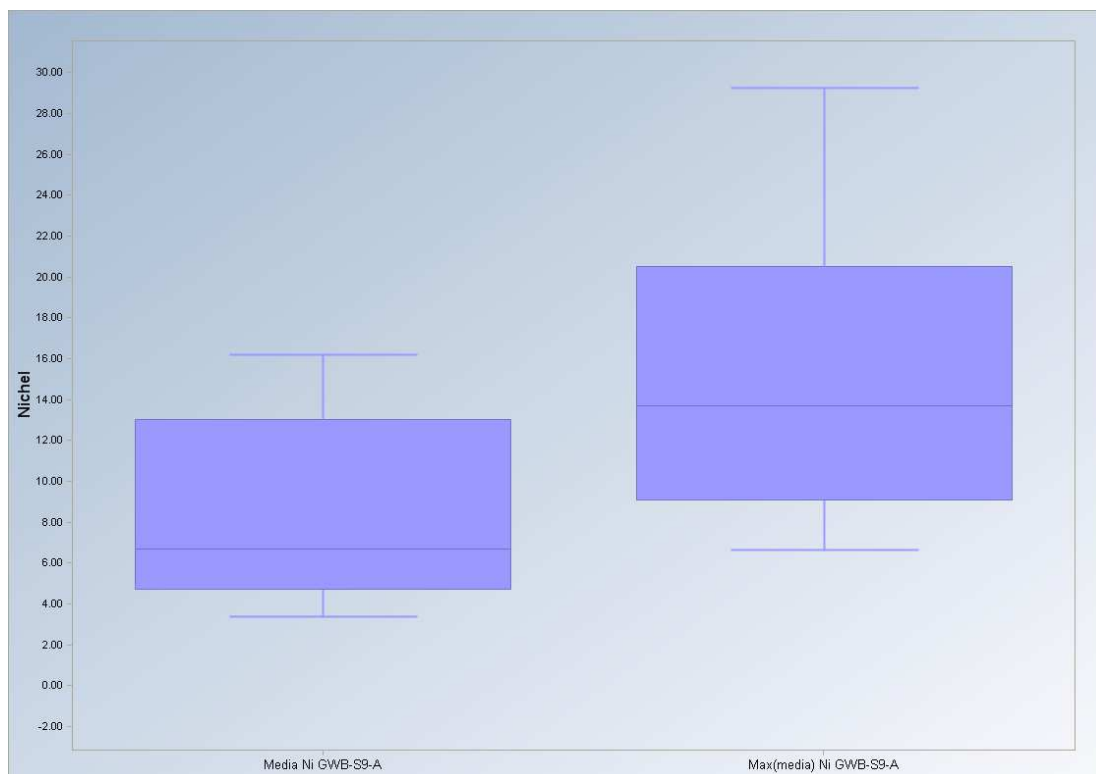
  

<b>Set dati: massime medie annuali (05-09)</b>	
<i>(distribuzione statistica "Gamma")</i>	
UTL-95% metodo WH = 77.2 µg/L	
UTL-95% metodo HW = 81.5 µg/L	
(95° percentile dei dati = 70.25 µg/L)	

**Tabella 7.1:** Stime del 95° percentile per il nichel nella sub-area GWB-S1-A (software ProUCL v. 4.1.01)

### 7.2.2. GWB-S9 - Nichel

Nel corpo idrico GWB-S9 è stata individuata come area d'interesse per la stima del VF la sub-area denominata GWB-S9-A, che dispone di 11 punti di misura, interessati da 54 valori medi annuali. La numerosità non elevata dei punti d'indagine interni alla sub-area viene in un certo qual modo compensata dalla "regolarità" e omogeneità dei dati stessi. Infatti, la distribuzione statistica di riferimento è la "Normale" sia per il set di dati delle medie di periodo, che per il set di dati delle massime medie annuali ed entrambi i set di dati non presentano alcun dato outlier, come mostrato dai diagrammi Box plot di Figura 7.4.



**Figura 7.4:** Box Plot per le medie di periodo e medie massime nella sub area GWB-S9-A

Le stime statistiche sono di conseguenza riferite alla distribuzione “Normale” e i risultati ottenuti (Tabella 7.2) indicano che verosimilmente il valore limite superiore delle concentrazioni di Nichel nell’area d’interesse è contenuto nell’intervallo **[21.9 µg/L; 35.3 µg/L]**.

<b>Set dati: medie di periodo (05-09)</b>
<i>(distribuzione statistica “Normale”)</i> UTL-95% = 21.9 µg/L (95° percentile dei dati = 14.8 µg/L)
<b>Set dati: massime medie annuali (05-09)</b>
<i>(distribuzione statistica “Normale”)</i> UTL-95% = 35.3 µg/L (95° percentile dei dati = 26.2 µg/L)

**Tabella 7.2:** Stime del 95° percentile per il nichel nella sub-area GWB-S9-A (software ProUCL v. 4.1.01)

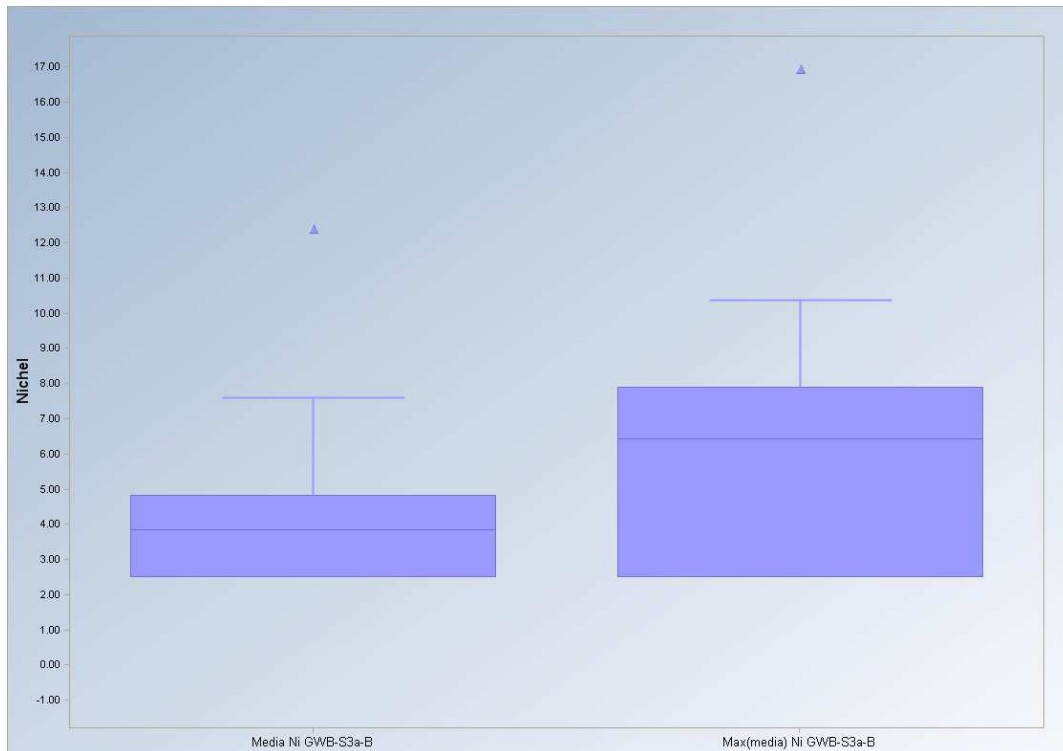
### **7.2.3. GWB-S3a - Nichel**

Per quanto concerne il GWB-S3a, sono state individuate in prima istanza due sub-aree principali, caratterizzate da anomalie di Nichel a diversa intensità. Nella sub-area GWB-S3a-A, in posizione centrale all’interno del corpo idrico, il fenomeno si presenta con maggior intensità. In tale sub-area, è importante risaltare come l’applicazione del metodo di stima del VF non è effettuabile sia a causa del ridotto numero di dati, in quanto si dispongono di soli 9 punti di misura (vedi paragrafo 7.1.1 Numerosità campionaria e distribuzione statistica di riferimento), sia perché le forti tipicità locali non consentono di considerarla sufficientemente omogenea. Operando quindi al di fuori di una procedura puramente statistica, l’osservazione dei valori medi e massimi delle medie annuali di periodo sul contesto territoriale, suggerisce che in GWb-S3a-A il VF si possa ritenere superiore a 100 µg/L.

La sub-area che presenta una minor intensità del fenomeno, denominata GWb-S3a-B, consente l’applicazione del metodo statistico di stima del VF, anche se il basso numero di dati, accompagnato da un’elevata asimmetria (Figura 7.5), consiglia assoluta cautela.

Nello specifico, entrambi i set di dati sono compatibili con la distribuzione statistica “Gamma”, ma il set delle massime medie annuali è anche congruo con una distribuzione “Normale”, che in questo caso viene privilegiata per non introdurre distorsioni causate dall’esiguità dei dati disponibili. Il valore limite superiore delle concentrazioni di Nichel in tale sub-area può ritenersi incluso nell’intervallo **[16.5 µg/L; 19.6 µg/L]**, come risulta dalla sintesi riportata nella Tabella 7.3.





**Figura 7.5:** Box Plot per le medie di periodo e medie massime nella sub area GWB-S3a-B

<b>Set dati: medie di periodo (05-09)</b>
<p><i>(distribuzione statistica "Gamma")</i></p> <p>UTL-95% metodo WH = 16.0 µg/L</p> <p>UTL-95% metodo HW = 16.5 µg/L</p> <p>(95° percentile dei dati = 10.3 µg/L)</p>
<b>Set dati: massime medie annuali (05-09)</b>
<p><i>(distribuzione statistica "Normale")</i></p> <p>UTL-95% = 19.6 µg/L</p> <p>(95° percentile dei dati = 14.0 µg/L)</p>

**Tabella 7.3:** Stime del 95° percentile per il nichel nella sub-area GWB-S3a-B (software ProUCL v. 4.1.01)

## 7.3 Stima dei VF nelle aree d'interesse per il Cromo esavalente

### 7.3.1 GWB-S9 - Cromo esavalente

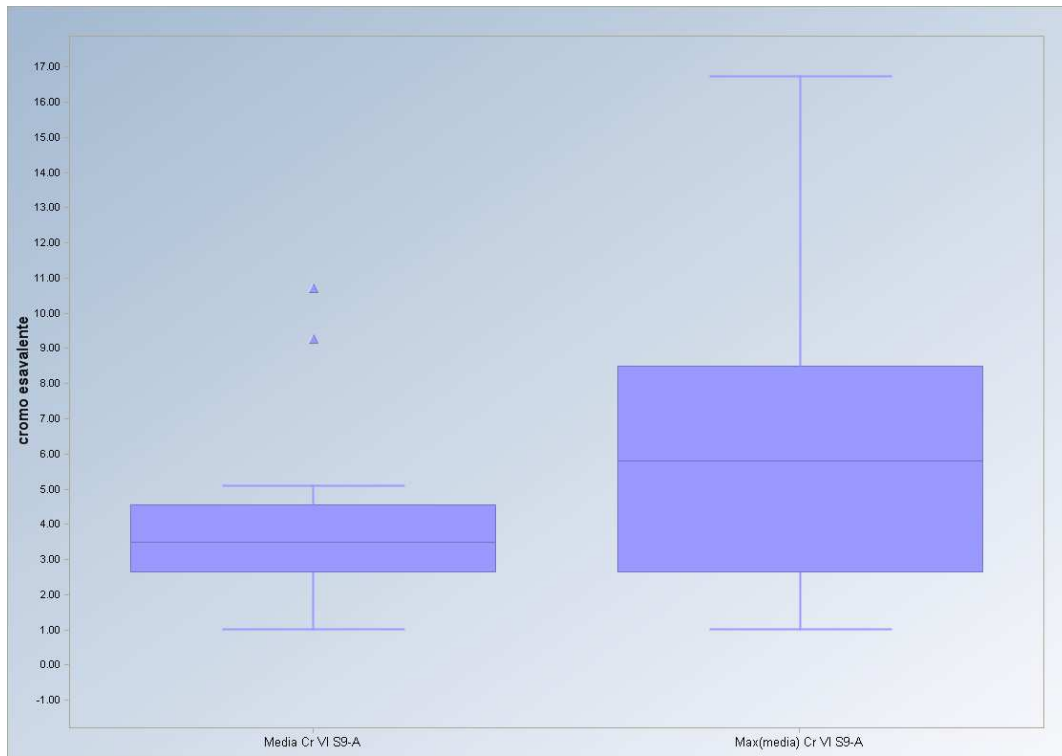
Nel corpo idrico GWB-S9 la stima del VF viene condotta unicamente per la sub-area denominata GWB-S9-A<sub>Cr</sub>, in base ai 13 punti di misura presenti nel settore considerato.

La serie delle massime medie annuali presenta un'escursione superiore a quella mediata sull'intero periodo (box plot di Figura 7.6) ed essendo priva di valori outlier è forse anche il set di dati più affidabile per effettuare la stima del VF.

Applicando esattamente la stessa metodologia utilizzata per il Nichel, il set delle medie di periodo risulta delimitato superiormente dai valori 15.2 µg/L e 16.2 µg/L in accordo con i due stimatori

disponibili quando la distribuzione di riferimento è di tipo “gamma”, mentre per il set delle massime medie le stime statistiche sono riferite alla distribuzione “normale”.

I risultati ottenuti (Tabella 7.4) indicano che verosimilmente il valore limite superiore delle concentrazioni di Cromo esavalente nella sub-area GWB-S9-A<sub>Cr</sub>, ovvero il VF della medesima, è individuabile nell'intervallo [16.2 µg/L; 19.2 µg/L].



**Figura 7.6:** Box Plot per le medie di periodo e medie massime nella sub area GWB-S9-A<sub>Cr</sub>

<b>Set dati: medie di periodo (05-09)</b>
(distribuzione statistica “Gamma”)
UTL-95% metodo WH = 15.2 µg/L
UTL-95% metodo HW = 16.2 µg/L
(95° percentile dei dati = 9.9 µg/L)
<b>Set dati: massime medie annuali (05-09)</b>
(distribuzione statistica “Normale”)
UTL-95% = 19.2 µg/L
(95° percentile dei dati = 14.2 µg/L)

**Tabella 7.4:** Stime del 95° percentile Cromo VI per la sub-area GWB-S9-A<sub>Cr</sub> (ProUCL v. 4.1.01)

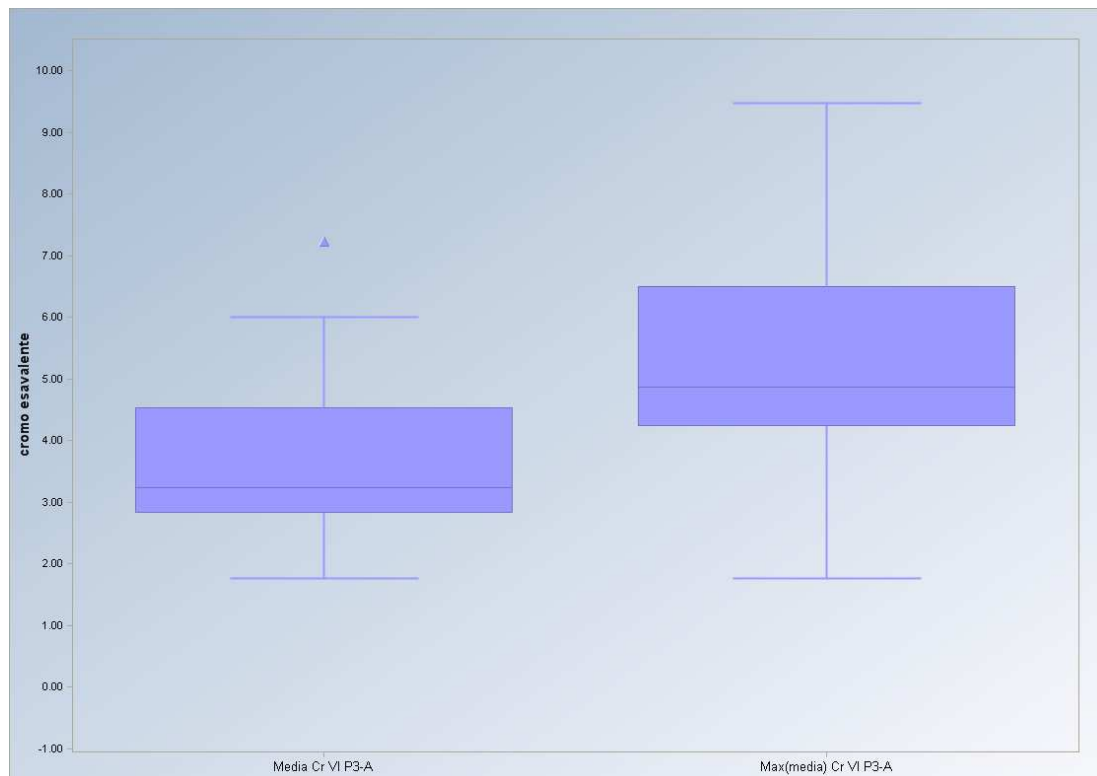
### 7.3.2 GWB-P3 - Cromo esavalente

La sub-area di interesse per il Cromo esavalente GWB-P3-A, interna al corpo idrico GWB-P3, dispone di una quindicina di punti di indagine, e quindi il campione statistico a disposizione ha numerosità sufficiente allo scopo.



Il grafici box-plot (Figura 7.7) mostrano un solo dato “outlier” per le medie di periodo, che però non risulta statisticamente anomalo (test Dixon 1%). Al contrario la serie delle massime medie non presenta alcun valore “outlier”.

L’assenza di popolazioni doppie o multiple si può desumere dalla buona simmetria dei box-plot e dal fatto che entrambi i set di dati sono riferibili ad una ben precisa distribuzione statistica: “Gamma” per le medie di periodo, “Normale” per la serie delle massime medie di periodo.



**Figura 7.7:** Box Plot delle medie di periodo e delle medie massime relative alla sub-area GWB-P3-A

Le stime del VF vengono quindi condotte in funzione di tali distribuzioni statistiche e utilizzando tutti i dati medi disponibili, avendo escluso la presenza di anomalie statistiche.

In conclusione le stime riportate nella Tabella 7.5 portano a considerare come verosimili stime per il VF nella sub-area GWB-P3-A in esame i valori appartenenti all’intervallo **[7.9 µg/L; 10.4 µg/L]**.

<b>Set dati: medie di periodo (2005-2010/11)</b>
(distribuzione statistica “Gamma”)
UTL-95% metodo WH = 7.8 µg/L
UTL-95% metodo HW = 7.9 µg/L
(95° percentile dei dati = 6.3 µg/L)
<b>Set dati: massime medie annuali (2005-2010/11)</b>
(distribuzione statistica “Normale”)
UTL-95% = 10.4 µg/L
(95° percentile dei dati = 8.8 µg/L)

**Tabella 7.5:** Stime del 95° percentile Cromo VI per la sub-area GWB-P3-A (software ProUCL v. 4.1.01)

### **7.3.3. Valori di fondo stimati per le sub-aree del GWB-P4**

La sub-area d'interesse per il Cromo esavalente GWB-P4-A, interna al corpo idrico GWB-P4, include solamente cinque punti di indagine, e quindi il campione statistico a disposizione non ha sicuramente numerosità sufficiente per applicare il metodo di stima del VF (vedi paragrafo 7.1.1 Numerosità campionaria e distribuzione statistica di riferimento), nemmeno a scopo semplicemente indicativo.

Operando quindi al di fuori di una procedura puramente statistica, il ridotto numero di dati accoppiato comunque ad una discreta omogeneità numerica degli stessi, porta a considerare come informazione utile il 95° percentile delle massime medie annuali nel periodo (13.1 µg/L). Tuttavia è noto che esso è sicuramente una sottostima del dato che si avrebbe con un campione di punti più numeroso, quindi si esclude che il VF della sub-area sia inferiore a tale valore. Pertanto si ritiene che il VF in questa sub-area sia **superiore a 13 µg/L**.



## 8 SINTESI DEI RISULTATI E ATTIVITÀ COMPLEMENTARI

### 8.1. Sintesi e analisi dei risultati ottenuti

Si riporta di seguito una sintesi dei risultati ottenuti sulla base delle valutazioni effettuate nei capitoli precedenti per Nichel e Cromo esavalente.

Per quanto riguarda il Nichel, sulla base delle anomalie riscontrate dai dati del monitoraggio, si è evidenziato che, a parte situazioni isolate, la distribuzione del metallo interessa sostanzialmente il contesto idrico sotterraneo superficiale, con le maggiori occorrenze localizzate nei seguenti corpi idrici sotterranei definiti rilevanti:

- GWB-S1 (Pianura Novarese, Biellese e Vercellese)
- GWB-S3a (Pianura Torinese e Canavese tra Dora Baltea e Stura di Lanzo)
- GWB-S9 (Pianura Alessandrina in destra Tanaro).

L'analisi e la sintesi di tutti i fattori esaminati concorrono a delineare uno scenario per il quale l'anomalia del metallo è riconducibile essenzialmente a un'origine naturale.

Per quanto concerne il Cromo esavalente l'esame delle anomalie ha evidenziato i seguenti settori:

- GWB-S9 (settore Alessandrino del sistema superficiale);
- GWB-S3b (settore Torinese centrale del sistema superficiale);
- GWB-S5a (settore Torinese meridionale del sistema superficiale);
- GWB-P2 (settore Torinese del sistema profondo);
- GWB-P3 (settore Cuneese del sistema profondo).
- GWB-P4 (settore Alessandrino del sistema profondo).

Tuttavia, in questo caso, si è prospettata una situazione molto più complicata, oltre che dal sistema idrico sotterraneo di riferimento (superficiale o profondo), anche dalla presenza contemporanea di fattori antropici e naturali che influiscono simultaneamente sulla geochimica del metallo in soluzione. Questi elementi costituiscono un'evidente difficoltà nel poter applicare un processo per la definizione del VF per il Cromo esavalente "esclusivamente" naturale. Pertanto, ai fini dello studio, sono state prese esclusivamente in considerazione quelle porzioni di GWB dove sia stato possibile discriminare con un maggiore margine di sicurezza (sia come numero di campioni disponibili che entità e conformazione delle potenziali aree sottese) l'influenza antropica da quella naturale. Sono stati quindi definiti rilevanti e selezionati per il processo di calcolo del VF i seguenti corpi idrici sotterranei:

- GWB-S9 (settore Alessandrino del sistema superficiale);
- GWB-P3 (settore Cuneese del sistema profondo);
- GWB-P4 (settore Alessandrino del sistema profondo).

Per tutti i GWB ritenuti rilevanti, sia per il Nichel che per il Cromo esavalente, è stata implementata una metodologia complessa per la valutazione della presenza di sub-aree sufficientemente omogenee interne al singolo corpo idrico sotterraneo, nell'ottica di aumentare la precisione della stima di VF, che risultano così essere specifici di ciascuna singola sub-area.

Nella Tabella 8.1 si riporta la sintesi delle stime di calcolo del VF operate nei GWB rilevanti per le sub-aree ritenute d'interesse.

In particolare, il processo di calcolo statistico ha portato a stimare con un intervallo di valori il VF Nichel per le sub-aree GWB-S1-A, GWB-S9-A e GWB-S3a-B e il VF Cromo esavalente per le sub-aree GWB-P3-A e GWB-S9-A<sub>Cr</sub>.

Le sub-aree GWB-S3a-A e GWB-P4-A non hanno invece a disposizione un numero sufficiente di punti d'indagine per applicare il metodo di stima del VF e ciò ha richiesto di operare al di fuori di una procedura puramente statistica. Per quanto riguarda il VF del Nichel nella sub-area GWB-S3a-A, sia a causa del ridotto numero di dati (nove), che delle forti tipicità locali, si è indicato solamente un valore che delimita inferiormente il VF in tale settore. Un'analogha modalità è stata adottata per il Cromo esavalente nella sub-area GWB-P4-A, che gode forse di una maggiore omogeneità ma dispone di un numero di punti ancora più esiguo (cinque).

Metallo	GWB	Sub-Area	Stima intervallo VF ( $\mu\text{g/L}$ )
Nichel	GWB-S1	GWB-S1-A	66.2 - 77.2
	GWB-S9	GWB-S9-A	21.9 - 35.3
	GWB-S3a	GWB-S3a-A	> 100
	GWB-S3a	GWB-S3a-B	16.5 - 19.6
Cromo VI	GWB-P3	GWB-P3-A	7.9 – 10.4
	GWB-P4	GWB-P4-A	> 13
	GWB-S9	GWB-S9-A <sub>Cr</sub>	16.2 – 19.2

**Tabella 8.1:** Sintesi delle stime di calcolo del VF per Nichel e Cromo VI

È importante risaltare come all'interno delle sub-aree i valori di concentrazione riferiti ai singoli punti di monitoraggio non sono sostanzialmente costanti, ma spaziano con più o meno gradualità in un intervallo numerico che a partire da concentrazioni piuttosto basse arriva ad essere delimitato dal VF. In altre parole, in ciascuna sub-area di interesse, sussiste una modulazione eterogenea ma specifica dei valori di concentrazione. Questa gradualità del fenomeno potrebbe essere visualizzata, per le sub-aree con un numero adeguato di punti rappresentativi, applicando tecniche geostatistiche specifiche per il problema delle stime spaziali, come le diverse tipologie di Kriging.

## 8.2. Nichel – Verifica con i dati 2010-2011

Le valutazioni numeriche relative al Nichel sono state effettuate nel corso del 2010 – inizio 2011, di conseguenza la base dati di riferimento è costituita da tutte le misure analitiche riferite al periodo 2005–2009. Si è pensato quindi di non utilizzare i dati del successivo biennio 2010-2011 direttamente nelle diverse fasi del processo di calcolo, ma di sfruttarli a posteriori per valutare la stabilità nel tempo della distribuzione spaziale del Nichel e per verificare l'appropriatezza dei VF stimati con i dati del periodo 2005 – 2009.

Ovviamente i dati del biennio 2010-2011 sono quelli relativi a punti di monitoraggio previsti dalla rete del 2009 (già adeguata ai presupposti della recente normativa, Direttiva 2006/118/CE e D.L.vo. 30/2009).

### 8.2.1. *GWB rilevanti*

Valutando le anomalie riscontrate dai dati del monitoraggio 2010-2011, si può confermare che la presenza del Nichel interessa (a parte situazioni isolate), sostanzialmente il contesto idrico sotterraneo superficiale. Le maggiori occorrenze appaiono localizzate nei seguenti corpi idrici sotterranei:

- GWB-S1 (Pianura Novarese, Biellese e Vercellese)
- GWB-S9 (Pianura Alessandrina in destra Tanaro)
- GWB-S3a (Pianura Torinese e Canavese tra Dora Baltea e Stura di Lanzo)

Già definiti rilevanti nel processo iniziale

### 8.2.2. *Conferma delle aree di interesse e delle stime del VF*

Per la conferma della dislocazione spaziale delle concentrazioni significative di Nichel all'interno dei GWB rilevanti, e quindi dell'individuazione delle sub-aree di interesse per il Nichel sulle quali è stata operata la stima dei VF, si è applicato il metodo dell'ellisse deviazionale. In particolare si è provveduto a comparare, per tutti i GWB rilevanti, l'ellisse deviazionale standard per le medie del nuovo biennio 2010-2011 con l'ellisse deviazionale standard per le medie del periodo 2005-2009 utilizzato per la stima VF e i risultati sono riportati nelle tre figure che seguono (8.1, 8.2 e 8.3).

L'assoluta congruenza tra le coppie di ellissi, sia per orientamento che per estensione, mostra che la ripartizione spaziale delle concentrazioni di Nichel nei due periodi è rimasta praticamente immutata



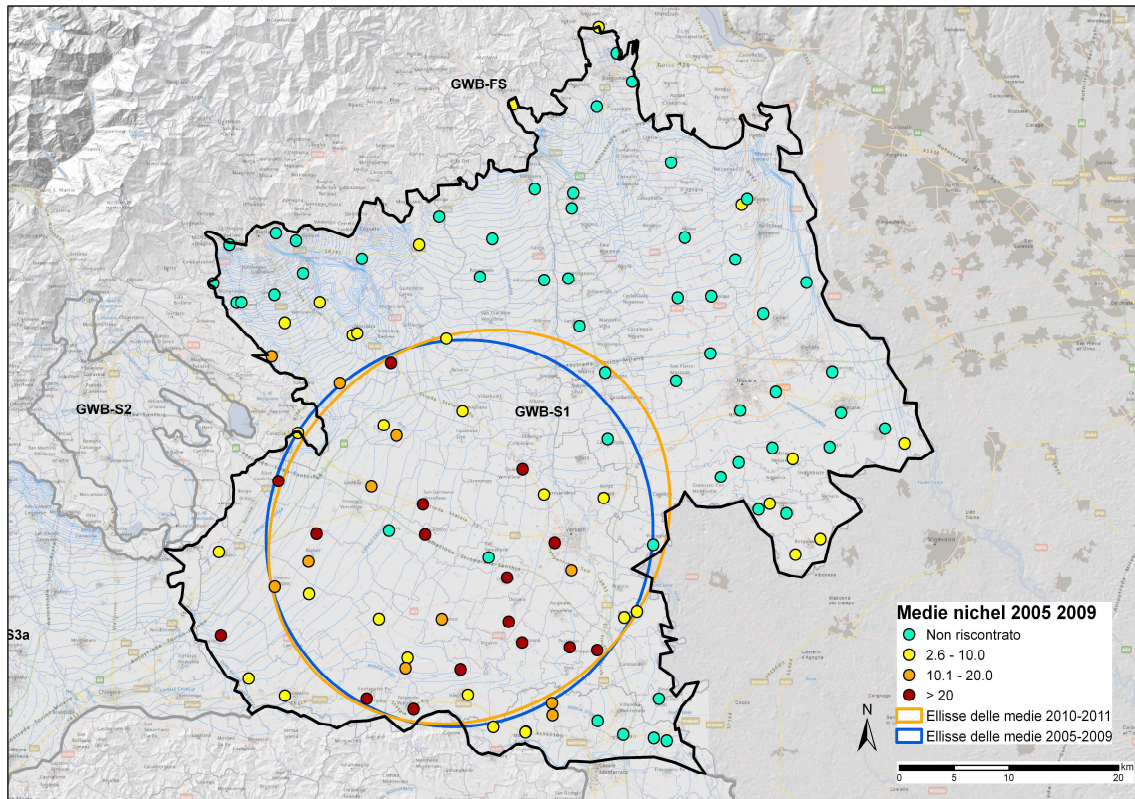


Figura 8.1: Confronto ellissi deviazionali standard Nichel, nei periodi 2005-2009 e 2010-2011 nel GWB-S1

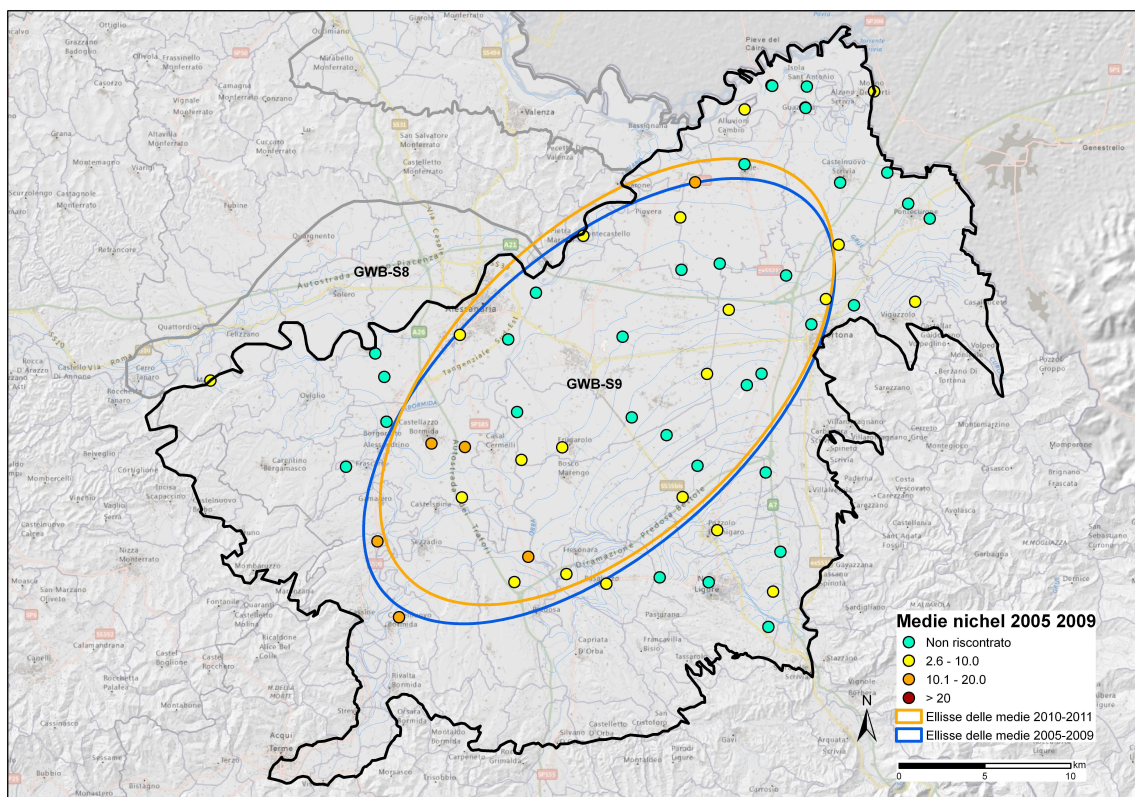
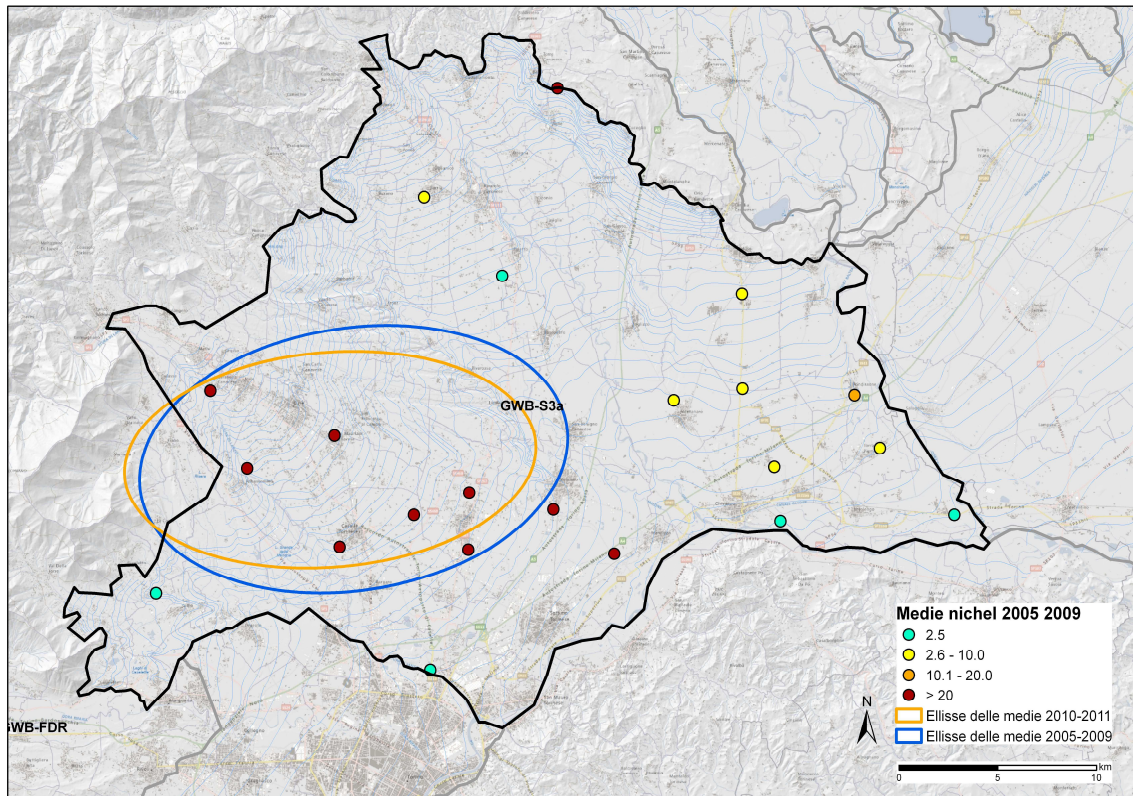


Figura 8.2: Confronto ellissi deviazionali standard Nichel, nei periodi 2005-2009 e 2010-2011 nel GWB-S9





**Figura 8.3:** Confronto ellissi deviazionali standard Nichel, nei periodi 2005-2009 e 2010-2011 nel GWB-S3a

In aggiunta alla compatibilità della dislocazione spaziale nei due periodi a confronto, si è voluto verificare numericamente l'appropriatezza dei VF stimati con i dati del periodo 2005 – 2009.

A tale scopo si è valutata l'escursione numerica delle medie annuali 2010 e 2011 per le singole sub-aree di interesse, confrontandola graficamente con i VF stimati con i dati del periodo 2005-2009. La scelta di valutare le singole annualità è ovvia in quanto consegue direttamente dal fatto che, come detto nella descrizione del metodo di calcolo, i VF sono riferiti all'insieme dei valori delle medie annuali. La sintesi di tali verifiche numeriche è rappresentata dai grafici delle Figure 8.4, 8.5, 8.6 e 8.7, costituiti dai box plot comparativi delle due annualità 2010 e 2011, con sovrapposizione di una coppia di linee che rappresentano i due estremi dell'intervallo di stima del VF specifico di ciascuna sub-area (fa ovviamente eccezione il grafico relativo a GWB-S3a in cui l'unico valore riportato è il limite inferiore non avendo delimitato superiormente l'intervallo di stima del VF).

Risulta evidente che l'intervallo di stima del VF è appropriato per tutte le sub-aree di interesse, in quanto in nessun caso si hanno superamenti dell'estremo superiore e in meno del 5% dei casi si hanno valori compresi tra l'estremo inferiore e superiore. Ciò significa che tutti i valori compresi nell'intervallo di stima del VF possono essere considerati, di fatto, stime plausibili del VF di ciascuna sub-area.

Nel caso della sub-area GWB-S3a-A (Figura 8.6), c'è un unico punto che supera il valore inferiore, confermando che, anche in questo caso il VF per la sub-area è superiore a 100 µg/L.



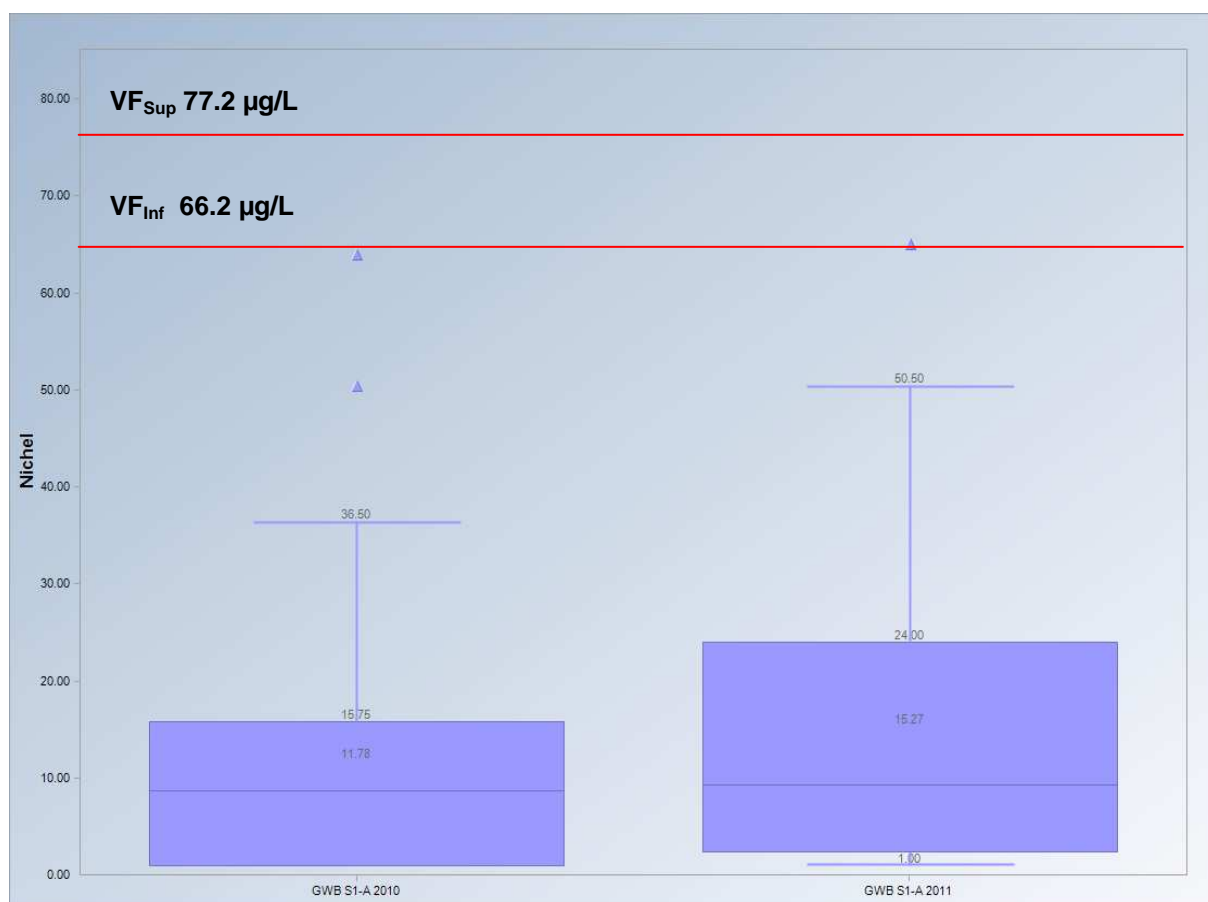


Figura 8.4: Box plot comparativo medie Nichel GWB-S1-A 2010-2011

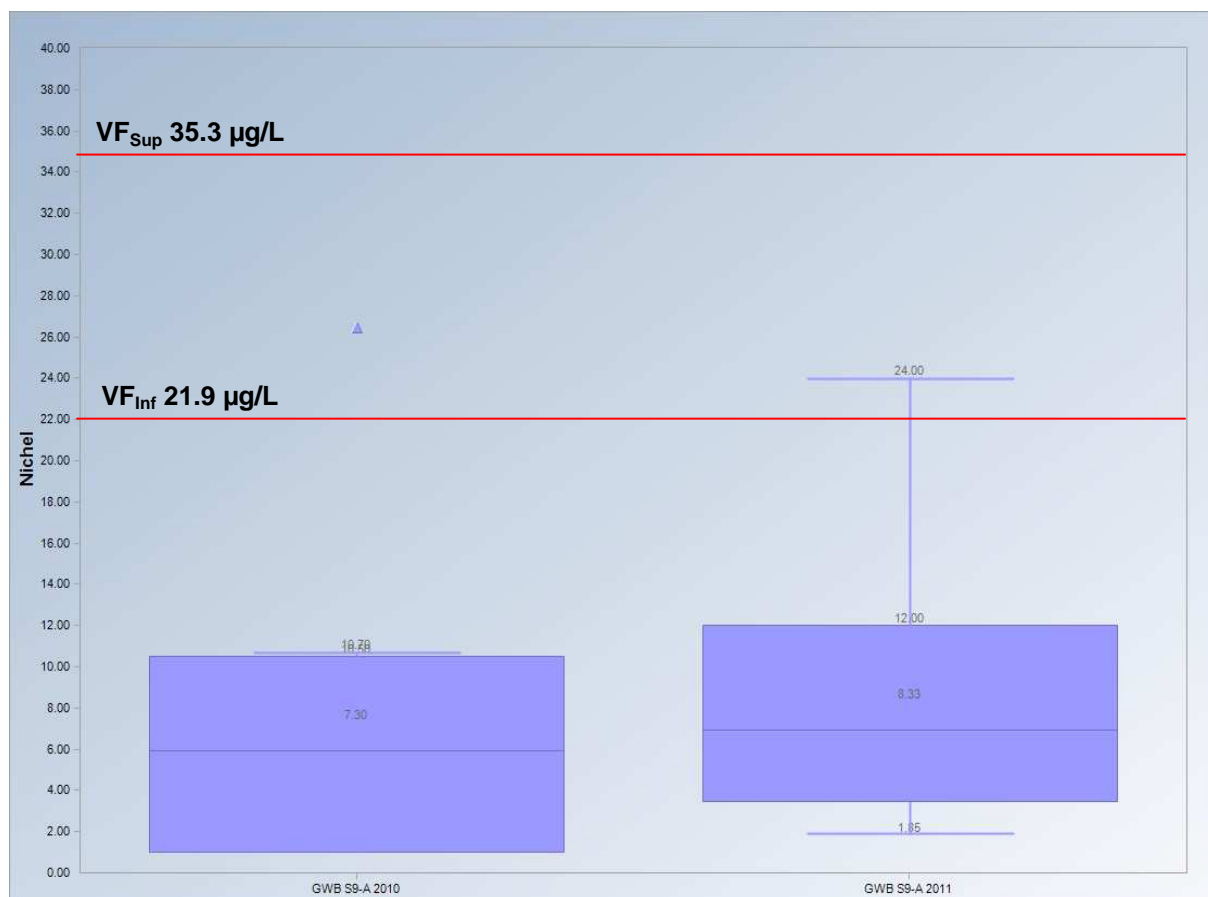


Figura 8.5: Box plot comparativo medie Nichel sub-GWB-S9-A 2010-2011

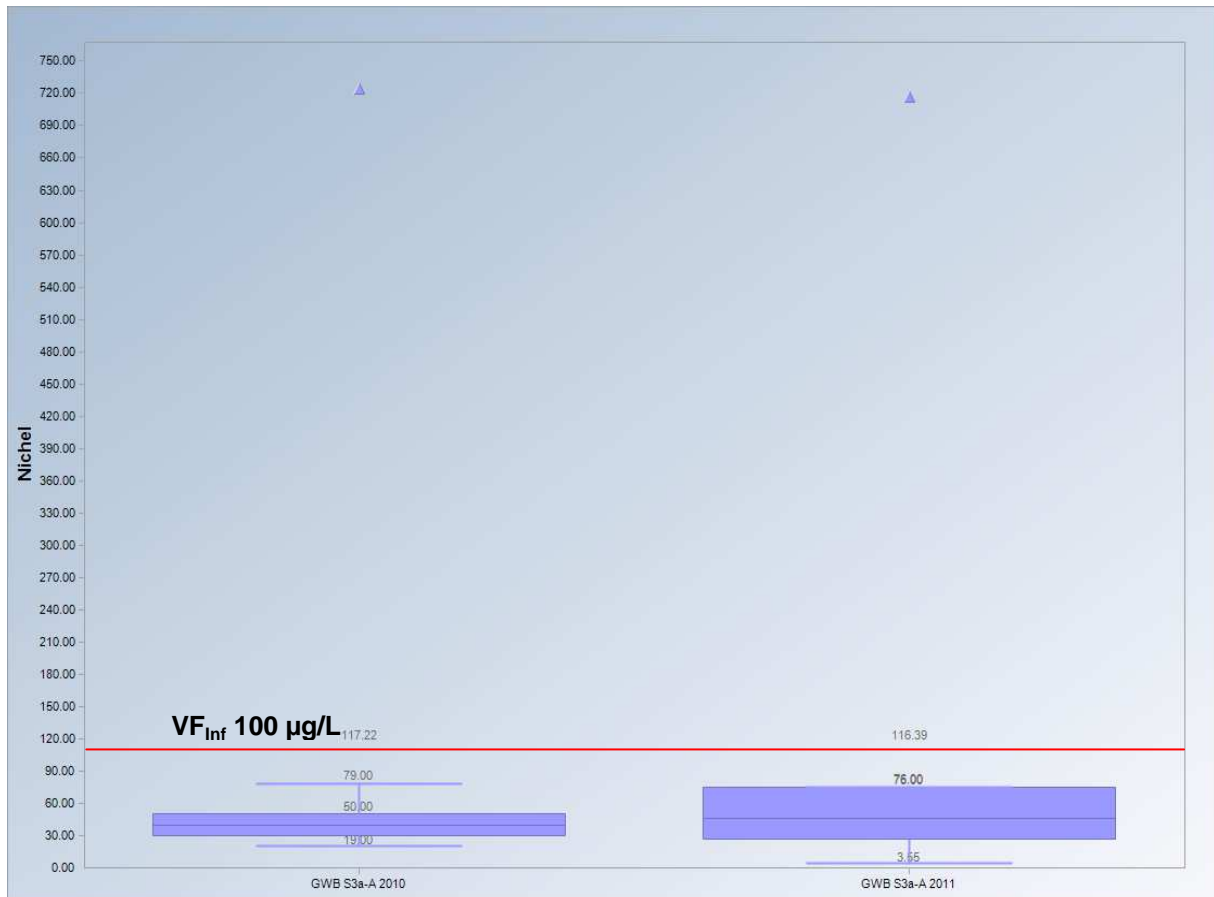


Figura 8.6: Box plot comparativo medie Nichel GWB-S3a-A 2010-2011

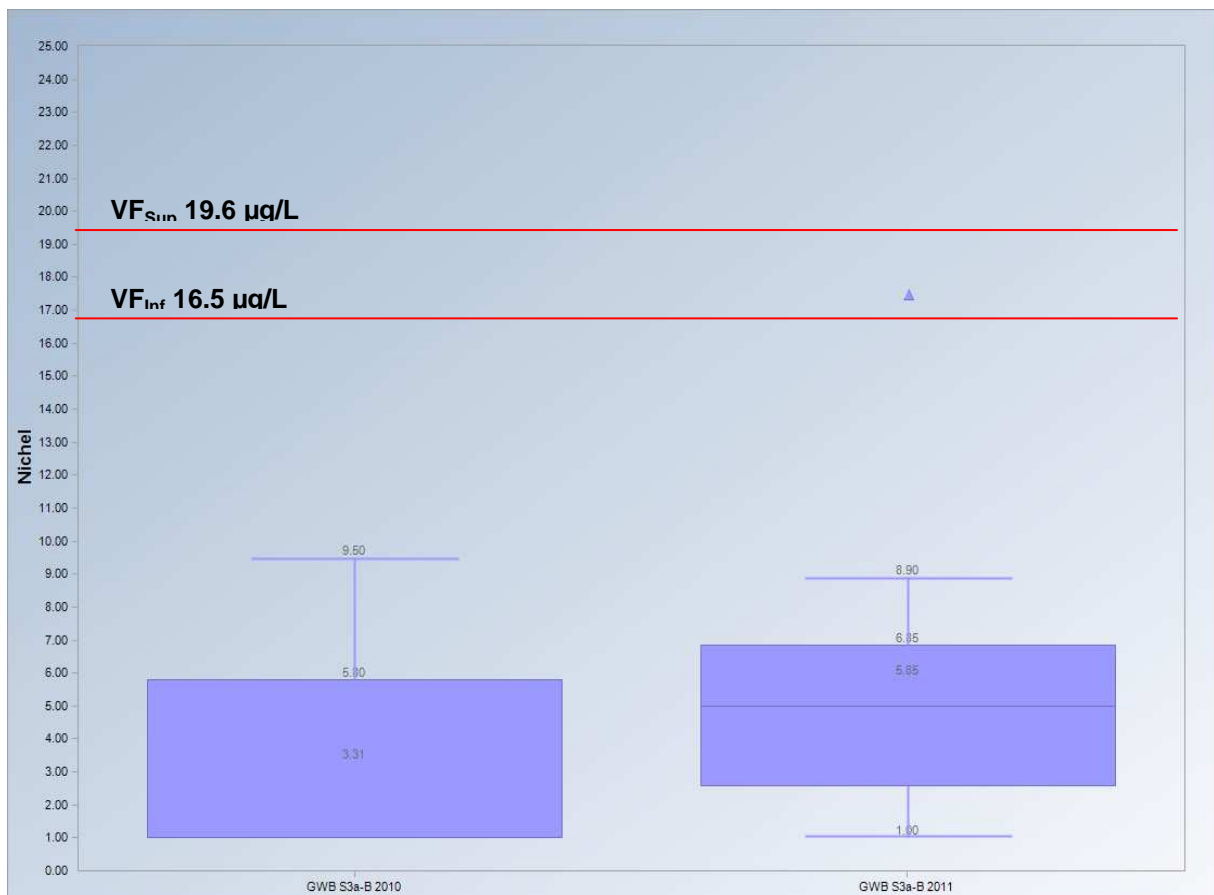


Figura 8.7: Box plot comparativo medie Nichel GWB-S3a-B 2010-2011



### **8.3. Ricognizione sul Manganese**

Il Manganese non risulta tra i metalli inquinanti inseriti nella tabella 3 dell'Allegato 3 del D.L.vo 30/2009; pertanto, esula dall'applicazione del procedimento per la determinazione del VF previsto dallo studio in oggetto. Tuttavia, la sua presenza è alquanto comune nel contesto idrico sotterraneo (superficiale e profondo) e spesso, secondo i presupposti delle normative precedenti alla WFD (D.L.vo 152/99 e s.m.i), veniva associato (in particolare per le falde profonde) ad un'origine naturale ed inserito nella Classe 0 caratterizzata da "Impatto antropico nullo o trascurabile ma con particolari facies idrochimiche naturali". La soglia di concentrazione riferita sia alla Classe 0 che alla Classe 4 (impatto antropico rilevante con caratteristiche antropiche scadenti) era equivalente a 50 µg/L. Lo stesso valore di concentrazione è previsto dalla CSC nelle acque sotterranee del vigente D.L.vo 152/2006 (Parte Quarta, Titolo V).

Alla luce delle risultanze e dell'approccio metodologico utilizzato nel presente studio può essere interessante eseguire una ricognizione sulle caratteristiche di occorrenza e distribuzione del Manganese, per valutarne sia la situazione nel contesto idrico sotterraneo piemontese, sia la necessità di eventuali ulteriori approfondimenti per comprenderne le problematiche inerenti.

Analogamente a quanto effettuato per Nichel e Cromo la base dati di riferimento è costituita da tutte le misure analitiche riferite al periodo 2005–2009 relative a punti di monitoraggio previsti dalla rete del 2009. Questi dati sono stati strutturati in modalità aggregata calcolando, per ciascun punto rete, le medie annuali del periodo di interesse 2005–2009.

La serie delle medie annuali è stata affiancata dagli indicatori statistici di base, quali minimo, massimo, media aritmetica, mediana, 25° e 75° percentile, deviazione standard assoluta e relativa (RSD% come rapporto espresso in percentuale tra la deviazione standard e la media del punto).

Una prima valutazione dei dati derivanti dall'elaborazione delle medie delle medie annuali permette di definire scenari sostanzialmente diversi per l'acquifero superficiale e profondo di seguito dettagliati.

#### **8.3.1. Manganese nei GWB superficiali**

Le valutazioni effettuate evidenziano una diffusione generalizzata del metallo nella maggior parte dei GWB superficiali (Figura 8.8) con un'elevata escursione dei valori di concentrazione medi che in alcuni casi raggiungono picchi superiori a 3000 µg/L. L'intervallo di concentrazione più diffuso si colloca tra 2.75 e 20 µg/L (corrispondente al 50% del totale dei punti) e la percentuale con assenza del metallo è intorno al 25%. Si osservano aggregazioni di punti anomali (sempre con elevate escursioni di concentrazione) che interessano settori particolari come le zone S, E e NO di GWB-S1, il fondovalle Tanaro (GWB-FTA) limitatamente alla zona di Asti, oltre a raggruppamenti minori che interessano alcuni punti di GWB-S2 e GWB-S4a. Al di là del fatto di potere individuare delle aree dove l'anomalia è più circoscritta, risalta sempre l'impraticabilità di un eventuale processo per il calcolo del VF data la notevole volatilità dei dati disponibili non solamente in termini spaziali, ma altresì temporali, come risalta dall'analisi delle serie storiche considerate.

In realtà la geochimica in soluzione del Manganese è alquanto complessa, in ragione dei diversi stati di ossidazione e della suscettibilità del metallo alle variabili chimico-fisiche che possono favorirne o inibirne il passaggio in soluzione. Questi fattori appaiono preponderanti nel sistema idrico sotterraneo superficiale caratterizzato da una maggiore disponibilità di ossigeno.

#### **8.3.2. Manganese nei GWB profondi**

Lo scenario che emerge dalla valutazione del sistema idrico sotterraneo profondo è alquanto diverso rispetto a quello superficiale; al riguardo si osserva una minore diffusione dell'occorrenza del metallo con escursioni, tuttavia relativamente limitate, e presenza di alcuni massimi che superano di poco i 200 µg/L (Figura 8.9). Nel caso degli acquiferi profondi prevalgono le condizioni riducenti per cui la solubilizzazione del metallo interessa gli equilibri che coinvolgono le specie ridotte escludendo le altre possibilità che si verificano nell'ambiente superficiale. I punti che denotano l'assenza del metallo sono il 32% del totale, mentre quelli che superano i 50 µg/L rappresentano il 18% del totale. Per quanto concerne l'individuazione dei settori anomali, il GWB maggiormente interessato dal fenomeno è GWB-P1, dove si riscontra una fascia anomala con decorrenza NNO-SSE, che partendo dall'apice del GWB attraversa Vercelli; un altro settore meno evidente decorre in senso ENE-OSO da Cerano a Trino. Questa concomitanza di anomalie di

Manganese nei due sistemi idrici sotterranei di GWB-S1 suggerisce l'eventualità di un probabile controllo naturale dovuto alle caratteristiche geologiche-mineralogiche delle formazioni che compongono gli acquiferi.

Per quanto concerne gli altri GWB un'aggregazione di punti anomali caratterizza la parte NO di GWB-P3 (relativa all'altopiano di Poirino) e l'unico punto di GWB-P6.

Rispetto al sistema superficiale i range di variazione appaiono più contenuti (sia in senso spaziale che temporale) e sembrerebbe più percorribile l'ipotesi di potere implementare un procedimento per il calcolo del VF. Tuttavia, l'incertezza del risultato, che può molto dipendere dalle condizioni chimico fisiche del sistema, oltre che dai possibili fenomeni di contaminazione dovuti al materiale con cui sono fatte le opere di captazione (ferro, acciaio e/o altri metalli nei quali il Manganese è presente come componente delle leghe), complicherebbe notevolmente tale possibilità. Inoltre, è necessario tenere conto anche dei costi necessari per effettuare uno studio dedicato. Infine, come accennato all'inizio, dato che il Manganese non è un metallo contemplato dai presupposti normativi riguardanti la qualità delle acque sotterranee (WFD, GWD e relativi provvedimenti attuativi nazionali), un suo eventuale utilizzo nell'ambito di un procedimento per il calcolo del VF sarebbe usato esclusivamente a supporto di altre tipologie di valutazione sui GWB.



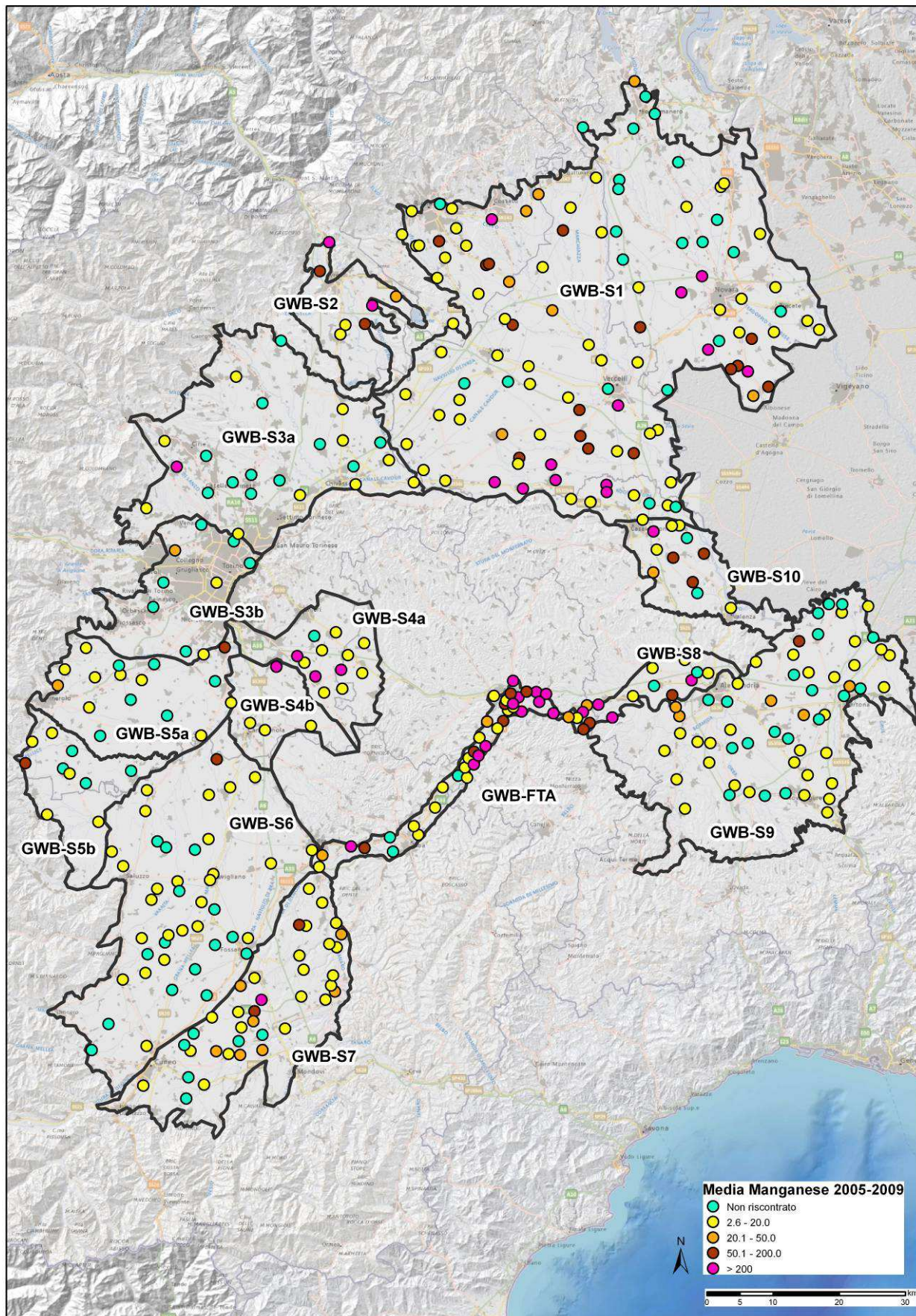


Figura 8.8: Anomalie puntuali del Manganese nei GWB superficiali



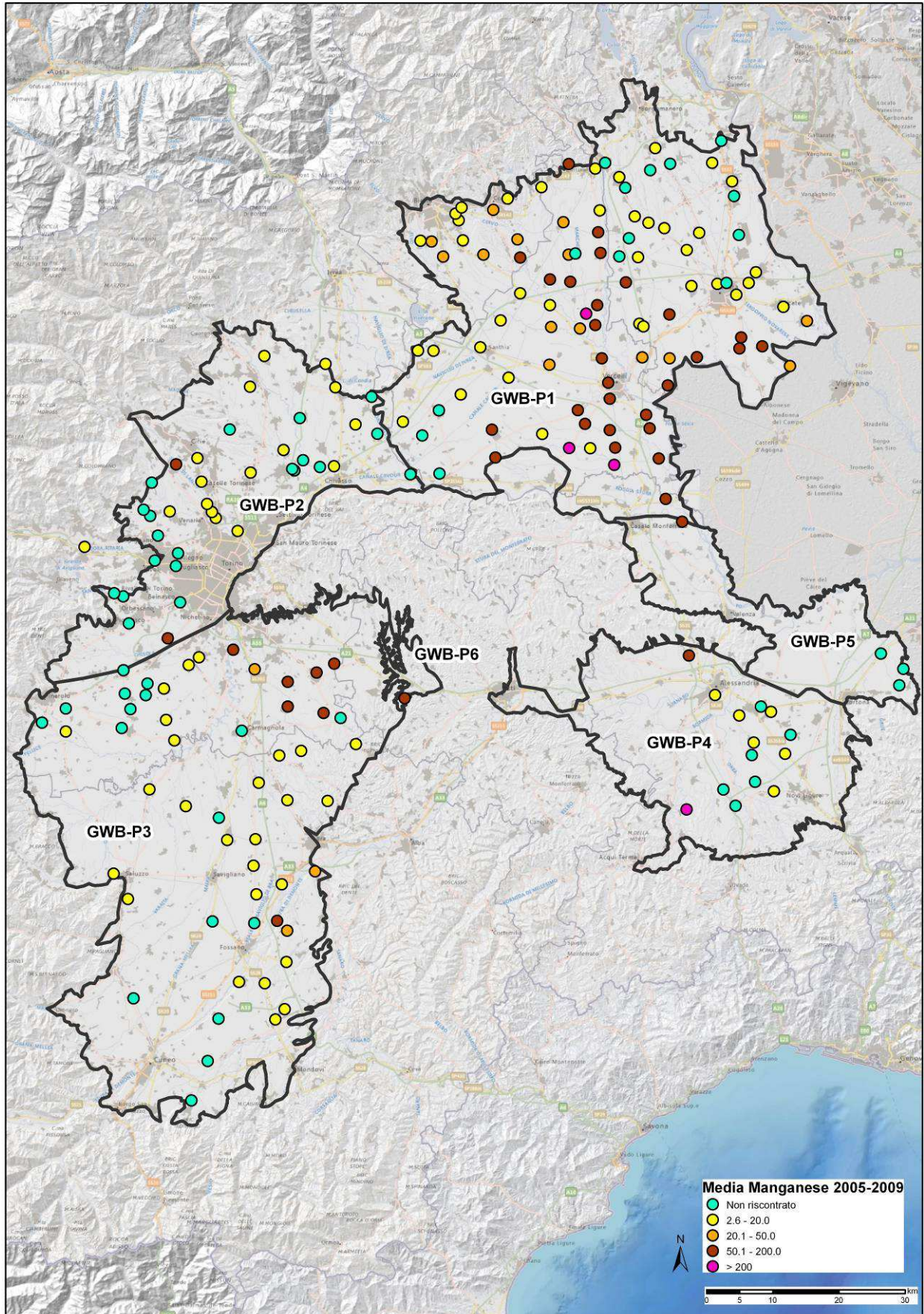


Figura 8.9: Anomalie puntuali del Manganese nei GWB profondi



#### 8.4. Correlazione con la parte Suolo

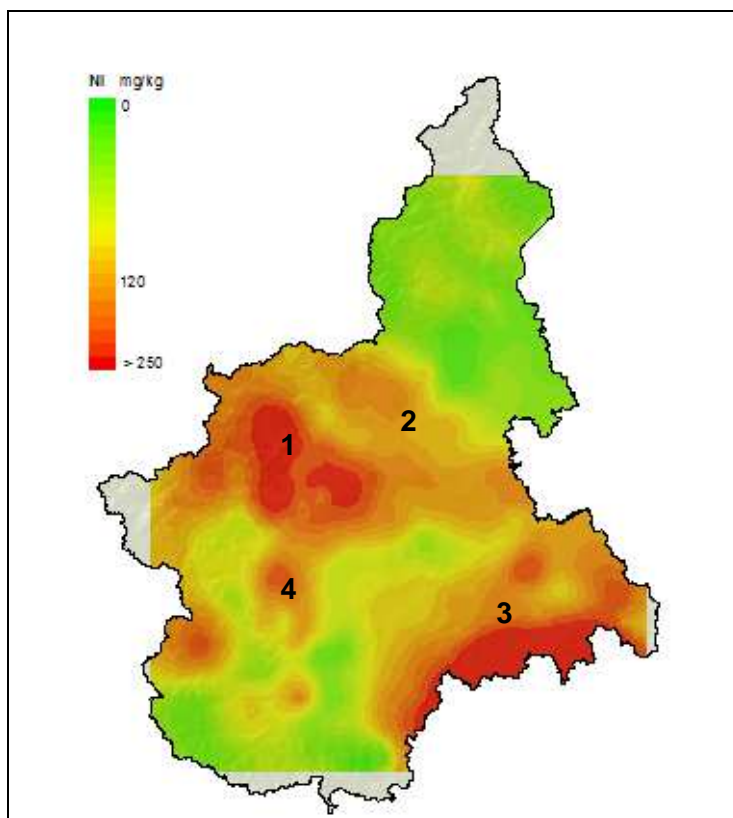
Come accennato nella Premessa, lo studio in oggetto fa parte di un progetto generale denominato: *“Analisi ambientale sulla contaminazione diffusa (suolo e acque sotterranee) del territorio regionale per la definizione di valori di fondo per diverse categorie di inquinanti”* che ingloba una relazione specifica sui suoli. Gli aspetti salienti sviluppati da tale studio (che si concluderà nel 2013), sulla base dei risultati derivanti dalla rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte (al riguardo opportunamente adeguata ed integrata), sono di seguito schematizzati:

- Valutazione della frequenza con la quale si possono riscontrare, a livello regionale, valori su alcuni metalli pesanti più elevati rispetto ai limiti qualitativi indicati dall'attuale norma sui siti contaminati;
- la necessità di porre la massima attenzione ai contaminanti organici classificati nella categoria dei POPs (Persistent organic pollutants), che consigliano di approfondire la conoscenza dei suoli attraverso la creazione di una rete di punti sufficientemente ricca da poter individuare, attraverso elaborazioni statistiche e geostatistiche, le aree maggiormente interessate da fenomeni di contaminazione diffusa (tramite la rete già parzialmente costruita da Arpa negli ultimi anni);
- fornire indicazioni sui valori di fondo, ovviamente limitatamente a valori calcolati, secondo metodologie riconosciute a livello internazionale, a grande denominatore di scala e riguardanti i suoli superficiali.

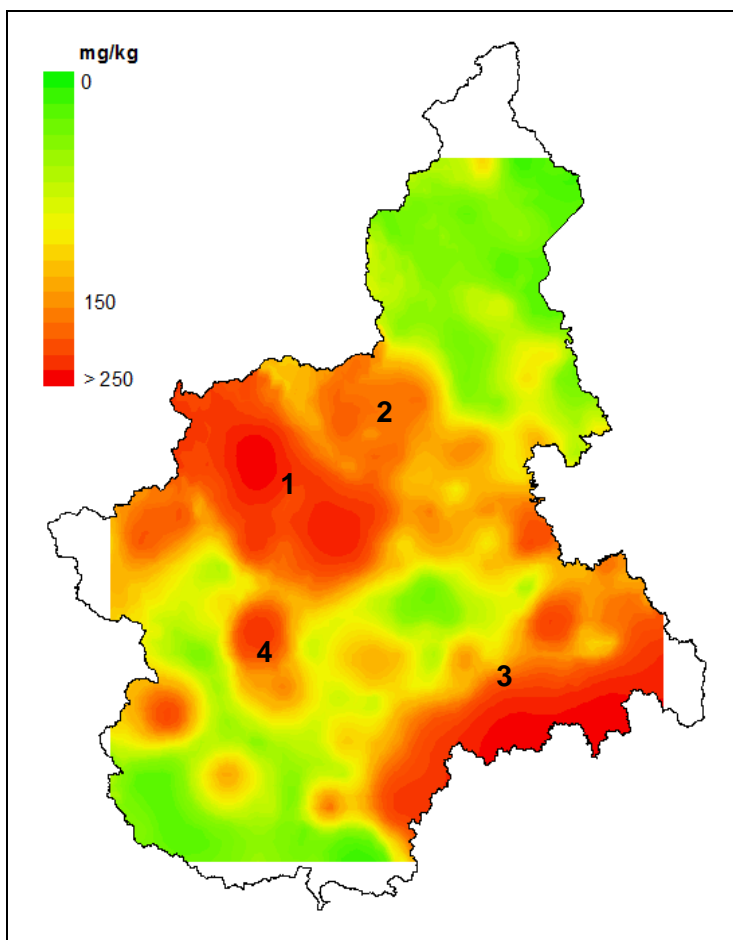
In via di principio non sussiste una correlazione diretta tra le fenomenologie che interessano la parte suolo e quelle riguardanti le acque sotterranee, nel senso che si verifichi una migrazione degli elementi che possono costituire un'anomalia naturale nella matrice suolo verso le acque sotterranee per modificarne il chimismo originario. Sussiste invece la possibilità che il substrato che caratterizza il suolo e gli acquiferi possa avere avuto un'origine comune e presenti le stesse peculiarità naturali di elementi caratteristici. Nel caso degli acquiferi le interazioni “acqua-formazione incassante” possono trasferire una parte delle caratteristiche geochemiche presenti nella matrice solida verso quella liquida, fornendo una facies geochemica particolare alle acque sotterranee.

Questa ipotesi risulta coerente con i risultati preliminari derivanti dallo studio sui suoli (in particolare per Nichel e Cromo) che evidenzia arricchimenti specifici dei suddetti metalli in determinati settori del contesto Piemontese. Infatti, dall'esame delle Figure 8.10 e 8.11 relative, rispettivamente, alla stima di Nichel e Cromo nei suoli, risaltano i seguenti aspetti:

- una sostanziale correlazione per quanto riguarda l'ubicazione dei settori anomali per i metalli considerati, confermando l'ipotesi che Nichel e Cromo evidenziano un'associazione geochemica legata alle caratteristiche geologiche-mineralogiche-petrografiche delle formazioni da cui provengono;
- una evidente correlazione con i settori di anomalia individuati per le acque sotterranee che identificano le seguenti zone caratteristiche:
  1. un settore NO con concentrazioni elevate corrispondente a GWB-S3a caratterizzato da anomalia di Nichel;
  2. Il proseguimento di minori anomalie spostandosi dal settore precedente verso E in coincidenza con GWB-S1-A. In questo caso è singolare come sussista una linea di demarcazione tra valori bassi (verde) e medio elevati (giallo-rosso) coincidente con il limite tra le sub-aree GWB-S1-A (presenza di anomalia da Nichel) e GWB-S1-B (assenza del fenomeno);
  3. un settore nella parte S che partendo dai rilievi alessandrini si estende all'area di pianura in corrispondenza di GWB-S9 e GWB-P4 (dove sono state individuate, rispettivamente, sub-aree d'interesse per Nichel e Cromo esavalente);
  4. un settore alquanto limitato e circoscritto, che occupa la zona centro occidentale, in pratica coincidente con la sub area d'interesse per il Cromo esavalente di GWB-P3.



**Figura 8.10:** Stima della concentrazione del Nichel nei suoli in mg/kg e correlazione settori acque sotterranee



**Figura 8.11:** Stima della concentrazione del Cromo nei suoli in mg/kg e correlazione settori acque sotterranee



La sostanziale correlazione della distribuzione delle anomalie dei due metalli nei suoli non incontra sempre uno scenario analogo per quanto concerne le occorrenze simultanee di Nichel e Cromo nelle acque sotterranee, un processo controllato dagli equilibri diversi che caratterizzano il passaggio in soluzione delle specie ioniche dei due metalli.

Tutte queste valutazioni, anche se a prima vista molto interessanti, richiedono degli approfondimenti specifici per comprendere e spiegare con esattezza le complesse fenomenologie in gioco, in particolare per quegli aspetti che coinvolgono gli acquiferi profondi tendenzialmente meno correlabili da un punto di vista geoscientifico con le risultanze che accomunano suoli e acquiferi superficiali. Infatti, quest'ultime due entità, pur tenendo conto dei molteplici processi chimico-fisici che possono interessare la matrice suolo, sono assimilabili ad uno stesso contesto genetico.

## 9 CONCLUSIONI

La presente relazione rappresenta il documento finale che racchiude i risultati del progetto *“Definizione dei valori di fondo naturale per i metalli nelle acque sotterranee come previsto dalla Direttiva 2006/118/CE e dal Decreto Legislativo 16 marzo 2009 n.30”*

La determinazione dei valori di fondo naturale (VF) per i principali contaminanti riveste un ruolo importante nell'ambito delle implicazioni derivanti dal recepimento del D.Lvo 30/2009; infatti, per una corretta interpretazione delle anomalie e attribuire con certezza l'eventuale origine antropica è necessario definire preventivamente i VF; cioè la soglia di concentrazione di una sostanza, corrispondente all'assenza di alterazioni antropogeniche, o alla presenza di alterazioni estremamente limitate, rispetto a condizioni inalterate.

La determinazione dei VF rappresenta un obiettivo fondamentale nell'ambito della definizione degli effettivi Valori Soglia (VS) da considerare per un determinato inquinante per il calcolo dello Stato Chimico.

La normativa prevede che, nel caso sia dimostrato scientificamente la presenza di metalli o altri parametri di origine naturale in concentrazioni di fondo naturale superiori ai limiti fissati per i VS, tali livelli di fondo costituiscono i Valori Soglia per la definizione del BUONO stato chimico.

Al riguardo, il risultato derivante dalla elaborazione del VF potrebbe interessare l'intero GWB, o porzioni dello stesso, e nel caso appunto i VF risultassero superiori ai VS definiti dalla normativa nazionale per una determinata sostanza, ciò comporterebbe assumere per gli areali identificati (o per l'intero GWB) un VS superiore a quello nazionale.

Nel caso del contesto idrico sotterraneo piemontese questo aspetto riguarda esclusivamente i metalli; infatti, la presenza di metalli pesanti nelle acque sotterranee può essere ricondotta sia a cause di origine antropica, che a un'origine naturale legata alla composizione delle formazioni geologiche che compongono l'acquifero, al tempo di permanenza/interazione acqua/roccia e alle condizioni chimico-fisiche del sistema.

Il dataset utilizzato come base dati di riferimento per l'implementazione dello studio è stato quello riferito al periodo 2005 – 2009 relativo ai punti di monitoraggio previsti dalla RMRAS del 2009, già adeguata ai presupposti della normativa vigente. Nel corso dello sviluppo del progetto tale dataset è stato integrato con i dataset annuali che si sono resi disponibili (2010-2011) al fine di verificare e confermare i risultati delle elaborazioni effettuate.

La base dati di riferimento è stata integrata calcolando, per ogni parametro di interesse, la serie delle medie annuali per ciascun punto rete, affiancata dagli indicatori statistici di base, quali minimo, massimo, 25° e 75° percentile, deviazione standard assoluta e relativa, indispensabili nell'individuazione dei dati statisticamente anomali.

La media di periodo, media aritmetica delle medie annuali, in particolare, è risultato l'indicatore fondamentale per le valutazioni di omogeneità di un parametro (nel caso specifico i metalli) nelle aree di interesse. L'affidabilità e rappresentatività del singolo punto/parametro derivano proprio dallo studio e dall'analisi dei dati anomali in senso statistico.

Dal dataset di partenza sono state considerate le occorrenze dei metalli, determinati in base al protocollo analitico per le acque sotterranee definito da Arpa, in relazione ai VS riportati nella tabella 3 del DLgs 30/2009 (Tabella 1, valori soglia inquinanti – metalli), nel contesto dell'area di monitoraggio e dei rispettivi GWB.

In base al protocollo analitico esistente, coerente con i parametri effettivamente presenti nel contesto idrico sotterraneo piemontese, sono stati considerati i seguenti metalli:

Arsenico, Cadmio, Cromo Totale, Cromo esavalente, Mercurio, Nichel e Piombo, valutando la percentuale di punti con presenza di valori superiori al limite di quantificazione (LCL) e la percentuale di punti dove il valore medio risultava effettivamente superiore al VS. Per quanto riguarda Cadmio, Piombo, Mercurio e Arsenico sono state rilevate occorrenze inferiori al 1% sul totale delle medie dei campioni, per il periodo considerato, siglandone l'esclusione dal procedimento di selezione.

Pertanto, le elaborazioni effettuate hanno evidenziato come metalli rilevanti (quindi selezionati ai fini dello studio sui VF), esclusivamente Nichel e Cromo esavalente; oltre, necessariamente (per



una corretta valutazione del fenomeno), il Cromo totale anche se in realtà per le concentrazioni evidenziate non è risultato problematico da un punto di vista ambientale.

Per quanto riguarda il Cromo esavalente, essendo il VS espresso dalla normativa coincidente con il LCL del metodo utilizzato per la sua determinazione (5 µg/L), è stata acquisita la strumentazione necessaria all'adeguamento dell'LCL del Cromo esavalente (ai sensi del D.L.vo 219/210), consistente nell'upgrade di una linea di cromatografia ionica (CI) che consente di abbinare alla separazione dei cromati mediante CI una derivatizzazione post colonna con difenilcarbazide e una rivelazione nel visibile a 530 nm.

Questa tecnica che si basa sulla stessa reazione colorimetrica (difenilcarbazide) adottata nel metodo spettrofotometrico, garantisce una sensibilità fino a dieci volte superiore.

Il sistema e la sperimentazione e validazione del metodo di prova hanno consentito l'acquisizione dei dati di Cromo esavalente fino a 1 µg/L a partire dal 2010.

Il contesto di riferimento per l'applicazione della metodologia trattata dal progetto è rappresentato dai corpi idrici sotterranei (GWB) che costituiscono anche l'oggetto del monitoraggio ai sensi della normativa vigente. Al riguardo è importante rimarcare come il D.L.vo 30/2009 preveda che nel caso si verifichi una situazione ambientale peculiare all'interno del GWB, testimoniata da valori di stato che differiscono da quelli evidenziati dal resto corpo idrico, questi possa essere scomposto in una o più sub-aree caratterizzate dalle succitate peculiarità. Tali differenze si configurano essenzialmente con la presenza (a possibili vari gradi d'intensità), o con l'assenza, di una determinata anomalia. In tale ottica le sub-aree (sub-GWB) rappresentano il terreno di confronto dove si è sperimentata la metodologia proposta.

Parallelamente alle elaborazioni statistiche sono stati affrontati i principali aspetti geoscientifici che concorrono alla definizione del modello concettuale (geologia, idrogeologia, mineralogia, petrografia, geochimica delle acque e delle rocce) corredati anche dallo studio sulle pressioni, la cui disamina, ha evidenziato degli scenari compatibili con le anomalie riscontrate, sia per quanto concerne il Nichel che il Cromo.

La valutazione incrociata dei risultati geoscientifici con le pressioni incidenti sui contesti in esame hanno consentito di comprendere ruolo e influenza della componente antropica, configurando scenari sensibilmente diversi per le anomalie dei metalli esaminati (Nichel e Cromo esavalente). Pertanto, mentre per il Nichel, che interessa sostanzialmente il sistema idrico sotterraneo superficiale, è stato possibile ipotizzare settori di anomalia con una prevalente (o esclusiva) origine naturale, per il Cromo esavalente la situazione è risultata molto più complicata dalla coesistenza di fattori antropici e naturali, oltre che dal ruolo del contesto idrico sotterraneo di riferimento. Infatti, nel caso peculiare delle falde profonde, le condizioni idrogeologiche ed idrodinamiche del sistema acquifero superficiale possono operare sia come isolante che come veicolante delle problematiche ambientali presenti in superficie. L'insieme delle tematiche esaminate ha comportato come conseguenza un'evidente difficoltà nella definizione di un VF per il Cromo esavalente "esclusivamente" naturale.

Data la complessità e le molteplici implicazioni per gli scenari esaminati, le elaborazioni statistiche sono state implementate sia nella fase di organizzazione dei dati necessari alle elaborazioni, sia per quanto concerne la valutazione generale per le analisi specifiche sui metalli selezionati.

Il processo di calcolo del VF è stato predisposto, per quanto riguarda il Nichel, approntando un modello per la stima del VF, inteso come intervallo, sui seguenti corpi idrici sotterranei: GWB-S1 (sub-area GWB-S1-A), GWB-S9 (sub-area GWB-S9-A), GWB-S3a (sub-aree GWB-S3a-A e GWB-S3a-B) utilizzando la media del periodo 2005-2009 (media delle medie annuali) e il massimo delle medie annuali del periodo 2005-2009. Le stime ottenute sono state poi oggetto di verifica di affidabilità in funzione dei dati del biennio 2010-2011 (successivo al periodo di riferimento considerato per i calcoli), dimostrando la congruenza del procedimento adottato.

Anche per il Cromo esavalente è stato approntato il modello per la stima del VF, inteso come intervallo (tramite l'utilizzo di proUCL), sui seguenti corpi idrici sotterranei: GWB-S9 (sub-area GWB-S9-A<sub>Cr</sub>); GWB-P3 (sub-area GWB-P3-A) e GWB-P4 (sub-area GWB-P4-A). Anche in questo caso sono state utilizzate le medie e il massimo del periodo tenendo conto delle seconda campagna 2010 e della prima campagna 2011.

Infine, è stata eseguita anche una ricognizione sul Manganese, per il quale non sussiste alcun VS ai sensi del DLgs 30/2009, e non è pertanto indicato nella relativa tabella 3 dell'Allegato 3.

## 10 GLOSSARIO

- BLP:** Bacino oceanico Ligure-Piemontese
- BTP:** Bacino Terziario Piemontese
- CSC:** Concentrazioni Soglia di Contaminazione come individuati nell'allegato 5 alla parte quarta del D.Lgs. 152/06
- GA:** Gruppi Acquiferi
- GWB:** Groundwater bodies (Corpi idrici sotterranei)
- GWD:** Groundwater Directive (2006/118/CE) - Direttiva acque sotterranee
- IPDF:** Indice di potenziale diluizione della falda
- LCL:** Limite di quantificazione
- NBL:** Natural Background Level (Livello di fondo naturale)
- PTA:** Piano di Tutela delle Acque del Piemonte
- RMRAS:** Rete di Monitoraggio Regionale Acque Sotterranee
- SQA:** Standard di Qualità Ambientale (definito a livello europeo)
- UIG:** Unità Idrogeologica di Gruppo Acquifero
- VOC:** Volatile Organic Compounds (Composti Organici Volatili)
- VF:** Valore di Fondo Naturale
- VS:** Valore Soglia (definito a livello nazionale)
- WFD:** Water Framework Directive (2000/60/CE) – Direttiva Quadro sulle acque



## 11 BIBLIOGRAFIA

J. W. Tukey. (1977): *Exploratory Data Analysis*, Edited by Addison-wesley.

Getis A., Ord J.K. (1992): The analysis of spatial association by use of distance statistics, *Geographical Analysis*, 24: 3, 189-206.

Ord J.K., Getis A. (1995): Local spatial autocorrelation statistics, *Geographical Analysis*, 27: 4, 286-306.

L.Franconi, J. Stander, S. Pezzulli (1996): *Statistica*, Ed. ETASLIBRI.

W. T. Thompson et alii. (2000). *Pourbaix Diagrams for Multielement Systems*. Uhlig's Corrosion Handbook, Second Edition, Edited by R. Winston Revie John Wiley & Sons, Inc.

Grath J. et alii. (2001). Final Report: "The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results".

De Luca et alii. (2002) Identificazione della base dell'acquifero libero nelle provincie di Asti, Biella, Cuneo (area nord-orientale), Novara e Vercelli redatto dal DST di Torino per conto della REGIONE PIEMONTE.

Arpa Piemonte (2003): Elaborazione dei dati qualitativi delle acque sotterranee – parte generale – nell'ambito delle "Indagini e studi finalizzati alla predisposizione del Piano di Tutela delle Acque". Rapporto tecnico C302AD02.

Arpa Piemonte (2003): Elaborazione dei dati qualitativi delle acque sotterranee – approfondimenti sui prodotti fitosanitari - nell'ambito delle "Indagini e studi finalizzati alla predisposizione del Piano di Tutela delle Acque". Rapporto tecnico C302BD02.

Wendland et alii (2003): A procedure to define natural groundwater conditions of groundwater bodies in Germany.

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.

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).

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.

AA.VV. (2005): *Idrogeologia della pianura piemontese*. Quaderni REGIONE PIEMONTE.

Arpa Piemonte (2005): Elaborazione dati e modellistica per l'individuazione delle zone vulnerabili da nitrati e da fitofarmaci e attuazione dei programmi d'azione - Relazione finale.

ISPRA (2006): Protocollo Operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli dei siti d'interesse nazionale.

BRGM (2006): Guide technique qualité naturelle des eaux souterraines: Méthode de caractérisation des états de référence des aquifères français, (Laurence Chéry).

AA. VV. (2007): BRIDGE Project - Background cRiteria for the Identification of Groundwater thrEsholds – Final Report.

AA. VV. (2007): BRIDGE Project – D18: Final proposal for a methodology to set up groundwater threshold values in Europe.

UE (2007): Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/CE), Guidance document n. 17. Guidance on preventing or limiting direct and indirect input in the context of the directive 2006/118/EC.

US EPA (2007): Monitored Natural Attenuation of Inorganic Contaminants in Ground Water (Volume 2) Assessment for Non-Radionuclides Including Arsenic, Cadmium, Chromium, Copper, Lead, Nickel, Nitrate, Perchlorate, and Selenium.

AA. VV. (2007): Piano di Tutela delle Acque Piemonte (D.C.R. n. 117-10731 13.03.2007) Allegati tecnici I-IV. Direzione Territorio e Ambiente REGIONE PIEMONTE.

Singh A., Singh A.K. (2007): ProUCL V.4.0 Technical Guide. EPA/600/R-07/041.

UE (2008): Protezione delle acque sotterranee in Europa. "La nuova direttiva Acque Sotterranee – Consolidare il quadro normativo della UE". Acqua e Ambiente.

Irace et alii (2009): Geologia e idrostratigrafia profonda della Pianura Padana occidentale. Progetto CNR-DST cofinanziato da REGIONE PIEMONTE nell'ambito del Bando sulla Ricerca Scientifica n° 35 del 28/08/03.

ISPRA (2009): Protocollo per la Definizione dei Valori di Fondo per le Sostanze Inorganiche nelle Acque Sotterranee. Servizio Interdipartimentale per le Emergenze Ambientali Settore Siti Contaminati.

UE (2009): Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/CE), Guidance document n. 18 Guidance on groundwater status and trend assessment.

Arpa Piemonte (2009): Processo di implementazione della direttiva 2000/60/CE (WFD) in Piemonte. - Sezione 3 Acque Sotterranee.