

1. INTERFERENZE CON LA CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA

Per quanto esposto nella documentazione progettuale di riferimento, il tracciato della tranvia in progetto si colloca all'interno di un sistema acquifero multilivello, idrostratigraficamente ospitato nei depositi quaternari della porzione sommitale del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore; più precisamente risulta interessato il complesso acquifero A1 ospitante i livelli acquiferi SUP1-2 e SUP3-4 (questi ultimi due non sempre ben differenziabili e pertanto, alla scala dell'opera, considerati l'uno l'estensione dell'altro).

La complessità intrinseca della geometria del sistema acquifero multilivello e l'eterogeneità dei relativi parametri idrogeologici lungo il tracciato, comporterà una risposta dell'acquifero alle opere in progetto significativamente diversa, a seconda della progressiva di avanzamento. Nel caso di opere in superficie, verranno realizzati interventi di sostegno e di drenaggio, così come di impermeabilizzazione. Viceversa, per quanto riguarda le opere in sotterraneo, qualora sussistano condizioni per un effetto barriera persistente ai fini del flusso idrico sotterraneo, saranno previste opere di mitigazione.

Di seguito vengono illustrate le opere in sotterraneo più rappresentative con relativo modello idrogeologico ricostruito a partire dalle indagini geognostiche realizzate e consistite nella terebrazione di n. 10 sondaggi meccanici a carotaggio continuo con fori attrezzati a piezometro caratterizzati da tratti filtranti localizzati in corrispondenza degli acquiferi intercettati.

In allegato si riportano le stratigrafie relative alle indagini realizzate mentre per le ubicazioni si rimanda al relativo elaborato.

1.1 SOTTOPASSO STRADALE VIA FERRARESE-VIA MAZZA E PARCHEGGIO INTERRATO PIAZZA DELL'UNITÀ

1.1.1 INTERVENTI IN PROGETTO

Al fine di consentire la realizzazione di una porzione a raso della nuova linea tranviaria in Via Ferrarese/Via Mazza, viene realizzato un sottoattraversamento dedicato al traffico automobilistico, accessibile mediante opportune rampe di accesso ambo i lati.



Figura 1-1 – Inquadramento dell'opera (estratto da elaborato B381-C-SF-STR-PP001A)

Le rampe di accesso ubicate su ambo i lati sono costituite da una platea e da muriandatori in cls armato, mentre la porzione interrata è costituita da uno scatolare in cls armato.

Per consentire la realizzazione del manufatto, saranno messi in opera opportuni diaframmi in cls armato di spessore 80 cm, ubicati su ambo i lati dello sviluppo longitudinale dello stesso.

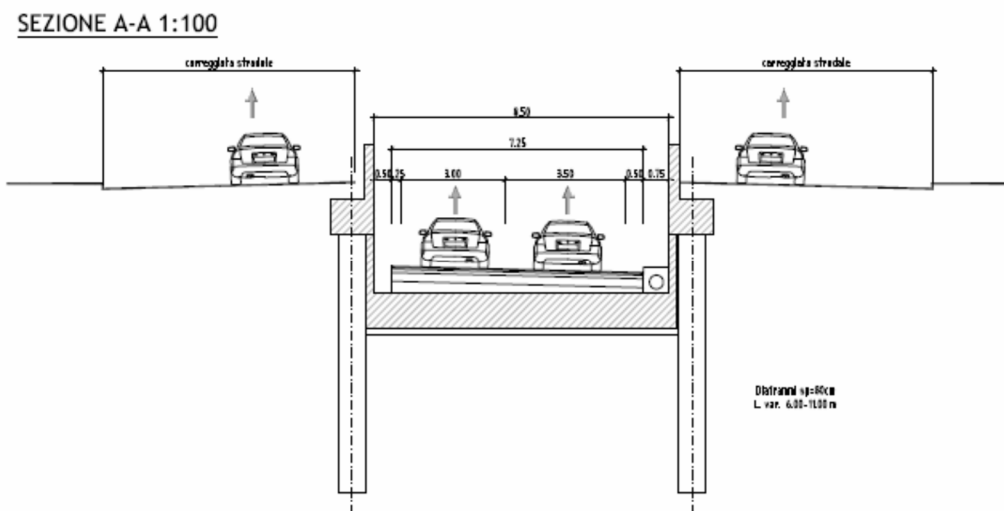


Figura 1-2 – Sezione trasversale rampe di accesso (estratto da elaborato B831-C-SF-STR-RT001A)

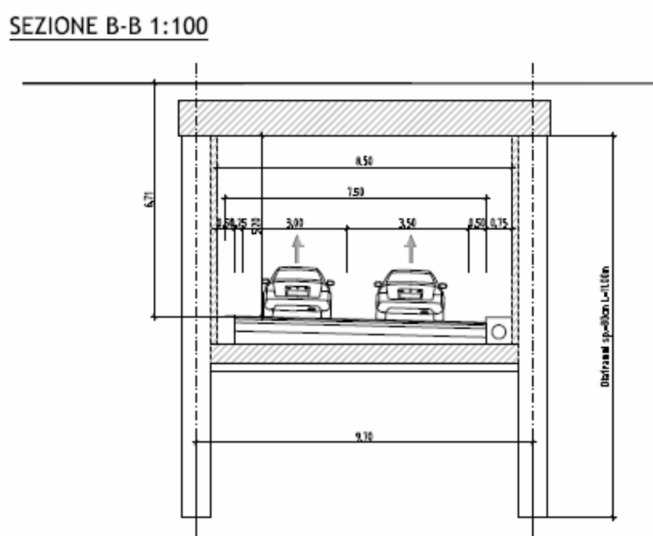


Figura 1-3 – Sezione trasversale scatolare interrato (estratto da elaborato B831-C-SF-STR-RT001A)

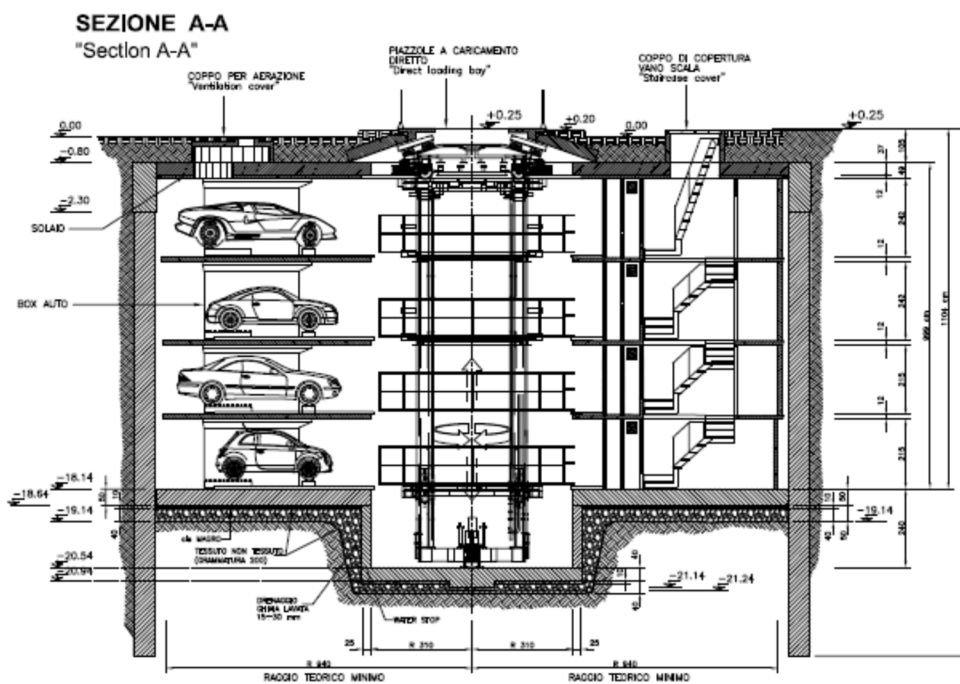


Figura 1-4 – Sezione trasversale parcheggio interrato P.zza Unità

1.1.2 RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA

L'assetto litostratigrafico e la caratterizzazione idrogeologica dei litotipi costituenti il sottosuolo è stata effettuata sulla base dei dati acquisiti nel corso della realizzazione delle indagini ubicate come da figura 5-4 e sintetizzate nella tabella seguente con indicazione delle profondità investigate e delle attrezzature installate. In allegato vengono proposte le stratigrafie.

SONDAGGIO	PROFONDITÀ [m da p.c.]	ATTREZZATURA INSTALLATA	DATA ESECUZIONE
SOT01	-30,00	Piez. Norton 3" 0-3 m cieco	20/06/2022
SOT01-B	-30,00	Piez. Norton 3" 0-20 m cieco	14-15/07/2022
SOT03	-30,00	Piez. Norton 3" 0-3 m cieco	16/06/2022
SOT03-B	-30,00	Piez. Norton 3" 0-18 m cieco	13/07/2022
SOT04	-30,00	Piez. Norton 3" 0-3 m cieco	21/06/2022
SOT04-B	-30,00	Piez. Norton 3" 0-21 m cieco	18-19/07/2022
SOT06	-30,00	Piez. Norton 3" 0-3 m cieco	14-15/06/2022



Figura 1-5 – Ubicazione indagini

L'area di P.zza dell'Unità si colloca alla quota topografica media di 43 m s.l.m. L'alternanza litologica riscontrata attraverso la ricostruzione di n. 2 sezioni idrogeologiche aventi sviluppo W-e e S-N (vd. Elaborato allegato) delinea la presenza di un sottosuolo costituito da orizzonti acquiferi sovrapposti e separati verticalmente, da corpi litologici dotati di bassa conducibilità idraulica. Siamo, infatti, in presenza del complesso acquifero superficiale multifalda (A1) ospitanti le falde SUP 2 e SUP 3-4.

Di seguito si riporta una descrizione del sottosuolo del settore in esame con riferimento alle unità idrogeologiche individuate:

Depositi fini superficiali

Da p.c. sino alla profondità di c.ca 7-11 m (32-36 m s.l.m.), sono presenti sedimenti prevalentemente argilloso-limosi a costituire il livello impermeabile di superficie.

I° acquifero (A1c)

Costituito da depositi sabbiosi intercettati dai sondaggi realizzati a partire da profondità comprese tra 7-11 m da p.c. (32-36 m s.l.m.) I valori di soggiacenza registrati nei piezometri realizzati (compresi tra 7-11 m da p.c.), mostrano, per la falda SUP3 in esso contenuta, un comportamento tipico di falda confinata.

Acquiclude 1

Da circa 12-14 m dal p.c. (29-31 m s.l.m, con spessore mediamente compreso tra 5 e 9 m) sono presenti sedimenti argilloso-limosi, che costituiscono un orizzonte di separazione con continuità laterale (aquiclude) tra il I° e il II° acquifero ghiaioso-sabbioso individuato.

II° acquifero (A1b)

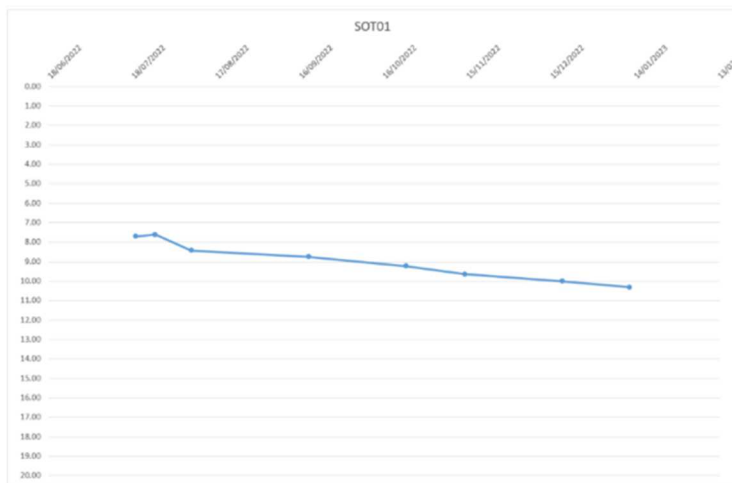
A partire dalla profondità di c.ca 19-21 m da p.c. (22-24 m s.l.m., con spessore medio pari a c.ca 2,50 m) sono presenti sedimenti ghiaiosi eterogenei immersi in matrice limoso-sabbiosa. Tali orizzonti rappresentano il secondo livello acquifero ghiaioso nell'area, sede di una falda confinata (SUP2), con livelli piezometrici misurati all'interno dei piezometri fenestrati in corrispondenza dell'acquifero compresi fra circa 28,35 e 31,52 m s.l.m.

1.1.3 ANALISI DATI MISURAZIONI IN CAMPO

Di seguito si riportano i dati ottenuti dalla campagna di monitoraggio del carico idraulico all'interno dei piezometri installati, nell'arco temporale 19/07/2022 - 14/01/2023.

SOT01

19/07/22	26/07/22	08/08/22	19/09/22	24/10/22	14/11/22	19/12/22	12/01/23
7.70	7.61	8.43	8.75	9.23	9.65	10.01	10.32



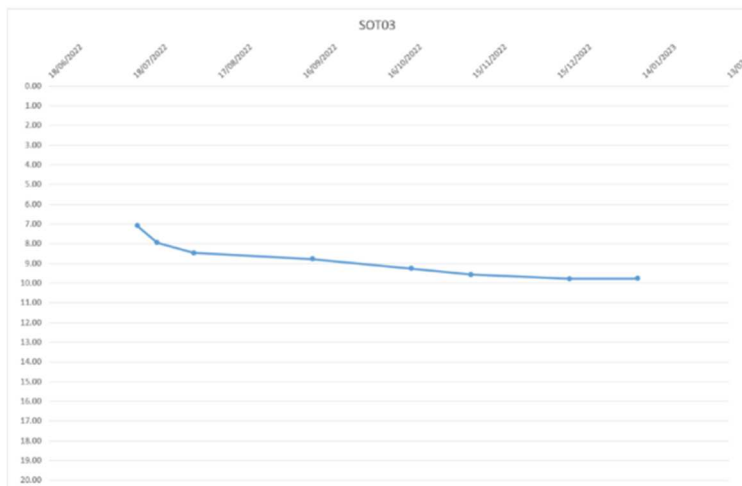
SOT01-B

19/07/22	26/07/22	08/08/22	19/09/22	24/10/22	14/11/22	19/12/22	12/01/23
13.42	13.19	13.66	14.08	14.15	13.86	14.05	13.81



SOT03

19/07/22	26/07/22	08/08/22	19/09/22	24/10/22	14/11/22	19/12/22	12/01/23
7.09	7.95	8.46	8.78	9.25	9.56	9.78	9.77



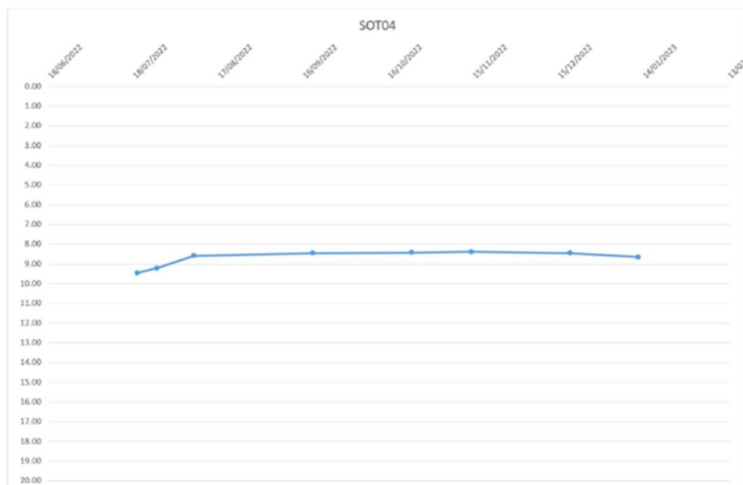
SOT03-B

19/07/22	26/07/22	08/08/22	19/09/22	24/10/22	14/11/22	19/12/22	12/01/23
11.68	11.48	12.65	13.30	13.65	13.96	14.23	14.65



SOT04

19/07/22	26/07/22	08/08/22	19/09/22	24/10/22	14/11/22	19/12/22	12/01/23
9.46	9.22	8.58	8.45	8.42	8.38	8.45	8.65



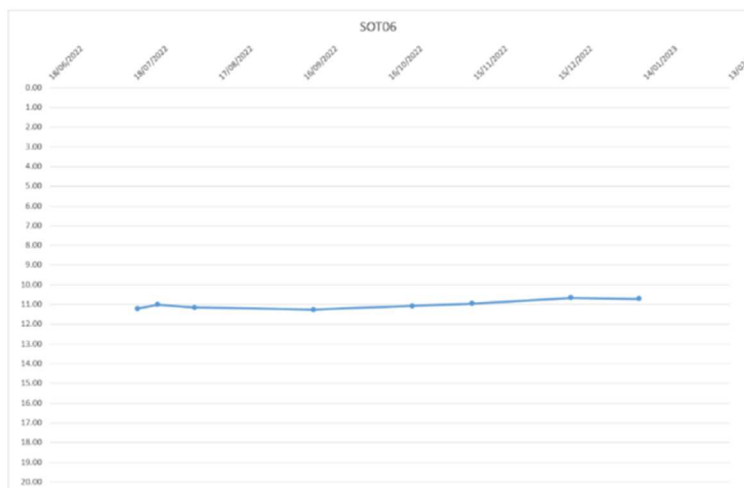
SOT04-B

19/07/22	26/07/22	08/08/22	19/09/22	24/10/22	14/11/22	19/12/22	12/01/23
14.00	13.77	13.10	13.08	13.04	12.96	12.78	12.79



SOT06

19/07/22	26/07/22	08/08/22	19/09/22	24/10/22	14/11/22	19/12/22	12/01/23
11.20	11.00	11.15	11.26	11.07	10.95	10.66	10.71



I dati ottenuti dalle misurazioni del livello di falda all'interno dei piezometri sono stati in seconda analisi fittati ricorrendo all'utilizzo della serie di Fourier implementata in Matlab, attraverso l'equazione:

$$f(t) = a_0 + a_1 \cos(wt) + b_1 \sin(wt) + a_2 \cos(2wt) + b_2 \sin(2wt)$$

In quanto il livello di falda segue un andamento periodico riconducibile ad una combinazione lineare di funzioni trigonometriche ed in modo da ottenere un andamento del livello di falda estendibile al di fuori del periodo di osservazione.

Utilizzando i seguenti valori dei coefficienti della serie di Fourier utilizzati per il fitting.

a_0	a_1	b_1	a_2	b_2	w
-0.42	-0.02	0.0141	-7.05×10^{-5}	-0.0264	0.16

Si ottengono i seguenti valori di soggiacenza media annuali

SOT01	SOT01-B	SOT03	SOT03-B	SOT04	SOT04-B	SOT06
8.92	13.86	8.78	13.18	8.65	13.23	11.10

Le mappe isofreatiche sono state elaborate in riferimento alle falde individuate, basandosi sui dati raccolti nel corso delle campagne di misurazioni piezometriche effettuate, attraverso l'utilizzo del software Surfer 8 prodotto dalla Golden Software. Surfer 8 è un prodotto software per la graficizzazione di contorni e di superfici 3D; esso, rapidamente e facilmente, converte i dati in mappe a contorni e trame della superficie.

I dati sparsi (scattered), vengono trasformati in grafici perfettamente in griglia usati per produrre grafici contour e mappe della superficie, sulle quali si possono sovrapporre altri dati in riferimento ai precedenti. Surfer 8 permette l'interpolazione di un dataset ampio scegliendo tra diversi tipi di algoritmi; nello specifico, il metodo d'interpolazione scelto è stato il Radial Basic Function che rappresenta un metodo molto flessibile e in termini d'abilità nel fit dei punti di misura e di capacità di riprodurre superfici smooth, è paragonabile alla tecnica del kriging, soprattutto utilizzando le funzioni multiquadratiche (Chaplot et al., 2006; Jin et al., 2000). La particolarità delle funzioni multiquadratiche è che forniscono un sistema di equazioni piuttosto ben condizionato che è garantito essere non singolare e quindi fornire una soluzione.

Si è optato per il Radial Basic Function perché, in assenza di smoothing factor ($c=0$), risulta essere un metodo d'interpolazione esatto, ovvero onora esattamente i dati quando i nodi della griglia coincidono con i punti di misura ed è un metodo d'interpolazione adatto quando i punti di misura non superano alcune centinaia (Hardy, 1971; 1990).

La mappa di *Figura 1-5* è stata elaborata in riferimento alla falda più superficiale, considerando per ciascun piezometro i valori di soggiacenza media annuali

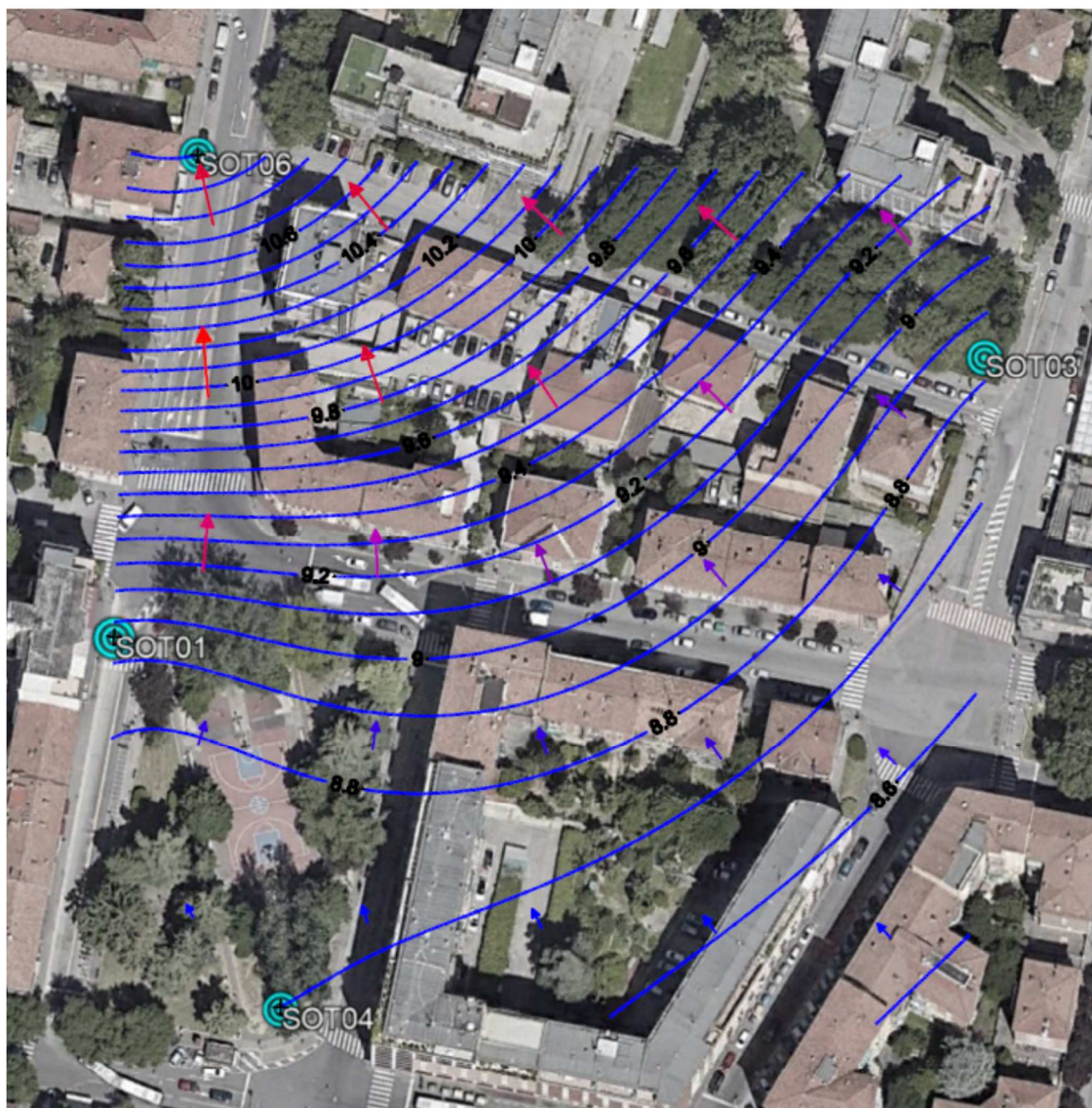


Figura 1-6 – Mappa isofreatica SUP3

È evidente che le elaborazioni condotte confermano il trend di massima testimoniato dall'analisi del campo di moto freatico effettuata a supporto dal P.A.E. 2007 e nel dettaglio, dalla lettura della carta delle isopieze è riscontrabile un gradiente preferenziale in direzione SE-NW.

In riferimento alla falda confinata SUP2, in Figura 1-6 ne è rappresentata la mappa isofreatica che mostra, anche in questo caso un gradiente piezometrico con direzione SE-NW.

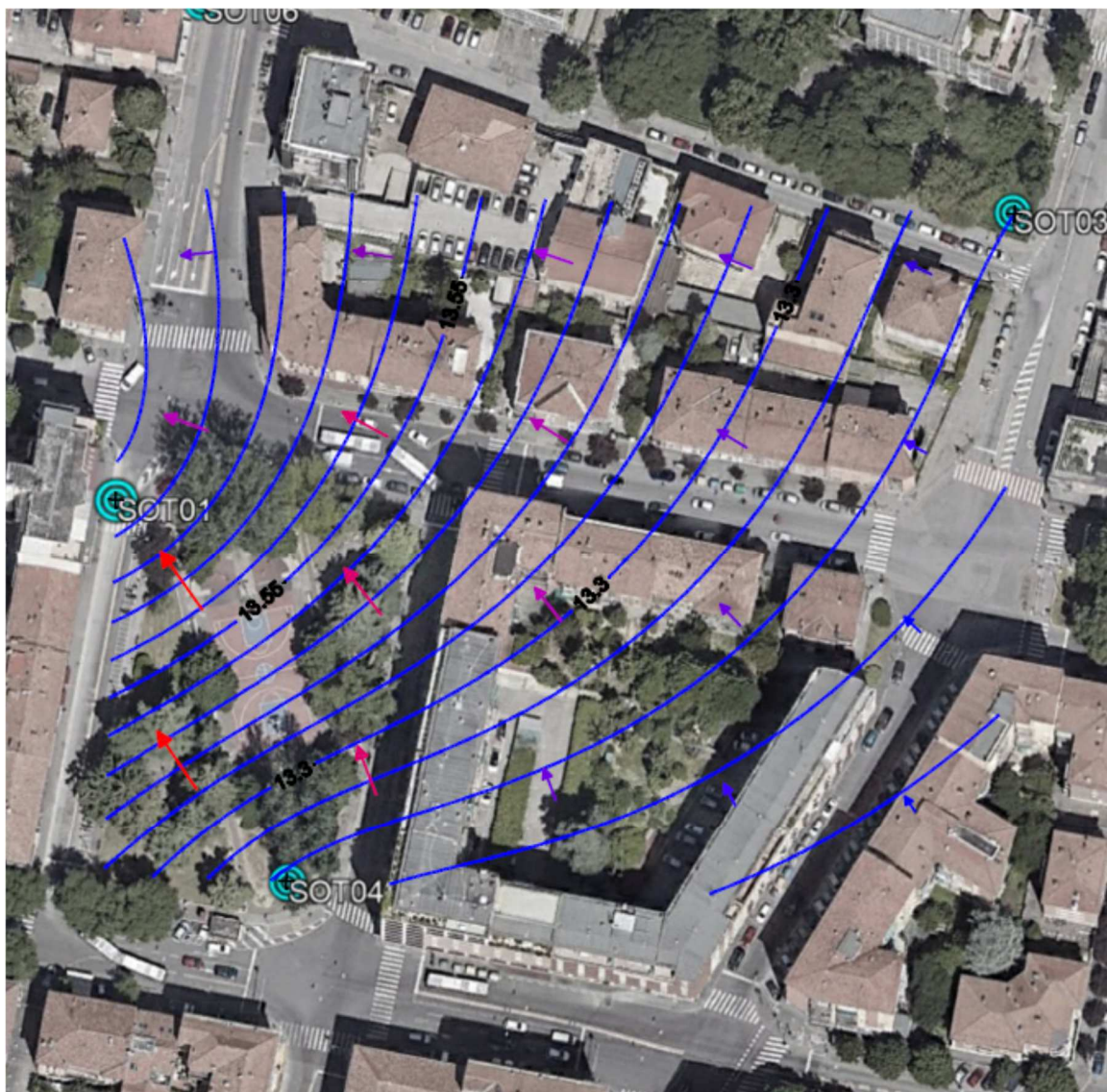


Figura 1-7 – Mappa isofreatica SUP2

L'attività di monitoraggio svolta e la relativa analisi dei dati, ha permesso il riscontro, in corrispondenza dell'area, di una effettiva separazione idraulica tra l'orizzonte acquifero superficiale (A1c) ed il sistema acquifero sottostante (A1b). La situazione descritta ha trovato ulteriore conferma infatti nella diversità dei valori di carico idraulico riportata nelle sezioni tracciate e nella continuità areale dell'elemento di separazione tra i due acquiferi.

1.1.4 OPERE IN PROGETTO E MODELLAZIONE DEL FLUSSO SOTTERRANEO

Per la modellazione numerica del flusso sotterraneo è stato utilizzato ModelMuse, interfaccia grafica opensource del software ModFlow, utilizzato dall'USGS.

La prima versione di Modflow risale al 1983 nata per riunire e consolidare le conoscenze sulla modellazione del flusso sotterraneo. Modflow, inizialmente, fu ampiamente utilizzato dall'USGS, per poi divenire nel 1990 il software maggiormente impiegato a scala globale.

Nel presente elaborato si è ricorso all'utilizzo di Modflow-2006, il quale modella il flusso sotterraneo attraverso l'utilizzo di diverse subroutine o pacchetti. Modflow è in grado di simulare il flusso in condizioni stazionarie e transitorie all'interno di sistemi di forma irregolare, dove gli acquiferi possono essere distinti in confinati, non confinati o semiconfinati. Può essere simulata l'influenza di fattori esterni, flussi da e verso un sistema di pozzi, fattori di ricarica areali o puntuali, evapotraspirazione, flusso attraverso sistemi di drenaggio, flussi da e verso corpi idrici ed è possibile assegnare una conducibilità idraulica ed una trasmissività variabile nello spazio ed anisotropia.

L'equazione di flusso che governa il moto all'interno di un mezzo poroso viene generalmente derivata in riferimento ad un volume rappresentativo dell'interno sistema, REV, caratterizzato da una dimensione sufficiente piccola da poter individuare le variazioni delle proprietà macroscopiche ma sufficientemente grande da mediare le variazioni presenti a scala microscopica. L'equazione di flusso viene derivata, considerando un fluido a densità costante ed un sistema di riferimento con direzioni uguali a quelli principali di anisotropia, attraverso la seguente equazione:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

in cui:

- K_{xx} , K_{yy} , e K_{zz} rappresentano i valori della conducibilità idraulica lungo gli assi x,y e z [L/T];
- h è il carico idraulico (energia totale per unità di peso posseduta da una particella di acqua, costituita da tre termini, gravitazionale, di pressione e cinetica, quest'ultimo termine risulta

trascurabile a confronto dei precedenti, essendo all'interno dell'acquifero solitamente le velocità molto basse);

- W rappresenta il flusso volumetrico di ricarica o perdita per unità di volume, $W > 0$ indica la presenza di una zona di ricarica (flusso verso il sistema), $W < 0$ indica la presenza di una perdita (flusso verso l'esterno del sistema);
- S_s coefficiente di immagazzinamento specifico (definibile come "il volume di acqua liberato per unità di volume dell'acquifero per una diminuzione unitaria di carico idraulico").

A questo punto, note le condizioni al contorno, come ad esempio il carico idraulico e/o il flusso lungo il confine dell'area di studio, e le condizioni iniziali, la soluzione dell'equazione di flusso rappresenta le dinamiche all'interno dell'acquifero oggetto di studio. Nel caso stazionario, steady-state, il termine a destra dell'equazione si annulla e la distribuzione dei carichi idraulici dipende esclusivamente dalla conducibilità idraulica e dal flusso volumetrico.

La risoluzione analitica dell'equazione di flusso è possibile per sistemi acquiferi alquanto semplici, perciò al fine di ottenere una soluzione approssimata, si adottano diversi sistemi di risoluzione numerica. Modflow utilizza un sistema di risoluzione alle differenze finite, in cui il sistema viene risolto in un numero determinato di punti nello spazio e nel tempo, denominati nodi, corrispondenti al punto centrale di ogni cella; quindi viene utilizzata una griglia di calcolo, suddivisa in celle, la cui posizione è descritta in termini di righe, colonne e strati (vd. *Figura seguente*).

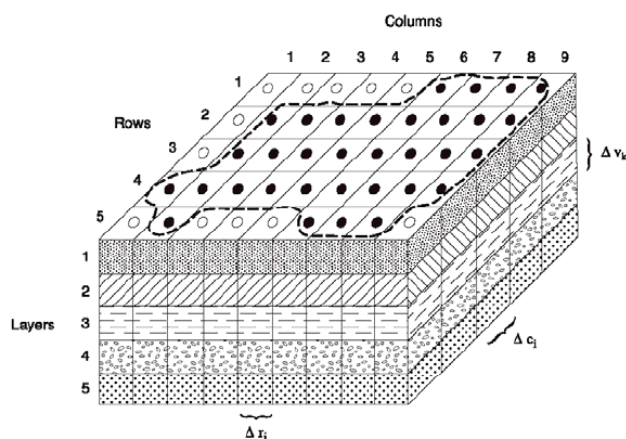


Figura 1-8 – griglia di calcolo utilizzata dal software Modflow

1.1.4.1 Griglia di calcolo

La griglia di calcolo (Figura 1-8) è composta da quattro layer rappresentanti le unità idrogeologiche discretizzate a seguito delle indagini realizzate.

La griglia è stata realizzata importando la cartografia dell'area studio in formato raster, all'interno del software ModelMuse; ogni cella ha una dimensione quadrata di lato pari a 10, per un totale di 11.000 celle per layer.

All'interno della griglia sono stati quindi dimensionate le opere in progetto ubicate in corrispondenza dell'area.

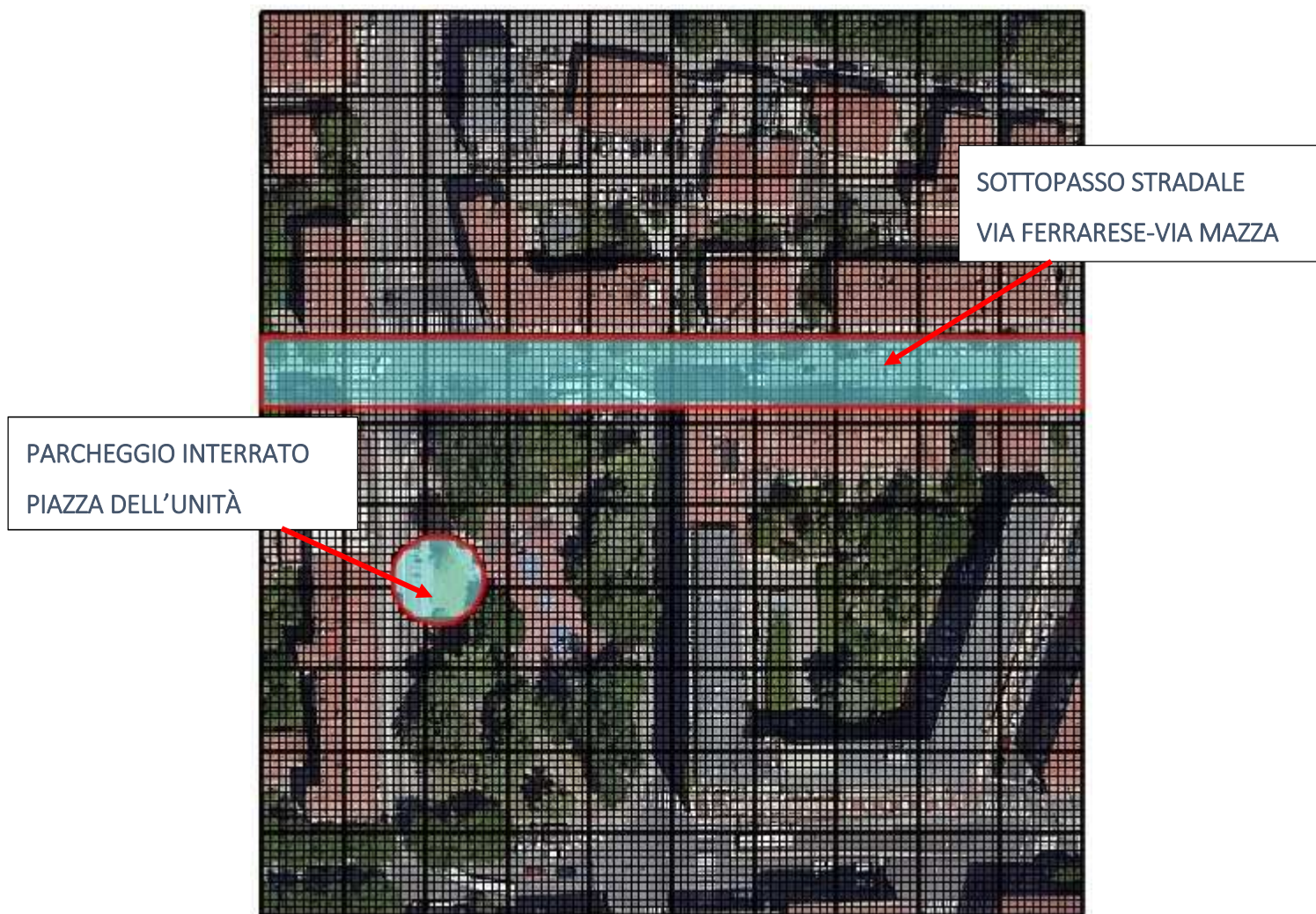


Figura 1-9 – Griglia di calcolo realizzata in ModelMuse per la modellazione numerica del flusso sotterraneo

1.1.4.2 Condizioni al contorno: stima della conducibilità idraulica e carico idraulico

Per assegnare un valore di conducibilità idraulica al sottosuolo si è fatto riferimento al precedente studio geologico redatto a supporto del progetto definitivo della prima linea tranviaria di Bologna (Linea Rossa) ed in particolare ai risultati dei test di permeabilità eseguiti in corso di indagine su terreni granulometricamente analoghi a quelli impostati per i layer della griglia di calcolo, utilizzando un range medio della conducibilità ottenuta dalle prove Lefranc, come di seguito riportato in forma tabellare.

GRADO DI PERMEABILITÀ	LITOTIPO
$k > 10^{-5}$	Riporto
$10^{-7} < k < 10^{-5}$	Terreni alluvionali incoerenti
$10^{-9} < k < 10^{-7}$	Terreni alluvionali coerenti

Nell'implementazione del modello, la conducibilità trasversale (per i terreni considerata pari alla conducibilità verticale) è stata attribuita conduttività nulla agli oggetti rigidi rappresentanti le opere in progetto.

Per l'assegnazione delle condizioni di carico idraulico al contorno, sono stati utilizzati i valori medi del livello di falda utilizzati per la ricostruzione delle mappe isofreatiche.

1.1.4.3 Risultati e discussione

In questa sezione vengono presentate le simulazioni, effettuate in stato stazionario considerando le condizioni attuali e possibili scenari futuri, utilizzando il modello e le condizioni precedentemente descritte. L'obiettivo delle simulazioni è quello di verificare la sussistenza di condizioni per un effetto barriera persistente ai fini del flusso idrico sotterraneo, per i due orizzonti acquiferi individuati.

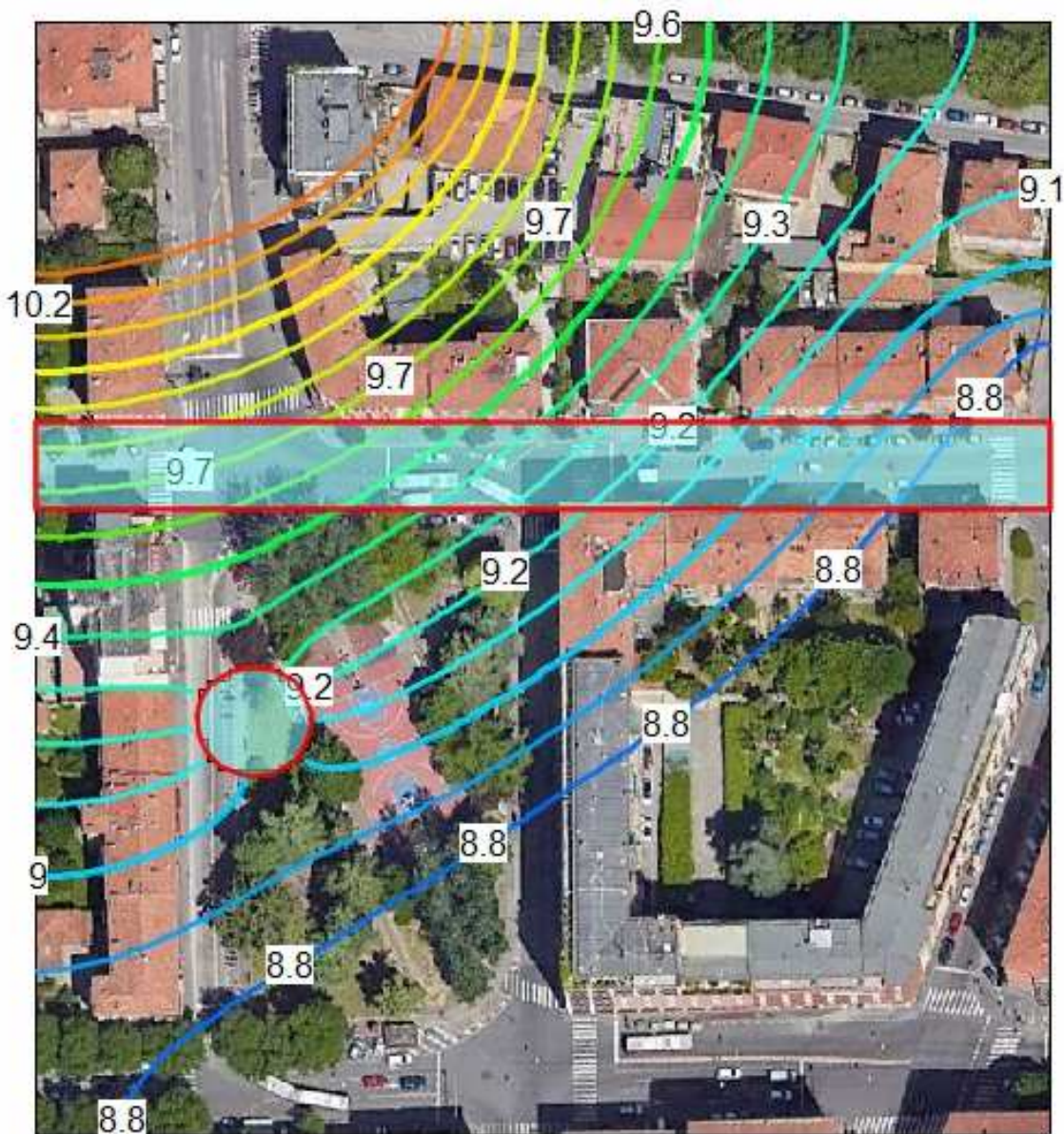


Figura 1-10 – Opere in progetto e modellazione del flusso sotterraneo (SUP3)



Figura 1-11 – Opere in progetto e modellazione del flusso sotterraneo (SUP2)

A valle degli esiti delle campagne di indagine e monitoraggio realizzate e dalle modellazioni numeriche condotte, il sottopasso stradale di via Ferrarese-Via Mazza non risulta interferente con il sistema acquifero A1c, sede della falda in pressione SUP3, escludendo possibili effetti barriera al flusso idrico sotterraneo.

Per ciò che concerne il parcheggio interrato da realizzarsi in Piazza dell'Unità, l'opera risulta interferente con l'acquifero A1c e con la relativa superficie piezometrica SUP3. Tuttavia, alla luce della geometria degli acquiferi individuati (che mostrano continuità laterale sia in senso longitudinale che trasversale, vd. sezioni lito-idrostratigrafiche elaborate) e della simulazione condotta per mezzo del software ModFlow, risulta inattendibile l'effetto barriera idraulica ed il livello dell'acqua si vede stabilizzato alla quota di equilibrio attestante il livello piezometrico.

Inoltre, risultando confinata all'interno dell'acquifero A1b (non raggiunto dall'opera) ne consegue che la falda SUP2 (in pressione) non interferisce con l'opera in progetto.

Nelle successive fasi progettuali verranno attuati approfondimenti di indagine e previste campagne di misure freatiche al fine di ricostruire l'andamento stagionale della piezometria dell'area.

1.2 SOTTOPASSO TRAMVIARIO "PASSANTE"

1.2.1 INTERVENTI IN PROGETTO

Per consentire il passaggio della nuova linea tranviaria lungo via di Corticella in corrispondenza dello svincolo con la tangenziale, viene realizzato un nuovo sottovia ad esclusivo uso della linea stessa, lungo complessivamente, rampe comprese, poco più di 670 m.



Figura 1-12 – Inquadramento dell'opera (estratto da elaborato B831-C-SF-STR-RT002A)

L'opera prevede delle opportune fasi di realizzazione, al fine di mantenere attiva la circolazione su parte di Via Corticella. Le rampe di accesso ubicate su ambo i lati sono costituite da una platea e da muri andatori in cls armato, mentre la porzione interrata è costituita da uno scatolare in cls armato. Per consentire la realizzazione del manufatto, saranno messi in opera opportuni diaframmi in cls armato di spessore 80 cm, ubicati su ambo i lati dello sviluppo longitudinale dello stesso. Per la sola porzione di manufatto direttamente ubicata al di sotto della tangenziale, la realizzazione sarà effettuata con l'ausilio di una berlinese di micropali su ambo i lati.

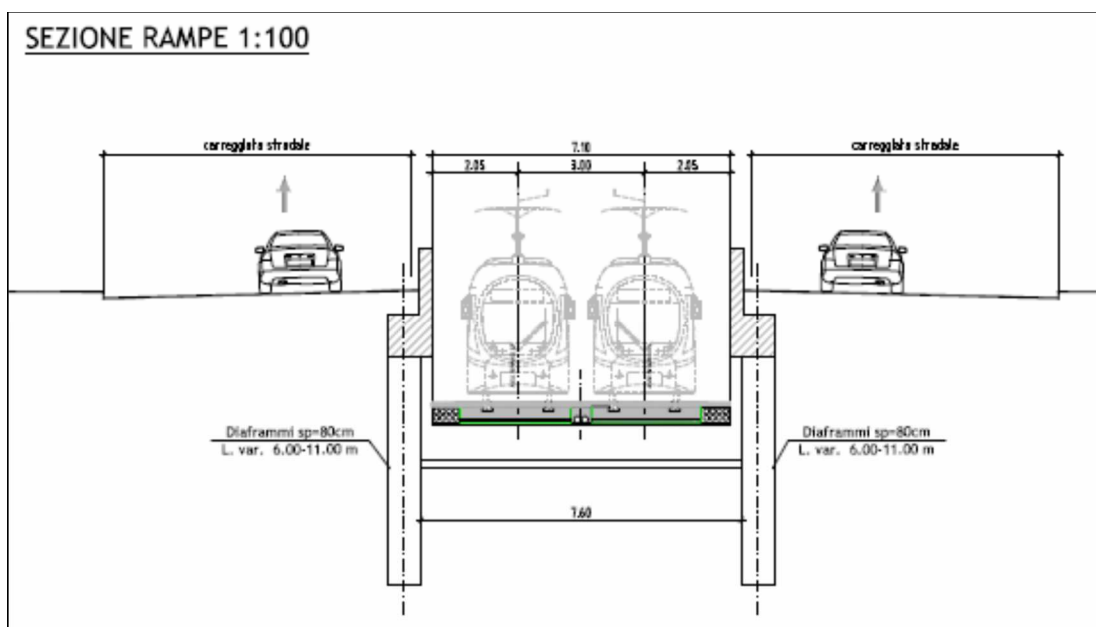


Figura 1-13 – Sezione trasversale rampe di accesso (estratto da elaborato B831-C-SF-STR-RT002A)

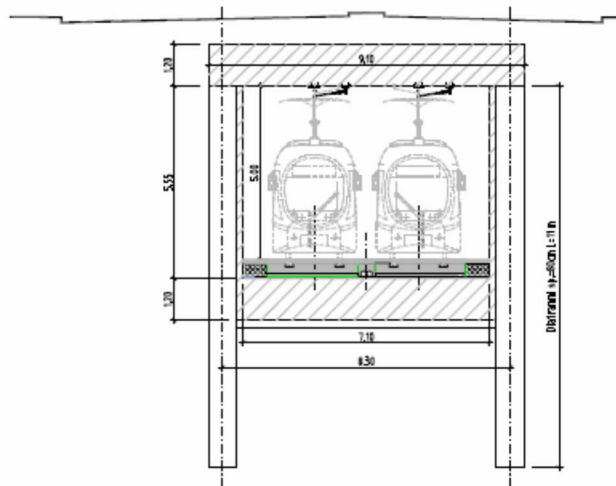


Figura 1-14 – Sezione trasversale sottopasso (estratto da elaborato B831-C-SF-STR-RT002A)

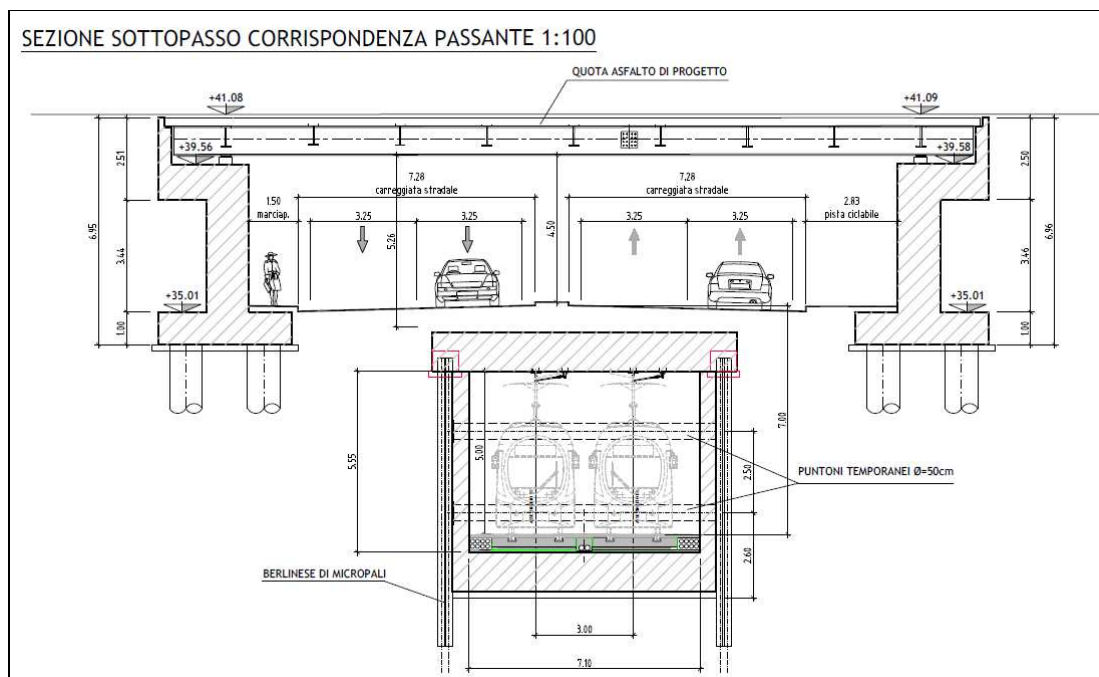


Figura 1-15 – Sezione trasversale sottopasso al di sotto della tangenziale in configurazione finale

1.2.2 RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA

L'assetto litostratigrafico e la caratterizzazione idrogeologica dei litotipi costituenti il sottosuolo è stata effettuata sulla base dei dati acquisiti nel corso della realizzazione delle indagini ubicate come da figura 1-16 e sintetizzate nella tabella seguente con indicazione delle profondità investigate e delle attrezzature installate. In allegato vengono proposte le stratigrafie.

SONDAGGIO	PROFONDITÀ [m da p.c.]	ATTREZZATURA INSTALLATA	DATA ESECUZIONE
SOT11	-30,00	Piez. Norton 3" 0-3 m cieco	09-10/06/2022
SOT12	-30,00	Piez. Norton 3" 0-3 m cieco	13-14/06/2022
SOT14	-30,00	Piez. Norton 3" 0-3 m cieco	08-09/06/2022



Figura 1-16 – Ubicazione indagini

Il settore in esame risulta ubicato alla quota topografica media di 35 m s.l.m. e la realizzazione delle indagini integrative, ha consentito la seguente ricostruzione della geometria dei corpi sedimentari sepolti fino alla profondità massima di circa -30,00 m dal p.c..

Depositi fini superficiali

Da p.c. sino a profondità comprese tra 15-18 m (17-20 m s.l.m.), sono presenti sedimenti prevalentemente argilloso-limosi a costituire il livello impermeabile di superficie.

I° acquifero

Al di sotto della prima unità superficiale, viene individuata localmente in corrispondenza della verticale di indagine SOT12, l'unità definibile come primo acquifero, con caratteristiche proprie sia da un punto di vista litologico sia per ciò che riguarda le caratteristiche idrogeologiche ed idrodinamiche. Dall'analisi delle litostratigrafie, nonché delle sezioni ricostruite, si denota infatti la presenza di depositi a granulometria più grossolana, rappresentati da sabbie o terreni intermedi quali sabbie limose e/o limi sabbiosi con sporadica presenza di ciottoli centimetrici.

Stante i valori di soggiacenza registrati all'interno del piezometro installato in foro di sondaggio, il corpo acquifero individuato contiene una falda, definibile come sospesa, ovvero caratterizzata da acqua di saturazione di tipo confinato, la cui alimentazione deriva dalla superficie stessa, per la quale riveste la massima importanza l'apporto dovuto prevalentemente alle precipitazioni meteoriche.

II° acquifero (A1b)

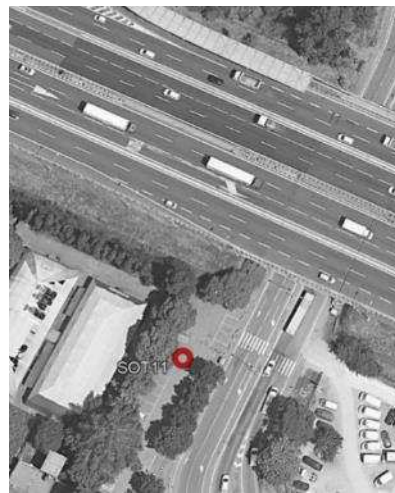
A partire dalla profondità di c.ca 15 m da p.c. (20 m s.l.m.) con spessore medio pari a c.ca 9 m, sono presenti sedimenti ghiaiosi eterogenei immersi in matrice limoso-sabbiosa. Tali orizzonti rappresentano il secondo livello acquifero ghiaioso nell'area, caratterizzato da continuità areale e sede della falda saliente (SUP2).

1.2.3 ANALISI DATI MISURAZIONI IN CAMPO

Di seguito si riportano i dati ottenuti dalla campagna di monitoraggio del carico idraulico all'interno dei piezometri installati, nell'arco temporale 19/07/2022 - 14/01/2023.

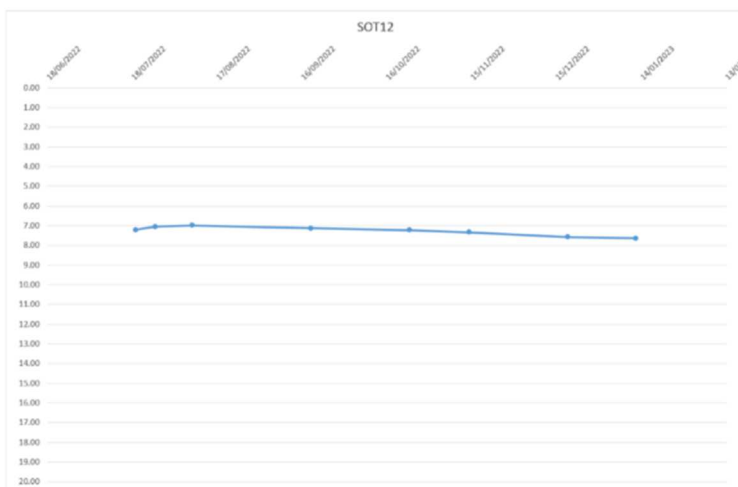
SOT11

19/07/22	26/07/22	08/08/22	19/09/22	24/10/22	14/11/22	19/12/22	12/01/23
16.63	16.45	15.55	15.32	15.08	14.86	14.68	14.53



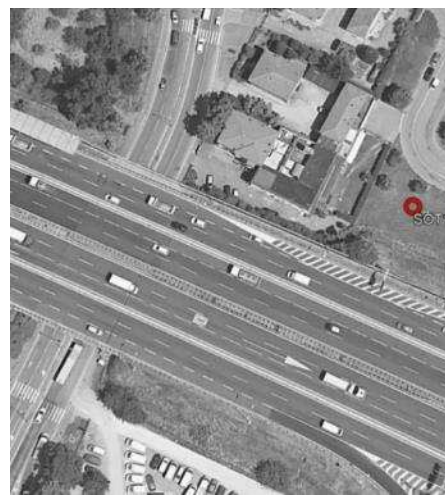
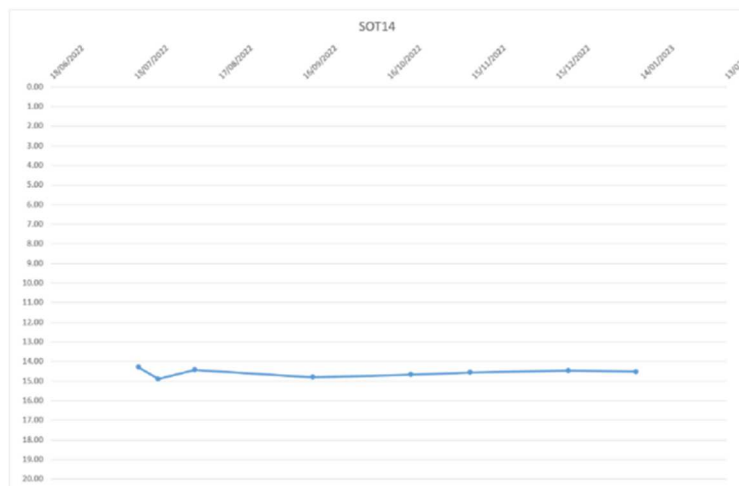
SOT012

19/07/22	26/07/22	08/08/22	19/09/22	24/10/22	14/11/22	19/12/22	12/01/23
7.21	7.05	6.98	7.13	7.22	7.33	7.57	7.64



SOT14

19/07/22	26/07/22	08/08/22	19/09/22	24/10/22	14/11/22	19/12/22	12/01/23
14.29	14.90	14.42	14.80	14.66	14.56	14.46	14.52



Ricorrendo alla serie di Fourier, per la falda SUP2 si ottengono i seguenti valori di soggiacenza media annuali:

SOT11	SOT014
15.30	14.44

1.2.4 OPERE IN PROGETTO E MODELLAZIONE DEL FLUSSO SOTTERRANEO

Nella presente sezione, vengono presentati i risultati della modellazione numerica del flusso sotterraneo condotta.

1.2.4.1 Griglia di calcolo

La griglia di calcolo (*Figura 1-17*) è composta da tre layer rappresentanti le unità idrogeologiche individuate a seguito delle indagini realizzate.

La griglia è stata realizzata importando la cartografia dell'area studio in formato raster, all'interno del software ModelMuse; ogni cella ha una dimensione quadrata di lato pari a 10, per un totale di 7.700 celle circa per layer.

All'interno della griglia è stata quindi dimensionata l'opera in progetto ubicata in corrispondenza dell'area.



Figura 1-17 – Griglia di calcolo realizzata in ModelMuse per la modellazione numerica del flusso sotterraneo

1.2.4.2 Condizioni al contorno: stima della conducibilità idraulica e carico idraulico

Nella tabella che segue, sono riportati i valori di permeabilità dei livelli di terreno discretizzati per la modellazione del flusso sotterraneo della falda SUP 2, considerando nulla la conduttività dell'opera.

GRADO DI PERMEABILITÀ	LITOTIPO
$10^{-7} < k < 10^{-5}$	Terreni alluvionali incoerenti
$10^{-9} < k < 10^{-7}$	Terreni alluvionali coerenti

Per l'assegnazione delle condizioni di carico idraulico al contorno, sono stati utilizzati i valori di soggiacenza media annuali calcolati.

1.2.4.3 Risultati e discussione

Sulla base dell'interpretazione dei dati di sottosuolo e delle piezometrie rilevate localmente è possibile confermare che, nel settore oggetto di intervento, il complesso delle falde superficiali (SUP 1-2-3-4) risulta interessato da manifestazioni idriche riferibili alla falda SUP2, ospitata nei depositi prevalentemente ghiaiosi-sabbiosi sottostanti i terreni più superficiali prevalentemente fini, con comportamento tipico di falda saliente, non interferente con l'opera in progetto (vd. Simulazione di *Figura 1-18*).

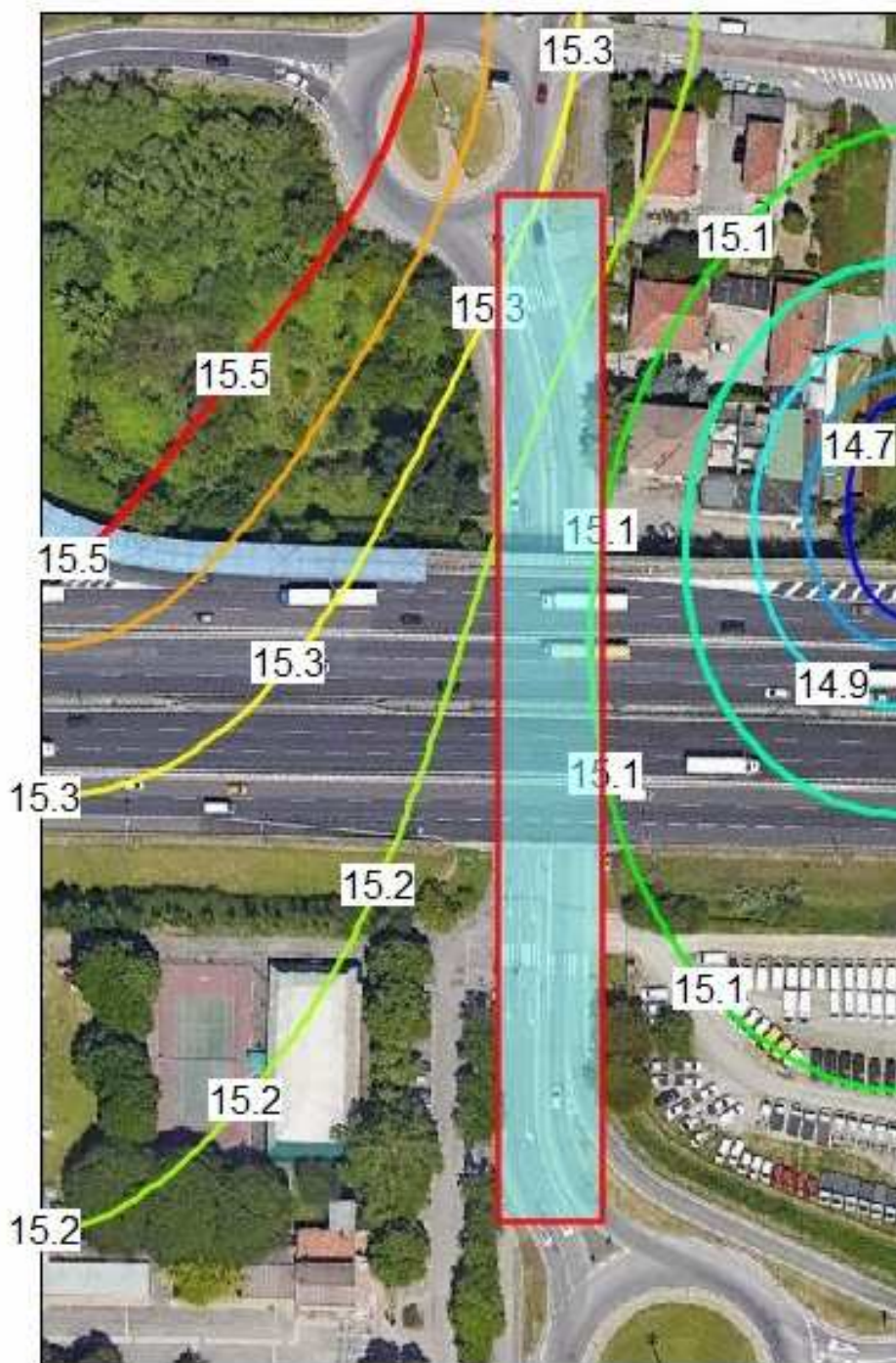


Figura 1-18 – Opere in progetto e modellazione del flusso sotterraneo (SUP2)

1.3 ADEGUAMENTO SOTTOVIA FERROVIARIO

1.3.1 INTERVENTI IN PROGETTO

Per consentire il passaggio della nuova linea tranviaria in corrispondenza dell'intersezione fra Via Corticella e la linea ferroviaria, in sostituzione dell'attuale sottovia a luce singola, sarà realizzato un nuovo sottoattraversamento in cls armato a doppio fornice. La realizzazione avverrà secondo diverse fasi e prevede la realizzazione di una berlinese di micropali tirantati a sostegno del rilevato ferroviario su cui si trova la coppia di binari che resta attiva.

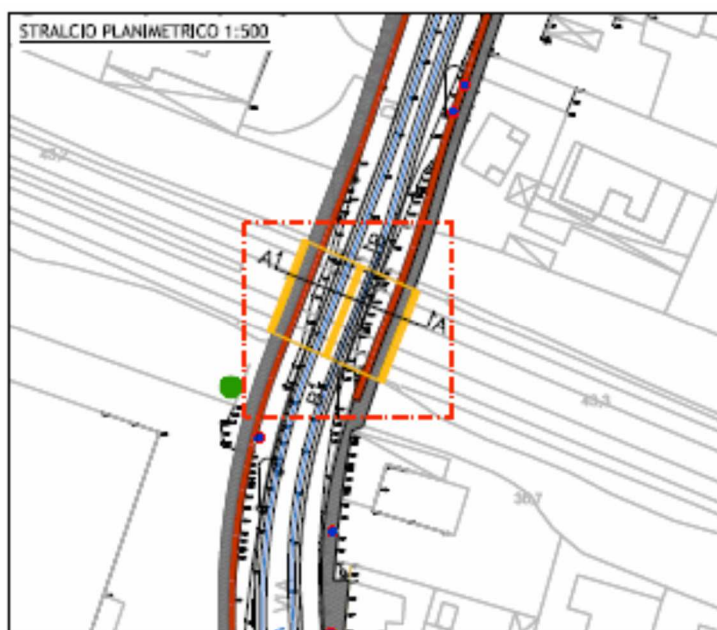


Figura 1-19 – Inquadramento dell'opera (estratto da elaborato B831-C-SF-STR-RT003A)

L'opera prevede delle opportune fasi di realizzazione, al fine di mantenere attiva parte dell'attuale infrastruttura ferroviaria superiore.

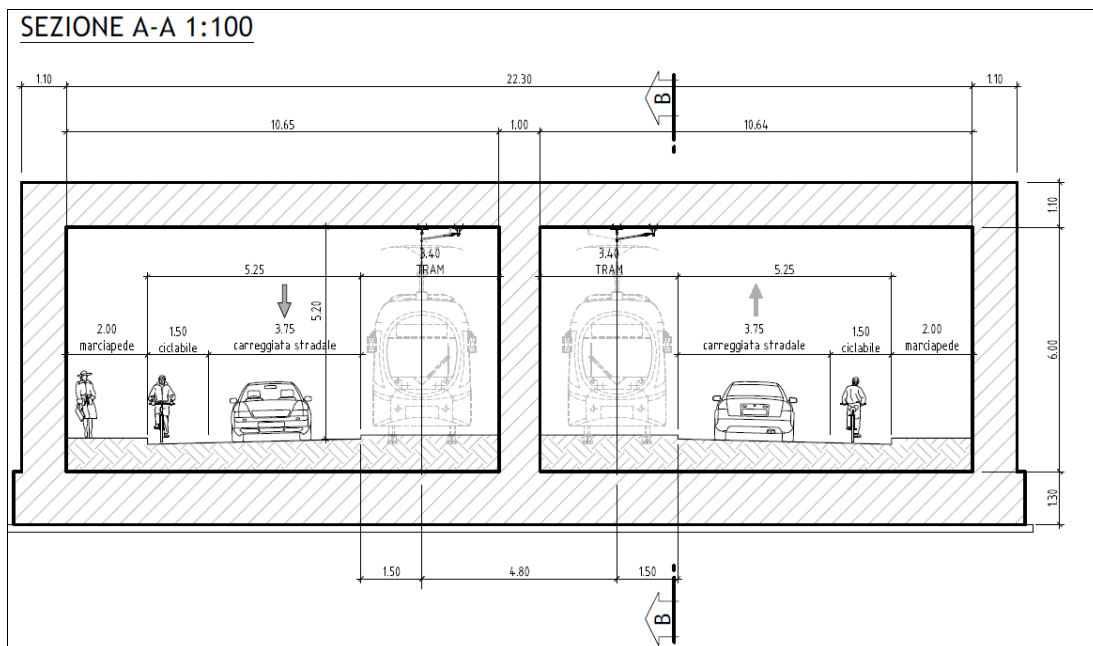


Figura 1-20 – Sezione trasversale sottoattraversamento (estratto da elaborato B831-C-SF-STR-RT003A)

1.3.2 OPERA IN PROGETTO E MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA

Stante gli esiti delle indagini bibliografiche di riferimento prese in esame e disponibili nella banca dati della Servizio Geologico della RER (sondaggio 221050P423 (1987)), l'opera in progetto non risulta interferire con il sistema acquifero superficiale del sottosuolo dell'area inquadrabile all'interno dei depositi limoso-sabbiosi rinvenuti a partire dalla profondità di -14,00 m da p.c., (A1b) con livello piezometrico riscontrato alla profondità di -16,30 m da p.c. al termine dell'esecuzione del sondaggio.

Nelle successive fasi progettuali verranno attuati approfondimenti di indagine mirati alla definizione del modello idrogeologico sito-specifico.

1.4 LOCALI TECNOLOGICI DI LINEA – SSE02

1.4.1 INTERVENTI IN PROGETTO

La realizzazione della sottostazione elettrica interrata n. 2 è prevista lungo via Corticella in corrispondenza dell'area ex distributore carburanti all'altezza del civico n. 241.

Le cabine di trasformazione interrate strutturalmente sono degli edifici scatolari in c.a.v. completamente interrati. Le fondazioni sono costituite da una platea di spessore 50 cm, le strutture in elevazione sono delle pareti esterne contro terra di spessore 40 cm mentre le pareti interne hanno spessore 30 cm; su tali pareti cui poggia la copertura dello scatolare costituita da un solaio alveolare prefabbricato alto 30 cm con getto di completamento armato di altezza 5 cm.

1.4.2 OPERA IN PROGETTO E MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA

Stante gli esiti delle indagini bibliografiche di riferimento prese in esame e disponibili nella banca dati della Servizio Geologico della RER (sondaggio 221050P100 (1974)), si evince la presenza di circolazione idrica sotterranea alla profondità di -4,00 m dal piano campagna, che inducono ad escludere interferenze dell'opera in progetto con il sistema acquifero, sebbene siano possibili risalite piezometriche in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi.

Nelle successive fasi progettuali verranno attuati approfondimenti di indagine mirati alla definizione del modello idrogeologico sito-specifico e particolare attenzione sarà posta ad eventuali ristagni e/o venute d'acqua ed in corso d'opera dovrà essere valutata l'opportunità di realizzare interventi di impermeabilizzazione all'interno degli scavi o di sistemi drenanti atti all'aggottamento e allontanamento delle acque.