

**LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA
DEL SOTTOPASSO DI CONCA FALLATA
IN COMUNE DI MILANO [MI-E-788]**

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione:

R02

Descrizione:

**RELAZIONE
GEOLOGICO – GEOTECNICA
E SISMICA**

Progettista:

Prof. Ing. Luigi Natale

Responsabile del procedimento:

Dott. Ing. Gaetano La Montagna

Consulente:

Dott. Geol. Marco Sala (Tecnosuolo)

SETTEMBRE 2013



Via Taramelli, 12 - 20124 MILANO

**LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA
DEL SOTTOPASSO DI CONCA FALLATA
IN COMUNE DI MILANO [MI-E-788]**

- INDAGINI GEOGNOSTICHE PER NUOVO MURO DI SOSTEGNO -

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA e SISMICA

Redatto da:

Dott. Geol. Marco Sala



Casatisma, agosto 2013

INDICE

1.0 Premessa.....	pag. 3
1.1 Normativa di riferimento.....>>	4
2.0 Stato di fatto e descrizione dell'intervento.....>>	5
3.0 Inquadramento geologico-geomorfologico.....>>	6
4.0 Indagini geognostiche.....>>	8
4.1 Sondaggio a carotaggio continuo.....>>	8
4.1.1 Prove a resistenza meccanica S.P.T.....>>	9
4.2 Indagine geofisica MASW.....>>	10
5.0 Caratterizzazione sismica del sito.....>>	12
5.1 Rappresentazione dei dati sismici con metodo MASW.....>>	12
5.1.1 Interpretazione dei dati.....>>	13
5.1.2 Ricostruzione del sottosuolo mediante le onde S.....>>	14
5.2 Caratteristiche macrosismiche dell'area.....>>	16
5.3 Definizione della pericolosità sismica di base.....>>	18
5.4 Categoria di sottosuolo e categoria topografica.....>>	19
5.5 Valutazione della suscettibilità sismica dell'area.....>>	21
5.5.1 Effetti litologici.....>>	21
5.6 Parametri sismici di riferimento.....>>	27
6.0 Caratterizzazione litostratigrafica dei terreni.....>>	32
7.0 Determinazione dei parametri geotecnici.....>>	34
8.0 Valutazione del potenziale di liquefazione.....>>	36
9.0 Terre e rocce da scavo.....>>	40

ALLEGATI

- Allegato 1 - Corografia generale con ubicazione area in esame
- Allegato 2 - Foto aerea con ubicazione punti di indagine
- Allegato 3 - Planimetria generale con ubicazione punti di indagine
- Allegato 4 - Stratigrafia del sondaggio
- Allegato 5 - Documentazione fotografica

1.0 Premessa

Nella presente relazione, redatta per conto dell'A.I.Po. (Agenzia Interregionale per il fiume Po), si espongono i risultati delle indagini geologiche, geotecniche e geofisiche, relative al progetto per il sopralzo di un esistente muro di sostegno, nell'ambito dei lavori di manutenzione straordinaria del sottopasso di Conca Fallata nel comune di Milano.

Lo studio è finalizzato alla definizione delle caratteristiche geologico-geomorfologiche generali e di sismicità dell'area, nonché dell'assetto litostratigrafico e geotecnico dei terreni di imposta della struttura in progetto.

Per tale scopo, oltre che tramite un rilievo morfologico dell'area, l'acquisizione diretta dei dati di campagna è avvenuta attraverso specifiche prospezioni geotecniche e geofisiche, rappresentate da n.1 sondaggio a carotaggio continuo con prove S.P.T. in foro e da n.1 stendimento sismico con metodologia MASW, eseguite in data nel periodo luglio-agosto 2013.

I dati raccolti sono stati inoltre integrati con quelli esistenti, derivanti dalla letteratura di riferimento e dalla cartografia tecnica disponibile oltre che da studi pregressi in aree adiacenti.

Pertanto, considerando gli obiettivi sopra esposti, l'indagine si è articolata attraverso la successione delle seguenti fasi:

- esame dei dati geologici ed idrogeologici pregressi della zona, disponibili tramite bibliografia;
- rilevamento morfologico-idrologico speditivo dell'area e del suo relativo intorno;
- esecuzione delle prospezioni geognostiche in situ (sondaggio a carotaggio continuo, MASW) con misura dei valori di resistenza penetrometrica, e ricostruzione delle velocità delle onde P ed S, e verifica della eventuale presenza di acqua di falda;
- caratterizzazione sismica dell'area attraverso riscontri normativi e dati acquisiti in sito;

- ricostruzione dell'assetto litostratigrafico e caratterizzazione geologico-tecnica dei terreni di fondazione con la definizione dei principali parametri geomeccanici;
- valutazione delle scelte fondazionali in relazione alle possibili interazioni tra terreno e sovrastruttura.

1.1 Normativa di riferimento

Lo studio è stato condotto in accordo con quanto previsto dalla normativa vigente:

- D.M. LL.PP. 11.03.88 *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”*;
- D.M. LL.PP. 14.01.08 *“Norme tecniche per le costruzioni”*;
- Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 02.02.09 *“Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni”*;
- Eurocodice 7 *“Progettazione geotecnica – parte I: Regole Generali (1997) – parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) – parte III: progettazione assistita con prove in sito (2002)”*;
- Eurocodice 8 (1998) *“Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture – parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”*;
- O.P.C.M. n.3274 20.03.03 *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*;
- O.P.C.M. n.3519 28.04.06 *“Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”*;
- Allegato al voto n.36 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici 27.07.07 *“Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale”*;
- D.Lgs. n.152 03.04.2006 *“Norme in materia ambientale”*;
- D.M. A.T.T.M. n.161 10.08.2012 *“Regolamento recante la disciplina e l'utilizzo delle terre e rocce da scavo”*.

2.0 Stato di fatto e descrizione dell'intervento

Il sottopasso in questione è ubicato nella porzione periferica esterna sud-occidentale della città di Milano, in corrispondenza dell'intersezione tra il Naviglio Pavese proveniente da nord ed il Fiume Lambro Meridionale proveniente da ovest (fig.1).



Figura 1: Foto aerea con ubicazione area in esame.

Il progetto si inquadra nell'ambito dei lavori di manutenzione straordinaria del manufatto e nello specifico prevede il sopralzo del muro attualmente a sostegno della sponda destra del fiume Lambro Meridionale nel tratto immediatamente a monte del sottopasso.

La lunghezza complessiva del tratto interessato è di circa 36 metri ed il supporto fondazionale della nuova struttura verrà garantito da pali trivellati.

3.0 Inquadramento geologico-geomorfologico

L'assetto morfologico del contesto territoriale in esame è pianeggiante, con lieve gradiente verso sud e con deboli ondulazioni e dislivelli ricollegabili alle azioni geomorfologiche perpetrate in tempi geologici medio-recenti dai locali corsi d'acqua, oltre che da rimaneggiamenti di natura antropica. La quota del punto in causa è di circa 108 metri s.l.m..

Il contesto geologico è stato desunto dall'esame del Foglio n. 45 – MILANO della Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:100.000 (fig.2): l'area si colloca nell'ambito di depositi di epoca quaternaria, litologicamente caratterizzati da alluvioni ghiaioso-sabbiose terrazzate (Alluvium Antico), dal punto di vista litologico si tratta di terreni prevalentemente ghiaiosi e sabbioso-ghiaiosi con locali intercalazioni o banchi limosi e limoso-argillosi e copertura limoso-argillosa.

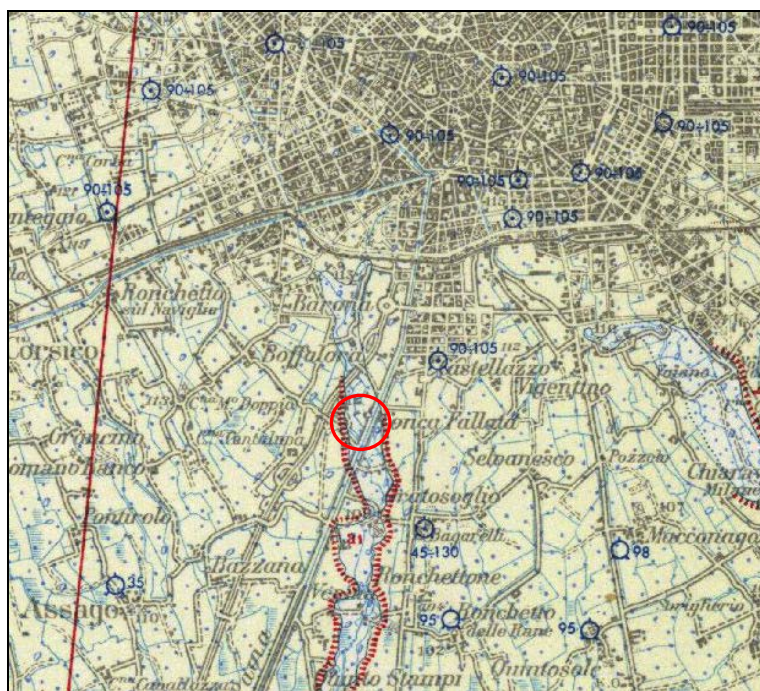


Figura 2: Estratto Carta Geologica d'Italia - Foglio 45 Milano.

Dal punto di vista idrologico è da segnalare la presenza dei due corpi idrici già citati che si intersecano nell'area in esame, il fiume Lambro meridionale che in questo tratto presenta andamento circa ovest-est ed il naviglio Pavese ad andamento nord-sud.

In relazione all'idrogeologia, nella carta idrogeologica allegata allo Studio Geologico a supporto del P.G.T. comunale (Dott. Geol. Laura Scesi, Dott. Geol. Vincenzo Francani, ottobre 2012), la soggiacenza della falda è segnalata a quote comprese tra 101 e 102 metri s.l.m., corrispondenti a profondità comprese tra 6 e 7 metri dal piano campagna.

Nel corso delle indagini eseguite è stata riscontrata presenza di acqua alla quota di circa 5.50 metri dall'attuale piano campagna.

Tale livello è suscettibile di variazioni anche significative, relazionabili alla presenza nel primo sottosuolo di "falde sospese", influenzate in particolare dalle condizioni meteorologiche stagionali.

4.0 Indagini geognostiche

Il programma di indagine si è così articolato:

- n.1 sondaggio a carotaggio continuo (S1), spinto fino alla profondità di 30.0m dal p.c.;
 - o esecuzione di prove S.P.T. (Standard Penetration Test) ad intervalli regolari di 3 metri;
- n.1 base sismica MASW (L1).

Di seguito se ne illustrano i dettagli e le modalità esecutive.

4.1 SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO

È stata impiegata un'attrezzatura a rotazione COMACCHIO, modello MC 800, allestita su carro cingolato e dotata dei seguenti requisiti tecnici essenziali:

- Forza max. tiro/spinta 6.000 daN;
- Coppia max. 1.230 daNm;
- Giri max. 60÷310 r/min;
- Corsa testa di rotazione 600 cm.

La sonda è corredata di pompa NENZI dotata di circuito supplementare per il rabbocco del fluido a testa foro.

I sondaggi sono stati descritti in apposito modulo stratigrafico in cui si è indicata, in funzione della profondità la rappresentazione stratigrafica e descrizione dei terreni attraversati, spessore delle alternanze litologiche, colore delle formazioni, composizione granulometrica approssimata e frazione fine prevalente, consistenza ed addensamento.

La perforazione è stata condotta a carotaggio continuo con l'utilizzo di carotieri semplici aventi diametro 101 mm tali da rendere minimo il disturbo dei materiali attraversati e da consentire il prelievo dei campioni rappresentativi (carote); essa è stata eseguita senza l'utilizzo di fluidi di circolazione (carotaggio a secco).

Per il sostegno delle pareti del foro sono stati impiegati rivestimenti provvisori consistenti in tubi di acciaio speciale filettati della lunghezza di 1.0÷1.5 m e del diametro di 127 mm.

Durante le operazioni di posa del rivestimento provvisorio si è reso necessario l'impiego di fluidi di perforazione per il raffreddamento del tagliente (scarpa) e l'asportazione del detrito: a tale scopo si è impiegata circolazione diretta di acqua chiara.

I materiali estratti dai carotieri sono stati collocati in apposite cassette catalogatrici in PVC, adatte a contenere 5 metri di carote, sulle quali sono stati annotati l'identificazione del punto di sondaggio, la relativa profondità, la località e l'identificazione del committente; esse sono state quindi analizzate a vista per la redazione della stratigrafia e infine fotografate.

Le cassette contenenti i campioni di terreno sono depositate nell'ambito del cantiere, nella cabina che attualmente ospita la strumentazione idrometrica.

4.1.1 Prove a resistenza meccanica S.P.T.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state realizzate, in avanzamento ad intervalli di 1.5 metri, prove di resistenza alla penetrazione SPT (Standard Penetration Test).

La prova consiste nell'infissione a percussione di un tubo campionatore a parete grossa tipo Raymond, avente diametro esterno 51 mm e diametro interno 34.9 mm, collegato alla superficie con aste di diametro di 51 mm. Ove necessario, in considerazione della granulometria grossolana dei terreni, al tubo campionatore era applicata la specifica punta chiusa, Ø 50mm, conicità 60°.

Il dispositivo di percussione a sganciamento automatico è costituito da un maglio di 63.5 Kg con una altezza di caduta di 760 mm.

Il campionatore viene fatto penetrare nel terreno per una profondità pari a 45 cm, a partire dalla quota di fondo foro, rilevando il numero di colpi (N) necessari per l'avanzamento di ciascun intervallo di 15 cm. Il valore di N_{SPT} è ottenuto sommando i colpi necessari all'avanzamento del 2° e 3° intervallo.

La prova viene interrotta quando il numero di colpi N, per un intervallo di 15 cm, supera il valore di 50, annotando in tal caso il rifiuto alla penetrazione e registrando l'infissione in cm ottenuta con 50 colpi.

I valori di N ottenuti sono stati quindi normalizzati per tenere conto sia dell'influenza della pressione verticale del terreno sovrastante mediante la formula $N_1 = C_N \cdot N$ con $C_N = 1/(\sigma'_{vo})^{0.56}$, sia del rendimento medio del sistema di battitura (ER_{IM}) tramite la formula $N_{1(60)} = (ER_{IM} / 60) N$.

4.2 INDAGINE GEOFISICA MASW

L'attrezzatura utilizzata in campagna è costituita da un sismografo a 24 canali, 24 geofoni con frequenza pari a 4.5 Hz, cavi con take-out distanziati di 5.0 metri, mazza e piastra di battuta.

Il sismografo ha possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno verticale del segnale (in ampiezza) con sensibilità tra 1 e 100 decibel. La registrazione dei dati in digitale, con formato in uscita pari a 24 bit, viene effettuata su PC sul quale vengono successivamente elaborati i dati.

L'indagine MASW realizzata lungo lo stendimento L1 ha previsto un punto di energizzazione, definito "andata", posto a 3.0 e 6.0 m di distanza dal primo geofono dello stendimento.

L'acquisizione della velocità delle onde di taglio (V_s) avviene mediante energizzazione del sottosuolo e registrazione degli arrivi delle onde rifrante in corrispondenza di geofoni verticali. Questi sono stati disposti secondo un allineamento con interasse tra i geofoni di 3 metri, in questo modo la base sismica ha avuto una lunghezza pari a 69 m.

L'elaborazione dei dati sismici con metodo MASW è stata effettuata per mezzo del software SWAN che, mediante la trasformata di Fourier, è in grado di fornire indicazioni sulla suddivisione delle unità litologiche del sottosuolo mediante l'individuazione delle onde V_s .

5.0 Caratterizzazione sismica del sito

E' necessario sottolineare che l'interpretazione delle indagini geofisiche viene fatta nell'ipotesi che gli strati del sottosuolo siano omogenei, orizzontali e con superfici di separazione piano parallele. Nell'area indagata le condizioni sopra riportate sono rispettate quasi del tutto.

Si sottolinea la presenza di una possibile difficoltà aggiuntiva legata alla presenza di circolazione veicolare nella strada adiacente: le energizzazioni e le acquisizioni sismiche sono state eseguite in momenti di “calma” caratterizzati da traffico veicolare scarso o nullo, permettendo quindi una migliore acquisizione del dato.

Si rammenta infine come, in ogni caso, la valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira attorno al 10-15 %.

5.1 RAPPRESENTAZIONE DEI DATI SISMICI CON METODO MASW

Al fine di fornire i valori delle Vs, necessarie per la caratterizzazione sismica del sito, è stata realizzata una stesa sismica denominata L1, di lunghezza pari a 69m con distanza intergeofonica pari a 3.0 metri. L'energizzazione è stata effettuata ad una estremità dello stendimento ad una distanza di 3.0 e 6.0 m dal primo geofono e dal ventiquattresimo geofono battendo mediante una mazza di 10 kg.

Di seguito si riporta il sismogramma frutto della somma di ciascuna acquisizione, filtrato di eventuali disturbi di fondo (fig.3):

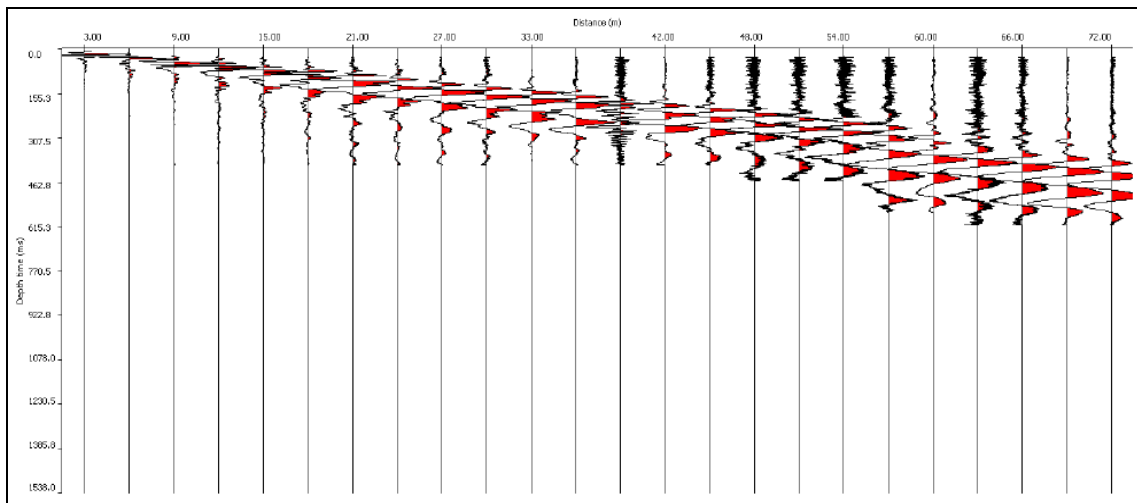


Figura 3: Sismogramma della base sismica L1.

5.1.1 Interpretazione dei dati

L'elaborazione dei sismogrammi ha consentito di estrapolare la trasformata di Fourier, di seguito riportata (fig.4), da questa si risale alla curva di dispersione (fig.5) dalla quale, confrontata mediante sovrapposizione con quella teorica, è possibile ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.

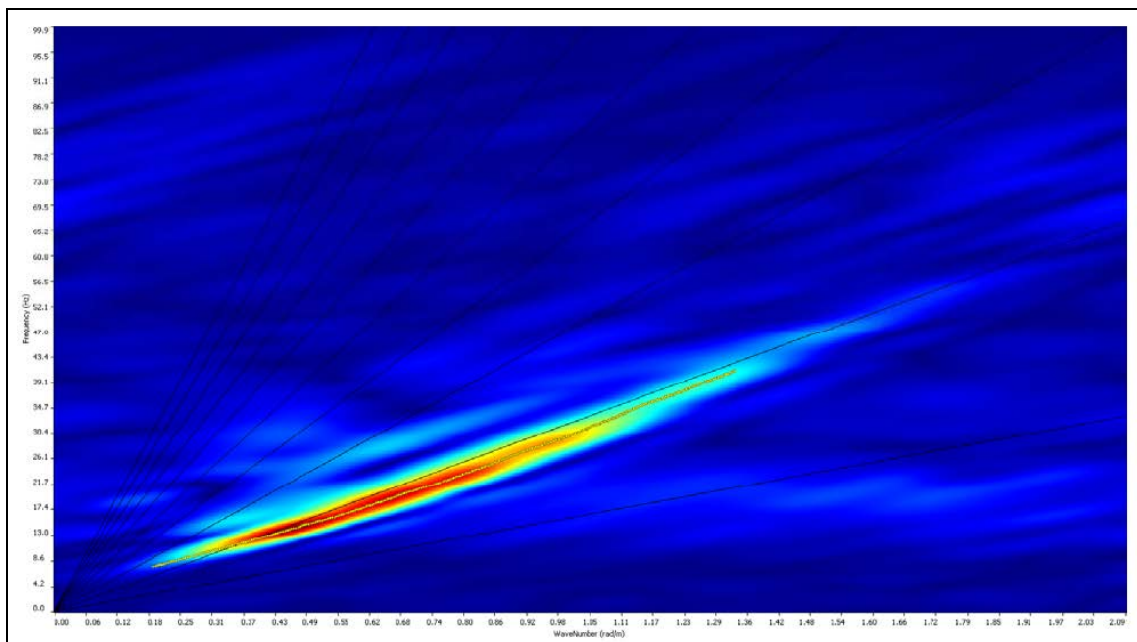


Figura 4: Trasformata di Fourier della base sismica L1.

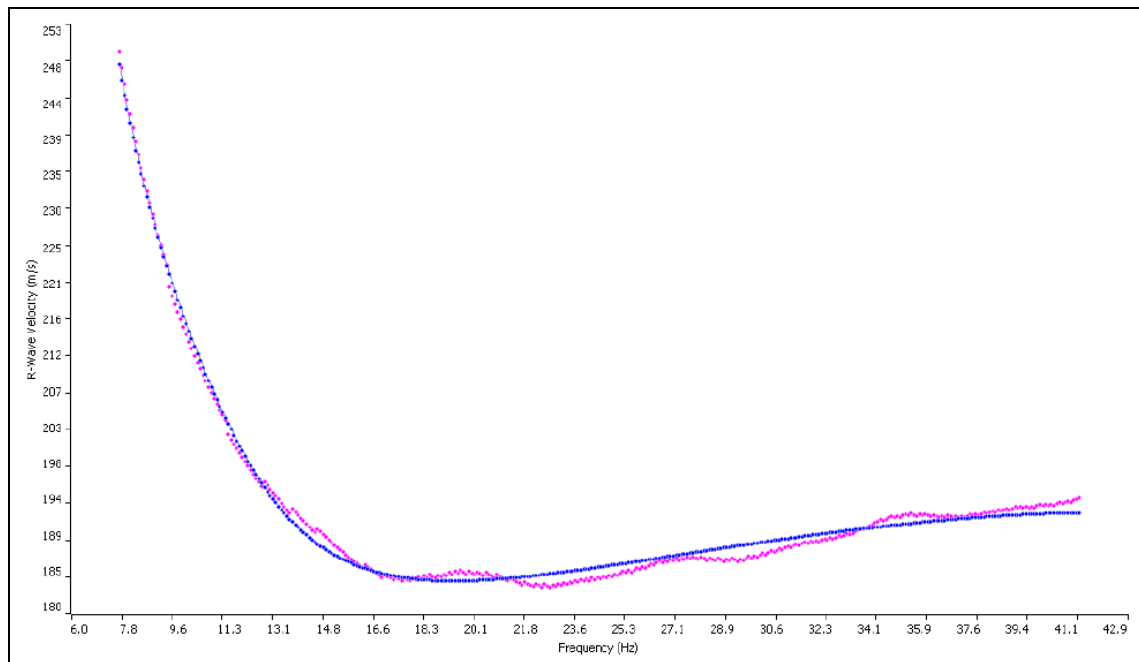


Figura 5: Curva di dispersione della base sismica L1 (in magenta la curva di dispersione ottenuta, in blu quella calcolata).

5.1.2 Ricostruzione del sottosuolo mediante le onde S

Dalla sovrapposizione delle curve di dispersione si è ottenuto la ricostruzione del sottosuolo in orizzonti aventi differenti spessori e valori di velocità come di seguito indicato:

L1		
Spessore	Profondità	V_s (m/sec)
1.3	0.0÷1.3	194
1.1	1.3÷2.4	273
1.9	2.4÷4.3	182
1.5	4.3÷5.8	141
5.3	5.8÷11.1	296
5.8	11.1÷16.9	247
7.4	16.9÷24.3	428
5.7	24.3÷30.0	508

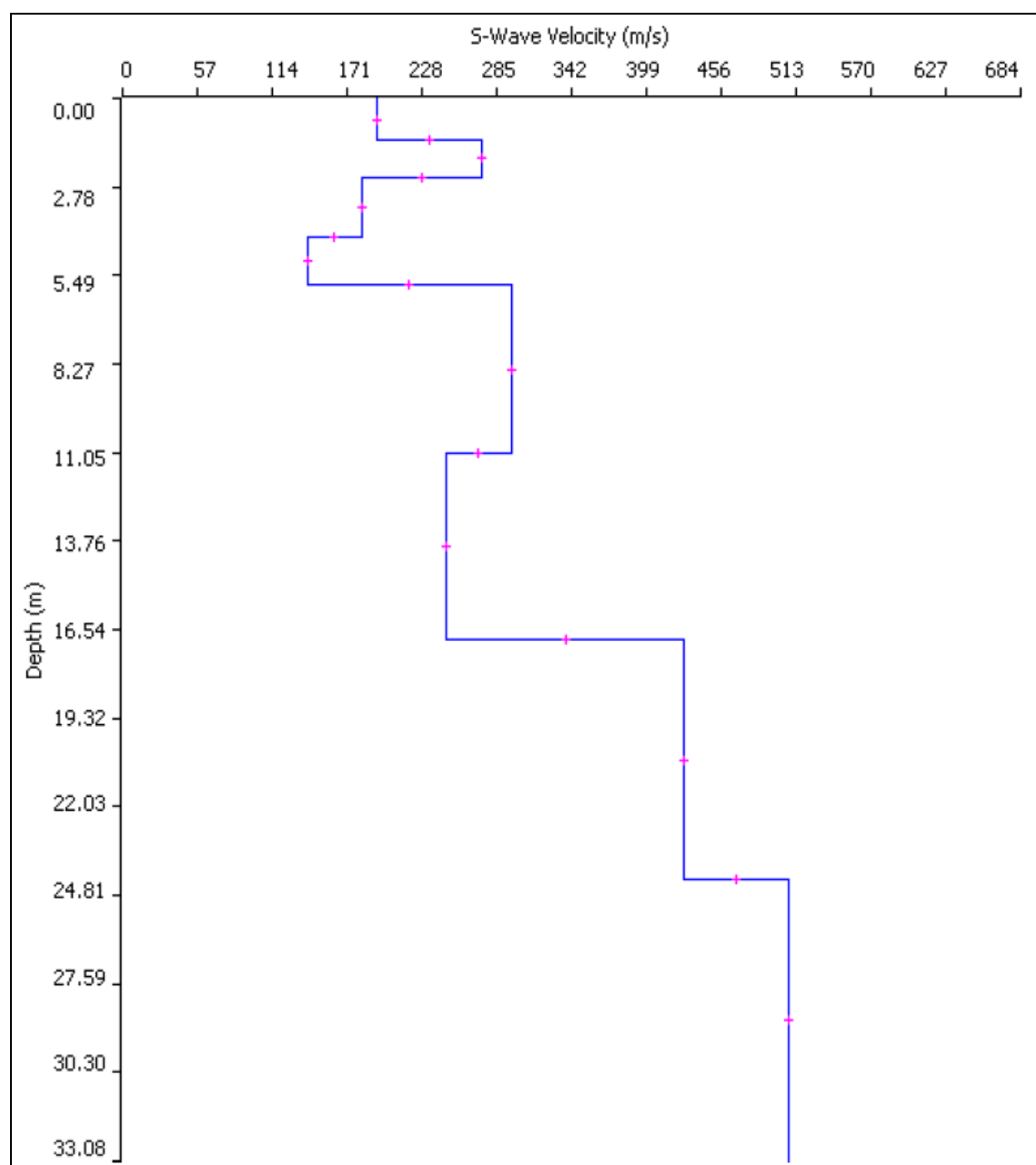


Figura 6: Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari strati intercettati nella base sismica L1.

5.2 CARATTERISTICHE MACROSISMICHE DELL'AREA

La nuova classificazione sismica del territorio nazionale, in relazione alla vigente O.P.C.M. n.3274 - 11.03.03 e successive modificazioni, è articolata in quattro zone, ciascuna contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale (a_g) su suolo di categoria A con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Sulla base di tale classificazione, recepita dalla Regione Lombardia tramite la D.G.R. n.7/14964 - 07.11.03, il territorio comunale di Milano è classificato in **zona sismica 4** a "sismicità molto bassa", cui corrisponde un valore di a_g pari a 0.05g (fig. 7).

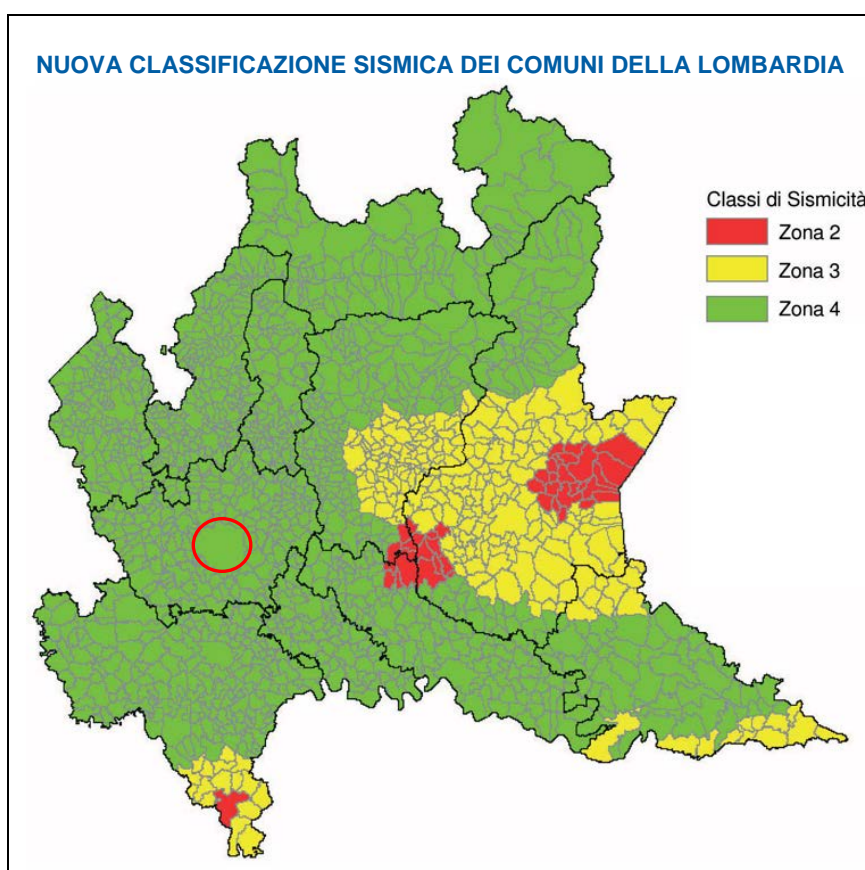


Figura 7: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia a seguito all'ordinanza 3274/2003 (recepita dalla D.G.R. n.7/14694 – 07.11.2003).

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519 del 28 aprile 2006 – “*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*” riferita all'intero territorio nazionale, l'area in esame ricade all'interno di una porzione di territorio in cui i valori di a_g risultano nella fascia di transizione tra $0.025 \div 0.050g$ e $0.050 \div 0.075g$ pertanto anche inclusi nel range $0.05 < a_g \leq 0.15g$ che identifica la **zona sismica 3** a “sismicità bassa” (fig. 8).

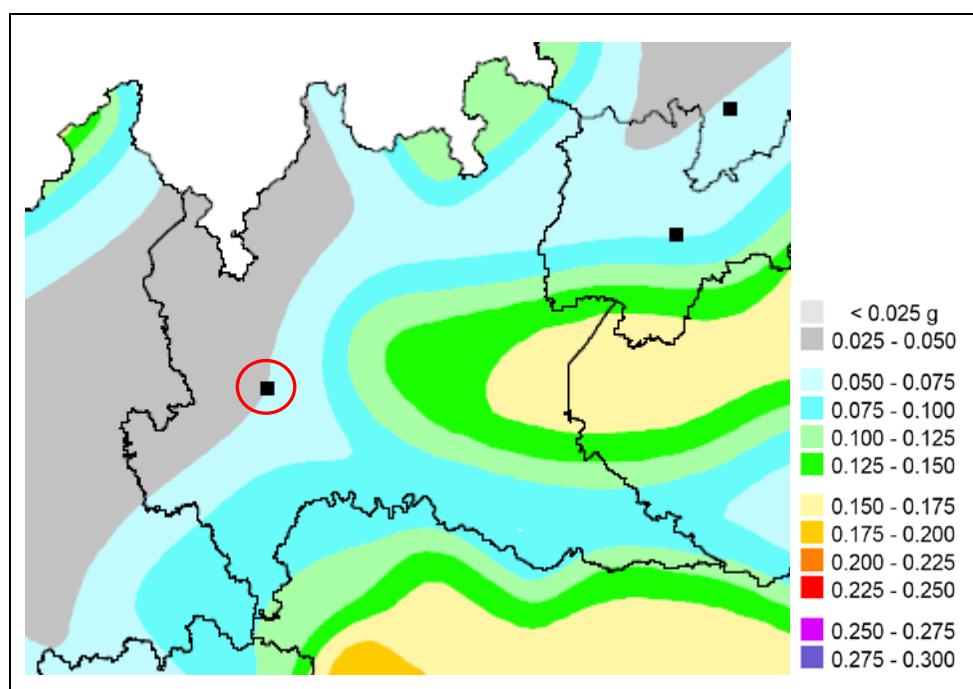


Figura 8: Estratto mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, riferimento ordinanza 3519/2006, all. 1b.

I valori di a_g agli SLU dinamici, calcolati secondo il D.M. 14.01.08 “*Norme tecniche per le costruzioni*” (e riportati nei successivi paragrafi) per le coordinate che identificano il sito ovvero lat. 45.42537 e long. 9.16913, risultano compresi nel range $0.05 < a_g \leq 0.15g$ relativo alla **zona sismica 3** (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Allegato al Voto n.36 del 27.07.2007 – “*Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale*”).

5.3 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La nuova normativa prevede che le azioni sismiche di progetto agenti su una costruzione si definiscano a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, la quale è rappresentata dalla probabilità che in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento V_R espresso in anni) nel sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; tale probabilità è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” (P_{VR}).

Il D.M. 14.01.08 ha introdotto un nuovo elemento metodologico nella stima della pericolosità sismica di base la quale non risulta più associata alla zona sismica di appartenenza (criterio “zona dipendente”) ma viene definita mediante un approccio “sito dipendente”. Pertanto essa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero (free field) su sito di riferimento con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita al § 3.2.2 delle NTC 2008), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{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 di fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alle NTC (allegato A) i suddetti valori vengono forniti in funzione delle coordinate geografiche del sito, per una griglia di punti prefissati sul territorio (*reticolo di riferimento*); per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi (siti di riferimento) del reticolo di riferimento tali valori si ottengono per interpolazione sui quattro vertici adiacenti.

Per la valutazione finale dell'azione sismica di progetto deve essere inoltre tenuta in considerazione la cosiddetta risposta sismica locale, peculiare delle condizioni stratigrafiche del sottosuolo e della morfologia della superficie topografica del sito in questione le quali esercitano una diretta influenza sulla propagazione ed sull'eventuale amplificazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

Tale valutazione è conseguibile, con buona approssimazione, tramite la definizione della categoria di sottosuolo del terreno di fondazione e della categoria topografica del sito. Da queste ultime vengono infatti ricavati i coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica (S_s ed S_T) che subentrano nella ricostruzione degli spettri di risposta elastici definiti per la pericolosità sismica di base.

5.4 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CATEGORIA TOPOGRAFICA

Per quanto riguarda la determinazione della categoria di sottosuolo il D.M. 14.01.08 prevede una classificazione in cinque categorie principali riportate nella tabella 3.2.II (fig. 9) definite in base ai valori della velocità equivalente V_{s30} (velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri di profondità al di sotto del piano di fondazione). Nel caso in cui tale parametro non sia disponibile la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero medio di colpi della prova penetrometrica dinamica SPT per terreni a grana grossa o della resistenza non drenata c_u per i terreni coesivi.

Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata stimata su dati ottenuti tramite lo stendi mento sismico con metodologia MASW eseguito nell'area.

Dall'elaborazione di tali dati il terreno di fondazione della struttura presenta per la linea eseguita, valori delle V_{s30} pari a **295 m/s**, riferiti all'attuale piano campagna, pertanto esso risulta appartenere alla **categoria C** "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*", con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Figura 9: Tabella 3.2.II "Categorie di sottosuolo" – D.M. 14.01.08.

In riferimento alle categorie topografiche riportate nella tabella 3.2.IV del D.M. (fig. 10), il sito può essere classificato nella **categoria T1**.

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 $i > 30^\circ$

Figura 10: Tabella 3.2.IV "Categorie topografiche" – D.M. 14.01.08.

5.5 VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ SISMICA DELL'AREA

5.5.1 Effetti litologici

Al fine di determinare i valori di F_a dal punto di vista degli effetti litologici, sono stati utilizzati i risultati emersi dall'esecuzione dello stendimento geofisico con metodo MASW e le apposite schede messe a disposizione dalla Regione Lombardia. Con tale indagine si è calcolato il valore di F_a (fattore di amplificazione) da confrontare con i limiti di riferimento indicati dalla Regione Lombardia.

Per ottenere il suddetto F_a è necessario ricavare il valore di V_{s30} (onde sismiche di taglio o trasversali) utilizzando le velocità V_s degli strati intercettati mediante la formula precedentemente riportata. In questo modo si risale al tipo di suolo, che come precedentemente indicato risulta di **tipo C**.

Sulla base dei parametri geotecnici e litologici, si individua la litologia prevalente del sito e da questa si sceglie la relativa scheda di riferimento riportata nella D.G.R. 8/7374 del 28 Maggio 2008. Nello specifico la normativa regionale riporta 6 tipi di schede litologiche:

- scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2)
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2)
- scheda per le litologie sabbiose (da utilizzarsi in zone di pianura)

Si riportano, nell'apposito diagramma, i valori delle V_s relative ad ogni strato. Tale sovrapposizione permette di verificare se si rientra o meno nel campo di validità della scheda di riferimento.

Nel caso specifico il grafico ottenuto dalle velocità delle V_s e dalle rispettive profondità evidenzia come i dati rientrino nella scheda di riferimento per litologie sabbiose.

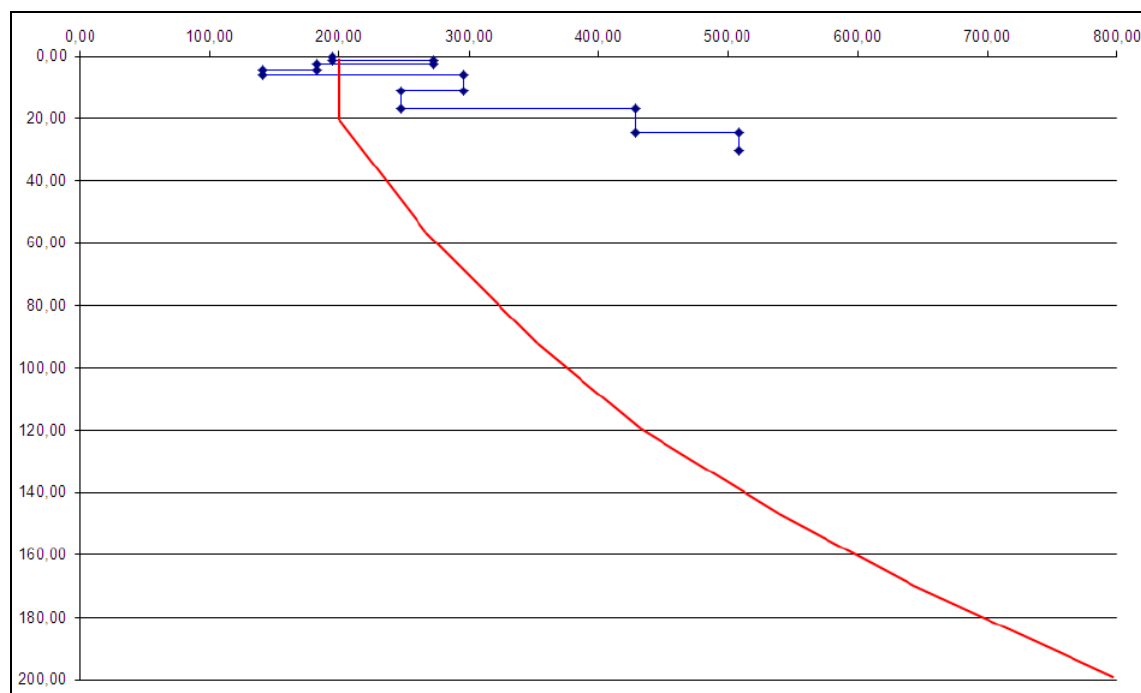


Figura 11: Grafico relativo alla "litologia sabbiosa" a cui sono stati sovrapposti i valori parziali di ogni intervallo in base alle V_s .

Come è possibile osservare l'andamento delle V_s è posizionato perlopiù al di "sopra" della linea rossa che divide il campo di validità dal campo di non validità.

Per utilizzare correttamente l'abaco di fig. 12, il quale consente l'individuazione della corretta curva da utilizzare per l'individuazione dell'FA, come vincolo viene posto che il primo strato debba avere almeno 4 m di spessore con velocità di almeno 200 m/s. Se tale condizione non fosse soddisfatta è necessario calcolare la media pesata delle velocità delle V_s di almeno i primi 4.0 metri di terreno, tenendo in dovute considerazioni gli spessori parziali con le rispettive velocità delle onde di taglio.

Nel caso in esame è stata calcolata una media pesata da attribuire al "primo" strato, sui primi 4 m, individuando così una velocità delle onde assimilabile a 200 m/s.

Intersecando il valore di velocità riscontrato con la profondità sopra indicata, si ricade nel campo 2, che corrisponde alla curva verde di fig.13.

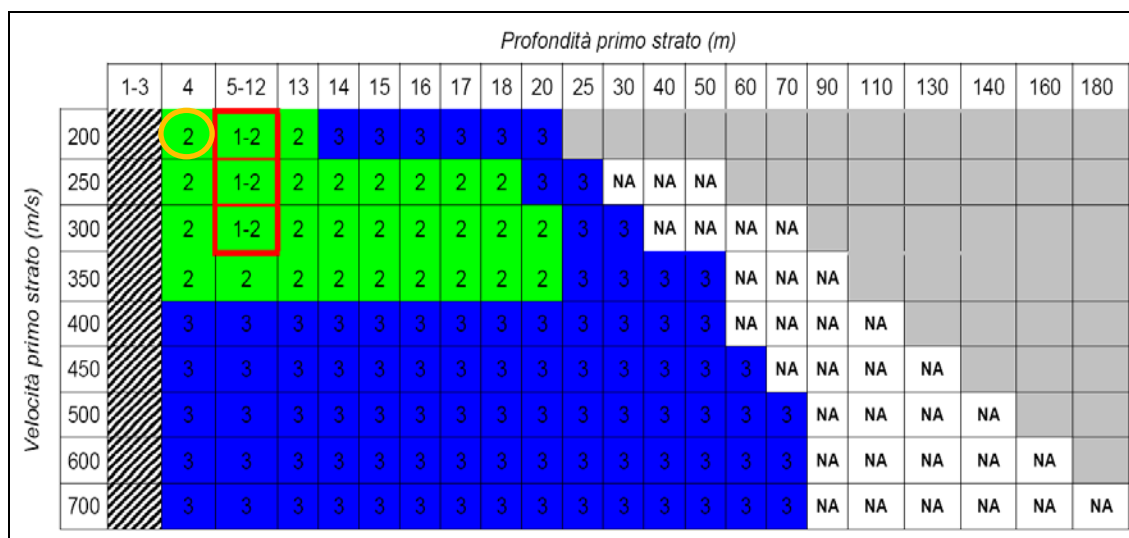


Figura 12: Abaco che permette di individuare, in base al colore, la curva di riferimento per l'individuazione di F_a , grazie all'intersezione della profondità raggiunta dal primo strato e la sua velocità.

Con i valori sopra ottenuti si calcola il periodo "T" relativo al sito. Se la velocità ottenuta dall'indagine non raggiungesse mai gli 800 m/s, come nel caso in esame, occorre incrementare la velocità e la profondità delle onde, utilizzando un passo adeguato, fino all'intercettazione degli 800 m/s ipotizzando un opportuno gradiente di V_s con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine.

Per la determinazione del periodo si utilizza la seguente equazione:

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

dove:

h_i = spessore in metri dello strato i-esimo; V_i = velocità dell'onda di taglio i-esima.

Stendimento sismico	Valore del periodo T calcolato
L1	0.398 s

Conoscendo la velocità del primo strato, la curva di riferimento ed il valore del periodo T calcolato, si può risalire al valore di F_a utilizzando gli abachi di riferimento (fig.13 e fig.14) per la litologia sabbiosa e riferiti rispettivamente ad edifici bassi ed ad edifici alti.

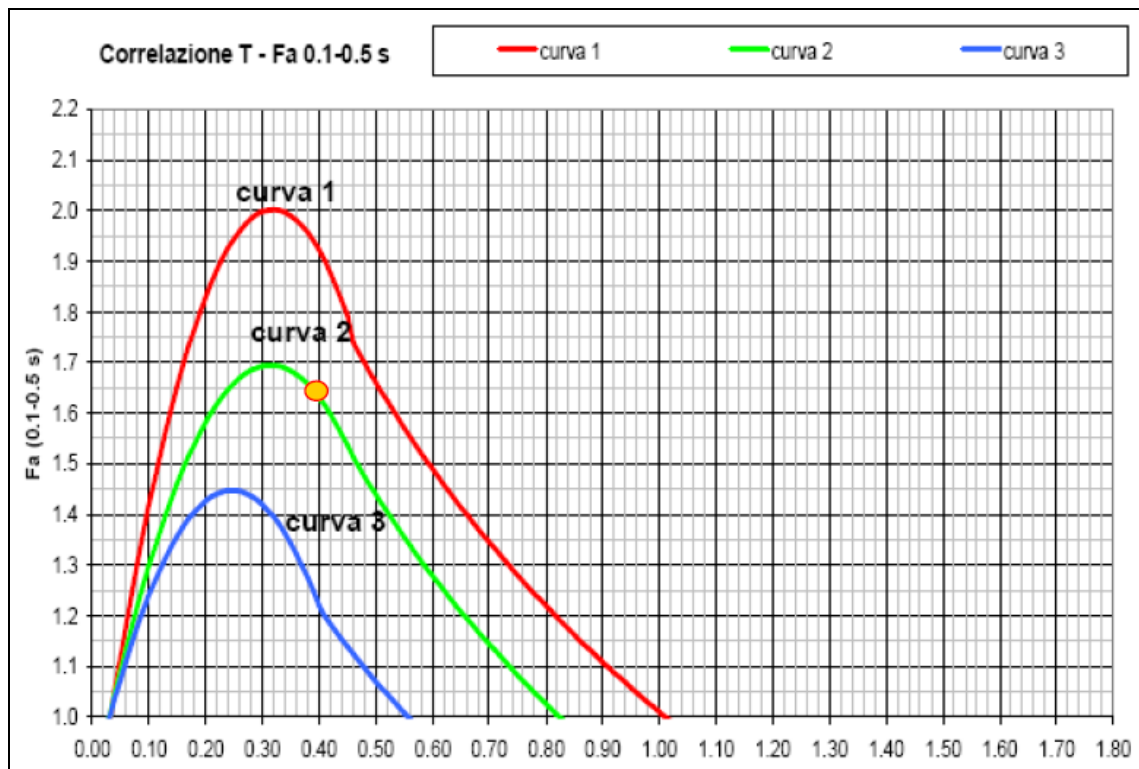


Figura 13: Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare F_a sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici bassi).

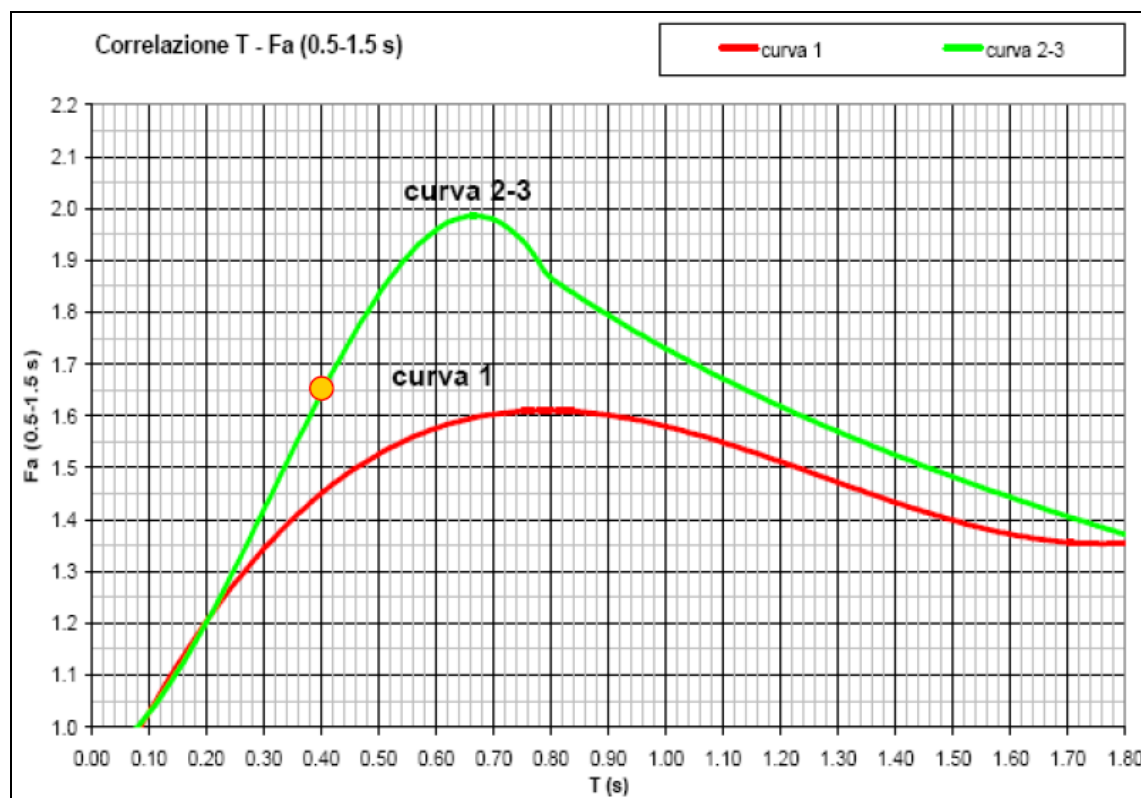


Figura 14: Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare F_a sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici alti).

La procedura prevede di stimare F_a con le schede di valutazione sopra riportate e di confrontarlo con il corrispettivo valore di soglia, considerando una variabilità di ± 0.1 , che tiene conto della variabilità del valore di F_a ottenuto.

Dagli abachi emerge come il valore attribuito al periodo ($T=0.398$), identifichi sulla curva verde un valore di F_a pari a **1.65 per edifici bassi (F_a di riferimento per i terreni di tipo C = 1.8) e F_a 1.65 per edifici alti (F_a di riferimento per i terreni di tipo C = 2.4).**

Ne deriva che, sia nel caso di edifici bassi che alti, il valore di F_a calcolato e riferito alla categoria di suolo C è inferiore al valore di riferimento, pertanto non si rendono necessari studi di III livello.

Le tabelle sottostanti riportano i valori di F_a relativi, nel primo caso ad edifici bassi (max. 4 piani), nel secondo caso ad edifici alti e flessibili (5 o più piani) per ogni tipo di suolo individuato dalla Regione Lombardia per il comune di Milano.

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 – 0.5 S					
Comune	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Magenta	4	1.4	1.8	2.2	1.9

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 – 1.5 S					
Comune	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Magenta	4	1.7	2.4	4.1	3.0

5.6 PARAMETRI SISMICI DI RIFERIMENTO

Di seguito si riportano i parametri di riferimento, propri del sito in questione, per la definizione della pericolosità sismica di base ed i parametri sismici necessari per la valutazione delle azioni sismiche di progetto attese.

Nel caso in esame il sito presenta le seguenti coordinate (sistema di riferimento ED50):

Latitudine	Longitudine
45.42537	9.16913

I quattro vertici della maglia di riferimento entro i quali ricade l'area presentano le seguenti coordinate:

Vertice	Numero identificativo	Latitudine	Longitudine	Dist. dal sito di interesse (m)
1	12482	45.40683	9.14990	2550.6
2	12483	45.40937	9.22084	4411.4
3	12261	45.45929	9.21737	5327.7
4	12260	45.45675	9.14631	3916.4

Per il calcolo delle grandezze a_g , F_0 e T^*_c si devono considerare i seguenti parametri:

- **Classe d'uso:** classe nella quale sono suddivise le opere, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso;
- **Vita nominale dell'opera V_N :** intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata (da questo valore viene calcolato il Periodo di riferimento per l'azione sismica V_R come: $V_R = V_N * C_U$, dove C_U è il coefficiente d'uso);
- **Probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} :** in funzione dello stato limite di riferimento.

Nel caso dell'opera in oggetto per i parametri citati sono stati utilizzati i seguenti valori:

- **Classe d'uso: III** - Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- **Vita nominale V_N : ≥ 50 anni** (tabella 2.4.I - tipologie costruttive classe 2): Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- **Coefficiente d'uso C_U : 1.5** relativo alla classe d'uso III.
- **Periodo di riferimento per l'azione sismica: $V_R = V_N * C_U = 50 * 1.5 = 75$ anni.**

Pertanto, a partire dai dati sopra riportati, in funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} vengono calcolati i valori a_g , F_0 , T^*_C e del periodo di ritorno $T_R = -V_R/\ln(1-P_{VR})$:

Stati limite		P_{VR}	Periodo di ritorno (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_C (sec)
SLE	SLO	81%	45	0.023	2.551	0.184
	SLD	63%	75	0.029	2.568	0.208
SLU	SLV	10%	712	0.056	2.676	0.291
	SLC	5%	1462	0.067	2.730	0.307

Da questi ultimi è possibile ricavare, sulla base della **categoria C** del suolo di fondazione, gli ulteriori parametri:

Stati limite		S_s	C_c	S_t	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)	F_v
SLE	SLO	1.50	1.83	1.00	0.11	0.34	1.69	0.52
	SLD	1.50	1.76	1.00	0.12	0.37	1.71	0.59
SLU	SLV	1.50	1.58	1.00	0.15	0.46	1.82	0.85
	SLC	1.50	1.55	1.00	0.16	0.48	1.87	0.95

Dove:

SLE = stati limite di esercizio:

- **SLO = Stato Limite di Operatività:** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **SLD = Stato Limite di Danno:** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature;

SLU = stati limite ultimi:

- **SLV = Stato Limite di salvaguardia della Vita:** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte di resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **SLC = Stato Limite di prevenzione del Collasso:** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli nei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali;

S_s= coefficiente di amplificazione stratigrafica;

C_c= coefficiente di categoria i sottosuolo;

S_t= coefficiente di amplificazione topografica;

T_B= periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante spettro delle componenti orizzontali;

T_C= periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante spettro delle componenti orizzontali;

T_D= periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante spettro delle componenti orizzontali;

F_v= fattore di amplificazione spettrale.

Per calcolare il valore di A_{\max} (accelerazione massima) occorre moltiplicare il valore di a_g per i coefficienti di amplificazione sismica (S) tramite la relazione: $A_{\max} = a_g \text{ (m/s}^2\text{)} \cdot S$; l'accelerazione massima deve essere fornita in m/s^2 , pertanto i valori nominali di a_g precedentemente calcolati vanno moltiplicati per $9,81 \text{ m/s}^2$ e successivamente moltiplicati per i coefficienti di amplificazione sismica $S = S_s \cdot S_t$.

Stati limite		a_g (g)	a_g (m/s^2)	S ($S_s \cdot S_t$)	A_{\max} (m/s^2)
SLE	SLO	0.023	0.225	1.50	0.34
	SLD	0.029	0.284	1.50	0.42
SLU	SLV	0.056	0.549	1.50	0.82
	SLC	0.067	0.657	1.50	0.98

Infine i coefficienti K_h (coefficiente sismico orizzontale) e K_v (coefficiente sismico verticale) assumono i seguenti valori:

Stati limite		K_h	K_v
SLE	SLO	0.007	0.003
	SLD	0.009	0.004
SLU	SLV	0.017	0.008
	SLC	0.020	0.010

6.0 Caratterizzazione litostratigrafica dei terreni

L'esame del sondaggio a carotaggio continuo e dei valori di resistenza penetrometrica acquisiti tramite le prove SPT in foro ha consentito di definire uno schema nel quale si identificano degli orizzonti litostratigrafici sovrapposti, aventi caratteristiche di resistenza alla penetrazione statica e parametri litologici e geomeccanici specifici. Con il ricorso a inevitabili schematizzazioni il modello litostratigrafico locale può essere così proposto:

Livello I:

Terreno sabbioso-limoso di colore marrone-grigiastro con rari ciottoli, sormontato nei primi 1.5m da materiali rimaneggiati o di riporto; il valore di N_{SPT} nella prova realizzata in tale livello risulta pari a 5.

Livello II:

Sabbie medio-grossolane di colore marrone con ghiaia e ciottoli sub arrotondati, passanti a sabbie medio-grossolane di colore grigio; i valori di N_{SPT} risultano inizialmente compresi tra 21 e 33 (livello IIa) quindi 57÷62 (livello IIb).

Livello III:

Si tratta di un'intercalazione sabbioso-limosa medio-fine di colore marrone e grigio; il valore di N_{SPT} nella prova realizzata in tale livello risulta pari a 28.

Livello IV:

Sabbie medio-grossolane di colore grigio con ghiaia e ciottoli sub arrotondati in poca frazione fine limoso-argillosa; i valori di N_{SPT} risultano compresi tra 34 e 53

Con riferimento alla quota di inizio prova, i rapporti stratigrafici nel punto di indagine possono essere così schematizzati

Punto di sondaggio n°		S1
Prof. interfaccia strati da piano inizio sondaggio (m)	I-II	5.30
	IIa-IIb	9.50
	II-III	15.60
	III-IV	18.60
Prof. fine sondaggio (m da piano sond.)		30.0
Prof. livello falda (m da piano sond.)		5.50

Come evidenziato nella soprastante tabella, durante l'esecuzione del sondaggio è stata rilevata la presenza della falda alla quota di circa -5.50 m dal piano campagna. Tale livello può essere soggetto a variazioni anche significative della soggiacenza, in relazione in particolare alle precipitazioni meteoriche.

7.0 Determinazione dei parametri geotecnici

In considerazione di quanto riscontrato nel corso del sondaggio, si forniscono di seguito i parametri geotecnici relativi ai livelli litostratigrafici individuati e precedentemente descritti determinati tramite le correlazioni semi-empiriche e sperimentali note in letteratura.

Livello I:

- Comportamento geotecnico: coesivo
- Valore di N_{SPT} in sito = 5
- Valore di $N_{1(60)}$ = 9
- Peso di volume $\gamma_t = 1.7 \text{ t/m}^3$
- Coesione efficace $c' = 0$
- Coesione non drenata $c_u = 3 \div 5 \text{ t/m}^2$
- Angolo di attrito efficace $\varphi' = 22^\circ \div 24^\circ$

Livello IIa:

- Comportamento geotecnico: incoerente
- Valore medio di N_{SPT} in sito = 27 (21÷33)
- Valore medio di $N_{1(60)}$ = 20 (21÷20)
- Peso di volume $\gamma_t = 1.8 \text{ t/m}^3$
- Peso di volume immerso $\gamma_i = 0.8 \text{ t/m}^3$
- Coesione efficace $c' = 0$
- Angolo di attrito efficace $\varphi' = 31^\circ \div 33^\circ$

Livello IIb:

- Comportamento geotecnico: incoerente
- Valore medio di N_{SPT} in sito = 59 (57÷62)
- Valore medio di $N_{1(60)}$ = 38 (43÷34)
- Peso di volume $\gamma_t = 1.8 \text{ t/m}^3$
- Peso di volume immerso $\gamma_i = 0.8 \text{ t/m}^3$
- Coesione efficace $c' = 0$
- Angolo di attrito efficace $\varphi' = 34^\circ \div 36^\circ$

Livello III:

- Comportamento geotecnico: incoerente
- Valore di N_{SPT} in sito = 28
- Valore medio di $N_{1(60)} = 14$
- Peso di volume $\gamma_t = 1.8 \text{ t/m}^3$
- Peso di volume immerso $\gamma_i = 0.8 \text{ t/m}^3$
- Coesione efficace $c' = 0$
- Angolo di attrito efficace $\varphi' = 28^\circ \div 30^\circ$

Livello IV:

- Comportamento geotecnico: incoerente
- Valore medio di N_{SPT} in sito = 47 (34÷53)
- Valore medio di $N_{1(60)} = 18 (14 \div 24)$
- Peso di volume $\gamma_t = 1.8 \text{ t/m}^3$
- Peso di volume immerso $\gamma_i = 0.8 \text{ t/m}^3$
- Coesione efficace $c' = 0$
- Angolo di attrito efficace $\varphi' = 30^\circ \div 32^\circ$

8.0 Valutazione del potenziale di liquefazione

Il fenomeno della liquefazione interessa generalmente depositi sabbiosi e/o sabbioso-limosi sciolti, saturi e a granulometria uniforme, i quali a seguito di una sollecitazione sismica passano dallo stato solido a quello fluido, denotando una diminuzione della resistenza al taglio a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali (u), tale da generare deformazioni permanenti significative o persino dell'annullamento delle pressioni efficaci (σ') nel terreno.

Nel caso in esame, anche in considerazione delle caratteristiche granulometriche degli orizzonti indagati, è stato ritenuto opportuno procedere con la verifica del potenziale di liquefazione tramite la determinazione, per la verticale di indagine, del coefficiente di sicurezza alla liquefazione F_s .

Tale coefficiente esprime la resistenza che un deposito saturo oppone alla liquefazione ed è definito dal rapporto tra la capacità di resistenza alla liquefazione e la domanda di resistenza alla liquefazione:

$$F_s = CRR / CSR$$

dove:

CRR (Cycling Resistance Ratio) = resistenza al taglio mobilitabile del terreno;

CSR (Cycling Stress Ratio) = tensione tangenziale indotto dal sisma.

Il rischio di liquefazione può essere considerato nullo quando $F_s > 1$.

Il termine CRR è stato ricavato a partire dai risultati ottenuti dalle prove SPT eseguite nel foro di sondaggio

Nel caso specifico ci si basa sul metodo analitico semplificato dell'Eurocodice 8, in cui il valore di CRR (per terremoti di magnitudo 7.5 e contenuti fini <5%) viene calcolato con la seguente equazione di Blake (1997):

$$CRR_{7.5} = (a + c \cdot N + e \cdot N^2 + g \cdot N^3) / (1 + b \cdot N + d \cdot N^2 + f \cdot N^3 + h \cdot N^4)$$

dove:

$$N = (N_1)_{60} = N_{SPT}^1 \cdot C_N \cdot C_E;$$

$$N_{SPT}^1 = 0.75 N_{SPT};$$

C_E = normalizzazione rispetto ad un valore del rapporto di energia ER/60;

$$C_N = (1/\sigma'_{vo})^{0.56};$$

σ'_{vo} = tensione litostatica verticale efficace (Kg/cm²) alla profondità z dal p.c.;

$$a = 0.04844 \quad e = 0.0006136$$

$$b = -0.1248 \quad f = -0.0003285$$

$$c = -0.004721 \quad g = -0.00001673$$

$$d = 0.009578 \quad h = 0.000003714$$

Il valore del termine CSR è calcolato tramite l'equazione proposta da Seed e Idriss (1971) tramite la seguente espressione (riferita anch'essa a terremoti con magnitudo pari a 7.5):

$$CSR_{7.5} = 0.65 \cdot (a_{max} / g) \cdot (\sigma_{vo} / \sigma'_{vo}) \cdot r_d$$

dove:

a_{max} = accelerazione massima in superficie (cm/s²);

g = accelerazione di gravità (980 cm/s²);

σ_{vo} = tensione litostatica verticale totale (Kg/cm²) alla profondità z dal p.c.;

σ'_{vo} = tensione litostatica verticale efficace (Kg/cm²) alla profondità z dal p.c.;

r_d = coefficiente di riduzione delle tensioni.

Il valore di r_d si assume pari a:

$$r_d = 1 - 0.00765 \cdot z \quad \text{per } z \leq 9.15 \text{ m}$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 \cdot z \quad \text{per } 9.15 < z \leq 23.0 \text{ m}$$

$$r_d = 0.074 - 0.08 \cdot z \quad \text{per } 23.0 < z \leq 30.0 \text{ m}$$

$$r_d = 0.5 \quad \text{per } z > 30 \text{ m}$$

z = profondità espressa in metri dal piano campagna allo strato considerato.

I valori di CSR conseguentemente ottenuti sono riferiti ad eventi sismici di magnitudo pari a 7.5, per terremoti con magnitudo diversa è necessario introdurre un coefficiente correttivo MSF (magnitudo Scaling Factor), applicato per convenzione alla capacità di resistenza alla liquefazione; l'eurocodice 8 propone la seguente correlazione per la determinazione del coefficiente correttivo MSF, valida per M compresa tra 5.5 e 8.5:

M	MSF
5.5	2.86
6.0	2.20
6.5	1.69
7.0	1.30
7.5	1.00
8.0	0.67
8.5	0.44

Nel caso in esame la magnitudo massima attesa è stata assunta pari a 5.68, propria della zona sismogenetica n. 911 Tortona-Bobbio indicata nella O.P.C.M. n.3274 - 11.03.03.

Dalle elaborazioni eseguite i coefficienti di sicurezza per ciascuno strato risultano decisamente superiori ad 1, è pertanto possibile escludere il rischio di liquefazione per i depositi descritti, si riporta di seguito quanto ottenuto:

	Livello I	Livello II	Livello III	Livello IV
Spessore (m)	5.30	10.30	3.00	11.40
$N_{1(60)}$ medio	9	29	14	18
CRR	0.067	0.075	0.118	0.129
CSR	0.012	0.014	0.014	0.011
r_d	0.98	0.91	0.72	0.54
F_s	5.743	5.224	8.514	11.522
	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

9.0 Terre e Rocce da scavo

Per l'eventuale riutilizzo dei materiali di risulta degli scavi si potrà fare riferimento agli articoli n.185 e n.186 del D.Lgs. n. 152 del 03.04.2012 ed al D.M. n.161 del 10.08.2012, in caso contrario essi dovranno essere gestiti come rifiuto secondo quanto previsto dalla parte IV del sopra citato D.Lgs..

Casatisma, agosto 2013



Dott. Geol. Marco SALA



**LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA
DEL SOTTOPASSO DI CONCA FALLATA
IN COMUNE DI MILANO [MI-E-788]**

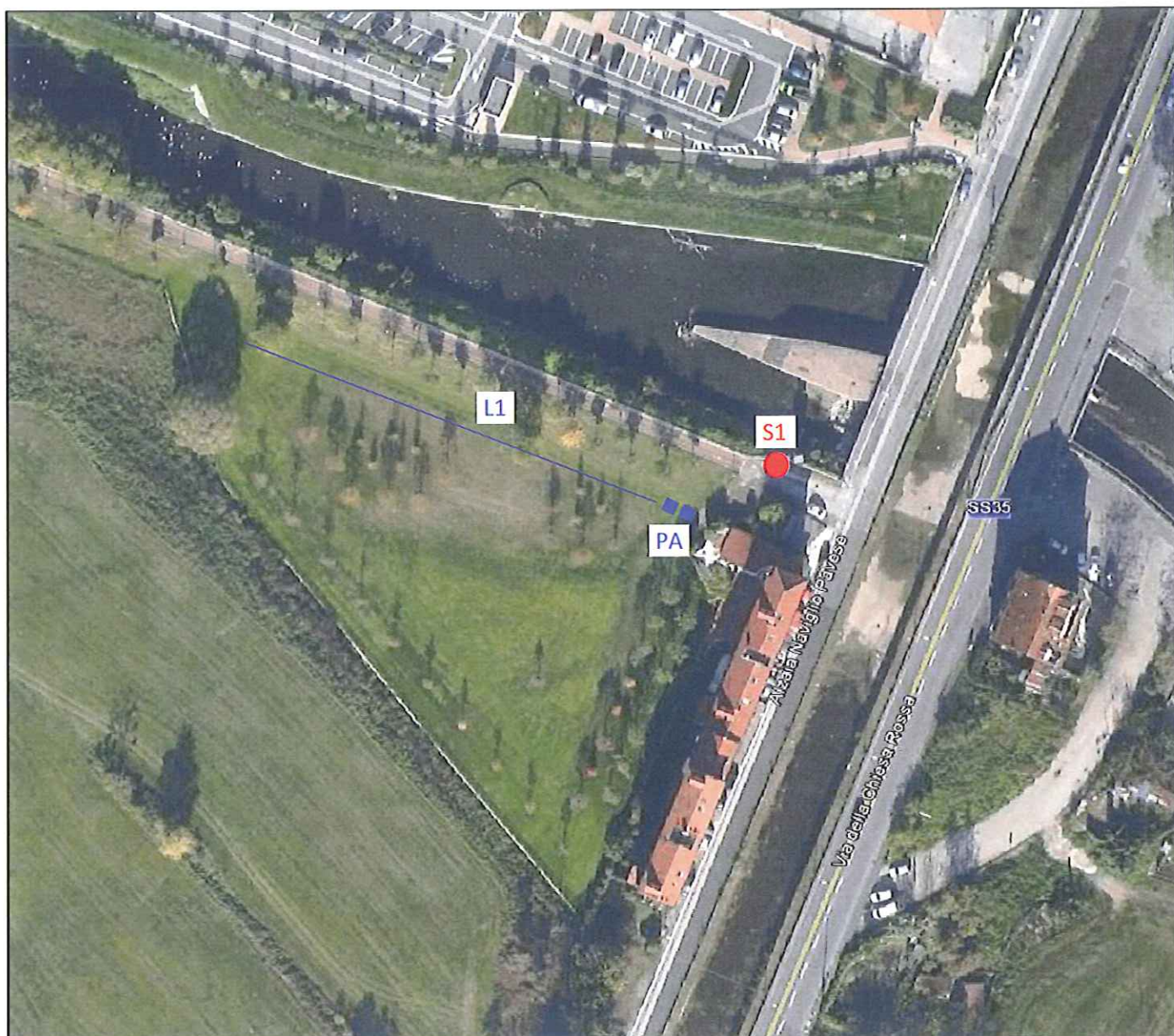
**Corografia generale
con ubicazione area in esame**

ALL.1

Committente:
A.I.Po
Via Taramelli, n.12
20124 Milano (MI)

A cura di:
TECNOSUOLO S.r.l.
S.S. MI-GE n.10
27040 Casatisma (PV)

Data:
Agosto 2013
Scala:
1:10.000



Legenda

- Sondaggio a carotaggio continuo
- Linea sismica MASW con interdistanza geofonica di 3.0m
- Punti di energizzazione linea L1:
PA= punto di andata posto a 3.0 e 6.0m dal primo geofono

LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL SOTTOPASSO DI CONCA FALLATA IN COMUNE DI MILANO [MI-E-788]

Foto aerea con ubicazione punti di indagine

ALL. 2

Committente:

A.I.Po
Via Taramelli, n.12
20124 Milano (MI)

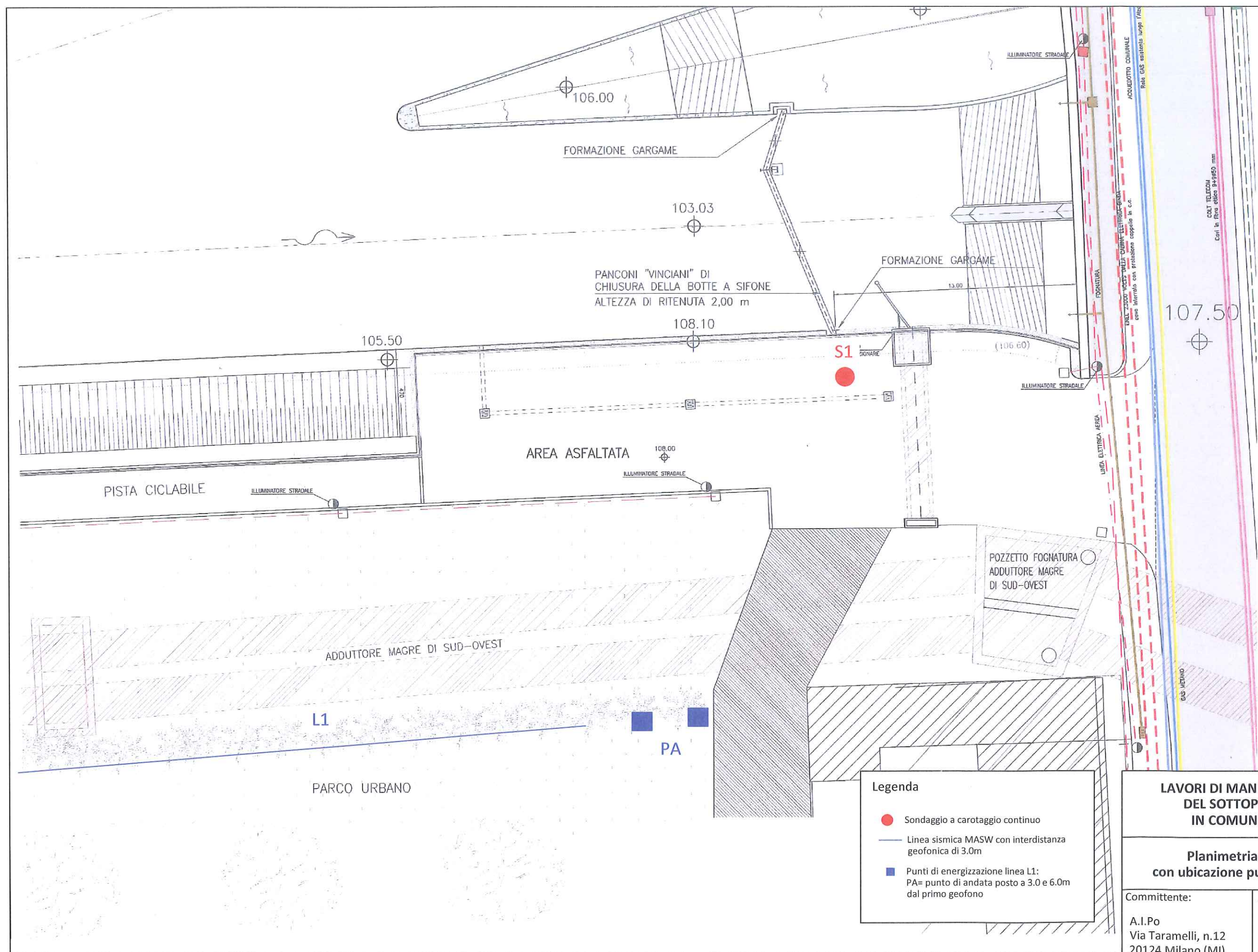
A cura di:

TECNOSUOLO S.r.l.
S.S. MI-GE n.10
27040 Casatisma (PV)

Data:

Agosto 2013

Scala:
//



**LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA
DEL SOTTOPASSO DI CONCA FALLATA
IN COMUNE DI MILANO [MI-E-788]**

**Planimetria generale
con ubicazione punti di indagine**

ALL.3

Committente:
A.I.Po
Via Taramelli, n.12
20124 Milano (MI)

A cura di:
TECNOSUOLO S.r.l.
S.S. MI-GE n.10
27040 Casatisma (PV)

Data:
Agosto 2013
Scala:
1:200

**LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA
DEL SOTTOPASSO DI CONCA FALLATA
IN COMUNE DI MILANO [MI-E-788]**

Stratigrafia del sondaggio

ALL. 4

Committente:

A.I.Po
Via Taramelli, n.12
20124 Milano (MI)

A cura di:

TECNOSUOLO S.r.l.
S.S. MI-GE n.10
27040 Casatisma (PV)

Data:

Agosto 2013

Scala:

//

Tecnosuolo s.r.l.

27040 Casatisma (Pv) S.S Mi-Ge n° 10
Tel. (0383) 891852 Fax (0383) 891847

INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE

COMMITTENTE: A.I.Po
Via Taramelli, n.12 Milano (MI)

LOCALITA': Sottopasso di Conca Fallata (MI)
Sponda destra Fiume Lambro

SONDAGGIO

N° S1

QUOTA INIZIO: 108 metri s.l.m. circa.

DATA
28.08.2013

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	% carotaggio	CAMPIONI		H ₂ O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	P.P.	V.T.	S.P.T.			NOTE
				tipo	prof. mt.								
1.40			100%				Materiale di riporto di natura sabbioso-ghiaiosa di colore grigio chiaro.						
5.30			90-100%				Limo sabbioso-argilloso di colore marrone-grigiastro con rari ciottoli poligenici diam.max 2-3cm e frammenti di laterizi nella parte superiore dello strato. Da -4.20 a -4.80 livello di sabbia medio-grossolana di colore grigio con ciottoli diam.max. 2-3cm.			m3.00-3.45 2 2 3			
9.50			90-100%				Sabbia da media a grossolana e ghiaia con ciottoli subarrotondati poligenici ed eterometrici diam.max. 3-5cm, in poca frazione fine limoso-argillosa di colore marrone.			m6.00-6.45 7 10 11			
15.60			90-100%				Sabbia da media a grossolana e ghiaia con ciottoli subarrotondati poligenici ed eterometrici diam.max. 6-8cm, in poca frazione fine limoso-argillosa di colore grigio. Locale presenza di livelli sabbioso-limosi decimetrici (es. 14.30-14.50).			m12.00-12.45 26 30 32			
18.60			80-100%				Alternanze di sabbie limose da fini e medie e limi sabbiosi di colore marrone e grigio.			m15.00-15.45 22 27 30			
20.00										m18.00-18.50 10 13 15			

CAMPIONE: ☐ Rimaneggiato ☐ Semidisturbato ☐ Indisturbato



ARGILLA



LIMO



SABBIA



GHIAIA



TERRENO VEGET.



TORBA



ARGILLITE



MARNA



CALCARE



ARENARIA



CONGLOMERATO



ROCCE IGNEE

CASSETTE
CATALOGATRICI

n° 6

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. foro	Prof. riv.	Livello acqua
28.08.2013	m 6.00	m 4.50	-m 5.50
28.08.2013	m 30.00	m 30.00	-m 5.50

Tecnosuolo s.r.l.

27040 Casatisma (Pv) S.S Mi-Ge n° 10
Tel. (0383) 891852 Fax (0383) 891847

INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE

COMMITTENTE: A.I.Po
Via Taramelli, n.12 Milano (MI)

LOCALITA': Sottopasso di Conca Fallata (MI)
Sponda destra Fiume Lambro

SONDAGGIO

N° S1

QUOTA INIZIO: 108 metri s.l.m. circa.

DATA
28.08.2013

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio %	CAMPIONI		H ₂ O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	P.P.	V.T.	S.P.T.			NOTE
				tipo	prof. mt.								
20.00													
			90-100%				Sabbia da media a grossolana e ghiaia con ciottoli subarrotondati poligenici ed eterometrici diam.max. 4-6cm, in poca frazione fine limoso-argillosa di colore grigio.			m21.50-10.95	21	27	26
24.30													
25.00			90-100%				Sabbie limose da fini a medi di colore marrone-grigiastro.			m24.00-24.45	12	14	20
			80-100%				Sabbia da media a grossolana e poca ghiaia con ciottoli subarrotondati poligenici ed eterometrici diam.max. 3-5cm, in poca frazione fine limoso-argillosa di colore grigio.			m27.00-27.45	17	23	25
30.00										m30.00-30.45	22	26	27

CAMPIONE: ☐ Rimaneeggiato ☐ Semidisturbato ☐ Indisturbato



ARGILLA



LIMO



SABBIA



GHIAIA



TERRENO VEGET.



TORBA



ARGILLITE



MARNA



CALCARE



ARENARIA



CONGLOMERATO



ROCCHE IGNEE

CASSETTE
CATALOGATRICI

n° 6

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. foro	Prof. riv.	Livello acqua
28.08.2013	m 6.00	m 4.50	-m 5.50
28.08.2013	m 30.00	m 30.00	-m 5.50



A.I.Po
Sottopasso di Conca Fallata - Milano (MI)
SONDAGGIO S1
 Cassetta da m 0.00 a m 5.00



A.I.Po
Sottopasso di Conca Fallata - Milano (MI)
SONDAGGIO S1
 Cassetta da m 5.00 a m 10.00



A.I.Po
Sottopasso di Conca Fallata - Milano (MI)
SONDAGGIO S1
 Cassetta da m 10.00 a m 15.00



A.I.Po
Sottopasso di Conca Fallata - Milano (MI)
SONDAGGIO S1
 Cassetta da m 15.00 a m 20.00



A.I.Po
Sottopasso di Conca Fallata - Milano (MI)
SONDAGGIO S1
 Cassetta da m 20.00 a m 25.00



A.I.Po
Sottopasso di Conca Fallata - Milano (MI)
SONDAGGIO S1
 Cassetta da m 25.00 a m 30.00

**LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA
DEL SOTTOPASSO DI CONCA FALLATA
IN COMUNE DI MILANO [MI-E-788]**

Documentazione fotografica

ALL. 5

Committente:

A.I.Po
Via Taramelli, n.12
20124 Milano (MI)

A cura di:

TECNOSUOLO S.r.l.
S.S. MI-GE n.10
27040 Casatisma (PV)

Data:

Agosto 2013

Scala:

//



Foto 1: Postazione sondaggio S1 (da sud-est).

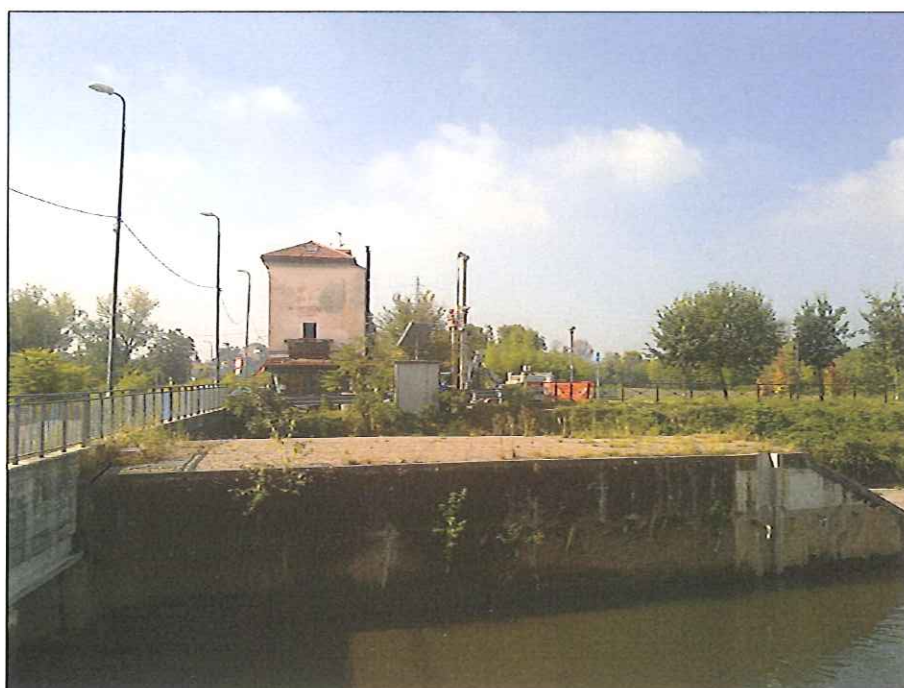


Foto 2: Postazione sondaggio S1 (dalla sponda opposta del F.Lambro).



Foto 3: Linea sismica L1