

Dr. Federico Mori

Geologo

COMUNE DI BRESCIA
PROVINCIA DI BRESCIA

NIBOFIN S.R.L.

***INTERVENTO DI CAMBIO DI DESTINAZIONE
CON RECUPERO CONSERVATIVO DI
RILEVANZE STORICHE
EX CASERMA SERAFINO GNUTTI SITA IN VIA FRANCESCO
CRISPI – MAPPALI N.1755-4364-4418***

**RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI
DEL DM 17/01/2018 E DELLA D.G.R. IX 2616/2011**

*Via Tosio, 28 - 25121 Brescia - Telefono e Fax 030 3757893
Codice Fiscale: MROFRC58P28E333X – Partita Iva: 03261280170*

INDICE

1. PREMESSA	1
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	3
4. IDROGRAFIA E CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	5
5. VERIFICA DEL COEFFICIENTE DI PERMEABILITA'	6
6. ANALISI DEL PGT DI BRESCIA E DEL P.G.R.A.	8
7. CATEGORIE DEL TERRENO DI FONDAZIONE AI FINI DELLA DEFINIZIONE DELLA AZIONE SISMICA E LIQUEFAZIONE DEL TERRENO IN CONDIZIONI SISMICHE	12
8. CONCLUSIONI	25

Allegati:

1. carta topografica scala 1:10000 con ubicazione dell'area d'intervento e dei pozzi esistenti
2. planimetria scala 1:500 con ubicazione del sondaggio geognostico, dello scavo esplorativo e del punto di indagine geofisica
3. carta geolitologica scala 1:5000
4. carta idrogeologica scala 1:10000
5. stratigrafia del sondaggio geognostico
6. stratigrafia dello scavo esplorativo
7. documentazione fotografica
8. stratigrafia dei pozzi esistenti

1) PREMESSA

Per incarico della **NIBOFIN S.r.l.** di Casto (BS), è stato eseguito lo studio geologico e geotecnico di un'area, sita in Via Crispi angolo Via Moretto, nel settore sudorientale del centro storico di Brescia, interessata dal progetto di risanamento conservativo e ristrutturazione dell'insediamento che ospitava la “Caserma Serafino Gnutti”. Lo studio ha come obiettivo la verifica delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del sito per valutare la compatibilità dell'intervento previsto con la situazione di rischio individuata nel PGT, in quanto l'area interessata dal nuovo fabbricato ricade nella classe di fattibilità con modeste limitazioni (Classe **2c**: “*riporti storici*”).

L'intervento in progetto consisterà nella esecuzione di interventi di restauro conservativo che potrebbero comportare, se necessario, adeguamenti delle strutture di fondazione.

L'insediamento, composto da un complesso a corte centrale disposto su quattro livelli fuori terra in lato Via Crispi e tre livelli fuori terra sugli altri tre lati, oltre a tre corpi di fabbrica secondari con un unico livello fuori terra, si sviluppa con lunghezza massima di circa 100 m e larghezza massima 60 m; in zona centrale dell'immobile è presente una porzione interrata con superficie di circa 110 mq.

Il piano calpestio attuale è posto a quota media **143.20÷143.50 m di rilievo**. Il piano calpestio esterno circostante il fabbricato è posto circa a quota **143.10 m di rilievo**. La struttura esistente distribuisce le sollecitazioni al terreno attraverso fondazioni nastriformi impostate a profondità da accertare.

Per fornire al Progettista gli elementi necessari alle valutazioni e considerazioni per la redazione del progetto definitivo, in questa fase si è provveduto all'analisi dei principali caratteri geologici, geomorfologici ed idrogeologici della zona ed al controllo delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno mediante (v. [All. n°2](#)):

- l'interpretazione di un sondaggio a distruzione di nucleo eseguito nel giugno 2011 ed ubicato nel giardino della porzione occidentale dell'insediamento, i risultati del quale sono presentati nella relativa colonna stratigrafica (v. [All. n°5](#));
- uno scavo esplorativo con escavatore meccanico ubicato nel giardino della porzione occidentale dell'insediamento (v. [All. n°6](#));
- l'esecuzione di un'indagine sismica di superficie HVSR in prossimità dello scavo esplorativo (v. [paragrafo 7](#)).

D. Federico Mori

Geologo

Come riferimento sono state utilizzate le quote del rilievo planimetrico forniteci dai progettisti Studio Boschi-Serboli e AEGIS S.r.l.

Il territorio comunale di Brescia è classificato “località sismica” in zona 2 dal D.G.R. n.2129/2014; per il programma e lo svolgimento dell’indagine sono state applicate le norme tecniche emanate con D.M. LL.PP. 11/03/1988 e le successive istruzioni, come disposto dall’art. 1 della Legge n. 64 del 02/02/1974, nelle norme tecniche relative alle costruzioni in zona sismica (D.M. LL.PP. 16/01/1996) e nelle norme tecniche per le costruzioni (D.M. LL.PP. 14/01/2008 e D.M. LL.PP. 17/01/2018), tenendo conto di quanto noto e prevedibile sulla natura dei terreni della zona.

2) INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area interessata dall'intervento è ubicata nel centro storico di Brescia (v. carta topografica in [All. n°1](#) estratto della C.T.R. Sezione D6b1), in Via Crispi angolo Via Moretto, nella porzione centrale del territorio comunale, circa 400 m a S del versante meridionale del Colle Cidneo e circa 850 m ad ENE della stazione ferroviaria, a quota **143,2÷143,5 m s.l.m.** Detta area si sviluppa nella fascia pedemontana che raccorda il versante alle propaggini estreme dell'alta pianura.

3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area d'intervento è inserita, come accennato in precedenza, nella fascia di transizione fra il versante meridionale del Colle Cidneo e l'alta pianura bresciana.

Il quadro **geomorfologico** nell'immediato intorno dell'area d'intervento è caratterizzato da una superficie lievemente ondulata digradante dolcemente verso SW con inclinazione media di circa $2^{\circ}\div3^{\circ}$; la configurazione attuale dell'area interessata dai fabbricati oggetto d'intervento si deve sia agli eventi alluvionali olocenici sia agli interventi antropici succedutisi per la realizzazione di ripetuti interventi edificatori con relative demolizioni e ricostruzioni.

Il Vaso Molin del Brolo, il corso del quale (tratto intubato) attraversa la porzione meridionale dell'insediamento interessato dall'intervento, rappresenta **l'elemento idrografico** più rilevante nell'immediato intorno; circa 280 m a S si sviluppa l'alveo del T. Garza, elemento idrografico di importanza maggiore, che non determina però alcuna criticità per l'area d'intervento.

La fascia di territorio entro la quale è inserita la superficie d'intervento è stratigraficamente caratterizzata (inferiormente alla successione plurimetrica di livelli alluvionali/colluviali recenti e terreno rimaneggiato, determinata da eventi naturali ed antropici ripetutisi dall'epoca romana fino all'attuale che ne hanno determinato il rimodellamento con locali innalzamenti della superficie topografica) da **depositi quaternari** sia originati dall'azione **fluvioglaciale e fluviale** (depositi alluvionali fluvioglaciali e fluviali wormiani) sia dovuti alla **denudazione dei versanti** in seguito all'azione della gravità o al trasporto da parte delle acque dilavanti (depositi colluviali);

detti depositi ricoprono il substrato roccioso costituito da calcari marnosi biancastri appartenenti alla formazione giurassica denominata “**Medolo**” abbondantemente affioranti sul Colle Cidneo (v. carta geolitologica in [fig. 3.1](#)) con giacitura di strato che presenta immersione verso SSE (v. carta geolitologica in [All. n°3](#)).

Dai dati rilevati durante l'esecuzione del sondaggio a distruzione (v. [All. n°5](#)) e dello scavo esplorativo (v. [All. n°6](#)), è stato possibile determinare la successione stratigrafica locale nella sua porzione superficiale, che può essere così schematizzata:

- da p.c. a -4,3 m da p.c.: *terreno vegetale e/o terreno rimaneggiato (sabbia limosa deb. ghiaio-argillosa)*
- da -4,3 a -9,3 m da p.c.: *ghiaia e sabbia con ciottoli deb. limose*
- da -9,3 a -20,0 m da p.c.: *ghiaia e sabbia deb. limo-argillose*

In corrispondenza dell'area d'intervento, nel complesso, la **permeabilità media** della coltre di terreno rimaneggiato frammisto ai depositi alluvionali/colluviali presenti in superficie sabbio-ghiaio-limosi deb. argillosi è **discreto**; per determinare il valore del coefficiente di permeabilità “k” necessario al calcolo della portata smaltibile dei pozzi per la dispersione delle acque bianche nel sottosuolo, nello scavo esplorativo (v. [All. n°6](#)) si è proceduto alla esecuzione di una prova di permeabilità in foro (v. [par. 5](#)). Il valore del coefficiente di permeabilità “k”, misurato nella coltre sabbio-limosa deb. ghiaio-argillosa superficiale, è pari a **$7 \cdot 10^{-5}$ m/sec**. Tale valore è in linea con i valori indicativi riportati nella tabella di Casagrande e Fadum (1940) che mette in relazione il tipo di terreno con la permeabilità, che, per terreni di questo tipo (sabbio-limosi deb. ghiaio-argillosi) è dell'ordine di **$10^{-5} \div 10^{-6}$ m/sec**.

In data 06/10/2020, nel corso dell'esecuzione dello scavo esplorativo, non è stata rilevata la presenza di acqua sotterranea alla profondità raggiunta; dai dati stratigrafici di pozzi esistenti nell'intorno, si rileva la presenza di un acquifero con superficie piezometrica, in corrispondenza dell'area d'intervento, posta a quote che oscillano fra 120 m circa s.l.m. e 114 m circa s.l.m. (ovvero a profondità variabili fra **23 m e 29 m dalla quota di p.c. attuale**).

4) IDROGRAFIA E CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Gli **elementi idrografici** più importanti presenti nelle immediate vicinanze sono il Torrente Garza ed il Vaso Garzetta, il corso dei quali si sviluppa rispettivamente 280 m a S e 350 m ad W dell'area d'intervento e che non interferiscono con l'insediamento oggetto d'intervento.

Vi è poi, in corrispondenza della fascia meridionale dell'insediamento, un tratto d'alveo del Vaso Molin del Brolo; detto tratto, con sviluppo da WNW verso ESE, è intubato e ricoperto. Il suo corso risulta intubato sia immediatamente a monte (tratto ad W dell'area d'intervento, posto sotto fabbricati di altra proprietà) sia a valle (tratto ad E dell'area d'intervento, posto sotto la pavimentazione di Piazza Moretto), e non sono stati registrati episodi di esondazione con interessamento dell'area oggetto d'intervento.

La **struttura idrogeologica** è caratterizzata da un sistema acquifero complesso in cui interferiscono unità permeabili per porosità (depositi di copertura di origine detritico-colluviale ed alluvionale) ed unità permeabili per fessurazione e carsismo (“substrato roccioso”); i depositi di copertura presenti nella zona di pianura, quindi in corrispondenza dell'insediamento **NIBOFIN S.r.l.**, sovrastano la formazione rocciosa. Detti depositi possiedono permeabilità variabile; come evidente dall'analisi delle stratigrafie reperite, la circolazione idrica è confinata negli strati a granulometria grossolana i quali risultano fra loro separati da livelli argillo-limosi a permeabilità praticamente nulla. Si rileva la presenza, in corrispondenza dell'area indagata, di un acquifero libero (costituito dalla porzione ghiaio-sabbio-limosa dell'unità alluvionale), alimentato principalmente dalle infiltrazioni derivanti dalle precipitazioni atmosferiche e dagli apporti provenienti dalla circolazione che si sviluppa entro l'unità litoide della zona settentrionale della città; detto acquifero è delimitato inferiormente da un banco limo-argilloso posto da quota -50÷60 m da p.c. attuale, che lo separa da un acquifero semiconfinato a sua volta costituito dagli strati a frazione ghiaio-sabbiosa prevalente con intercalazioni argillo-limose e dagli strati conglomeratici dell'unità alluvionale.

In corrispondenza dell'area d'intervento, dai dati piezometrici relativi a pozzi esistenti nell'intorno, la superficie piezometrica del primo acquifero oscilla fra 120 m circa s.l.m. nei periodi di massima e 114 m circa s.l.m. (ovvero a profondità che variano fra **23 m e 29 m dalla quota di p.c. attuale**).

5) VERIFICA DEL COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ'

Il giorno 06/10/2020, nello scavo esplorativo S1, con dimensioni 200x80x300 cm, è stata eseguita una prova di permeabilità a carico variabile finalizzata alla determinazione del coefficiente di permeabilità “k” della coltre di copertura sabbio-limosa deb. ghiaio-argillosa (i risultati sono riportati nel diagramma in [fig. 5.1](#)).

Immettendo acqua nello scavo e misurando la velocità di abbassamento del livello in funzione del tempo, il coefficiente di permeabilità “k” viene calcolato mediante l’applicazione della formula empirica riportata su “Raccomandazioni A.G.I. sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche” (1977):

$$k = \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} \frac{1 + \left(2 \frac{h_m}{b} \right)}{\left(27 \frac{h_m}{b} + 3 \right)}$$

dove:

h_m = altezza media dell’acqua nel pozzetto

b = lato della base del pozzetto a base quadrata o equivalente

$t_2 - t_1$ = intervallo di tempo

$h_2 - h_1$ = variazione di livello dell’acqua nell’intervallo $t_2 - t_1$

Introducendo nella formula i relativi valori, dalla prova eseguita si ottiene

$$k = 7,11 \cdot 10^{-5} \text{ m/sec.}$$

corrispondente ad un grado di permeabilità discreto, in linea con i valori indicativi riportati nella tabella di Casagrande e Fadum (relazione fra tipo di terreno e permeabilità).

Dr. Federico Mori

Geologo

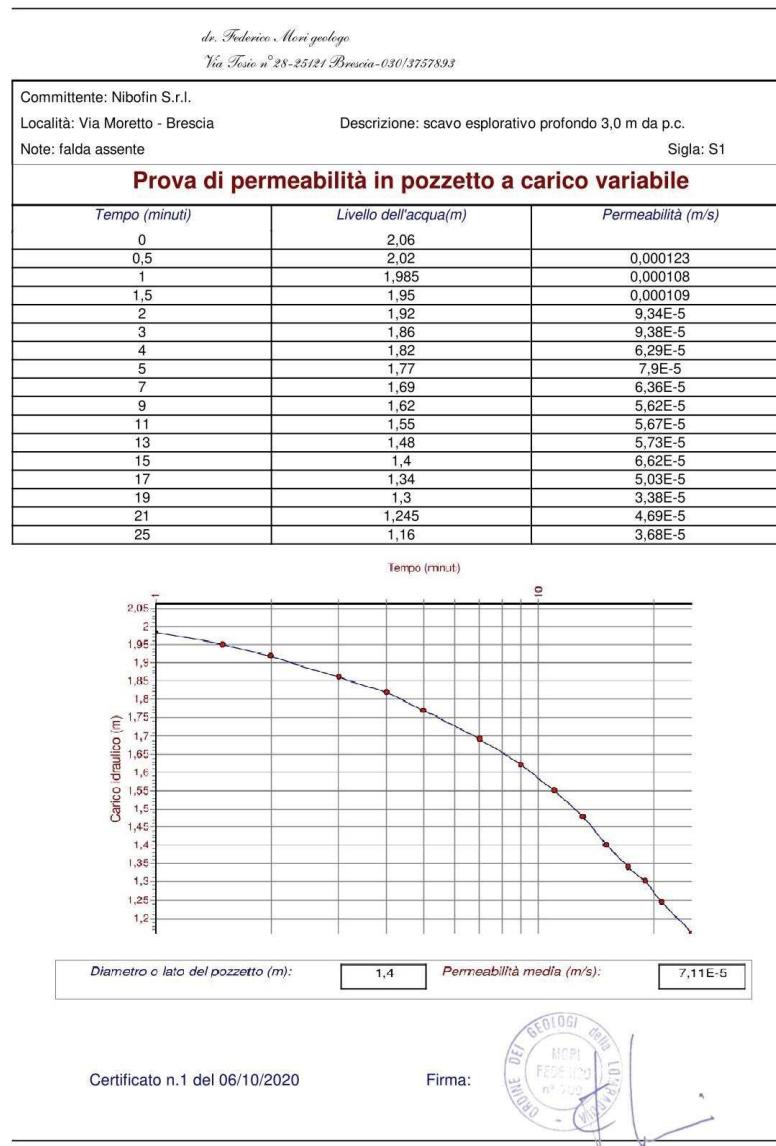


Figura 5.1. Prova di permeabilità a carico variabile - scheda di prova

6) ANALISI DEL PGT DI BRESCIA E DEL PGRA

Il Comune di Brescia ha approvato il Piano di Governo del Territorio, ai sensi della L.R. n.12 del 11/03/2005. Premesso ciò, si riportano di seguito i principali elementi evidenziati, relativamente all'area in oggetto, nella “Componente geologica” allegata alla Variante Generale del P.G.T. approvata con Delibera C.C. n.110 P.G. del 30/11/2018.

Dalla Tav. V.I.-ALall04n - “Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano (Sud)” (estratto in [fig. 6.1](#)) l'area d'intervento ricade entro la classe di fattibilità con modeste limitazioni (Classe **2c**: “*Riporti storici*”).

La relazione esplicativa riporta che entro le zone definite da tale classe di fattibilità possono essere presenti riporti storici con spessore plurimetrici (5-15 m), localmente con inclusi reperti e manufatti archeologici. Per la progettazione di interventi di viabilità, di nuova edificazione, di ricostruzione, di ampliamento e di scavo, viene prescritto l'obbligo di procedere all'esecuzione di indagini geologico-geotecniche finalizzate alla verifica della compatibilità dell'intervento con le caratteristiche geologiche, geotecniche e idrogeologiche del sito.

Per quanto riguarda la pericolosità sismica locale, dal suddetto elaborato emerge che l'area d'intervento ricade nello scenario **Z4a**, che definisce “zone di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi”; le zone caratterizzate da detto scenario sono suscettibili di amplificazione litologica.

La normativa prevede la stima della risposta sismica attesa al sito in termini di Fattore di amplificazione Fa. Nello studio succitato, a seguito dell'applicazione del secondo livello di approfondimento basata sui dati geofisici rilevati mediante indagini eseguite in alcuni punti distribuiti sul territorio comunale, l'area d'intervento viene fatta ricadere entro la categoria di sottosuolo “C”; per le tipologie edilizie con periodo proprio 0.5-1.5 sec. (riferito a per strutture alte e flessibili) lo spettro di norma della categoria individuata risulta sufficiente in quanto il valore di Fa (Fattore di amplificazione), calcolato basandosi sulla media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 metri di profondità dalla superficie topografica, è inferiore ai valori di soglia forniti dalla Regione Lombardia per il Comune di Brescia per la categoria di sottosuolo “C”, mentre per tipologie edilizie con periodo proprio compreso nell'intervallo di periodo 0.1-0.5 sec. (riferito a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide), detta categoria non risulta sufficientemente

cautelativa rispetto ai potenziali fenomeni di amplificazione litologica previsti dalla normativa tecnica di riferimento nazionale, poiché il valore di Fa calcolato risulta superiore al valore di soglia. In fase di progettazione per queste ultime viene perciò richiesta l'analisi di 3° livello di approfondimento oppure, in alternativa, l'utilizzo dello spettro caratteristico della categoria di sottosuolo superiore, ovvero “D”.



Figura 6.1. Estratto della Tav. V.I. - ALall04n – “Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano (Sud)” allegata alla Variante Generale del PGT di Brescia

La Tav. V.I.-ALall04h - “Carta dei vincoli” (estratto in fig. 6.2) evidenzia la presenza di corpi idrici sia del Reticolo Idrico Principale (T. Garza) sia del Reticolo Idrico Minore (Vaso Garzetta e Vaso Molin del Brolo) con la definizione della relativa fascia di rispetto soggetta alle norme di polizia idraulica; riporta quanto inserito negli elaborati del documento ”Individuazione del Reticolo Idrico Minore e Regolamento di Polizia Idraulica” approvato dal Comune di Brescia con D.C.C. n.65 del 25/02/2008.

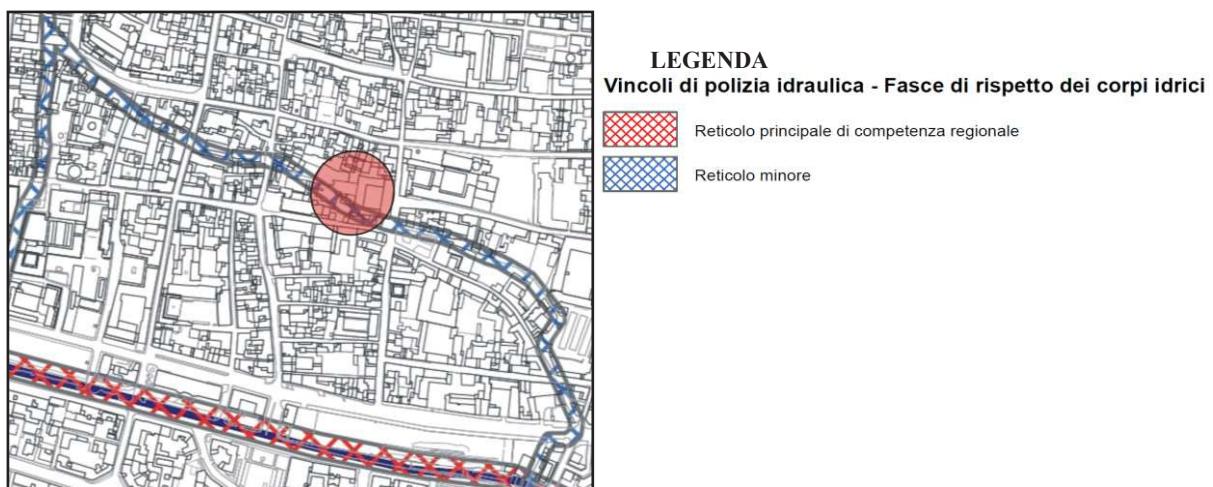
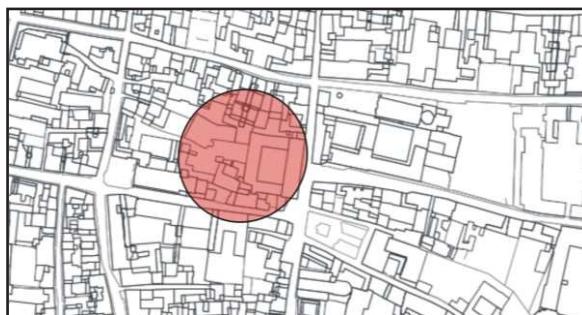


Figura 6.2. Estratto della Tav. ALall04h – “Carta dei vincoli” allegata alla Variante Generale del PGT di Brescia

D. Federico Mori

Geologo

Dalla Tav. V.I.-ALall04g - “Carta PAI-PGRA” del sopracitato studio della “Componente geologica” (estratto in fig. 6.3), emerge che l’insediamento oggetto d’intervento non ricade in alcuna area a rischio.



LEGENDA

Pianificazione di Bacino (ai sensi della Legge n. 183/89)

Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI), approvato con d.p.c.m. 24 maggio 2001.
Elaborato n. 8 - Tavole di Delimitazione delle fasce fluviali:

- Limite tra la Fascia B e la Fascia C (la Fascia A e la Fascia B coincidono)
- Limite esterno della Fascia C

Quadro del dissesto come presente nel SIT regionale derivante dall’aggiornamento ai sensi dell’art. 18 delle N.D.A. del PAI.

Dissesti caratterizzanti il territorio montano:

- [diagonal lines] Area di frana attiva (Fa)
- [diagonal lines] Area di frana quiescente (Fq)

Quadro del dissesto proposto in aggiornamento al vigente.

Esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d’acqua:

- [horizontal lines] Area a pericolosità molto elevata (Ee)
- [horizontal lines] Area a pericolosità elevata (Eb)
- [horizontal lines] Area a pericolosità media o moderata (Em)

Aree a rischio idrogeologico molto elevato (Allegato 4.1 all’Elaborato 2 del PAI)

- [green box] Zona I: aree potenzialmente interessate da inondazioni per eventi di piena con tempo di ritorno inferiore a 50 anni parzialmente sovrapposte a aree RSMC-P3 e aree RSP-P3.

Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) approvato con DPCM 27 Ottobre 2016

Ambito Territoriale RP

- [dark blue box] Aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (aree P3/H)
Per il T. Garza la delimitazione è riferita ad un tempo di ritorno pari a 100 anni (delimitazione fornita da Regione Lombardia ed utilizzata per le valutazioni idrauliche di dettaglio).
Per il F. Mella la delimitazione è riferita ad un tempo di ritorno pari a 200 anni.
- [light blue box] Aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti (aree P2/M)
Delimitazione riferita ad un tempo di ritorno pari a 200 anni riportata sul Geoportale di Regione Lombardia

Ambito Territoriale RSCM

- [purple box] Aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (aree P3/H)
- [purple box] Aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti (aree P2/M)
- [light purple box] Aree potenzialmente interessate da alluvioni rare (aree P1/L)

Ambito Territoriale RSP

- [green box] Aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (aree P3/H)
- [light green box] Aree PGRA modificate proposte in aggiornamento al vigente.
- [red box] Area a Rischio Idrogeologico molto Elevato oggetto di valutazione di dettaglio della pericolosità e del rischio alla scala locale (“Valutazione delle condizioni di rischio nelle aree interne ai centri edificati ai sensi della D.G.R. 7/7365 del 11/12/2001” – P.L. Vercesi e G. Barbero, 2004).
- [orange box] Area oggetto di valutazione di dettaglio della pericolosità e del rischio alla scala locale (“Adeguamento della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT al PGRA” ai sensi della D.G.R. 9/6738 del 19/06/2017 – D. Gasparetti, G. Quassoli e G. Rossi, 2018).

Figura 6.3. Estratto della Tav. V.I.-ALall04g – “Carta PAI-PGRA” allegata alla Variante Generale del PGT di Brescia

E’ inoltre stata presa in esame la cartografia allegata alle norme riportate nel Piano Gestione Rischio Alluvioni vigente ai sensi della D.G.R. 10/6738/2017, con mappe della pericolosità aggiornate al 2019 e pubblicate sul Geoportale della Regione Lombardia; ai sensi delle suddette norme, i Comuni interessati da aree allagabili hanno l’obbligo di procedere alla verifica di coerenza con il proprio PGT.

Da questo elaborato (v. estratto in fig. 6.4) emerge che l’area di intervento non ricade in alcuno scenario di pericolosità.

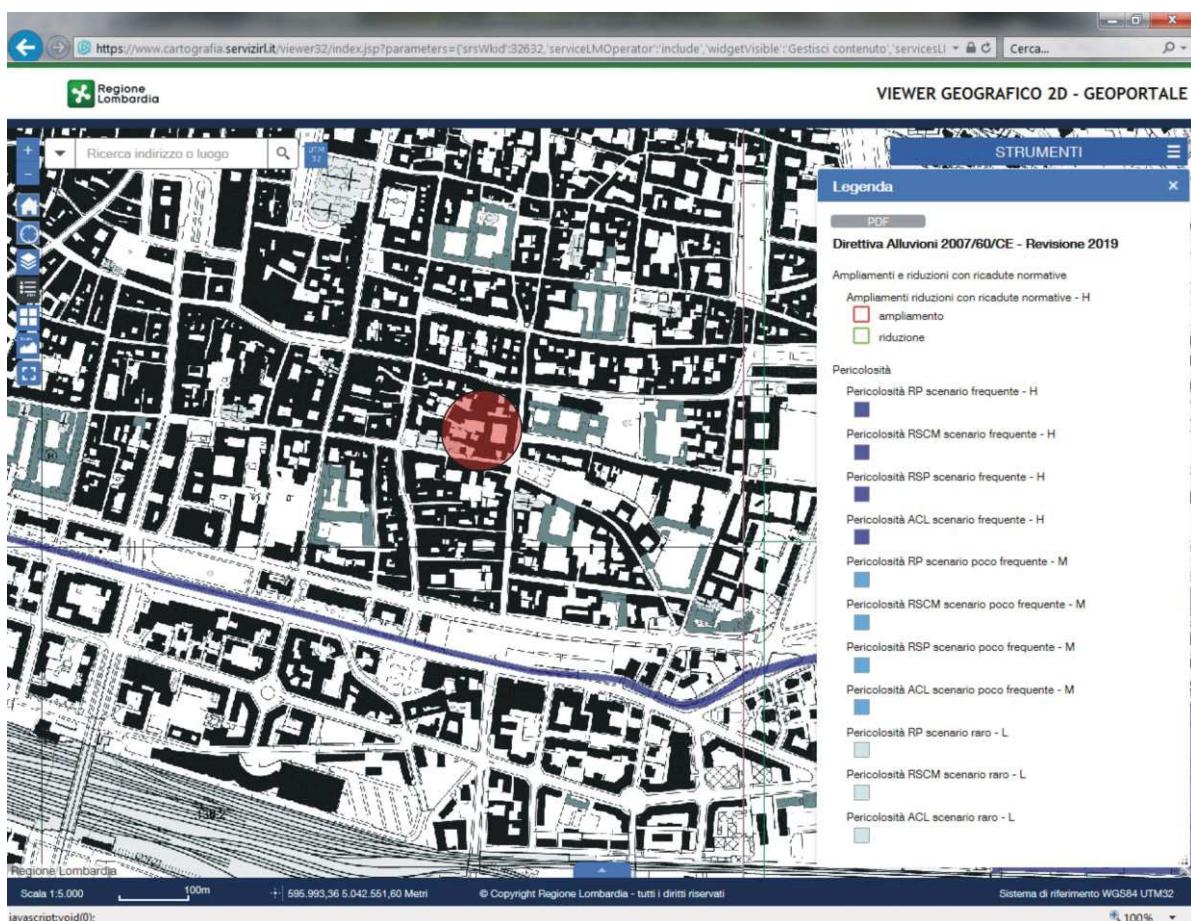


Figura 6.4. Estratto delle Mappe della Pericolosità aggiornate al 2019, pubblicate sul Geoportale della Regione Lombardia

7) CATEGORIE DEL TERRENO DI FONDAZIONE AI FINI DELLA DEFINIZIONE DELLA AZIONE SISMICA E LIQUEFAZIONE DEL TERRENO IN CONDIZIONI SISMICHE

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, dai dati rilevati nel corso dell'indagine sismica HVSR eseguita in data 13/10/2020 in prossimità dello scavo S1 (v. ubicazione riportata in [All. n°2](#)), si è proceduto alla stima degli effetti di sito e alla valutazione della vulnerabilità sismica.

7.1 *Tecnica di misurazione e strumentazione*

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale (microtremori), le frequenze di risonanza degli edifici e dei terreni costituenti il sottosuolo, allo scopo di stimare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica dell'opera. Per rumore ambientale di fondo s'intende l'insieme delle vibrazioni che si propagano nel terreno dovute sia a fenomeni naturali, moto ondoso, perturbazioni atmosferiche, ecc., sia all'azione antropica, traffico veicolare, macchinari, ecc.. Si è riconosciuto, a partire dagli anni settanta, che i microtremori tendono a eccitare le frequenze naturali di oscillazione dei terreni, permettendone l'individuazione. In pratica ciò che viene misurato sono, in un certo intervallo di frequenze, solitamente 0.1-100 Hz, le velocità dei microtremori lungo il piano orizzontale e verticale (H e V) e il rapporto fra le due componenti (H/V). I valori di massimo locale (picchi positivi) di H/V ai quali corrispondono minimi locali di V individuano le frequenze di risonanza degli strati di terreno lungo la verticale di misura. Più elevato è il valore del rapporto H/V maggiore è il contrasto di impedenza sismica e quindi la variazione di velocità delle onde S fra livelli stratigrafici contigui.

La tecnica HVSR richiede l'utilizzo di un *velocimetro triassiale*, cioè di un sismometro a stazione singola in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), in un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 10-20 minuti). Il moto indotto nel terreno viene misurato in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z), secondo il passo di campionamento impostato dall'operatore. Le misure registrate vengono poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza, dove H è la media delle misure lungo X e Y) e spettri V (componente verticale del moto in funzione della frequenza).

Attraverso la tecnica HVSR è possibile:

- valutare in maniera quantitativa gli effetti di sito (risposta sismica locale e suscettibilità alla liquefazione del terreno);
- ricavare il profilo delle velocità delle onde S con la profondità e calcolare il parametro V_{s30} ;
- analizzare la vulnerabilità sismica degli edifici, esistenti o in progetto.

7.2 *Effetti di sito*

Risposta sismica locale

Le onde di taglio (S) sono le principali responsabili delle lesioni che subiscono gli edifici durante un evento sismico. Infatti, mentre le onde di compressione (P) agiscono sulle sovrastrutture in direzione prevalentemente verticale (moto sussultorio), le onde S sollecitano le stesse con forze di taglio lungo il piano orizzontale (moto ondulatorio), dove gli elementi strutturali sono più vulnerabili. Nelle analisi di pericolosità sismica è quindi fondamentale esaminare in dettaglio in che modo le onde S si propagano. E' infatti ampiamente dimostrato

che questo tipo di oscillazione durante il percorso verso la superficie può subire un'azione di filtraggio che tende a ridistribuire l'energia associata al treno d'onda, concentrandola in determinate frequenze, corrispondenti alle frequenze naturali di vibrazione dei terreni attraversati. L'effetto finale è quello di amplificare le onde S che andranno a sollecitare l'opera. Questo fenomeno può essere dovuto sia a particolarità topografiche del sito (amplificazione topografica), come valli sepolte o zone di cresta o di versante in pendii naturali o artificiali, sia a variazioni brusche nelle caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati lungo la verticale (amplificazione stratigrafica).

Lermo e Chavez-Garcia (1993), basandosi sul lavoro di Nakamura (1989), suggeriscono che lo spettro H/V possa essere visto, a tutti gli effetti, come rappresentativo della funzione di trasferimento del moto sismico dal bedrock alla superficie. Secondo questi Autori quindi le ampiezze dei picchi stratigrafici nello spettro H/V possono essere interpretate direttamente come fattori di amplificazione del moto sismico, almeno per quanto riguarda la componente stratigrafica.

Liquefazione dei terreni

Per liquefazione di un terreno s'intende il totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi.

Se si esprime la resistenza al taglio attraverso la relazione di Coulomb:

$$\tau = c + (\sigma_{v0} - u) \tan \varphi$$

con:

c = coesione del terreno

σ_{v0} = pressione litostatica totale agente alla profondità d'indagine

u = pressione interstiziale dell'acqua

φ = angolo di resistenza al taglio del terreno,

È evidente che la grandezza $\langle \tau \rangle$ si può annullare solo nel caso in cui siano verificate le condizioni:

a) $c = 0$;

b) $(\sigma_{v0} - u) = 0$;

(il caso $\varphi = 0$ non ha importanza pratica, perché può verificarsi solo in terreni coesivi in condizioni non drenate, dove però la condizione $\langle c=0 \rangle$ non può ovviamente verificarsi).

La condizione a) vieta che il fenomeno della liquefazione possa verificarsi in terreni coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica.

La condizione b) si verifica, quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata ad una data profondità dalla colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie ($\sigma_{v0} = u$). In definitiva il fenomeno della liquefazione si può manifestare preferibilmente in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda, in seguito ad eventi che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua.

Nakamura (1996) propone di utilizzare il parametro K_g , ricavato con la tecnica HVSR, per quantificare la vulnerabilità sismica del sito, in riferimento soprattutto al fenomeno della liquefazione. K_g , detto indice di vulnerabilità del sito, si ottiene con la seguente relazione:

$$K_g = \frac{A_g^2}{F_g}$$

dove A_g è l'ampiezza del picco più importante dello spettro H/V e F_g la corrispondente frequenza. **I siti con valore di $K_g > 10$ sono da considerarsi a elevata vulnerabilità e quindi a rischio liquefazione, naturalmente partendo dal presupposto che ci siano le condizioni geologiche perché il fenomeno possa avvenire.**

7.3 Profilo delle velocità delle onde S e classificazione del sottosuolo secondo il d.m. 17.01.2018

Il D.M. 17.01.2018 suggerisce come riferimento di calcolo dell'amplificazione sismica locale, in particolare della componente stratigrafica, un metodo semplificato basato sulla stima del parametro V_{seq} . Per V_{seq} s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati di copertura fino alla profondità H in cui giace il bedrock, caratterizzato da $V_s > 800$ m/s, calcolata secondo la relazione:

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

dove H viene posto uguale a 30 m nel caso in cui il bedrock si trovi a profondità superiore. Sulla base del valore calcolato di V_{seq} vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

Categoria di sottosuolo	Descrizione	Spessore (m)	V_s (m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.	Qualsiasi	> 800
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 360 m/s e 800 m/s.	> 30	≥ 360 ≤ 800
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 180 e 360 m/s.	> 30	≥ 180 ≤ 360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 100 e 180 m/s.	> 30	< 180
E	Terreni con caratteristiche di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.	Fino a 30	\approx C e D

Una valutazione del parametro V_{seq} può essere condotta attraverso l'inversione vincolata dello spettro H/V ricavata con il velocimetro triassiale. In pratica viene utilizzata la relazione che lega la frequenza di risonanza del terreno (f) alla velocità delle onde S nel terreno stesso (V_s):

$$f(\text{Hz}) = \frac{V_s}{4P_{str}}$$

dove P_{str} è la profondità della base dello strato. Nota la profondità di un singolo livello stratigrafico, solitamente il primo, è possibile procedere all'inversione dello spettro H/V, modellando la curva sintetica in modo da ottenere la sovrapposizione con quella misurata. Normalmente i picchi alle alte frequenze (>10 Hz) segnalano la presenza di passaggi stratigrafici molto superficiali, quelli alle basse frequenze (<1 Hz) variazioni stratigrafiche profonde. Poiché le inversioni di velocità, cioè il passaggio andando in profondità da livelli veloci a livelli meno veloci, non da origine a picchi nello spettro H/V, queste non possono essere rilevate direttamente. Un indizio della presenza di inversioni di velocità può essere fornito però, indirettamente, dall'andamento dello spettro H/V: ampi intervalli di frequenza in cui costantemente il rapporto H/V si mantiene minore di uno sono spesso associabili a variazioni negative delle velocità con la profondità.

Si tenga presente infine che in realtà i microtremori sono costituiti in parte da onde di superficie e non solo quindi da onde di taglio, ma poiché le velocità dei due tipi di oscillazione sono confrontabili la procedura descritta può essere impiegata senza introdurre errori significativi.

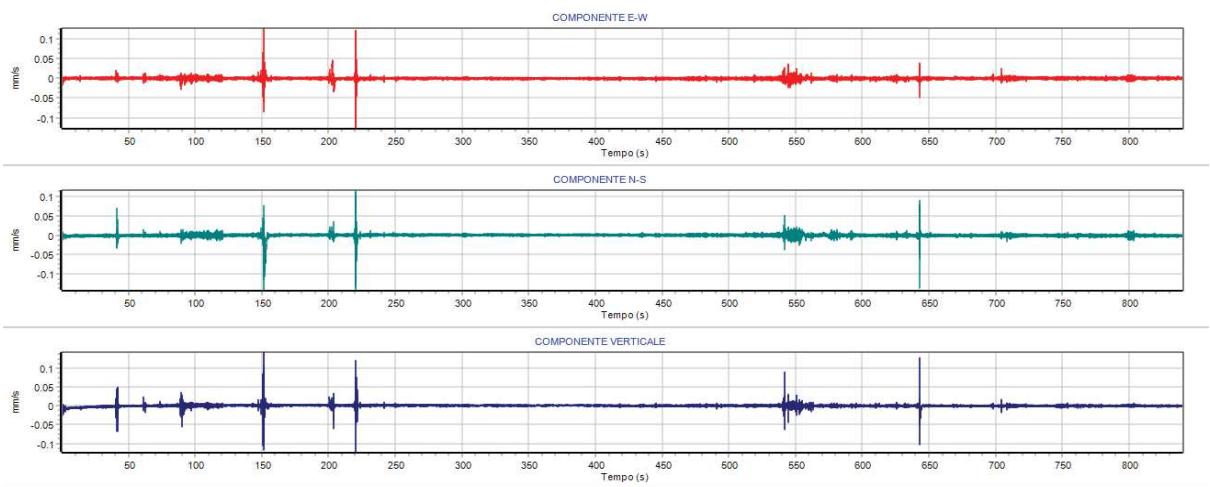
7.4 Vulnerabilità sismica dell'opera

Per vulnerabilità sismica s'intende la suscettibilità di un'opera a subire lesioni in seguito alle sollecitazioni indotte dal sisma. E' stato dimostrato che la vulnerabilità agli eventi sismici di un edificio di edificazione relativamente recente è solo marginalmente collegabile alle modalità costruttive dello stesso. Molto più gravoso è l'effetto dell'amplificazione sismica locale, che tende a aumentare in maniera importante l'intensità delle forze sismiche agenti sulla struttura. In particolare se la frequenza di risonanza dell'edificio è confrontabile con quella dei terreni di fondazione si verifica il fenomeno della risonanza accoppiata che comporta un'amplificazione delle sollecitazioni sismiche sull'opera.

Negli edifici esistenti il valore della frequenza fondamentale di risonanza può essere invece misurato direttamente con il velocimetro triassiale. In questo caso è necessario misurare il rapporto H_i/H_0 , dove H_0 è lo spettro della componente orizzontale, lungo X o Y, riferita al piano terra e H_i la stessa componente misurata al piano i-esimo. Nella pratica spesso si eseguono solo due misure, ubicate lungo la stessa verticale, una al piano terra e una all'ultimo piano dell'edificio. Il picco positivo massimo dello spettro H_i/H_0 indica direttamente la frequenza di risonanza fondamentale della struttura.

7.5 Risultati dell'analisi

Incarico:	NIBOFIN S.R.L.
Denominazione:	HVS
Località:	Via Crispi angolo Via Moretto – Brescia
Coordinate geografiche:	latitudine 45,535452 N e longitudine 10,224251 E
Quota:	piano campagna (143,3 m s.l.m.)
Data:	13/10/2020



Microtremori lungo le componenti E-W, N-S, Verticale. Durata della registrazione: 14 minuti

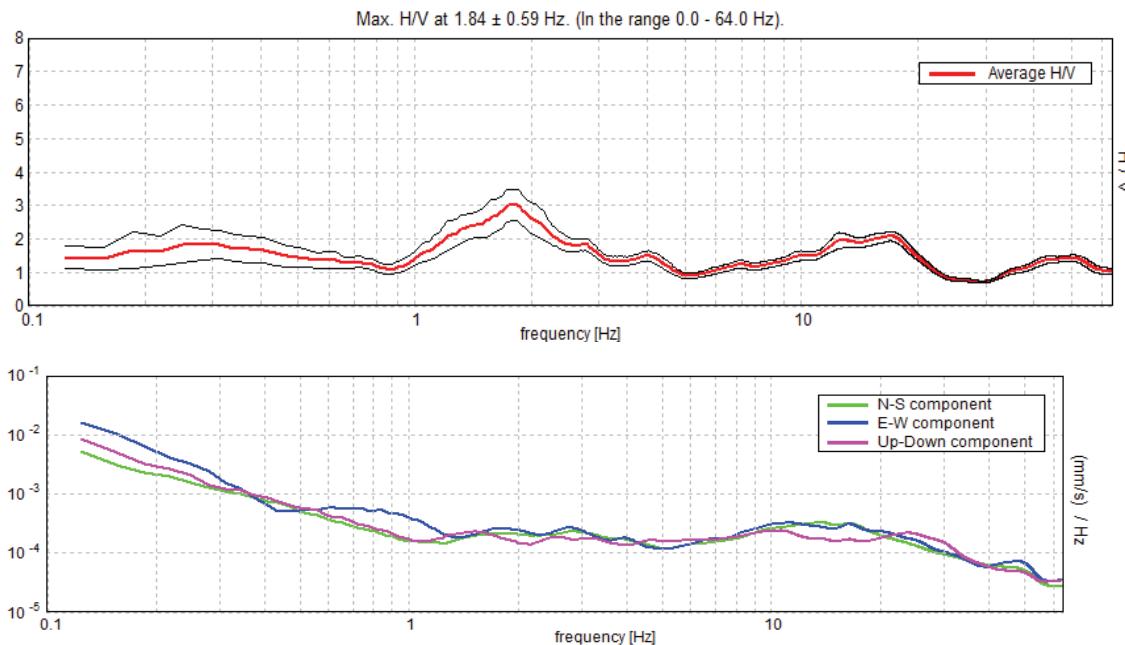
Tabella parametri picchi stratigrafici da spettro H/V delle onde di Rayleigh e Love V1

Criteri SESAME (2005) per una curva H/V attendibile S1: $f_p > 10/L_w$ - S2: $L_w \times N_w \times f_p > 200$ - S3: $s_a < 2$ per $0.5f_p < f < 2f_p$

LEGENDA: L_w = lunghezza della finestra (s) - N_w = n. finestre - f_p (Hz) = frequenza del picco stratigrafico - s_a = deviazione standard

N.	fz(Hz)	H/V	kg	H1(m)	H2(m)	H3(m)	S1	S2	S3
1	1.25	1.69	2.28	40.28	23.48	19.86	Sì	Sì	No
2	2.59	1.46	0.83	15.22	8.87	7.5	Sì	Sì	No
3	3.78	1.16	0.35	9.21	5.36	4.54	Sì	Sì	No
4	6.81	0.91	0.12	4.2	2.45	2.07	Sì	Sì	Sì
5	14.25	1.62	0.18	1.57	0.92	0.77	Sì	Sì	Sì
6	49.03	1.41	0.04	0.3	0.18	0.15	Sì	Sì	Sì

Si riportano di seguito gli spettri H/V e V registrati nel sito di misura.

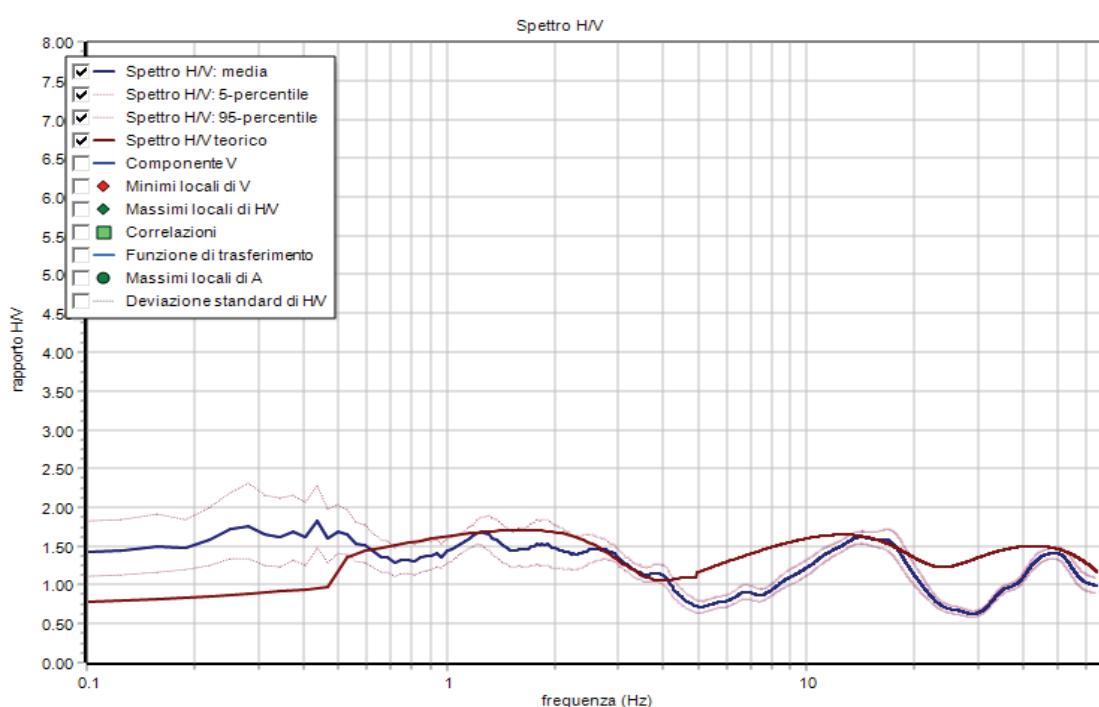


Nello spettro H/V sono stati individuati i picchi positivi che corrispondono ad altrettanti minimi locali nello spettro V (Up-Down component in legenda), fatto questo che consente di riconoscere le frequenze associate ai picchi H/V come frequenze di risonanza del terreno.

L'**indice di vulnerabilità del sito (K_g)** viene calcolato facendo riferimento ai soli picchi stratigrafici dello spettro H/V posti a frequenze inferiori o prossime a 10 Hz, in quanto quelli presenti a frequenze superiori non sono significativi dal punto di vista della vulnerabilità sismica.

Nel caso in esame i picchi H/V stratigrafici individuati hanno fornito un valore massimo di K_g uguale a **2.28**. Il sito può essere perciò considerato, secondo Nakamura (1989), **a bassa pericolosità sismica locale**.

La curva H/V sintetica è stata modellata in modo da sovrapporsi ai picchi stratigrafici misurati.

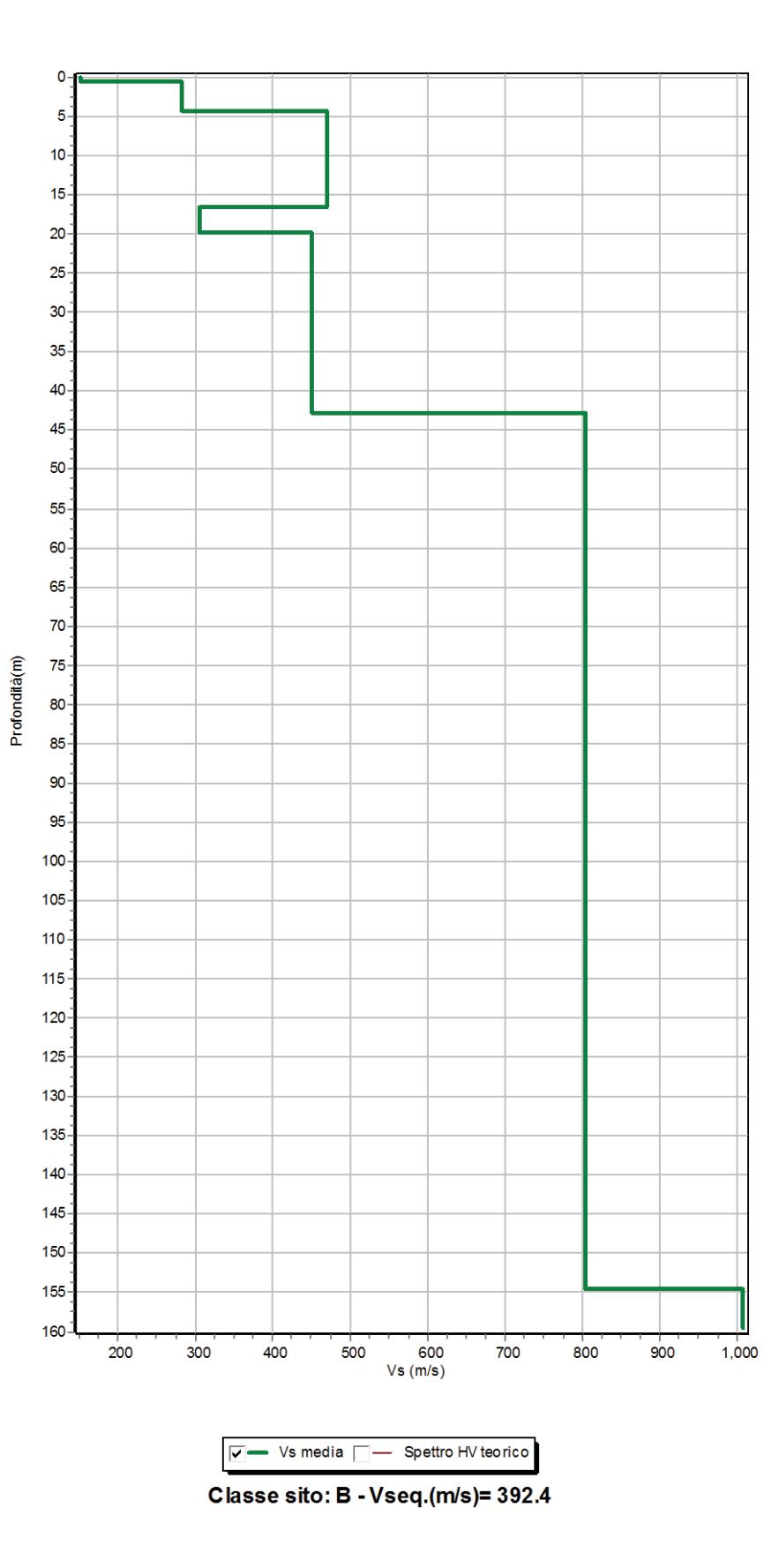


L'inversione ha consentito di ricavare il profilo delle velocità delle onde S in funzione della profondità, di seguito descritto:

Profondità da (m)	a (m)	Δz (m)	Vs (m/s)	Inversioni di velocità
0.0	0.6	0.6	152	-
0.6	4.3	3.7	282	-
4.3	16.61	12.31	470	-
16.61	19.86	3.25	305	x
19.86	42.79	22.93	450	-
42.79	154.55	111.76	804	-
Oltre 154.55			1007	-

Dr. Federico Mori

Geologo



Il valore di V_{seq} , calcolato rispetto al piano di prova (143,3 m s.l.m.), è risultato uguale a **392 m/s**; il sito rientra quindi nella **categoria di sottosuolo “B”** secondo il D.M. 17/01/2018: *rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 360 m/s e 800 m/s.*

7.6 Analisi di secondo livello

L’analisi di secondo livello degli effetti sismici è stata condotta coerentemente con le indicazioni e con le prescrizioni riportate nei criteri attuativi della Legge Regionale n.12 dell’11/03/2005 della Regione Lombardia, indicati nella DGR 22/12/2005 n.VIII/1566 modificati con DGR 28/05/2008 n. VIII/7374 e successivi aggiornamenti (D.G.R. 30/11/2011 n.IX 2616).

Sulla base dei risultati ottenuti dall’indagine sismica HVSR è stato possibile calcolare il valore del Fattore di Amplificazione (**Fa**) atteso per l’area in esame.

Il valore ottenuto è stato utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall’applicazione della normativa sismica vigente. La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di Fa ottenuto dalle schede di valutazione (**Fac**) con un parametro di analogo significato (**Fas**) fornito dalla Regione Lombardia per ogni singolo territorio comunale e valido per ciascuna zona sismica (zona 2, 3 e 4) e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 sec. (relativo a strutture basse, regolari e piuttosto rigide) e 0.5-1.5 sec. (per strutture alte e più flessibili).

Il parametro calcolato per ogni Comune della Regione Lombardia è riportato nella banca dati on line della Regione Lombardia e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione del sito.

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di Fa con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di +0.1 che tiene conto della variabilità del valore di Fa ottenuto dalla procedura semplificata.

Per il comune di Brescia (zona sismica 2) e con un suolo in Classe “B” (determinato con l’indagine sismica HVSR) i valori di Fa soglia risultano:

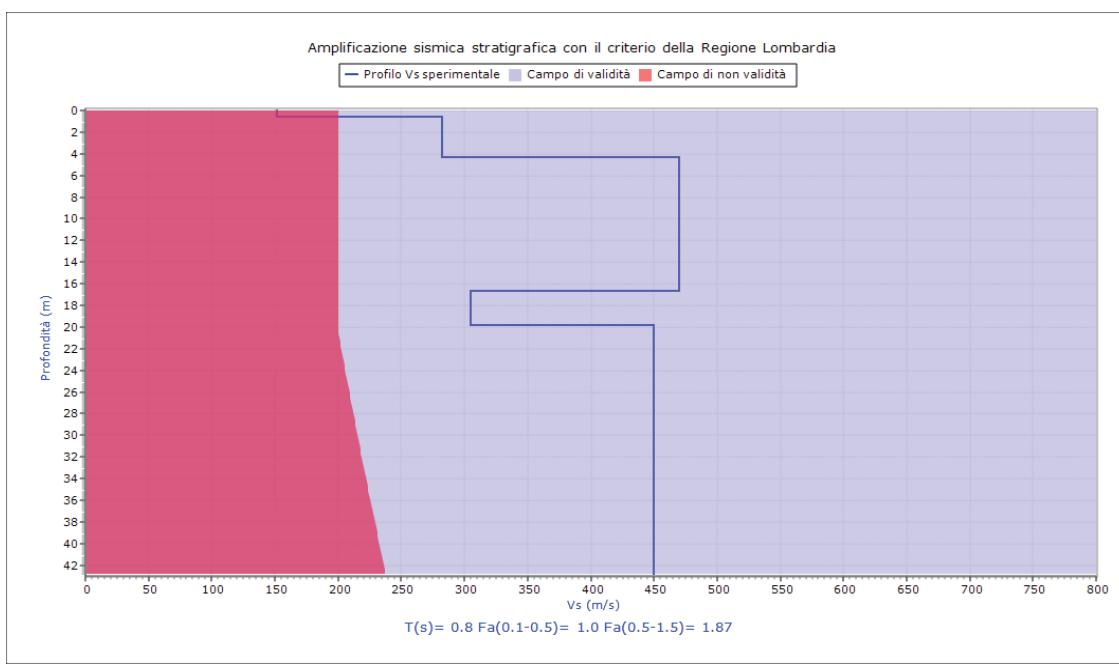
$$\text{Fas (0.1-0.5 sec.)} = 1.4 \pm 0.1 \text{ (soglia comunale} \pm \text{ margine di errore)}$$

$$\text{Fas (0.5-1.5 sec.)} = 1.7 \pm 0.1 \text{ (soglia comunale} \pm \text{ margine di errore)}$$

Per procedere al calcolo del valore di Fa per il sito in esame (**Fac**) si è scelto di applicare, tra quelle disponibili, la “Scheda litologia sabbiosa”, in quanto l’unica, fra quelle disponibili, per la quale l’andamento delle V_s risulti compatibile.

All’interno della suddetta scheda litologica è stata scelta, in funzione della profondità e della velocità V_s dello strato superficiale, la curva n°2 per la valutazione del valore di Fa nell’intervallo 0.1-0.5 sec. e nell’intervallo 0.5-1.5 sec., in base al valore del periodo proprio del sito T.

Il periodo proprio del sito T, necessario per l’utilizzo della scheda di valutazione, è stato misurato direttamente con l’indagine geofisica (inverso della frequenza fondamentale) e risulta $T = 1/f = 1/1.25 \text{ Hz} = 0.80 \text{ sec.}$



Valutazione dei fattori di amplificazione stratigrafici con il criterio della L.R. 11 Marzo 2005 n.12

I valori di **F_{ac}** così determinati, approssimati alla prima cifra decimale, per il sito in esame risultano:

$$\text{Fac (0.1-0.5 sec.)} = 1.0$$

$$\text{Fac (0.5-1.5 sec.)} = 1.9$$

Il valore riscontrato nell'intervallo di periodo 0.1-0.5 sec. è inferiore al valore di soglia **F_{as}** per il territorio comunale di Brescia per sottosuoli di categoria "B", mentre quello nell'intervallo 0.5-1.5 sec. risulta maggiore.

Per l'intervallo di periodo 0.1-0.5 sec., la normativa è quindi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito, perciò si può applicare lo spettro previsto dalla normativa per la **categoria di sottosuolo "B"**; per l'intervallo di periodo 0.5-1.5 sec. si rende invece necessaria l'applicazione dell'analisi di III livello di approfondimento oppure, in alternativa, l'utilizzo dello spettro caratteristico della categoria di sottosuolo superiore (in questo caso la **categoria di sottosuolo "C"**: *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 180 e 360 m/s*).

In funzione delle condizioni topografiche, considerato che l'area interessata dall'intervento in progetto è posta su una superficie lievemente ondulata con inclinazione media inferiore a 15° (v. Par. 3), il sito rientra nella categoria T1 ed il valore del **coefficiente di amplificazione topografica S_t** è pari a 1,0.

Secondo la più recente normativa, la classificazione di un territorio come "località sismica" di zona 2 determina, da un punto di vista progettuale, l'adozione di una **accelerazione sismica di base (al bedrock) a_g** che, in funzione della collocazione geografica (**latitudine 45,535452 N e longitudine 10,224251 E con il sistema WGS84**), del periodo di riferimento (**V_R = anni 50 x 1 = 50**) e della probabilità di superamento (**10% corrispondente allo Stato Limite di salvaguardia della Vita**) è pari a **0,1528 g**.

Il **fattore massimo di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale F_g** è in questo caso pari a **2,43**.

Dr. Federico Mori

Geologo

Il periodo T_c^* corrispondente all'**inizio del tratto a velocità costante** dello spettro di accelerazione orizzontale nel caso in esame è pari a **0,28 sec.**

Non conoscendo il periodo proprio della struttura in progetto, di seguito vengono riportati i risultati per entrambi gli intervalli.

INTERVALLO DI PERIODO 0.1-0.5 SEC. - Categoria di sottosuolo B

Descrizione		Valore	Legenda:
Sistema:	WGS84	agh base:	Accelerazione sismica orizzontale di base;
Latitudine°	45,535452	F0:	Max fattore di amplificazione spettrale orizzontale;
Longitudine°	10,224251	Tc*:	Periodo inizio tratto a velocità costante;
Stato limite	S.L.V.	agv base:	Accelerazione sismica verticale di base;
Vita nominale opera (anni)	50	Fv:	Max fattore di amplificazione spettrale verticale;
Classe opera	II	Tr:	Tempo di ritorno;
Coef. di smorzamento %	5,0	Pr:	Probabilità di superamento;
Fattore di struttura orizz.le q	3	agh max:	Accelerazione sismica orizzontale in superficie;
Fattore di struttura vert.le qv	1,5	agv max:	Accelerazione sismica verticale in superficie;
Categoria sottosuolo	B	khs:	Coefficiente sismico orizzontale del terreno;
Categoria topografica	T1	kvs:	Coefficiente sismico verticale del terreno;
Altezza totale dell'opera (m):	0	beta:	Coefficiente di riduzione di agh max;
Tipo opera:	Opera in c.a.	khi:	Coefficiente sismico orizzontale dell'opera;
Contesto geotecnico:	Fondazione	kvi:	Coefficiente sismico verticale dell'opera;
ID nodo 1	12053	T:	Periodo di risonanza dell'opera;
ID nodo 2	12054		
ID nodo 3	12275		
ID nodo 4	12276		

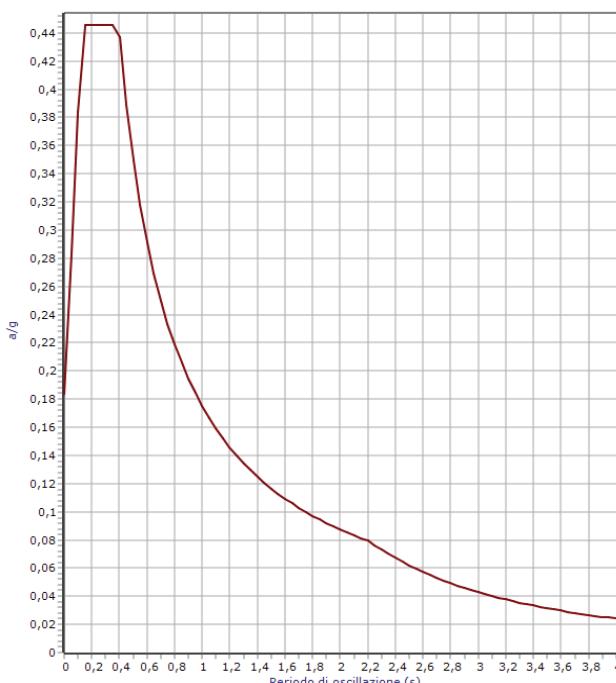
Stato	agh base(g)	F0	Tc*	agv base(g)	Fv	Tr(anni)	Pr(%)	agh max(g)	agv max(g)	khs	kvs	beta	khi	kvi	T(s)
S.L.C.	0,1993	2,44	0,28	0,1993	1,47	975	0,05	0,2391	0,1993	0,057	0,029	0,24			0,0
S.L.V.	0,1528	2,43	0,28	0,1528	1,28	475	0,1	0,1834	0,1528	0,044	0,022	0,24			0,0
S.L.D.	0,0553	2,46	0,24	0,0553	0,78	50	0,63	0,0664	0,0553	0,013	0,007	0,20			0,0
S.L.O.	0,0413	2,49	0,21	0,0413	0,68	30	0,81	0,0496	0,0413	0,010	0,005	0,20			0,0

Parametri sismici secondo le NTC2018

www.programgeo.it

Spettro di risposta elastico orizzontale dell'accelerazione (NTC2018)

[S.L.C. S.L.V. S.L.D. S.L.O.]



INTERVALLO DI PERIODO 0.5-1.5 SEC. - Categoria di sottosuolo C

Map of the area showing the location of the foundation (red diamond) relative to streets like Corso Magenta, Via Caviglie, Via Crispi, Via Moretto, Via Martini, and Alessandro Bonvicino-Moretto.		Geotechnical parameters table															
		Descrizione		Valore		Legenda:											
Sistema:	WGS84	agħ base:	Accelerazione sismica orizzontale di base;														
Latitudine°	45,535452	F0:	Max fattore di amplificazione spettrale orizzontale;														
Longitudine°	10,224251	Tc*:	Periodo inizio tratto a velocità costante;														
Stato limite	S.L.V.	agv base:	Accelerazione sismica verticale di base;														
Vita nominale opera (anni)	50	Fv:	Max fattore di amplificazione spettrale verticale;														
Classe opera	II	Tr:	Tempo di ritorno;														
Coef.di smorzamento %	5,0	Pr:	Probabilità di superamento;														
Fattore di struttura orizz.le q	3	agħ max:	Accelerazione sismica orizzontale in superficie;														
Fattore di struttura vert.le qv	1,5	agv max:	Accelerazione sismica verticale in superficie;														
Categoria sottosuolo	C	khs:	Coefficiente sismico orizzontale del terreno;														
Categoria topografica	T1	kvs:	Coefficiente sismico verticale del terreno;														
Altezza totale dell'opera (m):	0	beta:	Coefficiente di riduzione di agħ max;														
Tipo opera:	Opera in c.a.	khi:	Coefficiente sismico orizzontale dell'opera;														
Contesto geotecnico:	Fondazione	kvi:	Coefficiente sismico verticale dell'opera;														
ID nodo 1	12053	Ti:	Periodo di risonanza dell'opera;														
ID nodo 2	12054																
ID nodo 3	12275																
ID nodo 4	12276																

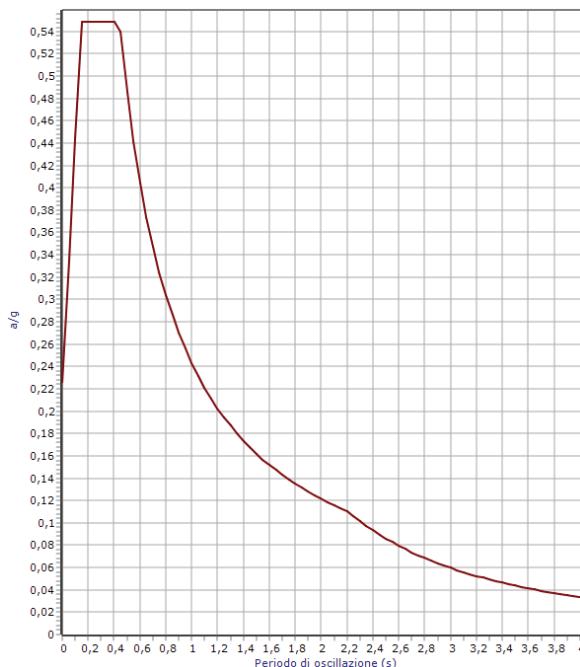
Stato	agħ base(g)	F0	Tc*	agv base(g)	Fv	Tr(anni)	Pr(%)	agħ max(g)	agv max(g)	khs	kvs	beta	khi	kvi	T(s)
S.L.C.	0,1993	2,44	0,28	0,1993	1,47	975	0,05	0,2805	0,1993	0,067	0,034	0,24			0,0
S.L.V.	0,1528	2,43	0,28	0,1528	1,28	475	0,1	0,2257	0,1528	0,054	0,027	0,24			0,0
S.L.D.	0,0553	2,46	0,24	0,0553	0,78	50	0,63	0,0830	0,0553	0,017	0,008	0,20			0,0
S.L.O.	0,0413	2,49	0,21	0,0413	0,68	30	0,81	0,0620	0,0413	0,012	0,006	0,20			0,0

Parametri sismici secondo le NTC2018

www.programgeo.it

Spettro di risposta elastico orizzontale dell'accelerazione (NTC2018)

— S.L.C. — S.L.V. — S.L.D. — S.L.O.



Stima del coefficiente sismico orizzontale del terreno (k_{hk})

Il valore a_{max} (accelerazione massima orizzontale al piano di posa delle fondazioni), viene ricavato dalla seguente relazione:

$$a_{max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$

dove a_g è l'accelerazione sismica orizzontale al bedrock, S_s è il fattore di amplificazione stratigrafica e S_t il fattore di amplificazione topografica.

Il fattore S_s viene stimato in funzione della categoria del sottosuolo secondo lo schema seguente:

Classe	S_s
A	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 F_0 a_g \leq 1.20$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 F_0 a_g \leq 1.50$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 F_0 a_g \leq 1.80$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 F_0 a_g \leq 1.60$

Come precedentemente riportato, a_g è uguale a **0,1528 g** e F_0 è **2,43**.

Nel caso di strutture con periodo 0.1-0.5 sec., quindi utilizzando la categoria di sottosuolo “B”, il parametro S_s risulta maggiore di **1,20**.

La grandezza a_{max} è quindi uguale a:

$$a_{max} = 1,200 \times 1,000 \times 0,1528 = \mathbf{0,1834 \text{ g}}$$

Nel caso di strutture con periodo 0.5-1.5 sec., quindi utilizzando la categoria di sottosuolo “C”, il parametro S_s risulta uguale a **1,477**.

La grandezza a_{max} è quindi uguale a:

$$a_{max} = 1,477 \times 1,000 \times 0,1528 = \mathbf{0,2257 \text{ g}}$$

Il **coefficiente sismico orizzontale**, necessario per la valutazione degli effetti cinematici del sisma sul terreno di fondazione, si ottiene infine moltiplicando il valore di a_{max} per un fattore correttivo β :

$$k_{hk} = \beta \cdot a_{max}$$

Il parametro β , secondo le istruzioni per l'applicazione del D.M.17/01/2018, va ricavato dalla seguente tabella:

	Categoria del sottosuolo	
	A	B,C,D,E
$0.2 < a_g \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g \leq 0.1$	0.20	0.20

Per la categoria di sottosuolo “B”, nel sito indagato risulta $\beta=0,24$, da cui:

$$k_{hk} = 0,24 \times 0,1834 = \mathbf{0,044}$$

Anche per la categoria di sottosuolo “C”, nel sito indagato risulta $\beta=0,24$, da cui:

$$k_{hk} = 0,24 \times 0,2257 = \mathbf{0,054}$$

Per il contesto geotecnico caratterizzato da muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, si utilizza $\beta_m = 1$, da cui $k_{hk} = 1,0 \times 0,1834 = \mathbf{0,1834}$ per la categoria di sottosuolo “B” e $k_{hk} = 1,0 \times 0,2257 = \mathbf{0,2257}$ per la categoria di sottosuolo “C”.

Verifica alla liquefazione dei terreni in condizioni sismiche

Per quanto riguarda la possibilità di liquefazione (perdita di resistenza dei terreni saturi sotto sollecitazioni che portino il terreno a raggiungere una condizione di fluidità pari a quella di una massa viscosa, il che solitamente avviene nei depositi costituiti da sabbie sciolte fini sotto falda), considerate sia le caratteristiche meccaniche del deposito presente (terreno rimaneggiato sabbio-limoso deb. ghiaio-argilloso), sia l'assenza di saturazione per profondità

Dr. Federico Mori

Geologo

maggiore di 15 m da p.c., non esistono le condizioni che possano condurre a tale fenomeno
(circostanze 2 e 4 del punto 7.11.3.4.2 delle NTC 2018).

8) CONCLUSIONI

Sulla base dei dati ottenuti nel corso dell'indagine, l'area in oggetto presenta un quadro geologico, geomorfologico ed idrogeologico compatibile con l'intervento previsto, che consiste nella ristrutturazione di un insediamento con destinazione residenziale, costituito da quattro corpi di fabbrica di diversa altezza per la quasi totalità privi di interrato, ubicato nel centro storico della città di Brescia.

Sulla base dei dati ottenuti nel corso dell'indagine, è stato verificato quanto segue.

a. Nel corso dell'esecuzione delle indagini, non è stata rilevata la presenza di acqua sotterranea alla profondità raggiunta; dai dati stratigrafici di pozzi esistenti nell'intorno, si rileva la presenza di un acquifero con superficie piezometrica, in corrispondenza dell'area d'intervento, posta a quote che oscillano fra 120 m circa s.l.m. (periodi di morbida) e 114 m circa s.l.m., ovvero a profondità di variabili da **23 m a 29 m dalla quota di p.c. attuale** (v. Par. 3).

b. Il valore di V_{seq} , calcolato partendo da piano misura è risultato uguale a 392 m/s (v. Par. 7); il sito rientra quindi nella categoria di sottosuolo “B” secondo il D.M. 17/01/2018: rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 360 m/s e 800 m/s.

Il valore del Fattore di Amplificazione (**Fac**) riscontrato nell'area in esame risulta inferiore al valore soglia (**Fas**) per il Comune di Brescia per sottosuoli di categoria “**B**” per l'intervallo di periodo 0.1-0.5 sec. (riferito a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide), mentre quello nell'intervallo 0.5-1.5 sec. (riferito a strutture alte e flessibili) risulta maggiore. Perciò l'indagine eseguita giustifica e consente di affermare che, per l'intervallo di periodo 0.1-0.5 sec., la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito, perciò si può applicare lo spettro previsto dalla normativa per la categoria di sottosuolo “B”. Per l'intervallo di periodo 0.5-1.5 sec. si rende invece necessaria l'applicazione dell'analisi di III livello di approfondimento oppure, in alternativa, l'utilizzo dello spettro caratteristico della categoria di sottosuolo superiore, che, in questo caso, è la categoria di sottosuolo “C” (depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 180 e 360 m/s).

c. La successione litostratigrafica presente in corrispondenza dell'insediamento interessato dall'intervento si deve sia agli interventi antropici succedutisi dall'epoca romana fino all'attuale per la realizzazione di ripetuti interventi edificatori con relative demolizioni e ricostruzioni, sia agli eventi alluvionali verificatisi nell'ultima parte del periodo olocenico; detta coltre superficiale ha spessore di circa 4,3 m.

Inferiormente ad essa sono presenti i depositi a prevalente frazione ghiaio-sabbiosa originati dall'azione fluvio glaciale e fluviale successiva all'ultima glaciazione (Wurm).

Dr. Federico Mori

Geologo

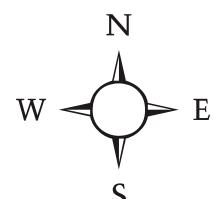
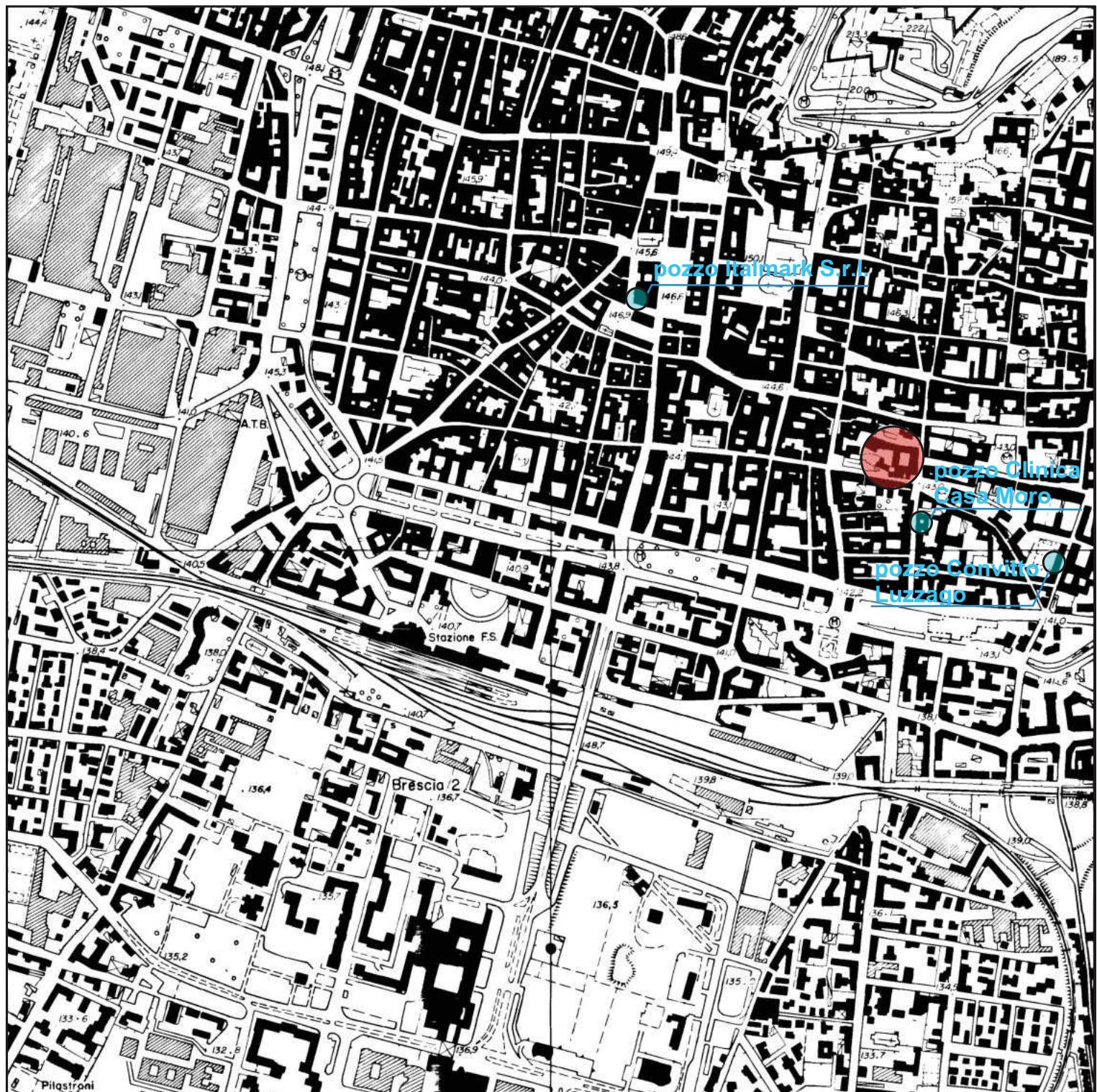
- d. Il Vaso Molin del Brolo, l'alveo del quale, intubato, attraversa la porzione meridionale dell'insediamento interessato dall'intervento, non ha fatto registrare episodi di esondazione con interessamento dell'area oggetto d'intervento.
- e. Essendoci la possibile presenza di infiltrazioni a profondità modesta dovuta sia agli scarichi dei pluviali dell'insediamento e dei fabbricati limitrofi sia alla presenza dell'alveo intubato del Vaso Molin del Brolo, al fine di evitare l'imbibizione e la risalita per capillarità nelle murature esistenti, è consigliabile procedere alla ricerca di soluzioni tali da impedire la saturazione del terreno a contatto con le strutture murarie.

Le considerazioni espresse si basano sui dati dell'indagine geognostica preliminare in quanto, attualmente, non è ancora stata eseguita l'indagine geotecnica; in fase esecutiva sarà necessario procedere alla verifica delle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione mediante un'indagine (sondaggi e prove penetrometriche dinamiche) mirata sulla scorta di dati definitivi, che consenta di procedere al dimensionamento delle fondazioni.

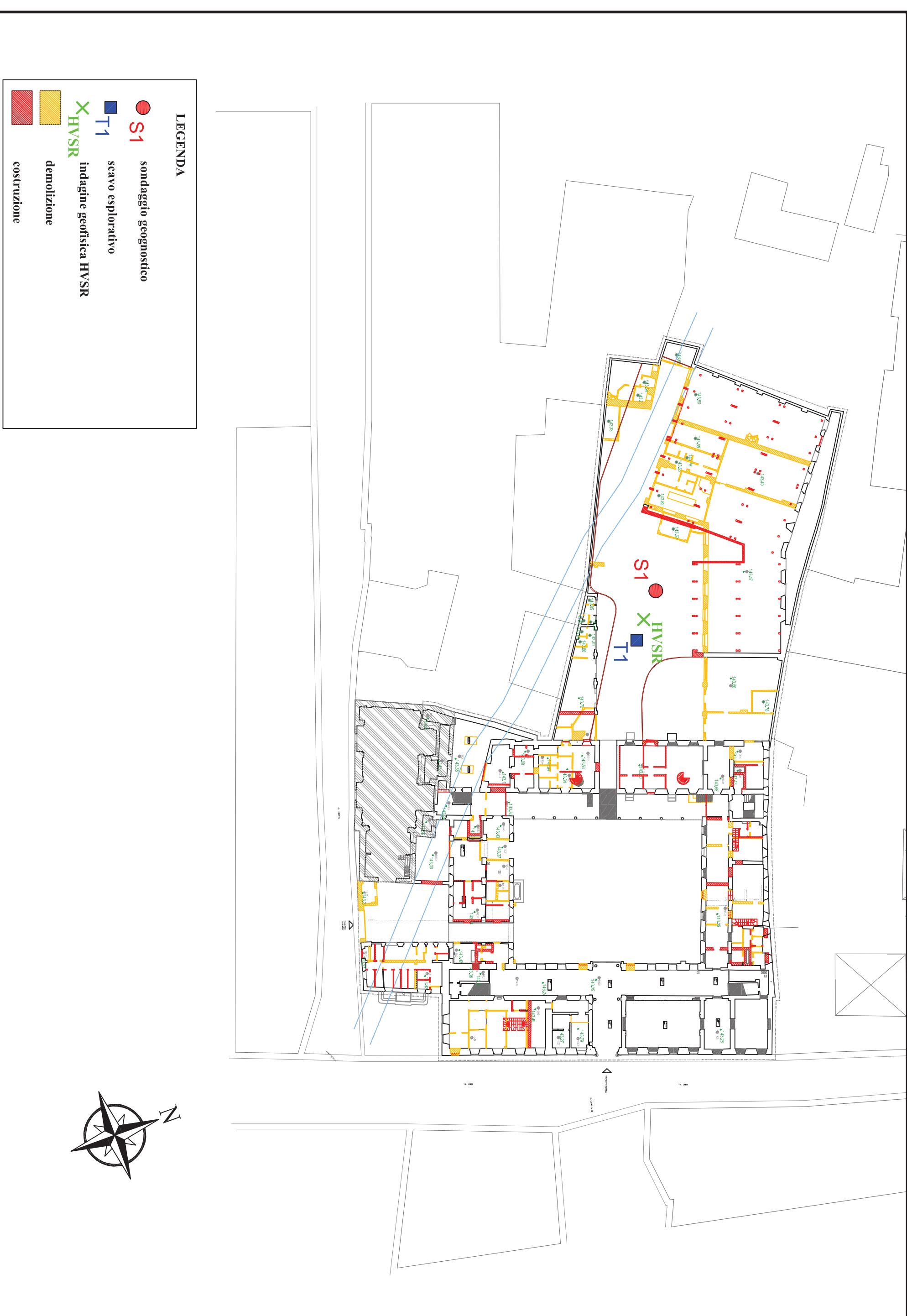
dr. Federico Mori

Brescia, 29 Ottobre 2020





**ALLEGATO n°1: carta topografica scala 1:10000 con
ubicazione dell'area d'intervento e
dei pozzi esistenti**

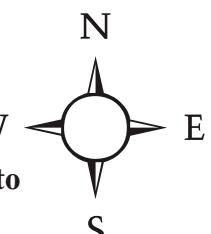


ALLEGATO n°2: planimetria scala 1:500 con ubicazione del sondaggio geognostico, dello scavo esplorativo e del punto di indagine geofisica



LEGENDA

	alluvioni di fondovalle		limite geologico
	eluvium, colluvium e falde di detrito		limite geologico incerto
	alluvioni fluvioglaciali e fluviali (Wurm)		faglia presunta
	Medolo (Domeriano - Lotaringiano)		10°-29° giaciture di strato



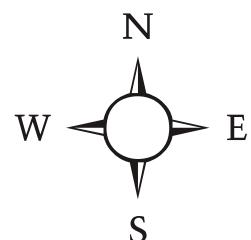
ALLEGATO n°3: carta geologica scala 1:5000



LEGENDA



isopiezometrica e relativa
quota assoluta (m s.l.m.)



direzione di flusso



principali elementi idrografici

D. Federico Mori

Geologo

ALLEGATO n°5: stratigrafia del sondaggio geognostico

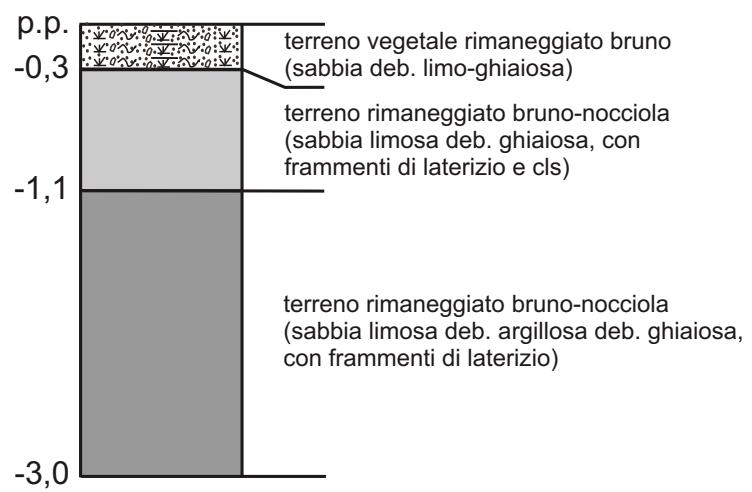
Garda Perforazioni S.r.l. Loc. Carzago 25080 Calvagese d/R (BS)				SONDAGGIO N°: <u>S1</u> a distruzione di nucleo METODO PERFORAZIONE: Ø DI PERFORAZIONE: <u>101/127 mm</u> QUOTA INIZIO: <u>p.piazzale</u>	COMMITTENTE: <u>NIBOFIN S.r.l.</u> LOCALITA: <u>Via Moretto - Brescia</u> DATA: <u>24-27-28/06/2011</u>						
LOCALIZZAZIONE Foglio N°: Tavoletta: Coordinate:											
profondità In m	profondità strati	stratigrafia	campioni	descrizione	R.Q.D. STANDARD PENETRATION TEST profondità H colpi N vane test valore max valore rest. H ₂ O note						
			ciclo pavimento campioni								
	0,60			terreno vegetale rimaneggiato (sabbia e ghiaia con ciottoli limose)							
	2,60			sabbia limosa deb. ghiaio-argillosa, nocciola (depositi colluviali alternati a terreno rimaneggiato)							
	2,70			pavimentazione in cocciopesto							
	4,30			sabbia limosa deb. ghiaiosa deb. argillosa, nocciola (depositi colluviali alternati a terreno rimaneggiato)							
	9,30			ghiaia e sabbia con ciottoli deb. limose, grigio-nocciola							
	20,00			ghiaia e sabbia deb. limo-argillose, nocciola							assente

D. Federico Mori

Geologo

ALLEGATO n°6: stratigrafia dello scavo esplorativo

T1



Dr. Federico Mori

Geologo

ALLEGATO n°7: documentazione fotografica

Dr. Federico Mori

Geologo

Foto 1. Scavo esplorativo T1



Foto 2. HVSR



*D. Federico Mori
Geologo*

ALLEGATO n°8: stratigrafia dei pozzi esistenti

proprietario del pozzo : CONVITTO IJZIAGO
ISTITUTO FRANCISCIANUM

operatore : Della Torre F.

anno di perforazione : n.c.

TRATICEAFIA :

da mt. 0.00 a mt. 20.00	terra e basso ..
20.00	34.00 <u>gialla e acqua</u>
34.00	37.00 conglomerato duro.
37.00	39.50 argilla gialla
39.50	60.00 conglomerato duro
60.00	70.00 argilla plastica gialla e verde
70.00	79.00 conglomerato durissimo
79.00	90.00 argilla gialla
90.00	93.00 argilla gialla e cancre
93.00	94.50 gialla grossa (II ^a falda)
94.50	103.50 argille
103.50	104.00 gialla grossa (III ^a falda)
104.00	106.50 argilla
106.50	<u>conglomerato fessurato con tracce di acqua</u>

livello statico : mancante

livello dinamico : mancante

portata : mancante

COMUNE: Brescia

LOCALITA': Via Crispi

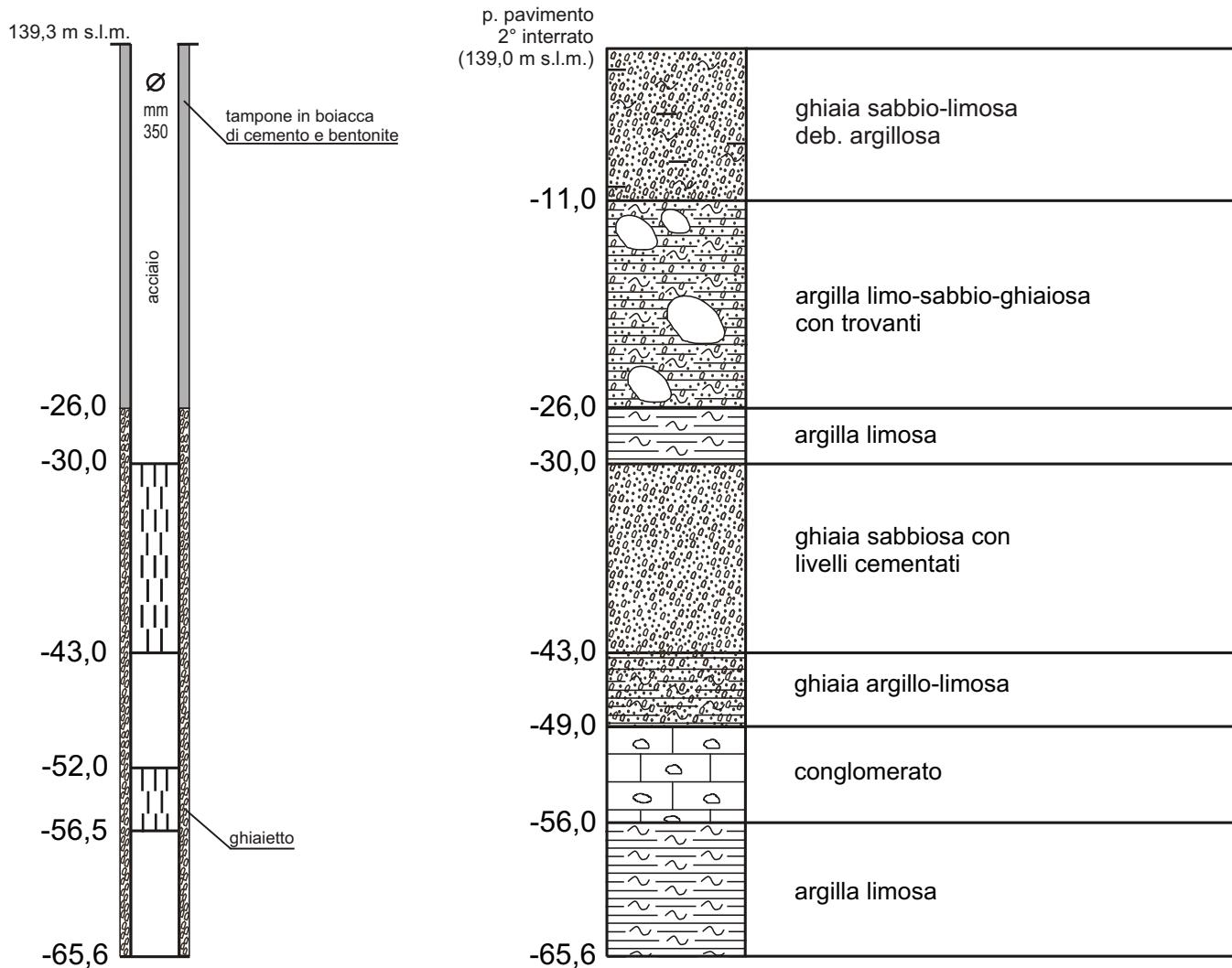
PROPRIETARIO: Clinica Casa Moro

1 - .50	? Avant	tza?
1 - 7,10	Cchiaia	ciottoli
50 21 30	Cchiaia	ottoli con alternanze argillose
30 35 10	Cchiaia	mista a poca sabbia acquifera
10 42 50	Conglo	rato compatto
50 43 30	Argilla	stica giallastra
30 45 30	Conglo	rato compatto
30 46 00	Argilla	stica giallastra
50 51 50	Conglo	rato compatto
50 51 90	Argilla	stica giallastra
90 61 30	Conglo	rato poroso
30 61 20	Argilla	stica bruniccia
20 61 10	Conglo	rato poroso
10 61 20	arenai	giana grossa
20 71 10	Conglo	rato poroso
10 71 15	Argilla	stica giallastra
15 71 20	Conglo	rato poroso
20 71 70	Argilla	llastrina
70 81 30	Argilla	rra
30 81 05	Conglo	rato poroso
05 91 30	Argilla	llastrina
,30 11 1,21	Congl	rato poroso con alternanze arenacee

ne tr tu: e:	la 25,	a 42,00 m
	la 53,	a 10,00 m
	la 67	a 20,00 m
	la 80	a 90,00 m

ar str - t ba ore: 0 mm da 0,00 a 71,00 m
0 mm da 71,00 a 101,20 m

RONCHI S.r.l. Cologno Monzese (MI)	COMMITTENTE: Magazzini Standa S.p.A. (ora Italmark S.r.l.) LOCALITA': Via Verdi - Brescia DATA: 1973	scala orizz. 1:50 scala vert. 1:500
---	--	--



Diametro di perforazione: ø mm 500

Profondità: m 65,6

Colonna cieca: m 48,1

Colonna finestrata: m 17,5

Livello statico: - m 24,10 da p. pavimento 2° interrato

Livello dinamico: - m 25,95 da p. pavimento 2° interrato con portata lt/sec. 15



La colonna stratigrafica è stata redatta esclusivamente sulla base dei dati forniti dall'impresa esecutrice