

DIMENSIONAMENTO DI UN INTERVENTO DI DEWATERING CON RIDUZIONE DELLA PERMEABILITÀ

A cura di Giovanni Formentin, Loris Colombo, Vincenzo Francani

Giovanni.Formenti@tethys-geco.it, Loris.colombo@polimi.it, Vincenzo.francani@polimi.it

Indice

1	INTRODUZIONE	2
2	INDAGINI GEOGNOSTICHE E RICOSTRUZIONE IDROGEOLOGICA	3
3	RIDUZIONE DELLA PERMEABILITÀ E DEWATERING	5
4	SIMULAZIONE DEGLI INTERVENTI	6
5	CONCLUSIONI	11

1 INTRODUZIONE

Il presente articolo descrive un'ipotesi di intervento di dewatering necessario per la realizzazione di un'opera in un'area a bassa soggiacenza di falda. L'opera è costituita da un sottopasso stradale che attraversa una strada ad alta percorribilità urbana ed extraurbana in un tratto in cui essa è costituita da una carreggiata (comprensiva di corsie, arginelli, corsie di emergenza) la cui larghezza complessiva è di 32 m circa.

Il sottopasso (rappresentato in planimetria in Figura 1) è da realizzare mediante la tecnica del monolite a spinta. A tal fine, viene realizzata una camera di varo, dalla quale il monolite prefabbricato viene spinto al di sotto della strada.

L'opera è da realizzarsi ad una profondità di circa 10 metri da p.c. in un'area della pianura lombarda molto urbanizzata e caratterizzata da corpi acquiferi superficiali molto produttivi aventi una soggiacenza di falda molto bassa.

L'elevata urbanizzazione dell'area determina la presenza, nelle vicinanze del cantiere, di opere di approvvigionamento idrico sotterranee che era necessario tutelare, minimizzando l'impatto che le azioni di controllo della falda potevano avere sulle stesse.

Si è ipotizzato di operare il dewatering tramite l'accoppiamento di tecnologie di ingegneria avanzate, non utilizzate tradizionalmente in attività simili, con l'intento di minimizzare l'impatto della fase di costruzione sulle aree circostanti. A tal fine, si è previsto di isolare idraulicamente l'area di intervento mediante iniezione di miscele a bassa permeabilità e di operare il controllo di falda tramite l'installazione di dreni orizzontali lungo tutta l'estensione dell'opera.

Il dimensionamento delle opere è avvenuto con l'ausilio di un modello matematico agli elementi finiti in grado di simulare tridimensionalmente l'area di intervento. Le simulazioni svolte hanno confermato che l'intervento ipotizzato sarebbe stato in grado di minimizzare le portate estratte ed avrebbe annullato qualsiasi impatto nell'area circostante.

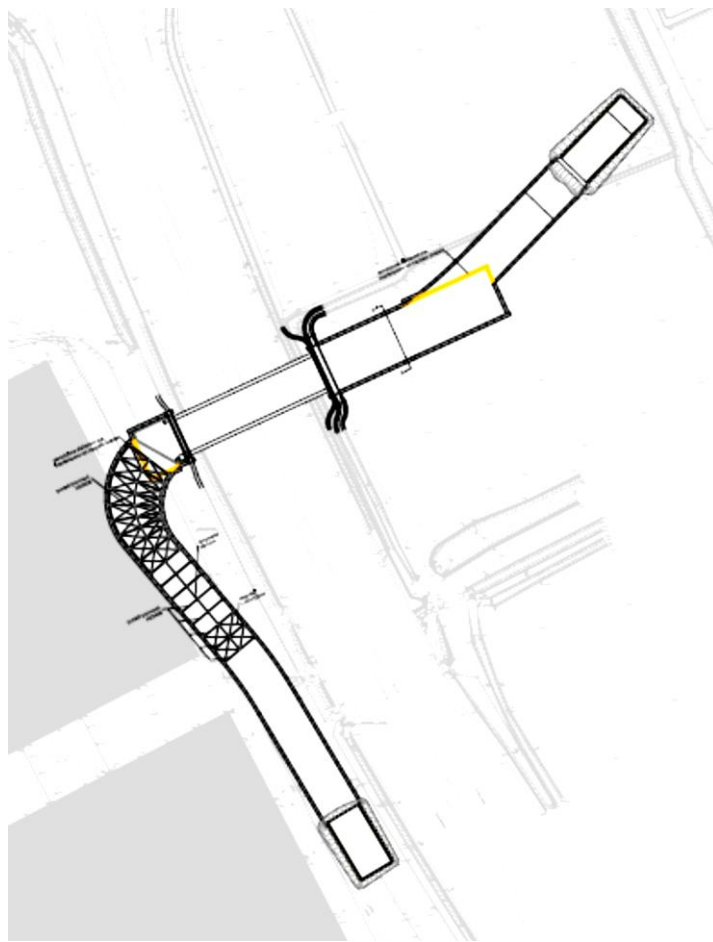


Figura 1 - Planimetria del sottopasso di collegamento a seguito della costruzione di un edificio commerciale in zona urbanizzata

2 INDAGINI GEOGNOSTICHE E RICOSTRUZIONE IDROGEOLOGICA

Prima della messa in opera del monolite e della sua realizzazione sono state effettuate alcune indagini geognostiche su ambo i lati della sede stradale, dal momento che l'area risulta in classe di fattibilità 3b e il D.M 14/09/2005 impone di adeguare tali indagini alle necessità progettuali permettendo di definire puntualmente la situazione e gli interventi progettuali più consoni.

La classe di fattibilità 3b dimostra che si è in presenza di aree caratterizzate da vulnerabilità dell'acquifero elevata: la falda freatica risulta infatti compresa tra i -2 e i -6 m dal p.c. e non è protetta, verso la superficie topografica, da alcun livello di materiale fine. Le opere in sotterraneo dovranno essere quindi costruite con particolari accorgimenti soprattutto per la forte oscillazione della falda freatica. Una progettazione in sotterraneo in tali zone deve essere accompagnata da diverse fasi:

- monitoraggio del livello della falda per un periodo sufficiente ad osservare l'entità delle fluttuazioni stagionali e a determinare i possibili eventi esterni (precipitazioni, irrigazione) che ne determinano le oscillazioni;
- scelte tecniche e di cantierizzazione volte a preservare la qualità dell'acquifero;
- predisposizione di idonei sistemi di impermeabilizzazione delle strutture realizzate in sottosuolo e di aggotamento della falda in fase di cantiere.

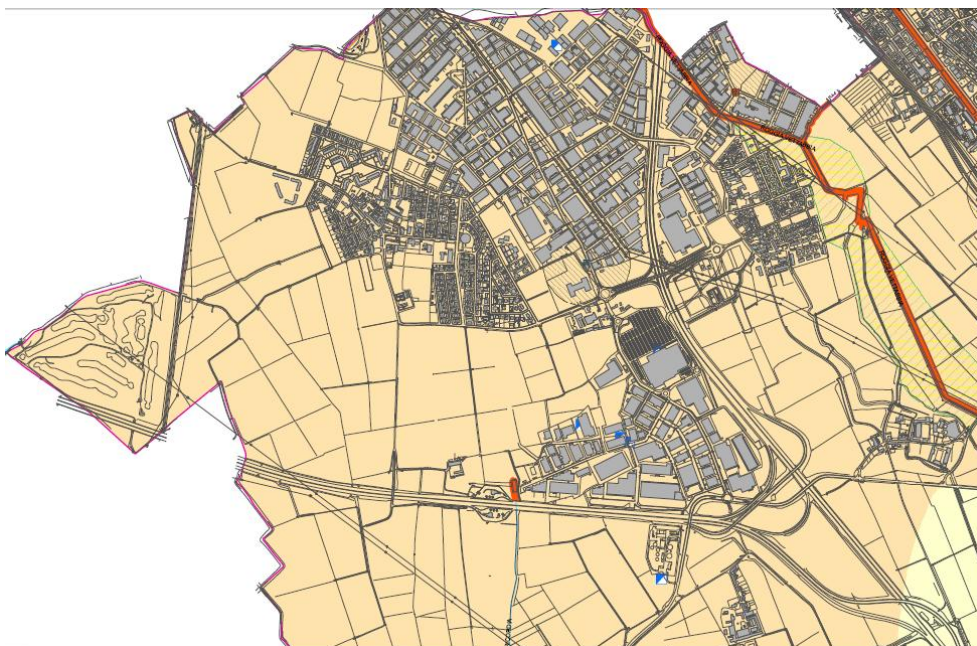


Figura 2 - Carta della fattibilità geologica dell'Area di studio: si vede il colore arancio scuro in fattibilità geologica 3b, e il colore ocra a sud est in classe 2.

Le indagini di campo già svolte nell'area, di cui ci si è avvalsi per la realizzazione dello studio, sono consistite in:

- n. 15 sondaggi (di cui n. 11 realizzati a carotaggio continuo) condotti fino a profondità massima di 54 metri,
- n. 14 piezometri fenestrati fino ad una profondità massima di 48 metri,
- n. 3 pozzi condotti fino ad una profondità massima di 17 metri, nei quali sono state eseguite prove di pompaggio per la determinazione delle caratteristiche dell'acquifero.

Le prove hanno evidenziato la presenza di un livello di limo argilloso debolmente sabbioso alla quota del piano di scorrimento del monolite (circa 91 m s. l. m). il livello ha uno spessore medio di 1 –1,5 metri ed è rinvenuto con buona continuità nei sondaggi effettuati ai due lati della sede stradale. Si è ipotizzato quindi che il livello agisca da aquitard, separando, a livello locale, le due porzioni di acquifero che si trovano al di sopra e al di sotto dello stesso.

Ne risulta la presenza di un acquifero sospeso (denominato "acquifero 1") rinvenuto fino a profondità di 8,5-10 metri da p.c., in cui viene eseguito l'intervento, e di un acquifero principale sottostante costituito da una serie di alternanze di sabbie da fini a medie con presenza di diffuse lenti limoso-sabbiose. L'acquifero principale si estende almeno fino alla profondità investigata, corrispondente a 48 metri da p.c.

A livello locale è presente un secondo livello limoso-argilloso che determina la costituzione di un acquifero di spessore molto limitato – circa 3 metri – subito al di sotto dell'acquifero sospeso. Tale corpo, denominato "acquifero 2", è costituito da sabbia medio-fine ed è alimentato dall'acquifero principale. Dato lo scarso isolamento idraulico determinato dall'aquitard che separa tale corpo dall'acquifero sospeso sovrastante, è risultata evidente la necessità, in sede di simulazione, di operare un controllo idraulico anche in tale acquifero.

3 RIDUZIONE DELLA PERMEABILITÀ E DEWATERING

Le modalità realizzative dell'opera richiedono che l'acquifero sospeso venga desaturato fino ad una profondità tale da mantenere lo scavo all'asciutto fino al termine dei lavori. Pertanto l'obiettivo dell'intervento è di abbassare la falda di almeno 7 metri rispetto alla quota indisturbata.

Avendo considerato una quota di falda di progetto – indisturbata – pari a -1,35 m. da p.c., l'obiettivo dell'intervento è di ridurre la quota a non oltre -8,7 m. da p.c. La soluzione identificata consiste nella costruzione di un sistema di drenaggio affiancato da un sistema di impermeabilizzazione: in particolare:

- la camera di varo e di arrivo sono da impermeabilizzare mediante dei diaframmi in cemento armato profondi circa 22 m;
- il sottopasso vero e proprio è da impermeabilizzare mediante un sistema di iniezioni ...(una cortina per parte di spessore pari a circa 2 m);
- l'acqua deve essere estratta dalla porzione di acquifero direttamente interessata dall'intervento mediante due dreni sub orizzontali;
- un dreno in acquifero 2, ubicato lungo l'asse longitudinale del manufatto appena sotto il livello limoso di separazione tra le due falde, è indispensabile al fine di minimizzare la possibilità di infiltrazioni provenienti dall'acquifero sottostante quello in cui viene realizzato l'intervento.

L'adequatezza dell'intervento, le portate da estrarre ed i tempi necessari, una volta avviata l'opera, per desaturare l'area, sono stati valutati mediante la costruzione di un modello matematico di flusso agli elementi finiti, descritto nel Capitolo 4.

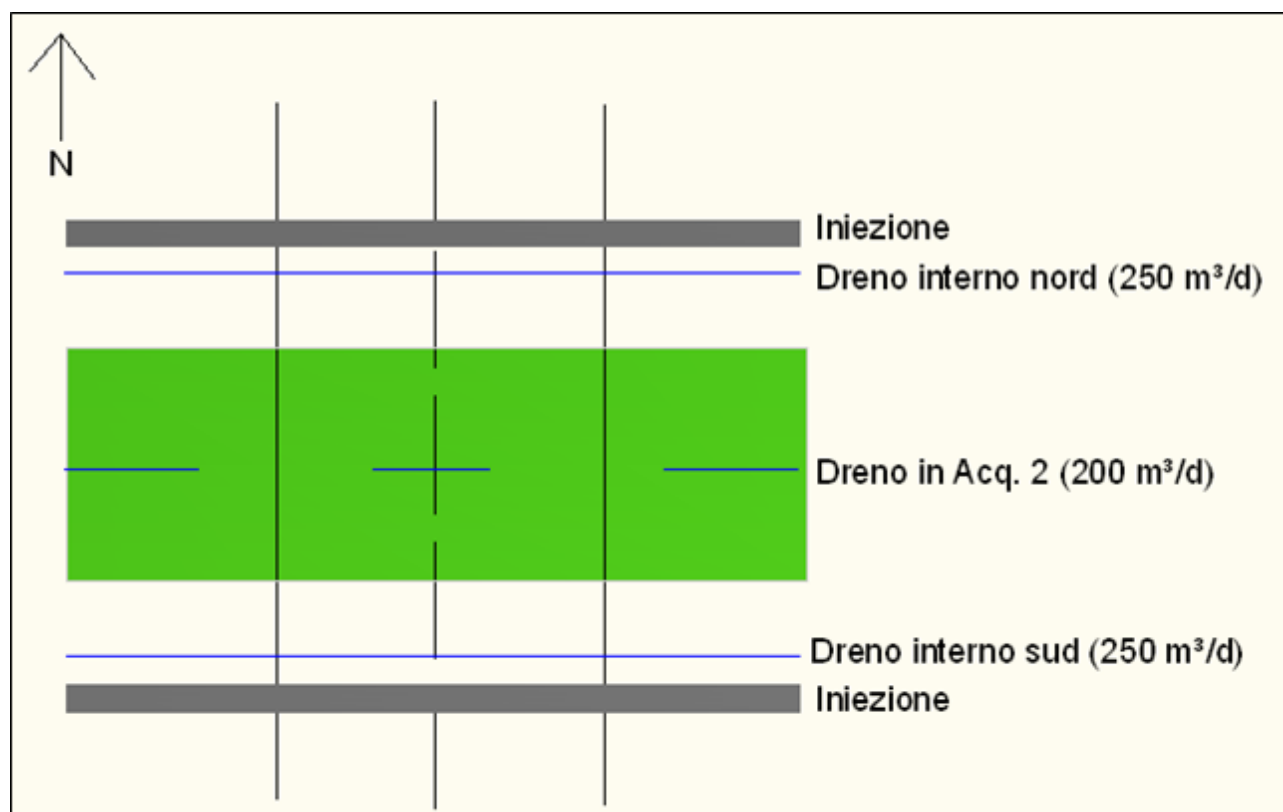


Figura 3 – Vista in pianta del sistema di iniezioni e degli interventi di drenaggio.

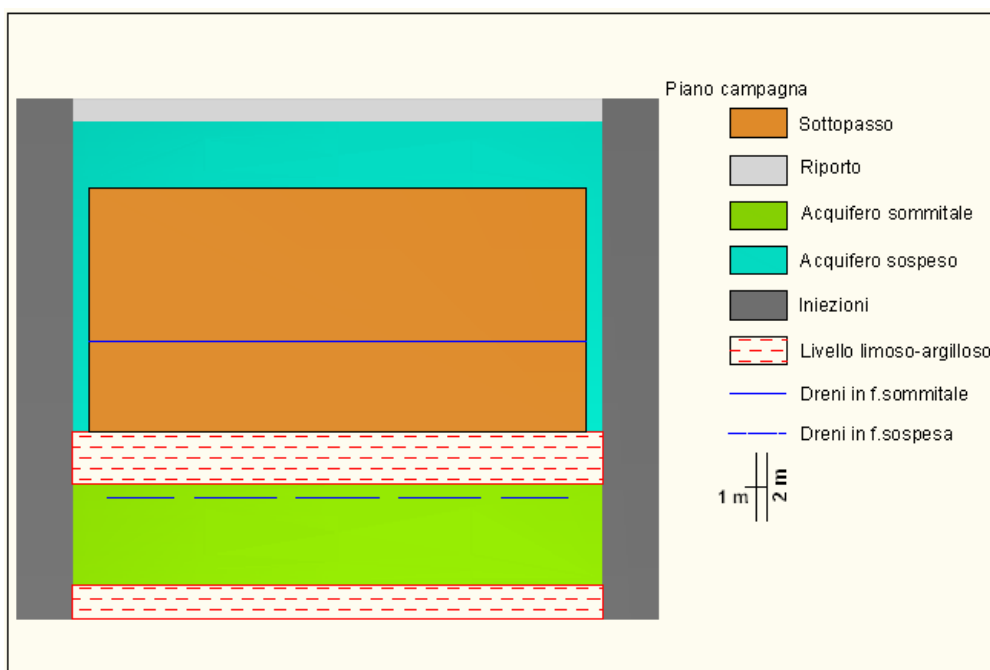


Figura 4 – Vista in sezione del sistema di iniezioni e degli interventi di drenaggio.

4 SIMULAZIONE DEGLI INTERVENTI

Il dimensionamento degli interventi di drenaggio della falda è avvenuto tramite l'utilizzo di un modello numerico tridimensionale appositamente realizzato. Il modello è stato costruito mediante il codice agli elementi finiti Feflow 5.1 (Diersch, 2002) e simula i corpi acquiferi presenti nell'area.

Per la costruzione, oltre ai dati derivanti dalle indagini di campo descritte nel Capitolo **Errore**. **L'origine riferimento non è stata trovata.**, sono stati raccolti:

- stratigrafie dell'area circostante
- valori di permeabilità e trasmissività da prove idrauliche eseguite nell'area circostante,
- piezometrie regionali,
- livelli piezometrici misurati in cantiere e nei pozzi e piezometri circostanti l'area di interesse.

In Figura 5 è rappresentato, in pianta, il dominio di modellazione, mentre in Figura 6 è rappresentato un dettaglio nell'area del sottopasso.

I lati del modello hanno direzione perpendicolare alle direzioni dei corpi idrici sotterranei simulati. Dalle misure piezometriche disponibili, si è infatti osservato come la direzione di deflusso della falda sospesa (con andamento NO-SE) sia circa perpendicolare rispetto alla direzione di deflusso nel primo acquifero (andamento circa E-O). I lati con orientamento NO-SE hanno lunghezza di circa 700 metri; i lati con orientamento E-O hanno lunghezza di circa 820 metri.

La mesh è stata raffittita orizzontalmente nell'area occupata dal sottopasso. Le dimensioni orizzontali massime dei triangoli sono di circa 30 metri nell'area esterna. In prossimità del sottopasso, le dimensioni diminuiscono fino a 0,6 metri.

Come osservabile dalla Figura 7, il dominio è stato suddiviso, lungo la direzione verticale, in 10 *layer*, corrispondenti ad 11 *slice*. Lungo la verticale, sono stati rappresentati:

- l'acquifero sospeso, in cui viene realizzata l'opera ed in cui sono ubicati i due dreni orizzontali deputati all'abbassamento della falda;
- il livello limoso rinvenuto ad una profondità da p.c. di circa 17 metri, che agisce da aquitard;
- una porzione significativa (circa 30 metri) del primo livello acquifero, in modo da rappresentare anche gli scambi idrici tra i due corpi ed il richiamo che i dreni orizzontali ubicati nel primo livello acquifero possano determinare.

I diaframmi e le iniezioni realizzate per sostenere lo scavo, sono stati simulati mediante l'introduzione di valori bassi di permeabilità. È stato attribuito, a tale scopo, un valore di $1\text{E-}8$ m/s agli elementi che, in Figura 6, sono colorati in blu ed in verde.

Le opere di drenaggio sono state simulate mediante applicazione di condizioni di flusso imposto (condizioni di tipo *well*).

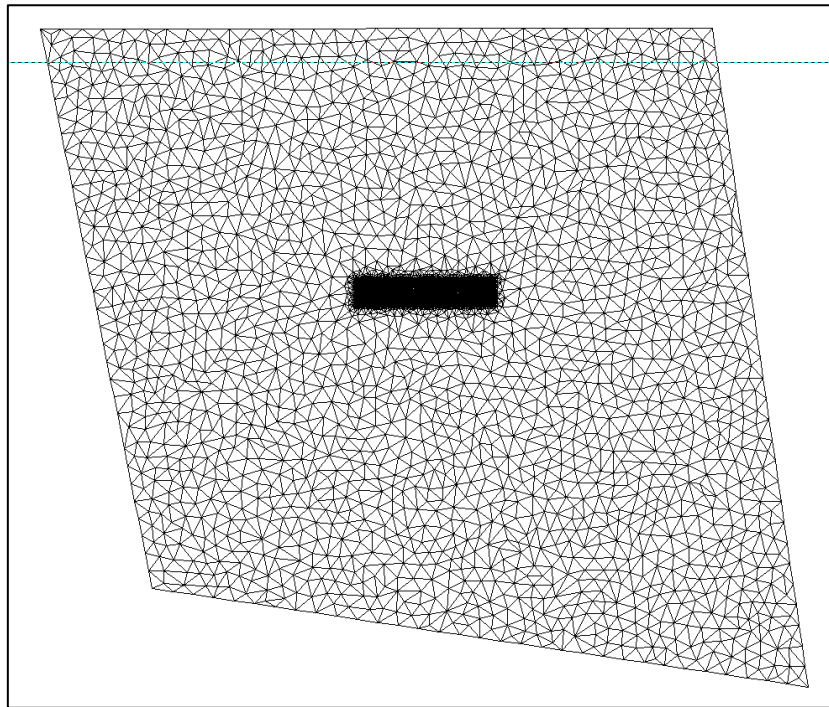


Figura 5 - Dominio del modello

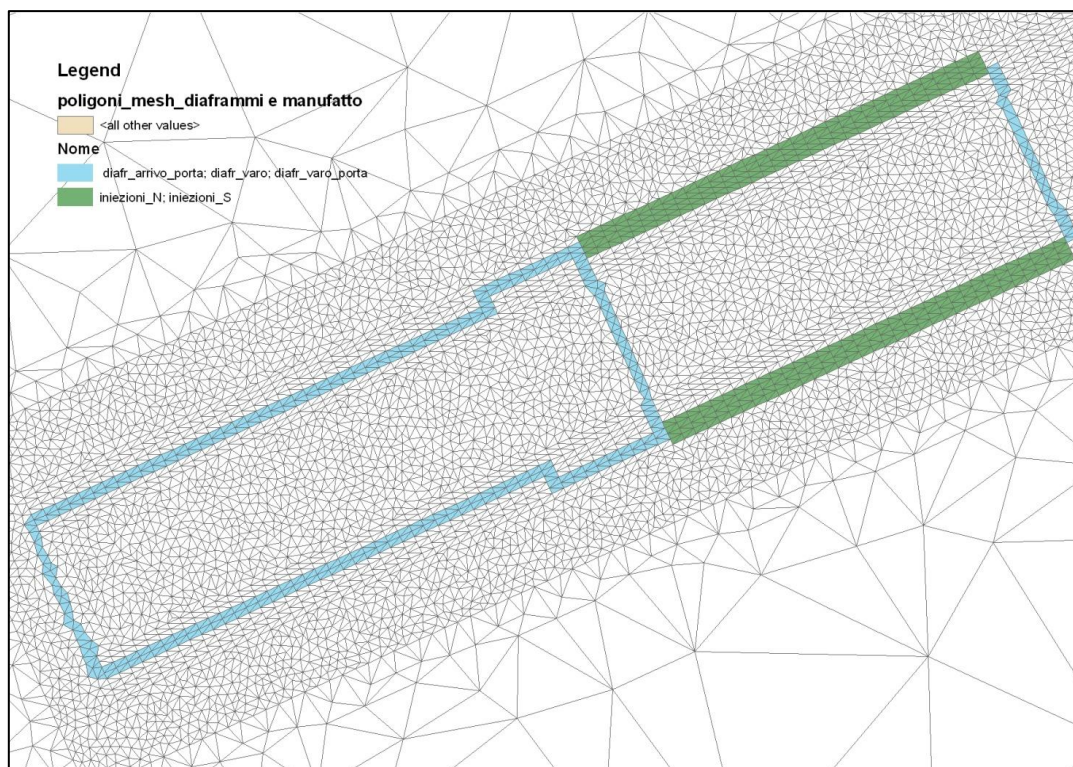


Figura 6 – Strutture sotterranee simulate - in azzurro i diaframmi necessari a sostenere gli scavi, in verde le iniezioni utilizzate per diminuire la permeabilità in corrispondenza della sezione interessata dal sottopasso.

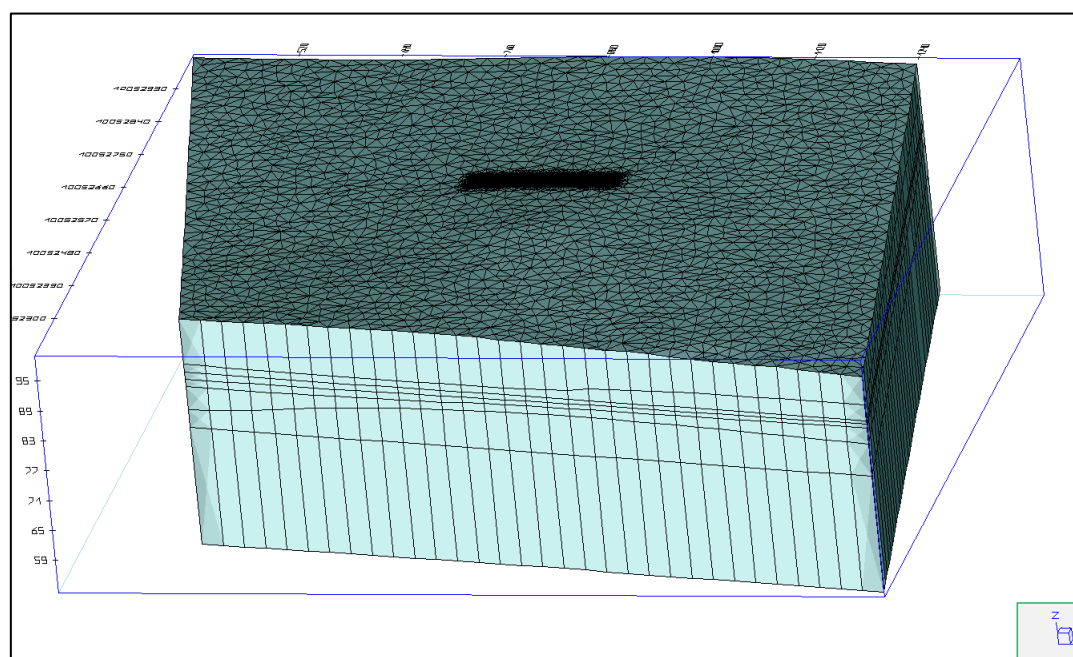


Figura 7 - Vista 3D del modello (esagerata sulla scala verticale)

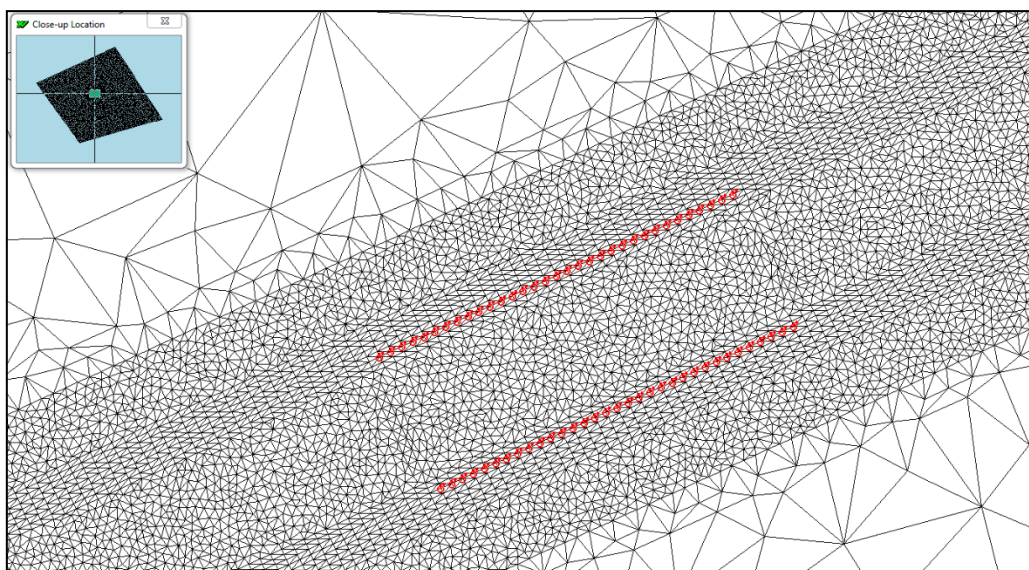


Figura 8 - Simulazione, tramite imposizione di condizioni di flusso estratto costante (condizioni well), dei dreni orizzontali nell'acquifero sospeso.

Il dimensionamento dell'opera è consistito nella verifica della portata che è necessario estrarre per garantire il rispetto della quota di falda di intervento all'interno dell'area di scavo e dell'area di installazione del monolite.

A tal fine, le portate da estrarre sono risultate pari a:

- 250 mc/d da ciascuno dei due dreni orizzontali ubicati alla base dell'acquifero sospeso
- 200 mc/d dal dreno orizzontale ubicato nell'acquifero sommitale, immediatamente al di sotto del livello limoso di separazione.

La portata totale assomma quindi a 700 mc/d. Questo valore corrisponde a meno di 1/10 della portata che sarebbe necessario estrarre con sistemi tradizionali ed in assenza delle iniezioni di *jet grouting*. Simulazioni svolte da altre società, nella previsione dell'utilizzo di n. 4 pozzi, fornivano una stima di 8000 mc/d di estrazione, un valore di portata tale da comportare la creazione di un'area di richiamo estesa abbondantemente all'esterno dell'area di intervento.

In Figura 9 è mostrata la distribuzione dei carichi piezometrici all'interno della slice 6, nella quale sono ubicate le condizioni al contorno di tipo *well* che simulano i drenaggi. In Figura 10 è mostrata la distribuzione dei carichi piezometrici lungo una sezione trasversale al sottopasso. Da entrambe le immagini è possibile verificare come il drenaggio deprima efficacemente la falda nell'area di intervento. La riduzione della permeabilità in corrispondenza delle iniezioni (visibile in corrispondenza del drastico aumento di livello) consente di:

- minimizzare il prelievo e lo smaltimento delle acque di falda
- annullare gli abbassamenti al di fuori dell'area di intervento, minimizzando così il disturbo per le varie opere (in particolare, per i pozzi di captazione) ubicati nei dintorni.

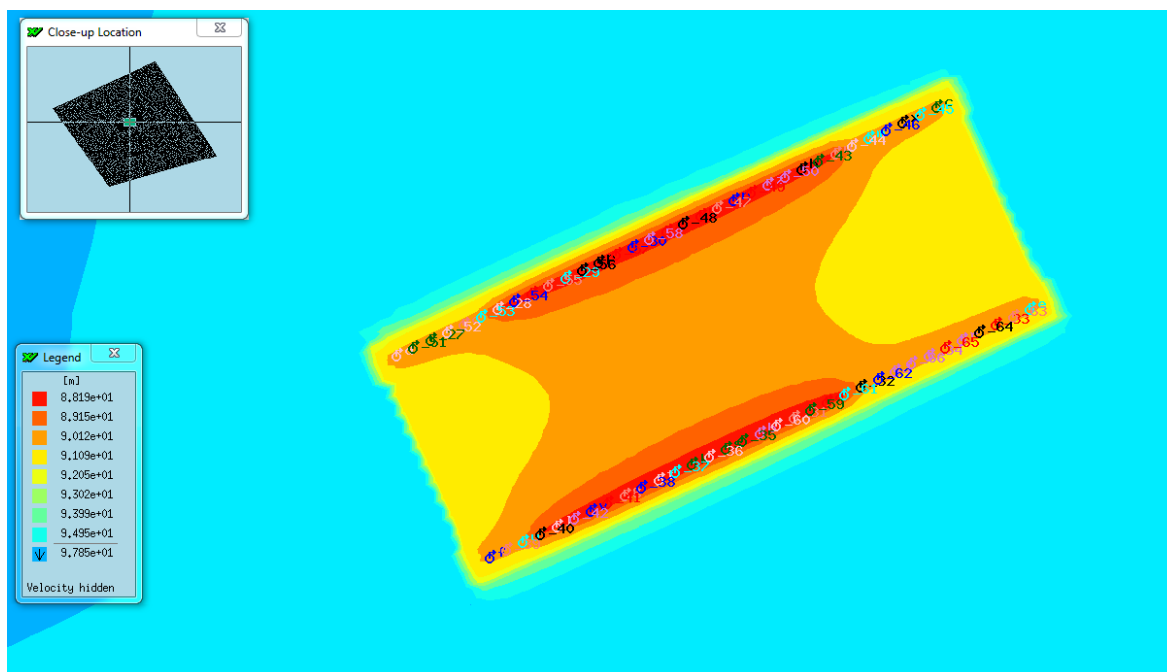


Figura 9 - Distribuzione dei carichi piezometrici nella slice che ospita i dreni orizzontali. Le aree in rosso sono quelle maggiormente depresse: l'abbassamento rispetto alla situazione indisturbata è di circa 10 metri. La quota massima all'interno dell'area di intervento è di 92 metri, tale da garantire un franco di 1 metro rispetto alla quota di base dell'opera.

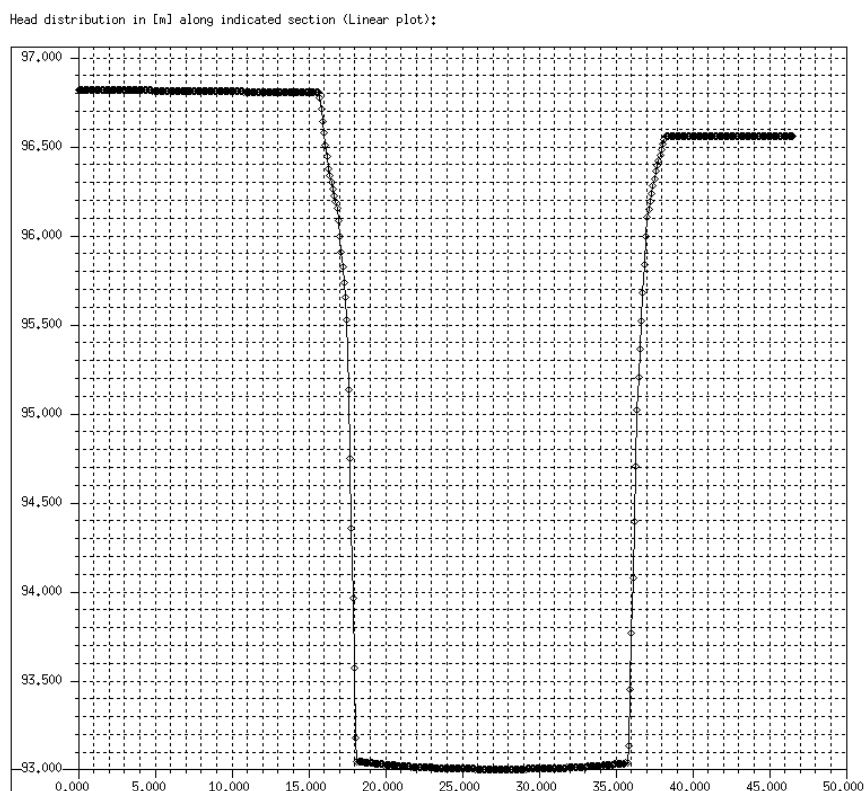


Figura 10 - Sezione (esagerata l'asse z) lungo l'area del sottopasso. Si nota l'efficace abbassamento determinato dal drenaggio, limitato all'area di interesse. La riduzione della permeabilità determinata dalle iniezioni consente di mantenere la falda ai lati dell'opera in condizioni indisturbate.

5 CONCLUSIONI

La realizzazione di interventi di ingegneria in aree abitate comporta sempre la necessità di minimizzare gli impatti sul territorio circostante. Nel caso in esame, è stata studiata la soluzione alla necessità di desaturare una porzione significativa di acquifero al fine di realizzare un sottopasso stradale in un'area di fattibilità 3b fortemente urbanizzata. In tale area, la vulnerabilità dell'acquifero risulta tanto elevata che la progettazione di opere in sotterraneo deve tenere in considerazione particolari cautele. Il D.M. 14/09/2005 obbliga infatti ad effettuare indagini geognostiche volte alla caratterizzazione geotecnica del terreno che permettono di definire le tipologie fondazionali e costruttive più idonee ad un'opera in sotterraneo.

A tale fine, erano state già eseguite le indagini idrogeologiche, a norma del D.M. 14/09/2005, che hanno rivelato la presenza di due corpi acquiferi in grado di influenzare l'esecuzione delle attività.

L'intervento ipotizzato ha previsto la minimizzazione dell'impatto sui corpi acquiferi nelle aree circostanti l'area di intervento tramite

- l'impermeabilizzazione laterale dell'area di realizzazione del sottopasso, mediante iniezioni di *jet grouting*,
- la realizzazione di dreni orizzontali, terebrati mediante la tecnica della trivellazione orizzontale controllata.

Le simulazioni svolte tramite il modello matematico appositamente realizzato, hanno consentito di confermare come la combinazione dei due interventi consenta di:

- ridurre drasticamente le portate da estrarre ed annullare l'abbassamento della falda al di fuori dell'area di intervento;
- determinare un abbassamento controllato omogeneo lungo tutta la lunghezza del sottopasso.