

REGIONE PIEMONTE - PROVINCIA DI VERCELLI
COMUNE DI BOCCIOLETO

LAVORI DI CONSOLIDAMENTO MURO DI SOSTEGNO DELLA
SOTTOSCARPA DELLA STRADA COMUNALE DELLA VALLE
E REALIZZAZIONE SISTEMA DI RACCOLTA ED
ALLONTANAMENTO DELLE ACQUE DI VERSANTE.

Regione Piemonte - Direzione OO.PP.- OOCDC n. 615, n. 622/2019 e
n.674/2020. Evento Alluvionale del 21-25 novembre 2019
Codice intervento: VC_A18_622_19_12

CUP: J67H20002570008

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

RELAZIONE SPECIALISTICA DEL PROGETTO:
RELAZIONE GEOLOGICA
con INDICAZIONI GEOTECNICHE

ELABORATI
TECNICI

EL.IB

Data progetto:
Marzo 2021

I tecnici incaricati:

Studio di Ingegneria Civile ed Ambientale
C.so Roma 17 - VARALLO (VC) - Tel.0163/53999



Studio di Geologia
Dott. Geol. Massimo Gobbi
(Ordine Geologi Reg. Piemonte n° 453 Sez.A)
Reg. Cesolo 1, Borgosesia (VC)
Tel. 0163-209163



Il Tecnico: Dott. Geol. Massimo Gobbi



Prot. n.

Massimo Gobbi

Prot. dell'Ente:

Estremi atto di approvazione progetto:

INDICE:

INTRODUZIONE	2
Inquadramento geografico e cartografico	2
Vincoli di carattere geologico	2
Classificazione sismica	2
Vincolo idrogeologico (R.D.L. 30/12/1923 n° 326, L.R. 9/8/1989 n°45).....	2
Piano per l'assetto idrogeologico del bacino del Fiume Po (PAI) e Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)	3
Piano regolatore comunale	4
INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	6
Geologia e geomorfologia	6
Idrogeologia	7
CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	9
Modello sismico	9
Indagine sismica a rifrazione.....	10
Indagine sismica HVSR.....	14
Indagine REMI.....	20
Tomografia elettrica	21
Sovrapposizione indagini.....	23
CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA SITO SPECIFICA	25
Quadro geologico locale.....	25
Intervento C.....	25
Intervento A-B-D-E-F.....	27
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI E DEGLI AMMASSI ROCCIOSI.....	31
Terreni 31	
Ammassi rocciosi.....	31
Classificazione dell'ammasso roccioso	34
VERIFICHE DI STABILITA'	39
Premessa.....	39
Introduzione all'analisi di stabilità.....	39
Metodo equilibrio limite (LEM).....	39
Metodo di analisi utilizzato: Janbu (1967)	40
Risultati della verifica.....	46

ALLEGATI:

1 CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

2 SEZIONE GEOLOGICA

INTRODUZIONE

Il Comune di Boccioleto tramite la Regione Piemonte - Direzione Opere pubbliche, difesa del suolo, protezione civile, trasporti e logistica, ha ottenuto un finanziamento con OOCDCPC n° 615, n°622/2019 e n°674/2020 sul Programma di interventi extra FSUE a valere sul fondo per le emergenze nazionali - Evento Alluvionale del 21-25 novembre 2019.

Il finanziamento è finalizzato ai LAVORI DI CONSOLIDAMENTO MURO DI SOSTEGNO DELLA SOTTOSCARPA DELLA STRADA COMUNALE DELLA VALLE E REALIZZAZIONE SISTEMA DI RACCOLTA ED ALLONTANAMENTO DELLE ACQUE DI VERSANTE per un importo complessivo di € 297.000,00.

La presente relazione viene realizzata in ottemperanza della legislazione vigente, con particolare riguardo alla seguente normativa:

- Decreto Ministeriale 17.01.2018 – “Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. Circolare 21 gennaio 2019.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007.
- Eurocodici 7 e 8.

Inquadramento geografico e cartografico

Gli interventi in progetto sono collocati lungo la strada comunale “della Valle” e hanno la seguente ubicazione:

COMUNE	LOCALITA'	QUOTA DEL SITO	N.C.T.	C.T.R. PIEMONTE	I.G.M.I.	COORDINATE WGS84	
						X	Y
BOCCIOLETO	STRADA DELLA VALLE	690-715 m s.l.m.	Foglio 25, mapp.li vari	072140	Tav. III NE “Scopa”, Foglio 30	429701	5075503

Vincoli di carattere geologico

L'area esaminata presenta una serie di vincoli dal punto di vista geologico, che devono essere considerati nella fase progettuale per delineare gli interventi e le attività realizzabili; la vincolistica deriva dagli strumenti di pianificazione di diverso livello che sono:

- Classificazione sismica
- Vincolo idrogeologico (R.D.L. 30/12/1923 n° 326, L.R. 9/8/1989 n°45)
- Piano per l'assetto idrogeologico del bacino del Fiume Po (PAI) e Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)
- Piano Regolatore Comunale

Classificazione sismica

Per quanto riguarda la classificazione sismica amministrativa (Ordinanza del Presidente del Consiglio n. 3274 del 20 marzo 2003 - Deliberazione della Giunta Regionale 19 gennaio 2010, n. 11-13058), il comune di Boccioleto si colloca in classe 4 sismica.

Vincolo idrogeologico (R.D.L. 30/12/1923 n° 326, L.R. 9/8/1989 n°45)

L'area di intervento ricade all'interno del vincolo.

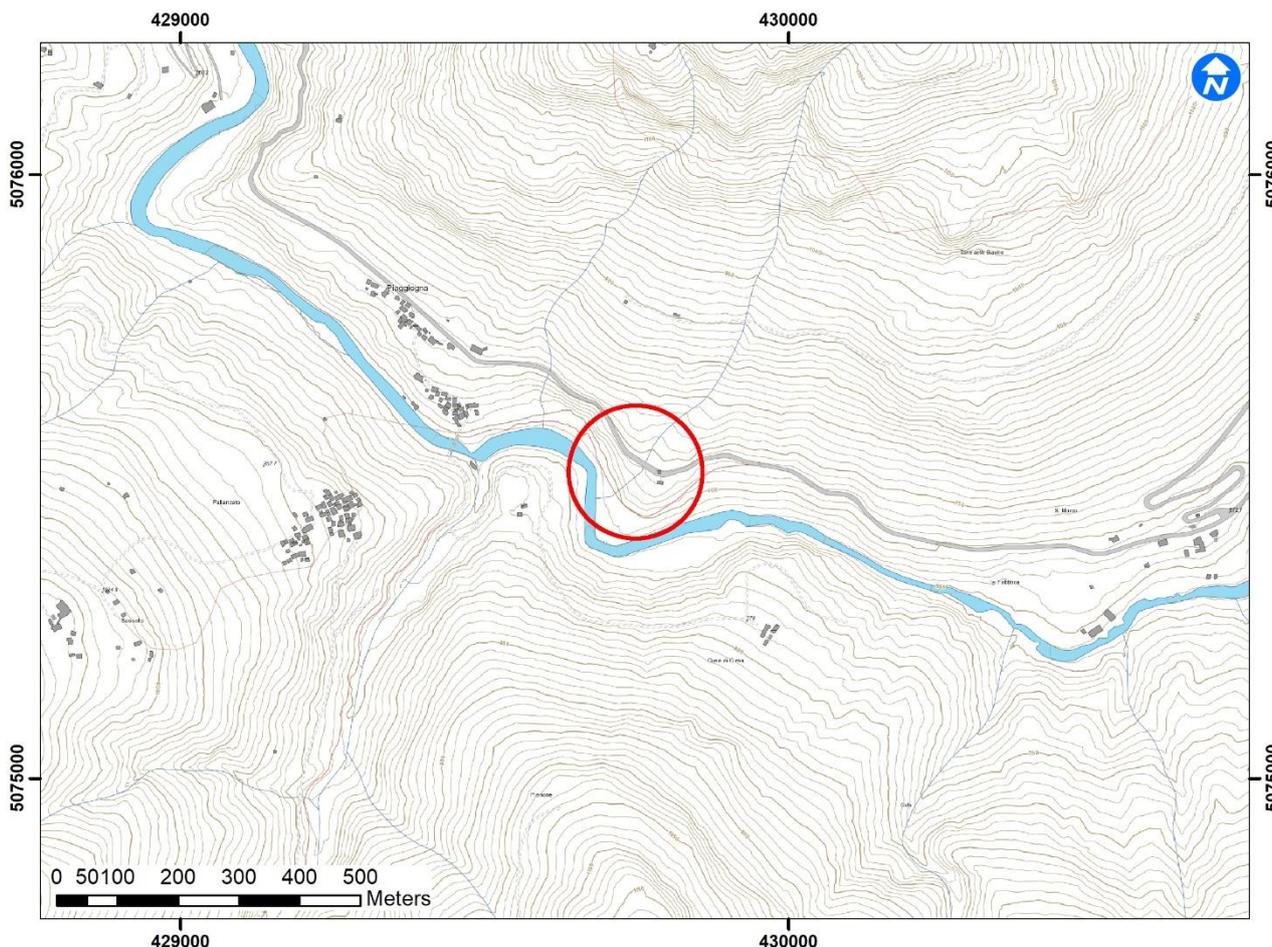


Figura 1 - Inquadramento dell'area di intervento su sfondo cartografico di riferimento della Regione Piemonte

Piano per l'assetto idrogeologico del bacino del Fiume Po (PAI) e Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)

La Direttiva Europea 2007/60/CE, recepita nel diritto italiano con D.Lgs. 49/2010, ha dato avvio ad una nuova fase della politica nazionale per la gestione del rischio di alluvioni, che viene attuata attraverso la formazione del Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA), il quale dirige l'azione sulle aree a rischio più significativo, organizzate e gerarchizzate rispetto all'insieme di tutte le aree a rischio e definisce gli obiettivi di sicurezza e le priorità di intervento a scala distrettuale, in modo concertato fra tutte le Amministrazioni e gli Enti gestori. L'area del distretto idrografico padano è gestita dall'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po che, con delibera del Comitato Istituzionale, ha adottato ed approvato il PGRA (deliberazione n.2/2016 del 3 marzo 2016).

Successivamente la Regione Piemonte ha reso vigente in maniera definitiva il PGRA con delibera della Giunta Regionale del 30 luglio 2018, n. 25-7286, che riporta le *"Disposizioni regionali riguardanti l'attuazione del Piano di gestione rischio alluvioni (PGRA) nel settore urbanistico (art. 58 Norme di Attuazione PAI, integrate dal Titolo V), le attività per i comuni non ancora adeguati al PAI e l'aggiornamento del quadro del dissesto a seguito di eventi calamitosi"*.

Pertanto l'analisi degli elaborati relativi alla pericolosità idraulica del PGRA ha rilevato che l'area di intervento si colloca all'esterno delle aree interessate dagli scenari di alluvioni.

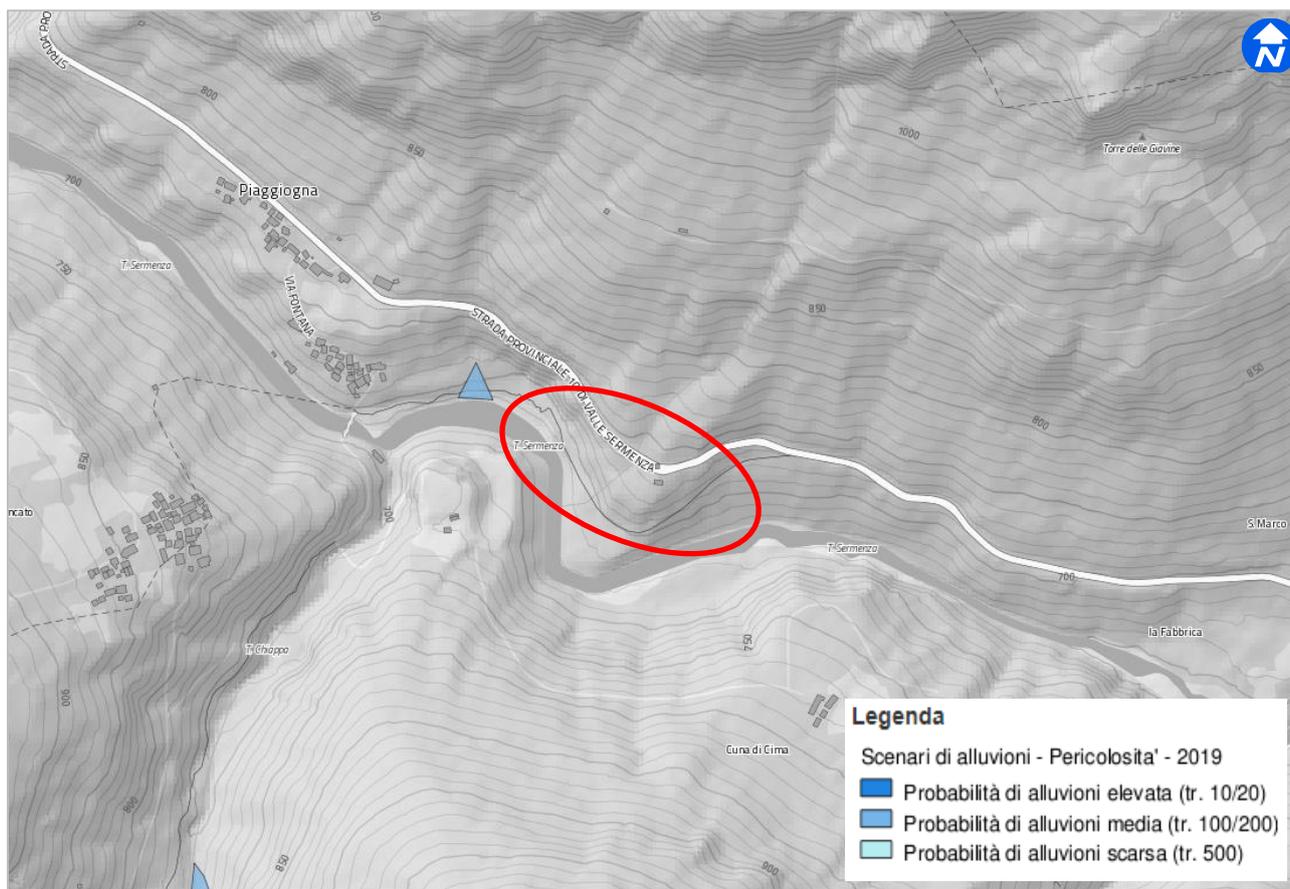


Figura 2 - Stralcio del Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) con ubicazione dell'area di intervento (non in scala)

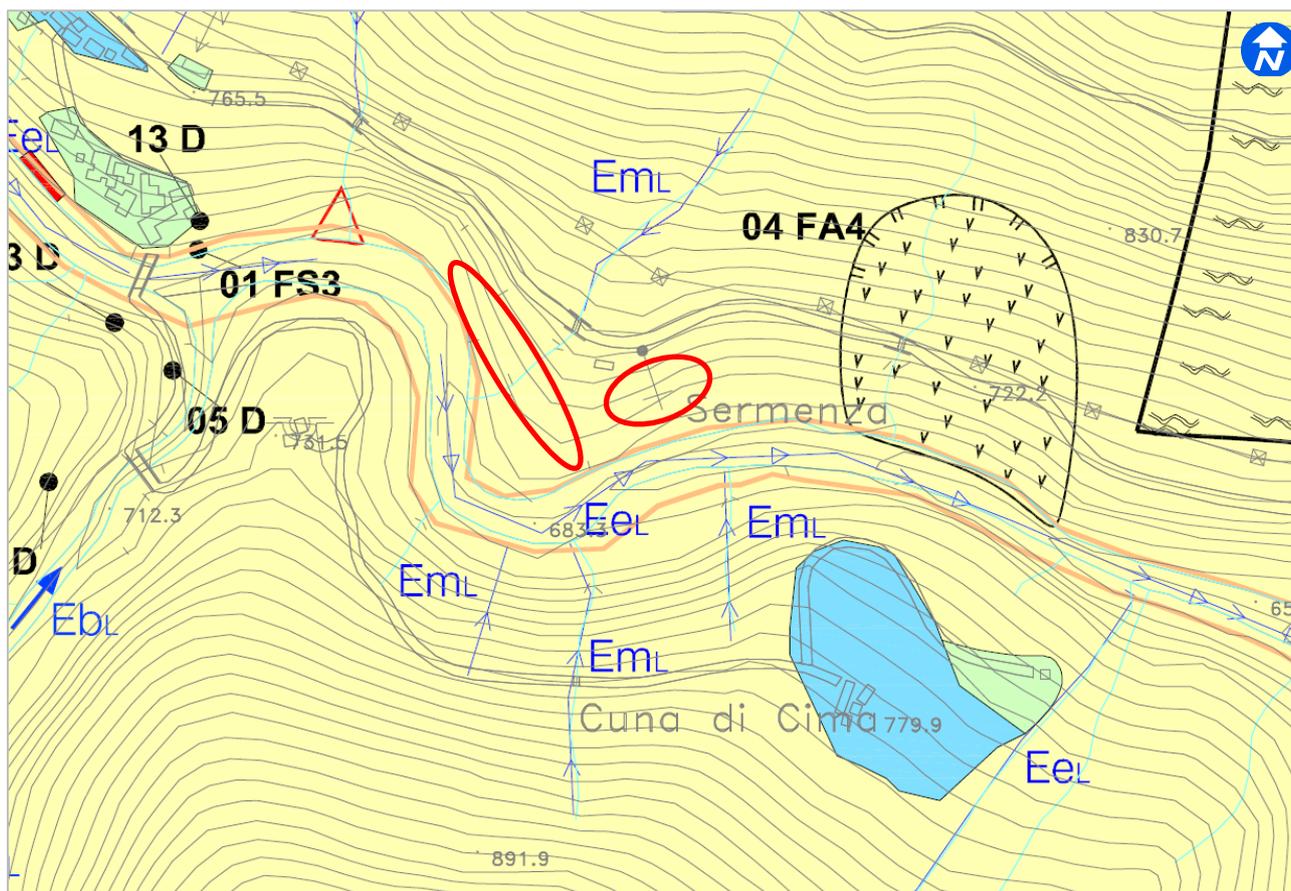
Piano regolatore comunale

Il Comune di Boccioleto è dotato di Piano Regolatore redatto secondo le specifiche tecniche previste dalla Circolare del Presidente della Giunta Regionale dell'8 maggio 1996, n° 7/LAP.

Dal punto di vista della pericolosità geologica e della idoneità urbanistica l'area oggetto di intervento si colloca all'interno della seguente classe:

Classe IIIa: Porzioni di territorio inedificate che presentano caratteri geomorfologici o idrogeologici che le rendono inadatte a nuovi insediamenti. Per le opere infrastrutturali di interesse pubblico non altrimenti localizzabili, vale quanto indicato all'Art. 31 della Legge Regionale 56/77".

Osservando gli elaborati geologici del P.R.G.C. si osserva che l'area oggetto di intervento è interessata da n.1 dissesto lineare Eml: si tratta del Rio Tra de Foi.



CLASSE DI SINTESI:



area di intervento



CLASSE IIIa
Porzioni di territorio inedificate che presentano caratteri geomorfologici o idrogeologici che le rendono inadatte a nuovi insediamenti. Per le opere infrastrutturali di interesse pubblico non altrimenti localizzabili, vale quanto indicato all'art. 31 della L.R. 56/77. Fasce di rispetto dai corsi d'acqua, ai sensi del R.D. 25 luglio 1904, n.523 [vedi Circolare del Presidente della Giunta della Regione Piemonte 8 ottobre 1998, n. 14/LAP/PET]

FORME E PROCESSI GEOMORFOLOGICI:



Conoide alluvionale

Tipi di processi prevalenti	Intensità del processo	Codice	
Lineari	Molto elevata	EeL	
	Elevata	EbL	
	Media/Moderata	Eml	



Area sottoposta all'onda di piena in caso di crollo della diga di Rimasco; modellazione realizzata dal Settore Protezione Civile della Regione Piemonte.

Figura 3 – Stralcio della carta di sintesi del Comune di Bocchieleto (Tav.8) con relativa legenda ed ubicazione dell'area oggetto di intervento (non in scala)

INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Geologia e geomorfologia

Dal punto di vista geologico-strutturale la zona di Boccioleto risulta compresa nella pila delle falde Europa-vergenti della catena alpina e in particolare all'interno del sistema Austroalpino. Quest'ultimo è costituito dalla Zona Sesia-Lanzo, grande elemento interno delimitato a SE dalla linea del Canavese, e da numerosi lembi di ricoprimento esterni; pertanto l'Austroalpino è definibile come un tipico sistema composito, formato da un elemento inferiore ubiquitario e da un elemento superiore, che è presente solo nella Zona Sesia-Lanzo (Il Zona diorito-kinzigitica) e nei lembi della Serie di Valpelline.

Il territorio di Boccioleto è praticamente tutto compreso nella Zona Sesia-Lanzo, che dal punto di vista litologico è costituita in prevalenza da parascisti polimetamorfici (varisici+alpini) e da corpi intrusivi acidi e basici tardo paleozoici, con trasformazioni metamorfiche alpine; si tratta cioè di rocce micascistose o gneissiche eclogitiche.

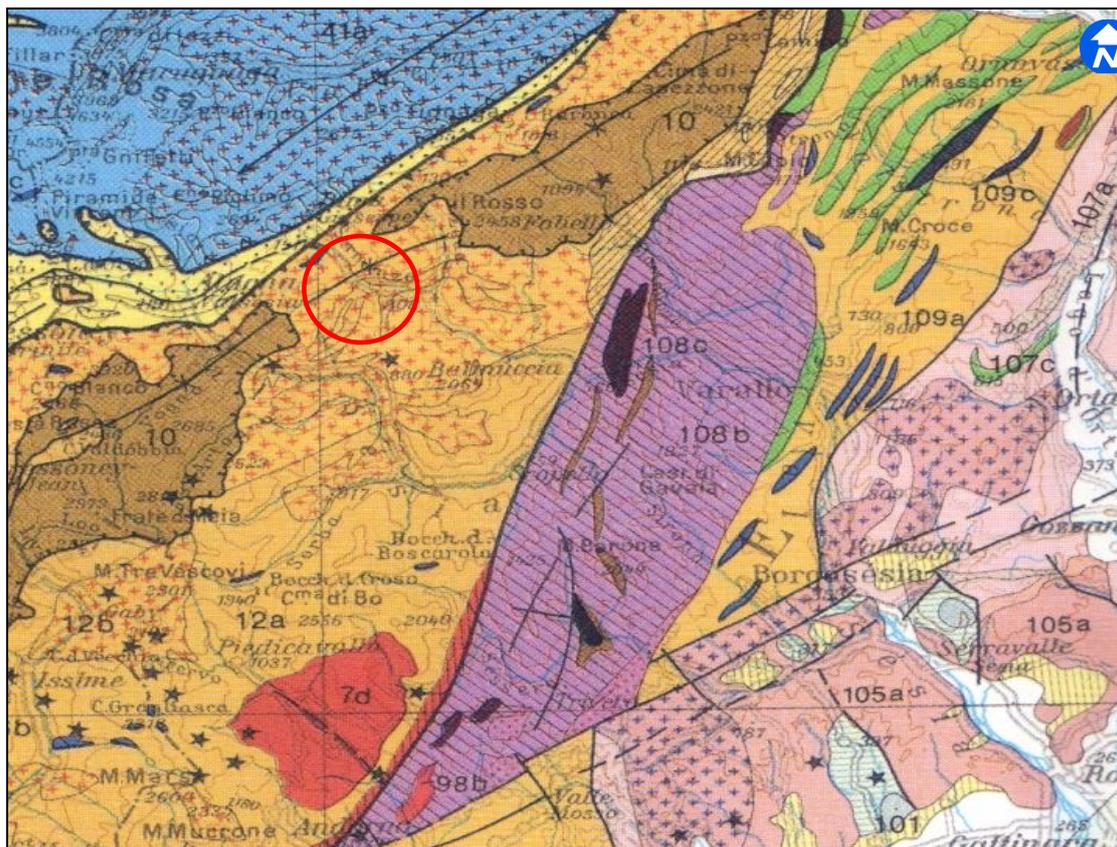
Le rocce del substrato affiorano in prevalenza nell'area, anche se sono presenti depositi di copertura sciolta, costituiti dai sedimenti di origine glaciale e da quelli dovuti allo smantellamento delle unità cristalline come i detriti di falda ed eluvio-colluviali; di estensione areale decisamente più modesta sono i depositi alluvionali, concentrati nella limitata incisione fluviale del Torrente Sermenza.

Per quanto riguarda i depositi glaciali essi sono prevalentemente costituiti da residui morenici e da depositi fluvio-glaciali, formati da un ramo del ghiacciaio sesiano durante l'ultima glaciazione; geomorfologicamente sono distribuiti in diverse plaghe a varie quote e tendono ad addolcire le aree che ricoprono; nel caso dei depositi fluvio-glaciali essi formano piccoli ripiani subpianeggianti (terrazzi), i cui limiti sono sottolineati da orli morfologici. Litologicamente i depositi morenici sono costituiti da brecce e sabbie con blocchi anche di notevole dimensione, immersi in una matrice fine limoso-argillosa; i depositi fluvio-glaciali sono dati da ghiaie sabbiose o sabbie, talora anche fini.

Per quanto riguarda i detriti di falda si tratta di materiali di distacco dalle pareti rocciose depositati alla base dei versanti secondo fasce allungate o lungo i versanti stessi nelle porzioni meno acclivi. Geneticamente la loro formazione è da imputare all'azione di disgregazione effettuata dagli agenti geomorfologici e, a partire dall'arretramento del ghiacciaio, dalla decompressione delle pareti liberate dalla massa glaciale. Litologicamente sono costituiti da pietrisco e brecce di varia pezzatura, talora immersi in materiale più fine, tanto da formare, in casi limitati, una fascia pedogenizzata con materiale organico favorevole all'impostazione di vegetazione anche di alto fusto.

Talora sia le formazioni rocciose che quelle sciolte possono subire fenomeni di alterazione in posto con minimi apporti di materiale dall'esterno, andando così a formare dei complessi definibili come depositi eluvio-colluviali; dal punto di vista stratigrafico queste coltri sciolte possono essere differenziate in tre livelli, talora non sempre tutti presenti: un orizzonte superficiale di pochi centimetri dato da materiale fine organico con limo e piccoli ciottoli; un orizzonte intermedio dato da limo, argilla e sabbia con rari ciottoli; un orizzonte basale formato da pietrisco e blocchi immersi in una matrice sabbiosa con limo.

Data la natura aspra del territorio sono presenti numerosi fenomeni di dissesto, talora anche di dimensione notevole; i processi sono collegati all'azione dei corsi d'acqua (conoidi, erosioni), della gravità (frane) e delle precipitazioni nevose (valanghe). Tali processi rendono la zona piuttosto sensibile agli interventi antropici, condizionando la possibilità di insediamenti abitativi e la realizzazione di infrastrutture; la cura del territorio risulta pertanto decisiva per il contenimento dei rischi connessi all'evoluzione geomorfologica dell'area.



Unità tettoniche in successione da SE a NW e dall'alto al basso:

Alpi Meridionali. Serie dei Laghi: coperture plioceniche (93a) e triassico-liassiche (101), porfidi permiani (105a), graniti permiani dei Laghi (105b), micascisti e paragneiss (106) con intercalazioni di anfiboliti (107c) e di ortogneiss granitici (107a); Zona Ivrea-Verbanò: kinzigiti (109a) con intercalazioni di metabasiti (109b) e marmi (bleu), complesso gabbrico stratificato (108b), peridotiti di mantello (108c).

Zona del Canavese. Coperture mesozoiche, vulcaniti permiane, plutoniti e basamento (8).

Austroalpino. 2a Zona diorito-kinzigitica e Serie di Valpelline (10); complesso dei micascisti eclogitici (12a) con associati metagranitoidi (12b); complesso degli gneiss minuti/gneiss di Arolla (11b) e gabbri ensialici (11c); Scisti di Fobello e Rimella (11d); Zona di Roisan (11a).

Zona Piemontese. Calcescisti indifferenziati (35a), metabasalti (33c), metagabbri (33a), serpentiniti (34b).

Falde Penniniche. Monte Rosa-Gran Paradiso: gneiss occhiadini (41a), parascisti (39a), complesso di Money (38b). Sistema del Gran San Bernardo: basamento polimetamorfo (44a), gneiss occhiadini (44b), parascisti (43a) e corpi eruttivi (43c) delle unità interne, zone houillère (47a) e coperture brianzonesi (42). Zona Sion-Courmayeur (52). Unità Penniniche inferiori dell'Ossola-Ticino: ortogneiss granitici e minori parascisti (53a), coperture mesozoiche scollate e calcescisti vallesani (55a); micascisti di Baceno e calcescisti di Varzo (56a).

Unità Elvetiche e Ultraelvetiche. Ultraelvetiche: porfiroidi del M. Chetif e sequenze sedimentarie indifferenziate (63); Elvetiche: falde elvetiche (64a), granito (75b) e parascisti (78b) del M. Bianco.

Magmatismo oligocenico. Plutoni di Biella-Traversella (7d) e Miagliano (98b), vulcaniti (6a), filoni (stelle).

Figura 4 - Carta tettonica delle Alpi Occidentali

Idrogeologia

In funzione delle caratteristiche litologiche e tessiture delle unità presenti si possono distinguere diversi complessi aventi comportamento geoidrologico omogeneo. Per quanto riguarda la definizione di complessi idrogeologici omogenei, va considerato che il flusso idrico sotterraneo avviene con modalità ed intensità estremamente variabili, in base al tipo ed al grado di permeabilità.

Le formazioni litoidi hanno una permeabilità di tipo secondario, dipendente dal grado di fratturazione della roccia si può pertanto affermare che la permeabilità del substrato roccioso sia generalmente caratterizzata da valori bassi o molto bassi,

mentre valori relativamente più elevati si hanno in corrispondenza delle zone intensamente fratturate.

I materiali di copertura o i depositi sciolti sono invece caratterizzati da una permeabilità di tipo primario, dovuta alla porosità efficace del deposito; la composizione granulometrica ed il grado di addensamento dei depositi sono gli elementi che, in prima approssimazione, permettono di distinguere corpi con diversa permeabilità.

Qui di seguito vengono distinti i vari tipi di complessi idrogeologici, aventi comportamento omogeneo, individuabili all'interno del territorio di Boccioleto:

- depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi, grossolani, alterati o inalterati, contraddistinti da elevata permeabilità per porosità primaria;
- depositi detritici grossolani, inalterati, con elevata permeabilità per porosità primaria;
- depositi morenici, aventi granulometria eterogenea, contraddistinti da permeabilità per porosità primaria di grado variabile da bassa ad elevata a seconda della presenza della frazione fine;
- substrato roccioso generalmente impermeabile, ma localmente caratterizzato da discreto grado di permeabilità per porosità secondaria indotta da alterazione o fratturazione.

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Modello sismico

Al fine di caratterizzare il sito dal punto di vista geofisico, è stata eseguita una caratterizzazione sito specifica della litostratigrafia del sottosuolo, nonché una valutazione delle condizioni sismostratigrafiche locali.

Per la comprensione dell'assetto sismostratigrafico locale sono state eseguite le seguenti indagini:

- n° 1 stendimento di sismica attiva con interpretazione di una rifrazione;
- n° 1 stendimento di sismica passiva con interpretazione di una REMI;
- n° 5 acquisizioni di sismica passiva HVSR;
- n° 1 stendimento di tomografia elettrica.



Figura 5 - Posizione indagini su Ortofoto AGEA 2015



Figura 6 – Riprese fotografiche in corrispondenza delle prove effettuate

Indagine sismica a rifrazione

Le indagini sismiche si basano sulla misura della velocità di propagazione delle onde elastiche in rocce e terreni. Le onde elastiche vengono create artificialmente per mezzo di esplosioni controllate o da altre tipologie di sorgenti e la loro propagazione viene rilevata in punti diversi tramite trasduttori che generano un segnale elettrico misurabile, corrispondente alla sollecitazione elastica del terreno nel punto di misura.

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la V_1 del primo mezzo come

$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

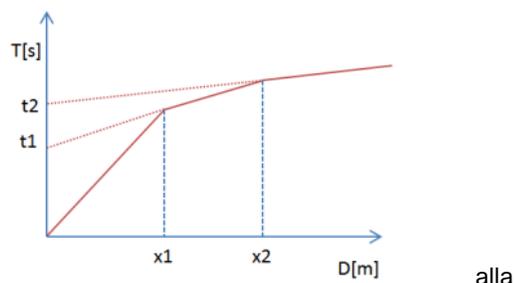
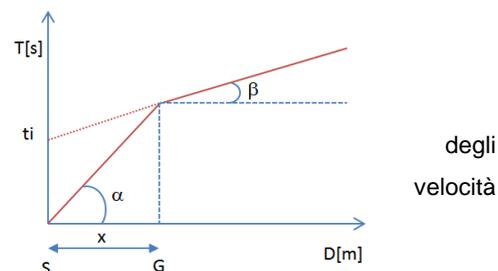
I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.

La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

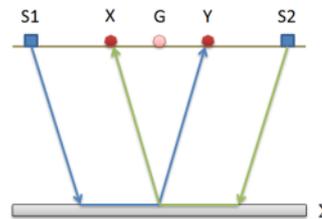
Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$



In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.

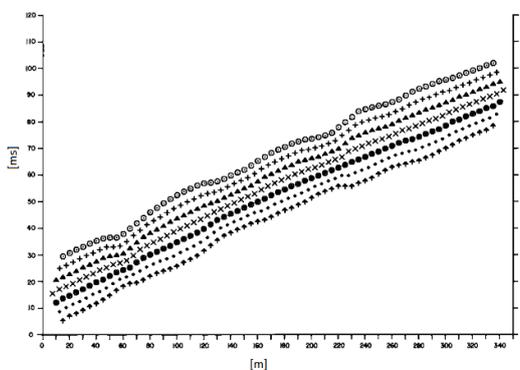


Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$

dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.



Il calcolo della funzione T_v viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

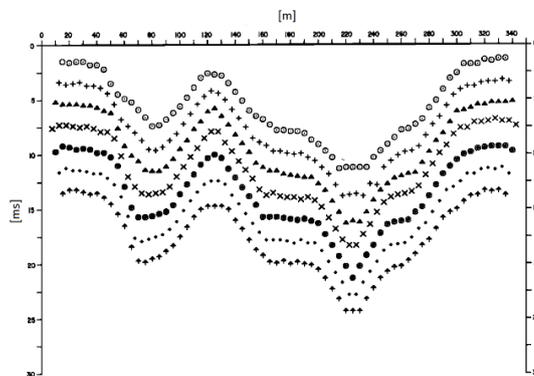
Dove V_n è la velocità del rifrattore.

Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle



semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°.

Nella casistica specifica d'indagine è stata eseguita un'analisi speditiva di sismica a rifrazione ribaltando il segnale acquisito con l'indagine masw, ipotizzando un andamento piano parallelo dei sismostrati; per un'analisi più dettagliata occorrerà quindi eseguire una specifica indagine eseguendo tutti punti di energizzazione. Si riportano di seguito i risultati ottenuti con la sismica a rifrazione.

Lo stendimento è stato eseguito con 2 battute esterne (offset di 2m) e 3 interne, utilizzando 12 canali con distanza intergeofonica di 4m, nella stessa posizione della REMI.

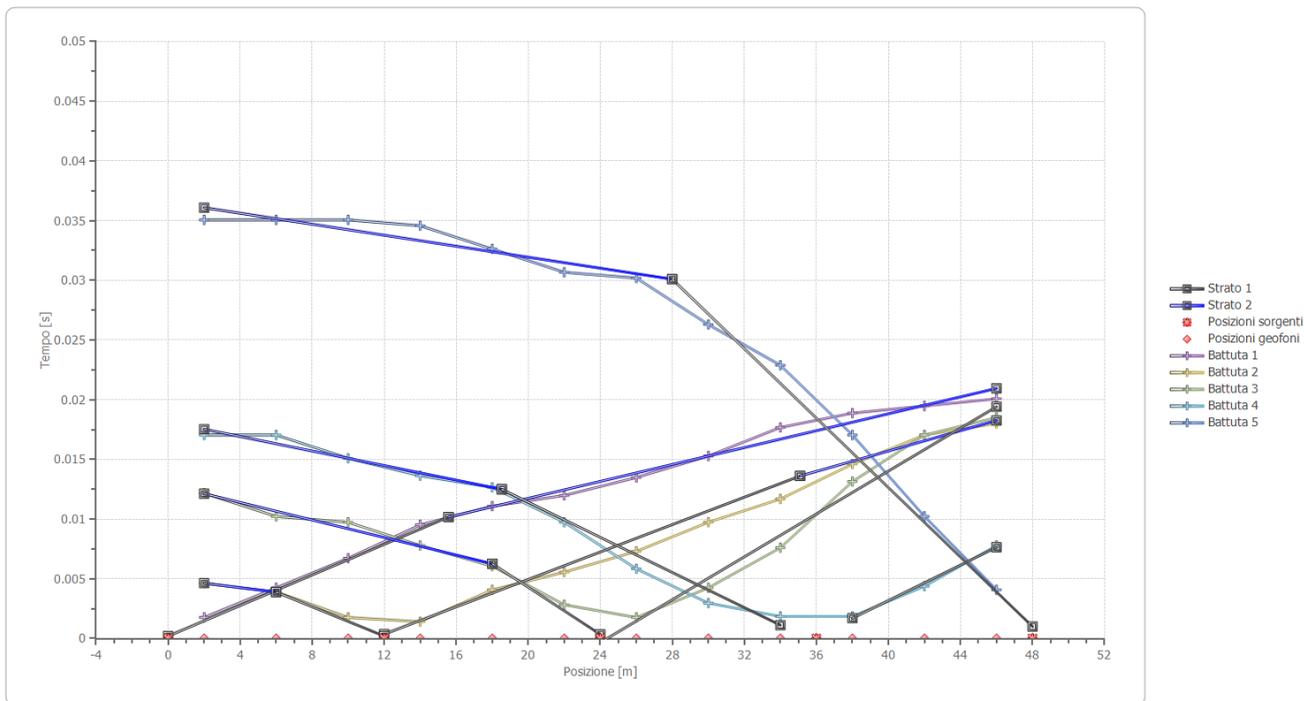


Figura 7 - Dromocrone

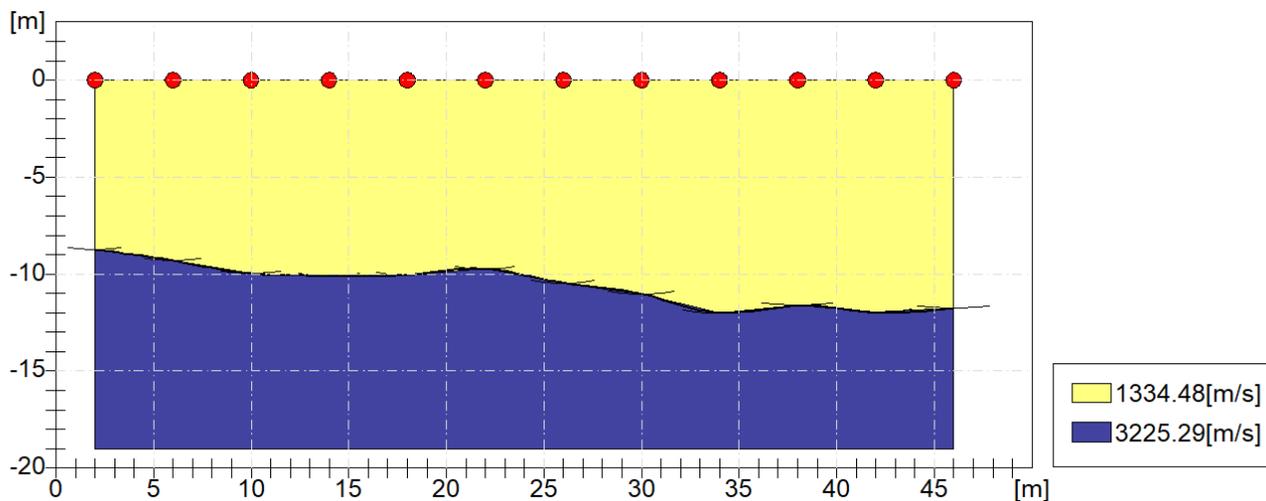


Figura 8 – Sezione sismica interpretativa

L'indagine ha permesso l'individuazione del bedrock, con una profondità di circa 9/11m dal piano stradale.

Indagine sismica HVSR

Per la caratterizzazione sismica del sito è stata eseguita un'indagine di superficie HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), con l'esecuzione di 3 acquisizioni HVSR.

Le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico o microtremore) sono onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-2} mm (Okada, 2003). L'origine del rumore sismico è di tipo ambientale (ad esempio dovuto alle perturbazioni atmosferiche sugli oceani che si propagano come onde superficiali sui continenti), mentre le sorgenti dei microtremori sono le attività antropiche e si propagano come onde superficiali di Rayleigh. L'analisi delle misure di rumore sismico che sembra fornire i risultati migliori è quello dei Rapporti spettrali H/V noto anche come metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o metodo di Nakamura.

L'indagine HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è un'indagine sismica passiva, sul terreno si rilevano i dati di velocità delle onde sismiche acquisiti da una terna geofonica orientata nelle tre direzioni che vengono poi elaborate e interpretate tramite software per l'ottenimento di alcuni parametri specifici; tramite questa indagine è possibile effettuare delle stime per l'individuazione dei seguenti parametri:

- Classificazione del terreno di fondazione in base alle attuali NTC (parametro V_{seq})
- Frequenza propria di risonanza del sito
- Ricostruzione stratigrafica del sottosuolo

All'interno dell'area di studio è stato condotto il rilievo dei microtremori con il tromografo Gemini 4,5 Hz della PASI S.r.l., per verificare le caratteristiche sismiche e stratigrafiche del terreno. Lo strumento utilizzato registra il rumore sismico ambientale presente nella superficie terrestre e generato da fenomeni atmosferici, dall'attività antropica e dall'attività dinamica terrestre.

I microtremori sono rappresentati da oscillazioni molto piccole (accelerazioni dell'ordine di $10^{-15}m/s^2$), che, attraversando strati con caratteristiche differenti (in termini di densità e velocità di propagazione delle onde), subiscono fenomeni di rifrazione, riflessione, attenuazione e altri.

Questi fenomeni sono tali per cui un'onda che viaggia all'interno di un mezzo e viene riflessa da una superficie di discontinuità interferisce con le onde incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime quando la lunghezza d'onda incidente è pari a 4 volte lo spessore h dello strato (condizione di risonanza). La frequenza di risonanza è legata allo spessore (h) e alla velocità delle onde di taglio V_s del primo strato (V_{s1}) dalla seguente relazione:

$$f_r = V_{s1}/4h$$

Utilizzando la formula sopra esposta si evince che conoscendo la profondità di una discontinuità (trovata ad esempio attraverso indagini dirette quali prove penetrometriche) e la frequenza fondamentale del terreno in superficie (fornita dal tromografo) è possibile risalire alla velocità delle onde S del terreno. Una volta ricavato il valore di V_s , è possibile ricostruire la stratigrafia dell'area e l'andamento delle discontinuità, se presenti.

La tecnica HVSR consiste nella valutazione dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e verticali del moto ed è in grado di fornire in buona approssimazione il contenuto in frequenza del segnale dei microtremori. Nello specifico sono state realizzate 3 acquisizioni che hanno restituito risultati tra loro molto simili a conferma di una regolare esecuzione delle stesse.

L'indagine HVSR permette l'individuazione delle frequenze di risonanza caratteristiche del sito, oltre alla ricostruzione dell'andamento delle velocità sismiche nel sottosuolo; durante la procedura di elaborazione è stato possibile verificare che sono stati rispettati i "CRITERI SESAME".

Si riportano di seguito le immagini caratteristiche delle indagini eseguite.

I segnali acquisiti, come visualizzabile nei grafici frequenze su rapporto H/V, sono qualitativamente accettabili e permettono la chiara visualizzazione dei picchi caratteristici.

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato in primo luogo il software Geopsy per la prima elaborazione del segnale per poi passare al software opensource OpenHVSR: imaging the subsurface 2D/3D elastic properties through multiple HVSR

modeling and inversion (Author [S.Bignardi](#), [A.Mantovani](#), [N.Abu Zeid](#)).

Si riportano a seguire le caratteristiche di acquisizione. I grafici frequenza/H/V sono tutti coerenti, con variabilità del picco caratteristico a minor frequenza a conferma di una variabilità laterale del passaggio al basamento cristallino, dell'ordine metrico.

HV1

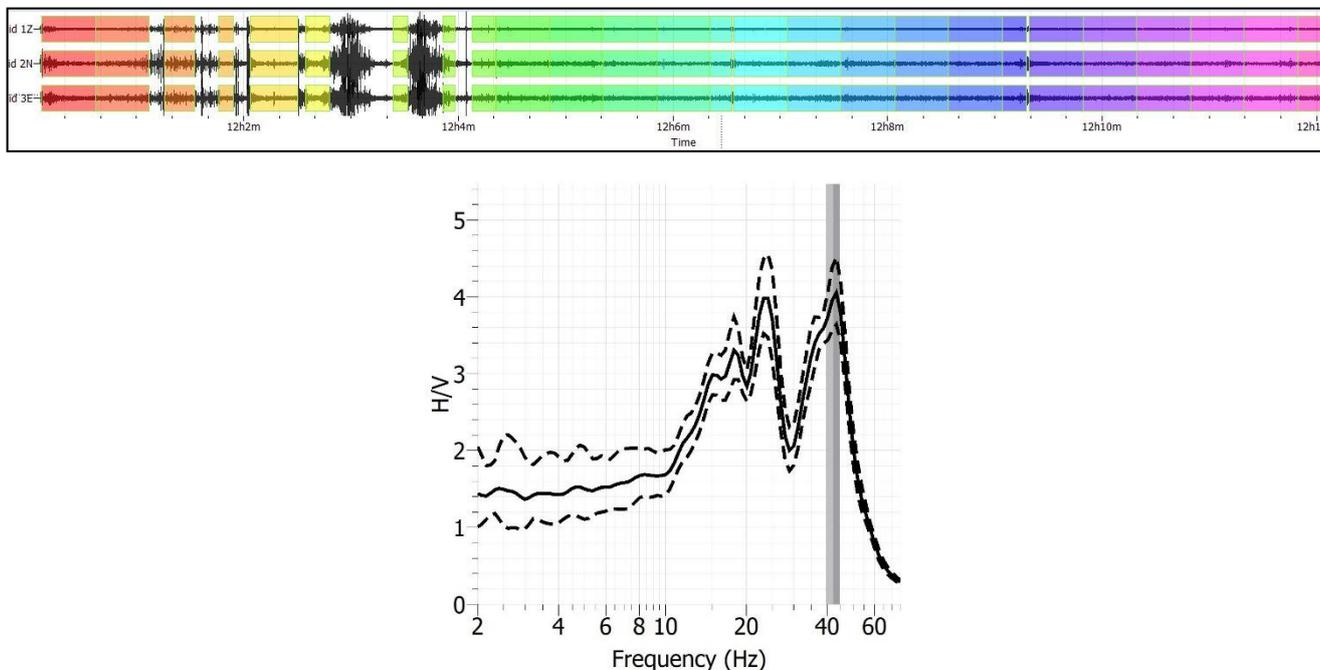


Figura 9 - Dati di acquisizione della prova HVSR1

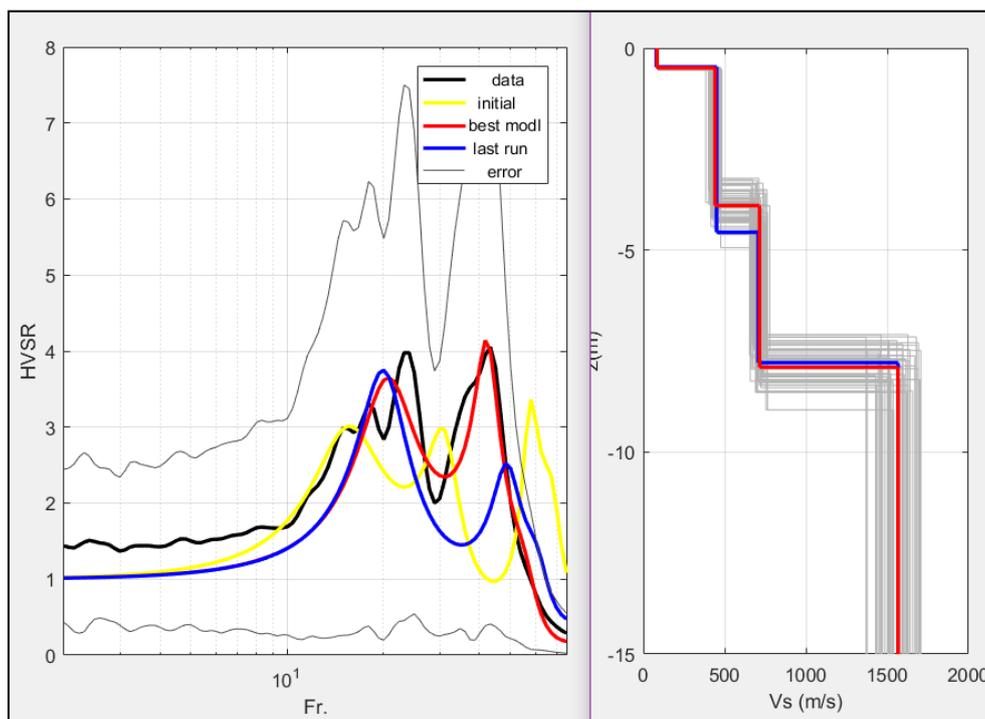


Figura 10 - Elaborazioni dei segnali di sismica passiva HVSR1

HV2

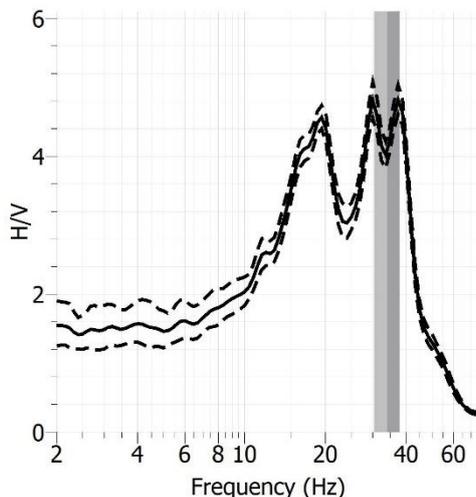
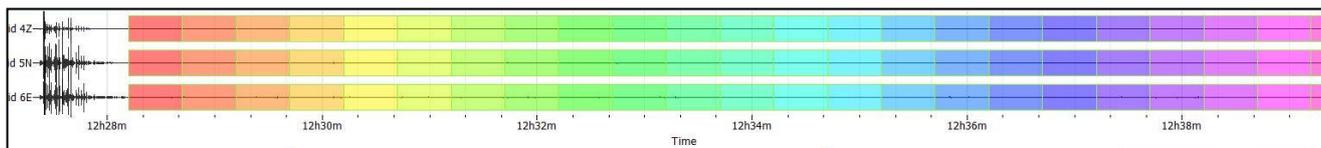


Figura 11 - Dati di acquisizione della prova HVSR2

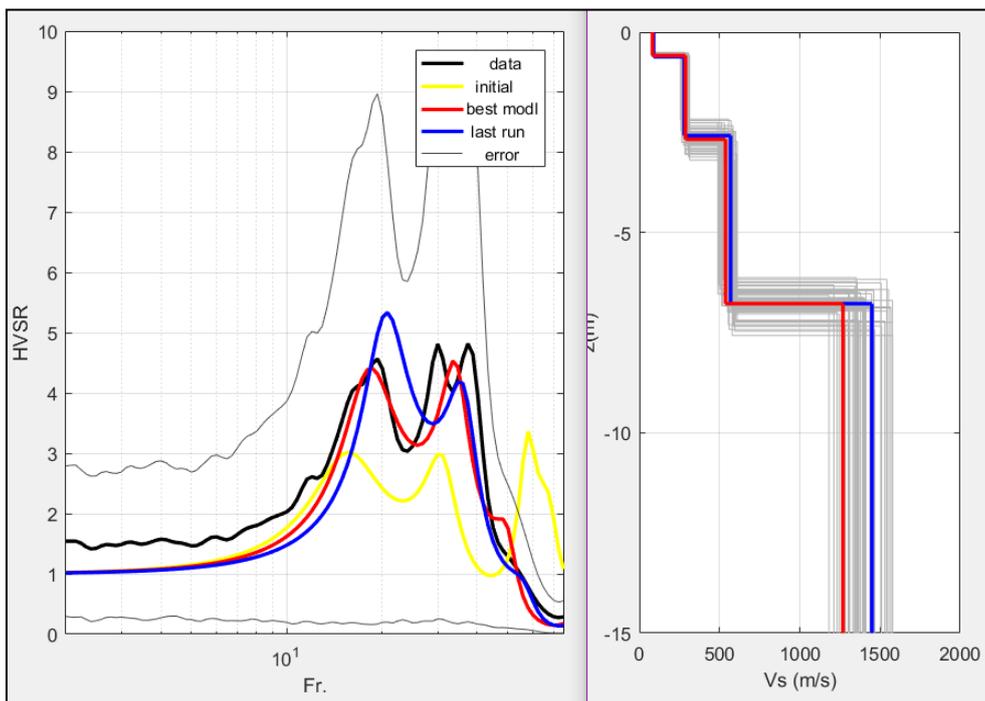


Figura 12 - Elaborazioni dei segnali di sismica passiva HVSR2

HV3

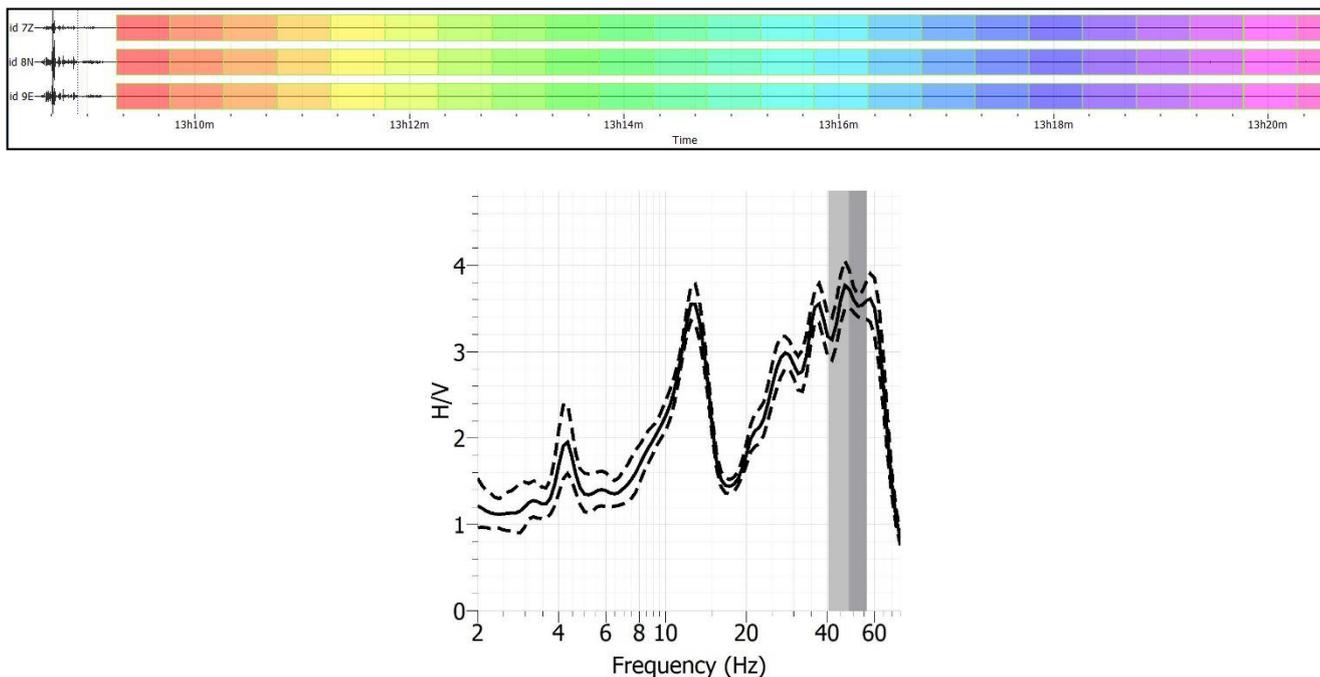


Figura 13 - Dati di acquisizione della prova HVSR3

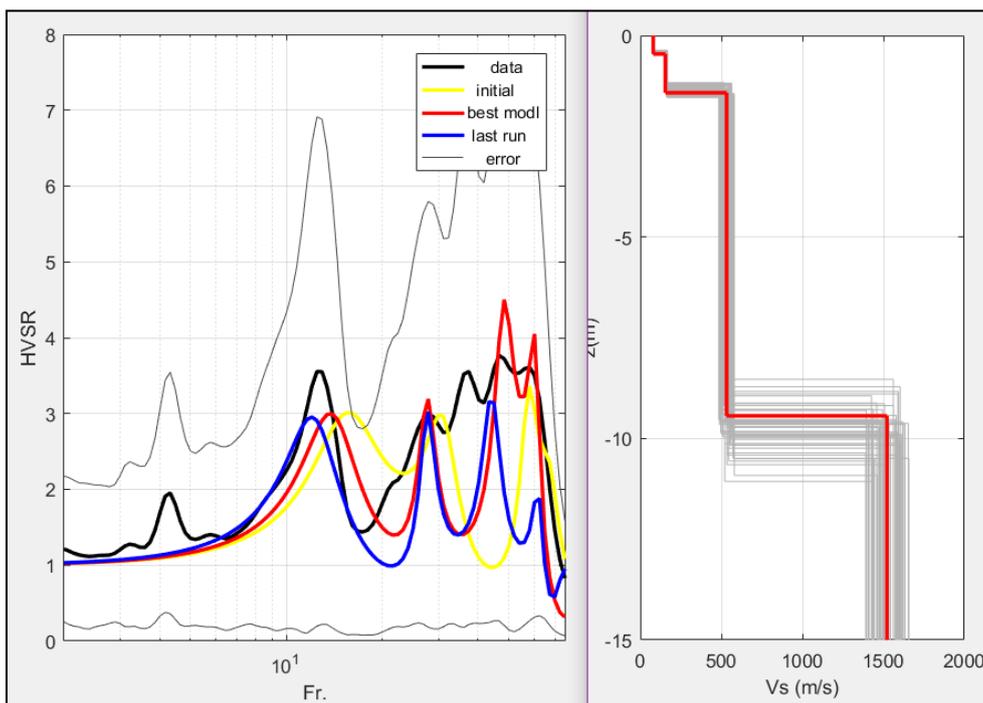


Figura 14 - Elaborazioni dei segnali di sismica passiva HVSR3

HV4

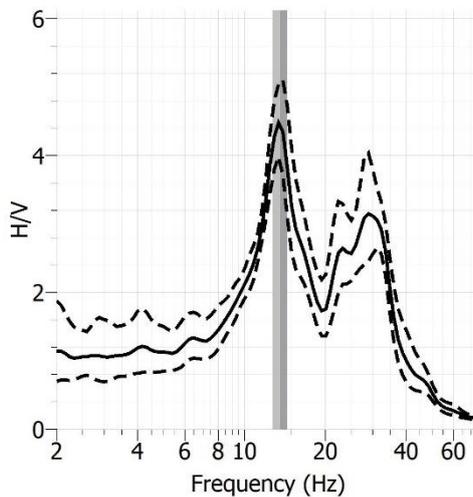
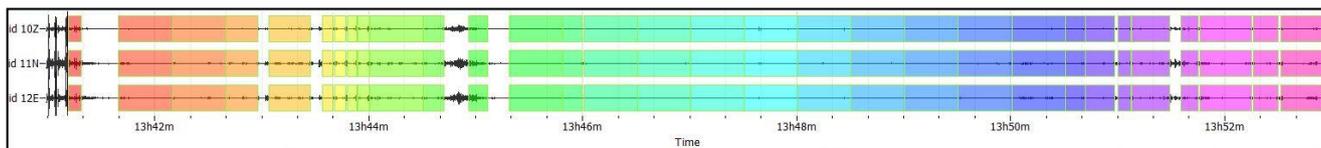


Figura 15 - Dati di acquisizione della prova HVSR4

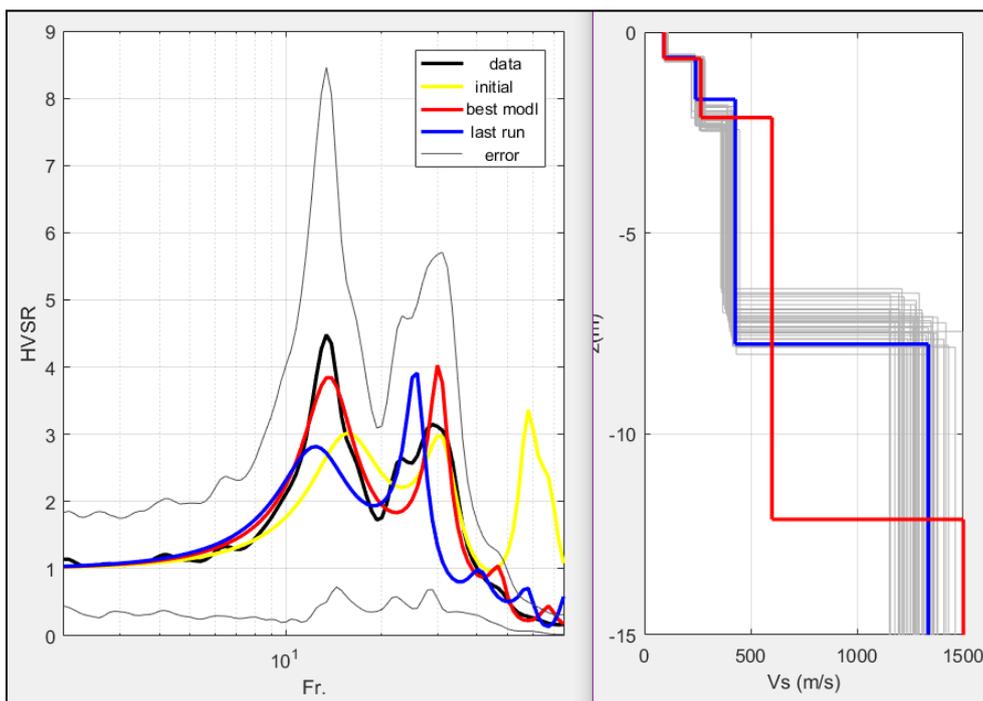


Figura 16 - Elaborazioni dei segnali di sismica passiva HVSR4

HV5

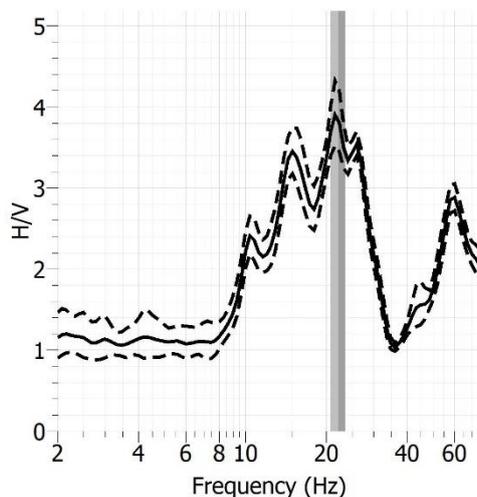
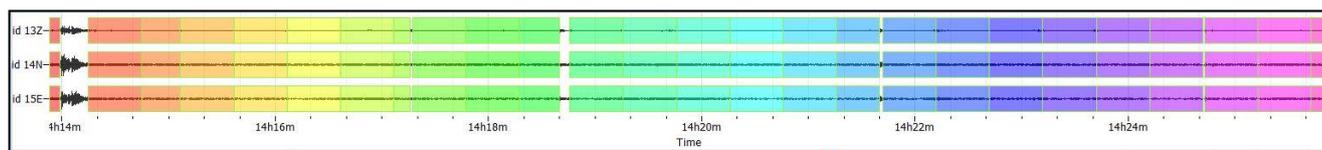


Figura 17 - Dati di acquisizione della prova HVSR5

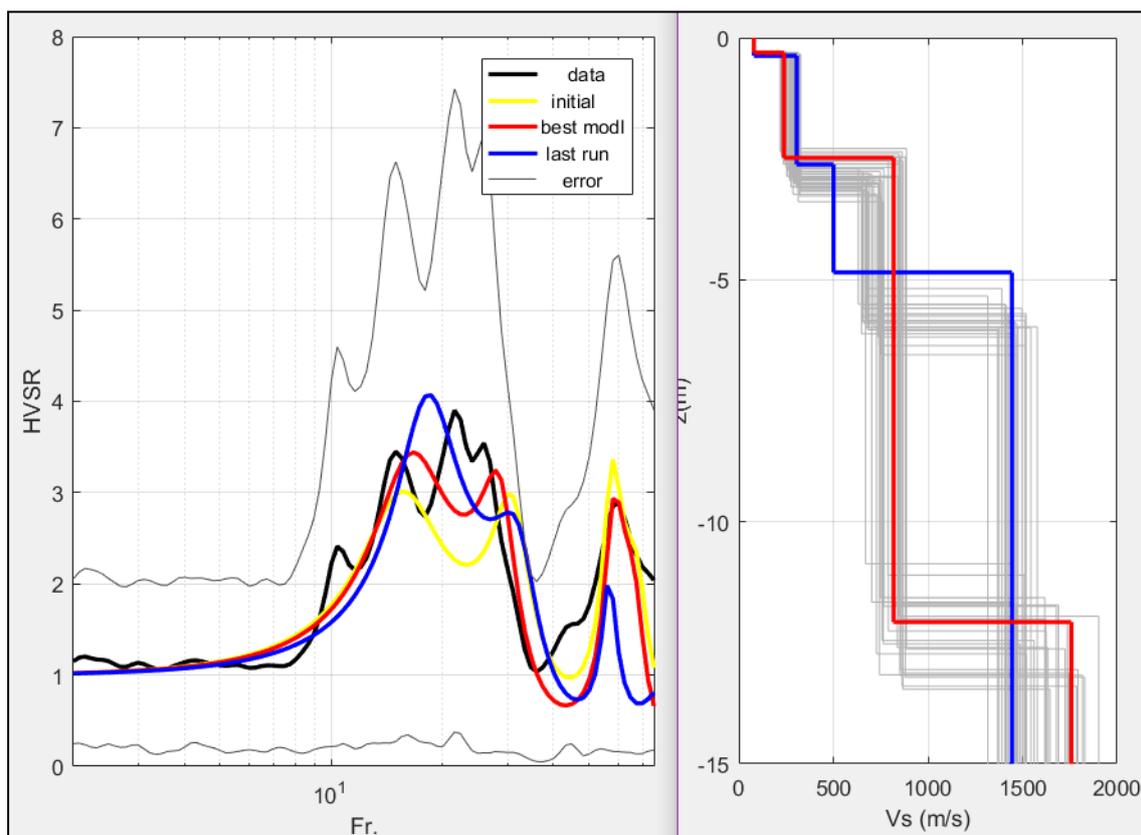


Figura 18 - Elaborazioni dei segnali di sismica passiva HVSR5

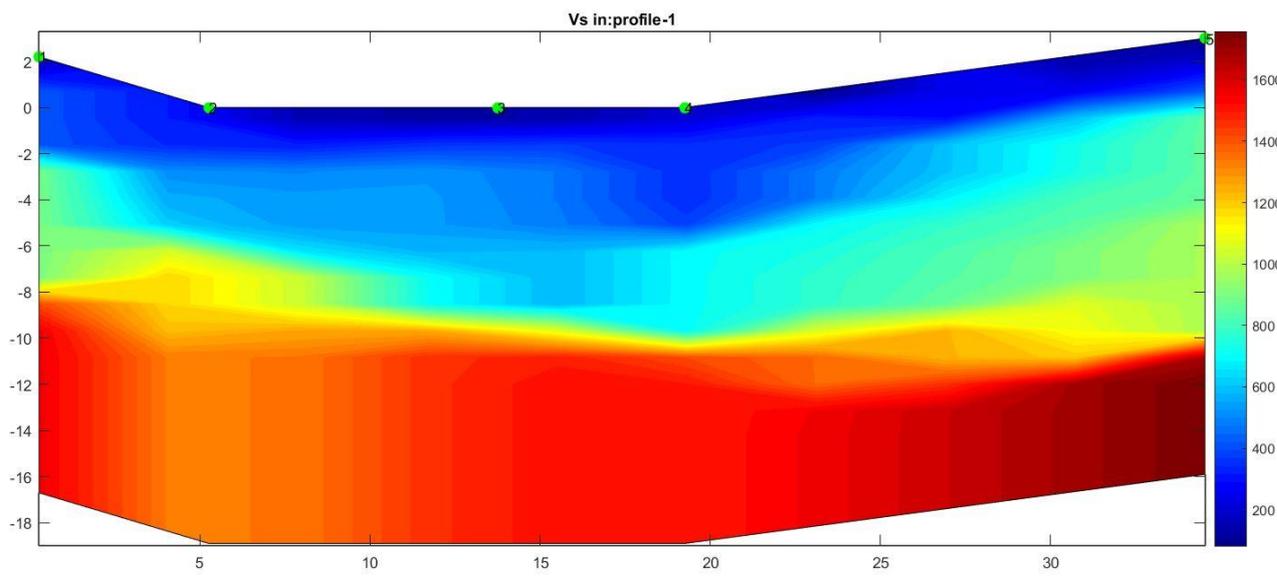


Figura 19 - Sezione sismica (Vs) interpretativa

Indagine REMI

L'analisi dei microtremori è stata effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione (a geofono singolo) disposta sul terreno con array lineare, nello stesso stendimento in cui è stata eseguita l'indagine masw e la sismica a rifrazione.

Si possono registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 25-30Hz fino a 2 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle Vs relativamente ai primi cento metri di profondità.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency" (p-f) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentarne lo spettro di potenza su un grafico p-f; nello specifico è stato utilizzato lo stesso software con cui è stata elaborata ma MASW, che permette anche l'elaborazione delle REMI.

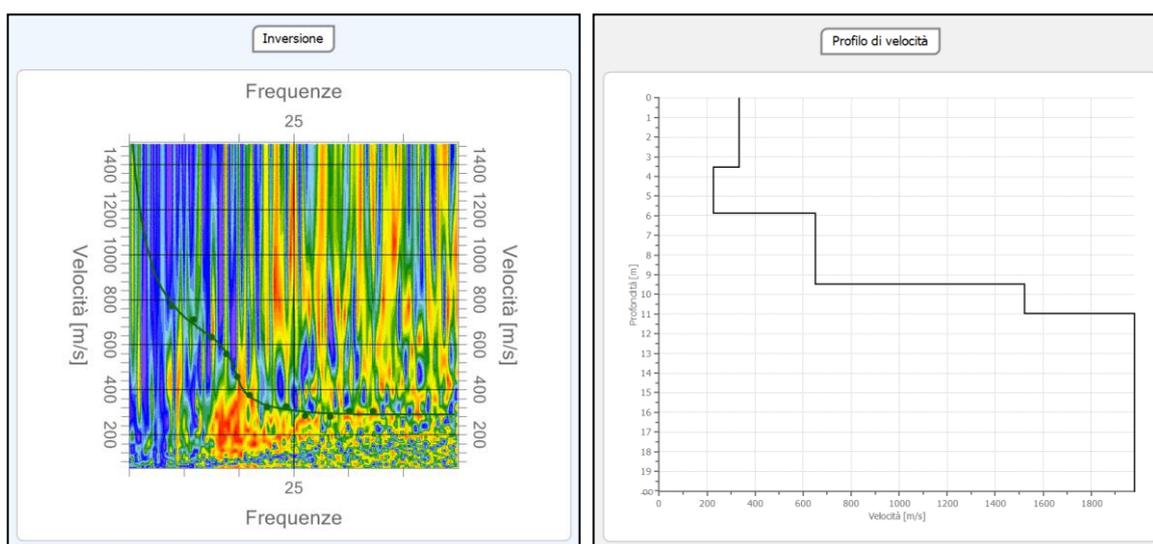


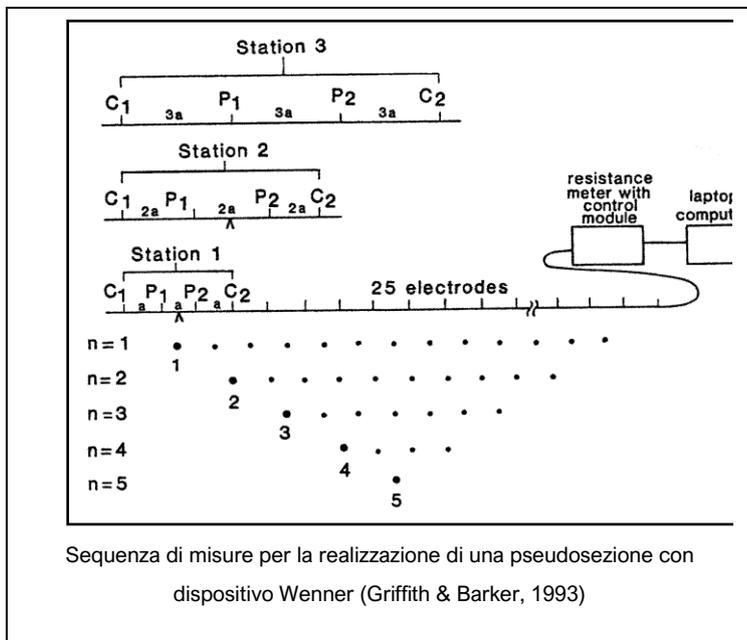
Figura 20 – Inversione e profilo di velocità

Il risultato dell'indagine restituisce una posizione del bedrock confrontabile con quello delle altre indagini.

Tomografia elettrica

La metodologia utilizzata è la “tomografia elettrica” o “tomografia multielettrodo”; l’elaborazione tomografica ha rivoluzionato l’utilizzo diagnostico dei raggi X in campo medico (Hounsfield, 1973) e, più in generale, è in questo campo che sono stati ottenuti importanti risultati con l’uso di elettrodi che circondano interamente, o parzialmente, le parti del corpo umano (Barber & Seagar, 1987).

Le rappresentazioni tomografiche sono state inizialmente applicate a misure di tipo sismico ed elettromagnetico



(Anderson & Dziewonski, 1984; Dines & Lytle, 1979); il normale metodo di inversione tomografica consisteva nella retroproiezione, lungo percorsi diretti, per ottenere immagini approssimate di sezioni trasversali del mezzo attraversato. Poiché le linee di corrente elettrica non seguono traiettorie dirette, per la rappresentazione della resistività elettrica era necessario un differente metodo di inversione, come si vedrà in seguito (Daily & Owen, 1991).

L’obiettivo della tomografia elettrica (Electrical Resistance Tomography o ERT) è quello di fornire immagini della distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo; principale applicazione risulta, quindi, secondo LaBrecque et al. (1996), il monitoraggio di siti a rischio ambientale a piccola

profondità. Come verrà illustrato in maggior dettaglio più avanti, la tomografia elettrica di resistività è in grado di utilizzare una combinazione di elettrodi in superficie ed eventualmente in foro per superare le limitazioni di risoluzione e di non univocità dei risultati dei metodi di resistività con misure solo dalla superficie (Morelli & LaBrecque, 1996).

La principale differenza tra l’utilizzo dei normali metodi di resistività e le tecniche tomografiche consiste principalmente nella velocità di acquisizione dei dati; talvolta la ERT viene utilizzata per controllare processi variabili nel tempo e ciò implica la raccolta di una notevole mole di dati al giorno; questo richiede, ovviamente, un sistema di acquisizione capace di gestire la funzione degli elettrodi in maniera automatica, effettuare le misure ed immagazzinare i dati.

Nelle applicazioni geologiche della tomografia elettrica normalmente viene impiegata una serie di elettrodi posti in superficie. Durante la fase di acquisizione, si procede utilizzando elettrodi ad una distanza crescente ad ogni misura; questo permette di ottenere informazioni a profondità sempre maggiori. La resistività apparente misurata può essere, così, riportata in grafico in funzione della profondità, in modo che rifletta qualitativamente le variazioni spaziali della resistività in una sezione verticale (Griffith & Barker, 1993).

La lunghezza del profilo, la profondità di indagine e la risoluzione richiesta determinano la distanza interelettrodo che può variare da 1 fino ad oltre 50 metri; per profondità di indagine inferiori ai 30 metri è conveniente usare una spaziatura tra gli elettrodi inferiore ai 10 metri ed una serie di cavi od un unico cavo multipolare che colleghi elettricamente tutti gli elettrodi ad uno speciale resistivimetro, controllato da un computer. All’inizio dell’acquisizione è, in ogni caso, necessario decidere quale tipo di metodo di misura si intende utilizzare: Schlumberger, Wenner, dipolo-dipolo, polo-dipolo, polo-polo, mise-à-là-masse, metodo dei potenziali spontanei oppure una configurazione personalizzata degli elettrodi.

Nel caso si usi la configurazione di tipo Wenner, ad esempio, il software di controllo viene programmato per realizzare una serie di misurazioni a distanza costante con l’aumentare della spaziatura interelettrodo ad ogni sezione. In questo modo le misurazioni iniziano ad un capo dello stendimento, utilizzando gli elettrodi 1, 2, 3 e 4; la spaziatura viene poi raddoppiata senza effettuare alcuno spostamento e gli elettrodi attivi diventano 1, 3, 5 e 7. Ad ogni misura la spaziatura viene aumentata di un’unità finché è possibile (n=8 è possibile per uno stendimento di 25 elettrodi), dopodiché la sequenza viene

ripetuta partendo dagli elettrodi 2, 3, 4 e 5, e così via.

Il metodo, ormai comune, di rappresentare i dati per mezzo di pseudosezioni realizzate a diverse spazature, venne introdotto da Hallof (1957) per plottare dati ottenuti con una disposizione degli elettrodi dipolo-dipolo; attualmente, Griffith & Barker (1992) reputano il metodo Wenner graficamente più soddisfacente. Le pseudosezioni realizzate con il metodo Wenner hanno il vantaggio che i dati sono meno influenzati da variazioni di resistività localizzati in superficie che, nelle pseudosezioni dipolo-dipolo, possono causare forti distorsioni del profilo (Griffith & Barker, 1992). La pseudosezione viene realizzata riportando il valore di resistività apparente ricavata per ogni posizione degli elettrodi ad una profondità che è una frazione (è circa 1/2 quella ottimale secondo Edwards, 1977) della apertura interelettrodica; i valori ottenuti vengono uniti in curve di uguale resistività, come si può vedere nella seguente figura.

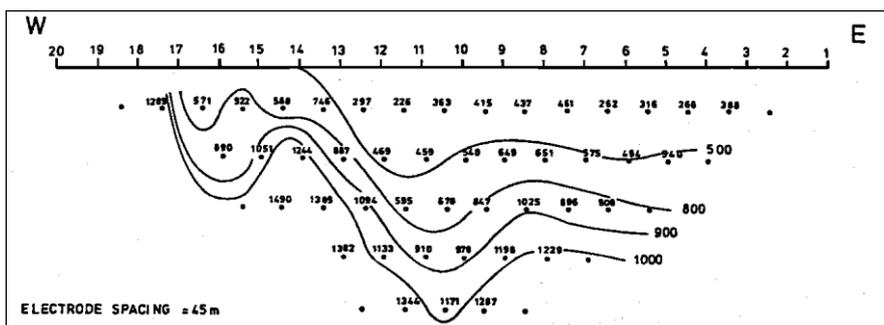
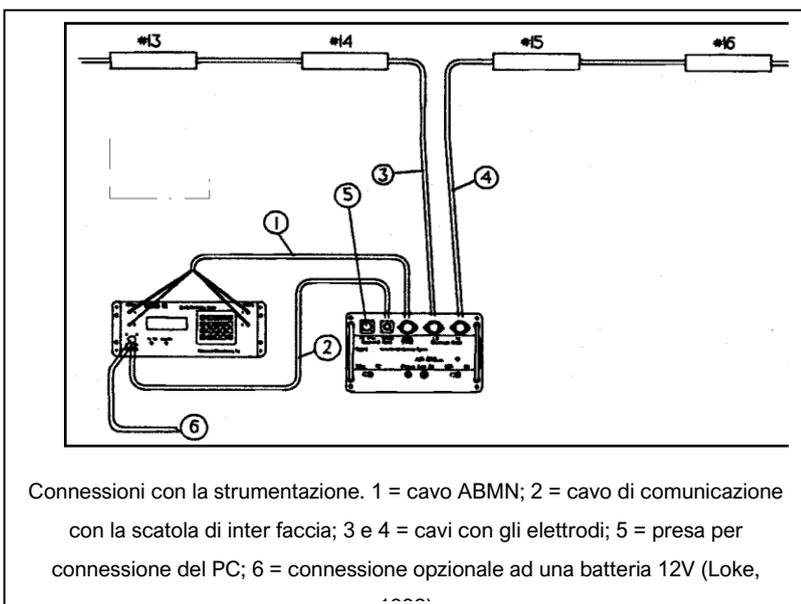


Figura 21 - Esempio di pseudosezione realizzata col metodo Wenner (Griffith & Barker, 1993)

Alcune considerazioni sono importanti per la scelta della configurazione dello stendimento e per la qualità dei dati raccolti: la prima è la profondità di indagine richiesta che condiziona la massima distanza tra gli elettrodi.



del sottosuolo.

La configurazione dipolo – dipolo, tuttavia, consente una maggiore sensibilità nei confronti delle variazioni laterali di resistività e, soprattutto, la possibilità di raccogliere un maggior numero di dati e, quindi, di informazioni sulle caratteristiche del mezzo attraversato, necessitando, ovviamente, di un tempo maggiore per la fase di acquisizione.

La preparazione per l'acquisizione dei dati di campagna non si discosta di molto dai normali metodi di resistività; la strumentazione può essere posizionata ad uno o all'altro capo dello stendimento. Nell'immagine seguente è rappresentato lo schema di connessioni relative ad un georesistivimetro comune, con elettrodi, cavo multipolare e centralina di controllo

della funzione dei singoli elettrodi.

La tomografia elettrica ha raggiunto una profondità di circa 8m dal piano stradale ed è caratterizzata da resistività non compatibili con la presenza di basamento cristallino o grossi blocchi, analogamente a quanto osservato con le altre indagini. Si riporta di seguito il risultato dell'indagine.

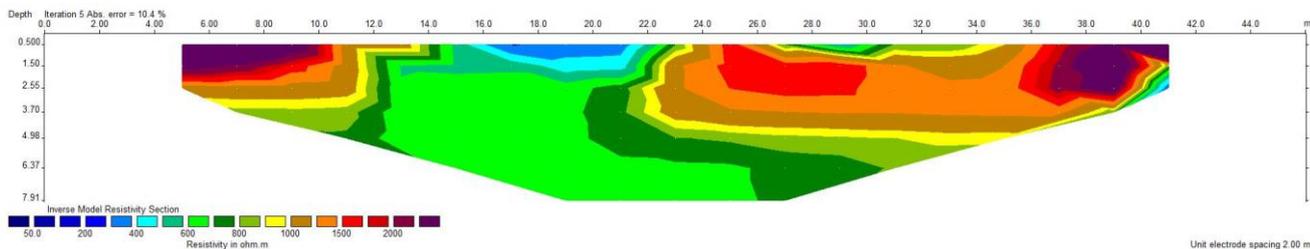


Figura 22 – Risultato tomografia elettrica

Sovrapposizione indagini

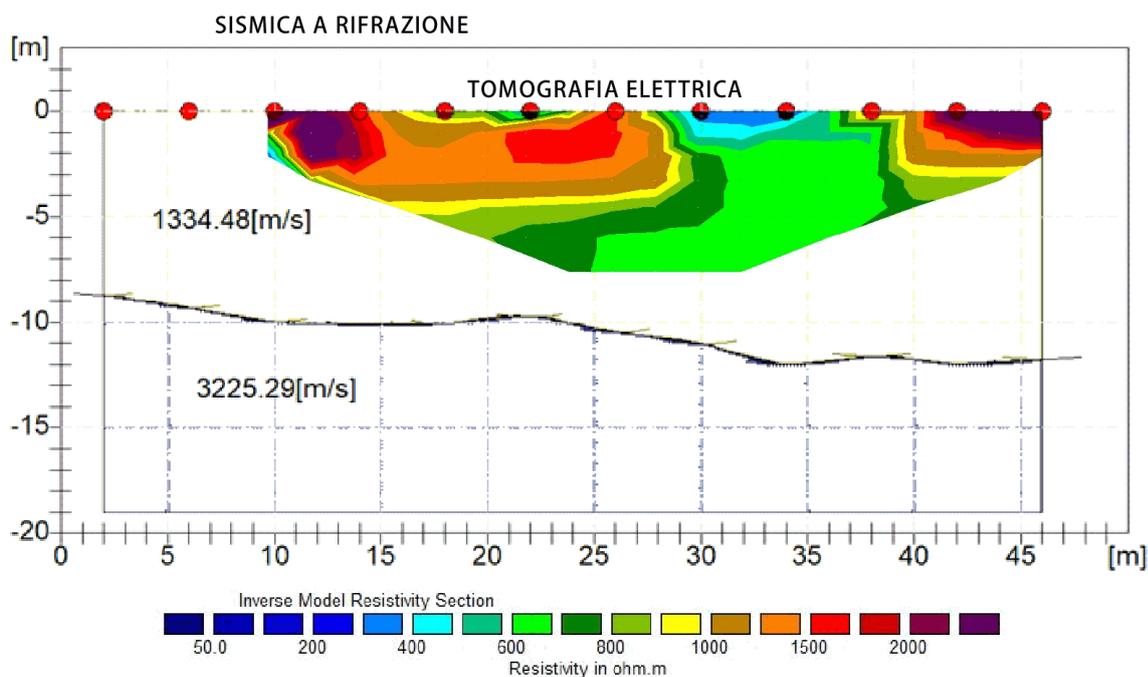


Figura 23 - Sovrapposizione tomografia elettrica sulla sismica a rifrazione (la sezione tomografica è stata ribaltata in quanto il primo picchetto è posizionato al fondo della sismica)

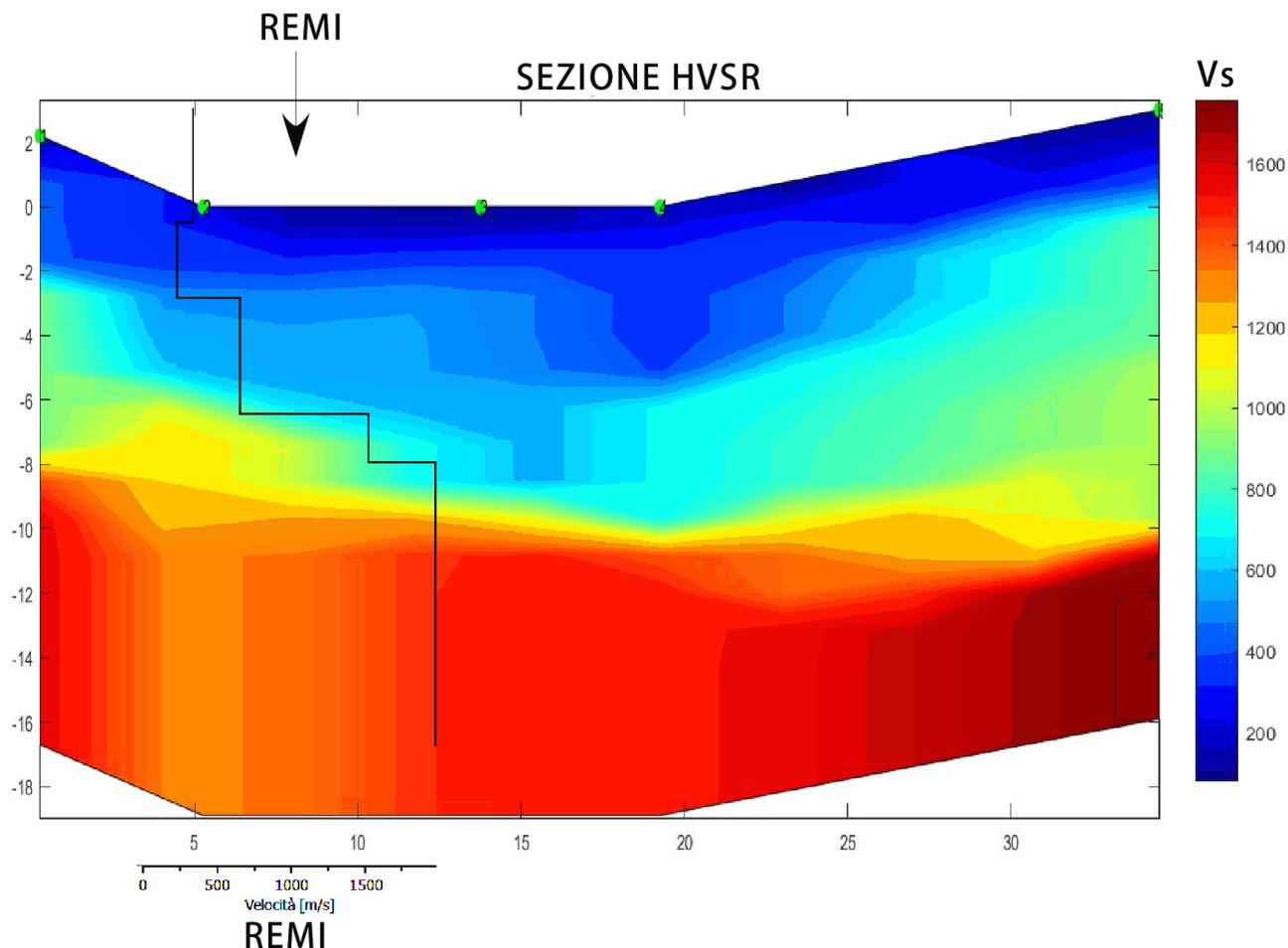


Figura 24 - Sovrapposizione indagine REMI sulla sezione interpretativa delle HVSR. La posizione della REMI è a circa metà della linea sismica.

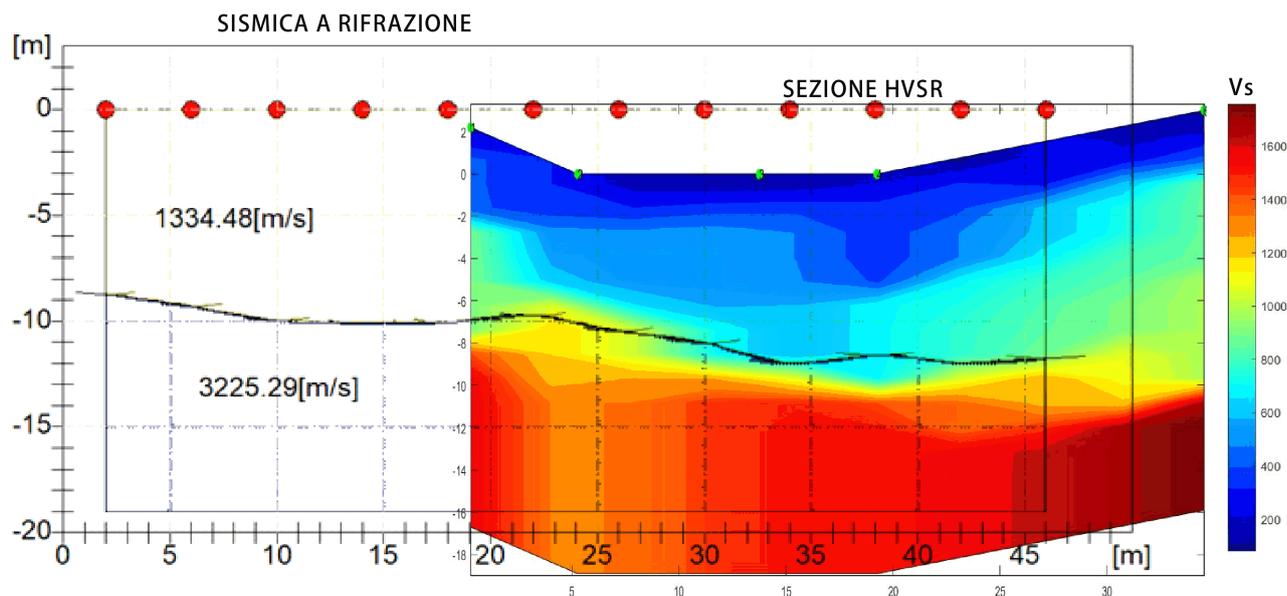


Figura 25 - Sovrapposizione della sismica a rifrazione sulla sezione interpretativa delle HVSR

CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA SITO SPECIFICA

La descrizione geologica specifica è stata sviluppata nell'areale di intervento, con uno specifico approfondimento presso gli interventi che hanno rilevanza sugli aspetti geologici.

Quadro geologico locale

L'area di intervento interessa il tratto di strada comunale della Valle che si dirama dalla Strada Provinciale n°10, per poi proseguire a mezza costa, sino a terminare ai piedi della località Piaggogna del comune di Boccioleto.

Sotto l'aspetto geomorfologico l'area di intervento occupa una fascia medio bassa del versante, alla sinistra orografica del torrente Sermenza, compresa tra la quota di 715 e 690 m s.l.m. In questo contesto il versante è interessato da una dorsale diretta circa NE-SO che suddivide: ad est pareti rocciose poco esposte e digradanti con minor pendenza verso il fondovalle principale, ad ovest pareti sub verticali legate alla presenza della roccia affiorante che si innalza dal fondovalle fino ad alcune decine di metri, per poi proseguire verso la fascia superiore con una pendenza più moderata. Nella porzione precedentemente descritta, ad ovest della dorsale, si sono verificati alcuni episodi di crolli di materiale roccioso: essi consistono nel distacco del materiale dalle scarpate sub verticali con caduta libera in aria ed eventualmente rimbalzo o rotolamento fino alla base della scarpata, dove peraltro è ubicata anche la strada della Valle. Questi episodi si verificano generalmente dove la roccia appare molto fratturata.

Dal punto di vista geologico il versante è impostato nel substrato roccioso appartenente alla "Zona Sesia Lanzo", qui costituito da gneiss e micascisti fratturati in superficie. Questi litotipi nelle porzioni meno acclivi risultano ricoperti da una coltre di terreni sciolti: si tratta di depositi detritici, alluvionali e misti generati ad opera degli elementi esogeni del modellamento, come corsi d'acqua, ghiacciai o la gravità. I depositi sotto l'aspetto granulometrico sono costituiti da ghiaie molto grossolane, brecce e blocchi eterometrici immerse in una matrice sabbiosa.

Dal punto di vista dell'idrografia superficiale si segnala che il torrente Sermenza è il corso d'acqua principale dell'area di interesse. Esso nella parte di fondo valle è difeso da alcune opere di difesa (scogliere in massi), che sopraelevano il fondo alveo di circa 3-4 metri rispetto al tratto di strada comunale, minimizzando l'erosione spondale. Tra i rii minori si segnala il Rio Tra de Foi che in prossimità del tratto di interesse scorre sulle lungo le pareti rocciose più acclivi del versante, per poi affluire nel torrente Sermenza.

Per quanto riguarda l'idrogeologia i materiali presenti sono dotati di permeabilità variabile da medio-bassa a medio-alta, a seconda della percentuale di materiale fine presente, mentre il substrato roccioso è pressoché impermeabile ad eccezione delle porzioni superficiali molto fratturate.

Intervento C

Il versante che si sviluppa a monte della strada comunale della Valle è caratterizzato da una superficie moderatamente acclive che si innalza dal fondovalle fino a raggiungere la soprastante strada provinciale (S.P. 10), con pendenze comprese tra 60 e 70°.

In questo tratto la strada della Valle è impostata sui depositi sciolti detritici, alluvionali, misti, mentre più in profondità è atteso il substrato roccioso della Zona Sesia Lanzo, costituito da gneiss e micascisti fratturati in superficie anche a causa dell'intensa deformazione impressa dalla vicinanza di lineamenti tettonici di importanza regionale. Dalla posizione di intervento si osserva un affioramento roccioso che presenta queste caratteristiche di fratturazione superficiale che tenderà a ridursi con l'aumento della profondità, a causa dell'aumento della tensione litostatica efficace.

Gli interventi prevedono la realizzazione di una sottomurazione di 15 m alla muratura di sostegno alla strada esistente: il muro di altezza 2,2 m si svilupperà ai piedi del muro esistente scalzato, sovrapponendosi a quest'ultimo per 1 m di elevato al fine di integrarne la funzione di sostegno. La fondazione della muratura sarà costituita da n. 17 micropali aventi lunghezza 9 m, disposti su due file e sfalsati ad interasse 90 cm, in modo da superare i depositi sciolti superficiali e raggiungere il sottostante substrato costituito dalla roccia più o meno fratturata. L'Elevato della muratura in c.a. verrà ulteriormente ancorato al substrato roccioso retrostante il rilevato stradale mediante n. 16 barre d'ancoraggio passive, lunghe 9 m e realizzate a

passo 90 cm.

Inoltre sono previsti degli interventi di drenaggio delle acque superficiali, per evitare fenomeni di saturazione in concomitanza dell'intaglio stradale ed evitare il deterioramento delle caratteristiche geomeccaniche e geotecniche dei materiali presenti.



Figura 26 - Vista del tratto di strada oggetto di intervento con la segnalazione degli interventi previsti



Figura 27 – Vista del muro esistente, oggetto di intervento vista da valle della strada con la segnalazione degli interventi previsti

Essi consistono nella realizzazione di una linea di raccolta e convogliamento sia delle acque di filtrazione sia delle acque stradali, costituita da 15 m di trincea drenante profonda 1,5 m e dalla soprastante cunetta stradale, avente ampiezza 50 cm. Sia la cunetta, sia la trincea, confluiranno le acque in un pozzetto d'ispezione in calcestruzzo cementizio, collegato a 9 m di condotta di scarico a valle della sede stradale.

Intervento A-B-D-E-F

Dal punto in cui la strada della Valle inizia a cambiare direzione, passando da NE-SW a SE-NW, si osserva un cambiamento morfologico contraddistinto da pareti generalmente più acclivi, fino a subverticali, che espongono il substrato roccioso; a meno della fascia di versante più bassa che a tratti risulta ricoperta da una debole coltre di depositi sciolti.

Pertanto in queste condizioni risulta importante definire con maggior dettaglio l'aspetto strutturale e geomeccanico delle porzioni affioranti. Si ricorda che gli ammassi rocciosi sono mezzi naturali, soggetti a stati di tensione e deformazione esistenti e caratterizzato da una rete di discontinuità di diversa natura che ne rendono il carattere discontinuo, non omogeneo e generalmente non isotropo. L'ammasso è costituito, quindi, da una serie di blocchi di roccia intatta, definita matrice rocciosa, separata da superfici di debolezza o discontinuità. Il termine discontinuità invece fa riferimento a qualsiasi interruzione della continuità della massa rocciosa, avente resistenza a trazione bassa o nulla (giunti, piani di stratificazione, piani di scistosità e faglie) e che suddivide l'ammasso roccioso in volumi elementari.

Il comportamento dell'ammasso roccioso, affrontato come mezzo discontinuo, implica un comportamento sforzo-deformazione della massa rocciosa dipendente dai sistemi di discontinuità presenti. La maggioranza degli ammassi rocciosi, specialmente quelli situati in prossimità della superficie sono discontinui e le discontinuità possono costituire il fattore più rilevante in quanto governano la deformabilità, la resistenza e la permeabilità dell'ammasso roccioso, per tale motivo è necessario valutarne: caratteristiche geometriche, morfologiche e resistenze con criteri che permettano di quantificare le caratteristiche meccaniche e deformabilità.

Al fine di determinare le caratteristiche delle discontinuità degli ammassi rocciosi si è proceduto al rilievo di n°3 stazioni geomeccaniche, in corrispondenza della base della parete rocciosa sul lato di monte della strada della Valle.

Le condizioni locali hanno consentito il rilievo delle discontinuità alla base di tale parete, le cui giaciture sono riportate nella seguente tabella:

n.	stazione	Imm (°)	Inc (°)	tipo
1	1	208	36	GN
2	1	325	32	GN
3	1	280	88	GN
4	1	278	81	GN
5	1	278	74	GN
6	1	16	83	GN
7	2	190	42	F
8	2	342	25	GN
9	2	320	26	GN
10	2	292	76	GN
11	3	357	55	GN
12	3	8	16	F
13	3	6	12	F
14	3	115	72	GN

Dove: imm= immersione, inc= inclinazione, GN=fratture, F=foliazione

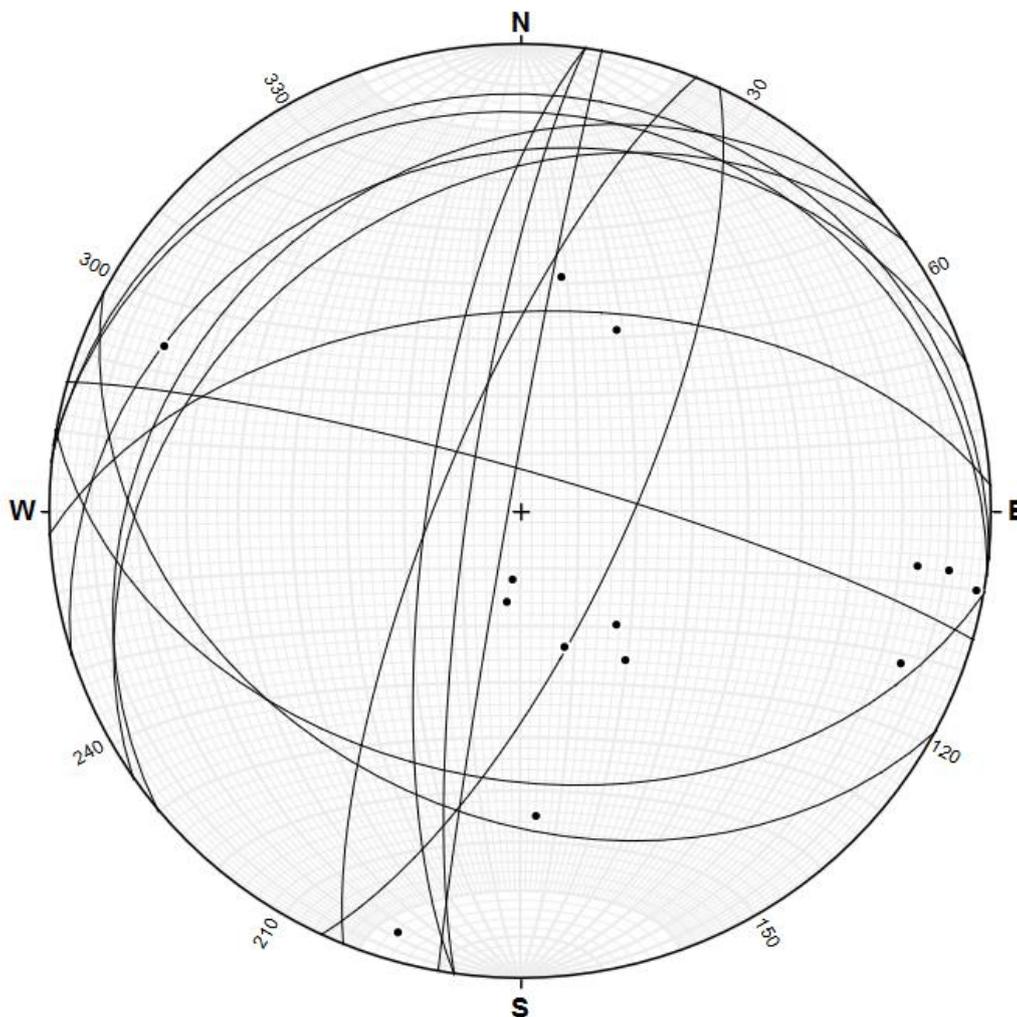


Figura 28 – Proiezioni dei piani di discontinuità con i relativi poli

Di seguito si riportano gli elementi emersi dal rilievo geostrutturale.

Parametro		Valore misurato
Spaziatura		da 5 a 150 cm
Condizione discontinuità	apertura	da chiuse ad aperte
	rugosità	leggermente rugose o lisce
	riempimento	assente
	alterazione	leggermente alterate

Le caratteristiche principali delle discontinuità rilevate sono costituite da una spaziatura variabile, compresa tra 5 e 150 cm: le misure minori corrispondono ai piani di discontinuità paralleli alla superficie di foliazione, mentre le maggiori sono associate ai piani che le intersecano.

Anche l'apertura è variabile: varia da chiusa fino ad aperta, dove i blocchi di roccia sono più propensi al distacco e talvolta occupati da apparati radicali che aumenta notevolmente la misura di questo parametro.

Le discontinuità presentano un'alterazione contraddistinta da una debole patina superficiale, riempimento assente, mentre la rugosità è variabile e dipende dalla singola discontinuità considerata.

Per concludere le discontinuità rilevate risultano utili per la stima del grado qualitativo degli ammassi rocciosi di quest'area e rivelano che la loro distribuzione spaziale risulta estremamente eterogenea e quindi non si identificano delle famiglie di discontinuità ben definite.

Pertanto viste le caratteristiche precedentemente descritte si rendono necessari interventi di disaggio generalizzato, la demolizione di singoli blocchi e di speroni rocciosi fratturati incombenti direttamente sulla sede stradale, la realizzazione di chiodature (lunghe 3 m), la posa di pannelli con maglia in fune di acciaio per il contenimento di singoli porzioni di roccia e il rivestimento di scarpate in roccia con copertura di rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale per il contenimento di breccie di minore pezzatura distaccabile in futuro.



Figura 29 – Affioramento roccioso con rappresentazione delle tracce dei piani di discontinuità (stazione 3)

Inoltre lungo il tratto stradale individuato come “B”, per la messa in sicurezza della sede stradale sono previsti la realizzazione di 63 m di muratura di sostegno di pietrame in massi ciclopici (altezza variabile da 80 cm a 250 cm), che consentirà la regolarizzazione sia planimetrica sia altimetrica del tracciato stradale, e la posa della barriera di sicurezza, previa realizzazione di cordolo in c.a. sommitale con mascheramento in pietrame intasato con malta cementizia sul lato a vista.

Lungo il tratto stradale individuato come “A”, sempre per la messa in sicurezza della sede stradale, sono previsti la realizzazione di 60 m di cordolo in c.a. di consolidamento della testata della muratura di sostegno di pietrame esistente, e che consentirà la regolarizzazione sia planimetrica sia altimetrica del tracciato stradale, e la posa della barriera di sicurezza. Il cordolo in c.a. verrà mascherato a vista con paramento di pietrame intasato con malta cementizia.

Rispettivamente lungo il margine di monte della sede stradale, lungo i tratti identificati come "A" e "B", verranno realizzati rispettivamente 65 m (da sez. 1 a sez. 6, ampiezza 40 cm, con unghia bordo strada) e 52 m (da sez. 6 a sez. 13, ampiezza 50 cm) di fosso di guardia per la raccolta delle acque percolanti dal versante sul fronte roccioso, con fondo sagomato a corda molla e rivestito in spaccato di pietrame annegato in malta cementizia, con spessore del rivestimento ≥ 20 cm.

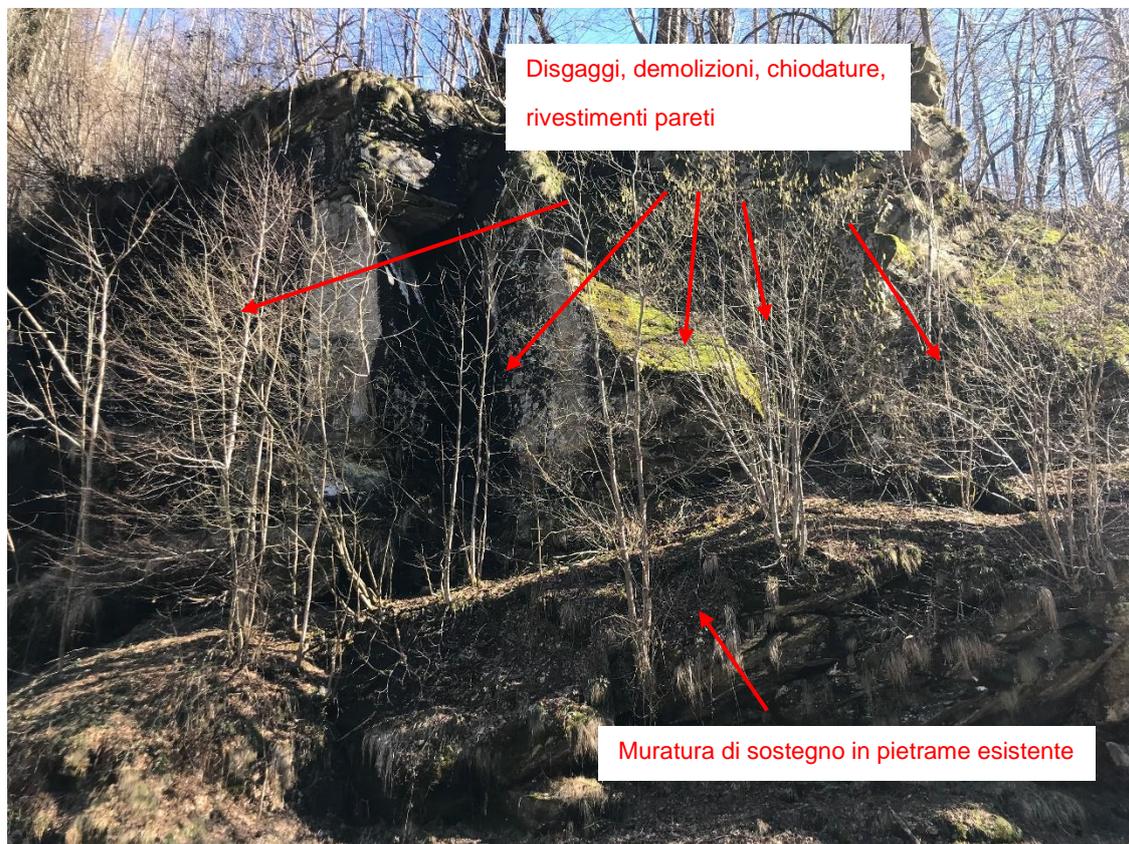


Figura 30 - Vista della strada in prossimità del cambio direzionale con la segnalazione degli interventi previsti

Area di intervento (E)-(F): Contestualmente l'area di parcheggio sterrata identificata come "E" verrà regolarizzata e livellata raccordandola con la sede stradale. E' prevista la pulizia da vegetazione e detriti vegetali e la riprofilatura della scarpata stradale di valle in corrispondenza dei tratti di intervento.

Per ulteriori dettagli in merito agli interventi previsti si rimanda alle tavole degli elaborati di progetto.

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI E DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

Il DM 2018 indica che le indagini e le prove geotecniche devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione, ottenendo i valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni. Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato. In pratica il valore caratteristico rappresenta la soglia al di sotto del quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove.

Tra le metodologie per raggiungere la stima sopra citata vi sono approcci di tipo *statistico* e approcci di tipo prettamente fisico (*geotecnico*). Nel primo caso i parametri geotecnici vengono trattati come variabili casuali, rinunciando ad ogni considerazione di tipo deterministico. Nel secondo caso invece si parte dalla conoscenza dei meccanismi fisici che conducono al manifestarsi di determinati comportamenti nel materiale terreno e si conclude con l'individuazione di grandezze che hanno una variabilità ridotta.

Nella presente relazione si approccerà alla determinazione dei parametri geotecnici attraverso il metodo geotecnico.

Terreni

I terreni sciolti sono dati essenzialmente da depositi sciolti detritici, alluvionali, misti costituiti da blocchi eterometrici immersi in matrice sabbiosa. Da alcuni intagli stradali e da scavi ivi rilevati, si sono desunte le caratteristiche geotecniche dei terreni, considerando che l'angolo di riposo di un deposito sciolto è assimilabile all'angolo di resistenza al taglio residuo, che costituisce il parametro cautelativo equiparato all'angolo di resistenza al taglio a volume costate (ϕ_{cv}); per quanto riguarda la coesione essa si considera nulla, per ragioni cautelative, mentre per il peso di volume (γ) si utilizzano determinazioni effettuate su terreni analoghi per origine e natura.

Nell'approccio geotecnico i terreni vengono caratterizzati in funzione del volume di terreno coinvolto nello stato limite considerato, che vuol dire considerare valori dei parametri geotecnici vicini al **minimo** o alla **media** dei dati a disposizione. Pertanto si distinguono:

- verifiche con elevato volume di terreno coinvolto \Rightarrow stabilità dei pendii, capacità portante fondazioni grandi (platea e nastro rigidamente connesso) \Rightarrow VALORI MEDI DEI PARAMETRI GEOTECNICI
- verifiche con piccolo volume di terreno coinvolto \Rightarrow scorrimento di muri di sostegno, capacità portante fondazioni piccole (plinti) \Rightarrow VALORI MINIMI DEI PARAMETRI GEOTECNICI.

Riassumendo si hanno i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

U1-DEPOSITI SCIOLTI DETRITICI, ALLUVIONALI, MISTI – blocchi e pietrisco in matrice sabbiosa				
parametro	simbolo	u.m.	Valore minimo	Valore medio
Peso di volume	(γ)	kN/m ³	17	18
Coesione	(c')	kN/m ²	0	0
Angolo resistenza al taglio a volume costante	(ϕ'_{cv})	°	32	35

Ammassi rocciosi

La caratterizzazione degli ammassi rocciosi è consistita in una serie di rilievi geomeccanici speditivi: si tratta di n.3 stazioni di rilievo (per l'ubicazione si rimanda all'allegato 1).

L'analisi è stata condotta valutando sia il Geological Strength Index (GSI) dell'ammasso roccioso che la classificazione Rock Mass Rating (RMR); quest'ultima è stata determinata per la sola stazione 3, ovvero quella in prossimità degli interventi di disaggio.

Il GSI introdotto da Hoek, Brown et al. (1994), è un indice di resistenza geologica che fornisce un sistema per la stima della riduzione di resistenza dell'ammasso roccioso in relazione a differenti condizioni geologiche. Il valore GSI è ottenuto tramite una valutazione qualitativa dell'ammasso roccioso, basata sull'impressione visiva della struttura dell'ammasso, in

relazione alle caratteristiche di interconnessione tra blocchi e alle condizioni delle superfici di contatto espresse in termini di rugosità ed alterazione. Ad ogni combinazione di questi due parametri è associato un indice numerico (il valore di GSI) variabile tra 0 e 100; tale parametro è utilizzato solamente per stimare indirettamente le caratteristiche di deformabilità e resistenza dell'ammasso roccioso.

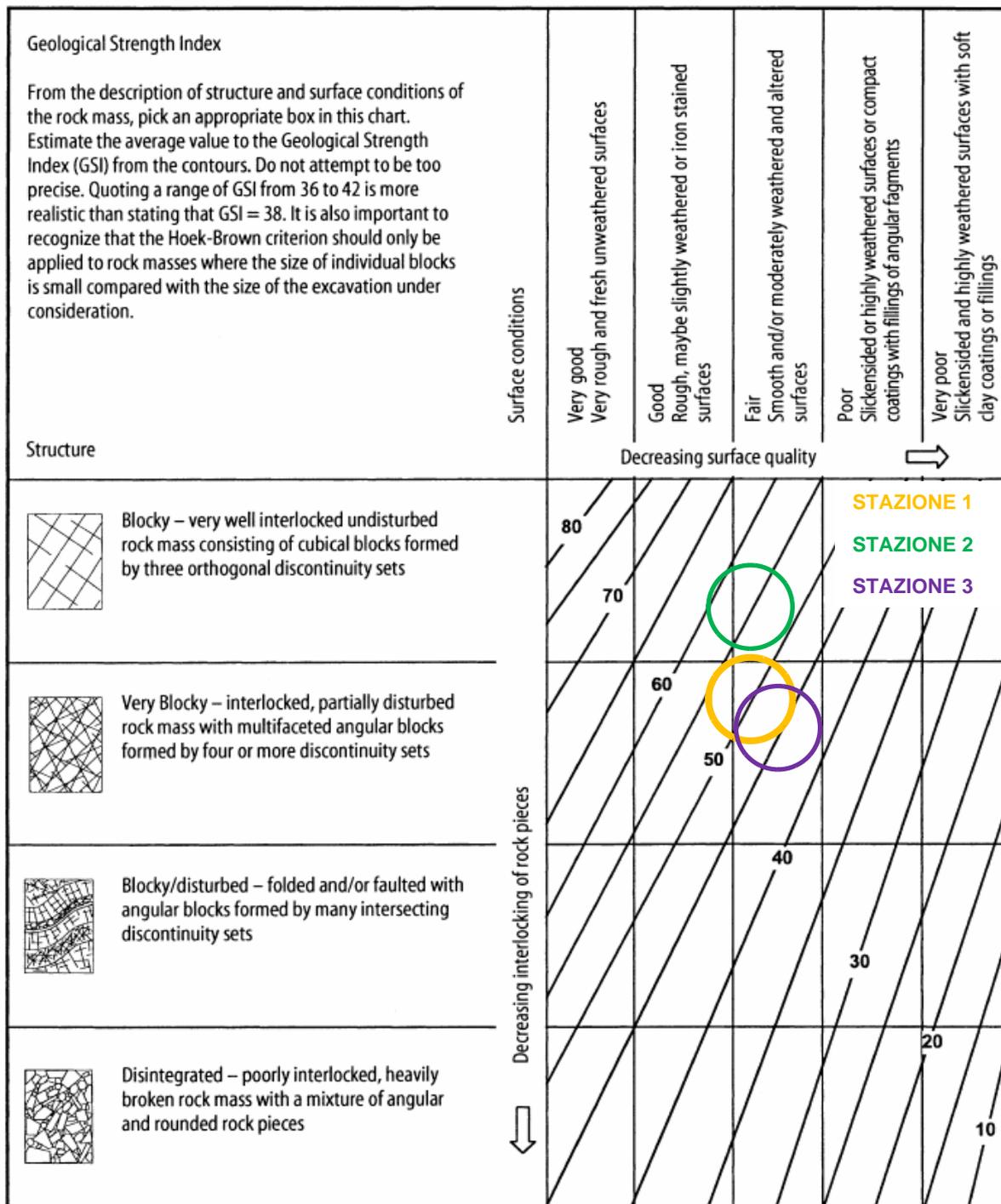
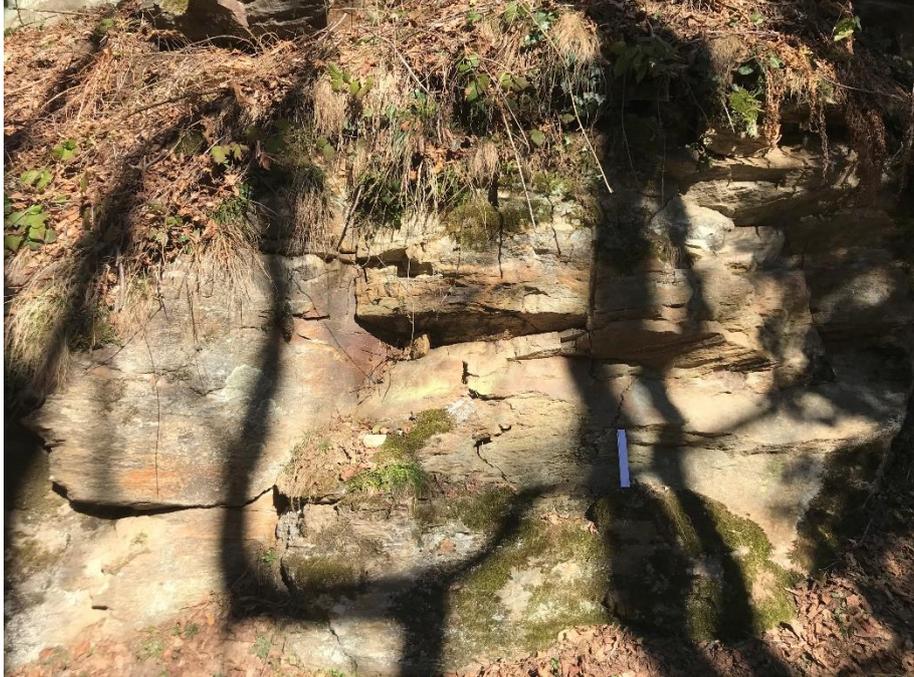
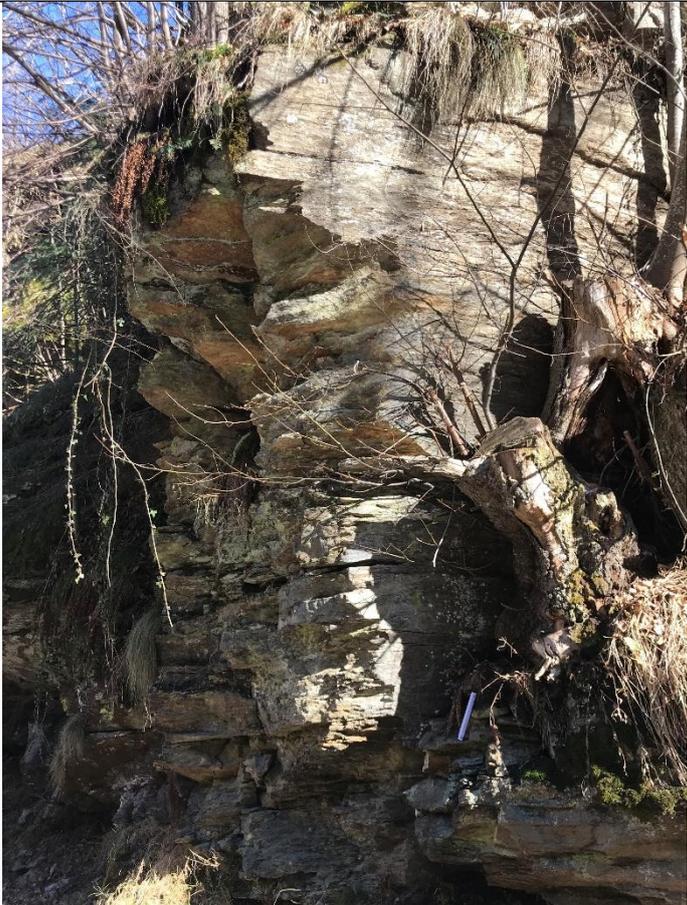


Figura 31 – Tabulato per la valutazione dell'indice GSI

Di seguito si riportano le riprese fotografiche delle singole stazioni di rilievo e gli indici GSI.

STAZIONE	INDICE GSI	FOTO AFFIORAMENTO
1	50	 A photograph showing a rock outcrop with distinct horizontal layering. The rock is greyish-brown and appears to be part of a sedimentary sequence. There is some green moss and small plants growing on the rock surface. The background shows a wooded area with bare trees and a clear sky.
2	55	 A photograph showing a rock outcrop with distinct horizontal layering. The rock is reddish-brown and appears to be part of a sedimentary sequence. There is some green moss and small plants growing on the rock surface. A blue marker is visible on the rock face. The background shows a wooded area with bare trees and a clear sky.

3	45	
---	----	---

Classificazione dell'ammasso roccioso

I sistemi di classificazione sono applicati allo studio di ammassi rocciosi interessati da opere geotecniche e vengono utilizzati sia per stimare le caratteristiche meccaniche (deformabilità e resistenza) dell'ammasso roccioso considerato come un mezzo continuo equivalente (omogeneo ed isotropo), sia come strumento "progettuale" e cioè per valutare eventuali sistemi di rinforzo e/o sostegno necessari.

I metodi di classificazione permettono di suddividere l'ammasso roccioso in classi di diversa qualità dal punto di vista delle loro proprietà meccaniche globali. Questi metodi esaminano alcune fondamentali caratteristiche della roccia intatta e delle discontinuità, dando, a seconda delle diverse situazioni, dei valori quantitativi, per ognuna di esse.

La classificazione geomeccanica utilizzata nella presente trattazione è l'indice RMR (Rock Mass Rating) o di Bieniawski (Bieniawski, 1974, 1989) che prende in considerazione cinque proprietà:

- Resistenza del materiale roccia (R1);
- RQD (R2);
- Spaziatura delle discontinuità (R3);
- Condizioni delle discontinuità (scabrezza, persistenza, apertura, materiali di riempimento e alterazione delle pareti) (R4);
- Presenza d'acqua (R5);

Ad ogni valore o stima dei parametri sopra definiti corrisponde un coefficiente numerico (rating) che contribuisce alla definizione per somma dell'indice RMR_b e così all'attribuzione della relativa classe di appartenenza (classe da I a V).

$$RMR_b = R1 + R2 + R3 + R4 + R5$$

RMR_b	100-80	80-60	60-40	40-20	<20
CLASSE	I	II	III	IV	V
QUALITA' AMMASSO	molto buona	buona	media	povera	molto povera

Resistenza del materiale roccia (R1)

In questo caso mancando prove di campagna o di laboratorio, il valore di compressione può essere stimata osservando la risposta della roccia alla sua percussione con il martello da "geologo". Dalla risposta della roccia si possono ricavare i seguenti valori:

CLASSE	DESCRIZIONE	IDENTIFICAZIONE	U.C.S. (MPa)
S 1	ARGILLA MOLTO SOFFICE	Penetrabile facilmente di alcuni centimetri con il pugno	< 0.025
S 2	ARGILLA SOFFICE	Penetrabile facilmente alcuni centimetri con il pollice	0.025-0.05
S 3	ARGILLA SOLIDA	Penetrabile alcuni centimetri con il pollice con sforzo moderato	0.05-0.10
S 4	ARGILLA COMPATTA	Facilmente intaccata dal pollice ma penetrata solo con grande sforzo	0.10-0.25
S 5	ARGILLA MOLTO COMPATTA	Facilmente scalfita dall'unghia del pollice	0.25-0.50
S 6	ARGILLA DURA	Scalfita con difficoltà dall'unghia del pollice	> 0.50
R 0	ARGILLA ESTREM. DEBOLE	Scalfita dall'unghia del pollice	0.25-1.0
R 1	ROCCIA MOLTO DEBOLE	Si frammenta sotto colpi decisi con la punta del martello. Si scalfisce con il coltello	1.0-5.0
R 2	ROCCIA DEBOLE	Scalfita con difficoltà dal coltello. Piccole scalfiture provocate da colpi decisi con la punta del martello	5.0-25
R 3	ROCCIA MEDIAM. RESISTENTE	Non può essere scalfita né graffiata dal coltello. Un campione può fratturarsi con un singolo colpo di martello	25-50
R 4	ROCCIA RESISTENTE	Un campione richiede più di un colpo di martello per fratturarsi	50-100
R 5	ROCCIA MOLTO RESISTENTE	Un campione richiede molti colpi di martello per fratturarsi	100-250
R 6	ROCCIA ESTREM. RESISTENTE	Un campione può solo essere scheggiato col martello	>250

Figura 32 - Classi litotecniche (M.I.T.) (ISRM, 1981)

Resistenza del materiale roccia	Resistenza a carico puntiforme	>10	4-10	2-4	1-2			
	Resistenza a compressione monoassiale	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
Coefficienti	R1	15	12	7	4	2	1	0

RQD (R2)

Se si effettuano sondaggi è possibile ricavare il valore di RQD (rock quality designation), che rappresenta il recupero percentuale modificato ed è dato dalla somma percentuale degli spezzoni di carota di lunghezza >10 cm e la lunghezza totale considerata.

$$RQD = \frac{\sum_i L_{i>10\text{ cm}}}{L_{TOT}} (-)$$

dove:

L_i = somma delle lunghezze degli spezzoni di carota > 10 cm

L_{TOT} = lunghezza totale del tratto in cui si è misurata L_i

In mancanza di carote di sondaggio, RQD si ricava dal numero di famiglie di discontinuità caratterizzanti l'ammasso roccioso e dalla misura della loro spaziatura. Dalla relazione di Palmström (1982) si ha:

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

Dove:

J_v è il numero di fratture per metro cubo di roccia, noto anche come indice di fessurazione volumetrica.

$$j_v = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_3} \quad (n/m^3)$$

s_n è la spaziatura media di ogni famiglia di discontinuità

Considerando le misure medie di spaziatura ricavate in sito ci si può porre cautelativamente nella seguente classe:

RQD (%)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25
Coefficienti R2	20	17	13	8	3

Spaziatura delle discontinuità (R3)

La spaziatura media caratteristica dell'ammasso roccioso può essere ricavata dal rilievo lungo uno stendimento di lunghezza L in cui vengono rilevate N discontinuità:

$$S_m = \frac{L}{N} \quad (m)$$

oppure se sono note le spaziature dei singoli sistemi di discontinuità e ricordando che la frequenza è pari al reciproco della spaziatura e che la frequenza dell'ammasso roccioso (l_m) è pari alla somma delle singole frequenze:

$$l_m = \sum_i l_i = \sum_i \frac{1}{s_i} \rightarrow S_m = \frac{1}{l_m}$$

Spaziatura delle discontinuità	>2 m	0,6-2 m	20-60 cm	6-20 cm	<6 cm
Coefficienti R3	20	15	10	8	5

Condizioni delle discontinuità (R4)

Determinare dalle tavole di classificazione di Beniawsky il valore numerico relativo alla condizione delle discontinuità, invece, risulta molto soggettivo. Perciò per valutare correttamente R4 conviene procedere sommando alcuni parametri numerici attribuibili alla persistenza del giunto, all'apertura del giunto, alla rugosità dello stesso, all'alterazione delle pareti, e al materiale di riempimento.

Parametro elementare	Valori				
	Persistenza	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m
	6	4	2	1	0
Apertura	serrata	<0,1 mm	0,1-1 mm	1-5 mm	>5 mm
	6	5	4	1	0
Rugosità	Molto rugosa	Rugosa	Legg. rugosa	Liscia	Molto liscia
	6	5	3	1	0
Riempimento	Assente	<5 mm Riemp. duro	>5 mm Riemp. duro	<5 mm Riemp. molle	>5 mm Riemp. molle
	6	4	2	2	0
Alterazione	Non alt.	Legg. alt.	Alterata	Molto alter.	Decomposta
	6	5	3	1	0

Presenza d'acqua (R5)

Le condizioni di flusso in questo caso vengono considerate in maniera qualitativa, valutando le condizioni idrauliche osservate durante il rilievo in sito.

Presenza d'acqua	Asciutta	Umida	Bagnata	Stillicidio	Venute d'acqua
Coefficienti R5	15	10	7	4	0

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA (ROCK MASS RATING Bieniawsky, 1989):

Proprietà		Coefficienti (rating)
R1 - RESISTENZA DEL MATERIALE ROCCIA		12
R2 -RQD (%)		8
R3 -SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA'		8
R4 - CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'	persistenza	4
	apertura	0
	rugosità	5
	riempimento	6
	alterazione	5
R5 - VENUTE D'ACQUA		15
	RMR_b	63

L'indice così definito identifica l'ammasso roccioso nella **classe II: buona qualità**

L'indice è utilizzato per la stima delle caratteristiche geomeccaniche mediante le correlazioni riportate in letteratura.

Si riassumono di seguito le caratteristiche nominali degli ammassi rocciosi che interessano gli interventi in progetto:

U2-ROCCIA INTENSAMENTE FRATTURATA – gneiss e micascisti fratturati in superficie

parametro	simbolo	u.m.	Valore minimo	Valore medio
Peso di volume	(γ)	kN/m ³	-	26
Coesione	(c)	kPa	-	315
Angolo resistenza al taglio	(ϕ)	°	-	37
Modulo di deformazione dell'ammasso roccioso	(Em)	GPa	-	26

Dove:

- Peso di volume (γ): da bibliografia di riferimento;
- Coesione (c): $c \text{ (kPa)} = \text{RMR}_b * 5$ (Bieniawski, 1984);
- Angolo di attrito (ϕ): $\phi \text{ (}^\circ\text{)} = 5 + 0,5 * \text{RMR}_b$;
- Modulo di deformazione (Em): $\text{Em (GPa)} = 2 * \text{RMR}_b - 100$ (Bieniawski, 1978) se $\text{RMR}_b > 50$;

U3-ROCCIA INTEGRA O POCO FRATTURATA – gneiss e micascisti non affioranti

parametro	simbolo	u.m.	Valore minimo	Valore medio
Peso di volume	(γ)	kN/m ³	-	26
Coesione	(c)	kPa	-	1000
Angolo resistenza al taglio	(ϕ)	°	-	40

Dove:

- Peso di volume (γ), coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ): da bibliografia di riferimento;

VERIFICHE DI STABILITA'

Premessa

Questo capitolo si occupa delle verifiche di stabilità del versante in configurazione di progetto. La sezione di verifica rappresenta quella di maggior impegno da parte delle opere previste, nonché quella maggiormente critica (la traccia è riportata in allegato 1).

Le verifiche sono state effettuate utilizzando il software SLOPE della GeoStru Software s.a.s., indagando un certo numero di superfici di scivolamento di forma generica passanti per diversi punti posti lungo il versante e determinando per ognuna di esse il coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto tra la resistenza disponibile e la tensione di taglio. E' stato utilizzato il metodo di Janbu (1967) con la correzione del fattore di sicurezza $f_0 = 1,00$ per operare dalla parte della sicurezza.

Introduzione all'analisi di stabilità

Per pendio si intende una porzione di versante naturale/artificiale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana si intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

- Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
- In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i ;
- $(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;

- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;
- (n-1) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F.

Complessivamente le incognite sono (6n-2), le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n;
- equazioni relative al criterio di rottura n.

Totale numero di equazioni 4n. Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a:

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a (n-2) in quanto si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite. I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le (n-2) indeterminazioni.

Metodo di analisi utilizzato: Janbu (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

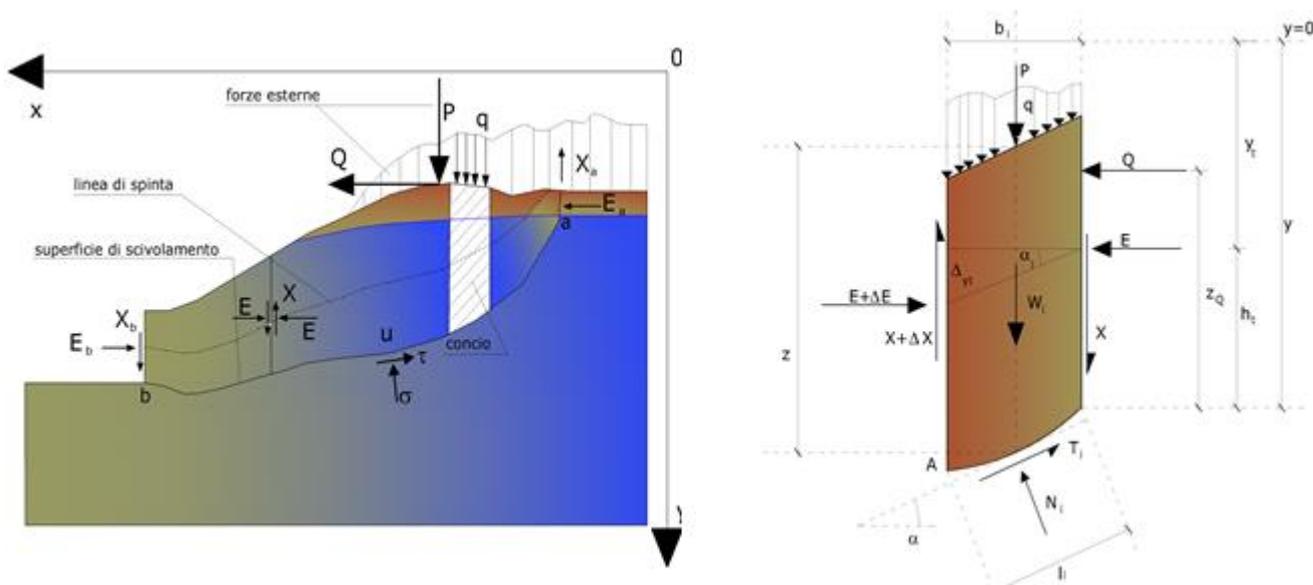


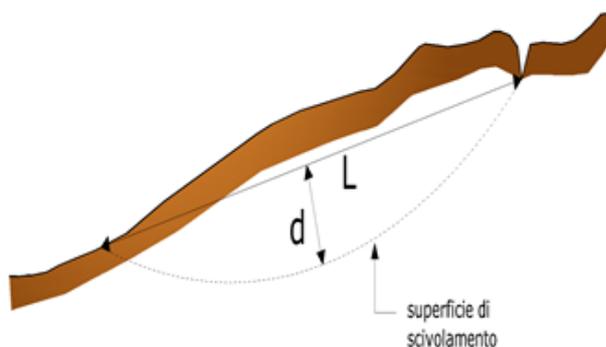
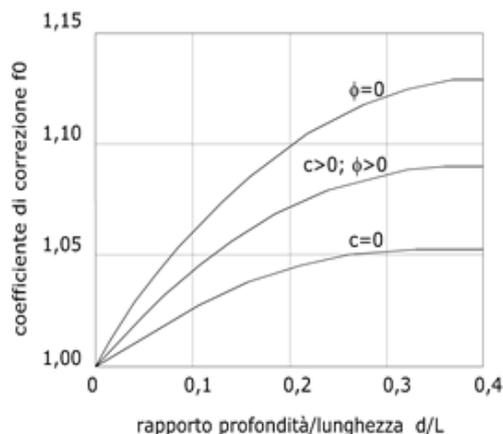
Figura 33 - Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Assumendo $\Delta X_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario. Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove f_0 è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii

poco inclinati.



Parametri di calcolo:

```

=====
Lat./Long.                               45,829573/8,09723
Calcolo eseguito secondo                  NTC 2018
Numero di strati                          3,0
Numero dei conci                         10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile  1.3
Coefficiente parziale resistenza         1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito: Picco
Analisi                                   Condizione drenata
Superficie di forma generica
=====
    
```

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

```

Tipo opera:                2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:              Classe II
Vita nominale:             50,0 [anni]
Vita di riferimento:      50,0 [anni]
    
```

Parametri sismici su sito di riferimento:

```

Categoria sottosuolo:     B
Categoria topografica:    T2
    
```

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	Ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,21	2,54	0,17
S.L.D.	50,0	0,26	2,52	0,2
S.L.V.	475,0	0,56	2,66	0,29
S.L.C.	975,0	0,68	2,74	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali:

```

Opera:                Stabilità dei pendii e Fondazioni
    
```

S.L. Stato limite	Amax [m/s ²]	Beta [-]	Kh [-]	Kv [sec]
S.L.O.	0,3024	0,2	0,0062	0,0031
S.L.D.	0,3744	0,2	0,0076	0,0038
S.L.V.	0,8064	0,2	0,0164	0,0082
S.L.C.	0,9792	0,2	0,02	0,01

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,016

Coefficiente azione sismica verticale 0,008

Vertici profilo:

Nr	X (m)	y (m)
1	-30,4	-23,3
2	-30,4	-18,77
3	-21,75	-16,07
4	-21,75	-14,07
5	-7,18	-3,73
6	-6,55	-3,44
7	-6,31	-3,23
8	-5,88	-3,23
9	-5,88	-1,03
10	-5,06	-0,64
11	-5,06	1,66
12	-2,05	1,66
13	2,05	5,72
14	6,48	9,44
15	12,36	14,29
16	18,77	25,16

Vertici strato1:

N	X (m)	y (m)
1	-30,4	-29,16
2	-13,98	-14,76
3	-5,18	-6,2
4	1,0	1,56
5	5,09	8,27
6	6,48	9,44
7	12,36	14,29
8	18,77	25,16

Vertici strato2:

N	X (m)	y (m)
1	-30,4	-35,71
2	-4,76	-11,24
3	4,47	-0,26
4	12,36	14,29
5	18,77	25,16

Vertici superficie Nr...1:

N	X (m)	y (m)
1	-18,05	-11,32
2	-17,01	-12,13
3	-14,35	-14,03
4	-11,27	-14,87
5	-7,76	-15,01
6	-4,75	-14,45
7	-2,02	-13,32
8	0,43	-11,92
9	2,68	-9,75
10	4,05	-6,98
11	5,06	-4,18
12	5,89	-0,84
13	6,73	2,43
14	8,23	8,61
15	8,42	11,08

Vertici superficie Nr...2:

N	X (m)	y (m)
1	-20,6	-13,13
2	-19,52	-14,12
3	-16,73	-16,08
4	-13,19	-17,21
5	-8,52	-17,59
6	-2,79	-17,06
7	0,37	-15,93
8	3,99	-13,14
9	6,55	-10,13
10	8,28	-7,34
11	9,18	-2,9
12	10,39	1,55
13	10,99	5,77
14	11,44	9,61
15	11,67	14,43
16	11,74	13,86

Vertici superficie Nr...3:

N	X (m)	y (m)
1	-23,17	-16,41
2	-21,4	-17,59
3	-17,18	-18,79
4	-8,52	-19,85
5	-0,83	-18,87
6	4,44	-16,23
7	8,21	-12,39
8	10,01	-9,3
9	11,67	-4,55
10	13,4	1,4
11	14,46	6,14
12	15,06	11,57

			(m)	(°)	
1	-6,026918	-2,493606	9	30	300

Superficie Nr.,,1 Fattore di sicurezza=8,38

Nr,	B	Alfa	Li	Wi	Kh•Wi	Kv•Wi	c	Fi	Ui	N'i	Ti
m	(°)	m	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN/m ²)	(°)	(kN)	(kN)	(kN)
12,64	-36,4	3,28	90,7	1,45	0,73	0,0	29,3	0,0	118,5	9,9	
22,64	-23,4	2,87	253,01	4,05	2,02	0,0	29,3	0,0	283,8	20,7	
32,64	-9,3	2,67	431,88	6,91	3,46	252,0	31,1	0,0	456,2	114,7	
42,64	-0,5	2,64	590,73	9,45	4,73	252,0	31,1	0,0	591,7	121,9	
52,64	10,5	2,68	726,11	11,62	5,81	800,0	33,9	0,0	680,9	316,0	
62,64	22,2	2,85	947,65	15,16	7,58	800,0	33,9	0,0	883,6	370,2	
72,64	30,0	3,04	986,61	15,79	7,89	800,0	33,9	0,0	928,4	421,7	
82,64	49,1	4,03	1030,69	16,49	8,25	800,0	33,9	0,0	1034,4	713,6	
92,64	70,7	7,96	866,72	13,87	6,93	800,0	33,9	0,0	366,6	2385,4	
102,64	77,9	12,61	348,18	5,57	2,79	252,0	31,1	0,0	-81,8	1786,7	

Superficie Nr.,,2 Fattore di sicurezza=13,32

Nr,	B	Alfa	Li	Wi	Kh•Wi	Kv•Wi	c	Fi	Ui	N'i	Ti
m	(°)	m	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN/m ²)	(°)	(kN)	(kN)	(kN)
13,21	-37,5	4,05	137,55	2,2	1,1	0,0	29,3	0,0	179,2	9,5	
23,21	-21,1	3,44	378,31	6,05	3,03	252,0	31,1	0,0	438,3	91,1	
33,21	-8,3	3,25	658,46	10,54	5,27	252,0	31,1	0,0	679,0	93,2	
43,21	-1,9	3,22	895,53	14,33	7,16	800,0	33,9	0,0	904,0	238,9	
53,21	5,3	3,23	1103,87	17,66	8,83	800,0	33,9	0,0	1085,6	249,7	
63,21	12,5	3,29	1420,83	22,73	11,37	800,0	33,9	0,0	1395,9	274,6	
73,21	29,5	3,69	1558,53	24,94	12,47	800,0	33,9	0,0	1618,8	348,5	
83,21	42,7	4,37	1658,75	26,54	13,27	800,0	33,9	0,0	1925,5	489,8	
93,21	57,6	6,0	1578,65	25,26	12,63	800,0	33,9	0,0	2204,3	881,0	
103,21	81,0	20,59	738,79	11,82	5,91	800,0	33,9	0,0	-2343,8	7163,4	

Superficie Nr.,,3 Fattore di sicurezza=11,43

Nr,	B	Alfa	Li	Wi	Kh•Wi	Kv•Wi	c	Fi	Ui	N'i	Ti
m	(°)	m	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN/m ²)	(°)	(kN)	(kN)	(kN)
13,87	-24,2	4,24	257,06	4,11	2,06	0,0	29,3	0,0	288,1	15,5	
23,87	-11,6	3,95	567,96	9,09	4,54	252,0	31,1	0,0	604,4	121,5	
33,87	-6,9	3,9	931,02	14,9	7,45	252,0	31,1	0,0	954,5	137,3	
43,87	-3,5	3,88	1275,76	20,41	10,21	800,0	33,9	0,0	1299,5	348,4	
53,87	7,2	3,9	1711,91	27,39	13,7	800,0	33,9	0,0	1678,6	374,6	
63,87	12,7	3,97	1969,08	31,51	15,75	800,0	33,9	0,0	1930,3	400,7	
73,87	26,6	4,33	2258,13	36,13	18,07	800,0	33,9	0,0	2306,4	490,7	
83,87	44,0	5,38	2373,37	37,97	18,99	800,0	33,9	0,0	2777,7	750,0	
93,87	65,6	9,37	2077,82	33,25	16,62	800,0	33,9	0,0	3173,4	2038,7	
103,87	80,8	24,34	879,21	14,07	7,03	800,0	33,9	0,0	-3696,5	9342,6	

Risultati della verifica

La verifica è stata effettuata utilizzando il software SLOPE della GeoStru Software s.a.s., indagando n.3 superfici di scivolamento e determinando per ognuna di esse il coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto tra la resistenza disponibile e la tensione di taglio.

La sezione di verifica corrisponde con quella ritenuta maggiormente gravosa nel problema dato, considerando le superfici di scivolamento di forma qualsiasi, che comportano le spinte di taglio ipotizzate maggiori.

Il fattore di sicurezza minimo è risultato pari a **8,38** ovvero superiore a quello minimo richiesto dalla normativa. In particolare la superficie di scivolamento è quella contrassegnata con il nr. 1.

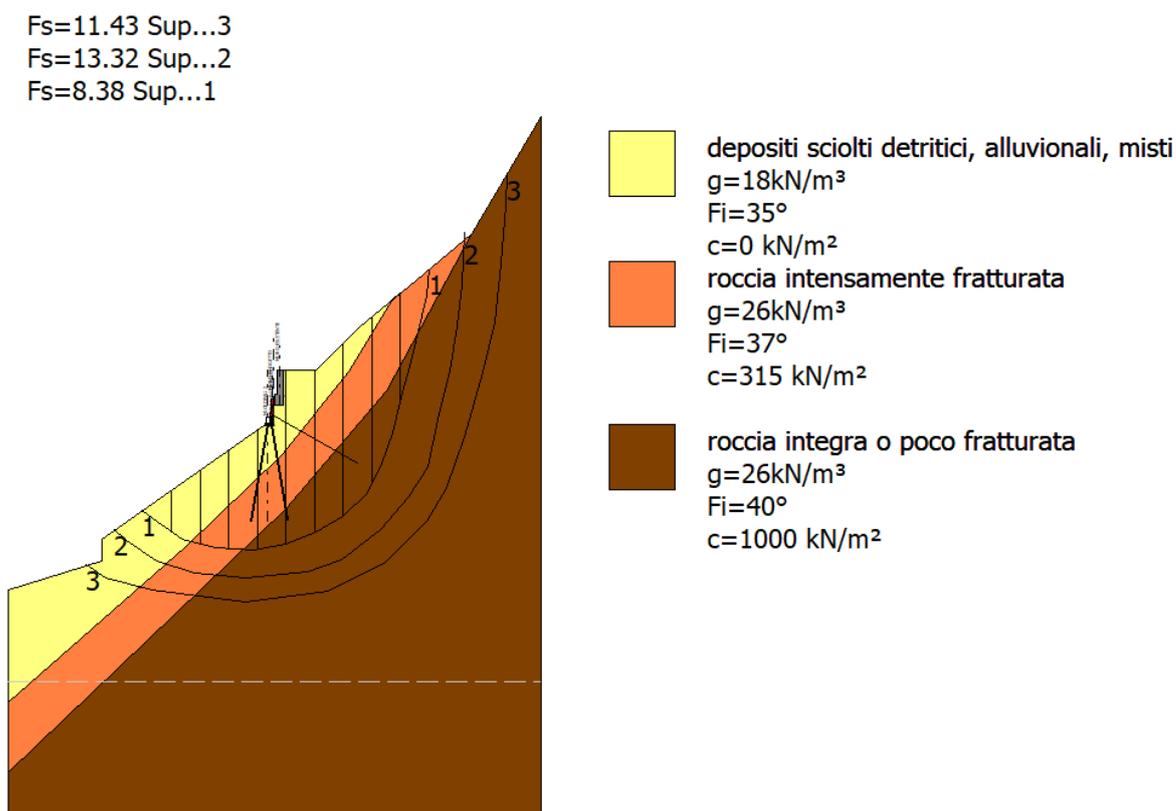
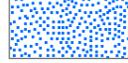
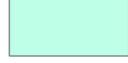
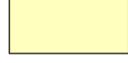
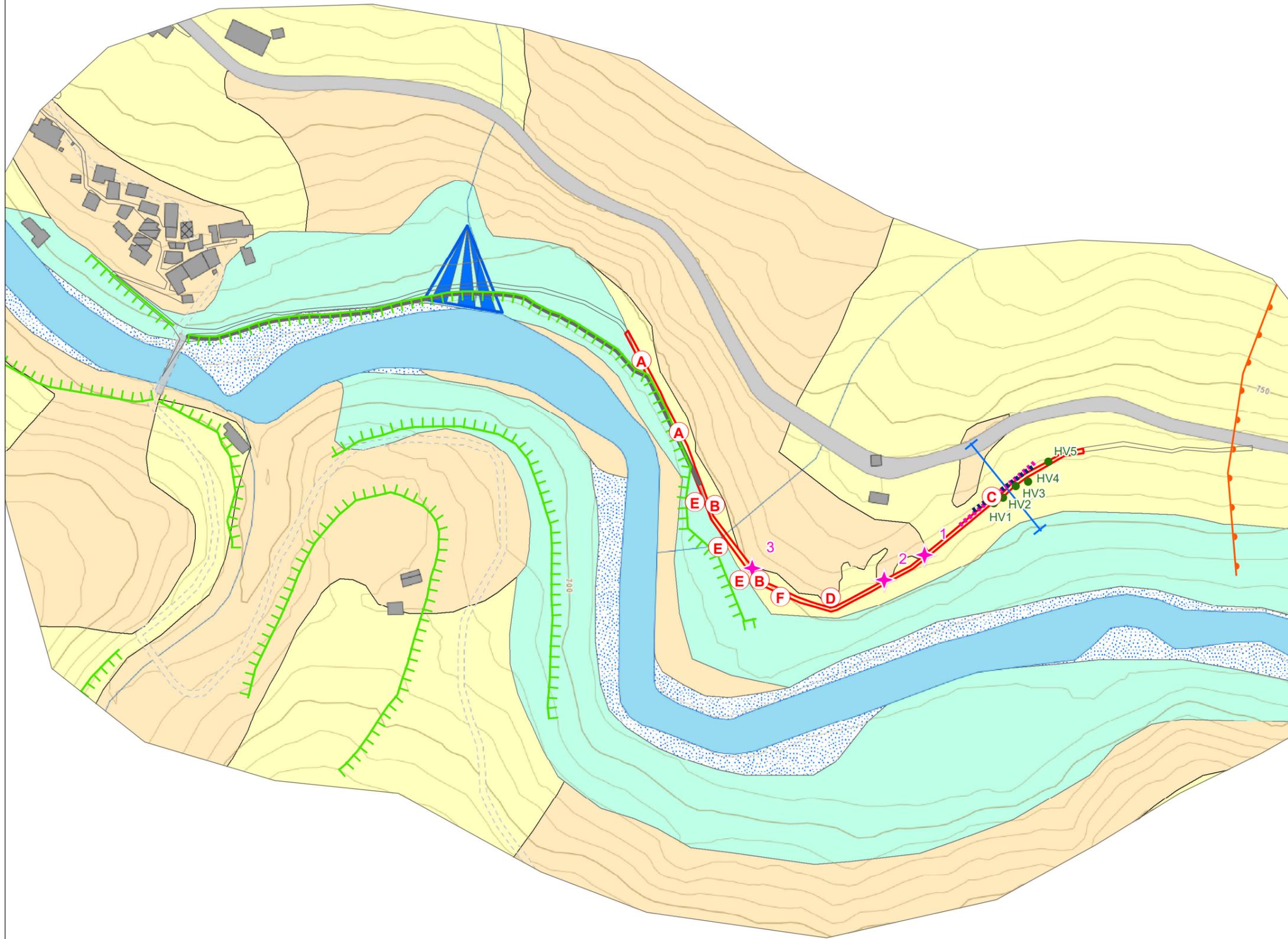


Figura 34 – Sezione di verifica della stabilità globale opera di sostegno-terreno

Legenda carta geologica e geomorfologica

-  Conoide alluvionale
-  Depositi alluvionali attuali
-  Depositi alluvionali recenti
-  Depositi misti: morenici, coperture eluvio-coluviali, detritici
-  Micascisti e gneiss
ZONA SESIA-LANZO
-  Orlo di terrazzo o scarpata
-  Nicchia di frana
-  Scogliera
-  Sezione
-  Indagine HVSR
-  Traccia stendimento tomografia elettrica
-  Traccia stendimento sismico
-  Strada della Valle sottoposta ad intervento
-  Strada della Valle
-  Stazione di rilievo geomeccanico
-  Interventi in progetto



0 20 40 60 80 100
Meters

ALLEGATO 2
SEZIONE GEOLOGICA

SCALA 1:250

LEGENDA

- depositi sciolti detritici, alluvionali, misti
- roccia intensamente fratturata
- roccia integra o poco fratturata
- opera in progetto

SE

NO

STRADA
S.P. 10

STRADA

Quote (m s.l.m.)	697,30	700,00	717,73	717,73	721,79	725,51	730,36	741,23	741,23
Distanze Parziali (m)	0,00	8,65	16,15	3,55	4,10	4,43	5,88	6,41	5,00
Distanze Progressive (m)	0,00	8,65	24,80	28,35	32,45	36,88	42,76	49,17	54,17

