



COMUNE DI BELGIOIOSO

PROVINCIA DI PAVIA
Via Garibaldi, 64 – 27011 Belgioioso (PV)

**LAVORI DI REALIZZAZIONE DI ARREDO URBANO E RIQUALIFICAZIONE
DEL BORGO STORICO IN VIA GIUSEPPE GARIBALDI
E IN PIAZZA VITTORIO VENETO
(CUP F39J21000040006 - CIG B4BF2542BB)**

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

D.g.r. n. IX/2616 del 30/11/2011 – D.M. 17/01/2018 e s.m.i.



Maggio 2025



**Consulenza Geologica,
Geotecnica ed Idrogeologica**

Dott. Filippo Pezzotti Geologo

Ordine Geologi Lombardia n. 1264

Via Brodolini n. 1 - 25043 Breno (BS)
Pec: pezzotti75@epap.sicurezzapostale.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 Strutturazione litostratigrafica del sottosuolo	7
3.3 Inquadramento geologico-geomorfologico	8
3.4 Idrografia e pericolosità idraulica	10
3.5 Idrogeologia.....	11
3.6 Piezometria ed andamento della falda	14
4. SISMICITÀ STORICA E PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	15
4.1 Scenari di pericolosità sismica locale	19
5. FATTIBILITÀ GEOLOGICA.....	19
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE-GEOTECNICHE	20
6.1 Modello geologico-geotecnico.....	22
6.2 Rilievi freatimetrici.....	24
7. INDAGINI SISMICHE	24
8. ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO.....	29
9. AZIONE SISMICA DI PROGETTO	31
9.1 Parametri sismici sito-specifici	33
10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	35
10.1 Operazioni di scavo	35
10.2 Opere di fondazione.....	36
10.3 Aspetti sismici.....	36
10.4 Problematiche idrogeomorfologiche.....	37
10.5 Conclusioni	37

ALLEGATI:

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

1. PREMESSA

La presente relazione geologica e geotecnica (R1+R2+R3) è stata redatta a supporto dei lavori di realizzazione di arredo urbano e di riqualificazione del borgo storico di Belgioioso (PV), in via Giuseppe Garibaldi ed in piazza Vittorio Veneto.

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

Gli studi propedeutici alla predisposizione del presente elaborato sono stati effettuati in ottemperanza a quanto prescritto dal D.M. 17/01/18 “*Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*”, che rappresenta la più recente applicazione normativa della Legge n. 64 del 1974 e dei successivi D.M. applicativi, con particolare riferimento al D.M. 14/01/08 e, inoltre, in conformità a quanto previsto dalla D.g.r. n. IX/2616 del 30 novembre 2011 e dalla D.g.r. n. X/5001 del 30 marzo 2016 (comprese le asseverazioni di cui ai moduli 9 e 10).

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 idrogeomorfologiche dell'area e di un suo adeguato intorno;
- c) valutazione della compatibilità idraulica dell'intervento in relazione alle perimetrazioni del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA);
- d) acquisizione dei dati geognostici pregressi ed esecuzione di una prova penetrometrica dinamica DPSH per la definizione del modello geologico-geotecnico del sottosuolo;
- e) analisi della sismicità storica dell'area vasta;
- f) esclusione della verifica alla liquefazione;
- g) esecuzione di un'indagine geofisica MASW per la caratterizzazione sismica del substrato;
- h) esecuzione dell'analisi sismica di secondo livello (per amplificazione di tipo litologico) e definizione della categoria di sottosuolo e dei parametri sismici sito-specifici;
- i) 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 1:10.000)
TAVOLA 3	CARTA IDROGEOLOGICA (Scala 1:10.000)
TAVOLA 4	UBICAZIONE DELLE INDAGINI (Scala 1:1.000)
ALLEGATO 1	PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
ALLEGATO 2	INDAGINE SISMICA MASW

2. UBICAZIONE

L'area investigata è ubicata all'interno dell'abitato di Belgioioso (PV) e comprende la Piazza Vittorio Veneto ed un tratto della Via Giuseppe Garibaldi.

Il sito che verrà direttamente interessato dalla realizzazione delle opere in progetto si colloca ad una quota di circa 75 m s.l.m. (si veda la Tavola 1, allegata).

I luoghi descritti nel presente elaborato sono rappresentati cartograficamente nella Sezione n. B7d4 "Belgioioso" della Carta Tecnica Regionale della Regione Lombardia alla scala 1:10.000.

3. INQUADRAMENTO IDROGEOMORFOLOGICO

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

3.1 Assetto geologico - strutturale

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

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

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

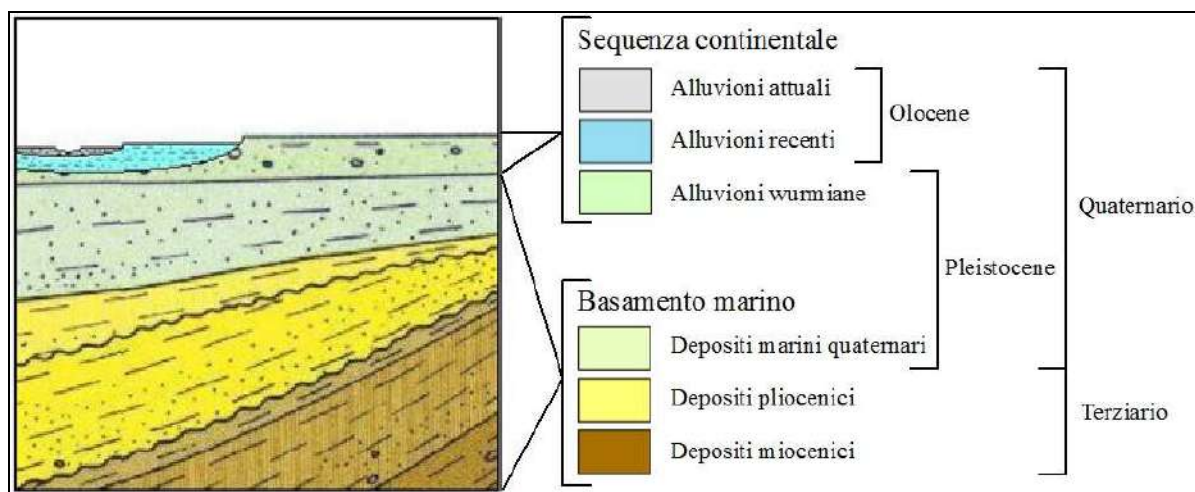


Figura 1 Schema generale dei rapporti stratigrafici delle principali unità presenti nel sottosuolo dell'area investigata (desunto dalla bibliografia).

Più in dettaglio, come evidenziato nella cartografia geologica ufficiale (Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 – Foglio 59 “Pavia”), le unità affioranti in un intorno significativo dell'area di analisi sono di età compresa tra il Pleistocene medio-superiore e l'Olocene. Procedendo dalla più recente alla più antica sono presenti le seguenti unità:

- **Unità oloceniche:**

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

- **Unità pleistoceniche:**

- Fluvioglaciale Würm (Fluviale Recente) – sono le alluvioni che costituiscono la superficie principale della pianura; dal punto di vista litologico si tratta di alluvioni ghiaiose, localmente molto grossolane, con paleosuolo argilloso giallo-rossiccio di ridotto spessore, talora ricoperte da limi più recenti (simbolo Q_{1r} nella Figura 2).

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

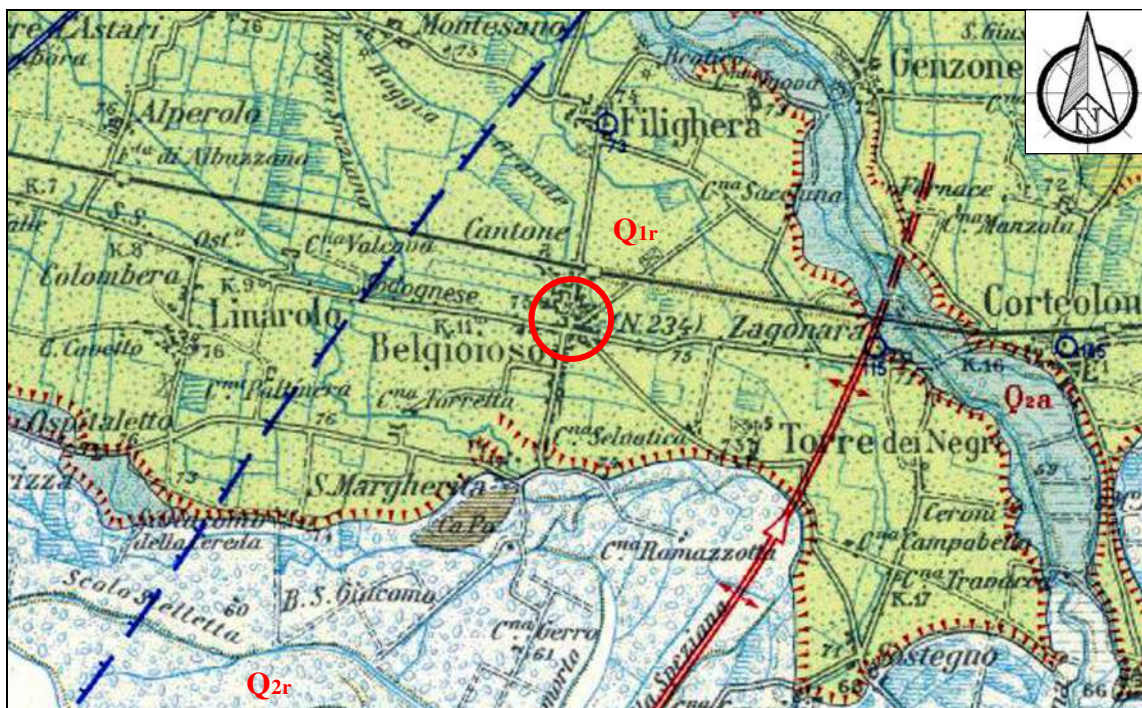


Figura 2 Stralcio del Foglio 59 “Pavia” della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000 (lo stralcio presenta la scala modificata). L’immagine mostra come il sito di intervento, individuato dal cerchio rosso, si collochi in corrispondenza delle alluvioni ascrivibili al Fluvioglaciale Würm (simbolo **Q1r**).

Per quanto attiene alle proprietà litologiche i depositi alluvionali in questione sono costituiti, nel complesso, da sabbie, spesso alterate in superficie, con sporadici orizzonti a scheletro più grossolano e con intercalazioni di limi e limi-argillosi.

I livelli più francamente limoso-argillosi e, in generale, quelli a granulometria più fine, sono generalmente ubicati in corrispondenza della porzione sommitale della locale successione litostratigrafica.

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

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

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

3.2 Strutturazione litostratigrafica del sottosuolo

La successione litostratigrafica generale del contesto territoriale in cui ricade il sito investigato, in base alle informazioni desunte dalle litostratigrafie dei numerosi pozzi profondi presenti in zona, è descritta in letteratura in termini cronostratigrafici secondo il seguente schema (dall'unità più recente, posta in superficie, a quelle via via più antiche e più profonde).

- **Unità ghiaioso-sabbiosa** (Olocene – Pleistocene superiore) – questa unità affiora con continuità ed è costituita da sabbie e ghiaie prevalenti, a cui si aggiungono, nella parte inferiore, intercalazioni limose ed argillose di limitato spessore e con una buona estensione laterale. È caratterizzata da complesse strutture deposizionali, con corpi lentiformi anastomizzati ed embricati, tipici di una sedimentazione in aree a rapido cambiamento di energia deposizionale; in fasi di calma è stato anche possibile l'accumulo di materiali fini che costituiscono livelli impermeabili o semipermeabili poco estesi. Si tratta di depositi fluvioglaciali del Würm (Olocene – Pleistocene superiore e medio) e di alluvioni recenti di riempimento delle valli di erosione post-würmiane, disposte lungo i corsi d'acqua. Lo spessore è di circa 40÷50 m.
- **Unità sabbioso-ghiaiosa** (Pleistocene medio) – tale unità è costituita da depositi sabbiosi con intercalazioni argillose e ghiaiose, di età pleistocenica e con uno spessore medio tra i 50 e 90 metri. Si tratta di sedimenti di origine glaciale e fluvioglaciale; i primi, scarsamente selezionati, sono costituiti da elementi grossolani quali ghiaie e ciottoli, in abbondante matrice limoso-sabbiosa; essi formano, nella zona prealpina, le cerchie più esterne degli apparati morenici. I depositi fluvioglaciali sono invece caratterizzati da ghiaie e sabbie ad elementi arrotondati in percentuale variabile di matrice fine e costituiscono diversi ordini di terrazzi all'esterno delle cerchie moreniche. Alla base dell'unità sabbiosa-ghiaiosa, al margine settentrionale dell'area vasta, compare il “Ceppo”, costituito da conglomerati poligenici, di età pleistocenica, che più a sud viene sostituito da litotipi sabbiosi e argillosi. Possibili richiami al “Ceppo” sono riscontrabili in alcuni pozzi a profondità maggiori di 50÷60 metri.
- **Unità sabbioso-argillosa** (Pleistocene inferiore) – si tratta di sabbie con abbondanti intercalazioni argillose e limose di colore grigio e giallo, con frequente alternanza nella colorazione. Sono sedimenti depositi in facies deltizia e lagunare, nel Pleistocene inferiore, con uno spessore di circa 140 metri.
- **Unità argillosa** (Pleistocene inferiore – Calabrianiano inferiore) – è costituita prevalentemente da argille e limi di colore grigio e azzurro con fossili marini, alle quali sono subordinatamente intercalati livelli sabbiosi, talora cementati e generalmente di limitato spessore. Questi depositi appartengono a facies marine costiere e di mare aperto, di età compresa tra il Pleistocene inferiore ed il Pliocene, noti in letteratura come “Argille Villafranchiane”, e si rinvencono generalmente a partire da una profondità di circa 250 m.

L'andamento delle unità appena descritte, così come i loro rapporti stratigrafici, non sono costanti nello spazio; infatti, se da un lato la distinzione è abbastanza evidente per questo settore della Pianura Padana, l'andamento e gli spessori si modificano significativamente procedendo verso sud-est, ovvero in direzione del depocentro della valle del Po, che risulta caratterizzato dalla presenza di ambienti deposizionali di minore energia.

Questa transizione ad ambienti di minore energia si traduce in una riduzione della taglia granulometrica dei depositi alluvionali e, quindi, nell'assottigliamento e nella progressiva chiusura della litozona ghiaioso-sabbiosa, così come sinteticamente illustrato nello schema riportato nella Figura 3.

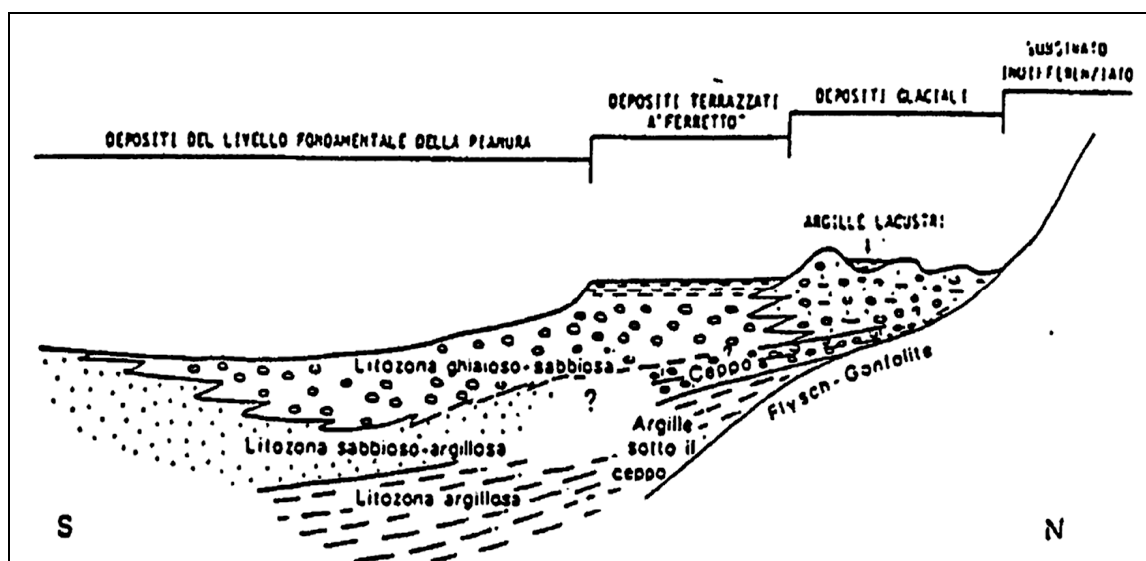


Figura 3 Schema dei rapporti stratigrafici lungo un'ipotetica sezione nord-sud (non in scala) tratta da Cavallin et al, 1983.

Dato che il sito di intervento è posizionato all'interno di un ambito urbanizzato, la porzione superficiale del sottosuolo è costituita da terreni rimaneggiati e/o da materiali di riporto, anche di spessore plurimetrico.

3.3 Inquadramento geologico-geomorfologico

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

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

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

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

L'ambito di intervento si colloca in corrispondenza dell'unità geomorfologica n. 3, ovvero quella che maggiormente caratterizza la Pianura Padana localizzata a nord del Grande Fiume.

Tale unità è delimitata, verso sud, dal sistema di scarpate erosive (di altezza plurimetrica) e di terrazzi che costituiscono la zona di transizione tra il Piano Generale Terrazzato e la sottostante valle a cassetta del fiume Po.

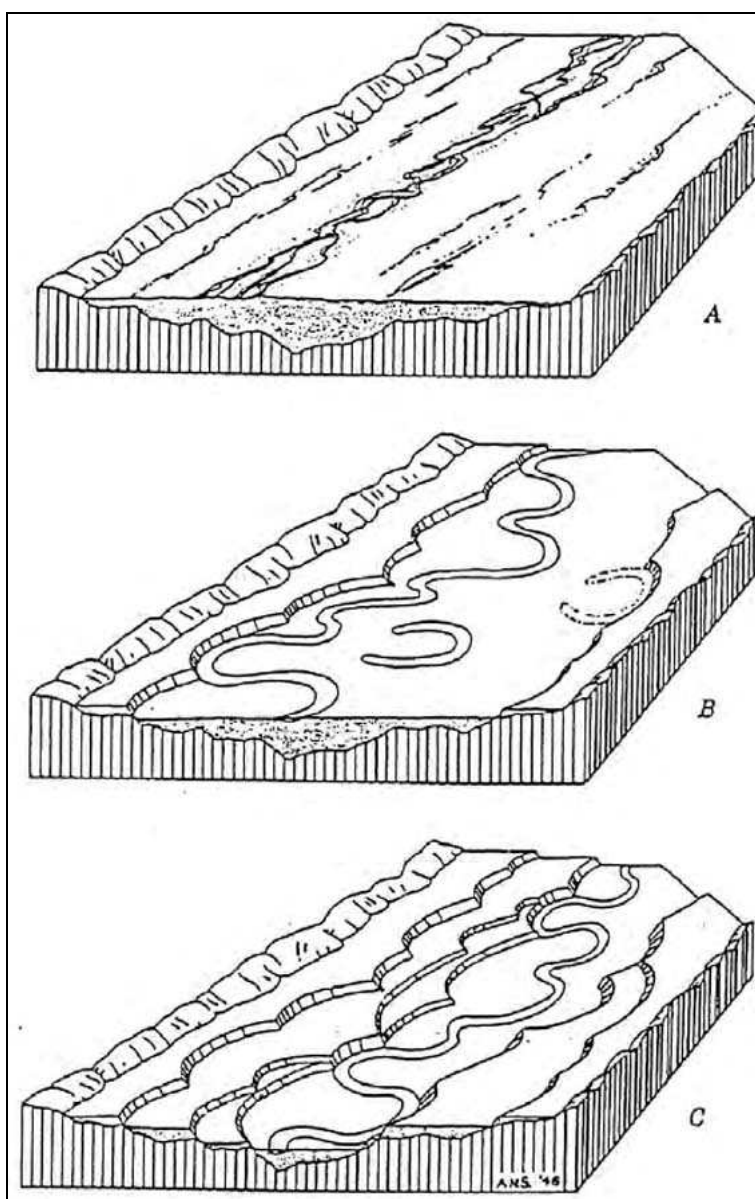


Figura 4 Schema della formazione di una generica valle a cassetta (tratto da Wiley & Sons, 1960).

La valle a cassetta è una forma tipica del paesaggio padano ed è caratterizzata dalla presenza di terrazzi alluvionali posti a differenti quote topografiche, i quali si sono originati a seguito dell'alternanza dell'azione deposizionale ed erosiva dei principali corsi d'acqua, che è direttamente connessa alle fluttuazioni climatiche.

Infatti, a seguito dell'imponente attività di sedimentazione avvenuta in concomitanza dell'ultima espansione glaciale si è avuta la formazione del Piano Generale Terrazzato (Figura 4, condizione A), mentre le successive fasi di deposizione e di erosione hanno portato alla genesi dei terrazzi che contraddistinguono questo tipo di valle.

Oltre alle scarpate erosive, che costituiscono gli elementi geomorfologici principali dell'area vasta, il territorio è caratterizzato anche dalla presenza di tracce di paleoalvei e di paleomeandri relitti, visibili solo ad un attento esame fotointerpretativo, che in alcuni tratti sono ancora marginati dalle originarie scarpate fluviali.

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

È importante precisare che il sito di diretto interesse ricade in un contesto urbanizzato e, di conseguenza, i lineamenti geomorfologici che contraddistinguevano la topografia originaria dei luoghi (scarpate e paleomeandri) sono stati in buona parte modificati per cause antropiche.

3.4 Idrografia e pericolosità idraulica

L'elemento idrografico principale della zona è rappresentato dal fiume Po, che scorre con andamento meandreggiante, da ovest verso est, circa 3,60 km a sud del sito di specifico interesse. Il succitato corso d'acqua costituisce il naturale recapito delle acque superficiali ed è il maggiore agente drenante nei confronti di quelle sotterranee.

Inoltre, il territorio indagato è caratterizzato dalla presenza di una fitta rete di canali distributori e colatori realizzati, in passato, per soddisfare le necessità irrigue connesse alle pratiche agricole, come la Roggia Speziana ed il Colatore Sesso.

In base a quanto riportato nel Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA - Revisione 2024), per il sito di specifico interesse non si segnalano problematiche di tipo idraulico (si veda la Figura 5).

Questa constatazione è in accordo con quanto riportato sia nella cartografia del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), che è consultabile tramite il Sistema Informativo Territoriale della Regione Lombardia (SIT), sia in quella afferente al vigente studio geologico comunale, che pongono l'area investigata in un ambito esente da criticità di natura idraulica.



Figura 5 Stralcio della cartografia ufficiale del Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA – revisione 2024) tratta dal Geoportale della Regione Lombardia (SIT). Il cerchio rosso individua il sito investigato che si colloca all'esterno delle aree di pericolosità idraulica (campite con la gamma dei colori azzurri).

3.5 Idrogeologia

La notevole variabilità verticale e laterale delle caratteristiche di permeabilità e di trasmissività del materasso alluvionale che contraddistingue il substrato, connessa alle differenti litologie presenti (le quali rappresentano il risultato di differenti dinamiche dell'ambiente deposizionale fluviale che si sono succedute nel tempo), ha come effetto finale la formazione di un acquifero multistrato costituito da una serie di falde sovrapposte, talora in pressione (falde confinate o artesiane).

Le falde in pressione sono localizzate in profondità, in corrispondenza degli orizzonti sabbioso-ghiaiosi, maggiormente permeabili, delimitati da livelli impermeabili a dominante argillosa e/o limosa.

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

Nell'area di diretto interesse sono quindi presenti due idrozone principali: quella superficiale, con caratteristiche prevalentemente freatiche, e quella profonda (o artesiane)

sottostante ad un primo livello argilloso caratterizzato da un consistente spessore e da una notevole continuità laterale.

All'interno di questa grande struttura la circolazione dell'acqua avviene soprattutto nei depositi grossolani i quali, grazie alla loro permeabilità, svolgono le funzioni di "condotta" nei confronti delle acque sotterranee. In bibliografia, la descrizione della struttura idrogeologica varia a seconda dell'Autore di riferimento.

Nella Figura 6 sono messe a confronto le interpretazioni classiche proposte dai diversi autori (tratto da Avanzini et al., 1995 - modificato).

DENOMINAZIONI UTILIZZATE PER LA DESCRIZIONE GEOLOGICA DEL SOTTOSUOLO									
	UNITA' LITOLOGICHE		UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE		UNITA' STRATIGRAFICHE	ETA'	UNITA' IDROGEOLOGICHE		
	Mazzarella S. e Martinis B.		Francani V. e Pozzi R.		A.G.I.P.		Avanzini M. et Al.		
	LITOZONA GHIAIOSO-SABBIOSA	ACQUIFERO TRADIZIONALE	FLUVIOGLACIALE WÜRM AUCT. (Diluvium recente)	I ACQUIFERO	ALLUVIONE	PLEISTOCENE SUPERIORE	UNITA GHIAIOSO-SABBIOSA		
			FLUVIOGLACIALE RISS-MINDEL AUCT. (Dil. Medio-Antico)	II ACQUIFERO		PLEISTOCENE MEDIO	UNITA GHIAIOSO-SABBIOSO-LIMOSA		
			CEPPO AUCT.			PLEISTOCENE INFERIORE	UNITA A CONGLOMERATI E ARENARIE BASALI		
	LITOZONA SABBIOSO-ARGILLOSA	ACQUIFERI PROFONDI	VILLA FRANCHIANO	III ACQUIFERO	SABBIE DI ASTI			PLEISTOCENE INFERIORE	UNITA SABBIOSO-ARGILLOSA (facies continentali e di transizione)
							(CALABRIANO)	UNITA ARGILLOSA (facies marina)	

Figura 6 Tavola sinottica delle unità utilizzate per la classificazione del sottosuolo.

Per quanto attiene ai caratteri idrostratigrafici dell'area in esame, adottando il classico schema strutturale del sottosuolo dell'area padana (Martinis e Mazzarella, 1971), si possono distinguere dall'alto in basso le seguenti tre unità principali, che presentano caratteri granulometrici decrescenti con la profondità:

- **Unità ghiaioso-sabbiosa;** unità molto permeabile che costituisce il cosiddetto "Acquifero tradizionale", cioè quello comunemente sfruttato dai pozzi, in cui è possibile distinguere una porzione più superficiale che ospita una falda libera ed una più profonda, con presenza di conglomerati, sede di una falda talora semiconfinata. Tra le due falde, localmente separate da modesti spessori di depositi semipermeabili, si può riscontrare una differenza di livello piezometrico di qualche metro. Il passaggio tra la porzione più superficiale (Primo acquifero) e quella più profonda (Secondo acquifero) di questa unità corrisponde, con tutta

probabilità, alla presenza di diverse unità geologiche. Infatti, l'orizzonte semipermeabile di separazione, talora individuato nelle stratigrafie dei pozzi, tende a manifestare caratteri di paleosuolo e la parte più profonda di questa unità idrogeologica presenta una percentuale maggiore di materiali fini; in sintesi si ha un deposito corrispondente al Fluvioglaciale Würm ed alle alluvioni oloceniche sovrapposto ai Fluvioglaciali più antichi.

- **Unità sabbioso-argillosa;** costituita da limi con livelli di sabbie e raramente ghiaietto, talvolta con presenza di torbe. Sono presenti falde semiconfinate e confinate con probabilità di facies idrochimiche di ambiente ridotto. Lo sfruttamento dei livelli produttivi è iniziato per il progressivo degrado qualitativo dell'acquifero tradizionale soprastante, con cui è in comunicazione laddove gli orizzonti semipermeabili hanno spessore e continuità ridotta e nelle aree pedemontane di alimentazione delle falde profonde. Questa unità può essere definita come Terzo acquifero.
- **Unità argillosa;** in cui sono rari i livelli permeabili, sottostante la precedente e talora in facies marina. Le falde in essa contenute sono semiconfinate e confinate e anch'esse possono presentare facies negative per l'utilizzo delle acque.

Negli studi idrogeologici più recenti ("Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia" realizzata a cura della R. L. e dell'ENI - 2002) gli acquiferi della pianura lombarda vengono distinti e raggruppati in Unità Idrostratigrafiche Sequenziali (UIS), ovvero corpi litologici costituiti da una o più sequenze deposizionali, definite e sostenute da un basamento scarsamente permeabile (acquitardo) o impermeabile (acquitclodo), arealmente continuo.

Nel settore di pianura in esame sono state distinte quattro Unità Idrostratigrafiche Sequenziali, definite da soglie di permeabilità ad estensione regionale, denominate Gruppo Acquifero A, B, C e D (a partire da piano campagna).

La Figura 7 mette in relazione i rapporti intercorrenti tra le Unità Idrostratigrafiche Sequenziali sopracitate con le Unità Idrostratigrafiche e Idrogeologiche tradizionali (descritte nella Figura 6), qui corrispondenti alla successione dei tre acquiferi in cui veniva normalmente suddiviso l'insieme deposizionale lombardo.

UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE ED IDROGEOLOGICHE TRADIZIONALI			NUOVE UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE
ACQUIFERO TRADIZIONALE	I ACQUIFERO	UNITA' GHIAIOSO-SABBIOSA	A
	II ACQUIFERO	UNITA' GHIAIOSO-SABBIOSO-LIMOSA	B
		UNITA' A CONGLOMERATI E ARENARIE BASALI	
ACQUIFERI PROFONDI	III ACQUIFERO	UNITA' SABBIOSO ARGILLOSA (facies continentali e di transizione)	C
		UNITA' ARGILLOSA	D

Figura 7 Tavola sinottica delle unità idrostratigrafiche ed idrogeologiche.

Considerando le stratigrafie dei pozzi profondi dell'ambito territoriale in esame è possibile descrivere le seguenti Unità Idrostratigrafiche:

- **Gruppi acquiferi A e B**, costituiti da ghiaie, ciottoli, sabbie e conglomerati di ambiente fluvioglaciale, con subordinate intercalazioni di argille o limi sabbiosi generalmente prive di continuità laterale. Tali unità, con spessori compresi tra 70 e 85 m circa, sono sede dell'acquifero principale, monostrato di tipo libero o localmente semiconfinato, ad elevata vulnerabilità intrinseca, tradizionalmente captato dalla maggior parte dei pozzi pubblici e privati e dai piezometri di controllo presenti in zona.
- **Gruppo acquifero C**, di ambiente transizionale, è costituito da argille localmente torbose e sabbie argillose, intercalate a sabbie, ghiaie sabbiose e, subordinatamente, a conglomerati ed arenarie, più frequenti verso il tetto dell'unità. Nei livelli permeabili sono presenti acquiferi intermedi e profondi da semiconfinati a confinati, captati dai pozzi più profondi dell'area e generalmente riservati ad utilizzo idropotabile. In condizioni naturali la presenza di estesi setti argillosi in profondità determina migliori garanzie di protezione dalle contaminazioni superficiali.
- **Gruppo acquifero D**, costituito da successioni prevalentemente argillose, talora fossilifere e torbose di ambiente transizionale/marino, con subordinate intercalazioni di ghiaie e sabbie, è sede di rari acquiferi profondi di tipo confinato e di valenza locale.

3.6 Piezometria ed andamento della falda

La ricostruzione dell'assetto piezometro della falda che permea il primo acquifero localizzato nel sottosuolo del sito di specifico interesse è stata effettuata sulla base dei dati ricavati da indagini di tipo bibliografico.

Nella carta idrogeologica (Tavola CG.05, Geol. A. Brambati, aprile 2024) allegata allo studio geologico redatto a supporto del vigente PGT comunale, la superficie piezometrica della falda freatica principale è stata posizionata ad una quota di circa 63,00 m s.l.m., che corrisponde (facendo riferimento alla C.T.R. della Regione Lombardia) ad una soggiacenza di circa 12 m.

Ciononostante è opportuno precisare che nella litostratigrafia del sondaggio pregresso localizzato in corrispondenza del campo sportivo comunale (si veda la Figura 15 riportata nel Paragrafo 6.1), viene segnalata la presenza di una falda superficiale (probabilmente sospesa rispetto a quella principale) ad una profondità di circa 2 m dal piano di campagna. Pertanto all'atto dell'apertura degli scavi potrebbe essere necessario installare un sistema di controllo della falda (well-point o similari).

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

L'andamento della superficie piezometrica e la direzione principale di flusso delle acque sotterranee dell'area di specifico interesse è rivolta verso i quadranti meridionali (si veda la Tavola 3, allegata alla presente) ovvero in direzione del depocentro vallivo padano (nella fattispecie verso sud-est). È opportuno precisare che si possono registrare locali distorsioni dovute all'emungimento dei principali pozzi presenti in zona.

In relazione alla cartografia disponibile, il sito di intervento non è interessato dalla presenza né delle zone di tutela assoluta, né delle fasce di rispetto dei pozzi pubblici sfruttati a scopo acquedottistico (si veda la Tavola 3, allegata alla presente) che in questo caso sono state stabilite con criterio geometrico, ovvero considerando un cerchio, centrato sul punto di captazione, avente raggio pari a 10 m per le zone di tutela assoluta e pari a 200 m per le fasce di rispetto.

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 8) sono indicati terremoti di intensità non superiore al sesto grado della scala MCS (Mercalli, Cancani, Sieberg).

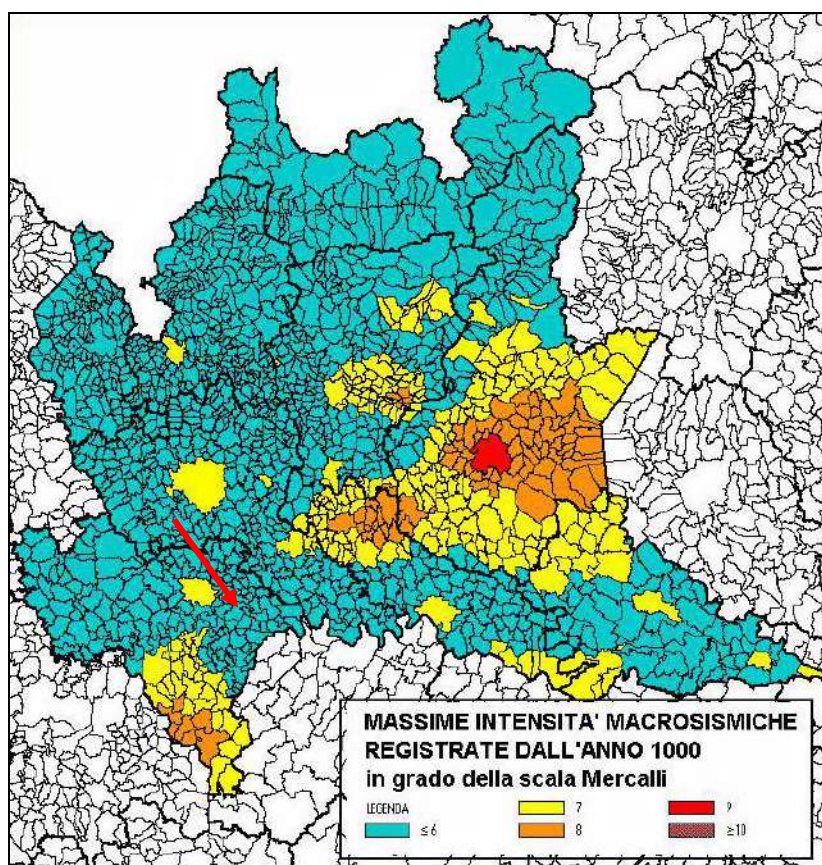


Figura 8 Carta delle Massime intensità macrosismiche osservate nei Comuni della Regione Lombardia (Molin, Stucchi, Valensise). La freccia indica l'ubicazione dell'area indagata.

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 Belgioioso (PV) è stato inserito nella zona 3 (si veda la Figura 9).

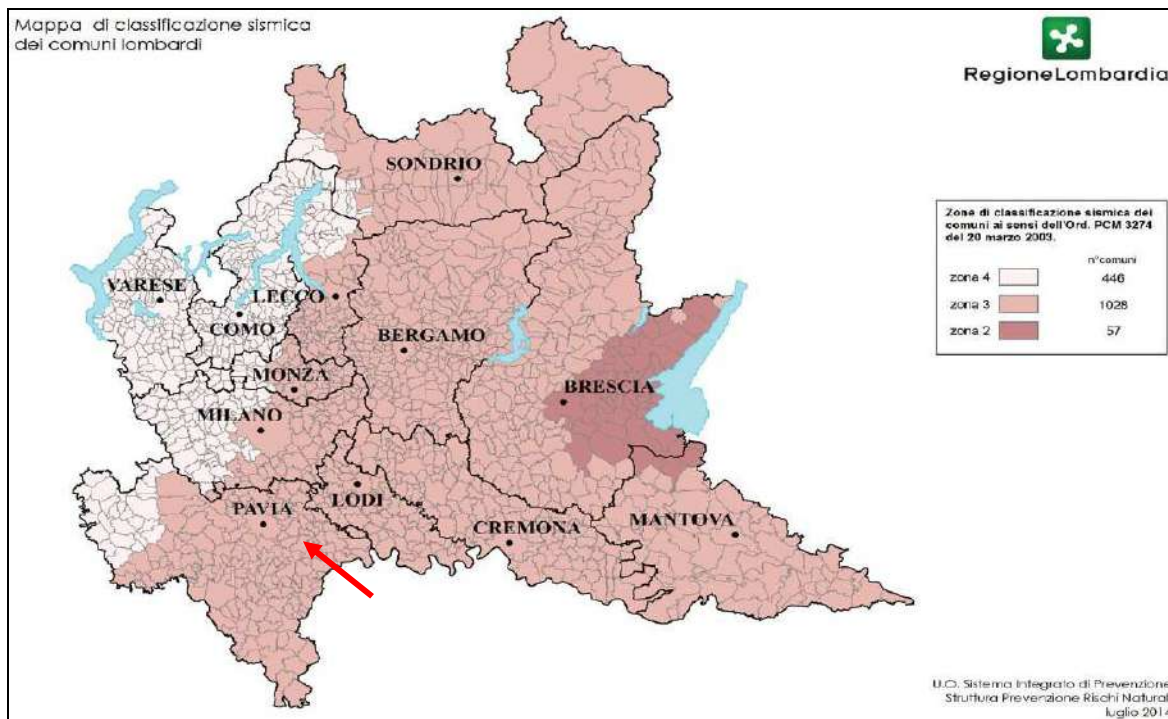


Figura 9 Riclassificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia ai sensi della D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014. La freccia indica l'ubicazione dell'area indagata.

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 10).

Nella Figura 11 è visualizzato il grafico della curva di pericolosità sismica, che è stata tracciata sulla base dei valori di scuotimento (in questo caso riferiti all'accelerazione PGA) per diverse frequenze annuali. La curva centrale, in rosso, si riferisce ai valori mediani (50° percentile), mentre l'incertezza è espressa dalle curve viola (16° percentile) e blu (84° percentile).

Nella Figura 12 sono altresì riportati gli spettri a pericolosità uniforme relativi al sito di diretto interesse, i quali indicano i valori di scuotimento calcolati per undici periodi spettrali, compresi tra 0 e 2 secondi (l'accelerazione PGA corrisponde al periodo pari a 0 secondi).

Il grafico, che è relativo alle stime mediane (50° percentile) proposte dal modello di pericolosità, è stato costruito utilizzando i dati riportati nella tabella inserita subito dopo la summenzionata Figura 12.

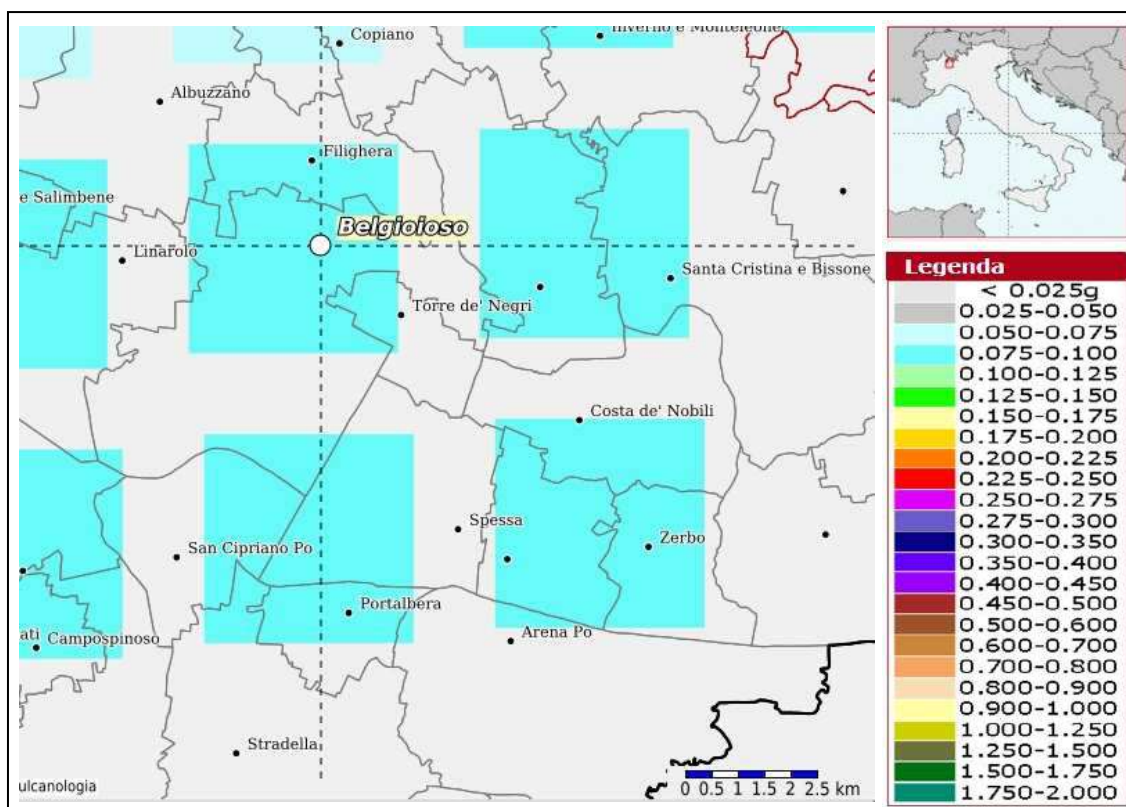


Figura 10 Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. L'incrocio delle linee tratteggiate individua l'area di intervento.

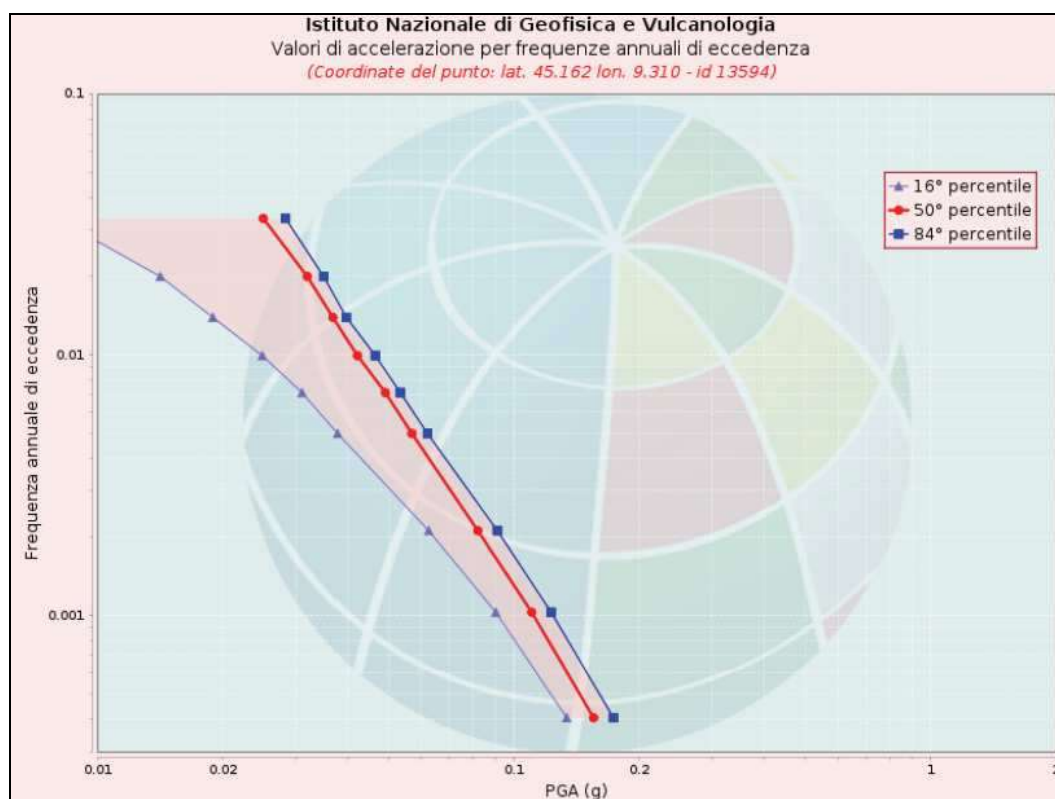


Figura 11 curva di pericolosità sismica relativa ai valori di PGA per frequenze annuali di eccedenza.

Comune di Belgioioso – Provincia di Pavia

Arredo urbano e riqualificazione borgo storico – Piazza Vittorio Veneto / Via Garibaldi – Belgioioso (PV)

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

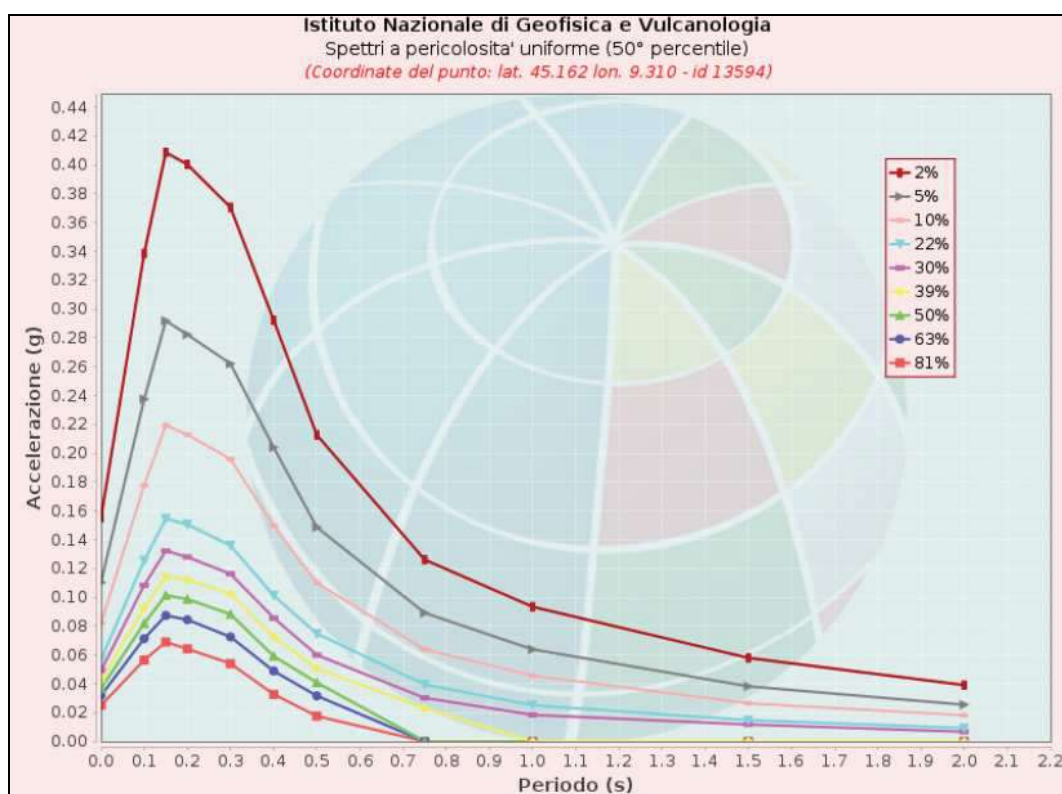


Figura 12 Spettri a pericolosità uniforme relativi al sito di intervento.

Spettri a pericolosità uniforme (50° percentile)											
PoE in 50 anni	Accelerazione (g)										
	Periodo (s)										
	0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.155	0.339	0.409	0.400	0.371	0.292	0.213	0.126	0.093	0.058	0.039
5%	0.110	0.237	0.292	0.282	0.262	0.204	0.149	0.089	0.064	0.038	0.025
10%	0.082	0.178	0.219	0.213	0.196	0.150	0.110	0.064	0.046	0.026	0.018
22%	0.057	0.126	0.155	0.151	0.136	0.101	0.075	0.040	0.025	0.015	0.009
30%	0.049	0.108	0.132	0.128	0.116	0.086	0.060	0.030	0.018	0.012	0.007
39%	0.042	0.093	0.115	0.112	0.103	0.073	0.051	0.023	0.000	0.000	0.000
50%	0.037	0.082	0.101	0.099	0.088	0.059	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000
63%	0.032	0.071	0.087	0.084	0.073	0.049	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000
81%	0.025	0.056	0.069	0.064	0.054	0.033	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000

Dall'analisi del Database Macrosismico Italiano (M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi [a cura di], 2015 - DBMI15, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>. DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI15), aggiornato al 2015, si evince come l'area investigata (dati riferiti al Comune di Pavia) sia stata interessata, a partire dal 1522, da sessantacinque 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 13, che raggruppa gli eventi verificatisi nel corso degli anni.

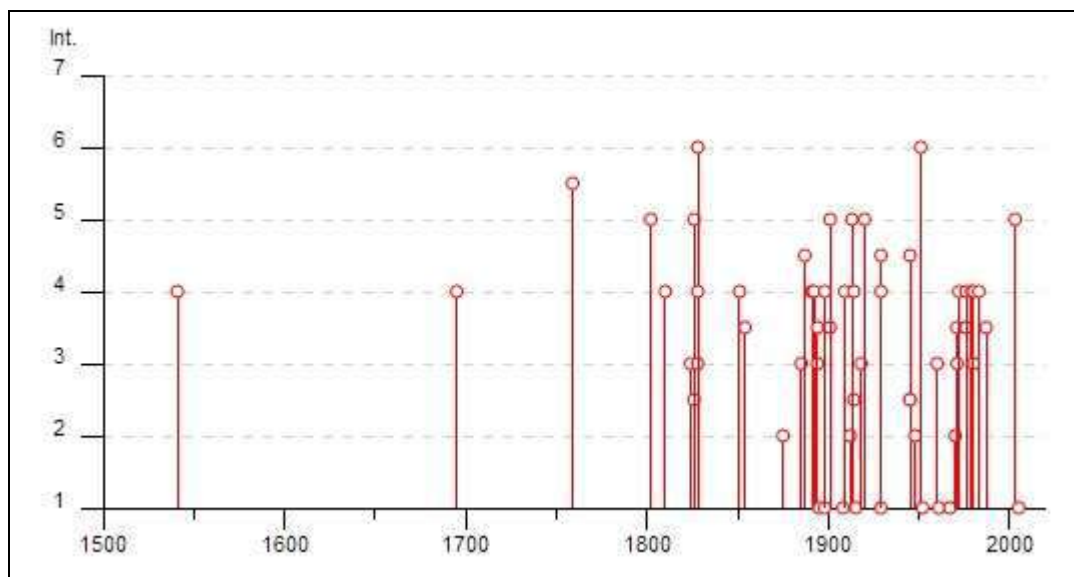


Figura 13 Il grafico mostra una sintesi degli eventi tellurici verificatisi in tempi storici e l'intensità che hanno sviluppato in corrispondenza del sito investigato.

4.1 Scenari di pericolosità sismica locale

Per quanto concerne il fenomeno dell'amplificazione sismica, nella carta della pericolosità sismica locale del vigente PGT comunale (Tavola CG.10, Geol. A. Brambati, ottobre 2023) per il sito di intervento è stato individuato lo scenario Z4a, che corrisponde ad una *zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi*.

Dato che in questo scenario gli effetti attesi consistono in amplificazioni di tipo litologico, in osservanza della vigente normativa in materia è stata svolta l'analisi sismica di secondo livello utilizzando i dati ricavati dalle indagini geofisiche disponibili.

L'analisi sismica di primo livello condotta in sede di predisposizione dello studio geologico redatto a supporto del vigente PGT comunale, ha escluso la possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione (così come evidenziato nella carta della pericolosità sismica locale, che per il sito investigato non riporta lo scenario Z2b). Pertanto la verifica alla liquefazione può essere omessa.

5. FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Nella carta di fattibilità allegata allo studio geologico del vigente PGT comunale (Tavola CG.09, Geol. A. Brambati, aprile 2024), l'ambito di specifico interesse (si veda la Figura 14) è stato inserito nella **classe di fattibilità 2**, ovvero in un'area con *modeste*

limitazioni alla modificazione della destinazione d'uso dei terreni. Tali limitazioni sono dovute alle mediocri/scadenti proprietà geomeccaniche dei terreni di fondazione.



Figura 14 Stralcio della carta di fattibilità geologica del PGT comunale. Il cerchio rosso mostra l'ubicazione dell'area investigata che ricade in classe di fattibilità 2, campita con il colore giallo. Il retino rigato obliquo di colore viola individua lo scenario di amplificazione sismica locale Z4a.

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE-GEOTECNICHE

Allo scopo di ricostruire la strutturazione litostratigrafica dei primi metri del sottosuolo e di definire il modello geologico-geotecnico dei terreni presenti nell'area di interesse, sono stati acquisiti i dati litologici desunti dalle litostratigrafie dei pozzi presenti in zona (oltre che da sondaggi pregressi) ed è stata condotta una prova penetrometrica dinamica continua superpesante tipo DPSH (Dynamic Probing Super Heavy).

È stata predisposta una sola verticale di indagine perché non è stato possibile individuare con un sufficiente grado di precisione l'ubicazione dei sottoservizi, che in corrispondenza del sito di intervento sono numerosi e piuttosto ravvicinati.

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

- | | |
|------------------|----------|
| - Massa battente | 63,50 kg |
| - Altezza caduta | 75,00 cm |

- Lunghezza aste	1,00 m
- Area di punta	20,43 cm ²
- Angolo di apertura punta conica	60°
- Diametro punta conica	51,00 mm

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

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

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

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

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

dove:

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

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

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

dove:

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

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

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

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

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

dove " σN_{SPT} " rappresenta la deviazione standard di N_{SPT} e "n" il numero di campioni.

6.1 Modello geologico-geotecnico

La ricostruzione della composizione litologica del primo sottosuolo è stata effettuata facendo riferimento alle litostratigrafie dei pozzi e dei sondaggi pregressi, che sono state reperite mediante indagini di tipo bibliografico.

Come illustrato nella Figura 15, che riporta la litostratigrafia del sondaggio pregresso ubicato in corrispondenza del campo sportivo (tratta dallo studio geologico comunale), ovvero nel medesimo contesto geologico-geomorfologico, il primo sottosuolo è impostato in depositi alluvionali eminentemente di natura sabbiosa e, in subordine, limoso-sabbiosa.

I dati penetrometrici registrati lungo la verticale della prova, che ha raggiunto una profondità massima di circa 4,60 m dal piano di posizionamento del penetrometro (a causa del conseguimento del "rifiuto"), mostrano la presenza, sino a circa 2 m di profondità dal piano di posizionamento del penetrometro, di materiali di riporto e/o terreni rimaneggiati caratterizzati da un grado di addensamento pressoché nullo.

Per questi materiali, che costituiscono lo strato n. 1 delle tabelle riportate a seguire, anche a seguito della significativa presenza di vuoti, non è stato possibile individuare dei parametri geotecnici affidabili.

Al di sotto del riporto è stato intercettato uno strato (strato n. 2, da 2,00 a 4,60 m circa di profondità dal piano di posizionamento del penetrometro) composto da sabbie e sabbie limose moderatamente addensate e caratterizzate da discrete proprietà geomeccaniche.

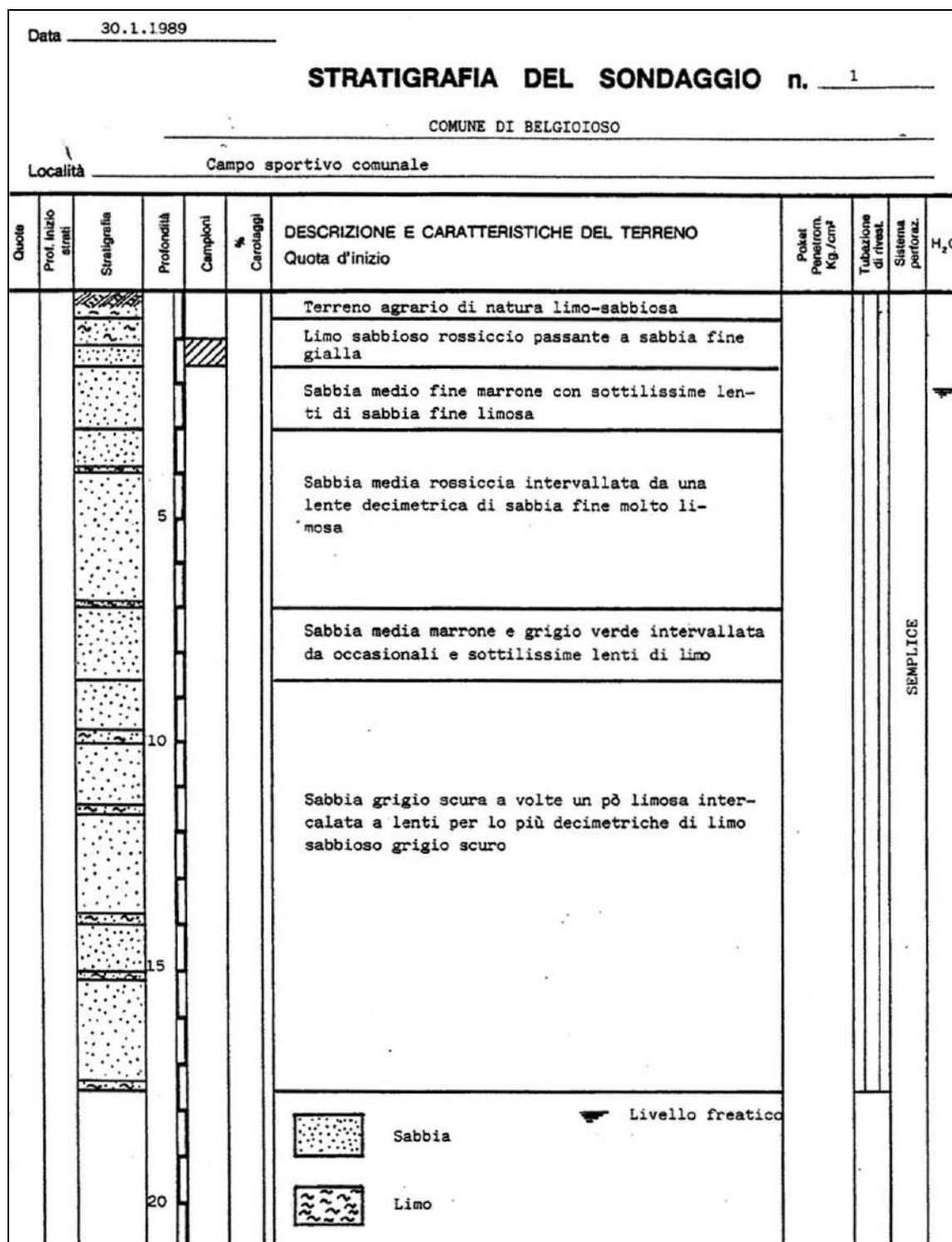


Figura 15 Litostratigrafia del sondaggio pregresso ubicato nei pressi del campo sportivo (da notare la presenza di acque sotterranee individuate a partire da circa 2 m dal p.c.).

Nelle tabelle sottostanti viene mostrata una sintesi dei parametri geotecnici caratteristici degli strati che costituiscono il sottosuolo del sito investigato, la quale fornisce il modello geologico-geotecnico di riferimento per la progettazione.

Strato (n)	Prof. (m)	N _{SPT}	Peso unità di volume (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione efficace (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)
1	0,00-2,00	--	--	--	--	--
2	2,00-4,60	4,12	1,71	28,15	--	--

Strato (n)	Prof. (m)	N _{SPT}	Modulo Edometrico (kg/cm ²)	Modulo Elastico (kg/cm ²)	Modulo Poisson	Coefficiente di Winkler (*) (kg/cm ³)
1	0,00-2,00	--	--	--	--	--
2	2,00-4,60	4,12	29,25	32,96	0,35	0,78

* Stima indipendente dal tipo di fondazione

In funzione dei dati litologici ricavati nel corso delle indagini si ritiene che il sottosuolo del sito investigato, essendo costituito prevalentemente da sabbie, con percentuali variabili di limo (scala Udden-Wentworth, 1922), sia caratterizzato da un comportamento reologico eminentemente di tipo incoerente.

Di conseguenza, al fine di tenere in debita considerazione il calo prestazionale teorico del sedime di imposta che si potrebbe verificare in concomitanza di un evento tellurico (quindi per operare a favore di cautela), il valore della coesione, sia efficace sia non drenata, è stato trascurato e le verifiche geotecniche dovranno essere condotte in condizioni drenate.

6.2 Rilievi freaticometrici

A causa del repentino franamento delle pareti del foro di sondaggio non è stato possibile attrezzarlo a micro-piezometri e, pertanto, non è stato possibile misurare la soggiacenza della falda (per la definizione di questo parametro bisognerà fare riferimento alle considerazioni esposte nel Paragrafo 3.6).

7. INDAGINI SISMICHE

Le indagini sismiche svolte in questa sede sono state rivolte all'individuazione dell'eventuale frequenza di risonanza di sito, alla ricostruzione del profilo dell'andamento delle onde di taglio (S) in profondità ed alla definizione della corrispondente categoria di sottosuolo (si veda la Figura 16).

La summenzionata classificazione si basa sulle condizioni stratigrafiche del substrato e sul valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (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.

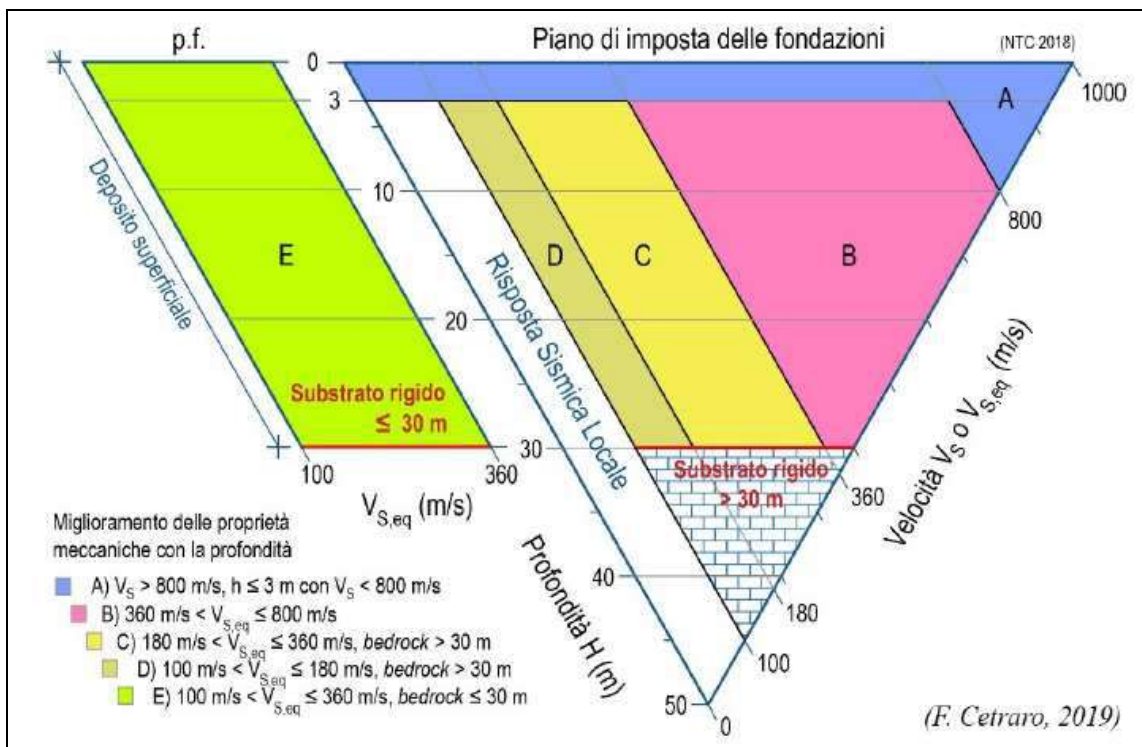


Figura 16 Diagramma per le categorie di sottosuolo secondo i riferimenti delle NTC 2018 (§3.2.2).

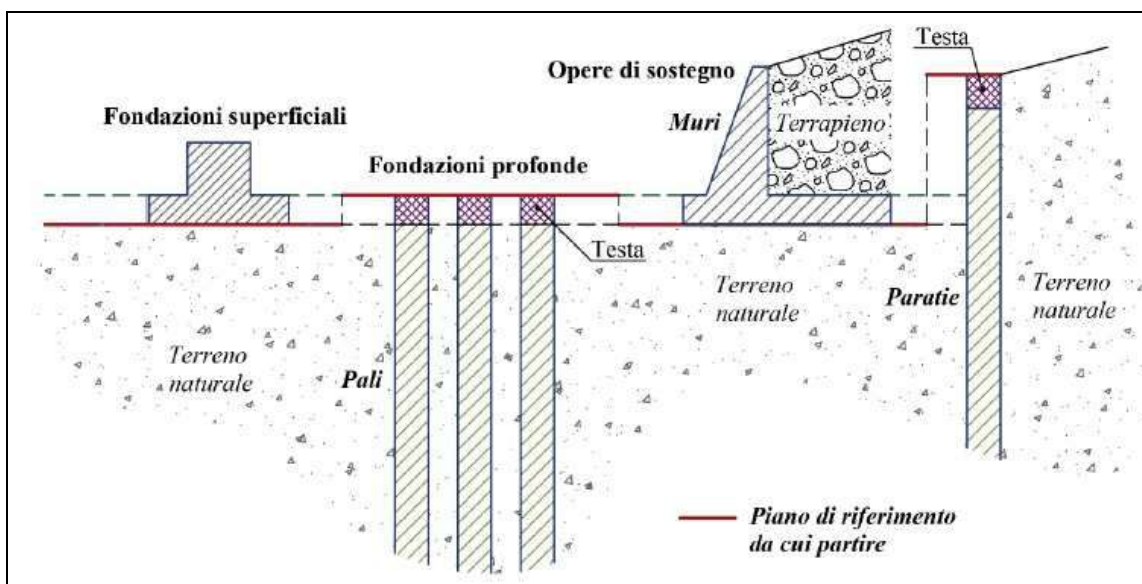


Figura 17 Schemi di riferimento ai sensi delle NTC 2018 (§3.2.2).

È importante precisare che per le fondazioni superficiali la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni di tipo profondo va considerata la testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali la profondità è riferita alla testa dell'opera, invece per i muri di contenimento si deve considerare il piano di imposta della fondazione (si veda la Figura 17).

Per quanto concerne il caso in esame è stata impiegata la tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), che è ascrivibile alla categoria delle indagini sismiche di tipo attivo e che prevede che il segnale sismico sia generato da una sorgente energizzante artificiale, ovvero un maglio che batte su di un'apposita piastra (si veda la Figura 18).

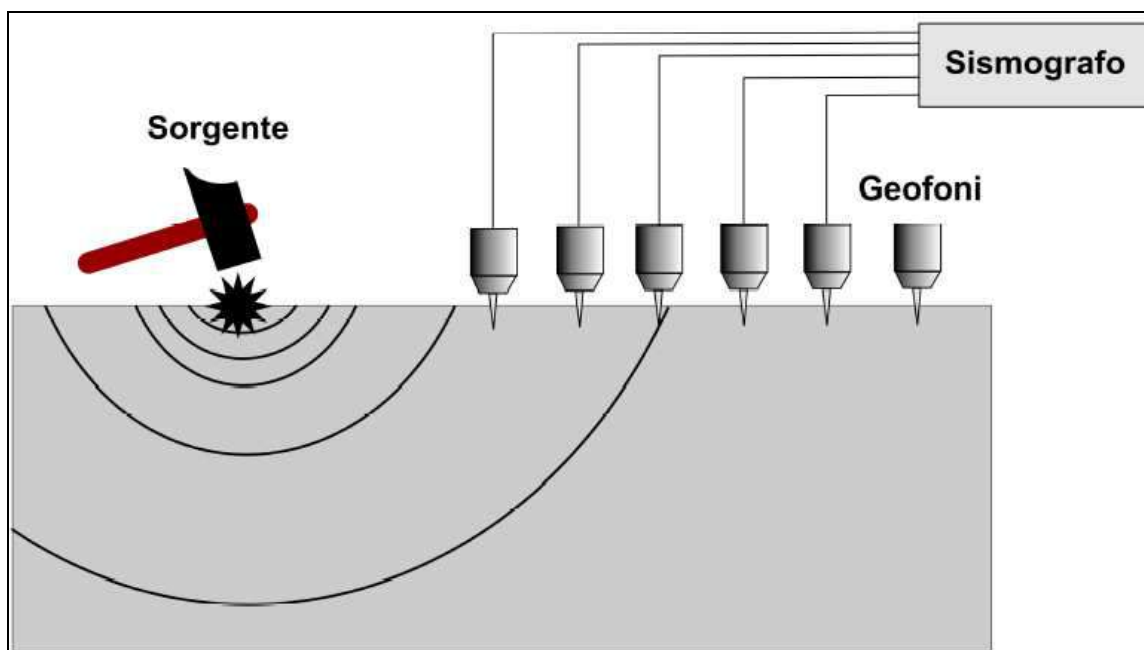


Figura 18 Schema della disposizione dei sensori e della trasmissione dell'impulso.

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

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

È importante precisare che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive, pertanto le alte frequenze, che hanno lunghezze d'onda corte, si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno, mentre le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi (si veda la Figura 19).

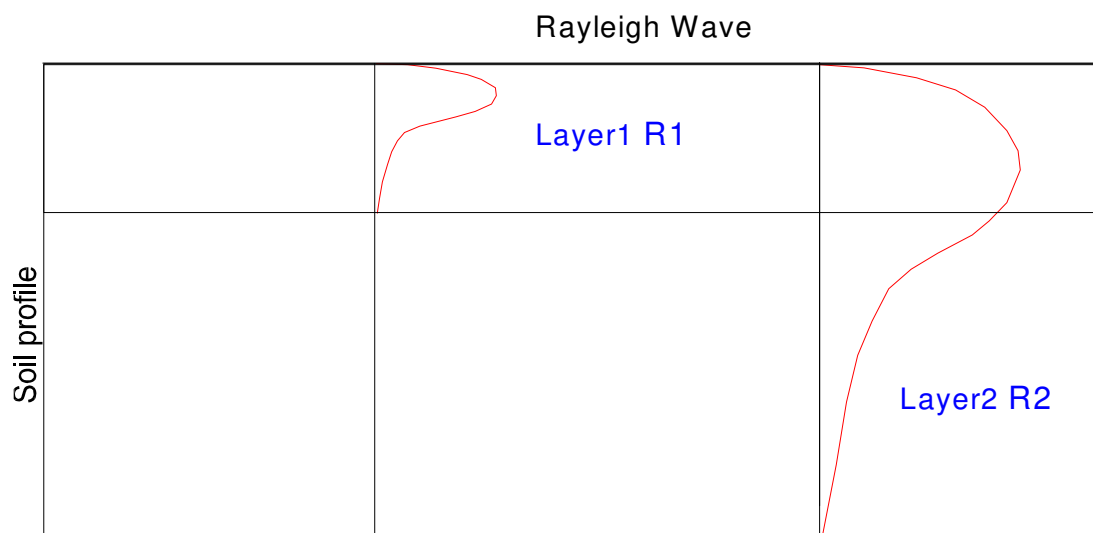


Figura 19 Schema della propagazione delle onde di Rayleigh nel terreno stratificato.

Al summenzionato sismografo è stata collegata una catena di 24 sensori verticali (geofoni) da 4,50 Hz posti a distanza reciproca di 2,50 m per una lunghezza complessiva pari a 65 m (compreso il trigger). L'ubicazione dello stendimento è visualizzata nella Tavola 4, allegata alla presente.

I dati acquisiti sono consistiti nella registrazione dei treni d'onda (prodotti, tramite una mazza battente, all'estremità dello stendimento) dall'istante di energizzazione (+/- 1 μ s) sino ad un tempo massimo di 2.000 msec. L'interpretazione dei dati è stata condotta con il software Easy MASW (della GeoStru Software) e nell'Allegato 2 sono riportati il sismogramma ed i grafici relativi all'indagine svolta.

Tramite l'impiego del software (e sulla base delle informazioni stratigrafiche disponibili) è stata effettuata l'inversione della curva di dispersione sino ad ottenere il diagramma dell'andamento delle onde S nel sottosuolo (si veda la Figura 20).

In funzione dei risultati delle indagini sismiche disponibili il sottosuolo dell'area investigata presenta un valore della velocità equivalente V_{Seq} (per H corrispondente a 30,00 m) pari a **281,65 m/s** e, quindi, appartiene alla **categoria C**, che comprende (Tabella 3.2.II delle NTC 2018): *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*.

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

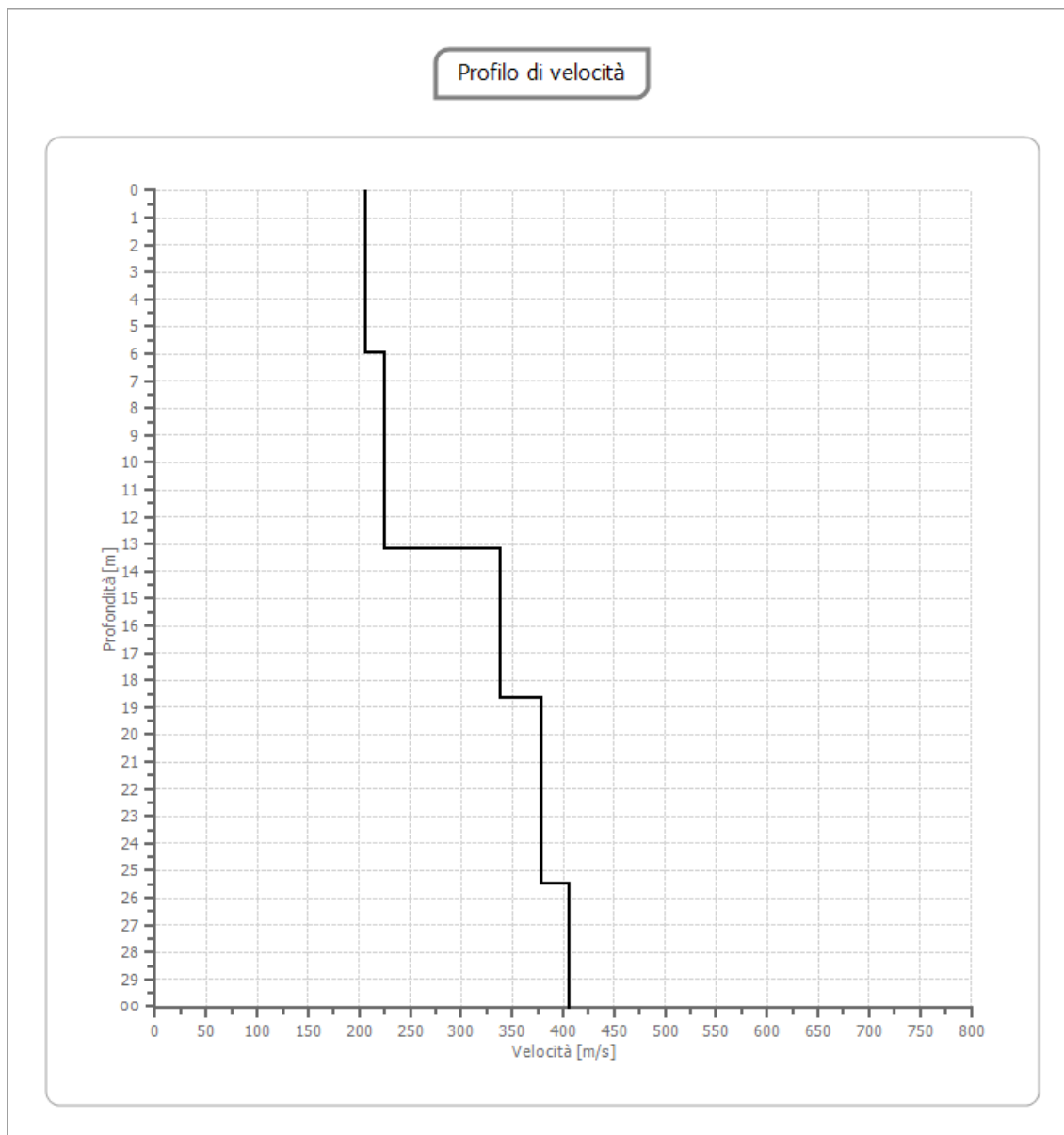


Figura 20 Andamento delle onde S nel sottosuolo ottenuto dall'indagine MASW.

Il **periodo proprio di sito** (T), ricavato dalla relazione matematica riportata a seguire, è pari a **0,403 s**, mentre la **frequenza di risonanza di sito** (F), ipotizzando che sia l'inverso del periodo, può essere stimata dell'ordine di **2,481 Hz**.

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

con:

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

È importante sottolineare che la definizione di questo parametro, necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, è stata effettuata considerando la sismostratigrafia sino alla profondità in cui il valore della velocità V_s rimane inferiore a 800 m/s (in questo caso specifico, non avendo intercettato il bedrock sismico, si è fatto riferimento alla massima profondità di indagine).

8. ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO

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

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

Il fattore di amplificazione (F_a) è stato calcolato per due intervalli di periodo scelti, dal legislatore, in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie più frequenti sul territorio regionale. In particolare l'intervallo tra 0,1÷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 dell'area di intervento, calcolati in funzione dei dati ricavati dalle indagini sismiche, sono stati confrontati con i valori soglia previsti dalla vigente normativa per il Comune di Belgioioso (PV), 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 21), la cui validità è stata verificata attraverso il confronto tra l'andamento delle V_s proposto dalla Regione Lombardia e quello mostrato dal profilo geofisico relativo al sito investigato, con un **periodo T** pari a **0,403 s** e facendo riferimento alla **curva 2**.

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

Intervallo periodo	Fattori di amplificazione Calcolati (FAC)	Valori soglia suoli C (FAS)	Risultato
0,1÷0,5 s	1,63	1,90	Verificato
0,5÷1,5 s	1,65	2,40	Verificato

Fattori di amplificazione

Dato che i fattori di amplificazione calcolati (FAC) sono inferiori ai valori soglia comunali (FAS), la verifica di secondo livello risulta soddisfatta per entrambi gli intervalli di periodo. Ne consegue che in fase di progettazione bisognerà fare riferimento alla **categoria di sottosuolo C** ed utilizzare i parametri sito-specifici riportati nel Capitolo successivo.

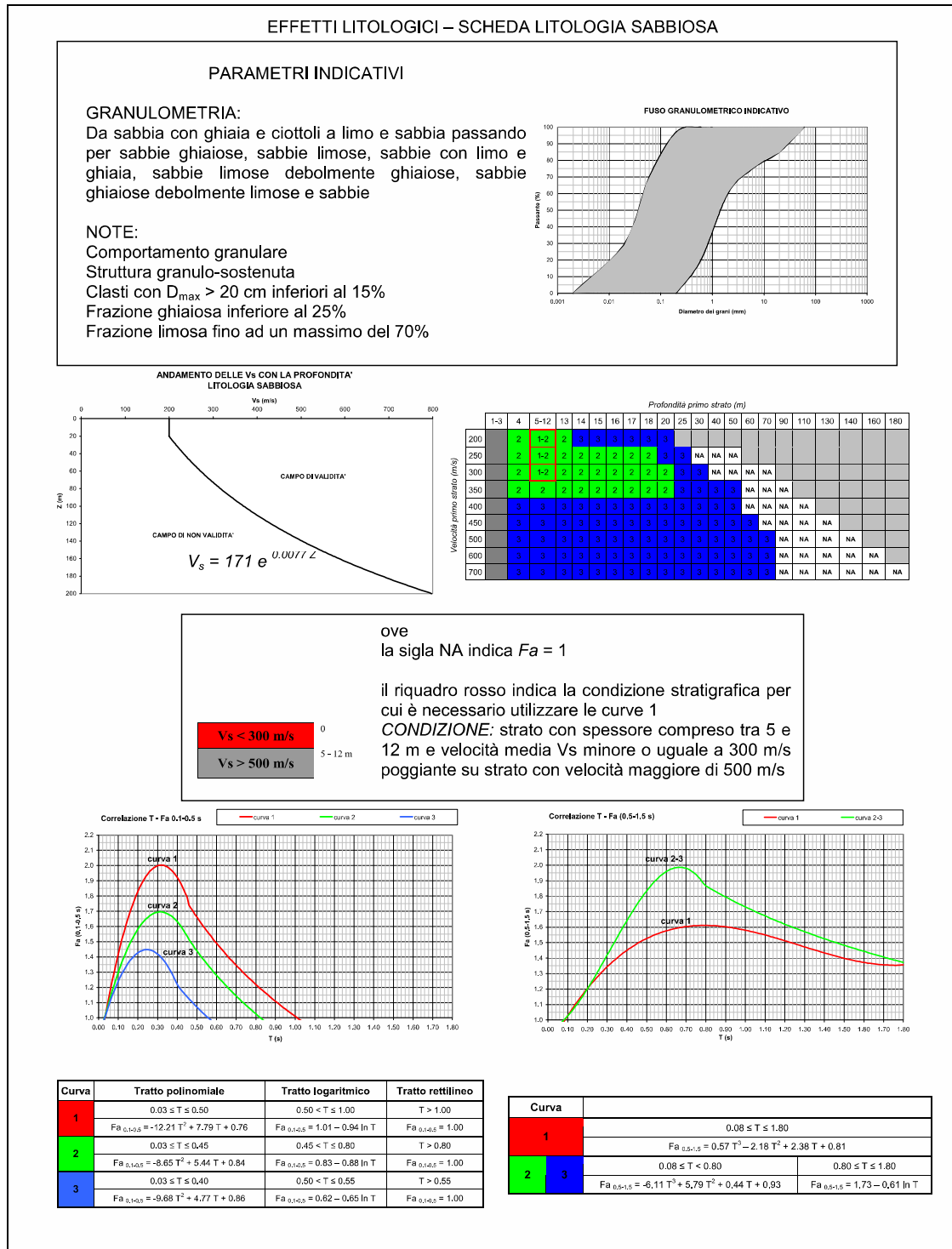
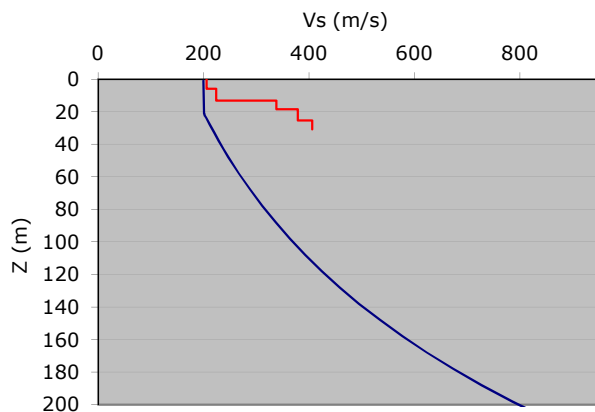
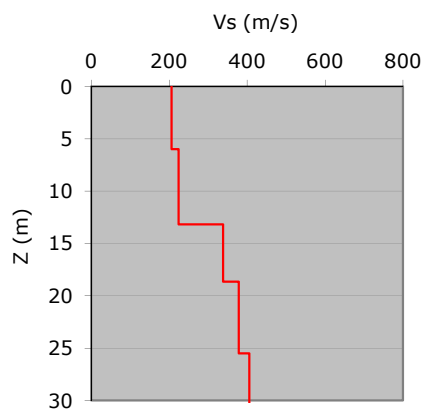


Figura 21 Effetti litologici – Scheda litologia sabbiosa.

AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA - DETERMINAZIONE DEL F_a
D.G.R. n. IX/2616 del 30/11/11 - Allegato 5

PROFILO GEOFISICO BELGIOIOSO (PV) - VIA GARIBALDI

STRATO	h	Z	Vs	Vs*Hi
1	5,98	5,98	205,7	1230
2	7,19	13,17	224,2	1612
3	5,47	18,64	338,0	1849
4	6,85	25,49	378,8	2595
5	5,46	30,95	406,0	2217



SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

PERIODO (T)

0,403



SCHEDA

sabbiosa

CURVA

2



Fa (0,1-0,5 S)

1,63 **FAC**

Fa (0,5-1,5 S)

1,65 **FAC**

VALORI SOGLIA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE F_a : COMUNE DI BELGIOIOSO (PV)

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

FAC		FAS	
Fa (0,1-0,5 S)	1,63		
SUOLO C		1,90	VERIFICATO
Fa (0,5-1,5 S)	1,65	2,40	VERIFICATO
SUOLO C			

FAC Fattore Amplificazione Calcolato
FAS Fattore Amplificazione Soglia comunale

9. AZIONE SISMICA DI PROGETTO

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

Quest'ultima costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche ed è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa (a_g) in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla *pericolosità sismica* del sito.

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

- 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.

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

Gli stati limite di esercizio sono:

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

Gli stati limite ultimi sono:

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

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

- **Tipo di costruzione e vita nominale;** la vita nominale (V_N) di un determinato tipo di costruzione è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I delle NTC 17/01/2018 e deve essere precisata nei documenti di progetto.
- **Classe d'uso;** in presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in quattro classi d'uso:
 - **Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
 - **Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
 - **Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
 - **Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.
- **Coefficiente d'uso;** Il valore del coefficiente d'uso (C_U) è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella Tab. 2.4.II delle NTC 17/01/2018.
- **Periodo di riferimento per l'azione sismica;** le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento (V_R) espresso in anni che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U secondo la relazione: $V_R = V_N \cdot C_U$. Nel caso che V_R assuma un valore ≤ 35 , si pone comunque pari a 35.
- **Probabilità di superamento nel periodo di riferimento;** le probabilità di superamento nel periodo di riferimento (P_{VR}), cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I delle NTC 17/01/2018.
- **Categoria di suolo;** ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II delle NTC 17/01/2018).
- **Condizioni topografiche;** per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione riportata nella Tab. 3.2.III delle NTC 17/01/2018.
- **Accelerazione massima attesa al sito;** l'accelerazione massima attesa al sito (a_{max}) si ricava dalla seguente relazione: $a_{max} = S_S \times S_T \times a_g$.
 S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica (indicato nella Tab. 3.2.IV delle NTC 17/01/2018) relativo a ciascuna classe di sottosuolo, S_T è il coefficiente di amplificazione topografica (riportato nella Tab. 3.2.V delle NTC 17/01/2018) espresso in funzione delle caratteristiche topografiche del sito, e a_g è l'accelerazione orizzontale massima al sito.
- **Coefficiente sismico di accelerazione orizzontale;** tale coefficiente (K_h) si ricava dalla seguente relazione: $K_h = \beta_S a_{max} / g$.
- **Coefficiente sismico di accelerazione verticale;** tale coefficiente (K_v) si ricava dalla seguente relazione: $K_v = K_h / 2$.
- **Periodo di ritorno;** il periodo di ritorno (T_R) si determina dalla seguente relazione: $T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$.

9.1 Parametri sismici sito-specifici

Di seguito sono riportati i parametri sismici specifici per il sito di intervento e relativi agli stati limite considerati, così come richiesto dalla vigente normativa in materia (D.M. 17/01/2018), mentre nella Figura 22 è visualizzata la maglia di riferimento dei valori dello spettro di risposta elastico e la Figura 23 mostra gli spettri di progetto per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

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

- **Sito in esame**

latitudine: 45,161431 (coordinate ED50)
 longitudine: 9,315328 (coordinate ED50)
 Classe: 3
 Vita nominale: 50

- **Siti di riferimento**

Sito 1 ID: 13594 Lat: 45,1622 Lon: 9,3095 Distanza: 463,226
 Sito 2 ID: 13595 Lat: 45,1646 Lon: 9,3802 Distanza: 5099,896
 Sito 3 ID: 13817 Lat: 45,1147 Lon: 9,3837 Distanza: 7468,823
 Sito 4 ID: 13816 Lat: 45,1122 Lon: 9,3130 Distanza: 5475,073

- **Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 75 anni
 Coefficiente cu: 1,50

	<i>Unità di misura</i>	Operatività (SLO)	Danno (SLD)	Salvaguardia della vita (SLV)	Prevenzione dal collasso (SLC)
Probabilità di superamento:	%	81	63	10	5
Tr:	[anni]	45	75	712	1462
ag:	g	0,031	0,038	0,098	0,129
Fo:		2,533	2,552	2,463	2,456
Tc*:	[s]	0,210	0,228	0,281	0,284

Coefficienti Sismici				
	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss:	1,50	1,50	1,50	1,50
Cc:	1,76	1,71	1,60	1,59
St:	1,00	1,00	1,00	1,00
Kh:	0,009	0,011	0,029	0,047
Kv:	0,005	0,006	0,015	0,023
Amax:	0,451	0,555	1,440	1,901
Beta:	0,200	0,200	0,200	0,240

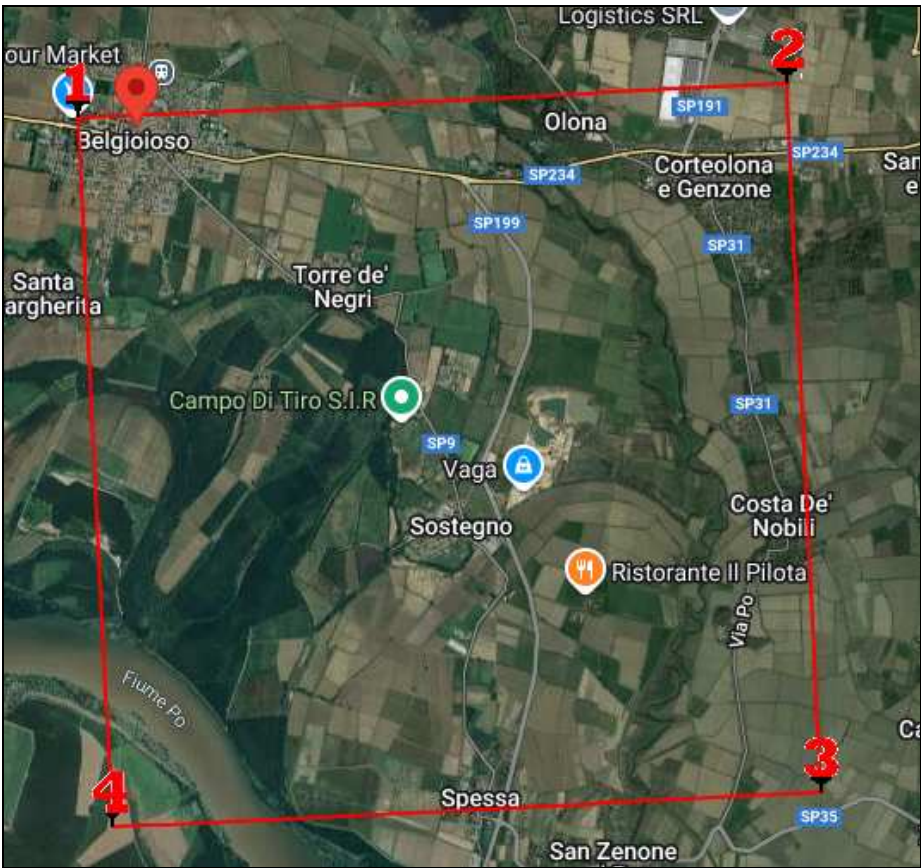


Figura 22 Vertici della maglia riferimento dei valori dello spettro di risposta elastico.

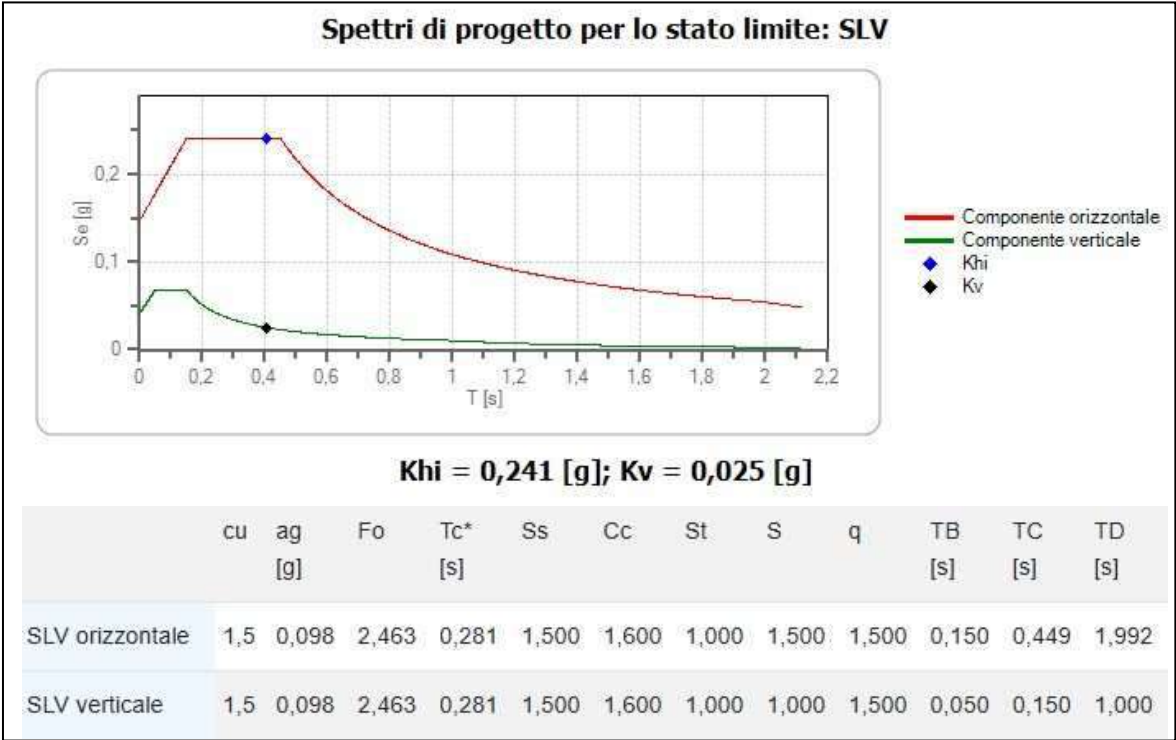


Figura 23 Spettri di progetto per lo stato limite SLV.

L'accelerazione sismica massima comunale (AgMax) ai sensi della D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014 (O.P.C.M. 3519/06) è pari a 0,088805 (Ag/g), mentre l'accelerazione massima PGA (Peak Ground Acceleration), calcolata in relazione ai parametri sito specifici, è pari a 0,133207 (Ag/g).

10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione geologica e geotecnica (R1+R2+R3) è stata redatta a supporto dei lavori di realizzazione di arredo urbano e di riqualificazione del borgo storico di Belgioioso (PV), in via Giuseppe Garibaldi ed in piazza Vittorio Veneto.

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

Nei paragrafi successivi vengono analizzate le principali problematiche che potrebbero interessare le suddette opere, individuando gli accorgimenti tecnici e gli interventi di salvaguardia idrogeologica che dovranno essere adottati per garantire la stabilità e la fruibilità, nel tempo, delle strutture che si intendono realizzare.

10.1 Operazioni di scavo

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.

I fronti di scavo aperti dovranno essere protetti tramite il posizionamento di idonee strutture di sostegno, in grado di contrastare la spinta delle terre ed i sovraccarichi delle strutture e degli edifici circostanti.

In concomitanza con l'apertura degli scavi la Direzione Lavori dovrà verificare che i terreni che costituiranno il sedime di imposta delle nuove opere di fondazione siano costituiti dai terreni sabbiosi (non rimaneggiati) afferenti allo strato n. 2 del modello geologico-geotecnico descritto nel Paragrafo 6.1; tale accertamento è di fondamentale importanza poiché le indagini geognostiche-geotecniche sono di tipo puntuale.

Qualora in fase di scavo dovessero essere individuati, in corrispondenza del piano di posa delle opere di appoggio, limi, argille, torbe, terreno vegetale, riporti, terreni rimaneggiati, ecc. (ovvero materiali contraddistinti da scadenti proprietà geomeccaniche), si dovrà provvedere all'esecuzione di un intervento di bonifica geotecnica che consisterà nella completa rimozione dei suddetti materiali e nella loro sostituzione con un congruo orizzonte di ghiaia (miscele ghiaioso-sabbiose classe A2-4 della classificazione AASHTO – U.N.I. 10006) adeguatamente rullata e compattata (oppure nell'attuazione di interventi di pari efficacia).

Questa operazione dovrà essere attuata anche se i materiali in questione interessassero solo una porzione del piano di imposta, che dovrà essere il più uniforme possibile (per impedire che si verifichino assestamenti di tipo differenziale).

Il fondo delle fosse di fondazione dovrà essere circa orizzontale e le eventuali acque di falda e/o stagnanti dovranno essere allontanate dallo scavo prima dell'esecuzione dei getti.

10.2 Opere di fondazione

Il dimensionamento delle strutture fondazionali dovrà essere effettuato alla luce dei dati geotecnici e sismici forniti nella presente relazione, fatte salve le verifiche da svolgere in fase di scavo.

Inoltre il progettista strutturale dovrà verificare che le azioni di progetto siano inferiori alla resistenza fornita dal substrato 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 (così come indicato nel Capitolo 4), utilizzando i parametri sismici sito-specifici riportati nel Paragrafo 9.1 della presente.

In ogni caso le fondazioni 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.

Per favorire una più omogenea e razionale ripartizione delle azioni di progetto che verranno trasmesse al terreno, dovrà essere predisposto, al di sotto del piano di imposta delle opere di appoggio, uno strato di sottofondazione costituito da un orizzonte di magrone. Quest'ultimo, leggermente sporgente rispetto all'impronta della fondazione, dovrà avere uno spessore di almeno 0,10 m.

10.3 Aspetti sismici

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.

In base ai risultati delle indagini sismiche disponibili (V_{Seq} 281,65 m/s e periodo proprio di sito 0,403 s) ed in funzione dei riscontri positivi ottenuti dall'analisi sismica di secondo livello, in fase di progettazione bisognerà fare riferimento alla categoria di sottosuolo C (Tabella 3.2.II delle NTC 2018), mentre la categoria topografica è T1 (Tabella 3.2.III delle NTC 2018).

Nel Paragrafo 9.1 sono riportati i parametri sismici sito-specifici relativi alle condizioni litostratigrafiche e geomorfologiche ed alla tipologia delle opere in progetto.

10.4 Problematiche idrogeomorfologiche

Dal punto di vista idrogeomorfologico, così come illustrato nei precedenti capitoli ed in accordo con quanto riportato nello studio geologico redatto a supporto del vigente PGT comunale, il principale fattore limitante è rappresentato dalla possibile interazione con le acque che circolano nel sottosuolo.

Di conseguenza le strutture fondazionali (così come le porzioni ipogee in genere) dovranno essere impermeabilizzate e 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.

La scelta della tipologia del sistema di impermeabilizzazione da adottare dovrà essere effettuata dal progettista in funzione dell'efficacia del sistema stesso e delle esigenze tecniche di progetto, in modo tale da impedire che si verifichino fenomeni di risalita dell'umidità naturale del terreno, di infiltrazione e di impregnazione idrica in genere.

Tutte le opere presenti in loco devono essere dotate di una puntuale ed efficiente rete di raccolta delle acque meteoriche, che vanno convogliate entro idonei recapiti evitando dispersioni incontrollate nel sottosuolo, soprattutto in corrispondenza delle strutture fondazionali.

Queste dispersioni potrebbero, a lungo andare, comportare un'alterazione delle proprietà geotecniche del sedime di imposta delle fondazioni, con ripercussioni negative sull'integrità dei manufatti esistenti e di futura costruzione.

10.5 Conclusioni

In conclusione si ritiene che gli interventi in progetto siano compatibili con il locale contesto geologico-geomorfologico ed idrogeologico e che la loro messa in opera, se effettuata a regola d'arte, non comporterà variazioni significative dell'assetto attuale della zona.

Si sottolinea che esula dalle competenze dello scrivente qualsiasi considerazione in merito allo stato di conservazione ed alla resistenza statica delle strutture esistenti (sia fondazionali sia in elevazione) e, in particolare, al loro comportamento in relazione alle azioni indotte dalle opere di cui in epigrafe. Le suddette considerazioni riguardano esclusivamente il progettista che dovrà attentamente valutare le interazioni tra le opere esistenti e quelle di nuova costruzione.

Quindi, ferme restando le prescrizioni contenute nel vigente PGT comunale (anche se non citate e/o menzionate nel presente elaborato) e fatte salve le limitazioni imposte dalla normativa sovraordinata, si esprime parere favorevole in merito alla fattibilità

geologica delle opere di cui in epigrafe, purché vengano scrupolosamente rispettate le indicazioni espresse nel corso del presente elaborato.

Si precisa, infine, che se in corso d'opera si verificassero condizioni anomale rispetto a quelle indicate nella modellazione litologico-litotecnica ed idrogeologica proposta in questa sede, sarà la Direzione Lavori ad optare per approfondimenti di indagine e/o soluzioni diverse da quelle previste.

Breno, maggio 2025



Dott. Filippo Pezzotti Geologo

Ordine Geologi Lombardia n. 1264



Stralcio della C.T.R. della Regione Lombardia - Sezioni n. B7c4 e n. B7c5



Ubicazione dell'area di intervento.



REALIZZAZIONE ARREDO URBANO E RIQUALIFICAZIONE BORGO STORICO PIAZZA VITTORIO VENETO / VIA GARIBALDI - BELGIOIOSO (PV)

TAVOLA 1

SCALA 1:10.000

COROGRAFIA



**Consulenza Geologica,
Geotecnica ed Idrogeologica**

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

Committente: Comune di Belgioioso - Provincia di Pavia



LEGENDA



Ubicazione dell'area di intervento.



Ripiano del "Fluviale Recente" o "Piano Generale Terrazzato della Pianura". Depositi alluvionali ascrivibili al Fluvioglaciale Würm (Pleistocene superiore).



Canale irriguo o roggia principale.



REALIZZAZIONE ARREDO URBANO E RIQUALIFICAZIONE BORGO STORICO PIAZZA VITTORIO VENETO / VIA GARIBALDI - BELGIOIOSO (PV)

TAVOLA 2

SCALA 1:10.000

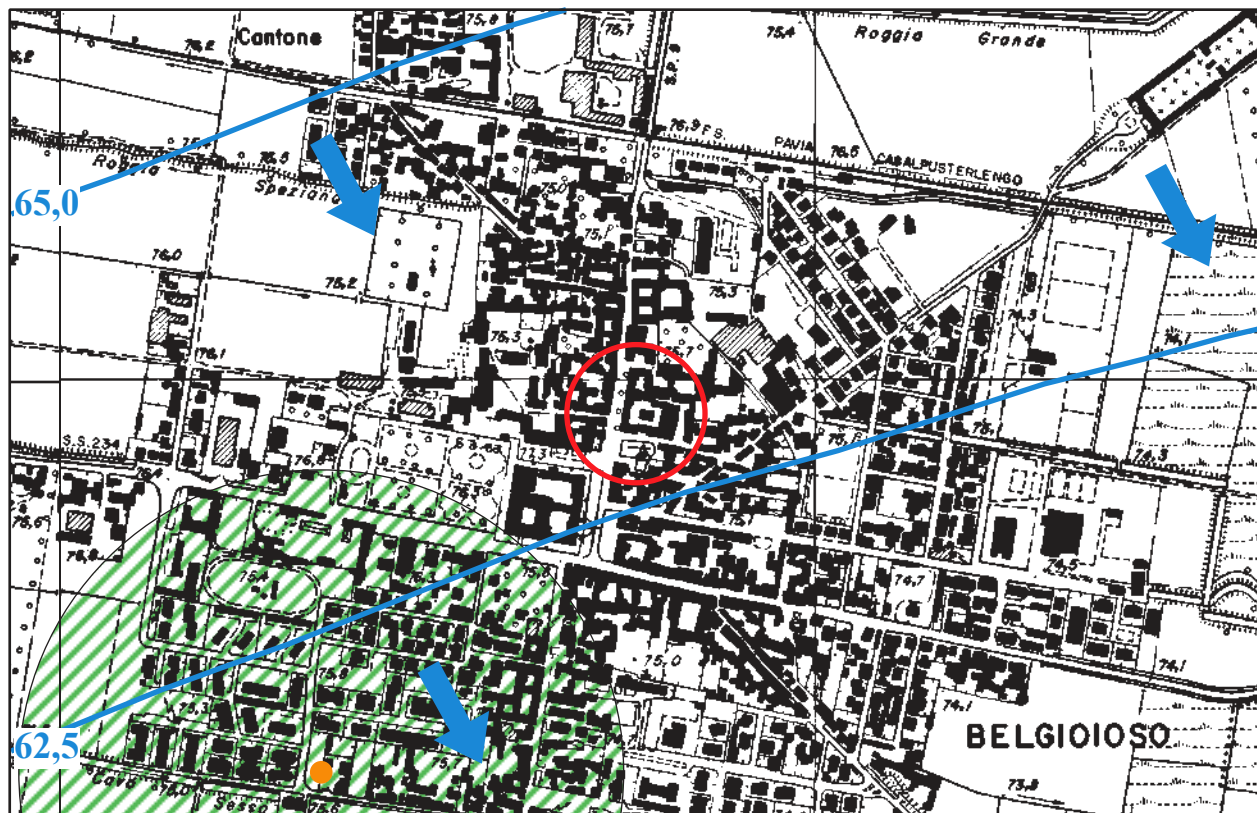
CARTA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA



Consulenza Geologica,
Geotecnica ed Idrogeologica

Dott. Filippo Pezzotti Geologo
Ordine Geologi Lombardia 1264

Committente: Comune di Belgioioso - Provincia di Pavia



LEGENDA



Ubicazione dell'area di intervento.

62,5

Linea isofreatica (il numero indica la quota assoluta della superficie piezometrica espressa in m s.l.m.) tratta dallo studio geologico comunale.



Senso di flusso generalizzato della falda principale.



Pozzo ad uso acquedottistico con la fascia di rispetto (retino rigato obliquo di colore verde).



REALIZZAZIONE ARREDO URBANO E RIQUALIFICAZIONE BORGO STORICO PIAZZA VITTORIO VENETO / VIA GARIBALDI - BELGIOIOSO (PV)

TAVOLA 3

SCALA 1:10.000

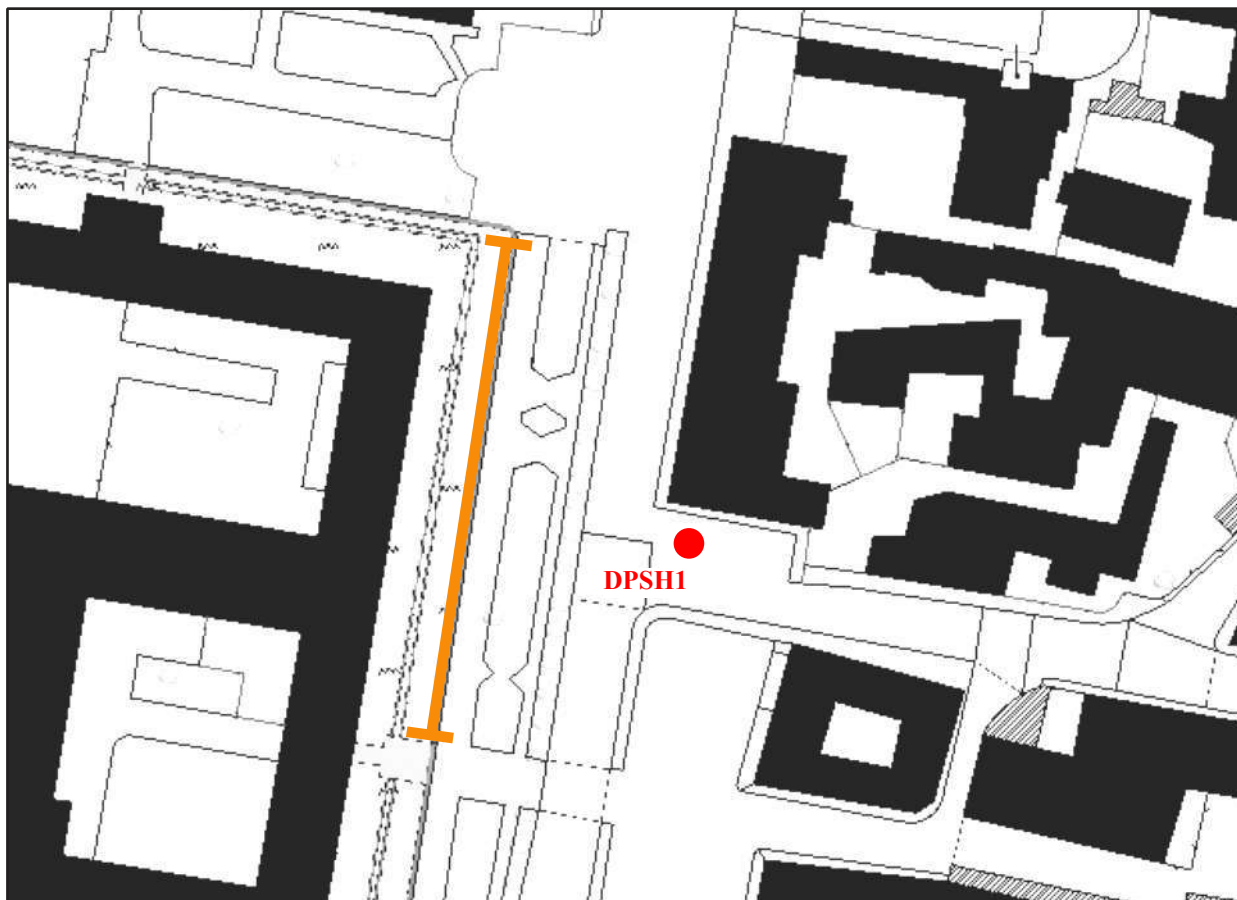
CARTA IDROGEOLOGICA



Consulenza Geologica,
Geotecnica ed Idrogeologica

Dott. Filippo Pezzotti Geologo
Ordine Geologi Lombardia 1264

Committente: Comune di Belgioioso - Provincia di Pavia



LEGENDA



Stendimento sismico MASW.



DPSH1

Prova penetrometrica dinamica DPSH con il relativo codice di identificazione.



REALIZZAZIONE ARREDO URBANO E RIQUALIFICAZIONE BORGO STORICO PIAZZA VITTORIO VENETO / VIA GARIBALDI - BELGIOIOSO (PV)

TAVOLA 4

SCALA 1:1.000

UBICAZIONE DELLE INDAGINI



**Consulenza Geologica,
Geotecnica ed Idrogeologica**

Dott. Filippo Pezzotti Geologo
Ordine Geologi Lombardia 1264

Committente: Comune di Belgioioso - Provincia di Pavia

ALLEGATO 1

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committenti: Comune di Belgioioso
Cantiere: Piazza Vittorio Veneto
Località: Belgioioso (PV)

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

PENETROMETRO DPSH TG 63-100 PAGANI



Caratteristiche Tecniche-Strumentali prove penetrometriche dinamiche:

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

PROVA DPSH1

Prova eseguita in data 24/04/2025
 Profondità prova 4,60 m (rifiuto)
 Falda non rilevata (foro chiuso)
 Tipo elaborazione Nr. Colpi distribuzione normale R.C.

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)
0,20	0	0,855	0,00	0,00
0,40	1	0,851	8,94	10,51
0,60	0	0,847	0,00	0,00
0,80	0	0,843	0,00	0,00
1,00	0	0,840	0,00	0,00
1,20	1	0,836	8,07	9,65
1,40	0	0,833	0,00	0,00
1,60	0	0,830	0,00	0,00
1,80	1	0,826	7,37	8,92
2,00	0	0,823	0,00	0,00
2,20	3	0,820	21,94	26,75
2,40	4	0,817	29,15	35,67
2,60	3	0,814	20,25	24,86
2,80	2	0,811	13,45	16,58
3,00	3	0,809	20,11	24,86
3,20	3	0,806	20,04	24,86
3,40	2	0,803	13,32	16,58
3,60	4	0,801	24,80	30,97
3,80	3	0,798	18,54	23,23
4,00	5	0,796	30,81	38,71
4,20	3	0,794	18,43	23,23
4,40	3	0,791	18,38	23,23
4,60	3	0,789	17,20	21,79

PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH1**Densità relativa**

Strato (n)	N _{SPT}	Prof. Strato (m)	Correlazione	Densità relativa (%)
1	--	0,00-2,00	Skempton (1986)	--
2	4,12	2,00-4,60	Skempton (1986)	28,45

Angolo di resistenza al taglio

Strato (n)	N _{SPT}	Prof. Strato (m)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
1	--	0,00-2,00	Sowers (1961)	--
2	4,12	2,00-4,60	Sowers (1961)	28,15

Modulo di Young

Strato (n)	N _{SPT}	Prof. Strato (m)	Correlazione	Modulo di Young (kg/cm ²)
1	--	0,00-2,00	Schmertmann (1978)	--
2	4,12	2,00-4,60	Schmertmann (1978)	32,96

Modulo Edometrico

Strato (n)	N _{SPT}	Prof. Strato (m)	Correlazione	Modulo Edometrico (kg/cm ²)
1	--	0,00-2,00	Farrent 1963	--
2	4,12	2,00-4,60	Farrent 1963	29,25

Classificazione AGI

Strato (n)	N _{SPT}	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione AGI
1	--	0,00-2,00	Classificazione A.G.I	--
2	4,12	2,00-4,60	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO

Peso unità di volume

Strato (n)	N _{SPT}	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
1	--	0,00-2,00	Meyerhof 1951	--
2	4,12	2,00-4,60	Meyerhof 1951	1,71

Modulo di Poisson

Strato (n)	N _{SPT}	Prof. Strato (m)	Correlazione	Poisson
1	--	0,00-2,00	(A.G.I.)	--
2	4,12	2,00-4,60	(A.G.I.)	0,35

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Strato (n)	N _{SPT}	Prof. Strato (m)	Correlazione	G (kg/cm ²)
1	--	0,00-2,00	Ohsaki	64,39
2	4,12	2,00-4,60	Ohsaki	245,99

Coefficiente di Winkler *

Strato (n)	N _{SPT}	Prof. Strato (m)	Correlazione	K (kg/cm ³)
1	--	0,00-2,00	Navfac 1971-1982	--
2	4,12	2,00-4,60	Navfac 1971-1982	0,78

* stima indipendente dal tipo di fondazione

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROVA DPSH1

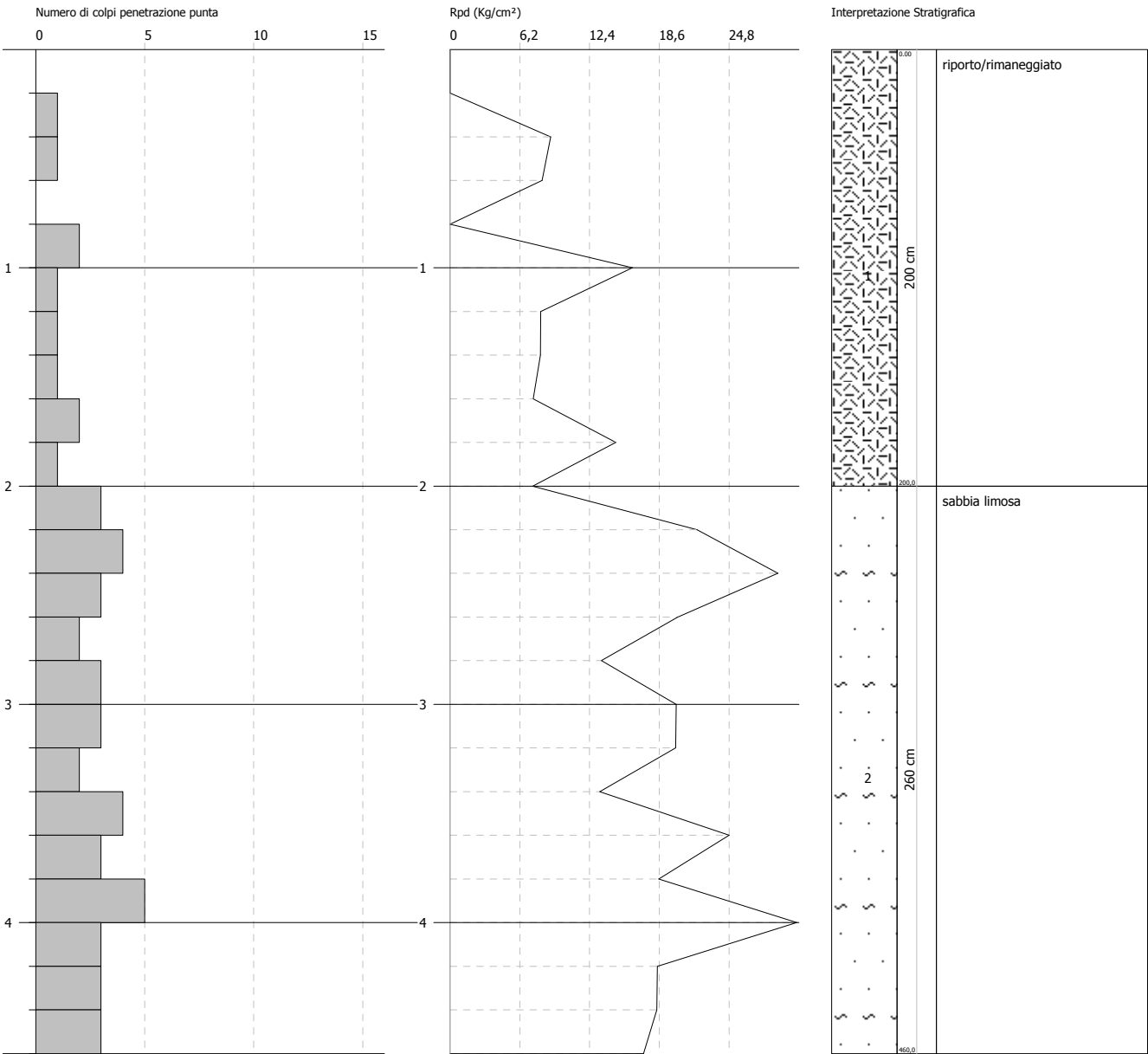


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI

Committente: Comune di Belgioioso
Descrizione: Piazza Vittorio Veneto
Località: Belgioioso (PV)

Data: 24/04/2025

Scala 1:30



ALLEGATO 2

INDAGINE SISMICA MASW

Committente	Comune di Belgioioso
Cantiere	Via Garibaldi
Località	Belgioioso (PV)
Data	13/12/2024

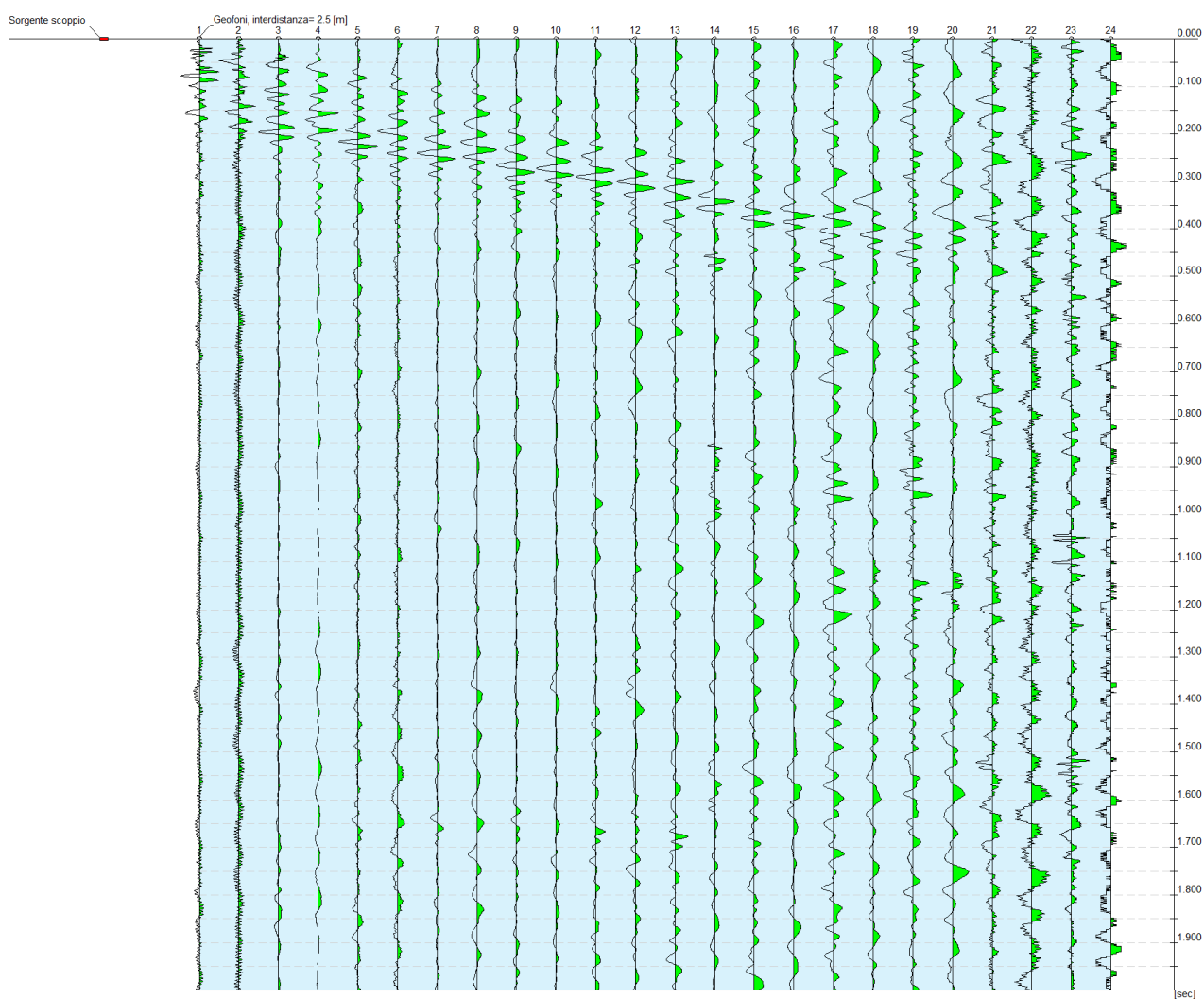


- Sismografo tipo “DoReMi” multicanale (SARA electronic instruments)
- Frequenza di campionamento 1000 Hz
- Sensori verticali (geofoni) da 4.5 Hz

SISMOGRAMMA

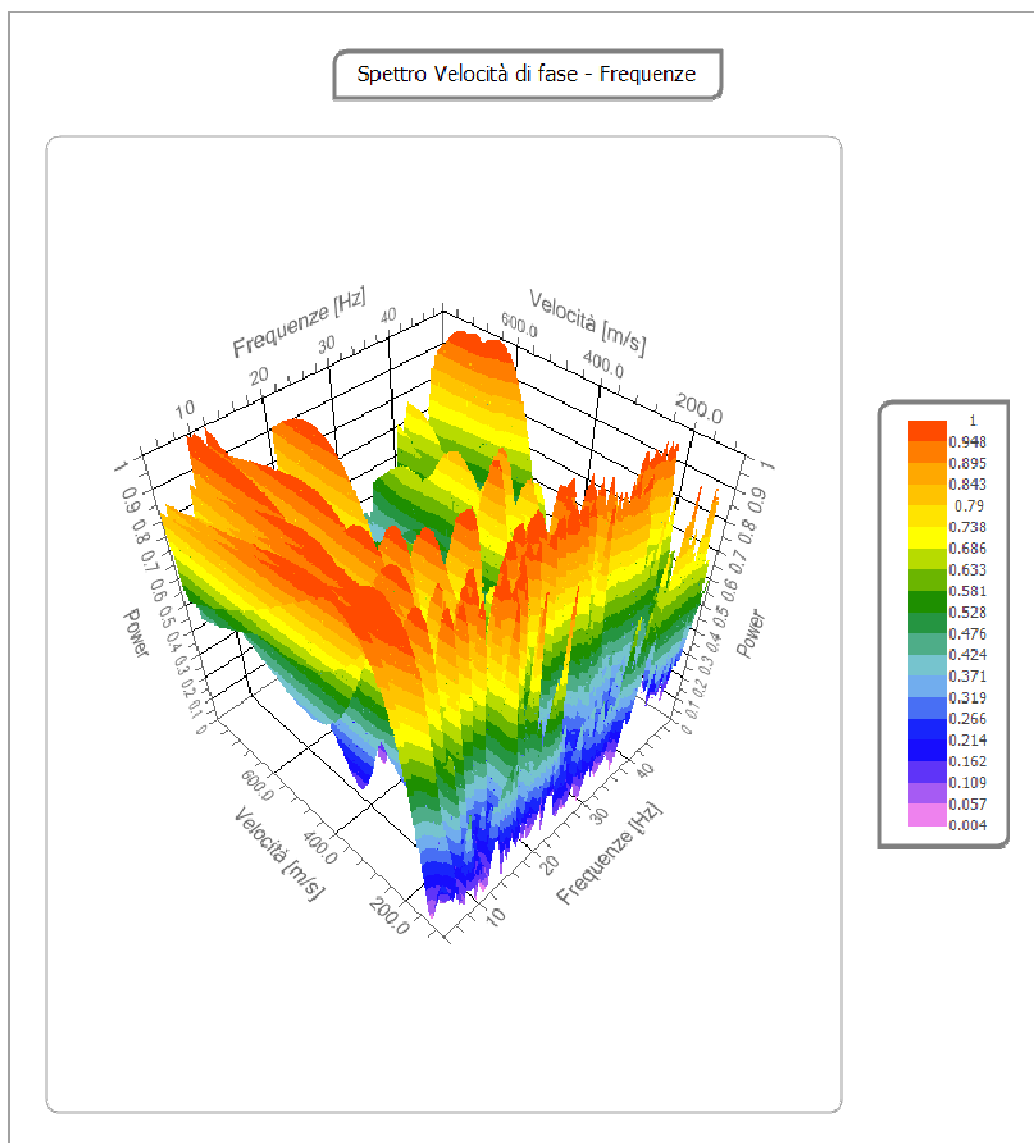
- Numero tracce 24
- Lunghezza stendimento 65 m
- Durata acquisizione 2000 msec
- Interdistanza geofonica 2.50 m
- Periodo di campionamento 1 msec

Committente: Comune di Belgioioso
Cantiere: Via Garibaldi
Località: Belgioioso
Data: 13/12/2024

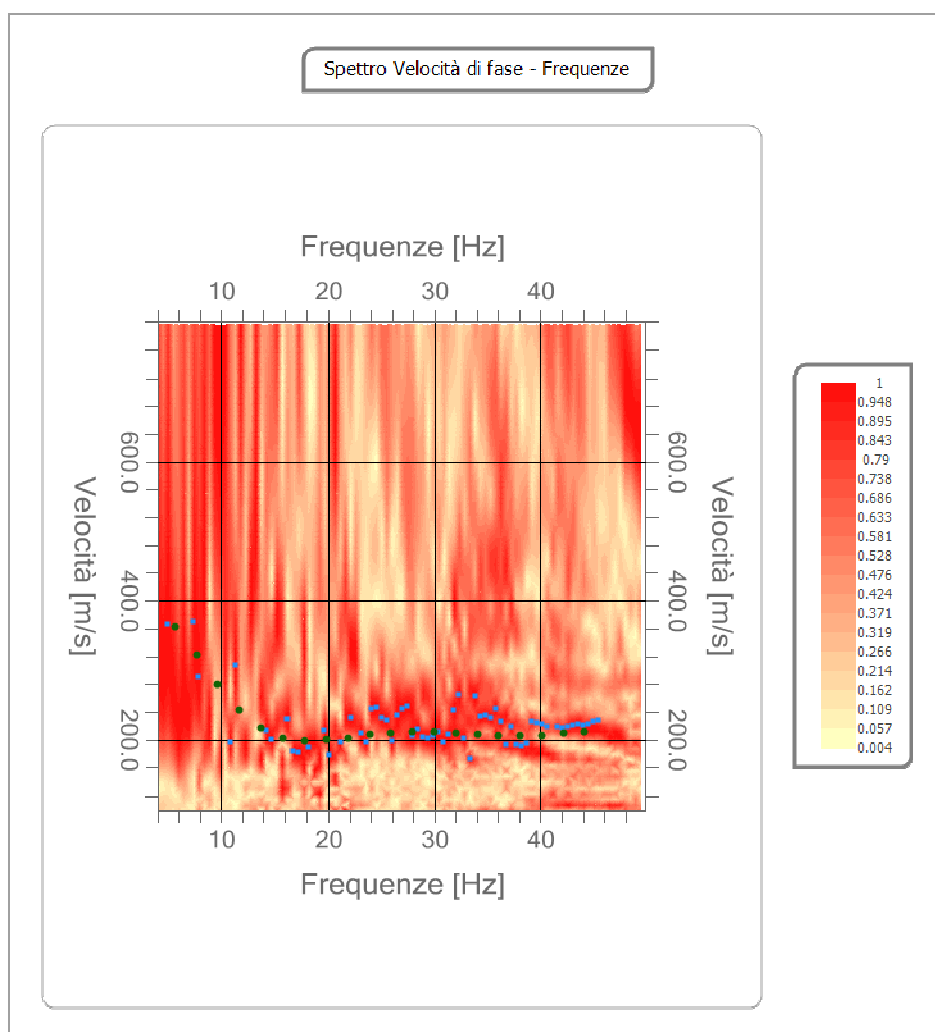


ANALISI SPETTRALE

- Frequenza minima di elaborazione 4 Hz
- Frequenza massima di elaborazione 50 Hz
- Velocità minima di elaborazione 100 m/sec
- Velocità massima di elaborazione 800 m/sec
- Intervallo velocità 1 m/sec



CURVA DI DISPERSIONE



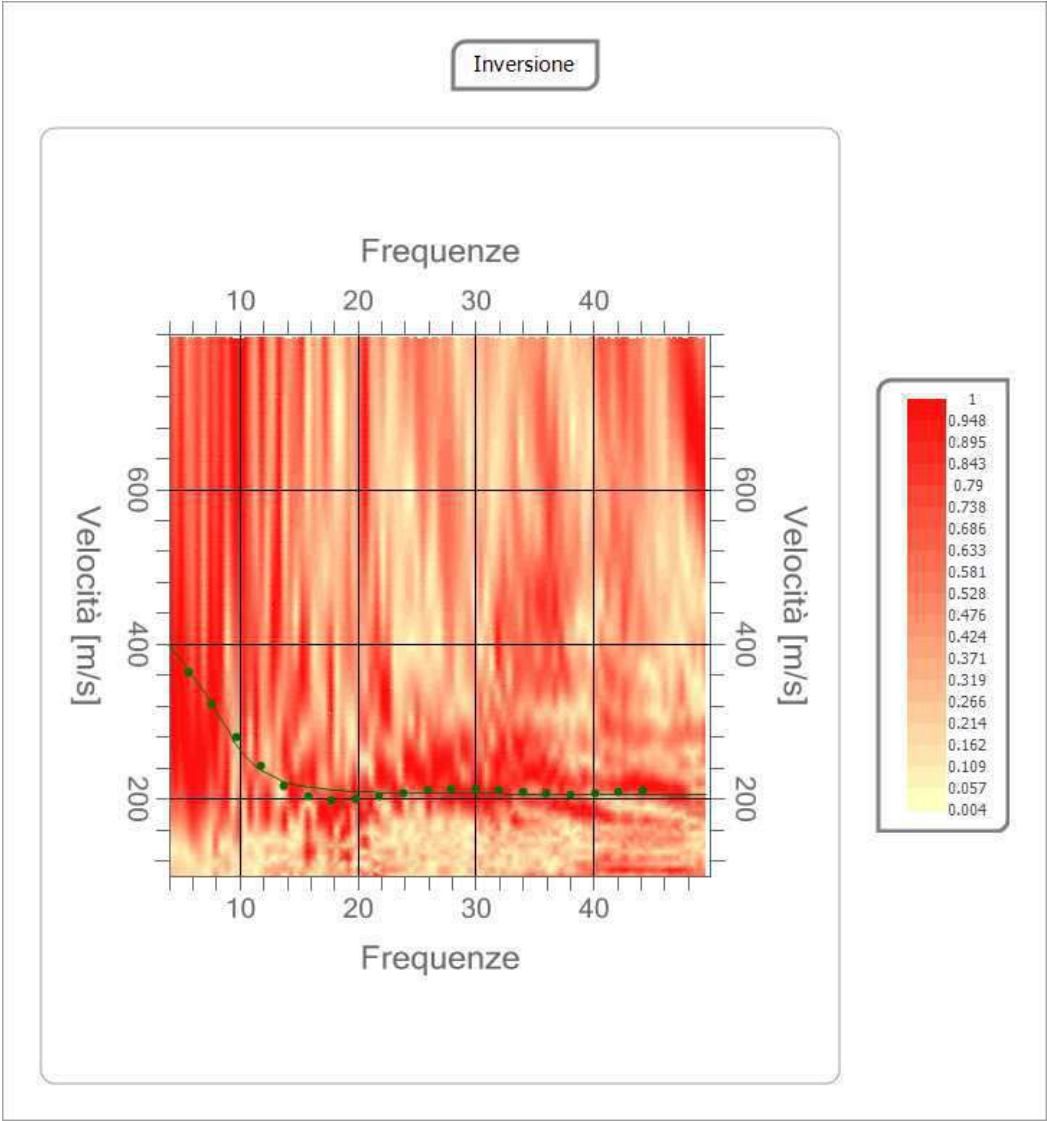
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	5.7	363.3	0
2	7.7	322.3	0
3	9.7	279.0	0
4	11.7	242.5	0
5	13.8	216.6	0
6	15.8	202.3	0
7	17.8	198.0	0
8	19.8	199.4	0
9	21.9	202.9	0
10	23.9	206.8	0
11	25.9	210.0	0
12	27.9	211.7	0
13	30.0	211.7	0
14	32.0	210.2	0
15	34.0	208.1	0
16	36.0	206.3	0
17	38.1	205.6	0
18	40.1	206.6	0
19	42.1	209.0	0
20	44.2	211.1	0

INVERSIONE

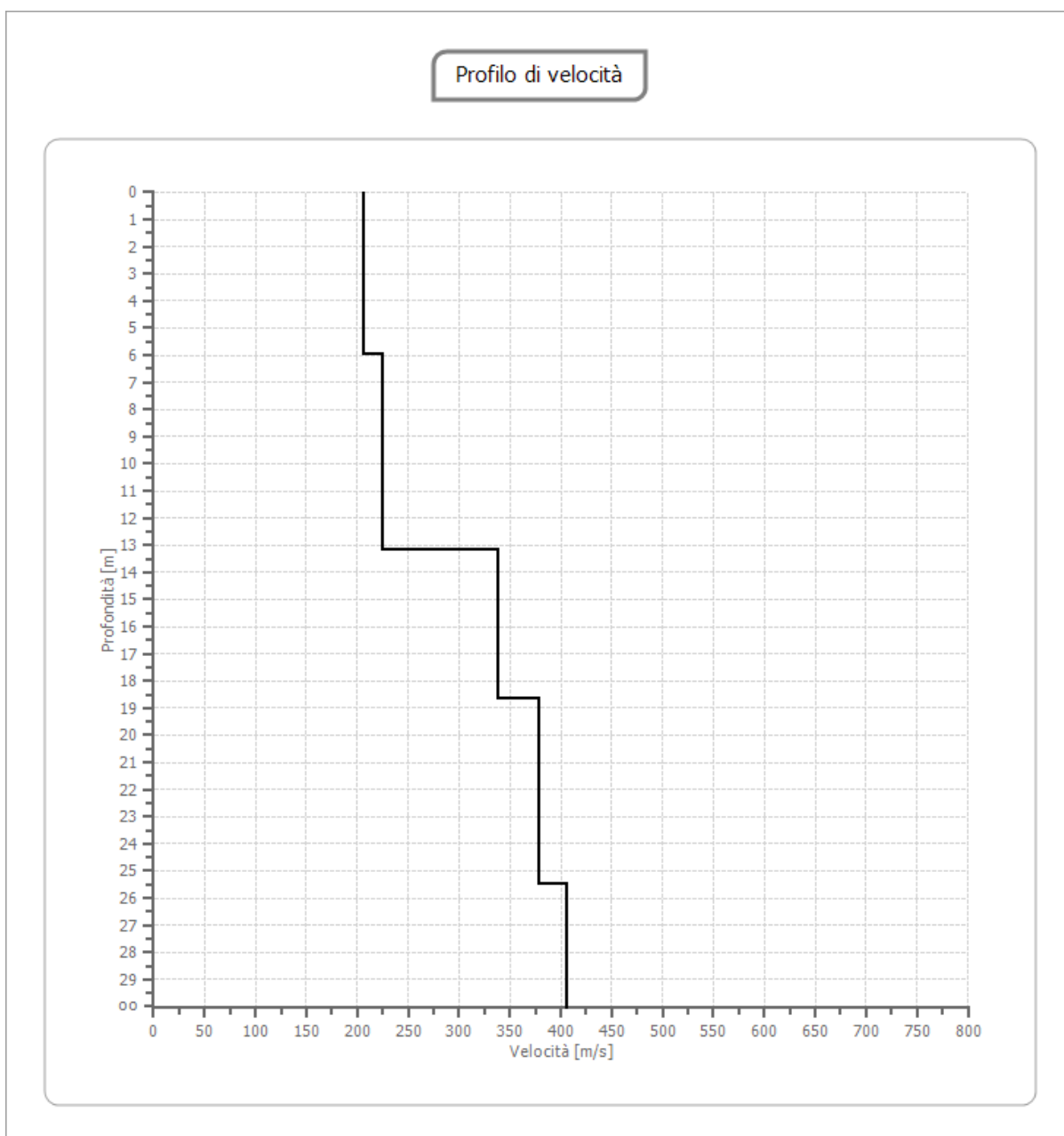
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	5.98	5.98	335.9	205.7
2	13.17	7.19	366.1	224.2
3	18.64	5.47	552.0	338.0
4	25.49	6.85	618.5	378.8
5	30.95	5.46	662.9	406.0

Percentuale di errore 0.067 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.028



RISULTATI



- **V_{seq}** (H = 30 m) **281.65 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.



DICHIARAZIONE/ ASSEVERAZIONE DEL GEOLOGO DI CONGRUITA' DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI REQUISITI RICHIESTI DAL PARAGRAFO 6.2.1 NTC2018 e/o DALLA D.G.R. 2616/2011

Il sottoscritto Filippo Federico Pezzotti

iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Lombardia n. 1264 AP

incaricato in data 18/03/2025

da Responsabile del Servizio Area Lavori Pubblici

per conto di Comune di Belgioioso

di redigere la relazione geologica relativa al seguente intervento

Lavori di realizzazione di arredo urbano e riqualificazione del borgo storico in Via Giuseppe Garibaldi e in Piazza Vittorio Veneto

da eseguire in Comune di Belgioioso

Località _____

indirizzo Via Giuseppe Garibaldi e Piazza Vittorio Veneto

n° snc _____

CAP

2	7	0	1	1
---	---	---	---	---

Comune Catastale A741

Foglio n. 6

Mappale o Particella _____

-

consapevole che in caso di dichiarazione mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo quanto prescritto dall'art. 76 del D.P.R. 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadranno dai benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base della dichiarazione non veritiera (art. 75 D.P.R. 445/2000),

DICHIARA

A. che la relazione geologica in oggetto è stata redatta ai sensi di:

- ☐ D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC2018)
- ☒ D.G.R. 2616/2011 e D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC2018)
- ☐ D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC2018), recependo quanto contenuto in una relazione geologica già depositata, redatta ai sensi della D.G.R. 2616/2011 per il rilascio del titolo abilitativo relativo all'intervento in questione

B. che, nello studio geologico comunale (PGT vigente) redatto in attuazione dell'art. 57 comma 1 della L.R. 12/2005, al sito di intervento sono state attribuite le seguenti caratteristiche geologiche:

1. SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE PSL 1 LIV – DGR2616/2011 all. 5 p.to 2.1

- | | | |
|---|---|---|
| ☐ Z1 Instabilità dei versanti | ☐ Z2a Cedimenti | ☐ Z2b Liquefazione |
| ☐ Z3 Amplificazione topografica | ☒ Z4 Amplificazione Stratigrafica | |
| ☐ Z5 Comportamenti differenziali | ☐ Nessuno scenario | |

1.1 VERIFICA SISMICA DI SECONDO LIVELLO PSL 2 LIV – DGR2616/2011 all. 5 p.to 2.2

- ☐ Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) > Soglia comunale (FAS)*
☒ Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) <= Soglia comunale (FAS)*
☐ Analisi di secondo livello non effettuata

* tenuto conto delle tolleranze ammesse nell'Allegato 5 della D.G.R. 2616/2011

2. CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR2616/2011 p.to 3.1

- ☐ 1 senza particolari limitazioni
☒ 2 con modeste limitazioni
☐ 3 con consistenti limitazioni
☐ 4 con gravi limitazioni

2.1 TIPO DI LIMITAZIONE ALLA FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR2616/2011 p.to 3.2

- ☐ a) Instabilità dei versanti
☐ b) Vulnerabilità idrogeologica
☐ c) Vulnerabilità idraulica
☒ d) Scadenti caratteristiche geotecniche
☐ nessuna particolare limitazione

DICHIARA INOLTRE

in fase di predisposizione dello studio geologico a supporto della progettazione

C. di aver seguito tutte le prescrizioni previste dalle norme geologiche di piano vigenti riportate nel piano delle regole del PGT del Comune di Belgioioso

D. di aver eseguito ai sensi degli allegati alla DGR2616/2011, conformemente alle linee guida disponibili:

- ☐ Approfondimento relativo all'instabilità dei versanti dal punto di vista statico (App1)
☐ Approfondimento relativo alla vulnerabilità idrogeologica (App2)
☐ Approfondimento relativo alla vulnerabilità idraulica (App3)
☒ Approfondimento relativo alle scadenti caratteristiche geotecniche (App4)
☒ Approfondimento relativo agli aspetti sismici (App5), la cui tipologia e grado sono dettagliatamente descritte nelle successive schede
☐ Nessun particolare approfondimento

E. di aver redatto il modello geologico del sito sulla base di:

- ☒ indagini appositamente eseguite nel sito d'interesse o nel suo immediato intorno, del tipo

prova penetrometrica dinamica DPSH

- ☒ indagini pregresse, la cui estendibilità al sito d'interesse è stata adeguatamente motivata in relazione, del tipo

carotaggi, trincee geognostiche esplorative e stratigrafie pozzi

F. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico attraverso:

- ☐ analisi di risposta sismica locale
- ☒ procedura semplificata basata sulla definizione della categoria di sottosuolo, di cui al paragrafo 3.2.2 NTC 2018, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione; pertanto è stata individuata la seguente categoria di sottosuolo:

☐ A ☐ B ☒ C ☐ D ☐ E

mediante la seguente tipologia d'indagine Sismica attiva MASW

la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione

G. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo topografico attraverso:

- ☐ analisi di risposta sismica locale
- ☒ procedura semplificata basata sulla definizione della categoria topografica, di cui al paragrafo 3.2.2 NTC 2018, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione; pertanto è stata individuata la seguente categoria topografica:

☒ T1 ☐ T2 ☐ T3 ☐ T4

mediante analisi morfologica condotta su base topografica a scala 1:10.000

la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione

H. di aver adeguatamente considerato la sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione, mediante:

- ☒ esclusione della verifica (paragrafo 7.11.3.4.2 NTC 2018), opportunamente motivata in relazione
- ☐ verifica della stabilità (paragrafo 7.11.3.4.3 NTC 2018) mediante la seguente metodologia

I. che l'intervento previsto risulta fattibile e compatibile con l'assetto geologico del sito:

- ☐ senza esecuzione di opere e/o interventi specifici per la mitigazione del rischio
- ☒ previa esecuzione di opere e/o accorgimenti costruttivi da eseguirsi durante i lavori relativi all'intervento in oggetto
- ☐ previa esecuzione di specifiche opere e/o interventi per la mitigazione del rischio da eseguirsi prima dei lavori relativi all'intervento in oggetto; in relazione a questo si specifica che tali lavori:
 - ☐ non sono stati eseguiti o sono stati eseguiti solo parzialmente
 - ☐ sono stati eseguiti nel rispetto delle prescrizioni contenute nello studio specifico e con il quale risultano compatibili

ASSEVERA

ai sensi dell'art. 481 del Codice Penale la conformità di quanto eseguito ai fini della relazione in oggetto alla normativa nazionale e regionale vigente e la piena osservanza della relazione alle norme sismiche vigenti .

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti del Regolamento UE 2016/679 e del Dlgs 101/2018 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

luogo Breno

data 13/05/2025

IL GEOLOGO

Filippo Federico Pezzotti

(timbro e firma)

MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) - INSTABILITA'

Nel caso di scenari PSL di tipo Z1a, Z1b e Z1c (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R 2616/2011) per tipologia di frane in terra

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	☐ Modello geologico del sito ☐ Classificazione USCS dei materiali ☐ Modello geotecnico del sito		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	☐ Analisi all'equilibrio limite in condizioni statiche (FS) e pseudo-statiche (FSPS)		
Risultati al 1° grado di approfondimento	☐ $F_{Sp} \geq 1.3$ Fine approfondimento SITO STABILE	☐ $1.1 \leq F_{Sp} < 1.3$ Obbligo del 2° grado di approfondimento	☐ $F_{Sp} < 1.1$ Obbligo del 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		☐ Prove in sito per determinazione indiretta dei parametri di resistenza	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		☐ Stima dello spostamento atteso mediante relazioni empiriche disponibili in letteratura opportunamente scelte e motivate	
Risultati al 2° grado di approfondimento		☐ Spostamento ≤ 2 cm Fine approfondimento SITO STABILE	☐ Spostamento > 2 cm Obbligo del 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			☐ Rilievo topografico di dettaglio ☐ Indagine di sismica rifrazione ☐ Indagini in sito di tipo diretto tramite sondaggio/i a carotaggio continuo ☐ Prove in foro ☐ Prove di laboratorio su campioni indisturbati
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			☐ Analisi dinamiche semplificate (metodo degli spostamenti)
Risultati al 3° grado di approfondimento			☐ Spostamento ≤ 5 cm Fine approfondimento SITO STABILE ☐ Spostamento > 5 e ≤ 15 cm Verifica DI AMMISSIBILITA' DELLO SPOSTAMENTO ☐ Spostamento > 15 cm OPERE DI SISTEMAZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO
☐ Eventuali verifiche di stabilità con metodi avanzati di analisi dinamica (da non intendere come sostitutivi dei metodi precedenti)			

MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) - AMPLIFICAZIONE

Nel caso di scenari PSL di tipo Z3, Z4 e relativi sottotipi (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. 2616/2011), qualora l'analisi sismica di II° livello non fosse stata eseguita nel sito d'indagine, sebbene obbligatoria, o fosse stata eseguita ma il fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) risulti maggiore del valore di soglia comunale (FAS), *previo specifica tolleranza ammessa dalla normativa regionale (Allegato 5 D.G.R. 2616/2011); tali approfondimenti saranno da prevedere anche nel caso dello scenario PSL di tipo Z5 (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. 2616/2011)

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	☒ Modello sismo-stratigrafico del sito		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	☒ Analisi di II° livello ai sensi dell'Allegato 5 DGR2616/2011 applicata al sito oggetto di intervento, previa verifica dei requisiti di applicabilità, ovvero: 1- Assenza di fenomeni 2D legati alla risonanza di bacino 2- Assenza di inversioni di velocità significative 3- Contrasti di impedenza sismica < 3 4- Valori di VSH > 250 m/s		
Risultati al 1° grado di approfondimento	☒ $FAC \leq FAS^*$ Fine approfondimento Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al VS30 misurato ☐ $FAC > FAS^*$ Fine approfondimento Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al VS30 misurato	☐ $FAC > FAS^*$ Nel caso non siano disponibili schede di II° livello valide per la situazione investigata o nel caso si voglia aumentare il grado di accuratezza delle previsioni 2° grado di approfondimento	☐ Non applicabilità dell'analisi di II° livello Obbligo del 3° grado di approfondimento Oppure nel caso ☐ $FAC > FAS^*$ e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al VS30 misurato 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		☐ Indagine sismica di tipo MASW e/o rifrazione onde SH	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		☐ Verifica ed integrazione del modello geofisico del sottosuolo e analisi numeriche, utilizzando gli accelerogrammi di input regionali e calcolo di FAC	
Risultati al 2° grado di approfondimento		☐ $FAC \leq FAS^*$ Fine approfondimento Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al VS30 misurato ☐ $FAC > FAS^*$ Fine approfondimento Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al VS30 misurato	Nel caso ☐ $FAC > FAS^*$ e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al VS30 misurato 3° grado di approfondimento

Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			☐ Indagine di sismica superficiale combinata con più tecniche, compreso ARRAY2D con velocimetri ad acquisizione sincrona nei casi di substrato rigido posto a profondità maggiori di 20-30 m
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			☐ Analisi di risposta sismica locale con sets accelerometrici di input opportunamente selezionati (almeno due gruppi ciascuno da 7 accelerogrammi per SLV e SLD)
Risultati al 3° grado di approfondimento			☐ Spettri di risposta elastici e/o accelerogrammi calcolati al piano di fondazione Fine approfondimento

MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) - LIQUEFAZIONE

Nel caso di scenari PSL di tipo Z2b (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. 2616/2011) soggetti a fenomeni di liquefazione

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	☐ Valore di Magnitudo massima attesa ☐ Valore di a_{max} in superficie ☐ Soggiacenza della falda ☐ Curva granulometrica e valori di resistenza penetrometrica normalizzata negli orizzonti non coesivi saturi presenti entro il volume significativo di sottosuolo		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	☐ Valutazione dei requisiti per l'esclusione della verifica di sicurezza alla liquefazione		
Risultati al 1° grado di approfondimento	☐ Assenza dei fattori scatenanti e/o predisponenti Fine approfondimento SITO STABILE	☐ Presenza dei fattori scatenanti e predisponenti Obbligo del 2° grado di approfondimento	
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		☐ Prove in sito per determinazione indiretta dei parametri di resistenza ciclica CRR ☐ Determinazione sperimentale della frazione di fine FC alle profondità di analisi	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		☐ Stima del coefficiente di sicurezza alla liquefazione (FL) tramite applicazione puntuale di metodi storico-empirici ad almeno 3 diverse profondità ritenute significative	
Risultati al 2° grado di approfondimento		☐ $FL \geq 1.0$ (per tutti i punti d'analisi) Fine approfondimento SITO STABILE	☐ $FL < 1.0$ (per almeno un punto d'analisi) Obbligo del 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			☐ Prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTe) o piezocono (CPTu)
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			☐ Stima dell'andamento del coefficiente di sicurezza alla liquefazione con la profondità tramite applicazione di metodi storico-empirici e calcolo del potenziale di liquefazione I_L valido per una profondità critica almeno pari al volume significativo di sottosuolo
Risultati al 3° grado di approfondimento			☐ $I_L \leq 2.0$ Fine approfondimento SITO STABILE ☐ $2.0 < I_L \leq 5.0$ Verifica DI AMMISSIBILITA' DELLO SPOSTAMENTO ☐ $I_L > 5.0$ OPERE DI SISTEMAZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO
☐ Eventuali verifiche di sicurezza con metodi avanzati di analisi dinamica (da non intendere come sostitutivi dei metodi precedenti)			



DICHIARAZIONE/ ASSEVERAZIONE DELL'ESTENSORE DELLA RELAZIONE GEOTECNICA DI CONGRUITA' DEI
CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOTECNICA AI REQUISITI RICHIESTI DAL PARAGRAFO 6.2.2 NTC2018

Il sottoscritto Filippo Federico Pezzotti

iscritto Ordine dei Geologi della Regione Lombardia n. 1264 AP

incaricato in data 18/03/2025

da Responsabile del Servizio Area Lavori Pubblici

per conto di Comune di Belgioioso

di redigere la relazione geotecnica relativa al seguente intervento

Lavori di realizzazione di arredo urbano e riqualificazione del borgo storico in Via Giuseppe Garibaldi e in Piazza Vittorio Veneto

eseguito in Comune di Belgioioso

Località _____

Indirizzo Via Giuseppe Garibaldi e Piazza Vittorio Veneto

n° snc _____

cap

2	7	0	1	1
---	---	---	---	---

Comune Catastale A741

Foglio n. 6

Mappale o Particella

-

consapevole che in caso di dichiarazione mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo quanto prescritto dall'art. 76 del D.P.R. 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadranno i benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base della dichiarazione non veritiera (art. 75 D.P.R. 445/2000),

DICHIARA

A. di aver fatto riferimento al modello geologico desunto da specifica relazione a firma del Geologo

Filippo Federico Pezzotti

B. di aver redatto il modello geotecnico del sito considerando un volume significativo di terreno compatibile con le caratteristiche dell'intervento e la natura e caratteristiche del sottosuolo

C. di aver considerato nei relativi calcoli geotecnici l'effetto delle azioni sismiche attese, tenendo adeguatamente in considerazione:

1. gli effetti di amplificazione stratigrafica, attraverso:

- ☐ analisi di risposta sismica locale
- ☒ procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria di sottosuolo (paragrafo 3.2.2 NTC2018):

☐ A ☐ B ☒ C ☐ D ☐ E

2. gli effetti di amplificazione topografica, attraverso:

- ☐ analisi di risposta sismica locale
- ☒ procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria topografica (paragrafo 3.2.2 NTC2018):

☒ T1 ☐ T2 ☐ T3 ☐ T4

D. di aver adeguatamente tenuto in considerazione i risultati della verifica di sicurezza del terreno di fondazione nei confronti della liquefazione

E. di aver individuato i seguenti parametri geotecnici caratteristici del terreno di fondazione:

peso dell'unità di volume: 1,7 t/m³ (strato n. 2)

angolo di resistenza al taglio: 28° (strato n. 2)

coesione efficace: zero

coesione non drenata: zero

F. di avere redatto la presente relazione conformemente a quanto previsto dalle norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17-01-2018

ASSEVERA

ai sensi dell'art. 481 del Codice Penale la conformità di quanto eseguito ai fini della relazione in oggetto alla normativa nazionale e regionale vigente e la piena osservanza della relazione alle norme sismiche vigenti e delle relative istruzioni applicative.

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti del Regolamento UE 2016/679 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

luogo Breno

data 13/05/2025

L'ESTENSORE DELLA RELAZIONE GEOTECNICA

Dott. Geol. Filippo Federico Pezzotti

(timbro e firma)