

COMUNE DI BRENO  
PROVINCIA DI BRESCIA

PROGETTO ESECUTIVO DEGLI INTERVENTI DI  
ADEGUAMENTO E MESSA IN SICUREZZA DELLA  
VIABILITA' DI COLLEGAMENTO TRA IL  
CAPOLUOGO E LE FRAZIONI

ELAB. N° 1C	RELAZIONE GEOLOGICA
prot.: 081903	

progettista:

dott. ing. FEDERICO SANTICOLI

Studio Tecnico Associato Prandini&Santicoli  
via Taglierini n°14 - 25043 BRENO (BS)

tel.:0364/22706 - e mail: santicolifederico@gmail.com



collaboratore:

dott. geol. FILIPPO PEZZOTTI

Breno, agosto 2020

il committente

l'Impresa



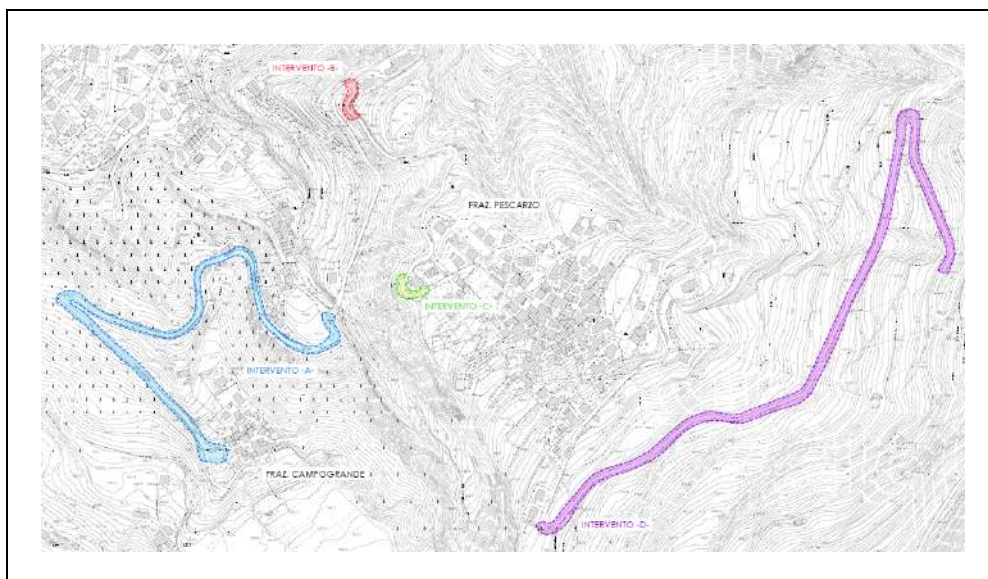
## **AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI BRENO**

PROVINCIA DI BRESCIA  
Piazza Ghislandi n. 1 – 25043 Breno (BS)

**PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DEGLI INTERVENTI DI  
ADEGUAMENTO E DI MESSA IN SICUREZZA DELLA VIABILITÀ  
DI COLLEGAMENTO TRA IL CAPOLUOGO E LE FRAZIONI  
LOCALITÀ PESCARZO E CAMPOGRANDE  
COMUNE DI BRENO (BS)**

### **RELAZIONE GEOLOGICA**

**R.D.L. n. 3267/23 - D.g.r. n. IX/2616 del 30/11/2011 - D.M. 17/01/18 e s.m.i.**



Gennaio 2020



**Consulenza Geologica,  
Geotecnica ed Idrogeologica**

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

Via Brodolini n. 1 - 25043 Breno (BS)  
Pec: pezzotti75@epap.sicurezza postale.it

Tel. 3284146050 e-mail: pezzotti75@yahoo.it  
C.F. PZZFPP75L08B149P P.IVA 02468800988

## 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 ed idrografia .....	8
4. SISMICITÀ STORICA E PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE .....	9
5. FATTIBILITÀ GEOLOGICA.....	12
6. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO .....	13
7. INDAGINI SISMICHE PREGRESSE .....	14
7.1    Indagine sismica hvsr - campogrande .....	15
7.2    Indagine sismica masw - pescarzo .....	16
8. ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO.....	18
8.1    Analisi sismica di secondo livello – amplificazione litologica .....	18
8.2    Analisi sismica di secondo livello – amplificazione topografica .....	21
9. PARAMETRI SISMICI SITO-SPECIFICI .....	23
9.1    Area di intervento A1 – sede stradale (lato di valle).....	23
9.2    Area di intervento A1 – parete rocciosa (lato di monte).....	23
9.3    Area di intervento A2 .....	23
9.4    Area di intervento B.....	24
9.5    Area di intervento C.....	24
10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	24

### ALLEGATI:

TAVOLA 1	COROGRAFIA (Scala 1:10.000)
TAVOLA 2	CARTA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA (Scala 1:5.000)
ALLEGATO 1	INDAGINE SISMICA HVSR PREGRESSA (CAMPOGRANDE)
ALLEGATO 2	INDAGINE SISMICA MASW PREGRESSA (PESCARZO)

## 1. PREMESSA

La presente relazione geologica è stata redatta a supporto del progetto definitivo-esecutivo degli interventi di adeguamento e di messa in sicurezza della viabilità di collegamento tra il capoluogo e le frazioni.

Le indagini svolte dallo scrivente hanno riguardato gli interventi A1-A2 (zona di Campogrande) e B-C (zona di Pescarzo) e sono state intraprese allo scopo di analizzare l'assetto geolitologico, geomorfologico ed idrogeologico e di ricostruire il modello geologico-geotecnico e sismico del sottosuolo.

Gli studi propedeutici alla predisposizione del presente elaborato sono stati eseguiti in considerazione del fatto che i siti investigati ricadono in zona sottoposta a vincolo idrogeologico (ai sensi del R.D.L. n. 3267/23) ed 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 delle aree di intervento;
- c) esame degli affioramenti rocciosi ed acquisizione dei dati geognostici pregressi per la definizione del modello geologico-geotecnico del sottosuolo;
- d) analisi della sismicità storica dell'area vasta;
- e) acquisizione dei dati relativi a due indagini geofisiche pregresse (HVSr e MASW) per la caratterizzazione sismica del substrato;
- f) esecuzione dell'analisi sismica di secondo livello (per amplificazione di tipo litologico e topografico) e definizione della categoria di sottosuolo e dei parametri sismici sito-specifici;
- g) analisi della fattibilità degli interventi prospettati in relazione al locale assetto idrogeomorfologico, litostratigrafico e sismico con individuazione delle eventuali problematiche e delle possibili soluzioni.

La presente relazione è corredata dai seguenti elaborati:

- |            |  |
|------------|--|
| TAVOLA 1   | COROGRAFIA (Scala 1:10.000)                    |
| TAVOLA 2   | CARTA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA (Scala 1:5.000) |
| ALLEGATO 1 | INDAGINE SISMICA HVSr PREGRESSA (CAMPOGRANDE)  |
| ALLEGATO 2 | INDAGINE SISMICA MASW PREGRESSA (PESCARZO)     |

## 2. UBICAZIONE

Le aree oggetto del presente studio sono localizzate in corrispondenza della porzione basale del versante orografico sinistro della media Valle Camonica, poco a monte dell'abitato di Breno, in Provincia di Brescia (si veda la Tavola 1, allegata alla presente).

Più in dettaglio gli interventi A1 ed A2 sono posizionati lungo la strada che collega le frazioni di Pilo e Campogrande, ad una quota compresa tra circa 450 m e 480 m s.l.m., mentre gli interventi B e C sono ubicati rispettivamente nei pressi del Dosso di Pedena (ad una quota di circa 470 m s.l.m.) ed all'interno dell'abitato di Pescarzo (ad una quota di circa 511 m s.l.m.).

I luoghi descritti nel corso del presente elaborato sono rappresentati cartograficamente nella Sezione D4c2 “Breno Sud” della Carta Tecnica Regionale della Regione Lombardia alla scala 1:10.000.

## 3. INQUADRAMENTO IDROGEOMORFOLOGICO

Nel presente capitolo vengono illustrati i tratti salienti dell'ambito territoriale all'interno del quale ricadono le aree di intervento per quello che concerne gli aspetti geologici, litostratigrafici, geomorfologici, idrogeologici e idrografici.

### 3.1 Assetto geologico-strutturale

Dal punto di vista geologico-strutturale la zona in esame, cartografata al Foglio 079 “Bagolino” della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, ricade all'interno del dominio tettonico delle Alpi Calcarea Meridionali, o Sudalpino, che costituisce uno degli elementi strutturali maggiori della catena alpina.

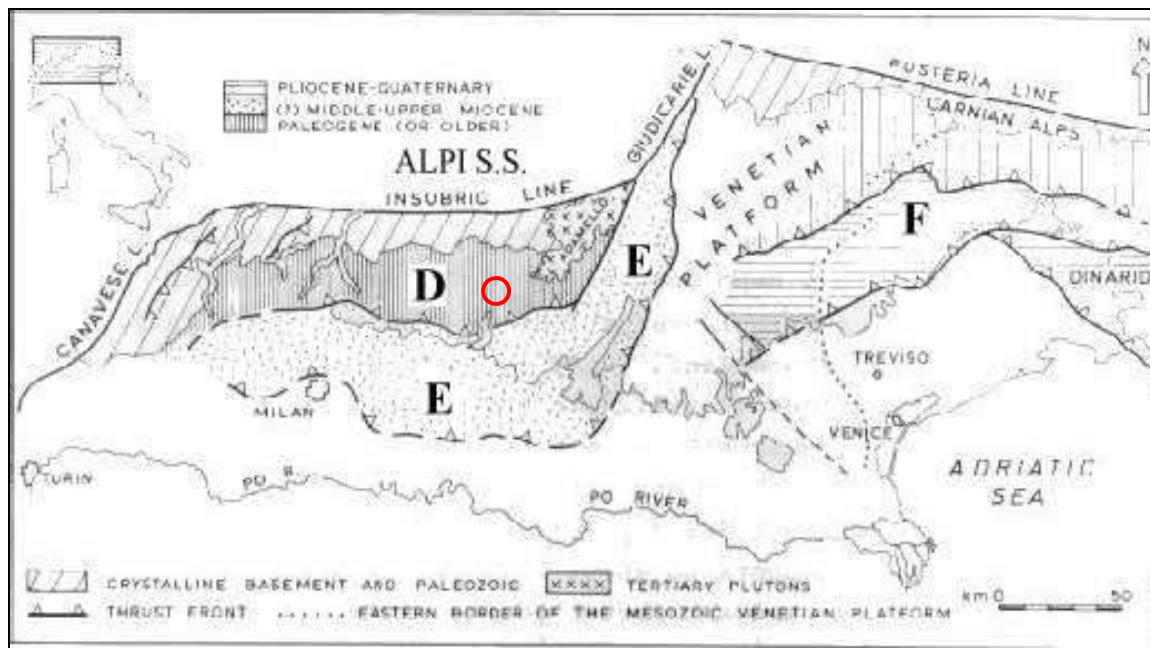
Esso rappresenta un settore del margine continentale africano che, a seguito degli eventi collisionali connessi alle spinte orogenetiche di età alpina, è stato riorganizzato in una serie di unità stratigrafico-tettoniche sovrapposte, con vergenza meridionale, lungo superfici di sovrascorrimento immergenti a nord. Tali unità si differenziano in funzione del contesto paleogeografico di provenienza e riflettono l'evoluzione geodinamica di questa porzione della catena alpina.

I rapporti spaziali tra le diverse unità stratigrafico-tettoniche e tra le formazioni che le costituiscono sono complicati da eventi deformativi minori, sia di tipo duttile sia fragile, spesso di valenza locale, che si manifestano ad una scala piuttosto variabile.

Più in dettaglio i siti di specifico interesse si collocano all'interno dell'Arco Orobico (si veda la Figura 1) e sono compresi tra la Linea Insubrica, a nord, ed il fronte sepolto del sistema di thrust connessi all'Arco delle Giudicarie, a sud.

Il lineamento tettonico di valenza locale più importante in zona è quello noto in letteratura come “Sovrascorrimento Palline-Borno-Breno”, che vede il Calcare di Angolo

sovrascorrere le formazioni carniche lungo un piano di faglia ad immersione NNO, con un'inclinazione di circa  $25^{\circ}\div 30^{\circ}$ .



**Figura 1** Schema dei principali fronti compressivi del Sudalpino: **D** Arco Orobico, **E** Arco delle Giudicarie - Val Trompia, **F** Arco del Friuli - Giulia. Il cerchio rosso individua l'area investigata.

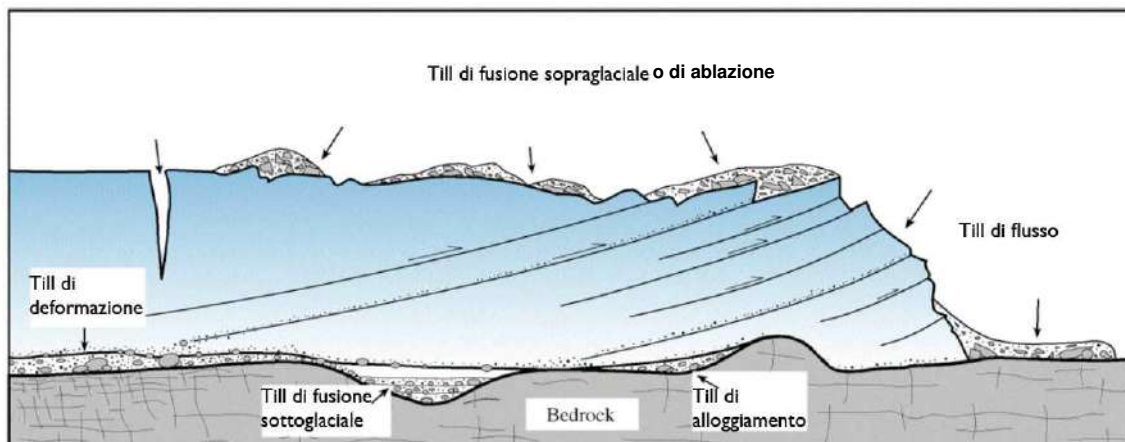
Il piano di sovrascorrimento si sviluppa in coincidenza delle litologie di natura evaporitica (carniole con lenti di gesso) riconducibili alla Formazione di San Giovanni Bianco oppure alla Carniola di Bovegno, che spesso fungono da “lubrificante” tettonico all'interno dell'edificio alpino.

Il substrato roccioso è rappresentato dai termini litologici riconducibili a due formazioni triassiche che affiorano rispettivamente nel settore settentrionale (interventi B e C) e nel settore meridionale (interventi A1 e A2) dell'area investigata, ovvero il Calcare di Angolo (Anisico medio-inferiore), con la sua facies metamorfica di contatto originatasi a seguito dell'intrusione, in età terziaria, dell'etmolite adamellino, ed il Calcare di Breno (Carnico inferiore-medio).

L'ambito di intervento A1 è caratterizzato dalla presenza del bedrock in condizioni affioranti, che nel dettaglio è costituito dal membro di Campolungo (si veda la Tavola 2, allegata alla presente) della summenzionata formazione del Calcare di Breno. Dal punto di vista litologico il membro di cui sopra è costituito da dolomie microcristalline di colore da grigio-chiaro a biancastro, organizzate in strati da decimetrici a pluridecimetrici con sottili interstrati marnosi di argillitici di colore verde-giallastro.

In corrispondenza dei restanti siti di intervento (A2, B e C) il substrato roccioso è sormontato, in discordanza angolare (con un contatto di tipo erosivo), dai depositi glaciali (o morenici) di età pleistocenica. Le summenzionate litologie sono classificabili

come diamicton (deposito eterometrico non selezionato) massivi a supporto di matrice limosa o limoso-sabbiosa, altresì definibile come till d'ablazione (si veda la Figura 2).



**Figura 2** Schema generale della classificazione dei depositi glaciali (till) in funzione della loro posizione rispetto alla lingua glaciale.

All'interno di tali depositi, eterogenei ed eterometrici, perlopiù rimaneggiati dall'azione delle acque superficiali, prevalgono le sabbie e le sabbie fini, con ghiaie in matrice sabbioso-limosa e diffusa presenza di ciottoli e blocchi poligenici (scala Udden-Wentworth, 1922) da subangolosi a subarrotondati.

I depositi glaciali si presentano sovente rimaneggiati per effetto dell'azione di modellazione del territorio esercitata dalle acque superficiali; inoltre in prossimità del piano di campagna si rinvencono le frazioni granulometriche più fini ed è presente (in condizioni naturali) un orizzonte, di spessore decimetrico, alterato e contraddistinto da un basso grado di addensamento (terreno vegetale).

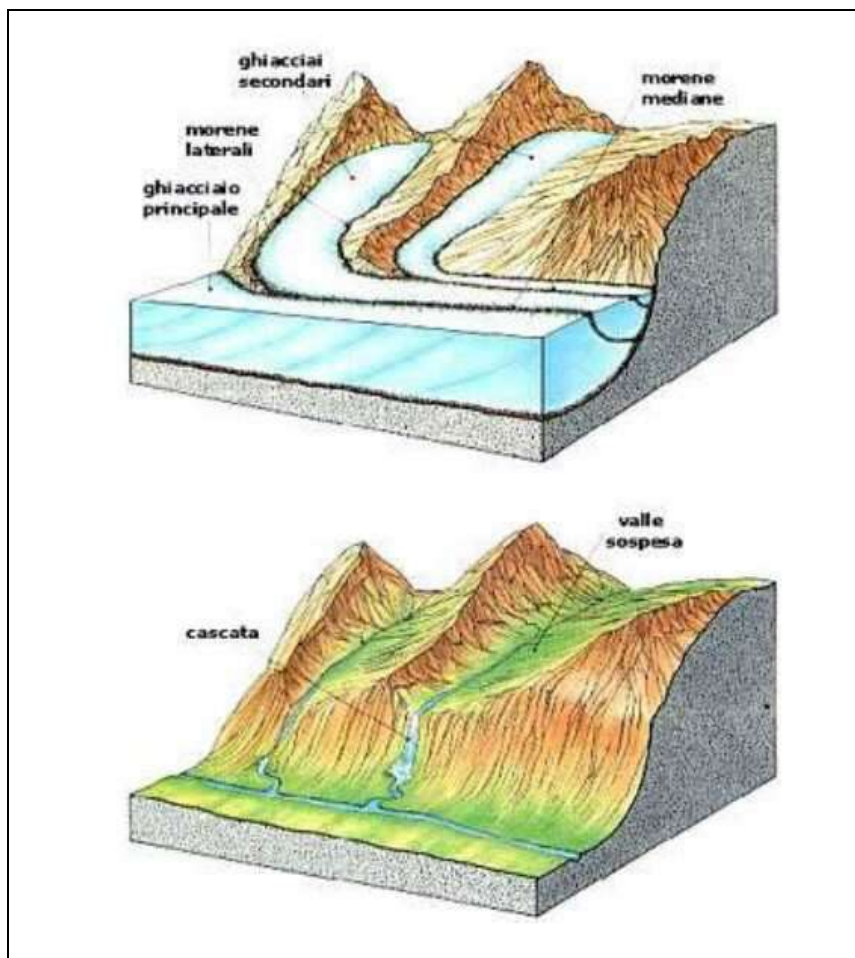
### 3.2 Inquadramento geologico-geomorfologico

Per quello che concerne gli aspetti geomorfologici la Valle Camonica denota i lineamenti tipici di una valle di sovraescavazione glaciale quali il profilo trasversale ad "U", le valli laterali sospese, i laghetti di circo, ecc. (si veda la Figura 3).

Relativamente al tratto di specifico interesse i fianchi del solco vallivo presentano un certo grado di asimmetria dovuto principalmente alle differenti caratteristiche litologico-strutturali dell'ossatura rocciosa sulla quale si sono impostati i versanti.

Infatti, lungo l'acclive versante orografico destro affiorano, con giacitura a reggipoggio, le potenti successioni carbonatico-dolomitiche di età Triassica che costituiscono, tra l'altro, l'impalcatura litologica delle spettacolari e dirupate pareti del gruppo della Concarena.





**Figura 3** Schema generale degli elementi morfologici caratteristici di una valle di origine glaciale. L'immagine superiore mostra la situazione in presenza del ghiacciaio, mentre quella inferiore illustra la conformazione della medesima valle dopo il ritiro delle lingue glaciali.

Al contrario il versante orografico sinistro, solcato da profonde incisioni vallive che denotano un notevole sviluppo in senso longitudinale, è dominato dai depositi morenici che drappeggiano, in discordanza angolare, il substrato roccioso.

Quest'ultimo è costituito, principalmente, dalla formazione del Verrucano Lombardo, del Calcare di Angolo, con la sua facies metamorfica (che ha subito gli effetti del metamorfismo di contatto indotto dall'intrusione, in età terziaria, dell'etmolite dell'Adamello), e, nella parte più alta del versante, dalle masse intrusive dell'Adamello.

Il fondovalle presenta una morfologia pianeggiante e risulta delimitato da scarpate di origine fluviale che fungono da raccordo con l'alveo attivo del Fiume Oglio. In corrispondenza della confluenza delle valli laterali si sono impostati numerosi conoidi alluvionali che, anche grazie al fenomeno della coalescenza, possono formare degli apparanti di dimensioni considerevoli.

La morfologia originaria dei luoghi trae origine dall'attività erosiva (esarazione glaciale) e deposizionale delle estese ed imponenti lingue glaciali che si sono succedute nel corso di diverse glaciazioni, con progressive fasi di espansione e di ritiro, sino al



Pleistocene superiore (glaciazione würmiana). La conformazione attuale è dovuta all'azione erosiva delle acque superficiali, che hanno modellato il paesaggio post-glaciale, ed in parte anche dagli interventi antropici (terrazzamenti artificiali, muri di sostegno, strade, ecc.).

Il tratto di versante sul quale insistono i siti di intervento è esposto a nord-ovest ed è contraddistinto da un'acclività variabile da medio-elevata ad elevata.

Nel corso dei rilievi condotti dallo scrivente non sono state riscontrate problematiche di natura idrogeologica o gravitativa che possano compromettere l'equilibrio geostatico dei quattro ambiti areali oggetto del presente studio.

Gli unici elementi degni di nota sono rappresentati dalla possibilità che si verifichino fenomeni di crollo di materiali litici dalla parete rocciosa ubicata in corrispondenza dell'area di intervento A1 (lungo il lato di monte della strada) e dalle condizioni del muro di sostegno oggetto degli interventi previsti per il sito B, che si presenta ammalorato.

### **3.3 Idrogeologia ed idrografia**

L'assetto idrogeologico di questo settore della Valle Camonica è caratterizzato da una circolazione idrica sotterranea che si sviluppa sia lungo i fianchi vallivi, sia nei depositi fluvio-glaciali ed alluvionali di fondovalle.

Lungo entrambi i versanti del solco vallivo camuno, ivi comprese le valli laterali, i circuiti idrici sotterranei possono interessare le varie successioni presenti con modalità differenti in funzione delle loro caratteristiche geolitologiche.

All'interno delle formazioni carbonatiche la circolazione idrica sotterranea avviene principalmente per porosità secondaria, che si genera a seguito della fratturazione della roccia (per disaggregazione meccanica o, più frequentemente, per stress tettonici) o per dissoluzione chimica, tramite la formazione di circuiti di tipo carsico.

In corrispondenza delle successioni terrigene e silicoclastiche i circuiti idrici sotterranei si impostano lungo vie preferenziali localizzate in coincidenza di superfici di discontinuità connesse, principalmente, alla presenza di giunti di stratificazione e/o superfici tettoniche.

Anche i materiali incoerenti di copertura (coltri di alterazione, depositi di versante, depositi glaciali, ecc.) possono essere sede di circolazione idrica sotterranea che si sviluppa in modo direttamente proporzionale alla porosità primaria delle suddette litologie incoerenti.

A fondovalle la dinamica delle acque sotterranee presenti nei depositi fluviali e fluvio-glaciali, discretamente permeabili, è strettamente connessa alle fluttuazioni delle acque di alveo e di subalveo del Fiume Oglio, che costituisce il principale elemento drenante della zona.

All'interno delle aree investigate la circolazione idrica sotterranea, in virtù della conformazione morfologica dei luoghi ed in relazione alla porosità delle litologie presenti nel sottosuolo, avviene principalmente in senso verticale.

Tuttavia è possibile che si instaurino dei circuiti di tipo orizzontale (diretti verso il fondovalle) con portate discontinue, variabili in funzione degli apporti meteorici, ed alimentati dai fenomeni di infiltrazione idrica che avvengono più a monte.

Di conseguenza le strutture di sostegno in progetto dovranno essere dotate di adeguate opere di drenaggio, atte a favorire un corretto smaltimento delle acque sotterranee eventualmente presenti (si veda il capitolo conclusivo).

L'elemento principale del reticolo idrografico superficiale è costituito dal Torrente Pilo ed in base a quanto riportato nella carta del dissesto PAI-PGRA dello studio geologico comunale (Tavola 4a, Geol. Albertelli, luglio 2018), il sito di intervento A1 è compreso all'interno di un'area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta da opere di difesa (sigla Cn). Per tali aree valgono le disposizioni di cui all'art. 9, comma 9 (aree Cn) delle NdA del PAI vigente.

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

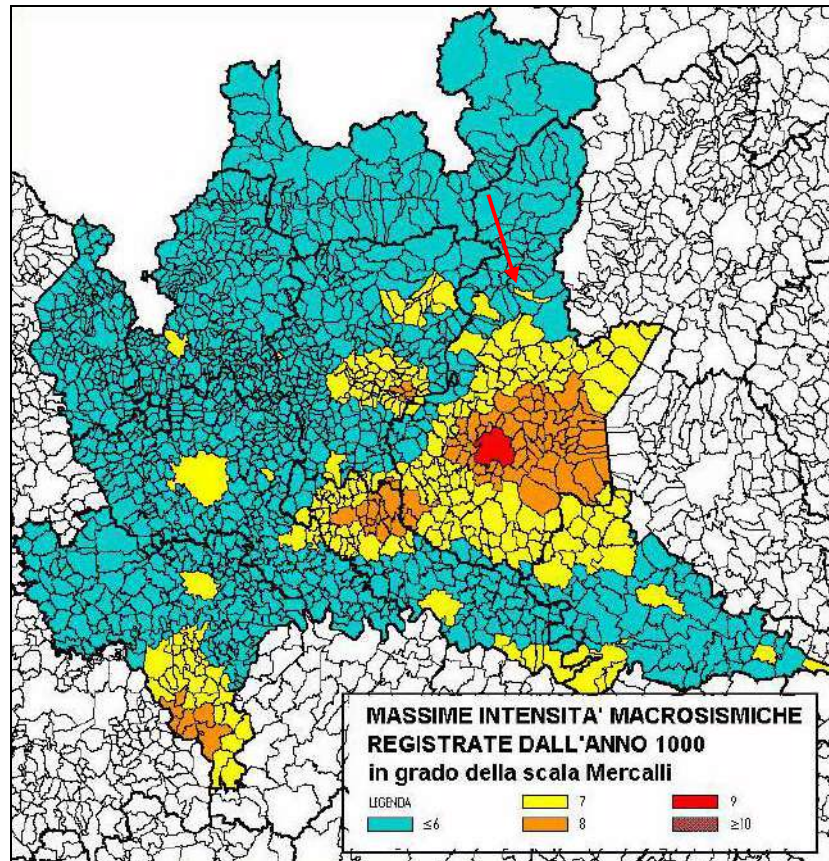
Nella carta delle Massime intensità macrosismiche osservate nei Comuni della Regione Lombardia, predisposta sulla base dei dati contenuti nella banca dati macrosismici del GNDT e di quelli contenuti nel Catalogo dei forti terremoti in Italia di ING/SGA, per il sito in esame (si veda la Figura 4) sono indicati terremoti di intensità non superiore al sesto 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 Breno (BS) è stato inserito nella zona 3 (si veda la Figura 5).

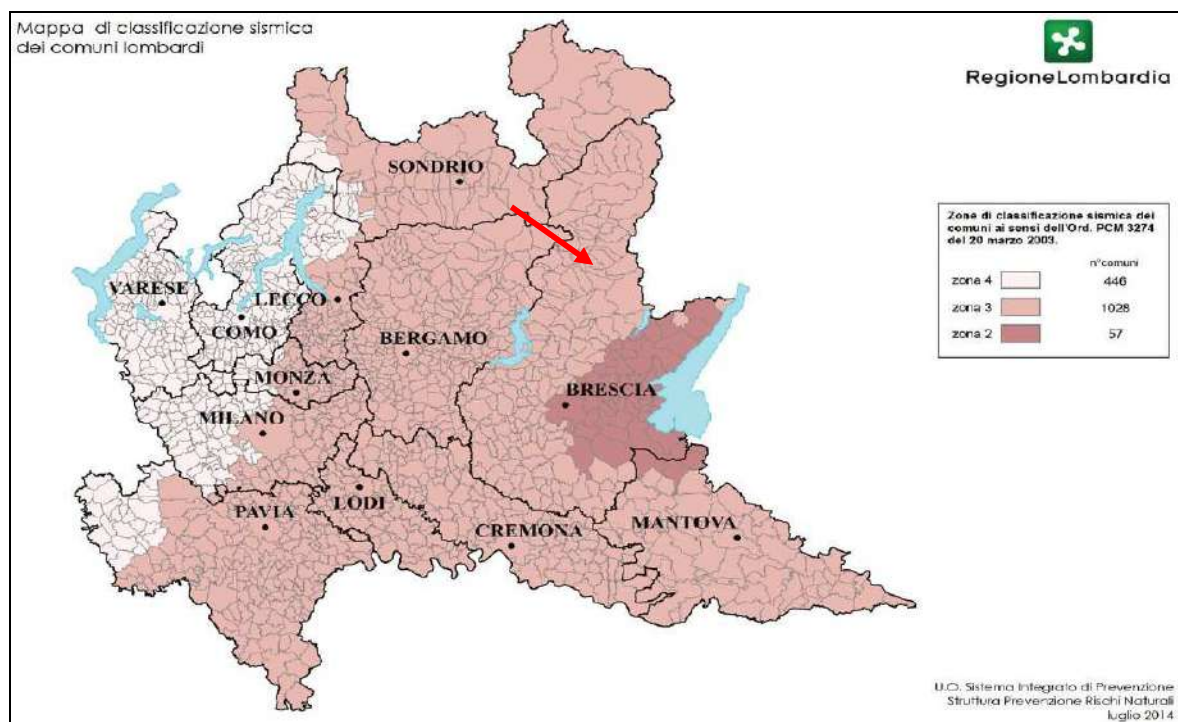
In funzione di quanto riportato nella Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (tratto da Gruppo di Lavoro MPS 2004), per il sito di intervento sono indicati valori di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi, compresi tra 0,075 g e 0,100 g (si veda la Figura 6).

Per quanto concerne il fenomeno dell'amplificazione sismica, nella carta della pericolosità sismica locale del vigente PGT comunale (Tavola 8a, Geol. Albertelli, 2018) per i siti di intervento A2, B e C è stato individuato lo scenario Z4c, che corrisponde ad una *zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi*, mentre per il sito di intervento A1 viene indicato anche lo scenario Z4b, che corrisponde ad una *zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre*.

In tali scenari gli effetti attesi consistono in amplificazioni di tipo litologico e, in osservanza della normativa in materia, in questa sede è stata svolta l'analisi sismica di secondo livello utilizzando i dati ricavati dalle indagini geofisiche disponibili.

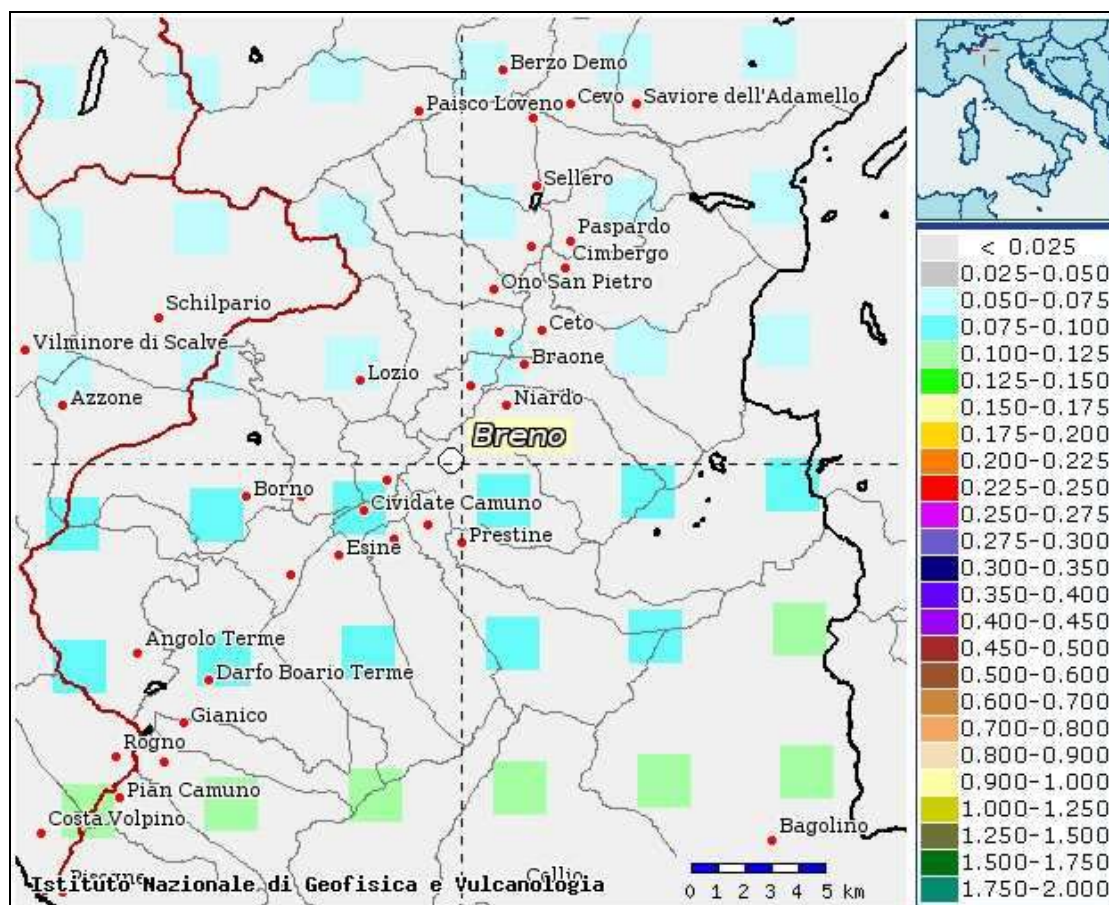


**Figura 4** Carta delle Massime intensità macrosismiche osservate nei Comuni della Regione Lombardia (Molin, Stucchi, Valensise). La freccia indica l'ubicazione dell'area indagata.



**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.

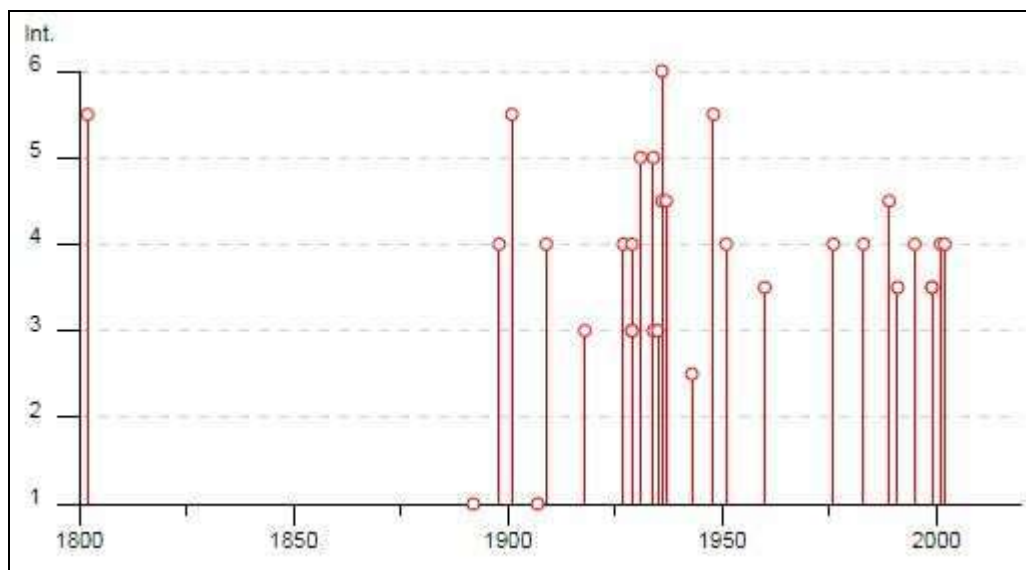
Inoltre gli ambiti di intervento A2 e B sono interessati dalla presenza dello scenario Z3b (zona di cresta), mentre per l'ambito C è indicato lo scenario Z3a (zona di scarpata); di conseguenza è stata svolta anche l'analisi sismica di secondo livello per amplificazioni topografiche.

L'approfondimento sismico di primo livello, condotto dal Geol. Albertelli in sede di predisposizione dello studio geologico redatto a supporto del vigente PGT comunale, ha escluso la possibilità che si verificano fenomeni di liquefazione (così come evidenziato nella carta della pericolosità sismica locale, che non riporta lo scenario Z2). Pertanto la verifica alla liquefazione, anche in relazione alla taglia granulometrica dei terreni che costituiscono il sottosuolo, può essere omessa.

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 sia stata interessata, a partire dall'anno 1802, da trentatré eventi sismici significativi.

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.



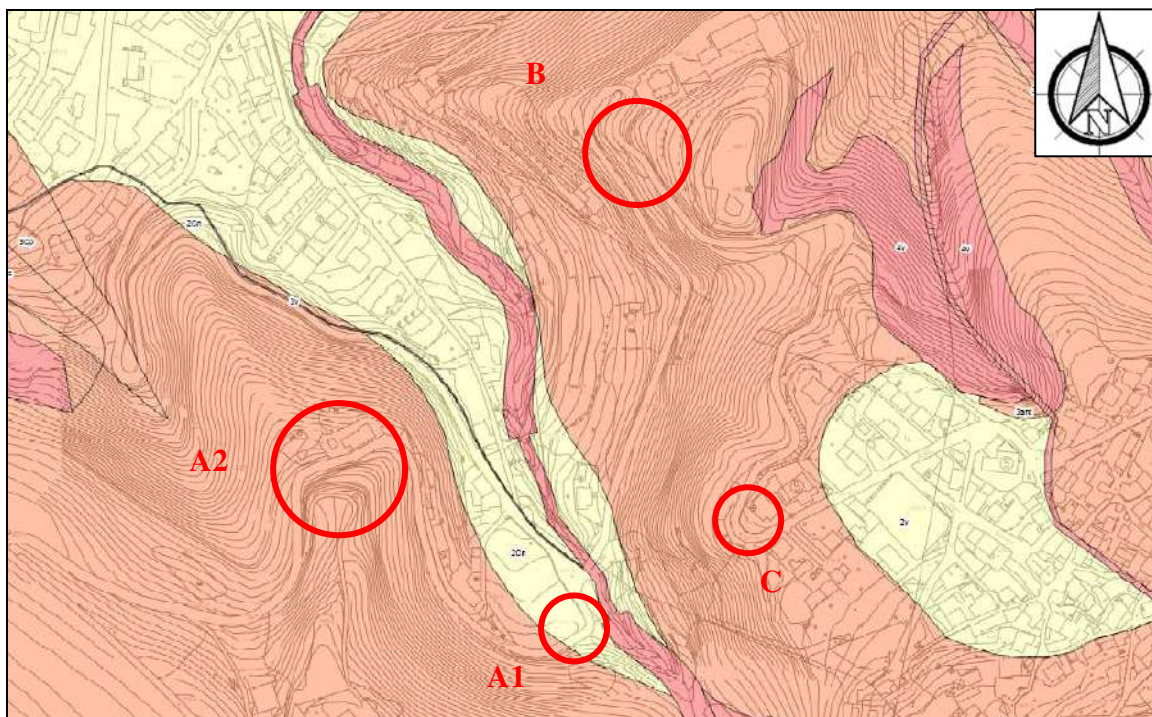
**Figura 7** Il grafico mostra una sintesi degli eventi tellurici verificatisi in tempi storici e l'intensità che hanno sviluppato in corrispondenza del sito investigato.

## 5. FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Nella carta di fattibilità geologica (Tavola 10c, Geol. Albertelli, 2019) allegata allo studio geologico redatto a supporto del vigente PGT comunale, i siti di intervento A2, B e C sono compresi all'interno della classe di fattibilità **3** (sottoclasse "V"), che comprende le *aree con consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni*, mentre per l'ambito di intervento A1 è indicata la classe di fattibilità **2** (sottoclasse "Cn"), che comprende le *aree con modeste limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni* (si veda la Figura 8).

Le sigle che seguono il numero che individua la classe di fattibilità si riferiscono alle problematiche di seguito descritte:

- V** *aree caratterizzate indicativamente da pendenze comprese tra i 35° e i 45° in roccia e tra i 25° e i 35° in terreno tali da rendere potenzialmente instabili le masse rocciose o le coltri di depositi superficiali. Sono comprese anche le aree interessate da fenomeni di scivolamento superficiale "soil slip" e colata (art. 3.1 delle Norme Geologiche di Piano).*
- Cn** *aree di conoidi non recentemente riattivatisi o completamente protette da opere di difesa a pericolosità media o moderata, potenzialmente interessate da flussi di piena eccezionali per deviazione del flusso e/o ostruzioni da elementi antropici (art. 2.3 delle Norme Geologiche di Piano).*



**Figura 8** Stralcio della carta di fattibilità geologica del vigente PGT comunale. I cerchi rossi individuano i siti di intervento identificati dai relativi codici alfanumerici.

## 6. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

In base alle caratteristiche geologiche generali dell'area vasta e sulla scorta delle osservazioni condotte nel corso dei sopralluoghi, il sottosuolo del sito di intervento, sino alla profondità che concerne alle finalità del presente studio, è costituito da depositi di origine glaciale (sovente rimaneggiati per effetto dell'azione di modellazione del territorio esercitata dalle acque superficiali).

Dal punto di vista litologico i suddetti depositi abbracciano un'ampia gamma di classi granulometriche, tra le quali prevalgono sabbie medie e medio-fini (scala Udden-Wentworth, 1922), talora debolmente limose, con frequenti ciottoli e blocchi; localmente potrebbero essere presenti delle lenti di materiale principalmente limoso-sabbioso.

La strutturazione litostratigrafica dei primi metri del sottosuolo è stata ricostruita sulla base dell'esame degli spaccati naturali ed artificiali rinvenuti in loco; è importante precisare che non sono state eseguite prove penetrometriche poiché l'abbondanza di ciottoli e blocchi ne avrebbe impedito il regolare svolgimento (con probabili danneggiamenti della strumentazione stessa, oltre che per l'estrema difficoltà di accedere ai luoghi di intervento).

Sino ad una profondità di circa 0,30 m ÷ 0,50 m sono presenti terreni piuttosto compressibili, caratterizzati un basso grado di addensamento e contraddistinti da mediocri proprietà geomeccaniche. Si tratta di sabbie fini e sabbie limose, con rari



ciottoli, che non dovranno essere utilizzate come sedime di imposta delle fondazioni delle strutture di sostegno in progetto.

Più in profondità si rinvencono sabbie medie e medio-fini con ciottoli, talora abbondanti, che sono contraddistinte da un discreto grado di addensamento e dai parametri geotecnici caratteristici indicati nell'elenco a seguire (desunti sulla base di indagini geognostiche pregresse condotte dallo scrivente in aree contermini):

Angolo di attrito $\phi$	= $28^\circ \div 30^\circ$
Coesione non drenata $C_u$	= trascurabile
Coesione efficace $c$	= 0 kPa
Peso di volume $\gamma$	= $1,80 \div 1,85 \text{ t/m}^3$

È importante precisare che i parametri sopra riportati devono essere verificati alla luce delle reali caratteristiche geolitologiche dei terreni intercettati durante le fasi di scavo (si veda il capitolo conclusivo).

Per quanto concerne l'area di intervento A1, lungo il lato di monte della strada affiora il substrato roccioso che è costituito dalle rocce carbonatiche appartenenti alla Formazione di Breno (Carnico inferiore-medio) e, più in dettaglio, al membro di Campolungo.

Riferendosi alle tabelle ed ai criteri classificativi che fanno capo al sistema RMR (Rock Mass Rating system, Bieniawski 1973), i parametri geotecnici caratteristici del bedrock possono essere prudenzialmente stimati come segue:

Angolo di attrito $\phi$	> $35^\circ$
Coesione non drenata $C_u$	= $0,00 \text{ kg/cm}^2$
Coesione efficace $c$	> $1,00 \text{ kg/cm}^2$
Peso di volume $\gamma$	= $2,20 \div 2,40 \text{ t/m}^3$

## 7. INDAGINI SISMICHE PREGRESSE

Per la caratterizzazione sismica del sottosuolo e per l'individuazione della corretta categoria di sottosuolo (si veda il Capitolo 9), sono stati acquisiti i dati relativi a due indagini sismiche pregresse: una di tipo passivo, condotta mediante la tecnica HVSR (località Campogrande), ed una di tipo attivo (stendimento sismico MASW) ubicato presso l'abitato di Pescarzo.

Si ricorda che la categoria di sottosuolo dipende dalle condizioni stratigrafiche del substrato e dal 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;

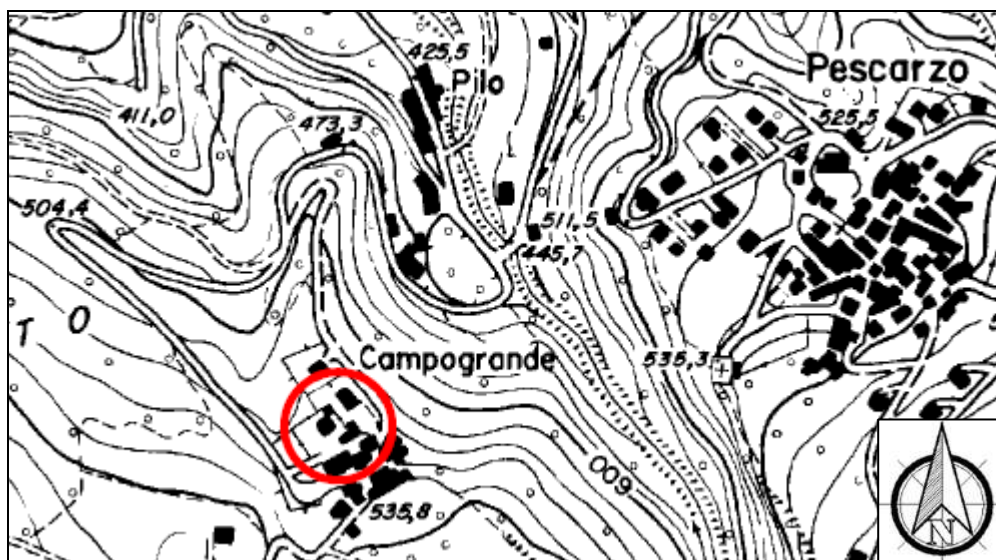
$V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

$N$  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.

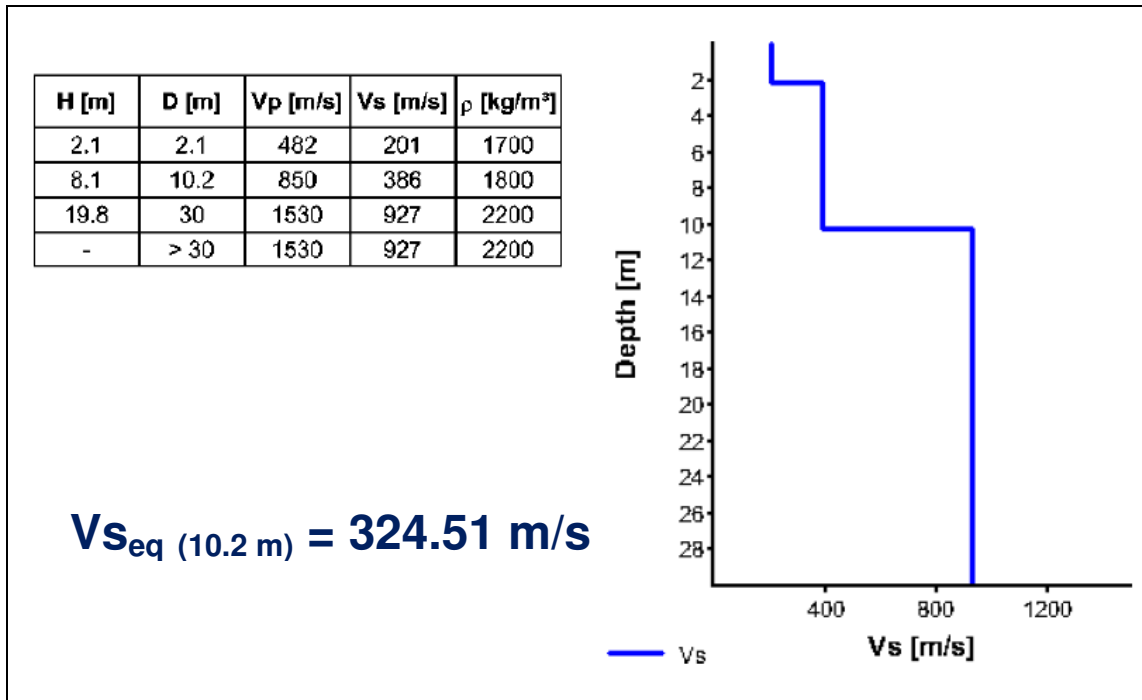
### 7.1 Indagine sismica HVSR - Campogrande

L'indagine sismica pregressa HVSR condotta presso la frazione Campogrande (per l'ubicazione di veda la Figura 9), ha permesso di individuare, nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico, un picco principale alla frequenza di circa 13,034 Hz (si veda l'Allegato 1).



**Figura 9** Il centro del cerchio rosso indica l'ubicazione dell'indagine sismica HVSR pregressa.

Dall'elaborazione dei dati geofisici di campagna è emerso che il sottosuolo dell'area investigata presenta un valore della **velocità equivalente**  $V_{Seq}$  (calcolata su 10,2 m) pari a **324,51 m/s** (si veda la Figura 10) ed in relazione alle locali condizioni litostratigrafiche, che vedono la presenza del bedrock sismico ad una profondità inferiore a 30 m, appartiene alla **categoria E**, che comprende (Tabella 3.2.II delle NTC 2018): *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.*



**Figura 10** Andamento delle onde S nel sottosuolo.

Il **periodo proprio di sito** (T), ricavato dalla relazione matematica riportata a seguire, è pari a **0,203 s**.

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

con:

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

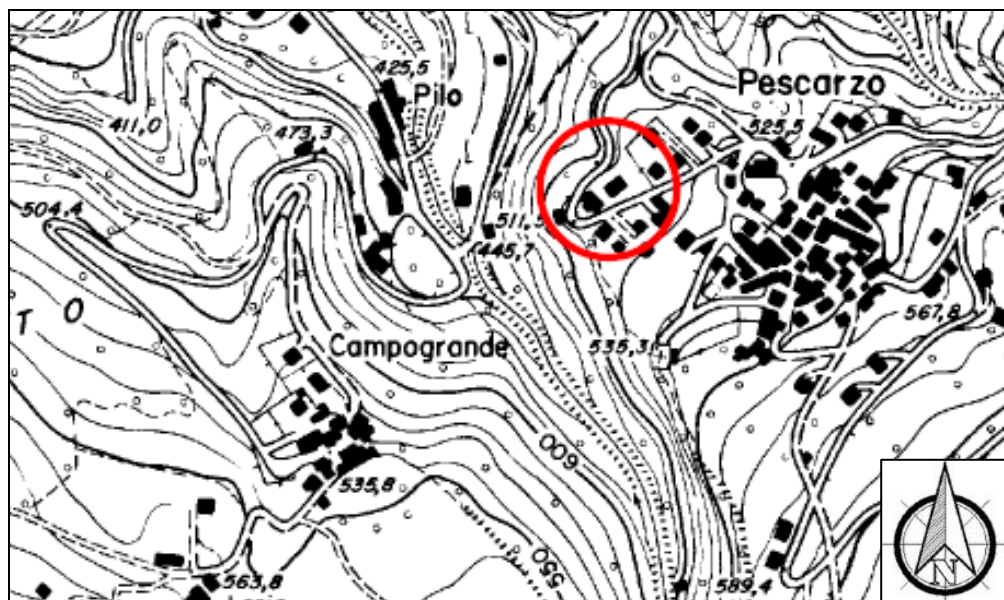
Si precisa che la categoria di sottosuolo da utilizzare nelle verifiche geotecniche dovrà essere definita in funzione dei risultati dell'analisi sismica di secondo livello, illustrata nel capitolo successivo.

## 7.2 Indagine sismica MASW - Pescarzo

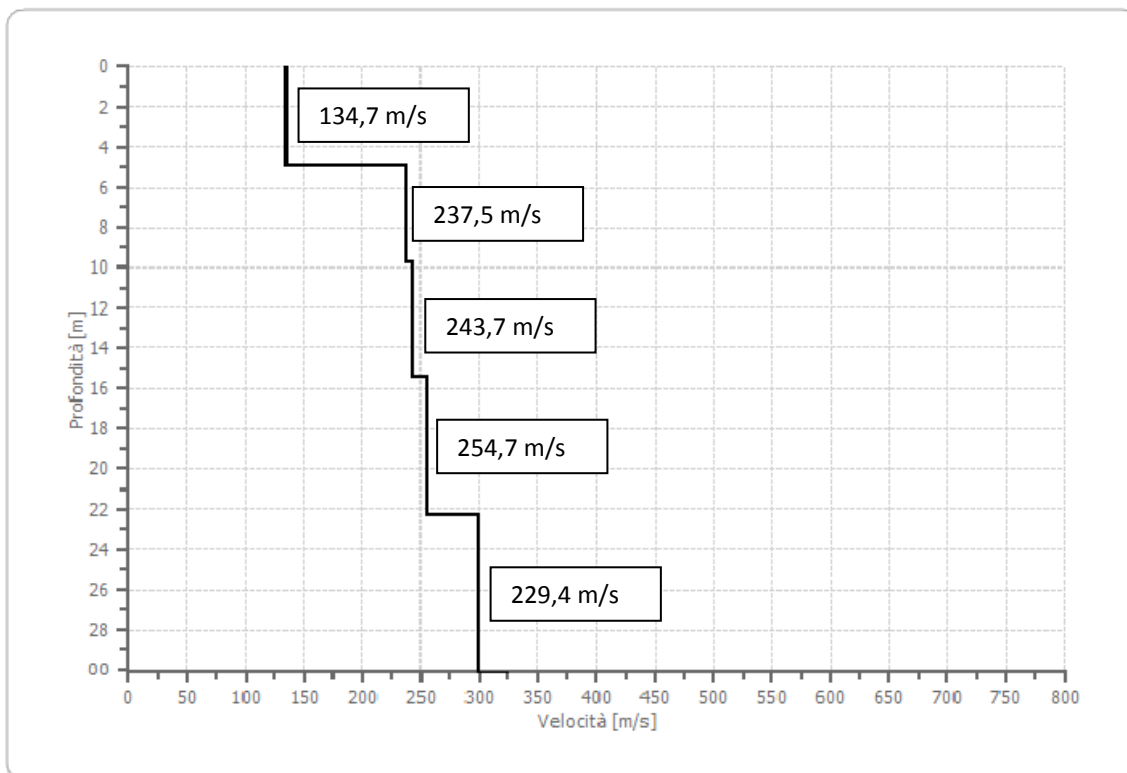
L'indagine sismica MASW era stata svolta presso la frazione di Pescarzo, di fronte alla scuola materna (per l'ubicazione di veda la Figura 11), mediante la predisposizione di uno stendimento simico della lunghezza di 25 m (si veda l'Allegato 2).

Dall'elaborazione dei dati geofisici di campagna (si veda la Figura 12) è emerso che il sottosuolo dell'area investigata presenta un valore della velocità equivalente  $V_{Seq}$  (che in questo caso coincide con la  $V_{S30}$ ) pari a **225,38 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.*



**Figura 11** Il centro del cerchio rosso indica l'ubicazione dell'indagine sismica HVSR pregressa.



**Figura 12** Andamento delle onde S nel sottosuolo ottenuto dall'indagine MASW.

Il **periodo proprio di sito** (T), ricavato dalla relazione matematica riportata nel paragrafo precedente, è pari a **0,499 s**. Anche in questo caso la categoria di sottosuolo da utilizzare nelle verifiche geotecniche dovrà essere definita in funzione dei risultati dell'analisi sismica di secondo livello, illustrata nel capitolo successivo.

## 8. ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO

Nella carta della pericolosità sismica locale del vigente PGT comunale (Tavola 8a, Geol. Albertelli, 2018) per i siti di intervento A2, B e C è stato individuato lo scenario Z4c, che corrisponde ad una *zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi*, mentre per il sito di intervento A1 viene indicato lo scenario Z4b, che corrisponde ad una *zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre*.

In tali scenari gli effetti attesi consistono in amplificazioni di tipo litologico e, in osservanza della normativa in materia, in questa sede è stata svolta l'analisi sismica di secondo livello utilizzando i dati ricavati dalle indagini geofisiche disponibili.

Inoltre gli ambiti di intervento A2 e B sono interessati dalla presenza dello scenario Z3b (zona di cresta), mentre per l'ambito C è indicato lo scenario Z3a (zona di scarpata); di conseguenza è stata svolta anche l'analisi sismica di secondo livello per amplificazioni topografiche.

### 8.1 Analisi sismica di secondo livello – amplificazione litologica

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 alla 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÷0,5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari, piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0,5÷1,5 s riguarda strutture più alte e flessibili.

I fattori di amplificazione relativi al sottosuolo delle aree di intervento, calcolati in funzione dei dati ricavati dalle indagini sismiche pregresse, sono stati confrontati con i valori soglia previsti dalla vigente normativa per il Comune di Breno (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 13), la cui validità è stata verificata attraverso il confronto tra l'andamento delle Vs proposto dalla Regione e quello mostrato dal profilo geofisico relativo ai siti investigati.

Per la frazione Campogrande è stato considerato un **periodo T** pari a **0,203 s** e si è fatto riferimento alla **curva 1**.

Considerando un suolo di tipo E, 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 E	Fattori di amplificazione calcolati	Risultato
0,1÷0,5 s	1,90	<b>1,84</b>	Verificato
0,5÷1,5 s	3,00	<b>1,21</b>	Verificato

Fattori di amplificazione litologica – Frazione Campogrande

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 E**.

Per la frazione Pescarzo è stato considerato un **periodo T** pari a **0,499 s** e si è fatto 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	1,80	<b>1,44</b>	Verificato
0,5÷1,5 s	2,40	<b>1,83</b>	Verificato

Fattori di amplificazione litologica – Frazione Pescarzo

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**.



## 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

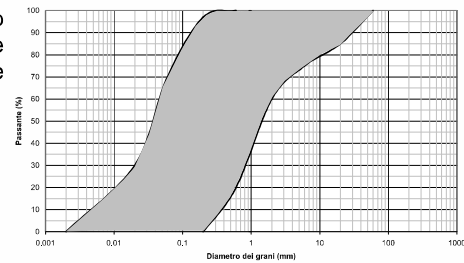
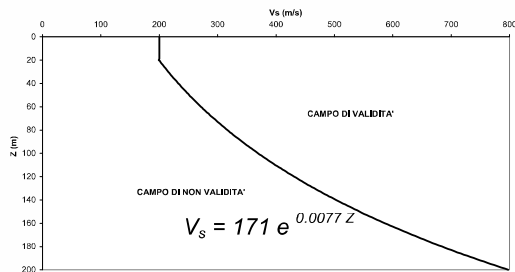
Struttura granulo-sostenuta

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

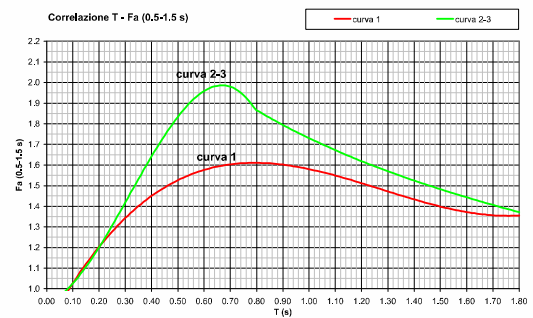
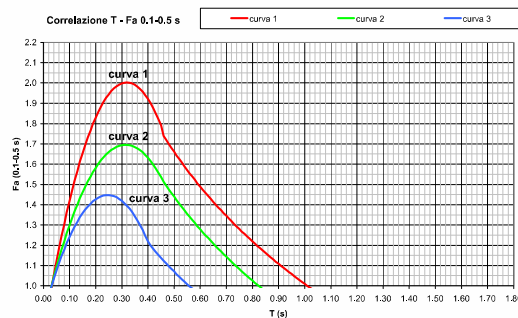
Profondità primo strato (m)																		
	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110
200	2	2	1-2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
250	2	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA
300	2	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA
350	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA
500	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA
600	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA
700	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA

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	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$0.45 < T \leq 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva	
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$
2	$0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
3	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

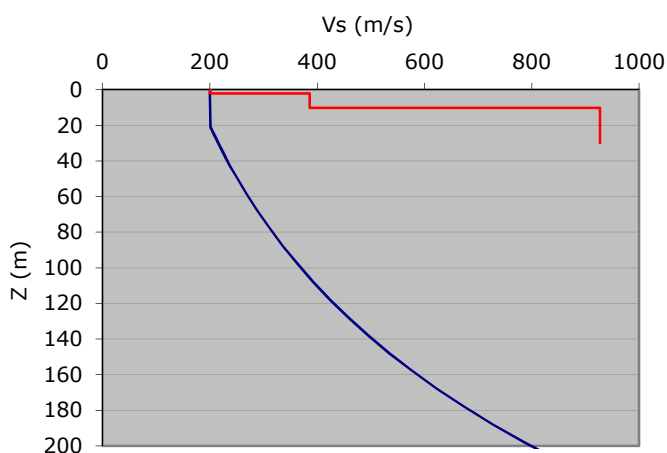
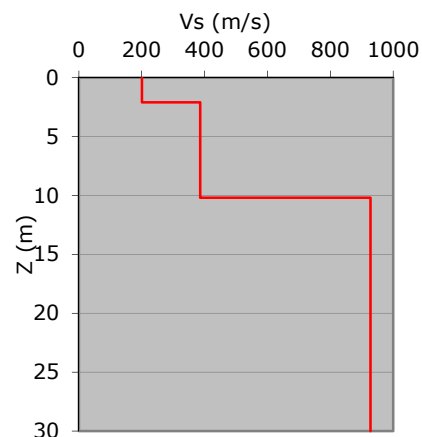
Figura 13 Effetti litologici – Scheda litologia sabbiosa.

# AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA - DETERMINAZIONE DEL $F_a$

D.G.R. n. IX/2616 del 30/11/11 - Allegato 5

## PROFILO GEOFISICO BRENO (BS) - LOC. CAMPOGRANDE

STRATO	h	Z	Vs	Vs*Hi
1	6	2,1	201,0	1206
2	8,1	10,2	386,0	3127
3	19,8	30	927,0	18355



SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

### PERIODO (T)

0,203



### SCHEDA

sabbiosa

### CURVA

1



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

1,84

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

1,21

## VALORI SOGLIA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE $F_a$ : COMUNE DI BRENO (BS)

Periodo	Tipo di suolo			
	B	C	D	E
0.1 - 0.5	1,4	1,8	2,2	1,9
0.5 - 1.5	1,7	2,4	4,1	3,0

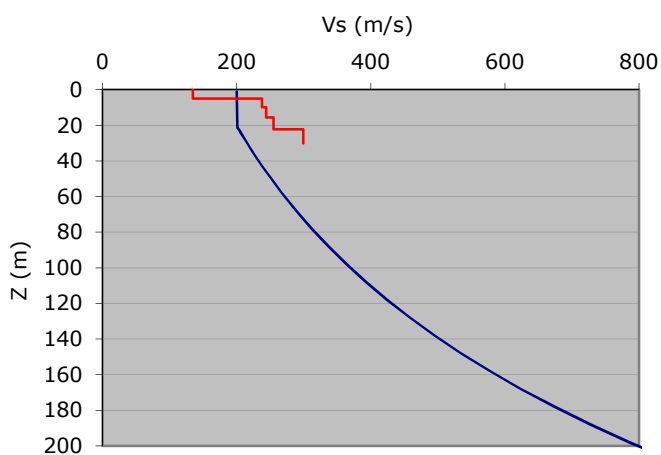
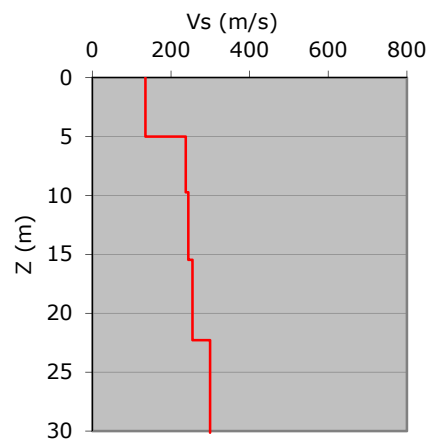
<b>Fa (0,1-0,5 S)</b>	1,90	>	1,84	VERIFICATO
SUOLO E				
<b>Fa (0,5-1,5 S)</b>	3,00	>	1,21	VERIFICATO
SUOLO E				

# AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA - DETERMINAZIONE DEL $F_a$

D.G.R. n. IX/2616 del 30/11/11 - Allegato 5

## PROFILO GEOFISICO BRENO (BS) - VIA ASILO - FRAZIONE PESCARZO

STRATO	h	Z	Vs	Vs*Hi
1	5,00	5,00	134,7	674
2	4,74	9,74	237,5	1126
3	5,73	15,47	243,7	1396
4	6,82	22,29	254,7	1737
5	7,85	30,14	299,4	2350



SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

### PERIODO (T)

0,499



### SCHEDA

sabbiosa

### CURVA

2



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

1,44

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

1,83

## VALORI SOGLIA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE $F_a$ : COMUNE DI BRENO (BS)

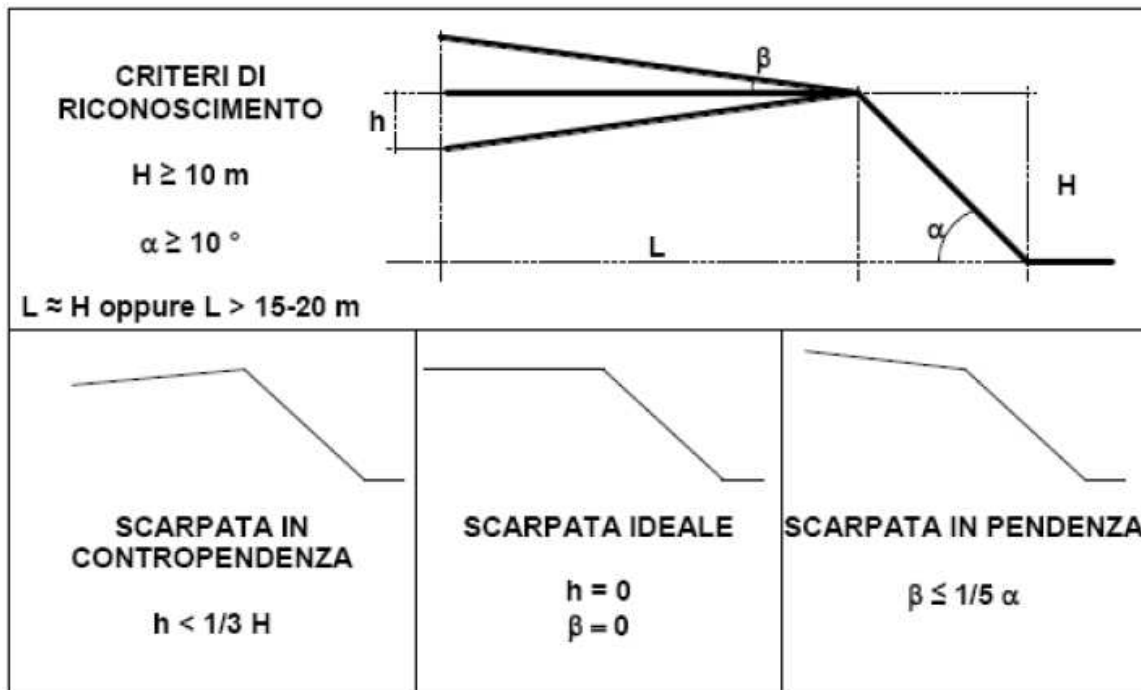
Periodo	Tipo di suolo			
	B	C	D	E
0.1 - 0.5	1,4	1,8	2,2	1,9
0.5 - 1.5	1,7	2,4	4,1	3,0

<b>Fa (0,1-0,5 S)</b>	1,80	>	1,44	VERIFICATO
SUOLO C				
<b>Fa (0,5-1,5 S)</b>	2,40	>	1,83	VERIFICATO
SUOLO C				

## 8.2 Analisi sismica di secondo livello – amplificazione topografica

L'analisi sismica di secondo livello inerente agli effetti topografici è stata effettuata adottando i criteri di cui all'Allegato 5 della D.g.r. n. IX/2616 del 30 novembre 2011.

Lo scenario di zona di scarpata (Z3a), che riguarda l'area di intervento C, è caratterizzato da irregolarità con fronti di altezza (H) uguale o superiore a 10 m ed inclinazione ( $\alpha$ ) del fronte principale uguale o superiore ai  $10^\circ$  (si veda la Figura 14).



**Figura 14** Criteri di riconoscimento scenario Z3a.

In funzione della tipologia del fronte superiore si distinguono: scarpate ideali, con fronte superiore orizzontale, scarpate in pendenza, con fronte superiore inclinato nello stesso senso del fronte principale (come nel caso in esame), e scarpate in contropendenza, con fronte superiore inclinato nel senso opposto a quello del fronte principale.

La misura dell'altezza H è da intendersi come distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale, mentre il fronte superiore è da definire come distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica.

Sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano:

- un fronte superiore di estensione paragonabile al dislivello altimetrico massimo (H) o comunque non inferiore ai 15÷20 m;
- l'inclinazione ( $\beta$ ) del fronte superiore inferiore o uguale ad un quinto dell'inclinazione ( $\alpha$ ) del fronte principale, nel caso delle scarpate in pendenza (per  $\beta > 1/5 \alpha$  la situazione è da considerarsi pendio);

- il dislivello altimetrico minimo (h) minore ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (H), nel caso di scarpate in contropendenza (per  $h \geq 1/3H$  la situazione è da considerarsi una cresta appuntita).

All'interno della scheda di valutazione (si veda la Figura 15) si sceglie, in funzione dell'inclinazione, il valore di  $F_a$  nell'intervallo 0.1-0.5 s.

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di $F_{a_{0.1-0.5}}$	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_1 = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_1 = \frac{3}{4}H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_1 = \frac{2}{3}H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	

**Figura 15** Tabella per la definizione del fattore di amplificazione  $F_a$ .

Il valore di  $F_a$  determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale ed assegnato al ciglio del fronte principale, mentre all'interno della relativa area di influenza (fronte superiore) il valore è scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario; lungo il fronte principale tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base del fronte stesso.

Per il caso in esame, ovvero l'area di intervento C, dovrà essere utilizzato un valore  **$F_{a_{0.1-0.5}} = 1,20$** , che corrisponde a quello previsto per la categoria topografica T2 (*pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$* ) che, di conseguenza, è sufficiente a tenere in considerazione l'effettiva amplificazione di sito.

Per le aree di intervento A2 e B è stato individuato lo scenario di zona di cresta (Z3b); la valutazione degli effetti morfologici di amplificazione sismica locale possono essere valutati sulla base dello schema di Figura 16.

In relazione alla configurazione topografica dei tratti di versante analizzati, per entrambe le summenzionate aree di intervento può essere riscontrato lo scenario di cresta appuntita. L'applicazione delle formule relative a tale scenario ha prodotto seguenti fattori di amplificazione topografica:

- Area di intervento A2  $F_{a_{0.1-0.5}} = 1,25$
- Area di intervento B  $F_{a_{0.1-0.5}} = 1,12$

Di conseguenza per l'area di intervento B potrà essere utilizzato un valore **del coefficiente di amplificazione topografica pari a 1,20**, che corrisponde a quello previsto per la categoria topografica T3 (*rilievi con larghezza in cresta molto minore che*

alla base e inclinazione media dei pendii  $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ ), mentre per il sito A2 si dovrà fare riferimento ad un coefficiente di 1,25.

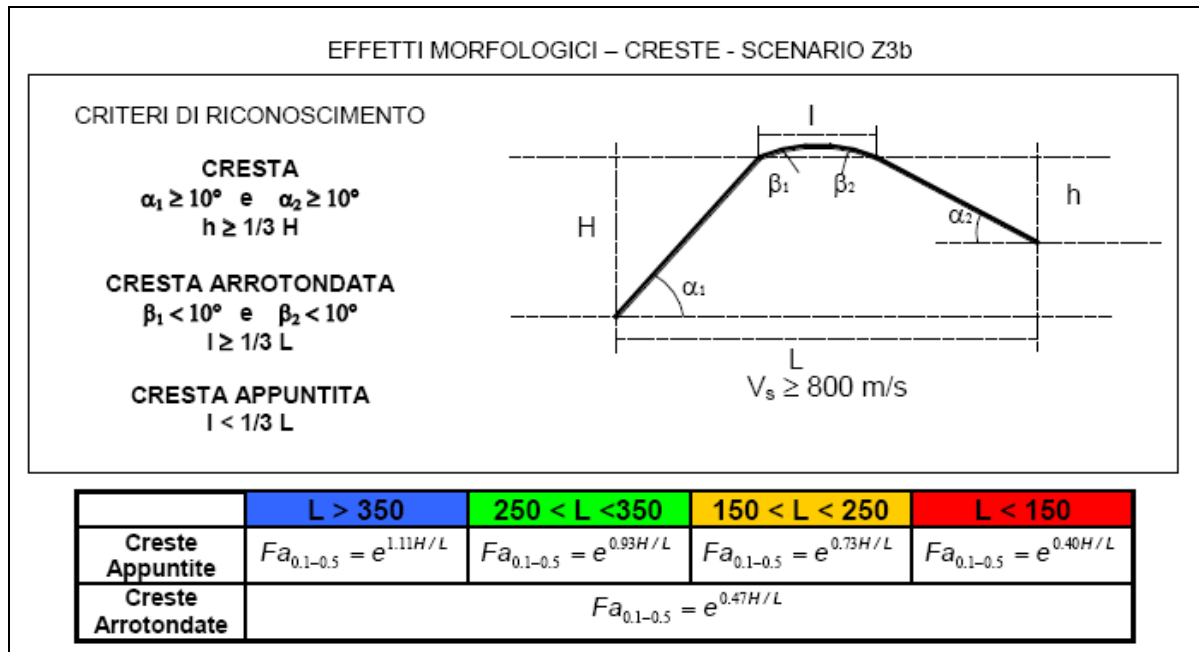


Figura 16 Schema per la definizione del fattore di amplificazione  $Fa$ .

## 9. PARAMETRI SISMICI SITO-SPECIFICI

Nel presente capitolo viene fornita una sintesi dei valori della categoria litologica e topografica per ciascuna delle aree di intervento; tali valori sono necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto. Si ricorda che la categorie litologiche e topografiche sono state definite facendo riferimento alle tabelle 3.2.II e 3.2.III delle NTC 2018 (D.M. 17/01/2018).

### 9.1 Area di intervento A1 – Sede stradale (lato di valle)

- Categoria litologica E                      Fattore di amplificazione 1,60
- Categoria topografica T1                      Fattore di amplificazione 1,00

### 9.2 Area di intervento A1 – Parete rocciosa (lato di monte)

- Categoria litologica A                      Fattore di amplificazione 1,00
- Categoria topografica T2                      Fattore di amplificazione 1,20

### 9.3 Area di intervento A2

- Categoria litologica E                      Fattore di amplificazione 1,60
- Categoria topografica T3                      Fattore di amplificazione 1,25



**9.4 Area di intervento B**

- |                            |                                |
|----------------------------|--------------------------------|
| - Categoria litologica C   | Fattore di amplificazione 1,50 |
| - Categoria topografica T3 | Fattore di amplificazione 1,20 |

**9.5 Area di intervento C**

- |                            |                                |
|----------------------------|--------------------------------|
| - Categoria litologica C   | Fattore di amplificazione 1,50 |
| - Categoria topografica T2 | Fattore di amplificazione 1,20 |

**10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

La presente relazione geologica è stata redatta a supporto del progetto definitivo-esecutivo degli interventi di adeguamento e di messa in sicurezza della viabilità di collegamento tra il capoluogo e le frazioni.

Le indagini svolte dallo scrivente hanno riguardato gli interventi A1-A2 (zona di Campogrande) e B-C (zona di Pescarzo), poiché le restanti opere in progetto concernono sostanzialmente il ripristino del manto stradale e non necessitano di approfondimenti investigativi di tipo geologico.

Nel corso dei rilievi di campagna non sono state riscontrate problematiche di natura gravitativa che possano compromettere l'equilibrio geostatico dei quattro ambiti areali oggetto del presente studio, ad eccezione del dissesto franoso attivo che interessa la porzione sud-orientale dell'area di intervento B.

Il fenomeno gravitativo in questione ha coinvolto il settore di valle di un tratto della sede viaria, che per una lunghezza di circa 15÷16 m presenta fenditure beanti del manto stradale dovute al progressivo e continuo cedimento del terreno.

Per arrestare questo evento franoso, che se lasciato al suo naturale evolvere tenderà a coinvolgere porzioni sempre più ampie della sede viaria, in relazione ai numerosi e vitali sottoservizi che corrono al di sotto del manto stradale si dovrà procedere alla realizzazione di una palificata collegata, in testa, da un cordolo in cemento armato.

La lunghezza dei pali in questione, che potrà essere definita in dettaglio solo tramite l'esecuzione di indagini geognostiche, in via preliminare si ritiene debba essere di almeno 15÷20 m. Dato che i suddetti pali dovranno opporsi ai movimenti di scivolamento a valle connessi al dissesto franoso lavorando "di taglio", dovrà essere attentamente valutata la possibilità di realizzare uno o più ordini di tiranti.

Ulteriori elementi di criticità geostatica sono rappresentati dalla possibilità che si verifichino fenomeni di crollo di materiali litici dalla parete rocciosa ubicata in corrispondenza dell'area di intervento A1, lungo il lato di monte della strada, e dalle condizioni del muro di sostegno oggetto degli interventi previsti per il sito B, che si presenta ammalorato.

Al fine di preservare l'equilibrio geostatico dei luoghi e permettere una corretta gestione delle acque superficiali (di origine meteorica) e sotterranee, in conformità alle limitazioni d'uso previste per le aree sottoposte a Vicolo Idrogeologico (ai sensi del R.D.L. n. 3267/23), bisognerà attenersi alle prescrizioni di seguito riportate.

Le movimentazioni di terra dovranno essere condotte in modo tale da garantire degli adeguati margini di sicurezza alle maestranze impiegate nel futuro cantiere ed i materiali di risulta degli scavi dovranno essere gestiti secondo le norme vigenti in merito alle terre e rocce da scavo.

Se tecnicamente possibile sarebbe opportuno che le operazioni di scavo e di demolizione dei muri esistenti procedessero per settori progressivi di lunghezza limitata e che l'inizio di ogni nuova fase fosse preceduta dall'ultimazione delle strutture di sostegno definitive.

A fine giornata le scarpate dovranno essere protette tramite il posizionamento di idonee strutture di sostegno temporaneo (in grado di sostenere la spinta delle terre ed i sovraccarichi delle strutture circostanti) e la stesura di teli impermeabili, questi ultimi per evitare che eventuali piovvaschi comportino il dilavamento delle superfici esposte.

In concomitanza con l'apertura degli scavi bisognerà verificare che i terreni che rappresenteranno il sedime di imposta delle opere di fondazione dei muri siano costituiti, sino alla profondità interessata dalle sollecitazioni indotte dalle opere di appoggio, da litologie idonee a sopportare le azioni trasmesse dai futuri manufatti.

Qualora in fase di scavo dovessero essere individuati, in corrispondenza del piano di posa delle opere di appoggio, materiali contraddistinti da scadenti proprietà geomeccaniche (limi plastici, argille, torbe, riporti, terreno vegetale, ecc.), si provvederà all'approfondimento degli scavi, in modo tale da ammorsare le fondazioni del muro in corrispondenza di litologie sufficientemente compatte.

Alla luce dei dati geotecnici e sismici forniti nella presente relazione, e fatte salve le verifiche da svolgere in fase di scavo, il progettista dovrà verificare che le azioni definitive siano inferiori alla resistenza di progetto fornita dal sedime di imposta e che non comportino l'insorgere di fenomeni di cedimento assoluto troppo elevati (o una distribuzione differenziale degli stessi) ricorrendo, se necessario, all'adozione di opportuni accorgimenti tecnici.

Si precisa che i manufatti di futura realizzazione dovranno essere progettati nel rispetto della vigente normativa sismica, sia nazionale sia regionale. In ogni caso le strutture dovranno essere sagomate e dimensionate in modo tale da poter soddisfare i necessari requisiti di sicurezza in merito alla resistenza di progetto, al cedimento verticale, allo scorrimento ed al ribaltamento.

Come indicato in precedenza l'area di intervento, 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 3. Nel Capitolo 9 vengono indicati, per ogni sito di

intervento, la categoria di sottosuolo e la categoria topografica di riferimento per la progettazione.

Per ciò che riguarda le problematiche di natura idrogeomorfologica, come illustrato nei precedenti capitoli, i principali fattori limitanti sono rappresentati dall'acclività dei luoghi e dalla possibile interferenza con le acque che si infiltrano e circolano nel sottosuolo.

In relazione al locale assetto idrogeologico si ritiene necessario provvedere alla predisposizione di adeguate ed efficaci opere di salvaguardia, per tenere sotto controllo le problematiche connesse alla presenza ed alla circolazione delle acque sotterranee.

Lo scopo di tali interventi è quello di evitare che le acque meteoriche (percolando nel sottosuolo) e quelle sotterranee si infiltrino a tergo dei muri e che si verifichino fenomeni di impregnazione idrica dei terreni posti a contatto con le opere di sostegno, i quali potrebbero comportare l'insorgere di pericolose sovrappressioni. I suddetti fenomeni possono causare danni anche considerevoli ai manufatti sino a comprometterne, nei casi più estremi, l'equilibrio statico.

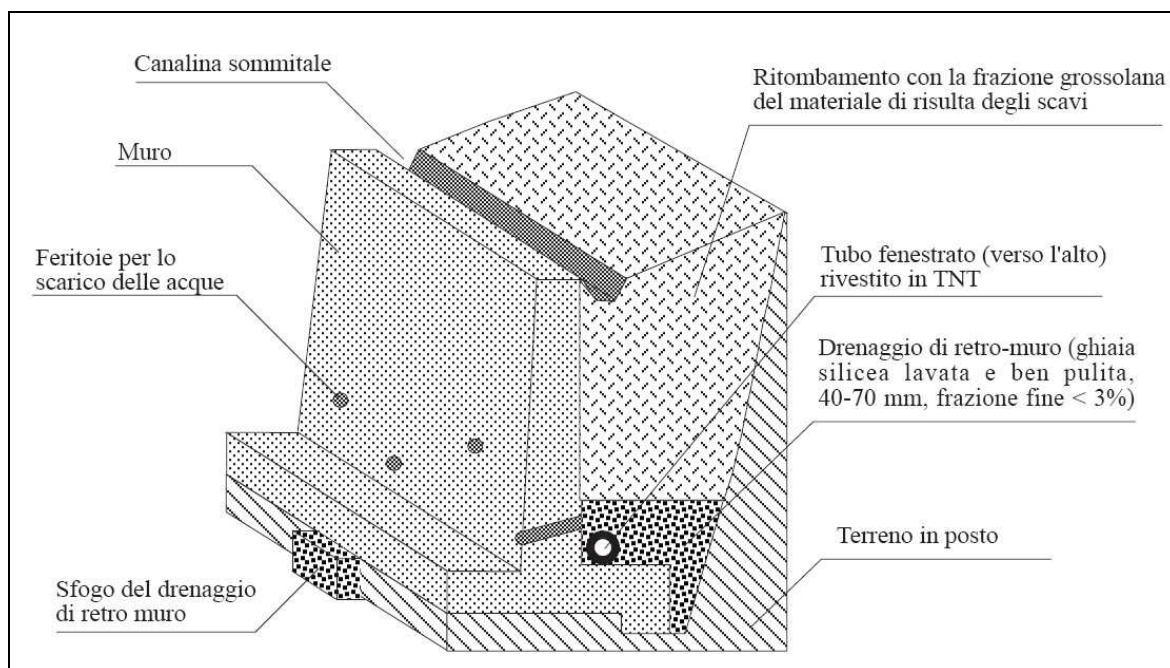
Pertanto le strutture fondazionali (così come la porzione ipogea dei manufatti in questione) dovranno essere progettate per resistere al prolungato contatto con le acque sotterranee ed all'eventuale aggressione chimica delle stesse, che potrebbe innescare processi di corrosione del calcestruzzo e delle armature metalliche.

In corrispondenza del lato contro terra dovrà essere predisposto un dreno, ubicato in una posizione depressa rispetto al piano di imposta delle fondazioni, tramite l'impiego di materiale drenante e di un apposito tubo fenestrato (verso l'alto) rivestito con geotessuto.

Per il dreno dovranno essere utilizzate ghiaie silicee ben calibrate e lavate (frazione fine < 3%), aventi diametro compreso tra 40 mm e 70 mm (si veda la Figura 17). Al drenaggio verrà conferita una pendenza tale da permettere l'allontanamento delle acque che andranno convogliate entro un apposito recapito.

Il colmamento della sezione di scavo a tergo della parte in elevazione dovrà avvenire con la frazione più grossolana del materiale di risulta, suturato a tetto da materiali impermeabili a granulometria più fine.

La messa in opera dei muri di sostegno dovrà essere accompagnata anche dalla realizzazione di apposite feritoie per lo scarico delle acque, di sfoghi di sottofondazione (compatibilmente con la morfologia dei luoghi) e di una canalina posizionata lungo il coronamento sommitale dei nuovi muri che fungerà da fosso di guardia nei confronti delle acque di ruscellamento superficiale (si veda la Figura 17).



**Figura 17** Schema generico del drenaggio di retro muro (non in scala).

Tutte le strutture presenti in sito (compresa la strada) dovranno essere dotate di una puntuale ed efficiente rete di raccolta delle acque meteoriche, le quali dovranno essere convogliate entro appositi recapiti evitando fenomeni di ristagno idrico, di concentrazione delle acque e di dispersione incontrollata lungo la pendice montuosa e/o nel sottosuolo.

Tale dispersione potrebbe, a lungo andare, comportare un'alterazione delle proprietà geotecniche del sedime di imposta delle fondazioni, con ripercussioni negative sia sulle condizioni geostatiche dei luoghi, sia sulla stabilità dei manufatti esistenti e di futura costruzione.

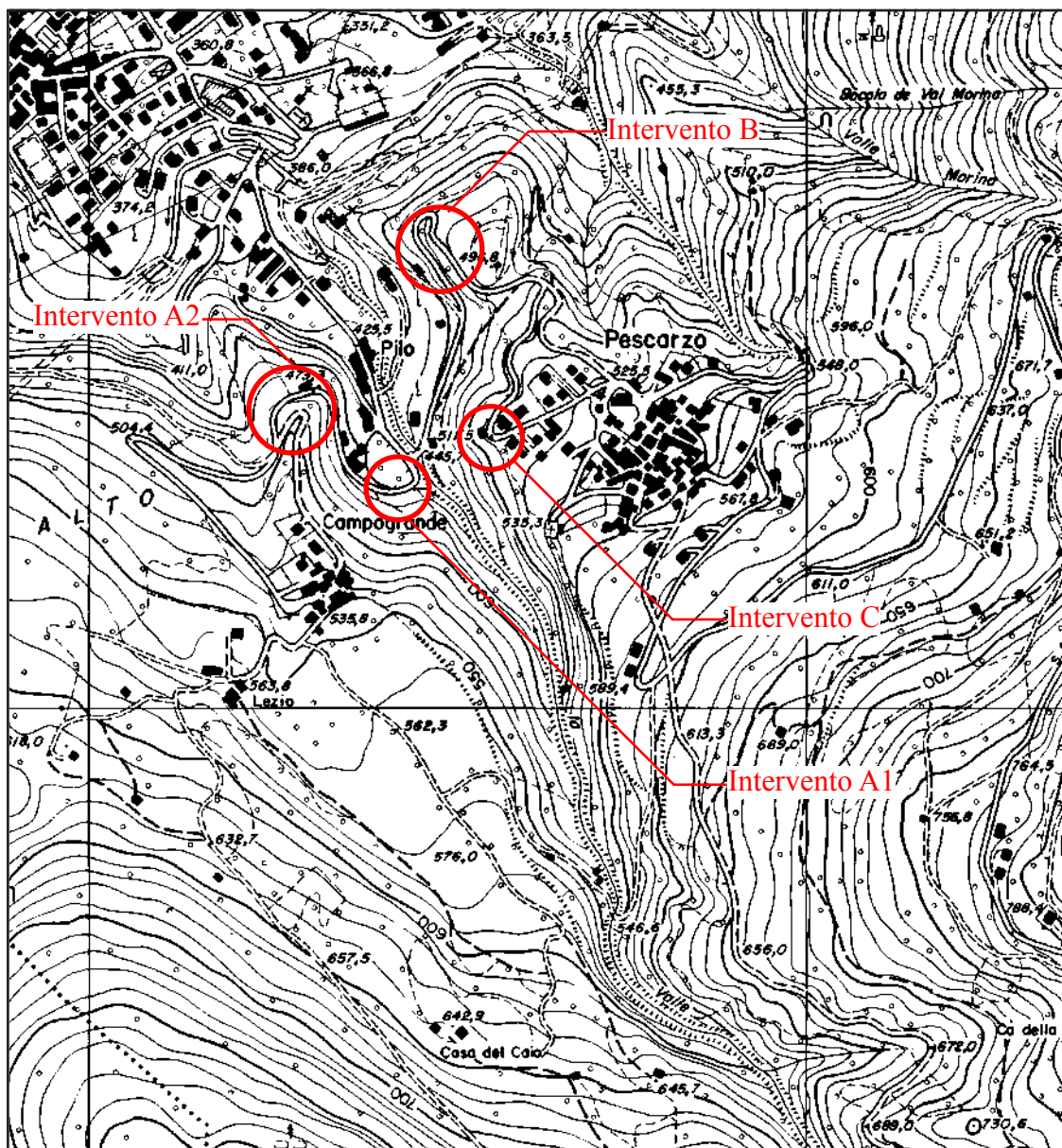
Si ribadisce che il meticoloso e puntuale controllo e collettamento delle acque è di vitale importanza per garantire la stabilità dei pendii (anche in osservanza a quanto prescritto dal R.D.L. n. 3267/23) e l'integrità delle opere viarie presenti in loco (che dovranno essere dotate di opportune cunette, rigole e tombotti). Inoltre bisognerà provvedere all'attuazione, nel tempo, di regolari ed accurati interventi di manutenzione e di pulizia.

Breno, gennaio 2020



**Dott. Filippo Pezzotti Geologo**

Ordine Geologi Lombardia n. 1264



Stralcio della C. T. R. della Regione Lombardia - Sezione D4c2 "Breno Sud"



Ubicazione delle aree di intervento con il relativo codice di identificazione.



## INTERVENTI DI ADEGUAMENTO E DI MESSA IN SICUREZZA DELLA VIABILITÀ DI COLLEGAMENTO TRA IL CAPOLUOGO E LE FRAZIONI

TAVOLA 1

SCALA 1:10.000

COROGRAFIA

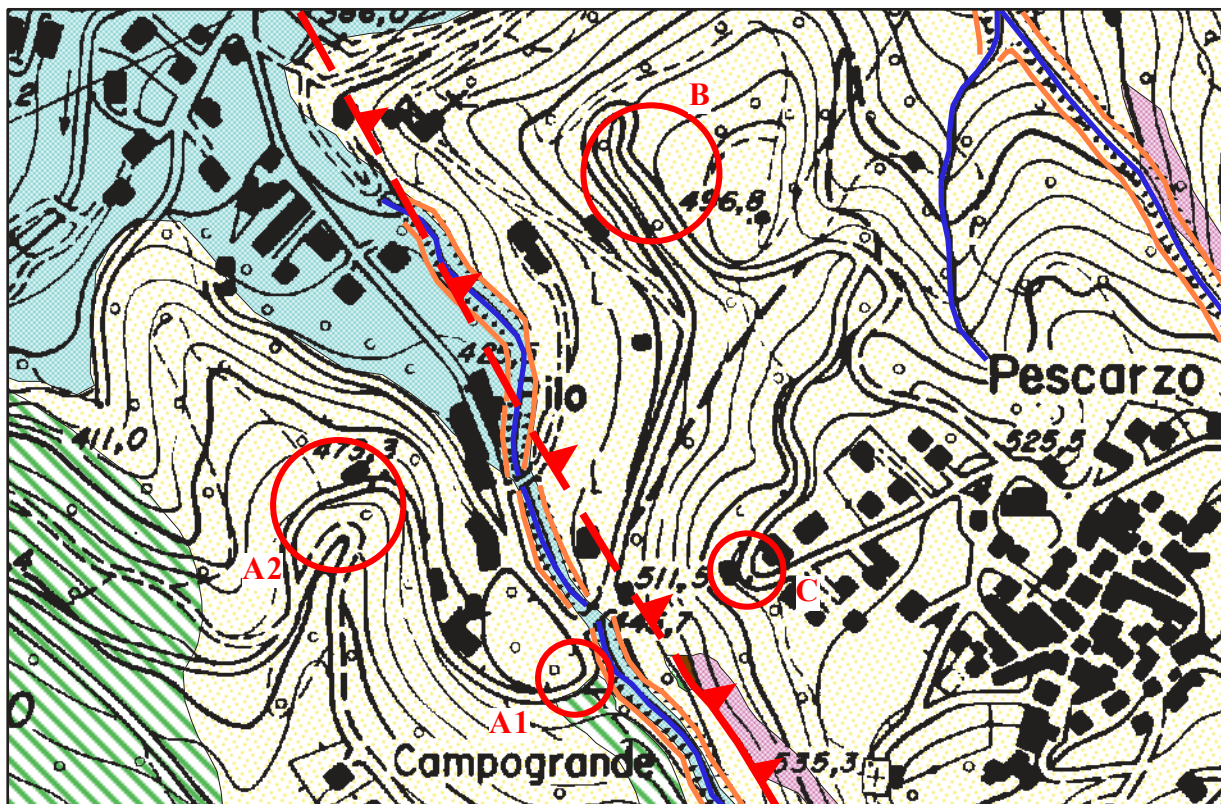










Consulenza Geologica,  
Geotecnica ed Idrogeologica

Dott. Filippo Pezzotti Geologo  
Ordine Geologi Lombardia n. 1264

Committente: Comune di Breno - Provincia di Brescia





-  **A1** Ubicazione delle aree di intervento con il relativo codice di identificazione.
-  Depositi alluvionali (Olocene).
-  Depositi glaciali (Pleistocene superiore - Olocene).
-  Formazione di Breno (Carnico inferiore - medio).
-  Calcare di Angolo (Anisico medio - inferiore).
-  Carniola di Bovegno (Anisico inferiore).
-  Sovrascorrimento (il tratteggio indica la probabile prosecuzione).
-  Corso d'acqua.



**INTERVENTI DI ADEGUAMENTO E DI MESSA IN SICUREZZA DELLA  
VIABILITÀ DI COLLEGAMENTO TRA IL CAPOLUOGO E LE FRAZIONI**

**TAVOLA 2**

**SCALA 1:5.000**

**CARTA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA**



**Consulenza Geologica,  
Geotecnica ed Idrogeologica**

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

**Committente:** Comune di Breno - Provincia di Brescia



**ALLEGATO 1**  
**INDAGINE SISMICA**  
**HVSR PREGRESSA**

## STATION INFORMATION

*Station code:* Stazione 1

*Model:* SARA GEOBOX

*Sensor:* SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

*Notes:* -

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Stazione 1

*Address:* Breno (BS) - Località Campogrande

*Latitude:* 45.948712

*Longitude:* 10.306839

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 530 m s.l.m.

*Weather:* Cielo sereno - Assenza di vento

*Notes:* -

## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



## SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 300 Hz

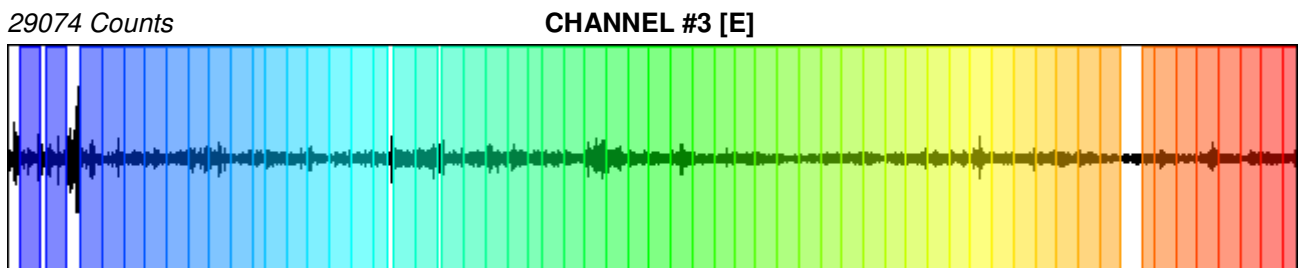
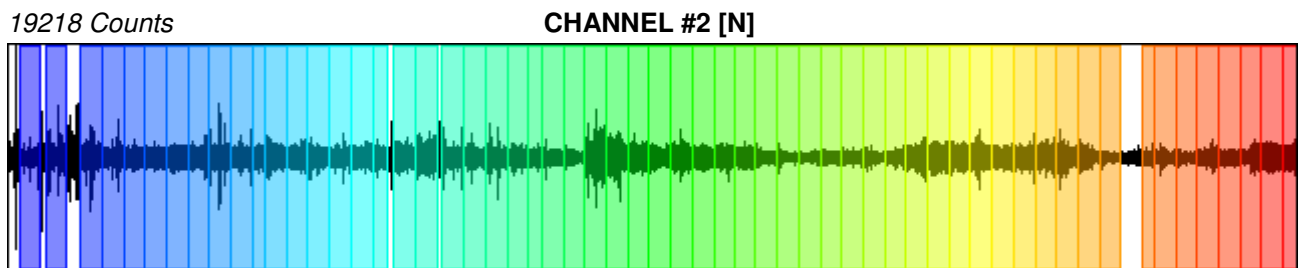
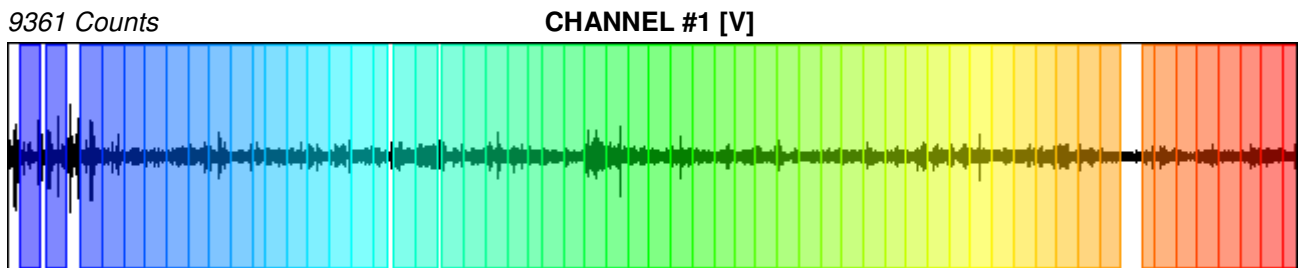
*Recording start time:* 16/03/2018 - 13:56:00

*Recording length:* 20 min

*Windows count:* 59

*Average windows length:* 19.3

*Signal coverage:* 94.9%



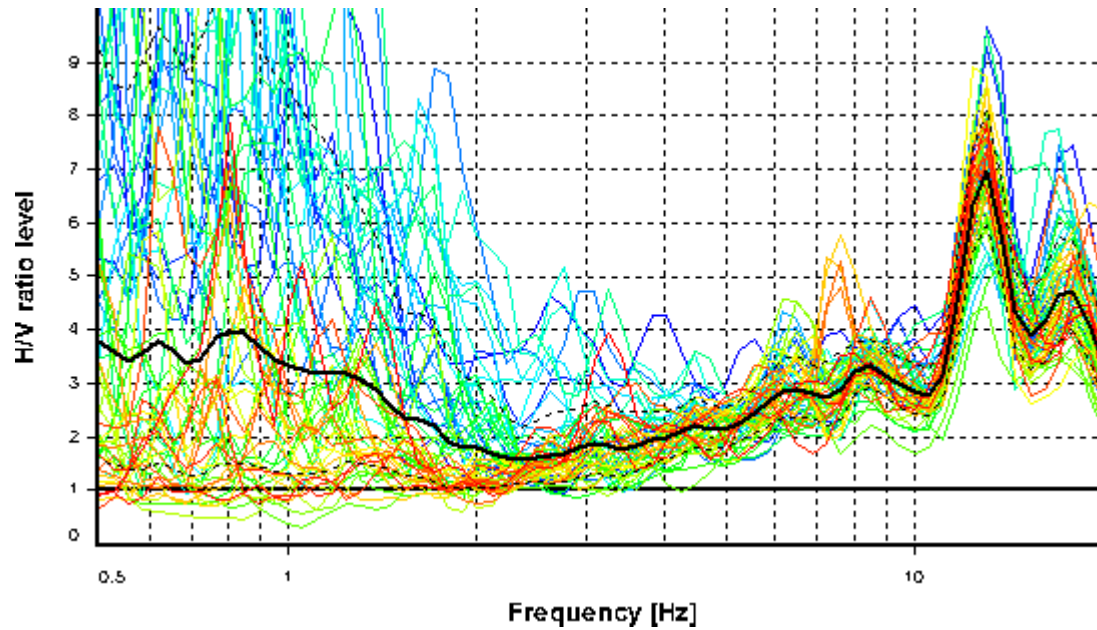
## HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

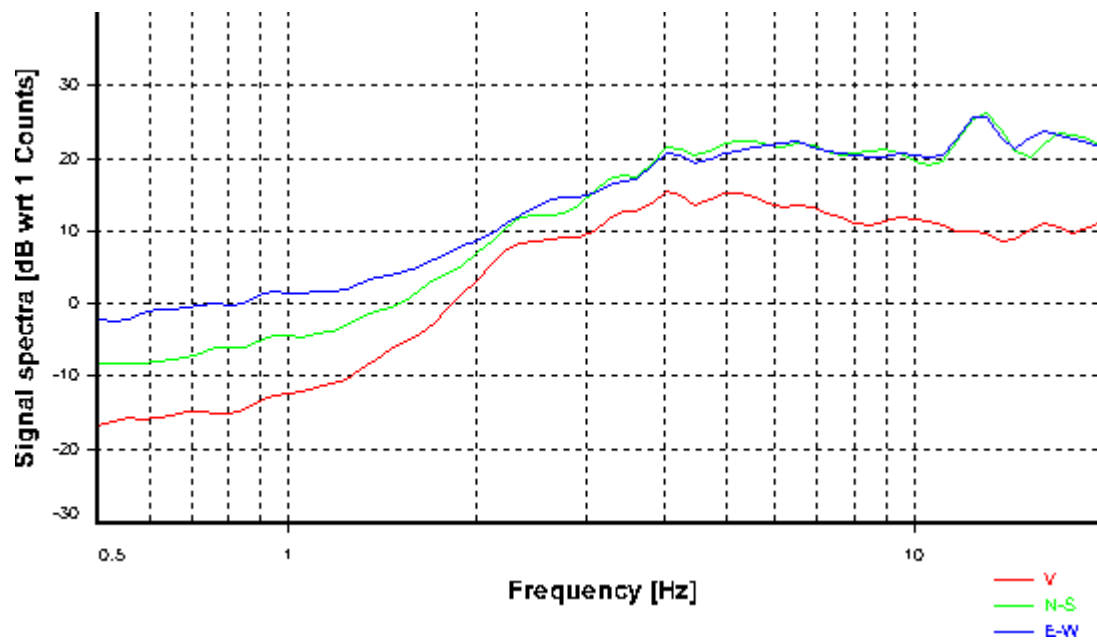
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Disabled

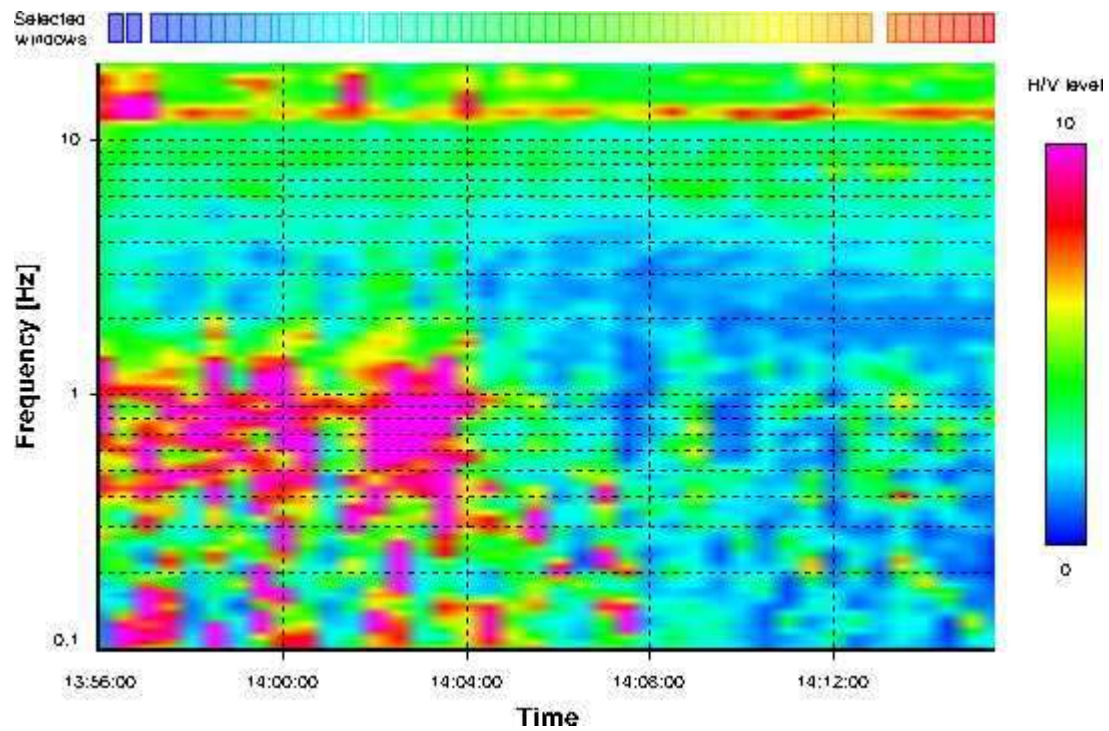
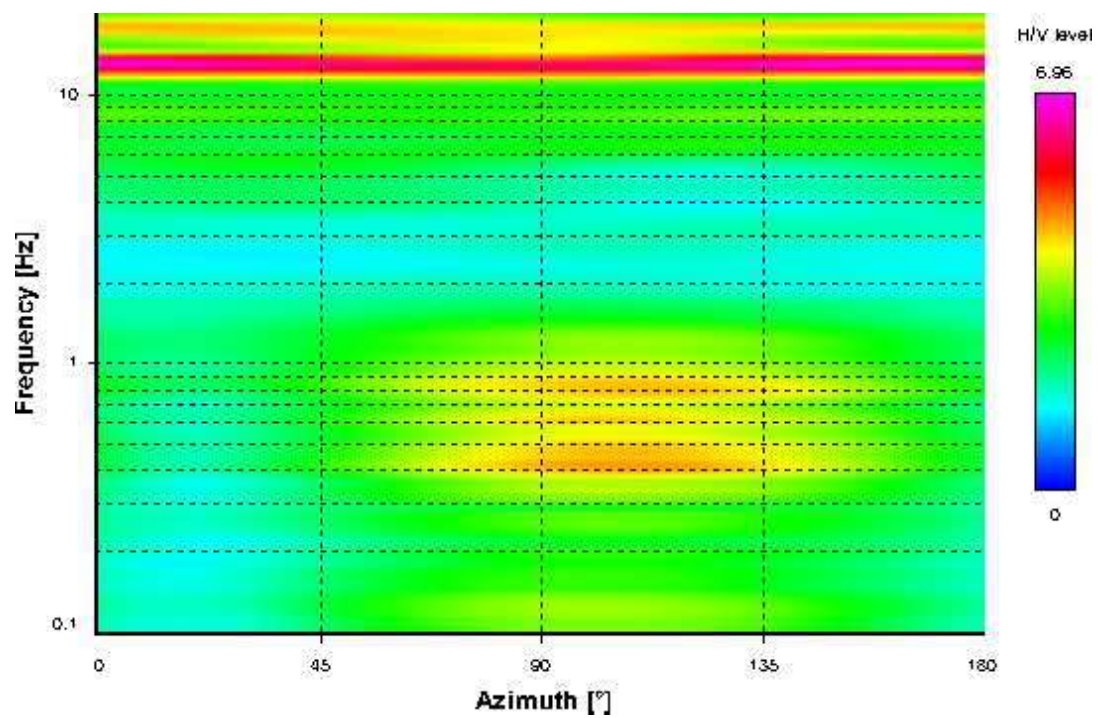
### HVSR average



### Signal spectra average





**HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)****HVSR directional analysis**



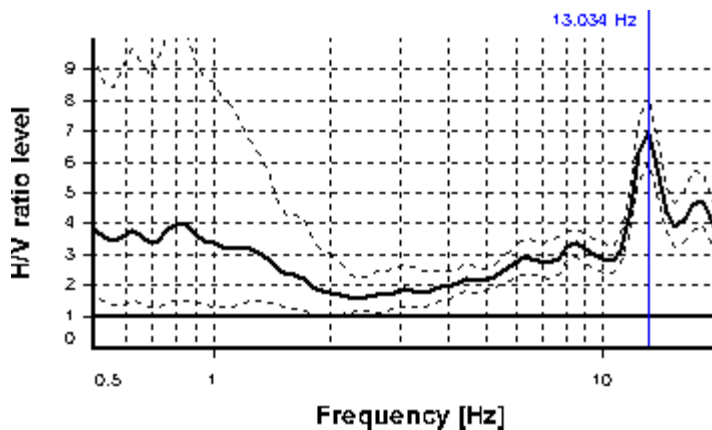
## SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

**13.034 Hz**

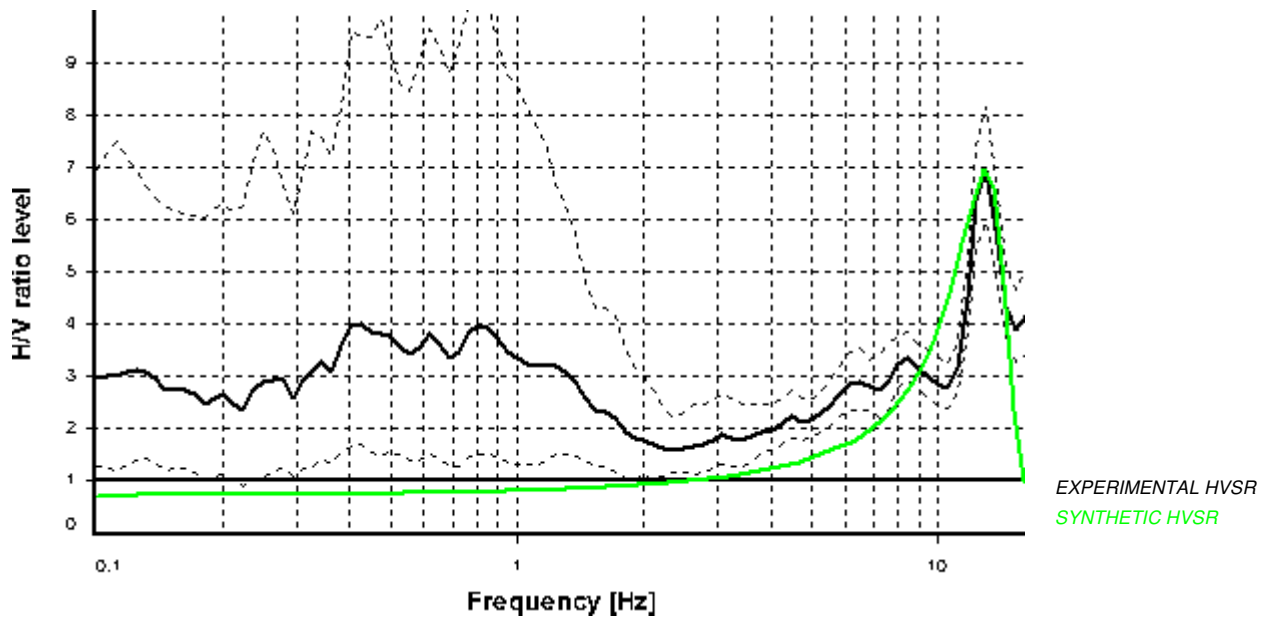
**$A_0$  amplitude = 6.972**

**Average  $f_0$  = 13.216 ± 0.918**

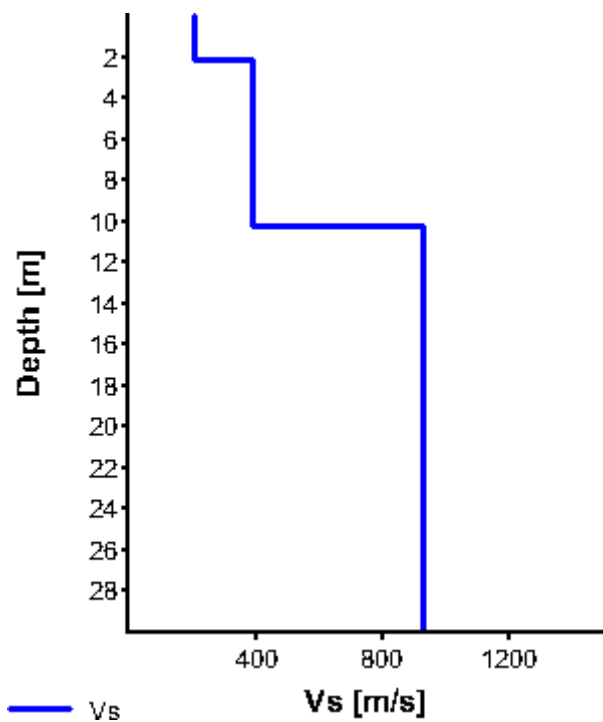


HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	59 valid windows (length > 0.77 s) out of 59	OK
$n_c(f_0) > 200$	14844.17 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 21	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0$	11.10095 Hz	OK
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0$	20 Hz	OK
$A_0 > 2$	6.97 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% ≤ 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.91826 ≥ 0.65172	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.16722 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

## Synthetic HVSR modelling



H [m]	D [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
2.1	2.1	482	201	1700
8.1	10.2	850	386	1800
19.8	30	1530	927	2200
-	> 30	1530	927	2200



$$V_{s_{eq}} (10.2 \text{ m}) = 324.51 \text{ m/s}$$

## ALLEGATO 2

### INDAGINE SISMICA MASW PREGRESSA

<b>Committente</b>	Unione Antichi Borghi di Valle Camonica
<b>Cantiere</b>	Scuola di infanzia
<b>Località</b>	Pescarzo di Breno (BS)
<b>Data</b>	05/12/2016

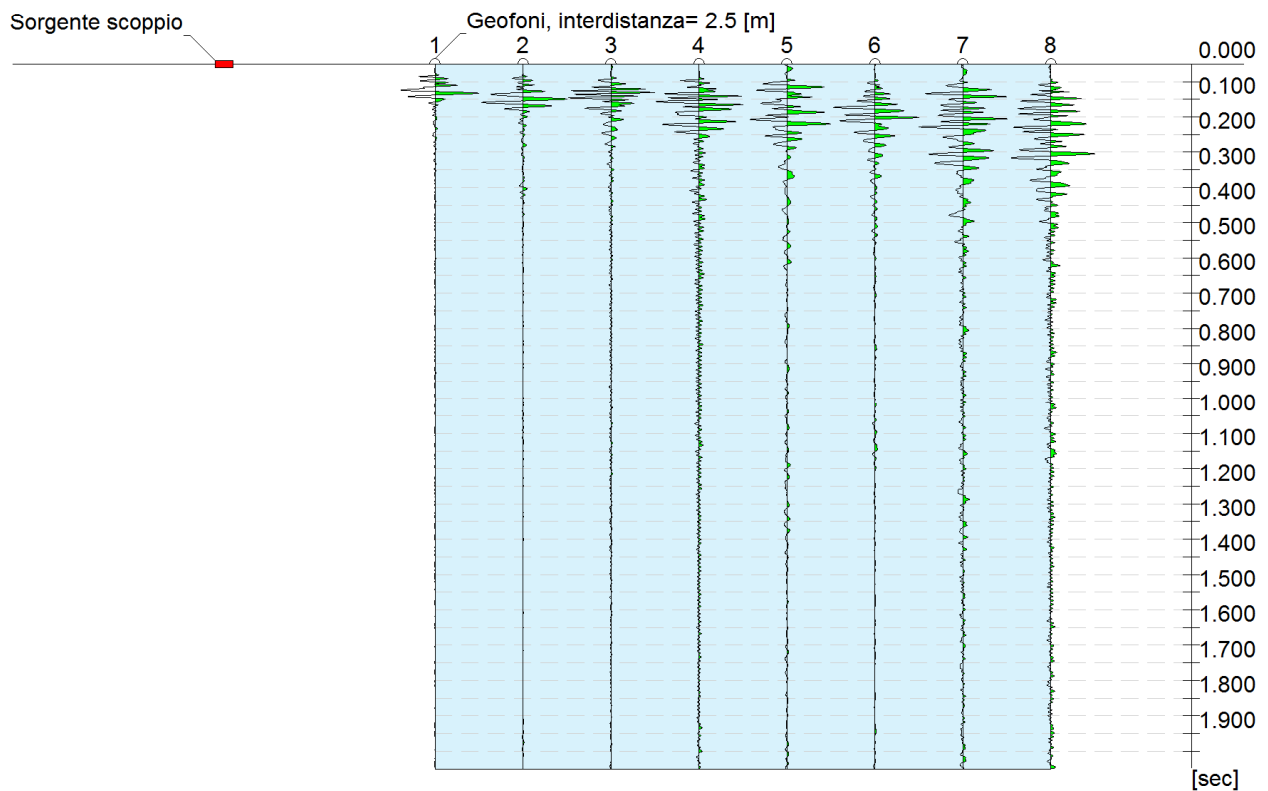


- Sismografo tipo “DoReMi” multicanale (SARA electronic instruments)
- Frequenza di campionamento 1000 Hz
- Sensori verticali (geofoni) da 4.5 Hz

## SISMOGRAMMA

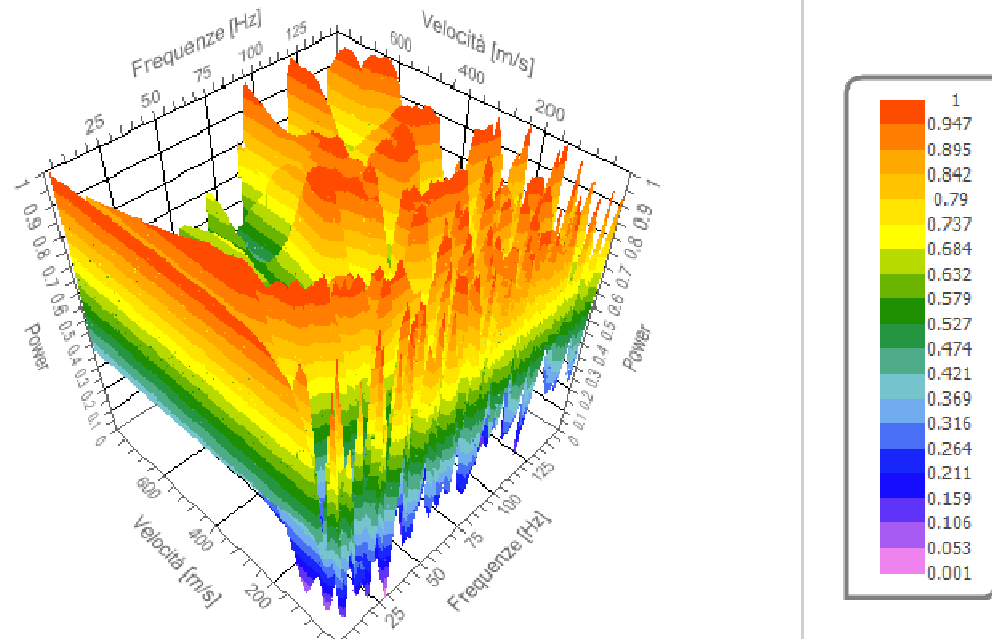
- Numero tracce 8
- Durata acquisizione 2000 msec
- Interdistanza geofonica 2,50 m
- Periodo di campionamento 1 msec

Committente: Unione Antichi Borghi di Valle Camonica  
Cantiere: Scuola di infanzia  
Località: Pescarzo di Breno (BS)  
Data: 05/12/2016



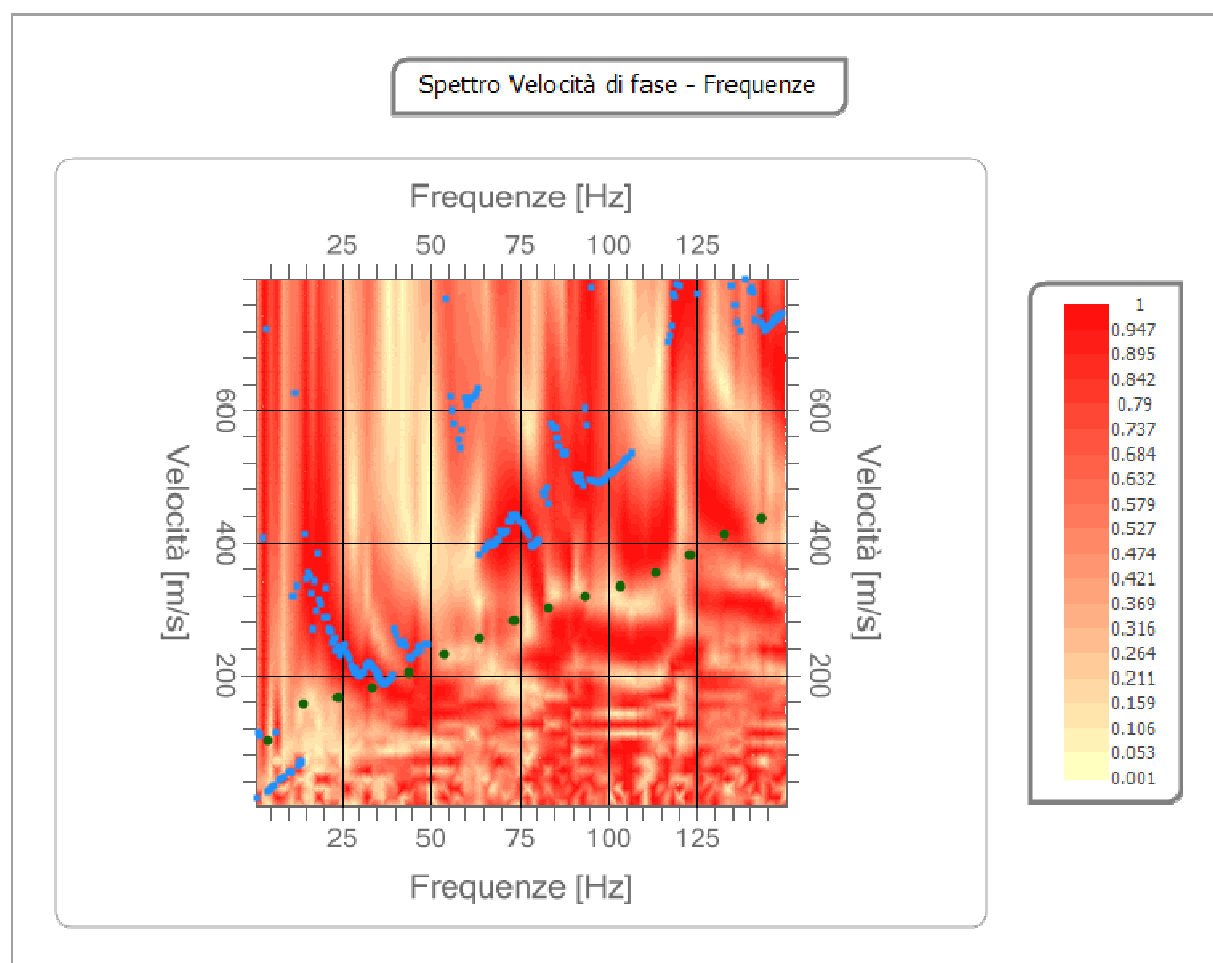
## ANALISI SPETTRALE

Spettro Velocità di fase - Frequenze



- Frequenza minima di elaborazione 1 Hz
- Frequenza massima di elaborazione 150 Hz
- Velocità minima di elaborazione 1 m/sec
- Velocità massima di elaborazione 800 m/sec
- Intervallo velocità 1 m/sec

## CURVA DI DISPERSIONE



n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]
1	4.3	100.0
2	14.2	155.1
3	24.1	166.9
4	34.0	181.9
5	44.0	203.7
6	53.9	230.1
7	63.8	257.3
8	73.7	281.6
9	83.6	301.6
10	93.5	318.2
11	103.4	334.6
12	113.3	354.7
13	123.2	381.2
14	133.2	412.0
15	143.1	436.3
16	153.0	429.2



## INVERSIONE

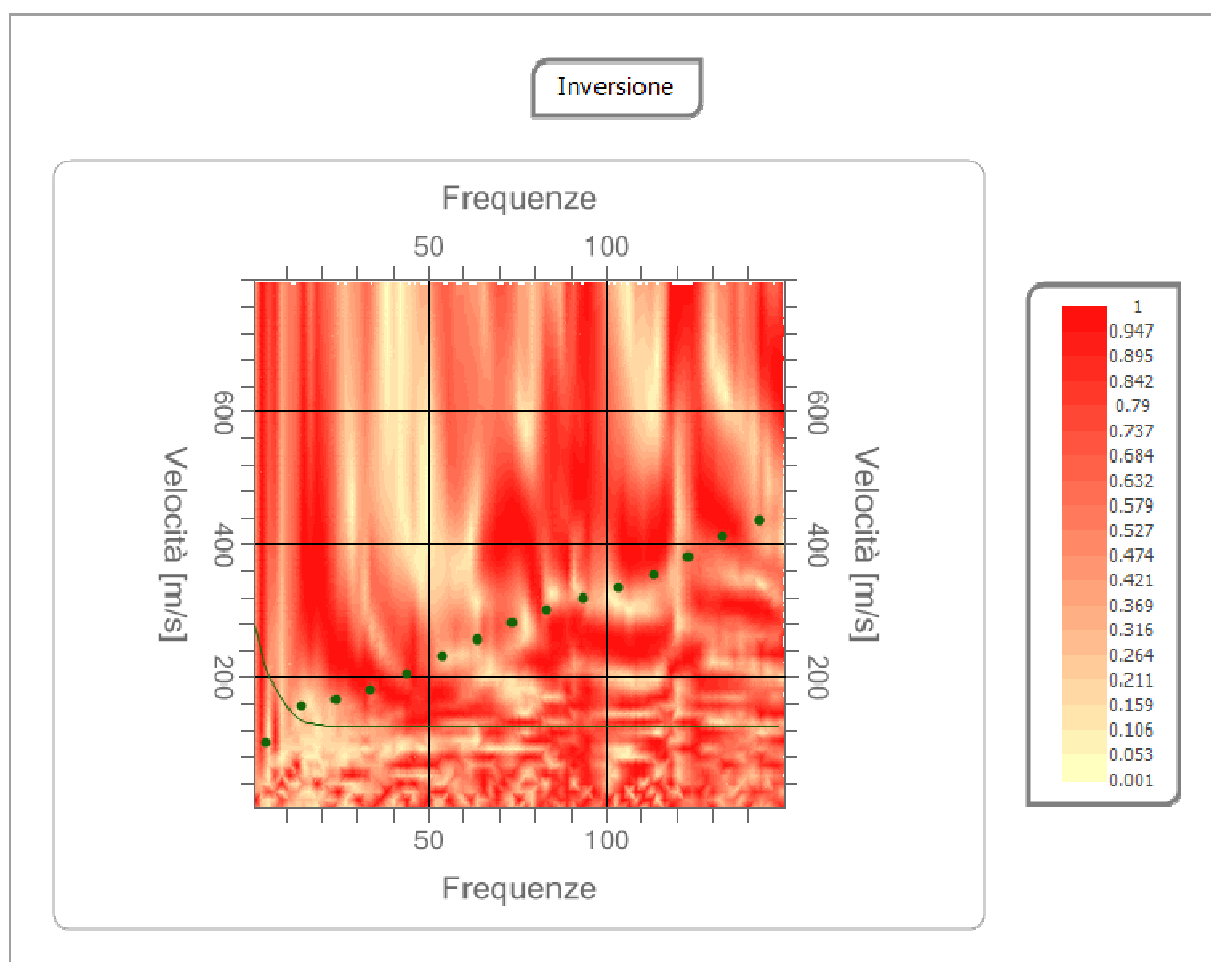
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	5.00	5.00	220.0	134.7
2	9.74	4.74	387.9	237.5
3	15.47	5.73	397.9	243.7
4	22.29	6.82	416.0	254.7
5	30.14	7.85	489.0	299.4

Percentuale di errore

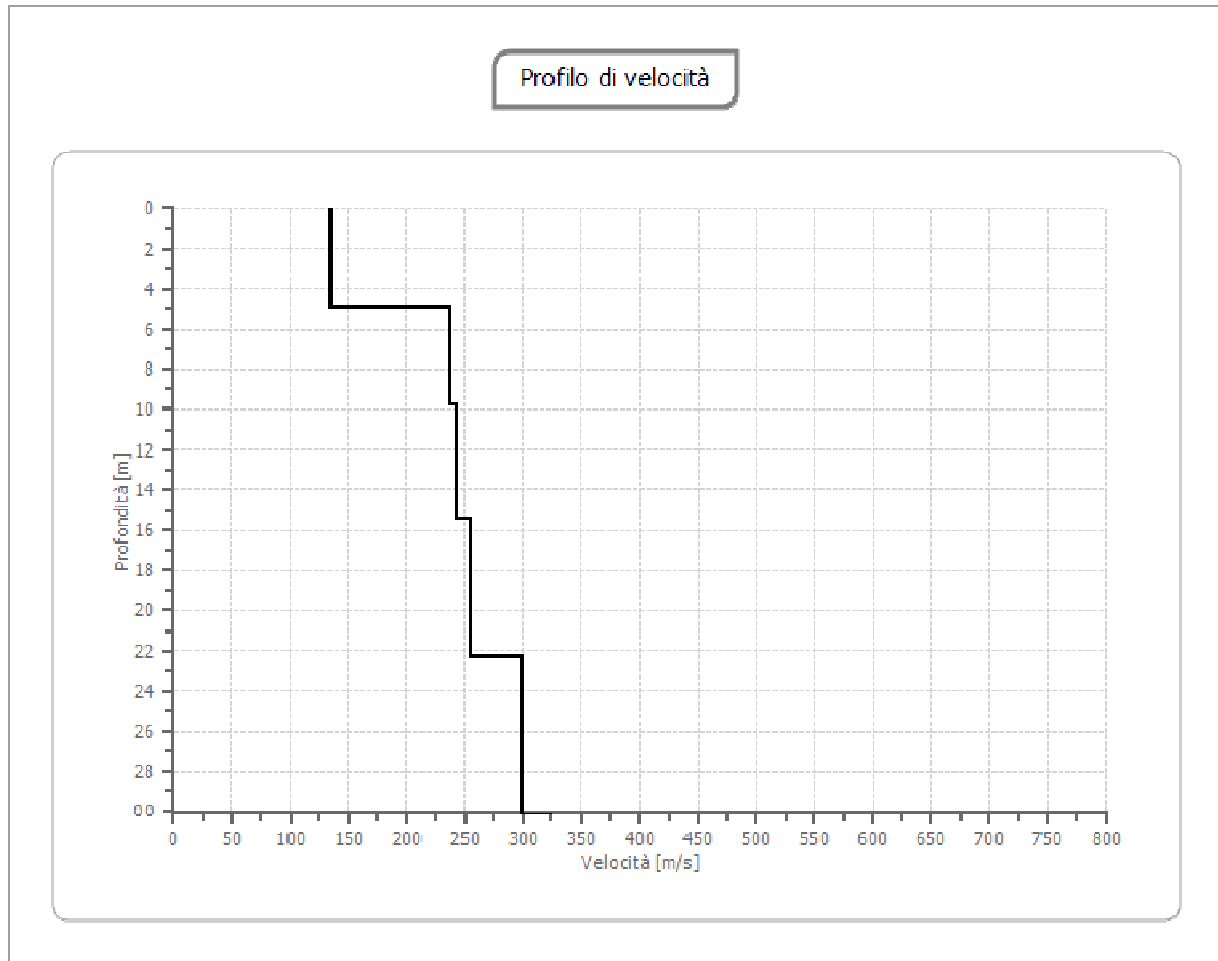
1.686 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.311



## RISULTATI



- **VSeq** **225.38 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.