



PROVINCIA DI PIACENZA
SERVIZIO "EDILIZIA E SERVIZI TECNOLOGICI"
Dirigente Responsabile del Servizio: Dott. Ing. Jonathan Monti

CENTRO SCOLASTICO MEDIO SUPERIORE "A.VOLTA" SEDE DI CASTEL SAN GIOVANNI E BORGONOVU VAL TIDONE - VIA MONTANARA / VIA GALILEI - INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO ENERGETICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI - IMPORTO COMPLESSIVO € 390.000,00 - CUP: D64D22001960001 -

14. RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

I PROGETTISTI

Dott.Arch. Matteo Bocchi

Geom.Franco Federici

***IL DIRIGENTE
RESPONSABILE DEL SERVIZIO E
RESPONSABILE UNICO DEL PROGETTO***
Dott. Ing. Jonathan Monti

Data: settembre 2023

INDICE

1.0 Premessa.....	pag. 3
1.1 Normativa di riferimento.....	>> 4
2.0 Stato di fatto e descrizione dell'intervento.....	>> 5
3.0 Inquadramento geologico-geomorfologico.....	>> 6
4.0 Indagini geognostiche.....	>> 8
4.1 Prove penetrometriche.....	>> 9
4.2 Stendimento sismico M.A.S.W.....	>> 10
4.3 Indagine sismica passiva H.V.S.R.....	>> 11
5.0 Caratterizzazione litostratigrafica.....	>> 12
6.0 Caratterizzazione geotecnica.....	>> 14
7.0 Caratterizzazione sismica.....	>> 15
7.1 Rappresentazione ed interpretazione dei dati sismici.....	>> 15
7.1.1 Metodologia M.A.S.W.....	>> 15
7.1.2 Metodologia H.V.S.R.....	>> 16
7.2 Ricostruzione del sottosuolo mediante analisi congiunta.....	>> 18
7.3 Caratteristiche macrosismiche dell'area.....	>> 19
7.4 Categoria di sottosuolo e categoria topografica.....	>> 21
7.5 Analisi di 2° livello.....	>> 22
7.6 Parametri sismici di riferimento.....	>> 24
8.0 Valutazione del potenziale di liquefazione.....	>> 27
9.0 Terre e rocce da scavo.....	>> 29

ALLEGATI

- Allegato 1 - Corografia generale con ubicazione area in esame
- Allegato 2 - Planimetria con ubicazione punti di indagine
- Allegato 3 - Istogrammi prove penetrometriche
- Allegato 4 - Documentazione fotografica

1.0 Premessa

Nella presente relazione si espongono i risultati delle indagini geologiche, geotecniche e sismiche eseguite per conto della Provincia di Piacenza, presso la sede staccata di Borgonovo Val Tidone (PC) del Centro Scolastico Medio Superiore di Castel San Giovanni, nell'ambito dello studio il miglioramento antisismico e funzionale dell'edificio palestra.

Lo studio è finalizzato alla definizione delle caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area e dell'assetto litostratigrafico e geotecnico dei terreni di imposta della struttura; in particolare lo scopo dell'indagine è quello di fornire al Progettista utili indicazioni sulle effettive condizioni litostratigrafiche del volume significativo di terreno interessato dalle opere. Per tale scopo, oltre che tramite un rilievo morfologico dell'area, l'acquisizione diretta dei dati di campagna è avvenuta attraverso specifiche prospezioni geognostiche, rappresentate da n.3 prove penetrometriche di tipo dinamico S.C.P.T., n.1 stendimento sismico tipo M.A.S.W. e da n.1 rilevazione del microtremore sismico ambientale mediante tromometro, eseguiti in data 6 giugno 2018. I dati raccolti sono stati inoltre integrati con quelli esistenti, derivanti da indagini geognostiche realizzate nel medesimo complesso scolastico, da studi pregressi in zone limitrofe, dalla letteratura di riferimento e dalla cartografia tecnica disponibile.

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

- esame dei dati geologici ed idrogeologici pregressi della zona, disponibili tramite bibliografia e delle indagini geognostiche già eseguite nell'ambito del complesso scolastico (Tecnosuolo S.r.l. 2009);
- esecuzione delle prospezioni geotecniche in situ (S.C.P.T.) e misura dei valori di resistenza penetrometrica con verifica della eventuale presenza di acqua di falda;
- esecuzione stendimento sismico M.A.S.W., rilevazione H.V.S.R. e caratterizzazione sismica dell'area attraverso riscontri normativi e dati acquisiti in sito;
- ricostruzione dell'assetto litostratigrafico e caratterizzazione geologico-tecnica dei terreni di fondazione con la definizione dei parametri geomeccanici.

1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- D.M. LL.PP. 11.03.88 *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”*;
- D.M. LL.PP. 17.01.18 *“Norme tecniche per le costruzioni – Testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni, di cui alla legge 5 novembre 1971, n.1086, alla legge 2 febbraio 1974, n.64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n.380, ed al decreto-legge 28 maggio 2004, n.136, convertito con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n.186”*;
- Eurocodice 7 *“Progettazione geotecnica – parte I: Regole Generali (1997) – parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) – parte III: progettazione assistita con prove in sito (2002)”*;
- Eurocodice 8 (1998) *“Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture – parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”*;
- O.P.C.M. n.3274 20.03.03 *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*;
- O.P.C.M. n.3519 28.04.06 *“Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”*;
- Allegato al voto n.36 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici 27.07.07 *“Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale”*;
- D.P.R. n.120 13.06.2017 *“Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell’articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n.133, convertito, con modificazioni, della legge 11 novembre 2014, n.164”*;
- P.S.C. (Piano Strutturale Comunale) del Comune di Borgonovo Val Tidone;
- P.T.C.P. (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) della Provincia di Piacenza.

2.0 Stato di fatto e breve descrizione dell'intervento

La sede distaccata di Borgonovo Val Tidone del Centro Scolastico Medio Superiore di Castel San Giovanni è situata nella estrema porzione meridionale dell'abitato (fig. 1); le strutture scolastiche si sviluppano su una superficie complessiva di circa 20.000 mq.



Figura 1: Foto aerea con ubicazione area di intervento (Google Earth).

Il progetto prevede interventi di miglioramento antisismico e funzionale dell'edificio palestra, previa valutazione della vulnerabilità sismica dello stesso.

3.0 Inquadramento geologico-geomorfologico

L'area è inserita nel contesto della zona penepianeggiante facente parte della porzione di pianura oltrepadana piacentina a ridosso delle prime propaggini dell'appennino emiliano, i cui rilievi collinari si trovano a pochi chilometri in direzione sud dalla stessa. La quota del punto in causa è di circa 117.0 metri s.l.m..

Il territorio presenta debole pendenza verso nord e risulta costituito dai sedimenti fluvio-glaciali e alluvionali quaternari che hanno colmato, per effetto dell'erosione della catena alpina ed appenninica, il Paleobacino Padano.

A causa delle modalità di formazione di tali depositi, è comune osservare una locale variazione delle granulometrie, in senso sia verticale che orizzontale. A ciò si aggiungono le variazioni di origine antropica che hanno alterato l'assetto stratigrafico originario, almeno nei livelli più superficiali.

Il contesto geologico di pertinenza è stato desunto dall'esame del Foglio 59 (Pavia) della Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:100.000 (fig. 2).

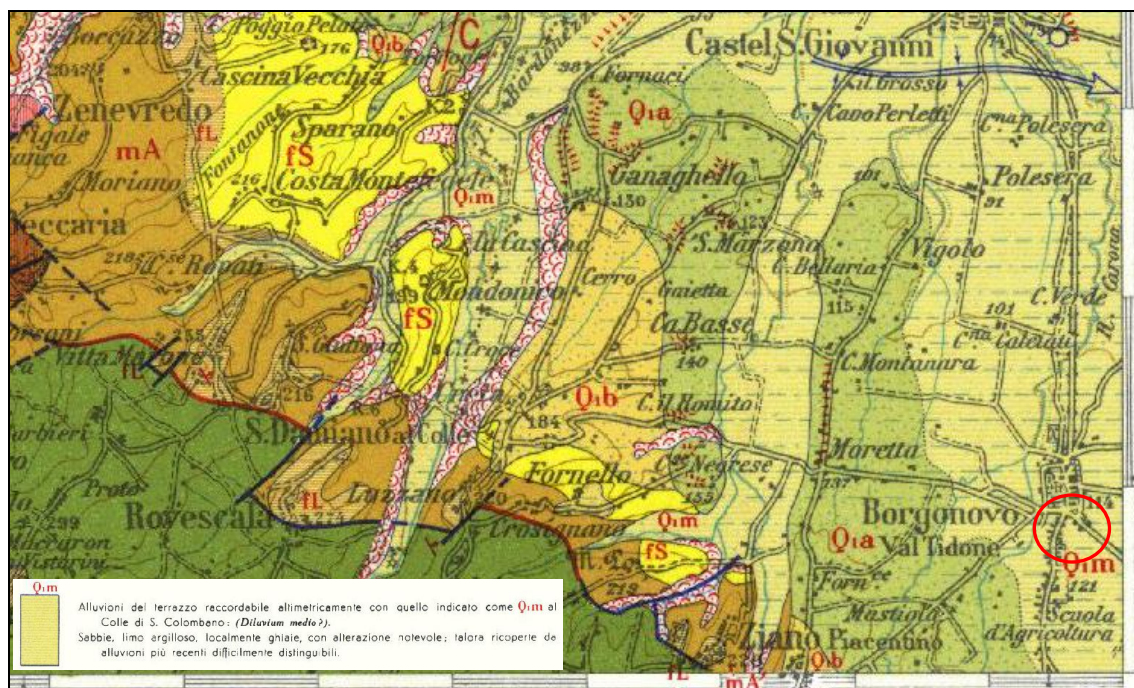


Figura 2: Estratto Carta Geologica d'Italia - Foglio 59 Pavia.

L'area in esame si colloca su terreni di origine fluviale attribuiti alle "alluvioni del terrazzo raccordabile altimetricamente al Colle di San Colombano: Diluvium Medio?", rappresentati dal punto di vista granulometrico da sabbie, limi argillosi e ghiaie, con alterazione notevole talora ricoperte da alluvioni più recenti difficilmente distinguibili.

Le alluvioni quaternarie sono a copertura del substrato pliocenico di origine marina, rappresentato da litotipi marnoso-argillosi, reperibili a profondità non elevate (40÷60m), che dal punto di vista strutturale risulta, nella fascia a nord rispetto all'area, in esame essere interessato da pieghe sinclinali sepolte con orientamento circa est-ovest.

In relazione all'idrografia di superficie non si riscontrano elementi di rilievo, il torrente Tidone scorre ad oltre 2.5 chilometri in direzione sud-est rispetto all'area in esame; la campagna circostante risulta unicamente caratterizzata dalla presenza di una rete di fossi, rii minori e modeste canalizzazioni di scolo dei terreni agricoli, quale quella che scorre poco a sud dell'area.

Dal punto di vista idrogeologico, nella "Carta degli elementi idrogeologici e di vulnerabilità degli acquiferi" allegata alla Sezione geologica del P.S.C. Comunale (gennaio 2006), la soggiacenza della falda è segnalata a quote comprese tra 110 e 112 metri s.l.m., corrispondenti a profondità comprese tra 5 e 7 metri dal piano campagna. Coerentemente con tale dato nel corso delle indagini pregresse (dicembre 2009) è stata riscontrata presenza di acqua alla quota di circa -3.0÷-3.5 metri dal piano interrato dell'edificio scolastico, corrispondente a circa -6.5÷-7.0 metri dal piano campagna esterno ai fabbricati.

Si segnala per contro che più in superficie possono sussistere filtrazioni idriche "sospese" per lo più di carattere temporaneo e di intensità variabile in relazione alle condizioni meteorologiche stagionali, localizzate nei livelletti di materiali incoerenti permeabili per porosità.

4.0 Indagini geognostiche

Il programma di indagine, definito in accordo con la spett. Committenza rappresentata dall'Arch. Matteo Bocchi, ha comportato le seguenti operazioni:

- n.3 prove penetrometriche dinamiche S.C.P.T. (Standard Cone Penetration Test), spinte fino alla profondità di 7.50m dal piano campagna (P1, P2, P3);
- n.1 stendimento sismico M.A.S.W. (L1) della lunghezza di 60.0 metri;
- n.1 rilevazione puntuale mediante geofono triassiale 3D del microtremore sismico ambientale (TR1).

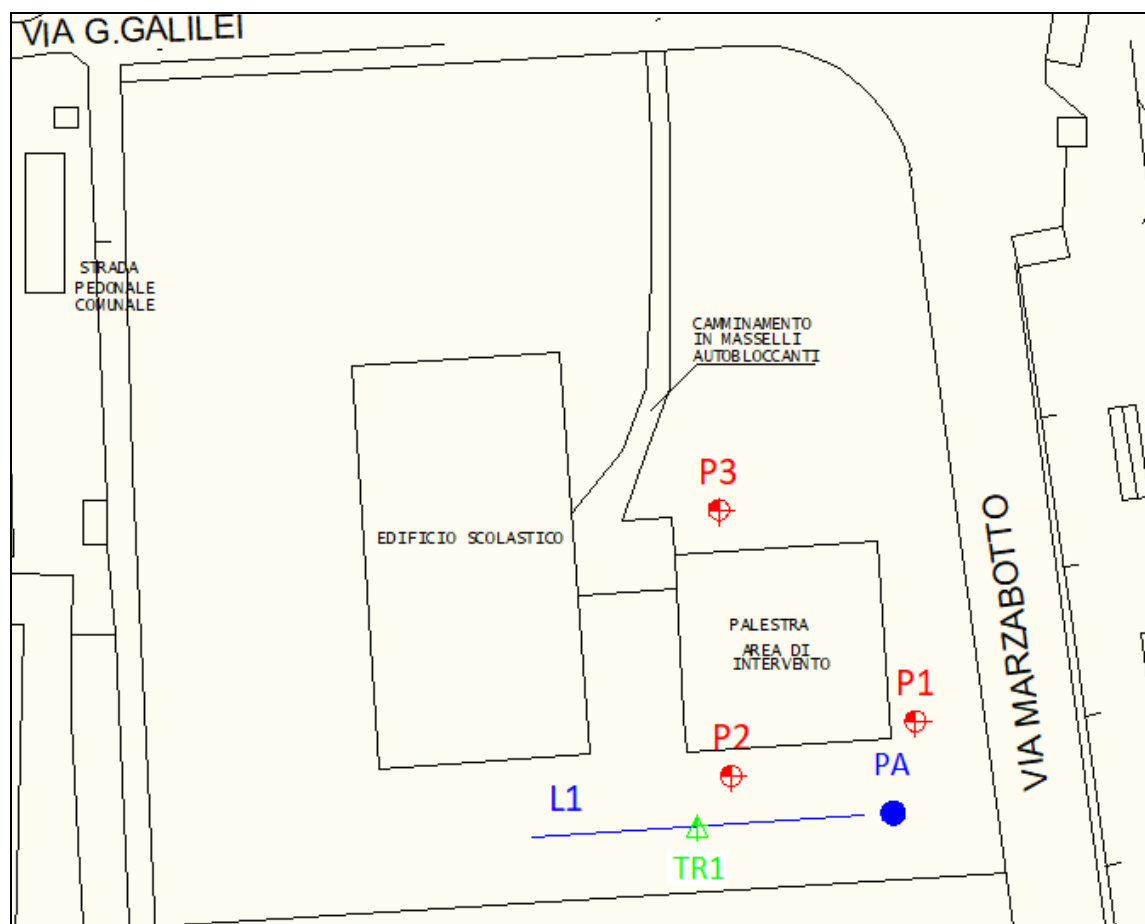


Figura 3: Planimetria con ubicazione punti di indagine.

Di seguito si illustrano i dettagli e le modalità esecutive delle indagini; in allegato è riportata la documentazione fotografica unitamente alla planimetria di riferimento.

4.1 PROVE PENETROMETRICHE

Per l'acquisizione dei dati è stato impiegato un penetrometro semovente statico-dinamico PAGANI modello TG 73-200, dotato di opportuni elicoidi di ancoraggio e punta meccanica Begemann per le prove statiche e di sgancio automatico per le prove dinamiche.

L'esecuzione delle prove dinamiche ha comportato la verifica del numero di colpi N del maglio necessari per infiggere verticalmente nel terreno, per intervalli consecutivi della lunghezza di 30 cm, l'apposita punta conica collegata ad una batteria di aste.

Le caratteristiche tecniche dell'attrezzatura in modalità dinamica sono le seguenti:

<i>Peso della massa battente</i>	<i>73 Kg</i>
<i>Altezza di caduta</i>	<i>75 cm</i>
<i>Superficie della punta</i>	<i>20 cm²</i>
<i>Diametro della punta</i>	<i>50 mm, con conicità 60°</i>
<i>Diametro delle aste</i>	<i>32 mm</i>
<i>Peso delle aste</i>	<i>6.31 Kg/m</i>
<i>Passo infissione</i>	<i>30 cm</i>

I risultati riscontrati in campagna vengono visualizzati attraverso grafici che riportano per ogni verticale di prova:

- il numero di colpi N_{SCT} necessari per avanzamenti della punta di 30 cm;
- i valori di resistenza dinamica alla punta (R_{pd}) assimilabili ai valori di R_p .

4.2 STENDIMENTO SISMICO M.A.S.W.

L'acquisizione di campagna è stata condotta con sismografo PASI modello Gea 24 con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno automatico del segnale (in ampiezza), geofoni verticali da 4.5 Hz spazati di 5m con offset a 5m di distanza dal primo geofono, l'energizzazione è avvenuta tramite mazza del peso di 10 Kg.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (MASW), il dataset è stato ottenuto mediante le seguenti modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
 - 12 geofoni verticali da 4,5 Hz
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in alluminio

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW 3C 7.2 beta e nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF).

Una volta individuato il dataset da utilizzare è stato determinato lo spettro di velocità e successivamente è stata effettuata la modellazione.

E' necessario sottolineare che l'interpretazione delle indagini geofisiche viene fatta nell'ipotesi che gli strati del sottosuolo siano omogenei, orizzontali e con superfici di separazione piano parallele. Si rammenta infine come, in ogni caso, la valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira attorno al 10-15%.

4.3 INDAGINE SISMICA PASSIVA H.V.S.R.

Si tratta di una metodologia sismica passiva, finalizzata alla determinazione dei valori di frequenza caratteristica del sito e del suolo al fine di verificare che non vi siano eventuali effetti di doppia risonanza, che potrebbero inficiare sulla stabilità della struttura. Nel contempo la misurazione effettuata sul terreno ha permesso di verificare la presenza di eventuali orizzonti rifrattori più profondi rispetto alla massima profondità indagata con la sismica attiva ed è stata utilizzata, come precedentemente descritto, per un'elaborazione congiunta con i dati acquisiti per mezzo dello stendimento M.A.S.W..

La misurazione è stata eseguita mediante l'utilizzo di un geofono triassiale digitale 3D PASI, modello Gemini ed i dati sono stati rielaborati tramite software WinMASW 3C 7.2 beta.

Tale indagine geofisica si avvale della tecnica di Nakamura (1989) e sui rapporti spettrali H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio); viene misurato il microtremore sismico ambientale (rumore sismico) presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre.

Per poter effettuare tale misurazione lo strumento racchiude tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con frequenza naturale di risonanza 2.0 Hz. I dati vengono registrati su pc collegato alla strumentazione. Durante la misura si è orientata una delle componenti orizzontali parallelamente all'allineamento dello stendimento sismico M.A.S.W., per consentire una eventuale ripetizione e sovrapposizione delle registrazioni in tempi successivi.

Operativamente si è proceduto alla registrazione del rumore sismico sulle tre componenti per un intervallo di tempo di 20 minuti.

5.0 Caratterizzazione litostratigrafica

L'esame delle indagini geognostiche pregresse e dei diagrammi di resistenza penetrometrica ricavati dalle prove eseguite in questa fase ha consentito di definire uno schema nel quale si identificano degli orizzonti litostratigrafici sovrapposti, aventi caratteristiche di resistenza alla penetrazione dinamica e parametri litologici e geomeccanici specifici. Le variazioni dei parametri $N_{S.C.P.T.}$ ed R_{pd} rilevate lungo le singole verticali di prova, sono normalmente riconducibili sia a cambiamenti geolitologici e granulometrici dei terreni attraversati che al diverso stato di addensamento o consistenza degli stessi.

Con il ricorso a inevitabili schematizzazioni il modello litostratigrafico locale può essere così proposto:

LIVELLO I:

Materiali di riporto costituenti il sottofondo dell'area cortilizia, cui competono valori di $N_{S.C.P.T.}$ variabili da 10 a 18.

LIVELLO II:

Argille limose e sabbiose mediamente compatte con presenza più o meno abbondante di ghiaia e ciottoli poligenici ed eterometrici, caratterizzate da valori di $N_{S.C.P.T.} = 4 \div 8$.

LIVELLO III:

Ghiaie e sabbie grossolane con ciottoli poligenici ed eterometrici e presenza più o meno rilevante di materiale fine argilloso-limoso di intasamento; i valori caratteristici di $N_{S.C.P.T.}$ sono mediamente compresi tra 10 e 15 (localmente $N=15 \div 20$).

Con riferimento alla quota di inizio prova (corrispondente al piano dell'area cortilizia esterna alla palestra alla data di esecuzione delle prospezioni), i rapporti stratigrafici nei diversi punti di indagine possono essere così schematizzati:

Punto di prova n°		P1	P2	P3
Quota inizio prova		Piano campagna		
Prof. interfaccia livelli da piano campagna attuale (m)	I-II	-1.20	-0.90	-1.20
	II-III	-3.60	-3.90	-3.60
Prof. fine prova da p.c. attuale (m)		-7.50	-7.50	-7.50

Nel corso dell'indagine i fori di prova risultavano ostruiti in superficie per il franamento dei materiali di riporto, non è stato pertanto possibile rilevare direttamente la presenza di acque sotterranee; a tal proposito si ribadisce in ogni caso come dalle indagini pregresse e nella cartografia ufficiale il livello della falda è ipotizzabile ad una quota di circa -6.0÷-7.0 metri dal piano campagna; per contro che più in superficie possono sussistere filtrazioni idriche "sospese" per lo più di carattere temporaneo e di intensità variabile in relazione alle condizioni meteorologiche stagionali, localizzate nei livelletti di materiali incoerenti permeabili per porosità.

6.0 Caratterizzazione geotecnica

La definizione dei parametri geotecnici che caratterizzano gli strati di terreno investigati è stata eseguita mediante risultati delle prove penetrometriche realizzate in sito, utilizzando le correlazioni semi-empiriche e sperimentali note in letteratura, oltre che sulla base di dati già acquisiti attraverso prove in sito ed in laboratorio su terreni analoghi.

I parametri così derivati sono da considerare validi per gli scopi prefissati dall'indagine, per una loro definizione di maggior dettaglio sarà invece necessario ricorrere ad ulteriori e più specifiche indagini in sito ed analisi di laboratorio su campioni di terreno indisturbati.

Trascurando il livello I rappresentato dai materiali di riporto costituenti il sottofondo dell'area cortilizia agli orizzonti del modello litostratigrafico precedentemente esposto si possono attribuire i seguenti valori medi, determinati sulla base di quelli ricavati dall'elaborazione dei dati acquisiti in corrispondenza di ciascuna verticale di prova:

ORIZZONTE	I	II	III
Comportamento geotecnico	-	coesivo	incoerente
Valori medio-minimi di $N_{S.C.P.T.}$	-	4÷6	10÷16
Peso di volume γ (t/m ³)	-	1.8	1.8
Peso di volume immerso γ_i (t/m ³)	-	-	0.9
Coesione non drenata C_u (t/m ²)	-	5÷7	0
Coesione efficace C' (t/m ²)	-	0	0
Angolo di attrito efficace ϕ' (°)	-	24°÷26°	32°÷36°
Modulo edometrico M (kg/cm ²)	-	80÷100	250÷300
Modulo elastico E (kg/cm ²)	-	-	200÷250
Modulo elastico non drenato E_u (kg/cm ²)	-	250÷350	-

7.0 Caratterizzazione sismica

7.1 RAPPRESENTAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI SISMICI

7.1.1 Metodologia M.A.S.W.

Al fine di fornire i valori delle V_s , necessarie per la caratterizzazione sismica del sito, è stata realizzata una stesa sismica denominata L1, di lunghezza pari a 60m con distanza intergeofonica pari a 5.0 metri.

L'energizzazione del terreno (sorgente di energia), per la lettura dei tempi di arrivo delle onde Superficiali (Rayleigh), è stata ottenuta impiegando una mazza battente da 10 kg in senso verticale su di una piastra in alluminio aderente al suolo. L'energizzazione è stata effettuata agli estremi dello stendimento ad una distanza di 5.0m ed è stata eseguita più volte per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati.

Si riporta di seguito il sismogramma frutto della somma di ciascuna acquisizione, filtrato di eventuali disturbi di fondo, scelto per la modellazione (fig. 4):

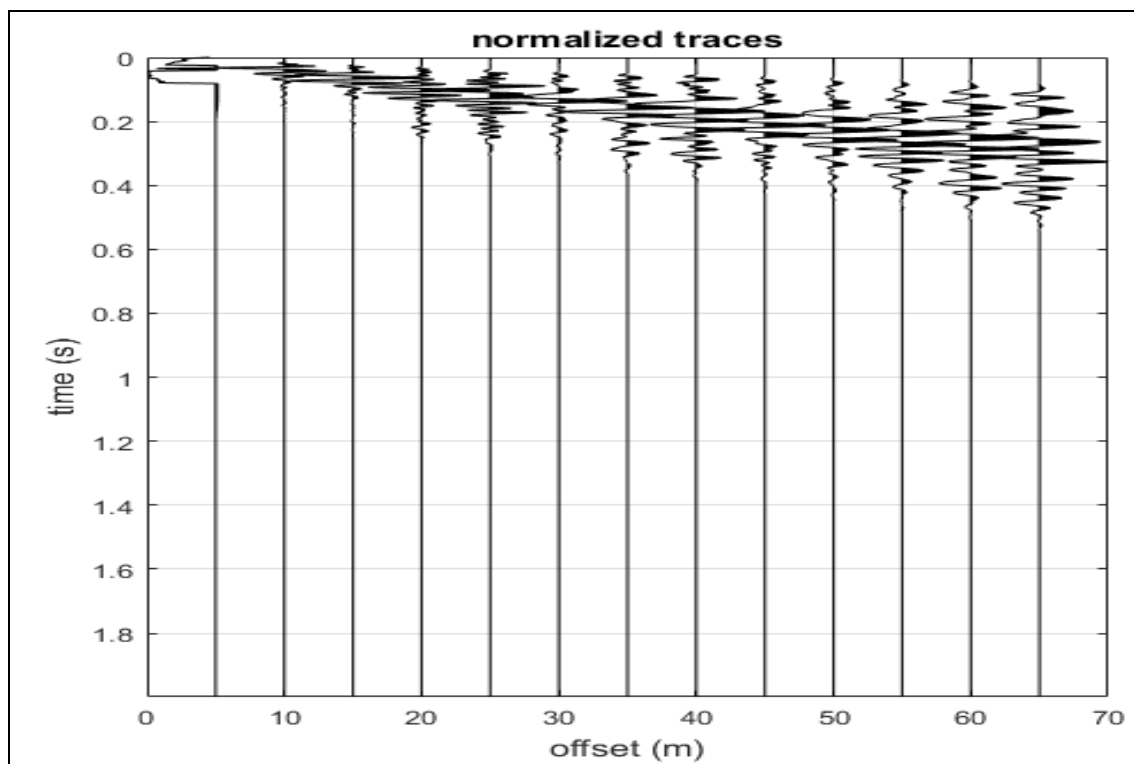


Figura 4: Sismogramma ZVF (onde Rayleigh) base sismica L1.

L'elaborazione del sismogramma ha consentito di estrapolare lo spettro di velocità dal quale si è risalito tramite picking alla curva di dispersione (fig. 5) che consente di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.

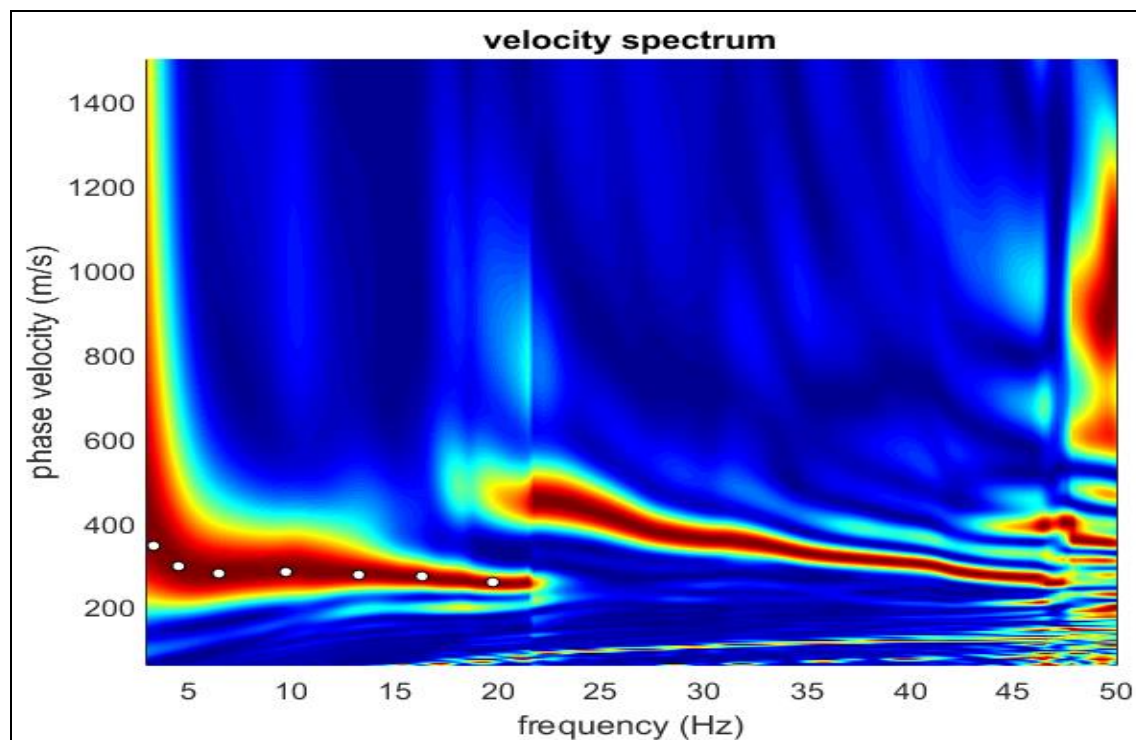


Figura 5: Spettro di velocità base sismica L1 con picking.

7.1.2 Metodologia H.V.S.R.

Per la verifica della presenza di eventuali orizzonti rifrattori più profondi rispetto alla massima profondità indagata con la sismica attiva e per l'elaborazione congiunta con la medesima oltre che per la determinazione dei valori di frequenza caratteristica del sito e del suolo è stata eseguita una acquisizione puntuale (TR1) in passivo del microtremore sismico ambientale mediante geofono triassiale 3D e per una durata di venti minuti. Si riportano di seguito i relativi diagrammi H/V elaborati dalla misurazione effettuata sull'area di interesse (fig. 6).

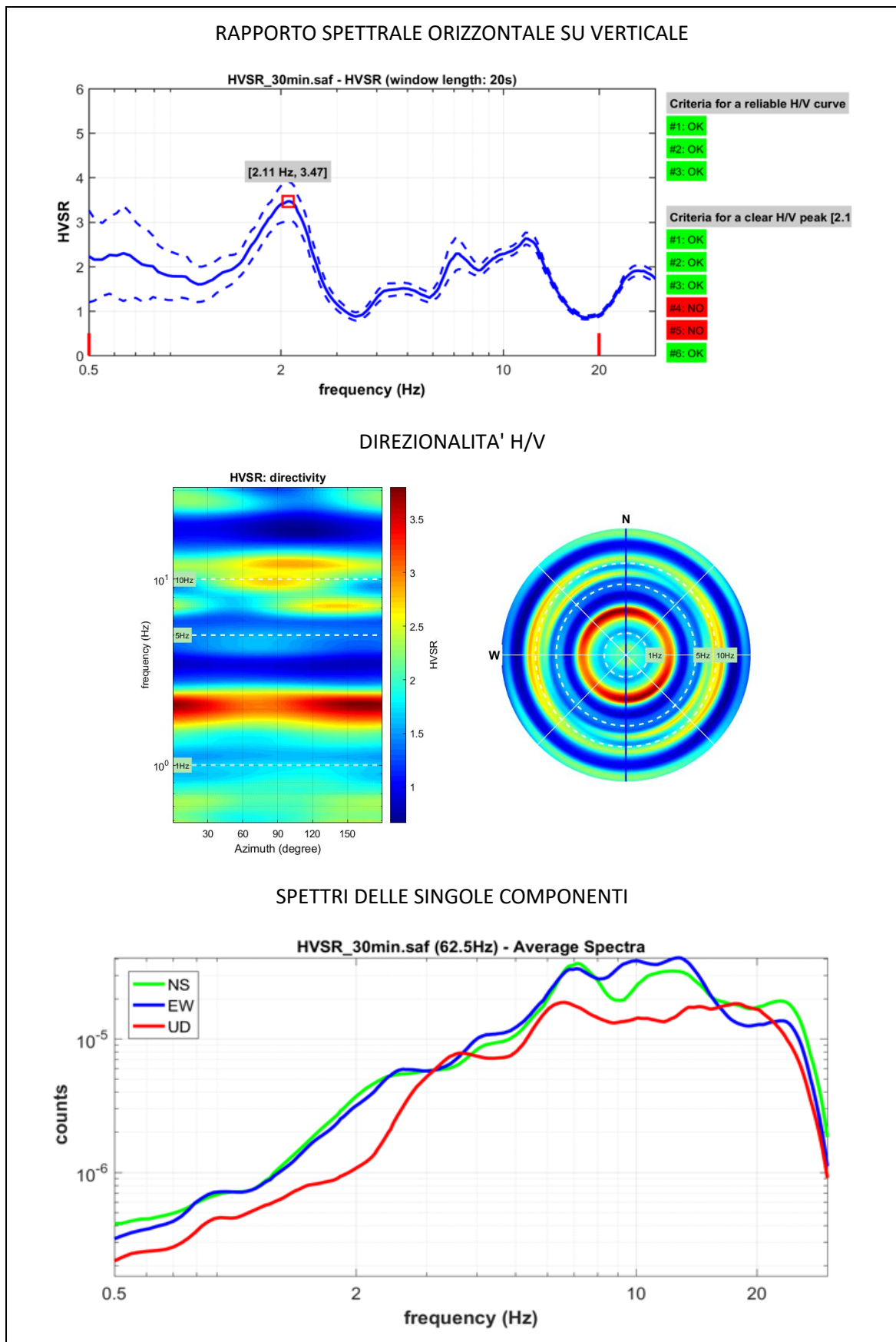


Figura 6: Rapporti spettrali H/V vs Hz.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dalla sua altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula:

$$freq. \text{ naturale edificio} \cong 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

Si tenga conto che se si verifica la seguente somiglianza tra risonanza del terreno e della struttura:

$$freq. \text{ naturale edificio} \cong freq. \text{ naturale coperture}$$

si creano condizioni di pericolo, perché si dà luogo alla massima amplificazione.

Si evince che i valori di frequenza caratteristica di risonanza del sito (**2.11 Hz**) e il valore di frequenza fondamentale di risonanza dell'edificio dovranno essere sufficientemente diversi così da non comportare il verificarsi di fenomeni di doppia risonanza.

7.2 RICOSTRUZIONE DEL SOTTOSUOLO MEDIANTE ANALISI CONGIUNTA

Dall'inversione delle curve di dispersione si è ottenuta la ricostruzione del sottosuolo in orizzonti aventi differenti spessori e valori di velocità:

L1		
Spessore (m)	Profondità (m)	V_s (m/sec)
1.4	0.0-1.4	279
3.3	1.4-4.7	238
4.7	4.7-9.4	329
5.5	9.4-14.9	431
3.4	14.9-18.3	366
5.2	18.3-23.5	395
4.4	23.5-27.9	467
2.1	27.9-30.0	489

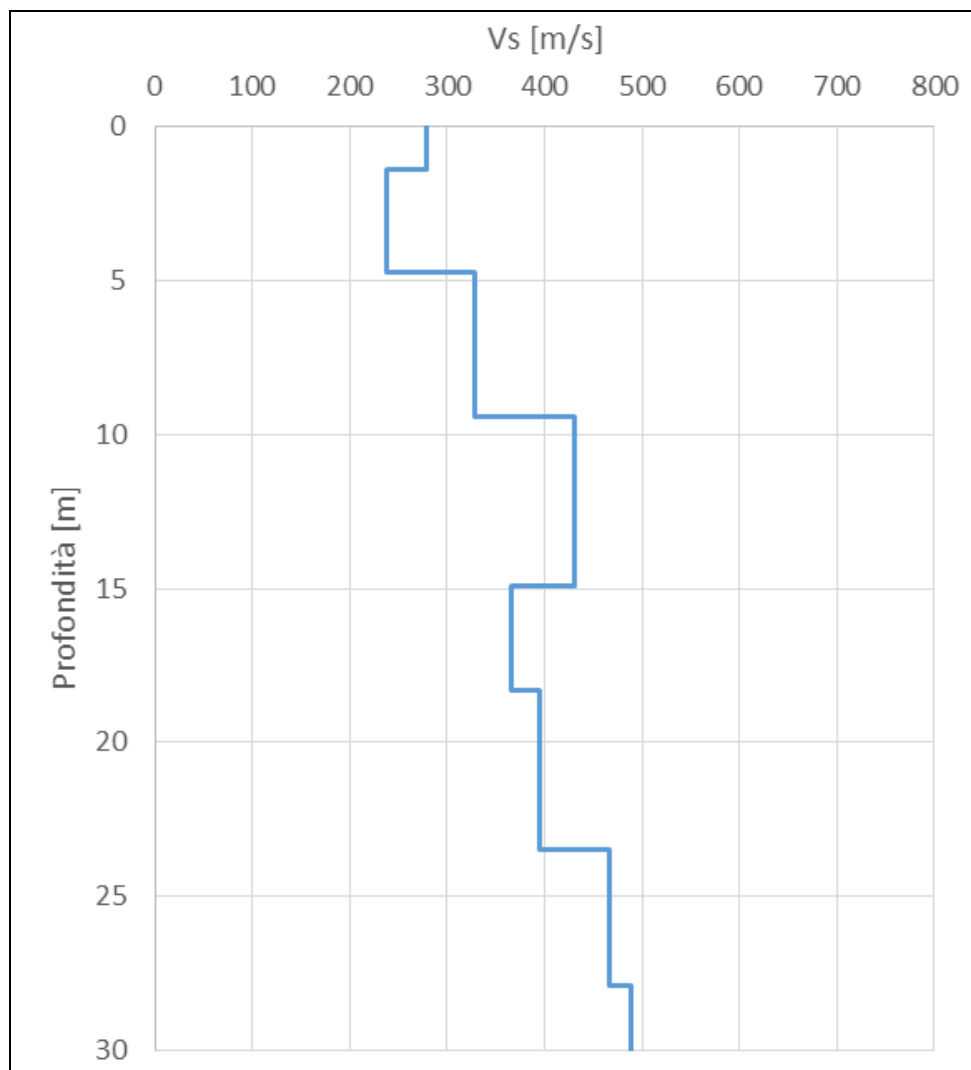


Figura 7: Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari strati intercettati nella base sismica L1.

7.3 CARATTERISTICHE MACROSISMICHE DELL'AREA

La nuova classificazione sismica del territorio nazionale, in relazione alla vigente O.P.C.M. n.3274 - 11.03.03 e successive modificazioni, è articolata in quattro zone, ciascuna contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale (a_g) su suolo di categoria A con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Sulla base di tale classificazione, recepita dalla Regione Emilia-Romagna tramite la D.G.R. n.1435/2003 - 21.07.03, il territorio comunale di Borgonovo Val Tidone è classificato in **zona sismica 4** "a sismicità molto bassa", cui corrisponde un valore massimo di a_g pari a 0.05g (fig. 8).

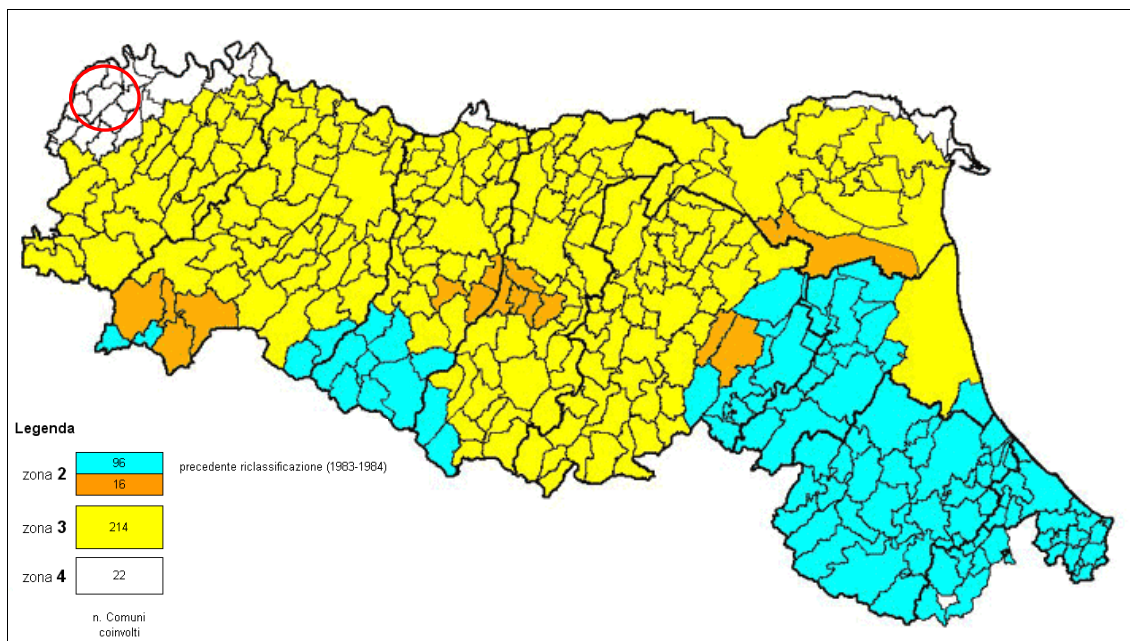


Figura 8: Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia Romagna a seguito all'ordinanza 3274/2003 (recepita dalla D.G.R. n.1435/2003 – 21.07.2003).

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519 del 28 aprile 2006 – *“Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”* riferita all'intero territorio nazionale, l'area in esame ricade all'interno di una porzione di territorio in cui il valore di a_g risulta compreso tra 0.075 e 0.100g, pertanto incluso nel range $0.05 < a_g \leq 0.15g$ che identifica la **zona sismica 3** (fig. 9).

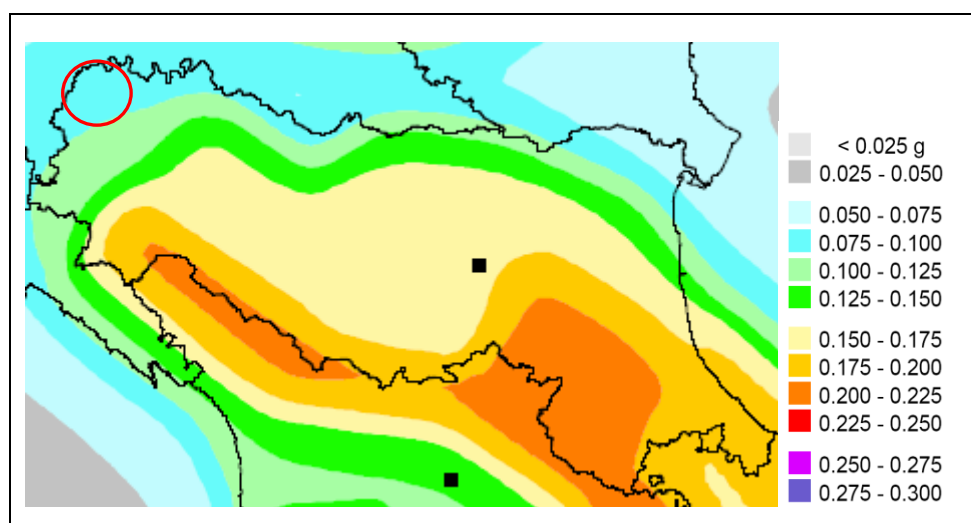


Figura 9: Estratto mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, riferimento ordinanza 3519/2006, all. 1b.

I valori di a_g agli SLE e SLU dinamici, calcolati secondo il D.M. 17.01.2018 “*Norme tecniche per le costruzioni*” (e riportati nei successivi paragrafi) per le coordinate che identificano il sito ovvero lat. 45.00903° e long. 9.44867°, risultano compresi nel range $0.03 < a_g \leq 0.125g$.

7.4 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CATEGORIA TOPOGRAFICA

Per quanto riguarda la determinazione della categoria di sottosuolo il D.M. 17.01.2018 prevede una classificazione in cinque categorie principali riportate nella tabella 3.2.II (fig. 10) definite in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,eq}$ corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio a partire dal piano di fondazione (per fondazioni superficiali e per muri di sostegno di terrapieni), dalla testa dei pali o dalla testa dell’opera (per opere di sostegno di terreni naturali), fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità di tale substrato superiore a 30m la velocità equivalente $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30m.

L’espressione per la determinazione della velocità equivalente $V_{s,eq}$ è la seguente:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_i}}$$

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo
 V_i = Velocità dell'onda di taglio i-esima
 N = Numero di strati
 H = Profondità del substrato sismico con $V_s > 800 \text{ m/s}$

Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata determinata tramite i dati ottenuti dallo stendimento sismico con metodologia M.A.S.W. eseguito. Dall’elaborazione di tali dati il terreno presenta per la linea eseguita, valore delle $V_{s,eq}$ pari a **365 m/s** riferito all’attuale piano campagna ed esso risulta pertanto classificabile in **categoria B** “*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*”, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

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

Figura 10: Tabella 3.2.II “Categorie di sottosuolo” – D.M. 17.01.2018.

In riferimento alle categorie topografiche riportate nella tabella 3.2.IV del D.M. (fig. 11), il sito può essere classificato nella **categoria T1**.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	<i>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$</i>
T2	<i>Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$</i>
T3	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$</i>
T4	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$</i>

Figura 11: Tabella 3.2.III “Categorie topografiche” – D.M. 17.01.2018.

7.5 ANALISI DI 2° LIVELLO

Nella Carta delle aree suscettibili di effetti sismici locali, allegata al P.T.C.P. della Provincia di Piacenza (fig. 12) il sedime in questione è classificato Classe D “Depositi detritici, depositi alluvionali ghiaiosi, limosi o indifferenziati, substrato roccioso con $V_{s30} < 800$ m/s e assimilati”, i cui effetti di sito attesi sono legati ad amplificazione litologica. Pertanto si è proceduto alla determinazione dei coefficienti di amplificazione sismica facendo riferimento al valore misurato delle V_{s30} ed utilizzando le tabelle e formule per la valutazione dei fattori di amplificazione sismica per le analisi del secondo livello di approfondimento e per la valutazione degli effetti topografici riportati nell’Allegato 2 della delibera n.112 della R.E.R. (Regione Emilia Romagna).

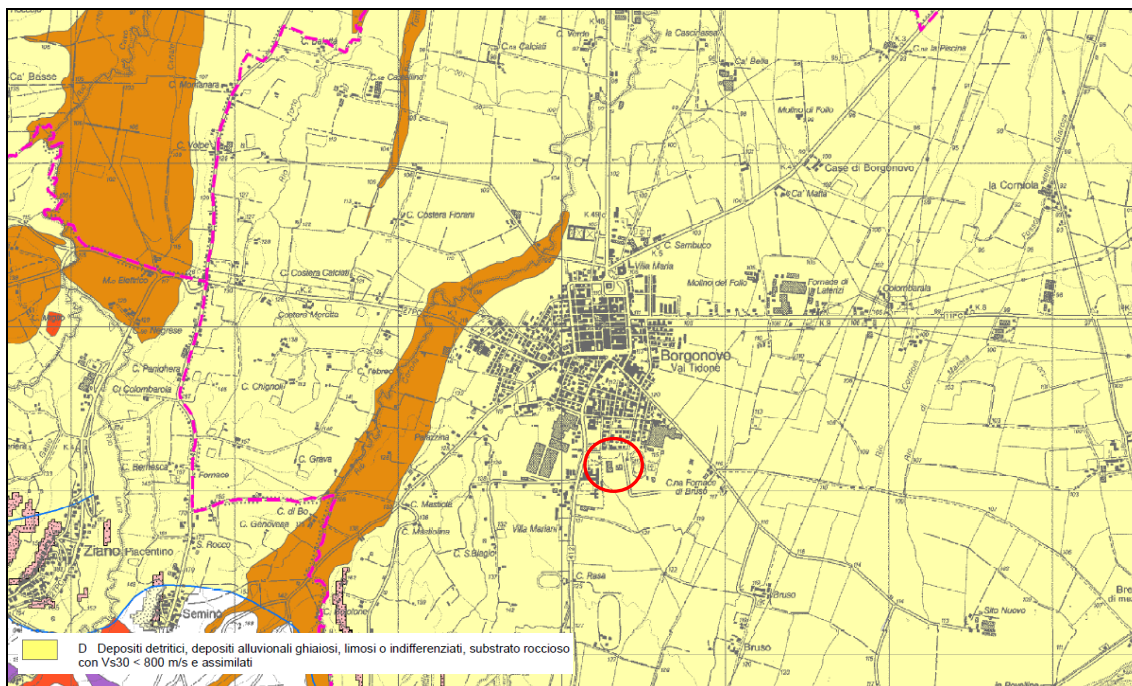


Figura 12: Estratto Carta delle aree suscettibili di effetti sismici locali (P.T.C.P. Provincia di Piacenza).

È stata quindi elaborata la microzonazione sismica per l'ambito in esame, tramite la definizione dei coefficienti di amplificazione sismica, ottenuti impiegando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 (A2.1 e A2.2) dell'Atto di indirizzi della R.E.R., che permettono di calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento.

Questi fattori sono espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA 0) sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI0) per prefissati intervalli di periodo, dove PGA0 e SI0 sono rispettivamente l'accelerazione orizzontale e l'intensità di Housner al suolo di riferimento, definiti per ogni comune, ricavabili dal database regionale, e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e l'intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Considerato che dall'indagine sismica eseguita è risultato che $V_{s30} = 365$ m/s per la determinazione del Fattore di Amplificazione (FA) si è fatto riferimento al caso di PIANURA 1 per il quale si devono usare le seguenti tabelle:

F.A. P.G.A.

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s$

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.5s < T_0 < 1.0s$

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.6	2.5	2.4	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.1	1.0

Sulla base di queste considerazioni sono stati definiti i seguenti fattori di amplificazione:

F.A. PGA = **1.6**

F.A. IS $0.1 < T_0 < 0.5s$ = **1.7**

F.A. IS $0.5 < T_0 < 1.0s$ = **1.9**

7.6 PARAMETRI SISMICI DI RIFERIMENTO

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

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

Latitudine	Longitudine
45.00903°	9.44867°

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

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

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

Stati limite		P_{VR}	Periodo di ritorno (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_C (sec)
SLE	SLO	81%	45	0.036	2.544	0.216
	SLD	63%	75	0.045	2.515	0.246
SLU	SLV	10%	712	0.112	2.467	0.283
	SLC	5%	1462	0.145	2.466	0.287

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

Stati limite		S_s	C_c	S_t	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)	F_v
SLE	SLO	1.20	1.495	1.00	0.107	0.322	1.743	0.64
	SLD	1.20	1.456	1.00	0.120	0.359	1.778	0.72
SLU	SLV	1.20	1.416	1.00	0.134	0.401	2.049	1.11
	SLC	1.20	1.412	1.00	0.135	0.406	2.181	1.27

Dove:

SLE = stati limite di esercizio:

- **SLO** = Stato Limite di Operatività;
- **SLD** = Stato Limite di Danno;

SLU = stati limite ultimi:

- **SLV** = Stato Limite di salvaguardia della Vita;
- **SLC** = Stato Limite di prevenzione del Collasso;

S_s= coefficiente di amplificazione stratigrafica;

C_c= coefficiente di categoria i sottosuolo;

S_t= coefficiente di amplificazione topografica;

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

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

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

F_V= fattore di amplificazione spettrale.

Per calcolare il valore di A_{max} (accelerazione massima) occorre moltiplicare il valore di a_g per i coefficienti di amplificazione sismica (S) tramite la relazione: $A_{max}=a_g \text{ (m/s}^2\text{)} \cdot S$; l'accelerazione massima deve essere fornita in m/s^2 , pertanto i valori nominali di a_g precedentemente calcolati vanno moltiplicati per 9.81 m/s^2 e successivamente moltiplicati per i coefficienti di amplificazione sismica $S = S_s \cdot S_t$.

Stati limite		a_g (g)	a_g (m/s ²)	S ($S_s \cdot S_t$)	A_{max} (m/s ²)
SLE	SLO	0.036	0.353	1.20	0.424
	SLD	0.045	0.441	1.20	0.530
SLU	SLV	0.112	1.099	1.20	1.318
	SLC	0.145	1.422	1.20	1.707

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

Stati limite		K_h	K_v
SLE	SLO	0.008	0.004
	SLD	0.010	0.005
SLU	SLV	0.032	0.016
	SLC	0.042	0.021

8.0 Valutazione del potenziale di liquefazione

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

La verifica della suscettibilità alla liquefazione deve essere effettuata quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda. Secondo il D.M. 14.01.2018 tale verifica può invece essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometriche esterne alle zone indicate nella figura 13, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in figura 14, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

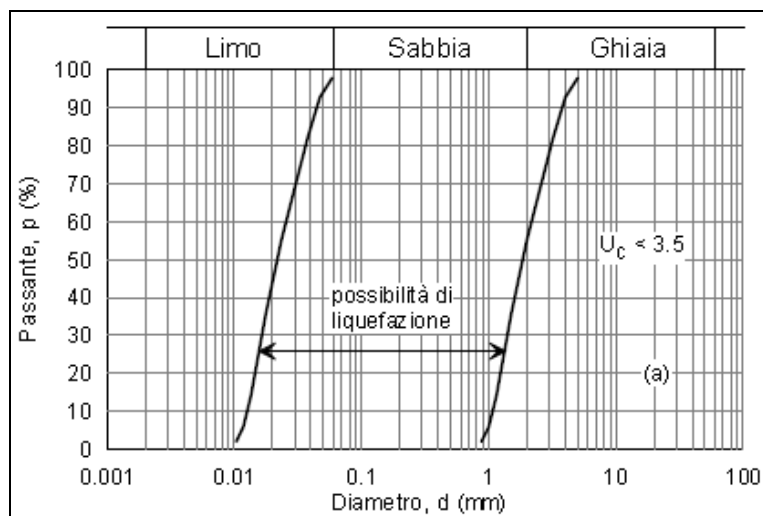


Figura 13: Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione con $U_c < 3,5$.

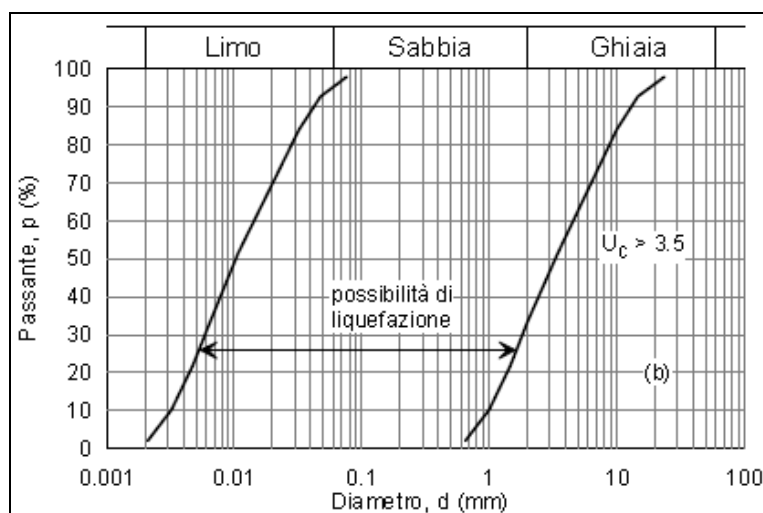


Figura 14: Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione con $U_c > 3,5$.

Nel caso in esame si esclude il rischio di liquefazione in ragione della natura coesiva ed eterogenea grossolana dei materiali pertinenti agli orizzonti individuati e precedentemente descritti, costituiti da depositi argilloso-limosi con ciottoli (livello II) e ghiaioso-sabbiosi (livello III), la cui distribuzione granulometrica ricade all'esterno delle fasce indicate in fig. 9 e fig. 10.

9.0 Terre e Rocce da scavo

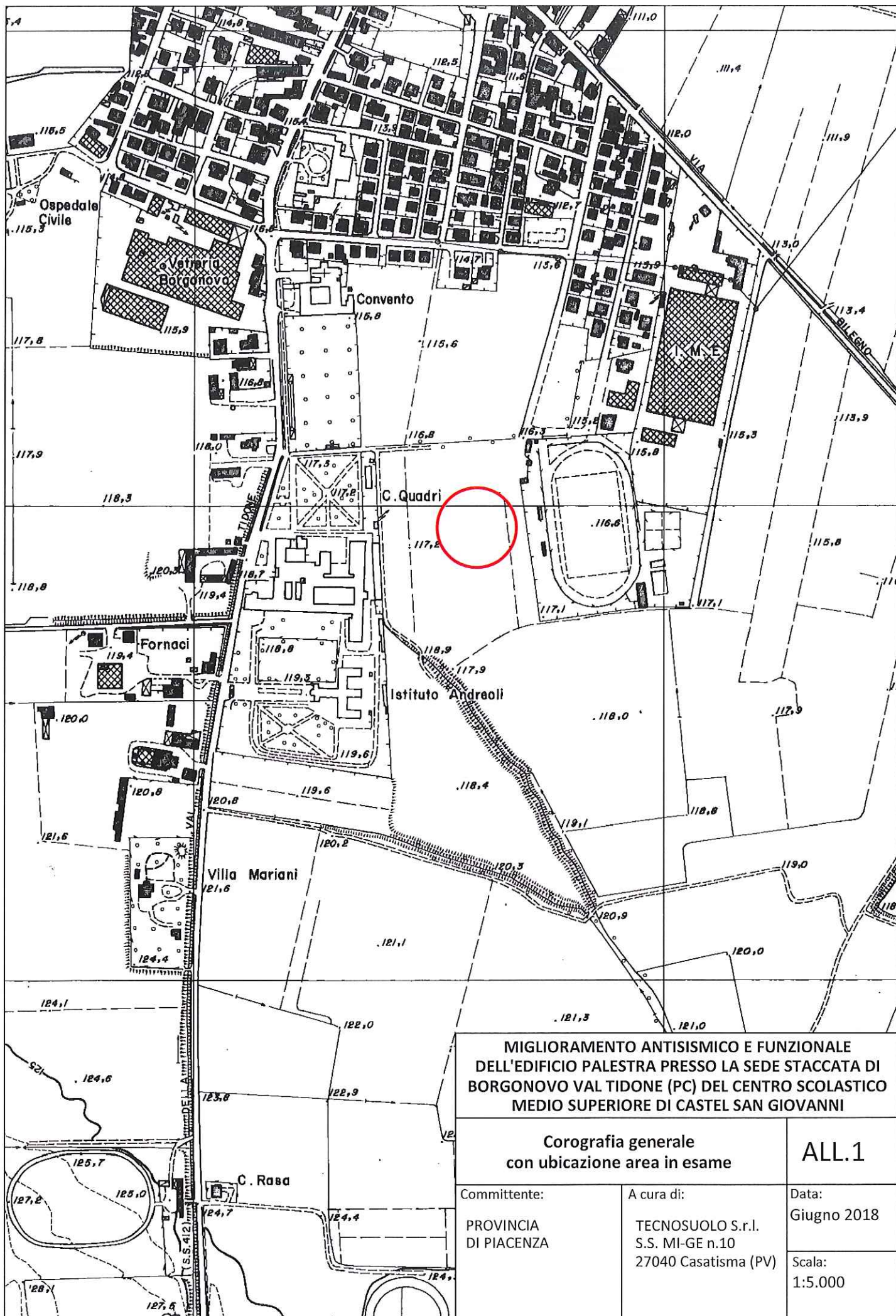
Per il riutilizzo dei materiali di risulta di eventuali scavi si potrà fare riferimento al D.P.R. n.120 del 13.06.2017 (che riunisce e sostituisce gli articoli n.184, n.185 e n.186 del D.Lgs. n.152 del 03.04.2006 ed il D.M. n.161 del 10.08.2012, disciplinato dall'articolo n.41-bis della L. n.98 del 09.08.2013) o, in caso contrario, essi dovranno essere gestiti come rifiuto secondo quanto previsto dalla parte IV del D.Lgs. n.152 del 03.04.2006.

Casatisma (PV), giugno 2018



The image shows a circular professional stamp for the 'ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA'. Inside the stamp, the text reads 'SALERI MAURO' and 'n° 325'. A handwritten signature in blue ink is written across the stamp.

Dott. Geol. Mauro SALERI



MIGLIORAMENTO ANTISISMICO E FUNZIONALE
DELL'EDIFICIO PALESTRA PRESSO LA SEDE STACCATTA DI
BORGONOVO VAL TIDONE (PC) DEL CENTRO SCOLASTICO
MEDIO SUPERIORE DI CASTEL SAN GIOVANNI

Corografia generale
con ubicazione area in esame

ALL.1

Committente:

PROVINCIA
DI PIACENZA

A cura di:

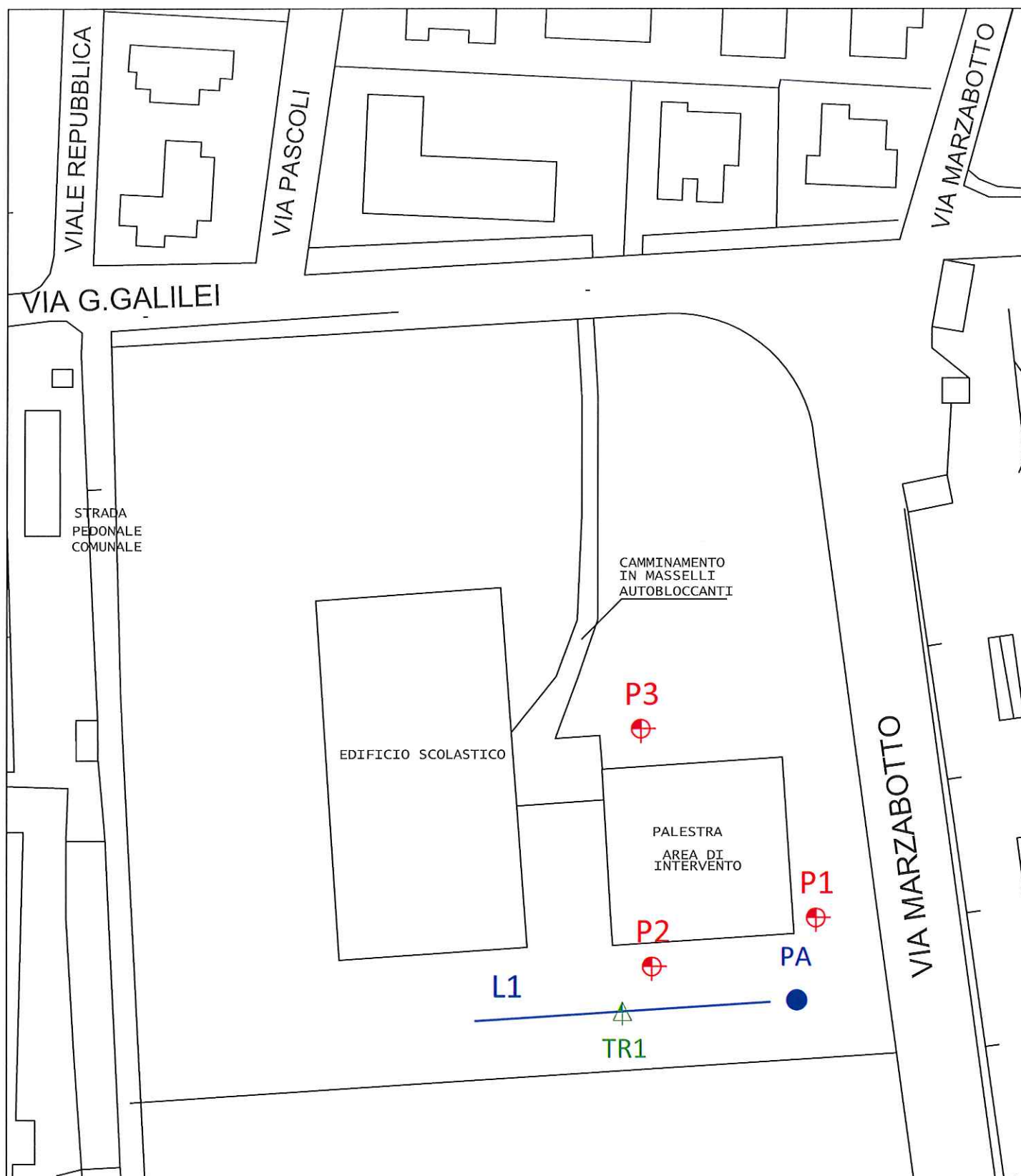
TECNOSUOLO S.r.l.
S.S. MI-GE n.10
27040 Casatisma (PV)

Data:





Giugno 2018

Scala:

1:5.000



Legenda

-  Prova penetrometrica dinamica SCPT
-  Linea sismica MASW con interdistanza geofonica di 5.0m
-  Punto di energizzazione in andata
-  Rilevazione puntuale con geofono 3D

**MIGLIORAMENTO ANTISISMICO E FUNZIONALE
DELL'EDIFICIO PALESTRA PRESSO LA SEDE STACCATO DI
BORGONOVO VAL TIDONE (PC) DEL CENTRO SCOLASTICO
MEDIO SUPERIORE DI CASTEL SAN GIOVANNI**

Planimetria con ubicazione punti di indagine

ALL.2

Committente:

PROVINCIA
DI PIACENZA

A cura di:

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

Data:

Giugno 2018

Scala:

1:1.000

**MIGLIORAMENTO ANTISISMICO E FUNZIONALE
DELL'EDIFICIO PALESTRA PRESSO LA SEDE STACCATA DI
BORGONOVO VAL TIDONE (PC) DEL CENTRO SCOLASTICO
MEDIO SUPERIORE DI CASTEL SAN GIOVANNI**

Istogrammi prove penetrometriche

ALL.3

Committente:

PROVINCIA
DI PIACENZA

A cura di:

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

Data:

Giugno 2018

Scala:

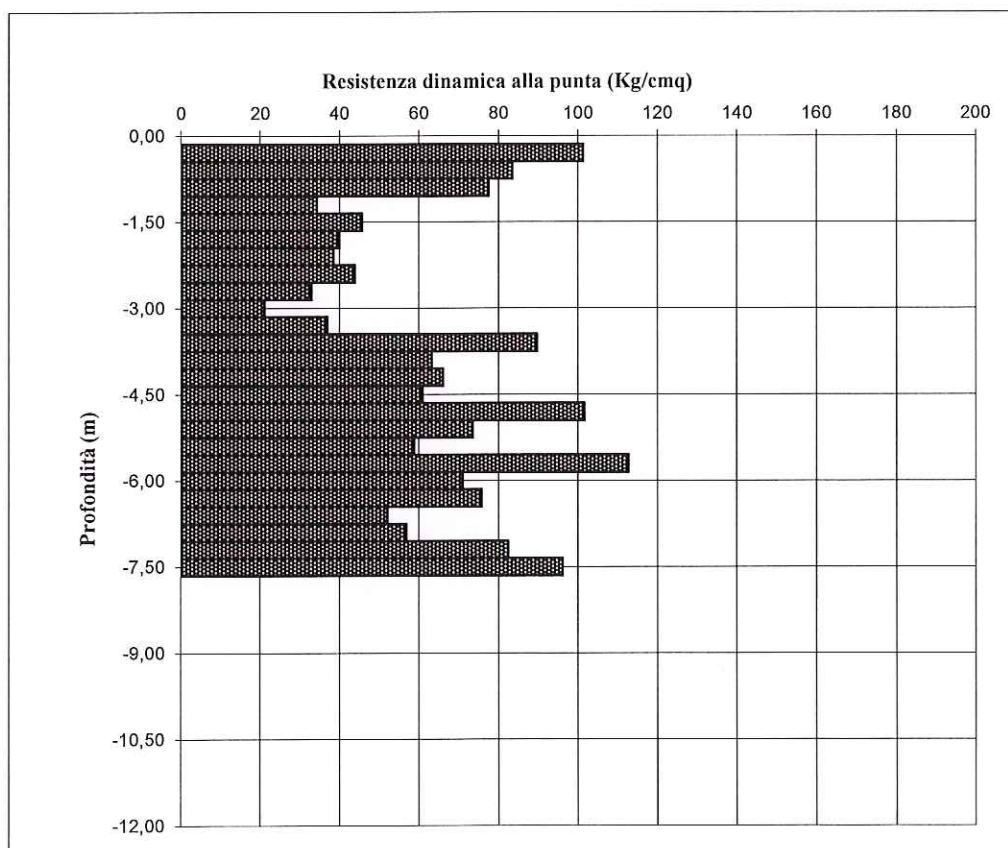
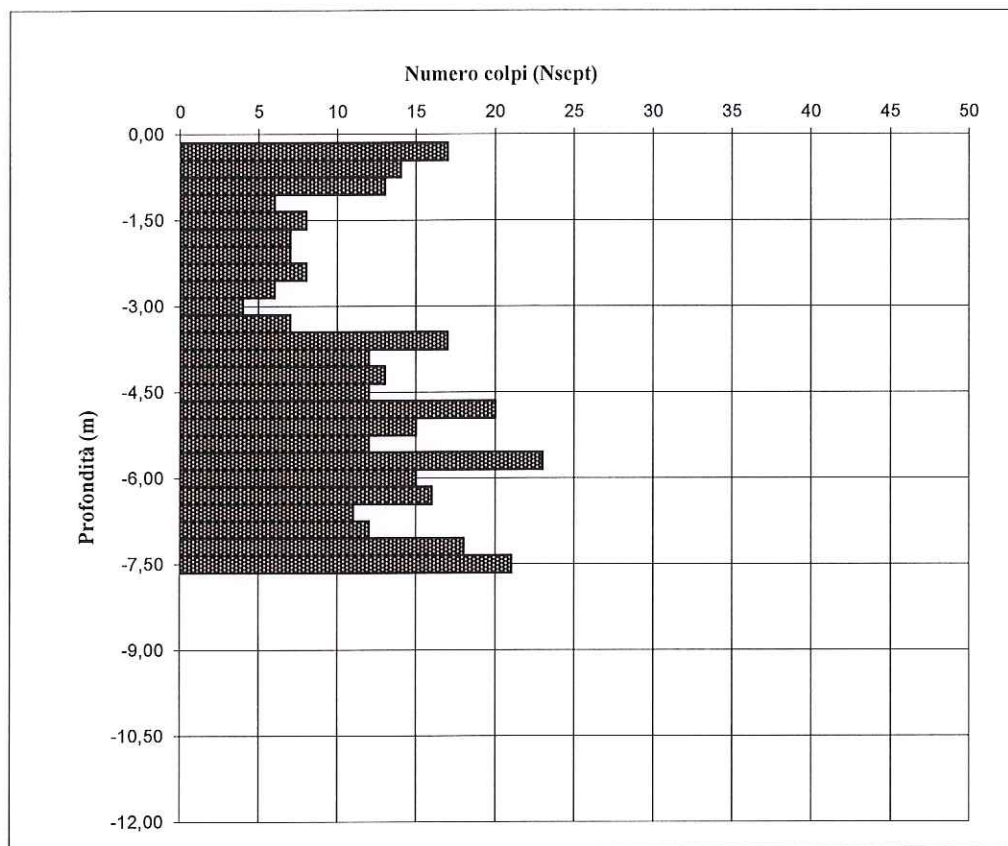
//

Prova penetrometrica dinamica n.

P1

Località: **Via G. Galilei - Borgonovo V.T. (PC)**
Committente: **Provincia di Piacenza**

Data: **06/06/2018**
Quota inizio: **p.c.**



Quota	Np	Rpd
0,00	0	0
-0,30	17	101
-0,60	14	83
-0,90	13	77
-1,20	6	34
-1,50	8	46
-1,80	7	40
-2,10	7	38
-2,40	8	44
-2,70	6	33
-3,00	4	21
-3,30	7	37
-3,60	17	90
-3,90	12	63
-4,20	13	66
-4,50	12	61
-4,80	20	102
-5,10	15	73
-5,40	12	59
-5,70	23	113
-6,00	15	71
-6,30	16	76
-6,60	11	52
-6,90	12	57
-7,20	18	82
-7,50	21	96
-7,80		
-8,10		
-8,40		
-8,70		
-9,00		
-9,30		
-9,60		
-9,90		
-10,20		
-10,50		
-10,80		
-11,10		
-11,40		
-11,70		
-12,00		

Prova penetrometrica dinamica n.

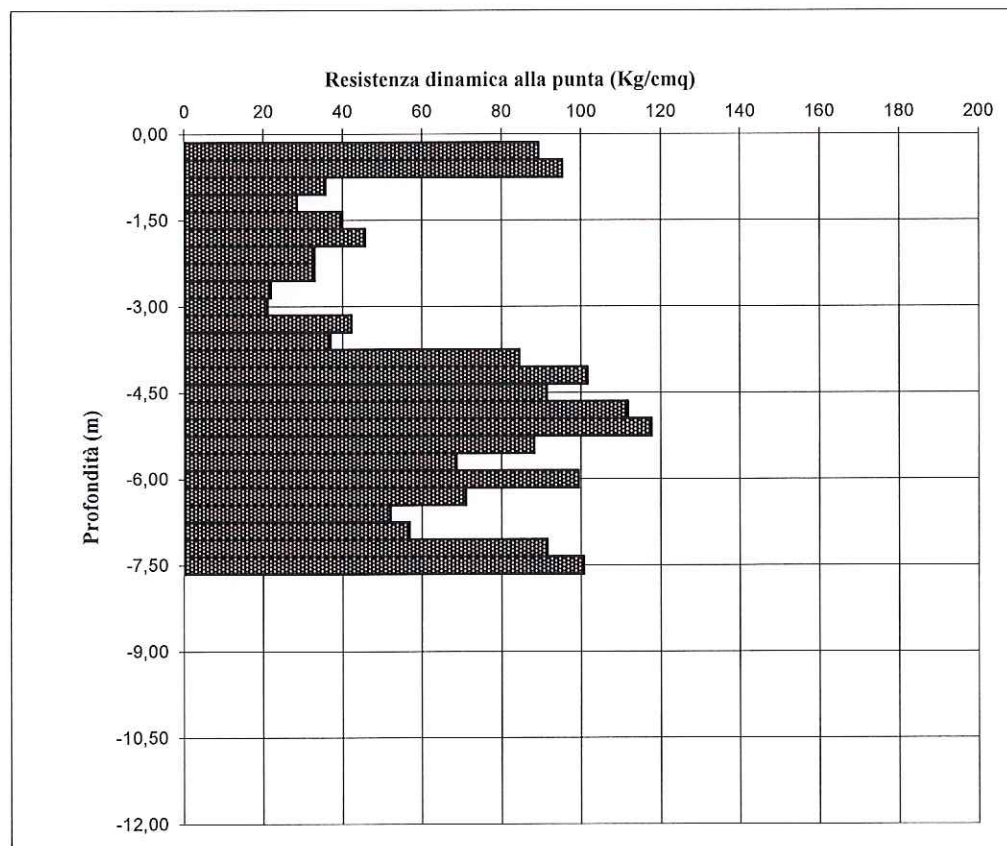
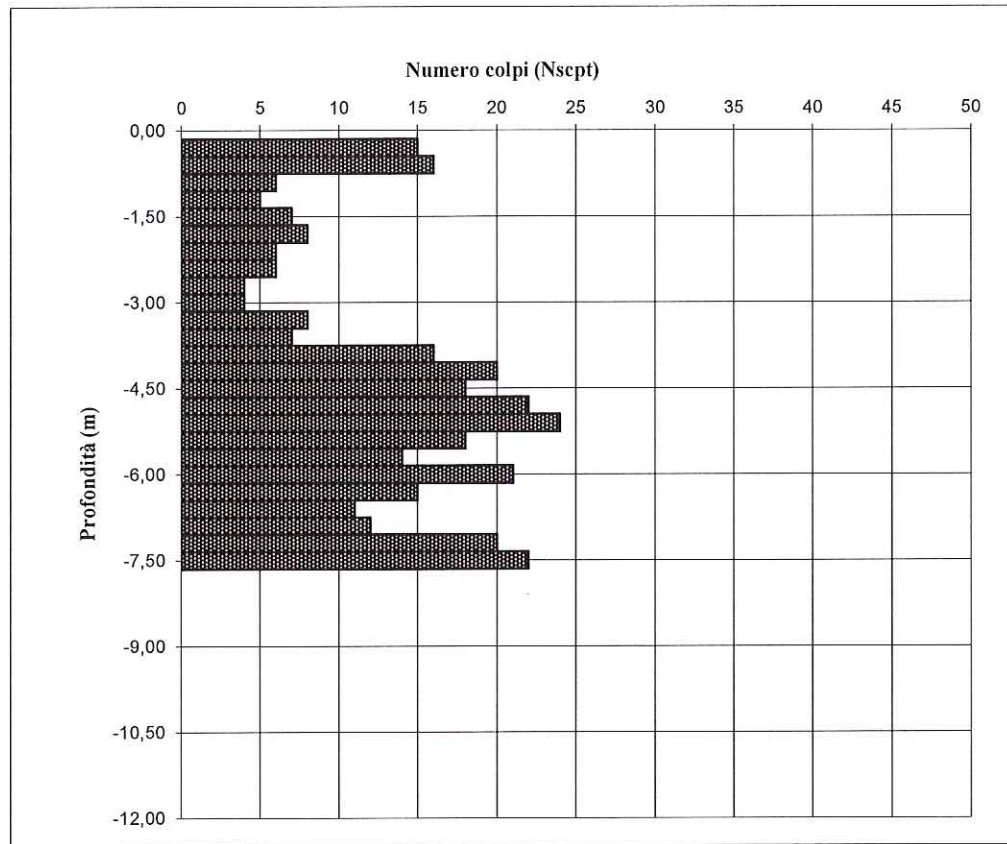
P2

Località: **Via G. Galilei - Borgonovo V.T. (PC)**

Data: **06/06/2018**

Committente: **Provincia di Piacenza**

Quota inizio: **p.c.**



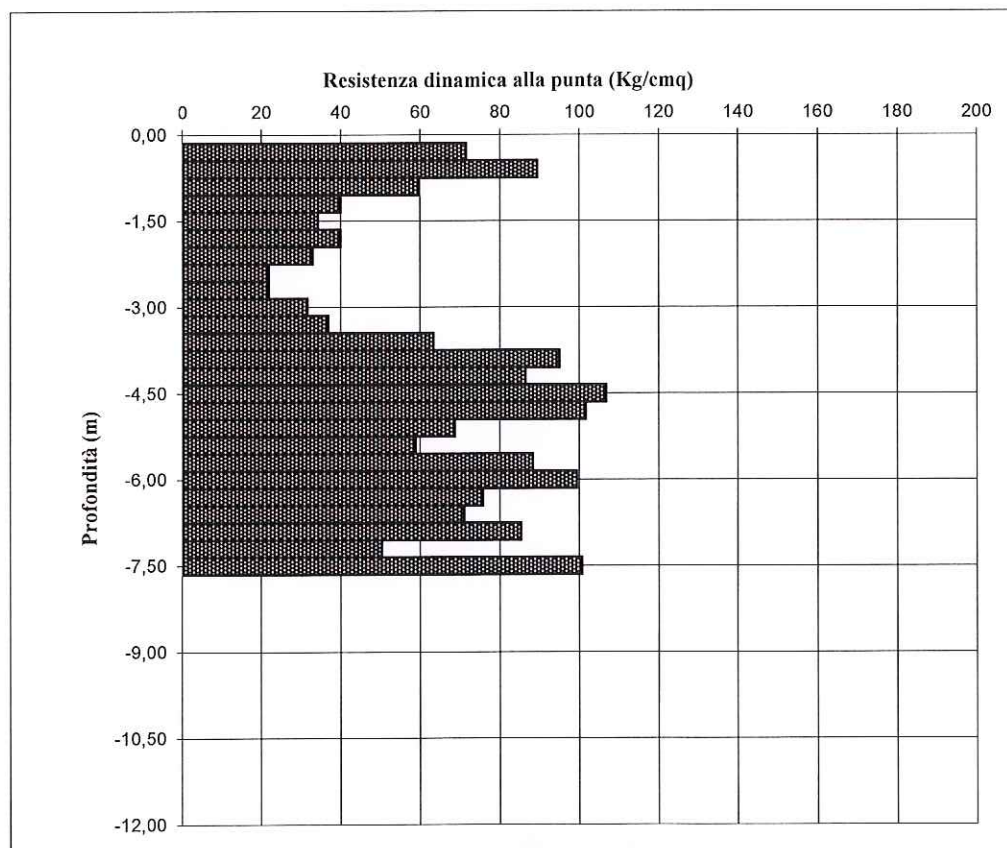
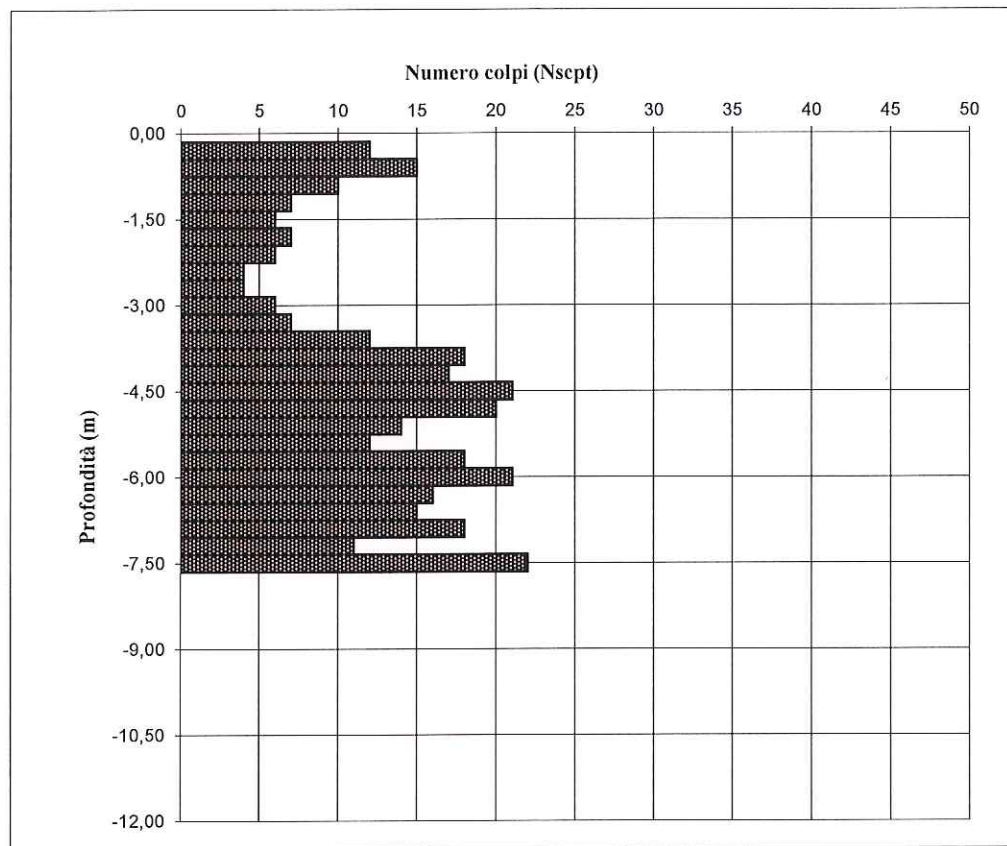
Quota	Np	Rpd
0,00	0	0
-0,30	15	89
-0,60	16	95
-0,90	6	36
-1,20	5	29
-1,50	7	40
-1,80	8	46
-2,10	6	33
-2,40	6	33
-2,70	4	22
-3,00	4	21
-3,30	8	42
-3,60	7	37
-3,90	16	84
-4,20	20	102
-4,50	18	91
-4,80	22	112
-5,10	24	118
-5,40	18	88
-5,70	14	69
-6,00	21	99
-6,30	15	71
-6,60	11	52
-6,90	12	57
-7,20	20	91
-7,50	22	101
-7,80		
-8,10		
-8,40		
-8,70		
-9,00		
-9,30		
-9,60		
-9,90		
-10,20		
-10,50		
-10,80		
-11,10		
-11,40		
-11,70		
-12,00		

Prova penetrometrica dinamica n.

P3

Località: **Via G. Galilei - Borgonovo V.T. (PC)**
Committente: **Provincia di Piacenza**

Data: **06/06/2018**
Quota inizio: **p.c.**



Quota	Np	Rpd
0,00	0	0
-0,30	12	71
-0,60	15	89
-0,90	10	60
-1,20	7	40
-1,50	6	34
-1,80	7	40
-2,10	6	33
-2,40	4	22
-2,70	4	22
-3,00	6	32
-3,30	7	37
-3,60	12	63
-3,90	18	95
-4,20	17	86
-4,50	21	107
-4,80	20	102
-5,10	14	69
-5,40	12	59
-5,70	18	88
-6,00	21	99
-6,30	16	76
-6,60	15	71
-6,90	18	85
-7,20	11	50
-7,50	22	101
-7,80		
-8,10		
-8,40		
-8,70		
-9,00		
-9,30		
-9,60		
-9,90		
-10,20		
-10,50		
-10,80		
-11,10		
-11,40		
-11,70		
-12,00		

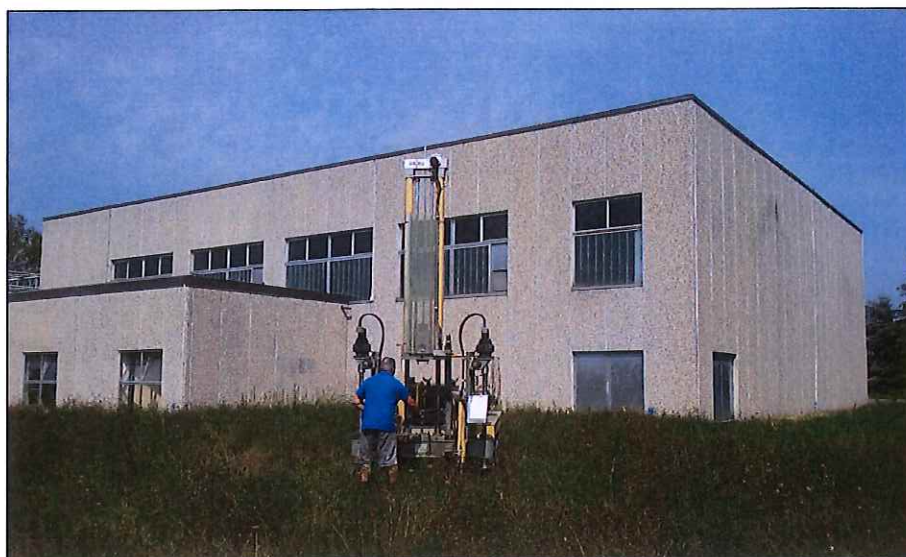


Foto 1: Punto di prova P1.

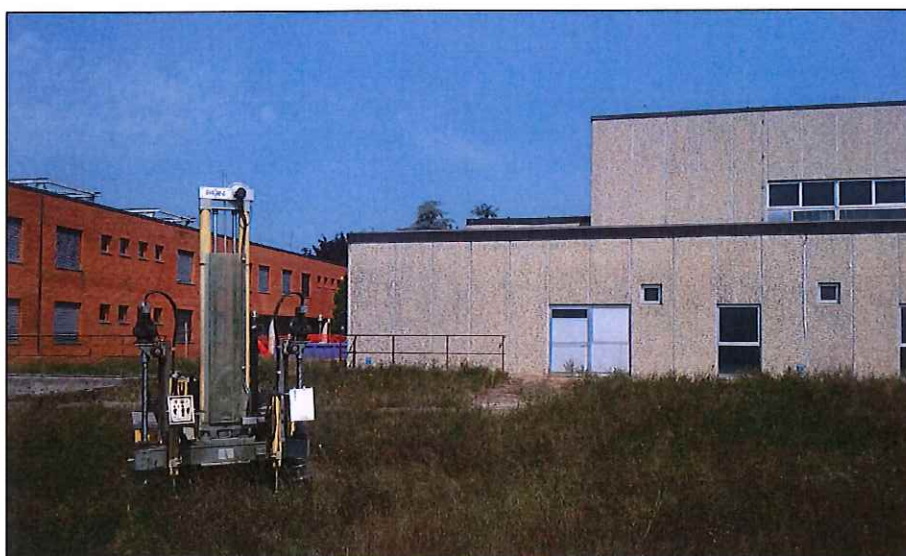


Foto 2: Punto di prova P2.

**MIGLIORAMENTO ANTISISMICO E FUNZIONALE
DELL'EDIFICIO PALESTRA PRESSO LA SEDE STACCATA DI
BORGONOVO VAL TIDONE (PC) DEL CENTRO SCOLASTICO
MEDIO SUPERIORE DI CASTEL SAN GIOVANNI**

Documentazione fotografica

ALL.4

Committente:

PROVINCIA
DI PIACENZA

A cura di:

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

Data:

Giugno 2018

Scala:

//



Foto 3: Punto di prova P3.

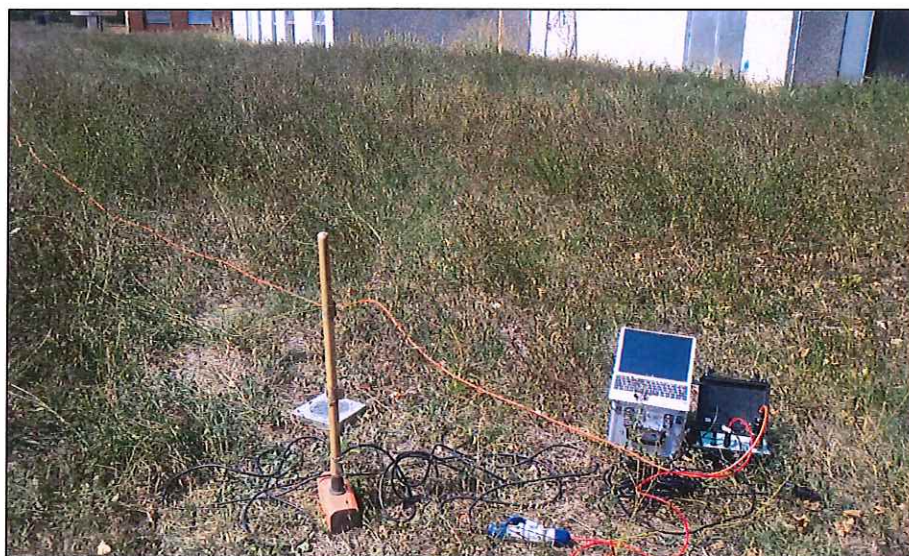


Foto 4: Stendimento sismico M.A.S.W. L1.

**MIGLIORAMENTO ANTISISMICO E FUNZIONALE
DELL'EDIFICIO PALESTRA PRESSO LA SEDE STACCATA DI
BORGONOVO VAL TIDONE (PC) DEL CENTRO SCOLASTICO
MEDIO SUPERIORE DI CASTEL SAN GIOVANNI**

Documentazione fotografica

ALL.4

Committente:

PROVINCIA
DI PIACENZA

A cura di:

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

Data:

Giugno 2018

Scala:

//