

Regione Lombardia  
Direzione Generale Infrastrutture e Opere Pubbliche



CODICE  
COMMESSA

LIVELLO  
PROGETTAZIONE

D.P.R.  
207/10

PROGRESSIVO  
ELABORATO

CATEGORIA  
OPERA

NUMERO  
OPERA

REVISIONE

SCALA

E 1 0 B

D

b

0 0 1

I G

- -

R 1

===

TRATTA SARONNO-COMO OPERE SOSTITUTIVE  
PL KM 31+267 NEI COMUNI DI CADORAGO E LOMAZZO  
*Progetto Definitivo*

PASSERELLA PEDONALE VIA ALLA FONTE (CADORAGO)  
RELAZIONE GEOLOGICA

Revisioni		Data	Descrizione	Redatto	Controllato
	3		-		
	2		-		
	1	Maggio 25	REVISIONE A SEGUITO DI VERIFICA		
	0	Luglio 24	PRIMA EMISSIONE		

NORD\_ING

**NORD\_ING Srl**  
**IL DIRETTORE TECNICO**  
*Ing. Laura Stiriti*

FERROVIENORD

**FERROVIENORD S.p.A.**  
**DIREZIONE SVILUPPO INFRASTRUTTURA**  
**IL DIRETTORE**  
*Ing. Andrea Lucia Passarelli*

Progettista



Collaborazione

REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	DATA
CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE			AGG.


**NORD\_ING FNM Group**

**INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE PER PROGETTO PASSERELLA  
PEDONALE VIA ALLA FONTE**

**Responsabile Commessa**  
Ing. Rosangela Graglia

**CERTIFICATO ANALISI AMBIENTALE**

LOMAZZO (CO)

CODICE PROGETTO

G	_	N	I	S	_	0	9	_	2	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

DATA

19/04/2023

REVISIONE

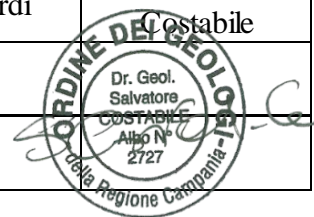
0 1

PAGINE

24

**Gruppo di Lavoro**

<b>Ph.D. Geol. Salvatore Costabile</b>		Direttore Tecnico - Geologo Senior		
<b>Dott. Geol. Fabio Lombardi</b>		Geologo Senior – Sez. A		
<b>Dott. Geol. Fabio Liguori</b>		Geologo Junior		
<b>Dott.ssa Ada Di Simone</b>		Geofisico		
rev.	descrizione	data	redatto	verificato
1	Emissione	19/04/2023	Geol. Fabio Lombardi	Ph.D. Geol. Salvatore Costabile
2				
3				



## Sommario

PREMESSA.....	3
1. INDAGINI EFFETTUATE.....	4
2. Certificati di analisi.....	6

## PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati delle indagini ambientali eseguite per conto di NORD\_ING Gruppo FNM, nell'ambito del contratto n. 4500165817, stipulato in data 05/09/2022 ed avente ad oggetto "Prove geotecniche, sondaggi geognostici, prove/analisi di laboratorio, diagnostica strutturale". La campagna d'indagini, codice commessa E.10.B, ha previsto la realizzazione di "Indagini geognostiche e geofisiche per progetto passerella pedonale via alla Fonte", presso il Comune di Lomazzo (CO).

L'obiettivo del seguente studio è di verificare l'idoneità ambientale dei campioni prelevati.

## 1. INDAGINI EFFETTUATE

In totale i campioni prelevati sono stati 3 (Tab. 1), lungo il sondaggio S5 (Figura 1), con il fine di caratterizzare in maniera ambientale i terreni oggetto di opera. Il laboratorio certificato che ha effettuato le analisi è Natura S.r.l., con sede legale presso Via Gioacchino Rossini, 16.

La possibilità di gestire questi materiali come sottoprodotti e non come rifiuti, è stato oggetto nell'ultimo decennio di numerosi interventi normativi, fino all'entrata in vigore del nuovo Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo (22 agosto 2017), contenuta nel DPR 13 giugno 2017. Sostanzialmente tale Decreto, rappresenta oggi l'unico strumento normativo applicabile per consentire l'utilizzo, come **sottoprodotti**, dei materiali di scavo (terre e rocce da scavo e terre da riporto) provenienti dai cantieri di piccole e di grandi dimensioni.

Per essere qualificate come sottoprodotti, le terre e rocce da scavo, per tutti i cantieri, devono rispondere ai criteri stabiliti dall'art. 184-bis del D.Lgs. n. 152/2006, il cui rispetto è valutato con le modalità procedurali stabilite dall'art. 4 del nuovo Regolamento: tali requisiti sono attestati e dimostrati previa esecuzione di caratterizzazione chimico-fisica con le modalità definite dall'Allegato 4, pertanto tramite analisi di laboratorio.

Si evidenzia che il produttore deve dimostrare che non siano superati i valori delle concentrazioni soglia di cui alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, della Parte IV, del Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152.

In particolare all'Allegato 4 sono riportate le caratteristiche dei campioni di terreno da sottoporre ad analisi chimica di laboratorio ed i criteri per la definizione degli analiti da ricercare, stabilendo un set analitico minimo da considerare, riportato in Tabella 4.1, che comprende la determinazione dei seguenti parametri: **Arsenico, Cadmio, Cobalto, Nichel, Piombo, Rame, Zinco, Mercurio, Idrocarburi C>12, Cromo totale, Cromo VI e Amianto**. BTEX e IPA sono da eseguirsi nel caso in cui l'area da scavo si collochi a 20 m di distanza da infrastrutture viarie di grande comunicazione e ad insediamenti che possono aver influenzato le caratteristiche del sito mediante ricaduta delle emissioni in atmosfera.



*Figura 1 – Ubicazione Prelievi campioni ambientali*

Campioni	Profondità (m)	Sondaggio	Coordinate
S5_P C.A. 1	0.30 – 0.50	S5	Lat. 45.708855° Lon. 9.038451°
S5_P C.A.2	3.20 – 3.50	S5	Lat. 45.708855° Lon. 9.038451°
S5_P C.A.3	6.30 – 6.50	S5	Lat. 45.708855° Lon. 9.038451°

*Tab. 1 – Campioni Prelevati (Via alla Fonte).*

---

## 2 Certificati di analisi

RAPPORTO DI PROVA N 23LA06632		DEL 18/04/2023	
<b>COMMITTENTE:</b>		GIA CONSULTING SRL	
<b>INDIRIZZO COMMITTENTE:</b>		V.LE DEGLI ASTRONAUTI, 8 80131 NAPOLI (NA)	
<b>PARTITA IVA E/O COD. FISCALE:</b>		07456341218	
<b>UBICAZIONE CAMPIONAMENTO:</b>		ACQUA ALLE FONTI COMUNE DI LOMAZZO (CO)	
<b>PUNTO DI CAMPIONAMENTO:</b>		S5_P C.A.1 (0.30-0.50 m)	
<b>DESCRIZIONE CAMPIONE:</b>		TERRENO	
<b>CAMPIONAMENTO A CURA DI:</b>		A CURA DEL CLIENTE*	
<b>PROCEDURA:</b>		CAMPIONE CONSEGNATO DAL CLIENTE*	
<b>DATA INIZIO CAMPIONAMENTO:</b> 10/03/2023		<b>ORA INIZIO CAMPIONAMENTO:</b> 09.30	
<b>DATA FINE CAMPIONAMENTO:</b> 10/03/2023		<b>ORA FINE CAMPIONAMENTO:</b> 09.30	
<b>DATA RICEZIONE CAMPIONE:</b> 14/03/2023			
<b>DATA ACCETTAZIONE CAMPIONE:</b> 14/03/2023		<b>ORA ACCETTAZIONE CAMPIONE:</b> 16.00	
<b>N° ACCETTAZIONE CAMPIONE:</b> 23LA06632			
<b>DATA INIZIO PROVE:</b> 14/03/2023		<b>DATA FINE PROVE:</b> 28/03/2023	

Parametro

Metodo

U.M.

Risultato

Incertezza

## AMIANTO

* - Actinolite	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>		
* - Amosite	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>		
* - Antofillite	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>		
* - Crisotilo	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>		
* - Crocidolite	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>		
* - Strumento utilizzato		<b>MEIJI TECHNO</b>		
* - Tremolite	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>		
* AMIANTO DM 06-09-1994 Allegato 3	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>		

## COMPOSTI INORGANICI

CIANURI CNR IRSA 17 Q 64 Vol. 3 1992	mg/kg s.s.	<b>&lt; 0,367</b>		
CROMO ESAVALENTE CNR IRSA 16 Q 64 Vol 3 1985	mg/kg s.s.	<b>&lt; 0,733</b>		
FLUORURI EPA 300.0 1993	mg/kg s.s.	<b>2,8</b>	±	0,84

## METALLI

ANTIMONIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	<b>0,896</b>	±	0,18
--	---------------	--------------	---	------

**SEGUE RAPPORTO DI PROVA N 23LA06632**

**DEL 18/04/2023**

Parametro	U.M.	Risultato	Incertezza
Metodo			

**METALLI**

ARSENICO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	< 0,0726		
BERILLIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	0,672	±	0,13
CADMIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	< 0,0726		
COBALTO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	6,23	±	1,2
CROMO TOTALE EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	33,1	±	6,6
MERCURIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	0,0588	±	0,012
NICHEL EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	25,1	±	5,0
PIOMBO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	30,8	±	6,2
RAME EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	23,7	±	4,7
SELENIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	0,374	±	0,075
TALLIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	1,31	±	0,26
VANADIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	31,2	±	6,2
ZINCO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	65,8	±	13

**IDROCARBURI E RELATIVE FRAZIONI**

IDROCARBURI C<12 (6<C<12) EPA 5035A 2002 + EPA 8015C 2007	mg/kg s.s.	< 4,62		
IDROCARBURI C>12 (C12-C40) ISPRA Man 75 2011	mg/kg s.s.	19,9	±	7,0
* IDROCARBURI TOTALI EPA 5035A 2002 + EPA 8015C 2007 + LINEE GUIDA 75/2011 ISPRA ARPA APPA	mg/kg s.s.	19,9	±	6,0

**IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI**

BENZO(a)ANTRACENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	0,0865	±	0,030
BENZO(a)PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	0,0666	±	0,023

**SEGUE RAPPORTO DI PROVA N 23LA06632**

**DEL 18/04/2023**

Parametro	U.M.	Risultato	Incertezza
Metodo			

**IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI**

BENZO(b)FLUORANTENE + BENZO(j)FLUORANTENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>0,265</b>	± 0,093
BENZO(g,h,i)PERILENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>0,0612</b>	± 0,021
BENZO(k)FLUORANTENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>0,0532</b>	± 0,019
CRISENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>0,0786</b>	± 0,028
DIBENZO(a,e)PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>0,0818</b>	± 0,029
DIBENZO(a,h)ANTRACENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>0,00482</b>	± 0,0017
DIBENZO(a,h)PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>0,0903</b>	± 0,032
DIBENZO(a,i)PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>0,0462</b>	± 0,016
DIBENZO(a,l)PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>0,0523</b>	± 0,018
INDENOPIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>0,0957</b>	± 0,033
PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>0,0786</b>	± 0,028
SOMMATORIA IPA (da calcolo) EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>0,882</b>	± 0,31

**POLICLOROBIFENILI**

PCB 101 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>&lt; 0,000739</b>	
PCB 105 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>&lt; 0,000739</b>	
* PCB 110 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>&lt; 0,000739</b>	
PCB 114 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>&lt; 0,000739</b>	
PCB 118 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>&lt; 0,000739</b>	
PCB 123 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>&lt; 0,000739</b>	
PCB 128 + PCB 167 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	<b>&lt; 0,00148</b>	

**SEGUE RAPPORTO DI PROVA N 23LA06632**

**DEL 18/04/2023**

Parametro <i>Metodo</i>	U.M.	Risultato	Incertezza
<b>POLICLOROBIFENILI</b>			
PCB 138 <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,000739	
PCB 153 <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,000739	
PCB 156 <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,000739	
PCB 157 <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,000739	
PCB 169 <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,000739	
PCB 170 <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,000739	
PCB 180 <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,000739	
PCB 189 <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,000739	
PCB 28 + PCB 31 <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,00148	
PCB 30 <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,000739	
PCB 52 <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,000739	
PCB 77 <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,000739	
PCB 81 <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,000739	
* SOMMATORIA PCB (da calcolo) <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,00148	

**COMPOSTI ORGANICI AROMATICI**

1,2,4,5-TETRACLOROBENZENE <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,000739	
1,2,4-TRICLOROBENZENE <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	0,0226 ± 0,0079	
BENZENE <i>EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,00231	
ESACLOROBENZENE <i>EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,000739	
ETILBENZENE <i>EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018</i>	mg/kg s.s.	< 0,00231	

**SEGUE RAPPORTO DI PROVA N 23LA06632**

**DEL 18/04/2023**

Parametro	U.M.	Risultato	Incertezza
-----------	------	-----------	------------

Metodo

**COMPOSTI ORGANICI AROMATICI**

PENTACLOROBENZENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000739
SOMMATORIA ORGANICI AROMATICI EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00462
STIRENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00231
TOLUENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00231
XILENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00462

**COMPOSTI ORGANICI VOLATILI**

1,2-DICLOROBENZENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00231
1,4-DICLOROBENZENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00231
CLOROBENZENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00231
PIOMBO TETRAETILE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00231

**Legenda:**

U.M. = unità di misura  
nd = non determinabile  
U (se presente) = incertezza  
LR (se presente) = limite di rivelabilità  
NR (se presente) = non rilevato  
Cat. 3 (se presente) = prova eseguita in campo  
\* = prova non accreditata ACCREDIA

**Informazioni fornite dal cliente per le quali il laboratorio declina ogni eventuale responsabilità:**

ANAGRAFICHE: DATA CAMPIONAMENTO, DESCRIZIONE CAMPIONE, ORAFINE, ORA INIZIO, UBICAZIONE CAMPIONAMENTO, PUNTO DI CAMPIONAMENTO

**Sommatorie presenti nel rapporto di prova:**

L'approccio adottato dal laboratorio per le seguenti sommatorie presenti nel rapporto di prova è il LOWER BOUND. Gli addendi della sommatoria sono esclusivamente le prove la cui determinazione ha fornito un risultato superiore al limite di quantificazione corretto per i fattori di scala.

IDROCARBURI TOTALI : IDROCARBURI C<sub>6</sub>-12 (C12-C40) - IDROCARBURI C<sub>6</sub>-12 (6&12;C&12;12)

SOMMATORIA IPA (da calcolo): BENZO(a)ANTRACENE - BENZO(a)PIRENE - BENZO(b)FLUORANTENE + BENZO(j)FLUORANTENE - BENZO(g,h,i)PERILENE - BENZO(k)FLUORANTENE - CRISENE - DIBENZO(a,e)PIRENE - DIBENZO(a,h)PIRENE - DIBENZO(a,i)PIRENE - DIBENZO(a,l)PIRENE

SOMMATORIA ORGANICI AROMATICI: BENZENE - ETILBENZENE - m,p-XILENE - o-XILENE - STIRENE - TOLUENE

SOMMATORIA PCB (da calcolo): PCB 101 - PCB 105 - PCB 110 - PCB 114 - PCB 118 - PCB 123 - PCB 128 + PCB 167 - PCB 138 - PCB 153 - PCB 156 - PCB 157 - PCB 169 - PCB 170 - PCB 180 - PCB 189 - PCB 28 + PCB 31 - PCB 30 - PCB 52 - PCB 77 - PCB 81

XILENE: m,p-XILENE - o-XILENE

Il recupero dei singoli analiti è compreso tra l'80% ed il 120%. Non si utilizza alcun fattore di correzione nel calcolo della concentrazione. Per le singole diossine, il recupero varia dal 63% al 170%.

Il criterio di valutazione utilizzato per l'espressione del giudizio di conformità è eseguito in conformità alle Linee Guida SNPA 34/2021 secondo la regola denominata "Accettazione semplice".

Nota Campionamento: Il campionamento si intende accreditato solo se il metodo non è indicato con l'asterisco ed è associato ad una successiva prova accreditata secondo la norma ISO/IEC 17025.

I risultati ottenuti si riferiscono al campione così come ricevuto.

Il limite inferiore dei misurandi viene calcolato in funzione di pesate, diluizioni e primo punto retta (LR adjusted).

Il cliente ha autorizzato il laboratorio a procedere con l'esecuzione delle prove VOC E Idrocarburi C<12 sebbene sia stato reso edotto che gli holding time previsti dai parametri sono stati superati ed il relativo risultato analitico è una stima.

**SEGUE RAPPORTO DI PROVA N 23LA06632**

**DEL 18/04/2023**

L'incertezza è espressa nelle unità di misura del parametro a cui si riferiscono. Il fattore di copertura è pari a  $k=2$  con un intervallo di probabilità del 95%

L'incertezza riportata non tiene conto del contributo del campionamento.

**GIUDIZIO DI CONFORMITÀ**

NESSUN SUPERAMENTO - **CONFORME** rispetto al limite per i parametri analizzati.

**I risultati del presente rapporto di prova si devono intendere riferiti esclusivamente al campione sottoposto a prova.  
Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente se non previa approvazione scritta da parte di questo Laboratorio.**

**Il Responsabile di Laboratorio**  
*Dott. Francesco Troisi*



– Fine Rapporto di Prova –

RAPPORTO DI PROVA N 23LA06633		DEL 18/04/2023
<b>COMMITTENTE:</b>	GIA CONSULTING SRL	
<b>INDIRIZZO COMMITTENTE:</b>	V.LE DEGLI ASTRONAUTI, 8 80131 NAPOLI (NA)	
<b>PARTITA IVA E/O COD. FISCALE:</b>	07456341218	
<b>UBICAZIONE CAMPIONAMENTO:</b>	ACQUA ALLE FONTI COMUNE DI LOMAZZO (CO)	
<b>PUNTO DI CAMPIONAMENTO:</b>	S5_P C.A.2 (3.20-3.50 m)	
<b>DESCRIZIONE CAMPIONE:</b>	TERRENO	
<b>CAMPIONAMENTO A CURA DI:</b>	A CURA DEL CLIENTE*	
<b>PROCEDURA:</b>	CAMPIONE CONSEGNATO DAL CLIENTE*	
<b>DATA INIZIO CAMPIONAMENTO:</b> 10/03/2023	<b>ORA INIZIO CAMPIONAMENTO:</b> 09.45	
<b>DATA FINE CAMPIONAMENTO:</b> 10/03/2023	<b>ORA FINE CAMPIONAMENTO:</b> 09.45	
<b>DATA RICEZIONE CAMPIONE:</b> 14/03/2023		
<b>DATA ACCETTAZIONE CAMPIONE:</b> 14/03/2023	<b>ORA ACCETTAZIONE CAMPIONE:</b> 16.00	
<b>N° ACCETTAZIONE CAMPIONE:</b> 23LA06633		
<b>DATA INIZIO PROVE:</b> 14/03/2023	<b>DATA FINE PROVE:</b> 28/03/2023	

Parametro

Metodo

U.M.

Risultato

Incertezza

## AMIANTO

* - Actinolite	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>
* - Amosite	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>
* - Antofillite	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>
* - Crisotilo	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>
* - Crocidolite	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>
* - Strumento utilizzato		<b>MEIJI TECHNO</b>
* - Tremolite	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>
* AMIANTO DM 06-09-1994 Allegato 3	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>

## COMPOSTI INORGANICI

CIANURI CNR IRSA 17 Q 64 Vol. 3 1992	mg/kg s.s.	<b>&lt; 0,436</b>		
CROMO ESAVALENTE CNR IRSA 16 Q 64 Vol 3 1985	mg/kg s.s.	<b>&lt; 0,864</b>		
FLUORURI EPA 300.0 1993	mg/kg s.s.	<b>1,85</b>	±	0,56

## METALLI

ANTIMONIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	<b>0,612</b>	±	0,12
--	---------------	--------------	---	------

## SEGUE RAPPORTO DI PROVA N 23LA06633

DEL 18/04/2023

Parametro	U.M.	Risultato	Incertezza
Metodo			

### METALLI

ARSENICO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	< 0,0835		
BERILLIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	1	±	0,20
CADMIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	0,14	±	0,028
COBALTO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	5,17	±	1,0
CROMO TOTALE EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	36,5	±	7,3
MERCURIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	0,0726	±	0,015
NICHEL EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	27,7	±	5,5
PIOMBO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	6,27	±	1,3
RAME EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	11,1	±	2,2
SELENIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	0,226	±	0,045
TALLIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	1,34	±	0,27
VANADIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	28,3	±	5,7
ZINCO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	27,8	±	5,6

### IDROCARBURI E RELATIVE FRAZIONI

IDROCARBURI C<12 (6<C<12) EPA 5035A 2002 + EPA 8015C 2007	mg/kg s.s.	< 4,94		
IDROCARBURI C>12 (C12-C40) ISPRA Man 75 2011	mg/kg s.s.	9,72	±	3,4
* IDROCARBURI TOTALI EPA 5035A 2002 + EPA 8015C 2007 + LINEE GUIDA 75/2011 ISPRA ARPA APPA	mg/kg s.s.	9,72	±	2,9

### IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI

BENZO(a)ANTRACENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866		
BENZO(a)PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866		

**SEGUE RAPPORTO DI PROVA N 23LA06633**

**DEL 18/04/2023**

Parametro	U.M.	Risultato	Incertezza
Metodo			

**IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI**

BENZO(b)FLUORANTENE + BENZO(j)FLUORANTENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,00173
BENZO(g,h,i)PERILENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
BENZO(k)FLUORANTENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
CRISENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
DIBENZO(a,e)PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
DIBENZO(a,h)ANTRACENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
DIBENZO(a,h)PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
DIBENZO(a,i)PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
DIBENZO(a,l)PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
INDENOPIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
SOMMATORIA IPA (da calcolo) EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,00173

**POLICLOROBIFENILI**

PCB 101 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
PCB 105 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
* PCB 110 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
PCB 114 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
PCB 118 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
PCB 123 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
PCB 128 + PCB 167 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,00173

**SEGUE RAPPORTO DI PROVA N 23LA06633**

**DEL 18/04/2023**

Parametro Metodo	U.M.	Risultato	Incertezza
<b>POLICLOROBIFENILI</b>			
PCB 138 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866	
PCB 153 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866	
PCB 156 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866	
PCB 157 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866	
PCB 169 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866	
PCB 170 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866	
PCB 180 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866	
PCB 189 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866	
PCB 28 + PCB 31 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,00173	
PCB 30 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866	
PCB 52 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866	
PCB 77 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866	
PCB 81 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866	
* SOMMATORIA PCB (da calcolo) EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,00173	

**COMPOSTI ORGANICI AROMATICI**

1,2,4,5-TETRACLOROBENZENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866	
1,2,4-TRICLOROBENZENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	0,0137	± 0,0048
BENZENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00247	
ESACLOROBENZENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866	
ETILBENZENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00247	

**SEGUE RAPPORTO DI PROVA N 23LA06633**

**DEL 18/04/2023**

Parametro	U.M.	Risultato	Incertezza
-----------	------	-----------	------------

Metodo

**COMPOSTI ORGANICI AROMATICI**

PENTACLOROBENZENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000866
SOMMATORIA ORGANICI AROMATICI EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00494
STIRENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00247
TOLUENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00247
XILENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00494

**COMPOSTI ORGANICI VOLATILI**

1,2-DICLOROBENZENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00247
1,4-DICLOROBENZENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00247
CLOROBENZENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00247
PIOMBO TETRAETILE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00247

**Legenda:**

U.M. = unità di misura  
nd = non determinabile  
U (se presente) = incertezza  
LR (se presente) = limite di rivelabilità  
NR (se presente) = non rilevato  
Cat. 3 (se presente) = prova eseguita in campo  
\* = prova non accreditata ACCREDIA

**Informazioni fornite dal cliente per le quali il laboratorio declina ogni eventuale responsabilità:**

ANAGRAFICHE: DATA CAMPIONAMENTO, DESCRIZIONE CAMPIONE, ORAFINE, ORA INIZIO, UBICAZIONE CAMPIONAMENTO, PUNTO DI CAMPIONAMENTO

**Sommatorie presenti nel rapporto di prova:**

L'approccio adottato dal laboratorio per le seguenti sommatorie presenti nel rapporto di prova è il LOWER BOUND. Gli addendi della sommatoria sono esclusivamente le prove la cui determinazione ha fornito un risultato superiore al limite di quantificazione corretto per i fattori di scala.

IDROCARBURI TOTALI: IDROCARBURI C<sub>6</sub>-12 (C<sub>12</sub>-C<sub>40</sub>) - IDROCARBURI C<sub>6</sub>-12 (6&lt;C<sub>6</sub><12)

SOMMATORIA IPA (da calcolo): BENZO(a)ANTHRAcene - BENZO(a)PIRENE - BENZO(b)FLUORANTENE + BENZO(j)FLUORANTENE - BENZO(g,h,i)PERILENE - BENZO(k)FLUORANTENE - CRISENE - DIBENZO(a,e)PIRENE - DIBENZO(a,h)PIRENE - DIBENZO(a,i)PIRENE - DIBENZO(a,l)PIRENE

SOMMATORIA ORGANICI AROMATICI: BENZENE - ETILBENZENE - m,p-XILENE - o-XILENE - STIRENE - TOLUENE

SOMMATORIA PCB (da calcolo): PCB 101 - PCB 105 - PCB 110 - PCB 114 - PCB 118 - PCB 123 - PCB 128 + PCB 167 - PCB 138 - PCB 153 - PCB 156 - PCB 157 - PCB 169 - PCB 170 - PCB 180 - PCB 189 - PCB 28 + PCB 31 - PCB 30 - PCB 52 - PCB 77 - PCB 81

XILENE: m,p-XILENE - o-XILENE

Il recupero dei singoli analiti è compreso tra l'80% ed il 120%. Non si utilizza alcun fattore di correzione nel calcolo della concentrazione. Per le singole diossine, il recupero varia dal 63% al 170%.

Il criterio di valutazione utilizzato per l'espressione del giudizio di conformità è eseguito in conformità alle Linee Guida SNPA 34/2021 secondo la regola denominata "Accettazione semplice".

Nota Campionamento: Il campionamento si intende accreditato solo se il metodo non è indicato con l'asterisco ed è associato ad una successiva prova accreditata secondo la norma ISO/IEC 17025.

I risultati ottenuti si riferiscono al campione così come ricevuto.

Il limite inferiore dei misurandi viene calcolato in funzione di pesate, diluizioni e primo punto retta (LR adjusted).

Il cliente ha autorizzato il laboratorio a procedere con l'esecuzione delle prove VOC E Idrocarburi C<sub>6</sub>-12 sebbene sia stato reso edotto che gli holding time previsti dai parametri sono stati superati ed il relativo risultato analitico è una stima.

**SEGUE RAPPORTO DI PROVA N 23LA06633**

**DEL 18/04/2023**

L'incertezza è espressa nelle unità di misura del parametro a cui si riferiscono. Il fattore di copertura è pari a  $k=2$  con un intervallo di probabilità del 95%

L'incertezza riportata non tiene conto del contributo del campionamento.

**GIUDIZIO DI CONFORMITÀ**

NESSUN SUPERAMENTO - **CONFORME** rispetto al limite per i parametri analizzati.

**I risultati del presente rapporto di prova si devono intendere riferiti esclusivamente al campione sottoposto a prova.  
Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente se non previa approvazione scritta da parte di questo Laboratorio.**

**Il Responsabile di Laboratorio**  
*Dott. Francesco Troisi*



— Fine Rapporto di Prova —

RAPPORTO DI PROVA N 23LA06634		DEL 18/04/2023	
<b>COMMITTENTE:</b>		GIA CONSULTING SRL	
<b>INDIRIZZO COMMITTENTE:</b>		V.LE DEGLI ASTRONAUTI, 8 80131 NAPOLI (NA)	
<b>PARTITA IVA E/O COD. FISCALE:</b>		07456341218	
<b>UBICAZIONE CAMPIONAMENTO:</b>		ACQUA ALLE FONTI COMUNE DI LOMAZZO (CO)	
<b>PUNTO DI CAMPIONAMENTO:</b>		S5_P C.A.3 (6.30-6.50 m)	
<b>DESCRIZIONE CAMPIONE:</b>		TERRENO	
<b>CAMPIONAMENTO A CURA DI:</b>		A CURA DEL CLIENTE*	
<b>PROCEDURA:</b>		CAMPIONE CONSEGNATO DAL CLIENTE*	
<b>DATA INIZIO CAMPIONAMENTO:</b> 10/03/2023		<b>ORA INIZIO CAMPIONAMENTO:</b> 10.00	
<b>DATA FINE CAMPIONAMENTO:</b> 10/03/2023		<b>ORA FINE CAMPIONAMENTO:</b> 10.00	
<b>DATA RICEZIONE CAMPIONE:</b> 14/03/2023			
<b>DATA ACCETTAZIONE CAMPIONE:</b> 14/03/2023		<b>ORA ACCETTAZIONE CAMPIONE:</b> 16.00	
<b>N° ACCETTAZIONE CAMPIONE:</b> 23LA06634			
<b>DATA INIZIO PROVE:</b> 14/03/2023		<b>DATA FINE PROVE:</b> 28/03/2023	

Parametro

Metodo

U.M.

Risultato

Incertezza

## AMIANTO

* - Actinolite	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>
* - Amosite	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>
* - Antofillite	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>
* - Crisotilo	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>
* - Crocidolite	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>
* - Strumento utilizzato		<b>MEIJI TECHNO</b>
* - Tremolite	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>
* AMIANTO DM 06-09-1994 Allegato 3	Assente\ Presente	<b>ASSENTE</b>

## COMPOSTI INORGANICI

CIANURI CNR IRSA 17 Q 64 Vol. 3 1992	mg/kg s.s.	<b>&lt; 0,336</b>		
CROMO ESAVALENTE CNR IRSA 16 Q 64 Vol 3 1985	mg/kg s.s.	<b>&lt; 0,659</b>		
FLUORURI EPA 300.0 1993	mg/kg s.s.	<b>2</b>	±	0,60

## METALLI

ANTIMONIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	<b>0,621</b>	±	0,12
--	---------------	--------------	---	------

**SEGUE RAPPORTO DI PROVA N 23LA06634**

**DEL 18/04/2023**

Parametro	U.M.	Risultato	Incertezza
Metodo			

**METALLI**

ARSENICO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	< 0,0647		
BERILLIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	0,773	±	0,15
CADMIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	< 0,0647		
COBALTO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	6,01	±	1,2
CROMO TOTALE EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	44	±	8,8
MERCURIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	0,088	±	0,018
NICHEL EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	35	±	7,0
PIOMBO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	4,06	±	0,81
RAME EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	9,13	±	1,8
SELENIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	0,113	±	0,023
TALLIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	1,1	±	0,22
VANADIO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	22,1	±	4,4
ZINCO EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg s.s.	23,6	±	4,7

**IDROCARBURI E RELATIVE FRAZIONI**

IDROCARBURI C<12 (6<C<12) EPA 5035A 2002 + EPA 8015C 2007	mg/kg s.s.	< 4,79		
IDROCARBURI C>12 (C12-C40) ISPRA Man 75 2011	mg/kg s.s.	8,58	±	3,0
* IDROCARBURI TOTALI EPA 5035A 2002 + EPA 8015C 2007 + LINEE GUIDA 75/2011 ISPRA ARPA APPA	mg/kg s.s.	8,58	±	2,6

**IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI**

BENZO(a)ANTRACENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657		
BENZO(a)PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657		

**SEGUE RAPPORTO DI PROVA N 23LA06634**

**DEL 18/04/2023**

Parametro	U.M.	Risultato	Incertezza
-----------	------	-----------	------------

Metodo

**IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI**

BENZO(b)FLUORANTENE + BENZO(j)FLUORANTENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,00131
BENZO(g,h,i)PERILENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
BENZO(k)FLUORANTENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
CRISENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
DIBENZO(a,e)PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
DIBENZO(a,h)ANTRACENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
DIBENZO(a,h)PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
DIBENZO(a,i)PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
DIBENZO(a,l)PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
INDENOPIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
PIRENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
SOMMATORIA IPA (da calcolo) EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,00131

**POLICLOROBIFENILI**

PCB 101 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
PCB 105 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
* PCB 110 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
PCB 114 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
PCB 118 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
PCB 123 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
PCB 128 + PCB 167 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,00131

**SEGUE RAPPORTO DI PROVA N 23LA06634**

**DEL 18/04/2023**

Parametro Metodo	U.M.	Risultato	Incertezza
<b>POLICLOROBIFENILI</b>			
PCB 138 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657	
PCB 153 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657	
PCB 156 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657	
PCB 157 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657	
PCB 169 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657	
PCB 170 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657	
PCB 180 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657	
PCB 189 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657	
PCB 28 + PCB 31 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,00131	
PCB 30 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657	
PCB 52 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657	
PCB 77 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657	
PCB 81 EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657	
* SOMMATORIA PCB (da calcolo) EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,00131	

**COMPOSTI ORGANICI AROMATICI**

1,2,4,5-TETRACLOROBENZENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657	
1,2,4-TRICLOROBENZENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	0,0269 ± 0,0094	
BENZENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00239	
ESACLOROBENZENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657	
ETILBENZENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00239	

**SEGUE RAPPORTO DI PROVA N 23LA06634**

**DEL 18/04/2023**

Parametro	U.M.	Risultato	Incertezza
-----------	------	-----------	------------

Metodo

**COMPOSTI ORGANICI AROMATICI**

PENTACLOROBENZENE EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	< 0,000657
SOMMATORIA ORGANICI AROMATICI EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00479
STIRENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00239
TOLUENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00239
XILENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00479

**COMPOSTI ORGANICI VOLATILI**

1,2-DICLOROBENZENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00239
1,4-DICLOROBENZENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00239
CLOROBENZENE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00239
PIOMBO TETRAETILE EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	< 0,00239

**Legenda:**

U.M. = unità di misura  
nd = non determinabile  
U (se presente) = incertezza  
LR (se presente) = limite di rivelabilità  
NR (se presente) = non rilevato  
Cat. 3 (se presente) = prova eseguita in campo  
\* = prova non accreditata ACCREDIA

**Informazioni fornite dal cliente per le quali il laboratorio declina ogni eventuale responsabilità:**

ANAGRAFICHE: DATA CAMPIONAMENTO, DESCRIZIONE CAMPIONE, ORAFINE, ORA INIZIO, UBICAZIONE CAMPIONAMENTO, PUNTO DI CAMPIONAMENTO

**Sommatorie presenti nel rapporto di prova:**

L'approccio adottato dal laboratorio per le seguenti sommatorie presenti nel rapporto di prova è il LOWER BOUND. Gli addendi della sommatoria sono esclusivamente le prove la cui determinazione ha fornito un risultato superiore al limite di quantificazione corretto per i fattori di scala.

IDROCARBURI TOTALI: IDROCARBURI C<sub>6</sub>-12 (C12-C40) - IDROCARBURI C<sub>6</sub>-12 (6&12;C&12;12)

SOMMATORIA IPA (da calcolo): BENZO(a)ANTHRAcene - BENZO(a)PIRENE - BENZO(b)FLUORANTENE + BENZO(j)FLUORANTENE - BENZO(g,h,i)PERILENE - BENZO(k)FLUORANTENE - CRISENE - DIBENZO(a,e)PIRENE - DIBENZO(a,h)PIRENE - DIBENZO(a,i)PIRENE - DIBENZO(a,l)PIRENE

SOMMATORIA ORGANICI AROMATICI: BENZENE - ETILBENZENE - m,p-XILENE - o-XILENE - STIRENE - TOLUENE

SOMMATORIA PCB (da calcolo): PCB 101 - PCB 105 - PCB 110 - PCB 114 - PCB 118 - PCB 123 - PCB 128 + PCB 167 - PCB 138 - PCB 153 - PCB 156 - PCB 157 - PCB 169 - PCB 170 - PCB 180 - PCB 189 - PCB 28 + PCB 31 - PCB 30 - PCB 52 - PCB 77 - PCB 81

XILENE: m,p-XILENE - o-XILENE

Il recupero dei singoli analiti è compreso tra l'80% ed il 120%. Non si utilizza alcun fattore di correzione nel calcolo della concentrazione. Per le singole diossine, il recupero varia dal 63% al 170%.

Il criterio di valutazione utilizzato per l'espressione del giudizio di conformità è eseguito in conformità alle Linee Guida SNPA 34/2021 secondo la regola denominata "Accettazione semplice".

Nota Campionamento: Il campionamento si intende accreditato solo se il metodo non è indicato con l'asterisco ed è associato ad una successiva prova accreditata secondo la norma ISO/IEC 17025.

I risultati ottenuti si riferiscono al campione così come ricevuto.

Il limite inferiore dei misurandi viene calcolato in funzione di pesate, diluizioni e primo punto retta (LR adjusted).

Il cliente ha autorizzato il laboratorio a procedere con l'esecuzione delle prove VOC E Idrocarburi C<12 sebbene sia stato reso edotto che gli holding time previsti dai parametri sono stati superati ed il relativo risultato analitico è una stima.

**SEGUE RAPPORTO DI PROVA N 23LA06634**

**DEL 18/04/2023**

L'incertezza è espressa nelle unità di misura del parametro a cui si riferiscono. Il fattore di copertura è pari a  $k=2$  con un intervallo di probabilità del 95%


L'incertezza riportata non tiene conto del contributo del campionamento.

**GIUDIZIO DI CONFORMITÀ**


NESSUN SUPERAMENTO - **CONFORME** rispetto al limite per i parametri analizzati.

**I risultati del presente rapporto di prova si devono intendere riferiti esclusivamente al campione sottoposto a prova.  
Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente se non previa approvazione scritta da parte di questo Laboratorio.**

**Il Responsabile di Laboratorio**  
*Dott. Francesco Troisi*



— Fine Rapporto di Prova —

		<b>NORD_ING FNM Group</b>																	
<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE PER PROGETTO PASSERELLA PEDONALE VIA ALLA FONTE</b>																			
<b>Responsabile Commessa</b> Ing. Rosangela Graglia																			
<b>REPORT INDAGINI GEOFISICHE</b>																			
<b>LOMAZZO (COMO)</b>																			
<b>CODICE PROGETTO</b> <table border="1"> <tr> <td>G</td><td>_</td><td>N</td><td>I</td><td>S</td><td>_</td><td>1</td><td>1</td><td>_</td><td>2</td><td>3</td> </tr> </table>		G	_	N	I	S	_	1	1	_	2	3	<b>DATA</b> <table border="1"> <tr> <td>19/04/2023</td> </tr> </table>	19/04/2023	<b>REVISIONE</b> <table border="1"> <tr> <td>0</td><td>1</td> </tr> </table>	0	1	<b>PAGINE</b> <table border="1"> <tr> <td>25</td> </tr> </table>	25
G	_	N	I	S	_	1	1	_	2	3									
19/04/2023																			
0	1																		
25																			
<b>Gruppo di Lavoro</b>																			
<b>Ph.D. Geol. Salvatore Costabile</b>		Direttore Tecnico - Geologo Senior																	
<b>Dott. Geol. Fabio Lombardi</b>		Geologo Senior – Sez. A																	
<b>Dott. Geol. Fabio Liguori</b>		Geologo Junior																	
<b>Dott.ssa Ada Di Simone</b>		Geofisico																	
rev.	descrizione	data	redatto	verificato															
1	Emissione	19/04/2023	Geol. Fabio Lombardi	Ph.D. Geol. Salvatore Costabile															
2				Dr. Geol. Salvatore COSTABILE Albo N° 2727															
3																			

## Sommario

PREMESSA .....	3
1. INDAGINI GEOFISICHE EFFETTUATE .....	4
1.1. INDAGINE SISMICA MASW.....	5
1.1.1. Strumentazione utilizzata e tecniche operative.....	8
1.1.2. Elaborazione dei dati.....	9
1.1.3. Risultati prove MASW .....	10
1.2. INDAGINE HVSR.....	15
1.2.1. Strumentazione utilizzata ed elaborazioni dati.....	19
1.2.2 Risultati HVSR.....	20
BIBLIOGRAFIA.....	25

## PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati delle indagini geofisiche eseguite per conto di NORD\_ING Gruppo FNM, nell'ambito del contratto n. 4500165817, stipulato in data 05/09/2022 ed avente ad oggetto "Prove geotecniche, sondaggi geognostici, prove/analisi di laboratorio, diagnostica strutturale". La campagna d'indagini, codice commessa E.10.B, ha previsto la realizzazione di "Indagini geognostiche e geofisiche per progetto passerella pedonale via alla Fonte", presso il Comune di Lomazzo (CO).

L'obiettivo del seguente studio è stato quello di definire il modello geologico e geologico – tecnico dell'area. Inoltre ha permesso di descrivere, dal punto di vista sismo stratigrafico, il sottosuolo dell'area di indagine e di definire, in accordo con quanto prescritto dalle NTC 2018, le litologie riscontrate in termini di categorie di sottosuolo. Ciò ha permesso infine di ricavare la Risposta Sismica Locale, fondamentale per la verifica di vulnerabilità sismica degli edifici/strutture.

## 1. INDAGINI GEOFISICHE EFFETTUATE

A seguito dell'incarico ricevuto è stata eseguita una campagna di indagine geofisica per determinare il valore del  $v_{seq}$  ed individuare la frequenza caratteristica di risonanza di sito, ai sensi del D.M. 17/01/2018.

A tale scopo sono state effettuate le seguenti indagini, visibili in figura 1a:

- n° 1 profilo sismico tipo M.A.S.W. (Multichannel analysis of surface waves);
- n° 1 misura HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio);



*Figura 1.1 – Ubicazione indagini geofisiche.*

A differenza dei sondaggi geognostici, le indagini geofisiche rappresentano studi di tipo “indiretto”, poiché misurano la variazione di determinate proprietà fisiche dei terreni da cui poter elaborare dei modelli geologici del sottosuolo. Più nel dettaglio, l’approccio utilizzato nelle indagini geofisiche effettuate nel corso di questo lavoro è di tipo artificiale ma anche naturale.

## 1.1. INDAGINE SISMICA MASW

Il rilievo sismico MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine geofisica attiva non invasiva, utilizzato per la determinazione dei profili verticali della velocità delle onde di taglio ( $v_s$ ) tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh effettuata con algoritmi genetici; questa tecnica consiste nella energizzazione del terreno e nella successiva acquisizione delle onde di superficie generate con un array lineare dei geofoni (Figura 1.2).

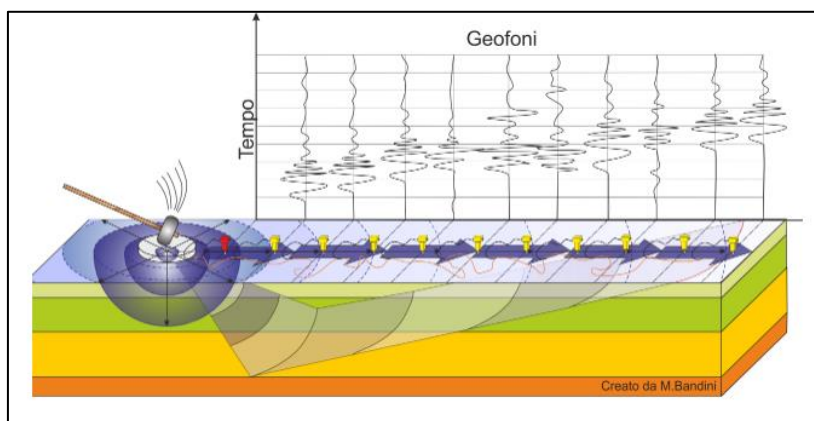


Figura 1.2 – Grafico esecuzione indagine MASW. (GeoStru, s.d.)

Il segnale sismico generato alla sorgente può essere scomposto in più fasi (onde di volume P ed S, onde di superficie Rayleigh e Love), ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche stesse. In particolare, le onde di superficie si generano in presenza di una superficie libera - come la superficie della Terra - e si propagano parallelamente ad essa. Le onde di Rayleigh inducono un moto lungo un'ellissi polarizzata nel piano verticale contenente la direzione di propagazione dell'onda, mentre le onde di Love implicano un movimento trasversale rispetto alla direzione di propagazione. Nelle onde di Rayleigh, l'ampiezza del moto indotto decade in modo esponenziale con la profondità, diventando trascurabile, in un mezzo omogeneo, all'incirca entro una lunghezza d'onda ( $\lambda$ ) dalla superficie. In mezzi verticalmente eterogenei, il decadimento dell'ampiezza del moto con la profondità non può essere previsto a priori senza conoscere la struttura del sottosuolo. Essa infatti dipende dalle caratteristiche fisico-meccaniche del sottosuolo ed è caratterizzata dalla *dispersione geometrica*: le onde elastiche di diverse lunghezze d'onda  $\lambda$  si propagano a diverse profondità, quindi per ogni lunghezza d'onda la velocità di fase dipende dalle proprietà elastiche e dalla densità del sottosuolo alle varie profondità interessate dalla propagazione. Si ricorda infatti che  $\lambda = v/f$ , dove  $\lambda$  rappresenta la lunghezza d'onda,  $v$  rappresenta la velocità dell'onda sismica e  $f$  è la frequenza d'onda, questo quindi

comporta come conseguenza che essendo le onde di superficie, onde a più alta frequenza (5 – 70 Hz), esse si propagano con una piccola lunghezza d'onda, per tanto non riescono a penetrare gli strati più profondi, per tanto danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo (30-50 m).

Tramite le MASW, e quindi attraverso l'analisi delle onde di superficie, è possibile determinare gli spessori degli strati nel sottosuolo e le relative velocità, riuscendo quindi a generare un profilo di velocità  $v_s$  delle onde S (onde di volume di tipo trasversali che si diffondono provocando nel materiale attraversato oscillazioni perpendicolari alla loro direzione di propagazione, anche note come onde di taglio), allo scopo quindi di andare a classificare la categoria del sottosuolo, secondo i riferimenti normativi, attraverso un calcolo della velocità media relativa ai primi trenta metri di sottosuolo che fornirà un valore specifico di velocità equivalente  $v_{seq}$  (espressa in  $m/s$ ), definita dalla seguente relazione:

$$v_{seq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_{s_i}}}$$

Dove:

- $H$  rappresenta la profondità del substrato, espressa in metri ( $m$ ), alla quale si riscontra una velocità delle onde S superiore a  $800 m/s$ , che fa riferimento a una roccia o terreno molto rigido;
- $h_i$  è lo spessore dell' $i$ -esimo strato espresso in metri ( $m$ );
- $N$  rappresentano il numero di strati;
- $V_{s_i}$  è la velocità delle onde S relative all' $i$ -esimo strato considerato.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore ai trenta metri ( $30 m$ ), la velocità equivalente delle onde di taglio  $v_{seq}$  è definita dal parametro  $v_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H = 30 m$  nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

In accordo con il piano d'indagini, è stata quindi eseguita n. 1 acquisizione di sismica attiva di tipo MASW, le cui coordinate sono indicate in Tabella 1.1, per la caratterizzazione sismica del sottosuolo.

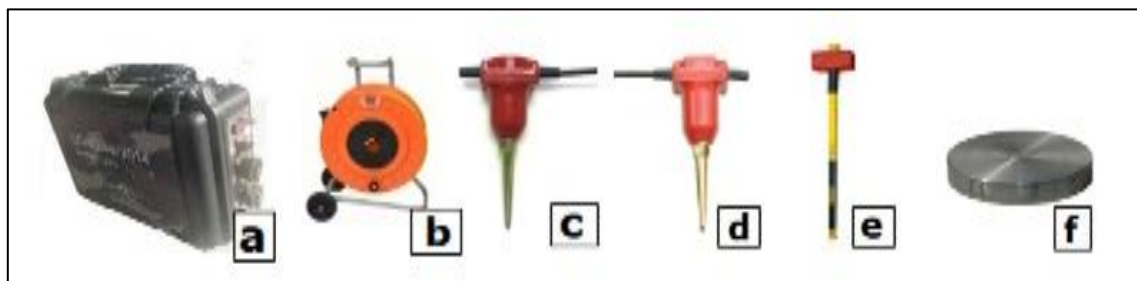
ID Indagine	Geofoni (nr.)	Distanza Intergeofonica	Frequenza geofoni	Lunghezza Stendimento	G1/G24 Lat.	G1/G24 Lon.
<b>MASW1</b>	12	1.5 m	4.5 Hz	18 m	45.708874° / 45.708689°	9.038416° / 9.038239°

*Tabella 1.1 – Dettagli MASW.*

### 1.1.1. Strumentazione utilizzata e tecniche operative

L'indagine è stata eseguita utilizzando la seguente strumentazione (Figura 1.3):

- a) Sismografo digitale AMBROGEO ECHO 48/2014 a 24 canali;
- b) Cavo sismico AMBROGEO con 24 multi coppie per collegamento dei geofoni al sismografo;
- c) 24 geofoni a componente verticale con frequenza di 4.5 Hz;
- d) Geofono verticale trigger completo di cavo e connettore da 4.5 Hz;
- e) Mazza battente non strumentata di 8 Kg per energizzare onde di tipo compressivo;
- f) Piastra di battuta in alluminio con diametro pari a 210 mm e spessore pari a 28 mm.



*Figura 1.3 – Attrezzatura utilizzata per effettuare le indagini sismiche di tipo MASW.*

Il profilo sismico eseguito ha una lunghezza di 18 metri costituito da 12 geofoni distanziati di 1,5 m. In riferimento agli stendimenti delle indagini sismiche eseguite sono state effettuate 2 energizzazioni ad entrambi gli estremi degli stendimenti ottenendo più registrazioni di onde superficiali, al fine di fornire un modello sismo-stratigrafico del sottosuolo più affidabile, infatti la somma di più energizzazioni per una medesima posizione della sorgente (stack) incrementa il rapporto segnale/rumore e quindi migliora la stima della velocità di fase. L'off-set di tali energizzazioni è stato di 7 e 10 m rispettivamente dalla stesa dei geofoni.

### 1.1.2. Elaborazione dei dati

Il software *winMASW* consente di analizzare dati sismici (*common-shot gathers* acquisiti in campagna) in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della  $v_s$  (velocità delle onde di taglio). Tale risultato è ottenuto tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

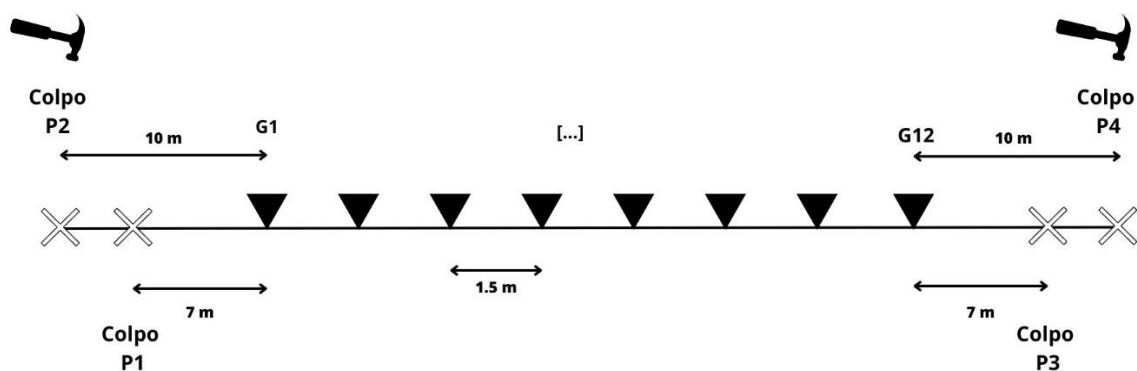
La procedura prevede tre fasi di elaborazione:

- La prima fase consiste nell'identificazione della curva di dispersione (*relazione che lega la frequenza alla velocità di fase*) e nel calcolo della velocità di fase corrispondente sperimentalmente, relativa alle onde di superficie;
- La seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase numerica, attraverso l'assegnazione per tentativi di diversi valori della velocità  $v_s$ , degli spessori  $h$  e del coefficiente di Poisson  $\nu$ , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale, tramite il processo di picking dei massimi di ampiezza del modo fondamentale e degli eventuali modi superiori.
- La terza ed ultima fase consiste nell'individuazione finale del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $v_s$ , attraverso un processo di inversione, andando quindi ad ottimizzare i parametri che descrivono il modello (lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $v_s$ , il coefficiente di Poisson  $\nu$ , la densità  $\rho$  degli strati), che permette quindi di definire i parametri d'interesse  $v_{seq}$  e  $v_{s30}$ .

Uno degli aspetti critici nell'uso dei dati ricavati da prove sismiche per onde superficiali attive è dato dalla non-unicità della soluzione. Diverse combinazioni dei parametri del modello ( $v_s$  – spessore strato) possono essere associate a curve di dispersione molto simili e praticamente equivalenti rispetto ai dati sperimentali disponibili. Da ciò la buona norma di vincolare uno dei parametri che interviene con indagini o conoscenze diverse. Lo scopo dell'intera procedura è identificare il modello la cui curva di dispersione meno si scosta dai dati osservati.

### 1.1.3. Risultati prove MASW

La prova **MASW** è stata ubicata in un terreno posto in prossimità del passaggio a livello che collega via alla Fonte con via A. Diaz, dal lato di quest'ultima. Per eseguire l'indagine è stato utilizzato uno stendimento di lunghezza pari a 18 metri, costituito da 12 geofoni distanziati di 1,5 m. I colpi P1 e P3 sono stati eseguiti ad una distanza di 7 metri rispetto all'inizio dello stendimento, mentre i colpi P2 e P4 ad una distanza di 10 metri (Figura 1.4 e Figura 1.5).



*Figura 1.4 – Schema colpi effettuati in funzione dello stendimento dei geofoni.*



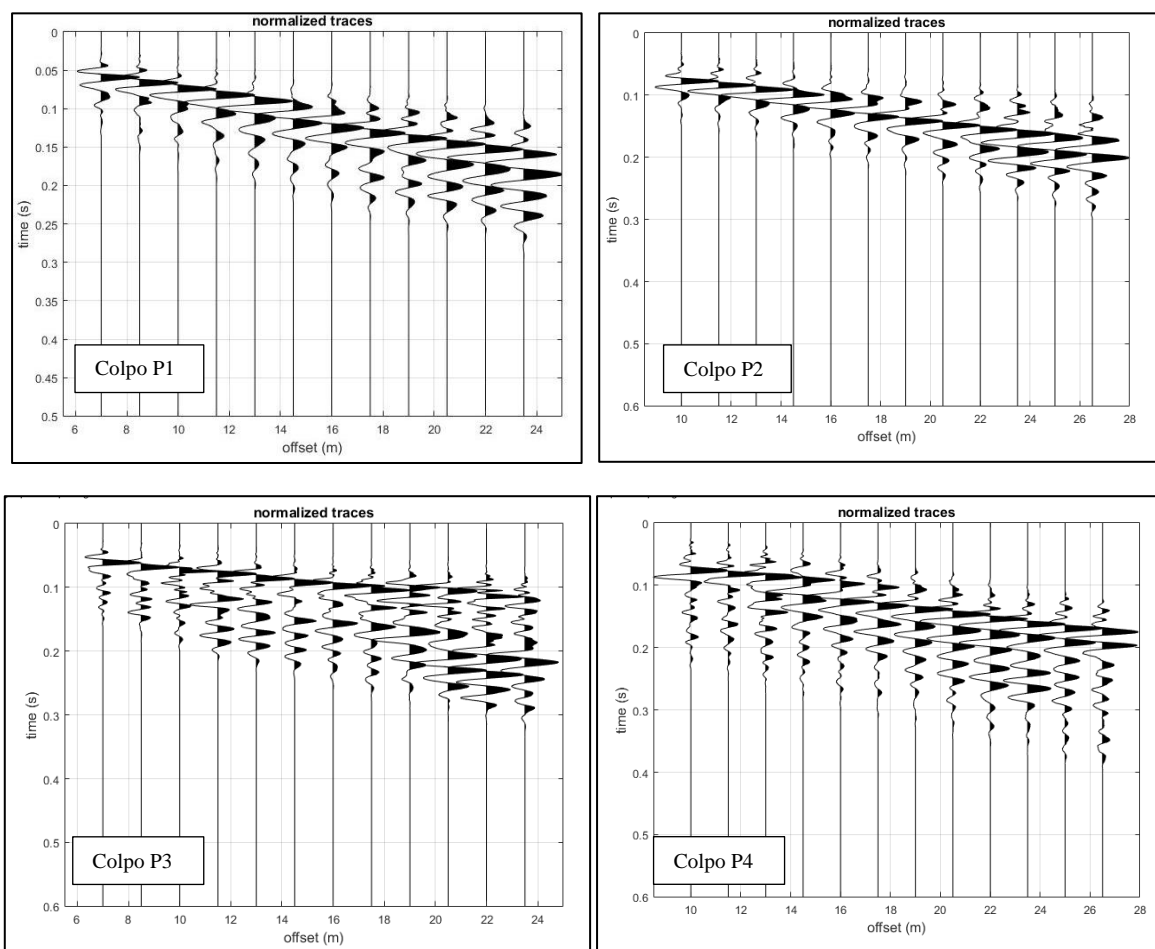
*Figura 1.5 – Foto di campo.*

Per l'elaborazione dei dati sono stati utilizzati i parametri contenuti nella **Tabella 1.2**.

Frequenza minima di elaborazione (Hz)	5
Frequenza massima di elaborazione (Hz)	70
Velocità minima di elaborazione (m/s)	190
Velocità massima di elaborazione (m/s)	1500

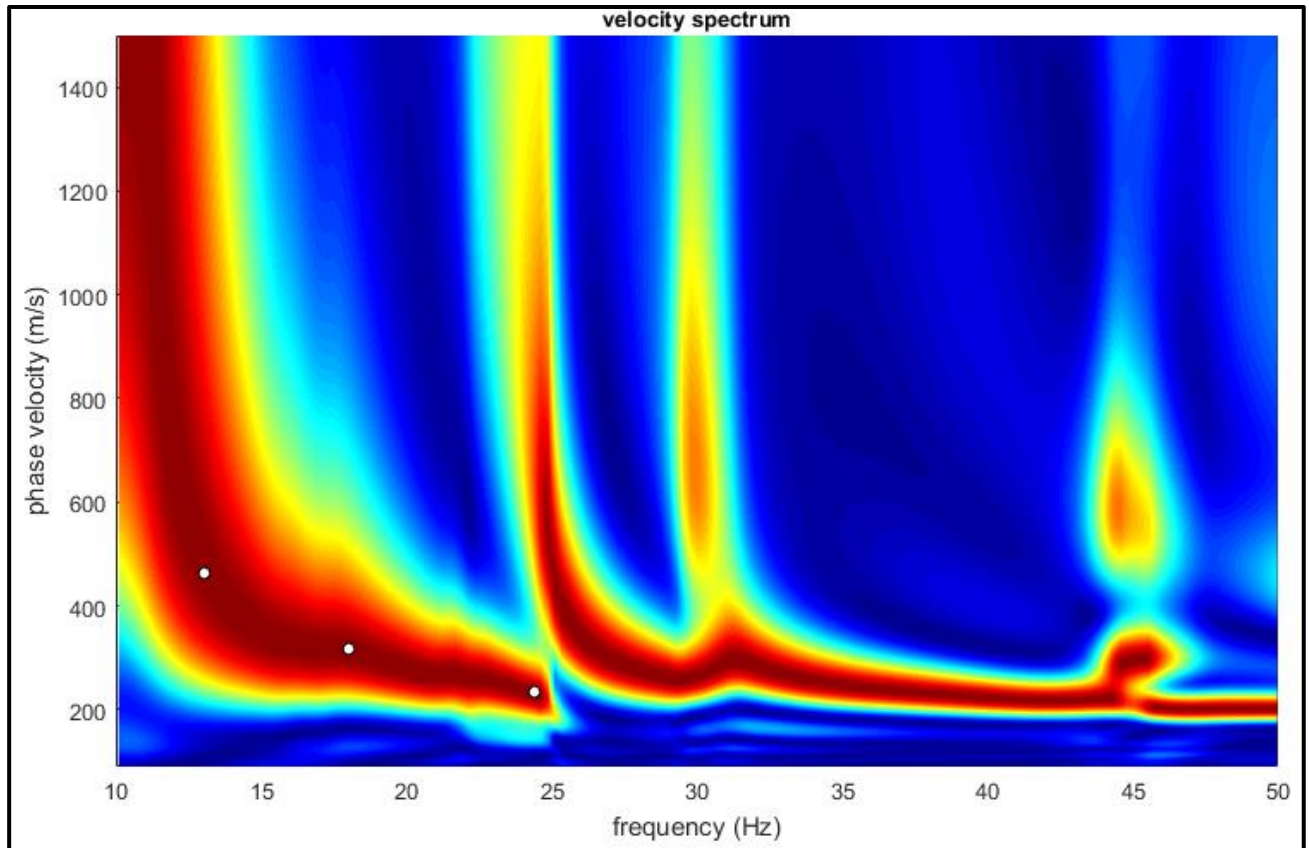
*Tabella 1.2. – Input di acquisizione*

Nella Figura 1.6 sono raffigurati i diversi sismogrammi, ottenuti per i diversi colpi effettuati durante l'acquisizione dati, opportunamente filtrati così da considerare esclusivamente le onde di superficie per l'elaborazione.

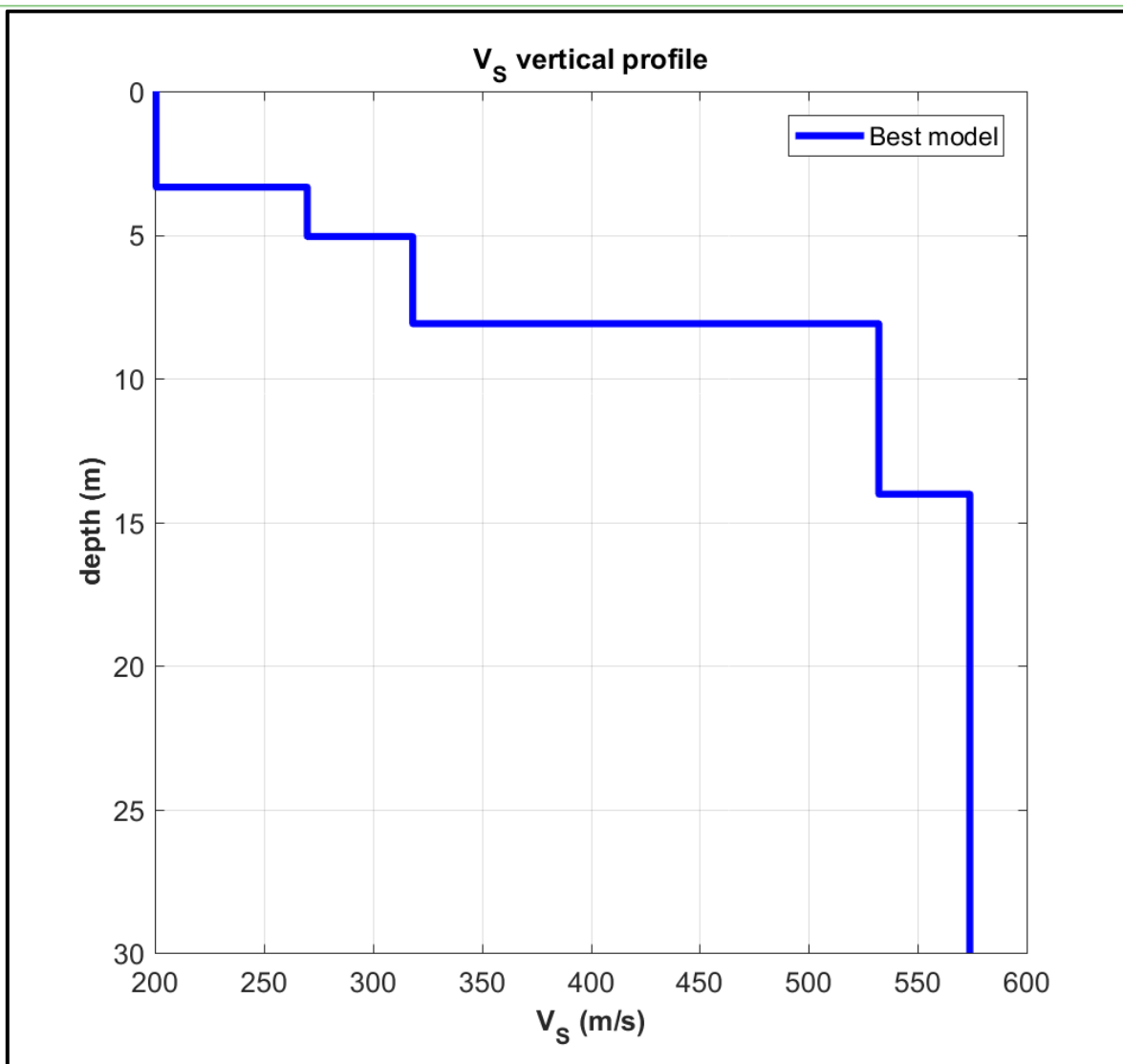


*Figura 1.6 – Sismogrammi ottenuti per i diversi shots effettuati.*

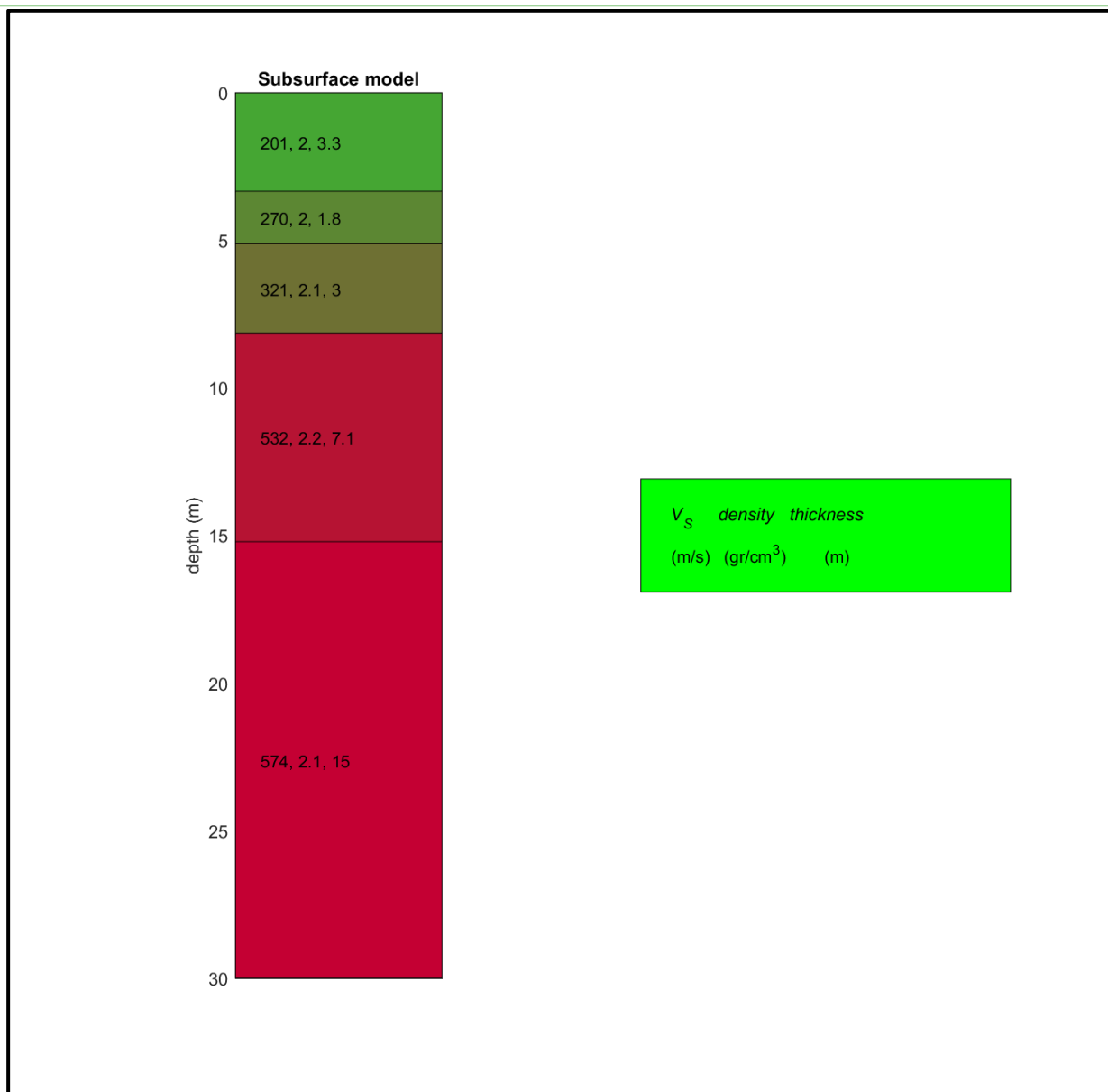
Per il prosieguo dell'elaborazione, qui è stato scelto di mostrare soltanto il colpo P4, avente un offset pari a 10 metri, dalla cui analisi si è ottenuta la curva di dispersione, Figura 1.7, sulla quale è possibile osservare il picking manuale effettuato per l'inversione, così da ottenere il modello delle velocità (Figura 1.8) e il modello sismo-stratigrafico del sottosuolo (Figura 1.9).



*Figura 1.7 – Curva di dispersione con relativo picking.*



*Figura 1.8 – Profilo verticale delle velocità delle onde S.*



*Figura 1.9 – Modello stratigrafico del sottosuolo.*

Dal momento che il substrato ha una profondità superiore ai 30 metri, si riporta soltanto il valore  $V_{seq}$ , pari a:

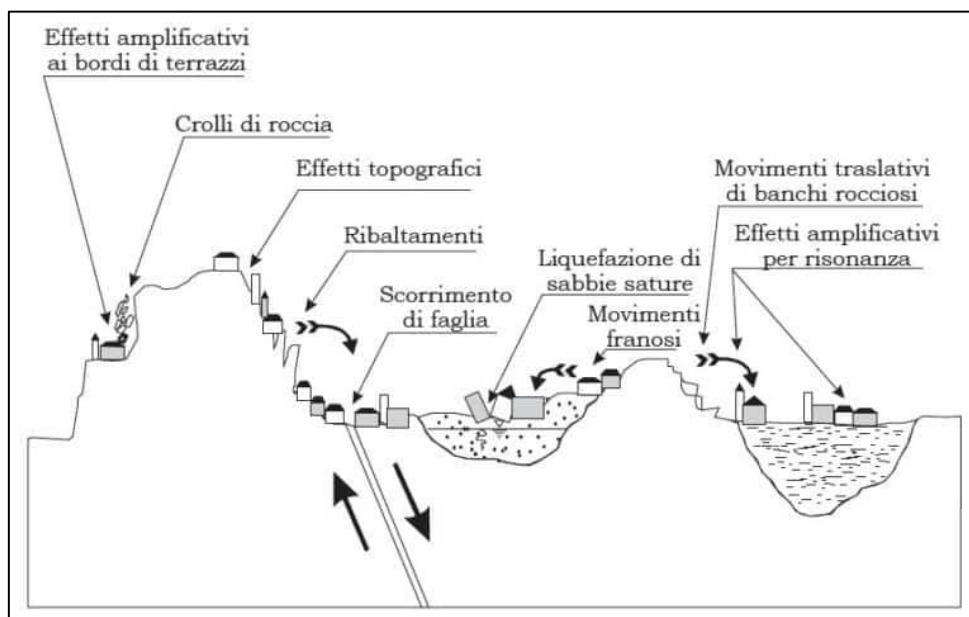
$$V_{seq} = 420 \text{ m/s}$$

Categoria di suolo: **B** - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

## 1.2. INDAGINE HVSR

L'indagine sismica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), detta anche tecnica H/V (rapporto tra le componenti spettrali verticali e orizzontali), è una tecnica di indagine sismica passiva a stazione singola, non invasiva, di rapida esecuzione, che si può applicare ovunque. Si ricorda infatti che per indagini di sismica passiva si intendono tutte quelle misure che non necessitano di sollecitazioni artificiali (come massa battente, esplosioni o vibrazioni indotte meccanicamente). Nel dettaglio, questa tecnica si basa sul metodo di *Nakamura*, che consiste nella misura del rumore sismico ambientale, il quale risulta prodotto sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) sia dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si parla infatti di micro-tremore, in quanto riguarda oscillazioni molto piccole ( $10 - 15 \text{ m/s}^2$  in termini di accelerazione, lunghezze d'onda molto grandi), inferiori di diversi ordini di grandezza rispetto a quelle indotte dai terremoti di campo vicino.

Il metodo, determina la “funzione di trasferimento del mezzo”, ovvero come il moto sismico viene alterato durante il passaggio di esso nel substrato partendo da un terreno alluvionale fino al raggiungimento del substrato rigido. Infatti, a causa di condizioni litostratigrafiche particolari possono verificarsi condizioni di amplificazione del moto sismico, definiti come “effetti di sito” (Figura 1.10).



*Figura 1.10 – Effetti di sito.*

Gli utilizzi principali di questa tecnica riguardano principalmente la definizione della frequenza di risonanza di un sito, delle strutture e/o edifici, per valutazioni stratigrafiche o alternativamente, di velocità delle onde di taglio ( $v_s$ ) e per misure vibro-metriche su edifici. Ecco perché i risultati di una indagine HVSR locale sono un potente strumento per il supporto nella progettazione. Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato.

Il metodo HVSR considera i micro tremori come composti principalmente da onde di Rayleigh e presuppone che l'amplificazione relativa agli effetti di sito sia causata dalla presenza di uno strato sedimentario giacente su di un semispazio elastico. In queste condizioni le componenti del moto sismico da analizzare sono quattro (Wang & Xu, 2021):

- quelle orizzontali di superficie ( $H_s$ ) e quelle orizzontali al bed rock ( $H_b$ );
- quelle verticali di superficie ( $V_s$ ) e quelle verticali al bed rock ( $V_b$ ).

Secondo Nakamura, è inoltre possibile fare una stima della forma spettrale della sorgente dei micro tremori  $A_s(\omega)$  (in funzione della frequenza) con la seguente relazione:

$$A_s(\omega) = \frac{V_s(\omega)}{V_b(\omega)}$$

in cui  $V_s(\omega)$  e  $V_b(\omega)$  sono le ordinate spettrali delle componenti verticali del moto, rispettivamente in superficie e al tetto del bed rock.

Nakamura definisce poi come effetto di sito il rapporto spettrale  $S_e(\omega)$ :

$$S_e(\omega) = \frac{H_s(\omega)}{H_b(\omega)}$$

dove  $H_s(\omega)$  e  $H_b(\omega)$  sono le ordinate spettrali delle componenti orizzontali del moto, rispettivamente in superficie e al tetto del bed rock. Infine assume che per tutte le frequenze di interesse  $H_b(\omega)/V_b(\omega) = 1$ , basandosi su registrazioni, sperimentalmente verificate da lui, di micro tremori in pozzo; quindi l'effetto di sito modificato  $S_m(\omega)$  è descritto da:

$$S_m(\omega) = \frac{S_e(\omega)}{A_s(\omega)} = \frac{H_s(\omega)}{V_s(\omega)}$$

Per tanto il rapporto tra le componenti orizzontali (H) del moto del suolo e quelle verticali (V), da cui H/V (o HVSR), mette in luce *la frequenza di risonanza di un terreno*. Nel dettaglio la frequenza di risonanza è ricercata al primo picco individuato dal rapporto tra la componente orizzontale (H) e quella verticale (V) dei segnali registrati. (ESA, s.d.)

La risonanza è dovuta all'intrappolamento delle onde tra due superfici in cui si verifica una variazione di impedenza acustica. La frequenza fondamentale di risonanza  $f$  del terreno dipende dallo spessore  $h$  del terreno stesso e dalla velocità media  $v$  delle onde che lo attraversano. Dunque, conoscendo lo spessore  $h$  del sedimento è possibile avere informazioni sulla velocità media delle onde S e viceversa conoscendo quest'ultima è possibile definire lo spessore dello strato di copertura. In casi semplici (coperture soffici al di sopra di un basamento sismico rigido) è possibile dimostrare che esiste una relazione diretta tra la frequenza di risonanza e lo spessore dello strato sofficie; questa relazione è regolata dall'equazione seguente:

$$f = \frac{v_s}{4h}$$

dove  $v_s$  è la velocità delle onde di taglio e  $h$  è lo spessore dello strato. Emerge quindi che la tecnica H/V può fornire indicazioni di carattere stratigrafico: nota la  $v_s$  delle coperture si può stimare la profondità dei riflettori sismici principali e viceversa. A tal proposito sono stati prodotti degli abachi preliminari (Tabella 1.6) per stimare la profondità del contrasto di impedenza responsabile degli effetti osservati.

$F_0$ (Hz)	$h$ (m)
<1	>100
1-2	50-100
2-3	30-50
3-5	20-30
5-8	10-20
8-20	5-10
>20	<5

**Tabella 1.6** – Abaco per la stima dello spessore delle coperture ( $h$ ) a partire dai valori delle frequenze di risonanza ( $f_0$ ) determinate dalla misura H/V.

Utilizzando questo strumento, le frequenze di risonanza possono tentativamente essere convertite in spessori permettendo una identificazione preliminare delle interfacce risonanti con il solo scopo (sotto stretto controllo geologico) di fornire indicazioni preliminari sulla struttura del sottosuolo e orientare le indagini successive. In accordo con il piano d'indagini, sono state quindi eseguite un numero n.2 acquisizioni di sismica passiva di tipo HVSR, le cui coordinate sono indicate in Tabella 7.7, che segue.

ID Indagine	Durata (min)	Frequenza acquisizione (Hz)	Frequenza geofoni (Hz)	Quota s.l.m. (m)	Latitudine	Longitudine
<b>HVSR1</b>	20	512	4.5	243	45.708824°	9.038415°

**Tabella 1.7** – Dettagli indagini HVSR effettuate.

### 1.2.1. Strumentazione utilizzata ed elaborazioni dati

Per l'acquisizione dei dati HVSR è stato utilizzato un tromografo digitale TROMINO (**Figura 1.11**).



*Figura 1.11 – Tromino utilizzato per effettuare le indagini di sismica passiva di tipo HVSR.*

Lo strumento è dotato di tre sensori velocimetrici elettrodinamici ortogonali ad alta risoluzione, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore.

L'ancoraggio al suolo avviene tramite infissione di appositi piedini; l'orizzontalità è controllata per mezzo di una bolla sferica.

Il TROMINO viene posizionato con il suo asse maggiore allineato nella direzione N-S e messo in opera nel punto considerato più opportuno nel sito oggetto di indagine. Ottenuto il miglior accoppiamento dei sensori con il terreno viene messo in acquisizione per un lasso di tempo compreso tra 20-30 min. con una frequenza di campionamento di 512 Hz. Su memoria interna vengono salvati in un unico file i dati rilevati in automatico; si tratta delle velocità misurate secondo le direzioni ortogonali est-ovest, nord-sud (dello strumento) e sulla verticale.

I dati registrati sono stati successivamente elaborati mediante il software *Grilla*.

## 1.2.2 Risultati HVSR

Le indagini **HVSR** è stata svolta in un terreno posto in prossimità del passaggio a livello che collega via alla Fonte con via A. Diaz, dal lato di quest'ultima, nel comune di Lomazzo (CO). Come indicato in **Figura 1.12**. Il TROMINO è stato posizionato al fine di determinare le frequenze di risonanza caratteristiche del sito, e lasciato acquisire in modo manuale per un tempo di 20 minuti. I grafici ottenuti sono rappresentati nelle Figure 1.13, 1.14, 1.15, 1.16, mentre nella tabella 1.8 sono riportati i valori del modello del profilo verticale delle velocità ottenute, con rispettiva Figura 1.17.



**Figura 1.12 – Ubicazione indagine HVSR (a) e posizione in sito (b).**

## ALLA FONTE, VIA ALLA FONTE 1

Strumento: TEB-0504/01-19

Formato dati: 32 bit

Fondo scala [mV]: 89

Inizio registrazione: 09/03/2023 14:28:25

Fine registrazione: 09/03/2023 14:48:25

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)

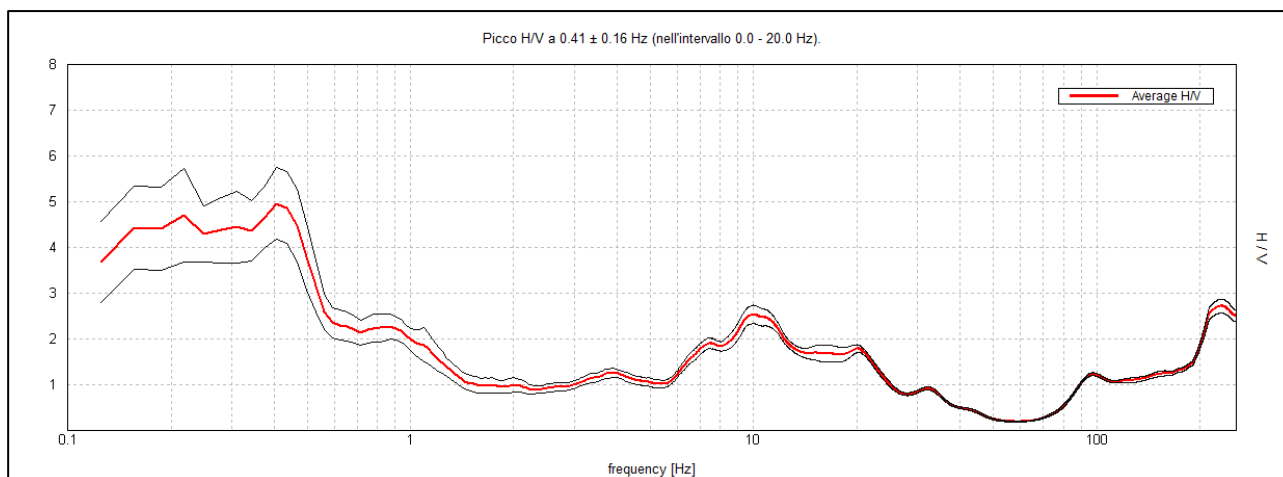
Freq. campionamento: 512 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di liscio: Triangular window

Liscio: 10%

## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



**Figura 1.13** – Rapporto spettrale orizzontale su verticale H/V.

### SERIE TEMPORALE H/V

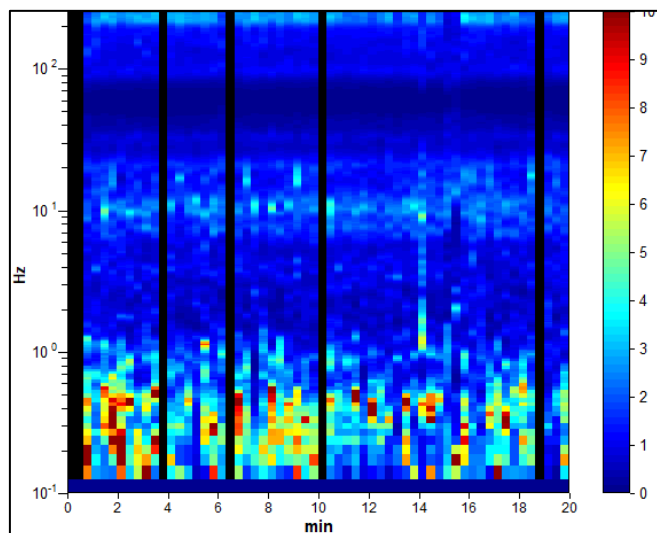


Figura 1.14 – Serie Temporale H/V.

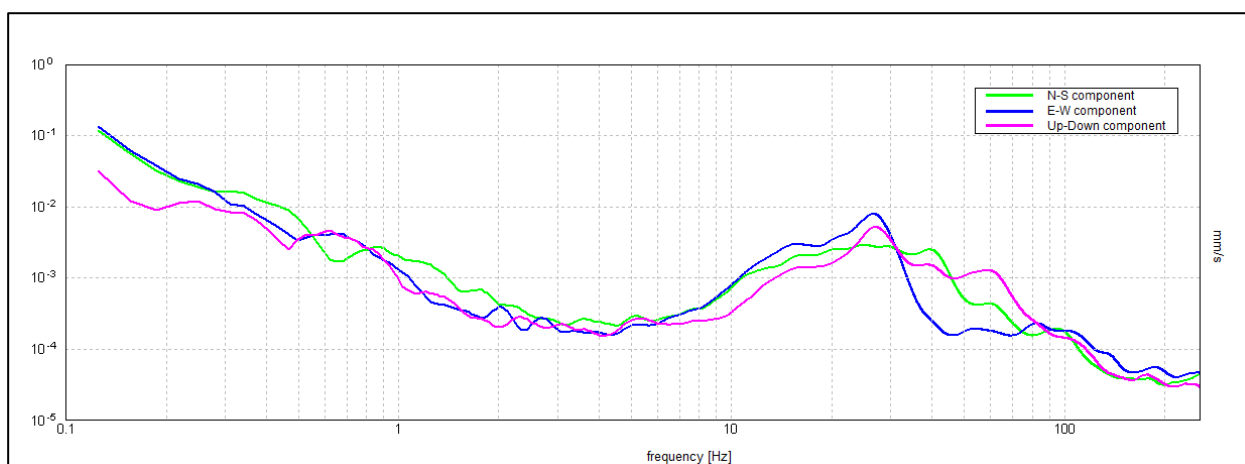


Figura 1.14 – Spettri delle singole componenti.

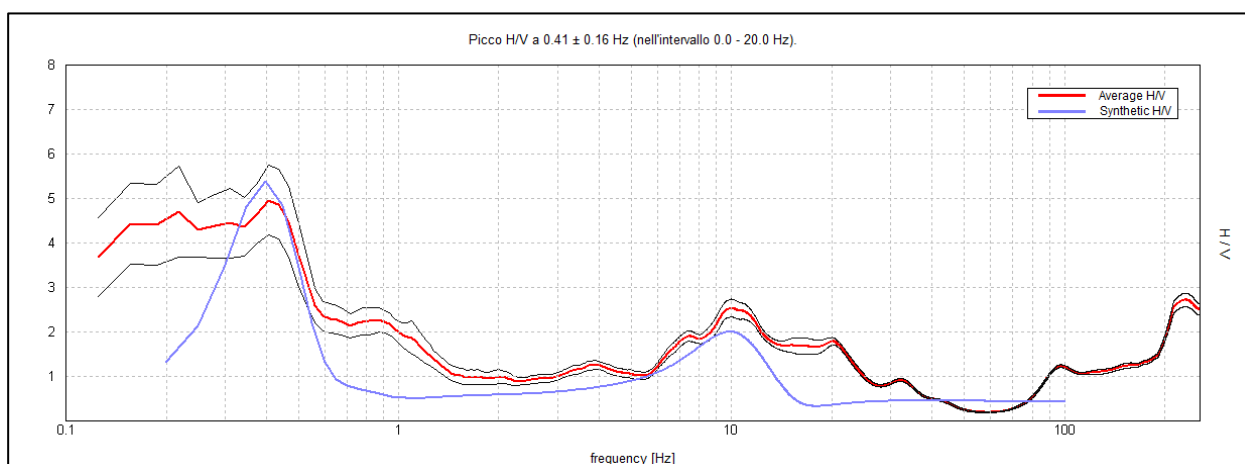
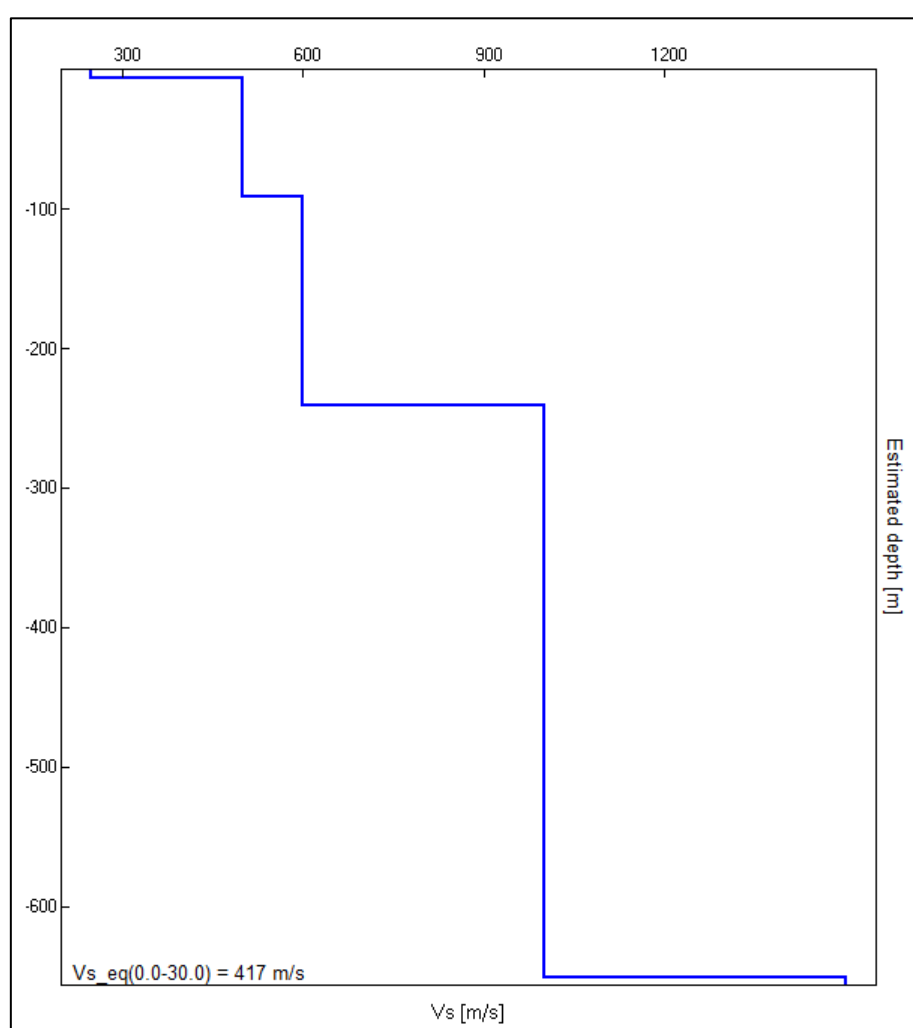


Figura 1.15 – H/V sperimentale vs H/V sintetico.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
6.00	6.00	250	0.40
91.00	85.00	500	0.40
241.00	150.00	600	0.40
651.00	410.00	1000	0.45

*Tabella 1.8 – Modello sismo stratigrafico.*



*Figura 1.17 – Profilo verticale delle velocità secondo il modello descritto in Tabella 1.9.*

**Picco H/V a  $0.41 \pm 0.16$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.41 > 0.50$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$438.8 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 21	<b>OK</b>	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.594 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$4.96 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.3975  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \sigma(f_0)$	$0.16149 < 0.08125$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \sigma(f_0)$	$0.7839 < 2.5$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \sigma(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \sigma(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$


Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Dall'indagine di sismica passiva è stato possibile identificare la frequenza di risonanza del sito, corrispondente al picco di frequenza del rapporto spettrale H/V pari a  **$0.41 \pm 0.16$  Hz**, il quale è da associarsi ad una profondità di circa 650 m, dove infatti riscontriamo una variazione di velocità nel modello, in presenza del bed rock.

---

## BIBLIOGRAFIA

- Google Earth Pro per desktop;
- INGV – Carta della pericolosità Sismica;
- Carta geologica d'Italia in scala 1:50'000 n° 096 Seregno;
- Consultazione del Regolamento Urbanistico del comune di Lomazzo (CO);
- NTC 2018 Norme Tecniche per le costruzioni;
- Consultazione del portale geologico nazionale ISPRA al fine di individuare indagini pregresse eseguite in zone limitrofe;
- P.A.I - Piano stralcio di assetto idrogeologico;
- Progetto IFFI – Inventario dei fenomeni franosi in Italia.

		<b>NORD_ING FNM Group</b>																	
<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE PER PROGETTO PASSERELLA PEDONALE VIA ALLA FONTE</b>																			
<b>Responsabile Commessa</b> Ing. Rosangela Graglia																			
<b>REPORT INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>																			
<b>LOMAZZO (CO)</b>																			
<b>CODICE PROGETTO</b> <table border="1"> <tr> <td>G</td><td>_</td><td>N</td><td>I</td><td>S</td><td>_</td><td>1</td><td>1</td><td>_</td><td>2</td><td>3</td> </tr> </table>		G	_	N	I	S	_	1	1	_	2	3	<b>DATA</b> <table border="1"> <tr> <td>19/04/2023</td> </tr> </table>	19/04/2023	<b>REVISIONE</b> <table border="1"> <tr> <td>0</td><td>1</td> </tr> </table>	0	1	<b>PAGINE</b> <table border="1"> <tr> <td>60</td> </tr> </table>	60
G	_	N	I	S	_	1	1	_	2	3									
19/04/2023																			
0	1																		
60																			
<b>Gruppo di Lavoro</b>																			
<b>Ph.D. Geol. Salvatore Costabile</b>		Direttore Tecnico - Geologo Senior																	
<b>Dott. Geol. Fabio Lombardi</b>		Geologo Senior – Sez. A																	
<b>Dott. Geol. Fabio Liguori</b>		Geologo Junior																	
<b>Dott.ssa Ada Di Simone</b>		Geofisico																	
rev.	descrizione	data	redatto	verificato															
1	Emissione	19/04/2023	Geol. Fabio Lombardi	Ph.D. Geol. Salvatore Costabile															
2																			
3																			



## Sommario

<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>RIFERIMENTI NORMATIVI.....</b>	<b>4</b>
<b>1. INDAGINI GEOGNOSTICHE EFFETTUATE.....</b>	<b>5</b>
<i>1.1. Sondaggi stratigrafici .....</i>	<i>6</i>
<i>1.2. Prelievo campioni indisturbati.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3. Prove penetrometriche dinamiche in foro tipo S.P.T. ....</i>	<i>9</i>
<i>1.4. Prove penetrometriche dinamiche continue (DPSH).....</i>	<i>10</i>
<i>1.5. Condizionamento dei fori di sondaggio con piezometro a tubo aperto.....</i>	<i>12</i>
<b>2. ALLEGATI TECNICI E RISULTATI SPERIMENTALI.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. CERTIFICATI SONDAGGI GEOGNOSTICI E PROVE PENETROMETRICHE STANDARD (S.P.T.) .....</b>	<b>13</b>
SONDAGGIO S05P.....	13
<b>2.2. ELABORATO PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3. ELABORATO PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE (DPSH) .....</b>	<b>23</b>
PROVA DPSH 1 .....	24
PROVA DPSH 2 .....	31
PROVA DPSH 3 .....	38
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>45</b>
<b>Bibliografia autori .....</b>	<b>45</b>

## PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati delle indagini geognostiche eseguite per conto di NORD\_ING Gruppo FNM, nell'ambito del contratto n. 4500165817, stipulato in data 05/08/2022 ed avente ad oggetto "Prove geotecniche, sondaggi geognostici, prove/analisi di laboratorio, diagnostica strutturale". La campagna d'indagini, rientrante nell'attivazione 4, commessa E.10.O, del contratto di cui sopra ha previsto la realizzazione di "Indagini geognostiche e geofisiche per progetto passerella pedonale via alla Fonte", presso il Comune di Lomazzo (CO).

L'obiettivo del seguente studio, in unione con le indagini geofisiche riportato nell'apposito report allegato, è stato quello di definire il modello geologico e geologico – tecnico dell'area. Inoltre ha permesso di descrivere, dal punto di vista sismo-stratigrafico, il sottosuolo dell'area di indagine e di definire, in accordo con quanto prescritto dalle NTC 2018, le litologie riscontrate in termini di categorie di sottosuolo. Ciò ha permesso infine di ricavare la Risposta Sismica Locale, fondamentale per la verifica di vulnerabilità sismica degli edifici/strutture.

In allegato a questo report ci sono i certificati di analisi di laboratorio effettuati sui campioni indisturbati.

## RIFERIMENTI NORMATIVI

Per la realizzazione della campagna geognostica e geofisica e delle lavorazioni relative sono stati seguiti i criteri e le modalità definite dalle seguenti normative tecniche di settore:

- Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- UNI ENV 1977-3 (2002). Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito.
- ASTM D4220-95 (2000). Standard Practices for Preserving and Transporting Soil Samples.
- UNI EN ISO 14688-1:2003. Indagini e prove geotecniche-Identificazione e classificazione dei terreni-Identificazione e descrizione.
- ASTM D2487-00. Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).
- ASTM D2488-00. Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual Manual Procedure).
- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.
- ASTM D653-02. Standard terminology relating to soil, rock, and contained fluids.
- CNR-UNI N.10006. Costruzione e manutenzione delle strade. Tecnica di impiego delle terre.
- ASTM D3282-93 (1997). Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.
- ASTM C119-01. Standard Terminology Relating to Dimension Stone.
- UNI EN 932-3 (1998). Procedura e terminologia per la descrizione petrografica semplificata.
- Raccomandazioni AGI per l'esecuzione delle indagini geotecniche (1977).

## 1. INDAGINI GEOGNOSTICHE EFFETTUATE

Il piano d'indagine in oggetto ha previsto l'esecuzione di:

- n° 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo spinto fino a profondità di 15 m dal p.c..
- n° 3 prelievi di campioni indisturbati per le prove di laboratorio.
- n° 10 prove penetrometriche standard STP.
- n° 3 prove penetrometriche dinamiche DPSH.

Le indagini si sono svolte nell'ambito del territorio comunale di Lomazzo (CO), in un terreno posto in prossimità del passaggio a livello che collega via alla Fonte con via A. Diaz, dal lato di quest'ultima. (Figura 1a).



Figura 1a - Ubicazione indagini geognostiche.

## 1.1. Sondaggi stratigrafici

Per la ricostruzione stratigrafica, è stato realizzato n° 1 sondaggio a carotaggio continuo, spinto fino ad una profondità massima di 15,00 m dal p.c., eseguito con una sonda a rotazione del tipo C.M.V. corredata di tutte le attrezzature per l'esecuzione di sondaggi geognostici e campionamenti in materiali incoerenti, coesivi e lapidei.

La perforazione ad andamento verticale è stata eseguita a carotaggio continuo, con carotieri di diametro di 127 mm. Le carote estratte sono state sistemate in apposite cassette catalogatrici in p.v.c. di dimensioni 0,5 m x 1 m. Al termine di ciascuna manovra si è provveduto alla pulizia di tutta l'attrezzatura mediante idropulitrice con recupero dei prodotti reflui.

Il sondaggio S05P, inoltre è stato condizionato a piezometro.

Lo spazio anulare (corona drenante) tra il pozzo e il foro è stato riempito con ghiaia silicea lavata e calibrata (1-3 mm) fino a 0.5 m al di sopra del tratto fessurato. Al fine di evitare l'infiltrazione delle acque superficiali, il restante spazio è stato riempito con miscela di cemento - bentonite fino a boccapozzo. Al termine dell'installazione, il piezometro è stato sviluppato con pompa sommersa, emungendo l'acqua utilizzata per la perforazione, avendo cura di interessare tutto il tratto finestrato per favorire l'assestamento del pre - filtro. Il piezometro è stato completato in superficie con pozzetto carrabile in polipropilene.

Tutte le fasi delle indagini in oggetto sono state seguite da un Geologo esperto che ha redatto le stratigrafie intercettate segnalando anche i punti di campionamento e per garantire la conformità alle norme AGI (1977) "raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche". Le colonne stratigrafiche corredate di tutte le informazioni derivate dalla descrizione dei terreni sono riportate negli allegati tecnici. Nei paragrafi seguenti vengono riportate le tipologie delle prove eseguite e nelle relative tabelle vengono sintetizzate le quantità e le profondità raggiunta.

Nella Tabella 1 sono riportate le coordinate del sondaggio con la corrispettiva quota sopra il livello del mare (s.l.m.) e la profondità verticale raggiunta rispetto al piano campagna (p.c.). Le coordinate geografiche sono state rilevate con GPS RTK modello GEOMAX Zenith 20, e riferite al sistema Geodetico UTM - WGS 84.

ID Sondaggio	Coordinate E	Coordinate N	Quota (m s.l.m.)	Profondità (m dal p.c.)
S05P	502992.95 m	5061700.87 m	298	15

*Tabella 1 – Ubicazioni dei sondaggi eseguiti nell'area in prossimità del passaggio a livello di Via alla Fonte, nel comune di Lomazzo (CO).*

Nella Tabella 2 vengono sintetizzati il numero di campioni prelevati, le quantità delle prove eseguite e i tipi di condizionamento.

ID Sondaggio	Campioni Indisturbati	S.P.T.	Prove in foro (Lefranc)	Campioni ambientali	Condizionamento
S05P	3	10	/	3	Piezometro

*Tabella 2 – Riepilogo dei campioni, delle prove e del tipo di condizionamento dei sondaggi.*

## 1.2. Prelievo campioni indisturbati

Durante l'esecuzione del sondaggio geognostico, sono stati prelevati dei campioni indisturbati, compatibilmente con la natura dei terreni attraversati, utilizzando un campionatore con fustella a pareti sottili, costituita da un tubo in acciaio inox con angolo di scarpa di circa 15°, (campionatore Shelby), per rendere trascurabile l'alterazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni campionati. Il prelievo dei campioni indisturbati è avvenuto in conformità con quanto previsto dalle norme "AGI (1977)" seguendo le fasi di seguito riportate:

- ✓ Rivestimento in corso d' opera del sondaggio con tubazione da 127 mm.
- ✓ Manovra di pulizia del foro con carotiere da 101 mm.
- ✓ Prelievo del campione indisturbato mediante campionatore Shelby.

Successivamente, la fustella, contenente il campione prelevato, è stata sigillata con paraffina fusa, al fine di conservare l'umidità naturale. I campioni prelevati durante le indagini sono riportati nella seguente tabella.

ID SONDAGGIO	ID CAMPIONE	PROFONDITÀ
S05P	S05P – C.I.1	3.50 – 4.00 m
S05P	S05P – C.I.2	7.00 – 7.50 m
S05P	S05P – C.I.3	13.00 – 13.60 m

*Tabella 3 – Riepilogativa dei campioni prelevati durante le indagini geognostiche.*

### 1.3. Prove penetrometriche dinamiche in foro tipo S.P.T.

In corso d'opera, sono state eseguite delle prove penetrometriche dinamiche in foro del tipo S.P.T., secondo le modalità contenute nelle Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche "AGI (1977)" seguendo le fasi di seguito riportate:

- ✓ Rivestimento in corso d'opera del sondaggio con tubazione da 127 mm.
- ✓ Manovra di pulizia del foro con carotiere da 101 mm, e verifica della profondità effettiva con scandaglio a fondo foro.
- ✓ Esecuzione della prova SPT con campionatore Raymond e registrazione dei colpi necessari per l'infissione di ciascuno dei 3 tratti di 15 cm del campionatore.

Le profondità ed il numero dei colpi registrati dalle prove S.P.T. sono riportati nella seguente tabella:

ID SONDAGGIO	N° S.P.T.	PROFONDITÀ (m)	COLPI	TIPO DI PUNTA
S05P	n°1	1.50 m	5-5-7	Punta Conica
S05P	n°2	3.00 m	8-3-4	Punta Conica
S05P	n°3	4.50 m	5-6-6	Punta Conica
S05P	n°4	6.00 m	4-3-7	Punta Conica
S05P	n°5	7.50 m	4-4-6	Punta Conica
S05P	n°6	9.00 m	Rif/3 cm	Punta Conica
S05P	n°7	10.50 m	Rif/4 cm	Punta Conica
S05P	n°8	12.00 m	Rif/5 cm	Punta Conica
S05P	n°9	13.50 m	Rif/3 cm	Punta Conica
S05P	n°10	15.00 m	Rif/4 cm	Punta Conica

Tabella 4 – Riepilogativa delle prove S.P.T.

#### 1.4. Prove penetrometriche dinamiche continue (DPSH)

Per definire le caratteristiche litologiche e geotecniche del terreno sono state eseguite n. 3 prove penetrometriche dinamiche continue, standardizzate nelle "Raccomandazioni ISSMFE per la standardizzazione delle prove penetrometriche in Europa" (1988), nonché dalle "Raccomandazioni AGI per l'esecuzione delle indagini geotecniche" (1977), sono state eseguite con un penetrometro dinamico superpesante PAGANI TG63-200 kN, cingolato



*Figura 2b – Penetrometro Pagani utilizzato per le prove penetrometriche dinamiche.*

Tale prova permette di ottenere la stratigrafia del terreno e la correlazione tra  $N_{spt}$  e i parametri geotecnici dei terreni attraversati dalla verticale d'indagine.

Le modalità di esecuzione hanno rispettato lo standard tipo Meardi - Agi (DPSH – Dynamic Probing Super Heavy) con massa del maglio a sganciamento automatico da 73 kg ed altezza di caduta di 0,75 m, infiggendo tramite aste da 34 mm una punta da 2" con angolo di conicità di 60°.

Nella seguente tabella sono indicati i dettagli delle prove penetrometriche eseguite:

ID INDAGINE	PROFONDITA' PROVA (m)	COORDINATA E	COORDINATA N
DPSH-1	17.40 m	502988.85 m E	5061692.47 m N
DPSH-2	18.00 m	502996.41 m E	5061705.12 m N
DPSH-3	16.40 m	503014.82 m E	5061724.44 m N

*Tabella 5 - Ubicazione delle prove penetrometriche dinamiche continue DPSH*

Le elaborazioni si basano sulle note correlazioni empiriche tra  $N_{dpsh}$  -  $N_{spt}$  - Profondità e forniscono una ricostruzione litostratigrafica non univoca, ma derivante dalle informazioni acquisite dall'operatore in cantiere, ritenuta quindi la più verosimile. I parametri geotecnici vengono forniti per i diversi autori, lasciando al committente la scelta di quelli ritenuti idonei. La sintesi fornita è puramente indicativa, la committenza ne valuterà la bontà e la necessità di utilizzarla. In base a quanto precedentemente esposto si riportano i risultati ottenuti della prova con i valori di  $N_{DPSH}$  e di  $N_{SPT}$  e dei parametri geotecnici correlati ad ogni strato negli allegati tecnici.

### 1.5. Condizionamento dei fori di sondaggio con piezometro a tubo aperto

Il foro di sondaggio indicato con sigla S05P è stato condizionato con tubazione piezometrica a tubo aperto. Anche per questa fase di lavorazione la modalità esecutiva dell'installazione della tubazione è stata condotta in conformità con le raccomandazioni AGI (1977) "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche", seguendo le fasi di seguito riportate:

- ✓ Rivestimento in corso d' opera del sondaggio con tubazione da 127 mm.
- ✓ Installazione della tubazione piezometrica fino a fondo foro.
- ✓ Riempimento graduale dell'intercapedine tra tubazione piezometrica e tubazione di rivestimento per tutta la lunghezza del tratto drenante ad opera di ghiaietto siliceo calibrato e rimozione graduale della tubazione di rivestimento.

Infine, a protezione del boccaforo è stato allestito un chiusino rialzato.



Figura 3 – Chiusino.

## 2. ALLEGATI TECNICI E RISULTATI SPERIMENTALI

### 2.1. CERTIFICATI SONDAGGI GEOGNOSTICI E PROVE PENETROMETRICHE STANDARD (S.P.T.)

#### SONDAGGIO S05P



Committente: Ferrovie Nord	Sondaggio: BRAGHE_S5_P
Riferimento: Veronica La Rotonda	Data: 10/03/2023
Coordinate: 45.708979 N 9.038333 E	Quota: 298 m s.l.m.
Perforazione: Carotaggio Continuo	

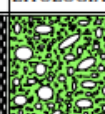
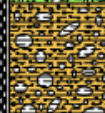


SCALA 1:100				STRATIGRAFIA		Pagina 1/1			
metri bati.	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	A	Campioni	Standard Penetration Test		DATI TECNICI
							m	S.P.T.	N
1.		1,6	1,6	Terreno di riporto rimaneggiato, ghiaioso con sabbia con clasti laterizi e misti			1,5	5-5-7	12
2.				Sabbia ghiaiosa beige chiara con clasti da subangolari a ben arrotondati da centimetrici a decimetrici di probabile origine fluviale e tracce di alterazione (intervallo marnoso litificato ed alterato tra i 4,60 e 5,40 metri)		1) Ind < 3,50 4,00	3,0	8-3-4	7
3.							4,5	5-6-6	12
4.							6,0	4-3-7	10
5.									
6.									
7.		7,0	5,4	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa mediamente classata con sparsi clasti da arrotondati a ben arrotondati		2) Ind < 7,00 7,50	7,5	4-4-6	10
8.									
9.							9,0	48/3cm	Rif
10.							10,5	44/4cm	Rif
11.									
12.		11,5	4,5	Ghiaia eterometrica con clasti da centimetrici a decimetrici subangolari (rocce intrusive "Tonaliti") in sparsa matrice sabbioso fine di alterazione biancastra			12,0	48/5cm	Rif
13.						3) Ind < 13,00 13,60			
14.							14,0	45/3cm	Rif
15.							14,5	48/4cm	Rif

Figura 3 – Stratigrafia S5\_P

**PROVE SPT 1-10 Sondaggio S05P**

ID SONDAGGIO	PROFONDITÀ (m dal p.c.)	Nr. COLPI	Nspt	TIPO DI PUNTA	Litologia
<b>S05P</b>	1.50 m	5-5-7	12	Punta Conica	Terreno ghiaioso con sabbia
	3.00 m	8-3-4	7	Punta Conica	Sabbia ghiaiosa
	4.50 m	5-6-6	12	Punta Conica	Sabbia ghiaiosa
	6.00 m	4-3-7	10	Punta Conica	Sabbia ghiaiosa deb. limosa
	7.50 m	4-4-6	10	Punta Conica	Sabbia ghiaiosa deb. limosa
	9.00 m	Rif/3 cm	/	Punta Conica	Ghiaia eterometrica
	10.50 m	Rif/4 cm	/	Punta Conica	Ghiaia eterometrica
	12.00 m	Rif/5 cm	/	Punta Conica	Ghiaia eterometrica
	13.50 m	Rif/3 cm	/	Punta Conica	Ghiaia eterometrica
	15.00 m	Rif/4 cm	/	Punta Conica	Ghiaia eterometrica

**Densità relativa**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze & Menzenbach (1961)
[1] - Terreno ghiaioso con sabbia	12	1.95	88.69
[2] - Sabbia ghiaiosa	7	3.45	52.86
[3] - Sabbia ghiaiosa	12	4.95	61.04
[4] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	6.45	51.58
[5] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	7.95	48.53

**Angolo di resistenza al taglio**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATI ON)	De Mello
[1] - Terreno ghiaioso con sabbia	12	1.95	12	28.42	40.03
[2] - Sabbia ghiaiosa	7	3.45	7	25.25	34.2
[3] - Sabbia ghiaiosa	12	4.95	12	28.42	37.93
[4] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	6.45	10	27.25	35.34
[5] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	7.95	10	27.25	34.35

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Schmertmann (1978) (Sabbie)
[1] - Terreno ghiaioso con sabbia	12	1.95	12	96.00
[2] - Sabbia ghiaiosa	7	3.45	7	56.00
[3] - Sabbia ghiaiosa	12	4.95	12	96.00
[4] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	6.45	10	80.00
[5] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	7.95	10	80.00

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Farrent 1963
[1] - Terreno ghiaioso con sabbia	12	1.95	12	85.20
[2] - Sabbia ghiaiosa	7	3.45	7	49.70
[3] - Sabbia ghiaiosa	12	4.95	12	85.20
[4] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	6.45	10	71.00

[5] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	7.95	10	71.00
---	----	------	----	-------

#### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Terreno ghiaioso con sabbia	12	1.95	12	Classificazione A.G.I	MODERATAM ENTE ADDENSATO
[2] - Sabbia ghiaiosa	7	3.45	7	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[3] - Sabbia ghiaiosa	12	4.95	12	Classificazione A.G.I	MODERATAM ENTE ADDENSATO
[4] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	6.45	10	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[5] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	7.95	10	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO

#### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno ghiaioso con sabbia	12	1.95	12	Terzaghi-Peck 1948	1.50
[2] - Sabbia ghiaiosa	7	3.45	7	Terzaghi-Peck 1948	1.44
[3] - Sabbia ghiaiosa	12	4.95	12	Terzaghi-Peck 1948	1.50
[4] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	6.45	10	Terzaghi-Peck 1948	1.48
[5] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	7.95	10	Terzaghi-Peck 1948	1.48

#### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[1] - Terreno ghiaioso con sabbia	12	1.95	12	Terzaghi-Peck 1948	1.94
[2] - Sabbia ghiaiosa	7	3.45	7	Terzaghi-Peck 1948	1.90
[3] - Sabbia ghiaiosa	12	4.95	12	Terzaghi-Peck 1948	1.94
[4] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	6.45	10	Terzaghi-Peck 1948	1.92
[5] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	7.95	10	Terzaghi-Peck 1948	1.92

#### Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Terreno ghiaioso con sabbia	12	1.95	12	(A.G.I.)	0.33
[2] - Sabbia ghiaiosa	7	3.45	7	(A.G.I.)	0.34
[3] - Sabbia ghiaiosa	12	4.95	12	(A.G.I.)	0.33
[4] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	6.45	10	(A.G.I.)	0.33
[5] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	7.95	10	(A.G.I.)	0.33

#### Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Terreno ghiaioso con sabbia	12	1.95	12	671.96	570.54
[2] - Sabbia ghiaiosa	7	3.45	7	404.86	410.45
[3] - Sabbia	12	4.95	12	671.96	570.54

ghiaiosa					
[4] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	6.45	10	566.13	510.40
[5] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	7.95	10	566.13	510.40

#### Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Terreno ghiaioso con sabbia	12	1.95	12	Ohta & Goto (1978) Limi	104.64
[2] - Sabbia ghiaiosa	7	3.45	7	Ohta & Goto (1978) Limi	116.03
[3] - Sabbia ghiaiosa	12	4.95	12	Ohta & Goto (1978) Limi	138.71
[4] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	6.45	10	Ohta & Goto (1978) Limi	142.56
[5] - Sabbia ghiaiosa deb. limosa	10	7.95	10	Ohta & Goto (1978) Limi	149.14

## Cassette catalogatrici



Figura 4 - Cassette n° 1 – profondità da 0,00 m a 5,00 m



Figura 4.1 - Cassette n° 2 – profondità da 5,00 m a 10,00 m



Figura 4.2 - Cassetta n° 3 – profondità da 10,00 m a 15,00 m



*Figura 5 – Ubicazione sondaggio S5\_P*

## 2.2. ELABORATO PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Le prove di laboratorio sono state effettuate dal laboratorio certificato ILAG s.r.l. con sede presso Via Terracina 169/d, Napoli. Sono stati analizzati 3 campioni indisturbati, rispettivamente:

- n° 3 campioni indisturbati per il sondaggio S5\_P

Nella Tab. 6 e Tab.6.1 sono elencate le prove previste per i rispettivi campioni indisturbati e le relative litologie:

CAMPIONI Via Fonte						
S5-P	Profondità (m)	CAMPIONE 1	CAMPIONE 2	CAMPIONE 3		
		IND. S5 P-C1	IND. S5 P-C2	IND. S5 P-C3		
	Litologia	3,50-4,00	7,00-7,50	13,00-13,60		
		Sabbie Ghiaiose	Sabbie Ghiaiose deb. Limose	Ghiaie eterometriche		
	Ubicazione	Lat. 45° 70'38,5"		Long. 9° 03'45,1"		
Falda	NON RILEVATO					

F33						
Apertura Campioni	Descrizione Campioni	Determinazione contenuto naturale in acqua	Massa Volumetrica apparente e reale	Analisi granulometrica	Sedimentazione	Determinazione Limiti Atterberg
Tutti	Tutti	Tutti	Tutti	Tutti	Tutti	Tutti
S5_P-C2	TAGLIO	S5_P-C3	Prova di compressione triassiale	S5_P-C1	CTS	S5_P-C2
						Edometrica Dove possibile

Tab.6 – Schema Campioni indisturbati prelevati

Campione	Prof. (m)	Apertura e descrizione	Caratt. fisiche generali	Analisi granul. Sed+stacc	Analisi granul. Stacc	Prova taglio diretto TD
S5_P-C1	3.50:4.00	X	X	X	-	X
S5_P-C2	7.00:7.50	X	-	-	X	-
S5_P-C3	13.00:13.60	X	-	-	X	-

Tab.6.1 – Indagini effettuate sui campioni indisturbati

## 2.3. ELABORATO PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE (DPSH)

### PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: FERROVIE NORD  
Descrizione: ACQUA ALLA FONTE  
Località: LOMAZZO (CO)

#### Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	0.63 Kg
Diametro punta conica	51.00 mm
Area di base punta	20.43 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.40 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1.47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

## PROVA DPSH 1

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI  
Prova eseguita in data 17-03-2023  
Profondità prova 13.20 mt  
Falda non rilevata

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 1  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: FERROVIE NORD  
Descrizione: ACQUA ALLA FONTE  
Località: LOMAZZO (CO)

Scala 1:60

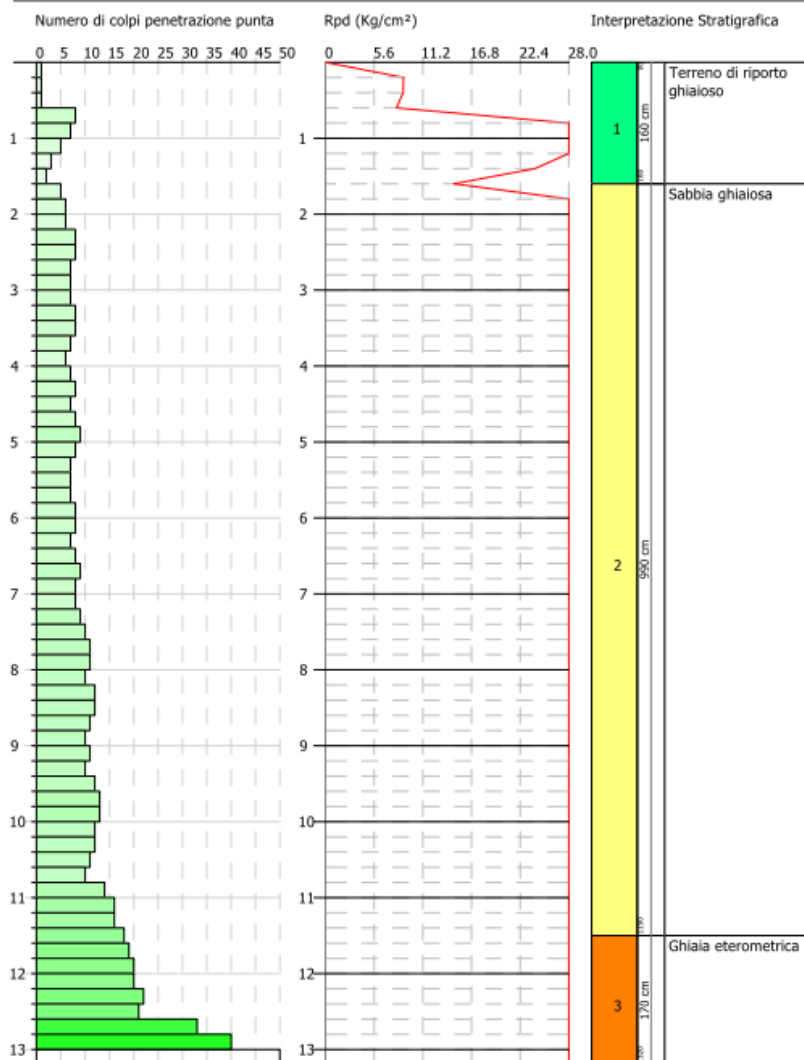


Figura 6 – Log DPSH1



Figura 7 – Foto raffigurante la DPSH 1

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	1	0.855	8.98	10.51	0.90	1.05
0.40	1	0.851	8.94	10.51	0.89	1.05
0.60	1	0.847	8.17	9.64	0.82	0.96
0.80	8	0.843	65.06	77.15	6.51	7.71
1.00	7	0.840	56.69	67.50	5.67	6.75
1.20	5	0.836	40.32	48.22	4.03	4.82
1.40	3	0.833	24.10	28.93	2.41	2.89
1.60	2	0.830	14.78	17.82	1.48	1.78
1.80	5	0.826	36.82	44.55	3.68	4.46
2.00	6	0.823	44.01	53.47	4.40	5.35
2.20	6	0.820	43.85	53.47	4.38	5.35
2.40	8	0.817	58.25	71.29	5.83	7.13
2.60	8	0.814	53.95	66.25	5.39	6.63
2.80	7	0.811	47.04	57.97	4.70	5.80
3.00	7	0.809	46.88	57.97	4.69	5.80
3.20	7	0.806	46.73	57.97	4.67	5.80
3.40	8	0.803	53.23	66.25	5.32	6.63
3.60	8	0.801	49.56	61.88	4.96	6.19
3.80	7	0.798	43.23	54.15	4.32	5.41
4.00	6	0.796	36.95	46.41	3.69	4.64
4.20	7	0.794	42.98	54.15	4.30	5.41
4.40	8	0.791	48.98	61.88	4.90	6.19
4.60	7	0.789	40.09	50.80	4.01	5.08
4.80	8	0.787	45.70	58.06	4.57	5.81
5.00	9	0.785	51.27	65.31	5.13	6.53
5.20	8	0.783	45.46	58.06	4.55	5.81
5.40	7	0.781	39.68	50.80	3.97	5.08
5.60	7	0.779	37.27	47.84	3.73	4.78
5.80	7	0.777	37.18	47.84	3.72	4.78
6.00	8	0.775	42.40	54.67	4.24	5.47
6.20	8	0.774	42.30	54.67	4.23	5.47
6.40	7	0.772	36.93	47.84	3.69	4.78
6.60	8	0.770	39.80	51.66	3.98	5.17
6.80	9	0.769	44.68	58.12	4.47	5.81
7.00	8	0.767	39.63	51.66	3.96	5.17
7.20	8	0.766	39.56	51.66	3.96	5.17
7.40	9	0.764	44.41	58.12	4.44	5.81
7.60	10	0.763	46.68	61.21	4.67	6.12

7.80	11	0.761	51.26	67.33	5.13	6.73
8.00	11	0.760	51.16	67.33	5.12	6.73
8.20	10	0.759	46.43	61.21	4.64	6.12
8.40	12	0.757	55.62	73.45	5.56	7.35
8.60	12	0.756	52.77	69.81	5.28	6.98
8.80	11	0.755	48.29	63.99	4.83	6.40
9.00	10	0.753	43.83	58.17	4.38	5.82
9.20	11	0.752	48.14	63.99	4.81	6.40
9.40	10	0.751	43.69	58.17	4.37	5.82
9.60	12	0.750	49.88	66.51	4.99	6.65
9.80	13	0.699	50.35	72.05	5.04	7.21
10.00	13	0.698	50.27	72.05	5.03	7.21
10.20	12	0.747	49.66	66.51	4.97	6.65
10.40	12	0.746	49.58	66.51	4.96	6.65
10.60	11	0.744	43.34	58.22	4.33	5.82
10.80	10	0.743	39.34	52.92	3.93	5.29
11.00	14	0.692	51.30	74.09	5.13	7.41
11.20	16	0.691	58.54	84.68	5.85	8.47
11.40	16	0.690	58.45	84.68	5.85	8.47
11.60	18	0.689	62.82	91.15	6.28	9.11
11.80	19	0.688	66.22	96.21	6.62	9.62
12.00	20	0.687	69.60	101.28	6.96	10.13
12.20	20	0.686	69.50	101.28	6.95	10.13
12.40	22	0.635	70.76	111.41	7.08	11.14
12.60	21	0.634	64.65	101.94	6.46	10.19
12.80	33	0.583	93.41	160.19	9.34	16.02
13.00	40	0.532	103.32	194.17	10.33	19.42
13.20	60	0.531	154.68	291.26	15.47	29.13

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tension e efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.6	3.5	33.78	Incoerente - coesivo	0	0.0	0.0	0.0	1.47	5.14	Terreno di riporto ghiaioso
11.5	9.24	60.36	Incoerente - coesivo	0	0.0	0.0	0.0	1.47	13.58	Sabbia ghiaiosa
13.2	28.11	138.76	Incoerente - coesivo	0	0.0	0.0	0.0	1.47	41.32	Ghiaia eterometrica

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 1

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Skempton 1986
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.14	1.60	27.6	21.21
[2] - Sabbia ghiaiosa	13.58	11.50	48.68	40.37
[3] - Ghiaia eterometrica	41.32	13.20	79.14	73.42

#### Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATI ON)	De Mello
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.14	1.60	5.14	23.78	33.29
[2] - Sabbia ghiaiosa	13.58	11.50	13.58	29.27	41.77
[3] - Ghiaia eterometrica	41.32	13.20	41.32	39.9	51.49

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Schmertmann (1978) (Sabbie)
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.14	1.60	5.14	41.12
[2] - Sabbia ghiaiosa	13.58	11.50	13.58	108.64
[3] - Ghiaia eterometrica	41.32	13.20	41.32	330.56

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Farrent 1963
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.14	1.60	5.14	36.49
[2] - Sabbia ghiaiosa	13.58	11.50	13.58	96.42
[3] - Ghiaia eterometrica	41.32	13.20	41.32	293.37

#### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.14	1.60	5.14	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] - Sabbia ghiaiosa	13.58	11.50	13.58	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Ghiaia eterometrica	41.32	13.20	41.32	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

#### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.14	1.60	5.14	Terzaghi-Peck 1948	1.41
[2] - Sabbia ghiaiosa	13.58	11.50	13.58	Terzaghi-Peck 1948	1.52
[3] - Ghiaia eterometrica	41.32	13.20	41.32	Terzaghi-Peck 1948	1.79

#### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.14	1.60	5.14	Terzaghi-Peck 1948	1.88
[2] - Sabbia ghiaiosa	13.58	11.50	13.58	Terzaghi-Peck 1948	1.95
[3] - Ghiaia eterometrica	41.32	13.20	41.32	Terzaghi-Peck 1948	2.12

#### Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.14	1.60	5.14	(A.G.I.)	0.34
[2] - Sabbia ghiaiosa	13.58	11.50	13.58	(A.G.I.)	0.33
[3] - Ghiaia eterometrica	41.32	13.20	41.32	(A.G.I.)	0.27

#### Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.14	1.60	5.14	302.84	339.87
[2] - Sabbia ghiaiosa	13.58	11.50	13.58	754.81	615.34
[3] - Ghiaia eterometrica	41.32	13.20	41.32	2148.35	1214.46

#### Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.14	1.60	5.14	Ohta & Goto (1978) Limi	86.98
[2] - Sabbia ghiaiosa	13.58	11.50	13.58	Ohta & Goto (1978) Limi	154.4
[3] - Ghiaia eterometrica	41.32	13.20	41.32	Ohta & Goto (1978) Limi	211.55

## PROVA DPSH 2

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 17-03-2023

Profondità prova 13.80 mt

Falda non rilevata

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 2  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: FERROVIE NORD  
Descrizione: ACQUA ALLA FONTE  
Località: LOMAZZO (CO)

Scala 1:62

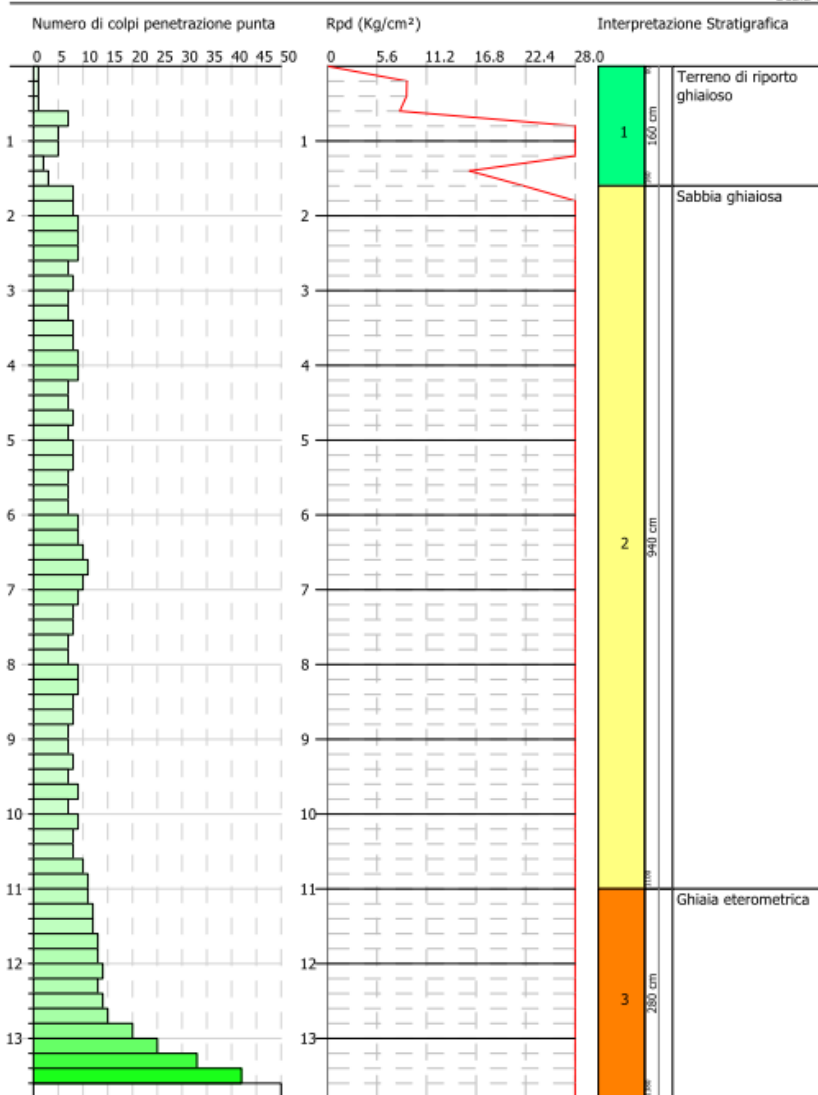


Figura 8 – Log DPSH 2



Figura 9 – Foto raffigurante la DPSH 2

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	1	0.855	8.98	10.51	0.90	1.05
0.40	1	0.851	8.94	10.51	0.89	1.05
0.60	1	0.847	8.17	9.64	0.82	0.96
0.80	7	0.843	56.93	67.50	5.69	6.75
1.00	5	0.840	40.49	48.22	4.05	4.82
1.20	5	0.836	40.32	48.22	4.03	4.82
1.40	2	0.833	16.06	19.29	1.61	1.93
1.60	3	0.830	22.18	26.73	2.22	2.67
1.80	8	0.826	58.91	71.29	5.89	7.13
2.00	8	0.823	58.68	71.29	5.87	7.13
2.20	9	0.820	65.77	80.20	6.58	8.02
2.40	9	0.817	65.53	80.20	6.55	8.02
2.60	9	0.814	60.69	74.54	6.07	7.45
2.80	7	0.811	47.04	57.97	4.70	5.80
3.00	8	0.809	53.58	66.25	5.36	6.63
3.20	7	0.806	46.73	57.97	4.67	5.80
3.40	7	0.803	46.57	57.97	4.66	5.80
3.60	8	0.801	49.56	61.88	4.96	6.19
3.80	8	0.798	49.41	61.88	4.94	6.19
4.00	9	0.796	55.42	69.62	5.54	6.96
4.20	9	0.794	55.26	69.62	5.53	6.96
4.40	7	0.791	42.86	54.15	4.29	5.41
4.60	7	0.789	40.09	50.80	4.01	5.08
4.80	8	0.787	45.70	58.06	4.57	5.81
5.00	7	0.785	39.88	50.80	3.99	5.08
5.20	8	0.783	45.46	58.06	4.55	5.81
5.40	8	0.781	45.34	58.06	4.53	5.81
5.60	7	0.779	37.27	47.84	3.73	4.78
5.80	7	0.777	37.18	47.84	3.72	4.78
6.00	7	0.775	37.10	47.84	3.71	4.78
6.20	9	0.774	47.59	61.51	4.76	6.15
6.40	9	0.772	47.48	61.51	4.75	6.15
6.60	10	0.770	49.75	64.58	4.97	6.46
6.80	11	0.769	54.61	71.04	5.46	7.10
7.00	10	0.767	49.54	64.58	4.95	6.46
7.20	9	0.766	44.50	58.12	4.45	5.81
7.40	8	0.764	39.48	51.66	3.95	5.17
7.60	8	0.763	37.35	48.97	3.73	4.90
7.80	7	0.761	32.62	42.85	3.26	4.28

8.00	7	0.760	32.56	42.85	3.26	4.28
8.20	9	0.759	41.79	55.09	4.18	5.51
8.40	9	0.757	41.72	55.09	4.17	5.51
8.60	8	0.756	35.18	46.54	3.52	4.65
8.80	8	0.755	35.12	46.54	3.51	4.65
9.00	7	0.753	30.68	40.72	3.07	4.07
9.20	7	0.752	30.63	40.72	3.06	4.07
9.40	8	0.751	34.96	46.54	3.50	4.65
9.60	7	0.750	29.10	38.80	2.91	3.88
9.80	9	0.749	37.35	49.88	3.74	4.99
10.00	7	0.748	29.01	38.80	2.90	3.88
10.20	9	0.747	37.24	49.88	3.72	4.99
10.40	8	0.746	33.06	44.34	3.31	4.43
10.60	8	0.744	31.52	42.34	3.15	4.23
10.80	10	0.743	39.34	52.92	3.93	5.29
11.00	11	0.742	43.22	58.22	4.32	5.82
11.20	11	0.741	43.16	58.22	4.32	5.82
11.40	12	0.740	47.01	63.51	4.70	6.35
11.60	12	0.739	44.92	60.77	4.49	6.08
11.80	13	0.688	45.31	65.83	4.53	6.58
12.00	13	0.687	45.24	65.83	4.52	6.58
12.20	14	0.686	48.65	70.89	4.86	7.09
12.40	13	0.685	45.11	65.83	4.51	6.58
12.60	14	0.684	46.50	67.96	4.65	6.80
12.80	15	0.683	49.74	72.81	4.97	7.28
13.00	20	0.682	66.22	97.09	6.62	9.71
13.20	25	0.631	76.58	121.36	7.66	12.14
13.40	33	0.580	92.91	160.19	9.29	16.02
13.60	42	0.529	103.56	195.78	10.36	19.58
13.80	60	0.528	147.64	279.68	14.76	27.97

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.6	3.12	30.08	Incoerente - coesivo	0	1.74	1.87	0.14	1.47	4.59	Terreno di riporto ghiaioso
11	8.19	55.92	Incoerente - coesivo	0	2.02	2.22	1.23	1.47	12.04	Sabbia ghiaiosa
13.8	21.21	103.27	Incoerente -	0	0.0	0.0	2.18	1.47	31.18	Ghiaia eterome

			coesivo							trica
--	--	--	---------	--	--	--	--	--	--	-------

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 2

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze & Menzenbach (1961)
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	4.59	1.60	59.44
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.04	11.00	53.28
[3] - Ghiaia eterometrica	31.18	13.80	72.27

#### Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATI ON)	De Mello
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	4.59	1.60	4.59	23.3	31.77
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.04	11.00	12.04	28.44	36.06
[3] - Ghiaia eterometrica	31.18	13.80	31.18	36.63	40.76

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Schmertmann (1978) (Sabbie)
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	4.59	1.60	4.59	36.72
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.04	11.00	12.04	96.32
[3] - Ghiaia eterometrica	31.18	13.80	31.18	249.44

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Farrent 1963
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	4.59	1.60	4.59	32.59
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.04	11.00	12.04	85.48
[3] - Ghiaia eterometrica	31.18	13.80	31.18	221.38

#### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	4.59	1.60	4.59	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.04	11.00	12.04	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Ghiaia eterometrica	31.18	13.80	31.18	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

#### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	4.59	1.60	4.59	Terzaghi-Peck 1948	1.41
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.04	11.00	12.04	Terzaghi-Peck 1948	1.50
[3] - Ghiaia eterometrica	31.18	13.80	31.18	Terzaghi-Peck 1948	1.71

#### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	4.59	1.60	4.59	Terzaghi-Peck 1948	1.88
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.04	11.00	12.04	Terzaghi-Peck 1948	1.94
[3] - Ghiaia eterometrica	31.18	13.80	31.18	Terzaghi-Peck 1948	2.06

#### Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato	Nspt corretto	Correlazione	Poisson
--	------	--------------	---------------	--------------	---------

		(m)	per presenza falda		
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	4.59	1.60	4.59	(A.G.I.)	0.34
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.04	11.00	12.04	(A.G.I.)	0.33
[3] - Ghiaia eterometrica	31.18	13.80	31.18	(A.G.I.)	0.29

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	4.59	1.60	4.59	272.28
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.04	11.00	12.04	674.07
[3] - Ghiaia eterometrica	31.18	13.80	31.18	1648.76

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	4.59	1.60	4.59	Ohta & Goto (1978) Limi	85.29
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.04	11.00	12.04	Ohta & Goto (1978) Limi	150.09
[3] - Ghiaia eterometrica	31.18	13.80	31.18	Ohta & Goto (1978) Limi	201.65

## PROVA DPSH 3

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 17-03-2023

Profondità prova 13.60 mt

Falda non rilevata

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 3  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente:  
Descrizione:  
Località:

Scala 1:62

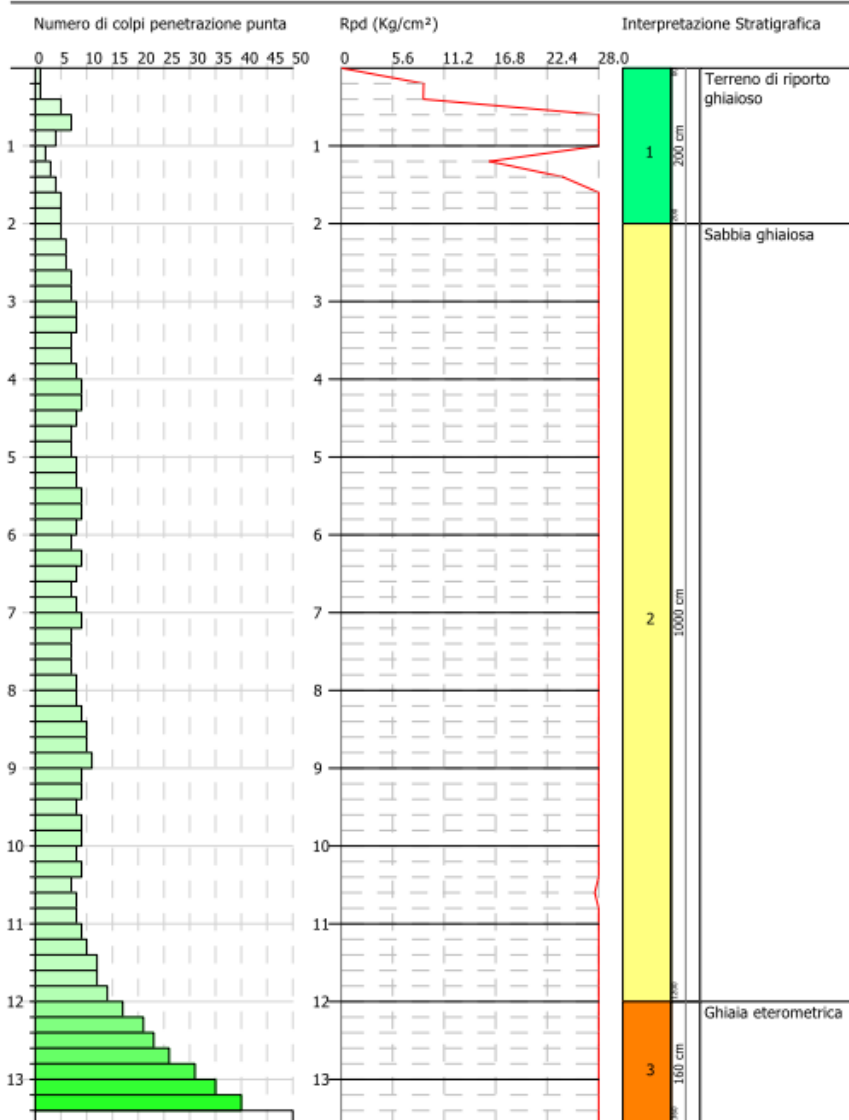


Figura 10 – Log DPSH 3



Figura 11 – Foto raffigurante la DPSH 3

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	1	0.855	8.98	10.51	0.90	1.05
0.40	1	0.851	8.94	10.51	0.89	1.05
0.60	5	0.847	40.84	48.22	4.08	4.82
0.80	7	0.843	56.93	67.50	5.69	6.75
1.00	4	0.840	32.39	38.57	3.24	3.86
1.20	2	0.836	16.13	19.29	1.61	1.93
1.40	3	0.833	24.10	28.93	2.41	2.89
1.60	4	0.830	29.57	35.64	2.96	3.56
1.80	5	0.826	36.82	44.55	3.68	4.46
2.00	5	0.823	36.68	44.55	3.67	4.46
2.20	5	0.820	36.54	44.55	3.65	4.46
2.40	6	0.817	43.69	53.47	4.37	5.35
2.60	6	0.814	40.46	49.69	4.05	4.97
2.80	7	0.811	47.04	57.97	4.70	5.80
3.00	7	0.809	46.88	57.97	4.69	5.80
3.20	8	0.806	53.40	66.25	5.34	6.63
3.40	8	0.803	53.23	66.25	5.32	6.63
3.60	7	0.801	43.37	54.15	4.34	5.41
3.80	7	0.798	43.23	54.15	4.32	5.41
4.00	8	0.796	49.26	61.88	4.93	6.19
4.20	9	0.794	55.26	69.62	5.53	6.96
4.40	9	0.791	55.10	69.62	5.51	6.96
4.60	8	0.789	45.82	58.06	4.58	5.81
4.80	7	0.787	39.98	50.80	4.00	5.08
5.00	7	0.785	39.88	50.80	3.99	5.08
5.20	8	0.783	45.46	58.06	4.55	5.81
5.40	8	0.781	45.34	58.06	4.53	5.81
5.60	9	0.779	47.92	61.51	4.79	6.15
5.80	9	0.777	47.81	61.51	4.78	6.15
6.00	8	0.775	42.40	54.67	4.24	5.47
6.20	7	0.774	37.01	47.84	3.70	4.78
6.40	9	0.772	47.48	61.51	4.75	6.15
6.60	8	0.770	39.80	51.66	3.98	5.17
6.80	7	0.769	34.75	45.20	3.48	4.52
7.00	8	0.767	39.63	51.66	3.96	5.17
7.20	9	0.766	44.50	58.12	4.45	5.81
7.40	7	0.764	34.54	45.20	3.45	4.52
7.60	7	0.763	32.68	42.85	3.27	4.28
7.80	7	0.761	32.62	42.85	3.26	4.28
8.00	8	0.760	37.21	48.97	3.72	4.90

8.20	8	0.759	37.14	48.97	3.71	4.90
8.40	9	0.757	41.72	55.09	4.17	5.51
8.60	10	0.756	43.98	58.17	4.40	5.82
8.80	10	0.755	43.90	58.17	4.39	5.82
9.00	11	0.753	48.22	63.99	4.82	6.40
9.20	9	0.752	39.39	52.36	3.94	5.24
9.40	9	0.751	39.32	52.36	3.93	5.24
9.60	8	0.750	33.25	44.34	3.33	4.43
9.80	9	0.749	37.35	49.88	3.74	4.99
10.00	9	0.748	37.30	49.88	3.73	4.99
10.20	8	0.747	33.10	44.34	3.31	4.43
10.40	9	0.746	37.19	49.88	3.72	4.99
10.60	7	0.744	27.58	37.05	2.76	3.70
10.80	8	0.743	31.47	42.34	3.15	4.23
11.00	8	0.742	31.43	42.34	3.14	4.23
11.20	9	0.741	35.31	47.63	3.53	4.76
11.40	10	0.740	39.18	52.92	3.92	5.29
11.60	12	0.739	44.92	60.77	4.49	6.08
11.80	12	0.738	44.86	60.77	4.49	6.08
12.00	14	0.687	48.72	70.89	4.87	7.09
12.20	17	0.686	59.07	86.09	5.91	8.61
12.40	21	0.635	67.55	106.34	6.75	10.63
12.60	23	0.634	70.80	111.65	7.08	11.16
12.80	26	0.633	79.91	126.21	7.99	12.62
13.00	31	0.582	87.60	150.48	8.76	15.05
13.20	35	0.581	98.72	169.90	9.87	16.99
13.40	40	0.530	102.91	194.17	10.29	19.42
13.60	60	0.529	147.94	279.68	14.79	27.97

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tension e efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
2	3.7	34.83	Incoerente - coesivo	0	1.78	1.88	0.18	1.47	5.44	Terreno di riporto ghiaioso
12	8.34	53.94	Incoerente - coesivo	0	2.02	2.22	1.37	1.47	12.26	Sabbia ghiaiosa
13.6	31.62	153.07	Incoerente - coesivo	0	0.0	0.0	2.38	1.47	46.48	Ghiaia eterometrica

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 3

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze & Menzenbach (1961)
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.44	2.00	60.45
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.26	12.00	52.26
[3] - Ghiaia eterometrica	46.48	13.60	85.48

#### Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATI ON)	De Mello
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.44	2.00	5.44	24.03	33.11
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.26	12.00	12.26	28.56	35.69
[3] - Ghiaia eterometrica	46.48	13.60	46.48	41.4	43.49

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Schmertmann (1978) (Sabbie)
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.44	2.00	5.44	43.52
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.26	12.00	12.26	98.08
[3] - Ghiaia eterometrica	46.48	13.60	46.48	371.84

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Farrent 1963
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.44	2.00	5.44	38.62
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.26	12.00	12.26	87.05
[3] - Ghiaia	46.48	13.60	46.48	330.01

eterometrica				
--------------	--	--	--	--

#### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.44	2.00	5.44	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.26	12.00	12.26	Classificazione A.G.I	MODERATA MENTE ADDENSATO
[3] - Ghiaia eterometrica	46.48	13.60	46.48	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

#### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.44	2.00	5.44	Terzaghi-Peck 1948	1.42
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.26	12.00	12.26	Terzaghi-Peck 1948	1.51
[3] - Ghiaia eterometrica	46.48	13.60	46.48	Terzaghi-Peck 1948	1.83

#### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.44	2.00	5.44	Terzaghi-Peck 1948	1.88
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.26	12.00	12.26	Terzaghi-Peck 1948	1.94
[3] - Ghiaia eterometrica	46.48	13.60	46.48	Terzaghi-Peck 1948	2.14

#### Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.44	2.00	5.44	(A.G.I.)	0.34
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.26	12.00	12.26	(A.G.I.)	0.33
[3] - Ghiaia eterometrica	46.48	13.60	46.48	(A.G.I.)	0.26

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.44	2.00	5.44	319.43
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.26	12.00	12.26	685.64
[3] - Ghiaia eterometrica	46.48	13.60	46.48	2399.63

## Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Terreno di riporto ghiaioso	5.44	2.00	5.44	Ohta & Goto (1978) Limi	91.7
[2] - Sabbia ghiaiosa	12.26	12.00	12.26	Ohta & Goto (1978) Limi	153.65
[3] - Ghiaia eterometrica	46.48	13.60	46.48	Ohta & Goto (1978) Limi	217.4

## BIBLIOGRAFIA

- Google Earth Pro per desktop;
- INGV – Carta della pericolosità Sismica;
- Carta geologica d'Italia in scala 1:50'000 n° 096 Seregno;
- Consultazione del Regolamento Urbanistico del comune di Lomazzo (CO);
- NTC 2018 Norme Tecniche per le costruzioni;
- Dall'esame delle cartografie di riferimento del P.A.I. (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI;
- Consultazione del portale geologico nazionale ISPRA al fine di individuare indagini pregresse eseguite in zone limitrofe;
- Progetto IFFI – Inventario dei fenomeni franosi in Italia.

## Bibliografia autori

ESA. (s.d.). *Generalità sul metodo di Nakamura*. Tratto da <http://www.esaprogetti.com/Nakamura.html>

GeoStru. (s.d.). *MASW*. Tratto da <http://help.geostru.eu/easymasw/it/index.html?introduzione.htm>

Wang, L., & Xu, R. (2021). The horizontal-to-vertical spectral ratio and its applications. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*.

Committente: **NORD ING\_FNM GROUP**

Direttore dei Lavori: **non dichiarato**

Richiesta non sottoscritta dal D.L.

Accettazione n°	<b>650</b>
prova n:	<b>3801/01</b>
cod. prova	<b>Des2709</b>

Indagine: **Comune di Lomazzo (CO) - Via alla Fonte**

Sondaggio: **S5\_P**      Campione: **C1**      Profondità (m): **3.50:4.00**

**APERTURA E DESCRIZIONE DEL CAMPIONE (A.S.T.M. D2488-09a)**

Data ricevimento: 14/03/2023

Dimensioni del campione:

Data di apertura: 06/04/2023

diametro: 85 mm

Stato del campione: Indisturbato

lunghezza: 340 mm

Descrizione del campione	<i>Sabbia limosa e ghiaiosa di colore ocraceo, contenente numerosi inclusi lapidei, generalmente di forma arrotondata, con diametro massimo pari a 1,5 cm. Mediamente addensata. Umida.</i>			
Colore:	ocraceo			
Plasticità:	<input checked="" type="checkbox"/> Non plastico	<input type="checkbox"/> Poco plastico	<input type="checkbox"/> Mediam. plastico	<input type="checkbox"/> Molto plastico
Addensamento: (terreni granulari)	<input type="checkbox"/> Sciolto	<input type="checkbox"/> Poco addensato	<input checked="" type="checkbox"/> Mediam. addensato	<input type="checkbox"/> Addensato
Consistenza: (terreni coesivi)	<input type="checkbox"/> Poco consistente	<input type="checkbox"/> Mediam. consistente	<input type="checkbox"/> Consistente	<input type="checkbox"/> Molto consistente
Grado di umidità:	<input type="checkbox"/> Asciutto	<input type="checkbox"/> Poco umido	<input checked="" type="checkbox"/> Umido	<input type="checkbox"/> Molto umido <input type="checkbox"/> Saturo
Alterazione:	<input checked="" type="checkbox"/> Assente	<input type="checkbox"/> Debole	<input type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Elevata
Reazione con HCl	<input type="checkbox"/> Nulla	<input type="checkbox"/> Debole	<input type="checkbox"/> Moderata	<input checked="" type="checkbox"/> Elevata

	Accettazione n° <b>650</b> prova n: <b>3801/01</b>
<b>Struttura</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Massiva <input type="checkbox"/> Stratificata <input type="checkbox"/> Scagliosa <input type="checkbox"/> Laminata <input type="checkbox"/> Caotica <input type="checkbox"/> Altro:.....
<b>Fratturazione</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Assente <input type="checkbox"/> Moderata <input type="checkbox"/> Elevata
<b>Cementazione</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Assente <input type="checkbox"/> Debole <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Elevata

**PROVE ESEGUITE**

L totale=      34 cm

Parte Superiore (P.S.)  
\_\_\_\_\_ cm

Pocket penetrometer  
(Kg/cm<sup>2</sup>)

Vane test  
(Kg/cm<sup>2</sup>)

1

2

3

Parte Centrale (P.C.)  
\_\_\_\_\_ cm

- 1) Caratteristiche fisiche generali
- 2) Analisi granulometrica
- 3) Prova di taglio diretto CD

Parte Inferiore (P.I.)  
\_\_\_\_\_ cm

Committente: **NORD ING\_FNM GROUP**

Accettazione n°:	<b>650</b>
Prova n°:	<b>3801/02</b>
cod. prova	<b>ngw16748</b>

Direttore dei Lavori: **non dichiarato**

Richiesta non sottoscritta dal D.L.

Indagine: **Comune di Lomazzo (CO) - Via alla Fonte**

Sondaggio: **S5\_P**

Campione: **C1**

Profondità (m): **3.50:4.00**

### CARATTERISTICHE FISICHE GENERALI

Data ricevimento: 14/03/2023  
Data inizio prova: 06/04/2023

*Fattori di conversione*  
 $1 \text{ kN/m}^3 = 0.102 \text{ g/cm}^3$

#### Peso specifico dei grani (UNI EN ISO 17892-3)

Peso secco materiale passante allo staccio 4.0 mm	P's=	10.00 g		<b>Peso specifico dei grani medio</b>
Peso picnometro+campione saturato+acqua distillata	P'2=	156.26 g	$\gamma'_s = 26.13 \text{ kN/m}^3$	
Peso picnometro+acqua distillata (curva di taratura)	P'1=	150.01 g		
Peso secco materiale passante allo staccio 4.0 mm	P"s=	10.00 g		<b><math>\gamma_s = 26.10 \text{ kN/m}^3</math></b>
Peso picnometro+campione saturato+acqua distillata	P"2=	155.01 g	$\gamma''_s = 26.08 \text{ kN/m}^3$	
Peso picnometro+acqua distillata (curva di taratura)	P"1=	148.77 g		

#### Contenuto d'acqua (UNI EN ISO 17892-1), peso di volume umido e secco (UNI EN ISO 17892-2)

Diametro del provino:	56 mm	<b>Contenuto d'acqua</b>	<b>w = 0.182</b>
Altezza del provino:	20 mm		
Area del provino:	24.63 cm <sup>2</sup>	<b>Peso dell'unità di volume umido</b>	<b><math>\gamma = 20.78 \text{ kN/m}^3</math></b>
Volume del provino:	49.26 cm <sup>3</sup>		
Peso pesafiltro vuoto:	32.26 g	<b>Peso dell'unità di volume secco</b>	<b><math>\gamma_d = 17.58 \text{ kN/m}^3</math></b>
Peso pes.+provino umido	137.37 g		
Peso pes.+provino secco	120.60 g		

#### Porosità, indice di porosità e grado di saturazione (parametri derivati dai precedenti)

Peso specifico dei grani	$\gamma_s = 26.1 \text{ kN/m}^3$	<b>Porosità</b>	<b>n = 0.326</b>
Contenuto d'acqua	w = 0.190	<b>Indice di porosità</b>	<b>e = 0.485</b>
Peso di vol. secco	$\gamma_d = 17.58 \text{ kN/m}^3$	<b>Grado di saturazione</b>	<b>Sr = 1.000</b>

#### Tenore in carbonati (A.S.T.M. D4373-14)

Pressione barometrica	mm Hg	<b>Tenore in carbonati</b>	<b>%</b>
Temperatura	° C		
Quantità di materiale	g		
Acido carbonico sviluppato	cm <sup>3</sup>		
Assorbimento di CO <sub>2</sub> nella soluzione con HCl	cm <sup>3</sup>		

#### Sostanze organiche (A.S.T.M. D2974-14)

Peso pesafiltro vuoto:	<b>Contenuto di sostanze organiche</b>
Peso pes.+terreno essiccato a 105°	
Peso pes.+terreno dopo calcinazione	

Accettazione n°:	<b>650</b>
Prova n°:	<b>3801/03</b>
cod. prova:	<b>gr17935</b>
Data ricevimento:	<b>14/03/23</b>
Data inizio prova:	<b>07/04/23</b>

Committente: **NORD ING\_FNM GROUP**  
Direttore dei Lavori: **non dichiarato**

(Richiesta non sottoscritta dal D.L.)

Indagine: **Comune di Lomazzo (CO) - Via alla Font**  
Sondaggio: **S5\_P**  
Campione: **C1**  
Profondità (m): **3.50:4.00**

Peso campione: **300.00 g** (1° setacciatura)  
Peso secco sed: **39.77 g** (sedimentazione)  
Temperatura: **19 °C**

Peso specifico dei grani  $\gamma_s =$  **26.10 kN/m³**

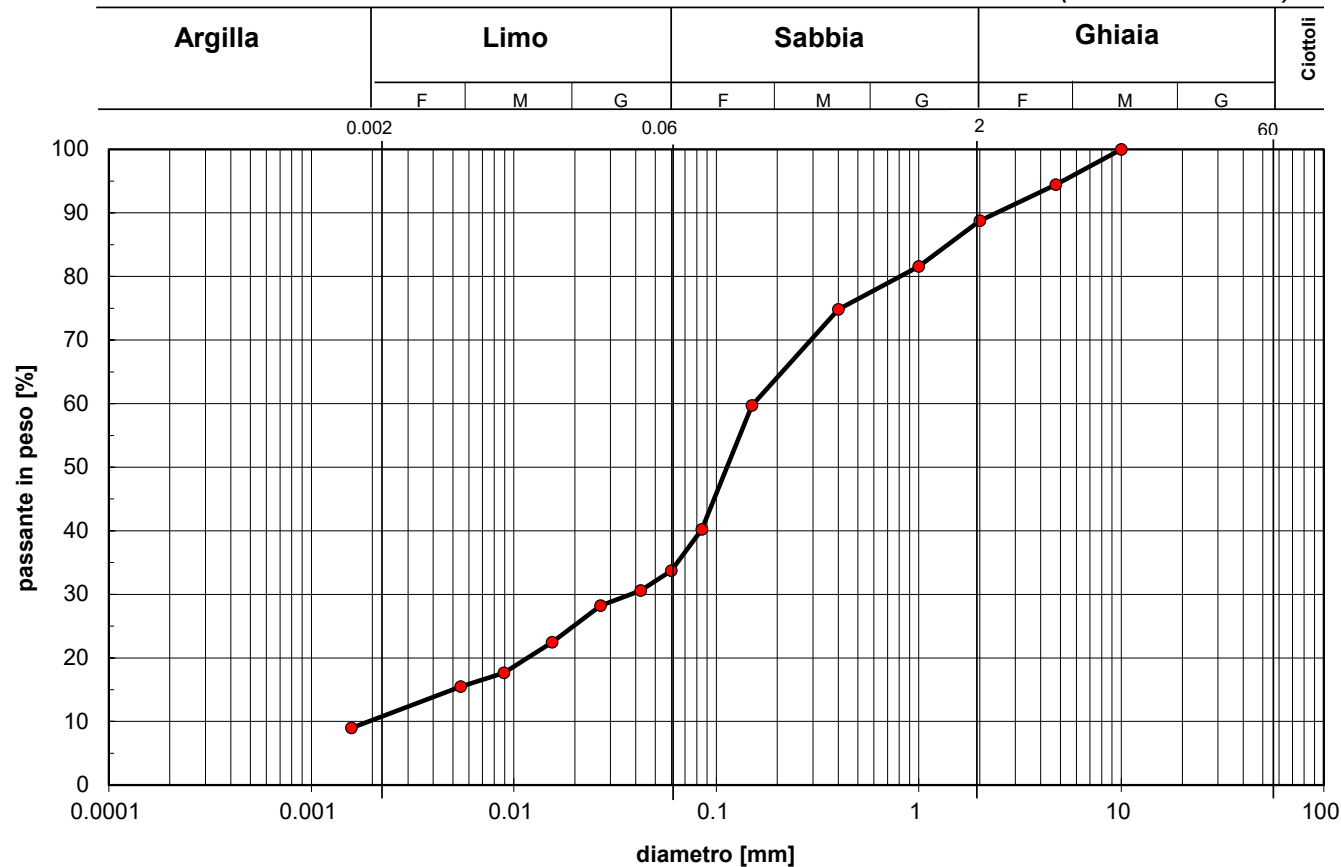
Setaccio	diametro [mm]	Trattenuto [%]	passante cum. [%]
UNI 10	10.00	0.00	100.00
ASTM 4	4.75	5.54	94.46
ASTM 10	2.00	5.71	88.75
ASTM 18	1.00	7.18	81.57
ASTM 40	0.40	6.73	74.84
ASTM 100 (setacc. materiale decantato)	0.15	15.15	59.69
SEDIMENTAZIONE	0.0846	19.47	40.22
	0.0599	6.49	33.73
	0.0423	3.12	30.61
	0.0268	2.40	28.21
	0.0155	5.77	22.44
	0.0089	4.81	17.63
	0.0055	2.16	15.47
	0.0016	6.49	8.98



Via Terracina, 169/d - 80125 Napoli

Autorizzazione Ministero Infrastrutture e Trasporti n.274 del 07/06/2018, ai sensi dell'art. 59 del DPR 06/06/2001 n° 380

### ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E SEDIMENTAZIONE (UNI EN ISO 17892-4)



Argilla (%):	<b>9.68</b>	Limo (%):	<b>24.09</b>	Sabbia (%):	<b>54.97</b>	Ghiaia (%):	<b>11.25</b>
--------------	-------------	-----------	--------------	-------------	--------------	-------------	--------------

**Autorizzazione Ministero Infrastrutture e Trasporti n.274 del 07/06/2018, ai sensi dell'art. 59 del DPR 06/06/2001 n° 380**

(Richiesta non sottoscritta dal D.L.)

Accettazione n°	<b>650</b>
Prova n°	<b>3801/04</b>
Cod. prova:	<b>TD3052</b>
Data ricevimento:	<b>14/03/2023</b>
Data inizio prova:	<b>06/04/2023</b>

Profondità (m): **3.50:4.00**

Velocità di deformazione [mm/min]: **0.005**      dimensioni del provino: **quadrato L=60 mm, altezza 20 mm**

Provino	Durata consolid. $t_{100}$ (min)	Cont. d'acqua iniziale $w$ [%]	Peso umido unità volume $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Tensione normale $\sigma'_n$ [kPa]	Tensione taglio max $\tau$ [kPa]	Cont. d'acqua finale $w_f$ [%]
1	27	19	19.87	74	61	19.6
2	30	19	20.22	147	115	19.9
3	28	19	20.58	245	193	20.1

[illegible]

Committente: **NORD ING\_FNM GROUP**

Indagine: **Comune di Lomazzo (CO) - Via alla Fonte**

Accettazione n° **650**

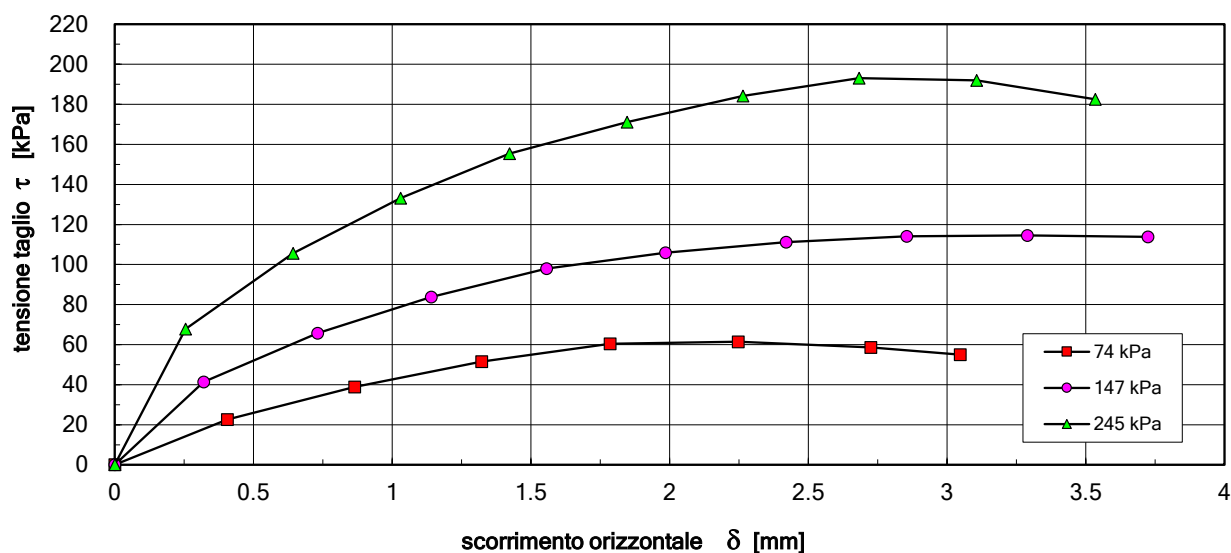
Prova n° **3801/04**

Sondaggio: **S5\_P**

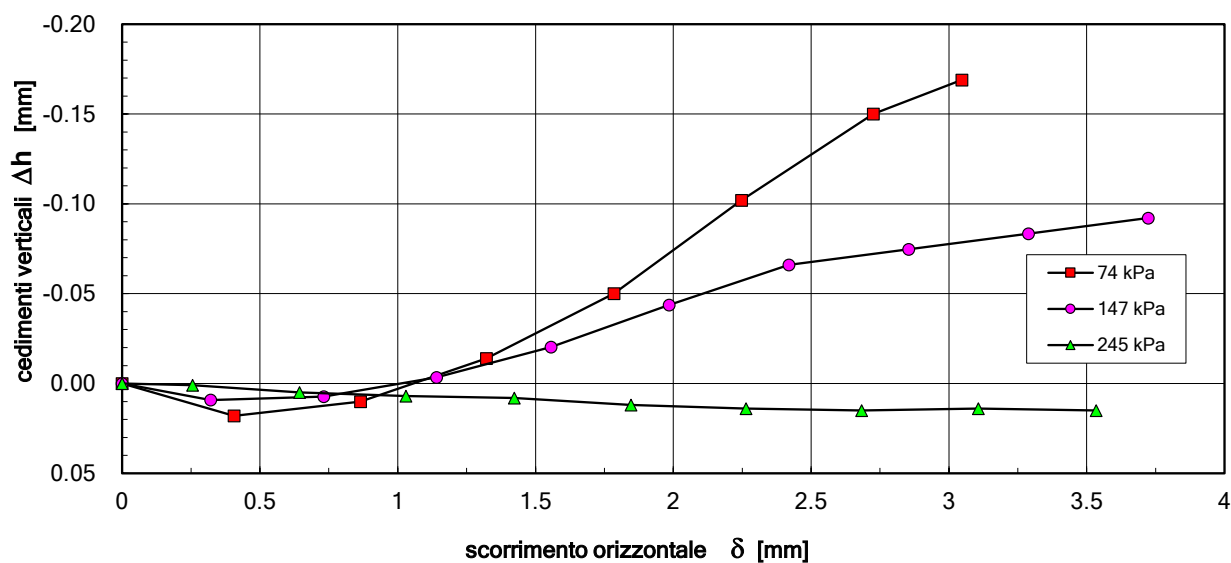
Campione: **C1**

Profondità (m): **3.50:4.00**

### Diagramma sperimentale $\tau - \delta$



### Diagramma sperimentale $\Delta h - \delta$



Committente: **NORD ING\_FNM GROUP**

Direttore dei Lavori: **non dichiarato**

Richiesta non sottoscritta dal D.L.

Accettazione n°	<b>650</b>
prova n:	<b>3802/01</b>
cod. prova	<b>Des2710</b>

Indagine: **Comune di Lomazzo (CO) - Via alla Fonte**

Sondaggio: **S5\_P**      Campione: **C2**      Profondità (m): **7.00:7.50**

**APERTURA E DESCRIZIONE DEL CAMPIONE (A.S.T.M. D2488-09a)**

Data ricevimento: 14/03/2023

Dimensioni del campione:

Data di apertura: 07/04/2023

diametro: 85 mm

Stato del campione: Indisturbato

lunghezza: - mm

Descrizione del campione	<i>Campione a struttura caotica costituito da una scarsa matrice sabbiosa, di colore marrone, contenente inclusi eterometrici ed eterogenei con diametro massimo pari a 3 cm. Sciolto. Umido.</i>
Colore:	marrone
Plasticità:	<input checked="" type="checkbox"/> Non plastico <input type="checkbox"/> Poco plastico <input type="checkbox"/> Mediam. plastico <input type="checkbox"/> Molto plastico
Addensamento: (terreni granulari)	<input checked="" type="checkbox"/> Sciolto <input type="checkbox"/> Poco addensato <input type="checkbox"/> Mediam. addensato <input type="checkbox"/> Addensato
Consistenza: (terreni coesivi)	<input type="checkbox"/> Poco consistente <input type="checkbox"/> Mediam. consistente <input type="checkbox"/> Consistente <input type="checkbox"/> Molto consistente
Grado di umidità:	<input type="checkbox"/> Asciutto <input type="checkbox"/> Poco umido <input checked="" type="checkbox"/> Umido <input type="checkbox"/> Molto umido <input type="checkbox"/> Saturo
Alterazione:	<input checked="" type="checkbox"/> Assente <input type="checkbox"/> Debole <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Elevata
Reazione con HCl	<input type="checkbox"/> Nulla <input type="checkbox"/> Debole <input type="checkbox"/> Moderata <input checked="" type="checkbox"/> Elevata

	Accettazione n° <b>650</b> prova n: <b>3802/01</b>
Struttura	<input type="checkbox"/> Massiva <input type="checkbox"/> Stratificata <input type="checkbox"/> Scagliosa <input type="checkbox"/> Laminata <input checked="" type="checkbox"/> Caotica <input type="checkbox"/> Altro:.....
Fratturazione	<input checked="" type="checkbox"/> Assente <input type="checkbox"/> Moderata <input type="checkbox"/> Elevata
Cementazione	<input checked="" type="checkbox"/> Assente <input type="checkbox"/> Debole <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Elevata

**PROVE ESEGUITE**

L totale=    -    cm

Parte Superiore (P.S.)  
\_\_\_\_\_ cm

Pocket penetrometer  
(Kg/cm<sup>2</sup>)

Vane test  
(Kg/cm<sup>2</sup>)

Parte Centrale (P.C.)  
\_\_\_\_\_ cm  
1) Analisi granulometrica

1

Parte Inferiore (P.I.)  
\_\_\_\_\_ cm

Accettazione n°: **650**  
 Prova n°: **3802/02**  
 cod. prova: **gr17936**  
 Data ricevimento: **14/03/23**  
 Data inizio prova: **13/04/23**

Committente: **NORD ING\_FNM GROUP**  
 Direttore dei Lavori: **non dichiarato**  
 (Richiesta non sottoscritta dal D.L.)  
 Indagine: **Comune di Lomazzo (CO) - Via alla**  
 Sondaggio: **S5\_P**  
 Campione: **C2**  
 Profondità (m): **7.00:7.50**  
 Peso del campione: **2948 g**

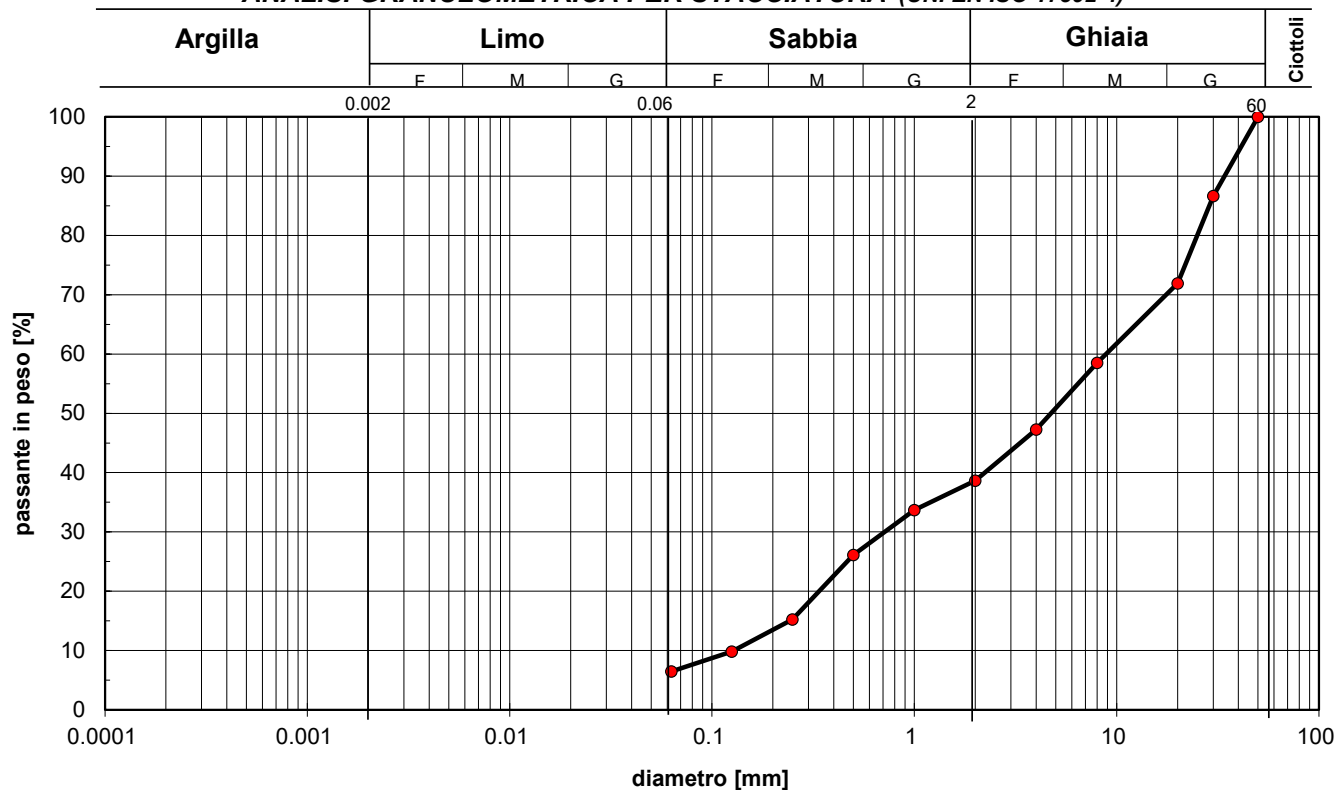
Setaccio serie	diametro [mm]	Trattenuto [%]	passante [%]
ASTM	50	0.00	100.00
BS	30	13.36	86.64
BS	20	28.09	71.91
UNI	8.0	41.49	58.51
UNI	4.0	52.75	47.25
UNI	2.0	61.36	38.64
UNI	1.0	66.32	33.68
UNI	0.5	73.88	26.12
UNI	0.25	84.74	15.26
UNI	0.125	90.16	9.84
UNI	0.063	93.52	6.48



Via Terracina, 169/d - 80125 Napoli

*Autorizzazione Ministero Infrastrutture e Trasporti n.274 del 07/06/2018, ai sensi dell'art. 59 del DPR 06/06/2001 n° 380*

### ANALISI GRANULOMETRICA PER STACCIATURA (UNI EN ISO 17892-4)



Argilla (%):	0.00	Limo (%):	6.48	Sabbia (%):	32.16	Ghiaia (%):	61.36
--------------	------	-----------	------	-------------	-------	-------------	-------

Committente: **NORD ING\_FNM GROUP**

Direttore dei Lavori: **non dichiarato**

Richiesta non sottoscritta dal D.L.

Accettazione n°	<b>650</b>
prova n:	<b>3803/01</b>
cod. prova	<b>Des2711</b>

Indagine: **Comune di Lomazzo (CO) - Via alla Fonte**

Sondaggio: **S5\_P**      Campione: **C3**      Profondità (m): **13.00:13.60**

**APERTURA E DESCRIZIONE DEL CAMPIONE (A.S.T.M. D2488-09a)**

Data ricevimento: 14/03/2023

Dimensioni del campione:

Data di apertura: 07/04/2023

diametro: 85 mm

Stato del campione: Indisturbato

lunghezza: 300 mm

Descrizione del campione	<i>Sabbia ghiaiosa e limosa di colore grigio chiaro. Gli inclusi sono di natura calcarea, eterometrici, da millimetrici a centimetrici. Sciolto, asciutto.</i>			
Colore:	grigio chiaro			
Plasticità:	<input checked="" type="checkbox"/> Non plastico	<input type="checkbox"/> Poco plastico	<input type="checkbox"/> Mediam. plastico	<input type="checkbox"/> Molto plastico
Addensamento: (terreni granulari)	<input checked="" type="checkbox"/> Sciolto	<input type="checkbox"/> Poco addensato	<input type="checkbox"/> Mediam. addensato	<input type="checkbox"/> Addensato
Consistenza: (terreni coesivi)	<input type="checkbox"/> Poco consistente	<input type="checkbox"/> Mediam. consistente	<input type="checkbox"/> Consistente	<input type="checkbox"/> Molto consistente
Grado di umidità:	<input checked="" type="checkbox"/> Asciutto	<input type="checkbox"/> Poco umido	<input type="checkbox"/> Umido	<input type="checkbox"/> Molto umido <input type="checkbox"/> Saturo
Alterazione:	<input checked="" type="checkbox"/> Assente	<input type="checkbox"/> Debole	<input type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Elevata
Reazione con HCl	<input type="checkbox"/> Nulla	<input type="checkbox"/> Debole	<input type="checkbox"/> Moderata	<input checked="" type="checkbox"/> Elevata

	Accettazione n° <b>650</b> prova n: <b>3803/01</b>
Struttura	<input type="checkbox"/> Massiva <input type="checkbox"/> Stratificata <input type="checkbox"/> Scagliosa <input type="checkbox"/> Laminata <input checked="" type="checkbox"/> Caotica <input type="checkbox"/> Altro:.....
Fratturazione	<input checked="" type="checkbox"/> Assente <input type="checkbox"/> Moderata <input type="checkbox"/> Elevata
Cementazione	<input checked="" type="checkbox"/> Assente <input type="checkbox"/> Debole <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Elevata

**PROVE ESEGUITE**

L totale=      30 cm

Parte Superiore (P.S.)  
\_\_\_\_\_ cm

Pocket penetrometer  
(Kg/cm<sup>2</sup>)

Vane test  
(Kg/cm<sup>2</sup>)

Parte Centrale (P.C.)  
\_\_\_\_\_ cm  
1) Analisi granulometrica

1

Parte Inferiore (P.I.)  
\_\_\_\_\_ cm

Accettazione n°: **650**  
 Prova n°: **3803/02**  
 cod. prova: **gr17937**  
 Data ricevimento: **14/03/23**  
 Data inizio prova: **13/04/23**

Committente: **NORD ING\_FNM GROUP**  
 Direttore dei Lavori: **non dichiarato**  
 (Richiesta non sottoscritta dal D.L.)  
 Indagine: **Comune di Lomazzo (CO) - Via alla**  
 Sondaggio: **S5\_P**  
 Campione: **C3**  
 Profondità (m): **13.00:13.60**  
 Peso del campione: **3391 g**

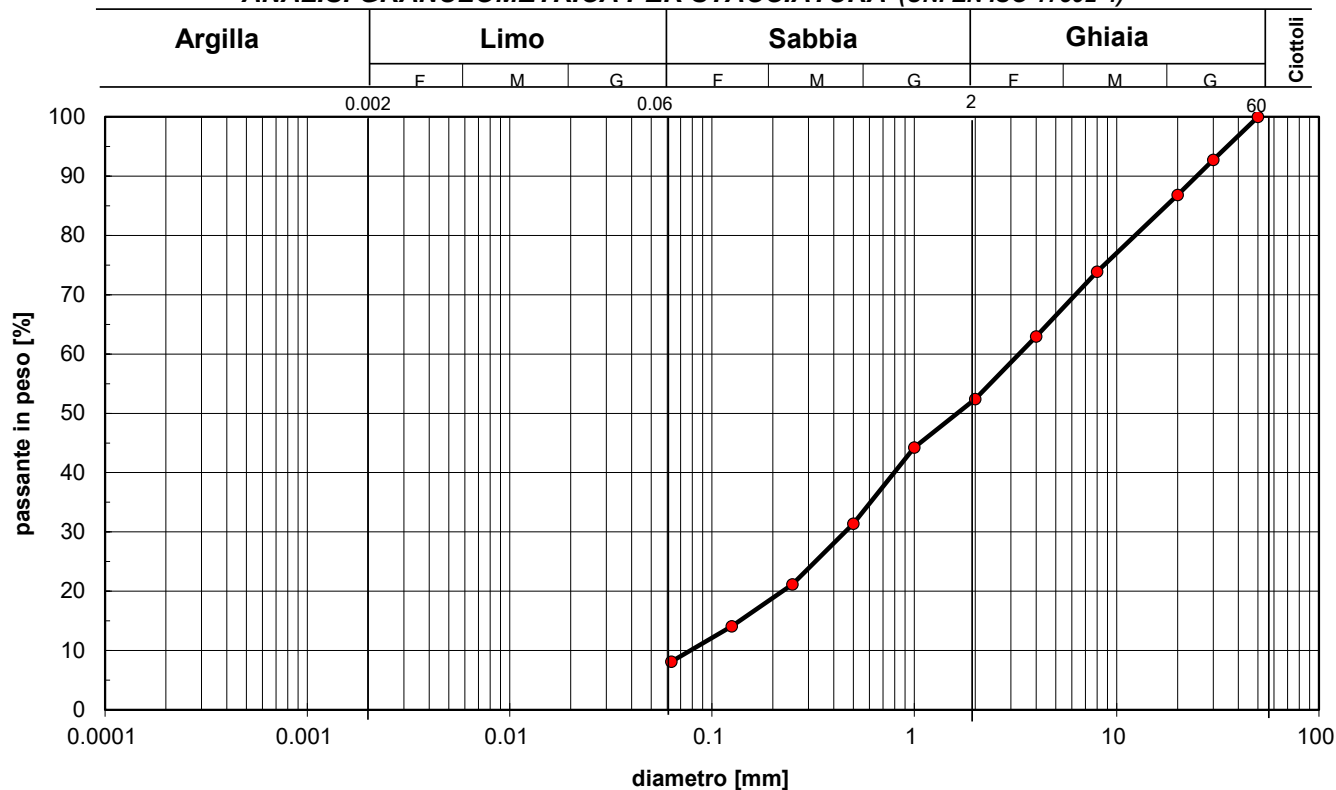
Setaccio serie	diametro [mm]	Trattenuto [%]	passante [%]
ASTM	50	0.00	100.00
BS	30	7.25	92.75
BS	20	13.15	86.85
UNI	8.0	26.10	73.90
UNI	4.0	37.04	62.96
UNI	2.0	47.57	52.43
UNI	1.0	55.74	44.26
UNI	0.5	68.59	31.41
UNI	0.25	78.83	21.17
UNI	0.125	85.90	14.10
UNI	0.063	91.86	8.14



Via Terracina, 169/d - 80125 Napoli

*Autorizzazione Ministero Infrastrutture e Trasporti n.274 del 07/06/2018, ai sensi dell'art. 59 del DPR 06/06/2001 n° 380*

### ANALISI GRANULOMETRICA PER STACCIATURA (UNI EN ISO 17892-4)



Argilla (%):	0.00	Limo (%):	8.14	Sabbia (%):	44.29	Ghiaia (%):	47.57
--------------	------	-----------	------	-------------	-------	-------------	-------

Committente: **NORD ING\_FNM GROUP**

Indagine: **Comune di Lomazzo (CO) - Via alla Fonte**

Sondaggio: **S5\_P**

Campione: **C1**

Profondità (m): **3.50:4.00**

### **RIEPILOGO DEI RISULTATI**

<b>DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA (UNI EN ISO 17892-4)</b>	
Argilla (<0.002 mm)	<b>9.68 %</b>
Limo (0.002<p<0.06 mm)	<b>24.09 %</b>
Sabbia (0.06<p<2 mm)	<b>54.97 %</b>
Ghiaia (2mm<p<60 mm)	<b>11.25 %</b>
Ciottoli (>60 mm)	<b>0.00 %</b>
<b>CLASSIFICA: Sabbia limosa ghiaiosa deb. argillosa</b>	
<b>Passante ASTM 200:</b>	

<b>LIMITI DI ATTERBERG (A.S.T.M. D4318-10)</b>		
Limite di liquidità	<b>w<sub>L</sub> =</b>	<b>n.d.</b>
Limite di plasticità	<b>w<sub>P</sub> =</b>	<b>n.d.</b>
Indice di plasticità	<b>I<sub>P</sub> =</b>	<b>n.d.</b>
Indice di consistenza	<b>I<sub>C</sub> =</b>	<b>n.d.</b>

<b>PROVA EDOMETRICA (UNI EN ISO 17892-5)</b>		
<b>Intervallo di carico tra 78 e 147 kPa</b>		
Modulo Edometrico	<b>M=</b>	<b>n.d.</b>
Coeff. di consolidazione	<b>C<sub>v</sub>=</b>	<b>n.d.</b>
Permeabilità	<b>k=</b>	<b>n.d.</b>
<b>Intervallo di carico tra 147 e 294 kPa</b>		
Modulo Edometrico	<b>M=</b>	<b>n.d.</b>
Coeff. di consolidazione	<b>C<sub>v</sub>=</b>	<b>n.d.</b>
Permeabilità	<b>k=</b>	<b>n.d.</b>
<b>Intervallo di carico tra 294 e 588 kPa</b>		
Modulo Edometrico	<b>M=</b>	<b>n.d.</b>
Coeff. di consolidazione	<b>C<sub>v</sub>=</b>	<b>n.d.</b>
Permeabilità	<b>k=</b>	<b>n.d.</b>
<b>Intervallo di carico tra 588 e 1176 kPa</b>		
Modulo Edometrico	<b>M=</b>	<b>n.d.</b>
Coeff. di consolidazione	<b>C<sub>v</sub>=</b>	<b>n.d.</b>
Permeabilità	<b>k=</b>	<b>n.d.</b>
<b>Intervallo di carico tra 1176 e 2451 kPa</b>		
Modulo Edometrico	<b>M=</b>	<b>n.d.</b>
Coeff. di consolidazione	<b>C<sub>v</sub>=</b>	<b>n.d.</b>
Permeabilità	<b>k=</b>	<b>n.d.</b>

<b>PROVA UNIASSIALE (UNI CEN ISO/TS17892-7)</b>		
Tensione a rottura	<b>σ<sub>1r</sub>=</b>	<b>n.d.</b>

<b>CARATTERISTICHE FISICHE GENERALI</b>	
Peso specifico dei grani	<b>γ<sub>s</sub> = 26.10 kN/m³</b>
Contenuto d'acqua	<b>w = 0.182</b>
Peso di volume naturale	<b>γ = 20.78 kN/m³</b>
Peso di volume secco	<b>γ<sub>d</sub> = 17.58 kN/m³</b>
Porosità	<b>n = 0.326</b>
Indice di porosità	<b>e = 0.485</b>
Grado di saturazione	<b>S<sub>r</sub> = 1.000</b>

<b>PROVA DI TAGLIO DIRETTO CD (UNI CEN ISO/TS17892-10)</b>		
Coesione efficace c' =	<b>4 kPa</b>	
Angolo di attrito efficace φ' =	<b>37°</b>	<b>32'</b>
Coesione efficace res. c <sub>r</sub> ' =	<b>n.d.</b>	
Angolo di attrito residuo φ <sub>r</sub> ' =	<b>n.d.</b>	

<b>PROVA TRIASSIALE CID (UNI CEN ISO/TS17892-9)</b>		
Coesione efficace c' =	<b>n.d.</b>	
Angolo di attrito efficace φ' =	<b>n.d.</b>	<b>n.d.</b>

<b>PROVA TRIASSIALE UU (UNI CEN ISO/TS17892-8)</b>		
Coesione totale c <sub>u</sub> =	<b>n.d.</b>	
Angolo di attrito totale φ <sub>u</sub> =	<b>n.d.</b>	

<b>PROVA TRIASSIALE CIU (UNI CEN ISO/TS17892-9)</b>		
Coesione efficace c' =	<b>n.d.</b>	
Angolo di attrito efficace φ' =	<b>n.d.</b>	
Coesione totale c =	<b>n.d.</b>	
Angolo di attrito totale φ =	<b>n.d.</b>	

<b>PROVA DI PERM. DIRETTA (UNI CEI ISO/TS 17892/11)</b>		
In permeametro	<b>n.d.</b>	
In cella edometrica	<b>n.d.</b>	
In cella triassiale	<b>k=</b>	<b>n.d. cm/s</b>

**N.B.: LA PRESENTE TABELLA NON FA PARTE DEI CERTIFICATI DI PROVA, MA RAPPRESENTA UNA SINTESI DEI DATI ED UNA LORO POSSIBILE INTERPRETAZIONE.  
IL LABORATORIO NON SI ASSUME RESPONSABILITA' CIRCA ERRONEA ELABORAZIONE DEI RISULTATI PRESENTATI, DI SPECIFICA RESPONSABILITA' DEL TECNICO INCARICATO DELL'INTERPRETAZIONE DEGLI STESSI**

Committente: **NORD ING\_FNM GROUP**

Indagine: **Comune di Lomazzo (CO) - Via alla Fonte**

Sondaggio: **S5\_P**

Campione: **C2**

Profondità (m): **7.00:7.50**

### **RIEPILOGO DEI RISULTATI**

<b>DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA (UNI EN ISO 17892-4)</b>	
Argilla (<0.002 mm)	<b>0.00 %</b>
Limo (0.002<p<0.06 mm)	<b>6.48 %</b>
Sabbia (0.06<p<2 mm)	<b>32.16 %</b>
Ghiaia (2mm<p<60 mm)	<b>61.36 %</b>
Ciottoli (>60 mm)	<b>0.00 %</b>
<b>CLASSIFICA: Ghiaia con sabbia debolmente limosa</b>	
<b>Passante ASTM 200:</b>	

<b>LIMITI DI ATTERBERG (A.S.T.M. D4318-10)</b>		
Limite di liquidità	<b>w<sub>L</sub> =</b>	<b>n.d.</b>
Limite di plasticità	<b>w<sub>P</sub> =</b>	<b>n.d.</b>
Indice di plasticità	<b>I<sub>P</sub> =</b>	<b>n.d.</b>
Indice di consistenza	<b>I<sub>C</sub> =</b>	<b>n.d.</b>

<b>PROVA EDOMETRICA (UNI EN ISO 17892-5)</b>		
<b>Intervallo di carico tra 78 e 147 kPa</b>		
Modulo Edometrico	<b>M=</b>	<b>n.d.</b>
Coeff. di consolidazione	<b>Cv=</b>	<b>n.d.</b>
Permeabilità	<b>k=</b>	<b>n.d.</b>
<b>Intervallo di carico tra 147 e 294 kPa</b>		
Modulo Edometrico	<b>M=</b>	<b>n.d.</b>
Coeff. di consolidazione	<b>Cv=</b>	<b>n.d.</b>
Permeabilità	<b>k=</b>	<b>n.d.</b>
<b>Intervallo di carico tra 294 e 588 kPa</b>		
Modulo Edometrico	<b>M=</b>	<b>n.d.</b>
Coeff. di consolidazione	<b>Cv=</b>	<b>n.d.</b>
Permeabilità	<b>k=</b>	<b>n.d.</b>
<b>Intervallo di carico tra 588 e 1176 kPa</b>		
Modulo Edometrico	<b>M=</b>	<b>n.d.</b>
Coeff. di consolidazione	<b>Cv=</b>	<b>n.d.</b>
Permeabilità	<b>k=</b>	<b>n.d.</b>
<b>Intervallo di carico tra 1176 e 2451 kPa</b>		
Modulo Edometrico	<b>M=</b>	<b>n.d.</b>
Coeff. di consolidazione	<b>Cv=</b>	<b>n.d.</b>
Permeabilità	<b>k=</b>	<b>n.d.</b>

<b>PROVA UNIASSIALE (UNI CEN ISO/TS17892-7)</b>		
Tensione a rottura	<b>σ<sub>1r</sub>=</b>	<b>n.d.</b>

<b>CARATTERISTICHE FISICHE GENERALI</b>	
Peso specifico dei grani	<b>γ<sub>s</sub> = n.d.</b>
Contenuto d'acqua	<b>w = n.d.</b>
Peso di volume naturale	<b>γ = n.d.</b>
Peso di volume secco	<b>γ<sub>d</sub> = n.d.</b>
Porosità	<b>n = n.d.</b>
Indice di porosità	<b>e = n.d.</b>
Grado di saturazione	<b>Sr = n.d.</b>

<b>PROVA DI TAGLIO DIRETTO CD (UNI CEN ISO/TS17892-10)</b>	
Coesione efficace c' =	<b>n.d.</b>
Angolo di attrito efficace φ' =	<b>n.d.</b>
Coesione efficace res. c <sub>r</sub> ' =	<b>n.d.</b>
Angolo di attrito residuo φ <sub>r</sub> ' =	<b>n.d.</b>

<b>PROVA TRIASSIALE CID (UNI CEN ISO/TS17892-9)</b>		
Coesione efficace c' =	<b>n.d.</b>	
Angolo di attrito efficace φ' =	<b>n.d.</b>	<b>n.d.</b>

<b>PROVA TRIASSIALE UU (UNI CEN ISO/TS17892-8)</b>		
Coesione totale c <sub>u</sub> =	<b>n.d.</b>	
Angolo di attrito totale φ <sub>u</sub> =	<b>n.d.</b>	

<b>PROVA TRIASSIALE CIU (UNI CEN ISO/TS17892-9)</b>		
Coesione efficace c' =	<b>n.d.</b>	
Angolo di attrito efficace φ' =	<b>n.d.</b>	
Coesione totale c =	<b>n.d.</b>	
Angolo di attrito totale φ =	<b>n.d.</b>	

<b>PROVA DI PERM. DIRETTA (UNI CEI ISO/TS 17892/11)</b>		
In permeametro	<b>n.d.</b>	
In cella edometrica	<b>n.d.</b>	
In cella triassiale	<b>k= n.d.</b>	<b>cm/s</b>

**N.B.: LA PRESENTE TABELLA NON FA PARTE DEI CERTIFICATI DI PROVA, MA RAPPRESENTA UNA SINTESI DEI DATI ED UNA LORO POSSIBILE INTERPRETAZIONE.  
IL LABORATORIO NON SI ASSUME RESPONSABILITA' CIRCA ERRONEA ELABORAZIONE DEI RISULTATI PRESENTATI, DI SPECIFICA RESPONSABILITA' DEL TECNICO INCARICATO DELL'INTERPRETAZIONE DEGLI STESSI**

Committente: **NORD ING\_FNM GROUP**

Indagine: **Comune di Lomazzo (CO) - Via alla Fonte**

Sondaggio: **S5\_P**

Campione: **C3**

Profondità (m): **13.00:13.60**

### **RIEPILOGO DEI RISULTATI**

<b>DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA (UNI EN ISO 17892-4)</b>	
Argilla (<0.002 mm)	<b>0.00 %</b>
Limo (0.002<p<0.06 mm)	<b>8.14 %</b>
Sabbia (0.06<p<2 mm)	<b>44.29 %</b>
Ghiaia (2mm<p<60 mm)	<b>47.57 %</b>
Ciottoli (>60 mm)	<b>0.00 %</b>
<b>CLASSIFICA: Ghiaia e sabbia debolmente limosi</b>	
<b>Passante ASTM 200:</b>	

<b>LIMITI DI ATTERBERG (A.S.T.M. D4318-10)</b>		
Limite di liquidità	<b>w<sub>L</sub> =</b>	<b>n.d.</b>
Limite di plasticità	<b>w<sub>P</sub> =</b>	<b>n.d.</b>
Indice di plasticità	<b>I<sub>P</sub> =</b>	<b>n.d.</b>
Indice di consistenza	<b>I<sub>C</sub> =</b>	<b>n.d.</b>

<b>PROVA EDOMETRICA (UNI EN ISO 17892-5)</b>		
<b>Intervallo di carico tra 78 e 147 kPa</b>		
Modulo Edometrico	<b>M=</b>	<b>n.d.</b>
Coeff. di consolidazione	<b>C<sub>v</sub>=</b>	<b>n.d.</b>
Permeabilità	<b>k=</b>	<b>n.d.</b>
<b>Intervallo di carico tra 147 e 294 kPa</b>		
Modulo Edometrico	<b>M=</b>	<b>n.d.</b>
Coeff. di consolidazione	<b>C<sub>v</sub>=</b>	<b>n.d.</b>
Permeabilità	<b>k=</b>	<b>n.d.</b>
<b>Intervallo di carico tra 294 e 588 kPa</b>		
Modulo Edometrico	<b>M=</b>	<b>n.d.</b>
Coeff. di consolidazione	<b>C<sub>v</sub>=</b>	<b>n.d.</b>
Permeabilità	<b>k=</b>	<b>n.d.</b>
<b>Intervallo di carico tra 588 e 1176 kPa</b>		
Modulo Edometrico	<b>M=</b>	<b>n.d.</b>
Coeff. di consolidazione	<b>C<sub>v</sub>=</b>	<b>n.d.</b>
Permeabilità	<b>k=</b>	<b>n.d.</b>
<b>Intervallo di carico tra 1176 e 2451 kPa</b>		
Modulo Edometrico	<b>M=</b>	<b>n.d.</b>
Coeff. di consolidazione	<b>C<sub>v</sub>=</b>	<b>n.d.</b>
Permeabilità	<b>k=</b>	<b>n.d.</b>

<b>PROVA UNIASSIALE (UNI CEN ISO/TS17892-7)</b>		
Tensione a rottura	<b>σ<sub>1r</sub>=</b>	<b>n.d.</b>

<b>CARATTERISTICHE FISICHE GENERALI</b>	
Peso specifico dei grani	<b>γ<sub>s</sub> = n.d.</b>
Contenuto d'acqua	<b>w = n.d.</b>
Peso di volume naturale	<b>γ = n.d.</b>
Peso di volume secco	<b>γ<sub>d</sub> = n.d.</b>
Porosità	<b>n = n.d.</b>
Indice di porosità	<b>e = n.d.</b>
Grado di saturazione	<b>S<sub>r</sub> = n.d.</b>

<b>PROVA DI TAGLIO DIRETTO CD (UNI CEN ISO/TS17892-10)</b>	
Coesione efficace c' =	<b>n.d.</b>
Angolo di attrito efficace φ' =	<b>n.d.</b>
Coesione efficace res. c <sub>r</sub> ' =	<b>n.d.</b>
Angolo di attrito residuo φ <sub>r</sub> ' =	<b>n.d.</b>

<b>PROVA TRIASSIALE CID (UNI CEN ISO/TS17892-9)</b>		
Coesione efficace c' =	<b>n.d.</b>	
Angolo di attrito efficace φ' =	<b>n.d.</b>	<b>n.d.</b>

<b>PROVA TRIASSIALE UU (UNI CEN ISO/TS17892-8)</b>		
Coesione totale c <sub>u</sub> =	<b>n.d.</b>	
Angolo di attrito totale φ <sub>u</sub> =	<b>n.d.</b>	

<b>PROVA TRIASSIALE CIU (UNI CEN ISO/TS17892-9)</b>		
Coesione efficace c' =	<b>n.d.</b>	
Angolo di attrito efficace φ' =	<b>n.d.</b>	
Coesione totale c =	<b>n.d.</b>	
Angolo di attrito totale φ =	<b>n.d.</b>	

<b>PROVA DI PERM. DIRETTA (UNI CEI ISO/TS 17892/11)</b>		
In permeametro	<b>n.d.</b>	
In cella edometrica	<b>n.d.</b>	
In cella triassiale	<b>k= n.d.</b>	<b>cm/s</b>

**N.B.: LA PRESENTE TABELLA NON FA PARTE DEI CERTIFICATI DI PROVA, MA RAPPRESENTA UNA SINTESI DEI DATI ED UNA LORO POSSIBILE INTERPRETAZIONE.  
IL LABORATORIO NON SI ASSUME RESPONSABILITA' CIRCA ERRONEA ELABORAZIONE DEI RISULTATI PRESENTATI, DI SPECIFICA RESPONSABILITA' DEL TECNICO INCARICATO DELL'INTERPRETAZIONE DEGLI STESSI**


**NORD\_ING FNM Group**

**INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE PER PROGETTO PASSERELLA PEDONALE  
VIA ALLA FONTE**

**Responsabile Commessa  
Ing. Rosangela Graglia**

**RISPOSTA SISMICA LOCALE**

**LOMAZZO (COMO)**

**CODICE PROGETTO**

G	_	N	I	S	_	1	1	_	2	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

**DATA**

19/04/2023
------------

**REVISIONE**

0	1
---	---

**PAGINE**

28
----

**Gruppo di Lavoro**

**Ph.D. Geol. Salvatore Costabile**

Direttore Tecnico - Geologo Senior

**Dott. Geol. Fabio Lombardi**

Geologo Senior – Sez. A

**Dott. Geol. Fabio Liguori**

Geologo Junior

**Dott.ssa Ada Di Simone**

Geofisico

rev.

descrizione

data

redatto

verificato

1

Emissione

19/04/2023

Geol. Fabio  
Lombardi

Ph.D. Geol.  
Salvatore Costabile

2

3



## Sommario

PREMESSA.....	3
RIFERIMENTI NORMATIVI .....	4
1. MODELLAZIONE SISMICA E RISPOSTA LOCALE .....	5
1.1. PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE .....	7
1.2. DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA.....	10
1.3. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE E COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA .....	13
2. RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	14
2.1. DATI DI BASE E ANALISI DI DISAGGREGAZIONE .....	15
2.2. ELABORAZIONE DEI DATI: MODELLAZIONE.....	18
2.3. RISULTATI OTTENUTI.....	21

## PREMESSA

La presente relazione illustra lo studio di Risposta Sismica Locale, effettuata per conto di NORD\_ING Gruppo FNM, nell'ambito del contratto n. 4500165817, stipulato in data 05/09/2022 ed avente ad oggetto "Prove geotecniche, sondaggi geognostici, prove/analisi di laboratorio, diagnostica strutturale". La campagna d'indagini, codice commessa E.10.B, ha previsto la realizzazione di "Indagini geognostiche e geofisiche per progetto passerella pedonale via alla Fonte", presso il Comune di Lomazzo (CO).

L'obiettivo del seguente studio, in unione con le indagini geofisiche riportato nell'apposito report allegato, è stato quello di definire il modello geologico e geologico – tecnico dell'area. Inoltre ha permesso di descrivere, dal punto di vista sismo-stratigrafico, il sottosuolo dell'area di indagine e di definire, in accordo con quanto prescritto dalle NTC 2018, le litologie riscontrate in termini di categorie di sottosuolo. Ciò ha permesso infine di ricavare la Risposta Sismica Locale, fondamentale per la verifica di vulnerabilità sismica degli edifici/strutture.

## RIFERIMENTI NORMATIVI

Per la realizzazione della campagna geognostica e geofisica e delle lavorazioni relative sono stati seguiti i criteri e le modalità definite dalle seguenti normative tecniche di settore:

- Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- UNI ENV 1977-3 (2002). Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito.
- ASTM D4220-95 (2000). Standard Practices for Preserving and Transporting Soil Samples.
- UNI EN ISO 14688-1:2003. Indagini e prove geotecniche-Identificazione e classificazione dei terreni-Identificazione e descrizione.
- ASTM D2487-00. Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).
- ASTM D2488-00. Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual Manual Procedure).
- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.
- ASTM D653-02. Standard terminology relating to soil, rock, and contained fluids.
- CNR-UNI N.10006. Costruzione e manutenzione delle strade. Tecnica di impiego delle terre.
- ASTM D3282-93 (1997). Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.
- ASTM C119-01. Standard Terminology Relating to Dimension Stone.
- UNI EN 932-3 (1998). Procedura e terminologia per la descrizione petrografica semplificata.
- Raccomandazioni AGI per l'esecuzione delle indagini geotecniche (1977).

## 1. MODELLAZIONE SISMICA E RISPOSTA LOCALE

Ai fini della determinazione delle azioni sismiche di progetto nei modi previsti dalle NTC, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale (di categoria T1), in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti. Il sito di riferimento sarà dunque caratterizzato da sottosuolo di categoria A e superficie topografica di categoria T1. In particolare, i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica PVR:

- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A);
- $F_o$  = 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.

Facendo riferimento ad informazioni così dettagliate e puntuali è possibile adottare, nella progettazione e verifica delle costruzioni, valori dell'azione sismica meglio correlati alla pericolosità sismica del sito, alla vita nominale della costruzione e all'uso cui essa è destinata, consentendo soluzioni più appropriate ed anche economiche, e nello stesso tempo, trattare le problematiche connesse alla pericolosità sismica adottando una classificazione sismica riferibile anche a porzioni territoriali dei singoli comuni. Nei confronti delle azioni sismiche, riferendosi alla costruzione nella sua complessità, quindi includendo elementi strutturali, non strutturali ed impianti, vengono identificate due categorie di Stato Limite, quelli di *esercizio* e quelli denominati *ultimi*, che a loro volta si suddividono in altre due sottocategorie.

➤ Stati limite di Esercizio, che sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** al seguito del terremoto la costruzione, nel suo complesso, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significanti;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione, nel suo complesso, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non comprometter significativamente la capacità di resistenza e rigidezza nei confronti delle azioni

verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature;

➤ Stati Limite Ultimi, che sono:

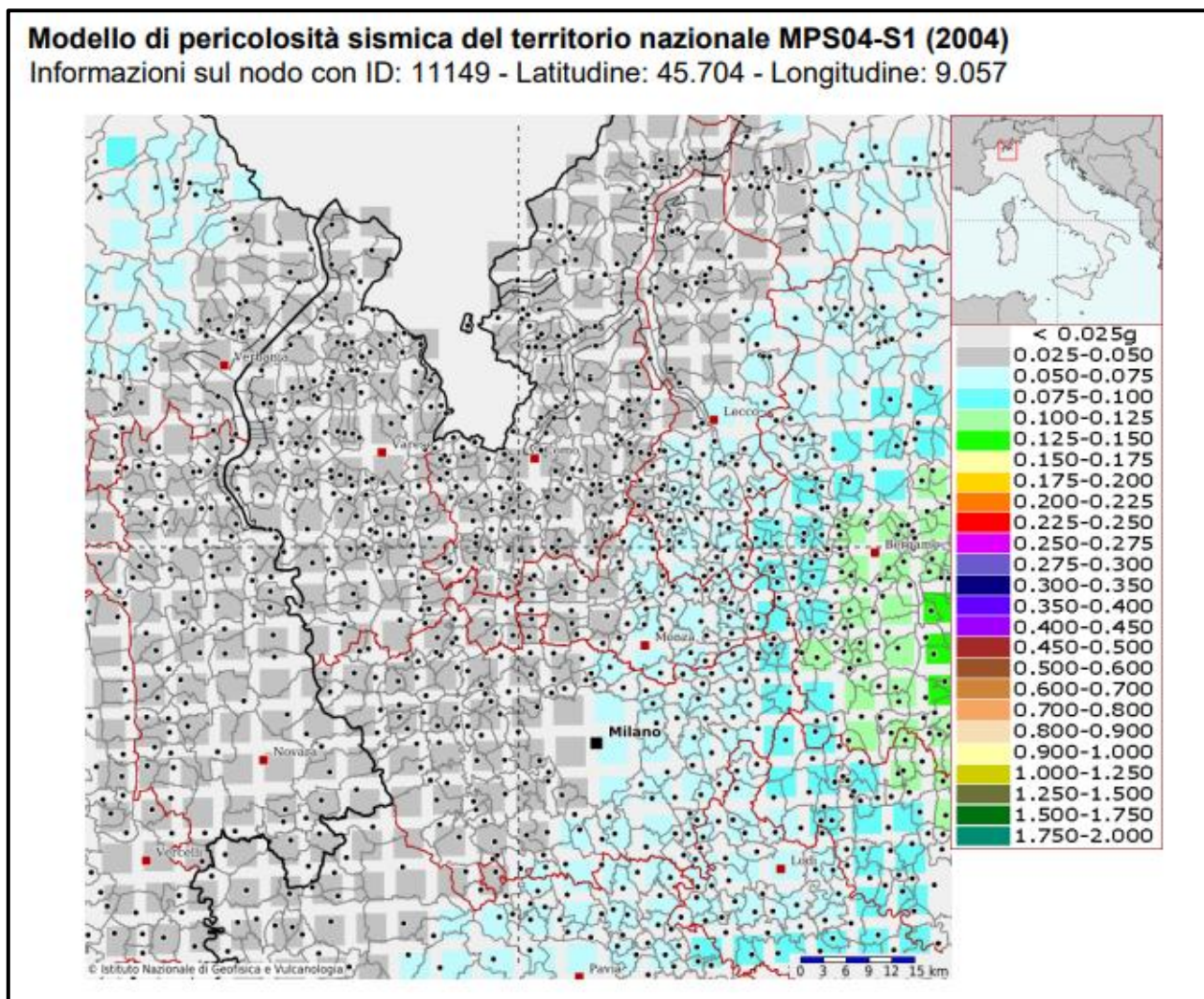
- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una significativa rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione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

## 1.1. PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Le azioni sismiche di un progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfonologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale. In particolare la pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$ , e costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche; in particolare viene definita come la *probabilità che in una data area e in un certo intervallo di tempo accada un terremoto che superi una soglia d'intensità, magnitudo o accelerazione di picco (PGA)* di nostro interesse.

Nel caso specifico, il territorio di Lomazzo è classificato come “**Zona sismica 4**” indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Lombardia dell'11 luglio 2014 n.2129 entrata in vigore il 10 aprile 2016. Tale zona presenta valori di accelerazione al suolo (PGA) inferiori ai 0.05 g ed ha una sismicità bassa, quindi è una zona che nell'intero territorio nazionale presenta il minor rischio sismico, essendo possibili scosse lievi e sporadiche, con bassa possibilità di arrecare danni.

Per quanto riguarda la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento, fornito dai dati pubblicati sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<https://esse1-gis.mi.ingv.it/>) la cabina ricade sul nodo con ID:11149 (posto nel centro della mappa) che presenta valori di accelerazioni di picco orizzontali del suolo con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido, compreso tra  $0,025 < a_g < 0,050$  come mostrato nella Figura 1.



*Figura 1 – Modello di pericolosità sismica INGV.*

I suddetti valori devono essere quindi riformulati in base ai parametri sismici riferibili ad un sottopasso. È necessario infatti considerare la Vita Nominale dell'opera, intesa come il numero di anni nel quale la struttura, anche soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Per un edificio scolastico, tale valore VN dev'essere pari

almeno a 50 anni e tale verrà ipotizzato nel calcolo dello spettro di risposta sismica. Le azioni sismiche saranno quindi valutate in relazione a un periodo di riferimento VR che si ricava moltiplicando la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU, quest'ultimo definito sulla base della classe d'uso dell'edificio. Per gli edifici scolastici la classe d'uso dev'essere pari alla Classe III (Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi). Infine la valutazione della sicurezza e la progettazione dovranno essere eseguite, in accordo a quanto prescritto nel Capitolo 7 delle NTC 2018, con riferimento agli Stati Limite Ultimi e di Esercizio. Le Verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC).

## 1.2.DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Una volta definita la pericolosità sismica di base, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare anche l'effetto della risposta sismica locale mediante il ricorso ad un approccio semplificato al fine di ottenere la categoria del suolo di fondazione del sito in esame così come definita nella *Tabella 1*.

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

*Tabella 1 – Classificazione sismica del sottosuolo.*

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, velocità equivalente  $v_{Seq}$  (espressa in **m/s**), definita dalla seguente relazione:

$$v_{Seq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_{Si}}}$$

Dove:

- **H** rappresenta la profondità del substrato, espressa in metri (**m**), alla quale si riscontra una velocità delle onde S superiore a **800 m/s**, che fa riferimento a una roccia o terreno molto rigido;
- **$h_i$**  è lo spessore dell'i-esimo strato espresso in metri (**m**);
- **N** rappresentano il numero di strati;

- $V_{S_i}$  è la velocità delle onde S relative all'i-esimo strato considerato.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore ai trenta metri (**30 m**), la velocità equivalente delle onde di taglio  $v_{Seq}$  è definita dal parametro  $v_{S30}$ , ottenuto ponendo  $H = 30 \text{ m}$  nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

In accordo con i piani di indagine, nel sito è stata eseguita n.1 acquisizione di sismica attiva di tipo MASW e n.1 acquisizione sismica passiva di tipo HVSR che hanno permesso di ricostruire il profilo di velocità delle onde di taglio Vs ed il calcolo della  $v_{S30}$ . È stato quindi determinato il parametro  $v_{S30}$  del sito, definendo la categoria di suolo nell'area investigata:

- Tramite l'indagine **MASW** è stata calcolata una  $v_{Seq}$  pari a **420 m/s**;
- $H=30 \text{ m}$ .

Entrambe le indagini hanno quindi fornito un valore attribuibile alla categoria di suolo B:

*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E, i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  possono essere calcolati, in funzione dei valori di  $F_o$  e  $T_c^*$  relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella *Tabella 2* (Tab. 3.2.IV delle NTC2018), nelle quali  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  e l'accelerazione di gravità e  $T_c^*$  e espresso in secondi.

**Tab. 3.2.IV – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$** 

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

**Tabella 2 – Tab 3.2.IV delle NTC2018.**

Una volta definita la pericolosità sismica di base, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare anche l'effetto della risposta sismica locale mediante il ricorso ad un approccio semplificato al fine di ottenere la categoria del suolo di fondazione del sito in esame così come definita nella *Tabella 3*.

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

**Tabella 3 – Classificazione sismica del sottosuolo.**

### 1.3.CONDIZIONI TOPOGRAFICHE E COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Per la progettazione o la verifica di opere e sistemi geotecnici realizzati su versanti e per l'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii, la valutazione dell'amplificazione topografica può essere effettuata mediante analisi di risposta sismica locale o utilizzando il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ . Il parametro  $S_T$  deve essere applicato nel caso di configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, di altezza superiore a 30 m. Gli effetti topografici possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a  $15^\circ$ , altrimenti si applicano i criteri indicati nel capitolo 3.2.2. del D.M. 17.01.2018 secondo le categorie topografiche indicate nelle tabelle seguenti.

**Tab. 3.2.III – Categorie topografiche**

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 $i > 30^\circ$

*Tabella 4 – Categorie topografiche.*

Nel caso in esame l'area risulta caratterizzata da gradienti di pendenza  $< 15^\circ$ , per cui ricade nella **categoria T1** a cui va attribuito un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  pari a 1,0 come riportato nella tabella 3.2 V delle N.T.C. 2018.

**Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$**

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$	1,4

*Tabella 5 – Valori di amplificazione topografica  $S_T$ .*

## 2. RISPOSTA SISMICA LOCALE

L'analisi di risposta sismica locale, per come dettato dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni, è un tipo di studio approfondito che deve essere applicato qualora le costruzioni ricadano in classe d'uso III o IV, quando si riscontrano delle significative inversioni nel profilo di velocità delle onde di taglio, o quando la morfologia di superficie e/o della stratigrafia non è considerata semplice.

Attraverso questa metodologia si valutano le variazioni in termini di ampiezza e frequenza, che subisce un input sismico (accelerogramma spettro-compatibile) nella sua propagazione dal substrato sismico (velocità delle onde di taglio di almeno 800 m/s) fino alla superficie (o al piano di imposta delle fondazioni), a seconda delle caratteristiche fisico-meccaniche degli strati attraversati.

L'input sismico è rappresentato da almeno una settupla di accelerogrammi naturali qualora la valutazione sia effettuata sul loro spettro medio (o in alternativa da 7 accelerogrammi per la direzione X, e 7 accelerogrammi per la direzione Y, entrambi riferiti alla componente orizzontale). L'impiego di accelerogrammi artificiali o sintetici non è consentito dalle vigenti Norme Tecniche sulle Costruzioni – D.M. 17/01/2018). Lo spettro di risposta in accelerazione di input, deve avere una forma spettrale compatibile con quella del sito in esame; gli accelerogrammi naturali provengono da registrazioni reali di eventi sismici. La loro scelta si basa sulla disaggregazione, ovvero il contributo alla pericolosità del sito che è dato da una determinata sorgente sismogenetica posta ad una certa distanza epicentrale  $R$  che genera un evento di magnitudo  $M$ .

Le fasi per eseguire la risposta sismica locale sono le seguenti:

- Scelta dell'input sismico spettro-compatibile con quello del sito in esame riferito ad un suolo rigido attraverso un'analisi di disaggregazione per gli stati limite richiesti;
- Definizione della stratigrafia compresa nell'intervallo bedrock sismico – superficie (o piano di imposta delle fondazioni) e caratterizzazione fisico-meccanica;
- Calcolo dell'output sismico alla superficie (o al piano di posa delle fondazioni) tramite la funzione di trasferimento e di amplificazione che tiene conto delle eventuali modificazioni del segnale di input derivanti dalle differenti caratteristiche elastiche e meccaniche degli strati attraversati nella propagazione;

- Estrapolazione dei parametri dipendenti di output per la progettazione per gli stati limite richiesti.

## 2.1. DATI DI BASE E ANALISI DI DISAGGREGAZIONE

Per la selezione dell'input sismico utilizzato nella modellazione, si deve far riferimento ad alcune caratteristiche del sito in esame e dell'opera in progetto:

- Coordinate del sito;
- Classe d'Uso dell'opera;
- Vita nominale dell'opera;
- Stato limite di riferimento;
- Disaggregazione del sito.

Nello specifico di questo studio la risposta sismica locale è stata eseguita per tutti gli stati limite previsti dalla vigente normativa (SLO, SLD, SLV, SLC). Il sito è identificato dalle seguenti coordinate:

**Latitudine:** 45.708    **Longitudine:** 9.038    *Via alla Fonte, Lomazzo*

I dati di base dell'opera e dei siti sono riassunti nella *Tabella 6*.

PARAMETRO	VALORE
Vita Nominale della Costruzione $V_N$	<i>50 Anni</i>
Classe d'Uso della Costruzione	<i>Classe III</i>
Coefficiente d'Uso $C_U$	<i>1,5</i>
Periodo di Riferimento per la Costruzione $V_R = V_N \times C_U$	<i>75 Anni</i>

**Tabella 6.** – Valori di input per la RSL

Sulla base quindi dei dati sopra riportati si ottengono per i vari stati limite previsti in normativa, i valori riportati nella *Tabella 7*.

Stato Limite	Tr (anni)	$a_g$ (g)	Fo	Tc'
Operatività (SLO)	45	0,01891	2,5544	0,1703
Danno (SLD)	75	0,02352	2,5362	0,1912
Salvaguardia vita (SLV)	712	0,04547	2,6692	0,2927
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0,05301	2,7334	0,3137

**Tabella 7** – Valori di  $Tr$ ,  $a_g$ ,  $Fo$  e  $Tc'$  per edificio classe III con  $V_n$  pari a 50 anni.

La ricerca della coppia distanza–magnitudo (**disaggregazione**) utilizzate per la successiva scelta dell'input sismico, è stata fatta tramite la pagina dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano <http://esse1-gis.mi.ingv.it>, dedicata ai dati di pericolosità sismica nazionale. Successivamente, si è proceduto, con il software **REXEL** alla ricerca dell'input sismico spettro–compatibile della componente orizzontale per il sito di studio (7 accelerogrammi) e per ciascuno stato limite, facendo riferimento al database di ricerca **European Strong-motion Database (ESD)**, e a suolo di tipo rigido (A) e pianeggiante (T1).

Di seguito si riporta l'analisi di disaggregazione per l'estrapolazione degli accelerogrammi spettro – compatibili (Tabella 8).

STATO LIMITE	PROBABILITA' IN 50 ANNI	DISTANZA	MAGNITUDO
SLO	81%	90 – 130 km	4.0 – 5.5
SLD	63%	50 – 120 km	4.0 – 5.5
SLV	10%	40 – 80 km	4.5 – 6.0
SLC	5%	40 – 80 km	4.0 – 5.5

**Tabella 8** – Distanza - Magnitudo

Nella Figura 2 si riportano le combinazioni medie spettro-compatibili dello stato limite SLV, per il sito in esame, con minore scarto estrapolate da REXEL, i cui 7 accelerogrammi per combinazione che ne generano lo spettro in accelerazione medio, sono stati utilizzati come input al bed rock per l'analisi RSL ai rispettivi stati limite.

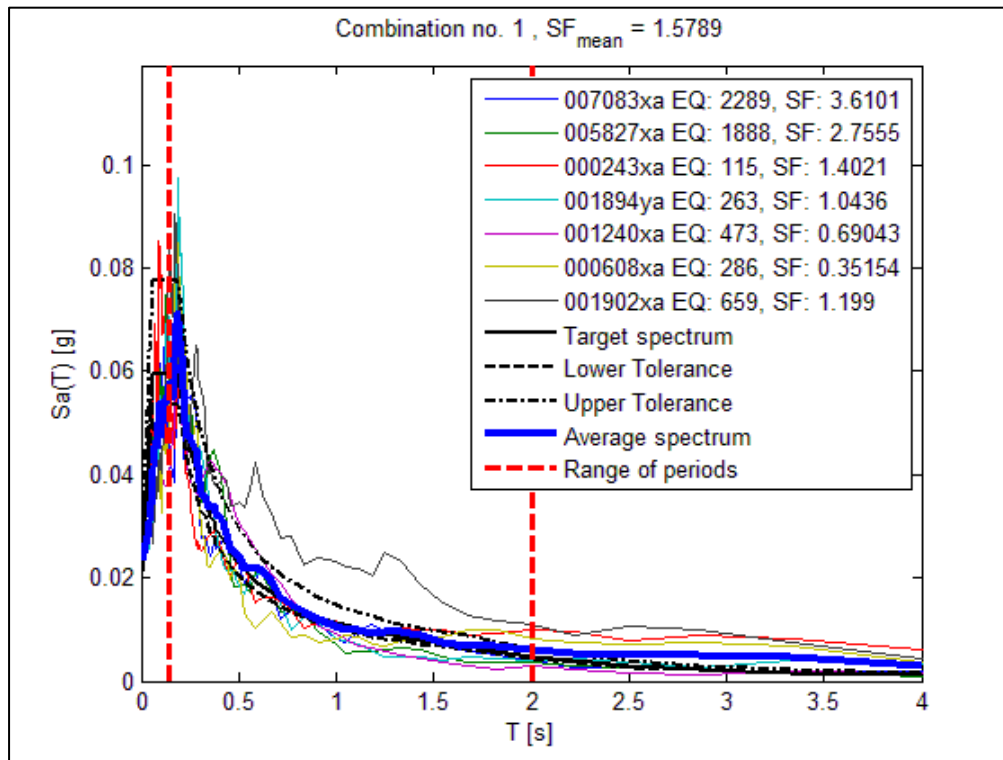


Figura 2 – Spettri selezionati

## 2.2. ELABORAZIONE DEI DATI: MODELLAZIONE

Al fine di valutare la risposta sismica locale e la reale attendibilità delle Categorie di Sottosuolo e del coefficiente Topografico è stato utilizzato il codice di calcolo STRATA, all'interno del quale ciascun punto della superficie esaminato viene definito mediante un modello di sottosuolo monodimensionale, ossia a strati paralleli, in cui bisogna specificare la stratigrafia lungo la verticale considerata. Nel rispetto della normativa vigente è stata effettuata una modellazione numerica assegnando una severità dell'azione sismica con la probabilità di superamento,  $P$ , e con il periodo di ritorno,  $T_r$ , relativi agli stati limite considerati. In particolare, è stata considerata una vita nominale della costruzione ( $V_n$ ) di 50 anni, una classe d'uso ( $C_u$ ) di III con il relativo coefficiente pari a 1,5 e quindi una vita di riferimento  $V_r = 50$  anni. A partire da queste indicazioni si è determinato un periodo di ritorno dell'azione sismica di 712 anni corrispondenti allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV).

Una volta estrapolati gli accelerogrammi spettro compatibili con il sito di esame, e dopo aver costruito un adeguato modello di terreno, si è proceduti all'analisi di risposta sismica locale facendo propagare gli accelerogrammi di input, opportunamente scalati rispetto alla PGA di riferimento per ciascun stato limite, dal bedrock alla superficie. Gli input sismici utilizzati sono rappresentati da una settupla di storie accelerometriche applicate alla base del modello per lo stato limite considerato e riferite agli spettri di normativa calcolati per il sito in esame, considerando un sottosuolo di roccia affiorante (classe A) con topografia sub-orizzontale (T1) e correttamente deconvoluto (v. Dynamic Analysis della ITASCA, 2018).

Il modello di terreno utilizzato nelle modellazioni è stato ricostruito sulla base di tutte le prove geofisiche e geotecniche in situ e di laboratorio, che sono state eseguite nel sito di indagine.

I parametri richiesti per la modellazione numerica di risposta sismica locale, sono:

- Spessore degli strati;
- Velocità delle onde di taglio nei singoli sismostrati identificati;
- Peso di volume;
- Parametri dinamici dei terreni (smorzamento D e modulo di taglio G/Gmax in funzione della deformazione);
- Stima del bedrock profondo da dati bibliografici, in particolare dalla lettura e analisi del CARG (Foglio 096 "Seregno").

Riguardo la velocità delle onde di taglio dei sismostrati si è fatto riferimento ai risultati ottenuti dalle prove sismiche MASW eseguite in situ; per il peso di volume alle prove di laboratorio.

Il modello sismo-stratigrafico utilizzato per l'analisi di risposta sismica locale è riportato in *Figura 3*.

<div> <div>+ Add</div> <div>Insert</div> <div>Remove</div> </div>						
	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G <sub>max</sub> Model	Damping Model	Damp. Limit (%)	Note
1	Riporto	19.50	Peninsular Range, Cohesionless 0-50 ft	Peninsular Range, Cohesionless 0-50 ft	0,5	
2	Sabbia ghiaiosa	20.78	Vucetic & Dobry, PI = 0	Vucetic & Dobry, PI = 0	0,5	
3	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa	20.00	Vucetic & Dobry, PI = 0	Vucetic & Dobry, PI = 0	0,5	
4	Ghiaia eterometrica	18.00	Vucetic & Dobry, PI = 15	Vucetic & Dobry, PI = 15	0,5	

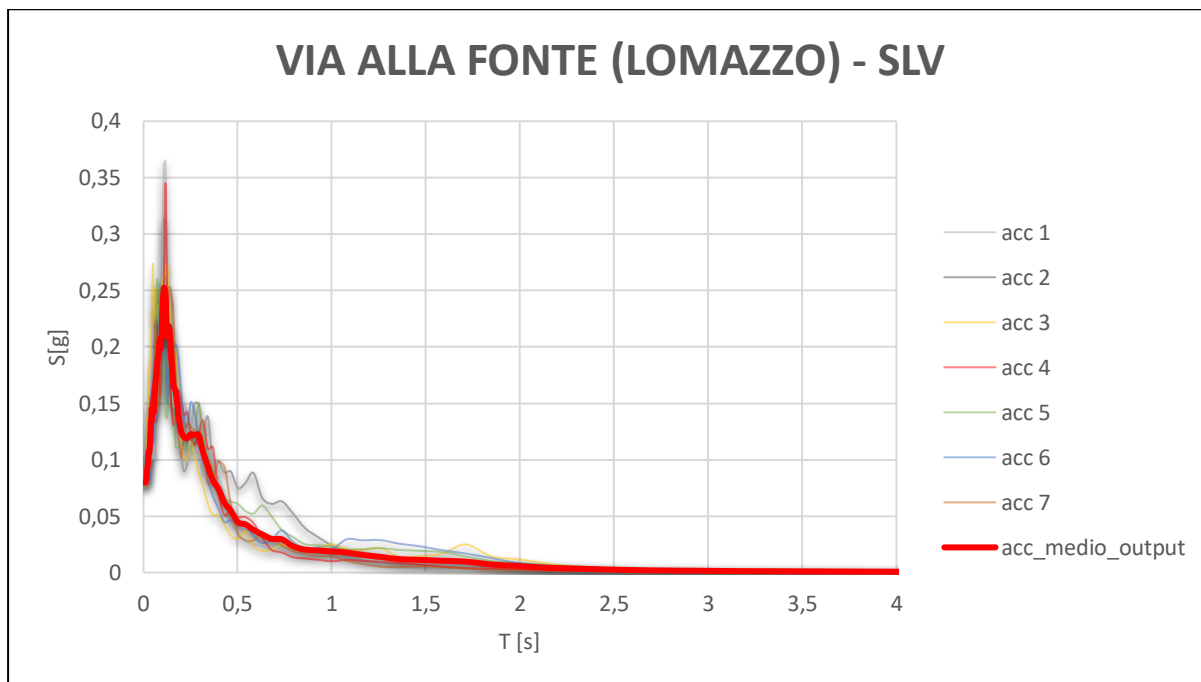
<div> <div>+ Add</div> <div>Insert</div> <div>Remove</div> </div>				
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	V <sub>s</sub> (m/s)
1	0.00	1.60	Riporto	240.00
2	1.60	5.40	Sabbia ghiaiosa	320.00
3	7.00	4.50	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa	430.00
4	11.50	30.00	Ghiaia eterometrica	570.00
5	41.50	Half-Space	Bedrock	800.00

Bedrock Layer	
Unit weight:	22,50 kN/m <sup>3</sup>
Damping:	1,00 %

*Figura 3. – Modello sismo stratigrafico utilizzato nel software STRATA per l'analisi di RSL e relative coordinate per sito.*

### 2.3.RISULTATI OTTENUTI

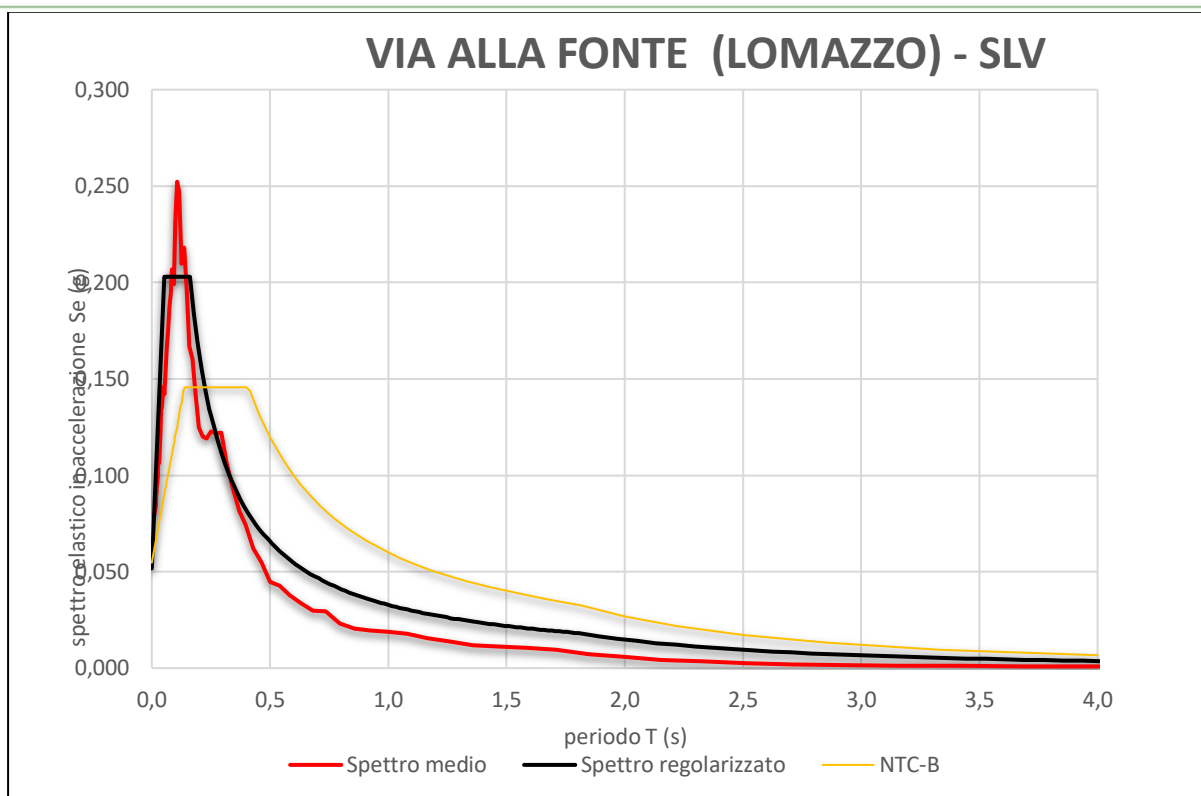
In Figura 4 sono raffigurati gli spettri di risposta elastica calcolati in superficie (tetto del modello) per ogni evento sismico modellizzato, la cui media è rappresentata dalla linea rossa.



*Figura 4 – Spettro SLV – Via alla Fonte*

Lo spettro di risposta medio viene confrontato con quelli derivanti dalla procedura semplificata di risposta sismica locale e identificabile nelle categorie di sottosuolo. In particolare, Lo spettro di risposta elastico ottenuto, presenta valori massimi di  $a_g$  di circa 0,24  $a_g/g$  a circa 0,11 s.

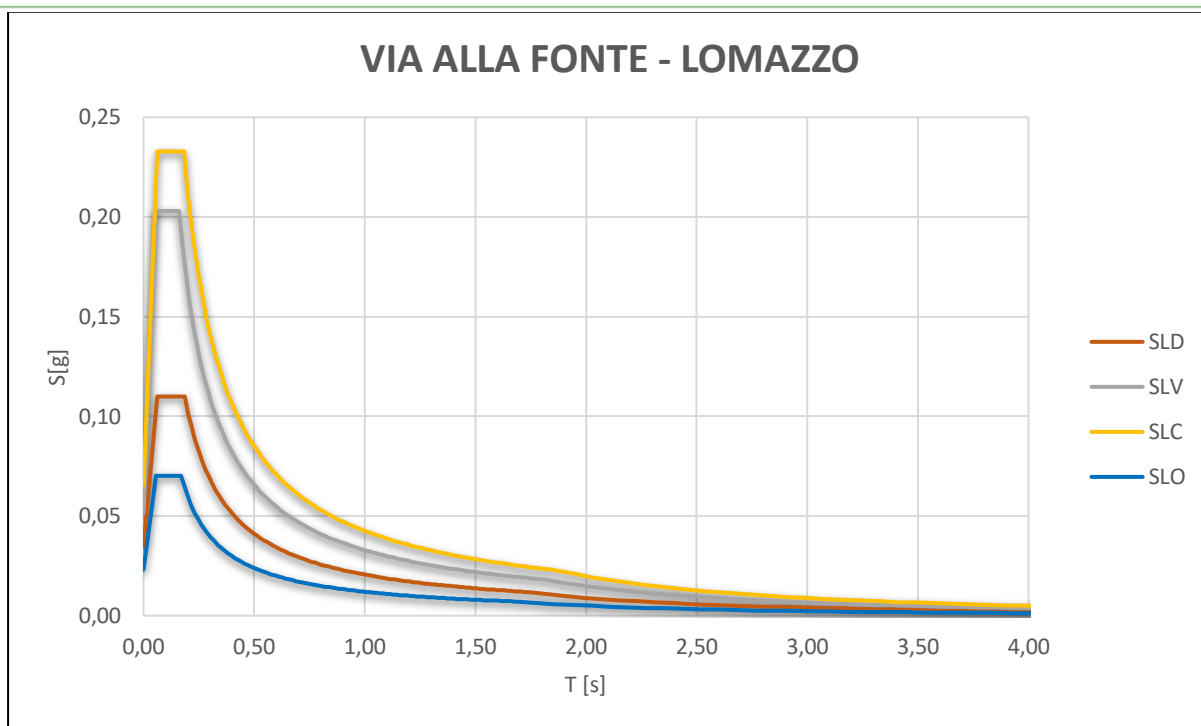
Si va a paragonare ora lo spettro ottenuto con lo spettro di normativa di riferimento (calcolato utilizzando la categoria di sottosuolo B, coefficiente d'uso III e categoria topografica T1), riportato in Figura 5.



*Figura 5 – Confronto spettro di normativa e spettro di risposta*

Dal grafico sopra riportato, si può osservare che per periodi superiori a circa 0,15 s la Categoria di appartenenza B-T1 sovrastima i valori di  $a_g$  ottenuti con la modellazione, al contrario, per periodi inferiori a 0,15 s lo spettro di sottosuolo di categoria B-T1 delle NTC sottostima i valori  $a_g$  ottenuti.

Analogamente a quanto fatto per lo stato limite di salvaguardia, attraverso il software STRATA, sono stati valutati gli spettri di risposta elastici per i restanti stati limite previsti in normativa (SLO; SLD; SLC). Di seguito si riportano i seguenti parametri sismici e relativi spettri di risposta:



**Figura 6** – Spettri elastici ottenuti per i diversi stati limite, componente orizzontale.

	Cu	$a_g$ (g)	$F_o$	$Tc'$ [s]	$T_B$ [s]	$T_c$ [s]	$T_D$ [s]	Se
<b>SLO</b>	1,5	0,0229	3,061	0,1703	0,0567	0,1703	1,6916	0,0701
<b>SLD</b>	1,5	0,0252	3,845	0,1912	0,0592	0,1777	1,7009	0,0970
<b>SLV</b>	1,5	0,0515	3,934	0,2927	0,0538	0,1616	1,8063	0,2029
<b>SLC</b>	1,5	0,0653	3,565	0,3137	0,0608	0,1825	1,8256	0,23285

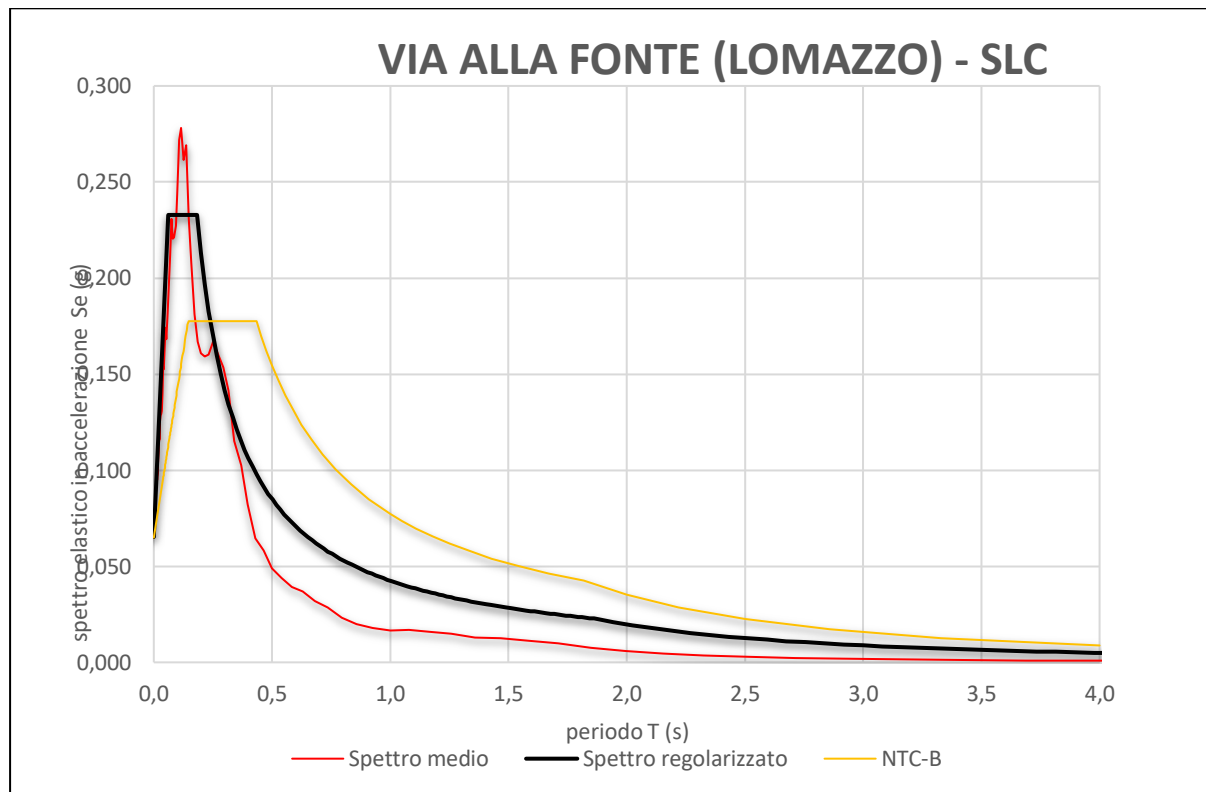
**Tabella 8** – Valori di risposta sismica locale orizzontale.

A seguire nelle Figure 7, 8 e 9 vengono riportati gli spettri ottenuti per gli altri stati limite (SLC, SLD, SLO) a confronto con i rispettivi spettri di normativa, dai quali si desume che:

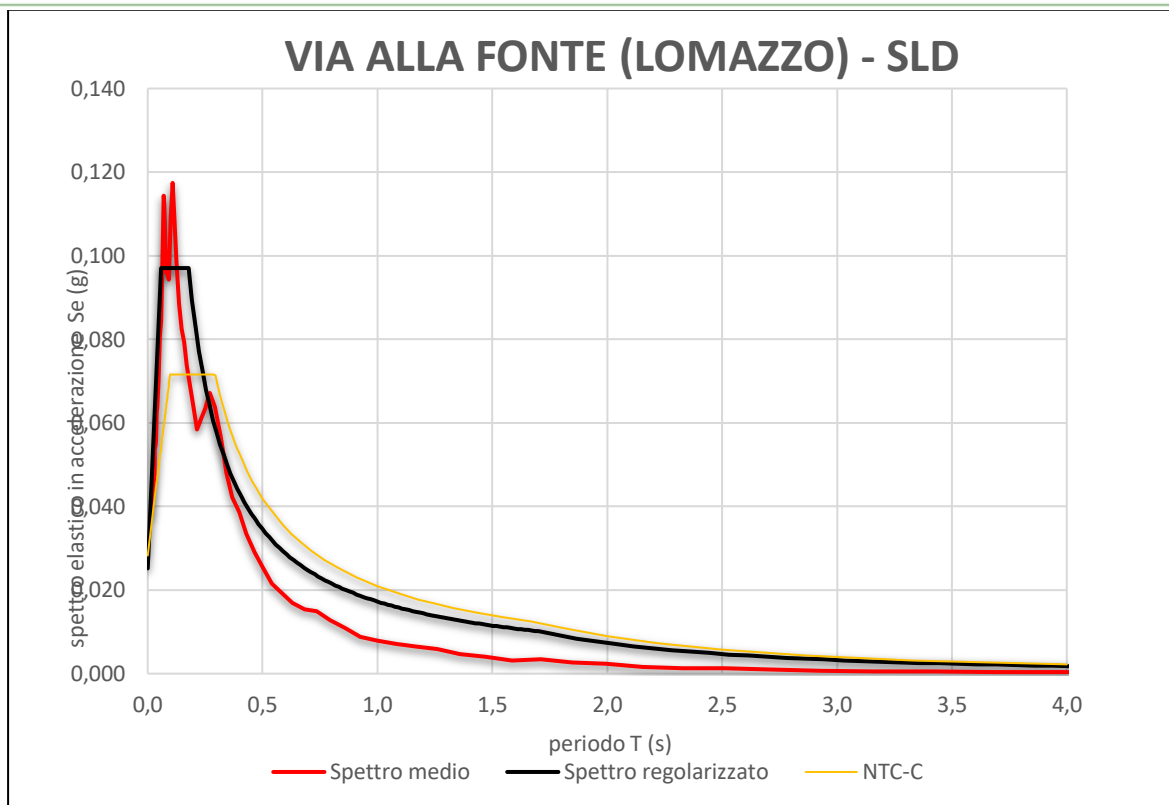
- Per SLC lo spettro di risposta è sottostimato rispetto a quello di normativa da periodi maggiori a 0.27 (al di sotto risulta avere accelerazioni maggiori rispetto a quelli di normativa);
- Per SLD lo spettro di risposta è sovrastimato rispetto a quello di normativa da periodi maggiori a 0.26 (al di sotto risulta avere accelerazioni maggiori rispetto a quelli di normativa);

- Per SLO lo spettro di risposta è sovrastimato rispetto a quello di normativa da periodi maggiori a 0.23 (al di sotto risulta avere accelerazioni maggiori rispetto a quelli di normativa).

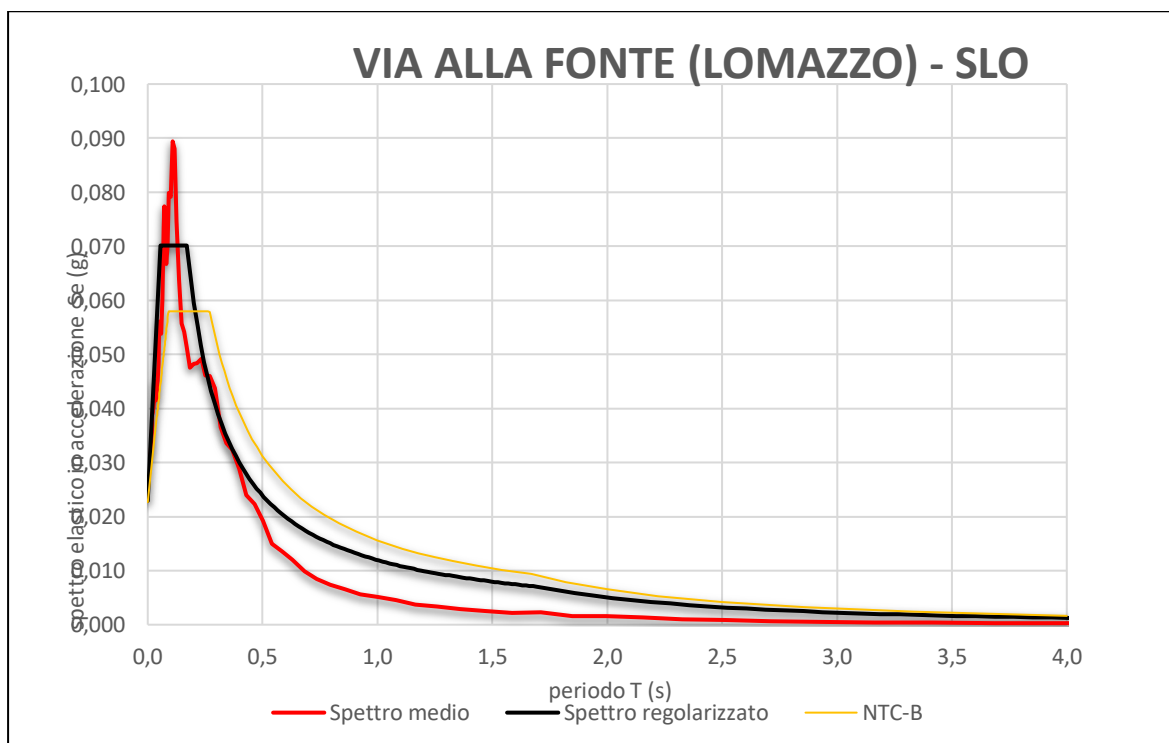
Si riporta infine nella *Tabella 9* i valori che costruiscono gli spettri normalizzati riportati nella Figura 6.



**Figura 7 – Spettro SLC – Via alla Fonte**



*Figura 8 - Spettro SLD – Via alla Fonte*



*Figura 9 - Spettro SLO – Via alla Fonte*

SLC		SLV		SLD		SLO	
0,0000	0,0653	0,0000	0,0516	0,0000	0,0346	0,0000	0,0229
0,0609	0,2328	0,0539	0,2030	0,0623	0,1099	0,0568	0,0701
0,1826	0,2328	0,1617	0,2030	0,1869	0,1099	0,1703	0,0701
0,1993	0,2132	0,1781	0,1842	0,2024	0,1015	0,1855	0,0644
0,2161	0,1967	0,1945	0,1686	0,2179	0,0942	0,2007	0,0595
0,2329	0,1825	0,2110	0,1555	0,2334	0,0880	0,2159	0,0553
0,2497	0,1702	0,2274	0,1442	0,2489	0,0825	0,2312	0,0517
0,2665	0,1595	0,2439	0,1345	0,2645	0,0777	0,2464	0,0485
0,2833	0,1501	0,2603	0,1260	0,2800	0,0734	0,2616	0,0457
0,3001	0,1417	0,2768	0,1185	0,2955	0,0695	0,2768	0,0431
0,3169	0,1342	0,2932	0,1119	0,3110	0,0660	0,2920	0,0409
0,3336	0,1274	0,3097	0,1059	0,3265	0,0629	0,3072	0,0389
0,3504	0,1213	0,3261	0,1006	0,3420	0,0600	0,3224	0,0370
0,3672	0,1158	0,3426	0,0958	0,3575	0,0574	0,3377	0,0354
0,3840	0,1107	0,3590	0,0914	0,3731	0,0550	0,3529	0,0338
0,4008	0,1061	0,3755	0,0874	0,3886	0,0528	0,3681	0,0324
0,4176	0,1018	0,3919	0,0837	0,4041	0,0508	0,3833	0,0312
0,4344	0,0979	0,4084	0,0803	0,4196	0,0489	0,3985	0,0300
0,4512	0,0942	0,4248	0,0772	0,4351	0,0472	0,4137	0,0289
0,4679	0,0908	0,4413	0,0744	0,4506	0,0456	0,4289	0,0278
0,4847	0,0877	0,4577	0,0717	0,4661	0,0441	0,4441	0,0269
0,5015	0,0848	0,4741	0,0692	0,4817	0,0426	0,4594	0,0260
0,5183	0,0820	0,4906	0,0669	0,4972	0,0413	0,4746	0,0252
0,5351	0,0794	0,5070	0,0647	0,5127	0,0401	0,4898	0,0244
0,5519	0,0770	0,5235	0,0627	0,5282	0,0389	0,5050	0,0237
0,5687	0,0748	0,5399	0,0608	0,5437	0,0378	0,5202	0,0230
0,5854	0,0726	0,5564	0,0590	0,5592	0,0367	0,5354	0,0223
0,6022	0,0706	0,5728	0,0573	0,5748	0,0357	0,5506	0,0217
0,6190	0,0687	0,5893	0,0557	0,5903	0,0348	0,5659	0,0211
0,6358	0,0669	0,6057	0,0542	0,6058	0,0339	0,5811	0,0206
0,6526	0,0651	0,6222	0,0527	0,6213	0,0331	0,5963	0,0200
0,6694	0,0635	0,6386	0,0514	0,6368	0,0322	0,6115	0,0195
0,6862	0,0620	0,6551	0,0501	0,6523	0,0315	0,6267	0,0191
0,7030	0,0605	0,6715	0,0489	0,6678	0,0307	0,6419	0,0186
0,7197	0,0591	0,6880	0,0477	0,6834	0,0301	0,6571	0,0182
0,7365	0,0577	0,7044	0,0466	0,6989	0,0294	0,6723	0,0178
0,7533	0,0564	0,7208	0,0455	0,7144	0,0287	0,6876	0,0174
0,7701	0,0552	0,7373	0,0445	0,7299	0,0281	0,7028	0,0170
0,7869	0,0540	0,7537	0,0435	0,7454	0,0275	0,7180	0,0166
0,8037	0,0529	0,7702	0,0426	0,7609	0,0270	0,7332	0,0163
0,8205	0,0518	0,7866	0,0417	0,7765	0,0264	0,7484	0,0160

0,8373	0,0508	0,8031	0,0409	0,7920	0,0259	0,7636	0,0156
0,8540	0,0498	0,8195	0,0400	0,8075	0,0254	0,7788	0,0153
0,8708	0,0488	0,8360	0,0392	0,8230	0,0250	0,7941	0,0150
0,8876	0,0479	0,8524	0,0385	0,8385	0,0245	0,8093	0,0148
0,9044	0,0470	0,8689	0,0378	0,8540	0,0240	0,8245	0,0145
0,9212	0,0461	0,8853	0,0371	0,8695	0,0236	0,8397	0,0142
0,9380	0,0453	0,9018	0,0364	0,8851	0,0232	0,8549	0,0140
0,9548	0,0445	0,9182	0,0357	0,9006	0,0228	0,8701	0,0137
0,9715	0,0438	0,9347	0,0351	0,9161	0,0224	0,8853	0,0135
0,9883	0,0430	0,9511	0,0345	0,9316	0,0220	0,9005	0,0133
1,0051	0,0423	0,9676	0,0339	0,9471	0,0217	0,9158	0,0130
1,0219	0,0416	0,9840	0,0333	0,9626	0,0213	0,9310	0,0128
1,0387	0,0409	1,0004	0,0328	0,9782	0,0210	0,9462	0,0126
1,0555	0,0403	1,0169	0,0323	0,9937	0,0207	0,9614	0,0124
1,0723	0,0396	1,0333	0,0317	1,0092	0,0203	0,9766	0,0122
1,0891	0,0390	1,0498	0,0313	1,0247	0,0200	0,9918	0,0120
1,1058	0,0384	1,0662	0,0308	1,0402	0,0197	1,0070	0,0119
1,1226	0,0379	1,0827	0,0303	1,0557	0,0195	1,0223	0,0117
1,1394	0,0373	1,0991	0,0298	1,0712	0,0192	1,0375	0,0115
1,1562	0,0368	1,1156	0,0294	1,0868	0,0189	1,0527	0,0113
1,1730	0,0362	1,1320	0,0290	1,1023	0,0186	1,0679	0,0112
1,1898	0,0357	1,1485	0,0286	1,1178	0,0184	1,0831	0,0110
1,2066	0,0352	1,1649	0,0282	1,1333	0,0181	1,0983	0,0109
1,2234	0,0347	1,1814	0,0278	1,1488	0,0179	1,1135	0,0107
1,2401	0,0343	1,1978	0,0274	1,1643	0,0176	1,1287	0,0106
1,2569	0,0338	1,2143	0,0270	1,1799	0,0174	1,1440	0,0104
1,2737	0,0334	1,2307	0,0267	1,1954	0,0172	1,1592	0,0103
1,2905	0,0329	1,2471	0,0263	1,2109	0,0170	1,1744	0,0102
1,3073	0,0325	1,2636	0,0260	1,2264	0,0167	1,1896	0,0100
1,3241	0,0321	1,2800	0,0256	1,2419	0,0165	1,2048	0,0099
1,3409	0,0317	1,2965	0,0253	1,2574	0,0163	1,2200	0,0098
1,3576	0,0313	1,3129	0,0250	1,2729	0,0161	1,2352	0,0097
1,3744	0,0309	1,3294	0,0247	1,2885	0,0159	1,2505	0,0096
1,3912	0,0306	1,3458	0,0244	1,3040	0,0157	1,2657	0,0094
1,4080	0,0302	1,3623	0,0241	1,3195	0,0156	1,2809	0,0093
1,4248	0,0298	1,3787	0,0238	1,3350	0,0154	1,2961	0,0092
1,4416	0,0295	1,3952	0,0235	1,3505	0,0152	1,3113	0,0091
1,4584	0,0291	1,4116	0,0232	1,3660	0,0150	1,3265	0,0090
1,4752	0,0288	1,4281	0,0230	1,3816	0,0149	1,3417	0,0089
1,4919	0,0285	1,4445	0,0227	1,3971	0,0147	1,3569	0,0088
1,5087	0,0282	1,4610	0,0225	1,4126	0,0145	1,3722	0,0087
1,5255	0,0279	1,4774	0,0222	1,4281	0,0144	1,3874	0,0086

1,5423	0,0276	1,4939	0,0220	1,4436	0,0142	1,4026	0,0085
1,5591	0,0273	1,5103	0,0217	1,4591	0,0141	1,4178	0,0084
1,5759	0,0270	1,5267	0,0215	1,4746	0,0139	1,4330	0,0083
1,5927	0,0267	1,5432	0,0213	1,4902	0,0138	1,4482	0,0082
1,6094	0,0264	1,5596	0,0210	1,5057	0,0136	1,4634	0,0082
1,6262	0,0261	1,5761	0,0208	1,5212	0,0135	1,4787	0,0081
1,6430	0,0259	1,5925	0,0206	1,5367	0,0134	1,4939	0,0080
1,6598	0,0256	1,6090	0,0204	1,5522	0,0132	1,5091	0,0079
1,6766	0,0254	1,6254	0,0202	1,5677	0,0131	1,5243	0,0078
1,6934	0,0251	1,6419	0,0200	1,5833	0,0130	1,5395	0,0078
1,7102	0,0249	1,6583	0,0198	1,5988	0,0128	1,5547	0,0077
1,7270	0,0246	1,6748	0,0196	1,6143	0,0127	1,5699	0,0076
1,7437	0,0244	1,6912	0,0194	1,6298	0,0126	1,5851	0,0075
1,7605	0,0241	1,7077	0,0192	1,6453	0,0125	1,6004	0,0075
1,7773	0,0239	1,7241	0,0190	1,6608	0,0124	1,6156	0,0074
1,7941	0,0237	1,7406	0,0188	1,6763	0,0123	1,6308	0,0073
1,8109	0,0235	1,7570	0,0187	1,6919	0,0121	1,6460	0,0073
1,8277	0,0233	1,7734	0,0185	1,7074	0,0120	1,6612	0,0072
1,8445	0,0230	1,7899	0,0183	1,7229	0,0119	1,6764	0,0071
1,8613	0,0228	1,8063	0,0182	1,7384	0,0118	1,6916	0,0071
1,9426	0,0210	1,8883	0,0166	1,8210	0,0108	1,7747	0,0064
2,0240	0,0193	1,9702	0,0153	1,9036	0,0099	1,8578	0,0059
2,1054	0,0178	2,0522	0,0141	1,9863	0,0090	1,9409	0,0054
2,1868	0,0165	2,1341	0,0130	2,0689	0,0083	2,0240	0,0049
2,2682	0,0154	2,2160	0,0121	2,1515	0,0077	2,1071	0,0046
2,3496	0,0143	2,2980	0,0112	2,2341	0,0072	2,1901	0,0042
2,4310	0,0134	2,3799	0,0105	2,3167	0,0067	2,2732	0,0039
2,5124	0,0125	2,4618	0,0098	2,3993	0,0062	2,3563	0,0036
2,5937	0,0118	2,5438	0,0092	2,4819	0,0058	2,4394	0,0034
2,6751	0,0111	2,6257	0,0086	2,5646	0,0054	2,5225	0,0032
2,7565	0,0104	2,7076	0,0081	2,6472	0,0051	2,6056	0,0030
2,8379	0,0098	2,7896	0,0076	2,7298	0,0048	2,6886	0,0028
2,9193	0,0093	2,8715	0,0072	2,8124	0,0045	2,7717	0,0026
3,0007	0,0088	2,9535	0,0068	2,8950	0,0043	2,8548	0,0025
3,0821	0,0083	3,0354	0,0064	2,9776	0,0040	2,9379	0,0023
3,1635	0,0079	3,1173	0,0061	3,0603	0,0038	3,0210	0,0022
3,2448	0,0075	3,1993	0,0058	3,1429	0,0036	3,1041	0,0021
3,3262	0,0072	3,2812	0,0055	3,2255	0,0034	3,1871	0,0020
3,4076	0,0068	3,3631	0,0052	3,3081	0,0033	3,2702	0,0019
3,4890	0,0065	3,4451	0,0050	3,3907	0,0031	3,3533	0,0018
3,5704	0,0062	3,5270	0,0048	3,4733	0,0030	3,4364	0,0017
3,6518	0,0059	3,6089	0,0046	3,5560	0,0028	3,5195	0,0016

3,7332	0,0057	3,6909	0,0044	3,6386	0,0027	3,6026	0,0016
3,8146	0,0054	3,7728	0,0042	3,7212	0,0026	3,6856	0,0015
3,8959	0,0052	3,8548	0,0040	3,8038	0,0025	3,7687	0,0014
3,9773	0,0050	3,9367	0,0038	3,8864	0,0024	3,8518	0,0014
4,0587	0,0048	4,0186	0,0037	3,9690	0,0023	3,9349	0,0013
4,1401	0,0046	4,1006	0,0035	4,0517	0,0022	4,0180	0,0013
4,2215	0,0044	4,1825	0,0034	4,1343	0,0021	4,1011	0,0012
4,3029	0,0043	4,2644	0,0033	4,2169	0,0020	4,1841	0,0012
4,3843	0,0041	4,3464	0,0031	4,2995	0,0019	4,2672	0,0011
4,4657	0,0040	4,4283	0,0030	4,3821	0,0019	4,3503	0,0011
4,5470	0,0038	4,5102	0,0029	4,4647	0,0018	4,4334	0,0010
4,6284	0,0037	4,5922	0,0028	4,5473	0,0017	4,5165	0,0010
4,7098	0,0036	4,6741	0,0027	4,6300	0,0017	4,5996	0,0010
4,7912	0,0034	4,7561	0,0026	4,7126	0,0016	4,6826	0,0009
4,8726	0,0033	4,8380	0,0025	4,7952	0,0016	4,7657	0,0009
4,9540	0,0032	4,9199	0,0024	4,8778	0,0015	4,8488	0,0009
5,0354	0,0031	5,0019	0,0024	4,9604	0,0015	4,9319	0,0008
5,1168	0,0030	5,0838	0,0023	5,0430	0,0014	5,0150	0,0008
5,1981	0,0029	5,1657	0,0022	5,1257	0,0014	5,0981	0,0008
5,2795	0,0028	5,2477	0,0022	5,2083	0,0013	5,1811	0,0008
5,3609	0,0028	5,3296	0,0021	5,2909	0,0013	5,2642	0,0007
5,4423	0,0027	5,4116	0,0020	5,3735	0,0012	5,3473	0,0007
5,5237	0,0026	5,4935	0,0020	5,4561	0,0012	5,4304	0,0007
5,6051	0,0025	5,5754	0,0019	5,5387	0,0012	5,5135	0,0007
5,6865	0,0024	5,6574	0,0019	5,6214	0,0011	5,5966	0,0006
5,7679	0,0024	5,7393	0,0018	5,7040	0,0011	5,6797	0,0006
5,8492	0,0023	5,8212	0,0017	5,7866	0,0011	5,7627	0,0006
5,9306	0,0022	5,9032	0,0017	5,8692	0,0010	5,8458	0,0006
6,0120	0,0022	5,9851	0,0017	5,9518	0,0010	5,9289	0,0006
6,0934	0,0021	6,0670	0,0016	6,0344	0,0010	6,0120	0,0006
6,1748	0,0021	6,1490	0,0016	6,1170	0,0010	6,0951	0,0005
6,2562	0,0020	6,2309	0,0015	6,1997	0,0009	6,1782	0,0005
6,3376	0,0020	6,3129	0,0015	6,2823	0,0009	6,2612	0,0005
6,4190	0,0019	6,3948	0,0014	6,3649	0,0009	6,3443	0,0005
6,5003	0,0019	6,4767	0,0014	6,4475	0,0009	6,4274	0,0005
6,5817	0,0018	6,5587	0,0014	6,5301	0,0008	6,5105	0,0005
6,6631	0,0018	6,6406	0,0013	6,6127	0,0008	6,5936	0,0005
6,7445	0,0017	6,7225	0,0013	6,6954	0,0008	6,6767	0,0005
6,8259	0,0017	6,8045	0,0013	6,7780	0,0008	6,7597	0,0004
6,9073	0,0017	6,8864	0,0012	6,8606	0,0008	6,8428	0,0004
6,9887	0,0016	6,9683	0,0012	6,9432	0,0007	6,9259	0,0004
7,0701	0,0016	7,0503	0,0012	7,0258	0,0007	7,0090	0,0004

7,1514	0,0015	7,1322	0,0012	7,1084	0,0007	7,0921	0,0004
7,2328	0,0015	7,2142	0,0011	7,1911	0,0007	7,1752	0,0004
7,3142	0,0015	7,2961	0,0011	7,2737	0,0007	7,2582	0,0004
7,3956	0,0014	7,3780	0,0011	7,3563	0,0007	7,3413	0,0004
7,4770	0,0014	7,4600	0,0011	7,4389	0,0006	7,4244	0,0004
7,5584	0,0014	7,5419	0,0010	7,5215	0,0006	7,5075	0,0004
7,6398	0,0014	7,6238	0,0010	7,6041	0,0006	7,5906	0,0004
7,7212	0,0013	7,7058	0,0010	7,6868	0,0006	7,6737	0,0003
7,8025	0,0013	7,7877	0,0010	7,7694	0,0006	7,7567	0,0003
7,8839	0,0013	7,8696	0,0010	7,8520	0,0006	7,8398	0,0003
7,9653	0,0012	7,9516	0,0009	7,9346	0,0006	7,9229	0,0003
8,0467	0,0012	8,0335	0,0009	8,0172	0,0006	8,0060	0,0003
8,1281	0,0012	8,1155	0,0009	8,0998	0,0005	8,0891	0,0003
8,2095	0,0012	8,1974	0,0009	8,1824	0,0005	8,1722	0,0003
8,2909	0,0012	8,2793	0,0009	8,2651	0,0005	8,2552	0,0003
8,3723	0,0011	8,3613	0,0008	8,3477	0,0005	8,3383	0,0003
8,4536	0,0011	8,4432	0,0008	8,4303	0,0005	8,4214	0,0003
8,5350	0,0011	8,5251	0,0008	8,5129	0,0005	8,5045	0,0003
8,6164	0,0011	8,6071	0,0008	8,5955	0,0005	8,5876	0,0003
8,6978	0,0010	8,6890	0,0008	8,6781	0,0005	8,6707	0,0003
8,7792	0,0010	8,7710	0,0008	8,7608	0,0005	8,7537	0,0003
8,8606	0,0010	8,8529	0,0008	8,8434	0,0005	8,8368	0,0003
8,9420	0,0010	8,9348	0,0007	8,9260	0,0004	8,9199	0,0003
9,0234	0,0010	9,0168	0,0007	9,0086	0,0004	9,0030	0,0002
9,1047	0,0010	9,0987	0,0007	9,0912	0,0004	9,0861	0,0002
9,1861	0,0009	9,1806	0,0007	9,1738	0,0004	9,1692	0,0002
9,2675	0,0009	9,2626	0,0007	9,2565	0,0004	9,2522	0,0002
9,3489	0,0009	9,3445	0,0007	9,3391	0,0004	9,3353	0,0002
9,4303	0,0009	9,4264	0,0007	9,4217	0,0004	9,4184	0,0002
9,5117	0,0009	9,5084	0,0007	9,5043	0,0004	9,5015	0,0002
9,5931	0,0009	9,5903	0,0006	9,5869	0,0004	9,5846	0,0002
9,6745	0,0008	9,6723	0,0006	9,6695	0,0004	9,6677	0,0002
9,7558	0,0008	9,7542	0,0006	9,7522	0,0004	9,7507	0,0002
9,8372	0,0008	9,8361	0,0006	9,8348	0,0004	9,8338	0,0002
9,9186	0,0008	9,9181	0,0006	9,9174	0,0004	9,9169	0,0002
10,0000	0,0008	10,0000	0,0006	10,0000	0,0004	10,0000	0,0002

**Tabella 9 – Valori tabellari spettrogrammi**

**COMUNE di CADORAGO**  
**PROVINCIA di COMO**



# **TRATTA SARONNO – COMO OPERE SOSTITUTIVE PL 31+267 NEI COMUNI DI CADORAGO E LOMAZZO**

**Codice commessa E.10.B**

**RELAZIONE GEOLOGICA**

**LUGLIO 2023**

Committente:

**NORD\_ING**

Piazzale Cadorna n° 14  
20123, Milano

**Dott. Geol. Giovanni Ghirardi**



## SOMMARIO

1	PREMESSA .....	2
2	UBICAZIONE, QUADRO GEOLOGICO ed IDROGEOLOGICO .....	4
2.1	ASPETTI GEOLOGICI DEL TERRITORIO COMUNALE .....	5
3	ASPETTI GEOLOGICI DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO .....	7
3.1	CARTA PAI - PGRA .....	7
3.2	CARTA DEI VINCOLI .....	8
3.3	FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO .....	9
3.4	SCENARIO DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE .....	10
4	DESCRIZIONE DELLE AREE E DELLE OPERE IN PROGETTO E UBICAZIONE INDAGINI .....	12
5	INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI .....	14
5.1	SONDAGGIO GEOGNOSTICO .....	14
5.1.1	PROVE SPT .....	15
5.1.2	PRELIEVO CAMPIONI E PROVE DI LABORATORIO .....	15
5.1.3	ANALISI AMBIENTALI CAMIONI .....	18
5.2	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE .....	19
5.3	INDAGINI SISMICHE TIPO MASW .....	22
6	INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI – MODELLI GEOTECNICI .....	24
6.1	ASPETTI GEOLOGICI E STRATIGRAFICI .....	24
6.2	ASPETTI GEOTECNICI E IDROGEOLOGICI .....	26
7	ASPETTI DI PERICOLOSITÀ SISMICA .....	27
7.1	PERICOLOSITÀ SISMICA .....	27
7.1.1	LA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE .....	27
7.1.2	RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	28
7.1.3	IL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE DI SOGLIA DEFINITO DA REGIONE LOMBARDIA .....	30
7.1.4	CALCOLO DI FA LOCALE .....	30
7.1.5	CONFRONTO CON IL VALORE DI FA DI SOGLIA .....	33
7.1.6	AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA .....	33
7.2	LIVELLO DI ATTENDIBILITÀ DEI DATI GEOLOGICI E GEOFISICI .....	34
7.3	VALUTAZIONE DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE .....	34
8	CONCLUSIONI .....	36

## 1 PREMESSA

La presente relazione geologica, redatta su incarico della Società NORD\_ING, prende in esame gli aspetti geologici, geotecnici, idrogeologici e sismici inerenti al progetto "TRATTA SARONNO – COMO OPERE SOSTITUTIVE PL 31+267 NEI COMUNI DI CADORAGO E LOMAZZO" che consiste in un nuovo sovrappasso pedonale da realizzare in corrispondenza del passaggio a livello situato in Via alla Fonte nei pressi del comune di Cadorago (codice commessa E.10.B).

Allo scopo di ricostruire il quadro geologico e sismico delle aree di studio nel 2023 è stata realizzata dalla Società "GIA Consulting Srl" alla firma del Dott. Geol. Salvatore Costabile una campagna di indagini geognostiche e geofisiche comprensiva di:

- ✓ n° 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo spinto fino a profondità di 15 m dal p.c.;
- ✓ n° 3 prelievi di campioni indisturbati per le prove di laboratorio;
- ✓ n° 10 prove penetrometriche standard SPT;
- ✓ n° 3 prove penetrometriche dinamiche DPSH;
- ✓ N° 1 prospezione sismica a rifrazione MASW;
- ✓ N° 1 prospezione sismica ai microtremori HVSR;
- ✓ Analisi di laboratorio sui campioni prelevati durante il sondaggio;
- ✓ Analisi ambientali sui campioni prelevati.

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

Le aree in esame in riferimento al PGT vigente, ricadono in classe di **FATTIBILITÀ GEOLOGICA 2** (aree con MODESTE limitazioni alla destinazione d'uso dei terreni)

Il Comune di CADORAGO con la normativa sismica l'OPCM 3274/2003 è stato classificato in zona sismica 4, dal 10 aprile 2016 è vigente la legge regionale D.G.R. 11 luglio 2014, n. 2129 che ha confermato il comune in **ZONA 4 SISMICA**. Nella carta della Pericolosità Sismica locale contenuta all'interno del PGT le aree di nostro interesse si collocano prevalentemente in **"Z4a - ZONA DI FONDOVALLE E DI PIANURA CON PRESENZA DI DEPOSITI ALLUVIONALI E/O FLUVIOGLACIALI GRANULARI E/O COESIVI"**.

La relazione verterà sui seguenti punti:

- raccolta di informazioni di carattere geologico inerenti ai siti e l'esecuzione di una campagna di rilevamento di terreno, mirata all'individuazione di elementi geologici, geomorfologici ed idrogeologici significativi.

- raccolta del materiale cartografico e della documentazione esistente, con particolare riferimento allo studio geologico allegato al PGT;
- Descrizione modello geologico tecnico interpretativo ricavato dall'interpretazione delle indagini geognostiche realizzate nel settore di studio (Allegato 1 a fine testo);
- Classificazione sismica dell'area comprensiva dell'analisi sismica di secondo livello.

L'indagine è stata condotta in accordo a:

- *Norme Tecniche per le Costruzioni* - D.M. del 17 gennaio 2018 del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, il Ministro dell'Interno ed il Capo del Dipartimento della Protezione Civile;
- *Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio secondo i criteri della D.G.R. 22 dicembre 2005 - n° 8/1566 (Piano di Governo del Territorio-Studio Geologico)*
- *Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio* - Delibera di giunta regionale 30 novembre 2011 - n. IX/2616.
- *Studio geologico a supporto della componente urbanistica del Comune di CADORAGO* redatto nel 2018 in adeguamento alla L.R. 12/05 e s.m.i..

In allegato si riporta:

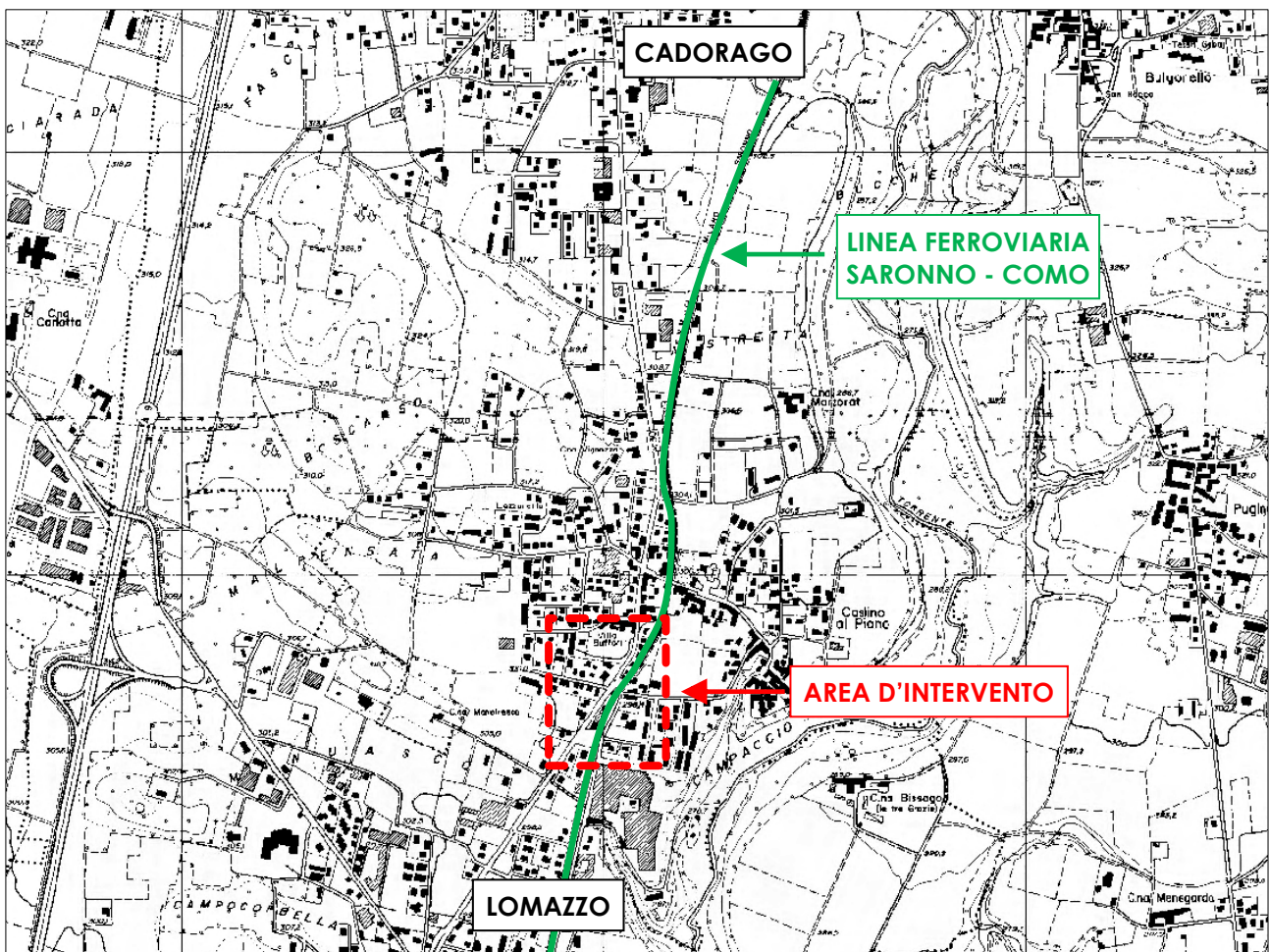
ALLEGATO 1 – MODELLO GEOLOGICO TECNICO INTERPRETATIVO, scala 1:200

## 2 UBICAZIONE, QUADRO GEOLOGICO ed IDROGEOLOGICO

L'area in esame è posta lungo le aree pianeggianti poste in destra idrografica del Torrente Luca al margine meridionale del territorio comunale di Cadorago (le aree sono poste nelle vicinanze del confine con il Comune di Lomazzo).

Nel dettaglio l'area d'intervento, posta ad una quota di circa 298 m s.l.m., si colloca lungo la linea ferroviaria Saronno – Como all'intersezione con la strada comunale Via alla Fonte.

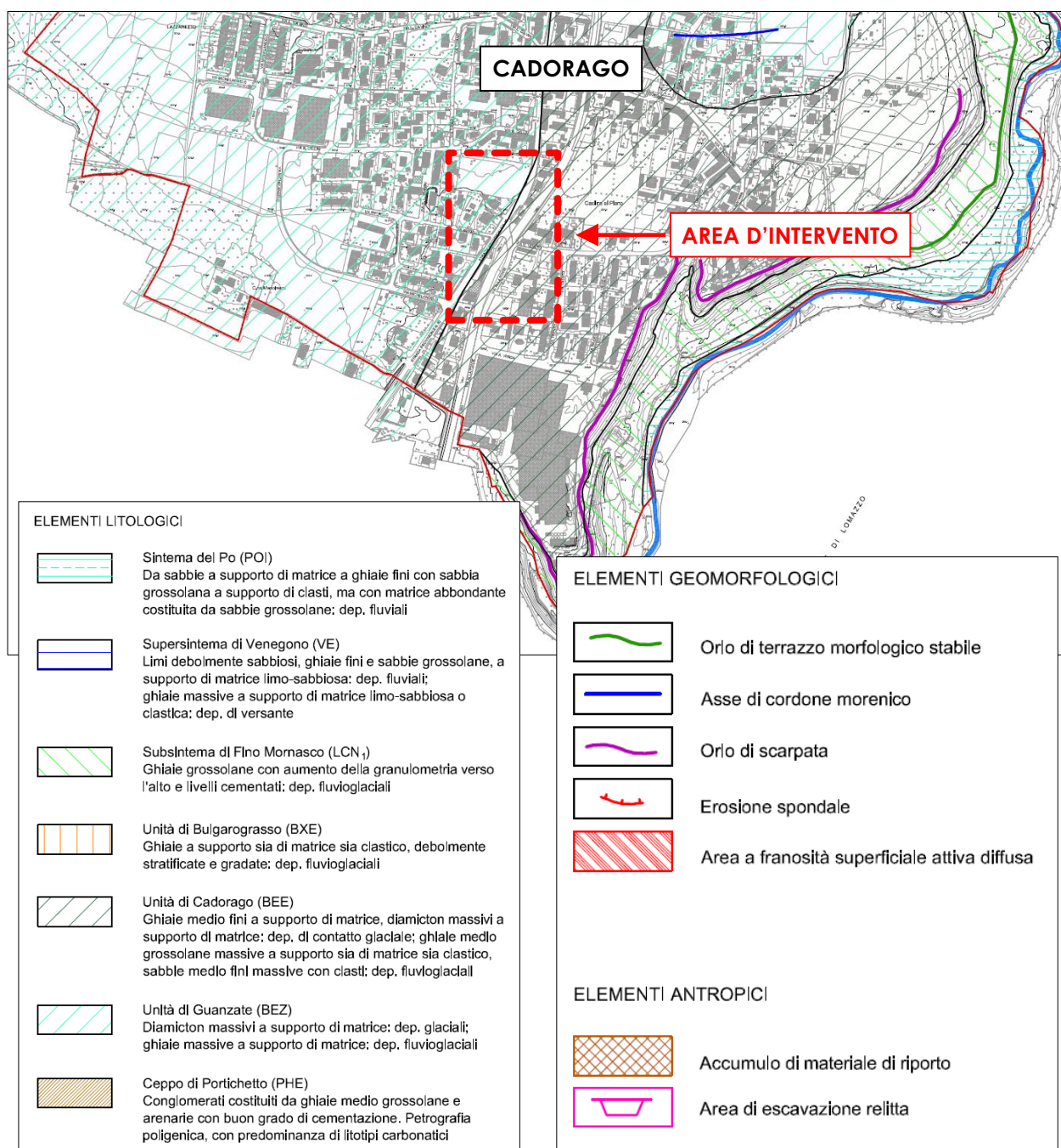
Nella Cartografia Tecnica Regionale (CTR) la zona è localizzata nel Foglio B5 alla scala 1:50.000 e nelle Sezioni B5a2 alla scala 1:10.000.



## 2.1 ASPETTI GEOLOGICI DEL TERRITORIO COMUNALE

In accordo a quanto contenuto nella Carta Geologica e Geomorfologica (redatta alla scala 1:5000) allegata allo Studio Geologico Comunale, il territorio comunale di Cadorago si estende nel settore sudoccidentale della fascia pedemontana prealpina della Provincia di Como, nelle aree pianeggianti in destra idrografia del Torrente Lura. Il settore è impostato nei depositi fluvio-glaciali ricondotti all'*UNITÀ DI CADORAGO (BEE)* contraddistinti in superficie dalla presenza di un orizzonte di alterazione di colore giallo-ocraceo e spessore metrico copertura pedogenetica.

### CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA Piano di governo del Territorio - STUDIO GEOLOGICO



L'assetto morfologico dell'area risulta pesantemente condizionato dall'azione modellatrice esercitata in età pleistocenica dalla lingua glaciale dell'Adda, che, dopo aver percorso la Valtellina ed il solco del Lario, si insinuava attraverso la soglia di Camerlata e si espandeva poi a ventaglio in direzione Sud/Sud Ovest, verso l'alta pianura, fino a raggiungere in questo settore, nella fase di massima espansione, la zona di Fenegrò- Cirimido.

L'UNITÀ DI CADORAGO (BEE) è costituita da terreni a granulometria grossolana prevalente con prevalenza di Ghiaie medio grossolane massive e localmente isorientate, a supporto principalmente di matrice e raramente a supporto clastico. I clasti si presentano eterometrici, con dimensioni da millimetriche a pluridecimetriche e forma da subarrotondata a subangolosa. Dal punto di vista petrografico risultano principalmente carbonatici, con abbondanti clasti ignei e subordinati clasti metamorfi. La matrice è costituita da sabbie, sabbie-limose, limi-sabbiosi e sabbie medio fini massive con clasti millimetrici.

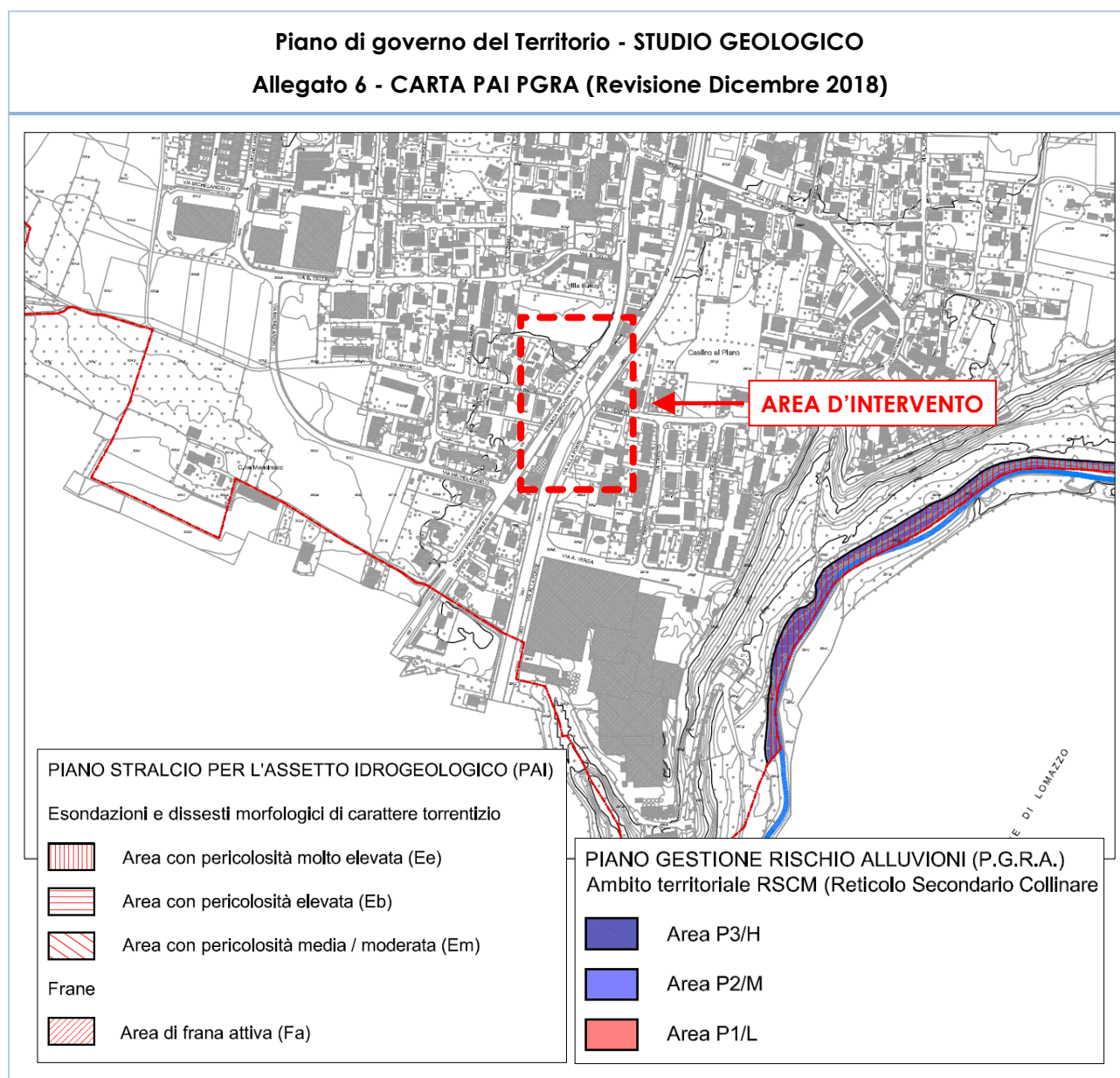
I depositi fluvio-glaciali sono sede di una falda acquifera legata ai livelli del Torrente Lura, con linee di deflusso N-S, alimentata dalle infiltrazioni delle acque di subalveo.

### 3 ASPETTI GEOLOGICI DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

Il Comune di CADORAGO è dotato di studio geologico a supporto del Piano di Governo del Territorio: lo studio è stato redatto nel 2018 in attuazione dell'art. 57 della L.R. 12/05 e s.m.i. ed è comprensivo della documentazione cartografica che illustra le criticità geologiche ed i vincoli presenti sul territorio comunale, quali la **Carta PAI - PGRA**, la **Carta dei Vincoli**, la **Carta di Fattibilità geologica per le azioni di piano** e la **Carta della pericolosità sismica locale**.

#### 3.1 CARTA PAI - PGRA

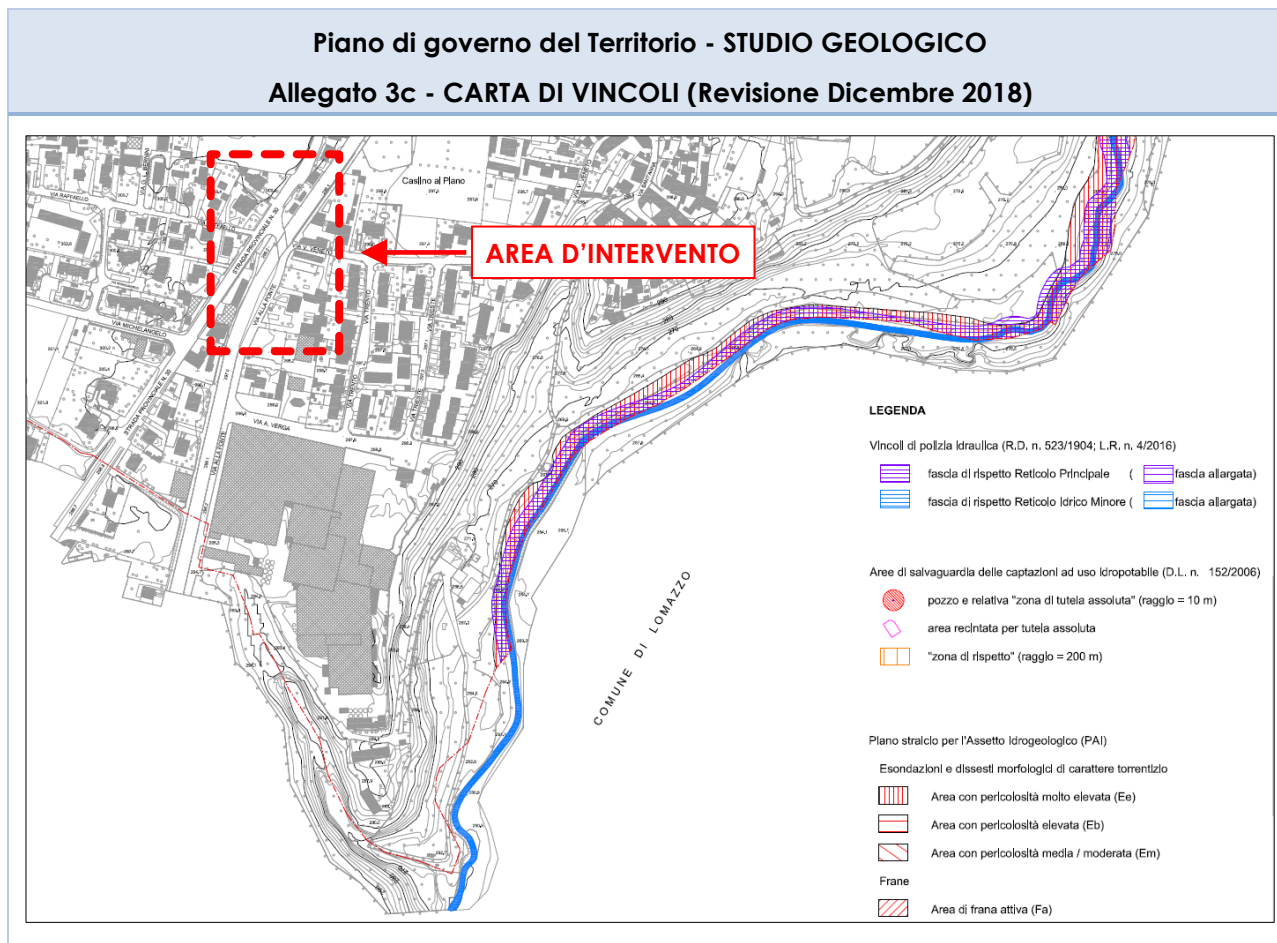
Le aree in dissesto sono inserite nell'allegato 6 - CARTA PAI PGRA. Nel seguente estratto è indicata la posizione dell'area d'intervento.



Le aree di studio risultano **ESTERNE** agli ambiti PAI e PGRA.

### 3.2 CARTA DEI VINCOLI

L'allegato 3c della componente geologica del PGT è costituito dalla CARTA DEI VINCOLI alla scala 1:2.000: della detta tavola si riporta di seguito un estratto, sul quale è evidenziata l'area d'intervento.

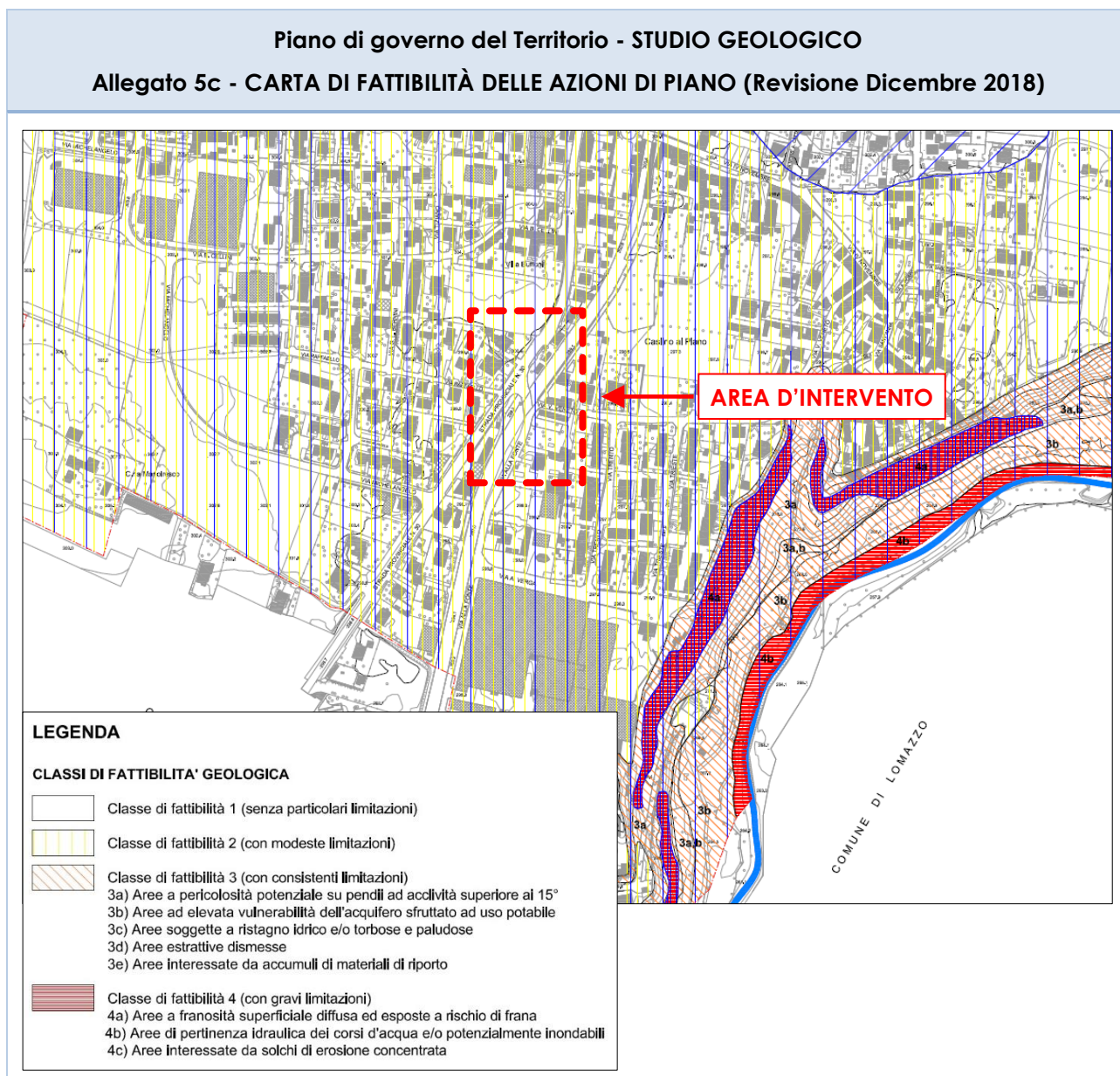


Le carte dei vincoli rappresentano le limitazioni d'uso del territorio, derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore, di contenuto prettamente geologico, con particolare riferimento ai vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino, vincoli di polizia idraulica, aree di salvaguardia delle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

Il sito oggetto di studio, come possibile osservare nello stralcio riportato, risulta **ESTERNO** agli ambiti perimetrati nella carta dei Vincoli.

### 3.3 FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO

L'allegato 5c della componente geologica del PGT è costituito dalla CARTA DI FATTIBILITÀ DELLE AZIONI DI PIANO alla scala 1:2.000: della detta tavola si riporta di seguito un estratto, sul quale è evidenziata l'area d'intervento.



L'area d'intervento ricade in **CLASSE 2 - FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI** alla destinazione d'uso dei terreni: per tali aree le NTA geologiche riportano.

#### CLASSE 2 - FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI

Si differenzia dalla precedente essenzialmente per l'assetto piano-altimetrico (settori di versante con pendenze medie comprese tra 5° e 15°) e/o per la presenza di coltri di alterazione superficiale a bassa consistenza di spessore localmente superiore ai 3 m.

Per la loro urbanizzazione, saranno necessari approfondimenti di carattere geologico-tecnico che forniscano un adeguato supporto conoscitivo per la valutazione delle soluzioni fondazionali più idonee (carichi ammissibili sul terreno e cedimenti) e della stabilità dei fronti di scavo. Tali approfondimenti dovranno essere compendati in un'apposita relazione geologico-tecnica da allegare ai progetti edilizi.

### 3.4 SCENARIO DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

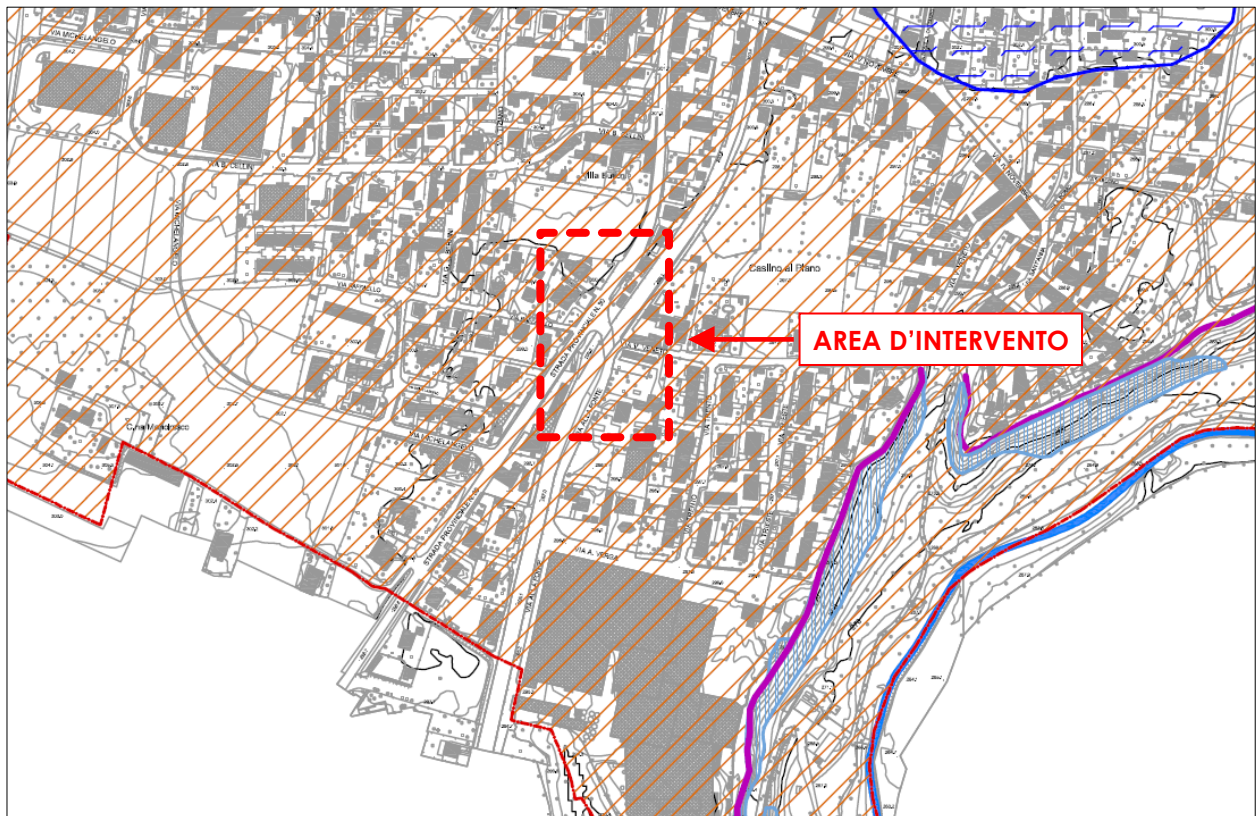
L'azione sismica sulle costruzioni introdotta dalle NTC è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base" in condizioni ideali di sito di riferimento rigido (detto di categoria "A" nelle NTC/2018) con superficie topografica orizzontale. Questa pericolosità sismica di base, che si esprime in termini di valore di accelerazione orizzontale massima  $a_g$ , può subire degli incrementi in funzione delle condizioni geologico-stratigrafiche e topografiche specifiche del sito, ottenendo così la pericolosità locale specifica del sito. Le norme NTC/2018 infatti, al paragrafo 3.2.2, stabiliscono che partendo dalla pericolosità sismica di base è necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale allo scopo di definire l'azione sismica di progetto. Le norme consentono di utilizzare un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di riferimento del sottosuolo di fondazione (A, B, C, D, E).

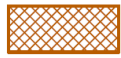
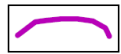
Nello Studio Geologico a supporto del PGT del 2018 (Allegato 2) è stata redatta la Carta di Pericolosità Sismica Locale dalla quale si evince che l'ambito d'intervento risulta inserito in uno scenario di pericolosità sismica locale dove sono possibili amplificazioni sismiche per effetti litologici e geometrici - **"Z4a - ZONA DI FONDOVALLE E DI PIANURA CON PRESENZA DI DEPOSITI ALLUVIONALI E/O FLUVIOGLACIALI GRANULARI E/O COESIVI"**.

Si tratta cioè di un settore potenzialmente soggetto ad amplificazione sismica a causa della litologia del terreno presente che può quindi modificare la pericolosità sismica di base.

#### Piano di governo del Territorio - STUDIO GEOLOGICO

#### Allegato 2 CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (Revisione Dicembre 2018)



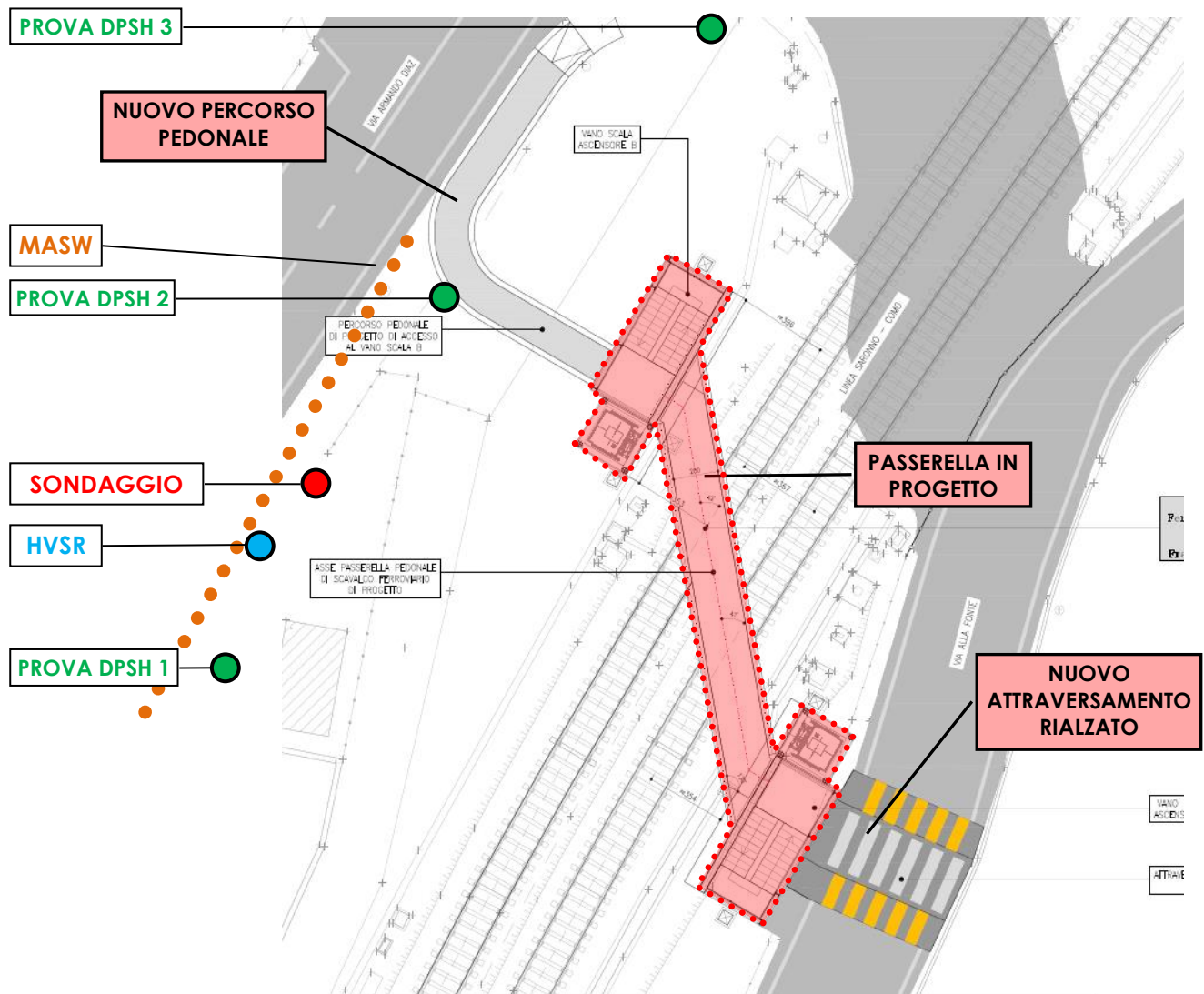
**Z1a - Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi****Z1c - Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana****Z2a - Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti****Z3a - Zona di ciglio  $H > 10$  m****Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi****Z4c - Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi**

Per le aree Z4a la normativa richiede l'applicazione dell'analisi di secondo livello, sviluppata nei paragrafi successivi.

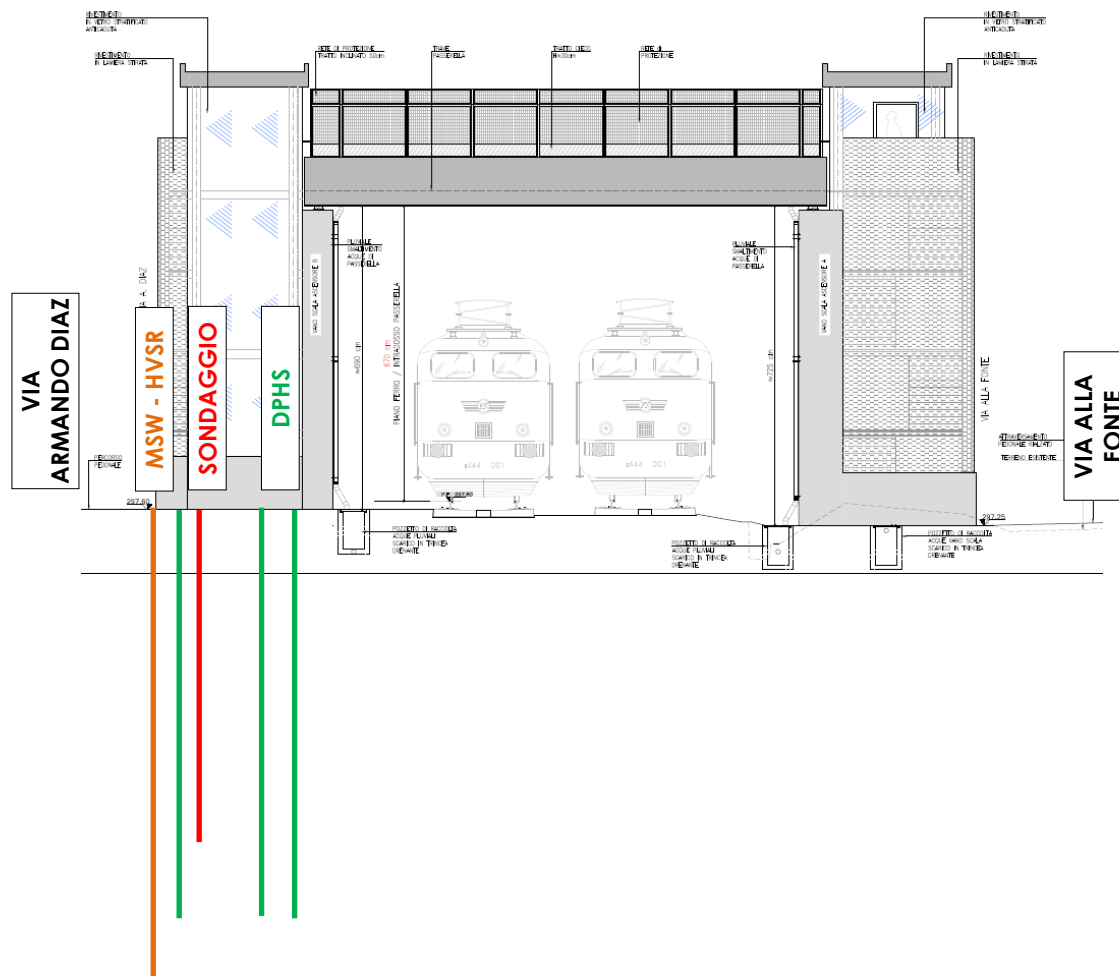
Poiché gli interventi in esame prevedono la realizzazione di opere in c.a. è necessario applicare i contenuti delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC/2018) che impongono i criteri per la progettazione anche in presenza dell'azione sismica, utilizzando diversi valori di accelerazione sismica in funzione dell'ubicazione del sito in esame e applicando il Metodo degli Stati Limite.

## 4 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO E UBICAZIONE INDAGINI

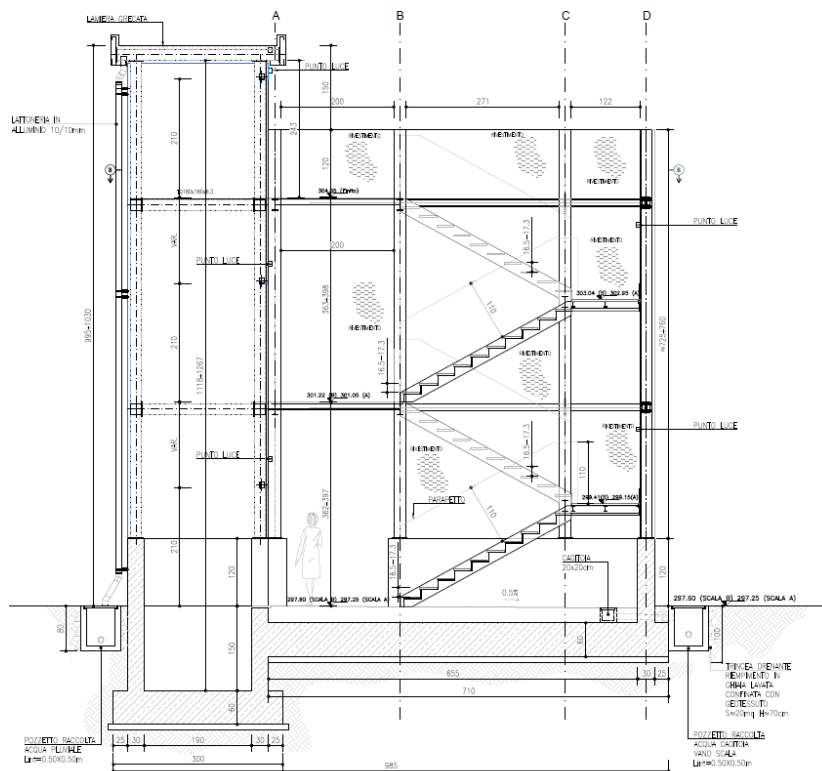
Il progetto in esame prevede la realizzazione di un attraversamento pedonale per il superamento aereo della Linea ferroviaria Como – Saronno in comune di Cadorago, in corrispondenza del passaggio a livello in Via alla Fonte, di cui sarà prevista l'eliminazione. La passerella dello sviluppo di circa 18 metri, verrà affiancata ai lati da n. 2 muri in c.a., cui seguiranno n.2 scalinate, con rispettivi ascensori, posizionate rispettivamente parallele a Via alla Fonte e Via Armando Diaz.



Lungo il lato di Via Armando Diaz il progetto prevede la realizzazione un nuovo percorso pedonale di collegamento tra la strada stessa e il vano scala, lungo Via alla Fonte viene invece prevista la realizzazione di un attraversamento pedonale rialzato.



SEZIONE A-A VANO SCALA / ASCENSORE scala 1:50



Come si evince dalle tavole di progetto i muri di sostegno della struttura e le due rampe di scale saranno dotati di platea di fondazione impostata ad una profondità di 1.0 metri, per quanto riguarda invece i due vani ascensore le rispettive fondazioni verranno impostate ad una profondità di circa 2.0 metri.

Le andagini geognostiche sono state eseguite tutte lungo il lato di Via Armando Diaz.

## 5 INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI

Allo scopo di ricostruire il quadro stratigrafico, geotecnico e sismico dei siti oggetto dell'intervento, nel 2023 sono state realizzate le seguenti indagini geognostiche:

- N° 1 sondaggio a carotaggio continuo (profondità 15 metri);
- N° 10 prove penetrometriche SPT in foro;
- n° 3 prove penetrometriche dinamiche DPSH;
- N° 1 prospezione sismica ai microtremitori HVSR;
- N° 1 prospezione sismica a rifrazione MASW;
- Analisi geotecniche di laboratorio (n° 3 prelievi di campioni indisturbati);
- Analisi ambientali su 3 campioni prelevati.

### 5.1 SONDAGGIO GEOGNOSTICO

La campagna d'indagine ha previsto la realizzazione di un sondaggio spinti ad una profondità di 15 metri il quale è stato eseguito nel settore compreso tra la strada comunale (Via Armando Diaz) e la linea ferroviaria (nelle vicinanze del passaggio a livello).

Di seguito viene riportato lo scheda della stratigrafia di sondaggio.

Committente: Ferrovie Nord				Sondaggio: BRAGHE_S5_P			
Riferimento: Veronica La Rotonda				Data: 10/03/2023			
Coordinate: 45.708979 N 9.038333 E				Quota: 298 m s.l.m.			
Perforazione: Carotaggio Continuo							

SCALA 1:100				STRATIGRAFIA				Pagina 1/1			
metri basi	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	A	Campioni	Standard Penetration Test			DATI TECNICI	
							m	S.P.T.	N		
1				Terreno di riporto rimaneggiato, ghiaioso con sabbia con clasti laterizi e misti			1,5	5-5-7	12		
2		1,6	1,6	Sabbia ghiaiosa beige chiara con clasti da subangolari a ben arrotondati da centimetrici a decimetrici di probabile origine fluviale e tracce di alterazione (intervallo marnoso litificato ed alterato tra i 4,60 e 5,40 metri)			3,0	8-3-4	7		
3						1) Ind < 3,50 4,00					
4							4,5	5-6-6	12		
5							6,0	4-3-7	10		
6											
7		7,0	5,4	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa mediamente classata con sparsi clasti da arrotondati a ben arrotondati		2) Ind < 7,00 7,00					
8							7,5	4-4-6	10		
9							9,0	48/3cm	Rit		
10							10,5	44/4cm	Rit		
11											
12		11,5	4,5	Ghiaia eterometrica con clasti da centimetrici a decimetrici subangolari (rocce intrusive "Tonaliti") in sparsa matrice sabbiosa fine di alterazione biancastra			12,0	48/5cm	Rit		
13						3) Ind < 13,00 13,00					
14							14,0	45/3cm	Rit		
15		15,0	3,5				14,5	48/4cm	Rit		



L'analisi dei dati derivanti dal sondaggio, evidenzia la presenza in superficie di materiale di riporto (ghiaia con sabbia e clasti laterizi e misti) fino alla profondità di 1,6 metri, al di sotto sino ad una profondità di circa 7 metri sono presenti sabbie ghiaiose con ciottoli di colore beige chiara poco addensate. Scendendo in profondità (fino a 15 metri) i depositi sono caratterizzati da granulometrie più grossolane e da un maggior grado di addensamento. Durante le operazioni di perforazione non è stata intercettata la falda.

#### 5.1.1 PROVE SPT

Le prove SPT (Standard Penetration Test) eseguite nel foro di sondaggio consistono nell'infissione a percussione, tramite procedura standardizzata, di una punta metallica con diametro esterno (De) di 50 mm: le prove sono state eseguite con punta chiusa. Durante l'infissione, eseguita per battute ripetute di un maglio del peso di 63,5 kg con volata di 76 cm, sono conteggiati con passo di 15 cm i colpi necessari per una penetrazione totale di 45 cm (N1, N2, N3).

I risultati delle prove effettuate consentono, mediante correlazioni con grafici e relazioni disponibili in letteratura, di ottenere informazioni in merito al comportamento geotecnico dei terreni attraversati.

Nel corso della realizzazione del sondaggio sono state realizzate n. 10 prove SPT in foro; di seguito si riporta una tabella riepilogativa con indicazione delle prove eseguite, della profondità di esecuzione, del numero di colpi, del conseguente valore di  $N_{SPT}$  e delle litologie testate.

N.	ID sondaggio	Da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)	Colpi	N spt	Litologia
1	S05P	1.50	1.95	Spt 1: 5-5-7	12	Terreno ghiaioso con sabbia
2	S05P	3.00	3.45	Spt 2: 8-3-4	7	Sabbia ghiaiosa
3	S05P	4.50	4.95	Spt 3: 5-6-6	12	Sabbia ghiaiosa
4	S05P	6.00	6.45	Spt 4: 4-3-7	10	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa
5	S05P	7.50	7.95	Spt 5: 4-4-6	10	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa
6	S05P	9.00	9.45	Spt 6: R/3 cm	Rifiuto	Ghiaia eterometrica
7	S05P	10.50	10.95	Spt 7: R/4 cm	Rifiuto	Ghiaia eterometrica
8	S05P	12.00	12.45	Spt 8: R/5 cm	Rifiuto	Ghiaia eterometrica
9	S05P	13.50	13.95	Spt 9: R/3 cm	Rifiuto	Ghiaia eterometrica
10	S05P	15.00	15.45	Spt 10: R/4 cm	Rifiuto	Ghiaia eterometrica

#### 5.1.2 PRELIEVO CAMPIONI E PROVE DI LABORATORIO

Durante l'esecuzione del sondaggio sono stati prelevati n. 3 campioni indisturbati.

I campioni indisturbati, prelevati con l'ausilio di un campionatore a fustella (campionatore Shelby), sono stati sottoposti alla determinazione della curva granulometrica, ed una serie di prove geotecniche di laboratorio i cui risultati dettagliati sono allegati alla "Relazione Geologica, Indagine geognostica, Caratterizzazione e modellazione geotecnica" redatta dal Dott. Geol. Salvatore Costabile, di seguito viene illustrato una tabella riassuntiva con riferimento all'ubicazione dei prelievi:

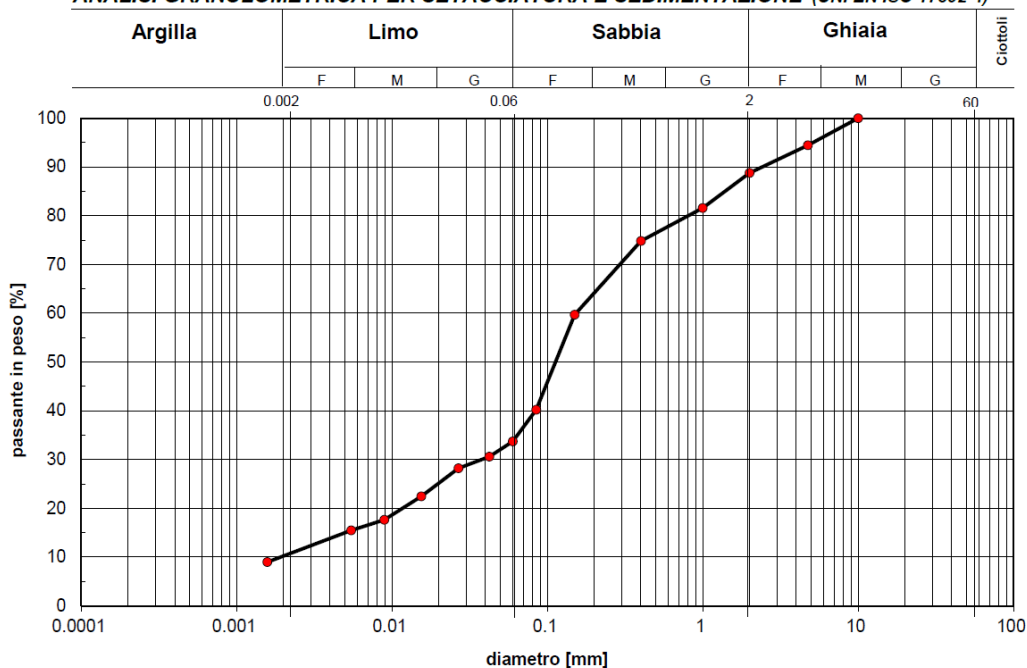


N.	ID sondaggio	Sigla campione	Da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)	Litologia
1	S05P	S05P – C.I.1	3.50	4.00	Sabbia ghiaiosa
2	S05P	S05P – C.I.2	7.00	7.50	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa
3	S05P	S05P – C.I.3	13.00	13.50	Ghiaia eterometrica

Nelle immagini successive vengono illustrate le curve granulometriche di ogni singolo campione.

### ANALISI GRANULOMETRICA CAMPIONE S05P – C.I.1 (profondità 3.50 – 4.00 m)

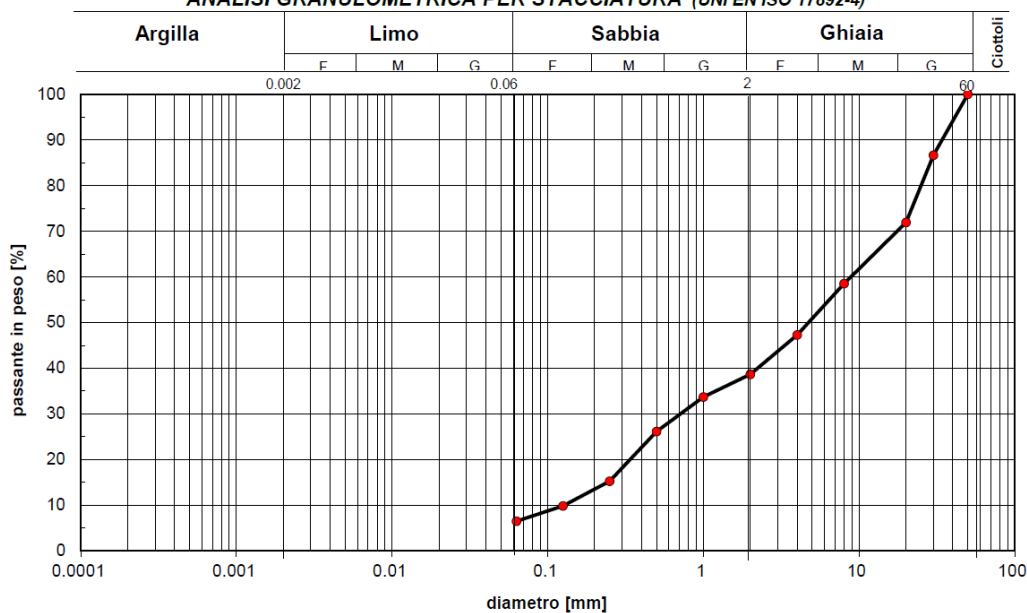
Autorizzazione Ministero Infrastrutture e Trasporti n.274 del 07/06/2018, ai sensi dell'art. 59 del DPR 06/06/2001 n° 380  
**ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E SEDIMENTAZIONE (UNI EN ISO 17892-4)**



Argilla (%):	9.68	Limo (%):	24.09	Sabbia (%):	54.97	Ghiaia (%):	11.25
--------------	------	-----------	-------	-------------	-------	-------------	-------

### ANALISI GRANULOMETRICA CAMPIONE S05P – C.I.2 (profondità 7.00 – 7.50 m)

Autorizzazione Ministero Infrastrutture e Trasporti n.274 del 07/06/2018, ai sensi dell'art. 59 del DPR 06/06/2001 n° 380  
**ANALISI GRANULOMETRICA PER STACCIATURA (UNI EN ISO 17892-4)**



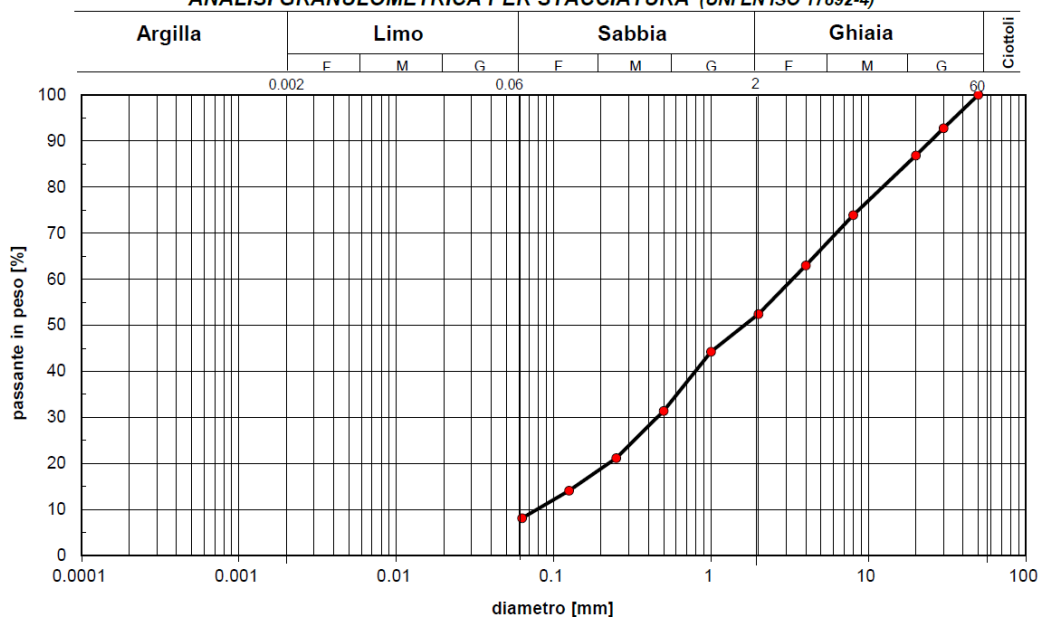
Argilla (%):	0.00	Limo (%):	6.48	Sabbia (%):	32.16	Ghiaia (%):	61.36
--------------	------	-----------	------	-------------	-------	-------------	-------



## ANALISI GRANULOMETRICA CAMPIONE S05P – C.I.3 (profondità 13.00 – 13.50 m)

Autorizzazione Ministero Infrastrutture e Trasporti n.274 del 07/06/2018, ai sensi dell'art. 59 del DPR 06/06/2001 n° 380

### ANALISI GRANULOMETRICA PER STACCIATURA (UNI EN ISO 17892-4)



Argilla (%):	0.00	Limo (%):	8.14	Sabbia (%):	44.29	Ghiaia (%):	47.57	
--------------	------	-----------	------	-------------	-------	-------------	-------	--

Per quanto riguarda il campione 1 (sigla **S05P – C.I.1**) in laboratorio è stata realizzata anche una prova di taglio grazie alla quale sono stati definite caratteristiche fisiche e meccaniche quali angolo di attrito, coesione, peso di volume, et., riassunte nella tabella successiva.

### RIEPILOGO DEI RISULTATI

DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA (UNI EN ISO 17892-4)	
Argilla (<0.002 mm)	9.68 %
Limo (0.002<p<0.06 mm)	24.09 %
Sabbia (0.06<p<2 mm)	54.97 %
Ghiaia (2mm<p<60 mm)	11.25 %
Ciottoli (>60 mm)	0.00 %
<b>CLASSIFICA:</b> Sabbia limosa ghiaiosa deb. argillosa	
Passante ASTM 200:	

CARATTERISTICHE FISICHE GENERALI	
Peso specifico dei grani	$\gamma_s = 26.10 \text{ kN/m}^3$
Contenuto d'acqua	$w = 0.182$
Peso di volume naturale	$\gamma = 20.78 \text{ kN/m}^3$
Peso di volume secco	$\gamma_d = 17.58 \text{ kN/m}^3$
Porosità	$n = 0.326$
Indice di porosità	$e = 0.485$
Grado di saturazione	$S_r = 1.000$

LIMITI DI ATTERBERG (A.S.T.M. D4318-10)	
Limite di liquidità	$w_L = \text{n.d.}$
Limite di plasticità	$w_P = \text{n.d.}$
Indice di plasticità	$I_P = \text{n.d.}$
Indice di consistenza	$I_C = \text{n.d.}$

PROVA DI TAGLIO DIRETTO CD (UNI CEN ISO/TS17892-10)	
Coesione efficace $c' =$	4 kPa
Angolo di attrito efficace $\phi' =$	37° 32'
Coesione efficace res. $c'_r =$	n.d.
Angolo di attrito residuo $\phi'_r =$	n.d.



### 5.1.3 ANALISI AMBIENTALI CAMPONI

Durante la realizzazione del sondaggio sono stati eseguiti anche dei prelievi di materiale sui quali sono state effettuate delle analisi di compatibilità ambientale (determinazione parametri con riferimento alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, della Parte IV, del Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152). Di seguito viene illustrata una tabella riassuntiva con riferimento all'ubicazione dei prelievi:

N.	ID sondaggio	Sigla campione	Da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)
1	S05P	S5_P C.A.1	0.30	0.50
2	S05P	S5_P C.A.2	3.20	3.50
3	S05P	S5_P C.A.3	6.30	6.50

In totale i campioni prelevati sono stati 3, con il fine di caratterizzare in maniera ambientale i terreni oggetto di opera. Il laboratorio certificato che ha effettuato le analisi è Natura S.r.l., con sede legale presso Via Gioacchino Rossini, 16.

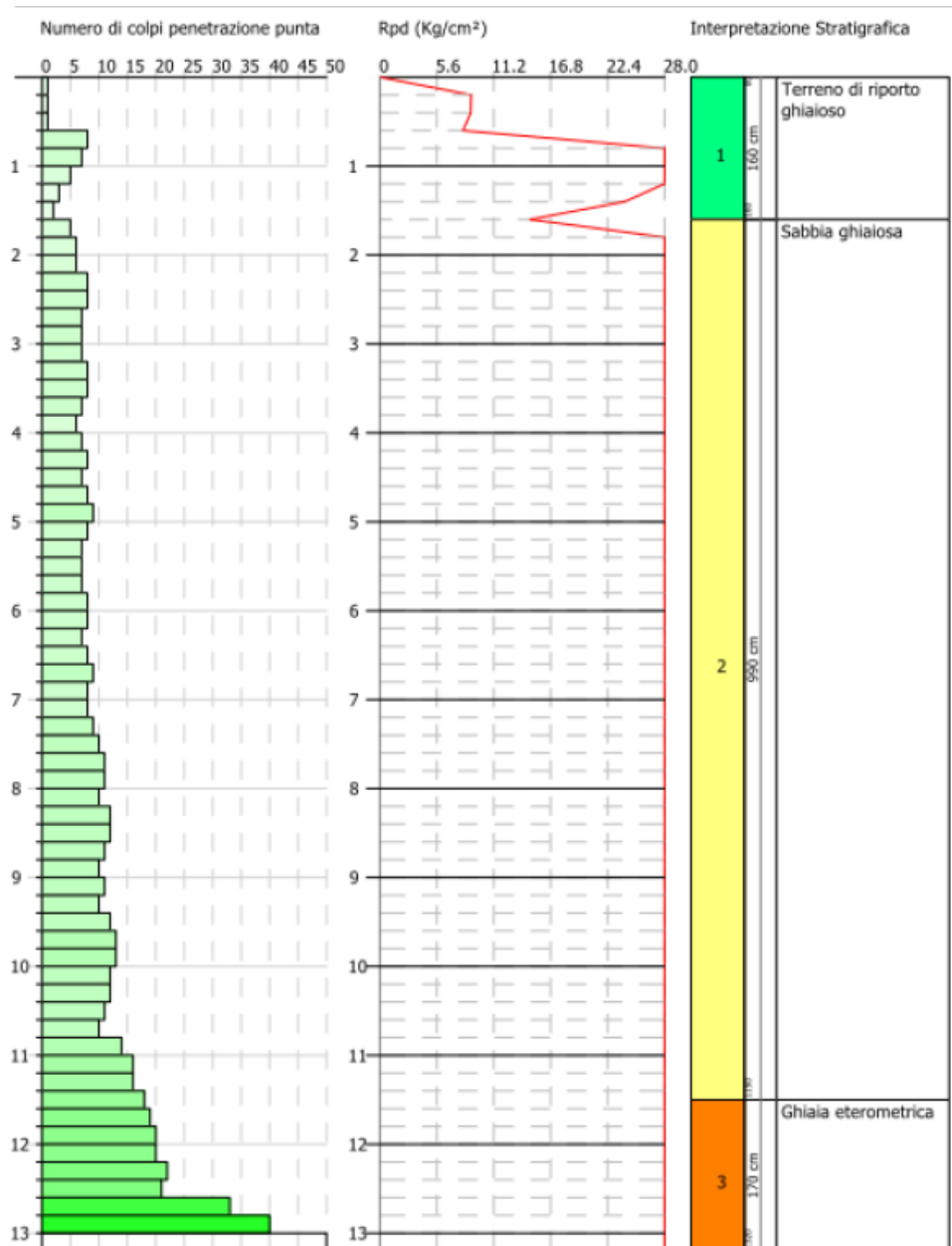
I risultati delle analisi vedono un GIUDIZIO DI CONFORMITÀ – conforme ai limiti per i parametri analizzati per tutti e tre i campioni prelevati.

## 5.2 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

La campagna d'indagine ha previsto inoltre la realizzazione di 3 prove penetrometriche dinamiche continue spinte ad una profondità di circa 13.5 metri le quali sono state eseguite nel settore compreso tra la strada comunale (Via Armando Diaz) e la linea ferrovia (nelle vicinanze del passaggio a livello).

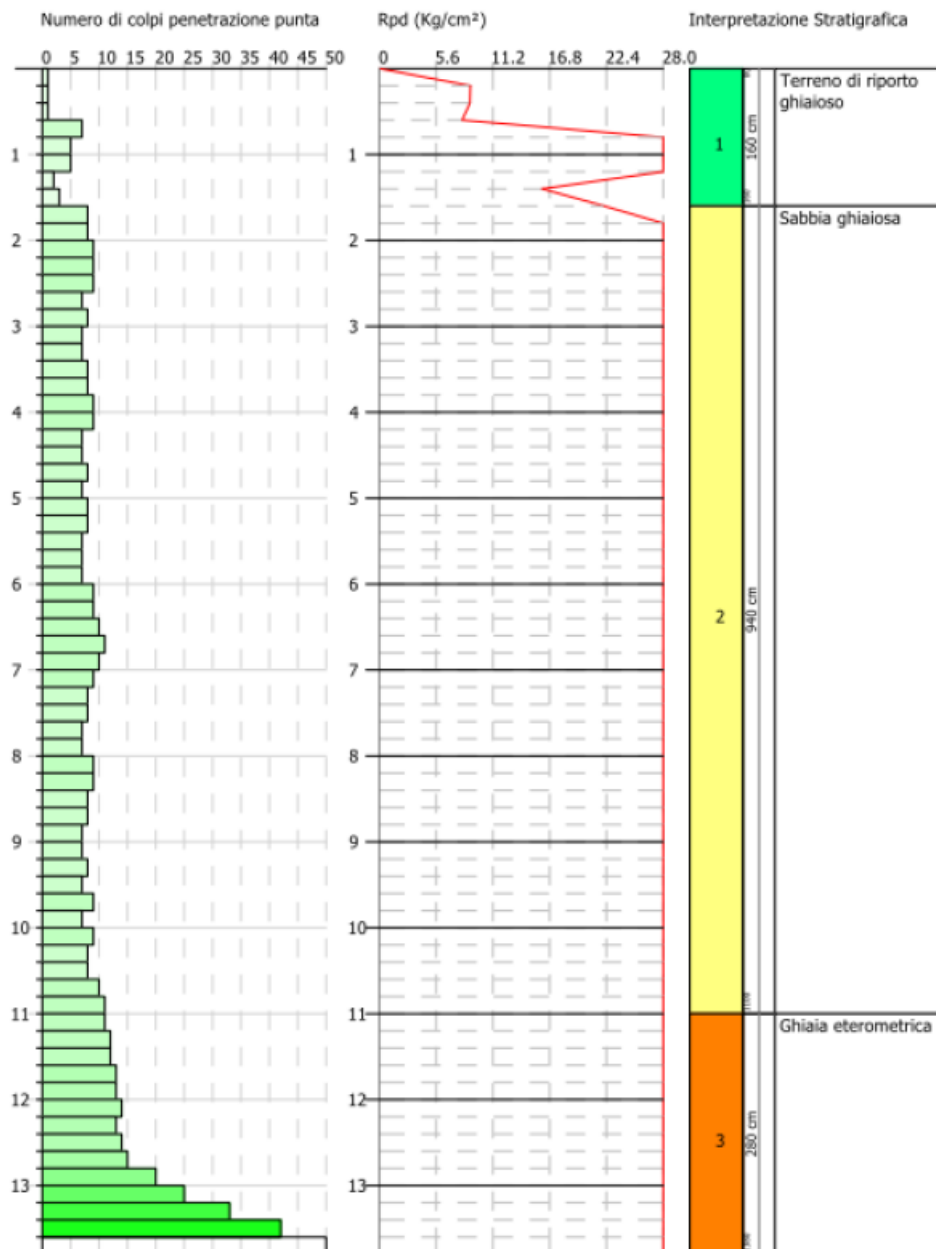
Tali prove, come il sondaggio, permettono di ottenere la stratigrafia del terreno e la correlazione tra  $N_{spt}$  e i parametri geotecnici dei terreni attraversati dalla verticale d'indagine. Le modalità di esecuzione hanno rispettato lo standard tipo Meardi - Agi (DPSH – Dynamic Probing Super Heavy) con massa del maglio a sganciamento automatico da 73 kg ed altezza di caduta di 0,75 m, infiggendo tramite aste da 34 mm una punta da 2" con angolo di conicità di 60°. Di seguito vengono illustrati i risultati delle tre indagini.

### PROVA DPSH 1



La prova 1 è stata spinta sino ad una profondità di 13.0 metri. La resistenza alla penetrazione della punta, superato un primo strato superficiale di 1,60 centimetri, si mantieni su valori medi di 5-10 colpi/20 cm sino ad una profondità di 11 metri, tale livello è costituito da terreni a granulometria media con ghiaia e sabbia mediamente addensata. Al di sotto, sino a profondità di 13 metri, la resistenza subisce un incremento con valori medi superiori a 15 colpi/20 cm, tale livello è costituito da terreni a granulometria grossolana con ghiaia ciottoli e blocchi immersi in una matrice sabbioso limosa addensata.

### PROVA DPSH 2

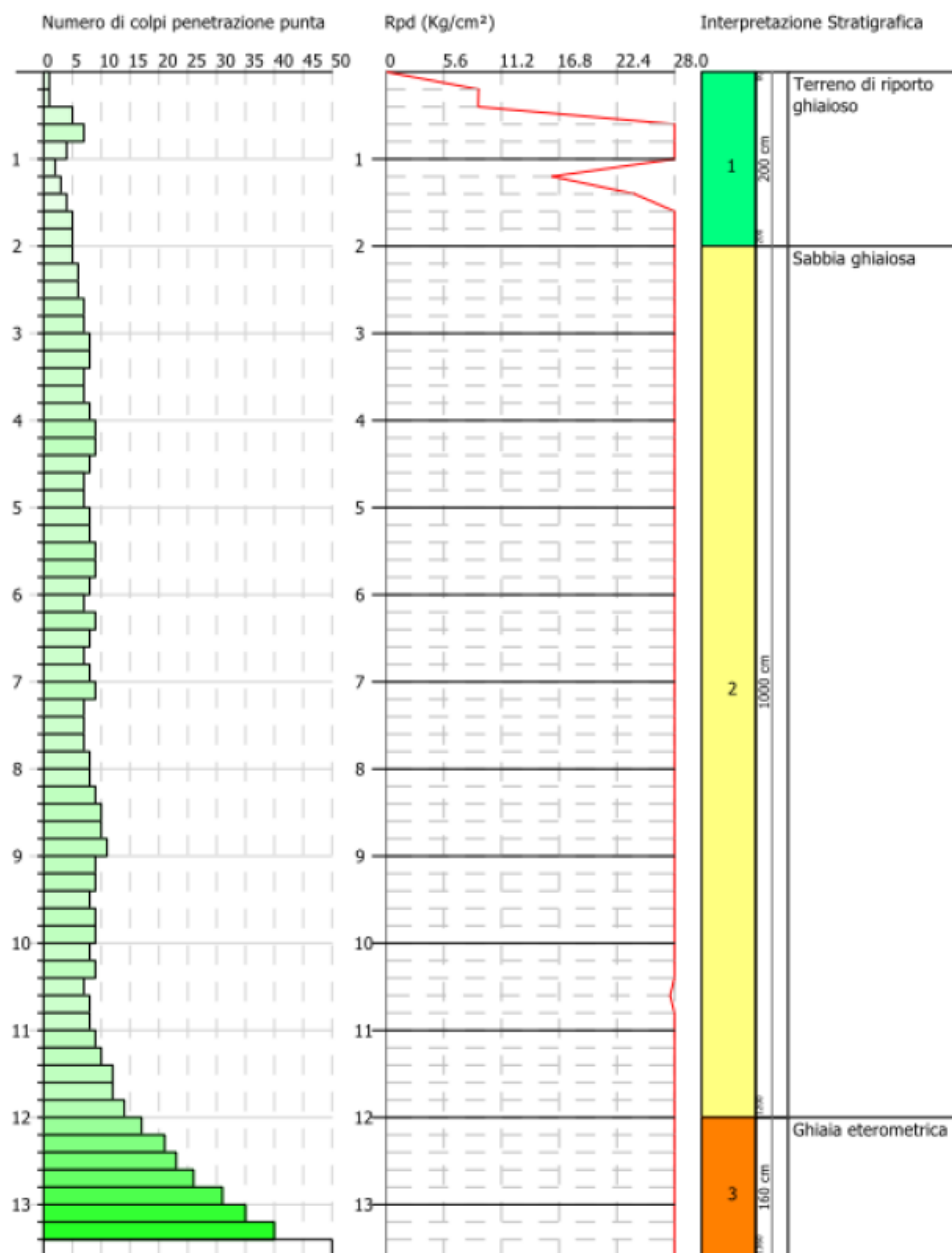


La prova 2 è stata spinta sino ad una profondità di 13.6 metri. La resistenza alla penetrazione della punta, superato un primo strato superficiale di 1,60 centimetri, si mantieni su valori medi di 7-10 colpi/20 cm sino ad una profondità di 11 metri, tale livello è costituito da terreni a granulometria media con ghiaia e sabbia mediamente addensata. Al di sotto, sino a profondità di 13.6 metri, la resistenza subisce un incremento con valori medi superiori a 15/20 colpi/20 cm, tale livello è costituito



da terreni a granulometria grossolana con ghiaia ciottoli e blocchi immersi in una matrice sabbioso limosa addensata.

### PROVA DPSH 3

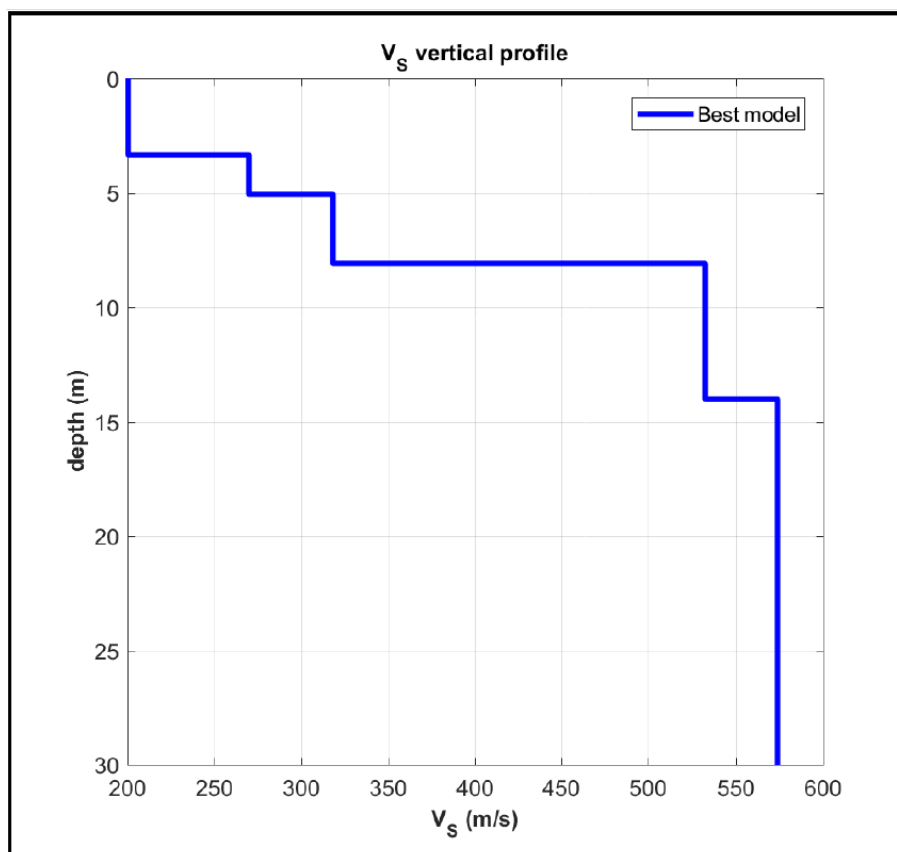


La prova 3 è stata spinta sino ad una profondità di 13.4 metri. La resistenza alla penetrazione della punta, superato un primo strato superficiale di 1,40 centimetri, si mantieni su valori medi di 5-10 colpi/20 cm sino ad una profondità di 11,4 metri, tale livello è costituito da terreni a granulometria media con ghiaia e sabbia mediamente addensata. Al di sotto, sino a profondità di 13,4, metri la resistenza subisce un incremento con valori medi superiori a 15/20 colpi/20 cm, tale livello è costituito da terreni a granulometria grossolana con ghiaia ciottoli e blocchi immersi in una matrice sabbioso limosa addensata.

### 5.3 INDAGINI SISMICHE TIPO MASW

Allo scopo di ricostruire la caratterizzazione sismica del sito in esame, lungo il lato EST della strada comunale Via Armando Diaz (nelle vicinanze del passaggio a livello) è stata realizzata un'indagine sismiche tipo MASW - "Multichannel Analysis of Surface Waves".

Nell'immagine seguente viene riportato il diagramma con il profilo verticale dell'andamento della velocità delle onde S ricavato dall'indagine.



**SCHEMA STENDIMENTO**

**MASW**

L'indagine condotta, utile per la stima dei parametri necessari all'analisi di 2° livello così come sopra descritta, ha fornito i seguenti risultati:

N. Strato	Spessore (m)	Vs (m/s)
1	3.30	201
2	1.80	270
3	3.00	321
4	7.10	532
5	15.00	574

La Nuova Normativa antisismica (Ordinanza n° 3274 e Nuove Norme Tecniche per la costruzione NTC18) ha introdotto la classificazione dei terreni secondo la velocità delle Onde di taglio "Onde S", in accordo al Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme tecniche per la Costruzione, il fattore discriminante è la  $V_{seq}$ .

Il valore della velocità equivalente  $V_{seq}$ , viene calcolata mediante la seguente espressione:

$$V_{seq} = \frac{H}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove:

- ✓  $h_i$  = spessore in metri dello strato i-esimo
- ✓  $V_i$  = velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato i-esimo
- ✓  $N$  = numero di strati sino al raggiungimento del substrato
- ✓  $H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s (nel caso in cui a tale profondità non venga intercettato il substrato la  $V_{seq}$  va calcolata con riferimento alla profondità di 30 metri)

I risultati dell'indagine mostrano un progressivo aumento delle velocità proporzionato all'aumento della profondità sino ad un valore massimo di 574 m/s, nell'indagine non è stato raggiunto il bedrock pertanto il calcolo delle  $V_{seq}$  sarà riferito alla profondità di 30 metri.

Il valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,30}$  risulta pari a 417.2 m/s.

## 6 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI – MODELLI GEOTECNICI

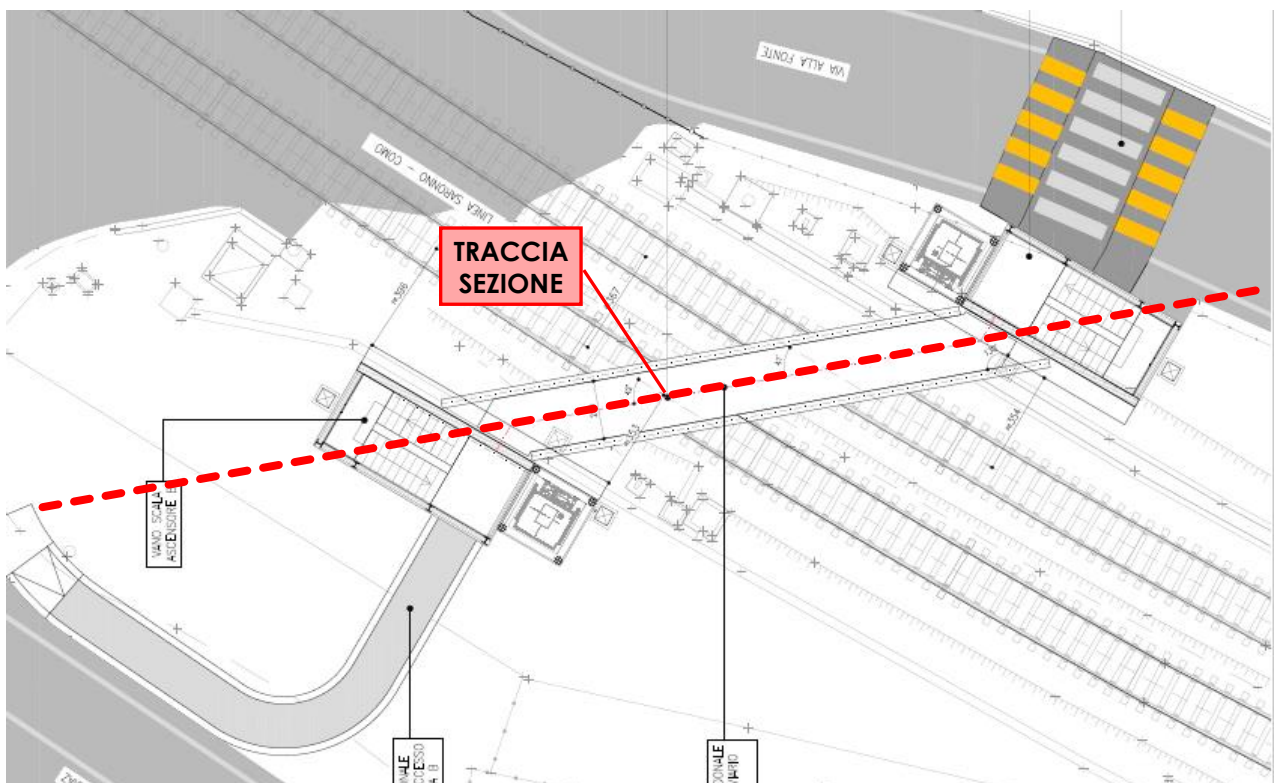
### 6.1 ASPETTI GEOLOGICI E STRATIGRAFICI

Il settore d'intervento si colloca in una porzione di territorio impostato nei depositi fluvio-glaciali legati alle passate azioni modellatrice e deposizionali esercitate in età pleistocenica dalla lingua glaciale dell'Adda. Tali depositi fanno parte dell'UNITÀ DI CADORAGO, la quale risulta costituita da terreni a granulometria grossolana prevalente con prevalenza di Ghiaie medio grossolane massive e localmente isorientate, a supporto principalmente di matrice.

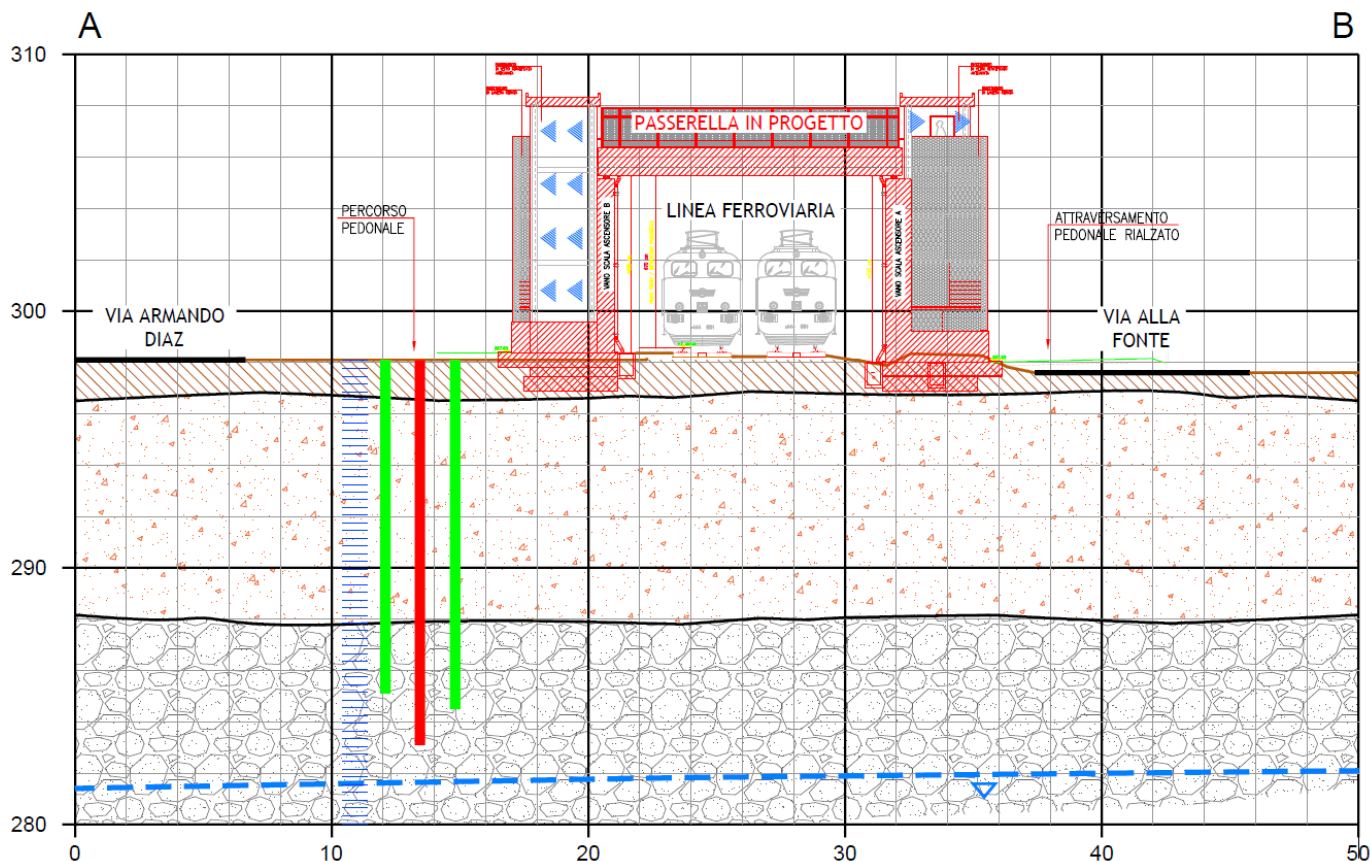
I clasti si presentano eterometrici, con dimensioni da millimetriche a pluridecimetriche. Localmente in superficie è presente uno strato di materiale di riporto che presenta uno spessore medio di 1,5 metri costituito da ghiaia con sabbia e clasti laterizi e misti.

Nell'ALLEGATO 1 a fine testo viene illustrato il modello geotecnico ricostruito in prossimità della sezione longitudinale di progetto della nuova passerella con ubicazione delle indagini geognostiche e schema stratigrafico riguardante l'area interessata.

Nell'immagine successiva viene indicata l'ubicazione della traccia della sezione interpretativa.



Nella immagine successiva viene illustrato un estratto dell'ALLEGATO 1.



Nella sezione è stato inserito schematicamente l'intervento come desunto dagli elaborati di progetto.

Nella sezione stratigrafica sono rappresentati 3 UNITÀ GEOLOGICHE:

- UNITÀ A: l'orizzonte comprende il materiale di riporto e/o la coltre d'alterazione superficiale che presenta spessori variabili tra 1.0 - 1.5 metri, costituito da ghiaia con sabbia e clasti laterizi e misti poco addensati.
- UNITÀ B: l'orizzonte comprende i depositi fluvio-glaciali superiori costituiti da terreni a granulometria media con ghiaia e sabbia debolmente limosa mediamente addensati.
- UNITÀ C: l'orizzonte comprende i depositi fluvio-glaciali inferiori costituiti da terreni a granulometria grossolana con ghiaia, ciottoli e blocchi immersi in una matrice sabbioso limosa addensati.

Il piano di appoggio delle fondazioni delle strutture portanti è previsto ad una profondità variabile tra 1 e 2 metri (diversa profondità per vano ascensore e vano scala).

## 6.2 ASPETTI GEOTECNICI E IDROGEOLOGICI

Attenendosi al quadro stratigrafico in precedenza illustrato, ai risultati delle prove penetrometriche SPT in foro, delle prove penetrometriche dinamiche continue, delle analisi geotecniche di laboratorio e dei dati dell'indagine sismica, è stato ricostruito il modello geologico tecnico dell'area.

Le prove penetrometriche e le rispettive interpretazioni, unite alle analisi di laboratorio (analisi granulometriche, prova di taglio) hanno permesso la caratterizzazione dei terreni sino ad una profondità di circa 15 metri (profondità sondaggio), per le profondità maggiori si fa riferimento ai risultati dell'indagine MASW.

Rimanendo a favore della sicurezza, i parametri di resistenza del terreno stimati, espressi in termini di angolo d'attrito ( $\phi'$ ) coesione ( $c'$ ) peso specifico ( $\gamma'$ ) Velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), sono i seguenti:

UNITÀ GEOTECNICHE							
n.	Tipo di terreno	Spessore	N <sub>SPT</sub> Medio	Peso unità di volume $\gamma'$	Angolo di resistenza al taglio $\phi'^k$	Coesione non drenata $c'$	Velocità onde di taglio $V_s$
		(m)		(kN/m <sup>3</sup> )	(°)	(kN/m <sup>2</sup> )	m/s
A	<b>Terreno di riporto ghiaioso</b>	<b>1,6</b>	<b>4 - 5</b>	<b>16,5</b>	<b>27 - 28</b>	<b>0.0</b>	<b>200</b>
B	<b>Sabbia con ghiaia debolmente limosa</b>	<b>8 - 10</b>	<b>10 - 13</b>	<b>18,0</b>	<b>30 - 31</b>	<b>4.0</b>	<b>320 - 520</b>
C	<b>Ghiaia e ciottoli con blocchi immersi in matrice sabbiosa limosa</b>	<b>5 - 10</b>	<b>40 - 50</b>	<b>19,0</b>	<b>34 - 35</b>	<b>0.0</b>	<b>570</b>

I calcoli geotecnici per il dimensionamento delle opere di fondazione verranno eseguiti dall'ingegnere strutturista così come le verifiche agli SLE e SLU in condizioni statiche e dinamiche.

## 7 ASPETTI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

Come indicato nella D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129 - Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r.1/2000, art. 3, c. 108, lett. d), il Comune di CADORAGO ricade in ZONA SISMICA 4 e ad esso corrisponde un'accelerazione massima su substrato rigido ( $a_{gmax}$ ) pari a 0,041184 g (con probabilità di superamento pari a 10% in 50 anni).



Con l'entrata in vigore del D.M. 17 gennaio 2018, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica, ed è funzione delle condizioni topografiche del sito e della categoria sismica di sottosuolo. Per la caratterizzazione sismica dei siti si è fatto riferimento alla sezione 3.2 "Azione sismica" delle Norme Tecniche per le Costruzioni che prevede, a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, l'individuazione delle azioni sismiche di progetto.

### 7.1 PERICOLOSITÀ SISMICA

#### 7.1.1 LA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base viene espressa mediante i seguenti parametri:

$a_g$  – accelerazione sismica massima di sito;

$F_0$  – valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale;

$T_c^*$  - periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale.

Per ogni sito, in funzione del periodo di riferimento ( $P_{VR}$ ), i valori di tali parametri sono riportati nella normativa di riferimento ed espressi nei termini di probabilità di accadimento a cui viene fatto corrispondere un determinato Stato Limite.

**Parametri sismici su sito di riferimento**

<b>S.L. Stato limite</b>	<b>TR Tempo ritorno [anni]</b>	<b><math>a_g</math> [m/s<sup>2</sup>]</b>	<b><math>F_o</math> [-]</b>	<b><math>T_c^*</math> [sec]</b>
<b>S.L.O.</b>	60	0.021	2.540	0.179
<b>S.L.D.</b>	101	0.026	2.606	0.201
<b>S.L.V.</b>	949	0.049	2.683	0.303
<b>S.L.C.</b>	1950	0.057	2.763	0.321

La struttura in progetto rientra nella CLASSE IV della classificazione d'uso delle costruzioni proposta dalla normativa, alla quale corrisponde un COEFFICIENTE D'USO ( $C_U$ ) pari 2.0.

A tale tipologia di costruzione, in accordo con la tab. 2.4.I della Normativa di riferimento, è possibile attribuire un valore della VITA NOMINALE di  $V_N = 50$  (anni).

Il periodo di riferimento per l'azione sismica ( $P_{VR}$ ) si ricava moltiplicando il valore della vita nominale ( $V_N$ ) per il coefficiente d'uso ( $C_U$ ), per cui:

<b>CLASSE D'USO</b>	<b>COEFFICIENTE D'USO (<math>C_U</math>)</b>	<b>VITA NOMINALE (<math>V_N</math>)</b>	<b>PERIODO DI RIFERIMENTO DELL'AZIONE SISMICA (<math>P_{VR}</math>)</b>
<b>Classe IV</b>	2.0	50 anni	100 anni

## 7.1.2 RISPOSTA SISMICA LOCALE

### 7.1.2.1 Condizioni topografiche

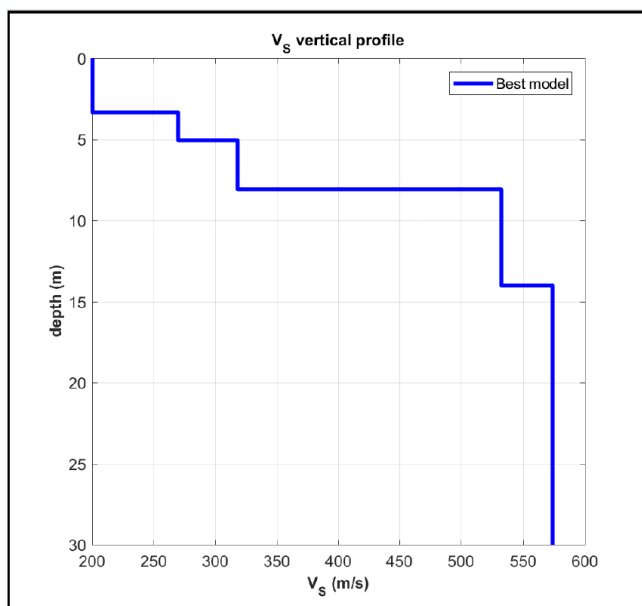
Per la valutazione del coefficiente di amplificazione topografica, in relazione ai contenuti della normativa ed ai significati del coefficiente, è stata considerata l'inclinazione dei siti sui quali è prevista la realizzazione del nuovo intervento. In relazione a tali elementi morfologici il valore massimo del coefficiente di amplificazione ( $S_T$ ) è stato considerato pari a 1.0.

Cat.	Caratteristiche della superficie topografica	$S_T$
<b>T1</b>	<b>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media <math>i \leq 15^\circ</math>.</b>	<b>1.0</b>

### 7.1.2.2 Categoria di suolo

In accordo con i contenuti delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018 e del paragrafo C 3.2.2 delle "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018", valutata la tipologia di intervento in progetto e le condizioni geologiche dei siti, per la definizione della categoria di sottosuolo sismico ci si è avvalsi dei risultati di

indagine sismica (tipo MASW) eseguita lungo la strada comunale (Via Armando Diaz) in adiacenza all'area d'intervento.



Il parametro  $V_{seq}$  rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S negli orizzonti superficiali sino al raggiungimento del substrato roccioso ( $V_s > 800$  m/s) ed è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{seq} = \frac{H}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

con:

- $h_i$  spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;

- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s. (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).

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato (e per tanto il calcolo del parametro  $V_{seq}$ ) è riferita al piano di imposta delle stesse (per il caso di studio viene ipotizzando una profondità di posa media pari a -1.5 metri).

Dall'applicazione della formula sopra indicata, il valore di  $V_{seq}$  risulta pari a 465.5 m/s, da cui (in accordo con le definizioni riportate in NTC18), è possibile attribuire per entrambe le aree un suolo sismico tipo B, descritti come di seguito:

Categoria di suolo	Descrizione
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>

L'idoneità della CATEGORIA DI SUOLO desunta dalle indagini e gli effetti di amplificazione sismica attesi sul sito di riferimento viene valutata mediante l'applicazione delle procedure riportate nella DGR n. 2616/2011, che prevede il confronto fra il fattore di amplificazione di soglia definito da RL con il valore del Fattore di amplificazione locale.

**7.1.3 IL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE DI SOGLIA DEFINITO DA REGIONE LOMBARDIA**

Nella DGR n. 2616/2011, per ogni comune viene indicato il valore di soglia del fattore di amplificazione locale, inteso come il valore oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa (a parità di suolo sismico e periodo di oscillazione) risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di  $F_a$  con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di + 0.1 che tiene in conto la variabilità del valore di  $F_a$  ottenuto.

Si possono presentare quindi due situazioni:

- il valore di  $F_a$  è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
- il valore di  $F_a$  è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.

Per il comune di CADORAGO, i valori soglia per periodi di oscillazione compresi fra 0,1 e 0,5 s (rappresentativo di fabbricati bassi, regolari e piuttosto rigidi, aventi altezza indicativamente inferiore a 5 piani) e per periodi di oscillazione compresi fra 0,5 e 1,5 s (rappresentativo di fabbricati, aventi altezza indicativamente maggiore a 5 piani) per ogni tipologia di suolo sismico risultano pari a:

Periodo di oscillazione (s)	0,1 - 0,5			
Categoria suolo di fondazione	SUOLO B	SUOLO C	SUOLO D	SUOLO E
Fa - Valori Soglia	1.44	1.86	2.21	1.98

Periodo di oscillazione (s)	0,5 - 1,5			
Categoria suolo di fondazione	SUOLO B	SUOLO C	SUOLO D	SUOLO E
Fa - Valori Soglia	1.72	2.41	4.17	3.08

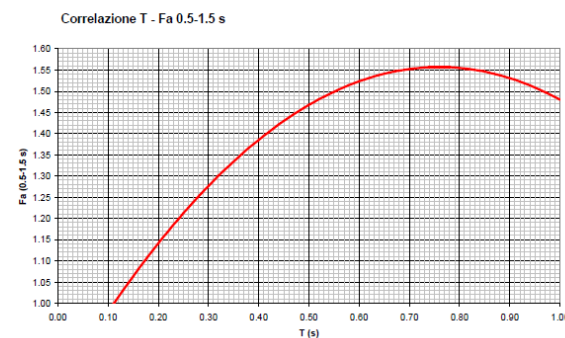
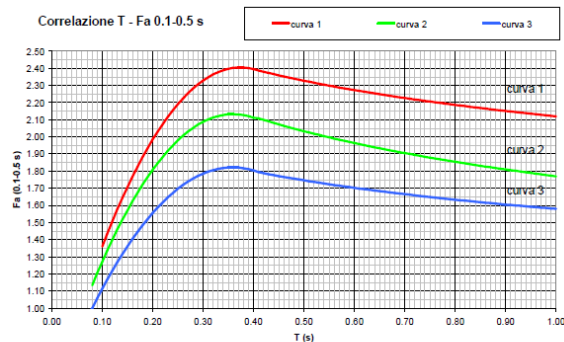
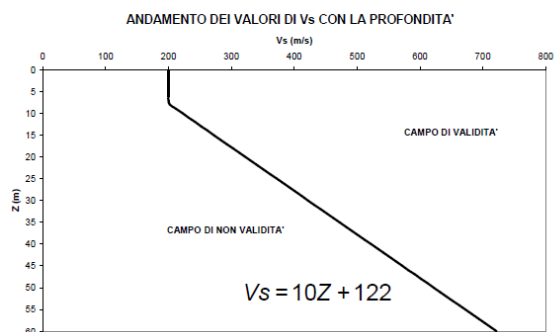
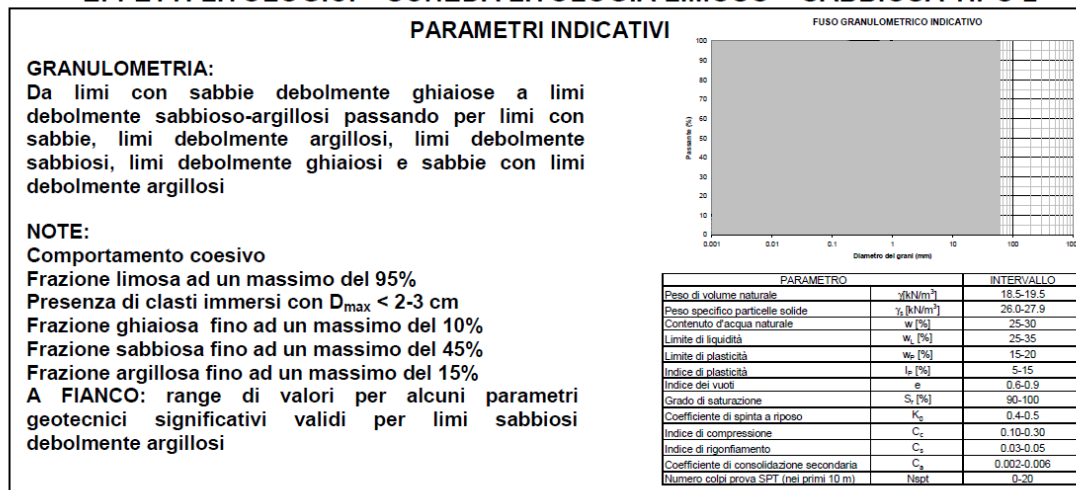
Al fine di valutare l'idoneità del fattore di amplificazione proposto per la modellazione sismica, la normativa prevede il confronto dei valori regionali dei fattori di amplificazione ( $F_a$ ) con il valore di  $F_a$  locale calcolato sulla base del quadro stratigrafico.

**7.1.4 CALCOLO DI  $F_a$  LOCALE**

Per il calcolo del Fattore di amplificazione  $F_a$  locale per effetti litologici è stata adottata la procedura proposta da Regione Lombardia che prevede le seguenti fasi:

**FASE 1 - Scelta della scheda di riferimento.**

In funzione della granulometria prevalente del sito e del gradiente di velocità  $V_s$  con la profondità la normativa riporta n. 6 schede di riferimento. La scelta della scheda di valutazione si basa sul confronto fra il profilo di velocità delle onde S ed i profili delle  $V_s$  delle schede disponibili nell'ambito della normativa.

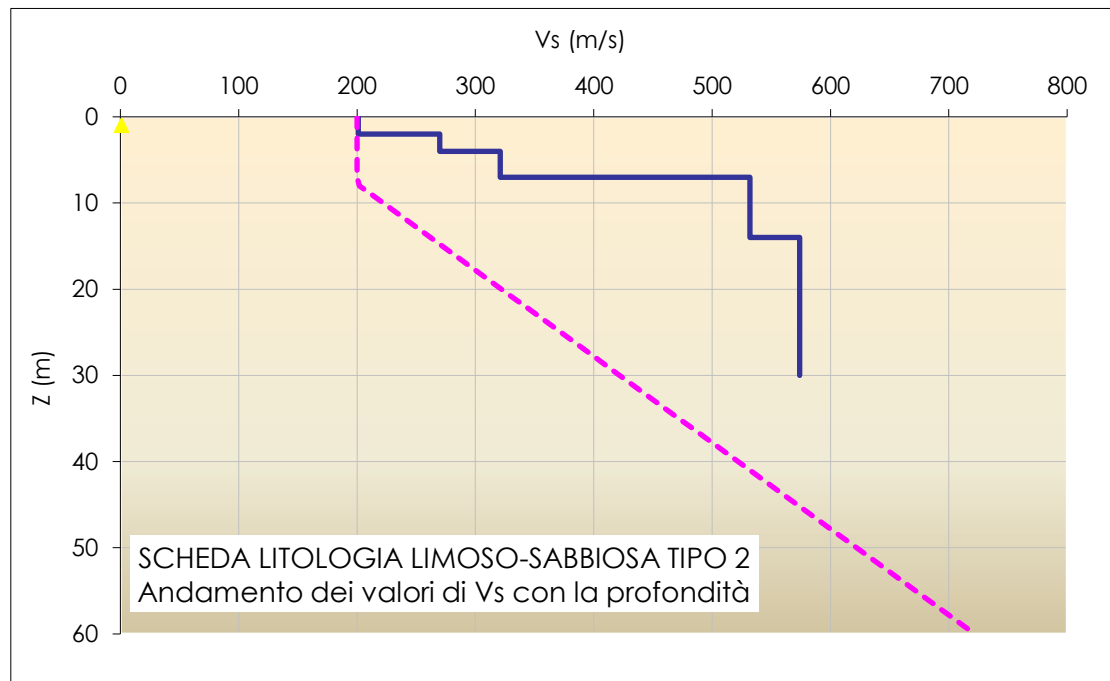
**EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 2**

$$Fa_{0.5-1.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30 \ln T$
2	$0.08 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38 \ln T$
3	$0.05 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24 \ln T$



L'indagine MASW si adatta bene alla **SCHEDA "LIMOSO-SABBIOSA TIPO 2"** valida per terreni costituiti da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi.



## FASE 2 - Determinazione del periodo proprio del sito (T)

Il valore di T (periodo proprio del sito espresso in secondi) è calcolato considerando la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore delle velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente relazione:

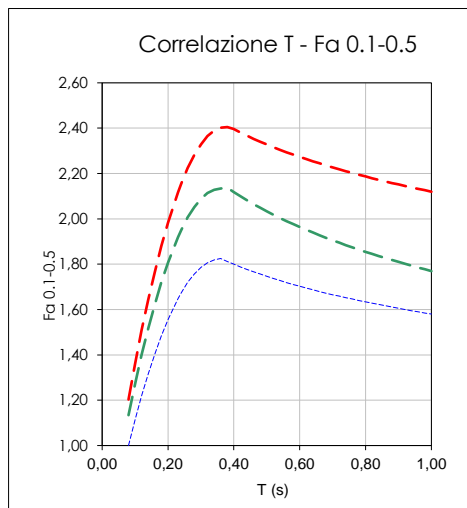
$$T(s) = \frac{4 \times \sum_{i=1,N} h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1,N} h_i \times V_{Si}}{\sum_{i=1,N} h_i} \right)} = 0.23 \text{ s}$$

Dove:

- $h_i$  = spessore (m) dello strato i-esimo;
- $V_{Si}$  = velocità (m/s) delle onde di taglio dello strato i-esimo;
- N = numero strati.

## FASE 3 - Calcolo del valore di Fa

Attenendosi allo spessore dell'orizzonte d'imposta della fondazione rappresentato nel diagramma Vs-Z(m), viene individuata la curva di correlazione T - Fa rappresentativa fra le tre proposte ed illustrate nel seguente grafico.



Essendo l'orizzonte a profondità maggiore di 3 metri (dalla quota d'imposta delle fondazioni) caratterizzato da velocità delle onde sismiche  $V_s$  maggiore di 300 m/s viene adottata come curva di riferimento la n. 3 (BLU) proposta nel grafico per il periodo compreso fra 0,1 e 0,5 s, dalla quale si deduce un valore di  $F_a$  pari a 1.65 s.

#### 7.1.5 CONFRONTO CON IL VALORE DI $F_a$ DI SOGLIA

Il valore di  $F_a$  calcolato è pari a 1.65, essendo quest'ultimo maggiore al valore soglia relativo al sottosuolo di tipo B (1.44), in fase di progettazione dovrà essere utilizzato il sottosuolo sismico di tipo C per il quale il valore di  $F_a$  di soglia definito dalla normativa risulta pari a 1.86.

Per il dimensionamento sismico della struttura, si ritiene pertanto corretto adottare la tipologia C.

Categoria di suolo	Descrizione
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 metri, 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.

#### 7.1.6 AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Per tale categoria di sottosuolo C, gli effetti di amplificazione stratigrafica indotti sono definiti dai rispettivi coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  riportati nella tabella seguente.

Categoria di sottosuolo	$S_s$	$C_c$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0(a_g/g) \leq 1.50$	$1.05 (T_c^*)^{-0.33}$



Per tale categoria di sottosuolo, nel sito in esame, gli effetti di amplificazione stratigrafica indotti sono definiti dai rispettivi coefficienti riportati nella tabella seguente.

	STABILITÀ DEI PENDII E FONDAZIONI			
	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1.50	1.50	1.50	1.50
Cc	1.85	1.78	1.56	1.53
St	1.00	1.00	1.00	1.00
kh	0.006	0.008	0.015	0.017
kv	0.003	0.004	0.007	0.009
A <sub>max</sub>	0.312	0.385	0.716	0.842
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

## 7.2 LIVELLO DI ATTENDIBILITÀ DEI DATI GEOLOGICI E GEOFISICI

In conformità a quanto previsto dalle disposizioni Regionali si individua, di seguito, l'affidabilità dei dati utilizzati per l'analisi sismica di secondo livello:

Dati	Attendibilità	Tipologia
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
Geofisici (Vs)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

## 7.3 VALUTAZIONE DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

Ai sensi del paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC 2018 la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

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

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

In accordo ai contenuti punto 7.11.3.4.2 delle NTC 2018, appurato come nel sito in esame non siano presenti sabbie pulite, considerato come il valore di accelerazione massima al suolo risulta inferiore a 0.1 g, appurato come la profondità media stagionale della falda risulta superiore a 15 m dal piano campagna, la verifica a liquefazione può essere omessa.

## 8 CONCLUSIONI

L'indagine condotta è mirata alla valutazione degli aspetti geologici, geotecnici, idrogeologici e sismici inerenti al progetto "TRATTA SARONNO – COMO OPERE SOSTITUTIVE PL 31+267 NEI COMUNI DI CADORAGO E LOMAZZO" che consiste in un nuovo sovrappasso pedonale da realizzare in corrispondenza del passaggio a livello situato in Via alla Fonte nei pressi del comune di Cadorago (codice commessa E.10.B).

Allo scopo di ricostruire il quadro geologico e sismico delle aree di studio nel 2023 è stata realizzata dalla Società "GIA Consulting Srl" alla firma del Dott. Geol. Salvatore Costabile una campagna di indagini geognostiche e geofisiche comprensiva di:

- ✓ n° 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo spinto fino a profondità di 15 m dal p.c.;
- ✓ n° 3 prelievi di campioni indisturbati per le prove di laboratorio;
- ✓ n° 10 prove penetrometriche standard SPT;
- ✓ n° 3 prove penetrometriche dinamiche DPSH;
- ✓ N° 1 prospezione sismica a rifrazione MASW;
- ✓ N° 1 prospezione sismica ai microtrempi HVSR;
- ✓ Analisi di laboratorio sui campioni prelevati durante il sondaggio;
- ✓ Analisi ambientali sui campioni prelevati.

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

L'indagine, in accordo con i contenuti delle NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (D.M. del 17 gennaio 2018 del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, il Ministro dell'Interno e il Capo del Dipartimento della Protezione Civile), ha previsto l'analisi dei vincoli di natura geologica esistenti sulle aree e una prima valutazione degli elementi geologici limitanti mediante un rilievo diretto di terreno delle aree d'intervento e di un settore attiguo oltre all'esame del progetto ed alle possibili interferenze delle opere con il quadro geologico e l'assetto stratigrafico desunto dall'indagine.

Dall'esame della documentazione disponibile è emerso come le aree:

- nella **CARTA PAI e PGRA** (Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Po) sono **ESTERNE** alle perimetrazioni;
- nella **CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA** del PGT ricadono tutte e tre in classe di **FATTIBILITÀ GEOLOGICA 2** (aree con MODESTE limitazioni alla destinazione d'uso dei terreni)
- come definito dalla D.G.R. 11 luglio 2014, n. 2129 il comune di CADORAGO si colloca in zona sismica 4. Nella carta della Pericolosità Sismica locale contenuta all'interno del PGT l'area d'intervento si colloca in aree **“4a - ZONA DI FONDOVALLE E DI PIANURA CON PRESENZA DI DEPOSITI ALLUVIONALI E/O FLUVIOGLACIALI GRANULARI E/O COESIVI”**.

**Dal punto di vista strettamente geologico non sussistono elementi limitanti la realizzazione dell'intervento in esame.**

Nel **PARAGRAFO 5** (*INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI*) vengono riassunti i risultati di tutte le indagini eseguite nelle aree di studio.

Nel **PARAGRAFO 6** (*INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI – MODELLI GEOTECNICI*) viene descritto il modello geologico tecnico interpretativo ricostruito lungo la sezione longitudinale della passerella in progetto, sulla base dei quali dovranno essere dimensionate le opere in progetto.

Si evidenzia come le **FONDAZIONI** del nuovo manufatto, che da progetto sono previste ad una profondità di circa 1 metro, **DOVRANNO ESSERE APPROFONDITE SINO AD INTERCETTARE L'UNITÀ B** posta ad una profondità ipotizzata di circa 1.5 metri (il piano di appoggio del vano ascensore è invece già previsto ad una profondità di circa 2 metri).

In accordo ai risultati dell'indagine condotta sono emersi i seguenti elementi di carattere geologico tecnico:

- qualora il piano di fondazione si sviluppasse su terreni non omogenei, si dovrà aver cura di **UNIFORMARE L'AREA DI APPOGGIO**, eliminando eventuali grossi blocchi o lenti di materiale fine e sostituendoli con terreni granulari adeguatamente compattate;
- le operazioni di scavo dovranno essere condotte in adeguate condizioni di sicurezza, prevedendo fronti con inclinazione massima pari a 45°;

Nel **PARAGRAFO 7** sono riportati gli approfondimenti sismici delle aree: sulla base delle condizioni geologiche e geomorfologiche delle aree e dei risultati delle indagini sismiche realizzate in sito, nella fase di dimensionamento geotecnico dovrà essere considerato un **SUOLO SISMICO TIPO C** e **CONDIZIONI TOPOGRAFICHE parte TIPO T1**.

Dott. Geol. Giovanni Ghirardi



Malonno (Brescia), Luglio 2023