STUDIO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. MATTIA BERTANI
Ordine dei Geologi del Piemonte n.588 Sezione A
Casale Tabuloni, 32 – 28021 Borgomanero (No)
tel. 0322 843722 – fax. 0322 060155 – cell. 349 1884498
e-mail: mattia.bertani@atdot.it
P.I. 01922860034
www.studiobertani.it

REGIONE PIEMONTE

PROVINCIA DI NOVARA

COMUNE DI BARENGO

Committente:	COMUNE DI BARENGO *Via Vittorio Emanuele, 39 – 28010 Barengo (No)*
Progetto:	Lavori di ampliamento del Cimitero Comunale internamente al perimetro dell'esistente
Elaborato:	RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA D.M. 14 gennaio 2008 – N.T.A. P.R.G.C.

Commessa rif.: 574-16		**File:** barengo_cimitero_geo&sismica.pdf
Rev.	**Data emissione**	**Note**
00	Giugno 2016	Relazione geologica e sismica

Il tecnico:

Dott. Geol. Mattia BERTANI

ORDINE GEOLOGI REGIONE PIEMONTE
MATTIA BERTANI GEOLOGO A.P. SEZ. A N. 588
ALBO PROFESSIONALE

La proprietà dei lavori originali è riservata al Professionista che li ha redatti (art.9 D.M. 18.11.71 e s.m.i.).
E' vietata ogni riproduzione totale o parziale della presente documentazione senza autorizzazione scritta dell'Autore.

Indice

Premessa....2
1.UBICAZIONE AREA DI INTERVENTO....3
1.1.Ubicazione geografica....3
1.2.Ubicazione Carta di sintesi dello studio geologico di P.R.G.C....3
2.DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO....3
3.INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO....3
3.1.Evoluzione geomorfologica in atto e vulnerabilità geomorfologica....4
4.INQUADRAMENTO GEOLOGICO....4
5.INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROLOGICO....5
6.INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO....6
6.1.Caratteristiche idrogeologiche del territorio....6
6.2.Caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo....6
6.3.Caratteristiche del deflusso idrico sotterraneo....7
7.CARATTERIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO....7
7.1.Ubicazione sismica....7
7.2.Pericolosità sismica di base....8
7.3.Indagini geofisiche....9
7.3.1.Ubicazione delle indagini eseguite....9
7.3.2.Strumentazione utilizzata....10
7.4.Prova geofisica HVSR....10
7.4.1.Dati ed interpretazione dei risultati ottenuti....10
7.5.Prove geofisiche MASW....11
7.5.1.Dati ed interpretazione dei risultati ottenuti....11
7.6.Risposta sismica locale....12
7.6.1.Amplificazione stratigrafica....12
7.6.2.Amplificazione topografica....13
7.6.3.Definizione dell'accelerazione massima attesa in superficie....13
7.7.Spettri di risposta elastici....14
8.CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE SUGLI INTERVENTI IN PROGETTO, PRESCRIZIONI ED INCERTEZZE DEL MODELLO....15
Conclusioni....16

TAVOLE:
- Tavola 1: Corografia – scala 1:10.000;
- Tavola 2: Inquadramento geomorfologico – scala 1:10.000;
- Tavola 3: Inquadramento geologico – scala 1:10.000;
- Tavola 4: Idrografia ed inquadramento idrogeologico – scala 1:10.000.

ALLEGATI:
- Allegato 1: Estratto carta di pericolosità geomorfologica di P.R.G.C. – scala 1:10.000;
- Allegato 2: Elaborati indagini geofisiche.

Premessa

Il presente studio ha la finalità di effettuare la modellazione geologica dell'area situata in corrispondenza del Cimitero Comunale di Barengo (No), dove è prevista la realizzazione di un nuovo edificio votivo.

L'indagine è stata effettuata ai sensi delle *Norme Tecniche per le Costruzioni* (NTC) emanate con D.M. 14.01.2008 e della loro Circolare esplicativa n. 617 del 02.02.2009, e delle Norme Tecniche di Attuazione del vigente studio geologico-tecnico di Piano Regolatore Comunale, che rimandano espressamente al D.M. 11.03.1988 *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"* ed alla sua Circolare esplicativa n. 30487 del 24.09.1988.

I risultati ottenuti vengono riportati nella presente relazione tecnica che analizza, per la ricostruzione del modello geologico del sito, le caratteristiche di una zona significativamente estesa, in relazione al tipo di opera ed al contesto geologico in cui questa si colloca, ed in particolare descrive:

- l'ubicazione geografica del sito e la sua collocazione nelle cartografie comunali di P.R.G.;
- le principali morfologie presenti nel territorio, i dissesti in atto o potenziali, la loro tendenza evolutiva ed il grado di pericolosità geomorfologica del sito;
- il quadro geologico e strutturale del territorio con la distribuzione spaziale dei litotipi affioranti, la loro origine e le loro principali caratteristiche, e l'eventuale presenza di superfici di discontinuità;
- le caratteristiche di circolazione idrica superficiale e sotterranea e l'assetto litostratigrafico locale;
- la caratterizzazione della pericolosità sismica del sito e della risposta simica locale;
- considerazioni geologiche relative agli specifici interventi da realizzare, con evidenziate le eventuali incertezze del modello elaborato;
- la compatibilità dei nuovi interventi con l'assetto geologico locale.

A corredo dello studio sono presenti opportuni elaborati grafici ed allegati, volti a meglio illustrare le considerazioni espresse nella presente relazione tecnica e le attività di indagine svolte.

1. UBICAZIONE AREA DI INTERVENTO

1.1. Ubicazione geografica

L'area di intervento è ubicata ad Est del centro abitato di Barengo (No), oltre la sede della S.P. n°21, alle seguenti coordinate geografiche medie (tav. 1):

- WGS84: lat. 45,575988° long. 8,5188773°;
- ED50: lat. 45,576926° long. 8,519954°.

Per la redazione delle tavole di inquadramento geomorfologico, geologico, idrografico ed idrogeologico è stata utilizzata come base cartografica la sezione 116030 *"Momo"* della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000.

1.2. Ubicazione Carta di sintesi dello studio geologico di P.R.G.C.

Come si può osservare dalla vigente *"Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica"* allegata allo studio geologico di P.R.G.C. (si veda estratto in all. 1), l'area di intervento appartiene alla *"Classe I di idoneità geomorfologica all'utilizzazione urbanistica"*, che individua "*porzioni di territorio dove le condizioni di pericolosità geomorfologica sono tali da non porre limitazioni alle scelte urbanistiche".*

2. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Dalla visione degli elaborati di progetto si evince come l'intervento consista nella realizzazione di un nuovo edificio, all'interno dell'attuale perimetro cimiteriale, di forma rettangolare con dimensioni in pianta di circa 10 m x 18 m, per un'altezza massima fuori terra di circa sei metri, che consentirà la posa di nuove edicole e colombari.

Le specifiche tecniche dell'opera, così come definite dal Progettista e dalla Committenza, sono riportate nella tabella seguente (tab. 2.1).

Vita Nominale (V_N)	50 anni
Tipo di costruzione	Tipo 2
Classe d'uso (C_U)	Classe II

Tab. 2.1 – Specifiche tecniche dell'opera.

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area di studio è situata nella porzione occidentale della piana fluvioglaciale del Torrente Agogna, il cui corso dista circa 1,5 km più ad Est.

La conformazione topografica è strettamente connessa alla sua genesi glaciale e post-glaciale: la morfologia del territorio è infatti il risultato della successione dei fenomeni di deposito ed erosione che si sono verificati durante il Quaternario, seguita al sollevamento post-pliocenico. Le morfologie più evidenti sono di tipo fluvioglaciale e sono rappresentate principalmente da vasti sistemi terrazzati, presenti in modo particolare nel settore occidentale dell'area, che digradano verso il corso del Torrente Agogna e dei suoi tributari minori.

Dall'esame della carta geomorfologica (tav. 2) è possibile osservare come la parte centro-orientale del settore di studio, dove si imposta l'area di intervento, si presenti prevalentemente pianeggiante, anche se si rileva una debole pendenza a S-SE, verso il corso del Torrente Agogna. I terrazzamenti di origine fluvioglaciale sono molto modesti e poco distinguibili nel paesaggio attuale.

Questo settore si raccorda, circa 600 m più ad Ovest, con l'altopiano fluvioglaciale mindeliano, mediante un terrazzo molto pronunciato, con direzione prevalente NNW-SSE ed inclinazione verso Est, che genera un dislivello di circa 30 metri con pendenze superiori al 30%. Questo terrazzo si estende senza soluzione di continuità, e mantenendo la stessa direzione prevalente, verso Nord fino a Soriso e verso Sud fino a Proh. Risulta inciso da alcuni corsi d'acqua secondari o fossi colatori, che formano vallecole di ruscellamento con versanti molto acclivi, soggetti al verificarsi di fenomeni di tipo gravitativo (scivolamenti superficiali passanti a colate).

In dettaglio, il Cimitero Comunale è ubicato ad una quota di circa 216 m s.l.m., ad una distanza di circa 100 m dalla sponda destra di un corso d'acqua di modesta importanza denominato Rio Rho.

3.1. Evoluzione geomorfologica in atto e vulnerabilità geomorfologica

La tendenza evolutiva del sito di intervento è a grande scala strettamente connessa con l'azione degli agenti erosivi (principalmente ruscellamento delle acque superficiali ed azione eolica), che interagiscono andando a modificare lentamente il profilo morfologico dei terreni attuali. Tuttavia il settore sede di intervento non è interessato da dissesti in atto o incipienti, o da rilevanti processi geomorfologici accelerati, ed è situato in un'area distante circa 560 m dalla base del versante occidentale. Dall'esame delle cartografie dello studio geologico di P.R.G.C., inoltre, risulta esente da problematiche di tipo idraulico legate alla vicina presenza del Rio Rho.

Pertanto, il grado di vulnerabilità geomorfologica del sito, in accordo con la classificazione geologica di P.R.G.C., è modesto ed è rappresentato principalmente dalla presenza di una falda superficiale periodicamente a bassa soggiacenza e di terreni superficiali di riporto e/o rimaneggiati eterogenei o scarsamente addensati.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Per redigere l'inquadramento geologico generale dell'area di studio è stata visionata una numerosa documentazione, tra cui il Foglio 44 *"Novara"* (1967) della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000.

Le formazioni geologiche affioranti nell'area di studio sono essenzialmente di origine alluvionale quaternaria, come per tutta la pianura situata a Nord di Novara che si estende verso settentrione fino alle prime cerchie moreniche che bordano a Sud i grandi laghi subalpini. Tali formazioni geologiche, costituite da depositi continentali quaternari di natura fluvioglaciale o fluviale, come si evince dall'esame della cartografia di tav. 3, a partire dall'unità più antica sono le seguenti:

- alluvioni fluvioglaciali del Mindel;
- alluvioni fluvioglaciali del Würm-Riss;
- depositi di conoide alluvionale dell'Olocene.

Alluvioni fluvioglaciali del Mindel

Sono depositi rappresentati da alluvioni fluvioglaciali ciottolose, grossolane, frequentemente ferrettizzate per uno spessore fino a 3 metri, con ciottoli

profondamente alterati di colore rosso-bruno. Sono di origine mindeliana e la loro facies fluvioglaciale è ben rappresentata da un'alternanza di strati ghiaiosi o ghiaioso-ciottolosi, di strati sabbiosi o argilloso-sabbiosi e di livelli argillosi. La colorazione d'insieme, tipicamente rossastra, è da mettere in relazione alla profonda alterazione dei materiali che li compongono, che talvolta è così spinta da provocare una quasi completa argillificazione e decalcificazione degli elementi, crescente man mano che ci si avvicina alla superficie. Il paleosuolo, potente circa 3 metri, è costituito da argille rosse inglobanti ciottoli quarzitici pressoché integri, nonché resti di ciottoli granitico-gneissici e micascistosi molto alterati e disgregabili al tatto; talvolta è ricoperto da una coltre, potente qualche metro, di loëss mindeliano di colore rosso-bruno, completamente argillificato ed indurito, in cui non si riscontra più traccia di materiali a granulometria grossolana. Il contatto tra il paleosuolo ed il soprastante loëss è dato da una ben definita superficie di erosione, a testimonianza della posteriorità dell'accumulo eolico. Affiorano nel settore occidentale dell'area di studio, altimetricamente più elevato, e sono riconducibili al Pleistocene Medio.

Alluvioni fluvioglaciali del Würm-Riss

Sono depositi costituiti da un complesso omogeneo di ghiaie debolmente alterate e sabbie, localmente molto grossolane, la cui composizione petrografica è formata da graniti, scisti, porfidi e gneiss, originari della zona Cusio-Ossola. Hanno un paleosuolo di colore giallo-rossiccio di spessore inferiore al metro, talora ricoperto da depositi löessici. La loro origine viene fatta risalire al periodo cataglaciale compreso tra il Riss ed il Würm. Affiorano nella porzione centro-orientale dell'area di studio e rappresentano i terreni affioranti in corrispondenza dell'area di intervento, riconducibili al Pleistocene Superiore.

Depositi di conoide alluvionale dell'Olocene

Questi depositi si sono originati in epoca post-glaciale, per opera dell'ingente apporto detritico operato da corsi d'acqua laterali nel punto di confluenza nella piana. Sono caratterizzati da una granulometria estremamente variabile, che tende in linea generale ad essere massima (blocchi, ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa) in corrispondenza dell'apice, per poi diminuire gradualmente man mano che ci si allontana verso il settore più depresso della conoide (sabbie, limi ed argille).

5. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROLOGICO

L'elemento idrografico principale è costituito dal Torrente Agogna e dai suoi numerosi affluenti e canali di derivazione (tav. 4).

Il Torrente Agogna scorre circa 1,5 km ad Est dell'insediamento; nasce dalle pendici del Mottarone (*"Alpe della Volpe"*, 1491 m s.l.m.) e scorre con andamento Nord-Sud, passando in poco più di 140 km dai 964 m s.l.m. della sorgente, ai circa 77 m s.l.m. del suo sbocco nel Po presso Pavia. Nel tratto di interesse il suo alveo, che si imposta al centro dell'ampia piana fluvioglaciale, è di tipo meandriforme, a sezione trapezia, per lo più privo di protezioni di sponda. Dall'esame delle cartografie del P.A.I. si evince come l'area di intervento sia esterna alle sue aree di esondazione.

Circa 100 m più ad Est scorre il Rio Rho, un corso d'acqua che nasce in località *"Cascina Ciavoni"*, nel territorio comunale di Fontaneto d'Agogna ad una quota di circa 330 m s.l.m., con il nome di Fosso Romenorio, e scorre con deflusso prevalente Nord-Sud, meandriforme, andando ad erodere l'altopiano occidentale fino all'altezza della località *"Vallone"*, dove sfocia nella piana fluvioglaciale per scorrere parallelo al corso del Torrente Agogna fino a confluire nella Roggia Guida.

Tutti questi corsi d'acqua sono soggetti a problematiche di tipo idraulico che si

manifestano in occasione di intensi eventi meteorici. L'area oggetto di intervento, tuttavia, risulta esterna alle zone di possibile esondazione, relative anche ai più intensi eventi meteorologici degli ultimi anni, come si evince dalle cartografie di P.R.G.C..

Da segnalare inoltre la presenza di numerosi canali e fossi artificiali, realizzati in passato a scopo irriguo. Frequenti sul territorio anche le manifestazioni sorgentizie ed i fontanili, e laghetti derivanti da cessate attività di cava.

La direzione di scorrimento delle acque superficiali ruscellanti inoltre è influenzata dalla locale conformazione topografica e dalle modificazioni indotte dall'attività antropica, e tende a dirigersi verso Sud.

6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

6.1. Caratteristiche idrogeologiche del territorio

La circolazione idrica sotterranea è profondamente condizionata dalle caratteristiche litologiche e tessiturali dei depositi presenti. Come identificato dalla letteratura idrogeologica (*"Idrogeologia della Pianura Piemontese"*, Regione Piemonte 2005), i depositi affioranti nell'area di studio appartengono ai seguenti Complessi Idrogeologici, cioè zone idrogeologicamente omogenee, la cui distribuzione areale è stata riportata in Tavola 4:

- Complesso dei Depositi fluvioglaciali del Mindel;
- Complesso dei Depositi fluviali-fluvioglaciali del Würm-Riss.

Complesso dei Depositi fluvioglaciali del Mindel

È rappresentato da ghiaie e ciottoli profondamente alterati in materiale limoso-argilloso che ne riduce sensibilmente le caratteristiche di permeabilità ($k = 10^{-5} \div 10^{-7}$ m/s). La presenza di un paleosuolo argilloso di spessore metrico ostacola l'infiltrazione in profondità delle acque meteoriche, favorendo viceversa il ruscellamento superficiale. Costituisce i depositi che affiorano nel settore occidentale dell'area di studio, maggiormente rilevata.

Complesso dei Depositi fluviali-fluvioglaciali del Würm

È rappresentato da materiali principalmente grossolani (ghiaie e sabbie), privi di significative frazioni a granulometria fine, a permeabilità elevata ($k = 10^{-3} \div 10^{-5}$ m/s). Questo complesso costituisce la piana del Torrente Agogna ed affiora in corrispondenza dell'area di intervento. Si estende in profondità per circa 40 m, e contiene al suo interno una falda di tipo libero con sporadiche falde sospese dovute alla presenza di lenti a granulometria fine, di ridotto spessore.

L'area di intervento è compresa nell'area di salvaguardia di un pozzo idropotabile dell'Acquedotto distante circa 170 m più a Nord-Est, la cui gestione è normata dalla D.P.G.R. 11 dicembre 2006 n. 15/R.

6.2. Caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo

Dalle conoscenze pregresse disponibili, in modo particolare dalla stratigrafia del vicino posso idropotabile, è possibile identificare la seguente sequenza litostratigrafica:

- dal p.c. fino a circa 40-50 m di profondità: depositi granulari costituiti principalmente da ghiaie e ciottoli con sabbia, a pezzatura grossolana soprattutto nei primi dieci metri, mentre più in profondità si rileva la presenza di una frazione limoso-argillosa, organizzata in straterelli o lenti con spessore variabile e generalmente inferiore ai cinque metri. Sono delimitati alla base da uno strato argilloso con buona continuità areale, e rappresentano, almeno nella loro frazione di tetto, i materiali del *"Complesso idrogeologico dei Depositi fluviali-fluvioglaciali del Würm-Riss"* affiorante in superficie.
- da 40-50 m fino a oltre 160 m di profondità: depositi costituiti da un'alternanza di strati a componente limoso-argillosa e con permeabilità ridotta (prevalenti), e di strati formati da ghiaie con un buon grado di permeabilità, dove si impostano i filtri dei pozzi idropotabili comunali. Rappresentano i materiali del *"Complesso idrogeologico dei Depositi villafranchiani"*.

I depositi del *"Complesso idrogeologico dei Depositi fluviali-fluvioglaciali del Würm-Riss"* definiscono un acquifero monostrato delimitato a letto da un ben definito strato argilloso impermeabile, dove si imposta una falda libera superficiale. Più in profondità il *"Complesso idrogeologico dei Depositi villafranchiani"* definisce un acquifero multistrato, caratterizzato dalla presenza di materiali a bassa permeabilità intervallati da lenti di materiale granulare, dove si impostano falde confinate sovrapposte; in questo Complesso di impostano i principali filtri dei pozzi idropotabili dell'acquedotto.

6.3. Caratteristiche del deflusso idrico sotterraneo

Dall'esame dell'andamento delle isofreatiche riportate in tav. 4, ricostruite sulla base delle cartografie comunali (rif. Relazione geologica di supporto alla variante strutturale di PRGC, Rivolta 2015), si evince come la direzione del flusso idrico sotterraneo della falda superficiale nell'area di interesse sia principalmente NW-SE, con gradienti dello 0,6%, ed il deflusso delle acque sotterranee sia profondamente condizionato dagli elementi idrografici superficiali, in modo particolare dal Torrente Agogna che da un punto di vista idrogeologico costituisce un ampio asse drenante.

In corrispondenza dell'area di intervento la falda superficiale si imposta ad una profondità di pochi metri, con un valore medio di circa 3 m. Dall'esame dei dati storici di soggiacenza si evince come l'entità delle oscillazioni del suo livello, stagionali ed annuali, possono raggiungere valori anche superiori ai 2 m.

I bassi valori di soggiacenza della falda sono tali da dare luogo in alcuni punti ad emergenze in corrispondenza di aree depresse o di scavi.

7. CARATTERIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO

La pericolosità sismica del sito costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La caratterizzazione è stata eseguita secondo l'approccio semplificato descritto al p.to 3.2.2 delle NTC, ed è consistita nella determinazione della pericolosità sismica di base e della risposta sismica locale.

7.1. Ubicazione sismica

Nell'Allegato 1 *"Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone"* dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di*

normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i., viene definita, per ogni comune del territorio italiano, la zona sismica di appartenenza, in funzione del valore di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Il Comune di Barengo appartiene alla *"zona 4"*, contraddistinta da un grado di sismicità molto basso.

La Regione Piemonte ha proceduto all'adeguamento delle zone sismiche con D.G.R. n. 11-13058 del 19 gennaio 2010, sulla base dei risultati di uno studio affidato al Politecnico di Torino in collaborazione con il Centro Eucentre di Pavia, e queste sono in vigore dal 01.01.2012 per effetto dalla D.G.R. n. 4-3084 del 12 dicembre 2011. Il Comune di Barengo resta classificato in *"zona 4"*.

7.2. Pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato, denominato *"periodo di riferimento"* (V_R); la relativa probabilità è detta *"probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento"* (P_{VR}).

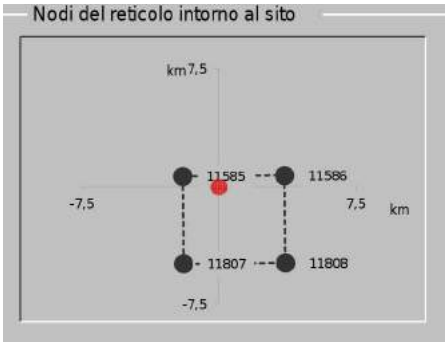
Ai sensi delle NTC, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale (di categoria T1), in condizioni di campo libero.

In funzione delle coordinate geografiche del sito (rif. par. 1.1), servendosi dei dati elaborati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e tabulati nell'Allegato B alle NTC, è possibile ricavare i seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g: accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^*: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I valori sono stati ottenuti mediante interpolazione per media ponderata, utilizzando il software *"Spettri NTC ver. 1.0.3"* fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. I valori così determinati vengono riportati nella tabella seguente (tab. 7.1) in funzione del *"periodo di ritorno del sisma"* (T_R).

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,014	2,556	0,160
50	0,018	2,522	0,170
72	0,021	2,581	0,174
101	0,024	2,569	0,214
140	0,027	2,579	0,226
201	0,030	2,587	0,240
475	0,037	2,601	0,278
975	0,045	2,630	0,299
2475	0,055	2,740	0,321



Tab. 7.1 – Pericolosità sismica di base del sito per i diversi T_R.

I valori relativi ai periodi di ritorno del sisma T_R associati ai diversi stati limite relativi ad un suolo di riferimento rigido orizzontale, per una strategia progettuale di norma e per le specifiche dell'opera indicate in tab. 2.1, sono riportati nella tabella seguente (tab. 7.2), mentre i relativi spettri di risposta sono riportati in fig. 7.2.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,014	2,556	0,160
SLD	50	0,018	2,522	0,170
SLV	475	0,037	2,601	0,278
SLC	975	0,045	2,630	0,299

Tab. 7.2 – Pericolosità sismica di base del sito relativa ai diversi stati limite.

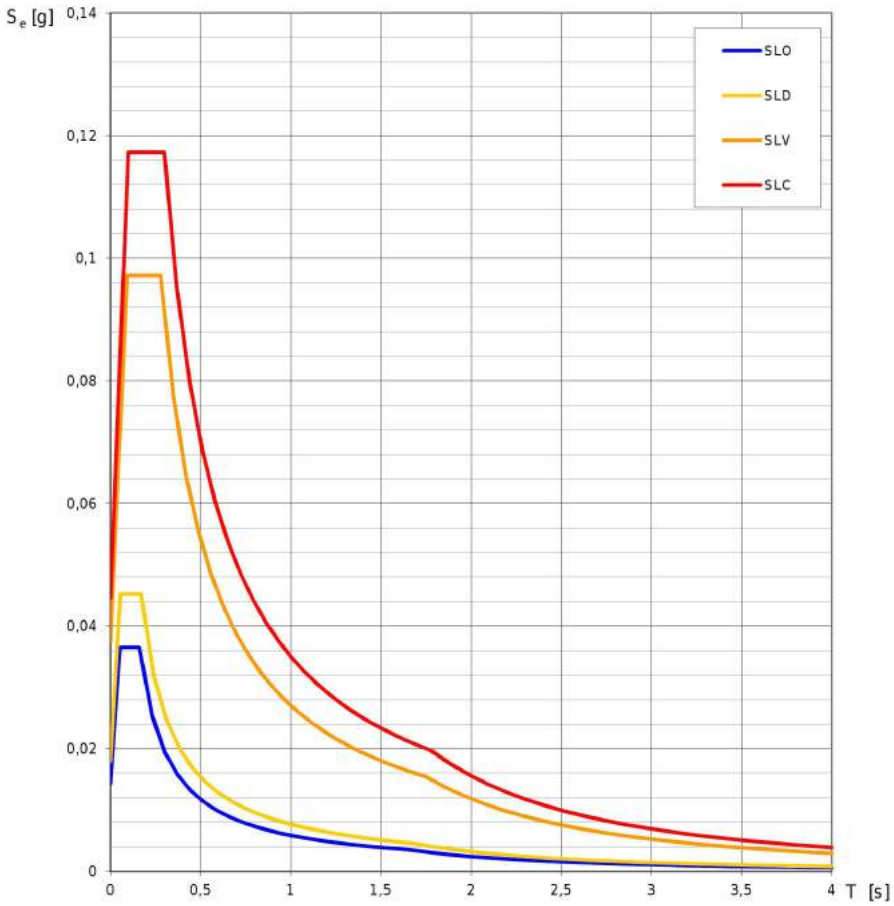


Fig. 7.1 – Spettri di risposta elastici su suolo di riferimento rigido orizzontale.

7.3. Indagini geofisiche

Per la caratterizzazione sismica del sito, indispensabile per determinare la risposta sismica locale, in data 23.02.2016 sono state eseguite le seguenti indagini non invasive:

- una misurazione dei microtremori con metodologia sismica HVSR, per determinare la frequenza caratteristica di risonanza del terreno;
- n.2 prove geofisiche di tipo MASW per misurare la velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità ($V_{S,30}$).

Le indagini sono state seguite direttamente dallo scrivente, che ne certifica l'esatta esecuzione in quanto abilitato ai sensi dell'art. 41 del D.P.R. 328/01.

7.3.1. Ubicazione delle indagini eseguite

La prova HVSR è stata eseguita in corrispondenza della prova penetrometrica P2 (rif. tav. 1 della *Relazione geotecnica*), mentre le prove MASW, necessitando di

maggiore spazio, sono state eseguite nel campo situato immediatamente ad Ovest del cimitero, ad una distanza di circa 5 m dal muro di cinta.

7.3.2. Strumentazione utilizzata

L'indagine geofisica è stata effettuata impiegando la seguente strumentazione:

- sismografo a tre canali Echo Tromo HVSR 3;
- geofono 3D per misure HVSR;
- geofoni orizzontali e verticali con frequenza di 4,5 Hz;
- sorgente impulsiva costituita da una mazza battente da 6 kg e piastra di battuta in duralluminio;
- software geopsy e dinver (by Marc Wathelet, ISTerre, Grenoble, France).

7.4. Prova geofisica HVSR

La tecnica dei rapporti spettrali HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*), proposta da Nogoshi e Igarashi (1971) e diffusa da Nakamura (1989), viene utilizzata per individuare la frequenza caratteristica di risonanza del sito, parametro fondamentale per il corretto dimensionamento delle strutture in termini di risposta sismica locale. Infatti si dovranno evitare, o realizzare con adeguate precauzioni, strutture con frequenza fondamentale di risonanza pari alla frequenza caratteristica di risonanza del sito, al fine di evitare durante il verificarsi di un evento sismico l'effetto della *"doppia risonanza"*.

Questa tecnica, di tipo passivo, consiste nella misurazione del rumore sismico ambientale (*microtremore*) mediante l'impiego di tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra di loro ad alta definizione contenuti in un geofono triassiale, e nella stima del rapporto tra lo spettro di ampiezza delle componenti orizzontali e quello della componente verticale (rapporto H/V). La presenza di un picco nella curva H/V ad una certa frequenza è indice che tale frequenza può essere amplificata in caso di sisma.

In fase operativa il microtremore è stato registrato nelle sue tre componenti alla frequenza di 311 Hz per un tempo complessivo di campionamento di 30'.

Il calcolo del rapporto H/V ha previsto le seguenti fasi:

- scomposizione del segnale in finestre temporali da 25 s ed eliminazione dei rumori transitori o transienti;
- calcolo e smussamento dello spettro di ampiezza ricavato tramite la trasformata di Fourier per ognuna delle finestre temporali su tutte e tre le componenti;
- combinazione, con un'operazione di media, delle due componenti orizzontali per ognuna delle finestre temporali;
- calcolo del rapporto H/V per ogni finestra temporale;
- calcolo della media dei rapporti H/V delle singole finestre, che rappresenta la curva H/V definitiva.

7.4.1. Dati ed interpretazione dei risultati ottenuti

La curva H/V ottenuta, riportata in Allegato 2, mostra un picco alla frequenza di 21,32 Hz che soddisfa i criteri SESAME (*Site Effects Assessment Using Ambient Exitations, 2005*). Questo picco corrisponde al contrasto di velocità individuato negli strati più superficiali del sottosuolo, dal contatto tra lo strato di terreno rimaneggiato ed i terreni sottostanti, a circa -1,5/-2 m dal p.c..

Più in profondità non si rileva alcun picco, indice di un terreno omogeneo e compatto, almeno fino alla quota di propagazione del segnale, che non dà luogo a fenomeni di amplificazione.

7.5. Prove geofisiche MASW

La metodologia MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) viene utilizzata per individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_S basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

La caratteristica principale delle onde di superficie (onde di Rayleigh e onde di Love) è quella di viaggiare ad una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla loro propagazione. In un mezzo stratificato sono dispersive, cioè ciascuna componente di frequenza dell'onda ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda. In particolare le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori) sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte) hanno energia minore ed una capacità di penetrazione superficiale.

Il metodo MASW consiste nel determinare il profilo verticale della velocità delle V_S attraverso l'analisi delle modalità di dispersione delle onde di superficie, con le seguenti operazioni:

- acquisizione delle onde superficiali;
- determinazione dello spettro di velocità, dal quale vengono estratte le proprietà dispersive delle onde di superficie;
- inversione della curva di dispersione.

Per ottenere un profilo V_S bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga, generato da una sorgente sismica quale ad esempio una massa battente, e registrarlo attraverso appositi geofoni, minimizzando il rumore.

Durante l'acquisizione del segnale, l'energizzazione genera simultaneamente, oltre alle onde piane, una molteplicità di tipi diversi di onde, con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. L'impiego di un metodo di registrazione multicanale consente il riconoscimento dei diversi comportamenti delle onde in arrivo, permettendo di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti onde sismiche.

Nell'indagine in sito sono state fatte le seguenti prove:

- misura RVF con geofoni orizzontali, che permette di acquisire la componente radiale delle onde di Rayleigh;
- misura ZVF con geofoni verticali, che permette di acquisire la componente verticale delle onde di Rayleigh.

Sul campo le misure sono state eseguite in modo tale da ricostruire uno stendimento di 24 geofoni con interdistanza geofonica di 2 metri, per una lunghezza complessiva di 46 metri, con offset minimo (*mo*) di 10,0 m. Le acquisizioni sono state fatte ad una frequenza di 1.244 Hz con un tempo di acquisizione di 2,0 s.

7.5.1. Dati ed interpretazione dei risultati ottenuti

I risultati ottenuti sono riportati in dettaglio in Allegato 2, dove si possono osservare per ogni singola prova:

- il sismogramma acquisito durante la misurazione in sito;
- lo spettro di velocità da cui è stata estratta la curva di dispersione;
- il confronto tra la curva di dispersione estratta dallo spettro e quella calcolata dal modello elaborato;
- il modello del terreno, con il profilo di velocità delle onde di taglio V_S.

I risultati ottenuti sono confrontabili e compatibili con l'assetto litostratigrafico locale. Si sottolinea tuttavia il fatto che la stratigrafia individuata è sismicamente equivalente e ragionevolmente prossima a quella reale, anche se probabilmente non esattamente coincidente.

7.6. Risposta sismica locale

La risposta sismica locale è stata effettuata mediante la determinazione dell'amplificazione stratigrafica e morfologica del sito, rispetto alla condizione del sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A e T1).

7.6.1. Amplificazione stratigrafica

Gli effetti di amplificazione stratigrafica sono stati tenuti in considerazione mediante la determinazione della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità dal piano di imposta delle fondazioni ($V_{S,30}$), calcolata mediante l'utilizzo della seguente espressione:

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} [m/s]$$

dove:

- h_i : spessore dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;
- $V_{S,i}$: velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- *N*: numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità.

Nelle tabelle seguenti (tabb. 7.3 e 7.4) sono riportati i valori calcolati, riferendosi cautelativamente al piano campagna.

CALCOLO $V_{S,30}$				
da m	**a m**	**Vs [m/s]**	**Hi [m]**	**Hi/Vi**
0,0	1,2	235	1,2	0,0052
1,2	3,2	239	2,0	0,0083
3,2	6,4	349	3,2	0,0092
6,4	15,3	367	8,9	0,0241
15,3	16,9	431	1,6	0,0037
16,9	30,0	471	13,1	0,0278
		SOMMA	30,0	0,0784
			$V_{S,30}$ [m/s]	**382,72**

Tab. 7.3 – Calcolo $V_{S,30}$ da misura RVF.

CALCOLO $V_{S,30}$				
da m	**a m**	**Vs [m/s]**	**Hi [m]**	**Hi/Vi**
0,0	2,6	235	2,6	0,0110
2,6	3,2	257	0,6	0,0025
3,2	3,8	295	0,6	0,0021
3,8	4,2	339	0,3	0,0009
4,2	17,6	378	13,4	0,0355
17,6	25,7	398	8,1	0,0203
25,7	29,5	418	3,8	0,0092
29,5	30,0	569	0,5	0,0009
		SOMMA	30,0	0,0824
			$V_{S,30}$ [m/s]	**364,24**

Tab. 7.4 – Calcolo $V_{S,30}$ da misura ZVF.

Dai valori calcolati e dalla conoscenza delle caratteristiche litostratigrafiche, è possibile attribuire al sito la *categoria di sottosuolo B*, che individua *"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30}$ > 50 nei terreni a grana grossa e $c_{u,30}$ > 250 kPa nei terreni a grana fina)"* (rif. tab. 3.2.II NTC).

7.6.2. Amplificazione topografica

Per quanto concerne gli effetti di amplificazione topografica legati alla conformazione del piano campagna, il sito appartiene appartiene alla categoria topografica T1, che individua *"superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°"* (rif. tab. 3.2.IV NTC).

7.6.3. Definizione dell'accelerazione massima attesa in superficie

Il valore dell'accelerazione massima attesa in superficie A_{max} può essere ottenuto dalla seguente relazione:

$$A_{max} = S_S \times S_T \times a_g$$

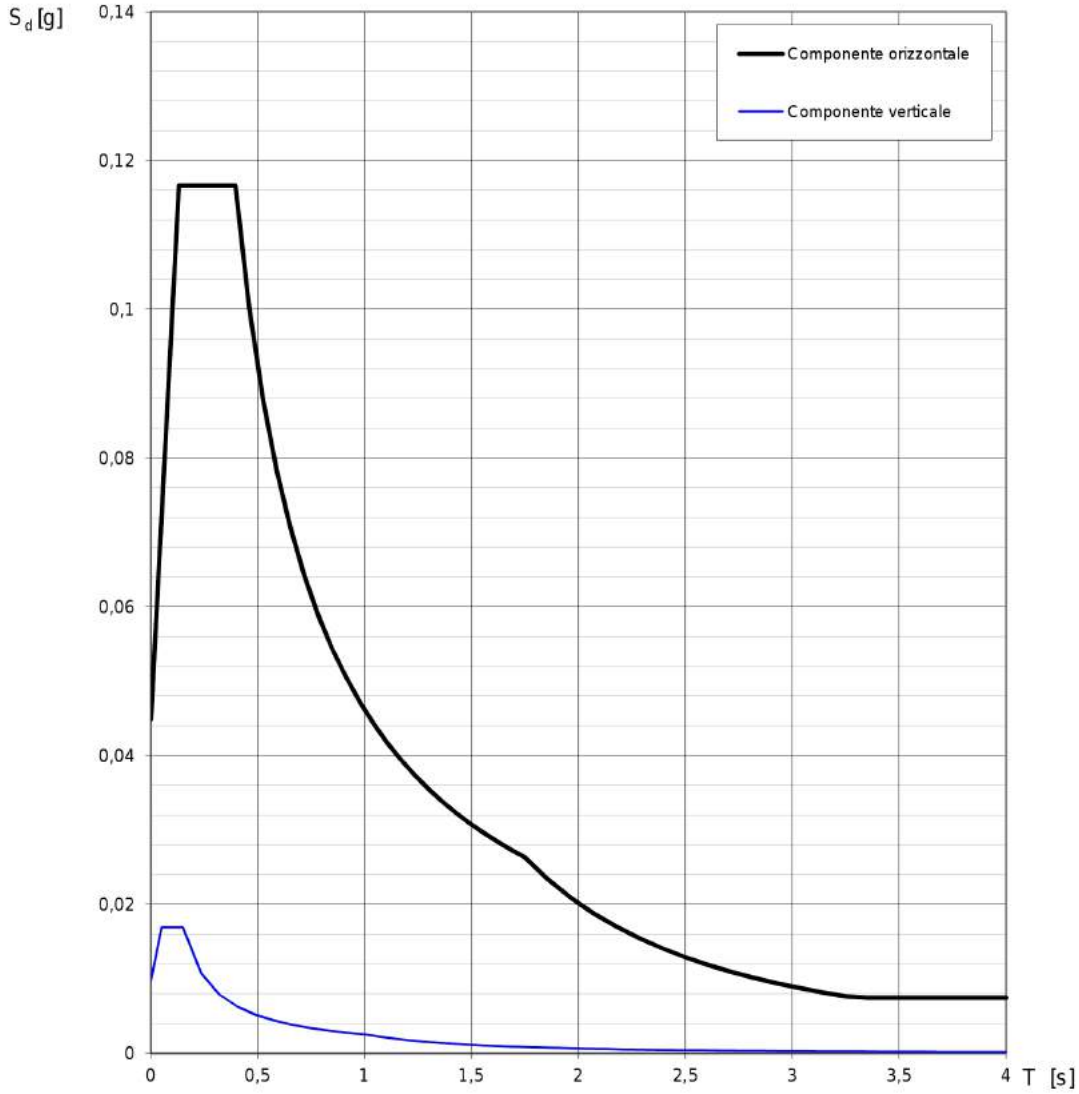
I risultati ottenuti, relativi ai diversi stati limite, sono riportati nella tabella seguente (tab. 7.5).

	S_S	S_T	A_{max} [g]
SLO	1,20	1,00	0,0168
SLD	1,20	1,00	0,0216
SLV	1,20	1,00	0,0444
SLC	1,20	1,00	0,0540

Tab. 7.5 – Valori dell'accelerazione massima attesa in superficie per i diversi stati limite.

7.7. Spettri di risposta elastici

Gli spettri di risposta elastici in accelerazione per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), riferiti ad uno smorzamento convenzionale del 5%, sono riportati nella figura seguente.



Dall'analisi dello spettro di risposta elastico relativo alla componete oprizzontale si ricava il seguente coefficiente sismico (effetto cinematico):

$$Khk = A_{max}/g \times \beta_S = 0{,}0444 \times 0{,}20 = 0{,}009$$

8. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE SUGLI INTERVENTI IN PROGETTO, PRESCRIZIONI ED INCERTEZZE DEL MODELLO

Le osservazioni condotte sull'assetto geologico del sito, pur non evidenziando problematiche tali da sconsigliare l'esecuzione degli interventi in progetto, hanno rilevato alcuni elementi di possibile pericolosità riconducibili alla presenza:

1. di una falda a ridotta soggiacenza;
2. di terreni di copertura con caratteristiche geotecniche scadenti.

Il primo aspetto è superato dal fatto che nell'edificio in progetto non è prevista la realizzazione di vani interrati. Tuttavia, le nuove opere fondazionali dovranno essere dimensionate considerando l'effetto di saturazione dei terreni. Si consiglia inoltre, per evitare l'insorgere di umidità da risalita capillare, la posa di adeguati impermeabilizzazioni e drenaggi.

Il secondo aspetto è stato indagato nel dettaglio con la realizzazione di specifiche indagini geotecniche in sito, consistenti in n. 3 prove penetrometriche, i cui risultati, riportati nell'elaborato *Relazione geotecnica* al quale si rimanda, hanno rilevato uno spessore massimo dei terreni di copertura a caratteristiche geotecniche eterogenee di circa 1,8 m. Le nuove fondazioni, pertanto, dovranno approfondirsi per superare questi terreni scarsamente addensati ed impostarsi nel sottostante substrato ghiaioso-ciottoloso addensato.

Il giudizio di attendibilità del modello geologico elaborato può essere definito come *"buono"*, ed il maggiore grado di incertezza è dato dalla non perfetta conoscenza dei dati puntuali sull'andamento del livello freatico della falda nel tempo.

Dopo aver analizzato nel dettaglio gli elementi geologici che determinano il grado di pericolosità del sito attribuito dalla cartografia di P.R.G.C., si può quindi affermare che l'intervento in progetto non sia tale da comportare un aumento della pericolosità geomorfologica, geologica ed idrogeologica per un intorno significativo del sito di studio.

Inoltre il rischio geologico connesso con le opere in progetto, definito come probabilità che un determinato evento naturale si verifichi incidendo sull'ambiente fisico in modo tale da recare danno all'uomo e alle sue attività, è modesto.

Conclusioni

Lo studio geologico condotto sull'area dove verrà realizzato il nuovo intervento edilizio ha evidenziato i seguenti aspetti:

- l'area è ubicata ad Est del centro abitato di Barengo, ed appartiene alla *"Classe I"* di PRGC, che non evidenzia limitazioni d'uso;
- da un punto di vista geomorfologico l'area è situata nella porzione occidentale della valle del Torrente Agogna, e non presenta una pericolosità tale da sconsigliare l'esecuzione dell'intervento in oggetto;
- la sua tendenza evolutiva è a grande scala strettamente connessa con l'azione degli agenti erosivi, ma non sono in atto processi geomorfologici accelerati;
- la pericolosità geomorfologica intrinseca del sito è riconducibile alla presenza di una falda superficiale a ridotta soggiacenza ed alla possibile presenza di terreni superficiali di riporto e/o rimaneggiati eterogenei o scarsamente addensati;
- in corrispondenza del sito di intervento affiorano depositi fluvioglaciali del Würm-Riss, formati da un complesso omogeneo di ghiaie debolmente alterate e sabbie;
- l'area di intervento, come si evince dalle cartografie di PRGC, è esterna alle zone di possibile esondazione dei principali corsi d'acqua superficiali;
- in corrispondenza dell'area di intervento i depositi presenti definiscono un complesso idrogeologico a permeabilità elevata, con potenza stimabile in circa 40-50 m e poggiante sui depositi sabbioso-argillosi villafranchiani;
- in questo complesso si imposta un acquifero a falda libera, monostrato, con direzione di flusso prevalente NW-SE, gradienti dello 0,6% valori di soggiacenza medi di circa 3 m, con oscillazioni stagionali ed annuali anche superiori ai 2 m;
- il sito possiede una pericolosità sismica di base molto bassa, tipica di una *"zona 4"* sismica, ed al cap. 7 è stata analizzata la sua risposta locale sulla base di specifiche indagini geofisiche in sito, che ha rilevato una possibile amplificazione stratigrafica compatibile con la categoria di sottosuolo B (rif. tab. 3.2.II NTC);
- il giudizio di attendibilità del modello geologico elaborato del sito di intervento può essere definito come *"buono".*

In conclusione, dopo aver analizzato nel dettaglio gli elementi geologici dell'area di studio, si può affermare che l'insieme delle osservazioni condotte evidenzi un quadro sostanzialmente idoneo per l'esecuzione degli interventi in progetto, non rilevandosi particolari limitazioni di carattere geologico che non possano essere compensate con provvedimenti particolari a livello di singolo lotto, nel rispetto delle considerazioni riportate al Capitolo 8, al quale si rimanda; l'intervento è quindi compatibile con la geologia locale.

Il presente studio a carattere generale dovrà essere verificato in fase esecutiva. Pertanto se durante l'esecuzione dell'opera si dovessero rinvenire condizioni geologiche difformi da quanto previsto in questa relazione sarà opportuno rivedere le conclusioni e contattare il consulente geologo. Inoltre qualsiasi significativa variante che si voglia adottare all'attuale progetto cui si è fatto riferimento dovrà essere analizzata anche sotto il profilo geologico.

Stralcio sezione C.T.R. 116030 "Momo"

N

Area di intervento

Coordinate geografiche medie:

WGS84	lat.	45,575988°
	long.	8,5188773°
ED50	lat.	45,576926°
	long.	8,519954°

Dott. Geol. Mattia BERTANI
Ordine dei Geologi del Piemonte n.588
Casale Tabuloni, 32 - 28021 Borgomanero (No)
tel. 0322 843722 - fax. 0322 060155 - cell. 349 1884498
www.studiobertani.it - e-mail: mattia.bertani@atdot.it

Località: Cimitero Comunale
Comune di Barengo (No)

Titolo: Corografia

N. Tavola: 1

Commessa:	File:		
rif. 574-16	barengo_cimitero_geo_tav1.pdf		
Rev: 00	Data emissione: Giugno 2016	Foglio: A4	Scala: 1:10.000

E' vietata ogni riproduzione totale o parziale della presente documentazione senza autorizzazione scritta dell'Autore.

Tavola realizzata con AUTOCAD LT® 2012

Stralcio sezione C.T.R. 116030 "Momo"

N

Area di intervento

Conoide alluvionale

Piana

Pendenza superficie topografica

Orlo di terrazzo

Solco di ruscellamento concentrato

Dosso

Dott. Geol. Mattia BERTANI
Ordine dei Geologi del Piemonte n.588
Casale Tabuloni, 32 - 28021 Borgomanero (No)
tel. 0322 843722 - fax. 0322 060155 - cell. 349 1884498
www.studiobertani.it - e-mail: mattia.bertani@atdot.it

Località: Cimitero Comunale
Comune di Barengo (No)

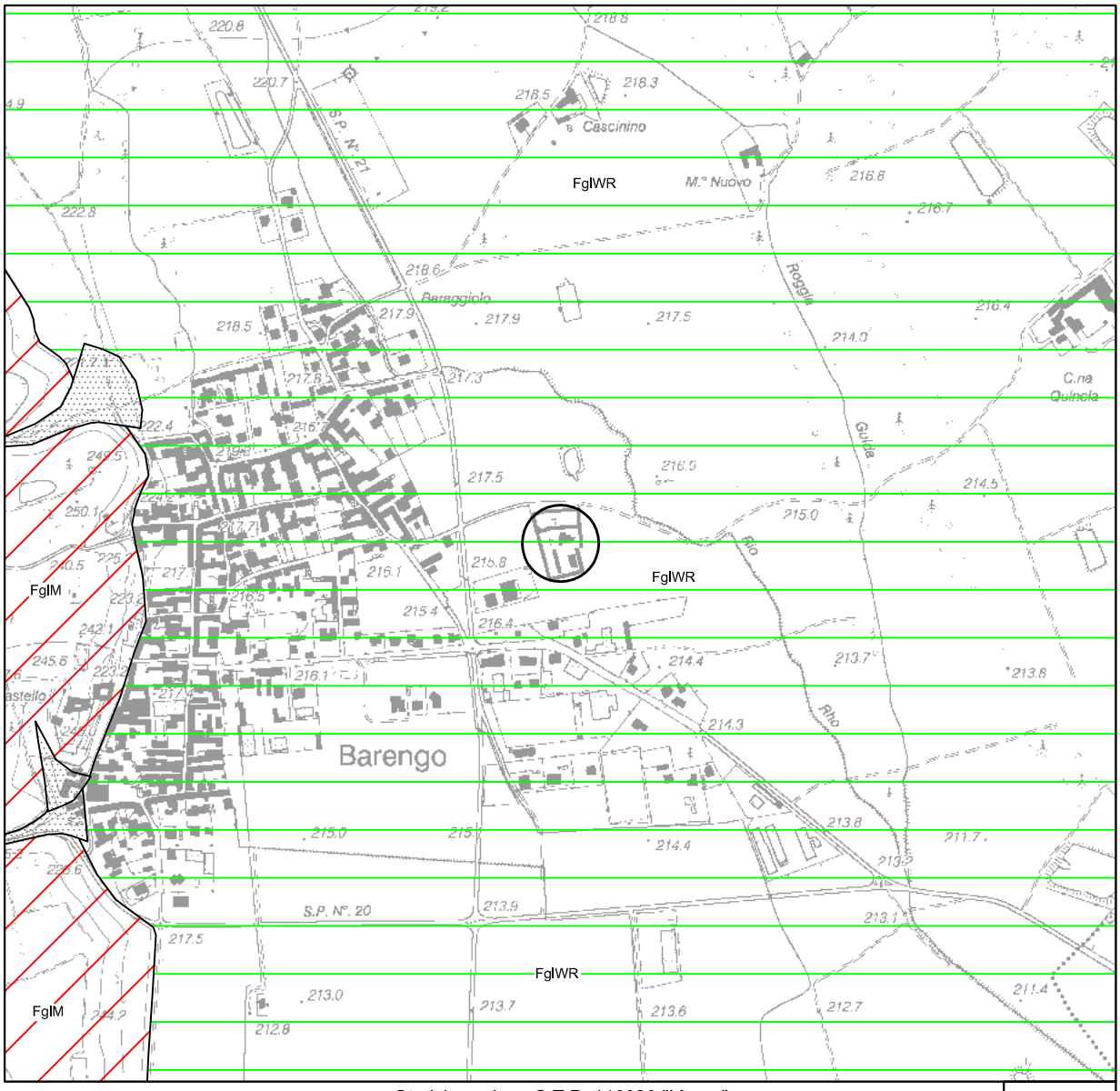
Titolo: Inquadramento geomorfologico

N. Tavola: 2

Commessa:	File:		
rif: 574-16	barengo_cimitero_geo_tav2.pdf		
Rev: 00	Data emissione: Giugno 2016	Foglio: A4	Scala: 1:10.000

E' vietata ogni riproduzione totale o parziale della presente documentazione senza autorizzazione scritta dell'Autore.

Tavola realizzata con AUTOCAD LT® 2012



Stralcio sezione C.T.R. 116030 "Momo"

N

Area di intervento

UNITA' GEOLOGICHE

FglWR — Alluvioni fluvioglaciali *Wurm-Riss*

FglM — Alluvioni fluvioglaciali *Mindel*

Depositi di conoide alluvionale *Olocene*

Dott. Geol. Mattia BERTANI
Ordine dei Geologi del Piemonte n.588
Casale Tabuloni, 32 - 28021 Borgomanero (No)
tel. 0322 843722 - fax. 0322 060155 - cell. 349 1884498
www.studiobertani.it - e-mail: mattia.bertani@atdot.it

Località: Cimitero Comunale
Comune di Barengo (No)

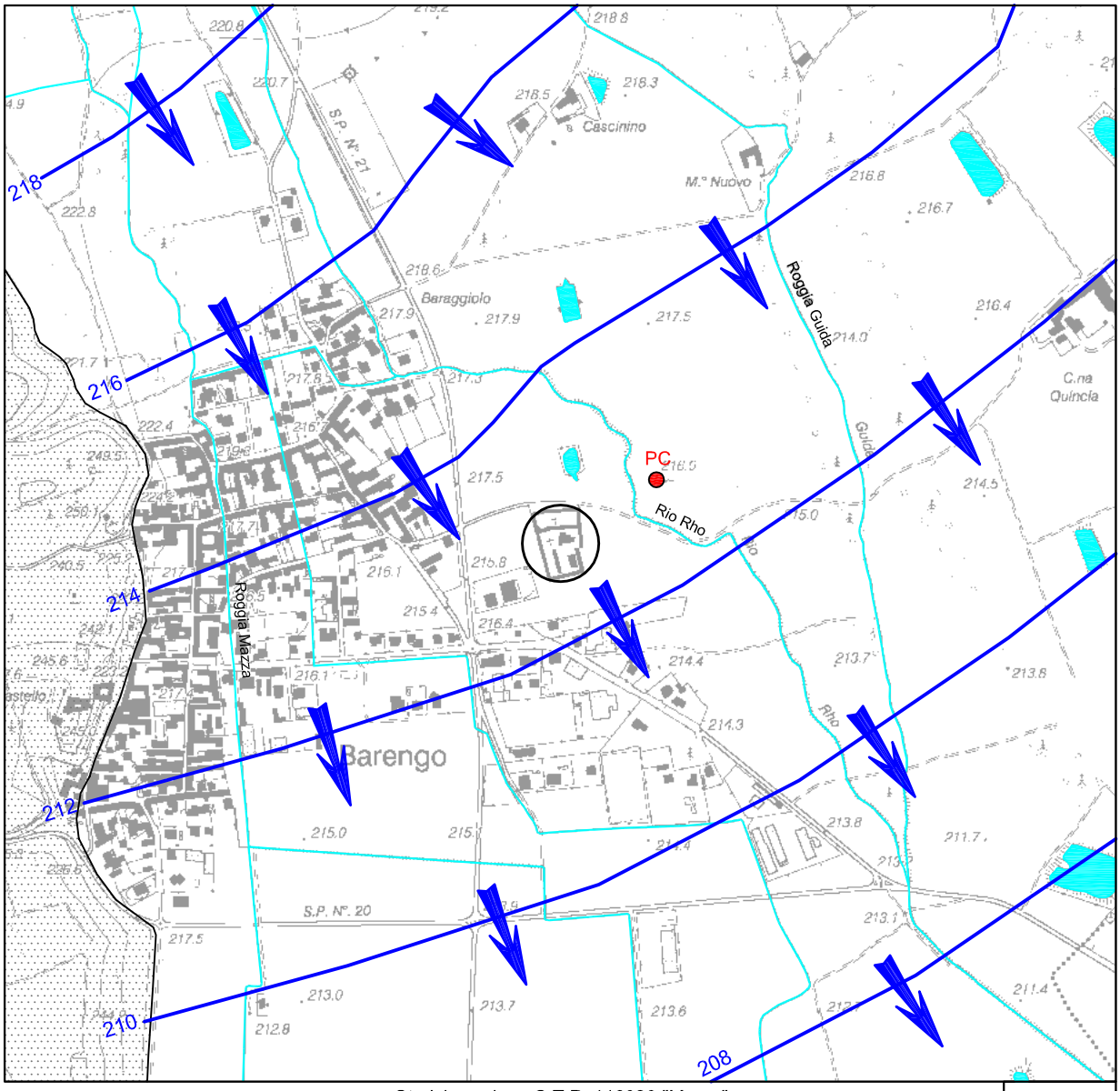
Titolo: Inquadramento geologico

N. Tavola: 3

Commessa:	File:		
rif: 574-16	barengo_cimitero_geo_tav3.pdf		
Rev: 00	Data emissione: Giugno 2016	Foglio: A4	Scala: 1:10.000

E' vietata ogni riproduzione totale o parziale della presente documentazione senza autorizzazione scritta dell'Autore.

Tavola realizzata con AUTOCAD LT® 2012



Stralcio sezione C.T.R. 116030 "Momo"

N

Area di intervento

Elemento idrografico superficiale

PC Pozzo idropotabile dell'acquedotto

210 Isofreatica con quota in m s.l.m. (rif. studio PRGC, Rivolta 2015)

Direzione di flusso sotterraneo prevalente

COMPLESSI IDROGEOLOGICI

Complesso dei depositi fluviali-fluvioglaciali del Wurm-Riss

Complesso dei depositi fluvioglaciali del Mindel

Dott. Geol. Mattia BERTANI
Ordine dei Geologi del Piemonte n.588
Casale Tabuloni, 32 - 28021 Borgomanero (No)
tel. 0322 843722 - fax. 0322 060155 - cell. 349 1884498
www.studiobertani.it - e-mail: mattia.bertani@atdot.it

Località: Cimitero Comunale
Comune di Barengo (No)

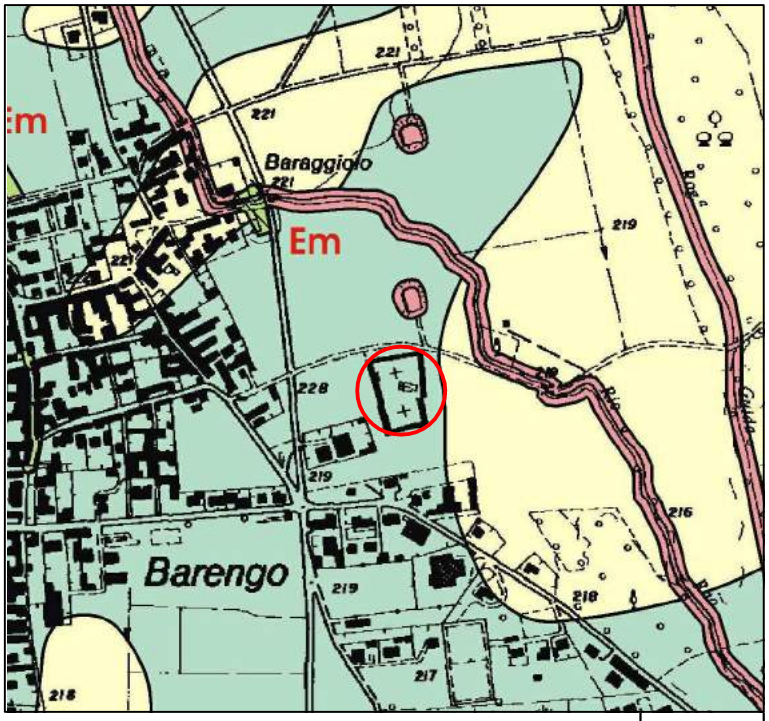
Titolo: Idrografia ed inquadramento idrogeologico

N. Tavola: 4

Commessa:	File:		
rif. 574-16	barengo_cimitero_geo_tav4.pdf		
Rev: 00	Data emissione: Giugno 2016	Foglio: A4	Scala: 1:10.000

E' vietata ogni riproduzione totale o parziale della presente documentazione senza autorizzazione scritta dell'Autore.

Tavola realizzata con AUTOCAD LT® 2012



Estratto Carta di Sintesi di P.R.G.C.

N

Area di intervento

CLASSE DI PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA E DI IDONEITA' ALL'UTILIZZAZIONE URBANISTICA RELATIVA ALL'AREA DI INTERVENTO:

CLASSE	
I	Porzioni di territorio dove le condizioni di pericolosità geomorfologica sono tali da non porre limitazioni alla scelte urbanistiche.

Dott. Geol. Mattia BERTANI
Ordine dei Geologi del Piemonte n.588
Casale Tabuloni, 32 - 28021 Borgomanero (No)
tel. 0322 843722 - fax. 0322 060155 - cell. 349 1884498
www.studiobertani.it - e-mail: mattia.bertani@atdot.it

Località: Cimitero Comunale
Comune di Barengo (No)

Titolo: Estratto Carta di pericolosità geomorfologica di P.R.G.C.

N. Allegato: 1

Commessa:	File:		
rif: 574-16	barengo_cimitero_geo_all1.pdf		
Rev: 00	Data emissione: Giugno 2016	Foglio: A4	Scala: 1:10.000

Comune di Barengo
Via Vittorio Emanuele, 39
28010 Barengo (No)

Lavori di ampliamento del Cimitero Comunale internamente al perimetro dell'esistente

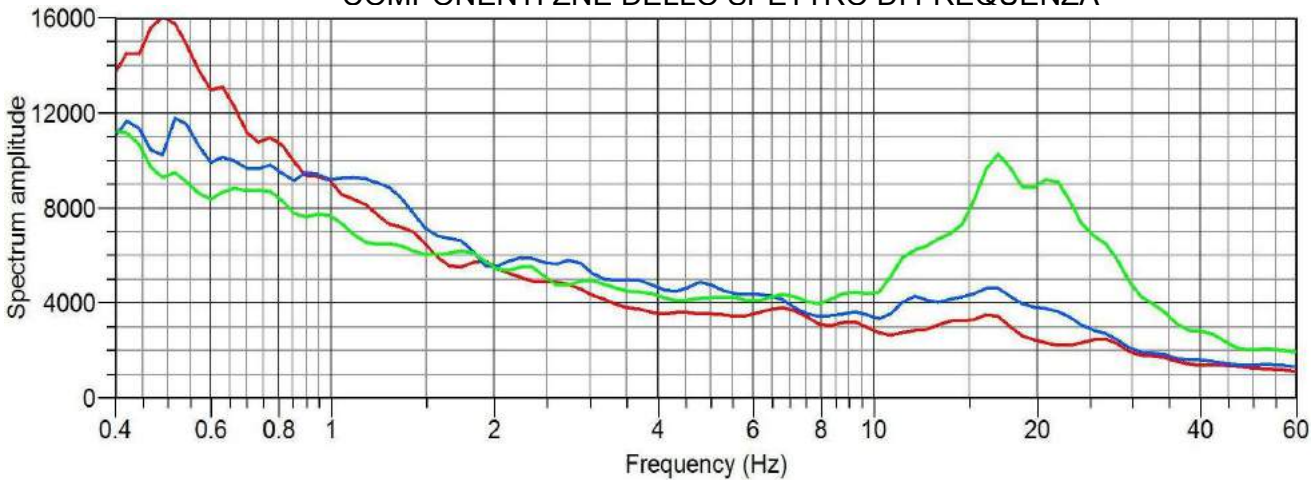
RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

ALLEGATO	2
Elaborati indagini geofisiche	

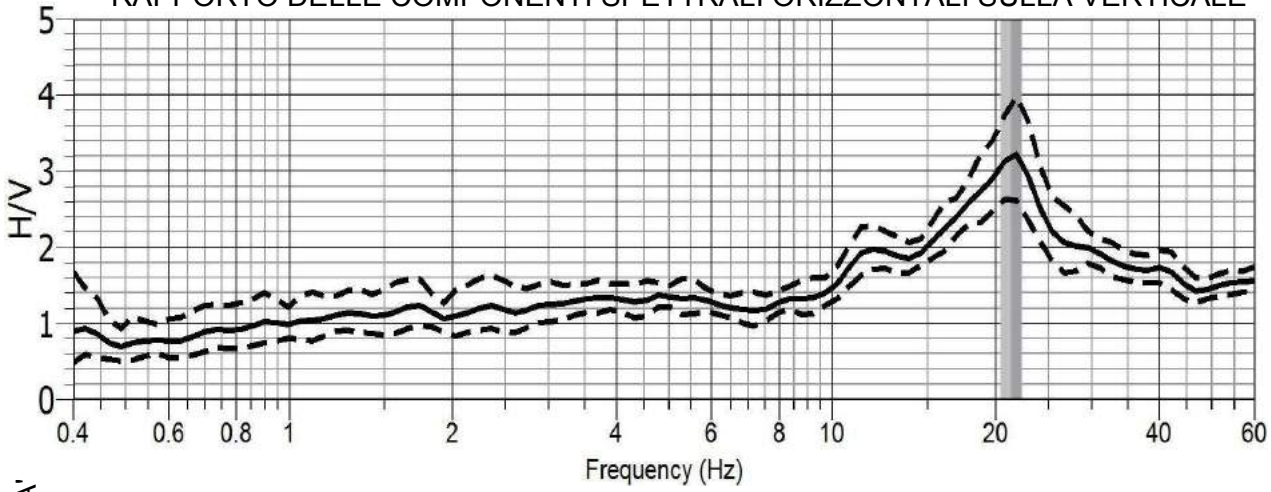
Rif. 574-16

Dott. Geol. Mattia BERTANI
Casale Tabuloni, 32
28021 Borgomanero (No)
tel. 0322 843722 – fax. 0322 060155
www.studiobertani.it

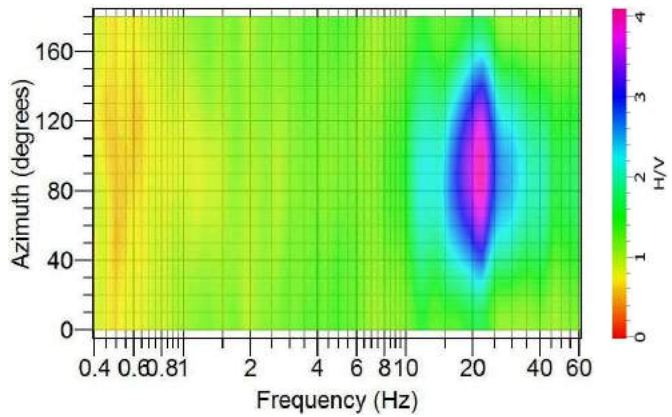
COMPONENTI ZNE DELLO SPETTRO DI FREQUENZA



RAPPORTO DELLE COMPONENTI SPETTRALI ORIZZONTALI SULLA VERTICALE



VALUTAZIONE DIREZIONALITA' DEL SEGNALE



VERIFICA CRITERI SESAME

Criteria for a reliable H/V curve	
i) $f_0 > 10 / l_w$	OK
and	
ii) $n_c(f_0) > 200$	OK
and	
iii) $\sigma_A(f)<2$ for $0.5f_0<f<2f_0$ if $f0>0.5Hz$	OK
or $\sigma_A(f)<3$ for $0.5f_0<f<2f_0$ if $f0<0.5Hz$	

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)	
i) $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	OK
ii) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	OK
iii) $A_0 > 2$	OK
iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	OK
v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	NO
vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	OK

LEGENDA

- Spettro asse Z (verticale)
- Spettro asse Nord-Sud
- Spettro asse Est-Ovest
- Rapporto H/V medio
- Curve di confidenza (rapporto H/V medio x/: dev.stand.)
- Area ottenuta aggiungendo e sottraendo alla fo del rapporto medio la dev.stand.

Durata della registrazione: 30'
Frequenza di campionamento: 311 Hz
Finestra di campionamento: 25 s
Minima frequenza attendibile: 0,4 Hz

Picco alla frequenza di 21,32 Hz

ANALISI H/V
Metodo di Nakamura

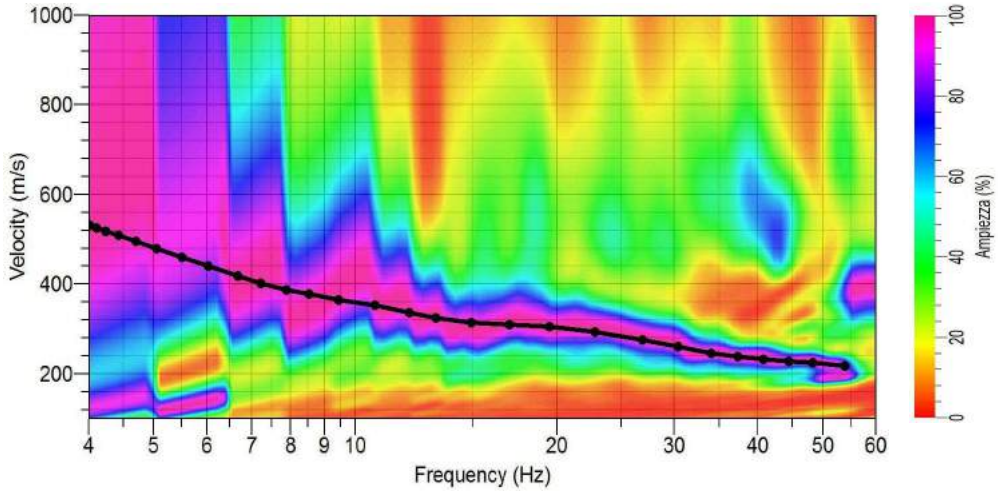
Cimitero comunale
Comune di Barengo (No)

MISURA HVSR

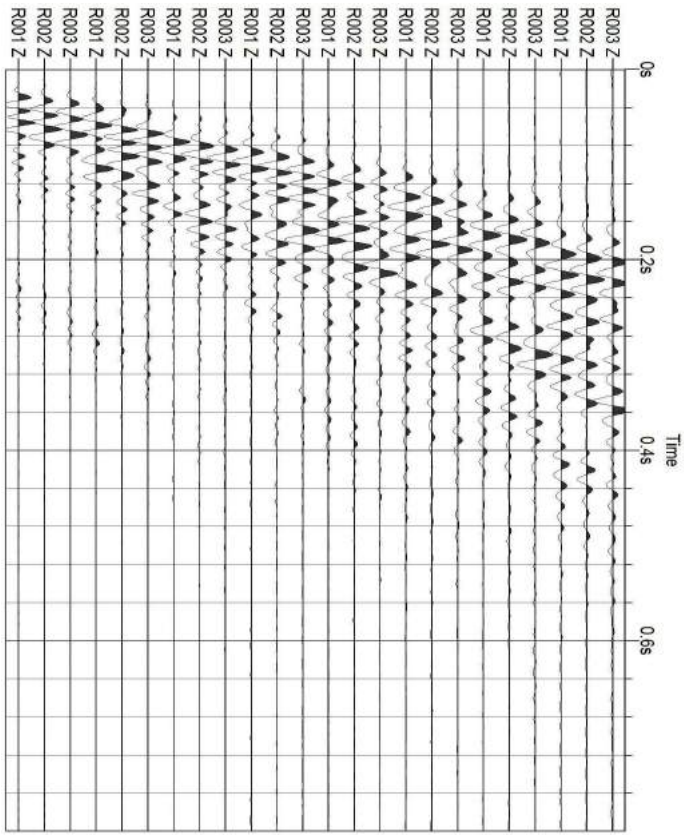
23 febbraio 2016

Dott. Geol. Mattia BERTANI
Casale Tabuloni, 32
28021 Borgomanero (No)
www.studiobertani.it

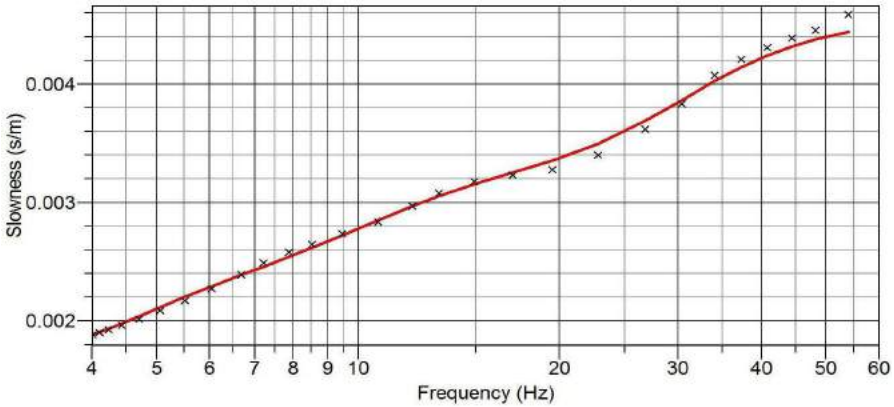
SPETTRO DI VELOCITA'



SISMOGRAMMA



CURVA DI DISPERSIONE



× Curva di dispersione misurata

Curva di dispersione calcolata

Tipo geofoni: orizzontali
Modalità di energizzazione: mazza battente
Frequenza di campionamento: 1.244 Hz
Tempo di acquisizione: 2,0 sec
Offset primo geofono: 10,0 m
Interdistanza geofonica: 2,0 m

MODELLO DEL TERRENO

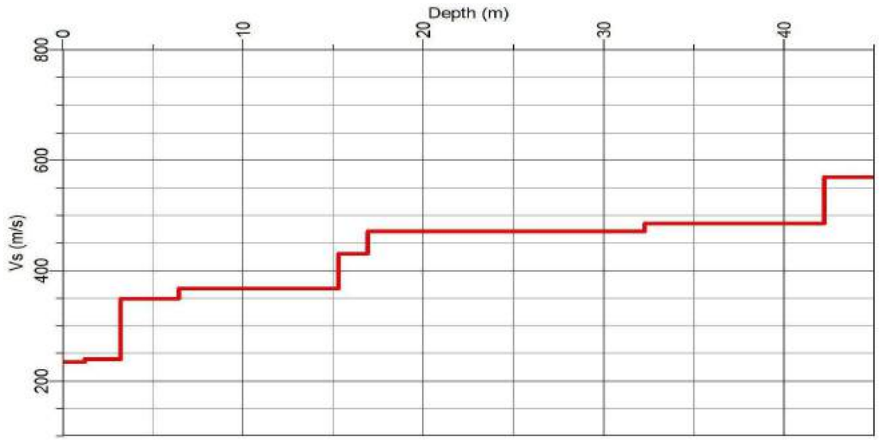


TABELLA DI VELOCITA'

da m	a m	Vs [m/s]	Hi [m]	Hi/Vi	G' [Mpa]
0,0	1,2	235	1,2	0,0052	96
1,2	3,2	239	2,0	0,0083	100
3,2	6,4	349	3,2	0,0092	226
6,4	15,3	367	8,9	0,0241	252
15,3	16,9	431	1,6	0,0037	358
16,9	32,3	471	15,4	0,0326	437
32,3	42,2	485	10,0	0,0205	468
42,2	45,0	569	2,8	0,0049	670

ANALISI MASW
Onde di Rayleigh (R)

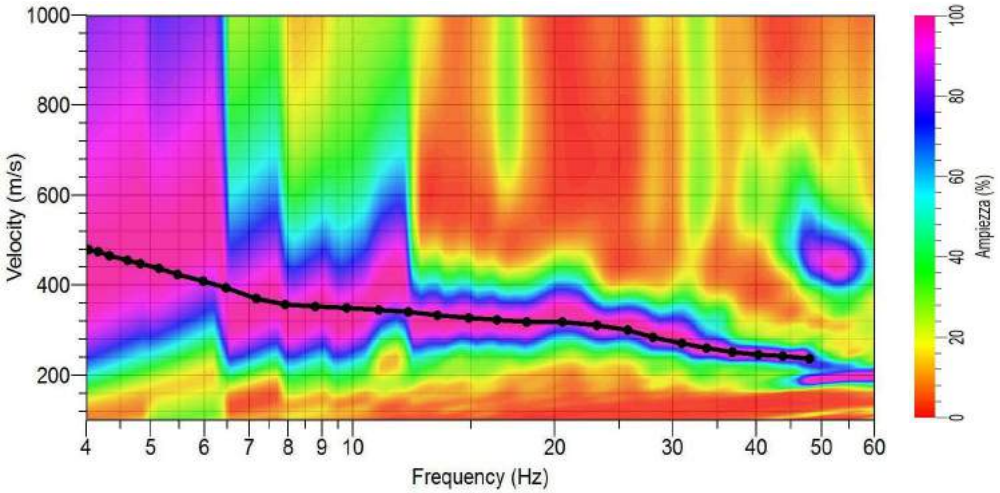
Cimitero comunale
Comune di Barengo (No)

MISURA RVF

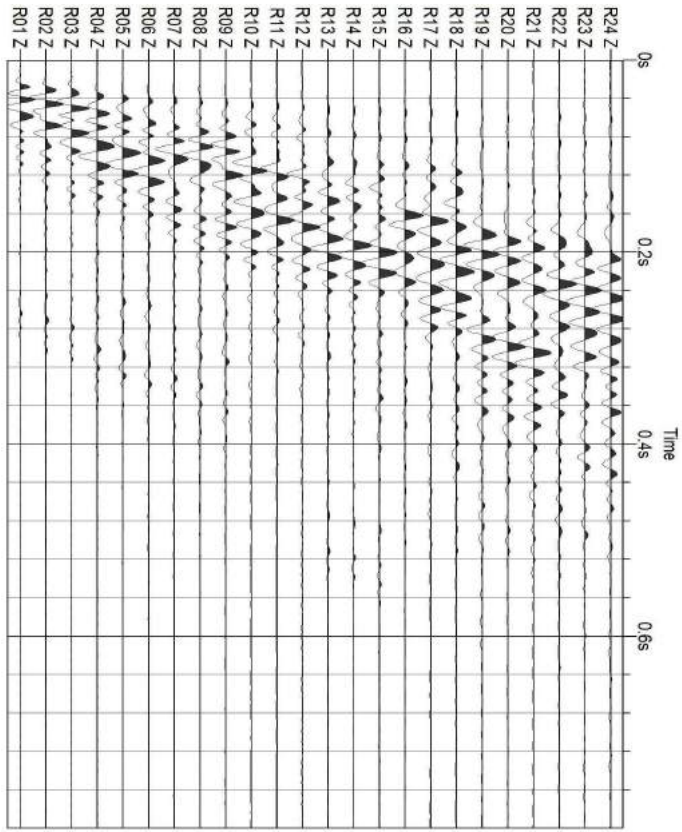
23 febbraio 2016

Dott. Geol. Mattia BERTANI
Casale Tabuloni, 32
28021 Borgomanero (No)
www.studiobertani.it

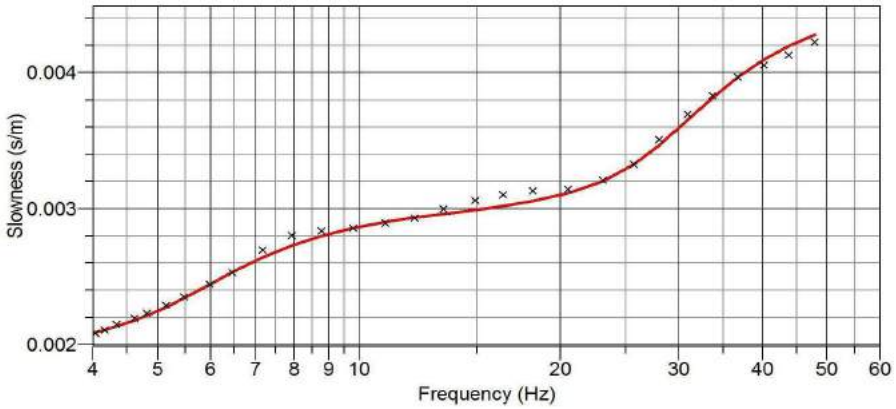
SPETTRO DI VELOCITA'



SISMOGRAMMA



CURVA DI DISPERSIONE



× Curva di dispersione misurata

Curva di dispersione calcolata

Tipo geofoni: verticali
Modalità di energizzazione: mazza battente
Frequenza di campionamento: 1.244 Hz
Tempo di acquisizione: 2,0 sec
Offset primo geofono: 10,0 m
Interdistanza geofonica: 2,0 m

MODELLO DEL TERRENO

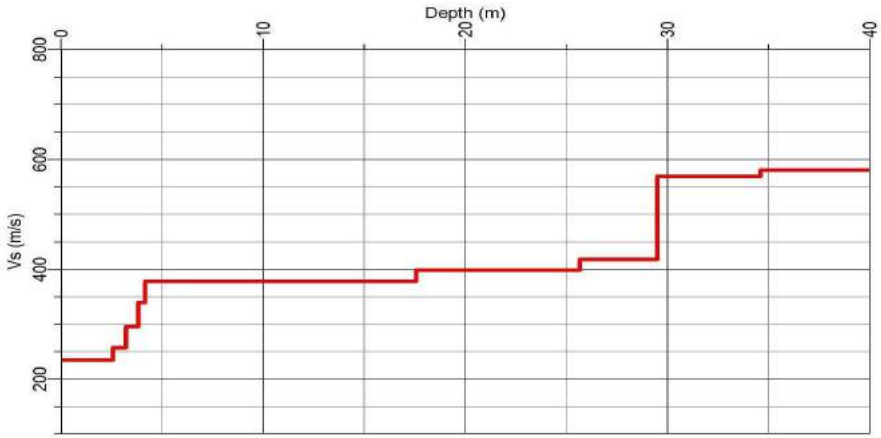


TABELLA DI VELOCITA'

da m	a m	Vs [m/s]	Hi [m]	Hi/Vi	G' [Mpa]
0,0	2,6	235	2,6	0,0110	96
2,6	3,2	257	0,6	0,0025	116
3,2	3,8	295	0,6	0,0021	156
3,8	4,2	339	0,3	0,0009	212
4,2	17,6	378	13,4	0,0355	269
17,6	25,7	398	8,1	0,0203	300
25,7	29,5	418	3,8	0,0092	335
29,5	34,6	569	5,1	0,0090	670
34,6	40,0	580	5,4	0,0093	701

ANALISI MASW
Onde di Rayleigh (Z)

Cimitero
Comune di Barengo (No)

MISURA ZVF

23 febbraio 2016

Dott. Geol. Mattia BERTANI
Casale Tabuloni, 32
28021 Borgomanero (No)
www.studiobertani.it