



Beneficiario - Ente coordinatore

PROVINCIA DI LECCO

Direzione Organizzativa IV

Protezione Civile - Trasporti e Mobilità - Viabilità

Con il contributo di:



Regione Lombardia

DGR XI/3531 del 05/080/2020 cod.LC95BKE

PCIR 3 Adda

BREZZA

SULL'ADDA



Itinerario cicloturistico

Partner:



Comune di Abbadia L.



Comune di Bellano



Comune di Dervio



Comune di Colico

Tipo di intervento:

ITINERARIO REGIONALE PCIR 3 "Adda"

Tratto Colico - Abbadia Lariana

CUP B11B21000980002



Il Dirigente Fabio Valsecchi
Emanuela Rigamonti
Maurizia Campana

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 C.F. BGLFRZ76T09F712E P.iva 00812460145



Livio Dell'oro Architetto



QAPPC Lecco n. 232

www.liviodelloro.com

info@liviodelloro.com



Progetto dell'ente attuatore:

COMUNE DI COLICO

STRALCIO FUNZIONALE

Realizzazione di raccordo tra la pista ciclopedonale a lato SS36
e la viabilità Comunale

Pratica:

T.23.01

PROGETTO DEFINITIVO

Tav.

413

Tav.

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA

Data:

23/10/2023

Agg. 1:

Agg. 2:

Agg. 3:

COMUNE DI COLICO

PROVINCIA DI LECCO



COMMITTENTE : **COMUNE DI COLICO**

Piazza V Alpini – 23823 COLICO (LC)

C.F. 83006690131

P.Iva 00710580135

PROGETTO ESECUTIVO : REALIZZAZIONE DI PISTA CICLO-PEDONALE
IN VIA NAZIONALE SUD IN COMUNE DI COLICO (Lc)



OGGETTO : **RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA**

Febbraio 2023

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 Piuossogno – 23016 CERCINO (SO)

Tel. 0342 680 651 Mobile 339 60 96 386

e-Mail info@bigioli.it C.F. BGLFRZ76T09F712E P.Iva 00812460145



INDICE

1. PREMESSA	3
1.1. METODOLOGIA.....	6
1.2. FINALITA`	7
1.3. OPERE PROPOSTE	8
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	9
2.1. CENNI DI GEOLOGIA GENERALE	9
2.2. SUBSTRATO ROCCIOSO.....	11
2.3. COPERTURA SUPERFICIALE	11
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	12
4. CARATTERI IDROGEOLOGICI E IDROGRAFIA SUPERFICIALE.....	12
5. INQUADRAMENTO ED INDAGINI SISMICHE	14
5.1. INQUADRAMENTO SISMICO GENERALE.....	14
5.2. INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR CON STRUMENTAZIONE ECHO TROMO HVSR 3.....	21
5.3. INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR CON STRUMENTAZIONE TROMINO ® 31	
6. ANALISI DELLE PUBBLICAZIONI, VERIFICA P.A.I. E P.G.T.....	36
7. INDAGINI GEOGNOSTICHE	39
8. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI	39
8.1. STRATIGRAFIA IPOTIZZATA.....	39
8.2. PARAMETRI GEOTECNICI.....	39
9. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	40
10. APERTURA, SOSTEGNO E PROBLEMATICHE RELATIVE AI FRONTI DI SCAVO	41
11. ANNOTAZIONI CONCLUSIVE.....	41
ALLEGATO AL TESTO :	CARTA GEO LITOLOGICA

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA

PROGETTO ESECUTIVO DI "REALIZZAZIONE DI PISTA CICLO-PEDONALE IN VIA NAZIONALE SUD"

IN COMUNE DI COLICO (LC)



1. PREMESSA

Per conto e su incarico del **COMUNE DI COLICO**, con riferimento al progetto del **Dott. Ing. DIEGO TABACCHI**, è stato eseguito il presente studio geologico - geotecnico – idrogeologico 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 ESECUTIVO DI “REALIZZAZIONE DI PISTA CICLO-PEDONALE IN VIA NAZIONALE SUD”** in Comune di Colico (Lc).

L'area oggetto di studio è posta alla quota media di circa **214,00 m s.l.m.** in via Nazionale Sud (lato Est) in Comune di Colico (Lc). Per l'ubicazione geografica si rimanda alla corografia a seguire.

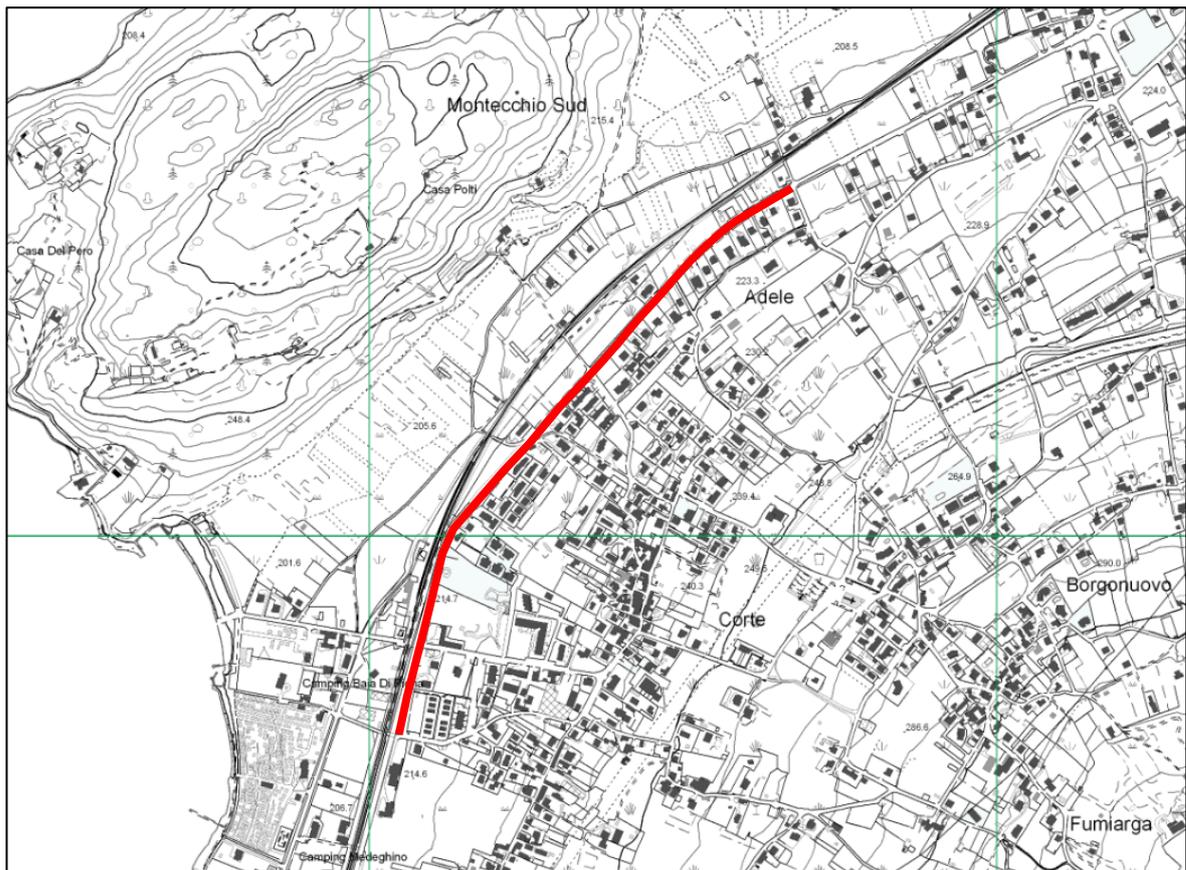


Fig. 1 – Corografia con ubicazione pista ciclo-pedonale in progetto (C.T.R. Sez. B3d3)

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA

PROGETTO ESECUTIVO DI “REALIZZAZIONE DI PISTA CICLO-PEDONALE IN VIA NAZIONALE SUD”
IN COMUNE DI COLICO (LC)



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)**.

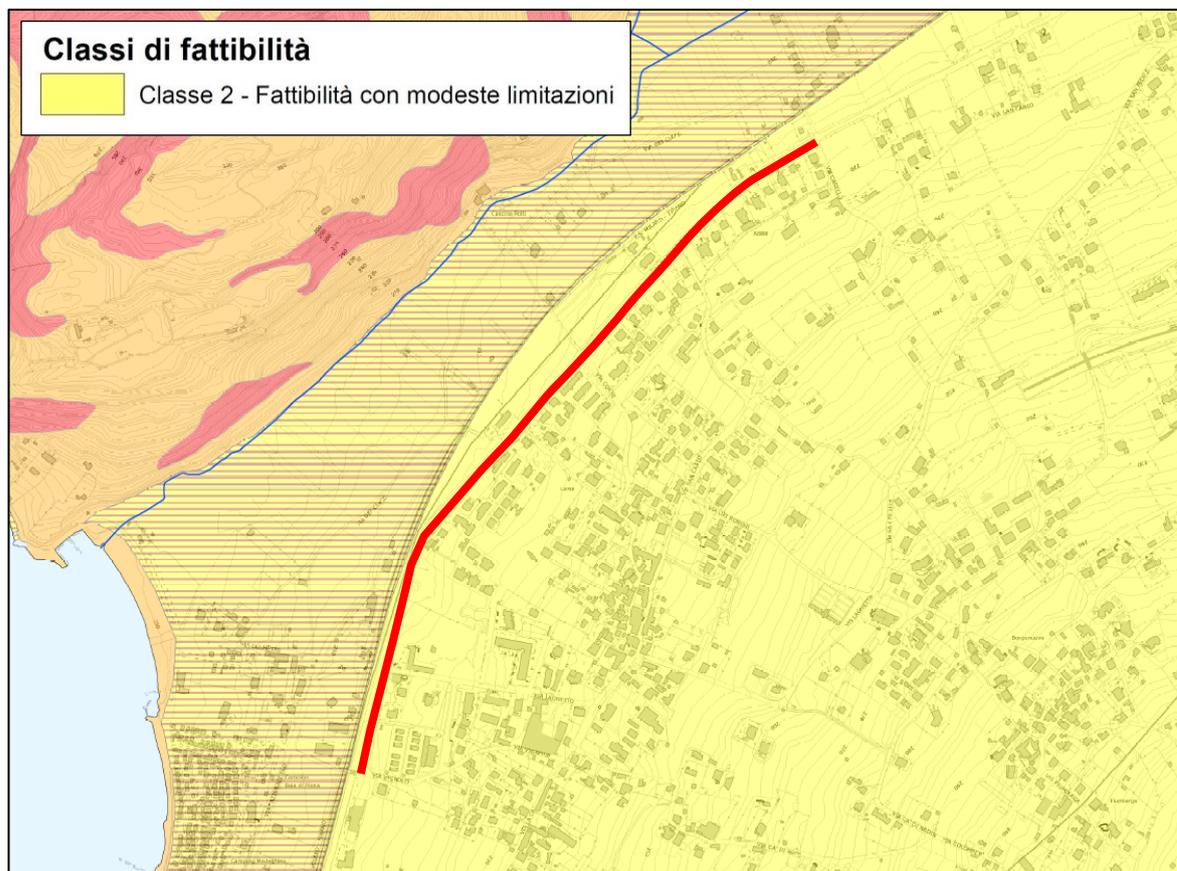


Fig. 2 – Estratto della carta di fattibilità geologica comunale e relativa legenda

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

3.1 CLASSE 2: FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI

"In questa classe ricadono le aree, che a differenza della classe 1 (non censita nel territorio comunale), presentano condizioni particolari che richiedono maggiore attenzione nella scelta e nella programmazione urbanistica".

Tale classe comprende le porzioni di territorio a morfologia pianeggiante o con ridotta acclività generalmente con buone caratteristiche geotecniche dei terreni e/o geomeccaniche del substrato roccioso, che presentano

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



condizioni limitative alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni, per superare le quali si rende necessario, in linea di massima, ad eccezione di alcuni interventi minori, realizzare approfondimenti di carattere geologico - tecnico o idrogeologico finalizzati alla realizzazione di eventuali limitate opere di sistemazione e bonifica.

*È stata inoltre definita una **classe 2a** per evidenziare i depositi di conoide distale e alluvionali / lacustri che presentano caratteristiche geomeccaniche scadenti e una bassa soggiacenza della falda idrica.*

In classe 2 e 2a ricadono buona parte delle aree urbanizzate.

Queste aree, infatti, pur essendo caratterizzate da un rischio idrogeologico generalmente basso o nullo presentano un sottosuolo le cui caratteristiche possono risultare talora disomogenee per la presenza di orizzonti superficiali a scadenti qualità geotecniche di spessore ed estensione variabile. È inoltre possibile rinvenire localmente delle vene idriche filtranti a bassa profondità rispetto al piano campagna.

Possono essere presenti modesti fenomeni di dissesto, riconducibili all'azione delle acque superficiali diffuse, non adeguatamente intercettate da sistemi di smaltimento, comunque ben evidenziabili e circoscrivibili.

Le cautele da adottarsi dovranno comunque essere valutate caso per caso e si dovranno analizzare le proposte mediante puntuali verifiche geologiche.

Nella classe 2 e 2a, per gli interventi edilizi (eccezion fatta per quelli nelle successive NTA) andranno attentamente valutate, sulla base di puntuali indagini geologiche e geotecniche, indagini finalizzate alla definizione dei parametri meccanici dei terreni (NTC 2008 D.M. 14 Gennaio 2008), con le relative verifiche ed analisi geotecniche.

NTA DI CLASSE 2 E 2 A PRESCRIZIONI GENERALI

Le indicazioni geologiche non escludono l'obbligo del rispetto della normativa vigente (es "Nuove Norme tecniche per le costruzioni" D.M. 14 gennaio 2008).

Le indagini e gli approfondimenti di seguito descritti sono obbligatorie per tutti i tipi di interventi edificatori, ad eccezione di quelli previsti dall'articolo 27 L.R. 12/05 lett. a), b), c).

Gli interventi previsti in tali zone dovranno essere supportati da un approfondimento con indagine geologica volta ad individuare:

Classe 2 NTA: prescrizioni specifiche

- ***Analisi della pericolosità locale e valutazione della possibile interferenza con l'intervento prospettato.***

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



- **Definizione dei presidi temporanei e/o definitivi attinenti sia alla fase di cantiere sia all'opera finita.**
- **Caratterizzazione meccanica delle terre e valutazione dell'interazione con il programma di lavoro proposto, con particolare riferimento alle problematiche idrogeologiche ed idrologiche (individuazione delle strutture di drenaggio, tipologie di scarico al suolo ed interazione areale, risalita capillare).**
- **Nelle previsioni urbanistiche eventuali interventi relativi ad opere potenzialmente inquinanti (es. industrie particolari, depositi, scarichi al suolo, ecc.) saranno oggetto di necessaria analisi idrologica, idrogeologica e geologica.**
- **Ambiti terrazzati: definizione dello stato di conservazione delle opere e/o indirizzi di manutenzione.**

Assetto idrogeologico

La valutazione geologica, dovrà tener conto del possibile flusso idrico e/o ristagno, considerando:

- **Il flusso idrico e la possibilità di scarichi al suolo.**
- **Le interazioni con eventuale falda e le necessarie opere di impermeabilizzazione.**
- **In caso di sistemi di drenaggio delle acque tramite pompe (adeguatamente dimensionate in termini di portata) dovrà essere valutata la possibile interazione delle stesse con eventuali edifici attigui e lo scarico corretto delle acque emunte.**
- **In assenza di rete fognaria comunale dovranno essere attentamente valutate le scelte operative relativamente agli scarichi delle acque reflue sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo nel rispetto della disciplina definita per gli scarichi dei nuovi insediamenti nel Regolamento Regionale n. 3 del 24 Marzo 2006. Questo indica la necessità di definire il dimensionamento delle strutture di scarico e l'interazione con l'idrologia locale.**
- **Posa di cisterne e/o altri serbatoi di liquidi potenzialmente inquinanti: da realizzarsi solo dopo attenta definizione delle oscillazioni di falda e comunque all'interno di strutture di contenimento impermeabili.**

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 (**PROGETTO ESECUTIVO DI “REALIZZAZIONE DI PISTA CICLO-PEDONALE IN VIA NAZIONALE SUD”**);
- ~ ricerca, raccolta ed analisi critica dei dati tecnici e geologici esistenti in bibliografia;

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



- ~ analisi dei lavori e delle indagini redatti dallo scrivente in aree limitrofe;
- ~ sopralluogo e rilievo geologico – geomorfologico – idrogeologico dell'area di intervento e circostanti (**09 novembre 2022**);
- ~ esecuzione di n°1 prova di sismica passiva HVSR con strumentazione ECHO TROMO HVSR 3 (**09 novembre 2022**);
- ~ verifica di fattibilità di quanto in progetto relativamente alla normativa vigente (P.A.I. – PGR - RIM), 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 - geotecnica - idrogeologica**).

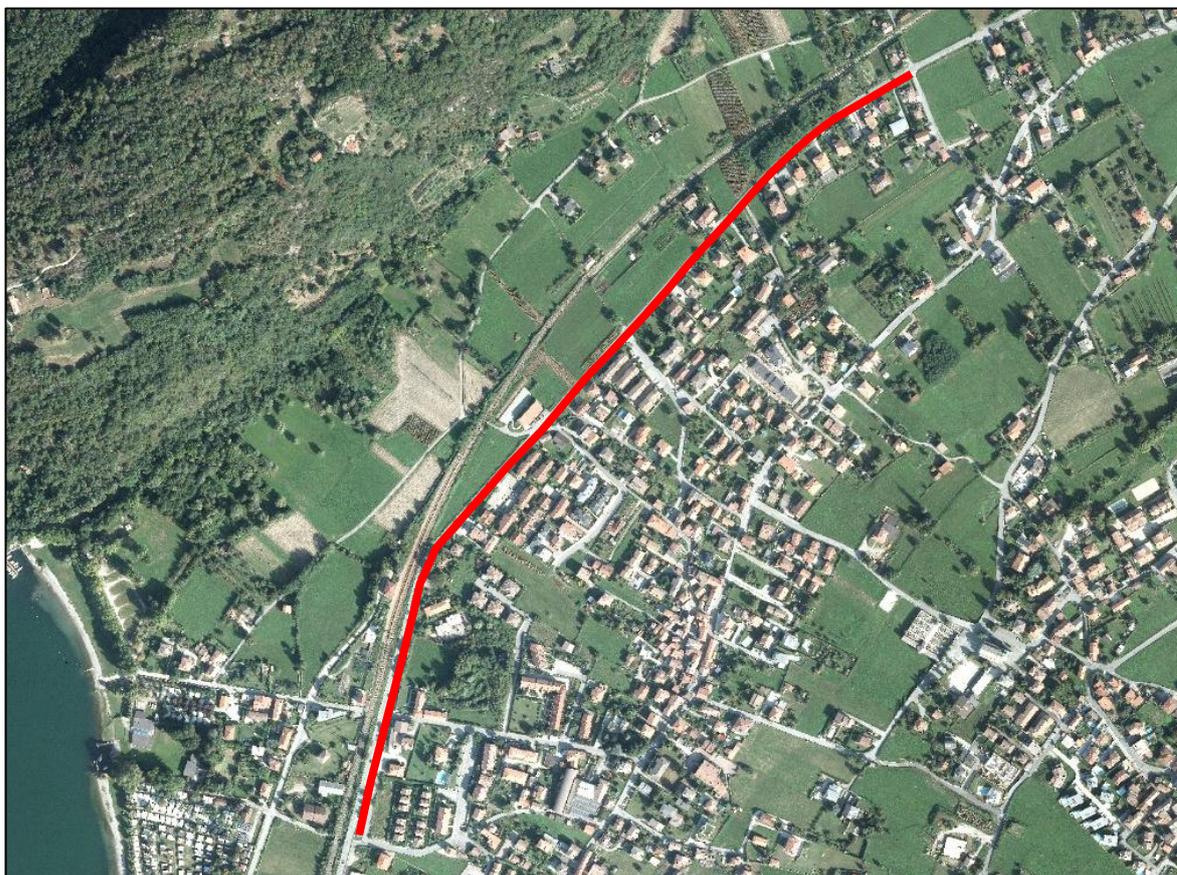


Fig. 3 – Ortofoto con ubicazione pista ciclo-pedonale in progetto (anno 2018)

1.2. FINALITA`

La presente analisi si prefigge i seguenti obiettivi:

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA

PROGETTO ESECUTIVO DI "REALIZZAZIONE DI PISTA CICLO-PEDONALE IN VIA NAZIONALE SUD"
IN COMUNE DI COLICO (LC)



- ~ 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 svolta in data 09 novembre 2022 in prossimità dell'incrocio tra via Nazionale Sud e via Laghetto e mediante l'indagine di sismica passiva HVSR con strumentazione TROMINO ® svolta in data 20 maggio 2018 in prossimità di via Nazione Sud (tratto tra via Camposecco e via Casello) a supporto della “Relazione geologica e geotecnica” per il progetto di “Ristrutturazione fabbricato esistente con recupero sottotetto ai fini abitativi” – committente privato;
- ~ definire la natura, la stratigrafia ed i parametri geotecnici caratteristici dei terreni / roccia in esame;
- ~ evidenziare eventuali problematiche / prescrizioni alla fattibilità di quanto in progetto e possibili soluzioni.

1.3. OPERE PROPOSTE

Con riferimento agli elaborati progettuali in nostro possesso, il progetto redatto dal **Dott. Ing. DIEGO TABACCHI** prevede la realizzazione di un tratto di pista ciclo-pedonale in via Nazionale Sud (lato Est) in Comune di Colico (Lc).

I mappali interessati dal progetto sono il n° del foglio di mappa Fg. del censuario catastale del Comune di Colico (Lc).

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



2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1. CENNI DI GEOLOGIA GENERALE

Dal punto di vista geologico generale, l'area viene a trovarsi nell'ampia fascia corrispondente alle Alpi Centrali, caratterizzata da una struttura molto complessa, le cui falde appartengono a due domini strutturali: l'Elvetico, il Pennidico e l'Austroalpino a Nord mentre a Sud troviamo il Sudalpino (o Alpi Meridionali).

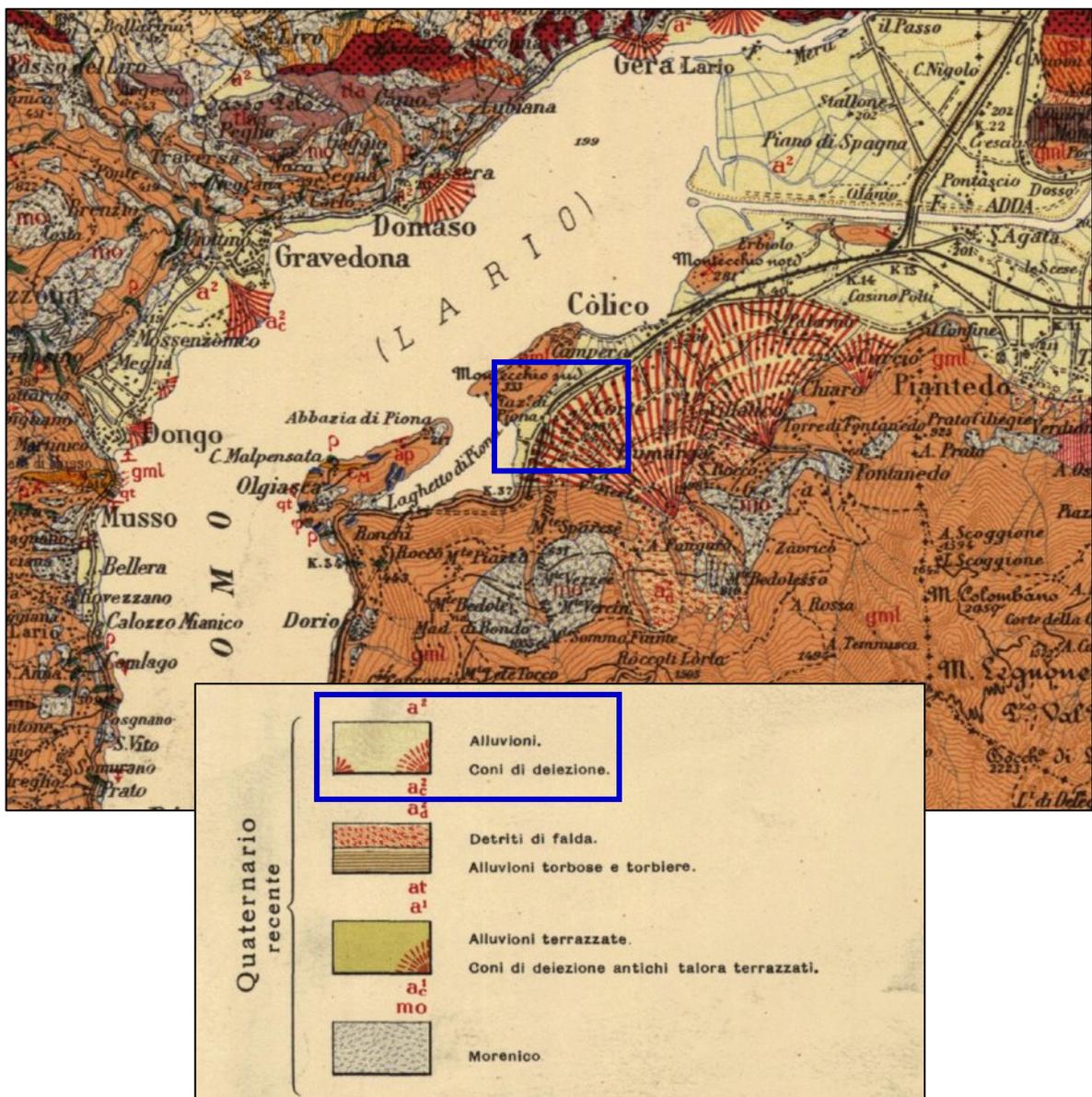


Fig. 4 - Carta geologica d'Italia foglio Chiavenna e legenda relativa al Quaternario recente

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA

PROGETTO ESECUTIVO DI "REALIZZAZIONE DI PISTA CICLO-PEDONALE IN VIA NAZIONALE SUD"
 IN COMUNE DI COLICO (LC)



Elemento fondamentale della tettonica dell'Alto Lario è la presenza di una grandiosa faglia, nota in letteratura geologica con la denominazione di "linea del Tonale" o "linea Insubrica"¹, che rappresenta la superficie di sovrascorrimento delle unità elvetiche, pennidiche e austroalpine sul dominio sudalpino, movimento che ha provocato il sollevamento della porzione "alpina" di circa 15 km rispetto al Sudalpino (l'area oggetto di studio si trova a Sud rispetto a tale lineamento).

Tale linea tettonica rappresenta in realtà solo una porzione della linea Periadriatica, che taglia longitudinalmente l'intero arco alpino e che, appunto, localmente prende denominazioni differenti; decorrendo da Ovest verso Est troviamo nel Canavese passando per Bellinzona e per il Passo di S. Jorio la "linea del Canavese", lungo il solco valtellinese, nel quale si mantiene in destra orografica, la "linea Insubrica", passando sotto l'Aprica fino al Passo del Tonale la "linea delle Giudicarie" ed in Val Pusteria e Val di Drava la "linea della Pusteria".

Le falde pennidiche, che formano la parte più profonda della catena alpina, risultano formate da grosse scaglie di crosta continentale prealpina e da una serie di sequenze metasedimentarie permio - mesozoiche e terziarie accatastate assieme a lembi di ofioliti testimoni dell'Oceano Ligure - Piemontese. I complessi ofiolitici e plutonici marcano il passaggio dal dominio pennidico all'austroalpino, il quale comprende i sovrascorrimenti più estesi e le unità strutturali più elevate del sistema alpino, costituiti da falde accatastate in modo irregolare sia di crosta continentale prealpina (basamento prepermiano già metamorfosato prima dell'orogenesi alpina, verosimilmente nella precedente orogenesi ercinica) sia di sedimenti (coperture) permio - mesozoici. Nelle falde australpine affiorano la finestra dell'Engadina e dei Tauri nelle quali si possono osservare le falde pennidiche sottostanti.

A Sud della "linea Insubrica" si estende il complesso sudalpino (Alpi Meridionali); esso comprende il basamento cristallino (Cristallino Sudalpino), metamorfosato in ambiente duttile durante l'orogenesi ercinica, e la copertura carbonifera - mesozoica (Sedimentario Sudalpino), che non ha subito metamorfismo alpino ma è stata deformata in prossimità della superficie insieme ad alcune scaglie del basamento.

In dettaglio il territorio comunale di Colico si inserisce all'interno del basamento sudalpino nell'Unità tettono-metamorfica Dervio Olgasca (DOZ). Tale zona rappresenta, dal punto di vista tettonico,

¹ da: "La geologia del territorio della Provincia di Sondrio" – Bonsignore, Bravi, Nangeroni, Ragni.



una porzione di crosta intermedia originatasi durante la fase metamorfica Varisica in *facies* anfibolitica ed in seguito riesumata durante l'orogenesi alpina.

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 in progetto.

In ogni caso il litotipo locale è riconducibile all'Unità tettono–metamorfica Dervio Olgiasca (DOZ) che consiste in metapeliti, subordinate metabasiti, metagranitoidi, quarziti, marmi e pegmatiti. Le metapeliti comprendono micascisti e *gneiss* con staurolite, biotite, granato e cianite, *gneiss* e scisti a biotite e sillimanite, micascisti a clorite e *gneiss* a clorite e biotite. A questi si aggiungono pegmatiti sottoforma di lenti potenti sino al metro incluse negli *gneiss* a sillimanite e biotite. Le rocce femiche della DOZ sono principalmente anfiboliti, anfiboli a granato, anfiboli a clinopirosseno e orneblenda.

2.3. COPERTURA SUPERFICIALE

L'area oggetto di studio presenta una copertura superficiale caratterizzata da **depositi alluvionali di conoide** del Torrente Perlino. In particolare i depositi di conoide sono gli accumuli che si formano alla confluenza dei corsi d'acqua laterali con la valle principale (nel caso in esame il 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.

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La morfologia del territorio comunale di Colico è dovuta all'interazione di più fenomeni passati e attuali: processi di origine glaciale legati agli episodi di avanzamento e ritiro dei ghiacciai locali durante il Quaternario (Ghiacciaio dell'Adda), processi fluviali di trasporto e di deposizione che hanno operato ed operano sul fondovalle del Torrente Inganna e Torrente Perlino e lungo i corsi d'acqua secondari, ed infine i processi gravitativi di dinamica del versante che determinano sia il rimaneggiamento di depositi glaciali che la formazione di detriti di versante attuali a spese del substrato roccioso. 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 Perlino, che ha determinato la formazione di un ampio conoide alluvionale coalescente ad Est con il conoide del Torrente Inganna. Sopra suddetti conoidi è stato edificato il centro urbano di Colico. L'area in esame si trova nel settore distale del conoide sopraccitato ed è caratterizzata da una digradazione delle quote topografica in direzione del Lago di Como (Nord - Ovest).

In fase di sopralluogo (**09 novembre 2022**) NON sono stati rilevati in zona processi geomorfici potenziali o in atto tali da pregiudicare la sicurezza delle opere in progetto.

4. CARATTERI IDROGEOLOGICI E IDROGRAFIA SUPERFICIALE

Relativamente all'assetto idrografico il territorio comunale di Colico è contraddistinto dalla presenza di due corsi d'acqua principali, il Torrente Inganna e il Torrente Perlino, che nascono e scorrono lungo i versanti del Monte Legnone e sfociano nel Lago di Como; dal Torrente Merla che nasce in corrispondenza della cresta Monte Legnone - Legnoncino e sfocia nel laghetto di Piona; da una serie di torrenti affluenti dei corsi d'acqua appena citati; da fossi e canali che si sviluppano nel settore pianeggiante.

In dettaglio NON si evidenzia in corrispondenza dell'area oggetto di studio e/o in fregio alla stessa la presenza di impluvi e/o corsi d'acqua significativi. In direzione Nord - Ovest, ad una distanza minima in linea d'aria superiore a 170,00 m, si sviluppa un canale di fondovalle appartenente al



Reticolo Idrico Minore comunale; in direzione Sud, ad una distanza minima in linea d'aria superiore a 290,00 m, scorre il Torrente Merla ed in direzione Est, ad una distanza minima in linea d'aria superiore a 900,00 m, si sviluppa il Torrente Perlino. Detto ciò, dall'analisi dei piani di settore comunali NON sono previste interferenze tra le opere in progetto e le fasce di rispetto dei corsi d'acqua sopracitati.

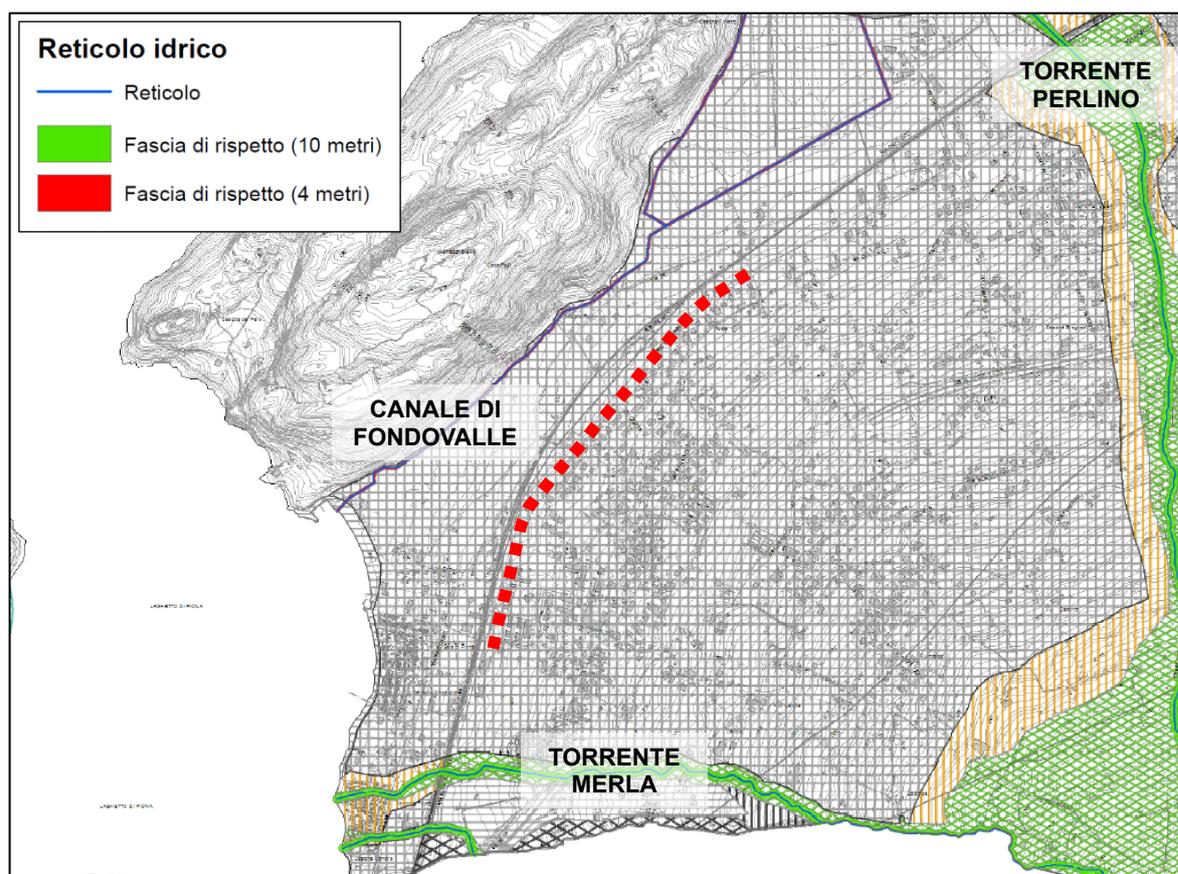


Fig. 5 – Stralcio “Carta dei vincoli” del P.G.T. del Comune di Colico (storico)

Per quello che concerne i caratteri idrogeologici dell'area, il livello superficiale della falda freatica NON è stato rilevato in fase di indagine.

Si evidenzia, dall'analisi della “Carta degli elementi idrografici, idraulici, idrologici e idrogeologici” della “Componente Geologica (storico)” del P.G.T. del Comune di Colico, che il livello dell'acquifero nell'area in esame si trova ad una quota compresa tra 204,00 e 208,00 m s.l.m. .

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



Detto ciò, si esclude che le opere in progetto possano interagire con la falda freatica presente nel sottosuolo.

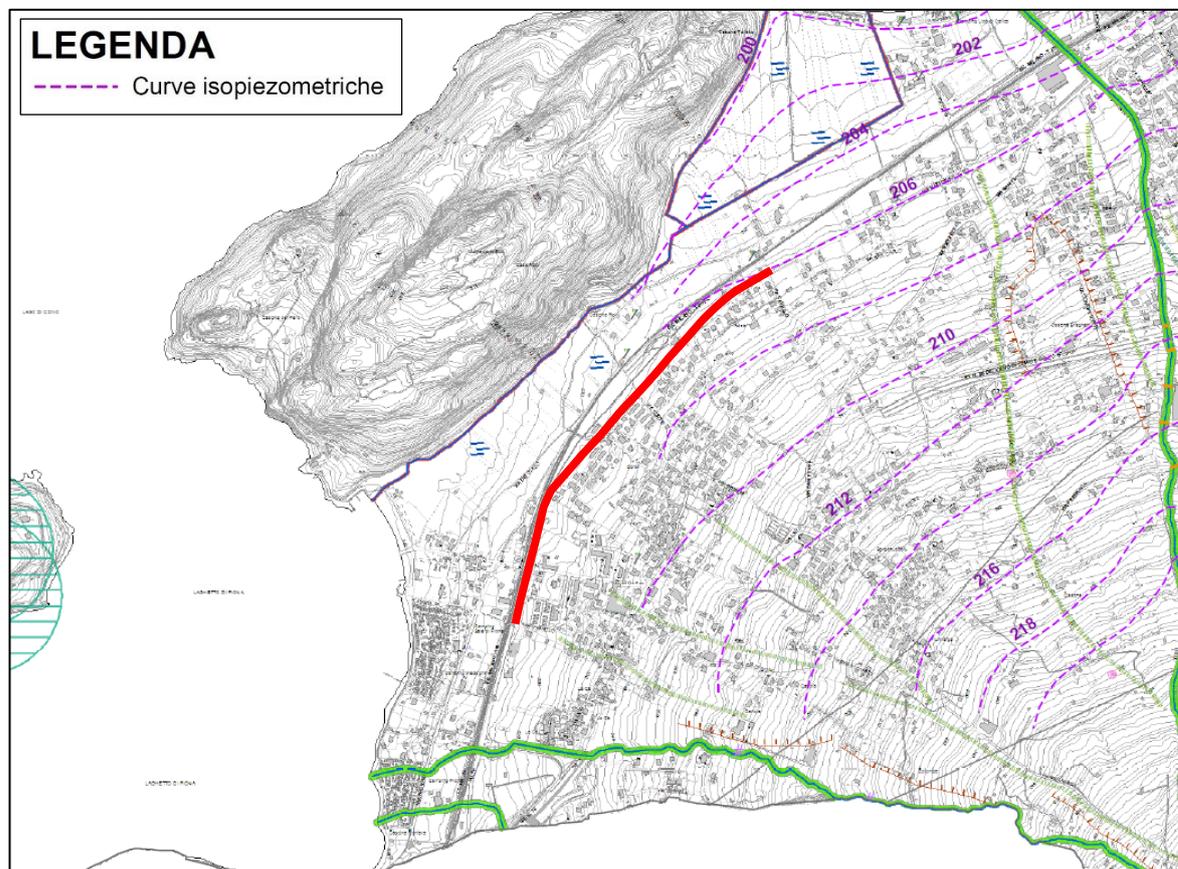


Fig. 6 – Stralcio “Carta degli elementi idrografici, idraulici, idrologici e idrogeologici” del P.G.T. del Comune di Colico (storico)

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).

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



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

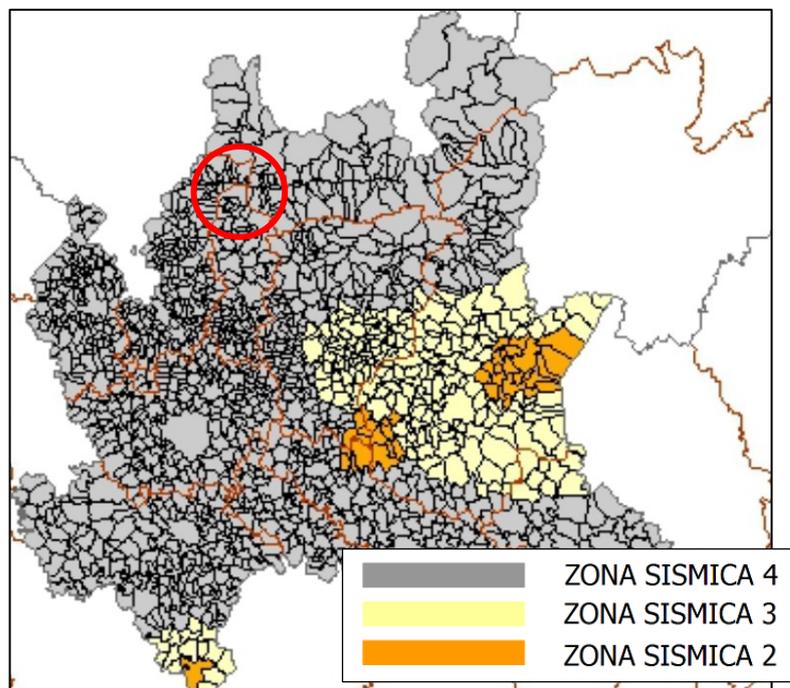


Fig. 7 – Classificazione sismica secondo la D.G.R. N° 14964/2003

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 Colico è rimasto in **zona sismica 4 (livello di pericolosità sismica molto basso)**.

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA

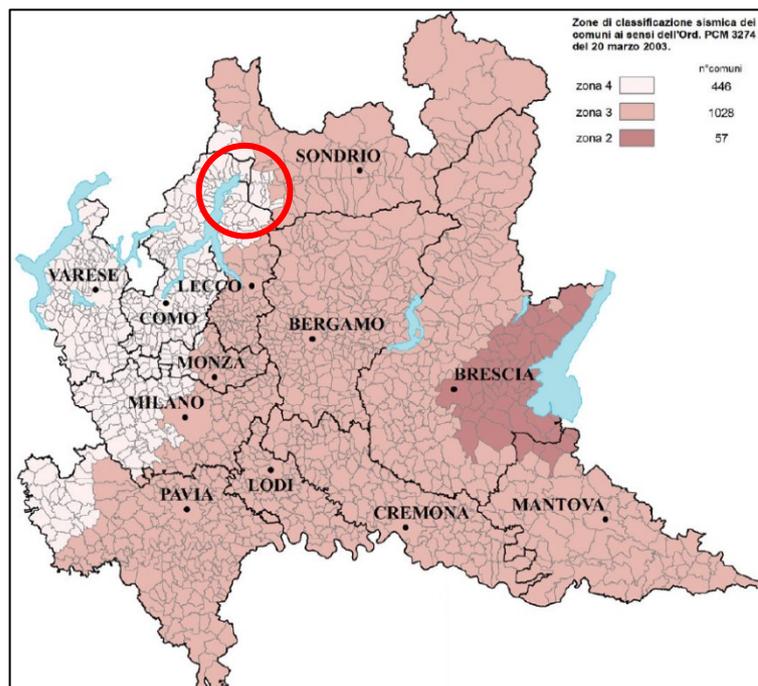


Fig. 8 – Classificazione sismica secondo la nuova normativa

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 (prova di sismica passiva HVSR con strumentazione ECHO TROMO HVSR 3 svolta in data 09 novembre 2022 in prossimità dell'incrocio tra via Nazionale Sud e via Laghetto e prova di sismica passiva HVSR con strumentazione TROMINO ® svolta in data 20 maggio 2018 in prossimità di via Nazione Sud (tratto tra via Camposecco e via Casello) a supporto della "Relazione geologica e geotecnica" per il progetto di "Ristrutturazione fabbricato esistente con recupero sottotetto ai fini abitativi" – committente privato).

L'indagine di sismica passiva HVSR con strumentazione ECHO TROMO HVSR 3 ha evidenziato una V_{s_eq} pari a 509,48 m/s e l'indagine di sismica passiva HVSR con strumentazione TROMINO ® ha evidenziato una V_{s_eq} pari a 491,00 m/s; pertanto si ipotizza che i terreni naturali in oggetto di studio appartengano alla

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



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 (come punto di riferimento del tratto di pista ciclo-pedonale in progetto è stato considerato l'incrocio tra via Nazionale Sud e vicolo la Caseta):

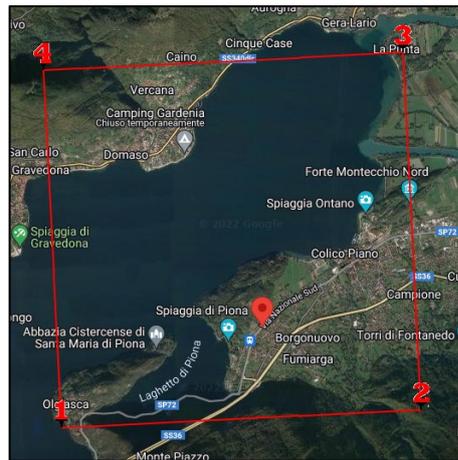


Fig. 9 – Localizzazione del reticolo di riferimento

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni

Sito in esame

Latitudine: 46,127349 [°]

Longitudine: 9,353962 [°]

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	9377	46,1135	9,3139	3455,194
Sito 2	9378	46,1159	9,3858	2761,581
Sito 3	9156	46,1658	9,3823	4802,970

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



Sito 4	9155	46,1634	9,3103	5233,367
--------	------	---------	--------	----------

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]
Operatività (SLO)	81	30	0,017	2,633	0,158
Danno (SLD)	63	50	0,021	2,623	0,164
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,043	2,692	0,277
Prevenzione del collasso (SLC)	5	975	0,051	2,730	0,300

Coefficienti sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [-]	Beta [-]
SLO	1,200	1,590	1,000	0,004	0,002	0,203	0,200
SLD	1,200	1,580	1,000	0,005	0,003	0,250	0,200
SLV	1,200	1,420	1,000	0,010	0,005	0,503	0,200

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



SLC	1,200	1,400	1,000	0,012	0,006	0,605	0,200
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Si aggiunge che il territorio comunale di Colico posto in **zona sismica 4** ha una **Ag_{max} pari a 0,044490 m/s²** 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 pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre) ed è attraversata da una **zona di contatto Z5** (Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisiche - meccaniche molto diverse) dalla “Carta della pericolosità sismica di primo livello” del P.G.T. del Comune di Colico (storico).

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

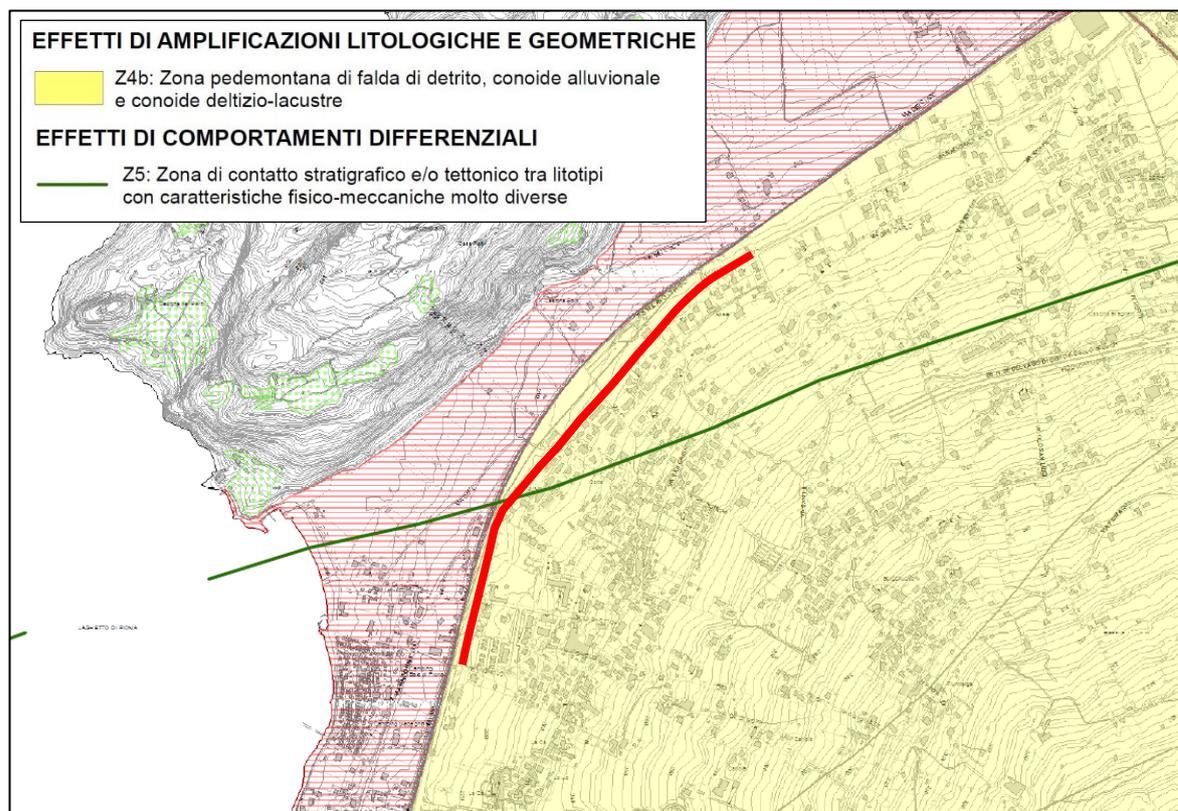


Fig. 10 - Stralcio “Carta della pericolosità sismica di primo livello” del P.G.T. del Comune di Colico e relativa legenda (storico)

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



5.2. INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR CON STRUMENTAZIONE ECHO TROMO HVSR 3

In data **09 novembre 2022** è stata effettuata un'indagine indiretta di sismica passiva HVSR con strumentazione ECHO TROMO HVSR 3, che ha permesso di ricavare la categoria del sottosuolo e, attraverso la variazione della velocità sismica nel sottosuolo, di ottenere approssimativamente la stratigrafia.

L'indagine è stata svolta in corrispondenza del terreno in esame, ove è prevista la realizzazione della pista ciclo-pedonale, in prossimità dell'incrocio tra via Nazionale Sud e via Laghetto.

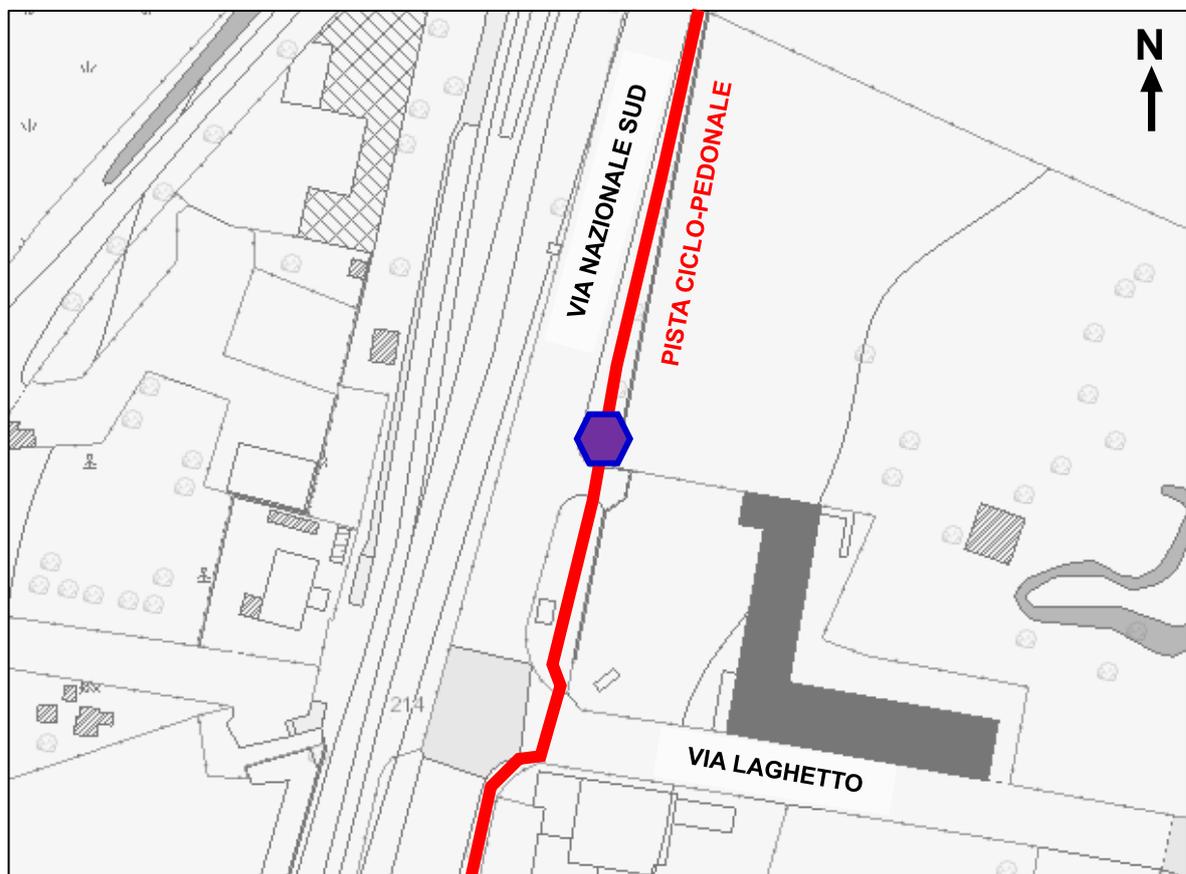


Fig. 11 – Estratto DBT con ubicazione punto di esecuzione indagine di sismica passiva HVSR con strumentazione ECHO TROMO HVSR 3 (esagono viola)

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 - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



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 lisciamiento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



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} .



Fig. 12 – Punto di esecuzione indagine di sismica passiva HVSR con strumentazione ECHO TROMO HVSR 3
Di seguito si riportano i dati sismici ottenuti dall'indagine indiretta di sismica passiva HVSR con
strumentazione ECHO TROMO HVSR 3.

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:

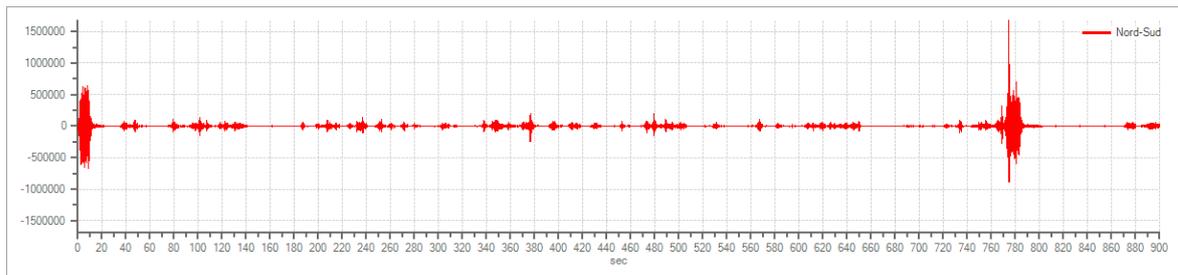


Fig. 13 – Traccia in direzione Nord-Sud

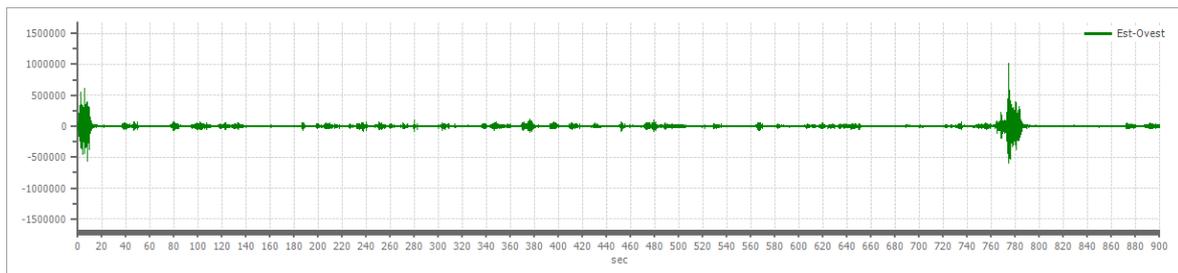


Fig. 14 – Traccia in direzione Est-Ovest

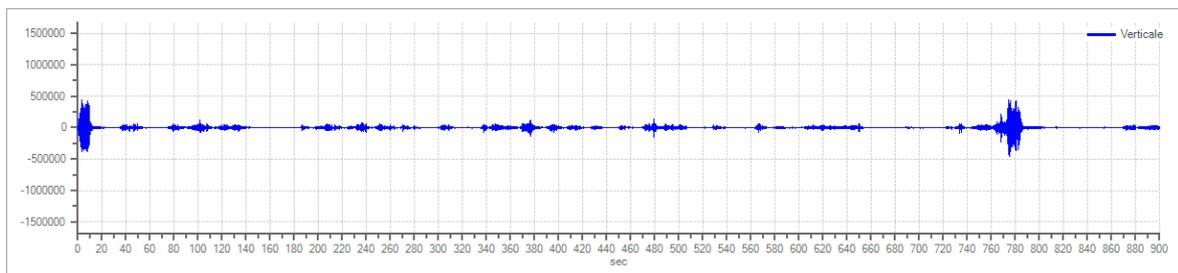


Fig. 15 – Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

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

Tabella finestre:

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	80	100	Inclusa
2	100	120	Inclusa
3	120	140	Inclusa
4	140	160	Inclusa
5	180	200	Esclusa
6	200	220	Inclusa
7	220	240	Esclusa
8	260	280	Inclusa
9	280	300	Inclusa
10	340	360	Inclusa
11	380	400	Inclusa
12	440	460	Inclusa
13	460	480	Inclusa
14	480	500	Esclusa
15	500	520	Inclusa
16	520	540	Esclusa
17	540	560	Inclusa
18	560	580	Inclusa
19	580	600	Inclusa
20	600	620	Inclusa
21	620	640	Inclusa
22	640	660	Inclusa
23	700	720	Esclusa
24	720	740	Inclusa
25	740	760	Inclusa

Grafici tracce con finestre selezionate:

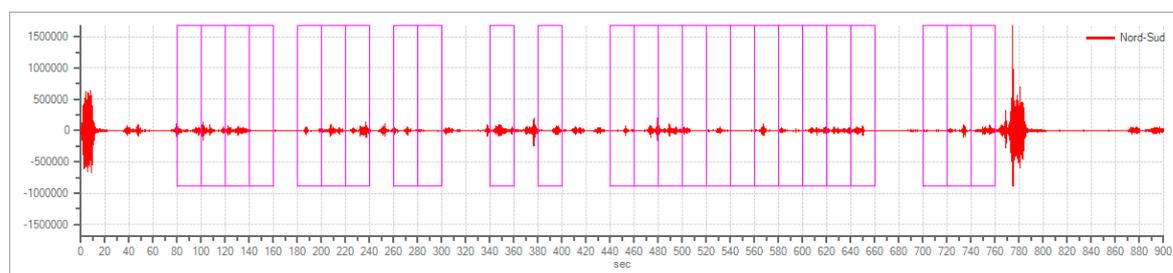


Fig. 16 – Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA

PROGETTO ESECUTIVO DI “REALIZZAZIONE DI PISTA CICLO-PEDONALE IN VIA NAZIONALE SUD”
 IN COMUNE DI COLICO (LC)

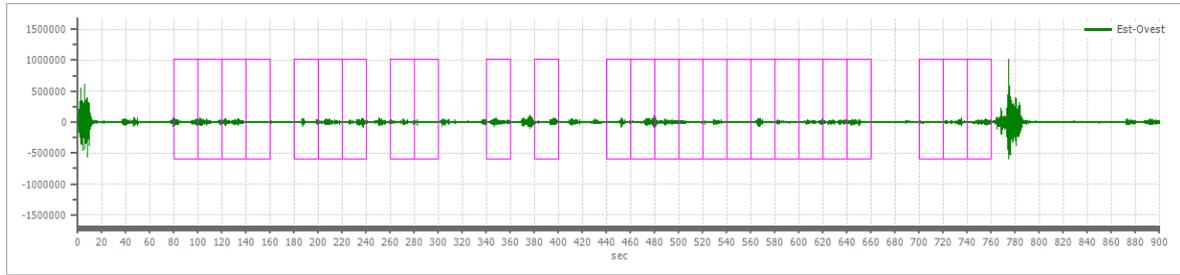


Fig. 17 – Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

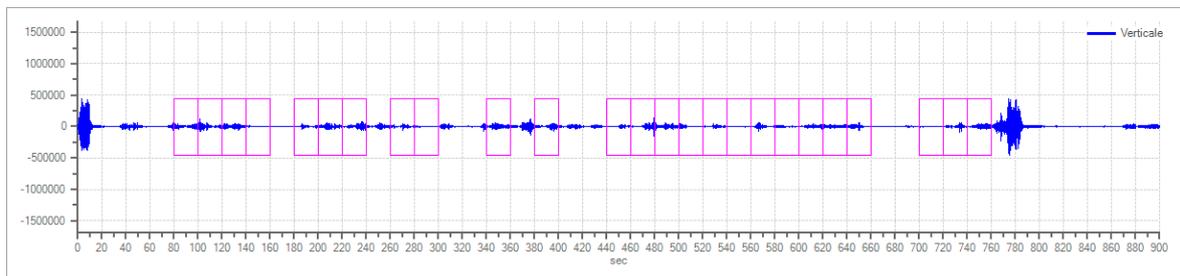


Fig. 18 – Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

Grafici degli spettri

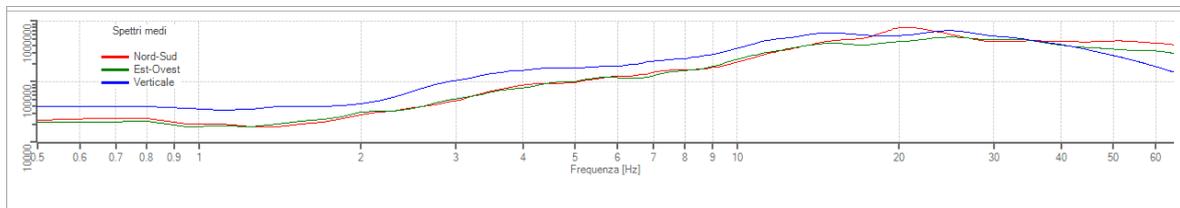


Fig. 19 – Spettri medi nelle tre direzioni

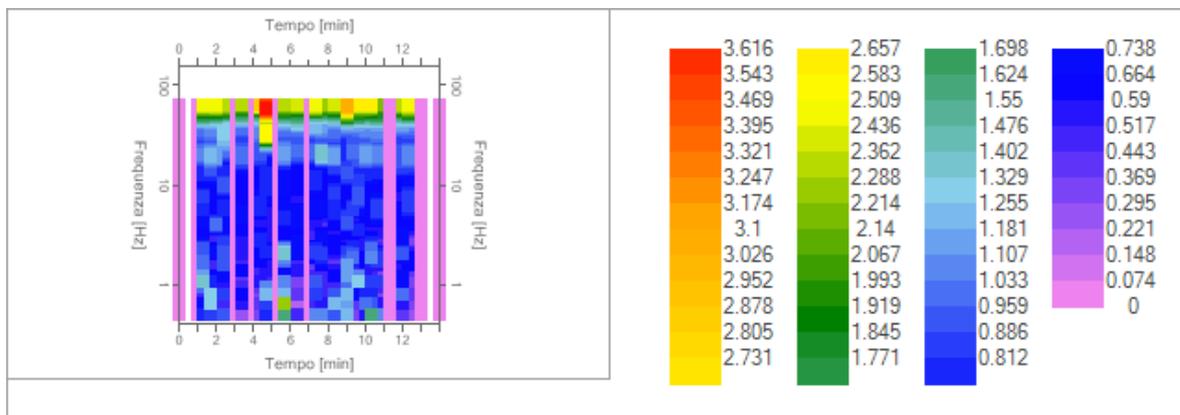


Fig. 20 – Mappa della stazionarietà degli spettri

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA

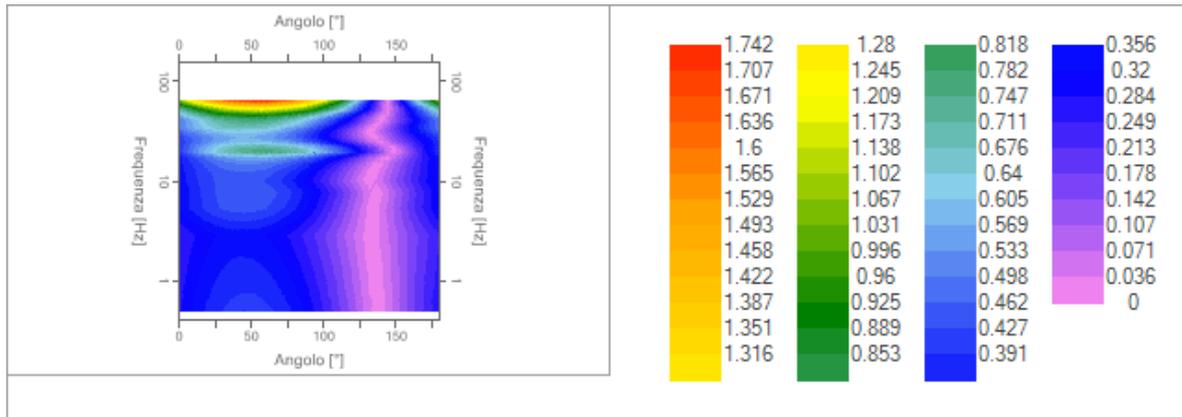


Fig. 21 – Mappa della direzionalità degli spettri

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: 64,85 Hz ± 0,10 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V

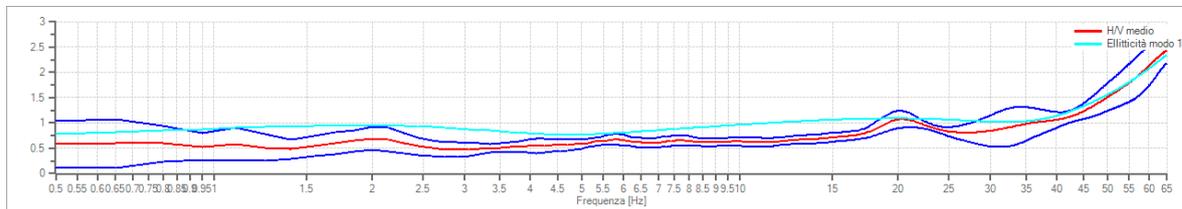


Fig. 22 – Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:



Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	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:	64,85 Hz
Valore di disadattamento:	0,32
Valore Vseq:	509,48 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0,00	0,50	18	0,30	125
2	0,50	3,30	18	0,40	370
3	3,80	43,00	18	0,30	570
4	46,80	---	22	0,30	800

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA

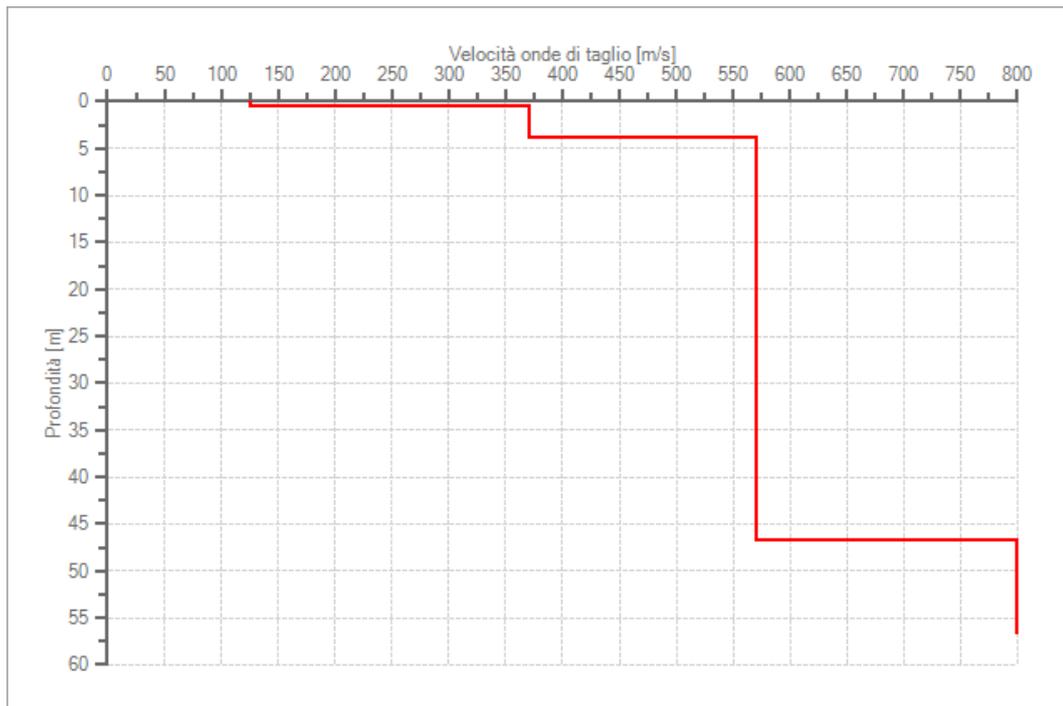


Fig. 23 – Profilo delle velocità delle onde di taglio

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



5.3. INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR CON STRUMENTAZIONE TROMINO

®

A seguire si riportano i dati ricavati dall'indagine indiretta di sismica passiva HVSR con strumentazione TROMINO ® effettuata dallo scrivente in data **20 maggio 2018** a supporto della "Relazione geologica e geotecnica" per il progetto di "Ristrutturazione fabbricato esistente con recupero sottotetto ai fini abitativi" – committente privato.

Tenendo presente che l'indagine è stata svolta in un'area prossima a via Nazione Sud (tratto tra via Camposecco e via Casello) contraddistinta dalle medesime condizioni geologiche e geotecniche (depositi alluvionali di conoide), si ritiene che la ricostruzione stratigrafica basata sulla variazione della velocità sismica nel sottosuolo sia valida anche per il terreno oggetto di studio.



Fig. 24 – Estratto DBT con ubicazione punto di esecuzione indagine di sismica passiva HVSR con strumentazione TROMINO ® (esagono blu) e relativa documentazione fotografica (in basso a sinistra)



Il tromometro digitale TROMINO ®, prodotto dalla Micromed spa, è uno strumento portatile (10 x 14 x 8 cm e 1,1 kg) basato su un progetto brevettato che ottimizza la misura del microtremore nell'intervallo di frequenze compreso fra 0,1 e 200 Hz. Il dispositivo è dotato di tre canali velocimetrici elettrodinamici ad alta risoluzione per l'acquisizione del microtremore fino a circa $\pm 1,5$ mm/s, di tre canali velocimetrici per la registrazione delle vibrazioni forti fino a ± 5 cm/s e di tre canali accelerometrici. I sensori sono disposti secondo tre direzioni ortogonali (terna x, y e z) e, smorzati criticamente, trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore con risoluzione non inferiore a 23 bit. Inoltre è presente un canale analogico predisposto per l'acquisizione dati da ricevitore GPS integrato (sistema ricevitore / antenna) ed un modulo radio permette la sincronizzazione tra diverse unità di lavoro ed eventualmente la trasmissione di allarmi. Per quanto attiene alle caratteristiche che interessano le misure di vibrazione, è da rilevare che lo strumento ha una curva di risposta pressoché piatta nella banda di interesse per la norma DIN4150, grazie a sismometri *mid-frequency* la cui risposta viene digitalizzata a 24 bit A/D con una frequenza di campionamento di 512 Hz.

Di seguito si riportano i dati sismici ottenuti dall'indagine indiretta di sismica passiva HVSR con strumentazione TROMINO ®.

Strumento: TEN-0043/01-08

Inizio registrazione: 20/05/18 20:07:31

Fine registrazione: 20/05/18 20:27:32

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down

Durata registrazione: 0h20'00"

Analizzato 82% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

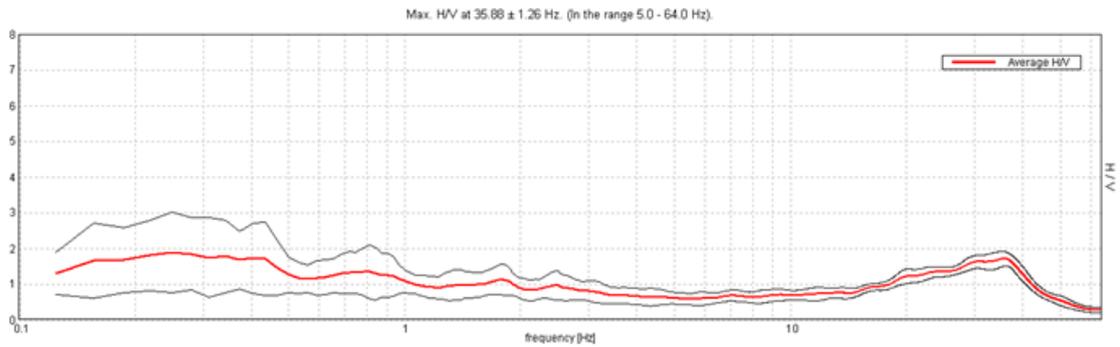
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

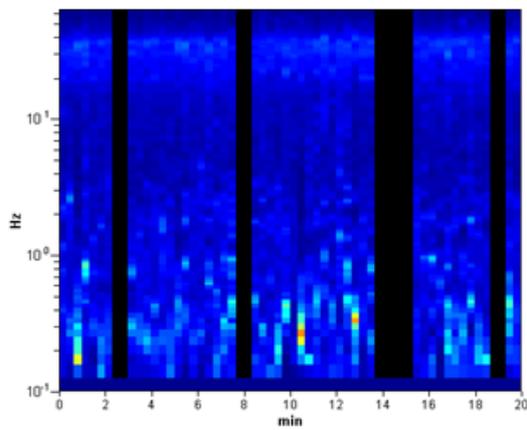
Lisciamento: 10%



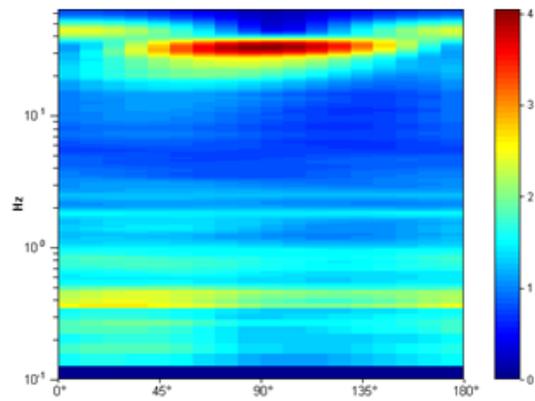
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



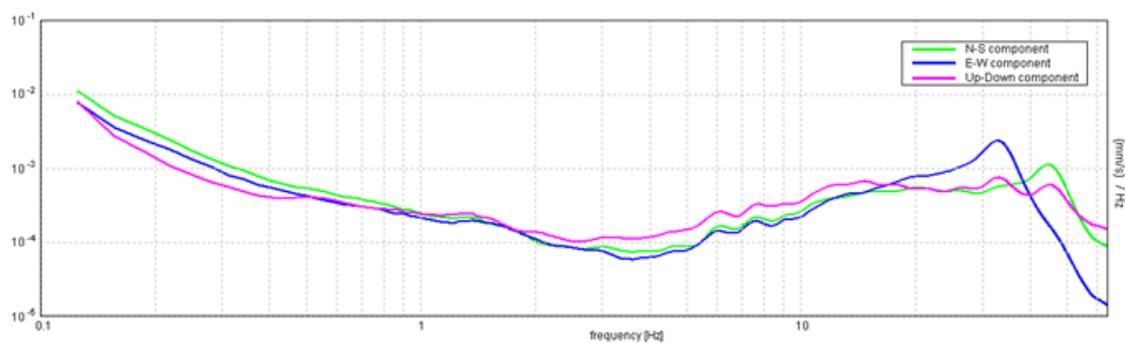
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



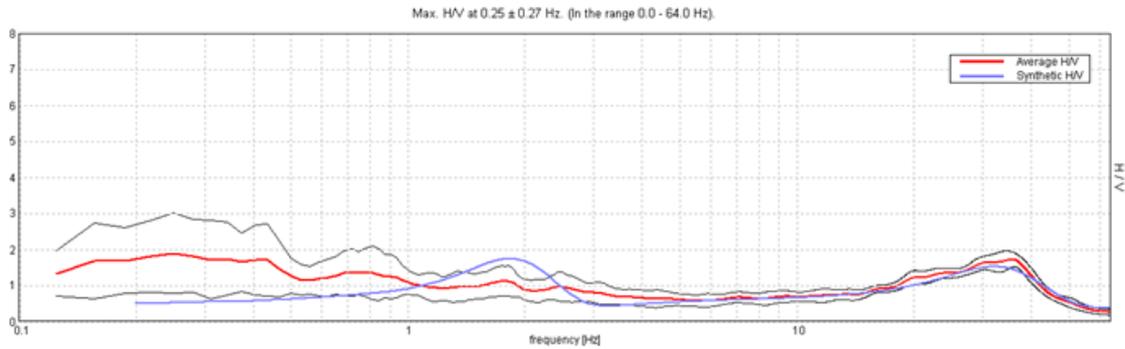
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA

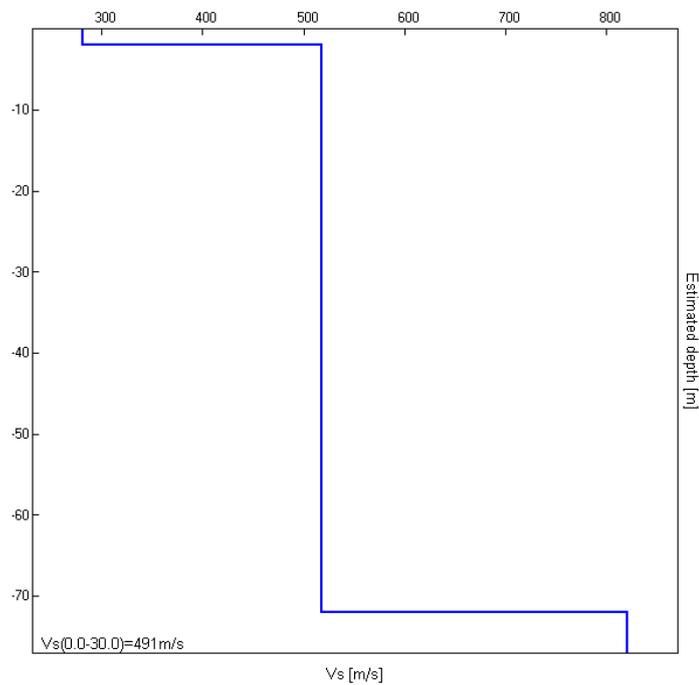


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2,00	2,00	282	0,40
72,00	70,00	518	0,40
inf.	inf.	820	0,40

Vs (0,0-30,0) = 491 m/s



RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



Picco H/V a 35.88 ± 1.26 Hz (nell'intervallo 5.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile
 [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	35.88 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	35157.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 1475	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro
 [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	15.5 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	43.531 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.71 > 2		NO
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.03501 < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.25605 < 1.79375	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1997 < 1.58	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$				
	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



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 quiescente");

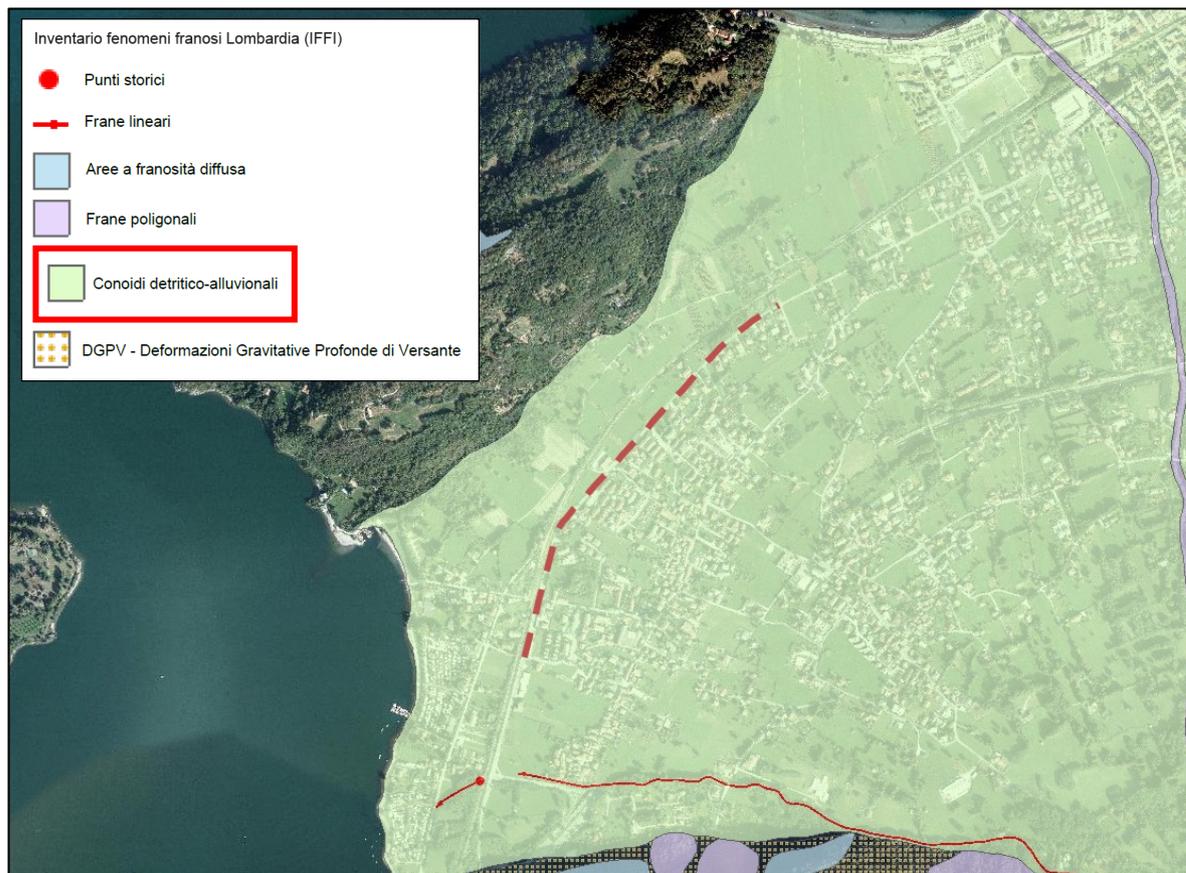


Fig. 25 – Stralcio Carta Inventario Frane e Dissesti Regione Lombardia (fonte S.I.T. Regione Lombardia)



- Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici del Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) (l'area in esame ricade all'interno dei "Dissesti poligonal - CONOIDI: Area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta (Cn)");

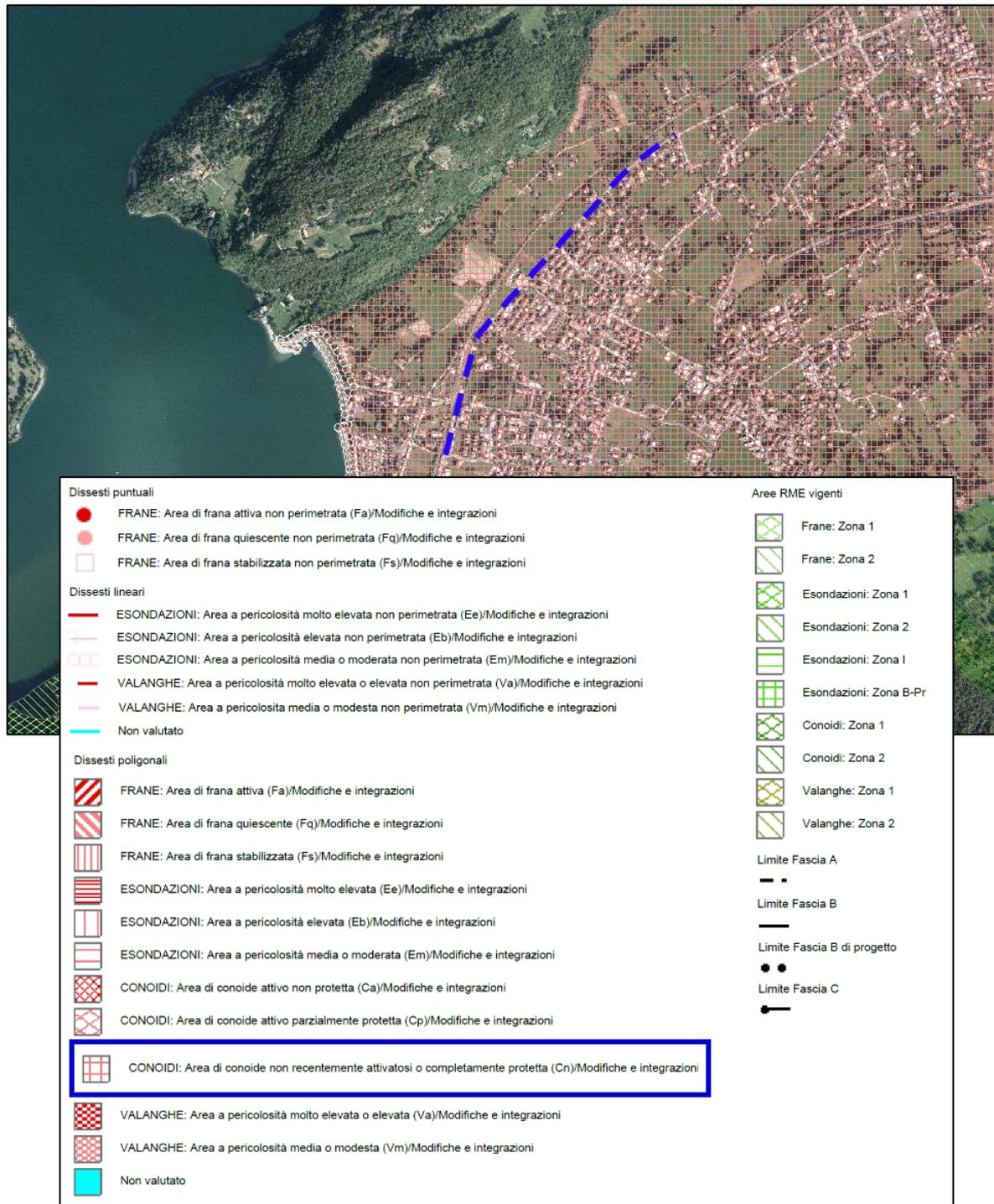


Fig. 26 – Stralcio carta studi geologici comunali e relativa legenda (fonte S.I.T. Regione Lombardia)

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



- Carta di localizzazione probabile valanghe della Regione Lombardia (S.I.R.VAL.) - Territorio e Rischi Idrogeologici Regione Lombardia (NESSUNA SEGNALAZIONE);
- 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").

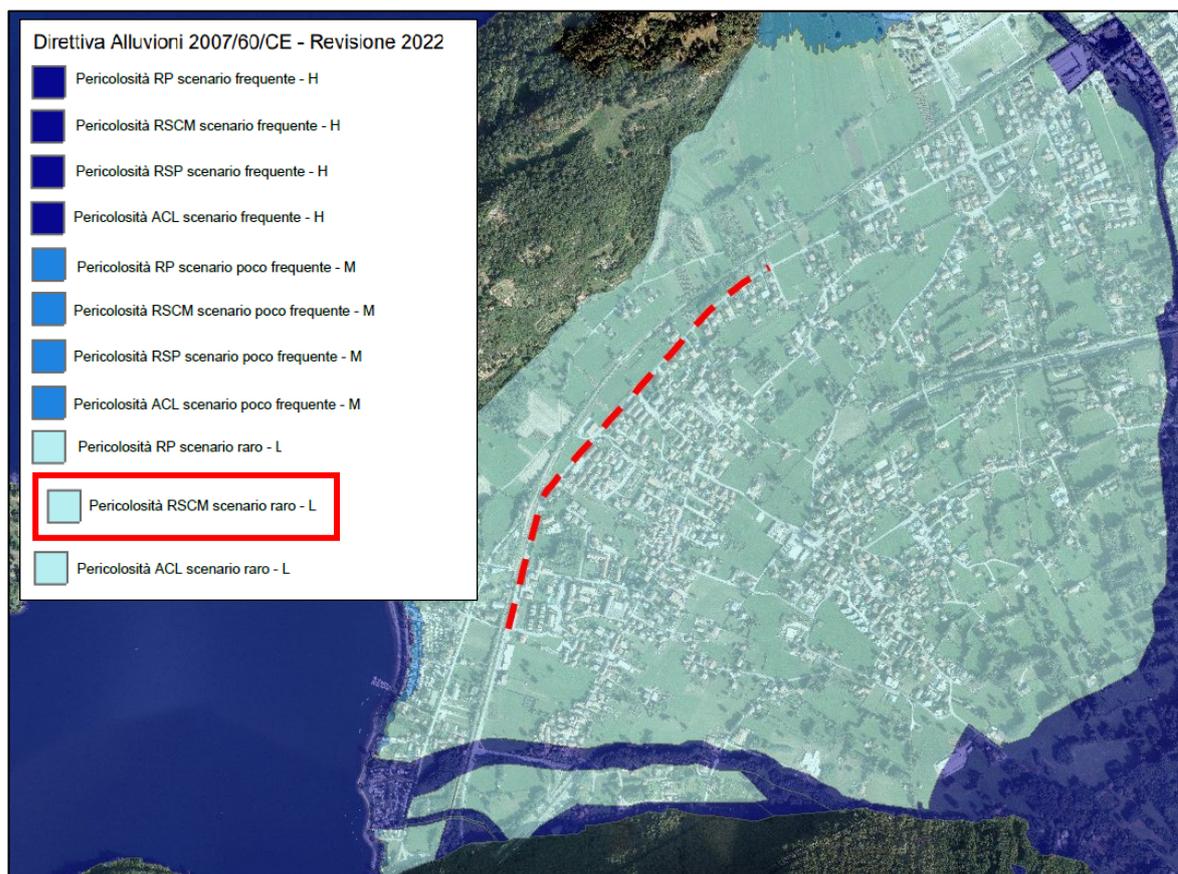


Fig. 27 – Stralcio carta Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – Revisione 2022 (fonte S.I.T. Regione Lombardia)

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.

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGICA



7. INDAGINI GEOGNOSTICHE

In considerazione del contesto geologico - geomorfologico locale, delle evidenze di superficie relative alla natura dei terreni / roccia (depositi alluvionali di conoide) noti allo scrivente e dell'assenza negli edifici ed infrastrutture circostanti di segni di lesionamento e di cedimento da imputare a scarse caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione, allo stato attuale NON sono state svolte indagini geognostiche dirette.

Si raccomanda in fase esecutiva di verificare (anche mediante visione diretta dei fronti e del fondo di scavo) di confermare le caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni in corrispondenza del piano di fondazione e l'ipotetica presenza di materiali naturali o riporti con scadenti caratteristiche geotecniche.

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.

Detto ciò, si prevede alla quota di imposta delle opere in progetto la presenza di depositi alluvionali di conoide moderatamente addensati / addensati costituiti da terreni a grana media (sabbie e ghiaie con ciottoli di dimensione decimetriche).

8.2. PARAMETRI GEOTECNICI

Nel presente paragrafo si riportano i parametri geotecnici caratteristici riferiti ai terreni in esame. 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 NATURALE TERRENO (γt) 1,80 – 1,90 (t/m^3) ;

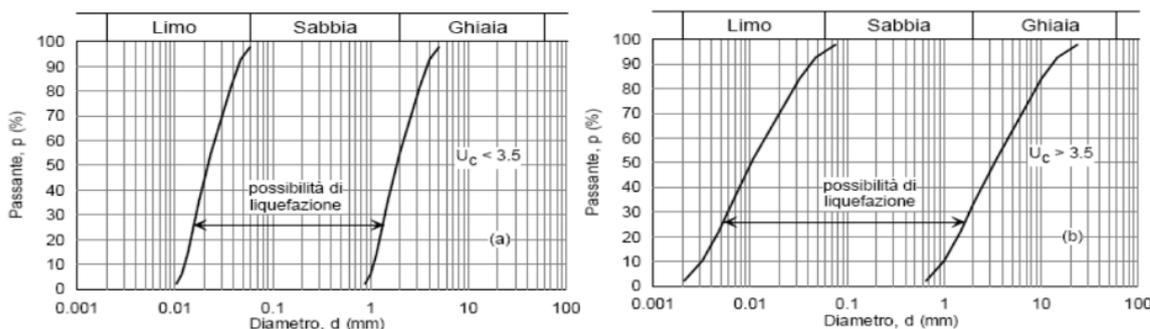


✓ PESO NATURALE TERRENO IMMERSO (γt)	0,90 – 1,00 (t/m^3) ;
✓ ANGOLO DI ATTRITO (ϕ)	$33^\circ \pm 1$;
✓ COESIONE (C_u)	0,00 (kg/cm^2) ;
✓ MODULO ELASTICO (E)	150 - 200 (kg/cm^2) ;
✓ COEFF. DI REAZIONI [per fondazione larga 0,3 m] (K_w)	6 – 8 (kg/cm^3) .

9. 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, SLC) si abbia 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.

10. APERTURA, SOSTEGNO E PROBLEMATICHE RELATIVE AI FRONTI DI SCAVO

Come si evince dagli elaborati di progetto NON è prevista l'esecuzione di sbancamenti per altezze rilevanti. In considerazione della natura e dei parametri geotecnici dei terreni oggetto di scavo, nell'apertura dei 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.

11. ANNOTAZIONI CONCLUSIVE

È stata redatta la presente relazione geologica - geotecnica – idrogeologica 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 (**PROGETTO ESECUTIVO DI “REALIZZAZIONE DI PISTA CICLO-PEDONALE IN VIA NAZIONALE SUD”**).

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



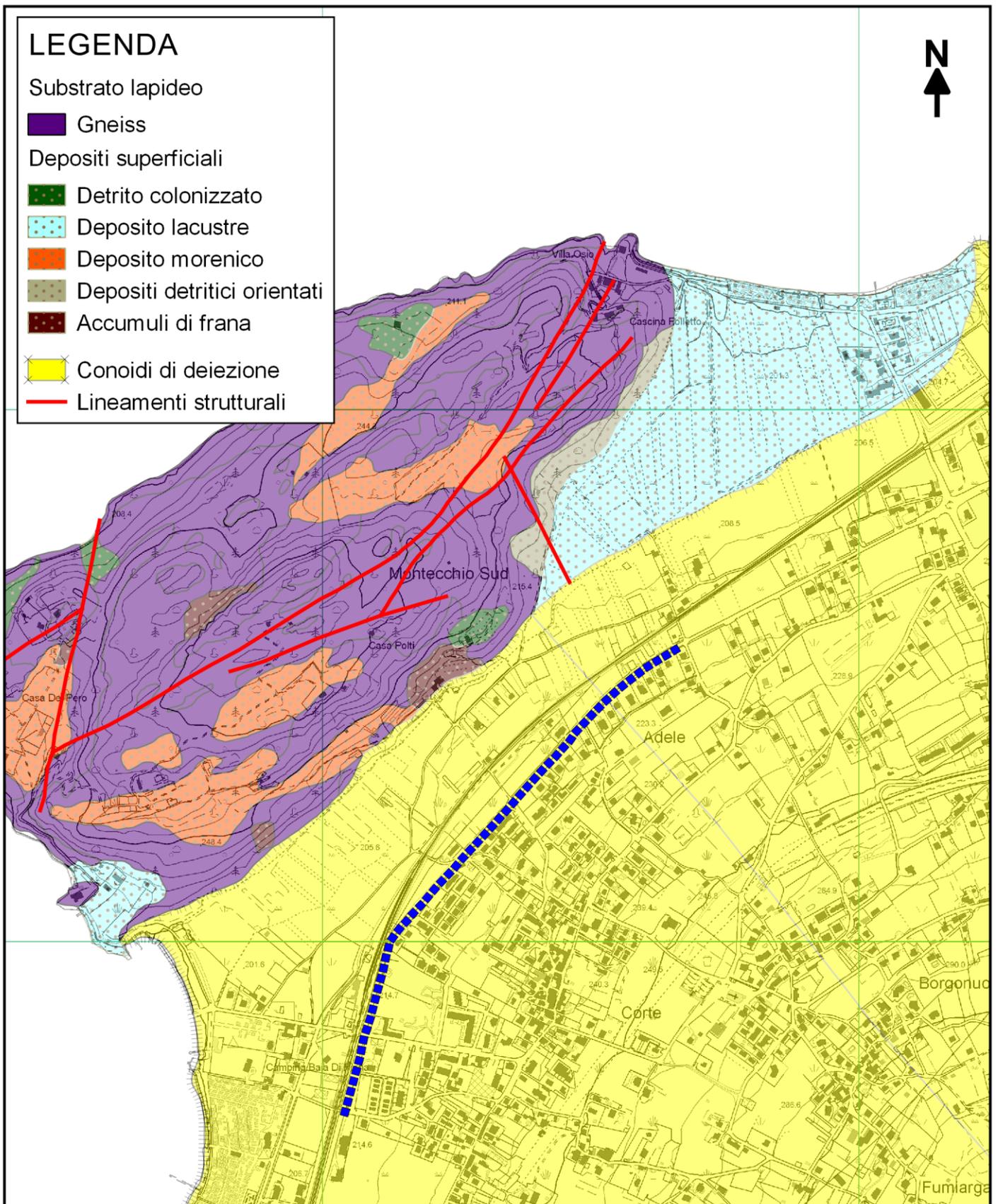
L'imposta delle nuove opere dovrà essere realizzata in corrispondenza dello strato di depositi caratterizzati da un grado di addensamento elevato / molto elevato. Durante le operazioni di scavo delle fondazioni si dovrà riservare attenzione alla natura dei depositi e dovranno essere segnalate eventuali difformità o repentine variazioni litologiche non rilevabili dalle indagini svolte nel presente documento.

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, lì febbraio 2023

Dr. Fabrizio Bigioli Geologo

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



CARTA GEO LITOLOGICA

scala 1:10.000

Estratto cartografico geo ambientale Regione Lombardia

■■■■ Pista ciclo-pedonale