

STUDIO IDROGEOLOGICO E DELLE CARATTERISTICHE DELLA CONTAMINAZIONE DEGLI ACQUIFERI DELL'ALTA PIANURA BERGAMASCA

A cura di Carla Rampolla

carla.rampolla@gmail.com

Indice

1	INTRODUZIONE	2
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E IDROGEOLOGICO.....	2
3	RICOSTRUZIONE MODELLO CONCETTUALE	3
	3.1 SEZIONI IDROGEOLOGICHE E RICOSTRUZIONE BASE ACQUIFERI.....	4
	3.1.1 AREA DI PIANURA DELLA PROVINCIA BERGAMASCA.....	4
	3.1.2 AREA DI DETTAGLIO (AREA ZINGONIA)	7
	3.2 CARTE TEMATICHE PROFONDITÀ DELLE SUPERFICIE BASALI DEGLI ACQUIFERI.....	9
	3.3. ANDAMENTO DELLA SUPERFICIE PIEZOMETRICA DEGLI ACQUIFERI.....	11
4.	CONTAMINAZIONE AREA DI STUDIO.....	11
	4.1 CROMO TOTALE	11
	4.2 CROMO VI.....	12
	4.3 TRICLOROMETANO.....	12
	4.4 TRICLOROETILENE.....	12
	4.5 TETRACLOROETILENE.....	13
5	BIBLIOGRAFIA.	19

1 INTRODUZIONE

Il presente studio è finalizzato 1) alla caratterizzazione degli acquiferi nell'area dell'alta Pianura Bergamasca compresa tra il fiume Serio ad est e ed i fiumi Brembo e Adda a ovest, concentrandosi sull'individuazione delle superfici di discontinuità che delimitano i tre Gruppi Acquiferi A, B e C, e 2) alla valutazione dello stato di contaminazione dell'acquifero superficiale, al fine di valutare le interazioni con l'assetto idrogeologico e di formulare proposte per un'ottimizzazione della rete di monitoraggio qualitativa delle acque sotterranee.

Le sezioni idrogeologiche ricostruite hanno evidenziato che la profondità e lo spessore degli acquiferi tendono a crescere progressivamente dal settore settentrionale della pianura al settore meridionale. È stato possibile evidenziare anche particolari strutture geologiche ed idrogeologiche, come, nello specifico, nell'area di Arcene e Verdellino dove esiste una zona a bassa conducibilità idraulica in cui affiora in superficie il gruppo acquifero B. Interessante notare inoltre, degli studi piezometrici effettuati, come esista una zona di innalzamento della superficie piezometrica nel settore di Arcene, Verdellino e Ciserano, a conferma dell'area a bassa conducibilità idraulica rinvenuta con le sezioni. Quest'area costituisce, quindi, uno spartiacque sotterraneo causato dall'"alto" di Arcene, costituito da un imponente banco di argille a bassa permeabilità.

L'indagine sul chimismo delle acque sotterranee ha evidenziate un andamento piuttosto variabile nel tempo delle concentrazioni di alcuni contaminanti presi in esame e la diminuzione progressiva di altri. Non è stato però possibile, attraverso l'analisi delle concentrazioni degli inquinanti, determinare con precisione il flusso dei contaminanti nel sottosuolo e confermare con precisione l'andamento delle strutture idrogeologiche definite, a causa della scarsità di pozzi utilizzati per il campionamento ed analisi delle acque sotterranee.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E IDROGEOLOGICO

Il settore interessato da questo studio è compresa nell'ampio contesto dell'alta Pianura Padana in un'area situata nella porzione sud-occidentale della provincia di Bergamo, come visibile in Fig. 1, compresa tra il fiume Serio ad est e ed i fiumi Brembo e Adda a ovest. Il territorio, costituito da una successione di sedimenti plio-pleistocenici e fittamente attraversato da una serie di canali e rogge, risulta pressoché pianeggiante con debole degradazione verso sud.

La descrizione idrogeologica del sottosuolo della Pianura Lombarda è stata oggetto di diversificate indagini che hanno portato alla definizione di diverse classificazioni. In base alla classificazione introdotta da *Regione Lombardia & Eni Divisione AGIP (2002)*, il sottosuolo della pianura lombarda è stato suddiviso in quattro unità idrostratigrafiche di rango superiore definite Gruppi Acquiferi e separate tra loro da barriere impermeabili ad estensione regionale costituite da sedimenti fini (limi o argille). A partire dal piano campagna i Gruppi Acquiferi sono i seguenti:

- Gruppo Acquifero A, quello più sfruttato, ma anche quello in cui si riscontrano più casi di contaminazione;
- Gruppo Acquifero B, sfruttato lungo il margine del bacino ai piedi della catena alpina;
- Gruppo Acquifero C, anch'esso sfruttato solo ai piedi della catena alpina;
- Gruppo Acquifero D, più profondo e sfruttato solo localmente.

Dove i Gruppi Acquiferi A e B corrispondono all'acquifero tradizionale definito da Martinis e Mazzarella nel 1971.

I corpi sedimentari sede degli acquiferi si sviluppano da N–W verso S–E, come i fiumi ad alimentazione alpina e hanno spessore minore ai limiti del bacino deposizionale ai piedi delle Alpi e spessore maggiore spostandosi verso sud in corrispondenza dell'alveo del Po.



Figura 1: Carta di inquadramento geografico dell'area di studio. È visibile la provincia di Bergamo in giallo e i comuni di interesse in rosso.

3 RICOSTRUZIONE MODELLO CONCETTUALE

La prima fase della metodologia applicata è consistita nella raccolta di informazioni bibliografiche, fondamentali per l'inquadramento dell'area di studio, per la strutturazione e l'applicazione corretta dei processi, e per il confronto dei risultati con la reale conformazione del sottosuolo, al fine, anche, di valutare l'affidabilità del metodo sviluppato. I principali testi consultati sono:

- *“Geologia degli acquiferi padani della regione Lombardia”* a cura di Piccin A. & Carcano C. (2002), utile per l'inquadramento dell'area di studio.
- *“Studi idrogeologici sulla Pianura Padana - Studio idrogeologico del foglio Vimercate”* (1988) a cura di E. Denti et al., utile per delineare le strutture idrogeologiche di maggior rilievo legate alle diverse fasi deposizionali dei fiumi Adda e Brembo.
- *“Geologia di sottosuolo della Pianura Bergamasca compresa tra i fiumi Serio e Brembo”* (2001) a cura di N. Pomicino et al., che ricostruisce la geologia dei depositi plio-pleistocenici tra i fiumi Serio e Brembo e la storia evolutiva di questo settore di pianura.
- *“Nuovi dati di sottosuolo nell'alta Pianura Padana tra i fiumi Adda ed Oglio”* di Miletta Stefania (2003), finalizzata alla caratterizzazione degli acquiferi, nell'area della Pianura Padana compresa tra i Fiumi Adda ed Oglio.

Sono perciò stati poi raccolti, organizzati e archiviati tutti quei dati necessari (in formato cartaceo e/o digitale) per le elaborazioni successive, ovvero per:

1. la ricostruzione di sezioni stratigrafiche dell'area di pianura della provincia bergamasca e di una zona di dettaglio (area Zingonia) e ricostruzioni delle superfici basali;
2. la ricostruzione carte delle profondità delle superfici basali degli acquiferi A, B e C;
3. la ricostruzione dell'andamento della superficie piezometrica.

3.1 SEZIONI IDROGEOLOGICHE E RICOSTRUZIONE BASE ACQUIFERI

Le sezioni idrogeologiche ricostruite hanno evidenziato che la profondità e lo spessore degli acquiferi tendono a crescere progressivamente dal settore settentrionale della pianura al settore meridionale.

Il Gruppo Acquifero A è sempre risultato presente nelle rilevazioni compiute, salvo alcune limitate aree del settore più settentrionale del territorio considerato. Non supera mai i 60 m di spessore ed in alcune zone dell'area più settentrionale non è presente. È da sottolineare l'assenza del gruppo acquifero A nella zona di Arcene, caratterizzata da spessi banchi argillosi a bassissima conducibilità idraulica. Il Gruppo Acquifero B non è sempre stato rilevato, in quanto non sempre i pozzi raggiungono profondità sufficienti e non supera mai i 110 m di spessore. In alcune zone dell'area settentrionale l'acquifero è superficiale, così come nella zona di Arcene, dove non è presente l'acquifero A. Il Gruppo Acquifero C non è quasi mai stato rilevato, a causa dell'assenza di pozzi che raggiungono profondità elevate, ma è stato ricostruito grazie a dati bibliografici.

3.1.1 AREA DI PIANURA DELLA PROVINCIA BERGAMASCA

Inizialmente è stata svolta una dettagliata raccolta di tutte le informazioni relative ai pozzi per acqua esistenti nella pianura Bergamasca, concentrandosi principalmente sui pozzi georeferenziati e con stratigrafia. Utilizzando come discriminanti la profondità della perforazione, la presenza dei dati considerati più attendibili e la leggibilità dei formati cartacei sono state tracciate 3 sezioni idrostratigrafiche orientate N-S e 3 orientate W-E, utilizzando un numero di stratigrafie pari a circa 52. In figura 2 sono visibili le tracce delle sezioni ricostruite (1 ÷ 6) e i pozzi presenti nell'area.

All'interno di ogni singola sezione ricostruita, sulla base dei caratteri litologici, sono state individuate le superfici basali dei gruppi acquiferi A, B e se possibile C (linee continue in Fig. 3). L'acquifero C infatti, tra i tre gruppi, è il più profondo e perciò di più difficile identificazione a causa della scarsità di pozzi molto profondi.

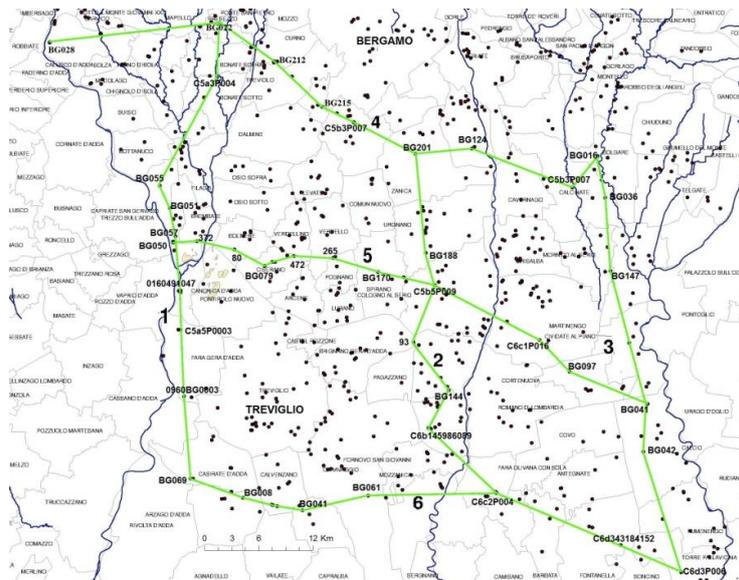


Figura 2:Tracce sezioni e pozzi dell'area.

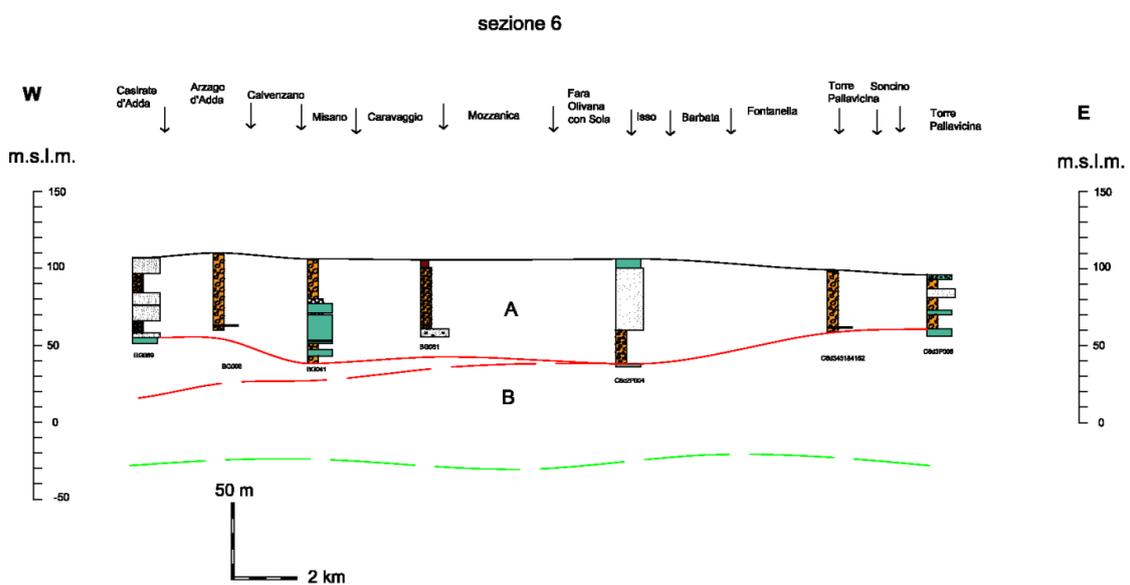
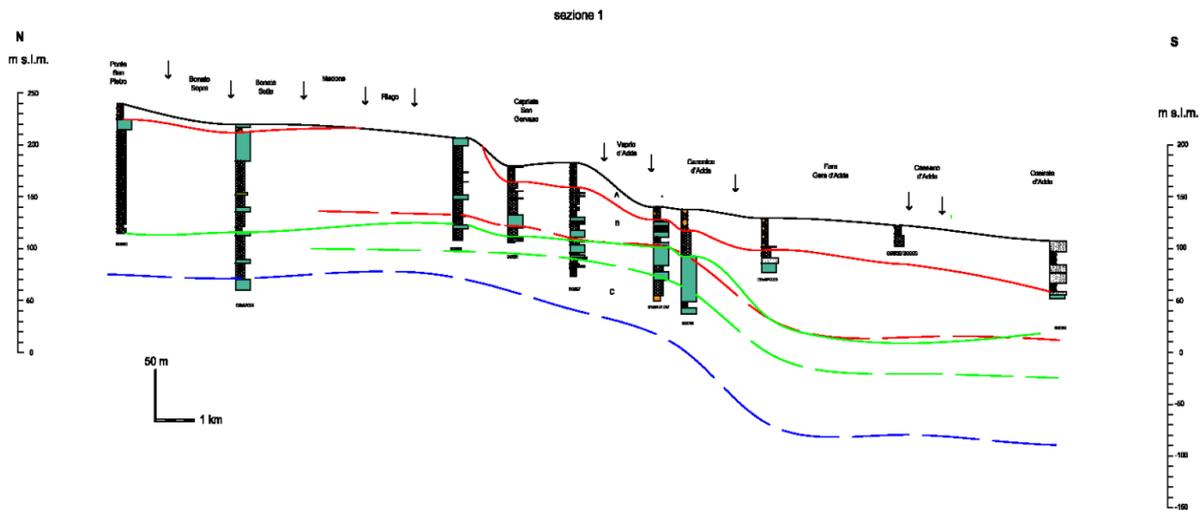
La suddivisione delle litologie è avvenuta su base idrogeologica anche tenendo conto di un criterio generale per le differenti caratteristiche di conducibilità idraulica. Sono state individuate le seguenti classi litologiche:

- Ghiaie (permeabilità molto elevata)
- Sabbie medio - grossolane (permeabilità elevata);
- Conglomerati (permeabilità medio alta);
- Arenarie (permeabilità medio alta);
- Sabbia fine e Limi (permeabilità media);
- Argille (permeabilità molto ridotta o impermeabili).

Nelle sezioni ricostruite (in Fig. 3 sono visibili solo due esempi) sono stati riportati in tratteggio anche i valori delle superfici basali ottenuti dell'elaborato "Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia" prodotto dalla Regione Lombardia in collaborazione con Eni-Divisione Agip (2002), in modo da percepire in modo efficace le differenze dei due elaborati.

Occorre sottolineare che le ricostruzioni dell'andamento del limite inferiore delle superfici basali degli acquiferi ottenuti in questo elaborato si differenziano, anche di molto, dai dati forniti dal lavoro redatto della Regione Lombardia. In alcune sezioni, come si può notare dalla sezione 1 in figura 3, la base dell'acquifero B ottenuta (linea verde continua), coinciderebbe con la base dell'acquifero A del lavoro Eni- Regione Lombardia (linea rossa tratteggiata).

Lo spessore dei tre acquiferi varia nello spazio, in particolare, analizzando le sezioni orientate N-S (p.e. sezione 1 in Fig. 3) si può notare lo scarso spessore o la totale assenza del gruppo acquifero A nell'area settentrionale, ed un progressivo aumento di spessore di tutti gli acquiferi procedendo verso sud. Analizzando invece le sezioni orientate E-W (p.e. sezione 6 in Fig. 3), si può osservare che gli acquiferi mantengono uno spessore piuttosto costante.



Legenda

- Superficie basale Acquifero A
- Superficie basale Acquifero B
- Superficie basale Acquifero A nello studio "Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia" - Eni&Regione Lombardia
- Superficie basale Acquifero B nello studio "Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia" - Eni&Regione Lombardia
- Superficie basale Acquifero C nello studio "Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia" - Eni&Regione Lombardia

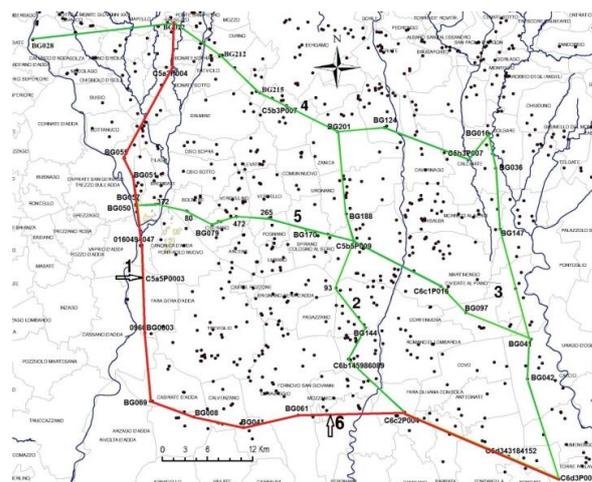


Figura 3: Due esempi di sezioni ricostruite. La sezione 1 è orientata N-S, mentre la sezione 6 W-E. Le linee rosse rappresentano a superficie basale dell'acquifero A, le linee verdi quelle dell'acquifero B e quelle blu dell'acquifero C.

3.1.2 AREA DI DETTAGLIO (AREA ZINGONIA)

Si sono poi ricostruite altre otto sezioni idrostratigrafiche di una zona di maggior dettaglio (area di Zingonia), quattro orientate Nord-Sud e quattro Est-West. In figura 4 sono visibili le tracce delle sezioni ricostruite e i pozzi presenti nell'area.

Anche in questo caso, sulla base dei caratteri litologici, sono state individuate le superfici basali dei gruppi acquiferi A, B e C, e qualora i dati litologici a disposizione fossero risultati insufficienti o del tutto mancanti, sono state utilizzate le basi degli acquiferi fornite dal lavoro "Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia" (rappresentate col tratteggio in Fig. 5).

Si può notare in particolare, nella sezione H orientata N-S (Fig. 5.c), che in una parte del comune di Arcene non è presente l'acquifero A, ma affiora sulla superficie topografica uno spesso banco di argille limose attribuite al Pleistocene medio. Gran parte del comune è infatti caratterizzata da aree a bassa conducibilità idraulica, tipiche dell'acquifero B e non dell'acquifero superficiale A.

Per verificare l'esattezza e la veridicità di questa ricostruzione, come si vedrà in seguito, si è eseguito un confronto delle carte tematiche di profondità delle superfici basali degli acquiferi ricostruiti e la carta dell'andamento della superficie piezometrica con la carta geologica dell'area.

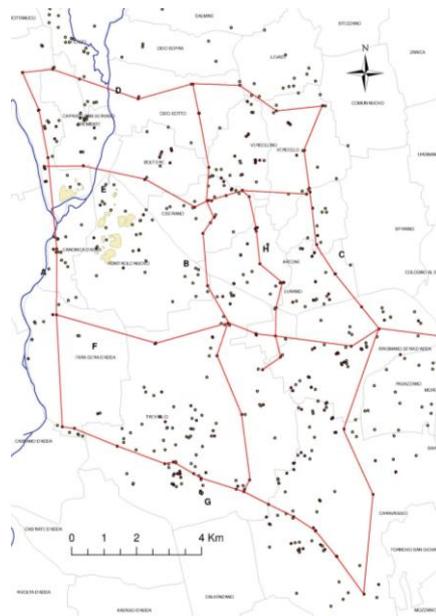
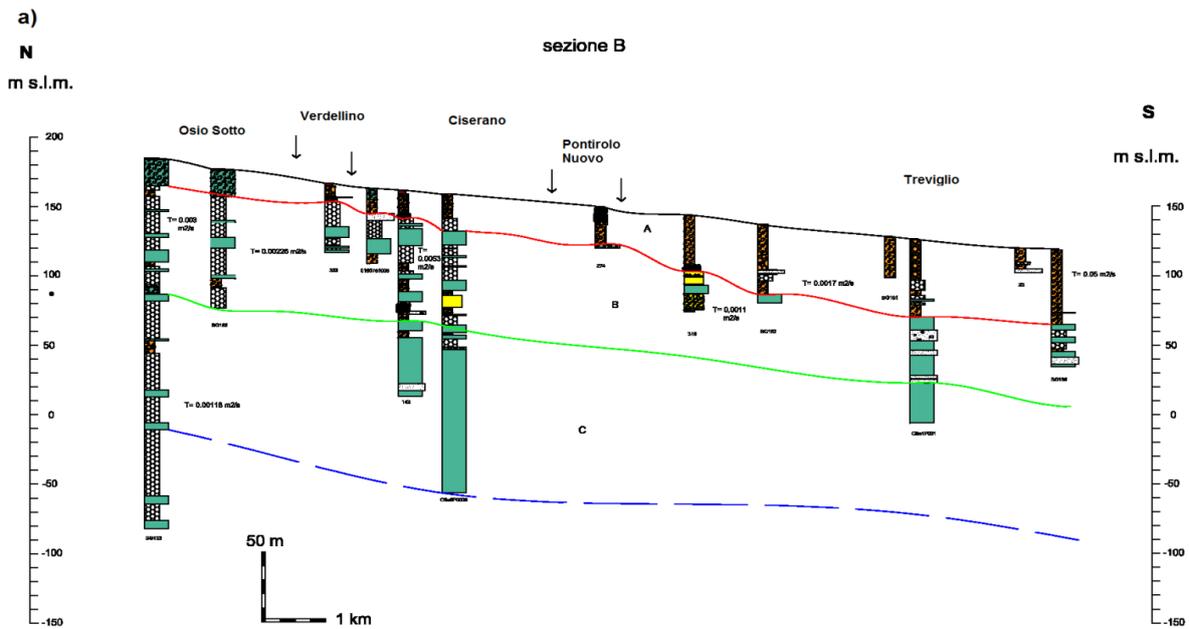
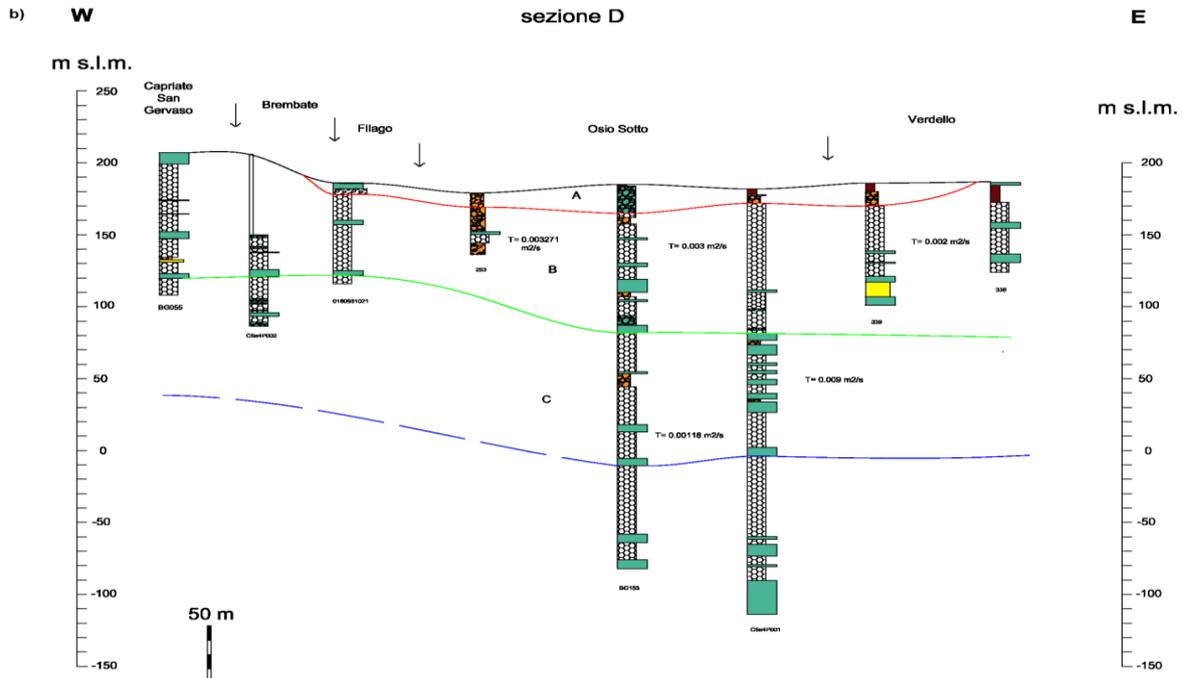


Figura 4: Tracce sezioni e pozzi dell'area Zingonia.



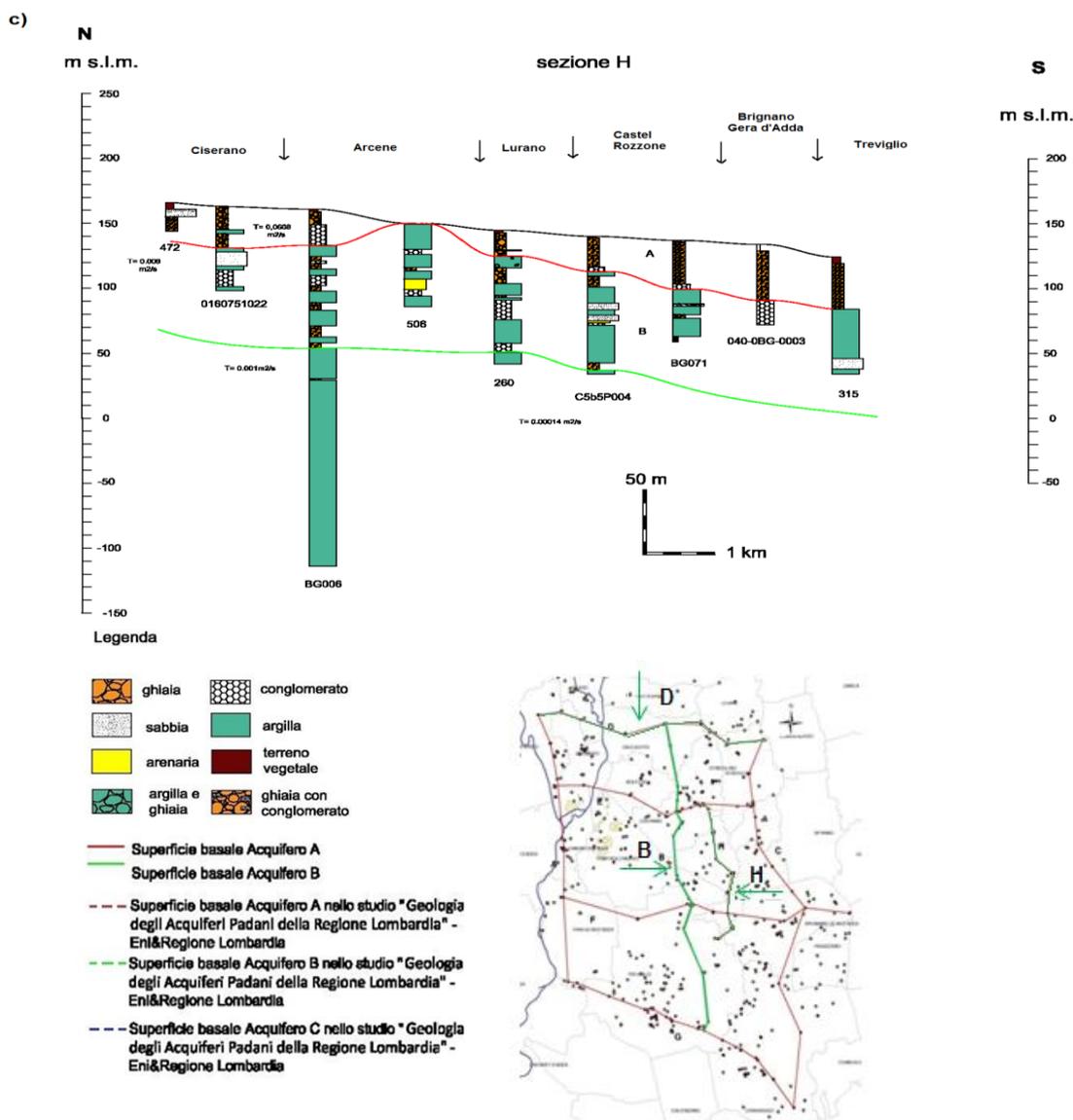


Figura 5: Tre esempi di sezioni ricostruite. Le sezioni B e H sono orientate N-S, mentre la sezione D W-E. Le linee rosse rappresentano la superficie basale dell'acquifero A, le linee verdi quelle dell'acquifero B e quelle blu dell'acquifero C.

3.2 CARTE TEMATICHE PROFONDITÀ DELLE SUPERFICI BASALI DEGLI ACQUIFERI

Per ogni singolo Gruppo Acquifero (A, B e C) è stata realizzata una carta tematica relativa alla profondità della superficie basale (Fig. 6), realizzata mediante il software Surfer9® - Golden Software, Inc. In queste carte la profondità del livello basale degli acquiferi è riferita al livello del mare, e dunque espressa in m s.l.m.

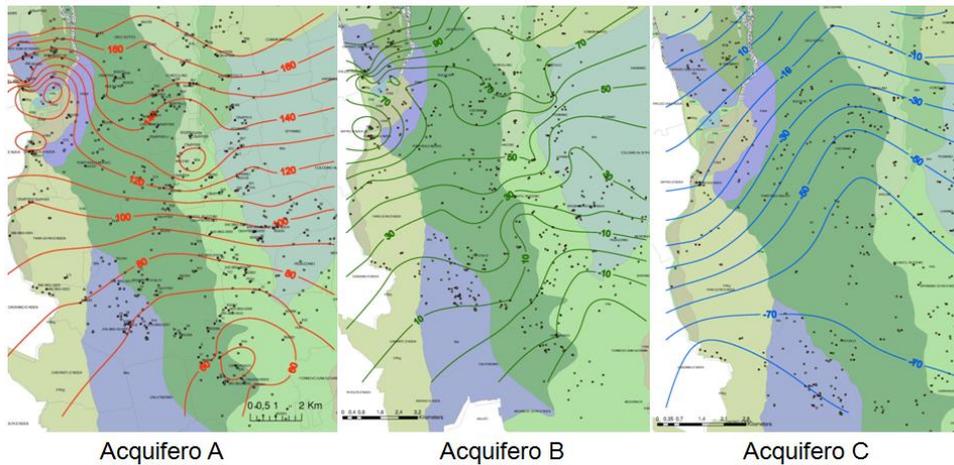


Figura 6: Carte tematiche della profondità delle superfici basali dei tre gruppi acquiferi

In particolare la superficie basale del Gruppo Acquifero A nell'area indagata, attribuita al Pleistocene Superiore – Medio, si trova tra 50 m s.l.m. a sud e 170 m s.l.m. circa a nord; quindi spostandosi da Nord verso Sud la base dell'acquifero si trova via via a profondità maggiori rispetto alla superficie topografica, come è visibile in Figura 7. In alcune zone, nell'area settentrionale e nel Comune di Arcene, la base dell'acquifero A non è presente poiché affiora in superficie il gruppo acquifero B.

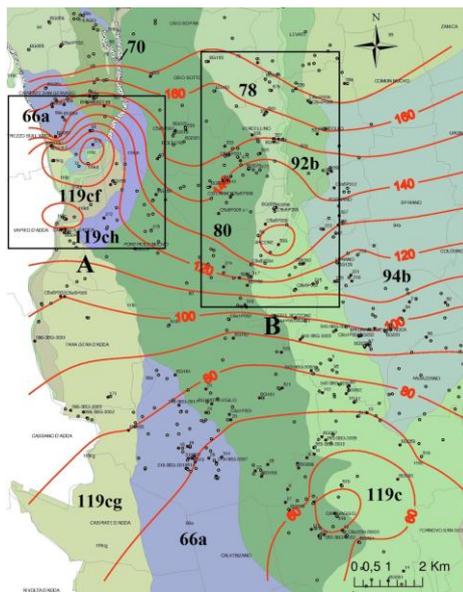


Figura 7: Ricostruzione bidimensionale della superficie basale del gruppo acquifero A, in m.s.l.m., sovrapposta alla carta geologica.

Considerando, inoltre, le informazioni fornite della carta geologica si può notare come l'andamento della superficie basale dell'acquifero A può essere spiegato in modo esauriente. La superficie basale ha un andamento piuttosto regolare da nord a sud, con eccezione di due zone nell'area settentrionale segnalate come A e B in Figura 7.

Nella zona A la superficie basale dell'acquifero A si trova a profondità maggiori rispetto alle zone circostanti a causa del passaggio del fiume Brembo.

In quest'area sono presenti: 1) Unità post-glaciali (119) del Pleistocene superiore – Olocene, costituite da depositi di versante, di conoide, alluvionali, lacustri, palustri, di torbiera e depositi glaciali; 2) Ceppo del Brembo (70) del Pliocene superiore (?) - Pleistocene inferiore, costituito da conglomerati di depositi alluvionali con forte cementazione; 3) Unità di Cantù (66) del Pleistocene superiore, costituita da depositi fluvio-glaciali e depositi glaciali.

Nella zona B affiora in superficie l'unità di Brembate (78) - Pleistocene medio. Essa è costituita da depositi fluvio-glaciali e alluvionali costituiti da ghiaie a prevalente supporto clastico, con matrice limoso-argillosa. La presenza di questa unità a bassa conducibilità idraulica giustifica la profondità minore in cui si trova la superficie basale dell'acquifero A rispetto alle zone circostanti, il suo scarso spessore o l'assenza dell'acquifero stesso nell'area di Arcene.

3.3 ANDAMENTO DELLA SUPERFICIE PIEZOMETRICA DEGLI ACQUIFERI

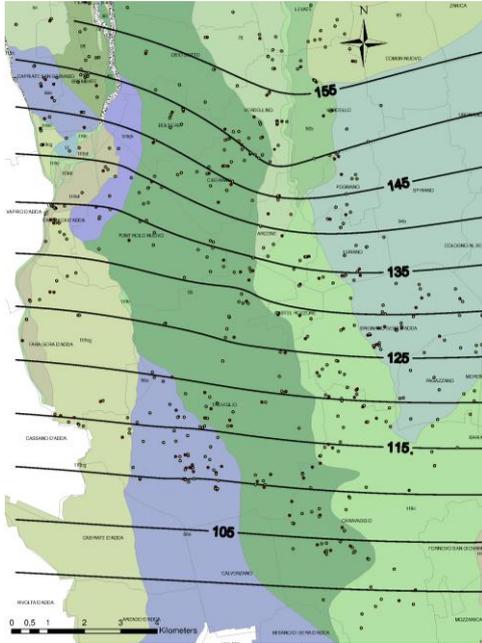


Figura 8 Superfici piezometriche, in m s.l.m., relative all'area di studio del periodo agosto-dicembre 2011

E' stato riprodotto l'andamento della tavola d'acqua nell'anno 2011, in un arco temporale compreso tra agosto e dicembre; il livello di falda è espresso in metri sul livello medio del mare e come metodo di interpolazione per la distribuzione spaziale dei valori si è usato il *kriging*. La superficie piezometrica risultante è stata riportata in Figura 8; in essa sono indicate le isopieze con equidistanza di 5 m e la geologia dell'area. Il flusso della falda è tendenzialmente Nord-Sud, i livelli piezometrici variano tra circa 105 m s.l.m. a Sud-Est e circa 155-160 m s.l.m. a Nord. La soggiacenza tende a diminuire progressivamente man mano che si passa dall'alta alla bassa pianura. Il gradiente idraulico varia tra lo 0.46% allo 0.66%. Interessante notare la zona di innalzamento della superficie piezometrica esistente nel settore di Arcene, area a bassa conducibilità idraulica (come rilevato nella sezione H). Quest'area costituisce, quindi, uno spartiacque sotterraneo causato dall'"alto" di Arcene.

4 CONTAMINAZIONE AREA DI STUDIO

La Regione Lombardia conta 789 siti contaminati, dove sono in corso le attività di bonifica per il risanamento ambientale (di cui 57 nella provincia di Bergamo), e 1396 i siti bonificati. La pianura lombarda è infatti caratterizzata da una forte urbanizzazione, industrializzazione e da un'agricoltura intensiva e presenta, con una certa frequenza, valori di contaminazione elevati, sia per quanto riguarda i suoli che le acque sotterranee.

Focalizzando l'attenzione sul caso di studio, le modalità di immissione di sostanze inquinanti sono state diversificate nel tempo e i cinque comuni maggiormente coinvolti dal problema sono quelli di Ciserano, Arcene, Verdellino, Castel Rozzone e Treviglio, in cui sono stati rilevati, oltre al Cromo e Cromo VI, anche tricloroetilene, tetracloroetilene e tricloroetano (cloroformio) in concentrazione superiore alla concentrazione limite ammissibile prescritta dal D.Lgs. 152/06.

4.1 CROMO TOTALE

Le risultanze complessive hanno evidenziato, nel quadrimestre Gennaio ÷ Aprile 2013, i valori massimi di concentrazione di Cromo totale nelle acque di falda (dell'ordine di alcune centinaia e migliaia di $\mu\text{g/l}$) prelevate in corrispondenza dei pozzi situati nei comuni di Arcene, Verdellino e Ciserano e in minor misura nella zona a nord del comune di Treviglio; come visibile in figura 9. Le concentrazioni misurate variano da un valore minimo di 5 $\mu\text{g/l}$, ad un massimo di oltre due ordini di grandezza superiore alle CSC (piezometro Pz5, concentrazione rilevata: 2231 $\mu\text{g/l}$, CSC= 50 $\mu\text{g/l}$). Studiando l'andamento nel tempo della

concentrazione, si evidenzia una progressiva diminuzione da febbraio 2011 a maggio 2012, un forte aumento tra giugno e settembre 2012 e di nuovo un trend migliorativo a partire da ottobre 2012 (Fig. 9).

4.2 CROMO VI

Le risultanze complessive hanno evidenziato, nel quadrimestre Gennaio ÷ Aprile 2013, i valori massimi di concentrazione di Cromo esavalente nelle acque di falda (dell'ordine di alcune centinaia e migliaia di $\mu\text{g/l}$) prelevate in corrispondenza dei pozzi situati nei comuni di Arcene e Verdellino e in minor misura nei comuni di Ciserano, Castel Rozzone e nella zona a nord del comune di Treviglio; come visibile in figura 10. Le concentrazioni misurate variano da un valore minimo di $<5 \mu\text{g/l}$, ad un massimo di oltre tre ordini di grandezza superiore alle CSC (piezometro Pz5, concentrazione rilevata: $1502 \mu\text{g/l}$, $\text{CSC} = 5 \mu\text{g/l}$). Studiando l'andamento nel tempo della concentrazione, si evidenzia un trend di concentrazione sopra i limiti di legge piuttosto costante nel tempo . Si riscontra un discreto aumento di concentrazione a partire da giugno 2012 e una successiva diminuzione da gennaio 2013 (Fig. 10). Il Cr_{VI} tende a delineare una sorta di pennacchio più evidente di quanto si veda per il Cr_{tot} , a conferma del fatto che sia il componente a maggiore mobilità in acqua.

4.3 TRICLOROMETANO

Le risultanze complessive, nei mesi di Ottobre 2012 ÷ Febbraio 2013, hanno evidenziato i valori massimi di concentrazione di Triclorometano nelle acque di falda (dell'ordine di alcuni $\mu\text{g/l}$) prelevate in corrispondenza dei pozzi situati nei comuni di Treviglio e Caravaggio, nei comuni limitrofi le concentrazioni di CFC risultano sempre inferiori ai limiti di legge; come visibile in figura 11. Le concentrazioni misurate variano da un valore minimo di $<0.1 \mu\text{g/l}$, ad un massimo di $2.2 \mu\text{g/l}$ nel piezometro MWB18 nel comune di Treviglio.

Studiando l'andamento nel tempo della concentrazione, si evidenzia un trend piuttosto diversificato nel tempo. Da Novembre 2010 a giugno 2011 quasi tutti i pozzi registrano valori di tricloroetano superiori ai limiti di legge ($\text{CSC} = 0.15 \mu\text{g/l}$), ma mai superiori a $0.9 \mu\text{g/l}$. Si verifica un forte aumento delle concentrazioni a partire da Luglio 2011 e una nuova diluizione, progressiva nel tempo, a partire da Novembre 2011 (Fig. 11).

4.4 TRICLOROETILENE

Le risultanze complessive, nell'arco temporale Ottobre 2012 ÷ Febbraio 2013, hanno evidenziato il valore massimo di concentrazione di Tricloroetilene nelle acque di falda in corrispondenza di un unico pozzo situato nel comune di Treviglio, mentre nei comuni limitrofi le concentrazioni di TCE risultano sempre inferiori ai limiti di legge; come visibile in figura 12. Le concentrazioni misurate variano da un valore minimo di $<0.1 \mu\text{g/l}$, ad un massimo di $1.5 \mu\text{g/l}$ nel piezometro P5 presso il comune di Treviglio.

Studiando l'andamento nel tempo della concentrazione, si evidenzia che i superamenti dei limiti di legge ($\text{CSC} = 1.5 \mu\text{g/l}$) si riscontrano esclusivamente nel comune di Treviglio (Fig. 12). Si evidenzia un progressivo trend migliorativo a partire da ottobre 2010 sino a non avere nessun superamento del valore limite da ottobre 2012.

4.5 TETRACLOROETILENE

Le risultanze complessive, nel quadrimestre Novembre 2012 ÷ Febbraio 2013, hanno evidenziato i valori massimi di concentrazione di Tetracloroetilene nelle acque di falda (dell'ordine di alcune decina di $\mu\text{g/l}$) prelevate in corrispondenza dei pozzi situati ne comuni di Treviglio e Caravaggio, mentre nei comuni limitrofi le concentrazioni di TCE risultano sempre inferiori ai limiti di legge; come visibile in figura 13. Le concentrazioni misurate variano da un valore minimo di $0.1 \mu\text{g/l}$, ad un massimo di $19.5 \mu\text{g/l}$ nel piezometro "RGF piezometro 1" nel comune di Caravaggio.

Studiando l'andamento nel tempo della concentrazione, si evidenzia un progressivo aumento di concentrazione fino a Giugno 2011, un trend migliorativo costante nel tempo sino a febbraio 2013 (Fig. 13).

Il problema della contaminazione da solventi clorurati è aggravato sia dalla tossicità e cancerogenicità che caratterizzano la maggior parte di tali idrocarburi, sia dalle loro proprietà chimico-fisiche: spesso sono più densi dell'acqua, caratteristica che comporta una stratificazione nelle zone più profonde degli acquiferi, quando presenti come fase libera. Inoltre, i solventi clorurati sono particolarmente solubili e scarsamente adsorbiti dai diversi tipi di suolo, quindi possono generare pennacchi di contaminazione che si spostano in falda con particolare rapidità. Poiché, nell'area indagata, le concentrazioni di tali contaminati non superano mai i $57 \mu\text{g/l}$ e che le potenziali fonti di pericolo sono oramai sotto controllo, si può ipotizzare che non si sia avuta la formazione di fase libera e che questi contaminanti si trovino esclusivamente in fase

disciolta e solubilizzata in falda. Si può quindi ragionevolmente escludere che l'area a bassa permeabilità di Arcene possa avere portato alla formazione di accumuli di DNAPL nell'area con relative conseguenze di azione come fonte secondaria sugli acquiferi sottostanti o di parziale propagazione secondo la direzione contraria al flusso della falda. Infine non è stato possibile determinare con precisione la distribuzione dei contaminanti nel sottosuolo e confermare con precisione l'andamento delle strutture idrogeologiche definite. Sarebbe necessaria la realizzazione di una serie di pozzi di monitoraggio nei comuni di Verdello, Pognano, Lurano, Castel Rozzone e Brignano Gera d'Adda, come mostrato in figura 14.

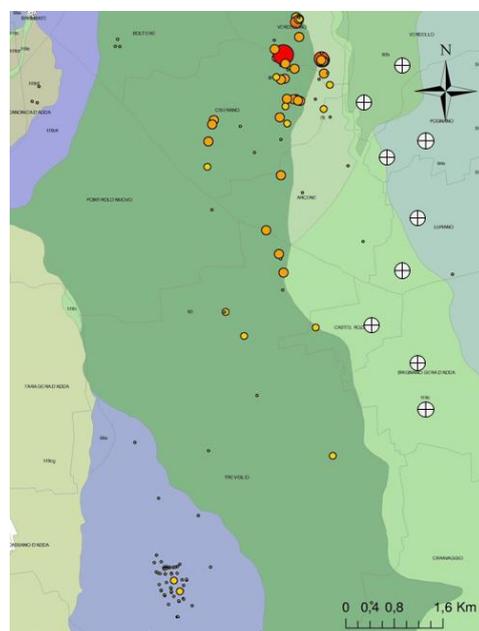


Figura14: Carta con l'ubicazione di possibili pozzi di monitoraggio da realizzare nell'area

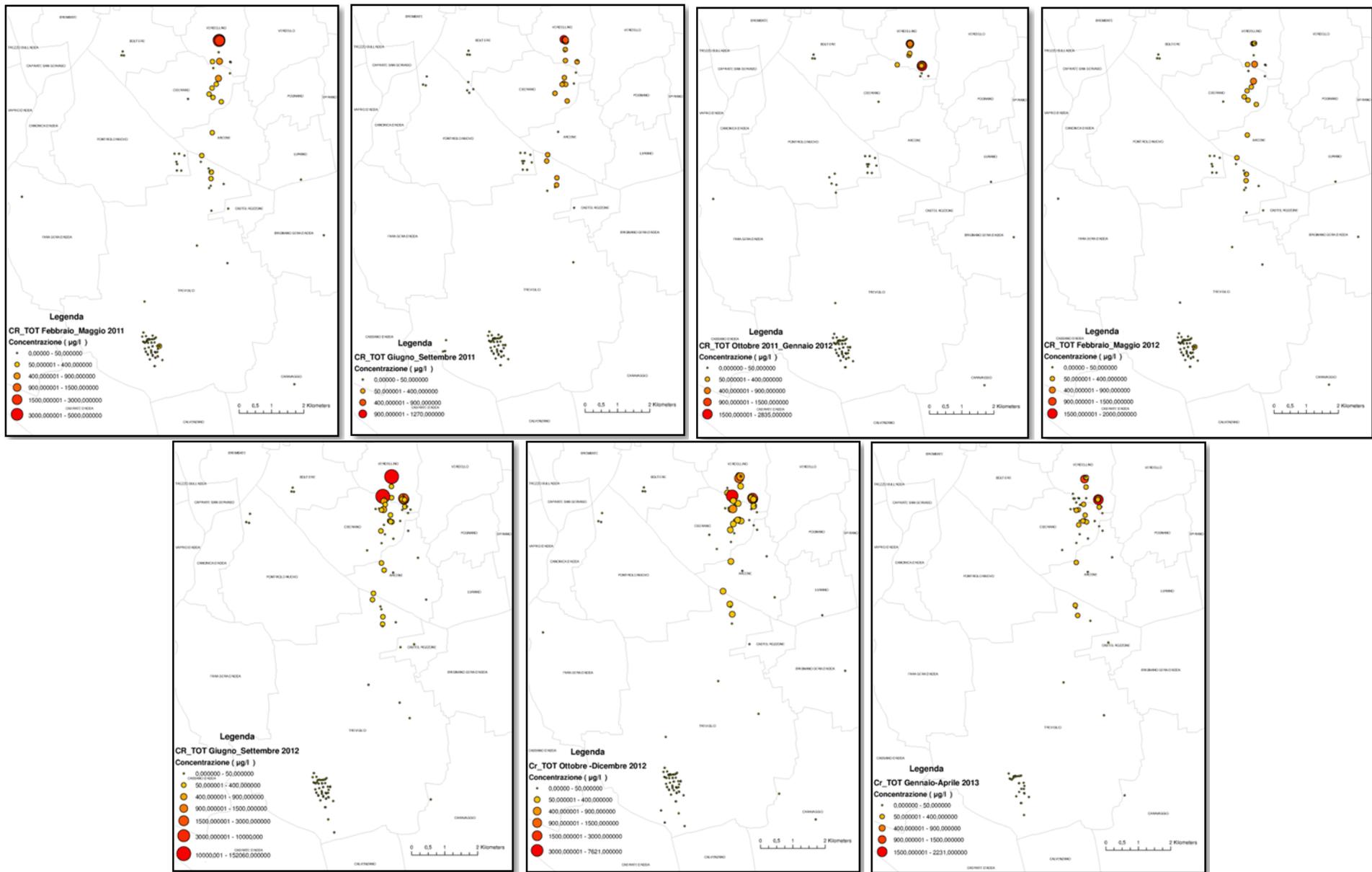


Figura 9: Evoluzione nel tempo cromo totale (CSC= 50 µg/l)

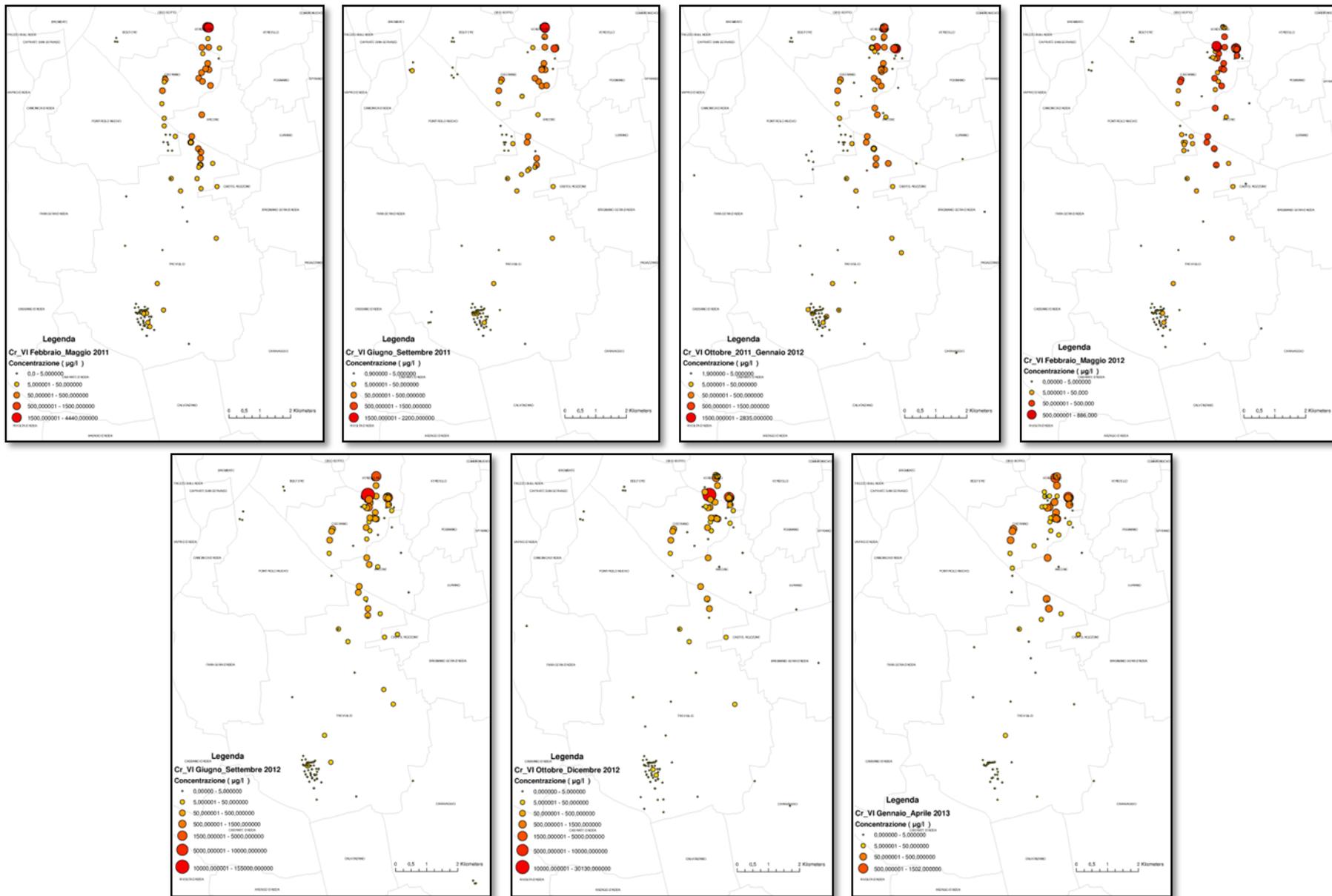


Figura 10: Evoluzione nel tempo cromo VI (CSC = 5 µg/l).

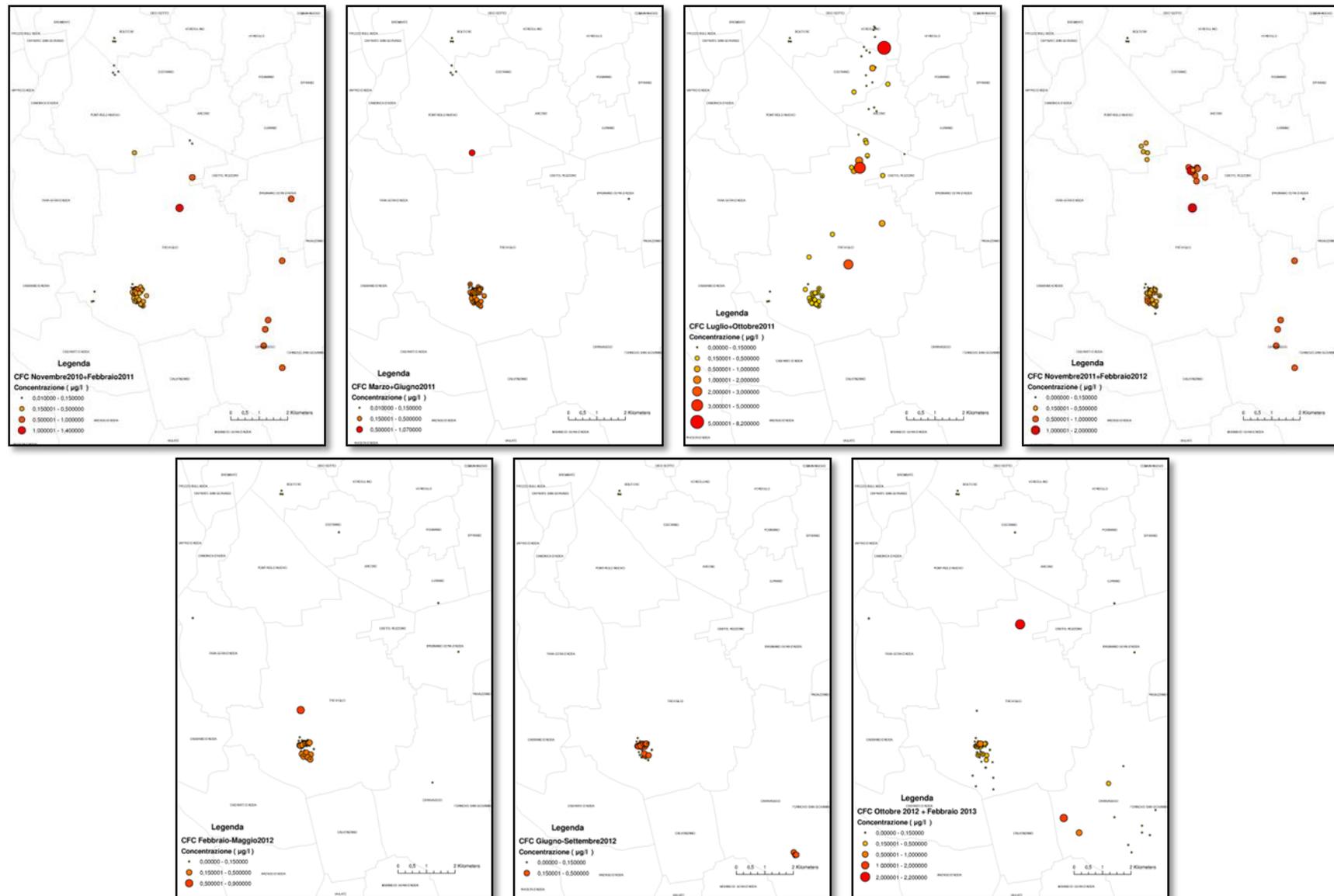


Figura 11: Evoluzione nel tempo Triclorometano (CSC= 0.15 µg/l).

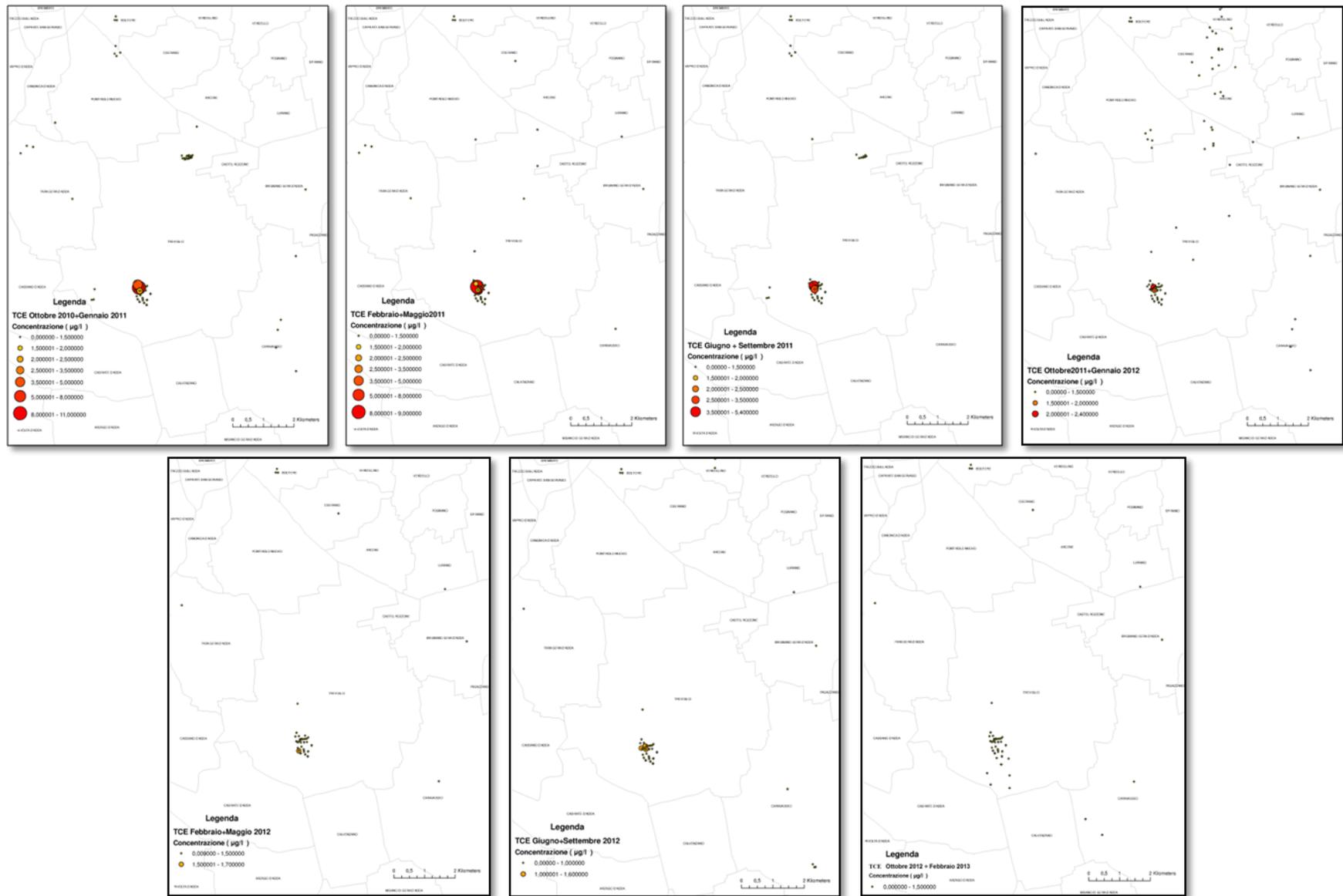


Figura 12: Evoluzione nel tempo Tricloroetilene (CSC = 1.5 µg/l).

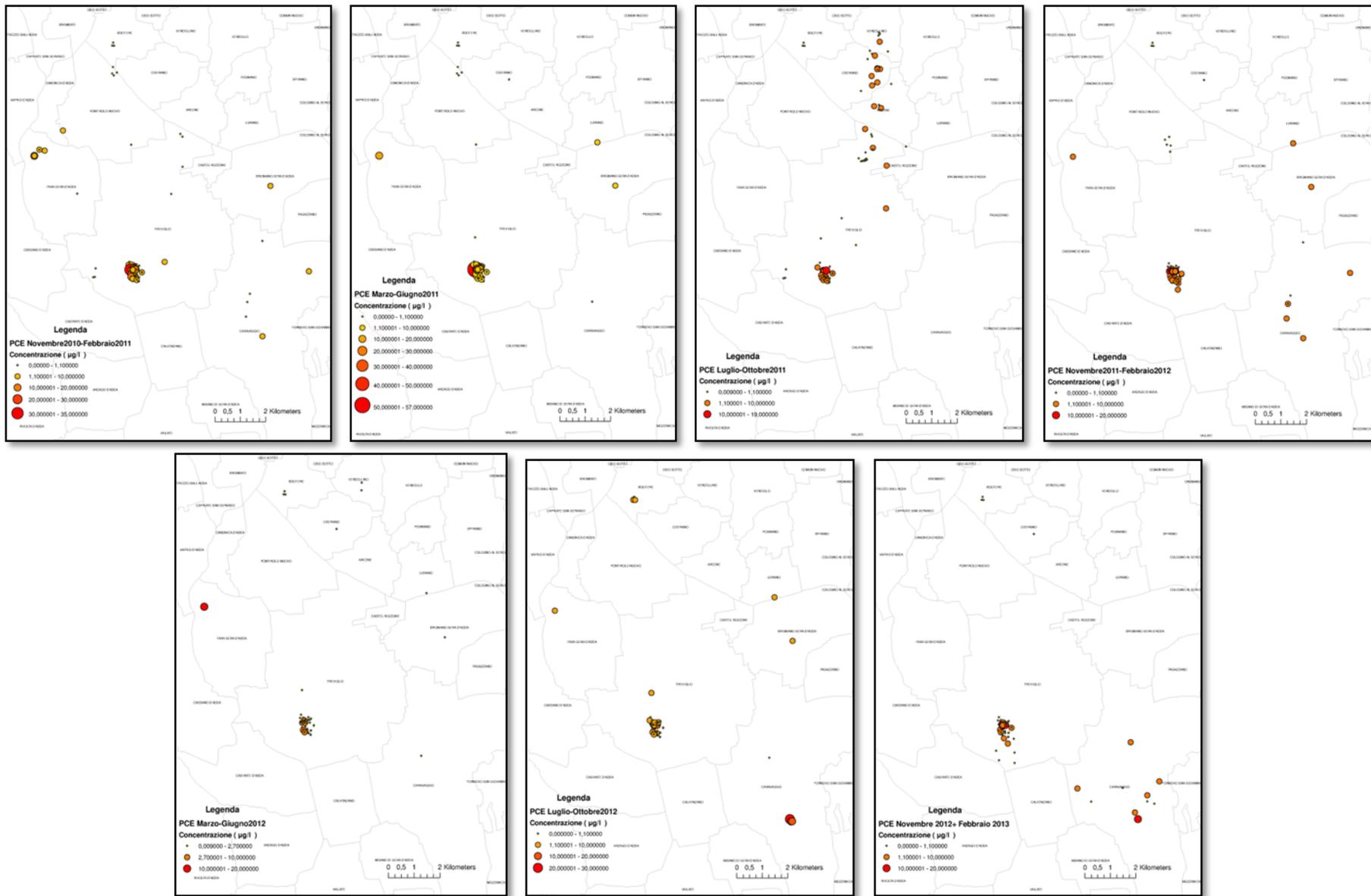


Figura 13: Evoluzione nel tempo Tetracloroetilene (CSC = 1.1 µg/l).

5 BIBLIOGRAFIA

COMUNE DI CISERANO (BG) & REGIONE LOMBARDIA (2011) – Progetto appaltabile di messa in sicurezza delle acque di falda contaminate da cromo VI mediante pompa di pompaggio e scarico in corpo idrico superficiale – revisione 1.

COMUNE DI TREVIGLIO (2010) – Modello di trasporto del nuovo plume di cromo esavalente in falda.

COMUNE DI TREVIGLIO (2010) - Progetto di messa in sicurezza d'emergenza/operativa della falda, area industriale ICIB Spa.

DAMES & MOORE, A DAMES & MOORE GROUP COMPANY (2000) - Progetto preliminare di messa in sicurezza della falda, preparato per Farchemia S.r.l.

DENTI E., FRANCANI V., FUMAGALLI L., PEZZERA G., SALA P. (1988) - Studi idrogeologici sulla Pianura Padana - Studio idrogeologico del foglio Vimercate, Milano.

MILETTA S., BERETTA G. P. (2002) - Nuovi dati di sottosuolo nell'alta pianura Padana tra i fiumi Adda ed Oglio. Tesi di Laurea, Milano. Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze della Terra.

POMICINO N., BINI A., VIOLANTI D., RIVA R., ZUCCOLI L. (2001) - Geologia di sottosuolo della Pianura Bergamasca compresa tra i fiumi Serio e Brembo.

REGIONE LOMBARDIA & ENI (2002) - Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia. A cura di Piccin A. & Carcano C., S.EL.CA., Firenze.