



**AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA**

Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma

**LAVORI DI ADEGUAMENTO SOTTOPASSO DEL  
NAVIGLIO PAVESE DA PARTE DEL FIUME LAMBRO  
MERIDIONALE IN LOCALITA' CONCA FALLATA  
MILANO**

**PROGETTO ESECUTIVO**

ALLEGATO

Relazione geologica

C.U.P. <b>B48H22000570002</b>	C.I.G.	SCALA:
Commessa progettista <b>45503722</b>	Codice elaborato <b>45503722-PE-R-GEO-001</b>	File 45503722-PE-R-GEO-001_00.PDF
		-

PROGETTAZIONE



PROGETTISTA:





APPROVATO

IL RESPONSABILE  
DEL PROCEDIMENTO

RUP



REDATTO A.SANTAMBROGIO	VERIFICATO G.PROSPERI	
SETTEMBRE 2025	00	PRIMA EMISSIONE
DATA	REVISIONE	NOTA



 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto esecutivo
	Relazione Geologica

## INDICE

1	PREMESSA .....	1
1.1	Normative e documenti di riferimento .....	2
2	OGGETTO E SCOPO .....	3
2.1	Descrizione generale dell'opera .....	3
2.2	Carroponte per benna.....	4
2.3	Carroponte per ragno .....	5
2.4	Rampe di accesso al fondo alveo .....	5
3	INQUADRAMENTI TERRITORIALI .....	6
3.1	Inquadramento geologico .....	6
3.2	Inquadramento geomorfologico .....	8
3.3	Inquadramento idrogeologico .....	9
4	PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO – PAI .....	10
5	ANALISI SISMICA DEL TERRITORIO.....	11
5.1	Zone sismogenetiche.....	13
5.2	Sismicità dell'area.....	14
5.2.1	Effetti di amplificazione topografica.....	15
5.2.2	Categoria Sismica dei terreni.....	15
5.2.3	Analisi di risposta sismica locale.....	16
5.3	Verifica di suscettibilità al fenomeno della liquefazione.....	18
6	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TERRENI DI FONDAZIONE.....	19
6.1	Campagna geognostica 2013 .....	19
6.2	Elaborazione dei dati di prova.....	20
7	CONCLUSIONI .....	23

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica

## 1 PREMESSA

Il presente elaborato costituisce la relazione geologica a supporto della documentazione tecnico-descrittiva per il progetto predisposto per affrontare il problema dell'accumulo di materiali galleggianti che si determina nel Fiume Lambro Meridionale in corrispondenza del sottopasso del Naviglio Pavese poco a valle della Conca Fallata, in Comune di Milano.

L'elaborazione del presente documento si è basata su dati e studi di origine bibliografica e sulla documentazione tecnica fornita dalla committenza relativa alle indagini pregresse condotte in sito e si pone il fine di presentare anche l'elaborazione dei dati e la stima dei parametri geotecnici dei terreni.



Lo studio, dunque, ha affrontato e approfondito i seguenti temi:

- Inquadramento del contesto geologico-strutturale.
- Assetto geomorfologico e idrogeologico insieme ad una valutazione preliminare sulle condizioni di pericolosità dell'area
- Ricostruzione della stratigrafia locale mediante la consultazione de dati disponibili.
- Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni, tramite la rielaborazione di tutti i dati disponibili, ottenuti durante le campagne geognostiche in prossimità delle opere e tramite la consultazione di lavori, eseguiti nelle vicinanze, sugli stessi materiali, al fine di verificare le caratteristiche geotecniche.

I manufatti oggetto della presente progettazione si inseriscono nel contesto del complessivo sistema di difesa idraulica della Città di Milano, basato sul Canale Scolmatore delle Piene di Nord-Ovest (C.S.N.O.) e su una serie di altre opere idrauliche volte ad alleggerire tale struttura e a ridurre l'impatto ambientale con il ricettore finale (Fiume Ticino).

I manufatti oggetto di progettazione sono:

- Un carroponte in acciaio per benna, da realizzarsi in prossimità del sottopasso tra il Fiume Lambro Meridionale e il Naviglio Pavese
- Un carroponte in acciaio per ragno da realizzarsi sullo sgrigliatore posto poco più a

 <p>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</p>	<p>Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano</p> <p>Progetto definitivo per autorizzazione</p>
	<p>Relazione Geologica</p>



monte sul Deviatore Fiume Olona.

- Le opere provvisorie necessarie a realizzare le rampe di accesso all'alveo fluviale.
- Le opere definitive, che costituiscono opera di sostegno dell'argine e le rampe di discesa.

## 1.1 Normative e documenti di riferimento

Di seguito sono elencati i principali riferimenti Normativi a cui si farà riferimento nella presente relazione.

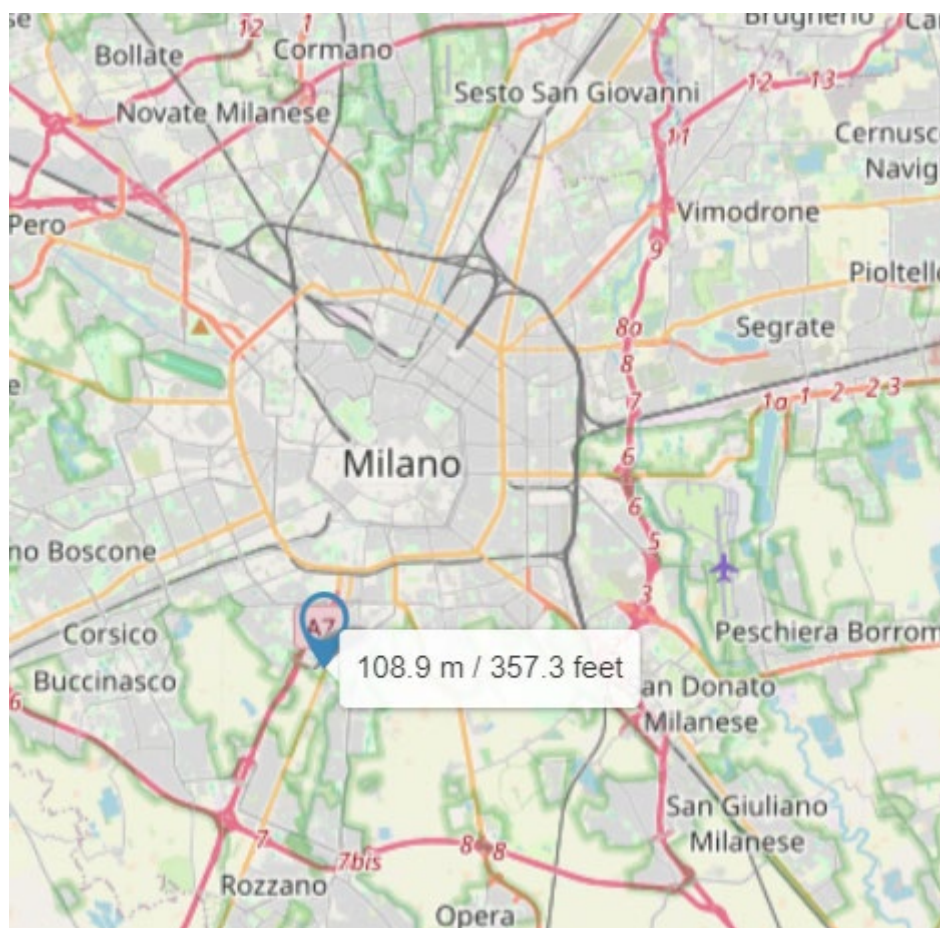
- D.M. 17/01/2018. Norme Tecniche per le costruzioni. (G.U. n. 42 del 4 febbraio 2018).
- Circolare C.S.LL.PP. n°7 del 21 gennaio 2019 - "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018";
- UNI EN 1997-1:2013. Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1997-2:2007. Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- AGI (Associazione Geotecnica Italiana) "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche." Giugno 1977.

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica

## 2 OGGETTO E SCOPO

### 2.1 Descrizione generale dell'opera

Il sito di progetto è collocato in prossimità della località Conca Fallata in Milano.





**Figura 2-1: inquadramento geografico del sito**

Il sito di progetto è collocato alle seguenti coordinate

Latitudine     45.424550°

Longitudine    9.168063°

L'altitudine del sito è pari a circa 109 m s.l.m..

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica



**Figura 2-2: inquadramento geografico locale su ortofoto del sito**

## 2.2 Carro ponte per benna



È previsto di realizzare una struttura in acciaio che funga da via di corsa monodirezionale per una benna necessaria alla rimozione di rifiuti galleggianti.

La struttura è da realizzarsi mediante un telaio in acciaio, vincolato a terra da una parte da un telaio in acciaio e dall'altro da un montante verticale.

I profili da impiegarsi per la realizzazione del carro ponte sono HEA200, ad accezione del profilo utilizzato per la trave che funge da via di corsa per il carrello che consente il movimento della benna lungo la stessa, da realizzarsi con profilo HEB300.

La luce complessiva da coprire è di circa 15m pari alla porzione di alveo che prima dell'ingresso del fiume nel sifone sotto al Naviglio Pavese si trova in prossimità della sponda destra; dal lato del telaio la via di corsa corre a sbalzo per una lunghezza di circa 3m.

L'altezza libera che si viene a creare al di sotto della via di corsa è di circa 4m, necessaria allo spazio occupato dal carrello e dalla benna ad esso collegata e all'alloggiamento di un cassone scarrabile che servirà all'allontanamento dei rifiuti rimossi tramite la benna.

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica

## 2.3 Carroponte per ragno

È previsto di realizzare una struttura in acciaio che funga da via di corsa monodirezionale per una benna necessaria alla rimozione di rifiuti di grossa pezzatura in corrispondenza della avangriglia dello sgrigliatore esistente sul Deviatore del Fiume Olona

La struttura è da realizzarsi mediante un telaio in acciaio, vincolato a terra da una parte da un telaio in acciaio e dall'altro da un montante verticale.

I profili da impiegarsi per la realizzazione del carroponte sono HEA200, ad accezione del profilo utilizzato per la trave che funge da via di corsa per il carrello che consente il movimento della benna lungo la stessa, da realizzarsi con profilo HEB300.



La luce complessiva da coprire è di circa 10 m pari alla larghezza dell'alveo artificiale nel quale è inserita la avangriglia da proteggere; dal lato del telaio la via di corsa corre a sbalzo per una lunghezza di circa 3m.

L'altezza libera che si viene a creare al di sotto della via di corsa è di circa 4m, necessaria allo spazio occupato dal carrello e dalla benna ad esso collegata e all'alloggiamento di un cassone scarrabile che servirà all'allontanamento dei rifiuti rimossi tramite la benna.

## 2.4 Rampe di accesso al fondo alveo

A monte dei manufatti sopra citati sono introdotte rampe di accesso, entrambe in sponda destra, al fine di poter permettere l'ingresso in alveo dei mezzi di manutenzione. Le rampe sono costituite da due manufatti a U realizzati nello scavo sostenuto oltre la linea d'argine da un'opera provvisoria realizzata con berlinesi di micropali.

Le opere definitive sono realizzate con muri e platee in calcestruzzo armato gettato in opera.

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica

### 3 INQUADRAMENTI TERRITORIALI

#### 3.1 Inquadramento geologico



La Pianura Padana nel suo insieme rappresenta l'espressione morfologica di superficie del Bacino Padano. La successione sedimentaria plio-pleistocenica del Bacino Padano ha un carattere complessivamente regressivo (Regione Lombardia & EN I, 2002; Muttoni et alii, 2003): alla base sono presenti depositi torbiditici di mare profondo, ricoperti da un prisma sedimentario progradante sia assialmente, in quanto legato all'azione del paleo Po, che trasversalmente, originato dai depositi dei sistemi alpini ed appenninici.

L'identificazione di due superfici principali di discontinuità di scala regionale, riconosciute e mappate su gran parte del bacino padano (Regione Emilia- Romagna & ENI Agip, 1998, Regione Lombardia & ENI, 2002, Muttoni et alii, 2003, Scardia et alii, 2012) ha portato dunque a definire le seguenti unità di sottosuolo:

- **Supersistema Padano (PD):** è caratterizzato alla base da depositi marino-marginali (piattaforma interna e costieri) che, verso l'alto, evolvono a depositi transizionali (delta. Delta-conoide e lagunari) fino a francamente continentali (piana alluvionale).
- **Supersistema Lombardo Inferiore (LI):** I depositi del supersistema Lombardo Inferiore (LI) sono costituiti da corpi spessi di sabbie medie e grossolane, subordinatamente fini, e ghiaie medie e grossolane, talora ciottoli, localmente cementati; l'ambiente deposizionale è stato interpretato come piana alluvionale, più in particolare riferibile ad una piana braided distale, a causa della significativa presenza di granulometrie sabbiose con alimentazione dagli anfiteatri glaciali sud-alpini;
- **Supersistema Lombardo Superiore (LS):** Questa unità è caratterizzata dalla prevalenza di ghiaie grossolane e medie con frequenti ciottoli, spesso mal selezionate, localmente cementate, in strati da medi a spessi, con subordinati livelli di sabbie medie e grossolane e sabbie ghiaiose. L'ambiente deposizionale è riferibile a una piana alluvionale fluvioglaciale, di tipo braided prossimale, data la grossolanità dei sedimenti e la loro scarsa organizzazione.

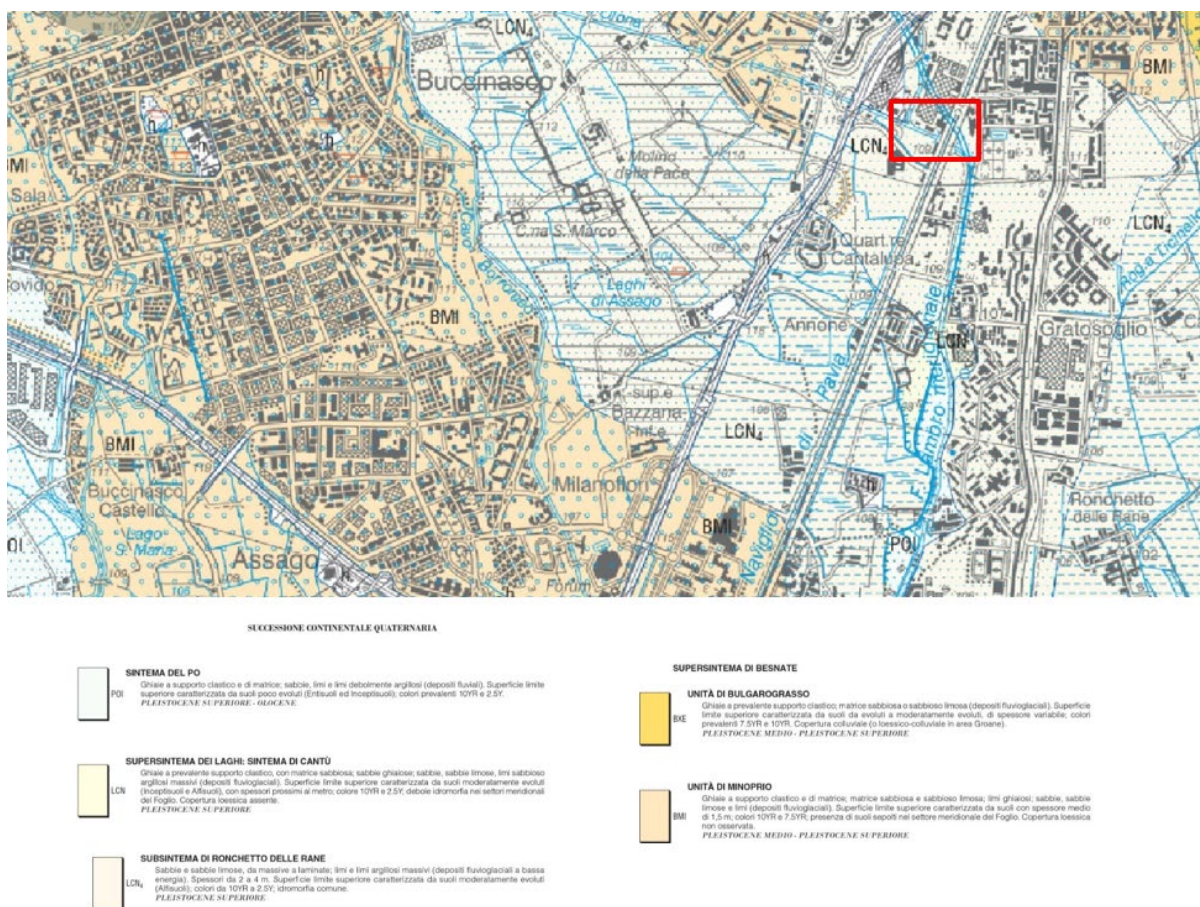
Le unità di superficie invece sono per lo più rappresentate, nell'ambito del territorio analizzato, dalle unità afferenti al supersistema di Besnate e dei Laghi. E' costituito esclusivamente da depositi fluvioglaciali, caratterizzati da profili d'alterazione moderatamente evoluti, che strutturano gran parte della pianura.

Nonostante l'elevato numero di unità riconosciute, la litologia è alquanto omogenea in quanto è costituito da depositi fluvioglaciali: ghiaie a supporto clastico, con matrice sabbiosa o sabbioso limosa, da massive a grossolanamente stratificate; ghiaie a supporto di matrice; sabbie medie e grossolane. Clasti poligenici da arrotondati a subarrotondati, in prevalenza centimetrici.

 <p>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</p>	<p>Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano</p> <p>Progetto definitivo per autorizzazione</p>
	<p>Relazione Geologica</p>

Alla scala locale del sito si osserva che l'area è caratterizzata prevalentemente dall'affioramento delle unità di Minoprio (BMI) e del sistema di Cantù – subsistema di Ronchetto delle Rane (LCN4).



L'area del sito è cartografata all'interno della carta geologica n.118 “Milano” della carta geologica d'Italia (Progetto CARG – edizione ISPRA) alla scala 1:50.000; uno stralcio di interesse è riportato nella seguente Figura 3-1.



**Figura 3-1: stralcio cartografico e legenda del foglio n. 118 “Milano” della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (progetto CARG – ed. ISPRA), riportante l'area di interesse.**

Per mezzo dell'esecuzione di un sondaggio diretto nell'area del sito (ampiamente descritte al successivo capitolo 6.1), è stata riconosciuta la seguente stratigrafia di sottosuolo:

- 0 – 1.5 m da p.c.: materiali di riporto in sabbia – ghiaiosa colore grigio chiaro
- 1,50 – 5,30 m: limo sabbioso argilloso color marrone – grigio con rari ciottoli poligenici

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica

e frammenti laterizi al top e intercalazioni sabbiose grossolane e ciottoli

- 5,30 – 9,50 m: sabbia da media a grossolana e ghiaia con ciottoli sub-arrotondati eterometrici (d = 3 / 5 cm) e poligenici;
- 9,50 – 15,50 m: sabbia da media a grossolana e ghiaia con ciottoli sub-arrotondati eterometrici (d = 6 / 8 cm) e poligenici;
- 15,50 – 18,50 m: alternanza di sabbie limose da fini a medie e limi sabbiosi;
- 18,50 – 30 m: sabbia da media a grossolana e ghiaia con ciottoli sub-arrotondati eterometrici (d = 4 / 6 cm) e poligenici; intercalazioni sabbioso–limose fini da 24 a 25 m.



### 3.2 Inquadramento geomorfologico

L'area di studio è collocata a sud della città di Milano e si colloca nella zona della media pianura, ad una quota di circa 109 m slm.

Gli elementi geomorfologici tipici dell'area sono connessi alla fasi erosionali di ambiente fluviale, pleistoceniche ed oloceniche e, soprattutto, alle modifiche apportate dall'attività antropica a partire dal XIII secolo. Il territorio risulta prevalentemente sub-pianeggiante; si riconoscono orli di terrazzo lungo il corso del Lambro e nella zona meridionale della città.

Per effetto della conformazione fisica appena descritta, la rete idrografica naturale di superficie presenta un andamento diretto secondo l'asse approssimativamente N-S. Prima dell'ingresso in Milano, tutti i corsi d'acqua dal Seveso all'Olona, sono intercettati dal Canale Scolmatore di Nord-Ovest (CSNO) che si sviluppa dalla presa del Seveso a Nord fino al Ticino, in direzione S-O, costituendo il canale di gronda della città. In realtà a questo ramo principale del CSNO, detto ramo Seveso, se ne connette un secondo, detto ramo Olona, che scolma l'olona qualche chilometro a monte della sua intersezione con il Ramo Seveso al nodo di Vighignolo.

Nello stesso nodo di Vighignolo si origina anche il Deviatore Olona, che scolma il CSNO portandone, a cielo aperto, parte della portata di piena verso la zona Sud della città, ove, al nodo di conca fallata (ubicazione del sito oggetto di intervento) dà origine al Lambro Meridionale che, dopo vari chilometri di pianura deviando verso Est, confluisce nel Lambro Settentrionale.

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica

### 3.3 Inquadramento idrogeologico



Nel territorio della città di Milano sono storicamente riconosciuti:

- Acquifero “tradizionale”: che procedendo da N a S ospita falde da libere a semiconfinite, nella parte settentrionale direttamente alimentato dalle precipitazioni e dagli afflussi derivanti dall’attività agricola, mentre nella fascia più meridionale risulta alimentato dall’acquifero sovrastante e/o dalla ricarica proveniente da monte; tale acquifero presenta un ispessimento da N verso S e da E verso O, con sensibili variazioni in corrispondenza dei paleoalvei dei principali corsi d’acqua. Al suo interno vengono distinte due unità idrogeologiche denominate I e II Acquifero.
- Acquifero profondo, tipicamente multistrato e ben separato dagli acquiferi sovrastanti, che ospita falde in pressione; tale acquifero viene alimentato da zone di ricarica poste a monte o in corrispondenza di interruzioni degli strati impermeabili che lo delimitano (III Acquifero).

Nel 2002 la collaborazione tra Regione Lombardia e ENI-AGIP ha permesso di acquisire ulteriori conoscenze sulla successione litostratigrafica e sulla distribuzione degli acquiferi (Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia). In questo lavoro vengono riconosciuti nell’area del settore lombardo del bacino padano due gruppi acquiferi superiori A e B e un sottostante acquifero C.

L’area di interesse è interessata dalle falde appartenenti al gruppo acquifero A, tradizionalmente inteso come la porzione superficiale dell’acquifero tradizionale, ampiamente sfruttato in modo intensivo e interessato da fenomeni di inquinamento di vasta scala. In tale gruppo acquifero rientrano le litologie più grossolane: prevalentemente ghiaie e ghiaie grossolane, poligeniche a matrice sabbiosa da media a molto grossolana. La base del gruppo A presenta nell’area un’immersione verso S-SE, con quote comprese tra circa 150 e 50 m slm.

Per mezzo di esecuzione di indagini dirette sitospecifiche è stata riscontrata la presenza di falda alla profondità di circa 5,30 m da p.c. (quota di circa 102 – 103 m slm).

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica

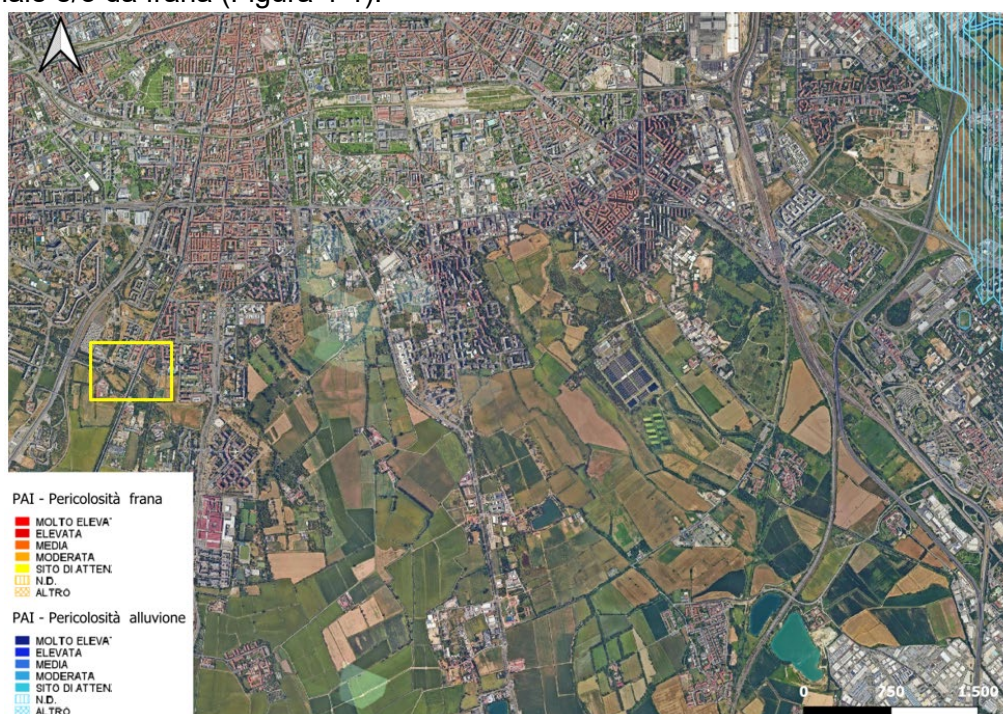
## 4 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO – PAI

Il Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI), approvato con decreto del presidente del Consiglio dei ministri del 24 maggio 2001, ha la finalità di ridurre il rischio idrogeologico entro valori compatibili con gli usi del suolo in atto, in modo tale da salvaguardare l'incolumità delle persone e ridurre al minimo i danni ai beni esposti.



Il PAI contiene:

1. La delimitazione delle fasce fluviali (Fascia A, Fascia B, Fascia B di progetto e Fascia C) dell'asta del Po e dei suoi principali affluenti - Elaborato 8
2. La delimitazione e classificazione, in base alla pericolosità, delle aree in dissesto per frana, valanga, esondazione torrentizia e conoide - Elaborato 2, Allegato 4 - che caratterizzano la parte montana del territorio regionale.
3. La perimetrazione e la zonazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato in ambiente collinare e montano (zona 1 e zona 2) e sul reticolo idrografico principale e secondario nelle aree di pianura (zona I e zona BPr) - Elaborato 2, Allegato 4.1
4. Le norme alle quali le sopracitate aree a pericolosità di alluvioni sono assoggettate - Elaborato 7, Norme di attuazione.

Si osserva che l'area in esame non ricade all'interno di perimetrazioni di pericolosità alluvionale e/o da frana (Figura 4-1).



**Figura 4-1: stralcio cartografico riportante le perimetrazioni di pericolosità del PAI (fonte: Geoportale Regione Lombardia); area sito indicato da perimetro giallo.**

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica

## 5 ANALISI SISMICA DEL TERRITORIO

La classificazione sismica del territorio nazionale ha introdotto normative tecniche specifiche per le costruzioni di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche caratterizzate dal medesimo rischio sismico.

Originariamente, i criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche (Tabella 5-1) sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.



**Tabella 5-1: Ex-zone sismiche del territorio nazionale**

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ $a_g$ ]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ $a_g$ ]	numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$a_g > 0,25 \text{ g}$	0,35 g	703
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25 \text{ g}$	0,25 g	2.224
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g	3.002
4	È la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05 \text{ g}$	0,05 g	1.982

Di seguito, è riportata la zona sismica per il territorio in studio, secondo la vecchia classificazione fornita dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003:

Zona 4:  $a_g \leq 0,05$  - Livello di pericolosità molto basso

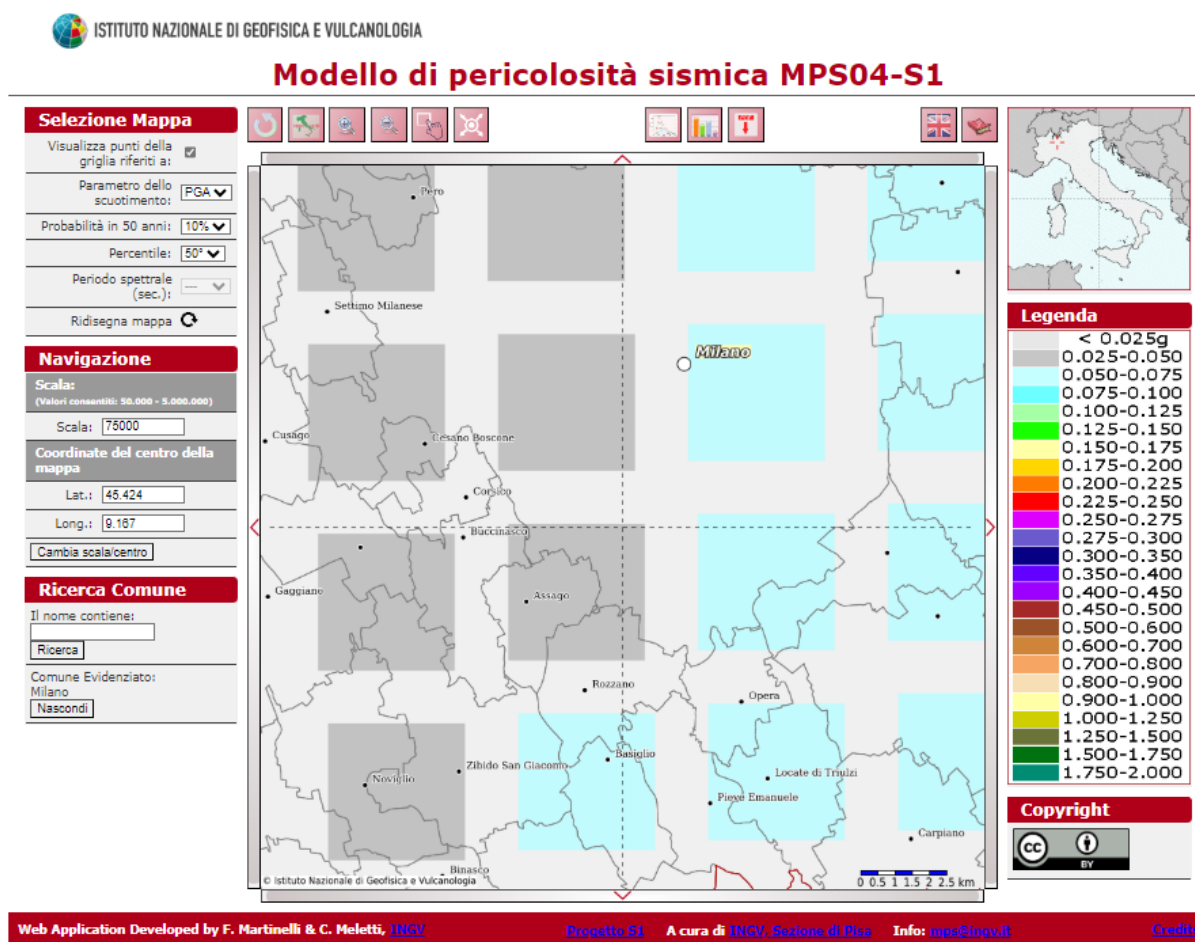
In seguito, per ognuno dei comuni d'Italia, è stato emanato un nuovo provvedimento che prevede l'adozione delle stime di pericolosità sismica contenute nel Progetto S1 dell'INGV-DPC (Figura 5-1) che ha prodotto, per l'intera comunità nazionale, uno strumento scientificamente valido ed avanzato, nonché utilizzabile nell'immediato in provvedimenti normativi.

 Agenzia Interregionale per il Fiume Po AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica



In particolare, con tale provvedimento è stato possibile superare il concetto di una classificazione sismica legata al singolo territorio comunale e si è posta nuova attenzione sul concetto di una pericolosità sismica uniforme a livello nazionale. Infatti, la vecchia classificazione sismica produceva numerose situazioni in cui un comune classificato sismico era fisicamente confinante con un comune non classificato e, pertanto, si assisteva ad un brusco cambiamento nei parametri sismici in un breve arco di territorio.

Attualmente, la pericolosità sismica è stimata con una precisione maggiore e, di fatto, le variazioni tra le caratteristiche sismiche di aree adiacenti sono sempre continue e graduali.

Nello specifico, per le zone di interesse i valori di accelerazione al suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) risultano comprese tra  $0,025 < a_g < 0,050$  (accelerazione massima del suolo).



**Figura 5-1: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (da Meletti & Montaldo 2007) e della pericolosità sismica attesa al suolo ag sitospecifica, contenuta nel Progetto S1 dell'INGV-DPC (<http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>).**

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica

## 5.1 Zone sismogenetiche

Per sorgente sismogenica composita si intende una rappresentazione semplificata e tridimensionale di una faglia crostale contenente un numero imprecisato di sorgenti sismogeniche che non possono essere distinte singolarmente. Tali zone sono le principali considerate ad elevato rischio sismico in quanto, essendo caratterizzate dalla presenza di faglie attive, in esse vi è una elevata probabilità che si verifichino terremoti di elevata magnitudo.



L'ubicazione è riportata all'interno del DISS, ovvero il database georeferenziato edito dall'INGV riportante informazioni necessarie ad elaborare la pericolosità sismica di base a livello di pianificazione territoriale.

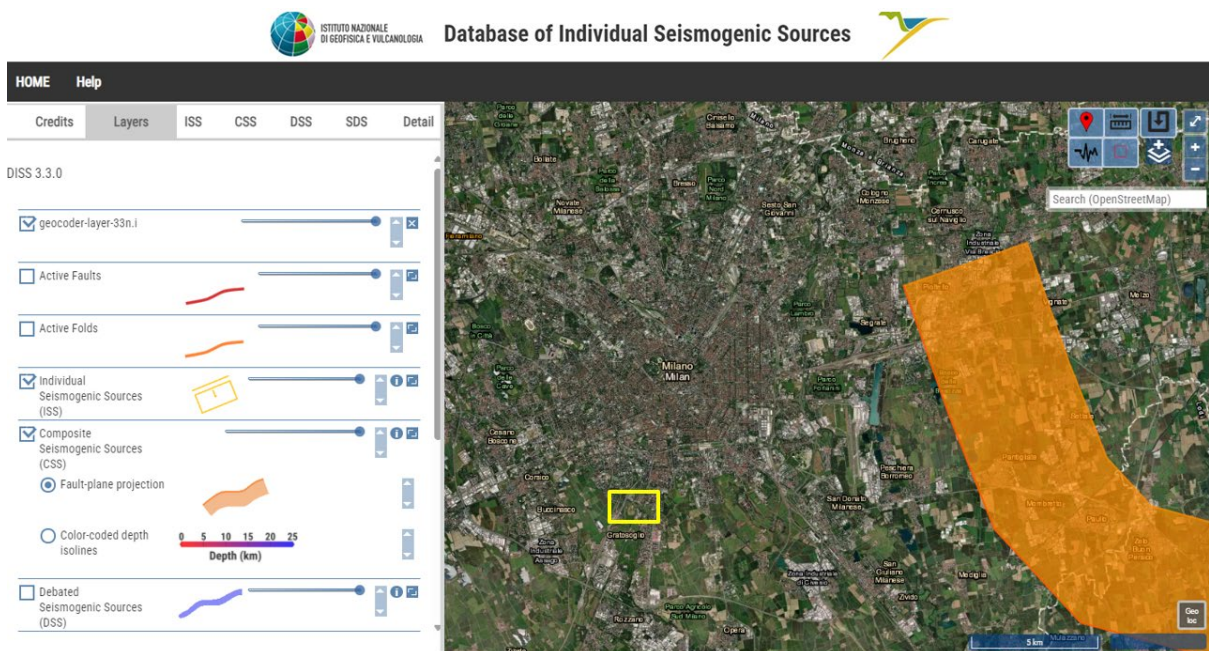
Le sorgenti sismogenetiche in questa zona sono dovute al quadro tettonico dovuto alla dinamica di spinta tra le catene Alpi a nord e appennino a sud; si osserva la vicinanza del sito ad una sorgente denominata ITCS115 "Western S-Alps external thrust shallow-west".

Il contesto è caratterizzato dalla presenza di due principali strati di distacco all'interno della successione stratigrafica tagliata dalle faglie di spinta delle Alpi Meridionali. I due orizzonti di distacco sono uno più profondo, situato alla sommità delle evaporiti triassiche (o alla base della sequenza carbonatica mesozoica), e uno meno profondo, situato alla base dei depositi di avanfossa della Gonfolite. Quest'ultimo, nell'area tra Milano e Mantova, diventa più superficiale verso est seguendo la geometria di abbassamento del bacino che ha ospitato i sedimenti. Come conseguenza della presenza dei due orizzonti di distacco, il fronte esterno delle Alpi Meridionali è caratterizzato da una grande spinta profonda che taglia la sequenza carbonatica mesozoica e da spinte poco profonde che si sono sviluppate all'interno dei depositi di avanfossa della Gonfolite. Il risultato pratico per l'interpretazione delle sorgenti sismogenetiche è che il fronte di spinta esterno delle Alpi meridionali è ora interpretato come segmentato verso il basso con sorgenti separate: una corrispondente alla spinta più profonda e due alle spinte meno profonde, che formano due piccoli archi. Queste ultime, poiché il loro distacco è meno profondo verso est, hanno anche un'ampiezza ridotta verso valle nella stessa direzione (con importanti implicazioni sul loro potenziale sismogenetico, cioè sulla magnitudo massima del potenziale terremoto).

Gli attuali cataloghi dei terremoti mostrano una scarsa distribuzione della sismicità minore in questa regione, ad eccezione di un terremoto chiave che si è verificato il 12 maggio 1802 (Mw 5,9) nella valle del Fiume Oglio.

La massima magnitudo stimata per la sorgente, come riportato nei cataloghi, è pari a 6,2 Mw.

 AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica



**Figura 5-2: Distanza delle sorgenti sismogenetiche (INGV-DISS) rispetto all'area del sito (in giallo)**

## 5.2 Sismicità dell'area



Di seguito viene fornito un inquadramento generale sulla classificazione sismica dell'area in esame nel rispetto delle disposizioni delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del Decreto Ministeriale del 17/01/2018.

Secondo la normativa vigente la tipologia del suolo di fondazione è dipendente dal valore  $V_{s,eq}$  definito dalla seguente equazione:

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

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

Le verifiche strutturali nei diversi stati limiti vanno condotte adottando le azioni sismiche che sono funzione della “pericolosità sismica” dell'area in esame. La “pericolosità sismica” è

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica

definita a partire dall'accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su suolo rigido, con piano campagna orizzontale.

Le azioni di progetto dovute al sisma si ricavano dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali definite in funzione dei parametri:

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

Utilizzando il software dedicato si ricavano gli spettri di risposta elastica delle componenti orizzontali di moto, per i diversi periodi di ritorno considerati dal Decreto Ministeriale.

### 5.2.1 Effetti di amplificazione topografica

Le verifiche sugli effetti di amplificazione topografica si basano puramente su criteri di tipo morfometrico/morfologico. Inoltre, per le sezioni e le misurazioni si è preso come riferimento la cartografia disponibile. Per quanto riguarda i valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica, questi sono riportati nella successiva tabella:



**Tabella 5-2: Categorie di amplificazione topografica - NTC 2018**

Categoria Topografica	Ubicazione opera	$S_t$
<b>T1</b> (Sup. Pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$ )	-	1.0
<b>T2</b> (Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$ )	Sommità del pendio	1.2
<b>T3</b> (Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media compresa tra $15^\circ$ e $30^\circ$ )	Cresta del rilievo	1.2
<b>T4</b> (Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $> 30^\circ$ )	Cresta del rilievo	1.4

Nel caso specifico, l'impianto si colloca in un area morfologicamente pianeggiante, dunque si considera il valore di riferimento,  $S_t = 1.0$ .

### 5.2.2 Categoria Sismica dei terreni

Nell'area del sito è stata eseguita una prova geofisica di tipo MASW che ha permesso di valutare la categoria sismica di riferimento per i terreni caratterizzanti il sottosuolo in esame;

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica

nello specifico, tale prova ha restituito il seguente valore di  $V_{seq} = 295$  m/s. La categoria sismica di fondazione dunque è la C, di seguito definita:

*“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.”*

### 5.2.3 Analisi di risposta sismica locale

Vita nominale ( $V_n$ ): 50 [anni]

Classe d'uso: II

Coefficiente d'uso ( $C_u$ ): 1

Periodo di riferimento ( $V_r$ ): 50 [anni]

Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLO: 30 [anni]

Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLD: 50 [anni]

Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLV: 475 [anni]

Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate

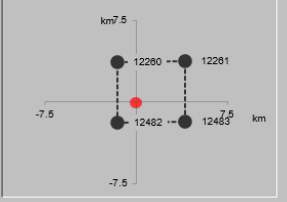
LONGITUDINE  
9.16806
LATITUDINE  
45.42455


☐ Ricerca per comune

REGIONE  
Lombardia
PROVINCIA  
Milano
COMUNE  
Milano

Elaborazioni grafiche  
Grafici spettri di risposta  
Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche  
Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito




Reticolo di riferimento


Controllo sul reticolo  
☒ Sito esterno al reticolo  
☐ Interpolazione su 3 nodi  
☒ Interpolazione corretta

Interpolazione  
superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
**FASE 1**
FASE 2
FASE 3

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica

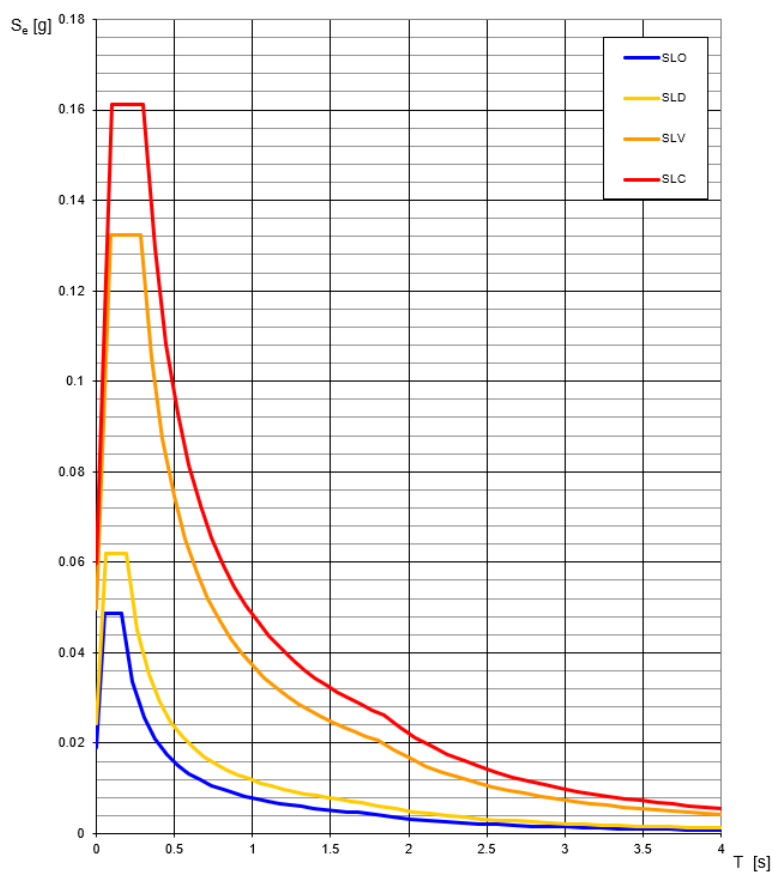
**Tabella 5-3: coefficienti sismici punto di indagine**



Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.019	2.555	0.161
Danno (SLD)	50	0.024	2.547	0.191
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.050	2.654	0.280
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.060	2.696	0.299

### Pericolosità sismica di sito

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5%  
 Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta$ : 1.000  
 Categoria sottosuolo: C  
 Categoria topografica: T1

**Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite**





 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica

### 5.3 Verifica di suscettibilità al fenomeno della liquefazione

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

È stata condotta una verifica a liquefazione per i terreni di fondazione del sito, riportata all'interno dello specifico documento "45503722-PE-R-GEO-001\_Relazione geotecnica", nella quale si osserva una sostanziale assenza del fenomeno.

 <p>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</p>	<p>Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano</p> <p>Progetto definitivo per autorizzazione</p>
	<p>Relazione Geologica</p>

## 6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TERRENI DI FONDAZIONE

Il presente paragrafo riporta e descrive le valutazioni di tipo geotecnico a riguardo dei terreni di fondazione nell'areale delle opere in progetto.

Lo scopo è fornire le informazioni necessarie a presentare un modello geotecnico di riferimento al fine di permettere al progettista il dimensionamento delle opere fondazionali; nel presente paragrafo si riporta anche una descrizione delle risultanze di indagine ottenute a seguito della campagna geognostica eseguita nelle immediate circostanze dell'area del sito.

### 6.1 Campagna geognostica 2013



Le indagini effettuate hanno previsto l'esecuzione di:

- N.1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo eseguito fino alla profondità di 30 m da p.c.; la verticale di indagini ha permesso lo studio della stratigrafia sitospecifica di sottosuolo e ha permesso la realizzazione di prove penetrometriche SPT ad intervalli di 3 m (10 prove SPT in totale).
- Stendimento geofisico di tipo MASW, al fine di verificare la categoria sismica di sottosuolo come richiesto dalle normative di settore vigenti (NTC 2018).

Nella seguente immagine è riportata l'ubicazione delle prove eseguite; si osserva che, il carotaggio continuo è stato realizzato in prossimità dell'ingresso del sifone del carroponete e ha profondità di 30m da p.c., sufficiente al riconoscimento del volume significativo dell'opera.

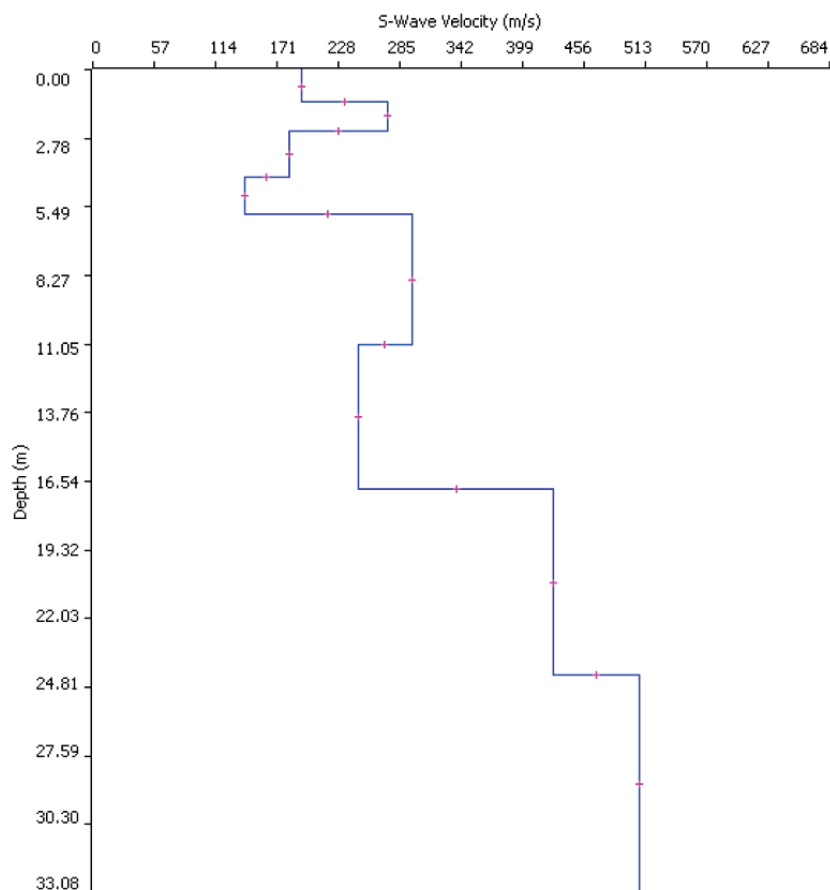


**Figura 6-1: ubicazione delle prove geognostiche - campagna di indagine 2013**

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica



## 6.2 Elaborazione dei dati di prova

Di seguito si riportano le risultanze di prova geofisica, che ha individuato, per il sottosuolo del sito  $V_{eq} = 295$  m/s, identificando una categoria di fondazione di tipo C.



$h_{TOP}$	$h_{BOT}$	$z_{TOP}$	$z_{BOT}$	Hs	$V_{s30}$
m	m	m	m		m/s
0	1.3	108	106.7	1.3	194
1.3	2.4	106.7	105.6	1.1	273
2.4	4.3	105.6	103.7	1.9	182
4.3	5.8	103.7	102.2	1.5	141
5.8	11.1	102.2	96.9	5.3	296
11.1	16.9	96.9	91.1	5.8	247
16.9	24.3	91.1	83.7	7.4	428
24.3	30	83.7	78	5.7	508
				$V_{s,eq}$	295.0

**Figura 6-2: profilo di distribuzione nel sottosuolo delle onde Vs**

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica



L'esecuzione del sondaggio geognostico ha invece permesso l'osservazione della stratigrafia sitospecifica e la valutazione, per mezzo di prove penetrometriche SPT in avanzamento di sondaggio, delle caratteristiche geotecniche dei terreni indagati.

**Tabella 6-1: dati delle prove SPT**

Id prova	Profondità (m)	N. colpi (Nspt)
SPT1	3.00 – 3.45	5
SPT2	6.00 – 6.45	21
SPT3	9.00 – 9.45	33
SPT4	12.00 – 12.45	62
SPT5	15.00 – 15.45	57
SPT6	18.00 – 18.45	28
SPT7	21.50 – 21.95	63
SPT8	24.00 – 24.45	34
SPT9	27.00 - 27.45	48
SPT10	30.00 – 30.45	53

Di seguito si riporta la stratigrafia sitospecifica valutata durante la perforazione del sondaggio, unitamente ai parametri geotecnici calcolati sulla base delle risultanze SPT.

I terreni indagati, per la natura litologica osservata, sono stati tutti intesi con comportamento attritivo.

 <small>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA</small> <small>Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</small>	Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano  Progetto definitivo per autorizzazione
	Relazione Geologica

**Tabella 6-2: stratigrafia di riferimento**

Profondità (m)	Descrizione	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_v0$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	Dr (%)
0 – 1.5	riporto in sabbia – ghiaiosa	18 - 20	27	30 – 35	-
1.5 – 5.30	limo sabbioso argilloso	17 - 18	54	25 – 28	37 - 40
5.30 – 9.50	sabbia da media a grossolana e ghiaia	18 - 20	108	35 – 38	62 – 72
9.50 – 15.50	sabbia da media a grossolana e ghiaia	18 - 20	270	40 – 43	90 – 95
15.50 – 18.00	sabbie limose	17 - 18	324	32 - 35	60 – 75
18.50 – 30.0	sabbia da media a grossolana e ghiaia	18 - 20	540	35 – 40	65 - 67



In ragione delle stratigrafie individuate è possibile ricondurre la stratigrafia a una successione di litotipi omogenei definiti della seguente successione.

**Tabella 6-3: parametri geotecnici di riferimento**

Profondità (m)	Descrizione	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	Dr (%)
1.5 – 5.30	limo sabbioso argilloso	17 -18	25 – 28	37 - 40
5.30 – 15.50	sabbia da media a grossolana e ghiaia	18 - 20	35 – 43	62 - 95
15.50 – 18.00	sabbie limose	17 -18	32 – 35	60 – 75
18.50 – 30.0	sabbia da media a grossolana e ghiaia	18 - 20	35 - 40	65 - 67

La falda risulta riscontrata a profondità di circa 5,30 m da p.c. (quota di circa 102 – 103 m slm).

La categoria sismica di sottosuolo, verificata per mezzo di prove geofisiche MASW, è la C.

 <p>AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma</p>	<p>Lavori di adeguamento sottopasso del Naviglio Pavese da parte del Fiume Lambro meridionale in località Conca Fallata – Milano</p> <p>Progetto definitivo per autorizzazione</p>
	<p>Relazione Geologica</p>

## 7 CONCLUSIONI

Dall'analisi del contesto idrogeomorfologico e geotecnico dell'area in esame si può concludere che:

L'area del sito in cui si dovranno realizzare delle opere necessarie alla protezione idraulica del sistema idrico della città di Milano, basato sul Canale Scolmatore delle Piene di Nord-Ovest (C.S.N.O.), è collocata a sud della città nella zona della media pianura, ad una quota di circa 109 m slm.

L'area è dominata dall'affioramento delle unità di Minoprio (BMI) e del sintema di Cantù – subsintema di Ronchetto delle Rane (LCN4), caratterizzate da successioni prevalentemente fluvioglaciali costituite da successioni e alternanze di terreni grossolani (sabbiosi e ghiaiosi).

Per mezzo di esecuzione di indagini dirette sitospecifiche è stata riscontrata la presenza di falda alla profondità di circa 5,30 m da p.c. (quota di circa 102 – 103 m slm).

A seguito di consultazione della documentazione del Piano di Assetto Idrogeologico dell'autorità di bacino competente si osserva che l'area del sito è esterna a perimetrazioni di pericolosità alluvionale.

Dal punto di vista sismico, rispetto alla classificazione eseguita dall'INGV per il territorio nazionale, risulta che il sito è caratterizzato da una pericolosità sismica bassa, con un'accelerazione al suolo attesa inferiore a 0,050g. A partire dai dati di indagine geofisica di tipo MASW e dalle considerazioni sul contesto geologico dell'area, il sottosuolo risulta essere di categoria sismica C. E' stata condotta una verifica a liquefazione dei terreni di fondazione riportata all'interno del documento “45503722-PE-R-GEO-001\_Relazione geotecnica”, nella quale si osserva una sostanziale assenza del fenomeno.

Non si osservano criticità legate alla presenza di fenomeni di pericolosità idro-geologica che possano influenzare negativamente le opere in progetto.