A.T.O. PROVINCIA DI GENOVA

PROGETTO PRELIMINARE
Comune di Rapallo
Opere di completamento del depuratore acque reflue
RELAZIONE DI SCREENING

Allegato 2

Analisi Modellistica Tridimensionale di Deflusso in Falda per la valutazione del rischio di inquinamento a carico del campo pozzi di Sant'Anna in caso di sversamento nel torrente Boate .



Coordinamento del progetto per Mediterranea delle Acque s.p.a.:
Ing. Gianluca Fontana

Data emissione: Giugno 2011

Preparato da:
Dott. Geol. Federico Pittaluga
Dott. Geol. Luciano Minetti

Controllato da :

Dott. Geol. Carlo Baracco

Sommario

1. Scopo dello studio e quadro normativo

1.1 La Normativa

1.2 Linee guida per la delimitazione delle aree d i salvaguardia
(dal PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE della Regione Liguria Allegato VII)

1.2.1Pozzi in sedimenti sciolti

2 . Breve Inquadramento geologico ed idrogeologico del settore

3. Definizione dell'idrostruttura del corpo alluvionale

4. Lo studio di dettaglio

5. Contesto geologico ed idrogeologico di riferimento e modello concettuale del sito

6. Il codice di calcolo

7. Risultati dell'analisi modellistica di falda

8. Conclusioni

Elenco Annessi (Presentati in CD allegato)

Annesso 1.
Indagini su un tratto del Torrente Boate (Marzo 2010)

Annesso 2.
Indagini geognostiche sul sito proposto e sulla zona eventualmente interessata da un ipotetico sversamento (Aprile Maggio 2011)

Annesso 3.
Stratigrafia e prove di pompaggio campo pozzi Sant'Anna

Annesso 4
Elaborati di calcolo Modello Numerico Tridimensionale sulla dinamica della diffusione degli inquinanti

1. Scopo dello studio e quadro normativo

Il presente studio si prefigge di valutare le conseguenze sul campo pozzi idropotabile di Rapallo (Ge), gestito da Acque Potabili SpA, rispetto alla sistemazione del nuovo impianto di depurazione in sponda destra del Torrente Boate, località Ronco-Viacava, a una distanza lineare di circa 70 m dai pozzi di prelievo, nell'ipotesi di uno sversamento di reflui nel corso d'acqua .

Lo scopo è quello di definire i tempi di un eventuale arrivo del refluo ai punti di emungimento del campo pozzi di Sant'Anna presenti sul territorio di Rapallo e gestiti dalla "Società Acque Potabili SpA" e contribuire così alla definizione della loro area di rispetto, in osservazione al quadro normativo vigente.

Qui di seguito vengono indicati i passi più significativi della normative e del PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE della Regione Liguria Allegato VII "Linee guida per la delimitazione delle Aree di Salvaguardia" che riporta i riferimenti normativi con le relative interpretazioni, i criteri e le priorità con cui delimitare le aree di salvaguardia attorno alle captazioni ad uso idropotabile (l'area destinata oggetto dello studio è illustrata nella Figura 1 12).

1.1 La Normativa

La determinazione delle aree Le aree di salvaguardia, così come disciplinato prima dall'art. 21 del D.Lgs. 152/1999, dalle "Linee guida per la tutela della qualità delle acque destinate al consumo umano e criteri generali per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle risorse idriche di cui all'art. 21 D. Lgs. 152/99" dell'Accordo Stato-Regioni-Province autonome del 12/12/2002, e poi dall'art. 94 del D. Lgs. 152/2006, sono distinte in zone di tutela assoluta, zone di rispetto (ristrette e/o allargate) e zone di protezione.

La zona di tutela assoluta deve avere una estensione di almeno 10 m di raggio dal punto di captazione. Tale area, per quanto possibile, deve essere recintata, protetta da eventuali esondazioni di corpi idrici limitrofi e provvista di canalizzazioni per il deflusso delle acque meteoriche. Inoltre deve essere adibita esclusivamente alle opere di captazione ed alle infrastrutture di servizio.

La zona di rispetto è costituita dalla porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta da sottoporre a vincoli e destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica captata e può essere suddivisa in zona di rispetto ristretta e zona di rispetto allargata in relazione alla tipologia dell'opera di presa o captazione e alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa. In particolare nella zona di rispetto sono vietati l'insediamento dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attività:

a) Dispersioni di fanghi ed acque reflue, anche se depurati
b) Accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi
c) Spandimenti di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche

d) Dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche provenienti da piazzali e strade
e) Aree cimiteriali
f) Aperture di cave che possono essere in connessione con la falda
g) Apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione della estrazione ed alla protezione delle caratteristiche quali-quantitative della risorsa idrica
h) Gestione di rifiuti
i) Stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive
j) Centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli
k) Pozzi perdenti
l) Pascolo e stabulazione di bestiame che eccede i 170 Kg per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione. È comunque vietata la stabulazione di bestiame nella zona di rispetto ristretta. (comma 5, art. 21, D. Lgs. 152/99).

Per gli insediamenti o le attività di cui al comma 4 dell'art. 94 del d.lgs 152/2006, preesistenti, ove possibile e comunque ad eccezione delle aree cimiteriali, sono adottate le misure per il loro allontanamento: in ogni caso deve essere garantita la loro messa in sicurezza. Le regioni e le province autonome disciplinano , all'interno delle zone di rispetto, le seguenti strutture od attività:

Fognature
Edilizia residenziale e relative opere di urbanizzazione
Opere viarie, ferroviarie ed in genere infrastrutture di servizio

Su proposta delle autorità d'ambito, le regioni, per mantenere e migliorare le caratteristiche qualitative delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano erogate a terzi mediante impianto di acquedotto che riveste carattere di pubblico interesse, nonché per la tutela dello stato delle risorse, individuano le aree di salvaguardia distinte in zone di tutela assoluta e zone di rispetto, nonché, all'interno dei bacini imbriferi e delle aree di ricarica della falda, le zone di protezione. (comma 1, art. 94, D. Lgs. 152/06)

In assenza dell'individuazione da parte della regione della zona di rispetto ai sensi del comma 1, la medesima ha un'estensione di 200 metri di raggio rispetto al punto di captazione o di derivazione. (comma 6, art. 94, D. Lgs. 152/06)

Naturalmente tale estensione geometrica per la definizione della zona di rispetto è da considerarsi in via puramente transitoria, da adottarsi solamente per il tempo necessario a compiere i necessari studi tecnico-scientifici per la perimetrazione definitiva ad opera degli enti preposti.

Così come previsto dall'Accordo del 12 dicembre 2002, stipulato tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome, le aree di salvaguardia sono individuate secondo i seguenti criteri generali:

1. Le aree di salvaguardia di sorgenti, pozzi e punti di presa delle acque superficiali sono suddivise, ai sensi dell'articolo 94, comma 1, del decreto legislativo n° 152/06, in zona di tutela assoluta, zona di rispetto (ristretta e allargata) e zona di protezione.

2. I criteri per la delimitazione delle aree di salvaguardia e l'estensione delle diverse zone sono stabiliti in funzione delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche,

idrologiche e idrochimiche delle sorgenti, dei pozzi e dei punti di presa da acque superficiali.

3. Le singole zone sono individuate secondo i seguenti criteri:

a) criterio geometrico: di norma adottato per la delimitazione della zona di tutela assoluta e della zona di rispetto per le derivazioni da corpi idrici superficiali e, in via provvisoria, per la delimitazione delle zone di rispetto dei pozzi e delle sorgenti;

b) **criterio temporale: basato sul tempo di sicurezza**, così come definito alla lettera t) dell'allegato 1. Si applica, in prevalenza, per la delimitazione definitiva della zona di rispetto di pozzi ed eventualmente di sorgenti, laddove applicabile. Tale criterio deve tenere conto degli elementi tecnici riportati nel Titolo II del presente allegato;

c) **criterio idrogeologico: basato sugli elementi idrogeologici specifici dell'acquifero e dei suoi limiti**, viene usualmente applicato alle zone di protezione alle captazioni da sorgenti ed alle zone di rispetto dei pozzi in condizioni idrogeologiche di particolari complessità che impediscono l'utilizzo del criterio temporale; fa parte del presente criterio anche il metodo basato sul tempo di dimezzamento della portata massima annuale delle sorgenti.

4. Le delimitazioni effettuate utilizzando i criteri di cui alle lettere b) e c) devono basarsi su studi geologici, idrogeologici, idrologici, idrochimici e microbiologici, e sui dati storici delle caratteristiche quali-quantitative della risorsa interessata; detti studi sono finalizzati ad identificare e definire i limiti delle aree interessate dalla captazione e devono essere redatti sulla base dei contenuti degli allegati al presente regolamento.

5. La durata dell'applicazione del criterio di individuazione di cui alla lettera a) può essere prevista dalle Regioni per le sorgenti di limitata importanza sulla base di studi preliminari che individuino una scarsa urbanizzazione del bacino afferente alla captazione ed in attesa di ulteriori conoscenze sulla circolazione idrica sotterranea.

6. La gestione delle aree di salvaguardia, così come prevista anche dagli articoli 13 e 24 della legge 5 gennaio 1994, n. 36, deve prevedere interventi di manutenzione e riassetto e tenere conto del monitoraggio effettuato in conformità alle disposizioni del decreto legislativo n° 152/99.

7. Tra i criteri da considerare per l'eventuale revisione delle aree di salvaguardia, previa verifica da effettuare ogni 10 anni o in tempo minore se le condizioni lo richiedono, si indicano:

a) l'insorgere di fattori nuovi o cause che determinano variazioni rispetto alle condizioni che hanno consentito la delimitazione in atto, con particolare riferimento a variazioni quali-quantitative delle risorse idriche estratte, derivate, o a cambiamenti nell'assetto piezometrico determinati dall'insorgere di cause naturali o antropiche, o in presenza di più recenti acquisizioni tecniche e scientifiche;

b) la destinazione assegnata dai Piani Regolatori Generali (P.R.G.) e dai Piani Territoriali di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) ai territori interessati o

interessabili dalle nuove aree di salvaguardia e l'eventuale presenza, su dette aree, di centri di pericolo.

La delimitazione delle aree di salvaguardia resta in vigore anche nel caso in cui le captazioni siano temporaneamente disattivate.

8. Nel caso in cui le aree di salvaguardia delle captazioni esistenti comprendano potenziali centri di pericolo per la qualità delle acque, è opportuno valutare tutte le opportunità per la gestione delle captazioni, compreso l'abbandono delle medesime; qualora ciò non sia possibile si possono adottare oltre alle misure di cui al successivo Titolo II, punto 3, anche ulteriori misure complementari quali:

a) l'intensificazione del monitoraggio quali-quantitativo;

b) l'interconnessione, ove possibile, della rete di distribuzione con altre fonti o reti di approvvigionamento;

c) il piano di intervento in caso di emergenza di cui al successivo Titolo II, punto 5;

d) la ristrutturazione delle opere di captazione.

1.2 Linee guida per la delimitazione delle aree d i salvaguardia

(dal PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE della Regione Liguria Allegato VII)

Di seguito sono indicate linee guida tecnico-scientifiche da utilizzarsi per la delimitazione delle aree di salvaguardia, in base ai diversi criteri di studio proposti dall'Accordo tra Stato, Regioni e Province autonome del 12/12/2002.

La particolare complessità della situazione idrogeologica ligure, porta ad assumere come fondamentale, per la delineazione delle aree di salvaguardia di pozzi e sorgenti, il criterio temporale ed il criterio idrogeologico, a seconda della situazione riscontrata sul territorio. Si sconsiglia l'uso del criterio geometrico, limitandolo a situazioni specifiche.

In particolare per le derivazioni idriche già in essere, qualora mancassero le necessarie conoscenze idrogeologiche, si utilizzerà il criterio geometrico per una prima delimitazione temporanea delle aree di salvaguardia ai fini di garantire comunque un livello minimo di tutela della risorsa idrica e della salute umana. Questa operazione, compresa l'individuazione degli eventuali centri di pericolo ricadenti nelle aree di salvaguardia, dovrà essere portata a termine entro e non oltre il 2015. Entro 5 anni dalla prima delimitazione temporanea, attraverso i necessari studi tecnico-scientifici-economici, dovrà essere posta in essere una delimitazione definitiva, ad opera degli enti preposti, secondo il criterio temporale o idrogeologico.

Per la delineazione delle aree di salvaguardia delle captazioni di acque superficiali, salvo casi particolari, il criterio adottabile risulta senz'altro essere quello geometrico.

Per le nuove derivazioni ad uso idropotabile, si dovrà procedere alla individuazione delle Aree di Salvaguardia secondo il criterio temporale o idrogeologico adottando le linee guida di seguito riportate, che permetteranno di valutare l'adozione di un metodo piuttosto di un altro.

1.2.1 Pozzi in sedimenti sciolti

Per quanto riguarda la delimitazione delle aree di salvaguardia dei pozzi adibiti all'emungimento di acqua a scopo idropotabile, bisogna precisare che, nella nostra Regione, questi ultimi sono per la maggior parte terebrati nelle numerose piane alluvionali formatesi allo sbocco delle valli presso il Mar Ligure o, nel versante padano, nelle zone più ampie e

meandriformi dei torrenti dove sono presenti diversi ordini di terrazzi alluvionali. Questo aspetto, per alcuni versi, avvicina le nostre "microrealtà" alla "macrorealtà" riscontrata nella Pianura Padana, peraltro già studiata da vari autori in diversi lavori. La caratteristica di fondo condivisa dalle due situazioni è data dal fatto che in ambedue i casi, i pozzi sono terebrati in piane alluvionali; le similitudini però finiscono qui per diversi motivi. Innanzi tutto le dimensioni delle piane alluvionali: quella padana, se paragonata alle nostre "micro-piane", è praticamente illimitata sia in senso orizzontale che in senso verticale, si parla di un area di circa 3000 Km2 e di una potenza complessiva di sedimenti di diverse centinaia di m a fronte di un'area di circa 65 Km2 e di una potenza di circa 70 m per la piana alluvionale ligure più estesa (Magra-Vara). Inoltre, dal punto di vista stratigrafico, le eteropie in senso orizzontale e verticale presenti nei i diversi strati sedimentari delle piane alluvionali liguri, sono molto più frequenti e complesse. Difatti gli eventi di piena alluvionale dei brevi e scoscesi corsi d'acqua liguri, nei millenni, hanno determinato un apporto discontinuo e litologicamente e granulometricamente estremamente vario di sedimenti, con la conseguenza di una circolazione idrica sotterranea particolarmente complessa. Frequenti sono i casi di acquiferi multifalda, circolanti in un materasso alluvionale complessivo di soli 40/50 m, in cui, alla luce dei dati attuali, difficilmente si riescono a conoscere con certezza le interazioni "verticali" fra le diverse falde sovrapposte e la circolazione idrica "orizzontale" all'interno di ogni singola falda. Tutto ciò viene complicato ulteriormente dal fatto che normalmente le piane costiere liguri sono fortemente antropizzate (interamente occupate dagli insediamenti urbani ed industriali) ed, in alcuni casi, compromesse dall'intrusione del cuneo salino in prossimità della fascia costiera. Ciò porta a considerare la maggior parte dei nostri acquiferi di tipo "urbano" e quindi particolarmente vulnerabili.

Assodati tali presupposti, si possono suggerire delle linee guida per la delimitazione delle aree di salvaguardia dei pozzi terebrati in alluvioni sciolte.

La zona di tutela assoluta:

- Così come normato dal D. Lgs. 152/99 e ribadito dall'Accordo del 12 dicembre 2002, dovrà avere una estensione di almeno 10 m di raggio dal punto di captazione.
- Tale area, per quanto possibile, dovrà essere recintata, protetta da eventuali esondazioni di corpi idrici limitrofi e provvista di canalizzazioni per il deflusso delle acque meteoriche.
- Deve essere adibita esclusivamente alle opere di captazione ed alle infrastrutture di servizio.
- Per una protezione più efficace di tale zona, nel caso in cui i pozzi siano terebrati in aree sottoposte a forti pressioni, sarà necessario prevedere associata alla protezione statica, costituita da divieti, vincoli e regolamenti, una protezione di tipo dinamica, che presuma sistemi di allarme in grado di segnalare in tempo reale eventuali cambiamenti repentini delle principali caratteristiche chimico fisiche delle acque emunte dall'opera di presa.

Per la perimetrazione della zona di rispetto, ristretta e/o allargata, la migliore modalità operativa da seguire, per i pozzi terebrati nei sedimenti sciolti delle piane alluvionali, appare senza dubbio quella del criterio temporale.

- Questo criterio basato sulla determinazione delle isocrone, linee che congiungono i punti d'uguale tempo d'arrivo delle particelle d'acqua ad un'opera di captazione con un percorso attraverso il mezzo saturo, non esclude ma anzi necessita di approfonditi studi sulla struttura idrogeologica del sottosuolo da cui si possano desumere le principali caratteristiche fisiche (trasmissività, coefficiente di permeabilità, coefficiente di immagazzinamento, gradiente idraulico, raggio di influenza del pompaggio,…).

- Il tempo di sicurezza di norma utilizzato è di 60 giorni per la zona di rispetto ristretta e 180 o 365 giorni per quella allargata, in funzione del grado di rischio di contaminazione della risorsa e del tipo di protezione applicato.
- L'intervallo di tempo è normalmente adottato sulla base della possibilità di eseguire controlli e in parte sulla base delle caratteristiche degli inquinanti. In ogni caso si consiglia di considerare un tempo di sicurezza non inferiore a 75/100 giorni, che corrisponde al tempo di sopravvivenza di buona parte dei virus più comuni trasportati in acqua.
- Affinché la zona di protezione individuata sia realmente affidabile, è comunque necessario:
    - costruire degli algoritmi semplici per la stima dei tempi d'arrivo, partendo dai valori medi dei principali parametri idrogeologici
    - elaborare dei veri e propri modelli di flusso complessi, nel caso in cui, invece, si abbia una conoscenza approfondita e puntuale di tutti i parametri chimico-fisici del mezzo insaturo attraversato dalle acque percolanti e del mezzo saturo ospitante l'acquifero vero e proprio.
    - tener ben presente la capacità autodepurante del terreno sia del mezzo insaturo sia di. quello saturo, considerando le caratteristiche chimico-fisiche del tipo di inquinante che potrebbe attraversarlo (a scopo cautelativo ciascun inquinante viene comunque considerato conservativo e quindi non soggetto a degradazione, adsorbimento, decadimento, precipitazione di fasi solide…).
- Così come per l'area di tutela assoluta, per una protezione più efficace della zona di rispetto, nel caso in cui i pozzi siano terebrati in aree sottoposte a forti pressioni, sarà necessario prevedere associata alla protezione statica, costituita da divieti, vincoli e regolamenti, una protezione di tipo dinamica, che presuma sistemi di allarme in grado di segnalare in tempo reale eventuali cambiamenti repentini delle principali caratteristiche chimico fisiche delle acque emunte dall'opera di presa.
  Tali sistemi di allarme consisteranno, per esempio, in una serie di piezometri posti al perimetro dell'area di rispetto, opportunamente attrezzati ed in grado di rilevare qualsiasi cambiamento repentino del livello di falda e delle principali caratteristiche chimico fisiche della risorsa idrica sotterranea in tempo utile per valutare la causa di tali cambiamenti e l'eventuale contromisura da adottare per garantire l'idonea qualità dell'acqua derivata. Su questi piezometri dovranno inoltre essere compiute delle campagne di campionamento opportunamente cadenzate in relazione ai tempi di sicurezza scelti per la delimitazione dell'area stessa.

In considerazione di quanto riportato nella Normativa Nazionale e nelle Linee Guida Regionali e ancorché si voglia considerare un Depuratore come "centro di pericolo e/o lo svolgimento di attività pericolose" (si veda l'art. 21 del D.Lgs. 152/1999 qui riportato al punto 1.1) dove questo tipo di attività non è riportata, è stato condotto questo studio che ha definito il modello geologico ed idrogeologico che interessa il sito ed il campo pozzi e sulla base, delle conoscenze acquisite con indagini geognostiche dedicate e già a disposizione, è stato realizzato un modello matematico con la finalità di determinare i tempi di arrivo di un inquinante sversato nel Torrente Boate nelle condizioni più gravose corrispondenti alla mancanza di transito nel corso d'acqua e con tutti i pozzi in funzione.

2 . Breve Inquadramento geologico ed idrogeologico del settore

Nella 1 è illustrata la geologia del bacino che risulta quasi interamente interessata dai calcari marnosi del monte Antola con depositi di tipo alluvionale, fluviale e/o costiero nelle porzioni basali del settore (quote prossime al livello medio marino).

La formazione del Monte Antola è caratterizzata da calcari marnosi e marne calcaree con alternanze di argille marnose, arenarie e calcareniti, tali rocce sono permeabili per fratturazione e blando carsismo per cui costituiscono l'acquifero principale che alimenta le falde idriche sotterranee locali.

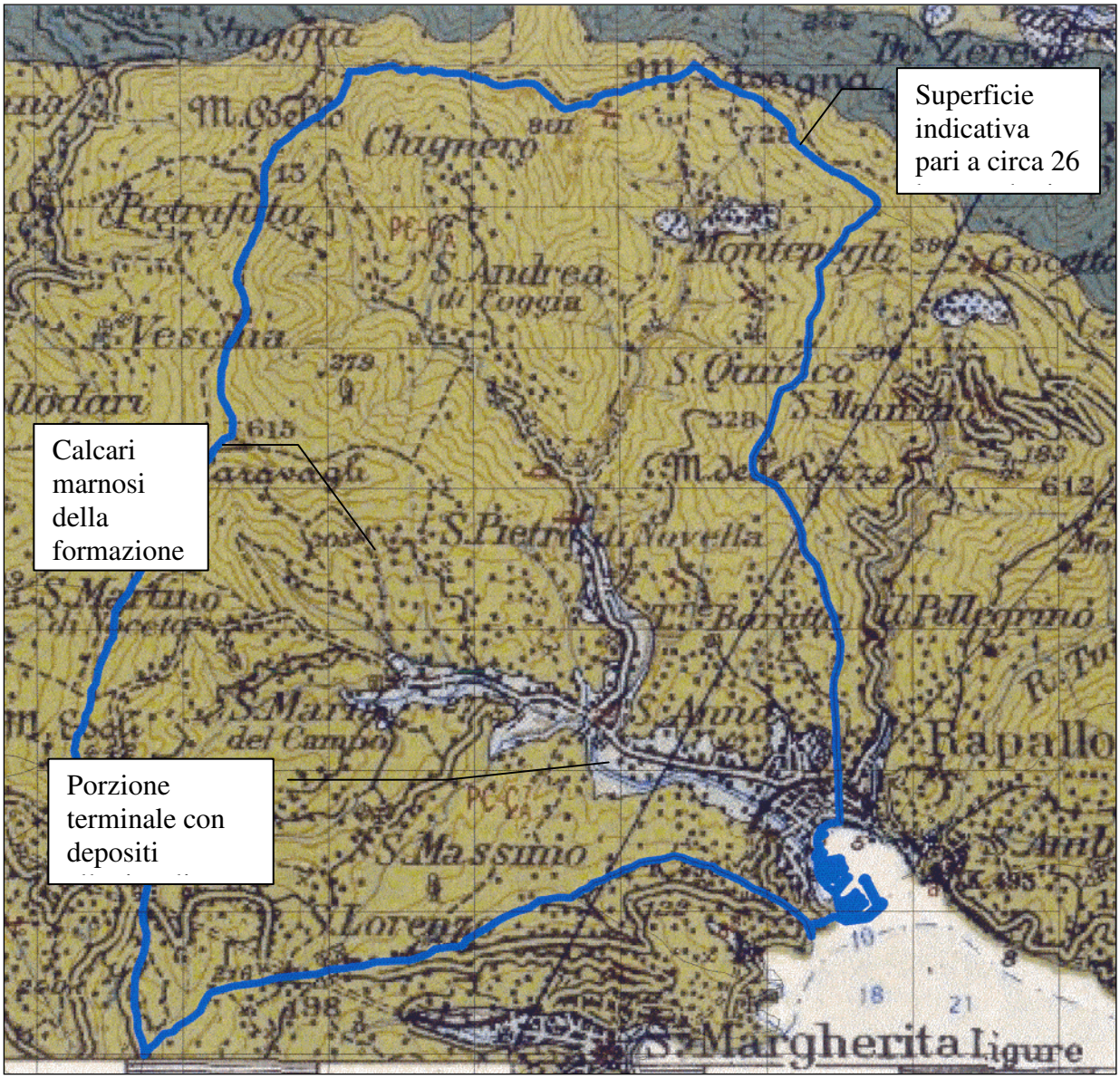


Figura 1. Inquadramento del Bacino idrografico del Torrente Boate (La linea in blu definisce i limiti del bacino). Fonte carta geologica d'Italia, foglio Rapallo.

I depositi alluvionali, che si trovano nelle porzioni vallive del bacino, sono sede di acquiferi porosi caratterizzati da spessori di qualche decina di metri circa. Nel paragrafo seguente sono approfondite le considerazioni in merito ai depositi sedimentari e relativi corpi acquiferi (acquifero alluvionale ed in roccia).

Il bacino imbrifero presenta caratteristiche tipiche derivate dalle litologie calcaree presenti in Liguria, sopra indicate dove i corsi d'acqua, vista la difficoltà d'erosione di questa roccia, sono impostati principalmente sulle direzioni preferenziali della tettonica, con morfologie molto acclivi e piane vallive modeste, spessori del pacco alluvionale ridotti e gradienti relativamente importanti; nel nostro caso i 700 m di quota dello spartiacque settentrionale distano dalla foce solo circa 6 km, con tempi di transito delle acque di superficie e di alimentazione della falda molto ridotti.

Da tutto ciò deriva la disponibilità di risorsa relativamente modesta e legata alle regime piovoso stagionale.

3. Definizione dell'idrostruttura del corpo alluvionale

Tramite la cartografia geologica regionale e nazionale di riferimento e gli studi appositamente effettuati per il presente incarico è stato definito il contorno delle alluvioni recenti, costituenti la porzione terminale (poco meno di 2 km circa a partire dalla foce, settore di confluenza tra i torrenti Santa Maria e San Pietro) dell'asta torrentizia del Torrente Boate (cfr. la seguente Figura); tale settore ha un'estensione pari a circa 1,7 km quadrati a cui corrisponderebbe una ricarica annua dell'acquifero sottostante da parte delle precipitazioni dirette pari a poco più di un milione di metri cubi (circa 1.100.000 m^3 all'anno).

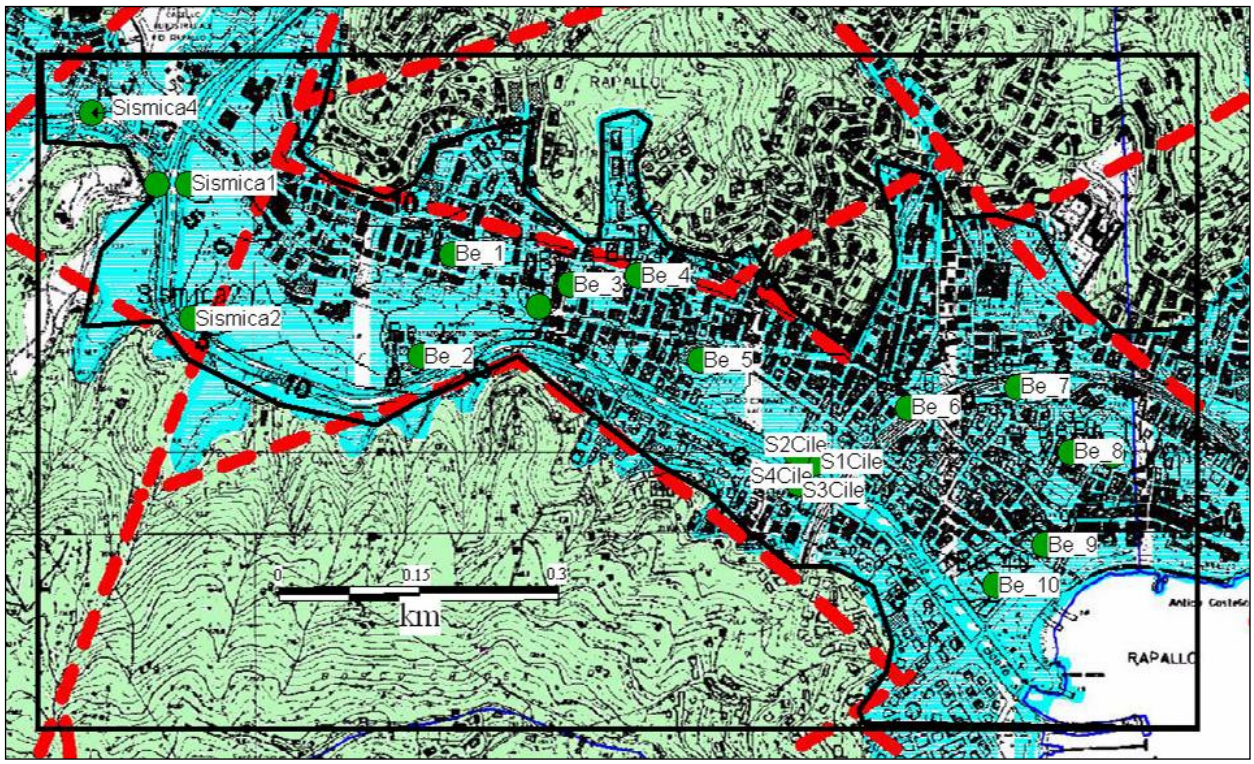


Figura 2. Particolare dei sedimenti alluvionali recenti (area in colore azzurro all'interno del rettangolo nero) nella porzione terminale del Torrente Boate e dell'ubicazione dei pozzi e dei sondaggi utilizzati per la modellazione (nella figura i pozzi, i sondaggi e le indagini geofisiche appositamente effettuate sono indicati con il simbolo del cerchio colore verde), in verde i settori con roccia calcarea della formazione del Monte Antola, le linee rosse tratteggiate indicano le faglie presunte (scala grafica).

Le informazioni riportate in Figura 4 sono state utilizzate per una prima definizione dell'andamento del substrato roccioso nella zona terminale dell'acquifero alluvionale (sino al settore di confluenza tra i torrenti Santa Maria e San Pietro in quanto per tale zona sono disponibili un numero significativo di informazioni geologiche). E'da segnalare che i dati utilizzati includono anche i risultati di campagne geofisiche di prospezione sismica appositamente realizzate nell'ambito dell'incarico in questione.

La seguente Figura riporta una possibile modellazione del substrato roccioso effettuata sulla base delle informazioni disponibili.

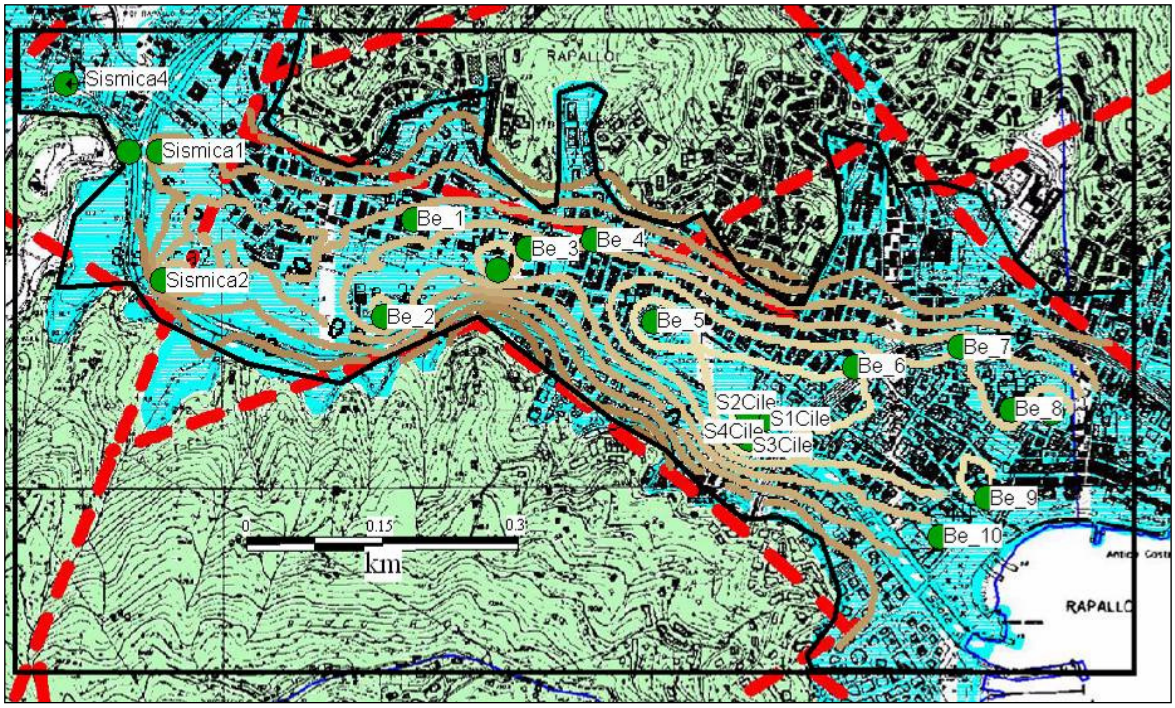


Figura 3. Settore d'indagine con evidenziate (in marrone) le isobate del substrato (equidistanza 5 m, curve in metri sul livello medio marino), i cerchi come nella figura precedente (colore verde) mostrano le informazioni geologiche (dirette – sondaggi- ed indirette –prospezioni geofisiche-) impiegate per la ricostruzione.

Una prima analisi di tale figura sembrerebbe indicare:

- profondità massime del corpo sedimentario sino a circa – 15 m sul livello medio marino;

- un volume complessivo occupato dal corpo principale dei depositi sedimentari pari a circa 4 – 5 milioni di metri cubi (stima per difetto sino al settore di confluenza tra i torrenti Santa Maria e San Pietro), circa 8 milioni se spinto alle alluvioni afferenti al pozzo S.Massimo e Cardinale, che corrisponde ad una ricarica con volume di acquifero disponibile di circa 1.2 milioni di m^3 e 2 milioni di m^3 se esteso.

Nella successiva Figura 4 sono illustrate le curve di eguale spessore (isopache) del materasso alluvionale.

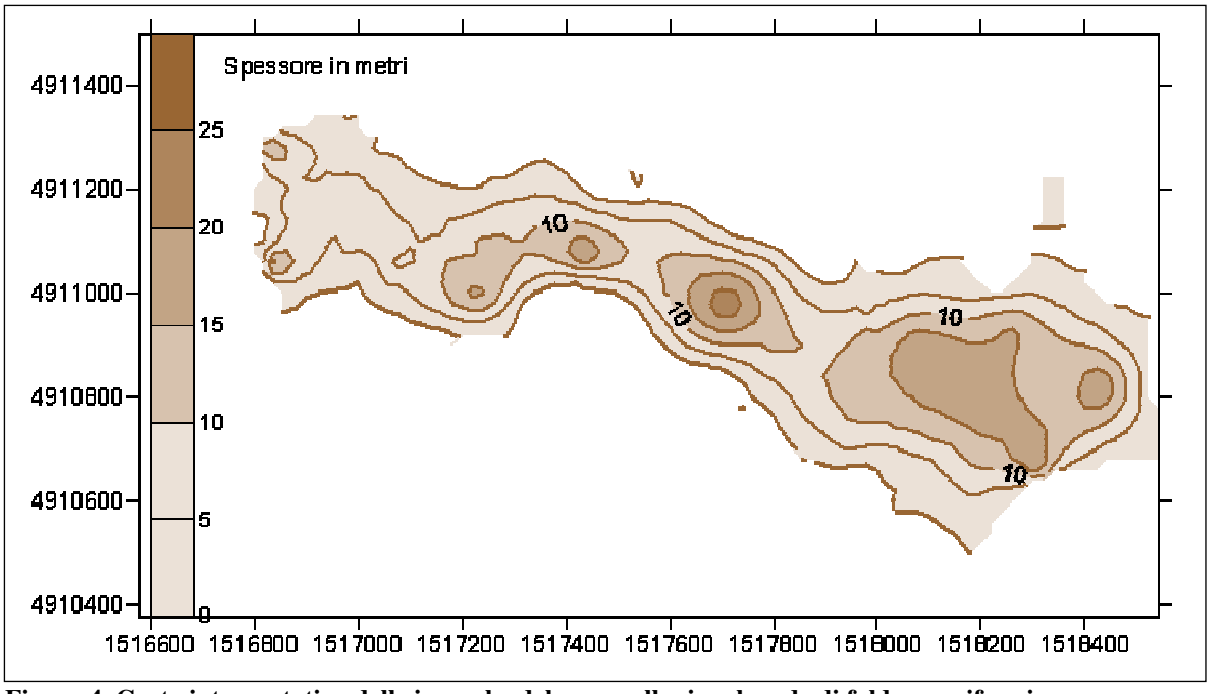


Figura 4. Carta interpretativa delle isopache del corpo alluvionale sede di falda acquifera in mezzo poroso (equidistanza 5 m, sistema di coordinate Gauss – Boaga).

Dall'analisi dei dati raccolti risulta come nei settori centrali gli spessori sembrerebbero raggiungere valori sino a poco oltre i 20-25 m. Infine per avere una prima indicazione sulle caratteristiche del corpo sedimentario sopra descritto, e sede della falda acquifera alluvionale, è stata condotta una campagna di ricerca ed analisi di dati stratigrafici per quanto riguarda il settore di piana alluvionale che giunge sino alla zona di confluenza tra i torrenti Santa Maria e San Pietro. Tutte le informazioni

geologiche reperite (prevalentemente sondaggi, indagini geofisiche e studi geologici del settore) sono state uniformate alle classi idrogeologiche delle: ghiaie, sabbie, limi, argille e riporti antropici di copertura; tali materiali sono i principali costituenti dell'acquifero alluvionale e sono contenuti sostanzialmente dal substrato roccioso in calcari marnosi, l'analisi ha rivelato la presenza di bassi localizzati dell'andamento del substrato che possono rappresentare trappole permanenti per il cuneo salino. I risultati di queste prime interpretazioni sono illustrati nelle seguenti

Figura e Figura interpretative (in cui la scala verticale è esagerata per ragioni di leggibilità).

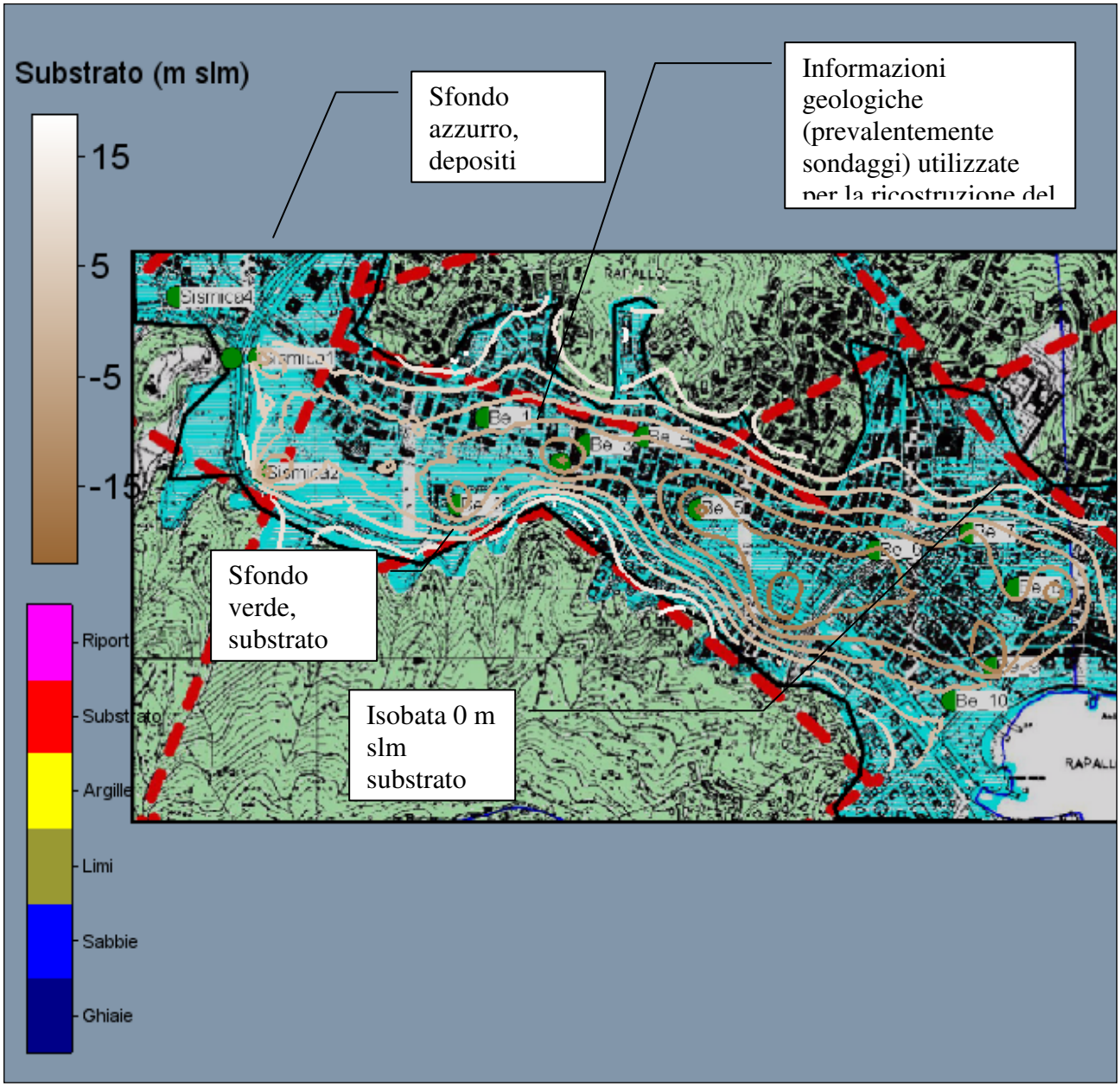


Figura 5. Vista dall'alto del settore alluvionale, con indicati i sondaggi distinti per tipologia di sedimento prevalente (in blu scuro le ghiaie, in blu le sabbie, in marroncino i limi, in giallo le argille, ed in viola i riporti, sullo sfondo la carta geologica di riferimento che riporta in verde il substrato roccioso ed in azzurro i depositi alluvionali).

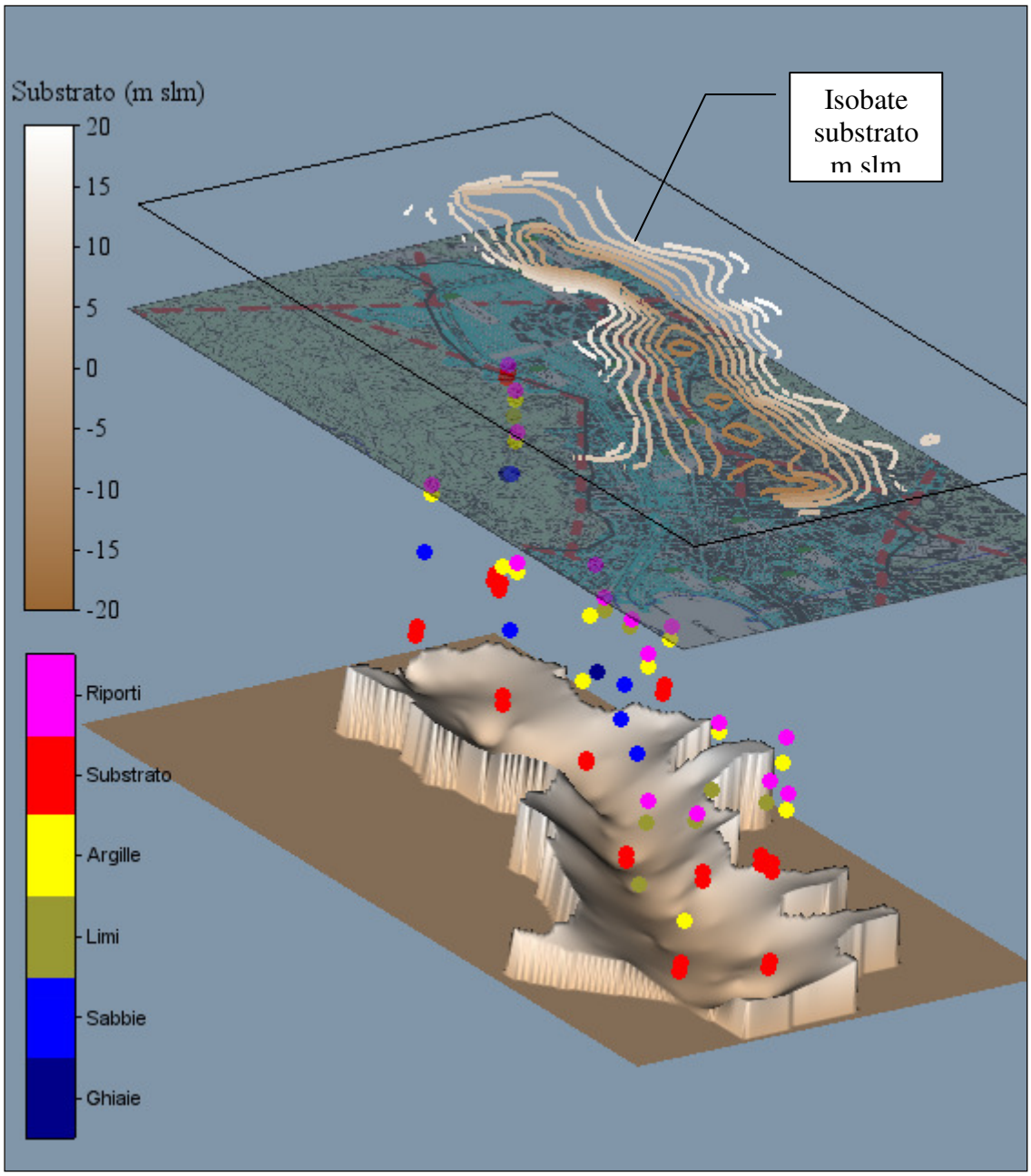


Figura 6. Vista da Sud Est con definizione del substrato (isobate marroni nella parte sovrastante dell'immagine ed inviluppo del substrato roccioso nella parte bassa) e dei sondaggi disponibili per la definizione delle caratteristiche stratigrafico-idrogeologiche del corpo sedimentario (figura con esagerazione della scala verticale).

Tramite un software proprietario di carattere sperimentale, basandosi sulle informazioni geologiche reperite (indicate con un pallino verde in Figure 5 e 7), è stato eseguita la ricostruzione generale del corpo alluvionale sedimentario della valle del torrente Boate, riconducendo i dati stratigrafici alle principali classi granulometriche/tipologie di materiale (quali: riporti, argille, limi, sabbie, ghiaie); la figura seguente mostra una serie di sezioni interpretative indicative dei risultati ottenuti.

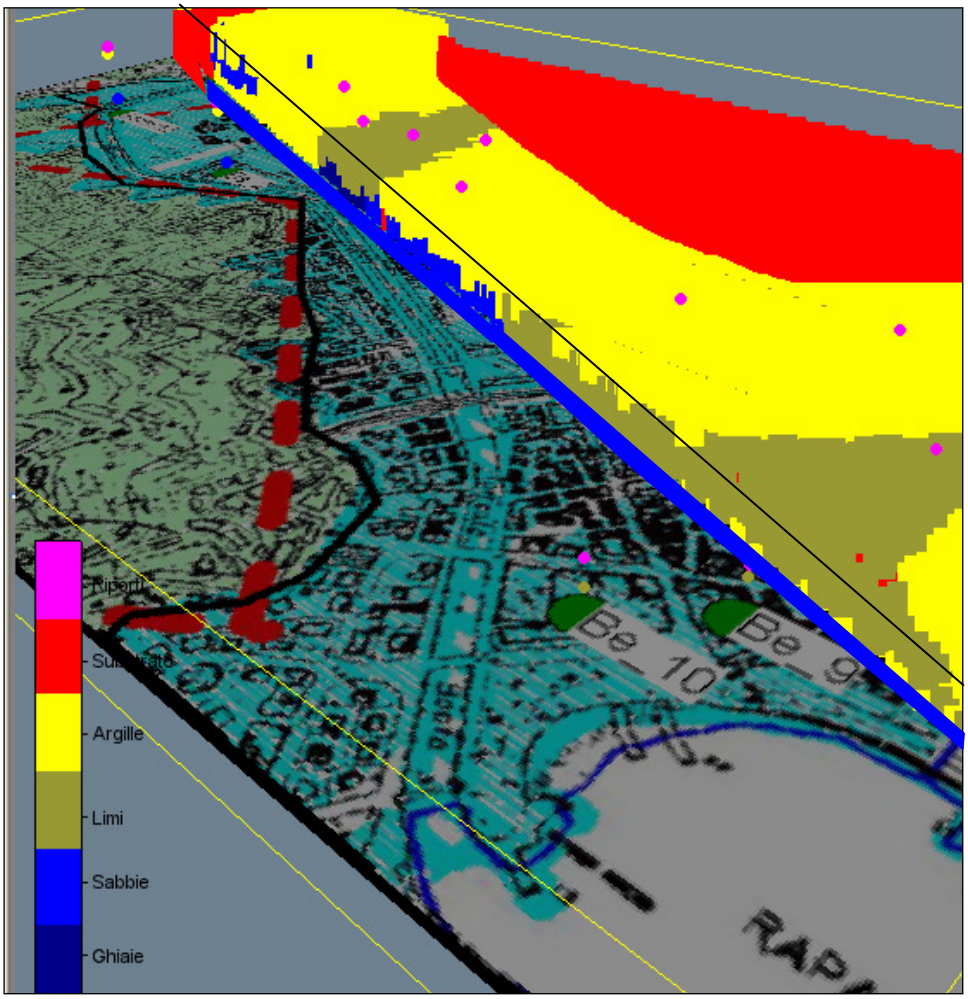


Figura 7. Vista indicativamente Est Sudest-Ovest nordoveest in modo da definire una sezione quasi longitudinale al corso d'acqua per la definizione delle caratteristiche stratigrafico-idrogeologiche del corpo sedimentario (in colore blu le ghiaie, in azzurro le sabbie, in marrone i limi e in giallo le argille o il substrato roccioso. Nota: figura con esagerazione della scala verticale).

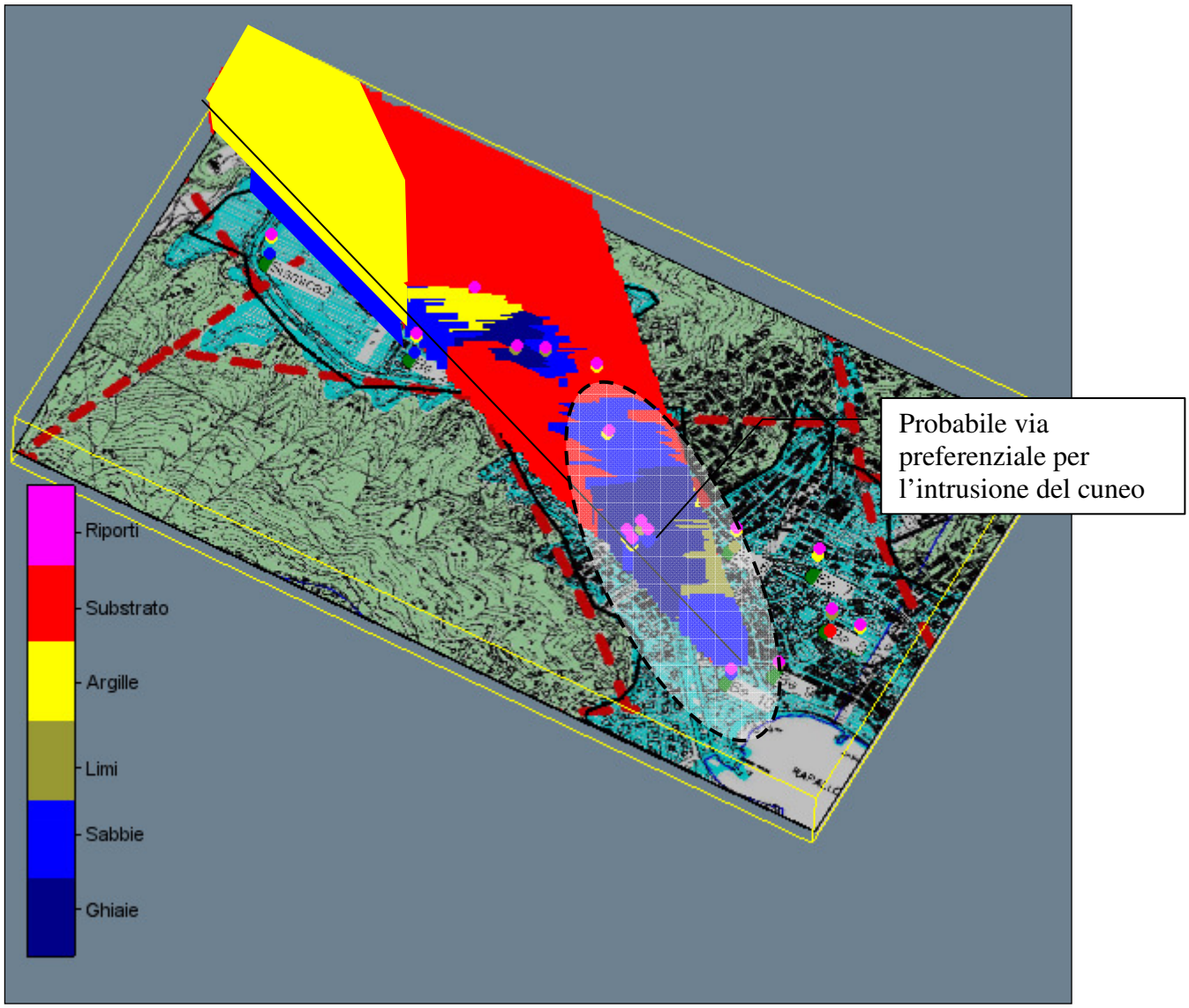


Figura 8. Stralcio vista da Sud della ricostruzione (versione 1.1) del corpo alluvionale sedimentario del torrente Boate –GEV- (in blu scuro le ghiaie, in blu le sabbie, in marroncino i limi, in giallo le argille, in rosso il substrato roccioso e in viola i riporti, scala verticale esagerata –circa 5 volte- rispetto all'orizzontale).

Un'analisi percentuale dei dati stratigrafici disponibili mostra che la classe granulometrica prevalente è quella delle argille cui seguono le sabbie e i limi ed infine le ghiaie (cfr. la seguente Figura 9).

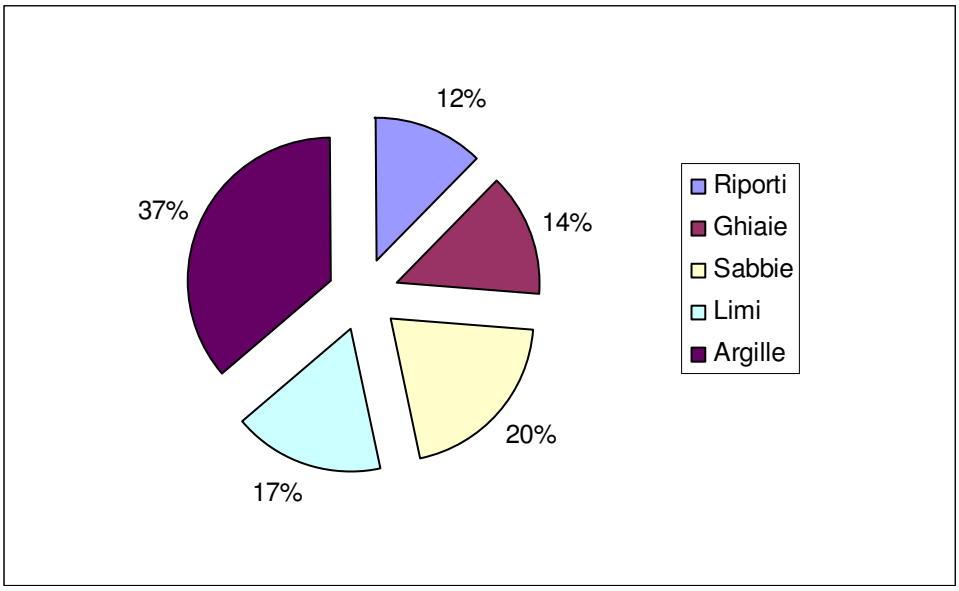


Figura 9. Analisi percentuale dei dati stratigrafici disponibili, interpretati secondo un'ottica idrogeologica.

Si segnala che i risultati riflettono i dati ad oggi reperiti (febbraio 2011) e che ogni integrazione può contribuire a migliorare la rappresentazione di quanto indagato (profondità substrato roccioso e composizione granulometrica principale del materasso alluvionale).

Ulteriori cosiderazioni derivate dallo studio del modello geologico ed idrogeologico del territorio indicano un tipo di sedimentazione che ha caratterizzato la parte terminale del bacino sostanzialmente ascrivibile ad un ambiente di tipo costiero palustre, da cui deriva la presenza di livelli sostanzialmente limoso argillosi di notevole spessore contraddistinti da una relativa continuità e che hanno determinato le seguenti condizioni:

- ✓ detti livelli argillosi rendono l'acquifero poduttivo sostanzialmente confinato e hanno rappresentato, in un contesto così intensamente popolato e conseguentemente soggetto ad episodi di inquinamento, l'insostituibile difesa dello stesso mantenendo costantemente negli anni le necessarie caratteristiche organolettiche dell'acqua.

- ✓ detti livelli condizionano sostanzialmente la ricarica della falda anche perché interessano lo stesso letto del Torrente Boate, che pare alimentata direttamente dai letti dei Torrenti S.Anna e San Pietro solo prima della loro confluenza nei tratti di maggiore pendenza; questo rende importante la reattività e la sensibilità alla ricarica del corpo acquifero

4. Lo studio di dettaglio

Per raggiungere l'obbiettivo enunciato nel punto 1 è stato allestito un modello matematico numerico tridimensionale con soluzione alle differenze finite (codice di calcolo impiegato Visual Modflow Version: 2009.1 Premium Build: 4.4.0.156 sviluppato da Schlumberger Water Services) per la simulazione del deflusso di falda nel settore d'interesse; il modello appositamente allestito si è basato:

- Sugli studi e indagini svolte lungo il tratto del Torrente Boate prospiciente il sito oggetto dell'analisi, per un studio specifico relativo alla ricarica delle falda in questo tratto di torrente e l'ipotesi di un suo miglioramento, le indagini svolte sono state le seguenti:
  - realizzazione di pre-scavi e susseguenti prelievi con auger a mano per la definizione della stratigrafia ed il prelievo di campioni nel sedime dell'alveo;
  - prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati;
  - prospezione geofisica lungo questo tratto del Torrente Boate .
- Su indagini realizzate per questo studio a completamento delle esistenti e su quelle eseguite nell'ambito del progetto preliminare il nuovo sito proposto che comprendono:
  - due sondaggi geognostici in sponda destra del torrente Boate in corrispondenza dell'Impianto proposto;
  - 8 stese geofisiche sia sul sedime dell'impianto proposto che in alveo e in sponda sinistra sino al campo pozzi.
- Sulle conoscenze pregresse del settore, sui dati bibliografici disponibili ed i dati forniti dal gestore (Acque Potabili SpA) comprendenti le stratigrafie e le prove di pompaggio riferite ai pozzi appartenenti al campo di Sant'Anna.
- Sulle informazioni contenute nella cartografia geologico-idrogeologica ufficiale (Piano di Bacino del Torrente Boate –Ambito 15-).

- Sulle analisi modellistiche già eseguite nel settore; in particolare precedenti modellazioni: "Acquifero del Torrente Boate (Rapallo, Genova); Prima Modellazione dei Sistemi di Alimentazione e Deflusso nel Bacino Idrografico di Pertinenza" e "Valutazione delle Modalità di Ricarica della Porzione Terminale dell'Acquifero Alluvionale del Torrente Boate (Rapallo, Genova) e loro Possibile Implementazione".

Le indagini e seguite e le informazioni utilizzate hanno consentito soprattutto la definizione del modello stratigrafico ed idrogeologico locale e dei litotipi che lo caratterizzano, il dettaglio delle attività e i dati utilizzati sono riportati integralmente negli Annessi 1, 2 e 3. La posizione delle indagini è riportata in Figura 10.

Le assunzioni adottate per la predisposizione del modello predisposto sono di carattere cautelativo.

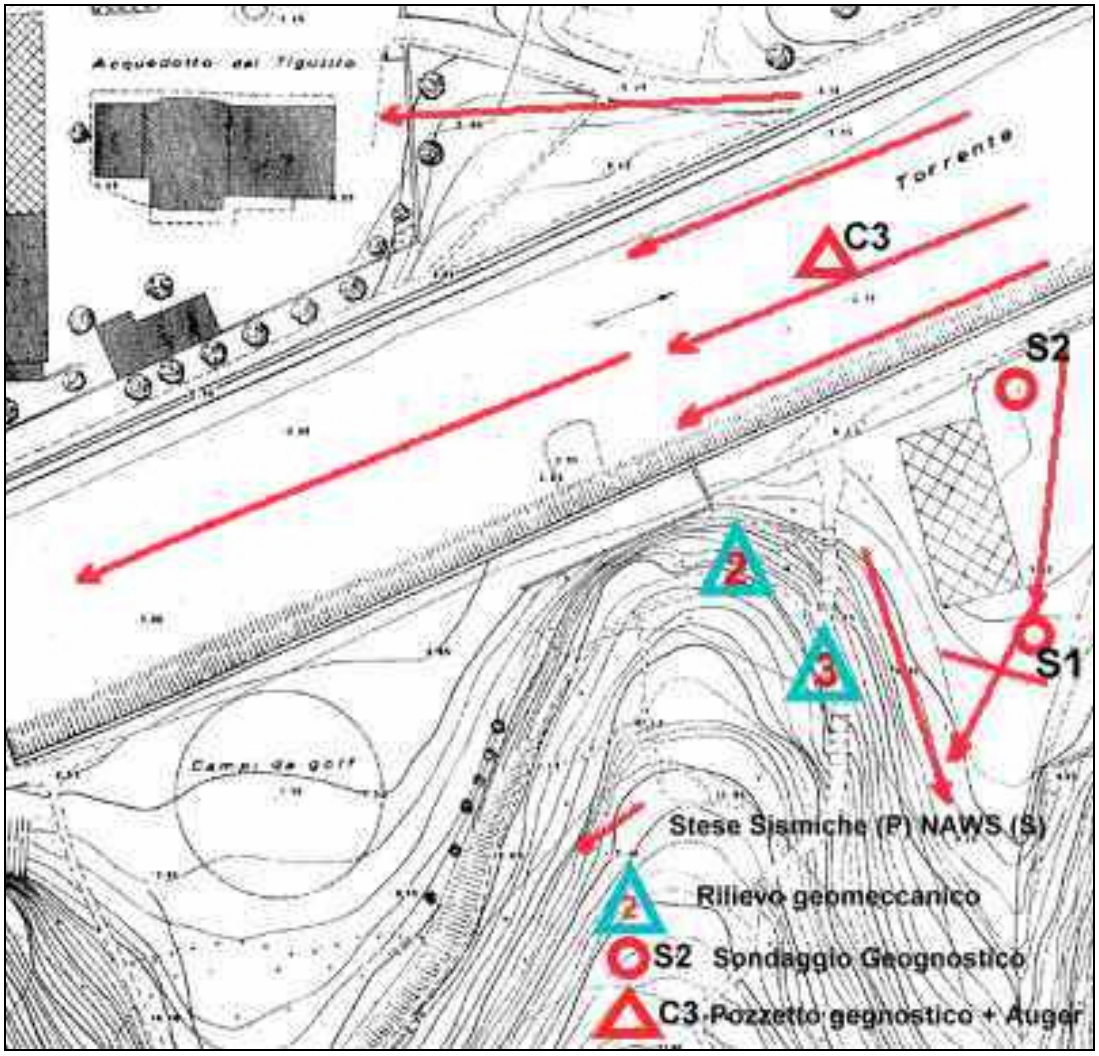


Figura 10. Ubicazione indagini

Allo scopo di valutare le condizioni più negative, determinate presenza di un depuratore nella posizione proposta a carico della falda, è stato ipotizzato un episodio di sversamento di materiale refluo liquido nell'alveo del torrente Boate nei termini più gravosi e cioè: assenza di acqua nel torrente e prevedendo l'eventuale assorbimento e diffusione del refluo nell'acquifero sottostante con tutti i pozzi in funzione; tramite il modello allestito, è stata valutata la dinamica di diffusione di tale materiale valutandone i tempi di arrivo ai pozzi.



Figura 11. Vista del settore di intervento (in blu i pozzi idropotabili).

5. Contesto geologico ed idrogeologico di riferimento e modello concettuale del sito

Il contesto di intervento si colloca in una porzione intensamente antropizzata del tratto terminale del torrente Boate (a circa 1200 m dalla foce); prendendo a riferimento l'alveo del corso d'acqua, in sinistra idrografica delle sue arginature artificiali è presente il campo pozzi IDRO TIGULLIO (immediatamente a valle dei campi da golf di Rapallo) e, in destra idrografica e leggermente a valle del campo pozzi, si troverebbe il sito di potenziale collocazione dell'impianto di depurazione. La distanza lineare minima tra i due siti d'interesse è di circa 70 m.

La geologia del settore è così schematizzabile (cfr. l'Annesso 3. Colonna stratigrafica di riferimento per i pozzi di emungimento del campo IDRO TIGULLIO, stratigrafie dei sondaggi eseguiti, stratigrafie derivate dalle indagini sismiche eseguite sia in alveo che sulle sponde, i dettagli sono riportati agli Annessi 1, 2 e 3):

- un primo orizzonte superficiale di qualche metro di spessore in materiali di riporto;

- un livello di 4 – 5 m di spessore rappresentato da un'alternanza tra argille e ghiaie sabbiose ;

- un orizzonte argilloso limoso (argilla limosa bruno rossastra) considerato cautelativamente di 2,5 m di spessore che, sulla base delle indagini eseguite, mostra una continuità laterale con spessori anche superiori ai 2,5 m, dette argille e limi, su 9 campioni sottoposti a prove di laboratorio, sono state classificate come CL ed ML (USBR) cioè argille e limi sabbiosi a medio bassa plasticità con passanti al P200 (frazione fine : 0.0074 mm) sostanzialmente sempre superiori al 70%;

- un orizzonte di ghiaia e sabbia di 6-8 m di spessore che costituisce il corpo acquifero da cui sono prelevate le acque dai pozzi idropotabili (qui sono posizionati i filtri di captazione), che risulta in pressione, infatti durante le terebrazioni, al raggiungimento di questo acquifero, si è osservata la risalita del livello statico a circa -2.5 ÷ -3.0 m dal piano campagna ;

- uno strato sottostante di oltre 2 m di spessore, classificato nelle stratigrafia relativa ai pozzi di S.Anna come argilla dura rossa metamorfica (cfr. Allegato 3), che rappresenta il probabile cappellaccio di alterazione del sottostante substrato roccioso in calcari del monte Antola.

Allo scopo di confermare la presenza e la continuità dei livelli argillosi che separano e confinano l'acquifero produttivo che ospita il campo di pozzi di S.Anna indicata dalla stratigrafia dei pozzi e dalle indagini geognostiche in alveo, realizzate nel marzo '10, sono state eseguite, in occasione di questo studio e della stesura del progetto preliminare del depuratore, ulteriori indagini sia nell'alveo del Boate in questo tratto che in sponda destra e sinistra dello stesso sino al campo pozzi (si vedano le posizioni delle indagini negli Annessi 1 e 2).

Le condizioni topografiche sono desunte dallo studio per la risistemazione idraulica del torrente Boate che riporta una sezione dettagliata proprio in corrispondenza del settore di intervento.

Il modello concettuale vede dunque un potenziale evento di sversamento in corrispondenza dell'alveo del torrente Boate con i limitrofi pozzi dell'acquedotto in funzione (emungimenti pari a 1000 metri cubi al giorno per ciascun pozzo corrispondenti alle portate massime registrate per il campo pozzi nel periodo estivo del 2009).

La seguente Figura 12 mostra una sezione geologica-idrogeologica di riferimento lungo la congiungente l'ipotetico punto di sversamento ed il pozzo più vicino (numero 3) del campo pozzi Sant'Anna gestiti da Acque Potabili SpA (distanza lineare di circa 50 m); l'ipotetico contaminante, pur trovandosi a valle idraulica del campo pozzi, potrebbe, percolare nel sottosuolo e venire richiamato dal cono di depressione determinato dal campo pozzi, con tutti i pozzi considerati cautelativamente a massimo regime.

Il modello allestito presume le seguenti condizioni cautelative:

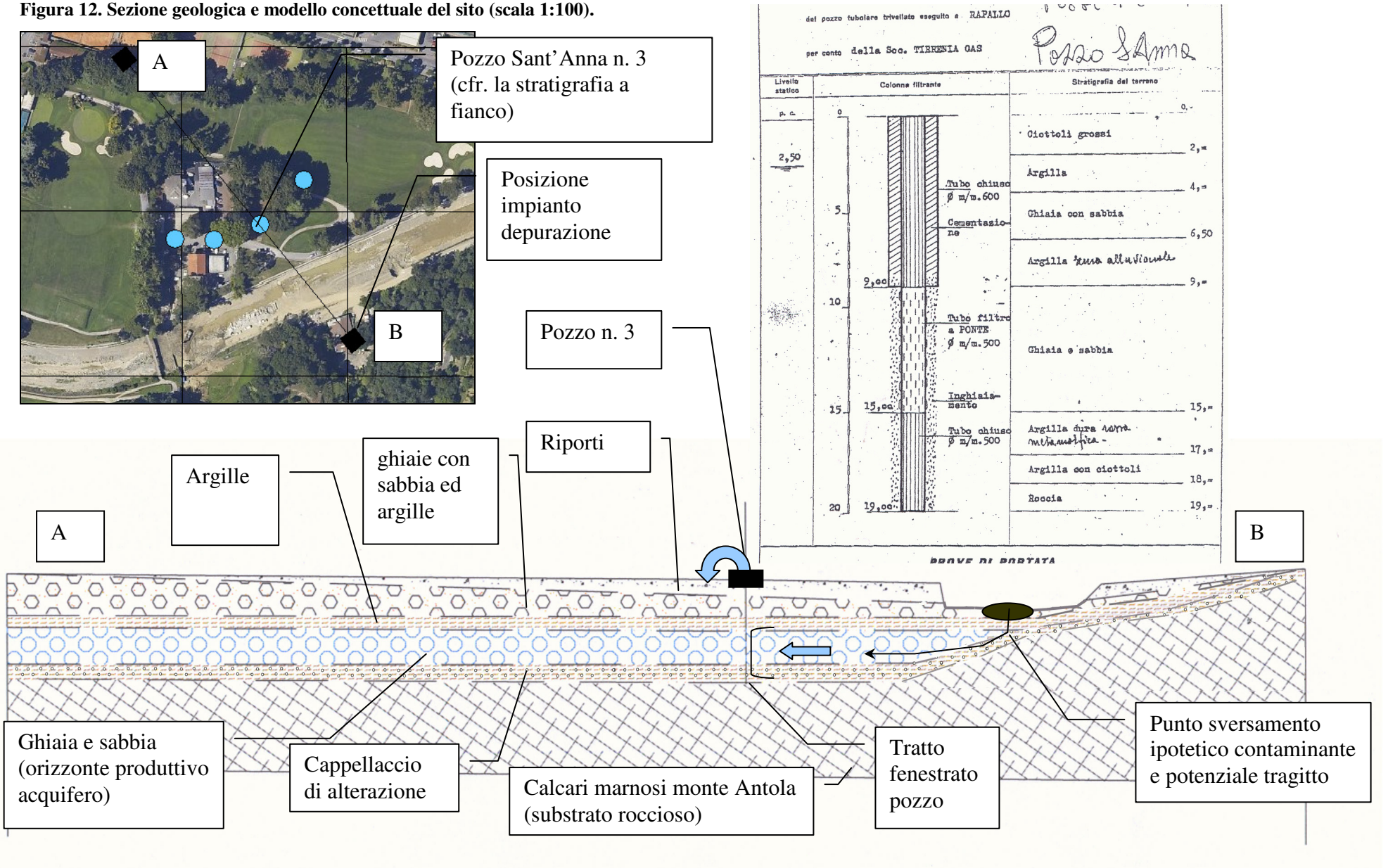
- campo pozzi funzionante a regime massimo;

- particelle contaminanti che si muovono per sola advezione, ossia moto equivalente a quello di una particella di acqua senza alcuna reazione o ritardo causato dall'interazione con le acque e/o i sedimenti circostanti;

- spessore del corpo argilloso da attraversare pari a circa 2,0 m (anziché 2,5 e oltre come riportato agli Annessi 1 e 2);

- valori di permeabilità delle argille prossimi ai limiti superiori (più cautelativi) per tali materiali pari a $1x10^{-8}$ m/s.

Figura 12. Sezione geologica e modello concettuale del sito (scala 1:100).



La permeabilità dell'orizzonte argilloso è stata ricavata da valori bibliografici operando scelte cautelative (valori di alta permeabilità nel dominio dei limi e delle argille); la permeabilità media dei materiali alluvionali acquiferi è stata ricavata da prove di laboratorio (prelievo di campioni, ricostruzione degli stessi per diversi valori di addensamento e test di permeabilità per ciascun valore di addensamento –cfr. Annesso 1-) e la permeabilità dell'acquifero "sviluppato" dalla presenza del campo pozzi è ricavata dalla prova di pompaggio (cfr. Annesso 3) e poi leggermente modificata in modo cautelativo durante la fase di taratura del modello.

Le caratteristiche idrauliche dei materiali presenti sono illustrate nella seguente Tabella 1.

Materiale	**UdM**	**Acquifero alluvionale**	**Acquifero alluvionale sviluppato dal campo pozzi**	**Livello argilloso tra -6,5 e -9m dal piano campagna**
k Orizzontale (isotropo)	m/s	$7{,}1E^{-5}$	$1{,}4E^{-3}$	$2{,}3\ E^{-8}$
k Verticale	m/s	$7{,}1E^{-5}$	$1{,}4E^{-3}$	$2{,}3\ E^{-8}$
Coefficiente di Immagazzinamento	-	0.20	0.23	0.04
Porosità Efficace	-	0.20	0.23	0.04
Porosità Totale	-	0.35	0.25	0.44

Tabella 1. Caratteristiche idrogeologiche assegnate ai diversi materiali.

Il regime di falda vigente nell'intorno del campo pozzi è stato ricavato dal modello di deflusso di falda stesso, a scala di bacino, allestito per un recente studio, in via di ultimazione, che riguarda le modalità di alimentazione del campo pozzi, le sue potenzialità e le possibili interferenze con il cuneo salino; la seguente Figura 13 riporta uno stralcio della piezometria ricavata dalle simulazioni eseguite con il modello sopra indicato.

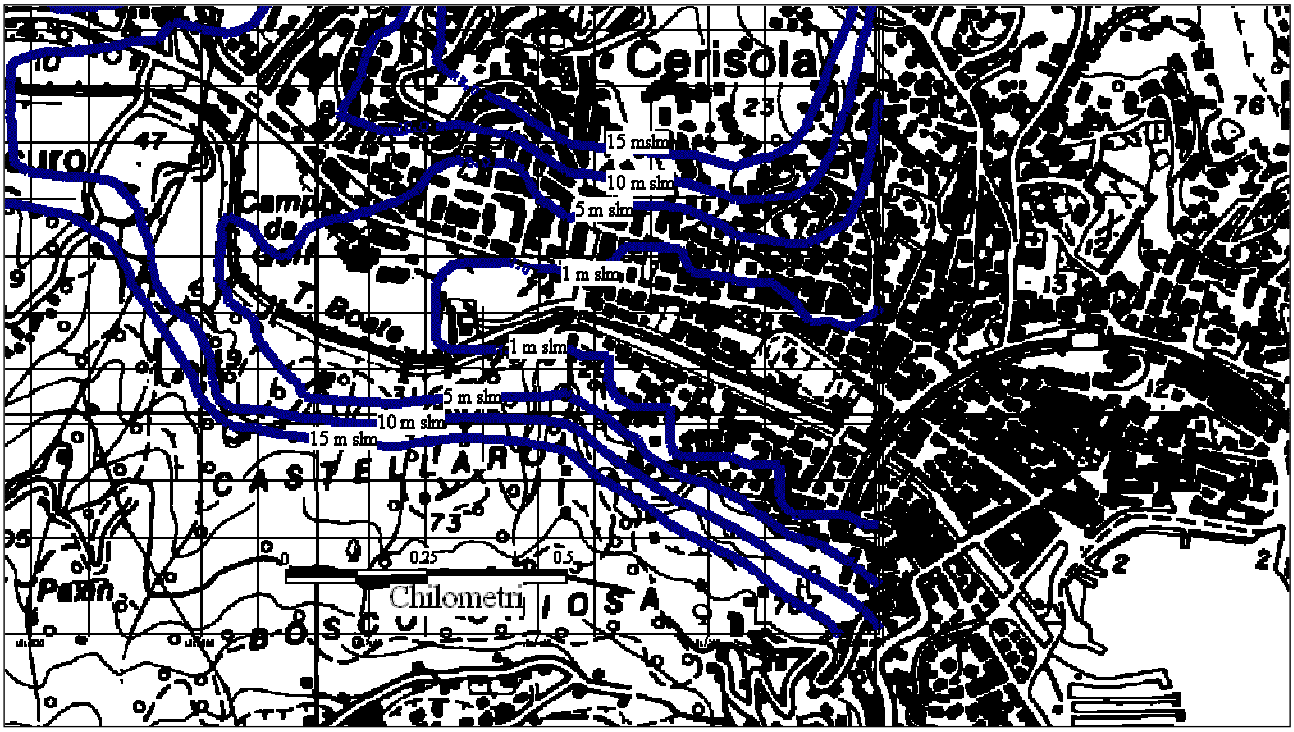


Figura 13. Piezometria del settore terminale del torrente Boate (Rapallo, Genova) secondo i risultati delle modellazioni eseguite (valori delle isofreatiche in metri slm).

6. Il codice di calcolo

Il codice di calcolo Modflow con le routine ad esso 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: 2009.1 Premium edito della Schlumberger Water Services. La versione Visual MODFLOW permette di utilizzare il modello MODFLOW operando con un'interfaccia grafica assente nella versione base.

Tale versione consente l'allestimento di scenari di flusso e trasporto (anche tridimensionali) con analisi e quantificazione dei fenomeni indagati.

Nel caso in esame è stato implementato un modello tridimensionale nel settore del campo pozzi che ha simulato/permesso di verificare:

- la situazione di deflusso di falda con regimi massimi di portate dal campo pozzi;
- l'eventuale tragitto della contaminazione dal punto di sversamento verso il campo pozzi e le tempistiche di arrivo al primo pozzo idropotabile.

Le elaborazioni di calcolo sono riportate in Annesso 4 .

7. Risultati dell'analisi modellistica di falda

La seguente Figura 14 mostra le condizioni iniziali con il campo pozzi con i pozzi in attività (prelievo di 1000 metri cubi al giorno per ciascun pozzo) ed il punto di sversamento del contaminante in corrispondenza dell'alveo del torrente Boate a circa 50 m dal pozzo n. 3 (il più vicino in linea d'aria al punto di contaminazione)

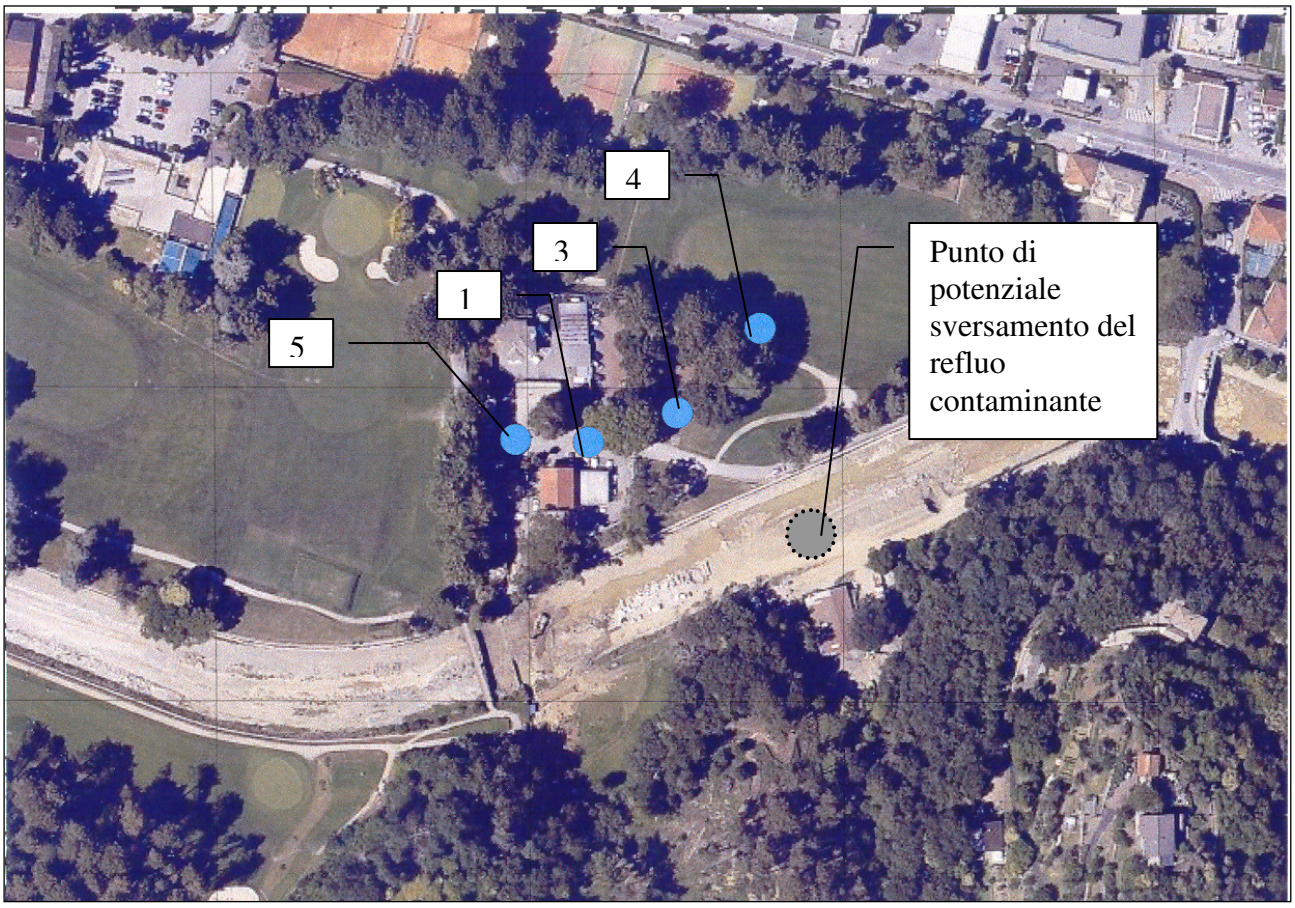


Figura 14. condizioni iniziali per le simulazioni eseguite (cerchi azzurri pozzi del campo IDRO TIGULLIO, in grigio il punto origine della contaminazione).

La contaminazione, stazionando nell'alveo del torrente Boate, potrebbe percolare verso il basso attraverso i sedimenti fluviali attuali sino a raggiungere l'orizzonte argilloso, attraversato il quale potrebbe raggiungere l'intervallo acquifero in ghiaia e sabbia. Il modello valuta i tempi ipotetici di arrivo dal punto di sversamento sino al campo pozzi.

La successiva Figura 15 riporta gli esiti della modellazione dell'ipotetico evento di contaminazione in cui si nota (linee rosse) che esiste la possibilità che il contaminante sia richiamato verso il campo pozzi (nello specifico verso il pozzo numero 3).

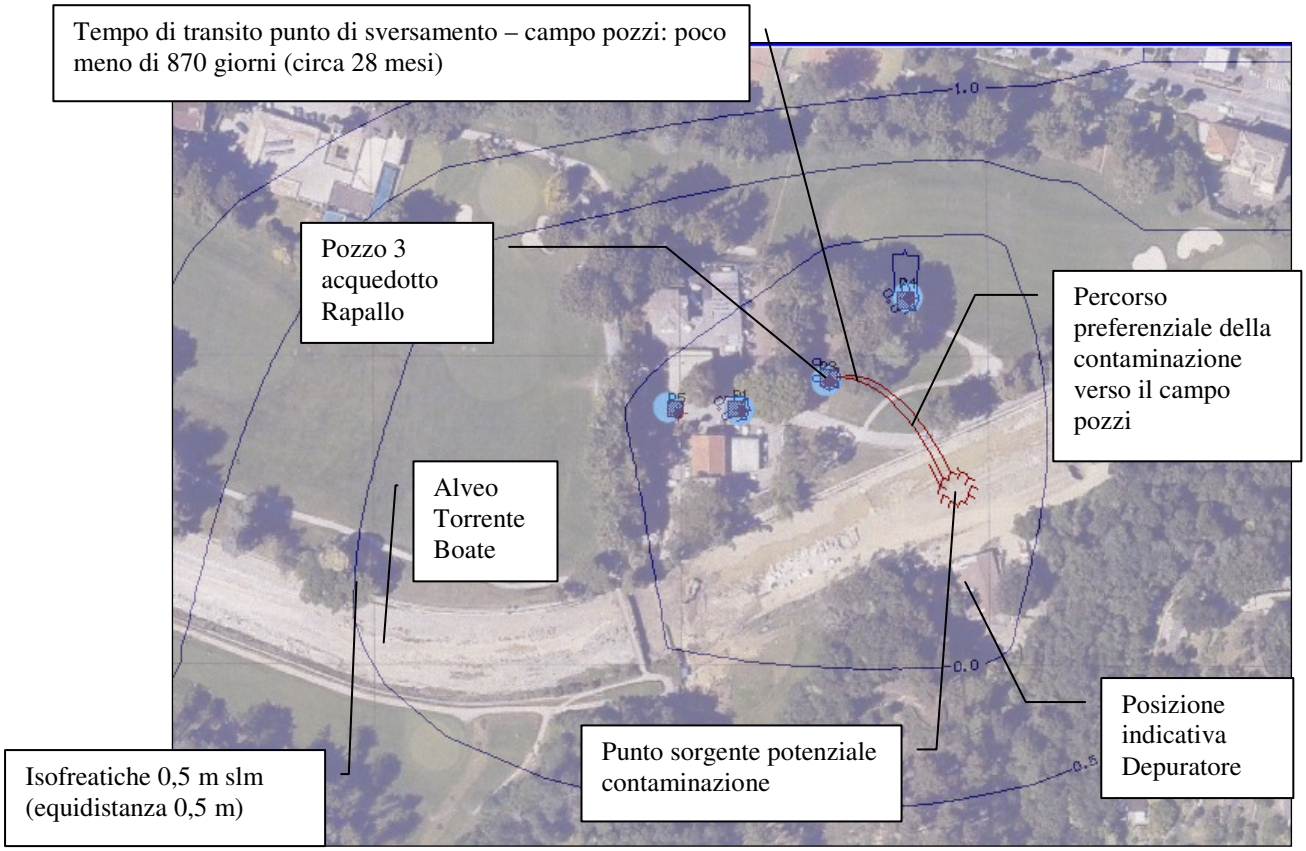


Figura 15. Vista planimetrica del potenziale tragitto delle particelle di contaminazione verso il campo pozzi (fonte Google Maps).

Le simulazioni eseguite, nel caso cautelativo di particelle di contaminante non reattive con i materiali in cui vengono a contatto, che si muovono per pura advezione senza fenomeni dispersivi o diffusivi, con livello di argilla posto cautelativamente inferiore a quello riscontrato in sito (2,0 m anziché 2,5 metri come derivato dalle indagini geognostiche) e con pozzi funzionanti ai massimi regimi di emungimento, mostrano che le tempistiche per l'arrivo del potenziale contaminante dal punto di sversamento, collocato al centro dell'alveo del torrente Boate, al campo pozzi (in

particolare al pozzo n. 3 che risulta quello prossimo al punto di sversamento), risultano pari a circa 28 mesi.

8. Conclusioni

Al fine di verificare e quantificare la possibilità che un evento accidentale determini la possibilità di contaminazione del campo pozzi Sant'Anna è stato allestito un modello matematico numerico tridimensionale alle differenze finite di flusso di falda e di trasporto.
I risultati ottenuti mostrano che l'eventuale sversamento nell'alveo del torrente Boate di sostanze provenienti dal depuratore potrebbero raggiungere i pozzi di emungimento, distanti circa 50 m in linea d'aria, (ponendo nel modello una serie di condizioni di natura cautelativa) in circa 28 mesi dall'evento accidentale; in tale tempo dovrebbero pertanto essere intraprese tutte le azioni possibili per la rimozione delle sostanze sversate nell'incidente.

Dalle indicazioni riportate nelle "Linee guida per la delimitazione delle aree d i salvaguardia" (si veda PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE della Regione Liguria Allegato VII)…. "*Il tempo di sicurezza di norma utilizzato è di 60 giorni per la zona di rispetto ristretta e 180 o 365 giorni per quella allargata, in funzione del grado di rischio di contaminazione della risorsa e del tipo di protezione applicato. L'intervallo di tempo è normalmente adottato sulla base della possibilità di eseguire controlli e in parte sulla base delle caratteristiche degli inquinanti. In ogni caso si consiglia di considerare un tempo di sicurezza non inferiore a 75/100 giorni, che corrisponde al tempo di sopravvivenza di buona parte dei virus più comuni trasportati in acqua*"
Da cui si evince che il tempo stimato in 28 mesi (840 giorni), per il raggiungimento del campo pozzi da parte delle sostanze sversate, è sufficiente a definire la distanza come sicura.

Genova, 6 Giugno 2011 Dott.Geol. Luciano Minetti Dott.Geol. Federico Pittaluga



