



**AREA TECNICA E DELL'AMBIENTE  
SETTORE DELL'EDILIZIA SCOLASTICA E DIREZIONALE**

Corso Matteotti n. 8 – 25122 Brescia (BS)

**I.I.S. "BONSIGNORI" IN COMUNE DI REMEDELLO (BS)  
LAVORI DI RIQUALIFICAZIONE FUNZIONALE  
ED ADEGUAMENTO SISMICO**

**RELAZIONE GEOLOGICA**

**D.g.r. n. IX/2616 del 30/11/2011 - D.M. 17/01/18 e s.m.i.**



Maggio 2020



**Consulenza Geologica,  
Geotecnica ed Idrogeologica**

**Dott. Filippo Pezzotti Geologo**  
Ordine Geologi Lombardia n. 1264

## INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. UBICAZIONE.....	4
3. INQUADRAMENTO IDROGEOMORFOLOGICO .....	4
3.1    Assetto geologico-strutturale .....	4
3.2    Inquadramento geologico-geomorfologico .....	6
3.3    Idrogeologia.....	7
3.4    Idrografia e pericolosità idraulica .....	8
4. SISMICITÀ STORICA E PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE .....	9
5. FATTIBILITÀ GEOLOGICA.....	12
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE-GEOTECNICHE .....	13
6.1    Modello geologico-geotecnico.....	15
6.2    Rilievi freatimetrici.....	16
7. AZIONE SISMICA DI PROGETTO .....	16
7.1    Indagini sismiche .....	18
7.2    Analisi sismica di secondo livello.....	22
7.3    Parametri sismici sito-specifici .....	24
8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	25

### ALLEGATI:

TAVOLA 1	COROGRAFIA (Scala 1:10.000)
TAVOLA 2	CARTA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA (Scala 1:5.000)
TAVOLA 3	CARTA IDROGEOLOGICA (Scala 1:5.000)
TAVOLA 4	UBICAZIONE DELLE INDAGINI (Scala 1:1.000)
ALLEGATO 1	PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
ALLEGATO 2	INDAGINE SISMICA MASW

## 1. PREMESSA

La presente relazione geologica è stata redatta a supporto del progetto che prevede lavori di riqualificazione funzionale e di adeguamento sismico dell'Istituto di Istruzione Superiore "Bonsignori", sito a Remedello (BS) in Via Avis n. 5.

Le indagini svolte dallo scrivente sono state intraprese allo scopo di analizzare l'assetto geolitologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area di intervento e ricostruire il modello geologico-geotecnico e sismico del sottosuolo.

Gli studi propedeutici alla predisposizione del presente elaborato sono stati effettuati in ottemperanza a quanto prescritto dal D.M. 17/01/18 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni", che rappresenta la più recente applicazione normativa della Legge n. 64 del 1974 e dei successivi D.M. applicativi, con particolare riferimento al D.M. 14/01/08 e, inoltre, in conformità a quanto previsto dalla D.g.r. n. IX/2616 del 30 novembre 2011 e dalla D.g.r. n. X/5001 del 30 marzo 2016 (compresa l'asseverazione di cui al modulo 9).

Il percorso conoscitivo delle caratteristiche idrogeomorfologiche e litotecniche del sito si è svolto secondo le seguenti fasi di studio:

- a) esame dei dati geologici ed idrogeologici pregressi della zona ottenuti attraverso ricerche di carattere bibliografico;
- b) rilevamenti in posto per l'analisi delle caratteristiche morfologiche, litostratigrafiche ed idrogeologiche dell'area e di un suo adeguato intorno;
- c) esecuzione di una prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH) per la definizione del modello geologico-geotecnico del sottosuolo;
- d) analisi della sismicità storica dell'area vasta;
- e) esecuzione di un'indagine geofisica MASW per la caratterizzazione sismica del substrato;
- f) esecuzione dell'analisi sismica di secondo livello (per amplificazione di tipo stratigrafico) e definizione della categoria di sottosuolo e dei parametri sismici sito-specifici;

La presente relazione è corredata dai seguenti elaborati:

TAVOLA 1	COROGRAFIA (Scala 1:10.000)
TAVOLA 2	CARTA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA (Scala 1:5.000)
TAVOLA 3	CARTA IDROGEOLOGICA (Scala 1:5.000)
TAVOLA 4	UBICAZIONE DELLE INDAGINI (Scala 1:1.000)
ALLEGATO 1	PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
ALLEGATO 2	INDAGINE SISMICA MASW

## 2. UBICAZIONE

L'area investigata è posizionata nel settore centro-settentrionale del territorio comunale di Remedello, in Provincia di Brescia, presso la frazione di Remedello di Sopra, al civico 5 di Via Avis.

Il fabbricato che verrà interessato dalla realizzazione degli interventi in progetto, identificato catastalmente al mappale n. 111 del foglio n. 9, si colloca ad una quota di circa 47,6 m s.l.m. (si veda la cartografia allegata).

I luoghi descritti nel presente elaborato sono rappresentati cartograficamente nelle sezioni n. D7d1 “Visano” e n. D7d2 “Casalmoro” della Carta Tecnica Regionale della Regione Lombardia alla scala 1:10.000.

## 3. INQUADRAMENTO IDROGEOMORFOLOGICO

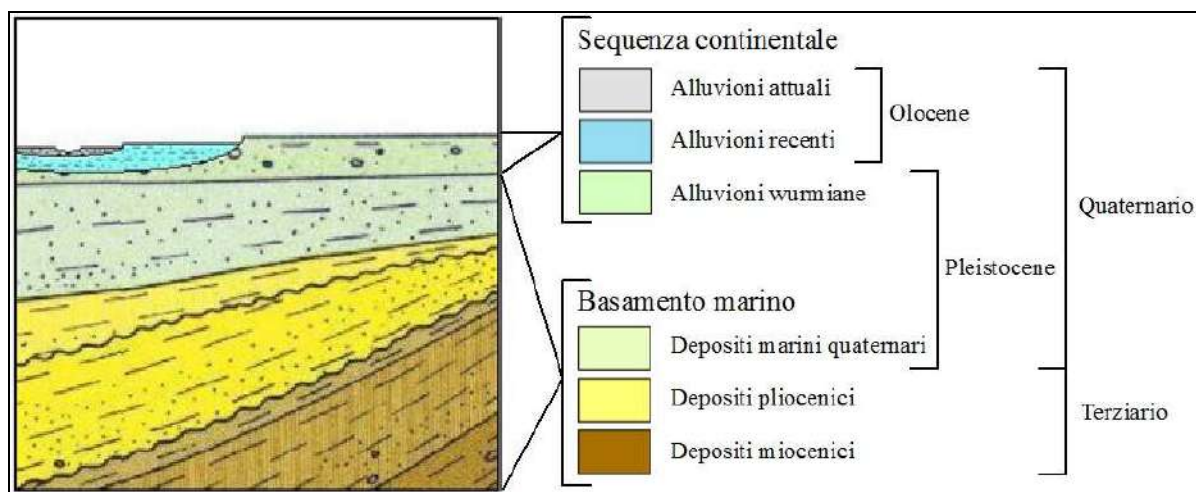
In questo capitolo vengono illustrati i tratti salienti dell'ambito territoriale all'interno del quale ricade l'area di intervento per quello che concerne gli aspetti geologici, litostratigrafici, geomorfologici, idrogeologici e idrografici.

### 3.1 Assetto geologico-strutturale

Dal punto di vista geologico il substrato dell'area indagata è costituito da depositi di origine alluvionale caratterizzati, nel complesso, da condizioni di giacitura uniformi. La successione litostratigrafica del sottosuolo di questo settore della Pianura Padana può essere descritta come segue (procedendo dal basso, ovvero dalle litologie più antiche, verso l'alto):

- basamento marino (Pliocene superiore - Pleistocene inferiore), è costituito da marne argillo-siltose e da argille siltose di origine marina che rappresentano i sedimenti del sistema deposizionale plio-pleistocenico padano;
- sequenza continentale (Pleistocene medio superiore - Olocene) formata da:
  - a) successione alluvionale costituita da depositi prevalentemente argillosi con intercalazioni sabbiose;
  - b) materasso alluvionale di copertura (formato da alluvioni a dominante sabbiosa e sabbioso-ghiaiosa).

Nella Figura 1 viene fornito uno schema generale (desunto dalla bibliografia) dei rapporti stratigrafici delle principali unità presenti nel sottosuolo dell'ambito areale oggetto del presente studio.



**Figura 1** Schema generale dei rapporti stratigrafici delle principali unità presenti nel sottosuolo dell'area investigata (desunto dalla bibliografia).

Più in dettaglio, come evidenziato nella cartografia geologica ufficiale (Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 – Foglio 61 “Cremona”), le unità affioranti in un intorno significativo dell'area studiata sono di età compresa tra il Pleistocene medio-superiore e l'Olocene. Procedendo dalla più recente alla più antica sono presenti le seguenti unità:

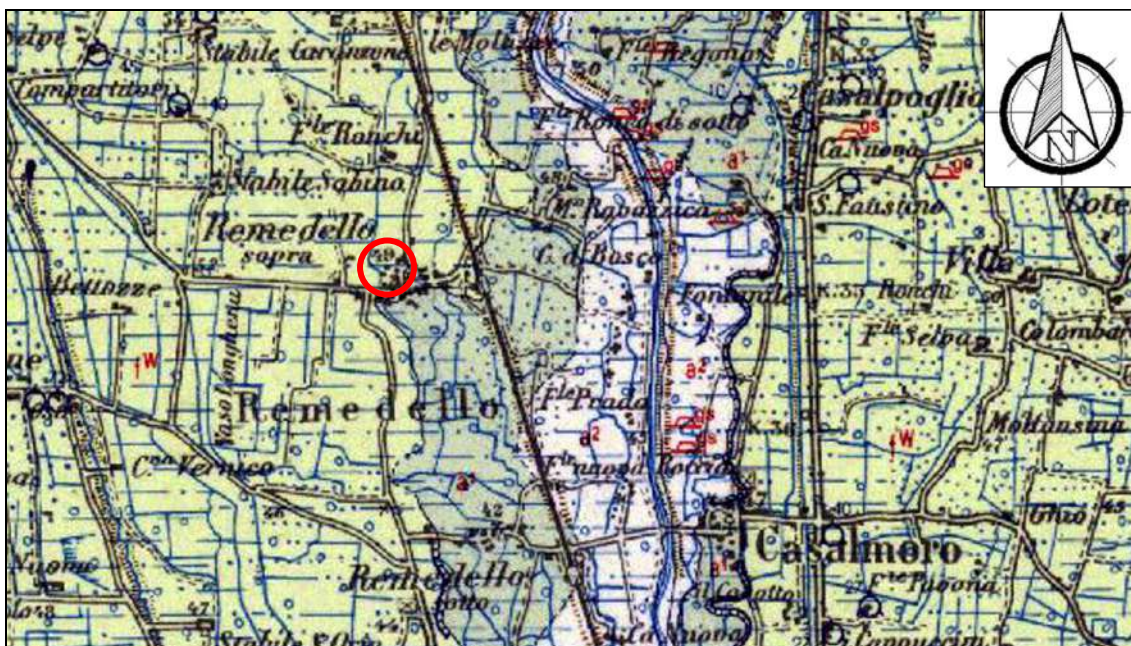
- **Unità oloceniche:**

- Alluvioni attuali (Alluvium recente e Alluvium s.l.) – sono depositi ghiaiosi, sabbiosi e limo-argillosi o torbosi affioranti sul fondo delle incisioni fluviali. Occupano le aree maggiormente depresse all'interno dell'alveo ordinario dei corsi d'acqua, sono separate altimetricamente dalle alluvioni recenti ed antiche da scarpate fluviali e vengono sommerse durante le piene ordinarie;
- Alluvioni recenti ed antiche (Alluvium antico e Diluvium tardivo) – si tratta delle alluvioni affioranti sui terrazzi compresi fra le alluvioni attuali e il Livello Fondamentale della Pianura; per lo più si tratta di alluvioni deposte dopo una fase di erosione; sono costituite da alternanze di sabbia, limo e argilla, talora terrazzate, fissate e coltivate (simbolo  $a^2$  (recenti) ed  $a^1$  (antiche) nella Figura 2).

- **Unità pleistoceniche:**

- Fluvioglaciale Würm (Fluviale Recente) – sono le alluvioni che costituiscono la superficie principale della pianura; dal punto di vista litologico si tratta di alluvioni ghiaiose, localmente molto grossolane, con paleosuolo argilloso giallo-rossiccio di ridotto spessore, talora ricoperte da limi più recenti (simbolo  $f^w$  nella Figura 2).

Il substrato del sito di diretto interesse (si veda la Figura 2) è costituito dalle alluvioni ascrivibili al Fluvioglaciale Würm (Pleistocene superiore), che sono state deposte a seguito dell'imponente attività di sedimentazione operata, in concomitanza dell'ultima espansione glaciale, dai principali corsi d'acqua presenti in zona.



**Figura 2** Stralcio del Foglio 61 “Cremona” della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000 (lo stralcio presenta la scala modificata). L’immagine mostra come il sito di oggetto di studio, individuato dal cerchio rosso, si collochi in corrispondenza delle alluvioni ascrivibili al Fluvioglaciale Würm (simbolo  $f^w$ ).

Per quanto attiene alle proprietà litologiche i depositi alluvionali in questione sono costituiti, nel complesso, da sabbie, spesso alterate in superficie, con sporadici orizzonti a scheletro più grossolano e con intercalazioni di limi e limi-argillosi. I livelli più francamente limosi e, in generale, quelli a granulometria fine sono più frequenti nella porzione sommitale della locale successione alluvionale.

Dal punto di vista strutturale l’area in esame si colloca in corrispondenza dell’avanfossa alpina ed appenninica, ove i sedimenti del sistema deposizionale plio-pleistocenico padano hanno ricoperto, in discordanza angolare, il sistema delle successioni marine del Miocene medio-superiore e del Pliocene.

Il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale è il risultato di eventi tettonici parossistici, separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale ed attività ridotta delle strutture compressive.

Lo stile tettonico generale di questo settore della Pianura Padana è caratterizzato dalla presenza di un sistema di pieghe con vergenza appenninica che interessano i terreni marini del Miocene medio-superiore e del Pliocene.

### 3.2 Inquadramento geologico-geomorfologico

L’area indagata è inserita in un contesto geomorfologico che rappresenta il risultato del succedersi di eventi deposizionali ed erosivi connessi all’attività degli scaricatori fluvio-glaciali.

L'uniformità morfologica del paesaggio, tipicamente pianeggiante, è interrotta dalle scarpate di erosione fluviale, nella fattispecie generate dal Fiume Chiese, che individuano i limiti tra le diverse unità geomorfologiche che costituiscono questo settore di pianura.

L'esame cartografico della zona ha permesso di individuare le unità geomorfologiche elencate di seguito (dal basso topografico verso l'alto):

- 1) ripiano dei depositi alluvionali attuali del Fiume Chiese;
- 2) ripiano dei depositi alluvionali recenti del Fiume Chiese;
- 3) ripiano dei depositi alluvionali antichi del Fiume Chiese;
- 4) ripiano che costituisce il Livello fondamentale della pianura (o Piano Generale Terrazzato), scolpito in alluvioni fluvio-glaciali di età würmiana.

L'ambito di intervento si colloca in corrispondenza dell'unità geomorfologica n. 4, ovvero quella che maggiormente caratterizza la Pianura Padana localizzata a nord del Grande Fiume.

Tale unità è delimitata, verso sud e verso est, dal sistema di scarpate erosive (di altezza plurimetrica) e di terrazzi che costituiscono la zona di transizione tra il Piano Generale Terrazzato e le sottostanti valli a cassetta dei fiumi Oglio e Chiese.

In questo settore della pianura bresciana sono ben individuabili (tramite un esame fotointerpretativo o cartografico) i tracciati dei paleomeandri relitti, che in più punti sono ancora marginati dalle originarie scarpate fluviali.

Tali evidenze morfologiche sono connesse all'azione deposizionale ed erosiva dei corsi d'acqua principali, che nel corso delle loro divagazioni hanno depositato materiali di natura prevalentemente sabbiosa e sabbioso-ghiaiosa, per poi reinciderli e di nuovo tornare a colmare le depressioni prodotte (lanche, laghetti, ecc.).

Gli elementi principali che contraddistinguono la morfologia del sito di intervento sono costituiti dalle scarpate arginali (di origine antropica) ed alluvionali secondarie, spesso artificializzate, che delimitano gli alvei attivi dei canali artificiali e dei corsi d'acqua.

### **3.3 Idrogeologia**

La notevole variabilità verticale e laterale delle caratteristiche di permeabilità e di trasmissività del materasso alluvionale che contraddistingue il substrato, connessa alle differenti litologie presenti (le quali rappresentano il risultato dei diversi ambienti deposizionali che si sono succeduti nel tempo), ha permesso la formazione di un acquifero multistrato costituito da una serie di falde sovrapposte, talora in pressione (falde confinate o artesiane).

Le falde in pressione sono localizzate in corrispondenza degli orizzonti sabbioso-ghiaiosi, ovvero quelli più permeabili, racchiusi tra livelli impermeabili a dominante argillosa e/o limosa.

Lo spessore, la bassa permeabilità e l'estensione degli orizzonti argillosi che confinano queste falde sono elementi che limitano, di fatto, le possibilità di scambi tra l'acquifero superficiale e quelli profondi, che risultano pertanto protetti nei confronti delle potenziali contaminazioni provenienti dalla superficie.

La falda più superficiale, non confinata (ovvero a pelo libero), viene alimentata per percolazione dagli orizzonti più prossimi al piano di campagna e, nel caso in esame, le oscillazioni del livello piezometrico risultano strettamente correlate alle acque di sub-alveo dei principali corsi d'acqua (sia naturali sia artificiali) presenti in zona.

Il livello piezometrico è caratterizzato da variazioni annue che risentono anche del ciclo irriguo, evidenziando una ricarica che inizia ad aprile, con picchi massimi estivi (da giugno ad agosto), a cui fa seguito una diminuzione della piezometria sino ai minimi tardo invernali (febbraio-marzo).

Sulla scorta dei dati bibliografici (si veda la Tavola 3, allegata alla presente, redatta sulla base dei dati contenuti nello studio geologico comunale), la superficie piezometrica della prima falda ha una soggiacenza inferiore al metro. Tale dato è confermato dai rilievi freaticometrici condotti dallo scrivente in corrispondenza del micro-piezometro installato nel foro della prova penetrometrica (si veda il Paragrafo 6.2), che hanno intercettato il tetto della falda ad una profondità di circa 0,88 m dal piano di campagna.

L'andamento della superficie piezometrica e la direzione principale di flusso delle acque sotterranee dell'area di specifico interesse è rivolta verso sud-est (si veda la Tavola 3, allegata alla presente), poiché risulta fortemente influenzata dall'azione di "richiamo" esercitata dal Fiume Chiese.

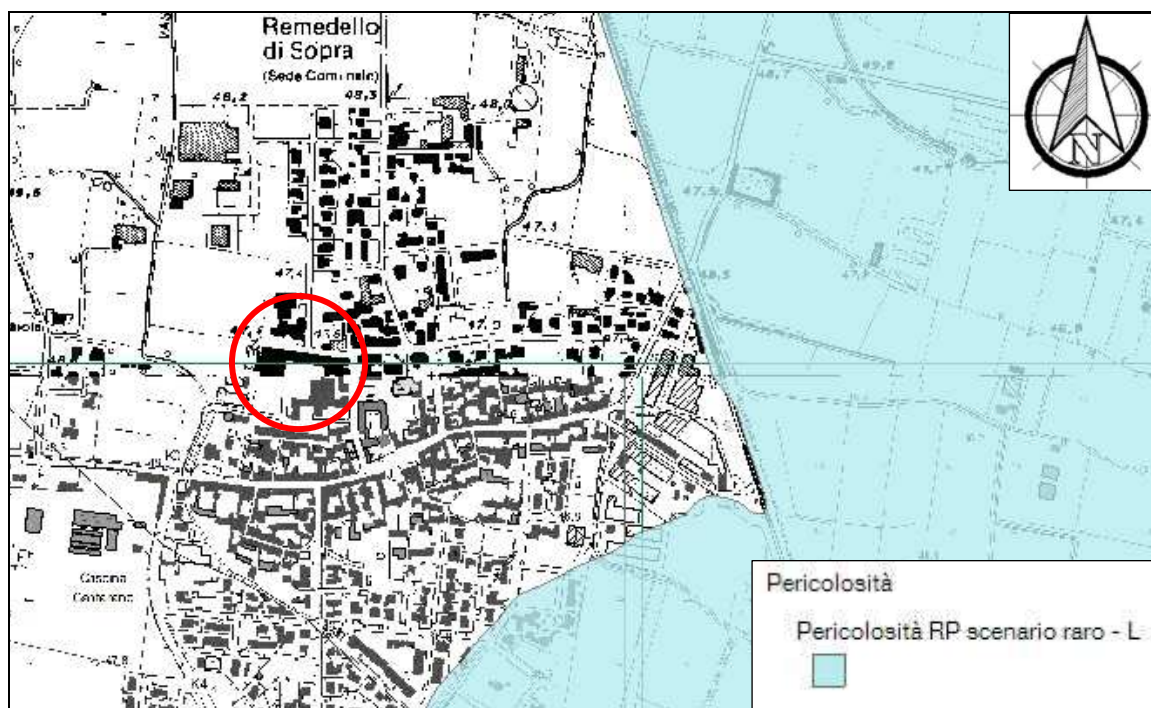
Infatti, il suddetto fiume costituisce il principale elemento drenante nei confronti delle acque sotterranee e la sua azione si esplica attraverso l'impostazione di gradienti di flusso costanti e regolari.

### **3.4 Idrografia e pericolosità idraulica**

Gli elementi idrografici principali della zona sono rappresentati dal Fiume Chiese, che scorre con andamento grossomodo meridiano circa due chilometri ad est dell'area di specifico interesse, e dalla roggia Seriola Menarizza, localizzata poco ad ovest del sito di intervento.

Inoltre, il territorio indagato è caratterizzato dalla presenza di una fitta rete di canali, rogge e colatori realizzati per soddisfare le necessità irrigue connesse alle pratiche agricole.

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) per il sito di intervento non segnala problematiche di tipo idraulico (si veda la Figura 3).



**Figura 3** Stralcio della cartografia ufficiale del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) tratta dal Geoportale della Regione Lombardia (SIT). Il cerchio rosso mostra l'ubicazione del sito investigato che non è interessato da problematiche di tipo idraulico.

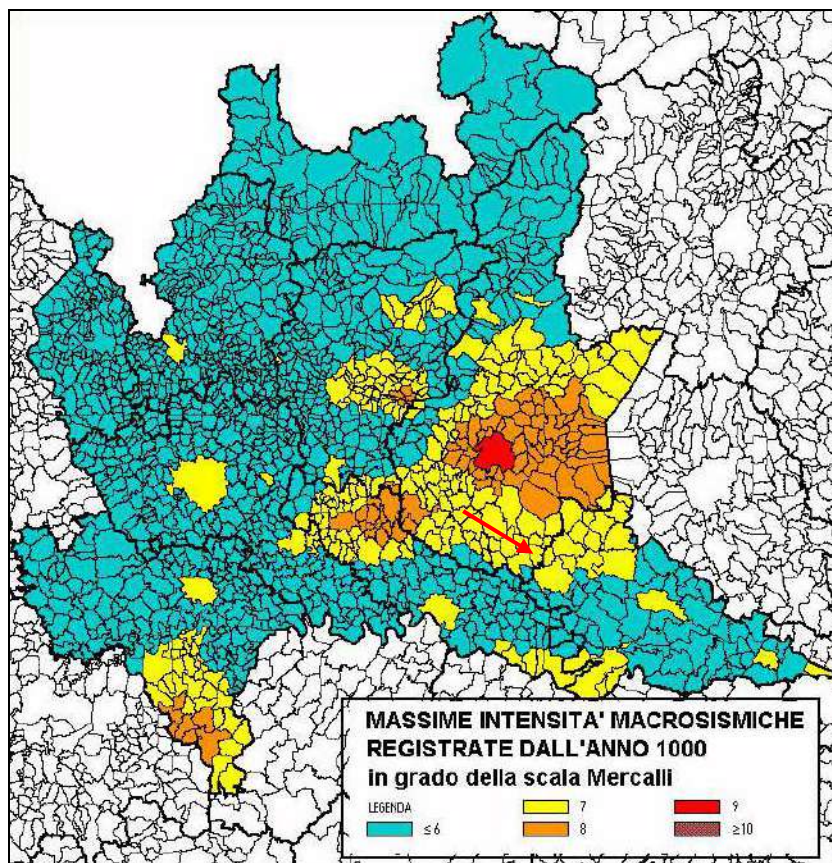
#### 4. SISMICITÀ STORICA E PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Nella carta delle Massime intensità macrosismiche osservate nei Comuni della Regione Lombardia, predisposta sulla base dei dati contenuti nella banca dati macrosismici del GNDT e di quelli contenuti nel Catalogo dei forti terremoti in Italia di ING/SGA, per il sito in esame (si veda la Figura 4) sono indicati terremoti di intensità pari al settimo grado della scala MCS (Mercalli, Cancani, Sieberg).

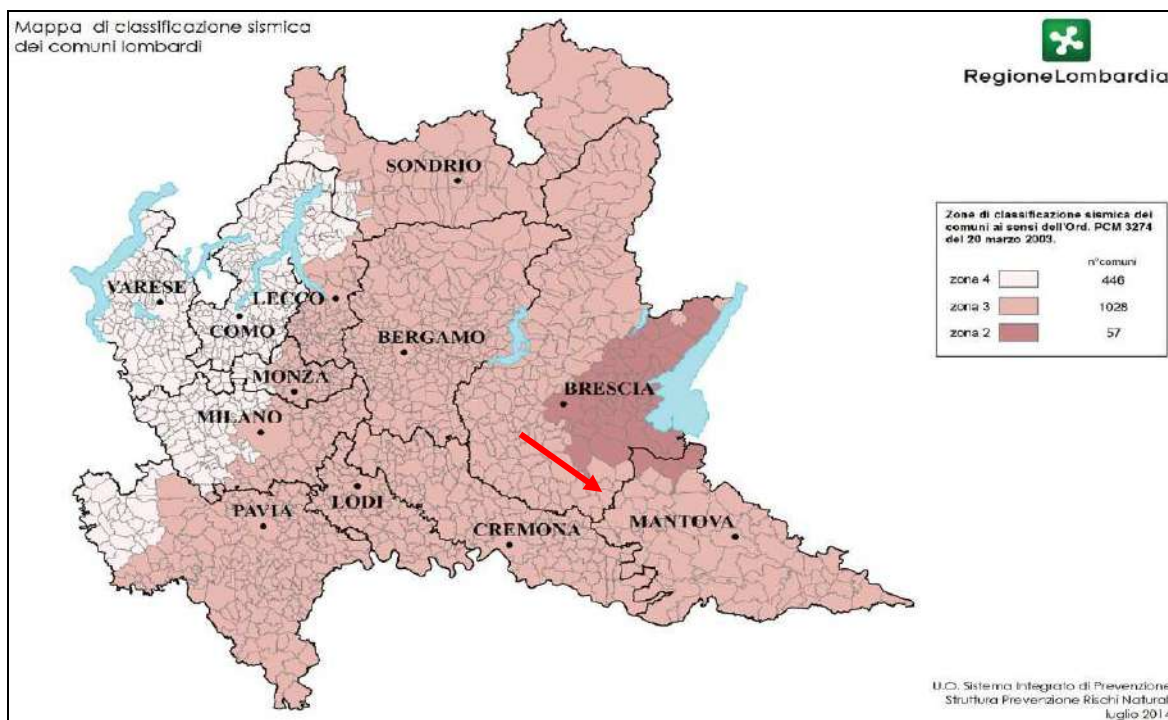
In base alla classificazione sismica dell'intero territorio nazionale (O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 e D.M. 21/10/03) ed ai sensi della D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014, entrata in vigore con l'approvazione della D.g.r. n. X/5001 del 30/03/2016, il Comune di Remedello (BS) è stato inserito nella zona 3 (si veda la Figura 5).

In funzione di quanto riportato nella Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (tratto da Gruppo di Lavoro MPS 2004), per il sito di intervento sono indicati valori di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi, compresi tra 0,100 g e 0,125 g (si veda la Figura 6).

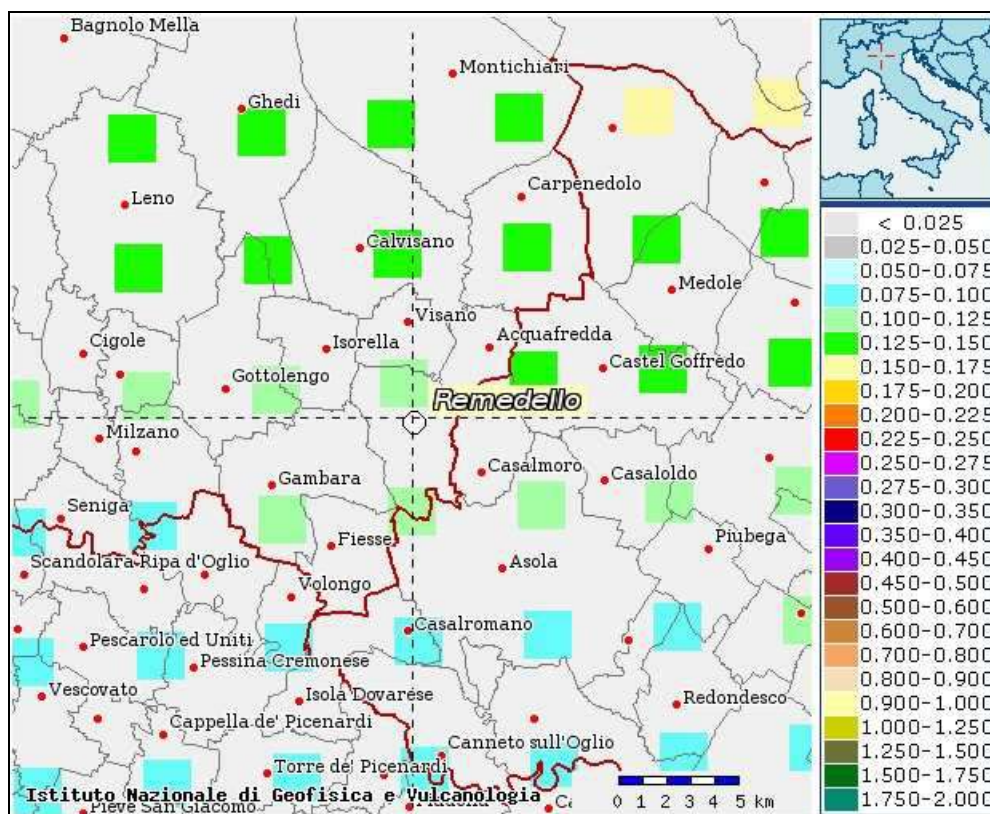
Dall'analisi del Database Macrosismico Italiano (M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi [a cura di], 2015 - DBMI15, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>. DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI15), aggiornato al 2015, si evince come l'area investigata (dati riferiti a Gambara) sia stata interessata, a partire dal 1914, da cinque eventi sismici significativi.



**Figura 4** Carta delle Massime intensità macrosismiche osservate nei Comuni della Regione Lombardia (Molin, Stucchi, Valensise). La freccia indica l'ubicazione dell'area indagata.

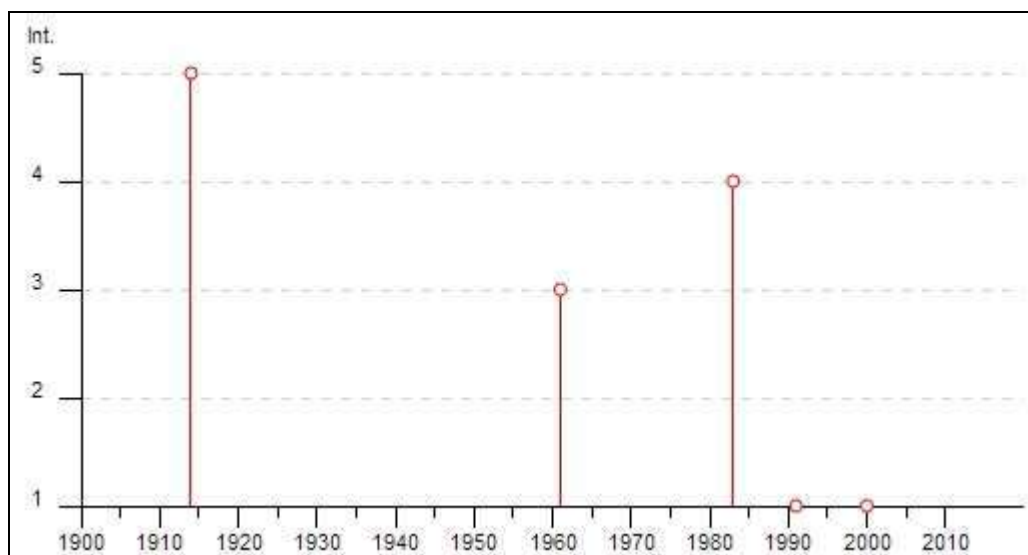


**Figura 5** Riclassificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia ai sensi della D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014. La freccia indica l'ubicazione dell'area indagata.



**Figura 6** Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. L'incrocio delle linee tratteggiate indica l'ubicazione dell'area indagata.

Le registrazioni dell'intensità epicentrale ( $I_0$ ) relative ai suddetti fenomeni tellurici sono state ragguagliate alla distanza dall'epicentro in modo tale da ottenere i valori di intensità sismica riportati nel grafico di Figura 7, che raggruppa gli eventi verificatisi nel corso degli anni.



**Figura 7** Il grafico mostra una sintesi degli eventi tellurici verificatisi in tempi storici e l'intensità che hanno sviluppato in corrispondenza del sito investigato.

Per quanto concerne il fenomeno dell'amplificazione sismica, nella carta della pericolosità sismica locale del vigente PGT comunale (Allegato C, Geol. Poli, 2009) per il sito di intervento è stato individuato lo scenario Z4a, che corrisponde ad una *zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi*.

In tale scenario gli effetti attesi consistono in amplificazioni di tipo stratigrafico e, in osservanza della normativa in materia, in questa sede è stata svolta l'analisi sismica di secondo livello utilizzando i dati ricavati dalle specifiche indagini geofisiche eseguite in loco.

L'analisi sismica di primo livello, condotta dal Geol. Poli in sede di predisposizione dello studio geologico redatto a supporto del vigente PGT comunale, ha escluso la possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione (così come evidenziato nella carta della pericolosità sismica locale, che per il sito investigato non riporta lo scenario Z2). Pertanto la verifica alla liquefazione può essere omessa.

## 5. FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Nella carta di fattibilità allegata allo studio geologico comunale (Allegato F.1, Geol. Poli, 2009) l'ambito di specifico interesse (si veda la Figura 8) è compreso in classe di fattibilità 3E, che corrisponde ad *un'area con consistenti limitazioni alla modificazione della destinazione d'uso dei terreni*. La sottoclasse "E" individua le aree a *vulnerabilità alta e molto alta della falda*.



**Figura 8** Stralcio della carta di fattibilità geologica del vigente PGT comunale. L'ellisse rossa individua l'area investigata che è compresa nella classe di fattibilità 3E (campita con il retino rigato orizzontale di colore giallo).

## 6. INDAGINI GEOGNOSTICHE-GEOTECNICHE

Allo scopo di ricostruire la strutturazione litostratigrafica dei primi metri del sottosuolo e di definire il modello geologico-geotecnico dei terreni presenti nell'area di interesse, è stata condotta una prova penetrometrica dinamica continua superpesante tipo DPSH (Dinamic Probing Super Heavy).

Per quanto concerne la caratterizzazione litologica si è fatto riferimento sia alla stratigrafia di un pozzo acquedottistico (si veda la Figura 9) localizzato poco a sud del sito investigato (si veda la Tavola 3, allegata), sia alla ricostruzione contenuta nello studio geologico comunale (si veda la Figura 10).

INFORMAZIONI INDAGINE					
COMUNE: REMEDELLO IDE: D7D275694601					
QUOTA (m s.l.m.): 46 PROFONDITA'(m): 195 NUMERO STRATI: 29					
Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	1,3	1,3	Terreno vegetale	ZS
2	1,3	6	4,7	Ghiaia con sabbia (filtrazioni)	G S
3	6	16	10	Sabbia e limo con lenti di argilla	S L A
4	16	17,5	1,5	Limo argilloso	L A
5	17,5	25	7,5	Argilla, sabbia e ghiaietto	A S GG
6	25	42,2	17,2	Ghiaia e sabbia	G S
7	42,2	44,5	2,3	Argilla cenere	A
8	44,5	53,6	9,1	Sabbia fortemente compressa con fossili	S
9	53,6	80,5	26,9	Limo e argilla con lenti di torba	L A PT
10	80,5	86,7	6,2	Sabbia con lenti di argilla	S A
11	86,7	94,5	7,8	Argilla compatta	A
12	94,5	101	6,5	Sabbia fine compatta	S4
13	101	104	3	Argilla cenere	A
14	104	119,7	15,7	Alternanza di sabbia argilla e limo	S A L
15	119,7	128	8,3	Argilla e limo	A L
16	128	130,2	2,2	Sabbia e ghiaia con filtrazione	S G
17	130,2	134,5	4,3	Argilla compatta	A
18	134,5	154,5	20	Sabbia con lenti di limo e argille	S L A
19	154,5	156,1	1,6	Sabbia compatta	S
20	156,1	158,7	2,6	Ghiaia e sabbia con filtrazione	G S
21	158,7	165,5	6,8	Sabbia fine compatta	S4
22	165,5	166,2	0,7	Argilla sabbiosa	A S
23	166,2	171	4,8	Strati di limo con sabbia fine	L S4
24	171	174,5	3,5	Lenti di limo con sabbia	L S
25	174,5	177,5	3	Sabbia con filtrazione	S
26	177,5	180,5	3	Argilla fortemente compatta	A
27	180,5	183	2,5	Sabbia con lenti di argilla	S A
28	183	186,5	3,5	Torba, argilla e limo	PT A L
29	186,5	195	8,5	Limo sabbioso	L S

**Figura 9** Litostratigrafia del pozzo acquedottistico localizzato a sud dell'area investigata.

N° di Rep.	Ditta	Località	Liv. statico	Tipo indagini	Stratigrafie
5	Palestra per Ist. Tec. Geometri	Via Donatori	0,80	N° 8 SCPT	0,00÷0,60 (terreno vegetale) 0,60÷1,00/1,50 (sabbia e limo) 1,00/1,50÷9,60 (sabbia e ghiaia) 9,60÷12,00/13,00 (limo e/o limo sabbioso)

**Figura 10** Ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo tratta dallo studio geologico comunale.

La summenzionata prova penetrometrica (per l'ubicazione del punto di indagine si veda la Tavola 4, allegata) è stata svolta tramite l'impiego di un penetrometro dinamico-statico Pagani modello "TG 63-100" avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- Massa battente 63,50 kg
- Altezza caduta 75,00 cm
- Lunghezza aste 1,00 m
- Area di punta 20,43 cm<sup>2</sup>
- Angolo di apertura punta conica 60°
- Diametro punta conica 51,00 mm

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica e la relativa batteria di aste misurando il numero di colpi necessari per avanzare di 0,20 m. Durante l'esecuzione della prova un operatore provvede alla registrazione del numero di colpi (N) relativi ad ogni intervallo di indagine.

L'energia necessaria alla perforazione è fornita dalla caduta del maglio (del peso di 63,50 kg) che avviene attraverso appositi meccanismi oleodinamici. Le prove continuano sino al raggiungimento della profondità desiderata oppure sino al conseguimento del rifiuto.

Poiché la prova penetrometrica dinamica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{SPT}$  ottenuto con la suddetta prova standard.

Di conseguenza il numero di colpi (N) registrati nel corso delle prove DPSH condotte dallo scrivente è stato correlato al numero di colpi di una prova penetrometrica dinamica standard ( $N_{SPT}$ ), mediante la seguente relazione:

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

dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e  $Q_{SPT}$  è quella riferita alla prova SPT; l'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

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

dove:

M = peso massa battente;  
M' = peso aste;  
H = altezza di caduta;  
A = area base punta conica;  
δ = passo di avanzamento.

Nel caso in esame il coefficiente di correlazione  $\beta_t$  assume un valore pari a 1,460.

L'analisi, l'interpretazione e la visualizzazione grafica dei dati raccolti durante l'esecuzione di ogni prova consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo investigato definendo, con sufficiente precisione, lo spessore degli orizzonti attraversati, la presenza e la soggiacenza di eventuali falde idriche e, soprattutto, le proprietà geomeccaniche dei terreni attraversati.

Le elaborazioni sono state svolte con il programma di calcolo a Dynamic Probing della GeoStru Software ed allo scopo di individuare i parametri geotecnici caratteristici (per valore caratteristico si intende quel valore al quale è associata una prefissata probabilità di non superamento del 5% - fattile 5%) da utilizzare nelle verifiche geotecniche, così come prescritto dalle NTC 2018, si è fatto riferimento al valore di  $N_{SPT,k}$  (dove “k” sta per “Caratteristico”), calcolato con la seguente formula (distribuzione normale R.C.):

$$N_{SPT,k} = N_{SPT,medio} - 1,645 (\sigma N_{SPT}) / \sqrt{n}$$

dove “ $\sigma N_{SPT}$ ” rappresenta la deviazione standard di  $N_{SPT}$  e “n” il numero di campioni.

## 6.1 Modello geologico-geotecnico

I dati penetrometrici registrati lungo la verticale della prova, che ha raggiunto una profondità massima di circa 10,20 m dal piano di campagna, mostrano la presenza di un orizzonte superficiale, verosimilmente rimaneggiato e consolidato dal passaggio dei mezzi meccanici (strato n. 1 delle tabelle sottostanti), avente uno spessore di 0,80 m.

Proseguendo oltre è stato intercettato uno strato (strato n. 2) sabbioso-limoso poco addensato e contraddistinto da mediocri proprietà geomeccaniche, che raggiunge una profondità massima di circa 1,60 m dal piano di esecuzione delle indagini geognostiche.

Lo strato successivo, che si estende sino a circa 2,20 m dalla superficie topografica, è costituito da litologie mediamente addensate, probabilmente di natura sabbioso-ghiaiosa, ed è caratterizzato da buoni parametri geotecnici, così come gli strati n. 5 e 6.

Lo strato n. 4, che si sviluppa nell'intervallo compreso tra 2,20 e 3,40 m circa dal piano di campagna, mostra diminuzione della resistenza alla penetrazione rispetto allo

strato soprastante ed a quelli sottostanti, ma denota comunque buone-discrete proprietà geomeccaniche.

Nelle tabelle sottostanti viene mostrata una sintesi dei parametri geotecnici caratteristici degli strati che costituiscono il sottosuolo del sito investigato, la quale fornisce il modello geologico-geotecnico di riferimento per la progettazione, mentre nell'Allegato 1 sono riportati i tabulati completi, la documentazione fotografica ed il grafico numero di colpi-profondità.

Strato	Profondità (m)	Nspt	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione efficace (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00-0,80	8,38	1,71	29,75	--	--
2	0,80-1,60	1,98	1,51	26,54	--	0,17
3	1,60-2,20	17,89	1,82	31,66	--	--
4	2,20-3,40	6,16	1,69	29,02	--	0,55
5	3,40-8,20	16,96	1,82	31,47	--	--
6	8,20-10,20	12,11	1,79	30,39	--	--

Strato	Profondità (m)	Nspt	Modulo Edometrico (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Elastico (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00-0,80	8,38	59,50	100,56	0,34	479,47
2	0,80-1,60	1,98	14,06	15,84	0,35	123,53
3	1,60-2,20	17,89	116,76	197,34	0,32	903,62
4	2,20-3,40	6,16	43,74	73,92	0,34	359,02
5	3,40-8,20	16,96	113,46	191,76	0,32	879,58
6	8,20-10,20	12,11	85,98	145,32	0,33	677,75

## 6.2 Rilievi freaticimetrici

Il foro di sondaggio è stato temporaneamente attrezzato a micro-piezometro ed rilievi freaticimetrici hanno intercettato la superficie piezometrica della prima falda ad una profondità di circa 0,88 m dal piano di esecuzione della prova.

## 7. AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Nel presente capitolo vengono descritti i parametri necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto e le indagini geofisiche utilizzate per la caratterizzazione sismica di dettaglio del sottosuolo. Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di diretto interesse.

Quest'ultima costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche ed è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa (ag) in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica

orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla *pericolosità sismica* del sito.

Nelle NTC 17/01/2018 le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale (necessari per la determinazione delle azioni sismiche):

- ag** accelerazione orizzontale massima al sito;
- Fo** valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- Tc\*** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

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

I parametri necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto sono:

- **Tipo di costruzione e vita nominale**; la vita nominale ( $V_N$ ) di un determinato tipo di costruzione è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, 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 17/01/2018 e deve essere precisata nei documenti di progetto.
- **Classe d'uso**; in presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in quattro classi d'uso:
  - Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
  - Classe II: 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 Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

- **Classe 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.
- **Classe IV:** 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.
- **Coefficiente d'uso;** Il valore del coefficiente d'uso ( $C_U$ ) è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella Tab. 2.4.II delle NTC 17/01/2018.
- **Periodo di riferimento per l'azione sismica;** le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento ( $V_R$ ) espresso in anni che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$  secondo la relazione:  $V_R = V_N \cdot C_U$ . Nel caso che  $V_R$  assuma un valore  $\leq 35$ , si pone comunque pari a 35.
- **Probabilità di superamento nel periodo di riferimento;** le probabilità di superamento nel periodo di riferimento ( $P_{VR}$ ), cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I delle NTC 17/01/2018.
- **Categoria di suolo;** ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II delle NTC 17/01/2018).
- **Condizioni topografiche;** per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione riportata nella Tab. 3.2.III delle NTC 17/01/2018.
- **Accelerazione massima attesa al sito;** l'accelerazione massima attesa al sito ( $a_{max}$ ) si ricava dalla seguente relazione:  $a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$ .  
 $S_S$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica (indicato nella Tab. 3.2.IV delle NTC 17/01/2018) relativo a ciascuna classe di sottosuolo,  $S_T$  è il coefficiente di amplificazione topografica (riportato nella Tab. 3.2.V delle NTC 17/01/2018) espresso in funzione delle caratteristiche topografiche del sito, e  $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima al sito.
- **Coefficiente sismico di accelerazione orizzontale;** tale coefficiente ( $K_h$ ) si ricava dalla seguente relazione:  $K_h = \beta_S \cdot a_{max} / g$ .
- **Coefficiente sismico di accelerazione verticale;** tale coefficiente ( $K_v$ ) si ricava dalla seguente relazione:  $K_v = K_h / 2$ .
- **Periodo di ritorno;** il periodo di ritorno ( $T_R$ ) si determina dalla seguente relazione:  $T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$ .

## 7.1 Indagini sismiche

Le indagini sismiche svolte in questa sede sono state rivolte alla ricostruzione del profilo dell'andamento delle onde di taglio (S) in profondità ed alla definizione della corrispondente categoria di sottosuolo.

Tale classificazione si basa sulle condizioni stratigrafiche del substrato e sul valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{seq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

dove:

- $h_i$  spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- $N$  numero di strati;
- $H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Nella fattispecie è stata impiegata la tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), che è ascrivibile alla categoria delle indagini sismiche di tipo attivo e che prevede che il segnale sismico sia generato da una sorgente energizzante artificiale, ovvero un maglio che batte su di un'apposita piastra.

Le indagini MASW sono state eseguite impiegando un sismografo tipo DoReMi multicanale (SARA electronic instruments), con una frequenza di campionamento di 1.000 Hz, acquisendo la componente verticale delle onde di Rayleigh (ZVF).

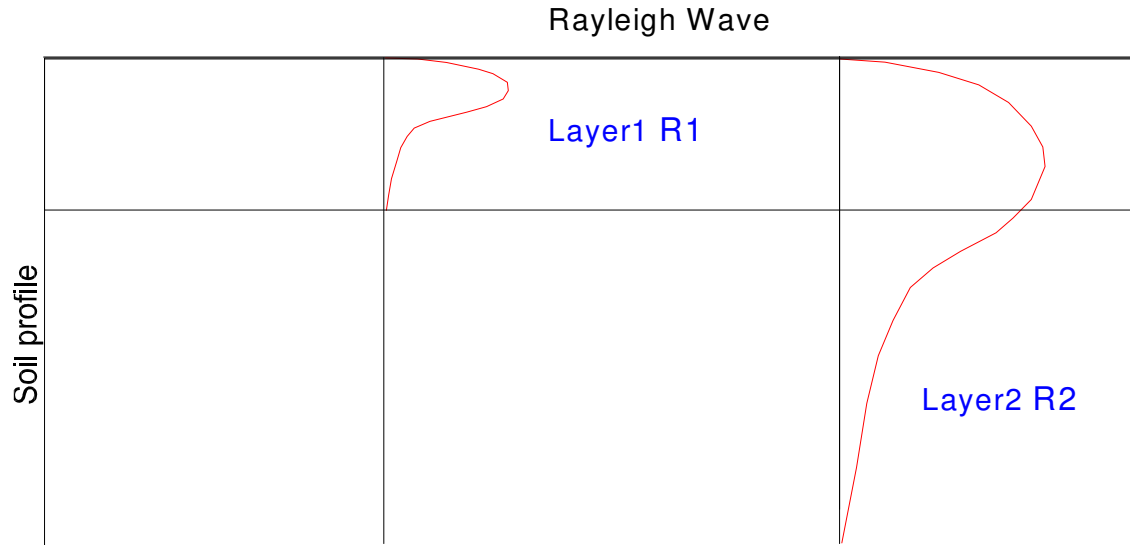
Tale scelta è giustificata dal fatto che la porzione che predomina nelle onde superficiali è costituita dalle onde di Rayleigh, la cui velocità è correlata alla rigidezza ed ai parametri elastici dei suoli attraversati.

È importante precisare che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive, pertanto le alte frequenze, che hanno lunghezze d'onda corte, si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno, mentre le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi (si veda la Figura 11).

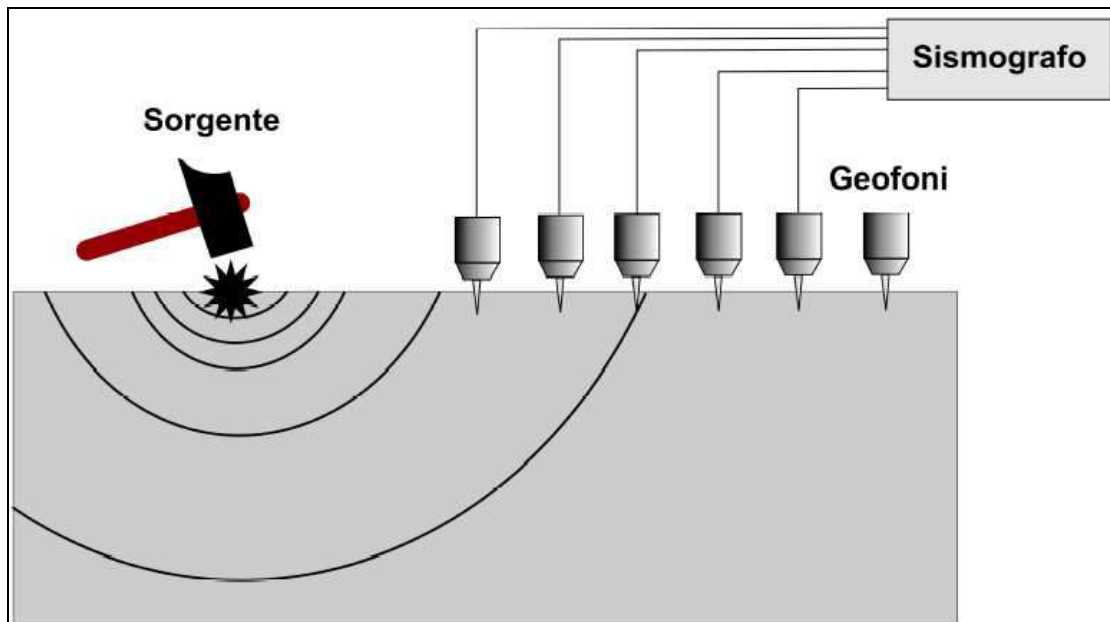
Al summenzionato sismografo è stata collegata una catena di 16 sensori verticali (geofoni) da 4,5 Hz posti a distanza reciproca di 2,50 m per una lunghezza complessiva pari a 45 m (compreso il trigger). L'ubicazione dello stendimento è visualizzata nella Tavola 4 (allegata alla presente).

I dati acquisiti sono consistiti nella registrazione dei treni d'onda (prodotti, tramite mazzetta, all'estremità dello stendimento) dall'istante di energizzazione (+/- 1 µs) sino ad un tempo massimo di 2.000 msec (si veda la Figura 12).

L'interpretazione dei dati è stata condotta con il software Easy MASW 2015 (della GeoStru Software) e nell'Allegato 2 sono riportati il sismogramma ed i grafici relativi all'indagine svolta. Tramite l'impiego del software (e sulla base delle informazioni stratigrafiche disponibili) è stata effettuata l'inversione della curva di dispersione sino ad ottenere il diagramma dell'andamento delle onde S nel sottosuolo (si vedano la Figura 13 e l'Allegato 2).



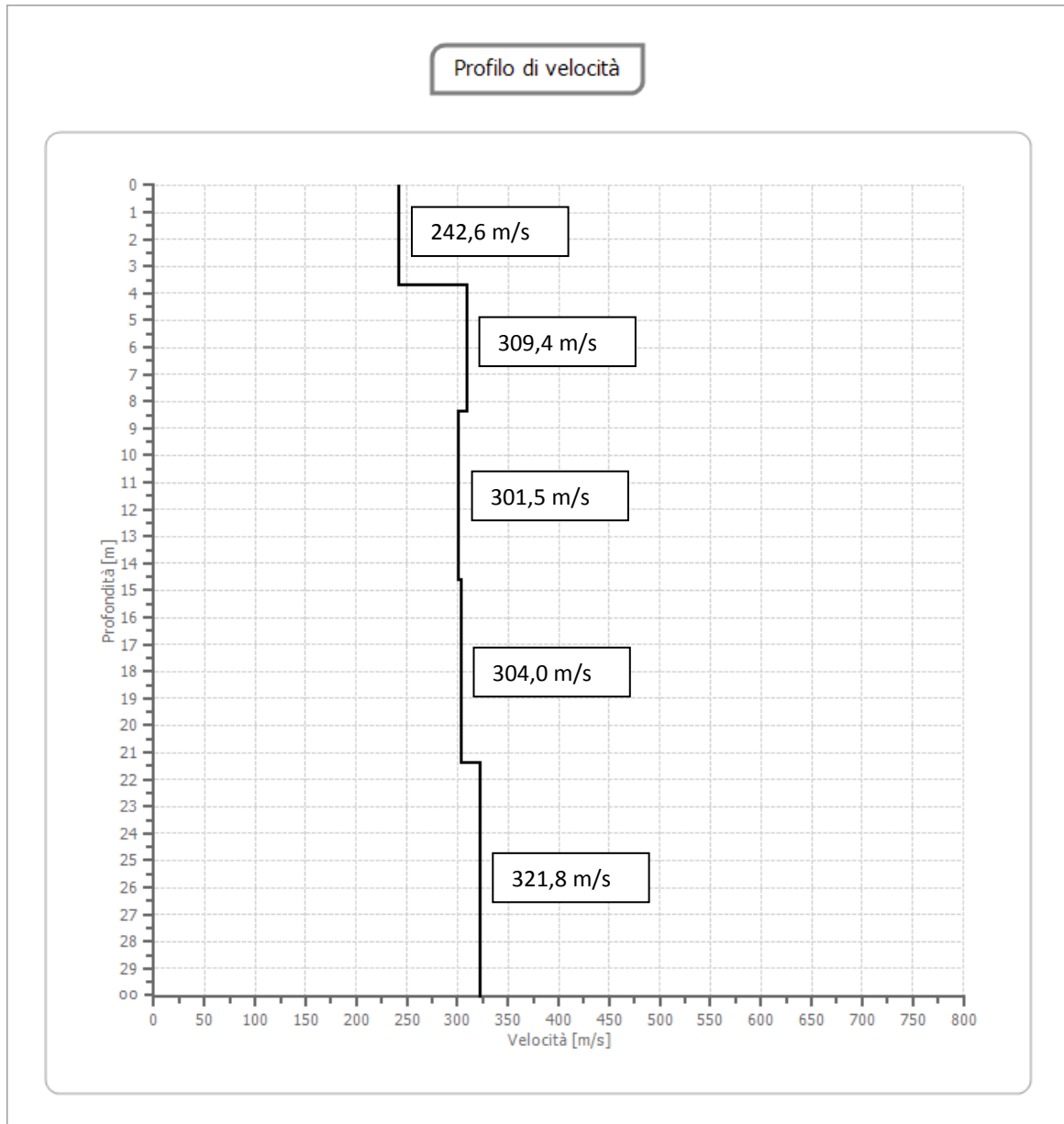
**Figura 11** Schema della propagazione delle onde di Rayleigh nel terreno stratificato



**Figura 12** Schema della disposizione dei sensori e della trasmissione dell'impulso

In base ai risultati delle indagini sismiche il sottosuolo dell'area investigata presenta un valore della velocità equivalente  $V_{Seq}$  (che in questo caso coincide con la  $V_{S30}$ ) pari a **299,74 m/s** e, quindi, appartiene alla **categoria C**, che comprende (Tabella 3.2.II delle NTC 2018): *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.*

Si precisa che la categoria di sottosuolo da utilizzare nelle verifiche geotecniche dovrà essere definita in funzione dei risultati dell'analisi sismica di secondo livello (si veda il paragrafo successivo).



**Figura 13** Andamento delle onde S nel sottosuolo ottenuto dall'indagine MASW.

Il **periodo proprio di sito (T)**, ricavato dalla relazione matematica riportata a seguire, è pari a **0,398 s**, mentre la **frequenza di risonanza di sito (F)**, che è l'inverso del periodo, presenta un valore pari a **2,512 Hz**.

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

con:

T = periodo proprio del sito  
 $V_{s_i}$  = velocità delle onde S dello strato i-esimo  
 $h_i$  = spessore dello strato i-esimo

## 7.2 Analisi sismica di secondo livello

In relazione al locale assetto geologico, litostratigrafico e geomorfologico, per il sito oggetto del presente studio può essere individuato lo scenario Z4a. In tale scenario gli effetti attesi consistono in amplificazioni di tipo litologico.

Pertanto, ai sensi della normativa regionale entrata in vigore con l'approvazione della D.g.r. n. X/5001 del 30/03/2016, è necessario procedere all'esecuzione dell'analisi sismica di secondo livello. In questa sede è stata svolta la verifica di dettaglio dei fattori di amplificazione litologica.

Il fattore di amplificazione ( $F_a$ ) è stato calcolato per due intervalli di periodo scelti, dal legislatore, in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie più frequenti sul territorio regionale. In particolare l'intervallo tra  $0,1 \div 0,5$  s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari, piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra  $0,5 \div 1,5$  s riguarda strutture più alte e flessibili.

I fattori di amplificazione relativi al sottosuolo dell'area di intervento, calcolati in funzione dei dati ricavati dalle indagini sismiche, sono stati confrontati con i valori soglia previsti dalla vigente normativa per il Comune di Remedello (BS), ai sensi della D.g.r. n. 8/7374 del 28/05/2008 e della D.g.r. n. IX/2616 del 30/11/11.

Nella fattispecie è stata utilizzata la scheda denominata “**Litologia sabbiosa**” (riportata in Figura 14), la cui validità è stata verificata attraverso il confronto tra l'andamento delle  $V_s$  proposto dalla Regione Lombardia e quello mostrato dal profilo geofisico relativo al sito investigato, con un **periodo T** pari a **0,398 s** e facendo riferimento alla **curva 2**.

Considerando un suolo di tipo C, che rappresenta la categoria di sottosuolo del sito in esame ottenuta dalle indagini sismiche, le verifiche in questione hanno fornito i risultati esposti nella tabella sottostante (si veda anche la specifica scheda inserita al termine del paragrafo).

Intervallo periodo	Valori soglia suoli C	Fattori di amplificazione calcolati	Risultato
0,1÷0,5 s	1,90	<b>1,64</b>	Verificato
0,5÷1,5 s	2,40	<b>1,64</b>	Verificato

Fattori di amplificazione

Dato che i fattori di amplificazione calcolati sono inferiori ai valori soglia di legge, la verifica di secondo livello risulta soddisfatta per entrambi gli intervalli di periodo. Ne consegue che in fase di progettazione bisognerà fare riferimento alla **categoria di sottosuolo C** ed utilizzare i parametri sito-specifici indicati nel paragrafo seguente.

## EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

## PARAMETRI INDICATIVI

## GRANULOMETRIA:

Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

## NOTE:

Comportamento granulare

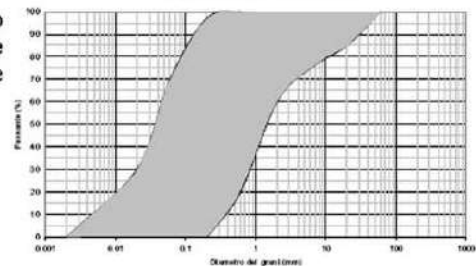
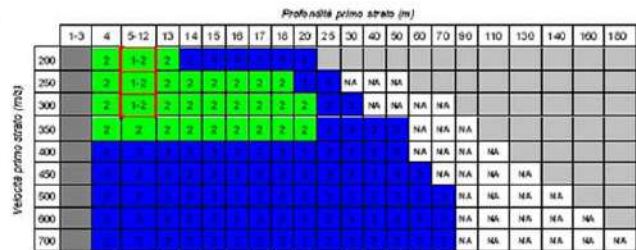
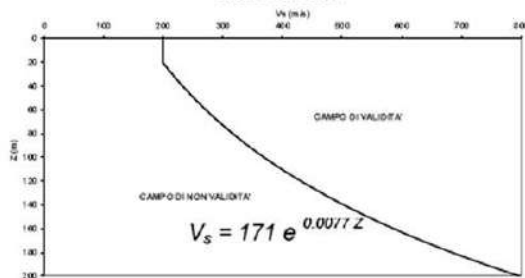
Struttura granulo-sostenuta

Clasti con  $D_{max} > 20$  cm inferiori al 15%

Frazione ghiaiosa inferiore al 25%

Frazione limosa fino ad un massimo del 70%

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO

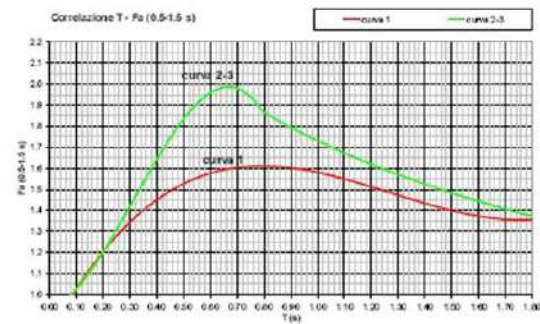
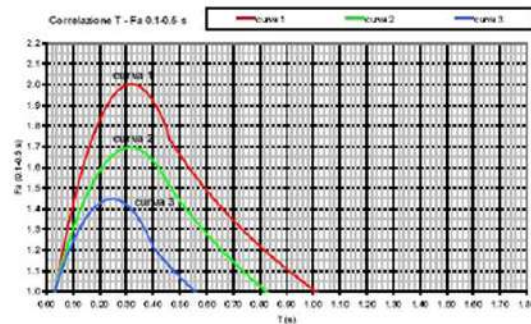
ANDAMENTO DELLE  $V_s$  CON LA PROFONDITA' LITOLOGIA SABBIOSA

ove  
la sigla NA indica  $Fa = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1

**CONDIZIONE:** strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media  $V_s$  minore o uguale a 300 m/s poggianti su strato con velocità maggiore di 500 m/s

$V_s < 300$ m/s	0
$V_s > 500$ m/s	5 - 12 m



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.10-0.5} = -12.21 T^2 + 7.78 T + 0.78$	$0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.10-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $Fa_{0.10-0.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.10-0.5} = -8.05 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$0.45 < T \leq 0.80$ $Fa_{0.10-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $Fa_{0.10-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.10-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.10-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $Fa_{0.10-0.5} = 1.00$

Curva	$0.08 \leq T \leq 1.80$	
1	$Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^2 - 2.18 T^2 + 2.35 T + 0.81$	
2	$0.08 \leq T < 0.80$	$0.80 \leq T \leq 1.80$
3	$Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$	$Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

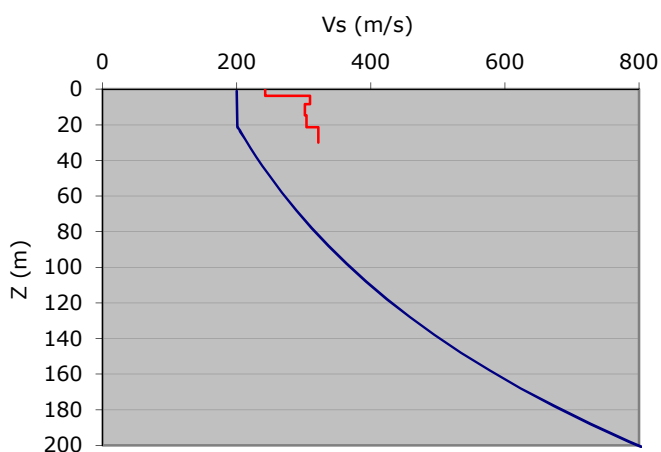
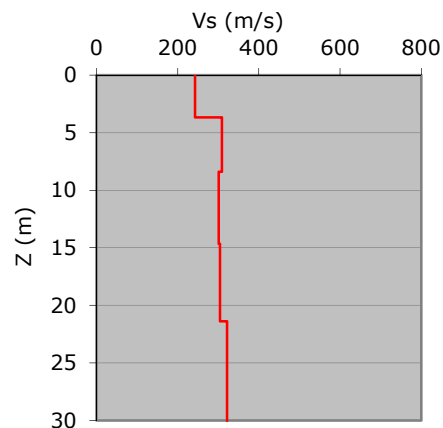
Figura 14 Effetti litologici – Scheda litologia sabbiosa.

# AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA - DETERMINAZIONE DEL Fa

D.g.r. n. IX/2616 del 30/11/11 - Allegato 5

PROFILO GEOFISICO REMEDELLO (BS) - VIA AVIS N. 5

STRATO	h	Z	Vs	Vs*Hi
1	3,69	3,69	242,6	895
2	4,72	8,41	309,4	1460
3	6,23	14,64	301,5	1878
4	6,74	21,38	304,0	2049
5	8,64	30,02	321,8	2780



SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

**PERIODO (T)**

0,398



**SCHEDA**

sabbiosa

**CURVA**

2



**Fa (0,1-0,5 S)**

1,64

**Fa (0,5-1,5 S)**

1,64

VALORI SOGLIA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE Fa: COMUNE DI REMEDELLO (BS)

Periodo	Tipo di suolo			
	B	C	D	E
0.1 - 0.5	1,5	1,9	2,3	2,0
0.5 - 1.5	1,7	2,4	4,3	3,1

<b>Fa (0,1-0,5 S)</b>	1,90	>	1,64	VERIFICATO
SUOLO C				
<b>Fa (0,5-1,5 S)</b>	2,40	>	1,64	VERIFICATO
SUOLO C				

ANALISI SISMICA  
2° Livello

### 7.3 Parametri sismici sito-specifici

Di seguito sono riportati i parametri sismici specifici per il sito di intervento e relativi agli stati limite considerati, così come richiesto dalla vigente normativa in materia (D.M. 17/01/2018), mentre nella Figura 15 è visualizzata la maglia di riferimento dei valori dello spettro di risposta elastico.

In base ai dati raccolti il substrato è riconducibile alla categoria C (Tabella 3.2.II delle NTC 2018), la categoria topografica è T1 (Tabella 3.2.III delle NTC 2018) e le strutture di cui in epigrafe ricadono in classe d'uso 3.

- **Sito in esame**

latitudine: 45,281310 (coordinate ED50)  
 longitudine: 10,371098 (coordinate ED50)  
 Classe: 3  
 Vita nominale: 50

- **Siti di riferimento**

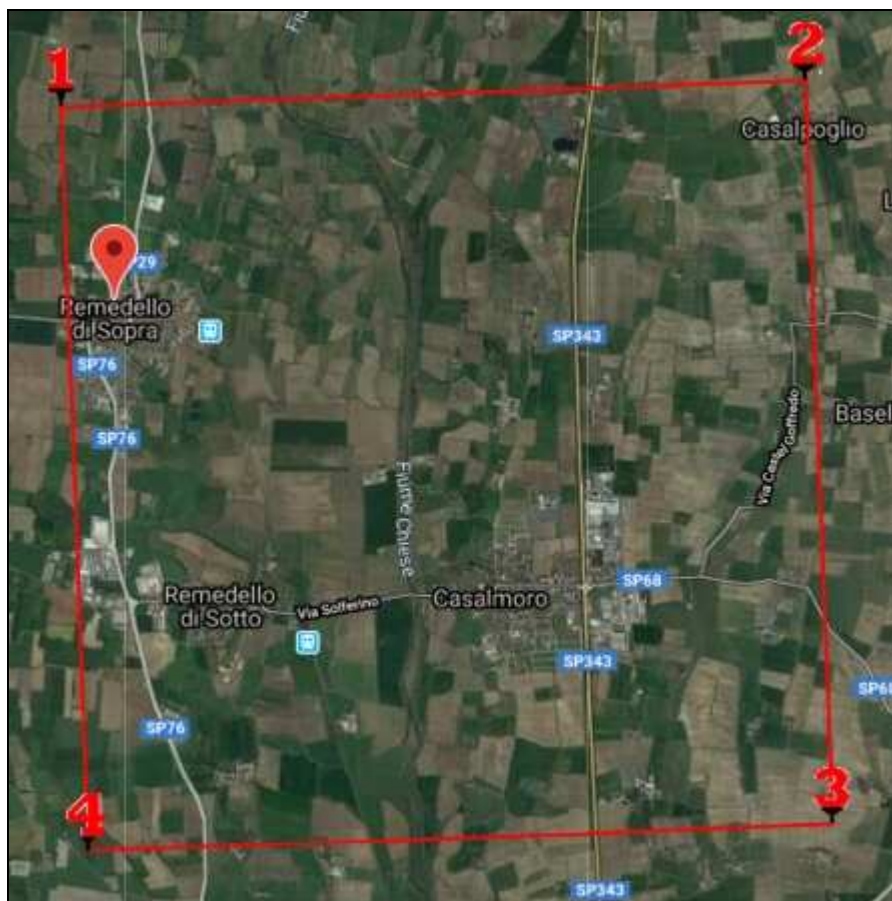
Sito 1 ID: 13165 Lat: 45,2943 Lon: 10,3659 Distanza: 1501,430  
 Sito 2 ID: 13166 Lat: 45,2961 Lon: 10,4368 Distanza: 5397,545  
 Sito 3 ID: 13388 Lat: 45,2462 Lon: 10,4394 Distanza: 6619,505  
 Sito 4 ID: 13387 Lat: 45,2444 Lon: 10,3685 Distanza: 4114,987

- **Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: C  
 Categoria topografica: T1  
 Periodo di riferimento: 75 anni  
 Coefficiente cu: 1,5

	<i>Unità di misura</i>	<b>Operatività (SLO)</b>	<b>Danno (SLD)</b>	<b>Salvaguardia della vita (SLV)</b>	<b>Prevenzione dal collasso (SLC)</b>
<b>Probabilità di superamento:</b>	%	81	63	10	5
<b>Tr:</b>	[anni]	45	75	712	1462
<b>ag:</b>	g	0,042	0,053	0,140	0,181
<b>Fo:</b>		2,499	2,518	2,494	2,495
<b>Tc*:</b>	[s]	0,240	0,260	0,278	0,284

<b>Coefficienti Sismici</b>				
	<b>SLO</b>	<b>SLD</b>	<b>SLV</b>	<b>SLC</b>
<b>Ss:</b>	1,50	1,50	1,50	1,43
<b>Cc:</b>	1,68	1,64	1,60	1,59
<b>St:</b>	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Kh:</b>	0,013	0,016	0,050	0,062
<b>Kv:</b>	0,006	0,008	0,025	0,031
<b>Amax:</b>	0,624	0,783	2,043	2,542
<b>Beta:</b>	0,200	0,200	0,240	0,240



**Figura 15** Vertici della maglia riferimento dei valori dello spettro di risposta elastico.

L'accelerazione sismica massima comunale ( $A_gMax$ ) ai sensi della D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014 (O.P.C.M. 3519/06) è pari a 0,126755 ( $A_g/g$ ), mentre l'accelerazione massima PGA (Peak Ground Acceleration), calcolata in relazione ai parametri sito specifici, è pari a 0,190132 ( $A_g/g$ ).

## 8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione geologica è stata redatta a supporto del progetto che prevede lavori di riqualificazione funzionale e di adeguamento sismico dell'Istituto di Istruzione Superiore "Bonsignori" sito a Remedello (BS) in Via Avis n. 5.

Le indagini svolte dallo scrivente sono state intraprese allo scopo di analizzare l'assetto geolitologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area di intervento e ricostruire il modello geologico-geotecnico e sismico del sottosuolo.

Il sito investigato si colloca in un contesto pianeggiante esente da problematiche di tipo geomorfologico ed idraulico, così come indicato anche nel PGRA. Dal punto di vista idrogeomorfologico, in funzione di quanto illustrato nei capitoli precedenti ed in accordo con quanto riportato nello studio geologico redatto a supporto del vigente PGT

comunale, il principale elemento di criticità è rappresentato dalla bassa soggiacenza della falda, che dovrebbe collocarsi ad una profondità minima di circa 0,80 m dalla superficie topografica.

Per questa ragione l'edificio scolastico di cui in epigrafe è stato inserito in classe in classe di fattibilità 3E, che corrisponde ad *un'area con consistenti limitazioni alla modificazione della destinazione d'uso dei terreni*. La sottoclasse "E" individua le aree a *vulnerabilità alta e molto alta della falda*.

Di conseguenza le strutture presenti in loco devono essere dotate di una puntuale ed efficiente rete di raccolta delle acque meteoriche, oltre che di quelle bianche, grigie e nere, che devono essere convogliate entro idonei recapiti evitando dispersioni incontrollate nel sottosuolo o lungo il perimetro dei fabbricati.

Tale dispersione potrebbe, a lungo andare, comportare un'alterazione delle proprietà geotecniche del sedime di imposta delle fondazioni con ripercussioni negative sulla stabilità dei manufatti esistenti.

Dal punto di vista geolitologico il primo sottosuolo del sito di diretto interesse, sino alla profondità di circa 1,60 m dal piano di campagna, è costituito da litologie sabbioso-limose poco addensate e contraddistinte da mediocri proprietà geomeccaniche. Più in profondità sono presenti terreni sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi più compatti e caratterizzati da migliori parametri geotecnici (si veda il Paragrafo 6.1).

L'area oggetto del presente studio, ai sensi della D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014, entrata in vigore con l'approvazione della D.g.r. n. X/5001 del 30/03/2016, è compresa nella zona sismica 3.

In base ai risultati delle indagini sismiche disponibili ( $V_{Seq}$  229,74 m/s e periodo proprio di sito 0,398 s) ed in funzione dei riscontri positivi ottenuti dall'analisi sismica di secondo livello, in fase di progettazione bisognerà fare riferimento alla categoria di sottosuolo C (Tabella 3.2.II delle NTC 2018), mentre la categoria topografica è la T2 (Tabella 3.2.III delle NTC 2018).

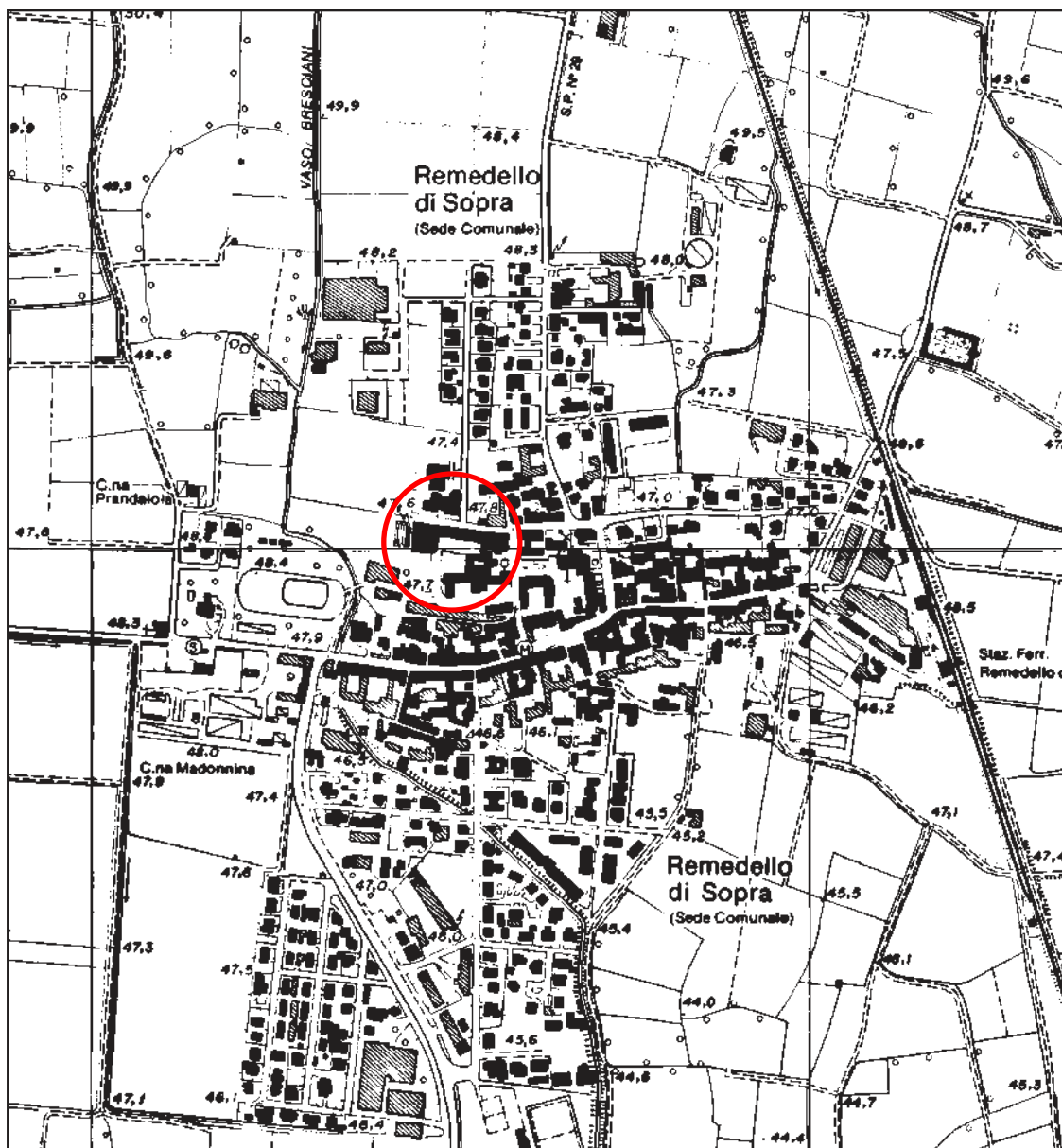
Nel Paragrafo 7.3 sono riportati i parametri sismici sito-specifici relativi alle condizioni litostratigrafiche e geomorfologiche dei luoghi.

Breno, maggio 2020



**Dott. Filippo Pezzotti Geologo**

Ordine Geologi Lombardia n. 1264



Stralcio della C. T. R. della Regione Lombardia - Sezioni n. D7d1 e n. D7d2



Ubicazione dell'area investigata.



**I.I.S. "BONSIGNORI" IN COMUNE DI REMEDELLO (BS)**  
**LAVORI DI RIQUALIFICAZIONE FUNZIONALE ED ADEGUAMENTO SISMICO**

**TAVOLA 1**

**SCALA 1:10.000**

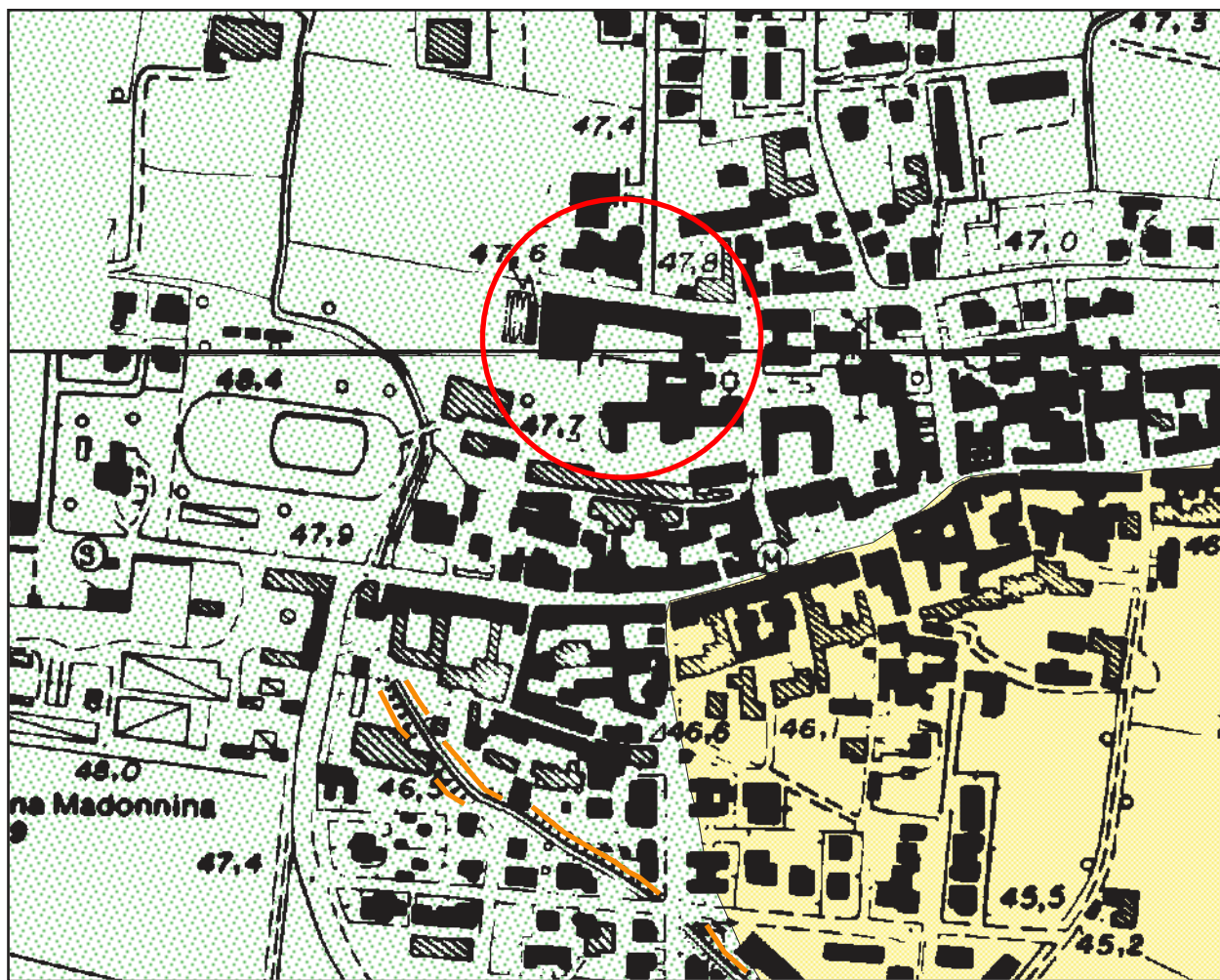
**COROGRAFIA**



**Consulenza Geologica,  
Geotecnica ed Idrogeologica**

**Dott. Filippo Pezzotti Geologo**  
 Ordine Geologi Lombardia n. 1264

**Committente:** Provincia di Brescia



Ubicazione dell'area investigata.



Alluvioni ghiaioso-sabbiose attuali e recenti (Olocene).



Ripiano del "Fluviale Recente" o "Piano Generale Terrazzato della Pianura" (Pleistocene superiore). Alluvioni fluvio-glaciali che costituiscono la media pianura localizzata a valle della linea delle risorgive.



Orlo di scarpata naturale e/o artificiale.

**I.I.S. "BONSIGNORI" IN COMUNE DI REMEDELLO (BS)**  
**LAVORI DI RIQUALIFICAZIONE FUNZIONALE ED ADEGUAMENTO SISMICO**

**TAVOLA 2**

**SCALA 1:5.000**

**CARTA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA**



**Consulenza Geologica,  
Geotecnica ed Idrogeologica**

**Dott. Filippo Pezzotti Geologo**  
Ordine Geologi Lombardia n. 1264

**Committente:** Provincia di Brescia



Ubicazione dell'area investigata.



Linea isofreatica (il numero indica la quota assoluta della superficie piezometrica espressa in m s.l.m.) desunta dal vigente PGT comunale.



Senso di flusso generalizzato della prima falda.



Pozzo con stratigrafia (il numero rappresenta il codice identificativo).



Roggia e/o canale irriguo principale.



**I.I.S. "BONSIGNORI" IN COMUNE DI REMEDELLO (BS)**  
**LAVORI DI RIQUALIFICAZIONE FUNZIONALE ED ADEGUAMENTO SISMICO**

**TAVOLA 3**

**SCALA 1:5.000**

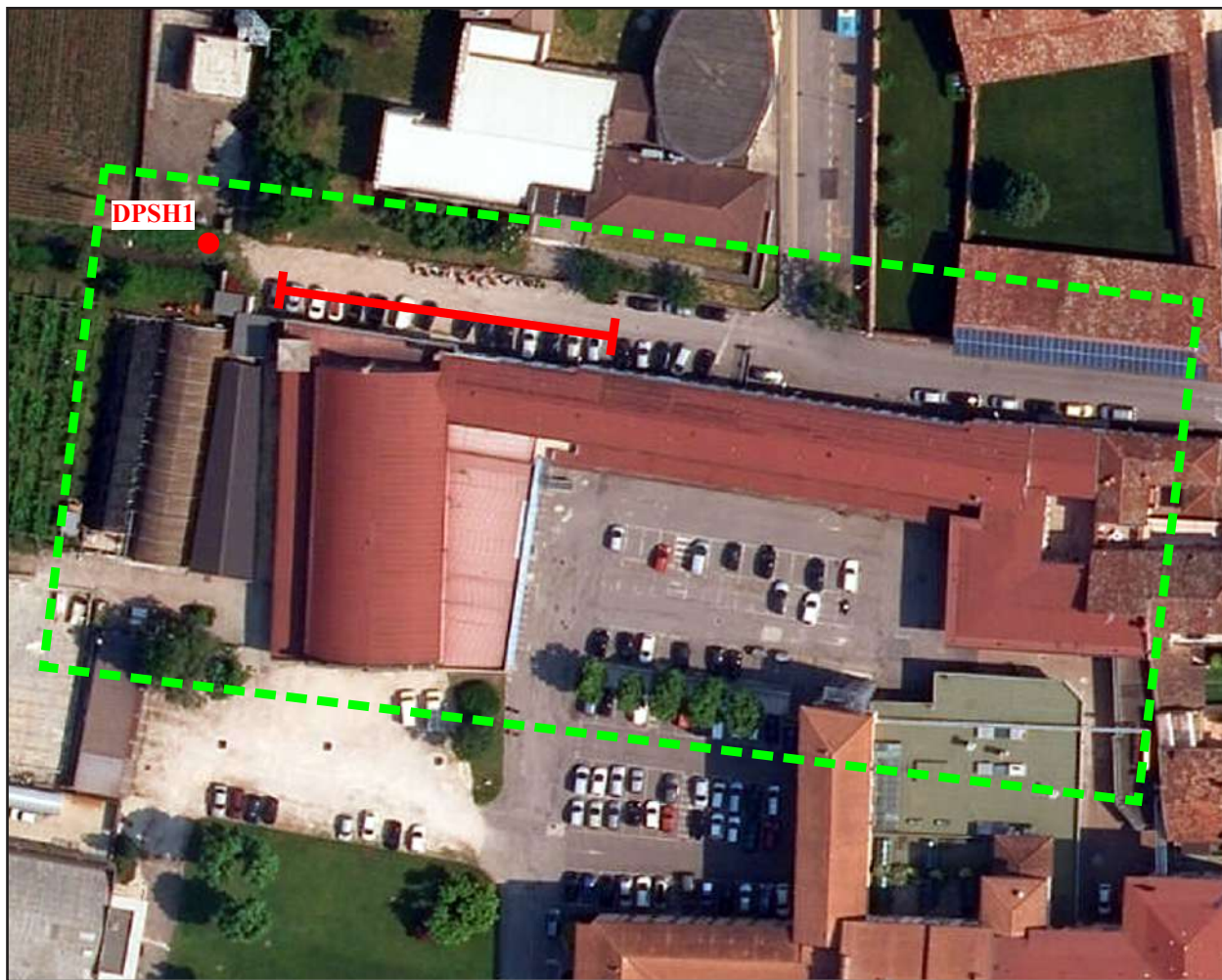
**CARTA IDROGEOLOGICA**



**Consulenza Geologica,  
Geotecnica ed Idrogeologica**

**Dott. Filippo Pezzotti Geologo**  
 Ordine Geologi Lombardia n. 1264

**Committente:** Provincia di Brescia



Ubicazione dell'area investigata.



Prova penetrometrica dinamica e relativo codice identificativo.



Stendimento sismico MASW.

**I.I.S. "BONSIGNORI" IN COMUNE DI REMEDELLO (BS)**  
**LAVORI DI RIQUALIFICAZIONE FUNZIONALE ED ADEGUAMENTO SISMICO**

**TAVOLA 4**

**SCALA 1:1.000**

**UBICAZIONE DELLE INDAGINI**



**Consulenza Geologica,  
Geotecnica ed Idrogeologica**

**Dott. Filippo Pezzotti Geologo**  
Ordine Geologi Lombardia n. 1264

**Committente:** Provincia di Brescia

# ALLEGATO 1

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Provincia di Brescia  
Cantiere: I.I.S. G. Bonsignori  
Località: Via Avis – Remedello (BS)

### STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

#### PENETROMETRO DPSH TG 63-100 PAGANI



### Caratteristiche Tecniche-Strumentali prove penetrometriche dinamiche:

Rif. Norme	DIN4094
Diametro punta conica	51,00 mm
Angolo di apertura punta	60°
Area di base punta	20,43 cm <sup>2</sup>
Avanzamento punta	0,20 m
Peso massa battente	63,5 kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Passo letture	20 cm
Lunghezza aste	1,00 m
Coefficiente di correlazione	1,46

**PROVA DPSH1**

Prova eseguita in data 28/05/2020  
 Profondità prova 10,20 m  
 Falda rilevata -0,88 m dal p.c.  
 Tipo elaborazione Nr. Colpi distribuzione normale R.C.

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	5	0,855	44,90	52,54
0,40	9	0,851	80,45	94,57
0,60	8	0,847	65,34	77,15
0,80	6	0,843	48,80	57,86
1,00	4	0,840	32,39	38,57
1,20	2	0,836	16,13	19,29
1,40	1	0,833	8,03	9,64
1,60	2	0,830	14,78	17,82
1,80	11	0,826	81,00	98,02
2,00	16	0,773	110,24	142,57
2,20	17	0,770	116,66	151,48
2,40	8	0,817	58,25	71,29
2,60	4	0,814	26,97	33,13
2,80	5	0,811	33,60	41,41
3,00	3	0,809	20,09	24,85
3,20	7	0,806	46,73	57,97
3,40	5	0,803	33,27	41,41
3,60	9	0,801	55,76	69,62
3,80	10	0,798	61,76	77,36
4,00	13	0,746	75,02	100,56
4,20	16	0,744	92,05	123,77
4,40	12	0,791	73,47	92,83
4,60	11	0,789	63,00	79,83
4,80	12	0,787	68,54	87,08
5,00	11	0,785	62,67	79,83
5,20	11	0,783	62,50	79,83
5,40	10	0,781	56,68	72,57
5,60	11	0,779	58,57	75,18
5,80	13	0,727	64,61	88,84
6,00	14	0,725	69,41	95,68
6,20	13	0,724	64,30	88,84
6,40	11	0,772	58,04	75,18
6,60	12	0,770	59,70	77,49
6,80	12	0,769	59,57	77,49
7,00	13	0,717	60,21	83,95
7,20	12	0,766	59,33	77,49
7,40	14	0,714	64,57	90,41
7,60	14	0,713	61,07	85,69
7,80	10	0,761	46,60	61,21
8,00	12	0,760	55,82	73,45
8,20	14	0,709	60,72	85,69
8,40	7	0,757	32,45	42,85
8,60	9	0,756	39,58	52,36
8,80	9	0,755	39,51	52,36
9,00	8	0,753	35,07	46,54
9,20	10	0,752	43,76	58,17
9,40	9	0,751	39,32	52,36
9,60	11	0,750	45,72	60,97
9,80	8	0,749	33,20	44,34
10,00	8	0,748	33,15	44,34
10,20	9	0,747	37,24	49,88

## PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH1

## Coesione non drenata

Strato n.	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )
1	8,38	0,00-0,80	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	--
2	1,98	0,80-1,60	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	0,17
3	17,89	1,60-2,20	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	--
4	6,16	2,20-3,40	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	0,55
5	16,96	3,40-8,20	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	--
6	12,11	8,20-10,20	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	--

## Densità relativa

Strato n.	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Densità relativa (%)
1	8,38	0,00-0,80	Skempton (1986)	41,28
2	1,98	0,80-1,60	Skempton (1986)	24,38
3	17,89	1,60-2,20	Skempton (1986)	63,58
4	6,16	2,20-3,40	Skempton (1986)	38,69
5	16,96	3,40-8,20	Skempton (1986)	59,36
6	12,11	8,20-10,20	Skempton (1986)	52,39

## Angolo di resistenza al taglio

Strato n.	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
1	8,38	0,00-0,80	Sowers (1961)	29,75
2	1,98	0,80-1,60	Sowers (1961)	26,54
3	17,89	1,60-2,20	Sowers (1961)	31,66
4	6,16	2,20-3,40	Sowers (1961)	29,02
5	16,96	3,40-8,20	Sowers (1961)	31,47
6	12,11	8,20-10,20	Sowers (1961)	30,39

## Modulo di Young

Strato n.	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Modulo di Young (kg/cm <sup>2</sup> )
1	8,38	0,00-0,80	Schmertmann (1978)	100,56
2	1,98	0,80-1,60	Schmertmann (1978)	15,84
3	17,89	1,60-2,20	Schmertmann (1978)	197,34
4	6,16	2,20-3,40	Schmertmann (1978)	73,92
5	16,96	3,40-8,20	Schmertmann (1978)	191,76
6	12,11	8,20-10,20	Schmertmann (1978)	145,32

## Modulo Edometrico

Strato n.	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Modulo Edometrico (kg/cm <sup>2</sup> )
1	8,38	0,00-0,80	Farrent 1963	59,50
2	1,98	0,80-1,60	Farrent 1963	14,06
3	17,89	1,60-2,20	Farrent 1963	116,76
4	6,16	2,20-3,40	Farrent 1963	43,74
5	16,96	3,40-8,20	Farrent 1963	113,46
6	12,11	8,20-10,20	Farrent 1963	85,98

## Classificazione AGI

Strato n.	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione AGI
1	8,38	0,00-0,80	A.G.I	POCO ADDENSATO
2	1,98	0,80-1,60	A.G.I	SCIOLTO
3	17,89	1,60-2,20	A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
4	6,16	2,20-3,40	A.G.I	POCO ADDENSATO
5	16,96	3,40-8,20	A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
6	12,11	8,20-10,20	A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

## Peso unità di volume

Strato n.	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
1	8,38	0,00-0,80	Meyerhof 1951	1,71
2	1,98	0,80-1,60	Meyerhof 1951	1,51
3	17,89	1,60-2,20	Meyerhof 1951	1,82
4	6,16	2,20-3,40	Meyerhof 1951	1,69
5	16,96	3,40-8,20	Meyerhof 1951	1,82
6	12,11	8,20-10,20	Meyerhof 1951	1,79

## Peso unità di volume saturo

Strato n.	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
1	8,38	0,00-0,80	Terzaghi-Peck 1948-1967	--
2	1,98	0,80-1,60	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,87
3	17,89	1,60-2,20	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,96
4	6,16	2,20-3,40	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89
5	16,96	3,40-8,20	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,95
6	12,11	8,20-10,20	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,93

## Modulo di Poisson

Strato n.	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Poisson
1	8,38	0,00-0,80	(A.G.I.)	0,34
2	1,98	0,80-1,60	(A.G.I.)	0,35
3	17,89	1,60-2,20	(A.G.I.)	0,32
4	6,16	2,20-3,40	(A.G.I.)	0,34
5	16,96	3,40-8,20	(A.G.I.)	0,32
6	12,11	8,20-10,20	(A.G.I.)	0,33

## Modulo di deformazione a taglio dinamico

Strato n.	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	G (kg/cm²)
1	8,38	0,00-0,80	Ohsaki	479,47
2	1,98	0,80-1,60	Ohsaki	123,53
3	17,89	1,60-2,20	Ohsaki	903,62
4	6,16	2,20-3,40	Ohsaki	359,02
5	16,96	3,40-8,20	Ohsaki	879,58
6	12,11	8,20-10,20	Ohsaki	677,75

Coefficiente spinta a Riposo  $K_0 = \sigma_H / P_0$ 

Strato n.	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	$K_0$
1	8,38	0,00-0,80	Navfac 1971-1982	1,75
2	1,98	0,80-1,60	Navfac 1971-1982	0,26
3	17,89	1,60-2,20	Navfac 1971-1982	3,40
4	6,16	2,20-3,40	Navfac 1971-1982	1,25
5	16,96	3,40-8,20	Navfac 1971-1982	3,31
6	12,11	8,20-10,20	Navfac 1971-1982	2,55

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROVA DPSH1

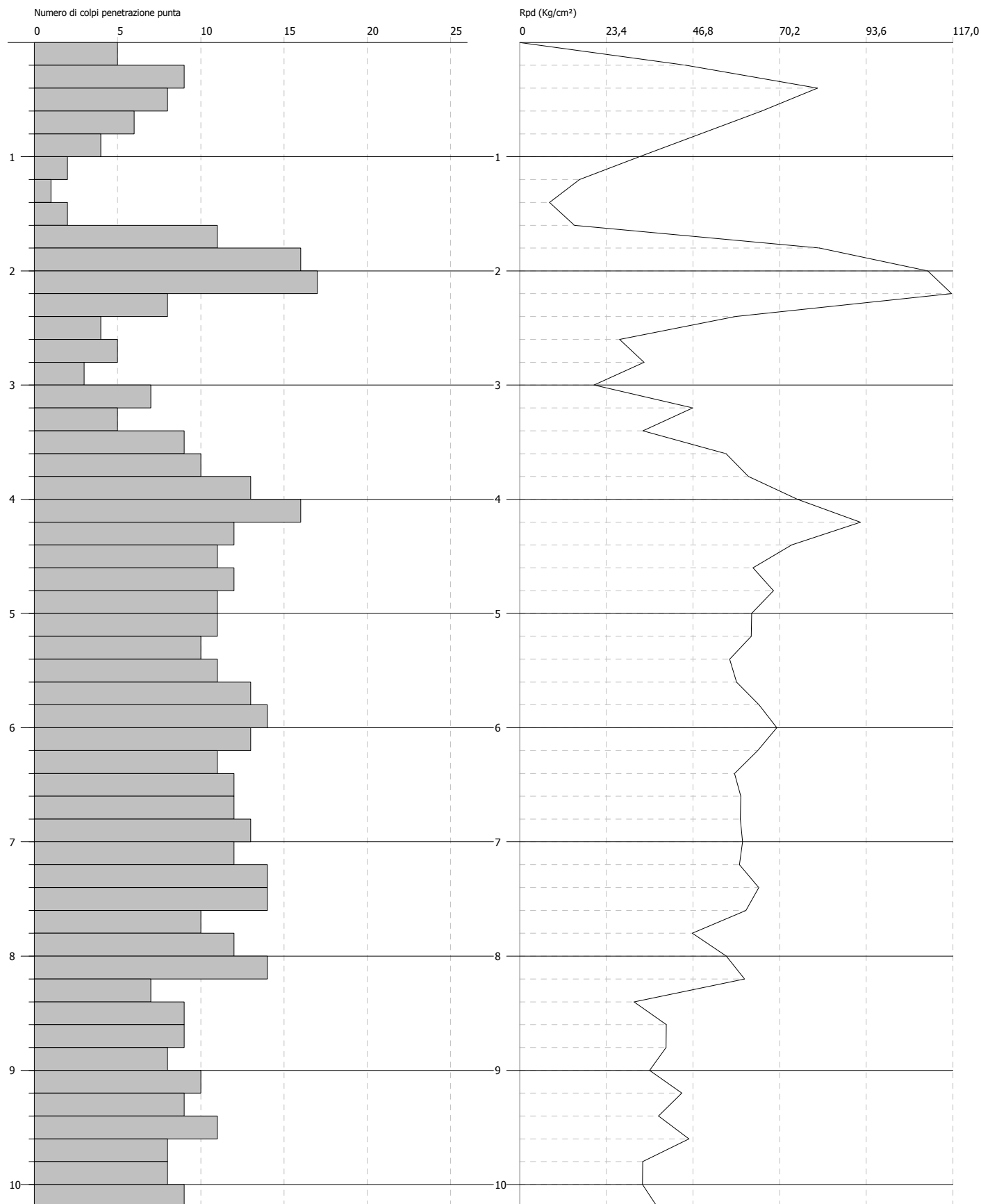


**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH1**  
**Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI**

Committente: Provincia di Brescia  
Descrizione: I.I.S. G. Bonsignori  
Località: Via Avis - Remedello (BS)

Data: 28/05/2020

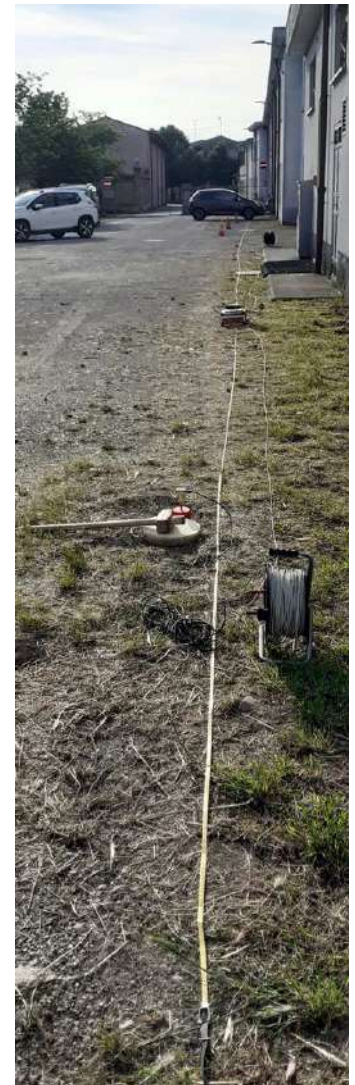
Scala 1:46



## ALLEGATO 2

### INDAGINE SISMICA MASW

<b>Committente</b>	Provincia di Brescia
<b>Cantiere</b>	I.I.S. G. Bonsignori
<b>Località</b>	Via Avis - Remedello (BS)
<b>Data</b>	28/05/2020

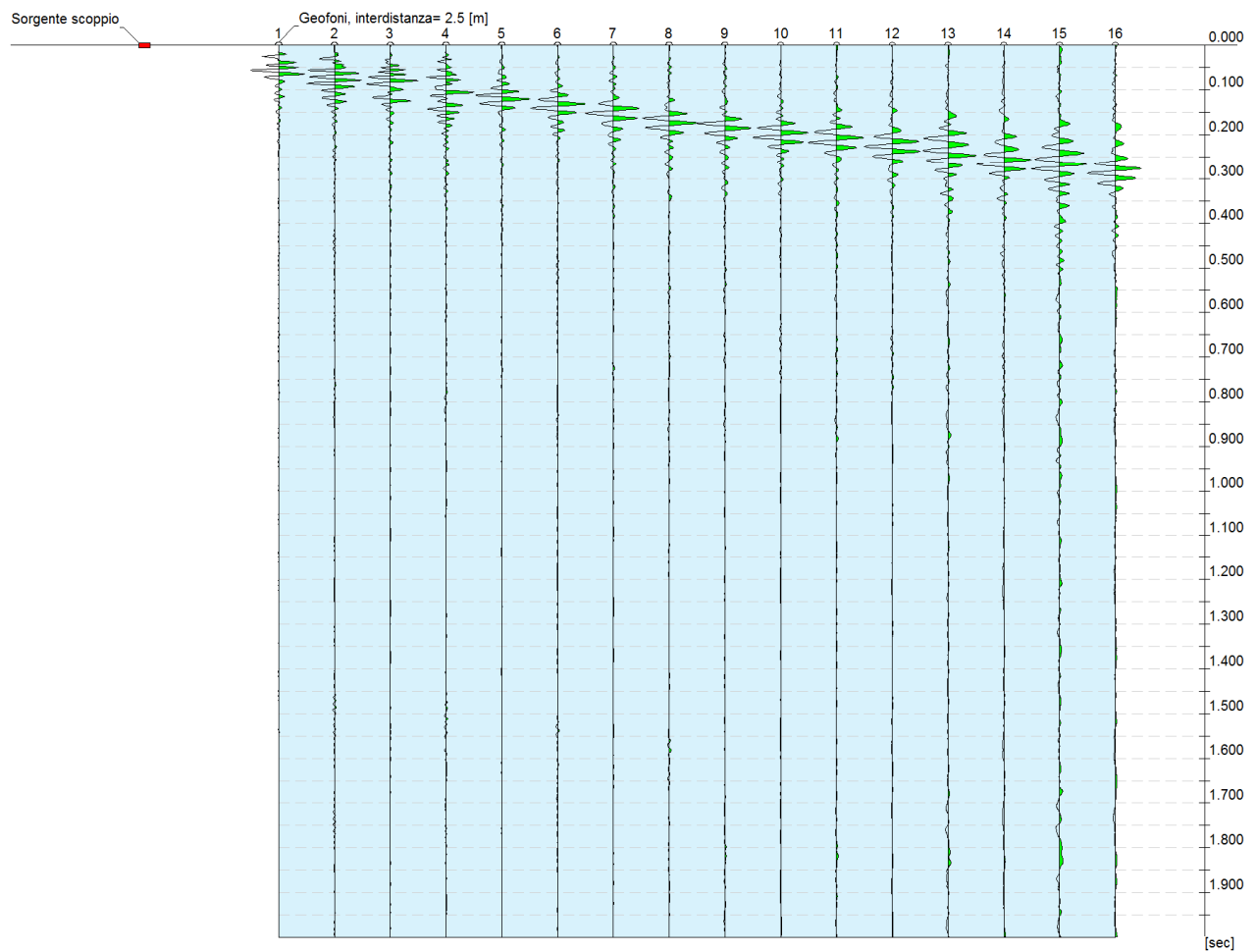


- Sismografo tipo “DoReMi” multicanale (SARA electronic instruments)
- Frequenza di campionamento 1000 Hz
- Sensori verticali (geofoni) da 4.5 Hz

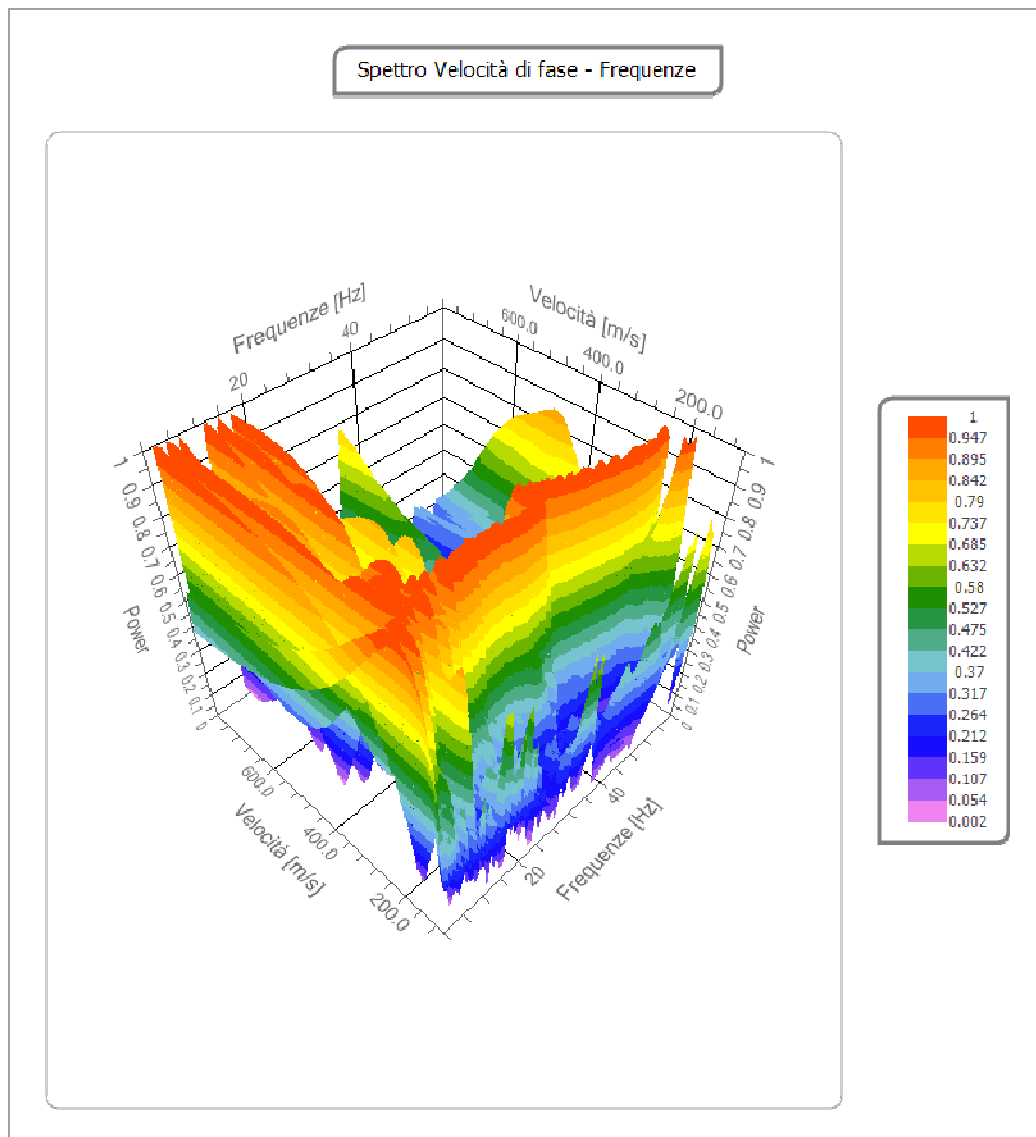
# SISMOGRAMMA

- Numero tracce 16
- Durata acquisizione 2000 msec
- Interdistanza geofonica 2.50 m
- Periodo di campionamento 1 msec

Committente: Provincia di Brescia  
Cantiere: I.I.S. G. Bonsignori  
Località: Via Avis - Remedello (BS)  
Data: 28/05/2020

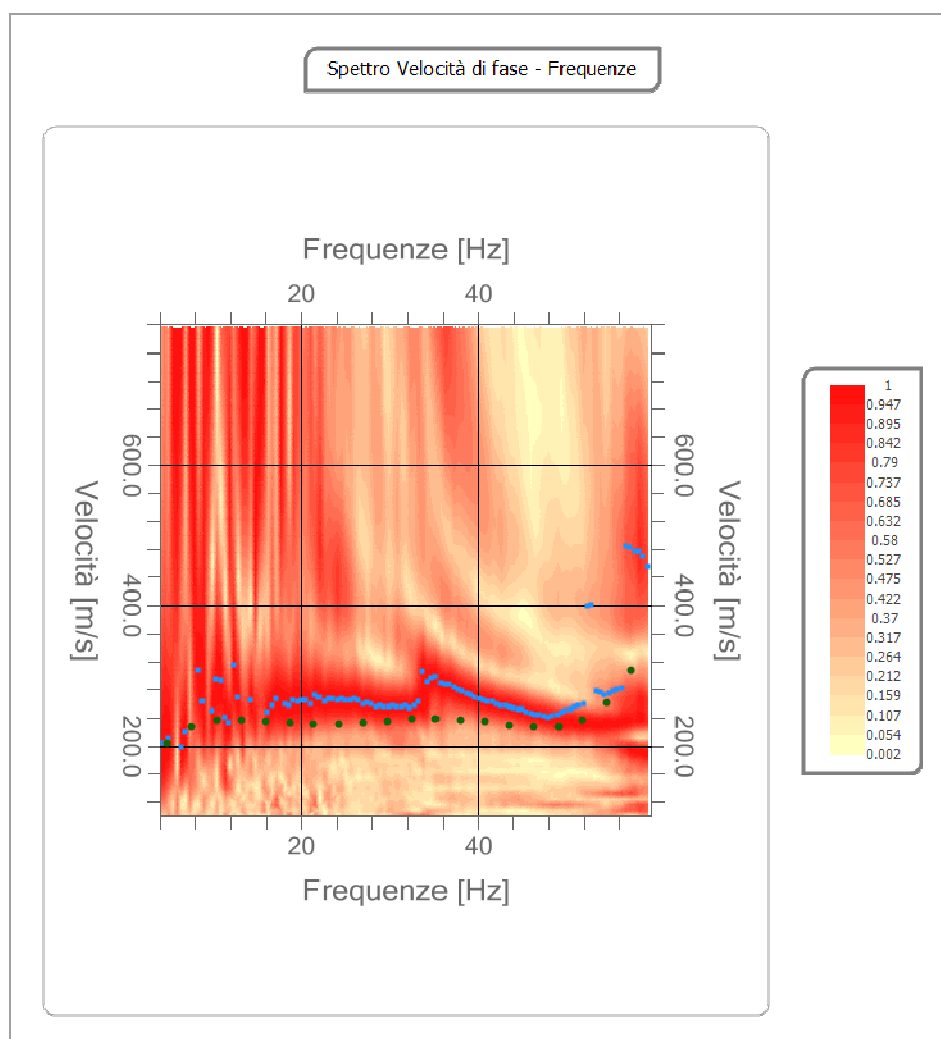


## ANALISI SPETTRALE



- Frequenza minima di elaborazione 4 Hz
- Frequenza massima di elaborazione 60 Hz
- Velocità minima di elaborazione 100 m/sec
- Velocità massima di elaborazione 800 m/sec
- Intervallo velocità 1 m/sec

## CURVA DI DISPERSIONE



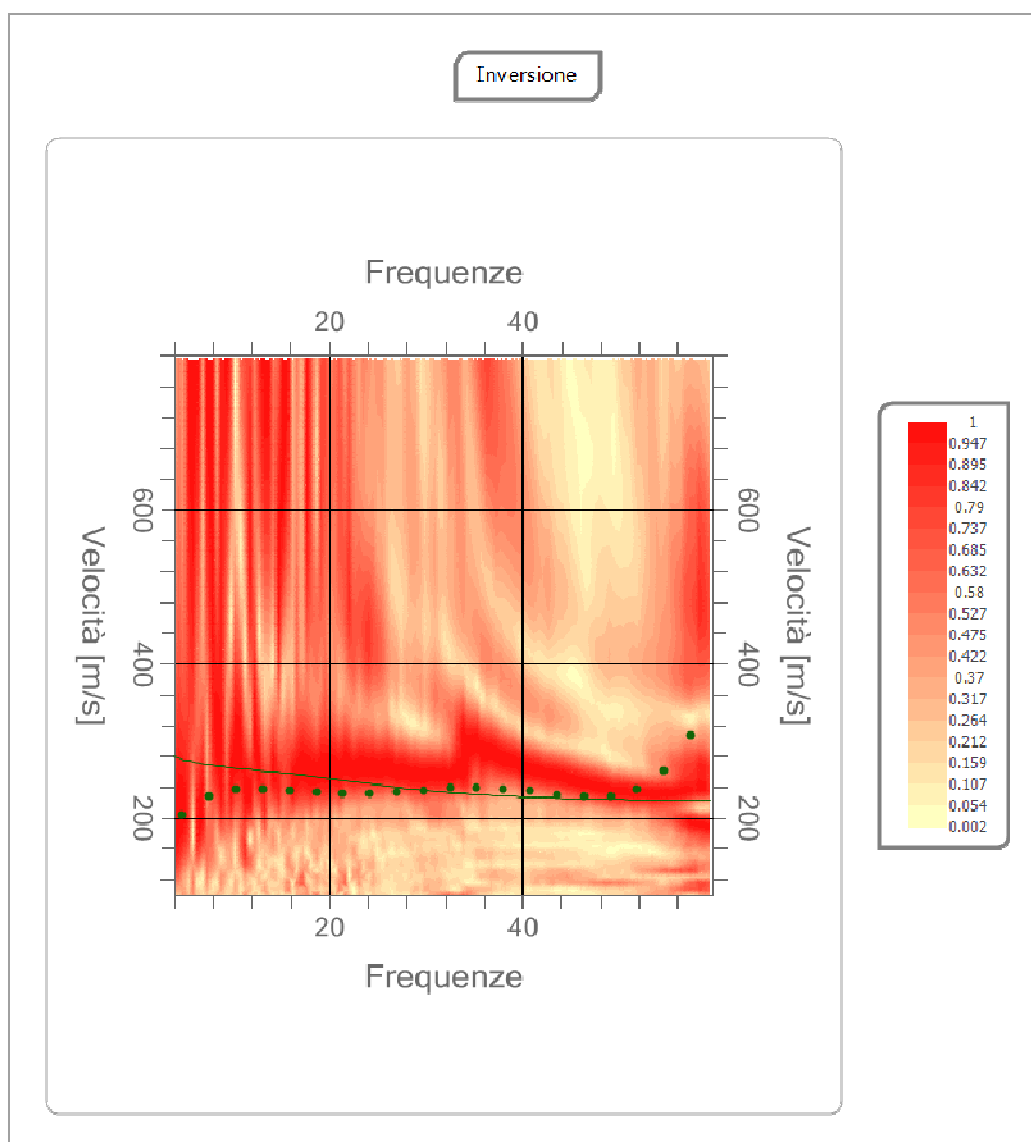
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	4.9	203.2	0
2	7.7	227.4	0
3	10.4	236.5	0
4	13.2	237.5	0
5	16.0	235.1	0
6	18.7	232.5	0
7	21.5	231.1	0
8	24.2	231.6	0
9	27.0	233.5	0
10	29.7	236.0	0
11	32.5	238.1	0
12	35.3	238.9	0
13	38.0	237.8	0
14	40.8	234.7	0
15	43.5	230.5	0
16	46.3	227.1	0
17	49.1	227.7	0
18	51.8	236.8	0
19	54.6	260.5	0
20	57.3	307.0	0

## INVERSIONE

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	3.69	3.69	396.2	242.6
2	8.41	4.72	505.2	309.4
3	14.64	6.23	492.4	301.5
4	21.38	6.74	496.5	304.0
5	30.02	8.64	525.4	321.8

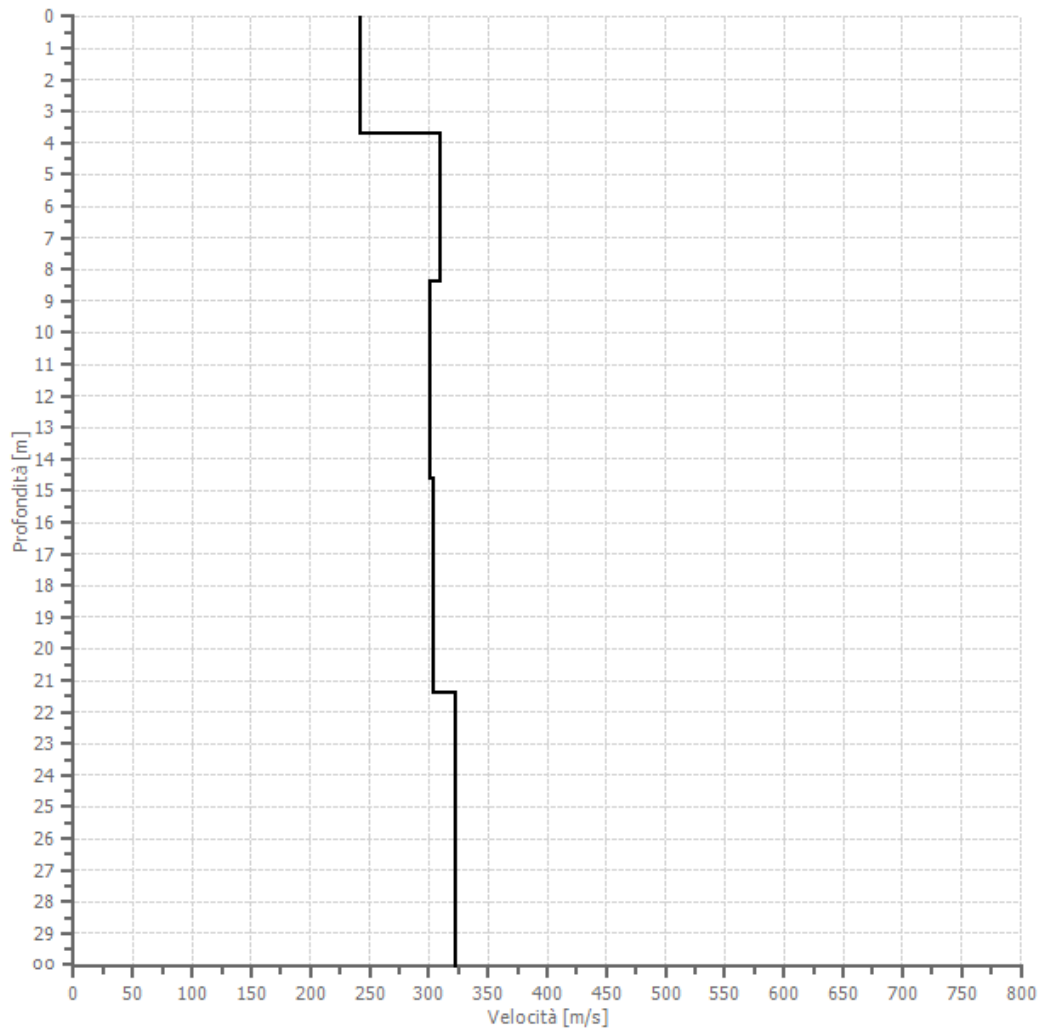
Percentuale di errore 1.650 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.125



## RISULTATI

Profilo di velocità



- **VSeq** **299.74 m/s**
- **Categoria di sottosuolo** **C** (Tabella 3.2.II delle NTC 2018)
- **Suolo di tipo C** 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.