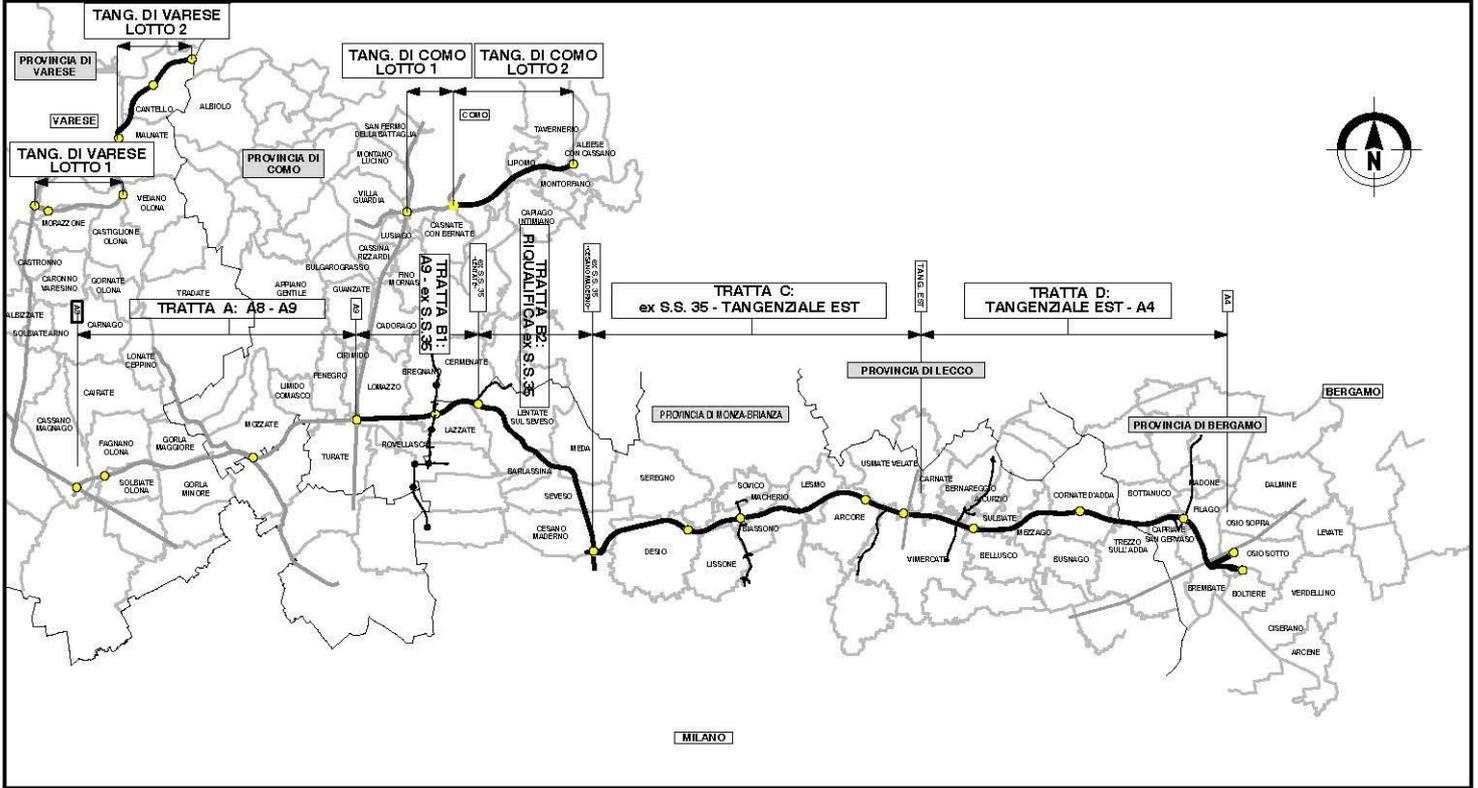


QUADRO DI UNIONE GENERALE



COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE

DALMINE-COMO-VARESE-VALICO DEL GAGGIOLO E OPERE AD ESSO CONNESSE

CODICE C.U.P. F11B06000270007

PROGETTO ESECUTIVO TRATTA C RELAZIONE IDROGEOLOGICA

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

FASE PROGETTUALE	AMBITO	TRATTA	CATEGORIA	OPERA	PARTE DI OPERA	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVA	REVISIONE ESTERNA
E	IG	CCGE	00	000	RS	005	A	

DATA 26 giugno 2023

SCALA

CONCEDENTE



CONTRAENTE GENERALE

PEDELOMBARDA NUOVA S.c.p.A.

DATA

18 Aprile 2023
26 Giugno 2023

REVISIONE

Prima emissione
Aggiornamento contenuti

A01
A02

ELABORAZIONE PROGETTUALE

PROGETTISTI
Ing. Enio Colasante



Redatto
dott. Giorgio Broglioli

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
Ing. Carlo Listorti

Viso
dott. Livia Evangelisti

Approvato
dott. Marco Sandrucci

CONCESSIONARIO



PROGETTISTA





COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE
DALMINE – COMO – VARESE – VALICO DEL GAGGIOLO
E OPERE CONNESSE

PROGETTO ESECUTIVO

TRATTE B2, C, TRMI10/TRMI17/TRCO06

TRATTA C

RELAZIONE IDROGEOLOGICA

Sommario

1	INTRODUZIONE.....	5
2	INQUADRAMENTO GENERALE.....	5
3	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROCHIMICO.....	6
3.1	GEOLOGIA.....	6
3.2	GRUPPI IDROSTRATIGRAFICI	9
3.3	ASSETTO PIEZOMETRICO	12
3.3.1	Fattori che influenzano il regime piezometrico annuale.....	12
3.3.2	Andamento storico dei livelli della falda	13
3.3.3	Falde sospese e sorgenti.....	20
3.4	IDROCHIMICA	21
3.4.1	Contaminazioni diffuse.....	21
3.4.2	Contaminazioni concentrate (plume di inquinamento)	26
4	RIELABORAZIONE DATI IDROGEOLOGICI E MODELLO CONCETTUALE IDROGEOLOGICO	32
4.1	DATI IDROGEOLOGICI DI PROGETTO DEFINITIVO	32
4.2	RICOSTRUZIONI PIEZOMETRICHE	38
4.2.1	Falda di progetto	39
4.3	SOGGIACENZA	40
4.3.1	Campagne piezometriche 2023.....	41
4.4	CONDUCIBILITÀ IDRAULICA.....	43
4.4.1	Permeabilità da letteratura ed esperienze pregresse	43
4.4.2	Permeabilità da prove in sito.....	44
4.4.3	Analisi dei dati di permeabilità di Progetto Esecutivo.....	46
5	INTERAZIONE DELL'OPERA CON LA FALDA.....	48
5.1	INTERFERENZA POTENZIALE TRA FALDA E FONDAZIONI.....	48
5.2	INTERFERENZA CON LE OPERE DI CAPTAZIONE LIMITROFE AL TRACCIATO.....	49
5.3	VALUTAZIONE DEI POTENZIALI IMPATTI SULLA FALDA.....	57
5.3.1	Fase di cantiere.....	57
	<i>Aspetti qualitativi</i>	57
	<i>Aspetti quantitativi</i>	59
5.3.2	Fase d'esercizio.....	60
	<i>Aspetti qualitativi</i>	60
	<i>Aspetti quantitativi</i>	60
5.4	CONSIDERAZIONI SULLE MODALITÀ DI UTILIZZO DELLE ACQUE DI FALDA E RELATIVA OTTIMIZZAZIONE SOSTENIBILE.....	60
5.5	VALUTAZIONE DELL'EFFETTO DIGA AD OPERA DEI DIAFRAMMI PROFONDI E RELATIVE MISURE DI OTTIMIZZAZIONE	61

6	MONITORAGGIO QUALI-QUANTITATIVO DELLA FALDA.....	62
6.1	Principi per la realizzazione della rete di monitoraggio per APL.....	62
6.2	Proposta di una rete di monitoraggio per APL.....	63
6.2.1	Rete di monitoraggio qualitativa.....	63
6.2.2	Rete di monitoraggio quantitativa	65
6.2.3	Modalità di monitoraggio.....	65
7	ASSETTO IDROGEOLOGICO LUNGO IL TRACCIATO.....	67
	BIBLIOGRAFIA	72

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la relazione idrogeologica di Progetto Esecutivo per la Tratta C e la viabilità connessa TRMI10 e TRMI17 dell'Autostrada Pedemontana Lombarda e riporta considerazioni circa l'assetto idrogeologico locale sulla base della cartografia geologica ufficiale (fogli CARG 1:50000 Seregno e Vimercate), dei dati bibliografici disponibili, di quelli raccolti presso gli enti competenti (Comuni, Regione, Brianzacque), nonché di altra documentazione tecnica e dei dati raccolti durante le varie campagne di indagine geognostica e geofisica di Progetto Definitivo e dalle indagini di Progetto Esecutivo, presentandone i tratti di maggiore interesse in relazione alla realizzazione dell'opera.

Rimandando l'inquadramento geologico e stratigrafico generale dell'area attraversata alla relazione geologica EGGCC000GE00000RS003a dall'autostrada in oggetto, ove sono individuate le unità Allostratigrafiche affioranti e la descrizione del profilo geologico della tratta C, si vogliono qui tratteggiare gli elementi caratterizzanti l'assetto idrogeologico generale e di dettaglio, tramite illustrazione testuale e grafica, e rappresentare infine cartografie tematiche che ben manifestino le caratteristiche oscillazioni della falda locale e quelle idrochimiche più rilevanti. Si riporta anche un'analisi delle potenziali interferenze dell'opera con la falda, valutando l'esposizione e vulnerabilità dei pozzi che prelevano le acque in prossimità dell'autostrada, riportando eventuali misure di monitoraggio e mitigazione/compensazione che dovranno essere considerate/integrate/sviluppate in fase esecutiva per contenere al minimo i possibili impatti generati dalla realizzazione della infrastruttura viaria.

2 INQUADRAMENTO GENERALE

L'Autostrada Pedemontana Lombarda è una grande infrastruttura viaria che si va ad inserire nel territorio fortemente urbanizzato dell'hinterland settentrionale di Milano realizzando una connessione che parte dalla provincia di Varese fino ad arrivare a quella di Bergamo. La tratta C si sviluppa dall'interconnessione con la SS35 in località Cesano Maderno all'interconnessione con la Tangenziale Est di Milano (A51), per circa 16 km.

Il tracciato di progetto della tratta C, visualizzato in Figura 1, si sviluppa in direzione circa Ovest - Est attraversando i territori dei comuni di Cesano Maderno, Desio, Lissone, Macherio, Biassono, Lesmo, Arcore e Vimercate. L'area interessata è situata nella media pianura Padana, a NE della città di Milano. Dal punto di vista morfologico, il territorio risulta sub-pianeggiante, con quote mediamente comprese tra 200 e 225 m s.l.m., con valori minimi in corrispondenza della valle del Lambro (180 m s.l.m.) e massimi sul pianalto di Lesmo/Arcore (Figura 1).

Gli elementi idrografici principali sono costituiti dal fiume Lambro, dal torrente Molgora, dal rio Molgorana e tributari. Il reticolo idrografico minore è sviluppato in particolare nelle aree dei rilievi collinari morenici nel settore compreso tra i Comuni di Macherio, Biassono, Lesmo e Arcore.

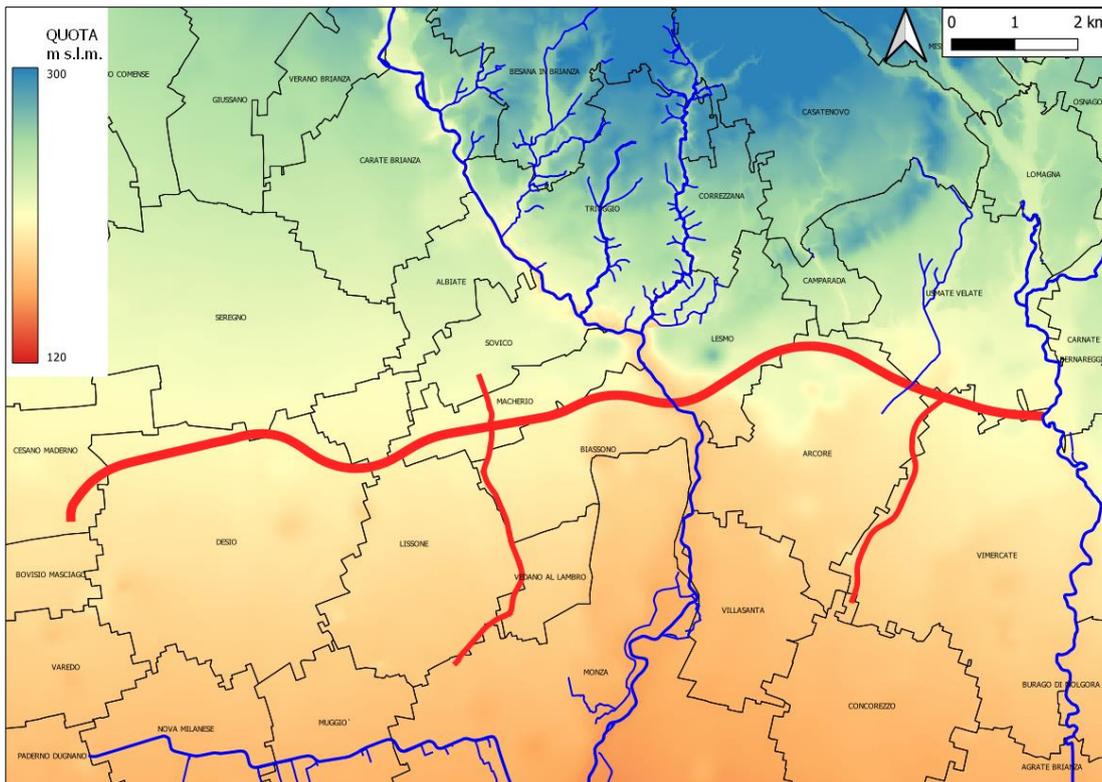


Figura 1 – inquadramento territoriale della tratta C e delle TRMI10 e TRMI17

3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROCHIMICO

3.1 GEOLOGIA

Pur rimandando alla relazione geologica (rif. EGGCC000GE00000RS003a) per maggiori dettagli, è utile ricordare come la tratta C si trovi nel settore settentrionale dell'alta pianura Padana, caratterizzato dalla presenza di un'estesa piana connessa agli scaricatori fluvio-glaciali quaternari e più recentemente ai corsi d'acqua attuali.

Questo settore è stato caratterizzato nel Pleistocene da una neotettonica blanda, che ha portato a un lento sollevamento di questa porzione di territorio rispetto a quelle poste in prossimità del Po e di quelle ubicate ad Est del Fiume Oglio. Questo sollevamento ha preservato una rilevante porzione della pianura in esame dalla copertura di depositi dei corsi d'acqua che hanno inciso l'area in tempi successivi (Olocene); questi depositi più recenti rimangono in tal modo confinati in spazi relativamente ristretti disposti in fasce che si allargano progressivamente proseguendo verso Sud, saldandosi insieme a formare l'esteso deposito di alluvioni prevalentemente ghiaioso-sabbiose della pianura lombarda centrale.

I lembi dell'antica pianura costituiti prevalentemente da depositi fluvio-glaciali di età compresa tra il Pleistocene Inferiore e Superiore, risultano quindi rilevati di alcuni metri (sono detti per questo motivo "terrazzi") rispetto ai depositi più recenti, e i loro collegamenti con la piana sottostante sono costituiti da scarpate più o meno incise ed erose che ne consentono una delimitazione ragionevolmente precisa. Nelle aree maggiormente urbanizzate tuttavia, l'intensa attività antropica ha spesso sensibilmente modificato le caratteristiche morfologiche della zona, livellando le ondulazioni

preesistenti e mascherando, talora, la presenza di alcune strutture a terrazzi presenti lungo il corso dei fiumi.

L'area entro cui si sviluppa la tratta C è compresa nei Fogli Geologici n. 96 Seregno e n. 96 Vimercate della nuova cartografia geologica ufficiale d'Italia a scala 1:50.000, di cui si riporta uno stralcio in Figura 2. Dal rilevamento del Foglio CARG n. 96 Seregno emerge l'evidenza di numerose superfici di discontinuità che separano i sedimenti provenienti dagli antichi bacini idrografici.

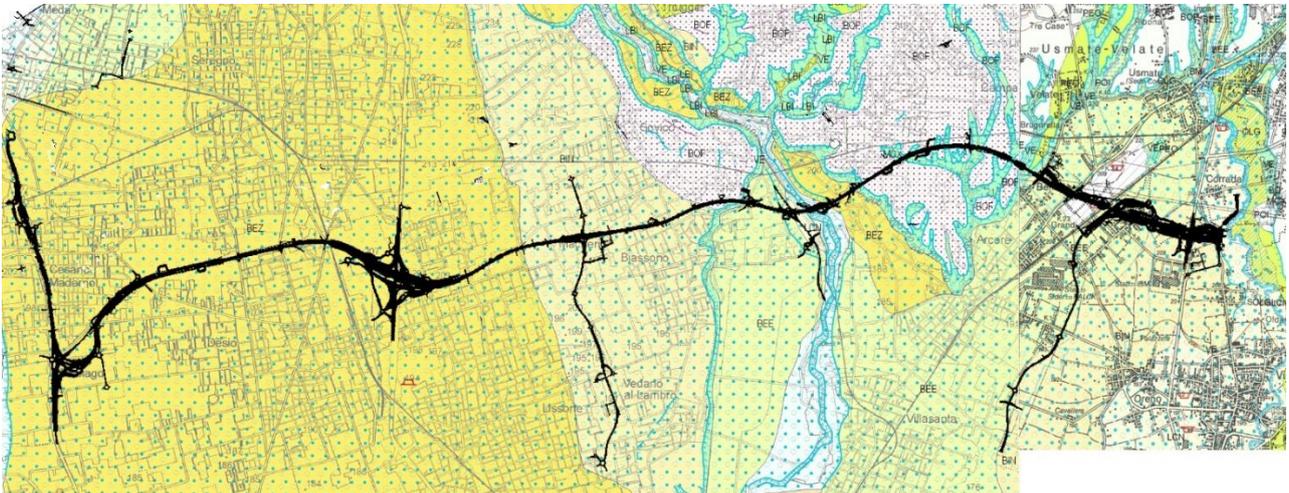


Figura 2 – stralcio della carta geologica 1:50000 (CARG) foglio 96 Seregno, lungo il tracciato della tratta C

Per le unità più recenti (Pleistocene medio e superiore) i bacini di alimentazione sono differenti; ad esempio i depositi dell'Allogruppo di Besnate (BE) interessano buona parte della pianura fino a Carate, Monza e Milano, e sono collegati con le morene frontali del Seveso, mentre gli analoghi depositi provenienti da quello del Lambro ricoprono prevalentemente il settore adiacente, che si colloca più a Est, con quote anche di 15 m inferiori, come ad esempio avviene per il terrazzo pleistocenico di Albiate.

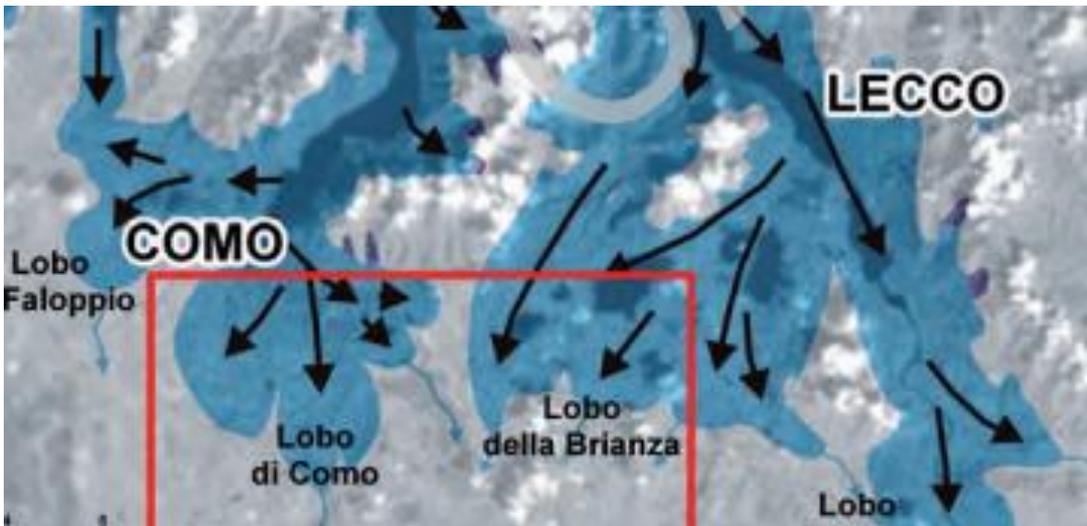
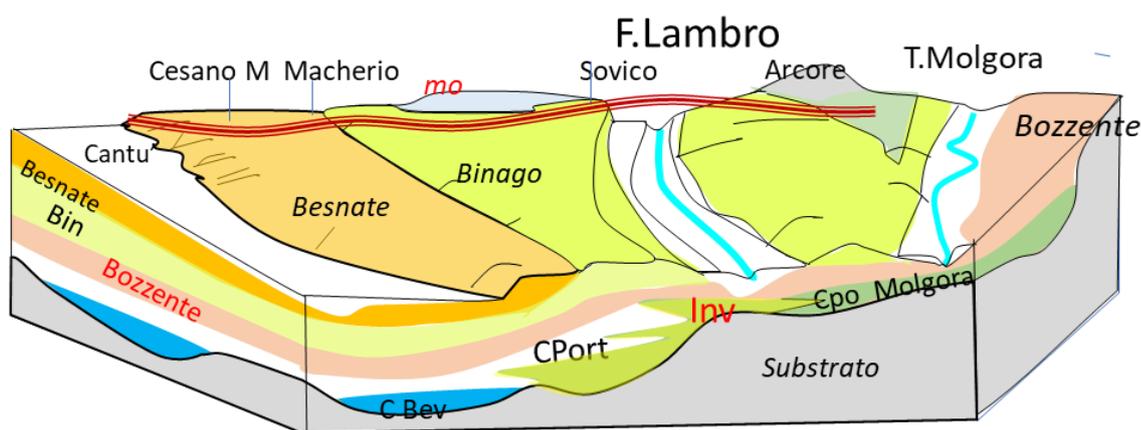


Figura 3: Massima espansione dei ghiacciai nell'ultimo episodio glaciale (LGM), si evidenziano i diversi di alimentazione dei depositi fluvio-glaciali presenti nell'area in oggetto (riquadro rosso). (dalle note illustrative del foglio CARG 96 Seregno)

La tratta C si sviluppa in direzione Ovest-Est e taglia le fasce di depositi fluvio-glaciali che si estendono in direzione prevalente Nord-Sud, e pertanto la tratta presenta una spiccata eterogeneità delle caratteristiche litologiche e del grado di alterazione dei terreni lungo il tracciato (Figura 2).

Alla base della successione fluvioglaciale del Pleistocene-Medio superiore sopra descritta, sono presenti conglomerati di età Pleistocenico-inferiore/Pliocenica superiore ("Ceppo" Auct.), con spessori massimi nell'area in oggetto variabili tra 30 e oltre 50 m (come emerge dalle sezioni del Foglio Seregno e dalle stratigrafie di pozzi per acqua profondi), caratterizzati da alternanza e giustapposizione di settori ben cementati e altri fortemente alterati e degradati. I conglomerati del Ceppo poggiano in discordanza su una successione costituita da un'alternanza di livelli di argille-argille sabbiose di colore grigio verdastro e livelli sabbioso-ghiaiosi (Argille di Castel di Sotto) note in letteratura come "argille sotto il Ceppo" (Villafranchiano Auct.). Il tetto dell'unità "Villafranchiana", caratterizzato da un andamento spiccatamente irregolare, presenta un settore di alto a Est del limite comunale tra Lissone e Biassono, con quote massime in corrispondenza del pianalto mindeliano di Triuggio-Camparada; in questo settore i sondaggi di PE ne hanno raggiunto il tetto a profondità di 48-60 m da p.c. (quote assolute di circa 165-175 m s.l.m.). Nella parte occidentale della tratta l'unità non è stata intercettata dai sondaggi di PD e PE, sulla base delle sezioni geologiche del foglio CARG Seregno e delle stratigrafie di alcuni pozzi profondi limitrofi al tracciato, si colloca ad una profondità variabili tra 60 e 110 m da p.c.

Nella Figura 4 sono rappresentati schematicamente i rapporti fra le unità sedimentarie (alloformazioni) della zona, che vede al disopra di un substrato argilloso-limoso, una copertura di conglomerati ("ceppo") il cui tetto è stato variamente inciso nel tempo da corsi d'acqua che hanno colmato le depressioni con depositi alluvionali. I conglomerati hanno natura leggermente differente e diversa età, come si può notare dalla Figura 4 che mostra una loro distribuzione fra il bacino del Seveso e quello della Molgora. Sono presenti a Ovest i conglomerati della Bevera e del Portichetto, mentre nel bacino del Lambro affiorano il Ceppo di Inverigo e a Est quello della Molgora. Come si osserva dalla figura, il substrato argilloso per un sollevamento tettonico relativamente recente è a quote più elevate nella zona orientale, i conglomerati che su esso si appoggiano sono più antichi, quindi più alterati dai processi di dissoluzione. Analogamente, i depositi alluvionali della zona orientale risultano più antichi e alterati di quelli del bacino del Seveso. Tale fatto comporta un maggiore degrado ed esposizione al dissesto procedendo dalla Valle del Seveso a quella della Molgora e, per questo, si può affermare che la tratta C presenti terreni di qualità meccanica inferiore a quelli generalmente presenti in tratta B2.



I CI (conglomerati indistinti) sono: Ceppo del Portichetto, Ceppo Bevera, Ceppo della Molgora e del paleoAdda e hanno grado di alterazione e composizione diversa

Figura 4: ricostruzione tridimensionale della geologia per la tratta C

3.2 GRUPPI IDROSTRATIGRAFICI

L'area in oggetto risulta costituita quasi interamente da depositi di origine fluvio-glaciale che erano sul foglio geologico Milano a scala 1/100.000 indicati con le denominazioni "Diluvium antico", "Diluvium medio" e "Diluvium recente", corrispondenti a quelle indicate da diversi Autori rispettivamente come fluvio-glaciale Mindel, Riss e Wurm.

Un approfondimento delle caratteristiche geologiche e dell'età delle unità che sono state cartografate sul Foglio Milano, ha successivamente portato a una ridefinizione dei gruppi idrostratigrafici, che sono stati suddivisi in gruppo A, B e C da Regione Lombardia e da ENI nel 2001.

Il gruppo C, il più antico e profondo, viene a corrispondere alle "argille cineree con torbe, ghiaie e sabbie" citate da numerosi Autori anche come "Villafranchiano" o "argille sotto il Ceppo".

Il gruppo B comprende alla base ghiaie e conglomerati (noti come "Ceppo Lombardo" nella letteratura), e nella parte superiore ghiaie e sabbie con frequenti livelli argilloso-limosi, mentre al gruppo A, il più superficiale, sono ascritte ghiaie e sabbie prevalenti sugli scarsi livelli fini.

Un'introduzione alla descrizione della struttura idrogeologica basata su questa suddivisione è la rappresentazione semplificata e schematizzata che corrisponde alla parte destra della Figura 3 ripresa da V. Francani e al. (2010) dove sono riportati, a valle delle cerchie moreniche (mA e mB) i terrazzi formati alla base del gruppo C, e superiormente dal Ceppo (CD) e dal gruppo B e C ricoperti in discordanza dai più recenti depositi del gruppo A e dalle alluvioni dei corsi d'acqua (Seveso e Lambro).

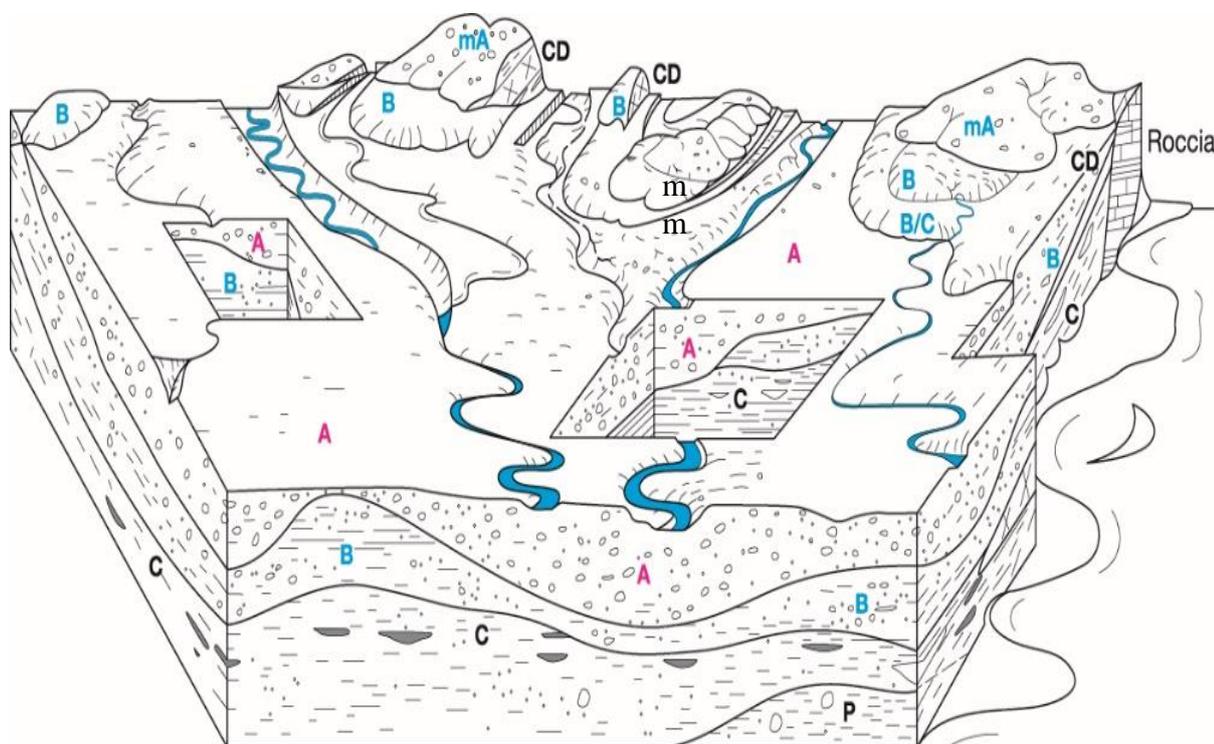


Figura 5: schematizzazione della struttura idrogeologica dell'alta pianura a N di Milano (da Francani e al., 2010).

Nel PTUA 2016 della Regione Lombardia è stata effettuata una revisione dei gruppi idrostratigrafici, adottando una diversa denominazione. Per chiarezza in Figura 6: si riporta un confronto, per l'area briantea, tra i gruppi idrostratigrafici di Regione Lombardia/ENI precedentemente citati e le idrostrutture del PTUA 2016.

UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE (Foglio Milano 1:100000)	ALLOFORMAZIONI (fogli Seregno, 1:50000) CARG Milano	GRUPPI IDROSTRATIGRAFICI (Regione Lombardia/ENI, 2005)	IDROSTRUTTURE (PTUA 2016)
Fluvioglaciale Wurm (Diluvium recente)	Allogruppo di Besnate e Cantù, Sintema del Po	A	ISS (idrostruttura superficiale)
Fluvioglaciale Riss-Mindel (Diluvium Medio, Diluvium Antico)	Sintema di Besnate, Sintema di Binago della Specola, Allogruppo del Bozzente	B	ISI (idrostruttura intermedia)
Ceppo Auct.	Ceppo di Inverigo, Ceppo della Bevera		
Villafranchiano Auct.	Unità di Lazzate (?), Argille di Castel di Sotto	C	ISP (idrostruttura profonda)

Figura 6: Confronto tra gruppi idrostratigrafici adottate da Regione Lombardia e Eni nel 2005 e idrostrutture del PTUA 2016

In accordo con gli elaborati del PTUA 2016 (Tavola 02, ridisegnata in Figura 4) nell'area di progetto è presente l'idrostruttura profonda ISP e superficiale ISS, mancando del tutto quella intermedia (ISI), il cui limite è posto a S di Monza. ISS comprende i gruppi A e B che in questo tratto costituiscono un acquifero indifferenziato (il cosiddetto acquifero A/B, data l'assenza di livelli impermeabili con continuità apprezzabile) caratterizzato da una falda a carattere libero con soggiacenza media compresa (settembre 2014) tra 70 metri (Lentate S.S.) e 25 metri (Seveso - Meda).

A partire dal settore meridionale del Comune di Monza e soprattutto nei territori di Cinisello e Sesto S. Giovanni il PTUA evidenzia la comparsa di livelli fini a bassa permeabilità che determinano l'inizio della separazione idraulica tra idrostruttura superficiale ISS e idrostruttura intermedia ISI (Figura 7).

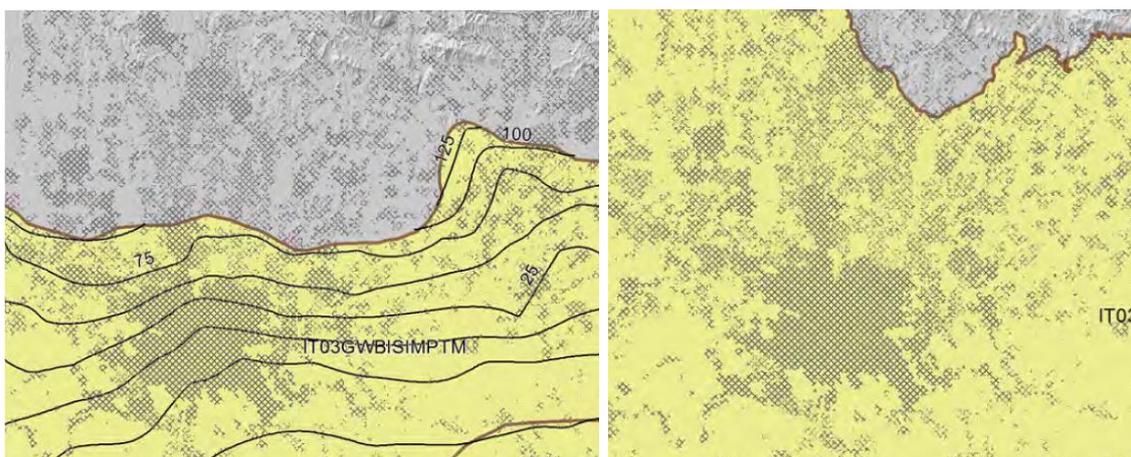


Figura 7: – a sinistra ISI, che non interessa Pedemontana, a destra ISS indifferenziato, nella zona di APL (tratto dalla Tavola 02 del PTUA 2016)

Posto che l'idrostruttura profonda ISP (gruppo C) è protetta dal substrato limoso-argilloso soprastante, è utile concentrare l'attenzione per Pedemontana Lombarda sull'idrostruttura superficiale ISS.

In tratta C lo spessore complessivo della idrostruttura ISS (gruppo A e B) è piuttosto rilevante, tendenzialmente compresa tra 50 e 110 m circa.

Di particolare rilevanza il fatto che il tetto di questo gruppo è una superficie di erosione piuttosto irregolare; gli acquiferi sabbiosi “villafranchiani” del gruppo idrostratigrafico C sono distintamente inclinati e possono quindi localmente venire a contatto con gli acquiferi contenuti nei gruppi A - B con possibilità di scambi idrici che, nella zona di progetto, appaiono remotamente possibili, ed eventualmente solo laddove si rileva una minore profondità del tetto del villafranchiano (fino a ca. 40-50 m da p.c. a Lesmo).

Sottounità	Unità idrogeologica		Caratteri idrogeologici	Spessore	
				Alta pianura	Bassa pianura
Alluvioni e fluvioglaciale recente	Acquifero superficiale e o primo acquifero	Acquifero tradizionale	Falde libere, di elevata trasmissività nella parte alta della pianura (Milano compresa)	In media 40 m	Circa 10 m
Fluvioglaciale antico o "Diluvium Medio"	Secondo acquifero		Falde semiconf. nell'alta pianura, confinate nella media e bassa pianura, trasmissività media	In media 80 m	In media 120 m
Fluvioglaciale antico o "Diluvium Antico"					
Ceppo					
Acquifero sotto il Ceppo					
Villafranchiano	Acquifero profondo o terzo acquifero	Falde confinate, trasmissività scarsa	Circa 150 m		

Figura 8: Schema unità idrogeologiche pianura lombarda (da Regione Lombardia: Acque sotterranee in Lombardia gestione sostenibile di una risorsa strategica)

Interessante notare come nell'area briantea, ove è più marcata la presenza di ghiaie cementate e conglomerati (comunemente noti con il nome di "Ceppo"), la durezza delle acque risulti superiore a quella di altre porzioni di territorio limitrofe. Chiaramente questo parametro sottolinea anche la possibilità che nelle aree indicate in colore rossastro vi sia una maggiore componente carbonatica che favorisce sia la cementazione delle ghiaie ma anche, in caso di dissoluzione, la genesi degli Occhi Pollini.

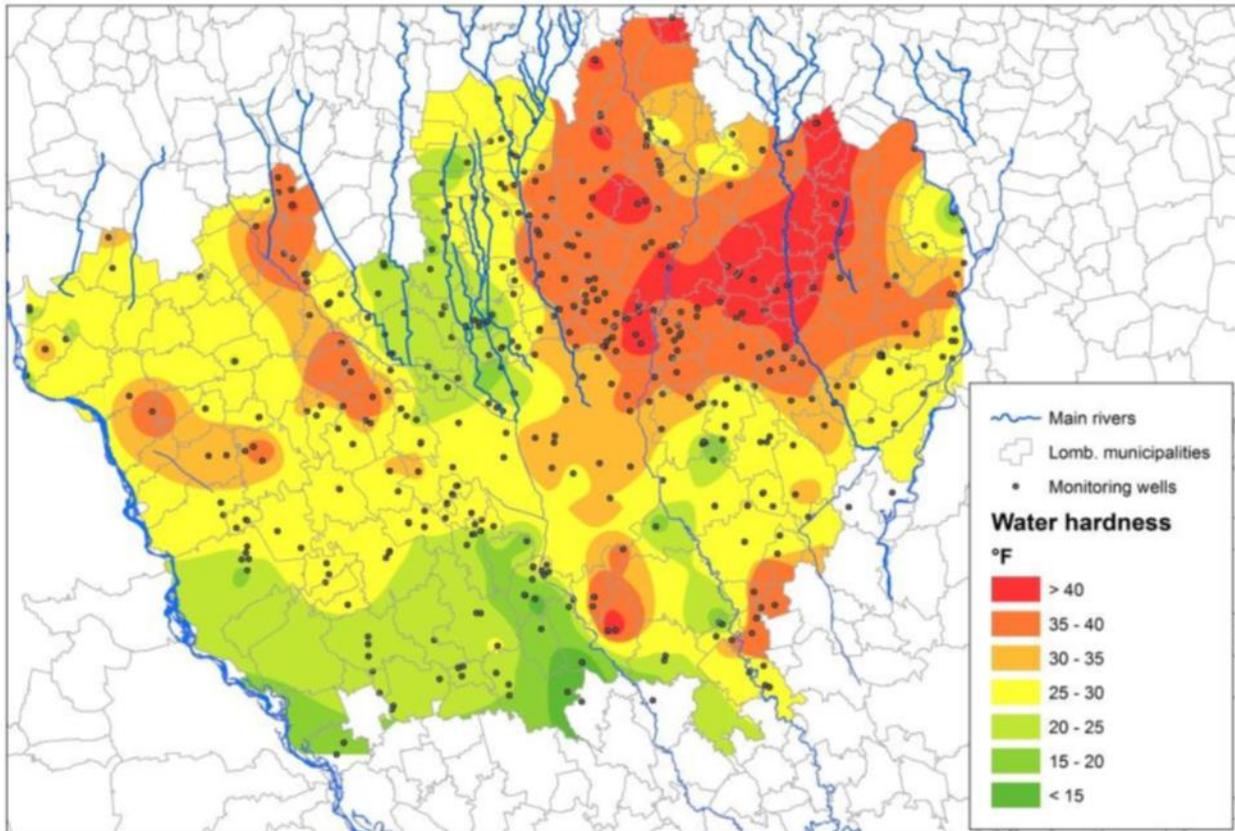


Figura 9: carta della durezza dell'acqua sotterranea, ove si nota che nel territorio brianteo, ove è frequente la presenza di ghiaie cementate e conglomerato, la componente carbonatica è superiore ai territori limitrofi (fonte: La gestione sostenibile delle risorse idriche sotterranee: approcci metodologici e strumenti operativi, 2016, M.Gorla, gruppo CAP)

3.3 ASSETTO PIEZOMETRICO

Come si è visto nel capitolo precedente, è possibile affermare che l'assetto piezometrico che interessa il progetto di APL è quello della falda più superficiale (acquifero "AB" indistinto o idrostruttura ISS).

Nei paragrafi seguenti verranno esaminati i fattori che concorrono alla variabilità della tavola d'acqua, mettendo in luce l'andamento storico della falda, al fine di garantire che il progetto tenga in considerazione debitamente l'assetto idrogeologico locale e la sua evoluzione nel tempo.

3.3.1 Fattori che influenzano il regime piezometrico annuale

Come è ben noto, durante l'anno solare il livello piezometrico della prima falda presenta escursioni metriche che sono legate in particolar modo:

- ✓ al regime pluviometrico
- ✓ alle attività irrigue
- ✓ ai pompaggi da pozzo

È interessante osservare come tutte queste voci di bilancio idrogeologico siano tra loro asincrone.

Infatti, le maggiori precipitazioni annuali nel territorio in oggetto si verificano mediamente nei mesi primaverili ed autunnali, mentre i maggiori apporti irrigui si osservano nei mesi estivi; in questi ultimi

e in particolare ad agosto si rilevano anche i pompaggi meno consistenti dalla falda. Questi elementi si combinano secondo una successione non ben definibile statisticamente nell'area in oggetto. Se la distribuzione delle piogge nel territorio può essere considerata piuttosto omogenea in senso lato, essa produce però infiltrazioni di rilievo solamente ove è assente l'urbanizzazione: queste aree sono dunque "grosso modo" sovrapponibili alle aree agricole, in aggiunta a parchi e altre aree incolte.

Questo fa sì che l'apporto meteorico si sovrapponga spazialmente con quello legato all'irrigazione. Per quanto riguarda i prelievi da falda i pompaggi più rilevanti si osservano presso i centri abitati/industriali più importanti.

L'effetto combinato di queste voci di bilancio determina che il regime della falda risulti disomogeneo a livello spaziale.

Per quanto attiene l'analisi del regime piezometrico dell'area monzese negli anni si rimanda al paragrafo seguente, mentre per le ricostruzioni dell'andamento della falda in prossimità del tracciato si rinvia al paragrafo 3.3.2.

3.3.2 Andamento storico dei livelli della falda

Per comprendere l'evoluzione della falda nel territorio monzese sarebbe stato molto utile poter disporre di almeno un centennio di misurazioni del livello piezometrico, ma purtroppo tali informazioni non risultano sufficientemente complete e/o disponibili, in particolare per il territorio brianteo. Per la città di Milano, invece, esistono alcune serie storiche di lunga durata, quali quelle reperibili a nord della città per la stazione di Comasina (dal 1920 -figura successiva). Come si può vedere dal grafico, in seguito al picco negativo degli anni 1974-75 legato alla pesante industrializzazione del territorio e alla crescita demografica, la falda ha recuperato quote via via superiori, sebbene non ancora ai livelli quasi "naturali" di inizio XX secolo. L'influenza dei cambiamenti nell'uso del suolo nei settori settentrionali di Milano e nei comuni di Sesto S.G. e Cinisello ha quindi determinato una forte alterazione del livello idrico ipogeo in quelle zone. A Monza molto probabilmente tale variazione è da ritenersi "smorzata", a causa di una evoluzione del territorio meno brusca e di condizioni idrogeologiche differenti.

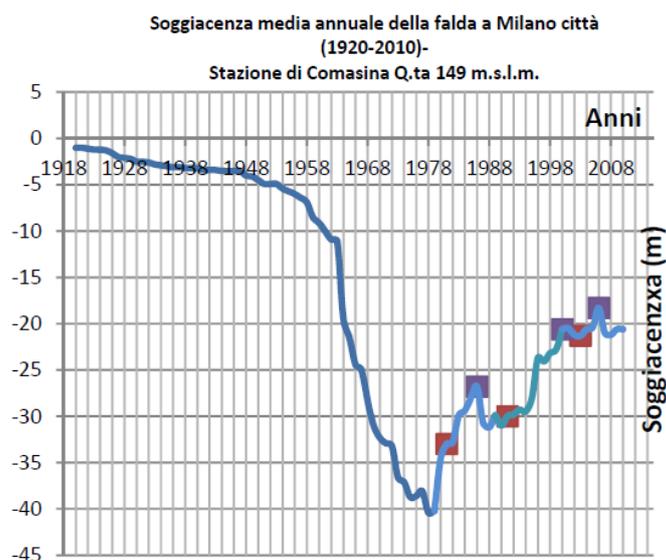


Figura 10: soggiacenza media annuale della falda a Milano, stazione Comasina, dal 1920 al 2010 che mostra la pesante influenza di fattori socioeconomici sull'assetto piezometrico

Per la zona di Milano nord, Sesto S.G. e Cinisello B. il grafico summenzionato esemplifica nel particolare quella che in linea generale è la forte influenza che lo sviluppo socio-economico della città di Milano e del suo hinterland ha avuto sull'andamento della falda, e in particolare:

- Fino agli anni '50 del secolo scorso la falda milanese viene considerata rappresentativa della condizione quasi "naturale" (certamente non del tutto, vista l'esistenza di una già consistente pressione antropica legata all'uso dei pozzi per l'approvvigionamento di acqua potabile), caratterizzata da una soggiacenza di pochi metri dal piano campagna e un andamento quasi "rettilineo" delle isopieze anche in comune di Milano (OSO-ENE). Per Monza non vi sono dati al riguardo, ma è lecito ipotizzare una configurazione seminaturale anche in quel caso.
- Dal 1955 al 1975, in corrispondenza del boom economico, dell'aumento della popolazione e l'insediamento di grandi poli industriali (es. Falck, Breda) si registra un incremento del consumo d'acqua ed un progressivo abbassamento del livello di falda, con depressioni massime anche ben superiori a 20-30 m nella parte settentrionale di Milano. A Monza nel 1966 l'andamento della falda inizia a risentire di tale abbassamento, con perdite di carico più rilevanti verso sud (intorno ai 10 m) e meno rilevanti verso nord (<5m).
- Dal 1975 al 1990 la falda inizia ad innalzarsi in concomitanza con il calo demografico della città di Milano e con la chiusura di alcuni grandi insediamenti industriali idroesigenti.
- A partire dagli anni '90, con la chiusura dei grandi poli industriali e il decremento demografico generalizzato, il consumo d'acqua diminuisce notevolmente, con il conseguente innalzamento del livello di falda. Il decremento nei prelievi totali di falda durante il quarantennio (1967-2003), per Milano e provincia (compresa quindi anche Monza), è stato tale da portare i valori da 4,3 miliardi di m³ a 0.9 miliardi di m³, e quelli industriali da 1.2 miliardi di m³ a 0.3 miliardi di m³.

Focalizzando maggiormente l'attenzione sull'area interessata dal tracciato dell'opera in progetto, sono stati richiesti ed ottenuti i dati relativi alle misure del livello piezometrico effettuate da ARPA su una rete di pozzi; come già anticipato le serie non coprono un lasso temporale particolarmente esteso, ma consentono di valutare l'andamento dei livelli nell'arco degli ultimi anni. Si riportano di seguito i grafici time-plot relativi ai pozzi di maggiore interesse per il tratto C dell'asse autostradale, la cui ubicazione è riportata in Figura 11.

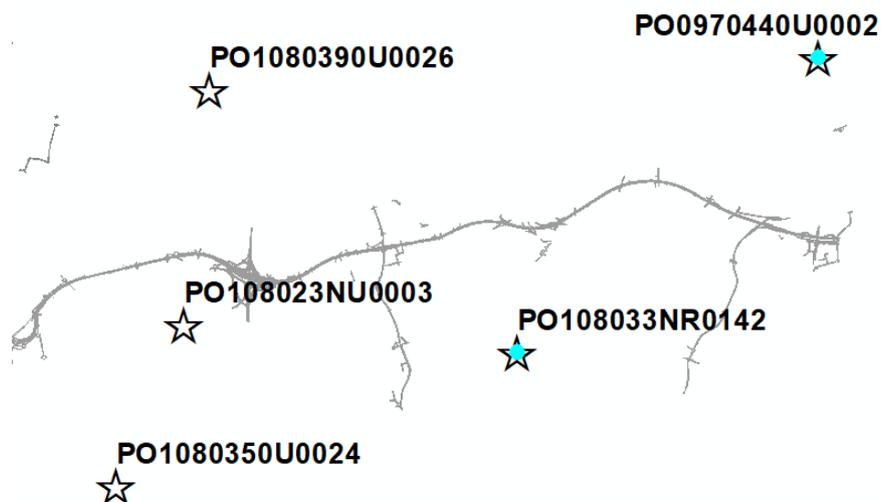


Figura 11 - Ubicazione dei pozzi di interesse per la tratta C dell'asse autostradale in progetto per cui ARPA ha fornito le registrazioni dei livelli piezometrici

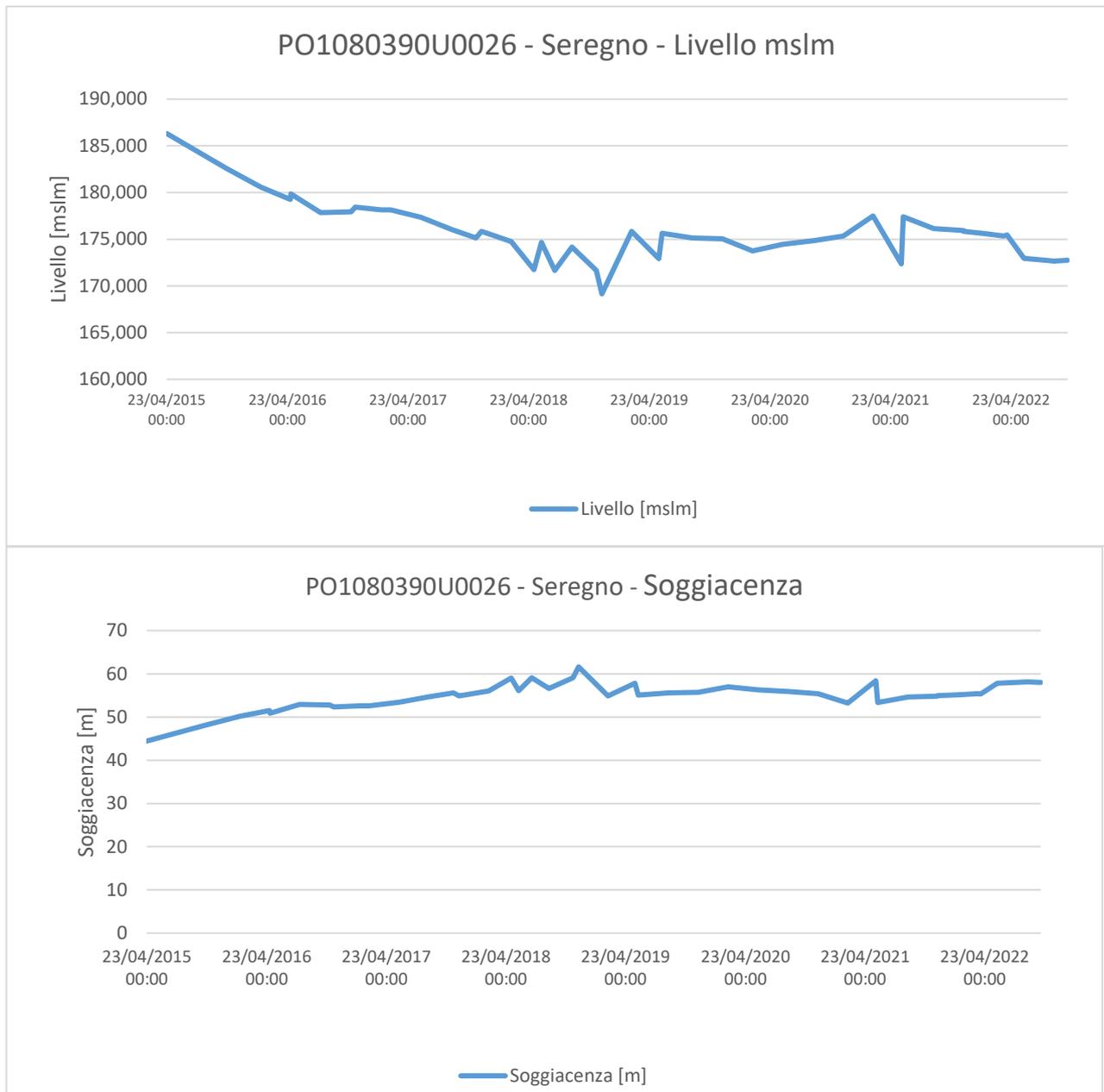


Figura 12 - Andamento del livello piezometrico e della soggiacenza nel pozzo PO1080390U0026 ubicato a Seregno, con escursioni annuali comprese mediamente entro 5 m

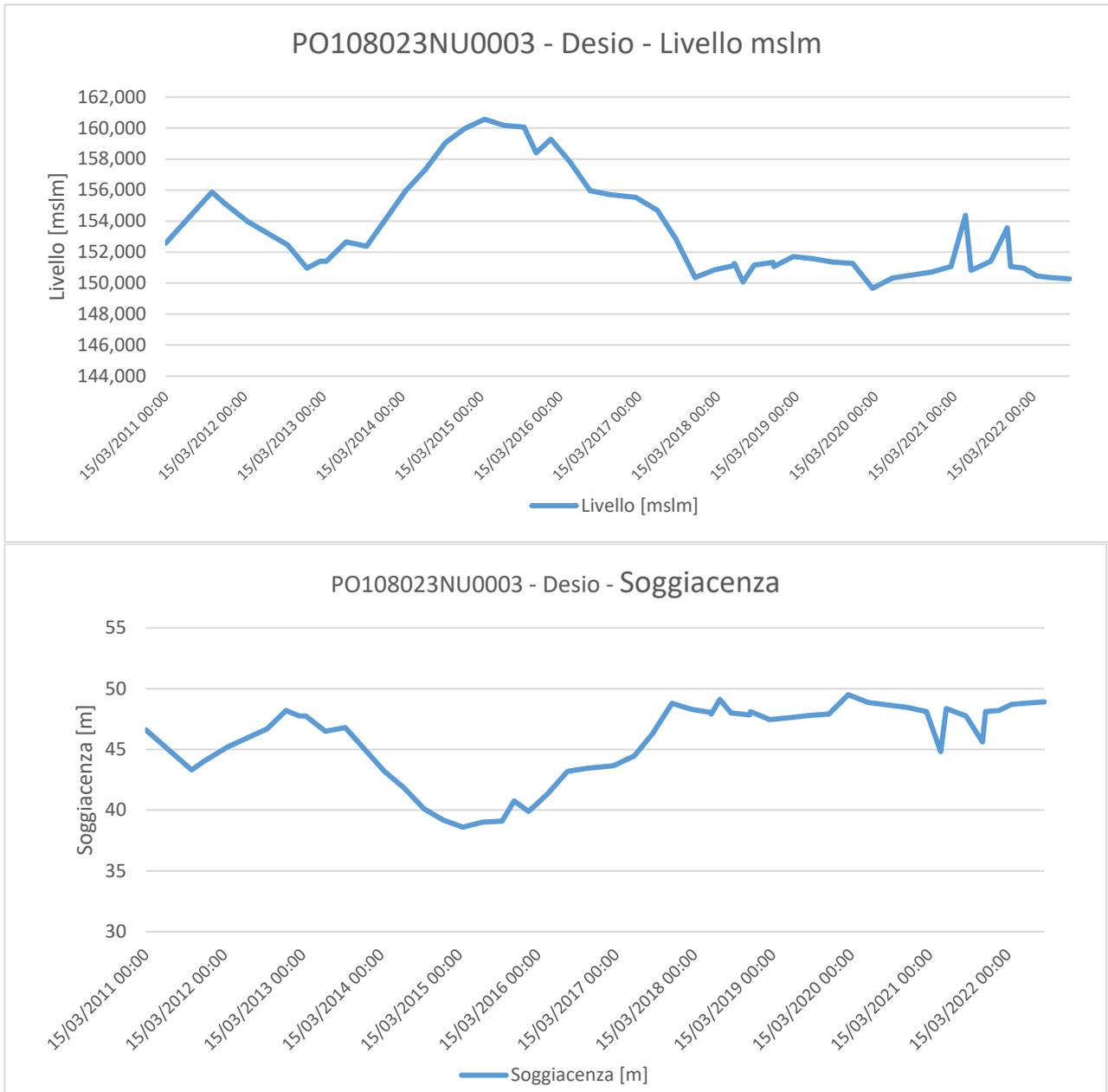


Figura 13 - Andamento del livello piezometrico e della soggiacenza nel pozzo PO108023NU0003 ubicato a Desio con escursioni annuali comprese mediamente entro 5-6 m

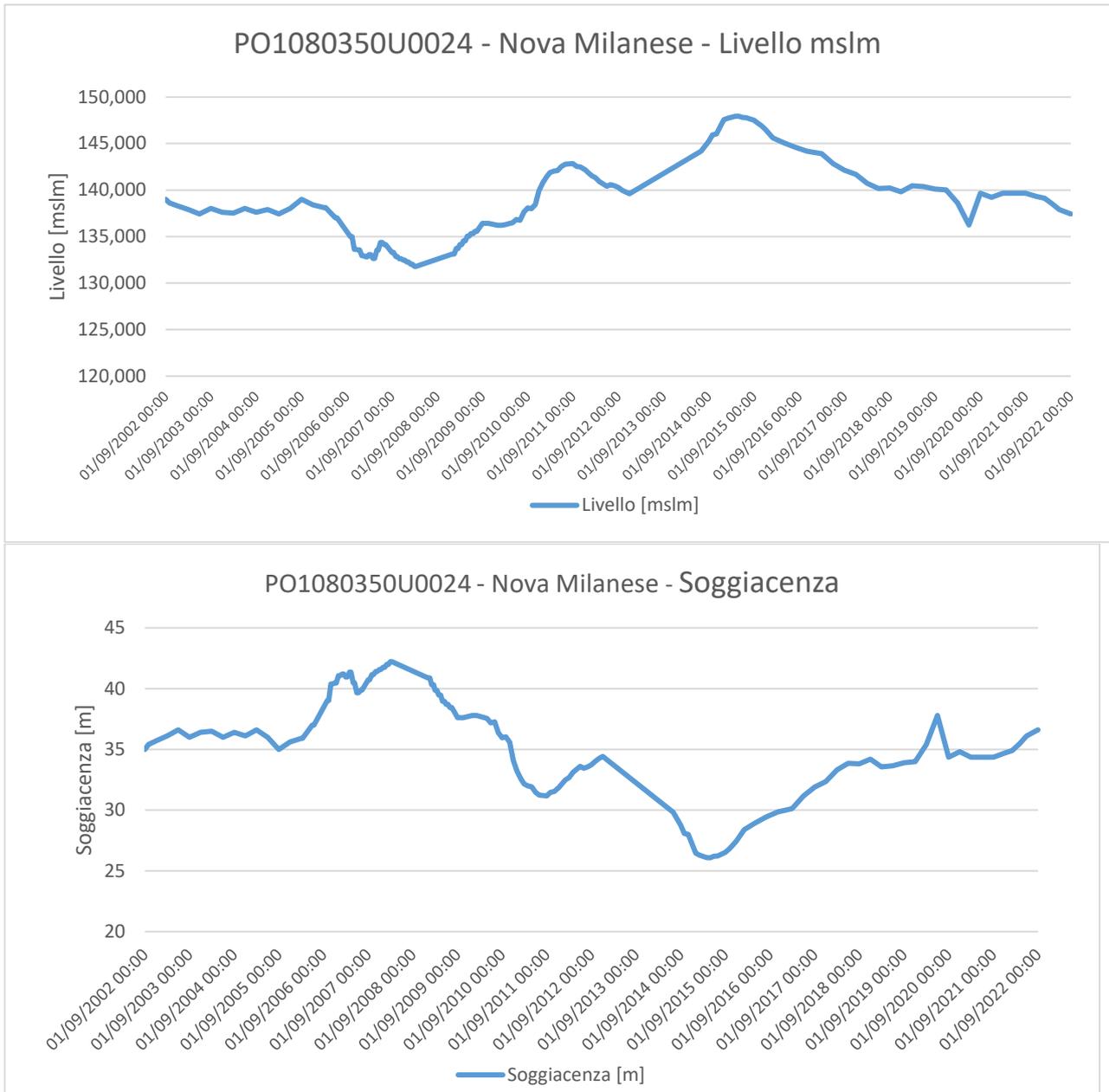


Figura 14 - Andamento del livello piezometrico e della soggiacenza nel pozzo PO1080350U0024 ubicato a Nova Milanese con escursioni annuali comprese mediamente entro 5 m

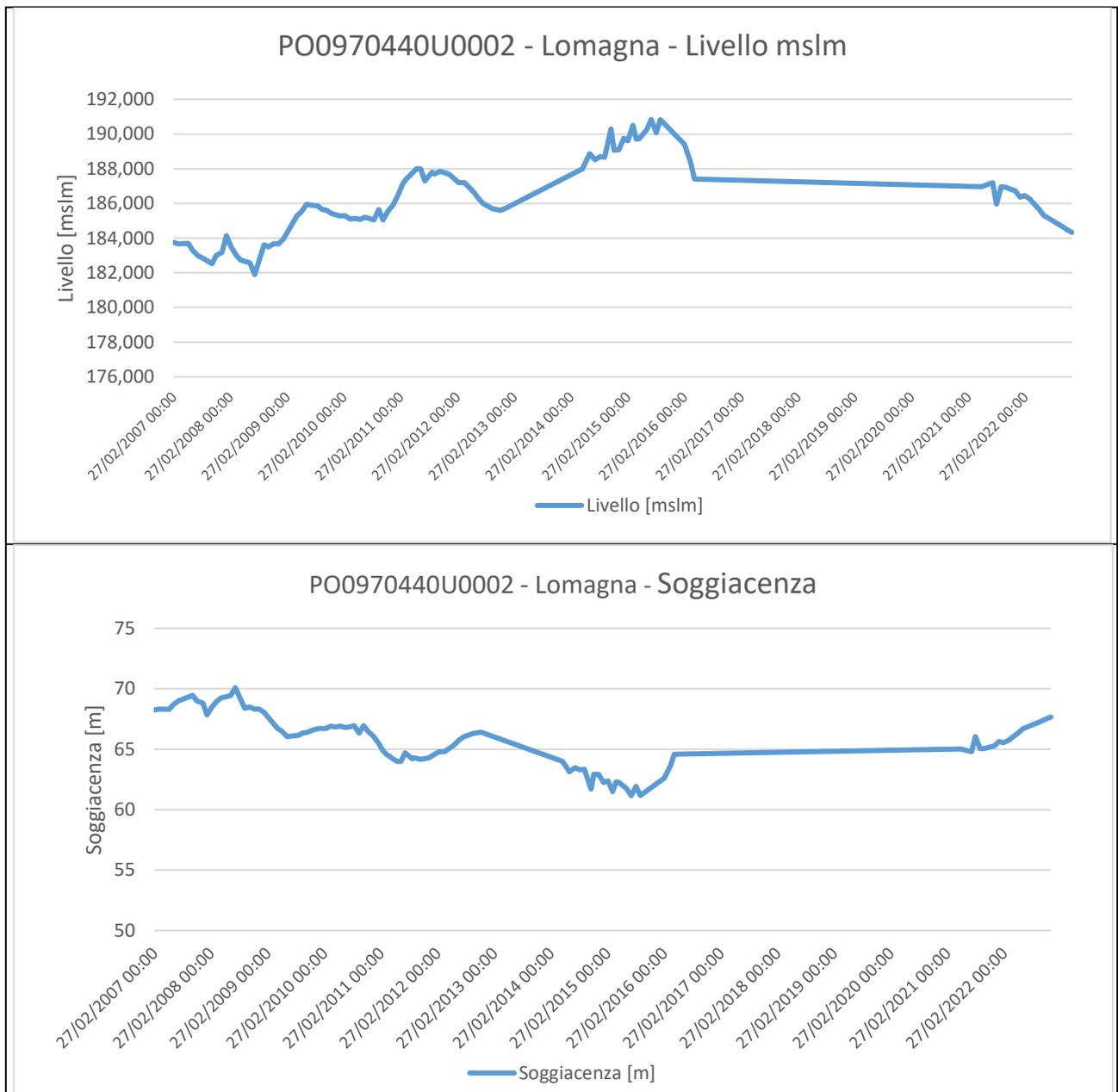


Figura 15 - Andamento del livello piezometrico e della soggiacenza nel pozzo PO0970440U0002 ubicato a Lomagna con escursioni annuali comprese mediamente entro 2-3 m

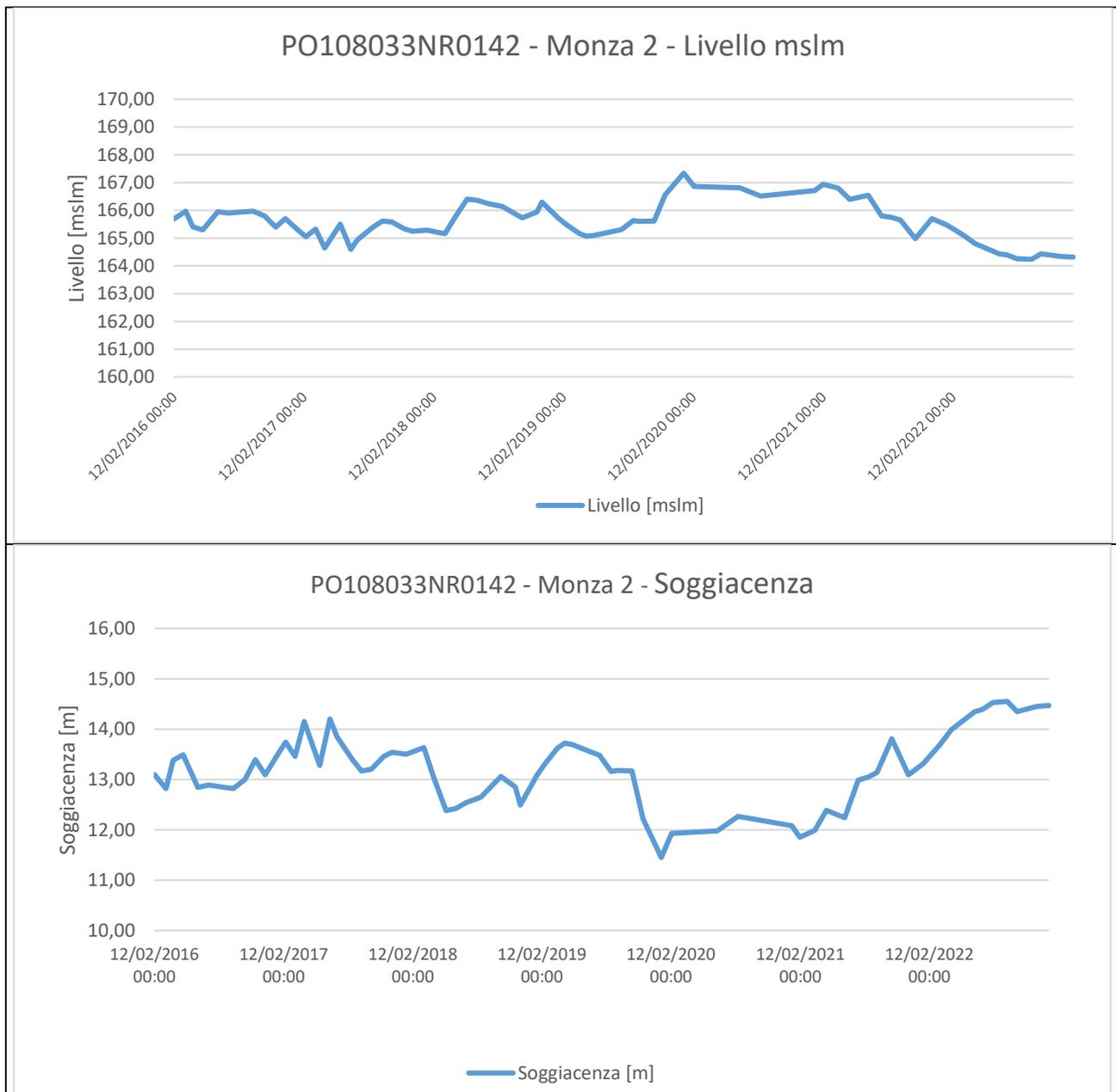


Figura 16 - Andamento del livello piezometrico e della soggiacenza nel pozzo PO108033NR0142 ubicato a Monza con escursioni annuali comprese mediamente entro 2 m

Dall'analisi dei grafici soprastanti e in particolare quelli aventi le serie delle registrazioni dei livelli più lunghe (Lomagna e Novate Milanese) emerge che, i periodi in cui sono stati rilevati i livelli più elevati sono compresi tra la seconda metà del 2014 e il 2015. Sebbene il periodo 2014-2015 appaia a tutti gli effetti come un picco "relativo", favorito da precipitazioni elevatissime (nel 2014 l'altezza di pioggia cumulata è risultata pari a poco meno del doppio¹ della media centennale²), esso si inserisce

¹ Consultare le tavole di precipitazione cumulata annuale per i capoluoghi di provincia al sito <https://www.istat.it/it/archivio/284518>

² Carta delle precipitazioni minime, medie e massime annue del territorio alpino lombardo 1881-1990. Regione Lombardia, Direzione Generale Territorio ed Urbanistica. Autori M.Ceriani e M.Carelli con la collaborazione di U.Agnelli, N.Bodio, S.Colombo, S.Lauzi, M.Martelli -

all'interno di un trend generale di innalzamento dei livelli di falda rispetto ai minimi storici degli anni '70 del secolo scorso e pertanto i valori registrati potranno probabilmente essere superati in futuro.

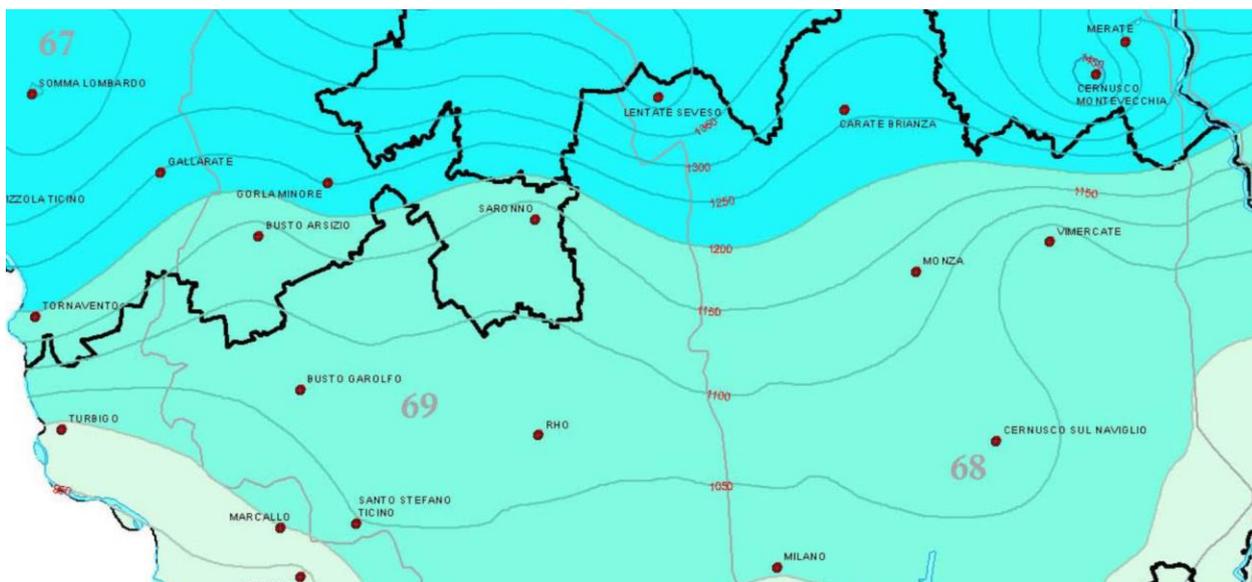


Figura 17: Carta delle precipitazioni medie annue del territorio alpino lombardo centennali 1881-1990 (Ceriiani, Carelli – Reg. Lombardia) che a Monza risultano essere pari a ca. 1150 mm di pioggia.

Ai fini progettuali si ritiene in ogni caso sufficientemente cautelativo utilizzare come riferimento la carta piezometrica riferita al mese di settembre 2014, riportata e descritta nel successivo capitolo 0.

In termini di escursione piezometrica, i dati mostrano una maggiore variabilità verso ovest (escursioni annuali al massimo pari a 5 m) che verso est (escursioni annuali tendenzialmente comprese nei 2 m).

3.3.3 Falde sospese e sorgenti

Le falde acquifere sospese sono un fenomeno geologico interessante che si verifica quando un litotipo permeabile (ghiaie o sabbie, oppure uno strato di roccia porosa) è localizzato al di sopra di uno strato poco permeabile, sia esso un livello limoso-argilloso o uno strato di roccia impermeabile. L'acqua si accumula quindi sopra questo strato impermeabile, formando una falda acquifera, che solitamente (ma non sempre) presenta un bacino di alimentazione limitato spazialmente e risulta maggiormente dipendente dalle precipitazioni meteoriche rispetto agli acquiferi "regionali".

La conoscenza delle falde acquifere sospese è però molto lacunosa, dato che non esistono documenti che ne attestino estensione e trasmissività (produttività); talvolta possono generare sorgenti, quando sono presenti terreni e scarpate acclivi (come nella parte settentrionale della provincia di Monza e Brianza).

Nei PGT dei comuni interessati dal passaggio della tratta C sono poche le citazioni di questo fenomeno. Si è dunque integrata detta valutazione con la geologia locale, alla ricerca di limiti di permeabilità all'interno delle formazioni geologiche più tipicamente associabili a questi fenomeni, i till o morene.

Purtroppo neanche con piezometri troppo profondi è semplice individuarle, e dunque ci si deve accontentare di effettuare valutazioni qualitative basate sulla pianificazione, notizie locali e la natura dei depositi.

Ne consegue che sono state individuate 2 zone (Macherio est-Biassono e Lesmo-Arcore ovest) potenzialmente interessate da falde sospese, delle quali non è assolutamente prevedibile né

l'estensione né la loro entità (essendo assenti sorgenti misurabili che ne facciano emergere le acque lungo la Pedemontana), e in particolare:

- A Macherio e Biassono tra il km 7+900 e 9+600, con probabilità bassa (segnalazioni da PGT e locali contrasti di permeabilità attesi)
- A Lesmo e Arcore, tra il km 10+600 (zona g.a. Lesmo 1) e il 14+000 (zona g.a. Arcore 3) con probabilità alta (contrastati di permeabilità attesi)
- Ad Arcore tra il km 14+000 e 14+800, bassa probabilità (contrastati di permeabilità attesi)

Non sono note sorgenti di interesse i cui circuiti di alimentazione risultino interferenti con il progetto in tratta B2.

3.4 IDROCHIMICA

Lo stato della qualità delle acque nella zona considerata è oggetto di numerosi studi, fra i quali molti di ARPA, Provincia di Milano, CAP e Politecnico di Milano (sezione Geologia).

Questi lavori hanno evidenziato l'esistenza di una vasta area interessata da inquinamenti diffusi, quali ad esempio quelli a carico di nitrati e solventi clorurati, e da inquinamenti concentrati (plume di TCE, PCE, TCM o Cr VI, ad esempio).

Nei prossimi paragrafi si riportano alcune cartografie che illustrano la distribuzione di entrambe le tipologie di contaminazione, in vista delle possibili interferenze dello scavo con la distribuzione delle concentrazioni degli inquinanti.

3.4.1 Contaminazioni diffuse

Osservando alcune di queste elaborazioni o cartografie tematiche, si osserva che la zona di progetto è in effetti interessata da valori piuttosto elevati di conducibilità elettrica (cfr. figura successiva).

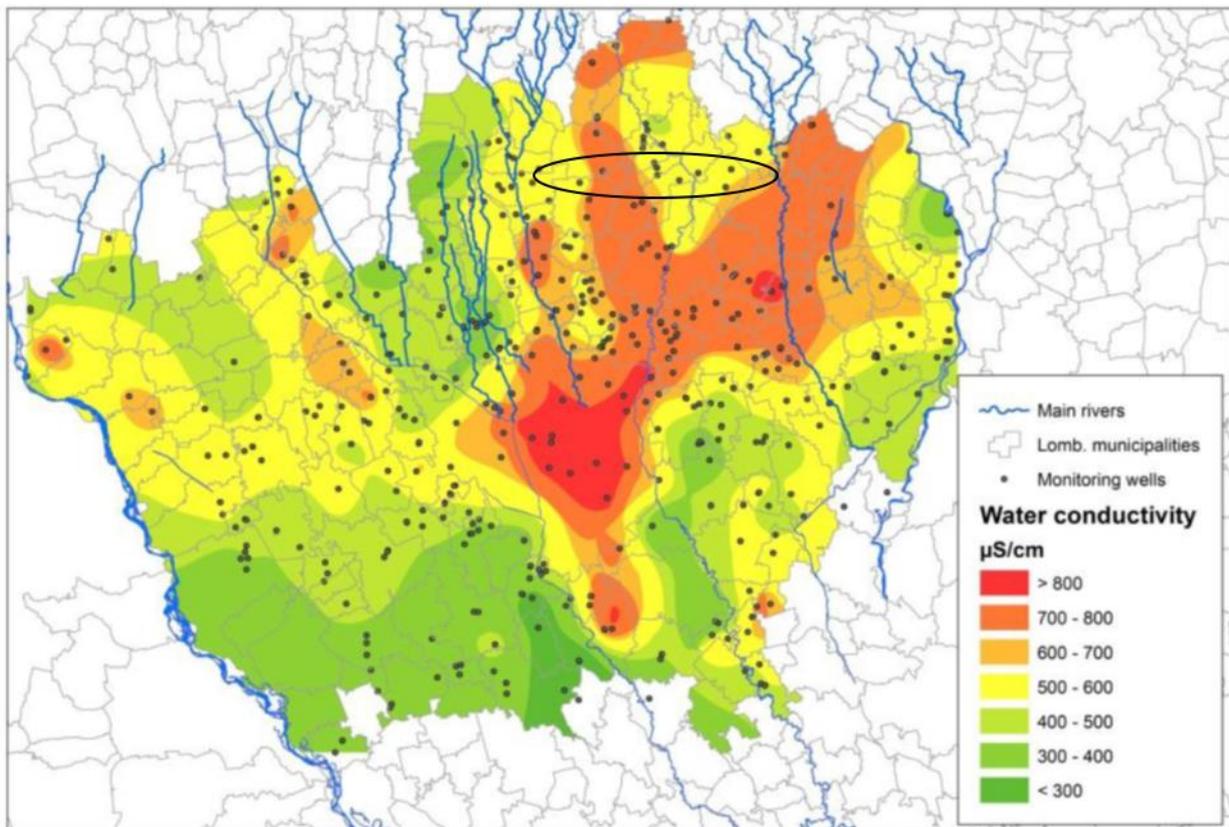


Figura 18: conducibilità elettrica nelle acque di falda, generico parametro indicatore per evidenziare la presenza di composti polari nelle acque (minerali, metalli, reflui urbani, ecc...); nella zona di progetto (ellisse nera) si evince un sensibile inquinamento diffuso e/o una maggiore presenza di ioni disciolti in acqua, anche di origine naturale (vedasi la durezza dell'acqua in Figura 9).

Tra gli inquinamenti diffusi di maggiore rilevanza ci sono infine quelli legati alla presenza di solventi clorurati nelle acque. In Figura 19 si nota come l'area di progetto sia interessata dalla presenza di queste sostanze con concentrazioni non trascurabili.

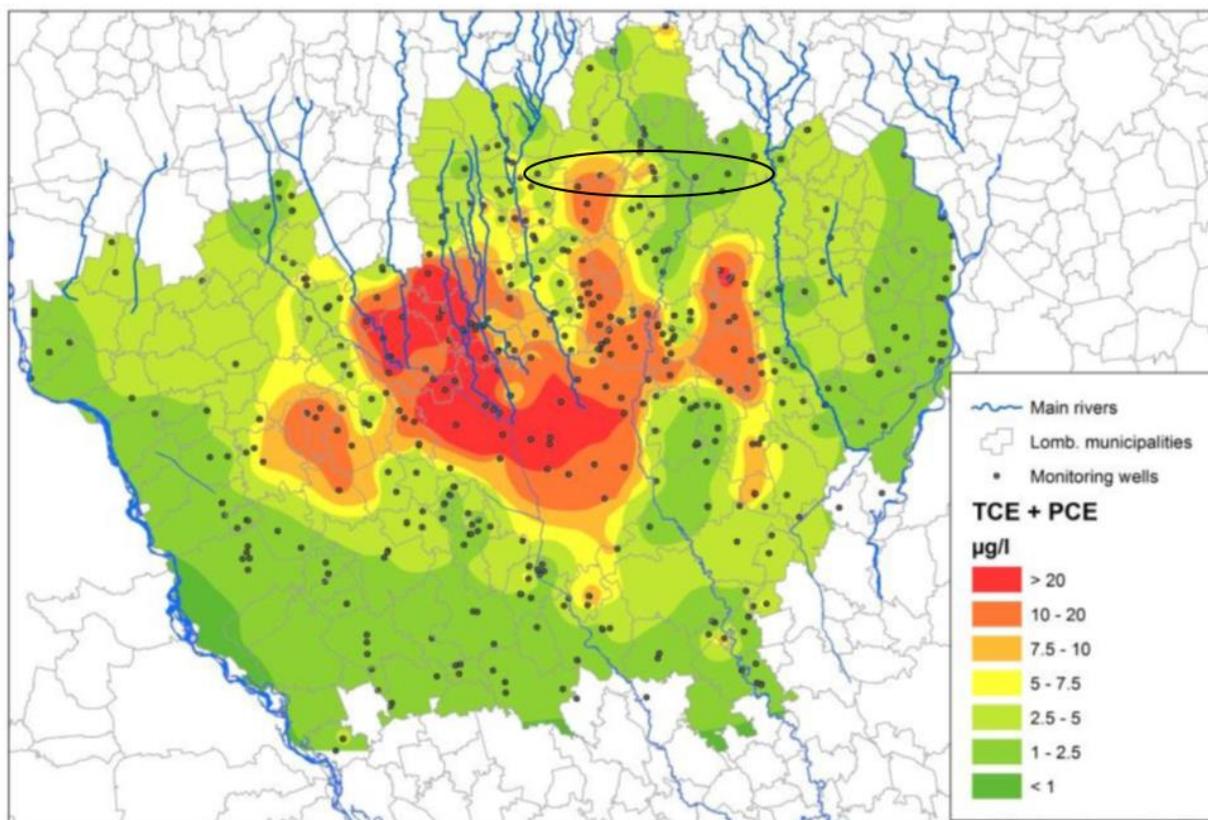


Figura 19: contaminazione diffusa da TCE e PCE nelle acque di falda; la zona di progetto è parzialmente interessata da contaminazioni diffuse di questi solventi

Una “fotografia” recente dello stato di contaminazione delle acque sotterranee è contenuta nel rapporto di ARPA Lombardia intitolato “Stato delle acque sotterranee in Regione Lombardia – Corpi idrici sotterranei—Giugno 2021”. Il documento è frutto del monitoraggio delle acque superficiali e sotterranee che l’agenzia svolge in maniera sistematica sull’intero territorio regionale dal 2001, aggiornato secondo la normativa vigente. La rete di monitoraggio adottata è rappresentata nella Figura 20. Come noto, la qualità delle acque sotterranee può essere influenzata sia dalla presenza di sostanze inquinanti attribuibili principalmente ad attività antropiche (di tipo diffuso o puntuale), sia dalla presenza di sostanze di potenziale origine naturale (ad esempio Arsenico, Ferro, Manganese, Ione Ammonio) che possono compromettere gli usi della risorsa idrica. La qualità dell’acqua prelevata è stata classificata da ARPA come “BUONA” se tutte le sostanze sono presenti in concentrazioni inferiori agli standard di qualità (SQA) e ai valori soglia (VS) riportati nell’Allegato 3 del D.Lgs. 30/2009 così come modificato e integrato dal Decreto Ministeriale 6 luglio 2016. Nel corso del sessennio 2014-2019, a livello regionale, i principali superamenti rivenuti dall’agenzia sono rappresentati dalle sostanze riportate nella Tabella 1.

Il DM del 6 luglio 2016 ha apportato alcune modifiche ai Valori Soglia stabiliti dalla Tabella 3 della parte A dell’Allegato 3 del D. Lgs.30/2009, tra cui le più rilevanti sono - l’inserimento di alcuni Composti Perfluorurati, l’eliminazione dei Valori soglia per il Tricloroetilene (1,5 µg/l), per il Tetracloroetilene (1,1 µg/l), per la Sommatoria degli Organoalogenati (10 µg/l) e l’inserimento del Valore soglia per la somma di Tricloroetilene e Tetracloroetilene (10 µg/l).

Ciò premesso, ARPA ha rilevato come, negli anni del sessennio oggetto dello studio (2014-2019), in buona parte dei Corpi Idrici sotterranei della Lombardia la presenza più significativa riguarda i solventi clorurati, in particolare Triclorometano (anche in acquifero profondo) Tetracloroetilene e Tricloroetilene, in misura minore, nel primo triennio 2014-2016, e con l’entrata in vigore del DM del 6 luglio 2016 la somma di Tricloroetilene e Tetracloroetilene nel secondo triennio 2017-2019.

Arsenico, ma soprattutto Ione Ammonio presentano frequenti superamenti dei Valori Soglia anche nei Corpi Idrici di Media Pianura e in quelli superficiali di Bassa Pianura; superamenti, comunque più contenuti, di Cromo VI si rilevano nei Corpi Idrici di Alta e Media Pianura.

Sostanze chimiche
Ione Ammonio (NH ₄ ⁺)
Tetracloroetilene
Triclorometano
Tricloroetilene + Tetracloroetilene
Tricloroetilene
Arsenico
Cromo VI
Bentazone
Diclorobenzammide 2,6
Atrazina
AMPA
Atrazina-desetil
Terbutilazina (incluso metabolita)
Nitrati

Tabella 1 - Principali superamenti di SQA o VS (sessennio 2014-2019) - fonte: ARPA 2021

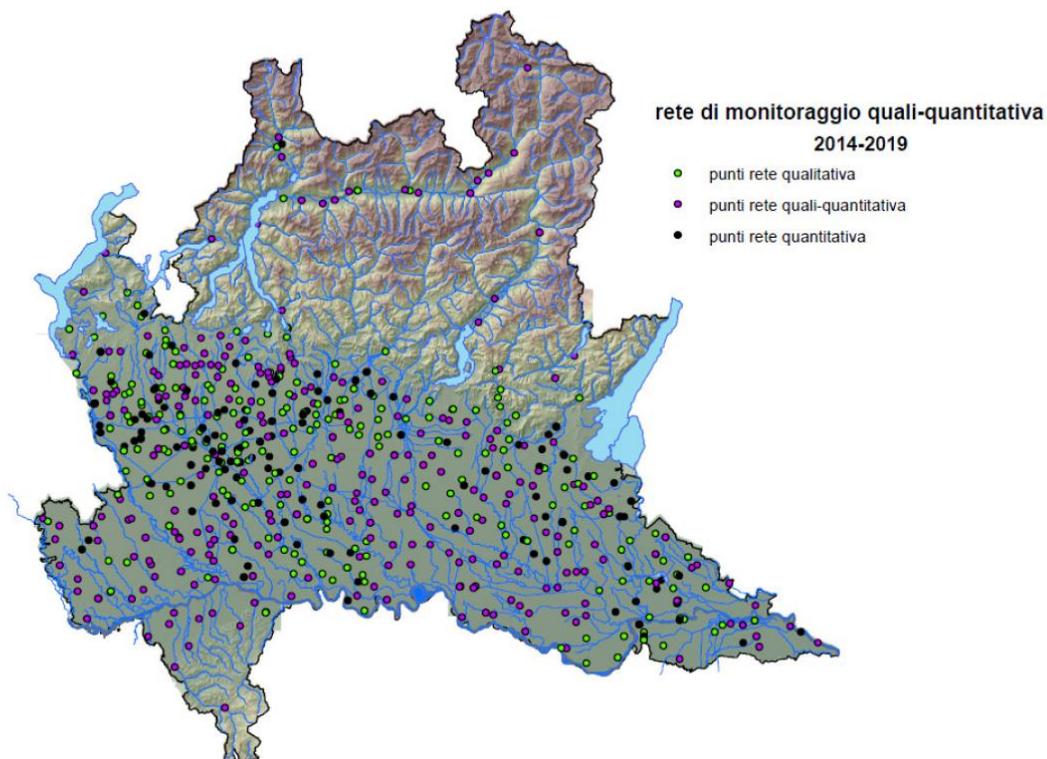


Figura 20 - Rete regionale di monitoraggio quali-quantitativo delle acque sotterranee 2014-2019

L'area oggetto di studio ricade all'interno del territorio in cui la falda acquifera è stata classificata nel Corpo Idrico sotterraneo dell'alta pianura Ticino-Adda, rappresentato dalla sigla GWB-ISS APTA. Il grafico di Figura 21 rappresenta in maniera chiara e sintetica le sostanze contaminate rilevate da ARPA nel periodo di monitoraggio.

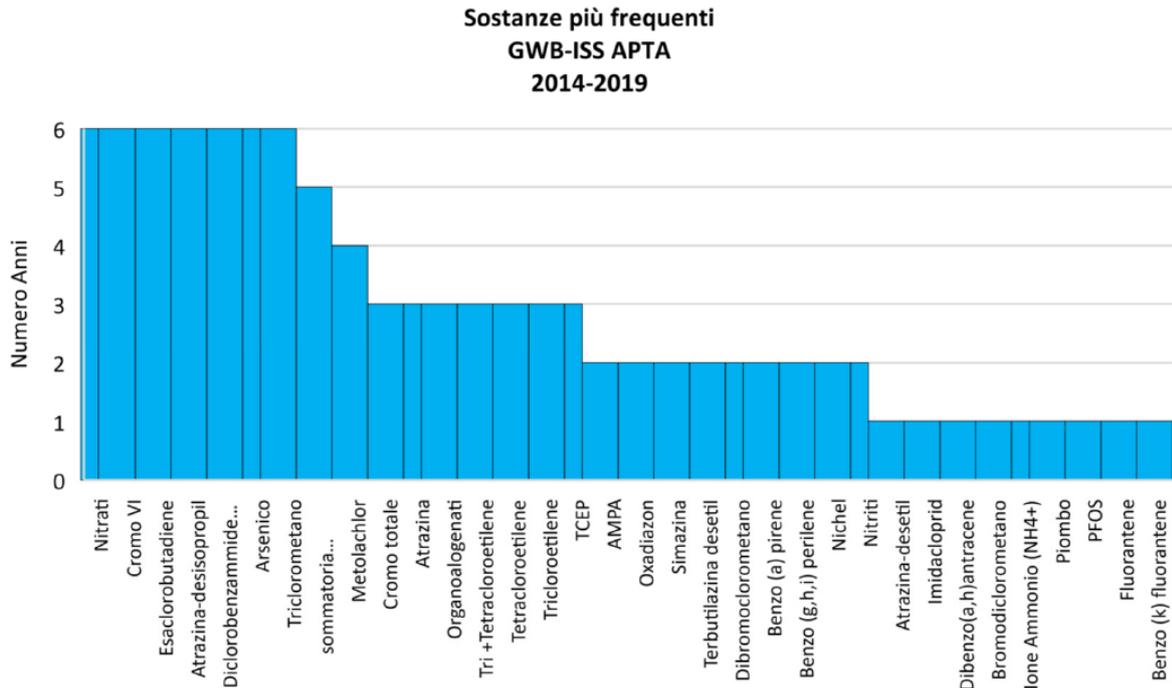


Figura 21 - Grafico relativo alle sostanze di cui si è rilevata la presenza nel corpo idrico sotterraneo GWB-ISS APTA nel corso dei campionamenti del sessennio 2014-2019 - fonte: ARPA 2021

L'attribuzione dello Stato Chimico per ciascun Corpo Idrico sotterraneo è stata calcolata tenendo conto della percentuale di superamenti delle singole sostanze per ciascun Corpo Idrico sotterraneo.

Applicando tale metodologia a tutti gli anni del sessennio 2014-2019, è stato successivamente adottato il criterio di “Stato prevalente” e, nei casi di giudizio discordante tra i due trienni di monitoraggio 2014-2016 e 2017-2019, il giudizio di Stato più recente prevale sui meno recenti, considerato anche come la classificazione intermedia 2014-2016 dei Corpi Idrici Sotterranei è stata svolta ai sensi del D.Lgs. 30/2009, modificato in seguito dal DM 6 luglio 2006.

Secondo l’art. 1 c. 2 del D.M. 6 luglio 2016, “laddove elevati livelli di fondo di sostanze o ioni, o loro indicatori, siano presenti per motivi idrogeologici naturali, tali livelli di fondo nel pertinente corpo idrico sono presi in considerazione nella determinazione dei valori soglia”; la definizione di questi valori è affidata alle Regioni (art. 2, comma c. 1 D.Lgs. 30/2009). La determinazione dei livelli di fondo assume pertanto una rilevanza prioritaria in fase di classificazione delle acque sotterranee.

Quindi, per il sessennio 2014-2019 è stato formulato un doppio giudizio di Stato chimico che tiene conto anche dei VFN e dei nuovi Valori Soglia per i parametri di classificazione Arsenico e Ione Ammonio, relativi alle stazioni della rete di monitoraggio delle acque sotterranee, approvati con D.G.R. 3903 del 23.11.2020.

Nel caso del corpo idrico GWB-ISS APTA in cui ricade il tracciato dell’opera in progetto, la qualità ottenuta applicando entrambe le valutazioni è risultata in ogni caso “NON BUONO”.

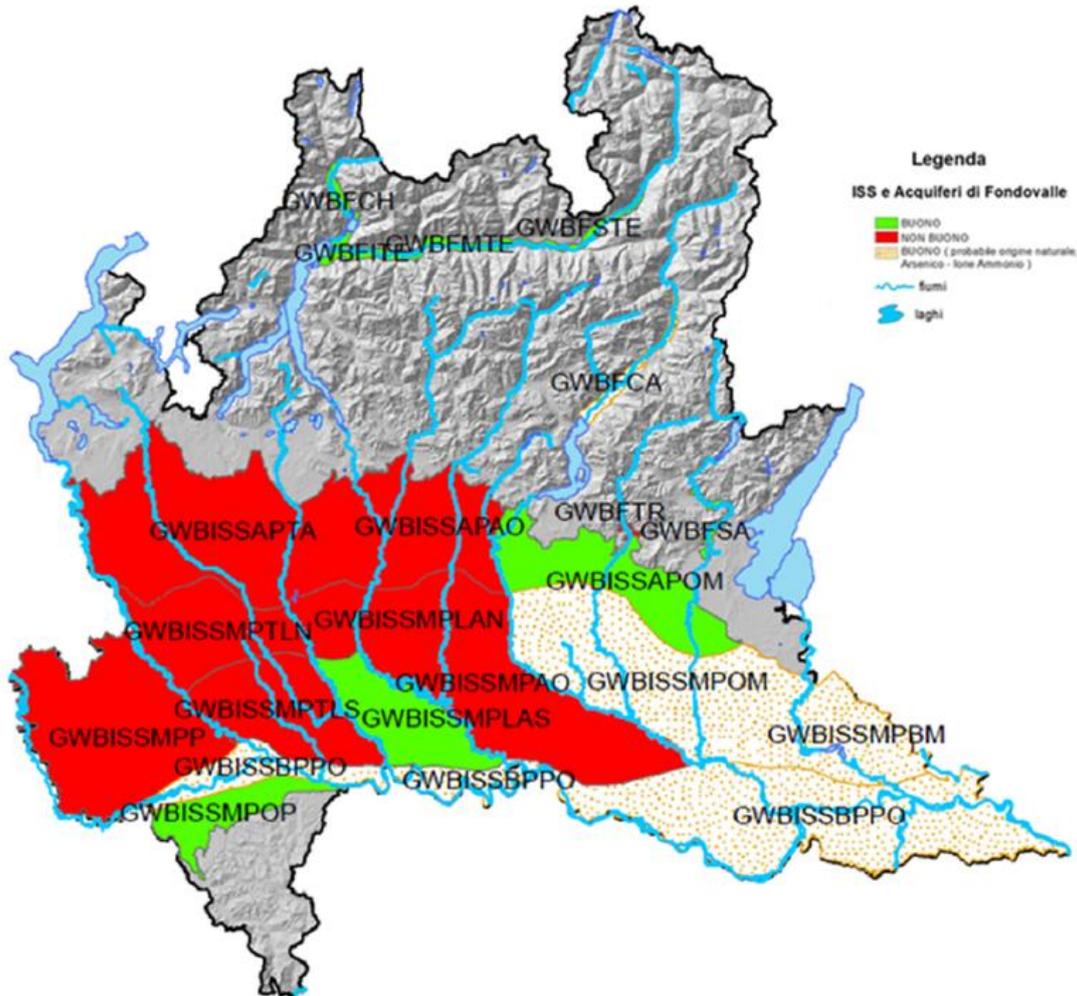


Figura 22 - Classificazione della qualità dei corpi idrici sotterranei – idrostruttura superficiale – periodo 2014-2019 – fonte: ARPA 2021

Con riferimento all'anno 2019, il più recente tra quelli oggetto del report, si conferma lo stato NON BUONO per il corpo idrico GWB-ISS APTA, dovuto principalmente alle concentrazioni rilevate a carico del Triclorometano, facente parte della famiglia degli alifatici clorurati, sostanze particolarmente usate, soprattutto in passato, nei cicli produttivi presenti in particolare nelle province di Monza e Brianza, Milano e Varese.

3.4.2 Contaminazioni concentrate (plume di inquinamento)

Cartografie storiche edite dalla Provincia di Milano (anno 2002) riportano una classica rappresentazione dei plume di inquinamento che convergono verso la depressione piezometrica creata da Milano nel campo di falda.

È interessante notare come dall'esame la zona di progetto non possa essere considerata per numero di inquinamenti concentrati ("plume") una delle più critiche nell'ambito milanese.

Tuttavia, oltre agli inquinamenti diffusi evidenziati nel capitolo precedente, vi sono altre zone già evidenziate da studi precedenti in cui sono presenti pennacchi di contaminazione che dalla cartografia del 2002 potrebbero interferire, seppur marginalmente con il progetto.

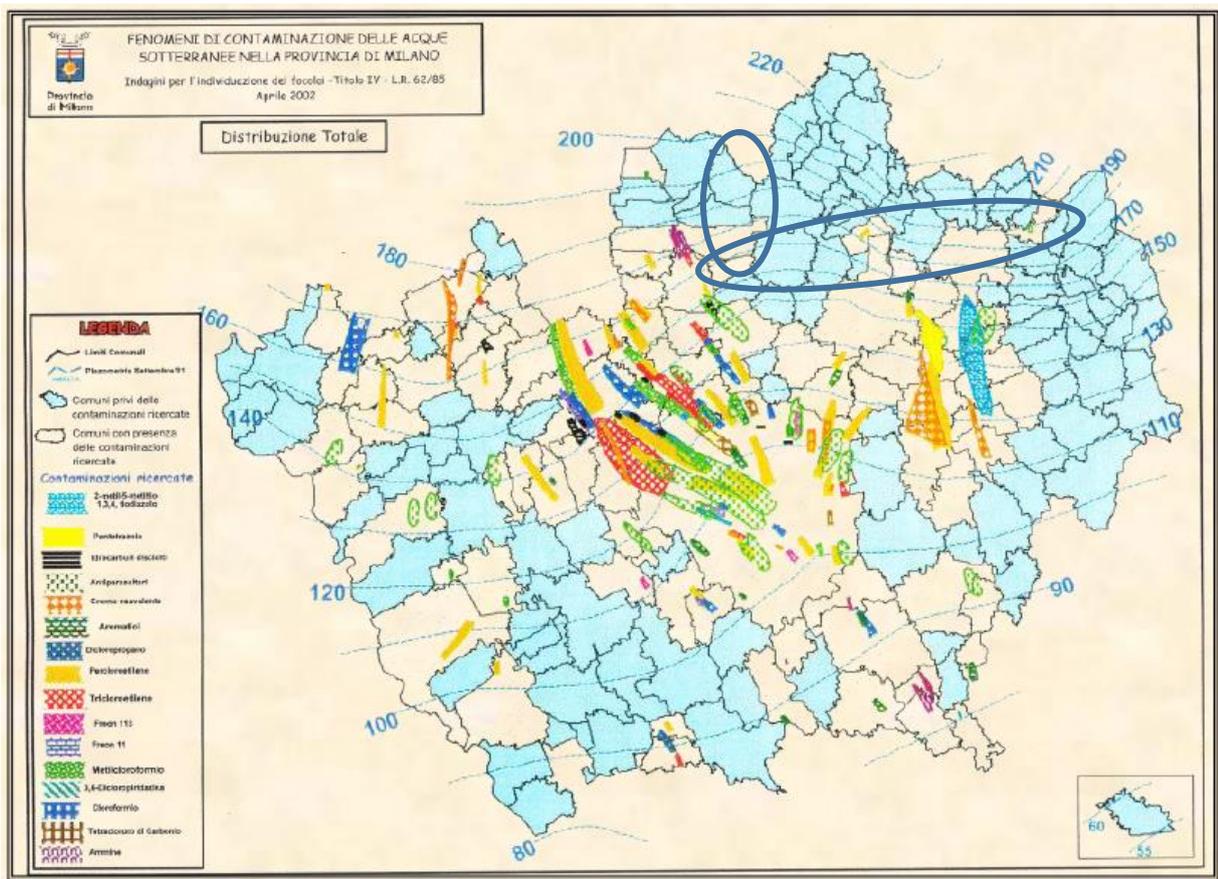


Figura 23: rappresentazione della ex provincia di Milano (contenente anche l'attuale provincia di Monza) in cui si evidenziano i tanti pennacchi di inquinamento convergenti verso la città di Milano, dovuto alla forte alterazione del campo di falda prodotto dal capo

Studi più recenti (Regione Lombardia e ARPA – Progetto ARPA PLUMES e AMIIGA 2016-2018) hanno aggiornato il quadro conoscitivo relativo ai pennacchi di inquinamento concentrate per alcuni composti, in particolare i solventi clorurati. Apparentemente l'autostrada in progetto transita poco a monte dei principali pennacchi di inquinamento per il PCE.

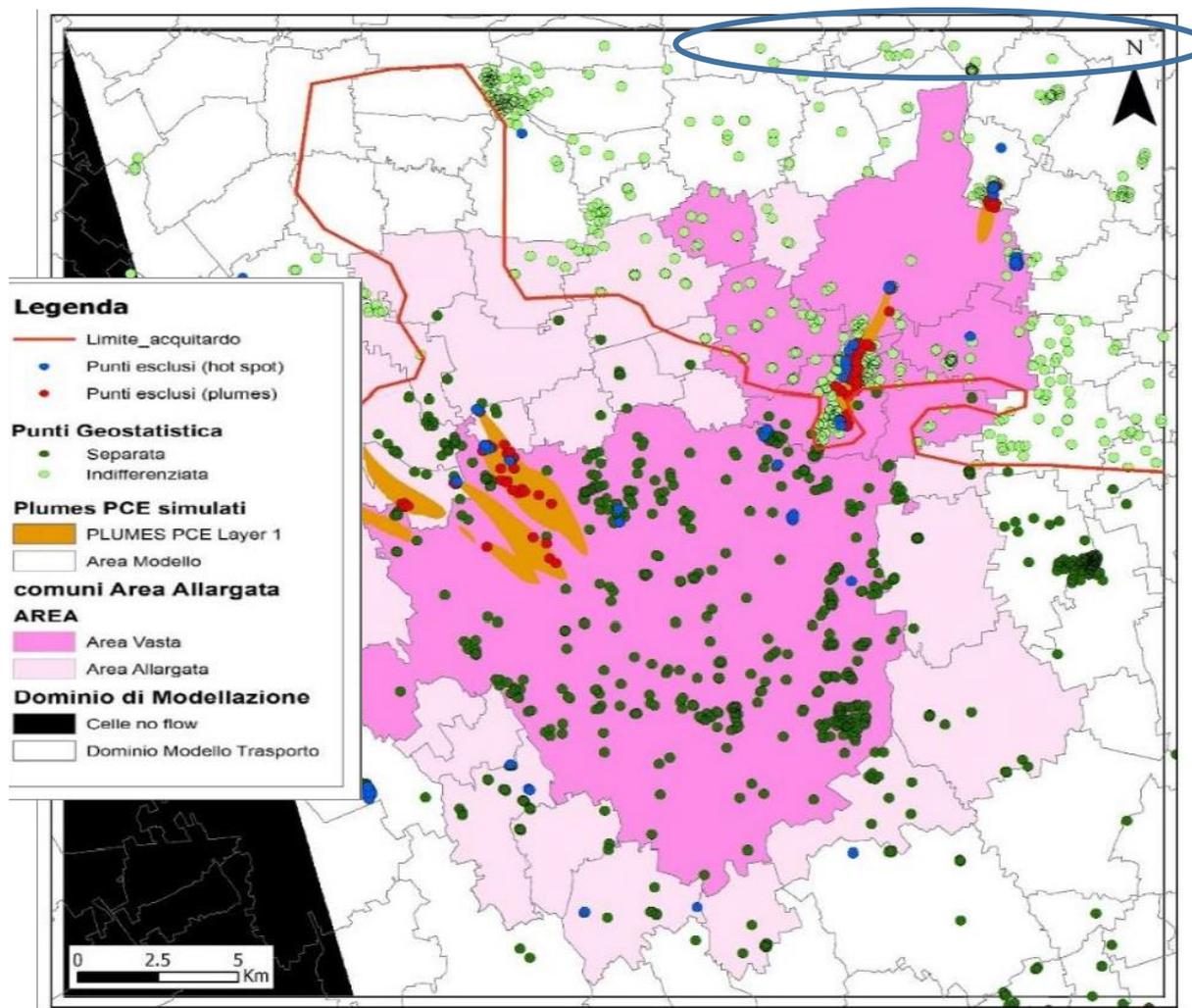


Figura 24 individuazione e simulazione dei pennacchi di inquinamento durante (progetti ARPA PLUMES e AMIIGA, Regione Lombardia, ARPA, Politecnico di Milano, 2016-2018).

Questo fatto appare sicuramente positivo in quanto non si verificherebbero interazioni fra fondazioni e i contaminanti citati.

Per quanto riguarda la distribuzione puntuale delle concentrazioni di contaminanti, sempre nel rapporto ARPA 2021 già citato in precedenza sono riportate delle carte in cui sono indicati in colore verde i valori inferiori o pari all'LOQ - limite di quantificazione - (è stato considerato il massimo dei LOQ), mentre in colore arancio sono rappresentati i punti della rete aventi concentrazioni superiori al LOQ (valori quantificati), ma comunque inferiori o uguali ai VS. Infine, in colore rosso sono riportati i punti aventi concentrazioni superiori ai VS. Come già evidenziato, le aree più critiche sono costituite dai territori delle province di Milano e di Monza e Brianza e da una parte dei territori di Varese, Bergamo e Brescia (a vocazione industriale).

Il DM 6 luglio 2016 ha sostituito i precedenti VS rispettivamente pari a 1,5 µg/l e 1,1, µg/l per Tetracloroetilene e Tricloroetilene, adottando un VS unico per la somma dei due parametri pari a 10 µg/l; inoltre, nel 2017 Regione Lombardia ha disciplinato l'inquinamento diffuso da solventi clorurati (Tetracloroetilene, Tricloroetilene e Triclorometano) nelle acque sotterranee dell'Area Vasta comprendente i Comuni di Brugherio, Cinisello Balsamo, Cologno Monzese, Milano, Monza, Nova Milanese e Sesto San Giovanni e, infine, approvato le misure di risanamento e la disciplina dell'inquinamento diffuso per l'Area Vasta. Di seguito si riportano le carte realizzate da ARPA per i contaminanti principali.

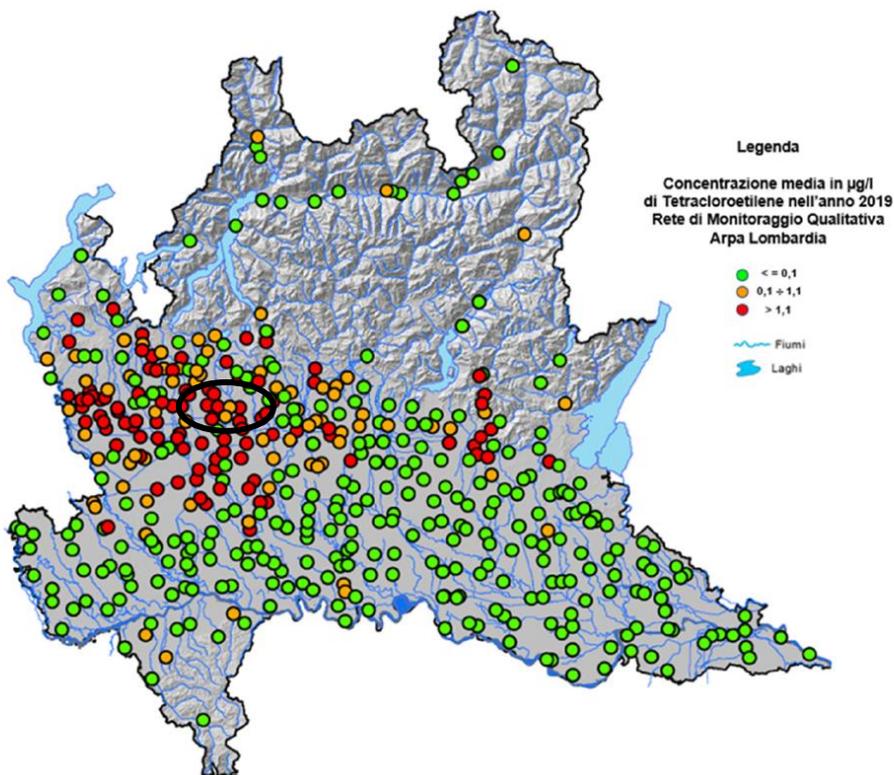


Figura 25 - Distribuzione puntuale delle concentrazioni medie di Tetracloroetilene - anno 2019 - fonte: ARPA 2021

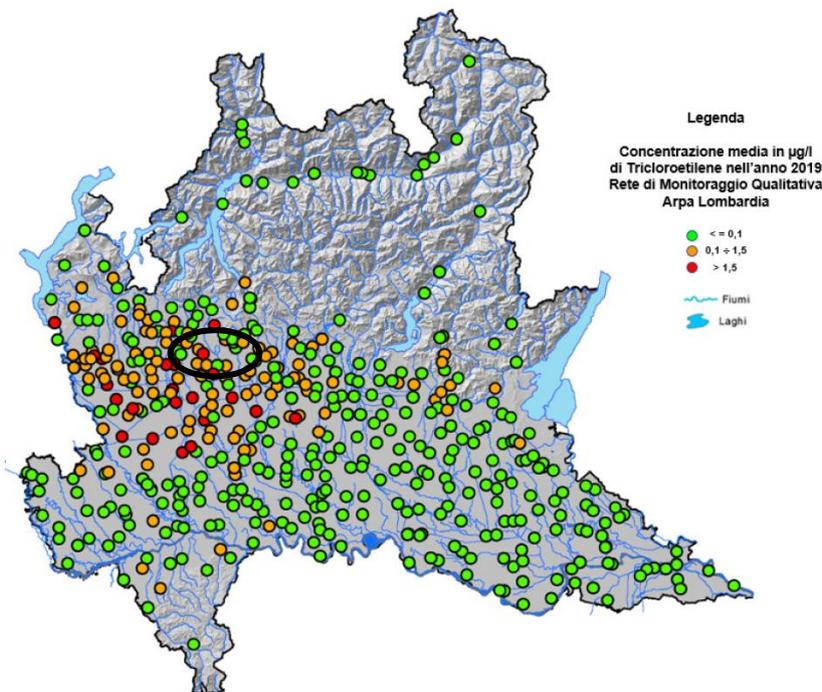


Figura 26 - Distribuzione puntuale delle concentrazioni medie di Tricloroetilene - anno 2019 - fonte: ARPA 2021

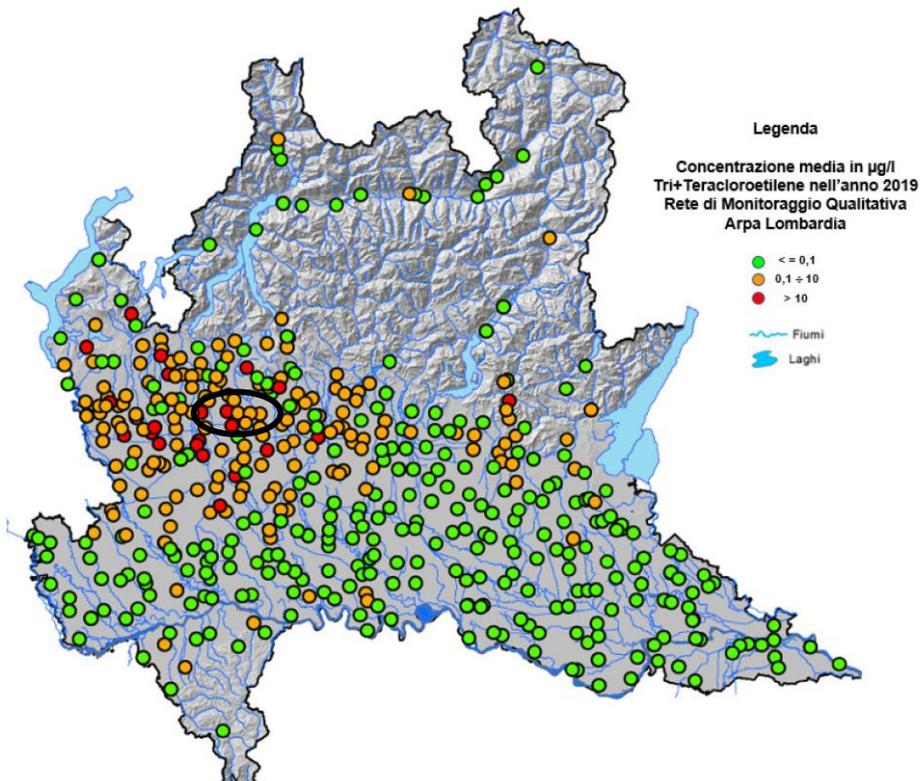


Figura 27 - Distribuzione puntuale delle concentrazioni medie di somma Tricloroetilene + Tetracloroetilene - anno 2019 - fonte: ARPA 2021

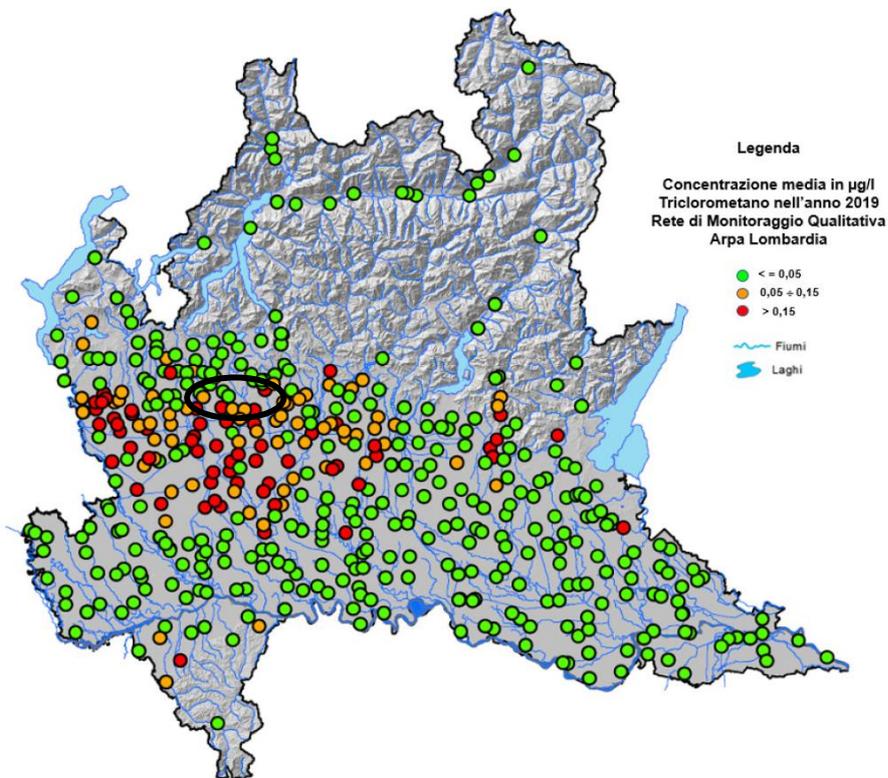


Figura 28 - Distribuzione puntuale delle concentrazioni medie di somma Triclorometano - anno 2019 - fonte: ARPA 2021

In ultimo, è importante dedicare un piccolo approfondimento alle sostanze perfluoroalchiliche, monitorate in regione Lombardia a partire dal 2017 e in maniera sistematica dal biennio 2018-2019.

Relativamente alle acque sotterranee, il D.M. 06/07/2016 (recepimento Direttiva 2014/80/UE), ha introdotto Valori Soglia (VS) per 5 sostanze appartenenti a diverse classi di utilizzo, tra cui l'Acido Perfluorottansolfonico (PFOS). I VS relativi a tali sostanze sono riportati nella Tabella 2 seguente:

SOSTANZA	Valore Soglia (µg/l)
PFOS (Acido perfluorottansolfonico)	0,03 (30 ng/l)
PFPeA (Acido perfluoropentanoico)	3 (3.000 ng/l)
PFHxA (Acido perfluoroesanoico)	1 (1.000 ng/l)
PFBS (Acido perfluorobutansolfonico)	3 (3.000 ng/l)
PFOA (Acido perfluorottanoico)	0,5 (500 ng/l)

Tabella 2 - Valori soglia fissati per le sostanze perfluoroalchiliche nelle acque sotterranee

È stato dunque avviato da ARPA Lombardia a partire da marzo 2018 e con termine dicembre 2018, un piano di monitoraggio per cui sono stati individuati 57 punti di monitoraggio relativi alle acque sotterranee; a tale proposito sono state prese in considerazione alcune potenziali fonti di pressione, discariche attive, discariche chiuse, principali distretti industriali d'interesse nei cui cicli produttivi potrebbero essere presenti o essere stati presenti in passato PFAS. Sono inoltre stati selezionati alcuni punti in corrispondenza delle principali chiusure di bacino. Sono stati considerati prioritariamente i punti della rete regionale appartenenti alla falda più superficiale.

Nel 2019 è proseguito il monitoraggio dei PFAS sui 57 punti individuati nel 2018, la cui individuazione è riportata in Figura 29 - Ubicazione delle stazioni di monitoraggio acque sotterranee della rete dedicata alle sostanze perfluoroalchiliche a sx e PFOS a dx- Fonte: ARPA 2021; pur rilevando la presenza di tali sostanze in numerosi punti di monitoraggio, si è rilevato un solo superamento emerso dal monitoraggio effettuato nel 2019.

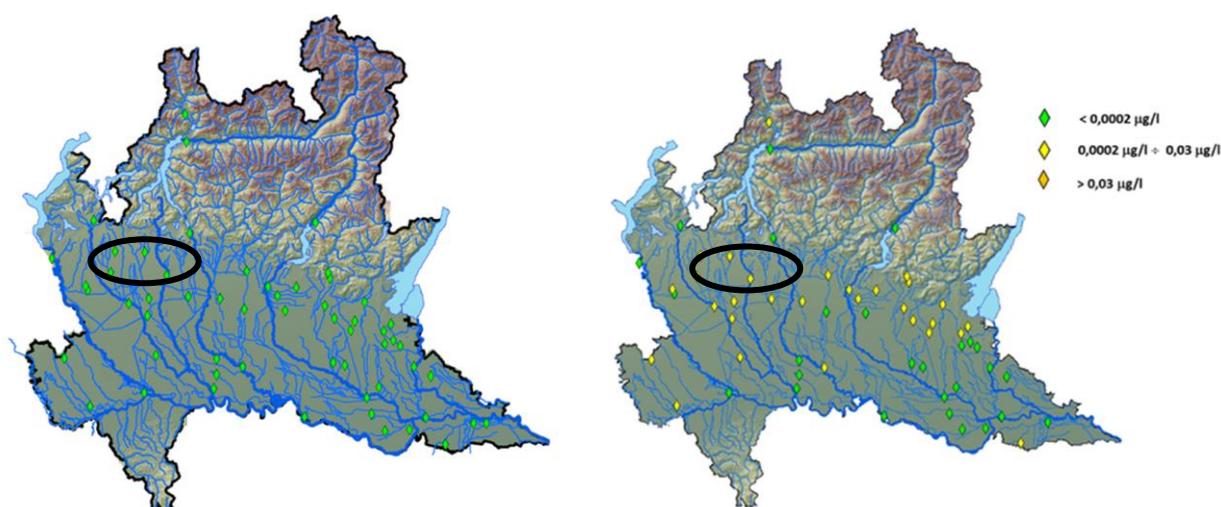


Figura 29 - Ubicazione delle stazioni di monitoraggio acque sotterranee della rete dedicata alle sostanze perfluoroalchiliche a sx e PFOS a dx- Fonte: ARPA 2021

In termini generali è dunque possibile affermare che le acque sotterranee nel territorio brianteo sono soggette a inquinamenti diffusi da solventi clorurati che devono essere tenuti in considerazione per garantire le prestazioni delle fondazioni profonde nel tempo.

4 RIELABORAZIONE DATI IDROGEOLOGICI E MODELLO CONCETTUALE IDROGEOLOGICO

Oltre alle indagini realizzate nell'ambito del Progetto Definitivo, per la redazione del Progetto Esecutivo è stata condotta una campagna di indagini integrative molto estesa, volta ad approfondire le conoscenze già acquisite circa le condizioni geologico-tecniche del sottosuolo, ma anche a caratterizzarne con maggior dettaglio gli aspetti idrogeologici.

Nei paragrafi a seguire si illustrano i dati raccolti durante il progetto per gli aspetti inerenti alla circolazione idrica nel sottosuolo.

4.1 DATI IDROGEOLOGICI DI PROGETTO DEFINITIVO

In primo luogo, rispetto ai dati di PD sono stati acquisiti dati più recenti e numerosi per quanto concerne i valori di livello piezometrico, sia attraverso richieste presso i gestori del servizio idrico integrato (Brianza Acque) ed Enti pubblici (ARPA Lombardia), sia attraverso misure di campo appositamente effettuate nei punti di monitoraggio ubicati lungo lo sviluppo del tracciato dell'opera in progetto. Come mostrano i grafici degli andamenti nel tempo dei livelli piezometrici già illustrati e commentati nel paragrafo 3.3.2, in generale si osserva un importante incremento dei livelli nel corso degli ultimi decenni, con un "alto relativo" rilevato a cavallo tra il 2014-2015, ben rappresentato dalla piezometria del 2014 (settembre), presa a riferimento per il PE, rispetto ai dati del marzo 2008 utilizzati in PD.

Si osservano infatti carichi superiori nel 2014 rispetto al 2008 con differenze variabili nel range compreso tra 10-15 m e 5-10 m.

Si riportano i dati di PD nelle tabelle seguenti: risulta abbastanza evidente la discrepanza esistente tra i dati piezometrici della prima fase di PD e quelle successive, come si evince molto facilmente nel primo tratto del lotto C, ove in tabella è indicata una soggiacenza di 20 metri che in realtà corrisponde al fondo foro.

Come meglio rappresentato nelle tabelle di fase 2, molto più attendibili, queste misure non sono da ritenersi valide.

PD prima fase:

Tratta C livelli falda 1^ fase			
Sondaggio	Data	Lecture falda m da p.c.	Quote assoluta p.c. (m s. l.m.m.)
SC-02	28/06/08	20.00	199.8
SC-03	06/05/08	20.00	242.3
SC-07	13/06/08	20.00	206.1
SC-07 bis	13/06/08	9.00	206.1
SC-09	27/06/08	20.00	207.4
SC-09 bis	27/06/08	9.00	207.4
SC-12	12/07/08	20.00	208.8
SC-15	13/06/08	20.00	207.9
SC-18	03/07/08	20.00	210.3
SC-19	04/07/08	20.00	208.3
SC-21	06/07/08	20.00	207.1
SC-23	15/06/08	20.00	210.6
SC-23 bis	15/06/08	9.00	210.6
SC-26	14/06/08	15.00	207.1
SC-27	18/06/08	assente	207.9
SC-29	15/06/08	35.00	200.7
SC-32	21/06/08	35.00	200.7
SC-35	20/06/08	19.00	204.8
SC-35 bis	20/06/08	9.00	204.8
SC-36	09/07/08	19.50	206.8
SC-38	19/06/08	20.00	207.8
SC-43	29/05/08	20.00	209.1
SC-44	03/06/08	20.00	209.1
SC-46	08/06/08	30.00	207.7
SC-48	03/06/08	19.60	209.1
SC-48 bis	03/06/08	9.00	209.1
SC-51	18/07/08	19.50	209.1
SC-53	11/06/08	17.90	208.6
SC-55	12/06/08	20.00	209.9
SC-59	29/05/08	16.80	197.4

Tratta C livelli falda 1^ fase			
Sondaggio	Data	Lecture falda m da p.c.	Quote assoluta p.c. (m s. l.m.m.)
SC-61	03/06/08	15.80	190.2
SC-62	06/06/08	14.00	189.5
SC-65	23/05/08	11.90	188.5
SC-65B	24/05/08	2.20	181.3
SC-66	20/05/08	4.00	183
SC-69	17/05/08	13.10	191.6
SC-70	25/05/08	20.00	254.3
SC-73	29/05/08	20.00	264.7
SC-75	10/07/08	19.80	265
SC-76	09/07/08	19.50	263.6
SC-81	07/07/08	15.00	215
SC-83	07/07/08	20.00	220.5
SC-85	17/07/08	18.40	204.5
SC-85 bis	17/07/08		204.5
SC-86	17/07/08	26.20	205.7
SC-88	19/07/08	19.20	200.5
SC-92	11/07/08	20.00	207.5
SC-92 bis	11/07/08	18.00	207.5
SC-94	18/07/08	assente	208
SC-94bis	18/07/08	assente	208
SC-99	25/06/08	19.00	212
SC-102	26/06/08	20.00	214
SC-105	28/06/08	20.00	212.6
SC-106	08/06/08	21.34	213.1
SC-108	12/07/08	20.80	208
SC-110	15/05/08	15.10	204
SC-113	06/07/08	20.00	221
SC-115	05/07/08	20.00	216
SC-118	17/07/08	16.50	204.7

PD seconda fase:

PIEZOMETRO	DATE								Quota assoluta p.c. m s.l.m.m.
	08/09	26/09	29/09	03/10	10/10	15/10	23/10	30/10	
SC01						assente		assente	199.8
SC04						-16.10		assente	203.5
SC05						assente		assente	205.1
SC06						-17.01		assente	205.7
SC08						assente		assente	206
SC10			assente		assente		assente	assente	208
SC11			assente		assente		assente	assente	208.9
SC13			assente		assente		assente	assente	208.9
SC14			assente		assente		assente	assente	209
SC16				assente	assente		assente	assente	210
SC17				assente	assente		assente	assente	207.7
SC20				assente	assente		assente	assente	209.5
SC22					assente		assente	-33.20	206.9
SC24				assente	assente		assente	assente	205.5
SC25				assente	assente		assente	assente	206
SC28							assente	-33.80	204
SC30							assente	-32.50	202.4
SC31							assente	assente	204
SC33							assente	assente	203.8
SC34				assente	assente		assente	assente	204.5
SC37				assente	assente		assente	assente	205.8
SC39				-22.50	assente		assente	assente	206.6
SC40				assente	assente		assente	assente	207.2
SC41							assente	assente	209.4
SC42							assente	assente	209.3
SC45						assente		assente	207.7
SC47							assente	-34.20	207.8
SC50						assente		assente	207.7
SC52						-10.70		-19.20	207.6
SC52 bis						-12.70		-19.45	207.6
SC54						assente		assente	210
SC56						assente		assente	207.9
SC57						-16.50		-19.34	197
SC58		-18.00				-18.13		-19.15	196.2
SC60						-15.70		-20.40	193
SC63						-13.98		-14.91	189.1

PIEZOMETRO	DATE								Quota assoluta p.c. m s.l.m.m.
	08/09	26/09	29/09	03/10	10/10	15/10	23/10	30/10	
SC64						-11.00		-23.80	189
SC65A		-2.20				-2.35		-3.20	181.3
SC65C						-4.00		-5.08	183.7
SC67						-2.90		-3.28	182
SC68		-9.25				-9.30		-9.96	185
SC71		-20.70				-21.00		-23.85	198
SC72						-16.00		assente	220.1
SC74		assente				assente		assente	220.3
SC77		-16.80				-17.74		-19.90	222
SC78		assente				assente		assente	224
SC79		assente				assente		assente	224
SC80		assente				assente		assente	225.6
SC82		assente				assente		assente	222.5
SC84	-17.90	assente				assente		assente	204.8
SC87	-24.50	-24.80				-24.90		-25.15	205.7
SC89	-13.95	-13.95				-13.85		-13.95	194
SC90	-18.00	-18.55				-18.55		-18.72	208
SC91	-16.45	-17.60				-17.93		-19.25	207.3
SC93	-10.10	-10.15				-10.18		-10.90	208.1
SC95	-13.76	-13.90				-13.92		-14.08	209
SC96	-14.90	-14.15				-14.20		-14.80	209
SC97	-15.10	-14.10				-14.10		-14.90	210
SC98	-14.10	-14.20				-14.25		-14.70	209.5
SC100	-14.93	-15.10				-15.12		-15.20	210.8
SC101	-17.43	-17.32				-17.29		-17.25	212.4
SC103	assente	assente				assente		assente	213
SC104		assente				assente		assente	214
SC107	-17.90	assente				assente		assente	212.3
SC109		-16.53				-16.50		-16.50	206.5
SC111		-14.93				-14.89		-14.90	204.5
SC112		assente				assente		assente	213
SC114		assente				assente		assente	215.3
SC116						-16.60		-19.85	217
SC117	-17.90					-17.90		-17.90	204

Nelle figure successive si riportano invece immagini di confronto tra la piezometria di riferimento per il PD (marzo 2008) con quella del PE del 2014 (settembre). Si nota immediatamente una differente direzione del flusso di falda, più marcatamente N-S per il 2008, in direzione NE-SO quella del 2014 lungo quasi tutta la tratta. Questo fattore di differenziazione rende difficoltoso il confronto piezometrico tra i due set di dati.

Volendo tuttavia trarne qualche considerazione generale, ponendo a confronto le due elaborazioni si evince che nella zona di Cesano Maderno e Desio la falda nel 2014 appare sostanzialmente in linea o leggermente più bassa rispetto a quella del Progetto Definitivo, mentre nella porzione tra Lissone e Macherio lo scarto pare ampliarsi leggermente, fino a superare anche i 5 m.

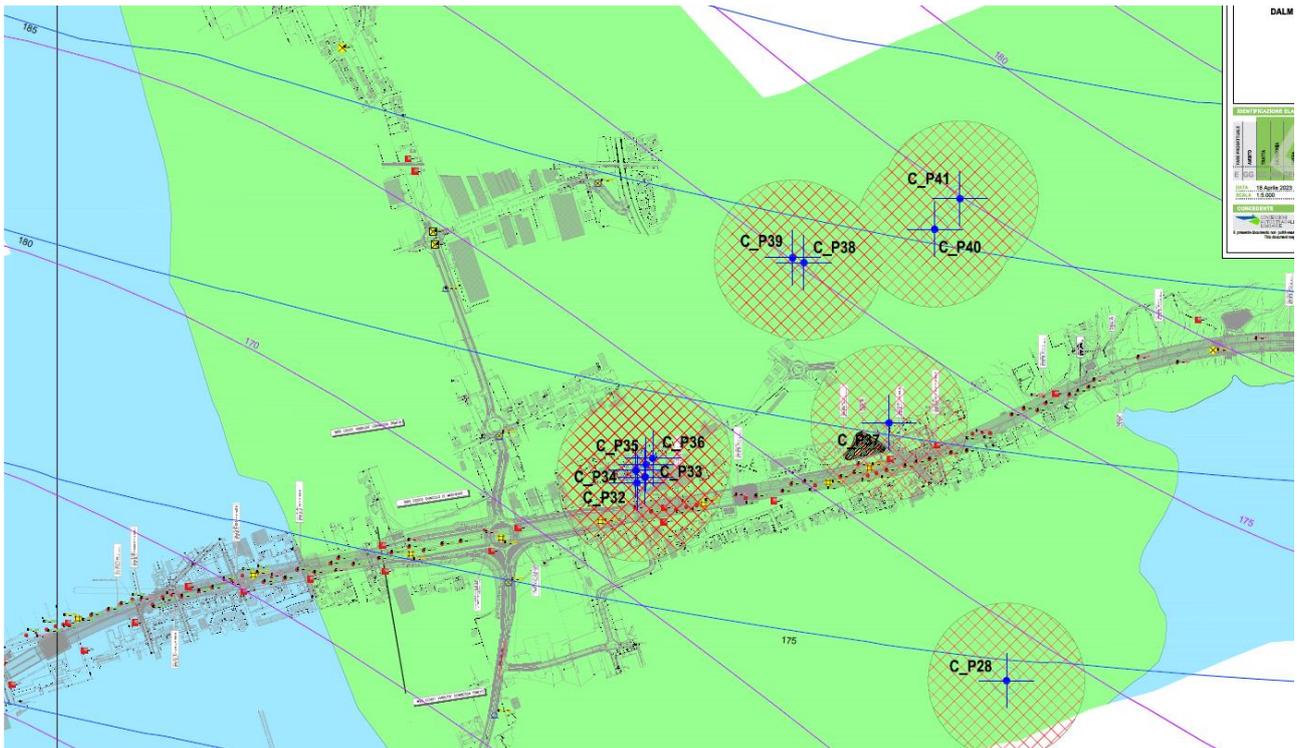


Figura 30 - confronto tra falda di PD e riferimento progettuale di PE, che mostra nel settore tra Lissone e Macherio circa 5 m di carico piezometrico aggiuntivi nel settembre 2014 rispetto al marzo 2008

Presso Lesmo e Arcore le differenze sembrerebbero assottigliarsi fino a rilevare valori quasi corrispondenti tra le due piezometrie, così come per il tratto settentrionale della TRMI10, mentre per la porzione finale della autostrada a Vimercate la falda 2014 appare nettamente più alta rispetto a quella del 2008 utilizzata in PD, fino ad anche 10-15 m in più, come rilevato anche presso la TRMI17 e, in misura minore (5-10 m in più) nella porzione meridionale della TRMI10.

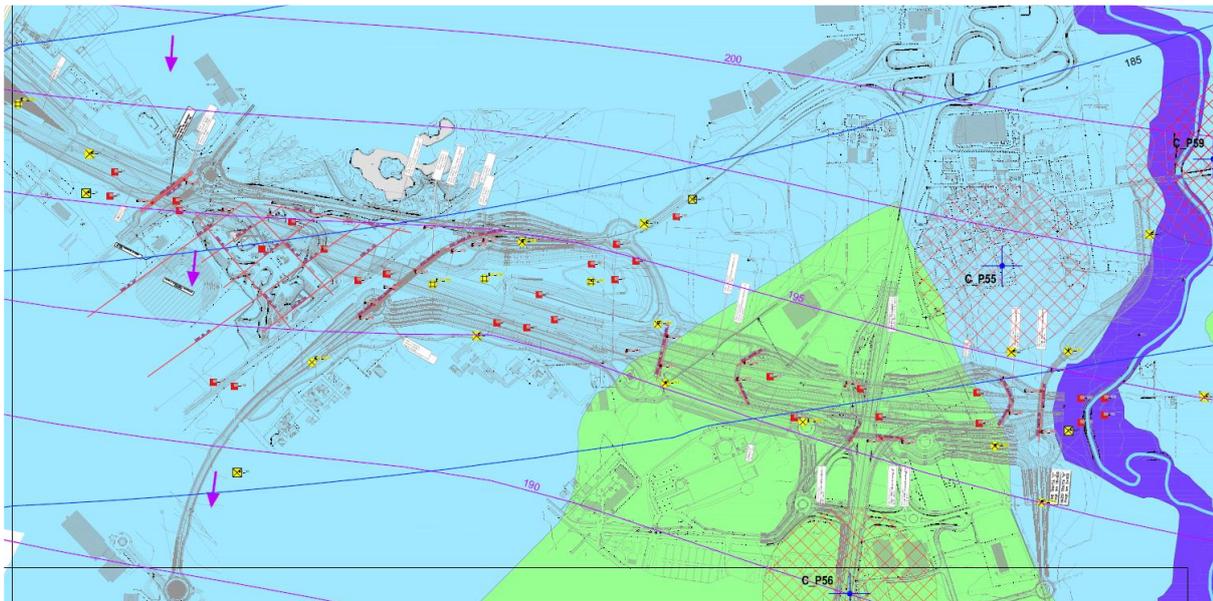


Figura 31 - confronto tra falda di PD e riferimento progettuale di PE, che mostra nel settore di Arcore-Vimercate 10 m di carico piezometrico aggiuntivi nel settembre 2014 rispetto al marzo 2008

4.2 RICOSTRUZIONI PIEZOMETRICHE

Al fine di supportare adeguatamente la progettazione si riportano nel seguito, con brevi commenti, alcune ricostruzioni piezometriche. Le carte piezometriche sono state effettuate ad hoc con i dati disponibili (per gennaio 2023 con i dati Brianzacque e ARPA Lombardia, Figura 33) in alcuni casi, mentre in altri sono riportate le piezometrie ufficiali già pubblicate sul Geoportale di Regione Lombardia (2014, fonte PTUA, Figura 32).

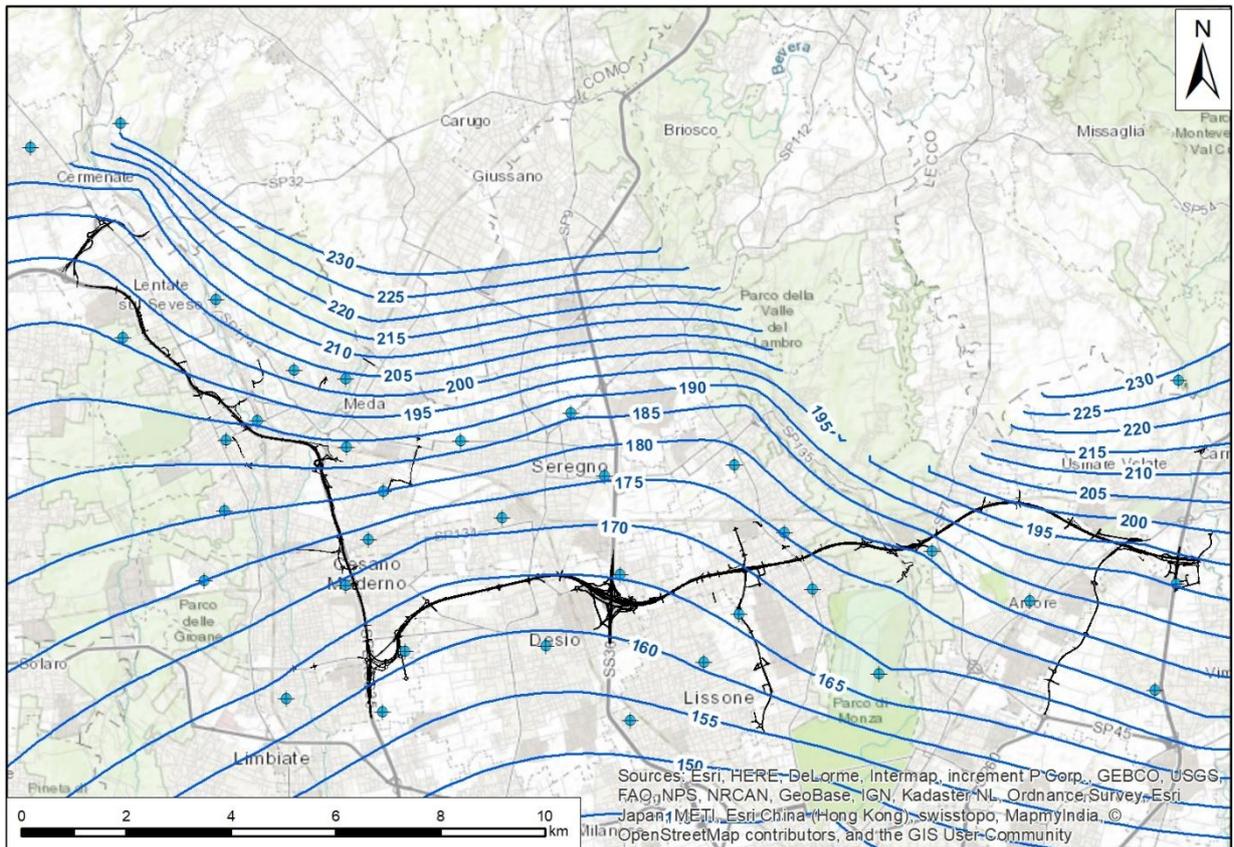


Figura 32 - Carta piezometrica elaborata sulla base dei livelli misurati nel mese di settembre 2014 – Fonte dati: PTUA

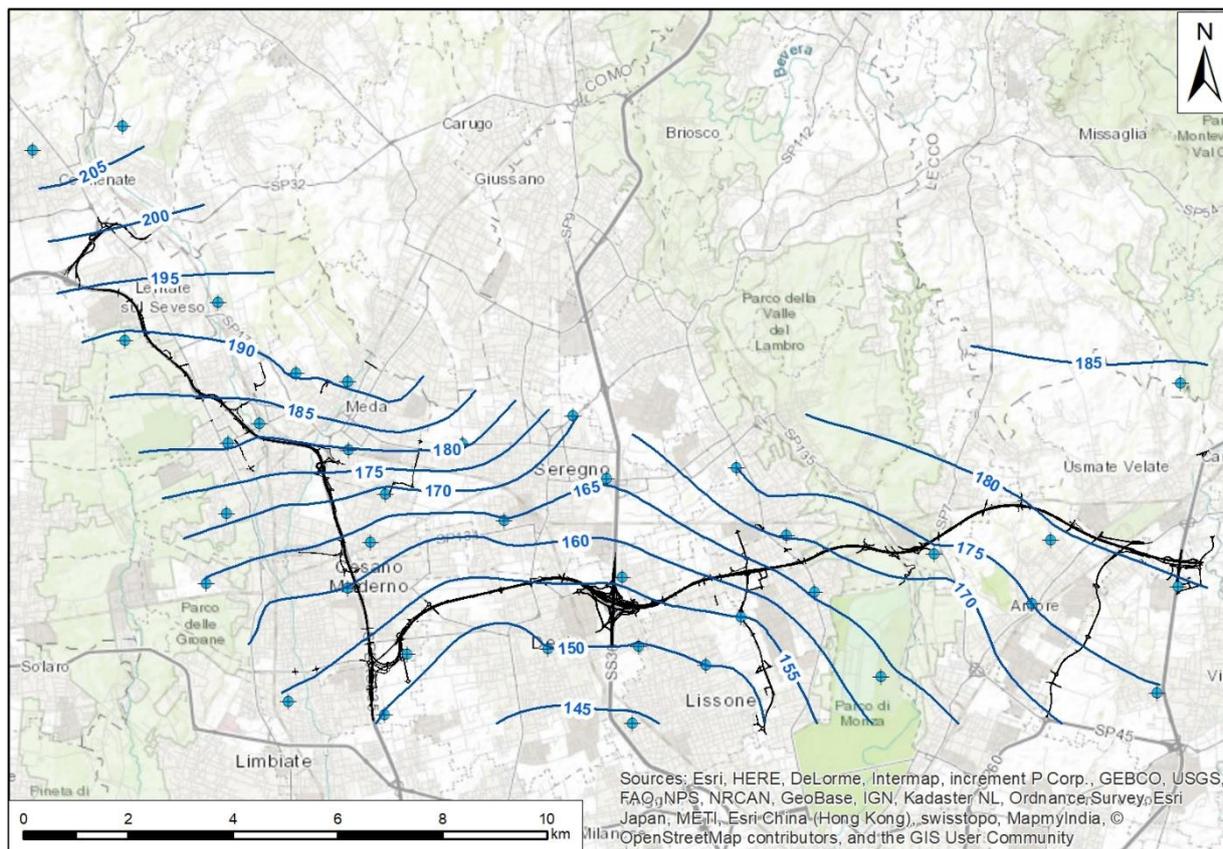


Figura 33 - Carta piezometrica elaborata sulla base dei livelli misurati nel mese di gennaio 2023 - Fonte dati: Brianzacque e ARPA Lombardia

Come già anticipato in precedenza, dal raffronto tra le due carte piezometriche per il tracciato della tratta C si riscontrano le differenze più significative nella porzione orientale dell'opera laddove solca il confine tra i comuni di Arcore e Vimercate e Usmate-Velate; in questo settore il livello rilevato nel 2014 risulta superiore a quello del 2023 con differenze nell'ordine dei 15-20 metri. Nel tratto centrale del segmento, in corrispondenza della TRMI10 le differenze di livello si riducono a circa 10 metri, attestandosi su questi livelli fino anche allo svincolo di Cesaro Maderno di raccordo con la tratta B2.

4.2.1 Falda di progetto

In conclusione, per quanto concerne il livello di falda, sulla base delle elaborazioni effettuate e delle valutazioni che ne sono scaturite si conferma che per il dimensionamento delle opere in oggetto possono essere assunti due livelli a riferimento progettuale:

- 1) **Falda di riferimento:** livello da adottare per il dimensionamento delle opere durante la fase transitoria di cantiere e realizzazione dell'opera, per le opere provvisionali, **gennaio 2023**³.

³ In attesa dei dati della campagna completa su tutta l'autostrada di luglio 2023, potenzialmente influita da precipitazioni rilevanti nei mesi di maggio e giugno 2023

2) **Falda di progetto** a lungo termine: livello da adottare per il dimensionamento delle opere a lungo termine, in fase di esercizio. Tale valore sarà assunto pari al livello di falda del **settembre 2014** ritenuto il livello pubblicato ufficialmente dagli Enti più elevato degli ultimi 10 anni

4.3 SOGGIACENZA

Per verificare la potenziale interferenza della falda con le opere, è stato ricostruito l'andamento della soggiacenza di falda in tratta C, ricavato dalla differenza tra il DTM regionale e la ricostruzione della prima falda regionale di settembre 2014 (dato ufficiale pubblicato da Regione Lombardia - dato di riferimento progettuale).

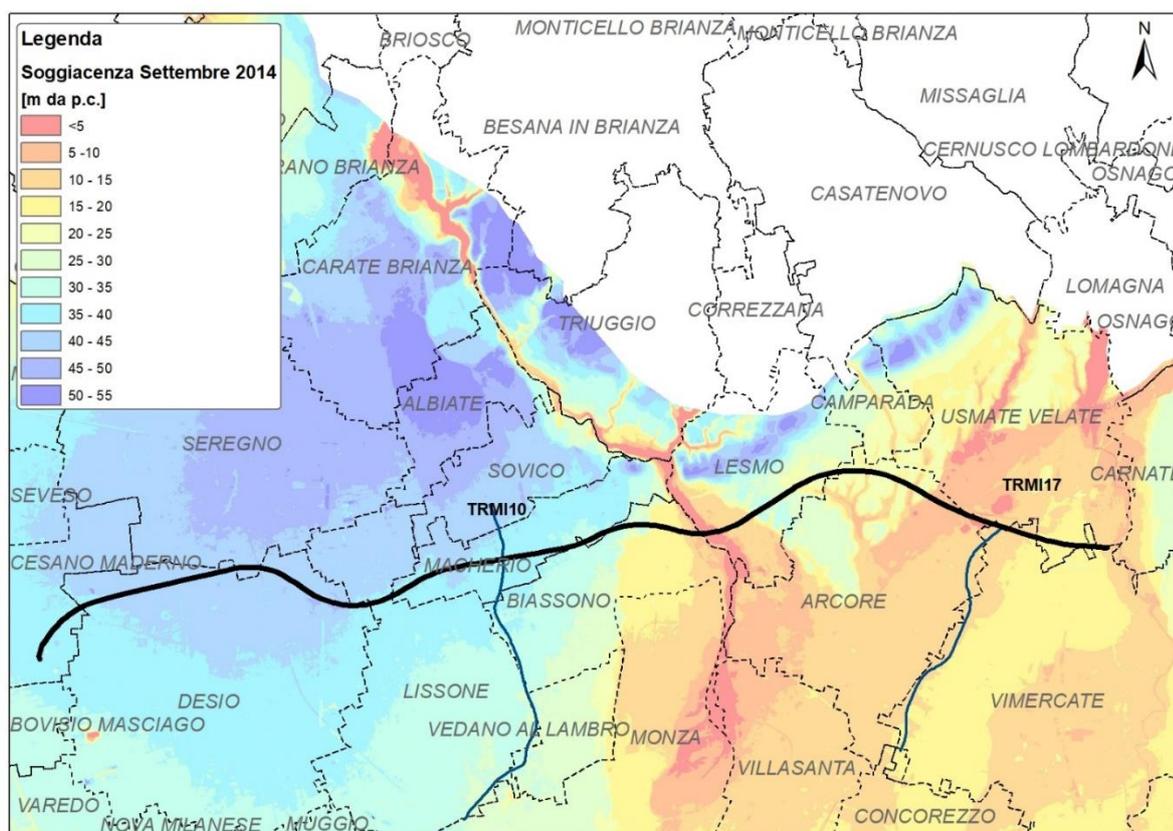


Figura 34: soggiacenza della falda in tratta C, ricavata dalla differenza tra il DTM regionale e la falda di settembre 2014 (dato di riferimento progettuale); nell'idrostruttura ISS la falda risulta particolarmente profonda, attestandosi tra i 45-50 m di Desio-Seregno e i ca.3- 5 m di profondità da piano campagna nella valle del f. Lambro e i 5-10 m nella zona del t. Molgora/Molgorana

Nell'idrostruttura ISS la falda di progetto (settembre 2014) si attesta tra i 45-50 m di profondità nell'area di Desio/Seregno, mentre la soggiacenza si riduce a meno di 3-5 m nella valle del f. Lambro e 5-10 m nella zona di Arcore/Usmate/Vimercate, in prossimità dei t. Molgora/rio Molgorana. In quest'area sono presenti anche cave che hanno portato alla luce la falda stessa (Figura 38).



Figura 35 – Immagine aerea dell'ex-cava di Arcore posta nelle vicinanze del tracciato autostradale previsto. Si osserva l'affioramento della falda sul fondo dei settori scavati.

In tratta C vi è dunque un settore potenzialmente interferente con la falda di progetto, che è comunque un riferimento piezometrico piuttosto cautelativo (si è già visto che rappresenta una condizione di “alto” piezometrico per gli ultimi 10 anni). L'interferenza appare comunque possibile solamente a livello di fondazioni; in nessuna area è atteso che la falda interferisca con gli scavi. Dei tratti nei quali la falda può interferire con le fondazioni già citate poc'anzi, solo una interferenza appare particolarmente rilevante, in comune di Lesmo: la galleria artificiale Lesmo 2, a doppia campata. Si segnala anche la g.a.Arcore 3 tra le opere più impattanti teoricamente per l'assetto idrogeologico locale.

Il quadro sopra riportato è relativo alla falda di progetto.

4.3.1 Campagne piezometriche 2023

Al fine di conoscere lo stato attuale della falda, sono state condotte nei mesi di aprile e maggio 2023 due campagne piezometriche parziali lungo la tratta C, in attesa della campagna lungo tutta la Pedemontana che verrà svolta a Luglio 2023.

I risultati delle campagne eseguite sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 3: soggiacenze della falda rilevate durante le prime due campagne piezometriche parziali di PE (nelle celle azzurre i lievi abbassamenti della falda, in arancione i lievi incrementi)

N. PZ	DATA	QUOTA P.C.	FALDA	DATA	QUOTA P.C.	FALDA
ESC-S33	17.04.2023	34,78m		19.05.2023	35,10m	
ESC-S35	17.04.2023	41,56m		19.05.2023	41,83m	
ESC-S37	17.04.2023	42,34m		19.05.2023	42,44m	
ESC-S39	17.04.2023	asciutto		19.05.2023	asciutto	
ESC-S42	17.04.2023	19,87m		19.05.2023	21,84m	
ESC-S44	17.04.2023	11,02m		19.05.2023	10,91m	
ESC-S46	17.04.2023	7,04m		19.05.2023	6,40m	
ESC-S51	17.04.2023	3,24m		19.05.2023	3,28m	
ESC-S53	17.04.2023	3,14m		19.05.2023	3,19m	
ESC-S55	17.04.2023	16,32m		19.05.2023	16,00m	
ESC-S57	17.04.2023	38,45m		19.05.2023	38,11m	
ESC-S61	17.04.2023	asciutto		19.05.2023	asciutto	
ESC-S62	17.04.2023	asciutto		19.05.2023	asciutto	
ESC-S64	17.04.2023	25,89m		19.05.2023	26,11m	
ESC-S66	17.04.2023	24,90m		19.05.2023	25,58m	
ESC-S67	17.04.2023	24,75m		19.05.2023	25,10m	
ESC-S68	17.04.2023	27,13m		19.05.2023	26,87m	
ESC-S74	17.04.2023	24,82m		19.05.2023	24,40m	
ESC-S76	17.04.2023	30,77m		19.05.2023	30,50m	
ESC-S77	17.04.2023	33,85m		19.05.2023	33,10m	
ESC-S81	17.04.2023	21,54m		19.05.2023	21,10m	
ESC-S82	17.04.2023	25,84m		19.05.2023	25,91m	
ESC-S86	17.04.2023	25,28m		19.05.2023	25,13m	

Come si evince dalla tabella soprastante, che rappresenta la soggiacenza della falda misurata proprio nei piezometri ubicati negli unici tratti che la piezometria di progetto (settembre 2014) ha evidenziato essere i più critici per eventuali interazioni opere/falda (il settore orientale di tratta C), si può osservare come, eccetto nella valle del Lambro, le soggiacenze risultino sempre superiori a 10 m, mediamente sopra i 30-40 m nel tratto più occidentale rilevato (Macherio Biassono), oltre i 20 m altrove.

Da notare che nella zona di Arcore-Vimercate i carichi attualmente misurati risultano ben al di sotto di quelli della falda di progetto (anche 5-15 m più in basso, a seconda del settore).

Si può dunque concludere che, alla luce della piezometria di progetto, solamente nella porzione orientale della tratta C la falda rappresenti un elemento di interferenza sensibile con le fondazioni, mentre altrove il problema non sussiste.

Considerando i dati più recenti, invece, il problema si ridurrebbe solamente alla valle del Lambro, mentre a Vimercate e Arcore le soggiacenze supererebbero i 20 m da p.c.

4.4 CONDUCEBILITÀ IDRAULICA

La conducibilità idraulica o permeabilità è un parametro essenziale per comprendere quanto velocemente avvenga la filtrazione e il moto di acqua nei terreni oggetto di studio. È un parametro altresì fondamentale per valutare la produttività di un acquifero, attraverso il calcolo della trasmissività.

4.4.1 Permeabilità da letteratura ed esperienze pregresse

Per la sua caratteristica variabilità, la distribuzione spaziale della permeabilità di un terreno, legata alla litologia ma anche alla presenza di matrice fine e allo stato di addensamento dei granuli, non è ricostruibile in base alla letteratura, se non da quella descrittiva dei dati utilizzati per modellazioni matematiche nelle quali è necessario descrivere la distribuzione spaziale dei parametri idrogeologici.

Per contro, sono comunemente utilizzati come riferimento per valutazioni orientative, valori ripresi dai più noti testi di idrogeologia.

Nella tabella di Figura 36 si riportano alcune classiche attribuzioni dei valori del parametro ai depositi alluvionali.

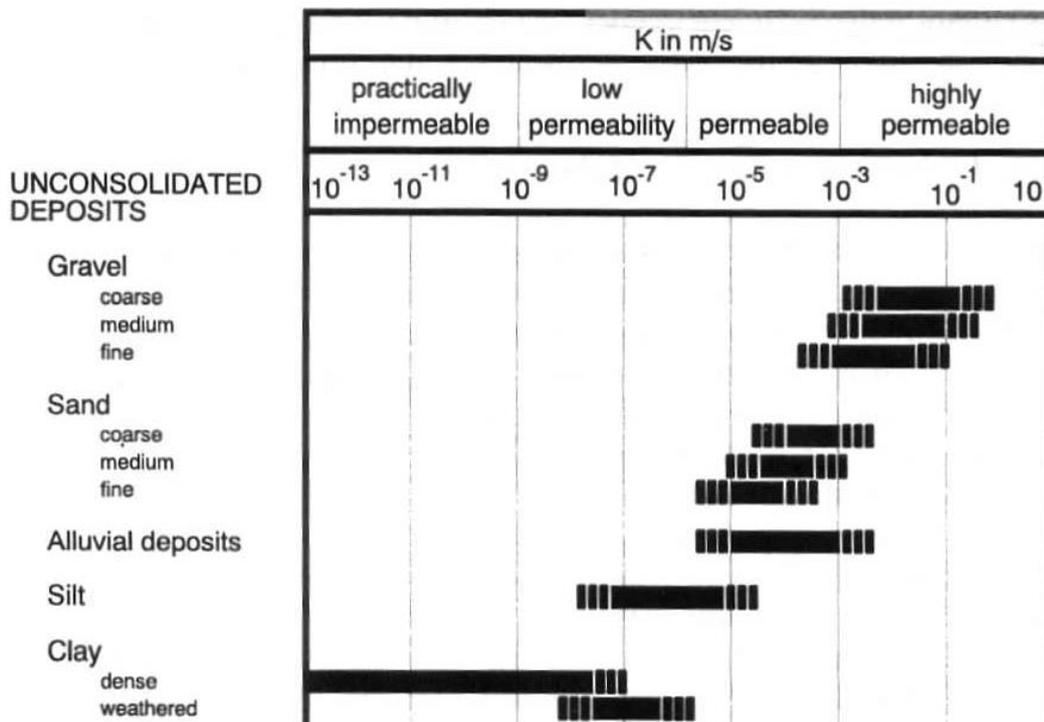


Figura 36: valori tipici della permeabilità dei terreni comunemente utilizzati da letteratura idrogeologica (Emilio Custodio e Manuel Ramon Llamas (2005) - Idrologia Sotterranea, Flaccovio ed., Palermo)

Esperienze pregresse degli scriventi confermano le “forbici” di valori qui rappresentati; le prove condotte in campo (in particolare prove di pompaggio) in diversi contesti del milanese e in Brianza, consentono di ritenere tale campo di valori ragionevolmente rappresentativo anche per APL.

4.4.2 Permeabilità da prove in sito

Nel Progetto Definitivo sono state realizzate 139 prove Lefranc lungo l’asse di progetto della tratta C di APL, riportate nella tabella seguente.

Tabella 4: prove Lefranc effettuate in Progetto Definitivo

ID	PROVA	PROF MIN	PROF MAX K [m/s]	ID	PROVA	PROF MIN	PROF MAX K [m/s]	ID	PROVA	PROF MIN	PROF MAX K [m/s]			
SC02	1	4,5	5	3,70E-04	SC59	1	4,5	5	9,38E-06	SC91	1	13,3	13,8	5,88E-06
SC02	2	13,5	14	2,73E-06	SC59	2	13,5	14	4,44E-06	SC91	2	73	78	1,12E-05
SC03	1	4,5	5	7,83E-06	SC61	2	13,5	14	4,59E-07	SC92	1	4,5	5	2,15E-06
SC03	2	13,5	14	5,01E-06	SC62	1	4,5	5	3,04E-06	SC92	2	13,5	14	6,66E-06
SC07	1	4,5	5	1,96E-05	SC62	2	13,5	14	1,90E-04	SC93	1	13,3	13,8	6,29E-06
SC07	2	13,5	14	3,33E-05	SC64	1	15,3	15,8	8,44E-06	SC93	2	48	53	2,16E-06
SC09	1	4,5	5	4,16E-06	SC64	1	15,3	15,8	8,44E-06	SC94	1	4,5	5	3,03E-05
SC09	2	13,5	14	2,08E-05	SC65	1	4,5	5	1,78E-06	SC94	2	13,5	14	1,11E-04
SC12	1	4,5	5	4,66E-05	SC65	2	13,5	14	9,86E-07	SC95	1	13,3	13,8	7,79E-06
SC12	2	13	13,5	6,66E-05	SC65A	1	11	10,5	1,38E-04	SC95	2	48	53	2,51E-05
SC15	1	4,5	5	2,66E-06	SC65A	2	20	20,5	4,16E-05	SC96	1	13,3	13,8	5,94E-04
SC15	2	13,5	14	1,45E-05	SC65B	1	4,5	5	6,66E-06	SC96	2	48	53	3,86E-05
SC18	1	13,5	14	1,11E-05	SC65B	2	13,5	14	2,72E-06	SC97	1	13,3	14,3	1,25E-04
SC18	2	13,5	14	1,59E-05	SC65C	1	9,8	10,3	1,24E-06	SC97	2	48	53	7,92E-05
SC19	1	4,5	5	1,06E-05	SC65C	2	24,8	25,3	2,83E-05	SC98	1	13,3	14,3	8,15E-06
SC19	2	13,5	14	9,25E-06	SC66	1	4,5	5	6,66E-05	SC98	2	48	53	6,08E-05
SC21	1	4,5	5	8,32E-06	SC66	2	13,5	14	2,60E-06	SC99	1	4,5	5	1,33E-04
SC21	2	13,5	14	8,02E-06	SC67	1	14,8	15,3	4,17E-05	SC99	2	13,5	14	3,70E-05
SC23	1	4,5	5	6,66E-06	SC67	2	48	53	2,28E-05	SC99	2	13,5	14	1,71E-05
SC23	2	13,5	14	4,24E-06	SC69	1	4	4,5	8,76E-06	SC100	1	13,3	14,3	4,26E-04
SC26	1	4,5	5	2,15E-05	SC69	2	13	13,5	2,18E-06	SC100	2	48	53	4,82E-05
SC26	2	13,5	14	1,06E-05	SC70	1	4	4,5	2,74E-06	SC101	1	14,8	15,3	9,17E-06
SC27	1	4,5	5	7,83E-05	SC70	2	14,5	15	9,12E-07	SC102	1	4,5	5	2,15E-06
SC27	2	13,5	14	6,66E-06	SC73	1	4,5	5	8,07E-07	SC103	1	18,3	18,8	1,07E-05
SC29	1	4,5	5	9,51E-06	SC73	2	15	15,5	3,25E-06	SC104	1	61,5	66,5	3,41E-07
SC29	2	13,5	14	3,64E-06	SC75	1	4,5	5	8,43E-07	SC105	1	4	4,5	2,46E-06
SC32	1	4,5	5	1,90E-05	SC75	2	15	15,5	1,35E-06	SC105	2	13	13,6	1,84E-05
SC32	2	13,5	14	3,33E-06	SC76	1	4,5	5	1,69E-06	SC105	2	13	13,5	2,79E-06
SC35	1	4,5	5	3,49E-06	SC76	2	15	15,5	1,35E-06	SC106	1	4	4,5	2,87E-06
SC35	2	14	14,5	3,25E-06	SC81	1	4,5	5	2,56E-06	SC108	1	4,5	5	3,80E-06
SC36	1	4,5	5	4,76E-05	SC81	2	15	15,5	4,16E-06	SC108	2	13,5	14	3,52E-06
SC36	2	13,5	14	6,11E-06	SC83	1	9	9,5	1,59E-06	SC109	1	14,8	15,3	8,55E-06
SC38	1	4,5	5	9,12E-06	SC83	2	15	15,5	5,12E-06	SC109	2	48	53	2,09E-05
SC38	2	13,5	14	6,66E-06	SC84	1	43	48	1,85E-05	SC110	1	4	5	5,97E-06
SC43	1	4,5	5	5,55E-05	SC84	2	13,3	13,8	8,65E-06	SC110	2	13,5	14	7,66E-06
SC43	2	13,5	14	1,57E-05	SC85	1	4,5	5	1,66E-05	SC111	1	15,3	15,8	9,10E-06
SC44	1	13,5	14	1,39E-05	SC85	2	13,5	14	1,66E-05	SC111	2	53	58	3,19E-05
SC46	1	4,5	5	1,15E-05	SC86	1	4,5	5	1,11E-04	SC113	1	7,5	8	2,83E-06
SC46	2	13,5	14	7,61E-07	SC86	2	13,5	14	6,34E-06	SC113	2	14	14,5	2,15E-05
SC48	1	6	6,5	6,46E-06	SC87	1	13,3	13,8	1,64E-04	SC115	1	4,5	5	2,47E-05
SC48	2	13,5	14	2,56E-05	SC87	2	44	49	1,12E-05	SC115	2	13,5	14	2,83E-06
SC51	1	4	4,5	4,44E-05	SC88	1	4	4,5	1,11E-05	SC117	1	13,3	13,8	4,74E-06
SC51	2	13,5	14	1,19E-05	SC88	2	13,5	14	3,35E-06	SC117	2	48	53	1,54E-05
SC53	1	6	6,5	2,61E-06	SC89	1	13,5	14	1,26E-05	SC118	1	4,5	5	4,76E-05
SC53	2	13,5	14	2,72E-06	SC89	2	43	48	2,57E-05	SC118	2	13,5	14	4,53E-06
SC55	1	7,5	8	6,73E-06	SC90	1	13,5	14	7,31E-06					
SC55	2	14	14,5	7,83E-07	SC90	2	45	50	3,80E-05					

A completamento di queste informazioni, nel Progetto Esecutivo sono state realizzate altre 81 prove, come da tabella seguente.

Tabella 5: prove Lefranc realizzate in Progetto Esecutivo lungo la tratta C

ID	num prova	da [m]	a [m]	K [m/s]	ID	num prova	da [m]	a [m]	K [m/s]
ESC_S01	1	16,50	17,20	7,42E-06	ESC_S44	1	17,50	18,00	7,17E-06
ESC_S01	2	24,50	25,00	8,19E-06	ESC_S44	2	28,00	28,50	2,01E-05
ESC_S03	1	15,00	16,00	2,86E-06	ESC_S47	1	17,50	18,00	1,47E-06
ESC_S03	2	24,50	25,50	1,96E-04	ESC_S47	2	29,50	30,00	3,50E-06
ESC_S04	1	19,50	20,00	2,25E-05	ESC_S51	1	16,10	16,50	1,01E-05
ESC_S04	2	33,50	34,30	2,29E-05	ESC_S51	2	28,10	28,50	7,45E-06
ESC_S05	1	12,20	13,00	9,70E-05	ESC_S53	1	16,00	16,50	1,20E-05
ESC_S06	1	14,50	15,00	1,81E-05	ESC_S53	2	27,50	28,00	4,04E-04
ESC_S07	1	17,00	18,00	1,48E-04	ESC_S55	1	16,50	17,00	5,13E-06
ESC_S07	2	25,00	25,50	3,27E-05	ESC_S55	2	25,50	25,70	1,07E-05
ESC_S09	1	18,60	19,50	2,15E-03	ESC_S56	1	26,50	27,00	7,25E-06
ESC_S09	2	18,90	27,00	1,15E-03	ESC_S57	1	35,60	36,00	1,36E-04
ESC_S10	1	19,00	19,50	1,31E-04	ESC_S57	2	48,30	48,80	1,32E-04
ESC_S10	2	31,00	31,50	1,04E-05	ESC_S58	1	34,60	35,00	7,58E-07
ESC_S13	1	14,60	15,10	1,00E-05	ESC_S60	1	7,50	8,00	5,38E-06
ESC_S17	1	19,60	19,00	9,54E-05	ESC_S61	1	13,50	14,00	8,91E-07
ESC_S17	2	33,00	34,50	7,44E-05	ESC_S61	2	22,50	23,00	1,57E-05
ESC_S23	1	13,00	13,70	2,17E-04	ESC_S62	1	15,50	16,00	9,35E-07
ESC_S23	2	22,00	22,70	4,41E-06	ESC_S63	1	31,00	31,50	3,81E-06
ESC_S25	1	13,50	14,50	7,50E-06	ESC_S63	2	43,50	44,00	2,48E-07
ESC_S25	2	20,00	20,50	2,50E-04	ESC_S64	1	25,50	26,00	6,89E-07
ESC_S27	1	13,00	13,50	1,52E-04	ESC_S66	1	19,10	19,5	5,46E-06
ESC_S28	1	18,90	19,40	2,24E-04	ESC_S66	2	31,60	32,00	5,60E-06
ESC_S28	2	26,50	27,10	8,03E-06	ESC_S67	1	16,40	17,00	3,54E-07
ESC_S29	1	12,50	13,40	4,43E-06	ESC_S69	1	10,00	10,50	7,37E-06
ESC_S29	2	22,00	22,50	2,50E-04	ESC_S69	2	19,00	19,50	9,74E-05
ESC_S30	1	14,50	15,00	9,98E-08	ESC_S70	1	20,00	20,50	5,14E-06
ESC_S31	1	14,00	14,50	3,02E-04	ESC_S74	1	10,00	10,50	1,70E-04
ESC_S31	2	22,00	22,50	1,95E-05	ESC_S74	2	28,10	28,50	9,22E-06
ESC_S33	1	20,50	21,00	7,12E-07	ESC_S75	1	27,70	28,00	1,00E-05
ESC_S33	2	30,50	31,00	5,05E-07	ESC_S75	2	27,70	28,00	1,00E-05
ESC_S34	1	20,50	21,00	3,40E-06	ESC_S76	1	20,60	21,00	5,90E-06
ESC_S34	2	32,50	33,00	1,00E-05	ESC_S78	2	31,50	32,00	5,76E-06
ESC_S35	1	22,60	23,00	1,12E-04	ESC_S79	1	21,50	22,00	4,80E-06
ESC_S35	2	35,60	36,00	8,20E-05	ESC_S79	2	34,10	34,50	9,35E-06
ESC_S38	1	26,00	26,50	1,02E-04	ESC_S80	1	7,50	8,00	7,95E-05
ESC_S38	2	37,20	37,50	1,16E-04	ESC_S82	1	16,60	17,00	8,89E-06
ESC_S40	1	12,50	13,00	6,64E-07	ESC_S82	2	24,50	25,00	8,70E-06
ESC_S40	2	23,60	24,00	6,41E-05	ESC_S83	1	17,00	17,50	1,01E-05
ESC_S42	1	16,50	17,00	1,51E-06	ESC_S85	1	7,60	8,00	1,31E-05
ESC_S42	2	25,70	26,00	1,28E-04					

Il totale delle prove ammonta dunque a 220 tra PD e PE; esse presentano una distribuzione mostrata nel grafico di Figura 37.

I dati raccolti non fanno emergere trend particolari associati alla profondità e la distribuzione dei valori sembrerebbe sostanzialmente uniforme lungo la verticale.

Si nota come nel PD i dati siano stati raccolti principalmente a profondità "standard" (5 e 15 m da p.c.) mentre nel PE si è cercato di rappresentare orizzonti diversi per ogni sondaggio.

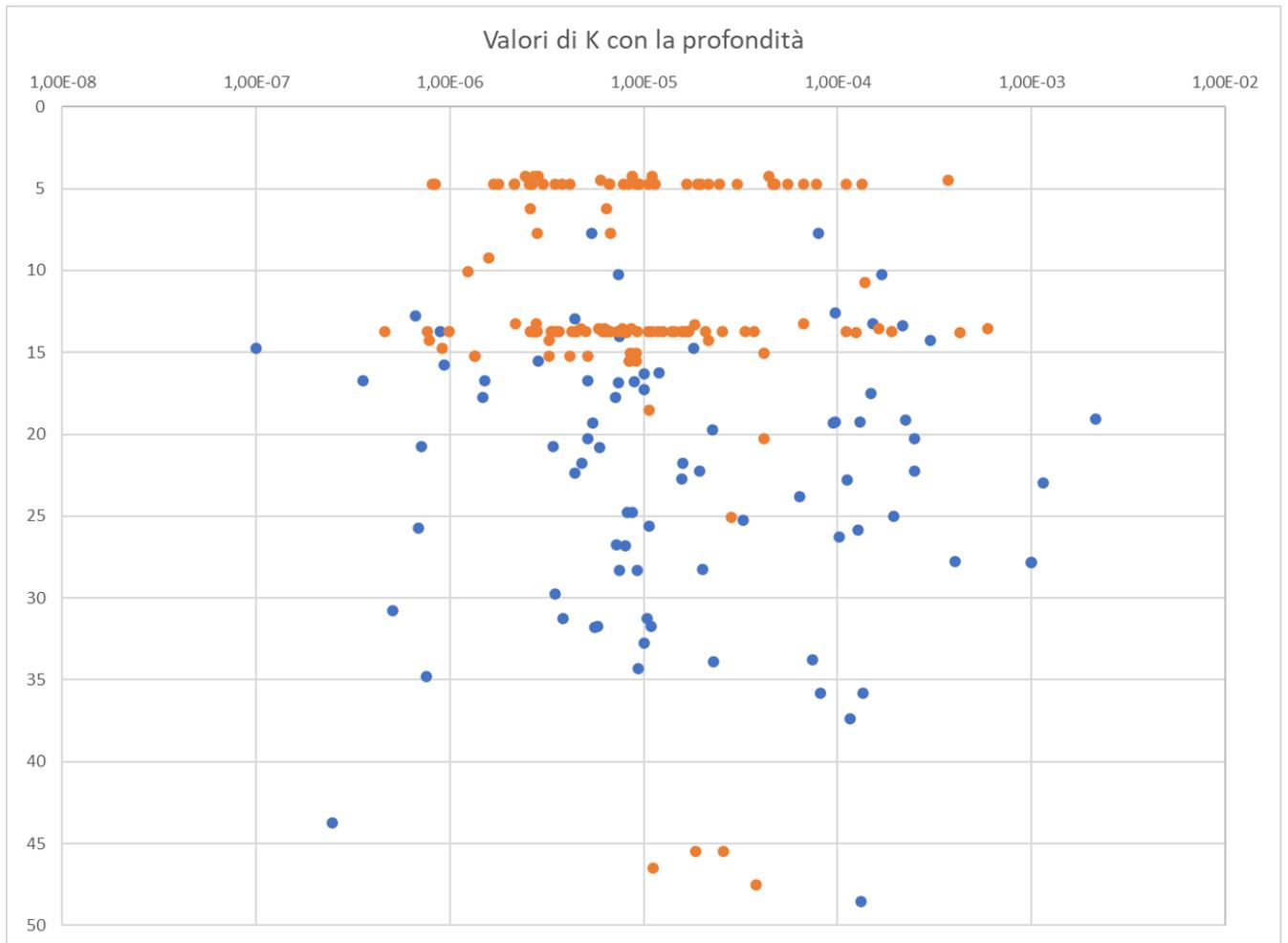


Figura 37: valori desunti dalle prove Lefranc condotte lungo la tratta C in PD (punti arancioni) e PE (punti blu)

4.4.3 Analisi dei dati di permeabilità di Progetto Esecutivo

Esaminando con ulteriore dettaglio i dati di permeabilità di PE, si sono messi in evidenza i range di K per le litologie rappresentate nelle stratigrafie da parte delle imprese che hanno realizzato i sondaggi. Nella tabella seguente si riportano i risultati di questa analisi.

Tabella 6: range dei valori di K per litologia rappresentata nelle stratigrafie di PE

litologia	K min [m/s]	K max [m/s]
argilla	6,64E-07	6,64E-07
argilla limosa	2,48E-07	3,54E-07
conglomerato in matrice sabbiosa limosa argillosa	7,58E-07	4,04E-04
conglomerato	5,05E-07	1,16E-04
conglomerato con ghiaia e ciottoli	5,90E-06	1,36E-04
ghiaia limosa argillosa sabbiosa	5,60E-06	5,60E-06
ghiaia sabbioso limosa	4,80E-06	2,15E-03

limo argilloso	5,38E-06	5,38E-06
limo sabbioso	8,91E-07	5,14E-06
sabbia ghiaiosa	1,00E-05	1,70E-04
sabbia limosa	9,98E-08	3,02E-04
Totale complessivo	9,98E-08	2,15E-03

Per quanto riguarda l'andamento dei valori di permeabilità lungo il tracciato eseguiti in PE (Figura 38 – in ascisse un progressivo numerico lungo tracciato da O a E), si nota come, tendenzialmente, le conducibilità idrauliche tendano ad essere superiori nel tratto più occidentale della tratta C e vadano mediamente a decrementare, anche di 1-1,5 ordini di grandezza, verso E, ove sono presenti terreni maggiormente degradati con presenza massiva di matrice fine.

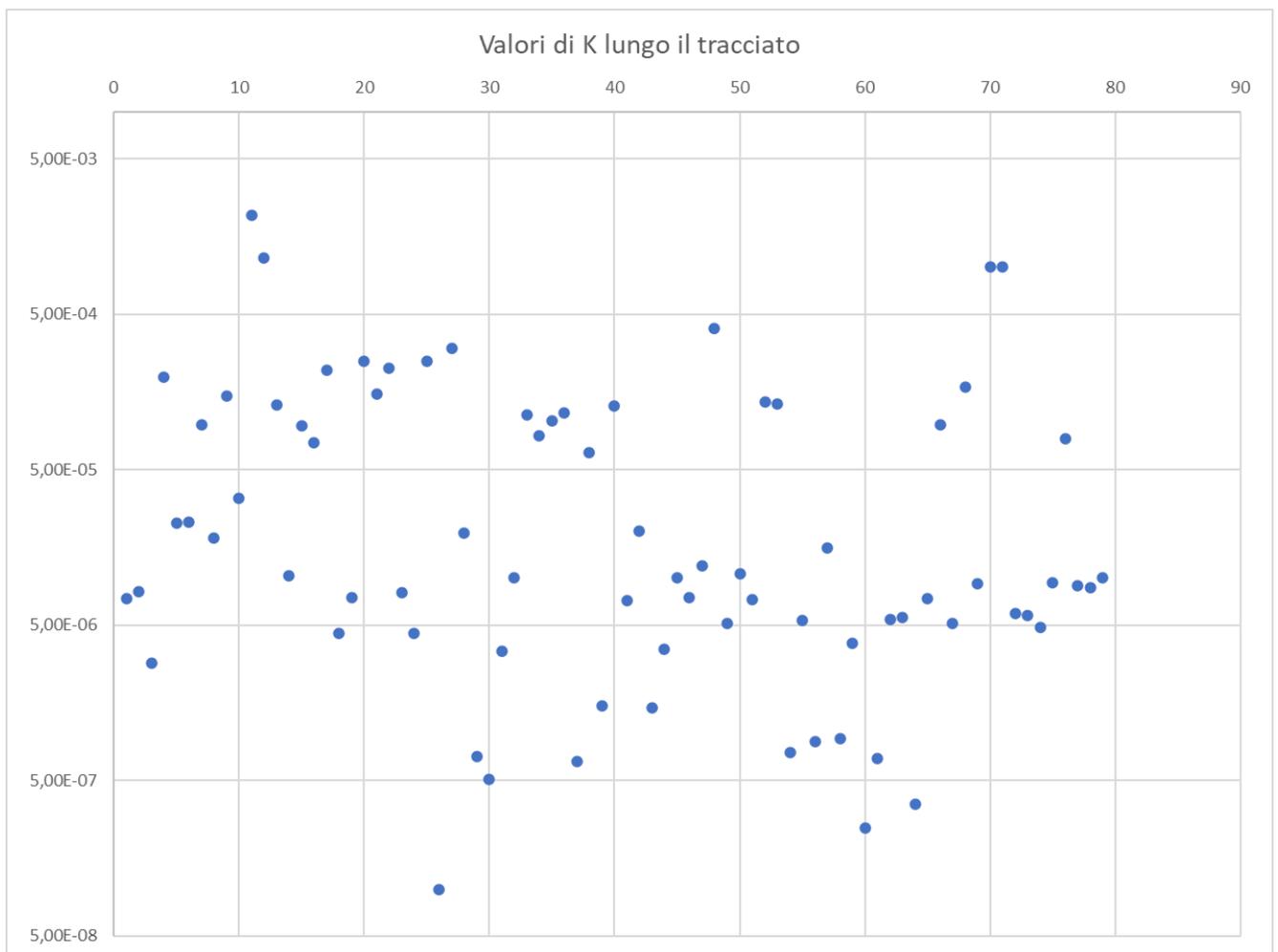


Figura 38 - Grafico in cui sono rappresentati i valori di conducibilità idraulica [m/s] ottenuti nei punti di indagine ubicati lungo la tratta C (in ascisse un progressivo numerico generale, da O a E).

5 INTERAZIONE DELL'OPERA CON LA FALDA

La realizzazione di una rilevante infrastruttura viaria può interferire con le acque sotterranee, nel caso in cui queste siano sufficientemente vicine al piano campagna.

Non è questo il caso di Pedemontana che, attraversando tratti della media e alta pianura lombarda nei quali la soggiacenza della falda può anche superare i 50-60 m da piano campagna, risulta tendenzialmente lontana dalla più importante risorsa idrica dell'area di pianura lombarda. In tratta C, vi è però un settore potenzialmente interferente con la falda, ma solo a livello di fondazioni; non sono attese infatti zone nelle quali la falda interferisca con gli scavi.

5.1 INTERFERENZA POTENZIALE TRA FALDA E FONDAZIONI

I tratti nei quali la falda può interferire con le fondazioni sono sostanzialmente ubicati intorno alla valle del Lambro, e nei tratti di pianura tra Arcore e Vimercate (porzione finale della tratta C – cfr. figura Figura 39). Di questi, solo una interferenza appare particolarmente rilevante, in comune di Lesmo: la galleria artificiale Lesmo 2, a doppia campata. Si segnala anche la g.a. Arcore 3 tra le opere più impattanti per l'assetto idrogeologico locale.

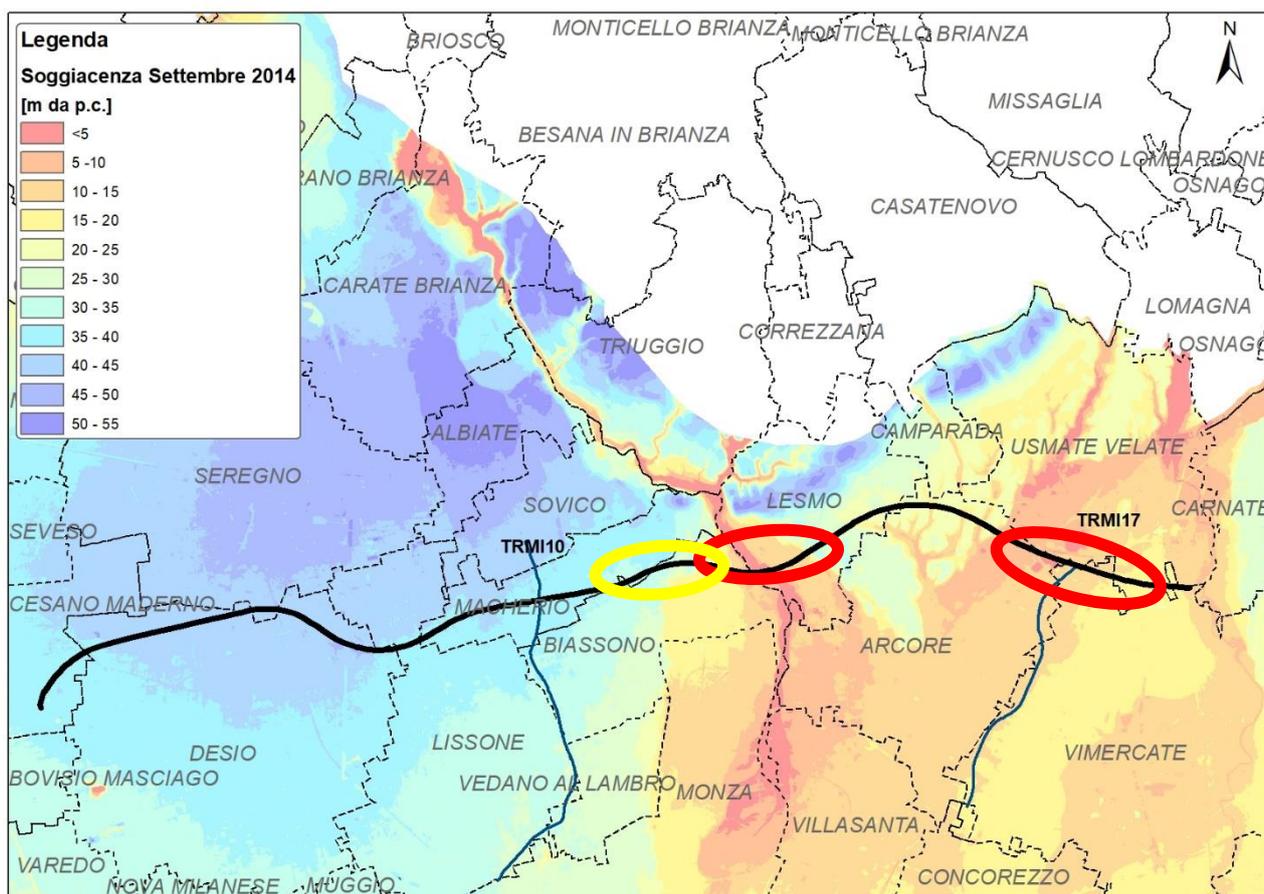


Figura 39: zone di probabile interferenza tra falda e fondazioni (non sono attese interferenze dirette con gli scavi/opere); in giallo zone nelle quali la probabilità di interferenza è minore, in rosso quelle nelle quali la probabilità è alta

Gli impatti con la falda possono essere sostanzialmente di due tipi: interferenza con il flusso di falda, che può causare una locale deformazione delle linee di flusso, e alterazione delle proprietà chimico-fisiche delle acque, qualora vi siano rilasci di sostanze indesiderate nel sottosuolo.

I due aspetti potrebbero in linea teorica integrarsi, ad esempio quando significative deviazioni delle linee di flusso nel corso degli scavi possano produrre cambiamenti locali nella distribuzione degli inquinanti.

Nel valutare l'interazione del progetto con l'assetto idrogeologico locale, è necessario quindi esaminare la struttura idrogeologica del sottosuolo, esaminando per prima cosa l'impatto sulle risorse più pregiate e sfruttate per altri usi (ad es. idropotabile, quale prima necessaria valutazione) nei comparti acquiferi di interesse per il progetto.

Nei seguenti paragrafi si riportano dunque maggiori dettagli inerenti alle captazioni ritenute più esposte a risentire dell'interferenza tra falda e nuove infrastrutture in progetto, mentre a seguire si illustrano i potenziali rischi da ridurre in fase di cantiere e di esercizio dell'opera.

5.2 INTERFERENZA CON LE OPERE DI CAPTAZIONE LIMITROFE AL TRACCIATO

La valutazione preliminare della potenziale interferenza tra i pozzi esistenti e le opere in progetto è stata effettuata già nell'ambito della progettazione definitiva (PD) e ha posto in evidenza l'esistenza di possibili criticità.

Al fine di aggiornare le valutazioni allora effettuate, è stata inoltrata una richiesta a BrianzaAcque, gestore del servizio idrico integrato nei comuni interessati dal tracciato dell'opera in progetto, che ha fornito l'elenco e l'ubicazione dei pozzi censiti attualmente presenti nell'area di interesse. I dati forniti afferiscono a 144 punti di captazione (Figura 40).

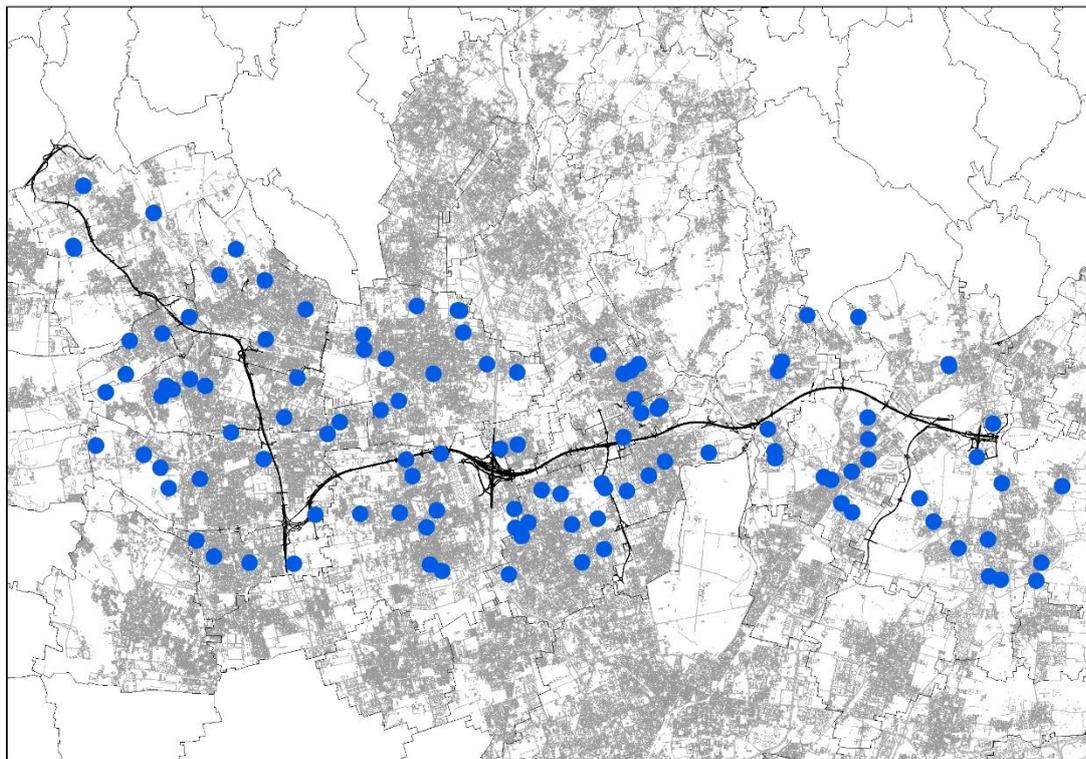


Figura 40 - Ubicazione dei pozzi forniti da Brianza Acque nel 2023

Per ciascuno dei pozzi è stato effettuato un primo screening realizzando in ambiente GIS un “buffer” rappresentativo della Zona di Rispetto, preliminarmente rappresentata per tutti i punti dall'applicazione del criterio geometrico che, ai sensi dell'Art. 94 comma 6 del D.Lgs. 152/06, definisce una distanza radiale dal pozzo pari a 200 m⁴. Dalla sovrapposizione tra i “buffer” così ottenuti e il tracciato delle opere in progetto si è potuto verificare dove sia attesa una effettiva interferenza tra opere e pozzi, per un totale di 16 punti (Tabella 7); la loro ubicazione è rappresentata in Figura 41.

⁴ Il criterio geometrico si applica nei casi in cui le autorità competenti non abbiano identificato l'estensione della zona di salvaguardia dei pozzi (ad esempio applicando il criterio temporale o idrogeologico). Nella fattispecie si è verificato che per alcuni pozzi è stata identificata la zona di salvaguardia ma per i casi esaminati questa risultava inferiore a quella del criterio geometrico, l'applicazione del quale risulta pertanto “cautelativa”; in ogni caso nessuno dei pozzi per cui Brianza Acque ha indicato l'esistenza di una zona di salvaguardia definita mediante criterio temporale o idrogeologico rientra tra quelli che determinano una potenziale interferenza con l'opera.

Tabella 7 - Elenco dei pozzi che presentano una interferenza con l'opera sulla base dell'applicazione del criterio geometrico per la definizione delle Zone di Rispetto

ID_POZZO	X_WGS_UTM	Y_WGS_UTM	IMPIANTO	CRITERIO	entro_200m	entro_100m	entro_75m	entro_50m	entro_25m	entro_10m	FLUSSO
150230022	520004	5052423	PozzoTrentoTrieste Biassono	Geometrico	SI	SI	SI	SI	SI	SI	valle
150230023	519946	5052533	PozzoDorsaleBRV Biassono	Geometrico	SI	SI	SI	SI	SI	SI	valle
150230024	519946	5052533	PozzoDorsaleBRV Biassono	Geometrico	SI	SI	SI	SI	SI	SI	valle
151290005	520406	5053515	PozzoDorsaleBRV Macherio	Geometrico	SI	SI	SI	SI	SI	SI	monte/lato
151000039	515602	5053051	PozzoDallaChiesa Desio	Geometrico	SI	SI	SI	SI			valle
151000040	515602	5053050	PozzoDallaChiesa Desio	Geometrico	SI	SI	SI	SI			valle
151000001	516361	5053169	PozzoDeSanctis Desio	Geometrico	SI	SI					valle
151200005	523629	5053747	PozzoCarloAlberto Lesmo	Geometrico	SI						valle
151230011	517672	5053301	PozzoLombardia Lissone	Geometrico	SI						lato
150750006	513566	5051826	PozzoMassimo Cesano	Geometrico	SI	SI					lato
151290004	520429	5053561	PozzoDorsaleBRV Macherio	Geometrico	SI	SI	SI	SI			monte/lato
151290006	520413	5053540	PozzoDorsaleBRV Macherio	Geometrico	SI	SI	SI	SI			monte/lato
151290007	520405	5053560	PozzoDorsaleBRV Macherio	Geometrico	SI	SI	SI	SI			monte/lato
151290008	520417	5053551	PozzoDorsaleBRV Macherio	Geometrico	SI	SI	SI	SI			monte/lato
152270132	528641	5053863	PozzoCascinaCorr ada Usmate	Geometrico	SI						monte
152410011	528285	5053114	PozzoLecco Vimercate	Geometrico	SI	SI	SI	SI			monte/valle

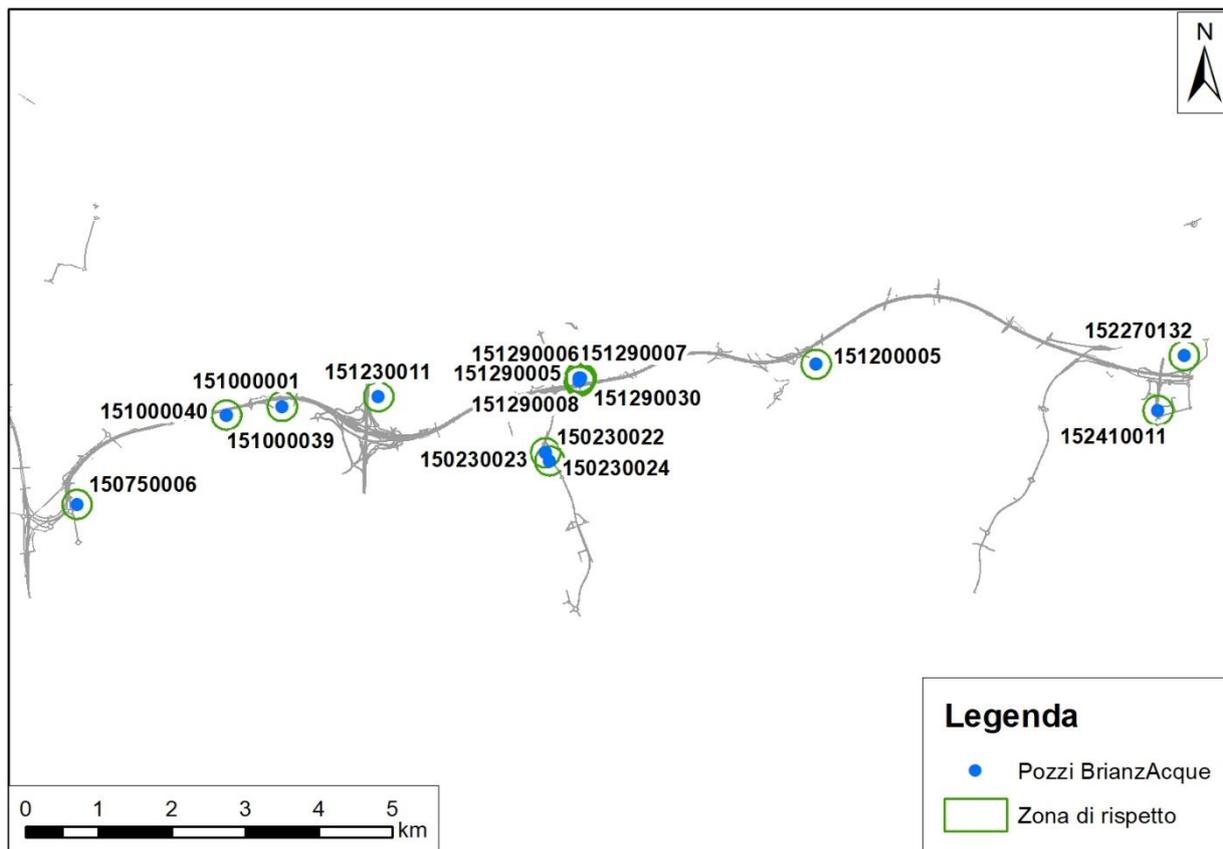


Figura 41 - Ubicazione dei pozzi per cui si è riscontrata l'interferenza tra la Zona di Rispetto e il tracciato dell'opera in progetto

Per i pozzi per cui si è configurata la potenziale interferenza è stata dunque calcolata la distanza effettiva tra l'ubicazione del pozzo e il punto più vicino dell'impronta delle opere in progetto; per alcuni pozzi tale valore risulta di poco inferiore al limite definito dal criterio geometrico, mentre per altri la stessa ubicazione dell'opera risultava inizialmente essere a poche decine di metri dall'impronta del progetto dell'infrastruttura viaria, risultando per quattro di essi addirittura inferiore a 10 metri, determinando così l'interferenza anche con la Zona di Tutela Assoluta. Questa interferenza non riguarda l'asse principale ma opere connesse (TRMI10) e viabilità secondarie.



Figura 42 - Ubicazione dei pozzi con interferenza tra la Zona di Tutela Assoluta e il previsto tracciato dell'opera viaria, in comune di Biassono (a sx interferenza con la TRMI10) e Macherio (a dx interferenza con una viabilità secondaria prossima alla g.a. Macherio 3)

Risultando in questi casi evidente l'incompatibilità tra le opere in progetto e i pozzi, si rende necessario un intervento di modifica del tracciato o di riperforazione dei pozzi ad una distanza maggiore, compatibile con le fasce di rispetto. Nei casi in specie la seconda ipotesi appare più ragionevole, dato che le difficoltà nello spostare il tracciato appaiono inferiori a quelle dello spostamento dei pozzi. Per alcuni dei pozzi in esame si è dunque provveduto in fase di Progetto Esecutivo ad una modifica del tracciato dell'infrastruttura viaria per aumentare la distanza relativa tra pozzi e tracciato (Figura 43).

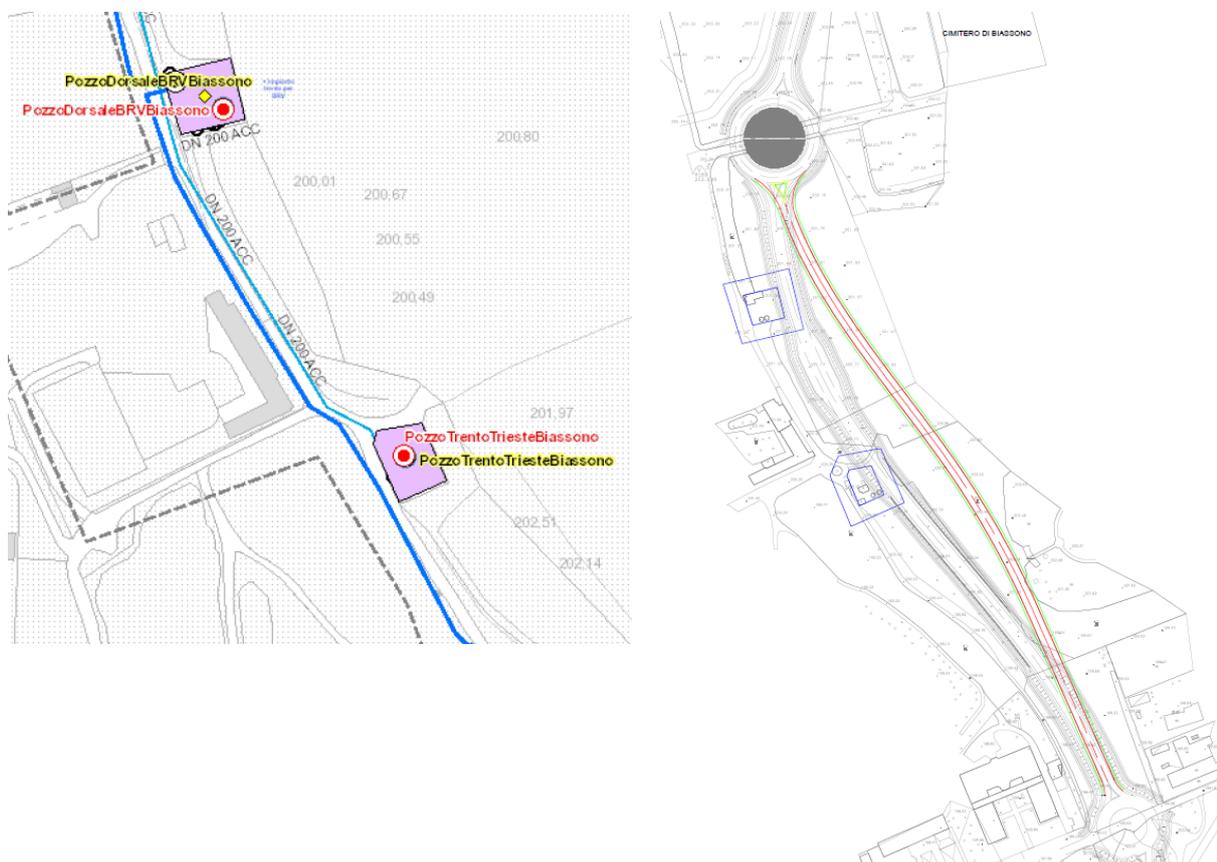


Figura 43 - A sinistra dettaglio dei pozzi posti in comune di Biassono interferenti con l'opera connessa TRM10, a destra la modifica del tracciato proposta per evitare l'interferenza con la Zona di Tutela Assoluta degli stessi

Per quanto riguarda le interferenze tra i pozzi e le opere in progetto meno rilevanti, relative alla sola Zona di Rispetto, va ricordato che il criterio geometrico adottato è da considerarsi comunque come una prima valutazione, che in genere risulta essere peraltro piuttosto cautelativa poichè non considera gli aspetti di carattere idrogeologico, che invece rivestono come noto una grande importanza nella valutazione dell'effettiva criticità che potrebbe scaturire dalle attività di cantiere e di esercizio dell'opera. Diviene quindi necessario effettuare un approfondimento dell'analisi della interferenza che comprenda ad esempio la valutazione della profondità dei filtri dei pozzi e del livello acquifero intercettato, la presenza di lenti di materiali poco permeabili che, se di adeguato spessore ed interposte tra il piano campagna e il primo filtro, potrebbero isolare e proteggere le acque intercettate dal pozzo riducendone significativamente la vulnerabilità. Va inoltre considerata l'ubicazione del pozzo rispetto all'opera e alla direzione di propagazione del deflusso della falda intercettata dai filtri; due pozzi posti alla medesima distanza dall'opera ma rispettivamente a monte e valle idrogeologico presenteranno infatti una criticità differente, più elevata per il pozzo posto a valle rispetto a quello di monte. Anche le caratteristiche dell'opera e del cantiere, variabili a seconda dei tratti, determinano un potenziale pericolo per la falda che aumenta nei casi in cui le opere di fondazione sono spinte a profondità elevate: opere in sotterraneo spinte a qualche decina di metri di profondità comportano a parità di condizioni idrogeologiche un rischio maggiore rispetto a opere realizzate in rilevato o con fondazioni superficiali.

A titolo di esempio, si riporta l'analisi di dettaglio condotta per i pozzi CP3 e CP4 (codice SIF 151000039 e 151000040) posti in Comune di Desio, per i quali l'analisi di screening preliminare ha evidenziato l'interferenza con una sezione della tratta C dell'opera che risulta, per entrambi, a circa 50 m di distanza. Dall'analisi delle stratigrafie dei pozzi emerge che il pozzo CP3 ha una profondità di 109 metri e che il filtro più superficiale è posto a 60 m di profondità, risultando "protetto" da uno strato di argilla gialla di spessore pari a circa 2,5 metri. Il pozzo CP4, ubicato al fianco del precedente, è profondo 148 metri e presenta il filtro più superficiale alla profondità di 112,2 metri dal piano campagna, intercettando quindi unicamente l'acquifero profondo che risulta "protetto" da diverse lenti di materiali fini di spessore significativo, tra cui una di spessore pari a oltre 6 metri costituita da argille giallo-azzurre posta qualche metro al di sopra del filtro. Nel caso di specie, dunque, i due pozzi pur essendo limitrofi e interferenti allo stesso modo con le opere in progetto, per via delle differenti caratteristiche costruttive, presentano vulnerabilità diverse: certamente maggiore nel caso del pozzo CP3, soprattutto in considerazione della profondità prevista in fase di progetto delle fondazioni delle opere, pari a circa 60 m dal piano di campagna (Figura 44).

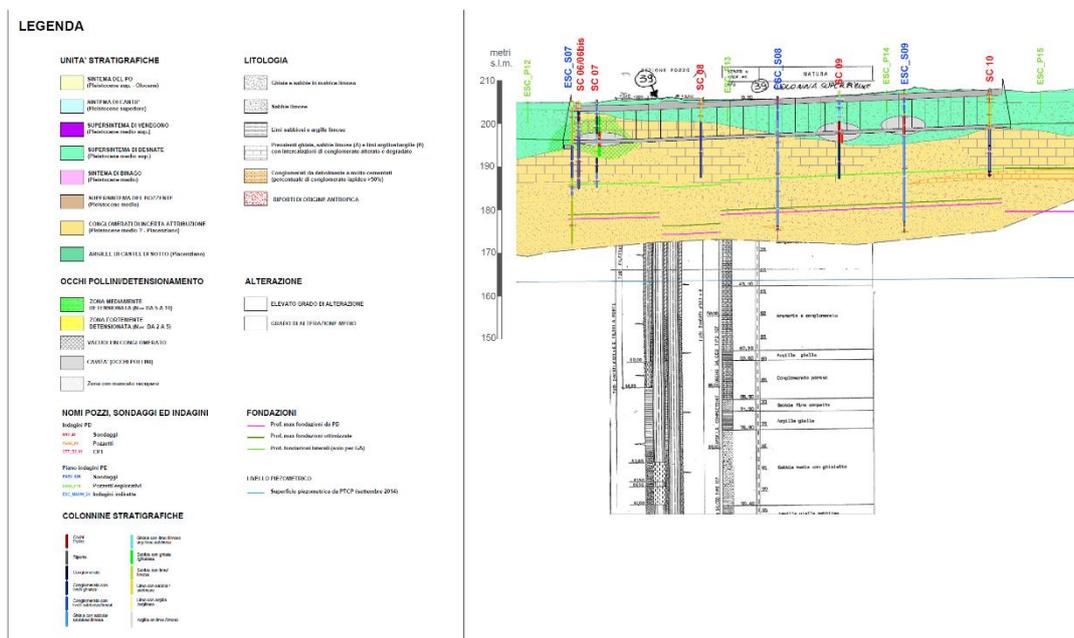


Figura 44 - Analisi di dettaglio (a titolo di esempio) della stratigrafia e dell'interazione con le opere dei pozzi CP3 e CP4

Di seguito si riporta in forma sintetica l'esito della verifica di dettaglio condotta per tutti i pozzi per i quali si è manifestata dalla fase di screening una interferenza con le opere in progetto, effettuata considerando:

- gli aspetti idrogeologici (ad es. presenza di livelli impermeabili / vulnerabilità della falda captata)
- l'analisi della stratigrafia dei singoli pozzi ed in particolare della profondità dei filtri
- l'ubicazione degli stessi rispetto all'opera e tenendo conto della direzione di deflusso della falda
- le caratteristiche e la profondità in sottterraneo dell'opera/fondazioni.

A seconda del grado di vulnerabilità del pozzo si è quindi indicata la necessità di apportare modifiche al progetto, di adottare misure compensative e/o attività specifiche quali ad esempio il monitoraggio della qualità delle acque (Tabella 8).

POZZI AD USO IDROPOTABILE						
CODICE /CODICI	COMUNE	DISTANZA DAL LIMITE DELL'OPERA [m]	DETTAGLI UBICAZIONE (IN RELAZIONE AL FLUSSO DI FALDA)	CONSIDERAZIONI	NECESSITA' DI MODIFICHE PROGETTUALI IRSPETTO A QUANTO PREVISTO NEL PD	NECESSITA' DI INTERVENTI COMPENSATIVI e/o ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO PREVISTE
150230022	Biassono	< 10 m	A valle rispetto alla TRMI10	Interferenza grave opera-pozzo poiché non rispettata la Zona di tutela Assoluta	SI	Modifica del tracciato dell'opera e successivo monitoraggio della qualità delle acque durante la realizzazione dell'opera
150230023	Biassono	< 10 m	A valle rispetto alla TRMI10	Interferenza grave opera-pozzo poiché non rispettata la Zona di tutela Assoluta	SI	Modifica del tracciato dell'opera e successivo monitoraggio della qualità delle acque durante la realizzazione dell'opera
150230024	Biassono	< 10 m	A valle rispetto alla TRMI10	Interferenza grave opera-pozzo poiché non rispettata la Zona di tutela Assoluta	SI	Modifica del tracciato dell'opera e successivo monitoraggio della qualità delle acque durante la realizzazione dell'opera
151290005	Macherio	< 10 m	A monte rispetto all' asse principale - A lato rispetto alla viabilità secondaria prossima ala g.a. Macherio 3	Interferenza grave opera-pozzo poiché non rispettata la Zona di tutela Assoluta, il pozzo presenta il primo filtro a 36 m di profondità dal p.c. e non sono presenti orizzonti poco permeabili di spessore significativo	SI	Necessario valutare la modifica del tracciato o in alternativa la sostituzione del pozzo con uno di nuova realizzazione posto a distanza maggiore e con filtri a profondità più elevate
151000039	Desio	< 50 m	A valle rispetto all'asse principale - distanza circa 50m dal cantiere	Interferenza potenzialmente significativa, le opere in sotterraneo nella tratta in prossimità del pozzo sono spinte a diverse decine di metri di profondità e il primo filtro del pozzo è ubicato a 60 m dal piano campagna, seppure protetto da una lente argillosa di 2,5 m di spessore	NO	L'opera in progetto non interferisce direttamente con il pozzo ma la vulnerabilità dello stesso è elevata e quindi durante l'esecuzione dell'opera sarà necessario effettuare un monitoraggio frequente della qualità delle acque del pozzo
151000040	Desio	< 50 m	A valle rispetto all'asse principale - distanza circa 50m dal cantiere	Interferenza tra l'opera e la Zona di rispetto del pozzo con una distanza inferiore ai 50 metri, tuttavia, il pozzo ha i filtri a partire da 112 m di profondità dal piano campagna e risultano protetti da diversi livelli di materiali fini, la vulnerabilità è pertanto molto bassa	NO	Eventuale monitoraggio della qualità delle acque durante le fasi di esecuzione delle opere
152410011	Vimercate	< 50 m	A valle rispetto allo svincolo di Vimercate - distanza circa 50m a valle del cantiere	Interferenza tra l'opera e la Zona di rispetto del pozzo con una distanza inferiore ai 50 metri, il pozzo è però ubicato a valle idrogeologico e presenta un filtro più superficiale a circa 36 m di profondità dal p.c. protetto da uno strato di argilla gialla di spessore 6 m posto tra 21 e 27 metri di profondità, del quale non è nota però l'estensione	NO	Necessario monitoraggio frequente della qualità delle acque del pozzo durante la realizzazione dell'opera
151000001	Desio	< 100 m	A valle rispetto all'asse principale - distanza circa 80m dal cantiere	Interferenza tra l'opera e la Zona di rispetto del pozzo con una distanza di circa 80 metri, il pozzo pur essendo ubicato a valle idrogeologico presenta filtri profondi 100 metri dal p.c. e ben protetti da uno spessore di argille consistente, la vulnerabilità è pertanto molto bassa	NO	Eventuale monitoraggio della qualità delle acque durante le fasi di esecuzione delle opere
150750006	Cesano Maderno	< 100 m	A lato dello svincolo di Cesano Maderno	Interferenza tra l'opera e la Zona di rispetto del pozzo con una distanza inferiore a 100 metri, il pozzo è ubicato lateralmente alle opere in progetto, presenta un filtro alla profondità di 40 metri dal	NO	Raccomandato il monitoraggio della qualità delle acque durante le fasi di esecuzione delle opere

				p.c. e non sono presenti livelli a bassa permeabilità a protezione dello stesso, la vulnerabilità è in ogni caso moderata		
151200005	Lesmo	< 200 m	A valle rispetto alla viabilità secondaria	Interferenza tra l'opera e la Zona di rispetto del pozzo con una distanza inferiore a 200 metri, il pozzo è ubicato a valle idrogeologico delle opere in progetto, presenta un filtro alla profondità di circa 20 metri dal p.c. e non sono presenti livelli a bassa permeabilità a protezione dello stesso, la vulnerabilità è pertanto non trascurabile	NO	Raccomandato il monitoraggio della qualità delle acque durante le fasi di esecuzione delle opere
151230011	Lissone	< 200 m	A lato dello svincolo di Desio	Interferenza tra l'opera e la Zona di rispetto del pozzo con una distanza inferiore a 200 metri, il pozzo è ubicato lateralmente alle opere in progetto, presenta un filtro alla profondità di circa 68 metri dal p.c., la vulnerabilità è in ogni caso moderata	NO	Nessuna particolare necessità, essendo il pozzo oltre 100 m leggermente sopra falda rispetto alla già esistente superstrada Milano-Lecco, ove sono previste attività di semplice raccordo a piano campagna
151290030	Macherio	< 50 m	A monte rispetto all'asse principale - A lato rispetto alla viabilità secondaria	il pozzo presenta filtri a partire dalla profondità di 124,5 m dal piano campagna, ben protetti da diversi livelli di materiali fini con spessori di diversi metri; nonostante la limitata distanza dalle opere in progetto, considerata l'ubicazione a monte delle stesse e le condizioni idrogeologiche locali oltre alla notevole profondità dei filtri, la vulnerabilità del pozzo è comunque piuttosto limitata	NO	Nessuna particolare necessità; eventuale e prudenziiale monitoraggio della qualità delle acque durante le fasi di esecuzione delle opere
151290006	Macherio	< 50 m	A monte rispetto all'asse principale - A lato rispetto alla viabilità secondaria	Interferenza tra l'opera e la Zona di rispetto del pozzo con una distanza inferiore a 50 metri, il pozzo è ubicato a monte idrogeologico dell'opera e presenta il filtro più superficiale a circa 42 metri dal p.c., considerata l'ubicazione rispetto all'opera, la vulnerabilità del pozzo è comunque bassa	NO	Eventuale monitoraggio della qualità delle acque durante le fasi di esecuzione delle opere
151290007	Macherio	< 50 m	A monte rispetto all'asse principale - A lato rispetto alla viabilità secondaria	Interferenza tra l'opera e la Zona di rispetto del pozzo con una distanza inferiore a 50 metri, il pozzo è ubicato a monte idrogeologico dell'opera e presenta il filtro più superficiale a circa 53 metri dal p.c. protetto da uno spessore di argilla gialla compatta, considerata l'ubicazione rispetto all'opera, la vulnerabilità del pozzo è dunque molto bassa	NO	Nessuna particolare necessità; eventuale e prudenziiale monitoraggio della qualità delle acque durante le fasi di esecuzione delle opere
151290008	Macherio	< 50 m	A monte rispetto all'asse principale - A lato rispetto alla viabilità secondaria	Interferenza tra l'opera e la Zona di rispetto del pozzo con una distanza inferiore a 50 metri, il pozzo è ubicato a monte idrogeologico dell'opera e presenta il filtro più superficiale a circa 51 metri dal p.c. protetto da uno spessore di argilla gialla compatta, considerata l'ubicazione rispetto all'opera, la vulnerabilità del pozzo è dunque molto bassa	NO	Nessuna particolare necessità; eventuale e prudenziiale monitoraggio della qualità delle acque durante le fasi di esecuzione delle opere
152270132	Usmate Velate	< 200 m	A monte rispetto allo svincolo di Vimercate	Interferenza tra l'opera e la Zona di Rispetto del pozzo posto a una distanza intorno ai 200 metri, il pozzo è inoltre ubicato a monte idrogeologico, nonostante la presenza di un filtro superficiale alla profondità di 25 m dal p.c. si ritiene la vulnerabilità comunque bassa	NO	Nessuna particolare necessità

Tabella 8 - Analisi di dettaglio delle interferenze tra i pozzi per l'approvvigionamento idrico potabile e le opere in progetto

5.3 VALUTAZIONE DEI POTENZIALI IMPATTI SULLA FALDA

Ogni attività antropica produce inevitabilmente un impatto sull'ambiente. A maggior ragione questo è vero per una infrastruttura di rilevante entità, quale una autostrada.

Fortunatamente per quanto attiene la falda nel caso di Pedemontana, le soggiacenze risultano in linea generale piuttosto rilevanti, se non nel tratto in prossimità del fiume Lambro, ad Arcore e Vimercate (cfr. paragrafo precedente).

Lo spessore insaturo che eventuali rilasci sarebbero costretti a superare è infatti di diverse decine di metri (anche più di 40-50 m a Desio e Cesano Maderno), prima di raggiungere la falda. La vulnerabilità è dunque relativamente bassa ovunque, tranne nei tratti più orientali di tratta C, ove aumenta sensibilmente. Le fondazioni più profonde possono poi portare ad una maggiore vicinanza tra acqua ed opere.

5.3.1 Fase di cantiere

Aspetti qualitativi

Le principali condizioni di criticità sono legate alla fase di realizzazione dell'opera quando l'allestimento del cantiere e delle successive lavorazioni possono determinare potenziali impatti sull'ambiente. Per quanto concerne il rischio per le opere di captazione presenti nel territorio interessato dall'esecuzione dell'infrastruttura viaria, come si è già valutato nel dettaglio nel precedente paragrafo 5.2, ad eccezione di alcuni pozzi rispetto ai quali le opere in progetto determinano una interazione molto significativa che richiedono pertanto la modifica del tracciato originario o la sostituzione del pozzo interferente, le caratteristiche dei pozzi (ubicazione rispetto all'opera, profondità dei filtri, ecc.) e quelle idrogeologiche dell'acquifero (ad esempio la presenza di livelli poco permeabili a protezione dei tratti filtrati) determinano condizioni di vulnerabilità piuttosto contenute e limitate. In ogni caso, come meglio illustrato nel successivo capitolo 6, è opportuno prevedere delle misure di prevenzione e monitoraggio al fine di prevenire ogni possibile rischio di contaminazione delle acque sotterranee e, nel malaugurato caso di incidenti, rilevarne tempestivamente gli eventuali effetti e intervenire altrettanto celermente per contenerli evitandone così la propagazione.

Posto che non sono attese interferenze dirette tra falda e opere, ma solamente con le fondazioni, durante la realizzazione di diaframmi o pali di fondazione, possono verificarsi rilasci di sostanze indesiderate in falda a causa delle attività di costruzione. Alcuni dei potenziali rilasci di sostanze indesiderate includono:

- fluidi di perforazione: durante le operazioni di perforazione per la realizzazione dei diaframmi o dei pali di fondazione vengono solitamente utilizzati fluidi di perforazione, come fanghi bentonitici o polimerici, per stabilizzare il foro e rimuovere i detriti. Questi fluidi possono contenere additivi chimici e talvolta possono verificarsi perdite o fuoriuscite nei terreni circostanti, potenzialmente influenzando la qualità dell'acqua di falda.
- Materiali di tenuta e/o sigillatura: durante la costruzione di diaframmi o pali di fondazione, vengono spesso utilizzati materiali di tenuta o sigillatura, come bentonite, calce o cemento. Questi materiali possono contenere sostanze chimiche che, se rilasciate in falda a causa di perdite o dispersioni, possono compromettere la qualità dell'acqua sotterranea.
- Carburanti e lubrificanti: La presenza di attrezzature e macchinari nel cantiere comporta l'utilizzo di carburanti e lubrificanti, come diesel, olio motore o grasso. Possibili perdite o sversamenti di tali sostanze possono contaminare il suolo e infiltrarsi nelle acque di falda.

- Rifiuti e materiali inquinanti: Durante la costruzione, possono essere generati rifiuti e materiali inquinanti, come schiumogeni, vernici, solventi, adesivi, residui di cemento o metalli pesanti. Se questi materiali vengono gestiti in modo improprio o smaltiti in modo inadeguato, possono causare l'inquinamento delle acque di falda.

Per mitigare i rilasci di sostanze indesiderate in falda durante la realizzazione di diaframmi o pali di fondazione sono essenziali misure preventive e pratiche di gestione adeguatamente predisposte. Alcune delle azioni che possono essere adottate includono:

- Adozione di misure di controllo per limitare il dilavamento di polveri e potenziali sostanze inquinanti che poi possano percolare nel sottosuolo.
- Utilizzo di metodi di perforazione e tecniche costruttive appropriati per ridurre al minimo la dispersione di fluidi di perforazione e materiali di tenuta e costipazione nel sottosuolo
- Implementazione di un sistema di gestione dei rifiuti adeguato per la corretta gestione e smaltimento dei materiali inquinanti generati durante la costruzione.
- Adozione di buone pratiche ambientali nel cantiere, come l'uso di attrezzature a basso impatto ambientale, il controllo delle perdite di carburante e aree di stoccaggio fluidi e lavaggio ruote, così come una adeguata formazione del personale sulle procedure di sicurezza e gestione ambientale.
- Impostazione di una rete di monitoraggio piezometrico e qualitativa dedicata al controllo preventivo di eventuali rilasci in falda di sostanze indesiderate, a tutela dei pozzi idropotabili

In questo modo, è possibile garantire una corretta gestione degli impatti ambientali e la salvaguardia delle risorse idriche sotterranee durante la realizzazione di diaframmi o pali di fondazione.

In termini generali è utile comunque ricordare che le acque sotterranee nel territorio in esame sono storicamente interessate da inquinamenti di provenienza industriale (in particolare solventi clorurati e metalli), agricola e civile (fitofarmaci e nitrati). Come si è visto nel paragrafo 3.4 questi inquinamenti possono essere diffusi o concentrati nei cosiddetti "pennacchi". Posto che qualunque intervento antropico altera perlomeno temporaneamente l'ambiente, anche le lavorazioni per la realizzazione dell'autostrada possono comportare alterazioni localizzate all'attuale stato alterato della falda. Si riportano di seguito alcune brevi considerazioni al riguardo.

Interferenza con inquinamenti diffusi e pennacchi di inquinamento conosciuti

Le indicazioni fornite dalla cartografia esistente sono poco dettagliate e non mostrano evidenze di plume veri e propri ma di un generico inquinamento, in particolare da solventi clorurati, in gran parte della provincia. L'esecuzione degli scavi non si ritiene possa interferire più di tanto sullo stato qualitativo e contaminazione delle falde, se non maggiormente nella porzione di Arcore e Vimercate o nella valle del Lambro.

Questo discorso appare evidente per gli inquinamenti diffusi, che non possono certo essere interferiti dall'opera vista la loro distribuzione su estensione provinciale o regionale, quasi alla stregua dei cosiddetti "valori di fondo" naturali di alcune sostanze.

Per quanto attiene invece i pennacchi di inquinamento oggi conosciuti non si ritiene l'opera particolarmente influente sul loro andamento. Osservando infatti le cartografie contenute nel paragrafo 3.4.12 si rilevano in prossimità del tracciato plume conosciuti di solventi solamente a valle dal punto di vista idrogeologico rispetto al progetto. Dato che sono però presenti industrie nell'alta Brianza, si ritiene tale dato non esauriente, e si preferisce adottare un atteggiamento cautelativo,

anche per garantire la salubrità delle fondazioni in termini di acque aggressive per gli inquinamenti diffusi esistenti (vedi paragrafo 6 – monitoraggio).

In ogni caso, dato che lo spessore dell'acquifero risulta ben maggiore rispetto alla zona potenzialmente intercettata dai diaframmi (soprattutto a Macherio-Biassono, ove l'interferenza potenziale sarebbe in ogni caso eventualmente limitatissima, ma anche nelle aree di pianura di Arcore e Vimercate), si ritiene che vi possa essere qualche deformazione centimetrica al deflusso delle acque che poco influirebbe sulle direzioni di deflusso delle acque sotterranee.

La raccolta di dati idrogeologici, soprattutto piezometrici durante il monitoraggio, permetterà di effettuare le valutazioni necessarie affinché le modifiche nella direzione e velocità di flusso conseguenti alla realizzazione degli scavi e della galleria non aggravino l'attuale stato qualitativo della falda superficiale e di quella più profonda.

Aspetti quantitativi

Come già anticipato nei paragrafi precedenti e nel capitolo 5.1, l'interferenza tra opere e falda di progetto si riduce alla porzione orientale di tratta C, tra Macherio e Vimercate. Essa è legata alle fondazioni, posto che non sono previsti scavi alla profondità della falda.

Due sono le opere che potrebbero interferire maggiormente con le fondazioni: i profondi diaframmi della galleria artificiale Lesmo 2, a doppia campata, e quelli della g.a. Arcore 3.

La Lesmo 2 rappresenta l'unico caso potenzialmente critico, dato che i diaframmi potrebbero, localmente, creare uno sbarramento totale al flusso di falda per la presenza probabile di un "alto" del c.d. "Villafranchiano", argille limoso-sabbiose alla base del primo acquifero (ISS) e al tetto di quello profondo (ISP).

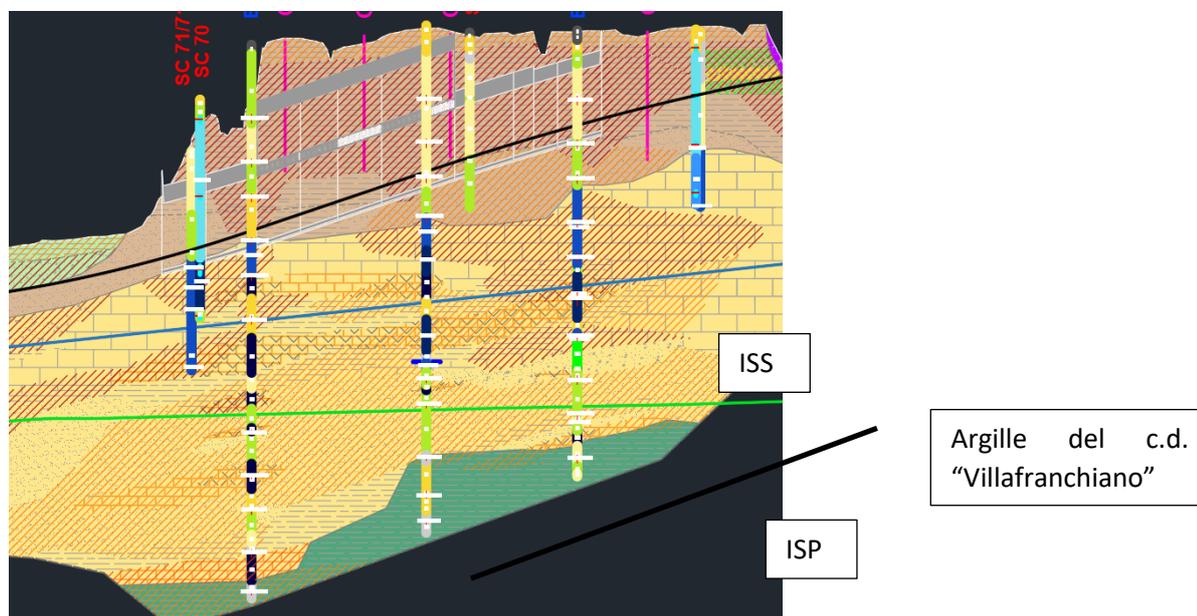


Figura 45: g.a. Lesmo 2 i cui diaframmi, rappresentati approssimativamente alla profondità prevista (linea nera), potrebbero creare localmente uno sbarramento totale al flusso della falda che scorre nella prima idrostruttura ISS (in blu la falda di progetto di sett-14, in verde la più recente, quella di mag-23)

Anche la galleria artificiale Arcore 3 potrebbe interferire in maniera non trascurabile con la falda, ma in questo caso non si conosce la profondità alla base del primo acquifero (non raggiunta dai sondaggi) e, dunque, è prevedibile una interferenza di ordine ben inferiore alla Lesmo 2.

Considerando l'assetto piezometrico più recente (aprile-maggio 2023), le zone di potenziale interferenza si riducono in maniera netta, visto che la falda attuale appare generalmente più bassa di ca. 10-15 m rispetto alla falda di progetto. Permane sostanzialmente solo il problema legato alla Lesmo 2, pur con un battente idrico ben più ridotto.

In base ad altre esperienze degli scriventi nel territorio brianteo, gallerie immerse in falda nei depositi alluvionali possono provocare, secondo i modelli numerici di flusso previsionali impostati e debitamente tarati, al massimo ca. 30-50 cm di rialzo a monte (effetto barriera), e un corrispondente abbassamento a valle. Nel tratto delle g.a. di Lesmo in particolare, ma anche di Arcore, non risulterebbe assolutamente semplice (vista la variabilità litologica) effettuare una simulazione numerica di flusso attendibile per valutare l'eventuale effetto barriera dei diaframmi. In ogni caso rimane una possibilità da valutare, soprattutto per la stima dell'accelerazione del flusso idrico che, nel caso succitato, non superava comunque l'ordine di grandezza rispetto alla condizione di falda indisturbata, e risultava inferiore alle velocità critiche.

5.3.2 Fase d'esercizio

Aspetti qualitativi

Nella fase di esercizio dell'opera non si rilevano potenziali pericoli in grado di determinare un impatto sulle acque sotterranee e dunque sulle opere di captazione delle stesse. Le eventuali sostanze pericolose per l'ambiente che possono essere disperse sulle carreggiate e in generale sulla superficie stradale e che per opera delle acque meteoriche vengono mobilizzate e trasportate, sono infatti affidate ad un sistema di raccolta, trattamento e smaltimento appositamente progettato per garantire la loro gestione in sicurezza, prevenendo così il rischio di dispersione nell'ambiente.

Unico aspetto da valutare è l'eventuale deformazione di esistenti plume di contaminazione nei tratti in cui l'autostrada produce un barriera della falda e l'eventuale aggressività delle acque di falda sulle fondazioni, dato che presentano contaminazioni storiche da solventi clorurati ed altre sostanze indesiderate.

Aspetti quantitativi

Se nella fase di realizzazione dell'opera l'interferenza potenziale con la falda risulta limitata spazialmente, per come già detto, a pochi e brevi tratti, durante la fase di esercizio l'effetto barriera dovrebbe interessare gli stessi tratti ma l'effetto a lungo termine potrebbe essere leggermente superiore. Un adeguato monitoraggio potrebbe garantire il controllo dei livelli, in ottica di scongiurare effetti di sollevamento incontrollato delle acque a monte e superamento delle velocità critiche della falda al contorno delle opere, con accentuazione dei fenomeni di erosione sotterranea.

5.4 CONSIDERAZIONI SULLE MODALITÀ DI UTILIZZO DELLE ACQUE DI FALDA E RELATIVA OTTIMIZZAZIONE SOSTENIBILE

In linea teorica, nel contesto dei cantieri e delle costruzioni, le acque di falda possono essere una risorsa preziosa per soddisfare le esigenze idriche durante le attività di scavo e costruzione. Tuttavia, è fondamentale valutare attentamente le modalità di utilizzo di queste acque e cercare di ottimizzarne l'uso in modo sostenibile.

Le valutazioni sulle modalità di utilizzo di acque di falda in cantiere richiedono una valutazione accurata dell'entità e della qualità delle acque sotterranee disponibili. È necessario valutare la

portata e la ricarica delle falde acquifere nella zona circostante al cantiere, nonché la qualità dell'acqua per garantire che sia adatta all'uso previsto.

L'ottimizzazione sostenibile dell'utilizzo delle acque di falda in cantiere può essere raggiunta attraverso l'adozione di misure di risparmio idrico. Ciò implica l'utilizzo di attrezzature e tecnologie efficienti dal punto di vista idrico, come l'impiego di apparecchiature a basso consumo per il lavaggio o la riduzione delle perdite idriche tramite sistemi di controllo e monitoraggio.

È inoltre importante considerare l'opportunità di utilizzare fonti alternative di approvvigionamento idrico nei cantieri. Ad esempio, l'acqua piovana può essere raccolta e utilizzata per scopi non potabili, come l'abbattimento polveri o il raffreddamento delle macchine. L'uso di acque reflue trattate può anche ridurre la dipendenza dalle acque di falda.

La gestione sostenibile delle acque di falda in cantiere richiede una collaborazione attiva tra i responsabili del progetto. È essenziale adottare misure preventive e piani di gestione delle acque che minimizzino l'impatto sulle falde acquifere locali e promuovano l'efficienza idrica.

Nei cantieri di tratta C la falda risulta però particolarmente profonda, e dunque poco appetibile per un suo uso industriale. Fanno eccezione la valle del Lambro, ove però dovrà essere valutato l'approvvigionamento idrico diretto dal fiume ed, eventualmente, la valle della Molgorana ad Arcore e Vimercate, ove è possibile ipotizzare, seguendo i criteri di tutela e sostenibilità summenzionati, eventuali usi delle acque di falda per la realizzazione del progetto.

5.5 VALUTAZIONE DELL'EFFETTO DIGA AD OPERA DEI DIAFRAMMI PROFONDI E RELATIVE MISURE DI OTTIMIZZAZIONE

L'effetto c.d. "diga" in relazione alle acque sotterranee si riferisce al fenomeno in cui un diaframma o una barriera artificiale influisce sul flusso delle acque sotterranee, comportando cambiamenti significativi nell'assetto idrogeologico locale, impedendo il deflusso libero delle acque.

L'effetto diga determina un accumulo di acqua a monte del diaframma, creando un aumento del carico piezometrico a monte, e un corrispondente decremento del carico a valle dell'opera che sbarra il transito delle acque sotterranee.

E' dunque essenziale valutare attentamente gli effetti di un diaframma sulla falda acquifera prima di costruirlo, al fine di comprendere come influenzerà il regime idrico della zona circostante, prevedendo eventuali conseguenze negative.

Lungo la tratta C, come anticipato nel par. 5.3, non sono attesi fenomeni di barriera della falda causati dalle fondazioni né dalle opere, eccetto uno-due casi, la galleria artificiale Lesmo 2 e, in misura molto minore, la Arcore 3.

In entrambi i casi i diaframmi intercetterebbero una parte rilevante dell'idrostruttura superficiale ISS, sede della prima falda a carattere regionale, se si prende a riferimento la falda di progetto (settembre 2014). In caso si valutasse l'interferenza con la falda più recente (aprile – maggio 23), solo la Lesmo 2 continuerebbe a risultare potenzialmente critica, visto che si ritiene possibile che i diaframmi di detta galleria si possano intestare nelle argille limoso-sabbiose del c.d. "Villafranchiano", livello fine di separazione tra gli acquiferi superficiali (ISS e ISI) e quello profondo (ISP). Al netto di considerazioni circa l'entità del possibile innalzamento provocato da questa interferenza (cfr. par. 5.3 al riguardo), si ritiene che, prudenzialmente, i diaframmi delle succitate gallerie debbano prevedere dei bypass idraulici posto come minimo in prossimità del contatto basale con le argille (nel caso della Lesmo 2 – e comunque a distanza di sicurezza per evitare il trascinarsi delle particelle fini) o in prossimità della zona di intestazione dei diaframmi, che consentano il deflusso idrico ipogeo tra monte e valle delle strutture. Si ritiene che un sistema di dreni verticali o subverticali

(ad “u”), oppure ancora suborizzontali, di interconnessione tra i due settori a monte e valle del setto impermeabile, opportunamente dimensionati, potrebbero essere la soluzione ideale per garantire un minimo impatto a monte e valle delle opere e scongiurare eccessivi incrementi del gradiente e l’instaurarsi di moti che portino il flusso ad avvicinarsi ai gradienti critici per la falda, potenziale causa di fenomeni di erosione sotterranea.

6 MONITORAGGIO QUALI-QUANTITATIVO DELLA FALDA

Come si evince dalla lettura dei capitoli precedenti, non si ritiene che la realizzazione dell’autostrada possa produrre rilevanti alterazioni nello stato quantitativo e qualitativo della falda interessata dal cantiere, né durante le attività di costruzione, né ad opera completata, ad eccezione dei brevi tratti summenzionati, concentrati nella metà più orientale di tratta C.

Ogni opera genera però inevitabilmente un cambiamento nell’assetto naturale e antropico del territorio che la ospita.

Una progettazione moderna e responsabile deve quindi mirare a produrre un’alterazione minima nel contesto nel quale si inserisce.

In particolare, è necessario porre massima attenzione sullo stato dei recettori ambientali, e cioè l’aria, il terreno/sottosuolo, l’acqua e, in seconda battuta e in caso di zone fortemente antropizzate quali quella in oggetto, nel valutare potenziali impatti sulle risorse che sono fonte primaria di benessere o ricchezza per il tessuto socioeconomico del territorio che accoglie l’opera.

In questo documento, ai fini di garantire la protezione dei pozzi potabili, sono presi in considerazione gli aspetti più salienti per il comparto idrogeologico, considerato che la falda costituisce la risorsa naturale più rilevante per il territorio brianteo, essendo essa l’unica fonte di approvvigionamento idrico idropotabile e industriale ampiamente sfruttabile e sfruttata (ad eccezione di alcune sorgenti nell’alta Brianza).

Assume quindi importanza fondamentale il monitoraggio degli aspetti quantitativi e dei parametri qualitativi principali attraverso la pianificazione di una rete di controllo che ben si combini con un articolato tessuto socioeconomico quale quello compreso nel territorio brianteo, il quale dovrà essere indirizzato già dalla fase di progettazione generale.

Nella prima emissione del Progetto Esecutivo viene fornito l’indirizzo generale per il monitoraggio quali-quantitativo della falda. Gli assunti qui riportati dovranno essere confermati in una seconda fase, in particolare per approfondimenti legati ad un confronto con Brianzacque, gestore unico del S.I.I. provinciale.

6.1 Principi per la realizzazione della rete di monitoraggio per APL

Considerando la falda acquifera come bersaglio del potenziale impatto connesso alla realizzazione dell’opera è opportuno predisporre una rete di monitoraggio adeguata a valutare i potenziali impatti in termini sia qualitativi, sia quantitativi.

Nel primo caso sarà necessario predisporre una rete di piezometri che prioritariamente consenta di salvaguardare il recettore sensibile, l’acquifero sede di pozzi per approvvigionamento idropotabile, interponendo questi piezometri tra l’area del cantiere e i bersagli posti a valle idrogeologico della stessa, i summenzionati pozzi idropotabili. Il monitoraggio dovrà quindi riguardare principalmente i piezometri che fungeranno da “sentinella” per rilevare con congruo anticipo eventuali contaminazioni

che possano interessare i pozzi posti a valle; i pozzi stessi sono regolarmente posti sotto controllo e quindi a loro volta dovranno essere oggetto di monitoraggio. Per poter eventualmente escludere Pedemontana da possibili accuse di inquinamento, magari ad essa non imputabili, può anche valere la pena di valutare la predisposizione di punti di controllo a monte dell'autostrada.

Per quanto attiene il monitoraggio quantitativo per valutare eventuali deviazioni locali al deflusso naturale della falda, causati dai possibili effetti "barriera" determinati dalle opere realizzate in sottoterraneo, sarà necessario effettuare il monitoraggio dei livelli di falda ante-operam, durante l'esecuzione della stessa e post-operam, così da rilevare le eventuali modifiche locali all'assetto piezometrico (quelle generalizzate sono più facilmente imputabili a fattori climatici) che possano essere ricondotte alle alterazioni dovute alla presenza delle strutture in sottoterraneo di nuova realizzazione. In questo caso i piezometri della rete di monitoraggio dovranno essere equidistribuiti nei punti significativi (ove la soggiacenza sia minima e tale da interferire con le fondazioni – si è già detto che non sono attese invece interferenze con gli scavi), sia a monte sia a valle del tracciato dell'opera in modo da consentire la ricostruzione delle curve isopiezometriche e dei transetti monte-valle per la stima dei gradienti.

6.2 Proposta di una rete di monitoraggio per APL

Come anticipato, il piano di monitoraggio deve perseguire due obiettivi: valutare se il progetto di APL produrrà effetti quantitativi sulla falda, ove si verificheranno le interferenze tra flusso idrico ipogeo e infrastruttura e controllare che durante la realizzazione e, successivamente in esercizio, la nuova autostrada non produca alterazione idrochimica nella risorsa idrica utilizzata ai fini idropotabili.

La rete di monitoraggio deve quindi essere progettata al fine di soddisfare entrambi gli obiettivi. La proposta di PE dovrà essere adeguatamente discussa con il gestore del S.I.I. Brianzacque.

6.2.1 Rete di monitoraggio qualitativa

Per quanto riguarda la qualità delle acque sotterranee sarà necessario prevedere alcuni piezometri ubicati a monte idrogeologico dell'opera, idonei a fungere da "bianco" di controllo e valutare che l'eventuale contaminazione che si dovesse rilevare a valle non dipenda in realtà da altre fonti di pressione e/o sorgenti indipendenti dal cantiere dell'infrastruttura viaria, mentre altri dovranno essere ubicati lungo la direttrice di deflusso in posizione di interesse tra lo sviluppo previsto dell'opera e i pozzi potabili che hanno evidenziato una interferenza e una vulnerabilità non trascurabile (vedi Tabella 8). Oltre al monitoraggio dei piezometri dovranno essere costantemente monitorati anche i pozzi, che già di norma sono soggetti a regolari controlli di qualità.

Posto che non sono noti plume di inquinamento definiti lungo tratta C, si prevede di prediligere la realizzazione di nuovi punti di controllo ove siano presenti pozzi idropotabili particolarmente esposti e opere in sottoterraneo a minore distanza dalla falda, come riassunto nella seguente tabella.

Sicuramente sono da ritenersi prioritari i piezometri posto a valle di APL, indicativamente in numero di 14 da ubicarsi nelle aree sotto riportate, mentre per quelli a monte dovrà esserne valutata la reale necessità e fattibilità (potenzialmente si tratta di altri 14 piezometri).

Tabella 9 – proposta per n.14 piezometri (eventuali 14 altri piezometro a monte) per il controllo qualitativo della falda

COMUNE	POZZO DA TUTELARE	UBICAZIONE IN RELAZIONE AL FLUSSO DI FALDA	NUMERO E TIPOLOGIA PUNTI DI MISURA	MONIT. QUALITA	MONIT. QUANTITA	OSSERVAZIONI
Biassono	150230022-23-24	A valle rispetto alla TRMI10	1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte	2		
Macherio	151290005	A monte rispetto all'asse principale - A lato rispetto alla viabilità secondaria				data la vicinanza del pozzo, non è possibile monitorarlo e verrà spostata la sede stradale
Desio	151000039	A valle rispetto all'asse principale - distanza circa 50m dal cantiere	1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte	2		
Desio	151000040	A valle rispetto all'asse principale - distanza circa 50m dal cantiere	monitoraggio insieme a pozzo 39			
Vimercate	152410011	A valle rispetto allo svincolo di Vimercate - distanza circa 50m a valle del cantiere	1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte	2		
Desio	151000001	A valle rispetto all'asse principale - distanza circa 80m dal cantiere	1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte	2		
Cesano Maderno	150750006	A lato dello svincolo di Cesano Maderno	1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte	2		
Lesmo	151200005	A valle rispetto alla viabilità secondaria - fondazioni profonde, utile in termini quantitativi	1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte	2	SI	
Lissone	151230011	A lato dello svincolo di Desio				Nessuna particolare necessità, essendo il pozzo oltre 100 m leggermente sopra falda rispetto alla già esistente superstrada Milano-Lecco, ove son previste attività di semplice raccordo a piano campagna
Macherio	151290006-7-8-30	A monte rispetto all'asse principale - A lato rispetto alla viabilità secondaria				il campo pozzi è di fianco ad un raccordo a p.c. con viabilità esistente, a monte idrogeologico dell'asse principale e della viabilità secondaria; i pozzi presentano peraltro un discreto grado di protezione litologica (livelli argillosi sopra i filtri, eccetto il n.6) e filtri oltre 30 m; non si ritiene necessario un monitoraggio
Usmate Velate	152270132	A valle rispetto alla viabilità secondaria - fondazioni profonde, utile in termini quantitativi	1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte			
Biassono	-	g.a. Biassono 1 - fondazioni prossime a falda, utile in termini quantitativi generali	1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte	2	SI	
Biassono	-	diaframma tra g.a. Biassono 2 e g.a linea F.S. Monza-Molteno	Eventualmente 1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte	2	SI	
Lesmo	-	g.a. Lesmo 2 - fondazioni in falda, valutare anche interferenza quantita	1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte	2	SI	
Arcore	-	g.a. Arcore 3 - fondazioni probabilmene in falda, valutare anche interferenza quantita	1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte	2	SI	
Vimercate	-	g.a. Tangenziale Est, per valutare anche aspetti quantitativi	1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte	2	SI	
			TOTALE TRATTA C	11 V + 11 M	6	

6.2.2 Rete di monitoraggio quantitativa

Dal punto di vista quantitativo, la proposta per la rete di monitoraggio quantitativo si sovrappone del tutto ad una parte della rete di controllo qualitativo, dato che le strutture immerse in falda sono quelle che potenzialmente risultano poter avere maggiore impatto sia per aspetti qualitativi, sia quantitativi.

La rete quantitativa è stata predisposta posizionando un numero di piezometri adeguato per consentire il monitoraggio dei livelli di falda e la stima dei gradienti monte-valle lungo le direttrici di deflusso locale della falda nelle aree in cui il progetto prevede opere in sotterraneo che, per caratteristiche e profondità, potrebbero comportare interazioni e alterazioni del deflusso naturale della falda. La rete di monitoraggio ottenuta dall'applicazione e integrazione dei criteri su elencati rappresenterà quindi il principale presidio per la verifica di eventuali impatti che la realizzazione dell'opera dovesse comportare alle acque sotterranee. In totale sono proposti 6 piezometri a valle (già parte della rete qualitativa, come anticipato poc'anzi) ed eventuali altri 6 piezometri a monte di alcuni tratti ben definiti, riportati nella tabella che segue.

Tabella 10 – elenco delle aree nelle quali l'installazione di n.6 piezometri consentirà il controllo quantitativo della falda in tratta C (già inclusi nel precedente)

COMUNE	POZZO DA TUTELARE	DISTANZA POZZO-OPERA	UBICAZIONE IN RELAZIONE AL FLUSSO DI FALDA	NUMERO E TIPOLOGIA PUNTI DI MISURA
Lesmo	151200005	< 200 m/fond. pot. prossime a falda	A valle rispetto alla viabilità secondaria - fondazioni profonde, utile in termini quantitativi	1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte
Biassono	-	fondazioni pot. prossime a falda	g.a. Biassono 1 - fondazioni prossime a falda, utile in termini quantitativi generali	1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte
Biassono	-	fondazioni probab. in falda	diaframma tra g.a. Biassono 2 e g.a linea F.S. Monza-Molteno	Eventualmente 1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte
Lesmo	-	fondazioni in falda	g.a. Lesmo 2 - fondazioni in falda, valutare anche interferenza quantita	1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte
Arcore	-	fondazioni probab. in falda	g.a. Arcore 3 - fondazioni probabilmene in falda, valutare anche interferenza quantita	1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte
Vimercate	-	fondazioni probab. in falda	g.a. Tangenziale Est, per valutare anche aspetti quantitativi	1 piezometro a valle di APL e 1 piezometro a monte

Alla luce di quanto sopra riportato si ritiene che, per il monitoraggio della falda di tratta C siano potenzialmente necessari 11 piezometri a valle di APL, mentre il numero a monte andrà definito in una seconda fase di discussione.

Sulla base del dialogo con Brianzacque si provvederà a definire il numero idoneo finale.

6.2.3 Modalità di monitoraggio

I monitoraggi dovranno essere avviati ante-operam per fornire la "fotografia" della condizione pregressa alla installazione del cantiere e all'avvio delle attività. Dovranno poi essere effettuati con

cadenze regolari sia il monitoraggio dei livelli di falda sull'intera rete di punti, sia il prelievo dei campioni destinati alle analisi qualitative di laboratorio. Le frequenze di misura dei livelli e di campionamento delle acque potranno essere differenti e saranno stabilite in base alle previsioni inerenti alle tempistiche del cantiere. Mentre le misure di livello saranno effettuate su tutti i punti disponibili così da consentire una migliore ricostruzione locale degli andamenti della falda, il prelievo dei campioni sarà effettuato solo sui piezometri "spia" posti a monte dei pozzi a fini idropotabili e, eventualmente con frequenze inferiori, sui piezometri di "bianco" posti a monte idrogeologico dell'opera.

Il monitoraggio ha due obiettivi: valutare se APL produrrà effetti quantitativi sulla falda, ove si verificheranno le interferenze tra flusso idrico ipogeo e infrastruttura e controllare che durante la realizzazione e, successivamente in esercizio, la nuova autostrada non produca alterazione idrochimica nella risorsa idrica utilizzata ai fini idropotabili.

Di seguito si propone una tabella di analiti da valutare in fase di realizzazione dell'opera, quando le attività di monitoraggio ante-operam saranno state definite.

Tabella 11: analiti da valutare per il monitoraggio in fase di progetto esecutivo

Metalli	Altri
Arsenico	Idrocarburi totali
Cromo tot.	BTEX
Cadmio	Sommatoria organoalogenati
Mercurio	Sommatoria fitofarmaci
Nichel	Sommatoria IPA
Piombo	Sommatoria PCDD, PCDF
Rame	PCB
Zinco	Tensioattivi
Inquinanti inorganici	PFAS
Nitriti	Parametro chimico fisico
Nitrati	Temperatura
Solfati	pH
Cloruri	Conducibilità Elettrica

In ottica di ottimizzare anche la frequenza di campionamento è ragionevole articolare maggiormente la cadenza di campionamento, differenziando quella prima e dopo gli scavi (ante e post operam) da quella in corso d'opera (più frequente – ad es. mensile o quindicinale, a seconda della distanza relativa tra il piezometro e i pozzi idropotabili e tra questi e le fondazioni profonde);

In prima analisi si possono prevedere campagne di monitoraggio semestrali per il periodo ante-operam, che in maniera elastica (ovvero legato al cronoprogramma dei lavori) nei tratti in fase di realizzazione deve infittirsi proporzionalmente fino ad una frequenza mensile o addirittura quindicinale/settimanale durante l'esecuzione dei lavori, e in particolare la realizzazione delle fondazioni profonde, sia in atto in quei settori nei quali la vulnerabilità dei pozzi idropotabili sia massima.

Terminato il periodo critico, il monitoraggio può gradualmente tornare a cadenze inferiori durante i sei mesi successivi alla chiusura del cantiere in un dato tratto, per poi tornare ad una cadenza semestrale nei 3 anni successivi alla chiusura dei cantieri.

7 ASSETTO IDROGEOLOGICO LUNGO IL TRACCIATO

In questo paragrafo vengono riportati, al fine di supportare la progettazione, le condizioni idrogeologiche attese lungo il tracciato di progetto.

La falda, come già anticipato nei paragrafi precedenti, risulta particolarmente profonda lungo la tratta C.

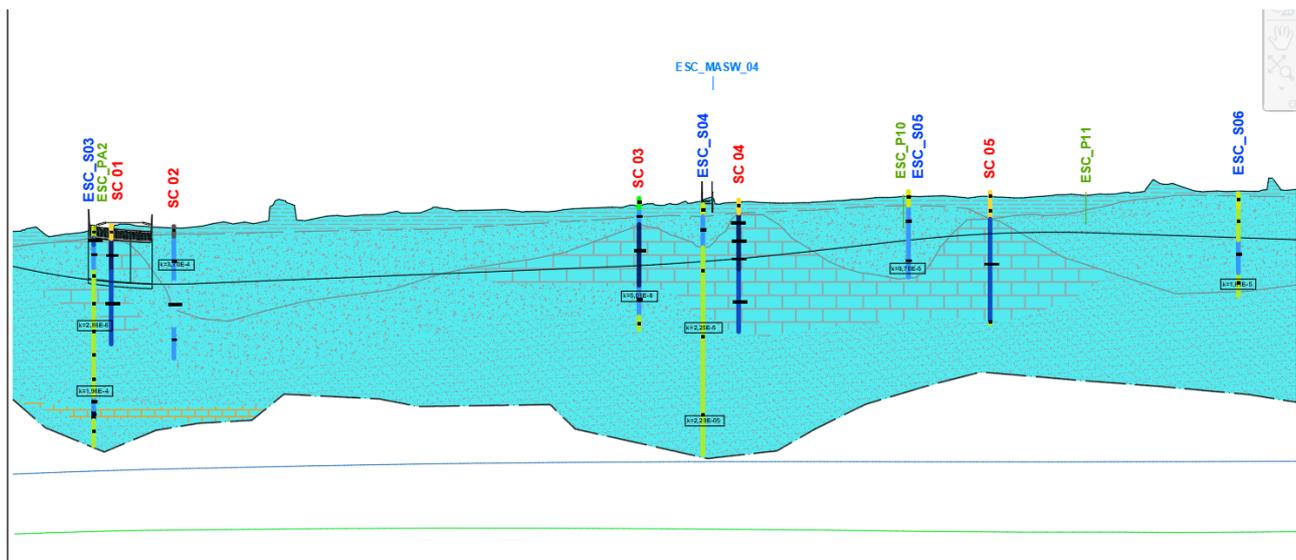
Vi sono comunque alcune zone nelle quali essa può interferire con le fondazioni più profonde.

Si riportano nel seguito l'analisi, tratto per tratto, delle possibili interazioni dell'opera con la falda.

Le linee orizzontali rappresentano la falda di progetto (in blu – settembre 2014) e quella più recente interpolata (gennaio 2023). Le indicazioni cautelative qui riportate si riferiscono alla falda di progetto. La piezometria più recente risulta spesso tra 10 e 20 m più profonda di quella di progetto.

Da pk 0 a pk 1+000

- Prima falda tra 30 e 40 m da p.c., posta a ca. 30 m dalla livelletta di progetto e localmente entro 5-10 dalla profondità raggiunta dalle fondazioni profonde



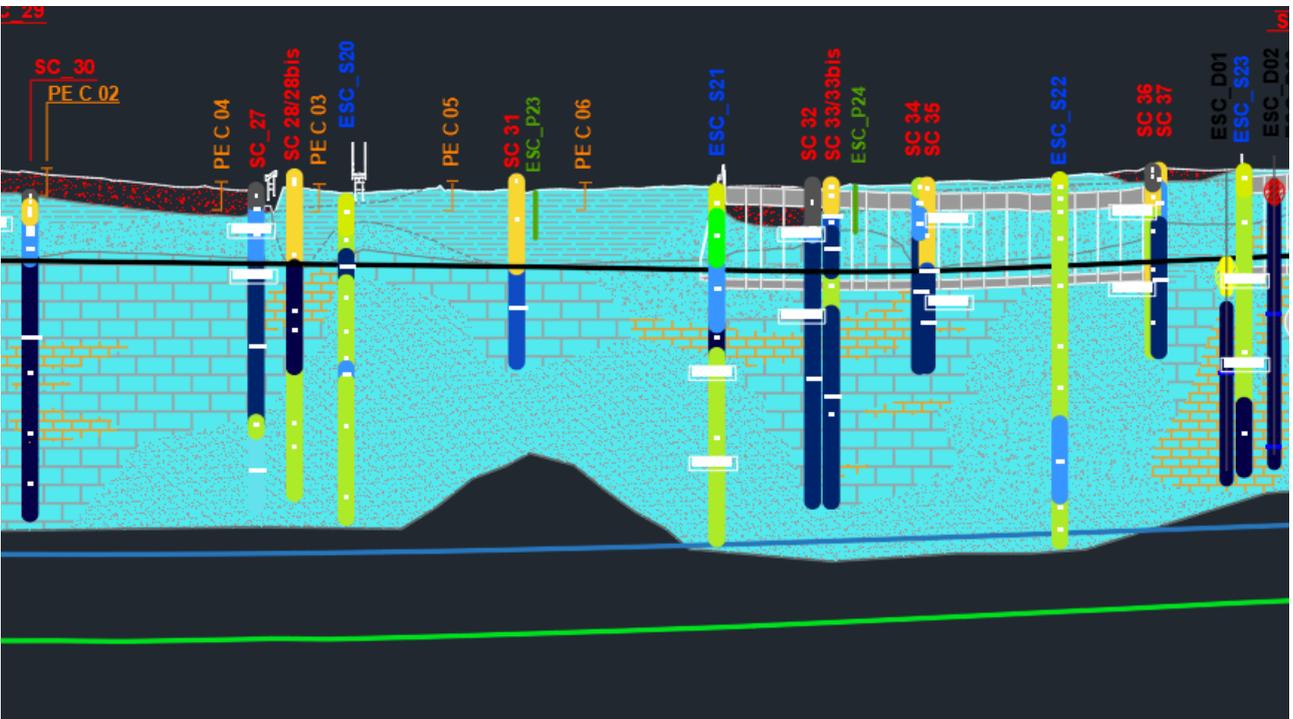
Da pk 1+100 a pk 5+100

- Prima falda oltre 40 m da p.c., posta a più di 30 m dalla livelletta di progetto e localmente oltre 10 m dalla quota raggiunta dalle fondazioni profonde
- La locale presenza di Occhi Pollini fino a 13 m da p.c. presso la g.a. Desio potrebbe favorire infiltrazione di acque intorno alle opere



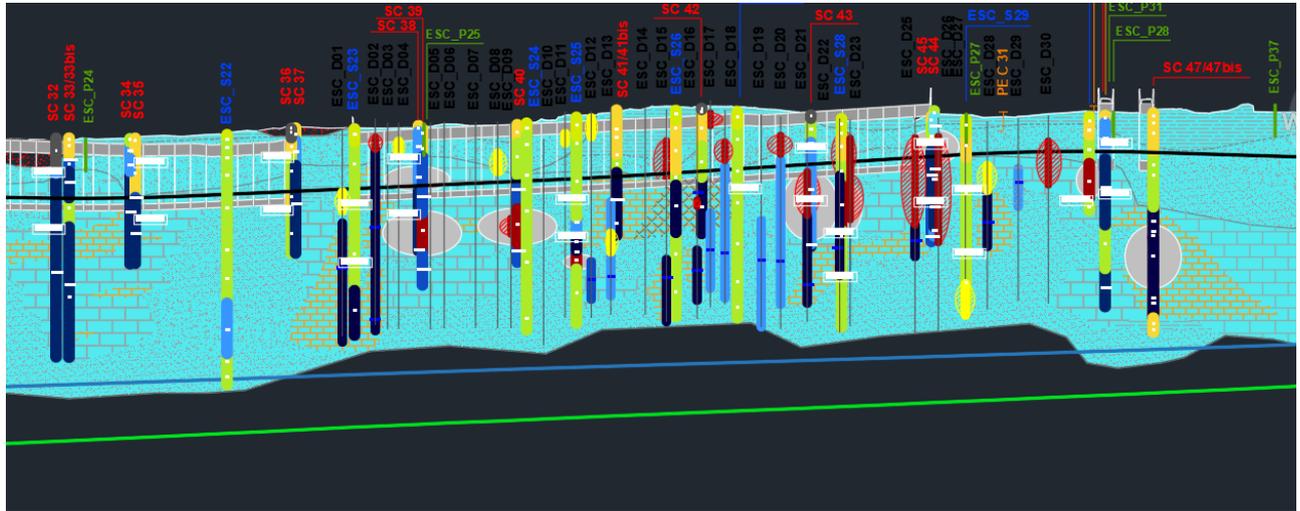
Da pk 5+100 a pk 5+800

- Prima falda oltre 40 m da p.c., posta a più di 30 m dalla livelletta di progetto e localmente entro 5-10 m dalla quota raggiunta dalle fondazioni profonde



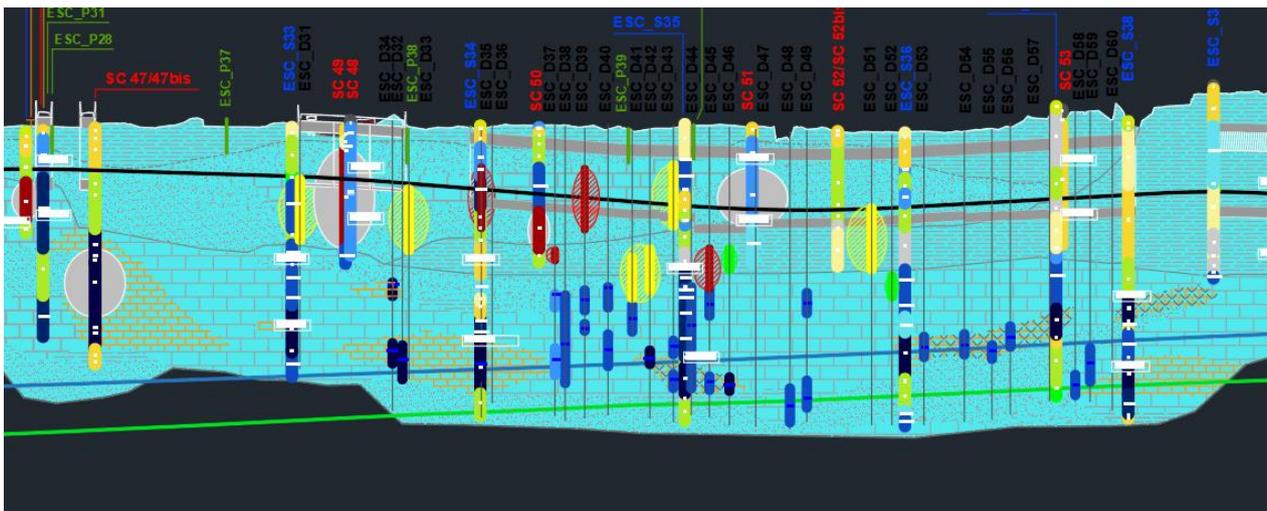
Da pk 5+800 a pk 7+600

- Prima falda intorno 40 m da p.c., posta a più di 30 m dalla livelletta di progetto e generalmente a oltre 10 m dalla quota raggiunta dalle fondazioni profonde
- Presenza diffusa di Occhi Pollini da p.c. fino a ca. 30 m da p.c.; in particolare dalla g.a. Macherio 2 alla g.a. svincolo di Macherio 1-2 e oltre (cfr. tratto successivo), ove è probabile la presenza di acque di infiltrazione intorno alle opere



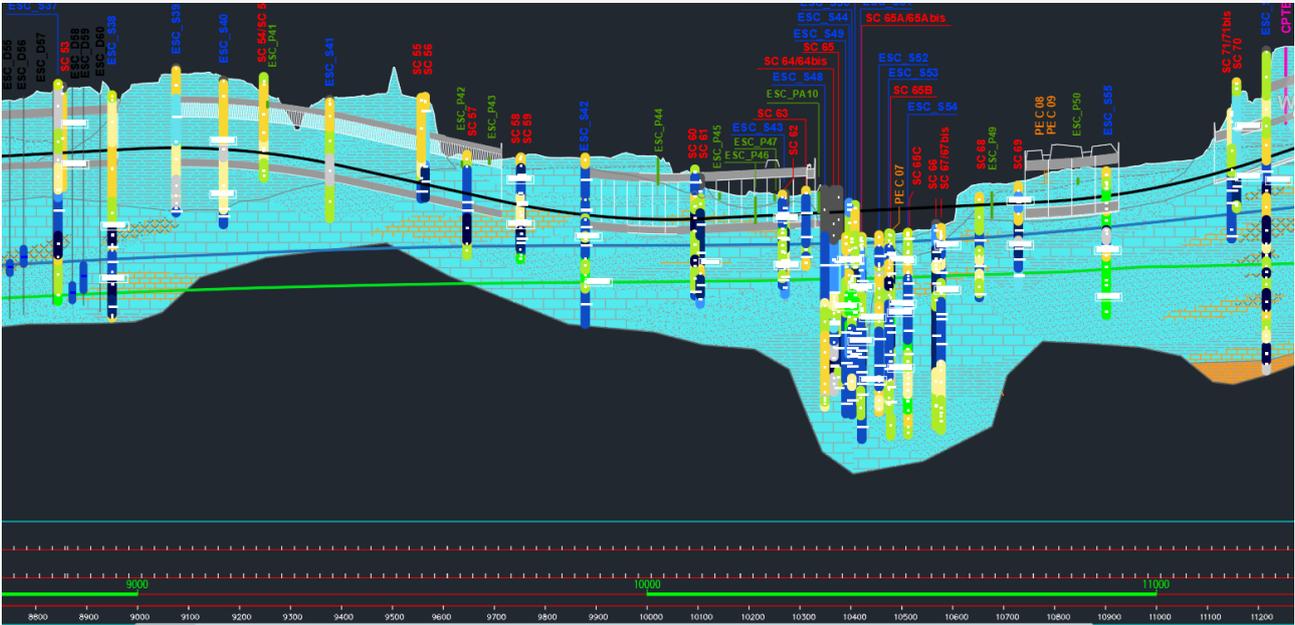
Da pk 7+600 a pk 9+000

- Prima falda tra 30 e 40 m da p.c., posta tra 25 e 35 m dalla livelletta di progetto; le fondazioni profonde potrebbero interferire con la falda per spessori fino a ca. 10 m
- Presenza diffusa di Occhi Pollini da p.c. fino a ca. 20-25 m da p.c. in particolare presso la g.a. Biassono 1, ove è probabile la presenza di acque di infiltrazione intorno alle opere
- Possibili falde sospese, per come indicato dai PGT



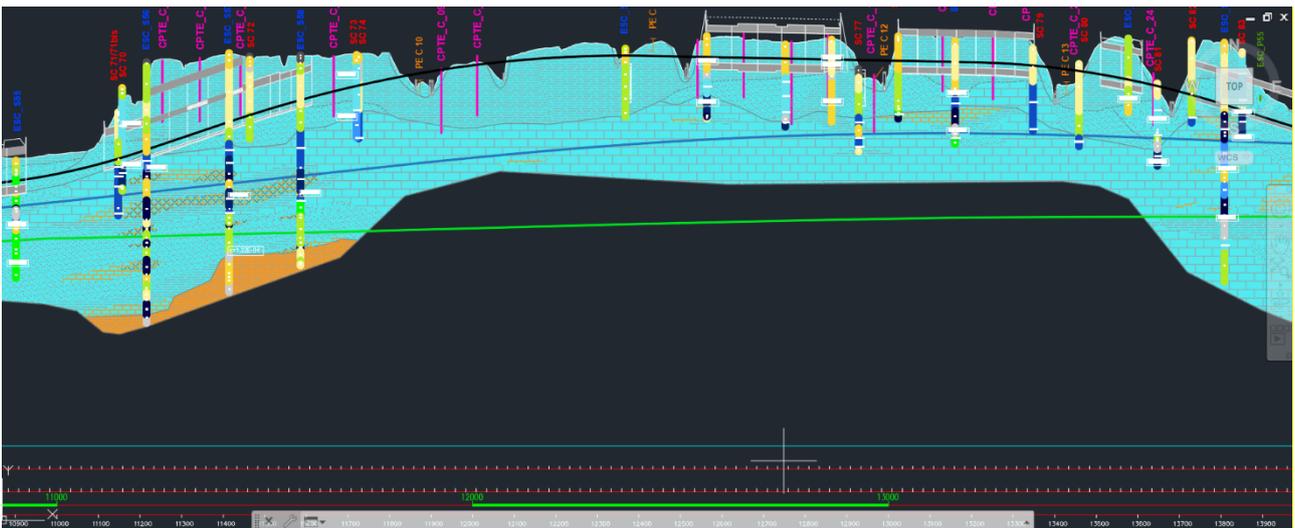
Da pk 9+000 a pk 11+100

- Prima falda tra 0/3 m (valle del Lambro) e 20 m da p.c., a ca. 10 dalla livelleta di progetto; le fondazioni profonde sarebbero interferite dalla falda, in particolare nella valle del fiume Lambro, nella quale il tratto saturo potrebbe interessare le fondazioni per ca. 30 m di spessore



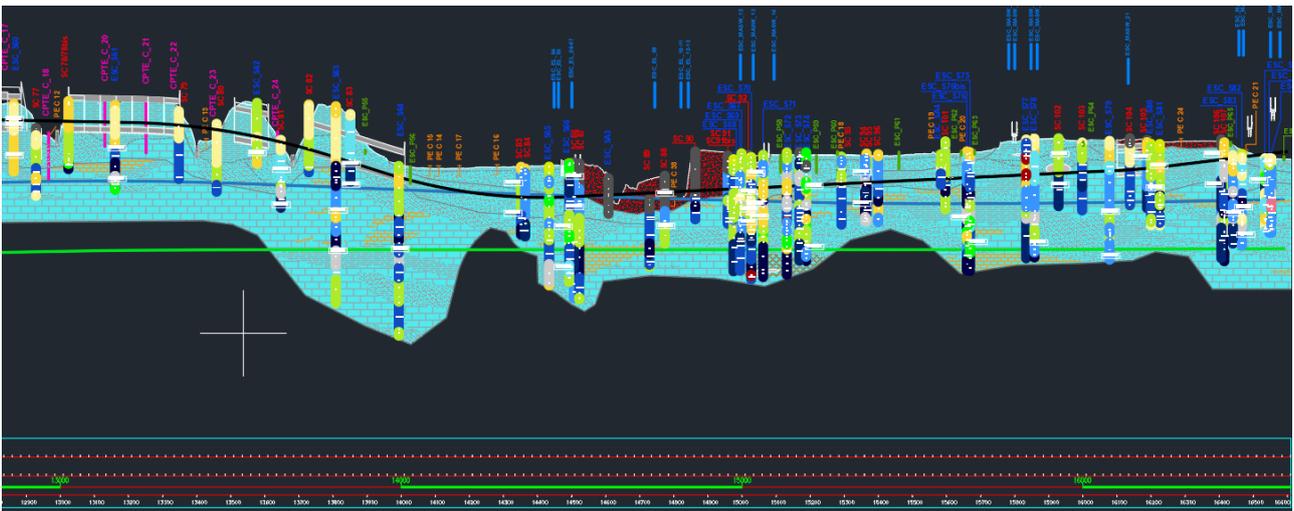
Da pk 11+100 a pk 13+700

- Prima falda tra 20 e 30 m da p.c., intorno ai 20 m dalla livelleta di progetto, se non nel tratto orientale nel quale si potrebbe avvicinare fino a quasi 10 m di distanza; le fondazioni profonde non sono interferite dalla falda principale, ma potrebbero esserlo da locali falde sospese
- Possibile presenza locale di falde acquifere sospese



Da pk 13+700 a fine tratta

- Prima falda entro 10 e 20 m da p.c., nella valle delle Molgore anche con soggiacenze inferiori, anche oltre 20 ma fine tratta ad Est; la livelletta potrebbe essere interessata dalla falda tra le pk 14 e 15, mentre le fondazioni profonde sarebbero intestate sempre in terreni saturi, per spessori fino a 20-30 m
- Rischio idraulico elevato in corrispondenza del rio Molgorana, torrenti Molgora e Molgoretta e possibili infiltrazioni di acqua nella valle delle Molgore a tutte le quote
- Possibili falde sospese nel tratto occidentale, a O del rio Molgorana



BIBLIOGRAFIA

- Provincia di Milano, Assessorato all'Ambiente e Politecnico di Milano, D.S.T.M.-Geologia Applicata - Le risorse idriche sotterranee nella Provincia di Milano - Vol.I: Lineamenti idrogeologici
- Milano, dicembre 1.995 Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000, foglio 096 Seregno – Servizio Geologico d'Italia
- Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio – Comune di Cesano Maderno
- Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio – Comune di Desio
- Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio – Comune di Lissone
- Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio – Comune di Macherio
- Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio – Comune di Biassono
- Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio – Comune di Lesmo
- Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio – Comune di Arcore
- Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio – Comune di Usmate-Velate
- Lorenzo C., Consonni M., Colombo L., Gattinoni P. - Problemi di stabilità per le infrastrutture nelle aree interessate da cavità (Occhi Pollini) nei sedimenti pleistocenici della pianura lombarda; Mem. Descr. Carta Geol. D'It. XCIX (2015), pp. 315 - 326
- Strini A. (2001) - Gli Occhi Pollini della Brianza orientale. Genesi ed evoluzione del fenomeno nel quadro geologico regionale. Tesi di dottorato di ricerca, Università degli Studi di Milano.
- Strini A. (2004) - Erosione sotterranea e sprofondamenti nell'alta pianura lombarda: gli Occhi Pollini
- Tomasi F., Strini A. (2017) – Il territorio di Milano nella nuova cartografia geologica, la storia geologica recente; presentazione dei fogli 118 Milano e 096 Seregno, Milano 17/05/2017