

Regione Lombardia
Direzione Generale Infrastrutture e Mobilità



CODICE COMMESSA	LIVELLO PROGETTAZIONE	D.P.R. 207/10	PROGRESSIVO ELABORATO	CATEGORIA OPERA	NUMERO OPERA	REVISIONE	SCALA
Q 0 3	D	b	0 0 6	I G	- -	R 0	---

AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DEL
NODO DI BOVISA - COMUNE DI MILANO
Progetto Definitivo

RELAZIONE GEOLOGICA

Revisioni		Data	Descrizione	Redatto	Controllato
	3				
	2				
	1				
	0	Lug. 2020	Prima emissione		

NORD_ING

NORD_ING S.r.l.
IL DIRETTORE TECNICO
Ing. Antonella Volta

FERROVIENORD

FERROVIENORD S.p.A.
DIREZIONE SVILUPPO INFRASTRUTTURA
IL DIRETTORE
Ing. Marco Mariani

Progettista



Collaborazione

REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	DATA
CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE			AGG.

FILE:

RELAZIONE GEOLOGICA



PROJECT:

ADEGUAMENTO E POTENZIAMENTO DEL NODO DI BOVISA

LOCATION:

BOVISA, MILANO

CLIENT:

FERROVIE NORD S.P.A.

OBJECT:

RELAZIONE GEOLOGICA



DR. GEOL. L. AMATO



INDICE

1	PREMESSA	2
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	3
3	INQUADRAMENTO ALL'INTERNO DEL PGT	4
-	Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL)	5
-	Carta dei vincoli	7
-	Carta di sintesi	9
-	Carta della fattibilità geologica	11
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO	16
5	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	18
6	INQUADRAMENTO SISMICO	21
6.1	CLASSIFICAZIONE SISMICA	21
6.2	PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	22
6.3	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	23
6.4	CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	24
7	INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE	25
7.1	SONDAGGI GEOGNOSTICI	25
7.2	PROVE SPT	25
7.3	PRELIEVO CAMPIONI E PROVE DI LABORATORIO	29
7.4	PROVE LEFRANC	32
7.5	PROVA PENETROMETRICA D.P.S.H.	33
7.6	RISULTANZE DELL'INDAGINE MASW01	35
7.7	RISULTANZE DELL'INDAGINE MASW02	38
7.8	DETERMINAZIONE DEL PARAMETRO VS,EQ E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	40
8	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	41

ALLEGATI:

REPORT INDAGINI GEOGNOSTICHE

1 PREMESSA

La presente relazione geologica è redatta a corredo del Progetto di ammodernamento e potenziamento del nodo di Bovisa, Milano.

Il progetto prevede vari interventi volti a ridurre le limitazioni dell'impianto rispetto al servizio ferroviario attuale e previsto nell'ambito del PRMT (Piano Regionale della Mobilità e dei Trasporti).

In particolare, è prevista la formazione di due nuove coppie di binari, denominati -I, -II, -III e -IV, posti ad ovest dell'attuale fascio di binari di stazione, collegati a nord con la linea diretta Milano-Saronno e a sud sia con il "passantino" (binari -I e -II), sia con la linea diretta Bovisa-Cadorna (binari -III e -IV).

L'intervento si completa, infine, con la realizzazione di due nuovi binari tronchi posti immediatamente a nord dell'impianto di Bovisa per il ricovero del materiale rotabile che effettua il servizio suburbano S8 e S18.

Nella presente relazione vengono descritti i contesti geologico, geomorfologico, stratigrafico, idrografico, idrogeologico e sismico in cui si inserisce il progetto, con particolare attenzione alle problematiche collegate alla vulnerabilità del territorio.

Gli elementi necessari sono stati ricavati dall'analisi diretta delle condizioni geologiche e geomorfologiche delle aree mediante una campagna di indagini geognostiche e geotecniche in situ ed in laboratorio, unitamente all'esame della documentazione bibliografica disponibile per l'area in oggetto.

La campagna di indagini in situ è stata così articolata:

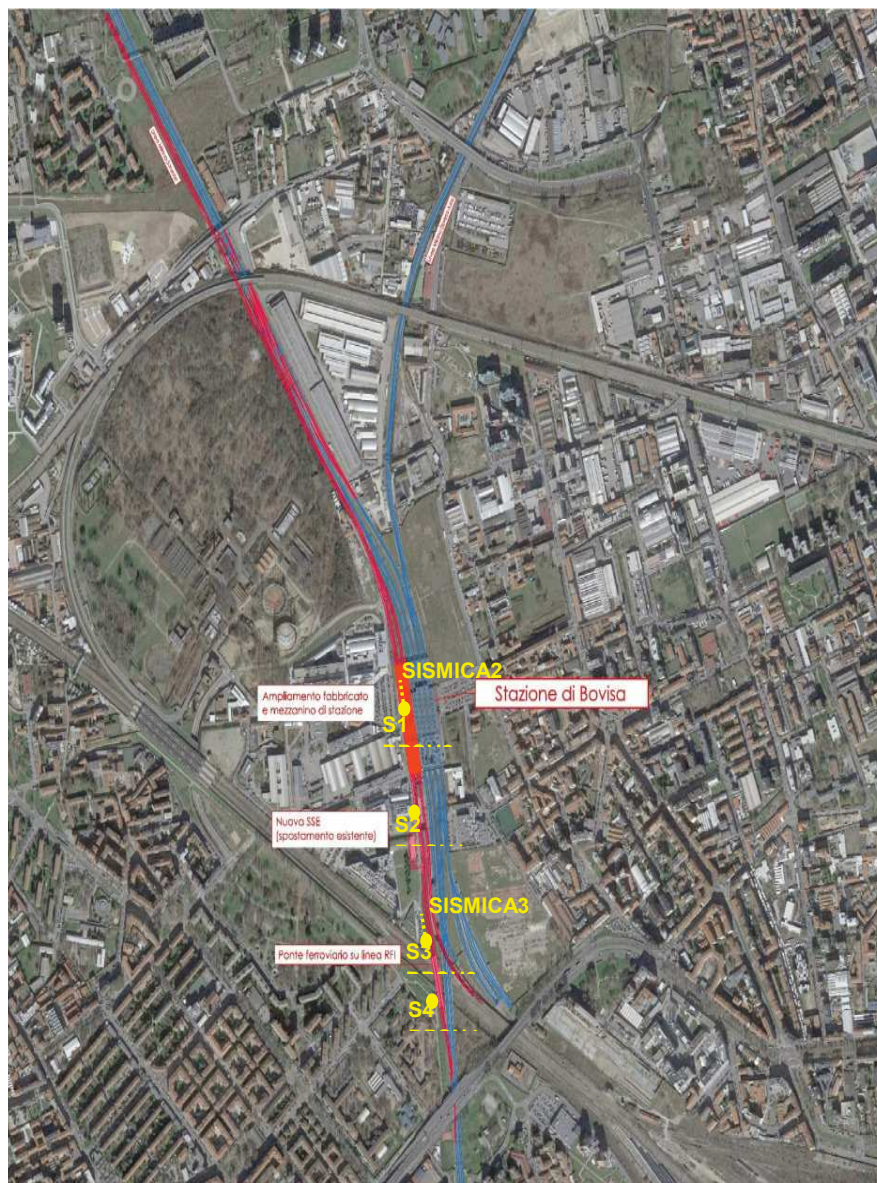
- n° 2 sondaggi geognostici (S1 e S2) ad andamento verticale a carotaggio continuo spinti ad una profondità di 25m da p.c. con esecuzione di prove SPT in foro di sondaggio, prelievo di campioni per prove di laboratorio geotecnico;
- n° 2 sondaggi geognostici (S3 e S4) ad andamento verticale a carotaggio continuo spinti ad una profondità di 50m da p.c. con esecuzione di prove SPT in foro di sondaggio, prelievo di campioni per prove di laboratorio geotecnico ed esecuzione di prove di permeabilità;
- n° 68 prove penetrometriche SPT
- n° 17 prelievi di campioni rimaneggiati e 1 campione indisturbato sottoposti a prove di laboratorio geotecnico
- n°1 installazione di tubazione piezometrica nel sondaggio S1;
- n° 4 prove di permeabilità di tipo Lefranc;
- n° 4 DPSH spinte sino a rifiuto posizionate accanto ai sondaggi;
- n° 2 indagini sismiche MASW rispettivamente posizionate rispettivamente in prossimità dei sondaggi S2 e S3;
- n° 2 profili sismici a rifrazione eseguite lungo gli stessi allineamenti delle MASW
- esecuzione di prove di laboratorio geotecnico;
- relazione delle attività in sito e laboratorio;
- documentazione fotografica delle indagini;

Per la visione di dettaglio dei risultati delle indagini e sulle modalità di acquisizione, elaborazione ed interpretazione dei dati, si rimanda al Report sulle Indagini Geognostiche.

Sono stati consultati i seguenti documenti bibliografici:

- Elaborati geologici del PGT Comunale di Milano (agg. Ottobre 2012)
- <http://www.cartografia.regione.lombardia.it>
- <http://esse1.mi.ingv.it/>
- www.isprambiente.gov.it

UBICAZIONE DELLE INDAGINI



2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Si riporta, di seguito, l'elenco della normativa di riferimento osservata e della documentazione consultata:

- Norme Tecniche per le Costruzioni "Approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018
- Allegati alle Norme Tecniche per le Costruzioni "Approvate con Decreto Ministeriale 14.01.2008"
- Raccomandazioni AGI (1977)
- Modalità Tecniche ANISG (1977)
- Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT di Milano.

3 INQUADRAMENTO ALL'INTERNO DEL PGT

Nel presente paragrafo vengono riportati i risultati emersi dalla consultazione degli elaborati cartografici della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT di Milano, di cui si riportano nelle pagine seguenti gli stralci non in scala.

Ai fini della prevenzione dei rischi geologici, idrogeologici e sismici, il Piano di Governo del Territorio (PGT) contiene la definizione dell'assetto geologico, idrogeologico e sismico comunale (DdP), il recepimento e la verifica di coerenza con gli indirizzi e le prescrizioni del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale e del Piano di Bacino, individua le aree a pericolosità e vulnerabilità geologica, idrogeologica e sismica, nonché le norme e le prescrizioni a cui le medesime aree sono assoggettate (PdR). (art. 57, LR 12/2005 e smi)

La componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio (PGT) è redatta in conformità alle metodologie contenute nei criteri attuativi dell'art. 57 della l.r. 12 del 2005, approvati con d.g.r. 2616 del 2011, recentemente integrati con la d.g.r. 6738 del 19 giugno 2017 e con la d.g.r. n. 470 del 2 agosto 2018.

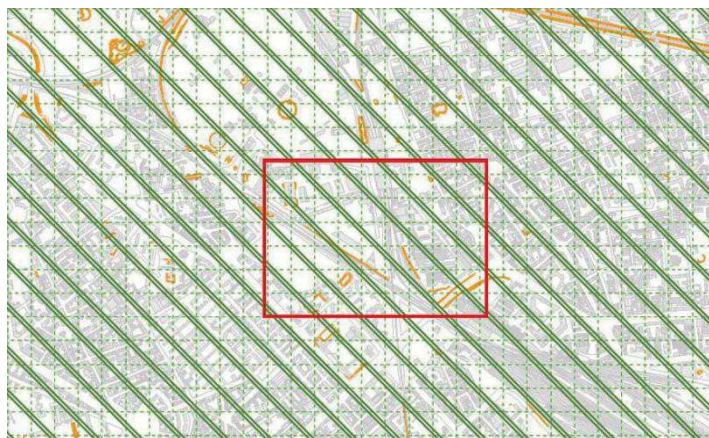
La componente geologica del PGT si compone dei seguenti documenti:

- elaborati testuali: relazione geologica generale e norme geologiche di piano
- elaborati cartografici: carta geologica, geomorfologica, idrogeologica, idraulica, eventuali studi di dettaglio, carta della pericolosità sismica locale, carta di sintesi, carta dei vincoli, carta di fattibilità geologica, carta dei dissesti con legenda uniformata al Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI), carta PAI-PGRA (Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni)
- asseverazione redatta secondo lo schema dell'allegato 6 della d.g.r. n. 6738 del 2017 di conformità della componente geologica del PGT alle metodologie di riferimento

Di seguito si riportano gli stralci, non in scala delle carte ritenute più significative ai fini della presente trattazione, ovvero la **Carta di Pericolosità Sismica Locale** (PSL), che rappresenta il primo livello, obbligatorio, per l'analisi del rischio sismico; la **Carta dei Vincoli**, e individua le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative in vigore di contenuto prettamente geologico; la **Carta di Sintesi** che propone una zonazione del territorio in funzione dello stato di pericolosità geologico-geotecnica e della vulnerabilità idraulica e idrogeologica.; la **Carta di Fattibilità Geologica** che rappresenta la valutazione incrociata degli elementi contenuti nella cartografia analitica con i fattori geoambientali, territoriali e antropici, confrontati con la pericolosità dei fenomeni agenti e le conseguenti situazioni di rischio geologico.

- **Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL)**

Figura 3-1 Stralcio Tavola G.03 "Carta della Pericolosità Sismica Locale" – PGT Comune di Milano (Giugno 2018)



Area di progetto



PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

Zona sismica di appartenenza (OPCM 3274/03)



Zona 4

Indagini sismiche



Ubicazione indagini MASW

Classificazione del tipo di suolo in funzione della risposta sismica



Grado Buono - Classe B
Velocità sismica $360 \text{ m/s} < V_{S30} < 800 \text{ m/s}$

GEO MORFOLOGIA

Scenari di pericolosità sismica locale



Forme morfologiche (Z4a)

La Zona Sismica del Comune di Milano è passata dalla classe 4 alla classe 3 a seguito dell'approvazione della Delibera di giunta regionale n. X/5001 del 30-03-2016 entrata in vigore dal 10-04-2016

Per quanto riguarda l'analisi sismica della componente geologica a scala comunale i criteri attuativi della legge regionale n. 12 del 2005 per il governo del territorio (d.g.r. n. 2616 del 2011) prevedono tre livelli di approfondimento (<http://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale/servizi-e-informazioni/Enti-e-Operatori/territorio/pianificazione-comunale-e-provinciale/componente-geologica-pgt/componente-geologica-pgt>):

- 1° livello (fase pianificatoria): obbligatorio in tutte le zone sismiche (2, 3 e 4)
- 2° livello (fase pianificatoria): nelle zone sismiche 2 e 3 è obbligatorio negli ambiti a Pericolosità sismica locale Z3 e Z4 se interferenti con l'urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili. Nelle zone sismiche 4 è obbligatorio negli ambiti a Pericolosità sismica locale Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al decreto n. 19904 del 2003)
- 3° livello (fase progettuale): nelle zone sismiche 2 e 3 è obbligatorio nelle aree indagate con il 2° livello quando il fattore di amplificazione (FA) calcolato è maggiore del valore soglia comunale e nelle zone a Pericolosità sismica locale Z1 e Z2. Nelle zone sismiche 4 è obbligatorio nelle aree indagate con il 2° livello quando il fattore di amplificazione (FA) calcolato è maggiore del valore e nelle zone a Pericolosità sismica locale Z1 e Z2 per gli edifici strategici e rilevanti

Le banche dati citate nell'Allegato 5 alla d.g.r. n. 2616 del 2011 sono da utilizzare per le analisi sismiche di 2° e 3° livello. Gli accelerogrammi sono da utilizzare per l'analisi dinamica non lineare delle strutture.

Nella Carta di Pericolosità sismica Locale, che costituisce l'obiettivo del primo livello di approfondimento dell'analisi del rischio sismico, obbligatorio per tutti i comuni durante la fase pianificatoria, vengono riconosciute le aree passibili di amplificazione sismica sulla base di osservazioni geologiche e di dati esistenti.

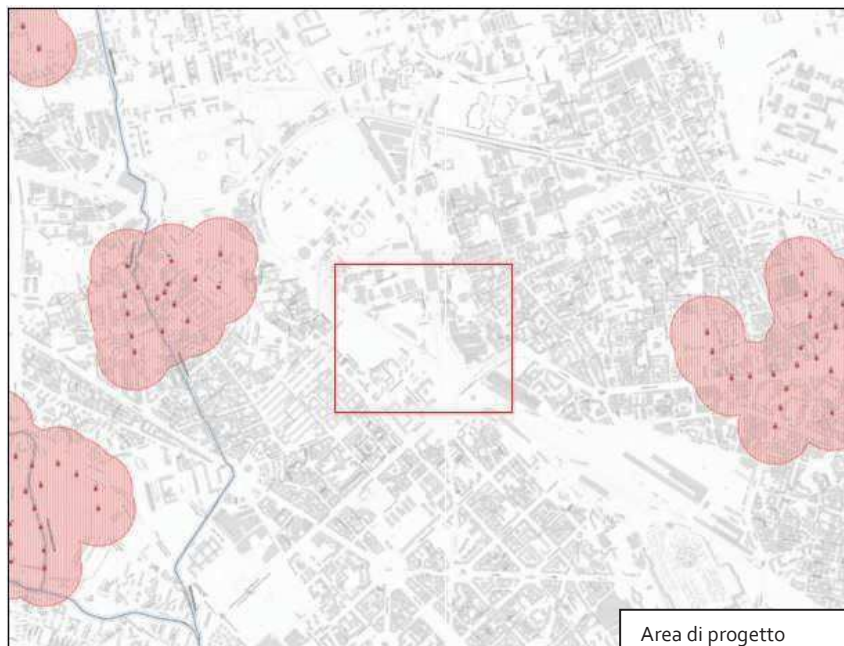
Secondo tale cartografia tematica, a seguito dell'approvazione della delibera di giunta regionale n.X/5001 del 30-03-2016 entrata in vigore dal 10-04-2016, che decreta tra le altre cose l'entrata in vigore della nuova zonizzazione sismica della regione Lombardia, presentata nel d.r.g. del 11 luglio 2014 - n. X/2129, l'area di progetto ricade nella **zona sismica 3**, con classificazione del tipo di suolo in funzione della risposta sismica di "**Grado Buono – Classe B**", caratterizzato da un Vs30 compreso tra 360 e 800 m/s.

La delibera di giunta regionale del 11 luglio 2014 - n. X/2129 ha approvato la nuova classificazione sismica dei Comuni della Regione Lombardia, riclassificando il comune di Milano da zona sismica 4 a zona sismica 3, con un valore di *agmax* di 0,054655.

In riferimento a quanto previsto dalle Normative Tecniche sulle Costruzioni (NTC 2018) sulla verifica a liquefazione (§7.11.3.4.2), nel territorio di Milano questa può essere omessa in quanto le accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero sono minori di 0,1 g.

- **Carta dei vincoli**

Figura 3-2 Stralcio Tavola N. G04 "Carta dei vincoli" – PGT Comune di Milano (Ottobre 2012).



Area di progetto

GEO MORFOLOGIA

Andamento morfologico

Scarpate morfologiche

IDROGRAFIA

Acque superficiali

Scoperto Tombinato

..... Reticolo idrico principale
..... Reticolo idrico minore demaniale
..... Reticolo idrico minore gestito da altri soggetti
..... Reticolo idrico consortile

Fasce di rispetto
Specchi d'acqua

IDROGEOLOGIA

Pozzi (DLgs 152/2006 e DGR 7/12693)

Id
• Pozzi di captazione
• Zona di tutela assoluta (10 m.)
Fasce di rispetto (200 m.)

Fontanili

• Testa di fontanile
Aree di rispetto dei fontanili (Art. 41, NTA del PTC Parco Agricolo Sud Milano)

DIFESA DEL SUOLO

PAI - Piano per l'Assetto Idrogeologico del Lambro (L 183/1989, DPCM 24-05-2001 e DGR 7/7365)

Fasce fluviali

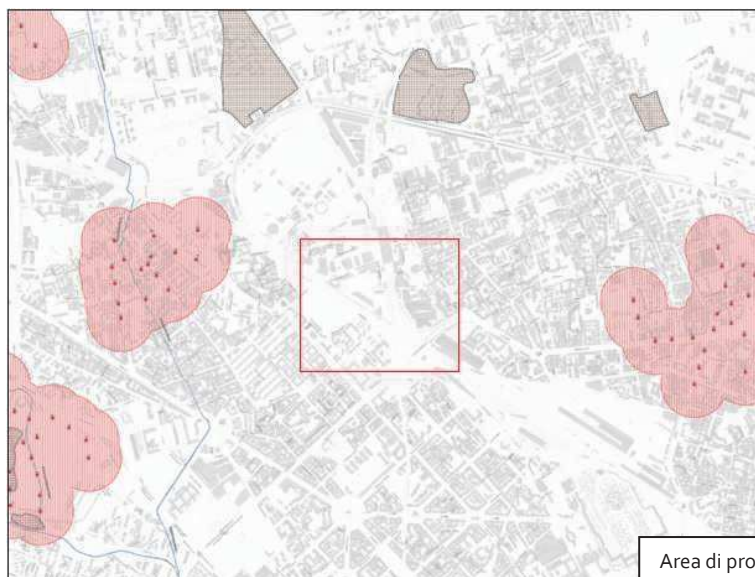
----- Limite tra la fascia A e la fascia B
----- Limite tra la fascia B e la fascia C
----- Limite esterno della fascia C
●●●●●●●● Limite di progetto tra la fascia B e la fascia C

Le carte dei vincoli rappresentano le limitazioni d'uso del territorio, derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore, di contenuto prettamente geologico, con particolare riferimento ai vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino, ai sensi della l.183/89, vincoli di polizia idraulica, aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile, geositi.

Il sito oggetto di studio, come possibile osservare nello stralcio riportato, non ricade in nessuna area sottoposta a vincolo.

- Carta di sintesi

Figura 3-3 Stralcio Tavola N. G05 "Carta di sintesi" – PGT Comune di Milano (Ottobre 2012)



Area di progetto



GEOMORFOLOGIA

Andamento morfologico

Scarpate morfologiche

IDROGRAFIA

Acque superficiali

Scoperto Tombinato

..... Reticolo idrico principale
..... Reticolo idrico minore demaniale
..... Reticolo idrico minore gestito da altri soggetti
..... Reticolo idrico consortile

Fasce di rispetto

Specchi d'acqua

USO DEL SUOLO

Attività estrattive

Cave cessate

LITOLOGIA

Litologia superficiale

Aree a litologia limoso argillosa prevalente (L4 e L5)

IDROGEOLOGIA

Pozzi (DLgs 152/2006 e DGR 7/12693)

Zona di tutela assoluta (10 m.)

Fasce di rispetto (200 m.)

Ambiti interessati da emergenze idriche

Fascia di 50 m. dalla testa dei fontanili e fascia di 25 m. lungo le sponde dell'asta del fontanile

Aree a bassa soggiacenza della falda (< 5 m.)

DIFESA DEL SUOLO

PAI - Piano per l'Assetto Idrogeologico del Lambro (L 183/1989, DPCM 24-05-2001 e DGR 7/7365)

Fasce fluviali

----- Limite tra la fascia A e la fascia B
----- Limite tra la fascia B e la fascia C
----- Limite esterno della fascia C
..... Limite di progetto tra la fascia B e la fascia C

Classi di rischio idraulico

R1 - Rischio moderato
R2 - Rischio medio
R3 - Rischio elevato
R4 - Rischio molto elevato

La carta di sintesi del PGT è redatta a seguito dell'analisi dei diversi fattori di rischio ed è il risultato delle correlazioni e della valutazione critica di tutti i dati raccolti nelle varie fasi d'indagine. Essa evidenzia gli elementi geologici caratterizzanti e/o maggiormente significativi dell'area indagata. Vengono considerati, per la redazione delle suddette carte tematiche, le aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico, ed aree vulnerabili dal punto di vista idraulico.

Come nel caso delle Carte dei vincoli, in cui non sono emerse particolari scenari di vulnerabilità, anche le Carte di sintesi per l'area di progetto non mostrano la presenza di aree assoggettate ad alcuna categoria.

- **Carta della fattibilità geologica**

Figura 3-4 Stralcio Tavola N. G06 "Carta della fattibilità geologica" – PGT Comune di Milano (Ottobre 2012)



Area di progetto



GEOMORFOLOGIA

Andamento morfologico

—— Scarpate morfologiche

IDROGRAFIA

Acque superficiali

Scoperto

Torbinato

- Reticolo idrico principale
- Reticolo idrico minore demaniale
- Reticolo idrico minore gestito da altri soggetti
- Reticolo idrico consortile



Specchi d'acqua

DIFESA DEL SUOLO

PAI - Piano per l'Assetto Idrogeologico del Lambro (L 183/1989, DPCM 24-05-2001 e DGR 7/7365)

Fasce fluviali

- Limite tra la fascia A e la fascia B
- Limite tra la fascia B e la fascia C
- Limite esterno della fascia C
- Limite di progetto tra la fascia B e la fascia C

FATTIBILITA' GEOLOGICA

Classi di fattibilità geologica



F2 - Fattibilità con modeste limitazioni



F3 - Fattibilità con consistenti limitazioni

F3a Aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minore frequenza (tempi di ritorno >50 anni) e/o con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità degli edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche.

F3b Aree a bassa soggiacenza della falda (< 5 m)

F3c Zone a litologia limoso-argillosa prevalente

F3d Ambiti di cava cessata



F4 - Fattibilità con gravi limitazioni

F4a Aree allagate in occasione di eventi meteorici intensi o allagabili con maggiore frequenza (tempi di ritorno <50 anni) e/o con valori di velocità ed altezze d'acqua tali da pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità degli edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche.

Nella carta di fattibilità il territorio comunale viene suddiviso in classi di fattibilità geologico-ambientale, sulla base di una valutazione incrociata degli elementi contenuti nella cartografia analitica (carte tematiche, carta della pericolosità sismica e carta di sintesi) con i fattori geoambientali, territoriali e antropici, confrontati con la pericolosità dei fenomeni agenti e le conseguenti situazioni di rischio geologico.

Essa fornisce dunque le indicazioni in ordine alle limitazioni e destinazioni d'uso del territorio e deve essere utilizzata congiuntamente alle "Norme geologiche di attuazione" che ne riportano la relativa normativa d'uso.

L'area oggetto di studio ricade in **classe di fattibilità 2**-fattibilità con modeste limitazioni.

In merito a tale classe, nelle norme geologiche di attuazione del PGT di Milano, si riporta quanto segue:

Classe II Fattibilità con modeste limitazioni (verde)

Si tratta 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 del DM 14/01/08, per tutti i livelli di progettazione previsti per legge.

Tale classificazione non risulta, quindi, particolarmente restrittiva nei confronti della possibilità di espansione edilizia; non si riscontrano, infatti, generali limitazioni all'edificabilità o alla modifica dell'uso del territorio.

In ogni caso occorrerà attenersi a quanto previsto dal DM 14/01/08 e prevedere, di volta in volta, la realizzazione di idonei approfondimenti di carattere idrogeologico e geologico-tecnico, finalizzati a:

- fornire una puntuale valutazione delle caratteristiche litostratigrafiche dei terreni di fondazione, con specifico riferimento alle eventuali interferenze della falda superficiale con le porzioni inferiori dei fabbricati e con i terreni stessi di fondazione, soprattutto in considerazione del fatto che la falda nel periodo primavera estate manifesta accentuati innalzamenti.
- svolgere una accurata analisi delle scelte progettuali in merito alla capacità portante dei terreni di fondazione, nonché alla valutazione dei cedimenti.

Lo studio delle componenti consente di definire le aree in classe di fattibilità geologica 2 come pianeggianti, litologicamente costituite da depositi di natura sabbioso ghiaiosa con percentuali variabili di matrice limosa o limoso sabbiosa.

Talvolta sono aree con presenza di terreni granulari/coesivi con mediocri/scadenti caratteristiche geotecniche fino a 5-6 m circa di profondità.

Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di restauro, manutenzione, risanamento conservativo, ristrutturazione edilizia (così come definiti dall'art. 27 della L.R. 12/2005), nel rispetto delle normative vigenti.

Relativamente agli ambiti produttivi la realizzazione dei vani interrati o seminterrati è condizionata dalla bassa soggiacenza dell'acquifero (< 5m); si vieta pertanto in tali aree la realizzazione di vani interrati adibiti ad uso produttivo o con utilizzo di sostanze pericolose/insalubri, mentre si sconsiglia la realizzazione di vani adibiti a stoccaggio di sostanze pericolose.

Potranno invece essere realizzati vani interrati compatibilmente con le situazioni idrogeologiche locali, ospitanti magazzini e/o depositi di sostanze non pericolose, parcheggi sotterranei, uffici dotati di collettamento delle acque di scarico con rilancio alla fognatura.

Si rende necessaria l'esecuzione di Indagini di approfondimento preventive alla progettazione per la verifica idrogeologica e litotecnica dei terreni mediante rilevamento geologico di dettaglio e l'esecuzione di prove geotecniche per la determinazione della capacità portante, da effettuare preventivamente alla progettazione esecutiva per tutte le opere edificatorie.

La verifica idrogeologica deve prevedere una disamina della circolazione idrica superficiale e profonda, verificando eventuali interferenze degli scavi e delle opere in progetto nonché la conseguente compatibilità degli stessi con la suddetta circolazione idrica.

Nel caso di opere che prevedano scavi e sbancamenti, dovrà essere valutata la stabilità dei versanti di scavo.

La modifica di destinazione d'uso di aree produttive esistenti necessita la verifica dello stato di salubrità dei suoli ai sensi del Regolamento Locale d'Igiene Pubblica e/o dei casi contemplati nel D. Lgs. 152/06.

Qualora venga rilevato uno stato di contaminazione dei terreni mediante un'indagine ambientale preliminare, dovranno avviarsi le procedure previste dal D.Lgs 152/06 (Piano di Caratterizzazione con analisi di rischio, Progetto Operativo degli interventi di Bonifica).

Le suddette indagini dovranno essere commisurate al tipo di intervento da realizzare ed alle problematiche progettuali proprie di ciascuna opera.

Gli interventi da prevedere in fase progettuale: per ogni tipo di opera gli interventi da prevedere saranno rivolti alla regimazione idraulica e alla predisposizione di accorgimenti per lo smaltimento delle acque meteoriche e quelle di primo sottosuolo.

Quale norma generale a salvaguardia della falda idrica sotterranea è necessario inoltre che per ogni nuovo intervento edificatorio, già in fase progettuale, sia previsto ed effettivamente realizzabile il collettamento degli scarichi idrici e/o dei reflui in fognatura.

Per gli ambiti produttivi soggetti a cambio di destinazione d'uso, dovranno essere previsti interventi di bonifica qualora venga accertato uno stato di contaminazione dei suoli e delle acque ai sensi del D.Lgs 152/06.

Le norme sismiche da adottare per la progettazione trattandosi di aree PSL, per gli edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03), la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del DM 14 gennaio 2008 definendo le azioni sismiche di progetto a mezzo di analisi di approfondimento di 3° livello - metodologie di cui all'allegato 5 della DGR n. 8/7374/08, o in alternativa utilizzando lo spettro previsto dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore.

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO

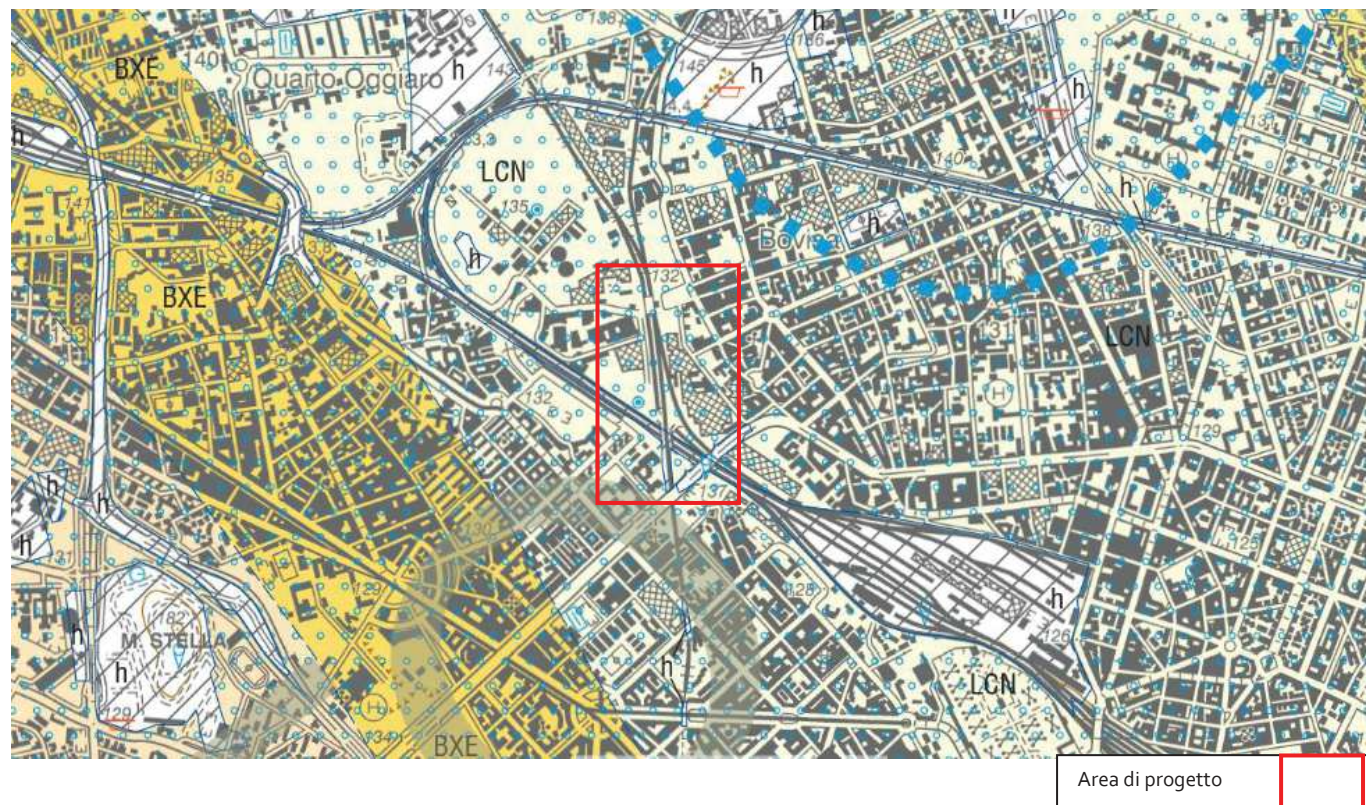
Dal punto di vista geologico, la zona di Bovisa, quartiere situato nella porzione settentrionale della città metropolitana di Milano, è caratterizzata dalla presenza di una successione dei depositi quaternari, appartenenti ai sistemi deposizionali fluviali e fluvioglaciali.

L'area milanese è stata oggetto di importanti trasformazioni in epoche geologiche recenti. Dal Miocene Superiore hanno avuto inizio intense fasi erosive, che trovano il proprio culmine nella genesi di profondi *canyon* scavati allo sbocco nella Pianura Padana dai corpi glaciali che percorrevano le vallate alpine. Questo periodo è interessato anche dall'alternanza di episodi di trasgressione e regressione marina. Dal Pliocene Superiore al Pleistocene Inferiore, si è avuta una definitiva regressione marina, caratterizzata dalla deposizione di sedimenti di tipo fluvio – lacustre e deltizio. Il Pleistocene Superiore ha visto, invece, la sedimentazione di depositi di origine glaciale e fluvio – glaciale ad opera dei corpi glaciali provenienti dalla catena appenninica. L'alternanza di fasi glaciali e interglaciali che si sono succedute sino ai giorni nostri, ha dato origine ad una tipica morfologia a cordoni morenici (visibili nella zona dell'alta pianura lombarda) e a terrazzi (visibile nella media e alta pianura lombarda).

L'area in oggetto rientra nel foglio 118 della Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Da essa si evince che nell'area di interesse affiorano depositi ghiaiosi e sabbiosi, con subordinata matrice limosa e rare intercalazioni argillose, afferenti ad alluvioni fluvio – glaciali (**Sintema di Cantù – LCN**). Il Sintema di Cantù, corrispondente al *Wurm Auct*, ma in un'accezione molto più ristretta rispetto all'uso tradizionale, è costituito da depositi fluvio – glaciali ghiaioso – sabbiosi e sabbioso – ghiaiosi. Questo sintema rappresenta l'ultima glaciazione, attribuito al tardo Pleistocene superiore. Nell'area a NE di Milano il sintema di Cantù è presente in una fascia di ampiezza chilometrica, collocata sul livello fondamentale della pianura. La litologia è marcatamente ghiaiosa nelle porzioni settentrionali e centrali, mentre verso S compaiono sequenze sommitali tendenzialmente più sabbioso – ghiaiose e sabbiose (Francani, et al., 1999).

Nei pressi dell'area di progetto, affiora anche il **Supersintema di Besnate**, costituito da depositi fluvioglaciali, caratterizzati da profili d'alterazione moderatamente evoluti. Il supersintema è suddiviso, in base alle relazioni morfologiche in numerose unità, leggermente differenti per sequenze sommitali (Francani, et al., 1999). In particolare nell'area di Bovisa affiorano le Unità di Minoprio (**BMI**) e l'Unità di Bulgarograsso (**BXE**), di cui è riportata la descrizione stratigrafica in *Figura 4-1* (Francani, et al., 1999).

Figura 4-1 Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (CARG) e della relativa legenda – Foglio 118 Milano.



Area di progetto

SUPERSISTEMA DEI LAGHI: SINTEMA DI CANTÙ



LCN

Ghiaie a prevalente supporto clastico, con matrice sabbiosa; sabbie ghiaiose; sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi argillosi massivi (depositi fluvioglaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli moderatamente evoluti (Inceptisoli e Alfisoli), con spessori prossimi al metro; colore 10YR e 2.5Y; debole idromorfia nei settori meridionali del Foglio. Copertura loessica assente.
PLEISTOCENE SUPERIORE

UNITÀ DI BULGAROGROSSO



BXE

Ghiaie a prevalente supporto clastico; matrice sabbiosa o sabbioso limosa (depositi fluvioglaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli da evoluti a moderatamente evoluti, di spessore variabile; colori prevalenti 7.5YR e 10YR. Copertura colluviale (o loessico-colluviale in area Groane).
PLEISTOCENE MEDIO - PLEISTOCENE SUPERIORE

UNITÀ DI MINOPRIO



BMI

Ghiaie a supporto clastico e di matrice; matrice sabbiosa e sabbioso limosa; limi ghiaiosi; sabbie, sabbie limose e limi (depositi fluvioglaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli con spessore medio di 1,5 m; colori 10YR e 7.5YR; presenza di suoli sepolti nel settore meridionale del Foglio. Copertura loessica non osservata.
PLEISTOCENE MEDIO - PLEISTOCENE SUPERIORE

SOVRASSEGNI DELLE UNITÀ' NEOGENICHE QUATERNARIE



h

Deposito antropico (riporti e riempimenti)



b

Deposito alluvionale prevalentemente ghiaioso



Linea delle risorgive

Dal punto di vista geomorfologico la zona di Milano si colloca nella media pianura alluvionale, dove è possibile riconoscere solo i terrazzi fluviali attuali, che hanno comunque subito dei rimodellamenti ad opera antropica. Come esposto anche nella relazione illustrativa del PGT, si pone in evidenza, quindi, l'intensa antropizzazione dell'area, che ha inciso notevolmente i processi morfogenetici naturali, in particolare in relazione alla circolazione idrica superficiale e all'impermeabilizzazione del suolo ad opera di coperture artificiali, non trascurando anche quanto l'azione antropica abbia inciso su tali tematiche con lo sfruttamento a fini estrattivi di cave di ghiaia e sabbia. La zona ha subito intense regimazioni fluviali che hanno obliterato il reticolo idrografico naturale. Il territorio si presenta molto pianeggiante, con la quota massima di 182.2 m.s.l.m. del M.te Stella e minima di 99.7 m.s.l.m. nella parte terminale di via Ripamonti, con una pendenza dei circa 3 ‰.

5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il Programma di Tutela ed Uso delle Acque – **PTUA**, approvato dalla Regione Lombardia, ai sensi del D.Lgs. 152/99 e della L.R. n. 26 del 12 dicembre 2003, con Delibera di Giunta Regionale n. 2244 del 29 marzo 2006, individua nella pianura lombarda le seguenti aree idrogeologiche (Torretta & Gatti, 2013):

- Zona di ricarica delle falde, corrispondente alle alluvioni oloceniche e ai sedimenti fluvioglaciali pleistocenici nella parte settentrionale della pianura, dove l'acquifero è praticamente ininterrotto da livelli poco permeabili. Quest'area si estende quasi tutta a monte della fascia delle risorgive. Sono queste le aree nelle quali l'infiltrazione da piogge, nevi e irrigazioni, permette la ricarica della prima falda, tramite la quale può pervenire alle falde profonde.
- Zona di non infiltrazione alle falde, sempre nella parte alta della pianura, costituita dalle aree in cui affiora la roccia impermeabile o dove è presente una copertura argillosa (depositi fluvioglaciali del Pleistocene medio antico).
- Zone ad alimentazione mista, nella zona centrale e meridionale della pianura, in cui le falde superficiali sono alimentate da infiltrazioni locali, ma non trasmettono tale afflusso alle falde più profonde, dalle quali sono separate da diaframmi poco permeabili. Quest'area corrisponde alla massima parte della pianura.
- Zona di interscambio tra falde superficiali e profonde, in corrispondenza dei corsi d'acqua principali, soprattutto del fiume Po.

Sulla base di tali individuazioni e in riferimento alle litologie presenti, alla disposizione geometrica nonché ai fenomeni di circolazione idrica sotterranee, sono distinti tre complessi acquiferi principali separati da livelli impermeabili continui ed estesi:

1. Acquifero Superficiale – Primo Acquifero;
2. Acquifero Tradizionale – Secondo Acquifero;
3. Acquifero Profondo – Terzo Acquifero.

Le tre tipologie di acquifero poggiano su un substrato roccioso terziario, formato da depositi marini poco permeabili (Chiodelli, 2015).

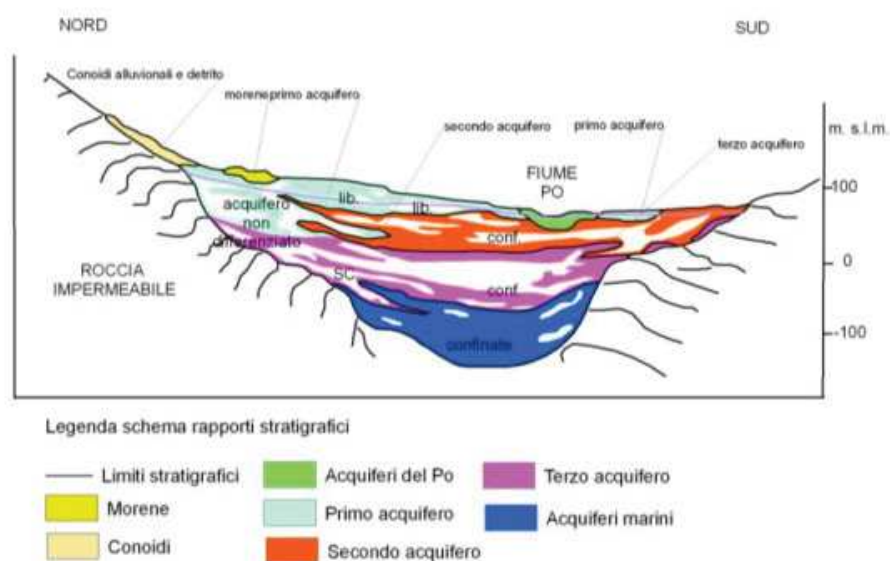


Figura 5-1 Schema idrogeologico della pianura Padana. (Francani, et al., 1999)

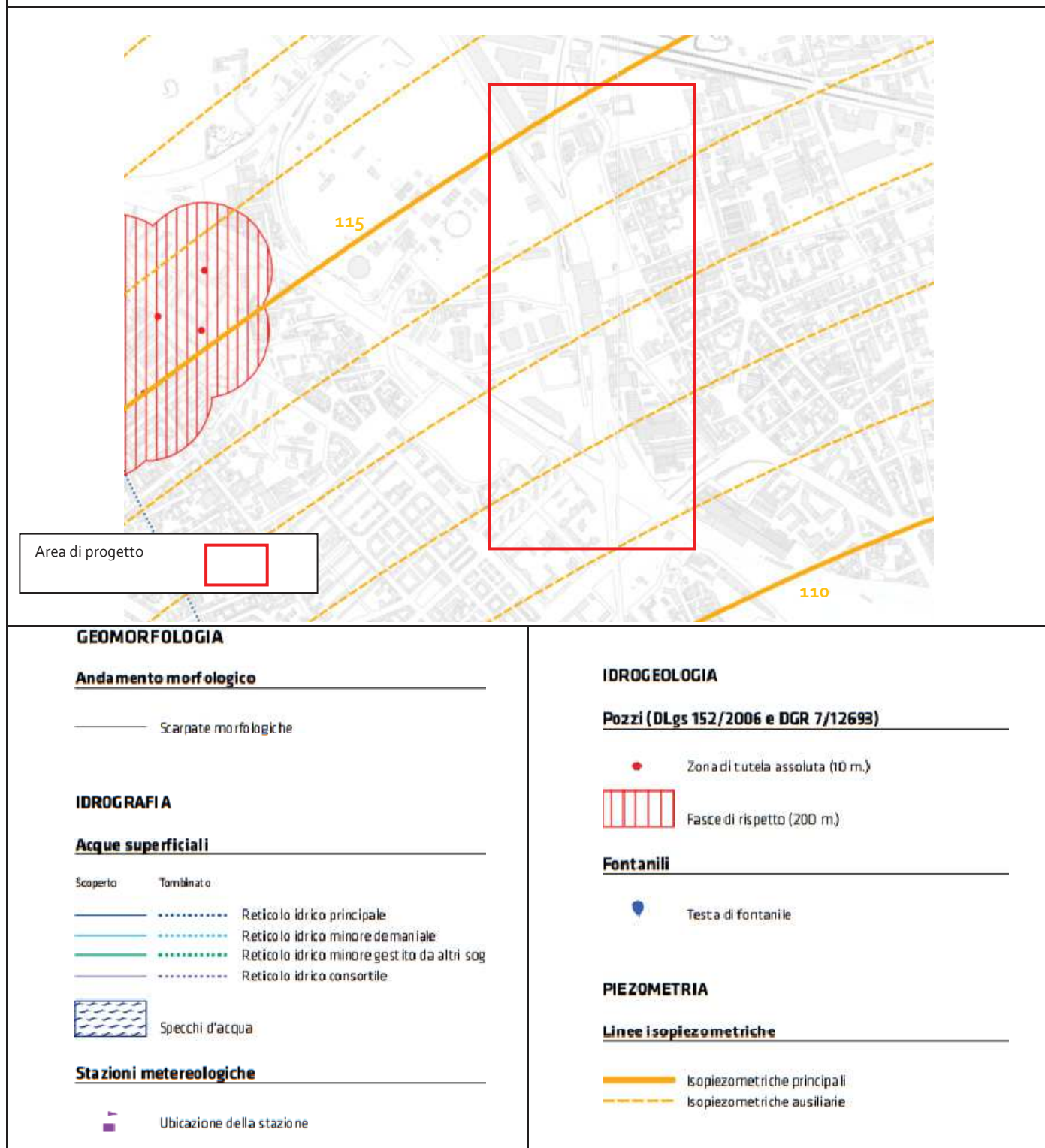
Data l'identificazione di quattro superfici di discontinuità stratigrafica di estensione regionale, è possibile individuare quattro unità stratigrafiche denominate *Unità A*, *Unità B*, *Unità C* e *Unità D*. Queste unità sono state equiparate a corpi geologici di notevole estensione areale che costituiscono un dominio dello spazio fisico in cui ha sede un sistema idrogeologico distinto (Torretta & Gatti, 2013). Nel complesso, l'insieme delle unità idrostratigrafiche principali costituisce una successione di corpi sedimentari acquiferi (Gruppi Acquiferi) costituiti a loro volta da corpi sedimentari acquiferi di rango e dimensioni inferiori (Complessi Acquiferi).

I Gruppi Acquiferi, presenti con continuità in tutto il territorio investigato, vengono così distinti:

- **Gruppo Acquifero A:** costituito da depositi in facies fluviale di tipo braided ad alta energia, la cui litologia è composta essenzialmente da sedimenti grossolani ghiaioso – sabbiosi a matrice sabbiosa medio grossolana con subordinati intervalli sabbiosi da medi a molto grossolani, ad elevata porosità e permeabilità; localmente sono presenti livelli di spessore decimetrico di argille e argille limose e orizzonti costituiti da ghiaie cementate e conglomerati. Lo spessore di tale gruppo acquifero varia dai 26-30 m sino ai 40-45 m e il suo limite inferiore è posto in corrispondenza dei primi livelli argillosi realmente continui. L'unità, congiuntamente alla seguente unità del Gruppo Acquifero B, è sede dell'acquifero principale di tipo libero o localmente semiconfinato, caratterizzato da soggiacenza intorno ai 20-30 m da piano campagna ed è tradizionalmente captata dai pozzi di captazione a scopo idropotabile di vecchia realizzazione e da pozzi privati.
- **Gruppo Acquifero B:** costituito da depositi in facies fluviale di tipo braided, la cui litologia è composta essenzialmente da sedimenti grossolani rappresentati da sabbie medio – grossolane, sabbie ciottolose e ghiaie a matrice sabbiosa ad elevata porosità e permeabilità; verso il basso diminuisce la granulometria dei sedimenti e diventano più frequenti gli orizzonti cementati (arenarie e conglomerati) e i livelli di sedimenti fini argilloso-limosi. Lo spessore complessivo si attesta su una media di circa 45 m con valori minimi intorno ai 35 m e massimi di 55 m. L'unità, congiuntamente alla precedente Unità A, è sede dell'acquifero principale di tipo libero o localmente semiconfinato, tradizionalmente captato dai pozzi di captazione a scopo idropotabile di vecchia realizzazione e da pozzi privati.
- **Gruppo Acquifero C:** costituito da depositi in facies continentale/transizionale deltizia. Litologicamente è costituito da sabbie da fini a medie e da argille limose con orizzonti torbosi a cui si intercalano livelli ghiaioso-sabbiosi a maggiore permeabilità. Nei livelli permeabili sono presenti acquiferi intermedi e profondi, di tipo confinato, la cui vulnerabilità è mitigata dalla presenza a tetto di strati argillosi arealmente continui, ma non sono da escludere collegamenti ed alimentazione da parte dell'acquifero libero superiore ad alta vulnerabilità.

In Figura 5-2 è proposto lo stralcio della Carta Idrogeologica del PGT del Comune di Milano. Secondo tale cartografia tematica, la zona di progetto presenta una soggiacenza della falda compreso tra 110 e 115 m.s.l.m.

Figura 5-2 Stralcio Tavola N. G.02 "Carta Idrogeologica" – PGT Comune di Milano (Ottobre 2012)



6 INQUADRAMENTO SISMICO

6.1 Classificazione 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 del D.G.R.2129/2014 è riportato l'elenco dei comuni della regione lombarda con indicazioni delle relative zone sismiche e dell'accelerazione massima (Agmax) presente all'interno del territorio comunale. Facendo riferimento a suddetto allegato, il comune di Milano ricade in **zona sismica 3** con **AgMax** pari a **0,054655 g**.

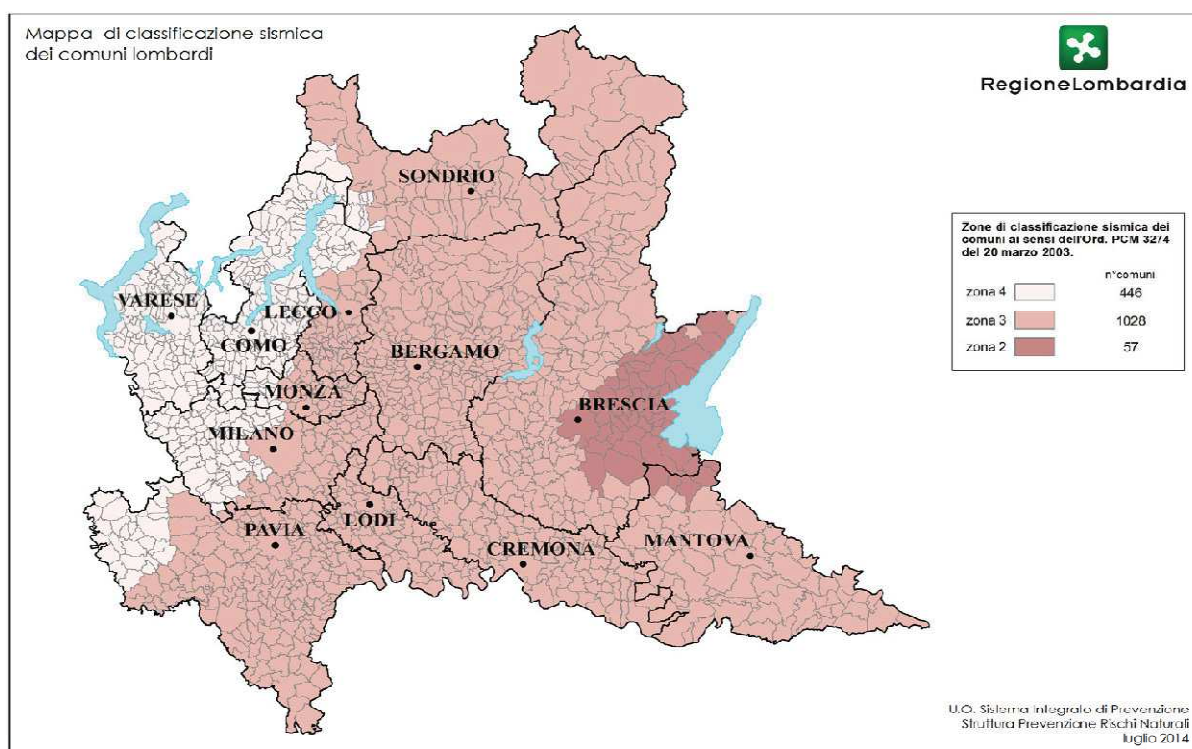


Figura 6-1 Mappa di classificazione sismica dei comuni lombardi - Regione Lombardia

Il Database Macrosismico Italiano *DBMI15*, che raggruppa un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti, raccoglie la storia sismica del Comune di Milano, consultabile al link https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/place/IT_13462, di cui si riporta il diagramma riepilogativo in Figura 6-2.

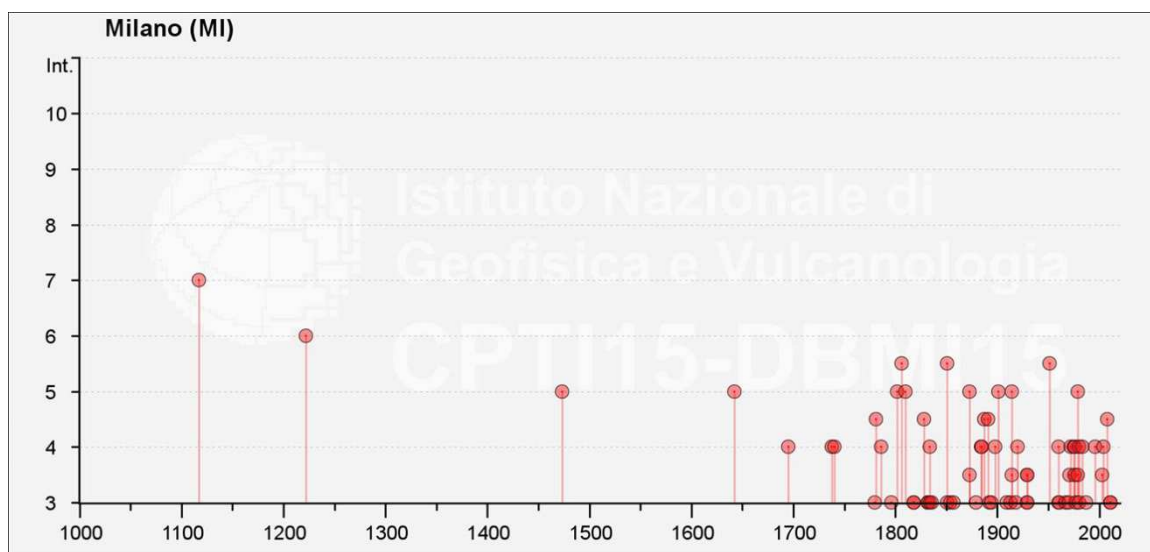


Figura 6-2 Diagramma della storia sismica di Milano dall'anno 1000 all'anno 2019. In ordinata è riportata l'intensità dell'evento sismico, in ascissa l'anno di avvenimento.

6.2 Pericolosità sismica di base

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 2008¹, 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), 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 VR, come definito nel § 2.4 delle suddette norme.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento VR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- **a_g** : accelerazione orizzontale massima al sito;
- **F_0** : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- **T_c^*** : valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Sul sito web del progetto nazionale S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>) è disponibile la mappa di pericolosità sismica, introdotta dall'OPCM n.3519/2006 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>), in termini di accelerazione massima orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s.

¹ 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.

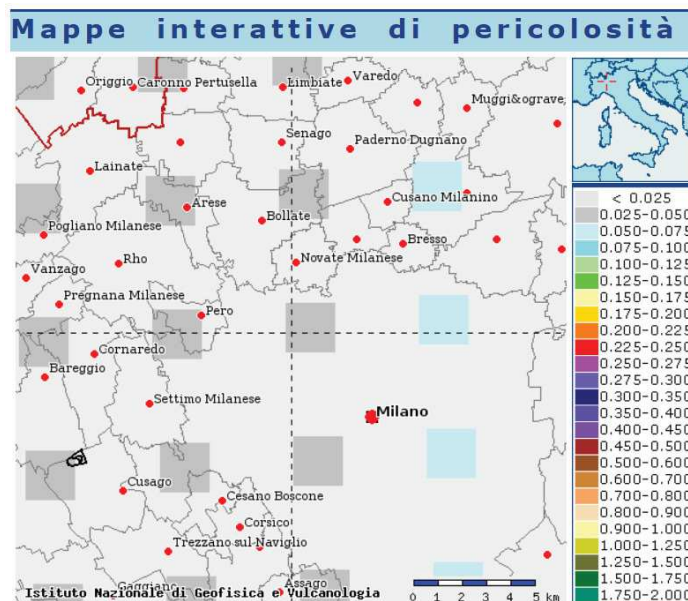
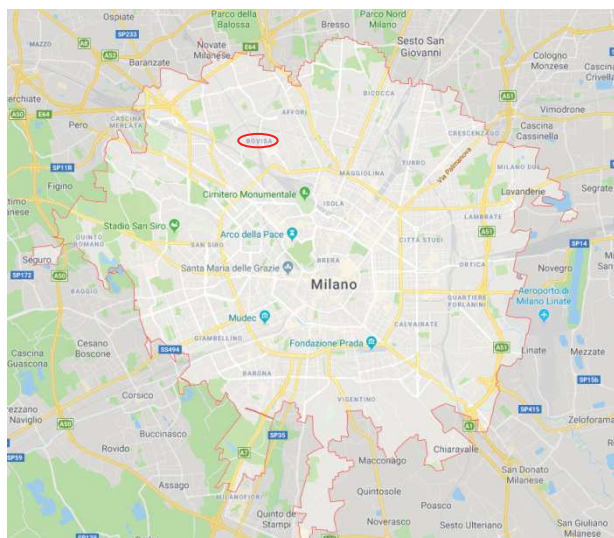


Figura 6-3 Visualizzazione dei valori di pericolosità sismica espressi in termini di accelerazione orizzontale massima del suolo (ag) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_{S30} > 800$ m/s).

Secondo tale mappatura, il territorio in oggetto ricade nella classe di accelerazione massima orizzontale del sottosuolo 0.025 - 0.050 g.

6.3 Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 delle NTC 2018. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella tabella riportata nella pagina seguente, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), 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 VS 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 VS,eq è definita dal parametro VS,30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella tabella seguente:

Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

Categoria	Caratteristiche del sottosuolo
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.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

L'elaborazione dei dati delle indagini sismiche MASW, ha permesso di calcolare il valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,30 che è risultato pari a **273 m/s** in corrispondenza della MASW01 e **267 m/s** in corrispondenza della MASW02.

Pertanto, il suolo di fondazione può essere attribuito alla Categoria di tipo "C".

6.4 Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione di seguito riportata (tab. 3.2.III Categorie topografiche - NTC18).

Categoria **Caratteristiche della superficie topografica**

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
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 $i > 30^\circ$

Considerata la morfologia del sito di progetto, la categoria topografica è pari a **T1**.

7 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

Come anticipato in premessa, la campagna di indagini geognostiche e geofisiche è stata così articolata:

- n° 2 sondaggi geognostici (S1 e S2) ad andamento verticale a carotaggio continuo spinti ad una profondità di 25m da p.c. con esecuzione di prove SPT in foro di sondaggio, prelievo di campioni per prove di laboratorio geotecnico;
- n° 2 sondaggi geognostici (S3 e S4) ad andamento verticale a carotaggio continuo spinti ad una profondità di 50m da p.c. con esecuzione di prove SPT in foro di sondaggio, prelievo di campioni per prove di laboratorio geotecnico ed esecuzione di prove di permeabilità;
- n° 68 prove penetrometriche SPT
- n° 17 prelievi di campioni rimaneggiati e 1 campione indisturbato sottoposti a prove di laboratorio geotecnico
- n°1 installazione di tubazione piezometrica nel sondaggio S1;
- n° 4 prove di permeabilità di tipo Lefranc;
- n° 4 DPSH spinte sino a rifiuto posizionate accanto ai sondaggi;
- n° 2 indagini sismiche MASW rispettivamente posizionate rispettivamente in prossimità dei sondaggi S2 e S3;
- n° 2 profili sismici a rifrazione in P eseguite lungo le stesse basi sismiche MASW
- esecuzione di prove di laboratorio geotecnico;
- relazione delle attività in sito e laboratorio;
- documentazione fotografica delle indagini;

7.1 Sondaggi geognostici

L'analisi dei dati derivanti dai sondaggi eseguiti, ha evidenziato la presenza di depositi alluvionali a granulometria prevalentemente ghiaioso- sabbiosa, con rare intercalazioni di livelli a granulometria limo-sabbiosa

La sommità della sequenza stratigrafica è costituita da terreni di riporto, anch'essi a granulometria sabbiosa e ghiaiosa, rinvenuti fino a profondità comprese tra 3.40 e 6 m dal p.c.

La falda è stata misurata nel piezometro installato nel foro di sondaggio S1 a 16.9 m dal p.c., in accordo con i dati bibliografici desunti dal PGT.

Per la visione di dettaglio si rimanda alle colonne stratigrafiche allegate al "Report Indagini geognostiche".

7.2 Prove SPT

La prova consente di determinare la resistenza di un terreno alla penetrazione dinamica di un campionatore infisso a partire dal fondo di un foro di sondaggio. Nel corso della realizzazione dei sondaggi sono state realizzate n. 68 prove SPT in foro; di seguito si riporta una tabella riepilogativa con indicazione delle prove eseguite, della profondità di esecuzione, del numero di colpi, del conseguente valore di NSPT e delle litologie testate.

N.	ID sondaggio	da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)	Colpi	N spt	Litologia
1	S1	1.50	1.95	spt1: 3-5-7	12	Riporto
2	S1	3.00	3.45	spt2: 9-11-12	23	Riporto
3	S1	4.50	4.95	spt3: 15-17-15	32	Ghiaia in matrice sabbiosa

N.	ID sondaggio	da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)	Colpi	N spt	Litologia
4	S1	6.00	6.45	spt4: 8-13-16	29	Ghiaia in matrice sabbiosa
5	S1	7.50	7.95	spt5: 18-20-20	40	Sabbia con ghiaia
6	S1	9.00	9.45	spt6: 12-13-17	30	Ghiaia in matrice sabbiosa
7	S1	10.50	10.95	spt7: 17-23-21	44	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
8	S1	12.00	12.45	spt8: 13-19-23	42	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
9	S1	13.50	13.95	spt9: 13-17-20	37	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
10	S1	15.00	15.45	spt10: 18-19-23	42	Sabbia ghiaiosa debolm. limosa
11	S1	18.00	18.45	spt11: 15-17-15	32	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
12	S1	21.00	21.45	spt12: 22-27-32	59	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
13	S1	24.00	24.45	spt13: 25-29-33	62	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
14	S2	1.50	1.95	spt1: 7-5-8	13	Riporto
15	S2	3.00	3.45	spt2: 3-4-4	8	Riporto
16	S2	4.50	4.95	spt3: 13-17-16	33	Ghiaia in matrice sabbiosa
17	S2	6.00	6.45	spt4: 19-20-17	37	Sabbia con ghiaia
18	S2	7.50	7.95	spt5: 18-23-22	45	Sabbia con ghiaia
19	S2	9.00	9.45	spt6: 15-27-19	46	Ghiaia in matrice sabbiosa debolm. limosa
20	S2	10.50	10.95	spt7: 20-26-25	51	Ghiaia in matrice sabbiosa debolm. limosa
21	S2	12.00	12.45	spt8: 18-28-31	59	Ghiaia in matrice sabbiosa debolm. limosa
22	S2	13.50	13.95	spt9: 18-18-21	39	Sabbia limoso-ghiaiosa
23	S2	15.00	15.45	spt10: 20-15-17	32	Sabbia limoso-ghiaiosa
24	S2	18.00	18.45	spt11: 11-14-19	33	Ghiaia con sabbia debolmente limosa
25	S2	21.00	21.45	spt12: 18-30-30	60	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
26	S2	24.00	24.45	spt13: 15-27-32	59	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
27	S3	1.50	1.95	spt1: 4-3-2	5	Riporto
28	S3	3.00	3.45	spt2: 2-1-1	2	Riporto
29	S3	4.50	4.95	spt3: 2-3-2	5	Riporto
30	S3	6.00	6.45	spt4: 17-43-43	86	Ghiaia con sabbia limosa deb. ciottolosa
31	S3	7.50	7.95	spt5: 20-29-33	62	Ghiaia con sabbia limosa deb. ciottolosa
32	S3	9.00	9.45	spt6: 22-28-40	68	Ghiaia con sabbia limosa deb. ciottolosa
33	S3	10.50	10.95	spt7: 17-21-19	40	Ghiaia con sabbia limosa deb. ciottolosa
34	S3	12.00	12.45	spt8: 16-12-17	29	Ghiaia con sabbia limosa deb. ciottolosa
35	S3	13.50	13.95	spt9: 17-27-30	57	Ghiaia con sabbia limosa deb. ciottolosa
36	S3	15.00	15.45	spt10: 14-26-30	56	Ghiaia con sabbia limosa deb. ciottolosa
37	S3	18.00	18.45	spt11: 17-21-18	39	Ghiaia con sabbia limosa deb. ciottolosa
38	S3	21.00	21.45	spt12: 18-23-21	44	Sabbia ghiaiosa
39	S3	24.00	24.45	spt13: 50 R+2 cm	rifiuto	Ghiaia e ciottoli in matrice sab-limosa
40	S3	27.00	27.45	spt14: 16-23-25	48	Sabbia con ghiaia
41	S3	30.00	30.45	spt15: 25-38-50 R+8 cm	rifiuto	Ghiaia con sabbia
42	S3	33.00	33.45	spt16: 50 R+6 cm	rifiuto	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
43	S3	36.00	36.45	spt17: 45-50 R+5 cm	rifiuto	Sabbia limoso-ghiaiosa
44	S3	39.00	39.45	spt18: 43-47-42	89	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
45	S3	42.00	42.45	spt19: 34-39-45	84	Sabbia con ghiaia debolm. limosa

N.	ID sondaggio	da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)	Colpi	N spt	Litologia
46	S3	45.00	45.45	spt20: 36-36-46	82	Sabbia debolm. limosa
47	S3	48.00	48.45	spt21:32-38-41	79	Sabbia ghiaioso-limosa
48	S4	1.50	1.95	spt1: 3-4-3	7	Riporto
49	S4	3.00	3.45	spt2: 2-2-3	5	Riporto Limo sabbioso
50	S4	4.50	4.95	spt3:2-3-4	7	Riporto
51	S4	6.00	6.45	spt4: 15-14-21	35	Ghiaia con sabbia limosa
52	S4	7.50	7.95	spt5: 23-24-29	53	Ghiaia con sabbia limosa
53	S4	9.00	9.45	spt6: 18-16-14	30	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
54	S4	10.50	10.95	spt7: 17-21-19	40	Sabbia con ghiaia e ciottoli debol. limosa
55	S4	12.00	12.45	spt8:16-12-17	29	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
56	S4	13.50	13.95	spt9:17-27-30	57	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
57	S4	15.00	15.45	spt10: 14-26-30	56	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
58	S4	18.00	18.45	spt11: 17-21-18	39	Sabbia limosa debolm. ghiaiosa
59	S4	21.00	21.45	spt12: 18-24-28	52	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
60	S4	24.00	24.45	spt13: 33-36-37	73	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
61	S4	27.00	27.45	spt14: 12-13-18	31	Sabbia con ghiaia debolm. limosa
62	S4	30.00	30.45	spt15: 18-24-26	50	Sabbia limoso- ghiaiosa
63	S4	33.00	33.45	spt16:16-25-31	56	Sabbia limosa con ghiaia
64	S4	36.00	36.45	spt17: 31-34-39	73	Ghiaia con sabbia limosa
65	S4	39.00	39.45	spt18: 24-23-26	49	Sabbia limosa debolmente ghiaiosa
66	S4	42.00	42.45	spt19: 19-21-25	46	Sabbia limosa con ghiaia
67	S4	45.00	45.45	spt20: 34-35-31	66	Sabbia limosa debolmente ghiaiosa
68	S4	48.00	48.45	spt21:28-26-29	55	Sabbia limosa debolmente ghiaiosa

Di seguito si riportano i grafici relativi ai valori di NSPT in funzione della profondità dal p.c..

Diagramma $N_{S.P.T.}$ - profondità - stato di addensamento

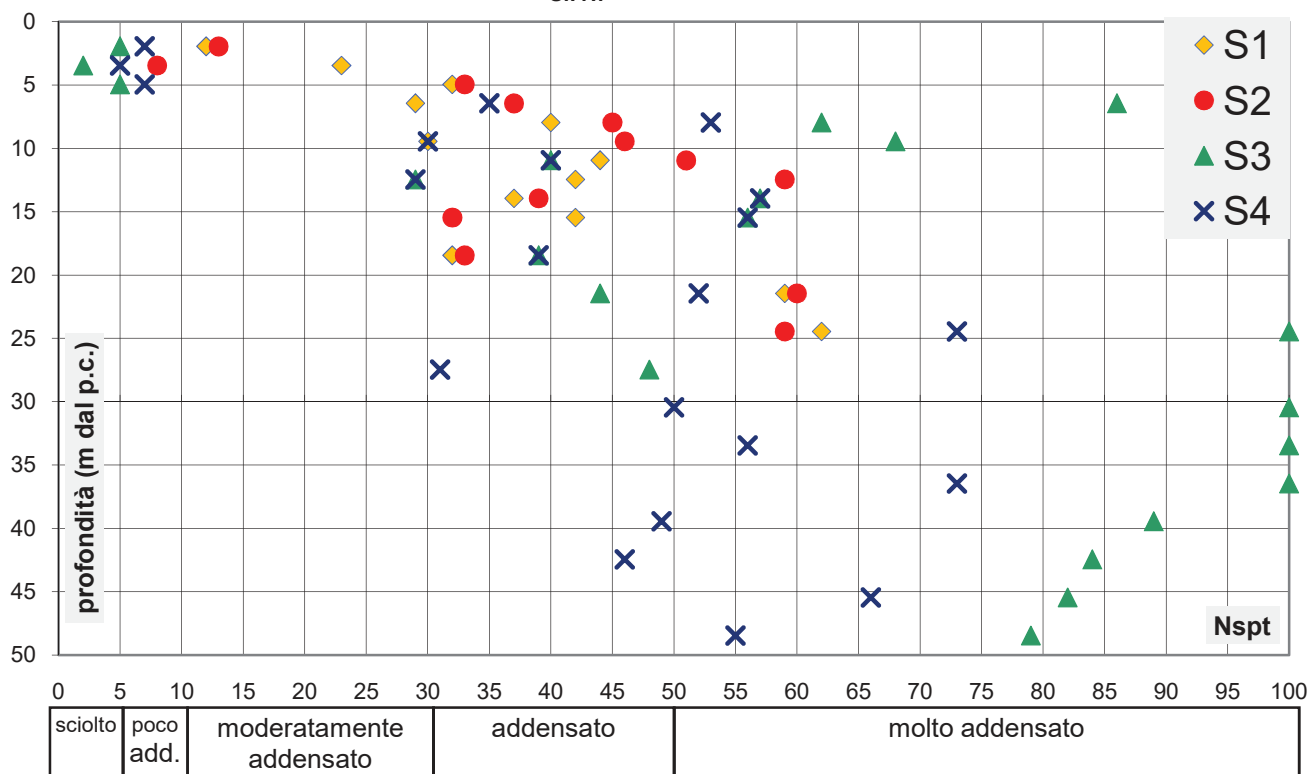


Figura 7-1 Grafico NSPT in funzione della quota assoluta s.l.m. e della profondità dal p.c.

In linea generale, dal grafico sopra riportato si evince che fino a circa 5 m di profondità dal piano campagna il numero di colpi (Nspt) evidenzia la presenza di terreni poco addensati, mentre dai 5 metri in giù i valori si dispongono in maniera più o meno variabile tra il campo “addensato” e il campo “molto addensato”.

7.3 Prelievo campioni e prove di laboratorio

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati n. 17 campioni rimaneggiati e n. 1 campione indisturbato.

I campioni rimaneggiati sono stati sottoposti alla determinazione della curva granulometrica i cui relativi risultati sono forniti nei certificati allegati al "Report Indagini Geognostiche" e di seguito riepilogati:

n.	sigla sond	sigla campione	da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)	Definizione granulometrica
1	S1	CR1	6.8	7.00	Ghiaia con sabbia, debolmente limosa
2	S1	CR2	12.70	13.00	Sabbia con ghiaia, limosa
3	S2	CR1	18.00	18.30	Ghiaia con sabbia, debolmente limosa
4	S2	CR2	22.00	22.30	Sabbia ghiaiosa, debolmente limosa
5	S3	CR1	5.50	6.00	Ghiaia con sabbia limosa
6	S3	CR2	20.00	20.50	Limo sabbioso argilloso
7	S3	CR3	23.50	24.00	Sabbia con ghiaia
8	S3	CR4	29.00	29.50	Sabbia ghiaiosa, limosa, debolmente argillosa
9	S3	CI1	34.50	35.00	Sabbia con limo debolmente ghiaiosa
10	S3	CR5	39.50	40.00	Sabbia con ghiaia, debolmente limosa
11	S3	CR6	47.50	48.00	Sabbia ghiaiosa, limosa, debolmente argillosa
12	S4	CR1	6.00	6.50	Ghiaia con sabbia limosa
13	S4	CR2	10.00	10.50	Sabbia con ghiaia, limosa, debolmente argillosa
14	S4	CR3	18.00	18.50	Sabbia limosa
15	S4	CR4	20.00	20.50	Sabbia con ghiaia, limosa
16	S4	CR5	29.00	29.50	Sabbia limosa, ghiaiosa, debolmente argillosa
17	S4	CR6	37.00	37.50	Sabbia limosa, ghiaiosa, debolmente argillosa
18	S4	CR7	44.50	45.00	Sabbia ghiaiosa, limosa, debolmente argillosa

Figura 7-2: Scheda sintetica dei campioni rimaneggiati prelevati

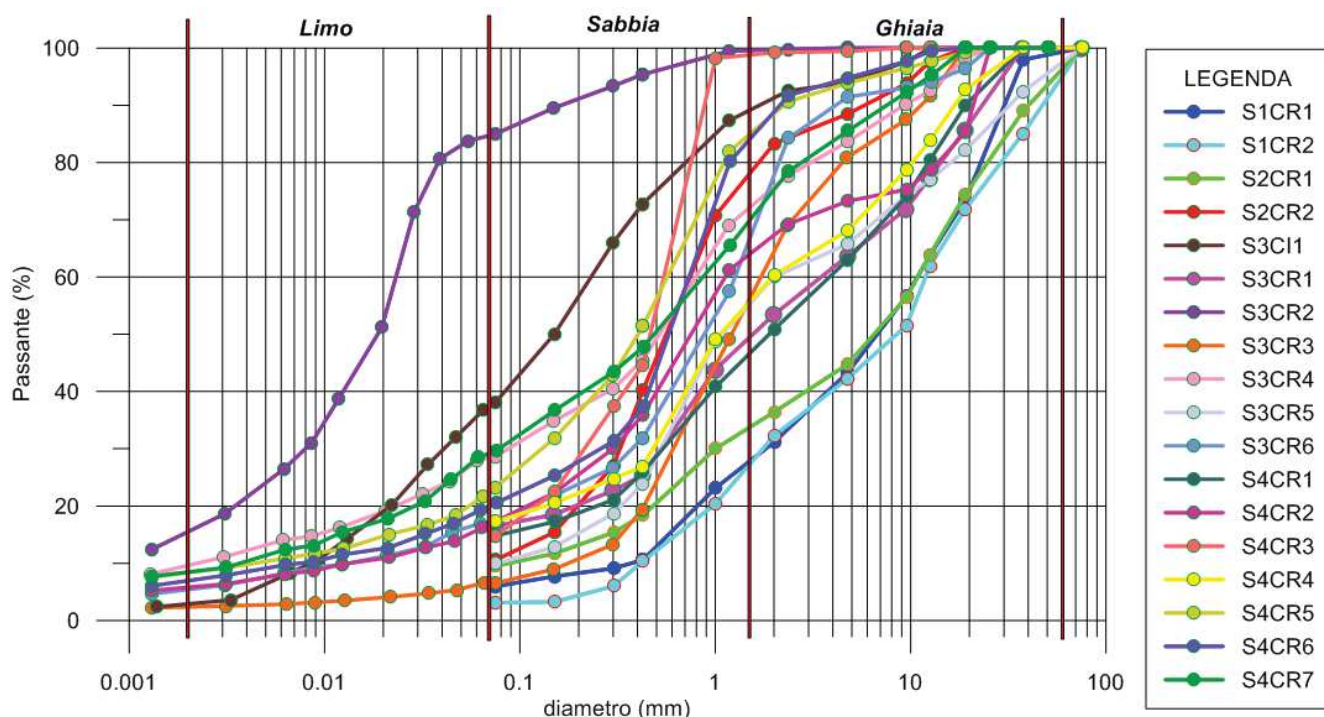


Figura 7-3: Grafico cumulativo delle curve granulometriche individuate per i singoli campioni

In corrispondenza del sondaggio S3 è stato prelevato un campione indisturbato, per la determinazione dei seguenti parametri geotecnici.

- caratteristiche generali: contenuto d'acqua (**W_n**), peso specifico dei grani (**γ_s**), peso di volume naturale (**γ_n**), tramite i quali si ricavano peso di volume secco (**γ_d**), grado di saturazione (**G_s**), indice dei vuoti (**e**), porosità (**n**);
- curva granulometrica mediante analisi granulometrica per setacciatura e/o sedimentazione;
- angolo di attrito interno (**φ**) e coesione (**c**) mediante prova di taglio diretto (CD).

Per comodità di esposizione si riporta di seguito una tabella riepilogativa dei risultati ottenuti relativamente al campione indisturbato S3-CI1. Per i dettagli si rimanda alla consultazione del "Report Indagini Geognostiche".

Sigla Campione		S3-CI1
Profondità di prelievo (m da p.c.)		34.50 - 35.00
Peso di volume naturale (KN/m ³)		19.03
Peso volume del secco (KN/m ³)		15.47
Contenuto d'acqua W (%)		23.00
Peso specifico dei grani		2.58
Porosità n (%)		40.00
Indice dei vuoti e (-)		0.67
Grado di saturazione G (%)		89.14
Distribuzione granulometrica (%)	Argilla	3.00
	Limo	33.00
	Sabbia	55.00
	Ghiaia	9.00
	Ciottoli	0.00
Definizione granulometrica	Sabbia con limo, debolmente ghiaiosa	
Prova di taglio consolidata drenata CD	Angolo di attrito (°)	35
	Coesione c (kPa)	14.5

Figura 7-4 Scheda sintetica dei campioni indisturbati prelevati

7.4 Prove Lefranc

La prova Lefranc è una prova di permeabilità da eseguirsi in fase di avanzamento della perforazione in terreni non rocciosi sotto falda o fuori falda. In quest'ultimo caso, dopo avere saturato con acqua il terreno. La prova è destinata a misurare la conducibilità idraulica orizzontale del terreno.

Si esegue misurando gli assorbimenti di acqua nel terreno, facendo filtrare l'acqua attraverso un tratto di foro predeterminato. Nel caso di terreni a conducibilità non elevata si esegue a carico idraulico variabile; a carico idraulico costante nel caso di elevata conducibilità.

Per le modalità di prova si rimanda all'elaborato "Documentazione indagini geognostiche".

Nell'ambito del presente studio sono state eseguite prove Lefranc a carico costante, n.2 nel corso del sondaggio S3 e n.2 in S4; i risultati sono mostrati nella sottostante tabella, mentre i dettagli sono consultabili nell'elaborato allegato al "Report delle Indagini Geognostiche".

ID sondaggio	Tratto di prova	K (m/s)	litologia
S3	18.70 – 19.50	5,4E-04	Sabbia con ghiaia e rari ciottoli
S3	23.40 – 24.00	4,9E-04	Sabbia con ghiaia
S4	17.10 – 18.00	4,9E-04	Sabbia deb. Limosa con ghiaia
S4	24.80 – 25.50	7,7E-04	Sabbia deb. limosa e ghiaia, rari ciottoli

7.5 Prova penetrometrica D.P.S.H.

Le prove penetrometriche dinamiche continue DPSH sono state eseguite in prossimità dei sondaggi di cui seguono la stessa numerazione.

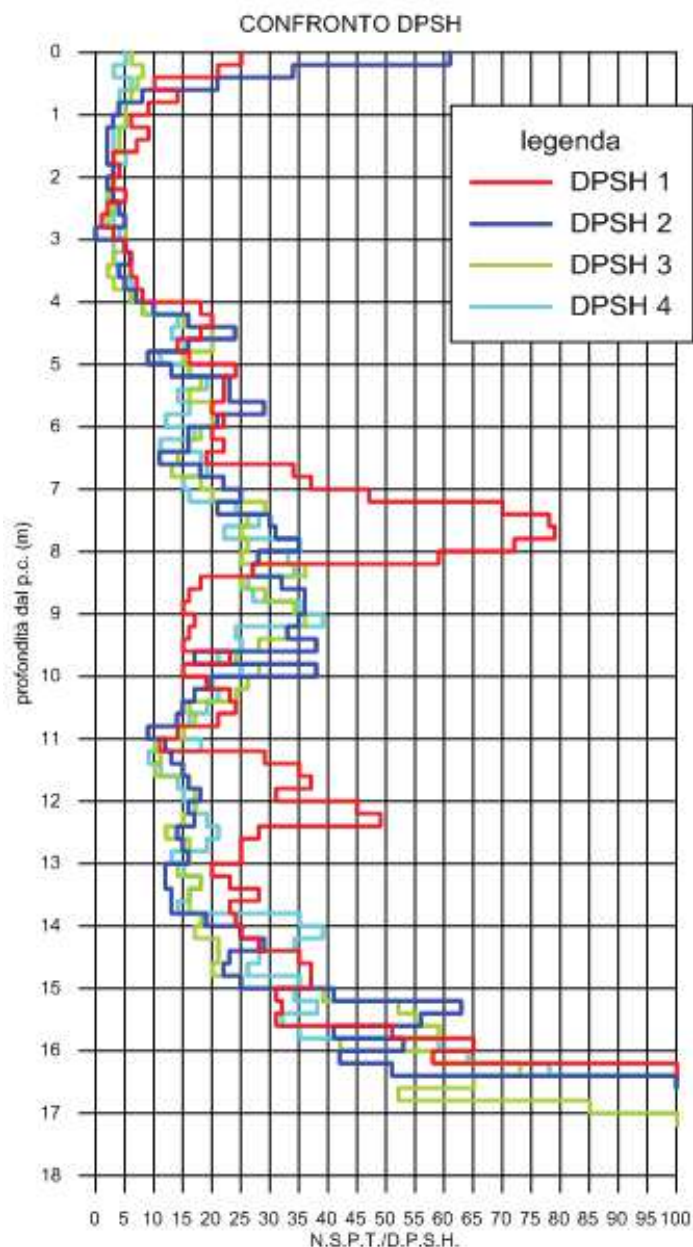


Figura 7-5- Confronto tra i grafici delle DPSH realizzate

Il grafico mostra un sostanziale accordo tra i dati delle prove eseguite. In particolare, si osserva un primo incremento del numero di colpi dopo i primi 4 m di profondità, ovvero al superamento dei terreni di riporto. Un secondo incremento si osserva tra i 7 e i 9 m seguito dalla diminuzione di resistenza fino a 11 m. Da questa profondità si osserva un generale e progressivo incremento dei valori fino al rifiuto strumentale registrato tra i 16 e i 17 m dal p.c..

Come si può osservare dai grafici riportati di seguito, tale andamento trova corrispondenza anche nei valori delle prove SPT.

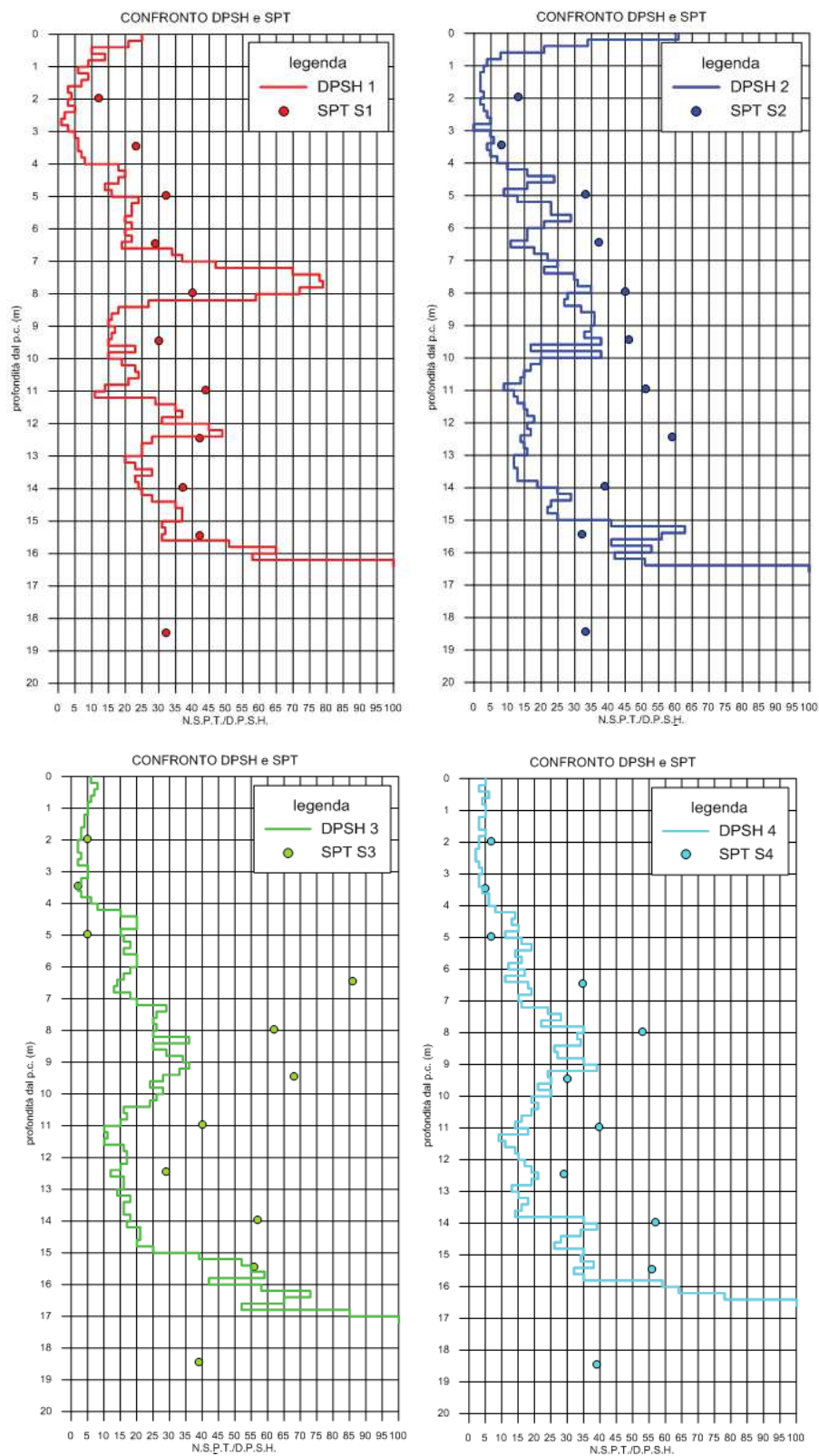


Figura 7-6- Confronto tra prove SPT e prove DPSH

7.6 Risultanze dell'indagine MASW01

L'elaborazione dei dati è stata effettuata selezionando, tra tutti i segnali acquisiti, il sismogramma di seguito riportato (Figura 7-7) in cui sono riportate le tracce sismiche registrate sull'intero array di geofoni costituenti lo stendimento.

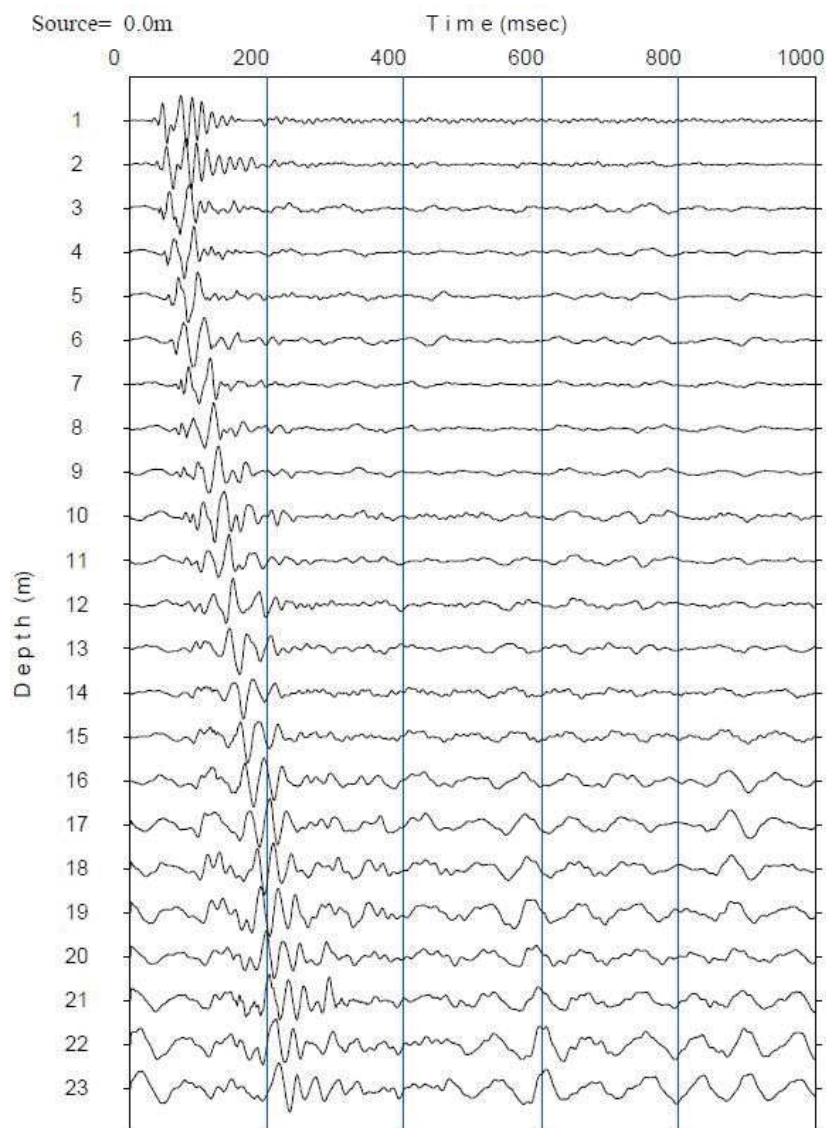


Figura 7-7– Milano Bovisa. Indagine MASW 01- Sismogramma.

A seguito del post-processing è stato elaborato il diagramma velocità di fase-frequenza dal quale è stata estratta la curva di dispersione di seguito riportata (Figura 7-8).

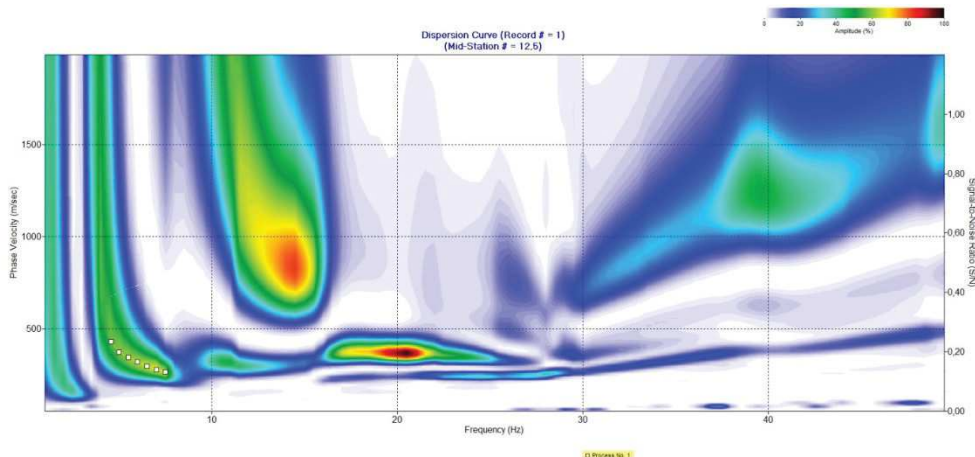


Figura 7-8– Milano Bovisa. Indagine MASW01 Diagramma velocità di fase-frequenza e curva di dispersione.

Ultimato il processo di inversione, è stato ricavato il profilo verticale dell'andamento della velocità delle onde S di seguito diagrammato (Figura 7-9).

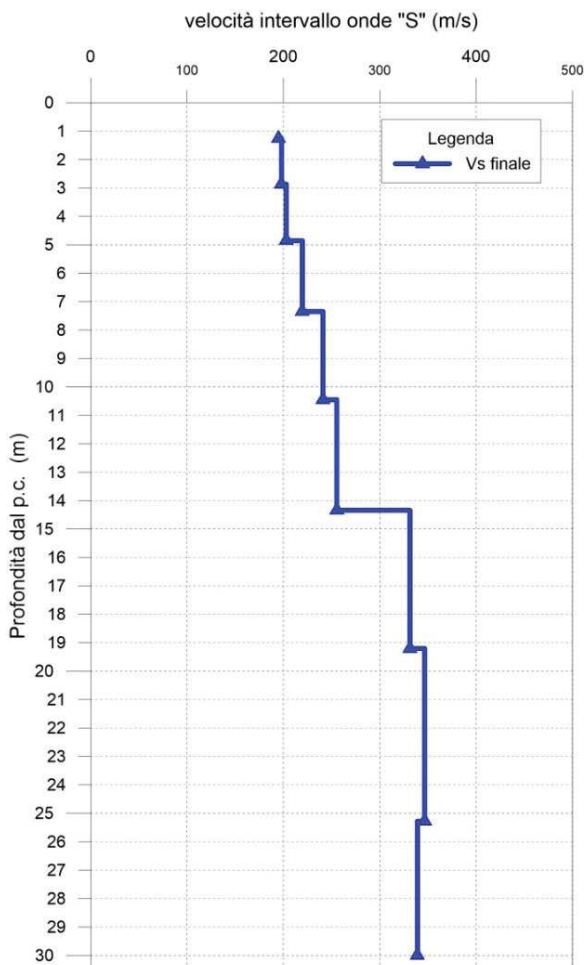


Figura 7-9– Milano Bovisa. Indagine MASW01. Andamento del profilo delle velocità delle onde S con la profondità.

Nella tabella di seguito si riportano i valori di profondità e velocità medie delle onde S:

Profondità (m dal p.c)	DELTA (h)	Vs (m/s)
1.27	1.3	195
2.87	1.6	198
4.86	2.0	203
7.35	2.5	220
10.45	3.1	241
14.34	3.9	255
19.20	4.9	331
25.28	6.1	347
30.00	4.7	339

*Tabella 7-1 Milano Bovisa. Indagine MASW01
Profondità, spessore sismostrati e velocità medie delle onde S.*

7.7 Risultanze dell'indagine MASW02

L'elaborazione dei dati è stata effettuata selezionando, tra tutti i segnali acquisiti, il sismogramma di seguito riportato (Figura 7-10) in cui sono riportate le tracce sismiche registrate sull'intero array di geofoni costituenti lo stendimento.

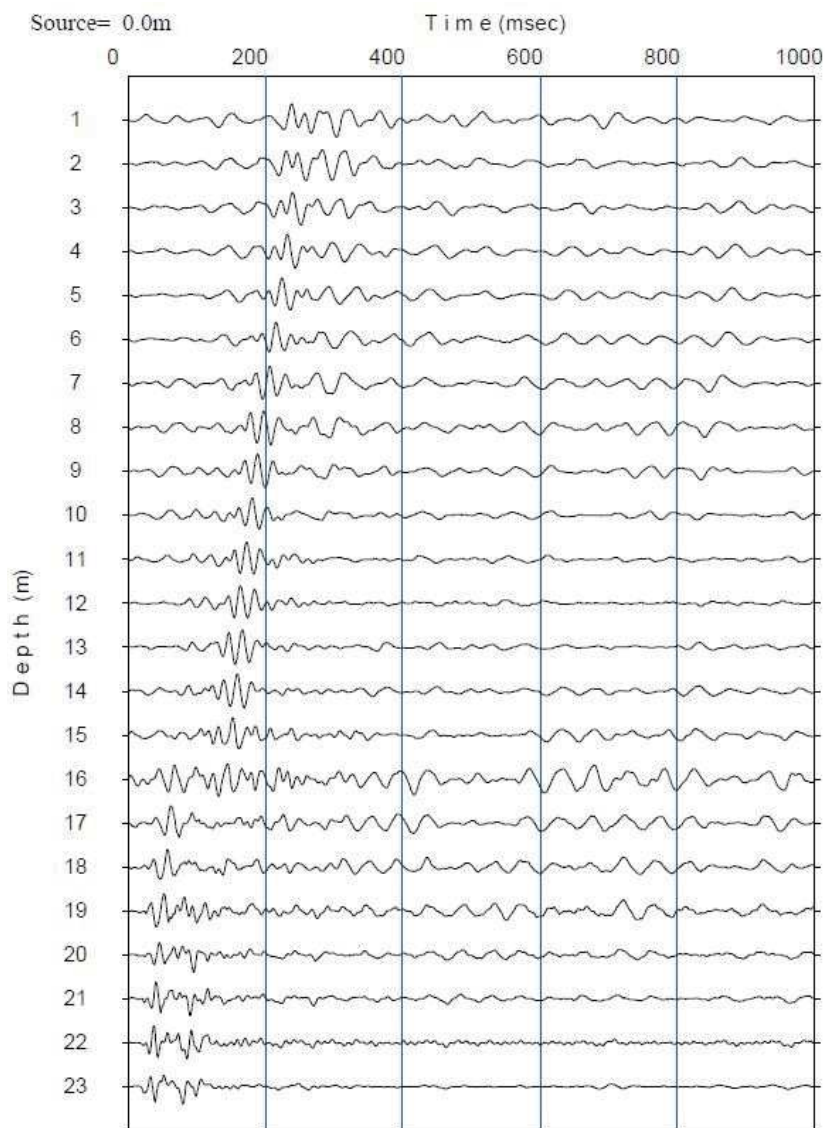


Figura 7-10– Milano Bovisa. Indagine MASW02 - Sismogramma.

A seguito del post-processing è stato elaborato il diagramma velocità di fase-frequenza dal quale è stata estratta la curva di dispersione di seguito riportata (Figura 7-11).

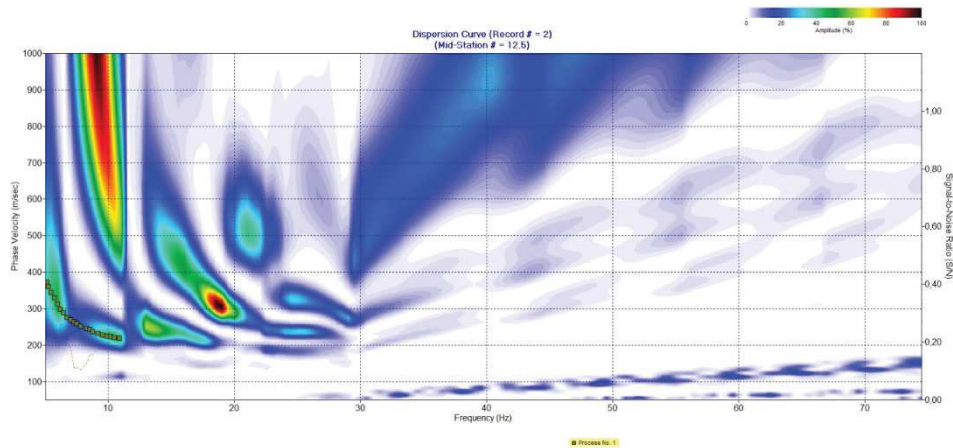


Figura 7-11– Milano Bovisa. Indagine MASW02 Diagramma velocità di fase-frequenza e curva di dispersione

Ultimato il processo di inversione, è stato ricavato il profilo verticale dell'andamento della velocità delle onde S di seguito diagrammato (Figura 7-12).

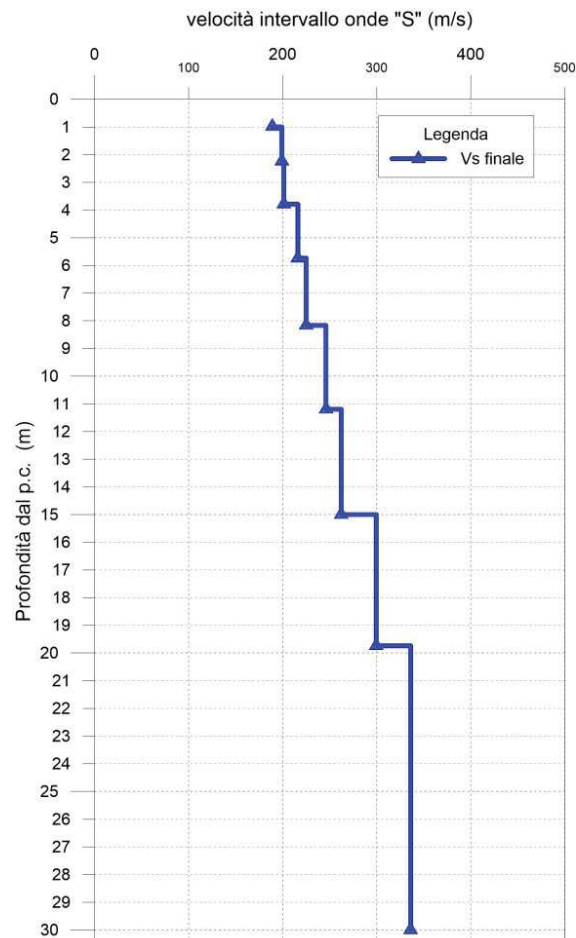


Figura 7-12– Milano Bovisa. Indagine MASW3. Andamento del profilo delle velocità delle onde S con la profondità.

Nella tabella di seguito si riportano i valori di profondità e velocità medie delle onde S:

Profondità (m dal p.c)	DELTA (h)	Vs (m/s)
1.00	1.0	189
2.24	1.2	199
3.79	1.6	201
5.74	2.0	216
8.17	2.4	225
11.20	3.0	246
15.00	3.8	262
19.74	4.7	299
30.00	10.3	336

*Tabella 7-2 Milano Bovisa. Indagine MASW02
Profondità, spessore sismostrati e velocità medie delle onde S.*

7.8 Determinazione del parametro $V_{s,eq}$ e categoria di sottosuolo

In base ai risultati delle prove MASW realizzate, è stato calcolato un valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,30}$ pari a **273 m/s** in corrispondenza della MASW01 e **267 m/s** in corrispondenza della MASW02.

Sebbene a scala più ampia il PGT indichi per il Comune di Milano una categoria di sottosuolo di tipo B, nella stretta zona di interesse, sulla scorta delle prove eseguite, il suolo di fondazione risulta attribuibile alla Categoria di tipo "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.*).

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione geologica è redatta a corredo del Progetto di ammodernamento e potenziamento del nodo di Bovisa, Milano, sulla scorta delle indagini geognostiche, in sito ed in laboratorio, e geofisiche realizzate, unitamente all'esame della documentazione bibliografica.

Dalla consultazione della componente geologica, idrologica e sismica del Piano di Governo del Territorio del 2012, aggiornato per alcune delle sue componenti nel 2018, è emerso che il territorio di Bovisa è situato in **zona sismica 3**, con un valore di **agmax** di **0,054655** e rientra nella **classe di fattibilità geologica 2** - fattibilità con modeste limitazioni.

Geologicamente la zona di Bovisa è interessata dalla presenza di terreni alluvionali, caratterizzati dall'alternanza di strati a granulometria prevalentemente sabbiosa e ghiaiosa.

Morfologicamente il sito si inserisce in un'area pianeggiante, con una quota media di circa 130-131 m.s.l.m..

Dal punto di vista idrogeologico, la zona di Milano è interessata in linea generale dalla presenza di tre gruppi acquiferi sovrapposti. Secondo quanto indicato nella "Carta Idrogeologica" – PGT Comune di Milano (Ottobre 2012)", la falda idrica principale nel settore in cui ricade l'area oggetto di studio ha quote comprese tra 110 e 115 m s.l.m., con linee di deflusso idrico sotterraneo in direzione NW-SE.

La falda è stata intercettata in fase di perforazione a 16.9 m dal p.c., corrispondenti a 114.3. m s.l.m..

Per la caratterizzazione geomeccanica del sottosuolo di interesse sono state eseguite prove penetrometriche S.P.T. in foro e D.P.S.H., i cui risultati sono stati trattati nei relativi paragrafi; le litologie testate rientrano nei range *"addensato e molto addensato"*.

Le prove di laboratorio hanno permesso di determinare la classe granulometrica dei campioni sottoposti a prova, che hanno evidenziato la presenza prevalente di granulometrie sabbiose e ghiaiose.

Dall'elaborazione dei dati delle prove sismiche MASW è stata calcolata la **V_{s30}** che è risultata pari a **273 m/s** in corrispondenza della MASW01 e **267 m/s** in corrispondenza della MASW02, classificando il sottosuolo come appartenente alla Categoria di tipo "C".

Per quanto concerne la caratterizzazione geotecnica e le modalità di scavo si rimanda alla relazione geotecnica.

San Donato M.se (MI), Marzo 2019

Tecno In S.p.A.
Dott. Geol. Lucio Amato

