



COMUNE DI MONZA
PROVINCIA DI MONZA E BRIANZA
Settore Mobilità, Viabilità, Reti

SOTTOPASSO CICLOPEDONALE VIA DE
MARCHI/EINSTEIN FERMATA MONZA EST

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

TAVOLA:
RB_001_00

DATA:
NOVEMBRE 2018

SCALA:
-

nome_file :

MB_SLDE_RB_001_D_00

R.T.P.



Il Responsabile
(Dott. Ing. V. Aiello)
ALBO PROVINCIALE INGEGNERI VERONA
iscrizione N° 1553

Geologo Dr. Nucci Enrico

Dott. Ing. Vito Aiello

Dott. Ing. Giulia Melchiori

II R.U.P.

Arch. Luciana Rigaglia

INDICE

1	PREMESSA	3
1.1	Normativa di riferimento	4
1.2	Ubicazione dell'area e stato dei luoghi	5
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO IDROGEOLOGICO	7
3	INQUADRAMENTO SISMICO	10
4	ANALISI DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO (P.G.T.)	13
5	CAMPAGNA D'INDAGINE	17
5.1	Prova sismica MASW	18
5.2	Sondaggio stratigrafico	20
5.3	Prove penetrometriche dinamiche SPT	20
5.4	Sintesi dei risultati	21
6	MODELLO GEOLOGICO GEOTECNICO IDROGEOLOGICO LOCALE	24
6.1	Stratigrafia	24
6.2	Idrogeologia	26
6.3	Parametri geotecnici	28
6.4	Modello geotecnico del terreno di fondazione	31
7	PERICOLOSITA' SISMICA	33
7.1	Pericolosità sismica di base	34
7.2	Pericolosità sismica locale	37
7.2.1	Classificazione sismica del sottosuolo	38
7.2.2	Amplificazione stratigrafica e topografica	39
7.2.3	Coefficienti sismici	40
8	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	42

ALLEGATI

- Ubicazione dell'area di progetto
- Ubicazione delle prove in sito
- Documentazione fotografica delle indagini
- Scheda stratigrafica
- Elaborati delle Prove sismiche

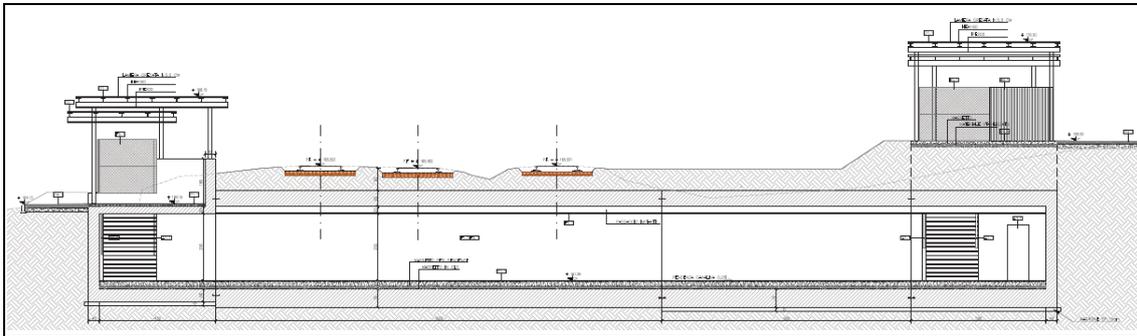
Verona, novembre 2018

1 PREMESSA

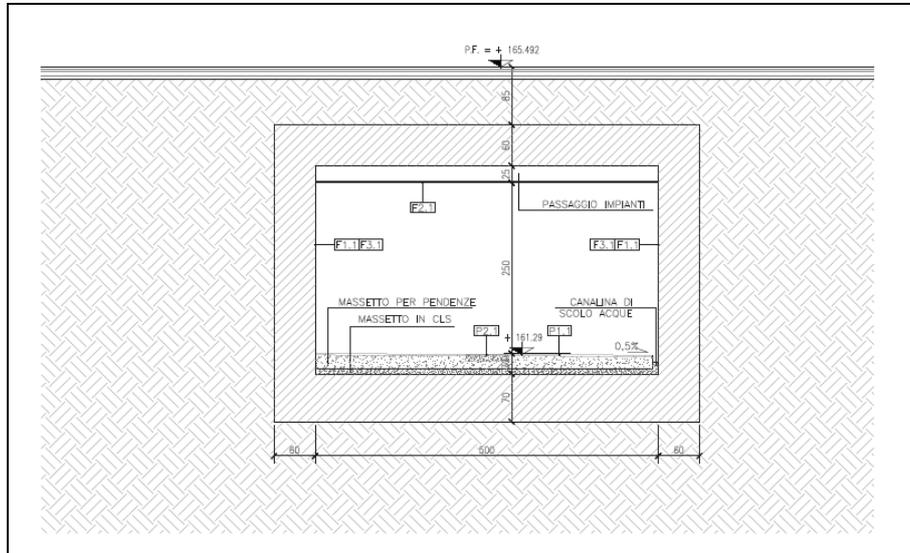
La presente relazione descrive lo studio geologico di un'area ubicata tra Via De Marchi e Via Einstein in cui è prevista la realizzazione di un sottopasso ciclopedonale alla linea ferroviaria "Monza – Molteno – Lecco".

Il progetto commissionato dal Comune di Monza prevede che il sottopasso sia strettamente connesso alla nuova fermata ferroviaria denominata "Monza Est – Parco". Il sottopasso avrà una lunghezza di 35.4 m, una larghezza di 6.2 m e il piano di calpestio sarà alla quota di 161.29, ovvero -5.2 m rispetto alla quota dei binari ferroviari. La realizzazione del tunnel avverrà con la tecnica dello scatolare a spinta. La sezione esterna dello scatolare sarà 6.2 x 4.35 m, mentre la sezione interna sarà 5 x 2.75 m.

Alle estremità del tunnel saranno realizzate le strutture di accesso sviluppate in elevazione.



Sezione longitudinale del sottopasso estratta dalla tavola di progetto (progetto definitivo).



Sezione trasversale del tunnel estratta dalla tavola di progetto (progetto definitivo).

Nel rispetto della vigente normativa lo scopo dello studio geologico è stato quello di fornire delle valutazioni in merito alle caratteristiche geolitologiche – geotecniche – idrogeologiche – sismiche del sottosuolo su cui graverà l'intervento di progetto.

Le analisi e le valutazioni che saranno descritte nei capitoli successivi sono state supportate dalle informazioni rilevate in sito con l'esecuzione di specifiche prove eseguite nel mese di settembre 2018, oltre ad altre informazioni bibliografiche o informazioni tecniche consultate nella documentazione geologica allegata al Piano di Governo del Territorio del comune di Monza.

1.1 Normativa di riferimento

- **D.M. 17 gennaio 2018**, “Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- **D.M. 14 gennaio 2008**, “Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- **Circolare Ministeriale n. 617/2009**, “Istruzione per l'applicazione delle Norme Tecniche”.
- **Ordinanza P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274 e Ordinanza P.C.M. 28 aprile 2006 n. 3519**, “Primi elementi in materie di criteri generali per la classificazione sismica del territorio”.
- **Linee Guida del dipartimento della Protezione Civile** “Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica” (2008).
- **Associazione Geotecnica Italiana** “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geognostiche”.
- **Linee guida AGI-2005** “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica”.
- **Eurocodice 7.1 1997** “Progettazione geotecnica - parte 1: regole generali”.

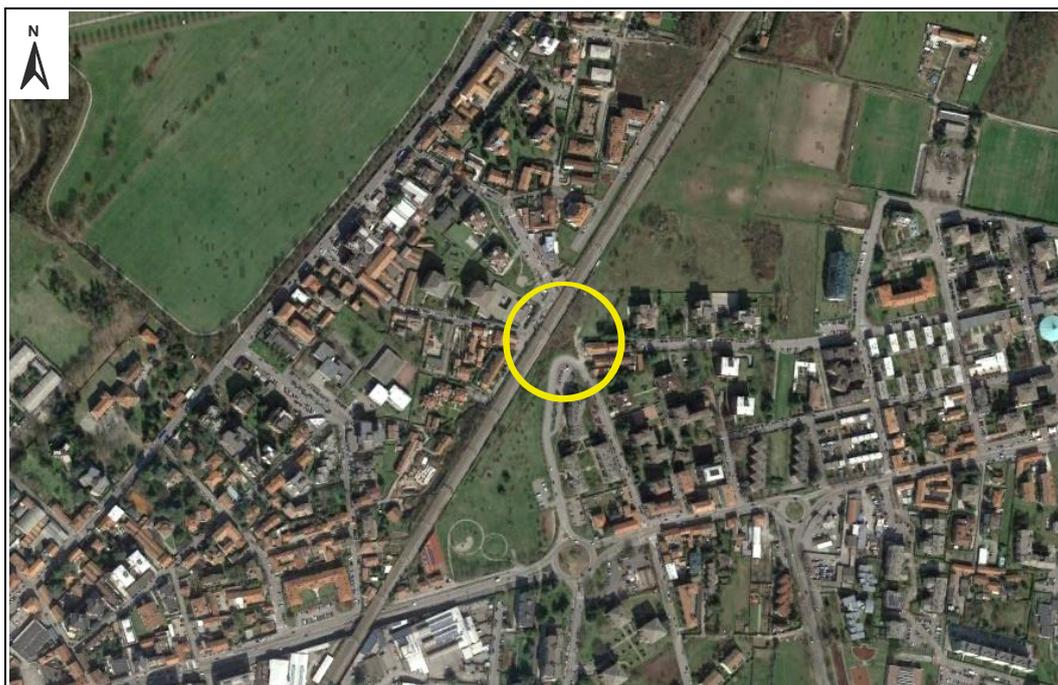
- **Eurocodice 7.3 2002** “Progettazione geotecnica – parte 2: progettazione assistita con prove in sito”.

1.2 Ubicazione dell’area e stato dei luoghi

L’area di progetto è ubicata a nord-est del territorio comunale di Monza, nelle vicinanze del Parco di Monza e in sinistra idrografica al fiume Lambro, il cui alveo dista circa 650 m in direzione ovest.

L’area è compresa tra Via De Marchi - Via Confalonieri, ad ovest della linea ferroviaria, e Via Einstein – Via del Molino San Michele, ad est della ferrovia.

Le coordinate geografiche centrali all’area nel sistema di riferimento WGS84 in gradi decimali sono: LATITUDINE 45,5918° LONGITUDINE 9,2946°.



Ubicazione dell’area di progetto (base estratta da Google Earth).

Il contesto in cui è inserita l’area è urbano-residenziale completamente edificato con la linea ferroviaria “Monza – Molteno – Lecco” che divide in direzione circa meridiana il tessuto urbano.

Allo stato attuale l’area adiacente al lato ovest della ferrovia è caratterizzata dalla viabilità asfaltata di Via De Marchi che s’innesta con Via Confalonieri. L’area adiacente al lato est della ferrovia è caratterizzata da una copertura vegetale prativa con piante d’alto fusto o cespugliose.

La topografia generale del territorio è sub-pianeggiante con deboli pendenze e diminuzione di quote verso sud. Nell'area di progetto la quota media assoluta è di circa 166.5 m s.l.m. in Via Einstein, mentre è di circa 164 m s.l.m. in Via De Marchi (dati estratti dalla Carta Tecnica Regionale e dal piano quotato fornito dal progettista).

La maggiore quota di Via Einstein è da ricondurre al rialzo dell'area subito con il riporto di materiali derivanti dalle varie attività edilizie locali.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO IDROGEOLOGICO

La zona d'indagine è inserita in un contesto morfologico di pianura debolmente ondulata ai piedi delle colline brianee. Le quote altimetriche sono degradanti verso sud e si scende dai circa 200 m s.l.m. a nord del territorio comunale di Monza a circa 145 m nella zona sud. Nello specifico l'area di progetto è compresa tra le quote 165 e 167 m s.l.m. in prossimità della sinistra idrografica del fiume Lambro.

Gli elementi geomorfologici che caratterizzano il territorio monzese sono essenzialmente tre:

- terminazione del terrazzo pre-LGM (Last Glacial Maximum) di Villa Reale, nella porzione nord del territorio comunale;
- superficie modale della pianura o livello fondamentale della pianura autoctona (interessa la maggior parte del territorio compresa l'area d'indagine);
- depressione della valle del fiume Lambro che incide in direzione circa meridiana la pianura.

Le geometrie di queste strutture geomorfologiche condizionano la distribuzione areale dei materiali che le compongono.

Il contesto geologico generale è caratterizzato da coperture sedimentarie di origine fluviale e fluvioglaciale di età pleistocenica – recente costituite da sedimenti clastici grossolani (prevalentemente ghiaioso sabbiosi o sabbioso ghiaiosi) sciolti o talvolta cementati che sovrastano dei materiali sedimentari incoerenti di origine continentale – transizionale marina di età pleistocenica inferiore costituiti da sedimenti fini (sabbie argillose o argille). Le coperture superficiali fluviali – fluvioglaciali hanno spessori molto variabili da circa 20 m a circa 60 m.

La geologia di superficie è contraddistinta da tre unità stratigrafiche arealmente continue.

ALLOFORMAZIONE DI BINAGO: di origine fluvioglaciale è costituita da ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa. La composizione petrografica dei clasti è poligenica, ma prevalgono le rocce calcaree e in quantità minore quelle endogene-metamorfiche. Questa formazione rappresenta i resti di una piana fluvioglaciale più antica dell'attuale e caratterizza il terrazzo morfologico pre-LGM sopradescritto.

ALLOGRUPPO DI BESNATE: di origine fluvioglaciale è costituito da ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa o sabbioso limosa; sono strutturalmente massive o grossolanamente stratificate. L'Allogruppo è caratterizzato da profili di alterazione moderatamente evoluti. I clasti sono arrotondati o sub-arrotondati di composizione poligenica, ma prevalgono le rocce endogene-metamorfiche o carbonatiche. La continuità verticale dei materiali è talvolta interrotta da sottili livelli lateralmente discontinui di depositi di esondazione sabbioso-ghiaiosi-limosi. Su base morfologica l'Allogruppo è stato suddiviso in due sotto-unità

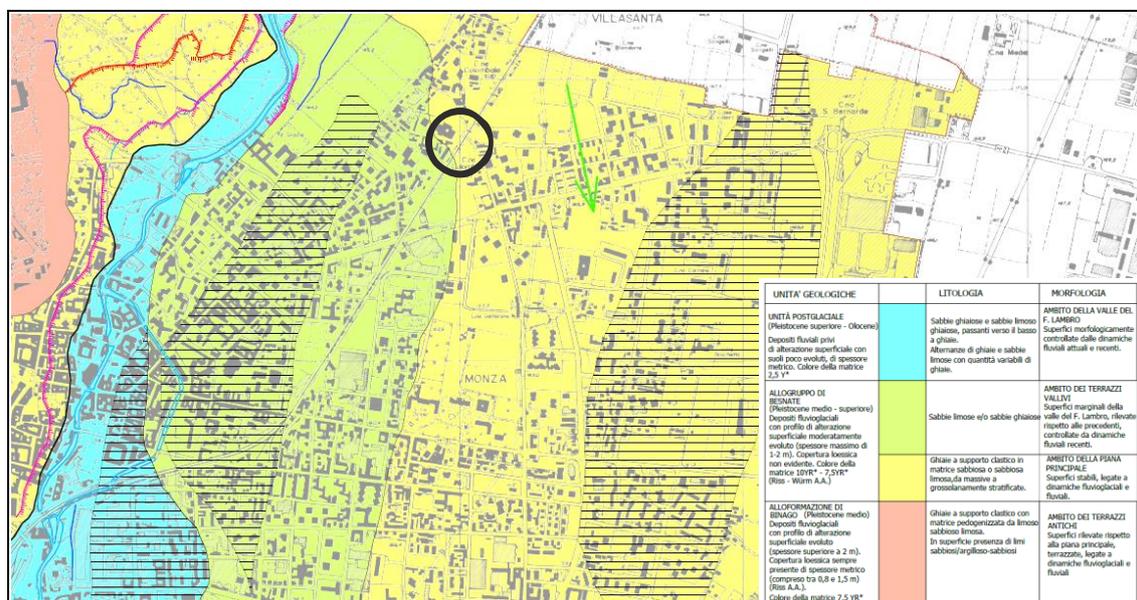
che si manifestano soprattutto in sinistra al fiume Lambro. L'Allogruppo caratterizza la superficie modale della pianura.

UNITÀ POSTGLACIALE: l'unità è associata alle aree di fondovalle del fiume Lambro ed è costituita da sabbie ghiaiose e ghiaie con subordinati limi e limi sabbiosi. I depositi sono di origine fluviale con frequenti alternanze ghiaie – sabbie.

Si osserva che sia i depositi dell'Alloformazione di Binago che dell'Allogruppo di Besnate possono essere interessati dal fenomeno degli "occhi pollini", ossia la presenza di cavità nel sottosuolo di variabili dimensioni (da alcuni centimetri ad alcuni metri) senza evidenze morfologiche superficiali. Possono essere presenti a profondità variabili da pochi metri a venti metri. Esse sono state generate dallo scioglimento di paleo-blocchi di ghiaccio lasciati nel sottosuolo con il ritiro dei ghiacciai che sciolti hanno generato la cavità, oppure a causa di fenomeni di erosione sotterranea dovuta al piping e favorita dalle escursioni di falda di origine naturale o antropica. Da un punto di vista geotecnico gli "occhi pollini" possono creare problematiche per la comparsa di fenomeni di cedimenti differenziali / sprofondamenti / collassi del sottosuolo di fondazione.

Come si evince dalla Carta Geologica contenuta nel P.G.T. di Monza, l'area di progetto è inserita nel contesto geologico dell'Allogruppo di Besnate nella zona di transizione tra le due sotto-unità che lo caratterizza: **AMBITO DEI TERRAZZI VALLIVI** (superfici marginali della valle del fiume Lambro controllate da dinamiche fluviali recenti) costituita da sedimenti con una significativa componente granulometrica sabbioso limosa e/o sabbioso ghiaiosa; **AMBITO DELLA PIANA PRINCIPALE** (superfici stabili legate a dinamiche fluvio-glaciali e fluviali) costituita da sedimenti ghiaiosi a supporto clastico in matrice sabbiosa o sabbioso limosa.

Da quanto è emerso con l'indagine geognostica eseguita in Via Einstein l'ambito geologico della Piana Principale appare il più coerente.



Estratto dalla Carta Geologica Geomorfologica del P.G.T. di Monza (Tav. 1)

Da un punto di vista idrogeologico generale il materasso sedimentario clastico grossolano rappresenta un grande acquifero freatico con uno spessore variabile da 20 a 60 m, delimitato alla base dalle terre fini di origine continentale – transizionale marina.

La Regione Lombardia per il territorio ha classificato 4 unità idrostratigrafiche.

GRUPPO ACQUIFERO A: è costituito da materiali ghiaioso sabbiosi con ciottoli con subordinati livelli limoso argillosi di limitata estensione. La geometria è lenticolare con spessori variabili da pochi metri (zona nord del territorio comunale) a circa 50 m (zona sud del territorio). Il gruppo è privo d'acqua o contiene falde idriche sospese di ridotta potenzialità.

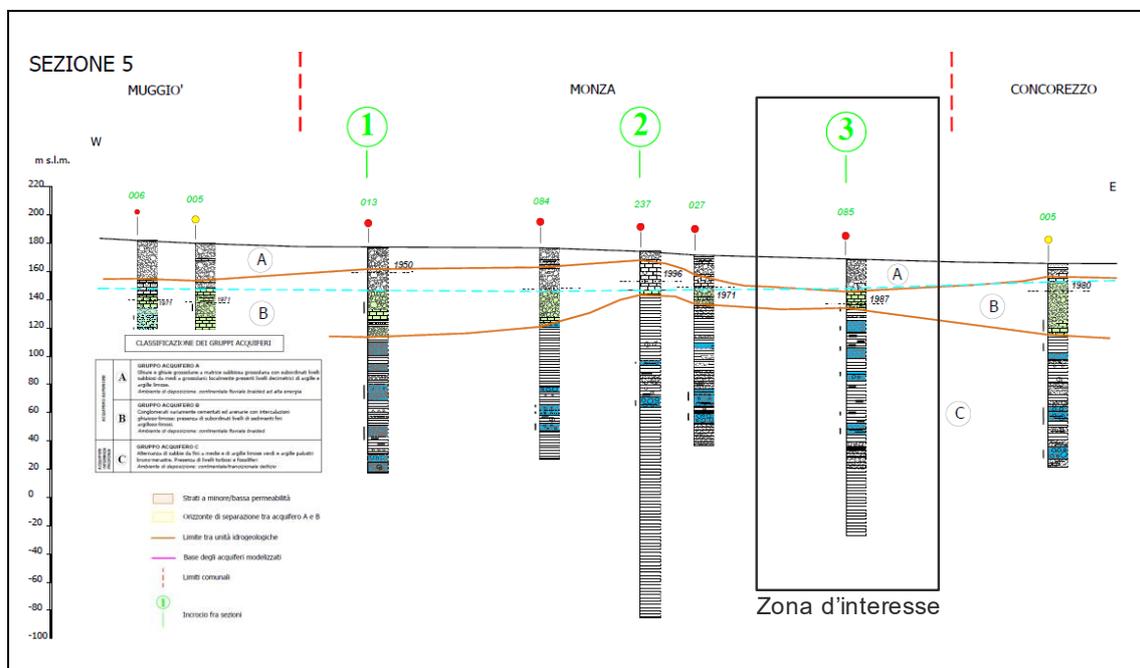
GRUPPO ACQUIFERO B: è costituito da conglomerati di origine fluviale variamente cementati di aspetto cippoidi (in letteratura tali materiali conosciuti come “ceppo”) con intercalazioni sabbioso ghiaiose. Localmente sono presenti livelli di limitata estensione costituiti da sabbie limose, sabbie limose argillose, di bassa permeabilità. Il Gruppo è continuo su tutto il territorio comunale con spessori variabili da 10-20 m a 50-60 m ed è sede dell'acquifero freatico principale. La permeabilità per porosità è elevata.

GRUPPO ACQUIFERO C: è costituito da potenti successioni di terre fini argillose, talora torbose, in cui si alternano subordinatamente sabbie e ghiaie sabbiose. Il Gruppo ha una permeabilità per porosità contenuta e solo nei livelli confinati più permeabili (sabbie e ghiaie)

si riconoscono delle falde idriche che sono anche sfruttate per l'approvvigionamento idrico autonomo.

GRUPPO ACQUIFERO D: porzione di base della potente successione di terre fini argillose.

L'immagine che segue, estratta dalle sezioni idrogeologiche contenute nel P.G.T. di Monza, consente di verificare che nella zona d'interesse lo spessore cumulativo degli acquiferi A-B è di circa 30/35 m.



Estratto dalle "Sezioni Idrogeologiche" del P.G.T. di Monza (Tav. 3)

3 INQUADRAMENTO SISMICO

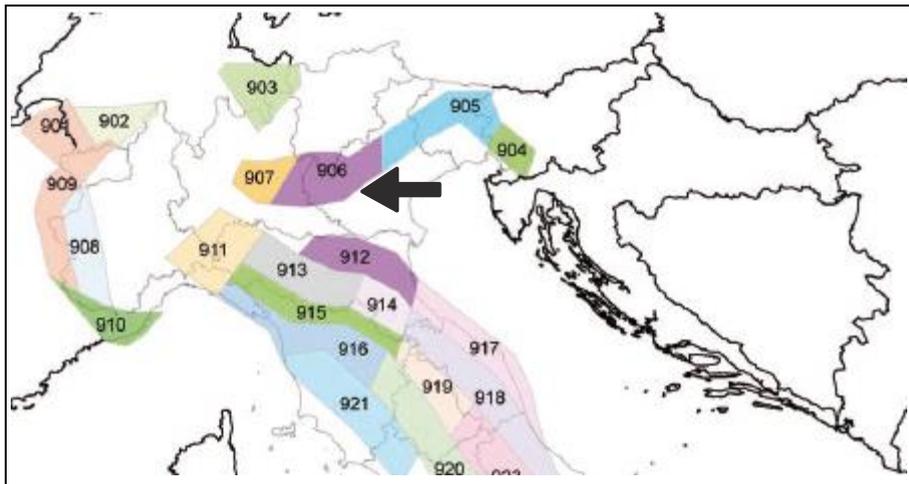
Da un punto di vista sismo-normativo il territorio italiano a seguito della pubblicazione nel 2004 dei criteri di zonizzazione sismica (pubblicati dal Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) è stato suddiviso in zone sismiche omogenee caratterizzate da un certo livello di sismicità.

La zonizzazione sismogenetica, denominata ZS9, deriva da considerazioni scientifiche del modello sismotettonico del territorio con analisi delle sorgenti sismogenetiche e di importanti eventi sismici. Il progetto di zonizzazione ha diviso il territorio in 36 zone-sorgente identificate da un numero variabile da 901 a 936 o con una lettera variabile da A a F.

Il territorio in esame non è inserito in una specifica zona sismogenetica, ma è limitrofa a quella identificata con la sigla ZS907 che appartiene alle zone sismogenetiche dell'arco alpino con sismicità medio - bassa.

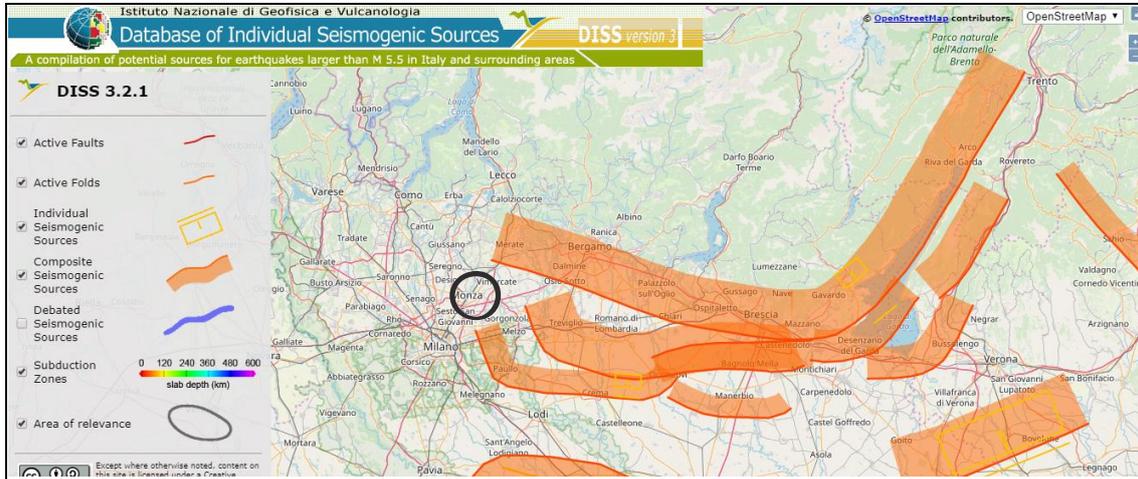
La ZS907 è inserita in un contesto composito che interessa il territorio basso delle provincie di Bergamo e Brescia.

Il rapporto conclusivo della zonizzazione sismogenetica (Meletti, Valensise, 2004) descrive per la zona ZS907 le caratteristiche dello strato sismogenetico, ossia l'intervallo di profondità che ha generato il 90% degli eventi sismici. Tale intervallo è di 5-8 km, mentre la profondità in cui avvengono statisticamente sulla base di dati strumentali il maggior numero di terremoti è di 8 km. Il meccanismo che ha la massima probabilità di caratterizzare i futuri terremoti di entità significativa (fagliazione) è di tipo inverso.

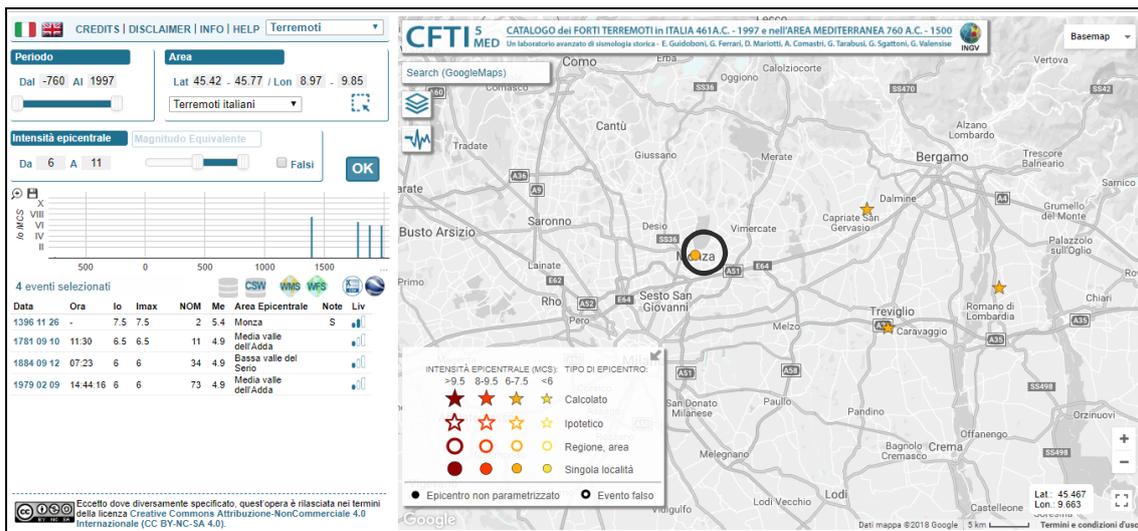


Zone sismogenetiche del territorio italiano.

Localmente il territorio in esame è caratterizzato da alcune sorgenti sismiche composite (denominate Western S-Alps internal thrust, Western S-Alps external thrust deep, Western S-Alps external thrust shallow - west) caratterizzate da magnitudo storiche massime M_w di 6.0. Nella zona epicentrale d'interesse il catalogo dei forti terremoti in Italia fino all'anno 1997 (CFTI5Med), pubblicato nel sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, evidenzia terremoti con magnitudo equivalente $M_e < 6$ e Intensità sismiche "I-MCS" < 8 .



Sorgenti sismiche del territorio (estratto dal catalogo delle sorgenti sismogenetiche italiane, DISS 3.2.1)



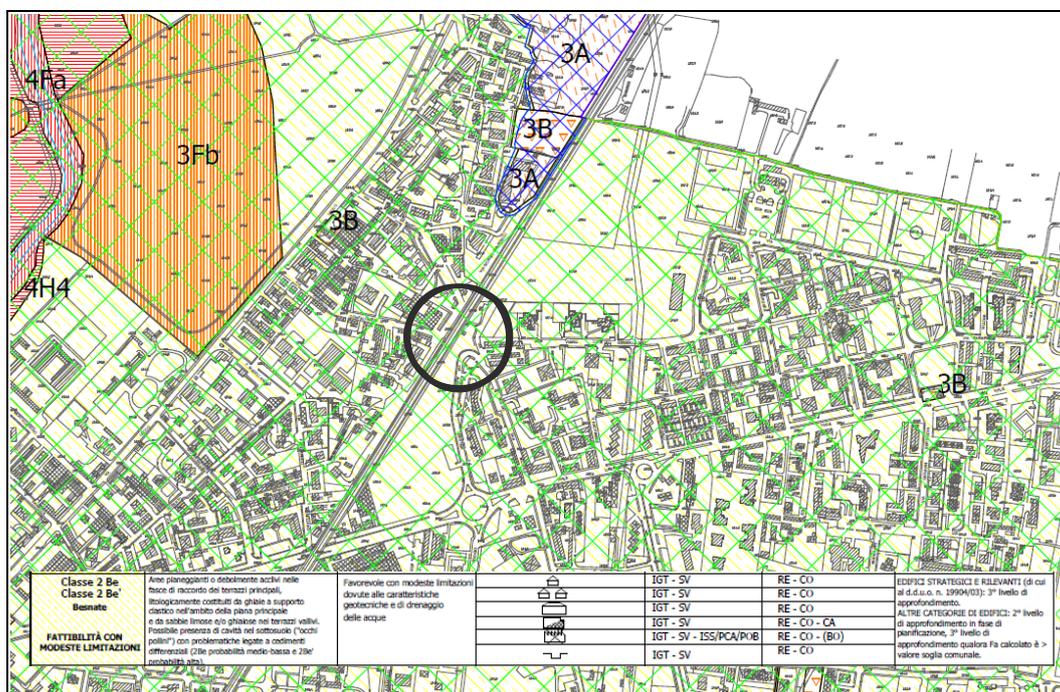
Estratto dal "Catalogo dei forti terremoti in Italia – CFTI5Med"

4 ANALISI DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO (P.G.T.)

In merito alle tematiche geologiche contenute nel Piano di Governo del Territorio del Comune di Monza e nelle “Norme Geologiche di Piano” approvate con delibera del Consiglio Comunale n. 8 del 06/02/2017, l’area di progetto ai fini della FATTIBILITA’ GEOLOGICA per le azioni di piano è classificata **2Be – fattibilità con modeste limitazioni**.

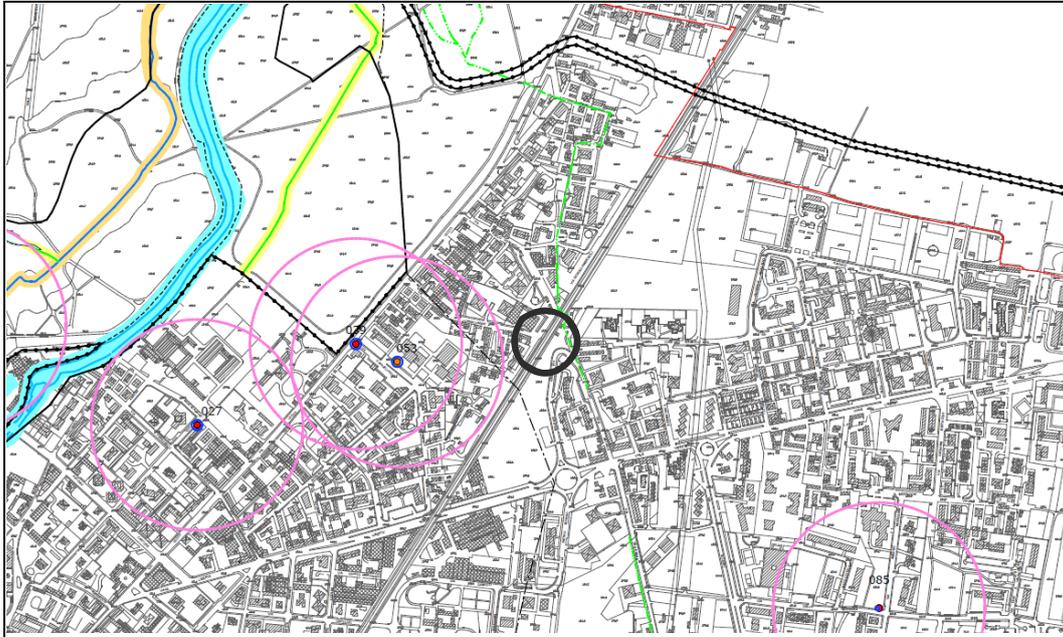
Nell’art. 3 delle Norme la classe 2Be cita: “l’edificabilità è favorevole con modeste limitazioni dovute alle caratteristiche geotecniche e di drenaggio delle acque. Sono ammesse tutte le categorie di opere edificatorie e infrastrutturali. Sono necessarie verifiche idrogeologiche e litotecniche dei terreni mediante rilevamento geologico di dettaglio e l’esecuzione di specifiche prove geotecniche In fase progettuale per ogni 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 Nel caso di edifici strategici e rilevanti la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici ...”.

Ai fini della pericolosità sismica locale l’area in esame ricade in “aree ad approfondimento di secondo livello in fase pianificatoria”.



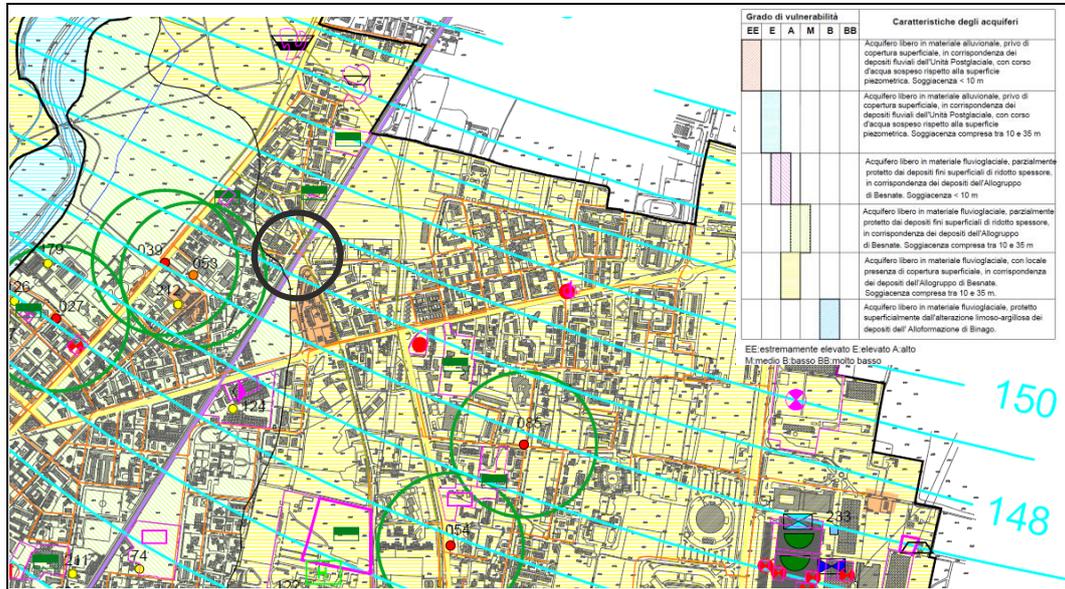
Estratto dalla tavola della “Fattibilità Geologica” del P.G.T. di Monza (Tav. 9b)

Nella “CARTA DEI VINCOLI” (Tav. 7b) nella zona d’interesse progettuale **non evidenzia** particolari unicità geologiche o idrogeologiche.



Estratto dalla tavola dei "Vincoli" del P.G.T. di Monza (Tav. 7b)

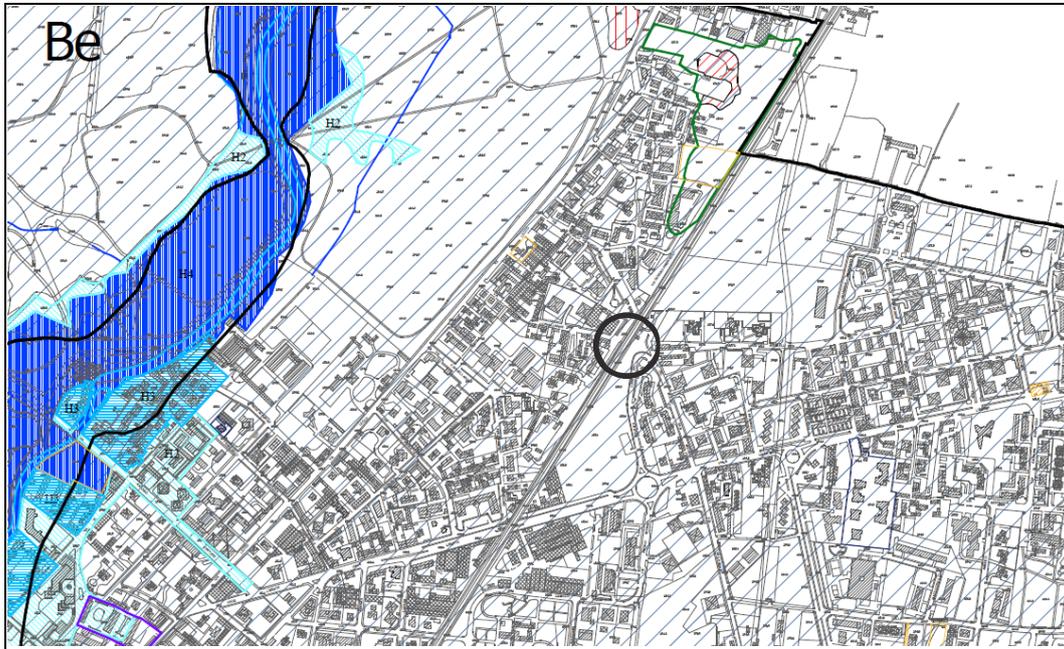
Nella "CARTA DELLA VULNERABILITÀ" (Tav. 4) la zona d'interesse ha un **grado di vulnerabilità dell'acquifero Alto (A)** per le seguenti caratteristiche: "acquifero libero in materiale fluvioglaciale, con locale presenza di copertura superficiale, in corrispondenza dei depositi dell'Allogruppo di Besnate. Soggiacenza compresa tra 10 e 35 m".



Estratto dalla "Carta della Vulnerabilità" del P.G.T. di Monza (Tav. 4)

Nella tavola "SINTESI DEGLI ELEMENTI CONOSCITIVI" (Tav. 8b) il territorio è stato suddiviso in ambiti omogenei da un punto di vista geologico-geotecnico, idraulico, geomorfologico-geotecnico. La zona d'interesse progettuale rientra nei seguenti ambiti:

- **area Be** – ambito geologico-geotecnico caratterizzato da ghiaie a supporto clastico in matrice sabbiosa o sabbioso limosa nell'ambito di piana principale, sabbie limose e/o sabbie ghiaiose nell'ambito dei terrazzi vallivi. Vulnerabilità degli acquiferi di grado alto / medio. Aree pianeggianti o debolmente acclivi nelle fasce di raccordo dei terrazzi principali. Terreni con scadenti / discrete caratteristiche geotecniche fino a 7 / 8 m. Miglioramento delle caratteristiche portanti in profondità. Reticolo di drenaggio artificiale.
- ambito geomorfologico-geotecnico - **Area a basso / moderato** grado di suscettività al fenomeno degli "occhi pollini".
- ambito idraulico - area **esterna** ad ambiti o elementi vulnerabili dal punto di vista idraulico.



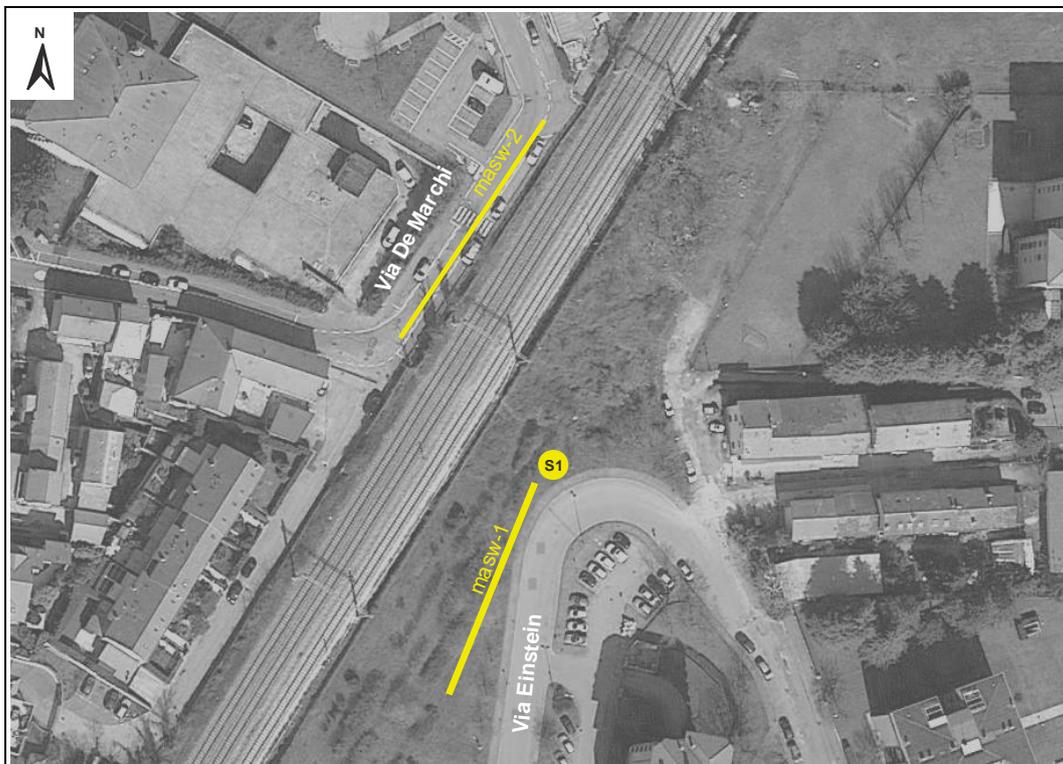
Estratto dalla tavola di "Sintesi degli Elementi Conoscitivi" del P.G.T. di Monza (Tav. 8b)

5 CAMPAGNA D'INDAGINE

Le analisi e la descrizione del modello geologico geotecnico dell'area di progetto derivano dall'elaborazione delle informazioni rilevate in sito con l'esecuzione di specifiche indagini geognostiche che saranno di seguito descritte.

Altre informazioni utili al progetto sono state ottenute dalla bibliografia tecnica relativa alla zona d'indagine e dalla consultazione della documentazione geologica allegata al Piano di Governo del Territorio del Comune di Monza.

ELENCO DELLE ATTIVITA' IN SITO	
n. 1	Sondaggio stratigrafico a carotaggio continuo sino alla profondità di 17 m dal p.c.
n. 8	Prove geotecniche tipo SPT all'interno del foro di sondaggio
n. 2	Prove sismiche tipo Masw per onde di superficie.



Ubicazione delle prove in sito.

5.1 Prova sismica MASW

La prova sismica MASW ha avuto lo scopo di determinare le velocità di propagazione nel sottosuolo delle onde meccaniche di taglio “Vs” generate da una sorgente energizzante.

La disponibilità del parametro “Vs” ha consentito di calcolare la “ $V_{s,eq}$ ” (velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità) per la classificazione sismica del sottosuolo, verificare indirettamente la consistenza dei materiali e determinare il modulo di taglio dinamico (o rigidità) “ G_{max} ”.

Le considerazioni che hanno determinato la scelta della tecnica MASW sono state:

- possibilità di raggiungere significative profondità d’indagine;
- possibilità di verificare “l’inversione” delle velocità nei livelli di minore consistenza.

La tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) si basa sul fenomeno della “dispersione” delle onde superficiali, nella fattispecie onde di Rayleigh (hanno vibrazioni con un movimento complesso ellittico retrogrado con asse maggiore verticale), che avviene nei mezzi stratificati o eterogenei. Il fenomeno della dispersione, ovvero la variazione della velocità di fase delle onde sismiche in funzione della frequenza e lunghezza d’onda, avviene a seguito della capacità d’investigare differenti profondità del sottosuolo in funzione delle lunghezze d’onda generate.

I parametri che condizionano le onde di Rayleigh sono: onde “Vs”, spessore del mezzo e in misura minore densità e onde “Vp”. Le velocità delle onde di Rayleigh corrispondono circa alla velocità delle “Vs” (0.94 Vs).

La prova MASW consiste nell’acquisire mediante un sismografo i tempi di arrivo ai geofoni delle onde meccaniche prodotte con l’energizzazione del sottosuolo. I geofoni, ovvero ricevitori molto sensibili in grado di rilevare le più piccole vibrazioni nel sottosuolo, debbono essere posizionati a delle distanze regolari lungo un allineamento stabilito (stendimento). Le distanze tra i geofoni e la lunghezza dello stendimento vengono scelti in funzione della profondità da raggiungere e della definizione stratigrafica che si vuole conseguire. L’energizzazione del sottosuolo (battuta), ovvero la sorgente impulsiva in grado di produrre onde meccaniche con frequenze diverse, viene eseguita ad un’estremità dell’allineamento di geofoni.

Il risultato del rilievo di campagna è un sismogramma che visualizza i tempi di arrivo ai singoli geofoni delle onde generate.

Le fasi di elaborazione sono essenzialmente due:

1. elaborazione dello “spettro di velocità” (velocità di fase delle onde in funzione della loro frequenza; lo spettro rappresenta un’elaborazione oggettiva del segnale registrato) e determinazione della “curva di dispersione sperimentale” (rappresenta un’elaborazione soggettiva delle potenze spettrali);

2. “inversione” della curva di dispersione mediante calcolo automatico con utilizzo di un algoritmo euristico per la definizione delle “curva di dispersione teorica” e dell’associato modello sismico, ovvero spessore dei sismostrati e velocità delle onde V_s (la qualità del risultato finale è influenzata dai parametri geologico – geotecnici utilizzati per l’elaborazione della curva di dispersione teorica).

La modellazione numerica della curva di dispersione prevede che alla base del modello sia posto un semispazio di spessore infinito.

Il risultato finale dell’elaborazione è il profilo verticale (centrale allo stendimento) delle velocità delle onde di taglio “ V_s ” in funzione della profondità.

La strumentazione utilizzata e le modalità operative sono state:

- sismografo digitale ECHO 12-24 2002 prodotto dalla ditta AMBROGEO S.r.l. caratterizzato da 24 canali di acquisizione digitale con dinamica a 16 bit, velocità di campionamento del segnale 0.131 millisecondi e filtro analogico Low Pass a 50 Hz;
- n. 2 stendimenti con 24 geofoni verticali di frequenza propria 4.5 Hz; la distanza tra i geofoni è stata 2 m (lunghezza totale di ciascuno stendimento 46 m);
- allineamento degli stendimenti circa Nord Est – Sud Ovest;
- n. 5 punti di energizzazione del sottosuolo in sequenza ed esterni a ciascuno stendimento alla distanza (o offset) di 2, 4, 6, 8, 10 m dal geofono n. 1;
- sorgente energizzante con massa battente da 10 kg dotata di dispositivo “trigger” per l’apertura del circuito d’acquisizione dei dati;
- tempo di acquisizione del segnale 1000 millisecondi e alcune battute 400 millisecondi;
- acquisizione complessiva di n. 5 sismogrammi completi per ciascuno stendimento;
- software EasyMasw 2018-26.5.428 della ditta Geostru S.r.l. per l’elaborazione dei dati sismici; il programma restituisce lo spettro di velocità, il modello sperimentale medio della “curva di dispersione” e il profilo verticale delle velocità V_s avente i minori valori di errore percentuale e di disadattamento della “curva di dispersione teorica”.

In allegato sono inseriti gli elaborati di ciascuna prova con i risultati ottenuti:

- ✓ migliore sismogramma rilevato in sito,
- ✓ spettro delle velocità di fase delle onde di Rayleigh nel dominio trasformato “frequenze – velocità”,
- ✓ curva di dispersione teorica del Modo Fondamentale,
- ✓ migliore profilo verticale delle velocità V_s centrale allo stendimento,
- ✓ schema dei sismostrati e di alcuni parametri geotecnici (densità, G_{max}).

5.2 Sondaggio stratigrafico

Il sondaggio stratigrafico è stato eseguito con la tecnica del carotaggio continuo sino alla profondità di 17 m e ha consentito il riconoscimento diretto delle litologie oltre all'esecuzione di specifiche prove geotecniche.

Durante la perforazione nel fondo foro sono state eseguite, a delle quote stabilite, delle prove penetrometriche dinamiche SPT, mentre i materiali estratti sono stati analizzati in sito e si è provveduto alla loro classificazione granulometrica macroscopica.

Il sondaggio è stato eseguito con un sistema d'avanzamento a rotazione senza l'utilizzo d'acqua e con un carotiere "semplice" di \varnothing_{est} 101 mm e lunghezza 3 m; il foro di sondaggio è stato rivestito con delle "camice" metalliche di \varnothing_{est} 127 mm sino alla profondità di 9 m.

La strumentazione utilizzata è idraulica e installata su un camion IVECO Trakker; la sonda di perforazione è una Fraste FS-300 con coppia torcente da 1200 kg/m.

Terminato il sondaggio il foro di perforazione è stato chiuso con una miscela cementizia sino alla sub-superficie, mentre la parte terminale è stata riempita di terra.

Le terre campionate durante i sondaggi sono state alloggiare in apposite cassette catalogatrici; le foto allegate sono relative a ciascuna cassetta contenente 5 m di sondaggio.

La scheda stratigrafica inserita in allegato descrive:

- la litostratigrafia;
- i dati delle prove SPT;
- alcune note relative al sondaggio.

5.3 Prove penetrometriche dinamiche SPT

Le prove penetrometriche dinamiche SPT eseguite all'interno del foro di perforazione del sondaggio stratigrafico, hanno permesso di determinare la resistenza del materiale durante l'avanzamento di una punta conica infissa a partire dal fondo foro. La resistenza all'avanzamento è in funzione delle caratteristiche meccaniche del materiale.

La prova consiste nel far cadere un maglio di peso standard su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste, alla cui estremità inferiore è avvitata la punta conica.

Durante la prova è stato misurato il numero di colpi (N_p) necessari all'avanzamento di una punta conica per 3 tratti di 15 cm ciascuno.

La penetrazione di un tratto di 30 cm consente di calcolare il valore N_{160} (valore normalizzato in funzione delle caratteristiche del sistema d'acquisizione) che rappresenta l'indice della resistenza del terreno alla penetrazione dinamica ed è posto in correlazione con i principali parametri geotecnici per la definizione dello stato di addensamento – consistenza del materiale.

Lo strumento utilizzato ha le seguenti caratteristiche tecniche:

- peso del maglio 63 kg;

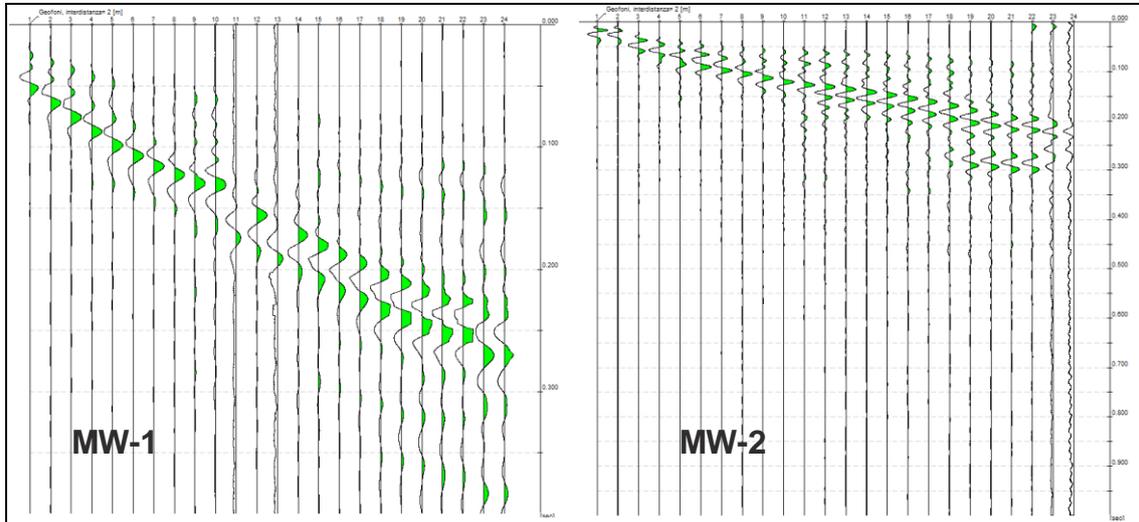
- volata del maglio 76 cm;
- punta conica di diametro 5.1 cm;
- angolo della punta 60°;
- aste di raccordo lunghe 3 m;
- dispositivo di sgancio automatico.

5.4 Sintesi dei risultati

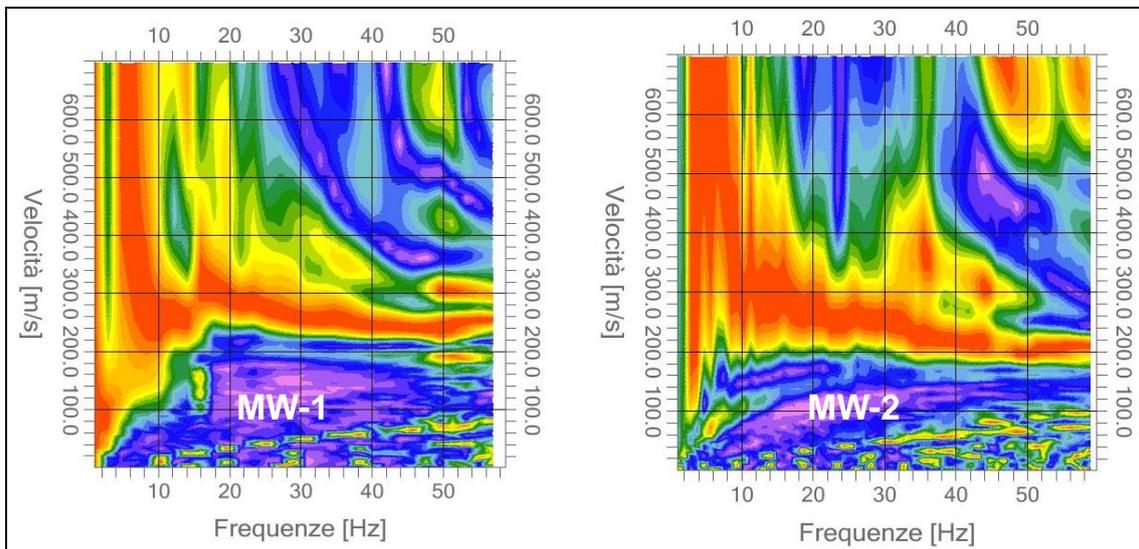
ESITI DELLE PROVE SPT IN FORO			
<i>N</i>	<i>Profondità di prova (m)</i>	<i>N. di colpi Np</i>	<i>Litologia</i>
1	-1.5	11-17-15	Ghiaia limoso sabbiosa
2	-3.0	11-1-2	Materiale di riporto ghiaioso
3	-4.5	4-5-5	Limo argilloso con ghiaie
4	-6.0	11-28-20	Ghiaie limoso sabbiose
5	-7.5	34-46-41	Ghiaie limoso sabbiose
6	-9.0	34-50- +11 cm	Ghiaie limoso sabbiose
7	12.0	40-50- +10 cm	Ghiaie limoso sabbiose
8	15.0	22-27-33	Ghiaie sabbiose

PROVE SISMICHE

Le immagini che seguono rappresentano i migliori **sismogrammi** rilevati in sito con la distanza di energizzazione dal geofono n. 1 (offset) di 4 m per la prova n. 1 e 2 m per la prova n. 2. Le immagini consentono di verificare che tutte le componenti del segnale sismico sono state rilevate nel tempo d'acquisizione. I sismogrammi hanno velocità del segnale inferiori a 0.4 secondi.



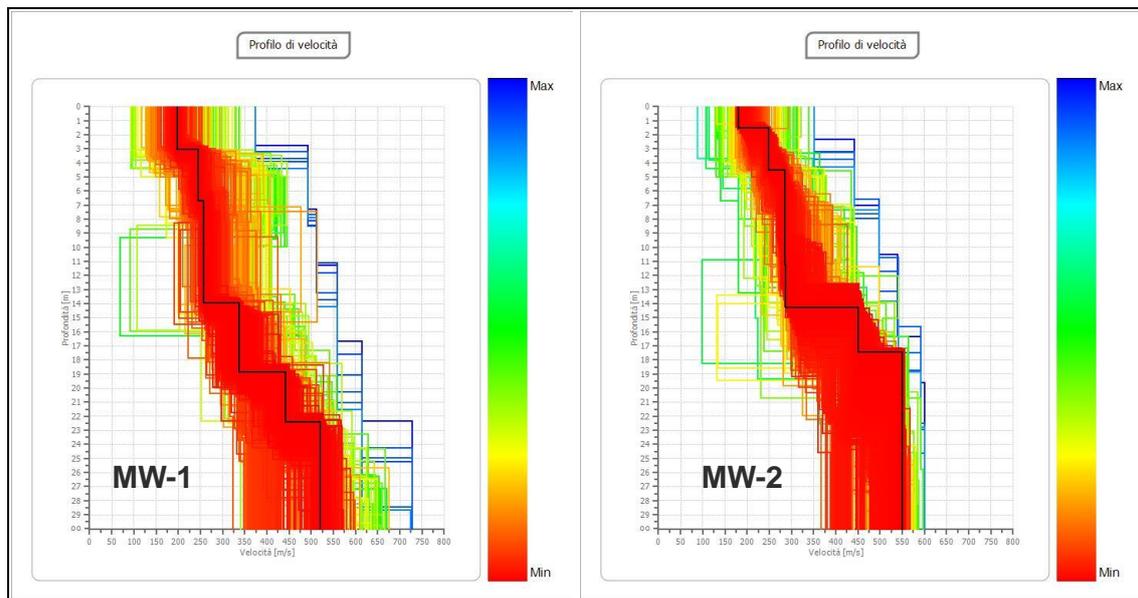
Le immagini che seguono rappresentano gli **spettri delle velocità di fase** delle onde di Rayleigh nel dominio trasformato “Frequenze – Velocità”. Gli spettri consentono di valutare le proprietà dispersive del segnale registrato e le tonalità rosse corrispondono ai massimi di energia spettrale. Le frequenze del modo fondamentale di vibrazione considerate nelle elaborazioni sono comprese tra 5 e 51 Hz nella prova n. 1 e tra 9 e 50 Hz nella prova n. 2.



Le elaborazioni finali del processo d’inversione della “curva di dispersione sperimentale” ricavata dagli spettri delle velocità di fase, hanno permesso di ottenere i **profili verticali delle velocità “Vs”** sino alla quota -30 m dal piano campagna.

I profili derivano dalla combinazione di calcolo avente i minori valori di errore percentuale e disadattamento della “curva di dispersione teorica”.

Il modello sismo-stratigrafico matematico che meglio approssima il modello geologico reale è stato tarato con i dati stratigrafici e geotecnici rilevati sino alla profondità di 17 m con il sondaggio stratigrafico.



I profili verticali delle velocità delle onde di taglio “Vs” sono caratterizzati da 6 unità sismo-stratigrafiche con valori di rigidità crescenti in profondità.

Complessivamente le “Vs” variano mediamente da circa 180 m/s a >500 m/s. Le velocità minori sono in superficie entro i primi 3 m di profondità, poi sino alla profondità di circa 14 m sono comprese tra 240 e 280 m/s, mentre sono maggiori di 550 m/s oltre la profondità di circa 18/22 m.

6 MODELLO GEOLOGICO GEOTECNICO IDROGEOLOGICO LOCALE

6.1 Stratigrafia

Il modello stratigrafico del sottosuolo deriva dall'analisi combinata delle informazioni litostratigrafiche, geotecniche, sismiche, acquisite con le indagini geognostiche eseguite in sito, e descritte nel § 5, e di altre informazioni contenute nella cartografia geologica inserita nella documentazione del Piano di Governo del Territorio di Monza.

Il modello stratigrafico è stato descritto con la suddivisione del sottosuolo in unità stratigrafiche che delimitano degli spessori significativi di materiale con caratteristiche tessiturali e di consistenza / rigidità omogenee.

La classificazione litologica dei materiali è rappresentativa, fatte le debite approssimazioni, delle tessiture prevalenti.

Nell scheda stratigrafica inserita in allegato la classificazione litologica è stata ottenuta con un'analisi macroscopica dei materiali rilevati durante la perforazione del sondaggio S1; la classificazione dei materiali ha fatto riferimento alla classificazione granulometrica A.G.I. 1990.

Le quote di seguito descritte sono riferite al piano campagna del punto in cui è stato eseguito il sondaggio S1 (Via Einstein, quota assoluta del p.c. circa 166.5 s.l.m.).



UNITÀ A – In superficie sino alla profondità di circa 5 m (quota assoluta circa 161 m s.l.m.) sono presenti dei **materiali prevalentemente ghiaiosi** con elementi eterometrici da fini a medi (dimensioni ≤ 3 cm) di forma arrotondata o sub-arrotonda con isolati ciottoli (dimensioni 5 / 7 cm) e una **matrice** prevalentemente **limoso sabbiosa** coesiva, ma non plasmabile. La continuità verticale delle ghiaie è interrotta da alcuni livelli in cui prevalgono dei materiali antropici (cemento, pietrame, laterizio) o dei materiali ghiaiosi subordinati a delle prevalenti terre fini limoso argillose. Elemento comune a tutta l'unità è la presenza, ancorché discontinua, di frammenti spigolosi di laterizio. Ciò lascia supporre che l'unità non è in giacitura naturale, ma deriva da un riporto di materiali avvenuto nel tempo.

Il grado d'addensamento dei materiali è eterogeneo (varia dal MOLTO BASSO al MEDIO ALTO) e la continuità laterale dell'addensamento è incerta anche se l'analisi delle velocità delle onde di taglio "Vs" di questa unità (circa 180 / 200 m/s) conferisce un grado MEDIO.



UNITÀ B - Dalla profondità di circa 5 m sino 17 m (quota assoluta circa 149 m s.l.m.) sono presenti dei materiali **ghiaiosi / ghiaioso sabbiosi** con elementi eterometrici da fini a medi (dimensioni ≤ 3 cm) di forma arrotonda o sub-arrotonda con isolati ciottoli sub-arrotondati / arrotondati di dimensioni 5 / 7 cm. La matrice è limoso sabbiosa coesiva o poco coesiva sino alla profondità di 10.5 m, poi aumenta la componente sabbiosa medio-fine. Il grado d'addensamento dei materiali è MEDIO ALTO o MOLTO ALTO e ciò ha reso difficoltoso l'avanzamento della perforazione del sondaggio S1.

Le velocità delle onde di taglio "Vs" sono comprese tra 250 e 300 m/s.

L'unità stratigrafica è continua lateralmente.



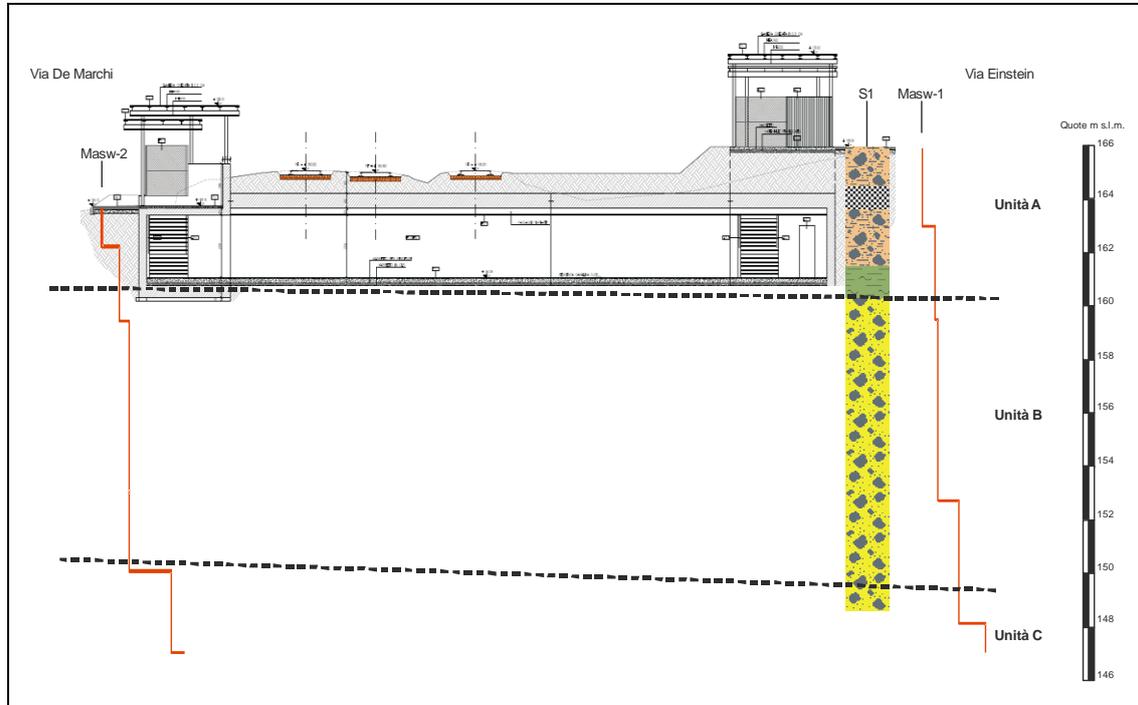
UNITÀ C – Oltre la profondità di circa 17 m (circa 149 m s.l.m.) sono presenti dei materiali **ghiaiosi**, probabilmente saturi d'acqua, che hanno determinato delle velocità delle onde di taglio "Vs" $>400 / 450$ m/s e ciò è sintomo di rigidità elevate e crescenti in profondità.

L'unità stratigrafica è continua lateralmente.

Da quanto rilevato e descritto emerge una certa incertezza sulla continuità laterale degli spessori dell'unità A come pure del loro grado d'addensamento. Ciò è conseguente all'origine non naturale di questi materiali.

Oltre la quota di circa 161 m è possibile che i materiali siano in giacitura naturale e continui lateralmente nel territorio.

L'immagine seguente rappresenta in modo schematico la sezione stratigrafica trasversale alla linea ferroviaria e consente di valutare la continuità delle unità sopradescritte. I profili verticali delle masw e del sondaggio stratigrafico riprendono gli elaborati inseriti in allegato.



Sezione stratigrafica trasversale alla linea ferroviaria
(base topografica e sezione del sottopasso estratte dalle tavole del progetto definitivo).

6.2 Idrogeologia

Le caratteristiche idrogeologiche generali del territorio sono state descritte nel § 2, mentre nel presente paragrafo si è posta l'attenzione sulle caratteristiche idrauliche dei materiali rilevati oltre all'analisi della locale quota piezometrica freatica.

Le caratteristiche idrauliche del sottosuolo sono state valutate qualitativamente con il parametro della PERMEABILITA' primaria per porosità "K", la quale è stata stimata in riferimento alla granulometria del materiale mediante l'utilizzo di tabelle note in letteratura geologica-idrogeologica (Castany, Colombo).

G. Castany, 1982

K (cm / sec)	10^2	10^1	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
-----------------	--------	--------	---	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Granulometria	omogenea	Ghiaia	Sabbia	Sabbia molto fine	Silt	Argilla
	varia	Ghiaia grossa e media	Ghiaia e sabbia	Sabbia e argilla - Limi		
Gradi di permeabilità	ELEVATA			BASSA		NULLA
Tipi di formazione	PERMEABILI			SEMI - PERMEABILI		IMPER.

P. Colombo. 1974

Grado di permeabilità	Valori di K (cm/sec)
Alto	$> 10^{-1}$
Medio	$10^{-1} 10^{-3}$
Basso	$10^{-3} 10^{-5}$
Molto basso	$10^{-5} 10^{-7}$
Impermeabile	$< 10^{-7}$

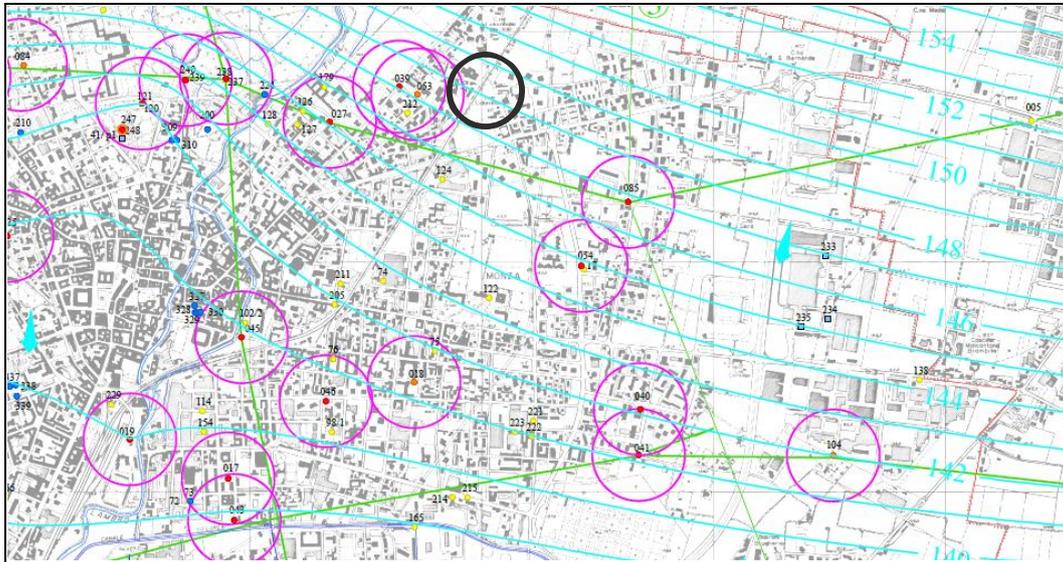
GRADO DI PERMEABILITÀ DEI MATERIALI RILEVATI IN SITO		
Unità stratigrafica	Grado di permeabilità	K (cm/s)
A	Medio	$10^{-01} / 10^{-03}$
B	Alto	$\geq 10^{-01}$

La quota piezometrica freatica non è stata rilevata nel foro di perforazione del sondaggio S1 (fine perforazione -17 m dal p.c. o 149 m s.l.m.).

La stima della quota si rifà a quanto riportato nella Carta Idrogeologica del P.G.T. di Monza.

La quota piezometrica assoluta di riferimento per il territorio è **148 m s.l.m.**, ovvero ad una profondità di **circa 18 m dal p.c. di Via Einstein e 16 m dal p.c. di Via De Marchi.**

La direzione di deflusso della falda è orientato da Nord verso Sud.



Estratto dalla Carta Idrogeologica allegata al P.G.T. di Monza (Tav. 2).

6.3 Parametri geotecnici

I dati rilevati con la campagna d'indagine (litologie, colpi Nspt, Vs) sono stati elaborati con metodi e formule empiriche note in letteratura scientifica ed hanno consentito la stima di alcuni dei principali parametri geotecnici caratterizzanti il comportamento meccanico dei materiali. Non disponendo di specifiche analisi di laboratorio geotecnico sui materiali prelevati, i parametri di seguito descritti sono da ritenersi una stima indicativa, ma sufficiente per una loro caratterizzazione qualitativa - quantitativa.

Le litologie rilevate sono incoerenti granulari di origine alluvionale fluviale e fluvio-glaciale con classi granulometriche variabili dalle sabbie alle ghiaie, pertanto i parametri determinati con l'elaborazione dei dati disponibili sono stati:

- resistenza penetrometrica $N_{I_{60}}$
- peso di volume " γ "
- angolo d'attrito " ϕ " (valore di picco)
- densità relativa "DR".

L'equazione utilizzata per l'elaborazione del parametro $N_{I_{60}}$ (numero di colpi normalizzato ad una pressione effettiva di confinamento di circa 100 kPa e standardizzato ad una energia del 60%) è la seguente:

$$N_{I_{60}} = N_{spt} \cdot CE \cdot CB \cdot CR \cdot CS \cdot CN$$

La resistenza penetrometrica N_{spt} è stata determinata con il numero di colpi necessario all'avanzamento di un tratto di 30 cm della punta conica del dispositivo "SPT".

CE fattore di correzione per il rapporto di energia

CB fattore di correzione per il diametro del foro di prova

CR fattore di correzione per la lunghezza delle aste

CS fattore di correzione per il tipo di campionatore

CN fattore di correzione della pressione

I fattori di correzione sono quelli proposti da Skempton 1986, Robertson e Wride 1998, Liao e Whitman 1986.

Il peso di volume " γ " è stato calcolato con l'equazione proposta da Dal Moro e al. 2007, la quale pone in relazione il peso di volume con la velocità delle onde di taglio " V_s ".

$$\gamma = 0.75 \log_{10} V_s + 0.15$$

Relativamente alle ghiaie con matrice sabbiosa, l'angolo d'attrito " ϕ " è stato valutato con il metodo di De Mello (1971) valido qualora la componente sabbiosa sia prevalente e tale da condizionare la resistenza al taglio del materiale; mentre per le ghiaie o le ghiaie con sabbia è stato utilizzato il metodo di Schmertmann (1978).

Il metodo De Mello, valido per $\phi < 38^\circ$, è in funzione della pressione litostatica efficace e della resistenza penetrometrica dinamica normalizzata.

Il metodo di Schmertmann è in funzione della DR delle ghiaie.

Le relazioni utilizzate sono state le seguenti

$$\phi = 19 - (0.38 \sigma'_v) + 8.73 \log (N_{I60})$$

$$\phi = 38 + 0.08 DR$$

La densità relativa "DR" delle ghiaie è stata calcolata indirettamente con il metodo di Yoshida (1988, valido per terreni ghiaiosi) in funzione della pressione litostatica efficace e della resistenza penetrometrica dinamica.

La densità relativa "DR" delle sabbie è stata calcolata indirettamente con il metodo di Skempton (1986, valido per sabbie N.C.) in funzione della resistenza penetrometrica dinamica.

$$DR = 25 (N_{60} (0.769)^{0.46}) (\sigma'_v)^{-0.12}$$

$$DR = (N_{I60}/60)^{0.5}$$

Premesso quanto descritto nel modello stratigrafico descritto nel § 6.1 di seguito sono riportati i valori di stima dei principali parametri geotecnici dei materiali rilevati in corrispondenza del sondaggio S1.

Profondità (m)	Nspt	N60	N1 ₆₀	γ (T/m ³)	ϕ S (°)	ϕ G (°)	Dr S (%)	Dr G (%)	Grado di addensamento
1,5	32	21	35,9	1,88	32,5	42,8	77,4	60,4	MEDIO ALTO
3	3	2	2,8	1,88	22,7	39,5	21,7	19,3	MOLTO BASSO
4,5	10	7	8,2	1,88	26,7	40,6	36,9	32,8	BASSO
6	48	36	33,4	1,95	31,9	43,2	74,6	65,0	MEDIO ALTO
7,5	87	73	60,3	1,96	34,0	45,0	100,3	87,4	MOLTO ALTO
9	90	75	57,0	1,96	33,7	45,0	97,4	86,9	MOLTO ALTO
12	90	79	51,9	1,96	33,1	44,9	93,0	85,9	MOLTO ALTO
15	60	53	30,3	2,05	30,8	43,5	71,0	69,1	MEDIO ALTO

Nspt	numero di colpi prova SPT
N ₆₀	resistenza penetrometrica dinamica corretta
N1 ₆₀	resistenza penetrometrica dinamica corretta e normalizzata
γ	peso di volume
ϕ S	angolo d'attrito per le sabbie (valore di picco)
ϕ G	angolo d'attrito per le ghiaie sabbiose (valore di picco)
Dr S	densità relativa delle sabbie
Dr G	densità relativa delle ghiaie

La disponibilità del parametro “Vs” e la stima del valore medio del coefficiente di Poisson in funzione delle caratteristiche litologiche, hanno consentito con relazioni empiriche note in letteratura scientifica di stimare indirettamente altri parametri geotecnici che potranno essere utili nella modellazione dinamica del sottosuolo.

Le tabelle successive riportano la stima dei valori dei seguenti parametri:

Vs	velocità delle onde di taglio
v	coefficiente di Poisson
Vp	velocità delle onde di compressione (è in relazione alla Vs e v)
λ	costante di Lamè (è in relazione alla densità del mezzo, alle Vs e alle Vp)
k	costante di Bulk (è in relazione alla densità del mezzo, alle Vs e alle Vp)
E	modulo di Young (è in relazione alla densità del mezzo, alle Vs e alle Vp)
G _{max}	modulo di taglio dinamico o rigidità del sottosuolo (è in relazione alla densità del mezzo e alle Vs)

Le profondità e gli spessori degli strati riprendono il modello sismo-stratigrafico descritto negli elaborati inseriti in allegato.

Masw-1

Strato	Spessore (m)	Prof. (m)	γ kg/mc	Vs (m/s)	Vp (m/s)	ν Poisson	λ (MPa) Lamè	k (MPa) Bulk	E (MPa) Young	G (MPa) Rigidità
1	3,1	3,1	1878	197	483	0,40	292	341	204	73
2	3,7	6,8	1950	246	601	0,40	468	547	330	118
3	7,2	14,0	1965	257	535	0,35	303	389	350	130
4	4,9	18,9	2053	337	701	0,35	543	698	629	233
5	3,5	22,4	2141	441	918	0,35	972	1249	1124	416
6	8,0	30,4	2195	519	1081	0,35	1382	1776	1596	591

Masw-2

Strato	Spessore (m)	Prof. (m)	γ kg/mc	Vs (m/s)	Vp (m/s)	ν Poisson	λ (MPa) Lamè	k (MPa) Bulk	E (MPa) Young	G (MPa) Rigidità
1	1,5	1,5	1848	180	441	0,40	240	280	168	60
2	2,9	4,4	1953	248	607	0,40	479	559	336	120
3	6,7	11,1	1998	285	593	0,35	378	486	438	162
4	3,1	14,2	2000	286	596	0,35	383	492	442	164
5	3,2	17,4	2148	450	936	0,35	1012	1302	1174	435
6	13,0	30,4	2213	549	1144	0,35	1562	2007	1801	667

6.4 Modello geotecnico del terreno di fondazione

L'analisi delle caratteristiche litologiche, stratigrafiche e meccaniche dei materiali rilevati nel sottosuolo di fondazione, è stata sintetizzata nel modello geotecnico descritto nella successiva tabella.

Unità	Quota (m s.l.m.)	Materiale	Peso di volume “ γ ” (Ton/m ³)	Angolo d'attrito “ ϕ ” (°)	Coesione “c” (kPa)
-------	---------------------	-----------	--	------------------------------------	-----------------------

A	166 – 161	Ghiaie con terre eterogenee	1.88	<32	≤10
B	161 – 149	Ghiaie e ghiaie sabbiose	1.95	35 - 40	≤5

7 PERICOLOSITA' SISMICA

Da un punto di vista amministrativo l'O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 ha classificato sismico il territorio comunale di **MONZA** inserendolo in **Zona 4 (livello di sismicità MOLTO BASSO)**, con accelerazione "a_g" orizzontale massima al suolo di riferimento (categoria A) **0.050g** (sono riferiti ad una probabilità del superamento del 10% in 50 anni).

Successivamente l'O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006 ha stabilito che il "livello di rischio sismico di base" del territorio da considerare nella progettazione strutturale sia definito mediante l'utilizzo di mappe suddivise in fasce con differente gradiente d'accelerazione "a_g" massima al suolo di riferimento (categoria A). Nell'area d'indagine la fascia di competenza ha una "a_g" variabile da **0.050g a 0.075g** (sono riferiti ad una probabilità del superamento del 10% in 50 anni).



Estratto dalle mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale.

A livello regionale la Regione Lombardia con la D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia" ha classificato sismico in **Zona 3** il comune di Monza con a_g pari a **0.058594g** (questa classificazione definisce solo l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria).

La pericolosità di base è in funzione delle caratteristiche sismotettoniche del territorio: sorgenti sismiche, energia, tipo e frequenza dei terremoti. La pericolosità locale è in funzione delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche locali che interagendo con il moto sismico sono in grado di modificarne le azioni oltre alla comparsa di effetti locali come l'amplificazione del segnale, la liquefazione, la densificazione, i cedimenti ecc..

7.1 Pericolosità sismica di base

Il D.M. 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) ha stabilito che la “**pericolosità sismica di base**” del sito sia definita da tre parametri variabili in funzione di prefissati periodi di ritorno “ T_R ” di un dato evento sismico:

- accelerazione (a_g) orizzontale massima al suolo di riferimento (categoria A),
- valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (F_o),
- periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (T^*_c).

Opportune tabelle allegate alle NTC riportano i valori dei tre parametri per i diversi stati limite di sicurezza per le prestazioni delle costruzioni in relazione alla vita nominale e classe d’uso delle costruzioni stesse (“SLO” Stato Limite di Operatività, “SLD” Stato Limite di Danno, “SLV” Stato Limite di salvaguardia della Vita, “SLC” Stato Limite di prevenzione del Collasso).

Relativamente all’area d’indagine **ipotizzando che la classe d’uso delle opere che si realizzeranno sia la III** (... *Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza...*) e **la vita nominale delle opere strutturali “ $V_N \geq 100$ anni** (*costruzioni con livelli di prestazioni elevati*), l’azione sismica di base viene determinata con l’utilizzo dei seguenti parametri (sono stati ricavati mediante l’utilizzo del programma “Spettri-NTC ver. 1.0.3” fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici):

latitudine (ED50)	= 45,5927°
longitudine (ED50)	= 9,2956°
Periodo di riferimento “ V_R ” per l’azione sismica	= 150 anni
“ P_{VR} ” Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	= 81% (per SLO)
“ P_{VR} ” Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	= 63% (per SLD)
“ P_{VR} ” Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	= 10% (per SLV)
“ P_{VR} ” Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	= 5% (per SLC)
“ T_R ” tempo di ritorno per “SLO” (con P_{VR} 81%)	= 90 anni
“ T_R ” tempo di ritorno per “SLD” (con P_{VR} 63%)	= 151 anni
“ T_R ” tempo di ritorno per “SLV” (con P_{VR} 10%)	= 1424 anni
“ T_R ” tempo di ritorno per “SLC” (con P_{VR} 5%)	= 2475 anni

Stato Limite	T_R (anni)	a_g (g)	F_o	T^*_c (s)
SLO	90	0,033	2,560	0,218

SLD	151	0,039	2,581	0,239
SLV	1424	0,078	2,662	0,301
SLC	2475	0,092	2,695	0,310

Qualora la vita nominale e la classe d'uso della costruzione che si realizzerà fosse differente da quella considerata, i parametri riportati in tabella dovranno essere aggiornati in riferimento a quanto previsto dalla normativa.

La magnitudo di un sisma rappresenta un elemento importante nella valutazione dell'azione sismica di un sito; la stima della magnitudo " M_w " prevista per la zona d'indagine può essere definita con il METODO DELLE ZONE SISMOGENETICHE, ovvero una delle 36 zone "ZS" in cui è stato suddiviso il territorio italiano e alle quali è stato associato un valore massimo di " M_{wmax} " (Linee Guida per la Microzonazione Sismica, 2008).

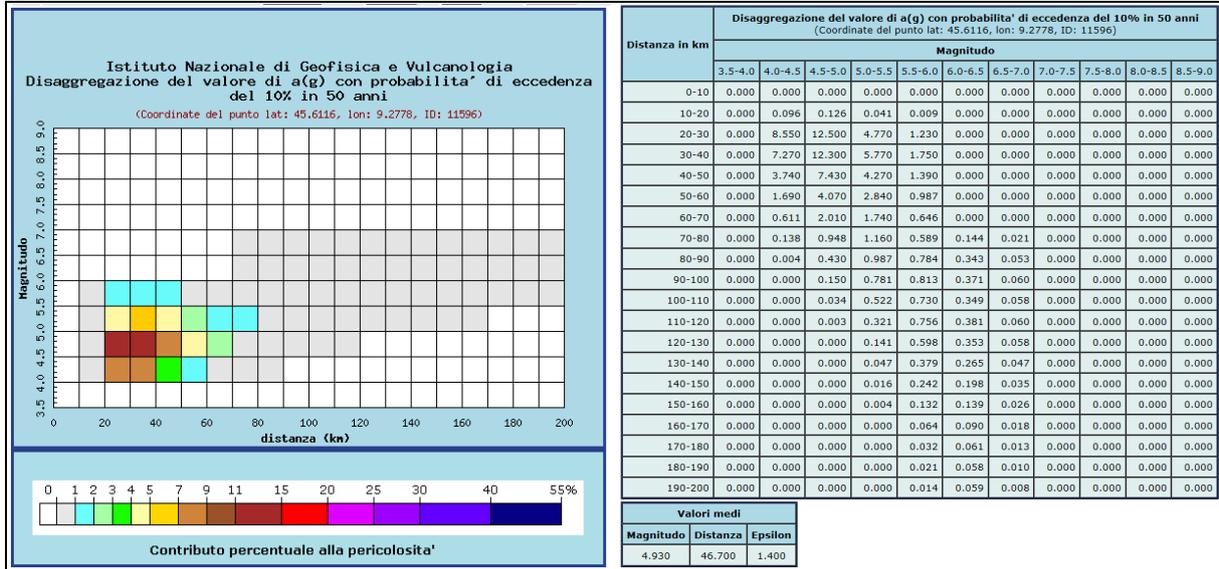
Per la zona d'indagine: ZS907, M_w 6.14

Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio- Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Tabella estratta dalla Linee Guida per la microzonazione sismica del Dipartimento di Protezione Civile.

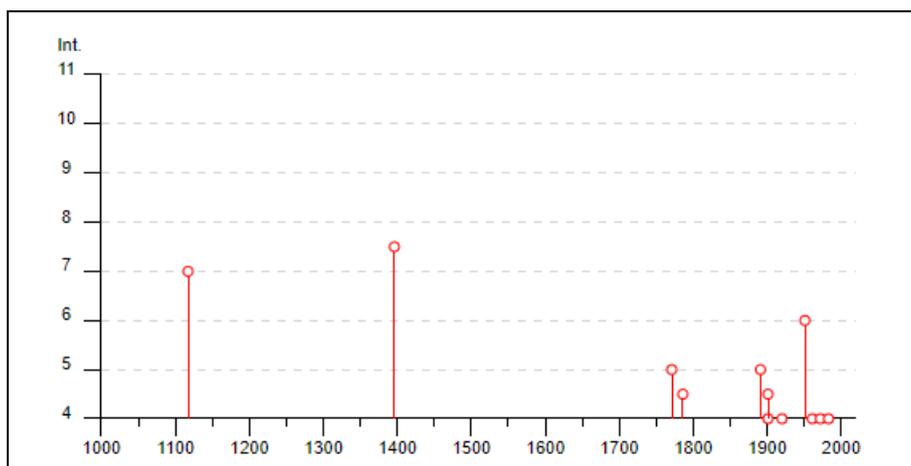
In alternativa al metodo delle zone sismogenetiche la stima della magnitudo prevista per la zona d'indagine può essere valutata con il METODO DELLA DISAGGREGAZIONE, il quale consente di prendere in considerazione i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità del sito. L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia propone delle mappe e delle tabelle in cui per ogni comune del territorio italiano la disaggregazione dell'accelerazione di picco su suolo rigido permette di calcolare il valore della magnitudo in funzione della distanza epicentrale e la relativa probabilità in funzione di determinati periodi di ritorno di un evento sismico.

Le immagini successive, ottenute dalle mappe proposte nel sito dell'INGV, rappresentano la pericolosità attesa per la zona d'indagine per un tempo di ritorno dell'evento sismico di 475 anni.



Pericolosità sismica attesa per Monza con un tempo di ritorno dell'evento di 475 anni.

Il database macrosismico italiano per gli eventi sismici dall'anno 1000 all'anno 2014 (DBMI15 a cura di Locati, Camassi, Rovida, pubblicato nel sito dell'INGV) ha consentito di ricavare per la località Monza le intensità sismiche "I-MCS" (rappresentano l'intensità della scossa e gli effetti dei danni prodotti) registrate in 29 eventi diffusi nel territorio italiano. L'immagine successiva riporta il grafico pubblicato con i valori registrati (in ordinata) in funzione del tempo (in ascissa). Per la zona le intensità sono comprese tra 4 e 8.

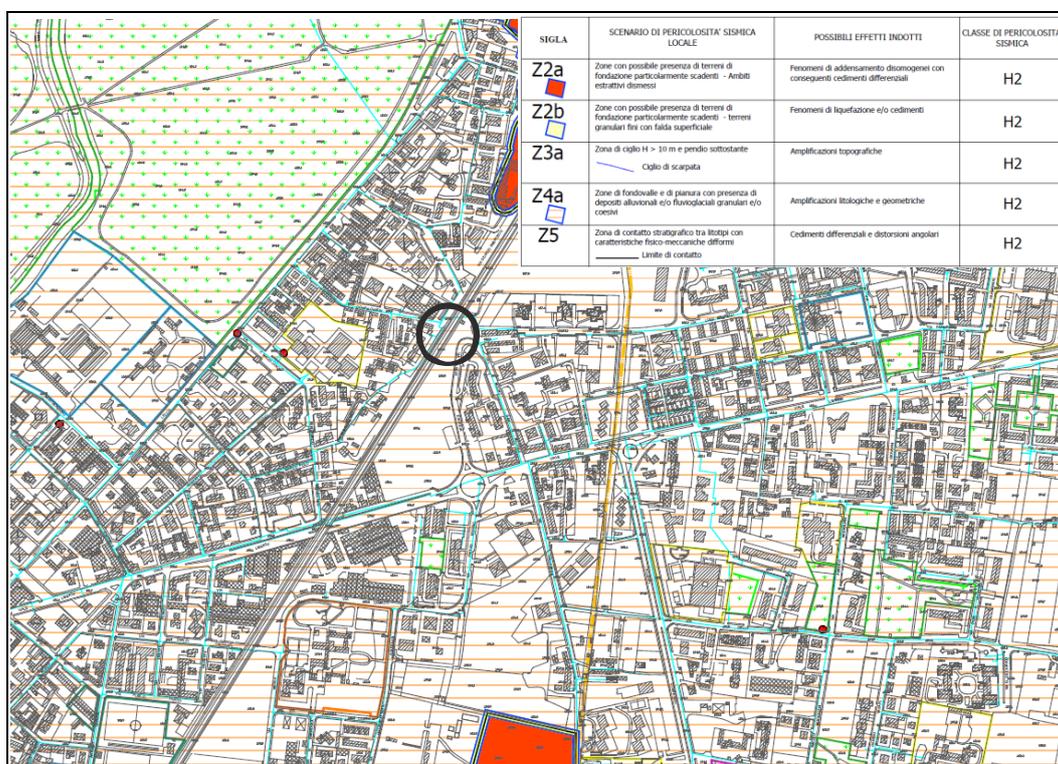


7.2 Pericolosità sismica locale

Le Linee Guida NTC definiscono la *risposta sismica locale* come “l’azione sismica quale emerge in superficie a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, subite per effetti morfologici o subite trasmettendosi dal substrato rigido attraverso le coperture”. Le coperture sedimentarie amplificano l’accelerazione sismica in superficie agendo contemporaneamente da filtro del moto sismico (diminuiscono l’energia complessiva), ma modificando la composizione e l’amplificazione di alcune frequenze. In riferimento al D.M. 17/01/2018 la “classificazione sismica del sottosuolo” e la “classificazione topografica del sito” consentono di stimare con un approccio semplificato gli effetti di sito sul segnale sismico, ossia l’accelerazione di riferimento amplificata (o accelerazione massima attesa in superficie “ a_{max} ”).

L’analisi sismica del territorio descritta nel P.G.T. di Monza ha classificato la zona d’interesse “Z4a” con i seguenti possibili scenari:

- classe di pericolosità sismica H2
- possibili effetti indotti “amplificazioni litologiche e geometriche”.



Carta della pericolosità sismica locale estratta dalla Tav. 6b inserita nel PGT di Monza.

7.2.1 Classificazione sismica del sottosuolo

In riferimento alla vigente normativa il sottosuolo è stato classificato ai fini sismici in funzione della “ $V_{s,eq}$ ”, ovvero la velocità equivalente delle onde di taglio “ V_s ”, calcolata dal piano campagna sino alla profondità del sub-strato rigido con $V_s > 800$ m/s, o sino alla profondità di 30 m qualora il sub-strato rigido sia più profondo di 30 m.

I valori di V_s sono stati ricavati dall’elaborazione delle onde di superficie di Raleigh mediante la tecnica d’indagine sismica MASW. I §§ 5.1 e 5.4 descrivono l’indagine eseguita e i risultati ottenuti.

L’equazione definita dalla normativa per il calcolo della “ $V_{s,eq}$ ” (D.M. 17/01/2018, § 3.2.2.) è la seguente

$$V_{s,eq} = H / (\sum h_i / V_i)$$

h_i = spessore dello strato i esimo

V_i = velocità delle onde di taglio dello strato i esimo

H = profondità del sub-strato rigido o 30 m

La tabella successiva riporta la classificazione del sottosuolo descritta nelle NTC 17/01/2018 (§ 3.2.2.) in funzione della velocità “ $V_{s,eq}$ ”.

<i>Categoria</i>	<i>Descrizione</i>
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 fine 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 m/s 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.

CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO			
$V_{s,eq} \text{ MASW1}$	= 313 m/s	$V_{s,eq} \text{ MASW2}$	= 354 m/s
<i>Sub-strato rigido</i>	= >30 m	<i>Sub-strato rigido</i>	= >30 m
<i>Categoria sottosuolo</i>	= C	<i>Categoria sottosuolo</i>	= C

Gli effetti topografici sono in grado di modificare il moto sismico a seguito di fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche in prossimità delle creste dei rilievi; i fenomeni di amplificazione cresta – base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza.

La tabella successiva (§3.2.2 NTC) descrive le diverse categorie topografiche previste dalla normativa, le quali si riferiscono a configurazioni geometriche di cresta o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore 30 m.

CATEGORIE TOPOGRAFICHE	
Categoria	Descrizione
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 $i > 30^\circ$

La superficie topografica dell'area ha un'inclinazione media $< 15^\circ$:

Categoria topografica = T1

7.2.2 Amplificazione stratigrafica e topografica

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale può essere valutata in prima approssimazione con riferimento alle categorie di sottosuolo. Il moto sismico alla superficie (in campo libero) associato ad ogni categoria di sottosuolo viene definito mediante l'**accelerazione massima attesa in superficie** " a_{max} " ed una forma spettrale ancorata ad essa.

L'accelerazione " a_{max} " rappresenta l'amplificazione dell'accelerazione di base (moto su suolo rigido) a seguito degli effetti di sito: ovvero le condizioni geologiche e topografiche.

L'accelerazione massima può essere calcolata con la seguente relazione (DM 17/01/2018, § 7.11.3.2)

$$a_{max} = S \cdot a_g$$

$$S = S_S \cdot S_T$$

S_S – coefficiente di amplificazione stratigrafica (in relazione alla categoria di sottosuolo)

S_T – coefficiente di amplificazione topografica (in relazione alla categoria topografica)

Considerando la classificazione sismica del sottosuolo, la classificazione topografica e la pericolosità di base del sito (a_g su suolo rigido), i valori dei coefficienti “S” e delle accelerazioni sismiche orizzontali amplificate “ a_{max} ” per ogni stato limite sono:

Periodo di riferimento V_R = 150 anni

Categoria del sottosuolo = C

	<i>SLO</i>	<i>SLD</i>	<i>SLV</i>	<i>SLC</i>
S_S	1.500	1.500	1.500	1.500
S_T	1.0	1.0	1.0	1.0
S	1.500	1.500	1.500	1.500
a_g	0.033	0.039	0.078	0.092
a_{max}	0.049	0.058	0.117	0.138

7.2.3 Coefficienti sismici

I coefficienti sismici “ k_h ” e “ k_v ” sono due parametri (rispettivamente coefficiente sismico orizzontale e verticale) che permettono di considerare l’effetto cinematico del suolo in presenza dell’azione sismica. In particolare il coefficiente “ k_h ” consente di ricavare la stima della resistenza limite del sottosuolo in condizioni dinamiche per le analisi di stabilità del sistema geotecnico “terreno – opera di fondazione”.

“ k_h ” e “ k_v ” possono essere stimati con le seguenti relazioni valide per analisi pseudo-statiche (D.M. 17/01/2018, § 7.11.3.5.2)

$$k_h = \beta \ a_{max}/g$$

$$k_v = \pm \ 0.5 \ k_h$$

β = coefficiente di riduzione dell’accelerazione sismica (0.20 ÷ 0.28, tab. 7.11.I)

g = accelerazione di gravità

Periodo di riferimento V_R = 150 anni
Categoria del sottosuolo = C

	<i>SLO</i>	<i>SLD</i>	<i>SLV</i>	<i>SLC</i>
a_{\max}	0.049	0.058	0.117	0.138
β	0.20	0.20	0.24	0.24
K_h	0.010	0.012	0.028	0.033
K_v	0.005	0.006	0.014	0.017

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio geologico descritto nella presente relazione ha avuto lo scopo di verificare, ai sensi della vigente normativa, le caratteristiche geologiche, geotecniche, idrogeologiche, sismiche, del sottosuolo sul quale è prevista la realizzazione di un sottopasso ciclopedonale.

La relazione descrive: il contesto geologico in cui s'inserisce l'area d'indagine, le indagini geognostiche eseguite in sito, il modello stratigrafico e geotecnico del sottosuolo, la stima dei principali parametri geotecnici, l'analisi della pericolosità sismica locale.

- Complessivamente il sottosuolo in giacitura naturale è costituito da materiali granulari ghiaioso sabbiosi di origine fluviale o fluvio-glaciale mediamente addensati o addensati con elementi di forma arrotondata o sub-arrotondata. In funzione di alcuni parametri geotecnici e sismici sono state definite 3 macro unità stratigrafiche (A, B, C). L'unità A si riferisce alla porzione superficiale costituita da materiali riportati. L'unità A è spessa circa 3 / 5 m e in corrispondenza di Via Einstein è stata riscontrata l'alternanza di lenti ghiaiose, ghiaiose con matrice fine, ghiaiose con matrice sabbiosa e alla base dell'unità una lente prevalentemente limoso argillosa con ghiaie. L'unità B è la prima unità in giacitura naturale ed è costituita da ghiaie-sabbiose mediamente addensata o addensata; essa è continua nel territorio e sovrasta la sottostante unità C, ghiaioso-sabbiosa, probabilmente satura d'acqua oltre la profondità 16 / 18 m.
- Le qualità delle resistenze dei materiali rilevati sono buone per l'unità B, mentre sono discontinue nell'unità A. Il grado di deformabilità complessivo è molto basso, fatta eccezione per alcuni sottili livelli dell'unità A rilevati nei primi 5 m di profondità. Il grado di rigidità è crescente in profondità.
- Sino alla quota di circa 149 m s.l.m. (-17 m di profondità) i materiali sono privi d'acqua. Da fonti bibliografiche la falda freatica è presente con continuità nel territorio dalla quota assoluta di circa 148 m s.l.m..
- Da un punto di vista sismico il territorio comunale di Monza è classificato sismico in Zona 3 per la classificazione regionale ed in Zona 4 per la classificazione nazionale. Il sottosuolo dell'area indagata è classificato in categoria C ($V_{s,eq} > 300$ m/s).
- Ai fini della classificazione geologica del territorio inserita nel P.G.T. di Monza l'area di progetto può essere classificata "area Be" (ambito geologico-geotecnico caratterizzato da ghiaie a supporto clastico in matrice sabbiosa o sabbioso limosa nell'ambito della piana principale) con vulnerabilità degli acquiferi di grado "alto / medio". La suscettività al

fenomeno degli “occhi pollini” è “basso”, inoltre da punto di vista idraulico l’area è “esterna” ad ambiti o elementi vulnerabili.

Relativamente alle opere che si andranno a progettare si ritiene opportuno fornire le seguenti osservazioni di carattere geotecnico.

- Il sottosuolo sotto il piano di calpestio del sottopasso ciclopedonale è caratterizzato da litologie ghiaioso sabbiose con alti valori di rigidità appartenenti all’unità stratigrafica B.
- Complessivamente i materiali rilevati sotto la quota di circa 161 m s.l.m. appaiono di buona resistenza al taglio e limitata, ancorché molto contenuta, deformabilità; il grado d’addensamento dei materiali è variabile da “MEDIO” ad “ALTO”. Le resistenze sono complessivamente crescenti con la profondità.
- In considerazione della presenza di materiali granulari incoerenti il comportamento meccanico del sottosuolo è attritivo (o granulare), pertanto il parametro geotecnico più rappresentativo della resistenza al taglio del materiale è l’angolo d’attrito efficace “ ϕ ”.
- In considerazione della quota piezometrica della falda freatica (circa 148 s.l.m.) non sono previste interferenze idrauliche con l’opera in progetto (quota di base circa 161 m s.l.m.).

Lì, novembre 2018



Dott. Geol. Enrico Nucci



Dott. Geol. Andrea Garbellini

R.T. P.



MiTo ingegneria srl



Geologo Dr. Nucci Enrico

Ing. Melchiori Giulia

ALLEGATI

Ubicazione dell'area di progetto
Base estratta dalle mappe di Google Earth
(planimetria non in scala)

Comm.te: COMUNE DI MONZA
Comune: Monza
Località: Via Einstein / Via De Marchi - Monza
Data: 12/09/2018

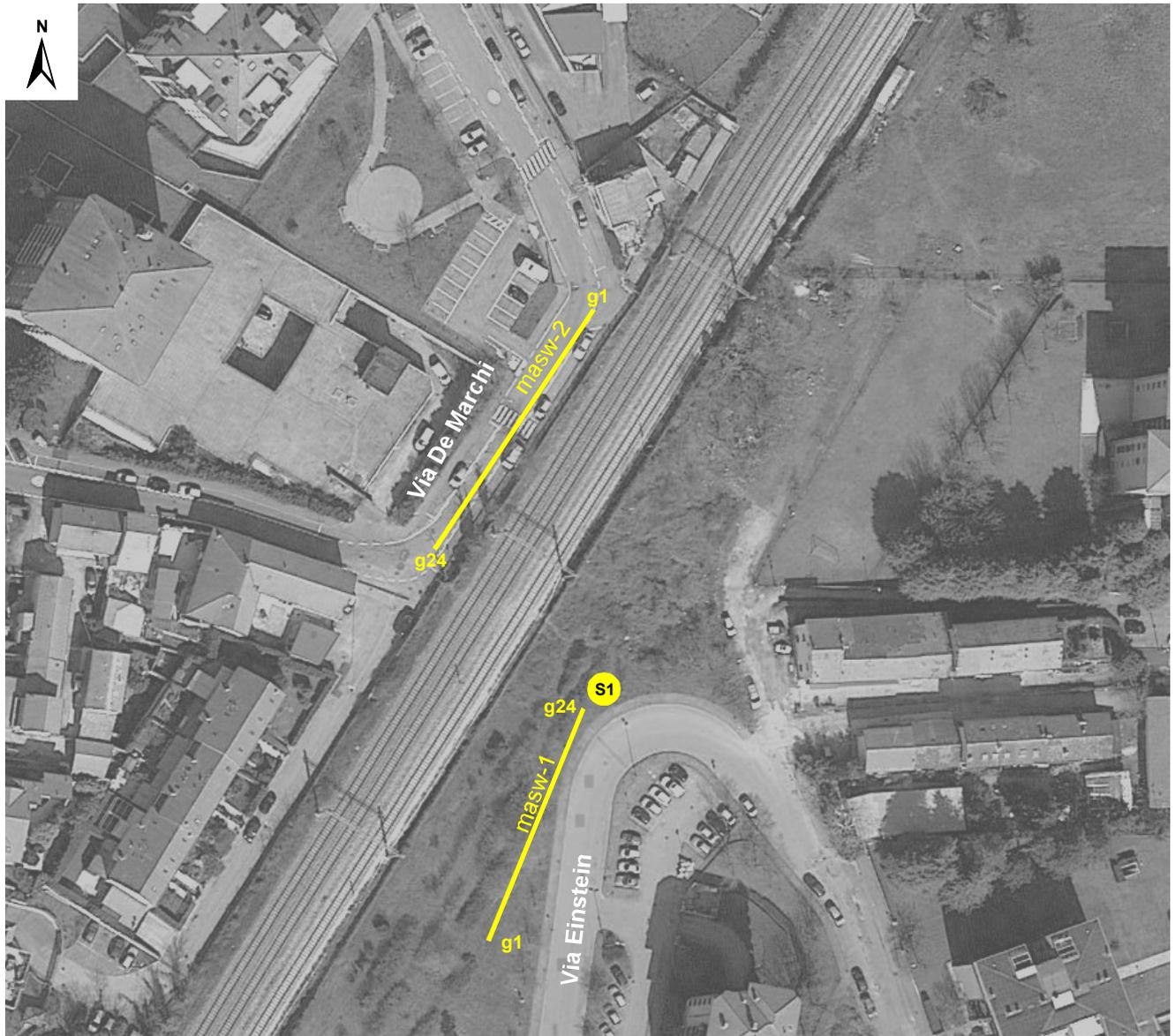


Coordinate geografiche (WGS84) centrali all'area di progetto
LAT 45,5918° LONG 9,2946°

Coordinate geografiche (ED50) centrali all'area di progetto
LAT 45,5927° LONG 9,2956°

Ubicazione delle prove in sito
Base estratta dalle mappe di Google Earth
(planimetria non in scala)

Comm.te: COMUNE DI MONZA
Comune: Monza
Località: Via Einstein / Via De Marchi - Monza
Data: 12/09/2018



sondaggio stratigrafico con prove SPT in foro (profondità 17 m)



allineamento degli stendimenti sismici

g1, g24

posizione dei geofoni (n.1 e n.24, interasse tra i geofoni 2 m)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Comm.te: COMUNE DI MONZA

Comune: Monza

Località: Via Einstein / Via De Marchi - Monza

Data: 12/09/2018

STUDIO NUCCI

SOCIETA' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA

Via Albero n.132, 37137 Verona

tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com



Posizione del sondaggio stratigrafico S1; vista verso Nord



Posizione del sondaggio stratigrafico S1; vista verso Ovest

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Comm.te: COMUNE DI MONZA

Comune: Monza

Località: Via Einstein / Via De Marchi - Monza

Data: 12/09/2018

STUDIO NUCCI

SOCIETA' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA

Via Albere n.132, 37137 Verona

tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com



Sondaggio S1: fase d'avanzamento della perforazione



Sondaggio S1: fase d'avanzamento della prova in foro SPT in cui si nota la caduta del maglio di battuta

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Comm.te: COMUNE DI MONZA

Comune: Monza

Località: Via Einstein / Via De Marchi - Monza

Data: 12/09/2018

STUDIO NUCCI

SOCIETA' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA

Via Albere n.132, 37137 Verona

tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com



Sondaggio S1: fase d'avanzamento della perforazione con alloggiamento delle terre campionate nelle cassette catalogatrici



Sondaggio S1: fine della perforazione e ripristino delle condizioni iniziali dell'area prativa

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Comm.te: COMUNE DI MONZA

Comune: Monza

Località: Via Einstein / Via De Marchi - Monza

Data: 12/09/2018

STUDIO NUCCI

SOCIETA' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA

Via Albere n.132, 37137 Verona

tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com



Sondaggio S1 prof. 0 - 5 m



Sondaggio S1 prof. 5 - 10 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Comm.te: COMUNE DI MONZA

Comune: Monza

Località: Via Einstein / Via De Marchi - Monza

Data: 12/09/2018

STUDIO NUCCI

SOCIETA' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA

Via Albere n.132, 37137 Verona

tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com



Sondaggio S1 prof. 10 - 15 m



Sondaggio S1 prof. 15 - 17 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Comm.te: COMUNE DI MONZA

Comune: Monza

Località: Via Einstein / Via De Marchi - Monza

Data: 12/09/2018

STUDIO NUCCI
SOCIETA' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA
Via Albere n.132, 37137 Verona
tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com



Allineamento dello stendimento sismico MASW-1 (via Einstein);
vista verso Nord



Allineamento dello stendimento sismico MASW-2 (Via De Marchi);
vista verso Sud

PROVA SISMICA - 01

(tecnica d'indagine M.A.S.W. con 24 geofoni da 4.5 Hz)

Comm.te: Comune di Monza

Comune: Monza

Località: Via Einstein - Monza

Data: 12/09/2018

STUDIO NUCCI

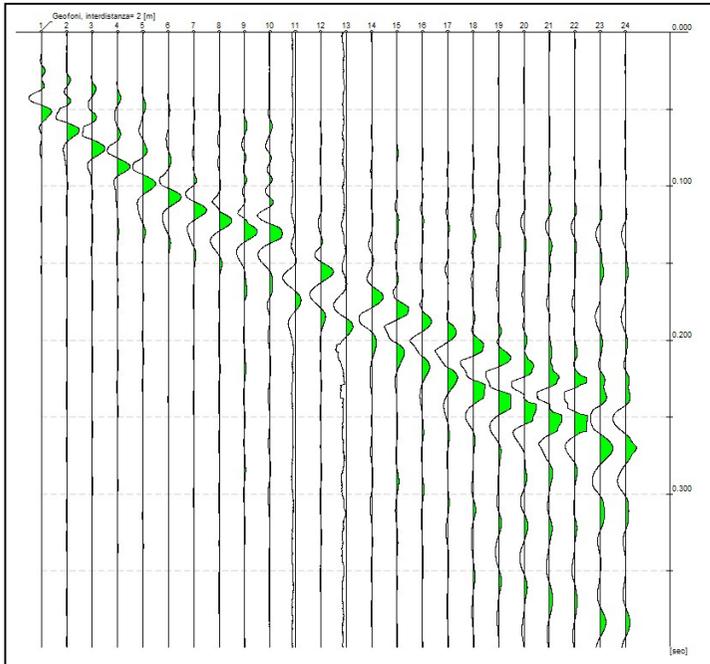
SOCIETA' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA

Via Albere n.132, 37137 Verona

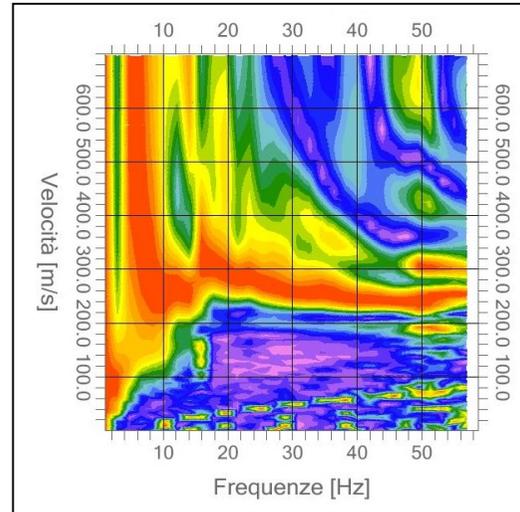
tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com



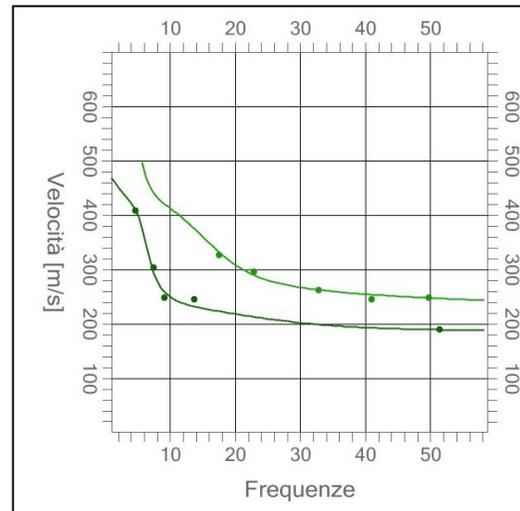
SISMOGRAMMA



SPETTRO VELOCITÀ DI FASE

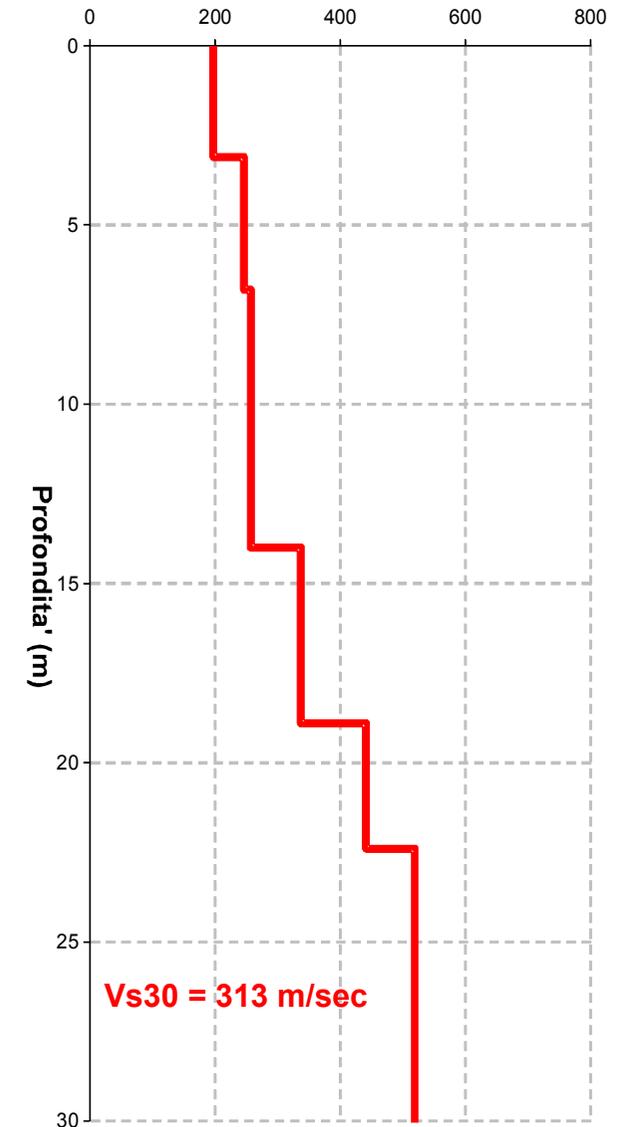


CURVA DI DISPERSIONE



Profilo verticale onde S

Vs (m/sec)



Strato	Spessore (m)	Prof. (m)	γ (kg/mc)	Vs (m/s)	G (MPa) Rigidità
1	3,1	3,1	1878	197	73
2	3,7	6,8	1950	246	118
3	7,2	14,0	1965	257	130
4	4,9	18,9	2053	337	233
5	3,5	22,4	2141	441	416
6	8,0	30,4	2195	519	591

PROVA SISMICA - 02

(tecnica d'indagine M.A.S.W. con 24 geofoni da 4.5 Hz)

Comm.te: Comune di Monza

Comune: Monza

Località: Via Einstein - Monza

Data: 12/09/2018

STUDIO NUCCI

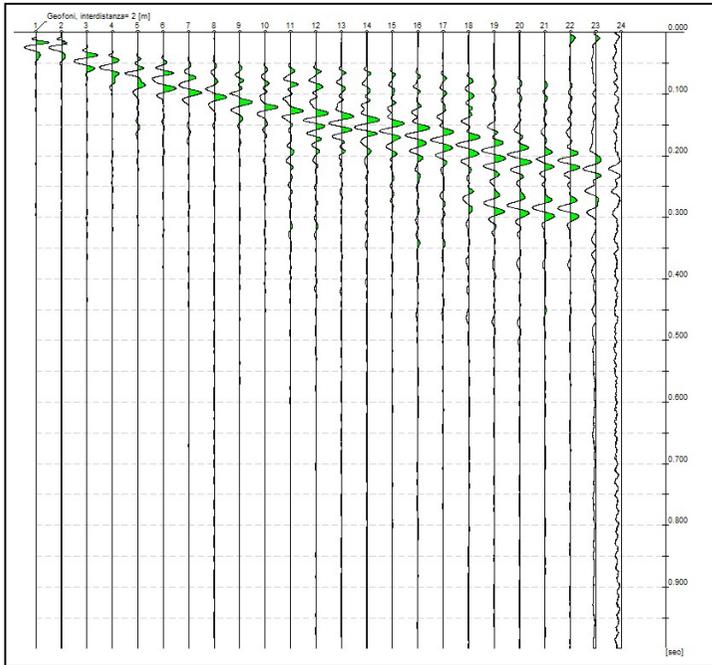
SOCIETA' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA

Via Albere n.132, 37137 Verona

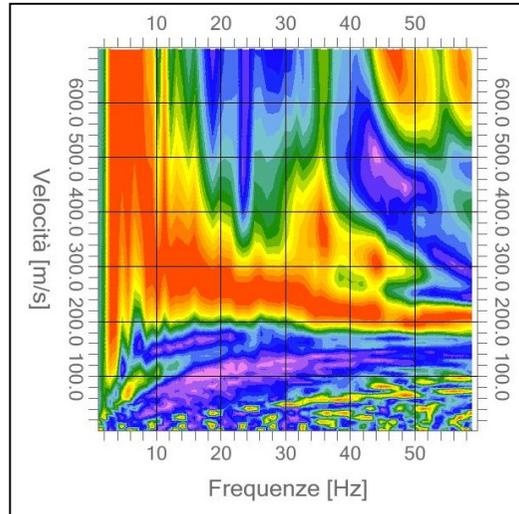
tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com



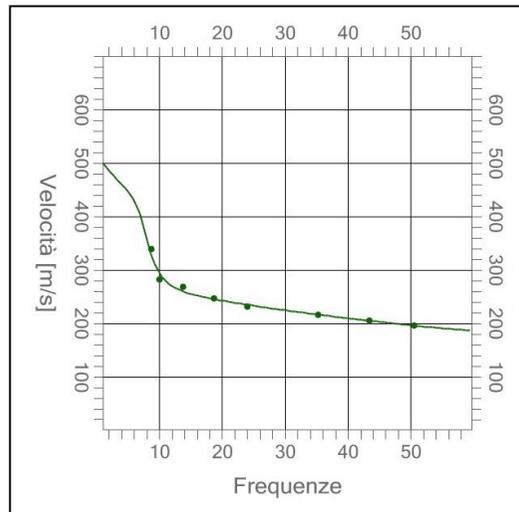
SISMOGRAMMA



SPETTRO VELOCITÀ DI FASE

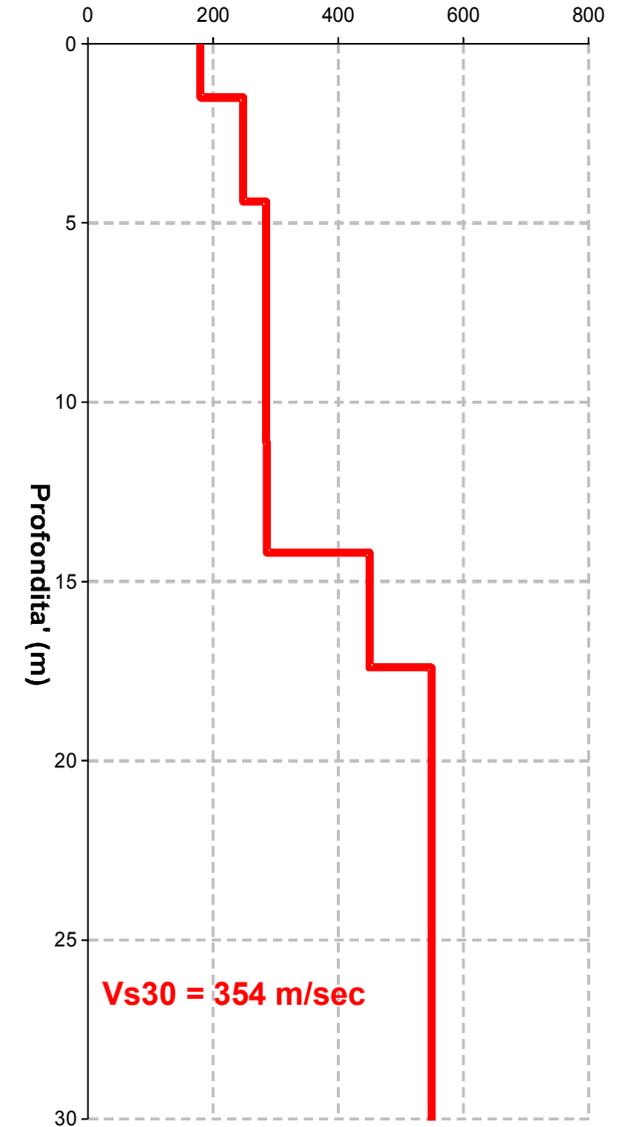


CURVA DI DISPERSIONE



Profilo verticale onde S

Vs (m/sec)



Strato	Spessore (m)	Prof. (m)	γ (kg/mc)	Vs (m/s)	G (MPa) Rigidità
1	1,5	1,5	1848	180	60
2	2,9	4,4	1953	248	120
3	6,7	11,1	1998	285	162
4	3,1	14,2	2000	286	164
5	3,2	17,4	2148	450	435
6	13,0	30,4	2213	549	667



SOCIETÀ DI INGEGNERIA E
GEOLOGIA APPLICATA
Via Albere, 132 - 37137 Verona
tel / fax 045.8622408
email studionuccisrl@gmail.com

COMMITTENTE: COMUNE DI MONZA

INDIRIZZO: MONZA

SONDAGGIO N° 1

SCALA 1:50

LOCALITÀ: VIA EINSTEIN - MONZA

OPERATORE: PERGEO S.R.L.

PERFORAZIONE: rotazione c.c. D101 mm

DATA INIZIO: 12/09/2018

DATA FINE : 12/09/2018 quota fine sond.: 17 m

CAMPIONI: carotiere semplice (CS); Osterberg (OT); Shelby (SH). COMPILATORE: dott. geol. Andrea Garbellini

Quote (m)		Scala (m)	Schema Stratigrafico	Descrizione litologica e stratigrafica	Pocket q _u kPa	Colpi SPT	H ₂ O m	Campioni			Note
s.l.m	p.c.							Typo	n.	prof.	
	0.0	1		Ghiaia poligenica eterometrica da fine a media con forme arrotondate o sub-arrotondate con isolati ciottoli (5/7 cm), in abbondante matrice fine limosa o limoso sabbiosa, non plastica al tatto, coesiva, di colore nocciola.			Acqua assente				Prove Spt eseguite con punta chiusa
	1.5										
	2.3	2		Materiale antropico cementizio con pietrame o laterizio.							
	4.4	3		Materiale eterogeneo con ghiaia eterometrica da fine a media e frammenti spigolosi di laterizio in matrice fine limosa o limoso sabbiosa fine, non plastica al tatto, coesiva, di colore marrone.							
		4									
	5.5	5		Limo argilloso coesivo, poco plastico al tatto, con ghiaie eterometriche da fini a medie di forma arrotondata o sub-arrotondata con tracce di frammenti di laterizio.							
	5.5	6		Ghiaie eterometriche arrotondate o sub-arrotondate in matrice limosa o limoso sabbiosa o sabbiosa medio-fine. Le ghiaie sono poligeniche, eterometriche da fini a medie con isolati ciottoli arrotondati o sub-arrotondati (5/7 cm). La matrice è di colore nocciola chiaro, coesiva o poco coesiva, non plastica. La componente sabbiosa della matrice aumenta oltre la profondità di 10.5 m. Complessivamente il materiale è molto resistente alla perforazione.			Acqua assente				Foro rivestito sino alla profondità di 9 m, D 127 mm.
		7									
		8									
		9									
		10									
		11									
		12									
		13									
		14									
		15									
	16										
	17										

Classi granulometriche A.G.I. 1990

Dalla profondità di 10 m l'avanzamento delle manovre di perforazione è stato rallentato dall'elevato grado d'addensamento dei materiali.