

# COMUNE DI BELLANO

PROVINCIA DI LECCO

PROGETTO DEFINITIVO PER LO SVILUPPO ARCHITETTONICO DI UNO SPAZIO  
ESPOSITIVO E MUSEALE ALL'INTERNO DELLA EX CHIESA DI  
SAN NICOLAO DI BELLANO, ACCOMPAGNATO DA UN PROGETTO DI  
RISANAMENTO CONSERVATIVO DELL'EDIFICIO STESSO.

## PROGETTO DEFINITIVO

- all.1 \_Relazione generale e Quadro economico;
- all.2\_ Relazione geologica e geotecnica con indagini di simica passiva HVSR;**
- all.3 \_Relazione di restauro conservativo e relative analisi;
- all.4 \_Relazione strutturale e calcoli delle strutture;
- all.5 \_Elaborati grafici;
- all.6 \_Studio di impatto ambientale;
- all.7 \_Capitolato speciale d'appalto e disciplinare descrittivo-prestazionale;
- all.8 \_Censimento e risoluzione interferenze;
- all.9 \_Elenco dei prezzi unitari ed eventuali analisi;
- all.10 \_Computo metrico estimativo;
- all.11 \_Aggiornamento del documento contenente le prime indicazioni e disposizioni per la stesura dei piani di sicurezza.

IL PROGETTISTA:

**Arch. ROCCO VITALI**

via Lecco 5 - 23822 Bellano (Lecco)

tel. 3401598145 - email: rocco.vitali@archiworldpec.it

iscritto all'Ordine degli architetti della prov. di Lecco al n. 1185

c.f. VTLRCC91H13A745I - p.IVA 03848410134

# COMUNE DI BELLANO

PROVINCIA DI LECCO



COMMITTENTE : **COMUNE DI BELLANO**

Via Vittorio Veneto, n°20 – 23822 Bellano (Lc)

C.F. / P.IVA 00563380138

PROGETTO : LAVORO DI RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO DELL'EX  
CHIESA DI S. NICOLAO IN COMUNE DI BELLANO (Lc)



OGGETTO : **RELAZIONE GEOLOGICA (R1 – R3) E GEOTECNICA (R2)  
CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**

Agosto 2022

Dr. Fabrizio Bigioli Geologo

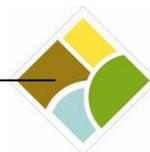
*(documento firmato digitalmente ai sensi del D.Lgs. 82/2005)*

**STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA E GESTIONE DEL TERRITORIO**

**Dr. Fabrizio BIGIOLLI Geologo** - via Valeriana, 97 – loc Piussoigno – 23016 CERCINO (SO)

Tel. 0342 680 651      Mobile 339 60 96 386

e-Mail [info@bigioli.it](mailto:info@bigioli.it)      C.F. BGLFRZ76T09F712E      P.Iva 00812460145



## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
1.1. METODOLOGIA.....	6
1.2. FINALITÀ.....	6
1.3. OPERE PROPOSTE.....	7
<b>2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....</b>	<b>9</b>
2.1. CENNI DI GEOLOGIA GENERALE .....	9
2.2. SUBSTRATO ROCCIOSO .....	11
2.3. COPERTURA SUPERFICIALE .....	12
<b>3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>12</b>
<b>4. CARATTERI IDROGEOLOGICI E IDROGRAFIA SUPERFICIALE .....</b>	<b>13</b>
<b>5. INQUADRAMENTO ED INDAGINI SISMICHE .....</b>	<b>14</b>
5.1. INQUADRAMENTO SISMICO GENERALE.....	14
5.2. INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR.....	20
<b>6. ANALISI DELLE PUBBLICAZIONI, VERIFICA P.A.I. E P.G.T. ....</b>	<b>44</b>
<b>7. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....</b>	<b>47</b>
<b>8. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI .....</b>	<b>48</b>
8.1. STRATIGRAFIA IPOTIZZATA.....	48

## RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR



8.2. PARAMETRI GEOTECNICI .....	49
<b>9. CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE E DEI CEDIMENTI (NTC 2018).....</b>	<b>49</b>
9.2. VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE): CEDIMENTI E DISTORSIONI .....	55
<b>10. VERIFICA ALLO SCORRIMENTO .....</b>	<b>56</b>
<b>11. VERIFICA DELLA STABILITÀ GLOBALE .....</b>	<b>56</b>
<b>12. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE .....</b>	<b>56</b>
<b>13. APERTURA, SOSTEGNO E PROBLEMATICHE RELATIVE AI FRONTI DI SCAVO .....</b>	<b>57</b>
<b>14. STABILITÀ GLOBALE POST OPERAM .....</b>	<b>57</b>
<b>15. ANNOTAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>58</b>

ALLEGATO AL TESTO :

CARTA GEO LITOLOGICA



## 1. PREMESSA

Per conto e su incarico del **COMUNE DI BELLANO**, con riferimento al progetto dell' **Arch. ROCCO VITALI**, è stato eseguito il presente studio geologico e geotecnico ai sensi del D.M. 11.03.88 (*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*), del D.M. 159 del 14.09.2005 (*Norme tecniche per le costruzioni*) e D.M. 17.01.2018 (*Aggiornamento NTC 2018* entrato in vigore il 22.03.2018) a supporto del progetto di **LAVORO DI RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO DELL'EX CHIESA DI S. NICOLAO** in Comune di Bellano.

L'area oggetto di studio è localizzata alla quota di circa **205,00 m s.l.m.** in via S. Nicolao n°9 in Comune di Bellano (Lc). Per l'ubicazione geografica si rimanda alla corografia a seguire.

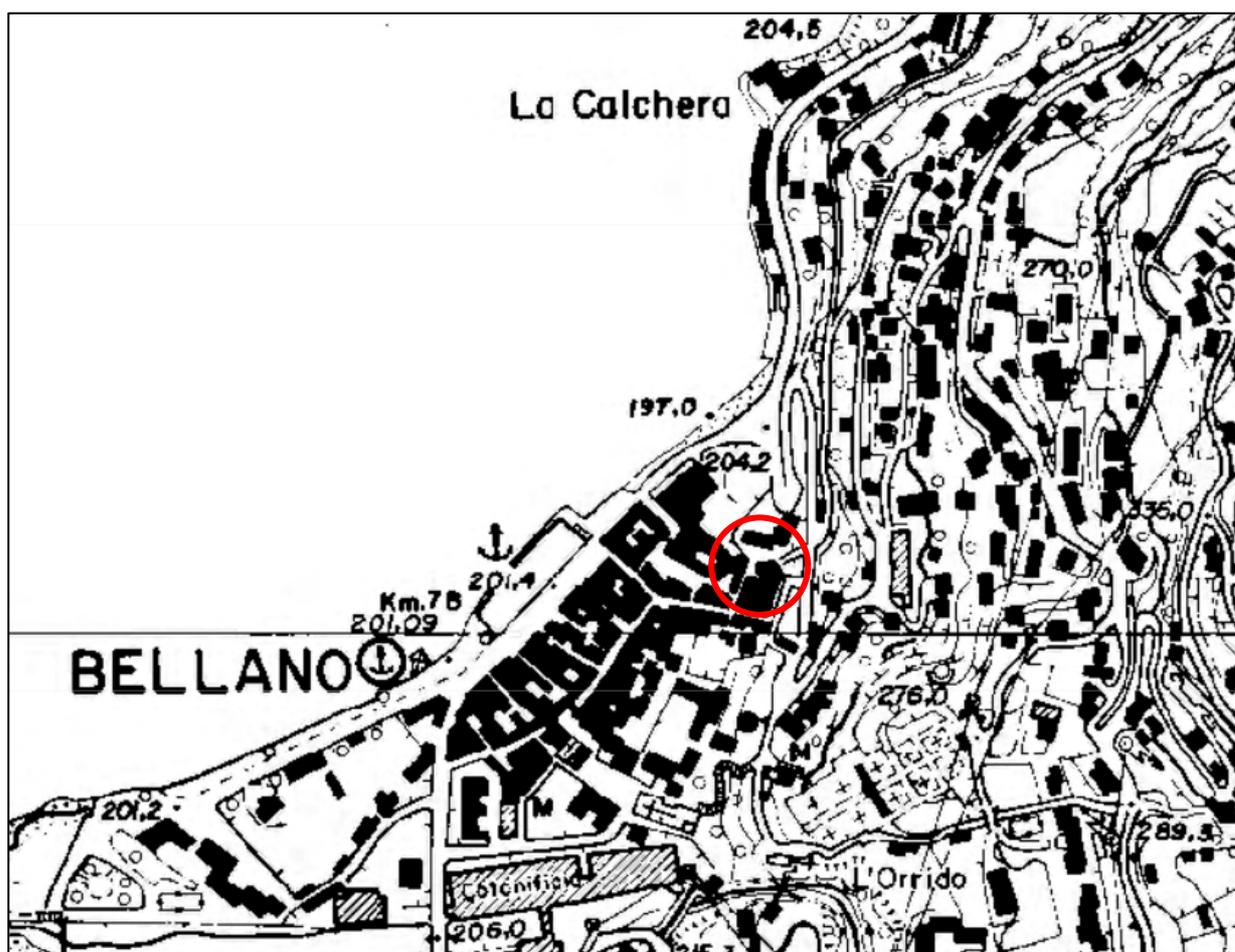


Fig. 1 – Corografia con ubicazione fabbricato in esame (C.T.R. Sez. B3C5)



In riferimento all'azzoneamento della Carta di Fattibilità Geologica del Piano di Governo del Territorio - *Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica L.R. 12 / 2005 e successive delibere attuative*, l'area oggetto di studio ricade in **Classe di fattibilità 2 (fattibilità con modeste limitazioni)**.

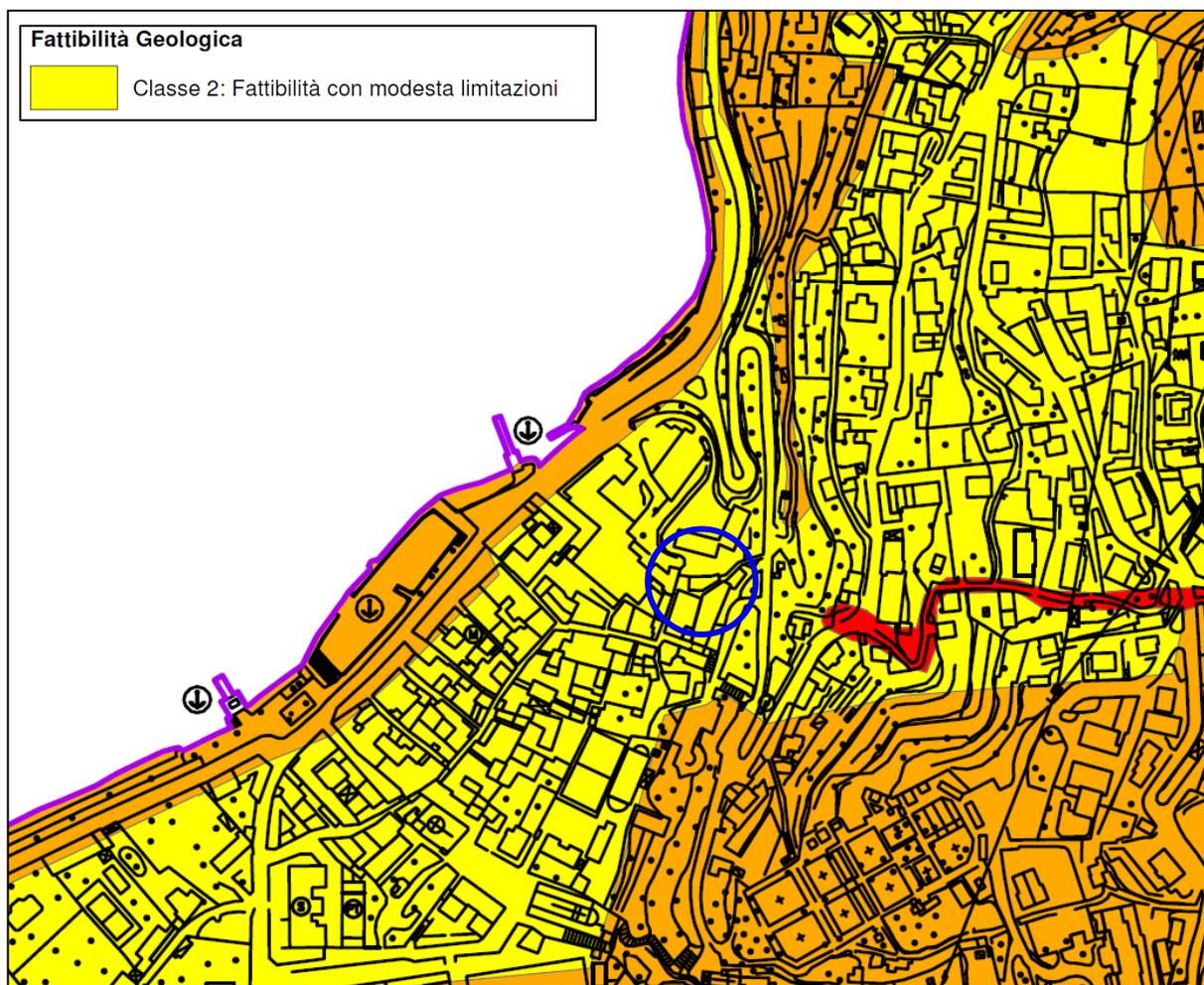


Fig. 2 – Estratto della carta di fattibilità geologica comunale e relativa legenda

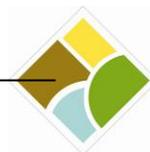
Le Norme Tecniche di Fattibilità Geologica del P.G.T. riportano:

## **2.2 CLASSE 2 (GIALLA) – FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI**

*La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa.*

*Non si individua alcuna limitazione relativamente all'entità degli interventi edificatori. Per ogni tipologia di intervento è prevista la redazione di una relazione geologica che dovrà contenere i seguenti elementi:*

## **RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



- *individuazione della vincolistica in vigore (carta dei vincoli e di sintesi) al fine di individuare tutte le limitazioni di carattere ambientale alla realizzazione degli interventi.*
- *tutto quanto disposto dal D.M. 14/01/2008 e succ. mod. Le prove dirette in situ e in laboratorio possono essere omesse solo se si dispone di dati provenienti da precedenti prove, effettuate nelle adiacenze, o ritenute comunque sufficientemente rappresentative al fine di acquisire i parametri geotecnici necessari.*

## 1.1. METODOLOGIA

Al fine di meglio caratterizzare le condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche dell'area in oggetto, lo studio si è articolato nelle seguenti fasi:

- ~ verifica, esame ed analisi degli elaborati e delle opere / interventi proposti in progetto (**LAVORO DI RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO DELL'EX CHIESA DI S. NICOLAO**);
- ~ ricerca, raccolta ed analisi critica dei dati tecnici e geologici esistenti in bibliografia;
- ~ analisi dei lavori e delle indagini redatti dallo scrivente in aree limitrofe;
- ~ sopralluogo e rilievo geologico – geomorfologico – idrogeologico dell'area di intervento e circostanti (**21 / 26 luglio 2022**);
- ~ esecuzione di n°3 prove di sismica passiva HVSR con strumentazione ECHO TROMO HVSR 3 (**21 / 26 luglio 2022**);
- ~ verifica di fattibilità di quanto in progetto relativamente alla normativa vigente (P.A.I.), al Piano di Governo del Territorio e agli altri strumenti di pianificazione comunale;
- ~ interpretazione dei dati raccolti, elaborazione e restituzione ai sensi del D.M. 11.03.88, del D.M. 159 del 14.09.2005 e del D.M. 17.01.2018 (**relazione geologica (R1 - R3) e geotecnica (R2)**).

## 1.2. FINALITÀ

La presente analisi si prefigge i seguenti obiettivi:

- ~ valutare la situazione geologico – geomorfologica - idrogeologica locale per verificare la fattibilità di quanto in progetto;
- ~ definire la categoria del sottosuolo, mediante l'indagine di sismica passiva HVSR con strumentazione ECHO TROMO HVSR 3;
- ~ definire la natura, la stratigrafia ed i parametri geotecnici caratteristici dei terreni / roccia di fondazione necessari per la verifica delle opere di fondazione e di sostegno delle terre;
- ~ indicare, in funzione delle caratteristiche geotecniche / meccaniche dei terreni / roccia, i valori di portata ammissibile ed i relativi cedimenti;

### **RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



- ~ evidenziare eventuali problematiche / prescrizioni alla fattibilità di quanto in progetto e possibili soluzioni.

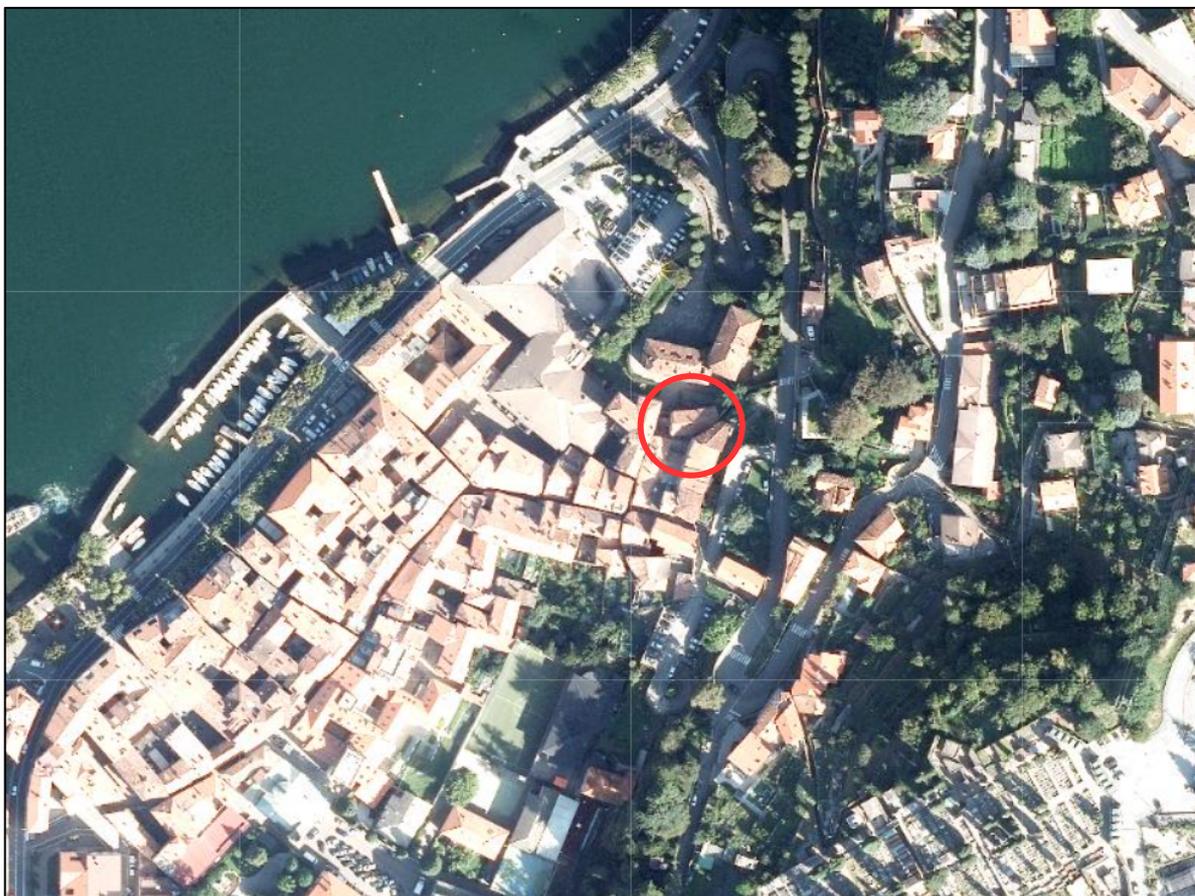


Fig. 3 – Ortofoto con ubicazione area oggetto di intervento

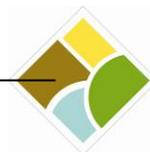
### 1.3. OPERE PROPOSTE

Con riferimento agli elaborati progettuali in nostro possesso, il progetto redatto dall' **Arch. ROCCO VITALI** prevede il restauro e il risanamento costruttivo dell'ex chiesa di San Nicolao sito in via S. Nicolao n°9 in Comune di Bellano (Lc).

*La proposta architettonica si focalizza sui seguenti aspetti tecnici e funzionali:*

- *La costruzione di un soppalco a forma di doppio triangolo, il primo situato nella prima campata e l'altro nella seconda, collegati tra di loro tramite l'apertura esistente all'interno della parete mediana che divide le campate stesse.*

*Il solaio della prima campata misura 8,85m x 5,66m x 6,54m mentre quello della seconda campata misura 6,91m x 3,32m x 6,03m. L'apertura della parete mediana che collega le*



*due campate è larga 0,90m e alta 1,95m e il suo lato più basso, corrispondente al calpestio del solaio, si trova a un'altezza di 4,40m rispetto al pavimento del piano terra.*

*Il pacchetto del solaio è costituito da: 3 travi principali per triangolo (per un totale di 6 travi), corrispondenti ai rispettivi lati del triangolo stesso; un sistema di travetti metallici secondari ancorati alle travi principali che permettono la posa della superficie di calpestio in legno chiaro (da definire in fase esecutiva e con il parere delle sovrintendenze);*

- *La costruzione di una scala smaltata in ferro a disegno, con graditi in lamiera forata. La scala occupa la lunghezza di tutta la parete sud della prima campata. La prime due pedate e le ultime due hanno una forma triangolare per permettere una fluidità nei movimenti di accesso e uscita alla scala;*
- *La sostituzione degli attuali corpi illuminanti presenti allo stato di fatto all'interno dell'edificio con un impianto di illuminazione artificiale progettato sulla base della collocazione delle opere scultoree permanenti. Altre fonti di illuminazione artificiale serviranno al piano terra per garantire la possibilità di illuminare qualsiasi altro tipo di arte visuale a seconda del tipo di opera e delle necessità espositive.*  
*A tal fine, sarà necessario in fase di redazione del progetto esecutivo una verifica e un eventuale ampliamento della rete elettrica esistente, tramite modifiche non invasive alla struttura muraria dell'edificio;*
- *La rimozione del muretto in cemento di altezza metri 0,85, situato in concomitanza della parete est dell'edificio, a causa dell'accumulo di umidità all'interno della muratura della parete est, che in quel punto risulta parzialmente interrata;*
- *La rimozione della bussola metallica situata in adiacenza della facciata principale ad ovest e l'eventuale sostituzione del portone d'ingresso in legno, da definire in fase esecutiva;*
- *Rimozione/sostituzioni impianti obsoleti preesistenti;*
- *La sostituzione della porta vetrata con infisso metallico che permette un accesso secondario all'edificio tramite la parete sud.*
- *La rimozione della trave in legno a quota metri 4,16 che collega nella prima campata la parete nord alla parete sud. Ai fini di progetto, la trave risulta come impedimento fisico nell'accesso al solaio sopraccitato e non è valutata come elemento architettonico originale della chiesa;*
- *Il rifacimento di alcune aree in processo di degrado della zona del tetto. Particolare attenzione viene prestata alle zone di contatto tra il tetto e le pareti in muratura mista e al posizionamento dei coppi, che allo stato di fatto si presenta a tratti disuniforme soprattutto nelle zone inferiori delle falde.*



- È possibile, in fase esecutiva, valutare insieme al RUP e alla sovrintendenza la possibilità di una quasi completa ristrutturazione del tetto, attraverso la sostituzione del pacchetto di travi lignee eseguito nella fine del XX secolo (data incerta);*
- Il rifacimento delle pavimentazioni mediante la posa di un nuovo strato superficiale di resina cementizia;*
  - La progettazione e il posizionamento di elementi metallici di sostegno alle opere, quali cavalletti mobili, sostegni a parete, mensole e supporti specifici per le opere d'arte. La maggior parte di questi sarà disegnato su misura per ogni opera per quanto concerne le opere della collezione permanente di Danilo Vitali;*
  - La rimozione e successiva sostituzione degli intonaci cementizi con intonaci a base di calce naturale di colore neutro, ancora da definire in fase esecutiva con il parere e delle sovrintendenze;*
  - La verniciatura delle travi e del soffitto ligneo con vernici naturali di colore neutro, ancora da definire in fase esecutiva con il parere delle sovrintendenze;*
  - Il restauro conservativo degli affreschi di origine tardo-medievale e rinascimentale;*
  - L'installazione di un dispositivo Bio Dry ad inversione di elettroni per contrastare la presenza di umidità da risalita capillare della muratura;*

*Per quanto riguarda il progetto espositivo della collezione permanente, riguarderà le opere scultoree dell'artista locale Danilo Vitali.*

*Nello specifico, la collezione delle opere di Danilo Vitali è composta da circa 30-35 oggetti scultorei realizzati in rame tramite tecniche miste, che descrivono tematiche popolari e locali. Le opere hanno un volume di ingombro massimo di 1.5 m<sup>2</sup> e minimo di 0.2 m<sup>2</sup>.*

*Le opere dell'artista sono già state esposte all'interno dell'edificio Ex Chiesa San Nicolao in occasione della mostra dal titolo 'La via del rame', ottenendo un forte riscontro da parte dei visitatori (immagine 12).*

Il mappale interessato dal progetto è il n°61 del foglio di mappa Fg. 5 del censuario catastale del Comune di Bellano (Lc).

Per maggiori approfondimenti si rimanda alle tavole e relazioni di progetto.

## **2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

### **2.1. CENNI DI GEOLOGIA GENERALE**



Il settore di catena alpina lombarda fa parte del segmento centrale delle Alpi, in particolare interessa il versante meridionale delle stesse. È costituito da due principali domini strutturali separati da un importante sistema di faglie ad andamento E-W, noto col nome di Lineamento Insubrico (l'area in esame si trova ampiamente a sud rispetto a tale lineamento). Geograficamente il dominio settentrionale occupa il settore a Nord della Valtellina.

Il dominio meridionale è ubicato a Sud del Lineamento Insubrico ed è costituito dalle unità strutturali delle Alpi Meridionali o Sudalpino. È rappresentato geograficamente dal versante meridionale della Valtellina fino al bordo prealpino padano. Il complesso Sudalpino è costituito da un basamento cristallino denominato Cristallino Sudalpino e da una copertura sedimentaria detta Sedimentario Sudalpino. Il Cristallino Sudalpino si estende dal Lago di Como alla Linea delle Giudicarie, esso è limitato a N dalla Linea Insubrica ed a S dalla Linea Orobica. La Linea Orobica rappresenta il fronte lungo il quale il basamento sovrascorre sul Sedimentario Sudalpino. Tale unità comprende *paragneiss*, micascisti, filladi, quarziti e rari marmi. In percentuale nettamente subordinata affiorano piccoli corpi granitoidi e lenti di *gneiss* occhialini a K-feldspato, di composizione differente dai metagranitoidi, “*Gneiss Chiari*” del Corno Stella, rinvenibili sistematicamente al contatto con la copertura Permo-Cenozoica.

In particolare, il territorio comunale di Bellano è caratterizzato dalla presenza di rocce di basamento cristallino di età *prewesfaliana* riconducibili principalmente alla formazione “*Gneiss di Morbegno*”, affiorante essenzialmente lungo i lineamenti idrologici principali e nelle pareti più acclivi.

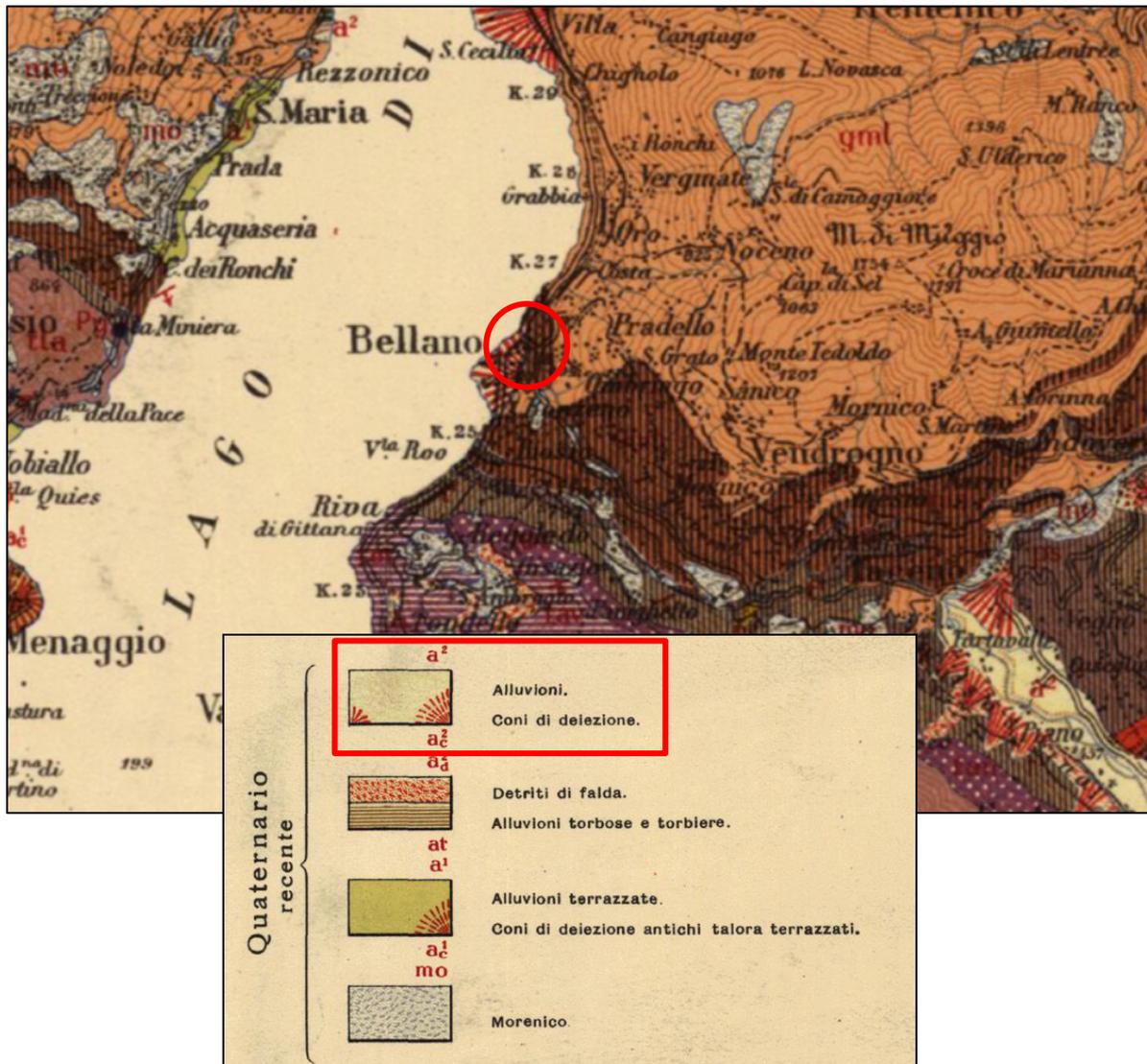


Fig. 4 - Carta geologica d'Italia foglio Chiavenna e legenda relativa al Quaternario recente

## 2.2. SUBSTRATO ROCCIOSO

In fase di sopralluogo NON è stato rilevato l'affiorare – sub affiorare del substrato roccioso in corrispondenza dell'area oggetto di intervento e limitrofe. Si esclude inoltre ogni qualsiasi interazione con le opere esistenti ed in progetto.

In ogni caso il litotipo locale è riconducibile alla formazione degli *Gneiss* di Morbegno, roccia metamorfica di grana è variabile da medio-fine a molto fine, il colore risulta grigio scuro in frattura e rossastro in alterazione; dal punto di vista mineralogico è costituito da quarzo, feldspato, mica chiara e più raramente biotite. La tessitura è scistosa, con alternanza di livelli micacei ed orizzonti quarzosi. La scistosità principale immerge mediamente verso SW ad angolo non elevato.

## RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR



### 2.3. COPERTURA SUPERFICIALE

L'area oggetto di studio presenta una copertura superficiale caratterizzata da **depositi alluvionali di conoide** del Torrente Pioverna. In particolare, i depositi di conoide sono gli accumuli che si formano alla confluenza dei corsi d'acqua laterali con la valle principale (Lago di Como). I materiali erosi nel bacino di alimentazione e lungo l'asta torrentizia vengono presi in carico dalle acque di ruscellamento e trasportati sul fondovalle dove vengono depositati con una caratteristica forma a ventaglio.

Litologicamente si tratta di terreni naturali caratterizzati da depositi poligenici ed eterometrici costituiti da trovanti, ciottoli subarrotondati e ghiaie in matrice prevalentemente sabbiosa; la frazione limosa nella matrice aumenta allontanandoci dall'apice verso la zona distale del conoide.

-----

In allegato a fine testo la carta geo litologica estratta dalle cartografie geoambientali – Regione Lombardia a scala 1 : 10.000.

### **3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO**

La morfologia del territorio comunale di Bellano è il risultato una serie di cicli di modellamento riconducibili a diversi processi, glaciali, periglaciali, gravitativi, fluviali attivi a partire dalla fine del Terziario. Le forme più evidenti sono attribuibili principalmente ai processi gravitativi di versante ed all'ambiente glaciale e periglaciale. Altro fattore determinante per la porzione basale del territorio comunale è la presenza del Lago di Como, la cui morfologia è legata alle grandi lingue glaciali che scendevano dalle Alpi verso la pianura.

In dettaglio la morfologia dell'area risulta connessa principalmente all'azione di deposizione del Torrente Pioverna, che ha determinato la formazione di un conoide alluvionale sopra il quale è stato edificato il centro urbano di Bellano. L'area in esame, che si trova nel settore apicale del conoide, è caratterizzata da una leggera digradazione delle quote topografica in direzione del Lago di Como (Ovest/Nord - Ovest).

In fase di sopralluogo (**21 / 26 luglio 2022**) NON sono stati rilevati in zona processi geomorfici potenziali o in atto tali da pregiudicare la sicurezza dell'opera in progetto.

### **RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



#### 4. CARATTERI IDROGEOLOGICI E IDROGRAFIA SUPERFICIALE

Il reticolo idrico principale del Comune di Bellano è costituito dal Torrente Pioverna, dalla Valle Grande, dalla Valle Grande (Valle dei Mulini) e dalla Valle dell'Oro; mentre il reticolo idrico minore è formato da numerosi corsi d'acqua a carattere prevalentemente torrentizio.

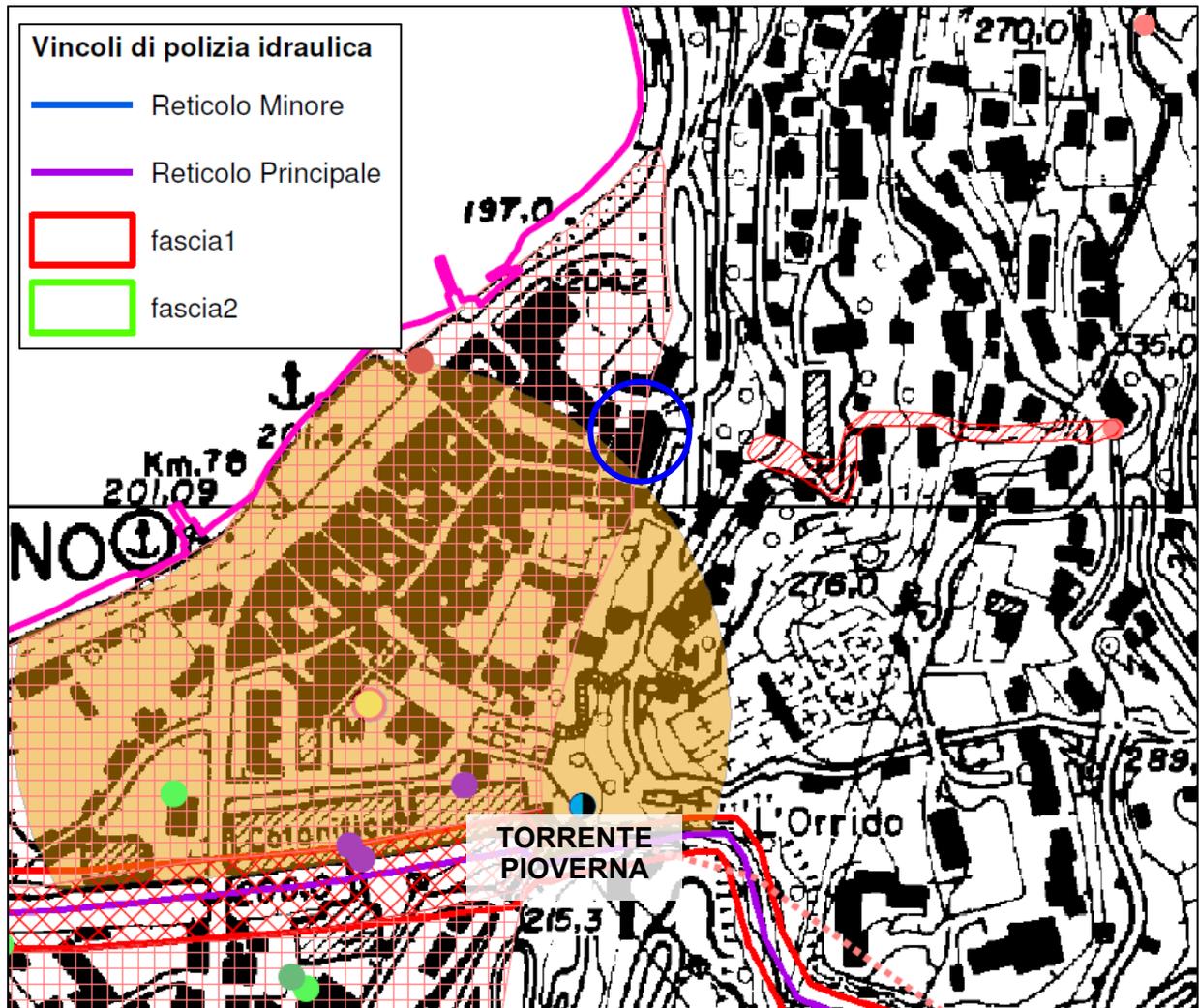


Fig. 5 – Stralcio “Carta dei vincoli” del P.G.T. del Comune di Bellano (Lc)

In dettaglio non si evidenzia la presenza in corrispondenza dell'area oggetto di intervento ed in fregio alla stessa di impluvi e/o di corsi d'acqua censiti nello studio del Reticolo Idrico Minore. I sopralluoghi effettuati hanno consentito di rilevare la presenza di un impluvio (denominato canale Eresia) localizzato in fregio al lato Nord dell'Ex Chiesa e che in tale tratto risulta completamente intubato.

#### RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR



In direzione Sud, ad una distanza minima in linea d'aria superiore a 225,00 m, scorre il Torrente Pioverna (codice identificativo LC056) appartenente al Reticolo Idrico Principale.

Detto ciò, dall'analisi dei piani di settore comunali NON sono previste interferenze tra il fabbricato in esame e la fascia di rispetto del corso d'acqua sopracitato.

Per quello che concerne i caratteri idrogeologici dell'area il livello superficiale della falda freatica NON è stato rilevato in fase di indagine. Si esclude la presenza di falde acquifere superficiali estese nei terreni in oggetto di studio e la loro eventuale interferenza con le opere esistenti.

In ogni caso si è a conoscenza della presenza di infiltrazioni sotterranee che si manifestano più importanti in occasioni di eventi meteorici piovosi; pertanto si prescrive la completa impermeabilizzazione di EVENTUALI nuove porzioni interrato e l'adozione di sistemi di drenaggio per la raccolta delle acque di infiltrazione sotterranea da realizzarsi sia alla base delle opere di fondazione sia a tergo dei settori interrati.

I drenaggi dovranno essere realizzati mediante la posa di tubazioni fessurate per la raccolta e lo smaltimento delle acque e mediante il riempimento con materiale grossolano arido. Le acque raccolte dovranno essere smaltite, se presente, nella rete delle acque bianche.

## **5. INQUADRAMENTO ED INDAGINI SISMICHE**

### 5.1. INQUADRAMENTO SISMICO GENERALE

Ai fini dell'applicazione della nuova normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 Marzo 2003, Delibera della Giunta Regionale n° 14964 del 7 novembre 2003) l'intero territorio nazionale viene suddiviso in zone sismiche, con grado di pericolosità crescente da 4 a 1 (rif. allegato A della D.G.R. n° 14964/2003: classificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia).

Il territorio del Comune di Bellano era stato inserito nella zona 4 (livello di pericolosità sismica molto basso); nelle normative precedenti non era stato classificato.

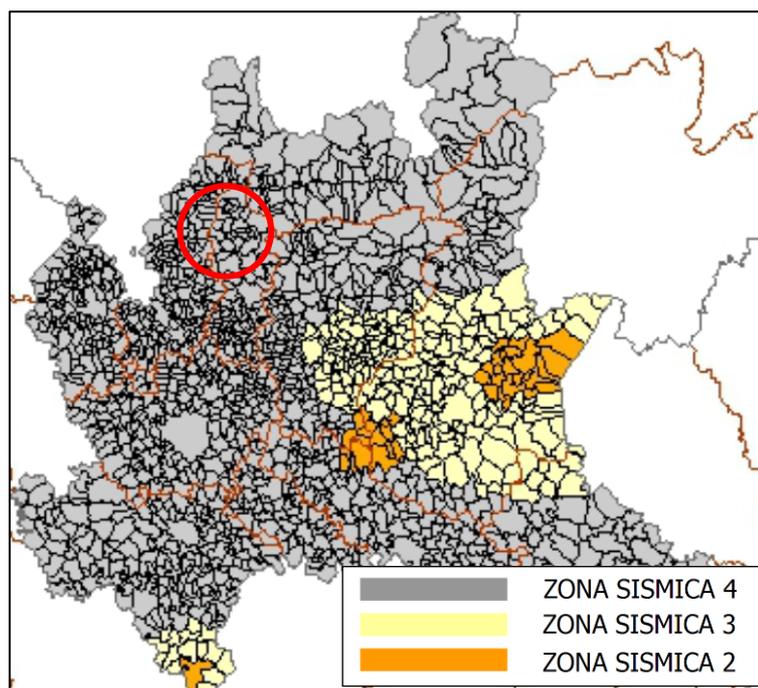


Fig. 6 – Classificazione sismica secondo la D.G.R. N° 14964/2003

Ciascuna zona è classificata in base ai valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo  $a_g/g$  con probabilità di superamento del 10% in 50 anni secondo lo schema seguente:

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme tecniche)
1	$> 0,25 a_g/g$	$0,35 a_g/g$
2	$0,15 - 0,25 a_g/g$	$0,25 a_g/g$
3	$0,05 - 0,15 a_g/g$	$0,15 a_g/g$
4	$< 0,05 a_g/g$	$0,05 a_g/g$

Nel 2014 è stata approvata la D.g.r. 11 luglio 2014 – n. X/2129 che prevede l'aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r.1/2000, art.3, c. 108, lett. d). Tale provvedimento è entrato in vigore il 10 aprile 2016 e ha comportato una riclassificazione sismica dei vari comuni lombardi; in particolare il Comune di Bellano è rimasto in zona sismica 4 (**livello di pericolosità sismica molto basso**)

**RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**

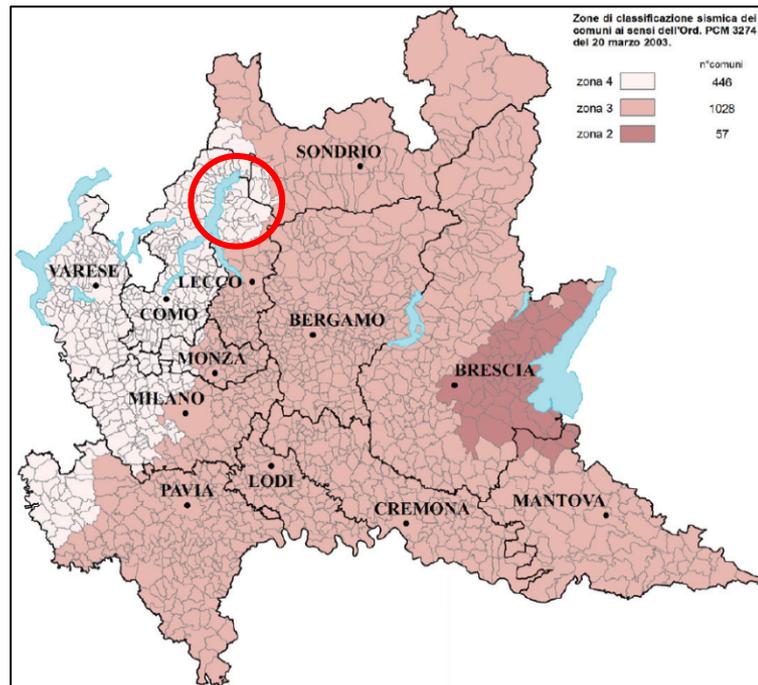


Fig. 7 – Classificazione sismica secondo la nuova normativa

La normativa vigente (rif. allegato 2 dell’Ordinanza del P.C.M. n° 3274/2003: norme tecniche per il progetto, la valutazione e l’adeguamento sismico degli edifici) definisce inoltre le categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le indicazioni si riferiscono ai terreni presunti alla profondità del piano di posa delle fondazioni).

La categoria del sottosuolo è stata ricavata sulla base della interpretazione delle indagini svolte (prove di sismica passiva HVSR con strumentazione ECHO TROMO HVSR 3).

L’indagine di sismica passiva HVSR1 ha evidenziato una  $V_{s,eq}$  pari a 410,43 m/s, l’indagine di sismica passiva HVSR2 ha evidenziato una  $V_{s,eq}$  pari a 378,13 m/s, mentre l’indagine di sismica passiva HVSR3 ha evidenziato una  $V_{s,eq}$  pari a 372,44 m/s; pertanto, si ipotizza che i terreni naturali in oggetto di studio appartengano alla

### **Categoria di sottosuolo B.**



Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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 tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

In riferimento alle condizioni topografiche la morfologia dei luoghi può essere ricondotta alla **categoria topografica T1.**

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Vengono di seguito forniti i valori dei parametri e dei coefficienti sismici per il sito in esame:

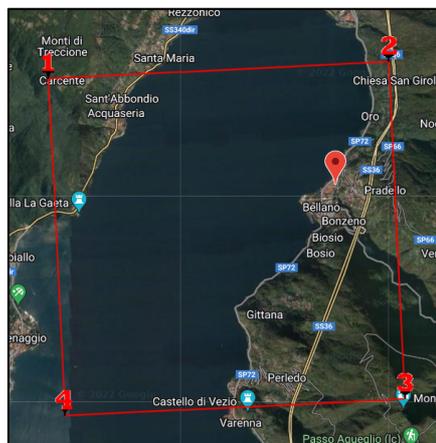


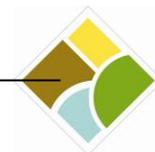
Fig. 8 – Localizzazione del reticolo di riferimento

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni

**RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**

LAVORO DI RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO DELL'EX CHIESA DI S. NICOLAO

IN COMUNE DI BELLANO (LC) – FG.5 MAPP. 61



**Sito in esame**

Latitudine: 46,045357 [°]

Longitudine: 9,306324 [°]

Le coordinate sono espresse in ED50.

Classe d'uso: 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.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

**Siti di riferimento**

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	9598	46,0611	9,2456	4998,583
Sito 2	9599	46,0635	9,3174	2193,792
Sito 3	9821	46,0136	9,3209	3709,401
Sito 4	9820	46,0111	9,2492	5825,370

Le coordinate sono espresse in ED50

**Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: B

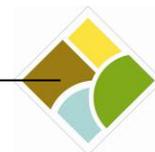
Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]

**RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



Operatività (SLO)	81	30	0,017	2,627	0,159
Danno (SLD)	63	50	0,021	2,616	0,165
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,042	2,682	0,280
Prevenzione del collasso (SLC)	5	975	0,050	2,726	0,301

### Coefficienti sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [-]	Beta [-]
SLO	1,200	1,590	1,000	0,004	0,002	0,198	0,200
SLD	1,200	1,580	1,000	0,005	0,002	0,242	0,200
SLV	1,200	1,420	1,000	0,010	0,005	0,491	0,200
SLC	1,200	1,400	1,000	0,012	0,006	0,593	0,200

Si aggiunge che il territorio comunale di Bellano classificato in **zona sismica 4** ha una  **$A_{g_{max}}$  pari a 0,042869 m/s<sup>2</sup>** secondo la nuova D.g.r. 11 luglio 2014 – n. X/2129 che prevede l'aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r.1/2000, art.3, c. 108, lett. d).

Secondo lo studio geologico – idrogeologico e sismico del P.G.T. , l'area in esame è inserita in zona **Z4b** (Zona di conoide alluvionale / zona pedemontana di falda di detrito) della carta di classificazione della pericolosità sismica locale.

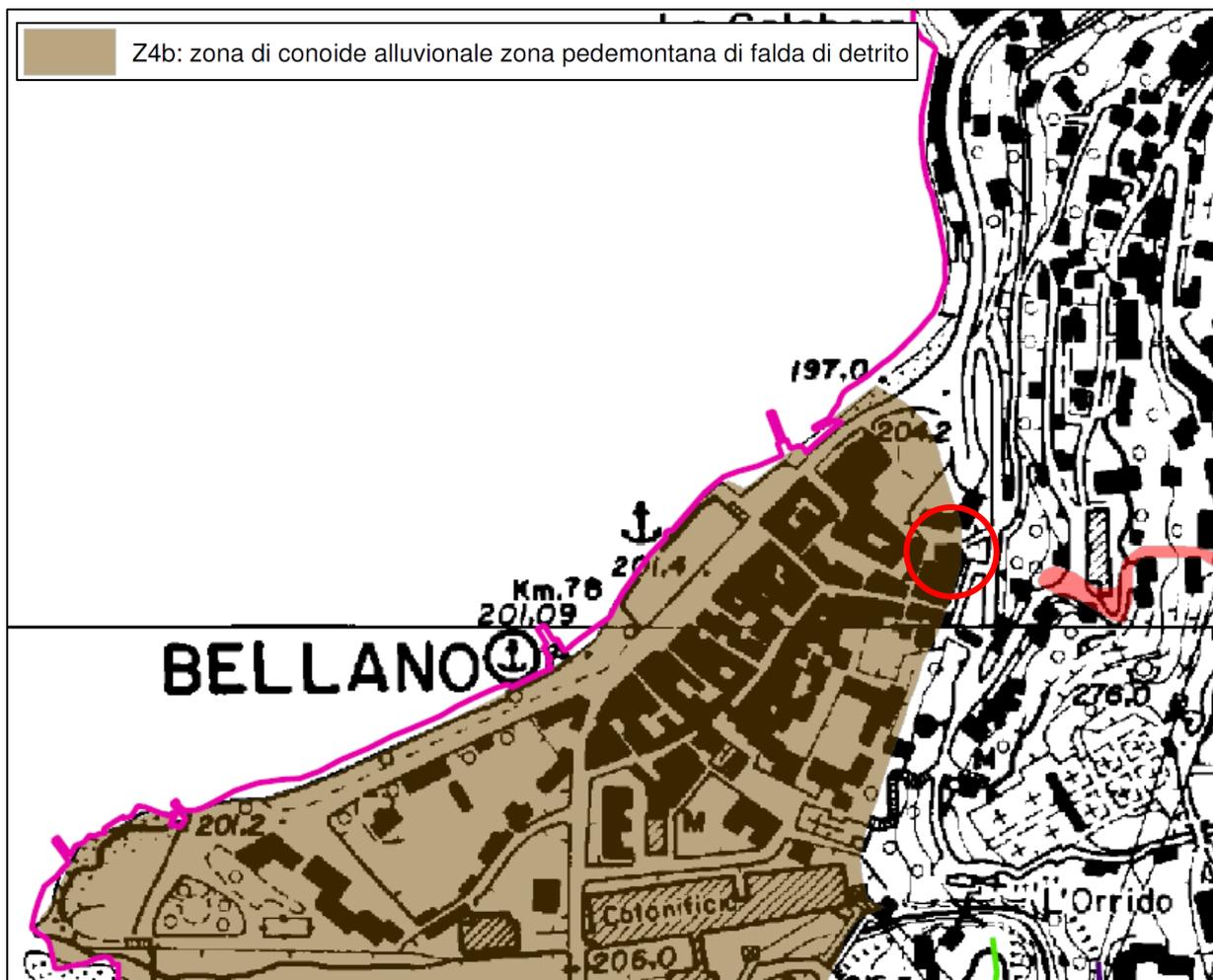


Fig. 9 - Stralcio “Carta della pericolosità sismica locale” del P.G.T. del Comune di Bellano e relativa legenda

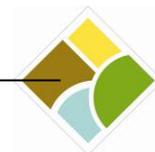
Ricadendo l’area in esame in zona sismica 4, secondo la normativa vigente, NON si dovrà approntare l’analisi sismica di 2° livello.

## 5.2. INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR

In data **21 / 26 luglio 2022** sono state effettuate n°3 indagini indirette di sismica passiva HVSR con strumentazione ECHO TROMO HVSR 3, che hanno permesso di ricavare la categoria del sottosuolo e, attraverso la variazione della velocità sismica nel sottosuolo, di ottenere approssimativamente la stratigrafia.

Con il tromografo ECHO TROMO-3 è possibile eseguire misure HVSR e MASW su 3 canali con *trigger*. Di seguito sono indicate le principali caratteristiche tecniche dello strumento:

### RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR



Number of channels	3 with differential input
AD conversion	24 bits
Dynamic range	130dB@1ms PG=0dB 120dB@1ms PG=18dB
Cross talk	>90dB
Preamplify gain	1-2-4-8-16-32
Frequency response MASW	0 to 400Hz (1KSPS)
Frequency response HVSR	Selectable 78-155-311-415-622-1244 Hz
Sampling Interval	12.8 -6.4-3.2-2.4-1.6-0.8 ms
Record Length	Depends on the SDcard capacity
Distorsion (THD)	0,0004%
Max Input signal	1Vpp, 0dB
CMR	110dB (fCM = 60Hz fDATA = 30kSPS)
Noise	0,25uV, 2ms 36dB
Delay	0 to 100 sec
Temperature range	-30°C +70°C
Power	9.6 Volt
Continuous recording	yes
Output format:	SEGY / SAF (SESAME ASCII FORMAT)

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo  $V_{s\_eq}$  attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x, y, z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di *windowing*, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta *Long Period*, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce. Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di *Fourier*. Quest'ultimo viene sottoposto a *tapering* e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

**RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di *windowing*.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di *Rayleigh*, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo  $V_{s\_eq}$ .

L'indagine di prova sismica passiva HVSR1 è stata eseguita in corrispondenza alla facciata Ovest dell'area oggetto di studio, davanti alle scalinate dell'Ex Chiesa di S. Nicolao.

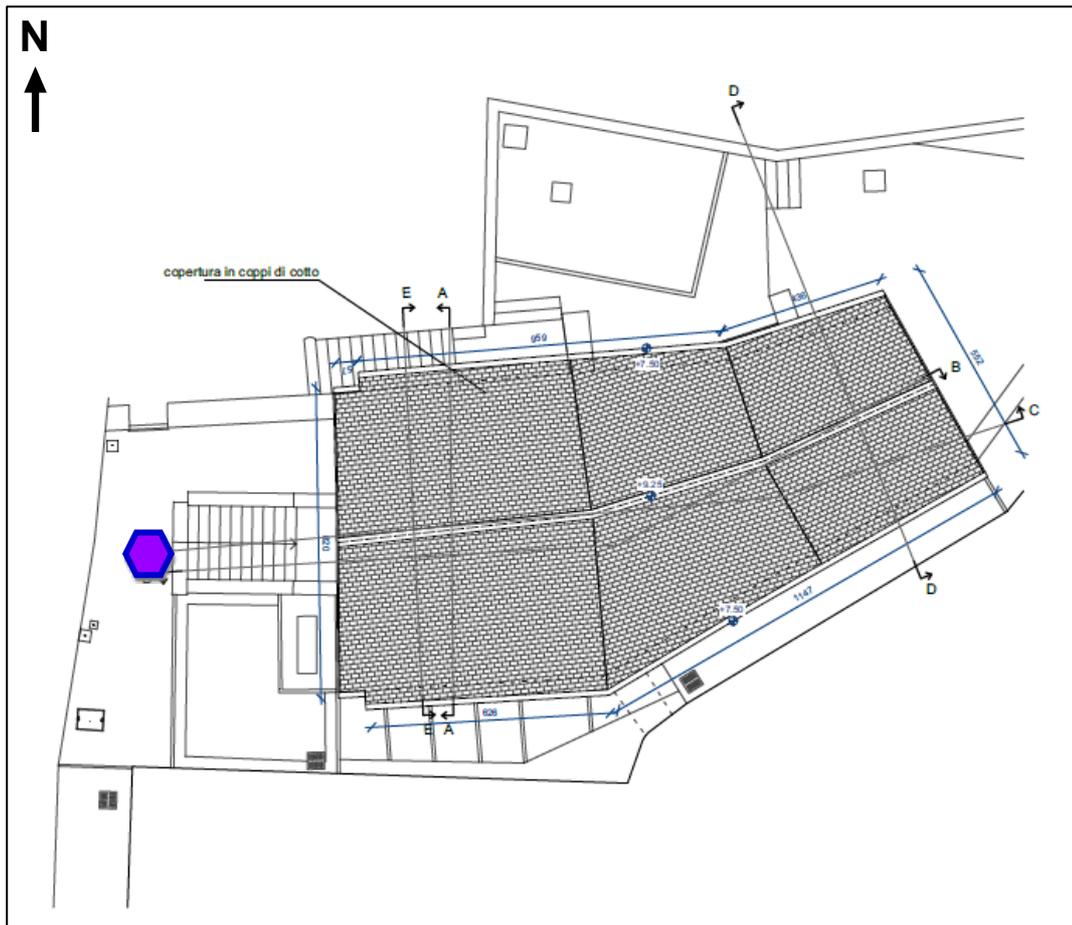


Fig. 10 – Stralcio “Planimetria” con ubicazione punto di esecuzione indagine di sismica passiva HVSR1 con strumentazione ECHO TROMO HVSR 3 (esagono viola)



Fig. 11 – Punto di esecuzione indagine di sismica passiva HVSR1 con strumentazione ECHO TROMO HVSR 3

## RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR

LAVORO DI RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO DELL'EX CHIESA DI S. NICOLAO  
IN COMUNE DI BELLANO (LC) – FG.5 MAPP. 61



## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	900 s
Frequenza di campionamento:	172,00 Hz
Numero campioni:	154800
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

### Grafici tracce:

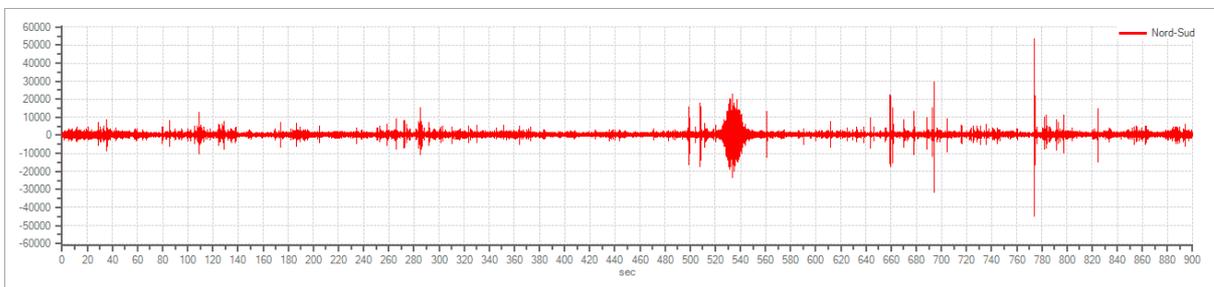


Fig. 12 – Traccia in direzione Nord-Sud

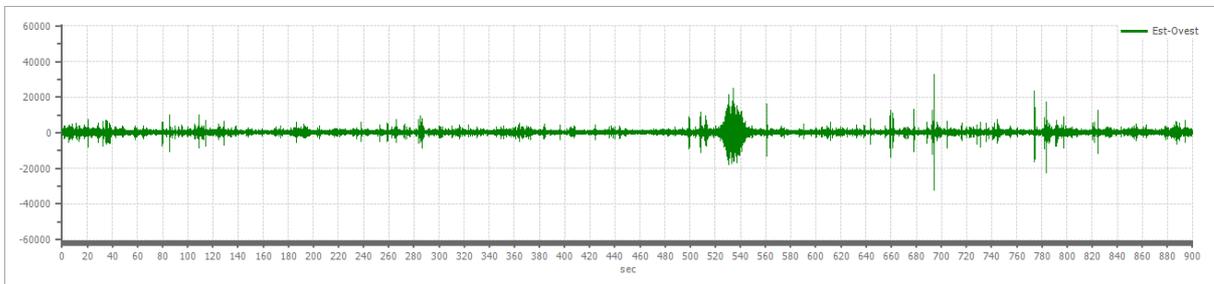


Fig. 13 – Traccia in direzione Est-Ovest

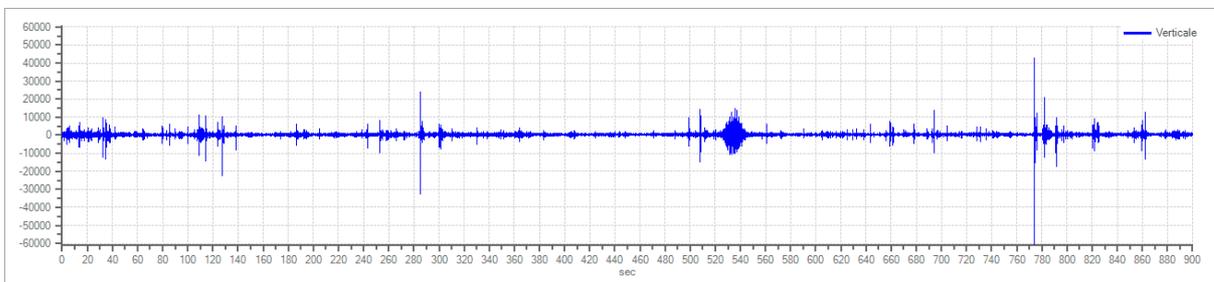


Fig. 14 – Traccia in direzione Verticale

## Finestre selezionate

## RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR

LAVORO DI RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO DELL'EX CHIESA DI S. NICOLAO  
IN COMUNE DI BELLANO (LC) – FG.5 MAPP. 61



Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 25  
Numero finestre incluse nel calcolo: 25  
Dimensione temporale finestre: 20,000 s  
Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale  
Percentuale di lisciamento: 15,00 %

Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	100	120	Inclusa
2	120	140	Inclusa
3	140	160	Inclusa
4	200	220	Inclusa
5	220	240	Inclusa
6	240	260	Inclusa
7	260	280	Inclusa
8	280	300	Inclusa
9	300	320	Inclusa
10	320	340	Inclusa
11	380	400	Inclusa
12	460	480	Inclusa
13	480	500	Inclusa
14	500	520	Inclusa
15	520	540	Inclusa
16	540	560	Inclusa
17	580	600	Inclusa
18	600	620	Inclusa
19	640	660	Inclusa
20	680	700	Inclusa



21	700	720	Inclusa
22	720	740	Inclusa
23	740	760	Inclusa
24	760	780	Inclusa
25	780	800	Inclusa

Grafici tracce con finestre selezionate:

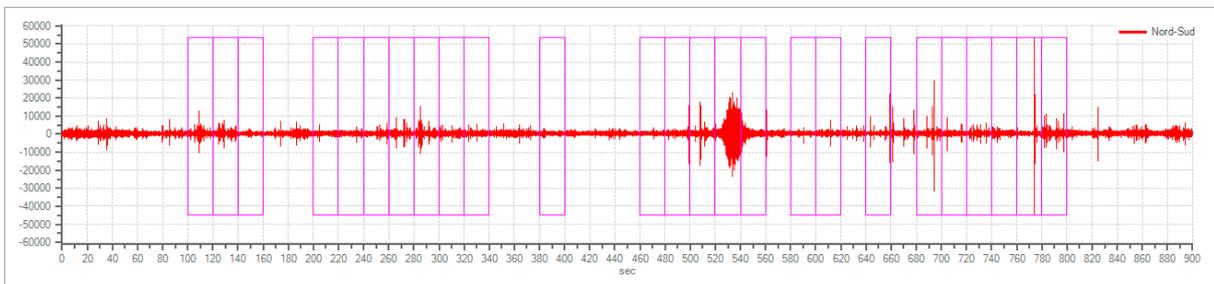


Fig. 15 – Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

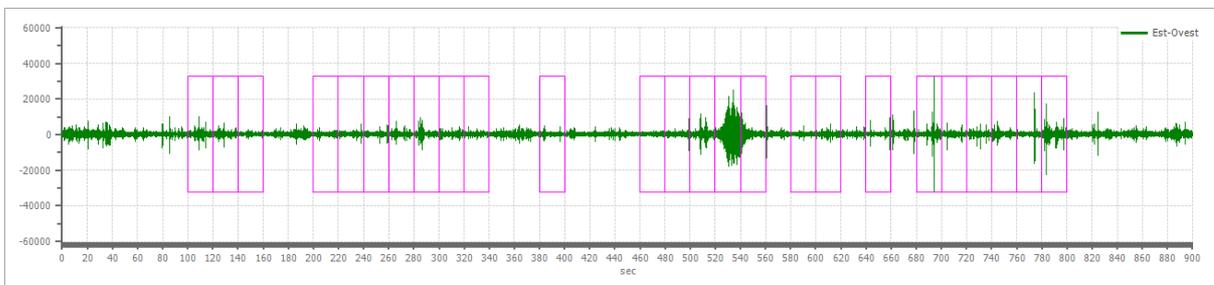


Fig. 16 – Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

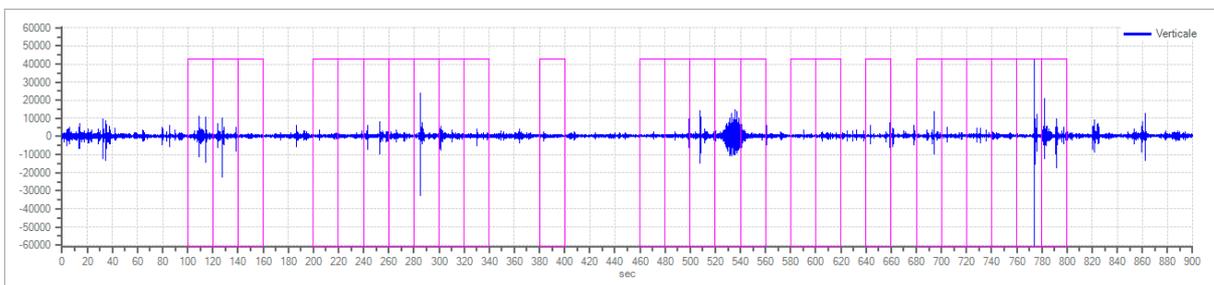


Fig. 17 – Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

**RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



Grafici degli spettri:

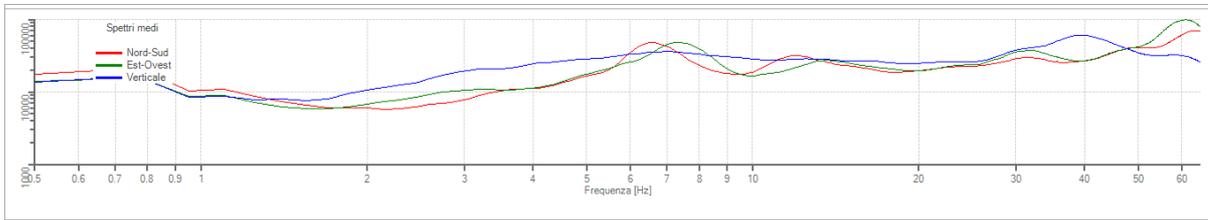


Fig. 18 – Spettri medi nelle tre direzioni

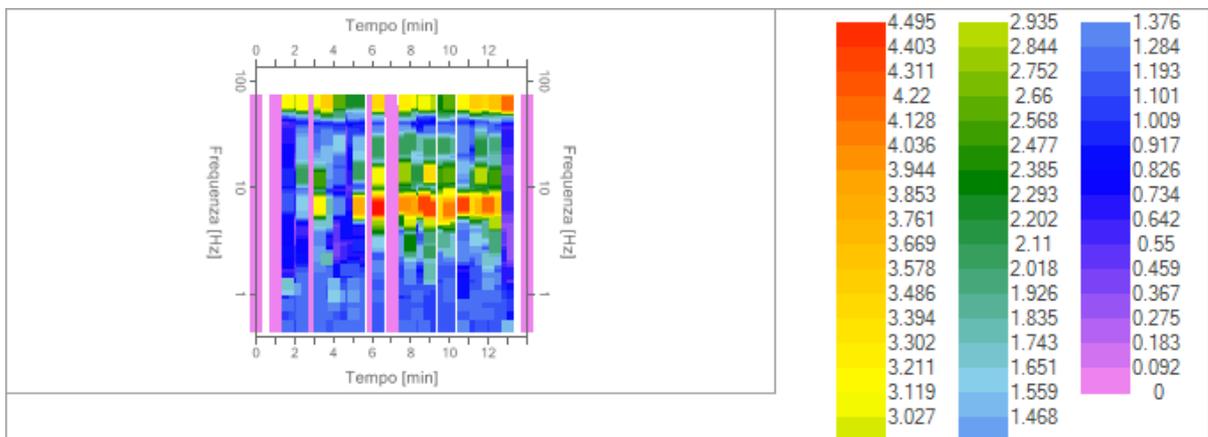


Fig. 19 – Mappa della stazionarietà degli spettri

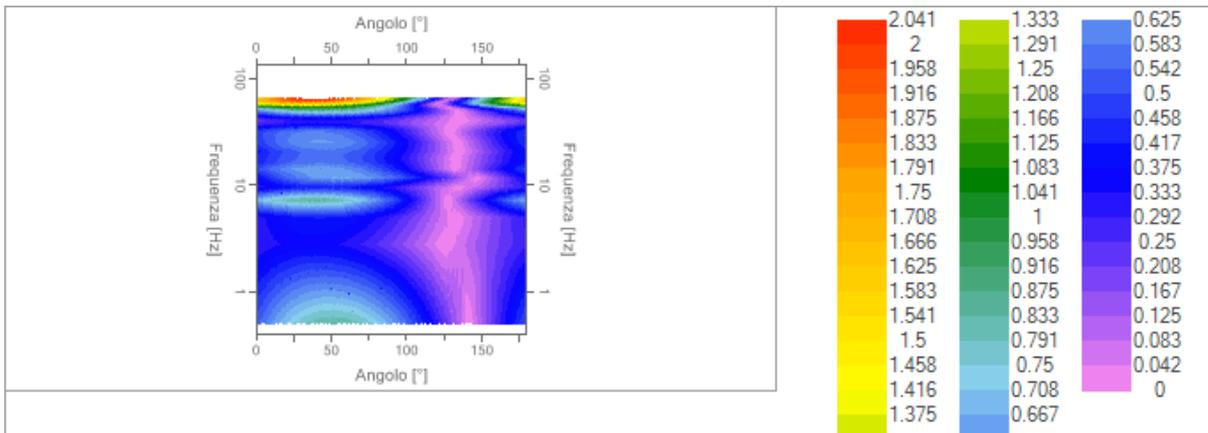


Fig. 20 – Mappa della direzionalità degli spettri

**Rapporto spettrale H/V**

Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 65,00 Hz

**RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



Frequenza minima: 0,50 Hz  
 Passo frequenze: 0,15 Hz  
 Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale  
 Percentuale di lisciamento: 15,00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

**Risultati:**

Frequenza del picco del rapporto H/V: 64,70 Hz ± 0,19 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V

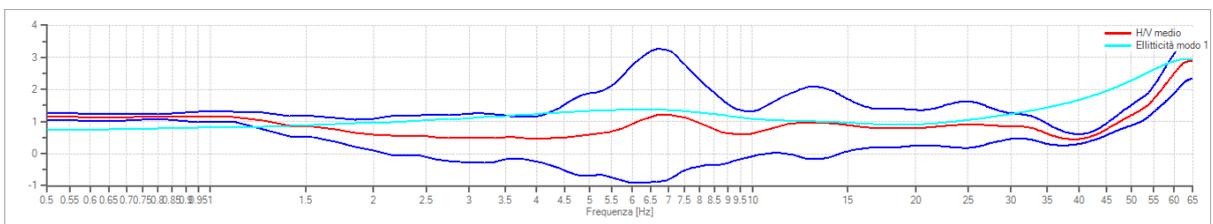


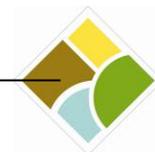
Fig. 21 – Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

<b>Verifica</b>	<b>Esito</b>
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

**Modello stratigrafico**

**RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



Dati riepilogativi:

Numero strati:	4
Frequenza del picco dell'ellitticità:	63,35 Hz
Valore di disadattamento:	1,03
<b>Valore Vseq:</b>	<b>410,43 m/s</b>

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0,00	0,50	18	0,3	103
2	0,50	5,50	18	0,3	315
3	6,00	14,00	18	0,4	530
4	20,0	---	22	0,3	800

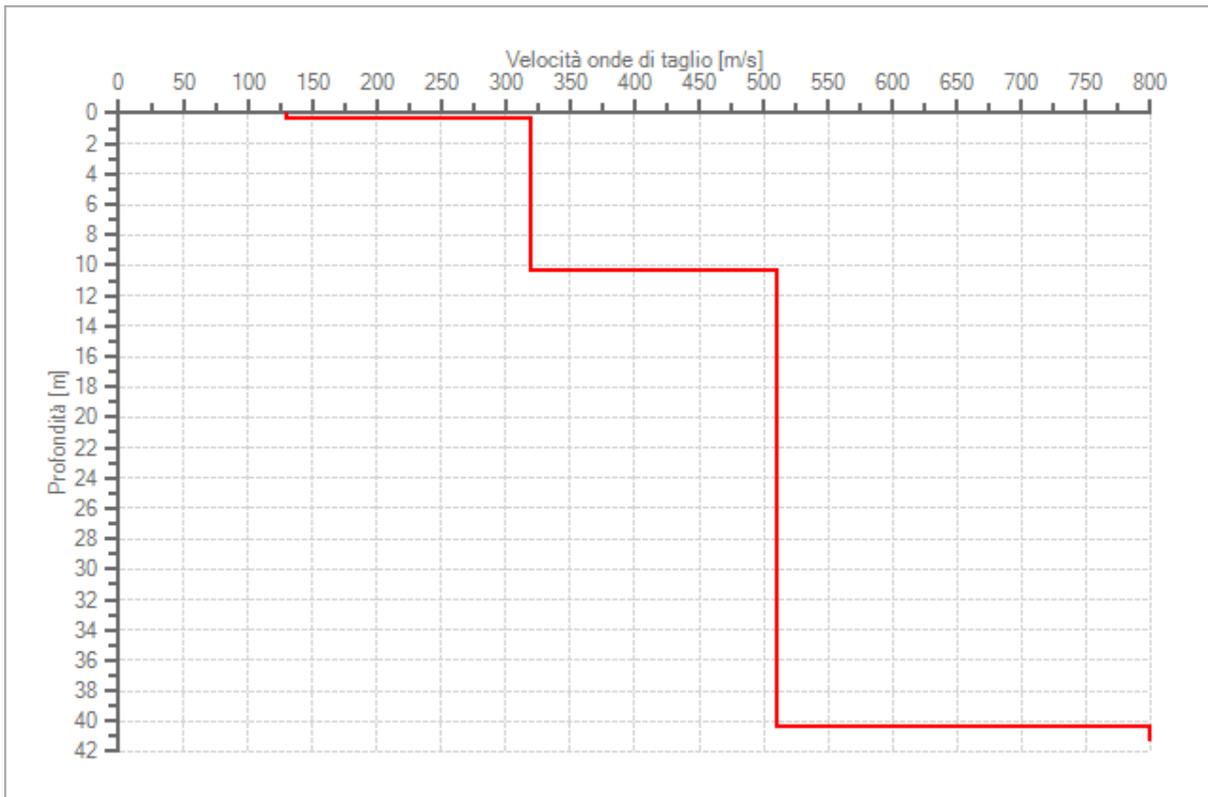


Fig. 22 – Profilo delle velocità delle onde di taglio

L'indagine di prova sismica passiva HVSR2 è stata eseguita in corrispondenza alla facciata Ovest dell'area oggetto di studio, in direzione Nord rispetto alle scalinate dell'Ex Chiesa di S. Nicolao.

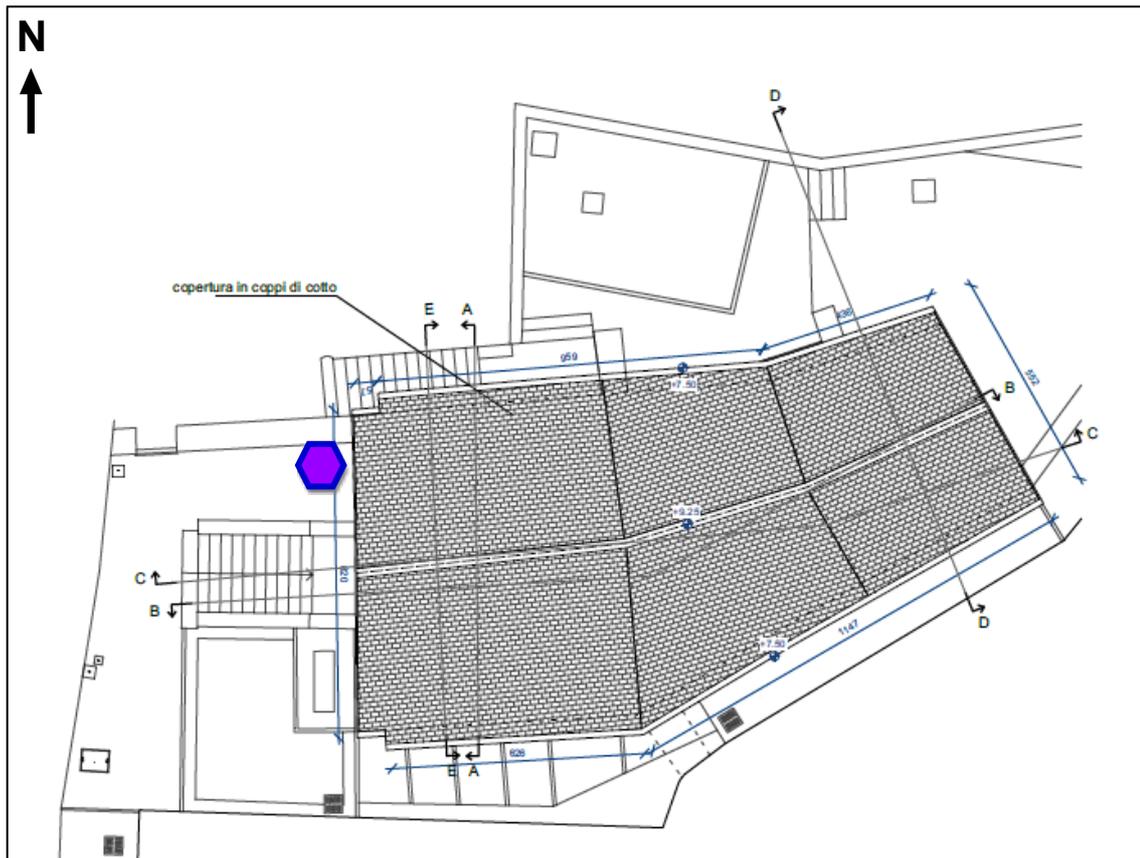


Fig. 23 – Stralcio “Planimetria” con ubicazione punto di esecuzione indagine di sismica passiva HVSR2 con strumentazione ECHO TROMO HVSR 3 (esagono viola)



Fig. 24 – Punto di esecuzione indagine di sismica passiva HVSR2 con strumentazione ECHO TROMO HVSR 3

**Tracce in input**

**RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 900 s  
Frequenza di campionamento: 172,00 Hz  
Numero campioni: 154800  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce:

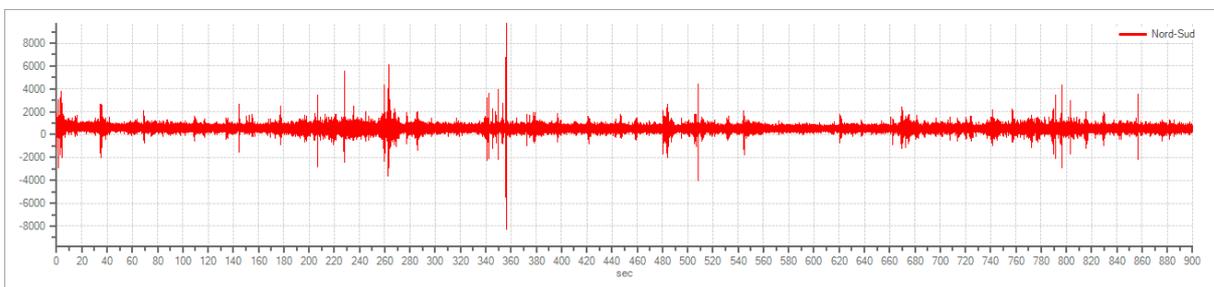


Fig. 25 – Traccia in direzione Nord-Sud

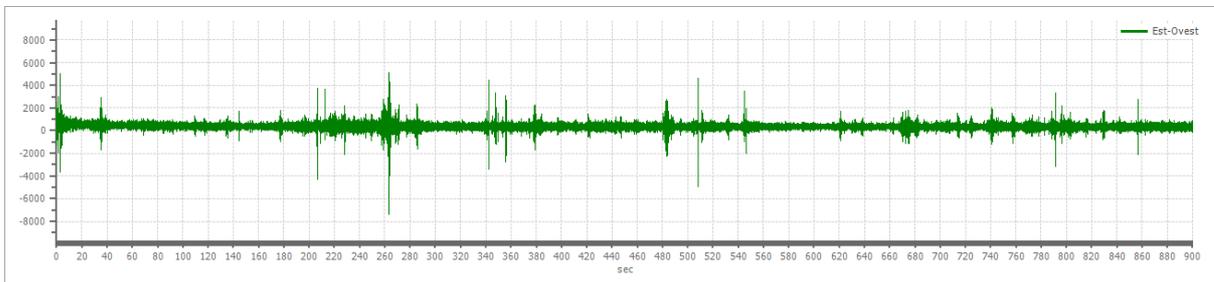


Fig. 26 – Traccia in direzione Est-Ovest

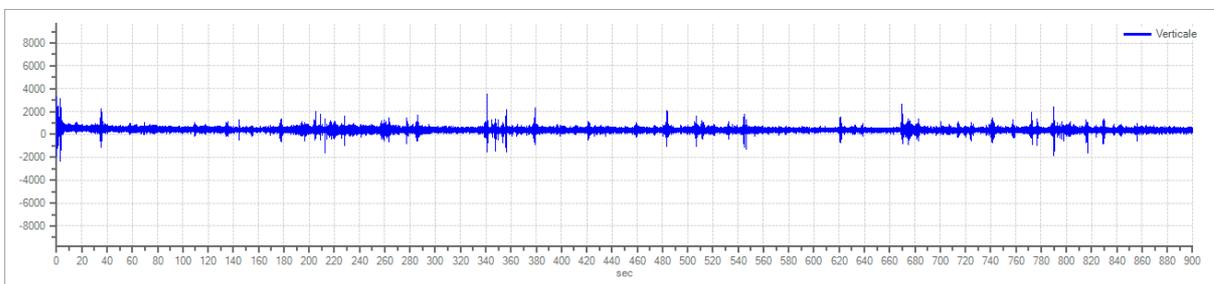


Fig. 27 – Traccia in direzione Verticale

**Finestre selezionate**

Dati riepilogativi:

**RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**

LAVORO DI RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO DELL'EX CHIESA DI S. NICOLAO  
IN COMUNE DI BELLANO (LC) – FG.5 MAPP. 61



Numero totale finestre selezionate: 25  
Numero finestre incluse nel calcolo: 25  
Dimensione temporale finestre: 20,000 s  
Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale  
Percentuale di lisciamento: 15,00 %

Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	100	120	Inclusa
2	120	140	Inclusa
3	160	180	Inclusa
4	180	200	Inclusa
5	200	220	Inclusa
6	220	240	Inclusa
7	260	280	Inclusa
8	280	300	Inclusa
9	340	360	Inclusa
10	400	420	Inclusa
11	500	520	Inclusa
12	520	540	Inclusa
13	540	560	Inclusa
14	560	580	Inclusa
15	580	600	Inclusa
16	600	620	Inclusa
17	620	640	Inclusa
18	640	660	Inclusa
19	660	680	Inclusa
20	680	700	Inclusa
21	700	720	Inclusa



22	720	740	Inclusa
23	740	760	Inclusa
24	760	780	Inclusa
25	780	800	Inclusa

Grafici tracce con finestre selezionate:

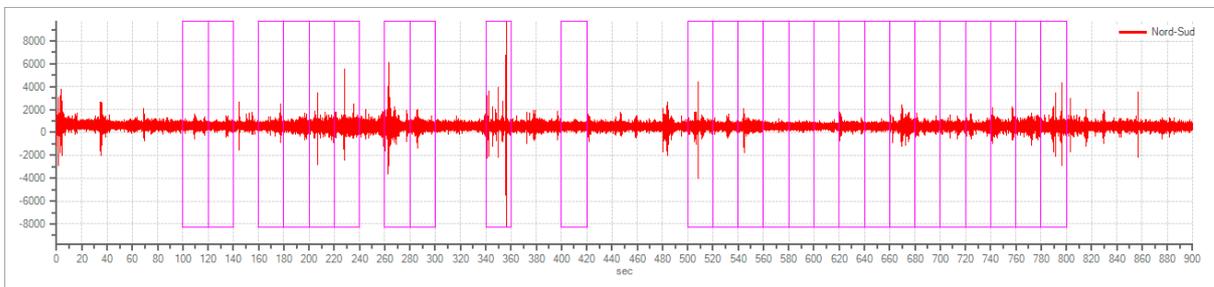


Fig. 28 – Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

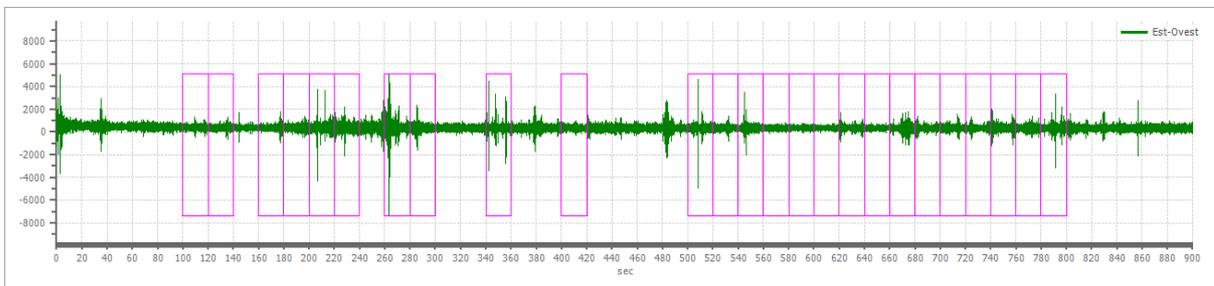


Fig. 29 – Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

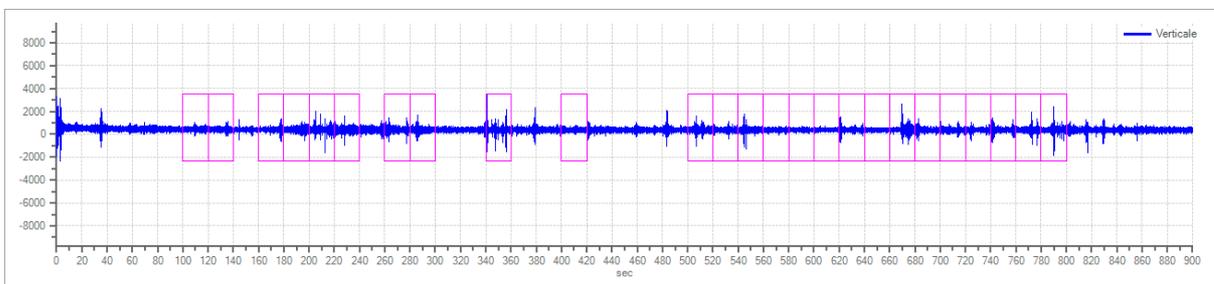


Fig. 30 – Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale



**Grafici degli spettri:**

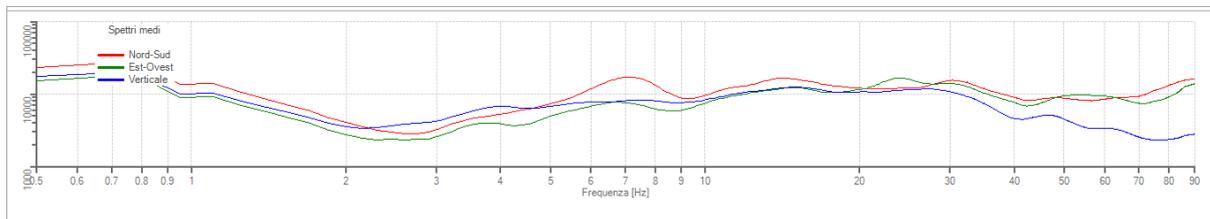


Fig. 31 – Spettri medi nelle tre direzioni

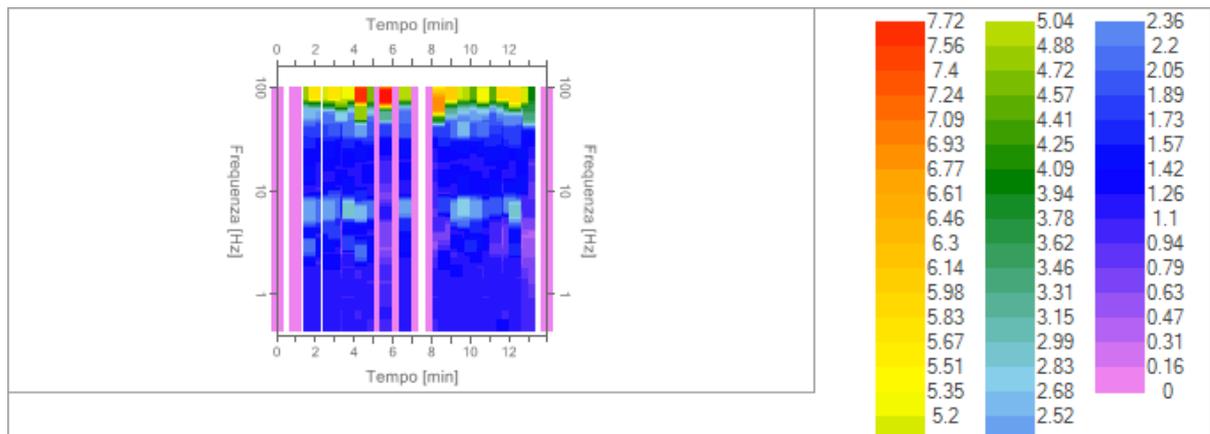


Fig. 32 – Mappa della stazionarietà degli spettri

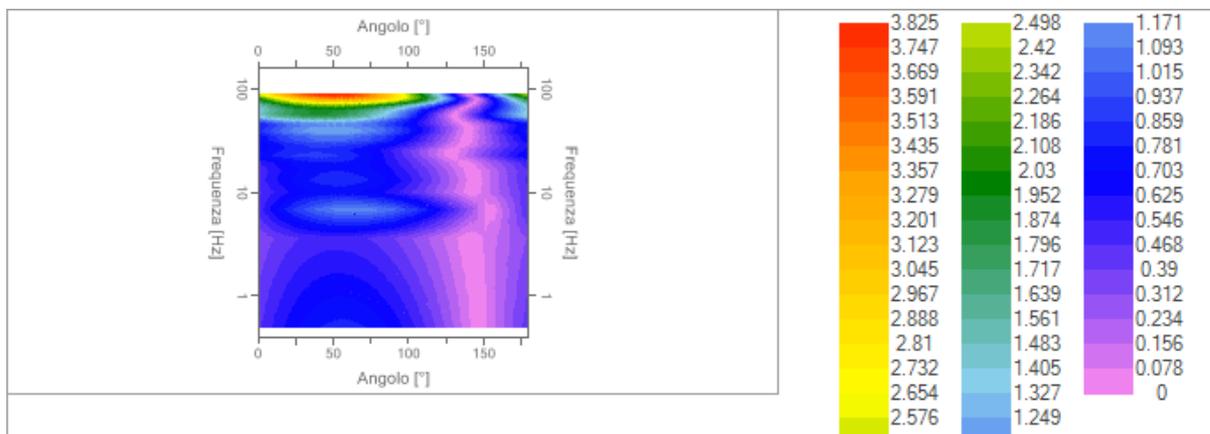


Fig. 33 – Mappa della direzionalità degli spettri

**Rapporto spettrale H/V**

Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 90,00 Hz  
 Frequenza minima: 0,50 Hz

**RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



Passo frequenze: 0,15 Hz  
 Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale  
 Percentuale di lisciamento: 15,00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

**Risultati:**

Frequenza del picco del rapporto H/V: 89,75 Hz ± 0,15 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V

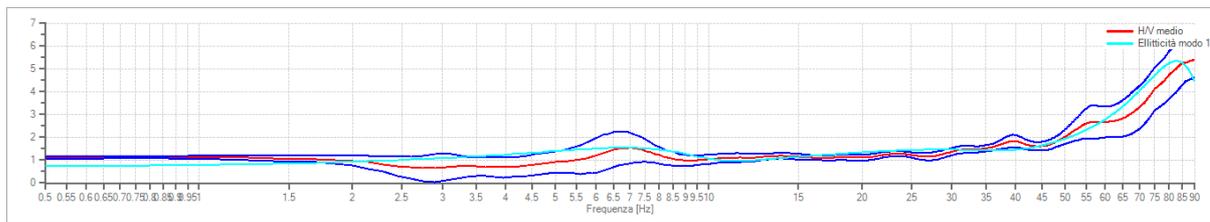


Fig. 34 – Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

<b>Verifica</b>	<b>Esito</b>
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

**Modello stratigrafico**

Dati riepilogativi:

**RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



Numero strati: 4  
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 82,85 Hz  
 Valore di disadattamento: 0,19  
**Valore Vseq: 378,13 m/s**

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0,00	0,30	18	0,3	75
2	0,30	2,00	18	0,3	250
3	2,30	14,00	18	0,3	450
4	16,30	---	22	0,3	900

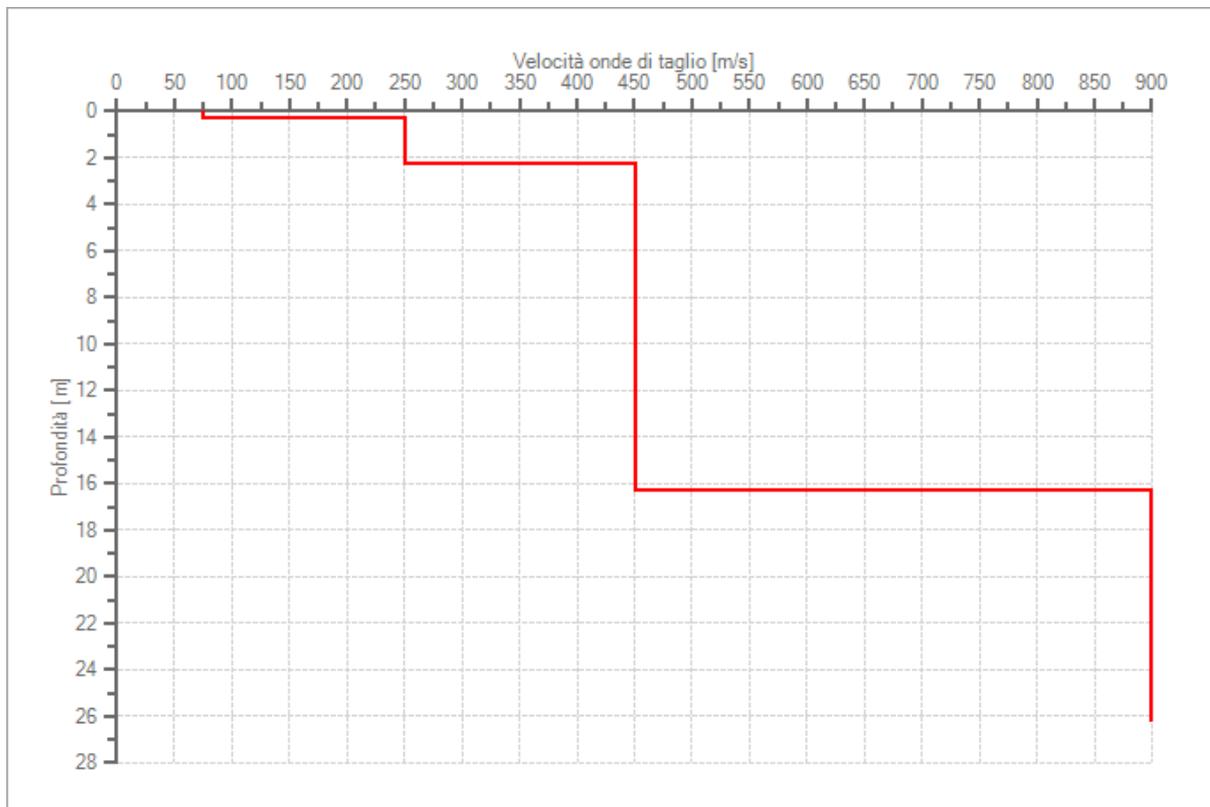


Fig. 35 – Profilo delle velocità delle onde di taglio

**RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



L'indagine di prova sismica passiva HVSR3 è stata eseguita internamente all'Ex Chiesa di S. Nicolao, in corrispondenza della porzione più a Est dell'area oggetto di studio.

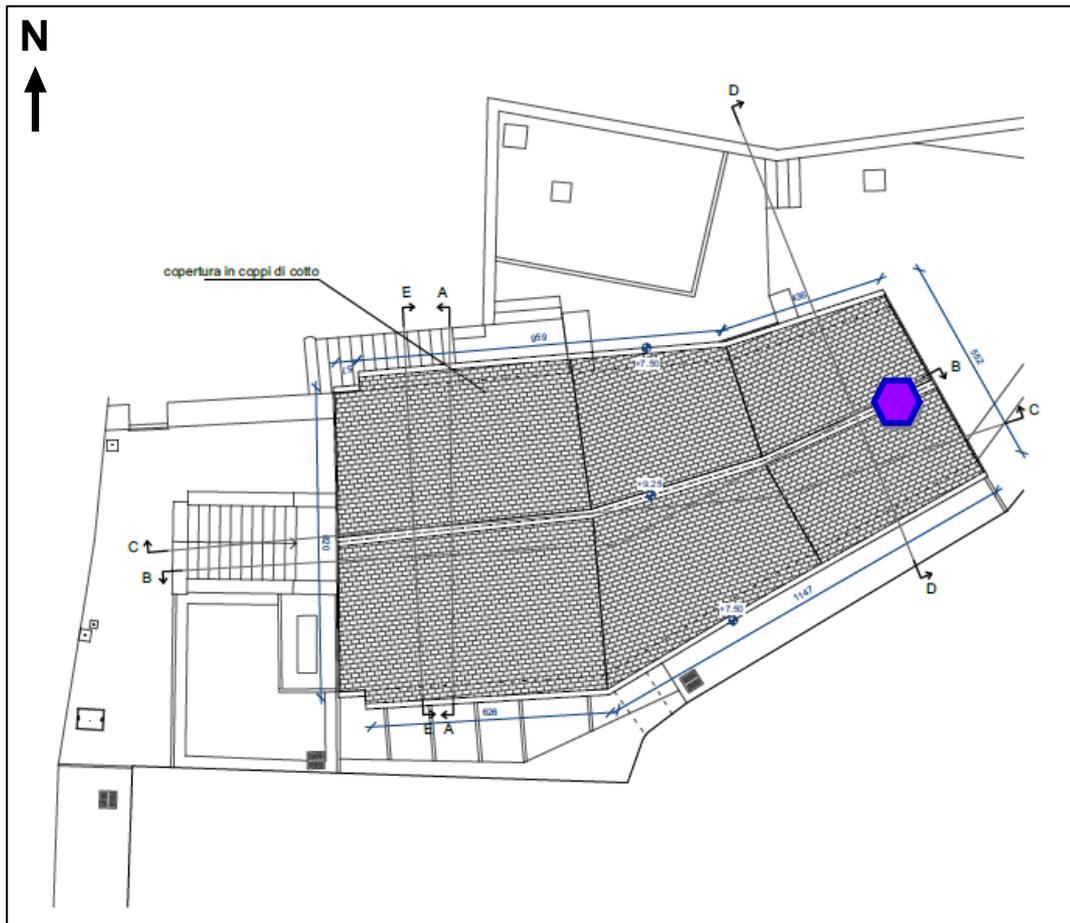


Fig. 36 – Stralcio “Planimetria” con ubicazione punto di esecuzione indagine di sismica passiva HVSR3 con strumentazione ECHO TROMO HVSR 3 (esagono viola)

### Tracce in input

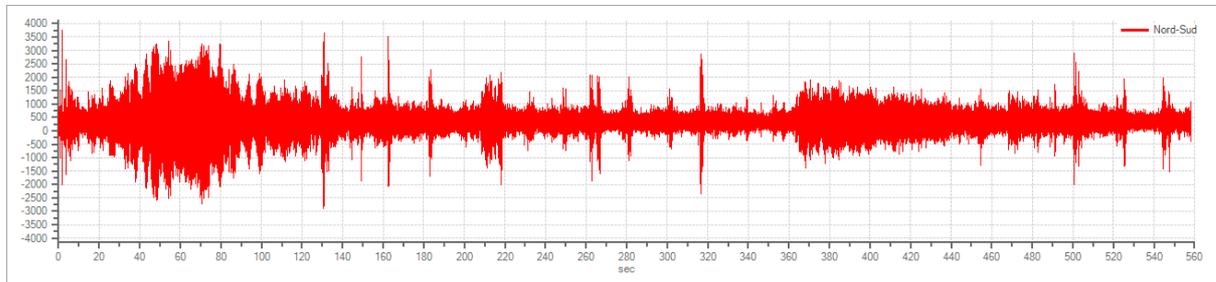
#### Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	558 s
Frequenza di campionamento:	172,00 Hz
Numero campioni:	96014
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

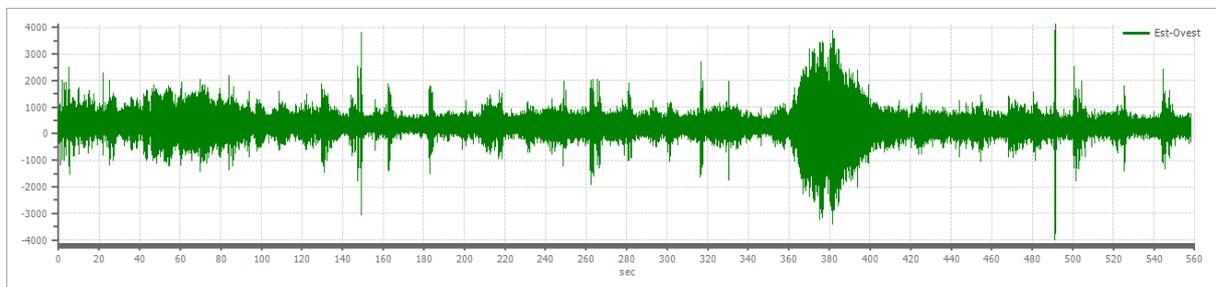
## RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR



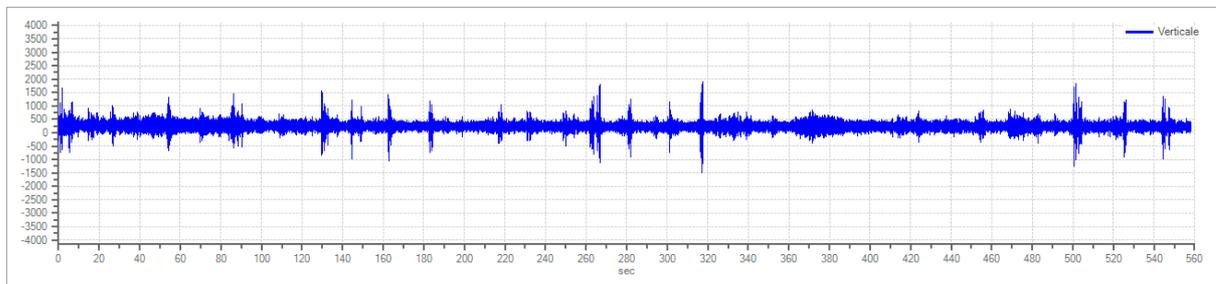
**Grafici tracce:**



**Fig. 37 – Traccia in direzione Nord-Sud**



**Fig. 38 – Traccia in direzione Est-Ovest**



**Fig. 39 – Traccia in direzione Verticale**

**Finestre selezionate**

**Dati riepilogativi:**

Numero totale finestre selezionate:	20
Numero finestre incluse nel calcolo:	20
Dimensione temporale finestre:	20,000 s
Tipo di lisciamento:	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	15,00 %

**RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



Tabella finestre:

<b>Numero finestra</b>	<b>Istante iniziale</b>	<b>Istante finale</b>	<b>Selezione</b>
1	60	80	Inclusa
2	80	100	Inclusa
3	100	120	Inclusa
4	120	140	Inclusa
5	140	160	Inclusa
6	160	180	Inclusa
7	180	200	Inclusa
8	200	220	Inclusa
9	240	260	Inclusa
10	260	280	Inclusa
11	280	300	Inclusa
12	300	320	Inclusa
13	320	340	Inclusa
14	340	360	Inclusa
15	360	380	Inclusa
16	380	400	Inclusa
17	400	420	Inclusa
18	420	440	Inclusa
19	440	460	Inclusa
20	460	480	Inclusa

Grafici tracce con finestre selezionate:

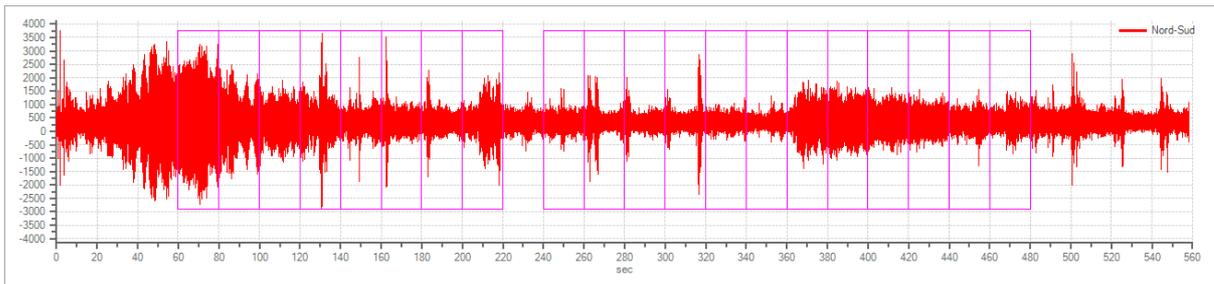


Fig. 40 – Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

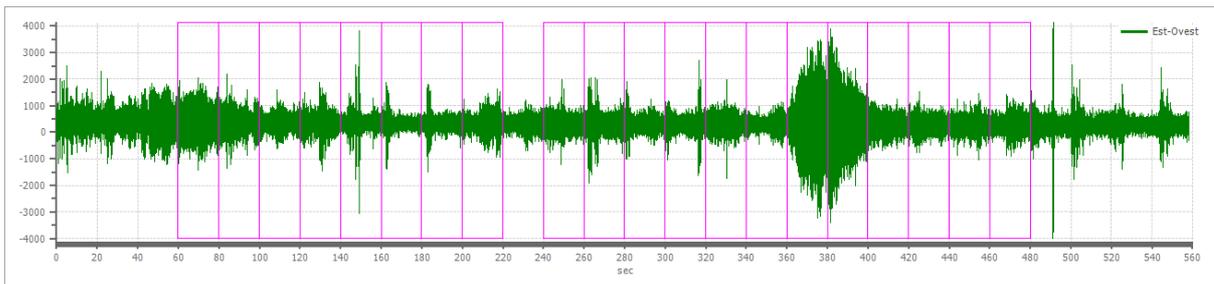


Fig. 41 – Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

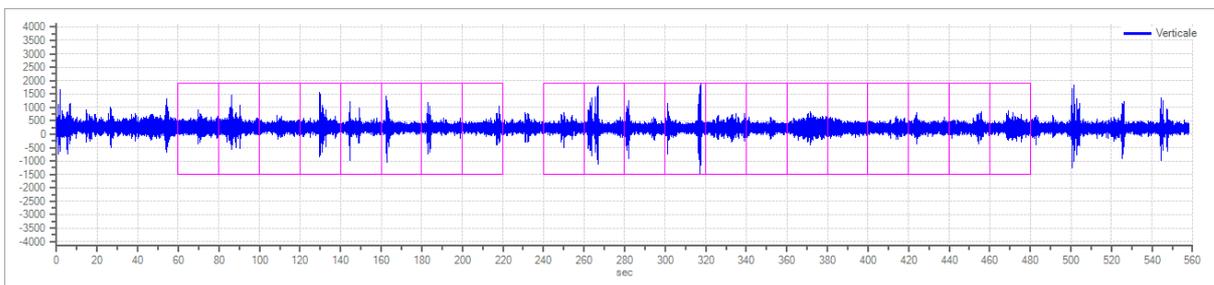


Fig. 42 – Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

Grafici degli spettri:

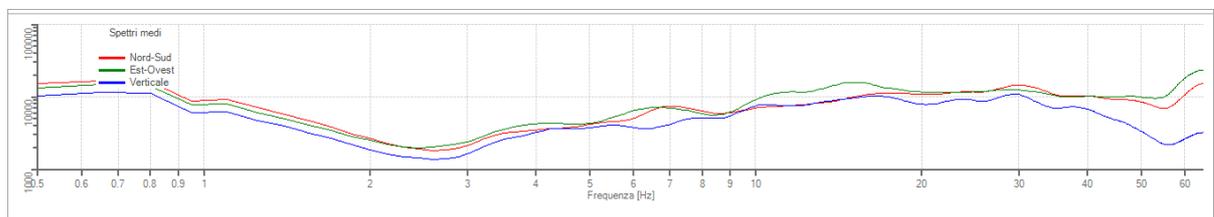


Fig. 43 – Spettri medi nelle tre direzioni

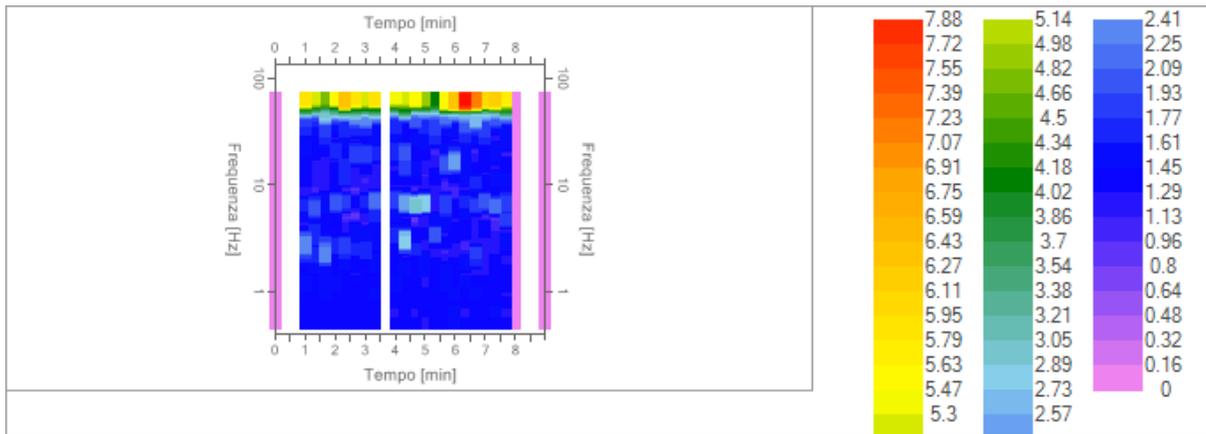


Fig. 44 – Mappa della stazionarietà degli spettri

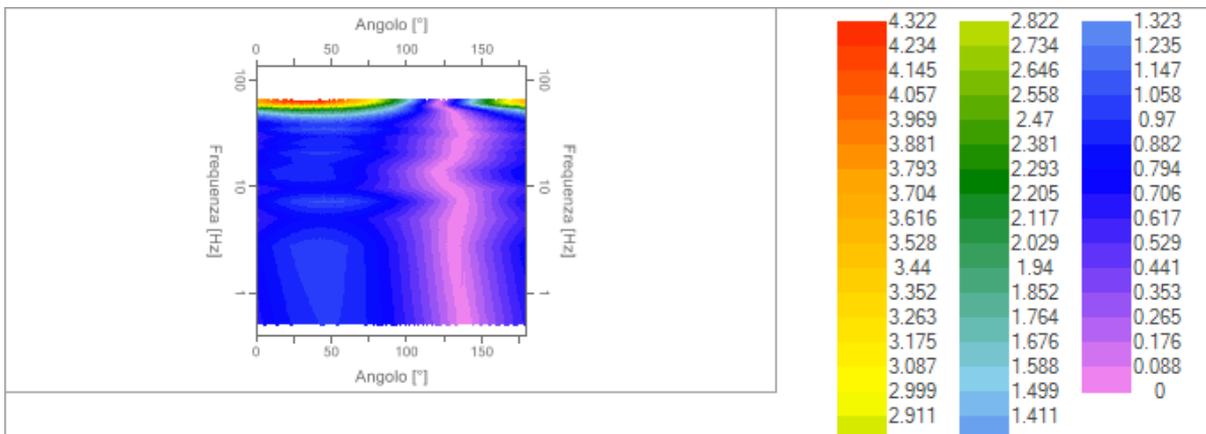


Fig. 45 – Mappa della direzionalità degli spettri

### Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

- Frequenza massima: 65,00 Hz
- Frequenza minima: 0,50 Hz
- Passo frequenze: 0,15 Hz
- Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale
- Percentuale di lisciamento: 15,00 %
- Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 63,80 Hz ± 0,15 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V

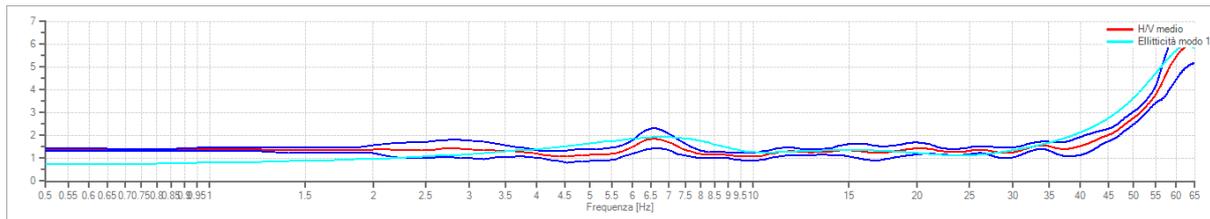


Fig. 46 – Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

<b>Verifica</b>	<b>Esito</b>
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

**Modello stratigrafico**

Dati riepilogativi:

Numero strati:	4
Frequenza del picco dell'ellitticità:	62,90 Hz
Valore di disadattamento:	0,24
<b>Valore Vseq:</b>	<b>372,44 m/s</b>

Dati della stratigrafia:



Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0,00	0,40	18	0,3	75
2	0,40	3,50	18	0,3	253
3	3,90	15,00	18	0,3	475
4	18,90	---	22	0,3	950

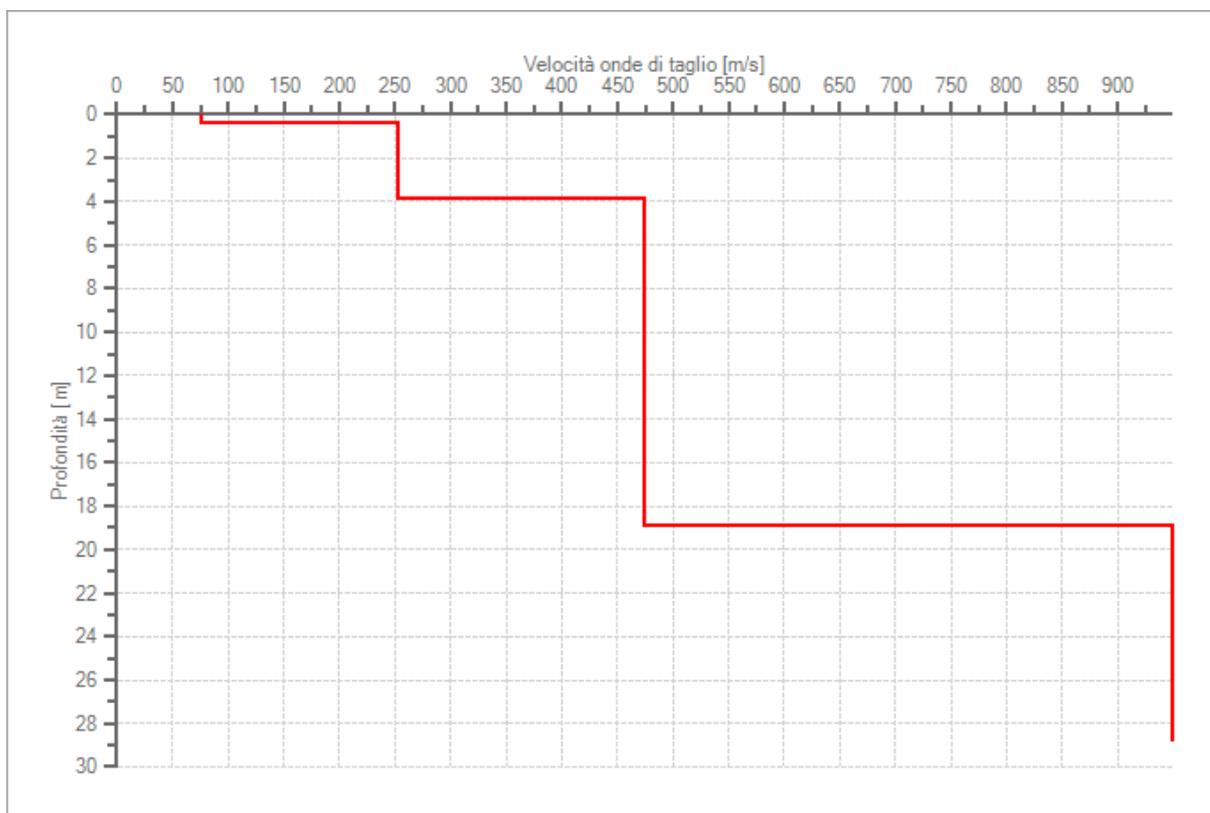


Fig. 47 – Profilo delle velocità delle onde di taglio

## 6. ANALISI DELLE PUBBLICAZIONI, VERIFICA P.A.I. E P.G.T.

Le pubblicazioni consultate hanno fornito le seguenti classificazioni / indicazioni:

- Inventario delle frane e dei dissesti idrogeologici della Regione Lombardia – Territorio e Rischi Idrogeologici Regione Lombardia (l'area in esame ricade all'interno del "Conoide detritico – alluvionale");

### RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR



Fig. 48 – Stralcio Carta Inventario Frane e Dissesti Regione Lombardia (fonte S.I.T. Regione Lombardia)

- Carta di localizzazione probabile valanghe della Regione Lombardia (S.I.R.VAL.) - Territorio e Rischi Idrogeologici Regione Lombardia (nessuna segnalazione);
- Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici del Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) (l'area in esame ricade in parte all'interno dei "Dissesti poligonali – CONOIDI: Area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta (Cn)");

## RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR

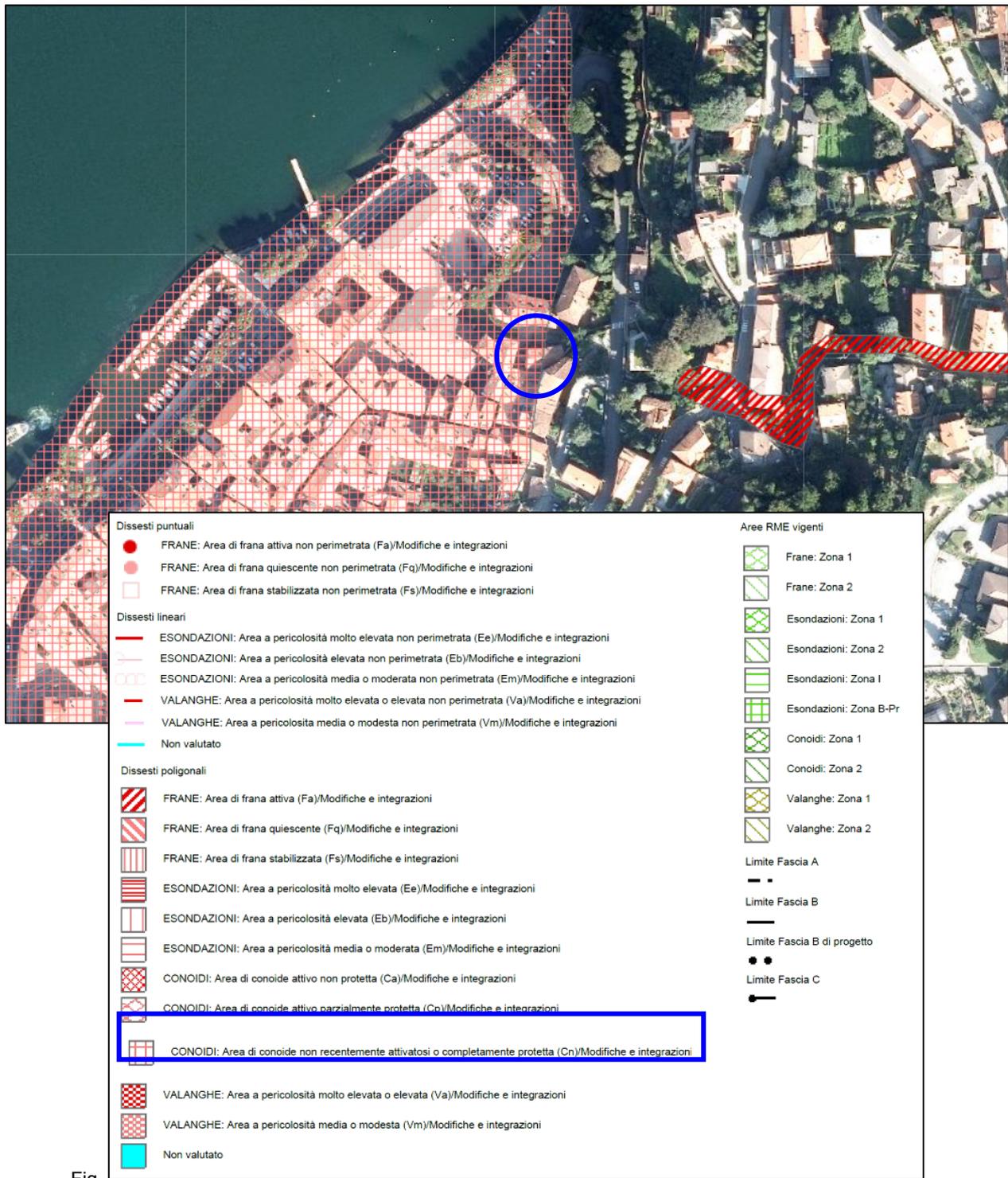


Fig. 47 — Stralcio carta studi geologici comunali e relativa legenda (fonte C.A.F. Regione Lombardia)

- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – Revisione 2022 (l'area in esame ricade all'interno dello "Scenario raro L – Pericolosità RSCM Reticolo Secondario Collinare e Montano").

**RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



Fig. 50 – Stralcio carta Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – Revisione 2022 (fonte S.I.T. Regione Lombardia)

L'area oggetto di studio risulta inserita in **Classe di fattibilità 2**, secondo lo studio geologico di fattibilità a supporto del vigente P.G.T. ; scopo del presente studio anche la verifica delle prescrizioni / indicazioni contenute nelle N.T.A. di quanto sopra (classificazione e classe di fattibilità).

In fase di sopralluogo NON sono state individuate situazioni di dissesto potenziali o in atto.

## 7. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Allo stato attuale non sono state eseguite indagini dirette di tipo prove penetrometriche in quanto non sono previste nuove opere di fondazione e non sono presenti segni di lesionamento e di cedimento da imputare a scarse caratteristiche geotecniche dei terreni. Inoltre, non sono state

## RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR



effettuate a causa della presenza della pavimentazione e del sottofondo interno (per non danneggiare gli stessi).

Si consiglia di effettuare l'esecuzione di alcune trincee esplorative da realizzarsi a ridosso delle murature portanti dello stabile e da approfondirsi sino alla quota di base delle murature / opere di fondazione.

## **8. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI**

### 8.1. STRATIGRAFIA IPOTIZZATA

La stratigrafia è stata dedotta dalle evidenze di superficie, dalle conoscenze dello scrivente, dai dati disponibili in bibliografia ed archivio e dalle indagini di sismica passiva HVSR con strumentazione ECHO TROMO HVSR 3.

La prova di sismica passiva HVSR1 mostra la presenza di un sismostrato superficiale con uno spessore di 0,50 m ed una  $V_s$  pari a 103 m/s (STRATO SISMICO 1), seguito da un secondo sismostrato con potenza di 5,50 m e  $V_s$  pari a 315 m/s (STRATO SISMICO 2) e da un terzo sismostrato con potenza di 14,00 m e  $V_s$  pari a 530 m/s (STRATO SISMICO 3). Oltre -20,00 m di profondità la prova ha identificato la presenza di un sismostrato con  $V_s$  pari a 800 m/s che presumibilmente rappresenta il *bedrock* o depositi molto addensati (STRATO SISMICO 4).

La prova di sismica passiva HVSR2 mostra la presenza di un sismostrato superficiale con uno spessore di 0,30 m ed una  $V_s$  pari a 75 m/s (STRATO SISMICO 1), seguito da un secondo sismostrato con potenza di 2,00 m e  $V_s$  pari a 250 m/s (STRATO SISMICO 2) e da un terzo sismostrato con potenza di 14,00 m e  $V_s$  pari a 450 m/s (STRATO SISMICO 3). Oltre -16,30 m di profondità la prova ha identificato la presenza di un sismostrato con  $V_s$  pari a 900 m/s che presumibilmente rappresenta il *bedrock* o depositi molto addensati (STRATO SISMICO 4).

La prova di sismica passiva HVSR3 mostra la presenza di un sismostrato superficiale con uno spessore di 0,40 m ed una  $V_s$  pari a 75 m/s (STRATO SISMICO 1), seguito da un secondo sismostrato con potenza di 3,50 m e  $V_s$  pari a 253 m/s (STRATO SISMICO 2) e da un terzo sismostrato con potenza di 15,00 m e  $V_s$  pari a 475 m/s (STRATO SISMICO 3). Oltre -18,90 m di profondità la prova ha identificato la presenza di un sismostrato con  $V_s$  pari a 950 m/s che presumibilmente rappresenta il *bedrock* o depositi molto addensati (STRATO SISMICO 4).

## **RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



Detto ciò, si prevede alla quota di imposta delle fondazioni (a circa -2,00 m da p.c.) la presenza di depositi alluvionali di conoide costituiti da terreni a grana media (sabbie e subordinatamente ghiaie) moderatamente addensati / addensati.

## 8.2. PARAMETRI GEOTECNICI

Nel presente paragrafo si riportano i parametri geotecnici caratteristici riferiti al terreno al piano di posa delle fondazioni, che da progetto saranno impostate ad una profondità media di circa -2,00 m rispetto al piano campagna attuale.

Si sottolinea che l'area in esame è ben nota allo scrivente e che tali parametri sono stati ricavati da dati di archivio e/o bibliografici.

### Depositi alluvionali di conoide moderatamente addensati / addensati:

✓ PESO DI VOLUME TERRENO ( $\gamma t$ )	1,80 – 1,90 ( $t/m^3$ ) ;
✓ PESO DI VOLUME TERRENO IMMERSO ( $\gamma t$ )	0,90 – 1,00 ( $t/m^3$ ) ;
✓ ANGOLO DI ATTRITO ( $\varphi$ )	$33^\circ \pm 1$ ;
✓ COESIONE	0,00 ( $kg/cm^2$ ) ;
✓ MODULO ELASTICO	150 – 200 ( $kg/cm^2$ ) .
✓ COEF. DI REAZIONI (per fondazione larga 0,30m)	6 – 8 ( $kg/cm^3$ ) .

## **9. CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE E DEI CEDIMENTI (NTC 2018)**

Le opere in progetto si possono assimilare al tipo 2 con vita nominale  $V_n \geq 50$  anni (tabella 2.4.1 articolo 2.4 comma 2.4.1 del D.M. 17.01.2018) e in classe d'uso II (art 2.4 comma 2.4.2 del D.M. 17.01.2018).

Come definito nell'inquadramento sismico, si ipotizza che i terreni oggetto di studio appartengano alla categoria topografica T1 e alla categoria di sottosuolo B.

Nel calcolo della capacità portante e dei cedimenti si è fatto riferimento agli elaborati progettuali in possesso che prevedono il piano di posa delle fondazioni ad una profondità media di circa -2,00 m dal piano campagna attuale impostate in depositi alluvionali di conoide moderatamente addensati.

I parametri geotecnici considerati nel calcolo sono quelli riportati al paragrafo precedente.

## **RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



Il calcolo è stato effettuato considerando **fondazione diretta, tipo trave rovescia, con lunghezza di 10,00 m, larghezza B di 1,60 m, spessore 0,50 m e rinterro di 0,70 m.**

### 9.1. VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU): CAPACITÀ PORTANTE

Le verifiche seguenti vengono effettuate secondo quanto previsto dal D.M. 17.01.2018, **con riferimento all'imposta delle fondazioni nei terreni naturali**, applicando il metodo agli stati limite ultimi mediante l'utilizzo di coefficienti di sicurezza parziali nel rispetto della condizione:

$$Ed \leq Rd$$

Dove **Ed** è il valore di progetto delle azioni o dell'effetto delle azioni e **Rd** è il valore di progetto delle resistenze del sistema geotecnico.

Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) e geotecnici (GEO) si possono adottare, in alternativa, due diversi approcci progettuali.

#### **Approccio 1**

Combinazione 1 A1+M1+R1

Combinazione 2 A2+M2+R2

#### **Approccio 2**

A1+M1+R3

Con:

- A** gruppi coefficienti di sicurezza parziali per le azioni,
- M** gruppi coefficienti di sicurezza parziali per i parametri geotecnici del terreno,
- R** gruppi coefficienti di sicurezza parziali per le resistenze.

Nell'approccio progettuale 1, la prima combinazione di gruppi di coefficienti è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.



Nell'approccio progettuale 2 è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali che nelle verifiche geotecniche.

La verifica delle strutture è stata condotta secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3).

### Coefficienti A

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_G$

### Coefficienti M

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_v$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

### Coefficienti R

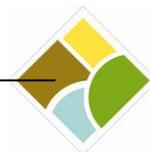
Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

I valori delle resistenze sono stati valutati secondo le relazioni di Terzaghi, Meyerhof, Brinch & Hansen sulla base dei parametri geotecnici riportati precedentemente (in modo indicativo vista l'assenza di indagini dirette). Inoltre, le resistenze sono state valutate anche in condizioni di sismicità dalle quali si rileva una riduzione minima delle medesime.

Le verifiche sono state effettuate applicando nelle formule i parametri di resistenza ridotti mediante i coefficienti parziali M. Partendo dai valori medi ( $f_m$ ) dei parametri si ricava il valore caratteristico ( $f_k$ ) equivalente al quinto percentile, che rappresenta la soglia al di sotto della quale

## RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR



si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove (assimilabile al valore minimo). Il valore di progetto ( $f_d$ ) del parametro si ottiene riducendo il valore caratteristico mediante il coefficiente M. I risultati sono stati ottenuti servendosi del software **LOAD CAP di GEOSTRU**, del quale lo studio scrivente è titolare di regolare licenza.

A seguire sono riportati i valori di resistenza ottenuti per le fondazioni tipo trave rovescia (B = 1,00 m) impostate a -1,60 m di profondità dal piano campagna attuale.

### FONDAZIONI IN TERRENI NATURALI

Metodologia	Qul		Rd	
	Kg/cmq	N/cmq	kg/cmq	N/cmq
Teoria di Terzaghi	8,67	85,02	3,77	36,97
Teoria di Meyerhof	9,15	89,73	3,98	39,03
Teoria di Brinch – Hansen	8,90	87,28	3,87	37,95

Metodologia (in condizioni di sismicità)	Qul		Rd	
	Kg/cmq	N/cmq	kg/cmq	N/cmq
Teoria di Terzaghi	7,96	78,06	<b>3,46</b>	<b>33,93</b>
Teoria di Meyerhof	8,40	82,37	3,65	35,79
Teoria di Brinch – Hansen	8,22	80,61	3,57	35,00

NOTA: in grassetto è indicato il valore di resistenza più cautelativo.

### RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR



Le relazioni proposte dagli autori di cui sopra sono tutte composte da tre termini che rappresentano rispettivamente il contributo dovuto alla coesione, all'angolo di attrito interno e al sovraccarico dello strato di terreno sopra il piano fondale.

Terzaghi (1943). Individua tre zone a comportamento meccanico e reologico differente:

- I) zona geometricamente assimilabile ad un cuneo, in cui il terreno mantiene un comportamento elastico e tende a penetrare negli strati sottostanti, solidalmente con la fondazione; questo cuneo forma un angolo uguale a  $\varphi$  secondo Terzaghi e uguale a  $45^\circ + \varphi/2$  secondo Meyerhof, Vesic e Brinch Hansen (con  $\varphi$  = angolo di resistenza al taglio del terreno su cui poggia la fondazione);
- II) zona di scorrimento radiale, rappresentabile graficamente da una serie di archi di spirale logaritmica per  $\varphi > 0$  o di cerchio per  $\varphi = 0$ , dove avviene la trasmissione dello sforzo applicato dal cuneo di materiale che costituisce la zona I alla zona III;
- III) zona che si oppone alla penetrazione del cuneo della zona I nel terreno; si assume teoricamente che prenda la forma di un triangolo isoscele con un'inclinazione dei due lati uguali rispetto all'orizzontale di  $45^\circ - \varphi/2$ ; sulla superficie di questa zona agisce, con effetto stabilizzante, il peso del terreno sopra il piano di posa della fondazione ed altri eventuali sovraccarichi.

Si ha la rottura del terreno di fondazione quando il carico applicato dal cuneo della zona I supera la resistenza passiva della zona III. In questo caso la zona I penetrerà nel terreno di fondazione, che tenderà a rifluire lateralmente lungo la zona di scorrimento plastico, dando luogo a rigonfiamenti superficiali.

Si può giungere alla rottura del terreno attraverso tre modalità differenti:

- a) rottura di tipo generalizzato: in terreni addensati e/o consolidati la resistenza al taglio mobilitata aumenta rapidamente per piccoli incrementi di deformazione; al superamento della portanza limite il terreno si rompe e subisce grosse deformazioni; riportando in grafico gli sforzi applicati e le deformazioni relative risulta facilmente identificabile il valore della resistenza al taglio massima;
- b) rottura di tipo locale: in terreni sciolti e/o scarsamente consolidati la resistenza al taglio mobilitata aumenta gradualmente in relazione a significativi incrementi di deformazione; risulta difficile individuare in questo caso la resistenza al taglio massima, superata la quale si ha la rottura del terreno, in quanto qui il fenomeno avviene con maggiore gradualità;
- c) rottura di tipo intermedio: presenta caratteristiche intermedie fra la rottura di tipo generalizzato e locale.

$$Q_{lim} = c N_c s_c + \gamma_1 D N_q + 0,5 \gamma_2 B N_\gamma s_\gamma;$$

in cui:

$N_c, N_q, N_\gamma$  = fattori adimensionali di portanza funzione dell'angolo di attrito interno;

$c$  = coesione del terreno;

$\gamma_1$  = peso di volume medio del terreno sopra il piano di posa;

$\gamma_2$  = peso di volume sotto il piano di posa;

$B$  = larghezza della fondazione (dimensione del lato corto);

## **RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR**



D = profondità di posa della fondazione;

sc, s<sub>γ</sub> = fattori di forma.

La formula di Terzaghi fornisce generalmente valori di portanza sovrastimati tranne nel caso di terreni coesivi sovraconsolidati; deve essere utilizzata solo per fondazioni molto superficiali, dove cioè sia verificata la disuguaglianza: D < B.

Meyerhof (1951). Meyerhof modificò l'equazione di Terzaghi inserendo il fattore di forma sq legato al fattore di portanza N<sub>q</sub>, tre fattori legati all'approfondimento del piano di posa della fondazione e tre fattori correttivi per carichi inclinati.

$$Q_{lim} = c N_c s_c d_c + \gamma_1 D N_q s_q d_q + 0,5 \gamma_2 B N_\gamma s_\gamma d_\gamma$$

(fattore di moltiplicazione i<sub>c</sub> se carico inclinato);

in cui:

N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub>, N<sub>γ</sub> = fattori adimensionali di portanza;

s<sub>c</sub>, s<sub>q</sub>, s<sub>γ</sub> = fattori di forma;

d<sub>c</sub>, d<sub>q</sub>, d<sub>γ</sub> = fattori correttivi per l'approfondimento;

i<sub>c</sub>, i<sub>q</sub>, i<sub>γ</sub> = fattori correttivi per l'inclinazione dei carichi.

A differenza della formula di Terzaghi, la relazione di Meyerhof può essere impiegata per qualunque tipo di terreno e per profondità di posa fino a D = 4 x B. Non può essere utilizzata per fondazioni su pendio o per fondazioni con base ruotata.

Brinch - Hansen (1970) e Vesic (1973). Hansen propose una formula di uso generale rappresentante un ulteriore sviluppo della relazione indicata da Meyerhof, introducendo un fattore correttivo che tenesse conto della possibile inclinazione del piano di posa sull'orizzontale (b<sub>i</sub>) ed un fattore correttivo che tenesse conto della possibile inclinazione del piano campagna (g<sub>i</sub>). La formula di Vesic poco si discosta da quella di Hansen, salvo per l'uso di fattori di capacità portante leggermente diversi (valore del coefficiente N<sub>γ</sub> = 1,5 (N<sub>q</sub> + 1) tan φ).

$$Q_{lim} = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + \gamma_1 D N_q d_q s_q i_q g_q b_q + 0,5 \gamma_2 B N_\gamma d_\gamma s_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

con:

N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub>, N<sub>γ</sub> = fattori di capacità portante (in funzione dell'angolo d'attrito del terreno);

S<sub>c</sub>, s<sub>γ</sub>; = coefficienti di forma;

D = profondità d'incastro fondazione;

B = larghezza fondazione;

c = coesione del terreno;

γ<sub>1</sub> = peso di volume terreno sopra il piano di posa;

γ<sub>2</sub> = peso di volume terreno sotto il piano di posa.

## RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3) E GEOTECNICA (R2) CON INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR



## 9.2. VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE): CEDIMENTI E DISTORSIONI

Tali verifiche prevedono la valutazione dei valori degli spostamenti e delle distorsioni per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura, nel rispetto della condizione:

$$Ed \leq Cd$$

Dove  $Ed$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e  $Cd$  è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni. Quest'ultimo è stabilito in funzione del comportamento della struttura in elevazione.

I valori delle proprietà meccaniche da adoperare nell'analisi sono quelli caratteristici ( $f_k$ ) e i coefficienti parziali sui parametri di resistenza  $R$  sono sempre unitari. I valori caratteristici da utilizzare per il calcolo delle distorsioni tengono conto della mediana dei valori, non del quinto percentile come nel caso delle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU).

I cedimenti sono stati determinati per **fondazioni tipo trave rovescia con larghezza  $B$  pari a 1,60 m**, utilizzando i metodi dell'elasticità di Terzaghi Semplificato e di Burland & Burbidge ed applicando (in assenza dei dati specifici sull'AZIONI di PROGETTO fornite dallo strutturista) un

### **CARICO DI ESERCIZIO agli SLE pari a 1.50 kg/cmq (14.71 N/cm<sup>2</sup>).**

#### **FONDAZIONI TIPO TRAVE IN TERRENI NATURALI A -2,00 m DA P.C. ATTUALE**

<b>Metodologia</b>	<b>Cedimento totale (mm)</b>
Teoria di Terzaghi	12
Teoria di Burland & Burbidge	13

Occorre precisare che la stima dei cedimenti è da ritenersi indicativa, data l'approssimazione del calcolo delle tensioni in un mezzo eterogeneo ed anisotropo (delle variabili legate alla storia tensionale del terreno e della tipologia delle strutture in progetto). In pratica, si applicano modelli semplificati o empirici finalizzati alla stima dei cedimenti stessi, i quali sono soggetti ad un certo



marginale d'errore (comunque inferiore ad 1 cm). Risultati differenti (ma minimi) sono da attribuirsi al diverso approccio teorico delle varie relazioni.

## 10. VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

In riferimento alla componente orizzontale dei carichi agenti (contributo non rilevante), alla geometria delle fondazioni ed all'ubicazione del piano di posa delle fondazioni incassato, si è ritenuto dispensabile lo svolgimento di tale verifica.

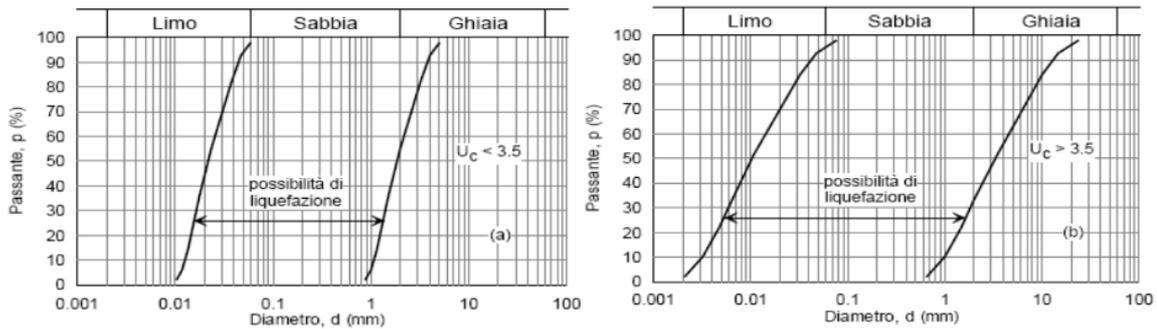
## 11. VERIFICA DELLA STABILITÀ GLOBALE

Rimandando alle considerazioni riportate nei capitoli specifici (caratteri geologici e geomorfologici), si ribadisce che in considerazione delle caratteristiche del contesto locale e delle opere proposte non si prevedono incrementi di carico che possano determinare variazioni delle condizioni attuali. In fase esecutiva sarà possibile rilevare e confermare la presenza delle condizioni di cui nel presente documento o in alternativa rilevare la presenza di condizioni differenti e conseguentemente effettuare le verifiche di stabilità tarate sul nuovo modello geologico.

## 12. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

La verifica alla liquefazione può essere omessa in conseguenza della soddisfazione di almeno una delle condizioni di cui a seguire:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (*Standard Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinato in prove penetrometriche statiche (*Cone Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura sottostante nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  (grafico a sinistra) e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$  (grafico a destra).



Per quello che riguarda la condizione 1, tenendo conto dei parametri e dei coefficienti sismici ricavati per il sito in esame (riferimento *Cap. 5.1. Inquadramento sismico generale*) risulta che per tutti gli stati limite (SLO, SLD, SLV e SLC) si ha un valore di  $a_{g,max}$  (accelerazione orizzontale massima attesa al sito) inferiore a 0,1 g.

Pertanto, poiché la condizione 1 è soddisfatta, si può omettere la verifica alla stabilità nei confronti della liquefazione per i terreni di sedime.

### 13. APERTURA, SOSTEGNO E PROBLEMATICHE RELATIVE AI FRONTI DI SCAVO

Come si evince dagli elaborati di progetto NON è prevista l'esecuzione di sbancamenti con altezze rilevanti. In considerazione della natura e dei parametri geotecnici dei terreni oggetto di scavo, nell'apertura di EVENTUALI fronti di scavo si dovranno adottare delle inclinazioni massime pari a 45° - 50°.

Si rammenta che gli scavi in terreno naturale andranno mantenuti aperti per il minor tempo possibile ed il bordo coperto mediante teli impermeabili, nel caso di abbondanti piogge (per evitare erosioni dovute agli agenti atmosferici e alle acque selvagge), evitando sovraccarichi in prossimità dei cigli superiori di scavo (passaggio automezzi, depositi provvisori di materiali ed attrezzatura, installazione di gru e macchine pesanti, ecc.), nonché evitando il passaggio delle maestranze a tergo delle opere di sostegno in presenza di scavi aperti e non protetti. Qualora si dovessero manifestare indizi o segnali di instabilità, i lavori andranno sospesi ed andrà verificato il sussistere delle condizioni di sicurezza.

### 14. STABILITÀ GLOBALE POST OPERAM

In considerazione:



- del contesto geologico – geomorfologico – idrogeologico locale (area stabile ed assenza di dissesto);
- della natura e dei parametri geotecnici dei terreni oggetto di studio (depositi alluvionali di conoide);
- della tipologia di intervento edilizio (lavoro di restauro e risanamento conservativo dell'ex chiesa di S. Nicolao);

si è ritenuto dispensabile lo svolgimento di analisi di stabilità globale dell'area post-opera.

Non sono previsti incrementi di carico che possano determinare situazioni critiche per la stabilità.

## 15. ANNOTAZIONI CONCLUSIVE

È stata redatta la presente relazione geologica e geotecnica ai sensi del D.M. 11.03.88, del D.M. 159 del 14.09.2005 e del D.M. 17.01.2018 (*Aggiornamento NTC 2018* entrato in vigore il 22.03.2018) allo scopo di evidenziare eventuali problematiche di carattere geologico, idrogeologico e geotecnico alla fattibilità di quanto in progetto (**LAVORO DI RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO DELL'EX CHIESA DI S. NICOLAO**).

L'indagine condotta ha verificato la COMPATIBILITÀ delle opere in progetto con l'assetto geologico, idrogeologico e sismico locale.

Si rinnova in ogni caso la disponibilità dello scrivente ad effettuare ulteriori sopralluoghi in corso d'opera qualora emergessero situazioni geologiche non previste nel presente studio.

Cercino, 11 agosto 2022

Dr. Fabrizio Bigioli Geologo

*(documento firmato digitalmente ai sensi del D.Lgs. 82/2005)*





## LEGENDA

Substrato lapideo

 Gneiss

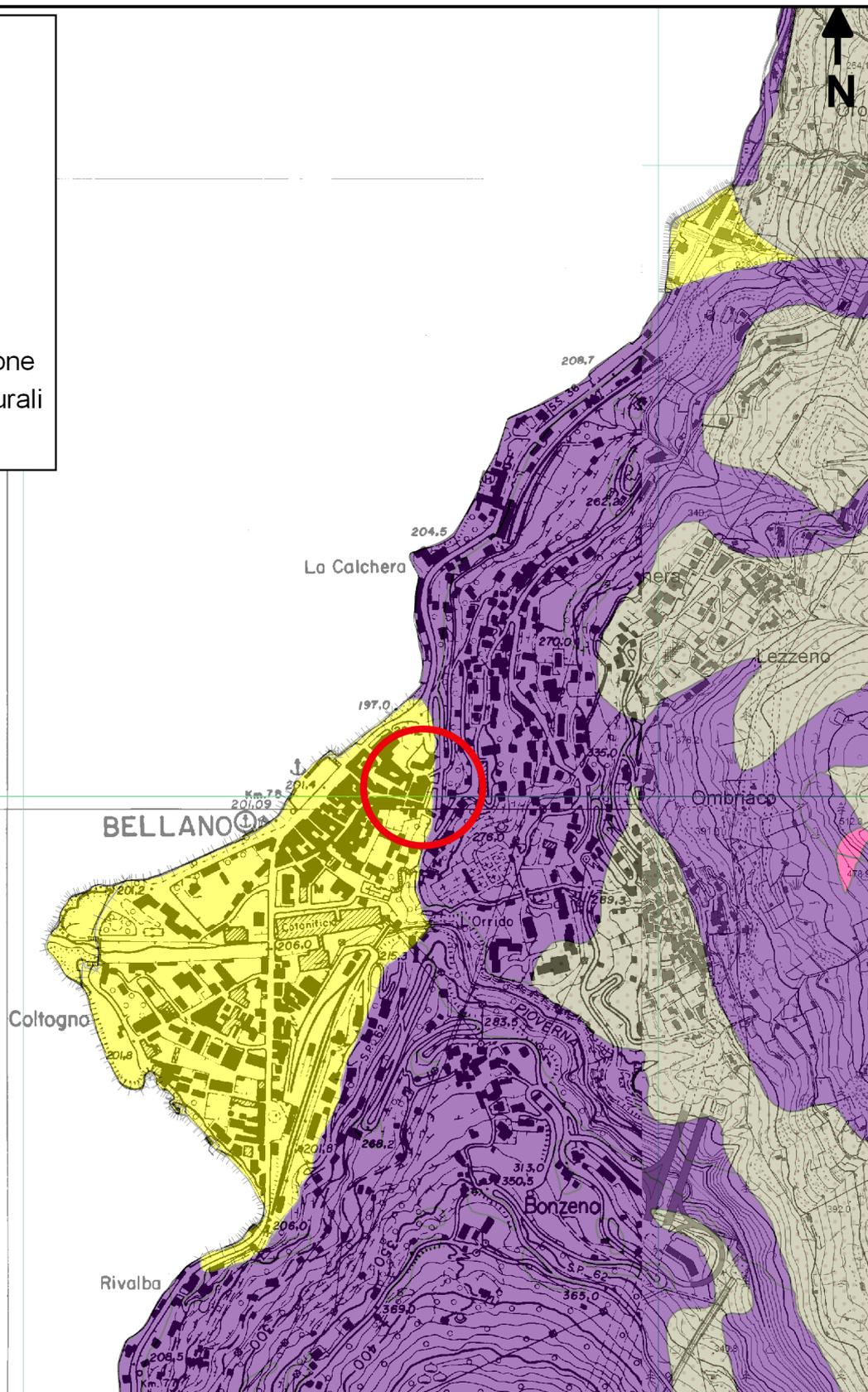
 Micascisti

Depositi superficiali

 Detrito eluviale

 Conoidi di deiezione

 Lineamenti strutturali



CARTA GEO LITOLOGICA

scala 1:10.000