



COMUNE DI RONDANINA

PROVINCIA DI GENOVA

**Intervento di messa in sicurezza
della strada comunale Giardino-Fontanasse**

RELAZIONE GEOLOGICA

Committente: Comune di Rondanina

Geol. Gian Paolo Chella



Sestri Levante lì 20 Maggio 2021

S O M M A R I O

1. PREMESSE	3
1.1. Organizzazione e finalità dell'indagine.....	3
1.2. Normativa geologica di riferimento	3
2. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	4
3. IDROGEOLOGIA.....	5
4. INDAGINI	6
4.1 Prova Penetrometrica	6
4.2 Indagine Sismica	7
5. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA.....	12
5.1. Formazione di M.te Lavagnola (FLV)-Parte alta del tracciato	12
5.2. Formazione di Ronco (ROC)-Parte bassa del tracciato	15
6. MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO	17
7. TERRE E ROCCE DA SCAVO	21
8. CONCLUSIONI	24

A l l e g a t i :

- COROGRAFIA: scala 1:5.000
- CARTA GEOLOGICA estratta da Progetto CARG (Foglio Bargagli)
- CARTA DEI DISSESTI estratta da Variante PTC
- RETICOLO IDROGRAFICO REGIONALE.
- CARTA DELLA SUSCETTIVITÀ D'USO estratta da PUC;
- CARTA GEOMORFOLOGICA estratta da PUC;
- CARTA IDROGEOLOGICA estratta da PUC;
- INDAGINE SISMICA MASW2D.

1. PREMESSE

1.1. Organizzazione e finalità dell'indagine

Il Comune di Rondanina nella persona del Geom. Agostino Oliveri con Determina n° 67 del 28/11/2020, ha incaricato lo scrivente di redigere una Relazione geologica a corredo della "Progettazione definitiva ed esecutiva degli interventi di manutenzione straordinaria finalizzati alla messa in sicurezza della viabilità comunale Giardino-Fontanasse e relative infrastrutture annesse". Tale intervento di messa in sicurezza avverrà principalmente mediante interventi di:

- realizzazione di piazzole di intersezione,
- realizzazione di muri di sostegno in c.a.,
- realizzazione di cunette in c.a. ,
- pulizia e ripristino cunette esistenti
- posa di nuovo manto di usura bituminoso

La presente Relazione è stata redatta sulla base del Decreto interministeriale del Ministero dell'Interno emanato di concerto con il Ministero dell'economia e delle Finanze 31/08/2020 per l'assegnazione delle risorse previste dall'articolo 1, commi da 51 a 58, della legge 27 dicembre 2019, n. 160 disciplinante l'assegnazione di contributi agli enti locali per spesa di progettazione definitiva ed esecutiva, relativa ad interventi di messa in sicurezza del territorio a rischio idrogeologico, di messa in sicurezza ed efficientamento energetico delle scuole, degli edifici pubblici e del patrimonio degli enti locali, nonché per investimenti di messa in sicurezza di strade .

1.2. Normativa geologica di riferimento

L'indagine è stata condotta in conformità con gli adempimenti alle nuove Norme Tecniche sulle Costruzione emanate con D.M. 17/01/2018

L'area su cui si sviluppa il tracciato nella Carta dei Dissesti (14÷16/22) a corredo dell'Accordo di Pianificazione tra l'Autorità di Bacino del fiume Po, Regione Liguria e Provincia di Genova, non è interessata da problematiche particolari, fatta eccezione per un breve tratto di strada di circa 70 metri in corrispondenza del primo impluvio sottostante località Giardino che è censita come Area interessata da frana quiescente (Fq) (Pericolosità elevata), e di un tratto di circa 140 metri sottostante e a Nordovest di Bric Fontanasse che è censita come Area interessata da frana stabilizzata (Fs) (Pericolosità media o moderata).

La strada inoltre non presenta interferenze con il reticolo idrografico significativo ovvero con bacino idrografico sotteso con superficie maggiore di 0.1 km², come si può evincere dalla Carta del Reticolo Idrografico Regionale. Sono comunque presenti numerosi attraversamenti di corsi d'acqua appartenenti

al reticolo "minuto" mediante i quali vengono allontanate le acque raccolte dalle regimazioni della strada (cunette).

2. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

L'intero tracciato si sviluppa su terreni appartenenti all'Unità Portello, la parte posta a quota altimetrica più elevata dal raccordo con la Strada Provinciale n°15 (quota 1055 metri slm) fino a quota 920 metri slm è caratterizzata da un substrato roccioso appartenente alla Formazione di Monte Lavagnola (FLV) costituita da argilliti grigio scuro generalmente caratterizzate da assenza di strutture sedimentarie, mentre da quota 920 metri slm fino a quota 860 metri slm in prossimità dell'abitato di Fontanasse, è caratterizzata da un substrato roccioso appartenente alla Formazione di Ronco (ROC), costituita da torbiditi calcareo-pelitiche rappresentate da strati sottili e medi di areniti medio-fini, siltiti marnose e marne. Le giaciture di strato sono variabili per la presenza di pieghe che immergono verso ovest e nord-ovest. Le giaciture di strato nella parte alta del tracciato grossomodo corrispondenti alla Formazione di Monte Lavagnola (FLV) fino a quota 910 metri slm presentano una direzione d'immersione verso i quadranti orientali ($355^{\circ}\div 215^{\circ}$) con inclinazione variabile e quindi si presentano prevalentemente in condizione di "frana-poggio"; mentre da quota 910 metri slm fino a Fontanasse la giacitura della stratificazione presenta una direzione d'immersione verso i quadranti occidentali ($20^{\circ}\div 100^{\circ}$) con inclinazione variabile in condizioni di "traverso-poggio-reggipoggio".

La dorsale è inserita nel sottobacino del Torrente Brugneto tributario sinistro del Fiume Trebbia ed è delimitata dal Rio Vaccarezza ad Ovest e dal Rio Giardino ad Est impostati a direzione circa NE-SO parallelamente alle principali lineazioni tettoniche locali.

Il lago del Brugneto, invaso artificiale con diga di sbarramento in cemento armato ed ubicata a sud di Retezzo, con prevalente direzione d'impasto NE-SO, è alimentato dalle acque del torrente omonimo e costituisce il serbatoio idrico con maggior capacità d'invaso ($25,1 \times 10^6 \text{ m}^3$) di tutta la Regione Liguria ed è finalizzato a rifornire la Città di Genova.

Gli opposti versanti della dorsale sono asimmetrici con il versante Ovest caratterizzato da una pendenza media del 48% pari a circa 26° ed il versante Est con una pendenza media di circa il 74%, pari a circa 36° . In prossimità dell'abitato di Fontanasse il tracciato raggiunge quota 865 metri slm in corrispondenza di una zona dove avviene un cambio di acclività sul versante, da quel punto in avanti la strada procede parallelamente alle curve di livello fino a raggiungere il centro abitato. Si segnala che laddove cambia la livelletta stradale è presente un tratto di circa 15 metri interessato da un abbassamento con una leggera rotazione del piano viario. Tale problematica è stata correttamente individuata anche nella Carta Geomorfologica allegata al PUC. Il cedimento del

piano viario è con molta probabilità correlabile alla presenza di una frana con movimento estremamente lento.



3. IDROGEOLOGIA

La strada si sviluppa parallelamente alla dorsale che degrada verso l'abitato di Fontanasse ed è orientata NE-SO.

Dal raccordo con la Strada Provinciale n°15 (a quota 1055 metri slm) fino a località Giardino nei primi 800 metri circa la strada comunale corre parallela e poco al di sotto del crinale spartiacque fra il Rio Vaccarezza ed il Rio Giardino tributari del torrente Brugno in sponda orografica sinistra.

Il tracciato presenta uno sviluppo parallelo alla dorsale-crinale, e non interferisce con il reticolo idrografico significativo, sono comunque numerosi gli attraversamenti di corsi d'acqua appartenenti al reticolo "minuto" mediante i quali vengono allontanati anche i contributi intercettati dalla strada.

CONDIZIONI DI PERMEABILITÀ

Per quanto concerne le caratteristiche idrogeologiche dei litotipi presenti nella zona, possiamo distinguere i seguenti comportamenti in base alla diversa permeabilità:

Coltri detritiche di copertura - permeabili per porosità: sono costituiti da materiale terroso sciolto con permeabilità proporzionale alla frazione sabbiosa e grossolana presente nel fuso granulometrico e crescente con essa. In relazione all'assetto morfologico caratterizzato da acclività media ed elevata associato alla presenza di coltri di esiguo spessore si ritiene impossibile l'instaurarsi di un regime di falda nei terreni sciolti di copertura, tutt'al più è possibile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa instaurare un temporaneo deflusso ipodermico sull'interfaccia coltre/ substrato.

Formazione di Monte Lavagnola –sono impermeabili in condizioni di integrità, limitatamente permeabili per fratturazione e fessurazione in quanto il materiale d’alterazione di natura argillosa s’infiltra nelle fratture e tende a sigillarle

Formazione di Ronco – si può attribuire una permeabilità bassa o del tutto trascurabile per fessurazione (*semi-permeabili*), connessa alle condizioni di fratturazione e giacitura strettamente locali della roccia.

4. INDAGINI

In questa fase d’indagine si è scelto di concentrare la campagna geotecnica e geofisica in corrispondenza del tratto di strada in prossimità dell’abitato di Fontanasse dove il tracciato raggiunge quota 865 metri slm che allo stato attuale presenta alcune problematiche di stabilità con relativo cedimento del piano viario.

In particolare è stata eseguita una prova penetrometrica al fine di stimare le caratteristiche geotecniche della coltre di copertura e il suo spessore ed una stesa sismica con tecnica MASW-2D per individuare la profondità del substrato roccioso sano nonché la categoria di sottosuolo ai fini della caratterizzazione sismica.

4.1 Prova Penetrometrica

Nella zona dove è prevista la realizzazione dell’intervento al fine di determinare le caratteristiche geotecniche della coltre di copertura e il suo spessore si è ritenuto utile eseguire una prova penetrometrica dinamica continua, ubicata come in allegato ed eseguite mediante strumentazione medio-leggera TECNOTEST dotata di maglio da 30 Kg con volata da 20 cm.



Esecuzione Prova Penetrometrica n.1

La prova n°1 ha evidenziato la presenza di un orizzonte superficiale di coltre eluvio colluviale scarsamente addensato fino a 2,20 metri, dopodiché ha attraversato fino a 5,50 metri un terreno che si arricchisce progressivamente di scheletro lapideo fino al rifiuto strumentale avvenuto a circa 5.70 metri.

Attribuendo al terreno attraversato un comportamento granulare si possono stimare le caratteristiche geotecniche mediante correlazioni delle prove eseguite con S.P.T..

Associando l'indice N_{10} all'indice N_{spt} della prova Standard Penetration Test secondo la correlazione di Bruzzi e Cestari ('83) si ha $N_{spt} \approx 0.75 N_{10}$, e considerando il valore medio di avanzamento $N_{10} \approx 5$ per la *Coltre eluvio-colluviale poco addensata* ed $N_{10} \approx 12$ per il terreno costituito da *coltre con scheletro lapideo* si ottiene rispettivamente $N_{spt} \approx 4$ per il primo ed $N_{spt} \approx 9$ per il secondo.

I valori di N_{spt} possono essere utilizzati per stimare l'angolo di resistenza al taglio ϕ' della coltre con correlazione diretta $N_{spt}-\phi$ mediante le relazioni proposte da Meyerof e Peck-Hanson.

Angolo di Attrito

- *Peck-Hanson-Thornburn (1956) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie. Correlazione storica molto usata, valevole per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni $< 8-10$ t/mq)*
 $\phi' = 27.2 + 0.28N_{spt}$
- *Meyerhof (1965) Il metodo correla ϕ con N_{spt} medio dello strato in funzione della sua granulometria, è valido per le sabbie in genere e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità inferiori a 3 m nel caso di terreni sopra falda, se in falda inferiori a 5 m.:*
 $\phi = 23.7 + 0.57 N_{spt} - 0.006 N_{spt}^2$

Terreno	N_{spt}	ϕ'
Coltre eluvio-colluviale	4	$26,6^\circ \div 28,8^\circ$
Coltre con scheletro lapideo	9	$29,9^\circ \div 30,7^\circ$

Per quanto riguarda i valori di coesione, sono da ritenersi nulli in condizioni di pressioni efficaci. Il peso di volume (γ) è approssimativamente pari a 18 kN/m^3 .

4.2 Indagine Sismica

La particolare ubicazione del sito di studio in corrispondenza della strada esistente asfaltata, ha consigliato l'esecuzione di indagini indirette (geofisiche) che potessero estendere arealmente le conoscenze dedotte sugli esiti della prova puntuale eseguita (prova penetrometrica).

Di conseguenza si è deciso di utilizzare la tecnica MASW-2D per onde di superficie che presenta delle caratteristiche idonee al rilievo in aree urbane, tra

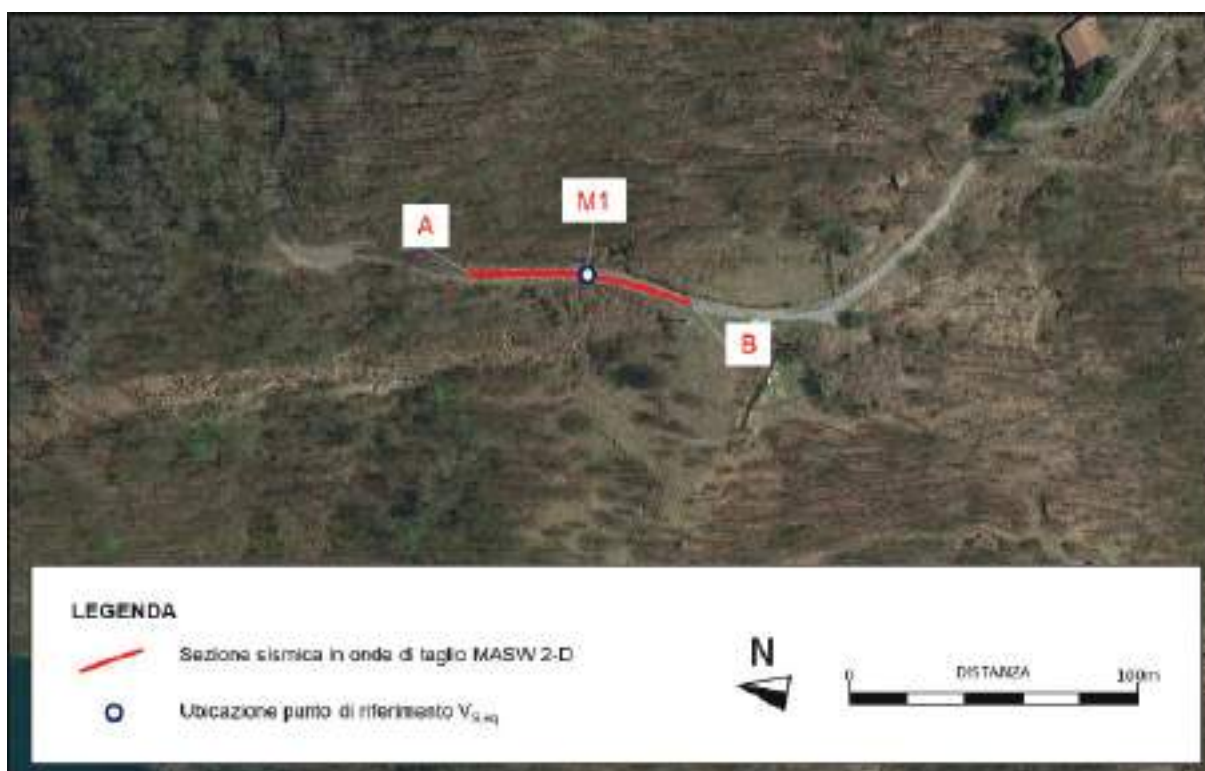
cui:

- richiede una minore sorgente energetica (circa il 90% della sorgente di energia viene dissipata in onde di superficie)
- tempistiche minori per l'esecuzione e chiusura solo temporanea della viabilità (sistema di acquisizione mobile con land-streamer trascinato su strada).
- miglior rapporto di profondità di indagine (sismica a rifrazione $\approx 5:1$ - MASW2D $\approx 1:1$)
- risoluzione di inversioni velocità in profondità.

In particolare, è stata acquisita una sequenza di dati sismici per onde di superficie, utili a produrre una sezione sismica in onde di taglio di lunghezza pari a 58 metri; il centro della sezione coincide con il tratto dove il piano stradale è interessato dai fenomeni di cedimento.

La sezione sismica è stata ottenuta mediante trascinamento di un cavo mobile a 24 canali, come meglio spiegato nel seguito.

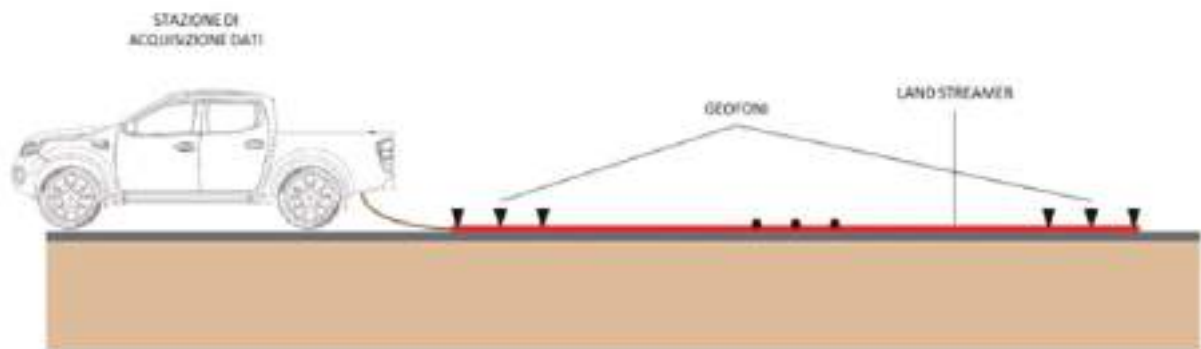
L'ubicazione dell'indagine è riportata nella figura seguente.



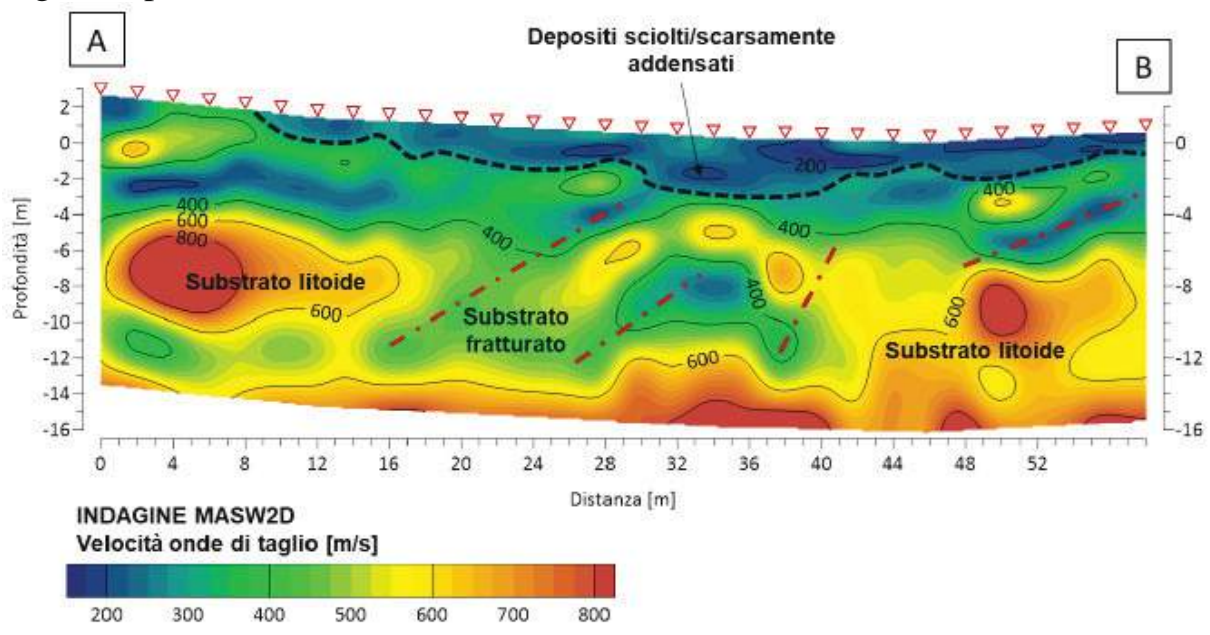
La metodologia sismica per onde di superficie (nel seguito MASW 2D), utilizzata per produrre mappe bidimensionali (assi superficie-profondità) della velocità delle onde di taglio (V_s), si adatta bene allo studio delle variazioni nel grado d'addensamento dei materiali di riporto e dei depositi che caratterizzano

il sottosuolo nelle aree urbane, e per tale motivo è stata scelta rispetto ad altre tecniche sismiche di superficie. La capacità di rilevare le inversioni di velocità sismica (non determinabili con il metodo sismico a rifrazione, ad esempio), la scarsa influenza della presenza di zone sature sulla valutazione delle velocità delle onde di taglio (V_s), così come la possibilità di individuare zone di dilavamento o cavità unitamente alla capacità di questo tipo di indagini di non risentire del “noise ambientale” urbano, fanno della tecnica sismica MASW un mezzo affidabile per le finalità predette.

Per il caso in esame la sezione sismica MASW 2-D è stata realizzata mediante l’acquisizione di “record” multipli (costituiti da 24 canali) con la stessa configurazione sorgente-ricevitori spostata progressivamente di un intervallo costante (pari a 2 m) lungo l’allineamento di indagine. Il sistema di acquisizione è traslato attraverso il trascinamento di un “land streamer” su cui sono ancorati 24 geofoni a bassa frequenza (4.5 Hz) ad un interasse costante di 1 m (Figura seguente). L’energizzazione è ottenuta mediante una massa battente di peso pari a 10 chilogrammi.



L’elaborazione grafica desunta dall’esecuzione della Stesa sismica è di seguito riportata.

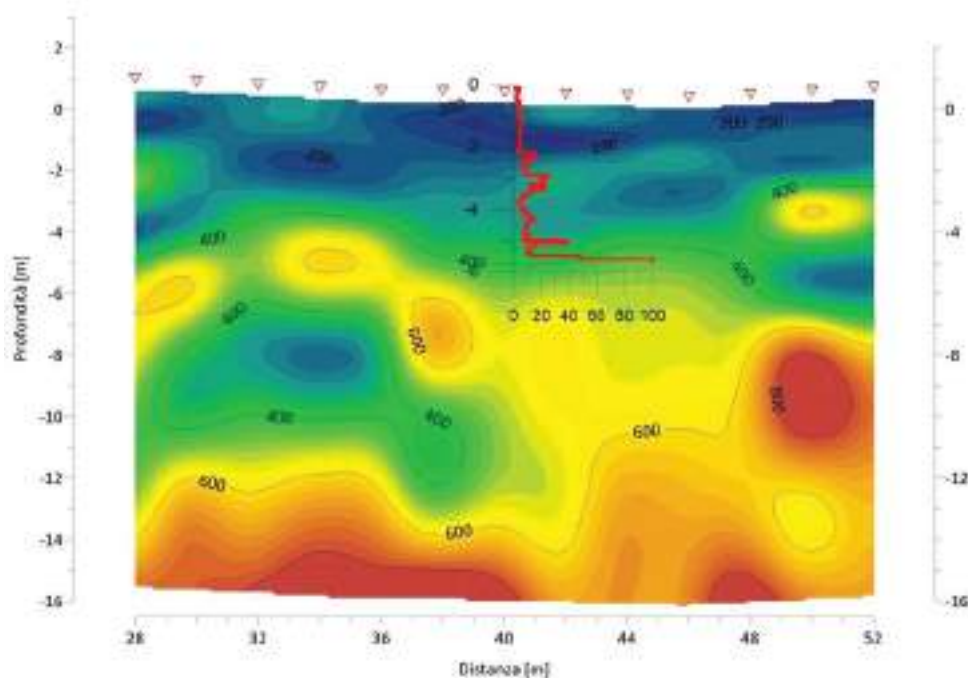




Il modello di velocità delle onde di taglio sul profilo A-B è caratterizzato da una sequenza sismostratigrafica in cui si possono osservare:

- un livello superficiale di spessore massimo compreso tra 1.5 e 3 m osservato oltre la progressiva 8 metri; lo spessore è massimo tra le progressive 30÷40 metri. Il basso grado di addensamento che caratterizza i materiali rappresentati sulla sezione A-B dalle campiture di colore blu (velocità delle onde di taglio inferiori a 350 m/s) consente di ipotizzare la presenza di materiali di riporto e materiali naturali rimaneggiati sciolti o a grado di addensamento basso;
- un sismostrato di base costituito da materiali a grado d'addensamento crescente da medio-basso a medio-alto, con velocità superiori a 360 m/s che, a profondità superiori a 12-15 metri da p.c., assumono i valori del substrato sismico (superiori a 800 m/s).

Di seguito si riporta il dettaglio dell'istogramma penetrometrico sovrapposto alla sezione sismica al fine di evidenziare la correlazione (analogia) fra le due tipologie d'indagine.



I risultati dell'indagine sismica realizzata lungo la Strada Provinciale n.15, in Località Fontanasse, hanno quindi permesso di individuare materiali scarsamente addensati e quindi più suscettibili all'azione gravitativa e al dilavamento operato dai flussi sotterranei, con uno spessore che può raggiungere i 4÷5 metri di spessore alla progressiva di circa 40 metri.

Lo strato di riporti e depositi superficiali, che si interrompe in corrispondenza della prima parte della sezione A-B, poggia su un'unità sismostratigrafica più rigida e presumibilmente costituita da materiali riferibili al substrato roccioso. Quest'ultimo appare diffusamente attraversato da probabili superfici di discontinuità o zone in cui la fratturazione dell'ammasso roccioso è più intensa.

Il substrato compatto, coincidente con il substrato sismico dell'area, è stato individuato a profondità pari a circa 15 metri dal piano campagna.

5. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA

5.1. Formazione di M.te Lavagnola (FLV)-Parte alta del tracciato

Il substrato roccioso è visibile in affioramento lungo i tagli operati per la realizzazione della strada comunale, si presenta costituita da argilliti grigio scure sui tagli "freschi" e con tonalità dal marrone al grigio sulle rocce esposte agli agenti atmosferici da più tempo. Il substrato affiora in banchi di spessore decimetrico alternati a strati sottili di spessore centimetrico, con zone intensamente fratturate ed alterate. Sono di seguito riportate le stazioni geomeccaniche eseguite.

G 1	Dir. Imm	Incl
Strat.	310°	20°
Set 1	310°	90°
Set 2	50°	85°



G 2	Dir. Imm	Incl
Strat.	215°	70°
Set 1	345°	80°
Set 2	90°	45°



G 3	Dir. Imm	Incl
Strat.	270°	45°
Set 1	280°	90°
Set 2	170°	40°



G 4	Dir. Imm	Incl
Strat.	350°	10°
Set 1	165°	80°
Set 2	90°	80°



G 5	Dir. Imm	Incl
Strat.	355°	45°
Set 1	280°	90°
St 2	170°	40°



G 6	Dir. Imm	Incl
Strat.	0°	80°
Set 1	100°	80°
Set 2	260°	30°



Per stimare i parametri geotecnici dell'ammasso roccioso, si è ricorsi al nuovo criterio di rottura (Edizione 2002) di Hoek-Brown. Con questa nuova versione della formulazione del criterio vengono fornite funzioni uniche e continue, definite in tutto il campo di valori che può assumere GSI (Geological Strength Index), per la determinazione dei parametri del criterio.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \times \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + S \right)^a$$

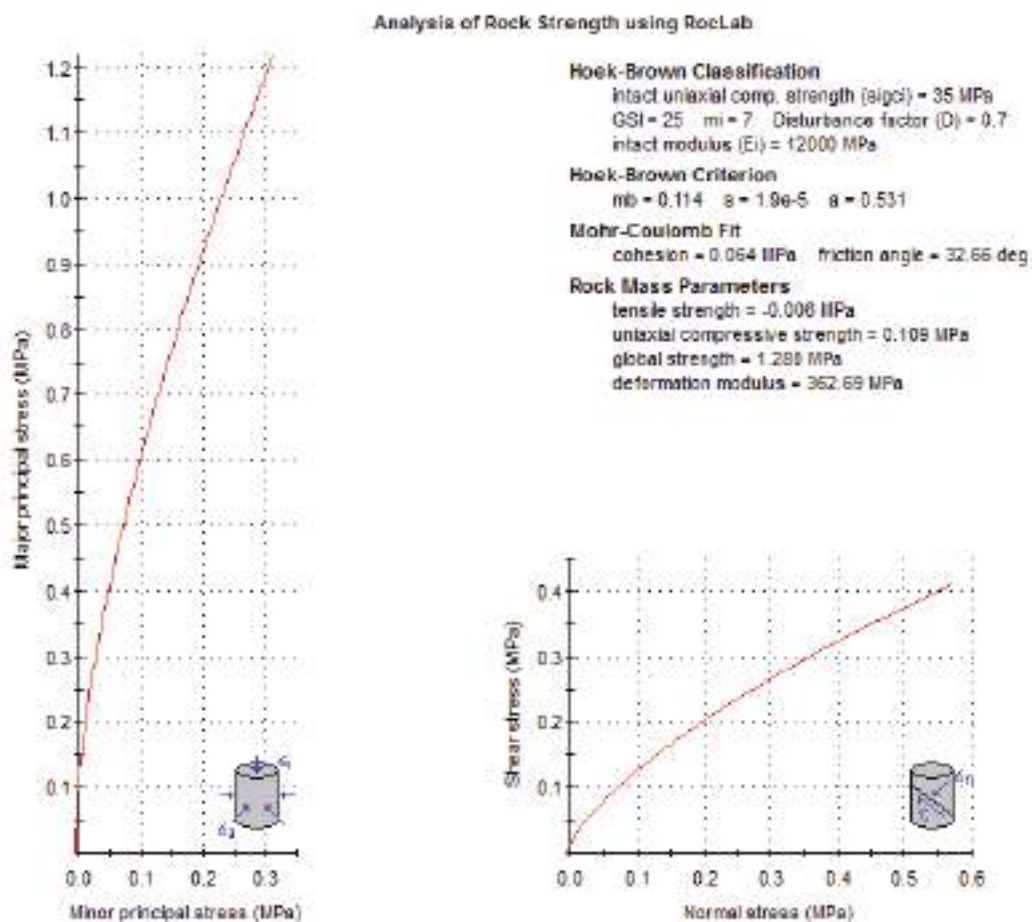
dove:

- σ_1 è lo sforzo principale massimo applicato a rottura;
- σ_3 è lo sforzo principale minimo applicato a rottura;
- σ_{ci} è la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;
- m_b , S e a sono coefficienti dipendenti dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso ed in particolare:
-

$$m_b = m_i \times e^{\frac{GSI-100}{28-14D}} \quad S = e^{\frac{GSI-100}{9-3D}} \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

Tale criterio di rottura, dopo l'introduzione del fattore di disturbo D che definisce i pendii come ammassi “molto disturbati”, risulta adatto a descrivere il comportamento di ammassi rocciosi a matrice debole.

Per quanto riguarda i parametri geotecnici dell'ammasso roccioso (coesione e angolo d'attrito), si rimanda al grafico di seguito allegato.



5.2. Formazione di Ronco (ROC)-Parte bassa del tracciato

Il substrato roccioso è visibile in affioramento lungo i tagli operati per la realizzazione della strada comunale, si presenta costituita da torbiditi calcareo-pelitiche rappresentate da strati sottili e medi di areniti medio-fini, siltiti marnose e marne. Il substrato affiora in banchi di spessore decimetrico alternati a strati sottili di spessore centimetrico, con zone intensamente fratturate ed alterate. Sono di seguito riportate le stazioni geomeccaniche eseguite.

G 7	Dir. Imm	Incl
Strat.	305°	40°
Set 1	230°	80°
Set 2	160°	50°



G 8	Dir. Imm	Incl
Strat.	0°	45°
Set 1	90°	85°
Set 2	155°	60°-45°



G 9	Dir. Imm	Incl
Strat.	300°	55°
Asse	40°	30°



G 10	Dir. Imm	Incl
Strat.	50°	45°
Set 1	270°	70°
Set 2	165°	50°



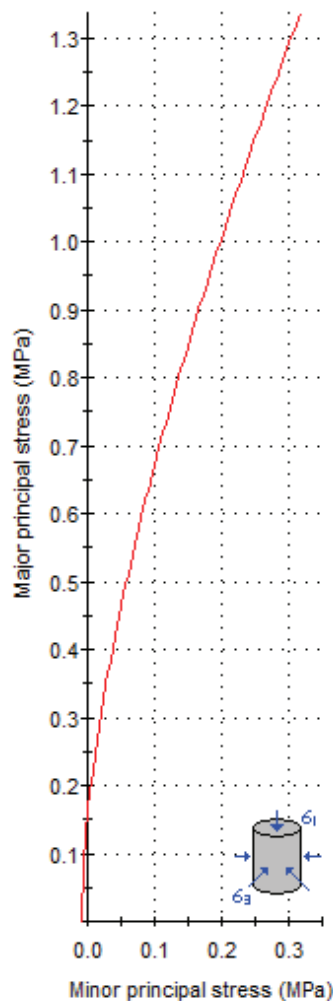
G 11	Dir. Imm	Incl
Strat.	20°	45°
Set 1	265°	70°
Set 2	120°	80°



G 12	Dir. Imm	Incl
Strat.	100°	10°
Set 1	340°	85°

Per quanto riguarda i parametri geotecnici dell'ammasso roccioso (coesione e angolo d'attrito), si rimanda al grafico di seguito allegato.

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 40 MPa
 GSI = 26 m_i = 7 Disturbance factor (D) = 0.7
 intact modulus (E_i) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion

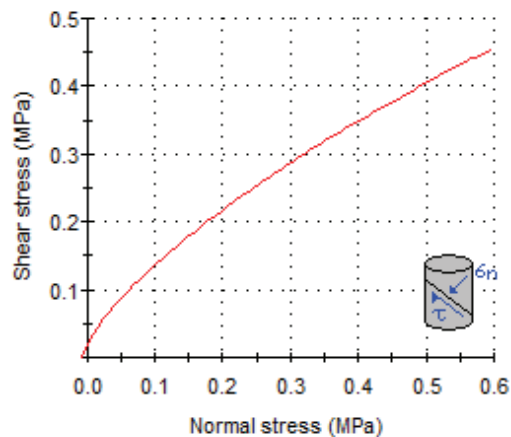
m_b = 0.120 s = 2.2e-5 a = 0.529

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.071 MPa friction angle = 34.27 deg

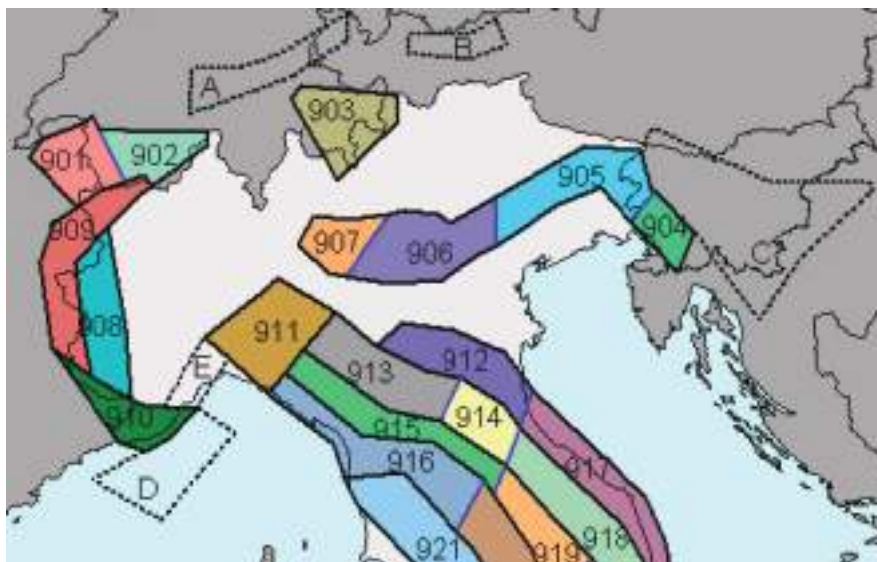
Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.007 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.137 MPa
 global strength = 1.527 MPa
 deformation modulus = 374.17 MPa



6. MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO

La provincia di Genova è sede di attività sismica generalmente modesta in termini d'intensità. La Carta di seguito allegata riporta la Zonazione sismogenetica ZS9 per il Nord Italia dove sono evidenziate alcune delle 36 zone-sorgente. Si può dedurre che il Tigullio Orientale (da Sestri Levante a Chiavari) è inserito in una delle cinque fasce longitudinali parallele alla catena appenninica e più precisamente nella ZS 916, mentre il Tigullio occidentale (da Chiavari a Recco) e l'entroterra di Genova (da Usio e Sant'Olcese fino Ronco Scivia e Rezzoaglio) sono inseriti all'interno della zona di "svincolo" fra tali zone-sorgente e la zona asismica (ZS 911).



Le zone 916 e 920 coincidono con il settore in distensione tirrenica definito nel modello sismo tettonico di Meletti et Al. (2000). Queste zone sono caratterizzate da una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati; la maggior frequenza di questi eventi nella zona 920 suggerisce di distinguerla dall'adiacente zona 916.

La fascia che dalla Lunigiana arriva fino al confine Abruzzo-Molise è indicata come l'area a maggior rilascio di energia dell'Appennino centro-settentrionale in quanto corrisponde al settore più interno della catena appenninica ed è interessato da importanti faglie primarie e relative sorgenti sismogenetiche; questa lunga fascia è stata suddivisa in tre zone (915, 919 e 923) dove la zona 915 pur avendo al suo interno le aree della Garfagnana, della Lunigiana e del Mugello, appare complessivamente caratterizzata da tassi di sismicità leggermente inferiori.

La recente D.G.R. 962/2018 “Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria”, classifica il territorio del Comune di Rondanina in Classe 3, dove i valori medi di PGA, per un periodo di ritorno di 475 anni espressi in termini di massima componente orizzontale (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni), è 0.15g.



Con l'aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni delle NTC con D.M. 17 Gennaio 2018, la stima della pericolosità sismica deve essere fornita mediante un criterio sito-dipendente e non più con un approccio zona-dipendente. Pertanto l'azione sismica di progetto va definita in base alla risposta sismica locale (azione sismica quale emerge in “superficie” a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, subite trasmettendosi dal substrato rigido) mediante specifiche analisi, o in assenza di tali analisi, sulla base di un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo (la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso).

Nel caso in esame, come si può evincere dall'indagine geofisica condotta con tecnica MASW2D, le opere ricadano nella categoria di sottosuolo di fondazione B (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.).

Salvo diverse indicazioni del Progettista, si può indicare una vita nominale V_n (numero di anni d'uso della struttura) maggiore o uguale a 50, una Classe d'uso (C_u) pari a II corrispondente a costruzioni il cui uso preveda un normale affollamento, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali, a cui corrisponde quindi un coefficiente d'uso pari a 1.

Come periodo di riferimento per l'azione sismica si dovrà considerare:

$$V_r = V_n \times C_u = 50 \times 1 = 50 \text{ anni}$$

Il coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_s) considerato nel caso di opere (muri di sostegno) realizzati lungo il versante risulta pari a 1,0 mentre il coefficiente di amplificazione topografica (S_t) considerato è pari a 1,2.

Pertanto il coefficiente S che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche è espresso dalla seguente relazione:

$$S = S_s \times S_t = 1,2$$

I parametri sismici sono stati dedotti con programma GEOSTRU -PS che è un software atto ad individuare la pericolosità sismica direttamente dalla mappa geografica. I parametri sismici stimati per la stabilità dei pendii e fondazioni sono i seguenti:

Sito in esame. (Coordinate espresse in ED50)

latitudine: 44,544089 [°]

longitudine: 9,198183 [°]

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 16255	Lat: 44,5554	Lon: 9,1409	Distanza: 4712,932
Sito 2 ID: 16256	Lat: 44,5579	Lon: 9,2109	Distanza: 1838,257
Sito 3 ID: 16478	Lat: 44,5080	Lon: 9,2145	Distanza: 4217,239
Sito 4 ID: 16477	Lat: 44,5055	Lon: 9,1444	Distanza: 6051,434

Parametri sismici:

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente c_u : 1

Stato limite Operatività (SLO)	Stato limite di Danno (SLD)	Salvaguardia della vita (SLV)	Prevenzione dal collasso (SLC)
P_{Vr} : 81 %	P_{Vr} : 63 %	P_{Vr} : 10 %	P_{Vr} : 5 %
Tr: 30 [anni]	Tr: 50 [anni]	Tr: 475 [anni]	Tr: 975 [anni]
a_g : 0,032 g	a_g : 0,039 g	a_g : 0,098 g	a_g : 0,128 g
Fo: 2,491	Fo: 2,541	Fo: 2,487	Fo: 2,460
T_c^* : 0,202 [s]	T_c^* : 0,218 [s]	T_c^* : 0,281 [s]	T_c^* : 0,287 [s]

Coefficienti Sismici:

SLO:	SLD	SLV	SLC (Fondazioni)
Ss: 1,200	Ss: 1,200	Ss: 1,200	Ss: 1,200
Cc: 1,510	Cc: 1,490	Cc: 1,420	Cc: 1,410
St: 1,200	St: 1,200	St: 1,200	St: 1,200
Kh: 0,009	Kh: 0,011	Kh: 0,028	Kh: 0,044
Kv: 0,005	Kv: 0,006	Kv: 0,014	Kv: 0,022
a _{max} : 0,445	a _{max} : 0,550	a _{max} : 1,383	a _{max} : 1,809
Beta: 0,200	Beta: 0,200	Beta: 0,200	Beta: 0,240

7. TERRE E ROCCE DA SCAVO

Per quanto riguarda la gestione delle Terre e Rocce da Scavo si fa riferimento alle "Linea guida sull'applicazione della disciplina per l'utilizzo delle terre e rocce da scavo" ispirate al DPR n. 120 del 13/06/2017 che stabilisce la nuova disciplina sulla gestione delle terre e rocce da scavo in vigore dal 22/08/2017. Il regolamento riunisce in un unico testo le regole sul riutilizzo delle terre e rocce da scavo come sottoprodotti abrogando sia il DM 161/2012 sia l'art. 41bis del D.L. 69/2013 convertito in L. 98/2013.

Alla luce di tale regolamento, la situazione che si viene a delineare per assoggettare i materiali da scavo provenienti dal cantiere in oggetto al regime di cui all'art. 184bis del D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii. (quindi al regime dei sottoprodotti e non a quello dei rifiuti) è la seguente:

- per le terre e rocce da scavo prodotte in cantieri di piccole dimensioni, ossia non superiori a 6.000 m³ comprese quelle prodotte in opere/attività soggette a VIA/AIA, il riferimento è rappresentato dagli articoli di cui al Capo III del DPR n. 120 del 13/06/2017 (art. 20-21). Per tali tipologie è prevista la presentazione della dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà resa ai sensi del DPR 445/2000 secondo le modalità dettate dagli articoli 20 e 21.

L'art. 4 del DPR 120/2017 stabilisce i requisiti generali affinché le terre e rocce da scavo possano essere sottoposte al regime dei sottoprodotti.

1. In attuazione dell'articolo 184-bis, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, il presente Capo stabilisce i requisiti generali da soddisfare affinché le terre e rocce da scavo generate in cantieri di piccole dimensioni, in cantieri di grandi dimensioni e in cantieri di grandi dimensioni non sottoposti a VIA e AIA, siano qualificati come sottoprodotti e non come rifiuti, nonché le disposizioni comuni ad esse applicabili. Il presente Capo definisce, altresì, le procedure per garantire che la gestione e l'utilizzo delle terre e rocce da scavo come sottoprodotti avvenga senza pericolo per la salute dell'uomo e senza recare pregiudizio all'ambiente.

2. Ai fini del comma 1 e ai sensi dell'articolo 183, comma 1, lettera gg), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, le terre e rocce da scavo per essere qualificate sottoprodotti devono soddisfare i seguenti requisiti:

a) sono generate durante la realizzazione di un'opera, di cui costituiscono parte integrante e

il cui scopo primario non è la produzione di tale materiale;

b) il loro utilizzo è conforme alle disposizioni del piano di utilizzo di cui all'articolo 9 o della dichiarazione di cui all'articolo 21, e si realizza:

1) nel corso dell'esecuzione della stessa opera nella quale è stato generato o di un'opera diversa, per la realizzazione di reinterri, riempimenti, rimodellazioni, rilevati, miglioramenti fondiari o viari, recuperi ambientali oppure altre forme di ripristini e miglioramenti ambientali;

2) in processi produttivi, in sostituzione di materiali di cava;

c) sono idonee ad essere utilizzate direttamente, ossia senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;

d) soddisfano i requisiti di qualità ambientale espressamente previsti dal Capo II o dal Capo III o dal Capo IV del presente regolamento, per le modalità di utilizzo specifico di cui alla lettera b).

3. Nei casi in cui le terre e rocce da scavo contengano materiali di riporto, la componente di materiali di origine antropica frammisti ai materiali di origine naturale non può superare la quantità massima del 20% in peso, da quantificarsi secondo la metodologia di cui all'allegato 10. Oltre al rispetto dei requisiti di qualità ambientale di cui al comma 2, lettera d), le matrici materiali di riporto sono sottoposte al test di cessione, (omissis)...

4. Fatto salvo quanto previsto dall'articolo 24, comma 2, sull'utilizzo nel sito di produzione delle terre e rocce da scavo contenenti amianto presente negli affioramenti geologici naturali, alle terre e rocce da scavo, ai fini del loro utilizzo quali sottoprodotti, si applica per il parametro amianto la Tabella 1, Allegato 5, al Titolo V, della Parte IV, del decreto legislativo n. 152 del 2006, secondo quanto previsto dall'allegato 4 al presente regolamento. Il parametro amianto è escluso dall'applicazione del test di cessione.

5. La sussistenza delle condizioni di cui ai commi 2, 3 e 4 è attestata tramite la predisposizione e la trasmissione del piano di utilizzo o della dichiarazione di cui all'articolo 21, nonché della dichiarazione di avvenuto utilizzo in conformità alle previsioni del presente regolamento.

Le terre e rocce possono essere escluse dalla disciplina dei rifiuti se ricorrono le condizioni previste dall'art. 185 d.lgs. 152/2006 relativo alle esclusioni dall'ambito di applicazione della suddetta disciplina. In particolare, sono esclusi dalla disciplina dei rifiuti:

“b) il terreno (in situ), inclusi il suolo contaminato non scavato e gli edifici collegati permanentemente al terreno, fermo restando quanto previsto dagli articoli 239 e seguenti relativamente alla bonifica di siti contaminati;

c) il suolo non contaminato e altro materiale allo stato naturale escavato nel corso di attività di costruzione, ove sia certo che esso verrà riutilizzato a fini di costruzione allo stato naturale e nello stesso sito in cui è stato escavato”.

La dichiarazione deve essere presentata, anche solo in via telematica, al **Comune del luogo di produzione** e all'ARPAL almeno 15 giorni prima dell'inizio dei lavori di scavo.

L'art. 7 del DPR stabilisce che **l'utilizzo delle terre e rocce da scavo deve essere attestato** entro il termine di validità della dichiarazione con la trasmissione, anche solo in via telematica, del modulo di cui all'Allegato 8

all'Arpa competente per il sito di destinazione, al comune del sito di produzione e al comune del sito di destinazione. L'omessa dichiarazione di avvenuto utilizzo entro tale termine comporta la cessazione, con effetto immediato, della qualifica delle terre e rocce come sottoprodotto.

Per quanto riguarda ARPAL la dichiarazione iniziale e la dichiarazione di fine utilizzo, firmata e con allegata fotocopia del documento d'identità del soggetto dichiarante, deve essere presentata alla sede Arpal territorialmente competente, trasmessa via PEC al seguente indirizzo: arpal@pec.arpal.gov.it , o consegnata a mano direttamente all'Ufficio Protocollo della competente sede territoriale Arpal.

In riferimento al sito di intervento , e possibile affermare che:

1. non è localizzato in zone di affioramento delle pietre verdi (come individuate nella carta delle pietre verdi SITAR – Regione Liguria – 2009) o in aree comprendenti le coperture ed i depositi naturali da esse derivati;
2. non costituisce un sito contaminato o sottoposto a interventi di bonifica (ai sensi del titolo V della parte IV del D. Lgs 152/06);
3. non è ubicato all'interno o in prossimità di siti con potenziale inquinamento del suolo superficiale ovvero di impianti che possano aver influenzato le caratteristiche del sito stesso mediante ricaduta delle emissioni in atmosfera, o entro una fascia di 20 m dal bordo stradale di strutture viarie di grande traffico;
4. non è ubicato all'interno o in prossimità di siti interessati da attività potenzialmente contaminanti ossia siti potenzialmente contaminati come definiti dal D.M. del 16 Maggio 1989 n. 185 (Decreto sull'Ambiente), di impianti assoggettati alla disciplina del D.Lgs n. 334/1999, attività industriali rientranti nelle categorie contemplate dall'allegato 1 del D.Lgs 18 Febbraio 2005, n.59, impianti utilizzati per attività di smaltimento e/o recupero di rifiuti e scarichi di acque reflue.

Si può affermare che le terre e rocce derivanti dagli scavi per la realizzazione dell'intervento saranno costituite, dai naturali terreni di deposito eluvio colluviali e dalle porzioni superficiali di ammasso roccioso e quindi risultano essere suoli naturali non contaminati.

Il materiale risultante dallo scavo potrà quindi essere riutilizzato per le sistemazioni superficiali ed eventuali eccedenze verranno conferite in discarica autorizzata.

8. CONCLUSIONI

L'insieme delle indagini esperite nell'area d'intervento, ha consentito di definire un quadro sufficientemente esaustivo della situazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e geotecnica nella quale sono inseriti gli interventi di manutenzione straordinaria finalizzati alla messa in sicurezza della viabilità comunale Giardino-Fontanasse e relative infrastrutture annesse. Tale intervento di messa in sicurezza avverrà principalmente mediante interventi di:

- realizzazione di piazzole di intersezione,
- realizzazione di muri di sostegno in c.a.,
- realizzazione di cunette in c.a. ,
- pulizia e ripristino cunette esistenti;
- adeguamento e realizzazione di attraversamenti;
- posa di nuovo manto di usura bituminoso

Gli indirizzi metodologici e tecnico-esecutivi relativi all'inserimento delle opere da realizzarsi sono di seguito schematizzati.

- Tutte le nuove opere di sostegno dovranno avere fondazioni attestare nel substrato roccioso sano;
- gli scavi necessari al reperimento dei piani fondali dovranno essere eseguiti in periodo secco, a campioni, con scarpate compatibili ai parametri geotecnici dei materiali o opere di sostegno provvisorie; si dovrà provvedere celermente alla realizzazione del rispettivo elemento di muro.
- i riempimenti verranno realizzati laddove le condizioni del terreno naturale lo permettono e quindi in corrispondenza di superfici topografiche subpianeggianti, con materiale di riporto assortito adeguatamente rullato e costipato con spessori di idonea entità (25-30 cm), al fine di garantire l'addensamento necessario e con pendenze inferiori a 40°, e si dovrà attendere il cedimento prima di procedere ad eventuale pavimentazione. Dove invece non sono verificate queste condizioni il rilevato dovrà essere contenuto da un muro di sottoscarpa o da altra idonea opera di contenimento mediante tecniche di ingegneria naturalistica.
- Tutte le opere di sostegno dovranno essere sottoposte a verifiche di stabilità considerando i sovraccarichi relativi al nuovo tramite carrabile. Si dovrà prevedere il rifacimento/consolidamento delle opere di sostegno esistenti interessate da cedimenti.
- Dovrà essere predisposta l'esecuzione di setti drenanti a tergo delle nuove strutture di contenimento in modo da raccogliere e allontanare le acque così captate ad idonea via di deflusso.
- Ove possibile dare inclinazione del piano viario verso monte al fine di

indirizzare le acque nella canaletta lato monte e limitare il dilavamento delle scarpate sottostrada. Laddove è prevista la realizzazione di cunette in c.a., tali cunette dovranno essere preferibilmente realizzate con modalità "alla francese" (al fine di unire in un unico elemento la funzione del cordolo e della cunetta stradale) atte a raccogliere le acque di ruscellamento superficiale ed allontanarle, attraverso caditoie e attraversamenti della strada stessa, ad idonee vie di deflusso. Tali opere dovranno essere mantenute pulite dal materiale detritico;

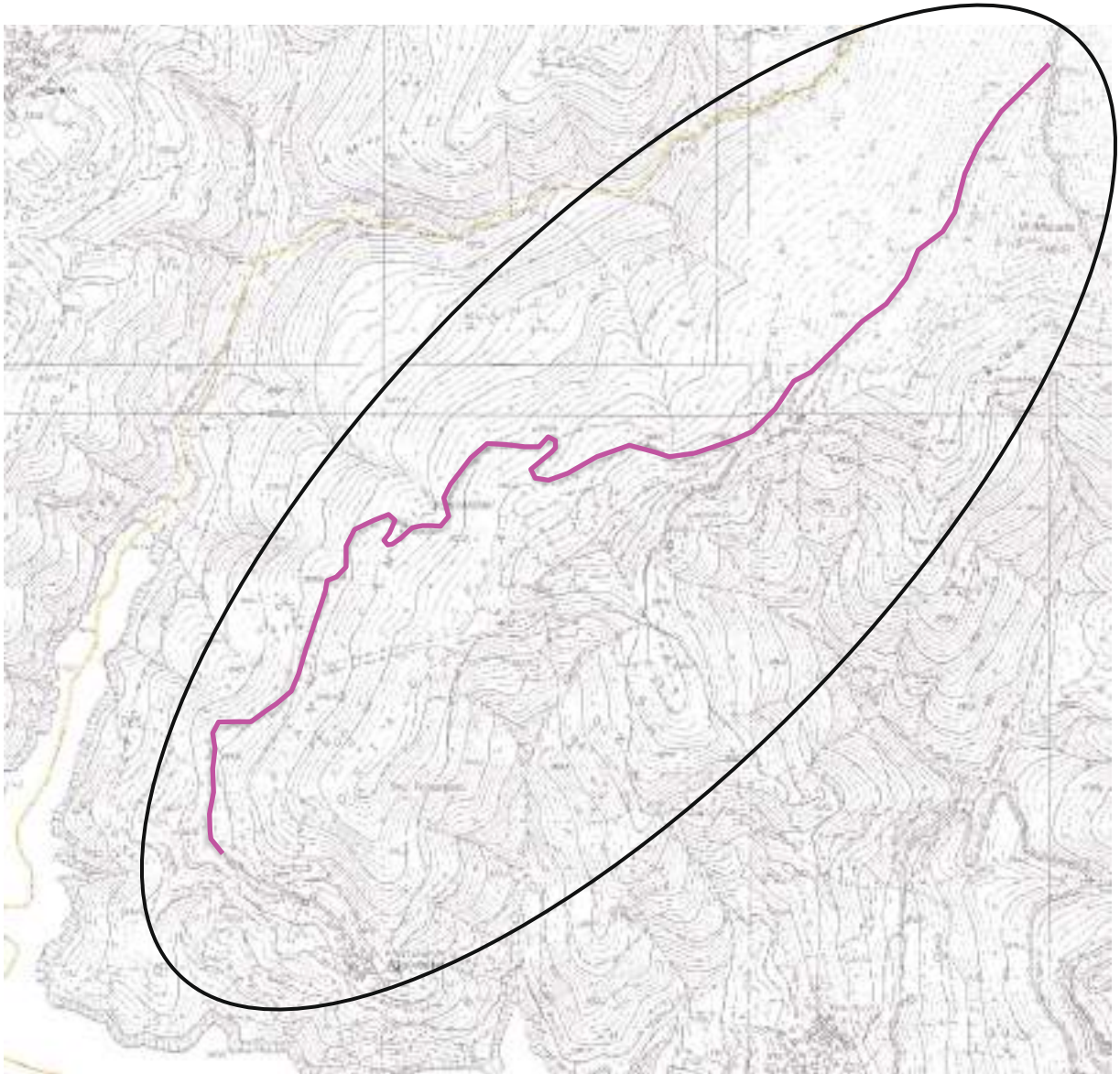
- Laddove è prevista la realizzazione od il ripristino degli attraversamenti esistenti dei corsi d'acqua è necessario prevederne l'ispezionabilità e le attività di manutenzione, con sezioni minime di 3 m² ovvero 1 metro di diametro;
- Per gli attraversamenti dei corsi d'acqua dovranno essere previste opere di intercettazione del materiale nelle zone di imbocco mediante la realizzazione di briglie in legname e pietre (facilmente reperibili sul posto) e laddove la morfologia lo consenta, apposita vasca di sedimentazione a monte; di detta vasca dovrà essere predisposto un adeguato programma di sghiaimento.
- Laddove cambia la livelletta stradale in prossimità dell'abitato di Fontanasse a quota 865 metri slm valutare la realizzazione di paratia di micropali nel tratto di circa 15 metri interessato dall'abbassamento e rotazione del piano viario.

Tutti gli interventi dovranno essere verificati dal punto di vista geologico durante la fase esecutiva e adattati alle situazioni che potrebbero insorgere. Rimangono quindi fondamentali le osservazioni in corso d'opera e la validità delle ipotesi di progetto andrà "controllata" durante la costruzione, come peraltro previsto dalla legge.

Il sottoscritto professionista conferma per questa fase di studio la più completa disponibilità.

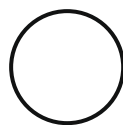
Geol. Gian Paolo Chella



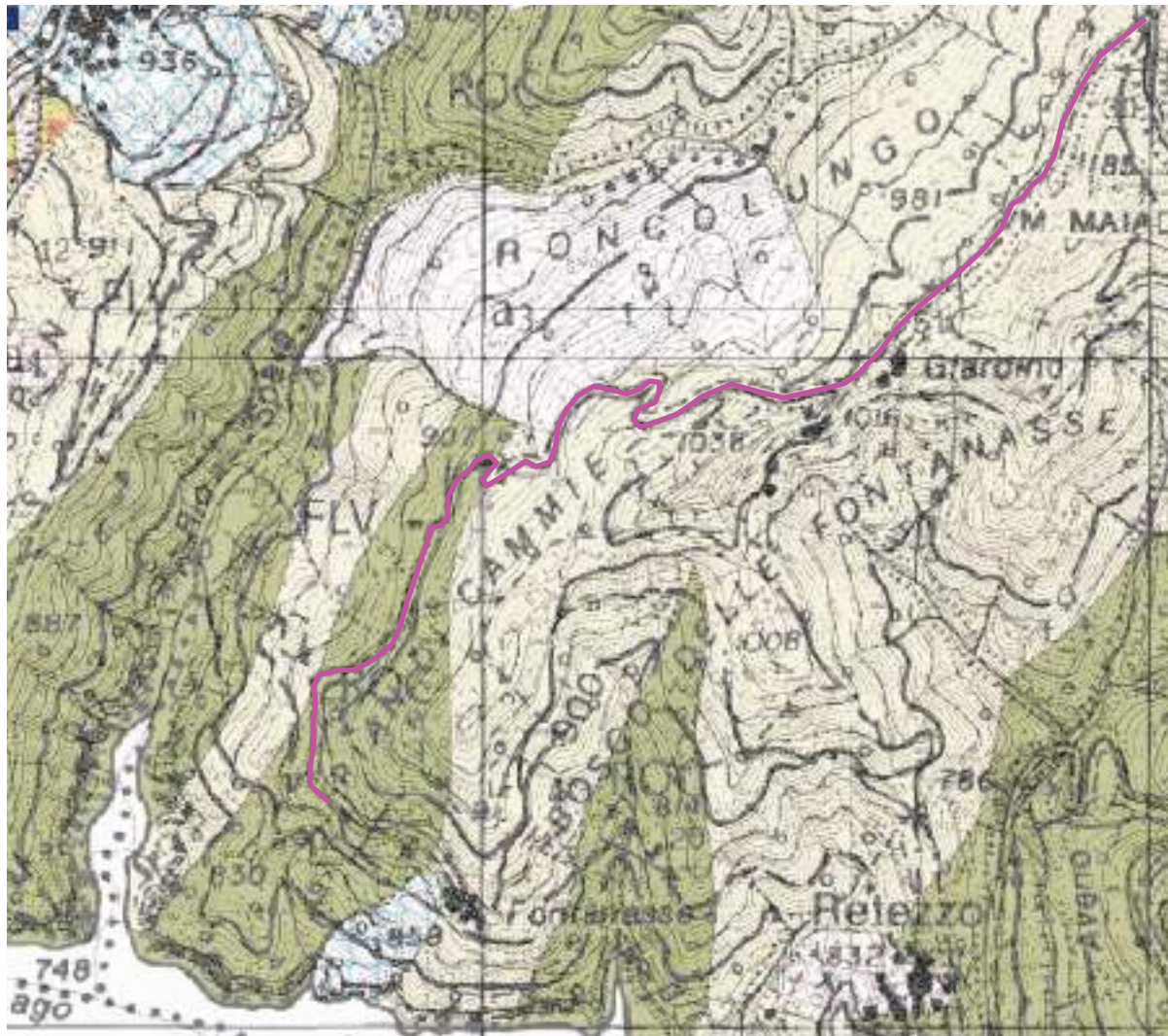


COROGRAFIA

SCALA 1 : 5.000



Ubicazione dell'intervento



CARTA GEOLOGICA

Foglio 214.1 Bargagli -Progetto CARG



a2 Frane inattive. Accumuli gravitativi caotici di materiali eterogenei ed eterometrici attualmente quiescenti o stabilizzati.



a3 Detriti di versante. Depositi eterogenei ed eterometrici per gravità e ruscellamento lungo i versanti.

UNITÀ TETTONICHE LIGURI INTERNE

UNITÀ PORTELLO

FORMAZIONE DI MONTE LAVAGNOLA



FLV Argilliti grigio scuro, generalmente caratterizzate da assenza di strutture sedimentarie. Questa formazione può contenere intercalazioni lenticolari di breccia mono e poligeniche (FLVa) con tessitura matrice- o clasto-sclerita a matrice argillitica con clasti angolari e sub-angolari di calcari ritessiti alla formazione delle Argille a Palombini e in modo subordinato clasti derivati da una sequenza ofiolitica (basalti, gabbri e serpentiniti e radiolari).

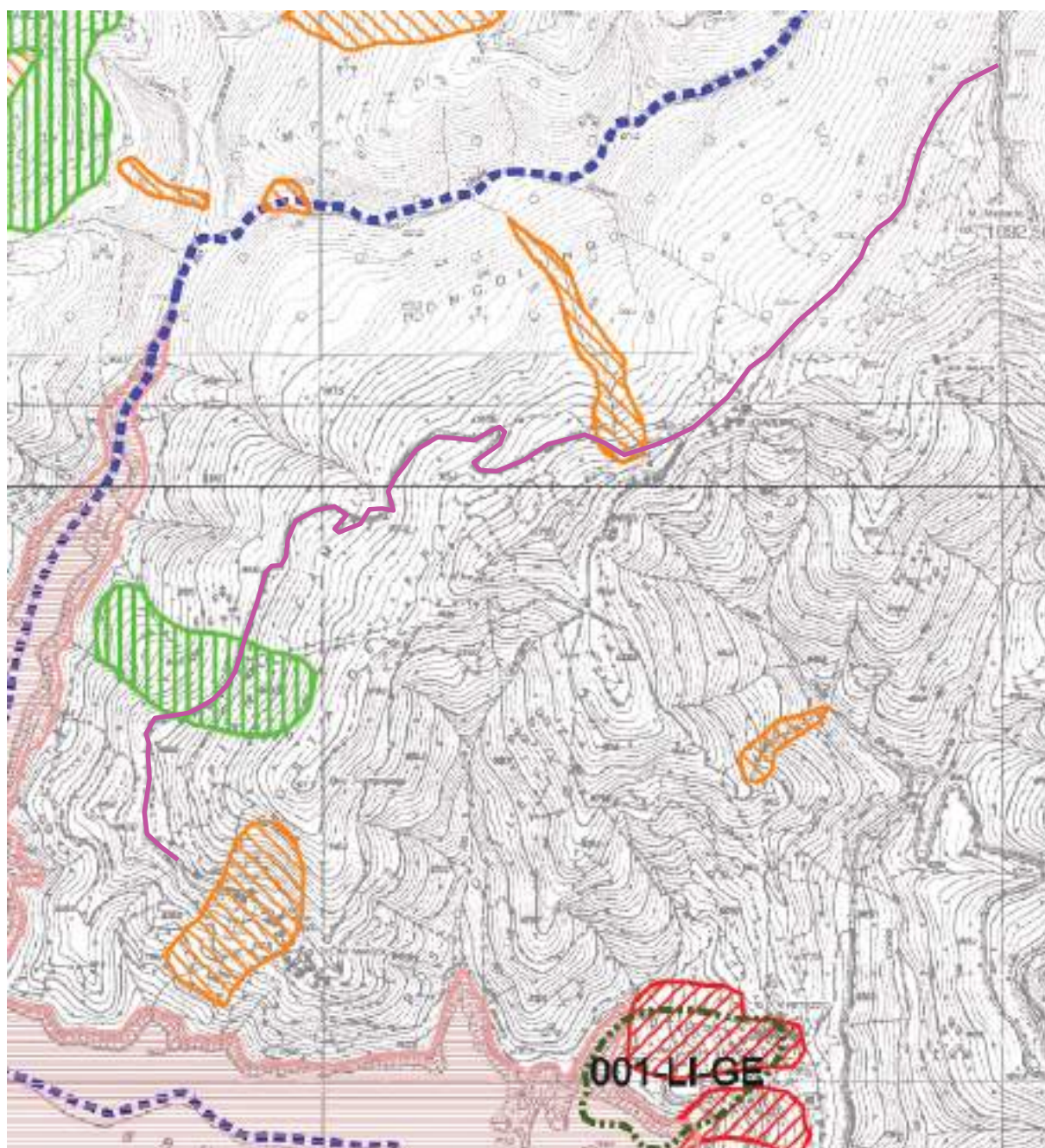
PALEOCENE ?

FORMAZIONE DI RONCO



ROC Torbiditi calcareo-pellici rappresentati da strati sottili e medi di areniti medio-fini, siltiti marnose e marne. Stratificazione piano-parallela. Sequenze di Bouma del tipo Ta-e e Tb-e. Le basi arenitiche fanno una composizione mista.

CAMPANIANO INE.



VARIANTE P.T.C.
VBP
 BACINI PADANI





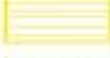


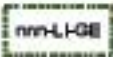
Accordo di Pianificazione ai sensi dell'art. 57 della L.R. 36/1997
 tra Autorità di bacino del fiume Po, Regione Liguria e Provincia di Genova

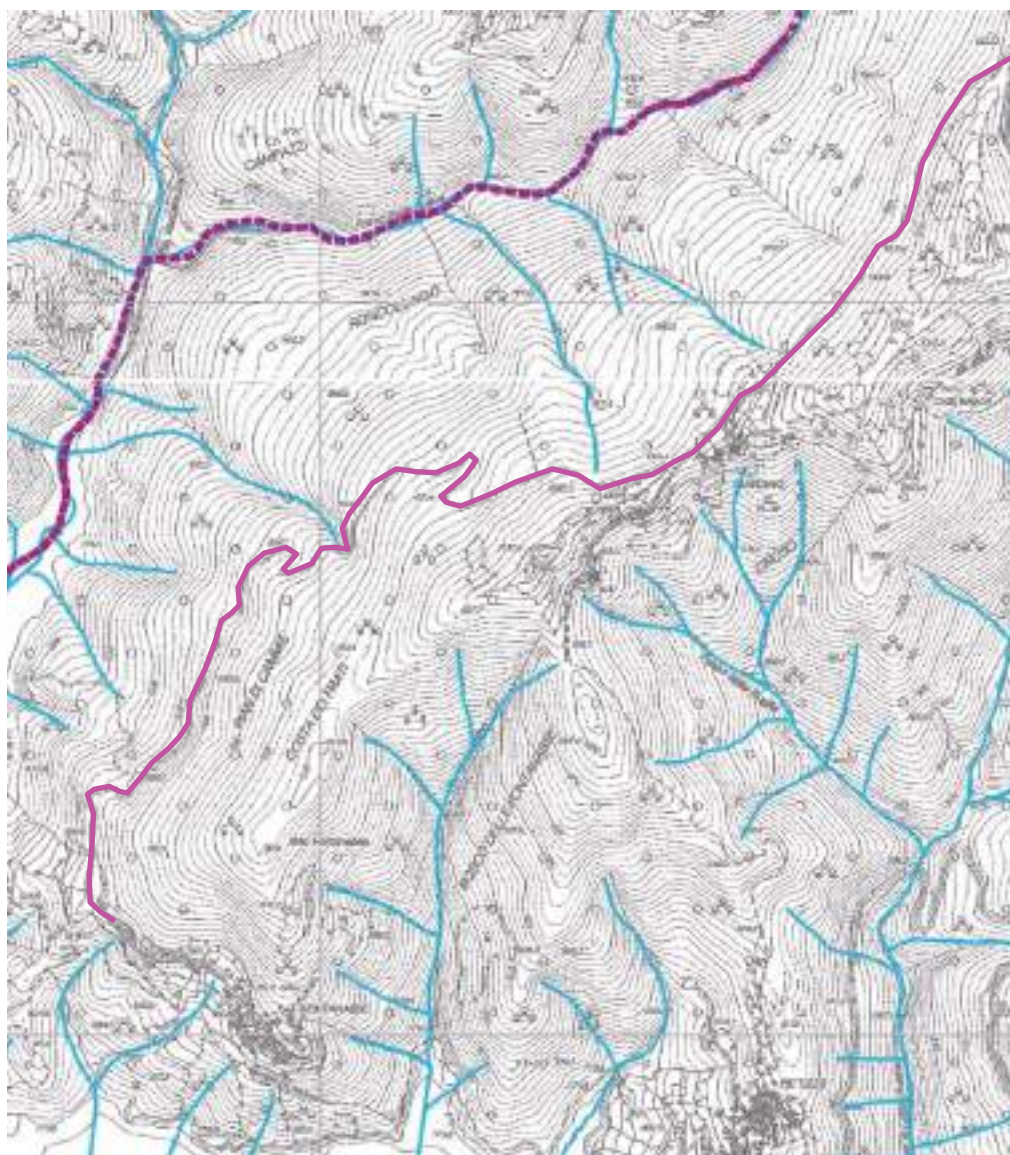
T2 - CARTA DEI DISSESTI (16 / 22)

(Bacino: T. TREBBIA - Comuni: FASCIA, MONTEBRUNO, PROPATA, RONDANINA,
 MOCONESI, NEIRONE, LORSICA, TORRIGLIA)

LEGENDA

Delimitazione delle aree in dissesto




FRANE	
	Aree interessate da frane attive (Fa) (pericolosità molto elevata)
	Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi (Acr) (pericolosità molto elevata)
	Aree interessate da frane quiescenti (Fq) (pericolosità elevata)
	Aree interessate da frane stabilizzate (Fs) (pericolosità media o moderata)
	Aree soggette a franosità superficiale diffusa (Fd) (pericolosità moderata)
	Aree soggette a deformazioni gravitative profonde di versante (DGfV) – (pericolosità moderata)
	Frane attive non perimetrate (comma 6, art. 6 delle Norme di attuazione della VBP)
	Aree a rischio idrogeologico molto elevato (Titolo IV delle Norme di attuazione del PAI approvato con D.C.L. n.18/2001 – art. 30 delle Norme di attuazione della VBP)






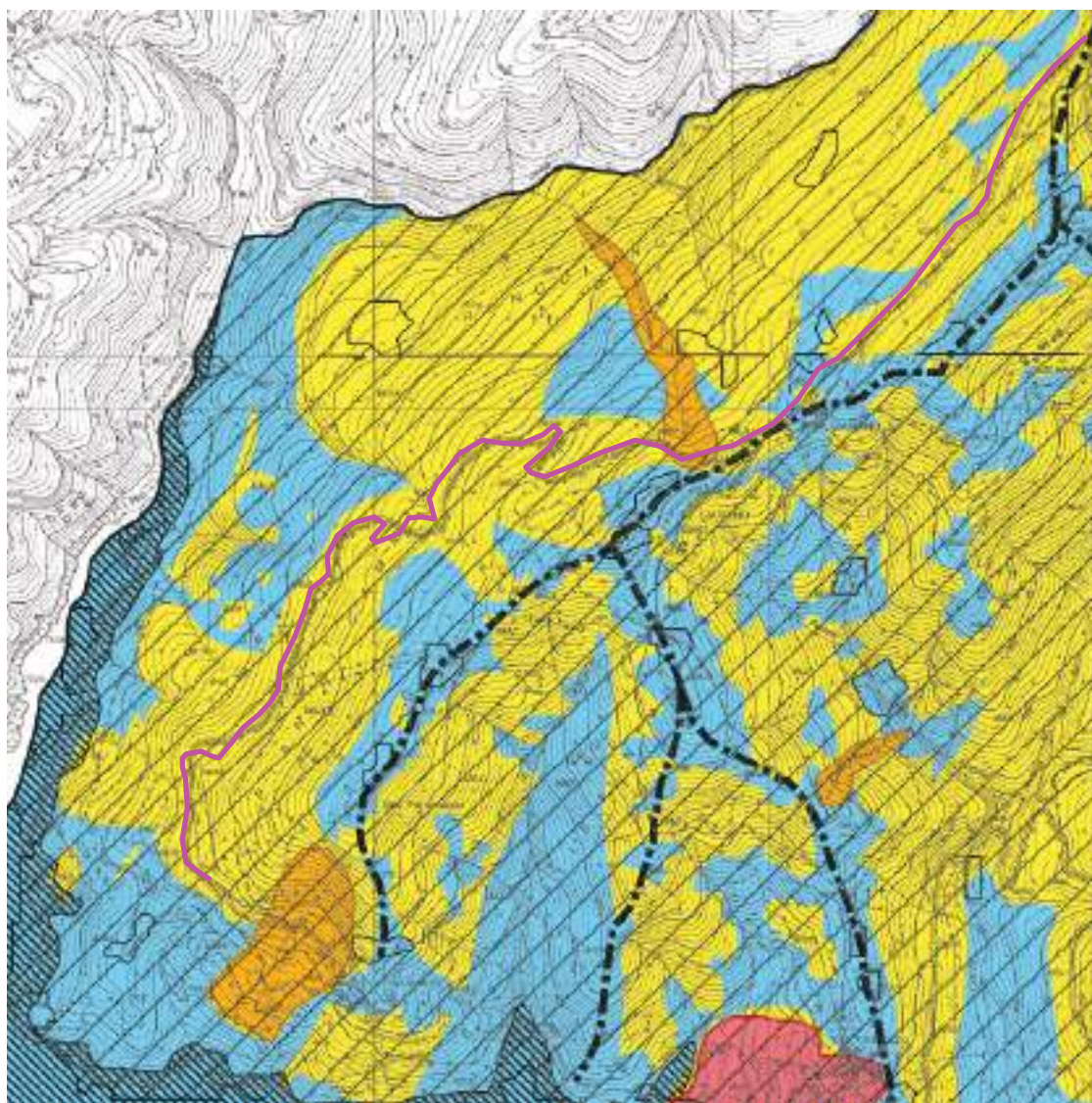
RETICOLO IDROGRAFICO REGIONALE adottato con D.G.R. N. 507 del 21/06/2019

Legenda

Reticolo idrografico

-  a cielo aperto
-  tombinato
-  scolmatore/opera idraulica

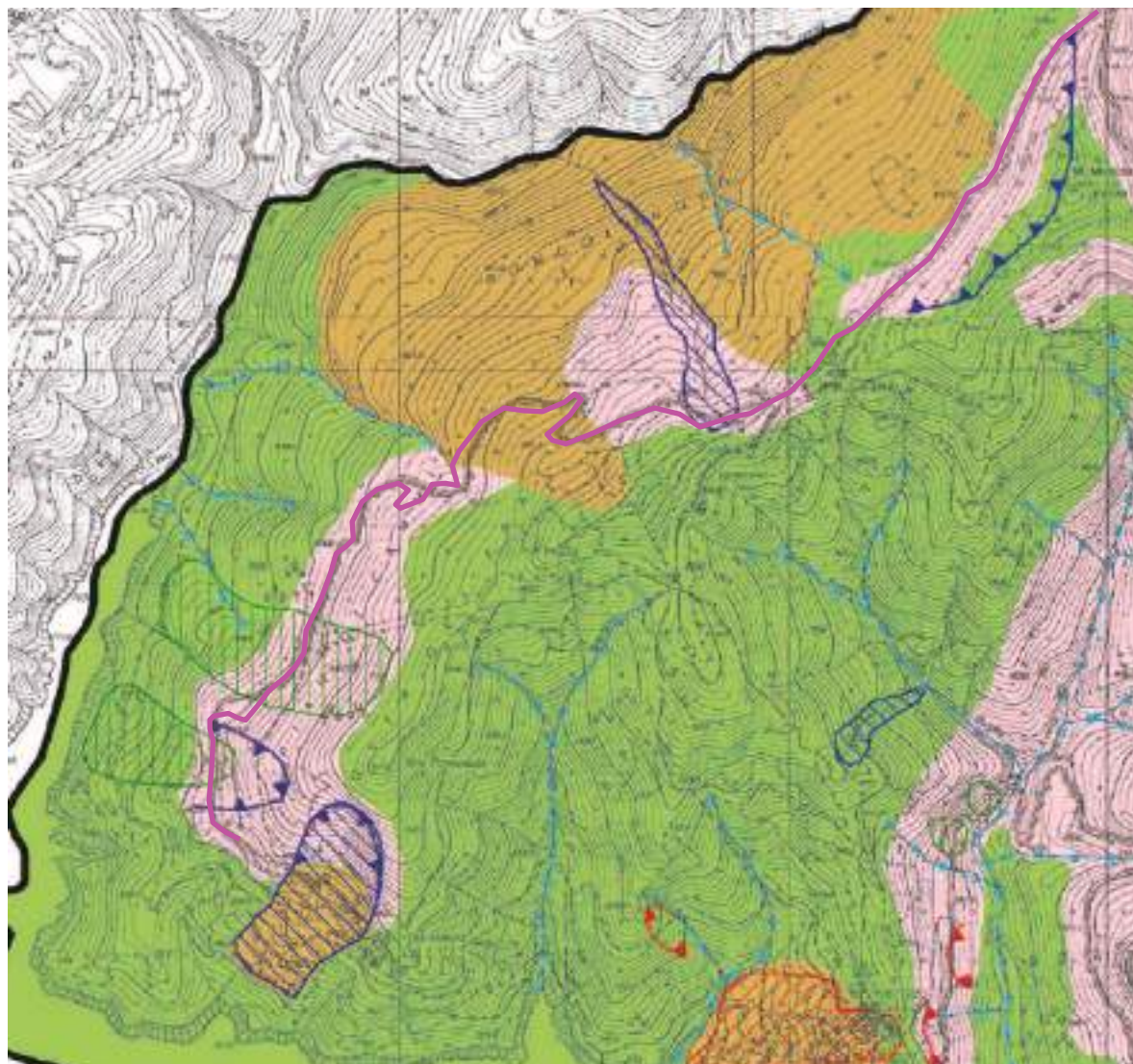
-  Rete di drenaggio urbano
-  Confini comunali
-  Bacini Idrografici



CARTA DI SUSCETTIVITÀ D'USO DEL TERRITORIO (ESTRATTO PUC) LEGENDA

Classi di suscettività d'uso

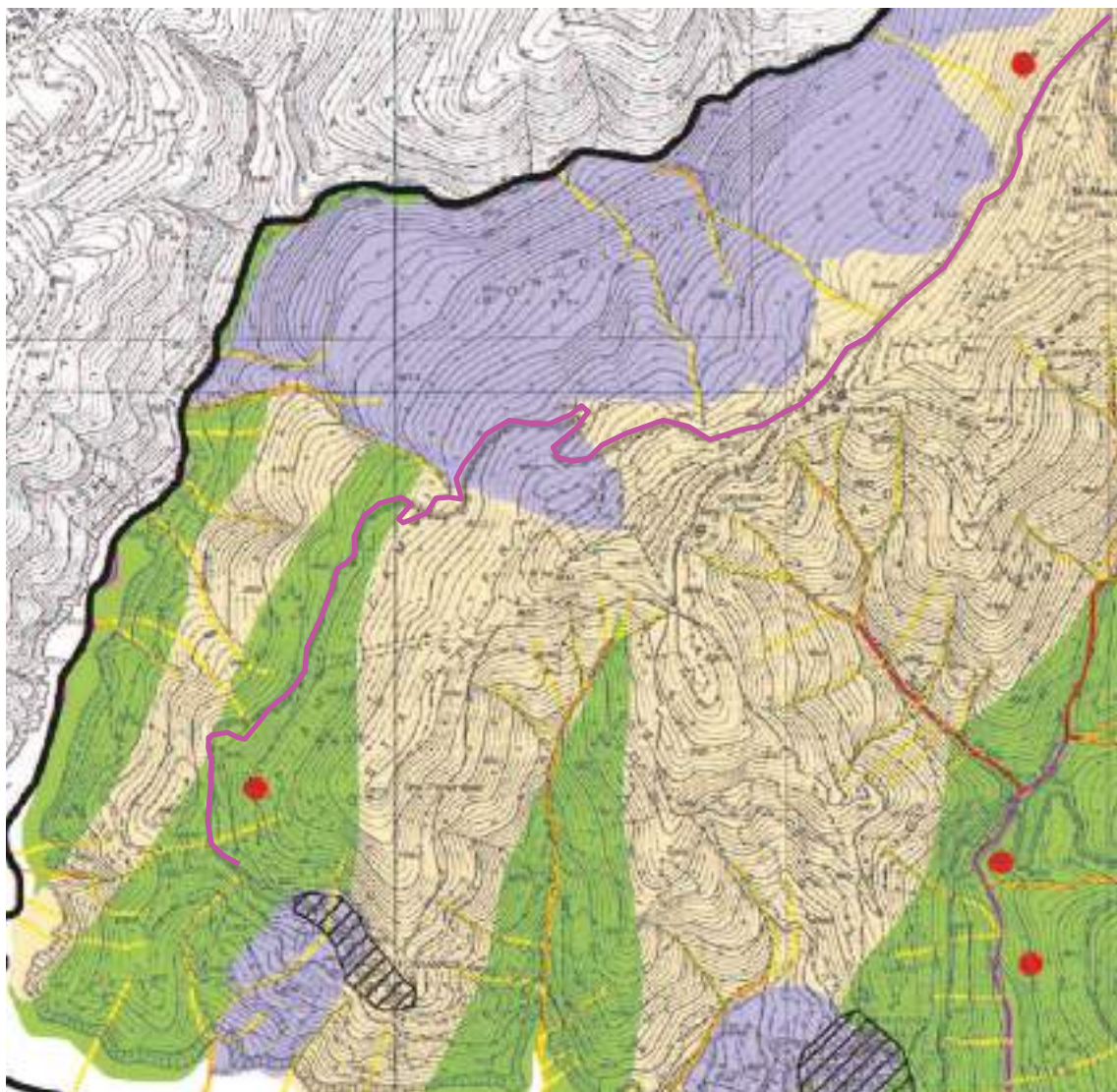
 Zone a suscettività d'uso limitata	 Aree a criticità idraulica (VBP)
 Zone a suscettività d'uso parzialmente limitata	 crinali
 Zone a suscettività d'uso condizionata	 selie
 Zone a suscettività d'uso moderatamente condizionata	 acclività > 20%
 Zone a suscettività d'uso non condizionata	



CARTA GEOMORFOLOGICA (ESTRATTO PUC)

LEGENDA






	am - alluvioni mobili attuali		Frane attive complesse (Fa)
	ar - depositi alluvionali terrazzati recenti		Frane attive di colubriforme (Acr)
	R - roccia in buone condizioni di conservazione e/o con disposizione favorevole rispetto al pendio		Frane quiescenti (Fq)
	Rf - roccia in scadenti condizioni di conservazione		Frane stabilizzate (Fs)
	rp - grossi riperti		Deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV)
	di - coltri eluvio-colluviale con potenza superiore ai 3 metri		Fransità superficiale diffusa (Fd)
	c - coltri eluvio-colluviale con potenza inferiore ai 3 metri		
	Frane non cartografabili		
	Cigli attivi		
	Cigli quiescenti		
	Erosione di fondo		
	Erosione spondale		
	Radici di terrazzo		
	Orli di terrazzo		



CARTA IDROGEOLOGICA (ESTRATTO PUC)

LEGENDA

Classi di permeabilità

	Permeabilità per fessurazione o fratturazione
	Permeabilità per porosità
	Semi-permeabilità
	Impermeabilità
	Urbanizzato continuo impermeabile

Gerarchizzazione del reticolo (Strahler)

	ordine 1
	ordine 2
	ordine 3
	Sorgenti

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Esecutore: Studio di Geologia Gian Paolo Chella

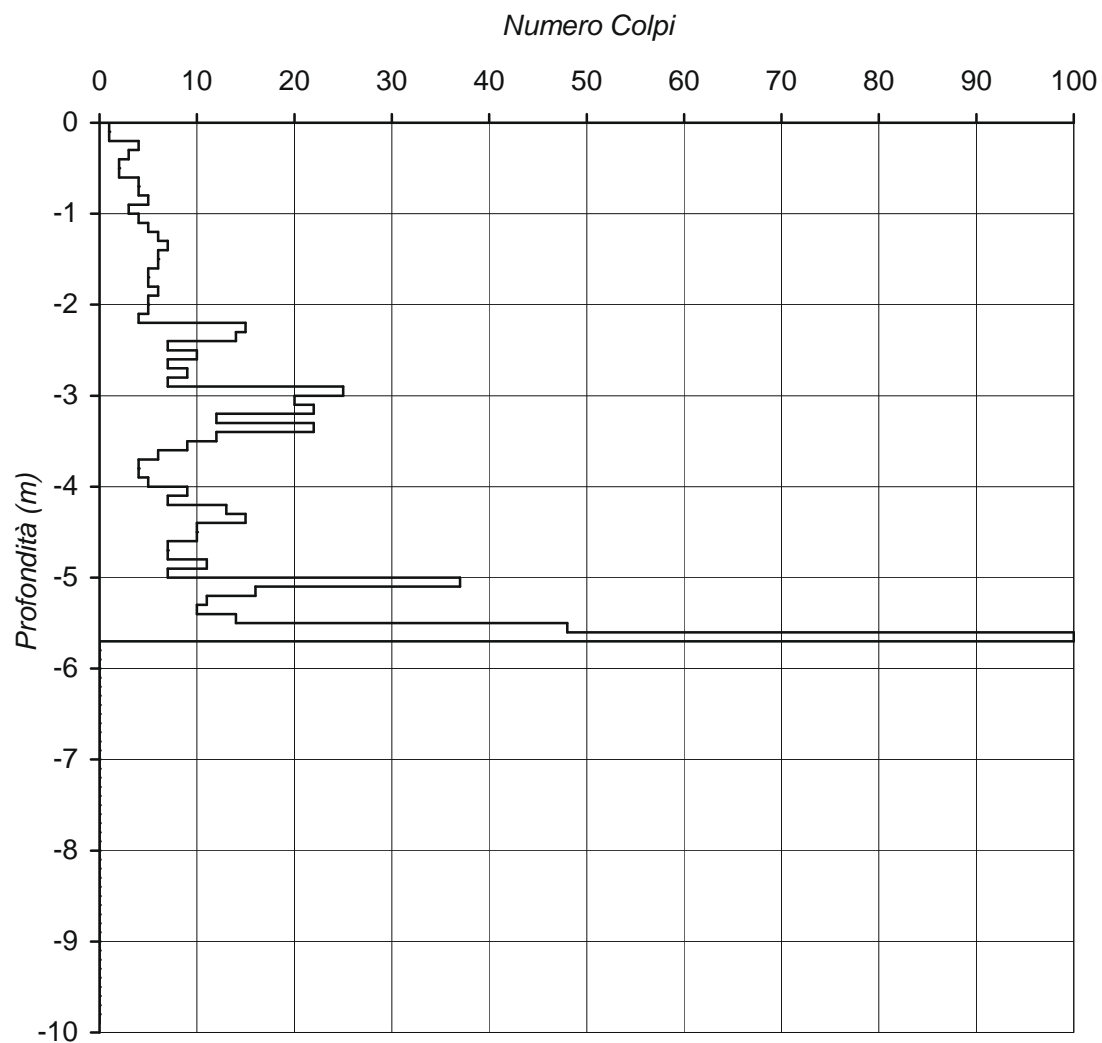
PROVA N.1

Commitente: Comune di Rondanina

Data: 6/4/21

Progetto: Messa in sicurezza strada comunale

Località: Fontanasse



CARATTERISTICHE DELLO STRUMENTO

Massa	Kg	30
Volata del maglio	cm	20
Sezione della punta	cm ²	10
Passo di misura	cm	10
Massa dell'incudine	Kg	6
Lunghezza dell'asta	cm	100
Massa dell'asta	Kg	2,5

Committente:

Studio Geol. Chella

Sito:

Strada Provinciale n.15, Località Fontanasse

Comune di Rondanina (GE)



**Indagine sismica MASW2D
per la verifica stratigrafica del sottosuolo**

Relazione n:	20-195
Redatto da:	Dott. Geol. Emmanuele Duò
Controllato da:	Dott. Geol. Mario Naldi
Data:	Maggio 2021
Revisione:	0

Sommario

1. INTRODUZIONE	1
2. UBICAZIONE INDAGINI	1
3. STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA UTILIZZATA	2
4. RISULTATI OTTENUTI.....	4
5. CLASSIFICAZIONE SISMICA DI SITO.....	6
6. CONCLUSIONI.....	7

In allegato:

Tavole 1÷3 Indagini geofisiche per la caratterizzazione stratigrafica

Appendice A Cenni teorici sulle indagini sismiche MASW2D

1. INTRODUZIONE

Su incarico del Dott. Geol. Chella, in data 29 Aprile 2021 sono state eseguite delle indagini sismiche lungo la Strada Provinciale n.15, in Località Fontanasse, all'interno del territorio comunale di Rondanina (GE).

Le indagini hanno il compito di verificare la presenza di zone detensionate o anomalie nella distribuzione delle unità geologiche del sottosuolo ed effettuare la classificazione sismica di sito secondo il Decreto Ministeriale 17/01/2018.

La tecnica utilizzata per rispondere alle richieste del Committente, viste le caratteristiche del sito, è stata la sismica per onde di superficie con restituzione bidimensionale del modello di velocità delle onde di taglio.

I risultati delle indagini sono illustrati nelle Tavole 1-3 allegate al testo e commentati nelle pagine seguenti.

2. UBICAZIONE INDAGINI

L'ubicazione delle indagini, concordata in sito con il Committente, è riportata nella tavola 1 e nella seguente Figura 1.

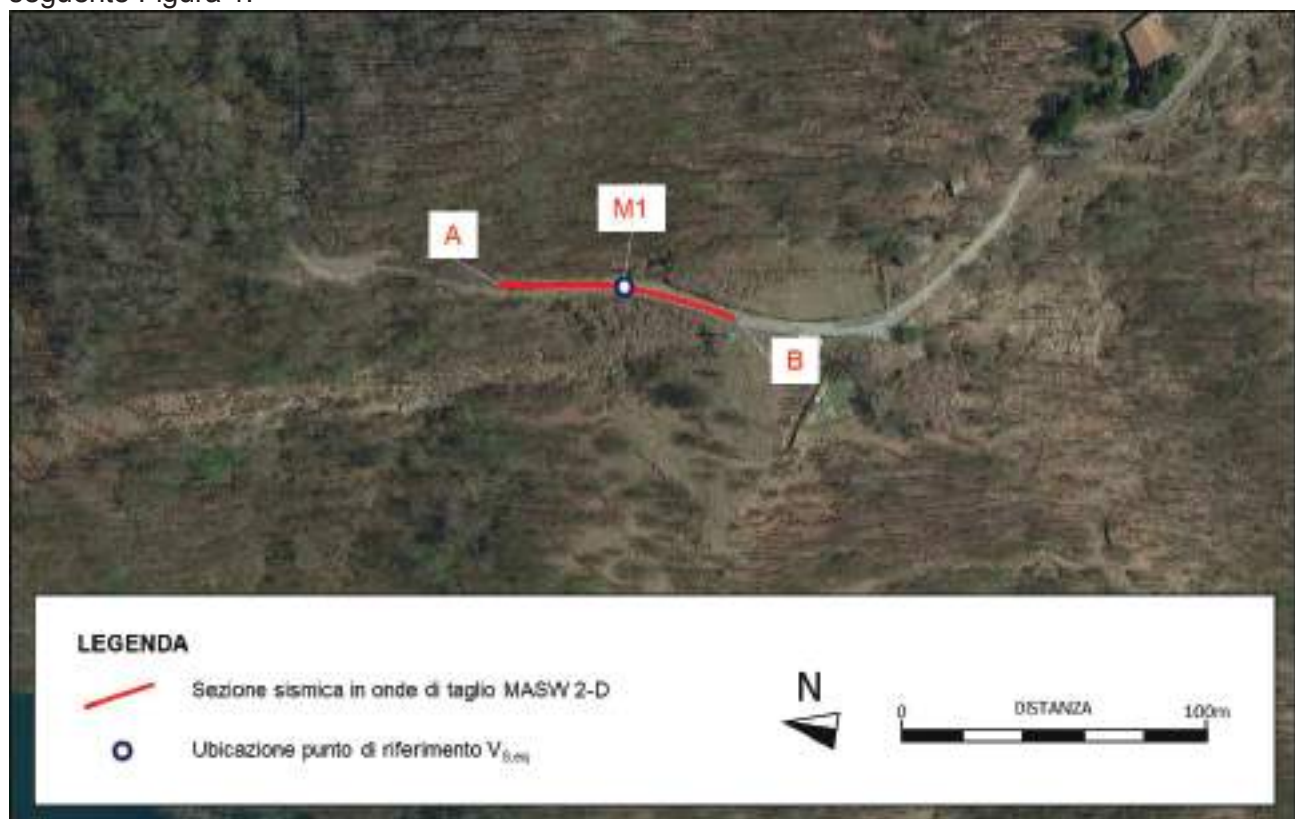


Figura 1 - Ubicazione dell'area di indagine su foto satellitare

In particolare, è stata acquisita una sequenza di dati sismici per onde di superficie utili a produrre una sezione sismica in onde di taglio di lunghezza pari a 58 metri; il centro della sezione coincide approssimativamente con un tratto ove il piano stradale appare interessato da fenomeni di cedimento. La sezione sismica è stata ottenuta mediante trascinamento di un cavo mobile a 24 canali, come meglio spiegato nel seguito.

SEZIONE	ID PUNTO	Est	Nord
A-B	4932259	515659	4932259
	4932202	515657	4932202
	4932233	515660	4932233

Tabella 1 Coordinate UTM WGS 84 dei punti salienti per l'ubicazione delle indagini

3. STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA UTILIZZATA

La metodologia sismica per onde di superficie (nel seguito MASW 2D), utilizzata per produrre mappe bidimensionali (assi superficie-profondità) della velocità delle onde di taglio (V_s), si adatta bene allo studio delle variazioni nel grado d'addensamento dei materiali di riporto e dei depositi che caratterizzano il sottosuolo nelle aree urbane, e per tale motivo è stata scelta rispetto ad altre tecniche sismiche di superficie. La capacità di rilevare le inversioni di velocità sismica (non determinabili con il metodo sismico a rifrazione, ad esempio), la scarsa influenza della presenza di zone sature sulla valutazione delle velocità delle onde di taglio (V_s), così come la possibilità di individuare zone di dilavamento o cavità unitamente alla capacità di questo tipo di indagini di non risentire del "noise ambientale" urbano, fanno della tecnica sismica MASW un mezzo affidabile per le finalità predette.

Per il caso in esame la sezione sismica MASW 2-D è stata realizzata mediante l'acquisizione di "record" multipli (costituiti da 24 canali) con la stessa configurazione sorgente-ricevitori spostata progressivamente di un intervallo costante (pari a 2 m) lungo l'allineamento di indagine. Il sistema di acquisizione è traslato attraverso il trascinamento di un "land streamer" su cui sono ancorati 24 geofoni a bassa frequenza (4.5 Hz) ad un interasse costante di 1 m (Figura 2). L'energizzazione è ottenuta mediante una massa battente di peso pari a 10 chilogrammi.

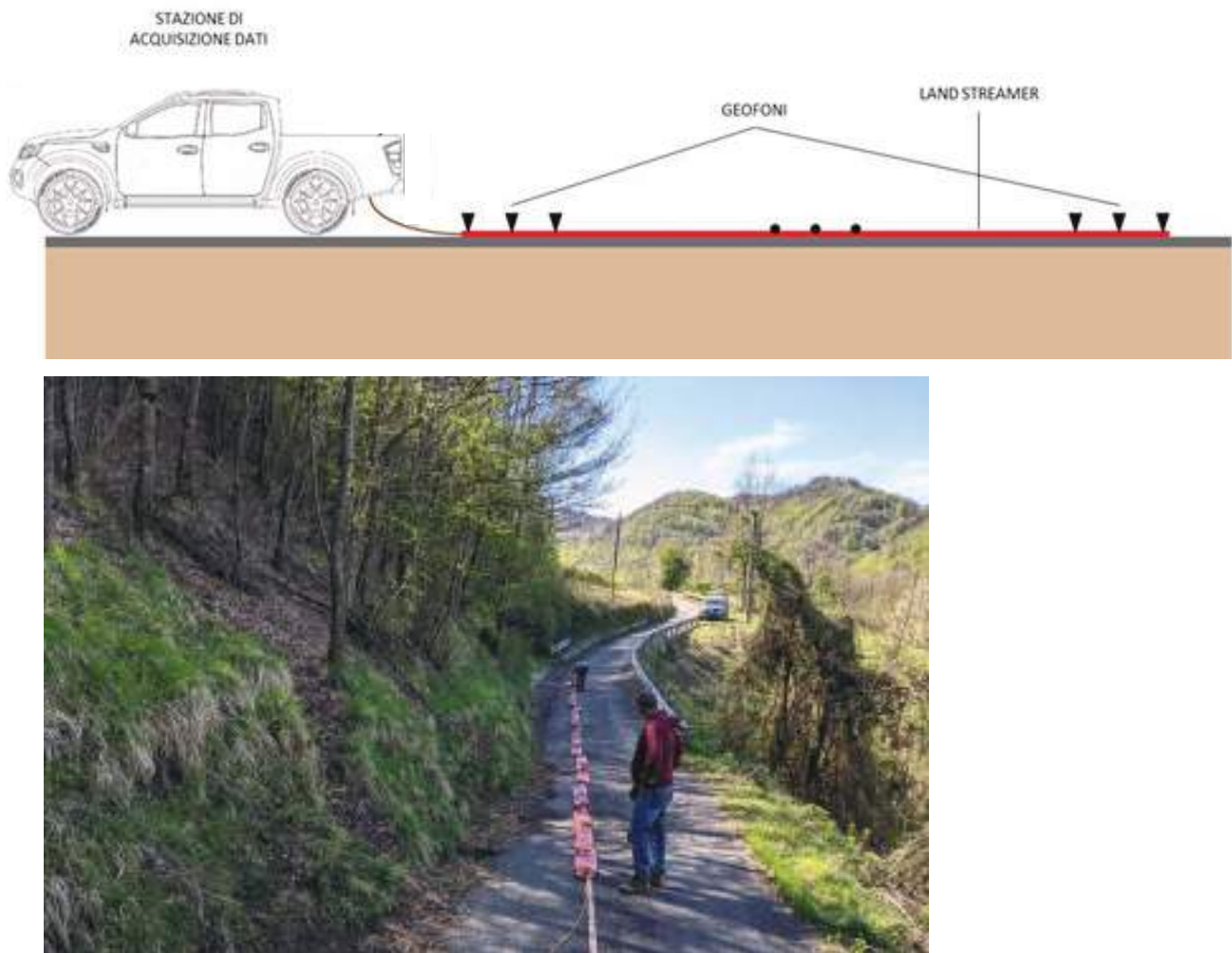


Figura 2 – Sistema mobile MASW2D

La procedura che consente di ottenere una mappatura 2D delle velocità delle onde di taglio procede attraverso le seguenti fasi:

- acquisizione di una serie di “records” multicanale lungo un allineamento di indagine attraverso la tecnica del roll-along;
- elaborazione di ogni record acquisito in modo indipendente e produzione di un profilo di Vs 1-D per ciascun record;
- creazione della mappa 2-D di Vs mediante interpolazione spaziale, assegnando a ciascun profilo 1-D le coordinate del punto centrale dello stendimento utilizzato per acquisire il record stesso.

La fase di “processing” dei dati sismici per ciascun profilo 1-D di Vs consiste nell'estrazione della curva di dispersione del modo fondamentale di vibrazione seguita dall'inversione numerica; il software utilizzato è il pacchetto SurfSeis nella versione 6.4.1 (Kansas Geological Survey).

Cenni relativi alla metodologia di indagine sono riportati nella Appendice A

4. RISULTATI OTTENUTI

Come anticipato in precedenza, l'utilizzo di una fitta linea di geofoni a spaziatura ridotta, unitamente ad una forte sorgente di energia, ha consentito di ottenere un'elevata qualità dei dati (si veda un sismogramma tipo in Figura 3).

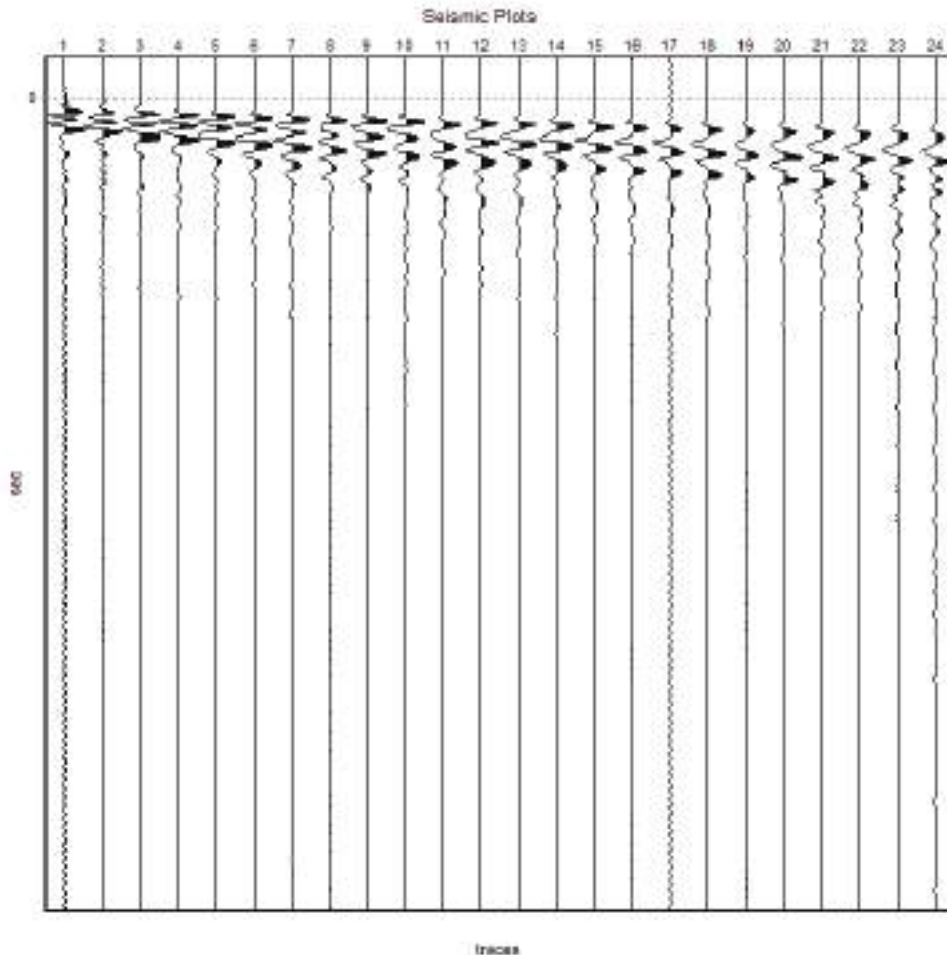


Figura 3 – Shot gather acquisito alla progressiva 44 metri

L'interpolazione tra i singoli profili di velocità delle onde di taglio ha prodotto la sezione riportata in tavola 2 e, per comodità di lettura, in Figura 4. La sezione di velocità delle onde di taglio illustrata in Figura 4 è ottenuta attraverso l'interpolazione di 29 modelli monodimensionali attraverso un operatore di interpolazione lineare (triangolazione).

Il modello di velocità delle onde di taglio A-B è caratterizzato da una sequenza sismostratigrafica in cui si possono osservare:

- un livello superficiale di spessore massimo compreso tra 1.5 e 3 m osservato oltre la progressiva 8 metri; lo spessore è massimo tra le progressive 30÷40 metri. Il basso grado di addensamento che caratterizza i materiali rappresentati sulla sezione A-B dalle campiture di colore blu (velocità delle onde di taglio inferiori a 350 m/s) consente di ipotizzare la presenza di materiali di riporto e materiali naturali rimaneggiati sciolti o a grado di addensamento basso;
- un sismostrato di base costituito da materiali a grado d'addensamento crescente da medio-basso a medio-alto, con velocità superiori a 360 m/s che, a profondità superiori a 12-15 metri da p.c., assumono i valori del substrato sismico (superiori a 800 m/s).

Questo secondo sismostrato è definito da una scarsa omogeneità nella distribuzione di velocità; si osservano infatti inversioni di velocità e “strutture” a bassa velocità possibilmente correlabili con piani di taglio o zone in cui gli ammassi rocciosi risultano maggiormente fratturate.

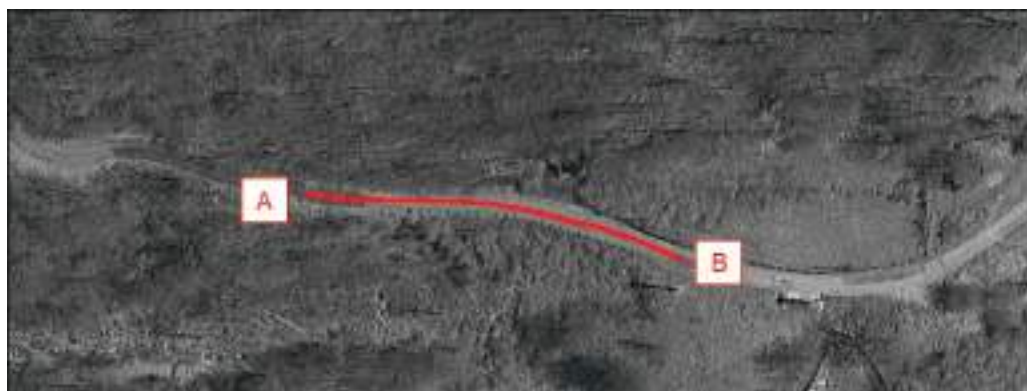
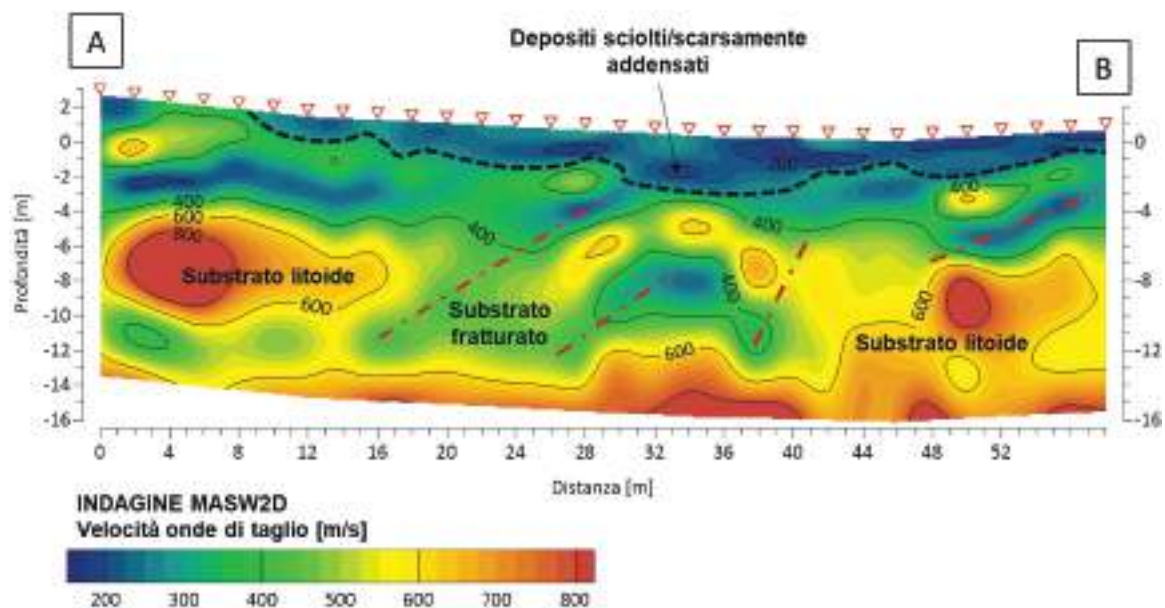


Figura 4 –Sezione MASW 2-D A1-A2

5. CLASSIFICAZIONE SISMICA DI SITO

Secondo la normativa sismica vigente, costituita per la Regione Liguria dalla D.G.R. n. 216 del 17.03.2017 e s.m.i., il Comune di Rondanina ricade in zona 3.

La normativa vigente individua come parametro di riferimento per la classificazione sismica dei suoli la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/s) e viene calcolato mediante l'espressione:

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

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore (in m) e la velocità (in m/s) delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti tra il piano campagna ed il substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m. nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per il sito in esame, si è potuta determinare la $V_{s,eq}$ sulla base del modello di velocità delle onde di taglio ottenuto nel punto centrale della sezione A-B.

Il valore di $V_{s,eq}$ calcolato tra il piano campagna e la quota -15.4 metri (substrato sismico) è pari a 389 m/s. Pertanto è possibile definire il contesto geotecnico esaminato come suolo di classe sismica "B".

Suolo	Descrizione geotecnica	$V_{s15.4}$ [m/s]
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	389 m/s

Tabella 2 – Classificazione sismica di sito

6. CONCLUSIONI

I risultati delle indagini sismiche per onde di superficie realizzate lungo la Strada Provinciale n.15, in Località Fontanasse, all'interno del territorio comunale di Rondanina (GE), hanno permesso di valutare la distribuzione di velocità delle onde di taglio in corrispondenza di una sezione di lunghezza pari a 58 metri.

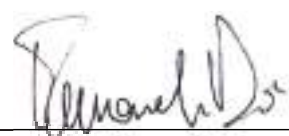
I materiali scarsamente addensati che, in prima istanza, risultano più suscettibili all'azione gravitativa e al dilavamento operato dai flussi sotterranei, presentano spessore complessivamente basso e non superiore a circa 3 metri (progressive 30÷40 metri).

Lo strato di riporti e depositi superficiali, che si interrompe in corrispondenza della prima parte della sezione A-B, poggia su un'unità sismostratigrafica più rigida e presumibilmente costituita da materiali riferibili al substrato roccioso. Quest'ultimo appare diffusamente attraversato da probabili superfici di discontinuità o zone in cui la fratturazione degli ammassi è più intensa.

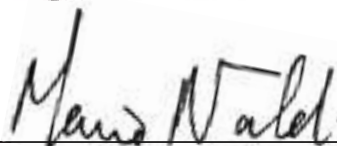
Il substrato compatto, coincidente con il substrato sismico dell'area, è stato individuato a profondità pari a circa 15 metri dal piano campagna.

Techgea S.r.l.

Redatto da: Dott. Geol. Emmanuele Duò





Controllato da: Dott. Geol. Mario Naldi



TAVOLE

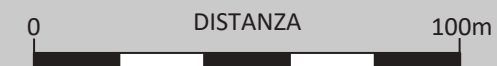


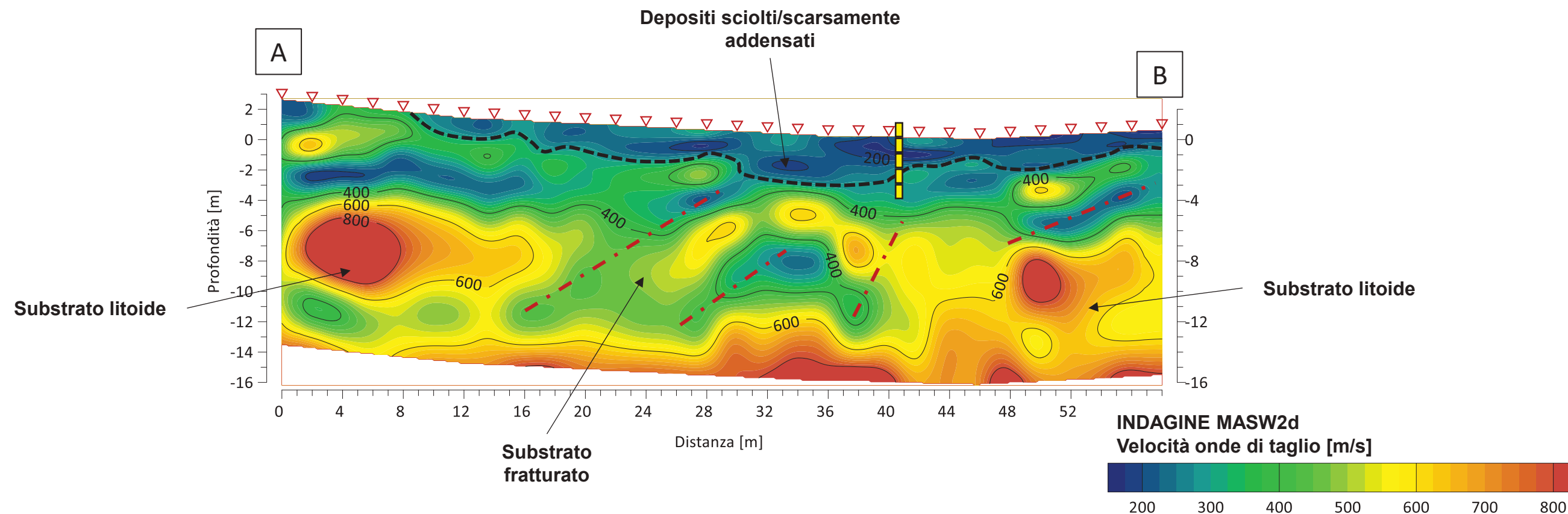
LEGENDA

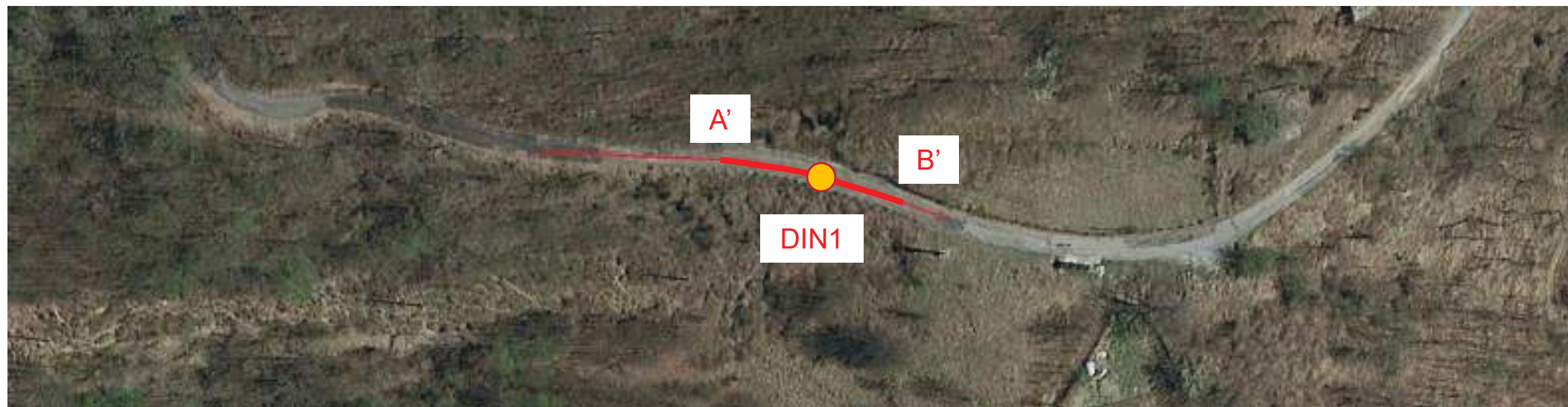
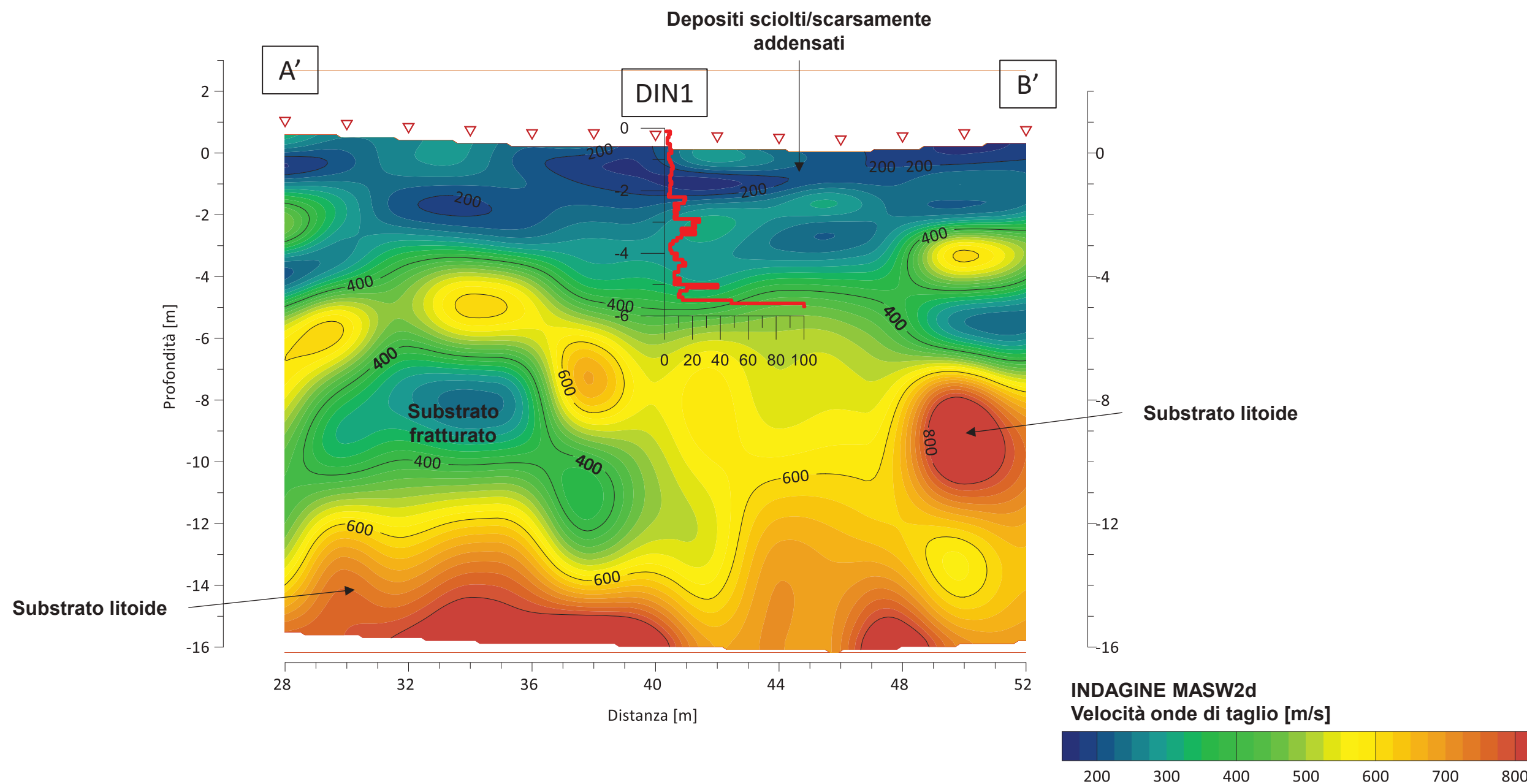
-  Sezione sismica in onde di taglio MASW 2-D
-  Ubicazione punto di riferimento $V_{s,eq}$

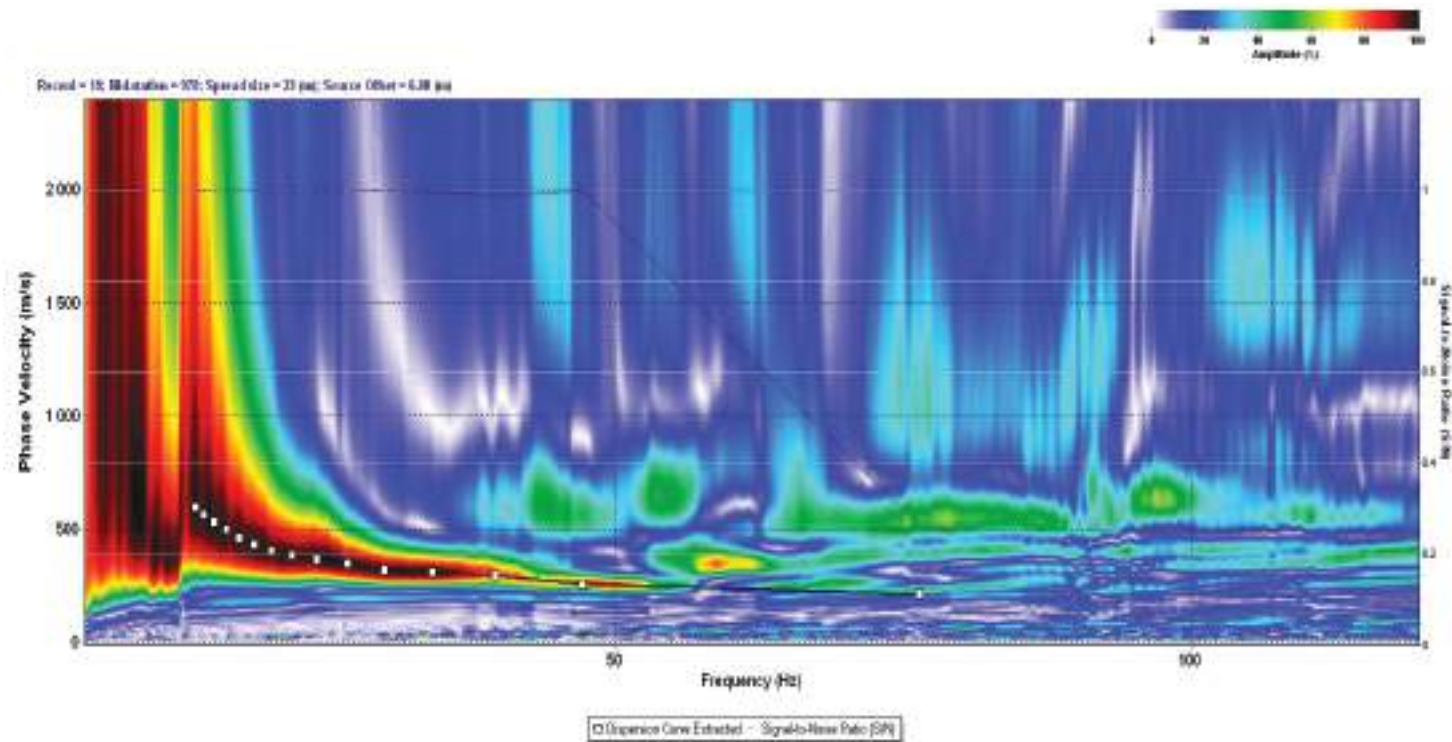
COORDINATE DEI PUNTI (UTM WGS84)

PUNTO	NORD	EST
A	4932259	515659
B	4932202	515657
M1	4932233	515660

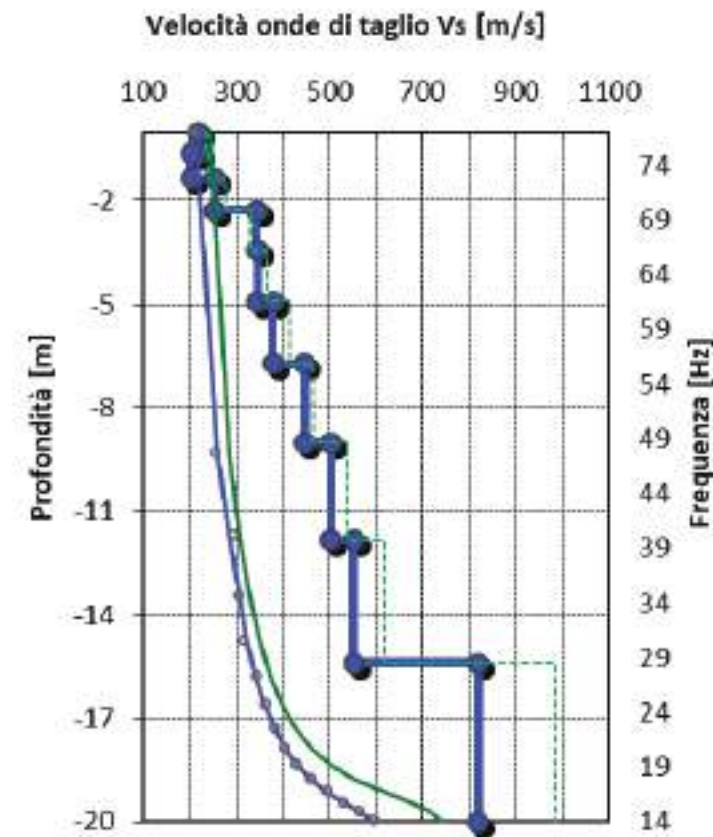








MODELLO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO M1



STRATO	DA [m]	A [m]	Vs [m/s]
1	0.0	-0.6	220
2	-0.6	-1.3	204
3	-1.3	-2.3	256
4	-2.3	-3.4	344
5	-3.4	-4.9	346
6	-4.9	-6.7	380
7	-6.7	-9.0	448
8	-9.0	-11.8	504
9	-11.8	-15.4	553
10	-15.4	-20.0	819

Sito:	M1, Loc. Fontanasse, Comune di Rondanina (GE)			Regione:	Liguria
Norm. Regione:	D.G.R. n. 216 del 17.03.2017 e s.m.i.			Zona sismica	3
Coordinate GPS	Datum:	Proiezione	Zona	EST	NORD
	WGS84	UTM	32N	515660 m	4932233 m

SUOLO	DESCRIZIONE GEOTECNICA	$V_{S,15.4}$ [m/s]
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	389

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m. nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Livello	Profondità [m da p.c.]	Descrizione	Velocità Vs [m/s]
1	0 ÷ 2.5	Primo sismostrato costituito da depositi sciolti o scarsamente addensati.	200 ÷ 260
2	2.5 ÷ 15.4	Secondo sismostrato, definito da materiali a rigidità crescente anche riferibili al substrato roccioso fratturato	340 ÷ 550
3	Oltre 15.4	Materiali riferibili al substrato roccioso con velocità superiori agli 800 m/s.	820



APPENDICE A

Cenni teorici sulle indagini sismiche MASW2D

CENNI TEORICI SULLA METODOLOGIA MASW

Le onde di superficie in un mezzo verticalmente eterogeneo si propagano in modo guidato e dispersivo. Le onde di Rayleigh sono onde di superficie che si generano per interferenza tra le onde P ed Sv e vengono guidate dalla superficie libera della terra. Il comportamento dispersivo implica che ogni “modo” delle onde di Rayleigh si propaghi con una differente velocità di fase per ciascuna diversa lunghezza d’onda. Infatti, le lunghezze d’onda maggiori penetrano a profondità maggiori rispetto alle basse lunghezze d’onda e generalmente manifestano velocità di fase più alte risultando più sensibili alle proprietà elastiche dei livelli profondi. Al contrario le lunghezze d’onda minori sono più sensibili alle proprietà fisiche degli strati superficiali¹.

La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche col metodo SWM (surface waves multichannel) è una curva apparente derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione, e che per i limiti indotti dal campionamento non necessariamente coincide con singoli modi nei diversi intervalli di frequenza campionati.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali, può essere suddiviso in tre fasi, di seguito sinteticamente descritte.

Acquisizione

L’acquisizione dei dati MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) nelle indagini di tipo attivo realizzate con una configurazione a 24 canali consente, in condizioni ottimali, di raggiungere una profondità di indagine pari a circa 30 metri. Al fine di ottenere una buona generazione di onde di superficie il piano topografico non deve presentare brusche variazioni di pendenza (all’interno dello stendimento).

Il tipo di sorgente sismica utilizzata regola in modo sensibile la profondità d’indagine, controllando attraverso l’energia d’impatto, la lunghezza d’onda massima delle onde di superficie, secondo la:

$$Z_{\max} = 0.5L_{\max}.$$

¹ Xia, J., Miller, R. D., and Park, C. B., 1997, Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave. <http://www.kgs.ku.edu>

Una massa battente da 8-10 chilogrammi risulta adeguata al fine di generare onde di superficie con un ottimale contenuto in basse frequenze.

La lunghezza dello stendimento e la spaziatura tra i ricevitori controllano rispettivamente la massima profondità di indagine (massima lunghezza d'onda) e la risoluzione superficiale (minima lunghezza d'onda). Interassi geofonici compresi tra 1,5 e 2,5 metri costituiscono un compromesso ottimale tra risoluzione superficiale, massima profondità d'indagine e attenuazione del segnale all'estremità dello stendimento opposta alla sorgente.

La distanza della sorgente sismica dall'estremità dello stendimento è ottimale se compresa tra i 5 e i 20 metri per gli interassi descritti in precedenza; per ogni punto di energizzazione vengono inoltre generati più impulsi sismici al fine di permettere la somma delle tracce sismiche (vertical stacking) ed ottenere un incremento del rapporto segnale/rumore.

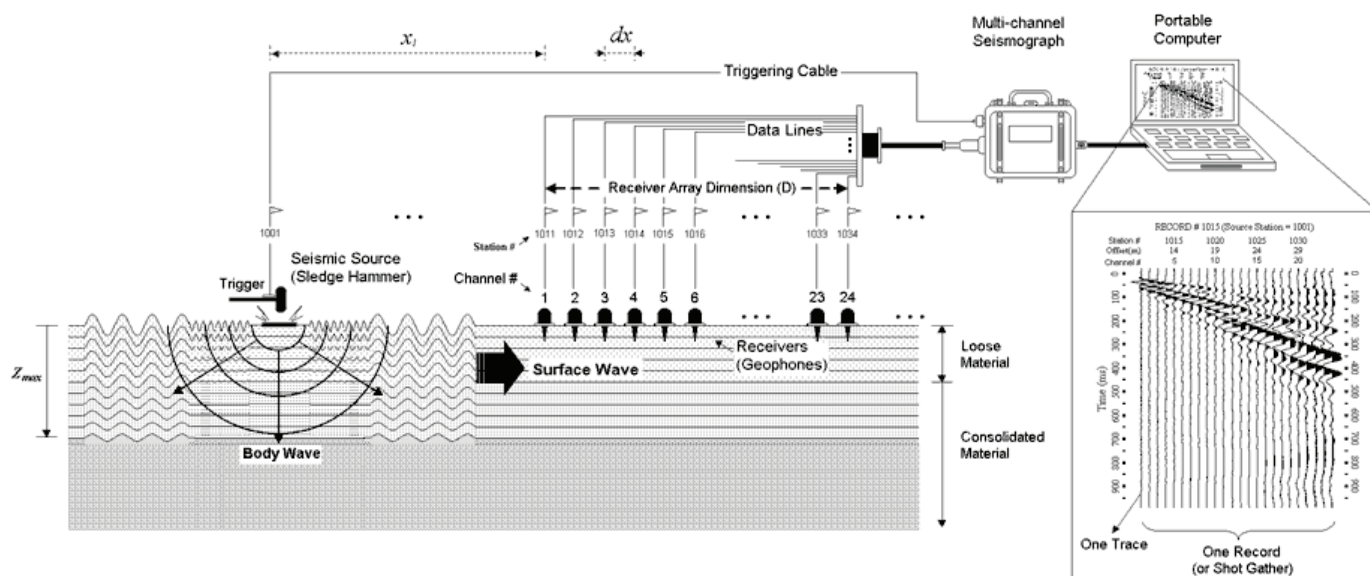


Figura 1- Schema di acquisizione dati MASW (Fonte: www.masw.com)

L'acquisizione di più profili sismici (uno per ogni posizione dell'array geofonico) effettuata mediante la traslazione dello stendimento (considerando l'interasse tra i geofoni dx) il sistema sorgente-ricevitori viene traslato usualmente di una distanza compresa nell'intervallo $1dx \div 12dx$ permette la modellizzazione 2-D dei risultati dell'indagine. La traslazione avviene attraverso i cosiddetti "land streamers", dispositivi che consentono il montaggio dell'array ed il suo agevole spostamento mediante il traino effettuato da un autoveicolo.

Elaborazione

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto ovvero, la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (il codice di calcolo utilizzato è SurfSeis ® versione 6.6, Kansas University USA).

Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti a una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh, e se le caratteristiche del sito sono tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. Si dimostra infatti che la velocità delle onde di Rayleigh è associata ai massimi dello spettro f-k; si può ottenere facilmente una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza il picco spettrale, al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh VR, determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

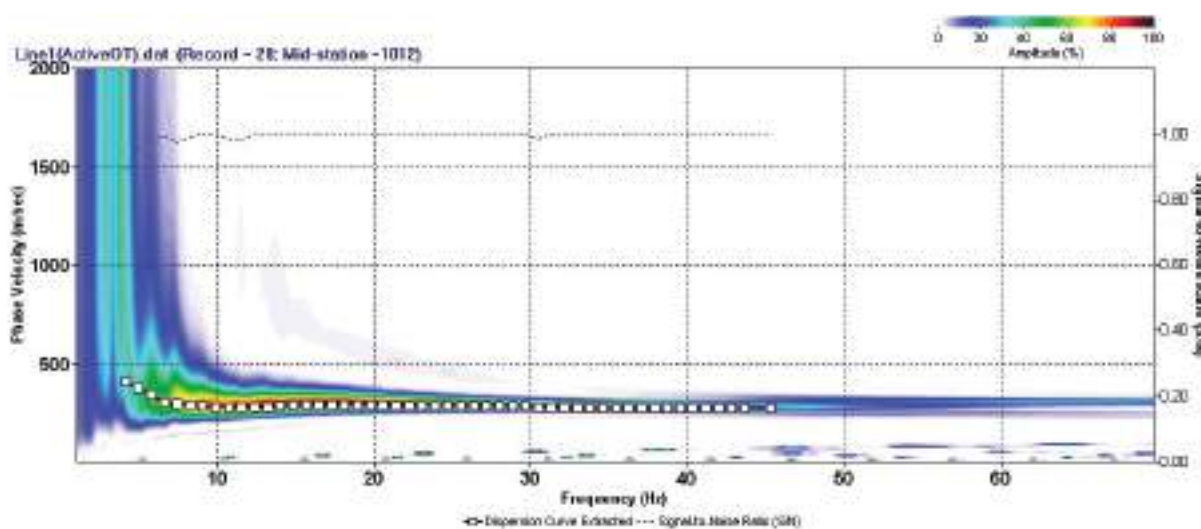


Figura 2 Curva di dispersione della velocità Vs in funzione della frequenza e della velocità di fase

Inversione

Il profilo stratigrafico finale (Figura 3) è ricavato mediante il processo iterativo, a partire dal modello stratigrafico iniziale. Quest'ultimo è definito a partire dalle velocità di fase delle onde di Rayleigh estratte nella fase di analisi della curva di dispersione (le onde di Rayleigh si propagano con una velocità di fase pari a $0.9194 \cdot V_s$) ed è controllato da:

- a. utilizzatore, per quanto concerne:
 - i. numero di strati.
- b. software di elaborazione per i seguenti punti:
 - i. range di profondità indagato (z_{max} e z_{min} , desunti rispettivamente dalle seguenti relazioni: $z_{max} \approx \lambda_{max} \approx C_{max}/f_{min}$ e $z_{min} \approx \lambda_{min} \approx C_{min}/f_{max}$, dove C_{max} e C_{min} sono le velocità di fase rispettivamente a f_{min} ed f_{max}).
 - ii. spessore dei singoli strati.

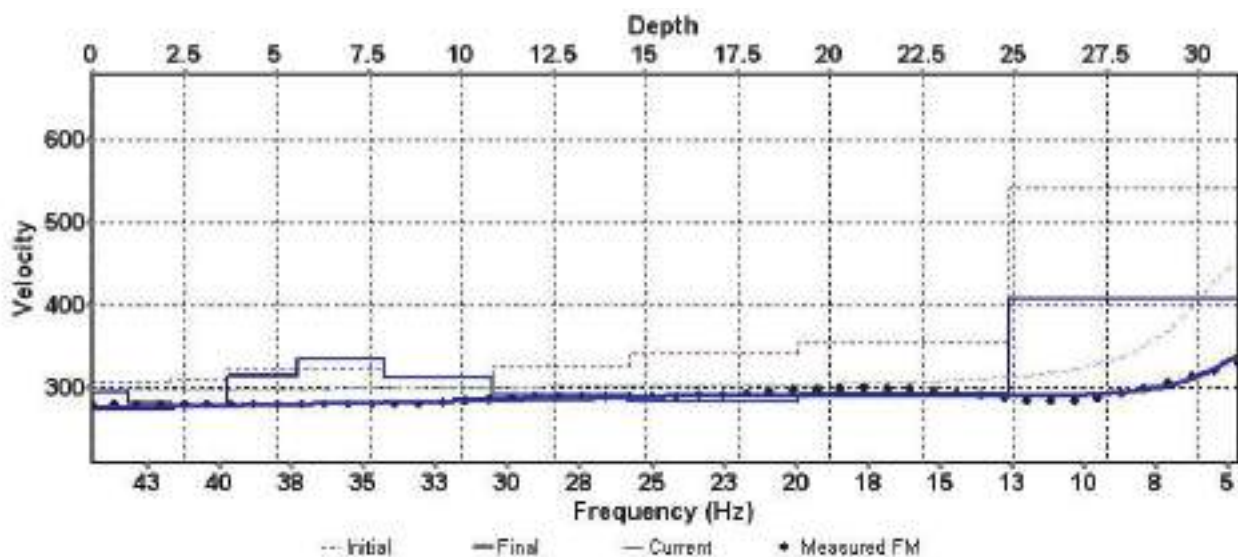


Figura 3 Modello di propagazione delle velocità delle onde Vs

Il metodo di inversione per ottenere il modello finale è automatico, iterativo e di tipo “Monte Carlo”: esso ricerca (per un modello di terreno costituito da n strati) quali curve di dispersione coincidono meglio con il trend definito dall'utente sul diagramma di dispersione. Esso è automatico in quanto effettua la ricerca senza l'intervento dell'operatore, iterativo perché la ricerca è ripetuta per aggiornare il modello e di tipo “Monte Carlo” perché la ricerca è un processo random.

L'avanzamento del processo di inversione è controllato mediante la definizione del numero massimo di iterazioni (definibile dall'utente) e dell'andamento della discrepanza quadratica media (RMSE root-mean-square-error) fra i valori osservati ed i valori stimati nel parametro Velocità di fase.

Modellizzazione 2-D

Il modello 2-D di Vs consiste nella modellizzazione 1-D di ciascuna curva di dispersione acquisita (come illustrata in precedenza), elaborata singolarmente, e nella successiva costruzione di uno schema di interpolazione appropriato.

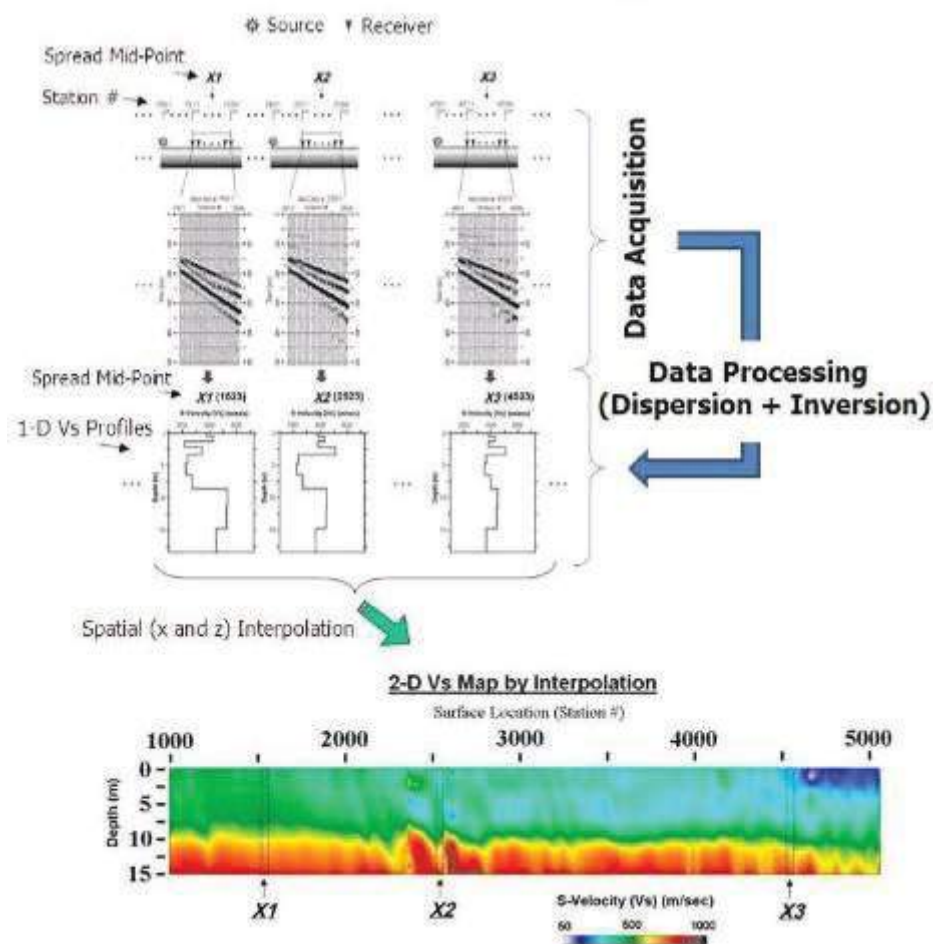


Figura 4 Schema di realizzazione di un'indagine MASW con mapping 2-D dei risultati

La mappa di velocità delle onde di taglio viene creata riferendo ciascun profilo 1-D di Vs al punto centrale dello stendimento posizionato; questo è scelto come punto maggiormente significativo in ragione della natura stessa dell'elaborazione multicanale. Per l'interpolazione del grid creato dai profili di Vs è possibile optare per varie metodologie (lineare, kriging, ecc.).

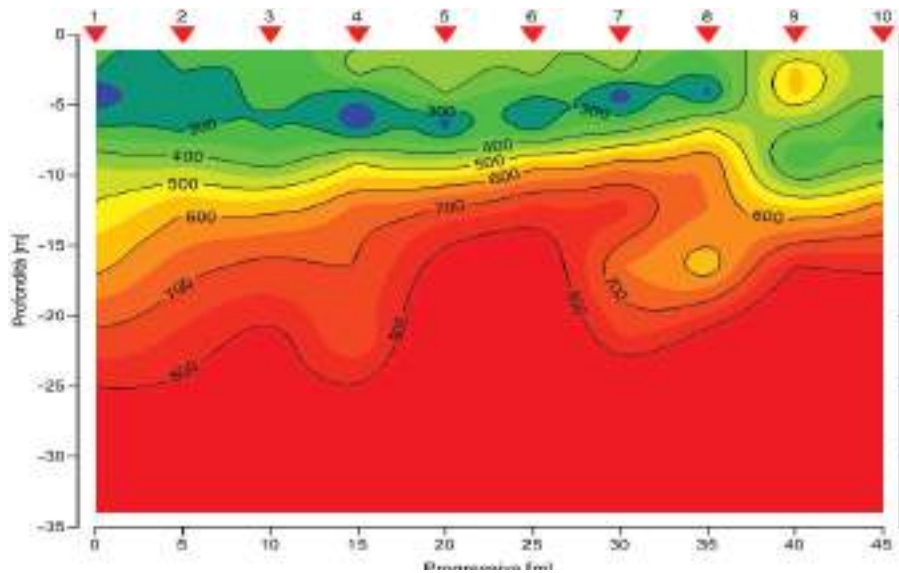


Figura 5 Sezione MASW con mapping 2-D dei risultati realizzata con interasse geofonico pari a 2 metri e spaziatura tra i profili 1-D pari a 4 metri.