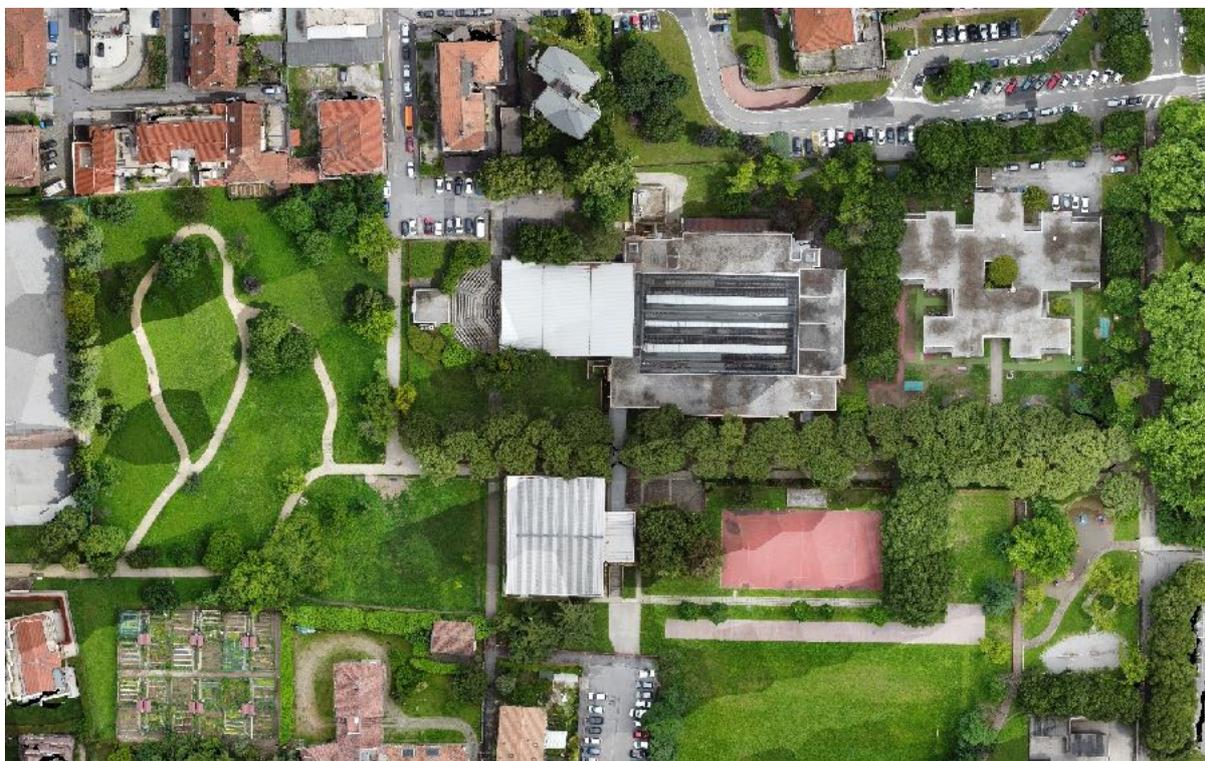




Strategia di Sviluppo Urbano Sostenibile “La Scuola al Centro del Futuro”

Concorso di progettazione in due gradi per
la realizzazione di un nuovo Polo Scolastico|Community
Hub nel quartiere Don Bosco



B05 - Relazione ed indagini per la caratterizzazione geologica del suolo

CUP - C85E22000660002

CIG - 9882766C7D

Dott. Geol. Massimo Compagnoni

Studio di Geologia Applicata Ambientale e Territoriale

Via Giovanni Falcone, 5/7 – Rovato (BS) – Tel. 3384679767 – email massimo.compagnoni@geo3studio.it

RELAZIONE GEOLOGICA

per il DOCUMENTO D'INDIRIZZO ALLA PROGETTAZIONE

CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA DEL SOTTOSUOLO DELL'AREA SEDE DELL'ATTUALE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO "BETTINZOLI" E DELLE AREE LIMITROFE ADIBITE A PARCO

*Area compresa tra Via Caleppe, Via Privata de Vitalis, Via Corfù e Via Nisida
Comune di Brescia (BS)*



Il geologo incaricato

Dott. Geol. Massimo Compagnoni



DATA EMISSIONE:

19 Giugno 2023

INDICE

1. Premessa.....	3
2. Fonti bibliografiche	3
3. Ubicazione geografica dell’area.....	3
4. Riferimenti agli studi relativi al governo del territorio.....	4
5. Componente di uso del suolo e idrografia	5
6. Componente geomorfologica, pedologica e geologico-stratigrafica.....	5
7. Componente idrogeologica	7
8. Aspetti stratigrafici e unità geologiche informali	10
9. Sismicità e componente sismica territoriale.....	11
9.1. Pericolosità sismica di base.....	11
9.2. Pericolosità sismica locale – categoria di sottosuolo.....	16
9.3. Analisi sismica del sito ai fini progettuali	18
10. Modello litotecnico e caratterizzazione geotecnica.....	20
10.1. Elaborazione delle prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH.....	20
10.2. Parametrizzazione meccanica dei materiali investigati	28
11. Considerazioni finali	30

ALLEGATI

- Allegato n. 1: Carta Geologica
- Allegato n. 2: Foto-aerea con ubicazione delle indagini sito-specifiche
- Allegato n. 3: Rapporto di indagine HVSR
- Allegato n. 4: Rapporto di indagine di sismica a rifrazione in fase P
- Allegato n. 5: Rapporto di indagine MASW
- Allegato n. 6: Diagrammi sperimentali delle prove penetrometriche
- Allegato n. 7: Sezioni litotecniche interpretative

1. Premessa

Su incarico dell’Amministrazione Comunale di Brescia, nei giorni 13-14 giugno 2023, è stata eseguita una campagna d’indagine geognostica, finalizzata alla caratterizzazione del sottosuolo dell’area sede dell’attuale scuola secondaria di primo grado “Bettinzoli” e delle aree limitrofe adibite a parco, comprese tra Via Caleppe, Via Privata de Vitalis, Via Corfù e Via Nisida.

La campagna d’indagine, come da specifiche d’incarico, ha previsto l’esecuzione di:

- n. 10 prove penetrometriche dinamiche super pesanti DPSH del tipo AGI-MEARDI;
- n. 3 acquisizioni di rumore sismico ambientale a stazione singola eseguite con sensore tridirezionale a 2 Hz con campionamento a 200 Hz;
- n. 1 acquisizione di sismica a rifrazione in fase P e n. 1 acquisizione MASW in configurazione ZVF eseguite a 12 canali con sensori monocomponente verticali a 4.5 Hz con 7 punti di energizzazione attiva con mazza battente.

L’ubicazione delle indagini è riportata in allegato n. 2.

Nel presente documento, sulla base delle conoscenze geologiche pregresse disponibili nello studio geologico comunale e sulla base delle risultanze della campagna d’indagine sito-specifica sopra descritta, viene riportata la caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica del sottosuolo dell’area oggetto di studio.

2. Fonti bibliografiche

Per la stesura della presente relazione sono stati consultati i seguenti documenti:

- banche dati on-line a disposizione su portali cartografici nazionali e regionali;
- cartografia geologica d’Italia a scala 1:100000;
- studio geologico comunale attualmente vigente redatto ai sensi dell’art. 57 della L.R. 11 marzo 2005 n. 12 *“Criteri attuativi per lo studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio”* (Vercesi et al., 2012 e Gasparetti et al., 2016-2018);
- dati in possesso dello scrivente derivati da studi eseguiti in aree limitrofe.

3. Ubicazione geografica dell’area

L’area interessata dallo studio geologico si colloca in sinistra orografica del Fiume Mella e ricade nella Tavoletta I.G.M. Foglio 047 I SO – Brescia a scala 1:25000 e nella sezione D6b1 – Brescia della carta tecnica regionale a scala 1:10000 a quota di circa 135 m s.l.m.

4. Riferimenti agli studi relativi al governo del territorio

Per quanto riguarda gli strumenti di pianificazione sovraordinata quali:

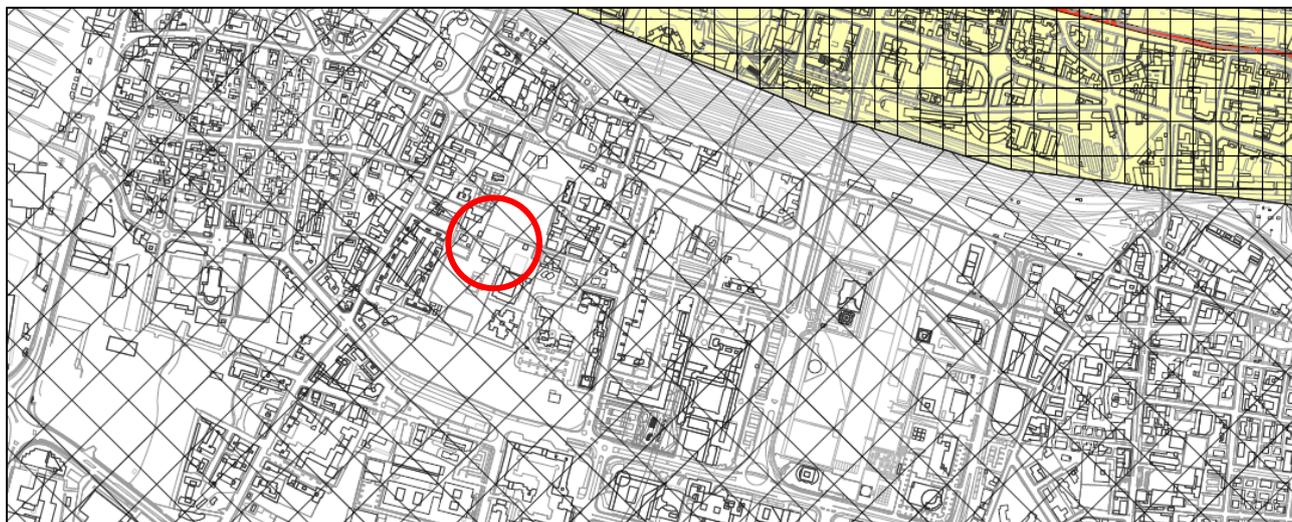
- Piano stralcio delle Fasce fluviali del fiume Po (PSFF),
- Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico del Bacino del fiume Po (PAI),
- Piano Straordinario per le aree a rischio idrogeologico molto elevato (PS267),
- Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico Padano (PGRA), a seguito della Direttiva Europea 2007/60/CE, recepita nel diritto italiano con D. Lgs. 49/2010,

in base ai dati disponibili nel sistema informativo territoriale (SIT) della Regione Lombardia, il sito in esame non ricade all’interno di aree vincolate.

Per quanto riguarda il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale PTCP (tavola 3.1 Ambiente e Rischio e tavola 3.2 Inventario dei dissesti) il sito in esame ricade all’interno delle aree di ricarica potenziale del Gruppo Acquifero A e non ricade all’interno di aree perimetrate in dissesto.

La Carta dei Vincoli allegata allo studio geologico comunale vigente mostra il sito all’interno del perimetro SIN Falda del sito inquinato di interesse Nazionale Brescia-Caffaro (D.M. 24/02/2003).

La Carta di Fattibilità per le azioni di piano dello studio geologico comunale vigente riporta la delimitazione delle aree a diversa classe di fattibilità geologica attribuite ai sensi delle direttive regionali di cui alle DGR n. IX/2616 del 30/11/2011; il sito ricade in **classe di fattibilità geologica 2a** con modeste limitazioni: “ *Area stabile, coincidente con zone di pianura e talora con la fascia marginale delle superfici di raccordo tra pianura e rilievi, caratterizzata da un substrato in genere contraddistinto da buone caratteristiche geotecniche*”:



Estratto carta di fattibilità geologica di piano (Gaspiretti, 2016)

	Classe 2a Area stabile, coincidente con zone di pianura e talora con la fascia marginale delle superfici di raccordo tra pianura e rilievi, caratterizzata da un substrato in genere contraddistinto da buone caratteristiche geotecniche.
	Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi:
	Z4a - Categoria di sottosuolo identificata B : in fase di progettazione per tipologie edilizie con periodo proprio compreso tra 0.1 e 0.5 s, è prevista l'applicazione diretta del terzo livello di approfondimento per la quantificazione degli effetti di amplificazione litologica (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.3.3) o l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo C (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.2.2).

Legenda estratto carta di fattibilità geologica di piano (Gasparetti, 2016)

Per quanto riguarda le prescrizioni di piano relative alla componente sismica l'area ricade all'interno dello scenario di pericolosità sismica locale Z4a – Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi; pertanto è evidenziata la presenza di fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico, che, in assenza di specifici approfondimenti, compatibilmente con la rilevanza dell'intervento, si potrà cautelativamente far riferimento al metodo semplificato proposto dalle NTC adottando la forma spettrale assegnata alla categoria di sottosuolo C.

5. Componente di uso del suolo e idrografia

Per quanto riguarda l'utilizzo del suolo l'area risulta in buona parte urbanizzata, con la presenza di un'area a verde dedicata a parco e attività sportive.

Non si evidenzia la presenza di rogge e corsi d'acqua significativi interferenti con il sito d'intervento, sebbene lungo il perimetro orientale dell'area sia presente un corso d'acqua interamente intubato appartenente al Reticolo Idrografico Minore.

6. Componente geomorfologica, pedologica e geologico-stratigrafica

Dal punto di vista geomorfologico la zona è posta alla quota di circa 135 m s.l.m. e ricade nell'ambito del sistema L sottosistema LC “Settore apicale della piana proglaciale o piana pedemontana, addossata ai rilievi...”, unità di pedopaesaggio LC1, ovvero “Estese superfici a morfologia sub-pianeggiante, solcate da evidenti tracce di paleo-idrografia a canali intrecciati e talvolta dolcemente ondulate in prossimità dei principali solchi vallivi; sono costituite dai depositi di conoide e rappresentano gli ambienti più diffusi dell'alta pianura ghiaiosa, comprendendo le superfici

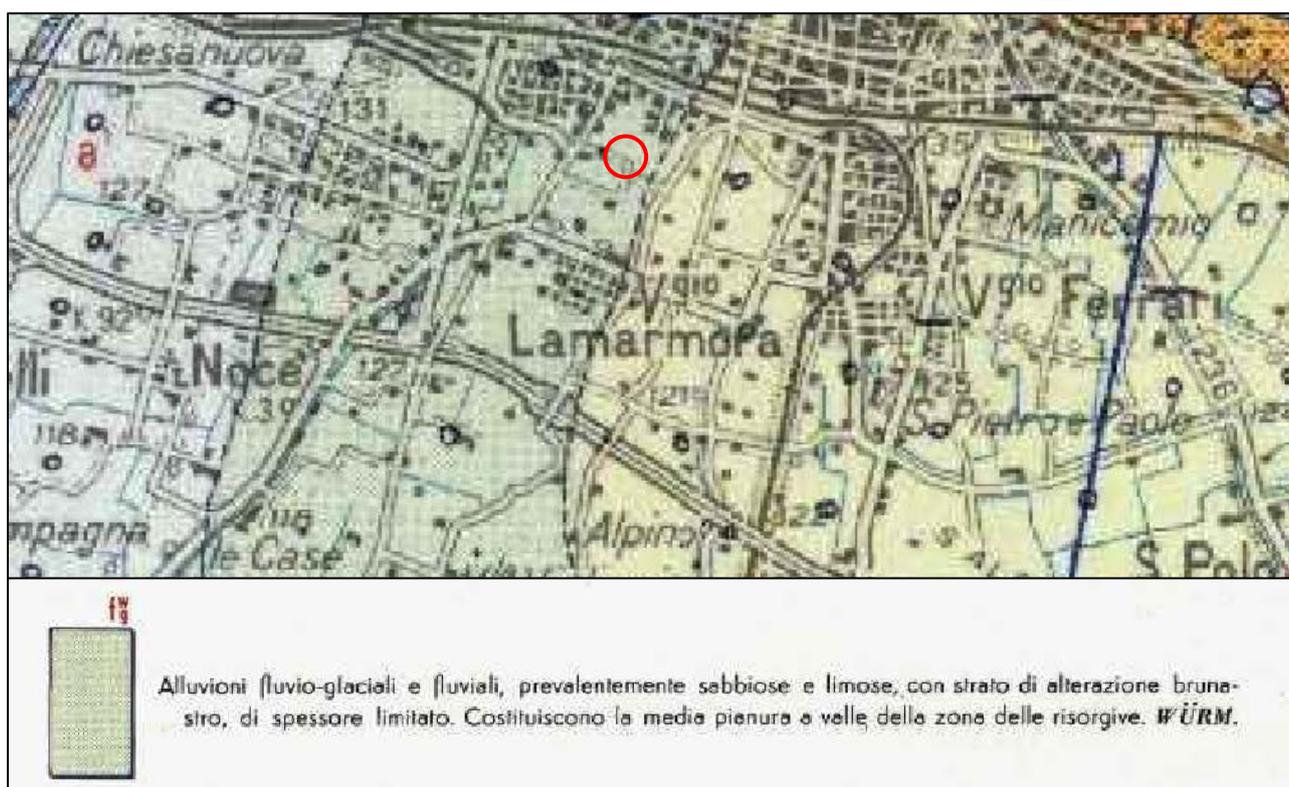
ondulate o sub-pianeggianti di transizione ai principali sistemi fluviali, lievemente ribassate e delimitate da orli di terrazzi convergenti o raccordate in lieve pendenza nella direzione dei solchi vallivi”.

Dal punto di vista pedologico l’area è interessata dalla presenza di alfisuoli del tipo *fine, mixed, active, mesic, Typic Hapludalfs* (Classificazione USDA, 2006), attualmente in parte obliterati dall’attività antropica. La tipica sequenza pedologica prevede orizzonti superficiali (A), di spessori pari a 30-40 cm (generalmente 7.5-10YR), con tessitura franco limosa, scheletro scarso e molto piccolo e reazione da neutra ad alcalina, poggianti su orizzonti argillici (B_t) di spessore 40-70 cm (generalmente 2.5 YR o 5 YR), con tessitura da franco argillosa ad argillosa, scheletro comune molto piccolo e reazione da sub-alcalina ad alcalina. Seguono orizzonti di transizione BC e CB e poi l’orizzonte C a tessitura sabbiosa o sabbiosa franca a reazione alcalina ed estremamente calcareo.

Il substrato pedogenetico è presente generalmente a partire dai 85-150 cm di profondità, ed è costituito da sedimenti di origine alluvionale prevalentemente sabbiosi di colore bruno grigiastro, originatisi dall’alterazione del sottostante substrato geologico.

Dal punto di vista geologico-stratigrafico il substrato geologico è rappresentato da depositi alluvionali rappresentati genericamente da depositi ghiaioso-sabbiosi, come mostrato nella:

- cartografia geologica tradizionale (Carta geologica d’Italia in scala 1:100000 Foglio 47 Brescia - 1970);



- carta geologica di piano (Carta geologica a scala 1:15000 – Studio geologico Comunale, 2018), nella quale viene genericamente indicata la presenza di depositi di origine alluvionale olocenici. Più in particolare il primo sottosuolo del sito è caratterizzato dal passaggio laterale tra i depositi alluvionali antichi di pertinenza del Fiume Mella e i depositi fluvio-glaciali grossolani pleistocenici caratterizzati da uno strato di alterazione superficiale argilloso di spessore fino ad 1 m localmente ricoperti da coltre limosa.

Dal punto di vista litologico il substrato geologico è costituito da sabbie con ghiaie in matrice limosa passante in profondità a ghiaie con sabbie con alternanza di corpi ghiaioso-ciottolosi, ove sono presenti probabili croste conglomeratiche, e corpi sabbioso ghiaiosi.

L’estratto della carta geologica disponibile negli studi comunali a scala 1:10000 è riportata in allegato n. 1 con rivisitazione della legenda descrittiva.

Per quanto riguarda l’assetto geologico-strutturale non si evidenziano discontinuità tettoniche affioranti, sebbene sia presumibile la presenza di strutture tettoniche compressive profonde, la cui attività non coinvolge i depositi pleistocenici più recenti.

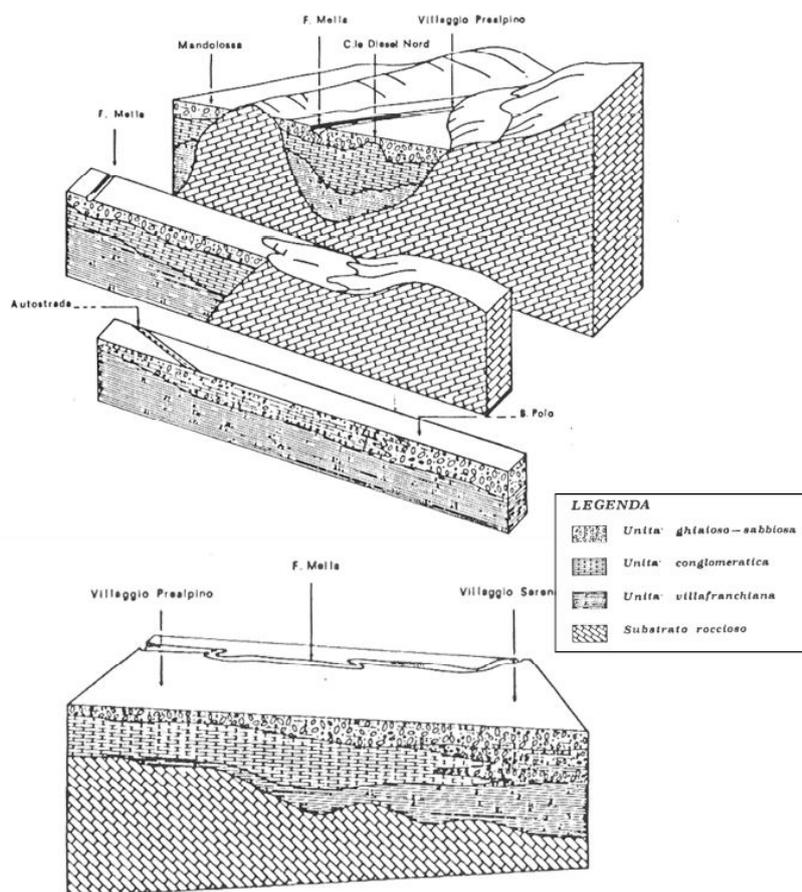
7. Componente idrogeologica

Dal punto di vista idrogeologico l’area si colloca al margine settentrionale del Bacino Idrogeologico Padano, così come definito nello studio condotto dalla Regione Lombardia e dall’ENI Divisione Agip nel 2002. Sulla base dell’interpretazione geologico-stratigrafica riportata nel capitolo 6 e in considerazione delle seguenti definizioni di unità idro-stratigrafica:

“corpo geologico di notevole estensione areale che costituisce un dominio dello spazio fisico, in cui ha sede un sistema idrologico ragionevolmente distinto (Maxey, 1964)”

“formazione, parte di una formazione oppure un gruppo di formazioni con caratteristiche idrologiche omogenee, ovvero distribuite in modo da permettere una suddivisione interna in acquiferi e barriere di permeabilità associate (Domenico & Schwartz, 1990)”

è possibile distinguere 3 unità con caratteristiche idrogeologiche diverse i cui rapporti stratigrafici sono descritti e schematizzati nel lavoro di Francani et al., Studio idrogeologico del Comune di Brescia (1999):



Sulla base dello studio condotto dalla Regione Lombardia e dall’ENI Divisione Agip nel 2002 il Bacino Idrogeologico Padano è costituito da 4 gruppi di acquiferi fondamentali, ciascuno costituito da un’unità idrostratigrafica sequenziale, posti a profondità variabili ed identificati con le lettere A, B, C e D, le quali sono correlabili con le unità stratigrafiche e le unità idrostratigrafiche tradizionali definite in studi precedenti, secondo il seguente schema riassuntivo:

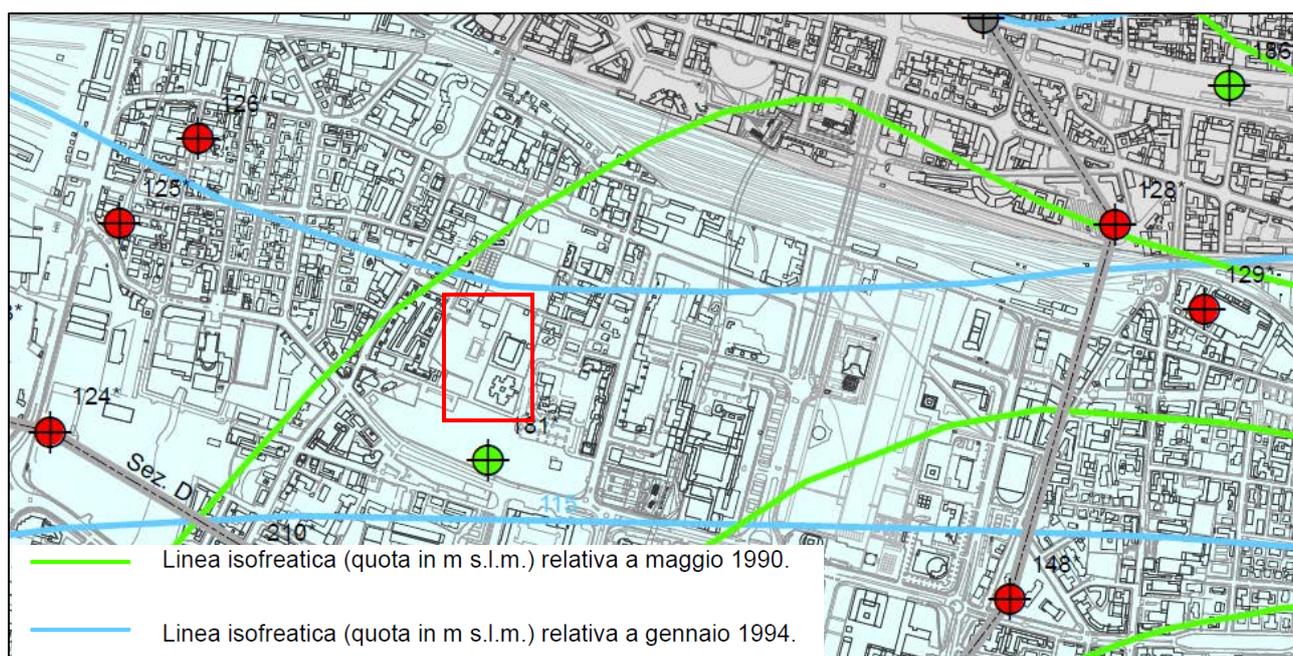
Scala cronostratigrafica (Ma)	Unità stratigrafiche		Unità idrostratigrafiche e idrogeologiche tradizionali			Unità idrostratigrafiche
	Martinis e Mazzarella, 1971	Francani e Pozzi, 1981	Martinis e Mazzarella, 1971	Francani e Pozzi, 1981	Avanzini et alii, 1995	Agip e Regione Lombardia, 2002
Olocene	Litozona ghiaioso-sabbiosa	Fluvioglaciale Wurm	Acquifero tradizionale	I Acquifero	Unità ghiaioso-sabbiosa	A
Pleistocene superiore		Fluvioglaciale Riss-Mindel		II Acquifero	Unità ghiaioso-sabbioso-limosa Unità a conglomerati e arenarie basali	B
Pleistocene medio		Ceppo				
Pleistocene inferiore	Litozona sabbioso-argillosa	Villafranchiano	Acquiferi profondi	III Acquifero	Unità sabbioso-argillosa	C
	Litozona argillosa				Unità argillosa	D
Pliocene superiore	Litozona argillosa				Unità argillosa	

L’unità ghiaioso-sabbiosa (unità idrogeologica A), ospitante il primo acquifero, si estende mediamente per uno spessore di circa 30-40 m con la locale presenza di orizzonti e lenti limoso-argillose, più frequenti verso la base dell’unità a partire dai 20-30 m di profondità; presenta alta permeabilità e consente la ricarica degli acquiferi da parte delle acque meteoriche e incanalate.

L’unità conglomeratica sottostante (unità idrogeologica B) si estende fino a circa 70-90 m e costituisce la roccia serbatoio dell’acquifero principale; i livelli limoso argillosi posti a diverse profondità presentano un’insufficiente estensione areale per determinare una vera e propria compartimentazione dell’acquifero; l’acquifero presenta pertanto caratteristiche di falda libera con solo locali caratteri di semi-confinata.

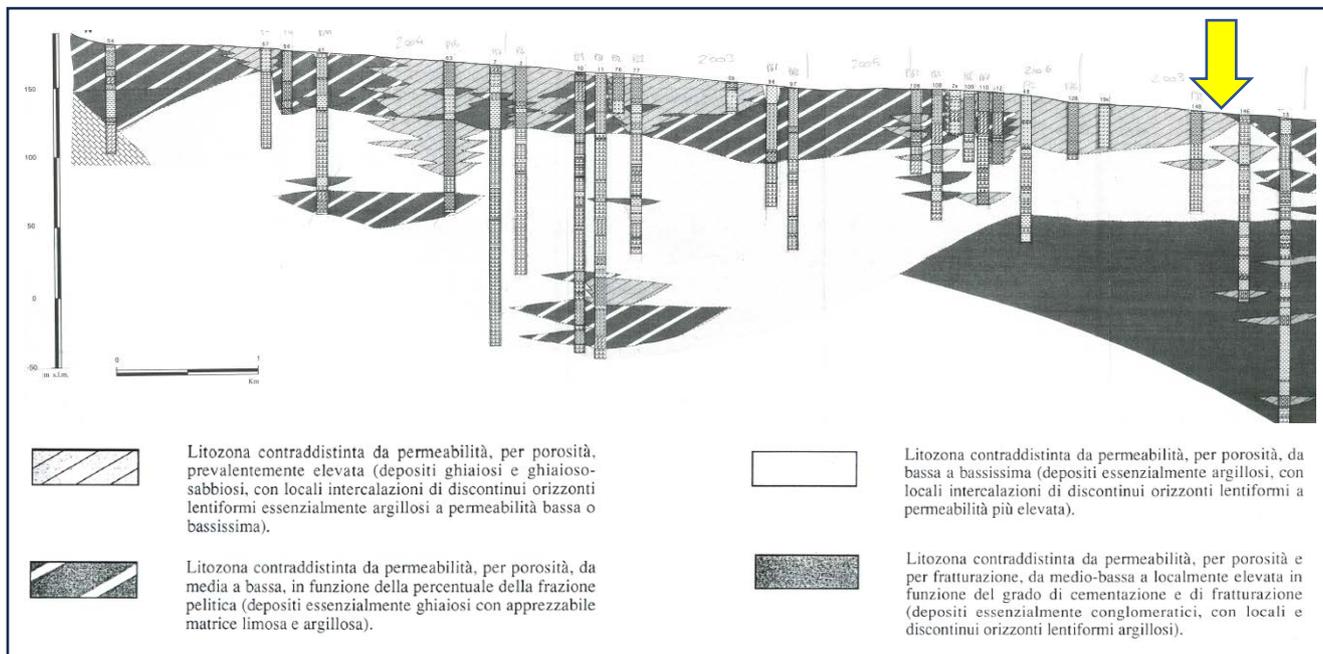
L’unità sabbioso-argillosa (Villafranchiano – unità idrogeologica C) è stata rinvenuta fino a profondità di almeno 170-200 m, raggiunta dai pozzi più profondi dell’area: l’unità è prevalentemente limoso-argillosa con intercalazione di livelli sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi di discreta continuità laterale ma di spessore limitato generalmente di 8-10 m, sede di falde confinate (acquiferi profondi).

In riferimento ai dati riportati nello studio geologico comunale relativi alla rete di monitoraggio piezometrico rilevati dall’ASM, nelle situazioni piezometriche corrispondenti a gennaio 1994 e a maggio 1990 (rispettivamente periodi di massimo e minimo piezometrico per il periodo 1985-1996), la falda freatica presenta livelli piezometrici variabili da un minimo di 108 ad un massimo di 116 m s.l.m., corrispondenti ad una soggiacenza variabile da 19 a 27 m dal p.c..



Il recente pozzo irriguo ad uso pubblico scavato al parco Gallo nell’aprile 2007 mostrava un livello statico pari a 24.4 m dal p.c., coerente con i dati di soggiacenza disponibili.

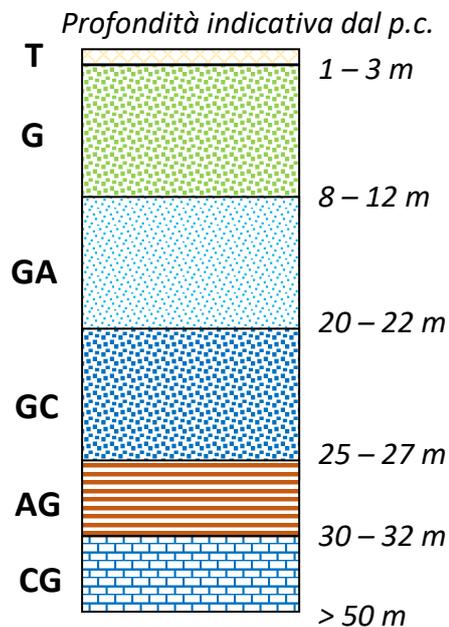
La sezione idrogeologica disponibile nello studio geologico comunale passa ad est del sito (vedi freccia gialla che indica la proiezione del sito sulla sezione) e mostra la presenza in superficie di una litozona contraddistinta da permeabilità per porosità prevalentemente elevata:



8. Aspetti stratigrafici e unità geologiche informali

Dal punto di vista stratigrafico il primo sottosuolo del sito è caratterizzato dalle seguenti unità geologiche informali (desunte dall’osservazione delle stratigrafie di pozzi limitrofi):

- **Unità T:** strato di alterazione superficiale di origine pedologica, di spessore dell’ordine di 1-3 m;
- **Unità G:** deposito alluvionale costituito da ghiaia con sabbia asciutta, di spessore dell’ordine dei 7-10 m;
- **Unità GA:** deposito alluvionale costituito da ghiaia con sabbia in abbondante matrice limoso argillosa, di spessore dell’ordine dei 10 m;
- **Unità GC:** deposito fluvio-glaciale costituito da ghiaia e sabbia, parzialmente cementata passante a conglomerati fessurati, di spessore dell’ordine dei 5 m e sede della falda freatica;
- **Unità AG:** deposito fluvio-glaciale costituito da argilla con ghiaia, di spessore dell’ordine dei 5 m, costituente il letto della falda freatica, poggiante sui conglomerati dell’unità CG, estesi fino ad almeno 50 m di profondità.

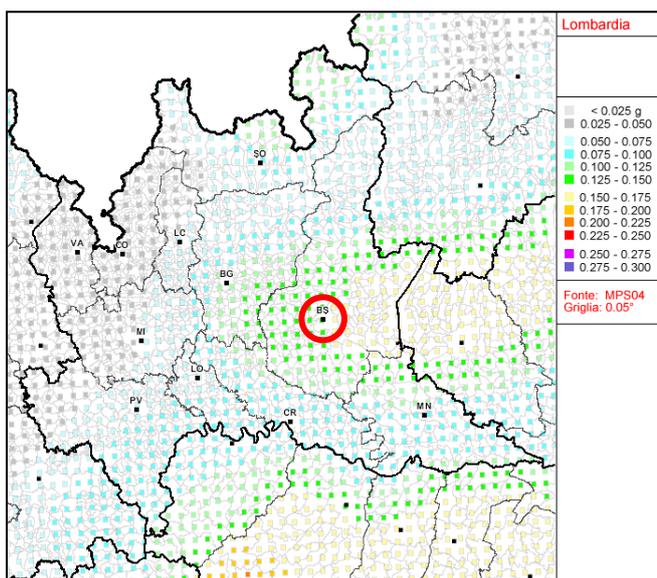


9. Sismicità e componente sismica territoriale

9.1. Pericolosità sismica di base

L’Ordinanza del Presidente del Consiglio n. 3274, emanata il 20 marzo 2003, pubblicata sul supplemento ordinario 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 del 8 maggio 2003 recante “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, modificata ed integrata dalle OPCM 3316/2003, OPCM 3333/2004, OPCM 3431/2005 è intervenuta direttamente sulla pericolosità sismica nazionale, innescando un processo di rinnovamento normativa sia a livello nazionale sia a livello regionale, che ha portato da un lato all’emanazione delle NTC 2018 e dall’altro all’emanazione della nuova classificazione sismica regionale e alla nuova legge sulla vigilanza sismica.

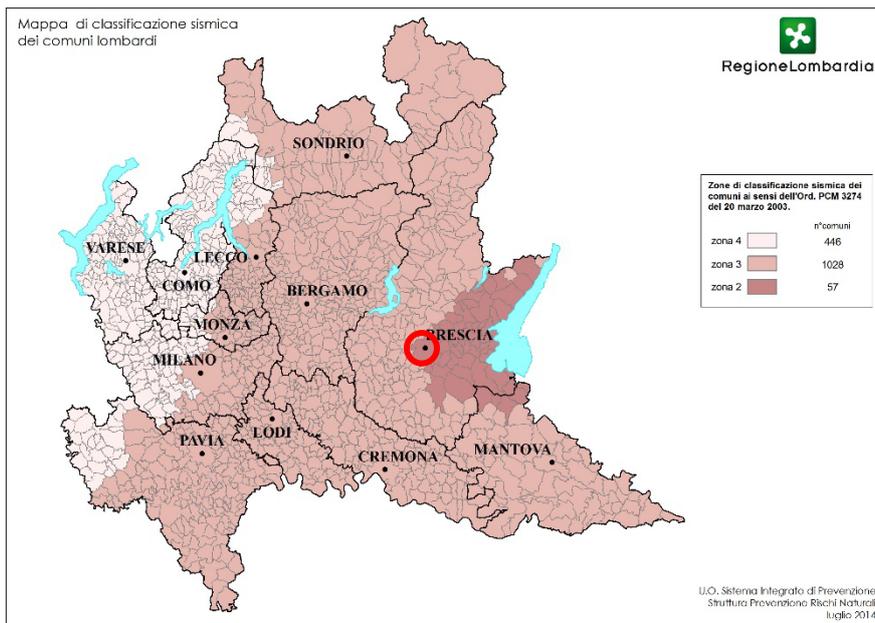
La classificazione sismica attualmente in vigore in Regione Lombardia è basata sui valori di accelerazione orizzontale attesa su suolo rigido e pianeggiante con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Tr 475 anni) riportati nella mappa di pericolosità sismica nazionale (Gruppo di LavoroMS4) e pubblicati ufficialmente, insieme ai criteri di classificazione, nell’Allegato 1b all’OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006.



Estratto regionale della mappa di pericolosità sismica nazionale (GdL, 2004)

Con DGR n. X/2129 del 11 luglio 2014 la Regione Lombardia ha aggiornato, in tal senso, la zonazione sismica regionale vigente dal 2003, ai sensi della L.R. 1/2000 art. 3, C.108, lett. D, classificando il **Comune di Brescia in zona sismica 2**, assegnandovi come valore di accelerazione di riferimento 0.154219g. Dopo successivi decreti di differimento (DGR n. X/2489 del 10 ottobre 2014 e DGR n. X/4144 del 8 ottobre 2015) la nuova classificazione sismica è in vigore dal 10 aprile 2016, contestualmente alla normativa regionale in materia di autorizzazione preventiva e deposito sismico (L.R. 33/2015 e DGR 5001/2016).

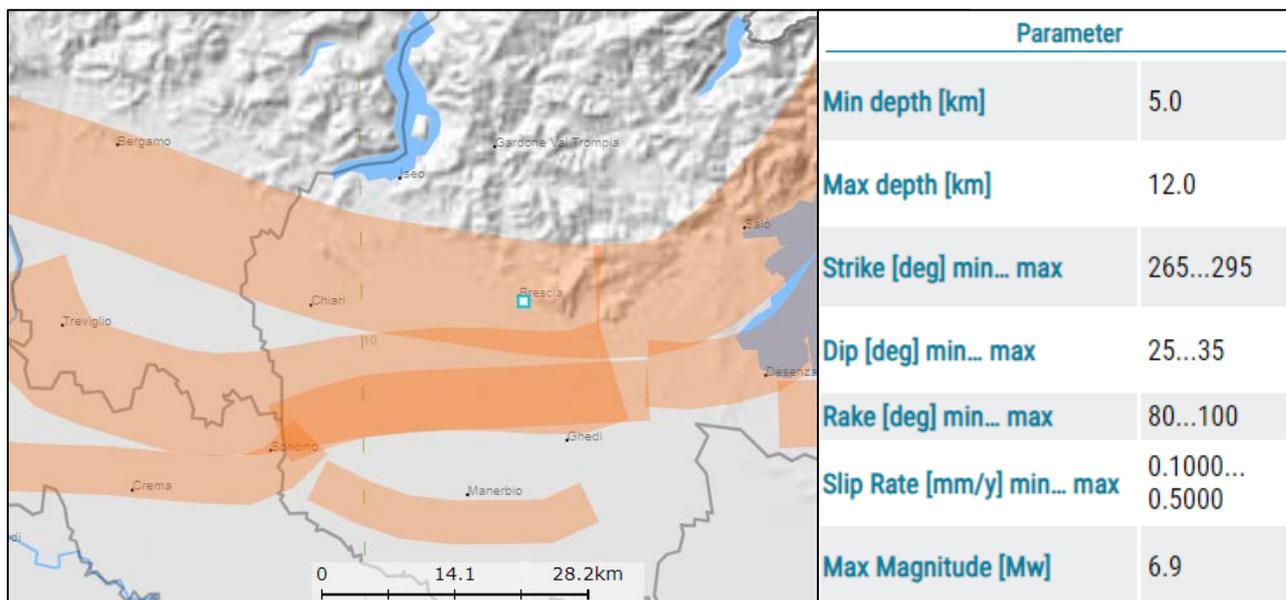
Mapa della classificazione sismica regionale (Regione Lombardia, 2016)



Il Comune di Brescia ricade nella zona sismogenetica 907, caratterizzata da una sismicità di energia normalmente medio-bassa con la sola eccezione del terremoto di Soncino del 1802 a cui viene assegnata una magnitudo momento M_w intorno a 5.6.

La zona sismogenetica 907 appartiene, dal punto di vista geodinamico e cinematico, alle zone di interazione tra piastra adriatica e piastra europea con meccanismi di rottura attesi di tipo thrust e transpressivi.

Sul Database of Individual Seismogenic Sources (DISS 3.3.0, 2021) la struttura sismogenetica che interessa direttamente la città di Brescia è la sorgente compressionale del Sud-alpino interno occidentale (Western S-Alps internal thrust), come indicato nella figura seguente:



Sulla base dei dati contenuti nei cataloghi è possibile selezionare le notizie in modo da definire "Storie sismiche" dei singoli siti, identificanti cioè la successione temporale delle intensità risentite (in una definita località) rispetto alle intensità epicentrali dei vari eventi nel corso dei secoli.

In base alla consultazione del catalogo macrosismico italiano DBMI11 (Locati, Camassi e Stucchi, 2011) e DBMI15v4 (Locati et al., 2022), riportante le osservazioni macrosismiche, è possibile prevedere, per gli eventi documentati, risentimenti al sito:

- dell'8° grado della scala macrosismica MCS, determinati da eventi sismici medio-forti (magnitudo compresa tra 5.0 e 6.0) e molto vicini (es: terremoti del 1065 e del 1222);
- del 6°-7° grado della scala macrosismica MCS, determinati da eventi sismici medi (magnitudo compresa tra 4.5 e 5.0) e molto vicini (es: terremoti del 1774 e del 1799), da eventi sismici medio-forti (magnitudo compresa tra 5.0 e 6.0) e vicini (es: terremoti del 1892, del 1894, del 1901 e del 2004) e da eventi sismici forti (magnitudo superiore a 6.0) lontani, provenienti dal settore orientale veronese (es: terremoto del 1117)
- del 5°-6° grado della scala macrosismica MCS, determinati da eventi sismici medio-bassi (magnitudo compresa tra 4.0 e 4.5) e molto vicini (es: terremoti del 1540 e del 1839), da eventi sismici da medi a medio-alti (magnitudo compresa tra 4.5 e 5.5) e relativamente vicini (es: terremoto del 1802, 1951, 1960 e del 1979).

Risentimenti inferiori al 5° grado della scala macrosismica MCS sono da ritenersi poco significativi in termini di danneggiamento e sono determinati, oltre che ovviamente da eventi di bassa magnitudo molto vicini, da eventi da medi a forti provenienti dai distretti sismici circostanti quali Veronese-Garda, Bolognese, Parmense, Piacentino e Garfagnana-Lunigiana.

Di seguito si riportano gli eventi sismici tra i più severi risentiti a Brescia (risentimento superiore al 5° grado della scala MCS), per i quali sono evidenziati l'intensità macrosismica epicentrale (I_0), la magnitudo momento M_w e l'intensità macrosismica al sito (I_s):

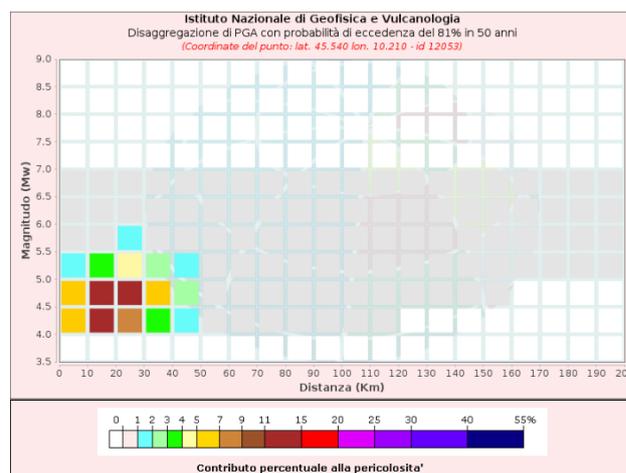
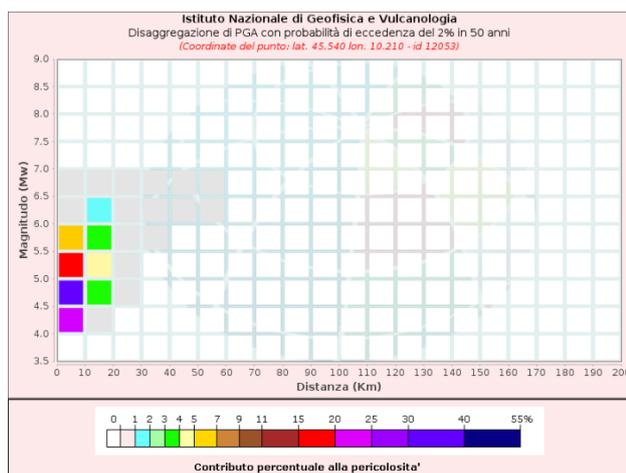
I_s	Data	Nome evento	I_0	M_w (DBMI11)	M_w (DBMI15)
8	27 marzo 1065 11:25	Brescia	7	5.14 ± 0.34	5.10
8	25 dicembre 1222 12:30	Basso Bresciano	7-8	5.84 ± 0.56	5.68
7	1 marzo 1117 15:15	Veronese	9-10	6.69 ± 0.20	6.52
7	30 ottobre 1901 14:49	Salò	8	5.70 ± 0.10	5.44
6-7	29 maggio 1799 19:00	Castenedolo	6-7	5.01 ± 0.51	5.04
6	5 gennaio 1892	Garda occidentale	6-7	5.02 ± 0.15	4.96
6	27 novembre 1894 05:07	Franciacorta	6	5.07 ± 0.10	4.89

IS	Data	Nome evento	Io	MW (DBMI11)	MW (DBMI15)
5-6	24 novembre 2004 22:59	Lago di Garda	7-8	5.06 ± 0.09	4.99
5	3 gennaio 1505 02:00	Bolognese	8	5.57 ± 0.25	5.62
5	1 settembre 1540 08:10	Brescia	5	4.30 ± 0.34	4.16
5	12 maggio 1802 09:00	Valle dell’Oglio	8	5.64 ± 0.22	5.60
5	9 agosto 1839 08:45	Brescia	5	4.30 ± 0.34	4.16
5	15 maggio 1951 22:54	Lodigiano	6-7	5.39 ± 0.14	5.17
5	19 febbraio 1960 02:30	Giudicarie	6	4.91 ± 0.22	4.81
5	9 febbraio 1979 14:44	Capriate S. Gervasio	6	4.85 ± 0.13	4.78

Ai sensi delle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni le azioni sismiche secondo cui eseguire le verifiche sismiche progettuali sono calcolate sulla base dei dati di pericolosità estratti direttamente dalla mappa ufficiale di pericolosità sismica nazionale (valori di a_g - Allegato 1b all’OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006), mediante l’utilizzo di altri due parametri di significato spettrale (F_0 e T_c^*) e di relative formule empiriche per la determinazione della forma spettrale elastica di riferimento (paragrafo 3.2.3. e Tabella 1 allegato B – DM 14-01-08); pertanto la definizione delle azioni sismiche è totalmente svincolata dalla zonazione sismica.

I valori di a_g disponibili nell’allegato 1 delle NTC 2008 derivano dall’analisi di pericolosità sismica nazionale (MPS, 2004) condotta secondo metodologia probabilistica e corrispondono al 50° percentile delle stime ottenute. Queste sono calcolate in corrispondenza di ciascun punto per il quale si dispone anche delle analisi di disaggregazione della pericolosità, utili al fine di determinare gli eventi sismici che contribuiscono maggiormente alla pericolosità sismica di un sito.

Di seguito si riportano le stime di disaggregazione riferite al punto della maglia quadrata di riferimento posto più vicino al sito d’intervento (ID12053) valide per una probabilità di eccedenza del 2% e del 81% in 50 anni corrispondenti rispettivamente a T_r di 2475 e 30 anni:



Per probabilità di eccedenza più alta ovvero per T_r più bassi contribuiscono maggiormente alla pericolosità del sito gli eventi di magnitudo compresa tra 4.0 e 5.0 con distanze epicentrali comprese tra 10 e 30 km (contributo 11.5-13.2%), mentre per T_r più elevati contribuiscono maggiormente gli eventi di magnitudo compresa tra 4.5 e 5.0 più vicini con distanze epicentrali entro i 10 km (contributi del 37.7%).

Per la determinazione dell'azione sismica, da utilizzarsi nelle verifiche agli stati limite ultimi e di esercizio delle opere di progetto, è necessario calcolare per il sito il valore di accelerazione orizzontale massima attesa su suolo rigido e pianeggiante con una probabilità di eccedenza rispettivamente del 10% e del 63% nell'arco della vita di riferimento V_R data dal valore della vita nominale dell'opera V_N e della sua classe d'uso C_U .

I valori di V_N e C_U sono definiti dal Progettista nell'ambito del progetto strutturale della singola opera; nella presente relazione, finalizzata alla definizione del modello geologico, si farà riferimento ad un valore della V_R di 75 anni, dato dalla combinazione della vita nominale dell'opera V_N di 50 anni e una classe d'uso C_U III:

Vita nominale (§ 2.4.1 NTC-08)

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella **Tab. 2.4.I** delle NTC-08 e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

Tipi di costruzione		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Classi d'uso (§ 2.4.2 NTC-08)

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

<i>Classe I:</i>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<i>Classe II:</i>	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in <i>Classe d'uso III</i> o in <i>Classe d'uso IV</i> , reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<i>Classe III:</i>	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in <i>Classe d'uso IV</i> . Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<i>Classe IV:</i>	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Le valutazioni definitive in termini di V_N e C_u dovranno essere contenute nelle relazioni di calcolo strutturale a firma del Progettista delle opere.

Per il dimensionamento delle strutture in elevazione il modello di riferimento per la descrizione del moto sismico in un punto della superficie libera del sottosuolo pianeggiante e rigido potrà far riferimento ai seguenti parametri, dai quali si ricava il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione riferito ad uno smorzamento convenzionale del 5%:

PARAMETRI SISMICI DI BASE SU SUOLO DI RIFERIMENTO (ED50 – Lat.: 45.52967 – Long.: 10.21001)					
Probabilità di eccedenza	a_g (g)	F_o	T_b (s)	T_c (s)	T_d (s)
10% in 75 anni (Tr 712) - SLV	0.170	2.437	0.094	0.281	2.282
63% in 75 anni (Tr 75) - SLD	0.066	2.445	0.084	0.251	1.865

ove:

a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su suolo pianeggiante e rigido espressa in g ($1g = 9.81 \text{ m/s}^2$)

F_o è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T_b , T_c , T_d sono i periodi che separano i diversi rami dello spettro di risposta elastico standardizzato

Tale modello non tiene conto delle eventuali modifiche in ampiezza e contenuto in frequenza del moto sismico legate ai cosiddetti effetti di sito e in particolare ai fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico, che possono essere ragionevolmente tenuti in considerazione attraverso la procedura semplificata proposta dal DM 17-01-2018, ritenuta applicabile nel sito oggetto d'intervento.

9.2. Pericolosità sismica locale – categoria di sottosuolo

Per la stima dei fenomeni di amplificazione sismica è necessario tenere in considerazione sia gli aspetti morfologici della superficie topografica sia gli aspetti stratigrafici e geometrici del sottosuolo. Sulla base della conformazione topografica è possibile ritenere trascurabili i fenomeni di amplificazione di tipo topografico; pertanto ai sensi delle NTC18 il sito è classificato appartenente alla categoria topografica T1.

Per quanto riguarda i fenomeni di amplificazione stratigrafica si ritiene lecito applicare il metodo semplificato basato sulla definizione della categoria di sottosuolo del sito (NTC 2018 p.to 3.2.2).

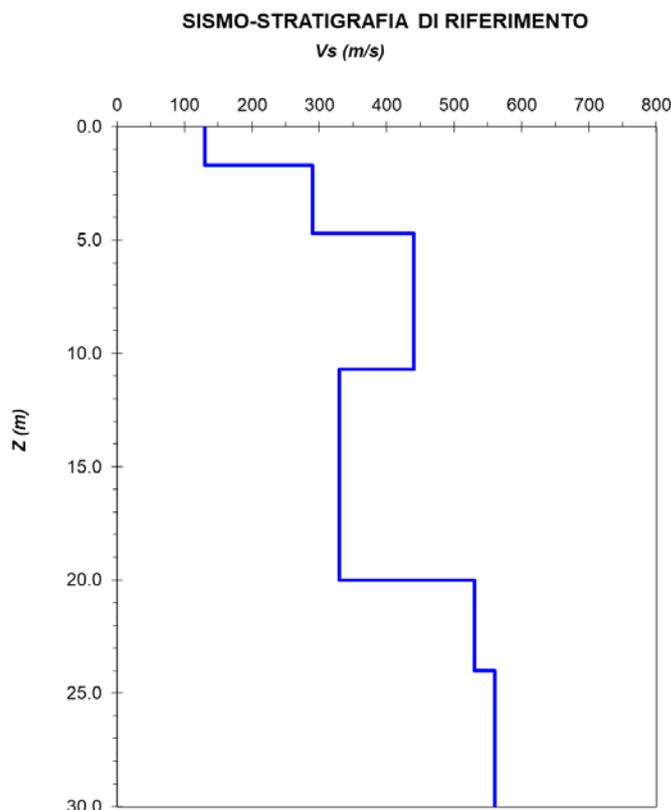
L'indagine sismica eseguita nel presente studio ha previsto la combinazione di tecniche passive a stazione singola di tipo HVSR (vedi allegato n. 3) e di tecniche attive ad array lineari tipo sismica a rifrazione in fase P e MASW (vedi allegati n. 4 e 5).

I risultati dell’indagine sismica passiva mostrano una risposta in termini di frequenza di risonanza del sito molto omogenea all’interno dell’area investigata con un primo picco evidente a frequenze comprese tra 15 e 20 Hz e un secondo picco più blando a frequenze comprese tra 3 e 4 Hz.

I risultati dell’indagine sismica attiva mostrano valori del parametro $V_{s,eq}$ calcolato fino alla profondità di 30 m variabili da 350 a 370 m/s, prossimi al limite normativo di 360 m/s di passaggio tra le categoria di sottosuolo B e C.

Si ritiene lecito, in via cautelativa, associare il sito alla categoria di sottosuolo C definendo la seguente sismo-stratigrafia di riferimento, desunta dai dati ottenuti dalla modellazione congiunta tra curva di dispersione e curva HVSR, approssimando i valori in maniera ragionata tra i modelli ottenuti, associandoli alle diverse unità geologiche informali descritte nel capitolo 8:

MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO						
Unità geologica	Unità sismo-stratigrafica	Spessore (m)	Profondità (m)	V_s (m/s)	V_P (m/s)	Coefficiente di Poisson
T	US1	1.7	1.7	130	390	0.44
G	US2	3.0	4.7	290	500	0.25
	US3	6.0	10.7	440	760	0.25
GA	US4	9.3	20.0	330	760	0.25
GC	US5	4.0	24.0	530	1100	0.35
	US6	-	-	560	1100	0.32
$V_{s,eq} = V_{s,30} = 359$ m/s						



9.3. Analisi sismica del sito ai fini progettuali

Nella progettazione di nuove opere strutturali l’obiettivo dell’analisi sismica di sito è quello di verificare la sua adeguatezza, esaminando in prospettiva sismica il modello geologico.

Per quanto riguarda l’adeguatezza del sito di intervento si escludono problemi legati agli effetti derivanti dalla vicinanza di faglie e/o discontinuità geologiche importanti e problemi legati ad instabilità di versante; si ritengono trascurabili gli effetti di geometria sepolta e morfologici, mentre è da valutare la risposta sismica locale in superficie (free field, in assenza di manufatti), tenendo in considerazione gli effetti di amplificazione stratigrafica.

Gli effetti amplificativi di tipo stratigrafico sono stati valutati attraverso la procedura semplificata proposta dal DM 17-01-2018, ritenuta applicabile nel sito oggetto d’intervento

Il sito appartiene pertanto alla **categoria topografica T1** e alla **categoria di sottosuolo C**.

I parametri di calcolo ai sensi del DM 17-01-2018 sono riportati nelle tabelle seguenti; si segnala che il valore di S_S è limitato, da normativa, ad un valore massimo di 1.5 per la categoria di sottosuolo C (il valore ottenuto è pari a 1.451 per SLV e 1.603 per SLD):

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO C - CATEGORIA TOPOGRAFICA T1							
Probabilità di eccedenza	a_g (g)	S_S	S_T	a_{max} (g)	T_b (s)	T_c (s)	T_d (s)
10% in 75 anni (Tr 712) - SLV	0.170	1.451	1.0	0.247	0.149	0.448	2.282
63% in 75 anni (Tr 75) - SLD	0.066	1.5	1.0	0.099	0.139	0.416	1.865

a_g è l’accelerazione orizzontale massima attesa su suolo pianeggiante e rigido espressa in g ($1g = 9.81 \text{ m/s}^2$)

S_S è il fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo (soil factor)

S_T è il fattore che tiene conto del profilo morfologico del suolo

a_{max} è l’accelerazione orizzontale massima attesa al sito ($a_g S_S S_T$)

T_b, T_c, T_d sono i periodi che separano i diversi rami dello spettro di risposta elastico

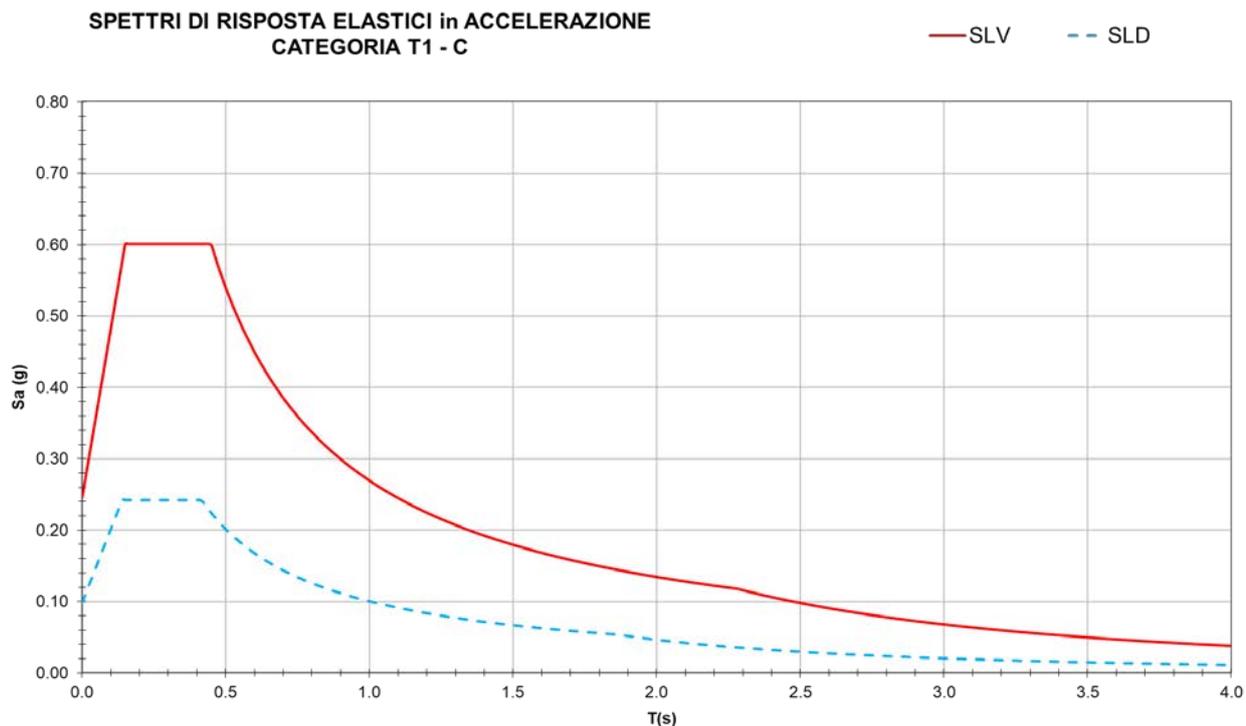
COEFFICIENTI SISMICI PER AZIONE SISMICA STATICA EQUIVALENTE				
Probabilità di eccedenza	a_{max} (g)	β_s	k_h	k_v
10% in 75 anni (Tr 712) - SLV	0.247	0.24	0.059	0.029
63% in 75 anni (Tr 75) - SLD	0.099	0.20	0.020	0.010

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito ($a_g S_S S_T$)

β_s coefficiente di riduzione dell’accelerazione massima attesa al sito

k_h coefficiente sismico orizzontale

k_v coefficiente sismico verticale



Per quanto riguarda l'adeguatezza del terreno di fondazione si può escludere il verificarsi di fenomeni di liquefazione del sottosuolo, escludendo a priori fenomeni estremi con perdita improvvisa di capacità portante; sulla base dei criteri riportati al punto 7.11.3.4.2 del DM 17-01-2018 e del precedente DM 14-01-2008, integrati con quelli riportati nell'allegato 4 all'OPCM n. 3274/03 e al punto 7.3 delle linee guida AGI 2005, nel sito in esame:

sono presenti i fattori scatenanti il fenomeno della liquefazione, in quanto:

- per il sito sono attesi eventi sismici con magnitudo momento anche superiore a 5,
- l'accelerazione massima attesa al piano campagna in condizioni free-field è superiore a 0.1g,

ma non sono presenti i fattori predisponenti, in quanto:

- la falda principale presenta una soggiacenza superiore ai 15-20 m e non si rileva la presenza di depositi granulari saturi nei primi metri di profondità;
- i depositi presenti nel primo sottosuolo non rientrano nel fuso granulometrico dei materiali suscettibili di liquefazione (fig. 7.11.1 NTC 2018).

10. Modello litotecnico e caratterizzazione geotecnica

Al fine di predisporre il modello litotecnico del sito oggetto di intervento sono stati elaborati i dati desunti dalle 10 prove penetrometriche di tipo dinamico super-pesante DPSH.

Per il dettaglio dell’ubicazione e dei dati sperimentali si rimanda agli allegati n. 2 e n. 6.

10.1. Elaborazione delle prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH

Il penetrometro utilizzato è del tipo semovente superpesante PAGANI TG 63/200 kN (tipo AGI-Mearidi). Per l’esecuzione delle prove DPSH è stata utilizzata una punta conica con angolo al vertice di 60° e un maglio di peso standard 73 kg lasciato cadere da un’altezza di 75 cm; il diametro del cono è di 51.0 mm e il peso delle aste di 4.6 kg/m; la prova DPSH fornisce come dato sperimentale il numero di colpi ottenuto per approfondire la punta di 30 cm, definito N_{DPSH} , e nonostante sia considerata grossolana e non fornisca buone informazioni sulla stratigrafia, permette, attraversando anche depositi ghiaioso sabbiosi addensati, di raggiungere profondità non raggiungibili con altre prove; inoltre la prova permette di caratterizzare meccanicamente i depositi attraversati mediante la trasformazione del parametro misurato in sito nel corrispondente numero di colpi standardizzato (N_{SPT} numero dei colpi per approfondire il campionatore standard di 30 cm nelle prove standard penetration test eseguite in foro di sondaggio) e l’utilizzo di numerose correlazioni empiriche tra quest’ultimo parametro e la densità relativa, l’angolo d’attrito, la coesione non drenata e i moduli di deformazione.

I dati sperimentali ottenuti dalle prove DPSH, espressi in N_{DPSH} , sono stati sottoposti ad operazione di smussamento attraverso la procedura proposta da Crespellani e Loi, al fine di eliminare i punti singolari di scarso significato geotecnico e successivamente il dato sperimentale smussato $N(i)$ è stato trasformato in N_{SPT} facendo riferimento alla costante di trasformazione tipica dei penetrometri superpesanti tipo AGI-Mearidi, trascurando in via prudenziale la sua variazione in funzione della profondità in considerazione della variabilità del peso della batteria di aste:

$$N_{SPT} = \beta_t \times N_{DPSH} \qquad \beta_t = Q/Q_{SPT} = 8.93/7.83 = 1.14$$

N_{SPT} = numero colpi della prova penetrometrica standard

N_{DPSH} = numero colpi della prova penetrometrica dinamica superpesante

β_t = costante energetica

Q e Q_{SPT} = energia specifica per colpo nelle due tipologie di prova DPSH e SPT

I valori di N_{SPT} sono stati poi corretti e normalizzati in $N_{(1)60}$, tenendo in considerazione l’influenza della tensione verticale efficace mediante la formulazione di Castro, 1995.

In aggiunta è stata calcolata la resistenza dinamica alla punta mediante la formula tradizionale per la stima dell’energia del colpo (r_d) e la formula Olandese, che tiene conto anche del peso della batteria di aste e del sistema di battitura (q_d).

In funzione della litologia attraversata è stata scelta la costante di correlazione più opportuna per la conversione del valore della resistenza dinamica r_d in valore di resistenza alla punta equivalente $q_{c(eq)}$ della prova penetrometrica statica CPT e la conversione del valore del numero di colpi N_{SPT} in resistenza laterale f_s della punta meccanica delle prove CPT; sulla base dei valori di q_c e f_s ottenuti è stato possibile, tramite la formulazione di Robertson, 2010 stimare il peso di volume naturale dei terreni attraversati.

Le aste di rivestimento sono state infisse nel primo tratto superficiale, ove sono stati rilevati valori di N_{DPSH} bassi; all’interno di tutte le verticali di prova è stato infisso un piezometro temporaneo del diametro di $\frac{1}{2}$ ”, che non ha segnalato la presenza di circolazioni idriche.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori sperimentali minimo e medio di N_{DPSH} , N_{SPT} , $N_{(1)60}$ e di r_d (espressa in kg/cm^2), per ciascuna litozona individuata, così come desumibili dalle 10 prove DPSH:

- la litozona L1 coincide con l’unità geologica T e con l’unità sismo-stratigrafica US1, presenta granulometria fine con comportamento meccanico prevalentemente di tipo granulare;
- la litozona L2, di spessore molto variabile, coincide con la parte sommitale dell’unità geologica G e con l’unità sismo-stratigrafica US2, presenta granulometria fine con comportamento meccanico di tipo misto granulare e coesivo;

VALORI SPERIMENTALI DELLE PROVE DPSH ASSOCIATI ALLE DIVERSE LITOZONE																
PROVA	LITOZONA L1								LITOZONA L2							
	N_{DPSH}		N_{SPT}		$N_{(1)60}$		r_d		N_{DPSH}		N_{SPT}		$N_{(1)60}$		r_d	
	Min	Med	Min	Med	Min	Med	Min	Med	Min	Med	Min	Med	Min	Med	Min	Med
P1	5	7.8	5.7	8.0	7.9	11.9	44.7	69.2	3	6.2	3.4	6.1	4.5	7.5	26.8	55.1
P2	6	8.0	6.8	7.6	10.5	11.4	53.6	71.5	3	4.3	3.4	4.9	4.8	6.6	26.8	38.7
P3	5	5.0	4.7	5.4	6.9	8.1	44.7	44.7	3	5.0	3.4	5.7	4.8	7.6	26.8	44.7
P4	8	10.5	9.1	12.0	14.0	17.4	71.5	93.8	5	5.0	5.7	5.7	7.2	7.4	44.7	44.7
P5	3	6.5	3.4	5.6	5.2	8.1	26.85	58.1	4	6.0	4.6	6.8	6.2	8.8	35.7	53.6
P6	4	5.3	4.6	5.5	6.9	8.1	35.7	46.9	4	4.5	4.6	5.1	6.2	6.8	35.7	40.2
P7	3	4.5	3.4	4.6	5.2	6.8	26.8	40.2	3	4.0	3.4	4.6	4.7	6.1	26.8	35.7
P8	3	4.3	3.4	4.2	5.2	6.2	26.8	38.0	3	3.8	3.4	4.0	4.4	5.2	26.8	33.5
P9	4	5.0	4.5	4.5	6.6	6.8	35.7	44.7	3	5.6	3.4	6.4	4.7	8.1	26.8	50.0
P10	4	5.3	4.6	4.8	6.7	7.1	35.7	47.6	5	5.6	5.7	6.1	7.4	7.9	44.7	50.0

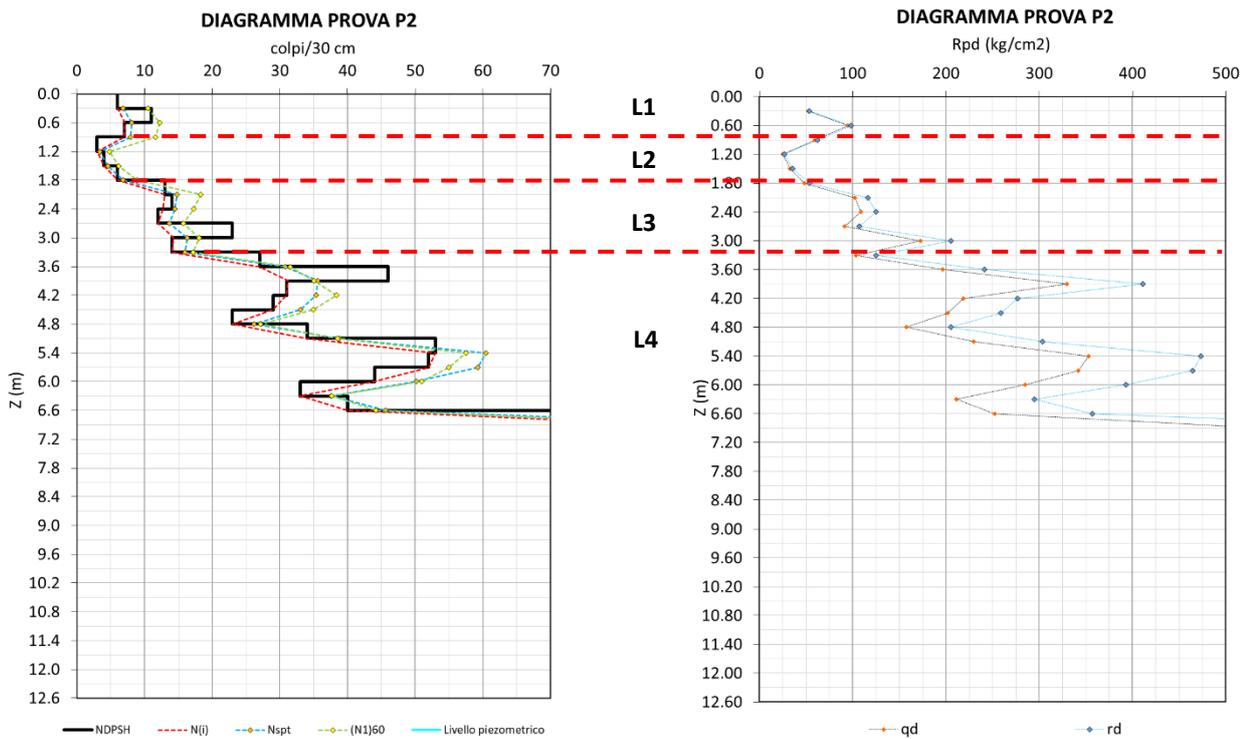
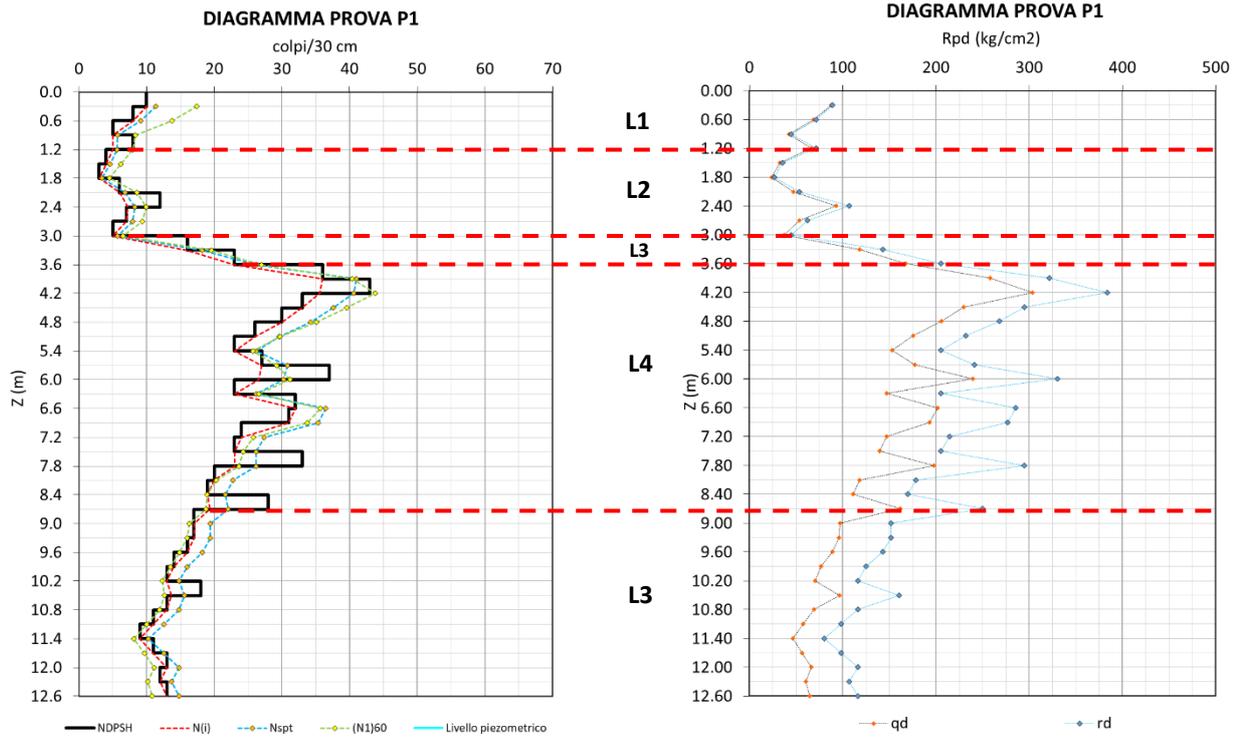
- la litozona L3 coincide con la parte sommitale dell’unità geologica G e con l’unità sismo-stratigrafica US2, presenta granulometria medio-grossolana e comportamento meccanico prevalentemente di tipo granulare;
- la litozona L4 coincide con l’unità geologica G e con l’unità sismo-stratigrafica US3, presenta granulometria grossolana e comportamento meccanico prevalentemente di tipo granulare.

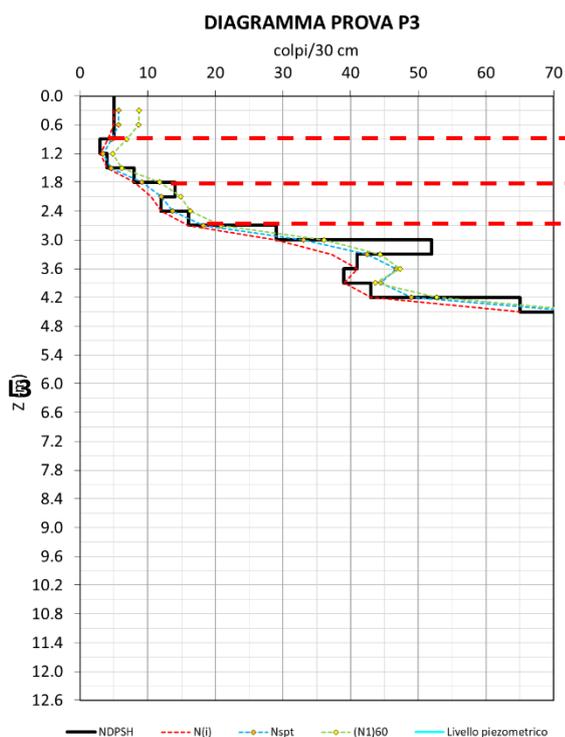
VALORI SPERIMENTALI DELLE PROVE DPSH ASSOCIATI ALLE DIVERSE LITOZONE																
PROVA	LITOZONA L3								LITOZONA L4							
	N _{DPSH}		N _{SPT}		N ₍₁₎₆₀		r _d		N _{DPSH}		N _{SPT}		N ₍₁₎₆₀		r _d	
	Min	Med	Min	Med	Min	Med	Min	Med	Min	Med	Min	Med	Min	Med	Min	Med
P1	9	14.4	10.3	16.1	8.1	13.6	80.4	128.6	19	28.7	21.7	30.3	18.8	29.6	169.7	256.4
P2	12	15.2	13.7	15.0	15.8	17.3	107.2	135.8	23	41.7	26.2	46.1	27.1	45.2	205.5	372.2
P3	12	14.0	12.0	14.6	14.8	17.3	107.2	125.1	29	44.8	33.1	48.3	36.1	50.0	259.1	400.5
P4	18	23.4	20.5	25.3	22.7	27.6	160.8	209.0	30	43.8	34.2	45.7	36.1	45.7	268.0	390.8
P5	13	19.2	13.3	20.7	15.8	22.3	116.1	171.2	26	52.9	29.6	56.2	27.3	53.7	232.3	472.2
P6	14	25.1	16.0	26.2	19.7	28.4	125.1	224.6	41	56.0	46.7	63.8	50.3	65.7	366.3	500.2
P7	12	20.3	13.7	23.1	16.9	26.4	107.2	180.9	34	46.4	36.7	51.8	38.6	53.3	303.7	414.5
P8	11	21.6	12.5	23.4	14.5	24.8	98.3	193.0	37	47.8	42.2	52.5	45.0	53.0	330.5	427.0
P9	15	19.0	17.1	21.7	19.6	24.2	134.0	169.7	30	43.6	34.2	49.7	33.8	51.3	268.0	389.5
P10	13	18.5	14.8	21.1	17.1	23.5	116.1	165.3	21	37.9	23.9	41.0	25.6	41.9	187.6	338.2
<i>Durante l'estrazione delle aste non è stata rilevata presenza di acqua sotterranea</i>																

L’unità geologica GA, alla quale coincide l’unità sismo-stratigrafica US4, è stata intercettata solo in corrispondenza della prova P1 ed è associabile alla litozona L3.

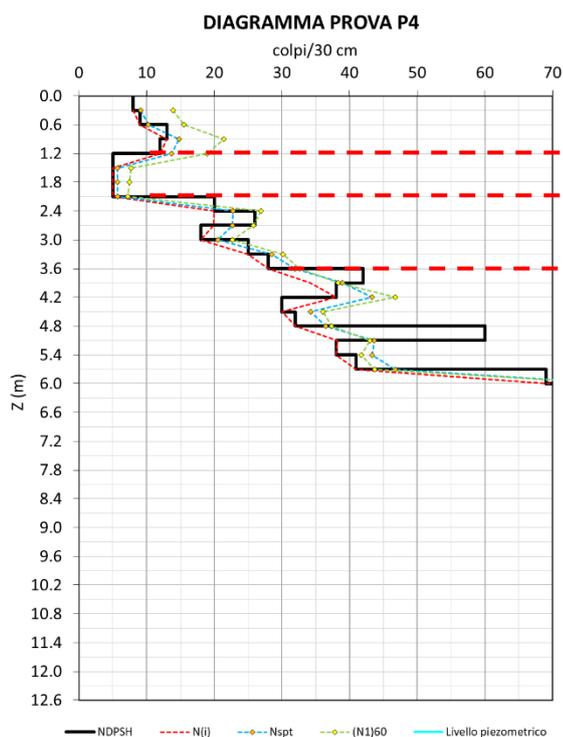
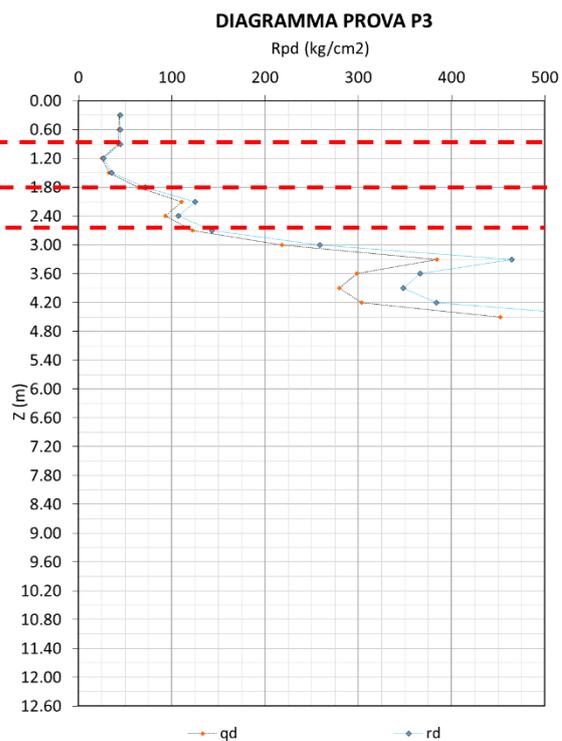
Nelle restanti prove la litozona L4 è risultata impenetrabile con raggiungimento del rifiuto geotecnico, assegnato al raggiungimento dei 100 colpi per approfondimenti inferiori ai 30 cm.

In allegato n. 6 sono riportati i dati sperimentali originali delle prove penetrometriche disponibili, mentre di seguito sono riportati i diagrammi dei valori N_{DPSH}, N_(i), N_{SPT}, N₍₁₎₆₀, q_d e r_d, sulla base dei quali sono state individuate le 4 litozone a diverso comportamento meccanico:

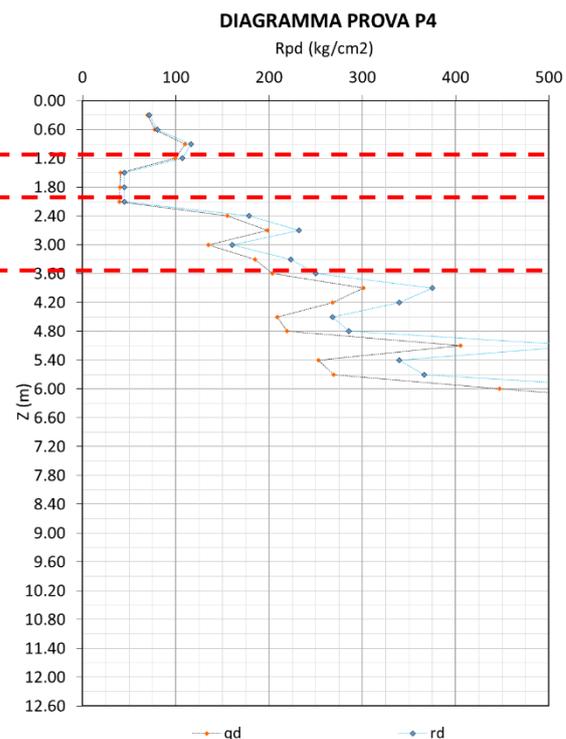


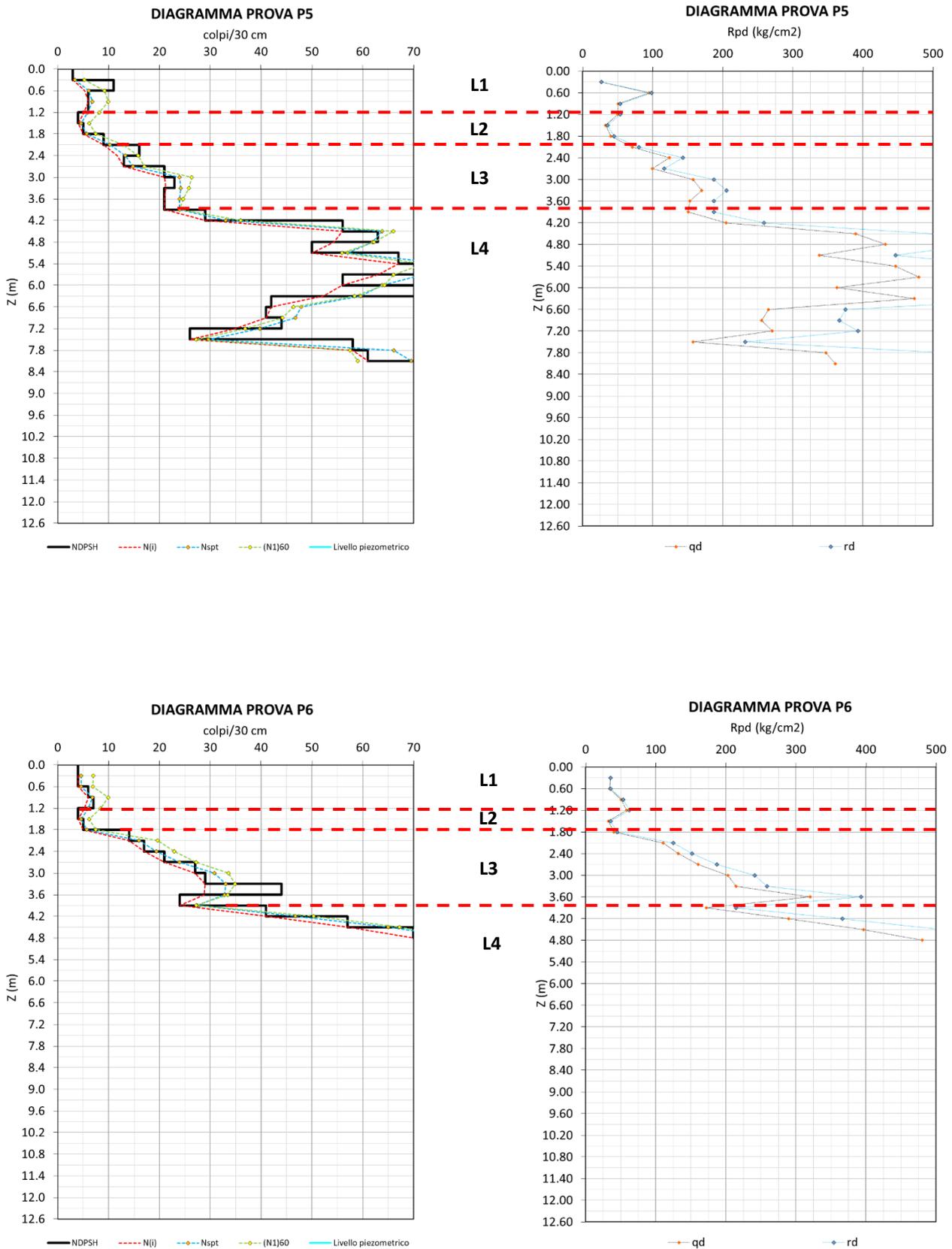


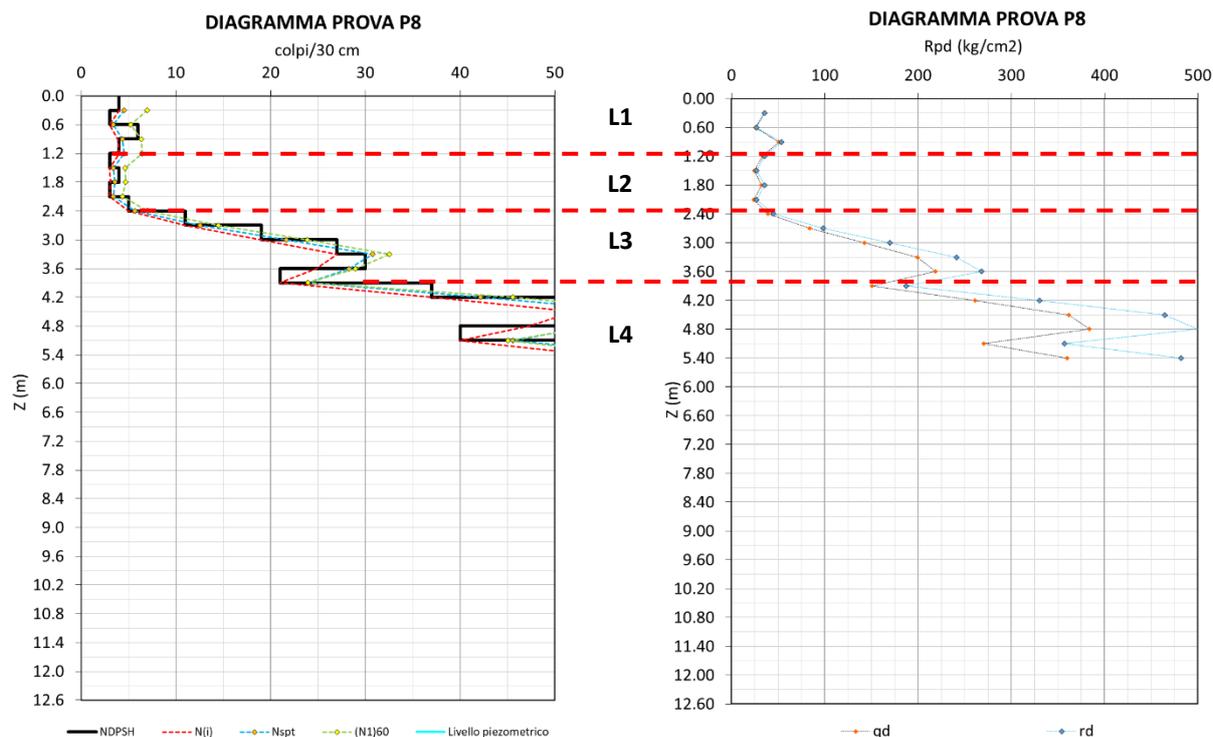
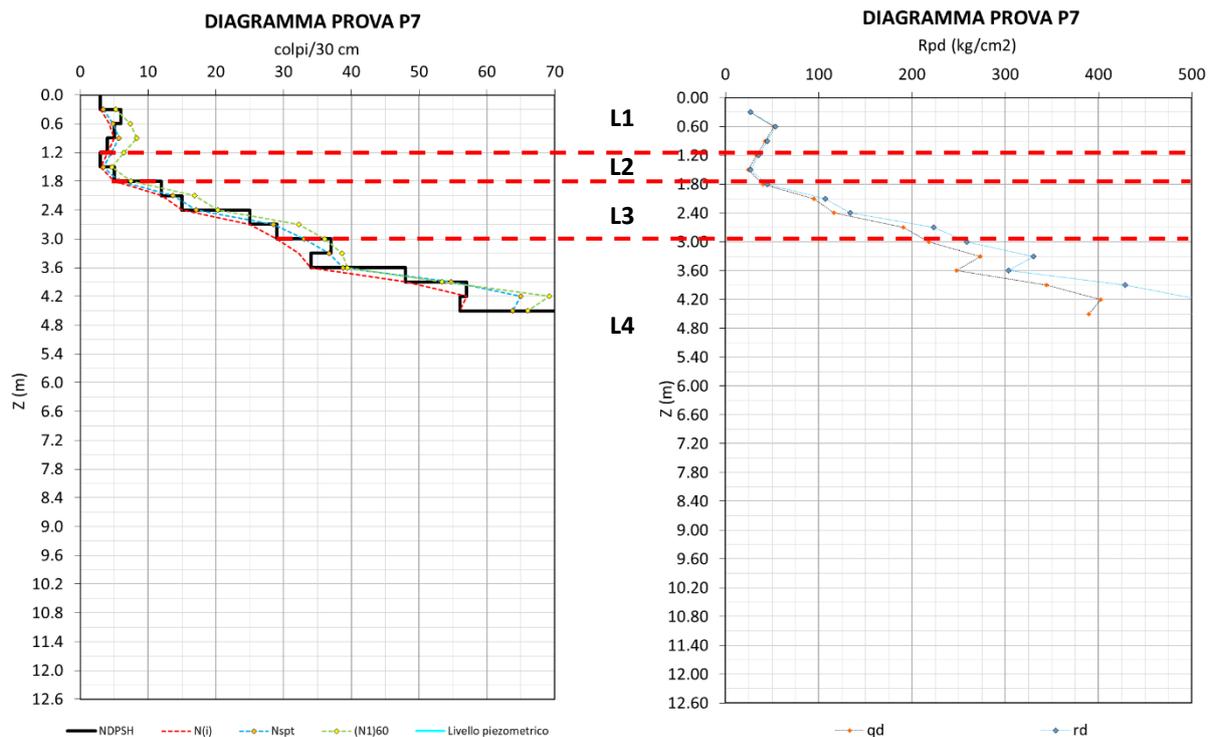
L1
L2
L3
L4

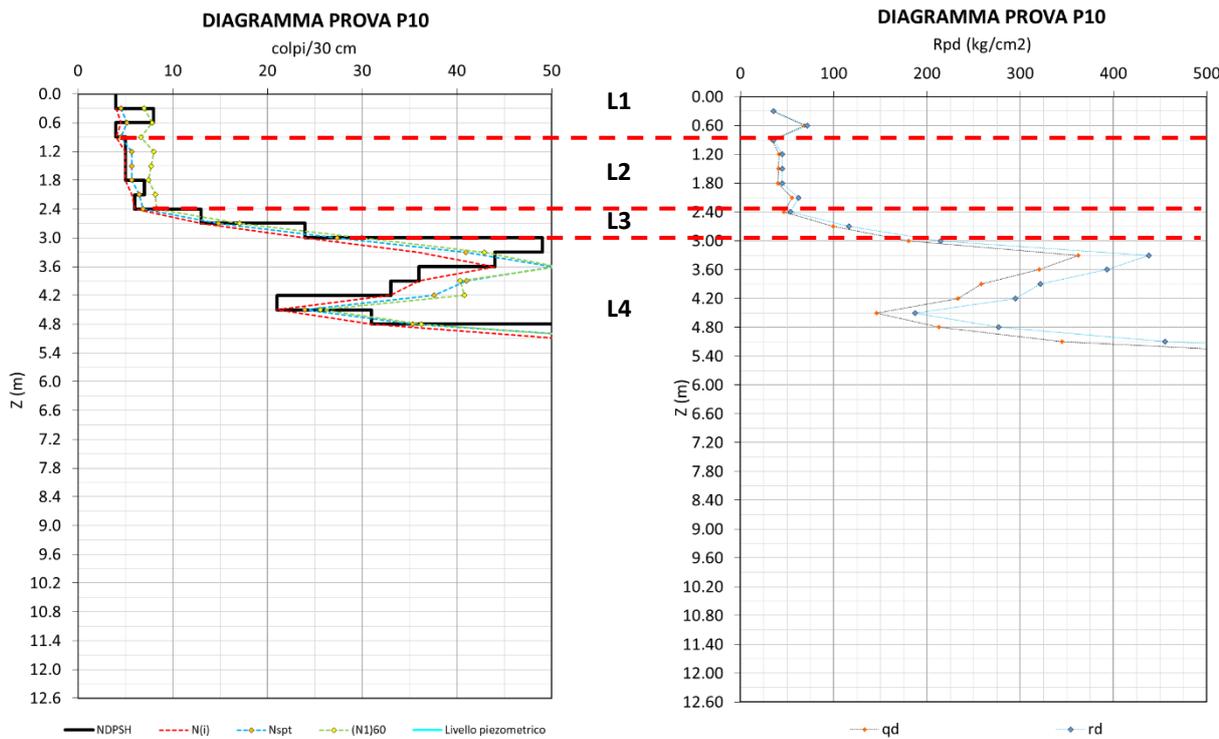
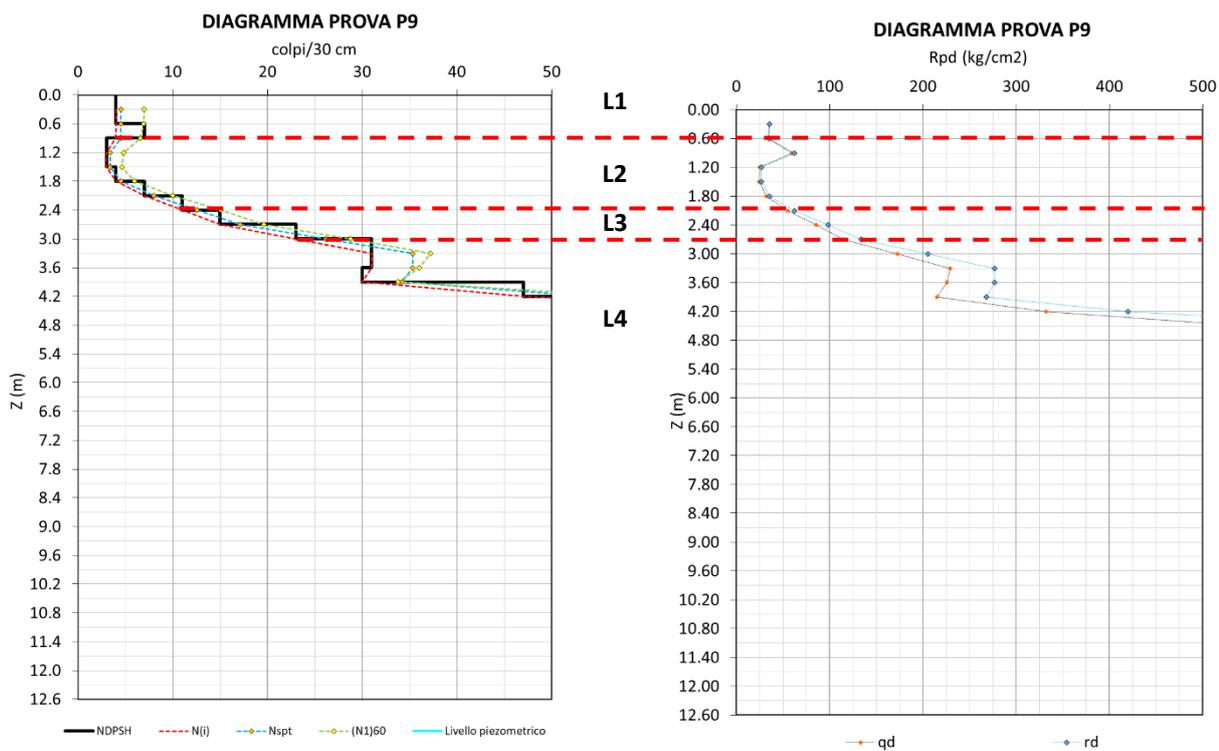


L1
L2
L3
L4









10.2. Parametrizzazione meccanica dei materiali investigati

In considerazione delle litologie attraversate con le prove penetrometriche, in base al modello geologico del sito, è stato assegnato al sottosuolo un comportamento meccanico prevalentemente granulare di tipo attritivo per tutte le litozone individuate; sono stati pertanto definiti i relativi parametri di resistenza drenata e il modulo di deformazione elastico secante al 50% dello sforzo a rottura. Le principali relazioni empiriche utilizzate sono di seguito riportate:

PRINCIPALI PARAMETRI MECCANICI – RELAZIONI EMPIRICHE ADOTTATE				
PARAMETRO DERIVATO	PARAMETRO SPERIMENTALE	AUTORE DELLA RELAZIONE	CAMPO DI VALIDITÀ	UNITÀ LITOTECNICA PARAMETRIZZATA
Peso di volume naturale	$N_{DPSH} \rightarrow r_d \rightarrow q_{c(eq)}$	Robertson, 2010	Tutti i terreni	L1 – L2 – L3 – L4
Densità relativa	N_{SPT}	Yoshida & Kokusho, 1988	Tutti i terreni granulari	L1 – L2 – L3 – L4
Angolo di resistenza al taglio	$(N_1)_{60}$	Meyerhof, 1965	Sabbia con fine	L1 – L2
Angolo di resistenza al taglio	$(N_1)_{60}$	Shioi & Fukuni, 1982	Sabbia medio-grosse fino a sabbie ghiaiose	L3 – L4
Modulo di deformazione elastico secante	$(N_1)_{60}$	Webb, 1970	Sabbia con fine plastico	L1 – L2
Modulo di deformazione elastico secante	$(N_1)_{60}$	D’Apollonia et al., 1970	Ghiaia e sabbia	L3 – L4
Coesione non drenata	N_{SPT}	Hara et al., 1971	Tutti i terreni coesivi	L2

Nella tabella seguente sono stati definiti gli intervalli di valori dei principali parametri geotecnici assegnati alle litozone individuate nel sottosuolo del sito oggetto d’intervento:

- la litozona L1 è uniformemente distribuita in superficie ed è estesa fino alla profondità di – 0.9 / – 1.2 m dall’attuale piano campagna;
- la litozona L2 è piuttosto variabile in spessore ed è estesa fino alla profondità di – 1.8 / – 3.0 m dall’attuale piano campagna; essa può localmente presentare comportamento prevalentemente coesivo;
- la litozona L3 è piuttosto variabile in spessore ed è estesa fino alla profondità di – 2.7 / – 3.9 m dall’attuale piano campagna;
- La litozona L4 si estende fino alla profondità di – 9.0 m dall’attuale piano campagna.

**VARIABILITA' DEI PARAMETRI MECCANICI desunti dalle prove DPSH
relativi al sottosuolo del sito investigato (Scuole Bettinzoli – Comune di Brescia (BS))**

LITOZONA	Descrizione litotipo prevalente	γ_n (kN/m ³)	D_r (%)	ϕ' (°)	c' (kPa)	E (MPa)	C_u (kPa)
L1	Sabbia limosa debolmente argillosa da soffice a poco consistente	17-19	30-60	27-33	0	3-8	-
L2	Limo argilloso debolmente ghiaioso da soffice a poco consistente	17-19	30-50	26-30	0	3-6	70-150
L3	Ghiaia e sabbia debolmente limosa da mod. addensata ad addensata	19-20	40-70	30-37	0	20-40	-
L4	Ghiaia con sabbia e ciottoli da addensata a molto addensata	20-21	60-95	34-44	0	30-80	-

γ_n	peso di volume naturale	D_r	densità relativa	ϕ'	angolo di resistenza al taglio
c'	coesione drenata	C_u	coesione non drenata		
E	modulo di deformazione elastico				

In allegato n. 7 sono riportate 3 sezioni litotecniche interpretative dell'andamento geometrico areale delle interfacce di separazione tra le diverse unità litotecniche individuate, alle quali sono stati assegnati dei valori medi rappresentativi dei principali parametri geotecnici, desunti dalla campagna d'indagine eseguita e descritta nel presente documento.

Per quanto riguarda i valori del coefficiente di permeabilità si è fatto riferimento a valori desunti da prove di permeabilità in foro di sondaggio eseguite nelle immediate vicinanze del sito (via Sardegna).

11. Considerazioni finali

Il presente documento costituisce la relazione geologica per il documento d’indirizzo alla progettazione e ha la finalità di fornire una caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica preliminare dell’area oggetto di riqualificazione urbana, individuando eventuali fattori di criticità.

Gli esiti degli studi geologici descritti nella presente relazione sono di seguito riassunti:

1. il sito non evidenzia fenomeni di instabilità attivi e/o quiescenti e non ricade all’interno di zone a rischio idraulico; è caratterizzato dalla presenza di un orizzonte superficiale di litologia prevalentemente sabbioso limosa debolmente argillosa passante in profondità a limo argilloso debolmente ghiaioso, da soffice a poco consistente, di spessore complessivo dell’ordine dei 2-3 m, poggiante su depositi di natura alluvionale costituiti da ghiaia e sabbia debolmente limosa da moderatamente addensata ad addensata passante in profondità a ghiaia con sabbia e ciottoli da addensata a molto addensata (unità geologica G); a partire dai 9 m di profondità sono presenti ghiaie e sabbie debolmente limose estese per circa 10 m (unità geologica GA intercettata in corrispondenza di una sola verticale d’indagine); oltre si rinvencono ghiaie conglomeratiche (unità geologica GC), sede della falda freatica;
2. il sottosuolo del sito presenta una conformazione assimilabile ad un modello monodimensionale a strati piano e paralleli, tale da legittimare l’utilizzo di metodi semplificati per la stima dei fenomeni di amplificazione sismica; la presenza dell’orizzonte ghiaioso con ciottoli esteso dai 4 ai 6 m circa genera una piccola inversione di velocità con la profondità, che può ragionevolmente essere trascurata ai fini della risposta sismica di sito; si evidenziano fenomeni di risonanza alle frequenze comprese tra 15 e 20 Hz (presenza dell’orizzonte di ghiaia e ciottoli) e tra 3 e 4 Hz (presenza dell’orizzonte di ghiaie conglomeratiche);
3. il sito può essere attribuito alla **categoria topografica T1** e alla **categoria di sottosuolo C**;
4. nel sottosuolo del sito la falda freatica presenta soggiacenza superiore a 15-20 m e pertanto il terreno di fondazione non risulta liquefacibile; dati recenti relativi ad un pozzo irriguo presso il Parco Gallo assegnano valori di soggiacenza di 24.4 m dal p.c.;
5. il volume di sottosuolo investigato mediante le prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH ha interessato profondità massime di 12-13 m, ma generalmente le profondità sono state limitate a 4-7 m per il forte addensamento dell’orizzonte ghiaioso con ciottoli, che si è mostrato impenetrabile per raggiungimento del rifiuto geotecnico; per la parametrizzazione del

sottosuolo è stato considerato un comportamento meccanico generalmente di tipo granulare descritto in termini di resistenza dal criterio di rottura di Mohr-Coulomb e in termini di deformabilità dalla teoria elastica; sono stati individuati i principali parametri meccanici che meglio descrivono il comportamento dei materiali investigati ed individuate le loro variabilità in senso verticale e laterale;

6. il sottosuolo del sito è stato pertanto modellato in 4 unità litotecniche, per le quali sono stati forniti valori indicativi medi dei principali parametri geotecnici; sono state individuate le unità superficiali a granulometria più fine L1 e L2, estese complessivamente fino a profondità variabili da 1.8-3.0 m di profondità e le unità L3 e L4, di natura ghiaioso sabbiosa, estese fino alla profondità investigata di 12-13 m, ma che può ragionevolmente essere estesa, sulla base di conoscenze geologiche pregresse, fino ad almeno 20 m dall’attuale piano campagna; non sono state caratterizzate le unità geologiche più profonde, presenti oltre i 20 m, in quanto ritenute non comprese nel volume geologico significativo dell’intervento;
7. in merito alla necessità di rispetto dei criteri di invarianza idraulica ed idrologica, ai sensi del R.R. n. 7/2017 e s.m.i., esistono le condizioni litologiche per prevedere lo smaltimento delle acque meteoriche nel sottosuolo negli orizzonti permeabili posti a profondità superiori a 2-3 m, previo adeguato dimensionamento dei sistemi di smaltimento basati sugli esiti di specifiche prove di permeabilità in sito.

Sulla base di quanto sopra descritto nel sito non si rilevano particolari limitazioni di carattere geologico, geotecnico e sismico; ai fini della caratterizzazione geotecnica del sottosuolo sarà possibile far riferimento in linea preliminare ai dati contenuti nel presente documento, con l’accortezza di prevedere, per l’unità litotecnica L2, qualora coinvolta nel terreno di fondazione delle nuove opere di progetto, approfondimenti di natura meccanica tramite prelievo di campioni indisturbati ed esecuzioni di prove geotecniche di laboratorio per la determinazione dei parametri drenati di resistenza e dei parametri di deformabilità a lungo termine.

Si resta a disposizione per qualsiasi chiarimento si rendesse necessario.



Il geologo incaricato
Dott. Geol. Massimo Compagnoni

ALLEGATI

- Allegato n. 1: Carta Geologica
- Allegato n. 2: Foto-aerea con ubicazione delle indagini sito-specifiche
- Allegato n. 3: Rapporto di indagine HVSR
- Allegato n. 4: Rapporto di indagine di sismica a rifrazione in fase P
- Allegato n. 5: Rapporto di indagine MASW
- Allegato n. 6: Diagrammi sperimentali delle prove penetrometriche
- Allegato n. 7: Sezioni litotecniche interpretative

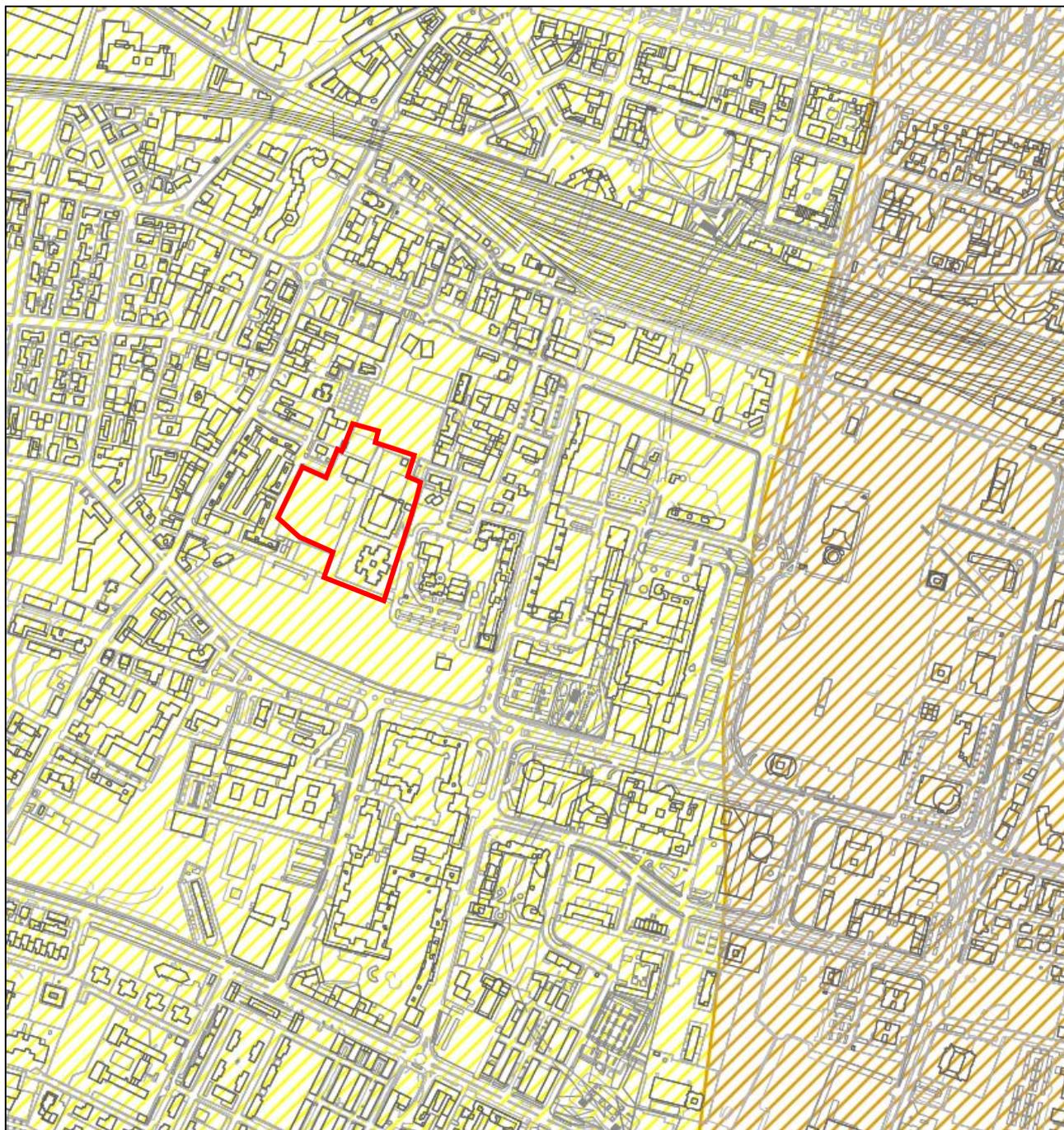
Dott. Geol. Massimo Compagnoni

Studio di Geologia Applicata Ambientale e Territoriale

Via Giovanni Falcone, 5/7 – Rovato (BS) – Tel. 3384679767 – email massimo.compagnoni@geo3studio.it

ALLEGATO n. 1

Carta geologica



LEGENDA



ZONA DI FONDOVALLE ALLUVIONALE OLOCENICA

Deposito alluvionale antico connesso alla dinamica fluviale del Fiume Mella, costituito da ghiaie e sabbie in matrice limosa passanti in profondità a ghiaie con ciottoli e locali croste conglomeratiche e a sabbie ghiaiose; lo strato superficiale di alterazione presenta spessore variabile da 1 a 3 m, comprendenti suoli principalmente del tipo fine, mixed, active, mesic Typic Hapludalfs



ZONA DI FONDOVALLE FLUVIO-GLACIALE PLEISTOCENICA

Deposito fluvio-glaciale ghiaioso, sabbioso e limoso con strato di alterazione superficiale argilloso da brunastro a giallo-rossiccio di ridotto spessore, localmente ricoperti da una più o meno esigua coltre limosa comprendenti suoli del tipo fine, mixed, active, mesic Typic Hapludalfs



SITO DI STUDIO



N

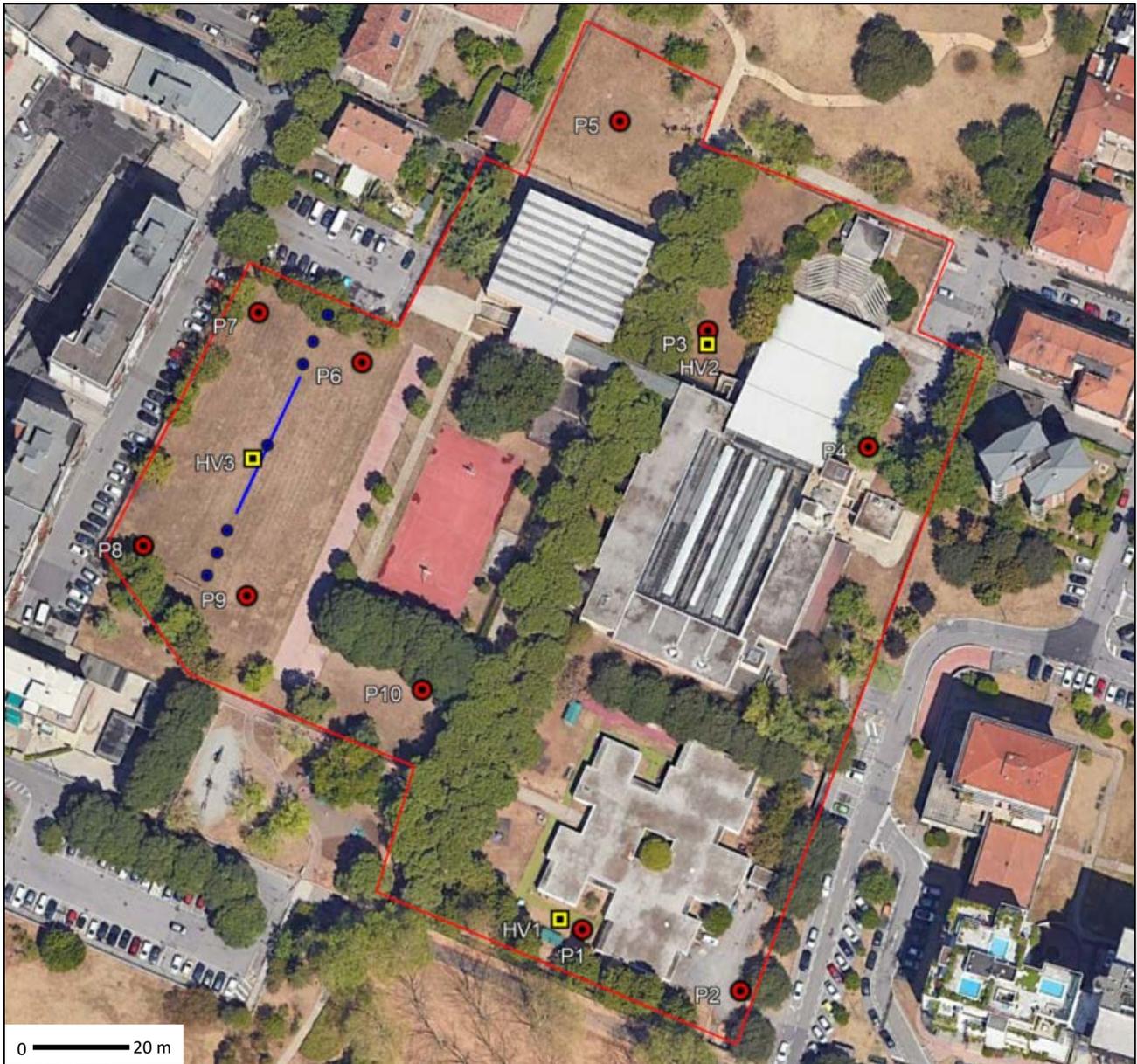
Dott. Geol. Massimo Compagnoni

Studio di Geologia Applicata Ambientale e Territoriale

Via Giovanni Falcone, 5/7 – Rovato (BS) – Tel. 3384679767 – email massimo.compagnoni@geo3studio.it

ALLEGATO n. 2

Foto-aerea con ubicazione delle indagini sito-specifiche



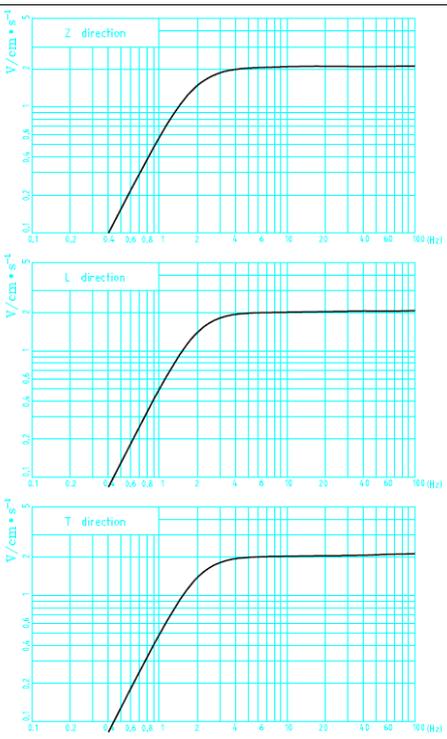
LEGENDA

-  Prova penetrometrica dinamica super-pesante DPSH tipo AGI-MEARDI
-  Acquisizione di rumore sismico ambientale a stazione singola
-  Acquisizione di sismica a rifrazione in onde P e MASW con punti di energizzazione attiva
-  Delimitazione dell'area oggetto d'indagine



ALLEGATO n. 3

Rapporto di indagine HVSR

TIPO e CARATTERISTICHE DEL SENSORE UTILIZZATO		
SENSORE TRIDIREZIONALE GEMINI-2		
	<i>Frequenza naturale</i>	2 Hz ± 10 %
	<i>Sensibilità</i>	2V/cm*s ⁻¹ ± 10 %
	<i>Resistenza interna</i>	5.8 KΩ ± 5 %
	<i>Smorzamento</i>	0.7 ± 10 %
	<i>Distorsione armonica</i>	≤ 0.2 %
	<i>Temperatura di utilizzo</i>	Da – 25° C a + 55° C
	<i>Dinamica acquisitore integrato</i>	24 bit 144 dB

1. Cenni teorici

Il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è finalizzato all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di un sito, le quali risultano correlabili a contatti litologici presenti nel sottosuolo e caratterizzati da un sufficiente contrasto di impedenza sismica in termini di rigidità.

Il rumore sismico ambientale o micro-tremore è caratterizzato da vibrazioni ambientali di bassa energia con ampiezze dell'ordine dei 10^{-2} - 10^{-4} mm, non percepibili dall'uomo, e originate da una molteplicità di sorgenti agenti a diverse frequenze: le onde marine e le perturbazioni atmosferiche contribuiscono al campo d'onda prevalentemente con frequenze inferiori a 0.5 Hz, mentre il vento, il traffico veicolare e le attività antropiche contribuiscono prevalentemente a frequenze superiori a 0.5 Hz. La tecnica a stazione singola analizza, in termini di ampiezza, il campo delle vibrazioni ambientali, sfruttando la sua irregolarità temporale, in quanto questa è legata all'indipendenza dinamica delle sorgenti e alla molteplicità dei percorsi delle onde da esse generate; questa irregolarità permette di definire la struttura media del segnale costituente il campo delle vibrazioni ambientali come statisticamente indipendente dalla natura e posizione delle sorgenti e di considerare quindi il segnale acquisito condizionato esclusivamente dalla struttura del sottosuolo. L'ipotesi di base è pertanto la presenza di sorgenti distribuite in modo statisticamente omogeneo attorno al sito di misura, che si attivano in modo non coordinato tra loro. In particolare la tecnica HVSR permette di determinare la curva sperimentale che rappresenta il rapporto tra le ampiezze spettrali medie delle componenti orizzontali e quelle della componente verticale delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza (Nogoshi e Igarashi, 1970; Nakamura, 1989).

2. Strumentazione utilizzata e metodo di acquisizione

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata è costituita da una terna geofonica del tipo Gemini-2 della Pasi.

Il sensore utilizzato è stato posizionato in tre punti all'interno del sito di studio indicati in allegato n. 1 con le sigle HV1, HV2 e HV3; la solidità del sensore al terreno è garantita attraverso infissione di appositi puntali, mentre l'orizzontalità è garantita tramite l'utilizzo di una bolla sferica.

Il sensore è stato orientato secondo i punti cardinali; l'acquisizione è stata eseguita con tempo meteorologico sereno, privo di vento significativo; la durata delle acquisizioni è stata di almeno 20' ciascuna con frequenza di campionamento di 200 Hz.

Si ricorda infatti che, siccome le misure di tipo passivo mirano a determinare caratteristiche medie del moto del suolo associato alle vibrazioni ambientali, è necessario che le misure risultino statisticamente rappresentative del fenomeno analizzato; la durata dell’acquisizione deve pertanto essere commisurata alla frequenza d’indagine di interesse: nell’intervallo di interesse ingegneristico compreso tra 0.1 e 20 Hz un campionamento adeguato deve durare almeno 15-40 minuti, in modo da garantire un’analisi del segnale su un numero sufficiente di finestre di lunghezza adeguata, considerando inoltre che l’intervallo utile di acquisizione si riduce a causa della rimozione dei disturbi in grado di alterare lo spettro medio, situazione che in alcuni siti può essere particolarmente frequente.

3. Metodo di elaborazione

L’elaborazione delle acquisizioni passive a stazione singola è stata eseguita selezionando l’intervallo centrale di 20’, eliminando la prima parte poco rappresentativa legata alla fase di stabilizzazione del sensore e la parte finale, disturbata dalle operazioni di spegnimento dell’acquisitore; sono stati inoltre rimossi eventuali transienti presenti nella registrazione, attraverso rimozione manuale.

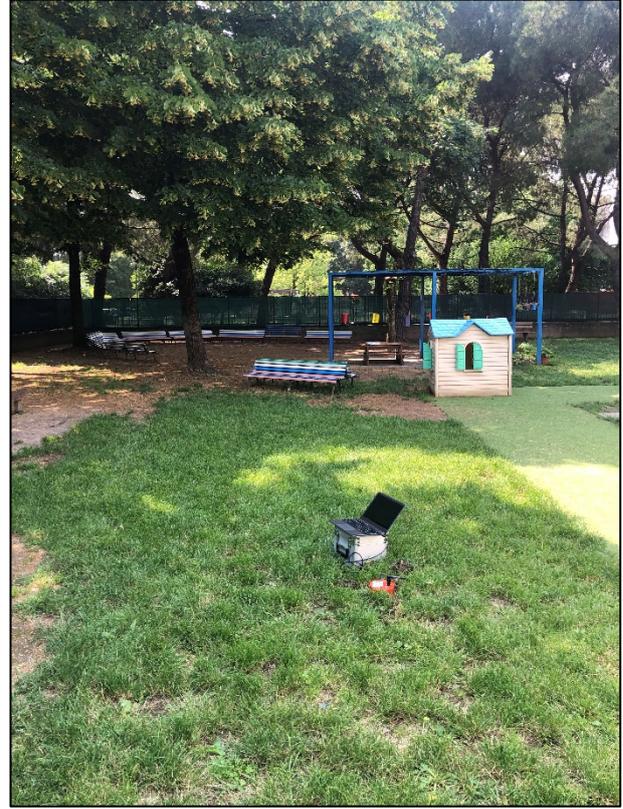
Il segnale ottenuto per ciascuna acquisizione è stato segmentato in finestre di campionamento, il cui numero e lunghezza minima sono funzione della frequenza principale di risonanza f_0 ; per ciascuna finestra di elaborazione (fissata pari a 20 s) sono calcolati gli spettri di Fourier di ciascuna componente, prevedendo una procedura di lisciamento con un’opportuna funzione di smoothing (lisciamento secondo filtro Konno & Ohmachi con costante di smoothing pari a 40); per ciascuna finestra vengono combinati gli spettri delle componenti orizzontali con una media quadratica e calcolato, frequenza per frequenza, il rapporto tra la componente orizzontale così ottenuta e quella verticale; il rapporto HVSR è dato dalla media del valore spettrale delle componenti orizzontali (NS e EW) e il valore spettrale della componente verticale (Z), secondo la formula:

$$HVSR = \frac{\sqrt{NS^2 + EW^2}}{Z}$$

I risultati ottenuti da ciascuna finestra di elaborazione sono stati elaborati statisticamente, definendo la curva HV media con la relativa deviazione standard e, per le stesse finestre di elaborazione, è stata analizzata la direzionalità del campo d’onda acquisito.

L’elaborazione dei segnali è stata eseguita tramite il software *Geopsy 3.3.3* (*Geopsy team, SESAME European Project, 2005*).

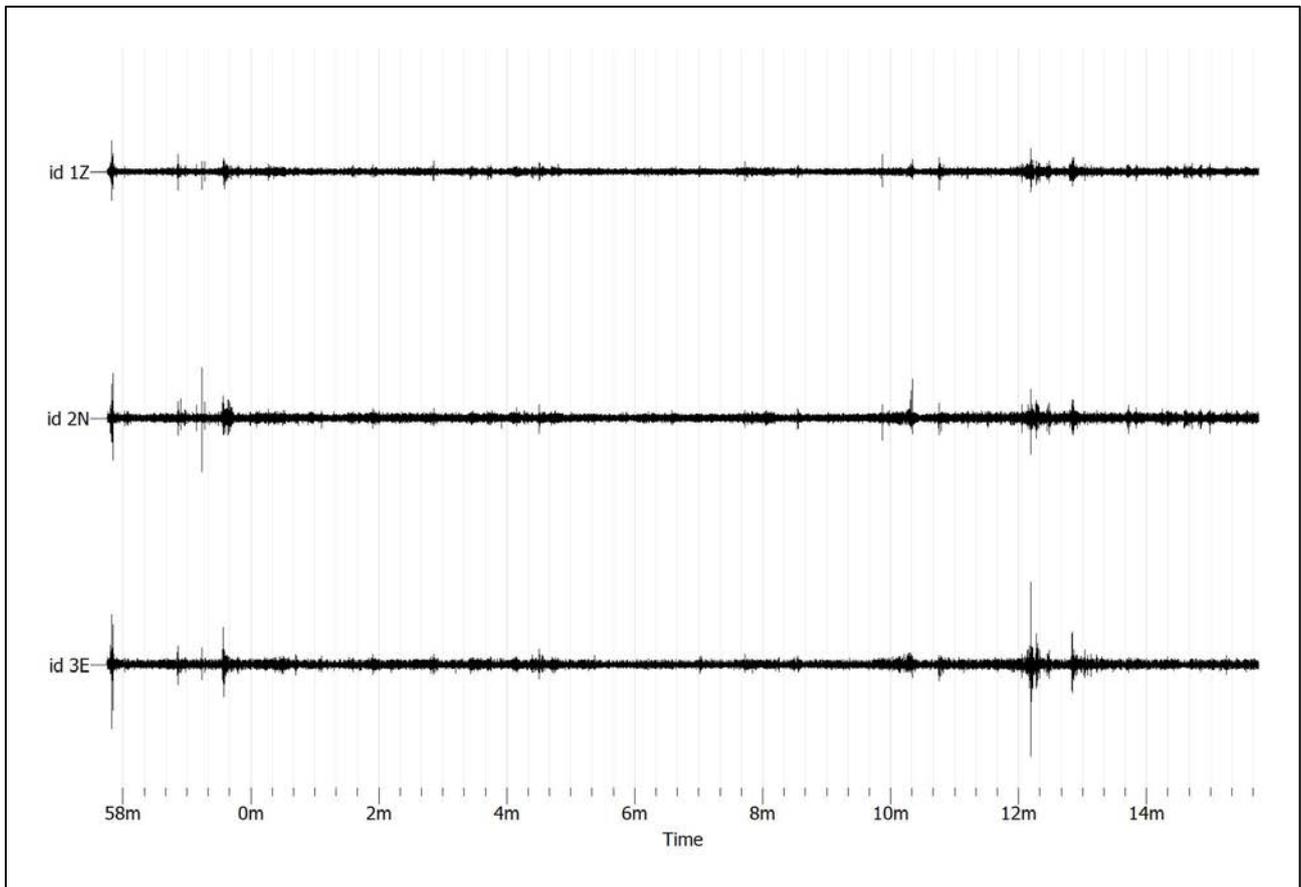
4. Sintesi risultati dell’acquisizione HV1 (scuola materna)



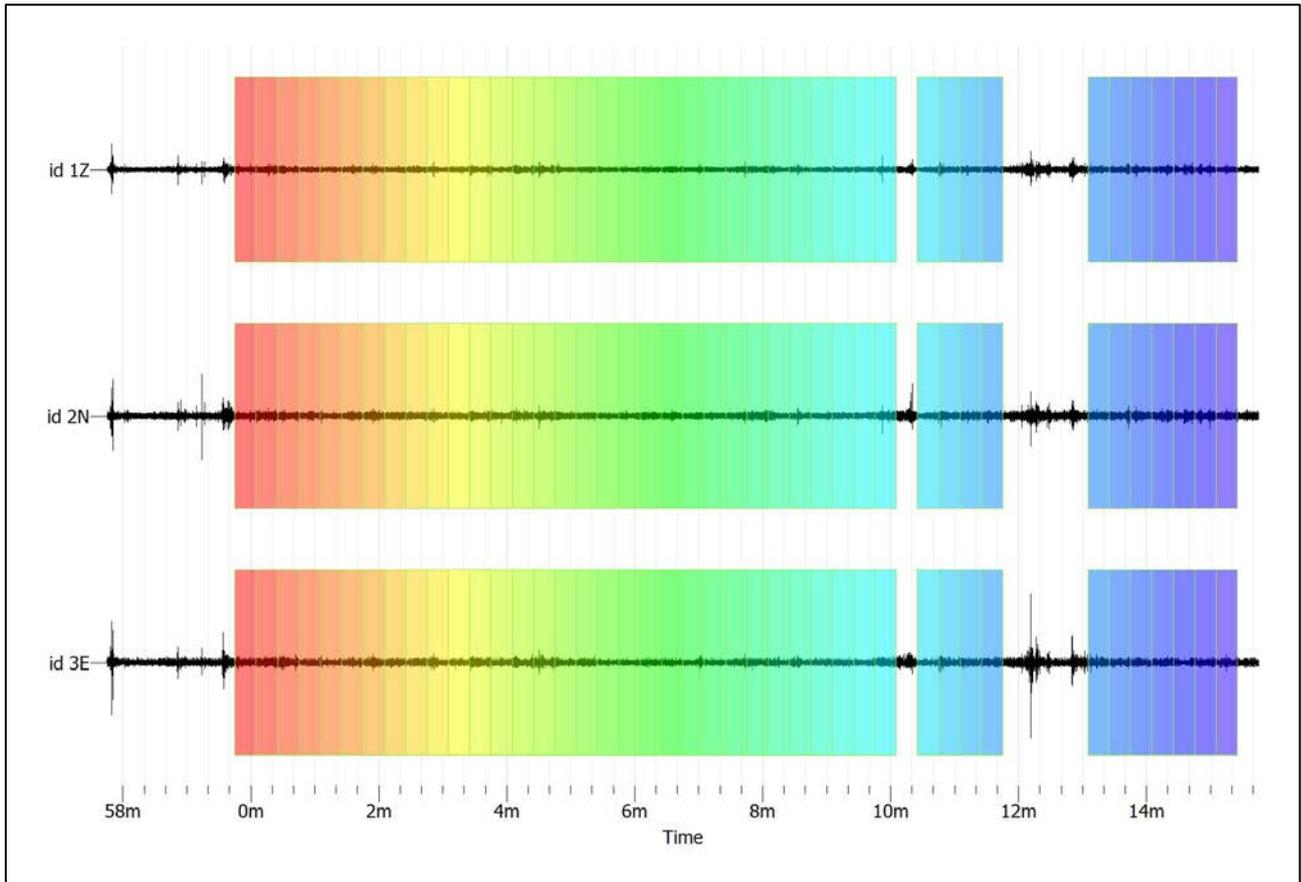
Inquadramento installazione HV1



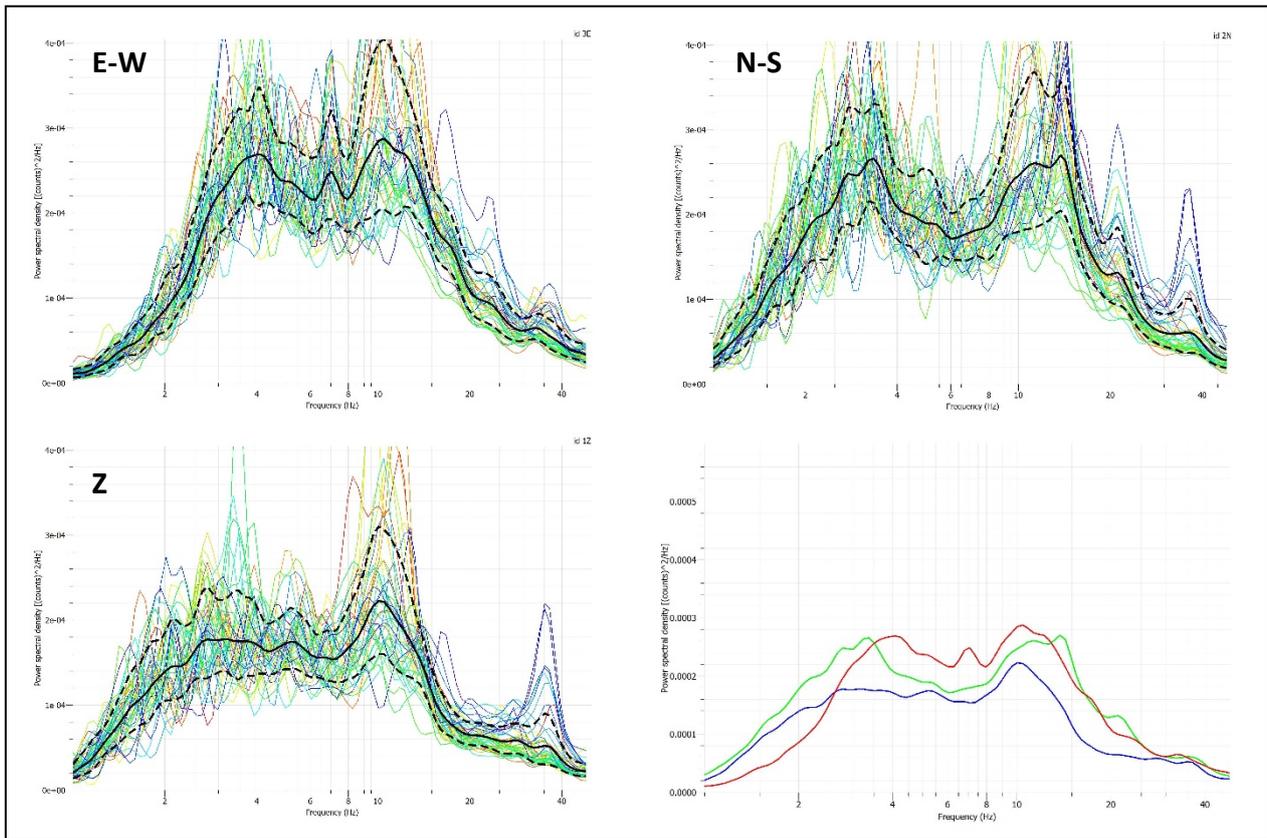
Dettaglio del sensore di acquisizione HV1



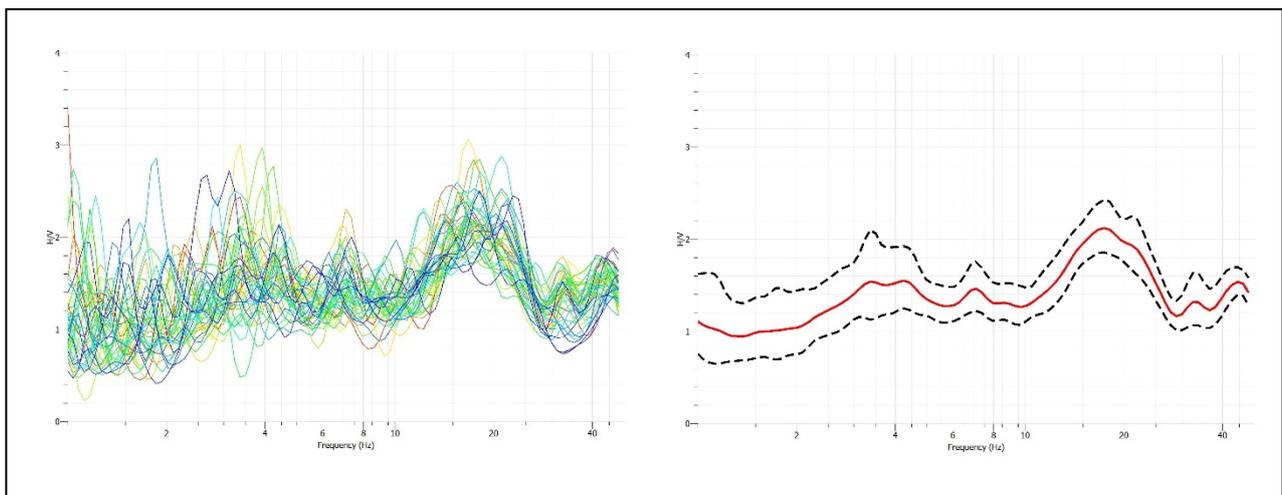
Campo di moto acquisito nelle tre direzioni – Acquisizione HV1



Rimozione transienti e fenestratura segnale utile (numero 42 finestre di lunghezza 20 s senza sovrapposizione) – HV1



Spettri di ampiezza calcolati per ciascuna finestra e per ciascuna componente: in basso a destra gli spettri di ampiezza medi di ciascuna componente (Z: Blu – E-W: Rossa – N-S: Verde) – HV1



Curve HV calcolate per ciascuna finestra di elaborazione (sx) e curva HV media e relativa deviazione standard (dx) HV1

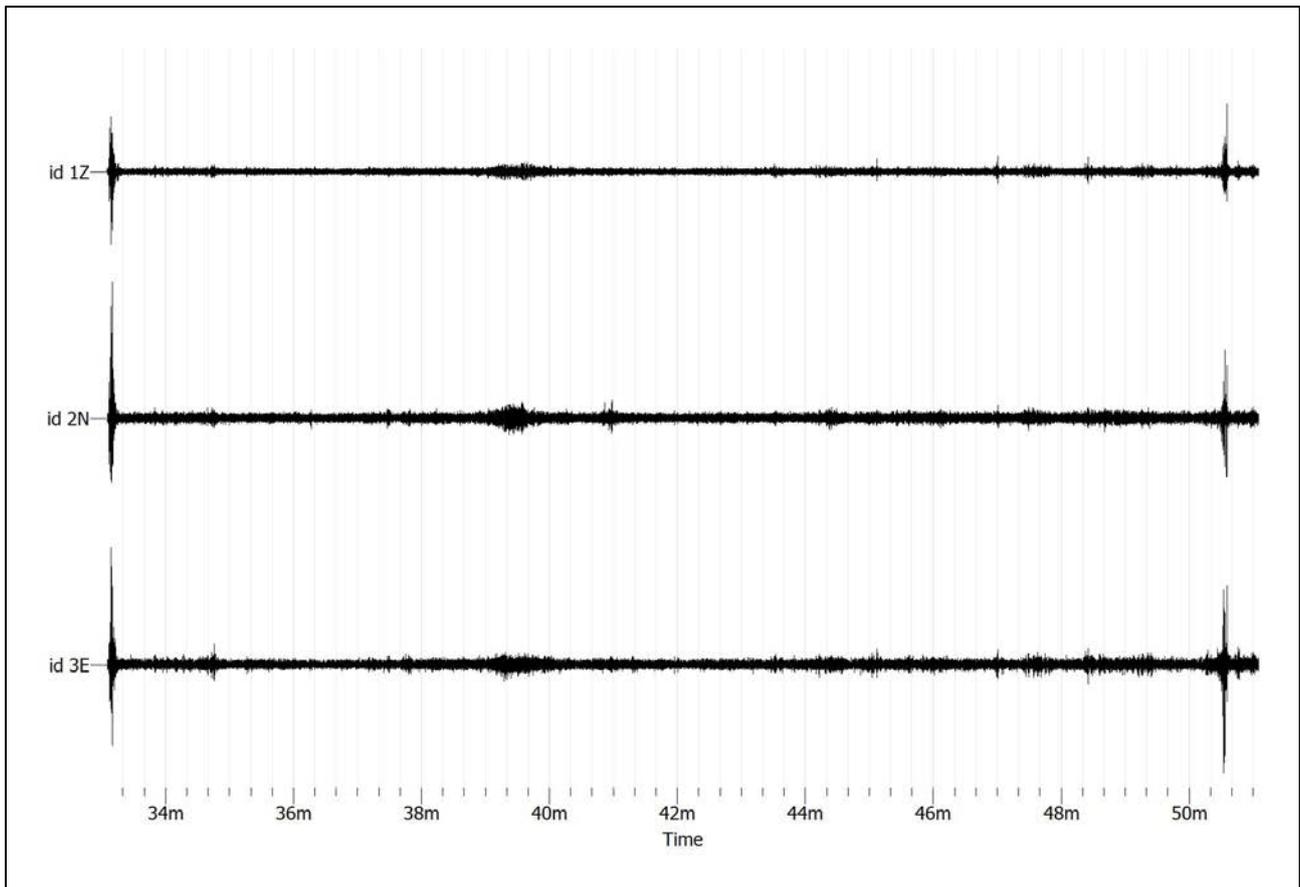
5. Sintesi risultati dell’acquisizione HV2 (tra palestra e scuola bottega)



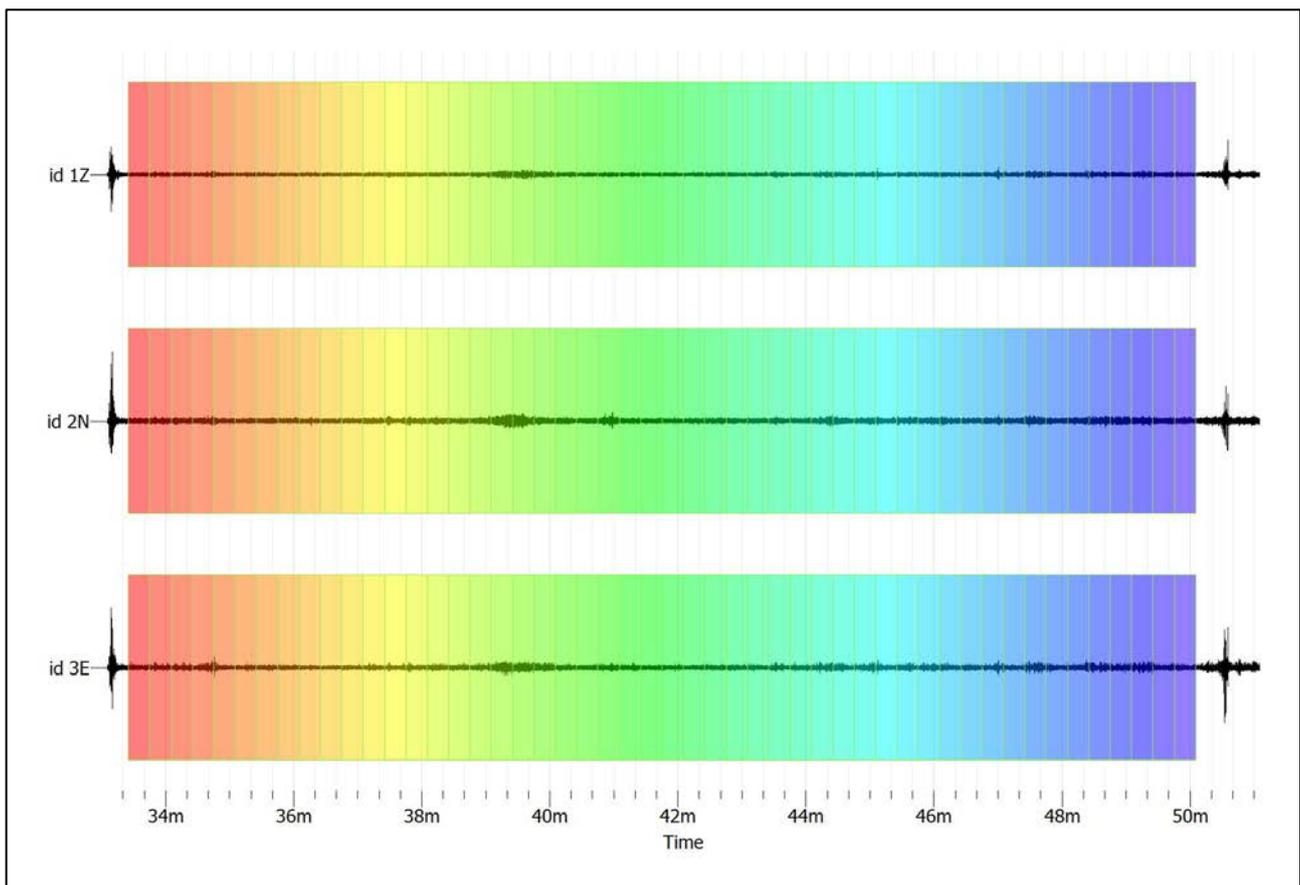
Inquadramento installazione HV2



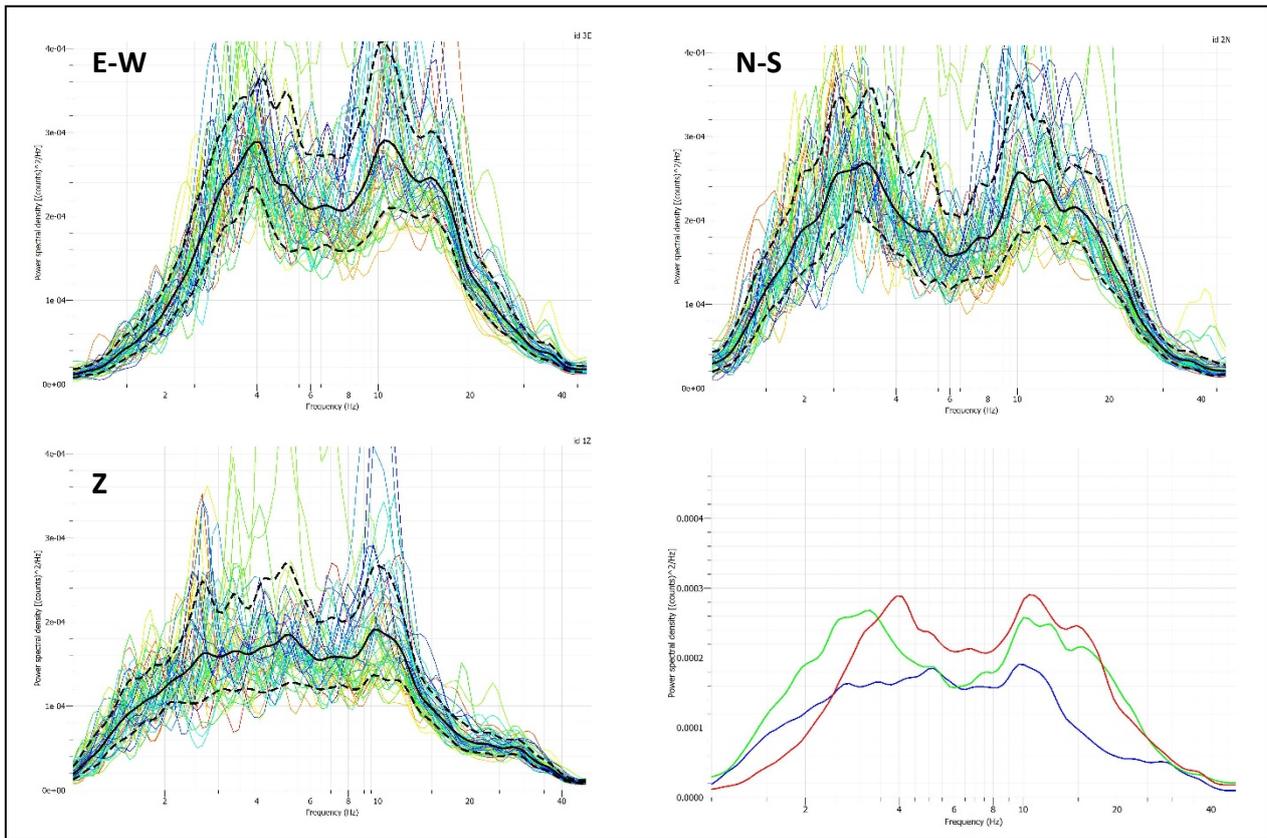
Dettaglio del sensore di acquisizione HV2



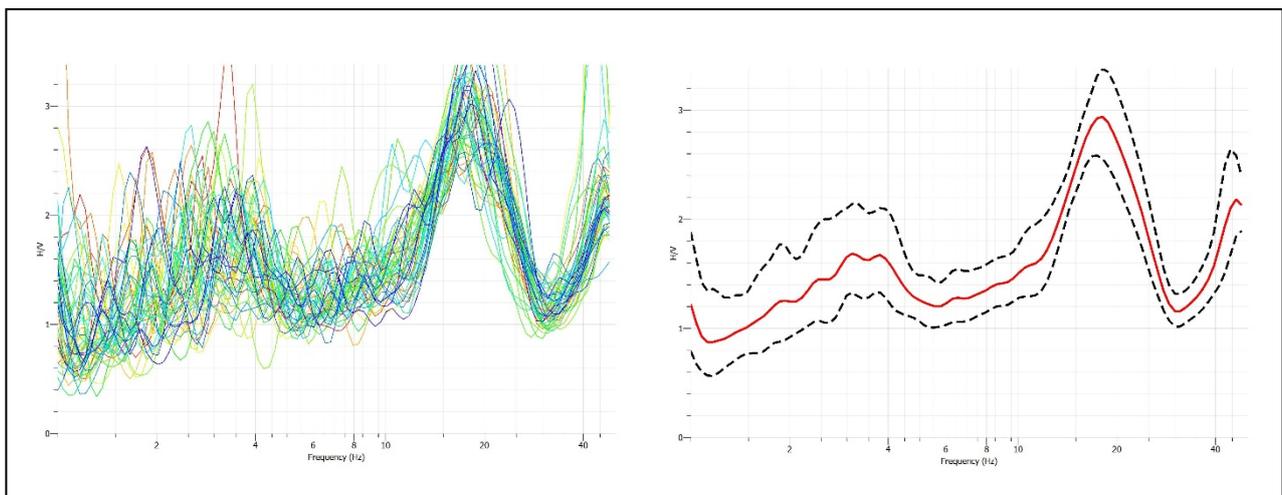
Campo di moto acquisito nelle tre direzioni – Acquisizione HV2



Rimozione transienti e fenestratura segnale utile (numero 50 finestre di lunghezza 20 s senza sovrapposizione) – HV2



Spettri di ampiezza calcolati per ciascuna finestra e per ciascuna componente: in basso a destra gli spettri di ampiezza medi di ciascuna componente (Z: Blu – E-W: Rossa – N-S: Verde) – HV2



Curve HV calcolate per ciascuna finestra di elaborazione (sx) e curva HV media e relativa deviazione standard (dx) HV2

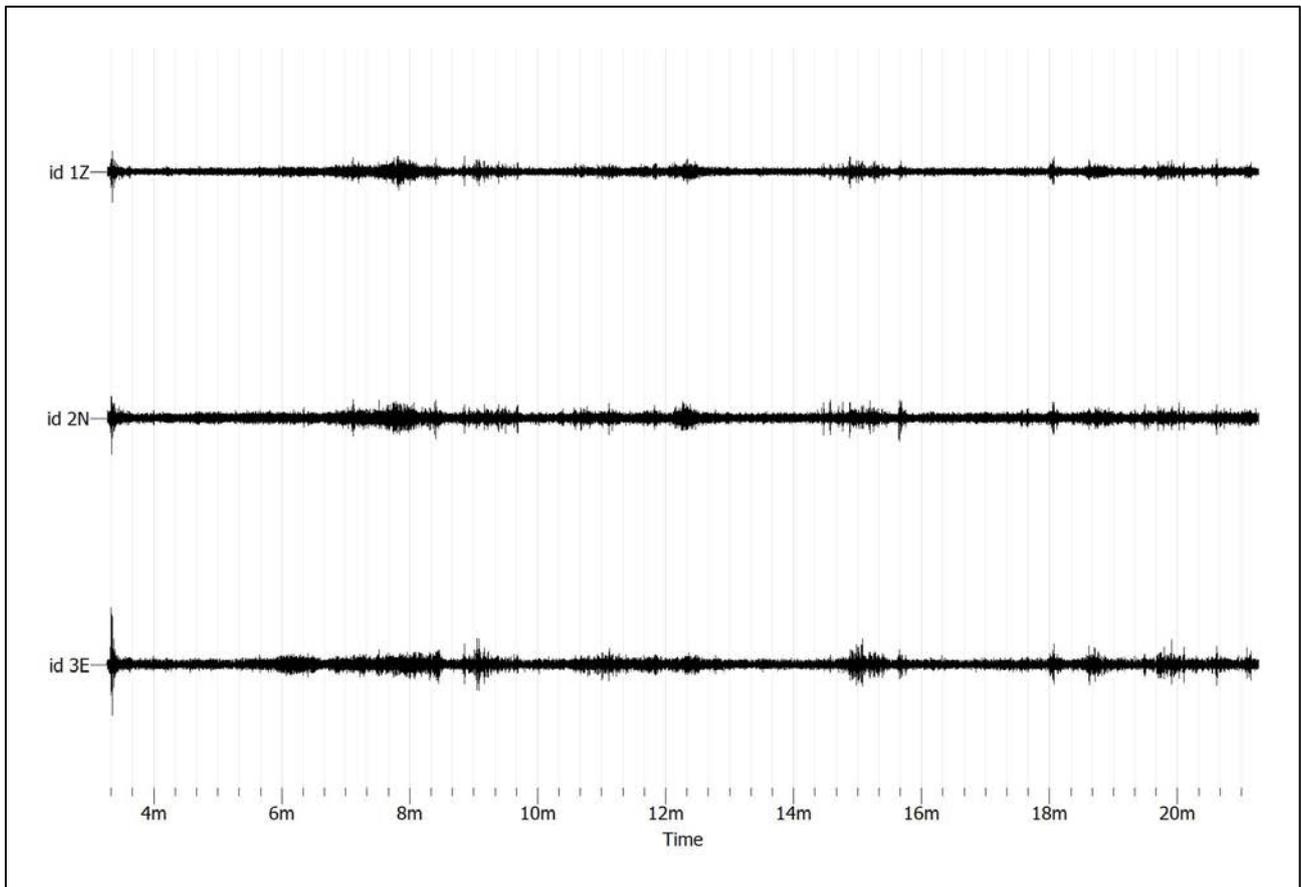
6. Sintesi risultati dell’acquisizione HV3 (campo da calcio in erba)



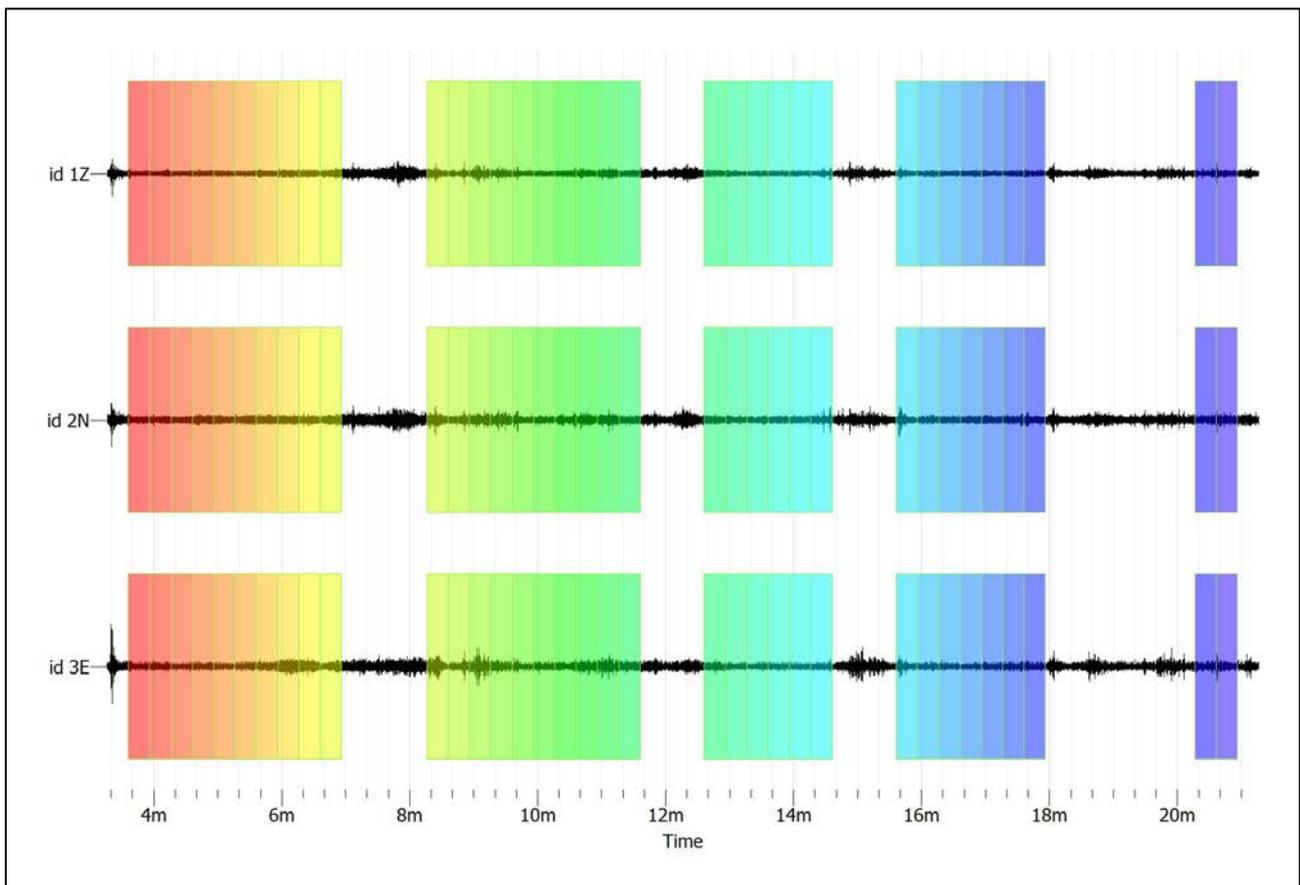
Inquadramento installazione HV3



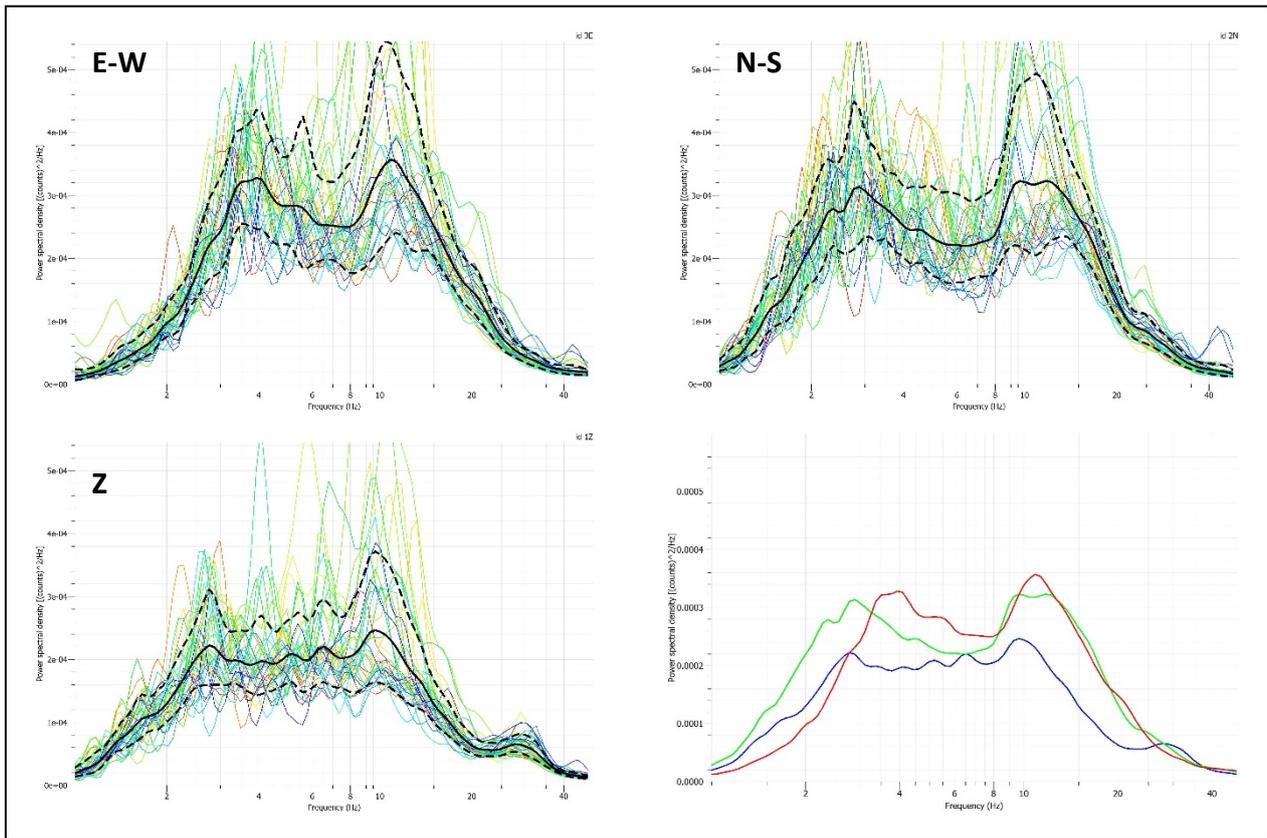
Dettaglio del sensore di acquisizione HV3



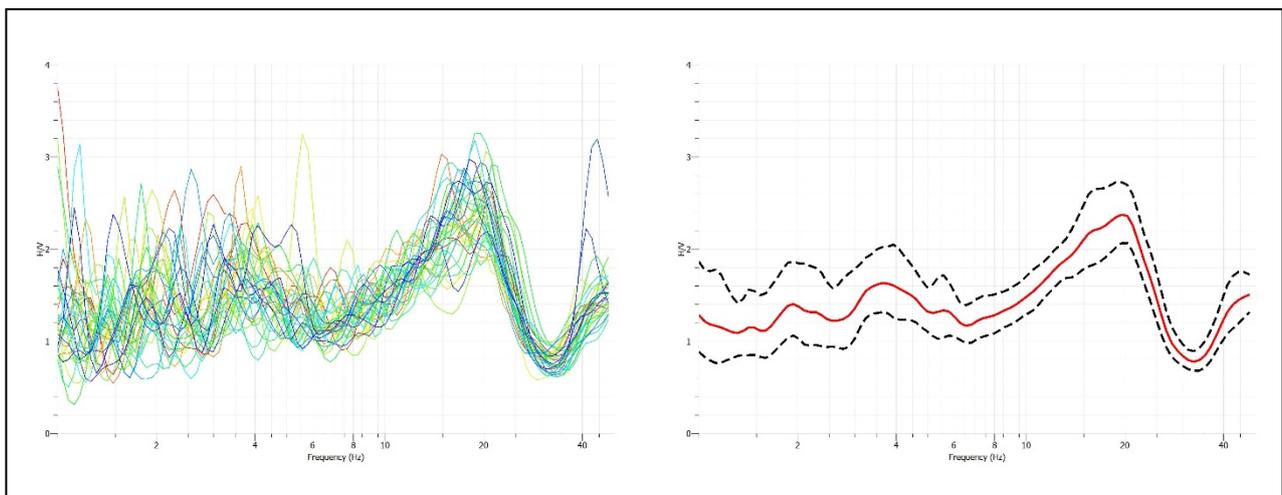
Campo di moto acquisito nelle tre direzioni – Acquisizione HV3



Rimozione transienti e fenestratura segnale utile (numero 35 finestre di lunghezza 20 s senza sovrapposizione) – HV3



Spettri di ampiezza calcolati per ciascuna finestra e per ciascuna componente: in basso a destra gli spettri di ampiezza medi di ciascuna componente (Z: Blu – E-W: Rossa – N-S: Verde) – HV3



Curve HV calcolate per ciascuna finestra di elaborazione (sx) e curva HV media e relativa deviazione standard (dx) HV3

7. Direzionalità spaziale

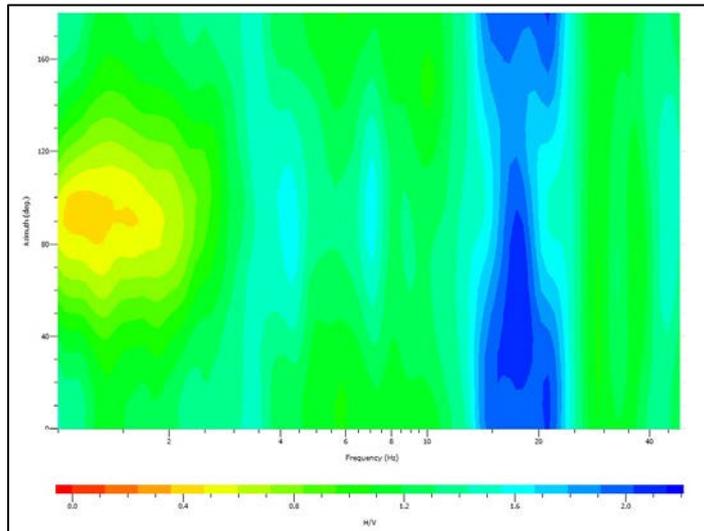


Grafico di direzionalità della curva HV – Acquisizione HV1

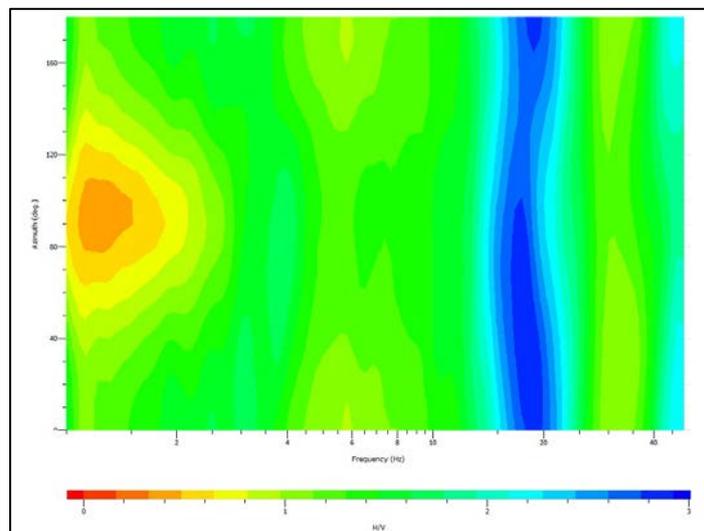


Grafico di direzionalità della curva HV – Acquisizione HV2

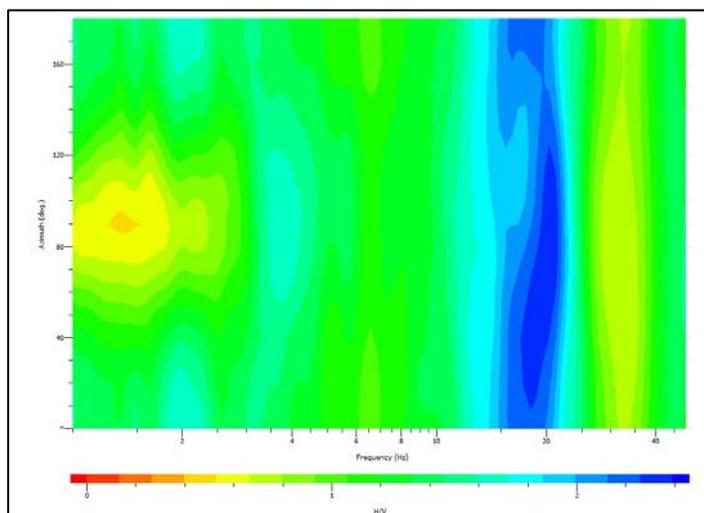


Grafico di direzionalità della curva HV – Acquisizione HV3

8. Criteri SESAME e analisi dei picchi HV

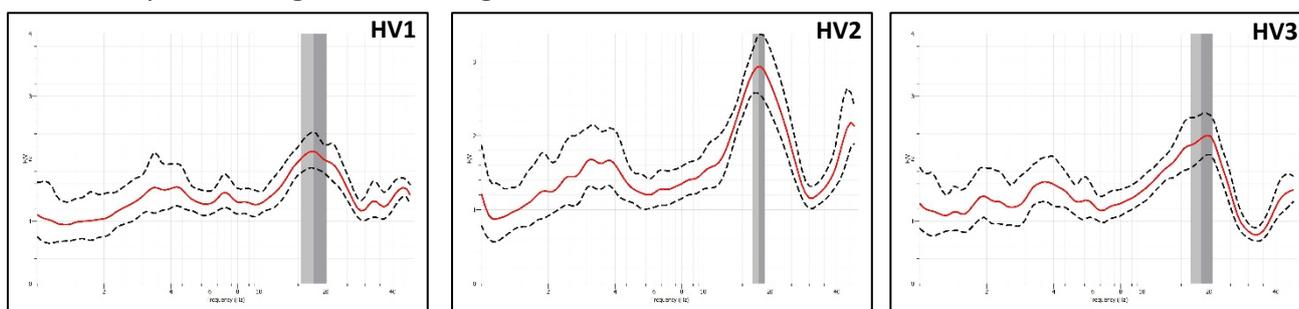
Di seguito si riportano, estratti dal progetto *SESAME WP12 – Deliverable D23.12, dicembre 2004* i criteri per la valutazione dell’affidabilità statistica e della chiarezza del picco, come sopra descritto:

<p>Criteria for a reliable H/V curve</p> <p>i) $f_0 > 10 / l_w$ and</p> <p>ii) $n_c(f_0) > 200$ and</p> <p>iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • l_w = window length • n_w = number of windows selected for the average H/V curve • $n_c = l_w \cdot n_w$, f_0 = number of significant cycles • f = current frequency • f_{sensor} = sensor cut-off frequency • f_0 = H/V peak frequency • σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$) • $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ • A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0 • $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f • f^- = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ • f^+ = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ • $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided • $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve • $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ • $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits • $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer • h = depth to bedrock • h_{\min} = lower-bound estimate of h
<p>Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)</p> <p>i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$</p> <p>ii) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$</p> <p>iii) $A_0 > 2$</p> <p>iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$</p> <p>v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$</p> <p>vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$</p>	

Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

La prima parte dei criteri è dedicata alla valutazione dell’attendibilità statistica delle curve HVSR, ovvero viene valutato se le registrazioni sono state effettuate per un periodo sufficientemente lungo ed analizzate per un numero sufficiente di finestre temporali; la seconda parte dei criteri è dedicata alla valutazione della chiarezza dei picchi H/V attraverso un’analisi morfologica.

Le tre acquisizioni mostrano una forte analogia in termini di curva HVSR con la presenza di un picco ad alta frequenza di significato stratigrafico:



ACQUISIZIONE HV1		ACQUISIZIONE HV2		ACQUISIZIONE HV3	
f_0	A_0	f_0	A_0	f_0	A_0
17.616 ± 2.184	2.114	17.787 ± 1.107	2.931	18.511 ± 1.954	2.327

L’applicazione dei criteri SESAME ai 3 picchi individuati nell’ambito delle tre acquisizioni mostrano buona validità statistica ma poca chiarezza morfologica, a meno del picco dell’acquisizione HV2.

Picco H/V 17.6 Hz ± 2.2			
Criteri per una curva H/V affidabile			
[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10/Lw$	17.62	> 0.500	OK
$n_c(f_0) > 200$	14798	> 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	$f_0 > 0.5\text{Hz}$	SI	OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	$f_0 < 0.5\text{Hz}$	NO	
Criteri per un picco H/V chiaro			
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$			NO
$A_0 > 2$	2.11	> 2	OK
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.01	< 0.05	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.184	< 0.881	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.144	< 1.580	OK

Applicazione dei criteri Sesame al picco individuato sulle curve HVSR dell’acquisizione HV1

Picco H/V 17.8 Hz ± 1.1			
Criteri per una curva H/V affidabile			
[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10/Lw$	17.79	> 0.500	OK
$n_c(f_0) > 200$	17787	> 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	$f_0 > 0.5\text{Hz}$	SI	OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	$f_0 < 0.5\text{Hz}$	NO	
Criteri per un picco H/V chiaro			
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$			OK
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$			OK
$A_0 > 2$	2.93	> 2	OK
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.02	< 0.05	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.107	< 0.889	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.143	< 1.580	OK

Applicazione dei criteri Sesame al picco individuato sulle curve HVSR dell’acquisizione HV2

Picco H/V 18.5 Hz ± 1.9			
Criteri per una curva H/V affidabile			
[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10/Lw$	18.51	> 0.500	OK
$n_c(f_0) > 200$	12958	> 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	$f_0 > 0.5\text{Hz}$	SI	OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	$f_0 < 0.5\text{Hz}$	NO	
Criteri per un picco H/V chiaro			
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$			OK
$A_0 > 2$	2.33	> 2	OK
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.03	< 0.05	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.954	< 0.926	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.157	< 1.580	OK

Applicazione dei criteri Sesame al picco individuato sulle curve HVSR dell’acquisizione HV3

ALLEGATO n. 4

Rapporto di indagine Sismica a rifrazione in fase P



Vista verso N

1. Cenni teorici

Il metodo sismico a rifrazione si basa sul concetto della bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d’onda conico. Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde coniche o bi-rifratte (*head wave*): le onde analizzate sono quelle birifratte, cioè quelle che giungono sulla superficie di separazione con un angolo d’incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi vengono rifratte con un angolo di 90° propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza.

I contrasti di proprietà possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche.

2. Strumentazione utilizzata e metodo di acquisizione

L’attrezzatura e la strumentazione utilizzata per l’acquisizione è costituita da:

- un sistema di energizzazione per le onde P: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 5 Kg battente verticalmente su piastra posta sul terreno;
- un sistema di ricezione: costituito da 12 geofoni verticali monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa con frequenza propria 4.5 Hz, ovvero dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali prodotte dalla specifica sorgente;
- un sistema di acquisizione dati: con memoria dinamica a 24 bit composto da sismografo a 12 canali della Geometrics, con range dinamico di sistema di 144 dB, intervallo di campionamento compreso tra 0.02 e 16 ms, fino a 16000 campioni per traccia; il sismografo è alimentato con batteria al Pb a 12 V ed è collegato al notebook PC per il salvataggio delle acquisizioni e la gestione dei parametri di configurazione spaziali e temporali; i geofoni sono collegati al sismografo tramite cavo sismico;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso (attraverso sensore di movimento applicato alla mazza) nell’istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l’esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l’inizio della registrazione.

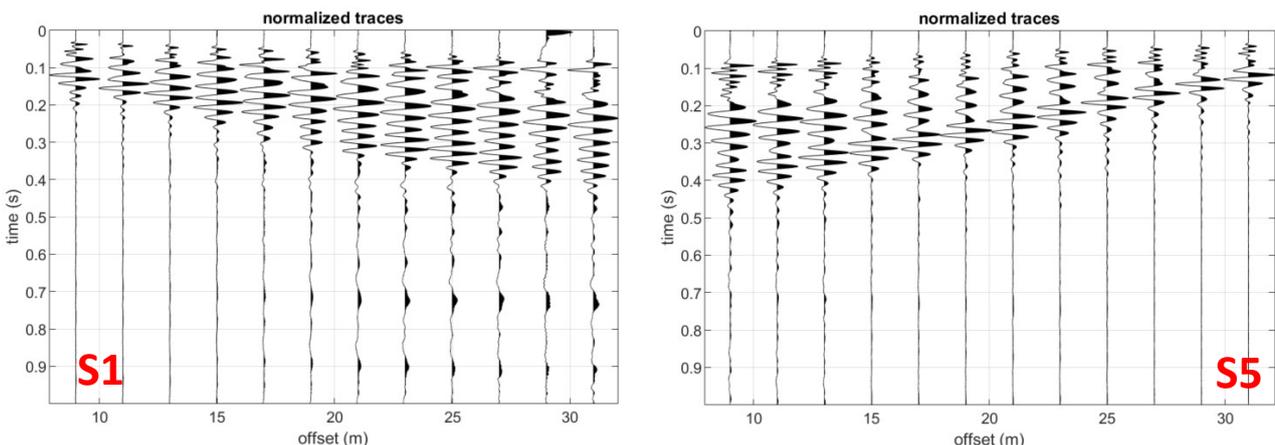
Lo stendimento sismico lineare è stato allestito nel sito, all’interno del campo da calcio in erba, in direzione N-S per una lunghezza di 63 m, lungo i quali sono stati disposti e collegati in serie i 12 geofoni con interdistanza pari a 3.0 m ed eseguiti n. 5 punti di energizzazione, organizzati simmetricamente con 1 shot interno centrale allo stendimento e 2 shots esterni coniugati per ciascun estremo dello stendimento posti rispettivamente a 3 e 15 m dai geofoni esterni; è stato utilizzato un sistema di riferimento relativo, con origine dell’ascissa posta in corrispondenza del geofono G1 posto a N.

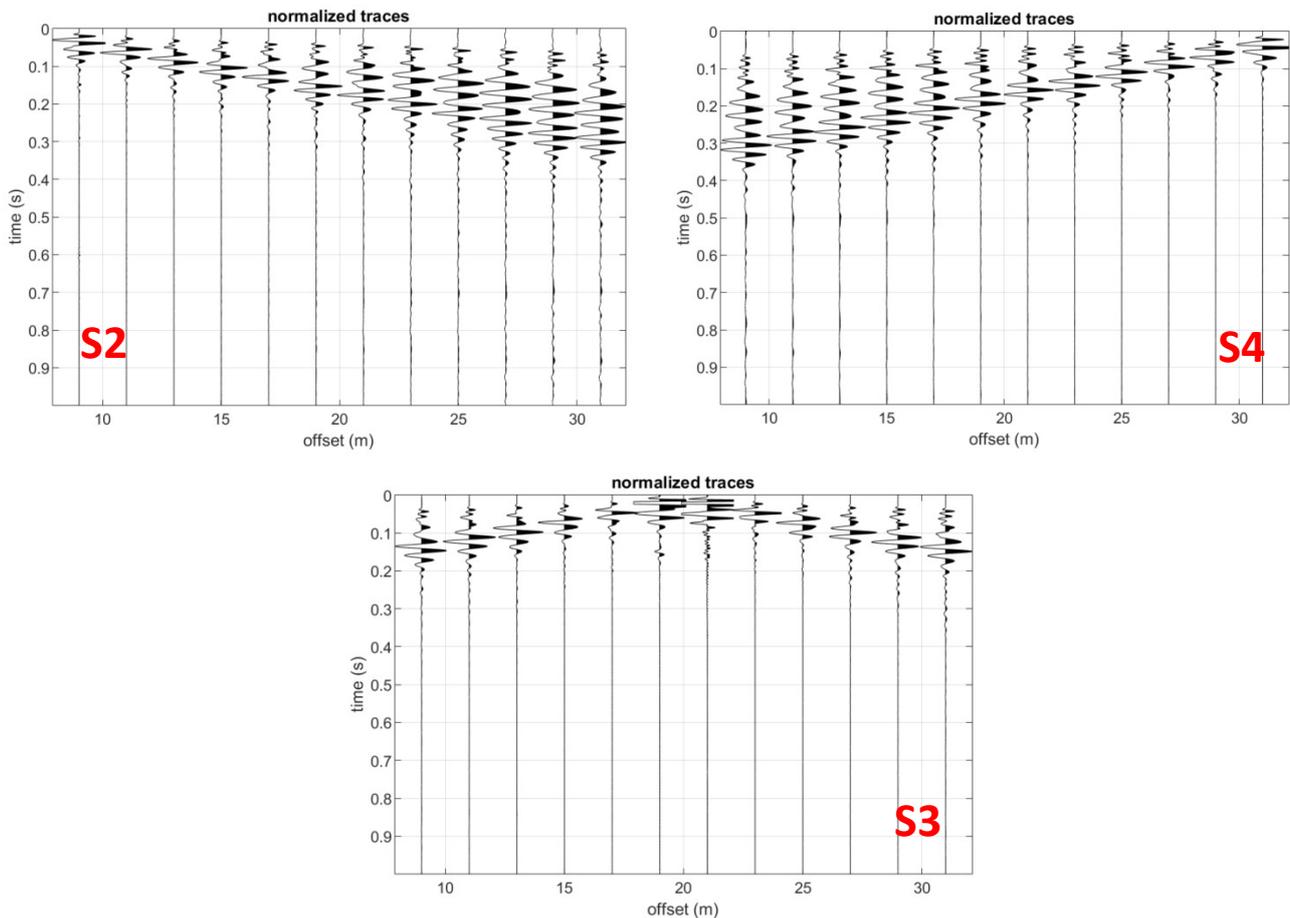
Di seguito si riportano in modo sintetico i parametri configurazionali (spaziali e temporali) dell’acquisizione lineare:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI SISMICA SUPERFICIALE LINEARE ATTIVA	
Dislivello altimetrico tra gli <i>shots</i> esterni	0 m
Lunghezza stendimento compresi <i>shots</i> esterni	63 m
Lunghezza stendimento ricevitori	33 m
Numero Geofoni	12
Distanza intergeofonica	3 m
Numero punti di energizzazione (<i>shots</i>)	5
1° <i>Shot</i> esterno	3.0 m
2° <i>Shot</i> esterno	15.0 m
Durata acquisizione	1 s
Pre-triggering delay	0
Intervallo di campionamento	0.25 ms
Numero di campioni per traccia	4000
Massima frequenza campionabile	2 kHz

La lunghezza dello stendimento sismico permette in linea teorica una capacità penetrativa dell’indagine di sismica a rifrazione dell’ordine dei 5-6 m, variabile in funzione della chiarezza ed attendibilità dei segnali acquisiti a maggiore distanza dalle sorgenti e delle caratteristiche sismo-stratigrafiche del sottosuolo.

Di seguito si riportano le acquisizioni nel dominio del tempo:



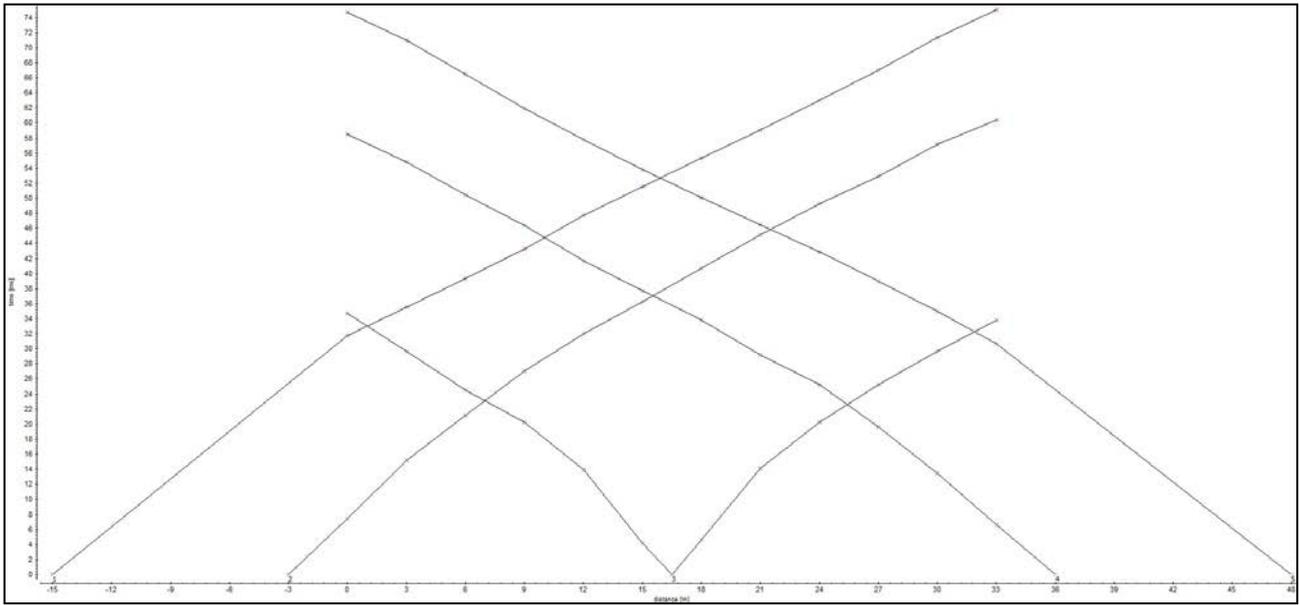


Acquisizioni nel dominio del tempo in fase P

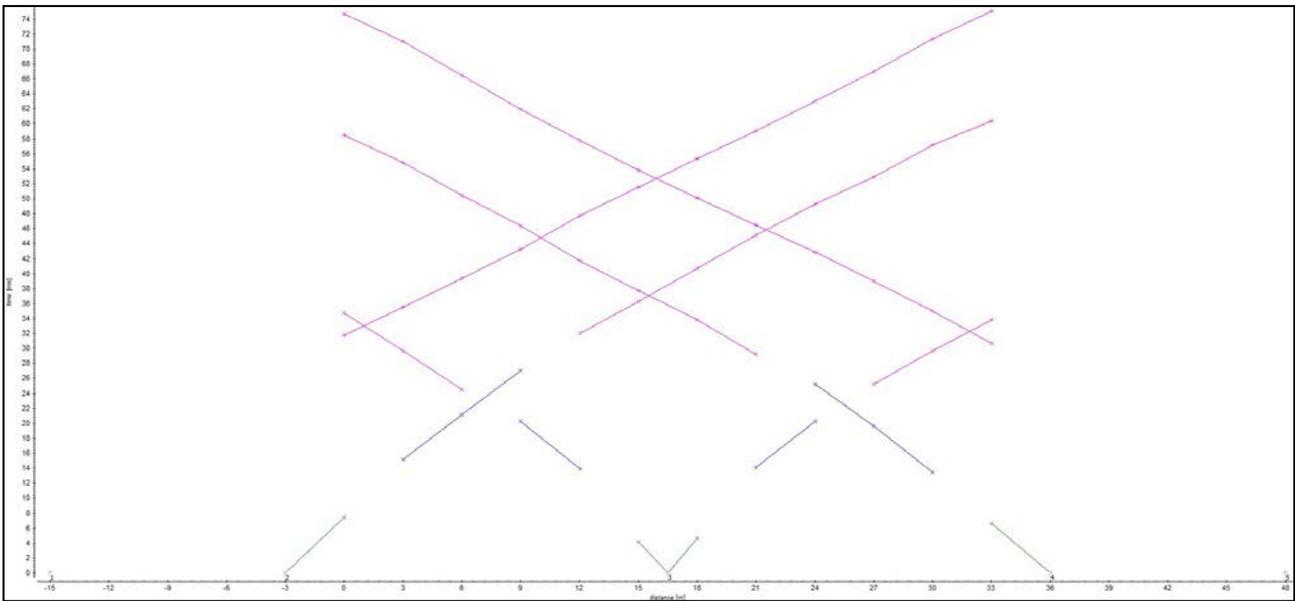
3. Metodo di elaborazione

L’analisi delle acquisizioni ha permesso di individuare il tempo di primo arrivo in corrispondenza di ciascun ricevitore per ciascun punto di energizzazione, attraverso la procedura di picking manuale; tali valori sono stati riportati in un grafico distanza-tempo per ottenere l’andamento delle dromocrone.

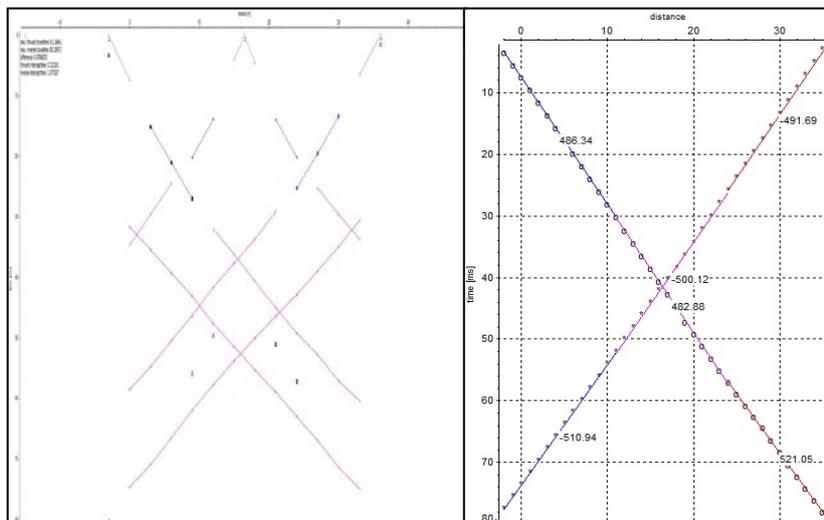
La ricostruzione del modello sismostratigrafico può avvenire attraverso l’utilizzo di molteplici metodi di interpretazione; tra i metodi disponibili in letteratura si è scelto di utilizzare il metodo classico del delay time associato alla tomografia sismica, il quale, partendo dal modello iniziale 1D di velocità e dai dati di *traveltime* ottenuti dal *picking* manuale, modella il percorso bidimensionale di un fascio di raggi curvilinei per ogni arrivo (Hermann, 1980; Worthington, 1984; Nolet, 1987), mediante l’algoritmo tomografico basato sull’adattamento iterativo SIRT (*Simultaneous Iterative Reconstruction Technique*).



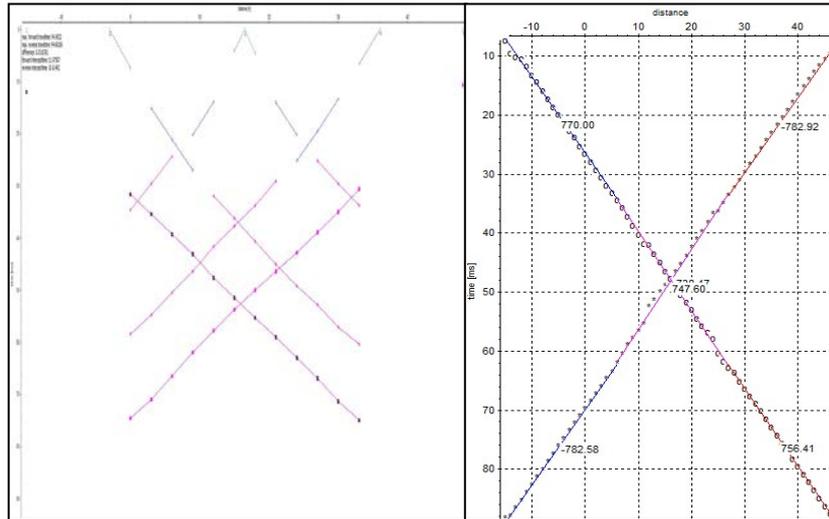
Dromocrone dei primi arrivi in fase P



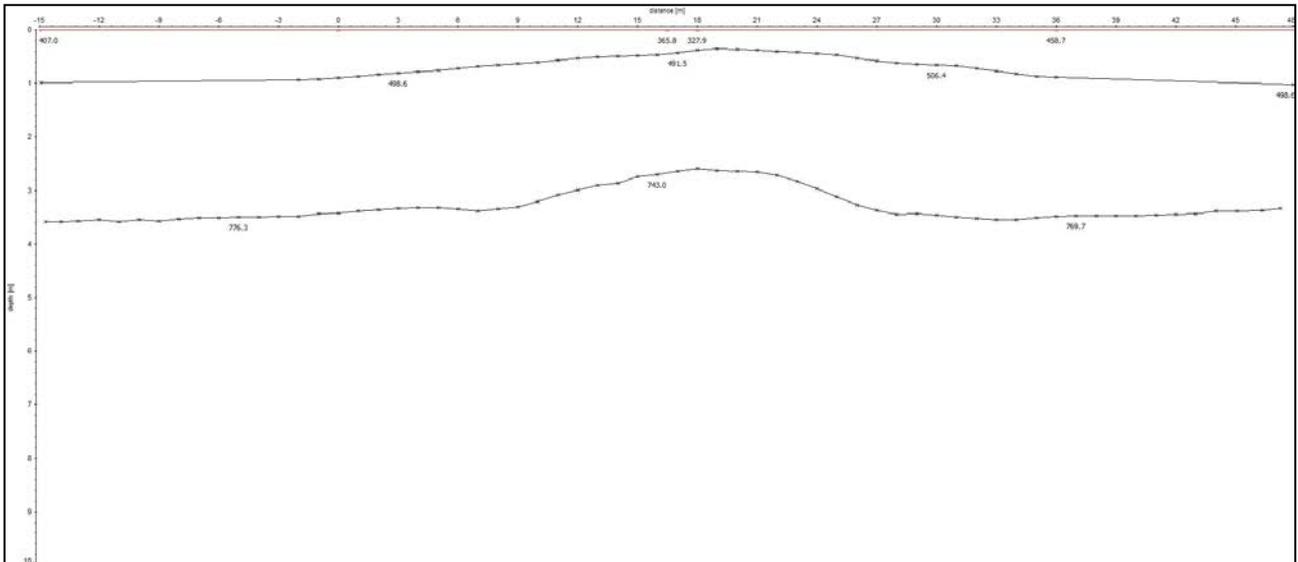
Assegnazione dei tratti di dromocrona secondo un modello a 3 strati – fase P



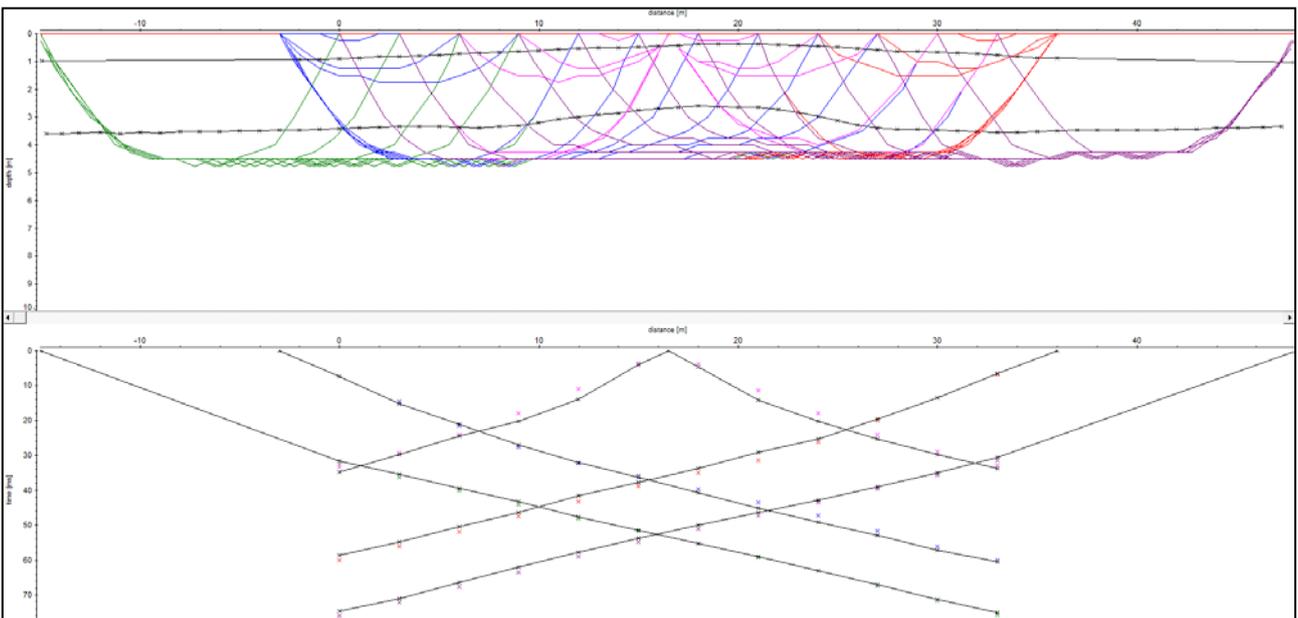
Elaborazione mediante inversione dei fronti d'onda per la prima interfaccia elastica – fase P



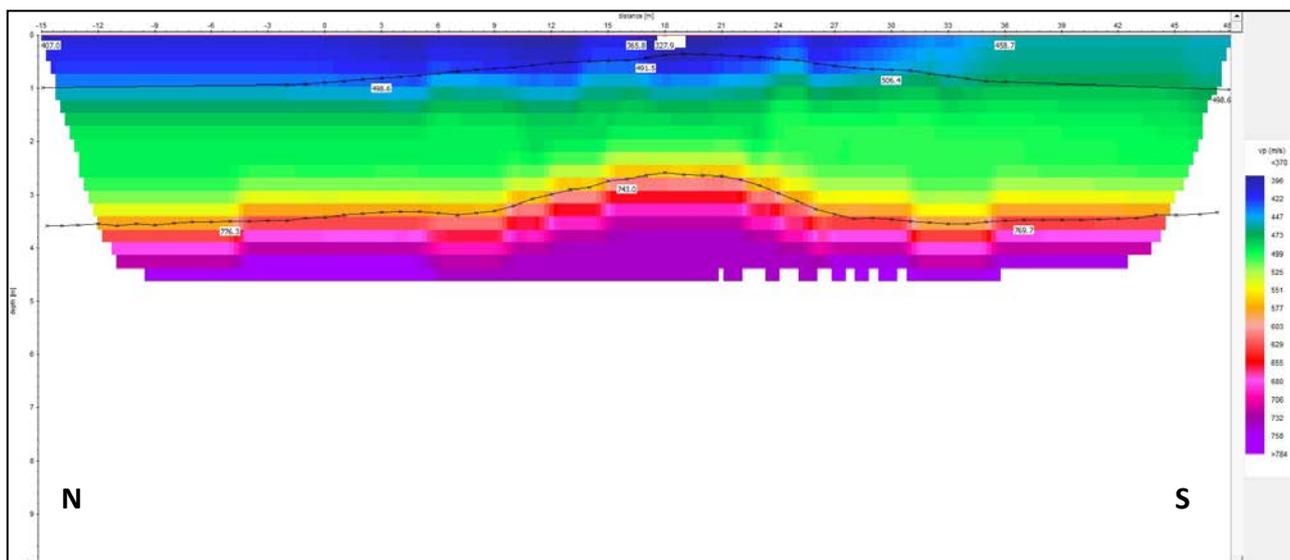
Elaborazione mediante inversione dei fronti d’onda per la seconda interfaccia elastica – fase P



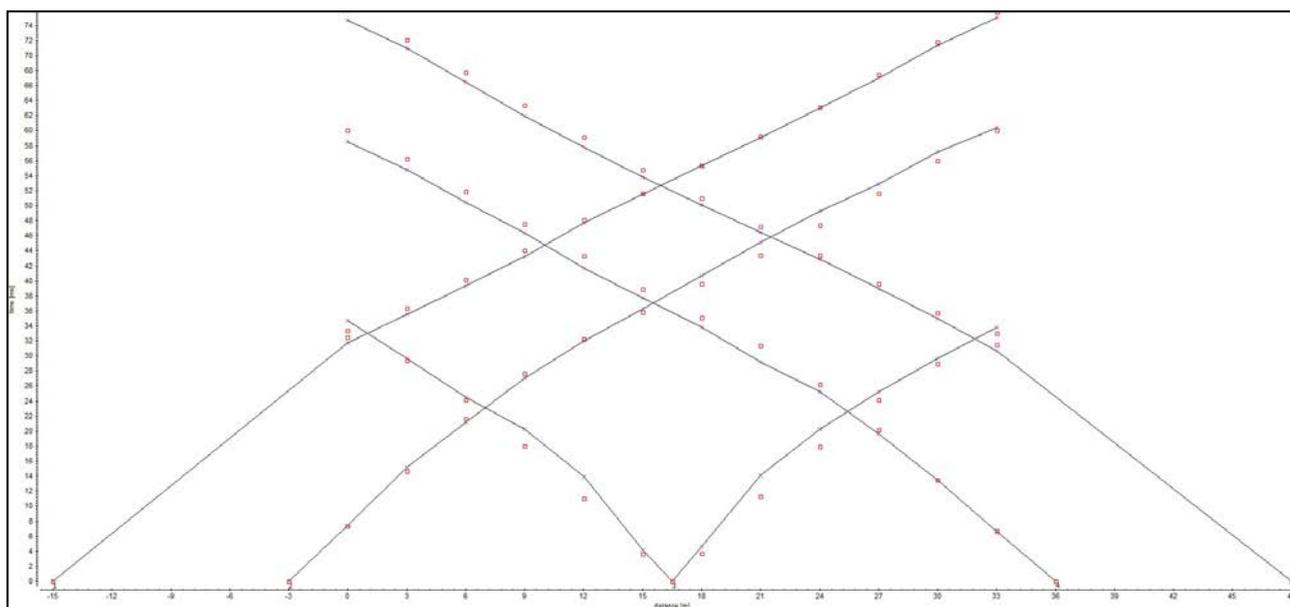
Modello a 3 strati ottenuto dall’inversione dei fronti d’onda – fase P



Simulazione dei raggi sismici per il modello tomografico in fase P e confronto tra dromocrone sintetiche e sperimentali



Tomografia in fase P



Confronto tra dromocrone sperimentali (linea nera) e sintetiche (quadrantini rossi)

MODELLO MONODIMENSIONALE IN ONDE P		
Spessore (m)	Profondità Z (m)	V_P (m/s)
0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	320 – 460
2.0 – 3.0	2.5 – 3.5	490 - 510
-	-	740 – 780

Modello monodimensionale in termini di velocità delle onde longitudinali

ALLEGATO n. 5

Rapporto di indagine MASW



Vista verso S

1. Cenni teorici

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) (Park et al., 1999) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo medio di velocità delle onde di taglio V_s , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di *Rayleigh*, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo omogeneo ed isotropo la velocità di propagazione delle onde di *Rayleigh* è indipendente dalla frequenza e il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente con la profondità, sino ad estinguersi ad una profondità circa pari ad una lunghezza d'onda. In un mezzo verticalmente eterogeneo, ovvero stratificato, le onde di *Rayleigh* sono dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di *Rayleigh* dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde di *Rayleigh* è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

La propagazione delle onde di *Rayleigh* in un mezzo stratificato è un fenomeno multi-modale, ovvero in corrispondenza di una certa frequenza, per un determinato sito caratterizzato da una specifica stratigrafia, possono esistere diverse velocità di propagazione, a cui corrisponde un determinato modo di vibrazione del sito.

Il metodo di indagine MASW attivo consiste nella generazione artificiale di onde superficiali in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente parallelamente all'*array*) e nell'acquisizione della perturbazione generata lungo uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una curva di dispersione sperimentale apparente nel *range* di frequenze compreso tra 10-15Hz e 70-100Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30 m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°, sia della topografia sia delle diverse discontinuità elastiche.

2. Strumentazione e metodo di acquisizione

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata per l'acquisizione in configurazione ZVF è la stessa utilizzata per l'indagine di sismica a rifrazione in fase P, con esecuzione di n. 3 punti di energizzazione per estremo dello stendimento.

3. Metodo di elaborazione

Le acquisizioni esterne coniugate, acquisite nel dominio del tempo, sono state eseguite in configurazione ZVF (sorgente verticale e sensori verticali) e trasformate tramite una doppia trasformata di Fourier nel dominio f-k (frequenza – numero d'onda) e nel dominio f- V_f (frequenza – velocità di fase): i massimi di energia individuati sono associabili alle onde di Rayleigh; per ogni frequenza il picco spettrale è associato a un determinato valore del numero d'onda k, da cui è possibile ricavare la velocità di fase delle onde di Rayleigh.

Per ciascuna acquisizione è stato determinato quindi lo spettro di velocità senza eseguire specifiche operazioni di filtraggio.

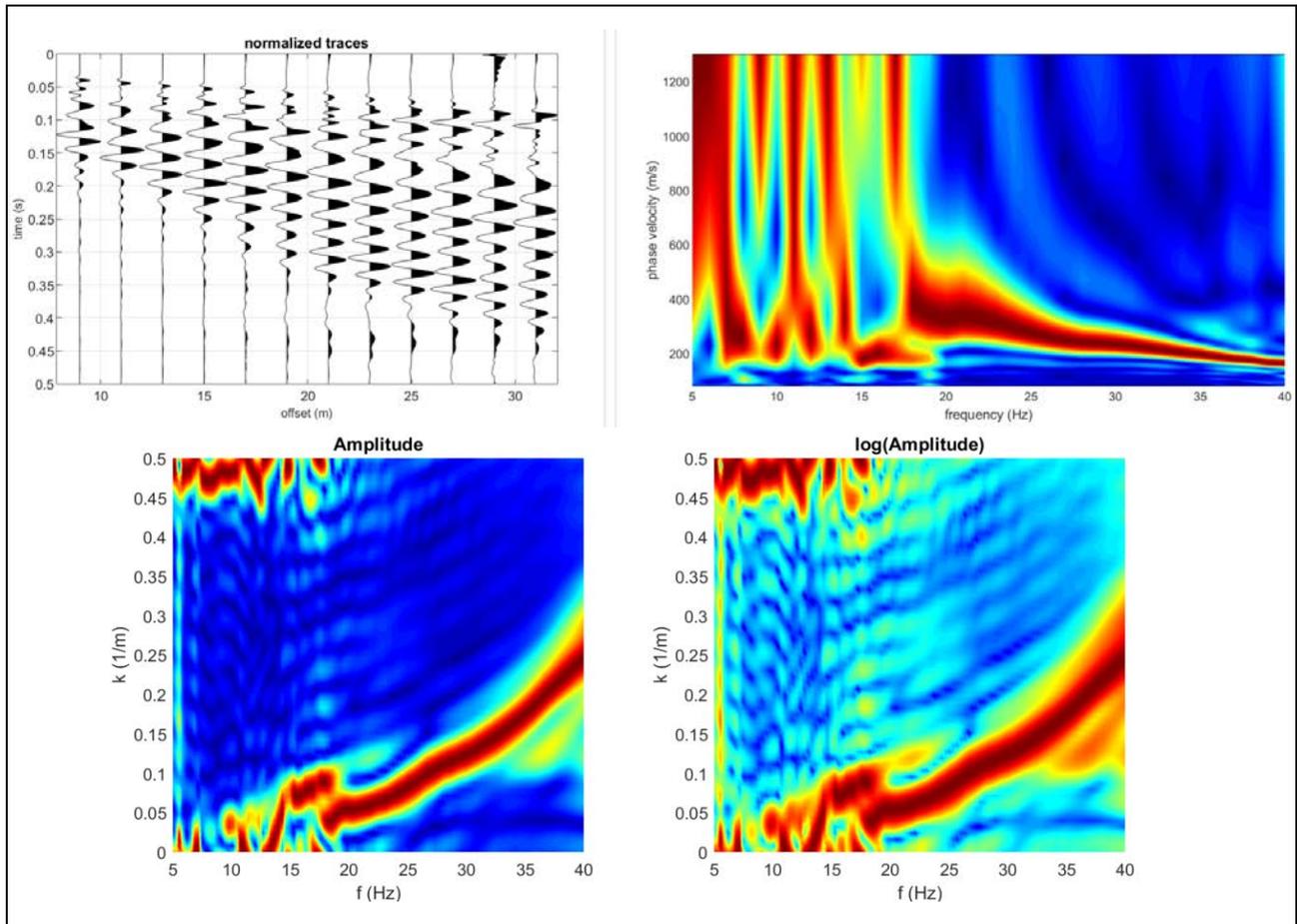
L'osservazione degli spettri di velocità ottenuti ha permesso di scegliere l'acquisizione che fornisce una curva di dispersione sperimentale apparente meglio definita per quanto riguarda il modo fondamentale dell'onda di Rayleigh; l'acquisizione così selezionata (quella eseguita con energizzazione all'estremo N a 15 m di distanza dal geofono esterno G1) è stata sottoposta ad elaborazione per determinare la curva di dispersione rappresentativa del sito da sottoporre successivamente ad inversione.

Sulla base del modello geologico dell'area e del modello sismo-stratigrafico medio individuato con il metodo della sismica a rifrazione in onde longitudinali è stato stimato un modello 1D preliminare in termini di V_{SV} e V_P , prevedendo la modifica controllata dei valori di densità di massa ρ , spessore h, velocità delle onde di taglio e del coefficiente di Poisson ν di ciascun strato che costituisce il modello stesso. Successivamente, tramite procedura diretta, è stata calcolata la relativa curva di dispersione numerica.

Il modello preliminare così individuato è stato utilizzato come modello di partenza nella procedura di inversione, che prevede come target la curva di dispersione sperimentale apparente individuata tramite picking sugli spettri di velocità ZVF.

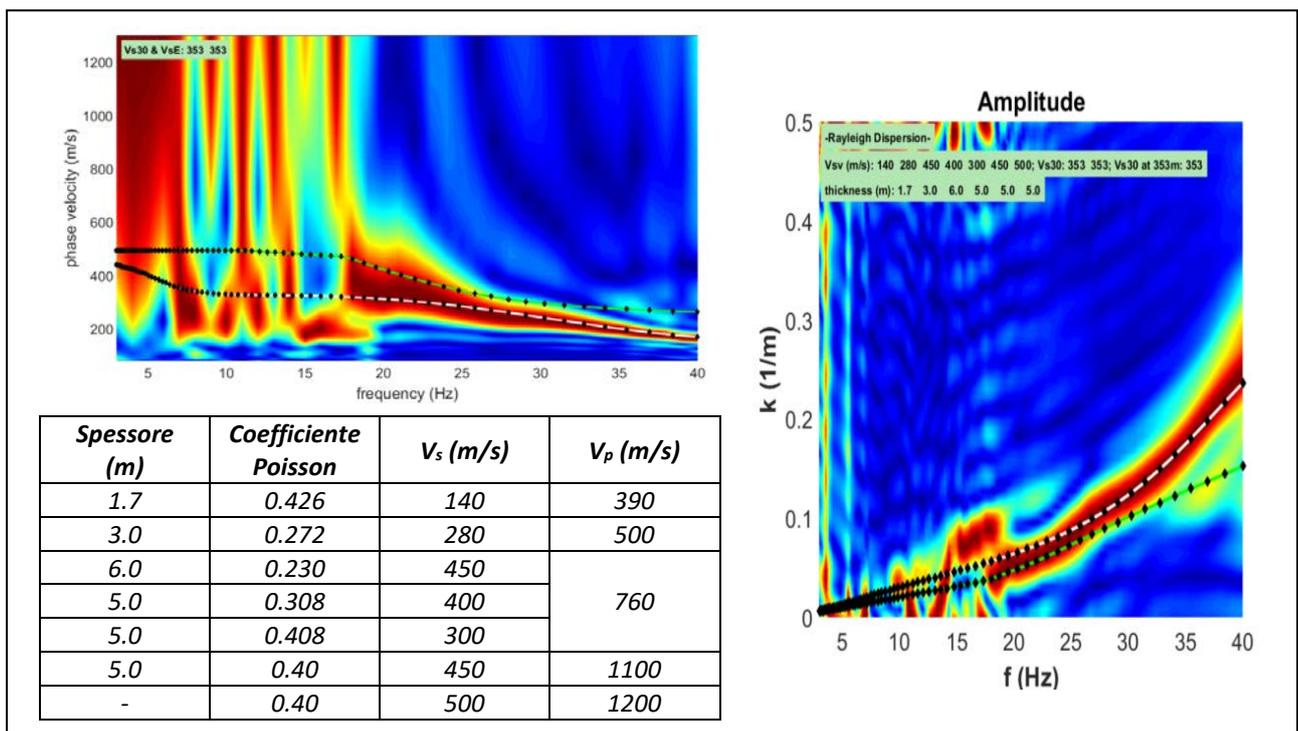
L'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio rappresentativo del sito avviene integrando tra loro i risultati ottenuti con la modellazione diretta e quelli ottenuti con l'inversione automatica congiunta con la curva HVSr.

3.1. Spettri nel dominio della frequenza



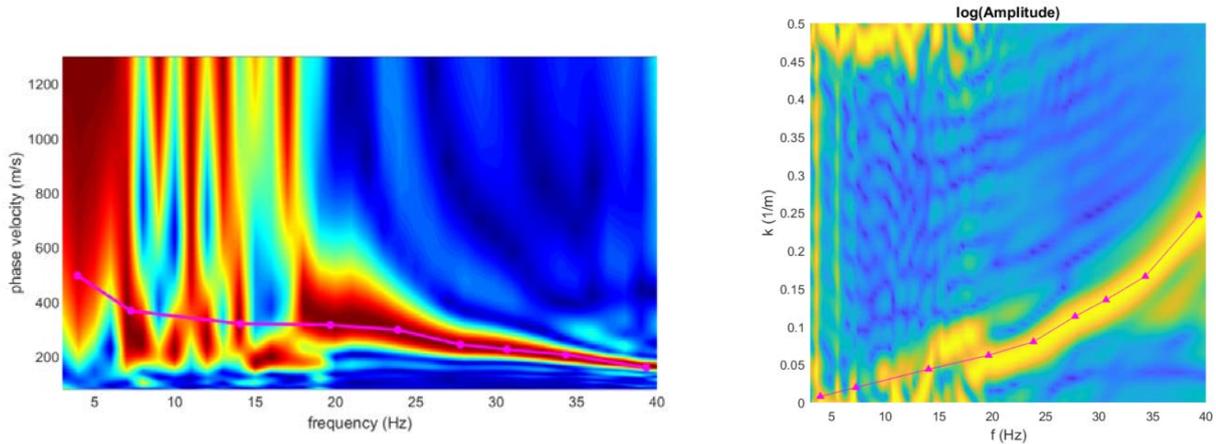
Spettro f - V_f e spettro f - k per l'acquisizione ZVF eseguita all'estremo N (15 m da G1) – grezzo

3.2. Procedura di modellazione diretta

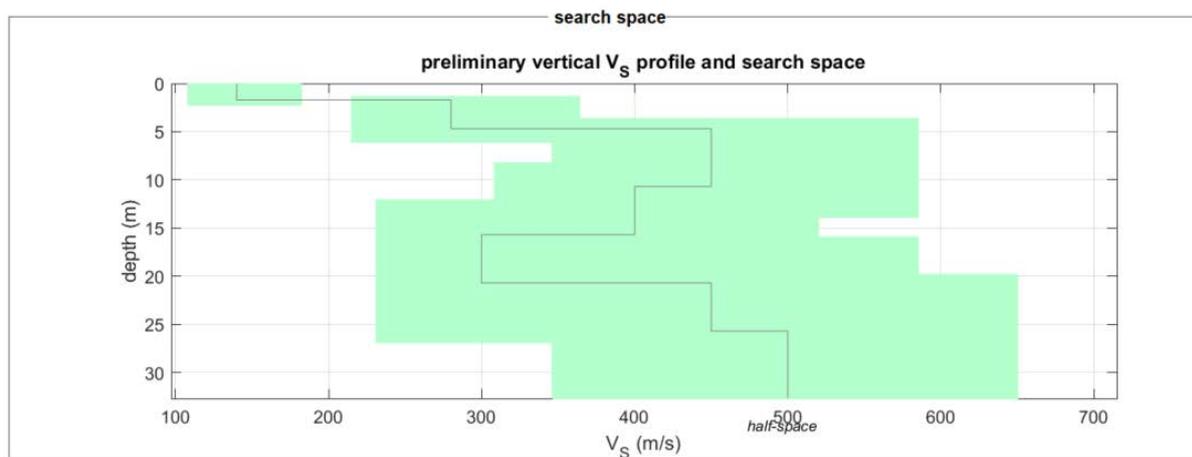
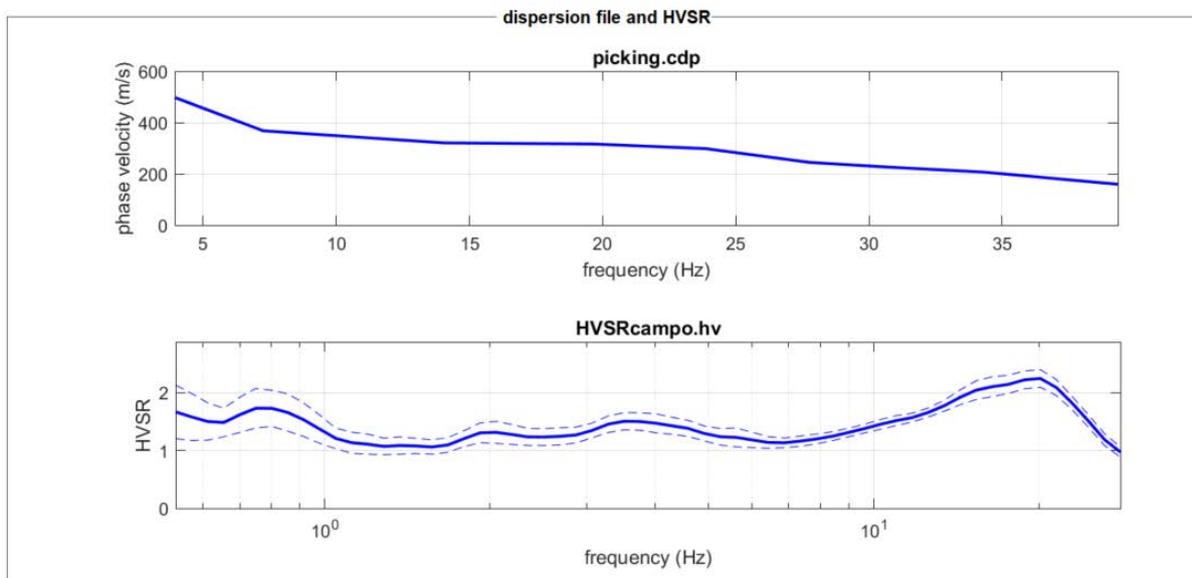


Procedura di modellazione diretta vincolata con modello mono-dimensionale in V_p da sismica a rifrazione e ZVF

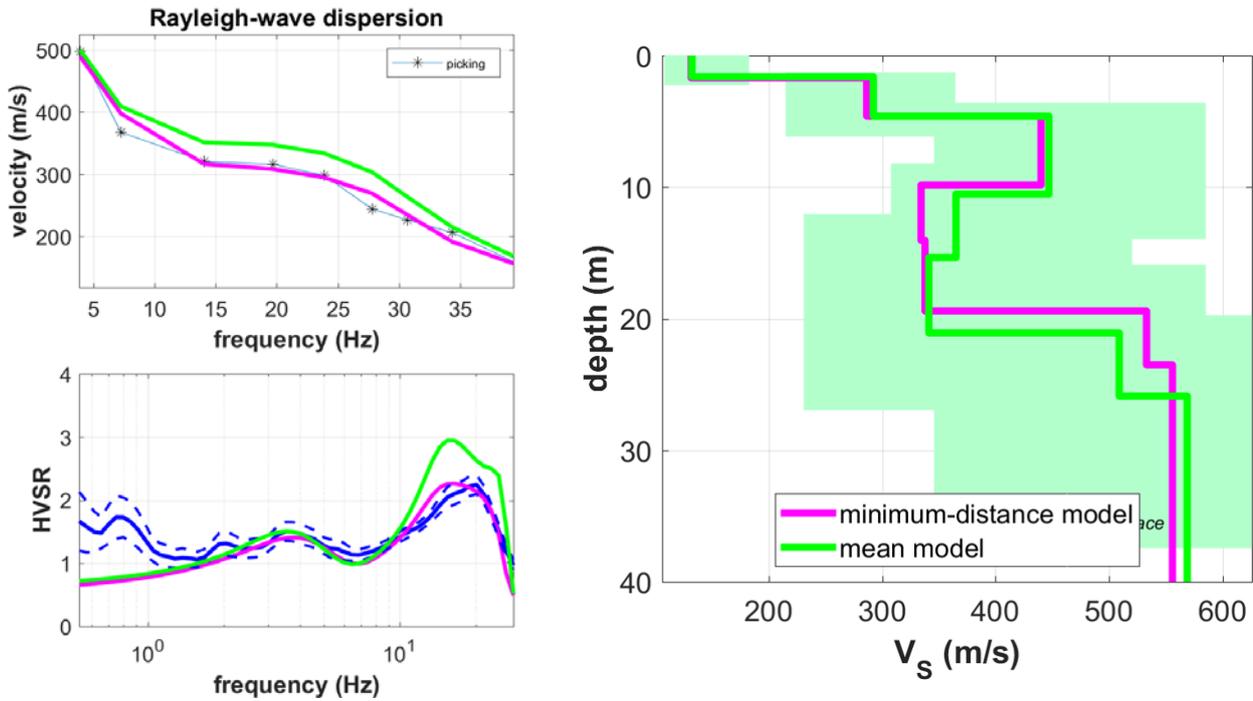
3.3. Procedura di inversione automatica congiunta



Picking manuale



Campo di ricerca utilizzato nel processo di inversione automatico congiunta con curva HVSR



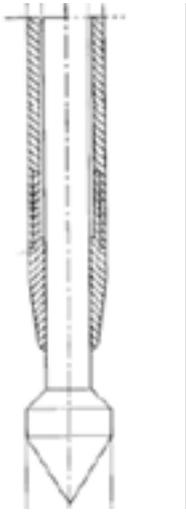
Curve di dispersione e curve HVSR sintetiche e modelli di rigidezza possibili

MODELLO PRELIMINARE			MODELLO MEDIO			MODELLO MINOR MISFIT		
S (m)	Z (m)	Vs (m/s)	S (m)	Z (m)	Vs (m/s)	S (m)	Z (m)	Vs (m/s)
1.7	1.7	140	1.6	1.6	132	1.7	1.7	131
3.0	4.7	280	3.0	4.6	292	2.9	4.6	286
6.0	10.7	450	5.9	10.5	447	5.2	9.8	440
5.0	15.7	400	4.8	15.3	365	4.2	14.0	334
5.0	20.7	300	5.7	21.0	341	5.4	19.4	338
5.0	25.7	450	4.8	25.8	509	4.1	23.5	533
∞	∞	500	∞	∞	569	∞	∞	556
V_{s30} = 353 m/s			V_{s30} = 365 m/s			V_{s30} = 362 m/s		

Risultati statistici della procedura di inversione automatica con ricerca della soluzione teorica a minor misfit e media a partire dal modello preliminare iniziale e relativo valore di $V_{s,30}$

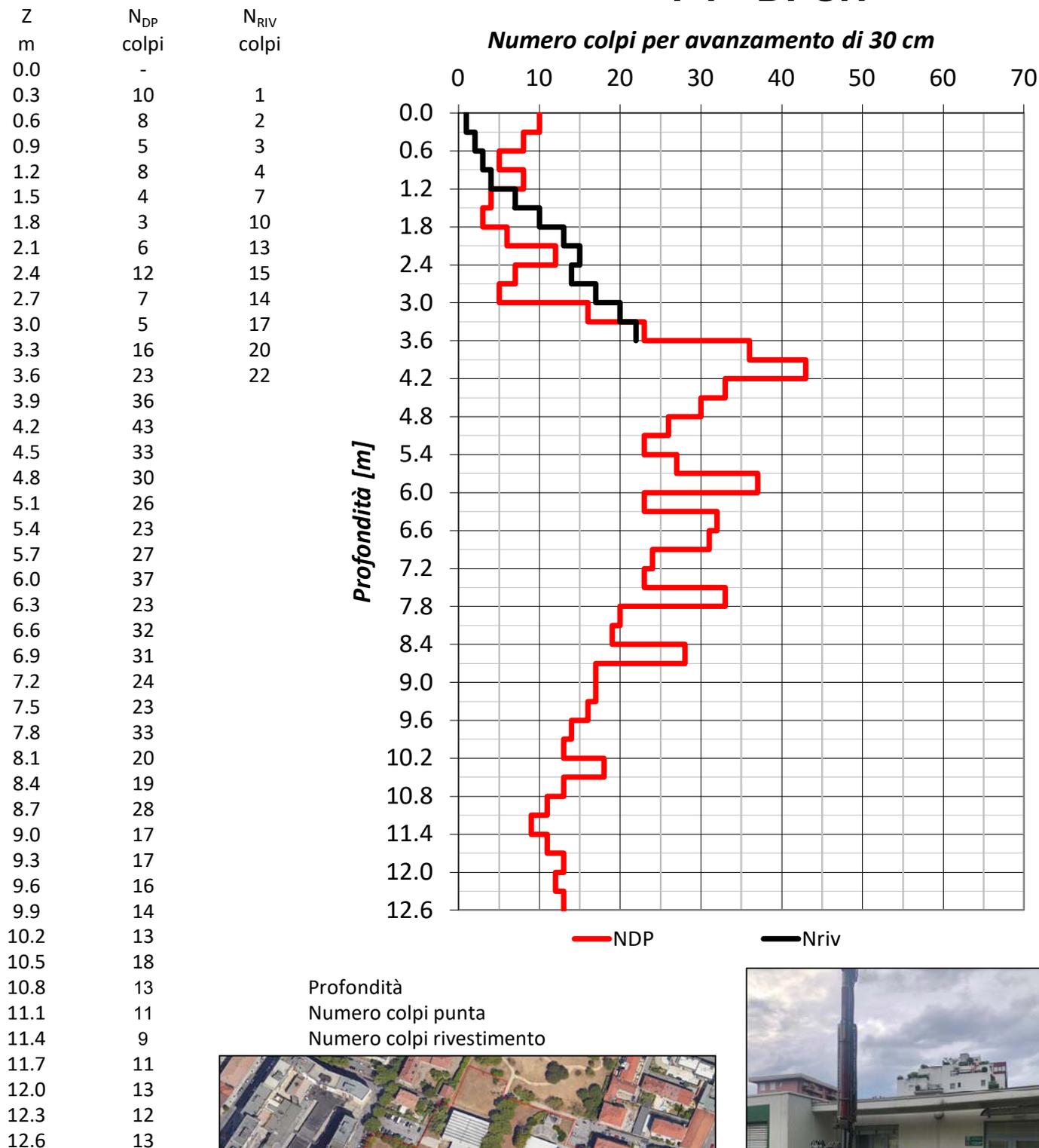
ALLEGATO n. 6

Diagramma sperimentale delle prove penetrometriche

PROVA DPSH AGI-MEARDI		
	Peso del maglio	73 kg
	Altezza di caduta	75 cm
	Area base punta conica	20.43 cm ²
	Angolo al vertice della punta conica	60°
	Diametro aste	37 mm
	Peso aste	4.6 kg/m
	Diametro aste rivestimenti	48 mm
	Passo di avanzamento	30 cm
	Energia teorica Q per passo d'avanzamento	8.93 kg/cm ²

Riferimento: Settore Edilizia Scolastica - Comune di Brescia (BS)
 Progetto: Caratterizzazione sottosuolo area Scuola Secondaria di I° grado "Bettinzoli e parco limitrofo
 Località: Area compresa tra Via Caleppe, Via Privata de Vitalis, Via Corfù e Via Nisida

P1 - DPSH

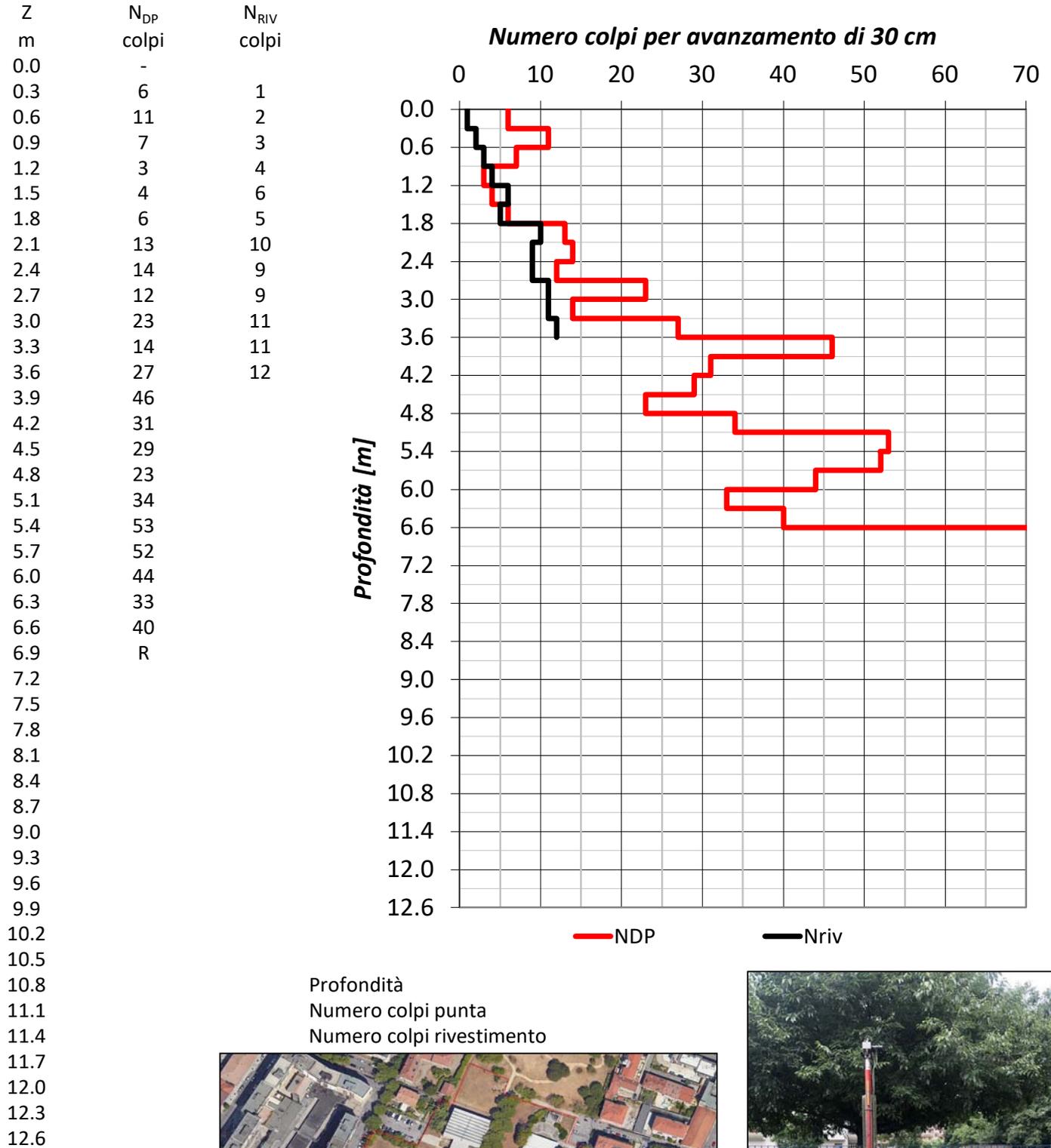


Profondità
 Numero colpi punta
 Numero colpi rivestimento



Riferimento: Settore Edilizia Scolastica - Comune di Brescia (BS)
 Progetto: Caratterizzazione sottosuolo area Scuola Secondaria di I° grado "Bettinzoli e parco limitrofo
 Località: Area compresa tra Via Caleppe, Via Privata de Vitalis, Via Corfù e Via Nisida

P2 - DPSH

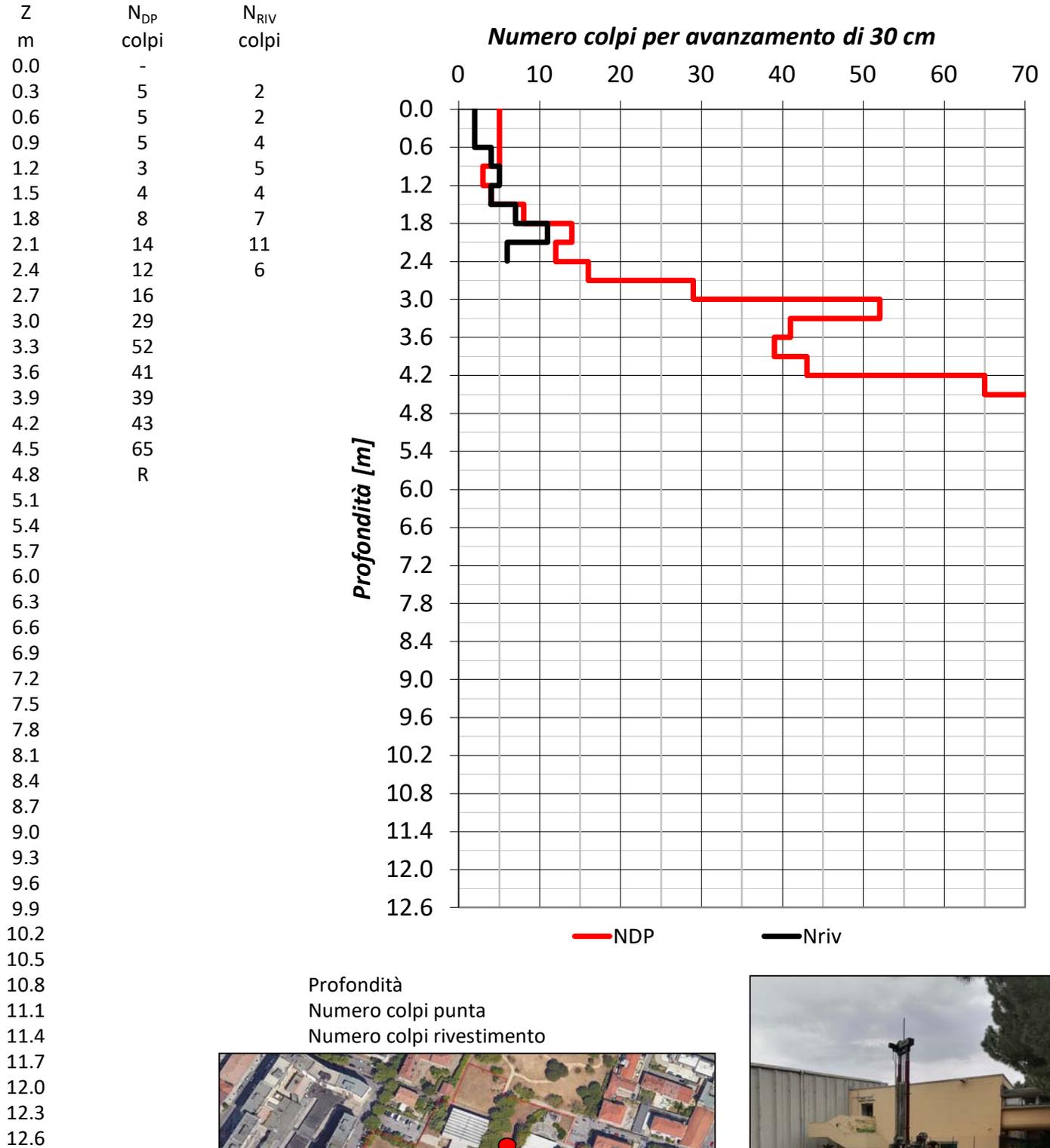


Profondità
 Numero colpi punta
 Numero colpi rivestimento



Riferimento: Settore Edilizia Scolastica - Comune di Brescia (BS)
 Progetto: Caratterizzazione sottosuolo area Scuola Secondaria di I° grado "Bettinzoli e parco limitrofo
 Località: Area compresa tra Via Caleppe, Via Privata de Vitalis, Via Corfù e Via Nisida

P3 - DPSH

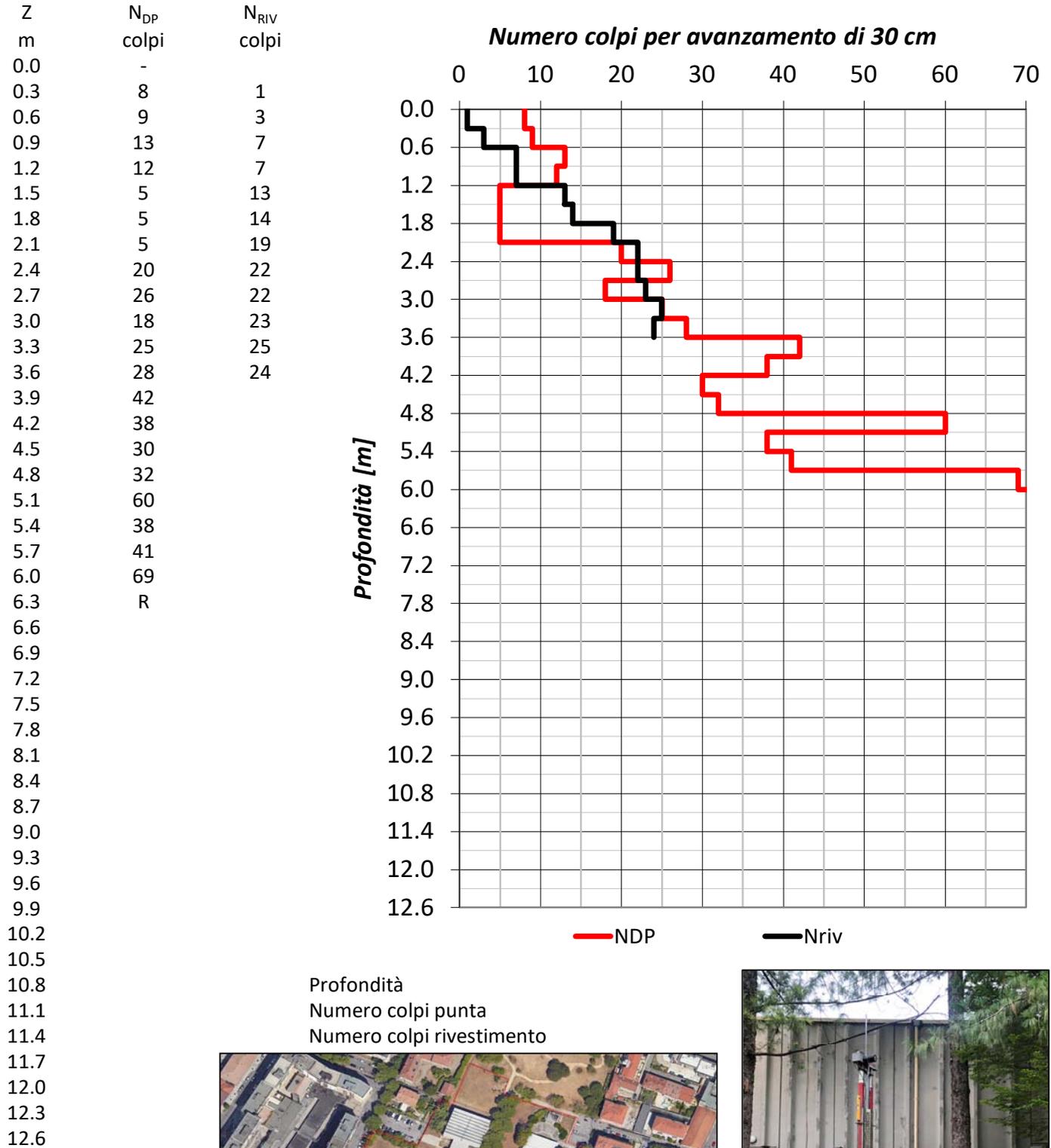


Profondità
 Numero colpi punta
 Numero colpi rivestimento



Riferimento: Settore Edilizia Scolastica - Comune di Brescia (BS)
 Progetto: Caratterizzazione sottosuolo area Scuola Secondaria di I° grado "Bettinzoli e parco limitrofo
 Località: Area compresa tra Via Caleppe, Via Privata de Vitalis, Via Corfù e Via Nisida

P4 - DPSH

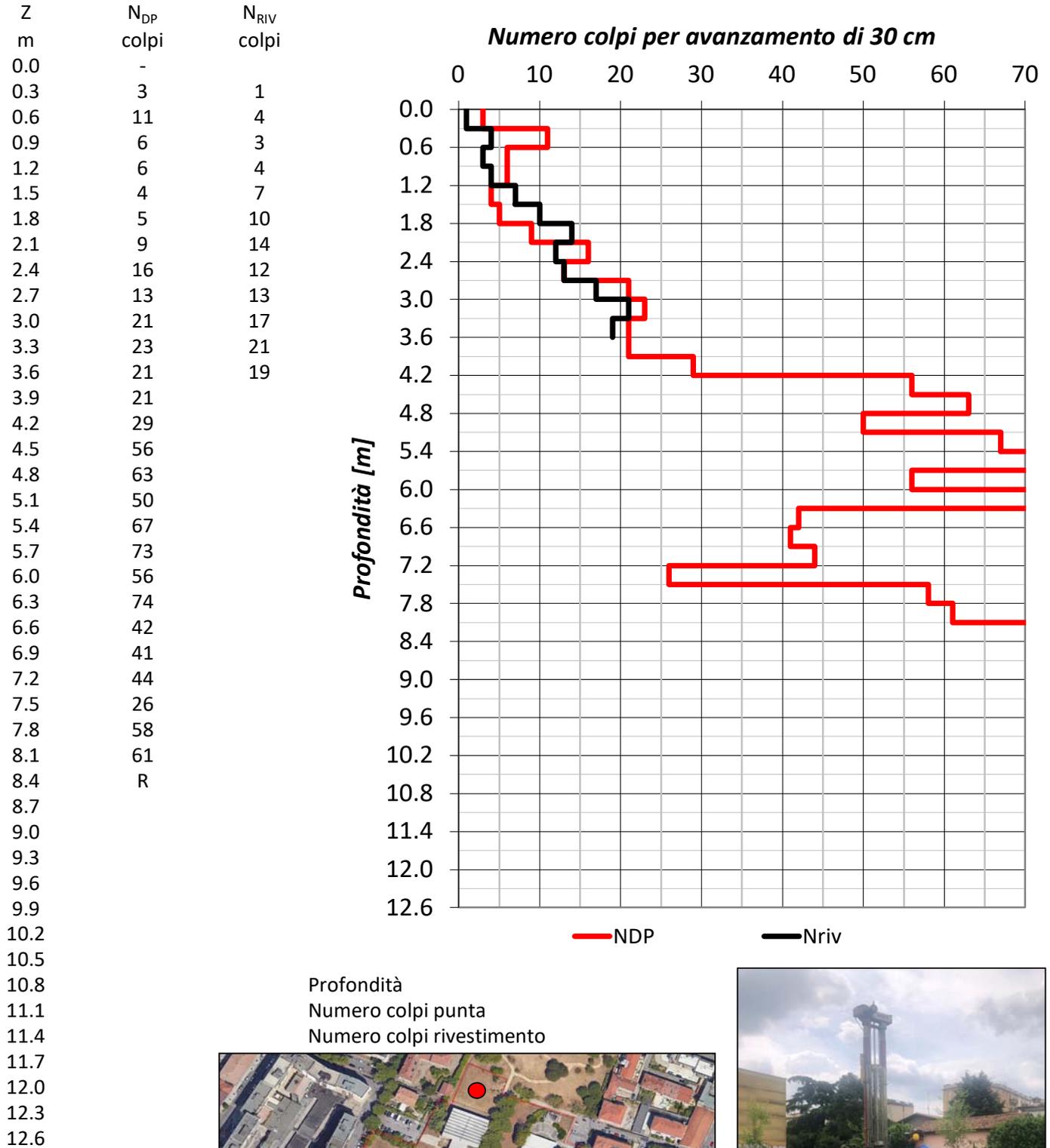


Profondità
 Numero colpi punta
 Numero colpi rivestimento



Riferimento: Settore Edilizia Scolastica - Comune di Brescia (BS)
 Progetto: Caratterizzazione sottosuolo area Scuola Secondaria di I° grado "Bettinzoli e parco limitrofo
 Località: Area compresa tra Via Caleppe, Via Privata de Vitalis, Via Corfù e Via Nisida

P5 - DPSH

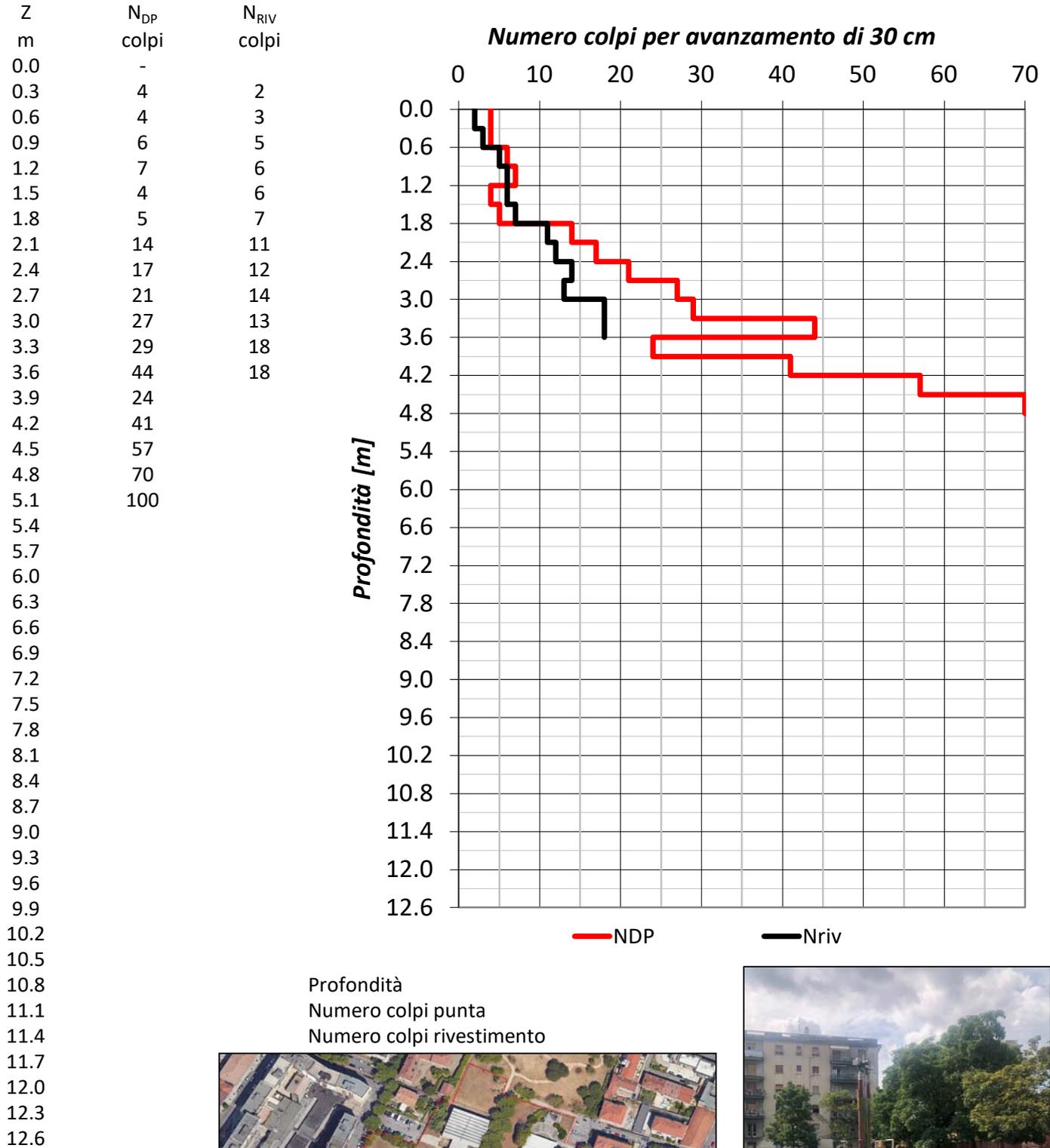


Profondità
 Numero colpi punta
 Numero colpi rivestimento



Riferimento: Settore Edilizia Scolastica - Comune di Brescia (BS)
 Progetto: Caratterizzazione sottosuolo area Scuola Secondaria di I° grado "Bettinzoli e parco limitrofo
 Località: Area compresa tra Via Caleppe, Via Privata de Vitalis, Via Corfù e Via Nisida

P6 - DPSH

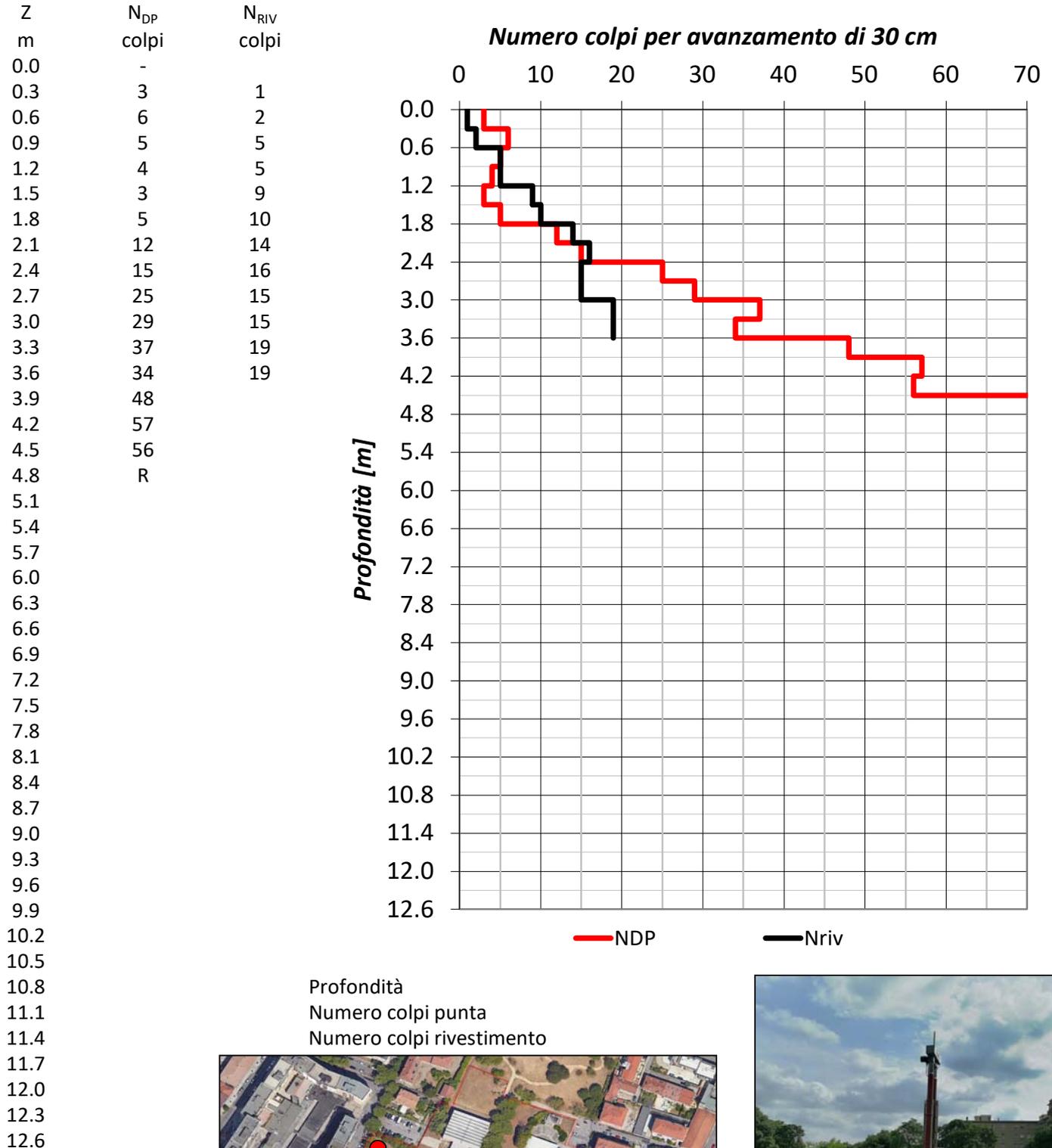


Profondità
 Numero colpi punta
 Numero colpi rivestimento



Riferimento: Settore Edilizia Scolastica - Comune di Brescia (BS)
 Progetto: Caratterizzazione sottosuolo area Scuola Secondaria di I° grado "Bettinzoli e parco limitrofo
 Località: Area compresa tra Via Caleppe, Via Privata de Vitalis, Via Corfù e Via Nisida

P7 - DPSH

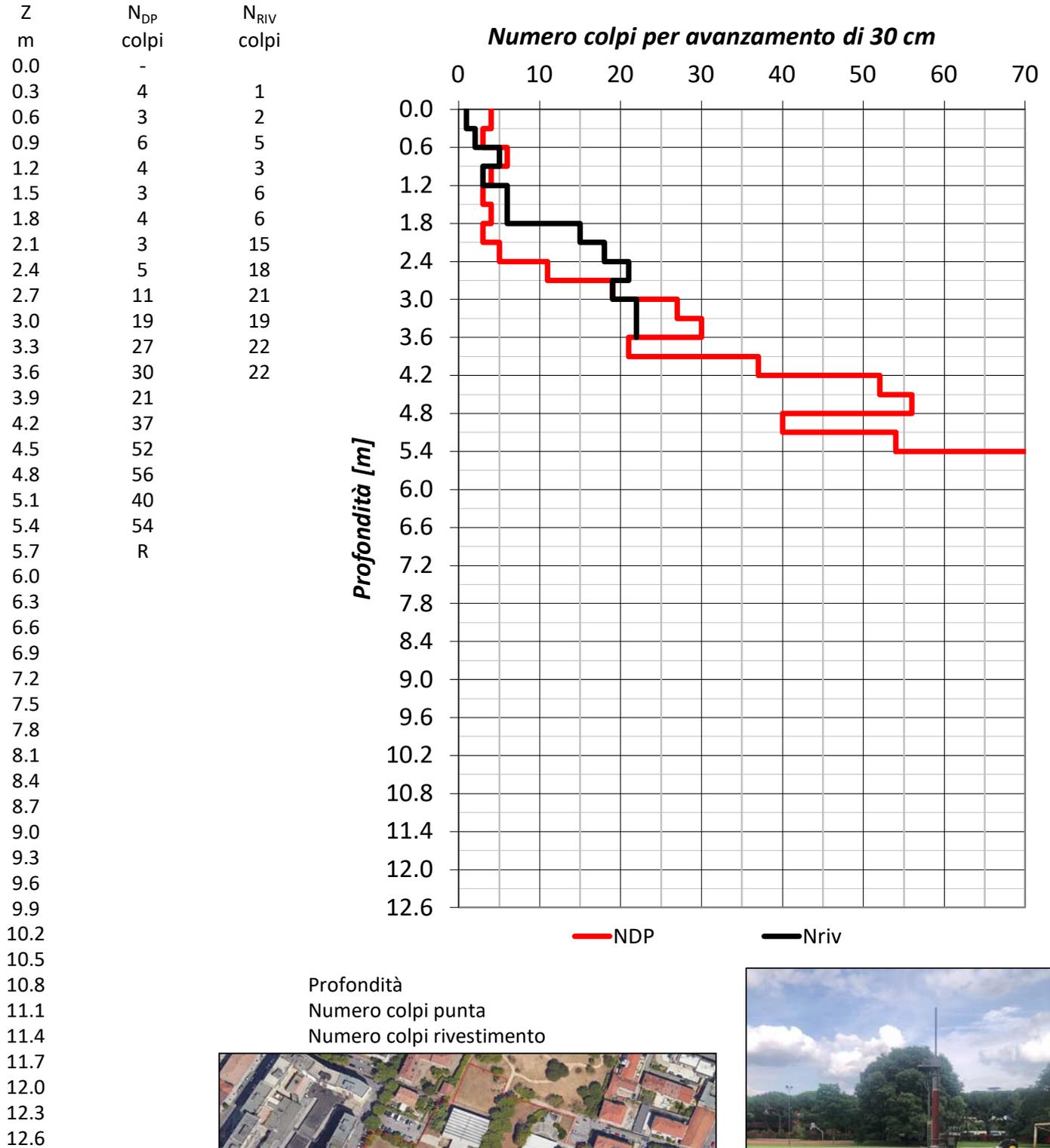


Profondità
 Numero colpi punta
 Numero colpi rivestimento



Riferimento: Settore Edilizia Scolastica - Comune di Brescia (BS)
 Progetto: Caratterizzazione sottosuolo area Scuola Secondaria di I° grado "Bettinzoli e parco limitrofo
 Località: Area compresa tra Via Caleppe, Via Privata de Vitalis, Via Corfù e Via Nisida

P8 - DPSH

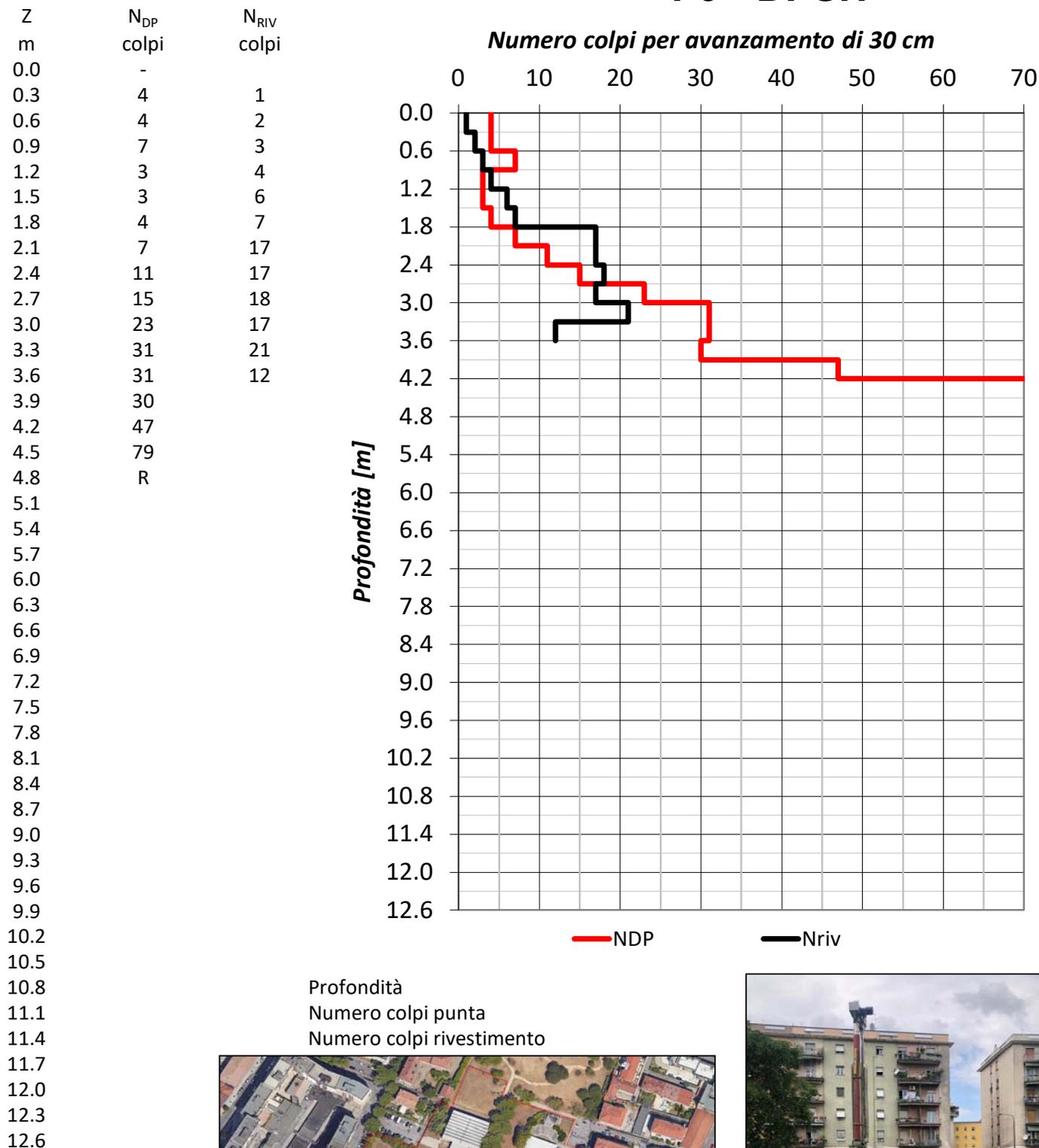


Profondità
 Numero colpi punta
 Numero colpi rivestimento



Riferimento: Settore Edilizia Scolastica - Comune di Brescia (BS)
 Progetto: Caratterizzazione sottosuolo area Scuola Secondaria di I° grado "Bettinzoli e parco limitrofo
 Località: Area compresa tra Via Caleppe, Via Privata de Vitalis, Via Corfù e Via Nisida

P9 - DPSH

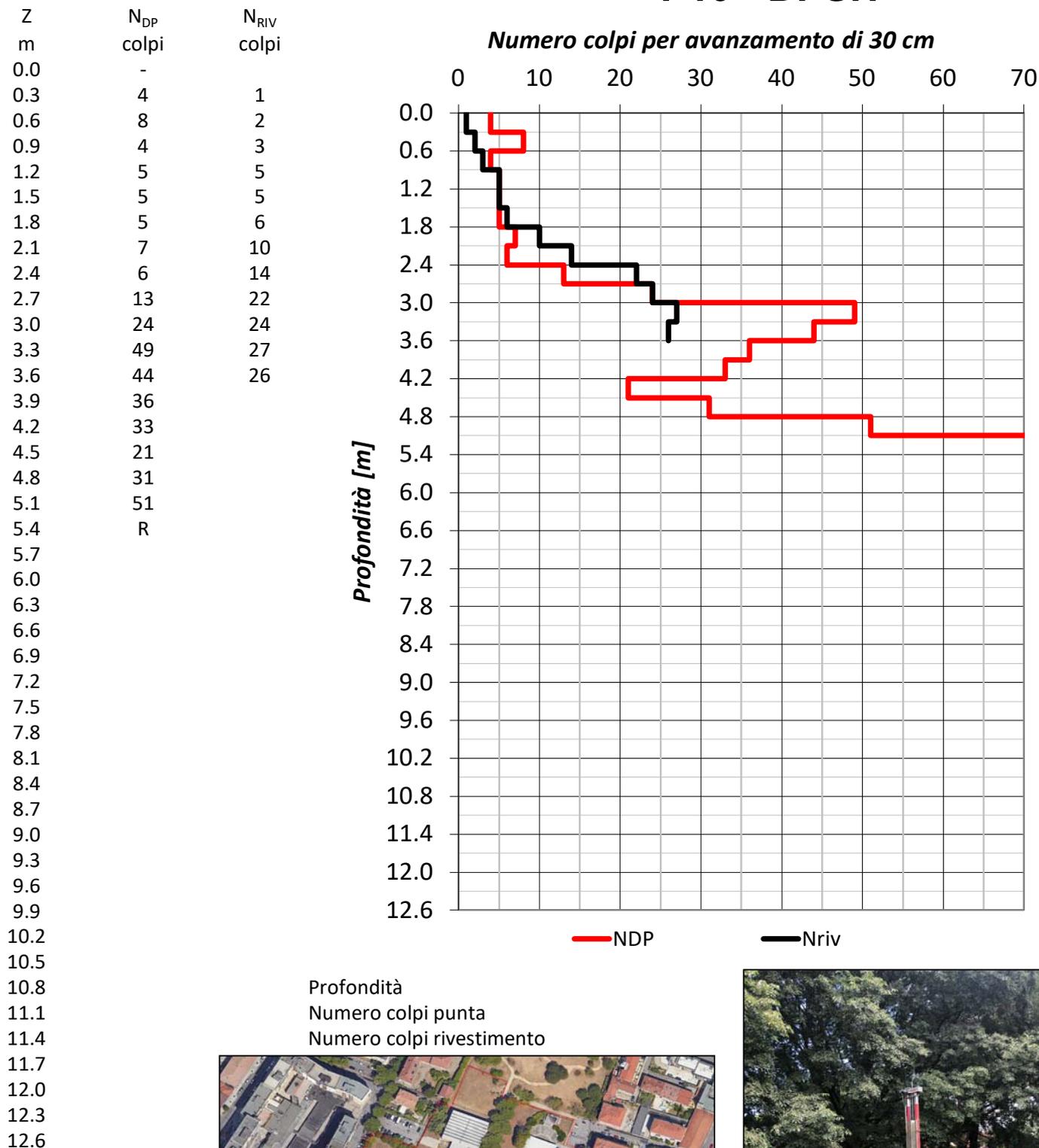


Profondità
 Numero colpi punta
 Numero colpi rivestimento



Riferimento: Settore Edilizia Scolastica - Comune di Brescia (BS)
 Progetto: Caratterizzazione sottosuolo area Scuola Secondaria di I° grado "Bettinzoli e parco limitrofo
 Località: Area compresa tra Via Caleppe, Via Privata de Vitalis, Via Corfù e Via Nisida

P10 - DPSH

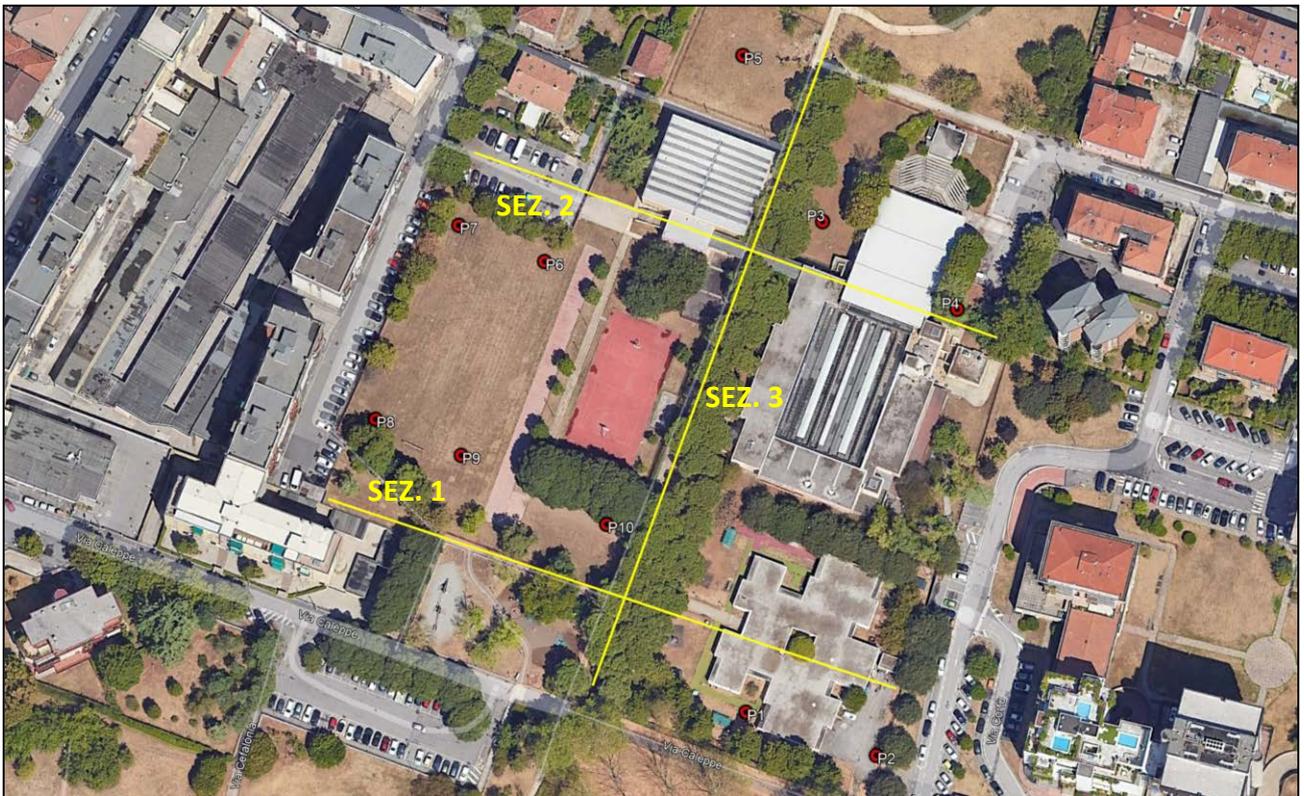


Profondità
 Numero colpi punta
 Numero colpi rivestimento

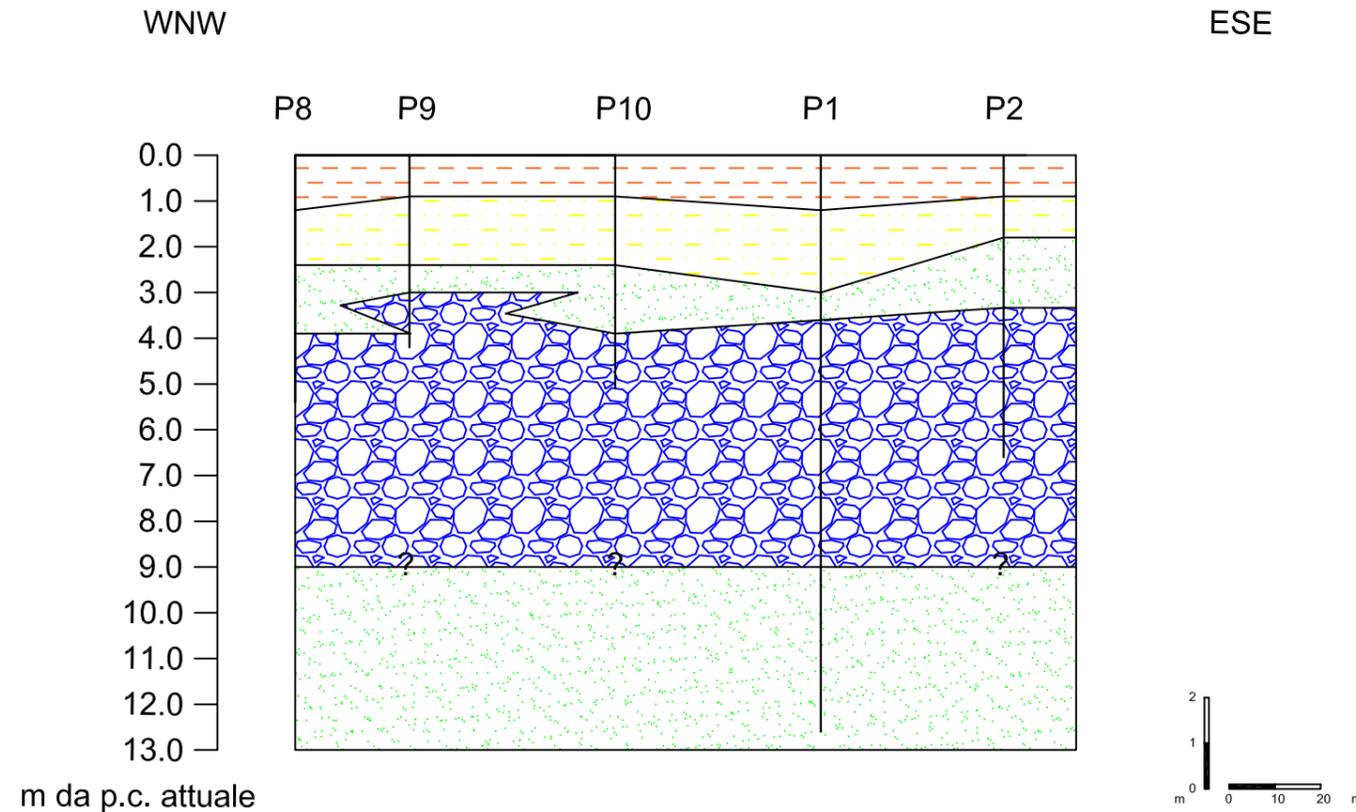


ALLEGATO n. 7

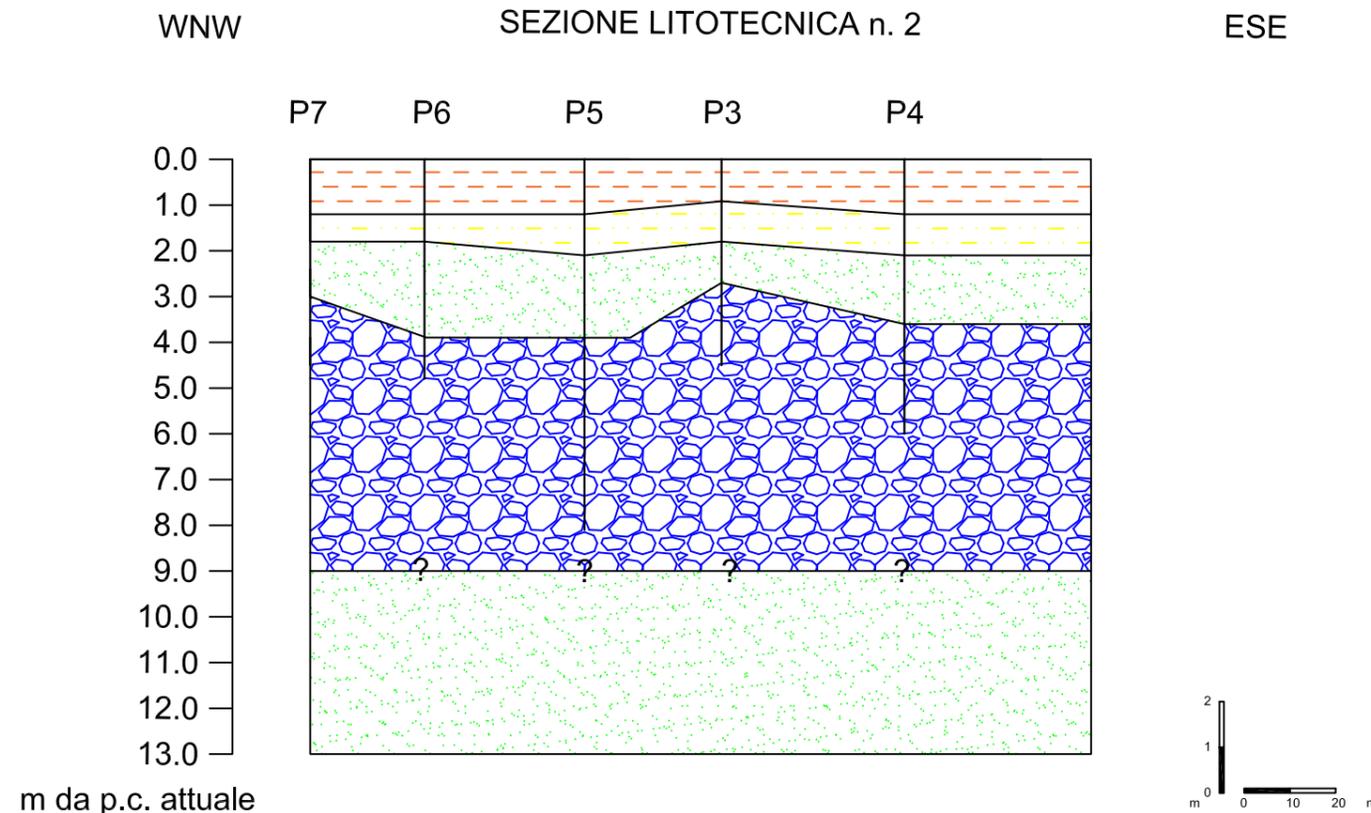
Sezioni litotecniche interpretative



SEZIONE LITOTECNICA n. 1



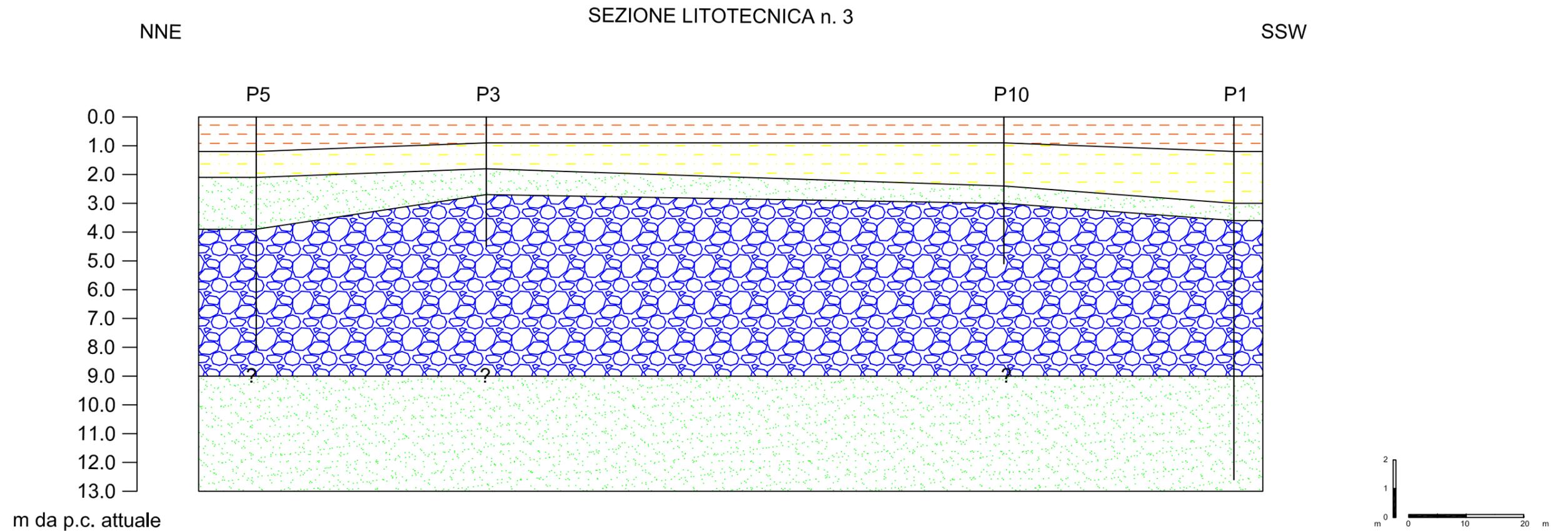
SEZIONE LITOTECNICA n. 2



N.B: Le verticali di prova sono proiettate lungo le tracce delle sezioni

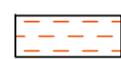
PARAMETRIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO (valori indicativi)

- UNITA' LITOTECNICA L1**
 Sabbia limosa debolmente argillosa con rari clasti ghiaiosi - asciutta da soffice a poco consistente
 Peso di volume $\gamma_{nat} = 18 \text{ kN/m}^3$
 Densità relativa DR = 40%
 Angolo di resistenza al taglio $\phi = 29^\circ$
 Modulo di deformazione elastico E = 4-5 MPa
 Velocità delle onde di taglio $V_S = 130 \text{ m/s}$
 Velocità delle onde di compressione $V_P = 390 \text{ m/s}$
 Coefficiente di Poisson $\nu = 0.40-0.45$
 Coefficiente di permeabilità $k = 10^{-6}-10^{-7} \text{ m/s}$
- UNITA' LITOTECNICA L2**
 Limo argilloso debolmente ghiaioso - asciutto da soffice a poco consistente
 Peso di volume $\gamma_{nat} = 17 \text{ kN/m}^3$
 Densità relativa DR = 30%
 Angolo di resistenza al taglio $\phi = 27^\circ$
 Coesione non drenata $c_u = 80-100 \text{ kPa}$
 Modulo di deformazione elastico E = 3-4 MPa
 Velocità delle onde di taglio $V_S = 130 \text{ m/s}$
 Velocità delle onde di compressione $V_P = 390 \text{ m/s}$
 Coefficiente di Poisson $\nu = 0.40-0.45$
 Coefficiente di permeabilità $k = 10^{-7}-10^{-8} \text{ m/s}$
- UNITA' LITOTECNICA L3**
 Ghiaia e sabbia debolmente limosa - asciutta da moderatamente addensata ad addensata
 Peso di volume $\gamma_{nat} = 19 \text{ kN/m}^3$
 Densità relativa DR = 60%
 Angolo di resistenza al taglio $\phi = 33^\circ$
 Modulo di deformazione elastico E = 20-30 MPa
 Velocità delle onde di taglio $V_S = 290 \text{ m/s}$
 Velocità delle onde di compressione $V_P = 500 \text{ m/s}$
 Coefficiente di Poisson $\nu = 0.25-0.30$
 Coefficiente di permeabilità $k = 10^{-4}-10^{-5} \text{ m/s}$
- UNITA' LITOTECNICA L4**
 Ghiaia con sabbia e ciottoli - asciutta da addensata a molto addensata
 Peso di volume $\gamma_{nat} = 20 \text{ kN/m}^3$
 Densità relativa DR = 80%
 Angolo di resistenza al taglio $\phi = 40^\circ$
 Modulo di deformazione elastico E = 40-50 MPa
 Velocità delle onde di taglio $V_S = 440 \text{ m/s}$
 Velocità delle onde di compressione $V_P = 760 \text{ m/s}$
 Coefficiente di Poisson $\nu = 0.25-0.30$
 Coefficiente di permeabilità $k = 10^{-4}-10^{-5} \text{ m/s}$

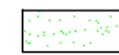


N.B: Le verticali di prova sono proiettate lungo le tracce delle sezioni

PARAMETRIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO (valori indicativi)



UNITA' LITOTECNICA L1
 Sabbia limosa debolmente argillosa con rari clasti ghiaiosi - asciutta da soffice a poco consistente
 Peso di volume $\gamma_{nat} = 18 \text{ kN/m}^3$
 Densità relativa DR = 40%
 Angolo di resistenza al taglio $\phi = 29^\circ$
 Modulo di deformazione elastico E = 4-5 MPa
 Velocità delle onde di taglio $V_S = 130 \text{ m/s}$
 Velocità delle onde di compressione $V_P = 390 \text{ m/s}$
 Coefficiente di Poisson $\nu = 0.40-0.45$
 Coefficiente di permeabilità $k = 10^{-6}-10^{-7} \text{ m/s}$



UNITA' LITOTECNICA L3
 Ghiaia e sabbia debolmente limosa - asciutta da moderatamente addensata ad addensata
 Peso di volume $\gamma_{nat} = 19 \text{ kN/m}^3$
 Densità relativa DR = 60%
 Angolo di resistenza al taglio $\phi = 33^\circ$
 Modulo di deformazione elastico E = 20-30 MPa
 Velocità delle onde di taglio $V_S = 290 \text{ m/s}$
 Velocità delle onde di compressione $V_P = 500 \text{ m/s}$
 Coefficiente di Poisson $\nu = 0.25-0.30$
 Coefficiente di permeabilità $k = 10^{-4}-10^{-5} \text{ m/s}$



UNITA' LITOTECNICA L2
 Limo argilloso debolmente ghiaioso - asciutto da soffice a poco consistente
 Peso di volume $\gamma_{nat} = 17 \text{ kN/m}^3$
 Densità relativa DR = 30%
 Angolo di resistenza al taglio $\phi = 27^\circ$
 Coesione non drenata $c_u = 80-100 \text{ kPa}$
 Modulo di deformazione elastico E = 3-4 MPa
 Velocità delle onde di taglio $V_S = 130 \text{ m/s}$
 Velocità delle onde di compressione $V_P = 390 \text{ m/s}$
 Coefficiente di Poisson $\nu = 0.40-0.45$
 Coefficiente di permeabilità $k = 10^{-7}-10^{-8} \text{ m/s}$



UNITA' LITOTECNICA L4
 Ghiaia con sabbia e ciottoli - asciutta da addensata a molto addensata
 Peso di volume $\gamma_{nat} = 20 \text{ kN/m}^3$
 Densità relativa DR = 80%
 Angolo di resistenza al taglio $\phi = 40^\circ$
 Modulo di deformazione elastico E = 40-50 MPa
 Velocità delle onde di taglio $V_S = 440 \text{ m/s}$
 Velocità delle onde di compressione $V_P = 760 \text{ m/s}$
 Coefficiente di Poisson $\nu = 0.25-0.30$
 Coefficiente di permeabilità $k = 10^{-4}-10^{-5} \text{ m/s}$