



È vietata la riproduzione di questo documento senza la preventiva autorizzazione di MM Spa



# PROLUNGAMENTO M5 A MONZA

CUP B94D17000000001

PPM\_CDM\_01

## PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

# Relazione di inquadramento geologico, idrogeologico e sismico

 IL DIRETTORE TECNICO DOTT. ING. FRANCESCO VENZA Ordine degli Ingegneri di Milano n° 14647		 IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE FRA LE VARIE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Sez. A DOTT. ING. VASSILIANO BRANCA Ordine degli Ingegneri di Milano n° A18828		 IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'EMISSIONE DOTT. ING. ANTONELLI ANTONELLI Sez. A Ordine degli Ingegneri di Milano n° A2226		
3	Febbraio 2019	Agg. progetto di fattibilità tecnica ed economica				Guzzi
1	31/01/2018	Aggiornamento generale	*	Antonelli	Branca	Guzzi
2	Luglio 2018	Progetto di fattibilità tecnica ed economica				Guzzi
0	03/07/2018	EMISSIONE	*	Antonelli	Branca	Guzzi
<b>Aggiorn.</b>	<b>Data</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Redatto</b>	<b>Verificato</b>	<b>Acquisito</b>	<b>Approvato</b>

\*COLLABORAZIONE ALLA PROGETTAZIONE: TECNO IN GEOSOLUTIONS S.p.A

CODIFICA DOCUMENTO	Commissa	Lotto	Fase	Categoria	Opera	Progressivo
	DM	0	P	P	GE	





## INDICE

1. Premessa .....	4
2. Quadro normativo di riferimento.....	6
3. Dati bibliografici e indagini geognostiche disponibili.....	7
4. Brevi cenni sulla vincolistica geologica .....	8
5. Inquadramento geomorfologico .....	16
6. Geolitologia affiorante .....	17
7. Idrografia .....	20
8. Assetto idrogeologico .....	21
8.1. Superficie piezometrica .....	22
9. Indagini geognostiche .....	25
9.1. Assetto litostratigrafico da campagna preliminare .....	25
9.2. Le prove S.P.T.....	26
9.3. Le prove C.P.T.U. ....	30
9.4. Le prove di laboratorio.....	32
10. Peculiarità geologiche – Gli “occhi pollini” .....	37
11. Caratterizzazione sismica .....	46
11.1. Indagini MASW e Determinazione del parametro $V_{s30}$ .....	53
11.2. Analisi sismica di primo livello .....	54
12. Considerazioni conclusive .....	55

### Allegati fuori testo

- Ubicazione delle indagini (scala 1:22.000)
- Carta geologica (scala 1:10.000)
- Profilo geologico schematico
- Report delle indagini geognostiche



## 1. PREMESSA

---

Nell'ambito del progetto di fattibilità del "Prolungamento linea metropolitana M5 da Milano verso Monza", la società **MM S.p.A.**, Accordo Quadro n. 03/M/49/18 con contratto applicativo n. 1 del 07/06/2018, ha conferito alla **Tecno In S.p.A.** l'incarico di eseguire una campagna d'indagini geognostiche e di collaborare alla redazione della "Relazione tecnica del progetto di fattibilità tecnica e economica" in riferimento alle tematiche di inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico.

Nel presente documento verranno descritte le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche dell'area in cui ricade il tracciato metropolitano in oggetto, derivanti dai risultati emersi dalla propedeutica campagna d'indagini condotta (FASE 1) e dalla consultazione e analisi di studi geologici esistenti.

Si sottolinea che l'inquadramento geologico - idrogeologico generale scaturisce dall'analisi dei dati di letteratura; un approfondimento specifico è relativo solo all'areale interessato dalle indagini di fase 1. Pertanto si raccomanda nelle successive fasi di progetto, la realizzazione di specifiche campagne di indagine, che potranno essere progettate anche sulla scorta dei dati emersi in tale fase di studio.

Nello specifico, la stesura del presente studio si è basata su:

- Sopralluoghi.
- Acquisizione documentazione bibliografica disponibile,
- Risultati della campagna d'indagini geognostica (Fase I – Giugno/Luglio 2018), i cui risultati sono riportati nel report dedicato.

Di seguito si sintetizzano le indagini eseguite in questa prima fase:

- n.8 sondaggi geotecnici verticali a carotaggio continuo, finalizzati alla definizione della sequenza stratigrafica, con prove SPT e di permeabilità in foro e prelievo di campioni da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico
- condizionamento di tutti i n. 8 fori di sondaggio con piezometro a tubo aperto in PVC da 3"
- n. 4 indagini sismiche MASW
- n. 4 indagini geoelettriche in corrispondenza dell' area in cui è ubicata la stazione "Parco Villa Reale"
- n. 2 prove penetrometriche CPTU eseguite nell'intorno del sondaggio DM/S35
- georeferenziazione dei punti di indagine

In allegato al presente studio si riportano i seguenti elaborati grafici:

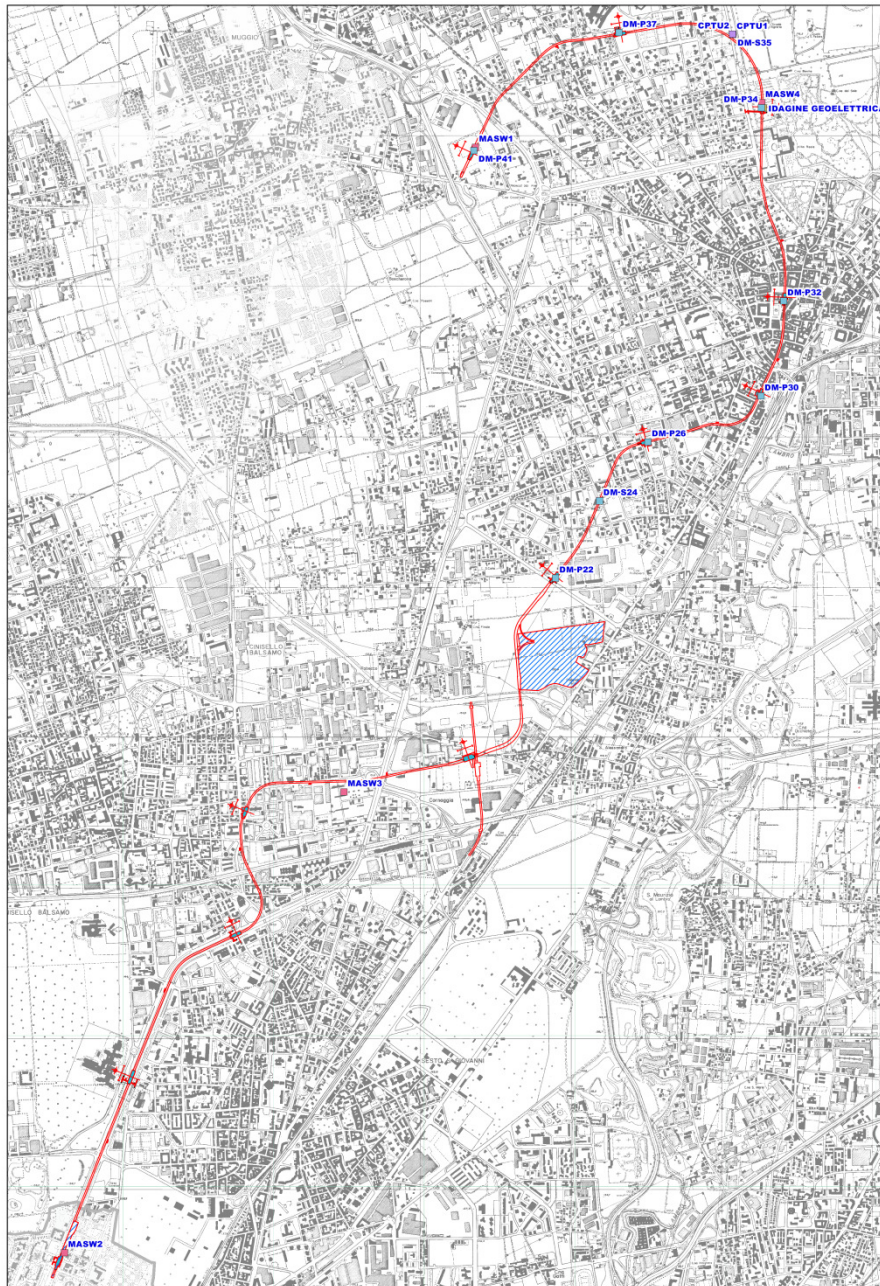
- Ubicazione delle indagini (scala 1:22.000)
- Report indagini geognostiche FASE I (Giugno-Luglio 2018)
- Carta geologica (scala 1:10.000)
- Profilo geologico schematico



La campagna d'indagini "Fase I", realizzata in quantità e ubicazione secondo indicazioni della committenza, è stata distribuita attenționando i settori in cui il progetto prevede l'ubicazione delle stazioni e concentrata, in particolare, nel settore centro-settentrionale. In tale settore l'analisi dei dati bibliografici e degli studi esistenti nell'area, argomentati in relazione, evidenziano fenomeni di natura geologica (**occhi pollini**) che meritano approfondimento già dalla fase di prefattibilità e di cui si è avuto riscontro già durante la campagna geognostica fase I. In seconda fase, partendo dalle considerazioni ed evidenze riscontrate, dovranno essere previste indagini finalizzate ad una migliore comprensione e localizzazione di tali peculiarità.

Nella presente relazione si fornisce, inoltre, un'indicazione delle problematiche vincolistiche, al cui approfondimento si rimanda nella fase successiva.

Di seguito uno stralcio dalla planimetria dell'ubicazione delle indagini.





## 2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

---

La presente relazione è stata redatta in ottemperanza alle seguenti normative:

- DM 11.03.1988: Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione
- Circolare Ministero LL.PP. 24.09.1988: Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione
- T.U. - D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni", in particolare al cap. 6.2.1 in esso contenuto e successiva Circolare Applicativa del 02/02/2009 n°617 "Istruzioni per le applicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni" e successive modifiche ed integrazioni .
- Norme Tecniche per le Costruzioni "Approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018".
- D.g.r. 30 novembre 2011 - n. IX/2616
- DGR 2129/2014 con la nuova classificazione sismica regionale
- LR 33/2015 in materia di costruzioni in zona sismica e relativa vigilanza
- DGR 5001/2016 contenente i criteri attuativi previsti dalla Legge Regionale sopra citata



### 3. DATI BIBLIOGRAFICI E INDAGINI GEOGNOSTICHE DISPONIBILI

---

In prima fase, al fine di fornire utili elementi per la definizione dell'assetto geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico dell'area interessata dal prolungamento del tracciato metropolitano in oggetto, sono stati consultati i dati di bibliografia geologica disponibile, le componenti geologiche dei PGT comunali entro cui ricade il tracciato (da sud a nord: Milano, Sesto San Giovanni, Cinisello Balsamo e Monza) e il PTCP della provincia di Monza Brianza.

Di seguito si riporta un elenco dei documenti e dei siti consultati :

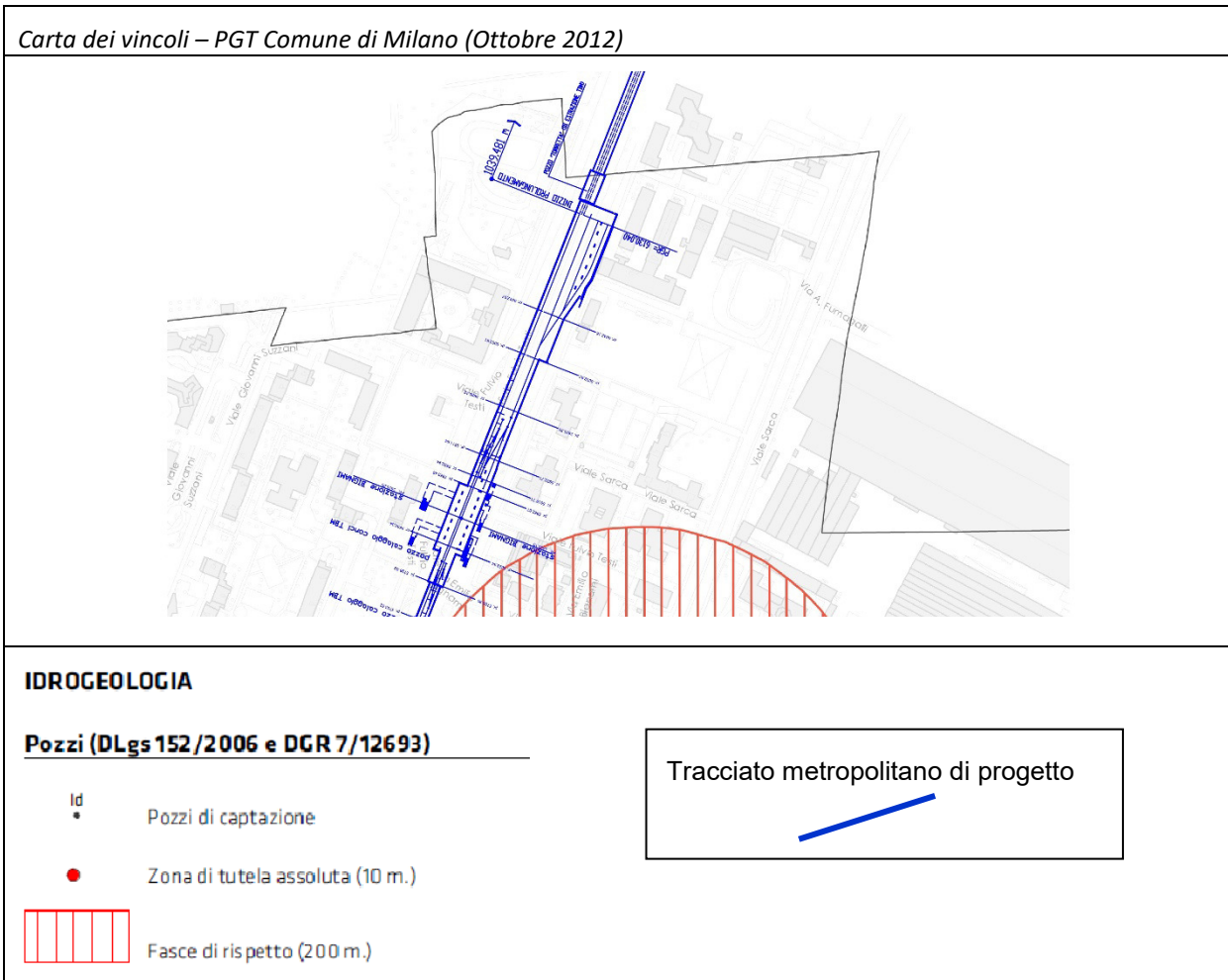
- Studio geologico del Piano di Governo del Territorio (PGT) dei Comuni di Monza, Cinisello Balsamo e Sesto S. Giovanni.
- (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della provincia di Monza e della Brianza
- <http://www.geoportale.regione.lombardia.it/>
- <http://esse1.mi.ingv.it/>
- <http://geoapp.eu/parametrisismici2018/>
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>
- Prevenzione del Rischio Sismico: Classificazione Sismica Regionale (Regione Lombardia).
- Note illustrative della Carta Geologica d'Italia: Foglio 118 Milano e Foglio 069 Seregno.
- Strini Andrea. Erosione sotterranea e sprofondamenti nell'alta pianura lombarda: gli "Occhi Pollini".
- Lorenzo C, Consonni M., Colombo L., Gattinoni P. (Mem. Descr. Carta Geol. D' It. XCIX, pp 315-326). Problemi di stabilità per le infrastrutture nelle aree interessate da cavità (occhi pollini) nei sedimenti pleistocenici della pianura lombarda.

## 4. BREVI CENNISULLA VINCOLISTICA GEOLOGICA

Nel presente paragrafo vengono indicate le problematiche vincolistiche desunte dalla consultazione degli studi geologici dei PGT comunali, fornendo a seguire degli stralci delle carte dei vincoli di tali studi.

### Comune di Milano

Carta dei vincoli – PGT Comune di Milano (Ottobre 2012)

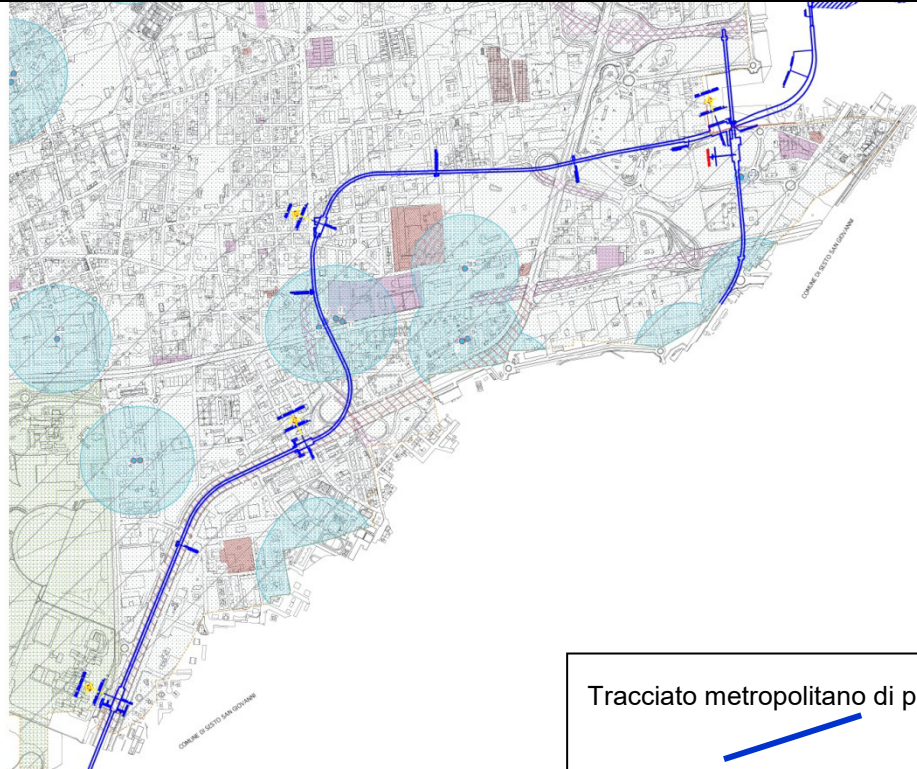


Nella tavola non sono perimetrate aree di vincoli.



**Comune di Cinisello Balsamo**

















Carta dei vincoli e di sintesi – PGT Cinisello Balsamo (Agg. Novembre 2013)



Tracciato metropolitano di progetto



LEGENDA

-  Rete Ecologica Regionale: elementi di primo livello
-  Rete Ecologica Regionale: corridoio primario
-  Parco regionale Nord Milano (D. lgs. 42/2004)
-  Bellezze d'insieme (D. lgs. 42/2004)
-  PLIS del Grugnotorto
-  Area di ricarica degli acquiferi profondi ("Piano di Tutela delle Risorse Idriche" della Regione Lombardia)
-  Pozzi acquedottistici: area di tutela assoluta (D. Lgs. 152/2006, art. 94)
-  Fascia di rispetto dei pozzi acquedottistici (D. Lgs. 152/2006, art. 94)
-  Corsi d'acqua e relativa fascia di rispetto
-  Zone a drenaggio difficoltoso
-  Trincee stradali: zone di potenziale infiltrazione di sostanze inquinanti
-  Stabilimento a rischio di incidente rilevante (D. lgs. 334/99 - 238/05)
-  Bonifica di siti contaminati (D. Lgs. 152/2006): Aree da bonificare
-  Bonifica di siti contaminati (D. Lgs. 152/2006): Aree indagate e bonificate
-  Zona Z4a. Scenario di pericolosità sismica che impone approfondimenti di 2° ed eventualmente 3° livello per edifici strategici e rilevanti (d.d.u.o. n. 19904/03)
-  Confine comunale

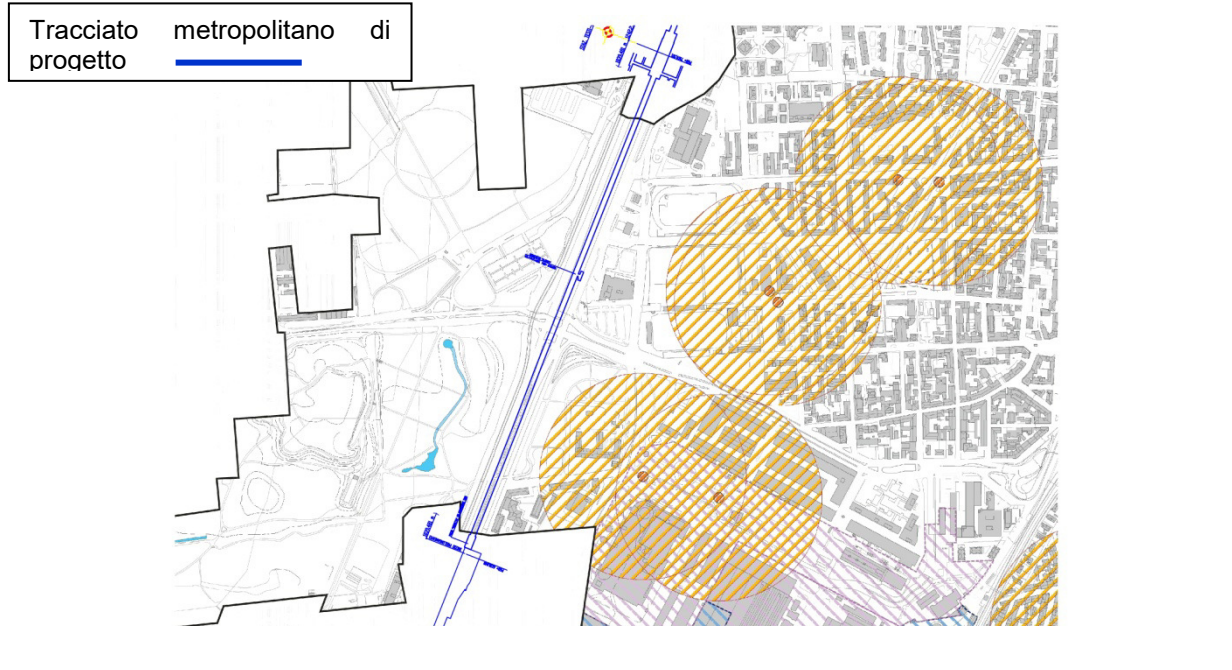


Per il comune di Cinisello Balsamo, in corrispondenza del tracciato, sono state perimetrare le seguenti aree:















- Area di ricarica degli acquiferi profondi (“Piano di Tutela delle risorse idriche” della Regione Lombardia)
- Fascia di rispetto dei pozzi acquedottistici e aree di tutela assoluta(D. Lgs. 152/2006, art. 94)
- Zone a drenaggio difficoltoso
- Trincee stradali: zone di potenziale infiltrazione di sostanze inquinanti
- Zona Z4a. Scenario di pericolosità sismica che impone approfondimenti di 2° livello ed eventualmente 3° livello per gli edifici strategici e rilevanti (d.d.u.o. n. 19904/03)

**Comune di Sesto San Giovanni**

Carta dei vincoli- PGT Sesto San Giovanni (Ottobre 2012)



**LEGENDA**

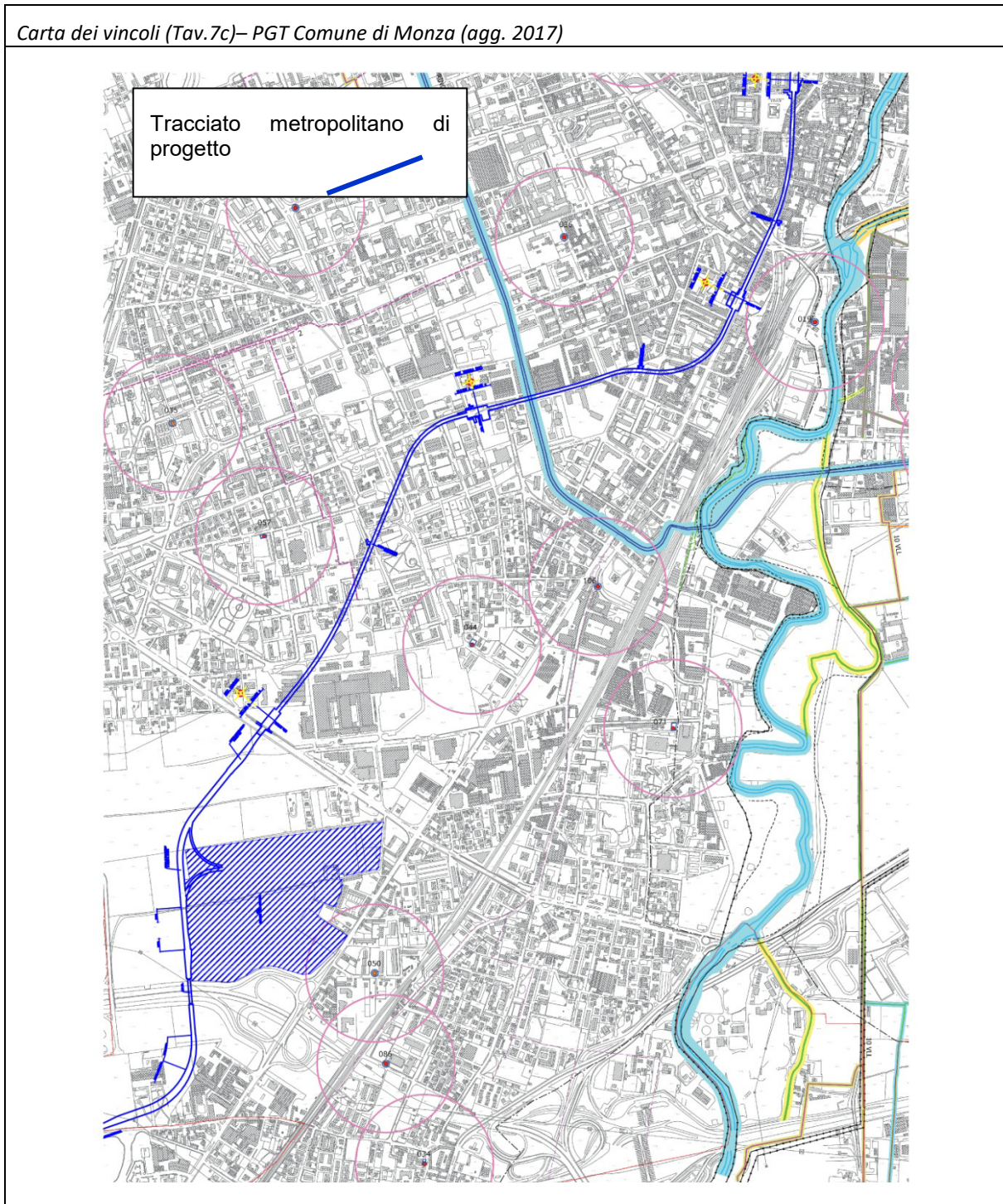
-  Confine comunale
-  Corso d'acqua
-  Specchio d'acqua
-  Fascia di rispetto di 10m dai corsi d'acqua ex R.D. 523/1904
-  Art.94 c. 3, D.Lgs 152/06 "zona di tutela assoluta" dei pozzi idropotabili
-  Art.94, D.Lgs 152/06 "zona di rispetto" dei pozzi idropotabili
- PAI**
-  Limite tra la Fascia A e la Fascia B
-  Limite Fascia B di progetto PAI
-  Limite tra la Fascia B e la Fascia C
-  Limite esterno della Fascia C
- AREE CONTAMINATE**
- Stato della bonifica**
-  Aree con bonifica eseguita
-  Aree con bonifica in corso
-  Aree senza procedimenti in atto
- Stato dell'attività di rimozione rifiuti**
-  Aree con attività di rimozione rifiuti in corso

**Nella tavola non sono perimetrate aree di vincoli.**



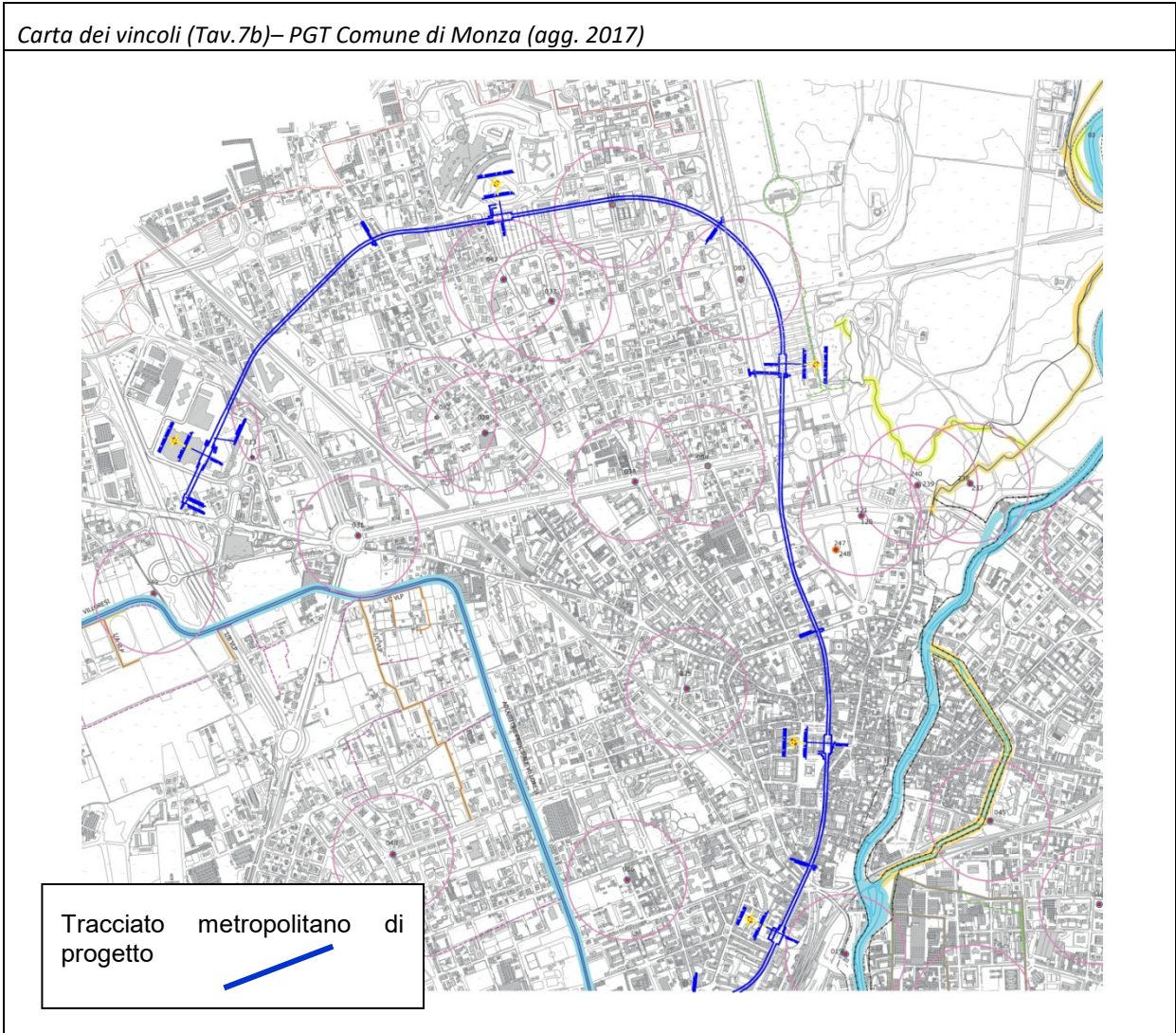
**Comune di Monza**

Carta dei vincoli (Tav.7c)– PGT Comune di Monza (agg. 2017)

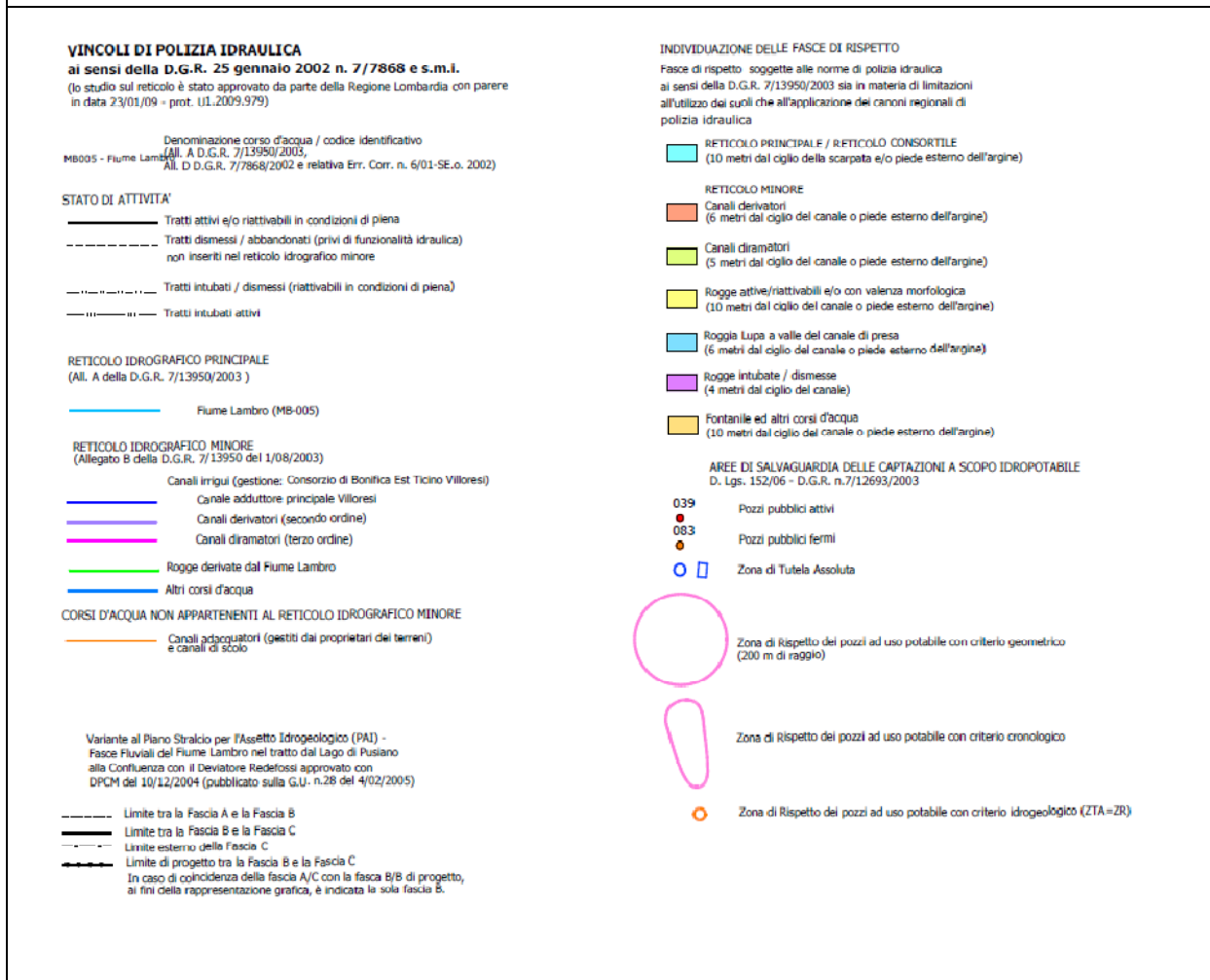




Carta dei vincoli (Tav.7b)– PGT Comune di Monza (agg. 2017)



**Legenda Carta dei vincoli (Tav.7b e 7c)– PGT Comune di Monza (agg. 2017)**



Nelle carte sopra riportate, per il comune di Monza, in corrispondenza del tracciato sono state perimetrate le seguenti aree:

- Reticolo idrografico minore (Allegato B della D.G.R. 7/13950 del 1/8/2003)  
 Canali irrigui (gestione: Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi) – Canale adduttore principale Villoresi
- Individuazione delle fasce di rispetto (Fasce di rispetto soggette alle norme di polizia idraulica ai sensi della D.G.R. 7/13950/2003 sia in materia di limitazioni all'utilizzo dei suoli che all'applicazione dei canoni regionali di polizia idraulica)  
 Reticolo principale/reticolo consortile (10 metri dal ciglio della scarpata e/o piede esterno dell'argine)
- Aree di salvaguardia delle captazioni a scopo idropotabile (D. Lgs. 152/06 – D.G.R. n. 7/12693/2003)  
 Zona di rispetto dei pozzi ad uso potabile con criterio geometrico (200 m di raggio)

Inoltre nelle tavole 5 e 8 del citato PGT vengono cartografati ulteriori elementi di interesse geologico-tecnico e geomorfologico di interesse ai fini della pianificazione territoriale, tra cui il grado di suscettività al fenomeno degli **“occhi pollini”**. Tale argomento è approfondito nella presente relazione al paragrafo 10 **“Peculiarità geologiche - Gli occhi pollini”**.



In merito alle prescrizioni geologiche si rimanda alle “Norme geologiche di Piano” dei diversi PGT consultati.

Infine è stata consultata sul geoportale della regione Lombardia la Direttiva alluvioni 2007/60/CE – 2013, di cui sotto si riporta un estratto da cui si evince che lungo lo sviluppo del tracciato **non sono state perimetrate aree a pericolosità da alluvioni.**



Come già indicato in premessa il presente paragrafo fornisce delle indicazioni circa i vincoli presenti sul territorio, rimandando ad una fase successiva per gli approfondimenti.



## 5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

---

Il prolungamento della linea metropolitana in oggetto si sviluppa nel settore della media-alta pianura Padana, con quote altimetriche comprese tra circa 140m.s.l.m. in corrispondenza dell'inizio del prolungamento della linea (Stazione Bignami) e 176 m. s.l.m. in corrispondenza della fine del prolungamento (Stazione Monza Brianza). Nel settore più settentrionale, nell'area dove è prevista l'ubicazione della "Stazione Ospedale San Gerardo" la quota altimetrica è di circa 180 m s.l.m..

Il contesto è quello di pianura fluvio-glaciale; gli elementi geomorfologici sono connessi alle diverse fasi erosionali di ambiente fluviale, pleistoceniche e oloceniche, e alle modifiche apportate dall'attività antropica.

L'assetto subpianeggiante è interrotto nei settori più a nord dalla presenza di orli di terrazzo prodotti dall'erosione o deposizione di materiale ad opera di corsi d'acqua o ghiacciai; in taluni casi l'origine può essere legata ad attività antropica.

I principali elementi geomorfologici presenti sul territorio sono:

- Terminazione del terrazzo pre-LGM (Last Glacial Maximum= WurmAuct.) di Villa Reale;
- Superficie modale della Pianura (Livello Fondamentale della Pianura Auct.), suddivisa a sua volta in sub-unità morfologiche di scarsa evidenza (e localmente di definizione problematica). Questa rappresenta l'unità geologica con maggiore estensione areale, apparentemente omogenea e priva di significative discontinuità morfologiche (ad eccezione di quelle delle valli fluviali) con pendenza regionale verso SSE.
- Depressione della valle del Lambro, che assume carattere di forra all'interno del parco di Monza.

L'intenso sviluppo urbanistico dell'area entro cui è inserito il progetto metropolitano ha intensamente modificato l'assetto del territorio originario. Cementificazione e realizzazione di infrastrutture, scavi e riempimento, presenza di cave e riprofilature hanno alterato, e spesso stravolto, le morfologie originarie di questo settore di pianura, la cui fisiografia, in quanto espressione morfologica degli eventi geologici succedutisi, è già di per sé poco variegata.



## 6. GEOLITOLOGIA AFFIORANTE

---

In generale la Pianura Padana è costituita da una successione plio-quadernaria di ambiente dapprima marino e poi continentale che ricopre in discordanza un substrato deformato con assetto strutturale complesso costituito da rocce carbonatiche e terrigene mesozoico-eoceniche e da depositi oligo-miocenici.

A partire dal Pleistocene, e durante tutto il Quaternario, l'evoluzione geologica dell'area, è il risultato dei fenomeni di sollevamento che hanno comportato il passaggio da condizioni ambientali marine a quelle continentali con la deposizione di sedimenti via via più grossolani. Le fasi di espansione e regressione dei ghiacciai succedutesi in età quadernaria, oltre che l'azione di erosione, trasporto e deposizione da parte di corsi d'acqua hanno determinato la formazione di depositi glaciali e fluvioglaciali.

Dalla consultazione della bibliografia geologica disponibile, nonché dai risultati puntuali emersi dall'esecuzione della campagna geognostica realizzata nel settore centro settentrionale, è stato possibile ricostruire l'assetto litologico lungo il tracciato metropolitano di progetto.

Oltre a spessori iniziali esigui, presenti in alcuni settori, di terreno vegetale e/o materiale antropico legati alla presenza di antropizzazione e aree coltivate, l'intera area è costituita da depositi quadernari, fluvioglaciali e glaciali, che, in funzione all'età dei depositi stessi, sono caratterizzati da profili di alterazione di spessore variabile.

Facendo riferimento all'analisi stratigrafica riportata nel Progetto CARG (Foglio 18-Milano e Foglio 96-Seregno), che utilizza i criteri della stratigrafia fisica, le unità geologiche di superficie presenti lungo il tracciato oggetto di studio, che verranno di seguito descritte, sono comprese nell'unità di sottosuolo " **Supersintema Lombardo Superiore (LS)**"; tale unità, a cui è stata attribuita un'età Pleistocene medio-Olocene, è caratterizzata dalla prevalenza di ghiaie grossolane e medie con frequenti ciottoli.

Lungo tutto il tracciato metropolitano di progetto è estesamente affiorante l'unità di Guanzate appartenente al supersintema di **Besnate**; oltre a tale unità sono presenti, nell'area della Villa Reale, i depositi attribuiti al sintema di **Binago**. Inoltre verranno descritti di seguito i depositi del sintema di **Cantù**, appartenente al supersintema dei laghi, di cui è presente un limitato affioramento il cui limite con l'unità di Guanzate è cartografato in prossimità del tracciato all'altezza tra il "manufatto Mazzini" e la "Stazione Trento e Trieste".

Di seguito verranno descritte le unità affioranti lungo il tracciato di progetto.

### **SINTEMA DI BINAGO**

Tale sintema corrisponde ai depositi fluvioglaciali ghiaioso sabbiosi del terrazzo del Pleistocene Medio su cui si trova il settore occidentale del Parco di Monza e la Villa Reale.

Esso interessa il tracciato metropolitano nel settore settentrionale, in particolare da poco più a nord del "Manufatto Appiani" fino all'altezza della "Stazione Ospedale San Gerardo (SSE)".

Dal punto di vista litologico i depositi di tale unità, da massivi e grossolanamente stratificati, sono costituiti da ghiaie a prevalente supporto clastico con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa. La superficie limite superiore è caratterizzata da suoli evoluti con spessore sempre superiore a due metri.

Il sintema è associato morfologicamente a piane fluvioglaciali edificate durante l'evento Binago da scaricatori provenienti dai lobi glaciali, testimonianza di due importanti lingue glaciali, una uscente dal ramo di Como del Lario e l'altra dal ramo di Lecco. Tali depositi sono marcatamente discontinui a causa dello smantellamento operato dagli scaricatori glaciali del successivo episodio glaciale Besnate.



Nelle aree in affioramento, l'unità è delimitata da scarpate morfologiche più o meno evidenti. Nell'area di Monza il limite orientale del terrazzo è rappresentato da una scarpata con un dislivello di circa 6-7 metri nell'area della Villa Reale; mentre nel settore occidentale il limite ha un'evidenza morfologica molto bassa e si riduce ad un piano con pendenze di pochi gradi.

#### **SUPERSINTEMA DI BESNATE – UNITÀ DI GUANZATE**

Il supersintema di Besnate, costituito esclusivamente da depositi fluvioglaciali, in base alle relazioni morfologiche è stato suddiviso in diverse unità.

Come premesso, di tali unità, affiora estesamente lungo tutto il tracciato l'unità di Guanzate.

Anche tale unità è rappresentata da materiali fluvioglaciali grossolani, ma di età più recente rispetto al sintema di Binago e con suoli meno evoluti e di spessore inferiore.

L'unità è rappresentata da depositi fluvioglaciali, costituiti da ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa, da massive a grossolanamente stratificate, e localmente da sabbie limose con clasti residuali. La superficie limite superiore è caratterizzata da suolo da evoluti a moderatamente evoluti con spessore inferiore a 2 metri.

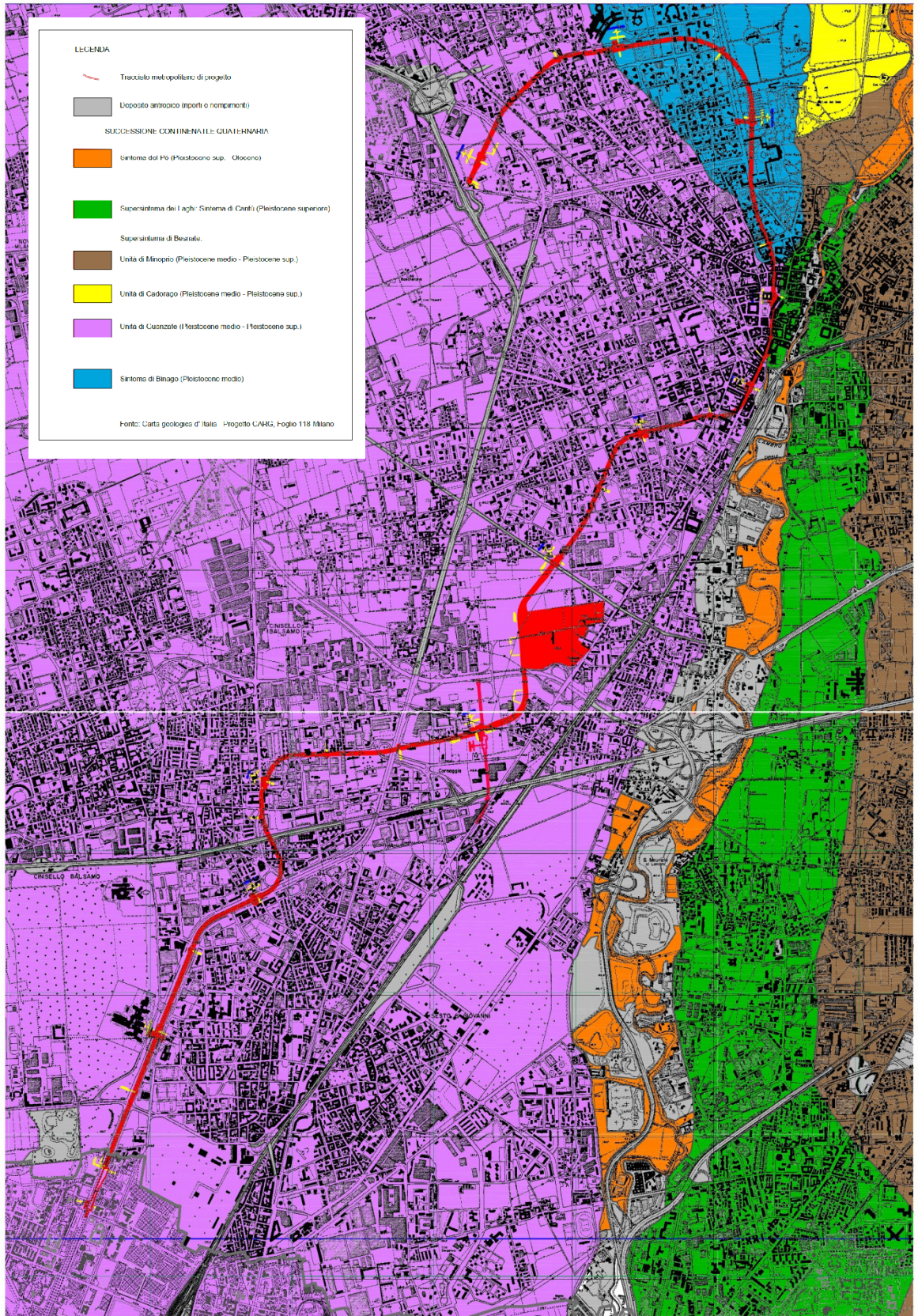
#### **SUPERSINTEMA DEI LAGHI – SINTEMA DI CANTU'**

Secondo quanto riportato nelle note illustrative del CARG "Foglio 18 – Milano", il sintema di Cantù, sulla base di studi regionali, è ritenuto espressione dell'ultima glaciazione e viene attribuito al tardo Pleistocene superiore. Esso è presente in diverse aree di affioramento che presentano differenze litologiche, morfologiche e petrografiche.

Nella fascia di pianura a ridosso del Lambro fino all'altezza di Linate al sintema di Cantù sono attribuiti sedimenti ghiaioso-sabbiosi. I suoli sviluppati sulla superficie limite si differenziano poco da quelli delle unità adiacenti e sono caratterizzati da modesta evoluzione. Inferiormente l'unità poggia su una superficie d'erosione che taglia l'unità di Minoprio e di Guanzate.

Al di sotto dei materiali superficiali delle alluvioni del Lambro e dei depositi fluviali e fluvioglaciali del Livello Fondamentale (ex Wurm) e dei terrazzi (ex Riss), come indicato in bibliografia specialistica, sono frequenti i materiali cementati, in forma di conglomerati.









## 7. IDROGRAFIA

---

Nel territorio interessato dal progetto metropolitano in oggetto il reticolo idrografico attuale è composto da due assi idrici principali tra loro perpendicolari, il Fiume Lambro e il Canale Villoresi, e da un'arteria di rogge e derivazioni secondarie, di prevalente destinazione agricola.

Il Fiume Lambro è distante 150 metri nel punto più vicino al tracciato (zona stazione Monza FS).

Questo tratto del corso d'acqua è descritto nello studio geologico del PGT di Monza come "tratto cittadino intermedio" che inizia a valle del Ponte delle Grazie e comprende il centro città da cui esce attraversando la ferrovia, oltre la via Azzone Visconti. Nella zona urbana presenta caratteri abbastanza omogenei, l'alveo è completamente cementificato e le sponde sono realizzate in muratura o pietra e le difese spondali più recenti e le ristrutturazioni sono in cemento armato.

Nel corso dei secoli gli interventi che l'uomo ha compiuto sul corso d'acqua hanno seguito due direzioni prevalenti: la mitigazione delle piene e la realizzazione di opere destinate alla utilizzazione e distribuzione capillare della risorsa idrica.

A circa 150 a NE rispetto all'ubicazione prevista per la stazione Marsala il tracciato interseca il canale Villoresi, un'importante modifica del reticolo idrografico avvenuta nel 1880. Esso deriva le acque dal fiume Ticino nel comune di Somma Lombardo e si collega al fiume Adda nel comune di Cassano d'Adda. L'acqua viene distribuita attraverso bocche di derivazione da cui si diramano canali secondari e terziari.

Nel tratto in cui interseca il tracciato metropolitano si sviluppa con direzione NW-SE per poi proseguire ad oriente.





## 8. ASSETTO IDROGEOLOGICO

In merito all'assetto idrogeologico della pianura milanese esiste un'estesa bibliografia che propone una classificazione della struttura idrogeologica ricorrendo ad una suddivisione in unità idrostratigrafiche, come mostra la tabella di seguito riportata.

UNITA' LITOLGICHE (MARTINIS B. & MAZZARELLA S., 1971)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE (FRANCANI & POZZI, 1981),	UNITA' STRATIGRAFICHE (PIERI & GROPPPI, 1981)	UNITA' IDROGEOLOGICHE (AVANZINI ,BERETTA, FRANCANI et Al., 1995)	GRUPPI ACQUIFERI (REGIONE LOMBARDIA & AGIP, 2002)
LITAZONA GHIAIOSO - SABBIOSA	FLUVIOGLACIALE WURM AUCT. (Dil. Recente)	ALLUVIONE	UNITA' GHIAIOSO - SABBIOSA	A
	FLUVIOGLACIALE RISS - MINDEL AUCT. (Dil. Medio - Antico)		UNITA' SABBIOSO - GHIAIOSA	B
	CEPPO AUCT		UNITA' A CONGLOMERATI E ARENARIE BASALI	
LITAZONA SABBIOSO - ARGILLOSA	VILAFRANCIANO	SABBIE DI ASTI	UNITA' SABBIOSO - ARGILLOSA (facies continentali e di transizione)	C
LITAZONA ARGILLOSA			UNITA' ARGILLOSA (facies marine)	D

*Unità idrogeologiche nel sottosuolo di Milano e hinterland secondo le denominazioni di diversi autori (estratta da componente idrogeologica del PGT di Milano)*

La classificazione della Regione Lombardia, Eni Divisione Agip del 2002 individua 4 gruppi acquiferi. Facendo riferimento alla relazione geologica del PGT dei comuni entro cui si inserisce il progetto in esame, vengono distinte dalla più superficiale alla più profonda le unità riconosciute nel territorio studiato:

### GRUPPO ACQUIFERO A

È costituito da sabbie e ghiaie prevalenti, talora cementate, con subordinate intercalazioni di livelli limoso-argillosi. Gli spessori sono variabili, da pochi metri dal p.c. nelle porzioni settentrionali (Monza) a circa 50 metri di profondità nelle porzioni meridionali (Sesto S. Giovanni)

### GRUPPO ACQUIFERO B

È costituito da una successione di sedimenti sabbioso-ghiaiosi e sabbiosi e conglomerati a vario grado di cementazione con presenza di orizzonti, generalmente a limitata estensione laterale, sabbioso-limoso-argillosi.



I livelli a conglomerato possiedono generalmente una permeabilità secondaria dovuta a sistemi di fratture che li attraversano.

I gruppi acquiferi A e B descritti appartengono alla litozona ghiaioso-sabbiosa in cui è contenuto l'acquifero superficiale, sede della falda libera.

### GRUPPO ACQUIFERO C

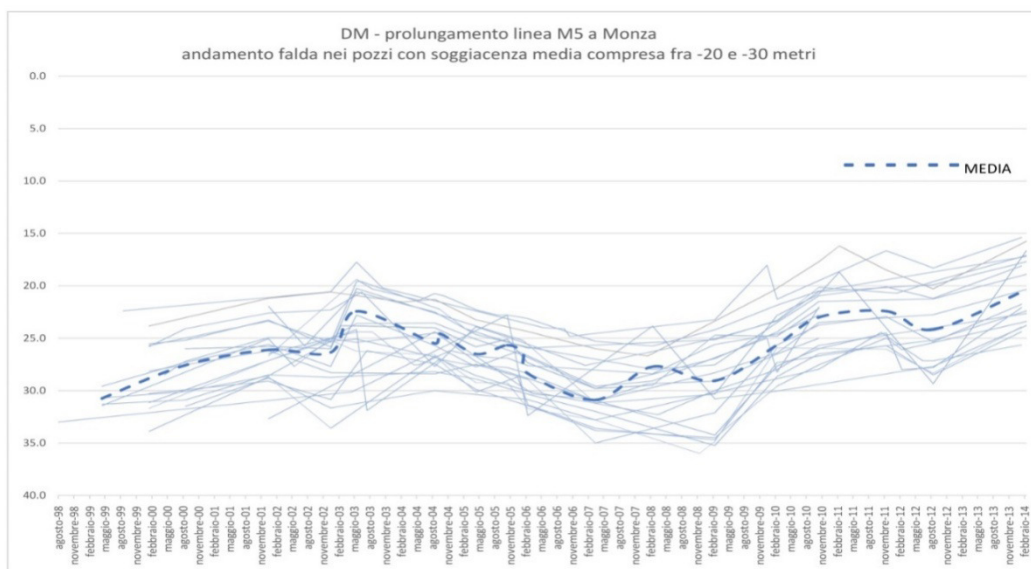
È costituito da una successione di argille, talora fossilifere e torbose, caratterizzate da una discreta continuità laterale con intercalazioni sabbiose e ghiaiose. Il tetto di tale unità nell'area monzese è individuato alle profondità minime di 20 m e massime di circa 80 metri dal p.c..

Esso insieme al gruppo acquifero D appartengono alla litozona sabbioso-argillosa, al di sotto di cui è presente la litozona argillosa, a profondità crescenti da NE verso SO da 100 a oltre 250 m.

## 8.1. SUPERFICIE PIEZOMETRICA

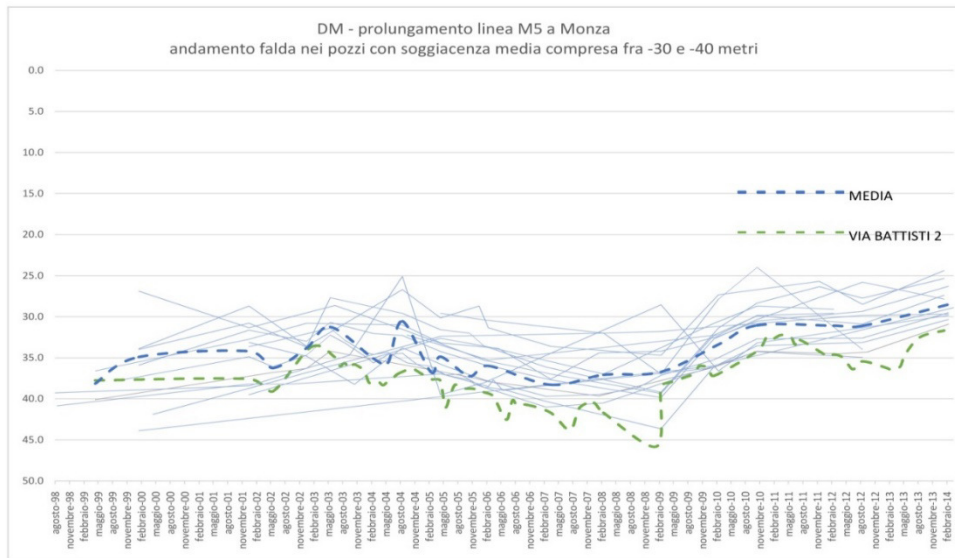
Nello studio geologico del PGT di Monza è stata ricostruita la morfologia della superficie piezometrica tramite i dati di soggiacenza riferiti al periodo marzo/maggio 2014. In tale settore la superficie piezometrica presenta una morfologia debolmente divergente nel settore nord e debolmente convergente nel settore centrale, con quote piezometriche comprese tra 176 e 130 m s.l.m. le direzioni di flusso sono orientate NNE-SSW e N-S e il gradiente idraulico varia da valori dell'ordine dell'8-10 ‰ a NE e del 2-5 ‰ nel settore centrale e meridionale. La piezometria presenta oscillazioni nel tempo, con innalzamenti e abbassamenti periodici dovuti a diversi fattori, tra cui gli andamenti stagionali e meteo-climatici di più lungo intervallo o lo sfruttamento delle risorse sotterranee (fonte: componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT di Monza).

Di seguito si forniscono i grafici dell'andamento della falda nei pozzi nel periodo Agosto 1998-febbraio 2014, i cui dati sono stati forniti da MM (fonte: Brianzaacque), ed uno stralcio della carta delle isopiezometriche relativa al PGT di Monza.





Pozzi considerati: POMA, CASTELLO, TOTI, S. ALESSANDRO, PROCACCINI, ASIAGO, FOSSATI, GENTILE, BUONARROTI, BORSA, LECCO, POLIZIANO, NIEVO, VALOSA, SPALLANZANI, AGUILHON, ASIAGO, ARDIGO', CORREGGIO, MOLISE, GUERRINA, CASATI e BOCCACCIO 2



Pozzi considerati: GRIGNA, BIRONA 1, RONDO', DA BRESCIA, DONIZZETTI, BATTISTI 1, POLIZIANO, SGAMBATI, MONTEBIANCO, LISSONI, BIRONA 2, PARCO, BATTISTI 2, BOSCHETTI, BOSCHETTI PROF., PIEZ. BRAILLE e REG. MARGHERITA.

Durante la campagna d'indagini "Fase I" eseguita nel mese di giugno-luglio 2018 sono stati installati su tutti i fori di sondaggio eseguiti dei piezometri a t.a..

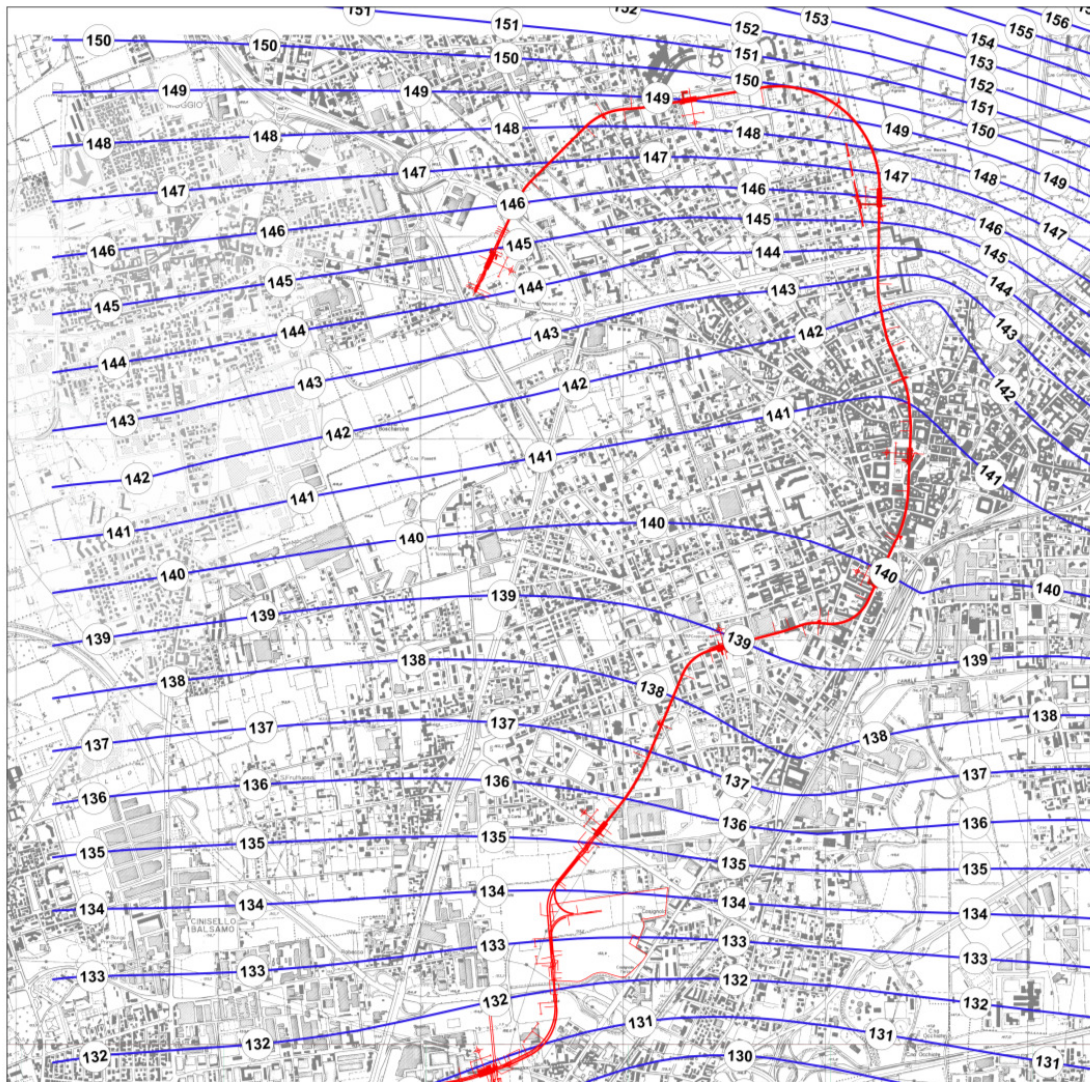
In ognuno di essi è stato misurato il livello di falda in data 20/07/2018, riportato nella seguente tabella

ID sondaggio	Ubicazione	Livello della falda misurato (m dal p.c.)	Quota t.t. (m. s.l.m.)
DM-P22	Stazione Campania	22.78	157.58
DM-P26	Stazione Marsala	25.19	162.59
DM-P30	Stazione Monza FS	24.15	161.88
DM-P32	Stazione Trento e trieste	24.10	163.42
DM-P34	Stazione Parco Villa reale	29.10	176.14
DM-P37	Stazione H. San Gerardo	32.80	180.44
DM-S35	Manufatto Parco	29.35	180.11
DM-P41	Stazione Monza-Brianza	33.20	161.88

Si considerano inoltre n. 2 sondaggi forniti dal committente, eseguiti a stazione Testi-Gorky (P1/D4) e stazione Cinisello-Monza (X6/S7), di cui a seguire si forniscono le quote piezometriche:

ID sondaggio	Ubicazione	Livello della falda misurato (m dal p.c.)	Data di misura del livello piezometrico
P1/D4	stazione Testi-Gorky	21.25	10/12/2002
X6/S7	stazione Cinisello-Monza	25.72	05/05/2006

Lo stralcio della carta delle isopiezometriche della “Componente geologica, idrogeologica e sismica” del PGT di Monza di seguito riportato (in blu sono rappresentate le linee isopiezometriche al marzo 2014 e relative quote in m.s.l.m.) fornisce una prima valutazione dell’andamento della falda che, vista la su menzionata significativa variabilità anche stagionale, dovrà essere oggetto di specifico studio e monitoraggio.



*Carta delle isopiezometriche al marzo 2014 (Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT di Monza)*



## 9. INDAGINI GEOGNOSTICHE

---

La campagna d'indagini geognostica (Fase I – Giugno/Luglio 2018) è consistita in:

- n.8 sondaggi geotecnici verticali a carotaggio continuo, finalizzati alla definizione della sequenza stratigrafica, con prove SPT e di permeabilità in foro e prelievo di campioni da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico
- condizionamento di tutti i n. 8 fori di sondaggio con piezometro a tubo aperto in PVC da 3"
- n. 4 indagini sismiche MASW
- n. 4 indagini geoelettriche in corrispondenza dell' area in cui è ubicata la stazione "Parco Villa Reale"
- n. 2 prove penetrometriche CPTU eseguite nell'intorno del sondaggio DM/S35 per una verifica delle scadenti qualità geotecniche dell'orizzonte posto tra 12-15 m dal p.c., emerse durante l'esecuzione del sondaggio
- georeferenziazione dei punti di indagine

I risultati di tale campagna d'indagini sono riportati in un dedicato "Report indagini geognostiche", allegato alla presente.

### 9.1. ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DA CAMPAGNA PRELIMINARE

In base ai risultati ottenuti dalla campagna geognostica eseguita in questa prima fase di fattibilità unitamente a quanto emerso dall'analisi della bibliografia disponibile, è stato ricostruito l'assetto stratigrafico di massima, riportato nel profilo geologico schematico allegato.

In tale profilo sono stati distinti i seguenti livelli litologici:

- Livello 1: Livello superficiale costituito da terreno vegetale ghiaioso sabbioso e/o materiale rimaneggiato.
- Livello 2: Orizzonte costituito prevalentemente da ghiaie eterometriche sabbioso-limose con presenza di ciottoli.
- Livello 3: Orizzonte costituito prevalentemente da ghiaie eterometriche sabbioso-limose con presenza di ciottoli con evidenze di cementazione da debole a moderata.

A diverse profondità sono presenti livelli di conglomerato a cemento carbonatico; si segnala che nei sondaggi eseguiti nell'area del parco di Villa Reale (da 0.40 a 2.30 m e da 9.00 a 10.10 m in DM/P34 e da 4.10 a 5.00 m in DM/S35) ed in DM/P22 sono stati carotati livelli di sabbia e limo debolmente argillosi di colore marrone rossastro, umidi/molto umidi, spesso connessi con l'esistenza degli "occhi pollini".

Tale fenomeno è stato trattato nel paragrafo 10 (*Peculiarità geologiche: gli occhi pollini*), in cui vengono anche esposte e commentate le evidenze registrate nel corso della presente campagna di indagini.

Dal punto di vista geomeccanico si segnala che tali livelli sono caratterizzati da scadenti caratteristiche geotecniche, come più diffusamente esposto nel paragrafo 9.2 (*Le prove S.P.T.*); in DM/S35 alla profondità di 12-15 metri non c'è stato alcun recupero di carota. Anche tali fattori possono palesare la presenza di strutture polliniche in corrispondenza di detti fori di sondaggio.





## 9.2. LE PROVE S.P.T.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state realizzate complessivamente **n. 80** prove penetrometriche dinamiche fondo foro, S.P.T., di cui si riporta di seguito una tabella riepilogativa.

Numero progressivo	Sigla sondaggio	Profondità (m)	Numero di colpi/45 cm	NSPT
1	DM/P22	3.00-3.45	Spt1=12-14-18	32
2		6.00-6.45	Spt2=12-22-28	50
3		9.00-9.45	Spt3=19-50R+1cm	Rifiuto
4		12.00-12.45	Spt4=50 R+5cm	Rifiuto
5		15.00-15.45	Spt5=48 - 50R+9cm	Rifiuto
6		18.00-18.45	Spt6=27-50R+2cm	Rifiuto
7		21.00-21.45	Spt7=50R + 7cm	Rifiuto
8		24.00-24.45	Spt8=33-R+5cm	Rifiuto
9		27.00-27.45	Spt9=26-33-38	71
10		30.00-30.45	Spt10=18-22-26	48
11	DM/P26	3.00-3.45	Spt1=3-6-7	13
12		6.00-6.45	Spt2=6-2-7	9
13		9.00-9.45	Spt3=8-12-18	30
14		12.00-12.45	Spt4=26-50 R+2cm	Rifiuto
15		15.00-15.45	Spt5=50 R+3cm	Rifiuto
16		18.00-18.45	Spt6=50R+8cm	Rifiuto
17		21.00-21.45	Spt7=28-33-46	79
18		24.00-24.45	Spt8=31-38-50R+3cm	Rifiuto
19		27.00-27.45	Spt9=29-34-38	72
20		30.00-30.45	Spt10=21-26-38	64
21	33.00-33.45	Spt11=33-46-49	95	
22	DM/P30	3.00-3.45	Spt1=11-9-8	17
23		6.00-6.45	Spt2=9-10-7	17
24		9.00-9.45	Spt3=18-32-24	56
25		12.00-12.45	Spt4=16-50-50R+7cm	Rifiuto
26		15.00-15.45	Spt5=29-46-50R+4cm	Rifiuto
27		18.00-18.45	Spt6=46-50R+7cm	Rifiuto
28		21.00-21.45	Spt7=44-50R+2cm	Rifiuto
29		24.00-24.45	Spt8=20-21-21	42
30		27.00-27.45	Spt9=24-22-26	48
31		30.00-30.45	Spt10=44-46-50R+4	Rifiuto
32	DM/P32	3.00-3.45	Spt1=22-24-33	57
33		6.00-6.45	Spt2=20-24-35	59
34		9.00-9.45	Spt3=21-R+4cm	Rifiuto
35		12.00-12.45	Spt4=2-2-22	24
36		15.00-15.45	Spt5=22-31-34	65
37		18.00-18.45	Spt6=41-R+6cm	Rifiuto
38		21.00-21.45	Spt7=38-40-46	86
39		24.00-24.45	Spt8=26-26-34	60

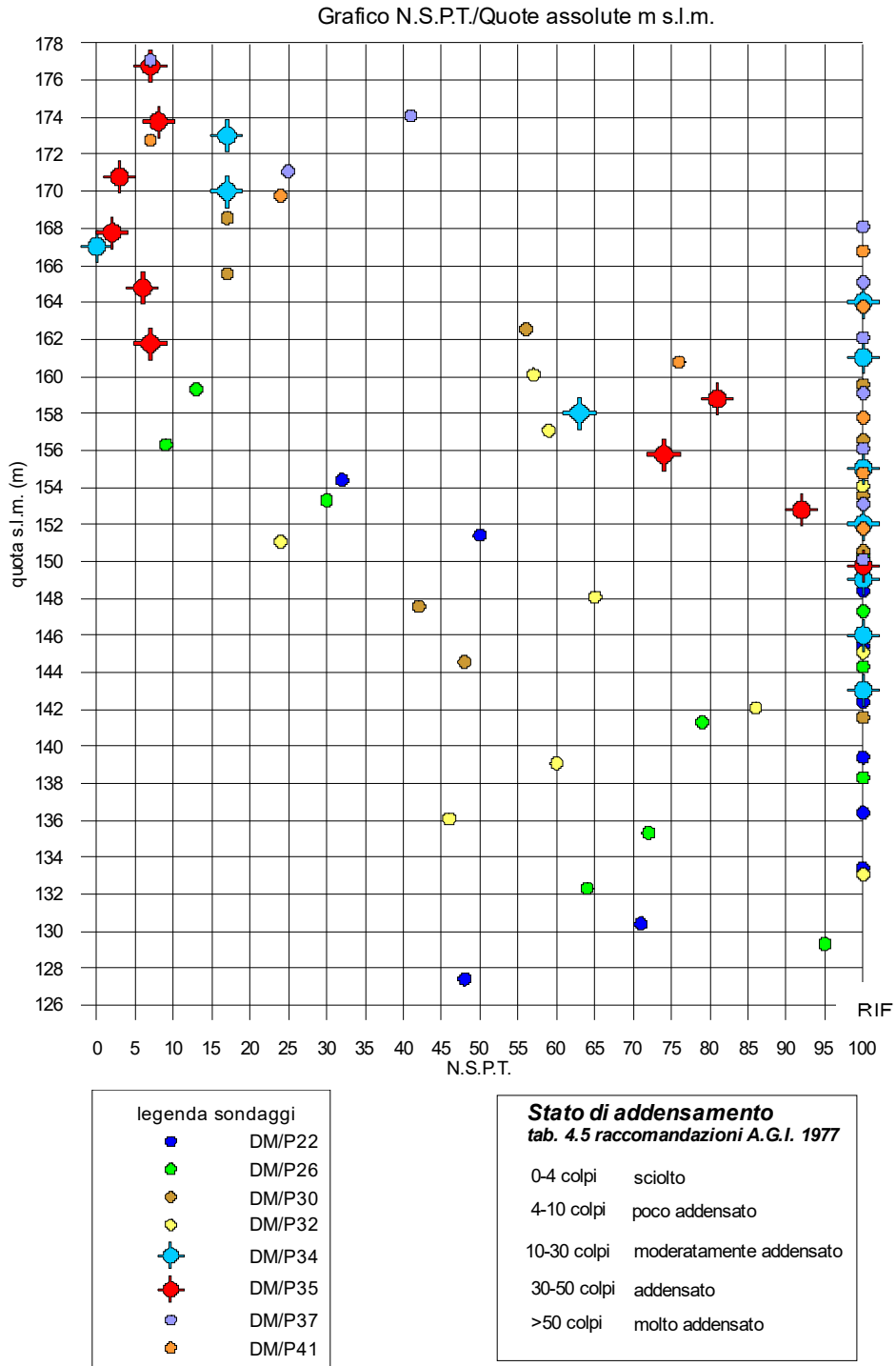


Numero progressivo	Sigla sondaggio	Profondità (m)	Numero di colpi/45 cm	NSPT
40	DM/P34	27.00-27.45	Spt9=26-24-22	46
41		30.00-30.45	Spt10=45-R+4cm	Rifiuto
42		3.00-3.45	Spt1=4-8-9	17
43		6.00-6.45	Spt2=6-8-9	17
44		9.00-9.45	Spt3=0	0
45		12.00-12.45	Spt4=31-50R+1 cm	Rifiuto
46		15.00-15.45	Spt5=50 R+12 cm	Rifiuto
47		18.00-18.45	Spt6=21-31-32	63
48		21.00-21.45	Spt7=24-42-50R+ 8 cm	Rifiuto
49		24.00-24.45	Spt8=50 R + 4	Rifiuto
50		27.00-27.45	Spt9=50 R + 3 cm	Rifiuto
51		30.00-30.45	Spt10=50 R+ 6 cm	Rifiuto
52		33.00-33.45	Spt11=48-50R+3cm	Rifiuto
53	DM/S35	3.00-3.45	Spt1=2-3-4	7
54		6.00-6.45	Spt2=2-3-5	8
55		9.00-9.45	Spt3=1-2-1	3
56		12.00-12.45	Spt4=2-1-1	2
57		15.00-15.45	Spt5=7-3-3	6
58		18.00-18.45	Spt6=2-3-4	7
59		21.00-21.45	Spt7=21-35-46	81
60		24.00-24.45	Spt8=28-35-39	74
61		27.00-27.45	Spt9=26-44-48	92
62		30.00-30.45	Spt10=31-45-50R+1cm	Rifiuto
63	DM/P37	3.00-3.45	Spt1=2-3-4	7
64		6.00-6.45	Spt2=36-25-16	41
65		9.00-9.45	Spt3=5-10-15	25
66		12.00-12.45	Spt4=50 R	Rifiuto
67		15.00-15.45	Spt5=50 R+7 cm	Rifiuto
68		18.00-18.45	Spt6=44-50 R+2cm	Rifiuto
69		21.00-21.45	Spt7=50R + 9cm	Rifiuto
70		24.00-24.45	Spt8=44-50-50R+ 8	Rifiuto
71		27.00-27.45	Spt9=50 R + 3 cm	Rifiuto
72		30.00-30.45	Spt10=50 R+ 6 cm	Rifiuto
73	DM/P41	3.00-3.45	Spt1=3-3-4	7
74		6.00-6.45	Spt2=10-14-10	24
75		9.00-9.45	Spt3=11-50R+2cm	Rifiuto
76		12.00-12.45	Spt4=50 R+5cm	Rifiuto
77		15.00-15.45	Spt5=18-26-50	76
78		18.00-18.45	Spt6=44-50 R+2cm	Rifiuto
79		21.00-21.45	Spt7=50R + 3cm	Rifiuto
80		24.00-24.45	Spt8=26-39-50R+ 8	Rifiuto

I dati scaturenti dalle prove sono stati elaborati in grafici che ne mostrano la variazione con la profondità e con la quota assoluta; tali grafici sono riportati nelle pagine seguenti.



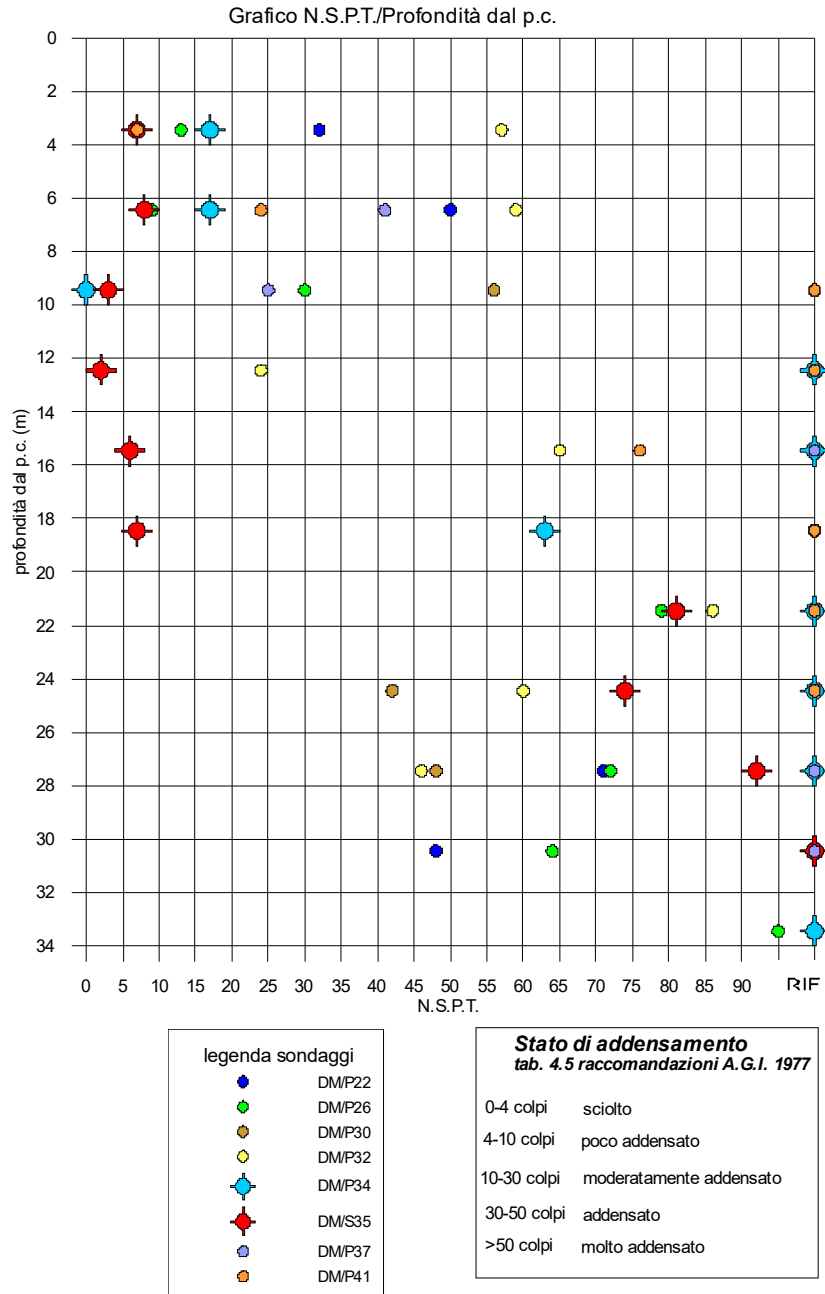
Come si può notare i dati graficizzati in funzione della quota assoluta mostrano una generale tendenza all'aumento del numero di colpi con la profondità; più in dettaglio si nota che tra i 164 ed i 178 m s.l.m. i valori di NSPT sono minori/uguali a 25, mentre tra 126 e 148 m s.l.m. sono maggiori di 40 ed arrivano sino al rifiuto strumentale; tra i 148 ed i 164 m s.l.m. si assiste ad una dispersione di valori che vanno da 6 al rifiuto strumentale.





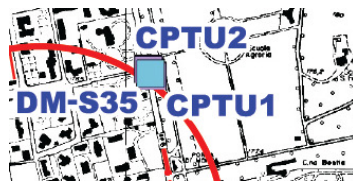


Una situazione analoga scaturisce dall'analisi dei dati graficizzati in funzione della profondità dal p.c. che mostra sino a circa 10 m dal p.c. valori di NSPT inferiori/uguali a 45-50 e da 18 a 20 maggiori di 45-50; tra 10 e 18 m si nota una dispersione di valori che vanno da 2 al rifiuto strumentale; in particolare nei sondaggi **DM/P34** e **DM/S35** si registrano valori molto bassi di NSPT, rispettivamente a 9 m (0 colpi) e tra 9 e 12 (2-3 colpi), quindi tra le quote 167 e 171 m s.l.m. che potrebbero essere correlati alla presenza di "occhi pollini".

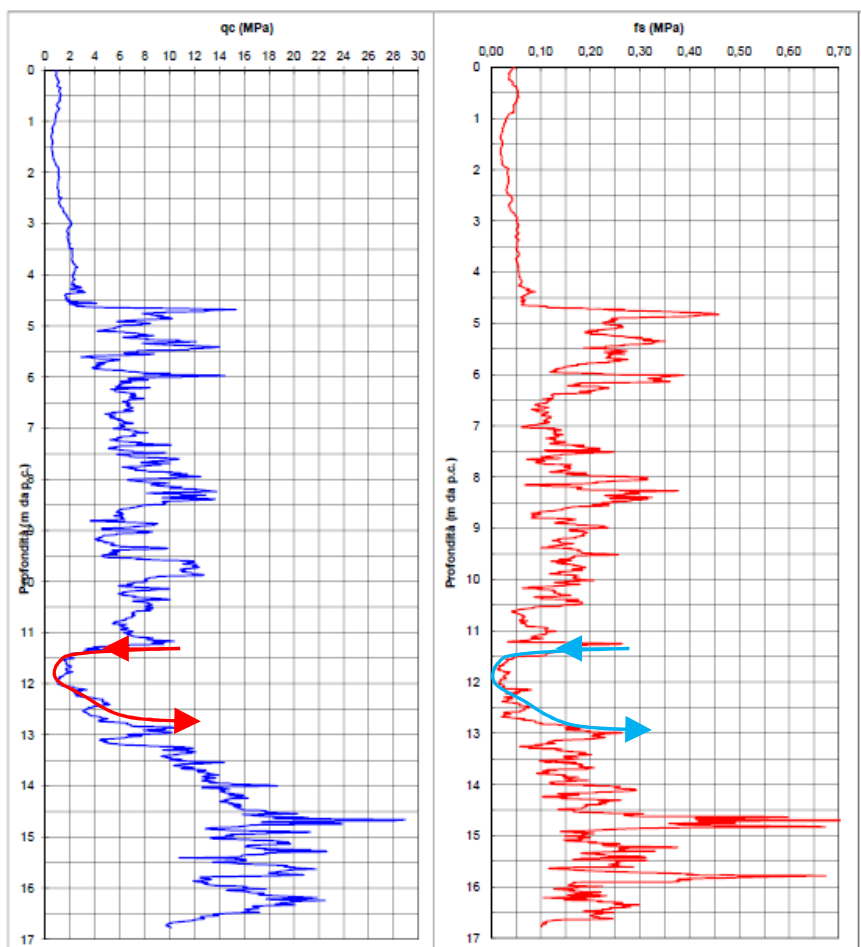


### 9.3. LE PROVE C.P.T.U.

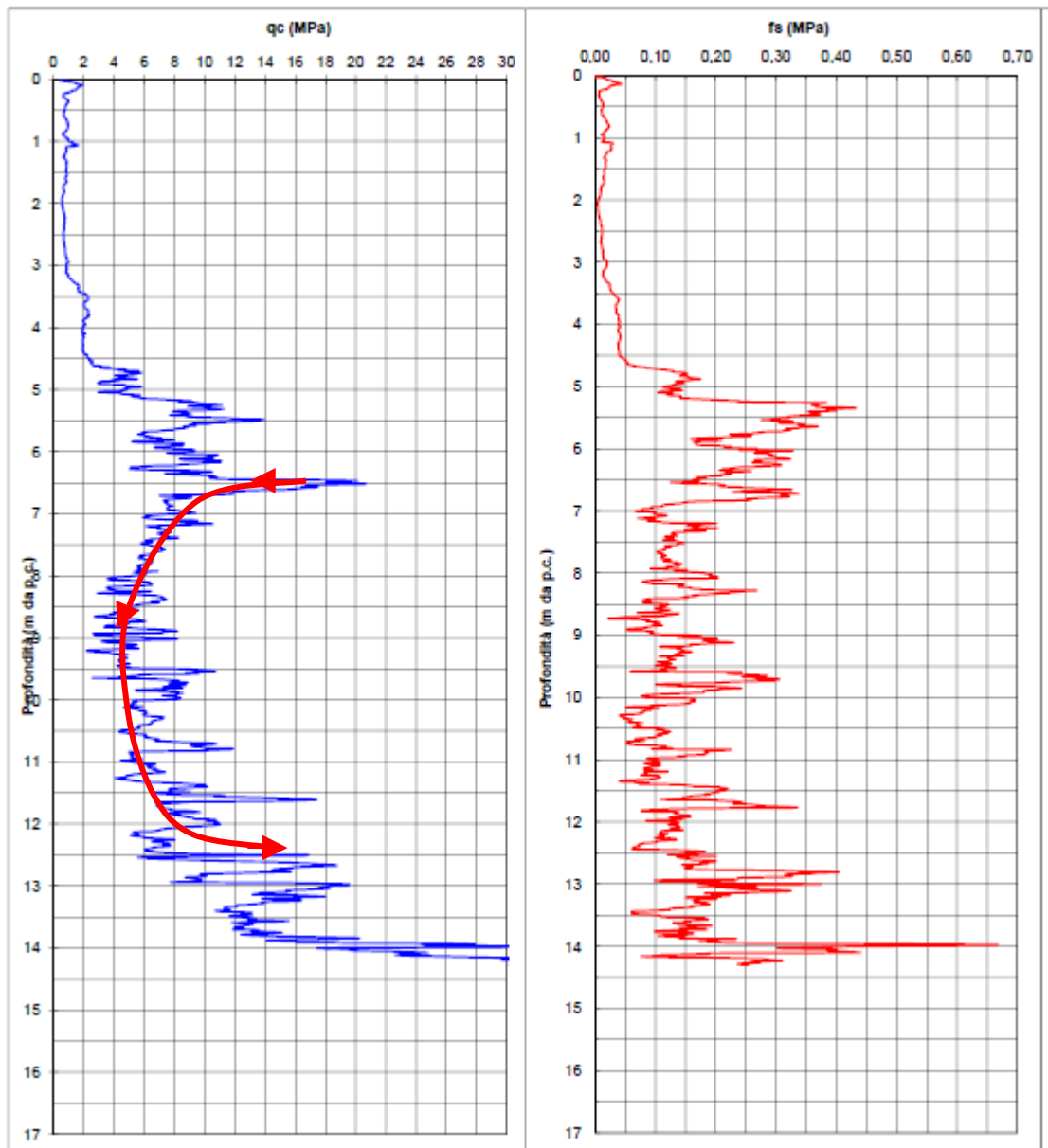
In adiacenza al sondaggio **DM/S35**, nel corso del quale si era verificato il mancato recupero di materiale tra i 12 ed i 15 m e si erano ottenuti valori molto bassi di NSPT nell'intervallo da 9 a 12 m dal p.c., nel raggio di 2 m, sono state eseguite n.2 prove CPTU al fine di verificare la possibile relazione con il fenomeno degli "occhi pollini".



La prova n.1, eseguita immediatamente a sud del DM/S35, ha evidenziato un sensibile decremento dei valori di  $q_c$  nell'intervallo 11.50/12.50 m dal p.c. (da 10 MPa a 2MPa); tale andamento si riscontra anche del grafico di  $f_s$ .



Nel caso della prova n.2, invece, eseguita immediatamente a nord di DM/S35, si nota una flessione dei valori di  $q_c$  meno marcata, ma estesa tra 7 e 12.50 m dal p.c.; anche nel grafico di  $f_s$  il decremento appare meno evidente.

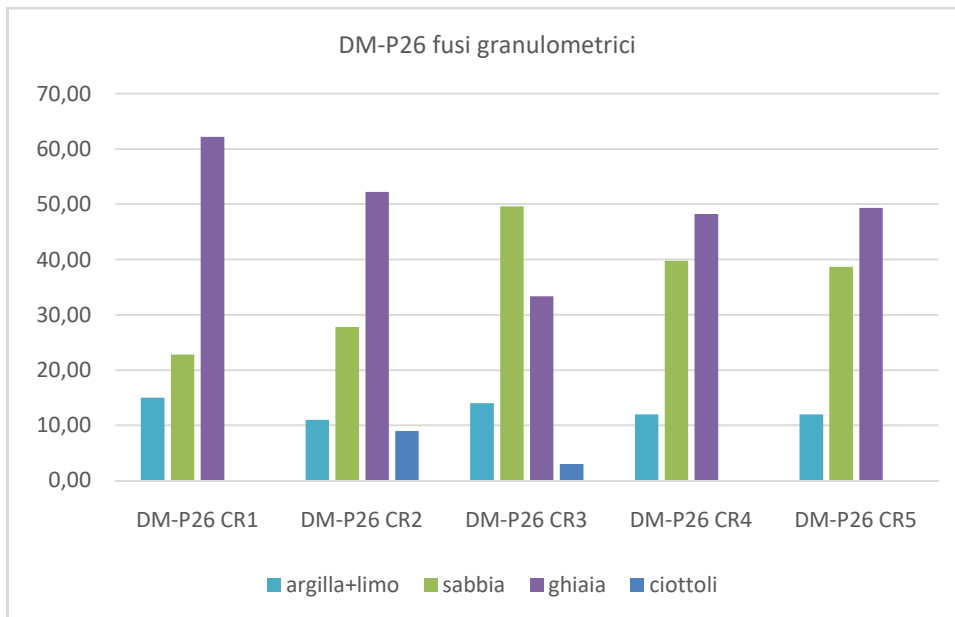
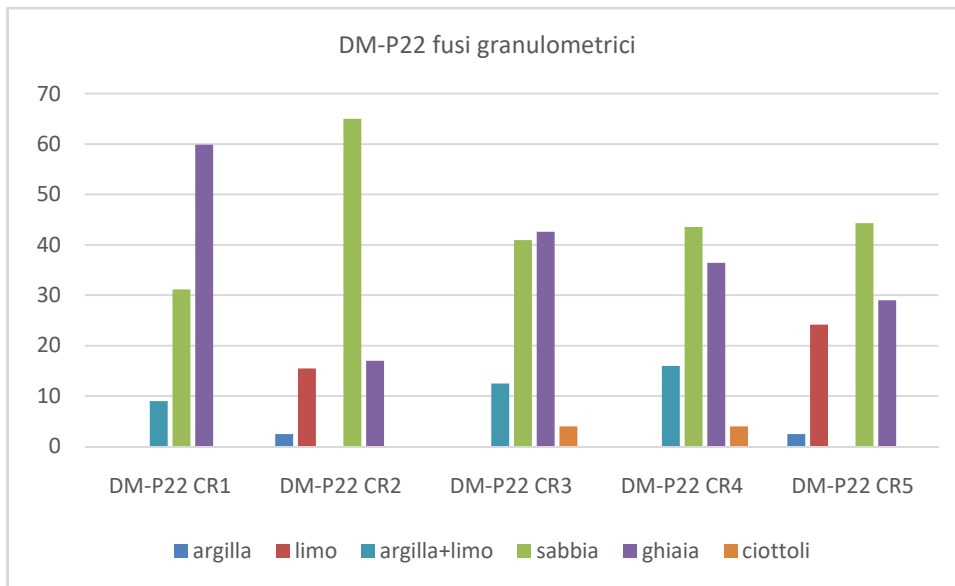


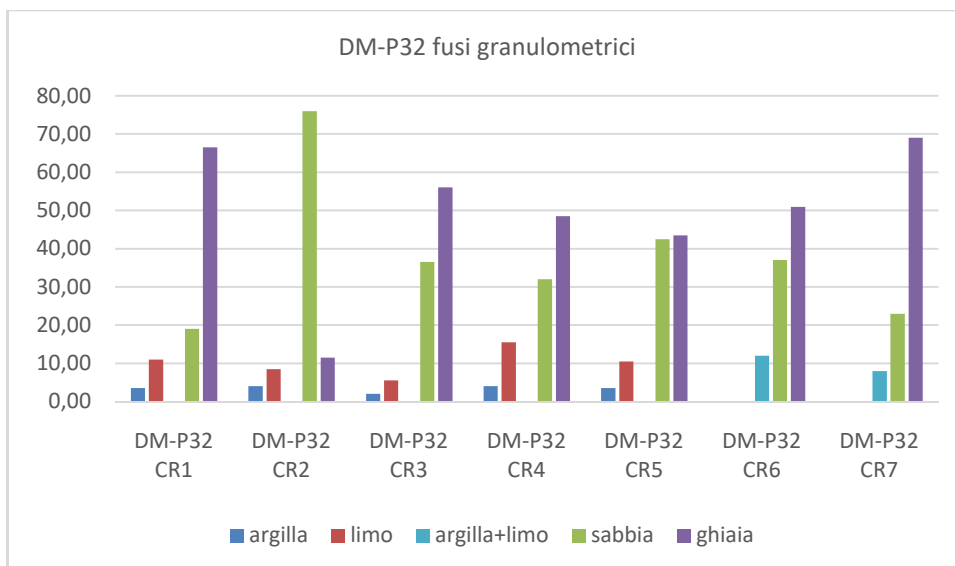
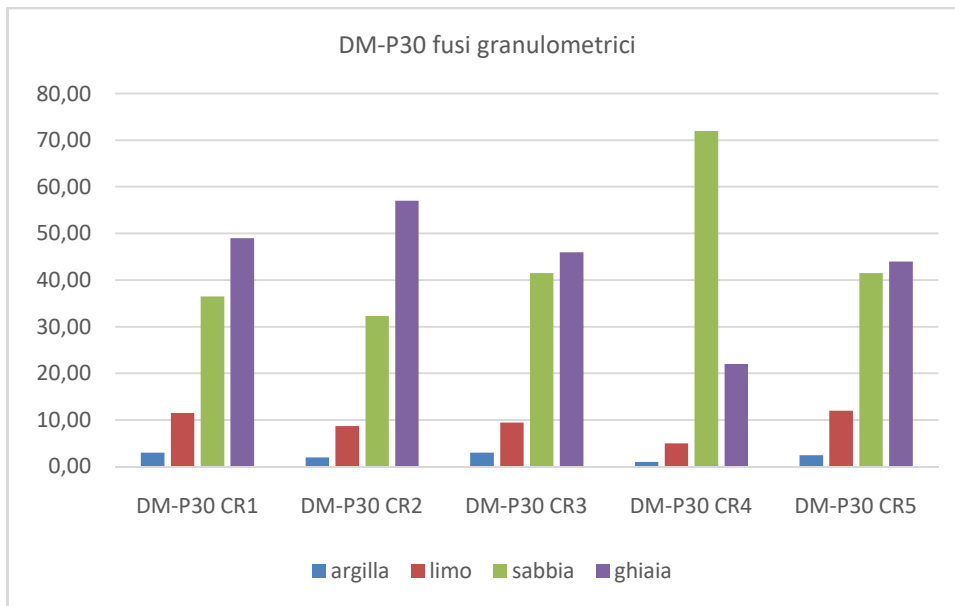


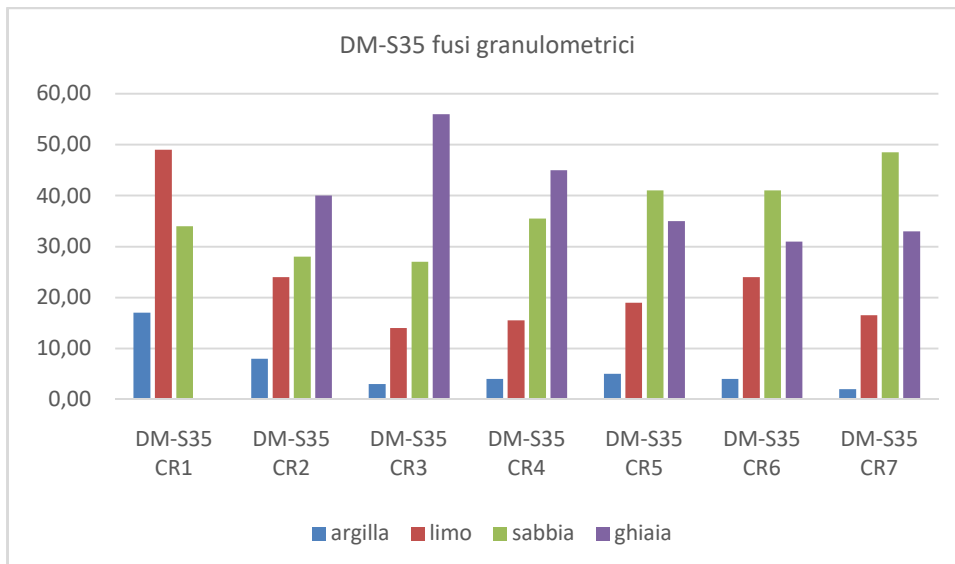
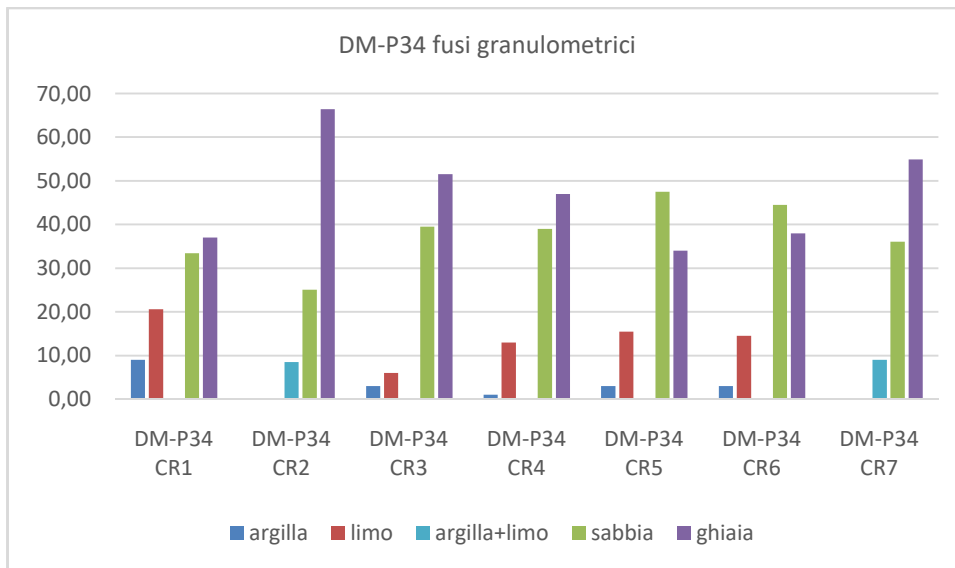
## 9.4. LE PROVE DI LABORATORIO

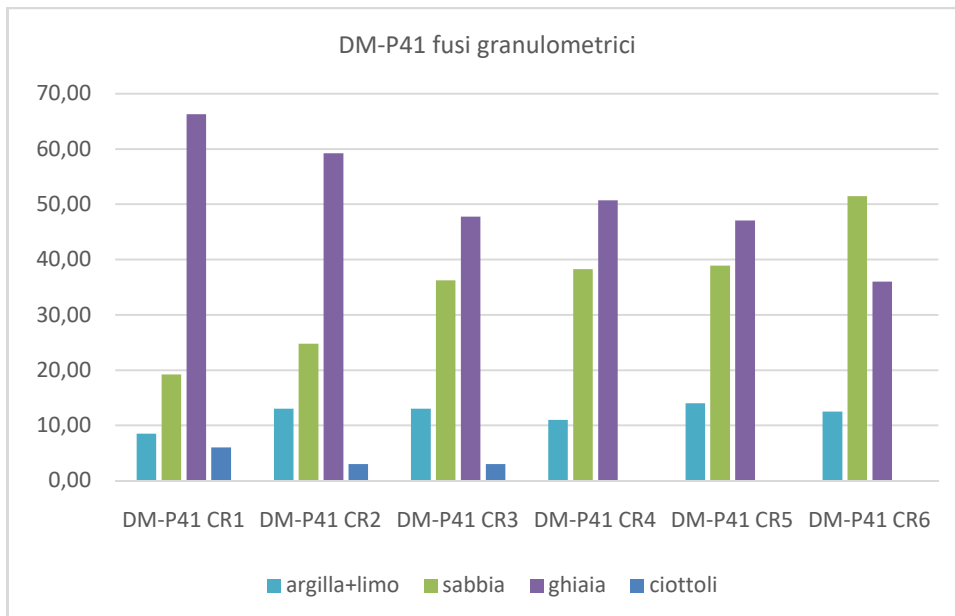
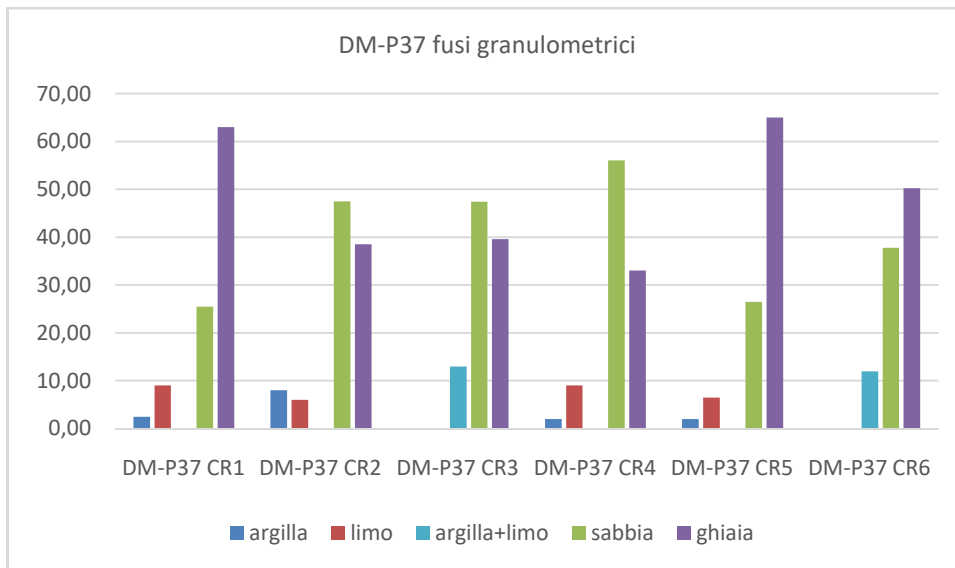
Sono state eseguite n. 48 prove di laboratorio finalizzate alla determinazione delle curve granulometriche dei campioni prelevati nei sondaggi, come da tabella riepilogativa seguente; come è possibile vedere nei grafici relativi ai fusi granulometrici di cui alle pagine seguenti, i campioni sono risultati essere prevalentemente rappresentati da ghiaie con sabbia limose e/o debolmente limose.

Tabella riepilogativa: "Prove di laboratorio su campioni rimaneggiati"									
N.	Sigla campione	Sigla di laboratorio	Profondità di prelievo (m)		Distribuzione granulometrica (%)				
			da	a	Argilla	Limo	Sabbia	Ghiaia	Ciottoli
1	DM-P22 CR1	T.1143-18	3,00	3,50	9,00		31,16	59,84	0,00
2	DM-P22 CR2	T.1144-18	4,50	5,00	2,50	15,50	65,00	17,00	0,00
3	DM-P22 CR3	T.1145-18	13,00	13,50	12,50		40,93	42,57	4,00
4	DM-P22 CR4	T.1146-18	22,50	23,00	16,00		43,55	36,45	4,00
5	DM-P22 CR5	T.1147-18	32,00	32,50	2,50	24,20	44,30	29,00	0,00
6	DM-P26 CR1	T.1138-18	4,00	4,50	15,00		22,84	62,16	0,00
7	DM-P26 CR2	T.1139-18	6,00	6,50	11,00		27,79	52,21	9,00
8	DM-P26 CR3	T.1140-18	21,50	22,00	14,00		49,64	33,36	3,00
9	DM-P26 CR4	T.1141-18	29,50	30,00	12,00		39,75	48,25	0,00
10	DM-P26 CR5	T.1142-18	34,50	35,00	12,00		38,66	49,34	0,00
11	DM-P30 CR1	T.811-18	1,10	1,60	3,00	11,50	36,50	49,00	0,00
12	DM-P30 CR2	T.812-18	4,50	5,00	2,00	8,70	32,30	57,00	0,00
13	DM-P30 CR3	T.813-18	10,00	10,50	3,00	9,50	41,50	46,00	0,00
14	DM-P30 CR4	T.814-18	18,00	18,50	1,00	5,00	72,00	22,00	0,00
15	DM-P30 CR5	T.815-18	26,50	27,00	2,50	12,00	41,50	44,00	0,00
16	DM-P32 CR1	T.934-18	1,50	2,00	3,50	11,00	19,00	66,50	0,00
17	DM-P32 CR2	T.935-18	8,00	8,50	4,00	8,50	76,00	11,50	0,00
18	DM-P32 CR3	T.936-18	13,00	13,50	2,00	5,50	36,50	56,00	0,00
19	DM-P32 CR4	T.937-18	17,50	18,00	4,00	15,50	32,00	48,50	0,00
20	DM-P32 CR5	T.938-18	23,00	23,50	3,50	10,50	42,50	43,50	0,00
21	DM-P32 CR6	T.939-18	27,00	27,50	12,00		37,04	50,96	0,00
22	DM-P32 CR7	T.940-18	37,00	37,50	8,00		22,97	69,03	0,00
23	DM-P34 CR1	T.941-18	1,00	1,50	9,00	20,60	33,40	37,00	0,00
24	DM-P34 CR2	T.942-18	7,00	7,50	8,50		25,08	66,42	0,00
25	DM-P34 CR3	T.943-18	9,00	9,50	3,00	6,00	39,50	51,50	0,00
26	DM-P34 CR4	T.944-18	14,00	14,50	1,00	13,00	39,00	47,00	0,00
27	DM-P34 CR5	T.945-18	19,50	20,00	3,00	15,50	47,50	34,00	0,00
28	DM-P34 CR6	T.946-18	23,00	23,50	3,00	14,50	44,50	38,00	0,00
29	DM-P34 CR7	T.947-18	32,00	32,50	9,00		36,07	54,93	0,00
30	DM-S35 CR1	T.1264-18	1,50	2,00	17,00	49,00	34,00	0,00	0,00
31	DM-S35 CR2	T.1265-18	3,00	3,50	8,00	24,00	28,00	40,00	0,00
32	DM-S35 CR3	T.1266-18	7,50	8,00	3,00	14,00	27,00	56,00	0,00
33	DM-S35 CR4	T.1267-18	11,00	11,50	4,00	15,50	35,50	45,00	0,00
34	DM-S35 CR5	T.1268-18	20,50	21,00	5,00	19,00	41,00	35,00	0,00
35	DM-S35 CR6	T.1269-18	26,50	27,00	4,00	24,00	41,00	31,00	0,00
36	DM-S35 CR7	T.1270-18	31,50	32,00	2,00	16,50	48,50	33,00	0,00
37	DM-P37 CR1	T.948-18	1,00	1,50	2,50	9,00	25,50	63,00	0,00
38	DM-P37 CR2	T.949-19	8,10	8,50	8,00	6,00	47,50	38,50	0,00
39	DM-P37 CR3	T.950-18	14,50	15,00	13,00		47,43	39,57	0,00
40	DM-P37 CR4	T.951-18	23,00	23,50	2,00	9,00	56,00	33,00	0,00
41	DM-P37 CR5	T.952-18	27,00	27,50	2,00	6,50	26,50	65,00	0,00
42	DM-P37 CR6	T.953-18	30,50	31,00	12,00		37,77	50,23	0,00
43	DM-P41 CR1	T.1132-18	4,00	4,50	8,50		19,23	66,27	6,00
44	DM-P41 CR2	T.1133-18	7,00	7,50	13,00		24,77	59,23	3,00
45	DM-P41 CR3	T.1134-18	9,50	10,00	13,00		36,26	47,74	3,00
46	DM-P41 CR4	T.1135-18	12,00	12,50	11,00		38,30	50,70	0,00
47	DM-P41 CR5	T.1136-18	18,50	19,00	14,00		38,91	47,09	0,00
48	DM-P41 CR6	T.1137-18	23,00	23,50	12,50		51,49	36,01	0,00









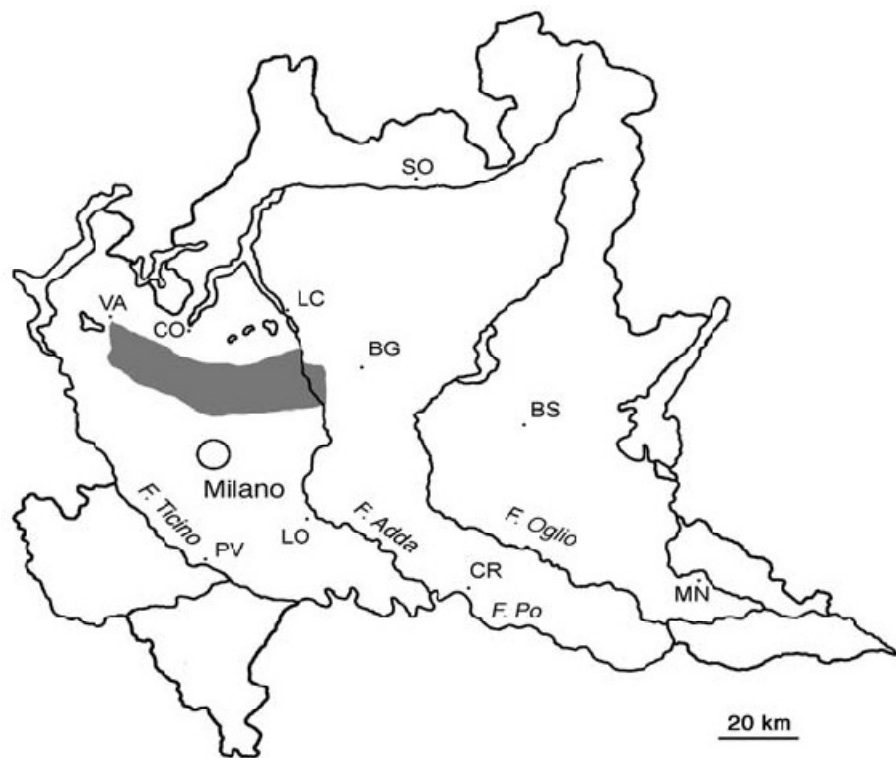


## 10. PECULIARITA' GEOLOGICHE – GLI “ OCCHI POLLINI”

Buona parte del territorio comunale di Monza è interessato dalla presenza nel sottosuolo di cavità di dimensioni variabili presenti nei conglomerati e/o nei depositi non cementati, conosciuti con il termine di “occhi pollini”, la cui presenza è elemento di criticità evidenziato in questa prima fase di progetto e da approfondire dettagliatamente nelle fasi successive.

L'aspetto maggiormente critico di tale fenomeno è legato alla non determinabilità dall'osservazione dalla superficie, in quanto non è mai associabile a strutture e morfologie particolari.

Nella pubblicazione “Erosione sotterranea e sprofondamenti nell'alta pianura lombarda: gli occhi pollini” di Andrea Strini (Università degli Studi di Milano – Dipartimento di Scienze della terra) viene indicata la localizzazione geografica, l'assetto geologico e la tipologia di “occhi pollini”.



*Carta schematica della Lombardia con evidenziata, in grigio, l'area di maggior diffusione degli “occhi pollini”.*

Si riporta di seguito parte della suddetta pubblicazione in cui viene sintetizzato il contesto geologico entro cui si manifesta il fenomeno “occhi pollini”:

“[...] La successione affiorante ha come termine inferiore i depositi di ambiente marino-transizionale (Argille di Conche) che affiorano solo sporadicamente lungo la forra dell’Adda. Superiormente a queste è presente una complessa successione di conglomerati, variamente distribuiti nel territorio, che corrispondono al Ceppo degli autori precedenti. Essi sono: il Ceppo del Naviglio di Paderno, il Ceppo del Brembo, il Ceppo dell’Adda, il Ceppo di Lomagna (che non affiora ma è stato riconosciuto in sottosuolo) e il Ceppo della Molgora. Questi conglomerati, distinti tra loro in base a differenze di contenuto petrografico, hanno tutti cemento carbonatico e hanno almeno il 50% dei ciottoli o carbonati o di arenarie a cemento carbonatico. Le unità di



conglomerato più superficiali mostrano spesso una profonda alterazione con limite superiore a organi geologici. In particolare, i prodotti di alterazione del Ceppo dell'Adda costituiscono la Formazione di Trezzo sull'Adda, che raggiunge la potenza di oltre 10 m.

Superiormente a questa si impostano le varie unità glaciali e fluvioglaciali di almeno 5 fasi differenti. Le unità sono rappresentate sia da depositi fluvioglaciali che da depositi glaciali, con leggere differenze tra l'Anfiteatro del Lambro e quello dell'Adda. Le unità, dalla più vecchia alla più recente, sono: Allogruppo del Bozzente, Alloformazione della Specola, Alloformazione di Binago, Allogruppo di Besnate e Alloformazione di Cantù che comprende i depositi attribuiti all'ultima avanzata glaciale. L'alterazione dei depositi è funzione dell'età essendo assai più pronunciata nelle unità più vecchie. L'Allogruppo del Bozzente, corrispondente all'unità più antica, si caratterizza per un'alterazione profonda che interessa la totalità dei clasti, arenizzati o argillificati ad esclusione delle litologie più resistenti, intensa rubefazione, abbondante presenza di argilla secondaria e diffuse patine di Fe-Mn. [...]”.

In letteratura vengono distinte tre tipologie di “occhi pollini” con caratteristiche diverse, in base alle caratteristiche morfologiche delle cavità e in base alle caratteristiche geologiche del terreno in cui si formano: le cavità nel conglomerato, le cavità di grande diametro nei depositi non cementati e i fenomeni, di solito superficiali, costituiti da gallerie di piccolo diametro.

**Cavità nel conglomerato** - Presentano dimensioni variabili da pochi centimetri a molti metri cubi. Si formano in conglomerati con forte componente carbonatica, a causa di fenomeni carsici che portano alla dissoluzione della componente carbonatica del cemento e dei ciottoli; cavità di dimensioni ragguardevoli possono formarsi anche per asportazione per piping del materiale alterato. La dissoluzione può agire anche senza formare cavità vere e proprie, ma allargando semplicemente fratture già esistenti.

**Gallerie di piccolo diametro**– Si trovano di solito a profondità limitate dove è presente una sovrapposizione tra due litologie a diversa permeabilità, con la litologia meno permeabile sottostante. Nella maggior parte dei casi la litologia sottostante, impermeabile, è costituita da depositi glaciali e fluvioglaciali alterati, mentre la litologia superiore, permeabile, è costituita da colluvi.

Le gallerie si formano per piping, con lenta asportazione dei granuli del sedimento. In occasione di precipitazioni l'acqua si infila nel sottosuolo, occasionalmente favorita da cavità preesistenti, quali fratture da disseccamento e cavità lasciate da radici di piante. Al contatto con la litologia impermeabile, l'acqua si muove orizzontalmente fino a uscire dal sistema; l'erosione può avvenire solo alla sorgente, dalla quale la galleria si evolve per erosione regressiva (MARTINI, 1983) o lungo l'intero percorso della galleria (HIGGINS & SCHONER, 1997). L'intero sistema costituito da vuoti e gallerie inizialmente disordinato col tempo si organizza in un reticolo anche molto esteso.

Associate alle gallerie possono essere presenti doline date sia dal crollo della sottostante galleria, sia dovute a piping.

**Cavità di grande diametro** – Sono le più tipiche del fenomeno “occhi pollini”. Le loro dimensioni variano da pochi decimetri ad alcuni metri di diametro; sono localizzate normalmente al di sopra della falda acquifera e si formano a profondità comprese tra pochi decimetri sotto la superficie topografica e una ventina di metri circa. Hanno spesso fondo piatto e volta a cupola e, inoltre, possono essere presenti gallerie alla base della cavità.

All'interno possono essere presenti blocchi di materiale crollato dalla volta oppure può essere presente un riempimento più o meno abbondante di materiale fine.

Queste cavità si formano prevalentemente in ghiaie, sebbene siano presenti anche in materiali fini e ghiaie poco alterate. Probabilmente, in molti casi, gioca un ruolo importante anche la presenza di conglomerato alterato sottostante che funge da dreno per le acque.

La genesi è legata all'asportazione di materiale per piping, mentre la frazione argillosa derivante dall'alterazione fornisce la coesione necessaria al mantenimento della cavità.

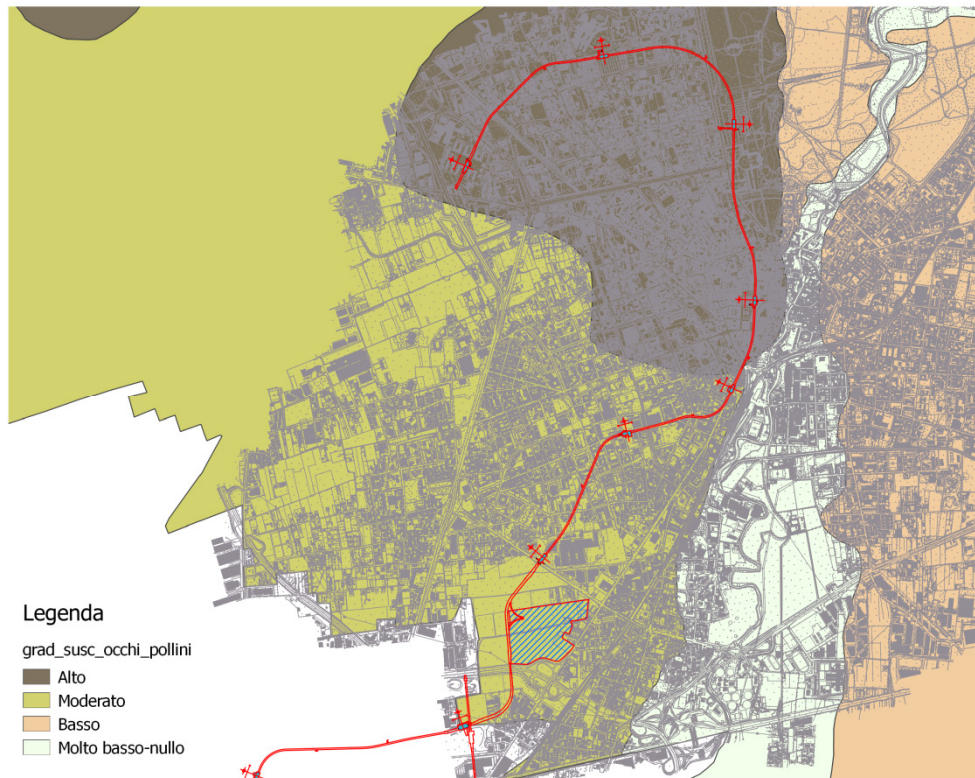


Il fenomeno “occhi pollini” viene evidenziato anche nel PTCP di Monza Brianza; esso viene definito “fenomeno che causa problemi di instabilità del suolo/sottosuolo che necessita di essere affrontato in modo scientifico e sistematico”.

Nella “Relazione di Piano” del PTCP, adottata con Delibera del Consiglio Provinciale n. 31 del 22 dicembre 2001), tale argomento viene affrontato nella sezione “Difesa del suolo e assetto idrogeologico- Gli obiettivi del PTCP in tema di difesa del suolo”, in cui vengono riassunte le linee guida per l’approfondimento del fenomeno degli “occhi pollini”, come indica la tabella sotto riportata, estratta da tale documento (gli esiti degli approfondimenti sono riportati nel documento di Ferruccio Tomasi “Difesa del suolo: i geositi e il fenomeno degli occhi pollini”).

FENOMENO DEGLI OCCHI POLLINI - LINEE GUIDA
<p>OBIETTIVI DI INDAGINE</p> <ul style="list-style-type: none"><li>determinare la presenza di “occhi pollini” o della loro possibile formazione al fine di limitare i possibili danni o interferenze con l'attività umana e la possibile veicolazione di sostanze inquinanti nel sottosuolo;</li><li>suggerite misure efficaci e concretamente realizzabili, onde evitare aggravii di tempi e costi durante la realizzazione delle infrastrutture.</li></ul>
<p>CONSIDERAZIONI GENERALI PER LE CAMPAGNE DI INDAGINE</p> <ul style="list-style-type: none"><li>occhi pollini di dimensioni molto ridotte possono ingrandirsi successivamente alla realizzazione di un intervento;</li><li>le cavità possono essere parzialmente o totalmente riempite di materiale di crollo e/o sedimenti derivanti dalla circolazione idrica sotterranea, rendendo più difficile la ricerca della loro presenza.</li></ul>
<p>METODI DI INDAGINE</p> <p><u>Prove penetrometriche:</u> benché siano uno tra i metodi più usati per la caratterizzazione geotecnica dei terreni, non sono indagini indicate per determinare la presenza di “occhi pollini”. Esse non consentono di definire con sufficiente precisione la presenza e lo sviluppo del reticolo di cavità all’interno del terreno dato che la maglia con cui vengono normalmente eseguite non può fornire la distribuzione areale delle cavità stesse, né risulta economicamente conveniente eseguire prove penetrometriche in numero sufficiente a questo scopo.</p> <p><u>Indagini geofisiche:</u> sono quelle che meglio possono essere utilizzate per l'individuazione e mappatura di vuoti nel sottosuolo; il georadar e la tomografia elettrica 2D e 3D sono tra quelle che meglio si adattano allo scopo.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Il <u>georadar</u>, ha il vantaggio di essere di facile e veloce impiego e di avere costi contenuti, di contro presenta limiti di impiego in terreni ricchi di argilla quali quelli in cui tipicamente si formano gli occhi pollini. Infatti la capacità di penetrazione del georadar in questi terreni è molto limitata, mentre gli occhi pollini si formano spesso in profondità. A tal proposito può essere adottata la tecnica georadar a fondo scavo in modo da aumentare la profondità di investigazione.</li><li>La <u>tomografia elettrica</u>: consente una maggiore penetrazione in profondità e risoluzione sebbene l'esecuzione di questo tipo di indagini sia più onerosa.</li></ul> <p><u>Limiti di impiego:</u> le indagini geofisiche hanno lo svantaggio di avere una risoluzione minima che può essere superiore al diametro delle condotte. Inoltre, nel caso in cui gli “occhi pollini” fossero riempiti totalmente di sedimenti che hanno caratteristiche simili a quello in cui l'occhio pollino si forma, la cavità potrebbe non essere riconosciuta in quanto non ci sono grandi differenze di resistività tra la litologia ospitante l'occhio pollino e il riempimento.</p>
<p>PREVENZIONE E GESTIONE</p> <p>La circolazione di acqua nel sottosuolo è uno dei fattori fondamentali nella formazione degli occhi pollini. Nelle aree in cui risulta esserci una probabilità alta e molto alta al fenomeno degli occhi pollini deve essere prestata la massima attenzione nello smaltimento delle acque nel terreno. In queste zone deve essere evitato l'uso dei pozzi perdenti in quanto l'immissione di acqua a seguito di precipitazioni può innescare il fenomeno e/o contribuire in modo sostanziale alla sua accentuazione, aumentando quindi la probabilità di avere danni alle opere.</p> <p>E' da evitare di usare gli “occhi pollini” come pozzi perdenti naturali in cui convogliare le acque di scarico. Infatti gli “occhi pollini” si ingrandiscono a ogni nuova venuta d'acqua e quindi questa tecnica porterebbe ad una evoluzione molto rapida delle cavità con seri pericoli per le opere.</p>

Di seguito si riporta uno stralcio della Tavola 8 “Assetto idrogeologico” del PTCP di Monza-Brianza (gestito in ambiente GIS) in cui vengono individuati anche le aree a diversa suscettività al fenomeno degli “occhi pollini” in ambito provinciale.



Nello studio geologico del PGT di Monza è indicato che le aree con alto grado di suscettività al fenomeno “**occhi pollini**” sono quelle dove affiorano i depositi dell’alloformazione di Binago ed i depositi dell’allogruppo di Besnate che costituiscono, probabilmente, una copertura di spessore variabile dei depositi più antichi.

Nel corso della prima fase delle campagne di indagini preliminari, si sono avute alcune evidenze che potrebbero essere collegate con la presenza di “occhi pollini” lungo il tracciato; dato, però, la maglia piuttosto larga della campagna svolta, tali evidenze vanno verificate ed approfondite con indagini mirate.

In particolare si segnalano le aree in prossimità dei sondaggi DM/P34 e DM/S35 in cui sia le indagini dirette (sondaggi, prove S.P.T. e prove C.P.T.U.) che quelle indirette (tomografia elettrica) hanno fornito indicazioni in merito all’esistenza di possibili vuoti.

Dall’esecuzione dei sondaggi è emerso quanto segue:

- in corrispondenza dei sondaggi DM/P22, DM/P34 e DM/S35 rispettivamente da 4.00 a 6.00 m, da 9.00 a 10.10 m e da 4.10 a 5.00 m è stato carotato “*limo sabbioso di colore marrone rossastro, da umido a lievemente umido*”, frequentemente associato ai fenomeni pollinici in quanto prodotto residuale della dissoluzione del corpo carbonatico
- in corrispondenza del sondaggio DM/S35 da 12.00 a 15.00 m, non si è avuto recupero di materiale
- le prove S.P.T. effettuate a 9.00 ed 12.00 m lungo la verticale DM/S35 hanno restituito valori di NSPT molto bassi (rispettivamente 3 e 2)
- la prova S.P.T. effettuata a 9.00 m nel sondaggio DM/P34, nel limo marrone rossastro su citato, ha dato valore “0”

#### Stralcio da stratigrafia di DM/P22





Scala (m)	Quota (m s.l.m.)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	Manovre (m)
0	157,85	0				
1				Ghiaia eterometrica poligenica debolmente ciottolosa con sabbia limosa marrone, moderatamente addensata e lievemente umida.	2,5	
2	155,35	2,5				
3	154,85	3		Ghiaia eterometrica poligenica subangolare a tratti debolmente cementata con sabbia debolmente limosa di colore grigio chiaro con evidenze di debole cementazione.	0,5	
4	153,85	4		Ghiaia eterometrica poligenica debolmente ciottolosa con sabbia debolmente limosa di colore marrone grigiastro molto addensata e lievemente umida.	1	
5				Limo debolmente argilloso e sabbia fine di colore marrone rossastro. Presente rara frazione ghiaiosa medio fine. Livello moderatamente consistente e lievemente umido.	2	
6	151,85	6				
7						

Stralcio da stratigrafia di DM/P34

Scala (m)	Quota (m s.l.m.)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	Manovre (m)	SPT (N1, N2, N3) Furto aperta
0	178,45	0					
1	170,05	0,4		Sabbia debolmente limosa di colore marrone con ghiaia eterometrica poligenica subangolare poco addensata e lievemente umida.	0,4		
2				Sabbia limosa debolmente argillosa di colore marrone rossastro e ghiaia eterometrica poligenica subarrotondata, debolmente ciottolosa. Livello moderatamente addensato e lievemente umido.	1,9		
3	174,15	2,3				3	3,00 Spt1=2-3 3,45
4				Ghiaia eterometrica poligenica subarrotondata debolmente ciottolosa e sabbia limosa di colore marrone, moderatamente addensata e lievemente umida.	2,9		
5	171,25	5,2		Ghiaia eterometrica poligenica da subarrotondata a subangolare, ciottolosa, con sabbia debolmente limosa nocciola, moderatamente addensata e lievemente umida.	0,8	6	8,00 Spt2=6-8 8,45
6	170,45	6					
7				Ghiaia eterometrica poligenica subarrotondata debolmente ciottolosa, con sabbia debolmente limosa di colore ocra chiaro, moderatamente addensata e lievemente umida.	3		
8							
9	167,45	9		Limo e sabbia debolmente ghiaioso di colore marrone rossastro, per nulla consistente e molto umido.	1,1	9	9,00 Spt3=0 9,45
10	168,35	10,1					

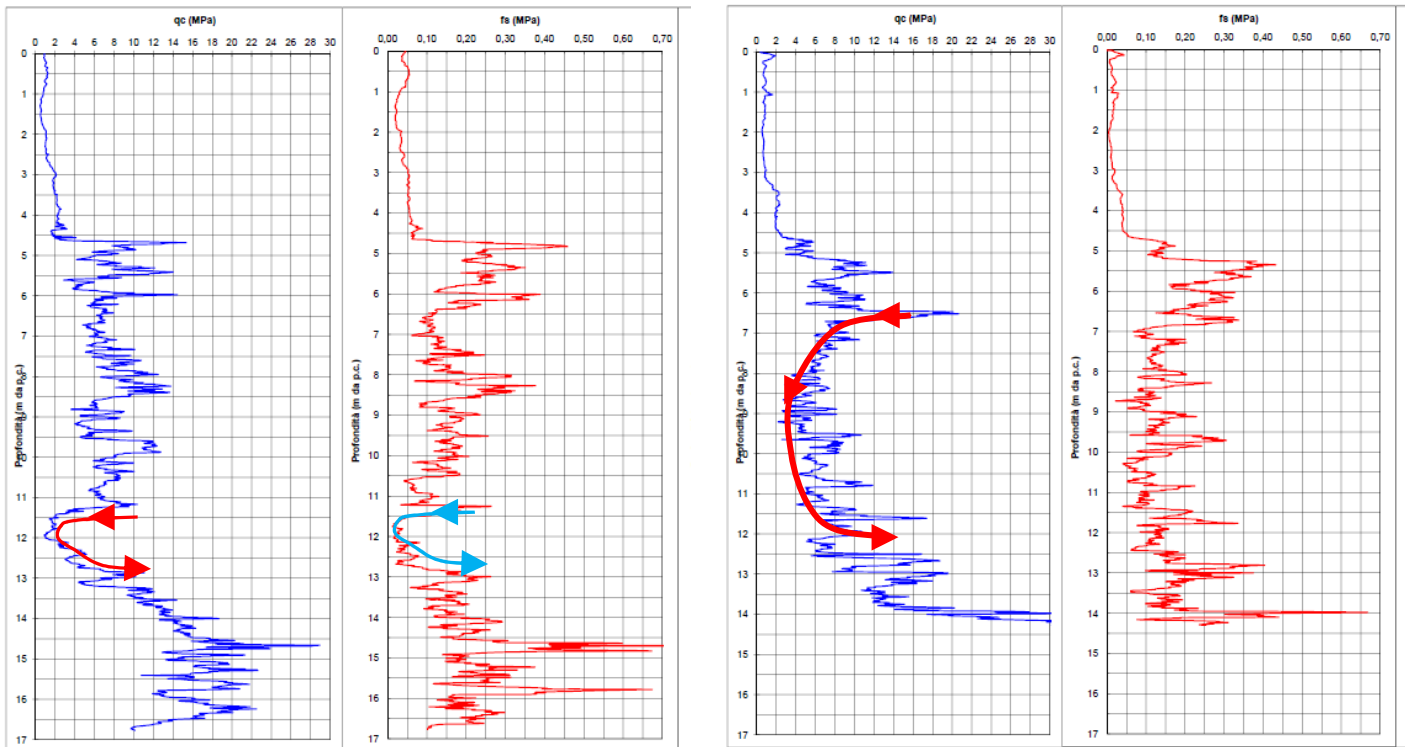
Stralcio da stratigrafia di DM/S35

Scala (m)	Quota (m s.l.m.)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	Manovre (m)	SPT (N1, N2, N3) Furto aperta
0	180,21	0					
1				Sabbia e limo debolmente argilloso di colore marrone inglobante rari frammenti di laterizio, poco consistente e lievemente umido.	1,5		
2	178,71	1,5					
3				Sabbia e limo debolmente argilloso di colore marrone rossastro, poco consistente e lievemente umido.	1,5		
4	177,21	3		Ghiaia eterometrica poligenica subangolare moderatamente alterata, con limo sabbioso di colore marrone rossastro, poco consistente e lievemente umido.	1,1	3	3,00 Spt1=2-3-4 3,45
5	176,11	4,1		Limo sabbioso di colore marrone rossastro a debole componente ghiaiosa medio fine, moderatamente consistente e lievemente umido.	0,9		
6	175,21	5				6	6,00 Spt2=2-3-6 6,45
7							
8				Ghiaia eterometrica poligenica subangolare moderatamente alterata con sabbia limosa di colore rossastro, poco addensata e lievemente umida. In fase di perforazione alla profondità di - 6 m è stata persa la circolazione dei fluidi di perforazione.	7	9	9,00 Spt1=1-2-1 9,45
9							
10							
11							
12	168,21	12				12	12,00 Spt4=2-1-1 12,45
13				Carota non recuperata.	3		
14							
15	165,21	15				15	15,00 Spt5=7-3-3 15,45
16							



Come meglio esposto nel relativo paragrafo, le prove CPTU effettuate nel raggio di 2 m dal sondaggio DM/S35 con l'intento di approfondire gli indizi forniti dalla perdita di materiale carotato e dai bassi valori di S.P.T., hanno evidenziato nella prova CPTU1 un sensibile decremento dei valori di  $q_c$  ed  $f_{sn}$  nell'intervallo 11.50/12.50 m dal p.c. ( $q_c$  varia da 10 MPa a 2MPa) ed in CPTU2 una flessione dei valori di  $q_c$  e  $f_s$  meno marcata, ma estesa tra 7 e 12.50 m dal p.c.

Tali andamenti delle prove CPTU che testimoniano la presenza di materiali poco competenti potrebbero essere connessi con il fenomeno degli "occhi pollini".



In corrispondenza dei parcheggi di Villa Reale, dove il progetto prevede la realizzazione della stazione, sono state realizzate n. 4 indagini geoelettriche (ubicata in prossimità del sondaggio DM/P34) con lo scopo di identificare anomalie sotterranee, come cavità naturali ("occhi pollini") e strutture sepolte, sia vuote che riempite con materiale di alterazione fine, mediante lo studio della distribuzione della resistività elettrica del terreno, la cui descrizione della metodologia e dei risultati è contenuta nel report delle indagini geofisiche, al quale si rimanda per approfondimenti.



Infatti attraverso l'interpretazione delle distribuzioni dei valori di resistività nel volume investigato, è stato possibile individuare e discriminare anomalie, ed ipotizzarne un significato geologico.

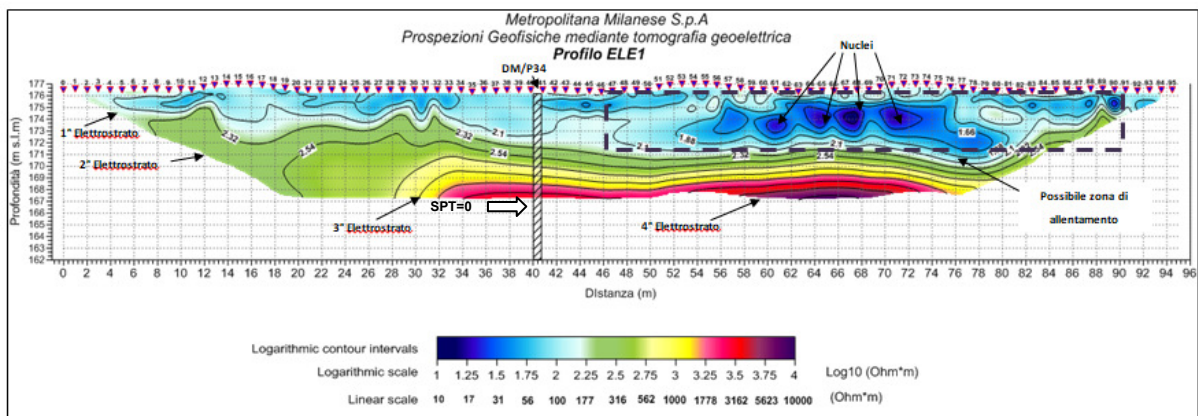
Ne consegue che tale tipo di prospezione, associata ad indagini di tipo diretto, fornisce importanti indicazioni sull'assetto del sottosuolo, ed in particolare nel caso specifico, sull'assetto di un'area come quella interessata dal progetto metropolitano, in cui sono presenti peculiarità geologiche quali gli "occhi pollini".

Dal modello geologico elaborato per l'area in esame, anche in base all'utilizzo di informazioni geologiche relative al sondaggio **DM/P34**, è stato possibile identificare una buona correlazione tra valori di resistività ed unità litologiche.

In particolare sono state ipotizzate le seguenti associazioni ai valori di resistività misurati:

- **10 – 150  $\Omega \cdot m$  - Limi sabbiosi e limi argillosi; possibili aree interessate dalla presenza di cavità riempite di materiale prevalentemente limoso-argilloso o limoso-sabbioso.**
- **180–550 $\Omega \cdot m$ - Ghiaie e sabbie insature.**
- **600–1700  $\Omega \cdot m$  – Ghiaie con forte componente conglomeratica.**
- **2000–>5000  $\Omega \cdot m$  – Conglomerati ben cementati con possibile presenza di cavità non riempite.**

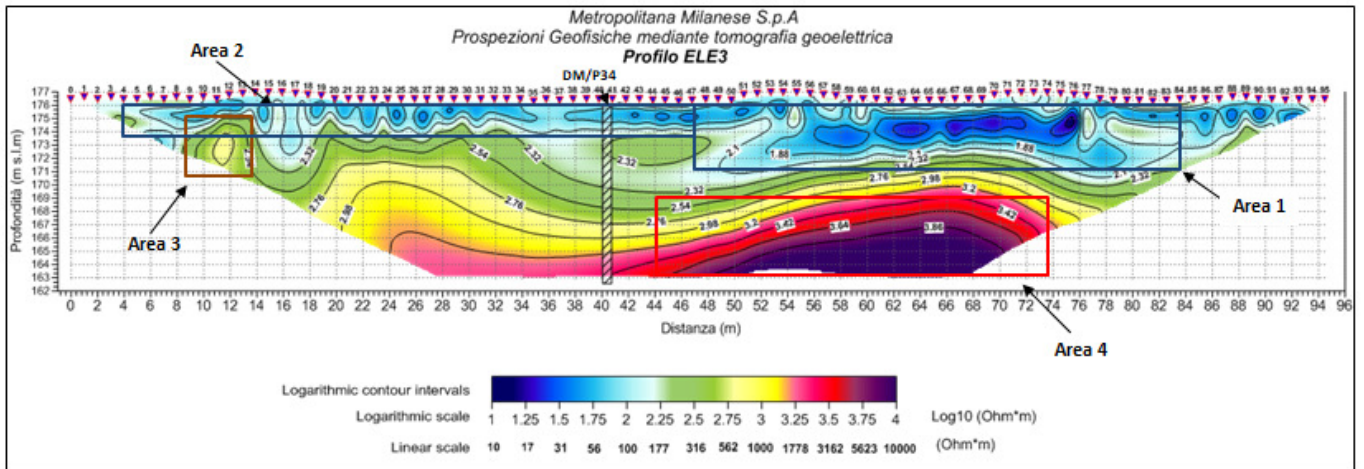
A titolo di esempio, di seguito si riporta il profilo **ELE1**passante per il Sondaggio DM/P34; come si può notare in corrispondenza del sondaggio, a partire dalla quota di circa 168 m s.l.m. è presente un elettrostrato ad elevata resistività associabile alla presenza di vuoti; tale dato converge con il basso valore di NSPT registrato a circa 167 m e pari a "0".



Si evidenziano in particolare quattro elettrostrati principali:

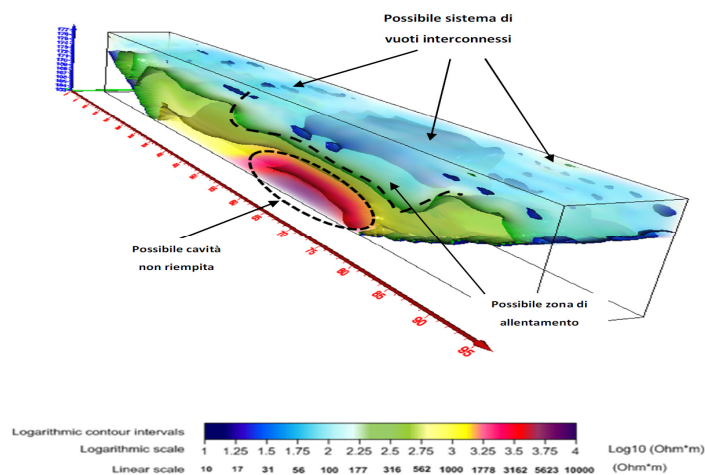
- Il primo elettrostrato (colori da blu a bianco) è caratterizzato da uno spessore variabile compreso tra il p.c e circa 7 metri di profondità (parte centrale della sezione), e da valori di resistività che oscillano tra circa 10  $\Omega \cdot m$  e 150  $\Omega \cdot m$ . In suddetto elettrostrato si nota tra le progressive 46 e 88 metri una possibile zona di allentamento (tratteggio blu) con all'interno una serie di nuclei morfologicamente di forma regolare, caratterizzati da valori di resistività che raggiungono i limiti di scala inferiore.
- Il secondo elettrostrato (colore verde) è caratterizzato da valori di resistività che oscillano tra circa 180  $\Omega \cdot m$  e 550  $\Omega \cdot m$ .
- Il terzo elettrostrato (colore giallo) è compreso tra una profondità che varia da 7 metri (parte centrale della sezione) ad un massimo di 10 metri (bordi della sezione) dal p.c ed è caratterizzato da valori di resistività che oscillano tra circa 600  $\Omega \cdot m$  e 1800  $\Omega \cdot m$ .
- Il quarto elettrostrato (colore da fucsia a viola) rispetto ai precedenti elettrostrati, non ha un andamento continuo nella sezione, ma è ubicato tra le progressive 46 e 74 metri, ed è caratterizzato da valori di resistività che oscillano tra 1900  $\Omega \cdot m$  fino a circa 10.000  $\Omega \cdot m$ .

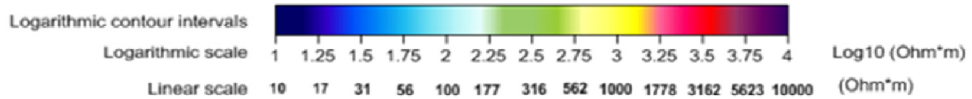
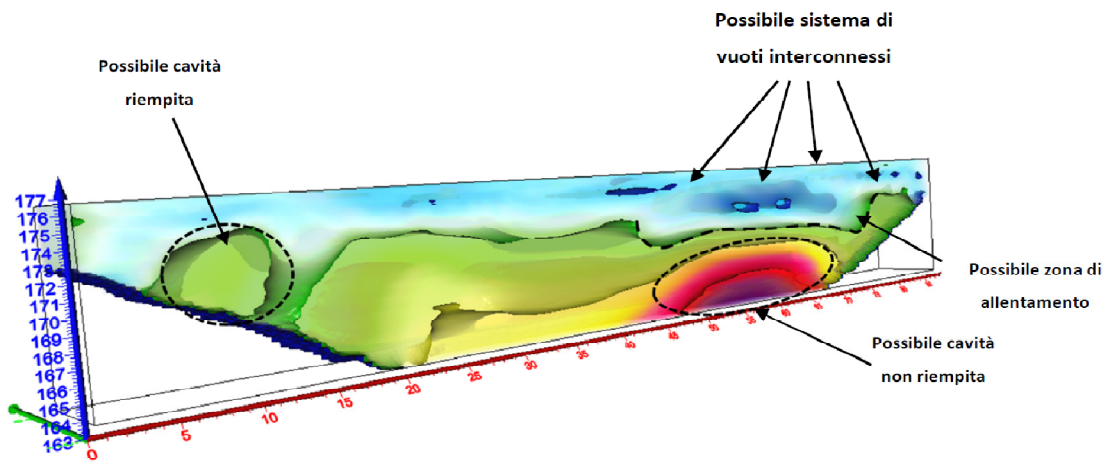
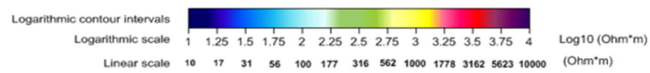
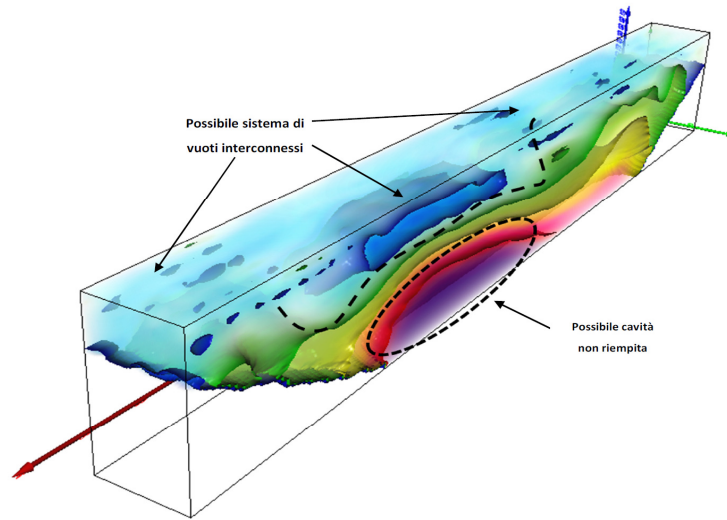
Molto interessante è anche l'analisi del profilo ELE3 nel quale oltre alle evidenze di carattere elettrico già segnalate nel profilo ELE1, è stato possibile individuare le 4 aree di seguito descritte.



- Le aree 1 e 2, evidenziate dal riquadro blu (conduttive), sembrerebbero essere interessate dalla presenza da terreni conduttivi, molto probabilmente interessati da circolazione idrica superficiale legata a fenomeni di infiltrazione. In tali aree si osservano zone morfologicamente arrotondate ed allungate che potrebbero corrispondere a cavità di diverse dimensioni, formatesi per effetto di fenomeni erosionali, e successivamente riempite da materiale fine (sabbie e ghiaie)
- L'area 3, evidenziata dal riquadro marrone, potrebbe corrispondere, data la morfologia, ad una cavità riempita di materiale più compatto e resistivo (sabbie e ghiaie secche o conglomerati alterati).
- L'area 4, evidenziata dal riquadro rosso, presenta valori di resistività superiori a 5000 Ω\*m e una morfologia che potrebbe indicare una cavità non riempita in conglomerati con forte componente carbonatica nei ciottoli.

Si riportano a seguire alcuni dei modelli "pseudo 3D", che hanno permesso di osservare, da diverse angolazioni, la distribuzione dei valori di resistività nel sottosuolo indagato.





La probabile associazione delle anomalie evidenziate con cavità, strutture polliniche o canali dovrà essere, comunque come già detto, oggetto di ulteriori approfondimenti con una campagna di indagini geofisiche estensiva lungo l'intera tratta.



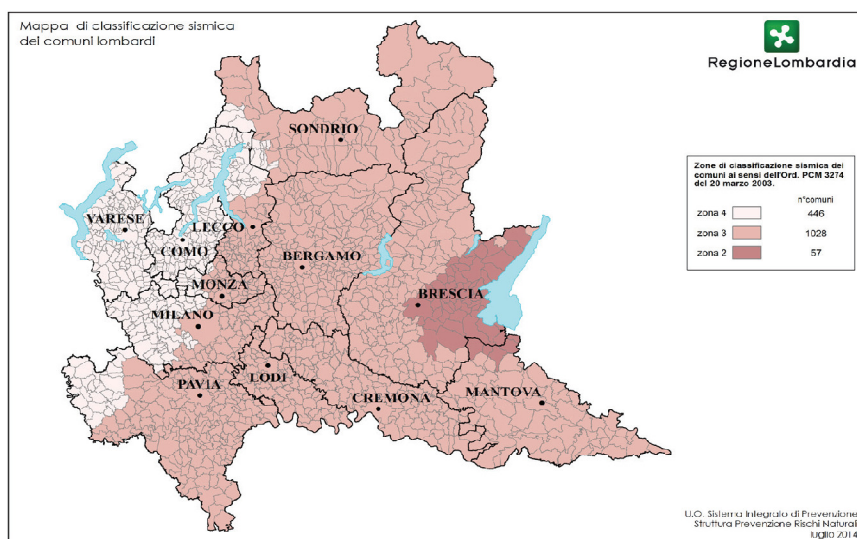
## 11. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Per quanto concerne la classificazione sismica della regione Lombardia, il 10 Aprile 2016 sono divenuti efficaci la nuova zonazione sismica (DGR 2129/2014), la LR 33/2015 in materia di costruzioni in zona sismica e, il 30 marzo 2016, la Giunta regionale ha approvato le linee d'indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (DGR 5001/2016).

Nell'allegato A di suddetta normativa è riportato l'elenco dei comuni della regione lombarda con indicazioni delle relative zone sismiche e dell'accelerazione massima ( $A_{gmax}$ ) presente all'interno del territorio comunale. Facendo riferimento a suddetto allegato, si riporta a seguire una tabella con le informazioni per ciascun comune interessato dal prolungamento del tracciato metropolitano in oggetto:

CODICE ISTAT	PROVINCIA	COMUNE	ZONA SISMICA	Agmax
03108033	MB	MONZA	3	0,058594
03015077	MI	CINISELLO BALSAMO	3	0,052905
03015209	MI	SESTO SAN GIOVANNI	3	0,054127
03015146	MI	MILANO	3	0,054655

Estratto *Delibera regionale 2129 dell'11 luglio 2014.*



Dall'analisi del Database Macrosismico Italiano DBMI15, che fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti, relativo ai terremoti finestra temporale 1000-2018, è stata ricavata la storia sismica di ciascun comune interessato dal progetto metropolitano, come di seguito riportato (fonte [https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/))





## Monza

PlaceID IT\_13492  
Coordinate (lat, lon) 45.584, 9.274  
Comune (ISTAT 2015) Monza  
Provincia Monza e della Brianza  
Regione Lombardia  
Numero di eventi riportati 29

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7	1117	01	03	15	15		Veronese	55	9	6.52
F	1276	07	29	18	30		Monferrato	9	5	4.81
F	1295	09	03				Grigion, Churwalden	17	8	6.20
7-8	1396	11	26				Monza	1	7-8	5.33
F	1473	05	07	07	45		Milanese	5	4	3.70
5	1771	08	15	08	15		Pianura lombarda	3	5	4.16
4-5	1786	04	07	00	15		Pianura lombarda	10	6-7	5.22
3	1873	06	29	03	58		Alpago Cansiglio	197	9-10	6.29
3-4	1873	09	17				Appennino tosco-ligure	64	6-7	5.26
3-4	1884	09	12	07	23		Pianura lombarda	34	6	4.70
NF	1885	02	26	20	48		Pianura Padana	78	6	5.01
3-4	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
2	1889	12	08				Gargano	122	7	5.47
5	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
2-3	1894	11	27	05	07		Bresciano	183	6	4.89
3	1895	08	07	19	49	3	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67
3-4	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
4	1901	01	23	00	17	1	Oltrepò Pavese	90	5	4.23
4-5	1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8	5.44
3-4	1905	04	29	01	46	4	Haute-Savoie, Vallorcine	267	7-8	5.10
4	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
3	1929	05	11	19	23		Bolognese	64	6-7	5.29
6	1951	05	15	22	54		Lodigiano	179	6-7	5.17
4	1961	11	23	01	12	0	Prealpi bergamasche	119	6-7	4.86
4	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
F	1976	05	06	20			Friuli	770	9-10	6.45
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
3	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36
3	2011	07	17	18	30	2	Pianura lombardo-veneta	73	5	4.79

### Storia sismica di Monza



## Cinisello Balsamo

PlaceID IT\_12985  
Coordinate (lat, lon) 45.555, 9.214  
Comune (ISTAT 2015) Cinisello Balsamo  
Provincia Milano  
Regione Lombardia  
Numero di eventi riportati 2

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1885	02	26	20	48		Pianura Padana	78	6	5.01
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21

### Storia sismica di Cinisello Balsamo

## Sesto San Giovanni

PlaceID IT\_13891  
Coordinate (lat, lon) 45.534, 9.230  
Comune (ISTAT 2015) Sesto San Giovanni  
Provincia Milano  
Regione Lombardia  
Numero di eventi riportati 10

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1885	02	26	20	48		Pianura Padana	78	6	5.01
2	1960	02	19	02	30		Valli Giudicarie	50	6	4.81
2	1960	03	23	23	10		Vallese	178	7	5.00
2-3	1961	11	23	01	12	0	Prealpi bergamasche	119	6-7	4.86
4	1968	06	18	05	27		Valle d'Aosta	60	6	4.86
3	1970	04	19	18	16	3	Garda occidentale	65	5	4.55
4	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
5	1979	02	09	14	44		Bergamasco	73	6	4.78
NF	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
4	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36

### Storia sismica di Sesto San Giovanni



## Milano

PlaceID IT\_13462  
Coordinate (lat, lon) 45.464, 9.191  
Comune (ISTAT 2015) Milano  
Provincia Milano  
Regione Lombardia  
Numero di eventi riportati 109

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	1065	03	27				Brescia	2	7	5.10
7	1117	01	03	15	15		Veronese	55	9	6.52
6	1222	12	25	12	30		Bresciano-Veronese	18	7-8	5.68
F	1295	09	03				Grigion, Churwalden	17	8	6.20
D	1348	01	25				Alpi Giulie	89	9	6.63
5	1473	05	07	07	45		Milanese	5	4	3.70
NF	1511	03	26	15	30		Friuli-Slovenia	120	9	6.32
F	1522	10	05	00	10		Pianura Padana	6	5	4.71
F	1570	11	17	19	10		Ferrarese	58	7-8	5.44
5	1642	06	13				Pianura lombarda	8	6	4.92
F	1653	04	19	04	15		Reggiano	4	5-6	4.40
F	1661	03	12				Prealpi bergamasche	4	6-7	4.86
4	1695	02	25	05	30		Asolano	107	10	6.40
2	1703	01	14	18			Valnerina	197	11	6.92
2	1703	02	02	11	05		Aquilano	69	10	6.67
4	1738	11	05	00	30		Emilia occidentale	10	7	5.10
4	1740	03	06	05	40		Garfagnana	32	8	5.64
2-3	1743	02	20				Ionio settentrionale	84	9	6.68
F	1751	11	21				Liguria	6	4	3.70
F	1779	07	14	19	30		Bolognese	17		
3	1780	02	06	04			Bolognese	9	6-7	5.06
4-5	1781	09	10	11	30		Pianura lombarda	11	6-7	4.93
4	1786	04	07	00	15		Pianura lombarda	10	6-7	5.22
3	1796	10	22	04			Emilia orientale	27	7	5.45
5	1802	05	12	09	30		Valle dell'Oglio	94	8	5.60
5-6	1806	02	12				Reggiano	28	7	5.21
2	1808	04	02	16	43		Val Pellice	105	8	5.64
5	1810	12	25	00	45		Pianura emiliana	33	6	5.06
F	1811	07	15	22	44		Modenese-Reggiano	19	6-7	5.13
3	1818	02	23	18	10		Liguria occidentale	45	7	5.32
3	1818	12	09	18	55		Parmense	26	7	5.24
F	1826	06	24	12	15		Garda occidentale	20	5	4.62
4-5	1828	10	09	02	20		Oltrepò Pavese	110	8	5.72



Effetti		In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw	
F	1831	09	11	18	15		Pianura emiliana	25	7-8	5.48	
2-3	1831	09	13	05	30		Pianura emiliana	7			
2-3	1832	03	11	06	45		Carpi	14	5	4.51	
3	1832	03	11	08	45		Parmense	14			
3	1832	03	13	03	30		Reggiano	97	7-8	5.51	
4	1834	02	14	13	15		Val di Taro-Lunigiana	112	9	5.96	
3	1834	07	04	00	45		Val di Taro-Lunigiana	24	6-7	5.08	
3	1836	06	12	02	30		Asolano	26	8	5.53	
NF	1840	08	27	12	05		Tuhinj Valley	49	7	5.28	
2	1846	08	14	12			Colline Pisane	121	9	6.04	
5-6	1851	02	05	09	50		Valtellina	30	5	4.72	
3	1851	08	03				Valli Giudicarie	15	6	4.92	
3	1854	12	29	01	45		Liguria occidentale	86	7-8	5.72	
3	1857	02	01				Parmense-Reggiano	22	6-7	5.11	
2	1873	03	12	20	04		Appennino marchigiano	196	8	5.85	
5	1873	06	29	03	58		Alpago Cansiglio	197	9-10	6.29	
3-4	1873	09	17				Appennino tosco-ligure	64	6-7	5.26	
NF	1875	03	17	23	51		Costa romagnola	144	8	5.74	
3	1879	02	14				Garda occidentale	13	5	4.62	
4	1884	09	12	07	23		Pianura lombarda	34	6	4.70	
4	1885	02	26	20	48		Pianura Padana	78	6	5.01	
F	1886	09	05				Torinese	101	7	5.22	
4-5	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27	
4-5	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87	
3	1892	01	05				Garda occidentale	93	6-7	4.96	
3	1894	11	27	05	07		Bresciano	183	6	4.89	
2	1895	08	07	19	49	3	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67	
4	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37	
5	1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8	5.44	
3	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36	
3	1913	12	07	01	28		Valle Scrivia	56	5	4.57	
3-4	1914	10	26	03	43	2	Torinese	63	7	5.24	
2	1914	10	26	16	22		Torinese	4	3	4.46	
2	1914	10	27	01	12		Torinese	5	4	4.74	
5	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63	
F	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08	
2	1915	10	10	23	10		Reggiano	30	6	4.87	
F	1916	08	16	07	06	1	Riminese	257	8	5.82	
3	1918	01	13	12			Pianura lombarda	24	4	4.62	
NC	1918	04	24	14	21		Lecchese	34	6	4.95	
4	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53	

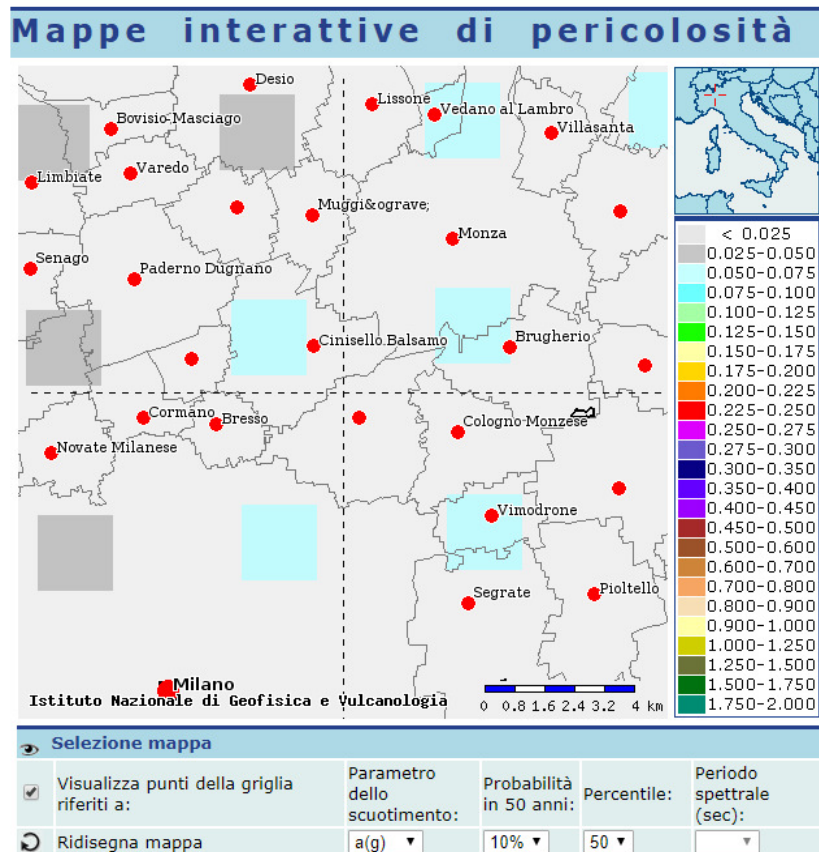


Effetti		In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw	
NF	1920	10	06	22	47		Mantovano	19	4-5	4.14	
2	1926	01	01	18	04	0	Carniola interna	63	7-8	5.72	
2	1927	10	28	21	49		Alta Val di Taro	39	6	4.66	
3-4	1929	04	19	04	16		Bolognese	82	6-7	5.13	
3-4	1929	04	20	01	10		Bolognese	109	7	5.36	
3	1929	04	29	18	36		Bolognese	45	6	5.20	
3	1929	05	11	19	23		Bolognese	64	6-7	5.29	
5-6	1951	05	15	22	54		Lodigiano	179	6-7	5.17	
3	1960	02	19	02	30		Valli Giudicarie	50	6	4.81	
4	1960	03	23	23	10		Vallese	178	7	5.00	
3	1961	11	23	01	12	0	Prealpi bergamasche	119	6-7	4.86	
F	1963	07	19	05	46	0	Mar Ligure	412		5.95	
3	1967	04	03	16	36	1	Reggiano	45	5	4.44	
2-3	1968	06	22	12	21	3	Val Lagarina	27	6-7	4.74	
3	1970	04	19	18	16	3	Garda occidentale	65	5	4.55	
2-3	1971	01	06	11	10	5	Oltrepò Pavese	23	4-5	3.85	
3-4	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51	
4	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87	
4	1975	11	16	13	04	2	Appennino piacentino	10	4-5	4.93	
4	1976	05	06	20			Friuli	770	9-10	6.45	
3-4	1976	09	15	09	21	1	Friuli	54	8-9	5.95	
3	1977	09	16	23	48	0	Friuli	94	6-7	5.26	
5	1979	02	09	14	44		Bergamasco	73	6	4.78	
3-4	1979	11	17	20	53		Lago d'Iseo	17	5-6	4.37	
3	1980	01	05	14	32	2	Torinese	120	6-7	4.82	
4	1980	12	23	12	01	0	Piacentino	69	6-7	4.57	
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04	
3	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71	
4	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38	
2-3	2000	08	21	17	14		Monferrato	595	6	4.94	
3-4	2003	09	14	21	42	5	Appennino bolognese	133	6	5.24	
4	2004	11	24	22	59	3	Garda occidentale	176	7-8	4.99	
4-5	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36	
3	2011	07	17	18	30	2	Pianura lombardo-veneta	73	5	4.79	
3	2011	07	25	12	31	2	Torinese	105	5	4.67	

Storia sismica di Milano



Dal 1 luglio 2009, con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008<sup>1</sup>, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. Consultando la mappa di pericolosità sismica introdotta dall'OPCM n.3519/2006 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>), nella quale i valori di accelerazione  $a_g$  sono indicati su una maglia di 0,02 gradi, per l'area in oggetto, l'accelerazione massima del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{S30} > 800$  m/s, risulta compresa tra 0,050g e 0,075g.



Visualizzazione dei valori di pericolosità sismica espressi in termini di accelerazione massima del suolo ( $a_g$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ( $V_{S30} > 800$  m/s).

Come riportato nelle NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI, approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, che sostituiscono quelle approvate con il Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A),

<sup>1</sup> Il riferimento agli allegati A e B del Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti è richiamato nelle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018.



come definita al § 3.2.2 delle NTC 2018, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento  $V_R$ , come definito nel § 2.4 delle suddette norme.

La “pericolosità sismica di base” rappresenta pertanto l’elemento fondamentale di conoscenza per la determinazione delle sollecitazioni sismiche sulle costruzioni. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC), in funzione di tre parametri:

- $a_g$  : accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale.

Tramite il programma sperimentale Spettri-NTC ver.1.0.3 fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, a partire dall’individuazione della pericolosità del sito con la definizione dei valori dei parametri  $a_g, F_0, T_c$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno Strato Limite, vengono forniti gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il sito in oggetto.

## 11.1. INDAGINI MASW E DETERMINAZIONE DEL PARAMETRO $V_{S30}$

Nell’ambito generale delle indagini, sono state eseguite n.4 prove di superficie con metodologia M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves), finalizzate al calcolo della velocità equivalente delle onde di taglio ( $V_{S30}$ ).

I dettagli riguardanti le singole prove realizzate nonché i presupposti teorici e le relative elaborazioni, sono riportati nell’allegato al report delle indagini geognostiche “Indagini geofisiche”

Al fine di classificare il sottosuolo da un punto di vista sismico nonché per definire l’azione sismica di progetto e l’effetto della risposta sismica locale, la normativa europea (EUROCODICE 8) e quelle italiane, dall’OPCM 3274/2003 sino alle recenti “Norme Tecniche per le Costruzioni”, approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, adottano, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili a determinate categorie, un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_S$ .

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s) è definita dall’espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

$h_i$  spessore dell’i-esimo strato;

$V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.



Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Mediante le risultanze scaturite dalle prospezioni geofisiche descritte nel documento dedicato alle indagini geofisiche ed allegato alla presente, l'elaborazione dei dati ha permesso di calcolare i seguenti valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,30}$ :

ID MASW	Ubicazione	Valore di $V_{S,30}(m/s)$
MASW-1	Stazione Monza-Brianza	439
MASW-2	Stazione Bignami	370
MASW-3	Stazione Matteotti	334
MASW-4	Stazione Parco Villa Reale	377

Per quanto concerne la definizione della categoria di suolo, si rimanda alla relazione geotecnica come previsto dalla vigente normativa (paragrafo 6.1NTC 2018) che definisce con chiarezza i contenuti delle relazioni geologica e geotecnica assegnando a quest'ultima la definizione dei parametri geotecnici.

## 11.2. ANALISI SISMICA DI PRIMO LIVELLO

Negli studi geologici dei diversi PGT consultati, tutto il territorio interessato dal progetto metropolitano è inserito in classe Z4a: zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi, i cui possibili effetti indotti sono le amplificazioni litologiche e geometriche. Tale scenario, in riferimento a quanto contenuto nelle norme geologiche di piano dei PGT e considerando che l'opera in oggetto è identificabile come costruzione strategica o rilevante (ai sensi della D.G.R. n. 14964/2003 e del D.D.U.O. 21/11/2003 n. 19904), impone approfondimenti di II livello in fase di pianificazione ed eventualmente III livello (metodologie dell'allegato 5 alla D.G.R. n. IX/2616/11).



## 12. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

---

La presente relazione, facendo riferimento alle attività svolte in fase I ed alla luce dei dati noti in letteratura, fornisce un primo inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico dell'area interessata dal prolungamento della linea metropolitana M5 da Milano verso Monza, mentre l'approfondimento specifico è relativo solo all'areale interessato dalle indagini di fase I.

Pertanto si raccomanda nelle successive fasi di progetto, la realizzazione di specifiche campagne di indagine, che potranno essere progettate anche sulla scorta dei dati emersi in tale fase di studio.

Gli studi e le relative indagini a seguire, oltre a prevedere approfondimenti in tale settore (partendo dalle considerazioni ed evidenze riscontrate in prima fase) dovranno estendersi anche a quelli più meridionali del tracciato metropolitano, che in questa prima fase non stati approfonditi, ma studiati unicamente dalla letteratura disponibile

Essi dovranno essere finalizzati ad una migliore comprensione e localizzazione delle peculiarità di natura geologica presenti sul territorio.

Il tracciato previsto, partendo dal confine comunale di Milano, si sviluppa a nord interessando i territori comunali di Sesto San Giovanni, Cinisello Balsamo e, per buona parte del suo sviluppo, il comune di Monza.

In questa prima fase (Fase I) è stata realizzata una campagna d'indagini geognostica, focalizzata nei settori in cui è stata prevista l'ubicazione delle stazioni, e quindi nella porzione centro-settentrionale.

In tale settore l'analisi dei dati bibliografici e degli studi esistenti nell'area, argomentati in relazione, evidenziano fenomeni di natura geologica (occhi pollini) di cui si è avuto riscontro durante questa prima campagna geognostica (cfr. profilo geologico e paragrafo 10) e che meritano approfondimenti già dalla fase di prefattibilità.

Dopo una prima verifica dei vincoli gravanti sul territorio, in base a quanto contenuto negli studi geologici dei PGT dei comuni in cui ricade il tracciato, e di cui bisognerà eseguire un approfondimento in fase successiva, sono stati descritti i principali caratteri di natura geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica.

Sotto il profilo geomorfologico l'area si inserisce in un contesto di pianura fluvioglaciale; gli elementi geomorfologici sono connessi alle diverse fasi erosionali di ambiente fluviale, pleistoceniche e oloceniche, e alle profonde modifiche apportate dall'attività antropica.

Il reticolo idrografico attuale è composto da due assi idrici principali tra loro perpendicolari, il Fiume Lambro e il Canale Villoresi, e da una serie di rogge e derivazioni secondarie, di prevalente destinazione agricola. In particolare in canale Villoresi interseca in tracciato di progetto a circa 150 a NE rispetto all'ubicazione prevista per la stazione Marsala.

Dal punto di vista geologico, oltre a spessori esigui, presenti in alcuni settori, di terreno vegetale e/o materiali rimaneggiati legati alla presenza di antropizzazione e di zone coltivate, l'intera area è costituita da depositi quaternari, fluvioglaciali e glaciali.

Tali depositi risultano in prevalenza costituiti da ghiaie sabbiose con frequenti ciottoli e, in funzione dell'età dei depositi stessi, sono caratterizzati da profili di alterazione di spessore variabile.

Al di sotto dei materiali superficiali fluviali e fluvioglaciali, da quanto emerso dalle indagini finora eseguite ed in accordo con la bibliografia specialistica, sono presenti spessori a vario grado di cementazione.

In relazione viene dedicato un paragrafo alla descrizione del fenomeno denominato "occhi pollini" (par.10 al quale si rimanda per approfondimenti) in cui vengono analizzati i risultati della campagna d'indagini



geognostiche Fase I, nel corso della quale sono emerse evidenze riconducibili alla presenza di tali peculiarità in corrispondenza dei settori investigati.

L'assetto idrogeologico dell'area fa riferimento ai valori piezometrici misurati nei piezometri installati durante la campagna geognostica Fase I, unitamente alle informazioni reperite in bibliografia e ai dati di falda nei pozzi (fonte: Brianza acque) per il periodo Agosto 1998-febbraio 2014, nonché alla carta delle isopiezometriche al marzo 2014 relativa al comune di Monza (da studio geologico del PGT).

Considerata la significativa variabilità del livello piezometrico, anche stagionale, essa dovrà essere oggetto di specifico studio e monitoraggio.

È stata, infine, descritta la sismicità del territorio e sono stati forniti i valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio riferite a n. 4 indagini MASW eseguite in questa prima fase.

Tutti i comuni in cui ricade il tracciato metropolitano ricadono in zona sismica 3.