

# VASCA DI LAMINAZIONE SUL FIUME SEVESO

Comune di Senago (MI)  
OTTOBRE 2014

PROGETTO DEFINITIVO

MI-E-789



	NOME	FIRMA	DATA
REDAZIONE			
VERIFICA			
APPROVAZIONE			

## PROFESSIONISTI INCARICATI:

Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI

Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI  
Dott. Ing. STEFANO CROCI  
Dott. Ing. FILIPPO MALINGEGNO  
Dott. Ing. CRISTINA PASSONI

Dott. Geol. MARIO SPADA  
Dott. Geol. GIAN MARCO ORLANDI  
Dott. Geol. SUSANNA BIANCHI

Dott. Ing. CHIARA TONETTO

**ETATEC**  
S.R.L.  
STUDIO PAOLETTI  
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Via Bassini 23 20133 Milano | tel: +39 02 26681264 - fax: +39 02 26681553  
etatec@etatec.it - etatec@pec.etatec.it - www.etatec.it

**STUDIO PAOLETTI**  
INGEGNERI ASSOCIATI

Via Bassini 23 20133 Milano | tel: +39 02 26681264 - fax: +39 02 26681553  
Studiopaoletti@etatec.it - Studiopaoletti@pec.etatec.it

*Studio Associato di Geologia Spada*

Via Donizetti 17 24020 Ranica (BG)  
tel: +39 035 516090 - +39 035 513738

Via Napoli 14/5 35020 Ponte S. Nicolò (PD)



Sistema Certificato  
UNI EN ISO 9001  
SC 06-647/EA 34



## CONSULENZE SPECIALISTICHE:

### ASPETTI PAESAGGISTICI E AMBIENTALI:

Arch. ANDREAS KIPAR  
Dott. Agr. GIOVANNI SALA  
Arch. LUISA BELLINI  
Arch. IVAN MAESTRI

### QUALITA' DELLE ACQUE:

Prof. Dott. VALERIA MEZZANOTTE

**LAND Milano Srl**

Via Varese 16 20121 Milano

tel: +39 02 806911.1 - fax: +39 02 806911.30 www.landmilano.com

GRUPPO LAND Milano Roma Cagliari Dulsburg

Piazzale Aquileia 6 20144 Milano | tel: +39 02 4814701



Landscape  
Architecture  
Nature  
Development

TITOLO

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

SCALA

Revisioni	1	RECEPIMENTO PRESCRIZIONI VIA			APRILE 2015
	2	RECEPIMENTO PRESCRIZIONI CONF. DEI SERVIZI			GIUGNO 2015
	3	RECEPIMENTO OSSERVAZIONI VERIFICA PROGETTUALE			AGOSTO 2015
Numero elaborato	TIPOLOGIA PD	COMMESSA 250-21	DOCUMENTO AT	NUMERO A.4.3	

## INDICE

<b>1.0 PREMESSE</b>	<b>4</b>
1.1 DOCUMENTAZIONE UTILIZZATA	6
1.2 PROGRAMMA DELLE INDAGINI GEOLOGICHE	8
<b>2.0 ASSETTO GEOMORFOLOGICO</b>	<b>10</b>
<b>3.0 ASSETTO GEOLOGICO</b>	<b>15</b>
3.1 QUADRO GEOLOGICO COMPLESSIVO	15
3.2 SONDAGGI GEOGNOSTICI	19
3.3 ASSETTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO	23
3.4 MODELLO GEOLOGICO TRIDIMENSIONALE DEL SOTTOSUOLO	26
<b>4.0 CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI SCAVO</b>	<b>28</b>
4.1 ANALISI GRANULOMETRICHE E CLASSIFICAZIONE	28
4.2 ANALISI CHIMICHE	31
<b>5.0 ASSETTO IDROGEOLOGICO</b>	<b>34</b>
5.1 QUADRO IDROGEOLOGICO COMPLESSIVO	34
5.2 STRUTTURA IDROGEOLOGICA DI DETTAGLIO	37
5.3 PIEZOMETRIA E VARIAZIONI DEI LIVELLI DI FALDA	41
5.4 PERMEABILITA' DEL I ACQUIFERO	50
5.5 MODELLO IDROGEOLOGICO TRIDIMENSIONALE DEL SOTTOSUOLO	51
<b>6.0 OPERE DI CAPTAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE E POZZI AD USO POTABILE</b>	<b>53</b>
<b>7.0 QUALITA' DELLE ACQUE SOTTERRANEE</b>	<b>60</b>
7.1 QUADRO COMPLESSIVO DELLA QUALITA' DELLE ACQUE SOTTERRANEE	60

**7.2 QUALITA' DELLE ACQUE SOTTERRANEE DEI POZZI POTABILI DI  
SENAGO E BOLLATE \_\_\_\_\_ 65**

**7.3 QUALITA' DELLE ACQUE SOTTERRANEE NELL'AREA DI INTERVENTO 68**

**8.0 INTERFERENZE TRA LE OPERE DI PROGETTO E L'ASSETTO  
IDROGEOLOGICO \_\_\_\_\_ 69**

**8.1 ABBASSAMENTO DELLA FALDA PER I LAVORI – IMPATTI  
IDROGEOLOGICI \_\_\_\_\_ 70**

**8.2 ABBASSAMENTO DELLA FALDA PER I LAVORI – IMPATTI GEOTECNICI –  
INDICAZIONI E PRESCRIZIONI \_\_\_\_\_ 77**

**8.3 IMPERMEABILIZZAZIONE DELLE VASCHE \_\_\_\_\_ 81**

**9.0 SISTEMA DI MONITORAGGIO DELLA FALDA NEL TEMPO \_\_ 84**

## 1.0 PREMESSE

La presente relazione ha lo scopo di illustrare e dettagliare le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche del territorio interessato dalla realizzazione della vasca di laminazione del fiume Seveso in Comune di Senago (MI).

Il progetto definitivo del 2° lotto dei lavori era stato predisposto dallo Scrivente Gruppo di Lavoro nell'ottobre 2014, nell'ambito dell'incarico conferito da AIPo relativo a *“Progettazione definitiva II lotto funzionale, Studio di Impatto Ambientale per l'opera nel suo complesso (I e II lotto) finalizzato all'ottenimento del Decreto Regionale di V.I.A. (ex L.R. 5/2010) Relazione Paesaggistica ai fini dell'ottenimento dell'Autorizzazione Regionale bbpp (ex DGR 2727/2011) e Piano di Sicurezza e Coordinamento relativo ai lavori per la realizzazione della vasca di laminazione sul fiume Seveso in Comune di Senago (MI) – MI-E-789”*.

Il progetto prevede la realizzazione di un volume di laminazione di 970.000 mc, strutturato in due vasche, poste a cavaliere del CSNO nei pressi dei torrenti Pudiga e Garbogera.

Le vasche sono realizzate in scavo, con una quota del fondo pari a 149 m.l.m., a fronte di una quota media del p.c. di circa 160 m. s.l.m..

Le stesse sono completamente impermeabilizzate per garantire un totale isolamento rispetto alla falda, posta a quota 149 m. s.l.m.

Il progetto è stato assoggettato alla procedura di VIA Regionale.

La procedura si è conclusa con una pronuncia di compatibilità ambientale positiva (D.d.s. 9 marzo 2015 n° 1798) a condizione che il fondo delle vasche venga realizzato a quota 149 m. s.l.m. e che vengano rispettate una serie di prescrizioni di vario genere.



A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

Successivamente il progetto è stato sottoposto alla Conferenza dei Servizi, che si è conclusa con la seduta del 27 maggio 2015.

Il progetto è stato approvato con una serie di prescrizioni, principalmente relative agli aspetti connessi alla sistemazione ambientale dei luoghi.

Il presente progetto costituisce quindi la revisione n° 2 del progetto originario dell'ottobre 2014, con il recepimento di tutte le prescrizioni del parere di VIA e della conferenza dei Servizi.

La presente relazione riprende integralmente quella redatta nell'aprile 2015 (rev. 01 a seguito del parere VIA), che aveva già recepito tutti gli aspetti connessi al rialzo del piano di fondo della vasche (interferenze con la falda, dewatering, ecc.) e la aggiorna con i dati disponibili al maggio 2015.

La presente nota tecnica si riferisce agli aspetti geologici, litologici e soprattutto agli impatti dal punto di vista idrogeologico.

Gli aggiornamenti delle analisi e delle valutazioni a carattere geologico-tecnico e geotecnico a supporto della presente revisione progettuale sono contenuti nella relazione specifica.

## 1.1 DOCUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per la stesura della presente relazione si è fatto riferimento alla seguente documentazione di carattere tecnico e scientifico disponibile:

1. *“Carta geologica d’Italia alla scala 1:50.000 – foglio 118 MILANO: note illustrative – tavola 1 – tavola 2 – database dei dati di sottosuolo”* – ISPRA Servizio Geologico d’Italia – a cura di Francani, Piccin et al. (bozza di lavoro SAL III al giugno 2010 disponibile sul sito internet della Regione Lombardia);
2. *“Geologia degli acquiferi Padani della Regione Lombardia”* – Regione Lombardia – ENI Divisione AGIP – a cura di: Carcano e Piccin - 2002
3. *“Progetto Carta Pedologica: I suoli della Pianura Milanese Settentrionale”* – ERSAL – 1999;
4. *“Influenza delle vasche di laminazione delle piene sugli acquiferi superficiali: problemi di infiltrazione, trasmissività, inquinamento”* – IRER – Rapporto Finale – aprile 2009;
5. *“Influenza delle vasche di laminazione delle piene sugli acquiferi superficiali nell’area EXPO 2015: Fase 2 – indicazioni per la progettazione, la manutenzione e la gestione delle vasche”* – IRER – Rapporto Finale – febbraio 2010;
6. *“Database dei dati geologici di sottosuolo”* – Regione Lombardia – agg. 2013;
7. *“Progetto Qualfalda II - Lo stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei in Provincia di Milano: Rapporto Finale”* – IRSA – CNR – anno 2007;
8. *“Provincia di Milano – sistema informativo falda (SIF) e sistema informativo ambiente (SIA): elaborazioni livelli di falda – banca dati acque sotterranee (catasto*

- pozzi – livelli di falda)*” (dati disponibili sul SIF: elaborazioni fino al settembre 2013 – dati grezzi fino a tutto maggio 2015);
9. *“Comune di Senago – Valutazione Ambientale Strategica del Piano di Governo del Territorio – Rapporto Ambientale + allegati + tavole grafiche”* – a cura di dr. arch. Cozzolino (SETIN s.r.l. – aggiornamento del dicembre 2012);
  10. *“Comune di Senago – Componente geologica, idrogeologica e sismica del PTG ai sensi della L.R. 12/05 e secondo i criteri della D.G.R. n° 8/7374: relazione – tavole grafiche”* – a cura di dr. geol. C. Breviglieri, dr. E. Ghezzi;
  11. *“Comune di Senago – Individuazione del reticolo idrografico principale e minore – d.g.r. 25/01/2002 n° 7/7868 e s.m.i.”* – a cura di dr. geol. E. Ghezzi – Studio Idrogeotecnico Associato – dicembre 2008;
  12. *“Città di Bollate – Componente geologica, idrogeologica e sismica del PTG ai sensi della L.R. 12/05 e secondo i criteri della D.G.R. n° 8/7374: relazione – tavole grafiche”* – a cura di dr. geol. E. Ghezzi – novembre 2010;
  13. *“Città di Arese – Componente geologica, idrogeologica e sismica del PTG ai sensi della L.R. 12/05 e secondo i criteri della D.G.R. IX/2616/2011: relazione – tavole grafiche”* – a cura di dr. geol. E. Ghezzi – agg. maggio 2013;
  14. *“Città di Paderno Dugnano – Componente geologica, idrogeologica e sismica del PTG ai sensi della L.R. 12/05 e secondo i criteri della D.G.R. IX/2616/2011: relazione – tavole grafiche”* – a cura di dr. geol. E. Ghezzi – agg. maggio 2013;
  15. *“Città di Bollate – Piano Cimiteriale relativo ai tre cimiteri esistenti – Valutazione di compatibilità idrogeologica relativamente al cimitero di Bollate centro*

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

*ricompreso nella zona di rispetto del pozzo di captazione ad uso potabile di via Attimo – via Repubblica”, a cura di dr. geol. E. Ghezzi – 2012 ?;*

16. *“Progetto di gestione produttiva dell’Ambito Territoriale Estrattivo ATEg16 della cava sita in loc. Cassina Nuova nei Comuni di Bollate e Senago: relazione – allegati – tavole grafiche” – Consorzio di Senago – a cura di dr. geol. E. Dolci – ottobre 2011 (documentazione disponibile sul sito SILVIA della Regione Lombardia).*

17. *“Stato delle acque sotterranee della Provincia di Milano: Rapporto Annuale 2012” – ARPA Lombardia – Dipartimento di Milano – sett. 2013;*

## **1.2 PROGRAMMA DELLE INDAGINI GEOLOGICHE**

Al fine di acquisire i dati diretti delle caratteristiche del sottosuolo delle aree interessate dalle opere e di un loro significativo intorno è stato predisposto e realizzato, già nella fase di supporto al progetto preliminare complessivo, un programma di indagini geologiche.

Lo stesso è stato progettato dagli Scriventi ed appaltato da AIPO alla soc. Eurogeo s.r.l. di Paderno Dugnano, specializzata nel settore, che lo ha completato nel mese di marzo 2013. Il programma di lavoro ha compreso le seguenti attività specialistiche:

- n° 5 sondaggi a carotaggio continuo, ad profondità tra 10 e 35 m dal p.c.;
- allestimento di n° 1 piezometro, nel sondaggio S2 fino alla profondità di 35 m. da p.c., per la verifica dei livelli di falda;
- n° 33 prove penetrometriche SPT nei fori di sondaggio in avanzamento;
- n° 9 prove di permeabilità in foro in avanzamento di tipo Lefranc;

- n° 13 prove penetrometriche dinamiche fino alla profondità massima di 14,4 m. da p.c. ;
- n° 10 saggi con escavatore fino alla profondità di 4 metri dal p.c. per la verifica dei terreni del primo sottosuolo;
- 1221 ml di tomografia elettrica di superficie, divisa in 4 stendimenti a coprire le aree di intervento;
- n° 1 MASW;
- n° 18 analisi di laboratorio per la caratterizzazione granulometrica e merceologica dei terreni in sito;
- n° 8 analisi chimiche per la valutazione delle caratteristiche dei materiali in relazione al D.M. 161/12;
- rilievo topografico con GPS dei punti di sondaggio, dei saggi e delle indagini geofisiche.

In aggiunta a quanto sopra si è proceduto, nel tempo, alle seguenti attività ulteriori:

- misure dei livelli di falda nel piezometro a partire dalla data di realizzazione fino al maggio 2015;
- campionamento delle acque di falda nel piezometro ed analisi chimica.

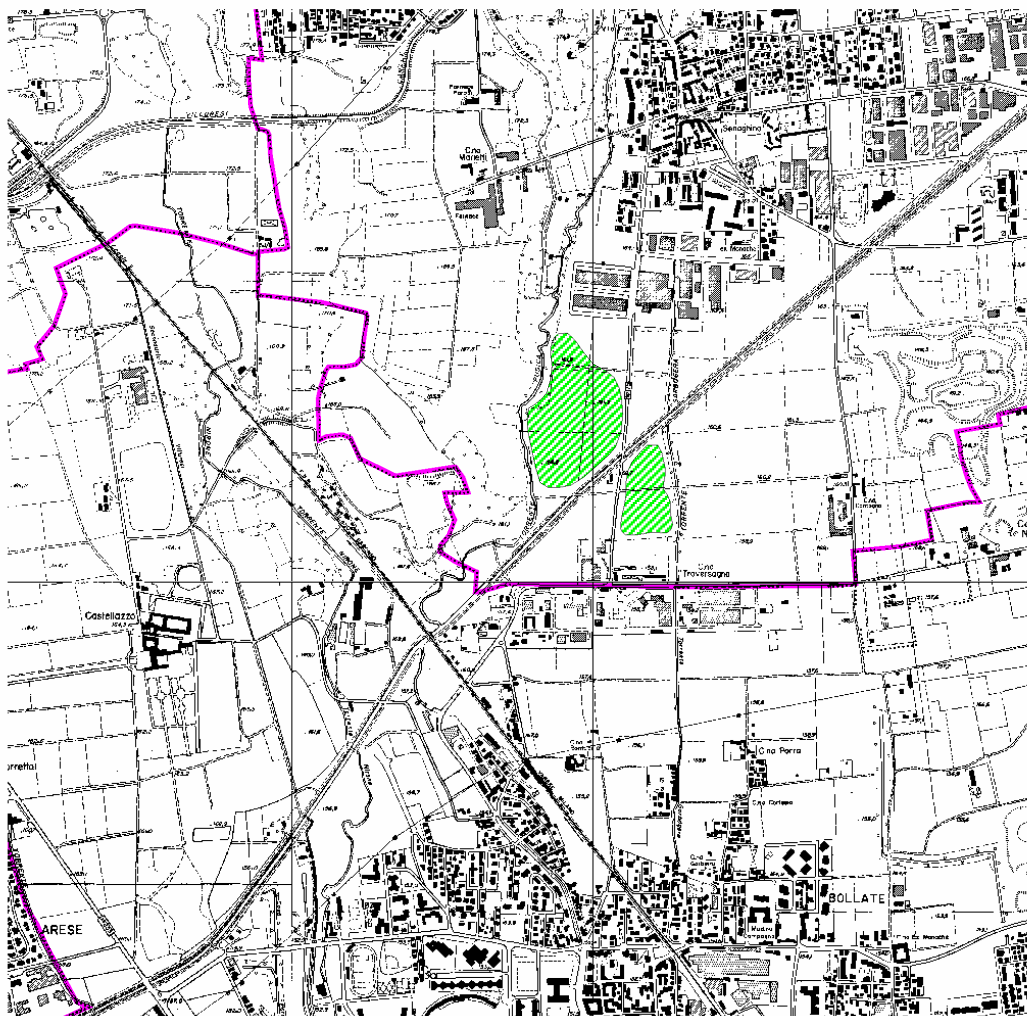
Di seguito si procede all'analisi dei dati finalizzati alla caratterizzazione geologica, litologica ed idrogeologica; l'analisi e la valutazione degli aspetti geologico-tecnici e geotecnici è contenuta nella relazione specifica allegata al presente progetto.

I risultati complessivi delle indagini sono contenuti nello specifico documento, redatto a cura della Eurogeo s.r.l., cui si rimanda per tutti i dettagli. I principali elementi emersi dalle indagini sono evidenziati nelle tavole dalla D.2.4 alla D.2.7 del presente progetto.



## 2.0 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

Le opere di progetto sono localizzate nella porzione sud-ovest del Comune di Senago, nelle vicinanze del confine con il Comune di Bollate.



*Fig. 1: Localizzazione delle vasche di progetto sulla CTR. In viola è rappresentato il confine Comunale che separa Senago (a nord) da Bollate (a sud e sud-ovest)*

In ampio la zona di intervento è localizzata nella parte centrale dell'alta pianura a nord di Milano, tra i rilievi morenici a nord e la pianura s.s. a sud; la stessa è caratterizzata da una morfologia subpianeggiante, con quote digradanti da nord verso sud.

Tale morfologia è direttamente correlata alla natura geologica ed alla genesi di tali aree, genesi legata alla deposizione esercitata dagli scaricatori fluvioglaciali e fluviali di età quaternaria.

L'elemento morfologico che caratterizza maggiormente l'area è il terrazzo rialzato delle Groane, che è localizzato verso il margine orientale del territorio, in sponda idrografica destra del torrente Pudiga.

Tale terrazzo ha una forma allungata in senso nord-sud ed un dislivello, rispetto al Livello Fondamentale della Pianura, che va da alcuni metri fino a circa 10 metri; lo stesso è costituito dai depositi più antichi presenti nella zona oggetto delle presenti analisi.

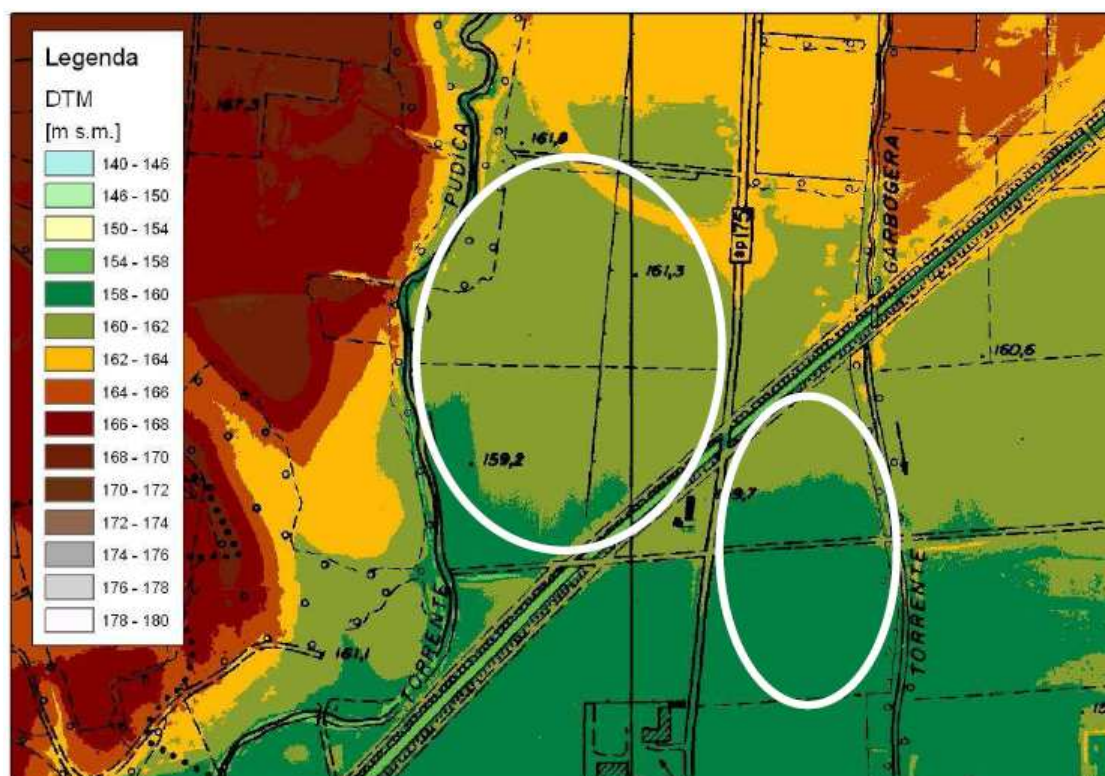
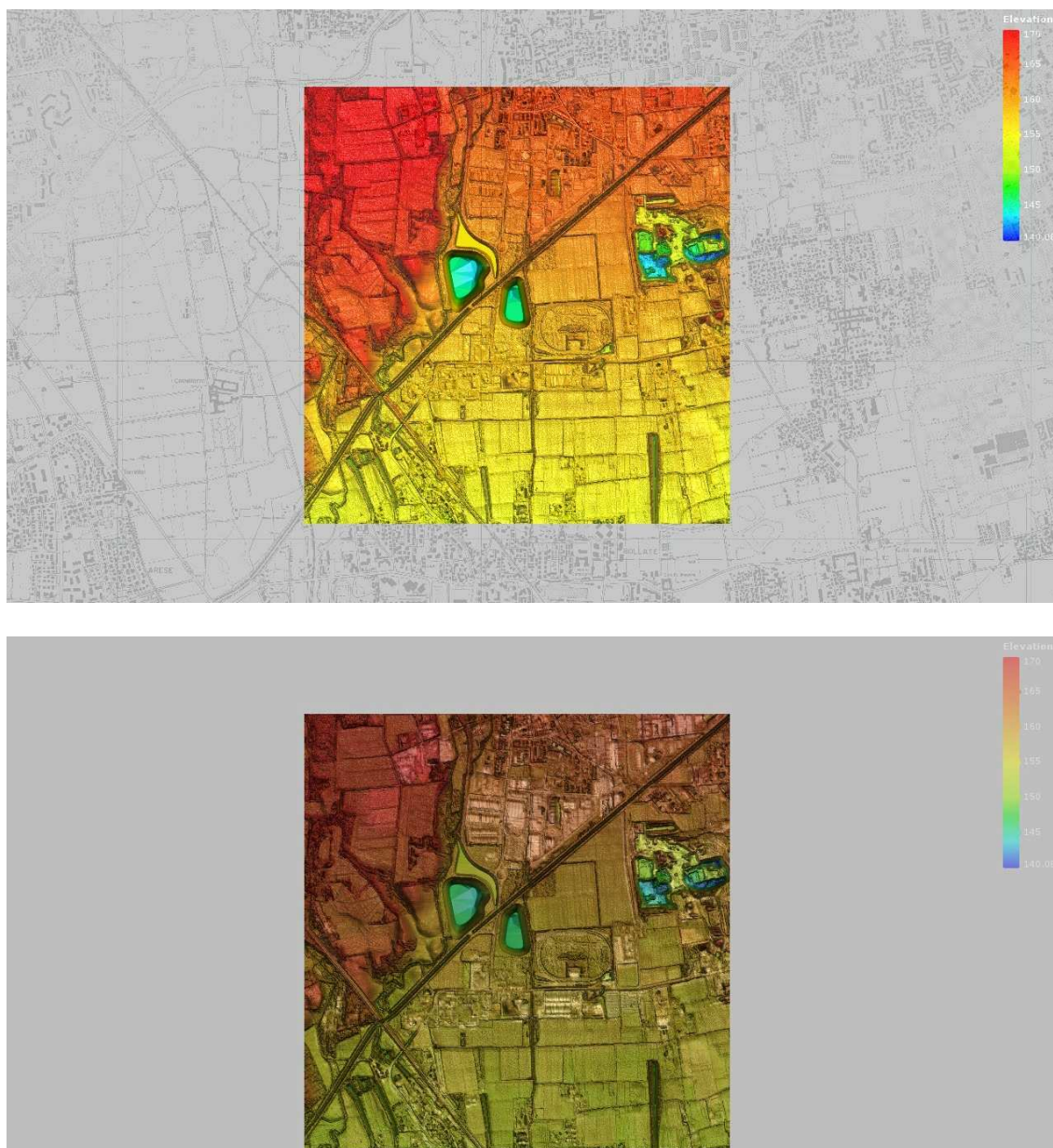


Fig. 2: Modello digitale del terreno nella zona di intervento. L'immagine evidenzia in maniera netta il terrazzo rialzato in sponda destra del torrente Pudiga. In bianco le aree di intervento

Le immagini seguenti sono un'elaborazione del modello digitale del suolo, con l'inserimento dello scavo per la realizzazione delle vasche di progetto, rispettivamente su CTR e sull'ortofoto.



*Fig. 3: Inserimento dello scavo delle vasche nel modello digitale del suolo*

Le tinte sul rosso, che rappresentano le quote più elevate, evidenziano molto bene il terrazzo morfologico delle Groane, nella porzione nord – ovest dell'area.



La zona di intervento è compresa tra i torrenti Pudiga ad ovest e Garbogera ad est ed è attraversata trasversalmente dal CSNO.

La predetta localizzazione consente di attribuire una funzione di laminazione plurima alle vasche da realizzare: oltre al fiume Seveso, tramite il CSNO, possono essere laminati anche i torrenti Pudiga e Garbogera.



Fig. 4: Ubicazione delle vasche previste dal progetto su ortofoto, con localizzazione dei torrenti Pudiga (ad ovest) e Garbogera (ad est).

Le quote dell'area di intervento variano indicativamente tra 162 m. s.l.m. e 158 m. s.l.m.; la pendenza media della pianura circostante è dell'ordine dello 0,5-0,6%.

In questo contesto le modifiche più significative sono causate dall'intervento antropico (per es. la cava localizzata ad est, ben visibile nelle figure 3 e 4) e/o dall'incisione delle acque superficiali.

La tavola D.2.1 riassume le analisi di cui sopra e mette in evidenza i principali elementi geomorfologici e di uso del suolo.

Tutta la porzione est della carta è caratterizzata dalla superficie tipica rappresentativa dell'alta pianura ghiaiosa, subpianeggiante (le aree bianche sono quelle urbanizzate e/o con forti modifiche morfologiche, come per es. le attività estrattive).

La porzione ad ovest è caratterizzata, invece, dalle superfici meglio conservate del planalto, che è delimitato verso est dal torrente Pudiga.

Il planalto è inciso, lungo la direttrice centrale, dal torrente Nirone.

La zona di raccordo tra il planalto e la parte tipica dell'alta pianura ghiaiosa, dove verranno realizzate le vasche, è caratterizzata da un'unità di raccordo, di età intermedia tra le due, subpianeggiante e priva di elementi morfologici significativi.

La stessa è caratterizzata da materiali più fini, in prevalenza sabbiosi, depositi che sono legati alle condizioni di energia del sistema fluviale e fluvioglaciale di deposizione.

In carta sono inoltre evidenziati una serie di possibili paleoalvei che interessano sia il planato superiore che la fascia di raccordo.

L'elaborato è tagliato integralmente in due, in senso nord-est / sud-ovest, dal canale scolmatore del fiume Seveso (CSNO).



### 3.0 ASSETTO GEOLOGICO

L'area, in ampio, è costituita interamente da depositi sedimentari di origine fluvioglaciale e fluviale depositati durante il Quaternario; tale periodo geologico è stato caratterizzato da periodi glaciali ed interglaciali, con le differenti dinamiche di erosione, smantellamento, trasporto e deposizione.

#### 3.1 QUADRO GEOLOGICO COMPLESSIVO

Nelle distinzioni geologiche classiche la maggior parte dell'area di studio, che coincide con tutta la porzione di territorio in sinistra idrografica del torrente Pudiga, è stata attribuita al Livello Fondamentale della Pianura: si tratta i depositi messi in posto prevalentemente da scaricatori fluvioglaciali del Wurm o localmente più antichi (Riss).

I terrazzi rialzati in sponda destra sono ancora più antichi: gli stessi sono stati attribuiti al Mindel e sono caratterizzati da una superficie superiore fortemente alterata e pedogenizzata (Ferretto).

I nuovi rilievi effettuati nell'ambito del progetto CARG hanno rivisto questa metodologia di rilevamento e distinzione dei corpi geologici, ed hanno adottato il nuovo criterio (prescritto dal Servizio Geologico Nazionale) che utilizza sia le classiche unità litostratigrafiche sia, ove possibile, le unità a limiti in conformi (UBSU).

I dati dei nuovi rilievi e delle nuove distinzioni adottate sono riassunti nella “Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – foglio 118 Milano”, a cura di Francani et al., attualmente disponibile nella versione in bozza del SAL III.

La carta propone anche un sovrasimbolo per caratterizzare la litologia dominante sulla base dei dati di sottosuolo disponibili. Nel presente lavoro si è quindi ritenuto di utilizzare le medesime distinzioni per l'assetto geologico dell'area di intervento.

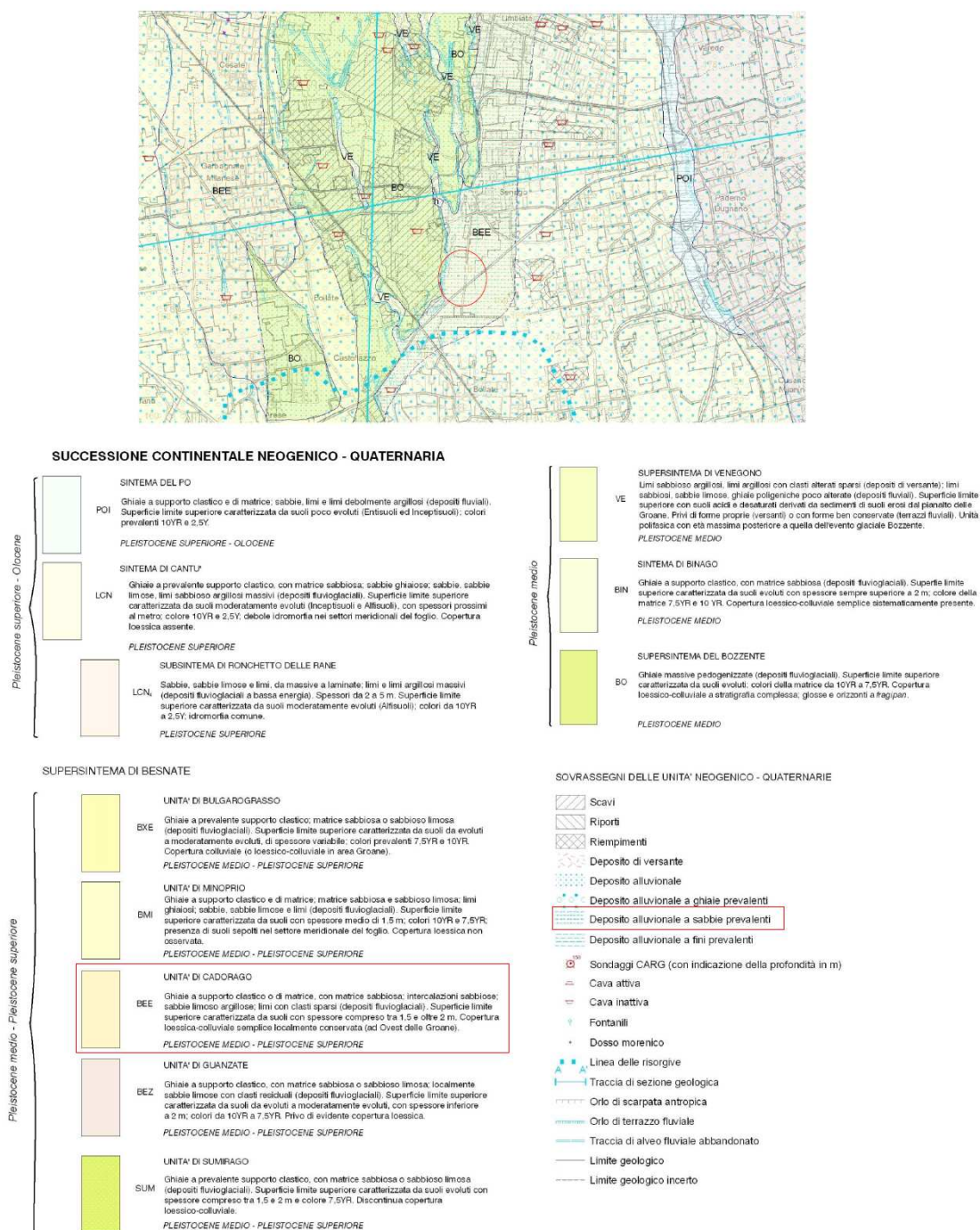


Fig. 5: Estratto della bozza di "Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – foglio 118 Milano". Il contorno rosso individua l'area in oggetto, appartenente al Sistema di Cadorago (codice BEE)

L'area di intervento, in cui verranno realizzate le vasche, rientra nel Supersintema di Besnate – Unità di Cadorago (cod. BEE) (Pliocene medio-superiore).

Tale unità è caratterizzata da ghiaia a supporto clastico o di matrice, con matrice sabbiosa; intercalazioni sabbiose; sabbie limoso argillose; limi con clasti sparsi.

Si tratta di depositi fluvioglaciali che in precedenza erano stati attribuiti al Riss ed in parte al Wurm (fluvioglaciale e fluviale Riss e Wurm).

L'Unità affiora in una stretta fascia allungata in senso nord-sud, che borda il terrazzo antico e presenta una superficie superiore con suoli mediamente evoluti, caratterizzati, da percentuali di sabbia quasi doppie e percentuali di limo inferiori del 10-30% rispetto alle coperture delle unità più antiche, poste a ovest delle Groane.

Dal punto di vista litologico prevalgono le sabbie, quindi un ambiente ad energia più limitata, rispetto alle piane alluvionali ad alta energia che caratterizzano le aree poste ad est.

Il terrazzo rialzato delle Groane, in sponda destra del torrente Pudiga è attribuito al Supersintema del Bozzente (Pliocene medio).

L'unità, più antica della precedente, coincide con il classico Fluvioglaciale del Mindel ed è caratterizzata da ghiaie massive, poligeniche, con matrice limoso sabbiosa, fortemente pedogenizzate (Ferretto).

Tali aree, per la significativa presenza di argilla nella porzione superiore, per alcuni metri (mediamente 2-3, ma localmente anche oltre 5 metri), sono state oggetto, in passato di estensiva attività di escavazione per la produzione di laterizi.

La porzione occidentale del territorio, fino al fiume Seveso, è caratterizzata dai depositi del Sintema di Cantù (LCN) – (Pleistocene sup. – Olocene), sistema che corrisponde al Wurm aut.

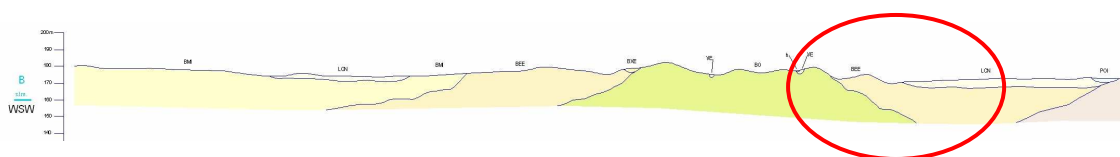
Si tratta di ghiaie a prevalente supporto clastico, con matrice sabbiosa, sabbie ghiaiose, sabbie limose e localmente limi sabbioso argillosi.

I suoli sono da moderatamente a poco evoluti, con spessori prossimi al metro.

Nella zona specifica la litologia è marcatamente ghiaiosa.

Il limite verso ovest, con l'unità di Cadorago è caratterizzato ad un elevato limite di incertezza, stante l'assenza di elementi morfologici certi nella zona.

I limiti verticali tra le unità sopra descritte sono visualizzati nell'immagine seguente:



*Fig. 6: Estratto della sezione geologica, tracciata immediatamente a monte della zona di intervento, presente nel foglio Milano del progetto CARG (la scala orizzontale è circa 1:100.000). In rosso la zona di intervento, con visualizzati i rapporti tra: Supersintema del Bozzente (verde), Unità di Cadorago (giallo) e Sintema di Cantù (giallo chiaro)*

La superficie di contatto tra la più antica unità del Bozzente, che costituisce il terrazzo delle Groane, e la più recente Unità di Cadorago, che costituisce la piana su cui verranno realizzate le vasche, presenta una pendenza verso est molto contenuta.

La pendenza media del limite geologico è del 2-3%.

### **3.2 SONDAGGI GEOGNOSTICI**

Al fine di definire in maniera puntuale le caratteristiche del sottosuolo, la variabilità verticale ed orizzontale e la continuità dei differenti livelli, si sono utilizzati tutti i dati di sottosuolo disponibili (vedi par. 1.1) e le stratigrafie dei sondaggi a carotaggio effettuati per il presente lavoro.

I dati sono sintetizzati nelle sezioni geologiche di dettaglio nella tavola D.2.1, mentre le stratigrafie dei sondaggi, con la relativa localizzazione sono visualizzate nella tavola D.2.4.

I sondaggi geognostici sono concentrati nell'area di intervento, con la sola eccezione del sondaggio S5 ubicato sui terreni rialzati in destra Pudiga, in un contesto geologico differente.

I quattro sondaggi nella zona interessata dalle vasche (Unità di Cadorago) evidenziano caratteristiche sufficientemente omogenee per cui, di seguito, si procede all'analisi puntuale di S2, che ha raggiunto la massima profondità (35 m. da p.c.) e che è stato attrezzato con un piezometro per la misura dei livelli di falda ed a quella di S5, che è stato ubicato in un contesto geologico differente (Supersintema del Bozzente).



Fig. 7: Stratigrafia del sondaggio S2

metri bott.	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE	PzA	Standard Penetration Test			Campioni
					m	S.P.T.	N	
1			Sabbia limosa marrone inglobante ghiaia fine subarrotondata ( $\varnothing$ max 2 cm)					
2		1,7						
3		3,0	Ghiaia e ciottoli subarrotondati ( $\varnothing$ max 10 cm), alterati, con sabbia debolmente limosa grigia	2,0	5-17-18	35		
4		4,0	Sabbia debolmente limosa grigia con ghiaia eterometrica subarrotondata ( $\varnothing$ max 5 cm)	4,0	7-10-12	22		
5		5,0	Sabbia limosa debolmente argillosa ocra inglobante rara ghiaia eterometrica subarrotondata ( $\varnothing$ max 6 cm)	6,0	10-14-19	33		
6			Sabbia limosa nocciola con ghiaia eterometrica da subspigolosa ad arrotondata e rari ciottoli ( $\varnothing$ max 8 cm). Molti clasti alterati	8,0	11-25-50/11cm	Rif	A) Dis < 7,00 7,50	
7								
8								
9								
10		9,7	Sabbia debolmente limosa grigia	10,0	14-22-37	59		
11		10,5	Sabbia debolmente limosa grigia con ghiaia subarrotondata prevalentemente medio-fine ( $\varnothing$ max 6 cm)	12,0	50/13cm	Rif		
12		12,3						
13			Sabbia limosa grigia con ghiaia eterometrica e ciottoli subarrotondati ( $\varnothing$ max 10 cm). Alcuni clasti alterati	14,0	27-31-20/3cm	Rif	B) Dis < 13,50 14,00	
14								
15								
16		16,0	Sabbia debolmente limosa grigia inglobante ghiaia medio-fine subarrotondata ( $\varnothing$ max 3 cm)	16,0	50/6cm	Rif	C) Dis < 16,50 17,00	
17								
18		18,0	Sabbia limosa nocciola con ghiaia eterometrica subarrotondata ( $\varnothing$ max 6 cm). Alcuni clasti alterati	18,0	33-50/8cm	Rif		
19		18,5						
20		19,0	Sabbia debolmente limosa grigia inglobante rara ghiaia eterometrica subarrotondata ( $\varnothing$ max 6 cm)	20,0	27-50/13cm	Rif		
21		20,5	Sabbia grigia con ghiaia eterometrica subarrotondata e ciottoli ( $\varnothing$ max 11 cm)					
22		21,0	Sabbia fine limosa nocciola					
23			Sabbia grigia con ghiaia eterometrica subarrotondata inglobante rari ciottoli ( $\varnothing$ max 7 cm). Locali livelli di sola sabbia.				D) Dis < 22,00 22,50	
24								
25								
26								
27							E) Dis < 27,00 27,50	
28								
29								
30								
31								
32		31,4	Sabbia nocciola con intercalazioni centimetriche limoso-argillose, inglobante rarissima ghiaia medio-fine ( $\varnothing$ max 4 cm)				F) Dis < 32,00 32,50	
33		32,0	Sabbia limosa laminata nocciola. Tra 33,70 e 33,90 m livelli di limo argilloso duro					
34		34,2	Argilla limosa grigia con screziature marroni					
35		34,6	Sabbia fine e limo grigio					
		35,0						

Il sondaggio è caratterizzato per quasi tutto il suo sviluppo da livelli di sabbia, debolmente limosa, di colore prevalente grigio, inglobante al suo interno ghiaia e ciottoli di natura poligenica.



Fig. 8: S2 (prof. 15-20 m. da p.c.) – cassa 4: facies tipica con sabbie limose grigie, con ghiaia e ciottoli

Nella porzione terminale, oltre i 30 metri di profondità, sono presenti intercalazioni limoso argillose, livelli di limo argilloso duro ed un livello di argilla limosa grigia con screziature di colore marrone.



Fig. 9: S2 – cassa 7 (prof. 30-35 m. da p.c.): livelli di limi argillosi ed argilla

Il sondaggio S1 è analogo (anch'esso fino a 35 metri dal p.c.), con dominanza di sabbie e sabbie limose con ghiaia e presenza di livelli limoso-argillosi oltre i 30 metri.

Il sondaggio S5, in differente contesto geologico, presenta alcune differenze.

metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE	PZA	Standard Penetration Test			Campioni
					m	S.P.T.	N	
1		1,0	Limo argilloso sabbioso marrone					
2		1,8	Limo argilloso debolmente sabbioso nocciola con screziature marroni					
3		3,0	Limo argilloso marrone con sabbia					A) Dis < 2,00 2,50
4		4,0	Sabbia e limo e argilla marrone con ghiaia eterometrica subarrotondata e ciottoli (Ømax 8 cm), clasti molto alterati	3,0	7-10-13	23		
5			Sabbia limoso-argillosa nocciola e ghiaia eterometrica subarrotondata inglobanti rari ciottoli (Ømax 13 cm). Alcuni clasti alterati					
6				6,0	7-17-48	65		
7								B) Dis < 6,50 7,00
8		8,0	Sabbia limosa nocciola con ghiaia eterometrica subarrotondata e rari ciottoli (Ømax 12 cm)					
9				9,0	11-10-11	21		
10								C) Dis < 10,00 10,50
11								
12				12,0	50/14cm			
13								
14								
15		15,0						

Fig. 10: Stratigrafia del sondaggio S5

La porzione superiore presenta una dominanza di limi argillosi di colore marrone, fino alla profondità di 3 metri dal p.c.: si tratta dei suoli fortemente pedogenizzati caratteristici del terrazzo delle Groane (Supersintema del Bozzente).





Fig. 11: S5 – cassa 1 (prof. 0-5 m. da p.c.): porzione superiore pedogenizzata con limi argillosi fino a 3 metri da p.c.

Negli altri sondaggi e nei saggi con escavatore la porzione di alterazione superficiale è risultata sempre molto limitata, con spessori medi variabili tra 40 cm ed 1 metro, secondo le previsioni, stante l'età più recente dei depositi investigati.

Per la restante parte del sondaggio S5, fino alla massima profondità investigata (15 metri), i terreni sono in prevalenza sabbie limose con ghiaie, in analogia con gli altri sondaggi; l'unica differenza significativa è rappresentata dal colore marrone della matrice e della presenza di segni di alterazione in alcuni clasti e ciottoli.

### 3.3 ASSETTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO

I dati dei sondaggi eseguiti, integrati dalle stratigrafie dei pozzi e dei piezometri disponibili, hanno consentito di tracciare due sezioni geologiche di dettaglio attraverso l'area di intervento (vedi tavola D.2.1).

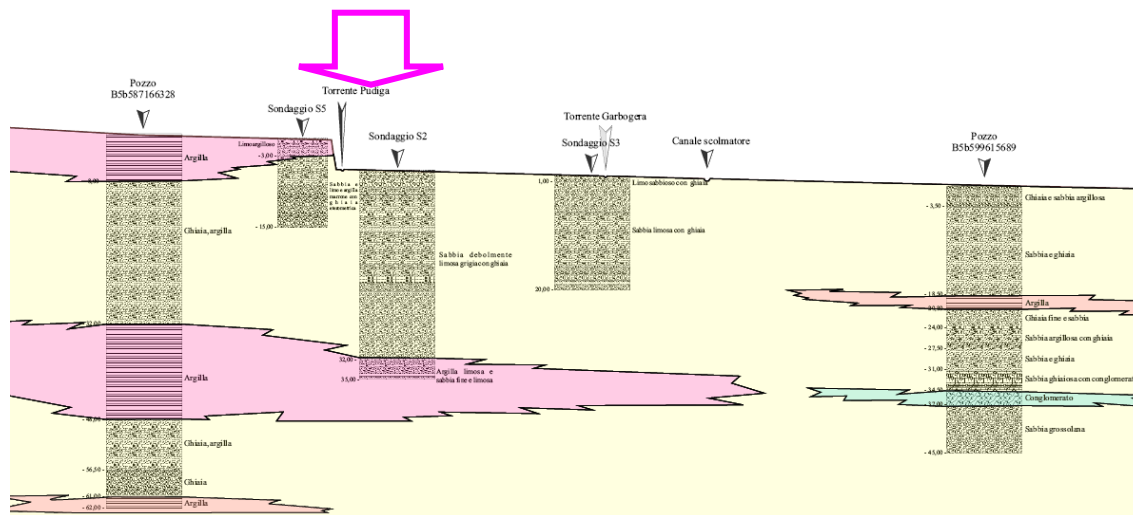


Fig. 12: Stralcio della sezione geologica delle tavole di progetto. In giallo i depositi di sabbie e ghiaie; in viola ed arancione i livelli con prevalente componente argillosa. La freccia viola indica l'areale interessato dalle opere.

Tali sezioni evidenziano una serie di elementi geologici interessanti e precisamente:

- il terrazzo delle Groane presenta depositi superficiali limoso argillosi di spessore variabile da 3 ad 8 metri. Tali depositi sono completamente assenti ad est del torrente Pudiga e si limitano ad un suolo di spessore variabile tra 0,4 ed 1 metro;
- i depositi sono in prevalenza costituiti da miscele di sabbia e ghiaia, con subordinate quantità di materiale fine;
- alla profondità di circa 30 metri da p.c., lungo tutta la porzione orientale delle due sezioni, è presente un livello limoso-argilloso di spessore variabile da pochi metri fino ad oltre 14-15 metri di spessore. Questo livello, in base ai dati disponibili, riduce significativamente il suo spessore verso est, fino a risultare assente presso le terminazioni della sezione;
- al di sotto del livello argilloso sono presenti ulteriori depositi sabbiosi e ghiaiosi fino alla profondità di circa 60-65 metri da p.c;



- oltre la profondità di 60-65 m. da p.c. i livelli argillosi divengono prevalenti e sono costituiti soprattutto da argille gialle, con intercalati subordinati livelli di sabbie fini.

La porzione gialla accorpa tutti i depositi a prevalente natura sabbioso ghiaiosa, appartenenti sia all'Unità di Cadorago che al Supersistema del Bozzente.

Come visualizzato in fig. 6 il limite in profondità tra le due unità presenta una pendenza molto contenuta, dell'ordine del 2-3%, verso est.

Nel caso specifico per raggiungere la profondità di 30 metri, a cui è posizionato il livello argilloso, la superficie di discontinuità si trova a una distanza dal terrazzo di oltre 1 km, quindi oltre l'areale interessato dalla vasche.

Nello stralcio della sezione (fig. 12 e tavola D.2.1) la lente di argilla, in via cautelativa, è stata estesa verso est solamente per 700 metri.

La lente è quindi interamente all'interno della stessa unità geologica (quella più profonda).

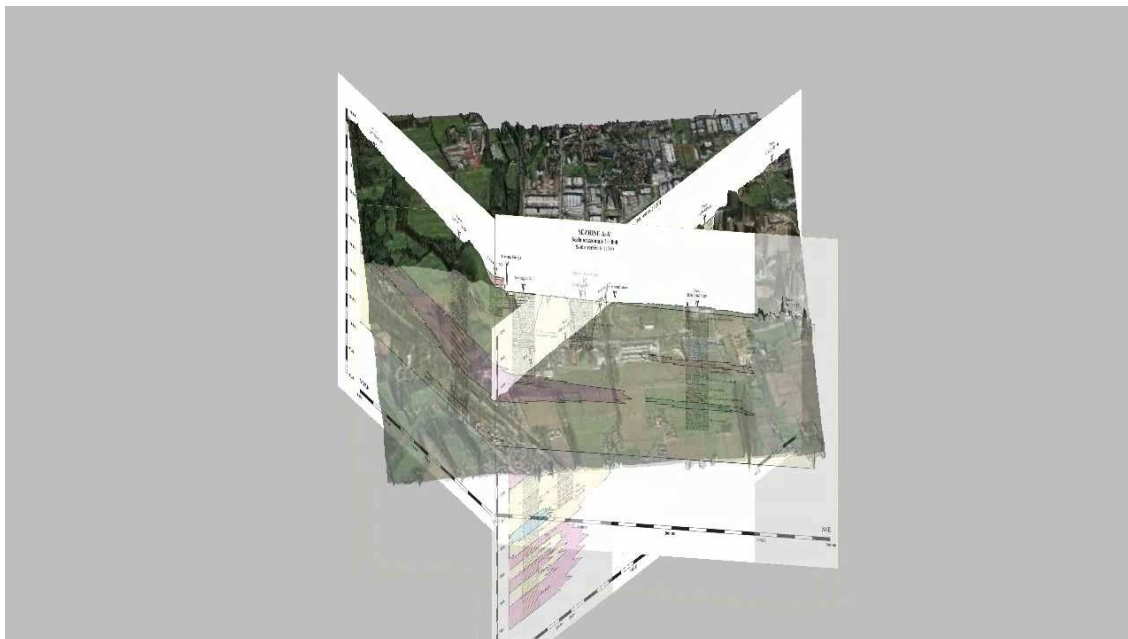
Il limite, nella zona di interesse, pone a contatto due unità con analoghe caratteristiche litologiche e granulometriche e come tale non rappresenta una discontinuità dal punto di vista idrogeologico e quindi la rappresentazione le ha unificate sotto il colore giallo (sabbie e ghiaie).

La presenza della lente di argilla nella zona delle vasche è confermata anche da altre stratigrafie profonde, come il pozzo cod. B5b5900465029 visualizzato nella sezione idrogeologica A-B di tavola D.2.3.

Il limite erosionale tra le due unità manifesta i suoi effetti portandosi verso est, dove la lente diviene discontinua e/o si interrompe completamente (sezione idrogeologica C-D di tavola D.2.3).

### 3.4 MODELLO GEOLOGICO TRIDIMENSIONALE DEL SOTTOSUOLO

I dati puntuali di sottosuolo (pozzi, piezometri, sondaggi, ecc.) e le sezioni geologiche generate sono stati inseriti in un apposito software, al fine di generare un modello geologico 3D del sottosuolo dell'area di intervento e di un suo significativo intorno.



*Fig. 13: Fasi iniziali della modellazione con inserimento delle sezioni e dei dati di sottosuolo*

Nel modello sono state ricostruite le principali unità geologiche sopra descritte, con particolare attenzione agli elementi di particolare importanza per l'assetto idrogeologico (setto di argille interposto tra le unità ghiaiose a circa 30-40 metri di profondità).

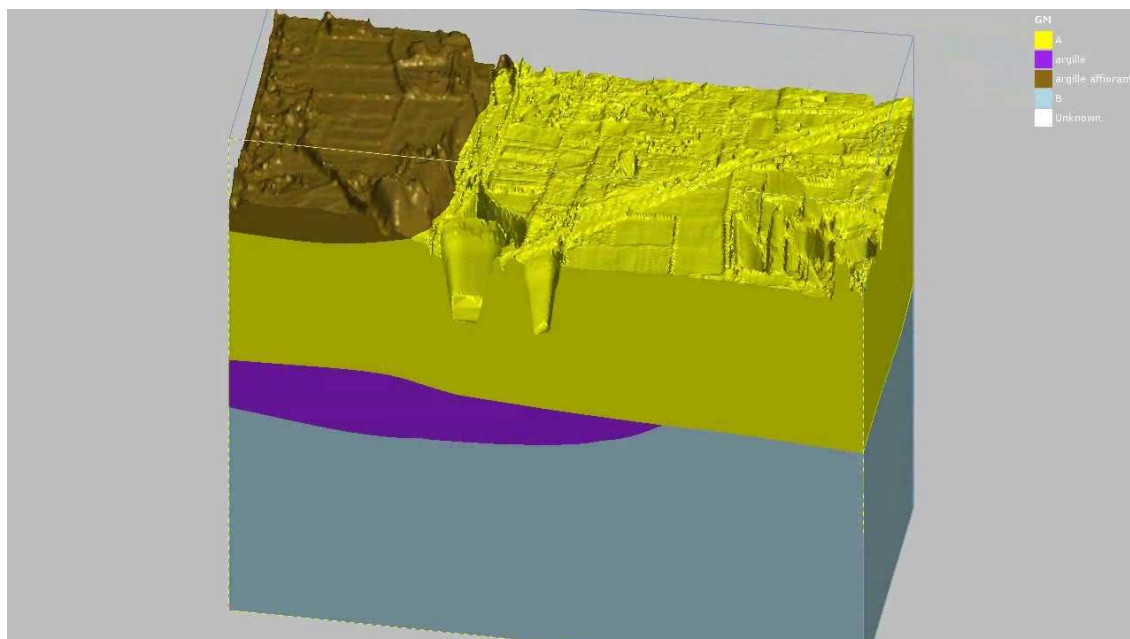


Fig. 14: Modello 3D del sottosuolo con le principali unità litologiche distinte

L'immagine sopra riportata visualizza il modello geologico dell'area di intervento, che è stato tagliato nei pressì delle vasche di progetto (già inserite).

L'unità marrone materializza la porzione rialzata dei depositi più antichi del terrazzo delle Groane (Supersintema del Bozzente), caratterizzati da una significativa componente argillosa nella parte superficiale.

Per le unità nel sottosuolo la distinzione è stata effettuata in termini litologici (la lente viola è costituita in prevalenza da limi ed argille, mentre tutto il resto è prevalentemente sabbioso-ghiaioso), per l'importanza di tali distinzioni ai fini del successivo modello idrogeologico.

Tale suddivisione rappresenta infatti, come verrà meglio dettagliato di seguito, la base fondamentale per la caratterizzazione idrogeologica del sottosuolo, per la suddivisione dei vari acquiferi presenti e per le modellazioni effettuate.

#### 4.0 CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI SCAVO

Prima di passare all'assetto idrogeologico, con tutte le implicazioni relative alle opere di progetto, si formulano alcune considerazioni sulle caratteristiche dei terreni di scavo.

In considerazione dei notevoli volumi di terreni da movimentare per la realizzazione delle vasche si è ritenuto di effettuare una serie di analisi e di valutazioni sulle caratteristiche granulometriche e merceologiche dei terreni stessi.

##### 4.1 ANALISI GRANULOMETRICHE E CLASSIFICAZIONE

Nei fori di sondaggio sono stati prelevati dei campioni, a differenti profondità, rappresentativi delle varie litologie rinvenute.

Tali campioni sono stati inviati al laboratorio Altair per le seguenti prove:

- analisi granulometria per via secca
- analisi granulometria per via umida;
- limite liquido, limite plastico ed indice di plasticità;
- classificazione in base agli standard ASTM ed AASHTO.

Le seguenti tabelle riepilogano i principali valori emersi dalle analisi (per il dettaglio è necessario fare riferimento all'apposito documento allegato al presente progetto):

Campione	S1-5.0	S1-12.0	S1-17.5	S1-23.0	S1-27.0	S2-7.0	S2-13.5
ghiaia g	18,81	1,81	13,25	13,27	9,70	11,67	6,46
ghiaia f	35,33	4,19	15,05	9,27	22,55	12,63	11,99
sabbia g	7,62	3,82	5,32	6,28	0,93	6,25	6,80
sabbia m	11,68	36,37	14,66	22,67	16,67	15,99	18,31
sabbia f	11,93	29,41	20,87	32,03	19,94	23,32	23,13
limo	10,01	15,55	19,18	13,41	20,67	18,56	21,63
argilla	4,62	8,85	11,67	3,07	9,54	11,58	11,68
LL	38,00	30,00	24,00	33,00	28,00	30,00	27,00
LP	22,00	23,00	18,00	25,00	22,00	20,00	21,00
IP	16,00	7,00	6,00	8,00	6,00	10,00	6,00
Cumulate							
ghiaia	54,14	6,00	28,30	22,54	32,25	24,30	18,45
sabbia	31,23	69,60	40,85	60,98	37,54	45,56	48,24
limo+argilla	14,63	24,40	30,85	16,48	30,21	30,14	33,31
totale	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
ASTM	GC	SC	SC SM	SM	SC SM	SC	SC SM
AASHTO	A2 6	A2 4	A2 4	A2 4	A2 4	A2 4	A2 4

Campione	S2-16.5	S2-22.0	S2-27.0	S2-32.0	S3-10.0	S3-17.0	S4-2.0	S4-6.0
ghiaia g	0,97	0,76	10,85	0,00	15,49	17,97	33,64	10,53
ghiaia f	3,99	23,62	12,50	0,05	22,42	13,02	13,91	24,44
sabbia g	4,02	9,65	5,23	0,27	8,69	7,66	6,74	8,98
sabbia m	38,55	27,32	28,90	5,46	19,36	18,58	14,53	20,01
sabbia f	27,09	17,55	27,98	71,43	16,86	20,51	11,55	14,33
limo	18,18	14,07	10,27	16,31	11,73	15,20	12,00	13,10
argilla	7,21	7,03	4,27	6,48	5,45	7,06	7,63	8,61
LL	30,00	32,00	32,00	36,00	32,00	29,00	37,00	36,00
LP	21,00	22,00	23,00	26,00	22,00	23,00	27,00	25,00
IP	9,00	10,00	9,00	10,00	10,00	6,00	10,00	11,00
Cumulate								
ghiaia	4,96	24,38	23,35	0,05	37,91	30,99	47,55	34,97
sabbia	69,66	54,52	62,11	77,16	44,91	46,75	32,82	43,32
limo+argilla	25,38	21,10	14,54	22,79	17,18	22,26	19,63	21,71
totale	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
ASTM	SC	SC	SC	SM	SC	SM	GM	SM
AASHTO	A2 4	A2 4	A2 4	A2 4	A2 4	A1b	A2 4	A2 6

Il seguente grafico mostra l'andamento delle principali componenti granulometriche nei differenti campioni analizzati:

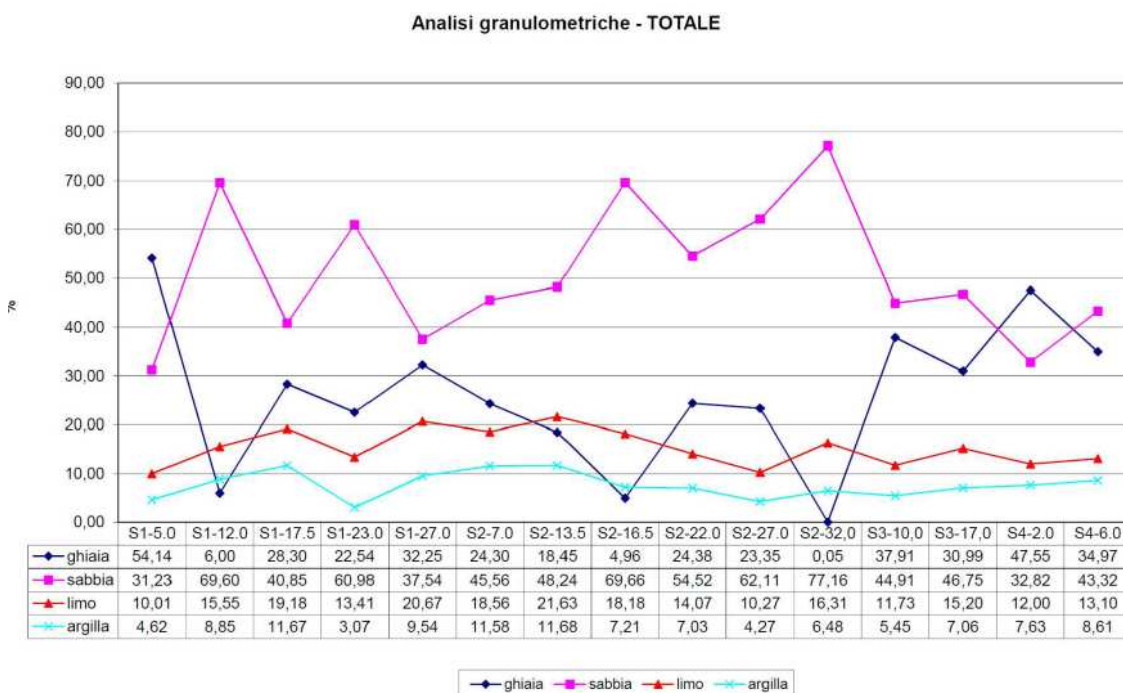


Fig. 15: Analisi granulometriche dei campioni analizzati

Le analisi evidenziano:

- una dominanza della componente sabbiosa, (tra il 30% e 80%, con valori medi tra 40-50%);



- subordinate ghiaie con valori medi tra 20-30% ma con elevata variabilità (da 0 ad oltre il 50%);
- limi con percentuali tra il 10 ed il 20%, abbastanza regolari;
- percentuali di argilla generalmente inferiori al 10%;
- la classe AASHTO dominante è A2-4;
- la classificazione ASTM è mediamente SC - SM

I valori sono poi stati analizzati selezionando solamente i campioni che rientrano all'interno delle profondità di scavo, distinti per le due vasche.

Il grafico riportato sulla sinistra rappresenta l'analisi media complessiva dei campioni nella vasca, con le relative classificazioni AGI- ASTM ed AASHTO.

Sulla destra è riportata un'analisi granulometria a campione, ritenuta rappresentativa del contesto specifico.

#### ANALISI VASCA 1

Sabbia con ghiaia limosa debolmente argillosa  
classificazione ASTM: SC - SM  
classificazione AASHTO: A2-4

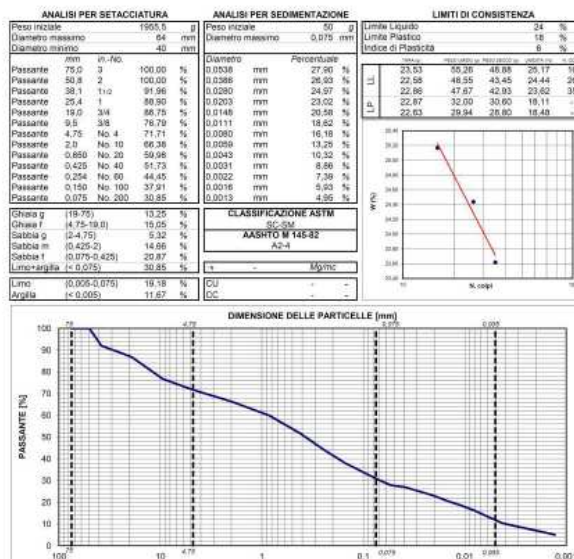
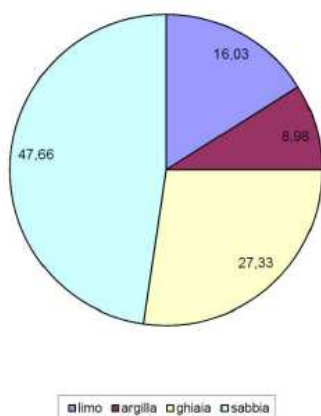


Fig. 16: Analisi granulometriche dei campioni entro la profondità di scavo della vasca 1

### ANALISI VASCA 2

Sabbia con ghiaia limosa debolmente argillosa  
classificazione ASTM: SC - SM  
classificazione AASHTO: A2-4 - A1b

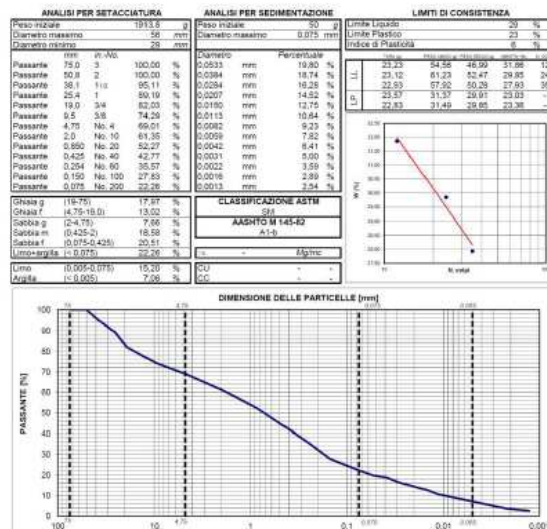
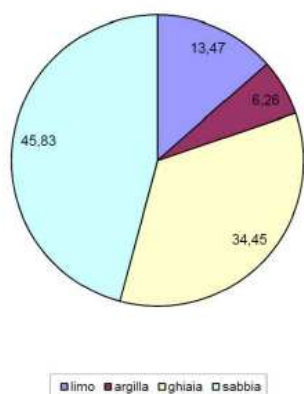


Fig. 17: Analisi granulometriche dei campioni entro la profondità di scavo della vasca 2

I valori sono comparabili ed in entrambi i casi i terreni hanno la seguente composizione: sabbie con ghiaie limose debolmente argillose.

## 4.2 ANALISI CHIMICHE

In relazione alle quantità di materiale da movimentare in cantiere e scavare (oltre 1 Mmc) si è deciso di effettuare, fin dalla fase del progetto preliminare, una verifica delle caratteristiche chimiche dello stesso, in relazione a quanto previsto dal D.M. 161/2012.

La presente verifica non ha la pretesa di rappresentare un piano di utilizzo, ma solamente di valutare l'eventuale presenza di anomalie, dal punto di vista chimico-fisico nei terreni.

Durante tutte le indagini effettuate (sondaggi, saggi con escavatore, indagini geofisiche, ecc.) non sono state evidenziate situazioni anomale di sorta ed i terreni in posto sono sempre risultati nello stato naturale.

Anche le informazioni disponibili sull'area non hanno messo in luce utilizzi pregressi potenzialmente critici ai fini della contaminazione delle aree, il cui uso attuale è agricolo.

Le analisi sono state effettuate su n° 8 campioni di materiale prelevati ad una profondità media di 3-4 metri nei saggi effettuati con l'escavatore, distribuiti lungo le zone di intervento.

Le analisi sono state effettuate dal Laboratorio EVR Ambiente s.r.l. di Giussago (PV), per conto della Ditta Eurogeo, incaricata dall'AIPo di eseguire le indagini geologiche e geofisiche.

Il protocollo di analisi ha previsto la verifica di tutti i parametri previsti dalla norma, e precisamente:

- metalli (arsenico, cadmio, cobalto, nichel, piombo, rame, zinco, mercurio, cromo totale, cromo VI, amianto)
- idrocarburi C > 12
- BTEX
- IPA

Il riepilogo delle analisi effettuate è di seguito riportato (per la verifica dei singoli referti si rimanda alla documentazione specifica allegata al presente progetto):

Parametri	U.M. sul secco	Tab. 1A residenziale	Tab. 1A industriale	Ns. Rif. CAMPIONE	1158 SA 1	1159 SA 2	1160 SA 4	1161 SA 5	1162 SA 6	1163 SA 7	1164 SA 8	1165 SA 10
Residuo secco	%				83,5	81,7	82,5	81,2	79,3	83,5	80,9	92,5
Frazione < 2 mm	%				50	61	66	58	59	59	48	49
Frazione > 2 mm	%				50	39	34	42	41	41	52	51
AMIANTO	mg/kg s.s.	1000	1000		<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000
zinco	mg/kg s.s.	150	1500		26,0	23,4	25,8	27,7	26,9	23,5	22,3	19,9
cadmio	mg/kg s.s.	2	15		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	< 0,5
piombo	mg/kg s.s.	100	1000		6,7	5,2	5,5	5,6	5,9	5,6	4,2	5,2
nicel	mg/kg s.s.	120	500		34,1	25,9	31,7	31,8	29,5	29,6	26,3	17,1
cromo totale	mg/kg s.s.	150	800		21,7	23,0	36,9	26,2	28,9	29,2	20,5	25,3
rame	mg/kg s.s.	120	600		9,4	7,8	9,7	8,9	9,3	8,1	7,5	6,0
arsenico	mg/kg s.s.	20	50		6,6	4,3	6,2	6,9	5,5	5,0	5,7	4,8
mercurio	mg/kg s.s.	1	5		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
cromo esavalente	mg/kg s.s.	2	15		< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
cobalto	mg/kg s.s.	20	250		4,5	4,1	4,8	5,0	5,1	4,0	4,1	5,0
benzene	mg/kg s.s.	0,1	2		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
toluene	mg/kg s.s.	0,5	50		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
etilbenzene	mg/kg s.s.	0,5	50		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
xilene	mg/kg s.s.	0,5	50		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
stirene	mg/kg s.s.	0,5	50		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
naftalene	mg/kg s.s.				<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
acenaftilene	mg/kg s.s.				<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
acenaftene	mg/kg s.s.				<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
fluorene	mg/kg s.s.				<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
fenantrene	mg/kg s.s.				<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04
antracene	mg/kg s.s.				<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
fluorantene	mg/kg s.s.				<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
pirene	mg/kg s.s.	5	50		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
benzo(a)antracene	mg/kg s.s.	0,5	10		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
crisene	mg/kg s.s.	5	50		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
benzo(b)fluorantene	mg/kg s.s.	0,5	10		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
benzo(k)fluorantene	mg/kg s.s.	0,5	10		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
benzo (a)pirene	mg/kg s.s.	0,1	10		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
indeno(1,2,3 c,d)pirene	mg/kg s.s.	0,1	5		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
dibenzo(a,h)antracene	mg/kg s.s.	0,1	10		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
benzo(g,h,i)perilene	mg/kg s.s.	0,1	10		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
dibenzo(a,l)pirene	mg/kg s.s.	0,1	10		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
dibenzo(a,e)pirene	mg/kg s.s.	0,1	10		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
dibenzo(a,h)pirene	mg/kg s.s.	0,1	10		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
dibenzo(a,i)pirene	mg/kg s.s.	0,1	10		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Sommatorio IPA	mg/kg s.s.	10	100		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Idrocarburi pesanti C>12	mg/kg s.s.	50	750		<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Idrocarburi leggeri C<12	mg/kg s.s.	10	250		<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5

*Le analisi non evidenziano anomalie di sorta.*

*Tutti i campioni rientrano ampiamente nei limiti di legge di Tab. 1A.*



## 5.0 ASSETTO IDROGEOLOGICO

In relazione alle peculiarità dell'area in esame ed alla tipologia delle opere di progetto, che prevedono la realizzazione delle vasche di laminazione in scavo rispetto al piano campagna, con interessamento della falda superficiale, la caratterizzazione idrogeologica, come già specificato, è fondamentale.

### 5.1 QUADRO IDROGEOLOGICO COMPLESSIVO

Nel territorio del Milanese, in ampio, sono storicamente e tradizionalmente conosciute e riconosciute le seguenti strutture idrogeologiche fondamentali:

- acquifero "tradizionale" che ospita falde da libere a semiconfinare procedendo da nord verso sud. Tale acquifero è normalmente captato dai pozzi. Lo stesso è alimentato da piogge, irrigazioni, dalla ricarica da monte o da infiltrazioni dall'alto. Al suo interno vengono distinte due unità idrogeologiche: I e II acquifero.
- Acquifero profondo, multistrato e separato dai soprastanti, con falde in pressione. Lo stesso è alimentato dalle zone di ricarica verso monte o in zone di interruzione degli strati impermeabili (denominato anche III acquifero).

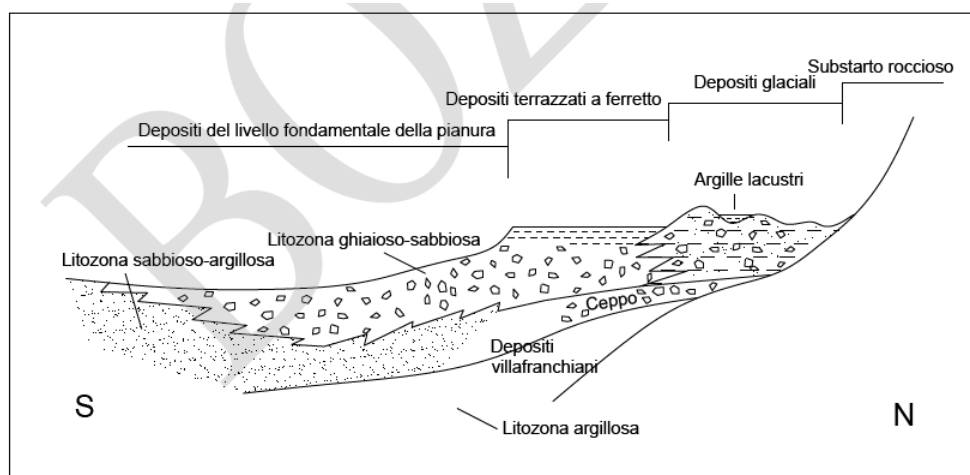


Fig. 18: Schema delle principali unità idrogeologiche (tratto da "CARG – note illustrative al foglio 118")

Tale suddivisione classica è stata rivista nel 2002 a seguito dello studio congiunto Regione Lombardia – Eni – Agip, sulla base di una maggiore e migliore conoscenza litostratigrafia del sottosuolo. Sono stati distinti i seguenti gruppi:

- *Gruppo acquifero A:* corrisponde alla porzione più superficiale dell'acquifero tradizionale, libero, fortemente sfruttato e quasi sempre inquinato. Prevalgono al suo interno le granulometrie più grossolane. Coincide, circa, con il I acquifero.
- *Gruppo acquifero B:* è presente al di sotto dell'acquifero A e corrisponde alla porzione più profonda dell'acquifero tradizionale, più protetta, localmente semi-confinato. Prevalgono i sedimenti grossolani. La sua base coincide, con buona approssimazione, con quella del II acquifero.
- *Gruppo acquifero C:* è costituito in prevalenza da argille limose e sabbie, sede di falde multistrato, protette e generalmente in pressione. E' correlabile alla porzione superiore dell'acquifero profondo.

La suddivisione ricalca il seguente schema complessivo:

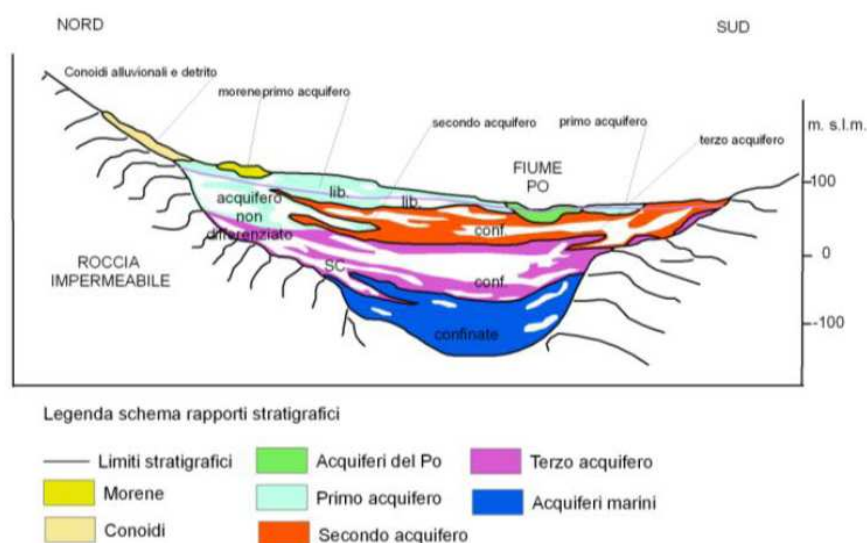


Fig. 19: Schema idrogeologico della Pianura Padana (tratto da " CARG – note illustrative al foglio 118")

Per quanto riguarda l'andamento complessivo della superficie della falda freatica, è possibile fare riferimento alle analisi ed ai dati della Provincia di Milano.

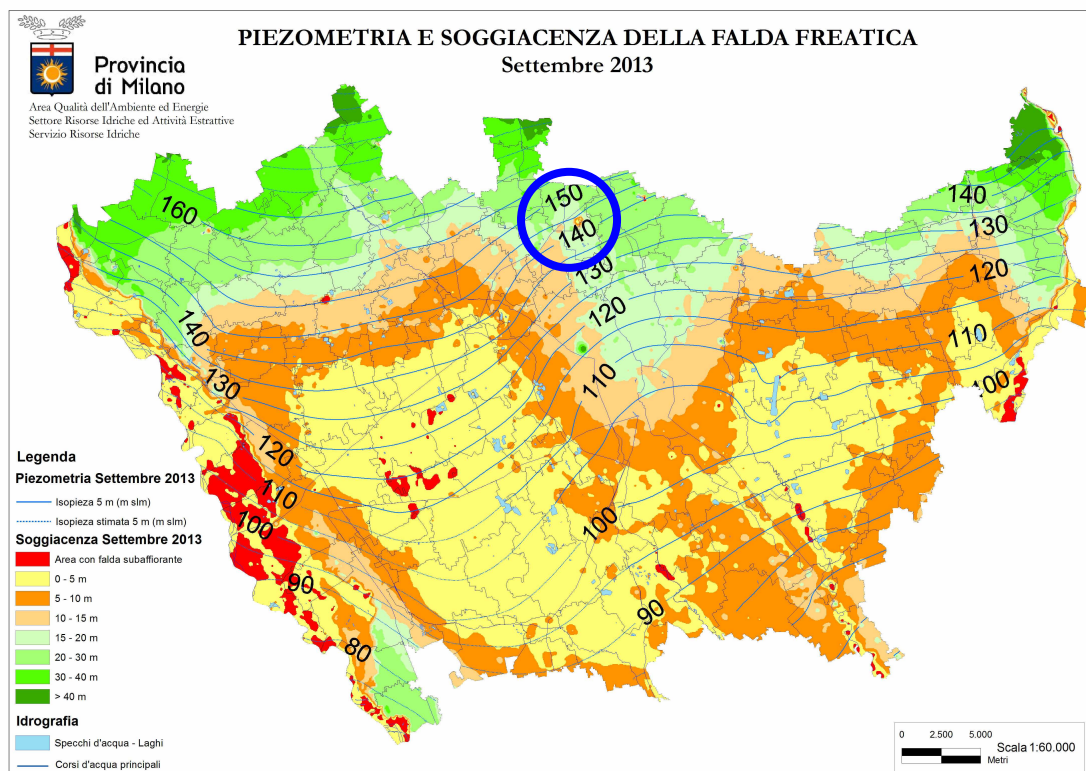


Fig. 20: Carta delle piezometrie e delle soggiacenze medie al settembre 2013 (tratto da “Sistema informativo falda – Provincia di Milano”)

L'andamento complessivo generale nord-sud risente di una serie di variazioni legate alla struttura geologica del sottosuolo nonché all'entità dei prelievi (forte depressione in corrispondenza di Milano).

La struttura complessiva, radiale convergente, si attenua nettamente a sud di Milano.

Nella zona di studio l'andamento è indicativamente nord-ovest / sud-est, con una quota media nel comune, al settembre 2013, compresa tra 140 m. e 150 s.l.m. ed una soggiacenza media di 15 metri.

Il gradiente idraulico varia complessivamente da 0,5 a 0,3 %.

## 5.2 STRUTTURA IDROGEOLOGICA DI DETTAGLIO

Sulla base della distinzione introdotta dallo studio Regione Lombardia – ENI - AGIP, utilizzando tutti i dati di sottosuolo disponibili, è possibile individuare nel territorio di studio i seguenti acquiferi.

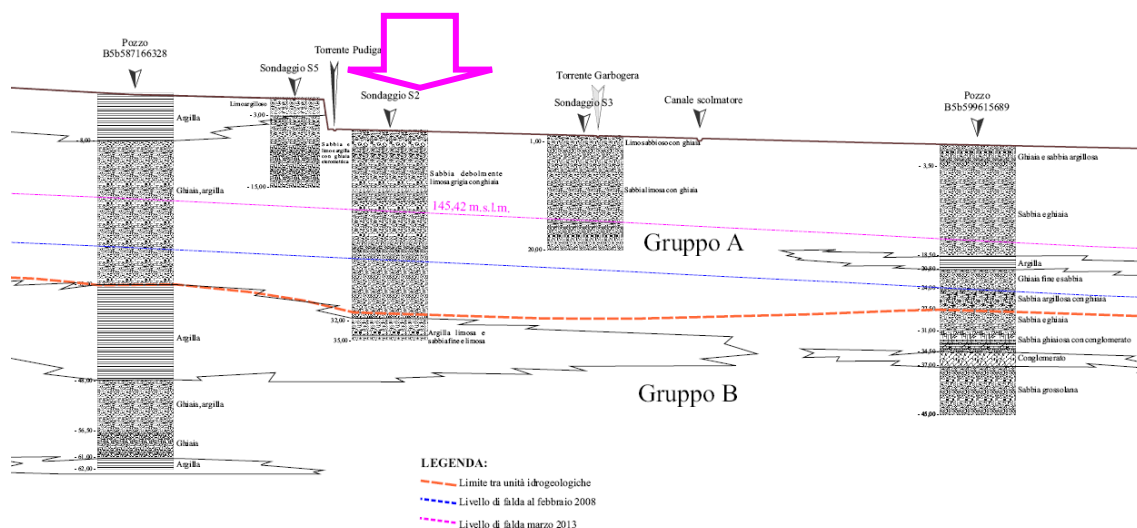


Fig. 21: Sezione idrogeologica, ricavata dalla sezione geologica, che evidenzia la struttura a livello locale. La freccia viola indica l'areale interessato dalle opere del presente progetto.

Gruppo acquifero A: è presente in tutto il territorio esaminato e costituisce la porzione più superficiale del sottosuolo, caratterizzata da depositi fluvioglaciali, depositi in un ambiente di tipo braided.

E' composto da ghiaie e sabbie, con subordinati livelli argillosi, argilloso limosi e/o di ghiaie cementate.

Lo spessore varia, in ampio, tra 28-30 e 40 metri e nella zona di studio è circa di 30-35 metri.

La base è posta in corrispondenza dei livelli limoso-argillosi presenti nell'area in modo continuo e tendenti a ridursi di spessore e continuità verso est.

Questi dati sono pienamente coerenti con le analisi contenute negli studi per il foglio Milano del progetto CARG.



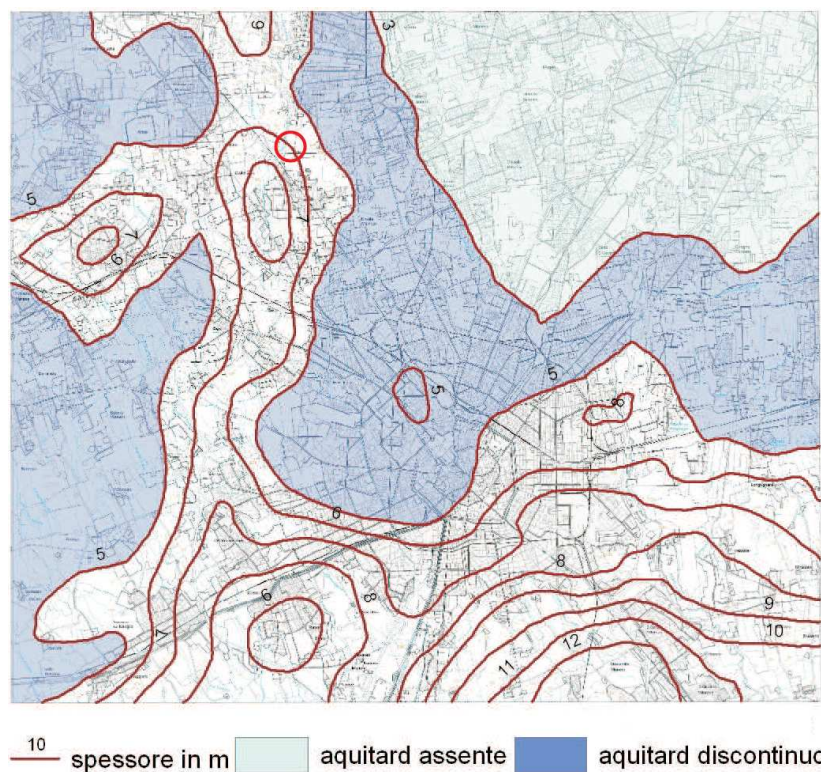


Fig. 22: Carta dello spessore dell'aquitard tra I e II acquifero (estratto della tavola 2 – progetto CARG – foglio 118)

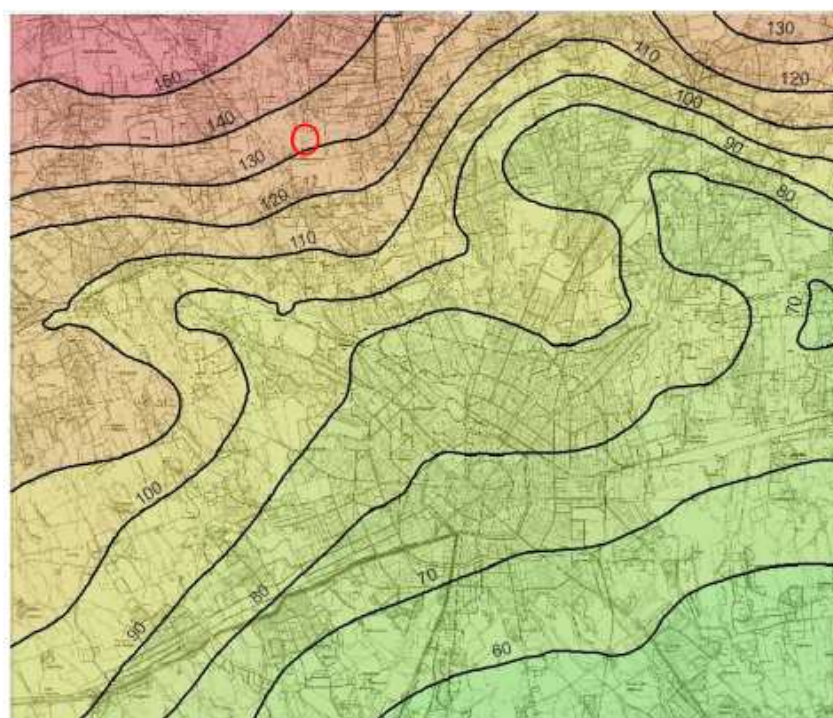


Fig. 23: Carta della base del I acquifero (estratto della tavola 2 – progetto CARG – foglio 118)

La carta di cui sopra individua nell'area di studio (in rosso) la base del I acquifero, circa coincidente con il Gruppo acquifero A, circa a quota 130 m. s.l.m., quindi a 30 metri dal p.c.

Questo gruppo acquifero, insieme al seguente Gruppo acquifero B, è sede dell'acquifero principale libero e/o semiconfinato, con soggiacenza nella zona di studio di circa 15 metri da p.c.; questa falda è in genere captata sia dai pozzi privati che dai pozzi potabili di vecchia realizzazione.

Gruppo acquifero B: costituisce la porzione di sottosuolo immediatamente sottostante al Gruppo A, anch'essa caratterizzata dalla presenza di depositi fluvioglaciali, depositi in un ambiente di tipo braided.

La granulometria è generalmente ghiaioso sabbiosa e tende a diminuire in profondità, dove aumenta la frequenza di livelli argillosi e/o conglomeratici.

Lo spessore di questo gruppo è di circa 30-40 metri e la sua base è posta in corrispondenza dei primi livelli di argille compatte giallastre.

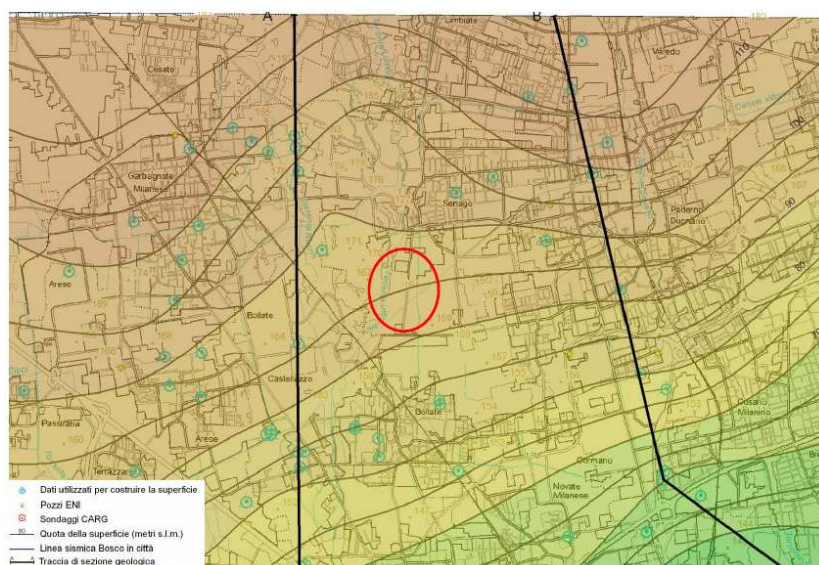


Fig. 24: Carta della base dell'acquifero tradizionale (base del Gruppo acquifero B) - (estratto della tavola 2 – progetto CARG – foglio 118)

Gruppo acquifero C: è presente nel territorio esaminato al di sotto del Gruppo B e fino alla massima profondità interessata dai pozzi potabili.

E' costituito da depositi sabbiosi, alternati ad argille ed argille limose, indice di un ambiente di deposizione continentale / transizionale deltizio.

La profondità della base non è conosciuta nella zona di indagine, in quanto non è mai stata intercettata dalle perforazioni disponibili.

Questa unità è sede degli acquiferi confinati, protetti, captati dai pozzi più profondi.

La stratigrafia seguente, di un pozzo esistente poco a sud della zona di intervento, riprova quanto descritto.

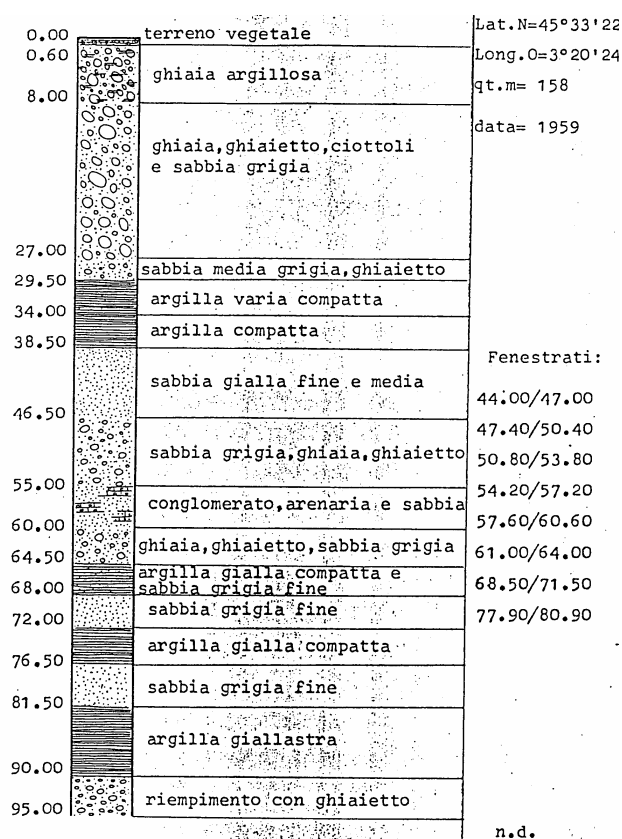


Fig. 25: Stralcio della stratigrafia del pozzo cod. 0150270017

Da p.c. fino a – 29,50 m. sono presenti depositi grossolani del Gruppo acquifero A.



Il livello argilloso tra 29,50 m. e 38,50 m. costituisce l'acquitaro di separazione tra I e II acquifero.

Il Gruppo acquifero B si sviluppa fino a circa - 64,5 m. da p.c., quota da cui iniziano le intercalazioni argillose e sabbiose del Gruppo acquifero C.

Le fenestrature interessano gli acquiferi B e C.

### 5.3 PIEZOMETRIA E VARIAZIONI DEI LIVELLI DI FALDA

L'immagine seguente, tratta dal SIF della Provincia di Milano e rielaborata in ambiente GIS, visualizza la piezometria della I falda nella zona di studio in ampio, nel settembre 2013 (vedi tavole D.2.2- D.2.3).

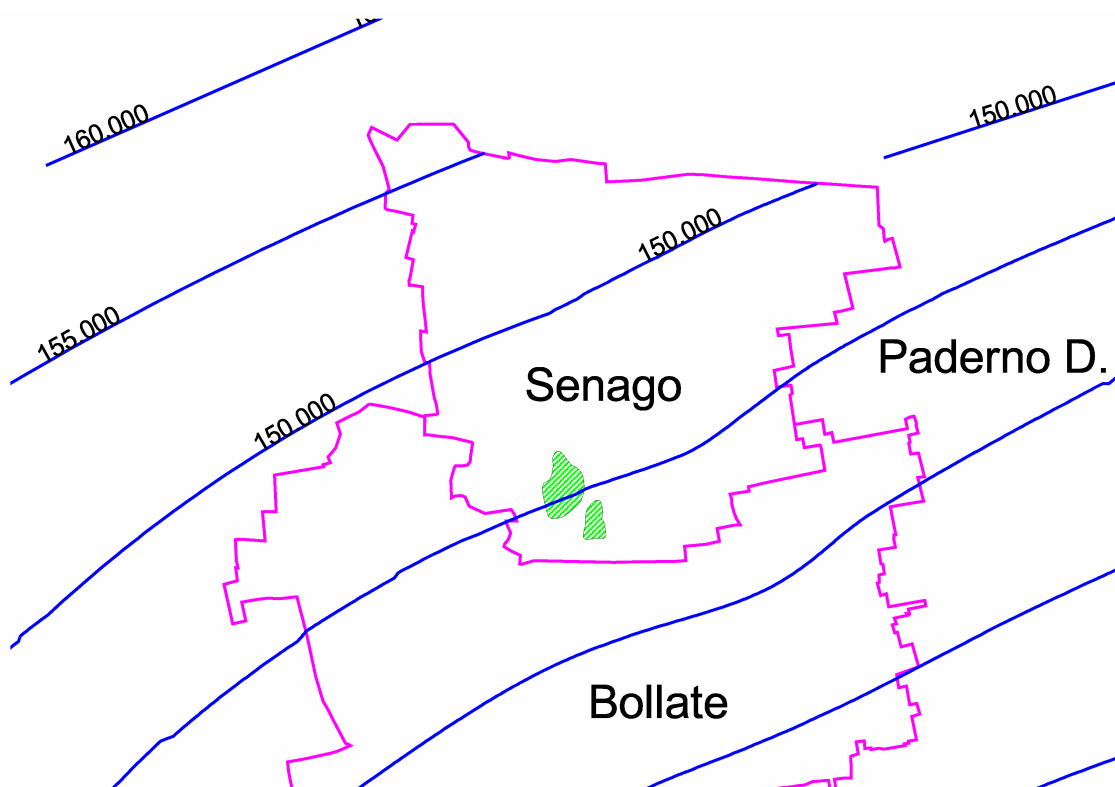


Fig. 26: Piezometria dalla I falda – sett. 2013 (fonte: SIF Provincia di Milano - rielaborata). In viola i confini comunali di Senago e Bollate. In verde le vasche di progetto.

L'andamento generale è da nord-ovest verso sud-est, con un gradiente medio dello 0,3-0,4 %.



La quota media della I falda, al settembre 2013, nell'area di intervento era di circa 145 m. s.l.m., con una soggiacenza media, considerando una quota del p.c. di circa 160 m. s.l.m., di circa 15 metri.

La quota di minima soggiacenza della falda nella zona di intervento è un elemento di grande importanza, perché condiziona la quota zero di inizio dell'invaso di laminazione, nonché le eventuali opere in falda.

A tal fine si è ritenuto di procedere ad una serie di valutazioni ed analisi relativamente all'aspetto specifico.

Nello studio di fattibilità del 2011 erano stati utilizzati come riferimento per la valutazione della massima quota della falda i dati del piezometro cod. 0152060023, ubicato presso la cava attiva posta a circa 600 metri ad est della zona di intervento.

I dati disponibili avevano indicato i seguenti elementi:

- massimo livello della falda quota 144 m. s.l.m. (minima soggiacenza)
- minimo livello di falda quota 135 m. s.l.m. (massima soggiacenza)

Nel progetto preliminare dell'aprile 2013 la quota di fondo della vasca era stata portata a quota 146 m. s.l.m., stante la presenza della prima falda ad una quota leggermente superiore a 145 m. s.l.m..

Questo elemento era emerso già nell'aprile 2013 in base alle misure di dettaglio effettuate nel piezometro S2, realizzato appositamente per il presente progetto.

L'immagine seguente mostra il confronto diretto tra la piezometria della I falda al settembre 2007 ed al settembre 2011 nella zona.

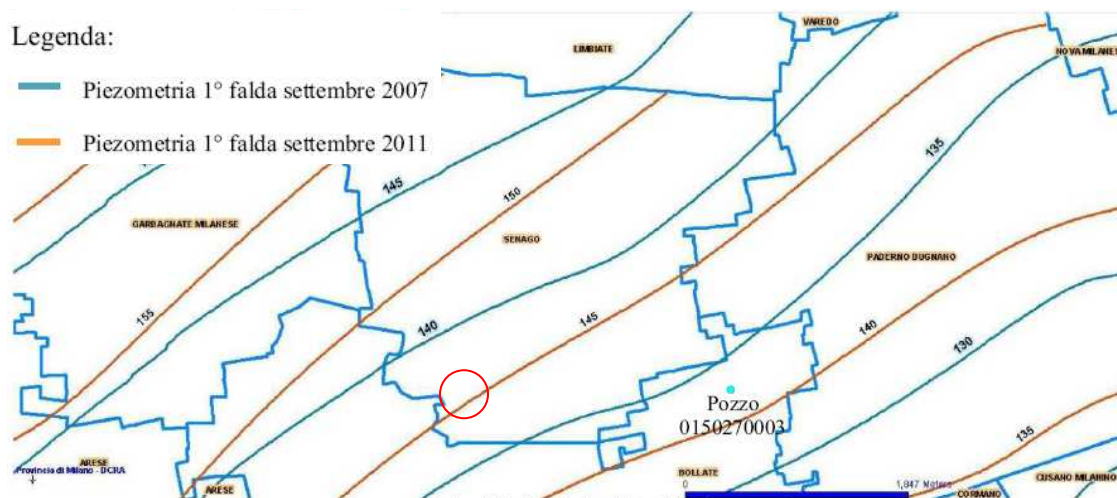


Fig. 27: Confronto tra la piezometria dalla I falda al sett. 2007 ed al sett. 2011 (fonte: SIF Provincia di Milano)

La carta evidenzia un netto innalzamento della quota di falda dal 2007 al 2011: la superficie piezometrica passa nella zona interessata dalle opere da una quota di circa 137-138 m. s.l.m. ad una quota di 145 m. s.l.m., con un innalzamento di circa 7-8 metri. La carta del settembre 2013 mostra una situazione simile a quella del settembre 2011, con una piezometria media attestata a quota 145 m. s.l.m.

Al fine di ampliare al massimo il periodo di verifica dei livelli di falda, si è effettuata la ricerca sul SIF Provinciale, dei pozzi e dei piezometri con il periodo di controllo più esteso temporalmente.

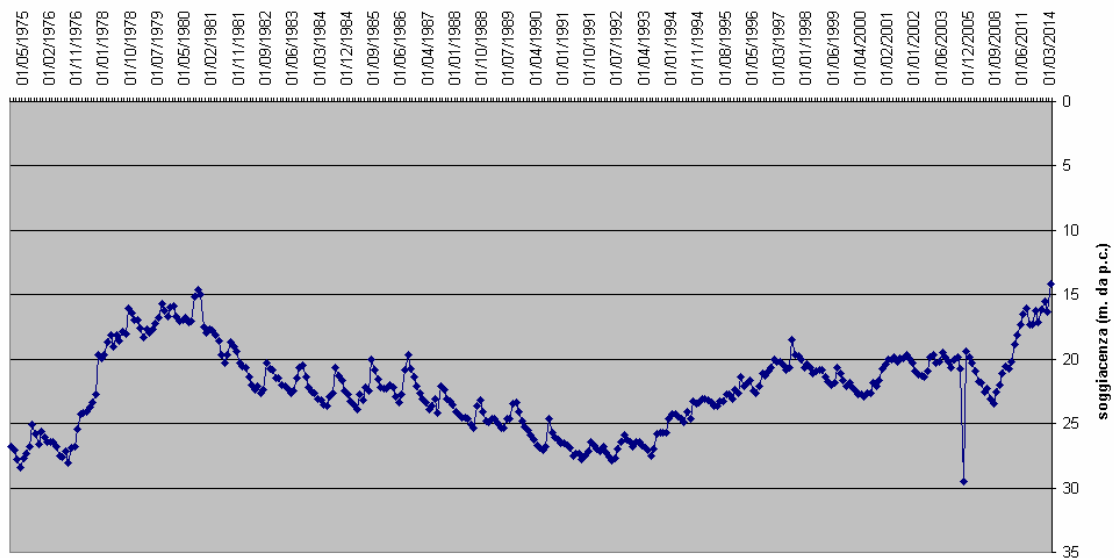
A tal fine sono stati individuati n° 2 pozzi nel Comune di Bollate ed 1 pozzo nel Comune di Senago.

I dati resi disponibili sul SIF della Provincia di Milano alla data della stesura della presente relazione sono aggiornati fino al marzo 2014.

I dati della soggiacenza della falda elaborati in forma grafica sono di seguito visualizzati:

COMUNE DI BOLLATE - POZZO POTABILE cod. 0150270001

Soggiacenza (m. da p.c.)



COMUNE DI BOLLATE - POZZO POTABILE cod. 0150270003

Soggiacenza (m. da p.c.)

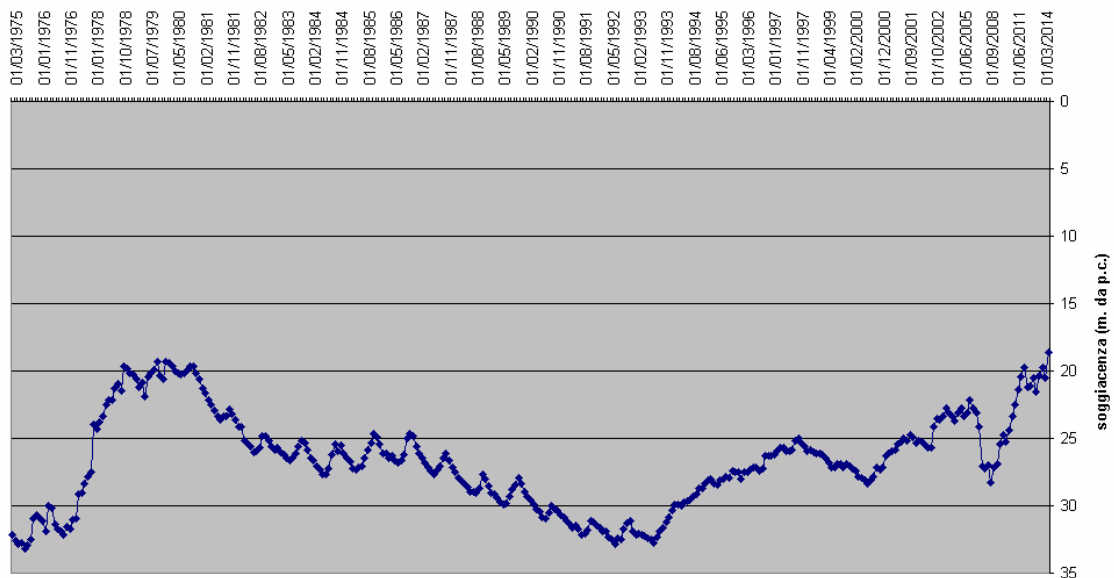


Fig. 28: Andamento della soggiacenza dal 01/01/1975 al 01/03/2014 per i pozzi potabili del Comune di Bollate cod. 0150270001 - 0150270003

Per il Comune di Senago il periodo di misura è nettamente inferiore ai precedenti.

COMUNE DI SENAGO - POZZO POTABILE cod. 0152060004

Soggiacenza (m) 2000 - 2014

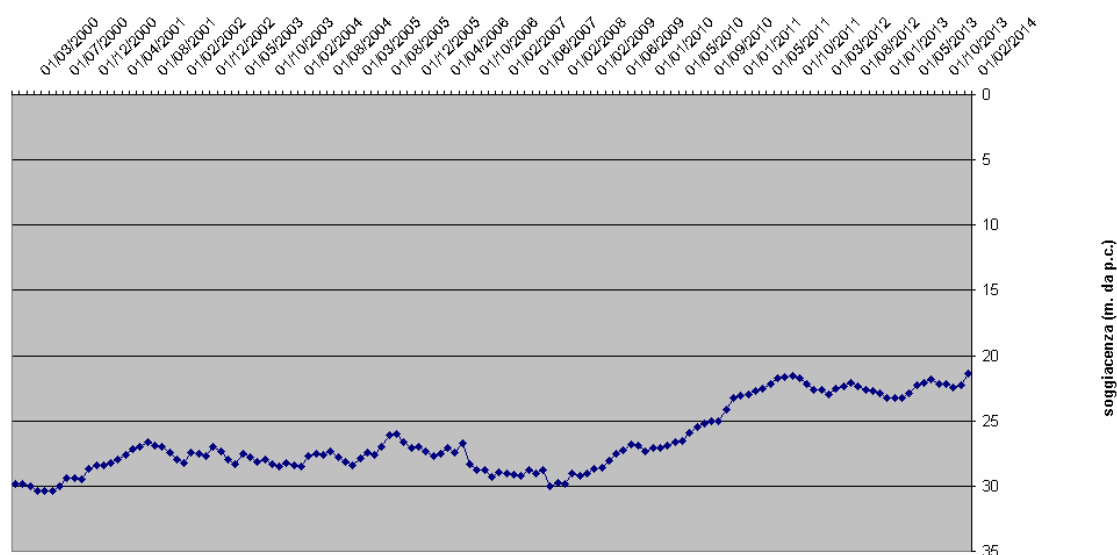


Fig. 29: Andamento della soggiacenza dal 01/01/2000 al 01/02/2014 per il pozzo potabile del Comune di Senago cod. 0150260004

La superficie piezometrica evidenzia variazioni sia a carattere stagionale che con trend di lungo periodo.

Per quanto riguarda le variazioni stagionali, che possono raggiungere anche alcuni metri di escursione, sono generalmente caratterizzate da massimi nel periodo irriguo e da minimi invernali.

Le variazioni di lungo periodo sono connesse prevalentemente alle condizioni meteorologiche, ma anche all'entità dei prelievi per lo sfruttamento della falda.

Le curve dei pozzi di Bollate evidenziano un periodo di minima soggiacenza della falda tra il 1978 ed il 1980, connesso alle abbondanti precipitazioni del periodo 1976-1977.

Dopo tale periodo si è verificato un progressivo e lungo fenomeno di abbassamento della falda, che ha raggiunto i valori più bassi tra gli anni 1992 e 1993.

A tale periodo ha fatto seguito una lenta e lunga risalita.

A partire circa dal 2008 si è avviato un processo di risalita della falda, con un nuovo brusco innalzamento (soprattutto relativamente ai pozzi di Bollate) tra la parte finale del 2010 ed il 2012, in cui la falda si è riportata su valori analoghi ai massimi del periodo 78-80.

Tra il 2011 ed il 2013 la falda ha oscillato, con variazioni stagionali, ma sempre mantenendosi su valori elevati.

*Un brusco innalzamento, quantificabile mediamente in un paio di metri, si è verificato tra la fine del 2013 e l'inizio del 2014 in tutti i pozzi: questa situazione ha fatto sì che la falda raggiungesse i valori di soggiacenza più bassi mai registrati nel periodo storico monitorato.*

I grafici seguenti rappresentano un ingrandimento del periodo 2008-2014 per i due pozzi di Bollate, da cui risultano evidentissimi gli andamenti sopra descritti.

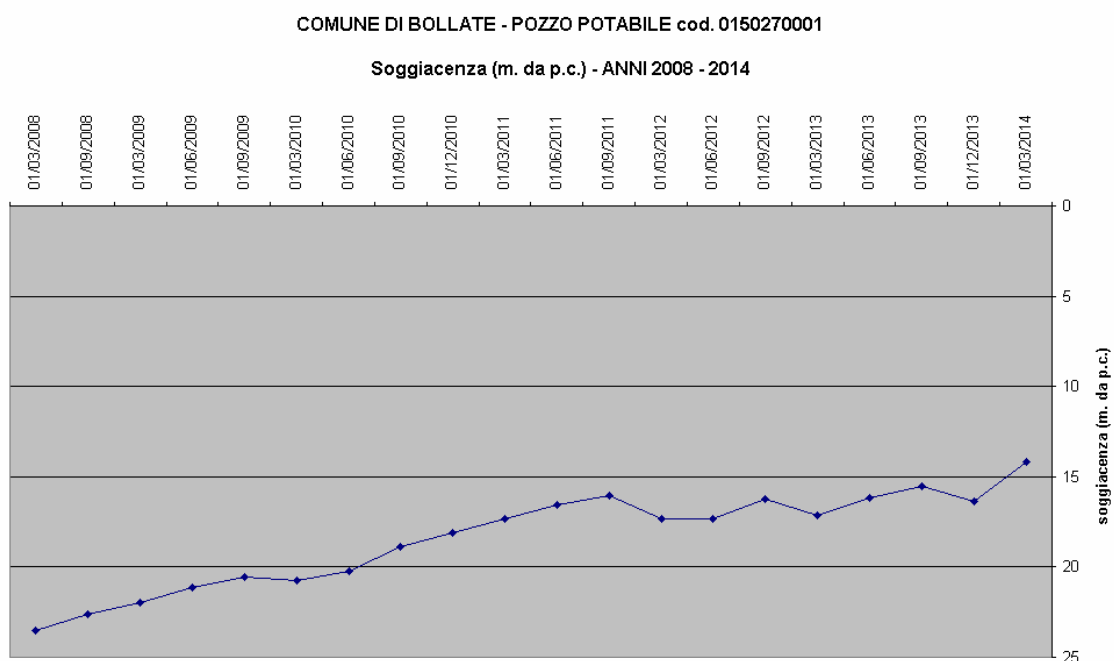


Fig. 30: Andamento della soggiacenza dal 01/03/2008 al 01/03/2014 per il pozzo potabile del Comune di Bollate cod. 0150270001



COMUNE DI BOLLATE - POZZO POTABILE cod. 0150270003

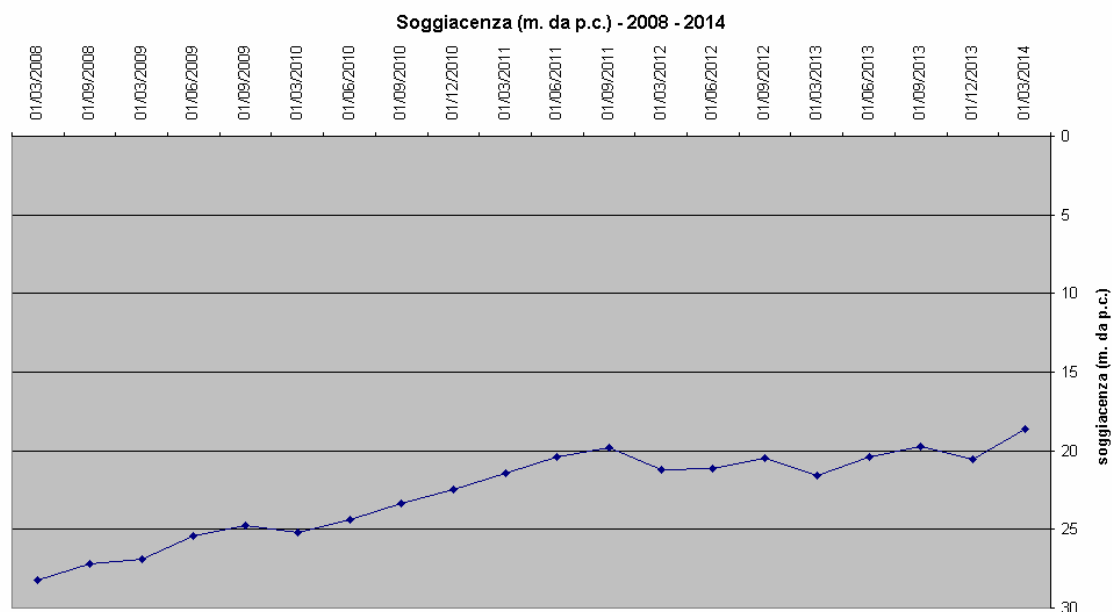


Fig. 31: Andamento della soggiacenza dal 01/03/2008 al 01/03/2014 per il pozzo potabile del Comune di Bollate cod. 0150270003

Nelle indagini eseguite per il presente lavoro, stante l'importanza dell'aspetto idrogeologico, si è deciso di attrezzare con una tubazione piezometrica il sondaggio S2.

Tale sondaggio ha le seguenti caratteristiche:

- la perforazione ha interessato interamente il I acquifero e si è intestata nei depositi limoso-argillosi di separazione con il II acquifero tra 30 e 35 m. da p.c.;
- la posizione è al limite della zona di intervento, in modo che lo stesso possa restare operativo anche durante ed al termine dei lavori, per verificare le variazioni del livello di falda.

Il piezometro è stato autorizzato dalla Provincia di Milano ed inserito nel SIF con il codice 0152060046.

La quota piezometria è risultata, nella misura effettuata il 04/04, al momento della realizzazione del piezometro, pari a 145,416 m. s.l.m., quindi in linea con i valori della falda elaborati dal SIF nel periodo.

Il piezometro è stato monitorato periodicamente fino ad oggi ed i risultati, in termini di soggiacenza e piezometria sono riassunti nei grafici seguenti:

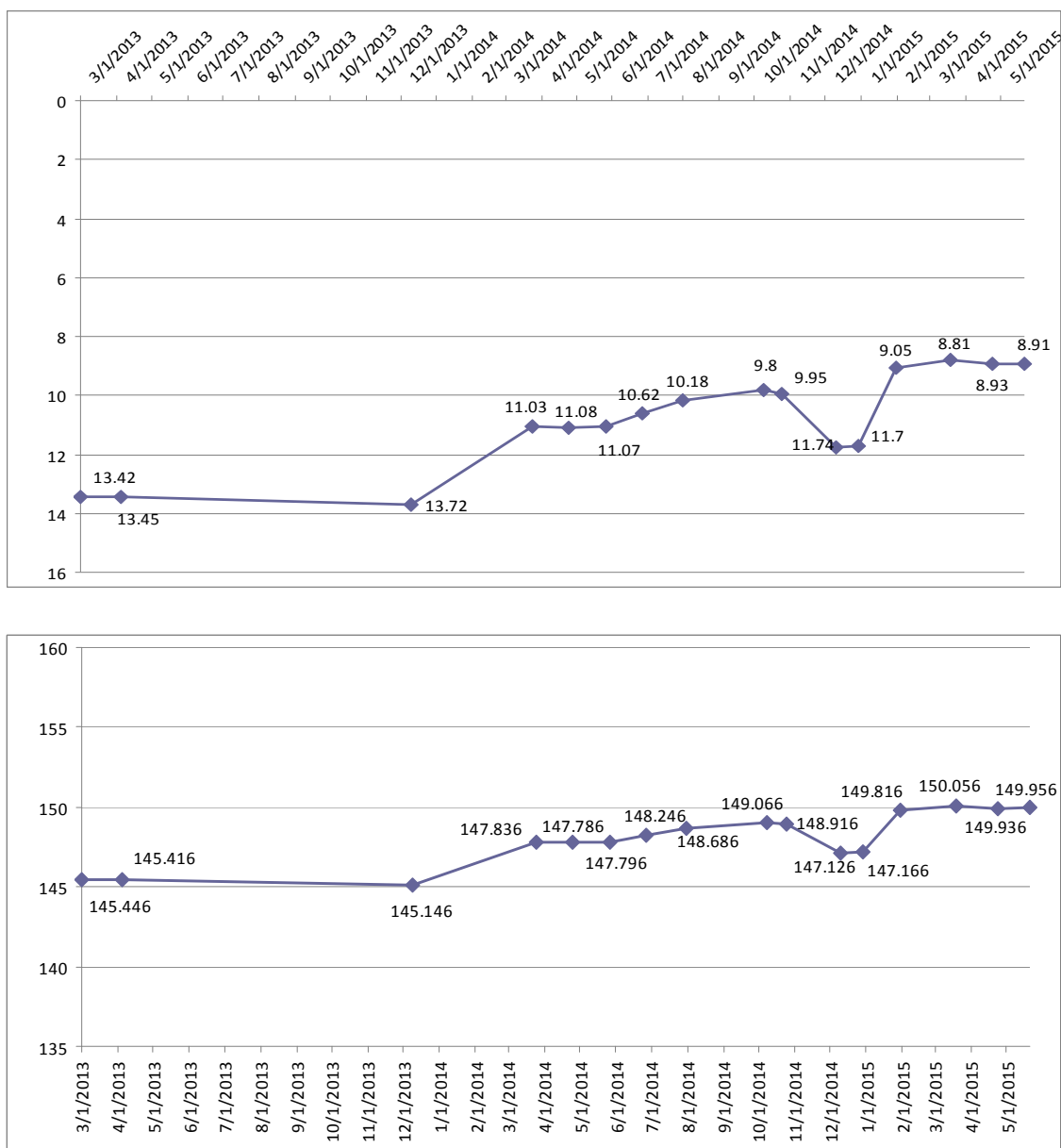


Fig. 32: Andamento della soggiacenza (sopra) e dei livelli piezometrici (sotto) dal 01/03/2013 al 20/05/2015 per il piezometro realizzato presso le vasche di laminazione.

Il grafico mostra chiaramente la risalita della falda tra la fine del 2013 e l'ottobre del 2014, con un dislivello di circa 4 metri (da 145 a 149 m. s.l.m.).

Successivamente si osserva una discesa della falda fino a 147 m. s.l.m., seguita, all'inizio del 2015, da una nuova salita fino a quota 150 m.s.l.m.

Il valore di 150 m. s.l.m. resta pressoché costante, con piccole oscillazioni, fino all'ultima misura disponibile, del maggio 2015.

*La quota piezometrica sopra indicata si attesta quindi al limite superiore delle oscillazioni subite dalla falda a partire dal 1975. Il fondo delle vasche (settore 2 e 3) è a quota 149 m. s.l.m., a seguito della prescrizione dal parere di VIA Regionale (tale modifica era già stata recepita nella revisione 1 del progetto dell'aprile 2015).*

*Allo stato attuale, in base alle ultime misure piezometriche del 2015, il livello della falda (circa 150 m. s.l.m.) è di 1 metro superiore al livello del fondo delle vasche.*

*Vi è quindi interferenza tra la falda e le opere di progetto, per es. lo scavo per la parte terminale della vasca e per realizzare la struttura di impermeabilizzazione avverrà in falda, anche se nella porzione superiore della stessa (l'interferenza è significativamente ridotta rispetto al progetto originario dell'ottobre 2014 in virtù dell'innalzamento del fondo delle vasche).*

*Questa interferenza deve comunque esser gestita correttamente sia dal punto di vista qualitativo (impermeabilizzazione delle vasche per una separazione totale delle acque invase rispetto a quelle del sottosuolo) che da quello quantitativo (abbassamento per i lavori, metodi per garantire la stabilità dell'impermeabilizzazione in relazione all'altezza della falda, ecc.), sia nella fase realizzativa che in quella di funzionamento a regime delle opere.*

#### 5.4 PERMEABILITA' DEL I ACQUIFERO

Nei fori di sondaggio sono state effettuate delle prove di permeabilità in avanzamento di tipo Lefranc, sia a carico costante che a carico variabile.

Il riepilogo dei valori di permeabilità ottenuti è il seguente:

Sondaggio	Profondità	Tipo	Permeabilità (cm/sec)	note
S1	10,5	costante	1,50E-02	
S1	15	costante	2,30E-02	in falda
S1	21	costante	6,30E-03	in falda
S2	10,5	variabile	4,10E-03	
S2	15	variabile	5,40E-03	in falda
S2	20	variabile	2,50E-03	in falda
S3	6	costante	9,10E-03	
S3	10,5	costante	9,70E-03	
S3	16	costante	4,70E-03	
<b>MEDIA TOTALE (permeabilità cm/sec)</b>			<b>8,87E-03</b>	
<b>MEDIA IN FALDA (permeabilità cm/sec)</b>			<b>9,30E-03</b>	

I valori di permeabilità sono compresi tra  $2,5 \cdot 10^{-3} - 2,3 \cdot 10^{-2}$  cm/sec.

Un ulteriore riferimento in termini di permeabilità è contenuto nella tavola del CARG, in cui è riportata una carta della permeabilità del I acquifero.

Nella zona di studio i valori indicati sono di circa  $5 \cdot 10^{-4}$  m/sec.

Tali valori sono del medesimo ordine di grandezza, ma superiori, rispetto ai massimi rinvenuti con le prove in foro.

Tale variazione è fisiologica per la differenza del volume interessato dalle prove, la maggiore influenza del fine alla scala del sondaggio, nonché per la locale presenza di terreni con significativa componente fine (sabbie fini e limi), che tendono ad influenzare in maniera significativa una prova in foro a piccola scala.

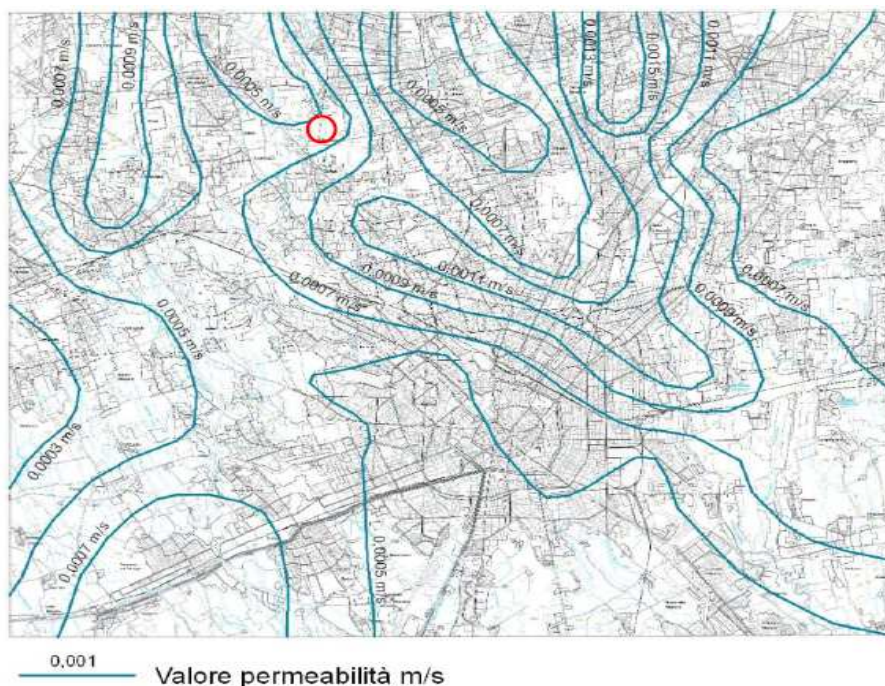


Fig. 33: Carta della permeabilità del I acquifero - (estratto della tavola 2 – progetto CARG – foglio 118)

Valori di permeabilità analoghi a quelli indicati nel CARG ( $4 \cdot 10^{-4}$  m/sec) sono stati rinvenuti in una prova di portata effettuata sul pozzo potabile di Bollate, a supporto di una riperimetrazione dell'area di salvaguarda (Studio Idrogeotecnico, 2012).

Per la zona di intervento si reputa quindi di poter attribuire all'acquifero superiore un valori di permeabilità di  $5 \cdot 10^{-4}$  m/sec.

### 5.5 MODELLO IDROGEOLOGICO TRIDIMENSIONALE DEL SOTTOSUOLO

Il modello geologico del sottosuolo, descritto al par. 3.4, è stato integrato e rivisitato alla luce di tutti i dati sopra descritti e precisamente:

- suddivisione dei principali acquiferi,
- struttura degli acquitardi,
- andamento della superficie freatica,
- caratteristiche di permeabilità degli acquiferi, ecc.

ed è stato creato un modello idrogeologico tridimensionale del sottosuolo.



Il modello è poi stato utilizzato per le analisi idrogeologiche di dettaglio, relative alle attività di abbassamento della falda per la realizzazione delle opere, nonché per la valutazioni sulle possibili interferenze con i pozzi, soprattutto quelli potabili, presenti nell'intorno dell'area di intervento ed in un significativo areale.

Le immagini seguenti mostrano gli elementi salienti del modello idrogeologico.

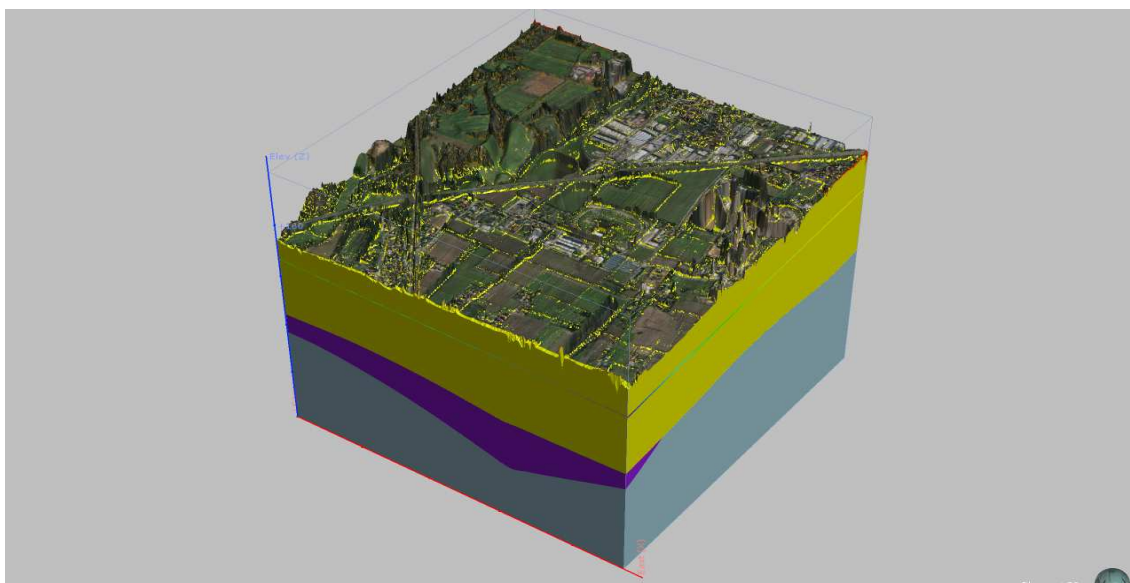


Fig. 34: Modello idrogeologico di dettaglio (Giallo: Acquifero A – Viola: argille e limi con funzione di acquitard tra i due acquiferi A e B – Azzurro: Acquifero B – Verde: superficie piezometrica)

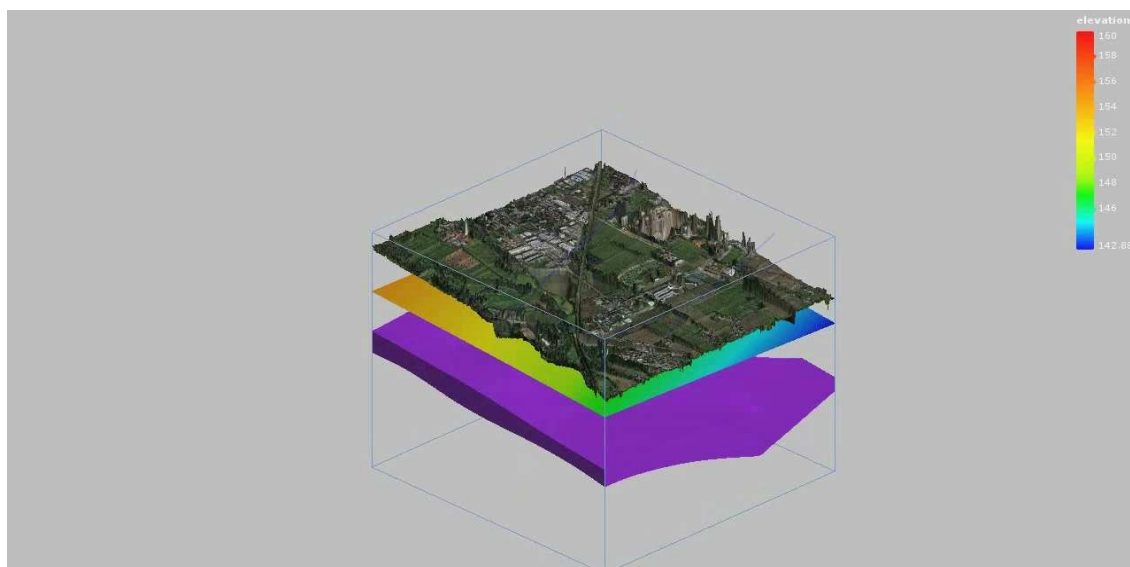


Fig. 35: Visualizzazione delle principali superfici idrogeologiche: superficie topografica (ortofoto su DEM), superficie piezometrica e l'aquitard di separazione tra gli acquiferi A e B (viola)

## 6.0 OPERE DI CAPTAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE E POZZI AD USO POTABILE

La tavola D.2.2 “Carta idrogeologica ed oscillazioni della prima falda”, visualizza, oltre all’andamento della superficie piezometrica, la distribuzione di tutti i pozzi, sia pubblici che privati che è stato possibile censire in un areale di circa 6 x 6 km centrato intorno alla localizzazione delle vasche.

Le fonti utilizzate sono le n° 6-8-10-12-13-14 di cui al par. 2.1.; nello specifico per i Comuni di Bollate e Senago sono stati inseriti tutti i pozzi individuati sui documenti e sui database a disposizione, mentre per i Comuni limitrofi sono stati indicati solamente quelli confinanti e quelli che rientrano all’interno dell’areale sopra indicato.

Complessivamente nella cartografia sono stati riportati 197 punti di captazione, suddivisi in pozzi pubblici (per quelli adibiti ad uso potabile è stata rappresentata la fascia di rispetto, come indicata negli strumenti di pianificazione geologica Comunale), pozzi privati, piezometri di controllo della falda e pozzi chiusi / dismessi e/o abbandonati.

La cartografia evidenzia chiaramente i seguenti elementi:

- la zona di intervento è esterna alle fasce di rispetto dei pozzi utilizzati a scopo idropotabile;
- i pozzi del Comune di Senago sono tutti localizzati a monte dell’area di intervento rispetto alla direzione di deflusso della falda;
- i pozzi utilizzati a scopo potabile più vicini alla zona di intervento sono i pozzi cod. 12 e 13 del Comune di Bollate, che risultano localizzati ad oltre 1 km dall’area di intervento, verso sud.

L'immagine seguente mostra la situazione sopra descritta.

Per facilitare il controllo delle distanze è stata creata una fascia di 1 km di ampiezza intorno alle vasche (linea verde scuro).

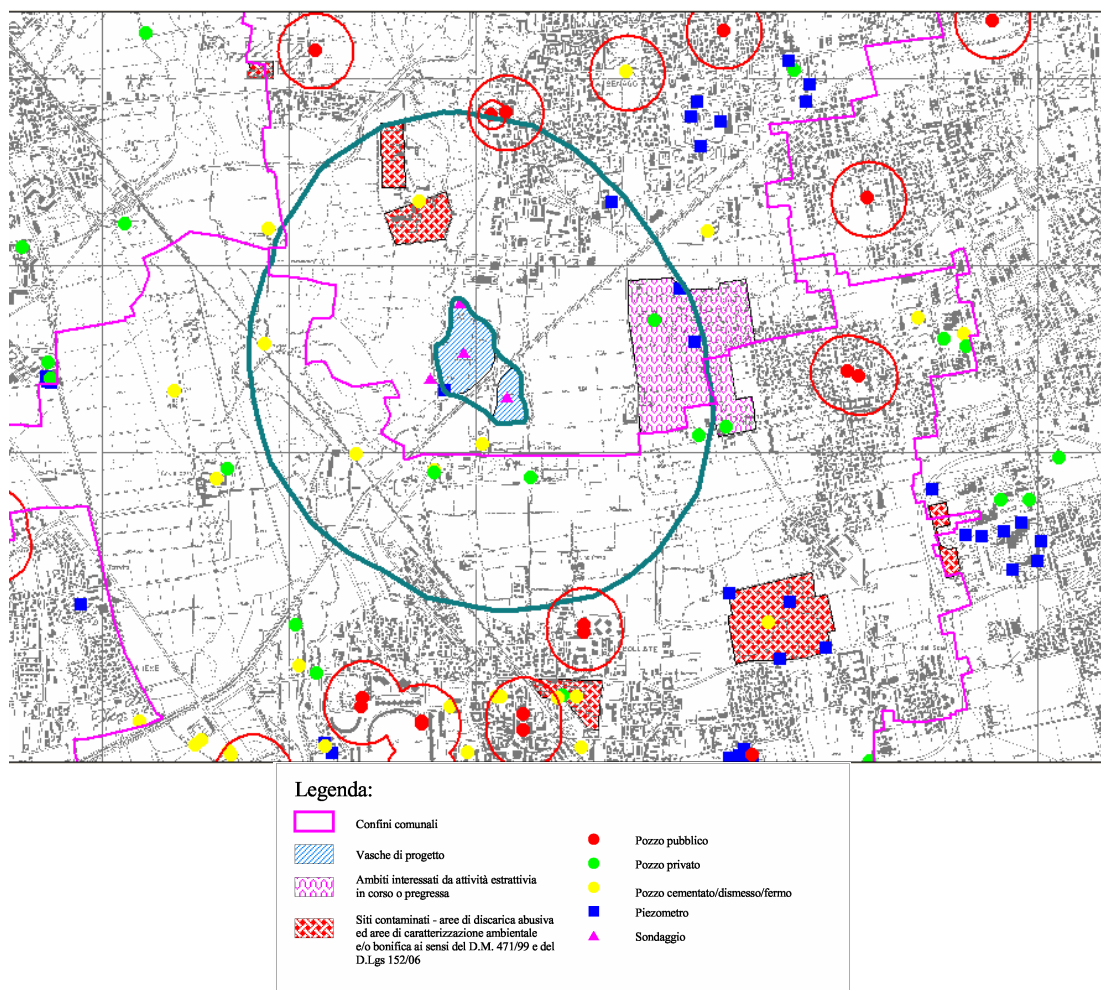


Fig. 36: Individuazione della fascia di ampiezza di 1 km intorno alle vasche, con localizzazione dei principali elementi di criticità ambientale e dei punti di captazione delle acque sotterranee

All'interno della fascia di 1 km non rientrano pozzi potabili.

I più vicini sono due pozzi di Senago, appena fuori da questa fascia ma ubicati a monte.

All'interno dell'areale sono presenti: 3 piezometri di controllo della falda (1 delle vasche e 2 della cava), 4 pozzi privati e 4 pozzi chiusi / dismessi / abbandonati.

Nella tavola sono stati anche censiti alcuni elementi di criticità e potenziale impatto sulle acque sotterranee e precisamente:

- ambiti interessati da attività estrattiva in corso o pregressa;
- siti contaminati / aree di discarica abusiva / aree di caratterizzazione ambientale / aree di bonifica ambientale ai sensi del D.M. 471/99 e del D. Lgs. 152/06.

La tabella seguente, tratta dai documenti di cui sopra, evidenzia, per i diversi pozzi potabili dei Comuni di Bollate e di Senago lo stato di attività, gli impianti di trattamento, la profondità massima e la quota dei filtri.

In particolare questo ultimo parametro consente di valutare l'acquifero in cui avviene l'attingimento, in relazione al modello descritto ai par. 5.1 e 5.2.

<b>COMUNE DI BOLLATE</b>						
n.	Codice SIF	Località	Anno	Prof. (m)	Filtri (prof. m)	Note
1	0150270001	Via A. da Bollate Municipio	1942	68.25	da 48.00 a 60.00	In esercizio, trattamento carboni attivi
2	0150270002	Via A. da Bollate Scuole	1942	67.80	da 49.00 a 66.00	In esercizio, trattamento carboni attivi
3	0150270003	Via Caracciolo C.na Nuova I	1959	60.50	da 38.35 a 60.00	In esercizio, trattamento carboni attivi
4	0150270004	Via Ferraris	1961	64.80	da 41.50 a 64.80	In esercizio, trattamento carboni attivi
5	0150270005	Via Trento Ospiate I	1963	68.60	da 46.00 a 67.00	In esercizio, trattamento carboni attivi
6	0150270006	Via Trento Ospiate II	1963	67.00	da 46.00 a 63.00	In esercizio, trattamento carboni attivi
7	0150270007	Via Verdi C. sportivo I	1966	75.00	da 49.55 a 75.00	In esercizio, trattamento carboni attivi
8	0150270008	Via Verdi C. sportivo II	1966	77.50	da 49.00 a 75.00	In esercizio, trattamento carboni attivi
10	0150270010	Via Caracciolo C.na Nuova II	1969	130.00	da 51.00 a 122.0	In esercizio, trattamento carboni attivi
12	0150270101	Via Garbiera I	1974	100.00	da 55.00 a 94.00	In esercizio, trattamento carboni attivi
13	0150270102	Via Garbiera II	1974	100.00	da 50.00 a 91.00	In esercizio, trattamento carboni attivi
14	0150270103	Via Repubblica I	1982	100.00	da 45.50 a 88.50	In esercizio, trattamento carboni attivi
15/1	0150270159	Via Attimo colonna I	1998	200.00	da 47.00 a 87.50	In esercizio, trattamento carboni attivi
15/2	0150270160	Via Attimo	1998	200.00	da 111.3 a 161.5	In esercizio

		colonna 2				
<b>COMUNE DI SENAGO</b>						
1	0152060001	Via Piave	1951	60.00	da 38.23 a 42.28 da 47.70 a 53.70 da 56.00 a 58.00	Cementato
2	0152060002	Via Verdi	1959	68.00	da 30.00 a 34.00 da 41.00 a 43.00 da 44.00 a 57.00 da 58.00 a 66.00	In rete, impianto trattamento carboni attivi
3	0152060003	Via Repubblica	1964	80.00	da 50.10 a 67.50	Pozzo fermo
4	0152060004	Via Adda	1971	104.00	da 41.29 a 42.28 da 54.92 a 64.11	In rete, impianto trattamento carboni attivi
6	0152060006	Via 25 Aprile – P.za Moro	1981	103.20	da 52.50 a 57.60 da 61.00 a 64.00 da 78.85 a 81.87 da 82.70 a 87.26 da 88.09 a 92.65 da 93.48 a 95.00	In rete, impianto trattamento carboni attivi
8/1	0152060036	Via Benedetto croce	1999	190.00	da 123.7 a 129.7	In rete
8/2	0152060037	Via Benedetto Croce	1999	190.00	da 155.0 a 155.6 da 173.2 a 177.7	In rete previo trattamento con carboni attivi
9/1	0152060044	Via Repubblica – via Treves – via Madrid	2012	138	Da 45 a 57	In rete
9/2	0152060045	Via Repubblica – via Treves – via Madrid	2012	138	Da 85.5 a 91.5 Da 115.5 a 124.5	In rete

I pozzi che risultano maggiormente protetti sono il 15/2 di Bollate ed 8/1 e 9/1 - 9/2 di Senago, che captano solamente dal gruppo acquifero n° 3; tali pozzi sono anche gli unici a non necessitare degli impianti di trattamento a carboni attivi.

Gli altri pozzi captano le acque ad una quota minima 30 metri da p.c (pozzo 2 di Senago) ed, in generale, ad almeno 40 m. dal p.c. stesso.

Tale quota li porta ad attingere nel Gruppo acquifero B.

Alcuni pozzi captano solamente tale acquifero, mentre altri pozzi captano sia l'acquifero B che il C. Il Gruppo acquifero B è caratterizzato ad una falda libera e/o semiconfinata ed un livello di protezione idrogeologica che dipende essenzialmente dallo spessore e dalla continuità dei livelli argillosi di separazione con il soprastante Gruppo A.



I pozzi potabili del Comune di Bollate più vicini alle vasche (comunque oltre 1 km), a valle delle stesse lungo la direzione di flusso, sono i numeri 12 e 13.

CONSORZIO PER L'ACQUA POTABILE AI COMUNI DELLA PROVINCIA DI MILANO

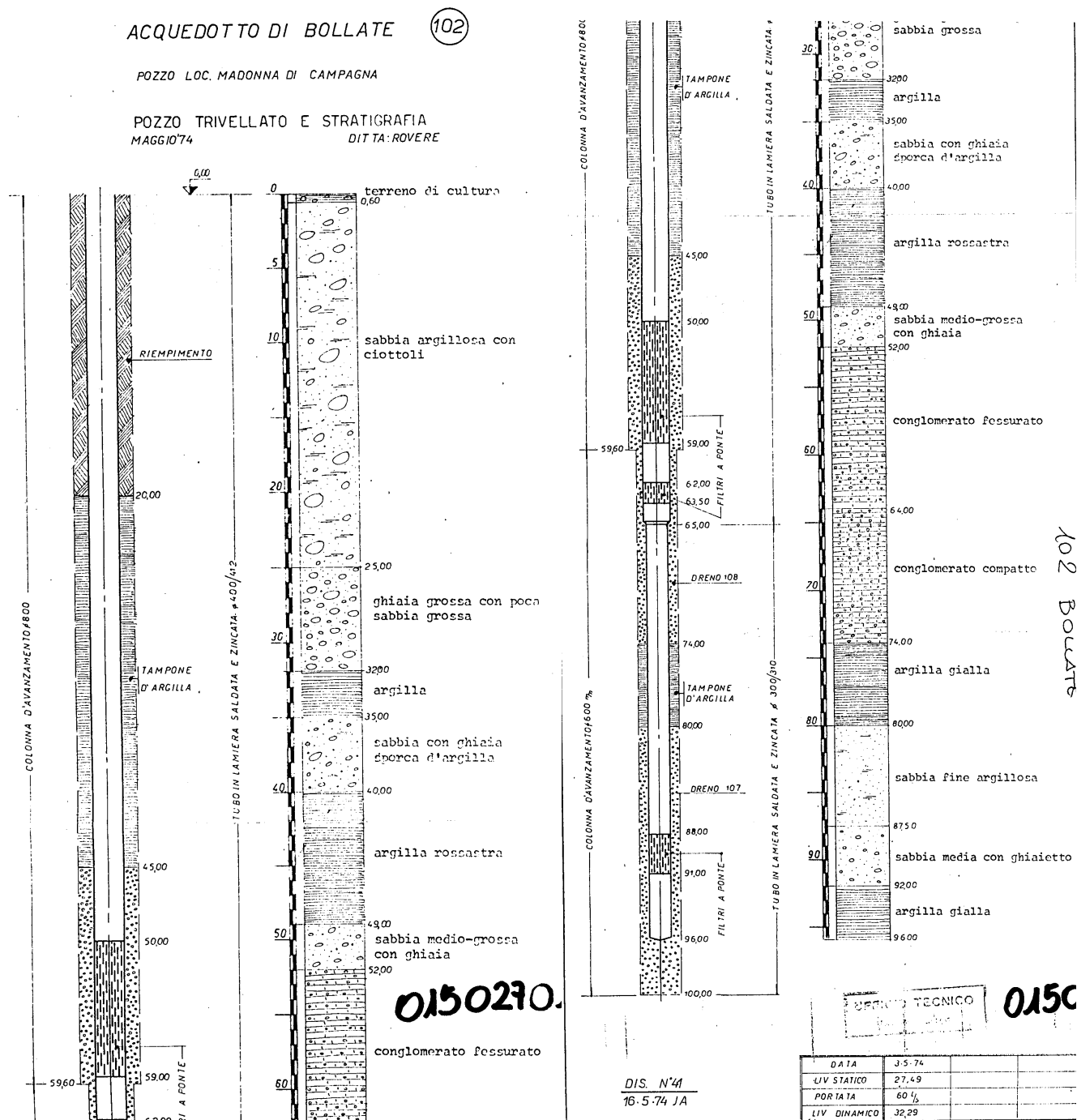


Fig. 37: Stratigrafie e caratteristiche tecniche costruttive del pozzo potabile di Bollate 0150270102 (n° 13)

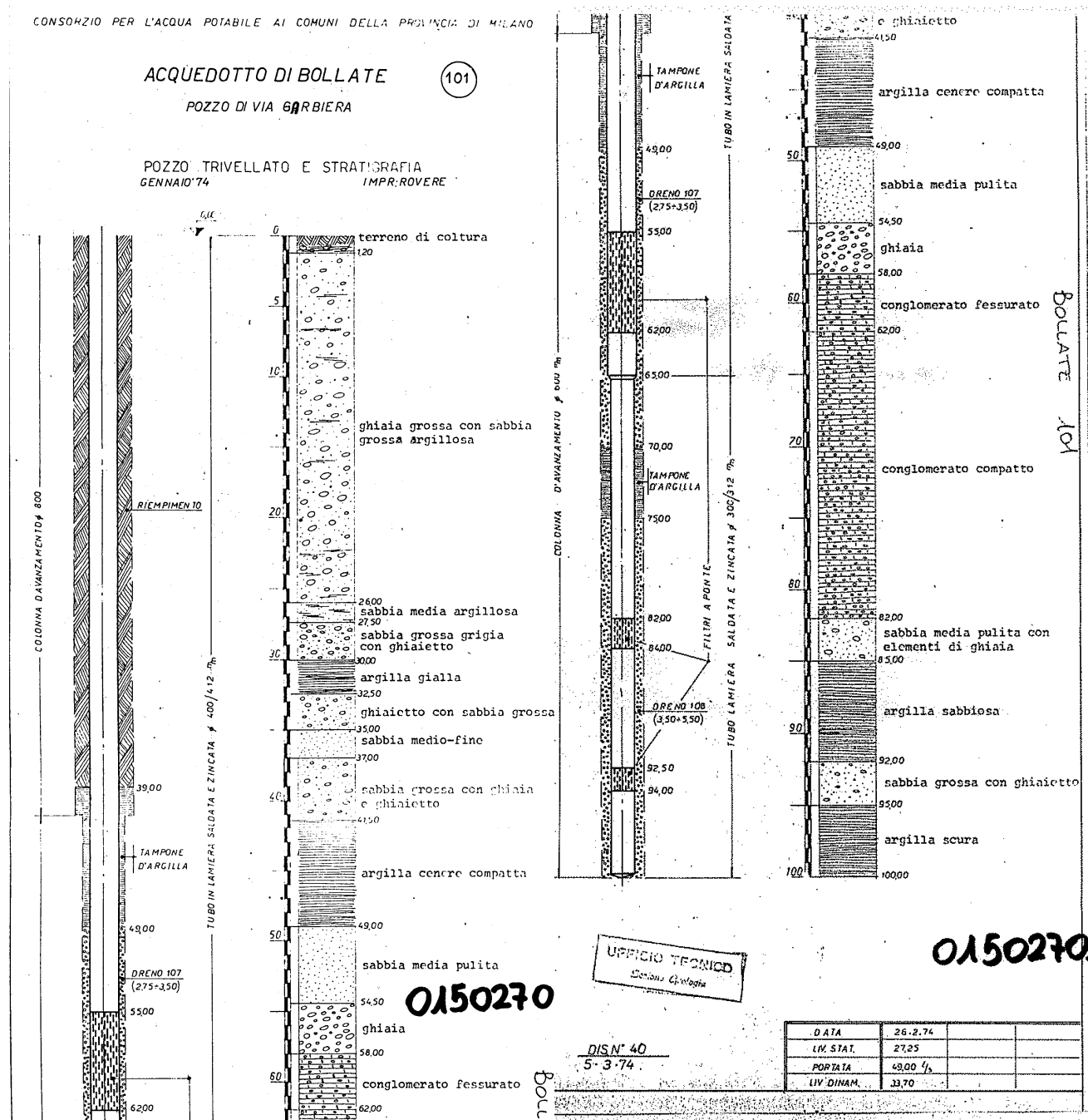


Fig. 38: Stratigrafia e caratteristiche tecniche costruttive del pozzo potabile di Bollate 0150270101 (n° 12)

Le fenestrature partono da 50 metri da p.c. e quindi attingono, nella parte più superficiale, all'acquifero B.

In base alle stratigrafie lo stesso risulta separato dall'acquifero A da due livelli di argilla, posti tra 30 e 35 metri (spessore circa 3 metri) e tra 40 e 49 metri (spessore circa 7-8 metri).

*La sezione idrogeologica A-B di tavola 2.3, realizzata circa lungo la direzione di flusso della falda (NW – SE), conferma, sulla base dei dati stratigrafici censiti, la sostanziale continuità del setto argilloso di separazione degli acquiferi A e B, con spessori variabili ed in diminuzione da nord a sud (oltre la decina di metri, distribuiti su due strati ad una quota compresa tra 30 e 50 m da p.c. a nord, un minimo di 3-4 metri verso sud).*

*La sezione idrogeologica C-D di tavola 2.3, realizzata trasversalmente alla direzione di flusso della falda, evidenzia quanto era già stato esposto al par. 4.2 (fig. 20 – 21) ed al par. 5.5 (fig. da 33 a 36), e cioè la tendenza del setto argilloso di separazione dei due acquiferi ad assottigliarsi ed a divenire discontinuo in direzione est, fino a risultare assente.*

## **7.0 QUALITA' DELLE ACQUE SOTTERRANEE**

### **7.1 QUADRO COMPLESSIVO DELLA QUALITA' DELLE ACQUE SOTTERRANEE**

Per un inquadramento complessivo, sia a scala Provinciale che a livello Comunale, della qualità delle acque nell'acquifero superficiale (acquifero A) e nell'acquifero tradizionale (A+B insieme) è possibile fare riferimento agli studi condotti da IRSA – CNR per conto della Provincia di Milano nel 2007 “Progetto Qualfalda II - Lo stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei in Provincia di Milano: Rapporto Finale”.

Lo studio ha raccolto, analizzato ed elaborato i dati di qualità delle acque, come derivanti dalle analisi eseguite tra il 2000 ed il 2006, su 667 pozzi e piezometri, distinti tra Prima Falda (398) ed Acquifero Tradizionale (269).

La classificazione dello stato delle acque sotterranee è stato infine valutato in base alla seguente tabella (D. Lgs. 152/06):

Classe 1	Impatto antropico nullo o trascurabile, con pregiate caratteristiche idrochimiche
Classe 2	Impatto antropico ridotto e sostenibile sul lungo periodo, con buone caratteristiche idrochimiche
Classe 3	Impatto antropico significativo, con caratteristiche idrochimiche generalmente buone, ma con alcuni segnali di compromissione
Classe 4	Impatto antropico rilevante, con caratteristiche idrochimiche scadenti

L'eventuale presenza di inquinanti organici od inorganici con concentrazioni superiori ai limiti di legge determina una classificazione automatica in classe 4.

Le verifiche hanno riguardato sia i parametri chimici di base del D. Lgs. 152/99 (conducibilità, cloruri, solfati, nitrati, ammoniaca, ferro e manganese) che i parametri addizionali di cui al D. Lgs. 152/2006.

	A.T.P.: 	Studio Associato di <i>Geologia Spada</i>	Dott. Ing. <i>C. Tonetto</i>	Consulenti: 	Prof. Dott. <i>V. Mezzanotte</i>
---	--	--	---------------------------------	--	-------------------------------------

I parametri inorganici scelti sono: arsenico, cadmio, cromo esavalente, cromo totale, nichel, piombo, rame, zinco.

Per i parametri organici sono i solventi clorurati: 1,2 dicloropropano, 1,1,1 tricloroetano, tetracloroetilene, tricloroetilene, triclorofluorometano e, infine, il totale dei composti organo-alogenati; i solventi aromatici: benzene, etilbenzene, toluene, (o+p+m) xileni ed i fitofarmaci: alaclor, ametrina, atrazina, metolacolor, terbutilazina e il totale degli antiparassitari.

Per ogni tipologia sono state prodotte, ove significative, delle carte dei valori rinvenuti, suddivisi in range, e delle carte con la classe di qualità relativamente al singolo parametro.

La sintesi è costituita da quattro carte che rappresentano, per tutto il territorio provinciale (con possibilità di individuare i singoli Comuni interessati):

- classi di qualità chimica SCAS in Prima Falda per tutti i parametri di base;
- classi di qualità chimica in Prima Falda per tutti i parametri di base ed addizionali;
- classi di qualità chimica SCAS in Prima e Seconda Falda per tutti i parametri di base;
- classi di qualità chimica in Prima e Seconda Falda per tutti i parametri di base ed addizionali;

Le immagini seguenti, tratte dalla pubblicazione sopra citata, visualizzano la situazione.

Sulle carte è stata evidenziata la zona di intervento, al confine tra i comuni di Senago e Bollate.



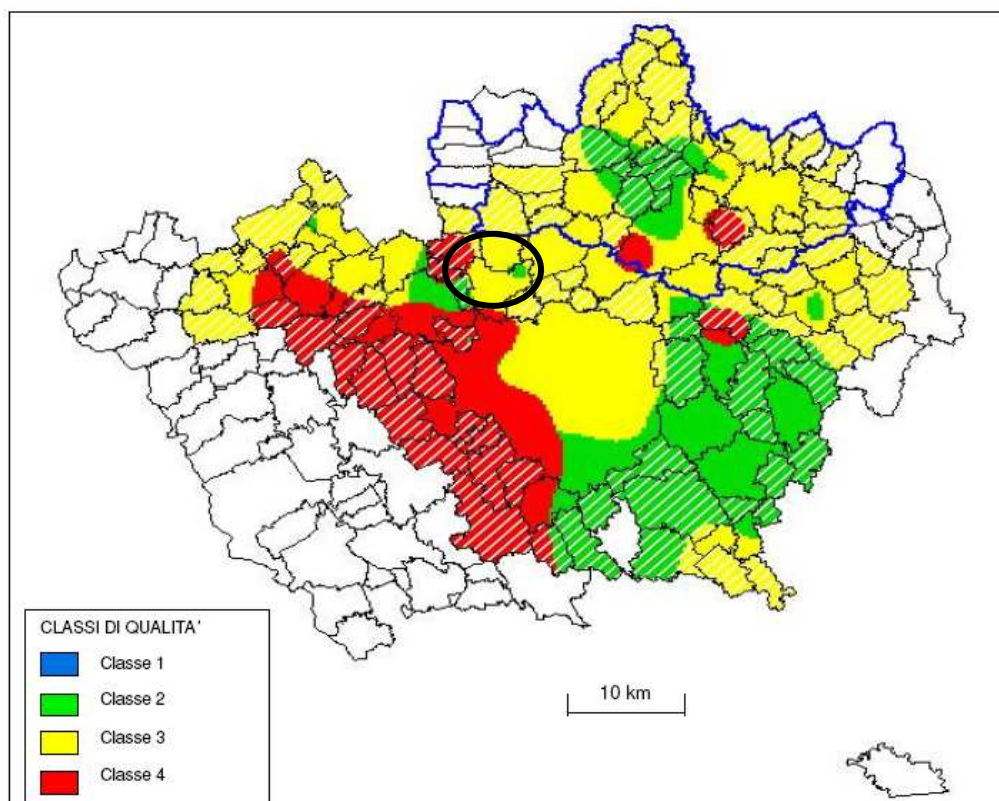


Fig. 39: Classi di qualità chimica SCAS in Prima Falda per tutti i parametri di base

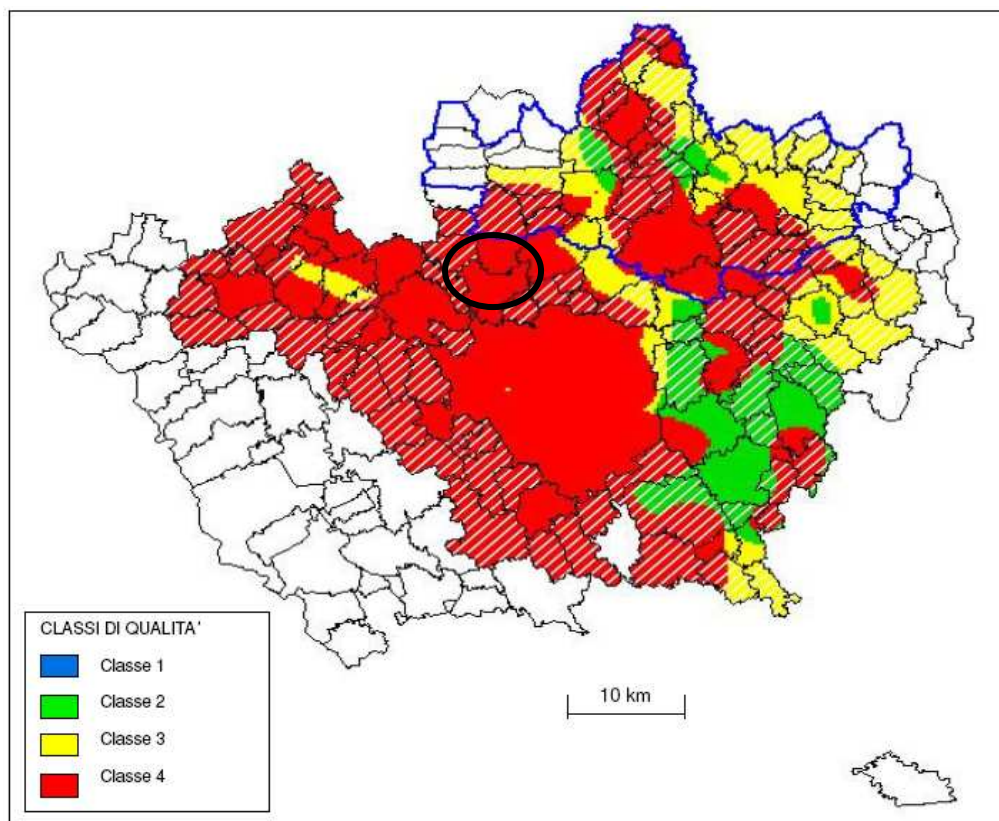


Fig. 40: Classi di qualità chimica in Prima Falda per tutti i parametri di base ed aggiuntivi

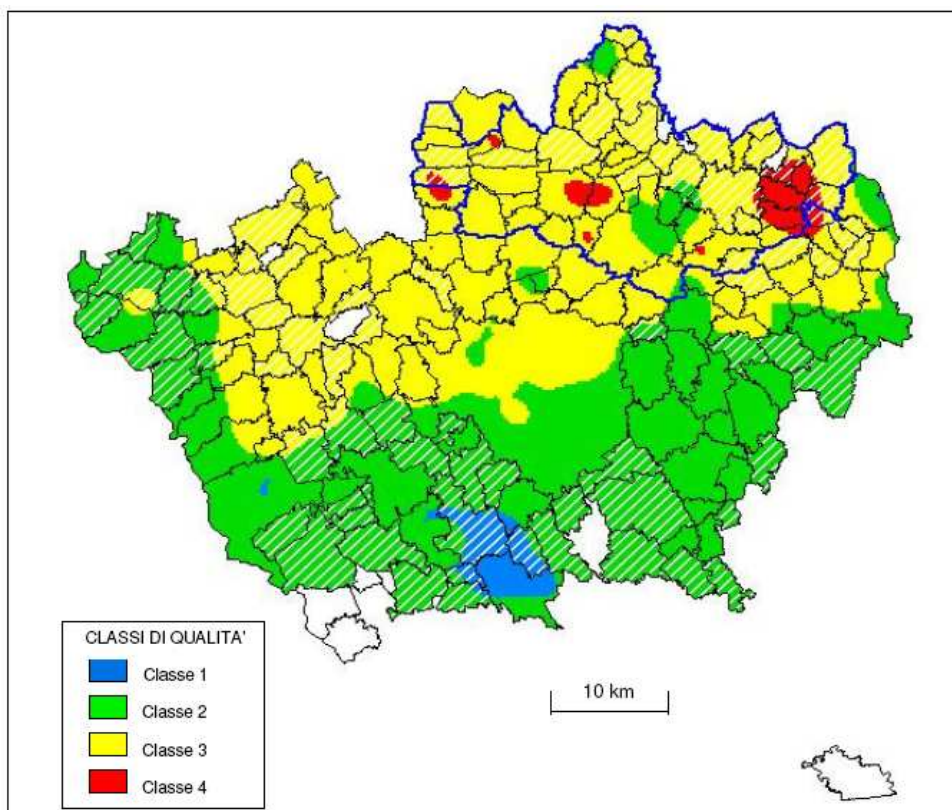


Fig. 41: Classi di qualità chimica SCAS in Prima e Seconda Falda per tutti i parametri di base

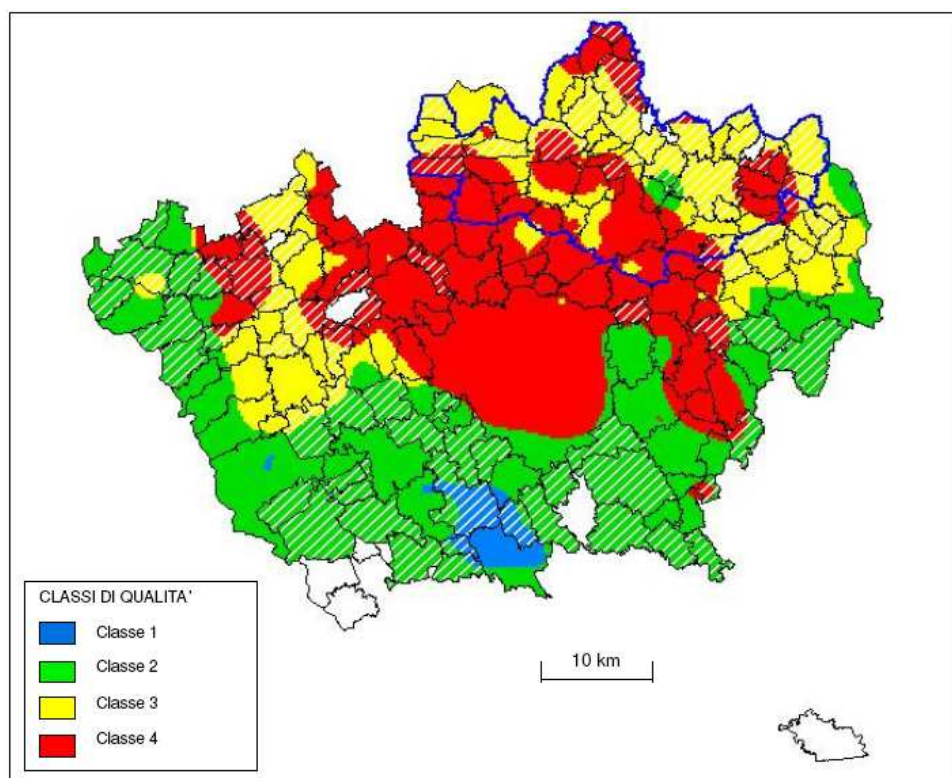


Fig. 42: Classi di qualità chimica in Prima e Seconda Falda per tutti i parametri di base ed addizionali

I territori di Senago e Bollate presentano le seguenti caratteristiche di qualità:

CLASSE 3 - impatto antropico significativo – alcuni segnali di compromissione:

Prima Falda – parametri di base

Prima e Seconda falda – parametri di base

CLASSE 4 – impatto antropico rilevante – caratteristiche idrochimiche scadenti

Prima Falda – parametri di base ed aggiuntivi

Prima e Seconda falda – parametri di base ed aggiuntivi

I dati relativi alla qualità delle acque dei territori di Bollate e Senago sono confermati anche dallo studio di ARPA Lombardia – Dipartimento di Milano sullo stato delle acque sotterranee della Provincia di Milano per l'anno 2012.

Al par. 5 dello studio viene effettuata la valutazione della qualità delle acque sotterranee per i punti monitorati nel 2012 in relazione allo stato chimico, con l'indicazione del punteggio SCAS, degli inquinanti causa di attenzione e di abbassamento del punteggio.

La situazione è la seguente:

Bollate:      SCAS: classe 4

Cause di attenzione: Tricloroetilene – Sommatoria organo-alogenati

Cause SCAS scarso: Cromo totale – Cromo VI – Tetracloroetilene – Triclorometano

Senago:      SCAS: classe 4

Cause di attenzione: Nitrati

Cause SCAS scarso: Triclorometano – Tricloroetilene – Tetracloroetilene –

Esaclorobutadiene – Sommatoria organo-alogenati.



## 7.2 QUALITA' DELLE ACQUE SOTTERRANEE DEI POZZI POTABILI DI SENAGO E BOLLATE

Le acque dell'acquifero superiore (Gruppo acquifero B) presentano le seguenti caratteristiche:

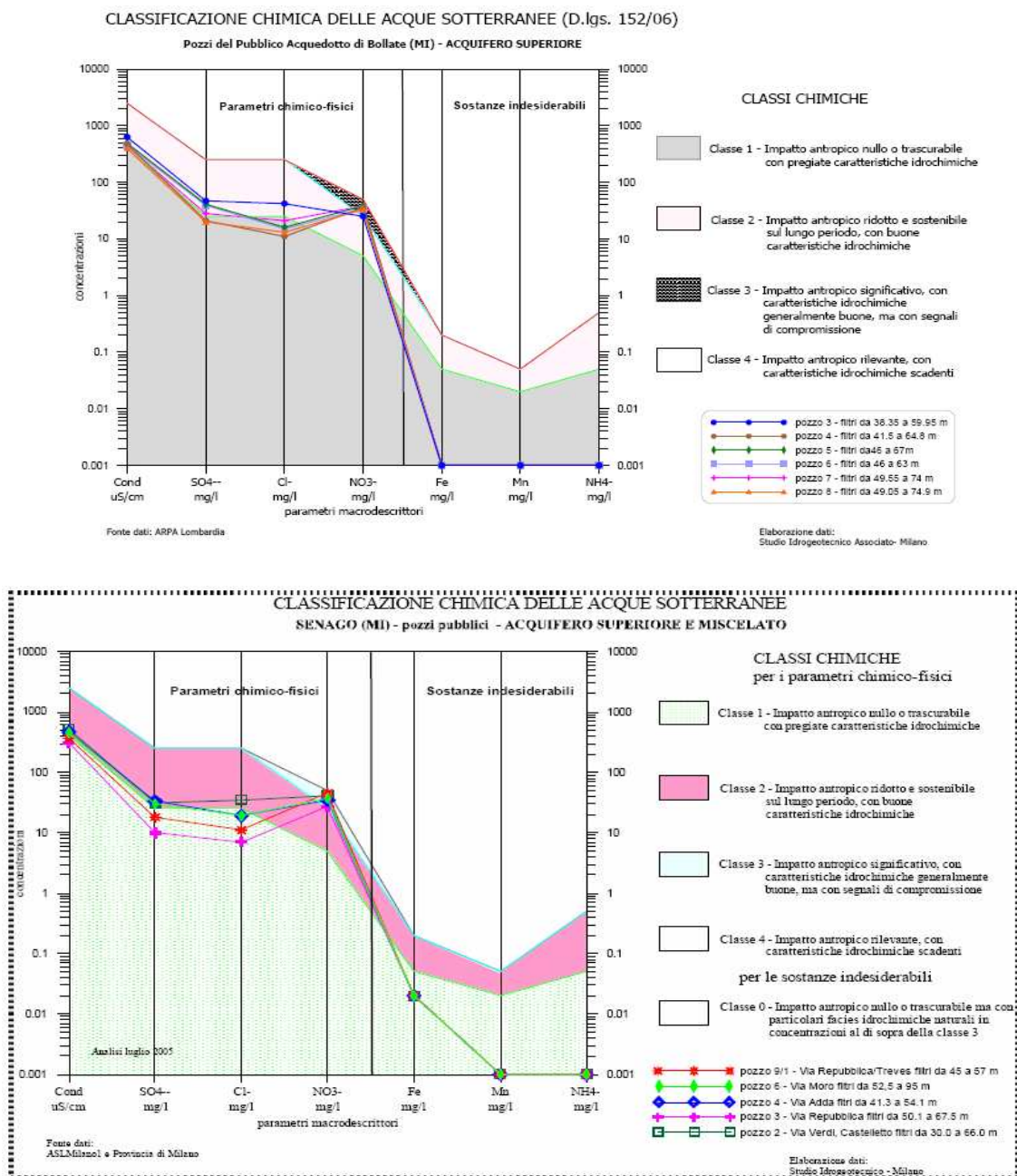


Fig. 43: Classificazione chimica delle acque sotterranee (D. Lsg. 152/06) dei pozzi potabili di Bollate (sopra) e di Senago (sotto) in acquifero superiore (fonte: Componente geologica dei PGT di Senago e Bollate – dr. Efrem Ghezzi)

Lo stato chimico delle acque di questi pozzi ricade in classe 3 – *impatto antropico significativo, con caratteristiche idrochimiche generalmente buone, ma con segnali di compromissione*.

I parametri che condizionano tale classificazione sono i nitrati presenti.

Anche le acque prelevate nei pozzi che interessano sia l'acquifero superiore che profondo, quando sono miscelate mostrano le medesime caratteristiche.

I pozzi del Comune di Senago e di Bollate presentano una situazione equiparabile.

Questo acquifero presenta, a partire dalle analisi del 1977-78, una grave compromissione per elevate concentrazioni di solventi organoalogenati. Tale inquinamento ha reso necessario il trattamento a carboni attivi per la potabilità.

Le acque dell'acquifero profondo (Gruppo acquifero C) presentano le seguenti caratteristiche:

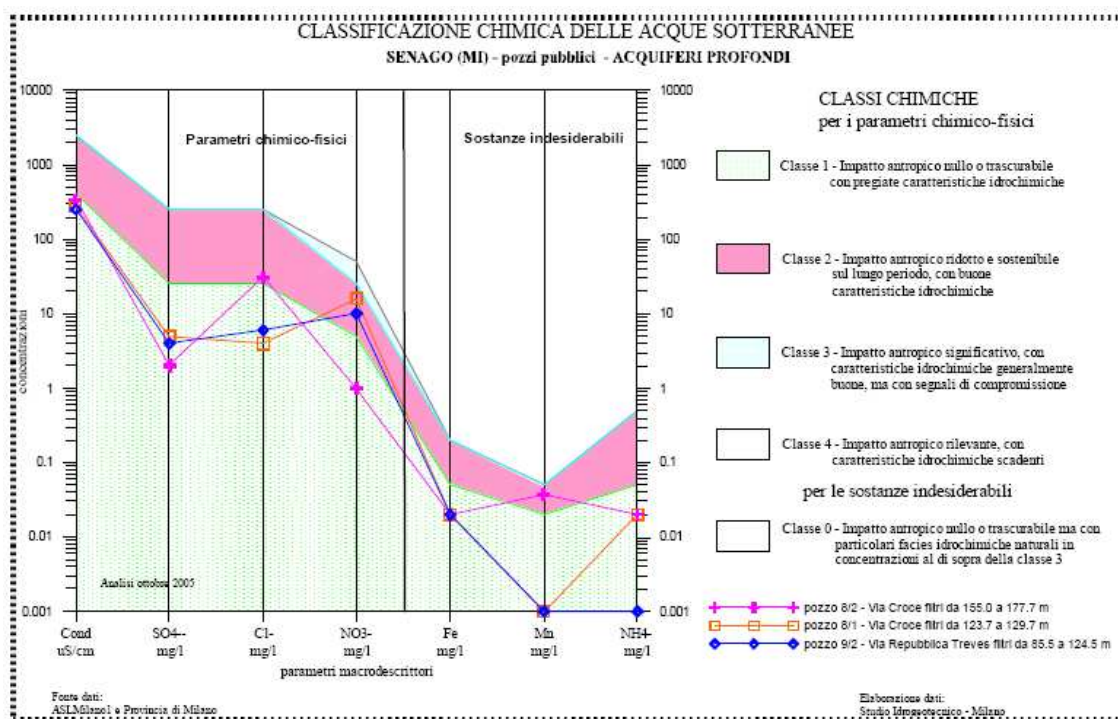


Fig. 44: Classificazione chimica delle acque sotterranee (D. Lsg. 152/06) dei pozzi potabili di Senago in acquifero superiore (fonte: Studio geologico di Senago)



Tali acque risultano con un livello qualitativo superiore (classe 1 e 2), con ridotto impatto antropico e buone caratteristiche idrochimiche.

Dai risultati delle analisi effettuate sulle acque prelevate nei pozzi pubblici tra il 1980 e il 2012, si rileva la presenza quasi ovunque di composti organoalogenati.

In particolare i solventi dominanti sono il tetracloroetilene, il tricloroetilene e il cloroformio, il metilcloroformio e il freon11. La presenza comporta la necessità, evidenziata nella tabella contenente l'elenco dei pozzi potabili, di procedere al trattamento delle acque con carboni attivi prima della distribuzione in rete.

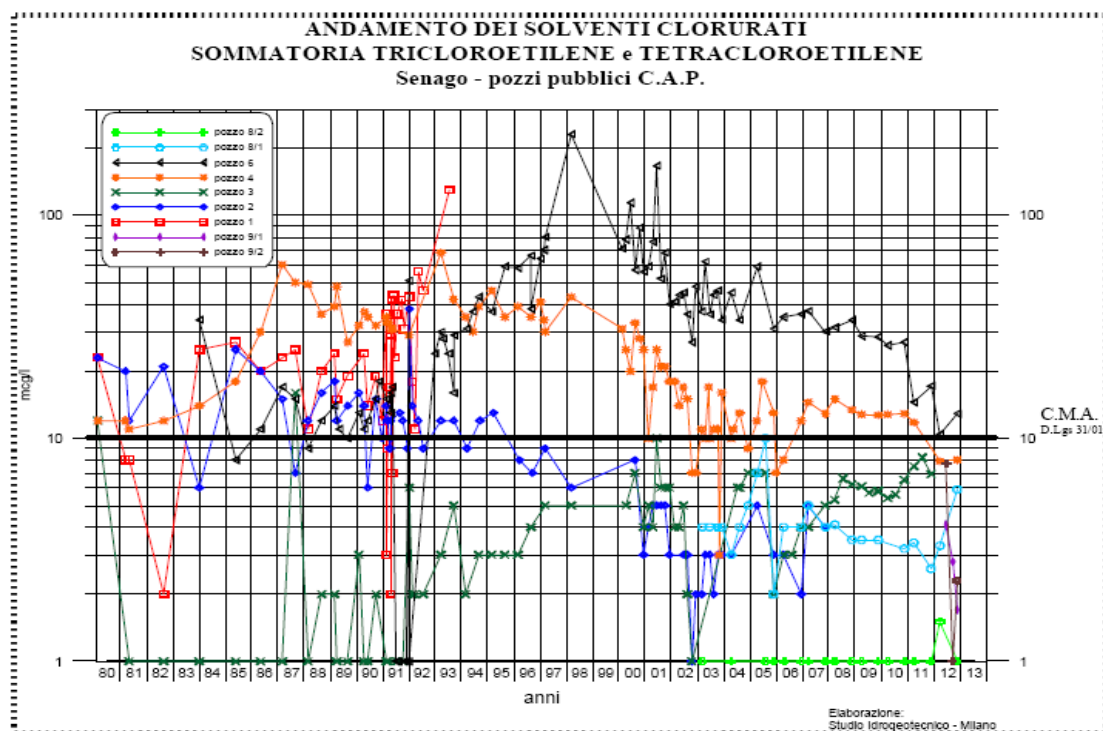


Fig. 45: Andamento della sommatoria tricloroetilene-tetracloroetilene nei pozzi potabili di Senago (fonte: Studio geologico di Senago – CMA: concentrazione massima ammissibile)

Nel territorio di Senago e Bollate, problematiche qualitative per la storica presenza in falda di solventi clorurati (tricloroetilene), sono evidenziate anche dalla Prov. di Milano nella pubblicazione “Fenomeni di contaminazione delle acque sotterranee nella Prov. di Milano – Indagini per l’individuazione dei focolai – Titolo IV L.R. 62/85”, aprile 2002.

### 7.3 QUALITA' DELLE ACQUE SOTTERRANEE NELL'AREA DI INTERVENTO

Al fine di verificare la qualità delle acque nell'area di intervento si è proceduto ad un campionamento ed ad un'analisi dei principali parametri addizionali.

Il campionamento è stato effettuato nel piezometro presso l'area di intervento e quindi i parametri sono relativi alla Prima Falda (il piezometro arriva a soli 35 metri dal p.c.).

**SVR srl**

ESSEVIERRE AMBIENTE

## RAPPORTO DI PROVA

Laboratorio di Prova - Via Roma s/n, Zona Artigianale - 27010 Giussago (PV) - Telefono : 0382 / 927096 Fax : 0382 / 927952

N°. **3425** del **20/10/2014**

N°, Protocollo : <b>3347</b>	
Committente : <b>EUROGEO Srl Via Sentirone, 10 - Paderno Dugnano - 20037 - MI</b>	
Data ricevimento Campioni in laboratorio : <b>10/10/2014</b>	Data Campionamento : <b>08/10/2014</b>
Data Inizio Prove : <b>10/10/2014</b>	Data Fine Prove : <b>20/10/2014</b>
Ns Codice : <b>00000476 - 000 -</b>	Codice C.E.R. :
Origine : <b>AIPO - Senago</b>	
Prelevato da : <b>A cura del committente</b>	
Relativo a : <b>Acque sotterranee - campione S2</b>	
Aspetto : <b>Liquido incolore</b>	

Metodica	Parametri	U.M.	Val. Limite	Risultato
<b>" Analisi secondo il Dlgs. 152/06 -limiti acque sotterranee"</b>				
APAT CNR IRSA 3020 Man 29 2003	Zinco	µg/l	3000	<50
APAT CNR IRSA 3020 Man 29 2003	Nichel	µg/l	20	24
APAT CNR IRSA 3020 Man 29 2003	Cromo totale	µg/l	50	<10
APAT CNR IRSA 3020 Man 29 2003	Rame	µg/l	1000	<50
APAT CNR IRSA 3200 A1 Man 29 2003	Mercurio	µg/l	1	<0,5
APAT CNR IRSA 3150 B2 Man 29 2003	Cromo VI	µg/l	5	<3
APAT CNR IRSA 3080 A Man 29 2003	Arsenico	µg/l	10	<2
APAT CNR IRSA 3020 Man 29 2003	Cobalto	µg/l	50	<10
APAT CNR IRSA 3120 B Man 29 2003	Cadmio	µg/l	5	<0,5
APAT CNR IRSA 3230 B Man 29 2003	Piombo	µg/l	10	15
UNI EN ISO 9377-2:2002	Idrocarburi totali (come n- esano)	µg/l	350	<30
APAT CNR IRSA 5090 Man 29 2003	Alfa BHC	µg/l	0.1	<0,02
APAT CNR IRSA 5090 Man 29 2003	Beta BHC	µg/l	0.1	<0,02
APAT CNR IRSA 5090 Man 29 2003	Lindano (gamma BHC)	µg/l	0.1	<0,02
APAT CNR IRSA 5090 Man 29 2003	Aldrin	µg/l	0.03	<0,02
APAT CNR IRSA 5090 Man 29 2003	Dieldrin	µg/l	0.03	<0,02
APAT CNR IRSA 5090 Man 29 2003	Endrin	µg/l	0.1	<0,02
APAT CNR IRSA 5090 Man 29 2003	DDD-DDT-DDE	µg/l	0.1	<0,02
APAT CNR IRSA 5090 Man 29 2003	Clordano	µg/l	0.1	<0,02
APAT CNR IRSA 5090 Man 29 2003	Alaclor	µg/l	0.1	<0,02

L'analisi conferma per la zona di intervento, relativamente alla Prima Falda, una

CLASSE 4 – impatto antropico rilevante – caratteristiche idrochimiche scadenti

## 8.0 INTERFERENZE TRA LE OPERE DI PROGETTO E L'ASSETTO IDROGEOLOGICO

Nel paragrafo 5.3 sono stati illustrati i dati relativi alle oscillazioni della prima falda nella zona interessata dalla realizzazione delle vasche.

I dati dei pozzi potabili di Bollate e Senago hanno consentito di analizzare le oscillazioni nel lungo periodo (dagli anni '70), mentre il piezometro realizzato per il presente intervento nella zona delle vasche ha consentito di acquisire dati di dettaglio sul livello piezometrico tra il 2013 ed il maggio 2015.

Il valore massimo registrato al piezometro è quello relativo alla misura effettuata nel marzo 2015, con una quota piezometrica pari a 150,056 m. s.l.m. Utilizzando come raffronto anche i dati dei pozzi, è possibile affermare che la quota piezometrica attuale si attesta al limite superiore delle oscillazioni subite dalla falda a partire dal 1975.

Il fondo delle vasche (settore 2 e 3) si attesta a quota 149 m. s.l.m., quindi circa 1 metro al di sotto del massimo livello della falda; gli interventi di scavo per la realizzazione dell'ultimo metro delle vasche e del pacchetto di impermeabilizzazione ed appesantimento del fondo avverranno quindi in falda.

Questa situazione implica la necessità di una serie di interventi, sia per la fase di realizzazione delle opere che per il funzionamento a regime. Gli interventi devono essere in grado di gestire questa interferenza, dal punto di vista qualitativo (impermeabilizzazione delle vasche per una separazione totale delle acque invase rispetto a quelle del sottosuolo) e da quello quantitativo (abbassamento per i lavori, metodi per garantire la stabilità dell'impermeabilizzazione in relazione all'altezza della falda, ecc.). Di seguito si illustrano tali elementi.

## **8.1 ABBASSAMENTO DELLA FALDA PER I LAVORI – IMPATTI IDROGEOLOGICI**

La prima fase di interferenza con la falda è quella relativa alla realizzazione delle vasche di progetto.

Il fondo della vasche è previsto a quota 149 m. s.l.m., ma per poter realizzare tutte le opere necessarie all'impermeabilizzazione del fondo ed alla sua stabilizzazione, sarà necessario scavare fino a quota 147,5 - 147 m. s.l.m. circa.

La massima quota di falda registrata, come sopra dettagliato, è pari a 150 m. s.l.m. nel piezometro presso le vasche.

Per le seguenti valutazioni ed analisi si è ritenuto di considerare come falda di riferimento il massimo valore registrato + 1 metro di franco, quindi una quota di circa 151 m. s.l.m. presso il piezometro delle vasche.

In queste condizioni di progetto, la parte finale dello scavo per la realizzazione delle vasche avverrà in falda, con un battente massimo di circa 4 metri.

Sarà quindi necessario, durante il cantiere, operare un abbassamento della falda stessa per poter operare correttamente ed in sicurezza.

In aggiunta a ciò la posa del telo bentonitico presuppone l'assenza di falda affiorante sulla superficie ed è quindi necessario operare una sua depressione al di sotto del piano di lavoro.

Si è quindi proceduto alla simulazione di un'attività di "dewaterig" dell'area delle vasche, a mezzo di pozzi di emungimento perforati.



Le analisi sono state condotte inizialmente con l'ausilio del software WhAEM2000 (Wellhead Analytic Element Model), sviluppato dall'Agenzia Statunitense per la Protezione dell'Ambiente (U.S. EPA)

Il programma è basato sull'analisi agli elementi analitici e consente di simulare l'effetto di un'attività di pompaggio sia con metodi semplici (criterio del raggio fisso) che più complessi (pozzo in moto di falda uniforme). La modellazione idrogeologica in condizioni di regime di pompaggio in falda tiene conto di limiti idrogeologici (fiumi, zone di ricarica) discontinuità geologiche, disomogeneità locali di trasmissività, etc..

Il modello idrogeologico di riferimento è quello di cui al par. 5.5; la superficie piezometrica di riferimento è quella del settembre 2013 innalzata di circa 6 metri, per giungere alla quota 151 m. s.l.m. presso il piezometro sulla vasca.

La prima fase del lavoro è stata la ricostruzione dell'ambient flow, utilizzando i dati idrogeologici disponibili e cercando di riprodurre l'andamento della superficie piezometrica di riferimento.

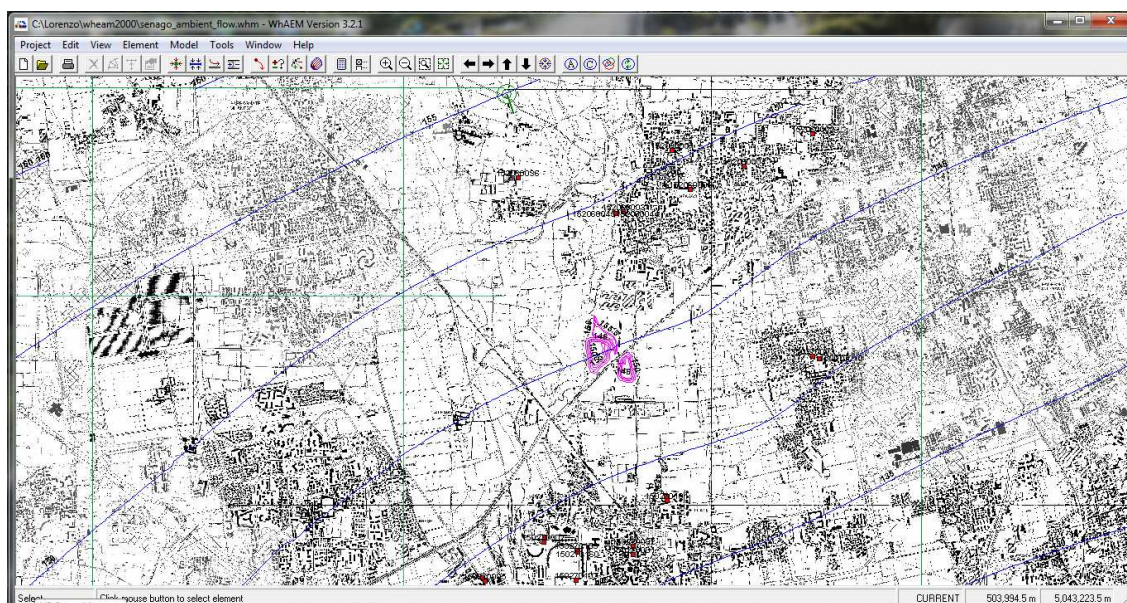


Fig. 46: Importazione mappe, opere di progetto e superficie piezometrica di riferimento



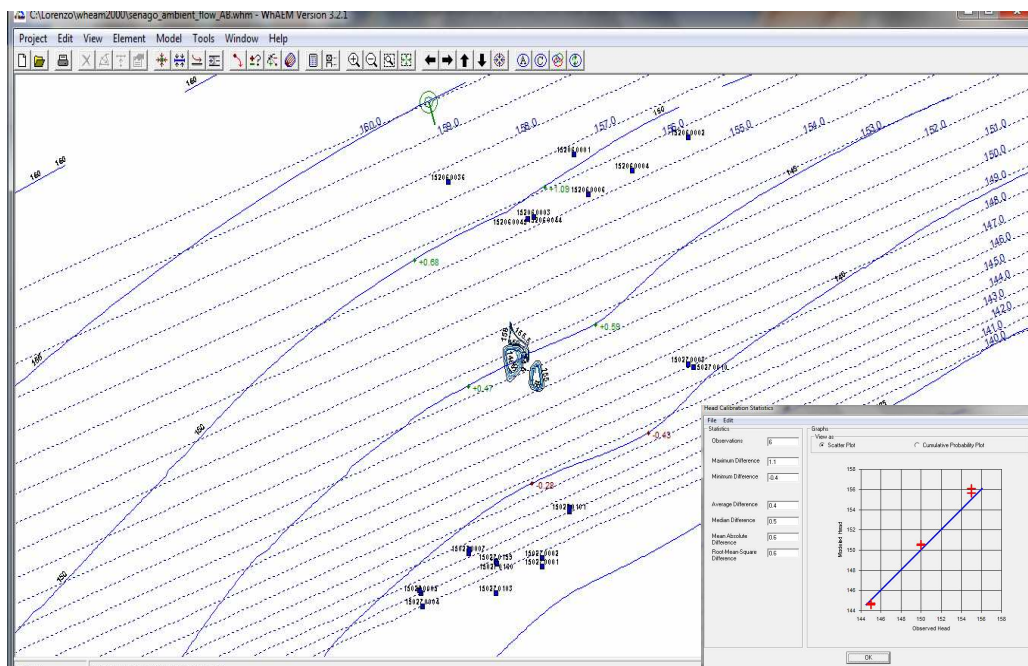


Fig. 47: Fasi di generazione e taratura dell'ambient flow

Nelle simulazioni si sono considerati differenti possibili comportamenti del livello di argilla di separazione tra acquifero A e B: da continuo con separazione totale degli acquiferi a discontinuo e quindi con gli acquiferi totalmente collegati.

L'immagine seguente rappresenta l'andamento delle piezometriche di progetto a seguito delle attività di pompaggio necessarie a portare la quota della falda ad un massimo di 146-147 m. s.l.m.. nella zona delle vasche.

In verde sono rappresentate le linee isopiezometriche della falda di progetto con la quota 151 m. s.l.m. nei pressi delle vasche.

Le linee blu sono le linee isopiezometriche durante l'abbassamento della falda (pompaggi a regime) fino alla quota di 147 m. s.l.m. nella zona delle vasche.

Con i triangoli blu sono evidenziati i pozzi potabili più vicini alla zona di intervento (circa 1 km) rispettivamente in Senago (a monte) ed in Bollate (a valle).

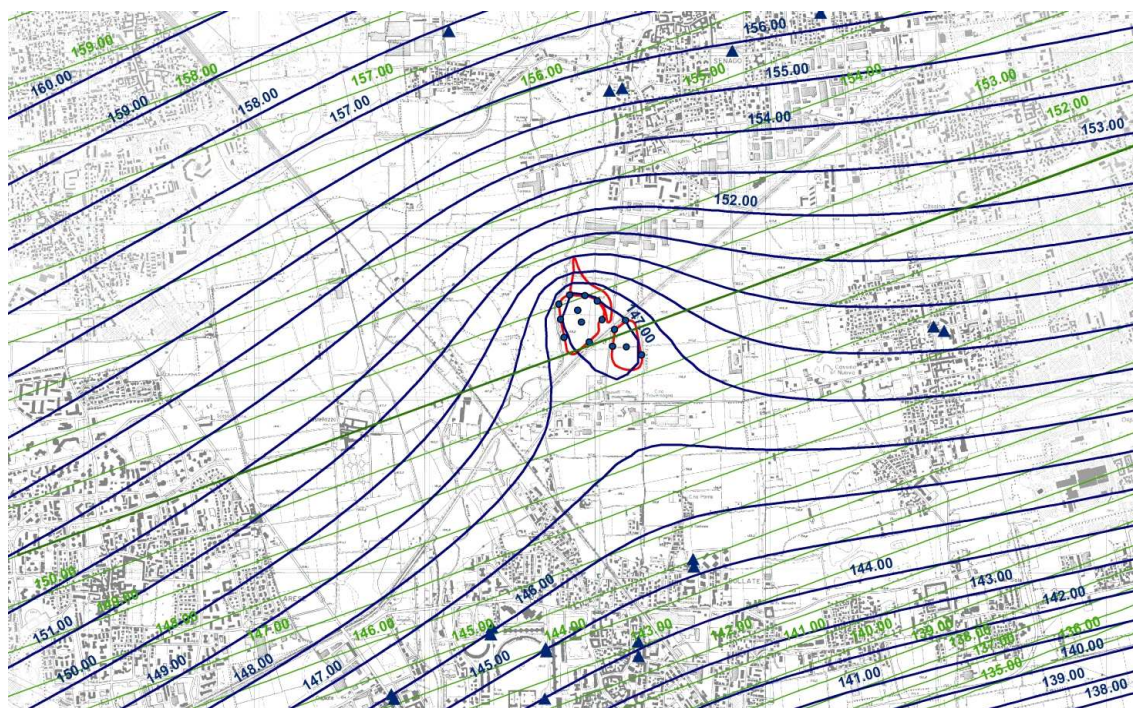


Fig. 48: Effetto dei pompaggi per l'abbassamento della falda

L'azione dei pompaggi causa una notevole accentuazione della pendenza della superficie freatica nella zona immediatamente a monte delle vasche, che però si estende limitatamente. Nei pressi dei pozzi potabili a monte la quota piezometrica iniziale e durante i pompaggi è pressoché coincidente (155 m. s.l.m).

Il richiamo di acqua verso valle causa invece una diminuzione della pendenza media della superficie, con un'area di richiamo che tende poi a riallinearsi all'andamento originario della falda. Anche in questo le variazioni nei pressi dei pozzi potabili a valle ed ad est sono molto contenute (variabili da 0,5 ad 1 metro).

Un locale e temporaneo fenomeno di abbassamento della falda e riduzione delle portate si potrà verificare solo per i pozzi privati nelle vicinanze delle vasche.

Si tratterà comunque di un fenomeno transitorio legato alle fasi esecutive delle vasche e le variazioni previste restano ampiamente entro le variazioni naturali che la falda ha già ampiamente coperto negli ultimi decenni.



E' stata anche effettuata una simulazione, immaginando i pozzi di dewatering come un campo pozzi e valutando la zona di cattura degli stessi ed una sorta di area di protezione, al fine di valutare eventuali interferenze con le aree di salvaguardia dei pozzi potabili posti a monte ed a valle.

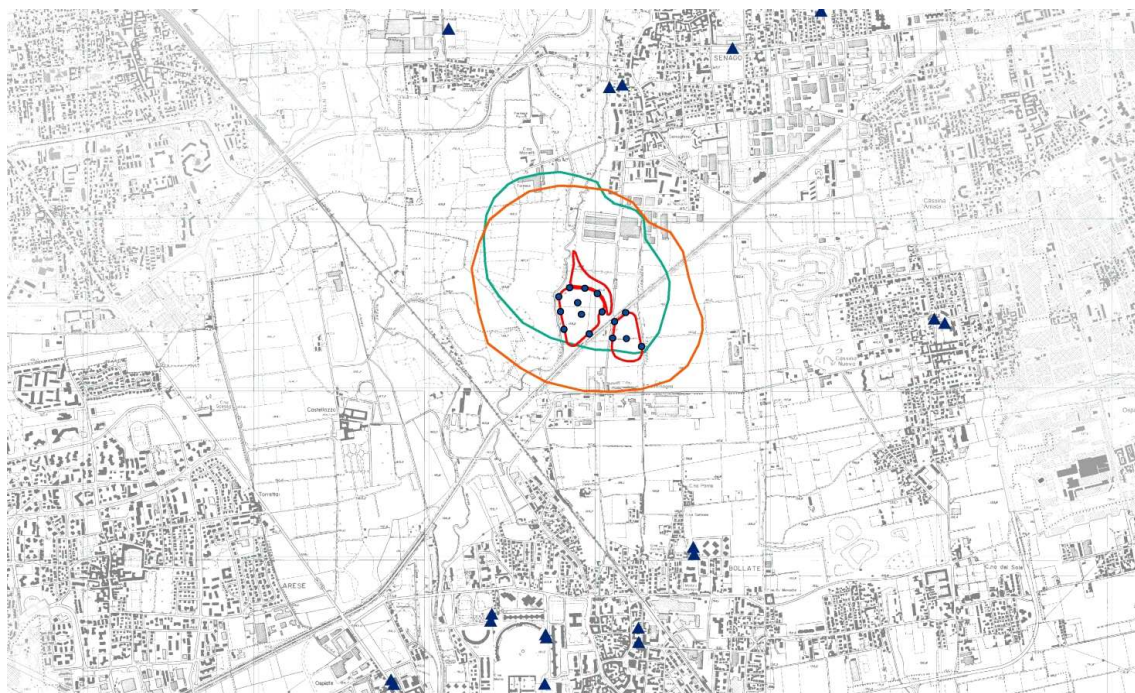


Fig. 49: Aree di cattura dei pozzi di emungimento

L'area di cattura del campo pozzi è stata simulata immaginando l'acquifero tamponato alla base dal livello di argilla (solo acquifero A – linea verde) oppure in totale connessione (acquifero A+B – linea marrone).

I perimetri distano, al meno, circa 500 m dal pozzo potabile più prossimo e quindi sono ampiamente al di fuori delle aree di protezione e di tutela.

Le analisi sono state affinate e verificate anche con un software di modellazione geotecnica agli elementi finiti: MIDAS GTS.

In questo caso, grazie alle potenzialità del software di modellazione, è stato possibile utilizzare esattamente il modello geologico-idrogeologico tridimensionale del par. 5.5., con la presenza della lente di argilla di separazione degli acquiferi A e B che diviene progressivamente discontinua verso est.

Nelle fasi iniziali si è proceduto a simulare lo stato di fatto attuale della falda, in termini di direzione di flusso e pendenza ed imponendo la quota di 151 nei pressi delle vasche (150 m. s.l.m. come massima falda misurata + 1 metro di franco per le simulazioni), esattamente come per le simulazioni con Whaem.

Successivamente è stato predisposto un sistema di pozzi di emungimento nella zona della vasche e si è provveduto a simulare l'effetto degli stessi sulla falda, al fine di ottenere una quota dell'acqua nella zona delle vasche dell'ordine dei 146-147 m. s.l.m., cioè tale da consentire le attività di cantiere.

I risultati, anche se più dettagliati ed accurati rispetto alle analisi precedenti, sono assolutamente simili e mostrano una situazione intermedia tra le due simulazioni precedenti (separazione completa o assenza di separazione tra gli acquiferi), proprio per la presenza del setto discontinuo di argilla.

Le analisi sono state condotte ipotizzando la realizzazione di n° 15 pozzi, disposti come nelle fig. 48 – 49 – 50b, profondi 35 metri, con le caratteristiche tecniche indicate nella tavola D.16, con un emungimento complessivo di 0,3 mc/sec, per ottenere una depressione della falda adeguata (fig. 48 – 50c) a garantire la realizzazione dei lavori.

Alcune immagini significative delle simulazioni effettuate sono di seguito riportate.

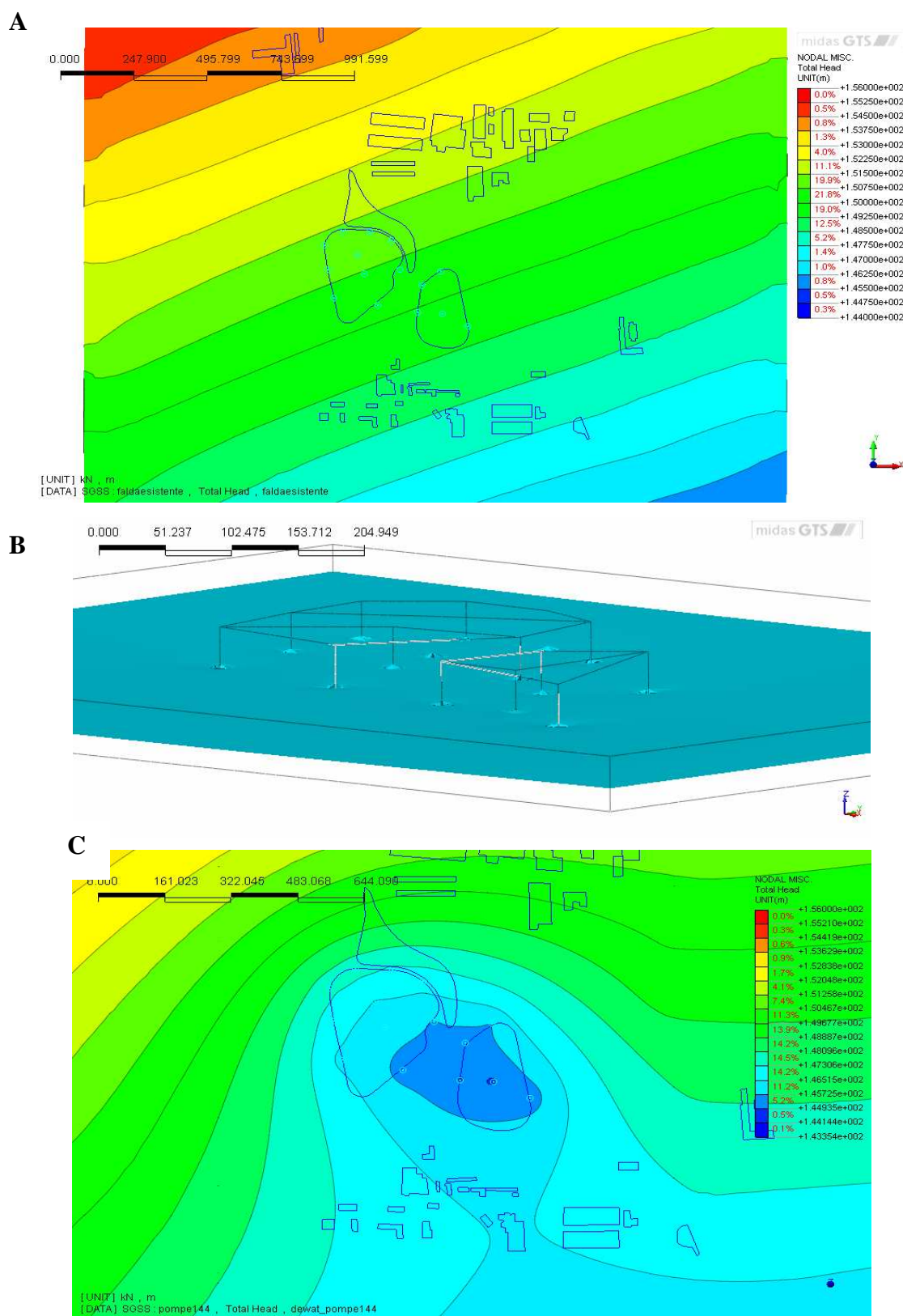


Fig. 50: Simulazioni idrogeologiche con MIDAS GTS: A- ambient flow iniziale – B- simulazione di un campo di pozzi di abbassamento della falda – C - dewatering a regime



## 8.2 ABBASSAMENTO DELLA FALDA PER I LAVORI – IMPATTI GEOTECNICI – INDICAZIONI E PRESCRIZIONI

L'abbassamento della falda comporta una variazione tensionale nei terreni interessati, con un aumento del carico.

La variazione tensionale è chiaramente funzione dell'entità dell'abbassamento e delle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati.

Al fine di verificare l'entità dei cedimenti è stata sviluppata una modellazione semplificata, con il software specialistico di modellazione geotecnica MIDAS GTS.

Le caratteristiche dei terreni sono quelle indicate nella relazione geologica-tecnica ed in particolare i parametri di deformabilità ricavati dalla prove penetrometriche in sito.

Tali valori sono stati integrati con i dati delle indagini geotecniche disponibili nello studio geologico di supporto al PGT di Bollate dello Studio Idrogeotecnico e con gli altri dati reperiti, ed è stata osservata una variazione in aumento della rigidità con la profondità che è stata inserita nel software.

I cedimenti sono stati valutati per tutto lo spessore del livello geologico coincidente con l'acquifero A, fino a 35 m. da p.c.; al di sotto il substrato è stato considerato rigido.

Le variazioni della falda sono quelle descritte al paragrafo precedente, a seguito delle attività di dewatering all'interno del cantiere.

In via cautelativa è stato valutato un abbassamento massimo dell'acqua al centro delle vasche di circa 6-7 metri, a partire dalla quota piezometrica di progetto 151 m. s.l.m. presso il piezometro.

Le immagini seguenti mostrano l'andamento dei cedimenti in superficie, come calcolato dal modello.

L'emungimento genera un bacino di influenza della subsidenza in superficie.

Per semplicità di visualizzazione sono stati riportati sia il perimetro delle vasche che i principali edifici presenti all'esterno delle vasche.

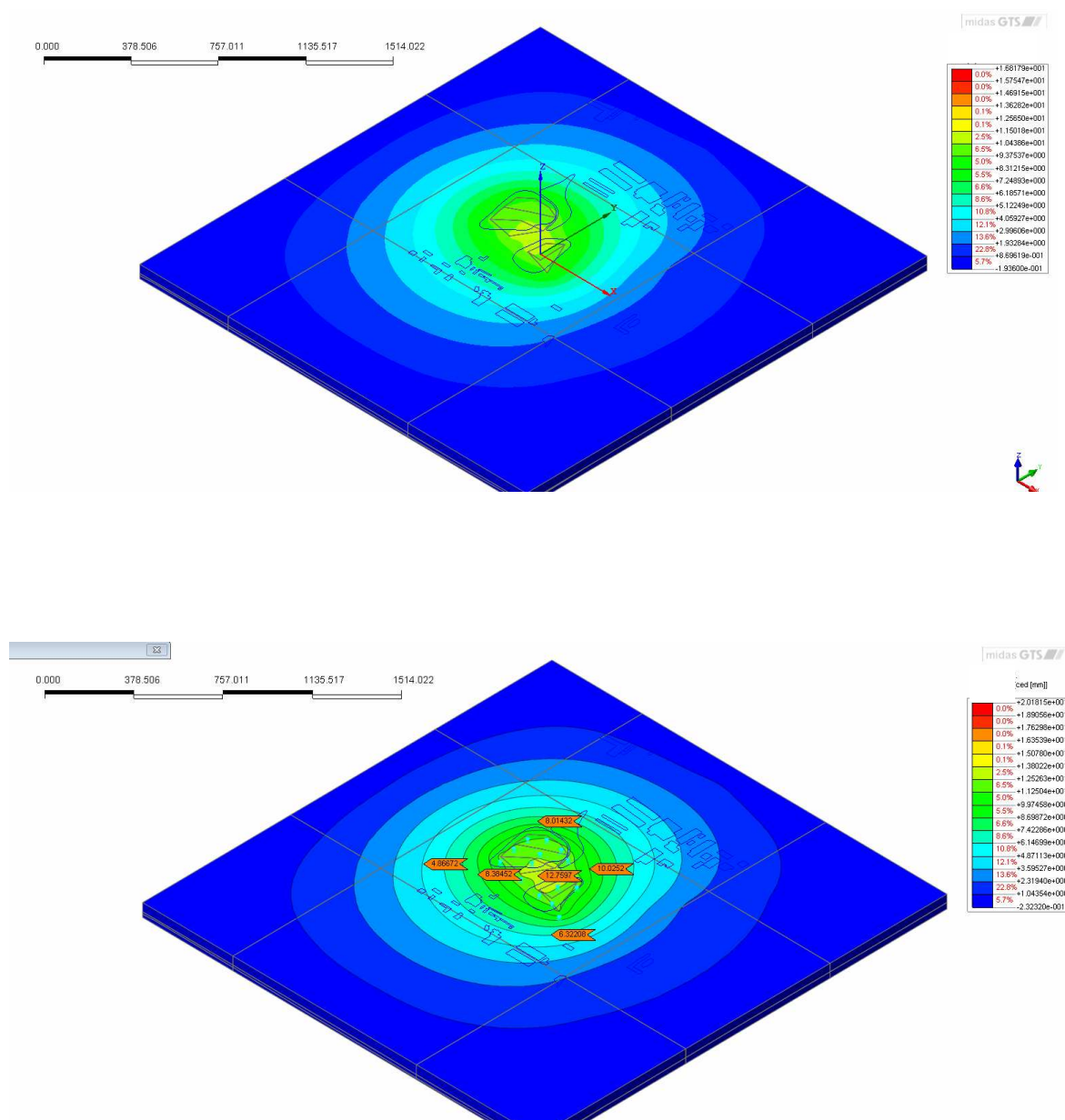


Fig. 51: Stima dei bacino di subsidenza del suolo a seguito dell'abbassamento della falda con indicazione dei valori di cedimento calcolati – vista assonometrica

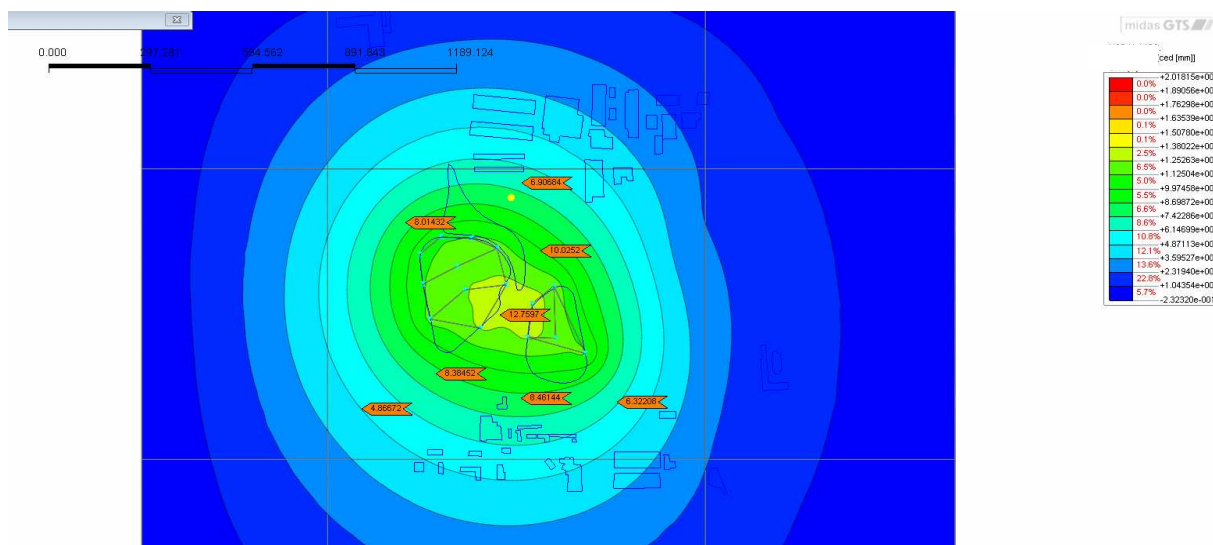


Fig. 52: Stima dei bacini di subsidenza del suolo a seguito dell'abbassamento della falda con indicazione dei valori di cedimento calcolati – vista planimetrica

I cedimenti stimati dal modello risultano dell'ordine di 1,5 cm nell'area delle vasche e nel loro immediato intorno, cioè nella zona interessata dalla massima depressione della falda.

I valori del cedimento diminuiscono velocemente al di sotto di 1 cm nelle aree poste a monte ed a valle (la misura del cedimento nelle fig. 51 e 52 è in mm).

*Le stime sono in relazione alle condizioni di partenza descritte all'inizio, soprattutto relativamente ad un abbassamento superiore a quello massimo necessario, in via cautelativa.*

*Le stesse dovranno essere necessariamente aggiornate in relazione alle reali condizioni di altezza della falda al momento dei lavori.*

Un innalzamento della stessa rispetto ai livelli indicati comporta, infatti, un aumento della depressione per operare ed un conseguente aumento dei cedimenti del suolo; un abbassamento della falda riduce sia gli attingimenti che i cedimenti.

Le analisi sopra riportate considerano i fenomeni di cedimento legati solamente alla variazione della piezometrica indotta dai pompaggi.

Si considera quindi che l'asportazione dell'acqua avvenga attraverso pozzi correttamente progettati e realizzati, in modo da garantire un emungimento di acqua pulita, senza trascinamento e dilavamento di particelle.

Il progetto esecutivo e di dettaglio dell'abbassamento della falda dovrà valutare con la massima attenzione la scelta del tipo di pozzi, dei filtri e dei dreni, per garantire l'asportazione di acqua pulita.

Il dilavamento di particelle limoso – sabbiose comporterebbe, infatti, un aumento dei cedimenti previsti per l'asportazione del materiale dal sottosuolo.

La prescrizione di ridurre al minimo l'asportazione di sabbia o limo dalla falda deve essere inderogabile per l'Impresa, che dovrà poter dimostrare la bontà delle proprie scelte anche con campionamenti a richiesta della D.L.

Il sistema di pompaggio dovrà poi essere tale da garantire il funzionamento anche in caso di anomalie, per cui vi dovranno essere in cantiere almeno alcune pompe di riserva, i generatori e dovrà inoltre essere garantita la guardiania.

Non sono accettabili risalite della falda per assenza di funzionamento del sistema, a maggior ragione nel caso specifico in cui la posa del materasso bentonitico di impermeabilizzazione deve avvenire assolutamente in assenza di falda affiorante.

Per quanto riguarda lo scarico delle acque provenienti dai pompaggi si potrà utilizzare il CSNO, fatti salvi i necessari pareri e le autorizzazioni previste per legge.

Per l'aspetto dei cedimenti sarà opportuno, prima dell'inizio dei lavori, procedere alla predisposizione di uno stato di fatto grafico e fotografico degli immobili nelle vicinanze

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

delle vasche, in contraddittorio con i Proprietari, nonché alla messa in opera di strumenti di monitoraggio nei punti a maggiore criticità (si precisa che l'Impresa esecutrice, che dovrà presenziare alle verifiche, dovrà rispondere in solido di danni provocati alle strutture esistenti, per il mancato rispetto delle indicazioni di cui sopra e/o per un operato di cantiere non conforme).

La documentazione prodotta (verbali, note tecniche, documentazione fotografica, ecc.) andrà controfirmata dalla D.L., dalla Ditta e dai privati ed andrà depositata sia presso l'Ente Appaltante che presso il Comune competente per territorio, in modo che possa essere utilizzata come stato di fatto iniziale per eventuali contestazioni durante e/o a fine lavori (crepe, fessure e/o altri problemi inerenti gli edifici).

### **8.3 IMPERMEABILIZZAZIONE DELLE VASCHE**

Come ampiamente illustrato nei paragrafi precedenti, allo stato attuale dei livelli della falda, la parte finale delle vasche presenta interferenze dirette con la prima falda, interferenze sia in fase esecutiva che durante il funzionamento a regime delle vasche.

Relativamente alla fase esecutiva nei paragrafi precedenti sono state analizzati gli aspetti idrogeologici e geotecnici connessi alle necessità di cantiere.

Per il funzionamento a regime si pongono due elementi fondamentali:

- interferenze qualitative (qualità delle acque)
- interferenze quantitative – idrogeologiche

Fatte salve le valutazioni sulla qualità delle acque della prima falda in precedenza discusse, nonché le analisi sulla qualità delle acque di piena del fiume Seveso, contenute nell'apposita relazione allegata al presente progetto, si è ritenuto progettualmente, fin



dalle analisi dello studio di fattibilità, quando la falda era più profonda, mantenere completamente separati i due sistemi.

Nello specifico è stato ritenuto fondamentale impedire l'infiltrazione nel sottosuolo e nella falda delle acque di piena del fiume Seveso.

La scelta progettuale è quella di impermeabilizzare completamente tutti i settori delle vasche fino alla quota di massimo invaso.

La soluzione tecnica individuata è quella della messa in opera di un materassino bentonitico, ricoperto da circa 1 metro di spessore di terreno e da circa 0,5 metri di spessore di massi, in grado di garantire una permeabilità inferiore a  $1 \cdot 10^{-8}$  cm/sec.

Allo stato attuale il telo sarebbe assoggettato ad una sottospinta idraulica per il livello della falda. Il ricoprimento è in grado di garantire, con gli adeguati margini di sicurezza, nei confronti del sollevamento/sifonamento (per maggiori dettagli su questo aspetto fare riferimento alla relazione geologico – tecnica – par. 7.4).

E' stato inoltre progettato un sistema in grado di garantire l'equiparazione tra i livelli della falda all'esterno ed all'interno della vasche.

Il sistema è costituito da una serie di tubazioni drenanti, poste alla base delle scarpate, che intercettano l'acqua di falda e la riversano all'interno del laghetto, al fine di omogeneizzare i livelli dell'acqua.

Tali tubazioni sono dotate di una valvola a clapet che consente l'ingresso in vasca dell'acqua di falda, ma non consente l'uscita delle acque delle vasche verso la falda.

Si tratta quindi di un sistema monodirezionale, studiato proprio per tutelare al massimo la falda stessa.

	A.T.P.: 	<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		Consulenti: <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>
---	--	---	----------------------------------	---	---

Questa soluzione di impermeabilizzazione e bilanciamento delle spinte dell'acqua rende le vasche sostanzialmente neutre rispetto all'assetto idrogeologico, anche a regime, sia in presenza che in assenza di riempimento.

Le acque invase non possono infiltrarsi in falda e quindi non ne alterano il flusso e l'alimentazione.

Viceversa la vasca si livella come la falda circostante e quindi non costituisce ostacolo al normale deflusso della stessa.

## 9.0 SISTEMA DI MONITORAGGIO DELLA FALDA NEL TEMPO

Le vasche saranno impermeabilizzate, come sopra illustrato, per garantire una separazione totale tra le acque invase e quelle della falda.

Resta comunque fondamentale garantire al massimo la tutela delle acque sotterranee ed a tal fine è stato progettato un apposito sistema di controllo e monitoraggio della falda, da realizzare con i lavori delle vasche.

Per il controllo quali – quantitativo della falda è stato previsto un sistema di piezometri di controllo, disposti monte - valle (secondo la direzione di deflusso della falda) rispetto alle vasche (vedi tavola D.2.8).

Nello specifico sono stati previsti cinque piezometri: 2 a monte, due a valle ed 1 tra le vasche.

Si è ritenuto di realizzare due piezometri a monte e due a valle al fine di monitorare sia la prima falda (acquifero A) che l'acquifero sottostante (acquifero B).

Nella zona di intervento è presente un livello di argilla di separazione dei due acquiferi: questo setto tende ad essere continuo, anche se assottigliato, verso sud, mentre tende a diventare discontinuo, fino a sparire verso est (vedi tavola D.2.3).

Per un livello massimo di controlli, stante l'importanza delle acque sotterranee, si è deciso di monitorare entrambi gli acquiferi separatamente:

- il primo piezometro ha una profondità indicativa di 35 metri ed interessa integralmente l'acquifero A fino alle argille alla base. Sarà fenestrato da – 10 m (minima soggiacenza rilevata) fino a fondo foro;
- il secondo piezometro ha una profondità indicativa di 65 metri da p.c. Sarà interamente cementato ed isolato fino a 35 metri da p.c. (e comunque fino al

massimo spessore del livello di argilla). Al di sotto sarà interamente fenestrato per poter monitorare l'acqua dell'acquifero B.

Tra le due vasche si è ritenuto importante realizzare un ulteriore piezometro, limitato al solo acquifero superiore (che sarebbe il primo ad essere interessato da eventuali contaminazioni), con lo scopo di poter verificare eventuali differenze dell'acquifero tra le due vasche (fenomeni di dispersione della vasca di monte o di quella di valle).

Tutti i piezometri avranno un diametro minimo di 4", per consentire i campionamenti ambientali, saranno quotati, dotati di specifica targhetta e sigillati con appositi pozzetti con boccapozzi, dotati di lucchetto e chiave.

A questi piezometri si aggiunge quello già esistente, realizzato durante le indagini (che interessa solo la prima falda) e che può essere utilizzato come punto di controllo e verifica al limite sud-ovest della zona di flusso.

Il sistema di piezometri verrà utilizzato per il monitoraggio cadenzato dei livelli della falda e dei principali parametri chimico fisici, sia naturali che di eventuale contaminazione.

Per le attività di monitoraggio da porre in essere è possibile utilizzare come riferimento iniziale le Linee Guida della Provincia di Milano per il Monitoraggio della falda per le attività di cava, integrate e modificate secondo le prescrizioni del Decreto contenente la Pronuncia di Compatibilità ambientale e precisamente:

*Monitoraggio quantitativo (livelli di falda):*

- cadenza almeno mensile;

*Monitoraggio qualitativo:*

- campionamento giornaliero o bi-giornaliero durante i primi tre eventi che coinvolgono tutti e tre i settori della vasca;
- campionamento con cadenza almeno mensile per il primo anno;
- n° 3 campionamenti all'anno per gli anni successivi al primo.

Parametri da ricercare:

- Analisi: TOC, ossidabilità, torbidità, durezza, calcio, cloruri, solfati, ammoniaca, nitrati, nitriti, metalli (Hg, As, Cd, Cr tot., Cr VI, Fe, Ni, Pb, Cu, Mn, Zn), tensioattivi anionici e non ionici, idrocarburi totali con n-esano, composti organoalogenati, BTEX, parametri microbiologici (californi, Escherichia Coli, enterococchi);
- Misure in campo: temperatura, conducibilità elettrica, ossigeno disciolto, pH, potenziale redox.

Eventuali inquinanti specifici potranno essere aggiunti in base ai risultati delle analisi sulle acque superficiali del fiume Seveso, in relazione ai principali potenziali inquinanti rinvenuti.

Questo standard di analisi potrebbe essere utilizzato per lo stato di fatto e per le fasi iniziali di funzionamento delle vasche, salvo modificarlo, aggiornarlo ed integrarlo in base ai risultati dei monitoraggi stessi (diversa distribuzione dei campionamenti, analisi da eseguire, ecc.).

Nelle fasi di cantiere, per le lavorazioni con possibili impatti sulla falda (per es. attività di abbassamento della falda, con scavi sotto falda) i monitoraggi potranno essere infittiti, sia per le oscillazioni della falda che per le caratteristiche della stessa.



	A.T.P.: 	<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		Consulenti: <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>
---	--	---	----------------------------------	---	---

Anche il posizionamento di eventuali sonde di misura in continuo potrà essere definito con gli Enti, a seguito dei primi riscontri analitici, per individuare i parametri di maggiore sensibilità (sia nelle acque sotterranee che in quelle potenzialmente accumulate all'interno delle vasche).

Le opere di monitoraggio previste devono comunque essere realizzate nelle fasi iniziali dell'intervento, al fine di consentire una verifica dello stato dei luoghi pre-intervento (che costituisce una sorta di "bianco" della situazione in essere), i controlli durante lo sviluppo del cantiere ed infine un monitoraggio del funzionamento delle opere nel tempo.

Milano, agosto 2015

#### I PROFESSIONISTI INCARICATI:

ETATEC STUDIO PAOLETTI s.r.l.

Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi

STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI

Prof. Ing. Alessandro Paoletti

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA

Dott. Geol. Mario Spada

Dott. Ing. Chiara Tonetto