



PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO
DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA
ELISABETTA A PEIA (BERGAMO)
CIG 9150279919 - CUP D32D18000040001

COMMITTENTE:
COMUNE DI PEIA

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA



Luglio 2022

dott. geol. Alessandro Chiodelli



INDICE

1. <i>PREMESSA</i>	3
2. <i>PRINCIPALI DISPOSIZIONI NORMATIVE DI RIFERIMENTO</i>	4
3. <i>DESCRIZIONE DEL PROGETTO</i>	5
3.1 Sintesi progettuale	5
3.2 Tipo di costruzione e vita nominale (V_N).....	6
3.3 Azioni sismiche e classi d'uso (C_U).....	6
3.4 Periodo di riferimento per l'azione sismica (V_R).....	7
4. <i>INQUADRAMENTI TERRITORIALI</i>	8
4.1 Inquadramento geografico	8
4.2 Inquadramento geomorfologico	8
4.3 Inquadramento geolitologico	10
4.4 Inquadramento idrogeologico e idrografico.....	11
5. <i>VINCOLI E DISPOSIZIONI DEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE</i> ..	13
5.1 Compatibilità con lo studio geologico comunale.....	13
5.2 Compatibilità con gli strumenti della pianificazione sovraordinata.....	17
6. <i>INDAGINE GEOGNOSTICA</i>	18
6.1 Premessa	18
6.2 Sondaggio meccanico a carotaggio continuo.....	19
6.3 Prove penetrometriche dinamiche	21
6.4 Evidenze di affioramento nei dintorni del sito.....	33
6.5 Rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio.....	33
7. <i>CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA</i>	39
7.1 Modello geologico di riferimento	39
8. <i>MODELLAZIONE SISMO-STRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO</i>	41
8.1 Generalità	41
8.2 Indagine geofisica	42
8.3 Analisi di risposta sismica locale	56
9. <i>CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEL SOTTOSUOLO</i>	64
10. <i>INDICAZIONI TECNICHE</i>	71
11. <i>CONCLUSIONI</i>	73



1. PREMESSA

Con determinazione n. 73 del 09.06.2022 il Responsabile del Servizio Territorio e Ambiente del Comune di Peia (Bergamo) ha conferito allo scrivente l'incarico professionale per la predisposizione della relazione geologica-geotecnica e sismica di supporto alla progettazione definitiva ed esecutiva dei lavori di *"Allargamento e messa in sicurezza della viabilità ed opere annesse in via Sant'Elisabetta"* CIG 9150279919 - CUP D32D18000040001.

La relazione si prefigge l'obiettivo di valutare la compatibilità dell'intervento di progetto in relazione all'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico, nonché definire il modello geologico e geotecnico del sito.

Si precisa che il Comune di Peia, secondo la D.G.R. lombarda dell'11 luglio 2014 n. X/2129, è classificato nella zona sismica 3.

Inoltre, si specifica che la presente relazione si pone in aderenza alle disposizioni normative di cui alle NTA dello studio geologico comunale, al cap. 4, Parte I, Allegato B della D.G.R. lombarda n. IX/2616 del 30/11/2011 e alle N.T.C. 2018.



Figura 1 – Foto aerea dell'area di interesse con indicata l'area di interesse (da Geoportale regionale)



2. PRINCIPALI DISPOSIZIONI NORMATIVE DI RIFERIMENTO

DECRETO MINISTERIALE 17.01.2018

Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni e Circolare Esplicativa 2019

UNI ENV 1997-1(2002): Eurocodice 7

“Progettazione Geotecnica”

UNI ENV 1998-5(2001): Eurocodice 8

“Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”

ORDINANZE

Autorità di Bacino del Fiume Po e Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)

NORMATIVA REGIONALE

- D.G.R. 30.XI.2011 n. IX/2616 – Aggiornamento dei “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n. 12, approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374”;
- Legge Regionale 12 ottobre 2015 n. 33 – Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche;
- D.G.R. 30.III.2016 n. X/5001 – Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica.
- D.G.R. 19.VI.2017 - n. X/6738 – Disposizioni regionali concernenti l’attuazione del piano di gestione dei rischi di alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell’emergenza, ai sensi dell’art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l’assetto idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7 dicembre 2016 con deliberazione n. 5 dal comitato istituzionale dell’autorità di bacino del Fiume Po

STUDIO GEOLOGICO COMUNALE E RELATIVE NTA

Dott. Geol. Giovanni Mazzarolli, Indagine geologica di supporto al P.R.G., 2003

Nozza & Pecchio, Componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T., 2012



3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

3.1 Sintesi progettuale

L'intervento di progetto prevede l'allargamento della Via S. Elisabetta a Peia , nel tratto compreso tra la Via Crocce Ina (Cappella degli Alpini) e la Chiesa di Santa Elisabetta.

La lunghezza indicativa del tratto d'intervento è pari a 375 m.

L'intervento si estenderà lungo l'intero tratto di valle, mentre al lato di monte non riguarderà la porzione centrale (zona di compluvio – abitazioni).

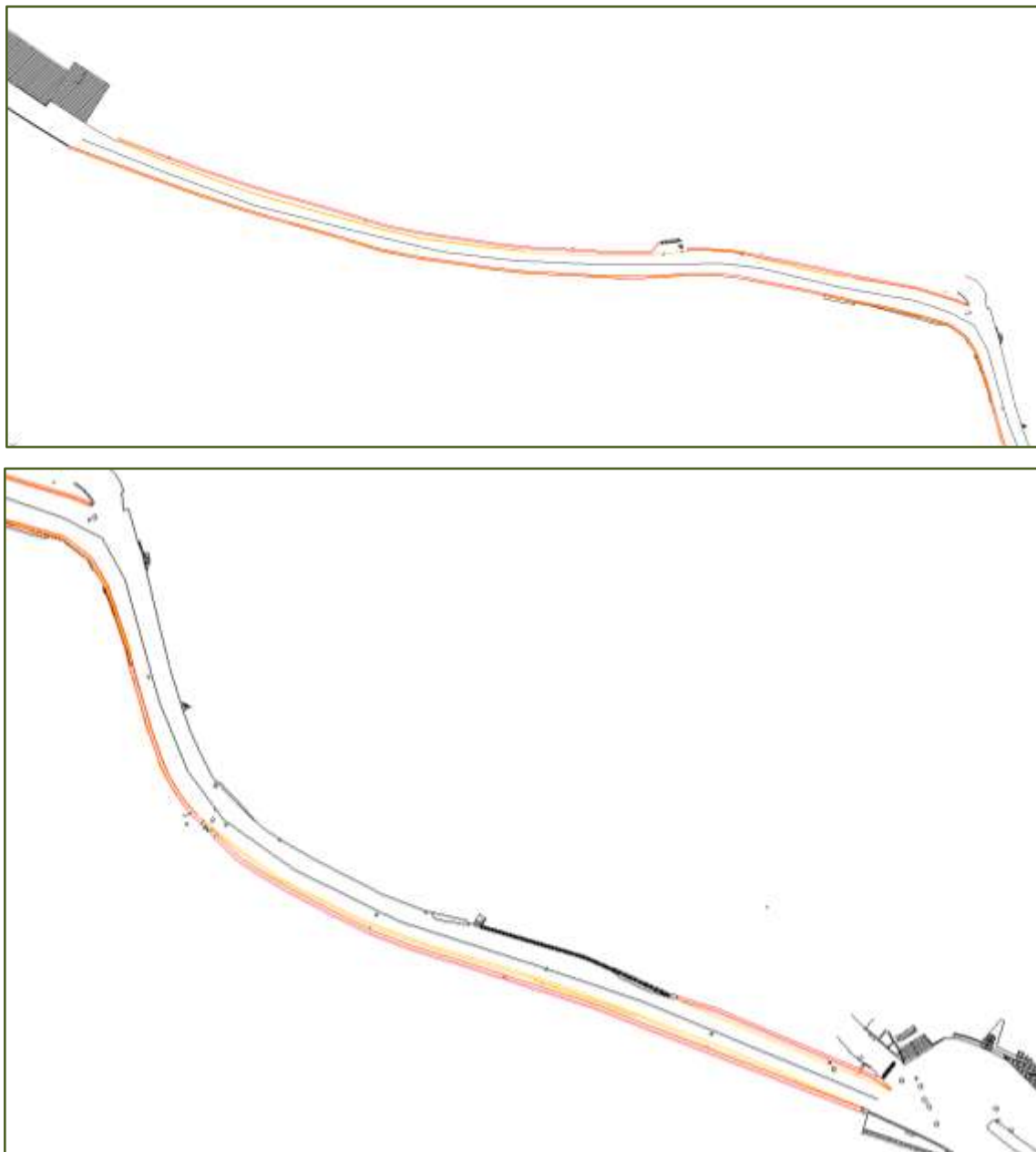


Figure 2 – Planimetria di progetto (Arch. Marco Offredi)



L'intervento di progetto prevede la formazione di nuovi muri di controripa e controscarpa di altezze variabili tra 1,5 e 3 metri. Prevede inoltre un nuovo sistema di collettamento delle acque meteoriche, mediante griglie e chiusini di raccolta delle acque meteoriche. Per maggiori informazioni riguardanti il progetto definitivo si rimanda alla relazione e agli elaborati definitivi.

3.2 Tipo di costruzione e vita nominale (V_N)

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Categoria 2 → Vita Nominale = 50 anni

3.3 Azioni sismiche e classi d'uso (C_U)

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in 4 Classi d'Uso (corrispondenti alle Classi di Importanza delle EC8), così definite:

Classe I: costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: costruzioni il cui uso prevede normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche o 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 d'emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento), gli uffici e i negozi.



Classe III: costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti i Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche rilevanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A e B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

3.4 Periodo di riferimento per l'azione sismica (V_R)

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento (V_R).

Il periodo di riferimento si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come da tabella seguente:

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Check List

- Tipo di costruzione: 2 (livelli di prestazioni ordinari)
- Vita nominale (V_N): 50 anni
- Classi d'uso in presenza di azioni sismiche (C_U): II (normali affollamenti)
- Coefficiente C_U : 1,0
- Periodo di riferimento per l'azione sismica: $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1,0 = \underline{\underline{50 \text{ anni}}}$



4. INQUADRAMENTI TERRITORIALI

4.1 Inquadramento geografico

L'area in esame è posta nel territorio comunale di Peia, in particolare lungo Via Santa Elisabetta; ci si colloca, ad ampia scala, in Valgandino, in contesto collinare. La quota di riferimento varia tra 570 m s.l.m. circa e 600 m s.l.m. circa.

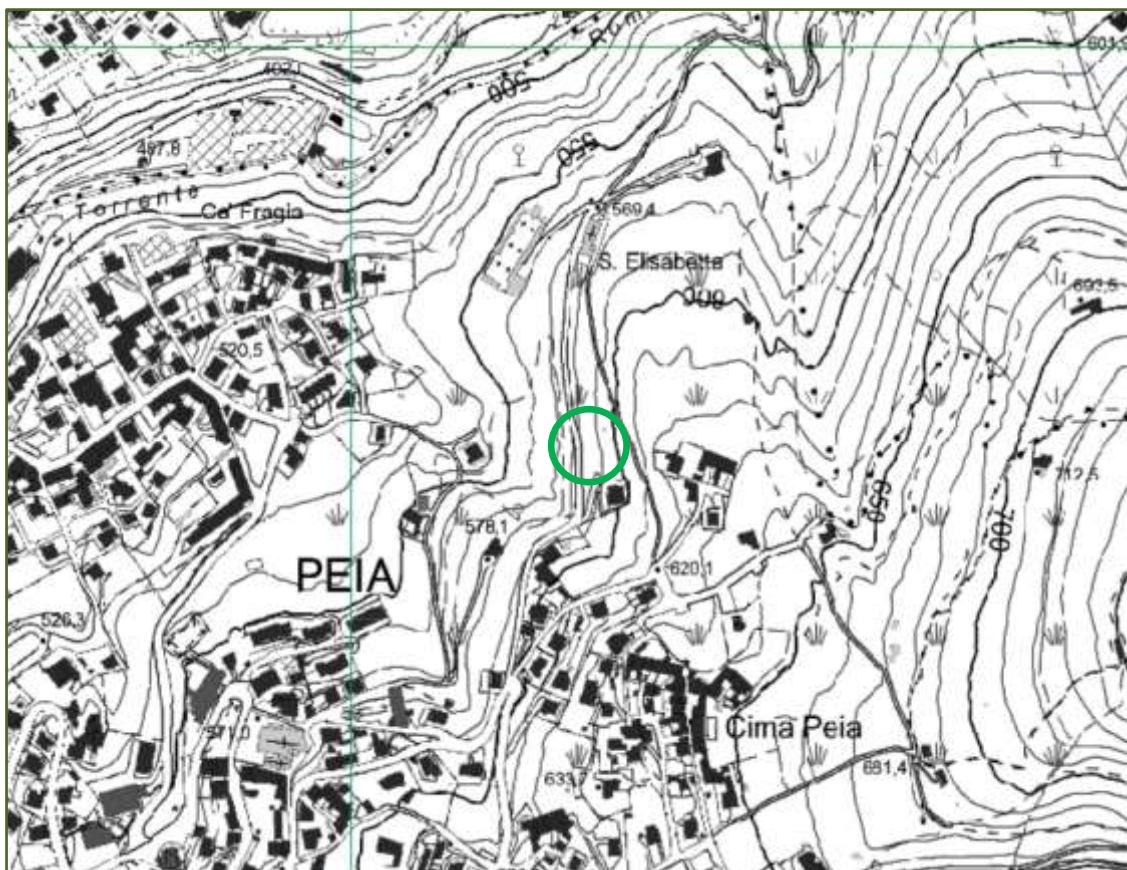


Figura 3 – Stralcio di Carta Tecnica Regionale 1:10.000 con indicata l'area di intervento

4.2 Inquadramento geomorfologico

L'area oggetto di intervento si colloca in zona collinare semi-urbanizzata, sul versante ovest del Monte Pizzetto, rilievo più significativo del territorio peiese.

Il contesto geomorfologico è dominato primariamente da processi morfogenetici legati alla dinamica di versante, carsica e delle acque superficiali; marcata è anche l'azione antropica, con un'intensa urbanizzazione. I primi sono connessi alla modellazione generale del paesaggio, ai colluviamenti, al soil creep e a tutti i fenomeni di dissesto che costellano i versanti, incluse le paleofrane che caratterizzano diffusamente i declivi peiesi,



incluso quello su cui si sviluppa la Via Santa Elisabetta. Il carsismo caratterizza i rilievi della Valgandino, con morfologie ad ogni scala, sebbene nel sito d'intervento non si identifichino forme carsiche negative particolari quali doline o inghiottitoi. La dinamica delle acque superficiali è connessa all'azione dei corsi d'acqua, sia in termini di erosione che di sedimentazione, ed a tutte le forme legate al ruscellamento superficiale. Ai suddetti processi si sovrappone la geologia in senso stretto, ovvero la litologia (natura e competenza dei terreni e delle rocce) e la tettonica (lineamenti strutturali). La Carta Geomorfologica dello studio geologico comunale evidenzia la presenza, sui declivi a valle della strada, di vari orli di scarpata (verdi – chiaramente identificabili con terrazzamenti agricoli); sono inoltre presenti varie vallecicole con fondo a “U” (blu) in realtà poi non trasposte nel Reticolo Idrico, si tratta in effetti di paleofrane morfologicamente ben identificabili, che occasionalmente possono anche veicolare del deflusso idrico superficiale.

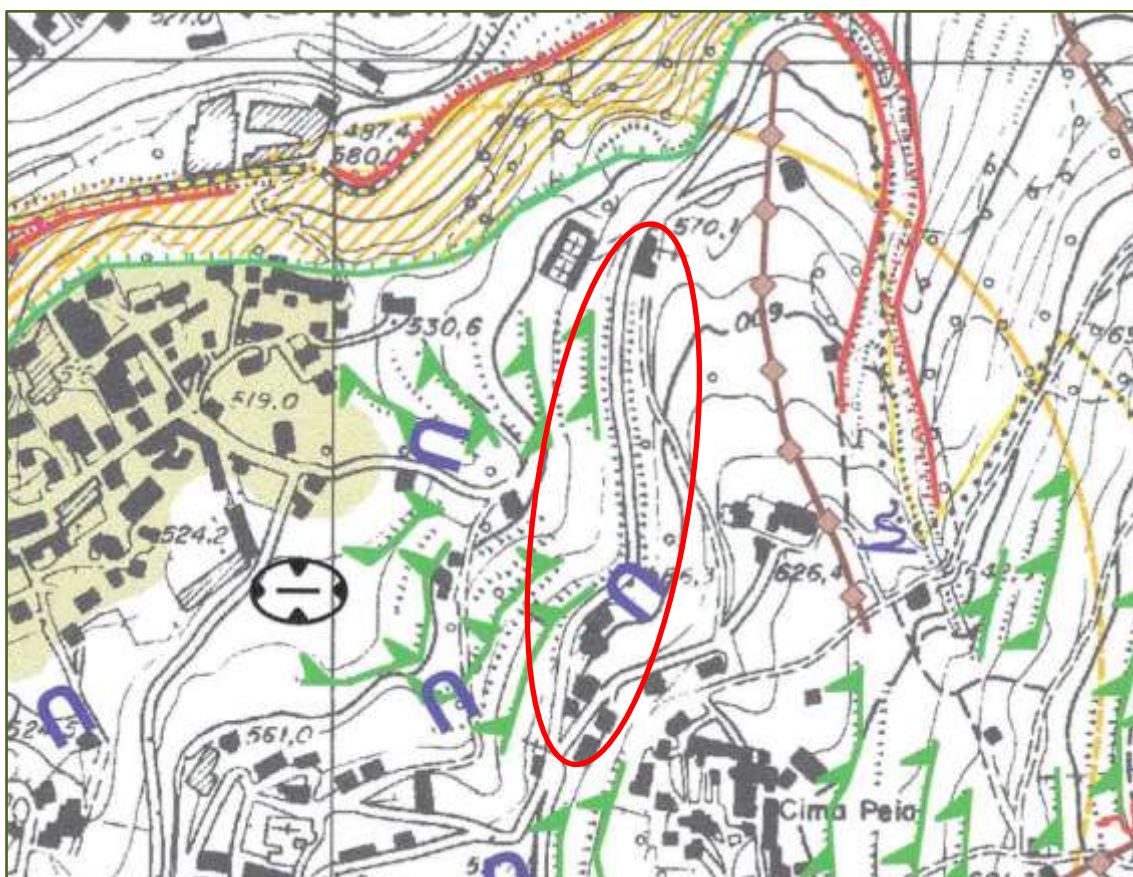


Figura 4 – Stralcio della Carta Geomorfologica dello studio geologico comunale
Indicata in rosso l'area di intervento



4.3 Inquadramento geolitologico

L'area di studio è caratterizzata dalla presenza di substrato roccioso a tratti subaffiorante, localmente coperto da coltre di alterazione che, in corrispondenza della strada, è stata inevitabilmente rimaneggiata. Affioramenti di roccia, per lo più di modesta entità, sono visibili in vari punti lungo la scarpata di monte della strada e per un buon intorno sui pendii. Nella fattispecie, i terreni oggetto di indagine ricadono entro l'unità nota nella nuova Carta Geologica d'Italia (Progetto CARG – Foglio 077 “Clusone”) come Calcarea di Zorzino (ZOR), di età norica media. Si tratta per lo più di calcilutiti grigio scure, alterate ad organi geologici con formazione di paleosuoli rossi limoso-argillosi. Dal punto di vista strutturale, non si segnalano lineamenti tettonici direttamente interferenti con le opere di progetto. Si riporta di seguito stralcio della nuova Carta Geologica d'Italia (Progetto CARG) tratta dal sito ISPRA, con breve descrizione litologica delle unità rilevate.

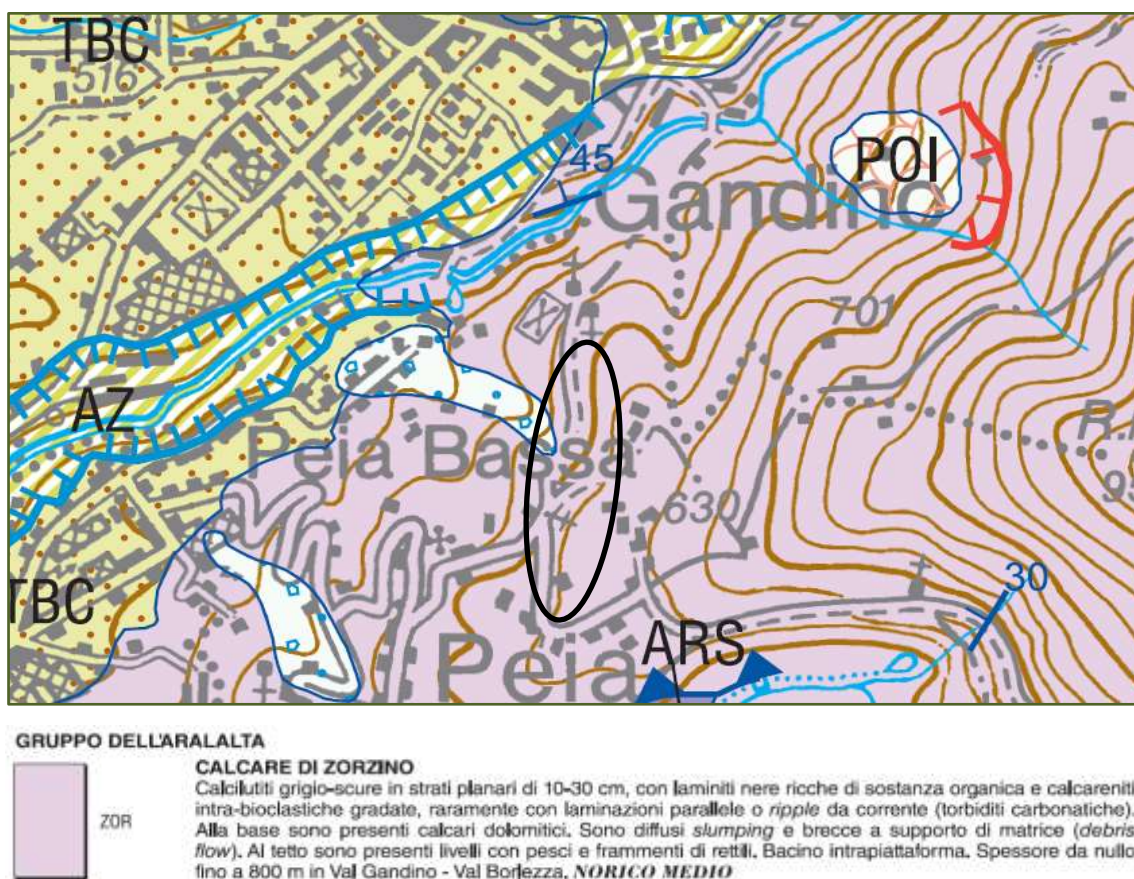


Figura 5 – Stralcio della nuova Carta Geologica d'Italia (Progetto CARG) (da sito ISPRA). Indicata in nero l'area di intervento



La Carta Geolitologica dello studio geologico comunale conferma quanto prospettato dal CARG; in più, indica nella zona la presenza di suoli di spessore compreso tra 2 e 5 m a copertura del Calcere di Zorzino.

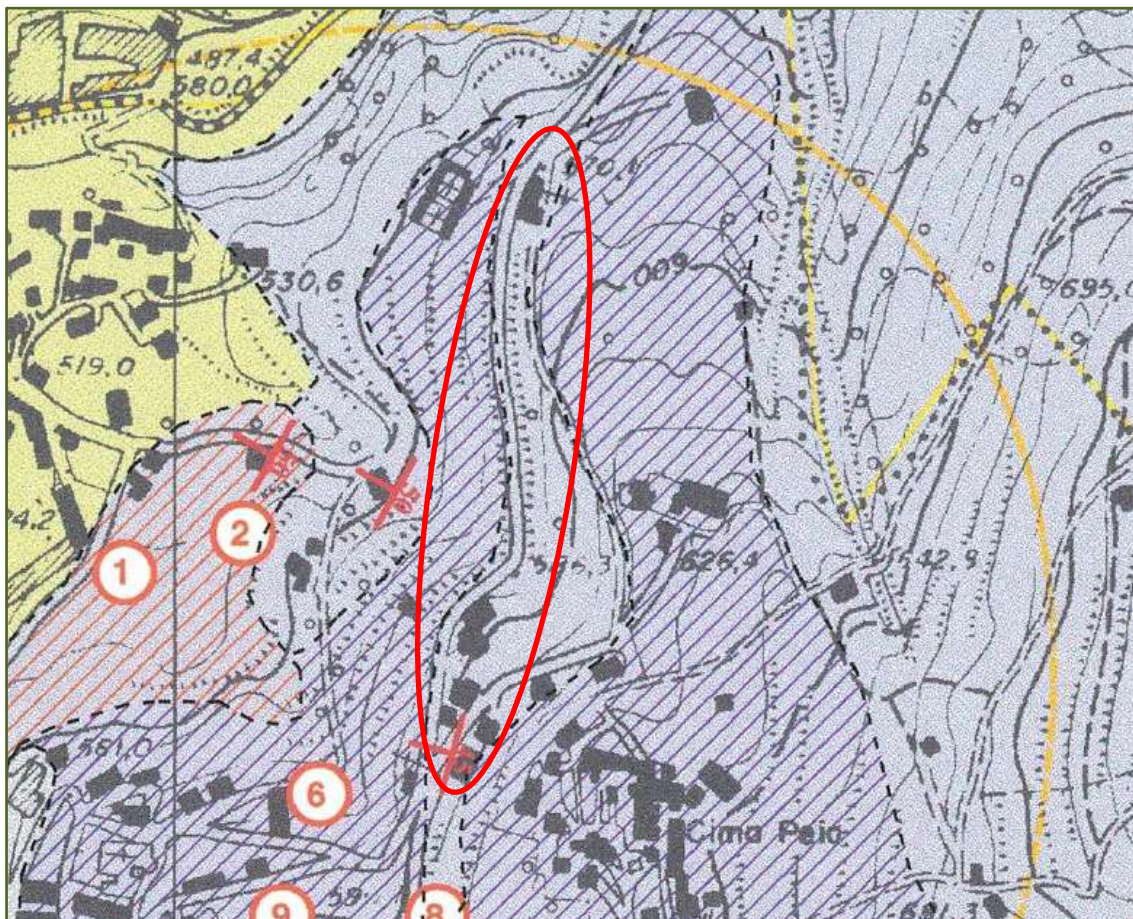


Figura 6 – Stralcio della Carta Geolitologica dello studio geologico comunale
Indicata in rosso l'area di intervento

4.4 Inquadramento idrogeologico e idrografico

Dal punto di vista idrografico, l'area di intervento non è interessata dal passaggio di alcun elemento direttamente interferente con le opere di progetto, almeno per quanto concerne la vincolistica derivante dal Reticolo Idrico Minore. Occorre tuttavia precisare che l'avvallamento intersecante la strada grossomodo al centro dell'intervento, pur non presentando caratteri di corso d'acqua vero e proprio, può occasionalmente fungere da elemento di raccolta e deflusso delle acque superficiali, soprattutto a partire dalla strada in giù; prova ne è il fatto che, laddove il compluvio interseca la sottostante strada di servizio del cimitero (costruita alcuni anni or sono e quindi molto più recente rispetto alla



Via Santa Elisabetta), è stato realizzato un tombotto di dimensione piuttosto generosa per garantire il passaggio dell'acqua. Il compluvio va poi perdendo identità verso valle (nella zona di Via Cà Bettera), dove tende a spagliare nei prati senza peraltro alcuna incisione d'alveo. Dal punto di vista idrogeologico, la zona è posta, secondo la Carta Idrogeologica dello studio geologico comunale, entro *terreni e rocce con permeabilità medio-bassa*. Di fatto, la fratturazione del substrato può garantire un minimo di permeabilità. Occasionalmente potrebbero inoltre manifestarsi venute d'acqua al contatto tra coltre e substrato, o in fratture del substrato stesso, in forma comunque effimera, locale e discontinua. Il sito di intervento non interferisce con aree di salvaguardia di captazioni pubbliche idropotabili (D.Lgs. 152/2006 art. 94), secondo i dati disponibili nello studio geologico del P.G.T. vigente. Non vi sono, in definitiva, elementi di carattere idrologico e idrogeologico tali da suscitare particolari preoccupazioni in relazione all'entità ed alla natura delle opere.

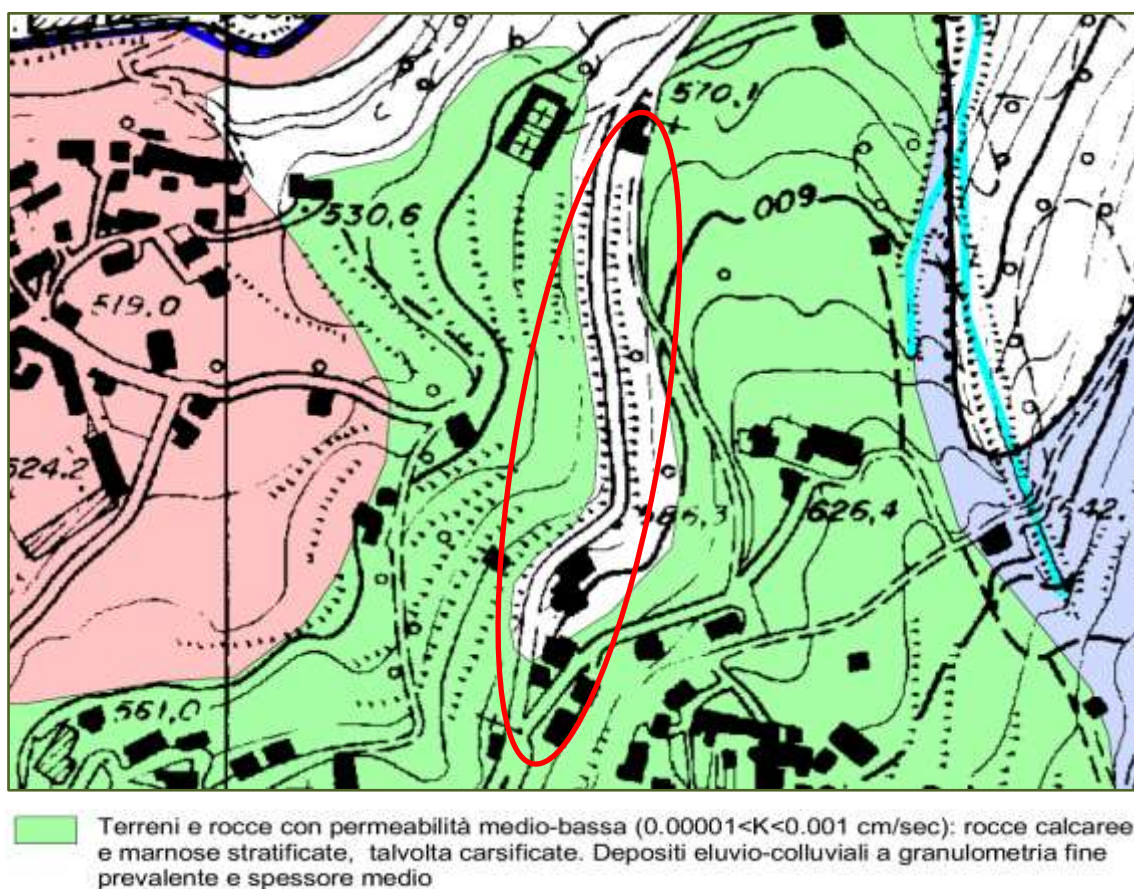


Figura 7 – Stralcio della Carta Idrogeologica dello studio geologico comunale
Indicata in rosso l'area di intervento



5. VINCOLI E DISPOSIZIONI DEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE

5.1 Compatibilità con lo studio geologico comunale

Ai fini di verificare la compatibilità geologica dell'opera con il territorio, nonché l'eventuale presenza di vincoli o limitazioni, sono stati consultati gli elaborati dello studio geologico comunale disponibili, ed in particolare:

- Carta dei Vincoli (che riporta anche gli elementi della Carta del Dissesto P.A.I.)
- Carta di Sintesi
- Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano
- Norme Geologiche di Piano

Per quanto concerne la Carta dei Vincoli, non si registrano perimetrazioni direttamente interferenti.

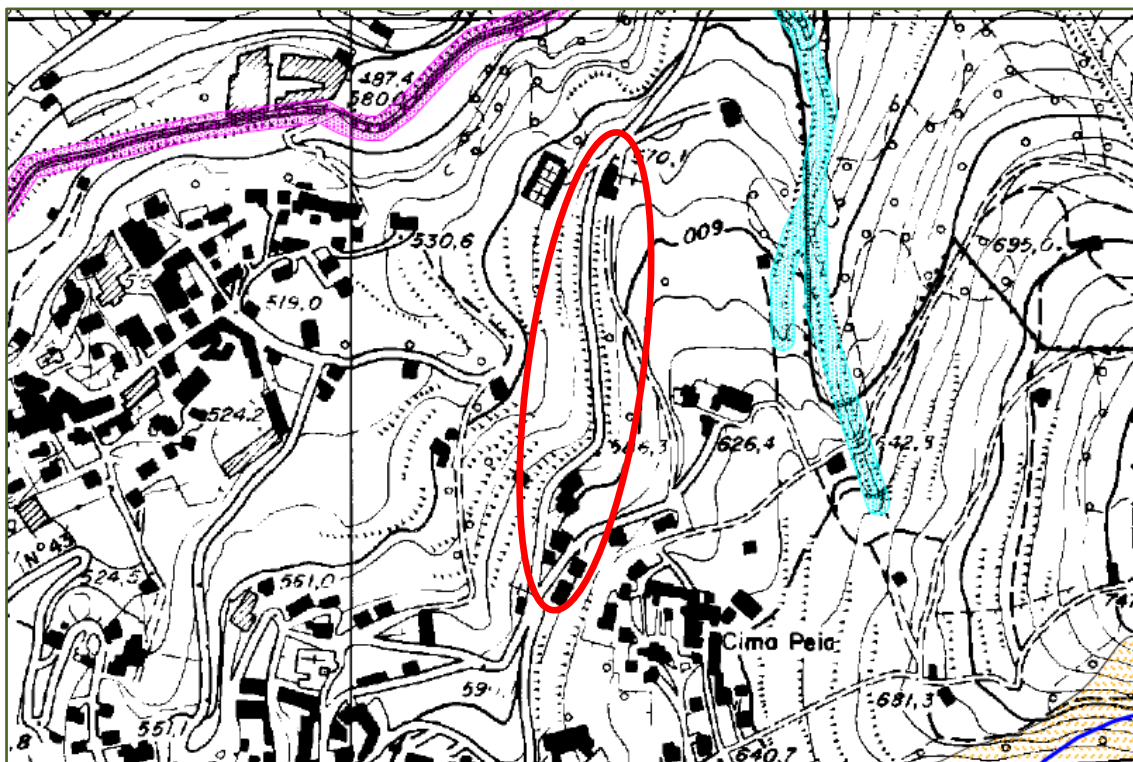
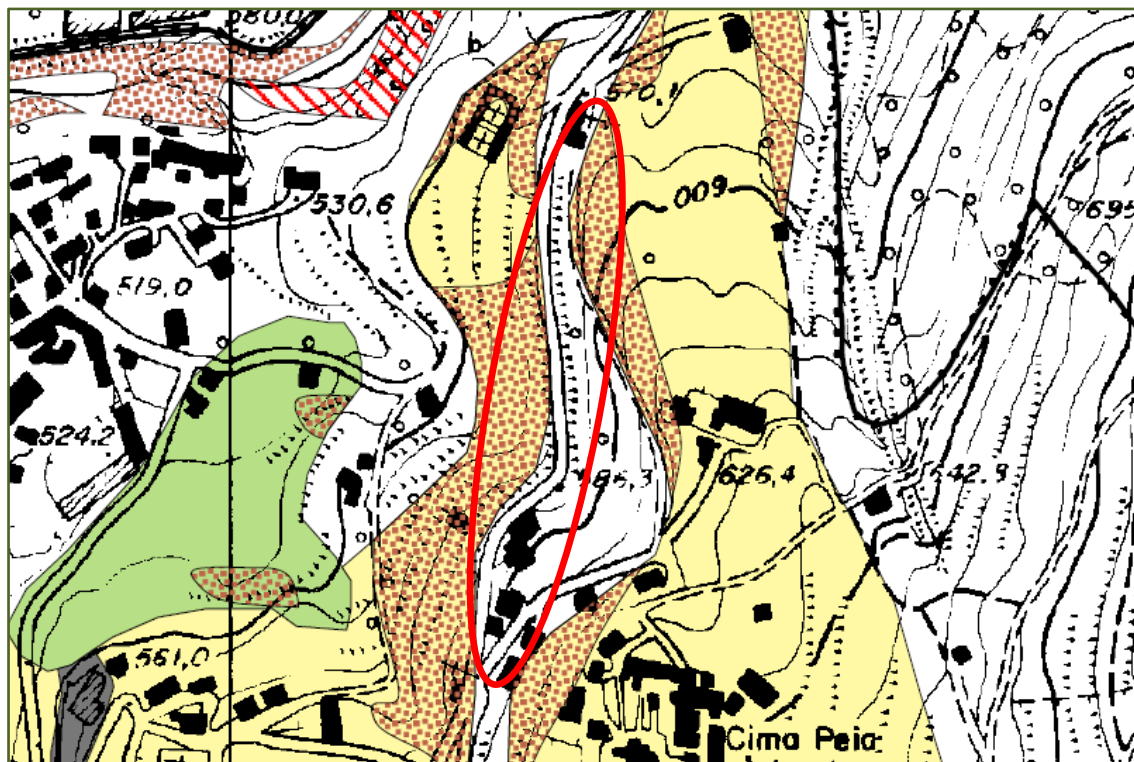



Figura 8 – Stralcio della Carta dei Vincoli dello studio geologico comunale
Indicata in rosso l'area di intervento

La Carta di Sintesi suddivide il territorio comunale in base a diversi ambiti di criticità geologica. L'area è ricompresa all'interno di aree con *instabilità potenziale interessante*



coperture con acclività superiore ai 20° e su depositi eluvio colluviali con spessori indicativamente tra 2 e 5 metri.

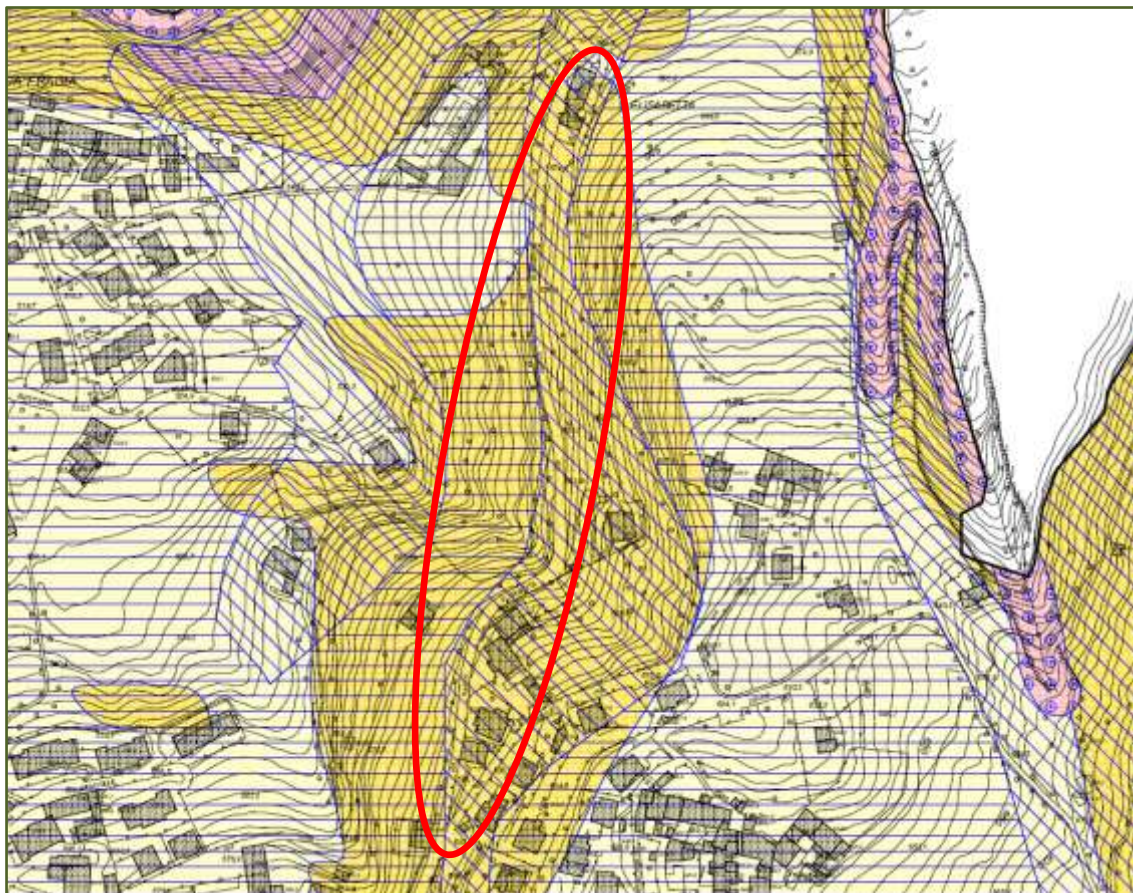


 Instabilità potenziale interessante coperture con acclività superiore ai 20°

 Depositi eluvio colluviali con spessori indicativamente tra 2 e 5 metri

Figura 9 – Stralcio della Carta di Sintesi dello studio geologico comunale
Indicata in rosso l'area di intervento

La Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano discende direttamente dalla Carta di Sintesi. L'area è ricompresa entro la classe 3: “*Fattibilità con consistenti limitazioni*” con problematiche di tipo geotecnico e legate all'instabilità dei versanti.



AREE DI FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI

- 3** La classe comprende zone in cui sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazioni d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate. Per l'utilizzo di queste aree è necessario realizzare approfondimenti di carattere geotecnico e/o idrogeologico, indicando le specifiche costruttive degli interventi edificatori e gli eventuali approfondimenti per la mitigazione del rischio.

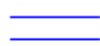

-  possibile concomitanza di problematiche geotecniche / stabilità versanti
-  pericolosità dal punto di vista della stabilità dei versanti

Figura 10 – Stralcio della Carta della Fattibilità delle Azioni di Piano dello studio geologico comunale. Indicata in rosso l'area di intervento

Le Norme Geologiche di Piano della classe di fattibilità “3”, definite nello studio geologico del P.G.T., dispongono quanto segue.



4.2.3 Classe 3 (arancione) – Fattibilità con consistenti limitazioni

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità / vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

Le nuove costruzioni o gli interventi di ristrutturazione edilizia, sono subordinati alla redazione di una relazione geologica redatta ai sensi delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui alla normativa nazionale vigente. Tale relazione dovrà evidenziare tutte le possibili interferenze tra l'assetto geolitologico, strutturale, idrogeologico e della dinamica geomorfologica con l'opera di progetto, come pure fornire indicazioni relative agli eventuali interventi di mitigazione o di difesa delle problematiche evidenziate.

Sono state suddivise nelle sottoclassi riportate ai paragrafi seguenti, in cui le lettere V e IG indicano rispettivamente le problematiche relative alla stabilità dei versanti e quelle relative alle condizioni idrogeologiche.

4.2.3.1 Classe 3/V

In questa classe sono state inserite tendenzialmente tutte le aree con pendenze comprese tra i 20° e i 35° che la carta geolitologica, indica come substrato roccioso affiorante (o più probabilmente subaffiorante) con una giacitura da franappoggio con pendenze superiori a quella del pendio, fino a traverpoggio. Si tratta di un assetto strutturale tutto sommato favorevole dal punto di vista della stabilità dei versanti, che fa ritenere poco probabili instabilizzazioni di dimensioni tali da coinvolgere porzioni considerevoli di substrato roccioso. Eventuali interventi che dovessero interferire con quest'ultimo, (es. scavi di sbancamento nel substrato roccioso, o interventi a ridosso di pareti particolarmente acclivi e delle relative aree di risentimento, già inserite in classe 4), dovranno essere oggetto di studi specifici di approfondimento. Tali studi dovranno da una parte mirare all'accertamento dell'assetto strutturale locale dell'ammasso roccioso, nell'ottica della valutazione delle condizioni di stabilità locale, e dall'altro valutare il ricorso ad idonee opere di difesa e/o di mitigazione delle condizioni di rischio riconosciute.



Per contro, poiché localmente sono sicuramente presenti spessori non trascurabili di depositi superficiali, di natura eluvio-colluviale o anche detritica, si ritiene che debbano essere effettuati comunque approfondimenti mirati all'accertamento degli spessori e delle condizioni di stabilità delle coperture presenti, soprattutto se in prossimità di impluvi, anche se di modesta estensione, che possano costituire zone di scorrimento preferenziale delle acque non incanalate, che potrebbero innescare erosioni superficiali in grado di evolvere verso instabilità più o meno pronunciate.

La presente relazione è aderente alle disposizioni normative riportate. Si rammenta peraltro che l'opera è di carattere pubblico.

5.2 Compatibilità con gli strumenti della pianificazione sovraordinata

Oltre che con gli strumenti pianificatori di livello comunale, è necessario verificare la compatibilità degli interventi con alcuni strumenti della pianificazione sovracomunale di interesse geologico, ed in particolare:

- il Quadro del Dissesto P.A.I. aggiornato;
- le Fasce Fluviali del P.A.I. (non presenti in questo caso);
- la Direttiva Alluvioni (o Piano di Gestione del Rischio Alluvioni revisione 2022).

Dalla disamina eseguita, emerge che il sito d'intervento non interferisce con perimetrazioni del P.A.I. (dissesti e fasce fluviali), né del P.G.R.A.



6. INDAGINE GEOGNOSTICA

6.1 Premessa

Al fine di procedere con la definizione del modello geologico e geotecnico del sottosuolo interessato dall'intervento, oltre alla documentazione bibliografica disponibile, sono state utilizzate le risultanze dell'indagine geognostica appositamente predisposta. In particolare, sono stati eseguiti:

- n. 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo;
- n. 13 prove penetrometriche dinamiche eseguite mediante mezzo superpesante DPSH;
- n. 3 linee di sismica a rifrazione;
- n. 1 sismica passiva a stazione singola con tecnica H/V;
- rilevamento geomeccanico di ammassi rocciosi.

La posizione indicativa delle prove penetrometriche è visibile nell'immagine proposta a seguire. Per la posizione delle indagini sismiche si veda il capitolo relativo.



Figura 11 – Ubicazione delle indagini geognostiche in relazione all'opera di progetto (S1: sondaggio; P1-P13: prove penetrometriche dinamiche)



Le indagini hanno consentito di:

- ricostruire la stratigrafia dei terreni attraversati;
- attribuire a ciascun livello di terreno riconosciuto i principali parametri geotecnici, calibrati sulla base dello specifico contesto litotecnico e sulla scorta dell'interpretazione stratigrafico - geotecnica dei dati forniti dalle prove in sito (valori medi di N_{SPT}).

6.2 Sondaggio meccanico a carotaggio continuo

Il sondaggio eseguito il giorno 13 gennaio 2022 è stato realizzato a rotazione con carotaggio continuo e spinto alla profondità di 11 m dal p.c.; a tal fine è stato utilizzato un tubo di rivestimento (127 mm) per stabilizzare le pareti del foro e, in testa alle aste di perforazione, è stato installato l'apposito carotiere per il prelievo dei campioni di terreno (carote) da 101 mm, così da consentire la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo.



Figura 12 – Esecuzione del sondaggio S1

Di seguito si riportano le fotografie delle cassette catalogatrici e la ricostruzione stratigrafica eseguita.



Figura 13 – Sondaggio S1, cassetta 1 (0-5 m)



Figura 14 – Sondaggio S1, cassetta 2 (5-10 m)



Figura 15 – Sondaggio S1, cassetta 3 (10-15 m)

All'interno del sondaggio sono state eseguite prove S.P.T. in foro, di seguito riassunte:

PROVA	QUOTA DA P.C.	N1	N2	N3	N _{SPT}
S1_SPT1	1,00 m	2	2	3	5
S1_SPT2	2,00 m	3	7	9	16
S1_SPT3	3,00 m	10	8	12	20
S1_SPT4	4,00 m	8	10	9	19
S1_SPT5	5,00 m	6	10	8	18

Tabella 1 – Risultati delle prove S.P.T. in foro

6.3 Prove penetrometriche dinamiche

Le prove penetrometriche sono state eseguite secondo gli standard previsti dalle raccomandazioni A.G.I. e secondo la normativa internazionale I.S.S.M.F.E. del 1977, con l'utilizzo di penetrometro superpesante avente le caratteristiche tecniche indicate a seguire:



PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

Peso massa battente	73 kg
Volata	0,75 m
Diametro punta conica	51 mm
Area base punta conica	20,43 cm ²
Angolo apertura punta conica	60°
Lunghezza delle aste	0,90 m
Peso aste per metro	6,31 kg
Profondità giunzione 1° metro	0,30 m
Avanzamento punta	0,30 m
Numero di colpi punta	N = N(30)
Rivestimento	No
Energia specifica per colpo	8,93 kg/cm ²
Coefficiente di correlazione N_{SPT}	1,134

Tabella 2 – Caratteristiche del penetrometro utilizzato

Le prove penetrometriche hanno raggiunto le seguenti profondità:

PROVA PENETROMETRICA	PROFONDITÀ RAGGIUNTA DAL PIANO STRADALE
P1	2,70 m
P2	3,00 m
P3	3,00 m
P4	3,30 m
P5	4,20 m
P6	2,70 m
P7	3,00 m
P8	1,50 m
P9	2,70 m
P10	2,40 m
P11	3,90 m
P12	2,70 m
P13	5,10 m

Tabella 3 – Profondità raggiunte dalle prove penetrometriche



Durante l'esecuzione delle penetrometrie non è stata riscontrata la presenza di acqua. I tabulati ottenuti sono sostanzialmente raffrontabili, pur raggiungendo profondità variabili, ma nel complesso piuttosto contenute. Fatta eccezione per le prove P8 e P13, leggermente differenti dalle altre, si delinea un orizzonte litotecnico superficiale a basso addensamento, riconducibile a materiale di riporto/rimaneggiato e/o a terreni sciolti (alterite e/o colluvi), a cui segue un orizzonte litotecnico resistente, riconducibile al substrato roccioso, con un sottile livello regolitico, non sempre presente. In corrispondenza della prova P13, quella eseguita in prossimità della chiesa di Santa Elisabetta, la stratigrafia è leggermente diversa, con una profondità del substrato un poco superiore (circa 5 m) e una coltre superficiale mediamente più addensata.



PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA





Figure 16 – Esecuzione delle penetrometrie



PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

PROVA P1

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P1
Strumento utilizzato... PENETROMETRO SGB (TG 73-100L)

Committente: Comune di Peia
Descrizione: Allargamento Via Santa Elisabetta
Località: Peia

11-01-2022

Scala 1:50



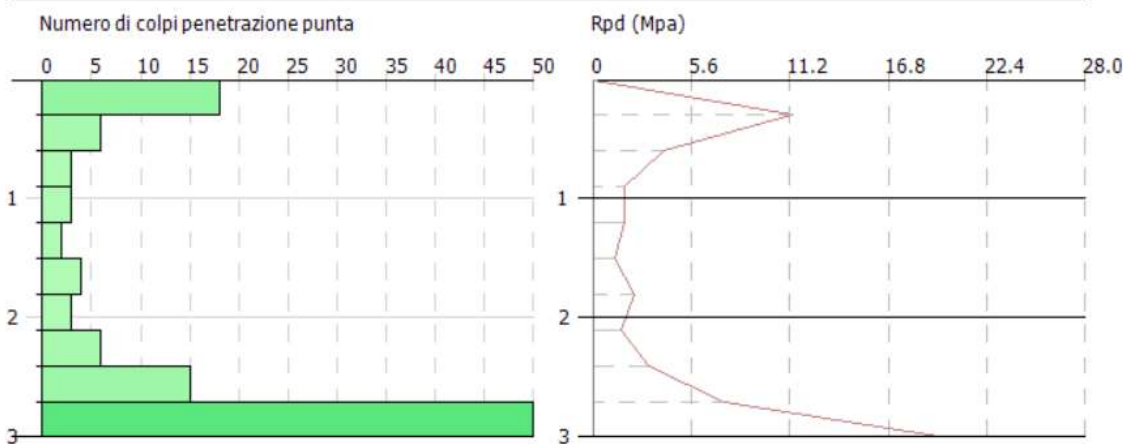
PROVA P2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P2
Strumento utilizzato... PENETROMETRO SGB (TG 73-100L)

Committente: Comune di Peia
Descrizione: Allargamento Via Santa Elisabetta
Località: Peia

11-01-2022

Scala 1:50





PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

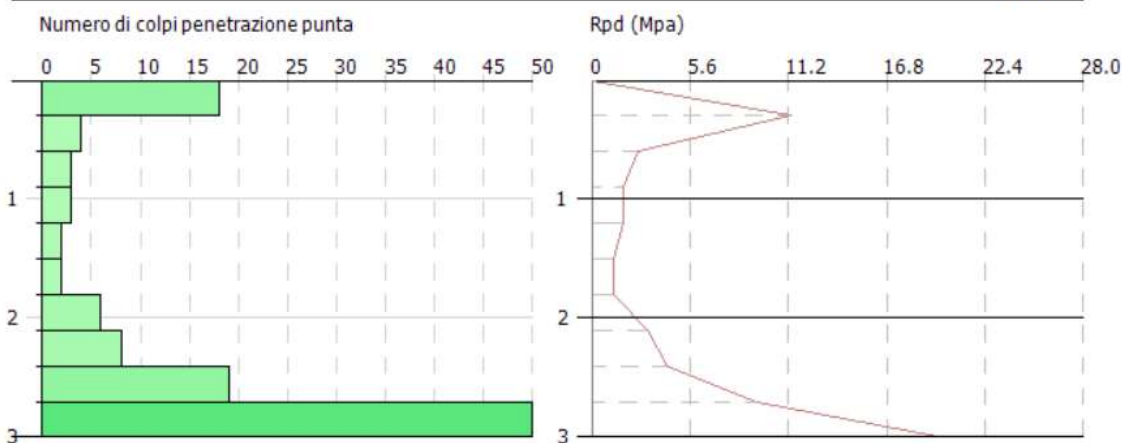
PROVA P3

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P3
Strumento utilizzato... PENETROMETRO SGB (TG 73-100L)

Committente: Comune di Peia
Descrizione: Allargamento Via Santa Elisabetta
Località: Peia

11-01-2022

Scala 1:50



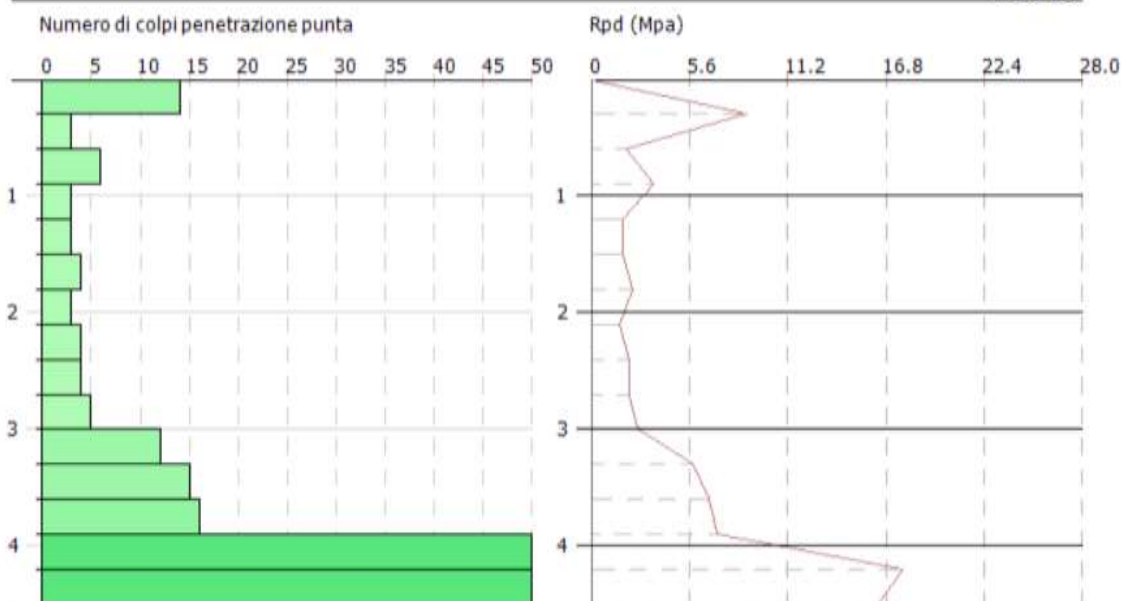
PROVA P4

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P5
Strumento utilizzato... PENETROMETRO SGB (TG 73-100L)

Committente: Comune di Peia
Descrizione: Allargamento Via Santa Elisabetta
Località: Peia

11-01-2022

Scala 1:50





PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

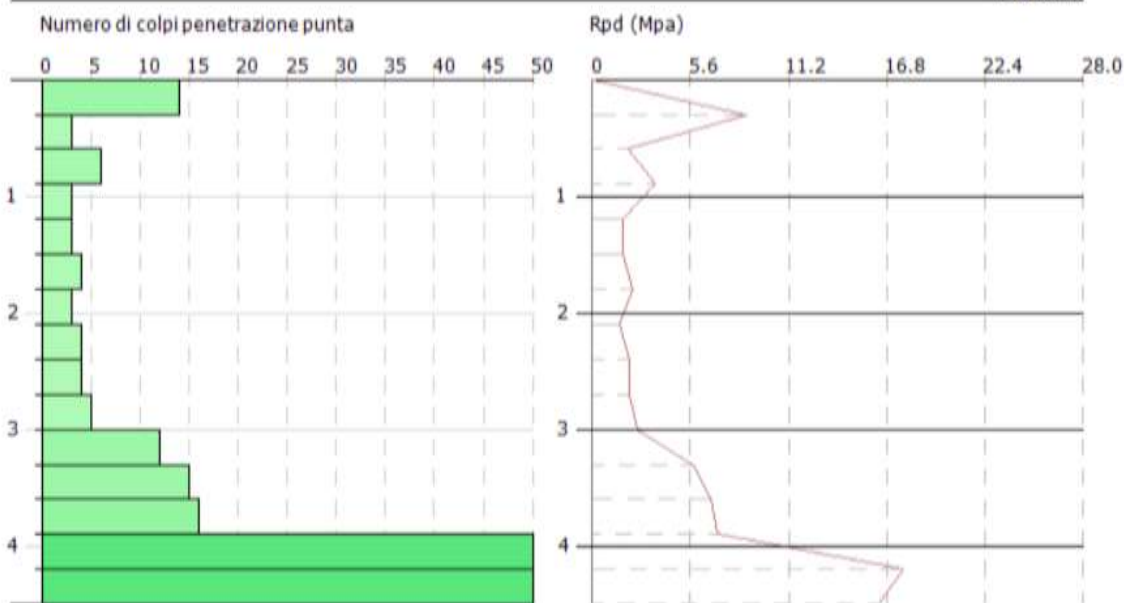
PROVA P5

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P5
Strumento utilizzato... PENETROMETRO SGB (TG 73-100L)

Committente: Comune di Peia
Descrizione: Allargamento Via Santa Elisabetta
Località: Peia

11-01-2022

Scala 1:50



PROVA P6

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P6
Strumento utilizzato... PENETROMETRO SGB (TG 73-100L)

Committente: Comune di Peia
Descrizione: Allargamento Via Santa Elisabetta
Località: Peia

11-01-2022

Scala 1:50





PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

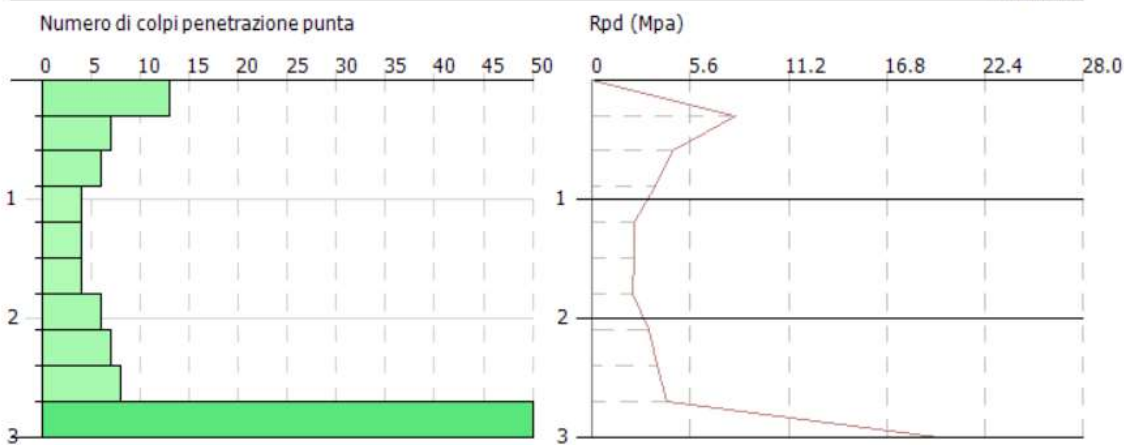
PROVA P7

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P7
Strumento utilizzato... PENETROMETRO SGB (TG 73-100L)

Committente: Comune di Peia
Descrizione: Allargamento Via Santa Elisabetta
Località: Peia

11-01-2022

Scala 1:50



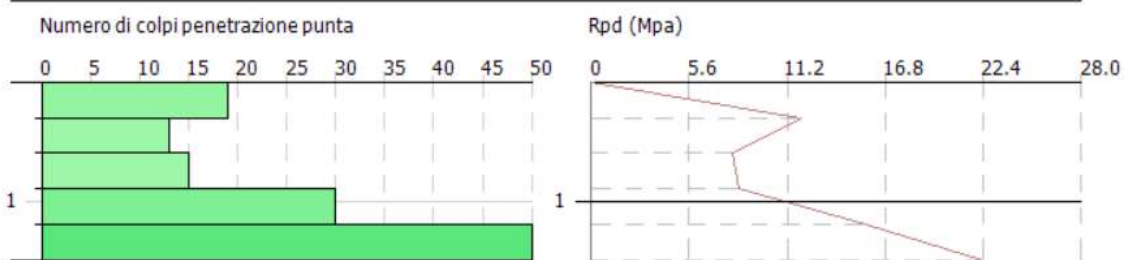
PROVA P8

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P8
Strumento utilizzato... PENETROMETRO SGB (TG 73-100L)

Committente: Comune di Peia
Descrizione: Allargamento Via Santa Elisabetta
Località: Peia

11-01-2022

Scala 1:50





PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

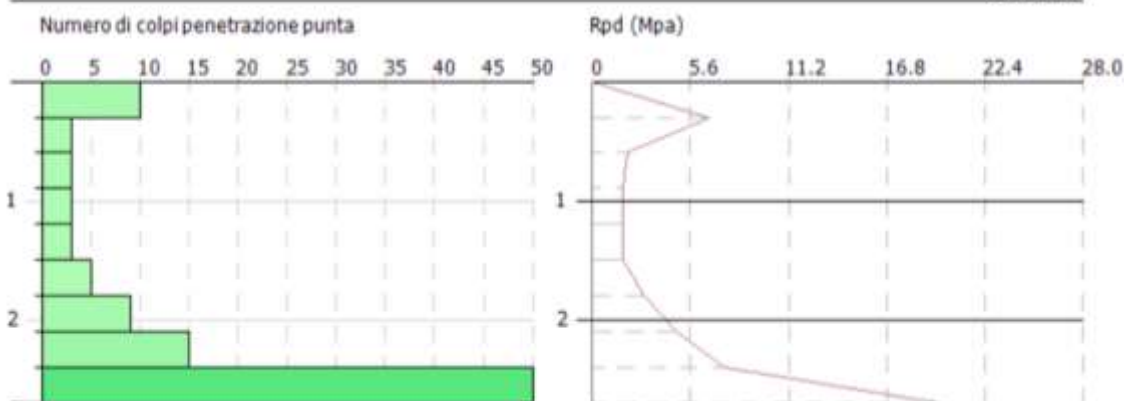
PROVA P9

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P9
Strumento utilizzato... PENETROMETRO SGB (TG 73-100L)

Committente: Comune di Peia
Descrizione: Allargamento Via Santa Elisabetta
Località: Peia

11-01-2022

Scala 1:50



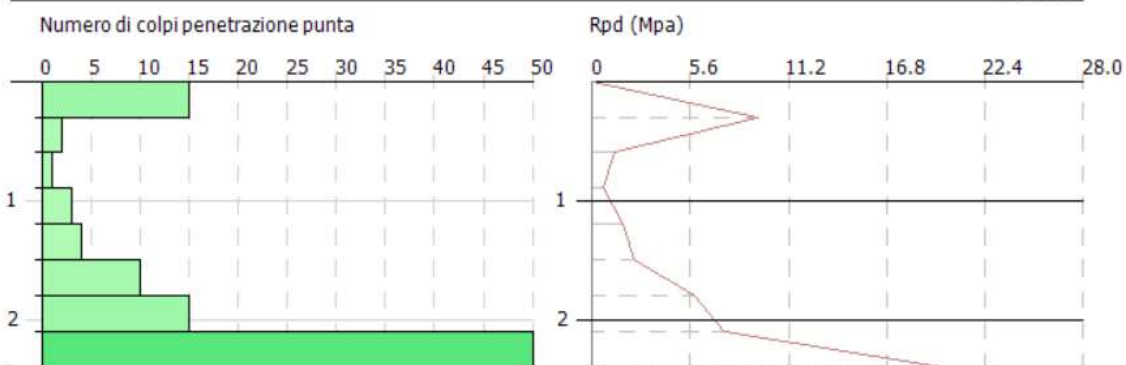
PROVA P10

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P10
Strumento utilizzato... PENETROMETRO SGB (TG 73-100L)

Committente: Comune di Peia
Descrizione: Allargamento Via Santa Elisabetta
Località: Peia

11-01-2022

Scala 1:50





PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

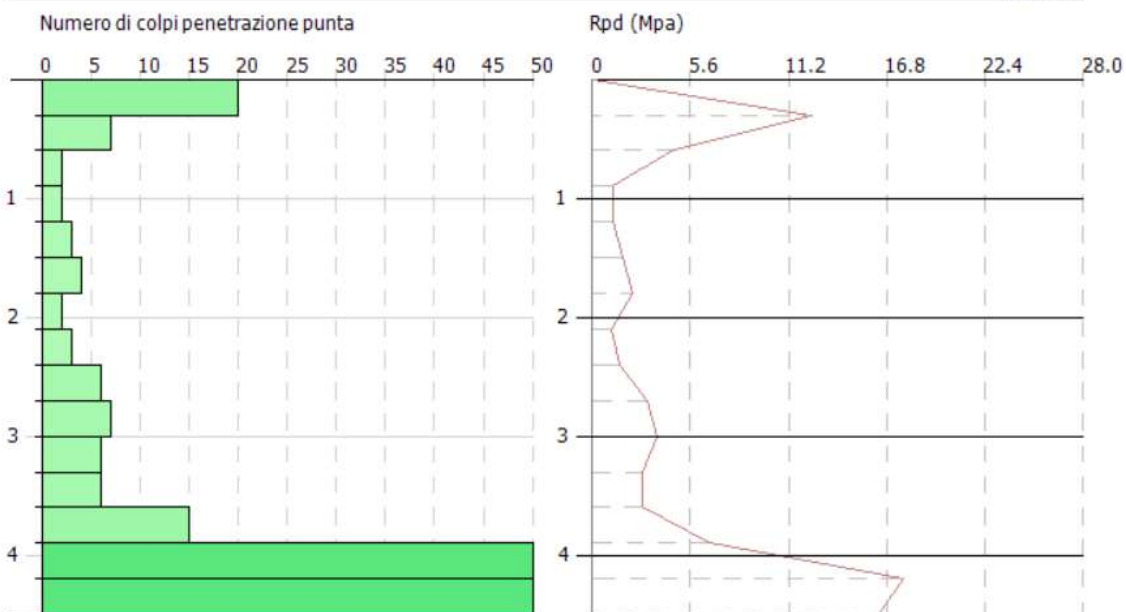
PROVA P11

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P11
Strumento utilizzato... PENETROMETRO SGB (TG 73-100L)

Committente: Comune di Peia
Descrizione: Allargamento Via Santa Elisabetta
Località: Peia

11-01-2022

Scala 1:50



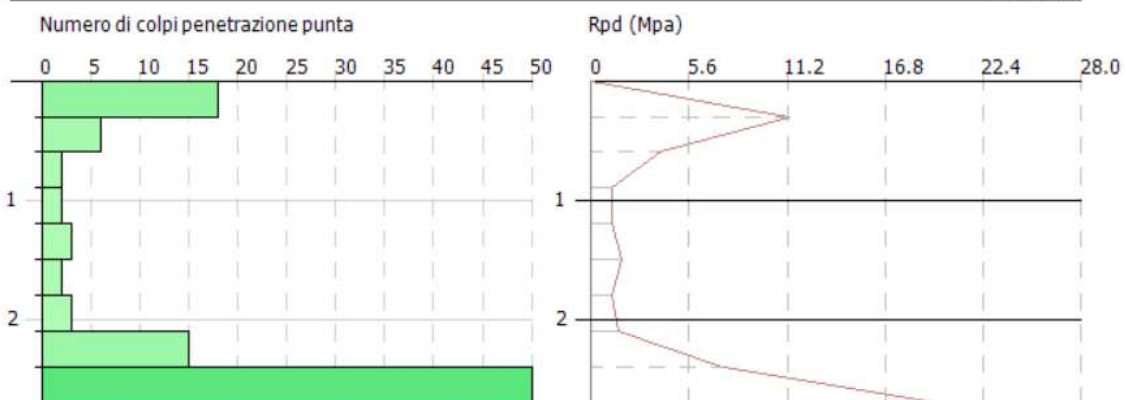
PROVA P12

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P12
Strumento utilizzato... PENETROMETRO SGB (TG 73-100L)

Committente: Comune di Peia
Descrizione: Allargamento Via Santa Elisabetta
Località: Peia

11-01-2022

Scala 1:50





PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

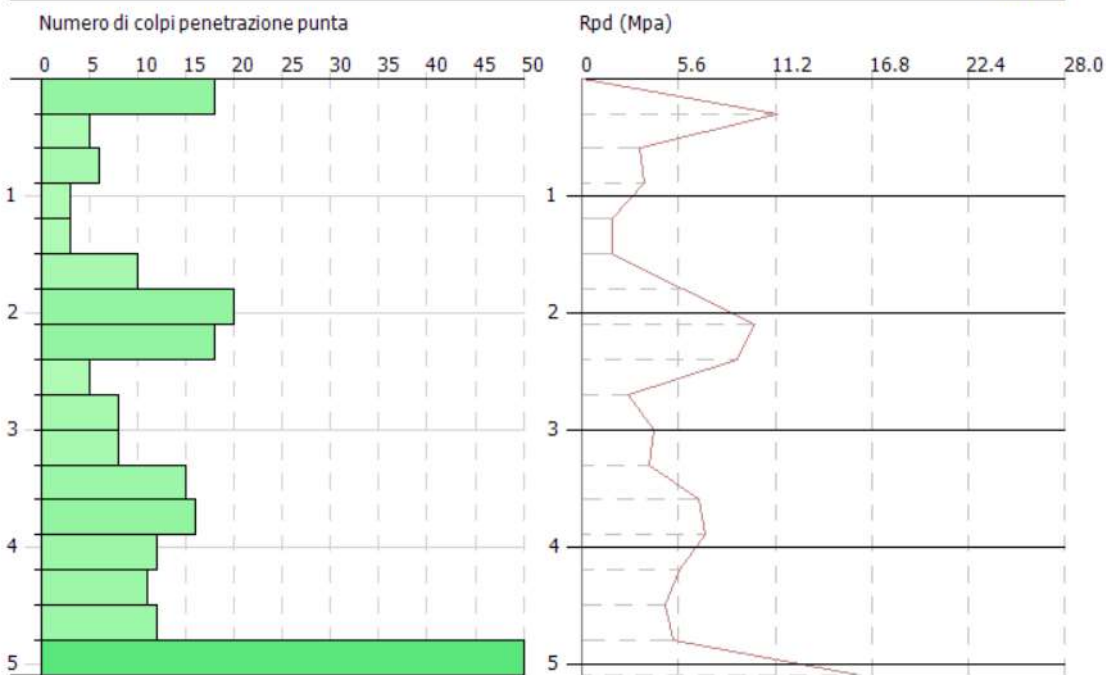
PROVA P13

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P13
Strumento utilizzato... PENETROMETRO SGB (TG 73-100L)

Committente: Comune di Peia
Descrizione: Allargamento Via Santa Elisabetta
Località: Peia

11-01-2022

Scala 1:50





6.4 Evidenze di affioramento nei dintorni del sito

La Via Santa Elisabetta mostra frequenti affioramenti di substrato roccioso. Affioramenti sono visibili presso la cappella degli Alpini all'incrocio con Via Croce Ina (dietro "I Canù"), in corrispondenza della cabina tecnica, diffusamente e nei pressi della Chiesa di Santa Elisabetta, sul pendio a monte e (in tono minore) sul pendio a valle della strada. Gli ammassi appaiono ben stratificati e intensamente carsificati, e sono inequivocabilmente ascrivibili al Calcare di Zorzino.



Figura 17 - Affioramento di substrato roccioso nel bosco appena a valle della strada

6.5 Rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio

Gli esiti del rilevamento sono riassunti nella cartografia di cui alle pagine seguenti. In sintesi, il rilevamento ha permesso di:

- escludere la presenza, sul pendio a valle della strada, di movimenti franosi attivi;
- identificare l'avvallamento posto grossomodo a metà della strada come un'ampia nicchia di paleofrana, occasionalmente soggetta a deflusso idrico superficiale pur se non inserita nel Reticolo Idrico Minore;



- individuare la presenza di affioramenti di substrato roccioso anche sul pendio a valle della strada;
- individuare la presenza, nella zona boscata a valle della strada, di numerosi terrazzamenti agricoli abbandonati, che fungono in qualche modo da elementi di stabilizzazione;
- escludere la presenza di sorgenti o venute d'acqua significative interferenti con l'opera d progetto.



Figura 18 - Affioramento di roccia lungo la Via Santa Elisabetta



Figura 19 - Nicchia della paleofrana vista dal basso



Figura 20 - Pendio boscato terrazzato a valle della strada



Figura 21 - Pendio prativo compreso tra la Via Santa Elisabetta (in alto)
e la via di servizio del cimitero



Figura 22 - La zona della paleofrana



Figura 23 - Pendii prativi uniformi nella parte iniziale della strada



PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

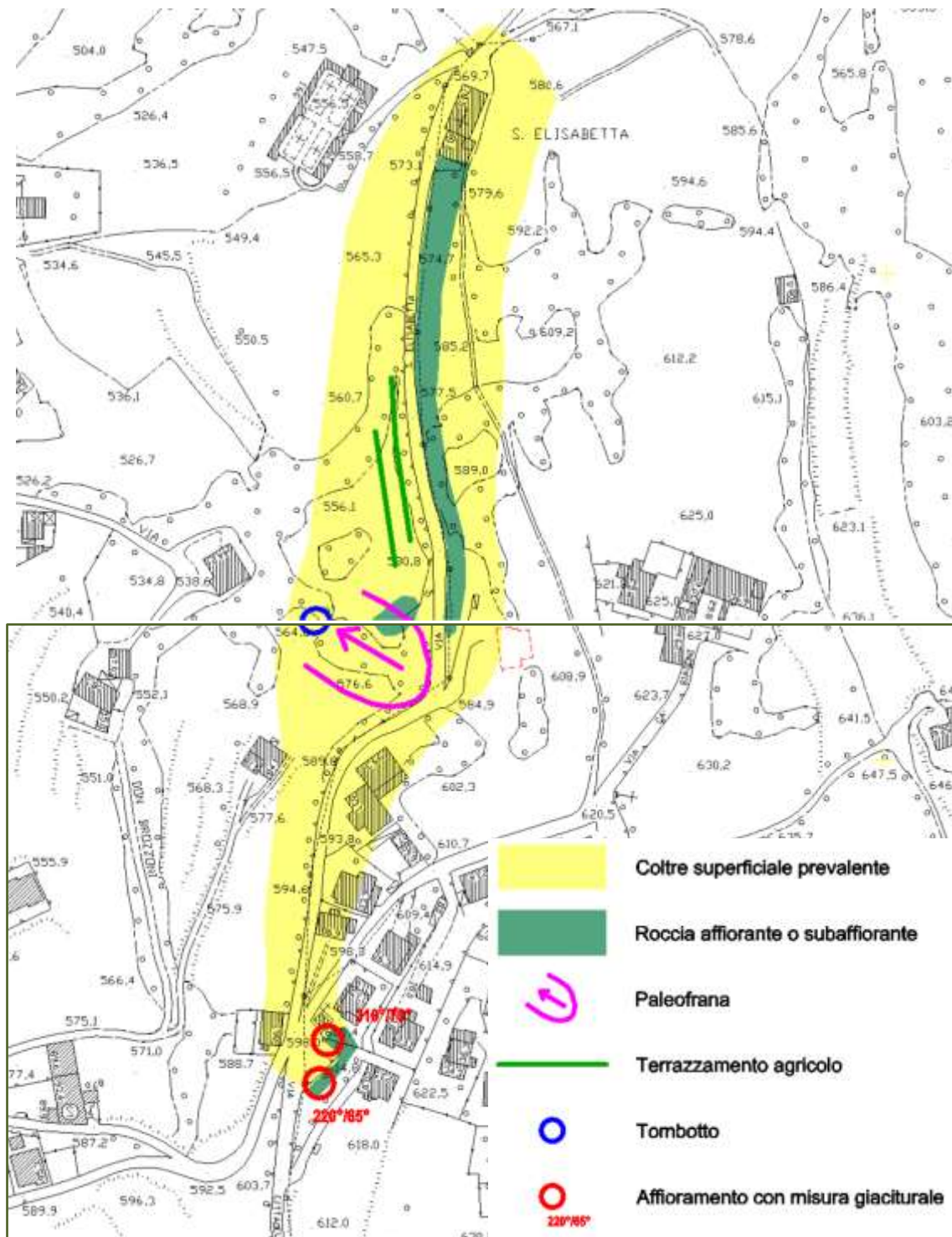


Figura 24 - Rilevamento geologico di dettaglio



7. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA

Sulla scorta delle informazioni desunte dalla consultazione della documentazione tecnica disponibile, è possibile procedere alla caratterizzazione e modellazione geologica (par. 6.2.1 delle N.T.C. 2018), dell'ambito significativo, in relazione al tipo di opera ed al contesto geologico in cui l'opera stessa si colloca.

7.1 Modello geologico di riferimento

Dal punto di vista geomorfologico l'area di progetto è posta in zona collinare a moderata acclività. Il contesto geomorfologico è dominato primariamente da processi legati alla dinamica di versante, carsici e delle acque superficiali.

I caratteri litologici salienti sono riconducibili alla presenza del Calcere di Zorzino, sottostante la coltre superficiale, di modesto spessore.

Dal punto di vista strutturale, non sussistono elementi (faglie, sovrascorrimenti, pieghe) direttamente interferenti con le opere di progetto.

Si ritiene che, al di là di eventuali infiltrazioni discontinue ed occasionali al contatto tra coltre superficiale e roccia, non vi sia falda in senso stretto. Non vi sono interferenze dirette con elementi idrografici, sebbene il compluvio posto circa a metà della Via Santa Elisabetta possa fungere da elemento morfologico di raccolta e convogliamento delle acque superficiali.

In definitiva, i sopralluoghi e le indagini eseguiti, unitamente alle informazioni desunte dalla documentazione tecnica disponibile, non evidenziano particolari pericolosità geologiche interferenti col sito o col suo significativo attorno, in considerazione dell'entità e della natura pubblica delle opere.

I caratteri stratigrafici locali, schematizzati nella tabella proposta a seguire, appaiono ben definibili pur con qualche prevedibile eterogeneità laterale e verticale.



PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

ORIZZONTE	PROFONDITÀ (da piano strada)	LITOLOGIA
R	Da 0 m a 1,00 m circa	Sottofondo stradale Terreni di riporto
A	Da 1,00 m circa a 1,50 m / 3,00 m circa	Limi argillosi con clasti sparsi Coltre di alterazione naturale
B1/B2	Oltre 1,50 m / 3,00 m circa	Regolite e roccia Calcere di Zorzino

Tabella 4 – Caratteri stratigrafici



8. MODELLAZIONE SISMO-STRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO

8.1 Generalità

L'O.P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 ha classificato l'intero territorio nazionale dal punto di vista sismico.

In seguito a delibera della Giunta regionale (10 ottobre 2014 – n. X/2129) è entrata in vigore la nuova classificazione sismica del territorio, la quale ha attribuito al comune di Peia la zona sismica 3.

zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Tabella 5 – Accelerazioni orizzontali in funzione della zona sismica

Con la pubblicazione del D.M. 14 gennaio 2008 si definiscono i criteri definitivi per la classificazione sismica del territorio nazionale in recepimento del Voto n. 36 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 27 luglio 2007 (“Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale”); tali criteri prevedono la valutazione dell'azione sismica non più legata ad una zonazione sismica (“criterio zona dipendente”), ma definita puntualmente al variare del sito e del periodo di ritorno considerati, in termini sia di accelerazione del suolo a_g sia di forma dello spettro di risposta (“criterio sito dipendente”).

L'Allegato A al D.M. 14 gennaio 2008 prevede che l'azione sismica venga valutata in fase di progettazione a partire da una “pericolosità sismica di base” in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.



La suesposta metodologia viene confermata anche nelle N.T.C. 2018, laddove la pericolosità sismica di un determinato sito deve essere descritta con sufficiente dettaglio sia in termini geografici che temporali, fornendo, di conseguenza i risultati:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta (F_0 – valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, TC^* – periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale);
- in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento (reticolo di riferimento) i cui nodi non siano distanti più di 10 km;
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni.

L'azione sismica così individuata deve essere variata in funzione delle modifiche apportate dalle condizioni sito-specifiche (caratteristiche litologiche e morfologiche); le variazioni apportate caratterizzano la risposta sismica locale.

I valori dei parametri a_g , F_0 e TC^* sono consultabili sul sito: <http://esse1.mi.ingv.it/>.

8.2 Indagine geofisica

8.2.1 Premessa

È stata eseguita un'indagine geofisica comprendente n. 3 linee di sismica a rifrazione e n. 1 sismica passiva a stazione singola con tecnica H/V), allo scopo di:

- fornire indicazioni sull'andamento litostratigrafico in funzione della profondità, mediante la tecnica geofisica della sismica a rifrazione e fornire dei parametri di riferimento per vincolare il processo d'inversione relativo alle prove HVSr.
- caratterizzare le zone d'indagine da un punto di vista sismico, stimando, secondo quanto stabilito dalla normativa nazionale (NTC18) e regionale (DGR IX/2616 del 2011), "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio" e successive modifiche, l'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità e, conseguentemente, calcolare la velocità media V_s che caratterizza i terreni a partire dalla superficie sino al bedrock ($V_{s,eq}$), oppure sino alla profondità di 30m (V_{s30}), nei casi in cui il bedrock sia a profondità superiori ai 30 m.

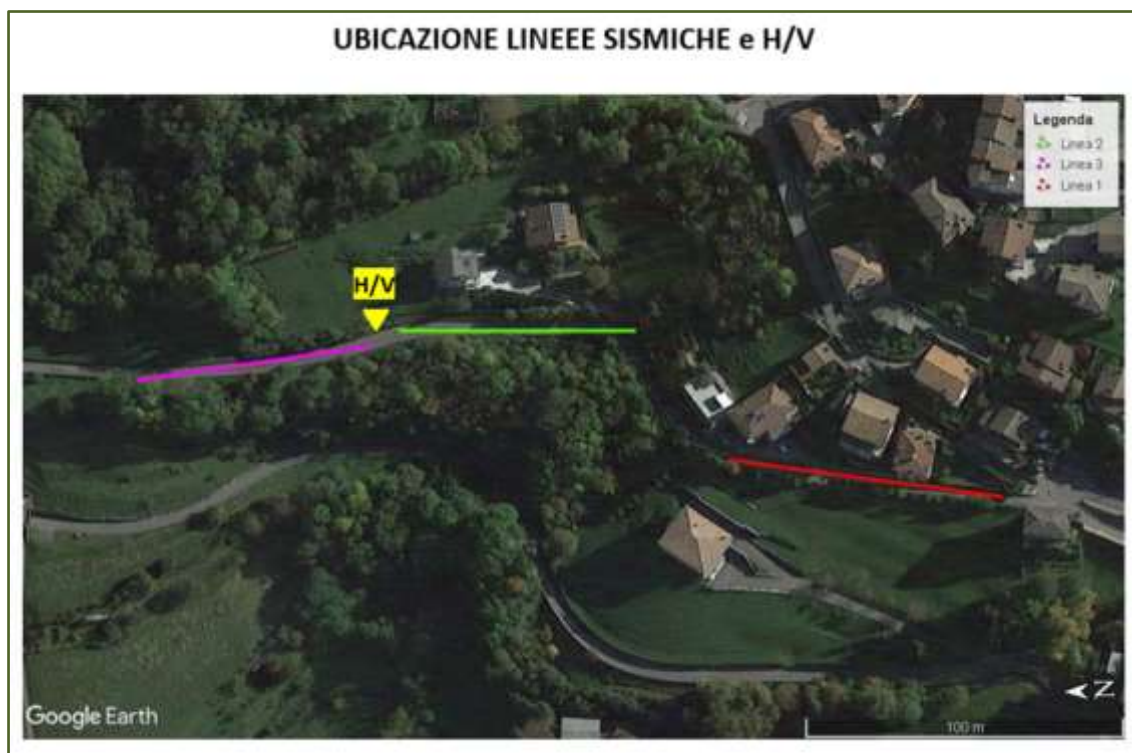


Figura 25 – Posizione degli stendimenti di sismica a rifrazione e dell'indagine H/V

8.2.2 Sismica a rifrazione

Il rilievo sismico a rifrazione è un metodo di indagine basato sulla misura dei tempi di percorso che le onde elastiche (onde P), generate nel terreno in un punto-sorgente, impiegano per raggiungere dei ricevitori (geofoni) disposti sulla superficie del terreno ed allineati con il punto di energizzazione. La distanza tra i geofoni e quella del punto di energizzazione sono scelte in base allo spessore ed ai tipi di materiale che si vogliono indagare. Con i tempi di percorso rilevati mediante i geofoni e le distanze degli stessi dai punti di energizzazione si tracciano dei diagrammi tempi-distanze (dromocrone) che permettono di calcolare sia la velocità di propagazione delle onde di compressione (onde P), sia la profondità e lo spessore dei terreni che sono stati attraversati dalle onde sismiche. L'interpretazione delle dromocrone consente di ricavare delle sezioni sismiche che schematizzano la distribuzione della velocità in funzione della profondità. I principi interpretativi, si basano nell'ipotesi che il sottosuolo sia costituito da un limitato numero di strati piani o poco inclinati rispetto alla superficie topografica, ciascuno caratterizzato da velocità sismica pressoché costante sia in senso verticale che laterale. E' inoltre



necessario che la velocità di ogni strato sia significativamente maggiore di quella dello strato soprastante. Quanto più le condizioni del sottosuolo si discostano dalle assunzioni teoriche, che sono alla base dei principi interpretativi, tanto più il modello geosismico interpretativo presenta delle incertezze sia nella velocità che nelle profondità degli strati sismici. Nella valutazione dei risultati occorre inoltre considerare che l'interpretazione fornisce una stratificazione sismica definita in base alla velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali, la quale non è necessariamente correlabile ad una differenziazione geologica e/o litologica. Conseguentemente deve essere tenuta presente la possibilità che rocce diverse risultino indifferenziate in termini di "velocità sismica" o che vi possa essere una differenziazione di "velocità sismica" all'interno di uno stesso litotipo.

Le indagini sono state eseguite lungo n. 3 profili sismici aventi le seguenti caratteristiche:

Località	n° geofoni	Spaziatura geofonica [m]	Lungh. stendimento [m]
Linea 01	24	3.5	87
Linea 02	24	3	75
Linea 03	24	3	75

Per l'esecuzione delle indagini di sismica a rifrazione sono stati utilizzati 24 geofoni verticali Mark da 4.5Hz, corredati da un acquisitore sismico ad elevata dinamica (Geode-Geometrics) con risoluzione a 24 bit e 24 canali. L'energizzazione è stata effettuata mediante un maglio ed è stato adottato lo schema a 9 punti di energizzazione, di cui 7 interni e 2 esterni allo stendimento. I dati sono registrati in formato internazionale SEG-2.

L'elaborazione dei dati è stata eseguita con l'ausilio del software Dw-Tomo della Geogiga, adottando la tecnica di elaborazione tomografica del segnale.

Nella prima fase è stata inserita la geometria degli stendimenti partendo dal rilievo topografico tridimensionale delle stazioni geofoniche. Di seguito sono stati analizzati i segnali registrati per ogni singolo punto di energizzazione; in generale i segnali sono risultati attendibili e di buona qualità, solo per alcuni di essi è stato necessario procedere



con operazioni di filtraggio per limitare la componente di rumore presente in alcuni ricevitori.

Si è proceduto quindi alla lettura dei tempi di primo arrivo dei segnali e alla creazione dei grafici tempi – distanze (dromocrone). Per ogni insieme di dromocrone appartenenti ad ogni singolo stendimento si è proceduto all'assegnazione degli strati, alla verifica dei tempi reciproci per strato, a garanzia della corretta assegnazione e alla determinazione dei tempi di intercetta.

Una volta calcolato ed ottenuto il modello di partenza, questo viene utilizzato per le fasi relative all'elaborazione tomografica come di seguito descritto.

La tecnica di Refraction Tomography (con inversione per tracciamento di raggi) consiste in una divisione del sottosuolo in celle alle quali viene assegnato un valore iniziale di velocità ed al tracciamento di raggi che uniscono ciascuno shot con le stazioni di ascolto secondo traiettorie curvilinee.

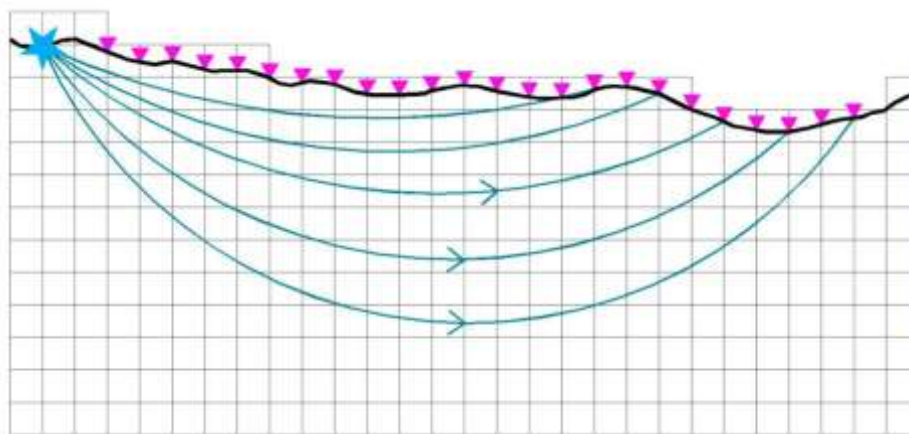


Figura A: Tracciamento dei raggi attraverso il sottosuolo.

Per ogni raggio viene calcolato, in funzione della velocità delle celle, il tempo impiegato per il percorso. Il tempo di attraversamento di una cella è dato dalla (1):

$$T_j = d_j * s_j \quad (1)$$

dove s_j (slowness) è pari a:

$$s_j = 1 / V_j = \text{slowness} \quad (2)$$

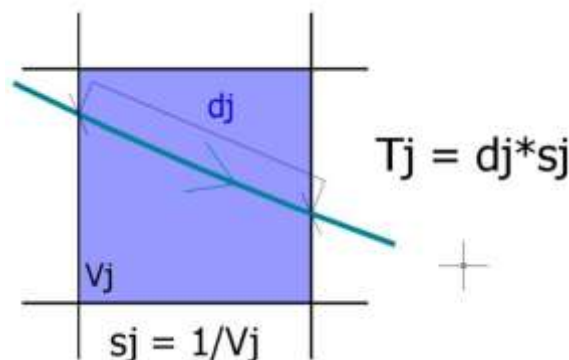


Figura B: componente i ritardo di una singola cella

Il tempo totale di percorso di un raggio è dato dalla (3):

$$T_j = \sum_{j=1}^n T_j = \sum_{j=1}^n s_j * d_j \quad (3)$$

Considerando tutti i raggi ed i relativi percorsi risulta possibile costruire un sistema di equazioni lineari che, in forma matriciale, è del tipo $T = sA$. Tra le varie tecniche di soluzione di questo tipo di equazione è molto diffuso (anche nel caso in esame) l'impiego dell'algoritmo SIRT (Simultaneous Reconstruction Technique) che risolve iterativamente le equazioni nell'incognita s ponendo a zero la differenza tra tempi calcolati dal modello (T_{calc}) e tempi osservati (T_{obs}).

La rapidità nella convergenza alla soluzione dipende dalla qualità delle misure e dalla complessità del sottosuolo. La qualità di convergenza si stima mediante l'errore RMS tra tempi misurati e tempi calcolati.

Altre scelte di inversione riguardano il tipo di raggi utilizzati per il tracciamento, possono essere infatti impostati raggi del tipo diving a traiettorie curvilinea, che determinano un modello più transizionale (smooth), oppure raggi rifratti (da head waves) che determinano un modello a transizioni vertico-laterali di velocità più brusche.

L'indagine di sismica a rifrazione oltre a dare indicazioni sull'andamento litostratigrafico dell'area in esame è utile per tutta la campagna d'indagine, infatti, come evidenziato in precedenza, il modello teorico che si può ottenere dalle prove H/V non è univoco ed è quindi necessario confrontarlo e tararlo con le conoscenze geologiche del sito (ad esempio: sondaggi meccanici o prove penetrometriche, stratigrafie di pozzi ecc.); laddove non vi sono informazioni in tal senso, grazie alla prova della sismica a rifrazione è possibile individuare un modello litostratigrafico del terreno.



La sezione sismica, elaborata con il metodo tomografico, ha individuato un modello per il sottosuolo che prevede la presenza di due livelli sismici disposti nella seguente successione sismo-stratigrafica:

Strato A:

strato superficiale caratterizzato da terreni con velocità delle onde di compressione (V_p) inferiori a 1600 m/s, associabili a terreni superficiali di copertura da mediamente a molto addensati e/o a materiale riportato per creare il sedime stradale. Tale livello si presenta con spessori massimi di 4 e 5 m.

Strato B:

strato caratterizzato da velocità sismiche con un forte gradiente di velocità, a partire da 1600-1800 m/sec, e che raggiunge valori oltre i 3000 m/s, associabili ad un substrato roccioso di natura calcarea. Si osservano locali zone di discontinuità, caratterizzate da valori di velocità inferiori a 1600 m/sec, dovute probabilmente a zone di debolezza (fratture: tratteggio rosso) e/o a tasche di alterazione. Nella fattispecie la Sezione 2, in corrispondenza del sondaggio a carotaggio continuo, mostra una depressione del substrato roccioso, con una coltre di depositi che raggiunge i 10-12 m di profondità, estesa sino alla progressiva 24 m, in netta difformità con quanto rilevato nel resto delle sezioni ove la coltre superficiale non supera i 4-5 m di profondità.

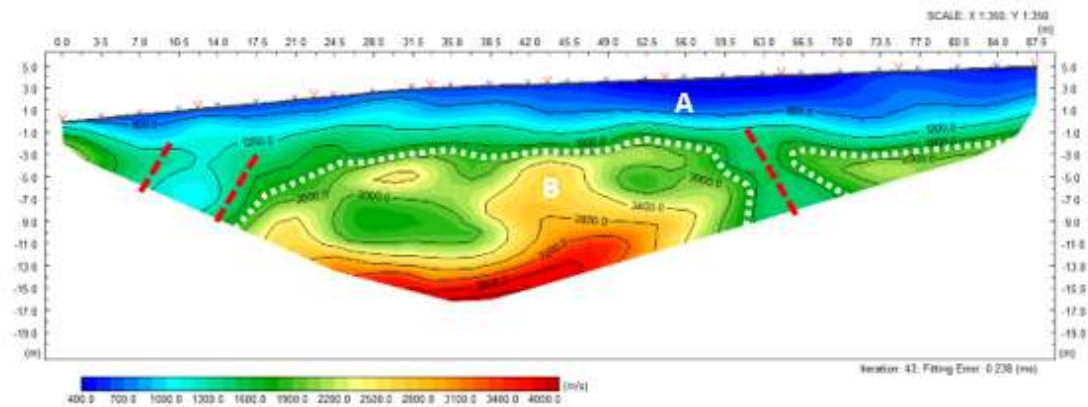
Nella valutazione dei risultati occorre inoltre considerare che l'interpretazione fornisce una stratificazione sismica definita in base alla velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali (V_p), la quale non è necessariamente correlabile ad una differenziazione geologica e/o litologica. Conseguentemente deve essere tenuta presente la possibilità che rocce diverse risultino indifferenziate in termini di "velocità sismica" o che vi possa essere una differenziazione di "velocità sismica" all'interno di uno stesso litotipo.



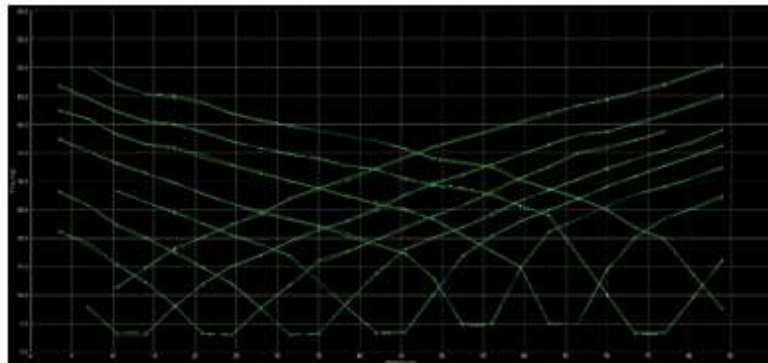
SISMICA A RIFRAZIONE

SEZIONE TOMOGRAFICA ONDE DI COMPRESSIONE (V_p)

Sezione 1



DROMOCRONE TEMPI-DISTANZE



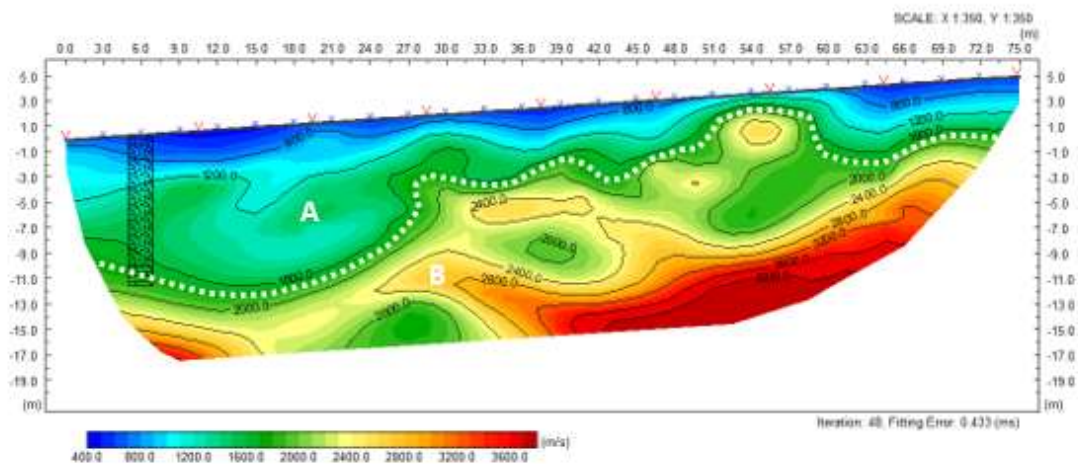


PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

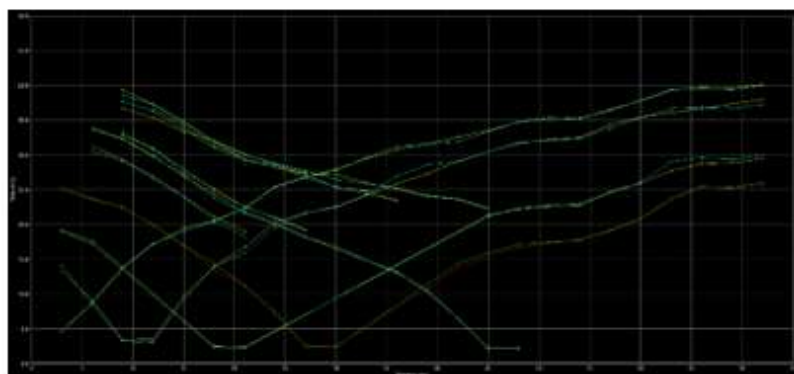
RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

SEZIONE TOMOGRAFICA ONDE DI COMPRESSIONE (Vp)

Sezione 2



DROMOCRONE TEMPI-DISTANZE



NB: le dromocrone relative alle energizzazioni 5-6-7-8-9 non risultano complete in quanto il segnale acquisito dai geofoni è risultato troppo scadente per effettuare un'operazione di picking attendibile. Tale problema è probabilmente da attribuirsi alla presenza di strutture antropiche superficiali (guard-rail...) o a sottoservizi che hanno interferito con la propagazione del segnale sismico naturale del terreno. **Attenzione:** errori soggettivi non inficiassero il modello finale, si è scelto di omettere il picking per quei segnali di dubbia attribuzione. Pertanto la seconda metà della sezione, a partire dalla progressiva 30 m circa, potrebbe avere un minor grado di attendibilità della prima metà, ove il picking del segnale è risultato invece più completo.



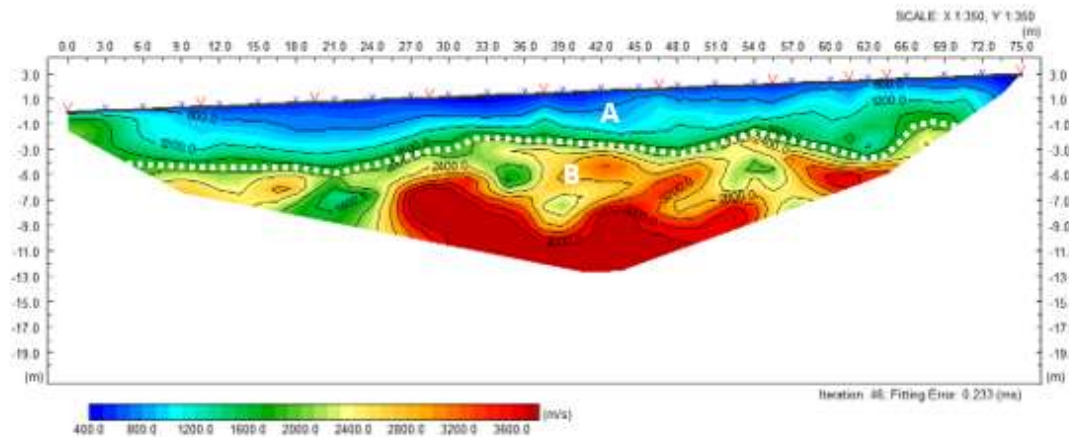


PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

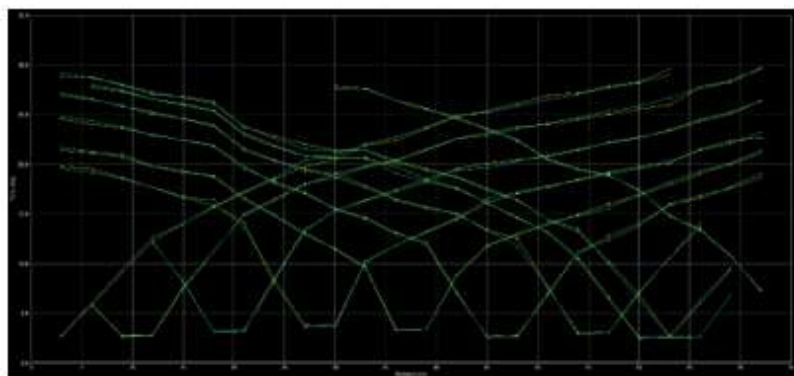
RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

SEZIONE TOMOGRAFICA ONDE DI COMPRESSIONE (Vp)

Sezione 3



DROMOCRONE TEMPI-DISTANZE





8.2.2 Indagine H/V

La prova, comunemente nota con il termine H/V, fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989). Si tratta di una valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti.

Per questo motivo la prova assume anche la denominazione di prova HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o prova HVNSR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio) o prova “di Nakamura”. L’esito di questa prova è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. Quando la misura è effettuata su un basamento sismico affiorante (e quindi dove non sono attesi fenomeni di risonanza sismica) la curva non mostra massimi significativi e si assesta intorno ad ampiezza 1 (cfr. figura seguente).

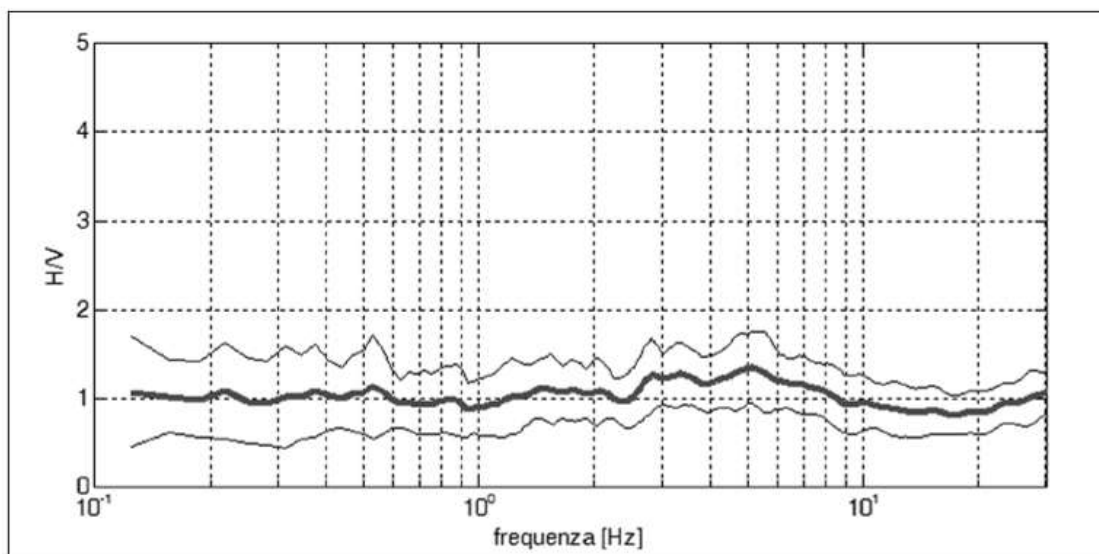


Figura 26 – Curva H/V di un sito su roccia non fratturata e morfologicamente piatta
Si noti l’assenza per risonanza in tutto il dominio di frequenza

Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.



Contestualmente fornisce indicazioni di tipo qualitativo sull'entità delle risonanze attese. In generale, la stima della frequenza di risonanza f sarà tanto più precisa quanto maggiore è il contrasto di impedenza sismica responsabile del fenomeno, ovvero dove sono maggiori gli effetti potenzialmente pericolosi.

Inoltre, se i risultati della prova sono invertiti mediante opportune procedure numeriche, soprattutto se in associazione ad altre indicazioni sperimentali (per esempio le curva di dispersione delle onde superficiali) possono fornire vincoli importanti al profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo.

In casi semplici (coperture soffici al di sopra di un basamento sismico rigido), è possibile stabilire una relazione fra lo spessore h dello strato soffice, la velocità media delle onde S all'interno di quest'ultimo (V_s) e la frequenza di risonanza fondamentale f dello strato, nella forma:

$$f = \frac{V_s}{4h}$$

[1]

Dall'equazione 1 emerge come la tecnica H/V possa fornire anche indicazioni di carattere stratigrafico: a partire da una misura di vibrazioni ambientali che vincola il valore di f , nota la V_s delle coperture, si può infatti stimare la profondità dei riflettori sismici principali o viceversa.

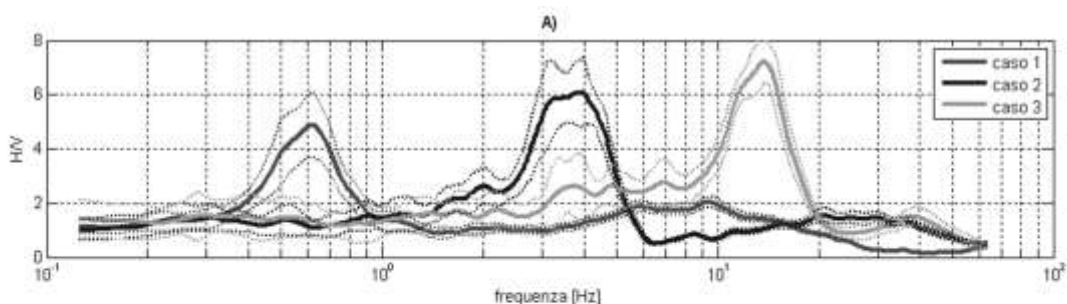


Figura 27 - Esempio di bedrock sismico a diverse profondità che genera risonanze a diverse frequenze. Caso 1: bedrock a 300 m di profondità. Caso 2: bedrock a 20 m di profondità. Caso 3: bedrock a 4 m di profondità;

Le indagini H/V sono state eseguite posizionando il sismometro a tre componenti (Acquisitore Dymas con sensore Veloget) in corrispondenza di n. 1 punto di misura.



L'elaborazione dei dati è stata effettuata utilizzando il software NakaSolgeo fornito a corredo della strumentazione utilizzata. Per il punto di misura sono state selezionate le migliori registrazioni, per un totale di almeno 20 minuti. Prima di procedere con il calcolo H/V ciascuna registrazione è stata filtrata per eliminare eventuali disturbi che potessero pregiudicare la bontà della misura. Qualora il risultato non soddisfacesse i requisiti imposti dalla procedura, si procede con l'utilizzo di nuove registrazioni o asportando quelle soggette a maggior disturbo.

I risultati relativi alla campagna d'indagine sono riportati nelle pagine seguenti; vengono prodotti, i risultati relativi alle diverse fasi dell'elaborazione dei dati raccolti, ossia, la serie temporale degli H/V, la curva H/V ed il profilo di velocità delle onde di taglio ricavato dal processo d'inversione della curva, vincolando i risultati in funzione di informazioni stratigrafiche fornite da prove limitrofe al punto di misura.

Per quanto concerne la caratterizzazione sismica dei siti in esame, utilizzando il valore del parametro $V_{S,eq}$ ottenuto dalla relazione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{(i=1,N)} h_i/V_{s,i}}$$

dove h_i e $V_{s,i}$ indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo per un totale degli N strati riconosciuti nei primi H metri di sottosuolo a partire dalla superficie, dove H indica la profondità del bedrock, nei casi in cui questa sia inferiore ai 30 m di profondità, si ottiene, confrontandolo con i valori di riferimento riportati nella tabella seguente (Tab. 3.2.II), che il sito in esame appartiene alla categoria di suolo E (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), con un valore di $V_{Seq,9.6}$ pari a 341 m/s; di seguito viene proposta una tabella riassuntiva con i valori ottenuti.



PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

Risultati H/V		
Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]
0.0	1.1	195
1.1	2.1	249
2.1	4.5	336
4.5	7.1	423
7.1	9.6	488
9.6	11.7	856
11.7	13.8	921
13.8	15.9	996
15.9	18.3	1010
18.3	21.3	1108
		Suolo tipo E

Figura 28 – Tabella riassuntiva con i valori di velocità Vs

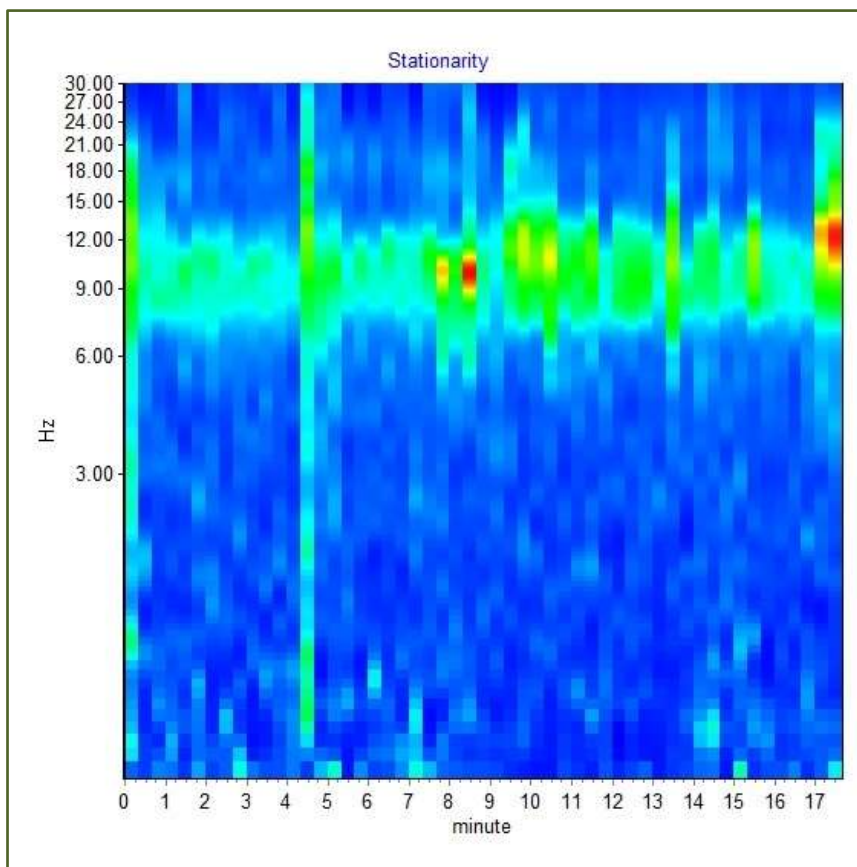


Figura 29 – Serie temporale degli H/V



PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

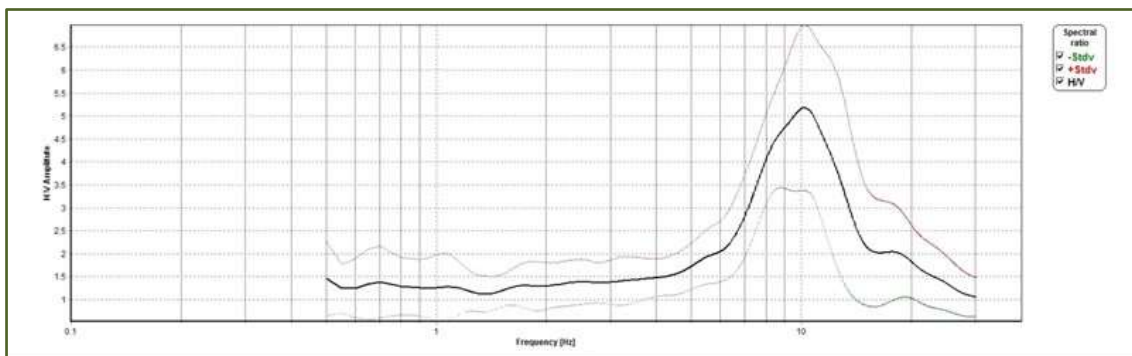


Figura 30 – Curva H/V e deviazione standard
Nota: picco significativo a 10 Hz

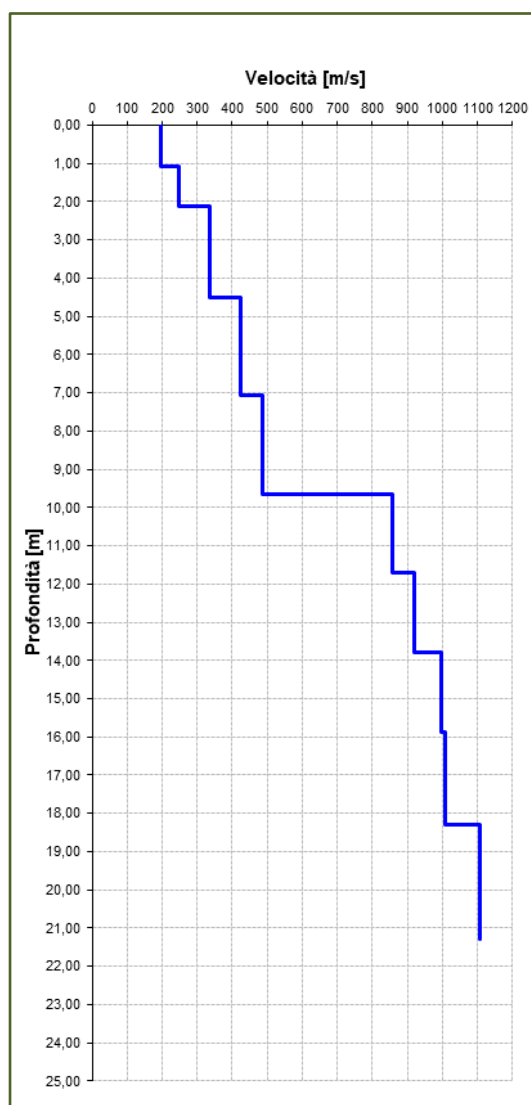


Figura 31 – Profilo di velocità delle onde di taglio (vs)



8.3 Analisi di risposta sismica locale

8.3.1 Carta della Pericolosità Sismica Locale

Secondo la Carta della Pericolosità Sismica Locale del P.G.T., l'area di intervento è prevalentemente esterna a zone di amplificazione sismica; marginalmente, sul lato di valle e solo per breve tratto, è presente una perimetrazione di tipo Z1b (zone di frana quiescente); nella parte iniziale è invece presente un ambito lineare Z3a (scarpata).

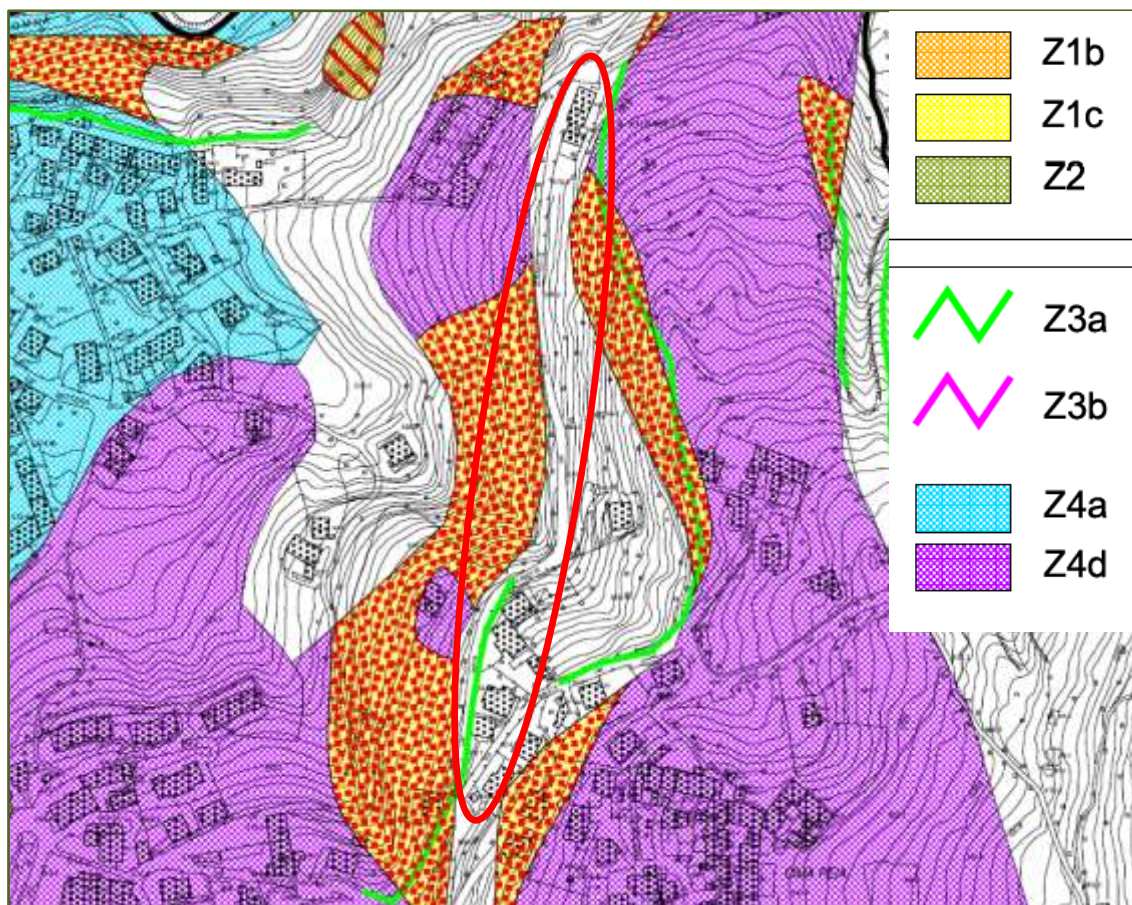


Figura 32 – Stralcio della Carta della Pericolosità Simica Locale dello studio geologico comunale. Indicata in rosso l'area di intervento

8.3.2 Amplificazione stratigrafica

Sulla scorta delle indagini geofisiche eseguite, il terreno di fondazione del sito è classificabile entro la categoria E. L'analisi di 2° livello sugli effetti litologici non è necessaria in quanto il sito non ricade in zone di amplificazione Z4.



È quindi possibile utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo E rilevato strumentalmente.

Tab. 3.2.II – <i>Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.</i>	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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.
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 tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	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.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Figura 33 – Categoria di suolo da utilizzare ai fini progettuali

8.3.3 Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella tabella seguente.

Tab. 3.2.III – <i>Categorie topografiche</i>	
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 $i > 30^\circ$

Tab. 3.2.V – <i>Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T</i>		
Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Figura 34 – Categoria topografica e relativo valore di S_T



Visto che l'intervento di progetto è posta in un sito acclive, viene assegnato un valore di S_T pari a 1,20. Come visto, l'area di intervento ricade parzialmente, secondo la Carta della Pericolosità Sismica Locale, entro uno scenario di amplificazione topografica Z3a (*zona di scarpata*). La verifica di 2° livello per tale scenario è già stata effettuata in sede di studio geologico del P.G.T., rilevando che per la scarpata n. 7 il fattore di amplificazione calcolato è inferiore al fattore soglia, pertanto la normativa è sufficiente a tenere in considerazione eventuali effetti sismici topografici.

8.3.4 Parametri sismici sito-specifici

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (2018) prevedono l'assegnazione dei valori necessari per la determinazione delle azioni sismiche in ogni sito considerato, in particolare:

- a_g = accelerazione massima orizzontale del sito;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in acc. orizzontale;
- T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in acc. orizzontale.

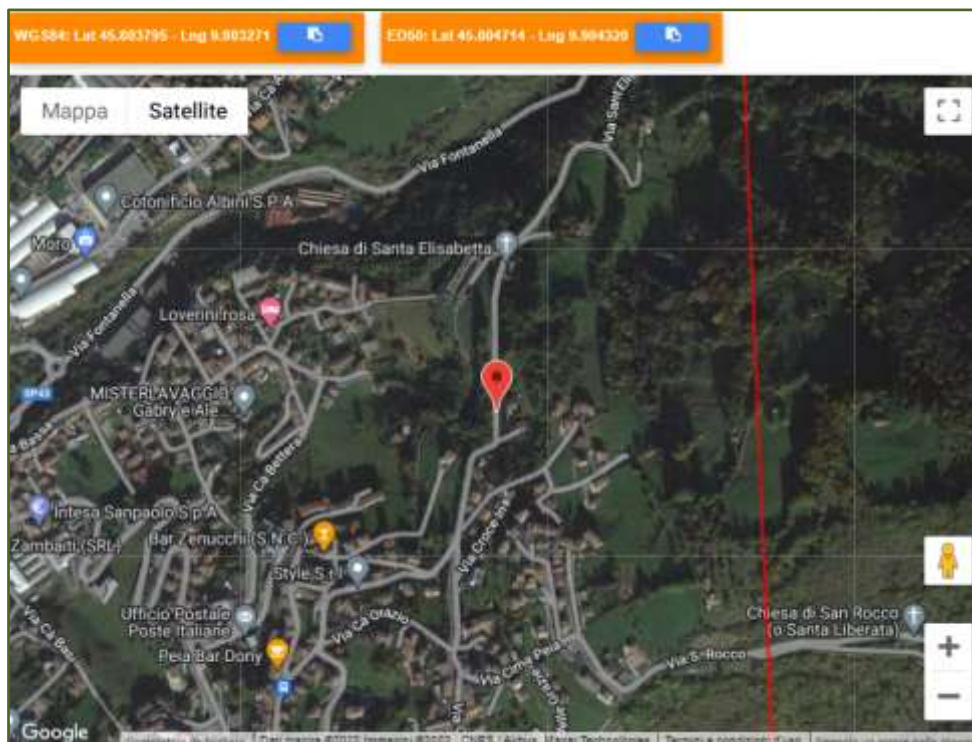




Figura 35 – Localizzazione sismica del sito




Stati limite

 Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

 Vita Nominale 50

 Interpolazione Superficie rigata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.032	2.448	0.198
Danno (SLD)	50	0.040	2.491	0.216
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.105	2.461	0.278
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.137	2.480	0.287

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50

Figura 36 – Determinazione dello stato limite a_g , F_0 e TC^* relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento (www.geostru.it)



8.3.5 Inerzia del terreno (kh, kv) sito-specifica

Considerato che la categoria di suolo è la E e che il coefficiente di amplificazione topografica S_T è uguale a 1,2, applicando le formule delle N.T.C. 2018, si trova:

Coefficienti sismici

Tipo Muri di sostegno NTC 2018

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) 1 us (m) 0.1

Cat. Sottosuolo E

Cat. Topografica T2

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,60	1,60	1,60	1,60
CC Coeff. funz categoria	2,20	2,12	1,92	1,89
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.036	0.077	0.000
kv	--	0.018	0.038	--
Amax [m/s ²]	0.597	0.756	1.985	2.577
Beta	--	0.470	0.380	--


Figura 37 – Coefficienti sismici (www.geostru.it) per muri di sostegno NTC2018



PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)



RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA


Coefficienti sismici


 Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.


H (m) us (m)

 1  0.1

 Cat. Sottosuolo E

 Cat. Topografica T2

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,60	1,60	1,60	1,60
CC Coeff. funz categoria	2,20	2,12	1,92	1,89
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]  0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.012	0.015	0.049	0.063
kv	0.006	0.008	0.024	0.032
Amax [m/s ²]	0.597	0.756	1.985	2.577
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Figura 38 – Coefficienti sismici (www.geostru.it) per stabilità di pendii e fondazioni



8.3.6 Verifica a liquefazione

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

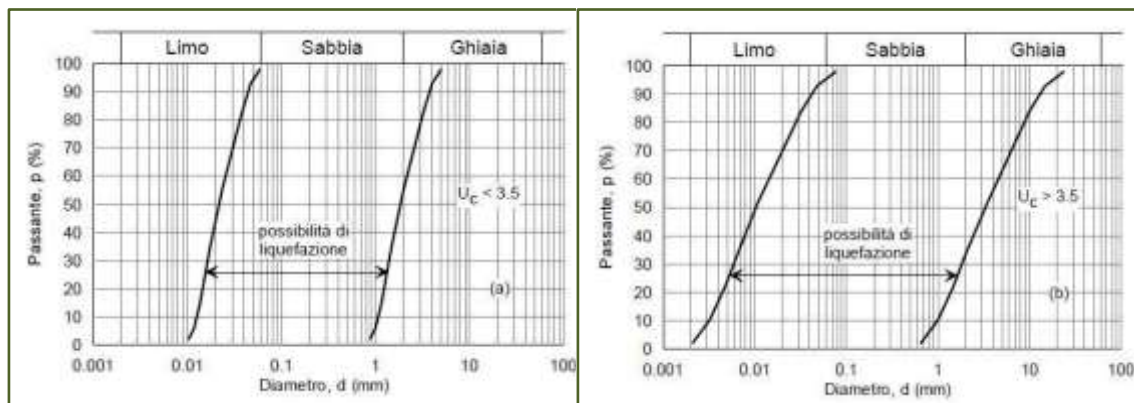
La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
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 determinata 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 successiva, con riferimento al valore del coefficiente di uniformità U_c .



PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA



In questo caso, viste l'assenza di falda e la presenza di substrato roccioso subaffiorante, non vi sono le condizioni granulometriche né idrogeologiche affinché si verifichi la liquefazione.



9. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEL SOTTOSUOLO

A partire dagli esiti ottenuti dall'indagine geognostica eseguita in sito e sulla base della modellazione geologica e sismo-stratigrafica indicata nei capitoli recedenti, è possibile procedere alla caratterizzazione e modellazione geotecnica (par 6.2.2 delle NTC 2018) del volume di terreno significativo.

Utilizzando il software CVSoil della Geostru, è stato possibile ricavare alcuni dei parametri geotecnici medi e caratteristici dei livelli litotecnici riconosciuti. L'elaborazione è stata eseguita sulle prove penetrometriche, confrontate tra loro. Per quanto concerne il substrato roccioso, si è ricorsi anche ad elaborazioni con il software RocLab.

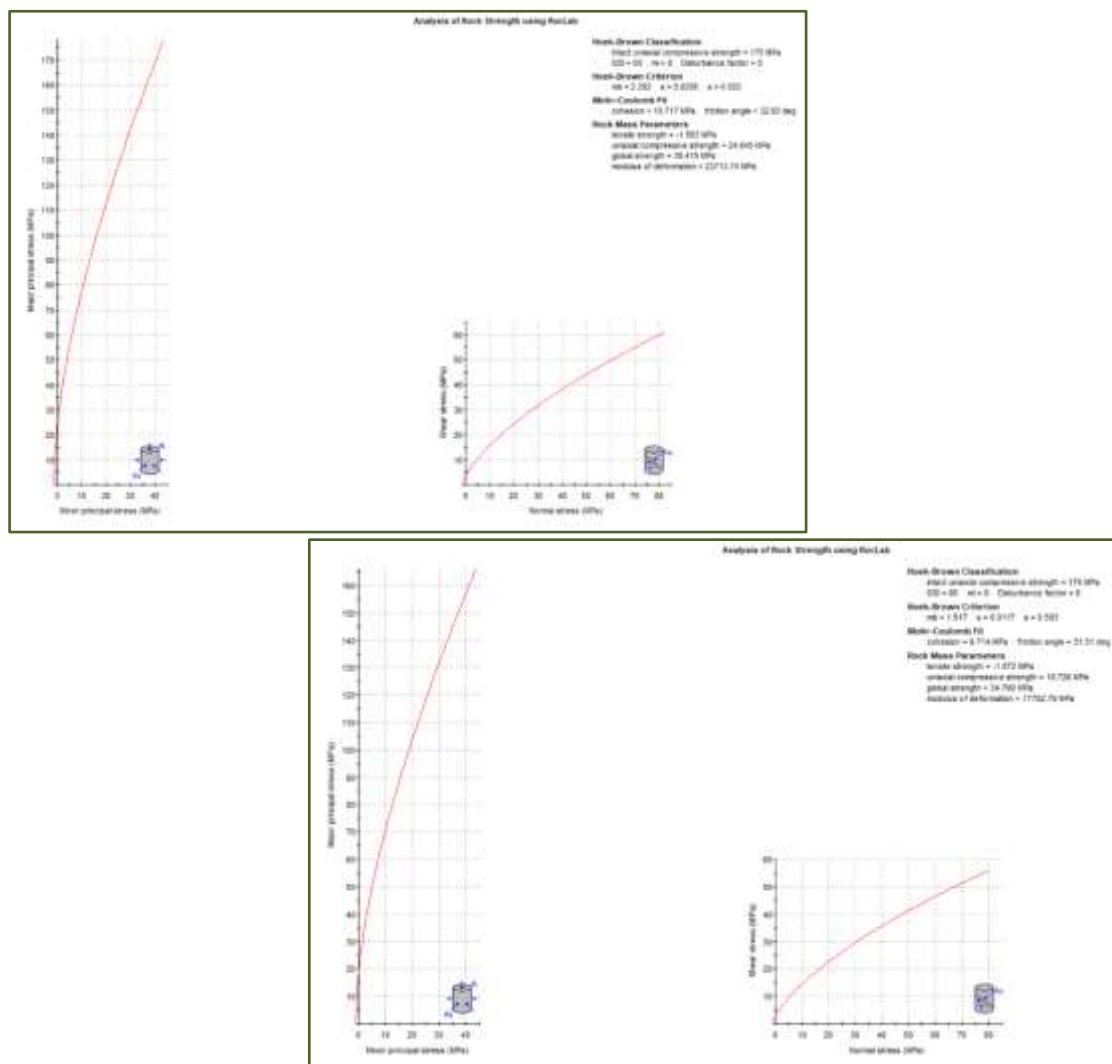


Figura 39 - Elaborazione con il software RocLab di due stazioni geomeccaniche



PRINCIPALI PARAMETRI GEOTECNICI **MEDI**

ORIZZONTE LITOTECNICO	PESO SPECIFICO NATURALE	PESO SPECIFICO SATURO	ANGOLO D'ATTRITO	COESIONE NON DRENATA	MODULO EDOMETRICO / ELASTICO
R	16,72 kN/m ³	18,32 kN/m ³	-	37,84 kN/m ²	4448,84 kN/m ² (edometrico)
A	16,58 kN/m ³	18,29 kN/m ³	-	35,12 kN/m ²	4132,46 kN/m ² (edometrico)
B1 Regolite	17,68 kN/m ³	18,99 kN/m ³	30,75°	-	27919,86 kN/m ² (elastico)
B2 Roccia <i>(valori stimati)</i>	22 kN/m ³	23 kN/m ³	32,22°	-	50000 kN/m ² (elastico)

Tabella 6 – Valori MEDI dei parametri geotecnici

Dai valori medi è poi possibile pervenire alla definizione dei valori caratteristici, ricavati con metodi geostatistici, calibrati anche in base alle condizioni specifiche del sito, a valori di letteratura ed all'esperienza dello scrivente.



PRINCIPALI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI SITO-SPECIFICI

ORIZZONTE LITOTECNICO	PESO SPECIFICO NATURALE	PESO SPECIFICO SATURO	ANGOLO D'ATTRITO	COESIONE NON DRENATA	MODULO EDOMETRICO / ELASTICO
R	16,44 kN/m ³	18,27 kN/m ³	-	30,86 kN/m ²	3944,82 kN/m ² (edometrico)
A	16,37 kN/m ³	18,26 kN/m ³	-	30,66 kN/m ²	3786,92 kN/m ² (edometrico)
B1 Regolite	17,22 kN/m ³	18,90 kN/m ³	29,73°	-	26630,35 kN/m ² (elastico)
B2 Roccia <i>(valori stimati)</i>	21 kN/m ³	22 kN/m ³	31,05°	-	40000 kN/m ² (elastico)

Tabella 7 – Valori CARATTERISTICI dei parametri geotecnici

Nella tabella a seguire si riportano dei range di variabilità dei parametri geotecnici caratteristici (derivati dalle elaborazioni statistiche di cui alla tabella precedente), che tengono conto dell'eterogeneità propria di qualsiasi terreno (condizioni di anisotropia), calibrati anche in base all'esperienza dello scrivente in siti limitrofi.



PRINCIPALI PARAMETRI GEOTECNICI **CARATTERISTICI** SITO-SPECIFICI
RANGE DI VARIABILITÀ

ORIZZONTE LITOTECNICO	PESO SPECIFICO NATURALE	PESO SPECIFICO SATURO	ANGOLO D'ATTRITO	COESIONE NON DRENATA	MODULO EDOMETRICO / ELASTICO
R	16-17 kN/m ³	18-18,5 kN/m ³	-	30-40 kN/m ²	3500-4500 kN/m ² (edometrico)
A	16-16,5 kN/m ³	18-18,5 kN/m ³	-	30-40 kN/m ²	3000-4000 kN/m ² (edometrico)
B1 Regolite	17-18 kN/m ³	18-19 kN/m ³	28°-32°	-	25000-35000 kN/m ² (elastico)
B2 Roccia <i>(valori stimati)</i>	20-21 kN/m ³	21-22 kN/m ³	30°-35°	-	35000-45000 kN/m ² (elastico)

Tabella 8 – Valori CARATTERISTICI dei parametri geotecnici (range di variabilità)

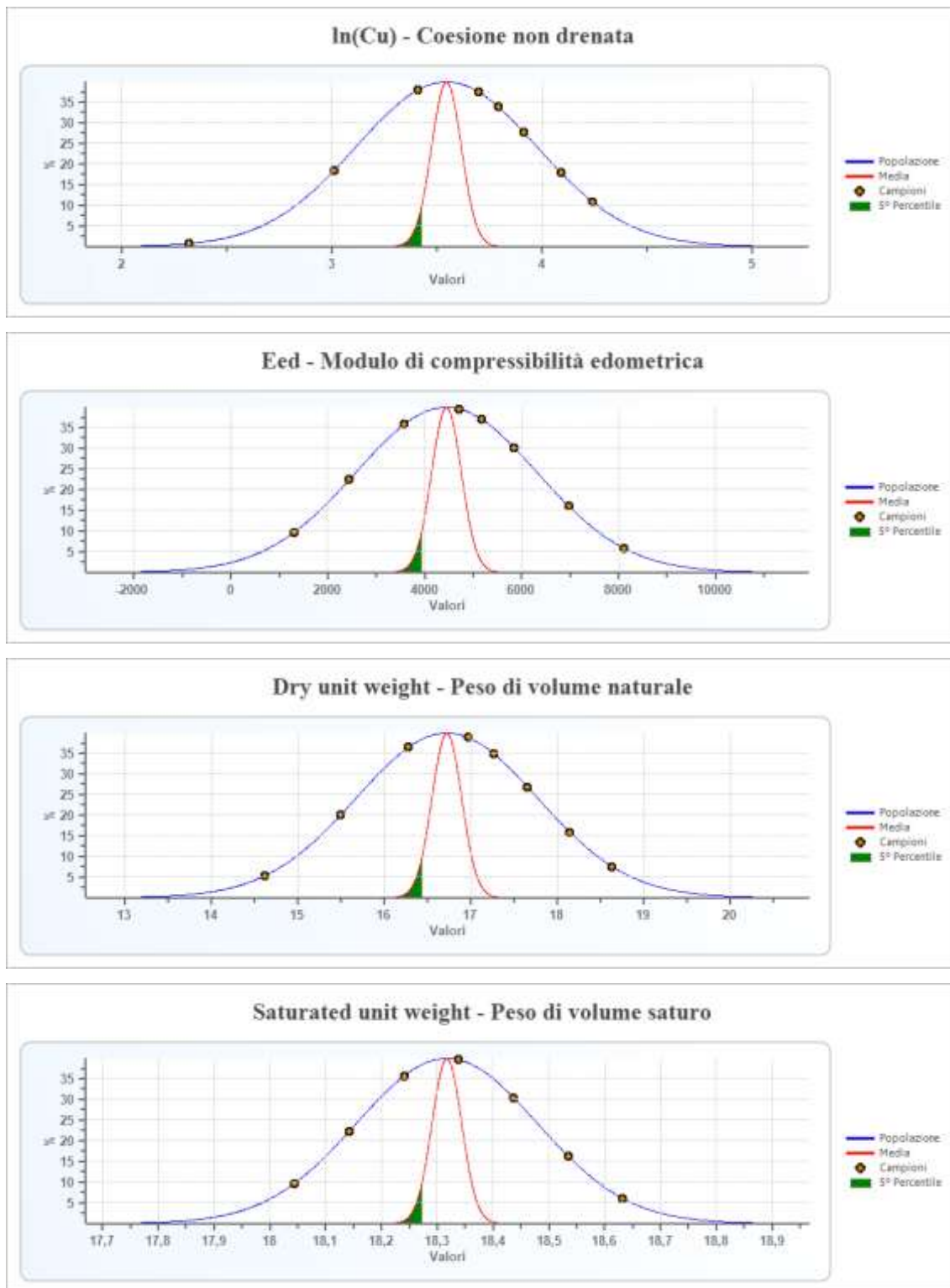
Si rammenta che relativamente alla determinazione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici, secondo quanto stabilito dalle istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) riguardanti le NTC, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (es. fondazioni superficiali e frane); nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno (es. terreno alla base di un palo e verifica a scorrimento di un muro) appare giustificato l'utilizzo dei valori caratteristici prossimi ai valori minimi.

Si precisa altresì che i valori caratteristici dei parametri geotecnici indicati sono da intendersi come una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato (criterio prudenziale); tuttavia, pur potendo ragionevolmente essere estesi all'intero sito di progetto, occorre precisare che significative variazioni litologiche verticali o laterali impreviste dei terreni potrebbero alterarli in modo anche significativo.



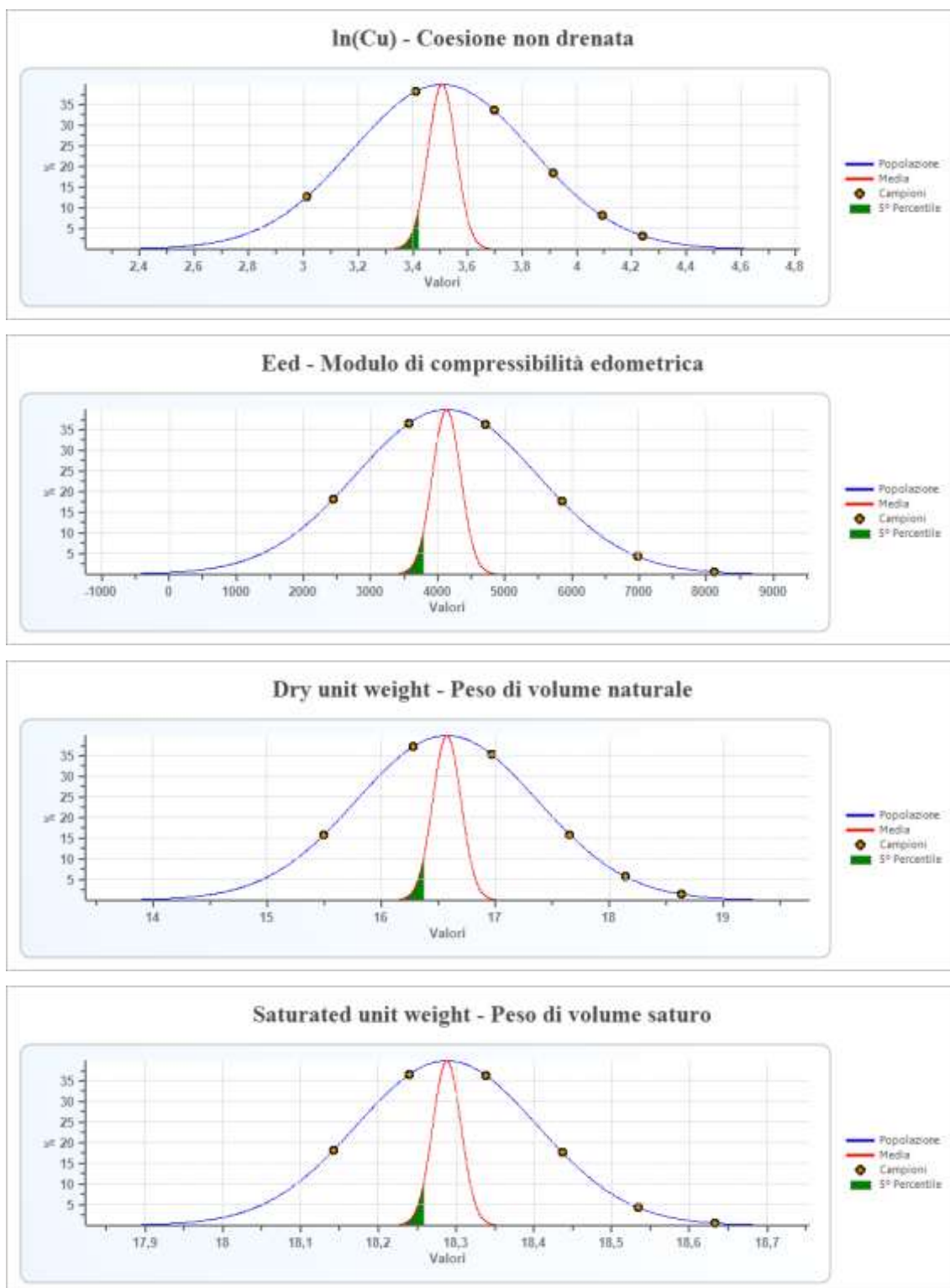
Di seguito si allegano i grafici relativi alle elaborazioni statistiche dei livelli R, A e B1 per i soli parametri caratteristici.

LIVELLO R





LIVELLO A

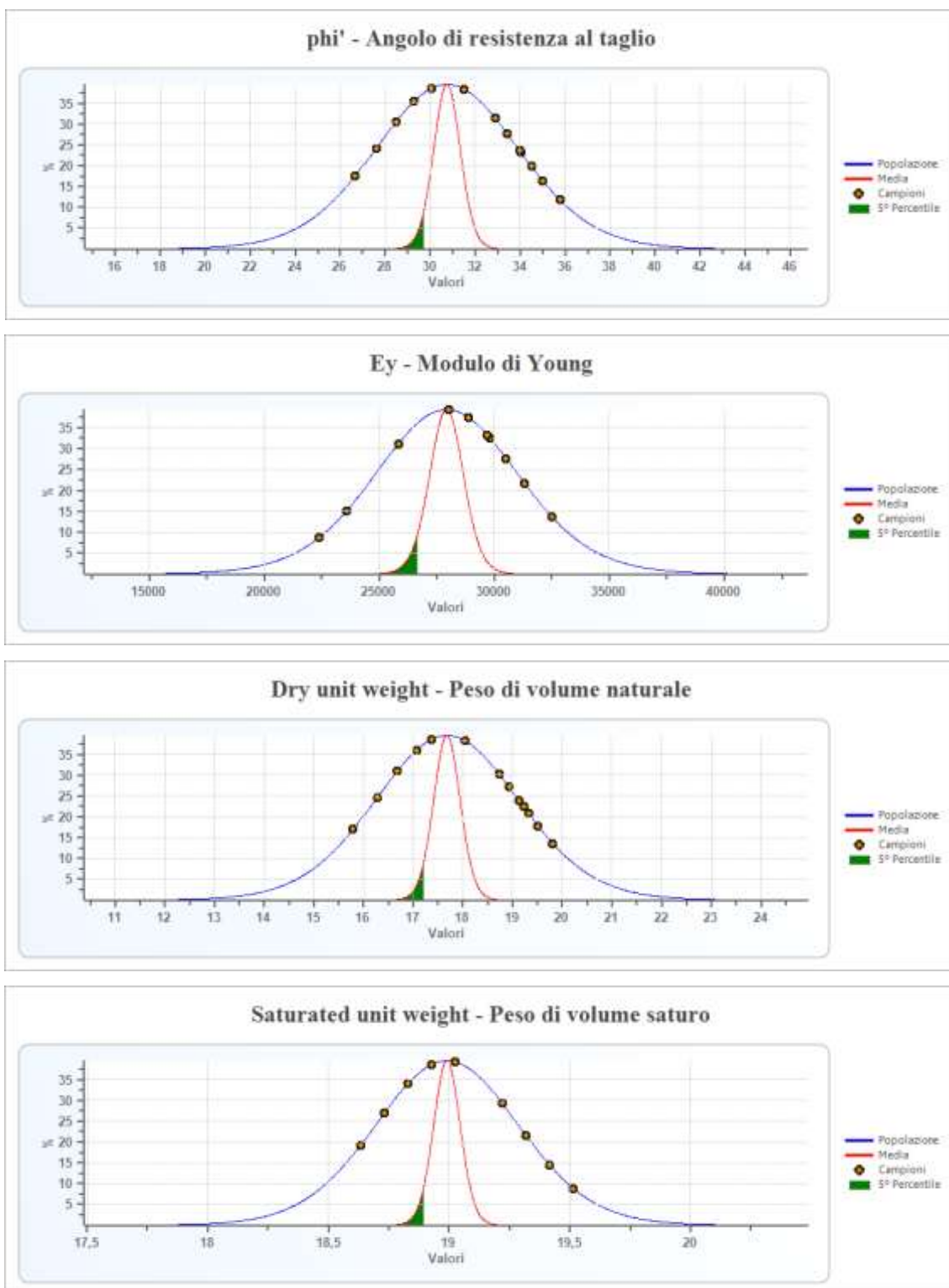




PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO DI ALLARGAMENTO E MESSA IN
SICUREZZA DELLA VIA SANTA ELISABETTA A PEIA (BG)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

LIVELLO B1





10. INDICAZIONI TECNICHE

La ricostruzione stratigrafica proposta indica la presenza di un orizzonte litotecnico superficiale a basso addensamento (materiale di riporto/rimaneggiato e/o a terreni sciolti), a cui segue un orizzonte litotecnico resistente, riconducibile al substrato roccioso, con un sottile livello regolitico, non sempre presente. L'orizzonte resistente sottostante il livello superficiale dovrebbe porsi indicativamente a profondità compresa tra pochi decimetri e 2-3 m dal piano strada. Ne consegue che le strutture fondazionali dovranno essere saldamente appoggiate sul livello B1 o B2, bypassando sia il riporto (R), sia l'orizzonte A. Al fine di rendere solidale la fondazione alla roccia sarà possibile procedere con operazioni di ancoraggio, ottenute infiggendo barre di acciaio saldamente innestate con resine epossidiche al substrato.

Gli scavi necessari al raggiungimento del piano d'imposta delle fondazioni dei muri, sia di controscarpa sia di controripa, dovranno essere eseguiti adottando tutti gli accorgimenti necessari per preservare la sicurezza dei fronti, dei manufatti e delle maestranze, privilegiando la tecnica di setti limitati anche se in roccia. In ogni caso la tecnica di scavo maggiormente consona e il dimensionamento dei presidi dovranno essere scelti di volta in volta dal Progettista e dallo Strutturista, anche in relazione allo spessore della coltre superficiale rispetto alla roccia.

Durante l'esecuzione degli sbancamenti sarà anche necessario verificare la giacitura del substrato roccioso e l'eventuale presenza d'interstrati deboli, che potrebbero provocare scivolamenti o ribaltamenti, pregiudicando la stabilità dei fronti di scavo. Nel caso si riscontrasse tale situazione sarà necessario sospendere temporaneamente i lavori e avvisare tempestivamente lo scrivente per valutare le soluzioni del caso.

La strada dovrà essere presidiata durante le fasi più critiche di sbancamento e, se ritenuto necessario, dovrà essere cautelativamente chiusa anche la sottostante strada di accesso al cimitero.

Si suggerisce inoltre di sospendere i lavori in condizioni meteorologiche avverse, di non lasciare esposte le pareti di scavo all'azione degli agenti meteorici (posa di teli impermeabili) e di mantenere carichi accidentali (camion, gru, attrezzature, stoccaggio di materiali) lontano dai cigli.



Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche non è stata riscontrata la presenza d'acqua, non si possono escludere tuttavia infiltrazioni nel sottosuolo da monte e successiva emersione lungo i fronti di scavo sotto forma di scaturigini, in corrispondenza della soglia di permeabilità tra detrito sciolto e substrato roccioso sottostante, oppure lungo superfici di frattura.

Tali scaturigini, comunque legate al regime delle precipitazioni, potrebbero originare anche piccole falde sospese e convogliare verso valle quantità limitate di acqua, causando potenziale instabilità nei fronti di scavo. Alla luce di ciò particolare cura dovrà essere riservata alla raccolta e all'allontanamento delle acque meteoriche e, eventualmente, quelle sorgive, sia in fase di cantierizzazione che ad opera ultimata. A riguardo è importante precisare che qualsiasi intervento di intercettazione, canalizzazione e drenaggio delle acque, non dovrà impedirne il naturale sfogo, né ridurne le portate. Ciò al fine di evitare l'aggravio di carico idraulico e dannose sovrappressioni interstiziali destabilizzanti i terreni di copertura.

Per evitare che ciò accada a tergo delle strutture di contenimento dovranno essere realizzati opportuni sistemi drenaggio delle acque, con recapito o nel sistema fognario (se possibile) o lungo le aste reticolo idrico. In ogni caso, in considerazione della pendenza del pendio a valle e monte della strada, si dovrà evitare tassativamente la dispersione e il drenaggio incontrollato delle acque lungo il pendio.

Le verifiche di stabilità dell'opera e i calcoli fondazionali rimangono di competenza e responsabilità dello Strutturista incaricato. Si rammenta inoltre che, se del caso, l'intervento dovrà rispettare i regolamenti dell'invarianza idraulica (R.R. 23-11-2017 e n. 7, R.R. 19-04-2019 n. 8).



11. CONCLUSIONI

Con determinazione n. 73 del 09.06.2022 il Responsabile del Servizio Territorio e Ambiente del Comune di Peia (Bergamo) ha conferito allo scrivente l'incarico professionale per la predisposizione della relazione geologica-geotecnica e sismica di supporto alla progettazione definitiva ed esecutiva dei lavori di *"Allargamento e messa in sicurezza della viabilità ed opere annesse in via Sant'Elisabetta"* CIG 9150279919 - CUP D32D18000040001.

Per ogni considerazione di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, vincolistico, geotecnico e sismico, si vedano i rispettivi capitoli.

Si rammenta che l'indagine eseguita consente l'esatta derivazione della resistenza del sottosuolo limitatamente ai punti investigati; pertanto si rimane a disposizione per eventuali ulteriori approfondimenti.

Durante l'esecuzione degli scavi e la realizzazione delle opere, il Progettista e l'Impresa esecutrice dovranno comunque verificare la corrispondenza tra le caratteristiche dei terreni riscontrate e quelle prospettate nella relazione geologica; in presenza di difformità si dovrà tempestivamente avvisare lo scrivente.

In base ai risultati dei rilievi e degli approfondimenti effettuati si ritiene che, fatte salve le considerazioni e prescrizioni contenute nella presente relazione, non vi siano elementi geologici ostativi alla realizzazione delle opere di progetto.

Mozzo, Luglio 2022

Dott. Geol. Alessandro Chiodelli

