



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



## COMUNE DI MILANO

### MERCATO AGROALIMENTARE DELLA CITTÀ DI MILANO

#### PIATTAFORMA LOGISTICA ORTOFRUTTA

#### PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

### RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

IL DIRETTORE TECNICO DOTT. ING. Francesco Venza Ordine degli Ingegneri Milano n° 14647		IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE FRA LE VARIE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE DOTT. ING. Andrea Pasquale Costa Ordine degli Ingegneri Milano n° A22465		IL GEOLOGO DOTT. GEOL. Daniele Battaglia Ordine dei Geologi della Lombardia n° 932 Studio Tecnico Ing. Marco Puccinelli		
6	SET 2019	PROGETTO VALIDATO	D. BATTAGLIA	M. ZAMPICININI	F. CAMPANALE M. MANGIONE	A. COSTA
3	LUG 2019	PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO				A. COSTA
0	28/05/2019	EMISSIONE	D. BATTAGLIA	M. ZAMPICININI	F. CAMPANALE M. MANGIONE	A. COSTA
Aggiorn.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Acquisito	Approvato

COLLABORAZIONE  
ALLA  
PROGETTAZIONE:

CODIFICA  
DOCUMENTO

Commessa

YB00

Lotto

1

Fase

D

Categoria

L

Opera

RE

Progressivo

0098



## INDICE DEI CONTENUTI

---

1. Introduzione.....	3
2. Normativa e documentazione di riferimento .....	5
3. Stato di fatto e opere in progetto.....	7
4. Evoluzione storica.....	9
5. Inquadramento geologico e geomorfologico generale.....	14
5.1. Subsidenza .....	16
6. Caratteristiche idrologiche e idrogeologiche .....	18
6.1. Permeabilità dei terreni .....	20
6.2. Piezometria .....	21
6.3. Vulnerabilità dell'acquifero .....	26
7. Indagini geognostiche.....	28
7.1. Trincee esplorative .....	29
7.2. SPT .....	30
7.3. Granulometrie.....	31
7.4. Prove di permeabilità.....	31
7.5. Down Hole.....	32
7.6. MASW.....	33
8. Modello geologico-geotecnico di riferimento.....	34
8.1. Caratterizzazione geotecnica.....	35
8.2. Terreni di scavo.....	38
9. Vincoli e Fattibilità geologica .....	39
10. Condizioni di rischio sismico .....	41
10.1. Liquefazione .....	44
10.2. Analisi di pericolosità di II livello .....	46
11. Raccomandazioni e conclusioni.....	48



## 1. INTRODUZIONE

---

La presente relazione geologica è redatta a supporto del progetto definitivo per l'appalto integrato di riqualificazione dell'area dell'Ortomercato di Milano. Il sito si posiziona nella porzione E della città metropolitana, in un settore di circa 500'000 m<sup>2</sup> delimitato da via Lombroso a Nord, via Varsavia e Vismara a Ovest, via Bonfadini a S e la linea ferroviaria a Est.

Il progetto prevede la demolizione dei fabbricati esistenti, fatta eccezione per uno dei padiglioni dell'attuale ortomercato e della palazzina che ospita gli uffici amministrativi. Nuovi edifici sostituiranno gli esistenti e sarà complessivamente riorganizzato il sistema del transito e della sosta degli automezzi. Si procederà quindi di pari passo con la riorganizzazione degli impianti tecnologici e delle reti dei sottoservizi con la costruzione di una Nuova Piattaforma Logistica Ortofrutta (PLO) nel settore Nord-Est del mercato. L'intervento è finalizzato a favorire una più razionale attività di movimentazione e distribuzione delle merci all'interno delle aree mercatali in vista della futura realizzazione del Nuovo Padiglione Ortofrutta (NPO). L'edificio PLO si compone di un unico grande volume con una superficie di 64,40 m x 241,30 m con un'altezza di 13,65 m dal piano campagna; ha una superficie coperta di 15.557m<sup>2</sup> e una netta interna di 13.074 m<sup>2</sup>.

All'interno saranno ospitate celle frigo di grandi e piccole dimensioni, ad uso esclusivo di un singolo operatore, oltre ad ambienti dedicati a servizi igienici e locali tecnici e distributivi.

La Figura 1 illustra l'ubicazione del sito.



*Figura 1: ubicazione dell'area dell'ortomercato in rosso e della Nuova Piattaforma Logistica (PLO) in giallo.*



Lo scopo del presente lavoro è quello di analizzare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche dell'area oggetto di intervento.

Pertanto, le attività svolte per la seguente perizia vengono elencate di seguito:

- Sopralluogo sul sito di intervento per verificare le condizioni locali;
- Reperimento ed analisi dei dati inerenti a precedenti studi e indagini geognostiche svolte in aree limitrofe tra gli anni 1987 e 2019;
- Ricostruzione di storica mediante analisi di cartografia IGM storica e foto aeree;
- Analisi delle caratteristiche idrologiche ed idrogeologiche del sito;
- Verifica della compatibilità dell'intervento in progetto con le normative attuali e col PGT del Comune di Milano
- Ricostruzione del modello geologico ed idrogeologico di riferimento.

Si specifica che la presente relazione è redatta unicamente a supporto della progettazione definitiva della Nuova Piattaforma Logistica Ortofrutta; non si risponde pertanto per il suo utilizzo per interventi e opere differenti rispetto a quelle di seguito sopradescritte, né per i livelli progettuali successivi.



## 2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

---

Le valutazioni di carattere geologico e la stesura della relazione con i rispettivi allegati tecnici sono state condotte secondo i criteri generali stabiliti dalle norme in vigore e dagli standard di lavoro pubblicati. In particolare è stato fatto riferimento ai seguenti documenti normativi e legislativi:

- “Norme Tecniche per le costruzioni”, D.M. 17 gennaio 2018 e Circolare esplicativa n.7/2019;
- Ordinanza Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274/3316 – primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zone sismiche;
- Decreto della Giunta Regionale della Lombardia dell’11 luglio 2014 n.X-2129, Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia.
- Decreto della Giunta Regionale della Lombardia del 30 novembre 2011 n.IX-2616, “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1 della l.r. 11 marzo 2008, n. 12”
- LR 33/2015 in materia di costruzioni in zona sismica e relativa vigilanza;
- DGR 5001/2016 contenente i criteri attuativi previsti dalla Legge Regionale citata;

Inoltre, è stata eseguita una ricerca bibliografica mirata all’identificazione di materiale utile per approfondire le caratteristiche geologiche, stratigrafiche e idrogeologiche dell’area in esame. Tale documentazione consiste in:

- Carta Geologica d’Italia progetto CARG, Foglio 118-Milano in scala 1:50.000 e foglio illustrativo;
- PGT Piano di Governo del Territorio comune di Milano – anno 2012 e sua revisione del 2019;
- Banca dati provinciale dei pozzi per acqua SIF perforati sul territorio di Milano;
- Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo ISPRA (Legge 464/1984);
- GeoViewer Regione Lombardia e Ministero dell’Ambiente;
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) - Classificazione Sismica Prevenzione del Rischio Sismico: Classificazione Sismica Regionale (Regione Lombardia)
- Catalogo degli eventi franosi IFFI, database on-line.
- <http://www.cartografia.regione.lombardia.it>
- <http://ambiente.provincia.milano.it/sia/ot/home/home.asp>
- <http://esse1.mi.ingv.it/>

I dati digitali appositamente reperiti e utilizzati per lo studio sono rappresentati da:

- Tavole IGM inerenti gli anni 1888, 1936 e 1950
- Foto aeree oblique in bianco e nero relative al volo del 1936



- Ortofoto in bianco e nero del volo GAI anno 1954
- Ortofoto in bianco e nero relativa all'anno 1975
- Modelli digitali di terreno (DTM) e di superficie (DSM) reperiti dal rilievo Lidar – Ministero dell'Ambiente, con risoluzione di 1x1 m
- Dati interferometrici InSAR riferiti ai satelliti ERS, ENVISAT e CSK;
- Immagini satellitari Google Earth.

### 3. STATO DI FATTO E OPERE IN PROGETTO

La superficie su cui insiste il Mercato Ortofrutticolo è attualmente rappresentata da un'area completamente recintata lungo tutto il perimetro i cui unici accessi sono ubicati lungo Via Varsavia e Via Vismara nel lato a Ovest; il settore a Est adiacente alla ferrovia è invece incolto e in parte occupato da un piazzale. Le quote topografiche sono comprese tra i 110 e i 109m s.l.m. con debole pendenza della superficie verso Sud.

La vendita dei prodotti ortofrutticoli avviene attualmente all'interno di quattro padiglioni principali (A, B, C, D) posti in posizione baricentrica e collegati da un corridoio centrale che li attraversa in corrispondenza della mezzeria.

A queste strutture principali si affiancano edifici minori disposti lungo il margine Ovest, Sud ed Est, e inerenti celle frigorifere, officine varie, locali di servizio e tettoie per il carico e scarico stalli per i mezzi.

Nel settore più a Nord è ubicata la palazzina di 13 piani che contiene gli uffici amministrativi di SogeMi.

Tutte quante le strutture descritte sono racchiuse da strade di accesso, piazzali e parcheggi, su di una superficie completamente asfaltata.

Lo stato di fatto è rappresentato in Figura 2.

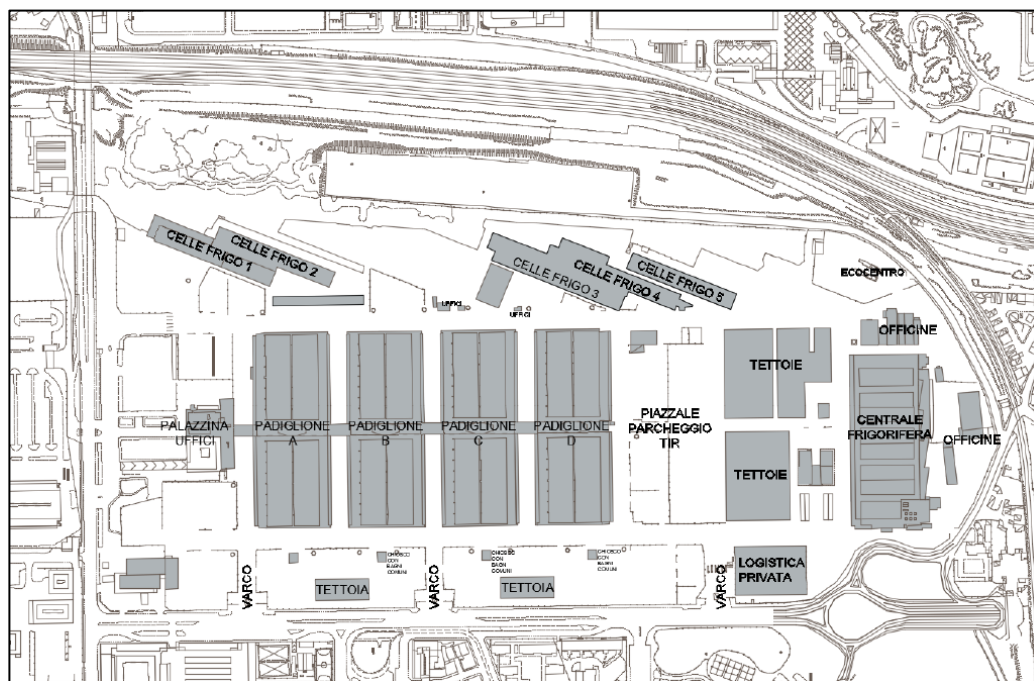


Figura 2: stato di fatto dell'area dell'Ortomercato.

Il progetto definitivo riguarda la realizzazione di due nuovi padiglioni a pianta rettangolare (462x91.6m), che sostituiranno quelli ad oggi esistenti, in posizione centrale rispetto al lotto dell'attuale Mercato Ortofrutticolo e da una nuova Piattaforma Logistica (PLO) sarà nel settore Nord-Est (64x241m).





Tale intervento implica la demolizione degli attuali padiglioni e di alcuni corpi di servizio, quali celle frigo e tettoie, la rimozione di tutti gli impianti esistenti e la risistemazione delle aree esterne destinate alla sosta dei mezzi.

Il progetto prevede inoltre la realizzazione ex novo di tutti i sottoservizi e impianti necessari al funzionamento dei nuovi corpi di fabbrica.

I nuovi padiglioni, la cui quota finita di pavimento si troverà a +1.10 m dall'attuale piano campagna, saranno realizzati con strutture prefabbricate poggiate su fondazioni dirette su plinti gettate in opera poste a circa - 3 m dal piano campagna. Sulla parte del solaio di copertura dei padiglioni, realizzati in c.a. prefabbricato, verrà posizionato l'impianto fotovoltaico. I locali tecnici verranno realizzati in c.a. gettato in opera mentre le tettoie, come i padiglioni, saranno in c.a. prefabbricato. Anche queste strutture poggeranno su fondazioni dirette a plinti.

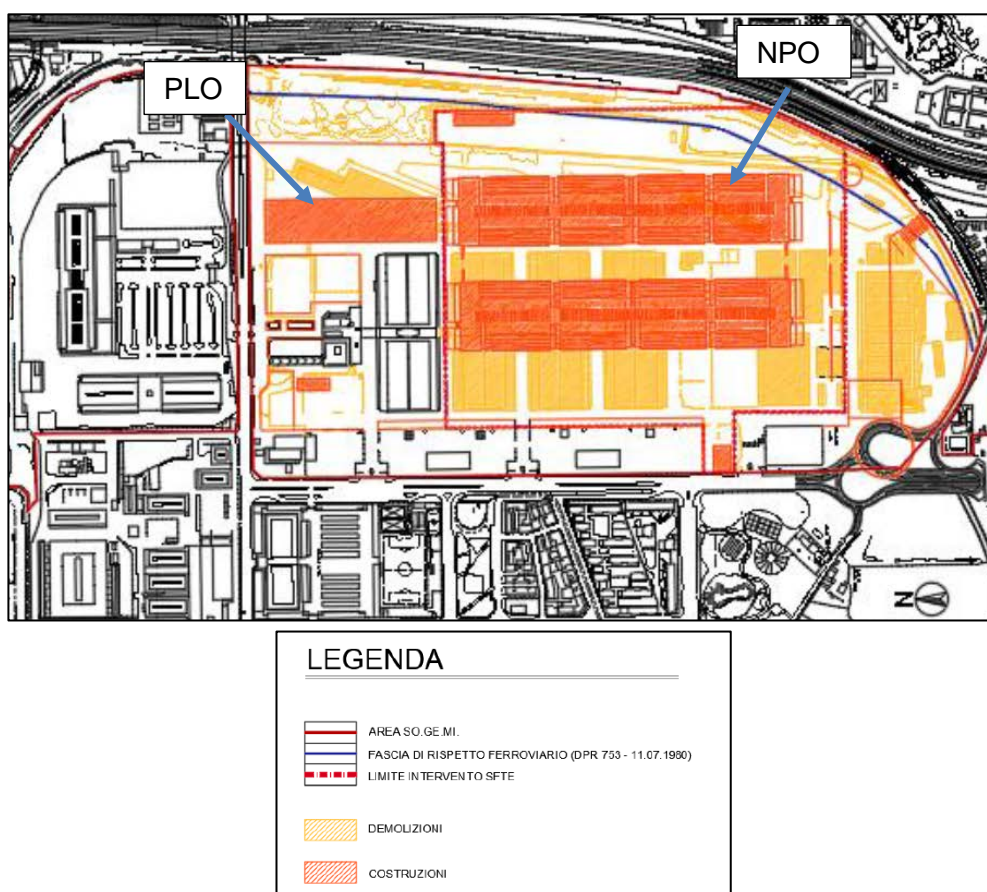


Figura 3: planimetria generale con indicazione delle demolizioni e costruzioni previste nel progetto.



## 4. EVOLUZIONE STORICA

L'evoluzione storica del sito è stata ricostruita in base alla cartografia e foto aeree storiche reperite presso l'Istituto Geografico Militare e la Regione Lombardia.

La più antica fonte reperita risale all'anno 1888 (Tavoletta IGM 1:25'000 - Figura 4) e mostra come la zona fosse adibita a coltivazioni agricole ed al suo interno passasse la antica linea ferrovia Milano-Piacenza a binario singolo, orientata con direzione NNW-SSE. Il reticolo stradale è quasi assente, ad eccezione di una strada che interseca lo spigolo meridionale, mentre sul lato Est esisteva il complesso di edifici della Cascina Trecca. Il reticolo idrico era composto da canali e fossi che delimitavano le particelle agricole, tra i quali ad Est del sito si nota il Cavo Taverna. E' importante inoltre segnalare la presenza di 3 fontanili (circoli blu), evidenza che a quel tempo la prima falda era localizzata a pochi metri dal piano campagna.

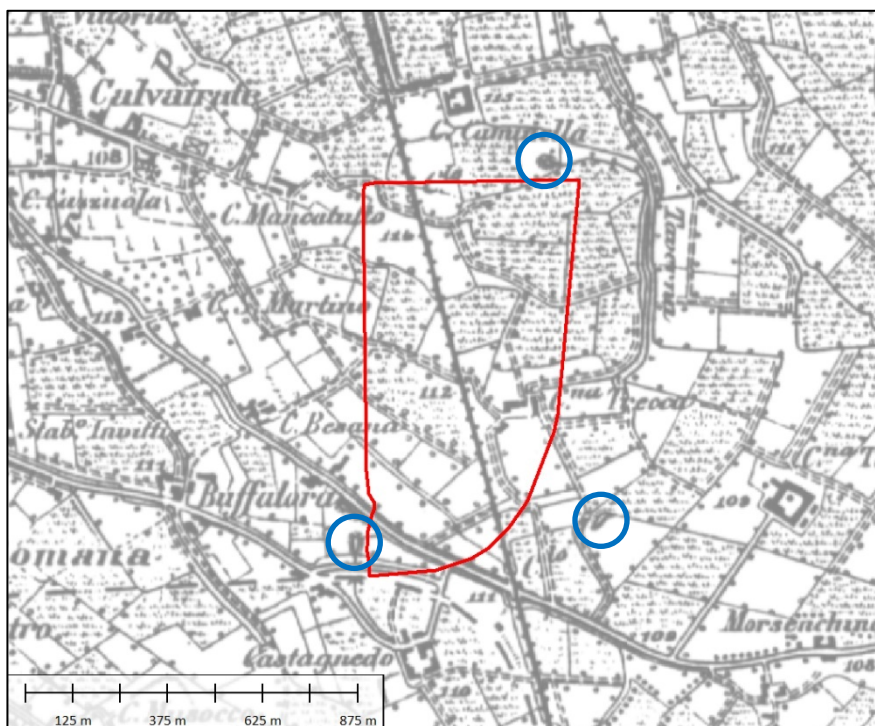
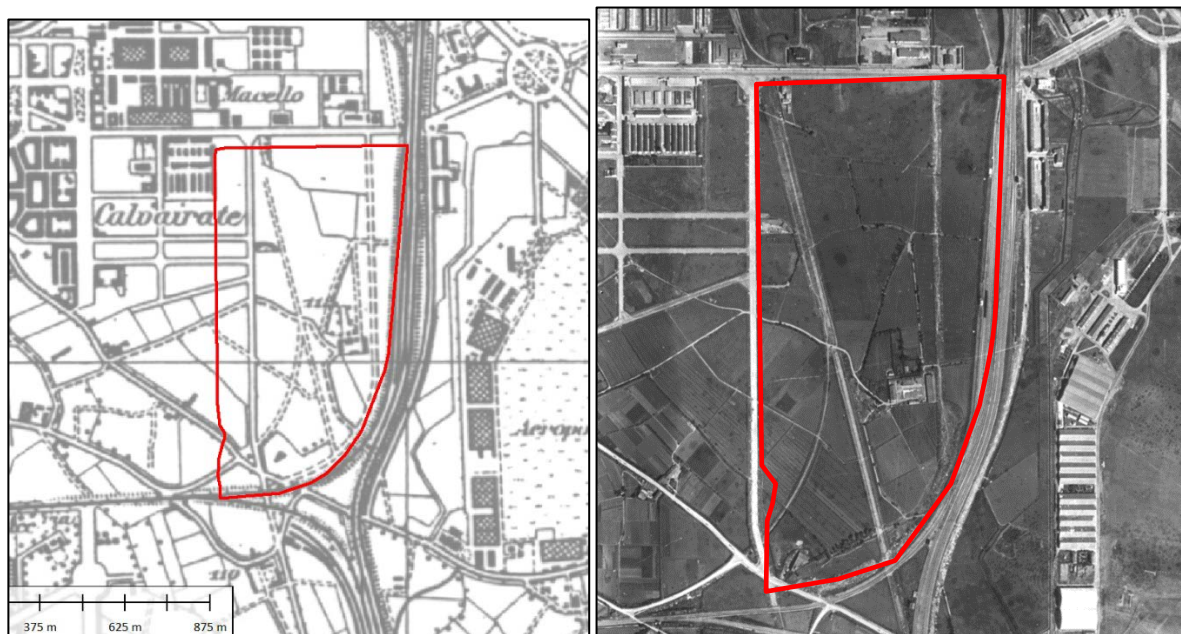


Figura 4: Inquadramento dell'area (in rosso) su tavoletta IGM relativa all'anno 1888. Circoli blu: fontanili

La situazione storica relativa nell'anno 1936 è testimoniata da una tavoletta storica IGM e dalle prime fotografie aeree eseguite sul territorio milanese (Figura 5). Le immagini mostrano come la linea ferroviaria che attraversava l'area sia stata dismessa ed al suo posto sia stata realizzata lungo il margine est una linea a doppio binario. Gran parte del sito continua ad essere adibito a coltivazioni agricole anche se si nota un marcato aumento dell'urbanizzazione all'intorno con la creazione di nuove strade ed edifici principalmente industriali. La Cascina Trecca era ancora presente, mentre il Cavo Taverna era stato rettificato, scorrendo



parallelamente al margine orientale della sede ferroviaria. I 3 fontanili sono scomparsi, riempiti da riporti connessi alla urbanizzazione.



*Figura 5: Inquadramento dell'area (in rosso) su tavoletta IGM relativa all'anno 1936 a sinistra e su fotografia aerea del volo Milano del 1936 a destra.*

La situazione negli anni '50 viene illustrata da una tavoletta storica IGM del 1950 e dalle foto del volo aereo GAI del 1954. E' possibile notare come l'urbanizzazione abbia iniziato ad espandersi anche all'interno del sito con la costruzione di edifici lungo il lato O (via Vismara) anche se gran parte dell'area permane a vocazione agricola. Si segnala nella porzione settentrionale uno scavo circolare di diametro 15-20m in cui affiora acqua (color nero nella foto aerea). Nella stessa foto, la porzione orientale è stata secretata corrispondenza del campo di aviazione di Taliedo, primo aeroporto di Milano.

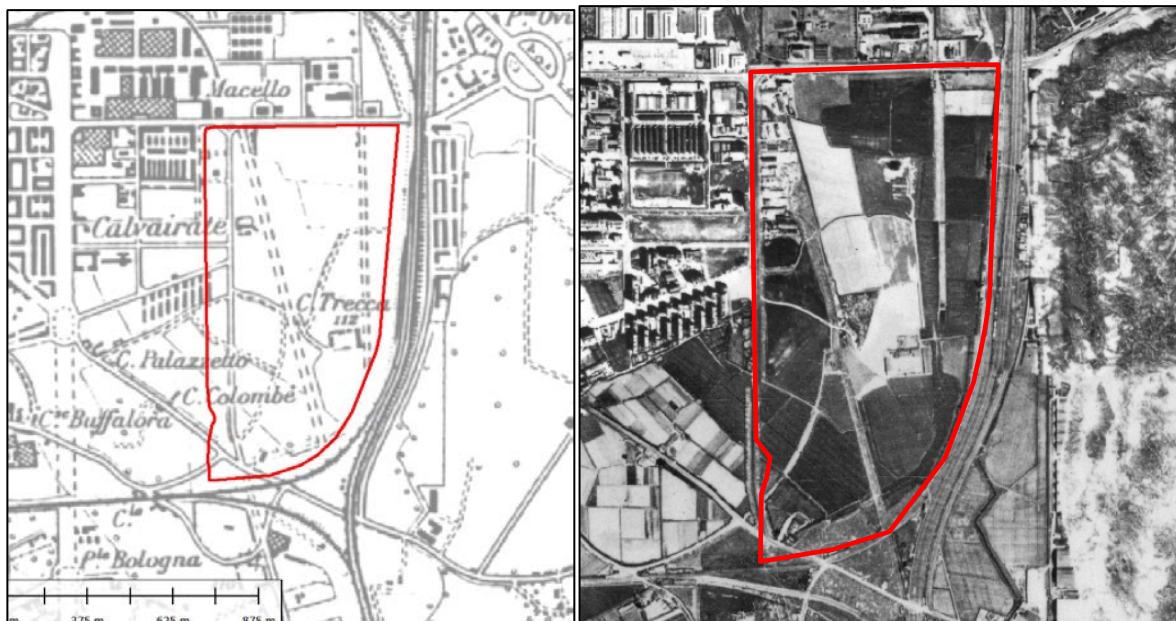


Figura 6: Inquadramento dell'area (in rosso) su tavoletta IGM relativa all'anno 1950 a sinistra e foto aerea del volo GAI del 1954 a destra.

La situazione all'anno 1975 è rappresentata da una foto aerea del volo Alifoto (Figura 7) che mostra come si sia stata completamente trasformata raggiungendo praticamente la configurazione attuale: l'ortomercato con le relative strutture, coperture e impianti sono ormai interamente visibili; la lingua di terreno ad Est permane in questo periodo ancora incolta, seppur siano visibili riporti di colorazione chiara a NE. Informazioni storiche riportano che l'area sia stata trasformata ad ortomercato tra gli anni 1960-1965.



*Figura 7: ortofoto del volo aereo Alifoto relativo all'anno 1975.*

Negli anni 90 vengono realizzati un nuovo piazzale adibito a parcheggio di forma rettangolare molto stretta nella porzione orientale in prossimità della sede ferroviaria e il sottopasso ferroviario di Via Varsavia. L'ultimo intervento da segnalare, realizzato immediatamente a ridosso della porzione SE della proprietà è il sottopasso ferroviario della linea Alta Velocità Milano-Bologna, costruito tra il 2006-2007 (Figura 8). Tale struttura ha richiesto l'approfondimento dello scavo fino ad una quota di 104m slm (quota lidar).





*Figura 8: immagine Google Earth relativa al giorno 15/09/2007. Freccia rossa: sottopasso ferroviario*



## 5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE

---

L'area di studio si inserisce all'interno della Media Pianura Lombarda, ossia la fascia di territorio compresa tra le quote di 200 m s.l.m. e 100 m s.l.m, con pendenze estremamente ridotte. Nel sito le quote variano tra un massimo di 110.5m s.l.m del margine N e un minimo di 109.5m s.l.m del margine S.

I principali elementi geomorfologici del territorio circostante l'area sono connessi alle fasi erosionali di ambiente fluviale pleistoceniche ed oloceniche in cui le variazioni più repentine sono marcate da orli di terrazzo riconosciuti nei settori NW di Milano, lungo il corso del Lambro ad Est e nella porzione meridionale della città. Come già evidenziato nel precedente capitolo le morfologie originarie sono state completamente cancellate da parte dell'urbanizzazione antropica.

L'evoluzione geologica del territorio di Milano è il prodotto delle fasi di erosione e deposizione connesse ai cicli glaciali Quaternari che hanno nel complesso prodotto una estesa copertura di sedimenti al di sopra del substrato roccioso (REGIONE LOMBARDIA - ENI, 2002; MUTTONI *et alii*, 2003).

L'assetto geologico locale viene illustrato dalla Carta Geologica CARG - Foglio 118 Milano alla scala 1:50'000 (Figura 7) in cui si evince come il sito in esame si inserisca all'interno dell'unità del Sintema di Cantù (LCN) composta da depositi fluvioglaciali ghiaioso-sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi in prevalenza, con minori sabbie, sabbie limose, limi sabbioso argillosi massivi. Le ghiaie sono sempre caratterizzate da supporto clastico, matrice sabbiosa o sabbioso limosa e clasti arrotondati/subarrotondati, in prevalenza centimetrici, la cui petrografia differisce in funzione dei bacini di alimentazione. In superficie erano presenti suoli moderatamente evoluti (Inceptisuoli e subordinati Alfisuoli), con spessori prossimi al metro, che ora, se non rimossi, giacciono al di sotto dei riporti connessi all'urbanizzazione.

Il Sintema di Cantù è ritenuto espressione dell'ultima glaciazione (Last Glacial Maximum), viene attribuito al tardo Pleistocene superiore (20.000-12'000 anni BP).

Si segnala come tale unità venga spesso indicata negli studi anteriori come Diluvium recente (Fluvioglaciale rissiano II - würmiano) (Comizzoli *et alii*, 1969); Fluvioglaciale e fluviale Würm (Montrasio *et alii*, 1990).

Le caratteristiche litologiche superficiali vengono illustrate anche nella Carta Litologica del PGT comunale e rappresentata in Figura 10 dove la quasi totalità dell'area Ortomercato ricade nell'unità litologica G1 di ghiaie con sabbie, ad eccezione del margine NW composto invece da sabbia con ghiaia debolmente limosa dell'unità S2. Depositi prevalentemente limosi L5 vengono infine rappresentata al di fuori del margine E.

Lungo i limiti E e S del perimetro dell'ortomercato sono inoltre cartografati depositi di origine antropica legati a riporti avvenuti in epoca storica, come descritto nel capitolo precedente.



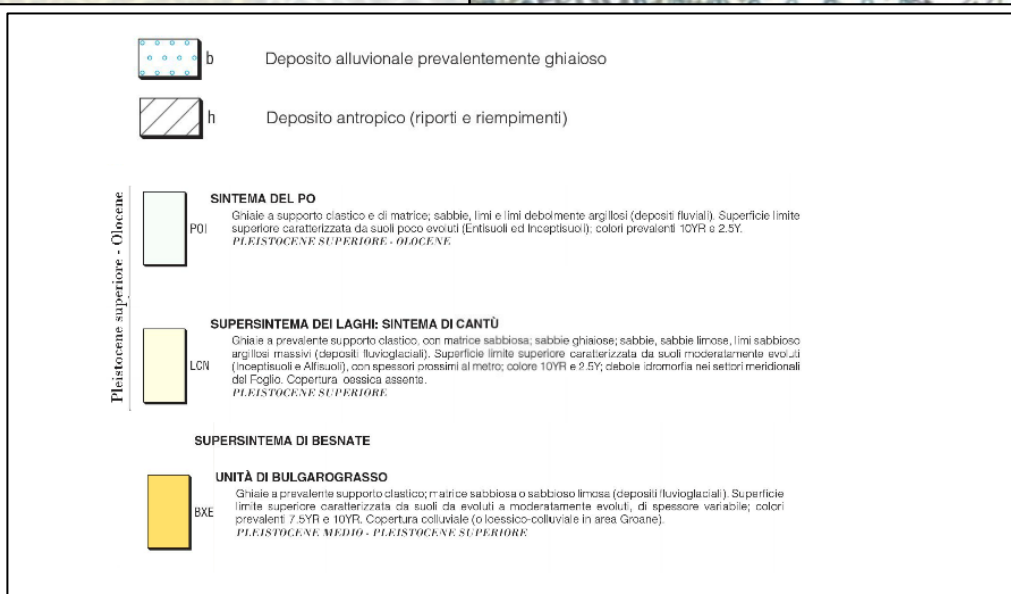


Figura 9: estratto della Carta Geologica CARG- foglio 118 Milano.

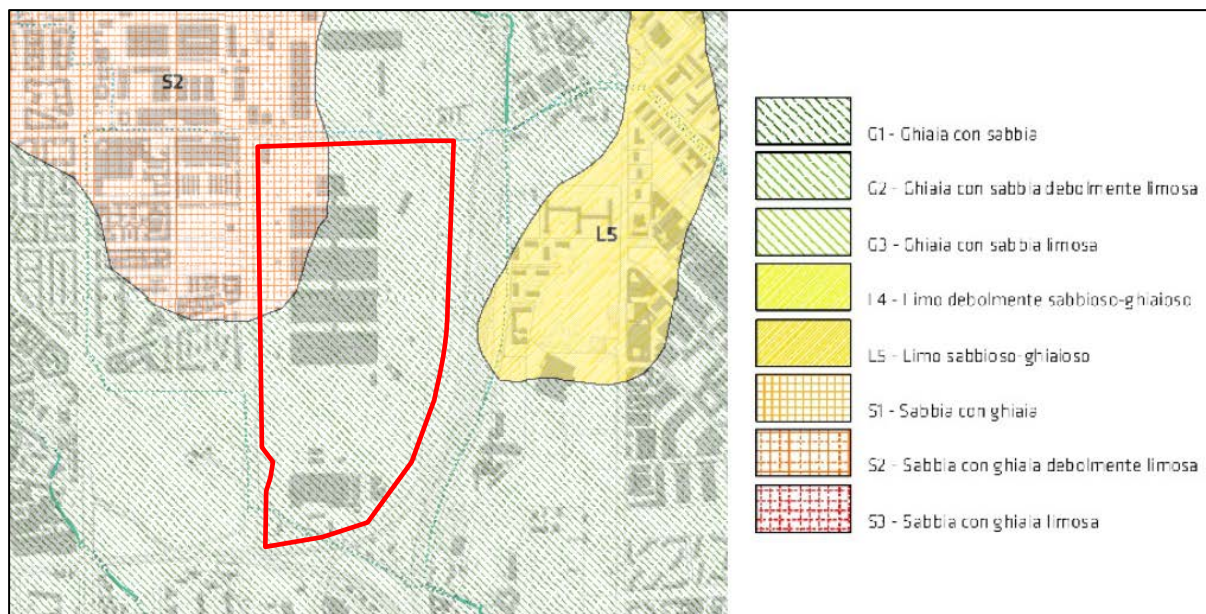


Figura 10: estratto della Carta Litologica del PGT di Milano.

## 5.1. SUBSIDENZA

Al fine di valutare l'eventuale presenza di fenomeni di subsidenza in corrispondenza dell'area di intervento, sono stati acquisiti presso il Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente e del Territorio i dati relativi a analisi interferometriche di immagini radar satellitari SAR (radar ad apertura sintetica).

Il principio della tecnica SAR è quello di combinare più immagini radar satellitari acquisite in periodi successivi per misurare l'entità e la direzione dello spostamento di riflettori fissi al suolo (Permanent Scatters). I Permanent Scatters corrispondono tipicamente a parti di edifici, antenne, manufatti artificiali o rocce esposte, per ciascuno dei quali è possibile misurare, nell'intero arco temporale di osservazione, gli spostamenti relativi.

E' necessario tener conto del fatto che le tecniche interferometriche consentono di misurare la componente della deformazione relativa alla direzione che congiunge il sensore con il bersaglio a terra, ovvero la linea di vista del satellite (LOS). Le misure di spostamento fornite dai dati PS sono perciò una componente di deformazione del vettore reale dello spostamento. Quanto più la direzione del vettore di deformazione reale si discosta dalla linea di vista, tanto minore è la componente di deformazione rilevata dal satellite e, al limite, nel caso di deformazione che si sviluppa con direzione perpendicolare alla LOS (spostamenti in direzione N-S), il valore misurato risulta nullo.

I satelliti e le serie temporali visionate sono riassunte in Tabella 1; i dati dei PS ricadenti nell'area indicano che non sussistono deformazioni significative in atto. In Figura 11 vengono rappresentati i 3445 PS relativi al periodo 2011-2014 con colore differenziato in funzione della velocità di spostamento calcolata. La stragrande maggioranza dei punti ha spostamenti inferiori a 2mm/anno e possono pertanto essere considerati stabili; i pochi punti con tasso di





spostamento superiore sono concentrati in corrispondenza di una zona con capannoni a copertura metallica, la quale essendo soggetta a maggiore dilatazione termica rispetto alle coperture adiacenti, può aver generato una risposta anomala.

Satellite	Intervallo temporale coperto	PS disponibili all'interno dell'area
ERS	1995-2000	252
ENVISAT	2003-2010	659
CSK	2011-2014	3445

Tabella 1: caratteristiche dei satelliti e delle serie temporali per i PS disponibili.

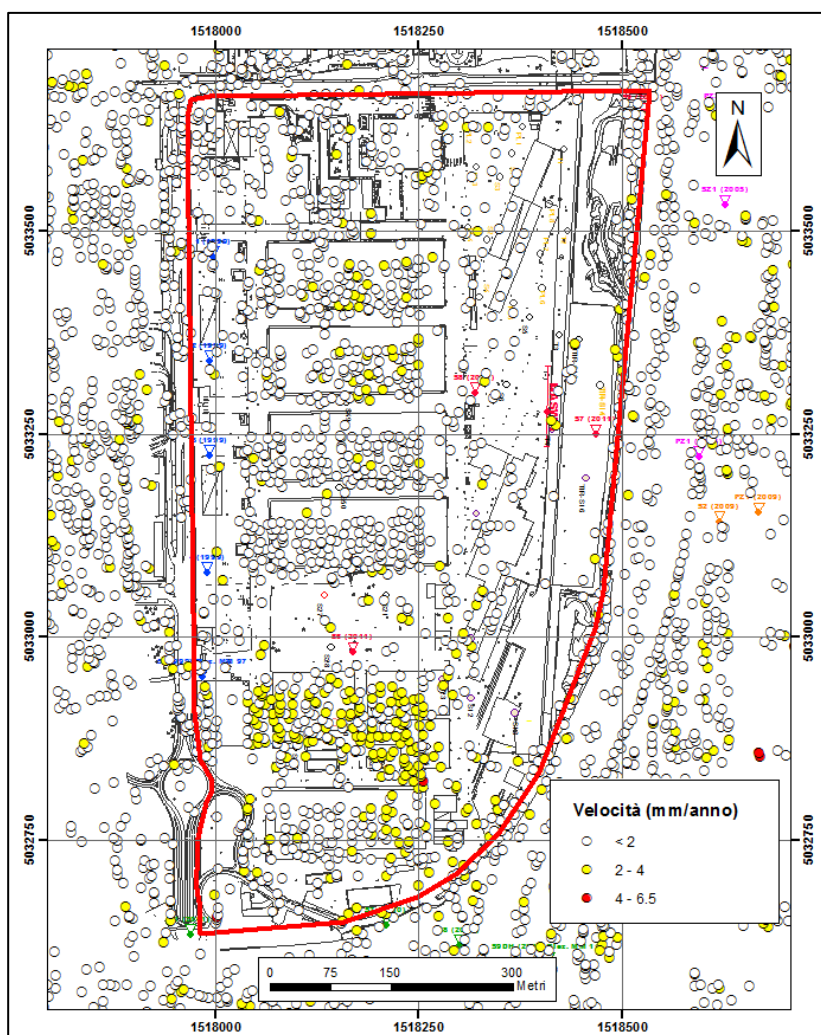


Figura 11: dati interferometrici PS del satellite CSK.



## 6. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE E IDROGEOLOGICHE

---

La rete idrografica pre-urbanizzazione (Figura 4) presentava un andamento prevalentemente diretto secondo l'asse N-S, parallelo alla direzione di deflusso del elemento idrografico principale: il Fiume Lambro. La rete era alimentata da fontanili o dalle acque del Naviglio Martesana dal quale si dipartivano i numerosi cavi (Cavo Borgognone, ramo Trecca, Cavo Sala, Cavo Taverna) oggi completamente tombinati che scorrono tuttora all'esterno dell'area in esame.

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico del sottosuolo milanese; la classificazione generalmente accettata (Figura 12) riconosce i seguenti acquiferi:

- Gruppo Acquifero A: corrisponde alla porzione più superficiale dell'acquifero tradizionale, che si presenta generalmente libero ed è attualmente sfruttato in modo intensivo, seppur spesso interessato da fenomeni di inquinamento. In questo gruppo rientrano le litologie più grossolane di ghiaie e ghiaie grossolane prevalenti, poligeniche a matrice sabbiosa da media a molto grossolana; gli intervalli sabbiosi sono molto subordinati, con sabbia giallastra, da media a molto grossolana, spesso ciottolosa.
- Gruppo acquifero B: al di sotto del Gruppo Acquifero A corrisponde alla porzione più profonda dell'acquifero tradizionale, generalmente confinato o semi-confinato. Si compone da sabbie medio-grossolane e ghiaie a matrice sabbiosa, caratterizzati da porosità e permeabilità elevate. I sedimenti fini, molto subordinati, sono limitati alla parte bassa della successione, con intercalazioni di argilla limosa e limo di spessore da decimetrico a metrico. Alla sua base si localizzano livelli di conglomerati poco cementati del Ceppo lombardo.
- Gruppo acquifero C: è caratterizzato da prevalenti argille limoso-sabbiose grigie, talora fossilifere con sequenze cicliche di sabbie fini e limi argillosi e subordinati livelli sabbioso-ghiaiosi.

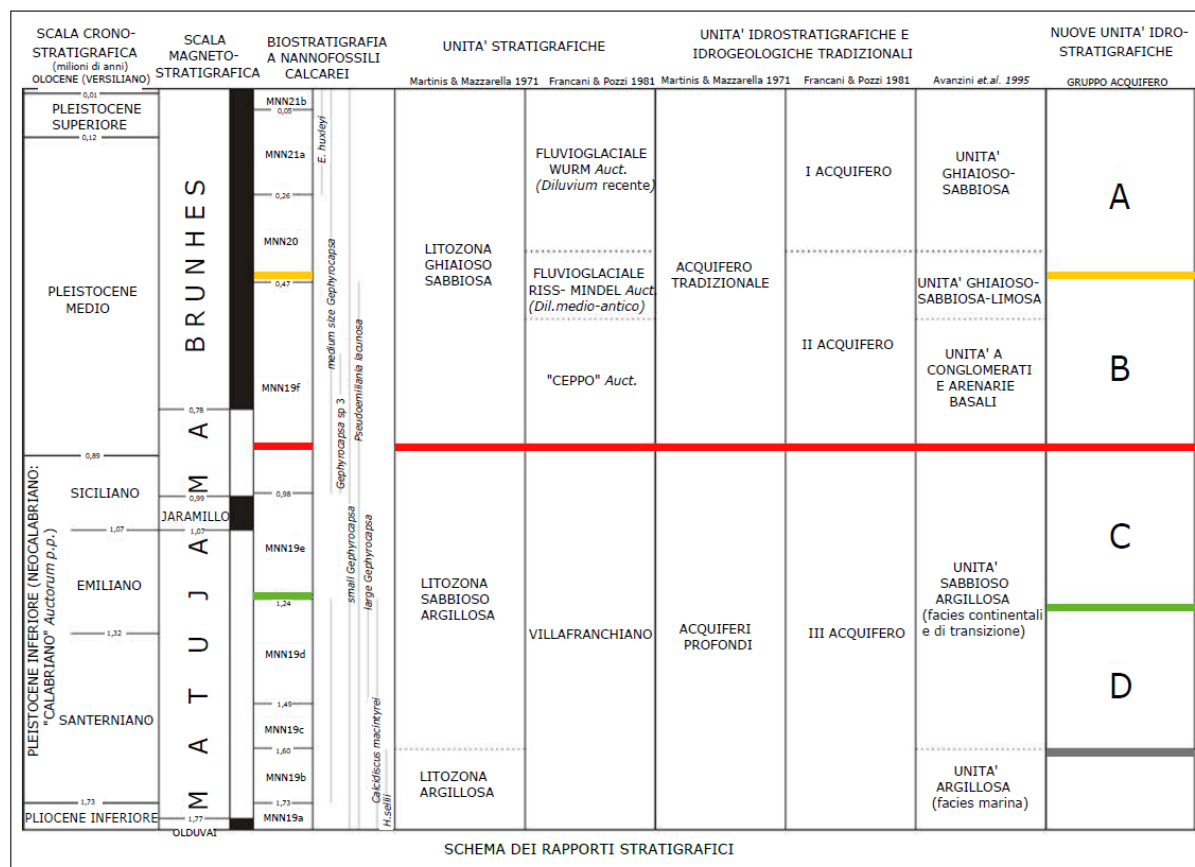


Figura 12: unità idrogeologiche definite per il sottosuolo di Milano.

L'immagine in Figura 13 rappresenta un estratto della Carta Idrogeologica del PGT; nell'immagine si notano le distribuzioni dei cavi tombinati del reticolo idrico minore con le fasce di rispetto dei pozzi idropotabili a NE.

Nel territorio di Milano la falda freatica contenuta nell'acquifero del Gruppo A presentava prima dell'industrializzazione numerose emergenze sotto forma di fontanili disposte lungo una fascia con direzione E-O. Dei fontanili conosciuti, quasi tutti sono ormai sepolti oppure risultano asciutti. Per completezza, in Figura 13 vengono quindi illustrate anche i 3 fontanili individuate nella carta del 1888 ora sepolti sotto terreni di riporto.

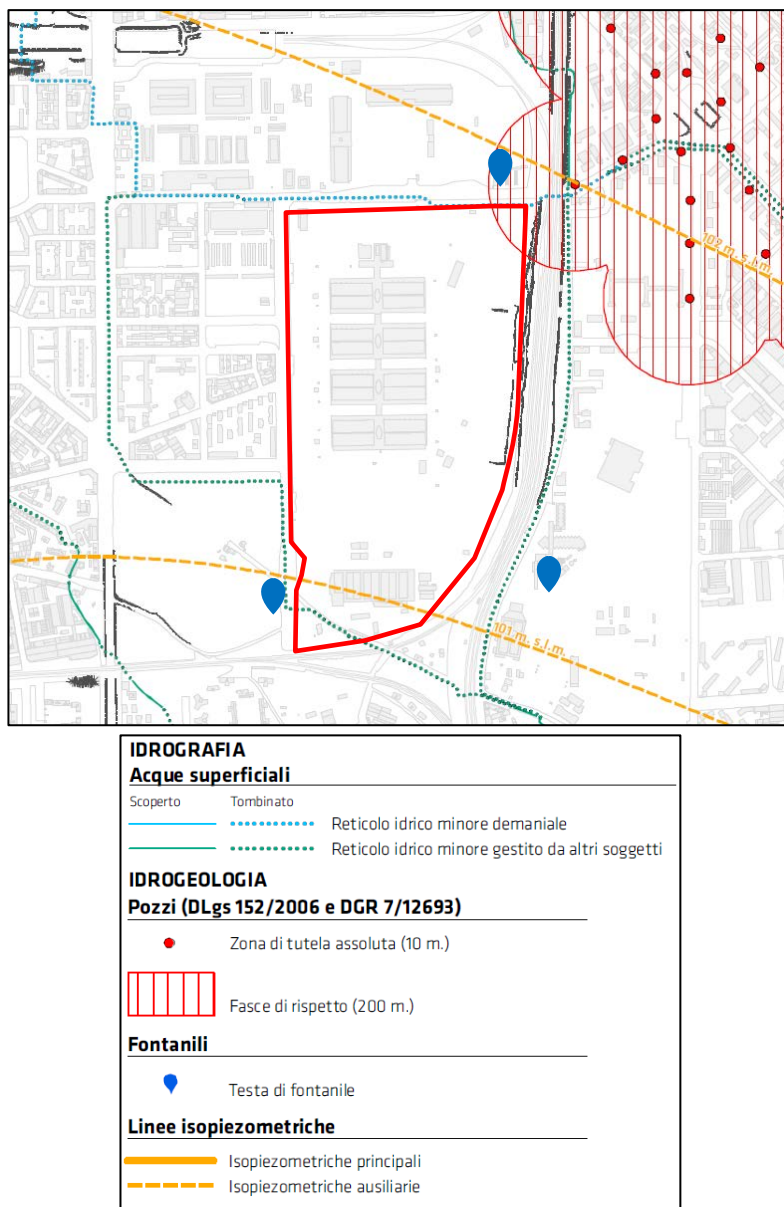


Figura 13: estratto della Carta Idrogeologica del PGT di Milano. Nell'immagine vengono illustrate anche le teste di fontanile individuate nelle cartografie storiche, ora non più presenti.

## 6.1. PERMEABILITÀ DEI TERRENI

Una indicazione generale sulla permeabilità dei depositi di ghiaie e sabbie prevalenti, afferenti al Gruppo Acquifero A, viene fornita dalla "Carta della conducibilità del primo acquifero - Estratto da "Studio modellazione matematica acquifero milanese" rappresentata in Figura 14. I valori per l'area in esame sono compresi tra  $1,23 \cdot 10^{-3}$  e  $2,43 \cdot 10^{-3}$  m/s e sono da considerare rappresentativi delle granulometrie grossolane di ghiaie e sabbie prevalenti presenti nell'area.



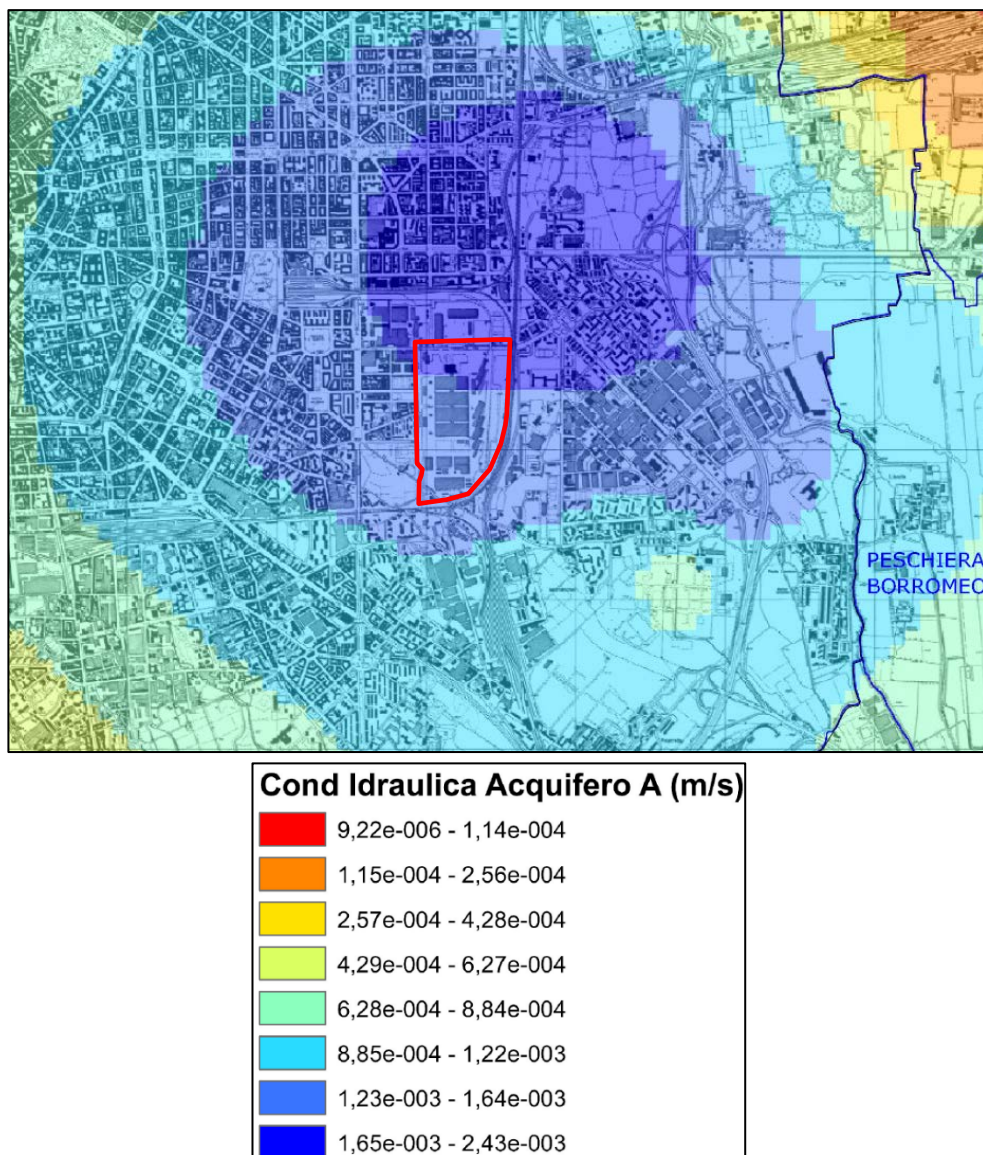


Figura 14: Carta della conducibilità idraulica del primo acquifero estratta dallo “studio modellazione matematica acquifero milanese”.

Prove Lefranc eseguite nel 2001 all'interno del sondaggio P1-Q9 (Via Varsavia a SW del sito) hanno fornito valori di  $2 \cdot 10^{-5}$  m/s a 11.5 m di profondità in sabbie limose con livelli argilloso-limosi e  $4.8 \cdot 10^{-5}$  m/s a 20.50 m di profondità in ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa. I risultati non si considerano rappresentativi delle caratteristiche generali di permeabilità del acquifero.

## 6.2. PIEZOMETRIA

La piezometria della falda viene rappresentata all'interno della Carta della piezometria di Milano elaborata dal Servizio Idrico di MM (Figura 15) in cui sono stati considerati i valori di elevazione relativi a Settembre 2018 (minimo stagionale) e Marzo 2019 (massimo stagionale). Si osserva come in corrispondenza dell'Ortomercato la falda si attesti tra la isopieza 103 m slm e 102 m slm; le soggiacenze risultano pertanto grossomodo comprese tra 6-8 m.

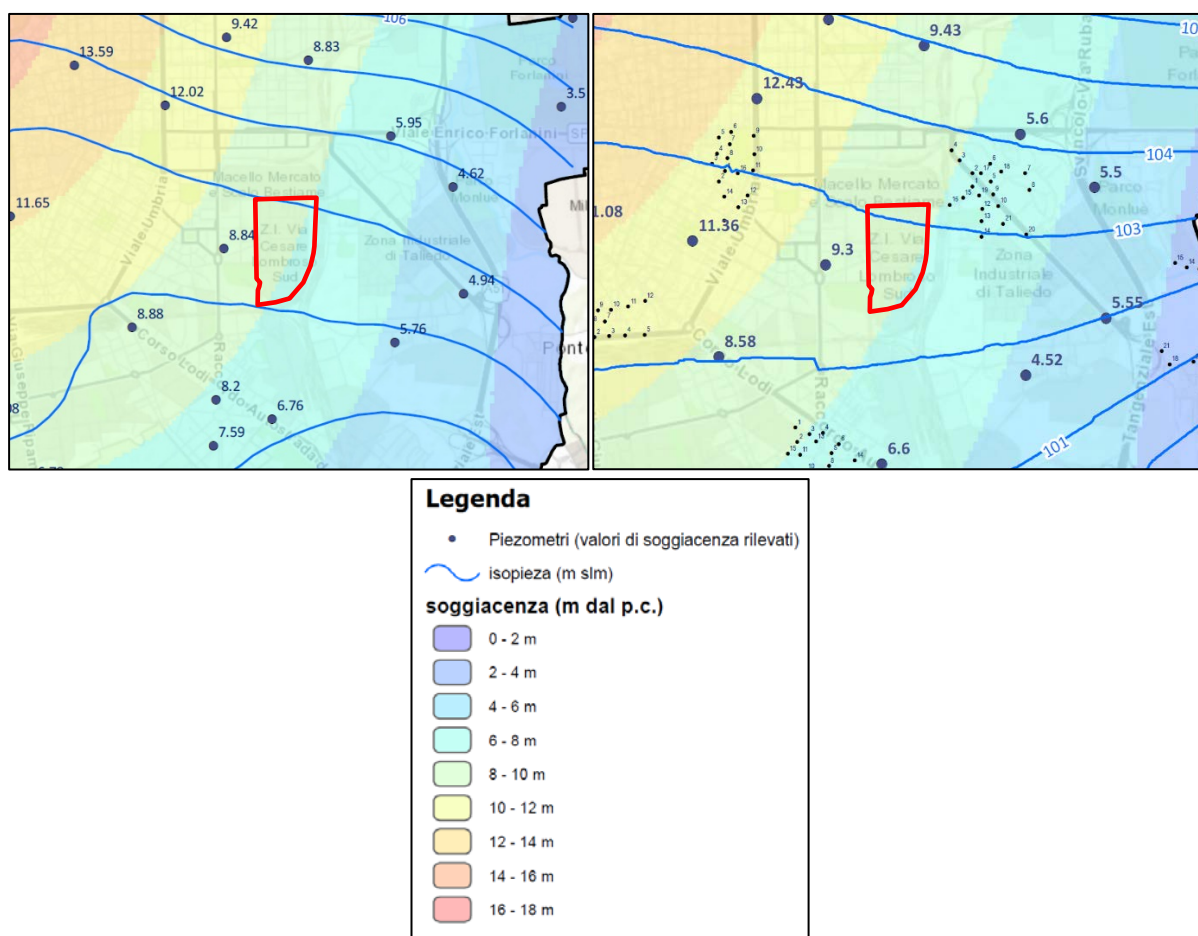


Figura 15: andamento della piezometria e della soggiacenza a Settembre 2018 (sinistra) e Marzo 2019 (destra). Fonte: MM.

La ricostruzione dei livelli di falda all'interno del sito è stata anche condotta tramite l'interpolazione delle quote di falda misurate in 12 piezometri monitorati in continuo dall'anno 2001.

I livelli piezometrici rappresentati in Figura 16 si riferiscono a:

- piezometro ACQ14 in Via Monte Velino - circa 500m a Ovest,
- piezometro MM97 in Varsavia - limite O dell'ortomercato,
- piezometro MM110 in Via Zama - 600m a SE,
- piezometro ACQ6 e FOG50 nei pressi della Cascina Monluè - 1300 m a NE,
- Piezometro ACQ23 in via Piazza Libia - 1500m ad O,
- Piezometro ACQ24 in via Don Carlo S. Martini 10 - 1400m a N,
- Piezometro FOG13BIS nella Scuola di Via Mondolfo n.7 - 1500m a E,
- Piezometro MM197 in Via Garavaglia - 1000m a NE,
- Piezometro MM29 in Via don Bosco - 1200m a OSO,



- Piezometro MM32 in Via Cassinis - 1100m a S,
- Piezometro MM55 in Viale Piceno - 1300m a NO.

Il grafico mostra un trend globale generalmente condiviso da tutti i punti di misura, con valori minimi nel 2006 e 2007 seguiti da una ascesa graduale fino ai massimi raggiunti nel 2014, dopodiché i livelli pare che tendano ad un abbassamento molto lento. Si denota comunque una elevata dispersione delle misure che può raggiungere i 2 metri anche tra misure contigue.

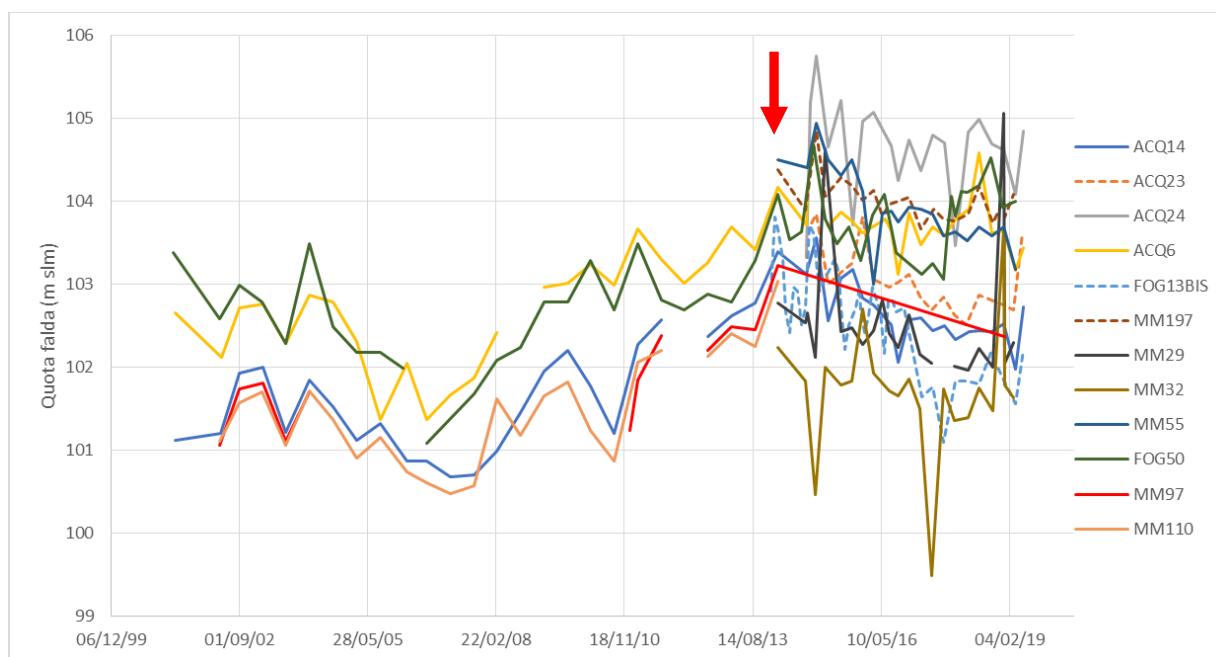


Figura 16: andamento dei valori di quote del livello di falda nei piezometri monitorati da MM. Con la freccia rossa si indica al data considerata come riferimento per l'elaborazione della mappa di soggiacenza di Figura 17.

Per la ricostruzione di una superficie freatica massima si è deciso di fare riferimento alla data 01/03/2014 per la quale si dispone della maggior quantità di dati e con limitata dispersione. I dati in Tabella 2 sono quindi stati presi come riferimento della situazione con soggiacenza minore, quindi più sfavorevole per le opere in progetto.

Piezometro	Coord. Est	Coord. Nord	Quota misurata in data 01/03/2014
ACQ14	1517600	5033204	103,39
MM110	1518411	5032599	103,03
MM97	1517985	5032951	103,22
ACQ6	1519827	5033846	104,16
FOG50	1519822	5033800	104,08
FOG13BIS	1519923	5032762	103,66
MM197	1519217	5034290	104,38



MM29	1516713	5032443	102,77
MM32	1518066	5031555	102,23
MM55	1517032	5034585	104,50

*Tabella 2: valori di quota della falda nei piezometri considerati per l'elaborazione della mappa di soggiacenza di Figura 17.*

Il risultato in Figura 17 illustra l'andamento di una tavola d'acqua direzionata verso SSW entro le quote 103.90m slm e 103m slm e gradiente idraulico dello 0.08% circa. La distribuzione della soggiacenza minima, desunta dalla differenza della quota di falda con il modello digitale DEM Lidar, indica all'interno dell'ortomercato valori compresi generalmente tra 5-10m (media 7m) con dei massimi in corrispondenza di cumuli di terreni depositati ai margini dell'area. E' interessante notare che al di fuori dell'area il sottopasso stradale di via Varsavia avrebbe la quota minima al di sotto del livello di falda, mentre il sottopasso di via Lombroso e quello ferroviario risulterebbero al limite con la quota di falda.



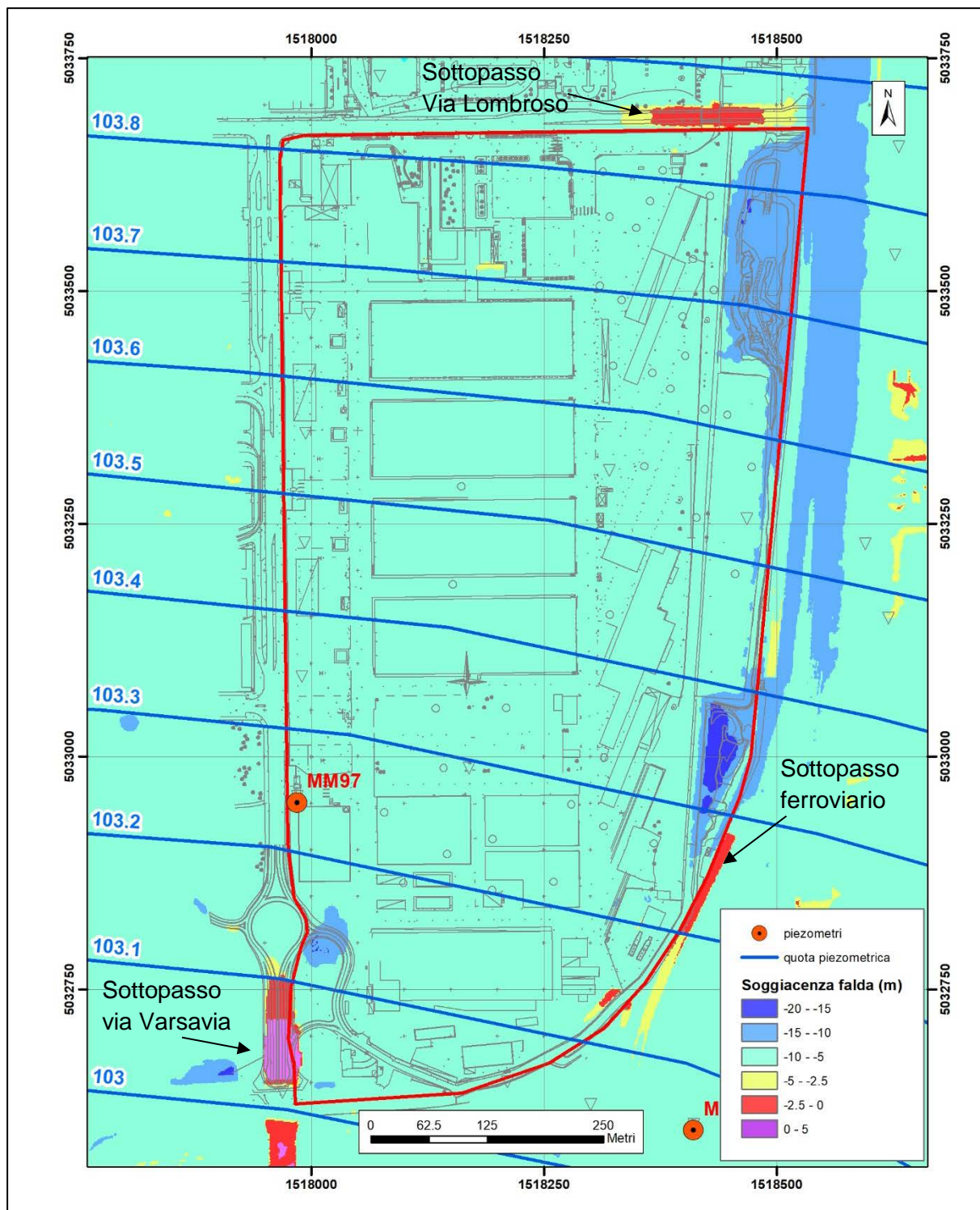


Figura 17: mappa della soggiacenza minima generata a partire dai valori registrati nel marzo 2014 nei piezometri monitorati elencati in Tabella 2.

Per completezza si riporta in Figura 18 la Carta della piezometria della prima falda di Milano del settembre 1954 in base alla quale l'area dell'ortomercato era caratterizzata da una quota piezometrica di circa 106m s.l.m, circa 2.5 metri più alta del massimo più recente.

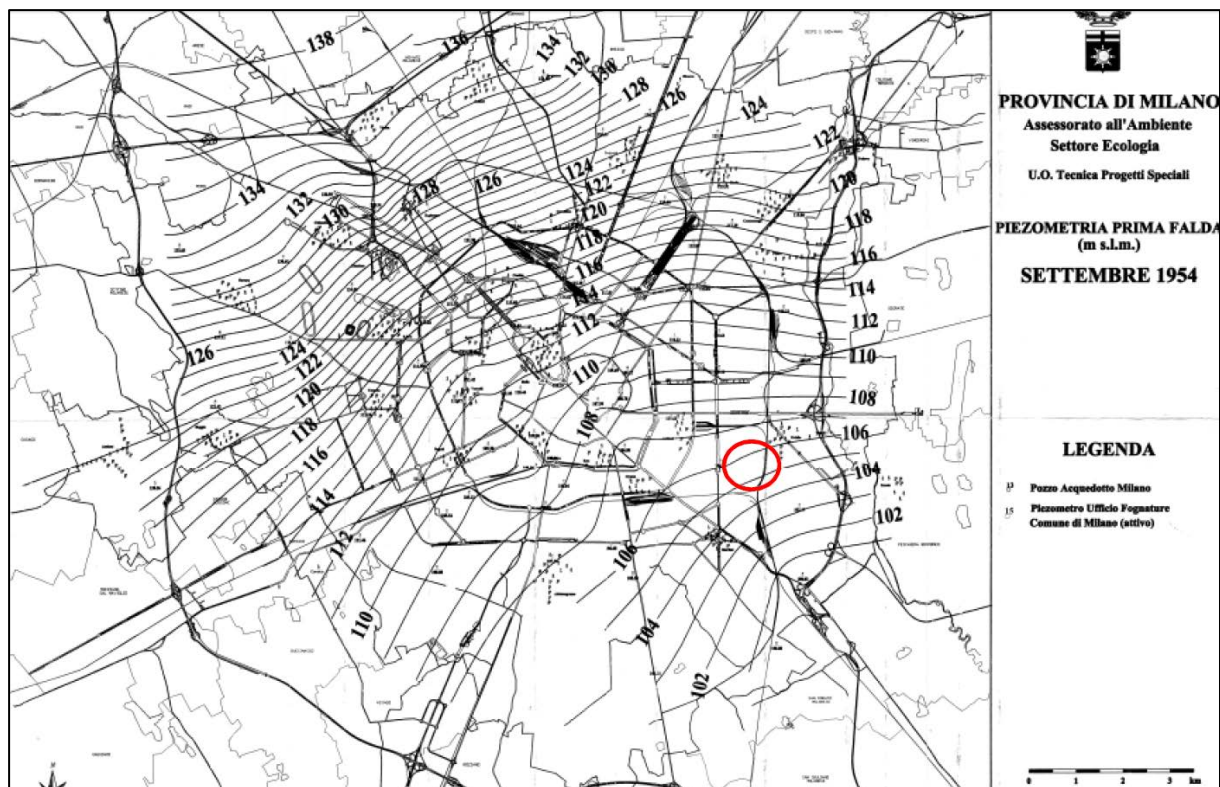


Figura 18: piezometria della prima falda al settembre 1954.

### 6.3. VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO

La vulnerabilità intrinseca del sito, legata alle caratteristiche idrogeologiche del territorio, è stata valutata mediante il metodo DRASTIC (Aller et al., 1985) che considera i 7 parametri di riferimento che più significativamente condizionano le possibilità di evoluzione di un fenomeno di contaminazione delle acque sotterranee, mediante un indice di vulnerabilità.

Essi sono rappresentati da:

- soggiacenza
- ricarica della falda
- litologia dell'acquifero
- tipo di suolo
- pendenza della superficie topografica
- impatto della zona non satura
- conducibilità dell'acquifero.

La metodologia prevede i seguenti passaggi ed elaborazioni:

- 1) Analisi dei parametri riferendoli all'area di studio
- 2) Attribuzione ai dati relativi a ciascun parametro di un valore (da 1 a 10)
- 3) Assegnazione di un peso ai vari parametri (da 1 a 5).
- 4) Calcolo di un indice di vulnerabilità, dato dalla sommatoria dei valori risultanti dal prodotto del peso per ciascun parametro.





#### 5) Classificazione dell'indice di vulnerabilità e attribuzione della relativa classe

Per l'area di studio, applicando la metodologia illustrata, si ottengono valori pari a 132 così da attribuire l'area di studio alla classe di vulnerabilità definita come **MEDIAMENTE ALTA**.

Pertanto, dovrà essere posta particolare attenzione alle attività che si andranno a realizzare in sito ed in particolare alla scelta delle metodologie di scavo.



## 7. INDAGINI GEOGNOSTICHE

---

Per la stesura della presente relazione, è stato fatto riferimento alle campagne di indagine geognostica e geofisica pregresse, eseguite sia all'interno dell'area che nell'immediato intorno reperite direttamente da MM. I dati comprendono sondaggi geognostici a carotaggio continuo con prove SPT in foro, prove di permeabilità Lefranc, trincee esplorative, analisi di laboratorio su terreni, indagini sismiche Down Hole e Masw e campagne per la caratterizzazione ambientale.

I risultati delle indagini eseguite sono inclusi nel "Report di sintesi delle indagini geognostiche" doc. YB00-1-D-R-RE-0097.

Nel complesso le indagini geognostiche eseguite tra il 1987 e il 2019, consistono in:

- 61 sondaggi a carotaggio continuo spinti ad una profondità massima di 50m dal p.c. locale;
- Più di 200 prove penetrometriche dinamiche in avanzamento (SPT) eseguite in ciascun foro di sondaggio ad intervalli di 1.5÷3.0m;
- 4 prove penetrometriche dinamiche DPSH fino a 7,20m di profondità;
- 2 prove di permeabilità in foro tipo "Lefranc" a carico variabile ed a carico costante;
- 2 verticali down-hole per la misura della velocità delle onde di taglio fino a 50m di profondità dal p.c. locale;
- 1 linea sismica MASW;
- 12 piezometri a tubo aperto per la misura diretta del livello piezometrico;
- 4 trincee esplorative;
- Prove di laboratorio su campioni indisturbati (1 campione) e rimaneggiati rappresentati da 1 prova edometrica e 130 granulometrie.

In aggiunta, sono state estratte dal Geoportale on-line della Regione Lombardia (Indagini CARG) le seguenti indagini eseguite tra il 1974 e il 2001 in aree limitrofe:

- Stratigrafie di 3 pozzi idrici con profondità spinta tra 63 e 113 metri,
- Stratigrafie di 11 sondaggi geognostici spinti fino alla profondità di 27 metri

La Figura 19 rappresenta l'ubicazione di ciascun elemento di indagine.

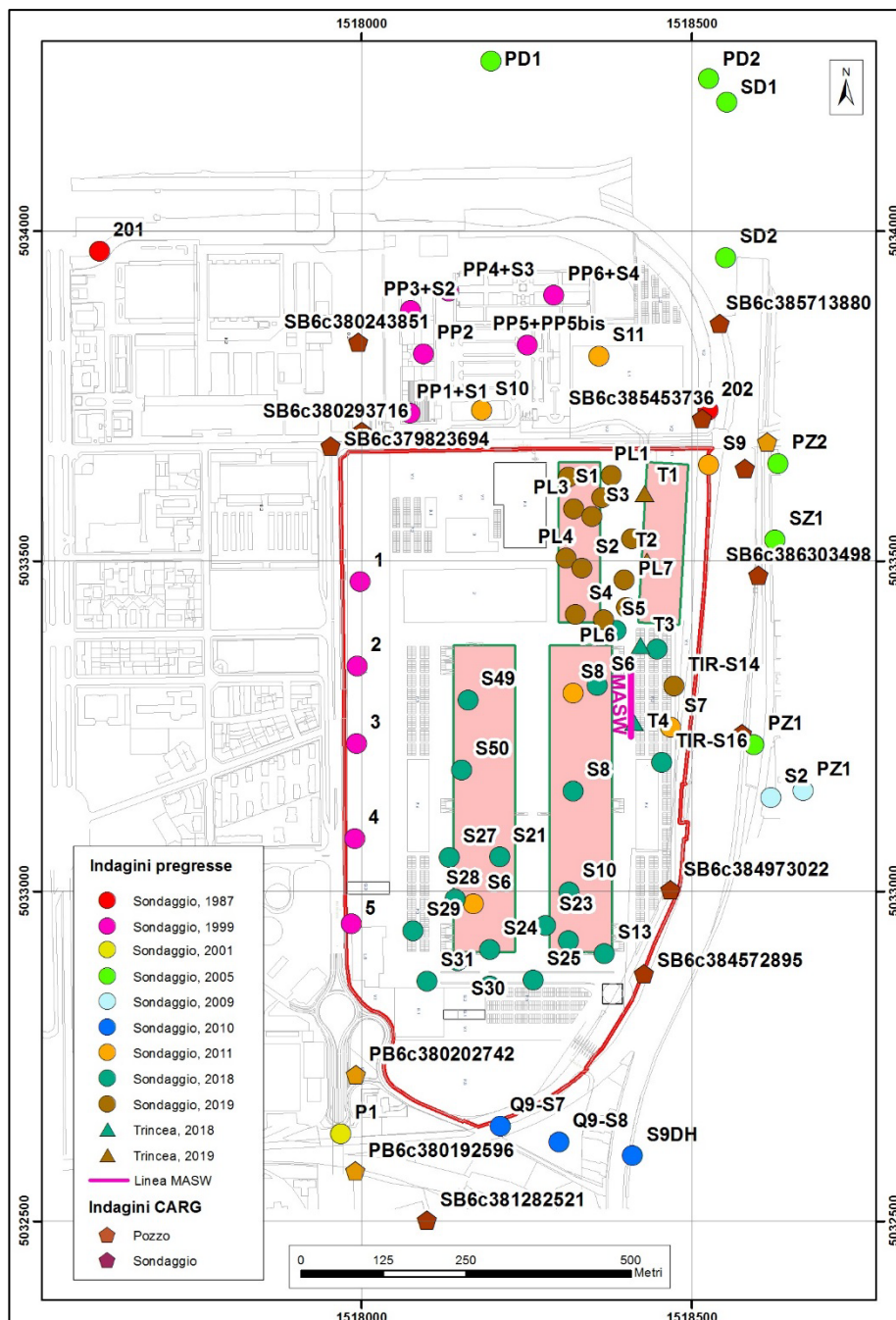


Figura 19: ubicazione delle indagini.

## 7.1. TRINCEE ESPLORATIVE

Un totale di 4 trincee esplorative sono state realizzate nel corso di due campagne di indagine ambientale tra gli anni 2018 e 2019 con profondità comprese tra 2.4 e 3 metri.

Le litologie individuate corrispondono a sabbie e ghiaie con un livello di limo di 1-2 metri massimo, posti al di sotto di 1,5 metri circa di materiali di riporto.



## 7.2. SPT

In Figura 20 sono stati graficati i valori  $N_{SPT}$  misurati nelle prove al variare della profondità in aggiunta degli stessi valori normalizzati per tenere conto dell'efficienza energetica del maglio.

I risultati indicano quanto segue:

- I primi 3÷4m sono caratterizzati da valori modesti di  $N_{SPT}$  ( $< 10$  colpi/30cm) in seguito alla presenza di terreni di riporto e/o dei sottostanti limi e sabbie limose (a volte torbosi).
- Alcune delle prove eseguite tra 8 e 12m hanno interessato un ben definito livello di limo (discontinuo) di spessore prossimo al metro.
- A circa 20m di profondità si osserva un brusco aumento della resistenza penetrometrica (confermato anche dall'andamento delle  $V_s$  con la profondità). Gli sporadici “*rifiuti*” possono essere attribuiti alla presenza dei ciottoli.

Nei grafici di Figura 20 viene inoltre riportato l'involuppo dei valori “*minimi*” (**linea rossa**) varia da circa 15 a 30 colpi/30cm nei primi 20m di profondità per poi superare i 45 colpi/30cm oltre i 20m. L'*estremo superiore* del campione analizzato è stato rappresentato con la **linea nera tratteggiata** mentre con una **linea blu** è riportato l'andamento di progetto.

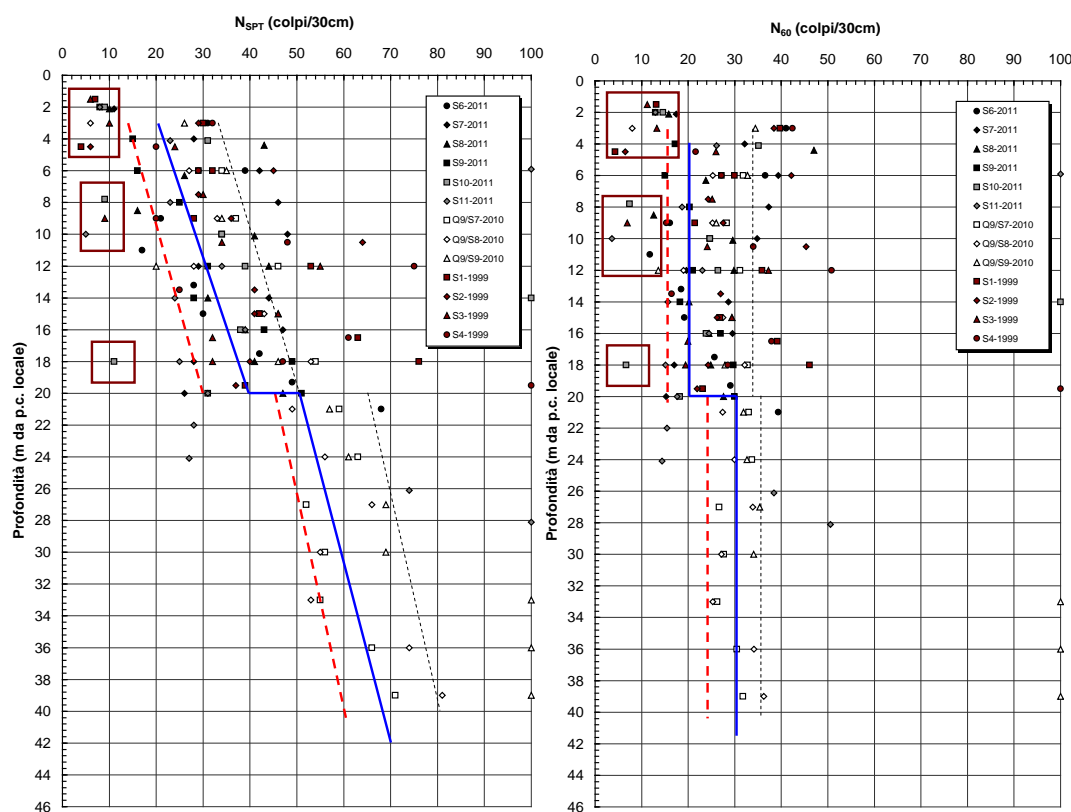


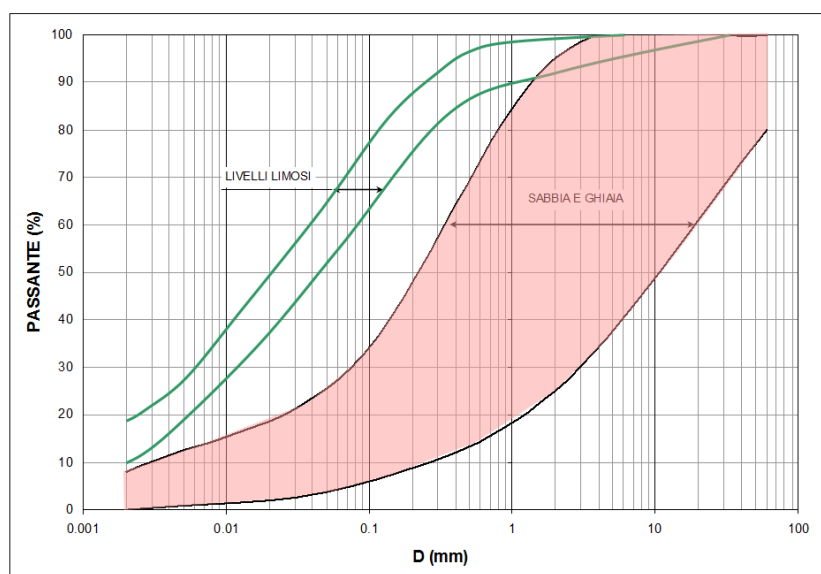
Figura 20: risultati delle prove SPT a sinistra e SPT normalizzati a destra.



### 7.3. GRANULOMETRIE

A partire da campioni rimaneggiati prelevati a varie profondità nei sondaggi considerati sono state eseguite analisi granulometriche di laboratorio.

I risultati definiscono 2 differenti fusi granulometrici “*caratteristici*” come sintetizzato ed illustrato in Figura 21: il fuso evidenziato in rosso copre la quasi totalità dei campioni analizzati con la sola esclusione di alcuni livelli limosi concentrati ad una profondità prossima agli 8÷12m dal p.c.



<u>Sabbia e ghiaia</u>		<u>Livelli di limo argilloso</u>	
Ghiaia (2mm – 60mm):	5÷75%	Ghiaia (2mm – 60mm):	< 10%
Sabbia (tra 0.075 e 2mm):	20÷65%	Sabbia (tra 0.075 e 2mm):	10÷40%
Limo + argilla (<0.075mm):	5÷30%	Limo + argilla (<0.075mm):	50÷85%
Argilla (< 0.002mm):	0÷8%	Argilla (< 0.002mm):	10÷20%

Figura 21: fusi granulometrici caratteristici.

### 7.4. PROVE DI PERMEABILITÀ

La permeabilità degli acquiferi è stata stimata mediante due prove in foro di tipo “*Lefranc*” eseguite nel 2001 all’interno del sondaggio P1-Q9 (Via Varsavia a SW del sito) che hanno fornito valori della permeabilità di  $2 \cdot 10^{-5}$  m/s a 11.5 metri di profondità in sabbie limose con livelli argilloso-limosi e  $4.8 \cdot 10^{-5}$  m/s a 20.50 m di profondità in ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa.

I risultati non si ritengono rappresentativi per le condizioni dei depositi ghiaioso – sabbiosi. Occorre inoltre notare che la metodologia di prova adottata fornisce indicazioni in merito a valori di permeabilità “*puntuale*” ovvero relativa ad una porzione di terreno di modeste dimensioni confinata nell’intorno del punto di indagine; la reale permeabilità dell’acquifero è sicuramente maggiore (anche un ordine di grandezza) e in sede di progetto esecutivo dovrà essere valutata con prove in sito su grande scala (prove di pompaggio).



## 7.5. DOWN HOLE

All'interno dei sondaggi S11 (zona N) e Q9/S9 (zona S), sono state eseguite prove geofisiche del tipo *down-hole* durante gli anni 2011 e 2010, rispettivamente spinte fino a 30 e 50 metri, per la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) nel terreno. Tali valori, registrati ogni metro lungo la verticale, hanno consentito di definire il valore di  $V_s$  equivalente richiesto da normativa (NTC 2018) per la definizione della risposta sismica locale (RSL).

I risultati, illustrati nel grafico di Figura 22, mostrano un innalzamento crescente delle  $V_s$  con la profondità fino a 600-700 m/s a circa 25m; da qui si denota una inversione di velocità a 550-600 m/s lungo 10 metri dalla verticale (prof. 35m) a partire da cui le  $V_s$  aumentano regolarmente fino ad un massimo di 900 m/s a 50 metri.

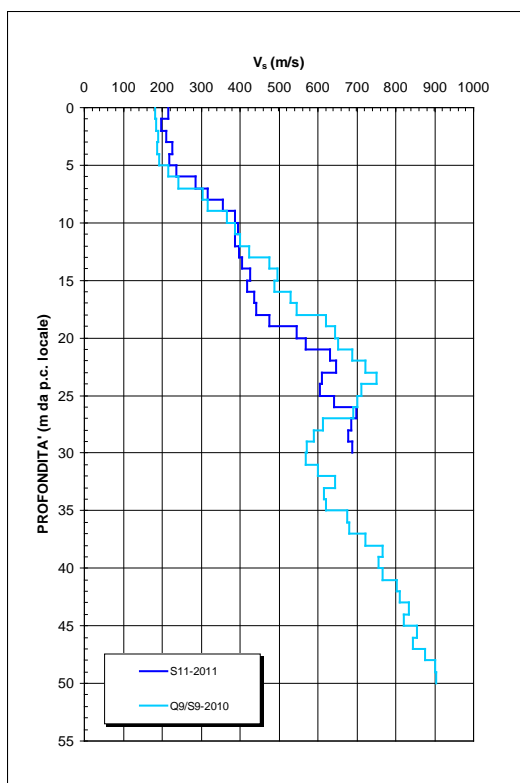


Figura 22: grafico dei risultati delle prove down-hole – Velocità onde di taglio.

I risultati inerenti le  $V_s$  nei primi 30 metri del sottosuolo vengono infine riassunti in Tabella 3.

Sondaggio	$V_{s30}$ (m/s)
S11-2011	448
Q9/S9-2010	469

Tabella 3: Velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri di sottosuolo ( $V_{s30}$ ).





## 7.6. MASW

Uno stendimento MASW di lunghezza 100 metri è stato realizzato nell'anno 2011 nel settore centro-orientale dell'area. I risultati indicano una velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri di suolo ( $V_{s30}$ ) pari a 403 m/sec, valore coerente con quanto ricavato dalle prove Down Hole.

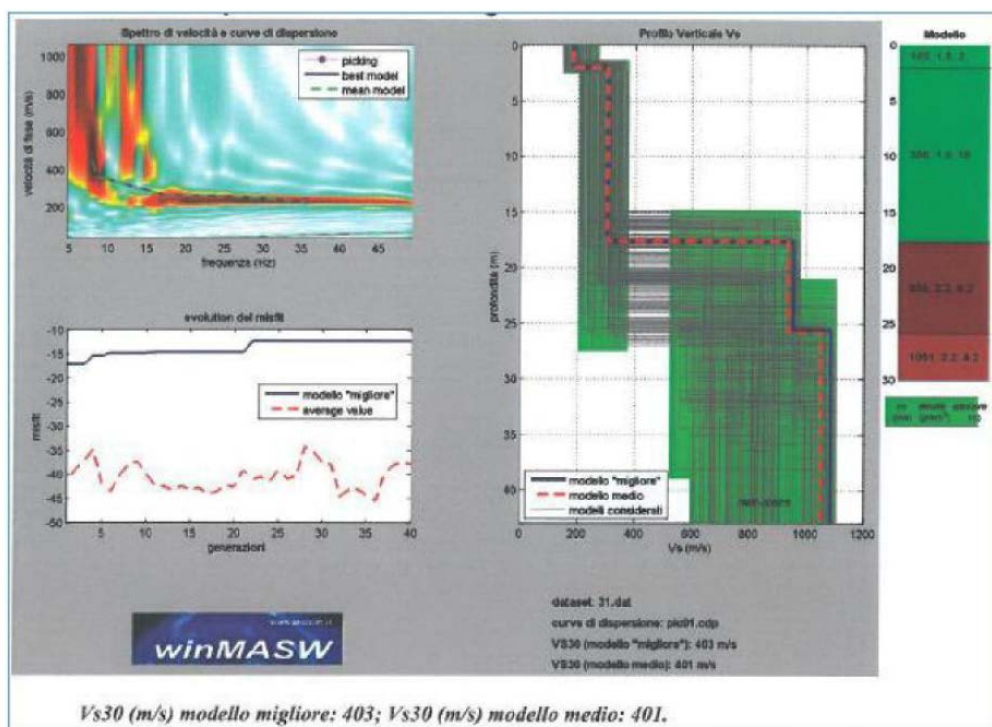


Tabella 4: risultati dell'indagine sismica MASW.



## 8. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Il modello geologico di riferimento del sito in esame, definito in base ai risultati delle indagini geognostiche, è rappresentato dalla sezione geologica schematica di Figura 23.

Su tutta l'area è presente uno strato di riporti superficiali (Livello 1) che in corrispondenza dei sondaggi eseguiti varia in spessore tra 1.5 e 3.5m, ma che localmente potrebbe anche risultare maggiore. I riporti sono generalmente costituiti da limo sabbioso, sabbia e ghiaia con frammenti di laterizi e ciottoli.

Al di sotto del terreno di riporto (ed in genere fino a circa 3.5m di profondità-quota 107,6m slm) è stata riscontrata la presenza di un limo da sabbioso ad argilloso consistente e sabbia fine limosa di colore marrone (Livello 1'). In alcuni sondaggi è stata inoltre riscontrata la presenza nel limo di livelletti torbosi. L'orizzonte di limo risulta continuo lungo tutta l'area, con spessore che varia tra un minimo di 20 cm e un massimo di 1.5 metri. Si ritiene che tale livello rappresenti il suolo agricolo (superficie naturale) su cui sono stati scaricati i terreni di porto.

I terreni sottostanti sono costituiti dai depositi fluvioglaciali pleistocenici. Si tratta di alternanze di ghiaia eterometrica da medio-fine a medio-grossolana in matrice sabbiosa e sabbia debolmente limosa in matrice ghiaiosa (Livello 2). Esistono variazioni della percentuale sabbiosa con livelli da centimetrici a decimetrici di ghiaia e sabbia e sabbia ghiaiosa. Il colore è grigio-nocciola a marrone.

Un secondo livello di limo grigio (Livello 2b), a volte torboso, è ubicato tra 8 e 12m di profondità con spessore variabile tra 0.2 e 1.5m.

Al di sotto del limo si rinviene il Livello 3, anch'esso fluvioglaciale, costituito da sabbia limosa medio fine, debolmente ghiaiosa a tratti inglobante rara ghiaia di colore nocciola chiaro, passante nella porzione orientale e nord-orientale a ghiaia con rari ciottoli, in matrice limoso sabbiosa di color grigio nocciola a tratti oca. In alcuni sondaggi sia stata riscontrata la presenza di un terzo livello limoso discontinuo (Livello 2b) di spessore prossimo al metro a profondità variabile tra 16 e 20m.

Livelli litologici	Profondità (-m da p.c. locale)	Spessore (m)	Descrizione
<b>1-1'</b>	0,00-3,00÷3,50	3,00÷3,50	<b>Riporto: Sabbia medio-fine</b> debolmente ghiaiosa di colore grigio-nocciola, <b>e limo sabbioso</b> (paleosuolo) a tratti debolmente argilloso di colore marrone nocciola/nerastro poco consistente. Presenza frequente lungo lo strato di materiale antropico tra cui numerosi frammenti di laterizi e raro asfalto e calcestruzzo.
<b>2</b>	3,00÷3,50 – 13,50÷16,00	10,00÷13,0	<b>Ghiaia eterometrica con sabbia limosa.</b> Locali variazioni della percentuale sabbiosa con livelli da centimetrici a decimetrici di ghiaia e sabbia e sabbia ghiaiosa. Colore da grigio-nocciola a marrone.
<b>2b</b>	7,50÷9,00 – 10,50÷11,00	1,50÷3,50	<b>Limo sabbioso</b> a tratti debolmente argilloso, di colore da grigio scuro a nocciola, plastico a tratti, poco consistente. Presenza di rarissima ghiaia fine e livelletti torbosi.



3	13,50÷16,00 – 18,50÷21,00	2,50÷7,50	<b>Sabbia limosa</b> medio fine, debolmente ghiaiosa a tratti inglobante rara ghiaia di colore nocciola chiaro. Nella porzione. Orientale e nord-orientale dell'intervento tale livello sembra venir meno ed essere sostituito da materiale a granulometria maggiore con una forte diminuzione della componente sabbiosa, rinvenibile come componente matriciale: <b>Ghiaia con rari ciottoli</b> , in matrice limoso sabbiosa di color grigio nocciola a tratti ocre.
---	---------------------------------	-----------	--

Tabella 5: successione stratigrafica di riferimento.

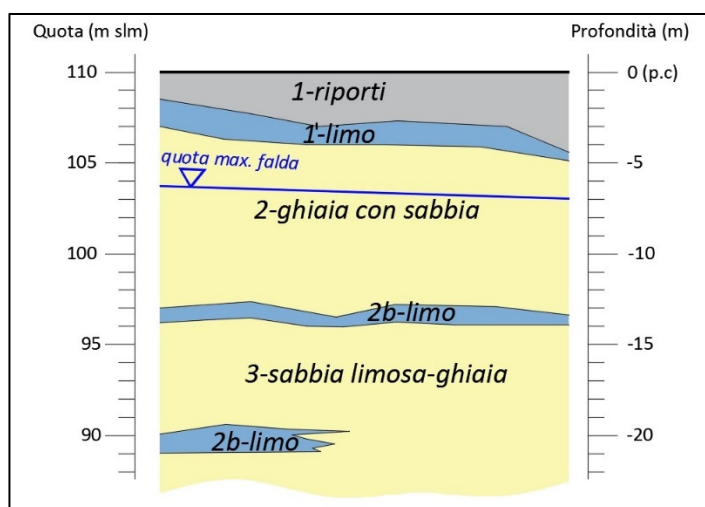


Figura 23: sezione geologica schematica.

La falda massima ricostruita mediante il monitoraggio di 10 piezometri nel periodo 2001-2019 (paragrafo 6.2) risulta impostata entro le quote di 103.90m slm e 103m slm all'interno dei depositi a granulometria maggiormente grossolana; il flusso idrico è direzionato verso SSW con gradiente di 0.08% circa. La quota massima di progetto della falda definita in base alla piezometria del 1954 (Figura 18) risulta impostata alla quota 106m.

## 8.1. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Viene illustrata di seguito la caratterizzazione litotecnica dei terreni indagati. Si segnala che per la natura prettamente granulare dei terreni attraversati non è stato possibile il prelievo di campioni indisturbati, pertanto i terreni sono stati caratterizzati tramite il prelievo di campioni disturbati direttamente dalla cassetta catalogatrice e dalle prove S.P.T. in foro.

Sono stati riconosciuti n.3 orizzonti litotecnici sulla base dei sondaggi e dai valori di  $N_{spt}$  delle prove penetrometriche, identificati nella presente relazione dalle lettere A, B e B1.

- L'orizzonte A è caratterizzato dalla presenza di materiale riportato e/o alluvionale recente/rimaneggiato costituito superficialmente da livelli con grado di consistenza e



addensamento scarso e granulometria media (sabbia ghiaiosa), intercalati localmente a materiale fine (limo debolmente sabbioso); NSPT molto basso < 10.

- L'orizzonte B è invece costituito da materiale a granulometria generalmente media, con intercalazioni di livelli grossolani e fini da decimetrici a metrici e da un grado di addensamento medio. (NSPT > 30).
- Internamente all'orizzonte B è stato individuato un livello discontinuo denominato B1, costituito prevalentemente da materiale fine limoso sabbioso a tratti argilloso, NSPT molto basso < 10.

La Tabella 6 mostra gli orizzonti litotecnici riconosciuti e le caratteristiche principali (le profondità sono riferite alla quota dal p.c.). Si indicano inoltre i valori medi di  $N_{SPT}$  e i corrispondenti  $N_{1(60)}$  corretti in funzione della profondità di prova (Liao & Whitmann, 1986), del rendimento energetico delle macchine perforatrici utilizzate (Cestari, 1990), della quota piezometrica (Terzaghi & Peck, 1948), diametro della perforazione (Skempton, 1986) e della lunghezza delle aste (Skempton, 1986).

Orizzonte litotecnico	Prof. (-m da p.c. locale)	Livello litologico	Descrizione	$N_{SPT}$ medio	$N_{1(60)}$ medio
A	Da 0.00m a 3,00÷3,50m	1	<b><u>Terreno riportato e deposito alluvionale recente /rimaneggiato.</u></b> Costituito da sabbia ghiaiosa con frequenti elementi antropici (laterizi, asfalto e calcestruzzo), intercalata a limo sabbioso poco consistente	6	8
B	Da 3,00÷3,50m a 21,00m	2-3	<b><u>Deposito fluvio-glaciale; sabbie e ghiaie.</u></b> Costituito da alternanze di sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose. Da moderatamente addensate ad addensate	35	26
B1	Da 7,50÷9,00m a 10,50÷11,00m	2b	<b><u>Deposito fluvio-glaciale: limi sabbiosi.</u></b> Costituito da limo sabbioso a limo a tratti debolmente argilloso. Da poco consistente a moderatamente consistente.	9	7

Tabella 6: descrizione litostratigrafica dei terreni attraversati durante le indagini pregresse eseguite.

L'assegnazione dei principali parametri geotecnici per ciascun orizzonte è avvenuta utilizzando formule di letteratura, applicate in funzione della differente natura litologica di questi. Di seguito le correlazioni scientifiche considerate:

- Densità relativa: Cubrinowski & Ishihara, (1999), Bazaraa (1967).
- Angolo di attrito: Schmertmann (1971), Malcev (1964), Hatanaka & Uchida (1996) e Wolff (1989).
- Modulo di Young: D'Appolonia et al. (1971), Weeb (1970), Schultze e Menzebach (1961).



I parametri sono espressi attraverso range di valori, per rappresentare la natura eterogenea delle litologie attraversate. Si fa presente che i parametri geotecnici di seguito elencati, dovranno essere verificati, rielaborati e rapportati ai differenti Stati Limite considerati in specifica Relazione Geotecnica, così come indicato nella vigente Normativa. (cap.6.2.2. NTC 2018)

ORIZZONTE A (da 0,00 a 3,00÷3,50m da p.c.): Terreno riportato e deposito alluvionale recente / rimaneggiato.

$\gamma_n$  = peso di volume naturale = 16÷18 kN/m<sup>3</sup>

$\phi'$  = angolo di attrito medio = 26°÷28°

$D_R$  = densità relativa = 30÷40%

$E'$  = modulo di Young = 10÷20 MPa

$\nu'$  = coefficiente di Poisson = 0.30÷0.40

ORIZZONTE B (da 3,00÷3,50 a 21,00m da p.c.): Deposito fluvio-glaciale; sabbie e ghiaie

$\gamma_n$  = peso di volume naturale = 19÷20 kN/m<sup>3</sup>

$D_R$  = densità relativa = 50÷60%

$\phi'$  = angolo di attrito medio = 31÷33°

$E'$  = modulo di Young = 35÷40 MPa

$\nu'$  = coefficiente di Poisson = 0.25÷0.30

ORIZZONTE B1 (da 7,50÷9,00 a 10,50÷11,00m da p.c.): Deposito fluvio-glaciale; limi sabbiosi

$\gamma_n$  = peso di volume naturale = 16÷17 kN/m<sup>3</sup>

$\phi'$  = angolo di attrito medio = 26°÷28°

$c_u$  = coesione non drenata = 0,5÷0,7 Kg/cm<sup>2</sup>

$E'$  = modulo di Young secante = 3÷4 MPa

$\nu'$  = coefficiente di Poisson drenato = 0.30÷0.40





## 8.2. TERRENI DI SCAVO

Il progetto delle fondazioni del PLO e delle opere accessorie prevede la rimozione di terreni mediamente fino alla quota 107.6m snm. Gli scavi interesseranno i terreni di riporto (livello 1), il primo strato di limo (livello 1') e la porzione superiore dei depositi fluvioglaciali (livello 2).

Le proporzioni relative delle 3 livelli litologici all'interno del volume di terreno soggetto a scavo sono state definite in base alla ricostruzione in base ai dati di sondaggio della quota dei contatti tra terreni di riporto/limi e limi/fluvioglaciale. All'interno del volume di riferimento risultano le seguenti percentuali relative:

<b>Riporti Livello 1</b>	<b>Limo Livello 1'</b>	<b>Fluvioglaciale Livello 2</b>
%	%	%
55.9	33.3	10.8

*Tabella 7: percentuali relative delle unità litologiche all'interno del volume di terreno interessato da scavo.*



## 9. VINCOLI E FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Il Comune di Milano con delibera n.16 del consiglio comunale del 22.05.2012 ha approvato lo strumento di pianificazione del territorio PGT (Piano del Governo del Territorio). Dalla consultazione di tale Piano, l'area di interesse è classificata come "TUC – Tessuto urbano consolidato" (art. 2.1.a), in particolare viene riconosciuta come "TRF – Tessuto urbano di recente formazione" (art 2.1.a.ii).

I vincoli di ordine geologico per l'area sono definiti nelle tavole allegate al PGT comunale. La Carta dei Vincoli illustrata in Figura 24 mostra che l'area di intervento del PLO non risulta ubicata in corrispondenza di aree sottoposte a vincoli di difesa del suolo, gli unici vincoli esistenti nella proprietà sono ubicati nello spigolo NE per la fascia di rispetto del pozzo idropotabile n. 419 della Centrale AP Ovidio del Servizio Idrico della Città di Milano, lungo il margine Nord per il cavo Borgognone che scorre tombinato e al margine Sud per il Cavo Sala anch'esso tombinato.

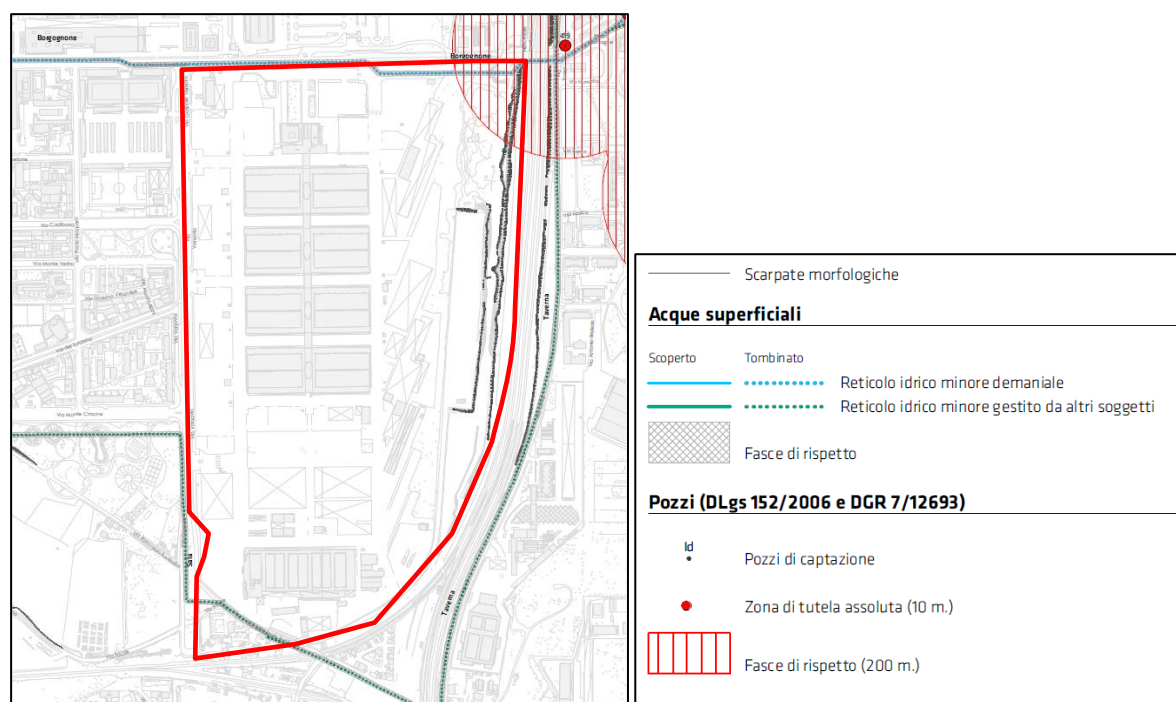


Figura 24: estratto della Carta dei vincoli del PGT comunale.

Il sito risulta inoltre esterno alle zone di esondazione definite dal PAI – Piano per l'assetto Idrogeologico del Lambro (L. 183/1989, DPCM 24-05-2001 e DGR 7/7365) e da aree di rispetto dei fontanili (PTC Parco Agricolo Sud Milano).

Per quanto concerne la fattibilità geologica, il sito si colloca all'interno della *Classe 2-Fattibilità con modeste limitazioni* trattandosi di aree nelle quali, in generale, sono ammissibili tutte le



categorie di opere edificatorie, fatto salvo l'obbligo di verifica della compatibilità geologica e geotecnica ai sensi delle NTC, per tutti i livelli di progettazione previsti per legge. L'estratto della carta di Fattibilità viene illustrato in Figura 25.

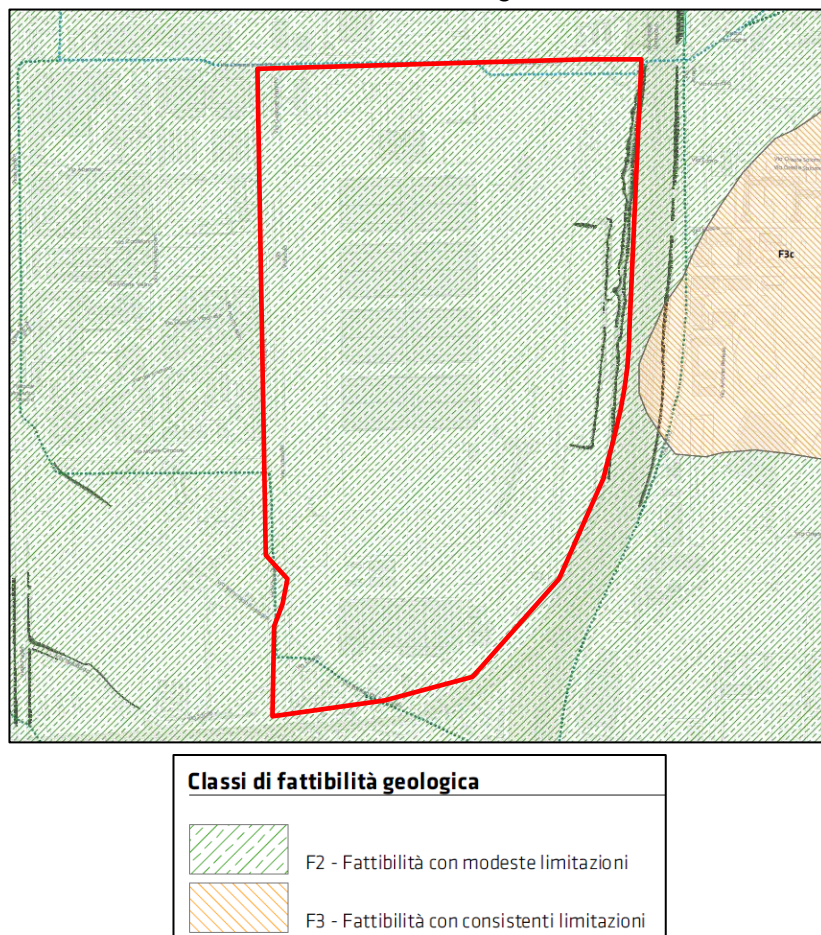


Figura 25: estratto della Carta di Fattibilità geologica del PGT comunale.



## 10. CONDIZIONI DI RISCHIO SISMICO

In base al Decreto della Giunta Regionale della Lombardia dell'11 luglio 2014 n.X-2129, il territorio comunale di Milano risulta classificato in zona 3 a bassa sismicità (Figura 26) in cui l'accelerazione massima  $A_g$  Max prevista è pari a 0,054g.

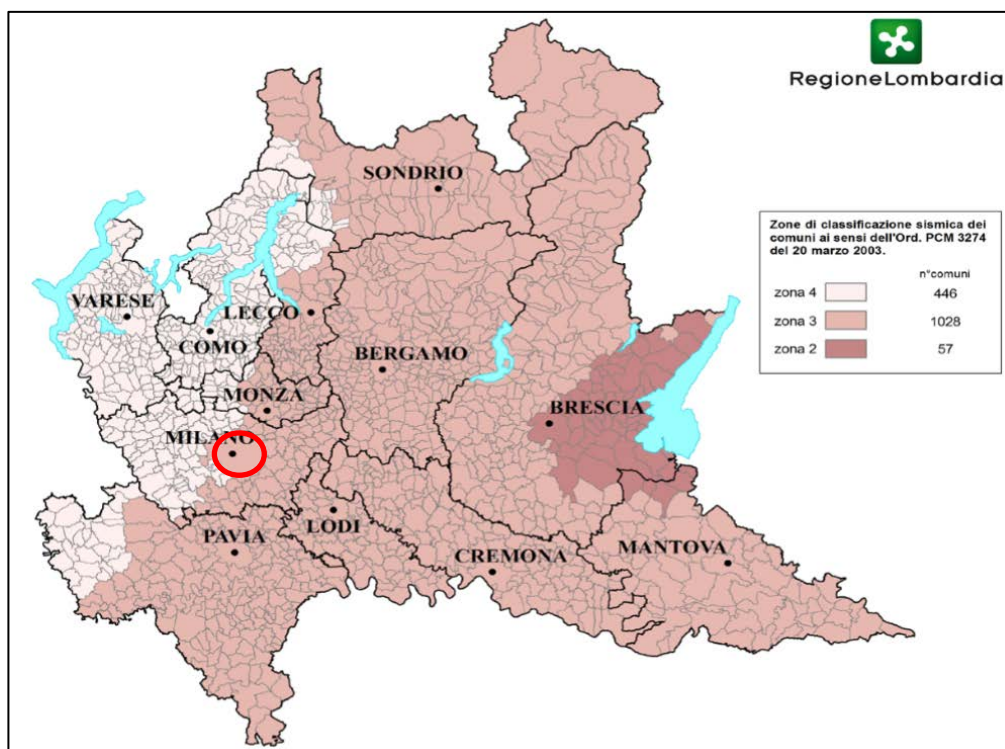


Figura 26: nuova classificazione sismica della Regione Lombardia (D.G.R. 11/07/2014). Con il cerchio rosso si indica l'area in esame.

L'azione sismica è stata inizialmente misurata considerando una vita nominale dell'opera  $V_N$  (valore minimo)= 50 anni e una Classe d'uso  $C_U=III$ , cui corrisponde un coefficiente d'uso 1,5. Il periodo di riferimento  $V_R$  da adottare per l'azione sismica è dunque:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 8: Valori del coefficiente d'uso  $C_U$  (Tab. 2.4.II delle NTC-18)

Il tempo di ritorno  $T_R$  è valutato in funzione della vita di riferimento  $V_R$  ed in base alla corrispondente probabilità del suo superamento PVR per lo Stato Limite che si intende verificare:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$





Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati Limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

*Tabella 9: Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato (Tab. 3.2. delle NTC-18).*

Attraverso il programma Spettri-NTC ver.1.0.3, messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, con l'inserimento delle coordinate geografiche (Longitudine: 9, 2322545 – Latitudine: 45,45258813), sono stati stimati per il sito di progetto, per varie frequenze annuali di superamento, i valori dei parametri sismici normativi relativi alla Pericolosità Sismica di base.

STATO LIMITE	TR (anni)	ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
SLO	45	0.024	2.564	0.188
SLD	75	0.030	2.559	0.211
SLV	712	0.058	2.661	0.290
SLC	1462	0.070	2.708	0.305

*Tabella 10: Valori dei parametri ag, Fo, Tc\* per i periodi di ritorno TR associati a ciascuno Stato Limite.*

La risposta sismica locale (RSL) è stata considerata secondo quanto esposto dalle NTC 2018, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni stratigrafiche locali del sottosuolo effettivamente presenti nel sito di intervento e dalla morfologia della superficie.

L'approccio semplificato suggerito dalla norma necessita l'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento definite attraverso il calcolo del valore di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ( $V_{s,eq}$ ) di seguito definita:

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

dove  $h_i$ =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 (roccia o terreno molto rigido) caratterizzato da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m da quota fondazioni (come nel caso in oggetto), la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m.

Per la determinazione delle onde di taglio nel sottosuolo è stato fatto riferimento a specifiche indagini sismiche pregresse di tipo Down-hole ubicate a Nord e Sud del perimetro e uno stendimento MASW posizionato all'interno, i cui risultati hanno fornito rispettivamente valori di  $V_{s30}$  pari 448, 469 e 404 m/s (calcolato a partire da 3/-3,5m da p.c).

Per quanto concerne le categorie di sottosuolo definite nelle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni e riportate in Tabella 8, si ritiene quindi che l'area in esame ricada nella categoria





B: Depositi di terreni a grana grossa molto addensati, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{eq}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 11: Categorie di sottosuolo secondo le NTC 2018.

Per quanto concerne le categorie di superficie topografica definite nelle NTC 18 e riportate in Tabella 12, l'area in esame ricade nella categoria T1: *Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media inferiore a 15°*.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$

Tabella 12: Categorie di superficie topografica secondo le NTC 2018.

I corrispettivi spettri di risposta elastici per gli Stati Limite considerati vengono illustrati in Figura 27.

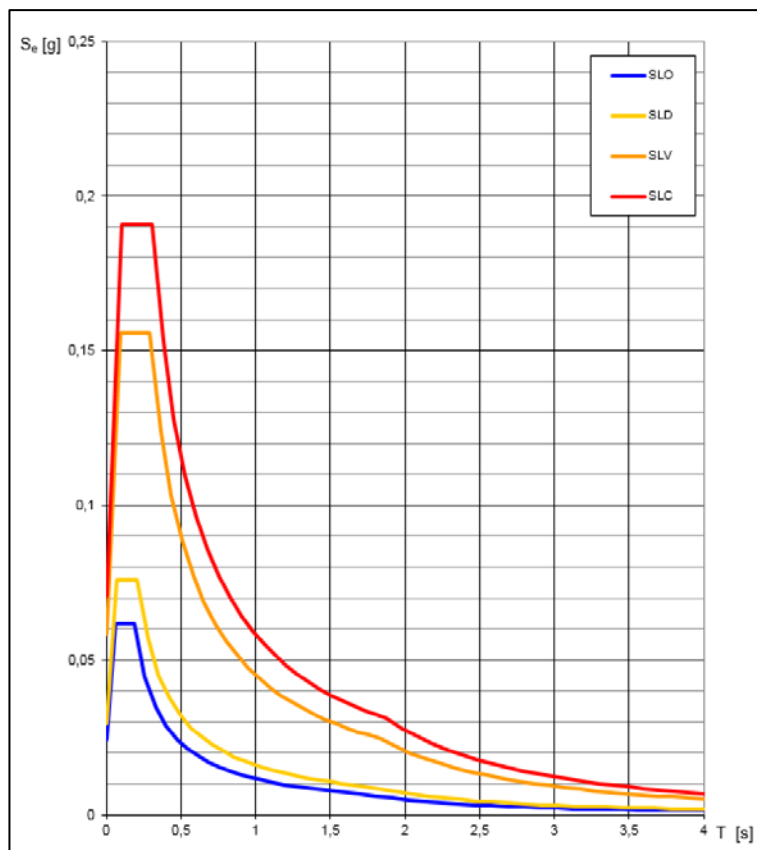


Figura 27: spettri di risposta elastici (Fonte: Spettri-NTC ver 1.0.3).

## 10.1. LIQUEFAZIONE

Per quanto concerne la valutazione sul potenziale liquefazione dei terreni, le NTC 2018 nel paragrafo 7.11.3.4 viene indicata la procedura per la verifica a stabilità nei confronti di tale fenomeno, riferito alla diminuzione di resistenza a taglio causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico o durante una generica sollecitazione da azione ciclica o dinamica.

Nel paragrafo 7.11.3.4.2 viene dunque specificato che tali analisi possono essere omesse quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;



4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

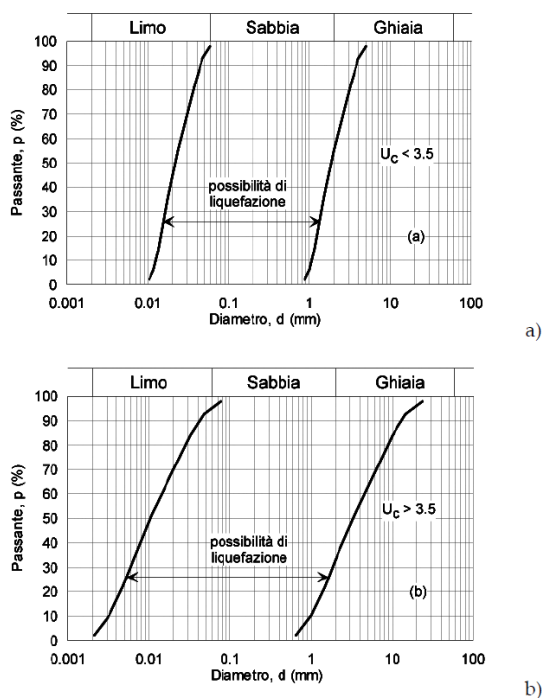


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Per quanto riguarda il parametro dell'accelerazione orizzontale ( $a_{gmax}$ ) al punto 1, esso si ricava direttamente dalla caratterizzazione sismica del sito, secondo le indicazioni del D.M. 17.01.2018:

$$a_{max} = a_g \times S_s \times S_T$$

Dove:

$a_g$  = accelerazione sismica orizzontale su sito rigido ricavabile (Tabella 10);

$S_s$  e  $S_T$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica e topografica.

SL	$a_g$ (g)	$S_s$	$S_T$	$a_{gmax}$ (g)
SLO	0.024	1.2	1	0.028
SLD	0.030			0.036
SLV	0.058			0.069
SLC	0.070			0.084

Tabella 13: parametri sismici del sito in esame.

Il valore massimo di  $a_{gmax}$  ottenuto, verificato allo stato limite SLC, è pari a 0,084 g quindi inferiore a quello di esclusione indicato dal comma 1 paragrafo 7.11.3.4.2.

Si ritiene di conseguenza, ai sensi del D.M. 17/01/18, il sito d'interesse soggetto ad esclusione alla verifica alla liquefazione.



## 10.2. ANALISI DI PERICOLOSITÀ DI II LIVELLO

Dalla consultazione della carta di pericolosità sismica – Aree a pericolosità sismica locale – Primo livello di approfondimento del PGT del Comune di Milano, l'area investigata non ricadrebbe in una zona interessata da scenario di pericolosità sismica locale (Figura 28), tuttavia la mappa risulterebbe da aggiornare in quanto è stata modificata la categoria sismica di appartenenza (ora 3 e non più 4).

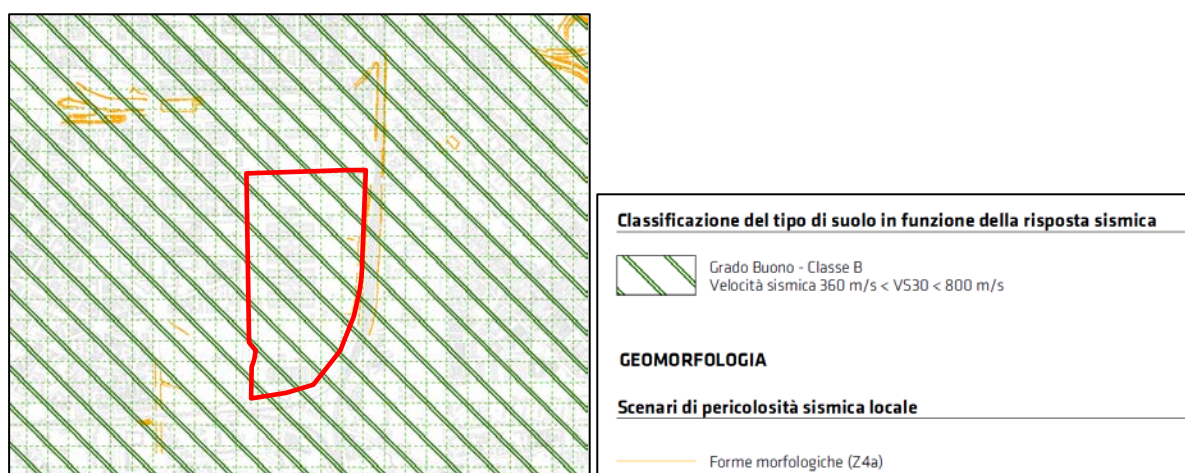


Figura 28: estratto della Carta di sismicità del PGT comunale.

In base ai contenuti del DGR 30 novembre 2011 - n. IX/2616, per l'area dell'ortomercato viene comunque considerato lo scenario di pericolosità sismica locale Z4a: *zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e /o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi*.

In tale configurazione risulta necessario eseguire l'approfondimento di 2° livello del rischio sismico sito-specifico (ai sensi dell'All. 5 della D.G.R. n. IX/2616).

La procedura prevede pertanto di valutare il Fattore di Amplificazione  $F_a$  mediante schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia comunale avendo cura di considerare una variabilità di + 0.1. I calcoli si basano sulla definizione iniziale del periodo proprio del sito  $T$ :

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

In merito alla mancanza di raggiungimento del bedrock sismico ( $V_s \geq 800$  m/s) nel sito di progetto, il periodo di risonanza  $T$  è stato definito considerando esclusivamente il profilo di velocità delle  $V_{s30}$ , così come previsto dalla normativa, ottenendo un valore di 0,25 s, comunque cautelativo.



Il fattore Fa sperimentale è stato quindi calcolato considerando spessori e velocità di ciascun sismostrato come definiti nel modello geofisico medio, riportati nelle “Schede di Stima degli Effetti Litologici” avendo scelto la scheda relativa alla “Litologia Sabbiosa – curva 2 (Figura 29).

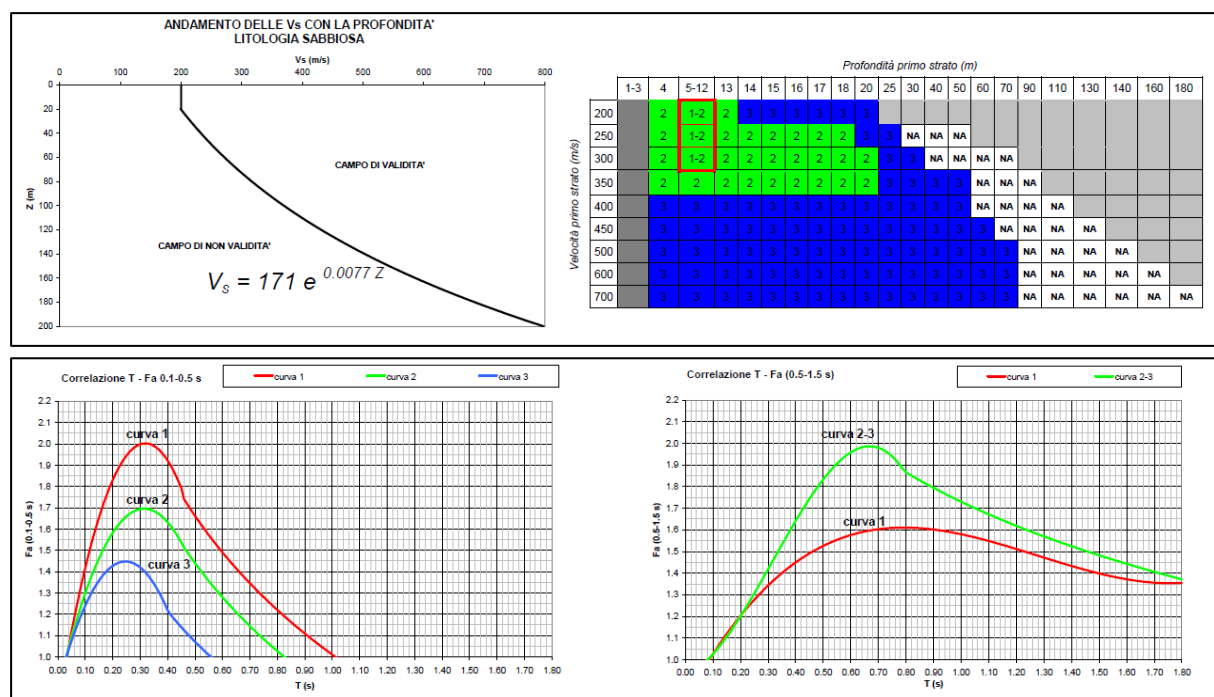


Figura 29: effetti litologici – scheda litologia sabbiosa considerata (fonte: DGR 2616/2011).

I risultati vengono rappresentati in Tabella 14:

- per edifici con periodo  $T$  compreso tra 0,1 s e 0,5 s (strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) si ottengono valori di  $F_a$  di sito superiori al valore di  $F_a$  di soglia previsto per la categoria di sottosuolo B. In questo caso si dovrà fare riferimento nella progettazione ai parametri sismici definiti per suoli di tipo C.
- per edifici con periodo  $T$  compreso tra 0,5 e 1,5 s (strutture alte e più flessibili) si ottengono valori di  $F_a$  di sito compatibili con il valore di  $F_a$  di soglia previsto per la categoria di sottosuolo B (definita per il sito d'interesse) e che pertanto i parametri sismici della normativa sismica vigente sono sufficienti a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica.

	Fa soglia per categoria B	Fa calcolato	Categoria di sottosuolo da considerare
Edifici con periodo $T$ 0,1 – 0.5 sec	1,4	1,64	C
Edifici con periodo $T$ 0.5 – 1.5 sec	1,7	1,27	B

Tabella 14: confronto tra i valori di soglia relativi al Fattore di amplificazione  $F_a$  per il Comune di Milano e quelli calcolati dalla scheda “litologia sabbiosa” dell’Allegato 5 della DGR 2616/2011.





## 11. RACCOMANDAZIONI E CONCLUSIONI

---

Di seguito vengono riportate in sintesi gli aspetti salienti di ordine geologico e geotecnico che dovranno essere considerati durante le fasi di progettazione e di costruzione.

- La stratigrafia dell'area dell'ortomercato è costituita da riporti antropici (Livello 1) con spessore tra 1.5 e 3.5m che sono stati scaricati direttamente su suolo agricolo rappresentato da limo sabbioso di circa 1m di spessore (Livello 1').  
Al di sotto esiste una successione di depositi fluvio-glaciali formata da:
  - o Livello 2 di 10-13m di spessore di ghiaie eterometriche da medio-fini a medio-grossolane in matrice sabbiosa e sabbie debolmente limose;
  - o Livello 2a limoso di spessore 1.5-3.5m si incontra tra 7,50 m e 11 m di profondità e separa
  - o Livello 3 profondo di sabbie limose passanti lateralmente a ghiaie limoso sabbiose di 2.5-7.5m di spessore.
- Per la costruzione del edificio PLO si prevedono fondazioni dirette alla quota 107,6m slm. Si ritiene che generalmente i plinti graveranno direttamente sul Livello 2, tuttavia non si può totalmente escludere che localmente si rinvenga alla base dello scavo il limo del Livello 1'. In questo caso si dovrà provvedere alla sua asportazione totale e sostituzione con materiale idoneo oppure all'approfondimento della quota di fondazione.
- L'andamento della falda freatica ricostruito mediante interpolazione dei valori massimi registrati nei piezometri, è direzionato verso SSW e presenta una escursione compresa tra le quote di 103.90m slm e 103m slm non costituendo un vincolo progettuale se non per scavi molto profondi (oltre 6÷8m dal p.c. locale). La quota di fondazione dei plinti del PLO non interferisce con il livello di falda.
- Eventuali strutture interrato che dovessero essere realizzate al di sotto della quota 106.00m slm dovranno essere impermeabilizzate nei confronti di una potenziale risalita della piezometrica al livello misurato negli anni 50.
- La vulnerabilità intrinseca del sito, valutata mediante il metodo DRASTIC (Aller et al., 1985), risulta essere **MEDIAMENTE ALTA**. Durante le fasi di scavo, dovranno quindi essere predisposte adeguate misure di tutela dell'acquifero ed evitare qualsiasi tipo di perdita dai macchinari e sversamenti accidentale.
- In base allo studio geologico a supporto del PGT del Comune di Milano all'interno dell'area di intervento del PLO non sono presenti vincoli di ordine geologico. Il sito risulta inoltre esterno ai limiti PAI – Piano per l'assetto Idrogeologico del Lambro (L. 183/1989, DPCM 24-05-2001 e DGR 7/7365) e da aree di rispetto dei fontanili (PTC Parco Agricolo Sud Milano).
- L'area è collocata all'interno della *Classe 2-Fattibilità con modeste limitazioni* trattandosi di aree nelle quali, in generale, sono ammissibili tutte le categorie di opere edificatorie.
- In base al Decreto della Giunta Regionale della Lombardia dell'11 luglio 2014 n.X-2129, il territorio comunale di Milano risulta classificato in zona 3 a bassa sismicità in cui l'accelerazione massima  $A_g$  Max prevista è pari a 0,054g.



- Per quanto concerne le categorie di sottosuolo definite nelle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, il sottosuolo ricade nella categoria B: *Depositi di terreni a grana grossa molto addensati, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{eq}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*
- In ogni caso, i risultati dell'analisi di pericolosità sismica di II livello (RSL) per zone con possibili "amplificazioni litologiche e geometriche Z4a", indicano per edifici con periodo T compreso tra 0,1 s e 0,5 s (strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) di fare riferimento nella progettazione ai parametri sismici definiti per suoli di tipo C, mentre per edifici con periodo T compreso tra 0,5 e 1,5 s (strutture alte e più flessibili) la categoria B è sufficiente nel considerare degli effetti di amplificazione.
- Per quanto attiene la problematica degli scavi si fa presente che poiché le opere in progetto comporteranno scavi di altezza superiore a 1,5 m. dovranno essere predisposte, come da normativa, le necessarie opere di sostegno provvisorie; tuttavia, si rimanda ad opportune analisi geotecniche il dimensionamento e la verifica di tali opere.
- Il piano di posa degli elementi strutturali dovrà essere regolarizzato e protetto con conglomerato magro od altro materiale idoneo e che eventuali acque ruscellanti o stagnati dovranno essere allontanate dagli scavi.
- Allo stato attuale non si ravvedono problematiche di ristagno idrico. La sistemazione finale dell'area dovrà comunque garantire il drenaggio dei siti e dovrà essere predisposta adeguata rete di raccolta delle acque superficiali.

Considerato il contesto geologico, geomorfologico e idrogeologico del sito in esame, fatte salve le prescrizioni e le indicazioni riportate nella presente relazione, si ritiene l'intervento compatibile con le condizioni presenti e, più in particolare, con le risultanze dello Studio Geologico Comunale di supporto al PGT.