



**COMUNE DI CASTIONE DELLA PRESOLANA  
PROVINCIA DI BERGAMO**

**RIFACIMENTO TRATTI MURO DI  
CONTENIMENTO A VALLE E POSA DI  
BARRIERE DI PROTEZIONE IN VIA RUSIO  
C.U.P. C57H20001440002.**

**INDAGINI GEOLOGICHE, GEOTECNICHE E  
SISMICHE A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE  
CIG. ZA132B9872**

**RELAZIONE GEOLOGICA CON MODELLO  
GEOLOGICO GEOTECNICO E SISMICO**

AI SENSI DEL D.M. 17.01.2018 - G.U. n. 42 del 20 febbraio 2018 (R1 e R3)





## 1. PREMESSA

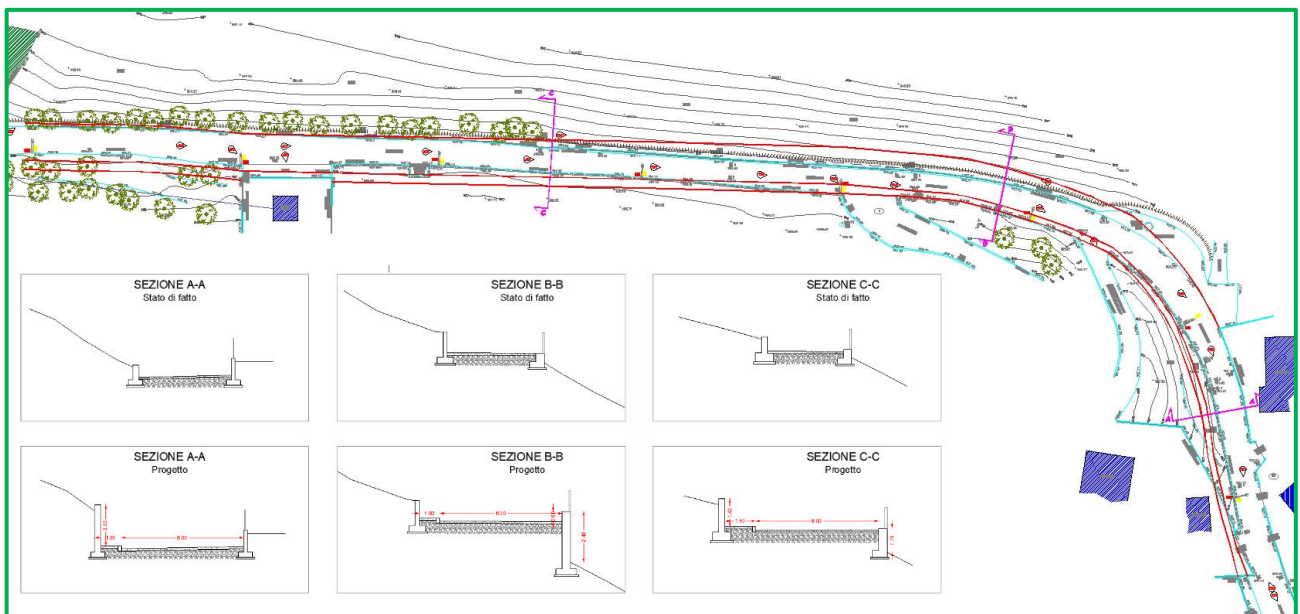
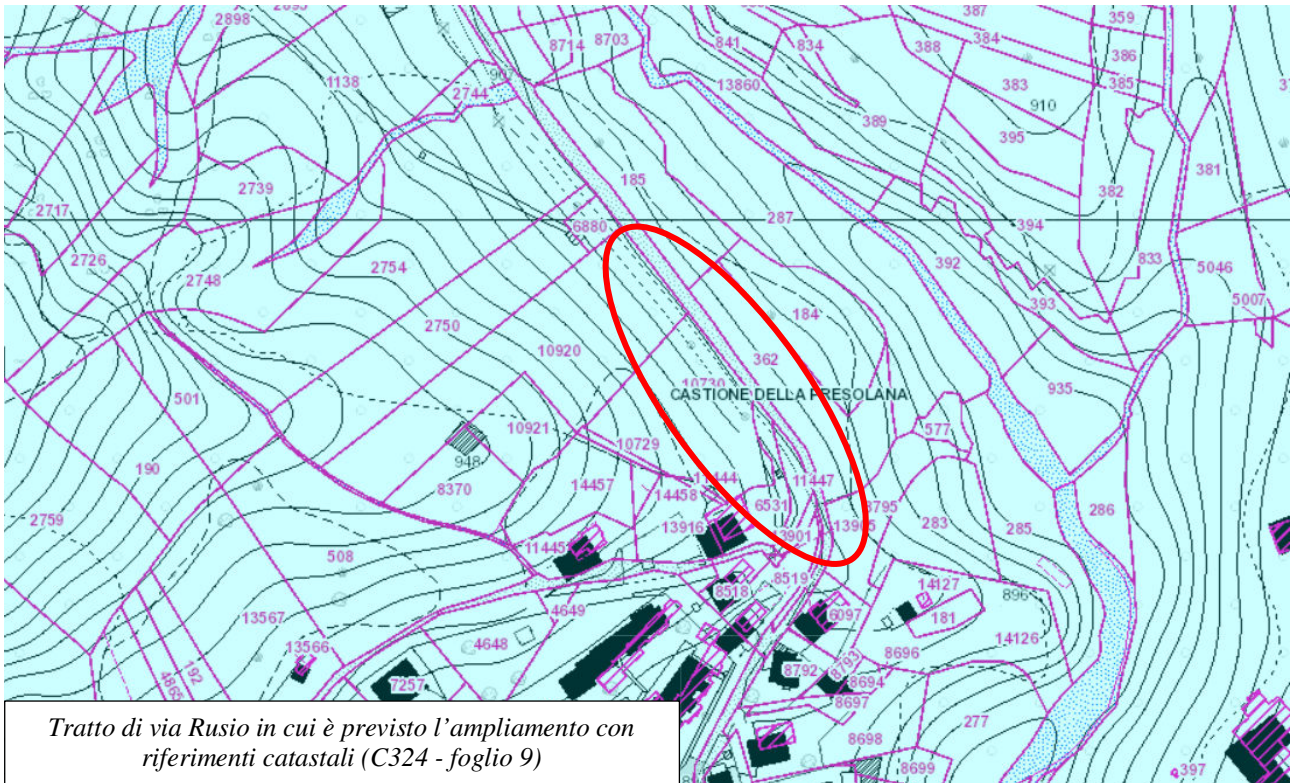
L'amministrazione comunale di Castione della Presolana ha fatto predisporre il progetto di fattibilità tecnico economica "RIFACIMENTO TRATTI MURO DI CONTENIMENTO A VALLE E POSA DI BARRIERE DI PROTEZIONE IN VIA RUSIO" all'ing. G. BENZONI (2020). Il progetto prevede l'ampliamento della strada verso monte e valle in modo da permettere il transito a doppio senso di marcia con la formazione di un marciapiede e la realizzazione di un nuovo muro di sostegno stradale.

Il sito ove si intende realizzare l'allargamento è al margine dell'abitato di Castione lungo un pendio mediamente acclive, con esposizione a ESE, sul versante destro della valle dei Mulini che si raccorda con i terrazzi fluvio-glaciali antichi su cui sorge l'abitato di Castione. L'area è caratterizzata da affioramenti rocciosi a quote più elevate della strada e affioramenti di conglomerato cementato nella zona del parcheggio realizzato qualche anno fa dal comune stesso per l'accesso alla valle dei Mulini, luogo frequentato da escursionisti soprattutto durante la stagione estiva. Il versante è caratterizzato da terreni eluvio colluviali il cui spessore non è noto anche se durante la realizzazione del precedente ampliamento stradale nel 1989 è probabile che l'appoggio del muro avesse raggiunto la sede rocciosa; al piede della strada sono presenti evidenti tracce di terrazzette da pascolo indice dell'attività zootecnica che ha caratterizzato l'area, ma anche della fragilità del terreno superficiale e della sua componente limo-argillosa. Nel settore verso la cabina elettrica a NO dell'area di progetto, l'assenza del muro di sostegno e l'aumento dei carichi in transito sulla strada ha determinato anche un chiaro cedimento della sede stradale in riporto a cui occorre porre ulteriore attenzione.



Per quanto riguarda i riferimenti catastali il progetto insisterà a valle sui mappali 185, 362 e 8795, mentre a monte sui mappali 6531, 10730, 10920, 11447, 13901, 13905 del foglio 9 del censuario di Castione della Presolana (C324); solo per quelli a valle sono previste opere con la realizzazione di muri per i quali è necessaria la pratica di deposito sismico. Inoltre, in funzione del progetto definitivo verrà precisato quali sono i mappali effettivamente interessati dall'intervento di ampliamento. In ogni caso l'ampliamento è previsto in parte verso valle con il fine di sistemare il muro di sostegno parzialmente ammalorato e in parte verso monte per non eccedere con le altezze del muro e per limitare eventuali sbancamenti in roccia verso monte.





*Planimetria di progetto dell'ampliamento con identificazione delle tipologie di intervento (A-A sbancamento verso monte; B-B spostamento del muro verso valle; C-C- soluzione intermedia con muro a valle e sbancamenti a monte)*

In tale contesto nella cartografia di fattibilità a supporto del PGT l'area è in classe 2 di fattibilità a motivo della potenziale pericolosità legata a pendenze maggiori di 20° o ad orientazione sfavorevole degli strati. Non vi sono controindicazioni riguardo a problematiche sismiche dal momento che lo studio di pericolosità sismica di II livello a livello pianificatorio ha individuato che la normativa vigente (DM 17 gennaio 2018) con le metodologie semplificate è sufficiente a valutare l'amplificazione sismica.



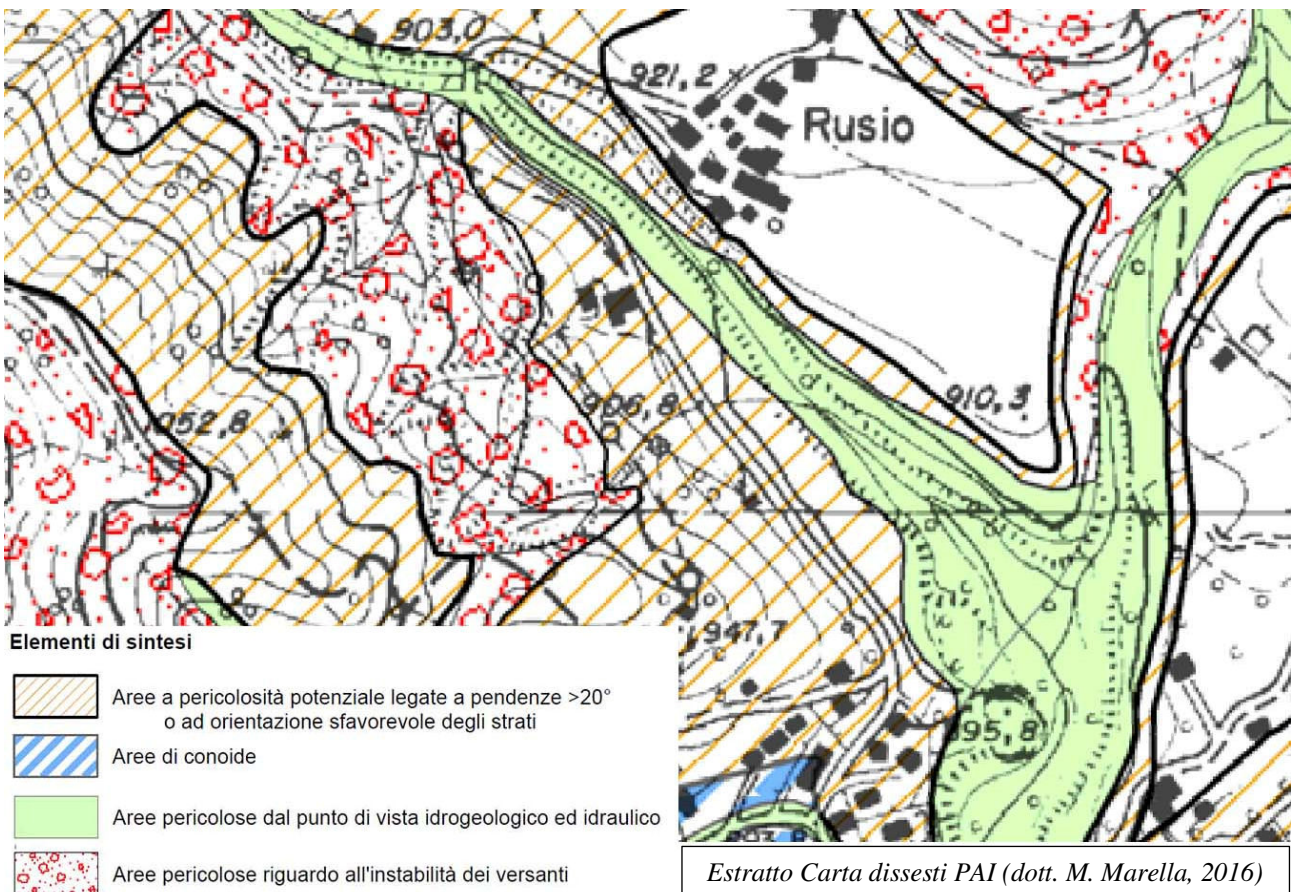
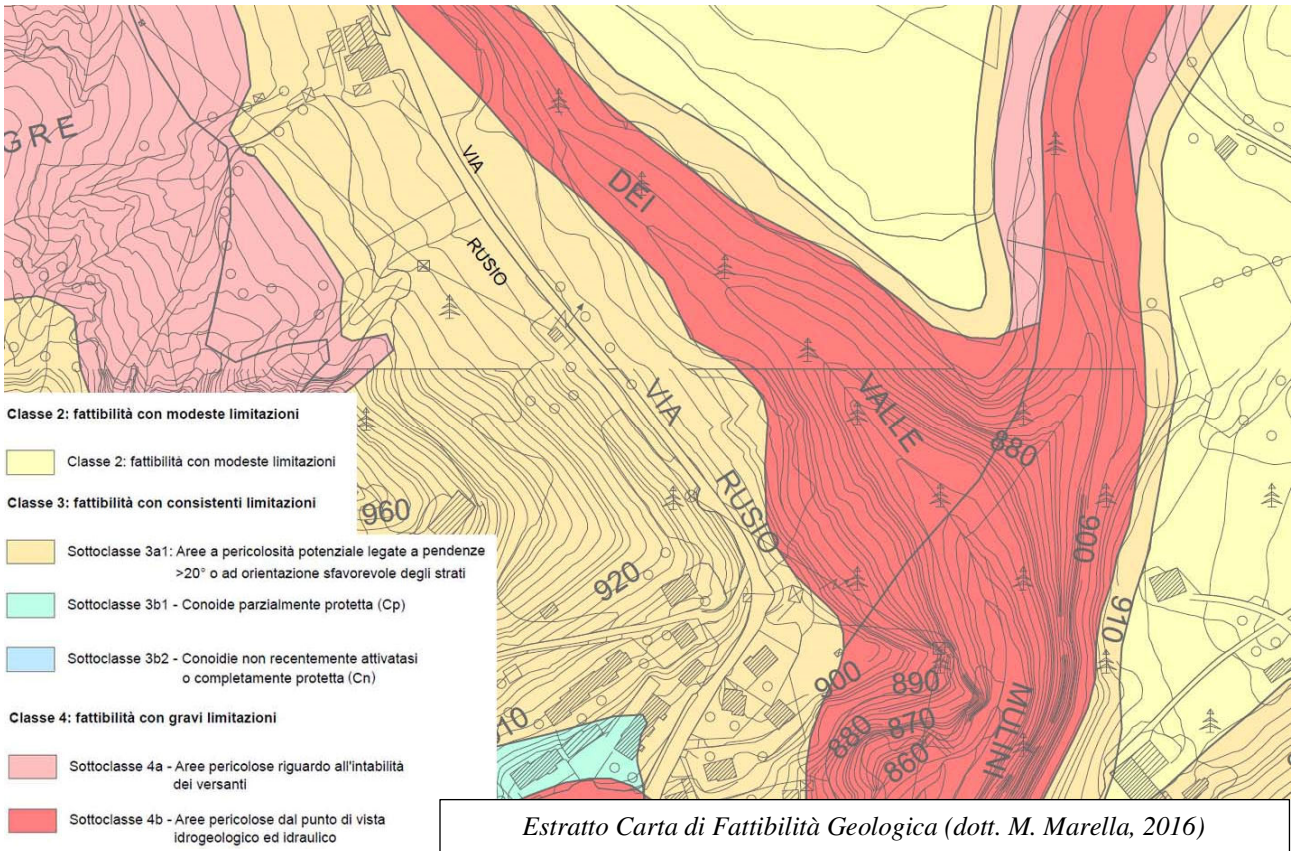


*Muro di sostegno stradale ammalorato e pendio a valle dello stesso con terrazzette da pascolo*



*Tratto di strada senza sostegno con cedimenti della sede stradale e fessurazione del manto d'usura*





L'amministrazione comunale, date le caratteristiche del terreno e la normativa vigente (DM 17 gennaio 2018) ha dato incarico allo scrivente Studio Geoter di Sergio Santambrogio con determina n.315 del 7/08/2021 di effettuare le opportune indagini geologiche per valutare le caratteristiche litologiche, geotecniche e sismiche dell'area e procedere alla progettazione definitiva ed esecutiva.

Le indagini prevedono la realizzazione di un rilievo di dettaglio sulla base della cartografia esistente, la realizzazione di prove penetrometriche, pozzetti geognostici e una prova sismica HVSR al fine di caratterizzare compiutamente ed in tutti i suoi aspetti eventuali problematiche geologico tecniche e definire i corretti parametri per la progettazione delle opere connesse all'ampliamento stradale ed in particolare alla realizzazione di muri. Le prove penetrometriche sono state effettuate il 31 agosto 2021, mentre i pozzetti geognostici e la prova HVSR sono stati effettuati il 28 settembre 2021.

La relazione viene redatta in ottemperanza alle attuali normative vigenti ed in particolare al DM 17 gennaio 2018.

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Geologicamente il sito si colloca nella fascia di raccordo tra le pendici del massiccio roccioso in destra idrografica dell'altopiano di Clusone -Castione della Presolana e i terreni fluvioglaciali cementati ed alluvionali che caratterizzano l'altopiano stesso.

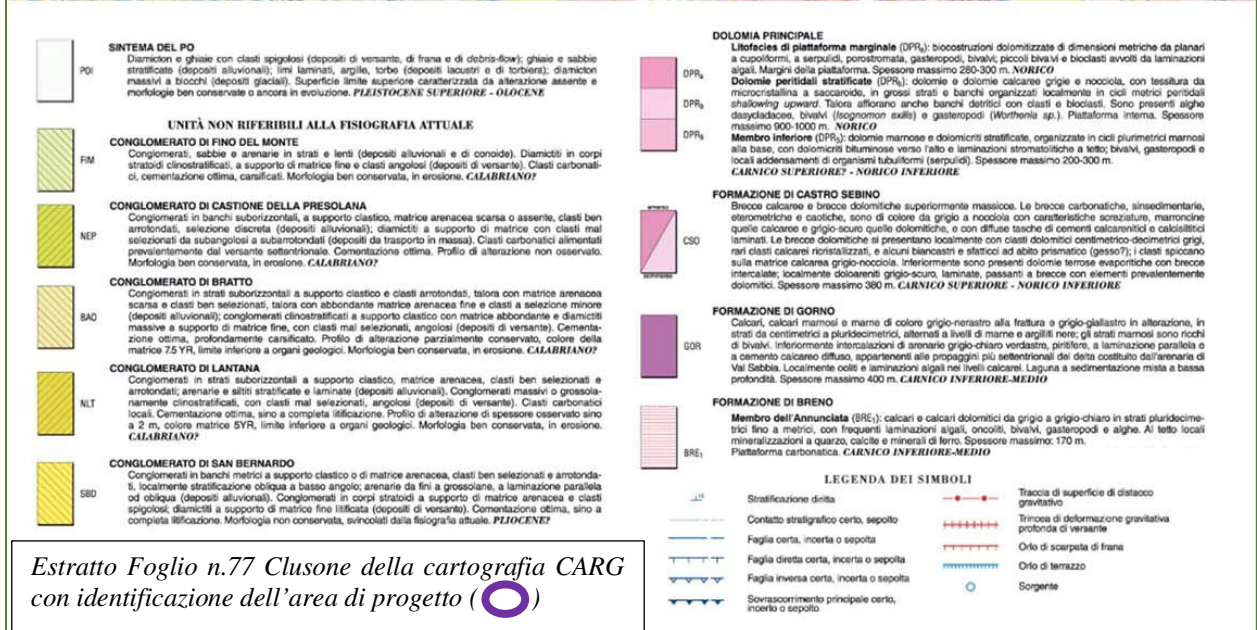
Le rocce del crinale che delimita i bacini idrografici della valle dell'Ogna a Nord e della valle del torrente Borlezza e dell'altopiano castionese sono caratterizzate dal contatto tettonico della "faglia di Clusone" che separa le rocce triassiche carniche e le rocce dolomitiche appartenenti alla Dolomia Principale.

Queste ultime costituiscono gran parte del versante soprastante Castione della Presolana incise da impluvi frequentemente controllati dall'assetto strutturale caratterizzato da lineamenti ENE-OSO coniugati alla faglia di Clusone e NNO-SSE antitetici alla stessa faglia. Nella più recente cartografia la Dolomia Principale viene suddivisa tra la formazione stessa costituita da banchi dolomitici o calcareo dolomitici e la parte basale della precedente parte basale della formazione definita attualmente come Formazione di Castro caratterizzata prevalentemente da brecce di natura carbonatica con intercalazioni di strati calcarei o calcarei dolomitici grigio scuri. La suddivisione rende più evidente il passaggio tra la Formazione di San Giovanni Bianco che chiude con ambiente spesso evaporitico il ciclo di sedimentazione carnica e le formazioni calcareo dolomitiche di piattaforma carbonatica tipiche delle formazioni noriche (Dolomia Principale); le caratteristiche geomeccaniche della Formazione di San Giovanni Bianco e della Formazione di Castro, costituite da elementi meno rigidi e più facilmente deformabili hanno favorito al passaggio tra queste due unità la formazione di superfici di scivolamento e/o di sovrascorrimento lungo la quale si imposta anche la faglia di Clusone come si nota dalle sezioni geologiche rappresentative.


La Dolomia Principale nell'area di progetto domina gran parte del versante delle propaggini sudorientali del monte S. Leonardo; lungo i suoi versanti si sviluppano localmente ampie zone detritiche che danno origine poi alle conoidi detritico/alluvionali su cui sorge gran parte dell'abitato di Castione definiti in modo più dettagliato nella cartografia geologica e geomorfologica del PGT di Castione. Si tratta per gran parte di morfologie non riferibili alla fisiografia attuale e prevalentemente non più attive come rappresentato anche dalla cartografia CARG attuale (Foglio Clusone n.77).

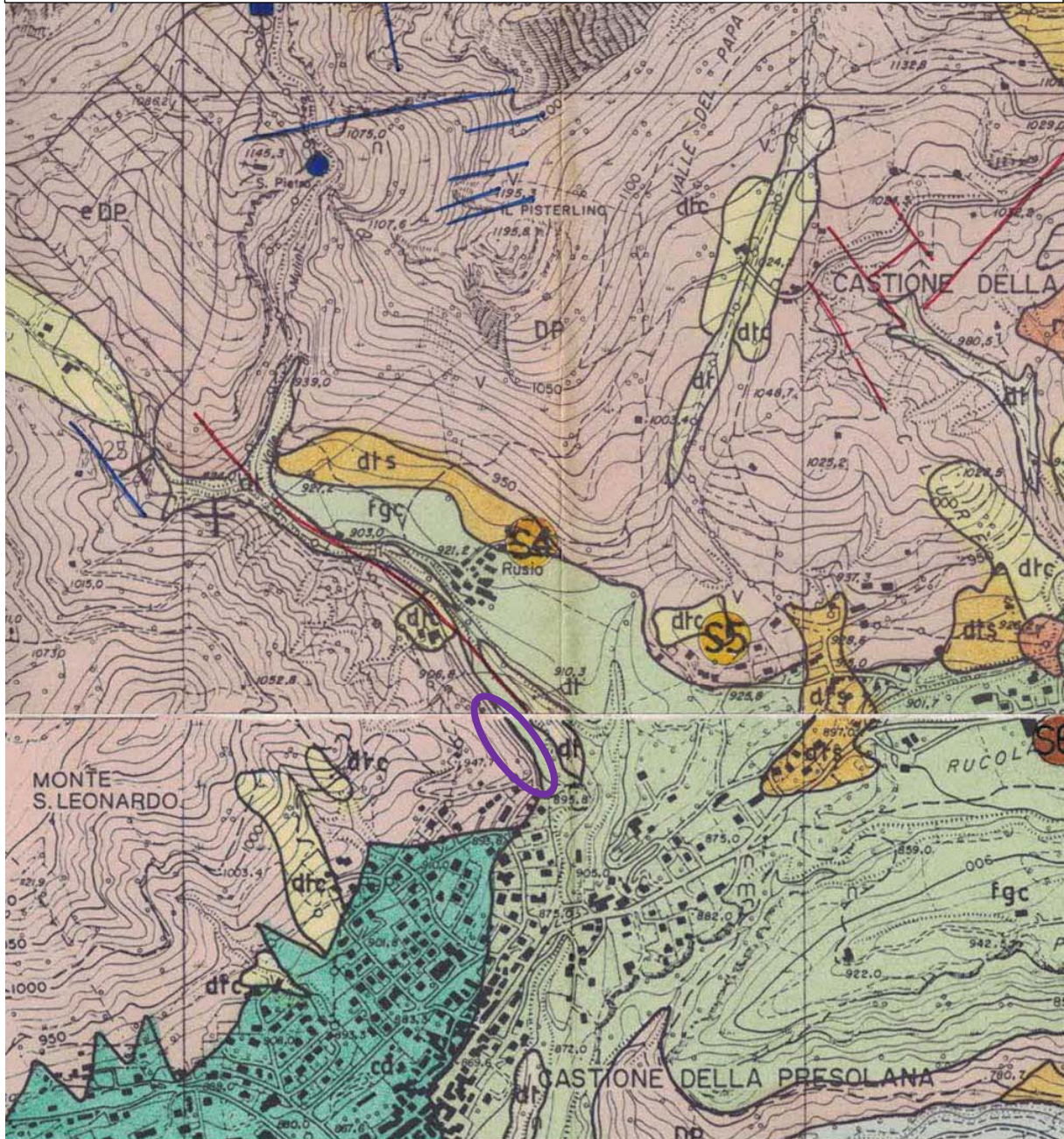


La stessa cartografia individua fenomeni morfologici non più attivi anche per le unità fluvio-glaciali prevalentemente cementate che occupano gran parte dell'altopiano di Castione identificate in precedenza come fluvio-glaciale cementato e/o conoide ed ora suddivisi nella revisione delle unità litostratigrafiche del quaternario in *Conglomerato di Fino del Monte (FIM)*, *Conglomerato di Castione della Presolana (NEP)*, *Conglomerato di Bratto (BAO)* negli immediati dintorni della zona di progetto. Solo negli impluvi più incassati e lungo l'alveo della val Borlezza vi sono alluvioni recenti.





Estratto della Carta Litologica allegata al PRG di Castione della Presolana (Geoter, 1995), successivamente ripresa dallo studio a supporto del PRG del 2002 del dott. Marsetti e del PGT del 2013 di Ecosphera ed utilizzata dall'attuale studio geologico a supporto del PGT (Marella, 2016); con identificazione dell'area di progetto (  )



AREE URBANIZZATE: terreni di varia natura, rimaneggiati e/o coperti da pavimentazioni e strutture edilizie.



RIPORTI ARTIFICIALI, TERRAPIENI E DISCARICHE: materiali detritici di varia natura provenienti da escavazioni minerarie, demolizioni e sbancamenti edili.



COPERTURE ELUVIALI: terreni argilloso-limosi di alterazione di substrati calcareo-marnosi ed argillitici, terreni sabbioso-ghiaiosi di alterazione di substrati calcareo-dolomitici; frequenti i frammenti della roccia sottostante.



ALLUVIONI RECENTI ED ATTUALI: depositi sciolti prevalentemente ghiaiosi grossolani e sabbie di composizione calcarea; rimaneggiati negli alvei, coperti da suolo limoso-ghiaioso nelle piane di fondovalle.



CONOIDI: livelli pseudostratificati di ghiaie calcareae, con blocchi ed abbondante matrice sabbioso-limoso, coperti da suolo vegetale.



DETRITI DI FALDA SCIOLTI: detriti attivi alla base delle pareti rocciose e/o rimaneggiati lungo i torrenti, rappresentati da ciottoli e blocchi calcarei con scarsa matrice sabbiosa.



DETRITI DI FALDA STABILIZZATI: detriti coperti da suolo e colonizzati dalla vegetazione.



DETRITI DI FALDA CEMENTATI: breccie calcareo-dolomitiche cementate da aragonite giallo-brunstra, vucolari; nelle parti pianeggianti alterate spesso in un prodotto sabbioso rossostrato e coperte da suolo.

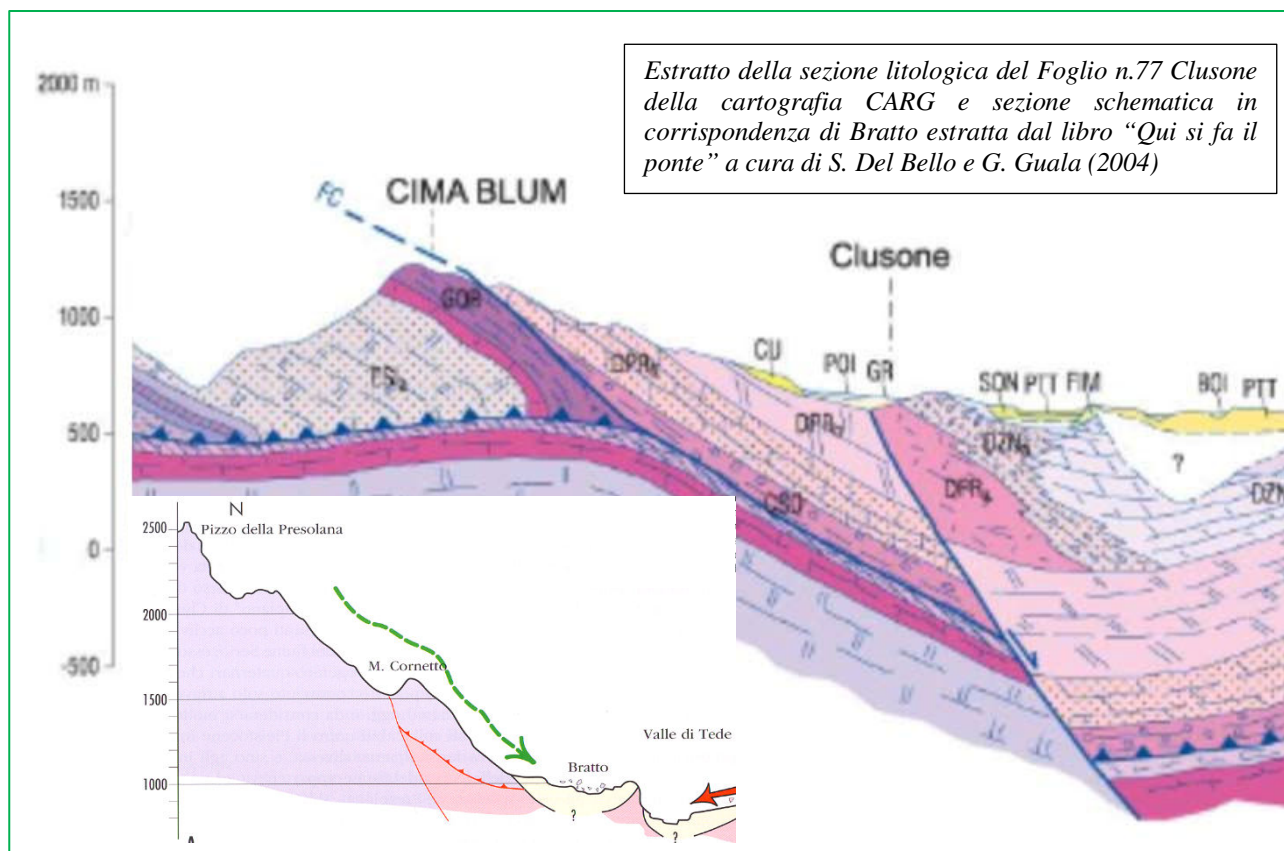


FLUVIOGLACIALE CEMENTATO: bancani conglomeratici stratificati con livelli a clasti grossolani arrotondati e livelli piu' sottili di sabbie e limi poco cementati; cemento calcareo; cavitae per dilavamento e/o erosione differenziale.



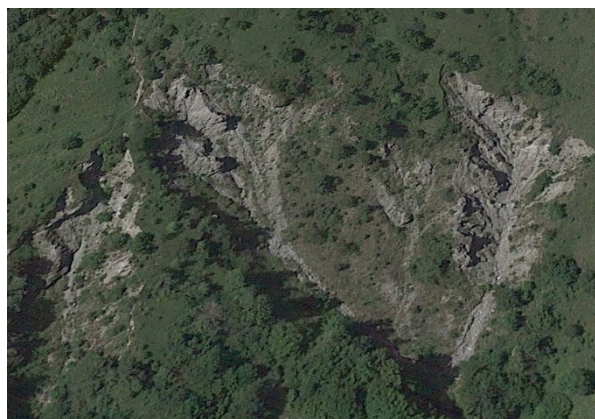
DOLOMIA PRINCIPALE (Norico): dolomie grigie massicce, talora stratificate e nerastre, spesso reticolate e molto fratturate, talora carsificate; a) argille limose rosse come deposito residuale di dissoluzione carsica in doline quiescenti.






Da punto di vista morfologico l'area è dominata oltre che dall'assetto strutturale dall'incisione torrentizia della valle dei Mulini che ha determinato nel tempo la formazione di un profondo solco torrentizio con caratteristiche di forra presso la confluenza con la valle Borlezza e nei settori più prossimi alla sua origine dove si innesta su un sistema di fratture NNE-SSO. L'attività di tale torrente non ha comunque alcuna influenza con la zona di progetto.

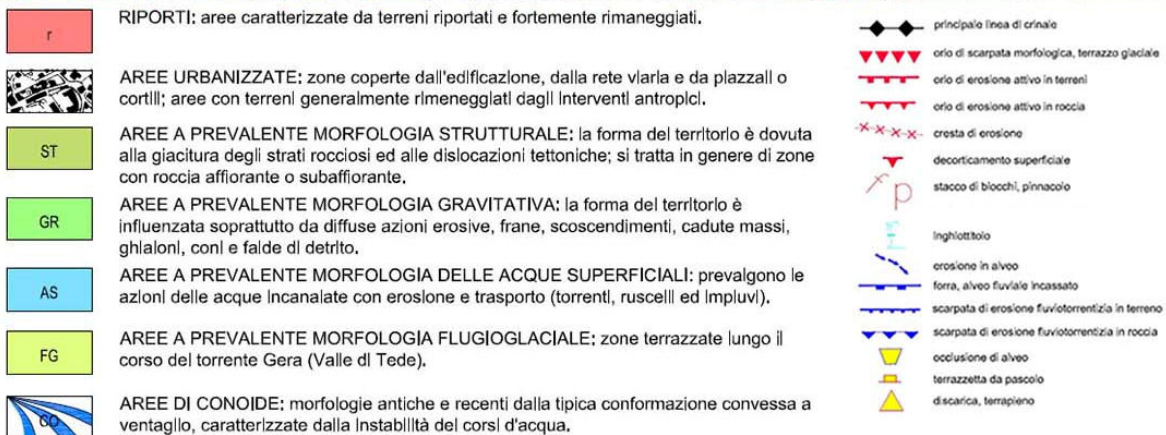
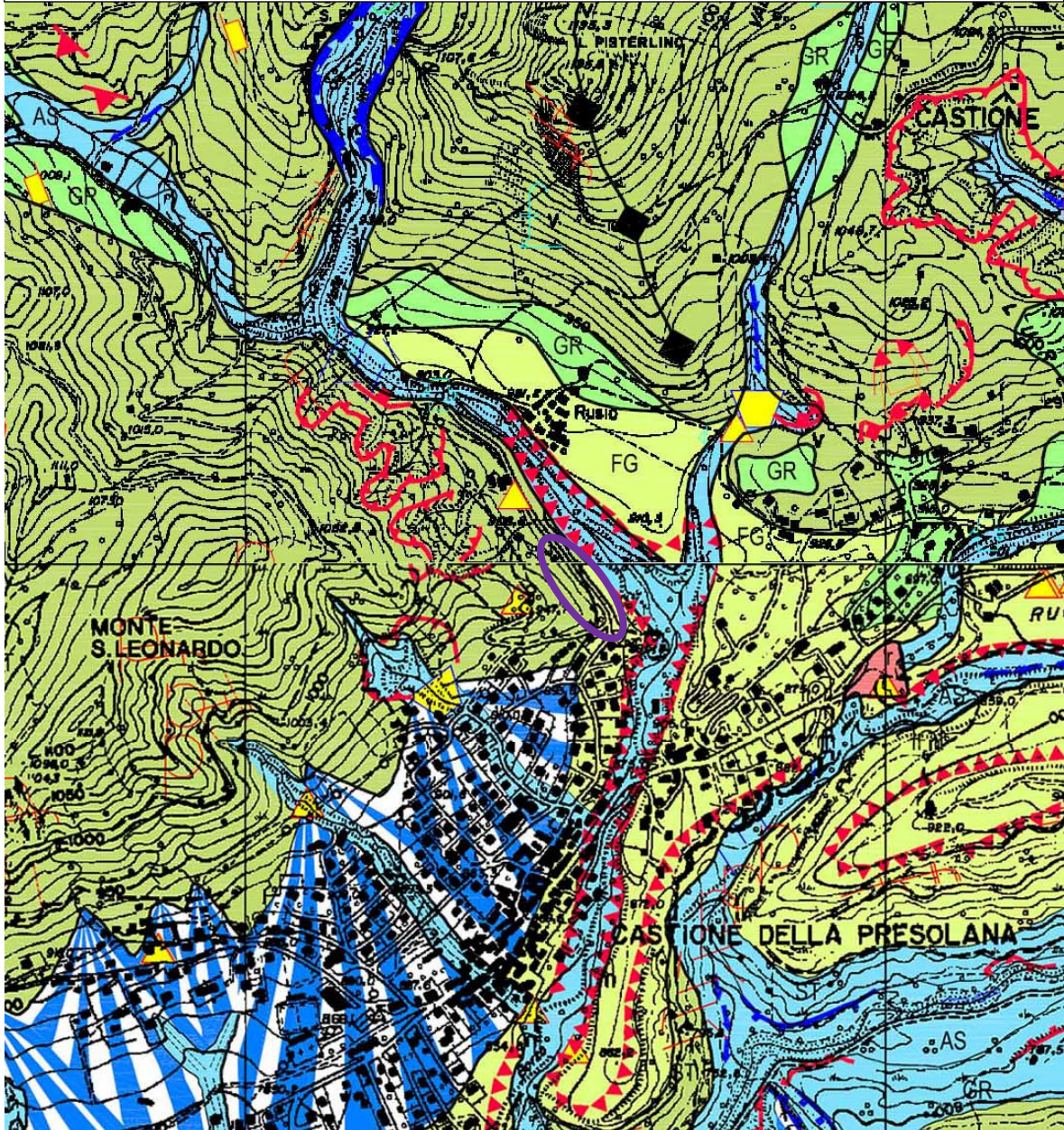
Anche le forme gravitative associate alla clastesi della Dolomia Principale e ai sistemi di faglie presenti nell'area non hanno influenza nei confronti dell'area di progetto dal momento che riguardano settori del versante del monte San Leonardo qualche centinaio di metri a Nord dell'intervento nella zona dove la strada per Rusio attraversa la Valle dei Mulini (foto a lato) o molto più a Ovest sulle pendici meridionali dello stesso monte da cui hanno origine i terreni di conoide ove è concentrato l'insediamento abitativo di Castione della Presolana.




La presenza di un crinale a poca distanza dal sito di progetto e la presenza di sottili coperture sulla Dolomia Principale fanno sì che non vi siano circolazioni idriche e/o sorgenti nell'area con cui l'asse stradale possa interferire. Questo è evidenziato in modo molto evidente sulla carta idrogeologica a supporto del PGT dove non sono presenti sorgenti e aree di protezione delle stesse nella zona di progetto e nei suoi dintorni; la sorgente più vicina è collocata ad oltre un chilometro di distanza ed a quote molto più elevate della strada garantendo l'impossibilità di interferenza tra l'infrastruttura ed i circuiti idrici sotterranei che alimentano tale venuta d'acqua.

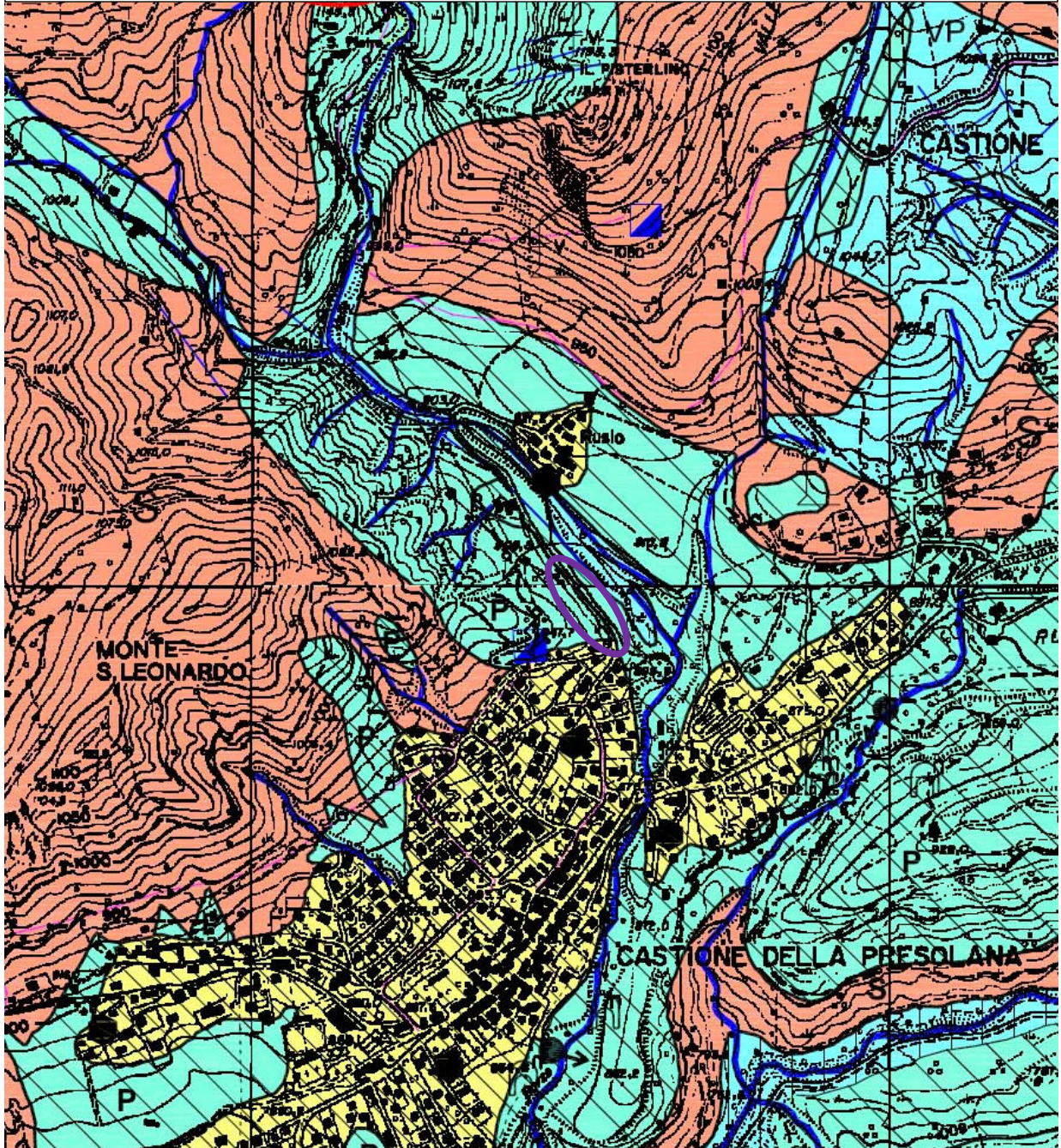


Estratto della Carta Geomorfologica del PGT del 2013 di Ecosphera, utilizzata dall'attuale studio geologico a supporto del PGT (Marella, 2016); con identificazione dell'area di progetto (  )





Estratto della Carta Idrogeologica del PGT del 2013 di Ecosphera, utilizzata dall'attuale studio geologico a supporto del PGT (Marella, 2016); con identificazione dell'area di progetto (  )




**VP** Terreni (a) e rocce (b) con permeabilità da elevata a buona ( $k > 10^{-3}$  cm/sec); alluvioni della Valle di Tede e degli attuali corsi d'acqua; detriti di versante sciolti; zone carsiche e tettonizzate del Calcere di Esino e della Dolomia Principale.

**P** Terreni (a) e rocce (b) con permeabilità da buona a media ( $10^{-2} < K < 10^{-4}$  cm/sec); detriti cementati ed inerbiti; morene ghiaioso-sabbiose; conoidi; terrazzi fluvio-glaciali; alluvioni con suolo abbondante; riporti artificiali, terrapieni, discariche; Calcere di Esino della Presolana, di Cima di Bares, di Monte Campo e Monte Valsacco.

**S** Rocce con permeabilità da media a scarsa ( $10^{-4} < K < 10^{-6}$  cm/sec); Dolomia Principale non fratturata; Formazione di Breno; Formazione di Gorno fratturata.


**W** Terreni (a) e rocce (b) impermeabili ( $K < 10^{-6}$  cm/sec); morene argillose sopra i terrazzi (terre rosse); porfiriti; formazione di San Giovanni Bianco; Formazione di Gorno compatto; zone intensamente urbanizzate.

 Inghiottoito


 bacino acqua potabile

 adduttrice principale acquedotto comunale

 rete fognaria

 area con dispersione nel suolo di reflui fognari

 idrografia

 direzione presunta dei flussi idrici sotterranei



zona di rispetto delle sorgenti R= 200 m (D.P.R. 236/88) e relativo n° d'ordine  
b) estensione consigliata



### 3. GEOLOGIA DI DETTAGLIO

Per determinare le caratteristiche geologiche dell'area di progetto è stato effettuato un sopralluogo con rilevamento dell'area utilizzando il rilievo aerofotogrammetrico comunale, sul quale sono state inserite anche l'ubicazione delle prove penetrometriche e dei pozzetti geognostici effettuati oltre a quella della misurazione sismica HVSR appositamente effettuata.

#### 3.1 RILEVAMENTO GEOLOGICO

L'area è caratterizzata da affioramenti rocciosi visibili sulle scarpate soprastante gli accessi di via Rusio a monte della strada da ricalibrare ed anche nel fondo della forra del torrente dei Mulini. Si tratta di *Dolomia Principale in banchi calcareo dolomitici* di colore grigio chiaro in alterazione che mostra bancate con inclinazione della stratificazione verso S e quindi in condizioni favorevoli alla stabilità del pendio (traverpoggio). Affioramenti sono presenti anche nella boscaglia a monte della strada dove emergono in aree con una diffusa *coltre eluviale limo-sabbiosa con pietrisco e ghiaietto*; la stessa coltre si distribuisce poi anche in corrispondenza del *crinale* che separa la valle dei Mulini dal versante che digrada verso Sud dal monte San Leonardo, interessato da diffusa urbanizzazione sulle sue pendici.

A valle della strada sono invece diffusi *terreni colluviali limo sabbiosi e argillosi* di colore bruno di analoga natura, ma con spessori più rilevanti che possono anche superare il metro; tali coltri erano caratterizzate da diffuse terrazzette da pascolo evidenze dell'attività zootecnica che da un punto di vista litologico indicano da una parte la prevalente componente di materiale fine e dall'altro uno spessore esiguo di questo terreno al di sopra del substrato roccioso.

Il pendio a valle della strada digrada su una superficie pianeggiante costituita da terreni ghiaioso sabbiosi con ciottoli di natura *fluvioglaciale* e una sottile coltre eluviale limo sabbiosa di colore bruno ocraceo utilizzata sempre per attività zootecniche.

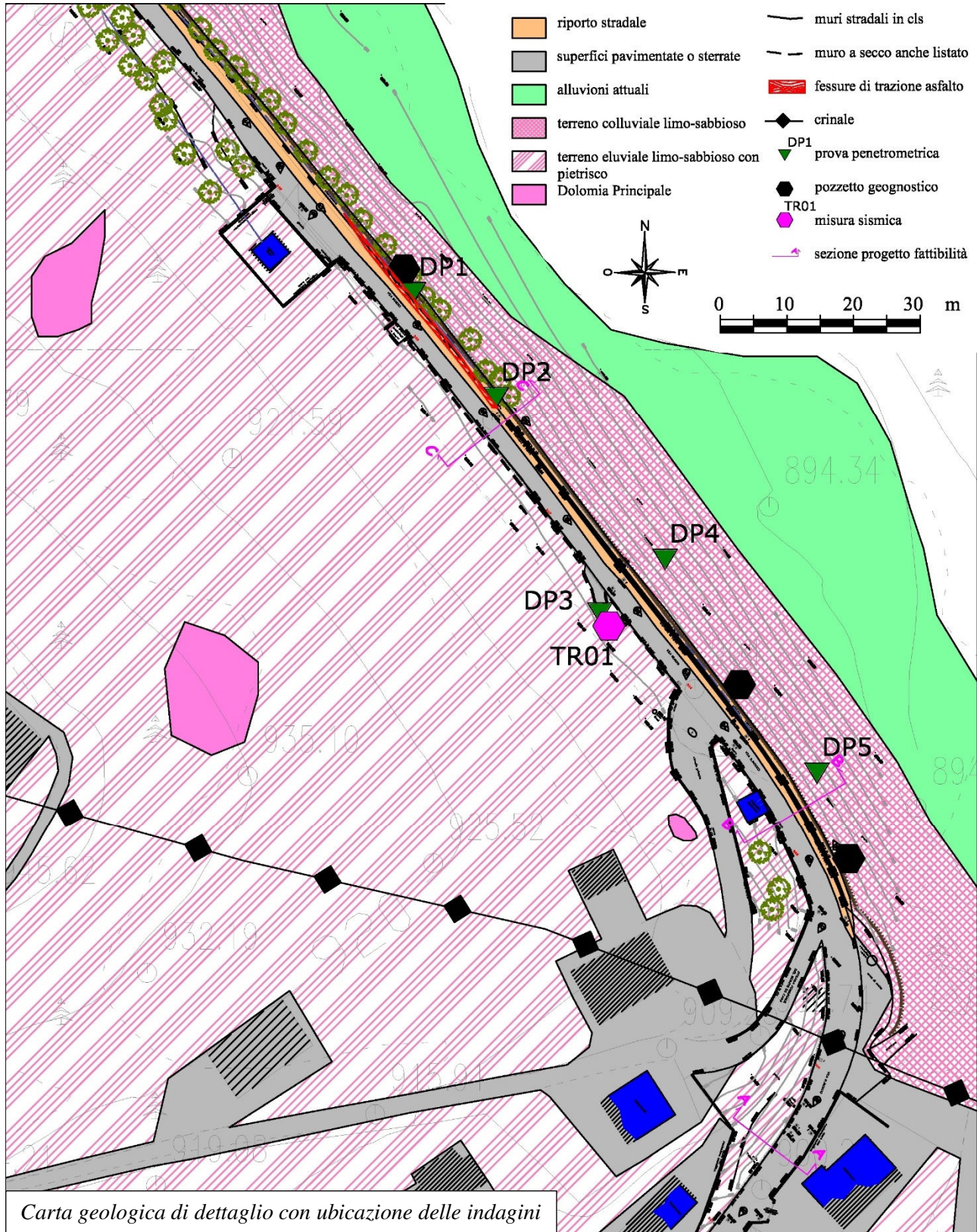
Solo la sede stradale sul lato di valle della strada in corrispondenza del muro di sostegno e quella dell'area caratterizzata da *fessurazioni* priva di muro poco più a NE è costituita da *materiale di riporto* limo sabbioso bruno. Anche il rinterro del muro di contro ripa a monte della strada è caratterizzato da terreni di riporto, ma non rappresentabili perché discontinui.

Vengono infine evidenziate le *aree pavimentate e/o sterrate* in corrispondenza delle zone urbanizzate costituite dalle villette e dalle abitazioni limitrofe a via San Rocco e all'inizio di via Rusio; a tale categoria appartiene anche la zona della cabina elettrica presente a monte di via Rusio presso il settore terminale dell'allargamento stradale in progetto. Nella stessa categoria sono comprese anche le sedi stradali di via S. Rocco e di via Rusio come anche la strada comunale del "Monte di Casa".

A parte il crinale non vi sono particolari elementi geomorfologici in questo settore del versante orientale del monte San Leonardo, ma solo elementi connessi all'attività antropica. Tra questi per la strada hanno particolare rilevanza i *muri di sostegno in cls* che sostengono la strada stessa o parte delle aree terrazzate all'interno di aree urbanizzate come in corrispondenza della cabina elettrica o i *muri a secco*, anche listati che caratterizzano prevalentemente i muri di controripa a monte della strada. L'elemento geomorfologico principale è invece rappresentato dalle *fessure di trazione* presenti sul tratto di valle di via Rusio compreso tra la fine del muro di sostegno in cls e la cabina elettrica; l'assenza del muro e la presenza di una sorta di muro a secco sepolto sotto il riporto stradale (osservato



con la realizzazione dei pozzetti geognostici) hanno favorito la presenza di tale fenomeno a causa soprattutto di carichi eccessivi in transito sulla sede stradale (automezzi di portata elevata).







A) Affioramenti rocciosi presso l'accesso all'abitazione di via Rusio;

B) Profilo della scarpata a valle della strada con il pianoro del terrazzo fluvioglaciale e le terrazzette da pascolo sulla scarpata;

C) Terrazzette da pascolo sulla scarpata dall'ortofoto dell'area;

D) Pianoro a monte della strada in parte formato da riporto immediatamente dietro il muro;

E) Lesioni sul manto stradale nella porzione di valle della strada non sostenuta dal muro.





C) Pianoro a monte della strada in parte formato da riporto dietro al muro; D) Lesioni sul manto stradale nella porzione di valle della strada non sostenuta dal muro.



### 3.2 PROVE PENETROMETRICHE

Le penetrometrie dinamiche sono state effettuate con due strumenti differenti: sulle parti pianeggianti lungo la strada e a monte della stessa è stato utilizzato un penetrometro dinamico pesante PAGANI modello TG 63 “MODIFICATO”, montato su carro cingolato con cingoli in gomma a trazione integrale (6 x 6) i cui componenti sono rigorosamente conformi alle norme geotecniche in materia e che può essere descritto come penetrometro classe DPSH tipo “Meardi” o “Terzaghi modificato” o “superpesante” o “STANDARD CONE PENETRATION TEST”; lungo il pendio a valle della strada è stato invece utilizzato penetrometro leggero “DIN 4094 “smontato”, e trasportabile a mano a pezzi considerato il modestissimo peso delle singole componenti, in grado di effettuare prove penetrometriche dinamiche “leggere” o “mini” o “DPL” o “LPT”. Le prove sono state effettuate dallo studio geologico del dott. geol. Fabio Baio il 31 agosto 2021 in occasione dell’effettuazione di prove analoghe in un altro sito con la medesima ditta.

Le caratteristiche dei due differenti penetrometri sono qui di seguito riportate e l’allegato 1 costituisce il report delle prove redatte dalla ditta specifica.

PENETROMETRO PAGANI TG63 MODIFICATO	PENETROMETRO LEGGERO DPL
<p>Rif. Norme: DIN 4094            Peso Massa battente: 73 Kg            Altezza di caduta libera: 0.75 m            Peso sistema di battuta: 6 Kg            Diametro punta conica: 50.46 mm            Area di base punta: 20 cm<sup>2</sup>            Lunghezza delle aste: 1,0 m            Peso aste a metro: 7 Kg/m            Profondità giunzione prima asta: 0.40 m            Avanzamento punta: 0.30 m            Numero colpi per punta: N(30)            Coeff. Correlazione NSPT: 1.8            Rivestimento/fanghi: No            Angolo di apertura punta: 60°</p>	<p>Rif. Norme: DIN 4094            Peso Massa battente: 10 Kg            Altezza di caduta libera: 0.50 m            Peso sistema di battuta: 3,3 Kg            Diametro punta conica: 35.68 mm            Area di base punta: 10 cm<sup>2</sup>            Lunghezza delle aste: 1,0 m            Peso aste a metro: 2,4 Kg/m            Profondità giunzione prima asta: 1.0 m            Avanzamento punta: 0.10 m            Numero colpi per punta: N(10)            Coeff. Correlazione NSPT: 0,76            Rivestimento/fanghi: No            Angolo di apertura punta: 90°</p>
 <p data-bbox="167 1892 446 1948"><i>Prova DP3 (DPSH)</i></p>	 <p data-bbox="813 1892 1093 1948"><i>Prova DP4 (DPL)</i></p>



L'ubicazione delle prove è riportata nella planimetria delle indagini nelle pagine precedenti. Le prove, dato lo scopo delle indagini che prevede l'ampliamento di via Rusio, sono state ubicate in corrispondenza del tratto di strada contraddistinto da fessurazioni (prove DP1 e DP2 con penetrometro Pagani TG63), nella zona a monte della strada (prova DP3 con penetrometro Pagani TG63) e in due punti lungo il pendio a valle del muro di sostegno (prove DP4 e DP5 con penetrometro DPL). L'ultima prova è stata ripetuta a breve distanza dalla prima (prove DP5a e DP5b con penetrometro DPL) poiché aveva raggiunto una profondità decisamente ridotta a quella della prova DP4 (0,3 m contro 1,1 m da p.c.). Le registrazioni delle prove, con i grafici del numero di colpi per ogni avanzamento di cm 30 o 10 a seconda del penetrometro usato, sono riportate nell'allegato 1 fornito dalla ditta esecutrice delle prove. Nell'allegato 2 è invece sono riportati i medesimi dati con le correlazioni stratigrafiche, la resistenza alla punta ed i parametri geotecnici desunti dalle prove.

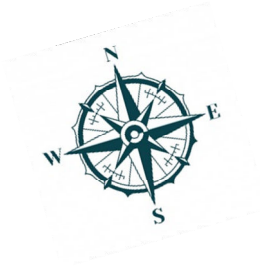
Tutte le prove sono state interrotte per rifiuto all'avanzamento della punta (N. colpi > 50 per meno di cm 10 o 30 d'avanzamento) al contatto con il substrato roccioso della Dolomia Principale. Lo schema seguente riporta la quota di intestazione delle prove ricavata dal rilievo di dettaglio effettuato per la progettazione preliminare e la profondità raggiunta dalle prove stesse in corrispondenza del substrato roccioso; occorre specificare che il substrato roccioso è caratterizzato da una parte più superficiale parzialmente alterata in cui le prove mostrano un sensibile incremento del numero di colpi prima di raggiungere substrato compatto (rimbalzo della massa battente e rifiuto all'avanzamento. Non è stata individuata la presenza di falda acquifera o di acqua in alcuna penetrometria.

prova penetrometrica	ubicazione rispetto alla strada	quota intestazione prova da rilievo (m s.l.m.)	profondità roccia alterata (m da p.c.)	profondità raggiunta (m da p.c.)	quota piezometrica (m da p.c.)
DP1	zona con fessure su manto stradale vicino ad area depositi materiali inerti	905,10	-1,2	-1,8	assente
DP2	zona con fessure su manto stradale (sezione C-C)	904,90	-0,9	-1,5	assente
DP3	pianoro a monte della strada (slargo con panchina)	905,30	-0,6	-0,9	assente
DP4	pendio a valle strada e DP3	900,80	-0,9	-1,1	assente
DP5a	pendio a valle strada (sezione B-B)	900,50	-0,1	-0,3	assente
DP5b	pendio a valle strada (sezione B-B)	900,50	-0,1	-0,3	assente

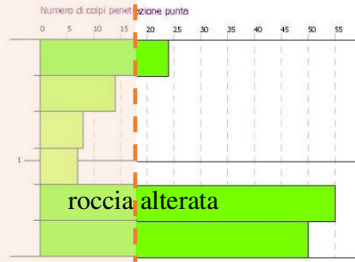
Tutte le prove confermano la presenza di roccia alterata a profondità massima di 1 metro dal piano campagna (prove DP1, DP2 e DP4) dotata in ogni caso già di buone caratteristiche geotecniche; la roccia compatta viene raggiunta a profondità comprese tra 0,3 e 1,8 m dal piano campagna con un approfondimento del contatto spostandosi da Sud (prova DP5a e DP5b) a Nord (prova DP1).

Inoltre, si osserva che a monte della strada la roccia è a profondità inferiori al metro (roccia alterata a -0,6 m nella prova DP3), mentre nella prova a valle della strada lungo la linea di massima pendenza è a profondità leggermente superiore (roccia alterata -0,9 m nella prova DP4) indicando un aumento dello spessore dei terreni superficiali anche se limitato a qualche decimetro.





DP1 (DPSH)



DP2 (DPSH)



DP3 (DPSH)



DP4 (DPL)



**STRADA**

**MURO**

DP5a (DPL)



DP58 (DPL)



SCHEMA PROVE PENETROMETRICHE RISPETTO ALLA STRADA



### 3.3 POZZETTI GEOGNOSTICI

Per valutare le caratteristiche dei terreni in corrispondenza delle fondazioni del muro di sostegno di via Rusio nel tratto di interesse e le caratteristiche del terreno immediatamente a valle delle fessurazioni lungo la strada sono stati effettuati tre pozzetti geognostici che hanno permesso di determinare l'attuale stratigrafia del terreno in corrispondenza di queste opere confrontandole con quelle scaturite dalle prove penetrometriche. I pozzetti sono stati effettuati con un escavatore a benna rovescia direttamente dalla strada a causa dell'acclività del pendio sottostante il muro stradale.

#### Pozzetto 1

da 0,00 m a 0,84 m: cordolo/muro in cls armato;  
da 0,84 m a 1,08 m: fondazione che sborda di pochi cm dal muro stesso;  
da 1,08 m a 1,28 m: magrone in cls che sporge di circa 40 cm dal muro;  
da 1,28 m a 1,68 m: terreno colluviale limo-sabbioso di colore bruno scuro con pietrisco dolomitico alla base;  
da 1,68 m: roccia dolomitica grigia con inclinazione di circa  $45^\circ$  (la roccia è a 60 cm dal piede del magrone).

#### Pozzetto 2

da 0,00 m a 0,40 m: cordolo/muro in cls armato;  
da 0,40 m a 0,75 m: fondazione e magrone che sbordano di pochi cm dal muro stesso;  
da 0,75 m: roccia dolomitica grigia con inclinazione di circa  $38^\circ$  (a 60 cm di distanza dal muro la roccia è a 1,20 m dal livello del cordolo;  $45/60 = 36,9^\circ$ ).

#### Pozzetto 3

da 0,00 m a 0,20 m: terreno di riporto limo-sabbioso grigio scuro;  
da 0,40 m a 0,70 m: cordolo in blocchi di pietrame squadrate di circa 25 cm di altezza per un totale di 50cm;  
da 0,70 m: terreno sabbioso con al di sotto a pochissima profondità roccia (circa a 1 m) come indicato da DP1.







D ed E) pozzetto P3 presso la zona con fessurazioni del manto stradale con evidenze del cordolo in blocchi realizzato sopra il substrato roccioso

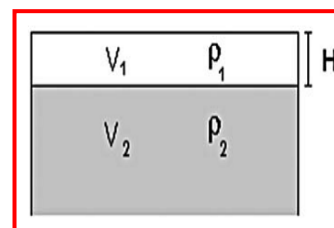
### 3.4 MISURAZIONE SISMICA HVSR

Per assumere dati stratigrafici e soprattutto per valutare il parametro  $VS_{30}$  (o meglio  $VS_{eq}$ ), divenuto fondamentale con l'entrata in vigore della normativa sulle costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018), nonostante la presenza di roccia a limitata profondità (circa 1 m da p.c.) è stata effettuata una indagine sismica con misurazione di rumore ambientale, mediante tecnica HVSR (Horizontal/Vertical Spectral Ratio) a stazione singola ("Metodo di Nakamura") presso la prova DP3 in via Rusio.

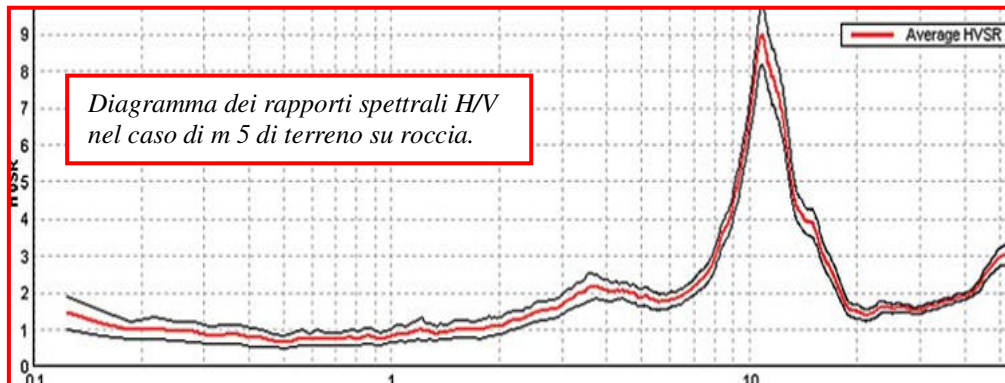
L'indagine permette di ottenere i passaggi stratigrafici significativi e le frequenze di risonanza tipiche del terreno attraverso contrasti di impedenza, giungendo a seconda dei caratteri litologici del terreno a determinare la *categoria di sottosuolo* per il calcolo delle fondazioni mediante la misurazione delle velocità delle onde di taglio (onde S).

La tecnica HVSR a stazione singola è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo (LACHET & BARD, 1994; LERMO & CHAVEZ-GARCIA, 1993, 1994; BARD, 1998; IBS-VON SEHT & WOHLLENBERG, 1999; etc.). La sola particolarità della strumentazione è che questa deve essere costituita da tre geofoni ortogonali fra loro con uguali caratteristiche di risposta.

Il tipo di stratigrafia che questa tecnica di sismica passiva può restituire si basa sull'*impedenza* del singolo strato geofisico, che è determinata dal prodotto della velocità delle onde sismiche ( $V_S$  o  $V_P$ ) e della densità ( $\rho$ ) di quello strato. Solo se vi è *contrasto di impedenza* tra i vari strati (che generalmente dovrebbe essere superiore a  $2,5 \div 3$ ) si ha un effetto rilevabile con il "Metodo di Nakamura".







In un diagramma spettrale con le frequenze  $f$  (o il periodo  $T$ ) in ascisse e il rapporto tra le componenti del moto orizzontale e quella del moto verticale in ordinata, l'effetto dovuto a tale contrasto è rappresentato da un picco. Questo picco costituisce la frequenza di risonanza per quel tipo di terreno, determinata in prima approssimazione attraverso la seguente relazione:

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4H}$$

dove:  $f_r$  = frequenza di risonanza (Hz)

$V_{s1}$  = velocità delle onde di taglio relativa all'intera profondità ( $H$ ) a cui si trova l'interfaccia con alto contrasto di impedenza;

$H$  = profondità dell'interfaccia con alto contrasto di impedenza rispetto al piano campagna

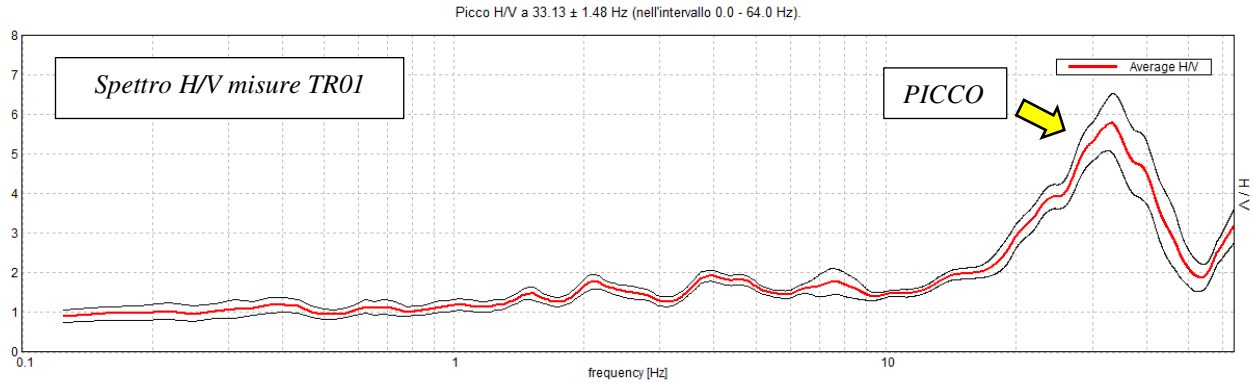
Quindi, utilizzando il "Metodo di Nakamura" e un'opportuna funzione di inversione, basata su equazioni un po' più complesse rispetto alla formula su indicata, valida solo come prima approssimazione, si può ottenere l'andamento delle onde  $V_s$  nel sottosuolo.

La misura di microtremore ambientale (TR01), della durata di sedici minuti, è stata effettuata con tromografo digitale ("TROMINO" di Micromed), progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento è dotato di tre sensori elettro-dinamici (veloci-metri) orientati N-S, E-W e secondo l'asse zenitale, di GPS interno e non ha necessità di cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz. L'interpretazione dei dati avviene attraverso uno specifico software ("Grilla" di Micromed), che permette di visualizzare gli spettri di frequenza e di creare le curve di inversione, mediante la simulazione del campo di onde superficiali (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli (AKI K., 1964; BEN MEN-HAEM A. & SINGH S.J., 1981). L'ubicazione della prova è evidenziata nella planimetria di dettaglio del rilievo geologico; in ogni caso è stata effettuata in corrispondenza della prova penetrometrica DP3, a monte della strada.



La prova soddisfa tutti i criteri SESAME (2005) per la correttezza delle misure e per l'evidenza di un chiaro picco. Si nota in ogni caso che il rapporto H/V per le frequenze ha picchi superiori a 6 a frequenze molto elevate (33,15 Hz) per un contatto estremamente superficiale (contrasto terreno eluviale limo-sabbioso con ghiaietto e roccia).





La stratigrafia sismica individua al di sotto del terreno coltivo superficiale e del primo orizzonte limoso sabbioso di qualche decimetro di spessore (0,5 m – VS = 140 m/s), un livello di roccia fratturata o alterata in ghiaia (spessore 2,5 m) con velocità delle onde di taglio tipica di questi terreni (VS = 360 m/s).

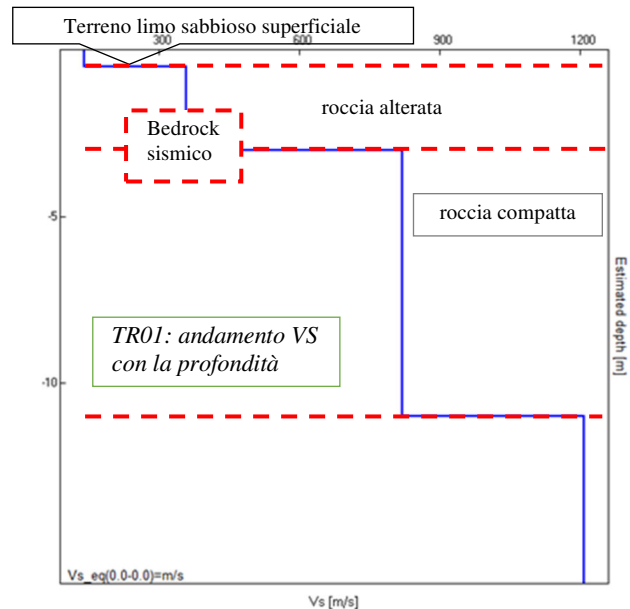
Alla profondità di 3 m da p.c. si incontra il bedrock sismico (VS >800 m/s) costituito da roccia dolomitica compatta (VS = 820 m/s); a profondità maggiore aumenta ulteriormente il valore che in accordo alla curva di inversione evidenzia roccia più compatta (VS = 1210 m/s a circa 11 m da p.c.).

Tale successione sismostratigrafica permette di confermare la presenza del bedrock sismico a profondità inferiori a 3 m dal piano campagna; dal momento che la realizzazione di qualsiasi muro di progetto si appoggerà alla roccia, eliminando anche lo strato di terreno superficiale lo spessore della roccia allentata inferiore a 3 m garantisce l'attribuzione della stratigrafia sismica alla *categoria di sottosuolo A*, per la quale non sono previste ulteriori indagini e/o verifiche come quelle indicate dalla dgr 5001/2016.

*TR01 tabella valori di  $V_s$  per curva di inversione sintetica e  $V_{S30}$*

Profondità da fondo strato [m]	Spessore [m]	$V_s$ [m/s]	Coeff. Poisson
0.50	0.50	140	0.33
3.02	2.52	360	0.34
11.02	8.00	820	0.33
inf.	inf.	1210	0.32

VS > 800 m/s a profondità < 3 m da p.c.  
Categoria di sottosuolo A





### 3.5 MODELLO GEOLOGICO

L'area in cui si intende realizzare l'ampliamento di via Rusio è costituita da un pendio impostato su roccia con una sottile coltre eluvio-colluviale limo sabbiosa parzialmente argillosa che digrada verso un'area pianeggiante fluvio-glaciale; le indagini effettuate attraverso pozzetti geognostici, prove penetrometriche e misure di rumore sismico hanno confermato tale modello individuando terreni di spessore limitato a poco più di un metro al di sopra del substrato roccioso che si riducono di spessore (0,3 m) verso SSE. Non sono presenti dissesti lungo il pendio e l'unico elemento geomorfologico è costituito dal crinale che limita l'estensione del pendio a poche decine di metri.

L'attuale strada taglia a mezzacosta il pendio ed è in gran parte sostenuta da muri di sostegno in cls o in muratura a secco listata in corrispondenza dei settori più acclivi inclinati circa 35°-38° sull'orizzontale (settore meridionale di progetto). Le fondazioni del muro di sostegno di valle della strada realizzato in cls armato poggiano direttamente sul substrato roccioso raggiunto mediante scavo e regolarizzato con magrone.

Nella parte più pianeggiante a NNO, verso la cabina elettrica, la strada non presenta muro di sostegno a valle e il fondo stradale è stato realizzato con la posa di un cordolo in muratura a secco con grossi blocchi al di sotto del piano stradale parzialmente appoggiato sulla roccia e sui soprastanti terreni limosabbiosi. Nello stesso settore la strada a monte è delimitata da un muro a secco di pochi decimetri di altezza.

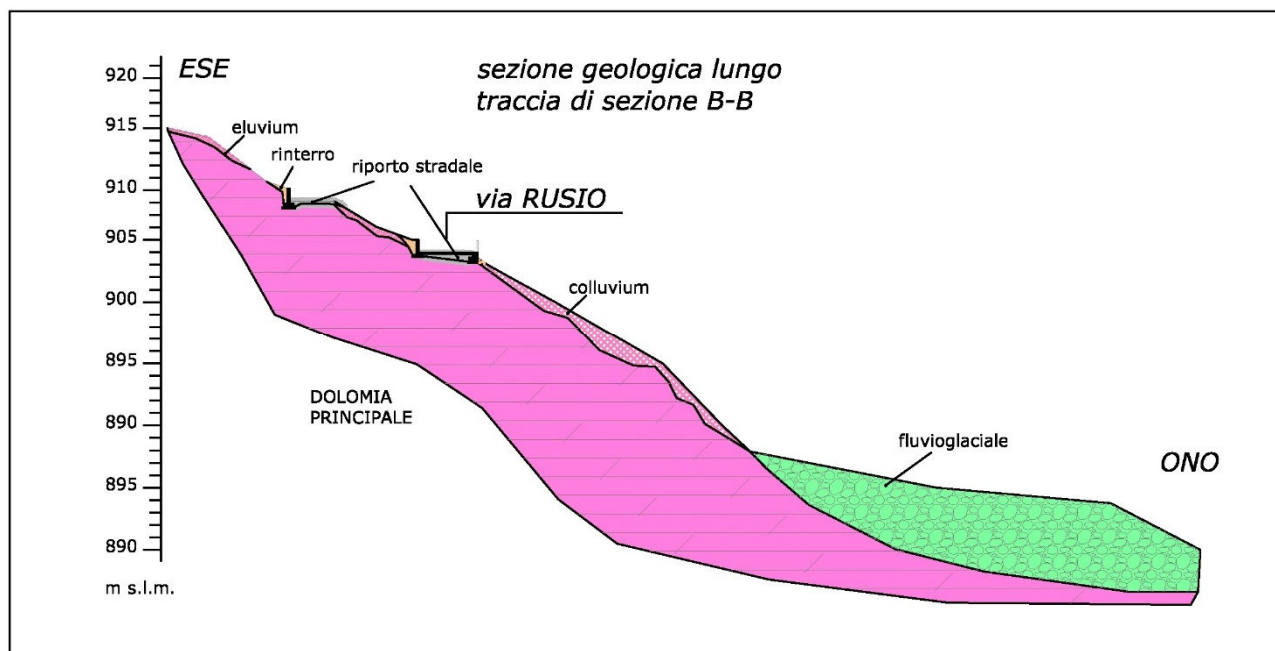
Nonostante la componente a granulometria fine dei terreni superficiali gli appoggi fondazionali prevalentemente in roccia garantiscono la stabilità dei manufatti e della sede stradale. La condizione strutturale dell'infrastruttura viaria a NNO con assenza di muri di sostegno unita al passaggio di mezzi con carico sempre maggiore ha determinato nel tempo il cedimento della sede stradale nella porzione di valle con la formazione di fessure di trazione che interessano il manto d'usura per tutta la larghezza del riporto pari a circa un metro della sede stradale.

I terreni eluvio colluviali mostrano in ogni caso spessore limitato e permeabilità media o scarsa sottolineati dalla presenza di terrazzette da pascolo nel pendio a valle della strada.

La sezione geologica di dettaglio in corrispondenza della sezione B-B di progetto mostra le caratteristiche principali ora evidenziate. In tale contesto è evidente che l'allargamento stradale deve essere bilanciato tra la realizzazione del muro a valle della strada con la sua altezza in funzione della sede stradale e la minimizzazione degli scavi a monte della stessa per limitare scavi in roccia.

La stratigrafia di dettaglio vede la presenza di terreni limoso sabbiosi con argilla per spessori limitati a 0,3÷1,0 m di spessore cui rocce alterate fino a circa 3 m dal piano campagna. L'indagine sismica HVSR ha evidenziato che a tale profondità corrisponde il bedrock sismico ( $V_S > 800$  m/s) confermando la presenza del substrato roccioso a profondità inferiori a 3 metri e garantendo l'attribuzione della stratigrafia sismica alla classe di sottosuolo A.





#### 4. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E MODELLO GEOTECNICO

Le indagini effettuate a partire dalle prove penetrometriche da quelle sismiche hanno permesso di definire le caratteristiche geotecniche dei terreni superficiali, della roccia alterata e della roccia più compatta e di caratterizzare il modello geotecnico specifico per questo sito.

##### 4.1 MODELLO GEOTECNICO

Il modello geotecnico è definito in funzione di quello geologico e vede la presenza di una sottile coltre eluvio colluviale con spessore compreso tra 0,3 e 1 m soprastante un livello di roccia alterata di spessore variabile tra pochi decimetri e 1,8 m che segue l'ammasso roccioso più compatto. Tale stratigrafia è delineata lungo un pendio con inclinazione media inferiore a  $36^\circ \div 38^\circ$ . Rispetto a tale modello le attuali fondazioni dei muri così come quelle di progetto raggiungono direttamente il substrato roccioso costituito da banchi dolomitici alterati.

##### 4.2 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E VERIFICHE DI STABILITÀ SPEDITIVE

L'elaborazione delle prove penetrometriche permette di determinare le caratteristiche geotecniche dei vari terreni interessati dalle stesse prove; per le rocce sottostanti i parametri vengono riconosciuti sulla base dei caratteri generali utilizzati in altre zone del territorio di Castione della Presolana per la medesima litologia.

Le penetrometriche dinamiche effettuate nel corso di questo studio sono state elaborate con *Dynamic Probing* (GEOSTRU) mediante relazioni di correlazione con i parametri geotecnici:



<b>TERRENI INCOERENTI</b>	Angolo di Attrito ( $\phi'$ ): Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Densità relativa (%): Gibbs & Holtz (1957) Modulo Di Young ( $E_y$ ): Bowles (1982) Modulo Edometrico ( $M_d$ ): Menzenbach e Malcev (1977). Stato di consistenza: Classificazione A.G.I. 1977 Peso di Volume ( $\gamma$ ): Meyerhof ed altri. Peso di volume saturo ( $\gamma_{sat}$ ): Terzaghi-Peck 1948-1967 Modulo di Poisson ( $\nu$ ): Classificazione A.G.I. Velocità onde di taglio $V_s$ (m/sec): Ohta & Goto (1978) Modulo di deformazione di taglio ( $G$ ): Ohsaki & Iwasaki Modulo di reazione ( $K_o$ ): Navfac 1971-1982 Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ ): Robertson 1983	<b>TERRENI COESIVI</b>	Coesione non drenata ( $C_u$ ): Terzaghi-Peck (1948-1967) Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ ): Robertson 1983 Modulo Edometrico-Confinato ( $M_o$ ): Stroud e Butler (1975) Modulo Di Young ( $E_y$ ): Schultze-Menzenbach Stato di consistenza: Classificazione A.G.I. 1977 Peso di Volume ( $\gamma$ ): Meyerhof ed altri Peso di volume saturo ( $\gamma_{sat}$ ): Meyerhof ed altri.
---------------------------	---	------------------------	---

Vi sono anche parametri geotecnici, come la coesione drenata, provenienti da elaborazioni degli stessi dati attraverso correlazioni non fornite direttamente dal programma, ma valutate mediante specifici fogli Excel, sempre in funzione dei diversi orizzonti distinti. I parametri geotecnici per ciascuna penetrometria sono esposti nell'allegato 2. Qui di seguito viene fornita una descrizione dei principali parametri in funzione con alcune tabelle riepilogative.

DATI GEOTECNICI DA PROVE DPSH

Prova penetrometrica	Strato	Prof. Strato (m)	N <sub>SPT</sub>	Tipo	Litologia	Peso specifico	Peso immerso	Angolo di attrito (picco)	Coesione drenata	Coesione non drenata	Modulo Edometrico	Modulo Elastico	Modulo Poisson	Modulo Winkler	Modulo di taglio	Velocità onde di taglio
						$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	C (KPa)	$C_u$ (KPa)	$M_o$ (Mpa)	E (Mpa)	$\nu$	$K_o$	G (Mpa)	VS (m/s)
DP1	1	0.6	34.2	Inc./coes.	asfalto e massetto	21.28	24.52	37.65	22	226.44	18.68	24.12	0.29	6.17	176.37	99.91
DP1	2	1.2	13.5	Inc./coes.	limo sabbioso	18.04	19.02	29.23	9	89.34	9.63	13.97	0.33	2.83	73.61	105.16
DP1	3	1.8	94.5	Inc./coes.	roccia alterata	24.52	24.52	52.65	60		45.06	53.69	0.16	11.9	458.5	162.5
DP2	2	0.9	10.21	Inc./coes.	limo sabbioso	17.06	18.83	27.38	7	67.57	8.19	12.36	0.33	2.15	56.61	87.65
DP2	3	1.5	79.2	Inc./coes.	roccia alterata	24.52	24.52	49.47	52		38.37	46.19	0.19	11.93	388.36	150.97
DP2	2	0.6	7.2	Inc./coes.	limo sabbioso	15.98	18.63	25.39	5	44.13	6.88	0	0.34	1.49	40.77	76.3
DP2	3	0.9	72	Inc./coes.	roccia alterata	23.83	24.52	47.86	48		35.22	42.66	0.21	11.43	355.08	135.62
MEDIE	DP1-DP3	0.6	34.2	Inc./coes.	asfalto e massetto	21.28	24.52	37.65	22	226.44	18.68	24.12	0.29	6.17	176.37	99.91
		0.6-0.9	10.30	Inc./coes.	limo sabbioso	17.03	18.83	27.33	7.00	67.01	8.23	8.78	0.33	2.16	57.00	89.70
		0.9-1.8	81.90	Incoerente	roccia alterata	24.29	24.52	49.99	53.33		39.55	47.51	0.19	11.75	400.65	149.70

DATI GEOTECNICI DA PROVE DPL

Prova penetrometrica	Strato	Prof. Strato (m)	N <sub>SPT</sub>	Tipo	Litologia	Peso specifico	Peso immerso	Angolo di attrito (picco)	Coesione drenata	Coesione non drenata	Modulo Edometrico	Modulo Elastico	Modulo Poisson	Modulo Winkler	Modulo di taglio	Velocità onde di taglio
						$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	C (KPa)	$C_u$ (KPa)	$M_o$ (Mpa)	E (Mpa)	$\nu$	$K_o$	G (Mpa)	VS (m/s)
DP4	1	0.7	3.69	Inc./coes.	limo sabbioso	14.51	18.44	22.44	22	22.65	5.34	0	0.35	0.68	21.75	70.02
DP4	2	0.9	17.48	Inc./coes.	limo sabbioso e pietrisco	19.02	19.22	31.19	12	115.72	11.37	15.93	0.32	3.6	93.85	107.49
DP4	3	1.1	52.44	Incoerente	roccia alterata	22.06	24.52	43.05	35		26.66	33.07	0.25	8.54	263.58	135.71
DP5a	1	0.1	7.6	Inc./coes.	limo sabbioso	16.08	18.63	25.68	5	46.58	7.05	0	0.34	1.58	42.89	54.5
DP5a	3	0.3	31.16	Incoerente	roccia alterata	21.08	24.52	36.62	21		17.35	22.63	0.29	5.77	161.59	90.91
DP5b	1	0.1	5.32	Inc./coes.	limo sabbioso	15.2	18.53	23.93	3	32.66	6.05	0	0.34	1.06	30.68	51.24
DP5b	3	0.3	34.2	Incoerente	roccia alterata	21.28	24.52	37.65	23		18.68	24.12	0.29	6.17	176.37	92.39
MEDIE	DP4-DP5	0.1-0.7	3.69	Inc./coes.	limo sabbioso	15.26	18.53	24.02	10.00	33.96	6.15	0.00	0.34	1.11	31.77	58.59
		0.2	10.13	Inc./coes.	limo sabbioso e pietrisco	19.02	19.22	31.19	12.00	115.72	11.37	15.93	0.32	3.60	93.85	107.49
		0.3-0.2	39.27	Incoerente	roccia alterata	21.47	24.52	39.11	26.33		20.90	26.61	0.28	6.83	200.51	106.34

Da questi dati emerge che a parte il livello rappresentato dal manto bituminoso e dal sottofondo stradale vi è praticamente un solo orizzonte di terreno costituito dal limo sabbioso eluvio-colluviale. Lo stesso terreno con ghiaietto e/o pietrisco, ma di limitato spessore (0.2 m) e non continuo poiché attraversato unicamente con la prova DP4 non viene considerato proprio per la sua esiguità nel modello geotecnico (anche a favore di sicurezza).

Per quanto riguarda invece l'ammasso roccioso le due tipologie di prove penetrometriche permettono di distinguere la roccia sicuramente alterata (prove DPL) da quella meno alterata e prossima alla compattezza (prove DPSH) e per tali motivi se ne distinguono le due differenti porzioni anche dal punto di vista geotecnico. In particolare, si rileva come i valori di angolo di attrito e coesione ben si correlino a quelli eventualmente ottenibili dalle classificazioni gomeccaniche più rappresentative (RMR Beniauskis, 1989; Q Burton, 2010).

Infine, per quanto riguarda i parametri connessi alla caratterizzazione sismica occorre notare che soprattutto i valori di velocità delle onde di taglio appaiono inconsistenti con le correlazioni da prove penetrometriche e molto più realistici se valutati attraverso l'indagine sismica HVS già illustrata.

Sulla base di ciò la tabella seguente contiene i parametri caratteristici da attribuire ai differenti orizzonti del modello geotecnico definiti in precedenza.

PARAMETRI GEOTECNICI DI RESISTENZA				Peso specifico	Peso immerso	Angolo di attrito (picco)	Coazione drenata	Coazione non drenata	
Spessore	N <sub>SPT</sub>	Tipo	Litologia	$\gamma$	$\gamma_d$	$\phi'$	C	C <sub>U</sub>	
(m)	(D <sub>60</sub> )			(KN/m <sup>3</sup> )	(KN/m <sup>3</sup> )	(°)	(KPa)	(KPa)	
0.1-0.9	7.00	Inc./coes.	limo sabbioso	16.15	18.68	25.68	8.50	50.49	
0.2-0.3	39.27	Incoerente	roccia alterata	21.47	24.52	39.11	26.33	0.00	
0.6-0.9	81.90	Incoerente	roccia poco alterata	24.29	24.52	49.99	53.33	0.00	
PARAMETRI GEOTECNICI RIEPILOGATIVI									
PARAMETRI GEOTECNICI ELASTICO-DEFORMATIVI				Modulo Edometrico	Modulo Elastico	Modulo Poisson	Modulo Winkler	Modulo di taglio	Velocità onde di taglio
Spessore	N <sub>SPT</sub>	Tipo	Litologia	M <sub>0</sub>	E	$\nu$	K <sub>0</sub>	G	VS
(m)	(D <sub>60</sub> )			(Mpa)	(Mpa)		kg/cm <sup>3</sup>	(Mpa)	(m/s)
0.4	NSPT	Inc./coes.	asfalto e massetto	specifico	immerso	attrito (picco)	drenata	non drenata	Edometrico
0.1-0.9	7.00	Inc./coes.	limo sabbioso	16.15	18.68	25.68	8.50	50.49	140
0.2	10.13	Inc./coes.	limo sabbioso e pietrisco	19.02	19.22	31.19	12.00	115.72	140
0.2-0.3	39.27	Incoerente	roccia alterata	21.47	24.52	39.11	26.33	0.00	360
0.6-0.9	(D <sub>60</sub> )	Incoerente	roccia poco alterata	(KN/m <sup>3</sup> )	(KN/m <sup>3</sup> )	(°)	(KPa)	(KPa)	820

Per i terreni si osserva come i parametri siano tipici di terreni limo sabbiosi di media consistenza soprattutto per quanto riguarda il peso specifico ( $\gamma_d = 18,68 \text{ kN/m}^3$  pari a  $1,9 \text{ t/m}^3$ ) e i parametri di resistenza (angolo di attrito efficace  $\phi' = 25,7^\circ$  e coazione efficace  $c' = 8,5 \text{ kPa}$  pari a  $0,87 \text{ t/m}^2$ ).

Per le rocce il peso specifico discrimina la roccia fortemente alterata ( $\gamma = 21,5 \text{ kN/m}^3$ ) con maggior porosità da quella poco alterata ( $\gamma = 24,3 \text{ kN/m}^3$ ) laddove il peso immerso risulta essere analogo. La coazione di un ordine di grandezza superiore a quella dei terreni risulta essere molto riduttiva rispetto a quella che si otterrebbe dalle classificazioni geomeccaniche e paragonabile unicamente ai valori residui efficaci.

In ogni caso l'elevato angolo di attrito della roccia ( $\phi' = 39^\circ \div 50^\circ$ ) superiore a quello del pendio ( $\beta = 35^\circ \div 38^\circ$  come valore massimo) favorisce la stabilità dell'ammasso roccioso anche in condizioni sismiche (condizioni statiche:  $\tan \phi' > \tan \beta$ ,  $0,81 \div 1,19 > 0,7 \div 0,8$  con  $F_s = 1,16 \div 1,49$ ; condizioni statiche:  $\tan(\phi' - 2^\circ) > \tan \beta$ ,  $0,75 \div 1,11 > 0,7 \div 0,8$  con  $F_s = 1,07 \div 1,39$ ) senza considerare la coazione. Anche i parametri di resistenza del terreno contribuiscono alla stabilità del pendio in condizioni naturali, con una lieve riduzione indotta unicamente da carichi concentrati eccessivi quali ad esempio il pascolo che una volta era praticato soprattutto a valle della strada con la formazione delle tipiche terrazzette che ormai hanno raggiunto una loro stabilità intrinseca o il carico dei mezzi sul ciglio stradale.

Per quanto riguarda ulteriori valutazioni sulla stabilità dei manufatti si rimanda alle relazioni di calcolo per la corretta progettazione dei muri di sostegno.



## CARATTERISTICHE SISMICHE DI SITO

Riguardo all' idoneità sismica del sito, si osserva che nella zona non sono presenti faglie ritenute attive dai Cataloghi ufficiali (ITHACA) e che i terreni di fondazione costituiti dall' ammasso roccioso non possono essere soggette a liquefazione e/o addensamento, a motivo della loro caratteristiche intrinseche favorite anche dall' assenza di falda superficiale. In tali condizioni si esclude la verifica a liquefazione e si può concludere **l' intervento è compatibile con la situazione sismica di sito.**

Per determinare la velocità delle onde sismiche nei terreni interessati dall' intervento di progetto e definire la "categoria di sottosuolo" (D.M. 17 gennaio 2018) è stata effettuata anche una misurazione del "rumore ambientale" con tecnica HVSR a stazione singola o "Metodo di Nakamura"; come descritto in precedenza.

Definita la stratigrafia sismica di dettaglio nella quale il bedrock sismico ( $V_S > 800$  m/s) è a meno di 3 m dal piano campagna e sicuramente a meno di 3 m dal piano di fondazione dei muri di progetto, viene attribuita la **categoria di sottosuolo A**, con coefficiente stratigrafico  $S_S = 1,0$ .

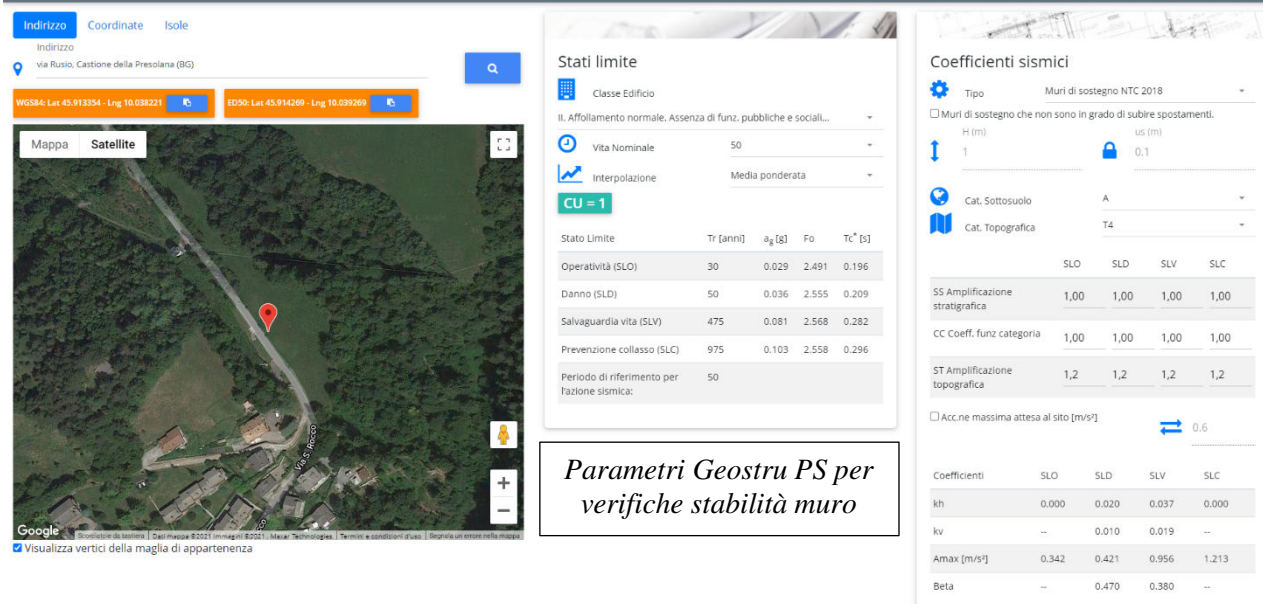
Per quanto riguarda il coefficiente topografico dal momento che ci si trova su un pendio inclinato mediamente attorno a  $35^\circ$  con un crinale ben definito in roccia la strada ci si trova nella categoria topografica T4 con valore  $S_T = 1,4$  in corrispondenza del crinale. Rispetto al crinale la strada è ubicata in un settore compreso tra la metà e la parte inferiore del pendio ed in tale situazione il valore del coefficiente di amplificazione topografica risulta per lo meno dimezzato tanto da assumere valore  $S_T = 1,2$ ; solo in corrispondenza del raccordo con la piana fluvio-glaciale pianeggiante esso si riduce al valore unitario.

Gli aspetti fondazionali e di stabilità delle opere di sostegno saranno affrontati dallo Strutturista nell' ambito della progettazione. Qui di seguito vengono proposti i parametri sismici per questi aspetti in funzione delle caratteristiche fondamentali, prima determinate, della vita nominale e della classe d' uso dell' opera e delle corrette coordinate geografiche (qui sono indicate quelle con baricentro presso il muro attuale a valle di via Rusio) e considerando le condizioni del coefficiente  $S_T$  per il pendio come indicato in precedenza:

- VITA NOMINALE DELL' OPERA, opera ordinaria:  $V_N = 50$  anni
- CLASSE D' USO, Muro strada ordinaria (Classe II):  $C_U = 1,0$
- PERIODO DI RIFERIMENTO DELL' AZIONE SISMICA:  $V_R = V_N * C_U = 50$  anni
- STATO LIMITE ULTIMO DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV) con probabilità di superamento pari al 10% del periodo di riferimento  $V_R$ : tempo di riferimento  $T_R = 475$  anni
- COORDINATE GEOGRAFICHE (WGS84): **longitudine = 10,038221°; latitudine = 45,913354°;**

da cui, mediante il software "Geostru PS" (vedi di seguito), si ottiene per la *stabilità del muro* allo stato limite SLV:

- ACCELERAZIONE ORIZZONTALE:  $a_g = 0,795$  m/s<sup>2</sup> = **0,081 g** (valore normalizzato rispetto a g);
- COEFFICIENTE DI SOTTOSUOLO: "classe A";  $S_S = 1,0$ ;
- COEFFICIENTE DI AMPLIF. TOPOGRAFICA: tipologia T4 a metà pendio;  $S_T = 1,2$ ;
- ACCELERAZIONE MASSIMA ORIZZ.:  $a_{gMAX} = a_g * S_S * S_T = 0,956$  m/s<sup>2</sup> (0,098 normalizzato a g);
- COEFFICIENTE DI RIDUZIONE ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA AL SITO:  $\beta_s = 0,380$ ;
- COEFFICIENTE SISMICO ORIZZONTALE:  $K_h = \beta_s * (a_{gMAX}/g) = 0,037$ ;
- COEFFICIENTE SISMICO VERTICALE:  $K_v = 0,5 * K_h = 0,019$ .



**Stati limite**

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

Vita Nominale: 50  
Interpolazione: Media ponderata  
**CU = 1**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.029	2.491	0.196
Danno (SLD)	50	0.036	2.555	0.209
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.081	2.568	0.282
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.103	2.558	0.296

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50

**Parametri Geostru PS per verifiche stabilità muro**

**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: A  
Cat. Topografica: T4

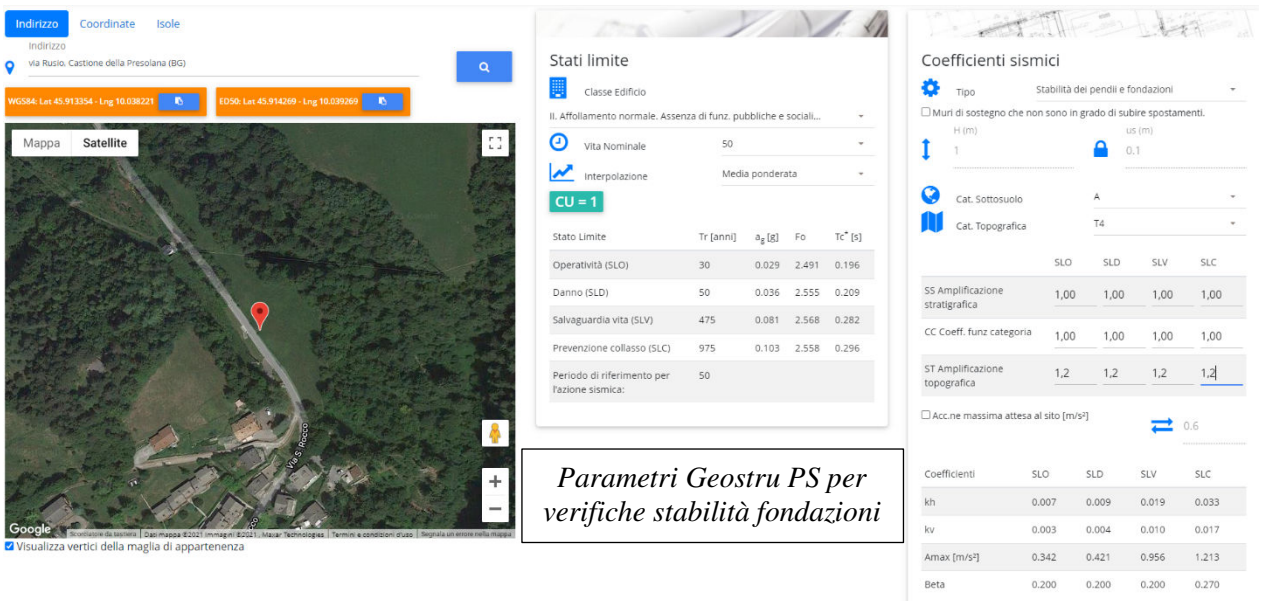
	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,00	1,00	1,00	1,00
CC Coeff. funz. categoria	1,00	1,00	1,00	1,00
ST Amplificazione topografica	1,2	1,2	1,2	1,2

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]: 0,6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.020	0.037	0.000
kv	--	0.010	0.019	--
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.342	0.421	0.956	1.213
Beta	--	0.470	0.380	--

Per gli *aspetti fondazionali*, sempre per verifiche allo stato limite SLV si ottiene invece:

- ACCELERAZIONE ORIZZONTALE:  $a_g = 0,795 \text{ m/s}^2 = 0,081 \text{ g}$  (valore normalizzato rispetto a g);
- COEFFICIENTE DI SOTTOSUOLO: "classe A";  $S_S = 1,0$ ;
- COEFFICIENTE DI AMPLIF. TOPOGRAFICA: tipologia T4 a metà pendio;  $S_T = 1,2$ ;
- ACCELERAZIONE MASSIMA ORIZZ.:  $a_{gMAX} = a_g * S_S * S_T = 0,956 \text{ m/s}^2$  (0,098 normalizzato a g);
- COEFFICIENTE DI RIDUZIONE ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA AL SITO:  $\beta_s = 0,20$ ;
- COEFFICIENTE SISMICO ORIZZONTALE:  $K_h = \beta_s * (a_{gMAX}/g) = 0,019$ ;
- COEFFICIENTE SISMICO VERTICALE:  $K_v = 0,5 * K_h = 0,010$ .



**Stati limite**

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

Vita Nominale: 50  
Interpolazione: Media ponderata  
**CU = 1**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.029	2.491	0.196
Danno (SLD)	50	0.036	2.555	0.209
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.081	2.568	0.282
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.103	2.558	0.296

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50

**Parametri Geostru PS per verifiche stabilità fondazioni**

**Coefficienti sismici**

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

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

H (m): 1, us (m): 0,1

Cat. Sottosuolo: A  
Cat. Topografica: T4

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,00	1,00	1,00	1,00
CC Coeff. funz. categoria	1,00	1,00	1,00	1,00
ST Amplificazione topografica	1,2	1,2	1,2	1,2

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]: 0,6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.007	0.009	0.019	0.033
kv	0.003	0.004	0.010	0.017
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.342	0.421	0.956	1.213
Beta	0.200	0.200	0.200	0.270



## 6. CONCLUSIONI

L'analisi geologica geotecnica e sismica di dettaglio eseguita per la progettazione dell'ampliamento di un tratto di via Rusio in comune di Castione della Presolana ha permesso di definire che **il sito è idoneo alla realizzazione dell'opera.**

Il modello geologico vede la presenza di un pendio con una sottile coltre eluvio colluviale limo sabbiosa che sovrasta il substrato roccioso dolomitico affiorante in alcuni punti lungo il pendio e messo in luce direttamente da pozzetti geognostici e indirettamente da prove penetrometriche e indagini sismiche a profondità variabili tra pochi decimetri e circa 1,5 m dal piano campagna. L'approfondimento del contatto terreno roccia dalla superficie topografica avviene spostandosi da SSE a NNO e in minor misura lungo la linea di massima pendenza del pendio. Il pendio si raccorda alla base con una piana fluvio-glaciale/alluvionale creata dal trasporto di materiale da parte del torrente che solca la valle dei Mulini, torrente che non interessa in alcun modo l'area di progetto né come effetti erosivi di sponda, né come possibile esondazione.

I muri di sostegno sono attualmente appoggiati anche attraverso una soletta di magrone al substrato roccioso e ciò ne determina la stabilità a differenza del tratto più a N dove l'assenza di questo muro e la presenza di un cordolo in muro a secco sottostante il piede del ciglio stradale ha favorito il formarsi di fratture di trazione lungo il manto d'usura del tratto di valle della strada soprattutto per l'aumento nel tempo dei carichi in transito sulla strada (autoveicoli di grosse dimensioni con carichi ragguardevoli); si tratta in ogni caso di cedimenti e non di scivolamento del pendio..

Il pendio a valle della strada è interessato da terrazzette da pascolo per l'utilizzo zootecnico in passato dell'area; a monte della strada il versante è parzialmente vegetato e non mostra alcun dissesto in atto o verificatosi in passato sottolineando la buona stabilità del pendio e la sua prevalente conformazione rocciosa.

Per quanto riguarda l'ampliamento stradale esso potrà essere realizzato parte in riporto con la costruzione di un nuovo muro di sostegno a valle di quello esistente, sempre appoggiato in roccia ed eventualmente raccordato allo stesso mediante spinottature, e parte in sterro con sbancamento del lato di monte; in quest'ultimo caso occorre tener presente che a limitata profondità dal piano campagna (meno di 0,5 m) è presente il substrato roccioso e che quindi lo scavo potrà interessare non solo il terreno superficiale, ma anche la roccia dolomitica sottostante. Per il muro è necessaria la realizzazione di fori di drenaggio per evitare sovrappressioni sul muro stesso come già effettuato sul muro esistente, mentre è da valutare la realizzazione di spinottature e/o la sagomatura della roccia per vincolare in modo più adeguato la fondazione alla roccia stessa.

Le prove penetrometriche e la loro elaborazione con specifico software hanno permesso di caratterizzare le varie litologie presenti nell'area definendo il modello geotecnico con i parametri caratteristici presenti nel capitolo relativo; data la limitata profondità a cui si incontra il substrato roccioso dalla superficie topografica è consigliabile raggiungere tale unità per l'appoggio delle fondazioni delle opere da realizzare per l'ampliamento stradale.

La presenza di roccia a profondità inferiori a 3 m dal piano campagna con valori della velocità delle onde di taglio superiori al bedrock sismico ( $V_{S_{bedrock}} > 800$  m/s) permette di attribuire ai terreni/rocce di fondazione la categoria di sottosuolo A con coefficiente di amplificazione  $S_S = 1,0$ , mentre la posizione nella metà inferiore del pendio inclinato a circa  $35^\circ$  delimitato superiormente dal crinale

che separa la valle dei Mulini dalle pendici meridionali del monte San Leonardo permette di assegnare il coefficiente topografico  $S_T = 1,2$ .

Le caratteristiche dei terreni di fondazione (roccia) e l'assenza di una falda continua e persistente a profondità inferiori a 15 m dal piano campagna escludono la verifica a liquefazione, mentre le analisi strutturali sismiche di muri e fondazioni dovranno essere effettuate oltre che con i coefficienti prima indicati anche con le specifiche coordinate dell'intervento come indicato all'interno della relazione.

**Studio Geoter**

dott. geol. Sergio Santambrogio

Ardesio, li ottobre 2020



**ALLEGATI:** 1) *PROVE PENETROMETRICHE DA DITTA ESECUTRICE (GEOL. FABIO BAIÒ)*  
2) *ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE CON DYNAMIC PROBING*  
3) *INDAGINI SISMICHE A STAZIONE SINGOLA*



# ALLEGATO 1

## PROVE PENETROMETRICHE DA BAIO

### PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SCPT

Le prove penetrometriche dinamiche SCPT sono state eseguite con penetrometro dinamico pesante PAGANI modello TG 63 “MODIFICATO”, montato su carro cingolato con cingoli in gomma a trazione integrale (6 x 6) i cui componenti sono rigorosamente conformi alle norme geotecniche in materia. In particolare, il penetrometro impiegato può essere descritto come penetrometro classe DPSH tipo “Meardi” o “Terzaghi modificato” o “superpesante” o “STANDARD CONE PENETRATION TEST”.

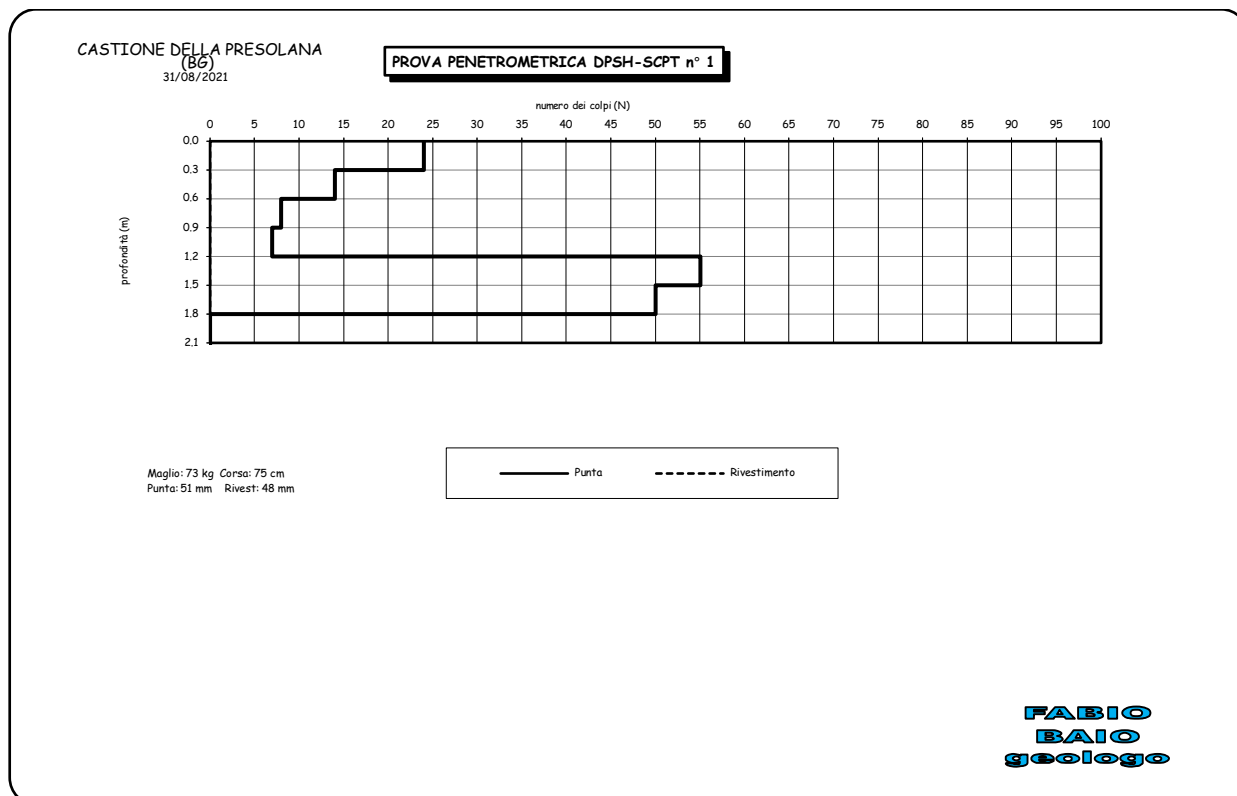
I dati tecnici del penetrometro sono così riassumibili:

<b>Diametro delle aste</b>	<b>: 34 mm</b>	
<b>Diametro dei rivestimenti</b>	<b>: 48 mm</b>	<b>1” ½</b>
<b>Punta conica: diametro</b>	<b>: 50.8 mm</b>	<b>2”</b>
<b>conicità</b>	<b>: 60°</b>	
<b>Peso del maglio</b>	<b>: 73 kg</b>	<b>160 libbre</b>
<b>Altezza di caduta (volata):</b>	<b>75 cm</b>	<b>30”</b>



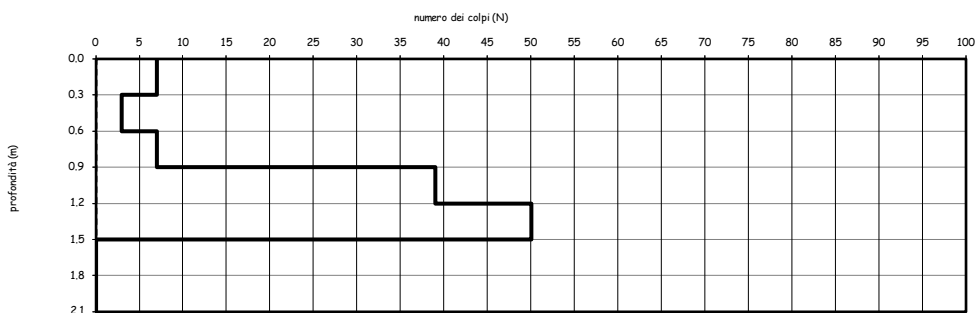
La prova consiste nel misurare il numero dei colpi (NSCPT) necessari all'infissione delle aste  $\varnothing$  34 mm per un intervallo pari a 30 centimetri (N/colpi/piede).

Allegati alla presente sono esposti i diagrammi relativi alle prove SCPT dove, in ascissa, in funzione della profondità, con linea continua viene esposto il valore “NSCPT” relativo all'avanzamento delle aste.



CASTIONE DELLA PRESOLANA  
 (BG)  
 31/08/2021

**PROVA PENETROMETRICA DPSH-SCPT n° 2**



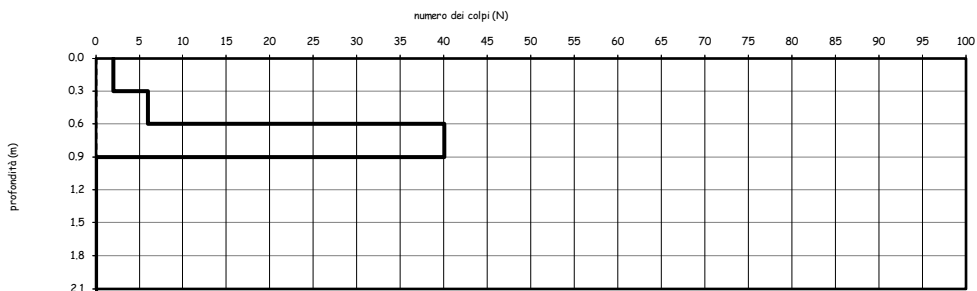
Maglio: 73 kg Corsa: 75 cm  
 Punta: 51 mm Rivest: 48 mm



**FABIO  
 BAIO  
 geologo**

CASTIONE DELLA PRESOLANA  
 (BG)  
 31/08/2021

**PROVA PENETROMETRICA DPSH-SCPT n°3**



Maglio: 73 kg Corsa: 75 cm  
 Punta: 51 mm Rivest: 48 mm



**FABIO  
 BAIO  
 geologo**



## PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE “LEGGERE” DPL

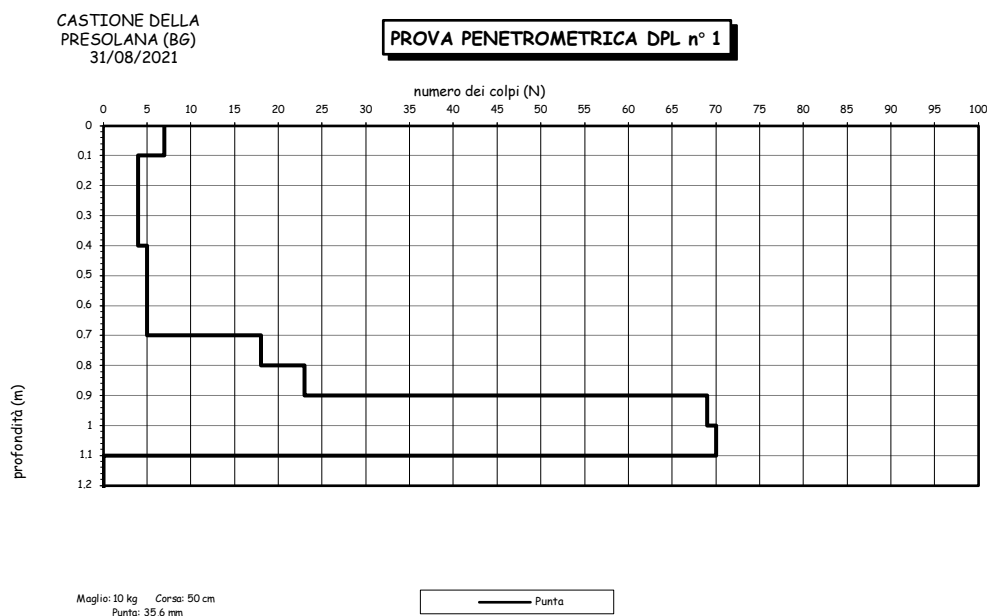
Le prove penetrometriche dinamiche “leggere” o “mini” o “DPL” o “LPT” state eseguite con penetrometro leggero “DIN 4094 “smontato”, e trasportabile a mano a pezzi considerato il modestissimo peso delle singole componenti. Sono state realizzate per supplire a tutte le condizioni in cui il penetrometro standard DPSH e SCPT, vista la mole e i pesi coinvolti, non sia trasportabile. In particolare, il penetrometro impiegato può essere descritto come penetrometro “leggero” DPL o LPT o “*LIGHT PENETRATION TEST*”.

I dati tecnici del penetrometro sono così riassumibili:

<b>Diametro delle aste</b>	<b>: 22 mm</b>
<b>Diametro dei rivestimenti</b>	<b>: 30 mm</b>
<b>Punta conica: diametro</b>	<b>: 35.6 mm</b>
<b>conicità</b>	<b>: 60°</b>
<b>Peso del maglio</b>	<b>: 10 kg</b>
<b>Altezza di caduta (volata)</b>	<b>: 50 cm</b>

La prova consiste nel misurare il numero dei colpi ( $N_{DPL}$ ) necessari all'infissione delle aste D. 22 mm per un intervallo pari a 10 centimetri ( $N/colpi/10cm$ ) seguite quando necessario dai tubi di rivestimento D. 30 mm per evitare attrito tra aste e terreno (e per l'avanzamento dei quali si registra analogamente il numero dei colpi necessario all'avanzamento).

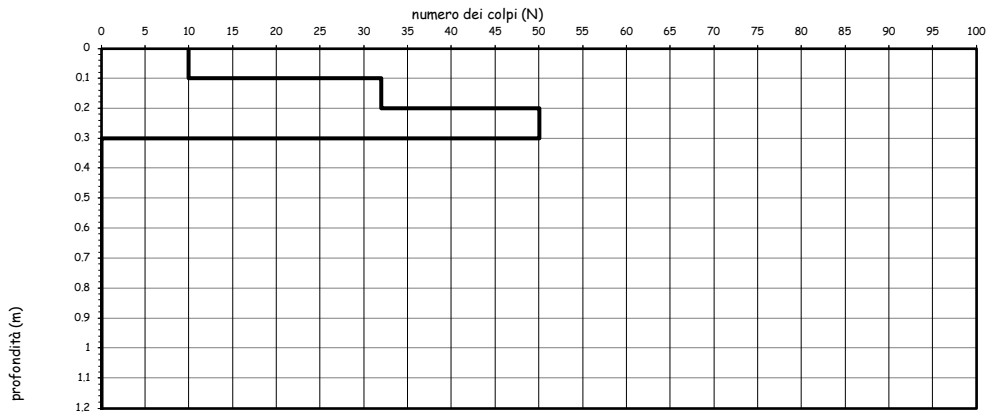
Allegati alla presente sono esposti i diagrammi relativi alle prove DPL dove, in ascissa, in funzione della profondità, con linea continua viene esposto il valore “NDPL” relativo all'avanzamento delle aste e con linea a tratto il valore “NDPL” relativo all'avanzamento dei tubi di rivestimento (se utilizzati).



**FABIO BAIÒ**  
geologo

CASTIONE DELLA  
PRESOLANA (BG)  
31/08/2021

**PROVA PENETROMETRICA DPL n° 2**



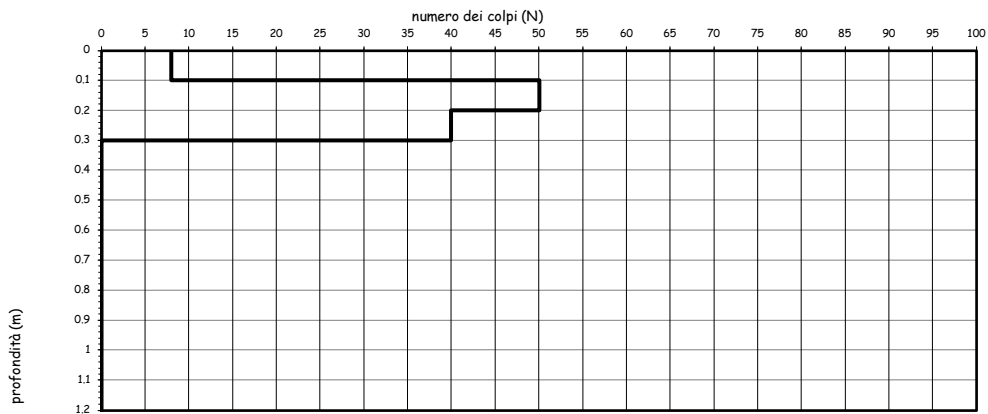
Maglio: 10 kg    Corsa: 50 cm  
Punta: 35,6 mm

— Punta

**FABIO BAILO**  
geologo

CASTIONE DELLA  
PRESOLANA (BG)  
31/08/2021

**PROVA PENETROMETRICA DPL n° 3**



Maglio: 10 kg    Corsa: 50 cm  
Punta: 35,6 mm

— Punta

**FABIO BAILO**  
geologo



# ALLEGATO 2

## PROVE PENETROMETRICHE

### ELABORAZIONE CON DYNAMIC PROBING DI GEOSTRU

#### Correlazione con $N_{spt}$

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{spt}$  ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di riportare il numero di colpi di una prova dinamica con  $N_{spt}$ . Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N \quad \text{dove: } \beta_t = Q/Q_{SPT}$$

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

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

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

#### Valutazione resistenza dinamica alla punta $R_{pd}$

Formula Olandese

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

$R_{pd}$  = resistenza dinamica punta (area  $A$ );  $e$  = infissione media per colpo ( $\delta N$ );  $M$  = peso massa battente (altezza caduta  $H$ );  $P$  = peso totale aste e sistema battuta.

#### Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981. Esso permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa. In particolare, consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

#### Valutazioni statistiche e correlazioni

##### ELABORAZIONE STATISTICA

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono:

<b>Media</b>	Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
<b>Media minima</b>	Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
<b>Massimo</b>	Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
<b>Minimo</b>	Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
<b>Scarto quadrat. medio</b>	Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
<b>Media deviata</b>	Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
<b>Media + s</b>	Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
<b>Media - s</b>	Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
<b>Distribuzione normale R.C.</b>	Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) \quad \text{con } \sigma_{N_{spt}} \text{ è la deviazione standard di } N_{spt}$$

**Distribuzione normale R.N.C.** Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di  $N_{spt}$  distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n} \quad \text{dove } n \text{ è il numero di letture.}$$

## PRESSIONE AMMISSIBILE

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard con larghezza  $L = 1$  m ed immersione  $D = 1$  m.

## CORRELAZIONI GEOTECNICHE TERRENI INCOERENTI

**Correzione Nspt in presenza di falda**  $N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$ . Nspt è il valore medio nello strato. La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

**Peso di Volume Gamma** Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

**Peso di volume saturo** Terzaghi-Peck 1948-1967

### Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlaz. valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961 - Angolo di attrito ( $^{\circ}$ ) valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlaz. valida per terreni prevalent. sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38 $^{\circ}$ .
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38 $^{\circ}$ ).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

### Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

### Modulo Di Young ( $E_y$ )

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.
- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

### Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buisman-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

**Stato di consistenza** Classificazione A.G.I. 1977

**Peso di Volume Gamma** Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

**Peso di volume saturo** Terzaghi-Peck 1948-1967

**Modulo di Poisson** Classificazione A.G.I.

**Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)** Seed-Idriss 1978-1981. Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio  $\tau$  e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

**Velocità onde di taglio  $V_s$  (m/sec)** Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

**Modulo di deformazione di taglio ( $G$ )** Ohsaki & Iwasaki - elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite. Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

**Modulo di reazione ( $K_0$ )** Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

**Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )** Robertson 1983  $Q_c$

**Liquefazione** Permette di calcolare utilizzando dati Nspt il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING* (1982), applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se Nspt dello strato considerato risulta inferiore a Nspt critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.



### CORRELAZIONI GEOTECNICHE TERRENI COESIVI

**Peso di Volume** Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

**Peso di volume saturo** Meyerhof ed altri.

#### **Coesione non drenata**

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con  $N_{spt} < 8$ , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). *Cu min-max*.
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività  $> 5$ , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche  $< 10$  colpi, per resistenze penetrometriche  $> 10$  l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, ( $Cu - N_{spt}$ -grado di plasticità).
- Schmertmann 1975  $Cu$  (Kg/cmq) (valori medi), valida per argille e limi argillosi con  $N_c=20$  e  $Q_c/N_{spt}=2$ .
- Schmertmann 1975  $Cu$  (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago). Coesione non drenata  $Cu$  (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982, valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

#### **Modulo Edometrico-Confinato ( $M_o$ )**

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità (da esperienze su argille glaciali)
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) (da esperienze su argille glaciali).
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -  $M_o$  (Eed) (Kg/cmq) -, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).
- Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli ( $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt}=6-12$ ).

#### **Modulo Di Young ( $E_y$ )**

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P.  $> 15$
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

**Stato di consistenza** Classificazione A.G.I. 1977

**Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )** Robertson 1983  $Q_c$





TERRENI INCOERENTI

Densità relativa	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - riporto asfalto	34.2	0.60	71.2	100	100	67.5
[2] limo e sabbialimo con sabbia	13.5	1.20	43.78	82	92.36	40.21
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	94.5	1.80	95.57	100	100	100

Angolo di resistenza al taglio	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - riporto asfalto	34.2	0.60	34.2	36.77	29.77	37.58	31.65	40.52	42	32-35	37.65	37.26	32.14	41.15
[2] limo e sabbialimo con sabbia	13.5	1.20	13.5	30.86	23.86	31.78	27.88	34.95	39.48	30-32	29.23	31.05	28.16	31.43
[3] - dolomia superf. parzial. alterata	94.5	1.80	94.5	54	47	54.46	29.87	37.22	42	>38	52.65	55.35	35.05	58.47

Modulo di Young (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - riporto asfalto	34.2	0.60	34.2	40.94	26.83	39.64	42.81	24.12
[2] limo e sabbialimo con sabbia	13.5	1.20	13.5	25.72	10.59	15.69	27.58	13.97
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	94.5	1.80	94.5	68.05	74.14	109.42	87.16	53.69

Modulo Edometrico (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - riporto asfalto	34.2	0.60	34.2	20.12	9.58	23.81	18.68
[2] limo e sabbialimo con sabbia	13.5	1.20	13.5	7.94	5.41	9.40	9.63
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	94.5	1.80	94.5	55.60	21.73	65.80	45.06

Classificazione AGI	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - riporto asfalto	34.2	0.60	34.2	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO
[2] limo e sabbialimo con sabbia	13.5	1.20	13.5	Classificazione A.G.I. 1977	MODERAT. ADDENSATO
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	94.5	1.80	94.5	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Gamma (KN/m <sup>3</sup> )
[1] - riporto asfalto	34.2	0.60	34.2	Meyerhof ed altri	21.28
[2] limo e sabbialimo con sabbia	13.5	1.20	13.5	Meyerhof ed altri	18.04
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	94.5	1.80	94.5	Meyerhof ed altri	24.52

Peso unità di volume saturo	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Gamma Saturo (KN/m <sup>3</sup> )
[1] - riporto asfalto	34.2	0.60	34.2	Terzaghi-Peck 1948-1967	24.52
[2] limo e sabbialimo con sabbia	13.5	1.20	13.5	Terzaghi-Peck 1948-1967	19.02
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	94.5	1.80	94.5	Terzaghi-Peck 1948-1967	24.52

Modulo di Poisson	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Poisson
[1] - riporto asfalto	34.2	0.60	34.2	(A.G.I.)	0.29
[2] limo e sabbialimo con sabbia	13.5	1.20	13.5	(A.G.I.)	0.33
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	94.5	1.80	94.5	(A.G.I.)	0.16

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - riporto asfalto	34.2	0.60	34.2	176.37	106.10
[2] limo e sabbialimo con sabbia	13.5	1.20	13.5	73.61	60.13
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	94.5	1.80	94.5	458.50	197.43

Modulo di reazione Ko	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Ko
[1] - riporto asfalto	34.2	0.60	34.2	Navfac 1971-1982	6.17
[2] limo e sabbialimo con sabbia	13.5	1.20	13.5	Navfac 1971-1982	2.83
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	94.5	1.80	94.5	Navfac 1971-1982	11.93

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Qc (Mpa)
[1] - riporto asfalto	34.2	0.60	34.2	Robertson 1983	6.71
[2] limo e sabbialimo con sabbia	13.5	1.20	13.5	Robertson 1983	2.65
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	94.5	1.80	94.5	Robertson 1983	18.53





TERRENI INCOERENTI

Densità relativa	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[2] limo e sabbialimo con sabbia	10.21	0.90	39.99	76.06	100	33.45
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	79.2	1.50	92.17	100	100	100

Angolo di resistenza al taglio	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[2] limo e sabbialimo con sabbia	10.21	0.90	10.21	29.92	22.92	30.86	29.3	33.75	38.65	<30	27.38	30.06	27.51	29.29
[3] - dolomia superf. parzial. alterata	79.2	1.50	79.2	49.63	42.63	50.18	30.26	40.81	42	>38	49.47	50.76	34.7	54.8

Modulo di Young (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[2] limo e sabbialimo con sabbia	10.21	0.90	10.21	22.37	8.01	11.88	25.16	12.36
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	79.2	1.50	79.2	62.29	62.13	91.72	75.90	46.19

Modulo Edometrico (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[2] limo e sabbialimo con sabbia	10.21	0.90	10.21	6.01	4.75	7.11	8.19
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	79.2	1.50	79.2	46.60	18.65	55.14	38.37

Classificazione AGI	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Classificazione AGI
[2] limo e sabbialimo con sabbia	10.21	0.90	10.21	Classificazione A.G.I. 1977	MODERAT.ADDENSATO
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	79.2	1.50	79.2	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Gamma (KN/m <sup>3</sup> )
[2] limo e sabbialimo con sabbia	10.21	0.90	10.21	Meyerhof ed altri	17.06
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	79.2	1.50	79.2	Meyerhof ed altri	24.52

Peso unità di volume saturo	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Gamma Saturo (KN/m <sup>3</sup> )
[2] limo e sabbialimo con sabbia	10.21	0.90	10.21	Terzaghi-Peck 1948-1967	18.83
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	79.2	1.50	79.2	Terzaghi-Peck 1948-1967	24.52

Modulo di Poisson	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Poisson
[2] limo e sabbialimo con sabbia	10.21	0.90	10.21	(A.G.I.)	0.33
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	79.2	1.50	79.2	(A.G.I.)	0.19

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[2] limo e sabbialimo con sabbia	10.21	0.90	10.21	56.61	50.69
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	79.2	1.50	79.2	388.36	177.24

Modulo di reazione Ko	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Ko
[2] limo e sabbialimo con sabbia	10.21	0.90	10.21	Navfac 1971-1982	2.15
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	79.2	1.50	79.2	Navfac 1971-1982	11.93

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)	Nspt	Prof. Strato(m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Qc (Mpa)
[2] limo e sabbialimo con sabbia	10.21	0.90	10.21	Robertson 1983	2.00
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	79.2	1.50	79.2	Robertson 1983	15.53





TERRENI INCOERENTI

Densità relativa	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[2] limo e sabbialimo con sabbia	7.2	0.60	33.21	65.11	96.97	26.47
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	72	0.90	92.23	100	100	100

Angolo di resistenza al taglio	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[2] limo e sabbialimo con sabbia	7.2	0.60	7.2	29.06	22.06	30.02	29.75	32.57	0	<30	25.39	29.16	26.3	27
[3] - dolomia superficiale parzial. alterata	72	0.90	72	47.57	40.57	48.16	31.29	41.85	42	>38	47.86	48.6	34.7	52.95

Modulo di Young (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[2] limo e sabbialimo con sabbia	7.2	0.60	7.2	---	5.65	---	---	---
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	72	0.90	72	59.40	56.49	83.39	70.61	42.66

Modulo Edometrico (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[2] limo e sabbialimo con sabbia	7.2	0.60	7.2	---	4.14	5.01	6.88
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	72	0.90	72	42.36	17.20	50.13	35.22

Classificazione AGI	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Classificazione AGI
[2] limo e sabbialimo con sabbia	7.2	0.60	7.2	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	72	0.90	72	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Gamma (KN/m <sup>3</sup> )
[2] limo e sabbialimo con sabbia	7.2	0.60	7.2	Meyerhof ed altri	15.98
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	72	0.90	72	Meyerhof ed altri	23.83

Peso unità di volume saturo	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Gamma Saturo (KN/m <sup>3</sup> )
[2] limo e sabbialimo con sabbia	7.2	0.60	7.2	Terzaghi-Peck 1948-1967	18.63
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	72	0.90	72	Terzaghi-Peck 1948-1967	24.52

Modulo di Poisson	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Poisson
[2] limo e sabbialimo con sabbia	7.2	0.60	7.2	(A.G.I.)	0.34
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	72	0.90	72	(A.G.I.)	0.21

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[2] limo e sabbialimo con sabbia	7.2	0.60	7.2	40.77	40.95
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	72	0.90	72	355.08	167.21

Modulo di reazione Ko	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Ko
[2] limo e sabbialimo con sabbia	7.2	0.60	7.2	Navfac 1971-1982	1.49
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	72	0.90	72	Navfac 1971-1982	11.93

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)	Nspt	Prof. Strato(m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Qc (Mpa)
[2] limo e sabbialimo con sabbia	7.2	0.60	7.2	Robertson 1983	1.41
[3] - dolomia superficiale parzialmente alterata	72	0.90	72	Robertson 1983	14.12

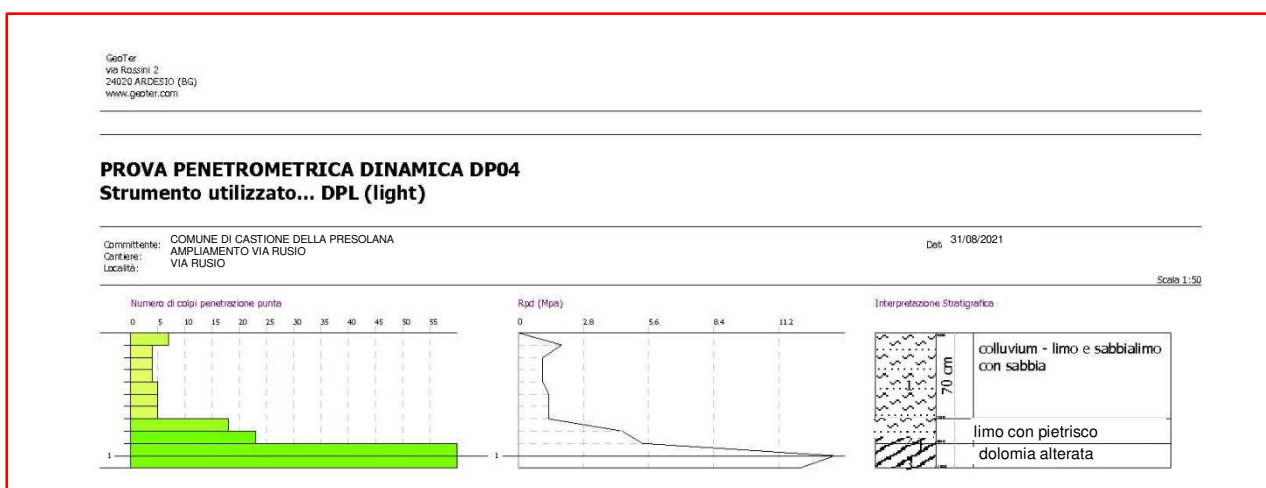
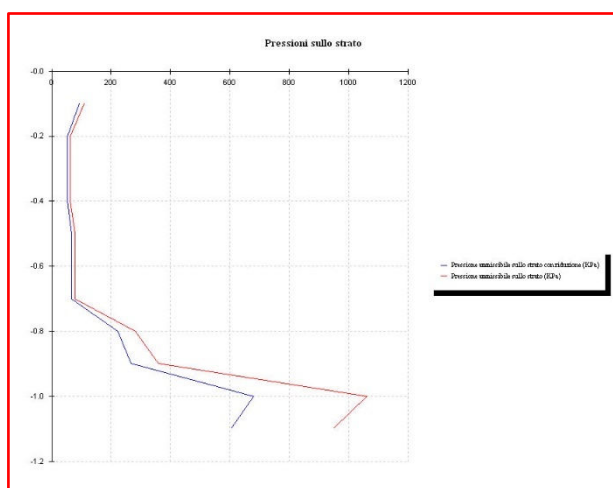
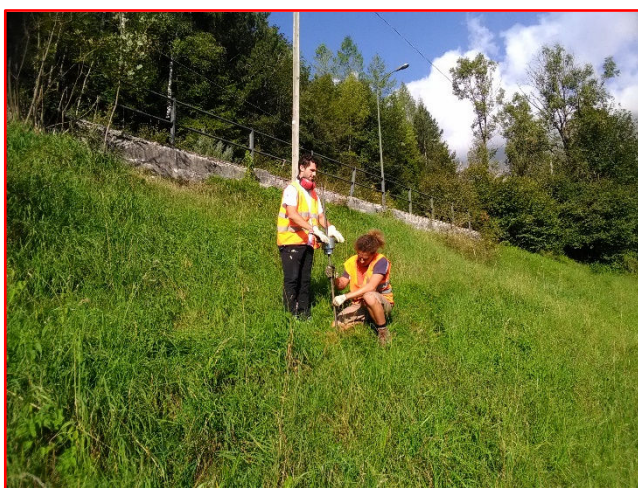
## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP4 Elaborazione con *Dynamic Probing* di GEOSTRU

Strumento utilizzato... DPL (Light)  
Profondità prova 1.10 m

Prova eseguita in data 31/08/2021  
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.10	7	0.857	1.87	2.19	93.63	109.31
0.20	4	0.855	1.07	1.25	53.38	62.46
0.30	4	0.853	1.07	1.25	53.26	62.46
0.40	4	0.851	1.06	1.25	53.14	62.46
0.50	5	0.849	1.33	1.56	66.28	78.08
0.60	5	0.847	1.32	1.56	66.13	78.08
0.70	5	0.845	1.32	1.56	65.99	78.08
0.80	18	0.793	4.46	5.62	222.99	281.08
0.90	23	0.742	5.33	7.18	266.33	359.16
1.00	68	0.640	13.59	21.24	679.33	1061.87
1.10	70	0.638	12.10	18.96	604.92	948.16



### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DP4

#### TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (KPa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[2] limo e sabbialimo con sabbia	3.69	0.70	22.65	45.21	14.71	14.81	35.11	45.60	32.85	69.43	18.14	56.39	45.21
[4] limo e sabbialimo con pietrisco	17.5	0.90	115.72	214.28	98.07	66.98	169.36	215.35	147.00	181.13	85.71	292.92	214.28

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	3.69	0.70	20.3	46.52	69.39	17.26
[4] limo e sabbia-limo con pietrisco	17.48	0.90	51.47	96.78	100	47.3
[3] - dolomia superf. alterata	52.44	1.10	80.9	100	100	82.47

Angolo di resistenza al taglio	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukumi 1982	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	3.69	0.70	3.69	28.05	21.05	29.03	28.54	31.11	0	<30	22.44	28.11	23.75	23.59
[4] limo e sabbia-limo con pietrisco	17.5	0.90	17.48	31.99	24.99	32.89	29.19	36.29	41.55	30-32	31.19	32.24	29.38	33.7
[3] - dolomia superf. alterata	52.4	1.10	52.44	41.98	34.98	42.68	30.33	42.59	42	>38	43.05	42.73	33.39	47.39

Modulo di Young (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	3.69	0.70	3.69	---	2.89	---	---	---
[4] limo e sabbia-limo con pietrisco	17.48	0.90	17.48	29.27	13.71	20.30	30.51	15.93
[3] - dolomia superf. alterata	52.44	1.10	52.44	50.69	41.14	60.75	56.22	33.07

Modulo Edometrico (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	3.69	0.70	3.69	---	3.44	2.57	5.34
[4] limo e sabbia-limo con pietrisco	17.48	0.90	17.48	10.29	6.21	12.17	11.37
[3] - dolomia superf. alterata	52.44	1.10	52.44	30.86	13.26	36.51	26.66

Classificazione AGI	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Classificazione AGI
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	3.69	0.70	3.69	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
[4] limo e sabbia-limo con pietrisco	17.48	0.90	17.48	Classificazione A.G.I. 1977	MODERAT.ADDENSATO
[3] - dolomia superf. alterata	52.44	1.10	52.44	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Gamma (KN/m <sup>3</sup> )
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	3.69	0.70	3.69	Meyerhof ed altri	14.51
[4] limo e sabbia-limo con pietrisco	17.48	0.90	17.48	Meyerhof ed altri	19.02
[3] - dolomia superf. alterata	52.44	1.10	52.44	Meyerhof ed altri	22.06

Peso unità di volume saturo	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Gamma Saturo (KN/m <sup>3</sup> )
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	3.69	0.70	3.69	Terzaghi-Peck 1948-1967	18.44
[4] limo e sabbia-limo con pietrisco	17.48	0.90	17.48	Terzaghi-Peck 1948-1967	19.22
[3] - dolomia superf. alterata	52.44	1.10	52.44	Terzaghi-Peck 1948-1967	24.52

Modulo di Poisson	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Poisson
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	3.69	0.70	3.69	(A.G.I.)	0.35
[4] limo e sabbia-limo con pietrisco	17.48	0.90	17.48	(A.G.I.)	0.32
[3] - dolomia superf. alterata	52.44	1.10	52.44	(A.G.I.)	0.25

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	3.69	0.70	3.69	21.75	27.22
[4] limo e sabbia-limo con pietrisco	17.48	0.90	17.48	93.85	70.41
[3] - dolomia superf. alterata	52.44	1.10	52.44	263.58	137.77

Modulo di reazione Ko	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Ko
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	3.69	0.70	3.69	Ohta & Goto (1978) Limi	70.02
[4] limo e sabbia-limo con pietrisco	17.48	0.90	17.48	Ohta & Goto (1978) Limi	107.49
[3] - dolomia superf. alterata	52.44	1.10	52.44	Ohta & Goto (1978) Limi	135.71

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)	Nspt	Prof. Strato(m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Qc (Mpa)
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	3.69	0.70	3.69	Navfac 1971-1982	0.68
[4] limo e sabbia-limo con pietrisco	17.48	0.90	17.48	Navfac 1971-1982	3.60
[3] - dolomia superf. alterata	52.44	1.10	52.44	Navfac 1971-1982	8.54



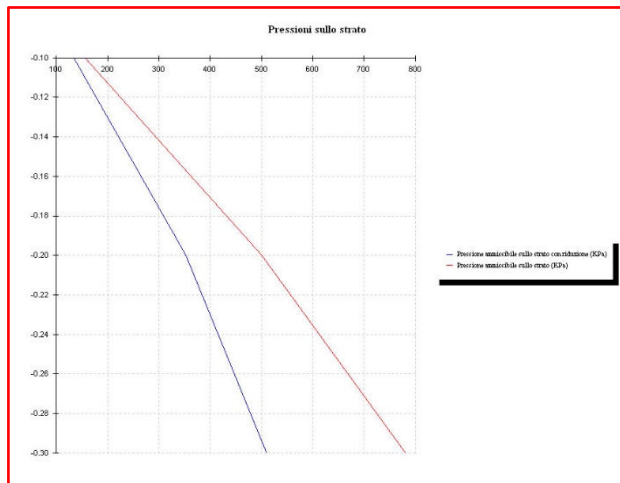
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP5a Elaborazione con *Dynamic Probing* di GEOSTRU

Strumento utilizzato... DPL (Light)  
Profondità prova 0.30 m

Prova eseguita in data 31/08/2021  
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.10	10	0.857	2.68	3.12	133.76	156.16
0.20	32	0.705	7.04	9.99	352.11	499.70
0.30	50	0.653	10.19	15.62	509.61	780.78



GeoTer  
via Rossini 2  
24020 ARDESIO (BG)  
www.geoter.com

---

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP05a**  
**Strumento utilizzato... DPL (light)**

---

Committente: COMUNE DI CASTIONE DELLA PRESOLANA  
Contiene: AMPLIAMENTO VIA RUSIO  
Località: VIA RUSIO

Data 31/08/2021

Scala 1:50

Numero di colpi penetrazione punta

Rpd (Mpa)

Interpretazione Stratigrafica

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DP5a

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (KPa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	7.6	0.10	46.58	93.16	24.52	30.01	72.86	93.56	66.59	98.75	37.27	131.80	93.16

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	7.6	0.10	35.33	68.79	100	27.44
[3] - dolomia superf. alterata	31.16	0.30	69.4	100	100	64.66

Angolo di resistenza al taglio	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	7.6	0.10	7.6	29.17	22.17	30.13	33.72	32.73	0	<30	25.68	29.28	26.66	27.33
[3] - dolomia superf. alterata	31.2	0.30	31.16	35.9	28.9	36.72	32.68	39.92	42	32-35	36.62	36.35	31.9	39.96

Modulo di Young (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	7.6	0.10	7.6	---	5.96	---	---	---
[3] - dolomia superf. alterata	31.16	0.30	31.16	39.07	24.45	36.13	40.57	22.63

Modulo Edometrico (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	7.6	0.10	7.6	---	4.22	5.29	7.05
[3] - dolomia superf. alterata	31.16	0.30	31.16	18.33	8.97	21.70	17.35

Classificazione AGI	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Classificazione AGI
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	7.6	0.10	7.6	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[3] - dolomia superf. alterata	31.16	0.30	31.16	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

Peso unità di volume	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Gamma (KN/m <sup>3</sup> )
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	7.6	0.10	7.6	Meyerhof ed altri	16.08
[3] - dolomia superf. alterata	31.16	0.30	31.16	Meyerhof ed altri	21.08

Peso unità di volume saturo	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Gamma Saturo (KN/m <sup>3</sup> )
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	7.6	0.10	7.6	Terzaghi-Peck 1948-1967	18.63
[3] - dolomia superf. alterata	31.16	0.30	31.16	Terzaghi-Peck 1948-1967	24.52

Modulo di Poisson	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Poisson
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	7.6	0.10	7.6	(A.G.I.)	0.34
[3] - dolomia superf. alterata	31.16	0.30	31.16	(A.G.I.)	0.29

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	7.6	0.10	7.6	42.89	42.33
[3] - dolomia superf. alterata	31.16	0.30	31.16	161.59	100.23

Modulo di reazione Ko	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Ko
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	7.6	0.10	7.6	Navfac 1971-1982	1.58
[3] - dolomia superf. alterata	31.16	0.30	31.16	Navfac 1971-1982	5.77

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)	Nspt	Prof. Strato(m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Qc (Mpa)
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	7.6	0.10	7.6	Robertson 1983	1.49
[3] - dolomia superf. alterata	31.16	0.30	31.16	Robertson 1983	6.11

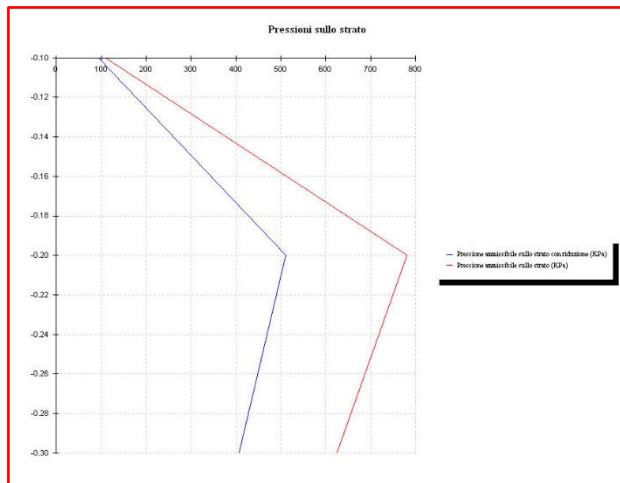
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP5b Elaborazione con *Dynamic Probing* di GEOSTRU

Strumento utilizzato... DPL (Light)  
Profondità prova 0.30 m

Prova eseguita in data 31/08/2021  
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.10	7	0.857	1.87	2.19	93.63	109.31
0.20	50	0.655	10.22	15.62	511.13	780.78
0.30	40	0.653	8.15	12.49	407.69	624.63



GeoTer  
via Rossini 2  
24020 ARDESIO (BG)  
www.geoter.com

---

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP05b**  
Strumento utilizzato... DPL (light)

---

Committente: COMUNE DI CASTIONE DELLA PRESOLANA  
Cantiere: AMPLIAMENTO VIA RUSIO  
Località: VIA RUSIO

Data 31/08/2021

Scala 1 : 50

Numero di colpi penetrazione punta

Ripd (Mpa)

Interpretazione Stratigrafica

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DP5b

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (KPa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	5.32	0.10	32.66	65.21	24.52	21.18	50.80	65.70	47.07	81.49	26.09	91.89	65.21



TERRENI INCOERENTI

Densità relativa	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	5.32	0.10	28.09	57.58	100	21.68
[3] - dolomia superf. alterata	34.2	0.30	72.13	100	100	67.5

Angolo di resistenza al taglio	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	5.32	0.10	5.32	28.52	21.52	29.49	33.26	31.8	0	<30	23.93	28.6	25.31	25.32
[3] - dolomia superf. alterata	34.2	0.30	34.2	36.77	29.77	37.58	32.87	40.52	42	32-35	37.65	37.26	32.25	41.15

Modulo di Young (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	5.32	0.10	5.32	---	4.17	---	---	---
[3] - dolomia superf. alterata	34.2	0.30	34.2	40.94	26.83	39.64	42.81	24.12

Modulo Edometrico (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	5.32	0.10	5.32	---	3.76	3.70	6.05
[3] - dolomia superf. alterata	34.2	0.30	34.2	20.12	9.58	23.81	18.68

Classificazione AGI	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Classificazione AGI
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	5.32	0.10	5.32	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[3] - dolomia superf. alterata	34.2	0.30	34.2	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

Peso unità di volume	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Gamma (KN/m <sup>3</sup> )
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	5.32	0.10	5.32	Meyerhof ed altri	15.20
[3] - dolomia superf. alterata	34.2	0.30	34.2	Meyerhof ed altri	21.28

Peso unità di volume saturo	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Gamma Saturo (KN/m <sup>3</sup> )
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	5.32	0.10	5.32	Terzaghi-Peck 1948-1967	18.53
[3] - dolomia superf. alterata	34.2	0.30	34.2	Terzaghi-Peck 1948-1967	24.52

Modulo di Poisson	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Poisson
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	5.32	0.10	5.32	(A.G.I.)	0.34
[3] - dolomia superf. alterata	34.2	0.30	34.2	(A.G.I.)	0.29

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Mpa)	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	5.32	0.10	5.32	30.68	34.04
[3] - dolomia superf. alterata	34.2	0.30	34.2	176.37	106.10

Modulo di reazione Ko	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Ko
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	5.32	0.10	5.32	Navfac 1971-1982	1.06
[3] - dolomia superf. alterata	34.2	0.30	34.2	Navfac 1971-1982	6.17

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)	Nspt	Prof. Strato(m)	Nspt corretto per falda	Correlazione	Qc (Mpa)
[2] limo e sabbia-limo con sabbia	5.32	0.10	5.32	Robertson 1983	1.04
[3] - dolomia superf. alterata	34.2	0.30	34.2	Robertson 1983	6.71

# ALLEGATO 2 MISURE HVSR

## VERTOVA, VIA DON B. FERRARI TR01

Strumento: TEN-0042/01-08

Formato dati: 16 byte

Inizio registrazione: 28/09/21 10:26:20

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Durata registrazione: 0h16'00".

Freq. campionamento: 128 Hz

Tipo di liscio: Triangular window

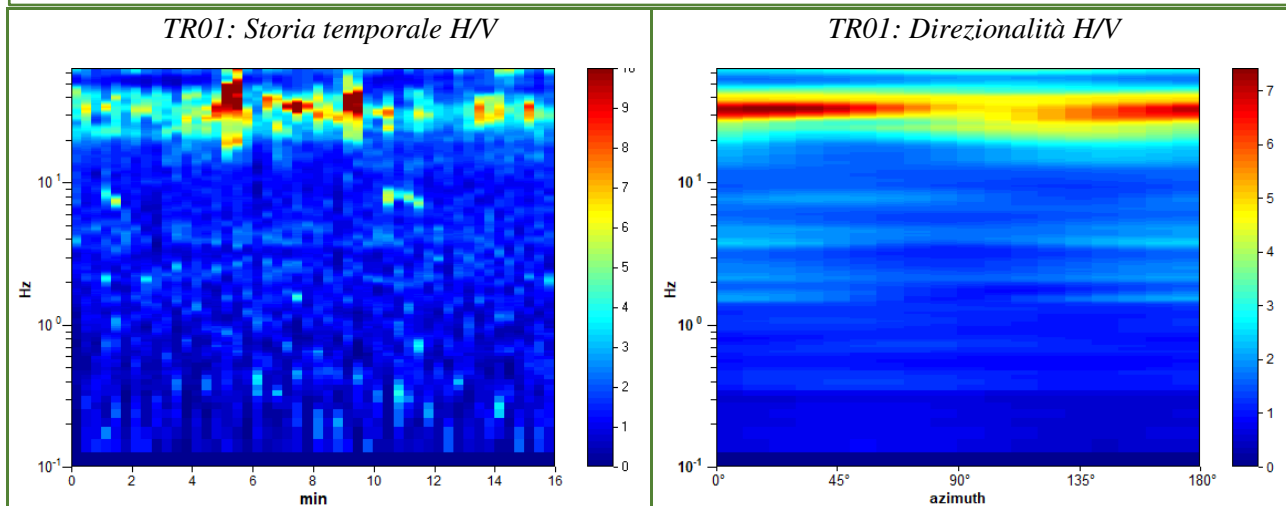
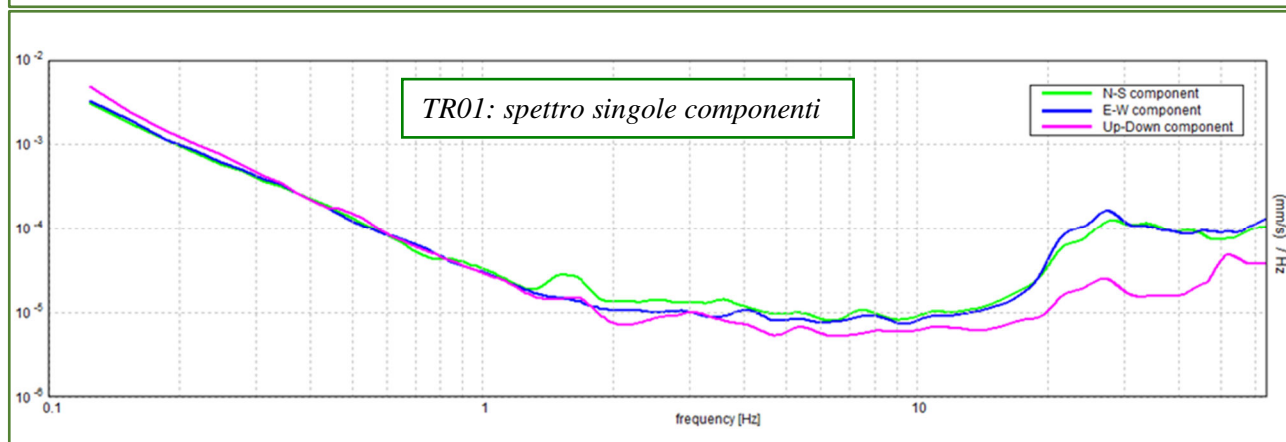
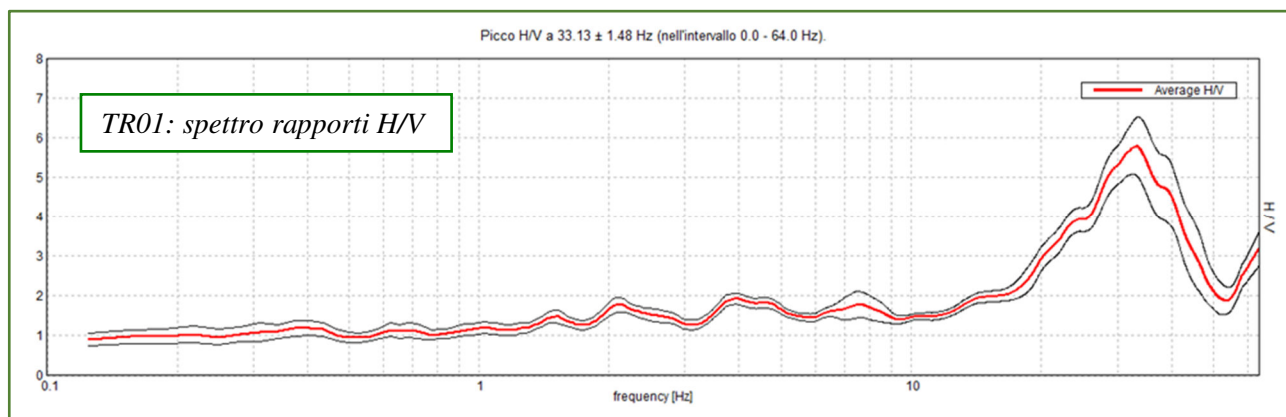
Fondo scala [mV]: n.a.

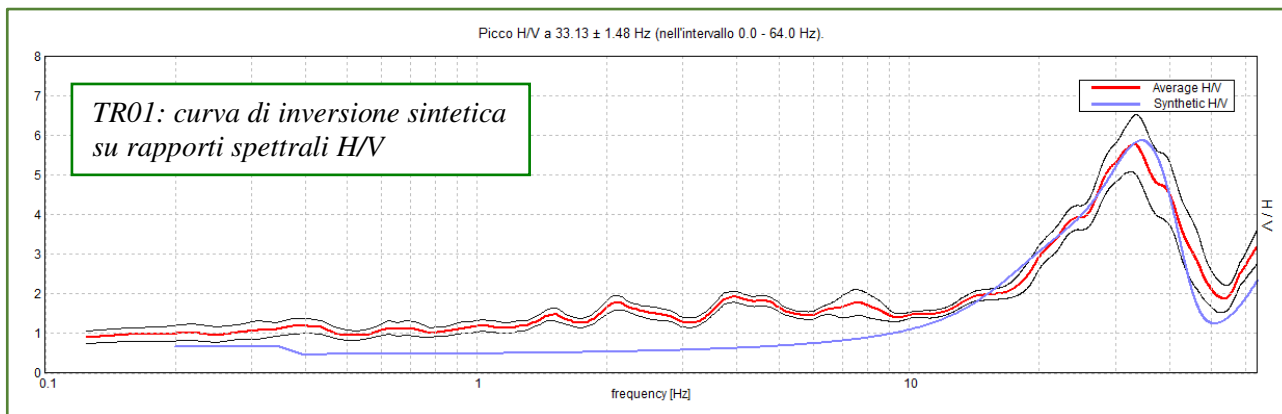
Fine registrazione: 28/09/21 10:42:21

Analizzato sull'intera traccia

Lunghezza finestre: 20 s

Liscio: 10%

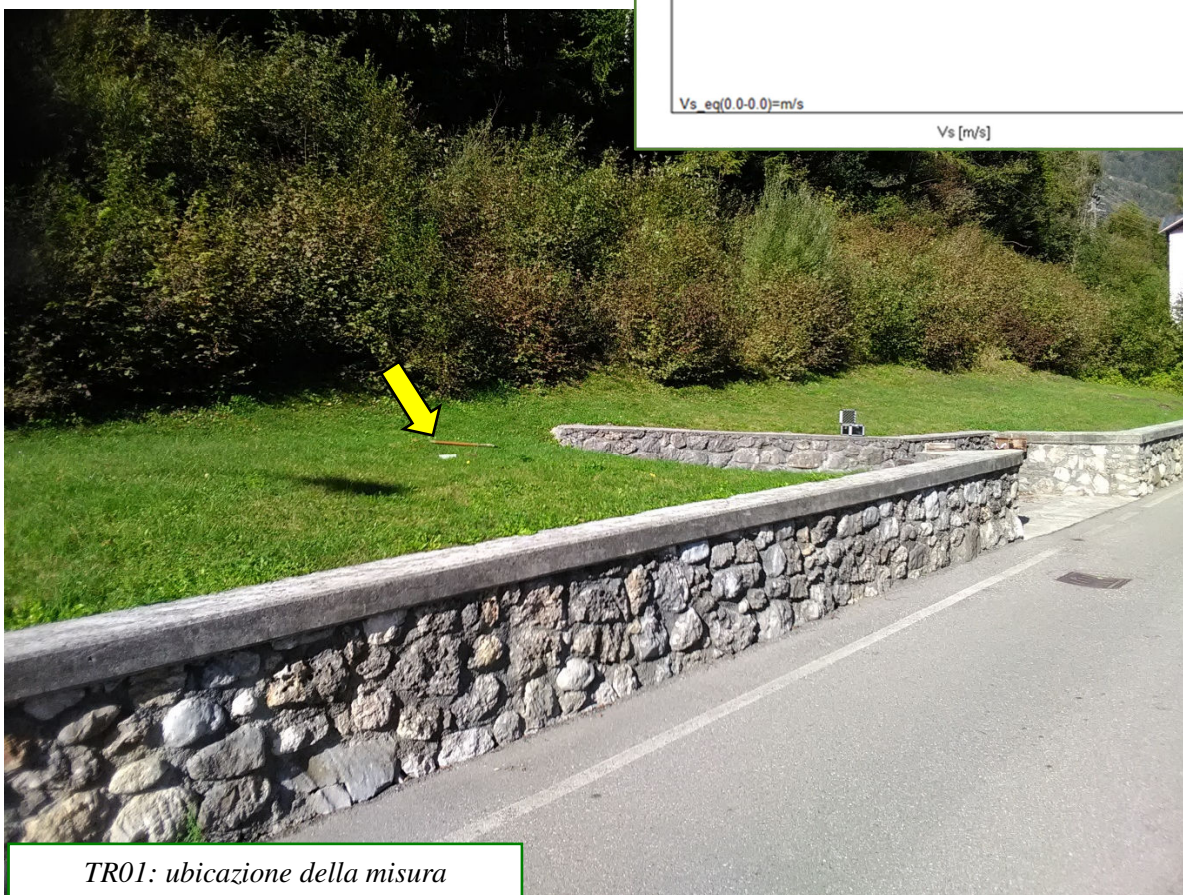
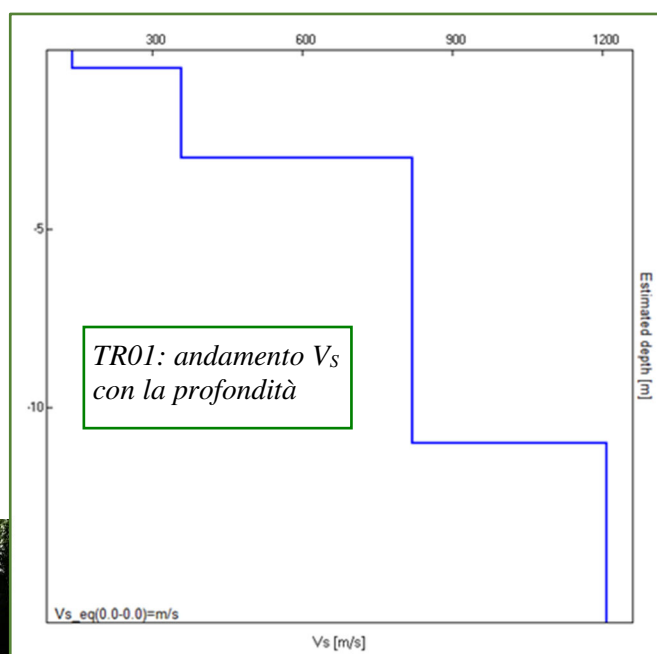




*TR01: tabella valori di  $V_s$  per curva di inversione sintetica e  $V_{S30}$*

Profondità da fondo strato [m]	Spessore [m]	$V_s$ [m/s]	Coeff. Poisson
0.50	0.50	140	0.33
3.02	2.52	360	0.34
11.02	8.00	820	0.33
inf.	inf.	1210	0.32

$V_{S_{eq}(3\text{ m})} = 286\text{ m/s} \rightarrow$  categoria di sottosuolo A perché spessore  $\leq 3\text{ m}$





TR01: Criteri di valutazione progetto SESAME, 2005

**Picco H/V a 33.13 ± 1.48 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$33.13 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$31800.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1519	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	19.875 Hz	<b>OK</b>	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	46.125 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$5.78 > 2$	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{picco}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.04478  < 0.05$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$1.48324 < 1.65625$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.7184 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	- 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
$\sigma_f$	- 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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 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