Studio d'Impatto Ambientale

Per il rinnovo concessione di grande derivazione del Campo pozzi per uso idropotabile di Caperana – Chiavari



Allegato b
Modellazione Idrogeologica del Fiume Entella, con particolare riferimento al campo pozzi di Caperana - Chiavari

REDATTO DA	Dott. Geol. Federico Pittaluga		EMISSIONE	Finale
			REVISIONE	0
			n° di pagine	48
Data di emissione	Luglio 2014			

Sommario

Introduzione 4
Contesto geologico ed idrogeologico generale di riferimento e modello concettuale del sito 7
Modello concettuale del contesto geologico del settore campo pozzi Caperana 11
Il codice di calcolo 16
Caratteristiche del modello e condizioni al contorno 16
Parametri idraulici dell'acquifero e taratura 19
Le condizioni di sfruttamento dell'acquifero 21
Risultati della modellazione: le isocrone relative al campo pozzi di Caperana 23
Isocrone dei 60 giorni del campo pozzi di Caperana 24
Isocrone dei 75 giorni del campo pozzi di Caperana 25
Isocrone dei 100 giorni del campo pozzi di Caperana 26
Isocrone dei 180 giorni del campo pozzi di Caperana 27
Isocrone dei 365 giorni del campo pozzi di Caperana 28
Considerazioni sulle isocrone e relativa zona di cattura 29
Considerazioni in merito all'ingressione del cuneo salino 33
Condizioni 5 m sotto il livello medio marino -Situazione al termine del periodo estivo- 35
Condizioni 5 m sotto il livello medio marino -Situazione a fine anno- 36
Condizioni 15 m sotto il livello medio marino -Situazione al termine del periodo estivo- 37
Condizioni 15 m sotto il livello medio marino -Situazione a fine anno- 38
Condizioni 45 m sotto il livello medio marino -Situazione al termine del periodo estivo- 39
Condizioni 45 m sotto il livello medio marino -Situazione a fine anno- 40
L'ingressione del cuneo salino verso campo pozzi Kasman 41
Conclusioni 46
Bibliografia 48

Indice delle figure

Figura 1. Vista del settore indagato (Fonte Google Maps), evidenziata in tratteggio la traccia di una sezione longitudinale lungo il corso d'acqua (cfr. la seguente Figura 3), il cerchio con la freccia illustra la posizione indicativa del campo pozzi di Caperana. 6
Figura 2. Vista di un modello tridimensionale del corpo acquifero propedeutico all'allestimento del modello di flusso in esame (studio in via di approfondimento), i pallini blu rappresentano in pozzi dati in concessione, la linea azzurra tratteggiata è la linea di costa, la linea azzurra continua rappresenta i limiti dei depositi alluvionali (colore beige chiaro, in marrone il substrato roccioso)... 8
Figura 3. Sezione longitudinale dalla zona di foce al settore di Carasco (scala orizzontale 1:4000, esagerazione verticale pari a 10), interpretativa del deflusso di falda e del substrato roccioso, indicata con un'ovale la tratta di interesse (cfr. la Figura 4).....
Figura 4. Campo pozzi di Caperana (fonte Regione Liguria) ed indagini esistenti, i pallini blu indicano i pozzi, i pallini marroni i sondaggi disponibili, i pallini gialli i nuovi sondaggi eseguiti per il progetto regionale di monitoraggio del settore, in rosso le stese di tomografia elettrica (fonte 11 in bibliografia).....
Figura 5. Sezioni tomografiche elettriche (posizionamento nella figura precedente) in cui si nota come i depositi sedimentari siano caratterizzati dalla presenza di corpi lenticolari al loro interno. Dal confronto con le stratigrafie disponibili (pozzo 3 e pozzo 5 di Caperana) sembrerebbe che il colore giallo indichi le sabbie, il verde i materiali fini ed il rosso i depositi ghiaiosi (fonte: Geofisica ed Ambiente, indagine geofisica di tipo noise analysis surface waves - nasw - e di tomografia elettrica eseguita nel comune di Lavagna, Zona Caperana, marzo 2014)..... 14
Figura 6. Sezione stratigrafica interpretativa del contesto del campo pozzi di Caperana (scala 2.000, ubicazione della sezione in Figura 4)..... 15
Figura 7. Viste schematiche, in pianta della griglia di riferimento e sezione rappresentativa (con in colore blu i depositi alluvionali ed in rosso il substrato roccioso)..... 17
Figura 8. Condizioni di taratura per quanto riguarda il settore del campo pozzi di Caperana. 19
Figura 9. Isocrone a 60 giorni (linee rosse), in blu le equipotenziali in metri sul livello medio marino (equidistanza 0,5 m). 24
Figura 10. Isocrone a 75 giorni (linee rosse) – tempo minimo di sicurezza per la sopravvivenza di buona parte dei virus più comuni trasportati in acqua-, in blu le equipotenziali in metri sul livello medio marino (equidistanza 0,5 m). 25
Figura 11. Isocrone a 100 giorni (linee rosse) – tempo massimo di sicurezza per la sopravvivenza di buona parte dei virus più comuni trasportati in acqua-, in blu le equipotenziali in metri sul livello medio marino (equidistanza 0,5 m). 26
Figura 12. Isocrone a 180 giorni (linee rosse) - zona di rispetto allargata a 180 giorni -, in blu le equipotenziali in metri sul livello medio marino (equidistanza 0,5 m). 27
Figura 13. Isocrone a 365 giorni (linee rosse) - zona di rispetto allargata a 180 giorni -, in blu le equipotenziali in metri sul livello medio marino (equidistanza 0,5 m). 28
Figura 14. Vista prospettica della falda a partire dal campo pozzi di Caperana, in blu la superficie di falda, in grigio il subsrato roccioso, i pozzi rappresentati con dei cilindri rossi (in giallo il settore con i filtri). 29
Figura 15. Vista da valle verso monte (superficie di taglio verticale con direzione Est – West) delle linee isocrone –colore rosso -ai pozzi di Caperana (parte filtrante in colore giallo, parte non filtrante in colore rosso), la zona blu rappresenta la superficie di falda, in grigio il substrato roccioso. 30
Figura 16. Sezione prospettica indicativamente da valle (sinistra) a monte (destra) con vista prospettica verso Est, fattore di esagerazione verticale 2; si nota la profondità delle linee di flusso di alimentazione del campo pozzi (colore rosso) nei confronti della falda idrica (colore blu), in grigio

il substrato roccioso, i pozzi rappresentati con dei cilindri (parte filtrante in colore giallo, parte non filtrante in colore rosso). 31
Figura 17. Sezione prospettica indicativamente da valle (sinistra) a monte (destra) con vista prospettica verso Est, fattore di esagerazione verticale 2; si nota la profondità delle linee di flusso di alimentazione del campo pozzi (colore rosso) nei confronti della falda idrica (colore blu),), in grigio il substrato roccioso, i pozzi rappresentati con dei cilindri (parte filtrante in colore giallo, parte non filtrante in colore rosso). 31
Figura 18. Piezometria statica anno 1991 (Fonte 9 in bibliografia, modificata, linee isopieze in colore verde per maggiore leggibilità, equidistanza 1 m). 33
Figura 19. Piezometria del settore terminale del Fiume Entella (Genova) secondo i risultati delle modellazioni eseguite (valori delle isofreatiche in metri slm, equidistanza 1 m, colore blu) come ipotizzata essere al termine del periodo estivo, 5 m sotto il livello medio marino; in marrone le linee di isoconcentrazione (valori in mg/l). 35
Figura 20. Piezometria del settore terminale del Fiume Entella (Genova) secondo i risultati delle modellazioni eseguite (valori delle isofreatiche in metri slm, equidistanza 1 m, colore blu) come ipotizzata essere a fine anno, 5 m sotto il livello medio marino; in marrone le linee di isoconcentrazione (valori in mg/l). 36
Figura 21. Piezometria del settore terminale del Fiume Entella (Genova) secondo i risultati delle modellazioni eseguite (valori delle isofreatiche in metri slm, equidistanza 1 m, colore blu) come ipotizzata essere al termine del periodo estivo, 15 m sotto il livello medio marino; in marrone le linee di isoconcentrazione (valori in mg/l). 37
Figura 22. Piezometria del settore terminale del Fiume Entella (Genova) secondo i risultati delle modellazioni eseguite (valori delle isofreatiche in metri slm, equidistanza 1 m, colore blu) come ipotizzata essere a fine anno, 15 m sotto il livello medio marino; in marrone le linee di isoconcentrazione (valori in mg/l). 38
Figura 23. Piezometria del settore terminale del Fiume Entella (Genova) secondo i risultati delle modellazioni eseguite (valori delle isofreatiche in metri slm, equidistanza 1 m, colore blu) come ipotizzata essere al termine del periodo estivo, 45 m sotto il livello medio marino; in marrone le linee di isoconcentrazione (valori in mg/l). 39
Figura 24. Piezometria del settore terminale del Fiume Entella (Genova) secondo i risultati delle modellazioni eseguite (valori delle isofreatiche in metri slm, equidistanza 1 m, colore blu) come ipotizzata essere a fine anno, 45 m sotto il livello medio marino; in marrone le linee di isoconcentrazione (valori in mg/l). 40
Figura 25. Legenda colorazioni di isoconcentrazione per le sezioni seguenti. 42
Figura 26. Vista indicativa su ortofoto della porzione di territorio (ottenuta dall'inviluppo delle linee rosse) sovrastante le linee di flusso di falda (linee rosse) coinvolte nell'alimentazione del campo pozzi di Caperana. 47

Introduzione

Lo studio si prefigge di approfondire le conoscenze delle caratteristiche del deflusso di falda per il settore del campo pozzi di Caperana nel comune di Chiavari, posto in sponda destra del tratto terminale del Fiume Entella a circa 1,7 km dalla foce; a tal proposito si usa un modello di flusso alle differenze finite quale supporto alla richiesta di rinnovo alla concessione di utilizzo del campo pozzi di Caperana, nel comune di Chiavari. Tale campo pozzi si inserisce nel contesto più ampio del acquifero alluvionale del tratto terminate delle valli Lavagna, Sturla e Graveglia, comprendente indicativamente il settore che si estende da Carasco alla linea di costa, per una lunghezza complessiva di circa 8 km a partire dalla foce.

Il modello descritto nel presente rapporto rappresenta un'evoluzione di precedenti modelli allestiti specificatamente per la valutazione delle condizioni di deflusso e di intrusione di acqua marina nel settore di foce del Fiume Entella (cfr. la Fonte 10 in bibliografia); si segnala che le analisi modellistiche di tale settore sono in continua evoluzione via via che si rendono disponibili nuove informazioni utili alla comprensione dei fenomeni in atto.

In tale settore sono infatti presenti numerosi pozzi idropotabili (fonte i dati di concessione della Provincia di Genova elencati nel prosieguo del documento) che, nella tratta prossima alla linea di costa (sino a circa 1,5 km da quest'ultima) rischiano di raggiungere periodicamente condizioni critiche, soprattutto nel periodo estivo, per l'ingressione di acqua salmastra.

La ricostruzione, tramite un modello di flusso e trasporto tridimensionale del settore del campo pozzi di Caperana, è di supporto alla comprensione dei meccanismi di deflusso delle acque sotterranee, sfruttate a scopi potabili ed alla definizione dei settori di alimentazione e relative tempistiche (isocrone) per una migliore tutela delle caratteristiche di qualità. Per ragioni di completezza il modello, come detto in fase di continuo affinamento, è esteso a tutto il corpo alluvionale poroso (indicativamente agli ultimi 8 km di tratto fluviale dell'Entella) ed include anche l'idrostruttura rocciosa che ospita le suddette alluvioni.

Lo studio si avvale delle indagini pregresse, dei dati bibliografici disponibili e dell'utilizzo di un modello di flusso matematico numerico appositamente allestito per la definizione degli scenari conseguenti all'utilizzo delle acque sotterranee. Propedeutico all'allestimento del modello è la modellazione delle caratteristiche del corpo alluvionale indagato (definizione del substrato roccioso e delle principali caratteristiche del corpo sedimentario tramite prove di pompaggio ed indagini geofisiche, oltre alla consultazione dei dati bibliografici disponibili).

In particolare sono stati predisposti diversi modelli matematici numerici con soluzione alle differenze finite (codice di calcolo impiegato Visual Modflow Version: 2011.1 Premium della casa Schlumberger Water Services), tra questi si segnala un modello, tuttora in fase di affinamento che si prefigge di modellare in modalità transitoria con maggiore dettaglio le caratteristiche idrogeologiche del corpo alluvionale (tramite i dati stratigrafici disponibili sulle alluvioni).

Il modello presentato nel rapporto, tra i vari prodotti, è stato selezionato in quanto riproduce in condizioni stazionarie la situazione estiva, caso maggiormente cautelativo in quanto si è in condizioni di assenza di ricarica per il prevalere dell'evapotraspirazione sull'infiltrazione efficace, di minimo apporto da parte dei corsi d'acqua afferenti le alluvioni oggetto di indagine e di massimo prelievo dai campi pozzi; la simulazione del deflusso di falda nel settore di interesse si è basata:

- sulle conoscenze pregresse del settore ed in particolare sui dati bibliografici ricercati e disponibili;
- sugli studi ed indagini appositamente eseguiti in sito;
- sulle informazioni contenute nella cartografia geologico-idrogeologica ufficiale (Piano di Bacino Ambito 16, Fiume Entella –Genova-) e su informazioni sulle derivazioni reperite presso la Provincia di Genova (settori Difesa del Suolo e Derivazioni di Acque);
- sui precedenti studi a riguardo predisposti per Mediterranea delle Acque (in particolare: Studio preliminare delle caratteristiche di flusso della porzione terminale dell'acquifero alluvionale del Torrente Entella, Ver 1.1, Giugno 2010 e Itec Engineering, Genova, Risorse idriche del Tigullio Bilancio Idrologico dell'Entella, Agosto 2010).

Lo studio è incentrato sul rinnovo della concessione di sfruttamento del campo pozzi di Caperana, per cui si sono utilizzate le portate mensili massime estive emunte da tale settore considerando, per maggiore completezza del quadro d'insieme, anche gli effetti dei pozzi limitrofi di cui è nota la concessione a derivare acqua (fonte provincia di Genova). L'analisi modellistica ha il vantaggio di poter valutare (in via preliminare e via via sempre più approfondita mano a mano che si ottengono informazioni a riguardo) anche gli impatti degli adiacenti campi pozzi quali quelli di: Moggia, Marinco e viale Kasman. Per tali pozzi limitrofi si sono usate condizioni cautelative per quanto riguarda gli emungimenti (sfruttamenti massimi concessi). Infine sono stati anche considerati tutti i pozzi a partire da Carasco sino alla foce di cui è stata reperita traccia

Per quanto riguarda le considerazioni sul cuneo salino il rapporto si avvale degli esiti di modelli allestiti nel 2010 e fine 2011.

Nel seguito del rapporto vengono illustrati i risultati ottenuti.

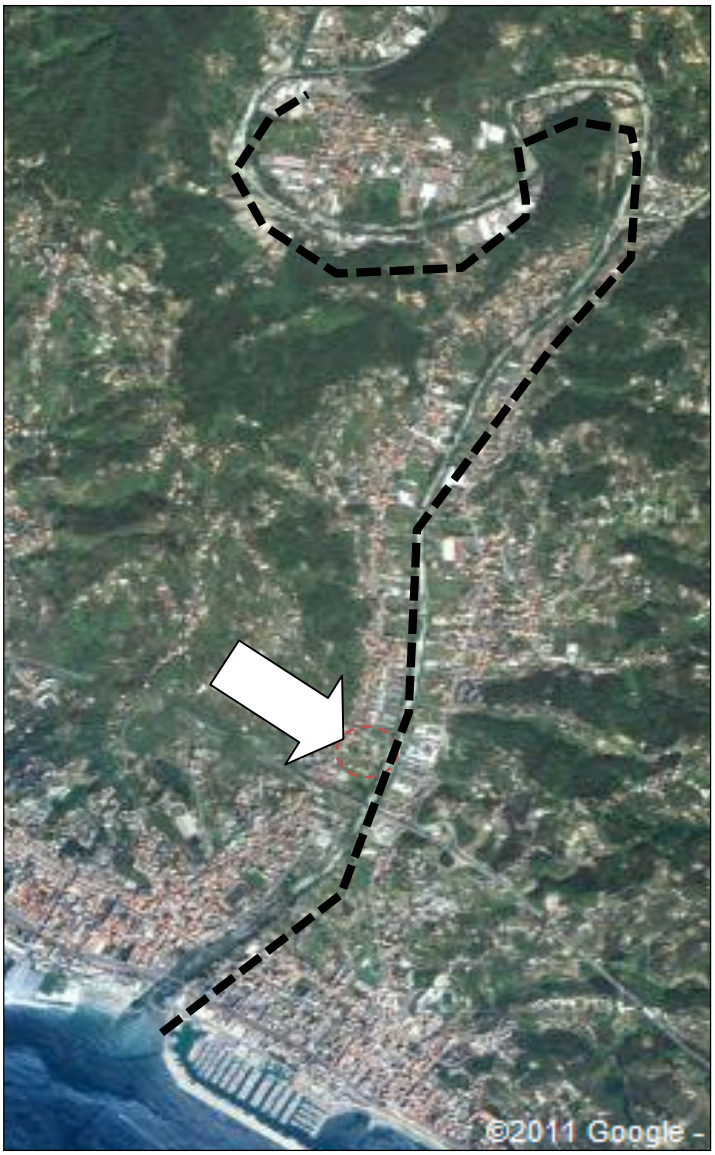


Figura 1. Vista del settore indagato (Fonte Google Maps), evidenziata in tratteggio la traccia di una sezione longitudinale lungo il corso d'acqua (cfr. la seguente **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), il cerchio con la freccia illustra la posizione indicativa del campo pozzi di Caperana.

Contesto geologico ed idrogeologico generale di riferimento e modello concettuale del sito

Il contesto di intervento si colloca in una porzione piuttosto antropizzata in corrispondenza del tratto terminale del Fiume Entella; in particolare il settore di studio parte subito a monte della confluenza tra i torrenti Lavagna e Sturla (zona di Carasco) ed arriva sino alla foce (comuni di Chiavari e Lavagna) per una lunghezza complessiva del tratto fluviale di 8 km circa ed una superficie di circa 5-6 Km2. Segue una descrizione del settore di intervento ricavata principalmente dal piano di bacino di pertinenza e dalle elaborazioni modellistiche effettuate.

Il reticolo idrografico del bacino è sostanzialmente controllato da lineazioni tettoniche a direzione appenninica ed antiappenninica, grosso modo perpendicolari tra di loro, su cui si sono impostati il Torrente Lavagna ed i suoi principali affluenti. Ne consegue che la distribuzione delle grandi valli antiche è legata, almeno in parte, ad importanti direttrici tettoniche.

Significativa caratteristica del corso d'acqua è la presenza di meandri incassati lungo tutto lo sviluppo del fondovalle principale (cfr. il meandro di Carasco). Questo fenomeno si spiega con l'abbassamento del livello erosivo di base del fiume, in seguito al quale i meandri tendono ad incassarsi.

L'Entella, lungo il suo primo tratto (fino alla confluenza del Torrente Graveglia), assume direzione all'incirca Est-Ovest, per poi passare ad una direzione NE-SW che mantiene sino alla foce, compresa fra gli abitati di Chiavari e Lavagna. L'alveo risulta inciso nelle alluvioni di fondo valle con un andamento sostanzialmente rettilineo ed una sezione caratterizzata da una parte centrale più profonda (alveo di magra e di morbida) e da due ampie aree golenali caratterizzate da un elevato grado di urbanizzazione. Nel bacino si riscontrano pendenze modeste, dovute alla vasta pianura alluvionale (ove è riscontrata una diffusa presenza di insediamenti civili ed industriali) ed a versanti di tipo collinare.

Il substrato roccioso nel settore di interesse è costituito prevalentemente da:

- marne della formazione della Val Lavagna;
- argilliti (formazione della Val Lavagna);
- argilliti (argille a palombini della formazione del lago di Giacopiane);
- arenarie (formazione del Gottero, affioramenti limitati).

Da un punto di vista della permeabilità, ad eccezione dei limitati affioramenti delle arenarie della formazione del Gottero che sono permeabili ad un livello medio-basso essenzialmente per fratturazione, il substrato roccioso è costituito da rocce pressoché impermeabili.

Al di sopra del substrato roccioso si trovano in depositi alluvionali attuali, recenti ed antichi che costituiscono un importante acquifero che viene sfruttato per scopi idropotabili ed è oggetto del presente studio.

Preliminarmente al modello di flusso è stato costruito il modello tridimensionale dell'andamento del substrato roccioso (bedrock o contatto roccia-depositi alluvionali).

In particolare le analisi modellistiche del tratto indagato fanno stimare che il corpo acquifero alluvionale (cfr. la seguente Figura 2) potrebbe avere un volume di oltre circa 370 milioni di metri cubi (in tale stima sono comprese anche le alluvioni prospicienti la linea di costa lato mare ed incluse nel modello di calcolo per una tratta di poco meno di 1,5 km).

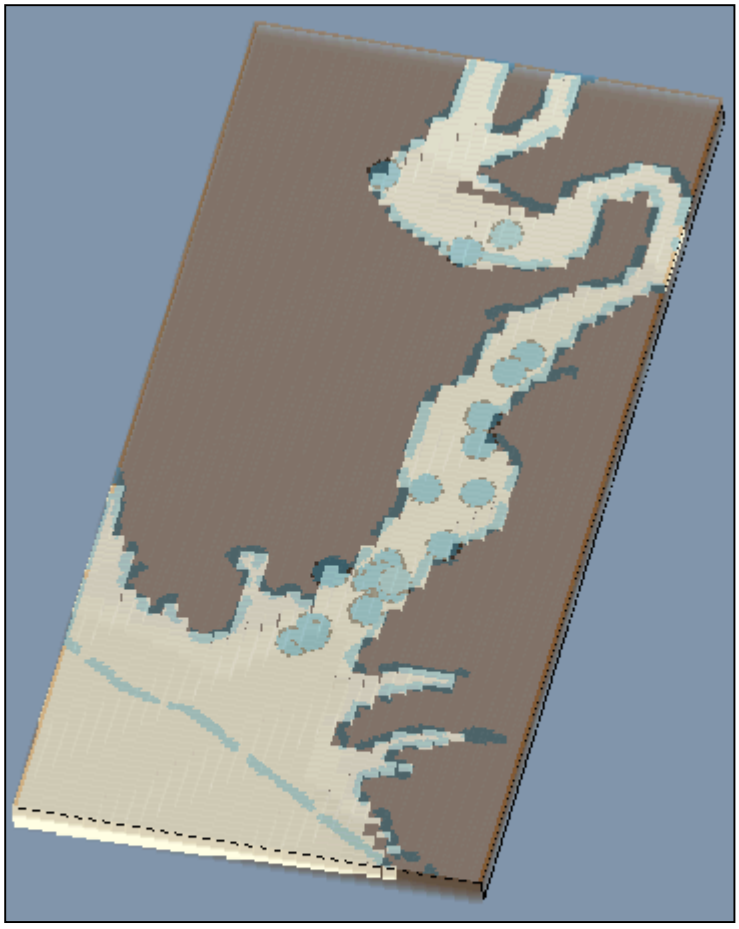


Figura 2. Vista di un modello tridimensionale del corpo acquifero propedeutico all'allestimento del modello di flusso in esame (studio in via di approfondimento), i pallini blu rappresentano in pozzi dati in concessione, la linea azzurra tratteggiata è la linea di costa, la linea azzurra continua rappresenta i limiti dei depositi alluvionali (colore beige chiaro, in marrone il substrato roccioso).

Per quanto riguarda le condizioni climatiche e le caratteristiche degli afflussi e deflussi del settore si fa riferimento allo studio Itec Engineering, Genova, Risorse idriche del Tigullio Bilancio Idrologico dell'Entella, Agosto 2010, a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

Tramite tale studio è stato stimato che l'infiltrazione efficace mensile risulta nulla nel periodo estivo (la stazione presa a riferimento è quella di Panesi).

Nella pagina seguente è riportata una sezione geologica interpretativa, tracciata indicativamente lungo il corso d'acqua avvalendosi del modello tridimensionale del substrato roccioso, che ipotizzano l'andamento del substrato roccioso e la soggiacenza della falda in condizioni non disturbate (quest'ultima risalente all'anno 1991, cfr. la fonte 9 in bibliografia).

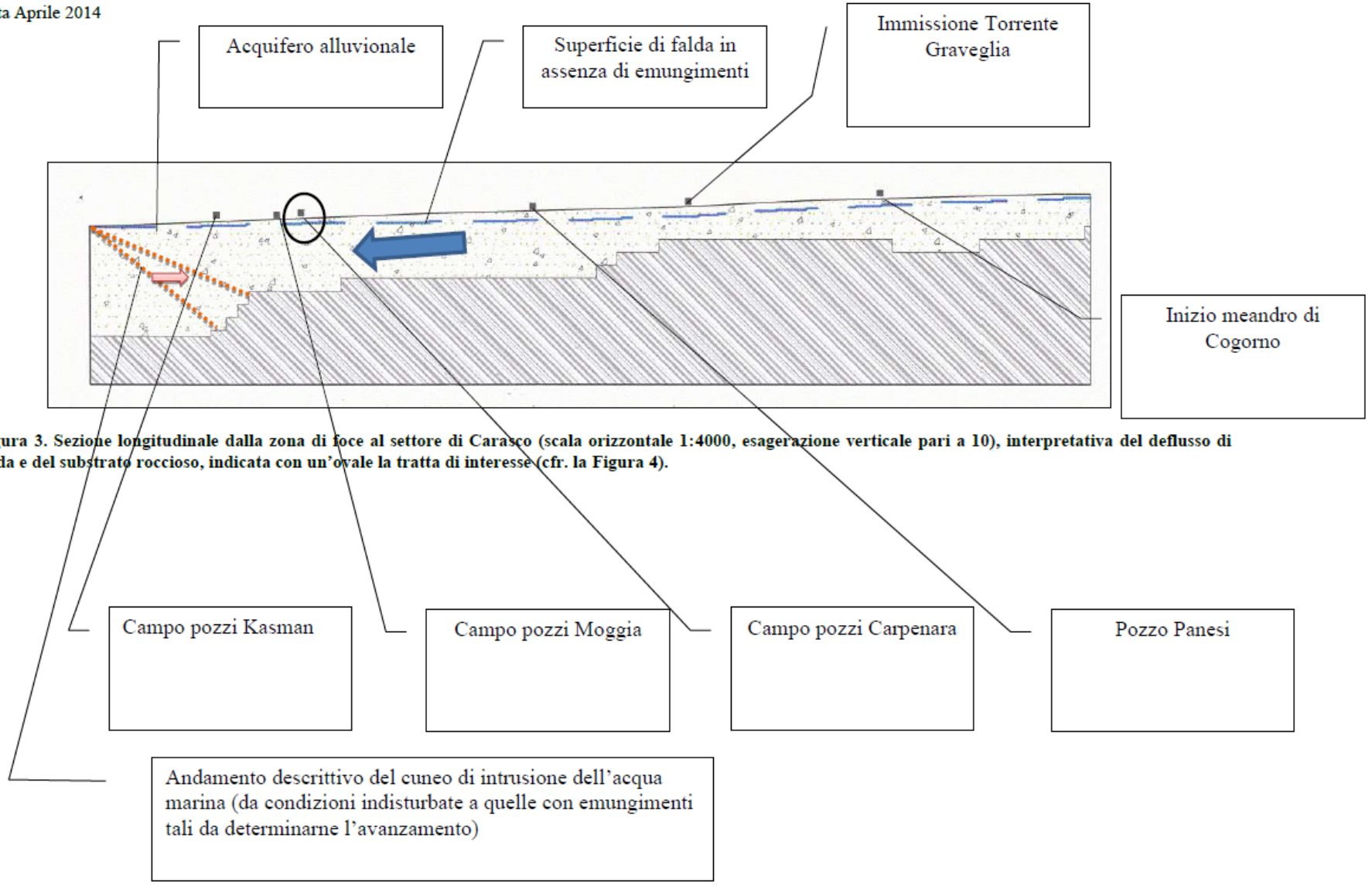


Figura 3. Sezione longitudinale dalla zona di foce al settore di Carasco (scala orizzontale 1:4000, esagerazione verticale pari a 10), interpretativa del deflusso di falda e del substrato roccioso, indicata con un'ovale la tratta di interesse (cfr. la Figura 4).

Nella figura sono anche indicati qualitativamente i meccanismi di ingressione del cuneo salino in conseguenza dei pompaggi così come confermati delle modellazioni effettuate in occasione di studi pregressi (da ipotetiche condizioni iniziali completamente indisturbate da opere di captazione a quelle attuali con in essere gli sfruttamenti concessi).

Per definire le caratteristiche dell'acquifero alluvionale (conducibilità idraulica) sono stati utilizzati i dati disponibili (in particolare valori ricavati dai rapporti sulle rilevazioni della falda, sulle stratigrafie e sulle prove di pompaggio eseguite in occasione sia della perforazione dei pozzi, sia recentemente ai fini di tale studio) e valori da bibliografia per materiali corrispondenti.

I dati disponibili descrivono un acquifero composto prevalentemente da ghiaie e ghiaietto in matrice sabbiosa con locali lenti di limi ed argille, limi sabbiosi (talora passanti a sabbia debolmente limosa) e livelli di ghiaie e ghiaie grossolane. Si segnala che alcune relazioni riportano la presenza di un livello continuo di materiali fini che andrebbe a separare i depositi alluvionali in un corpo superiore ed uno inferiore a partire dal settore di foce sino indicativamente al ponte autostradale. I dati stratigrafici analizzati e quelli delle indagini geofisiche eseguite appositamente per il presente studio, unitamente a considerazioni legate al tipo di ambiente di sedimentazione ad alta energia, sembrerebbero non confermare la continuità di tale orizzonte per cui, ai fini della presente modellazione, il corpo alluvionale in tale settore è considerato indifferenziato.

Modello concettuale del contesto geologico del settore campo pozzi Caperana

Nel settore di interesse sono state eseguite alcune indagini di dettaglio in particolare, oltre alla ricerca bibliografica (prevalentemente carotaggi con stratigrafie disponibili), sono state eseguite n. 2 indagini tomografiche elettriche (corredate da n. 2 indagini NASW -Noise Analysis of Surface Waves-).

Oltre a quanto sopra indicato sono state reperite informazioni verbali dai gestori dell'acquedotto.

L'insieme e l'ubicazione dei dati raccolti è illustrato nella figura seguente.

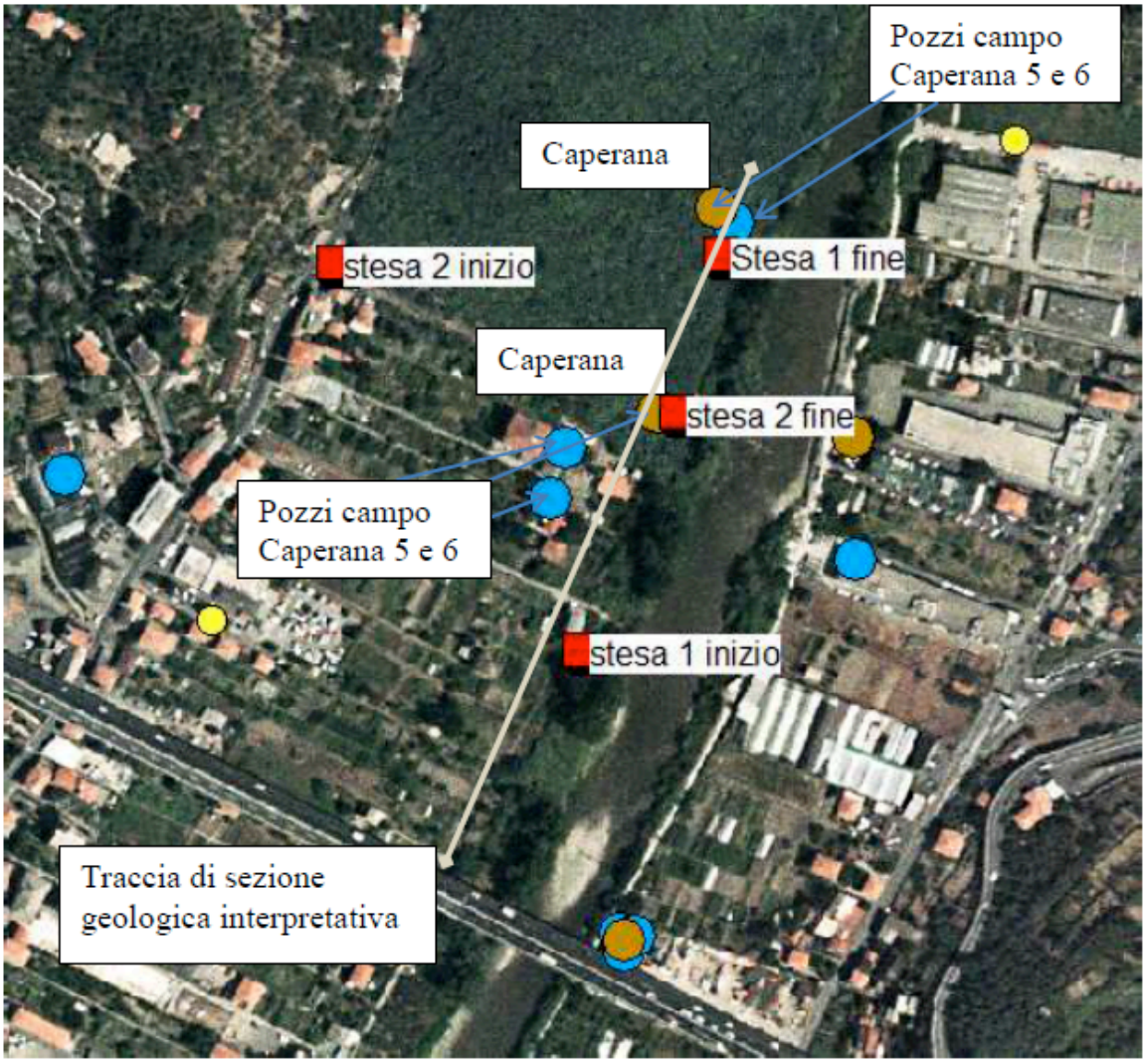


Figura 3. Campo pozzi di Caperana (fonte Regione Liguria) ed indagini esistenti, i pallini blu indicano i pozzi, i pallini marroni i sondaggi disponibili, i pallini gialli i nuovi sondaggi eseguiti per il progetto regionale di monitoraggio del settore, in rosso le stese di tomografia elettrica (fonte 11 in bibliografia).

L'insieme delle indagini eseguite mostra, nel settore del campo pozzi, la presenza di un substrato roccioso a circa 50 m dal piano campagna; la successione stratigrafica si compone di materiali scarsamente permeabili (limi ed argille) per i primi metri di copertura a cui seguono potenti intervalli di sabbie e ghiaie prevalenti (separati, in corrispondenza dei pozzi 5 e 6, da un intervallo di 2,5 m di argilla limosa posto alla profondità di circa 26 m dal piano campagna), infine si ripresentano a copertura del substrato roccioso i materiali fini di un certo spessore (da 1 a 3 m circa secondo i sondaggi).

Le informazioni verbali raccolte dai gestori dell'acquedotto riguardano il settore Sud del campo pozzi (pozzi numero 2, 4 e 6) in cui viene segnalata la presenza di un livello argilloso di 0,5 m di spessore alle profondità di circa 16 e 30 m dal piano campagna.

In sintesi sembrerebbe che:

- vi sia la presenza di lenti di materiali fini, presenti soprattutto nei primi 30 metri di alluvioni a partire dal piano campagna;
- tali lenti non dovrebbero avere una continuità laterale; e questo risulta sia dai sondaggi, sia dalle indagini geofisiche. In particolare secondo le indagini geofisiche sembrerebbe che tale continuità laterale sia pari a circa 40 – 80 m, cfr. la figura seguente) in accordo con la possibile genesi dei sedimenti su cui deve aver avuto una certa influenza il regime fluviale continentale dotato di notevole variabilità laterale e grande energia (tutti elementi che concorrono ad una limitata estensione areale dei depositi di materiali fini).

Questo contesto ben si accorda con la recente storia geologica regionale in cui gli effetti dell'attività neotettonica interessante questo settore ligure, con suddivisione in blocchi, ha indotto un reticolo idrografico fitto e spesso diffusamente impostato lungo faglie e fratture in buona parte a piano sub verticale e con una morfologia dei bacini idrografici tributari della piana caratterizzata da vallecole con versanti acclivi, a pendenza notevole e che si ergono sino a qualche centinaio di metri di quota.

L'assetto stratigrafico dei depositi alluvionali testimonia un ambiente di sedimentazione con passaggio tra il dominio marino-costiero e quello fluviale, a seguito di sensibili oscillazioni del livello del mare estese anche in età olocenica, in cui i depositi provenienti dei bacini idrografici tributari della piana vanno ad interrompere la continuità di sedimentazione. La seguente Figura 5 mostra una sezione stratigrafica di dettaglio interpretativa del settore di interesse.

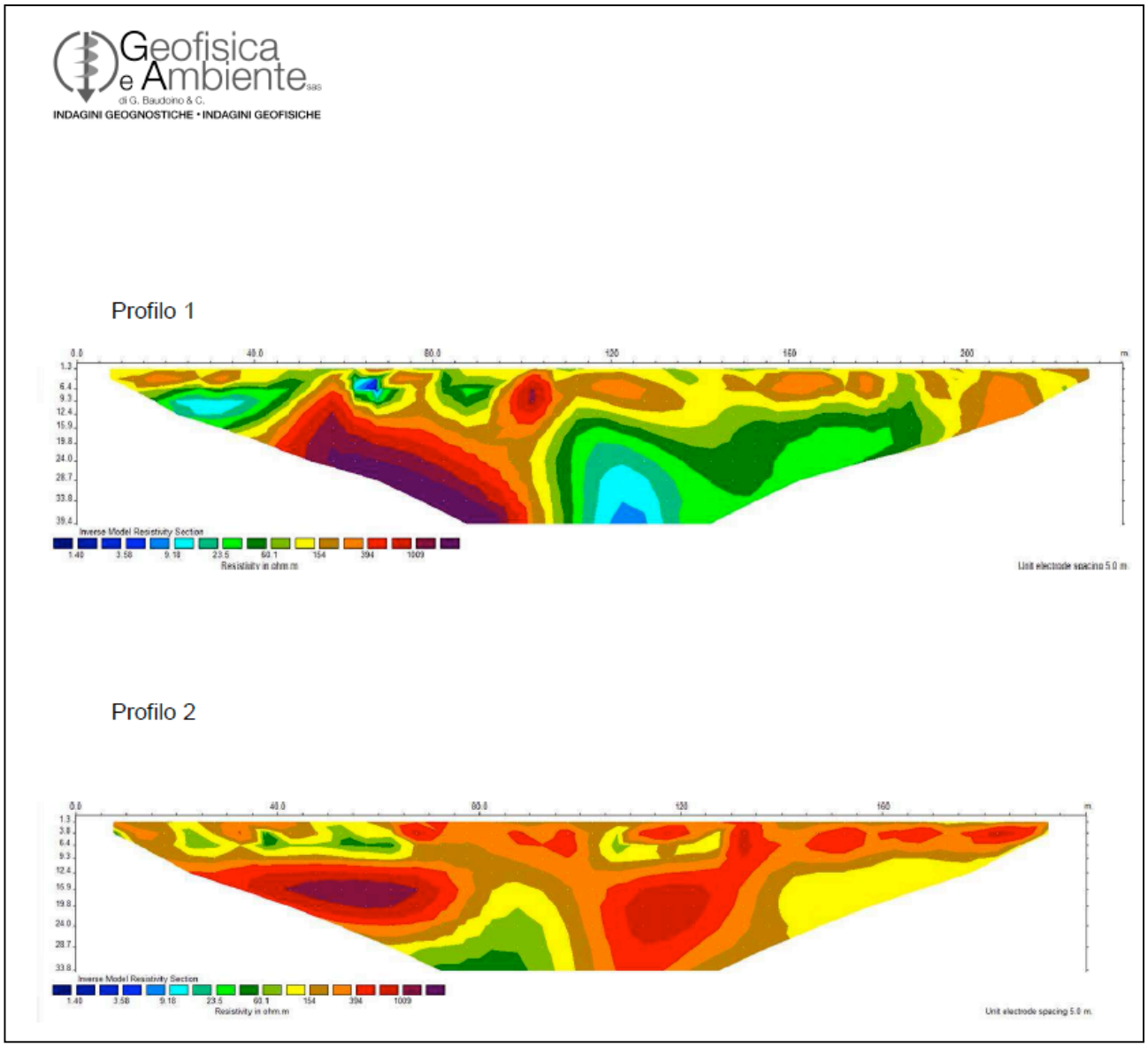


Figura 4. Sezioni tomografiche elettriche (posizionamento nella figura precedente) in cui si nota come i depositi sedimentari siano caratterizzati dalla presenza di corpi lenticolari al loro interno. Dal confronto con le stratigrafie disponibili (pozzo 3 e pozzo 5 di Caperana) sembrerebbe che il colore giallo indichi le sabbie, il verde i materiali fini ed il rosso i depositi ghiaiosi (fonte: Geofisica ed Ambiente, indagine geofisica di tipo noise analysis surface waves - nasw - e di tomografia elettrica eseguita nel comune di Lavagna, Zona Caperana, marzo 2014).

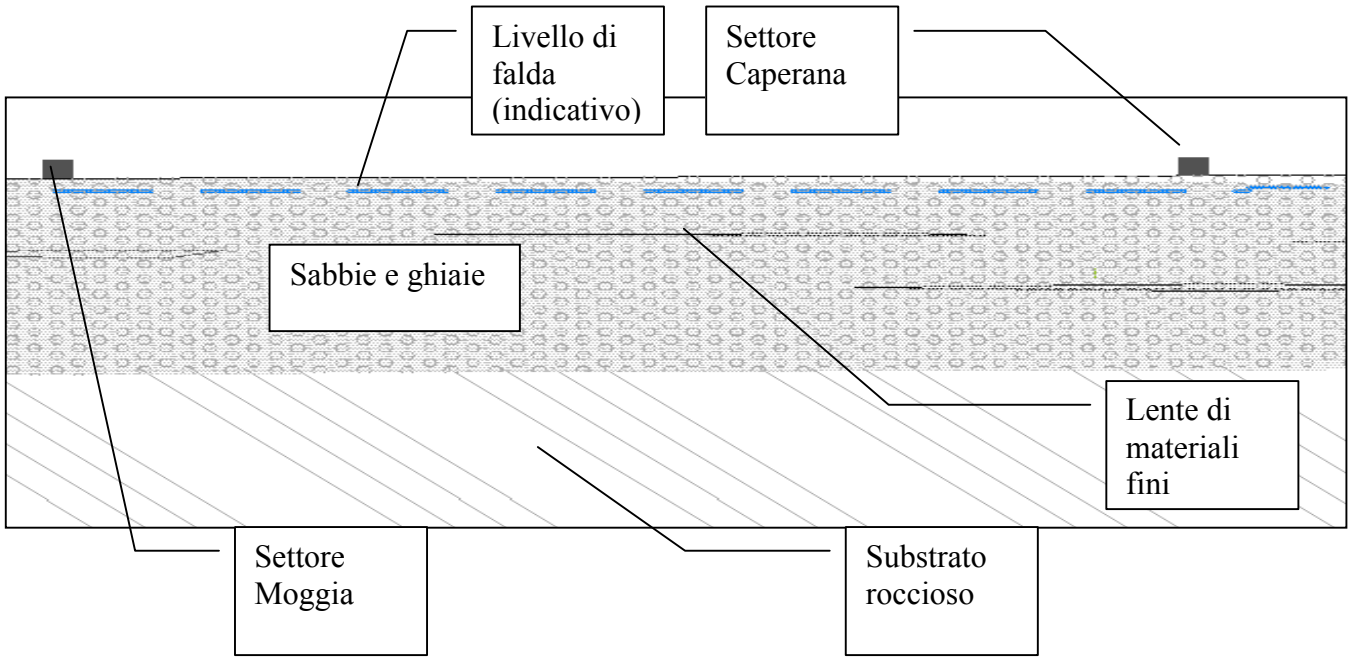


Figura 5. Sezione stratigrafica interpretativa del contesto del campo pozzi di Caperana (scala 2.000, ubicazione della sezione in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Il codice di calcolo

Il codice di calcolo Modflow con le routine associate, è un modello alle differenze finite in grado di simulare il flusso dell'acqua attraverso i mezzi porosi ed i relativi fenomeni di trasporto. Il codice sorgente, scritto in linguaggio Fortran 77, ha una struttura modulare costituita da un programma principale ed una serie di sottoprogrammi indipendenti. Ciascun modulo tratta specifiche caratteristiche del sistema idrogeologico da simulare, ovvero un particolare metodo di risoluzione del sistema d'equazioni che descrivono il flusso.

Il codice adottato per gli scenari in esame è Visual Modflow Version: 2011.1 Premium della casa Schlumberger Water Services. La versione Visual MODFLOW permette di utilizzare il modello MODFLOW operando con un'apposita interfaccia grafica e particolari sistemi numerici per la risoluzione delle equazioni regolanti il flusso di falda.

Tale versione consente l'allestimento di scenari di flusso e trasporto (mono, bi e tridimensionali a seconda delle esigenze) con analisi e quantificazione dei fenomeni indagati.

Nel caso in esame è stato implementato un modello tridimensionale nel settore compreso tra il meandro di Carasco sino alla zona di foce che ha simulato/permesso di verificare:

- la situazione di deflusso di falda in condizioni estive stazionarie con regimi massimi di portate dai vari campi pozzi e minimi di apporti dai corsi d'acqua provenienti dai tributari Sturla, Lavagna e Graveglia;
- il bilancio tra precipitazioni ed evapotraspirazione indica inoltre apporti nulli nel periodo estivo;

per la taratura del modello si sono assunti i valori medi estivi per i pozzi numero 1 e 3 del campo pozzi Caperana pari rispettivamente a 0,8 e 0,9 metri sul livello medio marino.

Nel seguito del rapporto si illustrano i risultati ottenuti.

Caratteristiche del modello e condizioni al contorno

Il modello parte dal meandro di Carasco ed arriva oltre la foce, ed è focalizzato nel settore in cui insiste il campo pozzi di Caperana, la dimensione orizzontale delle celle a maglia quadrata/rettangolare ha dimensioni variabili da 10 m di lato in corrispondenza del campo pozzi di Caperana sino a sino a 50 m di lato; sul piano verticale il modello si compone di 2 livelli in cui la superficie di separazione è quella del substrato roccioso; tutte le celle del modello sono attive in modo da poter considerare gli eventuali interscambi tra substrato roccioso e depositi alluvionali, l'estensione verticale va da 150 m sotto il livello medio marino sino alla sommità delle colline circostanti.

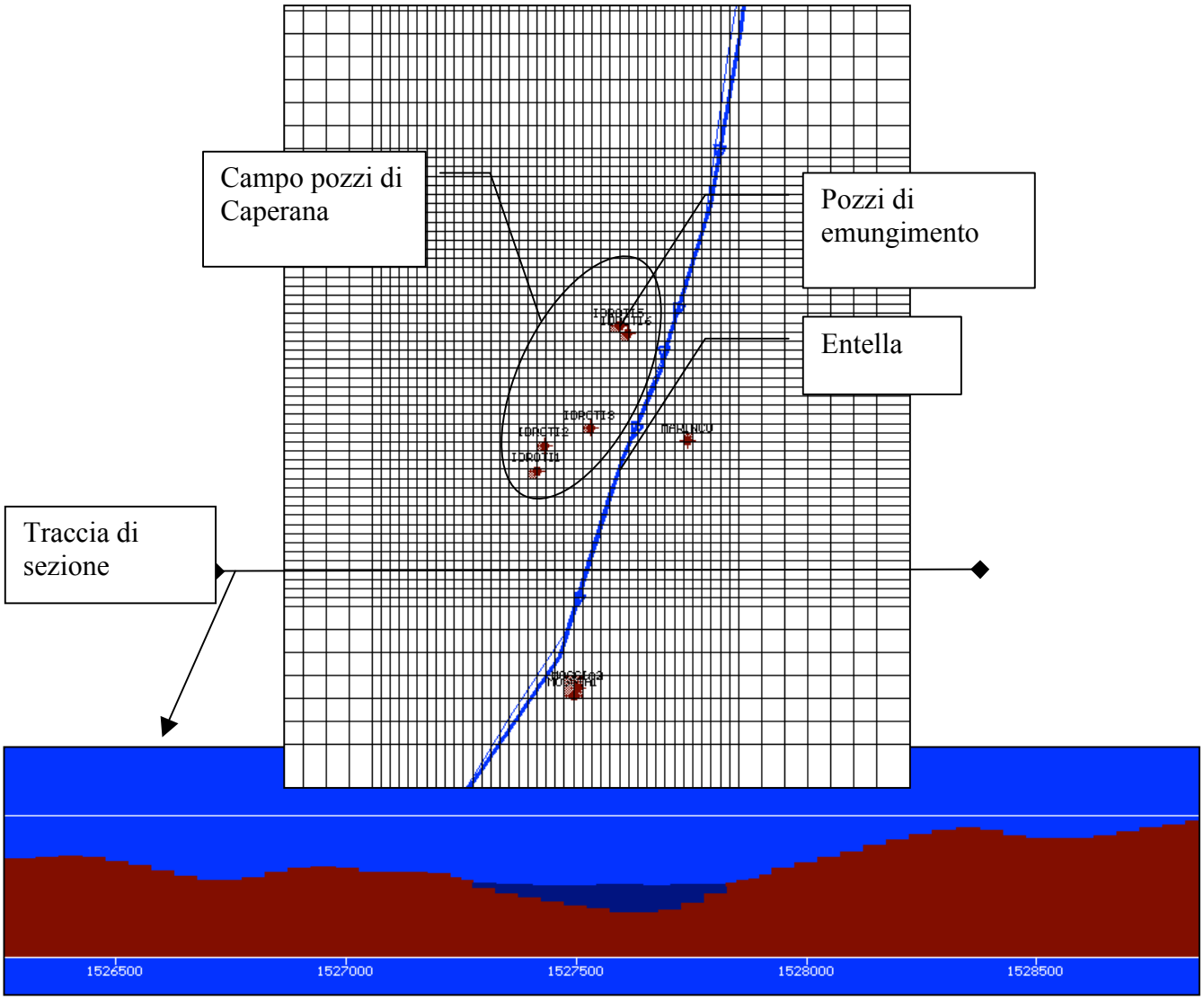


Figura 6. Viste schematiche, in pianta della griglia di riferimento e sezione rappresentativa (con in colore blu i depositi alluvionali ed in rosso il substrato roccioso).

In merito alle condizioni al contorno non sono state prese in considerazione, ad eccezione che per la zona a mare, le condizioni a carico costante data l'estrema prossimità del campo pozzi ai limiti del modello, l'ipotesi di carico costante nel caso in esame potrebbe influire sensibilmente sui risultati della modellazione, ci si è avvalsi dello studio idraulico del settore (Itec Engineering, Genova, Risorse idriche del Tigullio Bilancio Idrologico dell'Entella, Agosto 2010, cfr. fonte 4 in bibliografia) con le portate mensili di ogni tributario dell'Entella.

Il modello allestito, in condizioni estive riceve la ricarica essenzialmente tramite gli apporti dei corsi d'acqua provenienti dalle valli Lavagna, Sturla e Graveglia; pertanto è stata adottata la condizione al contorno che consente di simulare l'interazione tra i corsi d'acqua superficiali e le acque sotterranee (condizione stream); non si è scelta la condizione di fiume (river) che prevede una disponibilità di acqua pressochè infinita da parte del corso d'acqua nei confronti sia degli eventuali richiami esercitati dagli emungimenti dei pozzi limitrofi, sia nella situazione contraria e questo non è congruente con lo scenario da modellare.

Gli apporti sono stati ripresi dallo studio Itec (Itec Engineering, Genova, Risorse idriche del Tigullio Bilancio Idrologico dell'Entella, Agosto 2010, cfr. fonte 4 in bibliografia) che definisce i seguenti valori minimi per quanto riguarda il periodo estivo:

- 0,75 m3/secondo per il torrente Lavagna (valore medio minimo estivo, registrato nel mese di agosto);
- 0,45 m3/secondo per il torrente Sturla (valore medio minimo estivo, registrato nel mese di luglio);
- 0,24 m3/secondo per il torrente Graveglia (valore medio minimo estivo, registrato nel mese di luglio).

Il corrispondente deflusso di falda, nelle sezioni di ingresso dei torrenti Lavagna, Sturla e Graveglia sembrerebbe essere complessivamente pari a circa 1400 l/s (che comunque per ragioni cautelative non viene considerato nel presente modello).

Come già accennato l'infiltrazione efficace nel periodo estivo è risultata nulla.

Parametri idraulici dell'acquifero e taratura

Le condizioni medie di minimo estivo di 0,8 e di 0,9 m sul livello medio marino in corrispondenza dei pozzi numero 1 e 3 di Caperana, risultanti da vari anni di campagne di monitoraggio, sono state utilizzate quale riferimento di taratura per la ricostruzione delle caratteristiche di conducibilità idraulica del corpo sedimentario.

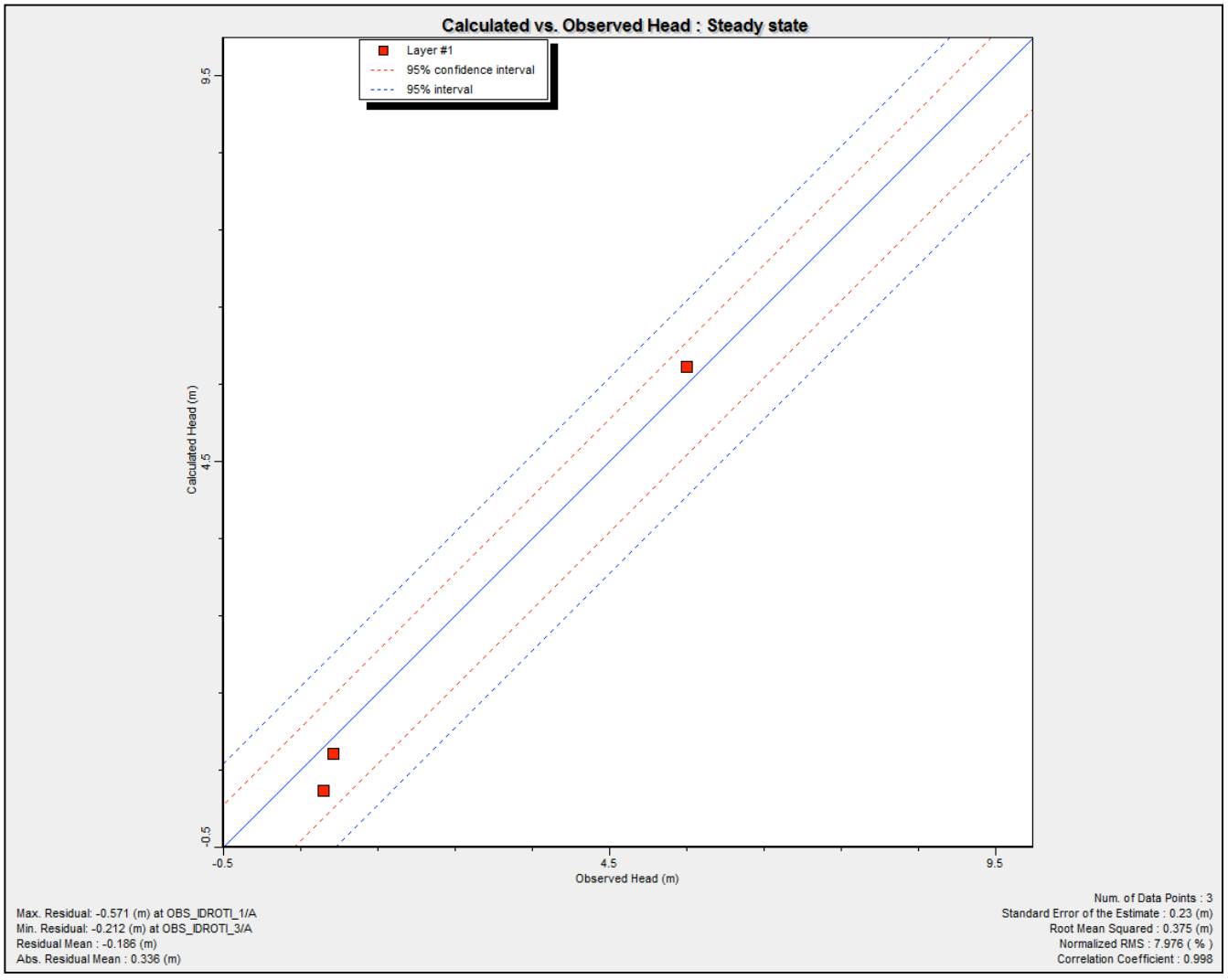


Figura 7. Condizioni di taratura per quanto riguarda il settore del campo pozzi di Caperana.

La conducibilità idraulica è stata inizialmente impostata a partire dai risultati delle prove di pompaggio condotte in sito che danno un valore medio pari a circa 8 10-4 m/s, in particolare, dopo una serie di operazioni di calibrazione (tecnica di trial and error), la migliore ricostruzione del corpo sedimentario si è ottenuta assumendo tre diverse zone con differenti caratteristiche idrauliche. Le principali caratteristiche adottate sono indicate nella tabella seguente.

Ubicazione materiale	Conducibilità idraulica orizzontale (Direzioni X ed Y)	Conducibilità idraulica verticale (Direzione Z)
	[m/s]	[m/s]
Settore circostante il campo pozzi di Caperana	8E-4	8E-5
Settore di foce e centrale dell'acquifero alluvionale	0.008	0.008
Settore di monte (da Carasco sino a valle della confluenza con il rio Graveglia)	0.03	0.03
Substrato roccioso (argilloscisti prevalenti)	5E-8	5E-8

Tabella 1. Caratteristiche idrogeologiche di conducibilità idraulica (permeabilità) assegnate ai diversi materiali costituenti il modello**.**

Le condizioni di sfruttamento dell'acquifero

Per le condizioni di sfruttamento dell'acquifero si è fatto riferimento ai dati ufficiali di concessione di derivazione delle acque, integrati con informazioni fornite dagli Enti Acquedottistici. Nelle simulazioni si sono cautelativamente considerati gli emungimenti concessi ad eccezione dei campi pozzi di Caperana e Moggia in cui si sono adottati valori massimi del periodo estivo, tra quelli forniti dal Gestore.

Numero Progressivo	Riferimento Numero pratica Provincia	Portata Concessa l/s
1	1493	30.6
2	1493	30.6
3	1493	30.6
4	1858	0.82
5	1858	0.82
6	1894	50
7	1962	2.5
8	2049	0.5
9	3548	11.1
10	3690	2.24
11	3788	4.2
12	3788	4.2
13	3820	0
14	4025	0.03
15	4026	0.17
16	4038	50
17	4065	0.75
18	GE/453	68
19	GE/453	68
20	GE/453	68
21	GE/453	68
22	GE/453	68
23	GE/921	100
24	GE/921	100
25	4182	11.5
26	4182	11.5

Numero Progressivo	Riferimento Numero pratica Provincia	Portata Concessa l/s
27	4321	0.41
28	4428	0.15
29	4695	1.11
30	741	20
31	4464	0.08
32	4632	0.19
33	1685	0.05
34	2405	0.16
35	3097	7
36	3285	5.8
37	3388	0.51
38	3455	0.1
39	3617	2
40	3793	0.66
41	4116	5
42	1770	20
43	3377	1
44	3379	20
45	3646	0.025

Tabella 2. Elenco concessioni di derivazione acqua da pozzo e quantità concesse presenti nel settore di riferimento.

Complessivamente sembrerebbero risultare concessi poco meno di circa 900 l/s.

Risultati della modellazione: le isocrone relative al campo pozzi di Caperana

Le isocrone sono state calcolate tramite il modello di flusso della falda; tale modello parte dal meandro di Carasco ed arriva oltre la foce, ed è focalizzato nel settore in cui insiste il campo pozzi di Caperana, ha celle di lato quadrato/rettangolare di dimensioni variabili da 10 m di lato sino a 50 m di lato.

Il modello include:

- sia le alluvioni sia il substrato roccioso, le alluvioni variano lateralmente ma non sulla verticale ed hanno conducibilità idrauliche variabili da $3\ 10^{-2}$ m/s a $8\ 10^{-5}$ m/s, il substrato roccioso ha conducibilità idrauliche dell'ordine di grandezza di 10^{-8} m/s;

- le portate medie mensili estive dei principali rami che alimentano l'Entella (Lavagna, Sturla e Graveglia) e ricarica nulla dalle precipitazioni (secondo la valutazione del bilancio tra evapotraspirazione ed infiltrazione per la stazione di Panesi).

Il modello è stato usato per calcolare i tempi di arrivo nei pressi del campo pozzi di Caperana (settore esterno ai pozzi – a partire non dal punto del pozzo ma da circa 15 m di distanza da questo- in modo da avere una valutazione maggiormente cautelativa); tali tempi di arrivo sono stati calcolati con linee di flusso definite tramite ipotetiche particelle trasportate per sola avvezione dalle acque di falda senza alcune interazione con le matrici circostanti in modo da ottenere indicazioni sulla zona di rispetto delle captazioni valutata secondo il criterio temporale (il criterio geometrico richiede una zona di 200 m di raggio attorno all'opera di presa).

Di seguito le varie isocrone ricavate dal modello, nelle figure è anche indicata in azzurro la piezometria media relativa al periodo estivo (luglio-agosto) con valori in m sul livello medio marino ed equidistanza pari a 0,5 m, così come risultante dal modello adottato.

L'inviluppo delle isocrone indica l'area con tempi di arrivo nel settore del campo pozzi di Caperana inferiori o uguali a quello delle relativa isocrona.

Dalla sequenza delle figure presentate si nota che a partire dalle linee isocrone dei 60 giorni, le linee relative a tempi superiori (75, 100, 180 e 365 giorni) vanno a confluire nel settore dell'Entella.

L'inviluppo delle isocrone sino al punto di confluenza con l'Entella, va a coinvolgere una porzione di territorio avente un'estensione areale di circa 0,06 chilometri quadrati ed un'estensione massima verso monte pari a circa 700 m (l'estensione laterale massima è pari a circa poco meno di 170 m).

La seguente Figura 25 mostra su ortofoto la porzione di territorio sovrastante la falda maggiormente interessata all'alimentazione del campo pozzi di Caperana così come individuata dalle isocrone, le figure immediatamente seguenti indicano le varie isocrone calcolate per vari periodi di tempo (rispettivamente: 60 giorni, 75, 100, 180 e 365 giorni) da cui si può notare come oltre i 60 giorni circa le varie linee si dirigano verso l'Entella.

Isocrone dei 60 giorni del campo pozzi di Caperana

La figura seguente fornisce una interpretazione delle isocrone (linee rosse) dei 60 giorni corrispondenti, secondo il criterio temporale alla ***zona di rispetto ristretta***, calcolate cautelativamente a partire dall'esterno del campo pozzi (scala grafica), in azzurro la piezometria media relativa al periodo estivo (luglio-agosto) con valori in m sul livello medio marino ed equidistanza pari a 0,5 m (fonte CTR Regione Liguria, modificata).

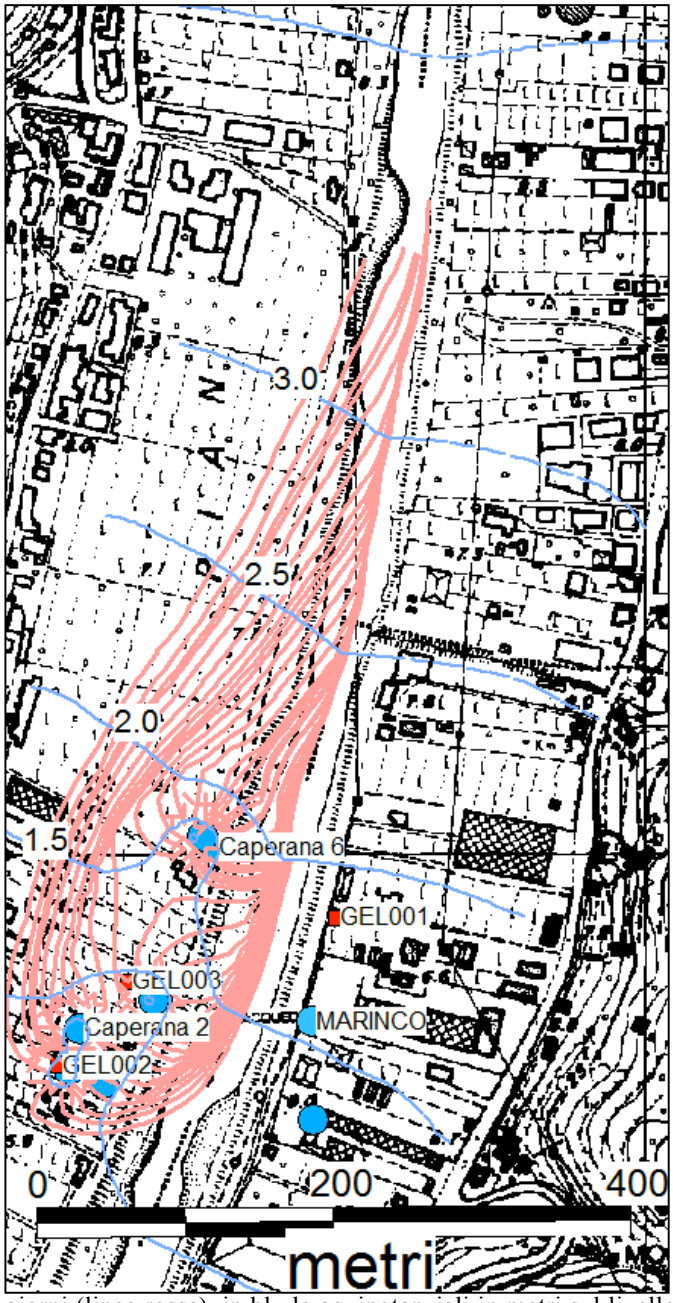


Figura 8. Isocrone a 60 giorni (linee rosse), in blu le equipotenziali in metri sul livello medio marino (equidistanza 0,5 m)

Isocrone dei 75 giorni del campo pozzi di Caperana

La figura seguente fornisce una interpretazione delle isocrone (linee rosse) dei 75 giorni corrispondenti, secondo il criterio temporale al ***tempo minimo di sicurezza*** (corrispondente al tempo ***di sopravvivenza di buona parte dei virus più comuni trasportati in acqua***), calcolate cautelativamente a partire dall'esterno del campo pozzi (scala grafica), in azzurro la piezometria media relativa al periodo estivo (luglio-agosto) con valori in m sul livello medio marino ed equidistanza pari a 0,5 m (fonte CTR Regione Liguria, modificata).



Figura 9. Isocrone a 75 giorni (linee rosse) – tempo minimo di sicurezza per la sopravvivenza di buona parte dei virus più comuni trasportati in acqua-, in blu le equipotenziali in metri sul livello medio marino (equidistanza 0,5 m).

Isocrone dei 100 giorni del campo pozzi di Caperana

La figura seguente fornisce una interpretazione delle isocrone (linee rosse) dei 100 giorni corrispondenti, secondo il criterio temporale al ***tempo massimo di sicurezza*** (corrispondente al tempo ***di sopravvivenza di buona parte dei virus più comuni trasportati in acqua***), calcolate cautelativamente a partire dall'esterno del campo pozzi (scala grafica), in azzurro la piezometria media relativa al periodo estivo (luglio-agosto) con valori in m sul livello medio marino ed equidistanza pari a 0,5 m (fonte CTR Regione Liguria, modificata).

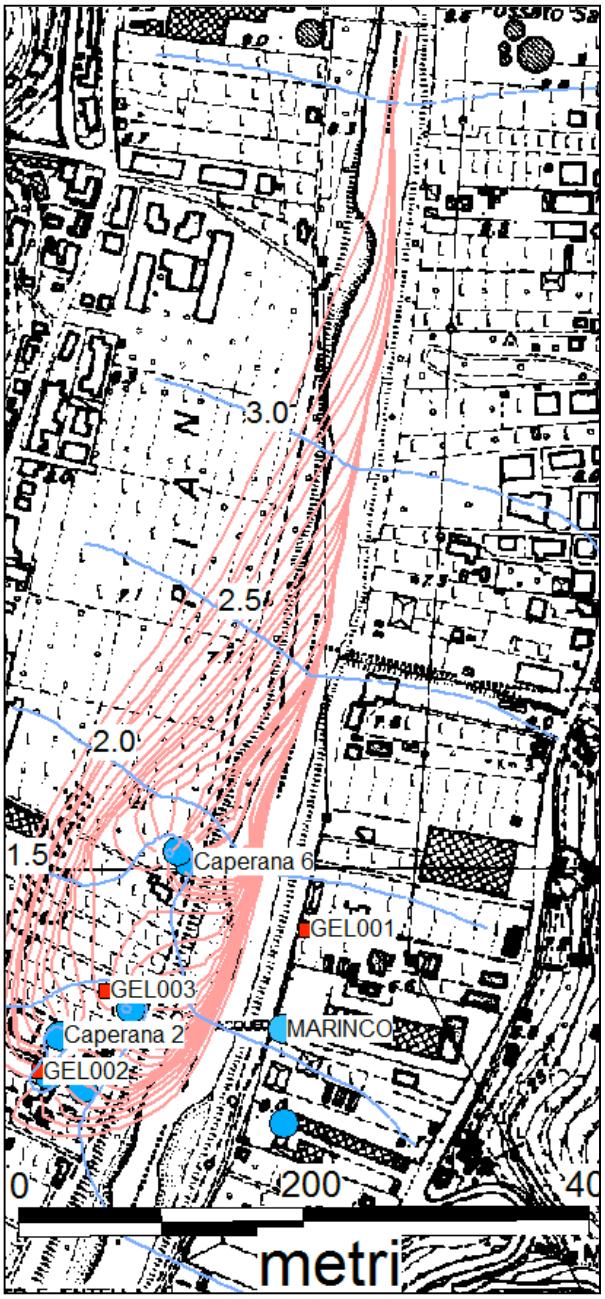


Figura 10. Isocrone a 100 giorni (linee rosse) – tempo massimo di sicurezza per la sopravvivenza di buona parte dei virus più comuni trasportati in acqua-, in blu le equipotenziali in metri sul livello medio marino (equidistanza 0,5 m).

Isocrone dei 180 giorni del campo pozzi di Caperana

La figura seguente fornisce una interpretazione delle isocrone (linee rosse) dei 180 giorni corrispondenti, secondo il criterio temporale alla ***zona di rispetto allargata a 180 giorni***, calcolate cautelativamente a partire dall'esterno del campo pozzi (scala grafica), in azzurro la piezometria relativa al periodo estivo (luglio-agosto) con valori in m sul livello medio marino ed equidistanza pari a 0,5 m (fonte CTR Regione Liguria, modificata).

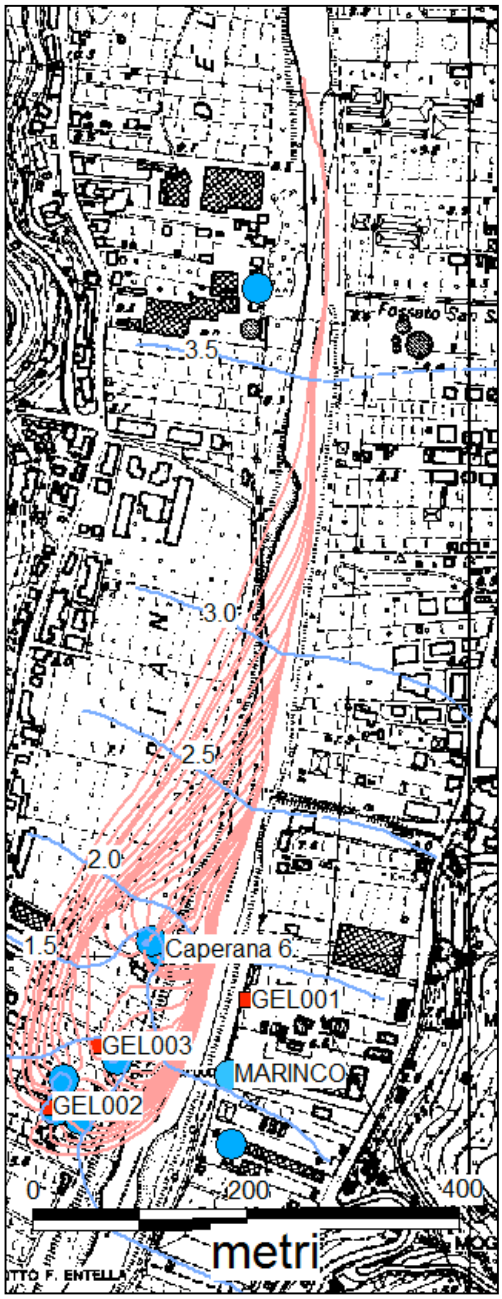


Figura 11. Isocrone a 180 giorni (linee rosse) - zona di rispetto allargata a 180 giorni -, in blu le equipotenziali in metri sul livello medio marino (equidistanza 0,5 m).

Isocrone dei 365 giorni del campo pozzi di Caperana

La figura seguente fornisce una interpretazione delle isocrone (linee rosse) dei 365 giorni corrispondenti, secondo il criterio temporale alla ***zona di rispetto allargata a 365 giorni***, calcolate cautelativamente a partire dall'esterno del campo pozzi (scala grafica), in azzurro la piezometria relativa al periodo estivo (luglio-agosto) con valori in m sul livello medio marino ed equidistanza pari a 0,5 m (fonte CTR Regione Liguria, modificata).

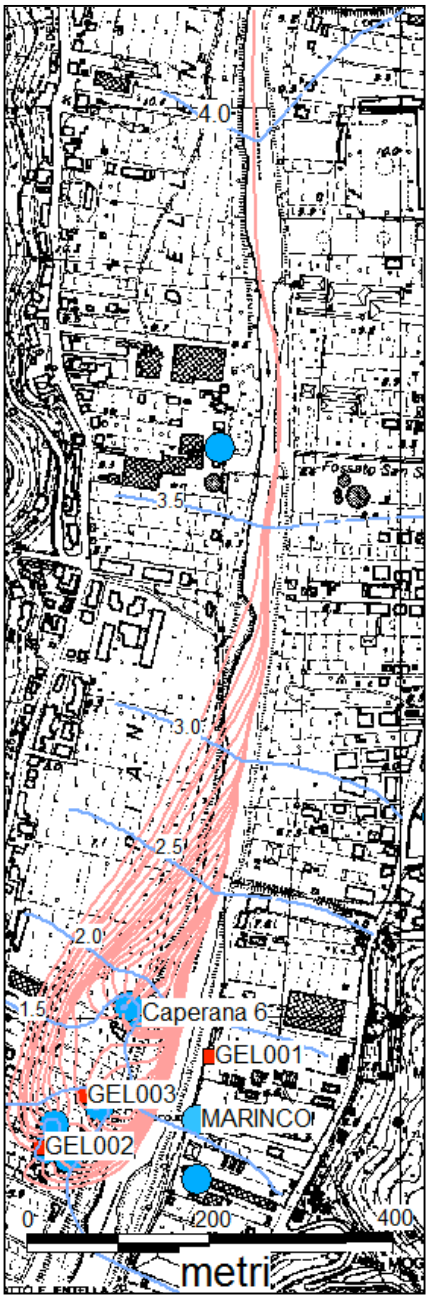


Figura 12. Isocrone a 365 giorni (linee rosse) - zona di rispetto allargata a 180 giorni -, in blu le equipotenziali in metri sul livello medio marino (equidistanza 0,5 m).

Considerazioni sulle isocrone e relativa zona di cattura

Le isocrone precedentemente illustrate mostrano le linee di flusso che vanno ad alimentare i pozzi di Caperana.

La rappresentazione delle isocrone è di tipo bidimensionale con vista dall'alto, va considerato che i pozzi di Caperana hanno i filtri alla profondità di circa 30 e 16 m dal piano campagna (rispettivamente in pozzi numeri 1, 3, 5 e 2, 6).

Nelle condizioni attuali con una falda con un gradiente del 4 per mille circa –ossia con linee di flusso quasi orizzontali- queste rappresentano i tempi di arrivo per eventuali contaminanti che si trovano grossomodo alla profondità dei filtri ossia non viene considerato né il tempo necessario per raggiungere la profondità dei filtri né, trattandosi di particelle assolutamente non reattive, i vari tempi che ritardano il moto delle perticelle per l'eventuale interazione tra contaminante e matrici (solide e/o liquide.

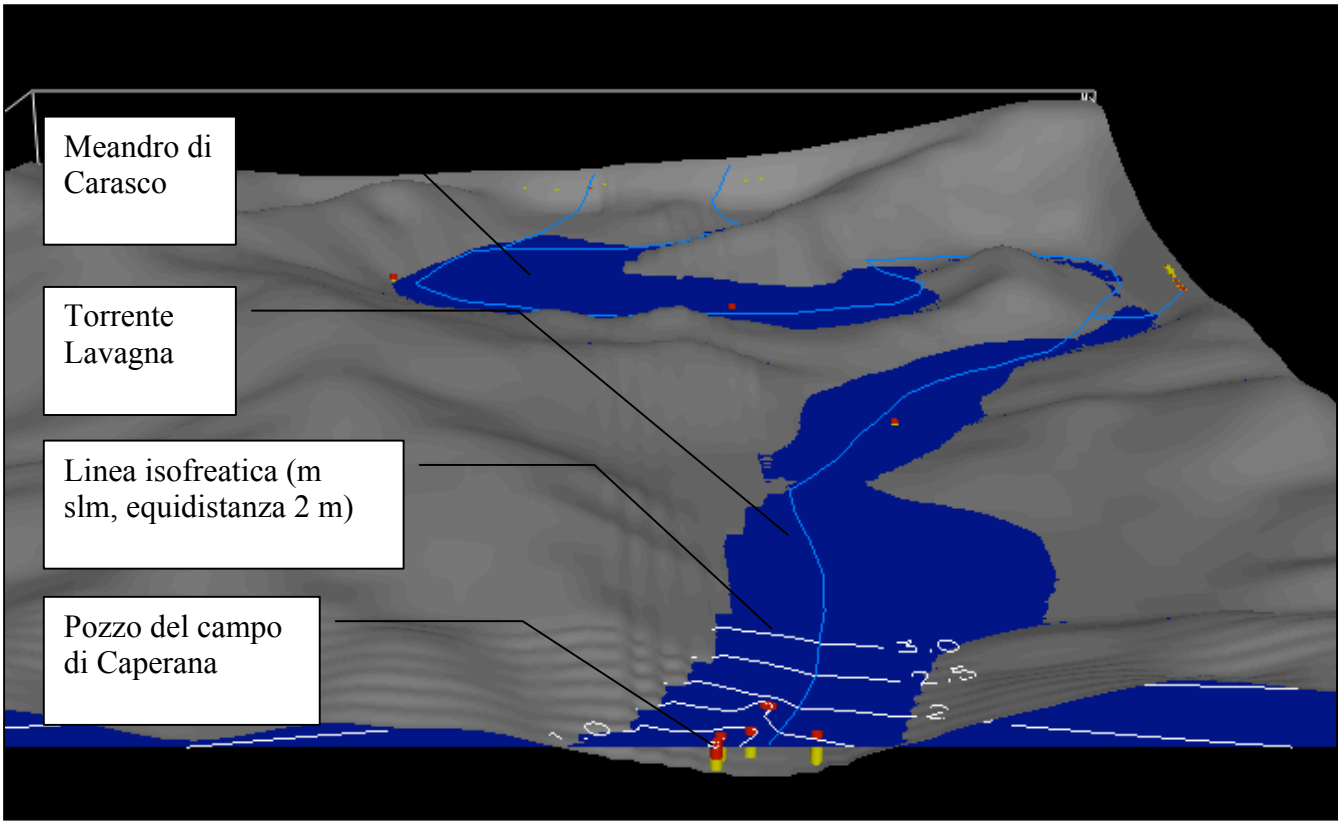


Figura 13. Vista prospettica della falda a partire dal campo pozzi di Caperana, in blu la superficie di falda, in grigio il subsrato roccioso, i pozzi rappresentati con cilindri rossi (in giallo il settore con i filtri).

Ne consegue che l'inviluppo delle linee isocrone definisce un'area estremamente cautelativa, in quanto, nel caso in esame, tralasciando gli eventuali tempi necessari ad attraversare lo spazio insaturo, non si tiene conto:

- della profondità dei filtri e quindi –con un flusso di falda quasi orizzontale (gradiente del 4 per mille circa) della necessità che l'eventuale contaminante raggiunga la profondità dei filtri;
- di eventuali tempi di ritardo per interazioni chimiche tra possibili sostanze idroveicolate e l'acquifero e/o la falda;
- della possibilità di percorsi non rettilinei conseguenti alle particolarità deposizionali dei depositi sedimentari presenti nella valle (depositi intrecciati con presenza di lenti irregolari di materiali fini).

Le figure seguenti mostrano in sezione Est-West ed indicativamente Nord - Sud, pur con tutte le limitazioni grafiche, parte di quanto sopra esposto.

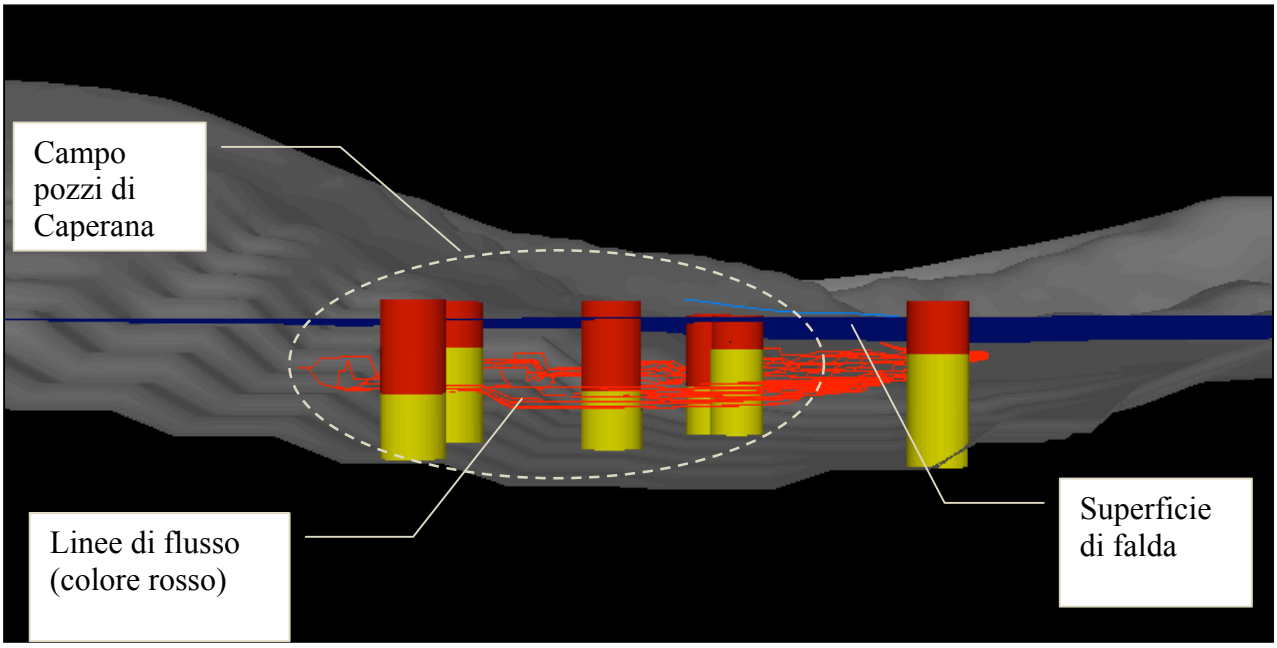


Figura 14. Vista da valle verso monte (superficie di taglio verticale con direzione Est – West) delle linee isocrone – colore rosso -ai pozzi di Caperana (parte filtrante in colore giallo, parte non filtrante in colore rosso), la zona blu rappresenta la superficie di falda, in grigio il substrato roccioso.

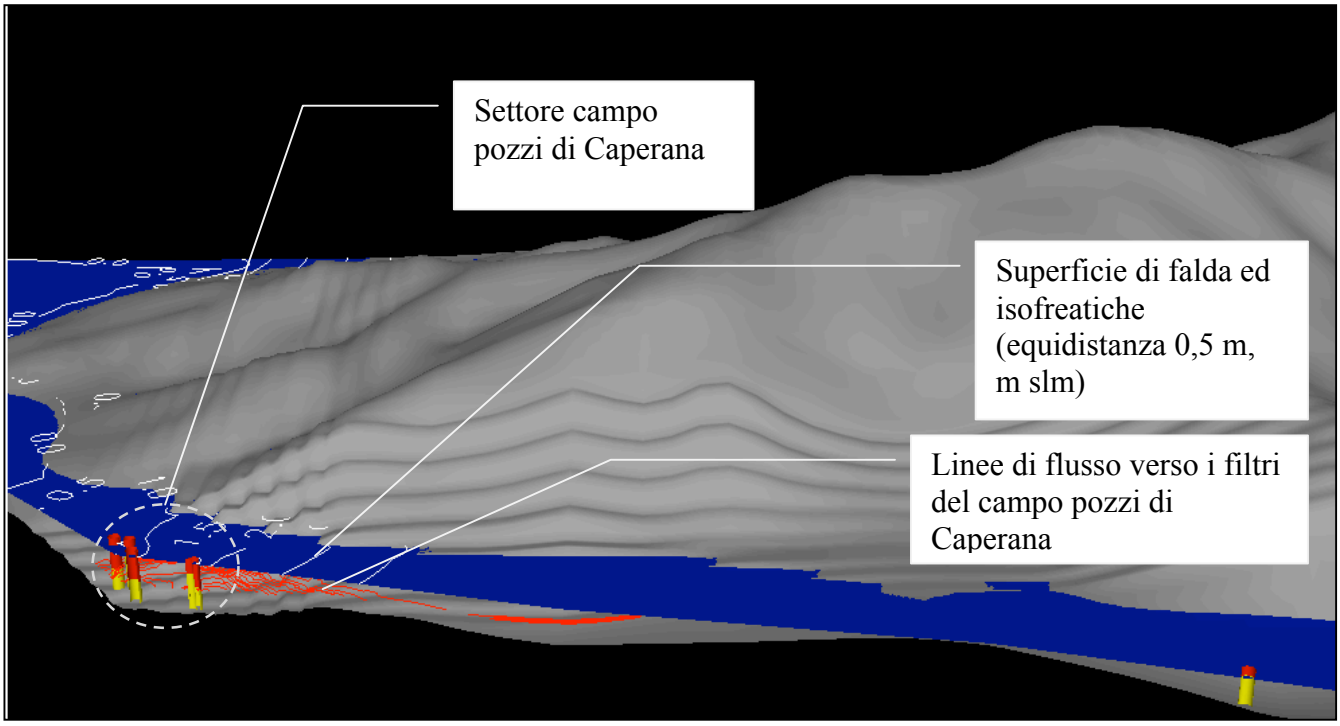


Figura 15. Sezione prospettica indicativamente da valle (sinistra) a monte (destra) con vista prospettica verso Est, fattore di esagerazione verticale 2; si nota la profondità delle linee di flusso di alimentazione del campo pozzi (colore rosso) nei confronti della falda idrica (colore blu), in grigio il substrato roccioso, i pozzi rappresentati con dei cilindri (parte filtrante in colore giallo, parte non filtrante in colore rosso).

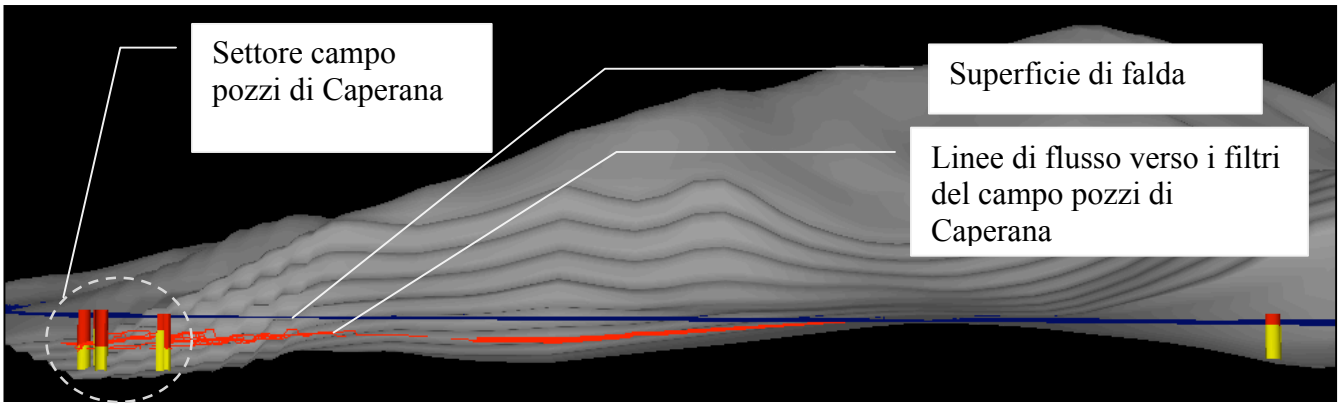


Figura 16. Sezione prospettica indicativamente da valle (sinistra) a monte (destra) con vista prospettica verso Est, fattore di esagerazione verticale 2; si nota la profondità delle linee di flusso di alimentazione del campo pozzi (colore rosso) nei confronti della falda idrica (colore blu),), in grigio il substrato roccioso, i pozzi rappresentati con dei cilindri (parte filtrante in colore giallo, parte non filtrante in colore rosso).

Dalle sezioni longitudinali di cui in Figura 15 e Figura 16 si nota come le linea di flusso si trovino al di sotto della superficie di falda per la maggior parte del percorso verso la parte filtrante dei pozzi.

Considerazioni sull'influenza del campo pozzi di Caperana nei confronti del corso d'acqua

E' stata stimata l'influenza del campo pozzi di Caperana nei confronti del livello del fiume tramite la simulazione del deflusso di falda in condizioni estive senza il campo pozzi di Caperana in funzione; i valori del livello di falda in corrispondenza dell'alveo sono stati confrontati con quelli ottenuti con il campo pozzi in funzione in estate al massimo della portata concessa (caso maggiormente cautelativo).

Essendo il corso d'acqua verosimilmente in contatto idraulico con la falda, le valutazioni sono effettuate in corrispondenza dell'alveo in cui si può assumere che il livello di falda corrisponda grossomodo a quello del corso d'acqua; in particolare sono stati stimati detti livelli in corrispondenza dei pozzi 5 e 6 ed in corrispondenza dei pozzi 1, 2 e 3 del campo pozzi di Caperana.

La tabella seguente mostra i risultati ottenuti in cui risulterebbe che con il campo pozzi inattivo il livello di falda risulterebbe di circa 0,5 m superiore., questo ovviamente non significherebbe un equivalente aumento localizzato del livello del corso d'acqua.

Settore del Fiume Entella	Quota estiva con pozzi in funzione	Quota estiva senza pozzi	Differenza
	(m slm)	(m slm)	(m)
Prospiciente pozzi Caperana 1, 2 e 3	1.4	1.95	-0.55
Prospiciente pozzi Caperana 5 e 6	2.0	2.5	-0.5
Valori medi	1.7	2.3	-0.525

Nota. Valutazioni effettuate in corrispondenza dell'alveo in cui si può assumere che il livello di falda corrisponda grossomodo a quello del corso d'acqua.

Tabella 3. Stima dell'impatto del campo pozzi di Caperana nei confronti del livello del corso d'acqua.

Il limite di una valutazione sull'influenza dell'abbassamento locale della falda rispetto ai livelli del corso d'acqua è insito nella complessità delle condizioni da definire, infatti uno scenario che identifichi l'abbassamento locale della falda non è in grado di definirne il reale impatto sui livelli del fiume, infatti l'acqua fluente in alveo ovviamente influisce su detti livelli mantenendoli costanti,

Per cui l'eventuale abbassamento localizzato derivato dall'abbassamento della falda, volutamente calcolato in modo molto cautelativo, deve essere distribuito su tutto lo sviluppo dell'asta fluviale, conseguentemente il suo valore non facilmente valutabile, è comunque relativamente modesto.

In assenza di transito in alveo l'effetto sarà relativamente più rilevante per l'impossibilità, da parte della falda di riallineare i livelli in tempi brevissimi, vista la minore velocità di transito nel corpo acquifero.

E' necessario sottolineare che, nel tratto del corso d'acqua corrispondente al Campo pozzi di Caperana, gli emungimenti sono ormai in atto da circa un secolo (si veda punto 3. della Relazione SIA) per cui da un punto di vista ambientale la situazione idrogeologica da loro indotta è ormai consolidata.

Considerazioni in merito all'ingressione del cuneo salino

Le considerazioni di seguito elencate vengono da precedenti modelli e studi (condotti negli anni 2010 - 2011) mirati ad una prima verifica dell'impatto dei prelievi concessi nei confronti del cuneo salino.

Tali modelli avevano come riferimento una campagna di misura della piezometria condotta nell'anno 1991 (periodo autunnale) in assenza di interferenze antropiche (cfr. la figura seguente).

In particolare per quanto riguarda la piezometria statica è stata presa a riferimento per la taratura una campagna di misure (interessante l'intero settore di riferimento dal meandro di Carasco sino alla foce del Fiume Entella) eseguita nell'ottobre 1991 in condizioni di assenza di emungimenti dall'acquifero alluvionale (cfr. fonte 9 in bibliografia).

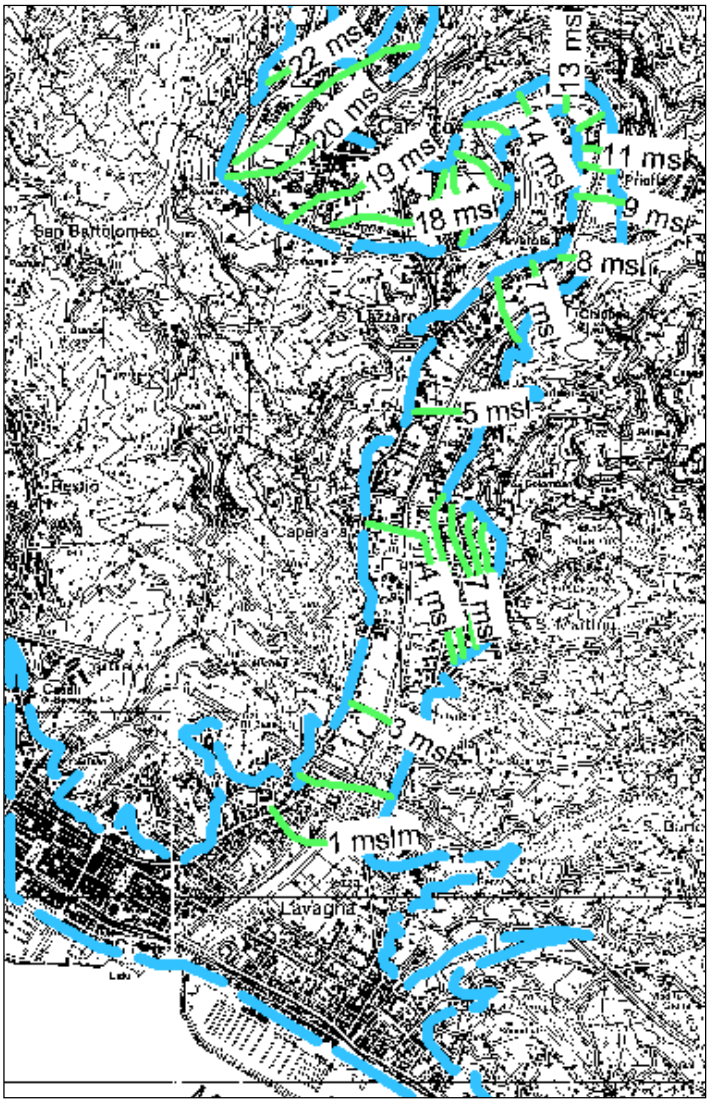


Figura 17. Piezometria statica anno 1991 (Fonte 9 in bibliografia, modificata, linee isopieze in colore verde per maggiore leggibilità, equidistanza 1 m).

Inserendo nel modello gli emungimenti dei pozzi censiti si ottiene una stima dell'effetto dell'ingressione del cuneo salino determinato dall'attività antropica.

Nel seguito vengono illustrati i risultati ottenuti da tali scenari di modellazione.

È stato adottato un regime di pompaggio di tipo cautelativo, assunti i valori massimi concessi per tutti i campi pozzi ad eccezione di campi di viale Kasman e Moggia in cui si assumono valori medi ed i valori massimi limitatamente al solo periodo estivo –da metà giugno a fine settembre-), le condizioni di partenza sono quelle di una falda in regime indisturbato dai pompaggi, per verificare le condizioni di ingressione dell'acqua salata in seguito all'attivazione dei diversi campi pozzi.

La tabella successiva mostra le portate assunte nelle simulazioni per quanto riguarda i pozzi di viale Kasman e di Moggia nei vari periodi di sfruttamento (invernale e primaverile, estivo –da metà giugno a fine settembre ed autunnale).

Tempo inizio (giorni)	Tempo fine (giorni)	Periodo	Portata complessiva attuale da Kasman m^3/giorno	Portata complessiva attuale da Moggia m^3/giorno	Totale Kasman + Moggia m^3/giorno
0	165	Invernale-primaverile	~15.550	~5.960	~21.510
165	270	Estivo	21.600	~7.930	~29.530
270	365	Autunnale-invernale	15.550	~5.960	~21.510

Tabella 4. Portate di riferimento assunte nel modello per i campi pozzi di Kasman e Moggia nei diversi periodi.

Tale contesto dovrebbe simulare (con un approccio cautelativo) quanto attualmente in essere.

Le figure seguenti riportano una serie di sezioni orizzontali a profondità crescenti che mostrano la posizione del cuneo salino in diversi periodi dell'anno: a fine del periodo di emungimenti massimi estivi ed a fine anno dopo la ricarica dei mesi di ottobre, novembre e dicembre.

Condizioni 5 m sotto il livello medio marino -Situazione al termine del periodo estivo-

La piezometria al termine del periodo estivo di pompaggio intensivo, così come ricostruita dal modello allestito è illustrata nella seguente Figura 18 che rappresenta le condizioni indicativamente 5 m sotto il livello medio marino.

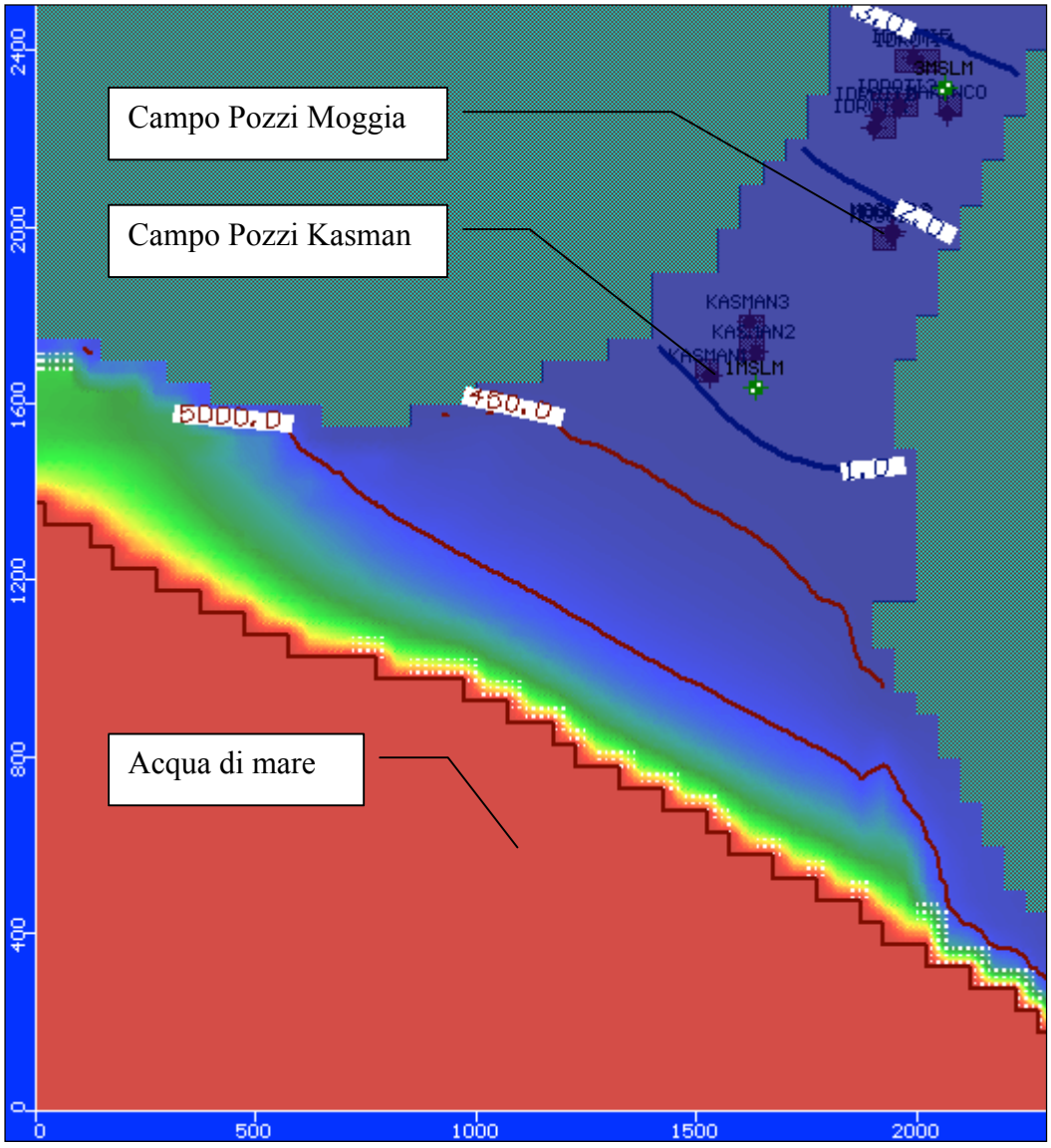


Figura 18. Piezometria del settore terminale del Fiume Entella (Genova) secondo i risultati delle modellazioni eseguite (valori delle isofreatiche in metri slm, equidistanza 1 m, colore blu) come ipotizzata essere al termine del periodo estivo, 5 m sotto il livello medio marino; in marrone le linee di isoconcentrazione (valori in mg/l).

Condizioni 5 m sotto il livello medio marino -Situazione a fine anno-

La piezometria al termine dell'anno, così come ricostruita dal modello allestito è illustrata nella seguente Figura 19 che rappresenta le condizioni indicativamente 5 m sotto il livello medio marino. Dal confronto con la figura precedente si nota una lieve ripresa della piezometria ed un lieve arretramento del cuneo salino.

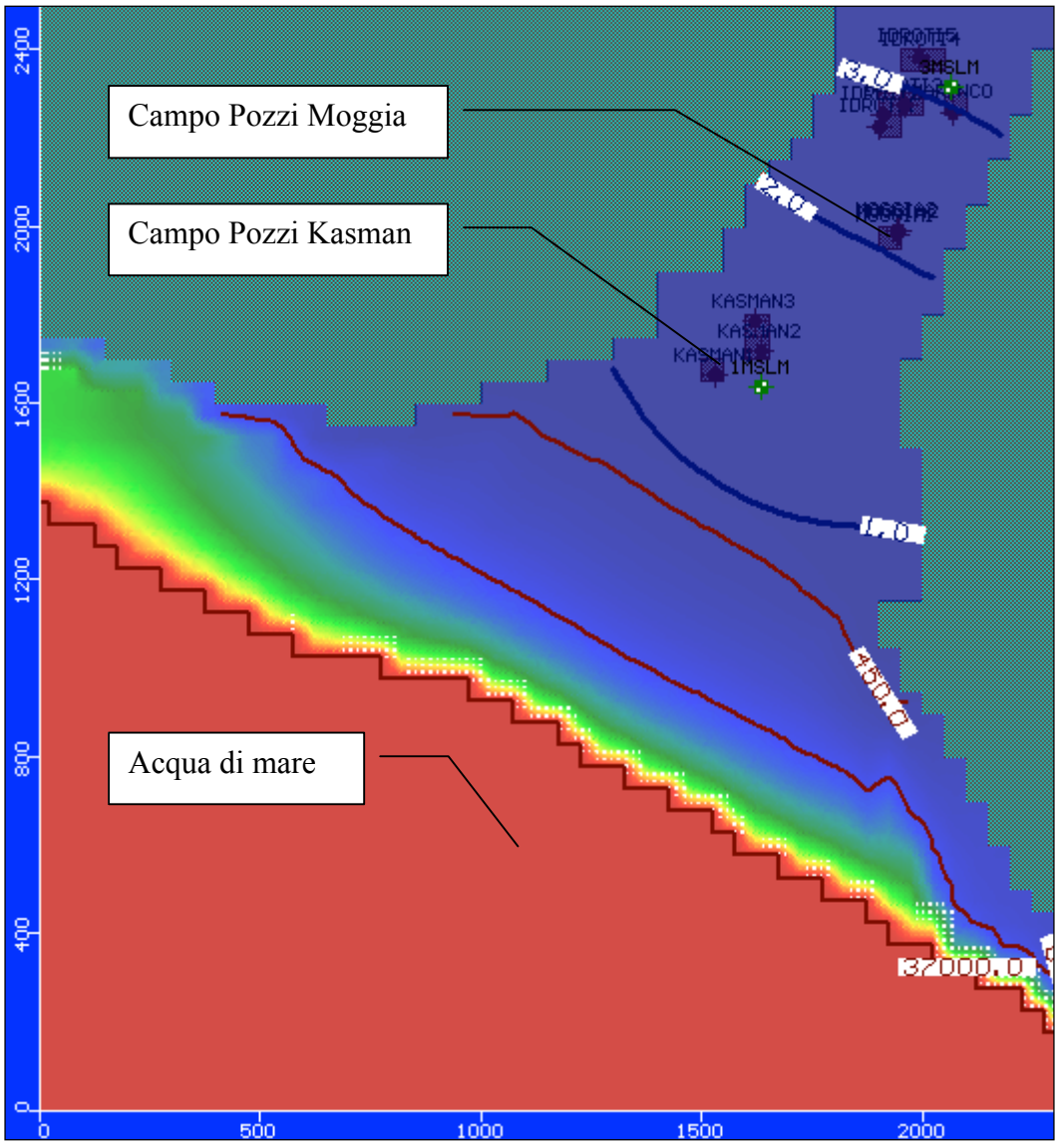


Figura 19. Piezometria del settore terminale del Fiume Entella (Genova) secondo i risultati delle modellazioni eseguite (valori delle isofreatiche in metri slm, equidistanza 1 m, colore blu) come ipotizzata essere a fine anno, 5 m sotto il livello medio marino; in marrone le linee di isoconcentrazione (valori in mg/l).

Condizioni 15 m sotto il livello medio marino -Situazione al termine del periodo estivo-

La piezometria al termine del periodo estivo di pompaggio intensivo, così come ricostruita dal modello allestito è illustrata nella seguente Figura 20 che rappresenta le condizioni indicativamente 15 m sotto il livello medio marino.

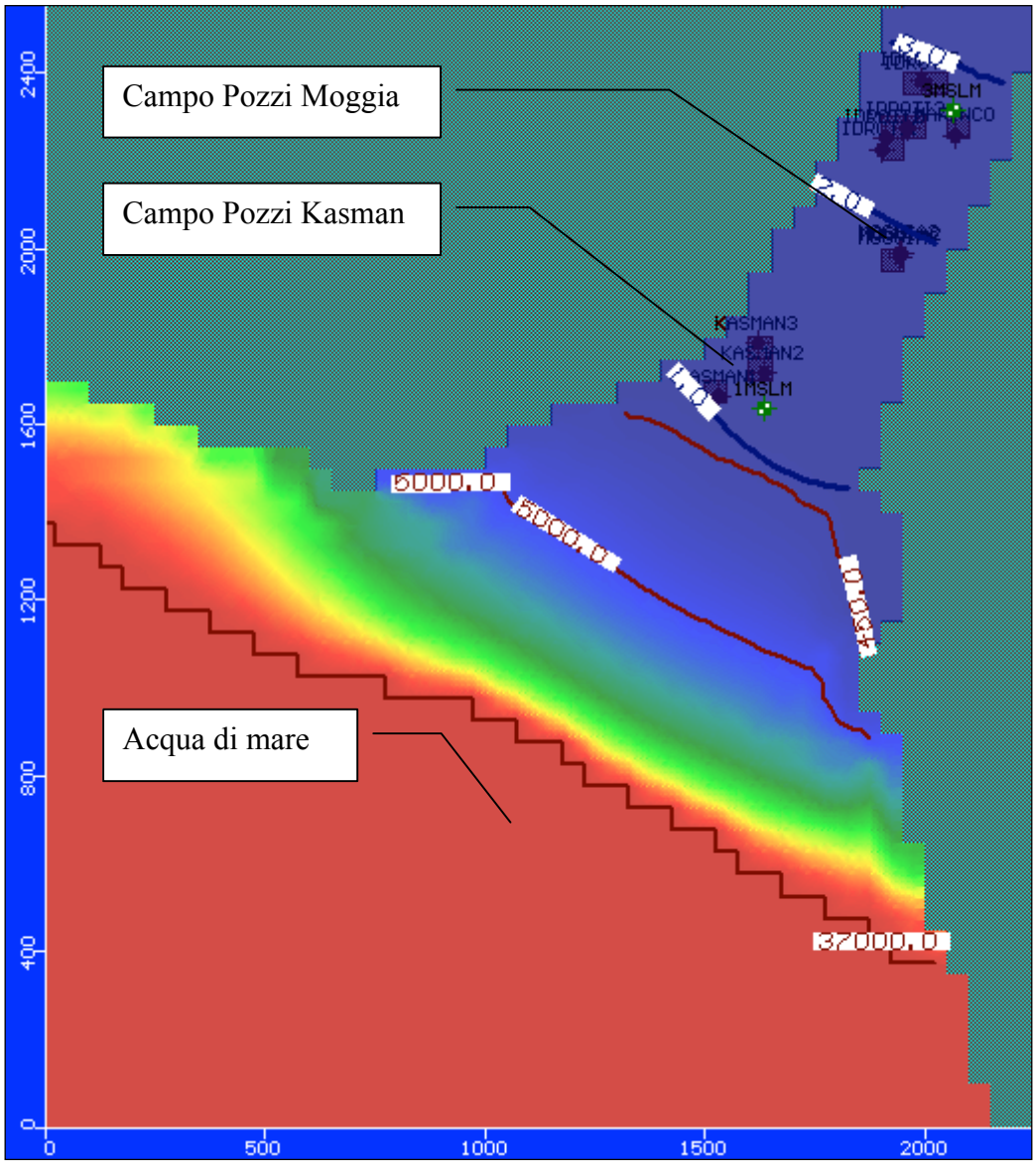


Figura 20. Piezometria del settore terminale del Fiume Entella (Genova) secondo i risultati delle modellazioni eseguite (valori delle isofreatiche in metri slm, equidistanza 1 m, colore blu) come ipotizzata essere al termine del periodo estivo, 15 m sotto il livello medio marino; in marrone le linee di isoconcentrazione (valori in mg/l).

Condizioni 15 m sotto il livello medio marino -Situazione a fine anno-

La piezometria al termine dell'anno, così come ricostruito dal modello allestito è illustrato nella seguente Figura 21 che rappresenta le condizioni indicativamente 15 m sotto il livello medio marino. Si nota una sensibile ripresa della piezometria ed un lieve arretramento del cuneo salino.

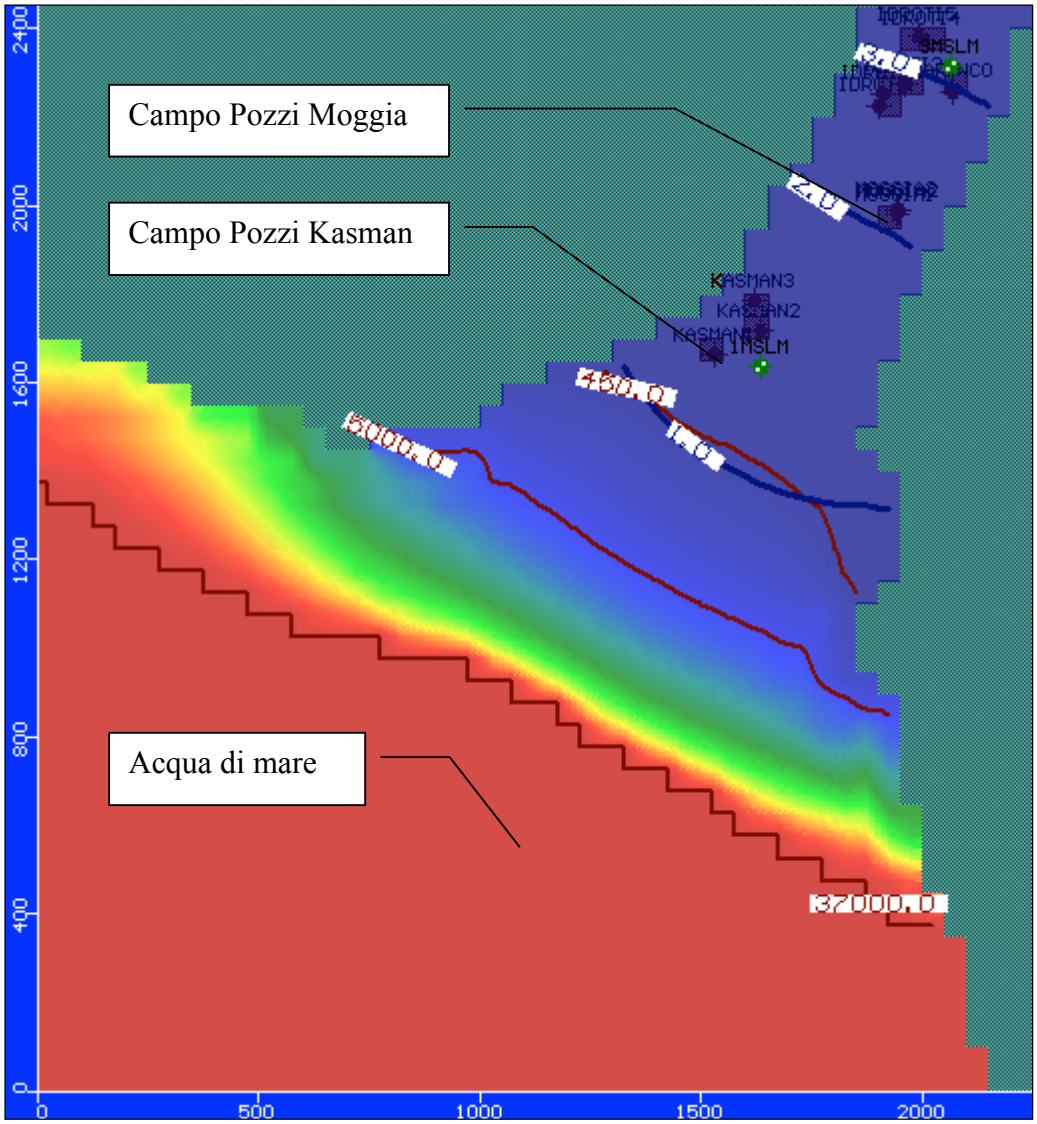


Figura 21. Piezometria del settore terminale del Fiume Entella (Genova) secondo i risultati delle modellazioni eseguite (valori delle isofreatiche in metri slm, equidistanza 1 m, colore blu) come ipotizzata essere a fine anno, 15 m sotto il livello medio marino; in marrone le linee di isoconcentrazione (valori in mg/l).

Condizioni 45 m sotto il livello medio marino -Situazione al termine del periodo estivo-

La piezometria al termine del periodo estivo di pompaggio intensivo, così come ricostruita dal modello allestito è illustrata nella seguente Figura 22 che rappresenta le condizioni indicativamente 45 m sotto il livello medio marino. Si nota un chiaro richiamo di acqua salmastra (presa a riferimento la curva di isoconcentrazione di 5000 mg/l) verso i pozzi di viale Kasman a Chiavari.

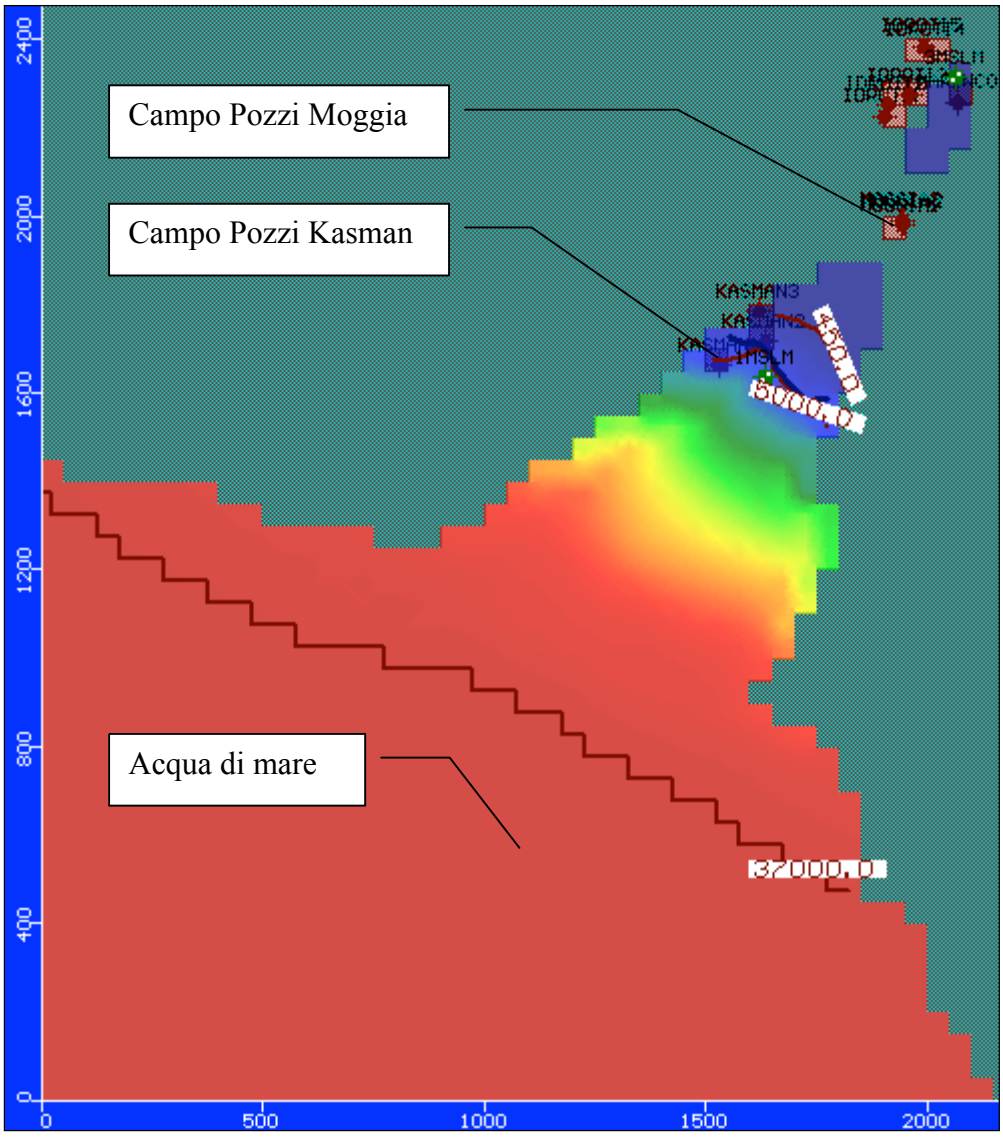


Figura 22. Piezometria del settore terminale del Fiume Entella (Genova) secondo i risultati delle modellazioni eseguite (valori delle isofreatiche in metri slm, equidistanza 1 m, colore blu) come ipotizzata essere al termine del periodo estivo, 45 m sotto il livello medio marino; in marrone le linee di isoconcentrazione (valori in mg/l).

Condizioni 45 m sotto il livello medio marino -Situazione a fine anno-

La piezometria al termine dell'anno, così come ricostruita dal modello allestito è illustrata nella seguente Figura 23 che rappresenta le condizioni indicativamente 45 m sotto il livello medio marino. Dal confronto con la figura precedente si nota una ripresa della piezometria ed un certo arretramento del cuneo salino.

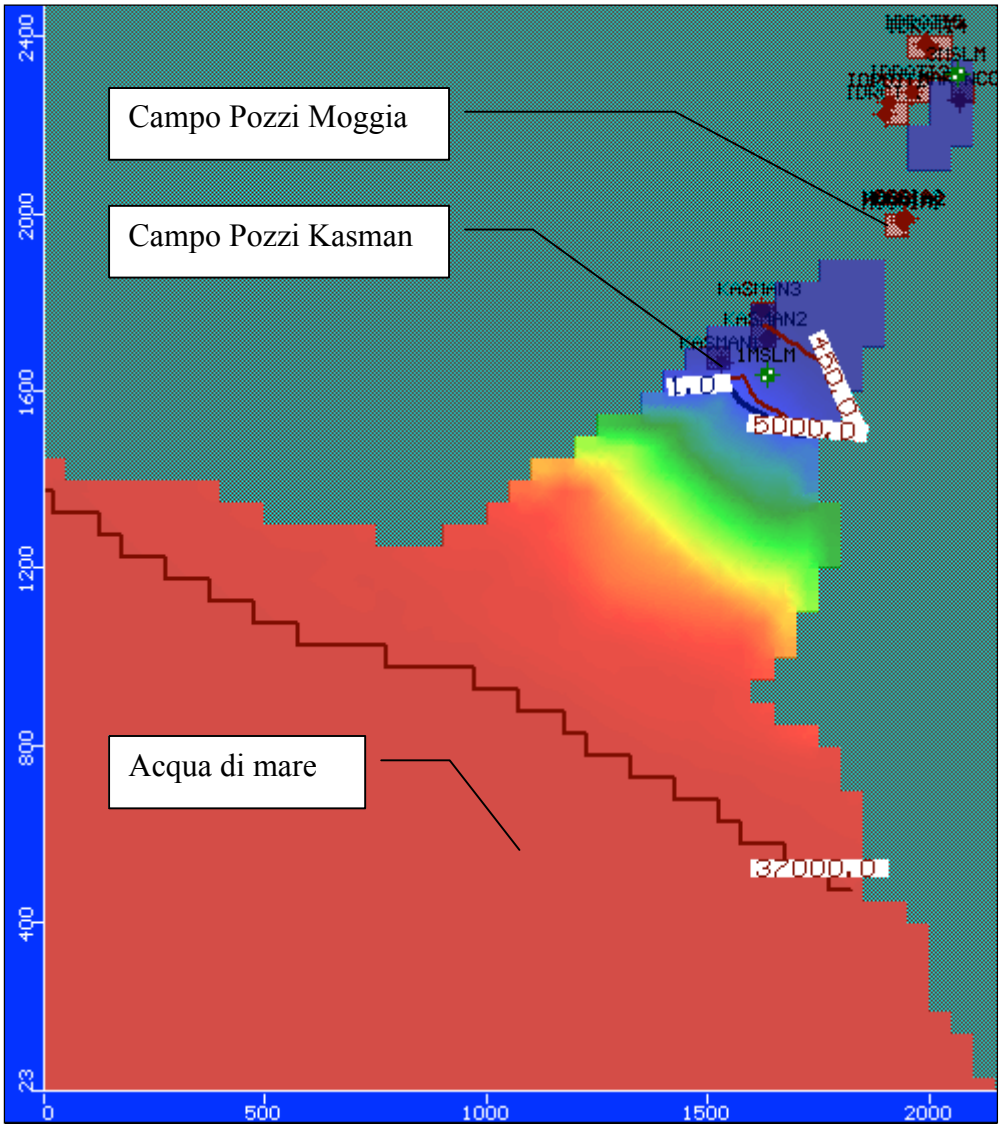


Figura 23. Piezometria del settore terminale del Fiume Entella (Genova) secondo i risultati delle modellazioni eseguite (valori delle isofreatiche in metri slm, equidistanza 1 m, colore blu) come ipotizzata essere a fine anno, 45 m sotto il livello medio marino; in marrone le linee di isoconcentrazione (valori in mg/l).

L'ingressione del cuneo salino verso campo pozzi Kasman

Si illustrano una serie di sezioni, orientate Nord-Sud e passanti per il campo pozzi di viale Kasman, che mostrano l'evoluzione temporale (della durata di un anno) del fenomeno di ingressione del cuneo salino in conseguenza dei pompaggi a partire indicativamente dalla condizioni di regime di deflusso di falda indisturbato (condizioni in assenza di pompaggi).

Dalle sezioni si evince:

- il raggiungimento di condizioni di equilibrio tra i 150 ed i 165 giorni di pompaggio;
- si origini una progressiva ingressione del cuneo salino (oltre a quella storica iniziale dovuta all'avvio dei vari campi pozzi) a partire dal periodo di intenso emungimento estivo (dopo circa 165 giorni); e
- che l'ingressione conseguente al pompaggio estivo sia parzialmente recuperata con il ritorno a regimi medi di portate emunte nel periodo autunnale.

A seguire, cfr. la Tabella 3, una serie di sezioni, poste indicativamente da monte a valle lungo il settore di vale Kasman, che dovrebbe illustrare il fenomeno di ingressione del cuneo salino in conseguenza dei pompaggi attuali (modellazione con approccio cautelativo).

Nelle sezioni seguenti il campo pozzi di viale Kasman è indicato con una colonna verticale bianca e le colorazioni seguono la seguente legenda, sulla sinistra la linea di costa, sulla destra l'acquifero.

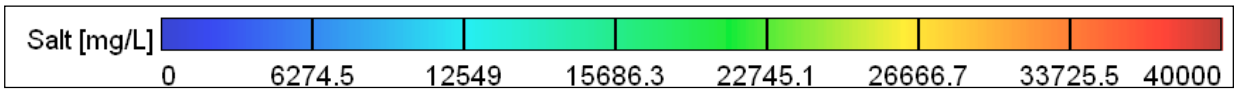
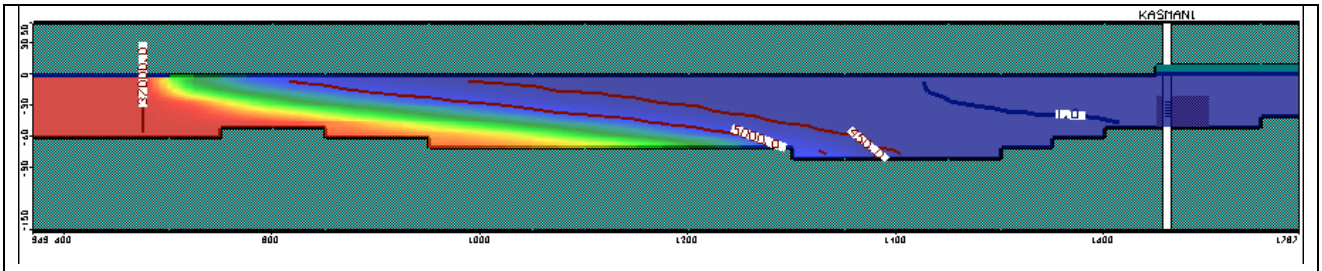
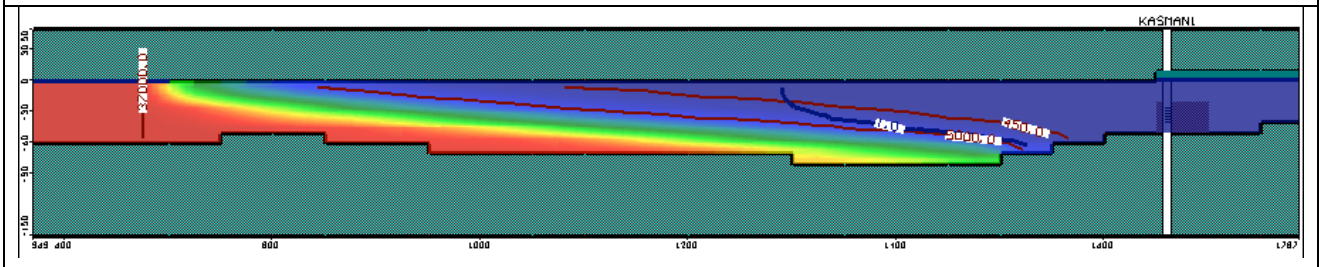


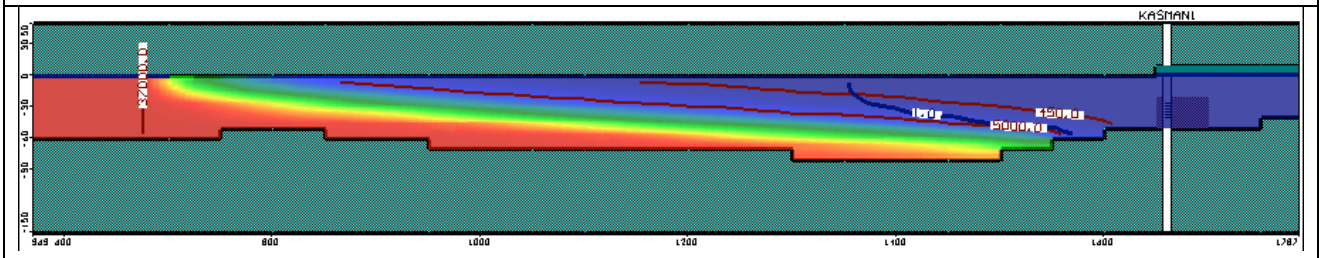
Figura 24. Legenda colorazioni di isoconcentrazione per le sezioni seguenti.



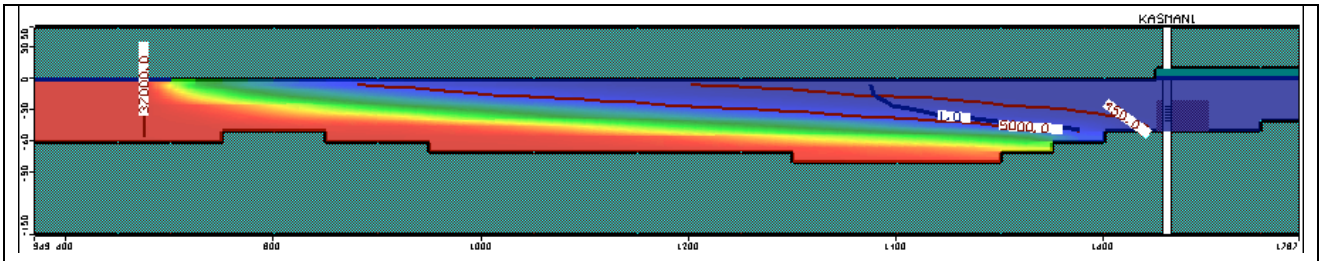
Condizioni ipotetiche quasi iniziali (dopo 30 giorni di pompaggio a partire da condizioni indisturbate in assenza di pozzi operativi)



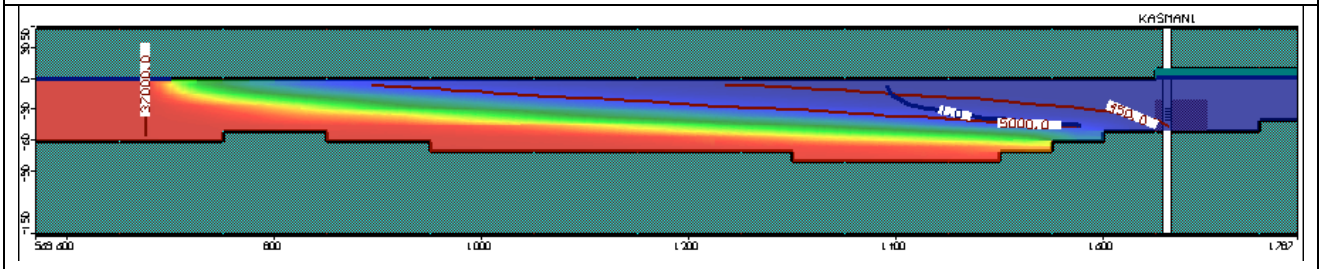
Condizioni ipotetiche dopo 60 giorni di pompaggio



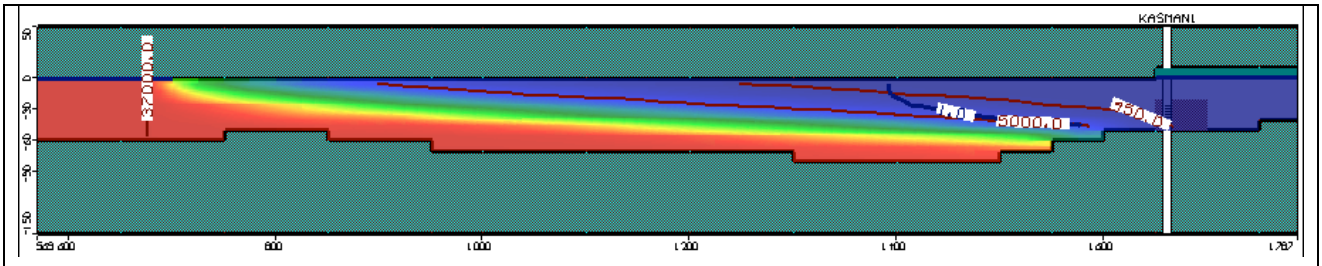
Condizioni ipotetiche dopo 90 giorni di pompaggio



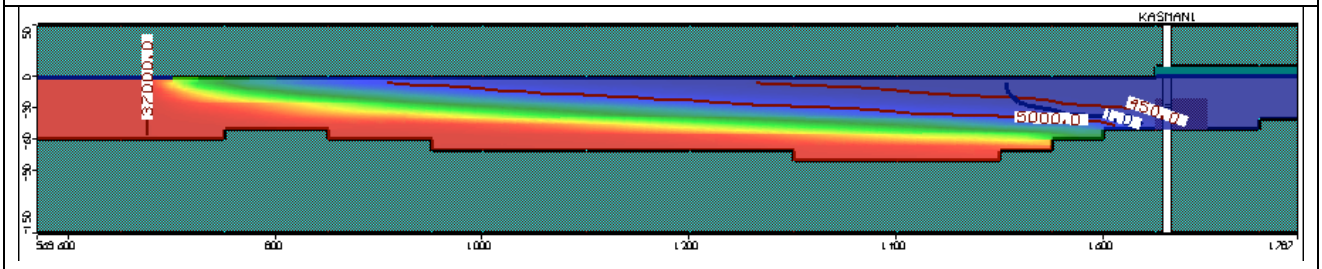
Condizioni ipotetiche dopo 120 giorni di pompaggio



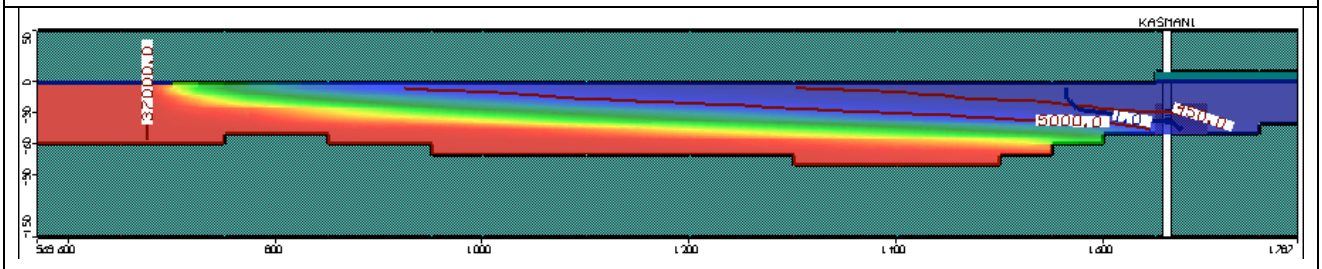
Condizioni ipotetiche dopo 150 giorni di pompaggio



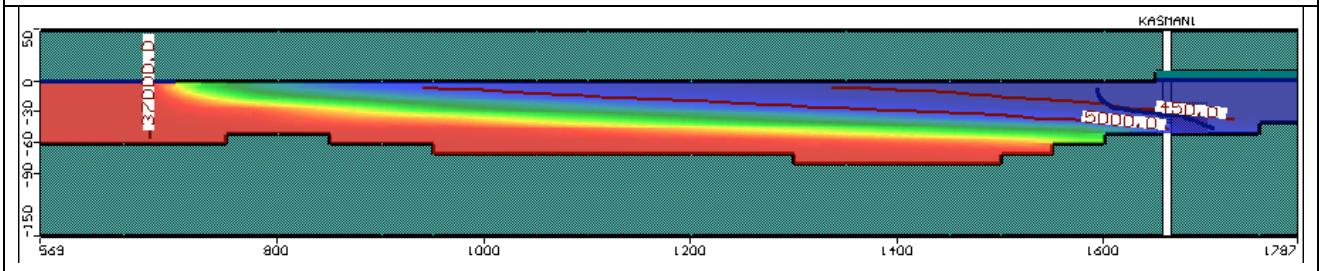
Condizioni ipotetiche dopo 165 giorni di pompaggio –Inizio Pompaggio intensivo estivo-



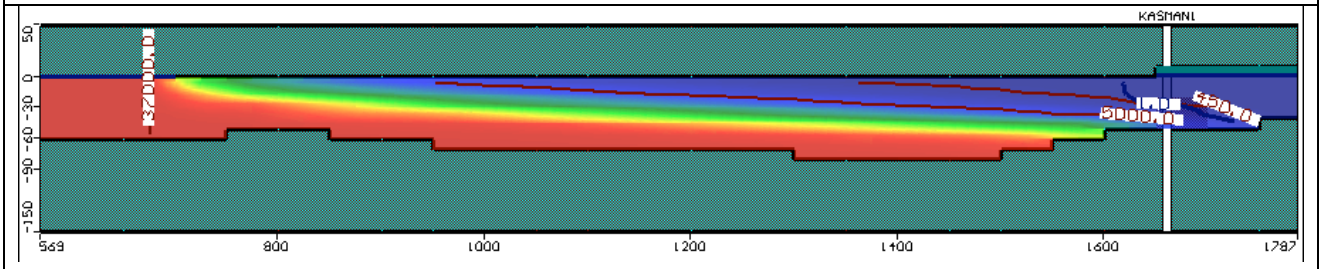
Condizioni ipotetiche dopo 180 giorni di pompaggio



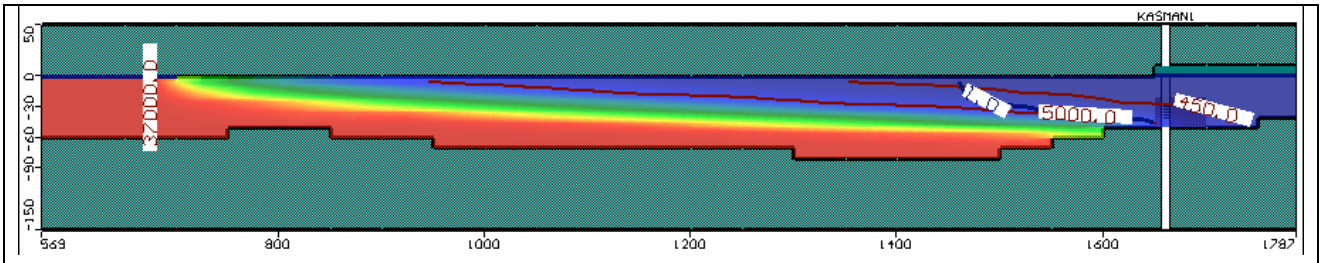
Condizioni ipotetiche dopo 210 giorni di pompaggio



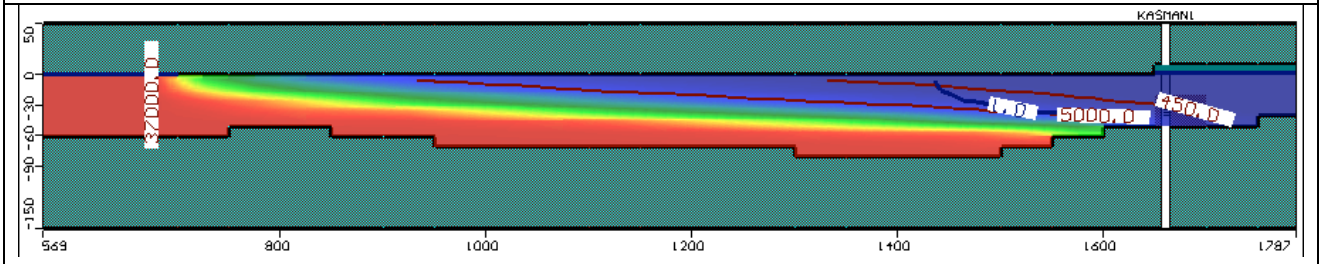
Condizioni ipotetiche dopo 240 giorni di pompaggio



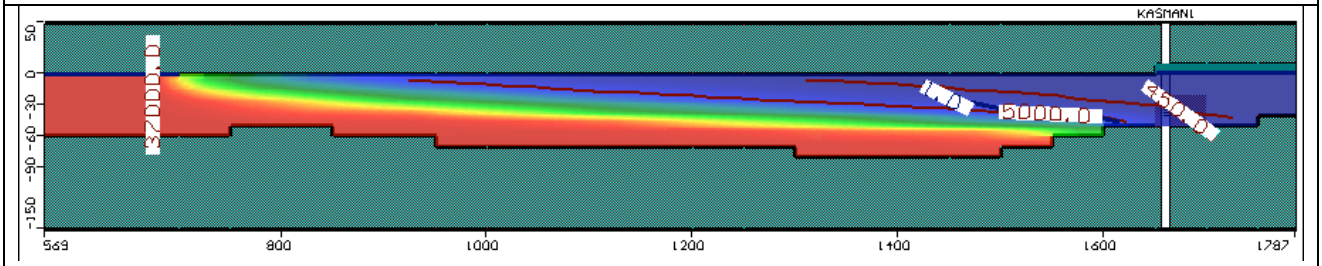
Condizioni ipotetiche dopo 270 giorni di pompaggio – Termine del periodo estivo di pompaggio intensivo-



Condizioni ipotetiche dopo 300 giorni di pompaggio



Condizioni ipotetiche dopo 330 giorni di pompaggio



Condizioni ipotetiche dopo 365 giorni di pompaggio

Tabella 3. Sezioni Nord Sud passanti per il campo pozzi viale Kasman (Chiavari), rappresentative delle condizioni di ingressione del cuneo salino in conseguenza dei pompaggi, il campo pozzi di viale Kasman è indicato con una colonna verticale bianca e le colorazioni seguono la seguente legenda, sulla sinistra la linea di costa, sulla destra l'acquifero.

Da tali analisi si evincerebbe (cfr. le sezioni in Tabella 3):

- il notevole effetto di richiamo del cuneo salino da parte dei pozzi allestiti; tale effetto si è avuto soprattutto nel corso del secolo precedente;
- un'eventuale avanzamento estivo durante le fasi di emungimento massimo dei campi pozzi presenti, tale effetto sembrerebbe essere recuperato nel successivo periodo autunnale ed invernale.

Dagli studi ad oggi compiuti risulta inoltre che l'avanzamento del cuneo salino è comunque contrastato dalla presenza di un alto morfologico del substrato roccioso e dalla configurazione stessa del rifrattore roccioso che sale progressivamente via via che ci si sposta da mare verso monte.

Conclusioni

È stato appositamente allestito un primo modello matematico a soluzione numerica tridimensionale di flusso di falda per valutare le condizioni di deflusso dell'acquifero alluvionale del Fiume Entella (tratto con lunghezza indicativa di circa 8 km).

Il modello è stato costruito sulla base dei dati reperiti (concessioni di sfruttamento, precedenti rapporti e modelli relativi al settore, valori comunicati dagli gestori degli acquedotti, studi appositamente dedicati, cfr. la bibliografia per maggiori dettagli).

Il modello ripropone le principali idrostrutture del settore: l'acquifero alluvionale ed il substrato roccioso che lo contiene e relativo contatto reciproco (il substrato roccioso, data la natura delle rocce presenti, è considerato praticamente impermeabile ai fini del presente studio) e simula il deflusso di falda nell'acquifero nelle condizioni di massimo emungimento estivo in condizioni stazionarie.

Le analisi eseguite hanno permesso di definire le isocrone e la zona di ricarica del campo pozzi di Caperana che ha un'estensione di circa 0,06 chilometri quadrati e si trova immediatamente a monte del campo pozzi con una estensione massima in direzione grossomodo settentrionale pari a circa 700 m, la massima estensione in direzione perpendicolare è pari a circa poco meno di 170 m (cfr. la Figura 25). Va segnalato che tale area è stata determinata in modo estremamente cautelativo in quanto non si tiene conto della profondità dei filtri dei pozzi presenti (16 o 30 m dal piano campagna a seconda del pozzo), della possibilità di percorsi non rettilinei in seguito alle modalità deposizionali e di storia geologica dei depositi sedimentar e delle possibili interazioni tra matrici coinvolte (quali ad esempio acqua – acqua e/o acqua – sedimento).

Il modello presentato nel rapporto e relative risultanze rappresenta la sintesi ed il risultato attuale di vari modelli allestiti nel tempo e tuttora in fase di affinamento (via via che si rendono disponibili nuove conoscenze ed approfondimenti nel settore oggetto di studio).

Sono state infine utilizzati gli esiti di precedenti studi ed analisi modellistiche (anni 2010 e fine 2011) per definire gli impatti dei campi pozzi nei confronti dell'ingressione del cuneo salino, tali impatti sono stati comunque significativi in occasione dell'attivazione di tali pozzi, avvenuta nel secolo scorso, attualmente sembrerebbe vigere un regime di equilibrio dinamico che determina avanzamenti del cuneo durante i pompaggi estivi ed una ritirata nel successivo periodo autunnale ed invernale; equilibrio che porta l'acqua salmastra ad arrivare al limite del campo pozzi di viale Kasman al termine del periodo estivo, l'avanzamento del cuneo salino risulta comunque contrastato naturalmente dalle caratteristiche morfologiche e di posizione del rifrattore roccioso al di sotto del corpo sedimentario.



Figura 25. Vista indicativa su ortofoto della porzione di territorio (ottenuta dall'inviluppo delle linee rosse) sovrastante le linee di flusso di falda (linee rosse) coinvolte nell'alimentazione del campo pozzi di Caperana**.**

Genova, maggio 2014

Dott. geol. Federico Pittaluga Ph.D.

Bibliografia

1. Stratigrafie dei Bacini Idrografici Liguri – Volume I – Osservatorio Permanente dei Corpi Idrici della Regione Liguria, Giugno 1995, Azienda Municipalizzata Gas e Acqua Genova, a cura del Dott. Andrea Grattarola (con contributi di Federico Pittaluga et Alii).
2. Interpretazione sismostratigrafica della piattaforma costiera antistante la foce dell'Entella, Nicola Corradi1, Mirko Zaquini2, Ornella Ferretti2, -1Università degli Studi di Genova, Dip.Te.Ris. Dipartimento per lo studio del Territorio e delle sue Risorse, Corso Europa 26, I-16132 Genova, 2 ENEA S. Teresa, Centro Ricerche Ambiente Marino, C.P.224, La Spezia, anno n.d.
3. Idrogeologia della Zona di Foce del Fiume Entella, Italgas, Area Nord, a cura del Dott. Luciano Sergiampietri, anno 2000.
4. Itec Engineering, Genova, Risorse idriche del Tigullio Bilancio Idrologico dell'Entella, Agosto 2010.
5. Itec Engineering, Genova, Interconnessione dei sistemi idrici del Tigullio (Ge) collegamento Chiavari – Rapallo attraverso s.p. 1 – Aurelia, Febbraio 2010.
6. Piano di Bacino stralcio sul Bilancio Idrico – Il bacino del fiume Entella, Provincia di Genova – direzione Pianificazione Generale e di Bacino, 15 aprile 2009.
7. L'idrologia del bacino del t. Entella (Liguria Orientale) nel quadro di un programma di gestione e protezione delle falde acquifere nella provincia di Genova – Atti del 3° Convegno Internazionale sulle Acque Sotterranee (Palermo 1-5 novembre 1975) di Cortemiglia G.C., De Stefanis A., Marini M e Terranova R.
8. Tesi di Laurea (Universita' degli Studi di Genova Facolta' di Scienze Matematiche Fisiche Naturali corso di laurea in Scienze Geologiche), Caratterizzazione stratigrafica, geotecnica ed idrogeologica della Piana del T. Entella"(Cavicchi Laura, 2004).
9. Stralci reperiti dalla rete dal: DSU 135 – Studio idraulico di dettaglio con annessa progettazione preliminare degli interventi di adeguamento idraulico del tratto terminale del torrente Entella nei Comuni di Carasco, Cogorno, Chiavari e Lavagna, Provincia di Genova, Area 06, Fase 1 Geologia, Ver01 del 16/04/2003, De Stefanis ed Alii.
10. Studio delle caratteristiche di flusso della porzione terminale dell'acquifero alluvionale del Torrente Entella (Genova), Giugno 2010 e Novembre 2011, Federico Pittaluga, Luciano Minetti, geologi.
11. Geofisica ed Ambiente, indagine geofisica di tipo noise analysis surface waves nasw e di tomografia elettrica eseguita nel comune di Lavagna, Zona Caperana, marzo 2014.