

SOGGETTO ATTUATORE DI PRIMO LIVELLO



COMUNE DI BERGAMO

Piazza Giacomo Matteotti, 27 - 24122 Bergamo (BG)

SOGGETTO ATTUATORE DI SECONDO LIVELLO



ATB Mobilità S.p.A.

Via Gleno, 13 - 24125 Bergamo (BG)

## REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO

# PROGETTO DEFINITIVO

CUP: H11B21006730001 - CIG: 9562909A25

APPALTATORE



**Vitali S.p.A.**

via Lombardia 2/A  
20068 - Peschiera Borromeo (MI)

Mandanti: **Artelia Sas**



Rue Simone Veil 16  
93400 Saint-Ouen-sur-Seine  
(France)

**ErreGi**



Piazza del Viminale 14  
00184 Roma (RM)

Studio CARRARA

ARCHITETTURA INGENIERIA

Duna building

**Studio Carrara**  
Via T. Tasso 89

24121 - Bergamo (BG)



**Pide**

Via Fosse 13  
36063 Marostica (VI)



**Pini**

Via Cavour 2  
22074 - Lomazzo (CO)

PROGETTISTI

Capogruppo/mandataria



**Artelia Italia S.p.A.** Piazza  
G. Marconi 25

00144 - Roma (RM)

IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE

Ing. Marco Gonella

IL DIRETTORE TECNICO

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Ing. C. Rita Donato

A	Novembre 2023	PRIMA EMISSIONE	D. Grandis	G. Lui	G. Lui
REV	DATA	TIPO DI EMISSIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO/AUTORIZZATO

## 04\_STUDI ED INDAGINI

### 4.1\_STUDIO GEOLOGICO

### RELAZIONE GEOTECNICA

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

SCALA:

Commissa	B	2	3	D	Lotto	0	0	Fas	D	Tratto	0	0	Tipo	G	Disciplina / WBS 1-2	G	E	0	0	0	0	Progettivo doc.	0	0	1	Revisione	A
COMMESSA	2	3	D	0	0	0	0	FASE	0	0	0	0	TIPO DOC.	G	OPERA/DISCIPLINA	0	0	0	0	0	0	PROGR.	0	0	1	REV.	A

DATA:  
NOVEMBRE 2023

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-
 ARTELIA Passion & Solutions Italia	 ARTELIA Passion & Solutions France	 ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA
4.2 Geotecnica	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00
Relazione Geotecnica	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001
	REV. A	FOGLIO 2 di 32

## Sommario

<b>1 INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
1.1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	4
<b>2 DATI DISPONIBILI .....</b>	<b>6</b>
<b>3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI PROGETTO.....</b>	<b>7</b>
<b>4 INDAGINI GEOGNOSTICHE DISPONIBILI .....</b>	<b>8</b>
4.1 PROVE SPT .....	13
4.2 PROVE DI PERMEABILITÀ.....	15
4.3 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE .....	17
<b>5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>20</b>
5.1 ATTRIBUZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI.....	22
<b>6 SISMICITÀ .....</b>	<b>23</b>
6.1 CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO.....	23
6.2 STABILITÀ DEL SITO NEI CONFRONTI DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE E CEDIMENTO .....	31

Capogruppo/mandataria:       Mandanti:  <i>dream bubbles</i>	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>
4.2 Geotecnica  Relazione Geotecnica	COMMESSA      LOTTO      CODIFICA      DOCUMENTO      REV.      FOGLIO <b>B23D</b> <b>00 D 00</b> <b>GE</b> <b>GE0000 001</b> <b>A</b> <b>3 di 32</b>

## Indice delle Figure

FIGURA 1-1 – AEROFOTOGRAMMETRIA CON UBICAZIONE DEL TRACCIATO DELLA NUOVA LINEA E-BRT ..... FIGURA 5-1 – CORRELAZIONE DI SCHMERTMANN ..... FIGURA 6-1 – SINTESI DELLE CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL GRUPPO OMOGENEO A (INDAGINE DI RIFERIMENTO HVSR7 – BG_042)..... FIGURA 6-2 – SINTESI DELLE CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL GRUPPO OMOGENEO B (INDAGINE DI RIFERIMENTO HVSR10 – BG_066).... FIGURA 6-3 – SINTESI DELLE CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL GRUPPO OMOGENEO C (INDAGINE DI RIFERIMENTO HVSR15 – DA_005).... FIGURA 6-4 – SINTESI DELLE CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL GRUPPO OMOGENEO D (INDAGINE DI RIFERIMENTO HVSR20 – DA_028).... FIGURA 6-5 – SINTESI DELLE CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL GRUPPO OMOGENEO E (INDAGINE DI RIFERIMENTO HVSR26 – OT_012) ....	5 21 25 26 27 28 29
--	---------------------------------------

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
	 pide  studio CARRARA ARCHITETTURA INGEGNERIA Dove bubbler						
4.2 Geotecnica	Relazione Geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	4 di 32

## 1 INTRODUZIONE

L'impresa VITALI S.p.A. "l'Appaltatore" ha conferito al Raggruppamento Temporaneo di Progettisti (RTP) "il **Contraente**" o "Progettista" costituito dalle società ARTELIA Italia S.p.A. (mandataria), ARTELIA SAS, Erregi group Srl, Pini Swiss Srl, Pide Energy e Studio Carrara l'incarico professionale per l'affidamento congiunto della progettazione definitiva ed esecutiva e servizi tecnici di ingegneria per la fase esecutiva (Opzionale) per la realizzazione di un sistema E-BRT tra i comuni di Bergamo, Dalmine e Verdellino. L'affidamento di progettazione ricade nella procedura di appalto integrato indetto da ATB azienda trasporti Bergamo "La Stazione appaltante".

Il presente elaborato è stato redatto nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo della nuova linea del sistema E-BTR che verrà realizzata a supporto della circolazione tra la città di Bergamo e il comune di Verdellino (BG).

Nel presente rapporto si intendono affrontare e sviluppare gli aspetti geotecnici relativi al progetto in oggetto, prendendo in esame i seguenti aspetti:

- descrizione delle indagini disponibili e presentazione dei risultati;
- individuazione delle unità geotecniche fondamentali, con particolare riferimento alla classificazione litostratigrafica definita nella Relazione Geologica;
- definizione dei parametri geotecnici per le diverse unità individuate;

### 1.1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'E-BRT si sviluppa lungo l'asse della Strada Provinciale SP525, la partenza sarà dalla stazione di Verdellino Dalmine, attraversa il comune di Osio Sopra, di Dalmine, il territorio di Lallio, i quartieri di Grumellina e Villaggio Sposi della città di Bergamo, arriva a Bergamo in Largo Tironi e finisce al capolinea del polo multimodale della stazione di Bergamo.

Il percorso di andata è lungo circa 14,85 km e conta n. 21 fermate, mentre il percorso di ritorno è lungo circa 15,08 km con n. 21 fermate. I due capolinea sono localizzati uno a Bergamo, in corrispondenza della stazione FS in Piazza Marconi mentre l'altro è a Verdellino, in Via Guglielmo Marconi, nei pressi del sottopassaggio della Stazione FS Verdellino-Dalmine.

In generale, nella porzione di tracciato che va da Bergamo via Moroni fino ad Osio Sotto il tracciato della nuova linea E-BRT lungo la direttrice della SP 525 corre parallelamente alla Roggia Colleonesca; per realizzare le due corsie preferenziali dedicate al E-BRT, sarà necessario, da un lato, tombare la Roggia Colleonesca esistente ed allargare la carreggiata della strada dall'altro, recuperando in tal modo lo spazio necessario per garantire un migliore e adeguato livello di servizio del sistema di trasporto

In Figura 1-1 si riporta la raffigurazione planimetrica del tracciato nel suo complesso.

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
 Passion & Solutions Italia	 Passion & Solutions France						
  SMART ENGINEERING	 SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA						
4.2 Geotecnica	Relazione Geotecnica	COMMESSE	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	5 di 32



LEGENDA	
	NUOVO TRACCIATO BRT - PERCORSO BERGAMO - VERDELLINO
	NUOVO TRACCIATO BRT - PERCORSO VERDELLINO - BERGAMO
	PERCORSO IN DIREZIONE DEL KM ROSSO
	CONFINI COMUNALI

Figura 1-1 – Aerofotogrammetria con ubicazione del tracciato della nuova linea E-BRT

Capogruppo/mandataria:      	Mandanti:  <b>studiocARRARA</b> ARCHITETTURA INGENIERIA <i>team bubbles</i>	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
4.2 Geotecnica  Relazione Geotecnica	COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>GE</b>	DOCUMENTO <b>GE0000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>6 di 32</b>
<b>2 DATI DISPONIBILI</b>	<p>I dati utili per la redazione della presente Relazione Geotecnica sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Documentazione geologica del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica (PFTE); nel dettaglio:           <ul style="list-style-type: none"> <li>○ GR02: Raccolta delle indagini geognostiche;</li> <li>○ GR01: Relazione geologica, idrogeologica, idrologica, geotecnica, sismica;</li> <li>○ GA09: Carta delle tipologie di indagine per la caratterizzazione geologica e tecnica;</li> <li>○ GP01-03: Profilo longitudinale con stratigrafie indagini;</li> <li>○ GP04-06: Profilo geologico - geotecnico interpretativo;</li> <li>○ GP07: Profilo longitudinale con indicazione delle indagini sismiche e classi di sottosuolo;</li> </ul> </li> <li>• Banche dati disponibili sui portali della Regione Lombardia (<a href="https://www.geoportale.regione.lombardia.it/">https://www.geoportale.regione.lombardia.it/</a> ; <a href="https://www.multiplan.serviziit.it/pgtwebn">https://www.multiplan.serviziit.it/pgtwebn</a>);</li> <li>• Livelli informativi della piattaforma IdroGEO ISPRA (Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio; Inventario dei Fenomeni Fransosi in Italia – IFFI. <a href="https://www.progettoiffi.isprambiente.it/">https://www.progettoiffi.isprambiente.it/</a>; <a href="https://idrogeo.isprambiente.it/app/">https://idrogeo.isprambiente.it/app/</a>);</li> </ul>					

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
 Passion & Solutions Italia	 Passion & Solutions France	 SERVIZI INTEGRATI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA					
4.2 Geotecnica		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione Geotecnica		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	7 di 32

### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI PROGETTO

Come descritto in dettaglio nella Relazione Geologica di Progetto Definitivo, il tracciato si sviluppa interamente entro i depositi alluvionali e fluvioglaciali appartenenti al Supersistema della Morla (OR). Si tratta di terreni di età Pleistocene Medio – Olocene (fino al XVI secolo) descritti nella cartografia geologica come “*Ghiaie a ciottoli arrotondati con prevalenti clasti della successione cretacea e di poco subordinati silicoclasti con evidenze di alterazione, intercalazioni sabbiose (depositi alluvionali); argille, limi e sabbie (depositi lacustri). Profilo di alterazione di spessore variabile; morfologie conservative*

”.

IL Modello Geologico dell'area di progetto è stato definito partendo dai dati geologici disponibili. Occorre sottolineare che questi ultimi sono rappresentati da una serie di indagini geognostiche già esistenti realizzate per la progettazione di altre opere localizzate in prossimità del sito di intervento della nuova linea E-BRT; non si tratta quindi di indagini realizzate appositamente a supporto della progettazione dell'opera in oggetto. Solamente una minima parte delle indagini disponibili è stata realizzata a supporto del progetto di fattibilità tecnico-economica PFTE (2 sondaggi a carotaggio, 12 prove penetrometriche tipo DPSH, 30 prove geofisiche tipo HVSR).

Dall'analisi dei dati disponibili e dall'analisi dei documenti di PFTE (doc GR01 e GR02) emerge che il supersistema della Morla è un'Unità caratterizzata da un profilo di alterazione superficiale di spessore variabile (localmente alcuni metri), pedogenizzato e rimaneggiato dall'attività antropica mediamente nel suo primo metro. Nel PFTE si segnala che ove è stato possibile osservare direttamente la stratigrafia superficiale, come in corrispondenza di scavi edilizi, tale sistema si caratterizza per un'alterazione nettamente maggiore dei clasti silicatici provenienti dall'alta Valle Seriana rispetto a quelli marnosi o calcareo marnosi della successione cretacea locale, immersi in una matrice fine di tipo limoso argilloso. Nella parte più superficiale della sequenza sono stati anche osservati (località Longuelo) livelli di potenza significativa di depositi di bassa energia e lacustri costituiti da limi, limi argillosi, limi sabbiosi e sabbie che venivano cavati anticamente (località Fornaci).

Tali depositi fini limoso-argillosi contenenti clasti alterati sono diffusi pressoché lungo tutto il tracciato, come evidenziano le stratigrafie dei sondaggi e dei pozzi disponibili e possono raggiungere spessori localmente importanti (superiori ai 5 m). Al di sotto di questi depositi fini e d'alterazione si trovano le ghiaie a supporto clastico e matrice sabbiosa, con clasti arrotondati, ben selezionati, calcareo-marnosi e arenacei prevalenti e subordinati calcarini e silicoclasti alterati di provenienza seriana. All'interno dei depositi ghiaiosi, a profondità generalmente superiori ai 10 m, sono presenti livelli e lenti di conglomerati fluvioglaciali da poco cementati ed alterati a semi-litoidi. Spesso i conglomerati costituiscono delle lenti di limitata dimensione entro il livello ghiaioso, oppure costituiscono la base dello stesso. Proseguendo in profondità, il conglomerato diventa prevalente con intercalazioni di livelli argilloso-limosi. I depositi grossolani conglomeratici hanno una potenza dell'ordine di parecchie decine di metri (superiori ai 270 m) come si evince dalle stratigrafie dei pozzi per acqua profondi contenute nel Report delle indagini geognostiche e prove in situ.

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
	 						
 							
4.2 Geotecnica	Relazione Geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	8 di 32

## 4 INDAGINI GEOGNOSTICHE DISPONIBILI

Nel presente capitolo vieni fornita una sintesi delle indagini attualmente disponibili che costituiscono la base per la definizione dei parametri geotecnici delle unità distinte nel settore di studio.

Le indagini attualmente disponibili sono state raccolte nel Report delle indagini geognostiche e prove in situ mentre la loro ubicazione è riportata nella Carta di ubicazione delle indagini esistenti.

Le indagini esistenti sono costituite da:

- Prove penetrometriche dinamiche (147 prove penetrometriche, di cui 12 eseguite in fase di PFTE);
- Sondaggi a carotaggio continuo (56 sondaggi, di cui 2 eseguiti in fase di PFTE);
- Stratigrafie di pozzi per acqua esistenti (49 pozzi);
- Pozzetti esplorativi (5 scavi);
- Indagini sismiche (30 prove HVSR).

Nella maggior parte dei casi i sondaggi disponibili hanno fornito esclusivamente informazioni di carattere lito-stratigrafico (descrizioni stratigrafiche non accompagnate da foto delle cassette), soprattutto nelle serie di indagini recuperate dal geoportale della regione Lombardia (in cui non sono riportate, ad esempio, prove eseguite in foro o altre tipologie di analisi ed indagini geognostiche). Solo per alcuni sondaggi, ovvero quelli recuperati da precedenti lavori di Studio G.E.A. e quelli eseguiti in fase di PFTE, è stato possibile ottenere anche informazioni di carattere geotecnico (quali risultati di prove SPT eseguite in foro) o idrogeologico (quali prove di permeabilità tipo Lefranc in foro). Al fine di colmare tali lacune di informazione, in questa fase di progettazione definitiva sono stati redatti appositi piani di indagine comprendenti prove penetrometriche dinamiche e sondaggi carotati con prove in foro (SPT e Lefranc) e prelievo di campioni di terreno per le prove di laboratorio, i cui risultati non sono tuttavia al momento disponibili. Il modello geotecnico del sito viene pertanto definito in tale fase sulla base dei dati disponibili e del modello definito in fase di PFTE. Tale modello sarà aggiornato ed implementato una volta disponibili i risultati delle indagini integrative, presumibilmente in fase di progettazione esecutiva.

Ai fini di evitare possibili fraintendimenti per le indagini disponibili viene mantenuta in questa fase progettuale la stessa codifica e classificazione adottata in fase di PFTE; per ogni indagine è stato assegnato un codice identificativo del progetto in formato alfanumerico secondo il criterio che segue:

codice prova: **AA\_Xxx**

dove AA indica Codice comune di appartenenza: Bergamo **BG** - L'Allio **LA** - Dalmine **DA** - Osio Sopra **OP** - Osio Sotto **OS** - Verdellino **VE**.

Xxx indica il numero progressivo; per ogni comune, la numerazione riparte dallo 001.

Alcuni codici non identificano una singola prova, ma gruppi di prove eseguite in supporto ad un unico intervento progettuale.

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
 Passion & Solutions Italia	 Passion & Solutions France	 SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA					
 PINI SMART ENGINEERING	 PINI SMART ENGINEERING	 studioCARRARA ARCHITETTURA INGENIERIA Dove bubblier					
4.2 Geotecnica	Relazione Geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	9 di 32

Nel seguito si riportano delle tabelle di sintesi delle indagini disponibili e delle loro caratteristiche principali:

ID PROGETTO	COMUNE	FONTE	SPECIFICA FONTE	CODICE FONTE	TIPOLOGIA	n. prove	x	y
BG_001	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B224230524	Sondaggi	1	552395.779	5060503.625
BG_002	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B224450499	Sondaggi	1	552417.778	5060478.625
BG_003	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B224710486	Sondaggi	1	552443.778	5060465.625
BG_004	BERGAMO	Nuova	GEA	HVSR_1	Sismica	1	552472.218	5060117.389
BG_005_A	BERGAMO	Storica	GEA	senza_codice_via_a_maj_verdina	Prove penetrometriche dinamiche	9	552650.668	5060232.357
BG_005_B	BERGAMO	Storica	GEA	senza_codice_via_a_maj_verdina	Sondaggi	1	552656.260	5060235.460
BG_006	BERGAMO	Storica	GEA	senza_codice_via_a_maj	Sondaggi	1	552937.527	5060342.591
BG_007	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B230690368	Sondaggi	1	553041.769	5060347.624
BG_008	BERGAMO	Storica	SITER	1469	Pozzo	1	552943.000	5060236.000
BG_009	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B229830254	Sondaggi	1	552955.770	5060233.627
BG_010	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B229690200	Sondaggi	1	552941.769	5060179.629
BG_011	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B230550212	Sondaggi	1	553027.768	5060191.628
BG_012	BERGAMO	Storica	SITER	2226	Pozzo	1	552630.000	5059433.000
BG_013	BERGAMO	Storica	SITER	049/09	Pozzo	1	552083.000	5059945.000
BG_014	BERGAMO	Storica	GEA	A_11_069	Prove penetrometriche dinamiche	3	552692.000	5059120.000
BG_015	BERGAMO	Nuova	GEA	HVSR_2	Sismica	1	551997.871	5059617.912
BG_016	BERGAMO	Storica	SITER	2131	Pozzo	1	551724.000	5059276.000
BG_017	BERGAMO	Nuova	GEA	SIS_3	Sismica	1	551608.186	5059459.352
BG_018	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B317369293	Sondaggi	1	551708.776	5059272.659
BG_019	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B314089834	Prove penetrometriche dinamiche	1	551380.785	5059813.649
BG_020	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B313549880	Prove penetrometriche dinamiche	1	551326.786	5059859.648
BG_021	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B313589866	Sondaggi	1	551330.786	5059845.648
BG_022	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B313659844	Prove penetrometriche dinamiche	1	551337.786	5059823.649
BG_023	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B313899823	Prove penetrometriche dinamiche	1	551361.785	5059802.649
BG_024	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B314239766	Prove penetrometriche dinamiche	1	551395.784	5059745.650
BG_025	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B314179772	Prove penetrometriche dinamiche	1	551389.784	5059751.650
BG_026	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B314139767	Sondaggi	1	551385.784	5059746.650
BG_027	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B314159755	Prove penetrometriche dinamiche	1	551387.784	5059734.650
BG_028	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B314329731	Sondaggi	1	551404.784	5059710.651
BG_029	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B314199739	Prove penetrometriche dinamiche	1	551391.784	5059718.651
BG_030	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B314139743	Prove penetrometriche dinamiche	1	551385.784	5059722.651
BG_031	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B317418907	Pozzo	1	551713.773	5058886.668
BG_032_A	BERGAMO	Storica	GEA	senza_codice_geom_comana	Prove penetrometriche dinamiche	5	551746.987	5058773.968
BG_032_B	BERGAMO	Storica	GEA	senza_codice_geom_comana	Scavi esplorativi con mezzo meccanico	2	551747.459	5058779.773
BG_033	BERGAMO	Nuova	GEA	HVSR_4	Sismica	1	551056.562	5059105.589
BG_034	BERGAMO	Nuova	GEA	HVSR_5	Sismica	1	551014.961	5058982.847
BG_035	BERGAMO	Nuova	GEA	PSP1	Prove penetrometriche dinamiche	1	551015.661	5058982.916
BG_036	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B316658703	Pozzo	1	551637.772	5058682.673
BG_037	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B313758543	Pozzo	1	551347.774	5058522.679
BG_038	BERGAMO	Nuova	GEA	HSR_6	Sismica	1	550841.557	5058794.820
BG_039	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B310518572	Sondaggi	1	551023.778	5058551.681
BG_040	BERGAMO	Nuova	GEA	R2	Ricerca/riciesta dati	1	550695.362	5058678.374
BG_041	BERGAMO	Nuova	GEA	PSP2	Prove penetrometriche dinamiche	1	550675.773	5058598.497
BG_042	BERGAMO	Nuova	GEA	HVSR_7	Sismica	1	550665.314	5058578.319

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
 Passion & Solutions Italia	 Passion & Solutions France	 SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA					
 <b>OPINI</b> SMART ENGINEERING							
4.2 Geotecnica	Relazione Geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	10 di 32

ID PROGETTO	COMUNE	FONTE	SPECIFICA FONTE	CODICE FONTE	TIPOLOGIA	n. prove	x	y
BG_043	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B305218660	Prove penetrometriche dinamiche	1	550493.785	5058639.683
BG_044	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B305118665	Prove penetrometriche dinamiche	1	550483.785	5058644.682
BG_045	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B304928678	Prove penetrometriche dinamiche	1	550464.785	5058657.682
BG_046	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B304948667	Prove penetrometriche dinamiche	1	550466.785	5058646.683
BG_047	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B304838661	Sondaggi	1	550455.785	5058640.683
BG_048	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B304758659	Prove penetrometriche dinamiche	1	550447.785	5058638.683
BG_049	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B304788653	Prove penetrometriche dinamiche	1	550450.785	5058632.683
BG_050	BERGAMO	Storica	GEA	A_11_029	Prove penetrometriche dinamiche	4	550394.000	5058504.000
BG_051	BERGAMO	Nuova	GEA	HVSER_8	Sismica	1	550382.891	5058276.868
BG_052	BERGAMO	Storica	GEA	senza_codice_via_moroni_wind	Prove penetrometriche dinamiche	1	550334.704	5058082.022
BG_053	BERGAMO	Storica	SITER	1475	Pozzo	1	550120.000	5058181.000
BG_054	BERGAMO	Storica	SITER	094/10_2	Pozzo	1	549911.000	5058165.000
BG_055	BERGAMO	Storica	SITER	094/10_1	Pozzo	1	549858.000	5058184.000
BG_056	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B303737740	Sondaggi	1	550345.778	5057719.705
BG_057	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B302957761	Sondaggi	1	550267.779	5057740.705
BG_058	BERGAMO	Nuova	GEA	HVSER_9	Sismica	1	550128.110	5057971.735
BG_059	BERGAMO	Nuova	GEA	PSP3	Prove penetrometriche dinamiche	1	550046.444	5057878.500
BG_060	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B304277669	Sondaggi	1	550399.777	5057648.706
BG_061	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B303317706	Sondaggi	1	550303.778	5057685.706
BG_062	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B302797723	Sondaggi	1	550251.779	5057702.706
BG_063	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B304047609	Sondaggi	1	550376.776	5057588.708
BG_064	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B303057652	Sondaggi	1	550277.778	5057631.708
BG_065	BERGAMO	Nuova	GEA	PSP4	Prove penetrometriche dinamiche	1	549958.576	5057752.662
BG_066	BERGAMO	Nuova	GEA	HVSER_10	Sismica	1	549905.959	5057700.514
BG_067	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B301787509	Sondaggi	1	550150.778	5057488.712
BG_068	BERGAMO	Nuova	GEA	PSP5	Prove penetrometriche dinamiche	1	549893.051	5057673.752
BG_069	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B301527481	Sondaggi	1	550124.778	5057460.713
BG_070	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B396987769	Prove penetrometriche dinamiche	1	549670.786	5057748.709
BG_071	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B396757780	Prove penetrometriche dinamiche	1	549647.786	5057759.709
BG_072	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B396927764	Prove penetrometriche dinamiche	1	549664.786	5057743.709
BG_073	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B396737751	Prove penetrometriche dinamiche	1	549645.786	5057730.710
BG_074	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B396577757	Prove penetrometriche dinamiche	1	549629.786	5057736.710
BG_075	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B396387768	Prove penetrometriche dinamiche	1	549610.787	5057747.710
BG_076	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B396917682	Sondaggi	1	549663.785	5057661.711
BG_077	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B396697639	Prove penetrometriche dinamiche	1	549641.785	5057618.713
BG_078	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B396817619	Prove penetrometriche dinamiche	1	549653.785	5057598.713
BG_079	BERGAMO	Nuova	GEA	R1	Ricerca/richiesta dati	1	549713.675	5057551.083
BG_080	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B396787610	Sondaggi	1	549650.785	5057589.713
BG_081	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B395977662	Prove penetrometriche dinamiche	1	549569.786	5057641.713
BG_082	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B395327665	Prove penetrometriche dinamiche	1	549504.787	5057644.713
BG_083	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B395707612	Prove penetrometriche dinamiche	1	549542.786	5057591.714
BG_084	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B395537581	Sondaggi	1	549525.786	5057560.715
BG_085	BERGAMO	Storica	GEOPORTALE	C5B395317596	Prove penetrometriche dinamiche	1	549503.786	5057575.715
LA_001	LALLIO	Storica	GEOPORTALE	C5B393607421	Pozzo	1	549332.786	5057400.720
LA_002	LALLIO	Storica	GEOPORTALE	C5B393617420	Pozzo	1	549333.786	5057399.720
LA_003	LALLIO	Storica	GEOPORTALE	C5B393507420	Pozzo	1	549322.786	5057399.720
LA_004	LALLIO	Storica	SITER	1234_3	Pozzo	1	549306.000	5057399.000
BG_086	BERGAMO	Nuova	GEA	S2	Sondaggi	1	549482.226	5057198.964

Capogruppo/mandataria:	ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:	ARTELIA Passion & Solutions France	ERREGI SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
pide <b>OPINI</b> STUDIO CARRARA SMART ENGINEERING ARCHITETTURA INGEGNERIA Dove bubbli									
4.2 Geotecnica					COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione Geotecnica					B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A
									FOGLIO 11 di 32

ID PROGETTO	COMUNE	FONTE	SPECIFICA FONTE	CODICE FONTE	TIPOLOGIA	n. prove	x	y
BG_087	BERGAMO	Nuova	GEA	HVSR_11	Sismica	1	549481.517	5057125.033
LA_005_A	LALLIO	Storica	GEA	senza_codice_ediltironi	Prove penetrometriche dinamiche	6	549411.056	5057138.714
LA_005_B	LALLIO	Storica	GEA	senza_codice_ediltironi	Sondaggi	3	549409.716	5057126.407
LA_006	LALLIO	Nuova	GEA	HVSR_12	Sismica	1	549189.858	5056814.138
LA_007	LALLIO	Storica	SITER	1538	Pozzo	1	548992.000	5056723.000
LA_008	LALLIO	Storica	GEOPORTALE	C5B392246341	Pozzo	1	549196.781	5056320.745
LA_009	LALLIO	Nuova	GEA	SIS_13	Sismica	1	549035.168	5056456.310
LA_010	LALLIO	Storica	SITER	2047	Pozzo	1	549181.000	5056310.000
LA_011	LALLIO	Storica	SITER	066/09_1	Pozzo	1	548828.000	5056444.000
LA_012_A	LALLIO	Storica	GEA	18_070	Prove penetrometriche dinamiche	7	548884.000	5056348.000
LA_012_B	LALLIO	Storica	GEA	18_070	Sondaggi	1	548857.497	5056364.429
LA_013	LALLIO	Storica	SITER	066/09_2	Pozzo	1	548754.000	5056220.000
LA_014	LALLIO	Storica	GEOPORTALE	C5B387466153	Pozzo	1	548718.785	5056132.753
LA_015	LALLIO	Nuova	GEA	HVSR_14	Sismica	1	548726.677	5055965.432
LA_016	LALLIO	Nuova	GEA	PSP6	Prove penetrometriche dinamiche	1	548695.815	5055933.974
LA_017	LALLIO	Storica	SITER	032/11	Pozzo	1	548686.000	5055868.000
DA_001	DALMINE	Storica	SITER	1601	Pozzo	1	548917.000	5055529.000
DA_002_A	DALMINE	Storica	GEA	21_125 e 14_031	Prove penetrometriche dinamiche	22	549170.000	5055415.000
DA_002_B	DALMINE	Storica	GEA	21_125	Sismica	2	549161.881	5055416.780
DA_003_A	DALMINE	Storica	GEA	18_157 e 14_031	Prove penetrometriche dinamiche	22	548912.000	5055506.000
DA_003_B	DALMINE	Storica	GEA	18_157 e 14_031	Sondaggi	2	548911.454	5055502.761
DA_003_C	DALMINE	Storica	GEA	18_157	Sismica	2	548915.470	5055503.791
DA_004	DALMINE	Storica	GEOPORTALE	C5B388955388	Sondaggi	1	548867.778	5055367.769
DA_005	DALMINE	Nuova	GEA	HVSR_15	Sismica	1	548345.294	5055453.448
DA_006	DALMINE	Storica	GEOPORTALE	C5B388515220	Sondaggi	1	548823.778	5055199.773
DA_007	DALMINE	Storica	GEOPORTALE	C5B388445204	Sondaggi	1	548816.778	5055183.774
DA_008	DALMINE	Storica	GEOPORTALE	C5B388135222	Sondaggi	1	548785.778	5055201.774
DA_009	DALMINE	Storica	GEOPORTALE	C5B388325183	Sondaggi	1	548804.778	5055162.774
DA_010	DALMINE	Storica	GEOPORTALE	C5B387975178	Sondaggi	1	548769.778	5055157.775
DA_011	DALMINE	Storica	GEOPORTALE	C5B388175167	Sondaggi	1	548789.778	5055146.775
DA_012_A	DALMINE	Storica	GEA	20_108	Sondaggi	4	548372.914	5055333.700
DA_012_B	DALMINE	Storica	GEA	20_108	Scavi esplorativi con mezzo meccanico	3	548354.789	5055316.485
DA_013	DALMINE	Storica	SITER	1233	Pozzo	1	548299.000	5055264.000
DA_014	DALMINE	Storica	GEOPORTALE	C5A372635789	Prove penetrometriche dinamiche	1	547235.798	5055768.772
DA_015	DALMINE	Nuova	GEA	SIS_16	Sismica	1	548056.752	5054912.432
DA_016	DALMINE	Nuova	GEA	PSP7	Prove penetrometriche dinamiche	1	548051.582	5054903.026
DA_017	DALMINE	Nuova	GEA	HVSR_17	Sismica	1	547983.786	5054775.585
DA_018	DALMINE	Storica	GEOPORTALE	C5A366005201	Pozzo	1	546572.802	5055180.789
DA_019	DALMINE	Storica	GEOPORTALE	C5A366005200	Pozzo	1	546572.802	5055179.789
DA_020	DALMINE	Nuova	GEA	HSR_18	Sismica	1	547753.248	5054362.777
DA_021	DALMINE	Storica	SITER	1261	Pozzo	1	547367.000	5054492.000
DA_022	DALMINE	Storica	SITER	021/15	Pozzo	1	547097.000	5054616.000
DA_023	DALMINE	Nuova	GEA	SIS_19	Sismica	1	547616.378	5054138.231
DA_024_A	DALMINE	Storica	GEA	19_039	Prove penetrometriche dinamiche	4	547489.000	5053737.000
DA_024_B	DALMINE	Storica	GEA	19_039	Sondaggi	1	547497.240	5053755.639
DA_024_C	DALMINE	Storica	GEA	19_039	Sismica	1	547499.505	5053744.930
DA_025	DALMINE	Storica	SITER	00056/DP/01	Pozzo	1	547444.000	5053689.000
DA_026	DALMINE	Storica	GEA	19_055_2022	Sondaggi	2	547388.000	5053700.000

Capogruppo/mandataria:	ARTELIA Passion & Solutions Italia	Mandanti:	ARTELIA Passion & Solutions France	ERREGI SERVIZI INTEGRATI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-				
4.2 Geotecnica						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO
Relazione Geotecnica						B23D	00 D 00	GE	GE0000 001
						REV.	FOGLIO		A 12 di 32

ID PROGETTO	COMUNE	FONTE	SPECIFICA FONTE	CODICE FONTE	TIPOLOGIA	n. prove	x	y
DA_027	DALMINE	Storica	GEA	19_055_2019	Sondaggi	2	547381.000	5053687.000
DA_028	DALMINE	Nuova	GEA	HVSR_20	Sismica	1	547339.193	5053637.125
DA_029	DALMINE	Storica	GEA	19_096	Piezometri	7	547350.448	5053617.330
OP_001	OSIO SOPRA	Storica	GEOPORTALE	C5A467593320	Pozzo	1	546731.787	5053299.831
OP_002	OSIO SOPRA	Storica	SITER	1821	Pozzo	1	546804.000	5053251.000
OP_003	OSIO SOPRA	Nuova	GEA	HVSR_21	Sismica	1	547008.021	5053046.318
OP_004	OSIO SOPRA	Nuova	GEA	PSP8	Prove penetrometriche dinamiche	1	547017.198	5053058.292
OP_005	OSIO SOPRA	Storica	GEA	17_044	Sondaggi	3	546737.000	5053190.000
OP_006	OSIO SOPRA	Storica	SITER	UD_04/055	Pozzo	1	546859.000	5053019.000
OP_007	OSIO SOPRA	Nuova	GEA	HVSR_22	Sismica	1	546887.391	5052846.004
OP_008	OSIO SOPRA	Storica	SITER	1615	Pozzo	1	546961.000	5052658.000
OP_009	OSIO SOPRA	Nuova	GEA	PSP9	Prove penetrometriche dinamiche	1	546760.033	5052616.609
OP_010	OSIO SOPRA	Nuova	GEA	HVSR_23	Sismica	1	546601.610	5052351.483
OT_001	OSIO SOTTO	Nuova	GEA	HVSR_24	Sismica	1	546535.667	5052012.818
OT_002	OSIO SOTTO	Nuova	GEA	PSP10	Prove penetrometriche dinamiche	1	546534.112	5052009.600
OT_003	OSIO SOTTO	Storica	GEOPORTALE	C5A462802025	Pozzo	1	546252.783	5052004.863
OT_004	OSIO SOTTO	Storica	SITER	00606/ED/06_1	Pozzo	1	546217.000	5051999.000
OT_005	OSIO SOTTO	Storica	SITER	00606/ED/06_2	Pozzo	1	546145.000	5051903.000
OT_006	OSIO SOTTO	Nuova	GEA	HVSR_25	Sismica	1	546459.387	5051560.436
OT_007_A	OSIO SOTTO	Storica	GEA	A_08_048 e 15_006	Prove penetrometriche dinamiche	12	545797.000	5051434.000
OT_007_B	OSIO SOTTO	Storica	GEA	A_08_048 e 15_006	Sondaggi	1	545799.544	5051440.165
OT_008_A	OSIO SOTTO	Storica	GEA	16_092	Prove penetrometriche dinamiche	12	545851.000	5051242.000
OT_008_B	OSIO SOTTO	Storica	GEA	16_092	Sondaggi	1	545843.977	5051239.112
OT_009	OSIO SOTTO	Storica	SITER	023/10_1	Pozzo	1	546263.000	5051366.000
OT_010	OSIO SOTTO	Storica	SITER	023/10_2	Pozzo	1	546247.000	5051378.000
OT_011	OSIO SOTTO	Storica	SITER	023/10_3	Pozzo	1	546281.000	5051375.000
OT_012	OSIO SOTTO	Nuova	GEA	HVSR_26	Sismica	1	546608.490	5051236.281
OT_013	OSIO SOTTO	Storica	GEOPORTALE	C5A464601150	Pozzo	1	546432.775	5051129.881
OT_014	OSIO SOTTO	Storica	SITER	00606/ED/06_3	Pozzo	1	546426.000	5051120.000
OT_015	OSIO SOTTO	Storica	SITER	00201/FL/03_1	Pozzo	2	546443.000	5051123.000
OT_016	OSIO SOTTO	Nuova	GEA	PSP11	Prove penetrometriche dinamiche	1	546876.116	5051007.260
OT_017	OSIO SOTTO	Storica	GEOPORTALE	C5A471000675	Pozzo	1	547072.766	5050654.888
OT_018	OSIO SOTTO	Storica	SITER	00376/PL/04	Pozzo	1	547081.000	5050687.000
OT_019	OSIO SOTTO	Nuova	GEA	S1	Sondaggi	1	547200.446	5050890.720
OT_020	OSIO SOTTO	Nuova	GEA	HVSR_27	Sismica	1	546879.483	5051012.433
OT_021	OSIO SOTTO	Nuova	GEA	PSP12	Prove penetrometriche dinamiche	1	547080.175	5050898.134
VE_001	VERDELLINO	Nuova	GEA	HVSR_28	Sismica	1	547490.944	5050677.837
VE_002	VERDELLINO	Storica	SITER	2531	Pozzo	1	548056.000	5051137.000
VE_003	VERDELLINO	Nuova	GEA	HVSR_29	Sismica	1	547911.408	5050423.768
VE_004	VERDELLINO	Storica	GEOPORTALE	C5A479700495	Pozzo	1	547942.756	5050474.886
VE_005	VERDELLINO	Storica	GEOPORTALE	C5A479720509	Pozzo	1	547944.756	5050488.886
VE_006	VERDELLINO	Storica	SITER	011/08	Pozzo	1	547957.000	5050474.000
VE_007	VERDELLINO	Storica	GEOPORTALE	C5A479900525	Pozzo	1	547962.756	5050504.885
VE_008	VERDELLINO	Nuova	GEA	HVSR_30	Sismica	1	548381.305	5050791.067

Tabella 1 – Sintesi delle indagini esistenti e delle loro caratteristiche principali

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
 Passion & Solutions Italia	 Passion & Solutions France	 SERVIZI INTEGRATI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA					
 PINI SMART ENGINEERING	 STUDIO CARRARA ARCHITETTURA INGEGNERIA Dream bubbles						
4.2 Geotecnica	Relazione Geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	13 di 32

#### 4.1 PROVE SPT

All'interno di alcuni dei sondaggi disponibili sono state realizzate prove in foro di tipo SPT. I risultati delle prove realizzate, escluse quelle andate a rifiuto, sono sintetizzati nella tabella che segue:

Codice Indagine (doc. GR02 di PFTE)	Codice sondaggio	Litotipo	Profondità (m)	Valore di NSpt
BG_005_B	S1	Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	3,0 6,0 9,0	15 21 24
BG_086	BG_086	Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e subordinatamente sabbiosa	1,5 3,0 4,5 6,0	17 22 11 28
		Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	9,0	31
LA_005	S1	Depositi superficiali prevalentemente limoso-argilosì derivati dalla pedogenizzazione e terreni di riporto fini	2,0	3
		Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	4,0	21
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e subordinatamente sabbiosa	6,0 8,0 10,0	21 13 26
		Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	12,0 14,0	11 15
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e subordinatamente sabbiosa	16,0 18,0	25 38
LA_005	S2	Depositi superficiali prevalentemente limoso-argilosì derivati dalla pedogenizzazione e terreni di riporto fini	2,0	5
		Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	4,0	18
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e subordinatamente sabbiosa	6,0 8,0 10,0	33 29 4
		Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	12,0 14,0	7 23
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e subordinatamente sabbiosa	16,0 18,0	31 35
LA_005	S3	Depositi superficiali prevalentemente limoso-argilosì derivati dalla pedogenizzazione e terreni di riporto fini	2,0	6
		Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	4,0	19
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e subordinatamente sabbiosa	6,0 8,0 10,0	18 23 22
		Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	12,0 14,0	22 16
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e	16,0 18,0	31 38
LA_012_B	S1	Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	5,0	11
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e subordinatamente sabbiosa	10,0	32
DA_003_B	S1	Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	1,80	40
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e subordinatamente sabbiosa	3,95 5,00 7,00 9,70 12,00 16,50	11 92 12 21 7 47

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
 Passion & Solutions Italia	 Passion & Solutions France	 SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA					
 OPINI SMART ENGINEERING	 STUDIO CARRARA ARCHITETTURA INGEGNERIA DREAM bubbles						
4.2 Geotecnica	Relazione Geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	14 di 32

Codice Indagine (doc. GR02 di PFTE)	Codice sondaggio	Litotipo	Profondità (m)	Valore di NSpt
DA_012_A	S1	Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	1,5	12
			3,0	3
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e	6,0	2
			9,0	2
DA_012_A	S2	Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	1,5	4
			3,0	10
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e	6,0	7
			9,0	5
DA_012_A	S3	Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	1,5	3
			3,0	10
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e	6,0	10
			9,0	26
DA_012_A	S4	Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	1,5	4
			3,0	17
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e	6,0	15
			9,0	23
DA_024_B	S1	Depositi superficiali prevalentemente limoso-argilosì derivati dalla pedogenizzazione e terreni di riporto fini	0,5	15
			1,5	18
		Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	3,0	10
			4,5	15
			6,0	2
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e	7,5	5
			9,0	8
DA_024_B	S2	Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	1,5	3
			3,0	7
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e	4,5	9
			6,0	14
DA_024_B	S3	Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	6,0	8
			9,0	21
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e	13,5	77
			21,0	54
DA_024_B	S1	Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	1,5	2
			3,0	10
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e	6,0	54
			9,0	51
OT_007_B	S1	Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	2,0	55
			4,0	37
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e	6,0	39
		Conglomerati da poco cementati a semi-litificati, alterati e fratturati	12,0	38
OT_019	OT_019	Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	1,5	19
			3,0	28
			4,5	25
		Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e	6,0	60
			9,0	59

Tabella 2 – Sintesi dei risultati delle prove SPT, escluse quelle andate a rifiuto, realizzate nei sondaggi disponibili lungo il tracciato della nuova linea E-BRT.

Capogruppo/mandataria:  Passion & Solutions Italia	Mandanti:  Passion & Solutions France  SERVIZI INTEGRATI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>
4.2 Geotecnica	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00
Relazione Geotecnica	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001

## 4.2 PROVE DI PERMEABILITÀ

All'interno di alcuni dei sondaggi disponibili sono state realizzate alcune prove di permeabilità tipo Lefranc. I risultati delle prove realizzate, incluse quelle eseguite all'interno di pozzetti esplorativi, sono sintetizzati nella tabella che segue:

ID (GR02)	CODICE INDAGINE	COMUNE	PROFONDITA (m)	LITO TIPO	PERMEABILITA (m/sec)	
BG_086	BG_086	BERGAMO	4	Ciottoli e ghiaie arrotondati o subarrotondati, poligenici, eterometrici immersi entro matrice limoso - argillosa marrone. Supporto di matrice	8,48E-08	
LA_005_B	S1	LALLIO	4	Deposito a prevalente litologia fine limosa con subordinata componente granulare sabbiosa o ghiaiosa	1,61E-06	
			8,5	Deposito a prevalente litologia granulare sabbiosa e ghiaiosa con subordinata componente fine	1,83E-05	
	S3		3	Deposito a prevalente litologia fine limosa con subordinata componente granulare sabbiosa o ghiaiosa	3,36E-06	
			10	Deposito eterogeneo con alternanze di livelli a prevalente componente granulare e livelli a componente prevalentemente fine	1,81E-05	
LA_012_B	S1	LALLIO	3	Ghiaie a supporto di matrice sabbioso-argillosa con ciottoli	1,42E-04	
			6	Ghiaie e ciottoli a supporto di matrice sabbioso-argillosa passanti a ghiaia clast-supported	1,39E-04	
DA_003_B	S1	DALMINE	16	Ghiaie e ciottoli a supporto di matrice sabbioso-argillosa con livelli conglomeratici alterati	3,51E-05	
DA_012_A	S1	DALMINE	3	Argille limose con ghiaie e ciottoli alterati	1,49E-01	
	S2	DALMINE	3	Ghiaie e ciottoli in matrice argilloso-limosa prevalente. Supporto di matrice e ciottoli in tracce	2,19E-02	
	S3	DALMINE	3	Ghiaie e ciottoli in matrice limoso-argillosa	1,41E-03	
	S4	DALMINE	3	Ghiaie e sabbie poco addensate	1,86E-03	
DA_012_B	T01_PP1	DALMINE	2,1	Ghiaie in matrice limoso-argillosa	2,82E-05	
	T01_PP2	DALMINE	3,5	Ghiaie in matrice limoso-argillosa	9,62E-05	
	T02_PP1	DALMINE	2	Ghiaie in matrice limoso-argillosa	1,72E-04	
	T02_PP2	DALMINE	3,1	Ghiaie in matrice limoso-argillosa	7,76E-05	
OT_019	OT_019	VERDELLINO	3,5	Ghiaie e ciottoli in matrice argilloso-limosa prevalente	9,35E-05	

Tabella 3 – Sintesi dei risultati delle prove di permeabilità Lefranc disponibili lungo il tracciato della nuova linea E-BRT.

I dati attualmente disponibili evidenziano che l'unità costituita dai limi argilosi con ghiaia e ciottoli, generalmente presente nei primi metri al di sotto della coltre superficiale rimaneggiata, presenta una permeabilità variabile da media a bassa, addirittura molto bassa nel settore di Bergamo, presumibilmente per la presenza di una matrice prevalente di natura limoso-argillosa. Solo localmente, in particolare sul sito di indagine DA\_012\_A, sono stati ottenuti dei valori di permeabilità alta più in linea con terreni ghiaiosi clast-supported o ghiaie a matrice sabbiosa. Sullo stesso sito di indagine (indagine S1 e S2) tuttavia, sono stati ottenuti anche valori considerati eccessivamente alti per la litologia descritta e pertanto ritenuti risultati poco affidabili.

Sulla base delle conoscenze attuali tutte le prove di permeabilità Lefranc sono state realizzate in terreno fuori falda. Infatti, sulla base dei dati di soggiacenza contenuti all'interno delle schede stratigrafiche dei pozzi, nel settore settentrionale dell'area di studio, ovvero all'altezza del centro di Bergamo, la superficie piezometrica si

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
	 						
 							
4.2 Geotecnica	Relazione Geotecnica	COMMESMA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	16 di 32

trova ad una profondità variabile tra circa 41 m e 48 m dal p.c., corrispondente ad una quota di circa 200 m s.l.m. Procedendo verso Sud in direzione del comune di Verdellino si osserva una generale riduzione della soggiacenza della falda; il livello piezometrico, infatti, è posto a circa 18,5 m dal p.c., ovvero ad una quota di circa 160 m s.l.m.

ID (GR02)	COMUNE	TIPOLOGIA INDAGINE	PROFONDITA' [m]	FALDA [m da p.c.]
BG_008	BERGAMO	Pozzo	111	<b>47,00</b>
BG_016	BERGAMO	Pozzo	67	<b>48,00</b>
BG_054	BERGAMO	Pozzo	84	<b>43,72</b>
BG_055	BERGAMO	Pozzo	80	<b>41,10</b>
LA_004	LALLIO	Pozzo	80	<b>34,70</b>
LA_007	LALLIO	Pozzo	51	<b>38,00</b>
LA_011	LALLIO	Pozzo	110	<b>45,00</b>
LA_013	LALLIO	Pozzo	95	<b>41,30</b>
LA_017	LALLIO	Pozzo	75	<b>40,47</b>
DA_001	DALMINE	Pozzo	91	<b>38,00</b>
DA_013	DALMINE	Pozzo	195	<b>40,00</b>
DA_021	DALMINE	Pozzo	90,6	<b>35,00</b>
DA_022	DALMINE	Pozzo	101	<b>32,20</b>
DA_025	DALMINE	Pozzo	70,5	<b>32,00</b>
DA_029	DALMINE	Pozzo	-	<b>31,20</b>
OP_002	OSIO SOPRA	Pozzo	49	<b>25,00</b>
OP_006	OSIO SOPRA	Pozzo	60	<b>27,00</b>
OT_004	OSIO SOTTO	Pozzo	270	<b>30,00</b>
OT_005	OSIO SOTTO	Pozzo	270	<b>28,00</b>
OT_009	OSIO SOTTO	Pozzo	45	<b>20,80</b>
OT_014	OSIO SOTTO	Pozzo	100	<b>24,00</b>
OT_018	OSIO SOTTO	Pozzo	35	<b>29,00</b>
VE_006	VERDELLINO	Pozzo	280	<b>18,45</b>

Tabella 4 – Sintesi dei valori di soggiacenza della falda sulla base dei dati riportati nelle stratigrafie dei pozzi disponibili lungo il tracciato della nuova linea E-BRT.

Capogruppo/mandataria:  Passion & Solutions Italia	Mandanti:  Passion & Solutions France  SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
4.2 Geotecnica							
Relazione Geotecnica	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A	FOGLIO 17 di 32	

#### 4.3 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi di lunghezza variabile N10/N20/N30) misurando il numero di colpi N necessari. Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

Lungo il tracciato della nuova linea E-BRT sono state realizzate differenti tipologie di prove, differenti tra di loro per tipologia di strumentazione utilizzata.

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente):

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Nell'area di progetto sono state recuperate/eseguite complessivamente 147 prove penetrometriche, di cui 12 eseguite in fase di PFTE. Le prove sono suddivise in 52 siti di indagine (ID di progetto) come riassunti di seguito. Alcuni codici non identificano una singola prova, ma gruppi di prove eseguite in supporto ad un unico intervento progettuale:

ID	COMUNE	FONTE	CODICE FONTE	NUMERO PROVE	PROF. [m] <sup>2</sup>	DATA
BG_005_A	BERGAMO	GEA	senza_codice_via_a_maj_verdina	9	7.9	Storica
BG_014	BERGAMO	GEA	A_11_069	3	9.9	Storica
BG_019	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B314089834	1	4.8	Storica
BG_020	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B313549880	1	6.2	Storica
BG_022	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B313659844	1	6.8	Storica
BG_023	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B313899823	1	6.8	Storica
BG_024	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B314239766	1	7.5	Storica

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
							
							
4.2 Geotecnica	Relazione Geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	18 di 32

ID	COMUNE	FONTE	CODICE FONTE	NUMERO PROVE	PROF. [m] <sup>2</sup>	DATA
BG_025	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B314179772	1	12.3	Storica
BG_027	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B314159755	1	13.2	Storica
BG_029	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B314199739	1	12	Storica
BG_030	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B314139743	1	11.7	Storica
BG_032_A	BERGAMO	GEA	senza_codice_geom_comana	5	7.8	Storica
BG_035	BERGAMO	GEA	P1	1	/	Nuova
BG_041	BERGAMO	GEA	P2	1	/	Nuova
BG_043	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B305218660	1	10.2	Storica
BG_044	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B305118665	1	9.9	Storica
BG_045	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B304928678	1	9.6	Storica
BG_046	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B304948667	1	10.2	Storica
BG_048	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B304758659	1	9	Storica
BG_049	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B304788653	1	10.2	Storica
BG_050	BERGAMO	GEA	A_11_029	4	8.8	Storica
BG_052	BERGAMO	GEA	senza_codice_via_moroni_wind	1	5.1	Storica
BG_059	BERGAMO	GEA	P3	1	/	Nuova
BG_065	BERGAMO	GEA	P4	1	/	Nuova
BG_068	BERGAMO	GEA	P5	1	/	Nuova
BG_070	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B396987769	1	15	Storica
BG_071	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B396757780	1	15	Storica

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
 Passion & Solutions Italia	 Passion & Solutions France	 SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA					
 PINI SMART ENGINEERING	 studioCARRARA ARCHITETTURA INGEGNERIA Dove bubblier						
4.2 Geotecnica	Relazione Geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	19 di 32

ID	COMUNE	FONTE	CODICE FONTE	NUMERO PROVE	PROF. [m] <sup>2</sup>	DATA
BG_072	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B396927764	1	15	Storica
BG_073	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B396737751	1	15	Storica
BG_074	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B396577757	1	15	Storica
BG_075	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B396387768	1	15	Storica
BG_077	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B396697639	1	15	Storica
BG_078	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B396817619	1	12.6	Storica
BG_081	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B395977662	1	6	Storica
BG_082	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B395327665	1	10.8	Storica
BG_083	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B395707612	1	5.7	Storica
BG_085	BERGAMO	GEOPORTALE	C5B395317596	1	12.9	Storica
LA_005_A	LALLIO	GEA	senza codice_ editironi	6	13.3	Storica
LA_012_A	LALLIO	GEA	18_070	7	9.2	Storica
LA_016	LALLIO	GEA	P6	1	/	Nuova
DA_002_A	DALMINE	GEA	21_125 e 14_031	22	8.9	Storica
DA_003_A	DALMINE	GEA	18_157 e 14_031	22	8.9	Storica
DA_014	DALMINE	GEOPORTALE	C5A372635789	1	11.1	Storica
DA_016	DALMINE	GEA	P7	1	/	Nuova
DA_024_A	DALMINE	GEA	19_039	4	8.7	Storica
OP_004	OSIO SOPRA	GEA	P8	1	/	Nuova
OP_009	OSIO SOPRA	GEA	P9	1	/	Nuova
OT_002	OSIO SOTTO	GEA	P10	1	/	Nuova
OT_007_A	OSIO SOTTO	GEA	A_08_048 e 15_006	12	5.9	Storica
OT_008_A	OSIO SOTTO	GEA	16_092	12	5.9	Storica
OT_016	OSIO SOTTO	GEA	P11	1	/	Nuova
OT_021	OSIO SOTTO	GEA	P12	1	/	Nuova

Tabella 5 – Sintesi delle prove penetrometriche dinamiche disponibili lungo il tracciato della nuova linea E-BRT.

Capogruppo/mandataria:  Mandanti:     	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>
4.2 Geotecnica  Relazione Geotecnica	COMMESSA B23D LOTTO 00 D 00 CODIFICA GE DOCUMENTO GE0000 001 REV. A FOGLIO 20 di 32
<b>5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b>	

In base alle unità litostratigrafiche principali descritte in dettaglio nella Relazione Geologica e riportate nel Capitolo 3, in base ai risultati delle indagini geognostiche disponibili, con particolare attenzione alle descrizioni delle litologie presenti riportate nelle stratigrafie dei sondaggi e dei pozzi, è stato possibile riconoscere nell'area di studio quattro unità geotecniche fondamentali:

- **Unità geotecnica A:** Depositi superficiali prevalentemente limoso-argillosi derivati dalla pedogenizzazione dei terreni sottostanti e terreni di riporto a granulometria prevalentemente fine;
- **Unità geotecnica B:** Limi argillosi e argilloso-sabbiosi con ciottoli generalmente alterati e disaggregati;
- **Unità geotecnica C:** Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e subordinatamente sabbiosa;
- **Unità geotecnica D:** Conglomerati da poco cementati a semi-litificati alterati e fratturati;

Va sottolineato che tale classificazione geotecnica rappresenta comunque una semplificazione dell'assetto litostratigrafico presente nell'area in esame, viste le numerose intercalazioni reciproche delle diverse facies. Pertanto, all'interno dell'unità geotecnica rappresentata dalle ghiaie, ad esempio, è possibile la presenza di orizzonti sabbiosi e/o limoso-sabbiosi. Le unità geotecniche vanno pertanto intese come unità le cui caratteristiche geotecniche sono definite prevalentemente dalla facies dominante; locali variazioni di granulometria e quindi di caratteristiche geotecniche vanno comunque prese in considerazione.

Per la caratterizzazione geotecnica delle unità sopradescritte sono stati utilizzati i risultati delle indagini disponibili. Alla data attuale gli unici risultati che possono essere utilizzati per la determinazione dei principali parametri geotecnici sono i risultati delle prove penetrometriche dinamiche interpretate tramite correlazioni empiriche disponibili in letteratura. Le indagini esistenti, infatti, non contengono prove di laboratorio mirate alla determinazione dei parametri geotecnici dei terreni. Di conseguenza la parametrizzazione definita nel seguito sarà aggiornata ed implementata una volta che saranno disponibili i risultati delle indagini integrative definite in questa fase di progettazione, presumibilmente in fase di progettazione esecutiva, indagini che includono sondaggi con prove in foro e prelievi di campioni per le prove di laboratorio.

La maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{SPT}$  ottenuto con la suddetta prova standard; pertanto, è necessario rapportare il numero di colpi di una prova penetrometrica dinamica continua con  $N_{SPT}$ . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = Q/Q_{SPT}$$

in cui  $Q$  è l'energia specifica per colpo e  $Q_{SPT}$  è quella riferita alla prova S.P.T.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

$M$  = peso massa battente;

$M'$  = peso aste;

$H$  = altezza di caduta;

$A$  = area base punta conica;

$\delta$  = passo di avanzamento.

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-
     		
4.2 Geotecnica	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00
Relazione Geotecnica	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001
	REV. A	FOGLIO 21 di 32

Si ricava quindi un coefficiente di correlazione  $N_{SPT}$  che varia a seconda della tipologia di prova eseguita e delle caratteristiche tecniche dello strumento utilizzato per l'esecuzione della prova penetrometrica dinamica continua.

Una volta eseguita tale trasformazione sono stati stimati i parametri geotecnici di riferimento per le unità geotecniche individuate lungo il tracciato della nuova linea E-BRT.

Le correlazioni utilizzate per la stima dei principali parametri geotecnici sono quelle più adatte al contesto litologico del sito; nel dettaglio sono state utilizzate le correlazioni seguenti:

- **Densità relativa (Dr; %):**

- BAZARAA (1967); correlazione è valida per tutti i tipi di suolo, l'espressione per esprimere la densità relativa varia a seconda del valore della tensione verticale efficace  $\sigma'_v$  espressa in kg/cm<sup>2</sup>.

- **Angolo di attrito ( $\phi$ ; °):**

- Shioi-Fukuni 1982 (Road Bridge Specification); angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi.
- SCHMERTTMANN (1978): questa correlazione è valida per le sabbie e le ghiaie e l'angolo è calcolato in funzione della densità relativa.

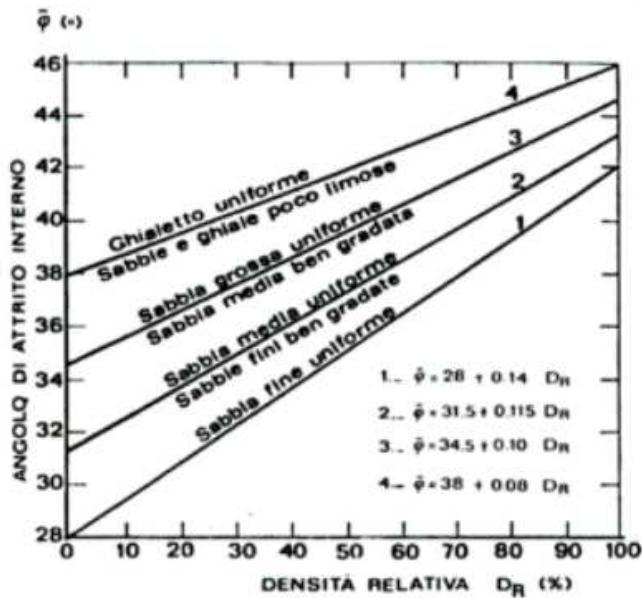


Figura 5-1 – Correlazione di Schmertmann

- **Modulo di elasticità (E; Mpa):**

- Bowles (1982): correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia. Nel caso specifico è stata applicata tale correlazione alle granulometrie più fini.
- BURLAND & BURBIDGE (1985): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo ed il modulo si ricava in funzione del valore di  $N_{SPT}$ .

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
 Passion & Solutions Italia	 Passion & Solutions France	 SERVIZI INTEGRATI ERREGI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA					
 PINI SMART ENGINEERING	 studio CARRARA ARCHITETTURA INGEGNERIA Dove bubblier						
4.2 Geotecnica	Relazione Geotecnica	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A	FOGLIO 22 di 32

- Coesione non drenata (Cu; kPa):**

- TERZAGHI & PECK (1948): questa correlazione è valida per le argille di media plasticità. La coesione non drenata è calcolata in funzione del numero di colpi  $N_{SPT}$

## 5.1 ATTRIBUZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Alla luce di quanto descritto nel capitolo precedente, nel seguito si riporta la tabella di sintesi dei principali parametri geotecnici, definiti sulla base dei dati attualmente disponibili, per ciascuna delle unità geotecniche identificate lungo il tracciato della nuova linea E-BRT.

Nella tabella di sintesi sono riportati anche alcuni valori statistici utilizzati per la definizione del valore caratteristico, ovvero il numero di dati disponibili, la deviazione standard, i valori minimi, massimi e medi.

I dati utilizzati sono stati analizzati criticamente e sono stati scartati quelli considerati eccessivamente elevati o bassi ritenuti non rappresentativi del litotipo analizzato. Si ricorda allo stesso tempo che la definizione del litotipo è stata fatta principalmente sulla base della descrizione (per lo più non accompagnata dalle foto delle cassette) riportata all'interno delle stratigrafie del sondaggio o de pozzo più prossimo alla prova penetrometrica considerata.

Per quanto riguarda il parametro coesione non drenata ( $c'$ ), non disponendo in questa fase di specifiche prove di laboratorio, viene considerata cautelativamente pari a "0" per le unità grossolane non coesive (unità geotecnica C e D).

Descrizione litologica	Unità geotecnica	Peso specifico naturale	Valori statistici	Densità Relativa, Dr	Angolo d'attrito		Modulo di elasticità		Coesione non drenata
					Bazaar (1967)	Road Bridge Specification	Schmertmann, 1977	Bowles, 1995;	
ID	UG	kg/m <sup>3</sup>		%	$\phi'$ (°)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	E (MPa)	cu (kPa)
Depositi superficiali prevalentemente limoso-argilosì derivati dalla pedogenizzazione e terreni di riporto fini	A	1600 - 1800		n° valori	255	255		255	255
				DEV. STD	21	4		2	38
				MINIMO	12	19		5	6
				MAX	113	35		14	166
				MEDIA	49	26		8	52
				Val. caratter.	47	25		7	48
Limi argilosì con ciottoli alterati e disgregati	B	1700 - 1900		n° valori	1994	1994		1994	1994
				DEV. STD	13	4		2	44
				MINIMO	11	19		5	7
				MAX	96	36		20	288
				MEDIA	37	27		8	65
				Val. caratter.	37	27		8	63
Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e subordinatamente sabbiosa	C	2000 - 2200		n° valori	1283		1283		1283
				DEV. STD	19	2			68
				MINIMO	11	36		1	
				MAX	106	45			386
				MEDIA	46	39			64
				Val. caratter.	45	39			61
Conglomerati da poco cementati a semi-litificati alterati e fratturati	D	2200 - 2400		n° valori	32		32		32
				DEV. STD	15	1			28
				MINIMO	13	36			2
				MAX	65	41			110
				MEDIA	28	37			22
				Val. caratter.	24	37			14

Tabella 6 – Sintesi dei principali parametri geotecnici delle unità identificate lungo la nuova linea E-BRT.

Capogruppo/mandataria:  Passion & Solutions Italia	Mandanti:  Passion & Solutions France  SERVIZI INTEGRATI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>
4.2 Geotecnica	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00
Relazione Geotecnica	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001

## 6 SISMICITÀ

Per quanto riguarda la sismicità dell'area di progetto si rimanda alla Relazione Geologica redatta in questa fase di progettazione definitiva nella quale l'argomento è stato trattato nel dettaglio.

Nel seguito si riporta la sola definizione delle categorie di sottosuolo di riferimento sulla base delle NTC 2018.

### 6.1 CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO

Ai fini dell'identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,eq}$  di propagazione delle onde di taglio definita dall'espressione:

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

Dove:

- $h_i$  = spessore dell'i-esimo strato compreso nei 30m di profondità;
- $V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N = numero di strati;
- H = profondità del substrato, costituito da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800m/s.

Per la definizione della categoria di sottosuolo è stato fatto riferimento ad una serie di indagini geofisiche di tipo HVSR realizzate nella fase di PFTE, durante la campagna indagine del 2022, distribuite lungo tutto il tracciato di progetto. Nel dettaglio tale campagna di indagini è consistita in 30 misurazioni del microtremore sismico naturale elaborate mediante analisi HVSR alle quali si sommano 3 indagini sismiche eseguite da Studio GEA per interventi limitrofi al tracciato della nuova linea E-BRT. I risultati delle indagini sismiche sono contenute nel Report indagini geognostiche e prove in situ facente parte della documentazione di Progetto Definitivo.

Le indagini eseguite sono state raggruppate in gruppi omogenei, che includono quelle indagini che presentano caratteristiche similari in termini sia di frequenze di picco sia di ampiezza del rapporto H/V. Sono stati così ottenuti n. 5 gruppi omogeni, a cui corrispondono altrettanti settori del tracciato, rappresentati ciascuno da un'indagine specifica assumibile come riferimento:

Capogruppo/mandataria:  Passion & Solutions Italia	Mandanti:  Passion & Solutions France	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>
4.2 Geotecnica	COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00
Relazione Geotecnica	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001

ID PROGETTO	GRUPPO OMOGENEO	RIFERIMENTO	INDAGINI CORRELATE
<b>BG_004</b>	<b>NON DEFINITO</b>		
<b>BG_015</b>	A	HVS7 BG_042	BG_041, BG_048, BG_043, BG_044, BG_045, BG_046, BG_047, BG_048, BG_049
<b>BG_017</b>	A		
<b>BG_033</b>	A		
<b>BG_034</b>	A		
<b>BG_038</b>	A		
<b>BG_042</b>	A		
<b>BG_051</b>	A		
<b>BG_058</b>	B	HVS10 BG_066	BG_068, BG_065, BG_067, BG_069
<b>BG_066</b>	B		
<b>BG_087</b>	C	HVS15 DA_005	
<b>LA_006</b>	C		
<b>LA_009</b>	C		
<b>LA_015</b>	NON DEFINITO		
<b>DA_005</b>	C		DA_012A, DA_013
<b>DA_015</b>	C		
<b>DA_017</b>	C		
<b>DA_020</b>	C	HVS20 DA_028	
<b>DA_023</b>	D		
<b>DA_028</b>	D		
<b>OP_003</b>	D		
<b>OP_007</b>	D	HVS26 OT_012	
<b>OP_010</b>	E		
<b>OT_001</b>	E		
<b>OT_006</b>	E		
<b>OT_012</b>	E		
<b>OT_020</b>	E		
<b>VE_001</b>	E		
<b>VE_003</b>	E		
<b>VE_008</b>	E		

Tabella 7 – Definizione dei 5 gruppi omogenei di indagini HVSR realizzate in fase di PFTE

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
 Passion & Solutions Italia	 Passion & Solutions France						
  SMART ENGINEERING	 SERVIZI INTEGRATI ERREGI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA						
4.2 Geotecnica	Relazione Geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	25 di 32

Le caratteristiche principali di ciascuno dei gruppi omogenei sono riassunte nelle figure che seguono:

**Gruppo omogeneo A:**

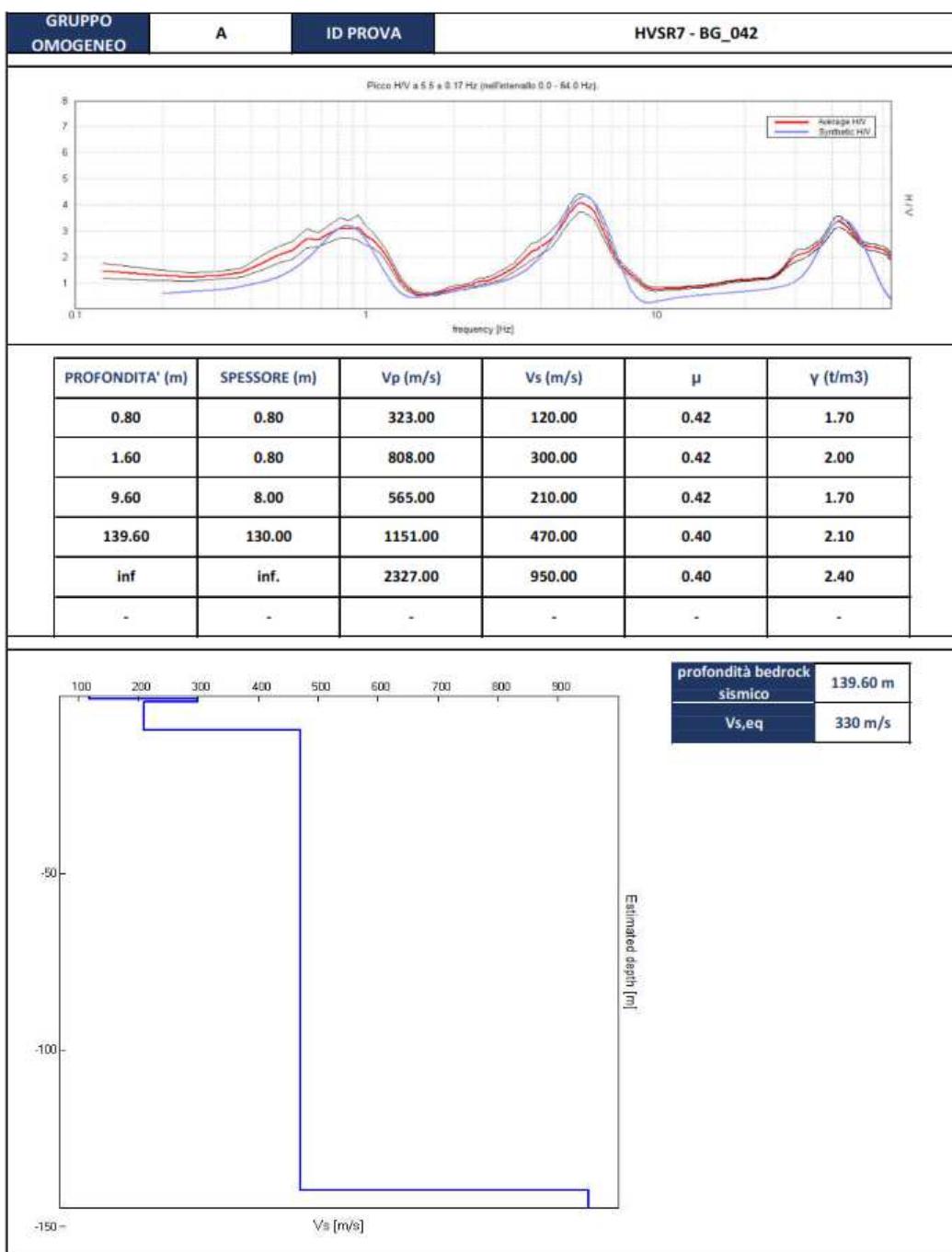


Figura 6-1 – Sintesi delle caratteristiche principali del gruppo omogeneo A (indagine di riferimento HVS7 – BG\_042)

Le misure mostrano valori delle velocità delle onde trasversali di 330 m/s per cui possiamo attribuire la categoria di suolo "C" (Depositi con valori di Vs compresi tra 180 m/s e 360 m/s).

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
 Passion & Solutions Italia	 Passion & Solutions France						
  SMART ENGINEERING	 SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA						
4.2 Geotecnica	Relazione Geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	26 di 32

### Gruppo omogeneo B:

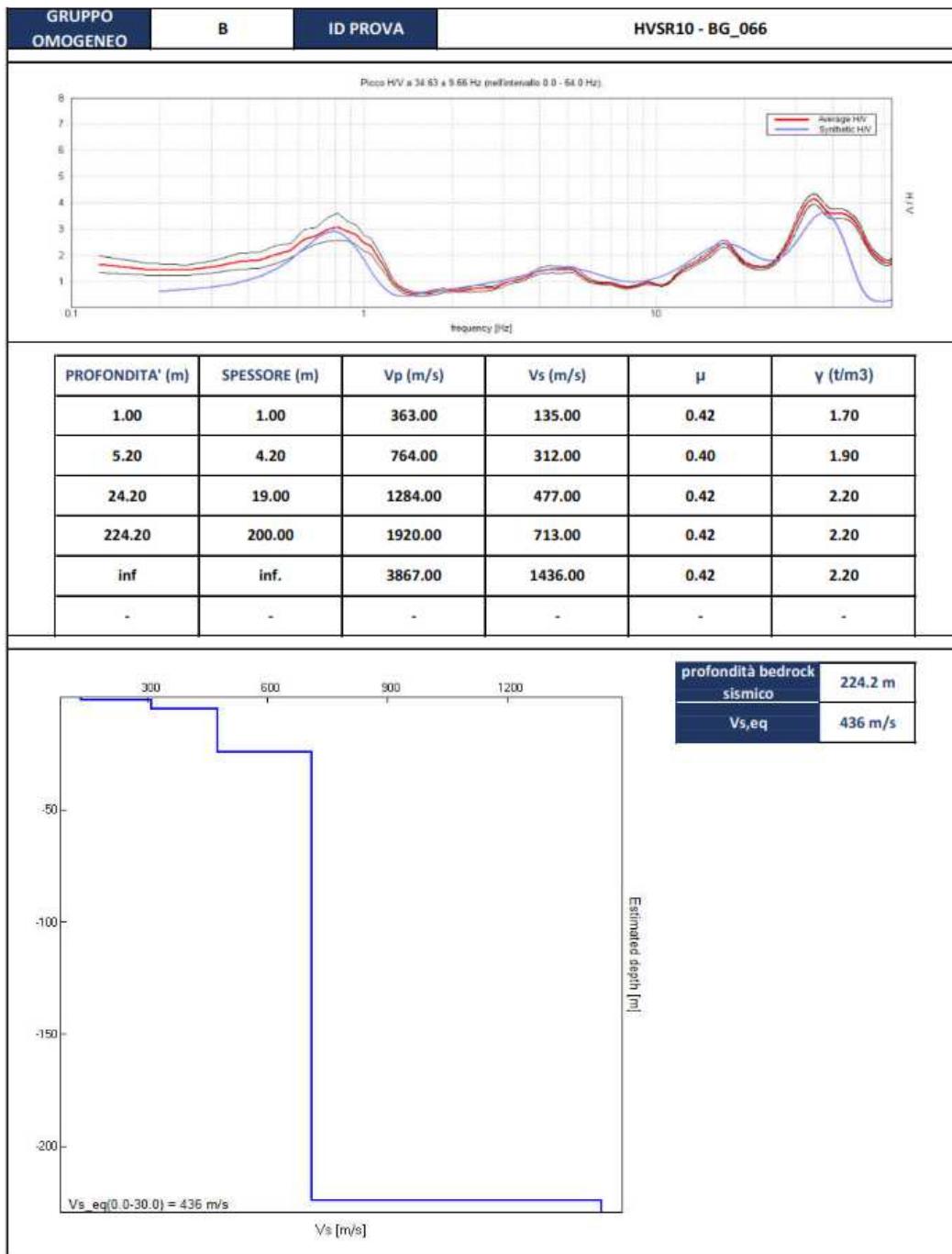


Figura 6-2 – Sintesi delle caratteristiche principali del gruppo omogeneo B (indagine di riferimento HVSR10 – BG\_066)

Le misure mostrano valori delle velocità delle onde trasversali di 436 m/s per cui possiamo attribuire la categoria di suolo "B" (Depositi con valori di Vs compresi tra 360 m/s e 800 m/s).

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
 Passion & Solutions Italia	 Passion & Solutions France	 SERVIZI INTEGRATI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA					
  smart engineering		 studioCARRARA ARCHITETTURA INGEGNERIA Dove bubbler					
4.2 Geotecnica		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione Geotecnica		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	27 di 32

### Gruppo omogeneo C:

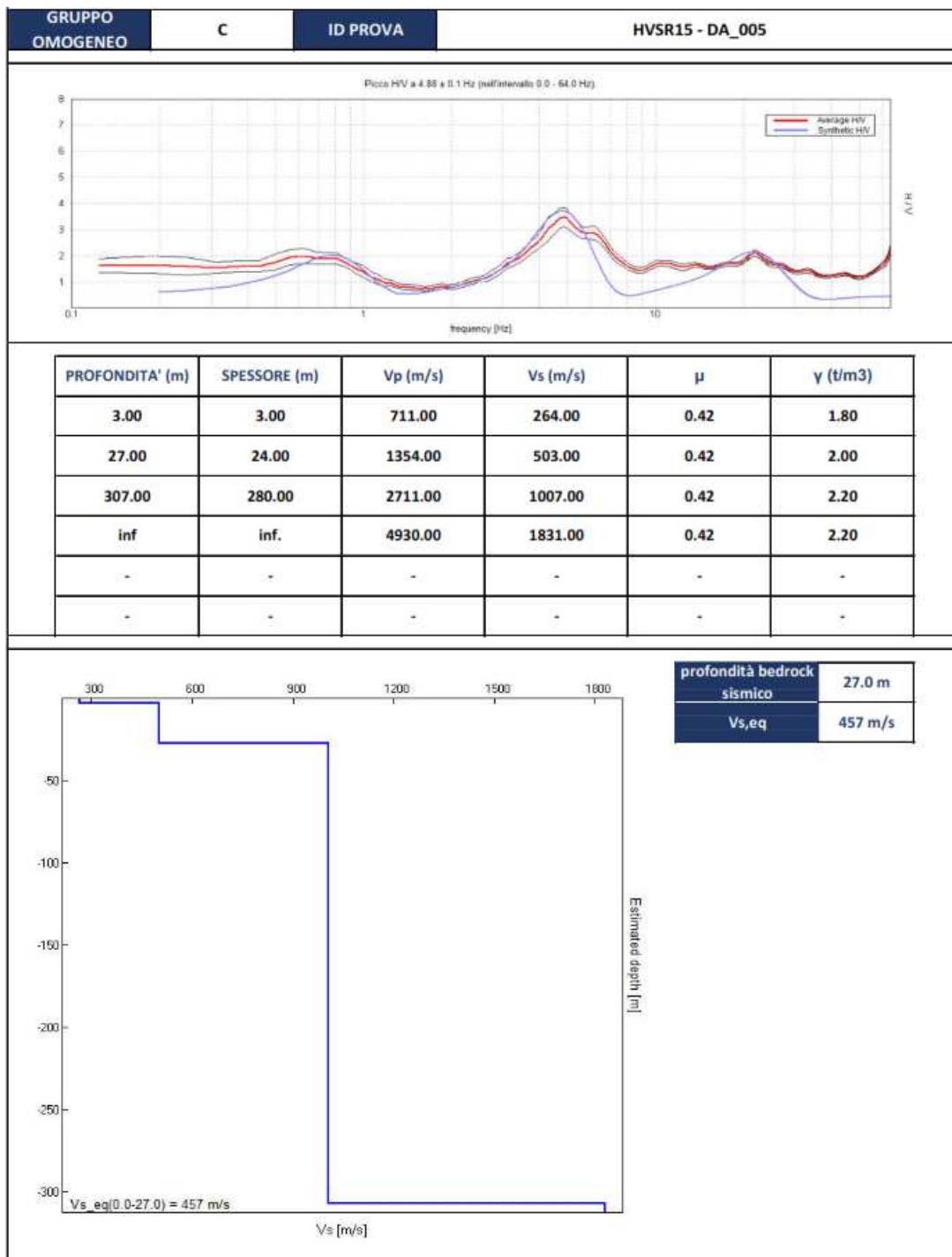


Figura 6-3 – Sintesi delle caratteristiche principali del gruppo omogeneo C (indagine di riferimento HVS15 – DA\_005)

Le misure mostrano valori delle velocità delle onde trasversali di 457 m/s per cui possiamo attribuire la categoria di suolo "B" (Depositi con valori di Vs compresi tra 360 m/s e 800 m/s).

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
 Passion & Solutions Italia	 Passion & Solutions France	 SERVIZI INTEGRATI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA					
  SMART ENGINEERING		 ARCHITETTURA INGEGNERIA Dove bubbler					
4.2 Geotecnica		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione Geotecnica		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	28 di 32

### Gruppo omogeneo D:

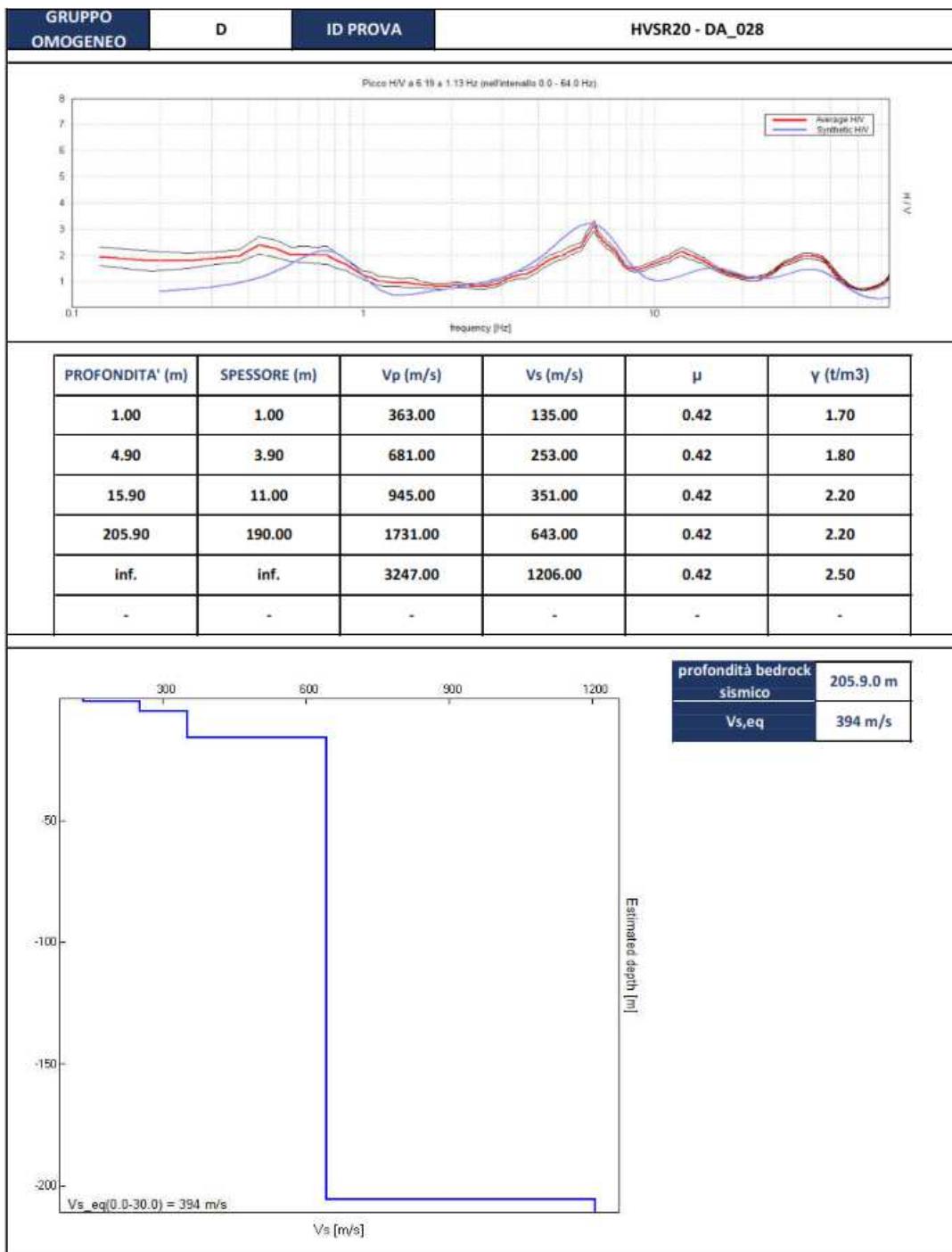


Figura 6-4 – Sintesi delle caratteristiche principali del gruppo omogeneo D (indagine di riferimento HVS20 – DA\_028)

Le misure mostrano valori delle velocità delle onde trasversali di 394 m/s per cui possiamo attribuire la categoria di suolo "B" (Depositi con valori di Vs compresi tra 360 m/s e 800 m/s).

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
 Passion & Solutions Italia	 Passion & Solutions France	 SERVIZI INTEGRATI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA					
4.2 Geotecnica		COMMESSA      LOTTO      CODIFICA      DOCUMENTO      REV.      FOGLIO					
Relazione Geotecnica		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	29 di 32

### Gruppo omogeneo E:

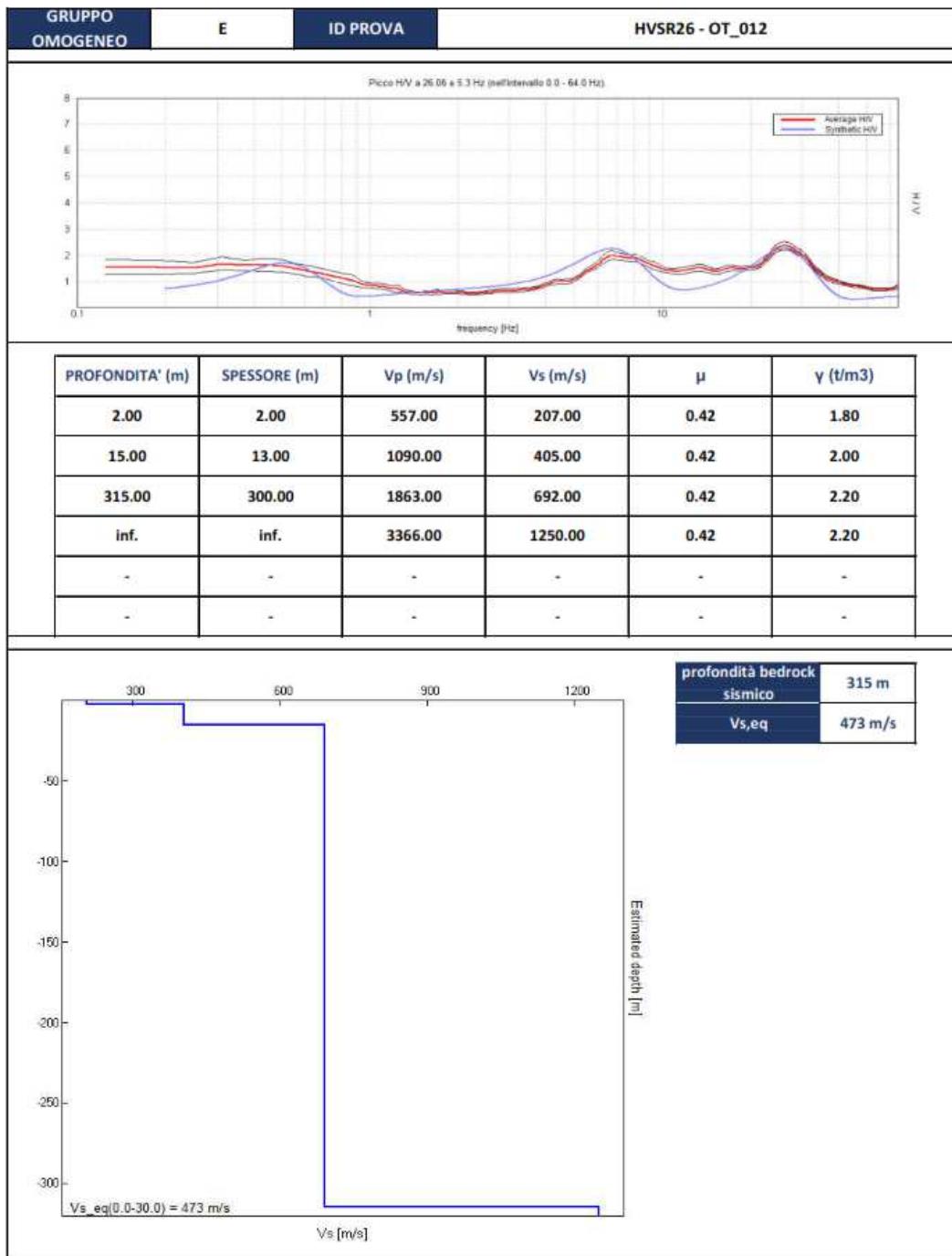


Figura 6-5 – Sintesi delle caratteristiche principali del gruppo omogeneo E (indagine di riferimento HVS26 – OT\_012)

Le misure mostrano valori delle velocità delle onde trasversali di 473 m/s per cui possiamo attribuire la categoria di suolo "B" (Depositi con valori di Vs compresi tra 360 m/s e 800 m/s).

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
 Passion & Solutions Italia	 Passion & Solutions France	 SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA					
4.2 Geotecnica							
Relazione Geotecnica		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
		B23D	00 D 00	GE	GE0000 001	A	30 di 32

Da quanto sopra riportato emerge come la classe di sottosuolo più rappresentativa dell'intero tracciato in progetto sia la classe B, mentre nella porzione settentrionale in comune di Bergamo è necessario associare la classe di sottosuolo C, con una corrispondenza abbastanza lineare con quanto osservato all'interno della carta della fattibilità geologica per le azioni di Piano del Comune di Bergamo, in cui nel primo tratto veniva posta una certa attenzione alle scadenti caratteristiche geotecniche del sottosuolo.

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 8 – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato (da §3.2. 2 delle NTC 2018)

Dalle carte di pericolosità sismica locale redatte dai comuni interessati dal tracciato della nuova linea E-BRT, emerge che tutto il tracciato di progetto ricade all'interno della classe di amplificazione sismica locale Z4a, riferita a potenziali amplificazioni litologiche e geometriche in un contesto di piana alluvionale con presenza di depositi granulari e/o coesivi. Di conseguenza, in funzione della normativa vigente è necessaria la redazione di un'analisi sismica di II livello.

Rispetto alla valutazione di II livello a scala comunale, per i Comuni interessati dal progetto lo stato di aggiornamento degli aspetti sismici è il seguente:

Comune	Analisi sismica di I livello	Analisi sismica di II livello
Bergamo	ESEGUITA	ESEGUITA
Lallio	ESEGUITA	Eseguite le indagini sismiche ma non la valutazione di II livello
Dalmine	ESEGUITA	ESEGUITA
Osio Sopra	ESEGUITA	NON ESEGUITA
Osio Sotto	ESEGUITA	NON ESEGUITA
Verdellino	ESEGUITA	ESEGUITA

Rispetto ai tre comuni che hanno eseguito la valutazione sismica di II livello, si sottolinea che:

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
	 						
4.2 Geotecnica							
Relazione Geotecnica		COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A	FOGLIO 31 di 32

- **Comune di Bergamo:** sono emersi valori territoriali di amplificazione  $F_a$  inferiori alle soglie definite dalla Regione Lombardia, per cui si tende a ritenere coerenti le classi di sottosuolo NTC 2018 emerse dalle indagini eseguite (suolo tipo C).
- **Comune di Dalmine:** sono emersi valori territoriali di amplificazione  $F_a$  inferiori alle soglie definite dalla Regione Lombardia, per cui si tende a ritenere coerenti le classi di sottosuolo NTC 2018 emerse dalle indagini eseguite (suolo tipo B).
- **Comune di Verdellino:** sono emersi valori territoriali di amplificazione  $F_a$  definiti come in Tabella 9; pertanto, essendo stata definita per questo settore una categoria di suolo di tipo B, per il periodo caratteristico di vibrazione strutturale  $T=0,1-0,5$  s si verifica la situazione per cui i valori territoriali di amplificazione  $F_a$  sono superiori alle soglie definite dalla Regione Lombardia ed occorrerà utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore (suolo tipo C). Al contrario, per il periodo caratteristico di vibrazione strutturale  $T=0,1-1,5$  s si verifica la situazione per cui i valori territoriali di amplificazione  $F_a$  sono inferiori alle soglie definite dalla Regione Lombardia per cui si tende a ritenere coerenti le classi di sottosuolo NTC 2018 emerse dalle indagini eseguite (suolo tipo B).

Fattore di amplificazione $F_a$ per tutti gli edifici			
Periodo	Categoria Suolo	Risultato procedura di 2° livello	Prescrizioni
$T=0,1-0,5$ s	B	$F_a_{\text{stimato}} > F_a_{\text{soglia}}$	Utilizzo spettro di progetto della categoria C o applicazione approfondimento 3° livello
$T=0,1-0,5$ s	C/D	$F_a_{\text{stimato}} \leq F_a_{\text{soglia}}$	Utilizzo spettro di progetto propria categoria
$T=0,1-1,5$ s	B/C/D	$F_a_{\text{stimato}} \leq F_a_{\text{soglia}}$	Utilizzo spettro di progetto propria categoria

Tabella 9 – estratto della Carta della pericolosità sismica di 2° Livello (PGT Comune di Verdellino 2017)

Per i rimanenti comuni interessati dal progetto vengono riassunti nel seguito i risultati della trattazione sismica di II livello eseguita in questa fase di Progetto Definitivo.

- **Comune di Lallio:** sono emersi valori territoriali di amplificazione  $F_a$  inferiori alle soglie definite dalla Regione Lombardia, per cui si tende a ritenere coerenti le classi di sottosuolo NTC 2018 emerse dalle indagini eseguite (suolo tipo B).
- **Comune di Osio Sopra:** sono emersi valori territoriali di amplificazione  $F_a$  inferiori alle soglie definite dalla Regione Lombardia, per cui si tende a ritenere coerenti le classi di sottosuolo NTC 2018 emerse dalle indagini eseguite (suolo tipo B).
- **Comune di Osio Sotto:** sono emersi valori territoriali di amplificazione  $F_a$  inferiori alle soglie definite dalla Regione Lombardia, per cui si tende a ritenere coerenti le classi di sottosuolo NTC 2018 emerse dalle indagini eseguite (suolo tipo B).

## 6.2 STABILITÀ DEL SITO NEI CONFRONTI DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE E CEDIMENTO

I problemi riguardanti i terreni di fondazione in rapporto al fenomeno sismico sono la liquefazione e il cedimento.

Ai fini delle norme, il termine “liquefazione” denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidezza causata dall’aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l’annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. Deve essere verificata la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in

Capogruppo/mandataria:      	Mandanti: <b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>
4.2 Geotecnica Relazione Geotecnica	COMMESSA      LOTTO      CODIFICA      DOCUMENTO      REV.      FOGLIO B23D      00 D 00      GE      GE0000 001      A      32 di 32

prossimità della superficie (< 15 m da p.c.) ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argilloso.

Ai fini delle norme, il termine “cedimento sismico” denota un abbassamento del piano campagna conseguente all’addensamento di sabbie sciolte, in condizioni sia sature che sottosature, indotto dal sisma.

Si premette che, all’interno della valutazione di I livello, non sono stati riscontrate interferenze con ambiti classificati in Z2 nello scenario di Pericolosità Sismica Locale (si veda la Relazione Geologica di PD), di conseguenza, a livello normativo, la pianificazione territoriale ha escluso possibili ambiti soggetti a tali fenomeni.

Inoltre, sia il fenomeno della liquefazione sismica sia gli effetti di cedimento post-sismico possono essere esclusi per mancanza delle condizioni idrogeologiche (falda sempre a profondità > di 15.0 m da p.c.) e litotecniche (assenza di livelli importanti di sabbie sciolte).