

REGIONE PIEMONTE  
PROVINCIA DI VERCELLI  
COMUNE DI BALMUCCIA



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU

# MESSA IN SICUREZZA CONCENTRICO ABITATO DAL RISCHIO IDRAULICO TORRENTE SERMENZA TRATTO TERMINALE FINO ALLA CONFLUENZA FIUME SESIA

## PROGETTO DEFINITIVO

A07 - RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA

PROPONENTE:

COMUNE DI BALMUCCIA



Regione Cesolo, 1 - 13011 Borgosesia (VC)

0163 209163 [info@green-geo.it](mailto:info@green-geo.it)

[pliocenegm@epap.sicurezza postale.it](mailto:pliocenegm@epap.sicurezza postale.it)

Dr. Geol. Massimo Gobbi



*Massimo Gobbi*

DATA: GIUGNO 2022

## INDICE:

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>2</b>
Inquadramento geografico e cartografico .....	2
Vincoli di carattere geologico .....	3
Classificazione sismica .....	3
Vincolo idrogeologico (R.D.L. 30/12/1923 n° 326, L.R. 9/8/1989 n°45).....	3
Piano per l’assetto idrogeologico del bacino del Fiume Po (PAI) e Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) .....	4
Piano regolatore comunale .....	4
<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE .....</b>	<b>6</b>
Geologia.....	6
Geomorfologia .....	7
Idrogeologia .....	7
Cenni di pluviometria e climatologia .....	8
<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO .....</b>	<b>10</b>
Modello sismico .....	10
Indagine di tomografia sismica .....	10
Indagine sismica HVSR.....	16
<b>CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA SITO SPECIFICA .....</b>	<b>21</b>
Modello geologico e geomorfologico e dissesti .....	21
Caratteristiche geotecniche dei terreni e delle rocce.....	25
Interventi previsti e implicazioni geologico-applicative.....	26
INTERVENTI IDRAULICI.....	27
INTERVENTI DI RECUPERO AMBIENTALE E SISTEMAZIONE PAESAGGISTICA.....	29
<b>VERIFICA DI STABILITÀ.....</b>	<b>33</b>
Premessa.....	33
Introduzione all'analisi di stabilità.....	33
Metodo equilibrio limite (LEM) .....	33
Metodo di analisi utilizzato: Janbu (1967) .....	34
Verifiche di stabilità del versante coinvolto dalle opere .....	35
Risultati delle verifiche e considerazioni.....	39

## ALLEGATI:

### **1 – CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA DELLA ZONA DI CONFLUENZA DEL T.SERMENZA NEL F.SESIA**

## INTRODUZIONE

Il presente studio rappresenta la relazione geologica relativa al progetto di messa in sicurezza del concentrico abitato di Balmuccia dal rischio idraulico del Torrente Sermenza nel suo tratto terminale, fino alla confluenza nel Fiume Sesia.

Sono previsti in particolare interventi di tipo idraulico (ZONA INTERVENTO CONFLUENZA) e interventi di recupero ambientale e sistemazione paesaggistica (ZONA INTERVENTO CONFLUENZE e ZONA INTERVENTO DINELLI).

Gli interventi idraulici prevedono il ripristino dell'efficienza del corso d'acqua principale e dei due canali scolmatori laterali mediante sbancamenti, riprofilature e realizzazione di difese spondali a protezione dei manufatti esistenti. Il materiale di risulta sarà recuperato e riutilizzato per gli interventi di sistemazione in 2 aree localizzate precisamente presso l'area della confluenza (vicino alla sede comunale) e in località Dinelli.

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**

### ZONA DI INTERVENTO CONFLUENZA

- Comune: Balmuccia
- Località: Tratto finale Torrente Sermenza – confluenza nel Fiume Sesia
- Quota sito: 550 m s.l.m.
- N.C.T.: F° 7-8-14 mappali vari
- Coordinate baricentro sito di intervento (UTM – WGS84): 32T 433171 5074193
- Tavoleta III NE “Scopa”, Foglio n° 30 della Carta d'Italia I.G.M.I. a scala 1:25.000
- sez. n° 072140 della C.T.R. del Piemonte a scala 1:10.000

### ZONA DI INTERVENTO DINELLI

- Comune: Balmuccia
- Località: Dinelli
- Quota sito: 605 m s.l.m.
- N.C.T.: F° 6 mappali 9 e 10, F° 12 mappali 109, 107, 106, 105, 104, 103, 102, 101
- Coordinate baricentro sito di intervento (UTM – WGS84): 32T 432408 5073847
- Tavoleta III NE “Scopa”, Foglio n° 30 della Carta d'Italia I.G.M.I. a scala 1:25.000
- sez. n° 072140 della C.T.R. del Piemonte a scala 1:10.000

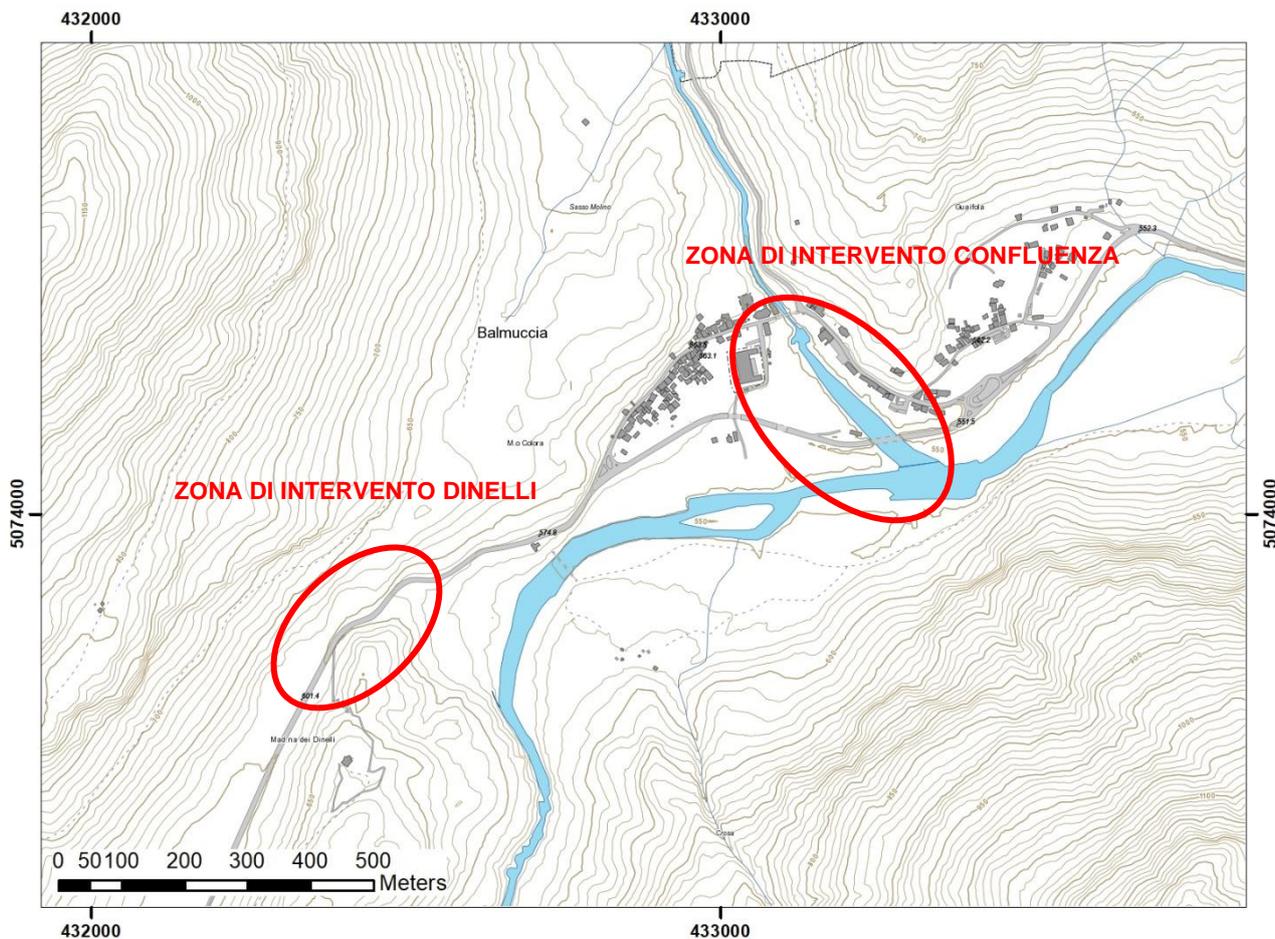


Figura 1 - Inquadramento delle zone di intervento su sfondo cartografico di riferimento della Regione Piemonte, scala 1:10.000

## 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 Balmuccia si colloca in classe 4 sismica.

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

La zona di intervento "CONFLUENZA" non ricade all'interno del vincolo.

La zona di intervento "DINELLI" ricade all'interno del vincolo.

## 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.

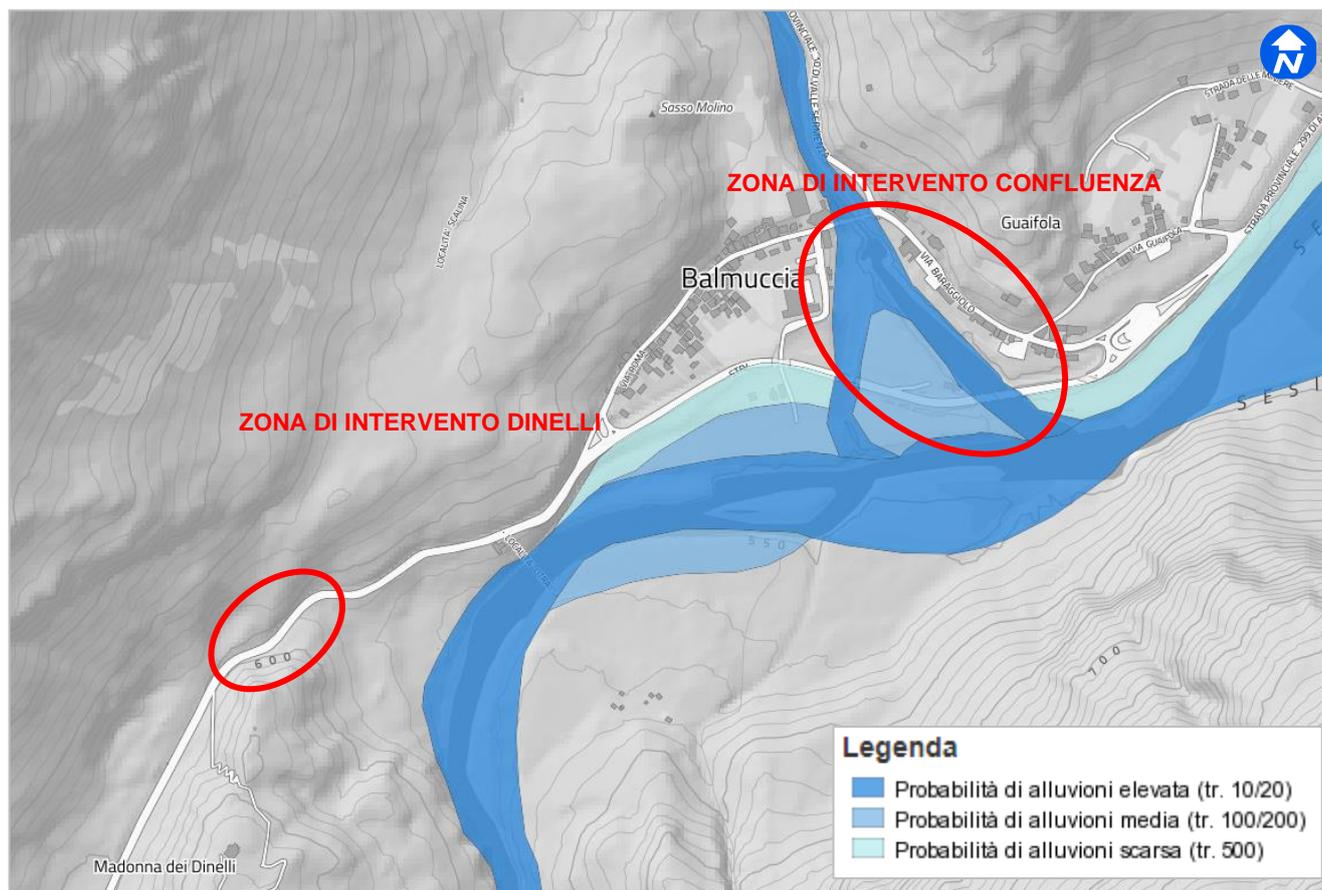


Figura 2 - Stralcio del Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) con ubicazione delle zone di intervento, non in scala

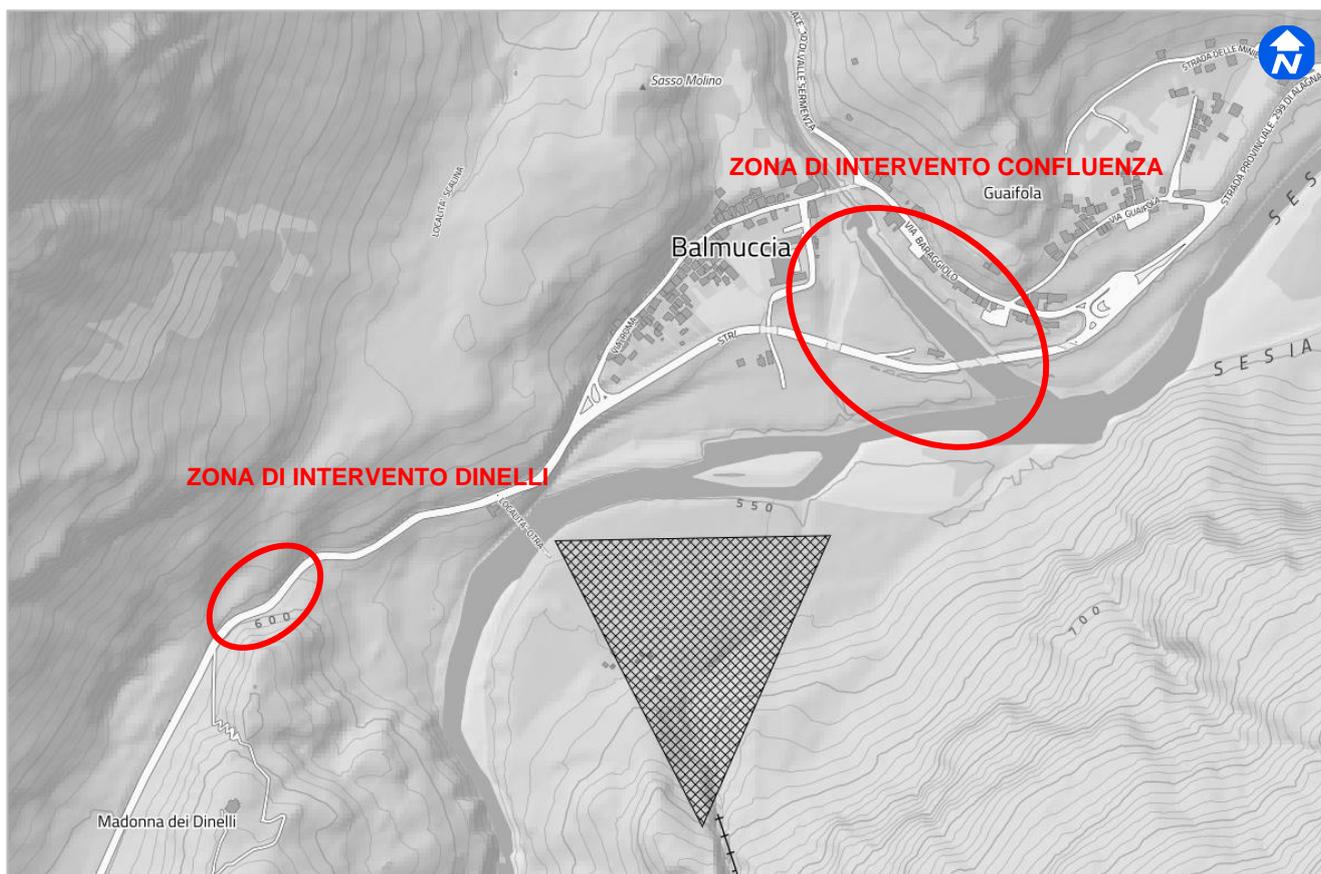
L'area del distretto idrografico padano è gestita dall'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po che, con delibera del Comitato Istituzionale, ha adottato ed approvato il PGRA (deliberazione n.2/2016 del 3 marzo 2016).

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 la zona di intervento "CONFLUENZA" si colloca all'interno dell'ambito di probabilità di alluvione elevata (H) e media (M), determinata dall'esondazione del Torrente Sermenza, mentre la zona di intervento "DINELLI" si colloca all'esterno degli ambiti di probabilità di alluvioni.

### Piano regolatore comunale

Il P.R.G.C. vigente non è adeguato alla circolare PGR 08/05/1996 n. 7/LAP, per cui vige la classificazione di rischio riportata nel P.A.I. del fiume PO. A tal riguardo non si rilevano dissesti presso l'area di intervento.



**Legenda**

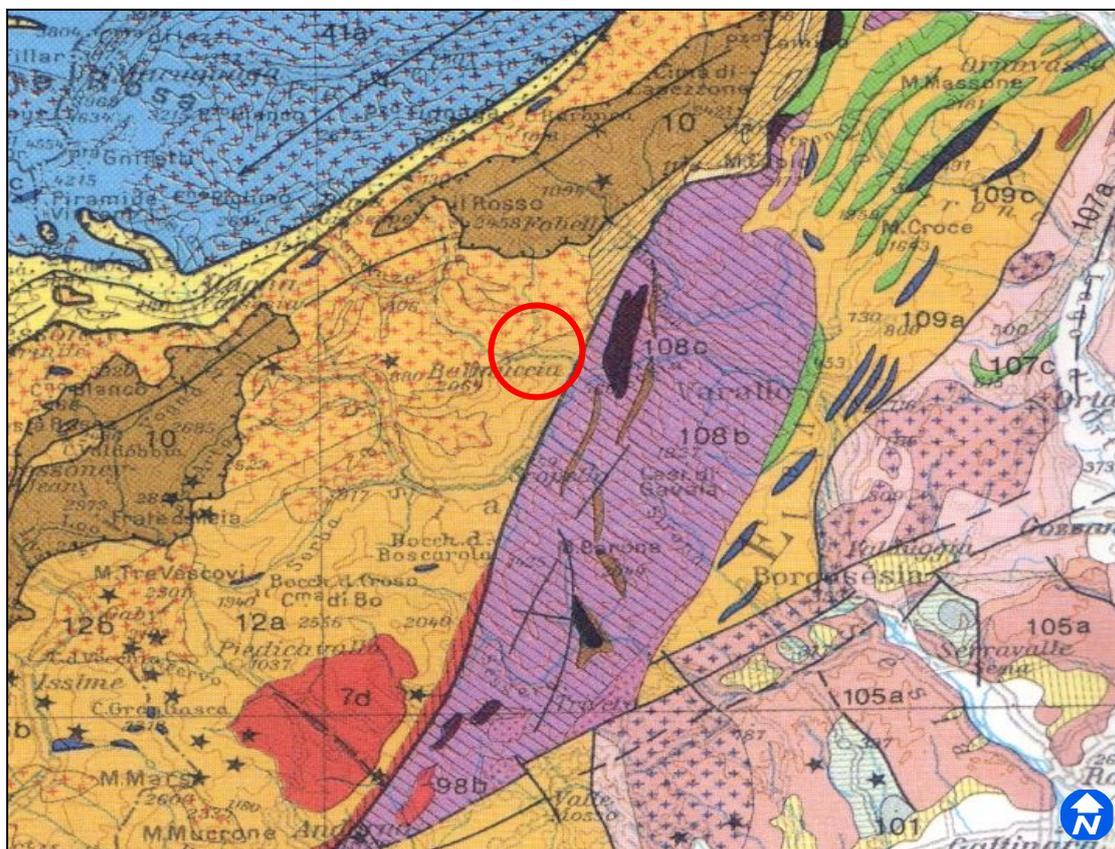
- |   |   |
|---|---|
| ● Frana attiva - Fa                                   | ▣ Frana attiva - Fa                                   |
| ▲ Frana quiescente - Fq                               | ▤ Frana quiescente - Fq                               |
| ✱ Frana stabilizzata - Fs                             | ▥ Frana stabilizzata - Fs                             |
| ⚡ Esondazione a pericolosità molto elevata - Ee       | ▧ Conoide attivo non protetto - Ca                    |
| ⚡ Esondazione a pericolosità elevata - Eb             | ▨ Conoide attivo parzialmente protetto - Cp           |
| ⚡ Esondazione a pericolosità media o moderata - Em    | ▩ Conoide non recentemente attivatosi - Cn            |
| ⚡ Valanga a pericolosità molto elevata o elevata - Va | ▬ Esondazione a pericolosità molto elevata - Ee       |
| ⚡ Valanga a pericolosità media o moderata - Vm        | ▬ Esondazione a pericolosità elevata - Eb             |
|   | ▬ Esondazione a pericolosità media o moderata - Em    |
|   | ▬ Valanga a pericolosità molto elevata o elevata - Va |
|   | ▬ Valanga a pericolosità media o elevata - Vm         |

Figura 3 – Stralcio della Carta del PAI vigente con ubicazione delle zone di intervento, non in scala

## INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

### Geologia

L'area esaminata nel presente studio si colloca geologicamente all'interno delle alpi occidentali, più precisamente il territorio del Comune di Balmuccia si trova a cavallo tra il complesso sistema Austroalpino (AU) e la Zona Ivrea-Verbanò (IVZ); il contatto tra le due zone è sottolineato dalla presenza di una importante discontinuità tettonica alpina detta Linea Insubrica (localmente Linea del Canavese).



**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 gabbro 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 Pennidiche.** 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 Pennidiche 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

Il sistema AU è un tipico sistema composito, formato da un elemento inferiore ubiquitario e da un elemento superiore dato da lembi trasposti; l'elemento inferiore è costituito in prevalenza da parascisti polimetamorfici e da corpi intrusivi acidi e basici taldo-paleozoici, con trasformazioni metamorfiche alpine di vario tipo; l'elemento superiore è un frammento di crosta continentale profonda, con locali scaglie di peridotiti del mantello, talora metamorfosato o tettonizzato. Le unità superiori e inferiori sono separate da una vasta zona di laminazione duttile in cui sono inseriti alcuni lembi di copertura mesozoica.

L'unità inferiore è denominata Zona Sesia-Lanzo ed è costituita da vari litotipi: micascisti eclogitici con numerose lenti basiche in cui si intercalano protoliti di probabile età permiana metamorfosati; metagranitoidi massicci e scistosi con dominante impronta metaforfica in scisti verdi; gneiss minuti albitici, in facies scisti verdi, di età mesoalpina e derivanti da granitoidi tardo paleozoici.

L'unità superiore è costituita dalla 2a Zona dioritico-kinzigitica (2DK) e da lembi trasposti; la 2DK presenta alcuni litotipi caratteristici: una fascia basale di miloniti, una porzione di protoliti prealpini come paragneiss a Bt - Grt - Sill (kinzigiti Auct.), intercalazioni di granuliti basiche, anfiboliti e marmi antichi e dalla piccola scaglia di peridotiti tettoniche; la sequenza è ricca di migmatiti e pegmatiti di annessi, ma è priva di corpi intrusivi granitici.

Per quanto riguarda la IVZ, essa è suddivisibile in due subunità: il corpo basico (gabbri e dioriti con peridotiti del mantello) e la zona *Kinzigitica* (metapeliti di grado medio-alto a sillimanite, talora con la presenza di filoni e sacche concordanti di composizione pegmatitica o aplitica).

## Geomorfologia

Le formazioni del substrato sono sormontate dalle coperture sciolte dovute principalmente all'azione glaciale; tra questi elementi si ricordano i depositi glaciali e fluvioglaciali, le coperture detritiche di versante e le conoidi di deiezione torrentizia.

Per quanto riguarda i depositi glaciali essi sono prevalentemente costituiti da residui morenici e da depositi fluvio-glaciali, formati da un ramo del ghiacciaio del Sesia 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.

Data la natura aspra del territorio sono presenti diversi 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.

## Idrogeologia

In funzione delle caratteristiche litologiche e tessiturali 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 principali tipi di complessi idrogeologici aventi comportamento omogeneo presenti sul territorio comunale:

- Depositi alluvionali: depositi sciolti formati prevalentemente da ghiaie e sabbie e dotati di una permeabilità primaria da media ad alta (10-2 ÷ 10-4 m/sec); essi caratterizzano la valle principale del fiume Sesia, del Sermenza ed altre minori.
- Depositi detritici di versante: depositi sciolti formati da brecce e blocchi immersi talvolta in matrice sabbiosa, caratterizzati in genere da una permeabilità primaria alta quando la matrice fine è ridotta (10-2 ÷ 10-4 m/sec) o medio-bassa (10-5 ÷ 10-6 m/sec) per la presenza di frazione limosa; si sviluppano a plaghe lungo i versanti più acclivi, a bordare il centro delle valli alluvionali.
- Depositi glaciali: sono depositi abbastanza eterogenei e quindi con permeabilità primaria assai variabile; affiorano nelle aree montane meno acclivi.
- Substrato roccioso: costituito da rocce ignee e metamorfiche, è caratterizzato da una permeabilità secondaria per fessurazione, dovuta ai diversi sistemi di fratture che interessano le rocce; le fratture intersecandosi tra loro determinano, non solo l'effetto di collettori drenanti, ma anche l'effetto di barriera.

## Cenni di pluviometria e climatologia

Per la definizione delle caratteristiche pluviometriche e climatiche dell'area ci si è affidati ai dati contenuti in alcune pubblicazioni a cura dei Servizi tecnici della Regione Piemonte ed in particolare al testo *Distribuzione regionale di piogge e temperature (1998)*, che elabora i dati raccolti sugli Annali Idrologici pubblicati dal Ministero dei LL.PP e agli elaborati presenti nel *Piano territoriale delle acque della Regione Piemonte (PTA)*.

Per l'analisi delle precipitazioni è stata presa in considerazione la stazione climatica di Boccioleto (667 m s.l.m.) con misurazioni eseguite tra il 1921 e il 1971, sufficienti per la determinazione delle curve pluviometriche medie per la zona.

Per quanto riguarda le temperature è stata presa in considerazione la stazione meteorologica di Varallo Sesia (453 m s.l.m.). I dati si riferiscono ad un periodo di misura di 36 anni.

Nella seguente tabella si riportano i valori medi mensili calcolati per le precipitazioni (P) di Boccioleto e la temperatura (T) di Varallo S.:

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
P(mm)	66	86	133	192	216	176	118	141	146	199	186	86
T(C°)	0,9	2,7	6,1	9,5	13,4	17,6	20,5	19,5	15,8	11,1	5,7	1,8

La distribuzione delle precipitazioni lungo l'anno presenta un andamento bimodale, ovvero con due massimi (principale in autunno e secondario in primavera) ed un minimo invernale: il mese più piovoso è maggio (216 mm), quello più secco gennaio (66 mm); tale regime pluviometrico è ascrivibile al **tipo subalpino**. La precipitazione media annuale per la stazione di riferimento è pari a circa **1745 mm**.

Dal punto di vista delle precipitazioni critiche ci si affida alle elaborazioni realizzate nello studio P.A.I. dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, che individua i coefficienti delle curve di probabilità pluviometrica per varie stazioni presenti nel bacino, relative a tempi di ritorno da 20 a 500 anni.

I parametri  $a$  e  $n$  sono stati inseriti nella seguente tabella riferendoci alla stazione meteo più vicina alla zona di studio, ovvero quella di Rimasco:

		<b>20</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>
<b>RIMASCO</b>	<b>a</b>	44,17	56,45	61,72	68,68
	<b>n</b>	0,531	0,530	0,530	0,530

Le curve di probabilità pluviometrica sono del tipo:

$$h = a \cdot t^n$$

## CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Il presente capitolo si occupa della caratterizzazione sismica del sito di intervento "CONFLUENZA".

### 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° 3 stendimenti di sismica attiva con interpretazione di una tomografia sismica;***
- ***n° 5 acquisizioni di sismica passiva HVSR.***

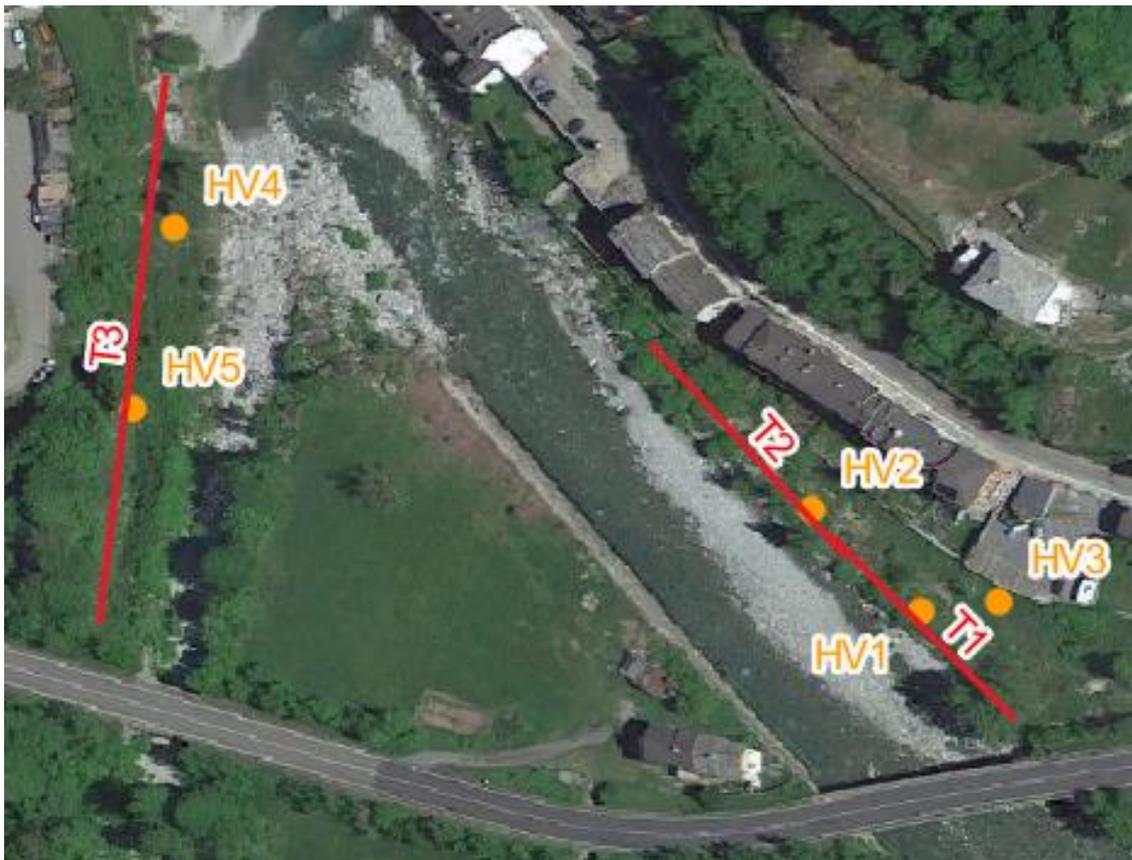


Figura 5 – Ubicazione delle indagini sismiche su ortofoto Google, non in scala

### Indagine di tomografia sismica

La tomografia sismica permette di costruire un'immagine della distribuzione in profondità della velocità delle onde sismiche e delle sue anomalie con un alto potere risolutivo. In particolare, l'indagine sismica a rifrazione è un'indagine sismica indiretta e attiva che utilizza le onde rifratte generate dai contrasti di velocità di propagazione delle onde sismiche per ricostruire le caratteristiche del sottosuolo. La velocità delle onde sismiche dipende dalla densità e dalle proprietà elastiche del materiale attraversato, ovvero da proprietà riconducibili alle caratteristiche litologiche del substrato indagato. La direzione di propagazione delle onde in profondità rispetta la legge di Snell e ad ogni interfaccia si originano fenomeni di rifrazione, riflessione e diffrazione. Nelle indagini a rifrazione, come dice il nome stesso, verranno considerate solo le onde rifratte. La tomografia sismica a rifrazione consente di ottenere un'immagine della distribuzione di velocità nel sottosuolo mettendo in evidenza le variazioni continue di velocità piuttosto che un modello a strati tipico delle elaborazioni a rifrazione (Intercette, delaytime, plus minus, GRM).

Lo svolgimento dell'indagine sismica a rifrazione consiste nel generare un'onda sismica di compressione (energizzazione)

e registrarne l'arrivo ai geofoni disposti in linea ad intervalli noti. L'interpretazione delle misure registrate si basa sull'analisi del tempo impiegato dall'onda generata con le energizzazioni a raggiungere ciascun geofono. Per poter ricostruire la variazione di velocità delle onde di compressione nel sottosuolo è necessario eseguire più energizzazioni in posizioni differenti.

Le misure effettuate con la tecnica a rifrazione possono essere elaborate con la procedura tomografica al fine di evidenziare in dettaglio le variazioni locali di velocità.

La tecnica tomografica prevede la creazione di un modello sintetico iniziale del sottosuolo e la sua perturbazione alla ricerca del minimo scarto tra le misure effettuate sul terreno e le misure "virtuali" registrate sul modello sintetico attraverso una procedura iterativa che alterna le due seguenti fasi.

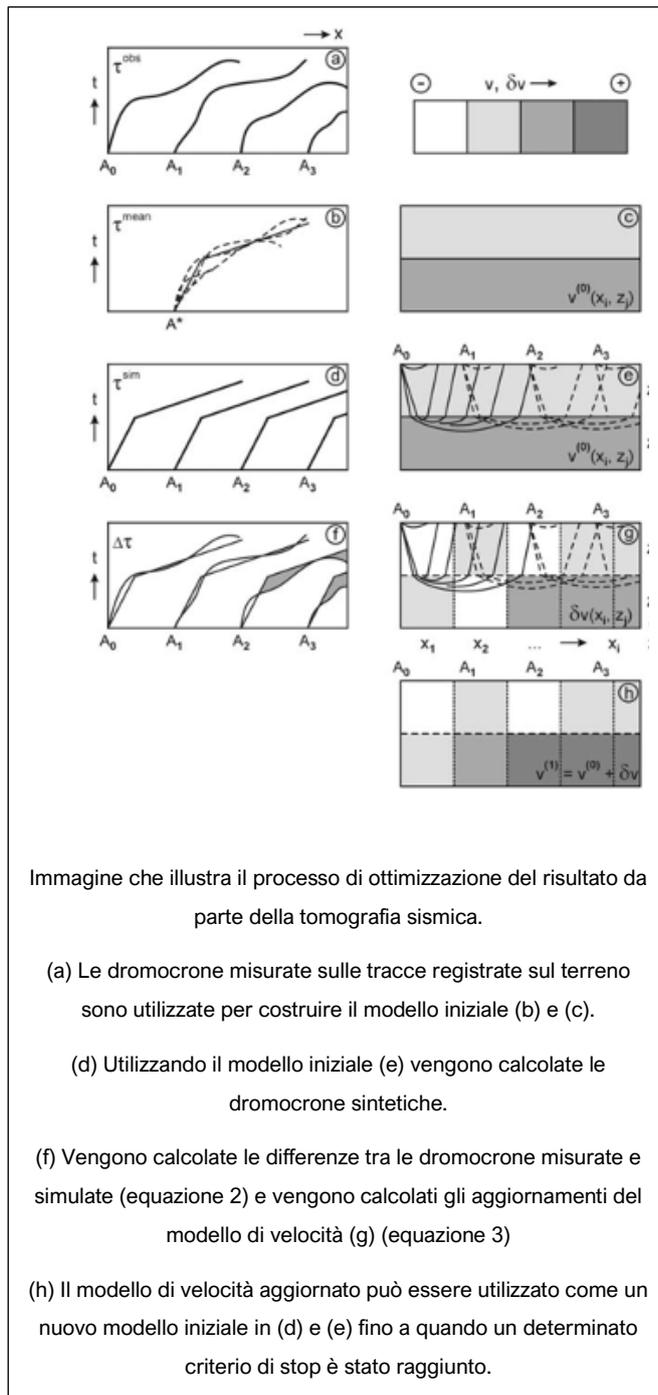
Nella fase "diretta" vengono calcolati sul modello sintetico i tempi di arrivo dell'impulso sismico (smartTomo è basato sul lavoro di Moser, T. J. "Shortest path calculation of seismic rays." Geophysics 56.1 (1991): 59-67). Il modello di velocità iniziale è suddiviso in una griglia le cui celle hanno assegnato un valore di velocità iniziale. Sui lati della cella sono presenti più nodi (il numero è scelto dall'utente) che costituiscono i nodi della rete di ipotetici raggi sismici che connettono tutte le sorgenti e tutti i ricevitori che sono anche essi dei nodi. Ogni nodo è connesso con i nodi delle celle adiacenti. Aumentando il numero di nodi aumenta il dettaglio e la precisione nel percorso dei raggi sismici ma aumenta anche l'uso di memoria.

Il percorso delle onde rifratte corrisponde al percorso che impiega il minor tempo a percorrere il tragitto tra la sorgente ed il ricevitore.

Nella fase "inversa" i tempi sintetici calcolati nel passo "diretto" vengono confrontati con i tempi misurati sui sismogrammi; le differenze tra i tempi sono usate per aggiornare il modello sintetico (smartTomo impiega un algoritmo riconducibile alla famiglia delle "Simultaneous Iterative Reconstruction Technique"). Nell'applicazione di questo metodo la velocità viene sostituita dal suo inverso, la lentezza. Ad esempio, considerando un generico raggio sismico  $j$  tra la sorgente ed il ricevitore la lentezza media può essere espressa come:

$$S_{ij} = \frac{t_{0j}}{l_j}$$

dove  $t_{0j}$  rappresenta il tempo misurato tra la sorgente ed il ricevitore e  $l_j$  rappresenta la lunghezza del raggio sismico  $j$ -esimo. Pertanto, conoscendo i tempi di percorso misurato  $t_m$  e il tempo di percorso calcolato  $t_c$  per il raggio  $j$ -esimo si può calcolare il residuo del tempo di percorso:



$$\Delta t_j = t_{mj} - t_{cj}$$

Il residuo dei tempi di percorso viene proiettato su ciascuna cella  $k$  su cui si calcola anche il fattore di correzione della lentezza:

$$\Delta S_k = \frac{\sum \Delta t_{jk}}{\sum \Delta l_{jk}}$$

L'indice  $i$  rappresenta ciascun raggio sismico incidente sulla cella  $k$ -esima. Il fattore di correzione della lentezza verrà utilizzato per aggiornare il modello di velocità alla fine di ogni iterazione del ciclo di risoluzione. Questa procedura consente di ottenere un modello, con variazioni di velocità continue e non necessariamente vincolato alla presenza di rifrattori.

Ad ogni ciclo di aggiornamento segue una fase di smoothing del risultato per rendere più omogeneo il modello mediante operazioni di distribuzione della velocità alle celle adiacenti a quelle attraversate dai raggi sismici che non verrebbero aggiornate, garantendo maggiore stabilità alle procedure di calcolo e un risultato interpretabile più facilmente.

Il funzionamento della procedura è illustrato nella precedente figura tratta da Reinhard Kirsch, "Groundwater Geophysics – A Tool for Hydrogeology" Springer 2006.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti con la tomografia sismica; da una prima analisi si può osservare la buona qualità del segnale acquisito che ha permesso un buon picking dei primi arrivi; è inoltre stata riscontrata la corrispondenza dell'indagine con l'andamento sismostratigrafico delle altre indagini eseguite.



Figura 6 – Riprese fotografiche degli stendimenti sismici

**Indagine T1**

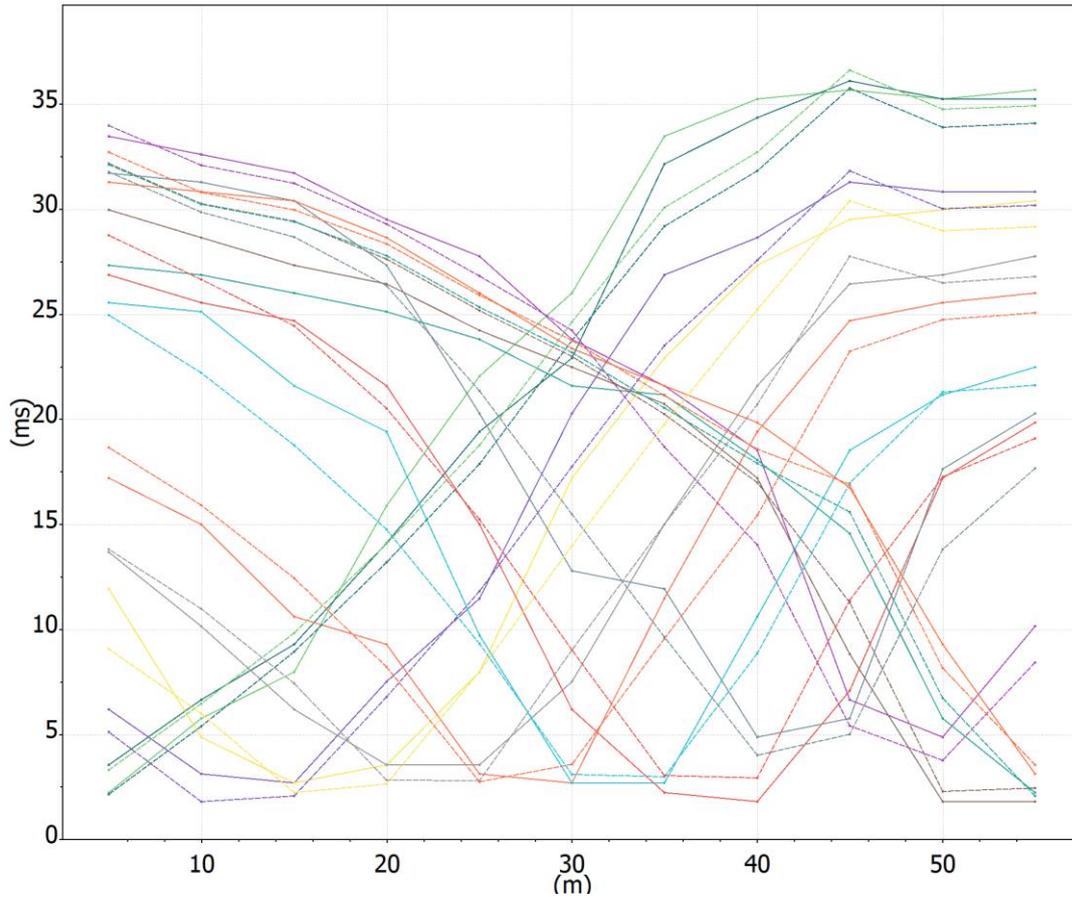


Figura 7 – Domocrone T1

BALMUCCIA T1 - Profilo tomografico - velocità con isolinee - RMSE 9.730499 %

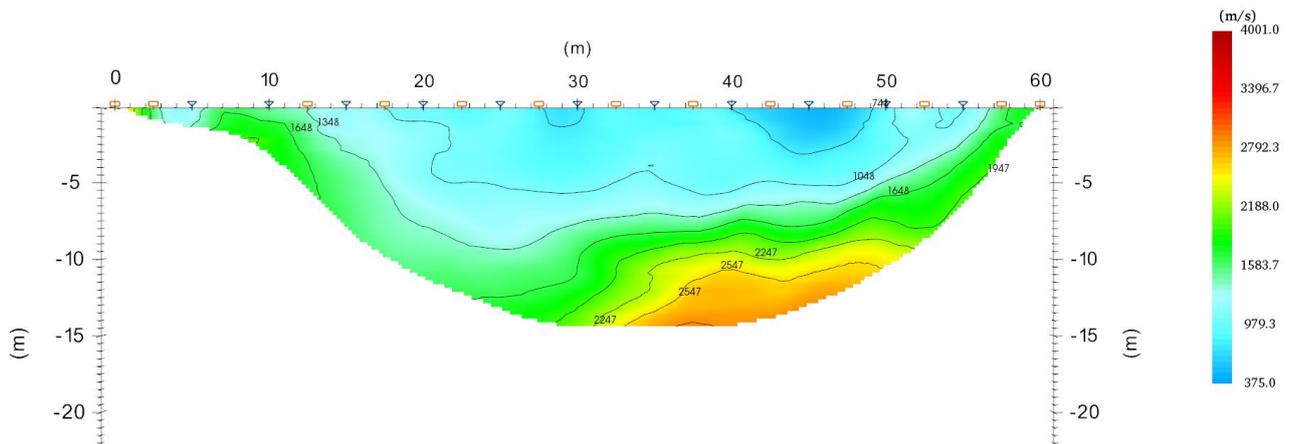


Figura 8 – Tomografia sismica T1

**Indagine T2**

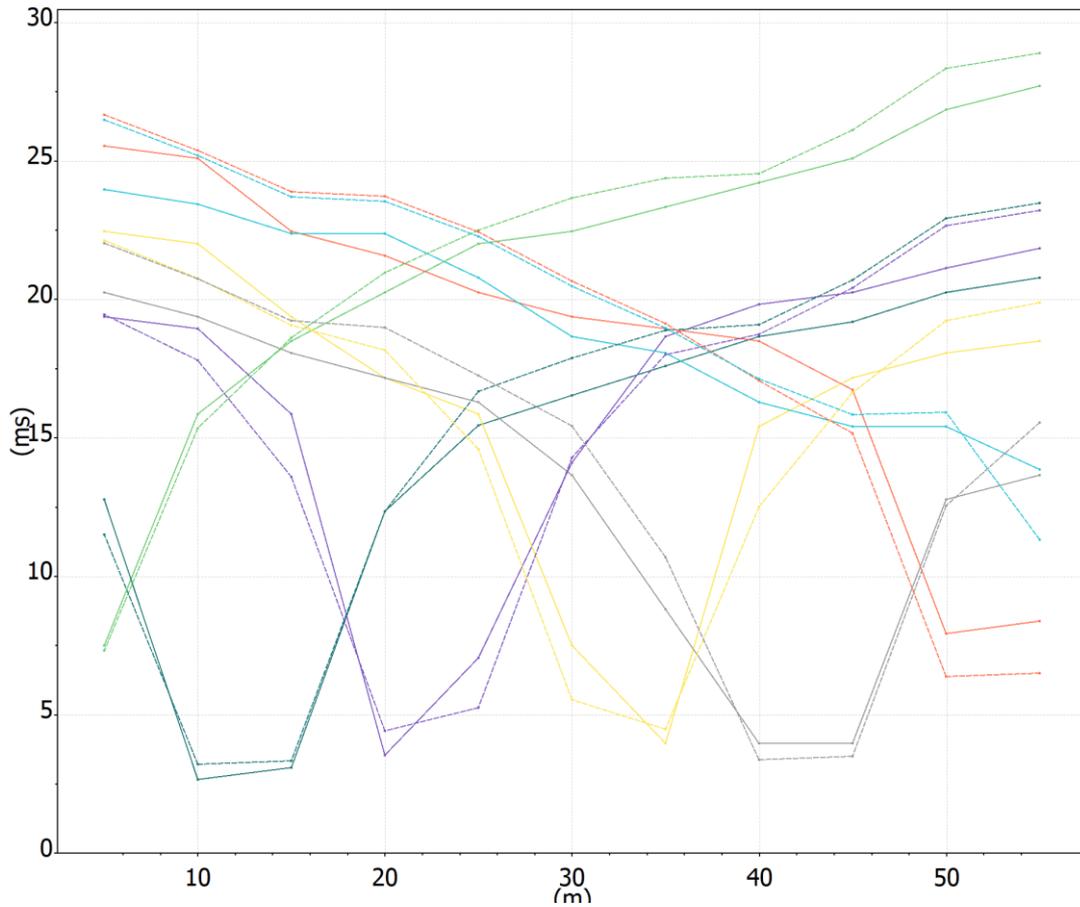


Figura 9 – Domocrone T2

BALMUCCIA T2 - Profilo tomografico - velocità con isolinee - RMSE 0.862691 %

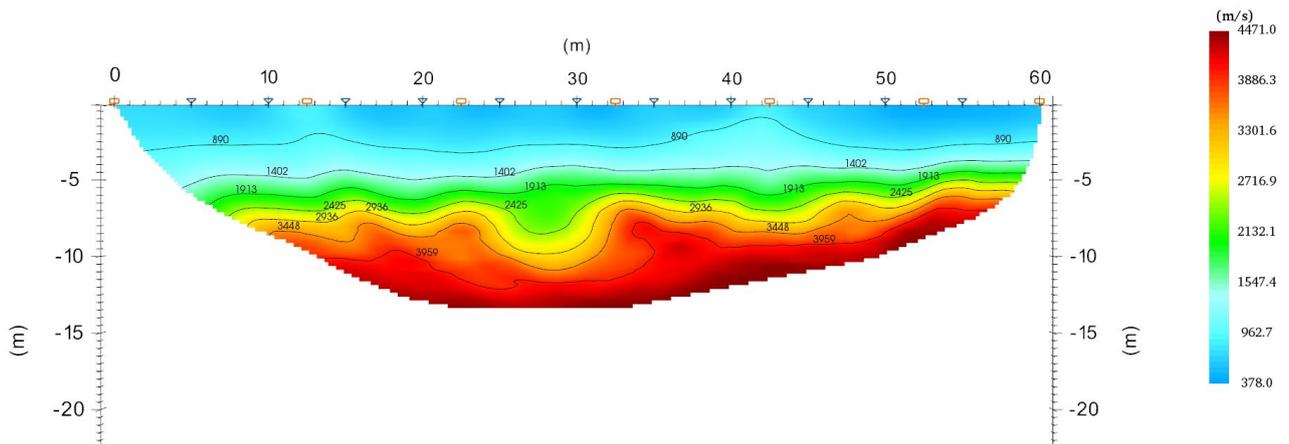


Figura 10 – Tomografia sismica T2

**Indagine T3**

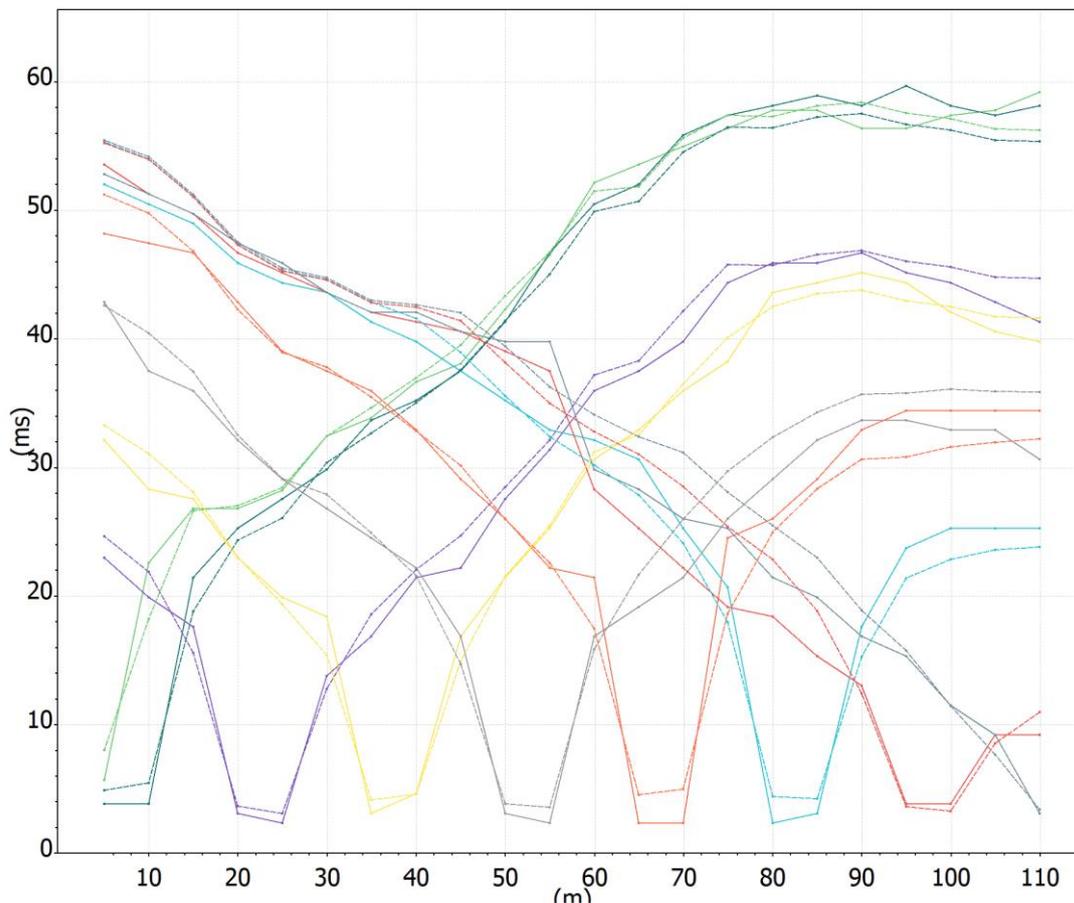


Figura 11 – Domocrone T3

BALMUCCIA T3 - Profilo tomografico - velocità con isolinee - RMSE 2.131192 %

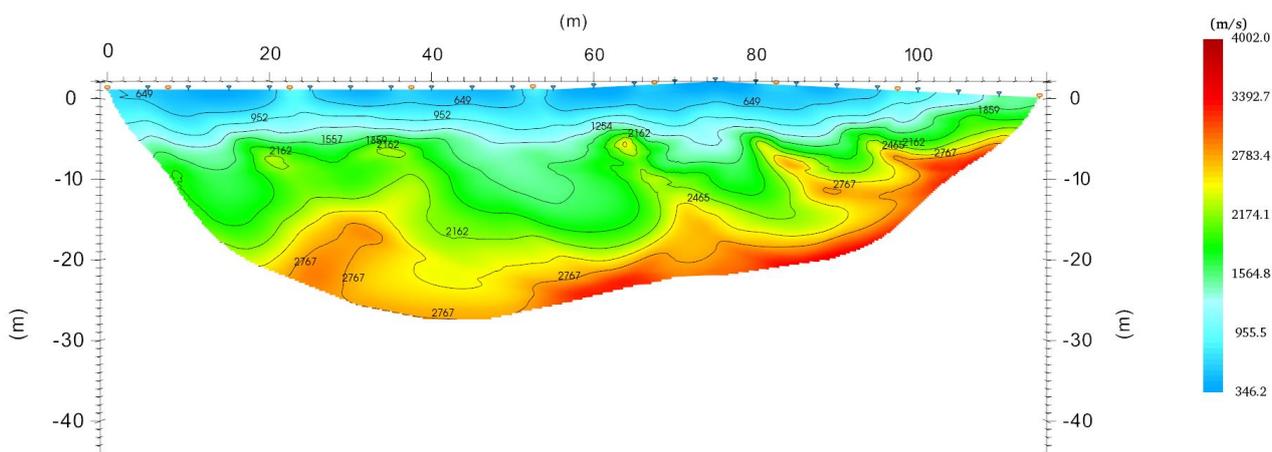


Figura 12 – Tomografia sismica T3

Osservando i risultati dell'indagine di tomografia sismica è possibile osservare come la profondità del substrato roccioso (individuabile orientativamente per valori di  $V_p$  superiori a circa 2500/2700 m/s) aumenti allontanandosi dal concentrico del paese, si hanno profondità dell'interfaccia substrato depositi che vanno dai circa 3-4 metri in prossimità dell'abitato fino a circa 25 metri in corrispondenza della S.P. 299.

## 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 2 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 5 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 open source OpenHVSR: imaging the subsurface 2D/3D elastic properties through multiple HVSR

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

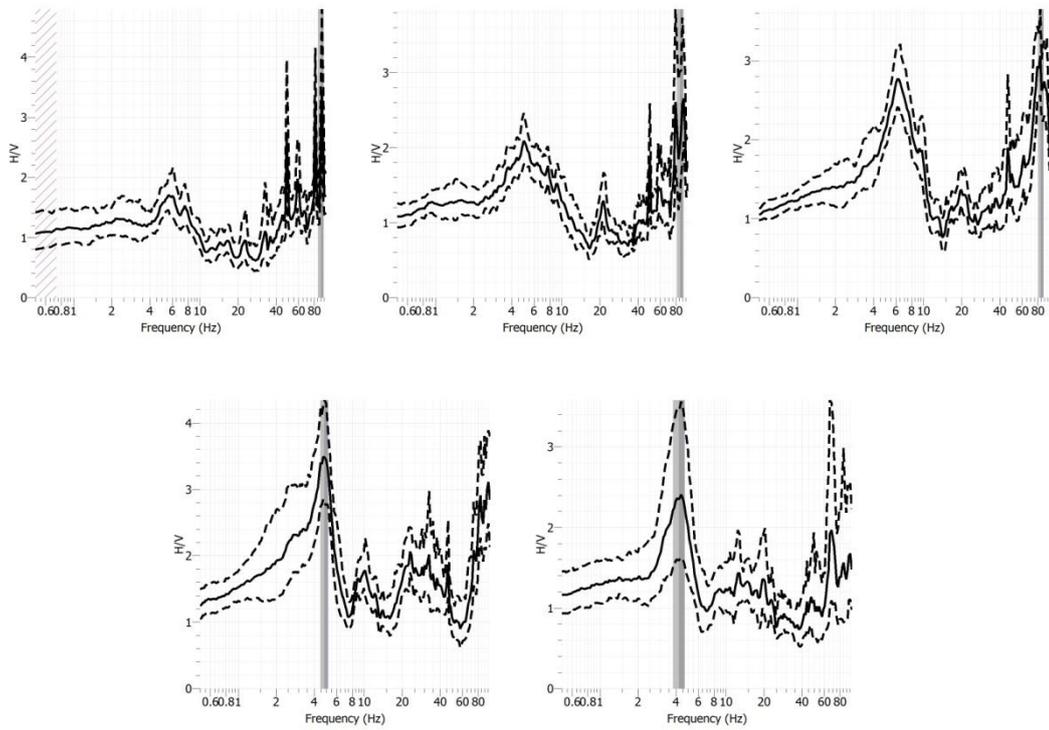


Figura 13 - Acquisizioni HVSr (1-2-3-4-5).

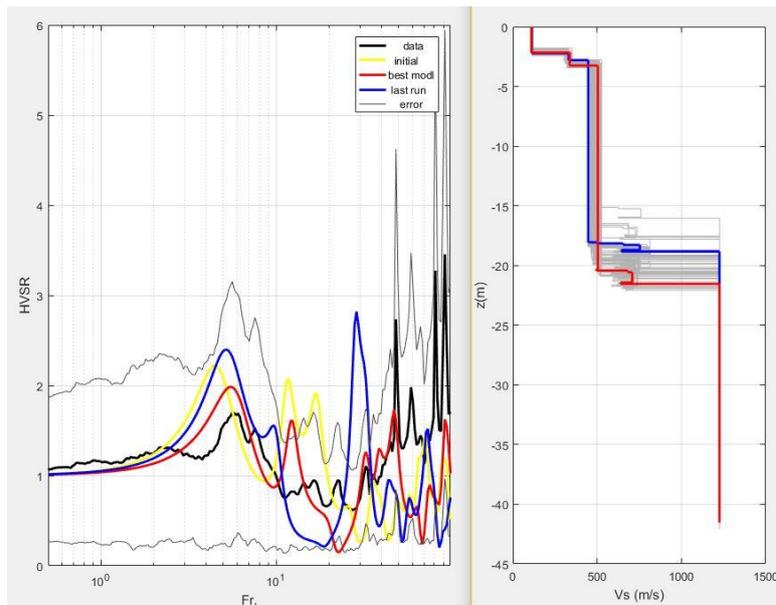
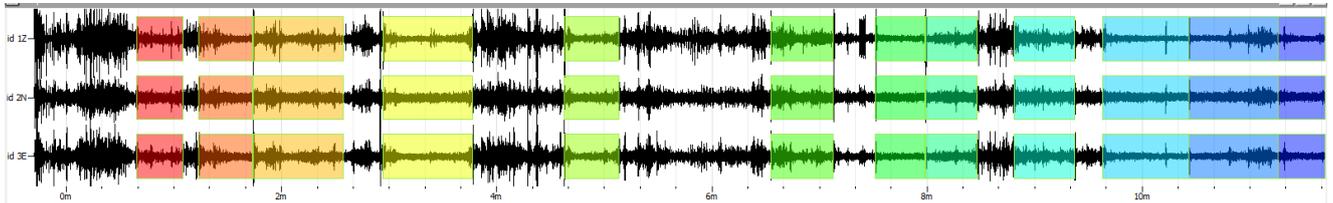


Figura 14 - HVSr1

MESSA IN SICUREZZA CONCENTRICO ABITATO DAL RISCHIO IDRAULICO DEL TORRENTE SERMENZA TRATTO TERMINALE FINO ALLA  
 CONFLUENZA FIUME SESIA  
 - COMUNE DI BALMUCCIA -

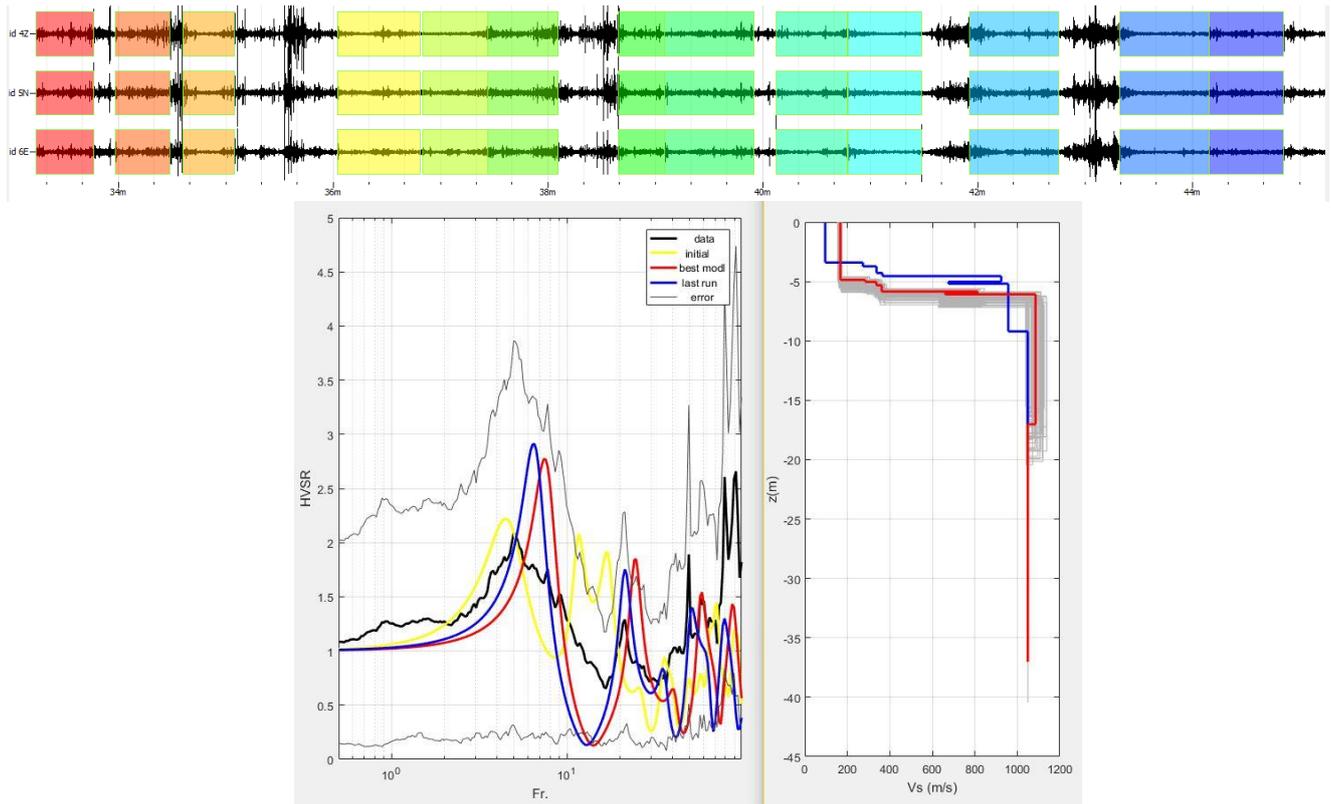


Figura 15 - HVSr2

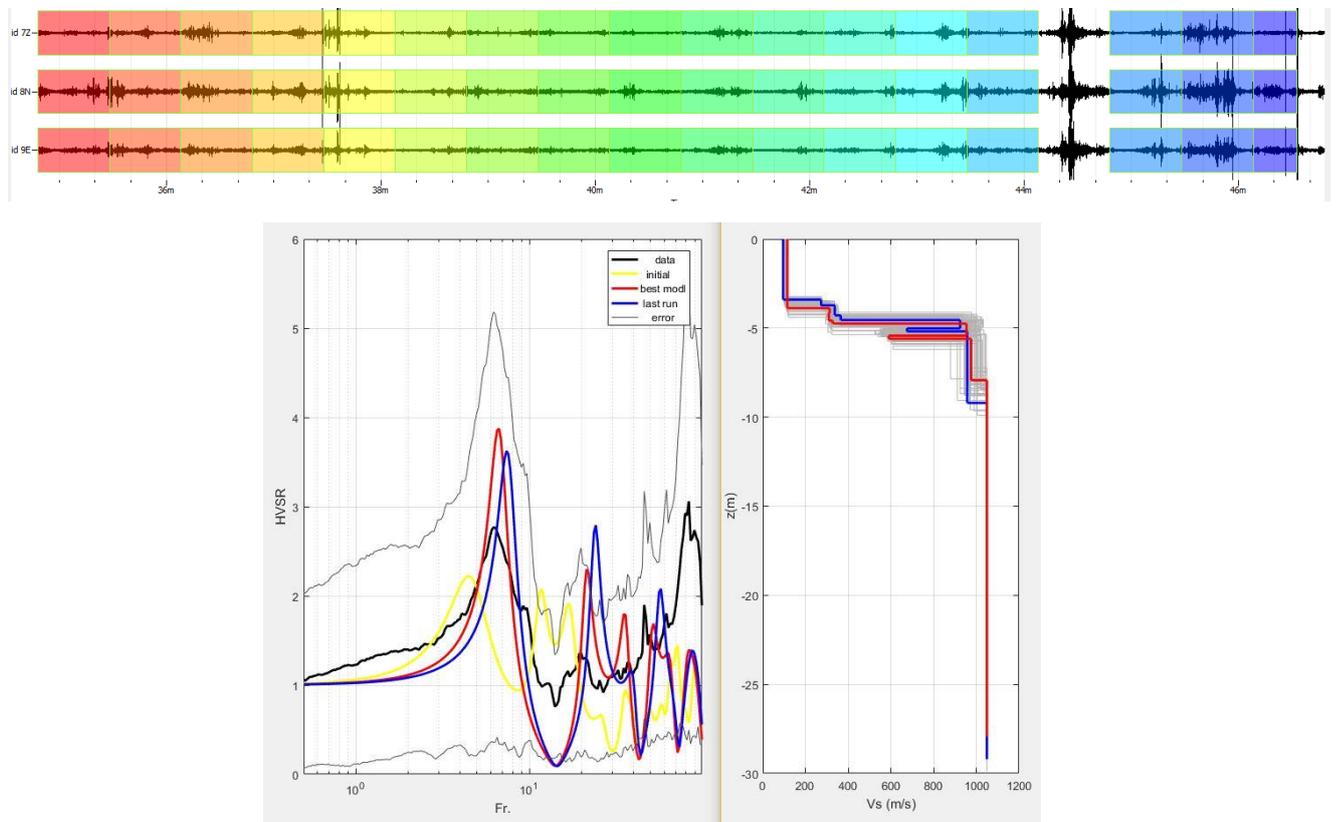


Figura 16 - HVSr3

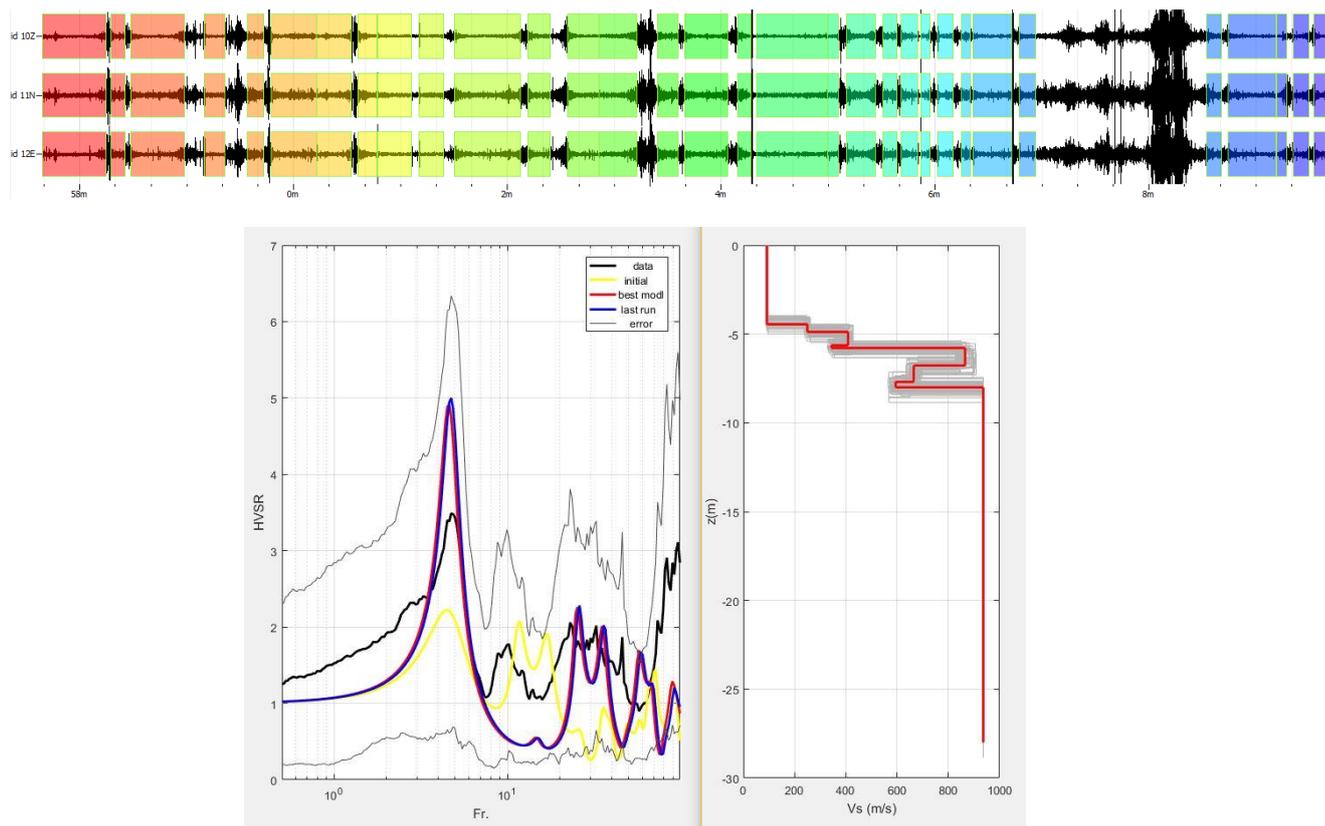


Figura 17 - HVSr4

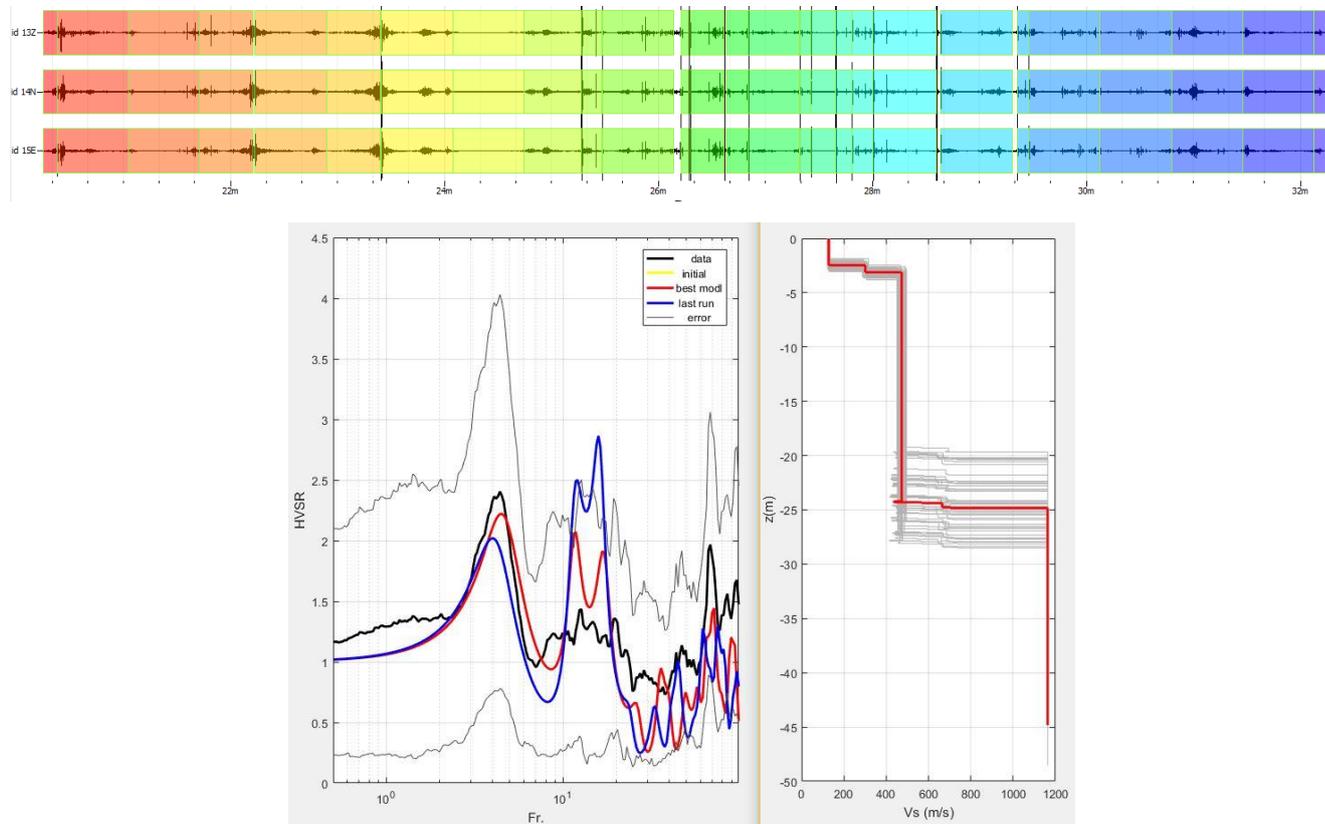


Figura 18 - HVSr5

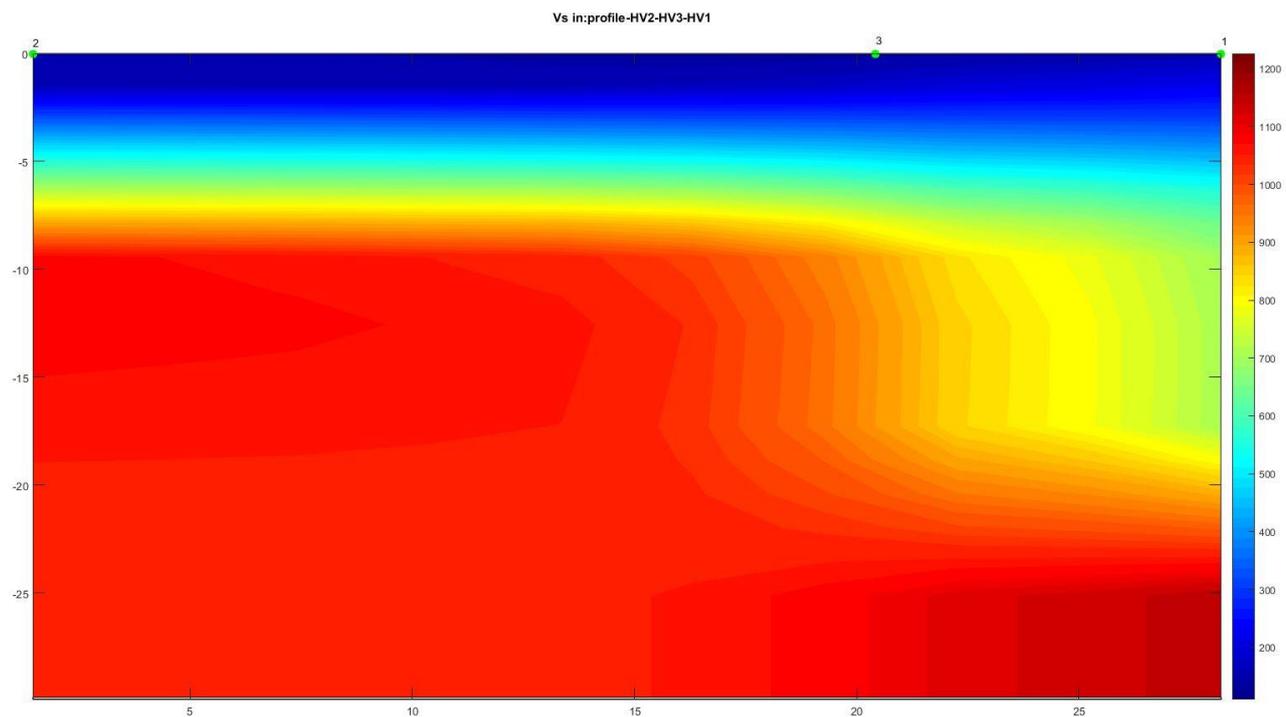


Figura 19 - Sezione sismica ( $V_s$ ) interpretativa HV1-2-3

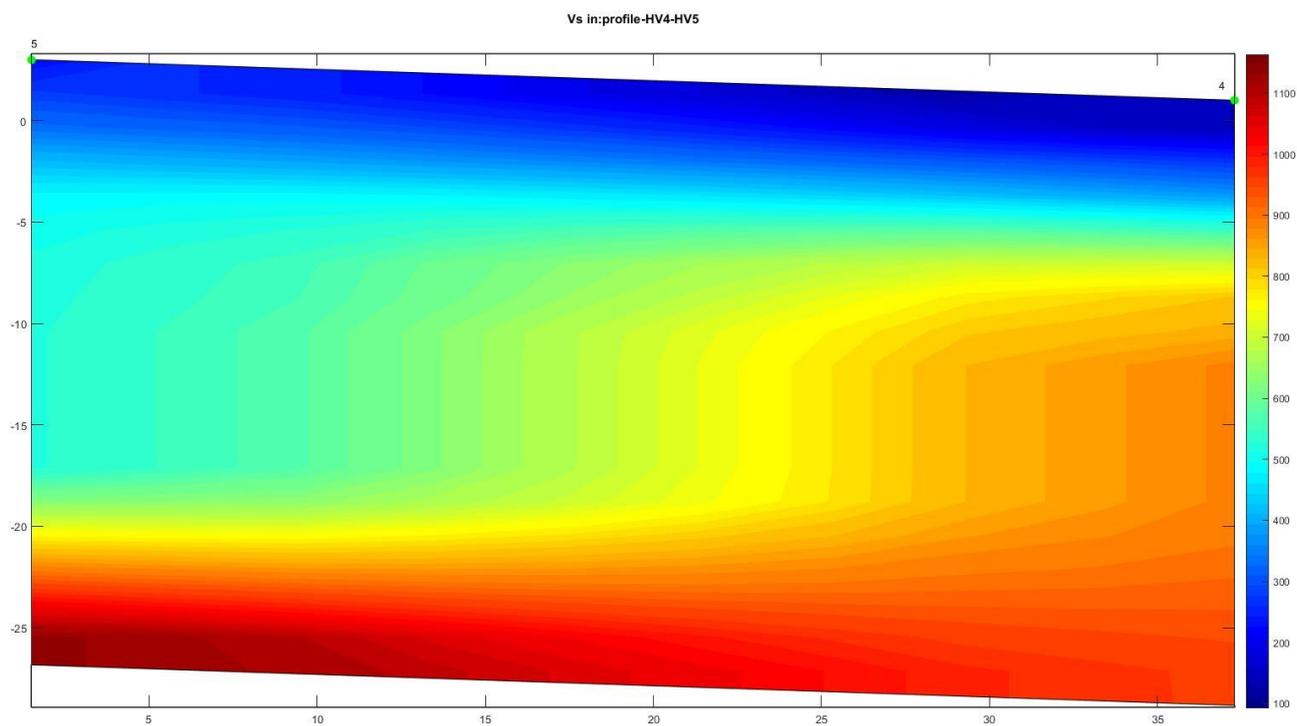


Figura 20 - Sezione sismica ( $V_p$ ) interpretativa HV4-5

## CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA SITO SPECIFICA

### **Modello geologico e geomorfologico e dissesti**

#### ZONA DI INTERVENTO CONFLUENZA

L'area di intervento si colloca nel tratto finale del torrente Sermenza in prossimità della confluenza con il Fiume Sesia, alla quota di circa 550 m s.l.m..

Nel tratto di interesse, compreso tra il ponte di via Roma e quello della S.P. 299, l'andamento del torrente è pressoché rettilineo con direzione principale NW-SE, fino all'immissione nel fiume Sesia. In questo tratto finale gli eventi legati alla dinamica fluviale e torrentizia hanno creato una conoide assai poco inclinata. L'asta torrentizia in conoide presenta un ramo principale che si allarga in orografica sinistra, delimitato da sistemazioni spondali rappresentate da muri in sponda sinistra e da una scogliera e da un muro in csl in destra. L'altro ramo, che ormai si pone essenzialmente come scolmatore di piena, presenta un alveo un poco più alto di quello principale senza alcuna opera spondale. Considerato l'andamento del recettore è possibile pensare che il t. Sermenza si sia spostato da destra a sinistra rispetto al suo edificio di conoide. Entrambi i rami torrentizi sono superati dalla S.P. 299 con ponti ampi cui si aggiunge un più modesto sottopasso.

Si segnala la presenza di un'area, compresa tra il piazzale del municipio e la strada provinciale SP299, che risulta essere depressa rispetto ai piani viabili indicati. L'area si sopraeleva di circa 5 metri rispetto al canale scolmatore di destra e il presente progetto ne prevede il recupero ambientale, tramite il riempimento dell'avvallamento con il materiale litoide in esubero.



Figura 21 – Ripresa dell'area di interesse dal ponte di via Roma: vista da monte verso valle (febbraio 2022)

Dal punto di vista geologico ci troviamo nell'area di affioramento del corpo basico della Formazione Ivrea Verbano (PALEOZOICO), costituito da rocce gabbriiche e miloniti derivanti, queste ultime, dalla vicina presenza della Linea del Canavese. Gli affioramenti sono visibili a monte del ponte di via Roma e poco a valle di esso, specialmente in alveo e in sponda sinistra, in continuità con il versante in sponda sinistra. La roccia dove non affiora è ricoperta dai depositi alluvionali attuali, recenti e terrazzati costituiti da ghiaie e ciottoli arrotondati con sabbie e trovanti con uno spessore variabile da 3-4

metri in prossimità dell'abitato, fino a circa 25 metri in corrispondenza della S.P. 299, come rilevato dalle indagini sismiche eseguite in sito.

In questo tratto di interesse l'area è stata soggetta al recente evento alluvionale dell'ottobre 2020 che ha modificato il fondo alveo variandone l'assetto, ovvero rimodulando le aree di deposito e di erosione: la sponda destra in corrispondenza del nodo idraulico è stata ampiamente erosa nella parte prativa, lungo la sponda sinistra del ramo principale, le aree esistenti tra le rocce affioranti sono completamente riempite, il tratto iniziale del ramo secondario presenta un interrimento con materiale litoide per un'altezza media di circa 1,60 m ed estensione di circa 35 m e sono variati gli assetti della confluenza di entrambi i rami del fiume Sesia.

Per questo aspetto del dissesto è stato predisposto a cura dell'Amministrazione anche uno studio Idraulico dell'asta del fiume Sesia e del t. Sermenza, di pertinenza del territorio comunale, a cura dell'Ing. Appendino D.ssa. Rossana.





Figura 22 – Alcune riprese fotografiche della zona di intervento “CONFLUENZA”: ramo principale (A,B) e canale scolmatore (C) (febbraio 2022)

### ZONA DI INTERVENTO DINELLI

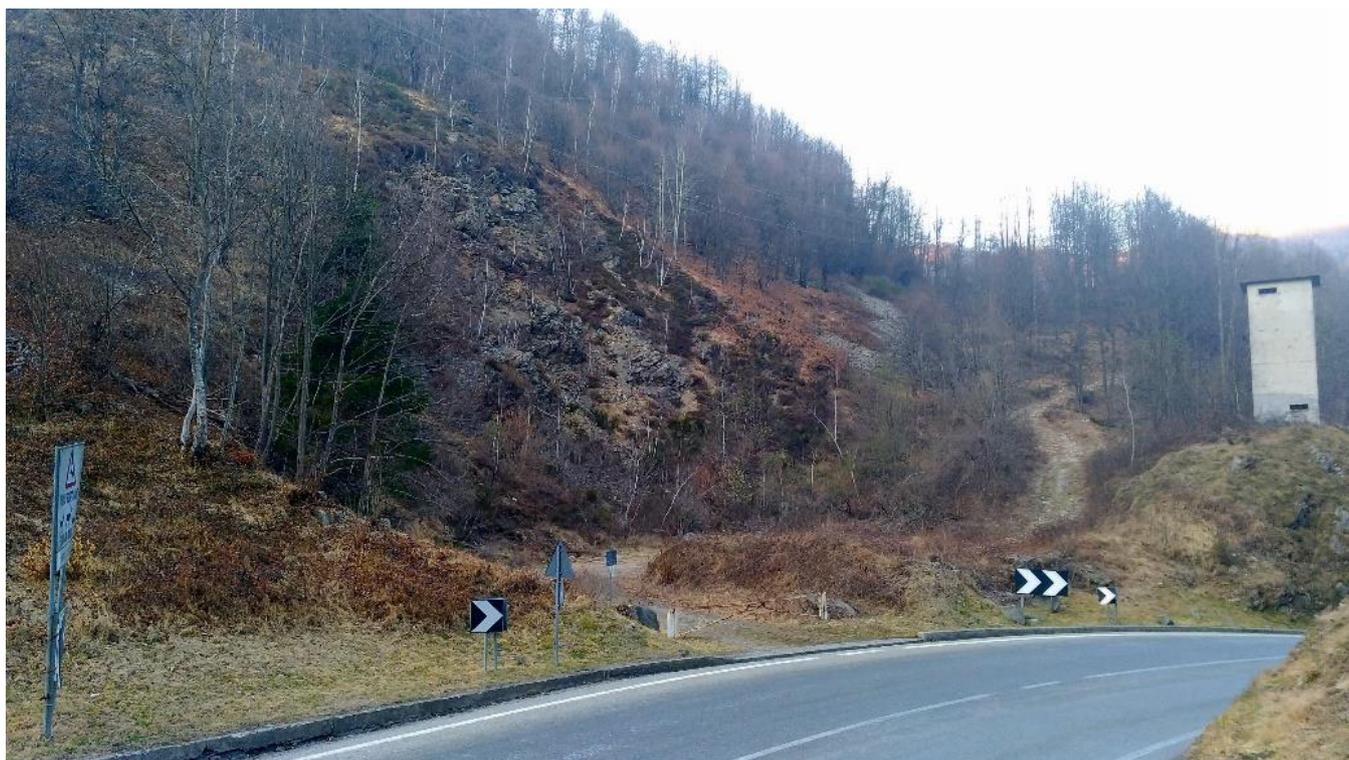
L'area di intervento si colloca al culmine della salita dei Dinelli, alla base del versante roccioso che un tempo ospitava la cava per la realizzazione della SP299. Il versante, collocato in sponda idrografica sinistra del Fiume Sesia, scende con direzione NW-SE dalla Cima Selvetto (circa 1250 m s.l.m.) e con una inclinazione media di circa 40° raggiunge il sito di

intervento collocato ad una quota di circa 605 m s.l.m. Il sito è attualmente rappresentato da uno spiazzo, con la strada provinciale SP299 che si sviluppa immediatamente a valle di esso e la strada comunale collocata verso est che sale fino a raggiungere il pianoro presente a monte dell'abitato principale di Balmuccia (si vedano le figure 23 e 26).

Dal punto di vista geologico ci troviamo nell'area di affioramento del corpo basico della Formazione Ivrea Verbano (PALEOZOICO), costituito da rocce gabbriche e miloniti derivanti, queste ultime, dalla vicina presenza della Linea del Canavese. Gli affioramenti sono pertanto costituiti da rocce intensamente fratturate: tale fratturazione è dovuta al fatto che le rocce sono state soggette sia a vari stress tettonici causati dalla presenza della faglia, sia agli agenti esogeni (gelo e disgelo, sbalzi termici, neve, ghiaccio...), che le hanno modellate superficialmente sia, infine, all'intervento antropico della coltivazione della cava. Al di sopra della roccia, alla base del versante in corrispondenza dell'area che sarà oggetto di riempimento e sistemazione, è presente uno strato di depositi detritici di spessore variabile indicativamente da pochi metri fino ad un massimo di 10 m; questi materiali sono costituiti da breccie e blocchi immersi in scarsa matrice sabbioso-limosa.

Per quanto riguarda l'idrografia superficiale il sito di intervento, data la sua posizione plano-altimetrica, non risulta interessato dalle dinamiche esondative dei corsi d'acqua presenti nell'area.

Dal punto di vista idrogeologico, la roccia del substrato è praticamente impermeabile mentre il detrito misto superficiale è dotato di una certa permeabilità per porosità. A seguito delle precipitazioni è possibile la creazione di un flusso d'acqua temporaneo all'interfaccia detrito-roccia.



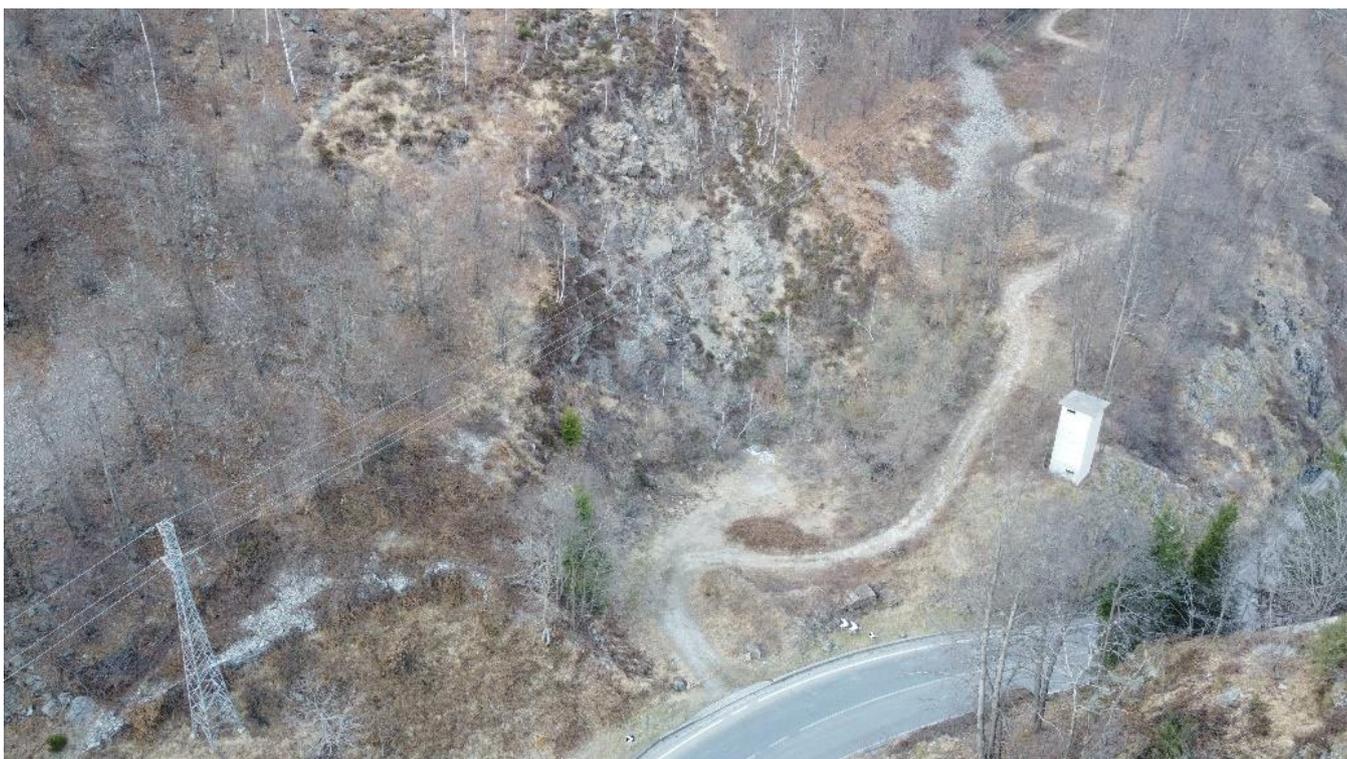
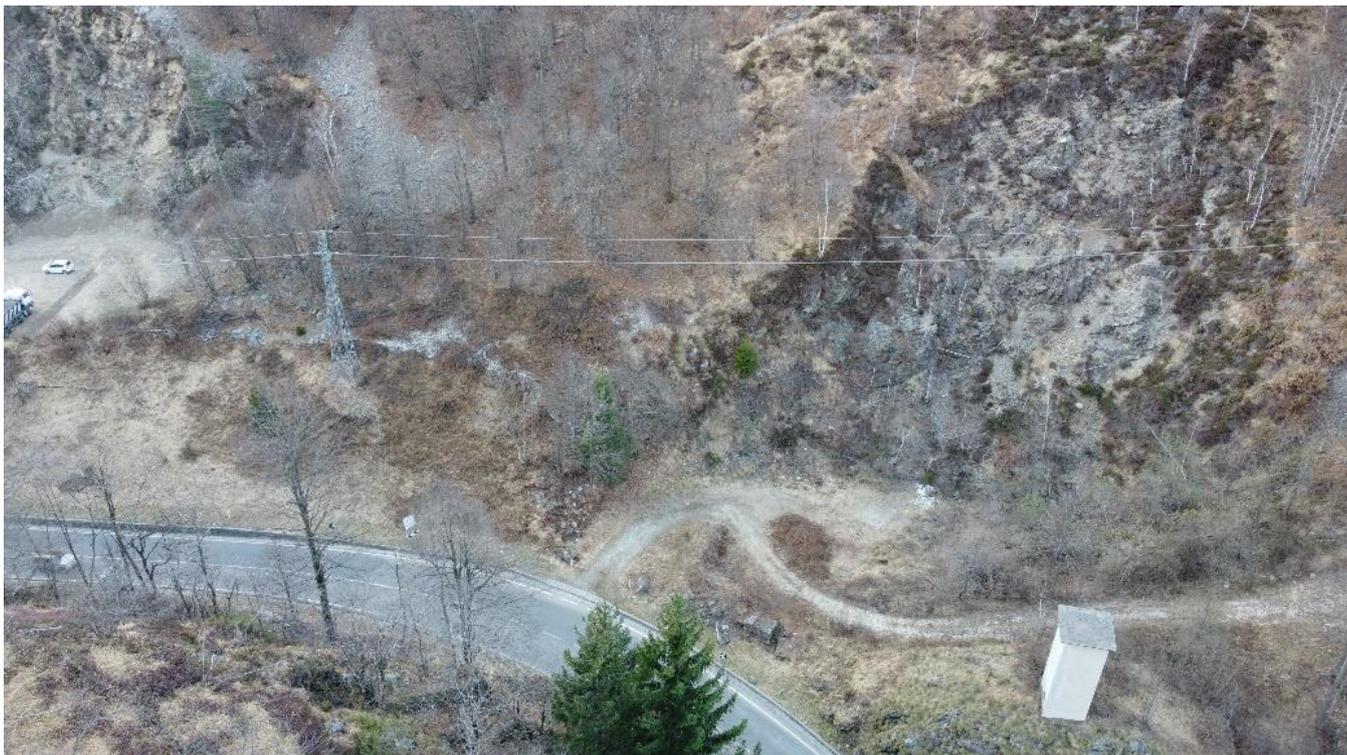


Figura 23 – Alcune riprese fotografiche della zona di intervento “DINELLI”

### **Caratteristiche geotecniche dei terreni e delle rocce**

I parametri geotecnici nominali sono determinati attraverso la consultazione della bibliografia tematica disponibile ed in base a studi eseguiti su materiali analoghi per origine e natura.

La situazione litostratigrafica attuale delle zone di intervento è rappresentata da uno strato di depositi detritici (zona intervento DINELLI) o alluvionali (zona intervento CONFLUENZA) che sormontano il substrato roccioso di tipo milonitico.

Nel volume significativo di terreno si riconoscono pertanto n. 2 unità geotecniche, così costituite:

- **U1 - DEPOSITI DETRITICI: breccie e blocchi immersi in scarsa matrice sabbioso- limosa**
- **U2 - DEPOSITI ALLUVIONALI: ghiaia e ciottoli con sabbia e trovanti**
- **U3 - SUBSTRATO ROCCIOSO: rocce gabbriche e milonitiche intensamente fratturate in superficie**

L'unità geotecnica U3 è costituita dagli ammassi rocciosi affioranti nell'area o presenti alla base dei depositi detritici o alluvionali, mentre le unità geotecniche U1 e U2 sono costituite essenzialmente da terreni granulari sciolti e pertanto le caratteristiche geotecniche dei terreni si sono desunte 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 ( $\phi_{cv}$ ); per quanto riguarda la coesione essa si considera nulla, per ragioni cautelative, mentre per il peso di volume ( $\gamma$ ) si utilizzano determinazioni effettuate su terreni analoghi per origine e natura.

Nelle seguenti tabelle si elencano i parametri geotecnici nominali:

<b>U1 - DEPOSITI DETRITICI – breccie e blocchi immersi in scarsa matrice sabbioso-limosa</b>			
<b>parametro</b>			
Peso di volume	( $\gamma$ )	kN/m <sup>3</sup>	18 ± 1
Coesione	(c')	kPa	0
Angolo resistenza al taglio a volume costante	( $\phi'_{cv}$ )	°	35 ± 2

<b>U2 - DEPOSITI ALLUVIONALI – ghiaia e ciottoli con sabbia e trovanti</b>			
<b>parametro</b>			
Peso di volume	( $\gamma$ )	18 ± 1	kN/m <sup>3</sup>
Coesione	(c')	0	kPa
Angolo resistenza al taglio a volume costante	( $\phi'_{cv}$ )	36 ± 2	°

<b>U3 - SUBSTRATO ROCCIOSO: rocce gabbriche e milonitiche intensamente fratturate in superficie</b>			
<b>parametro</b>			
Peso di volume	( $\gamma$ )	26 ± 1	kN/m <sup>3</sup>
Coesione	(c)	340 ± 10	kPa
Angolo di attrito	( $\phi$ )	39 ± 2	°
Modulo di deformazione	(Em)	36 ± 5	GPa

Per quanto riguarda i terreni necessari alla sistemazione morfologica per il recupero ambientale in progetto, si tratta dei depositi alluvionali, provenienti dagli interventi di messa in sicurezza del concentrico di Balmuccia dal rischio idraulico del torrente Sermenza nel tratto terminale fino alla confluenza nel fiume Sesia.

## Interventi previsti e implicazioni geologico-applicative

Il progetto prevede la messa in sicurezza del concentrico abitato dal rischio idraulico del torrente Sermenza, nel tratto terminale, fino alla confluenza nel fiume Sesia. Sono previsti in particolare interventi di tipo idraulico (ZONA INTERVENTO CONFLUENZA) e interventi di recupero ambientale e sistemazione paesaggistica (ZONA INTERVENTO CONFLUENZE e ZONA INTERVENTO DINELLI).

Gli interventi idraulici prevedono il ripristino dell'efficienza del corso d'acqua principale e dei due canali scolmatori laterali mediante sbancamenti, riprofilature e realizzazione di difese spondali a protezione dei manufatti esistenti. Il materiale di risulta sarà recuperato e riutilizzato per gli interventi di sistemazione in 2 aree localizzate precisamente presso l'area della confluenza (vicino alla sede comunale) e in località Dinelli.

## INTERVENTI IDRAULICI

Gli interventi idraulici, in sintesi, consistono nei seguenti lavori:

- riprofilatura del fondo alveo e delle sponde esistenti e riutilizzo del materiale in eccesso per imbottiture laterali e riempimento delle depressioni;
- realizzazione scogliere di contenimento;
- difesa spondale dell'argine esistente con massi di cava;
- realizzazione nuovo argine con massi di cava;
- messa in quota dell'argine esistente.

### ZONA INTERVENTO CONFLUENZA

Si individuano n.3 aree per gli interventi idraulici:

- canale scolmatore principale;
- asta principale del Sermenza,
- canale scolmatore secondario;

Sul canale scolmatore principale si provvederà alla riprofilatura dell'alveo e delle sponde regolarizzando la larghezza della sezione idraulica rimuovendo il materiale accumulatosi e riutilizzandolo per imbottiture e sistemazioni laterali.

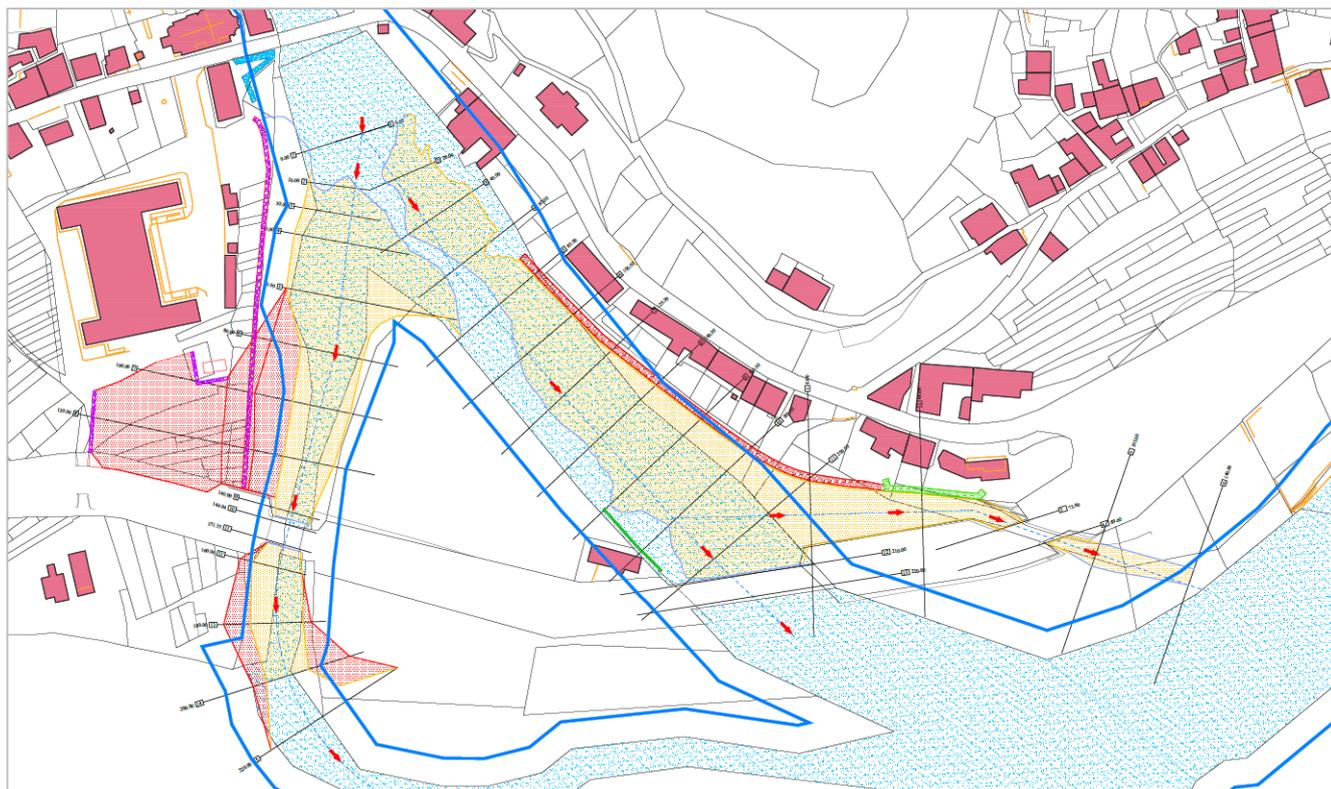
Un ulteriore intervento in progetto prevede la realizzazione di una nuova scogliera in destra orografica a difesa del rilevato. La nuova opera sostituirà il vecchio muro in pietra a secco esistente; la difesa spondale avrà un'altezza dalla base di circa 4,00 metri e verrà realizzata con massi prismatici quanto più regolari provenienti da cave di prestito; il paramento avrà inclinazione massima di 65° (2 su 1), poggerà su fondazione, sempre realizzata in massi, con altezza minima di 1,00 metri. I blocchi utilizzati dovranno avere volume minimo di 0,80 m<sup>3</sup> e verranno intasati con materiale fine derivante dalle operazioni di vagliatura del naturale movimentato.

Le scogliere di contenimento in progetto offrono notevoli vantaggi nei riguardi della stabilizzazione del terreno in quanto, la loro permeabilità consente un buon drenaggio del terreno a tergo ed una diminuzione della spinta della terra e delle sovrappressioni idrauliche. A questo si aggiungono la perfetta integrazione estetico-paesaggistica nell'ambiente circostante, poiché realizzate in un contesto montano con massi di cava tipici della zona.

Sull'asta principale del torrente Sermenza si provvederà alla riprofilatura del fondo alveo ed al ripristino dell'officiosità della sezione idraulica mediante l'asportazione del materiale depositato a ridosso della protezione spondale di sinistra.

Qui è prevista la realizzazione di una nuova scogliera in massi di cava che verrà intasata con fine derivante dalle operazioni di vagliatura del deposito movimentato; tale manufatto verrà messo in opera a protezione della fondazione del manufatto in calcestruzzo esistente altrimenti esposto all'azione erosiva della corrente. La nuova scogliera verrà realizzata con massi prismatici quanto più regolari provenienti da cave di prestito; il paramento avrà inclinazione massima di 65° (2 su 1), altezza media dal fondo alveo di 2,50 metri e poggerà su fondazione, sempre realizzata in massi, con altezza minima di 1,50 metri. I blocchi utilizzati dovranno avere volume minimo di 0,80 m<sup>3</sup> e verranno intasati con materiale fine derivante dalle operazioni di vagliatura del naturale movimentato. Si suppone che per l'intasamento dei vuoti della scogliera in progetto, verrà impiegato circa il 20% del volume complessivo dell'opera.

Altro intervento in progetto in destra orografica prevede il sopralzo del tratto terminale dell'arginatura in calcestruzzo esistente con nuovo muro in calcestruzzo armato a protezione del rilevato stradale e dei muri d'ala del ponte sulla provinciale. Il manufatto verrà ammorsato sul paramento esistente mediante infilaggi inghisati con tassello chimico; la struttura verrà armata e gettata in opera con calcestruzzo proveniente da centrale di betonaggio.



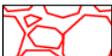
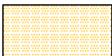
<b>LEGENDA INTERVENTI</b>	
	<p><b>DESCRIZIONE</b> difesa spondale dell'argine esistente con massi di cava</p> <p><b>ATTUAZIONE DELL'INTERVENTO</b> realizzazione di difesa spondale mediante posa massi di cava aventi dimensioni minime pari a 0,80 m<sup>3</sup> e loro successivo intasamento mediante materiale fine proveniente dagli scavi</p> <p><b>DIMENSIONI</b> sviluppo lineare dell'intervento: 160 m circa sezione trasversale media della difesa: 6,20 m<sup>2</sup></p>
	<p><b>DESCRIZIONE</b> nuovo argine con massi di cava</p> <p><b>ATTUAZIONE DELL'INTERVENTO</b> realizzazione di nuovo argine mediante posa massi di cava aventi dimensioni minime pari a 0,80 m<sup>3</sup> e loro successivo intasamento mediante materiale fine proveniente dagli scavi</p> <p><b>DIMENSIONI</b> sviluppo lineare dell'intervento: 35 m circa sezione trasversale media dell'argine: 5,75 m<sup>2</sup></p>
	<p><b>DESCRIZIONE</b> messa in quota argine esistente</p> <p><b>ATTUAZIONE DELL'INTERVENTO</b> completamento tratto di arginatura esistente mediante soprazzo del muro esistente con nuovo muro in calcestruzzo armato a protezione del rilevato stradale e dei muri d'ala del ponte sulla provinciale. La nuova porzione verrà inghiata alle strutture esistenti.</p> <p><b>DIMENSIONI</b> sviluppo lineare dell'intervento: 30 m altezza del nuovo muro: 1,00 m larghezza del nuovo muro: 0,50 m</p>
	<p><b>DESCRIZIONE</b> scogliere di contenimento materiale di riporto con massi di cava</p> <p><b>ATTUAZIONE DELL'INTERVENTO</b> realizzazione di nuove scogliere in massi di cava per il contenimento di parte del materiale di sterro proveniente dalle riprofilature dell'alveo.</p> <p><b>DIMENSIONI</b> sviluppo totale dell'intervento: 182 m circa</p>
	<p><b>DESCRIZIONE</b> area di sterro</p> <p><b>ATTUAZIONE DELL'INTERVENTO</b> riprofilatura del fondo alveo e delle sponde esistenti e riutilizzo del materiale in eccesso per imbottiture laterali e riempimento depressioni.</p>
	<p><b>DESCRIZIONE</b> area di riporto</p> <p><b>ATTUAZIONE DELL'INTERVENTO</b> riprofilatura delle sponde mediante imbottiture laterali e riempimento delle depressioni del terreno. I fronti dei riempimenti verranno realizzati con un angolo di circa 34°.</p>
	<p><b>DESCRIZIONE</b> fascia di rispetto demaniale di 10 metri dall'attuale sponda</p>

Figura 24 - Stralcio della tav.3.1: planimetria di raffronto, non in scala

Sul canale scolmatore secondario si provvederà alla riprofilatura dell'alveo, all'asportazione del materiale depositato al piede della protezione spondale di sinistra e alla realizzazione di una nuova scogliera in massi di cava che verrà intasata con fine derivante dalle operazioni di vagliatura del deposito movimentato; tale opera verrà messa in opera al piede dell'attuale arginatura in calcestruzzo in sponda sinistra a protezione della stessa. Tale opera si rende necessaria in quanto, rimuovendo il materiale presente all'interno del ramo al fine di ripristinare l'efficienza del canale, si andrà ad esporre alla corrente l'intero sviluppo del muro esistente. Poco più a monte dell'attraversamento della SP299, vi è un tratto sprovvisto di arginatura dove si renderà necessario creare ex-novo un riparo proseguendo con la difesa spondale in massi prevista col progetto. Tale difesa verrà opportunamente ammorsata ai muri in calcestruzzo esistenti e risvoltata all'esterno dell'alveo. La nuova scogliera verrà realizzata con massi prismatici quanto più regolari provenienti da cave di prestito; il paramento avrà inclinazione massima di 65° (2 su 1), altezza media dal fondo alveo di 2,20 metri e poggerà su fondazione, sempre realizzata in massi, con altezza minima di 1,50 metri. I blocchi utilizzati dovranno avere volume minimo di 0,80 m<sup>3</sup> e verranno intasati con materiale fine derivante dalle operazioni di vagliatura del naturale movimentato. Si suppone che per l'intasamento dei vuoti della scogliera in progetto, verrà impiegato circa il 20% del volume complessivo dell'opera.

Per una descrizione completa degli interventi e per i particolari costruttivi si vedano gli elaborati progettuali a firma dell'ing. Giovanni Mattasoglio.

Dal punto di vista degli scavi e dei riporti le lavorazioni sopra descritte comporteranno sterri e riporti e materiale in eccedenza che verrà destinato ad altro intervento nel seguito descritto (ZONA INTERVENTO DINELLI).

TRATTO DI INTERESSE	STERRO (mc)	RIPORTO (mc)	ECCEDENZA (mc)
SCOLMATORE PRINCIPALE	7708,86	7367,59	341,27
ASTA PRINCIPALE SERMENZA	6959,40	190,24	6769,16
SCOLMATORE SECONDARIO	2261,27	82,31	2178,96

## INTERVENTI DI RECUPERO AMBIENTALE E SISTEMAZIONE PAESAGGISTICA

### ZONA INTERVENTO CONFLUENZA

L'intervento prevede il recupero di un'area a verde compresa tra il piazzale che attornia la sede comunale e il rilevato della strada provinciale SP299 che risulta essere depressa rispetto ai piani viabili indicati. Il progetto prevede la riprofilatura delle scarpate che insistono verso l'inciso del canale scolmatore principale, ed il riempimento dell'avvallamento con il materiale litoide in esubero. Il riempimento prevederà un apporto di materiale pari a circa 5774,80 mc che derivano direttamente dalle operazioni di riprofilatura del canale scolmatore principale; successivamente lo strato superficiale verrà ricoperto con terreno agrario e trattato con idrosemina per favorirne l'inerbimento e l'inserimento ambientale. Sull'area interessata dall'intervento è presente un deposito di GPL a cielo aperto pertanto al fine di garantire l'agevole accesso per le operazioni di riempimento e di manutenzione, verrà realizzato sui due lati a monte una scogliera di contenimento con massi di cava intasati con materiale fine proveniente dagli scavi. Stesso sistema di contenimento del materiale verrà realizzato a monte in prossimità del sottopasso della strada SP299. I nuovi manufatti avranno un'altezza di circa 2,00 metri. L'area così ottenuta potrà successivamente venire attrezzata dall'amministrazione comunale a parco o semplice area a verde.



Figura 25 - Immagine della ZONA DI INTERVENTO CONFLUENZA per il recupero ambientale e sistemazione paesaggistica con indicazioni (stralcio da Elaborati Tecnici)

#### ZONA INTERVENTO DINELLI

L'intervento è rappresentato dal recupero ambientale e dalla sistemazione paesaggistica dell'area utilizzata negli anni '50 come cava di materiale per la realizzazione del rilevato dell'attuale strada SP299.

L'intervento prevede l'accumulo del materiale proveniente dagli interventi di mitigazione del rischio idraulico eseguiti presso la confluenza del Torrente Sermenza nel Fiume Sesia. Il materiale verrà stratificato in tre terrazzamenti con altezza massima pari a 3 metri l'uno. Verrà poi eseguita la riprofilatura creando scarpate aventi inclinazione di circa 30°, inferiore all'angolo di attrito interno del materiale (36°) e tra una scarpata e l'altra verrà lasciata una zona pianeggiante di circa 3,00 metri.

A riempimento concluso, lo strato superficiale verrà ricoperto con terreno agrario e trattato con idrosemina per favorirne l'inerbimento e l'inserimento ambientale. In questo modo verranno contrastati i fenomeni di erosione superficiale.

Oltre ai lavori sopra descritti è prevista la realizzazione di una nuova pista di collegamento alla strada comunale esistente, parallela alla SP299 e con accesso dalla piazzola di manovra esistente collocata poco a monte.



Figura 26 - Immagine della ZONA DI INTERVENTO DINELLI per il recupero ambientale e sistemazione paesaggistica con indicazioni (stralcio da Elaborati Tecnici)

Per quanto riguarda i quantitativi di materiale che verrà accumulato, il primo livello del terrazzamento sarà costituito da 1894,37 mc di materiale, il secondo livello da 3365,59 mc e il terzo da 3045,53 mc. Per la nuova pista di collegamento alla strada comunale saranno necessari 810,60 mc. Il volume in eccesso, circa 180 mc, sarà utilizzati per la costruzione delle opere provvisorie di cantierizzazione e, al termine dei lavori, data la ridotta quantità, sarà sistemato entro l'area di cantiere al di fuori delle fasce di rispetto demaniali per colmare depressioni.

Si riassumono pertanto i quantitativi di materiale in gioco:

OPERA IN PROGETTO	AREA (mq)	RIPORTO (mc)
PRIMO LIVELLO	789,32	1894,37
SECONDO LIVELLO	1398,58	3365,59
TERZO LIVELLO	1268,97	3045,53
NUOVA PISTA DI ACCESSO	360,53	810,60
OPERE PROVVISORIE/VARIE	-	Circa 180

I volumi sono stati calcolati dal Progettista supponendo, a causa della difficoltà di rilevare precisamente il perimetro dell'area, un grado di riempimento effettivo pari all'80% del volume di calcolo.

Per quanto riguarda il vincolo idrogeologico le opere sono soggette al rilascio dell'autorizzazione da parte dei settori tecnici regionali competenti per territorio in quanto l'area ricade all'interno del vincolo e i volumi di scavo sono superiori ai 5000 mc.

Dal punto di vista applicativo, non vi sono particolari prescrizioni nei riguardi della regimazione delle acque, che continuerà a svolgersi nei modi attuali, prevalendo l'infiltrazione rispetto al ruscellamento.

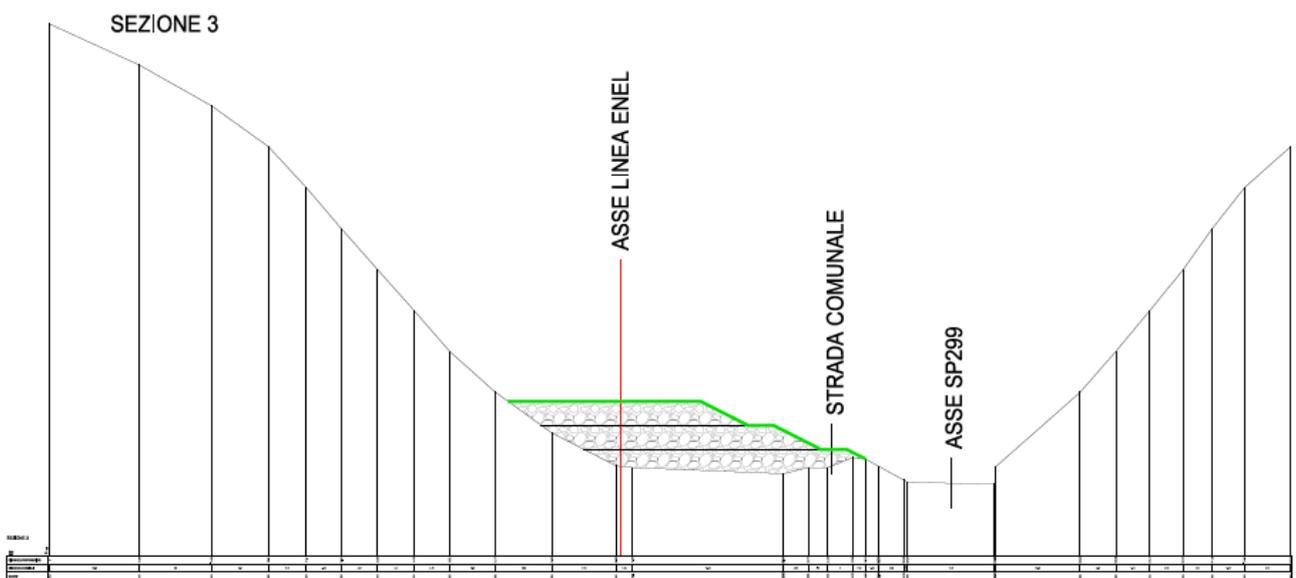
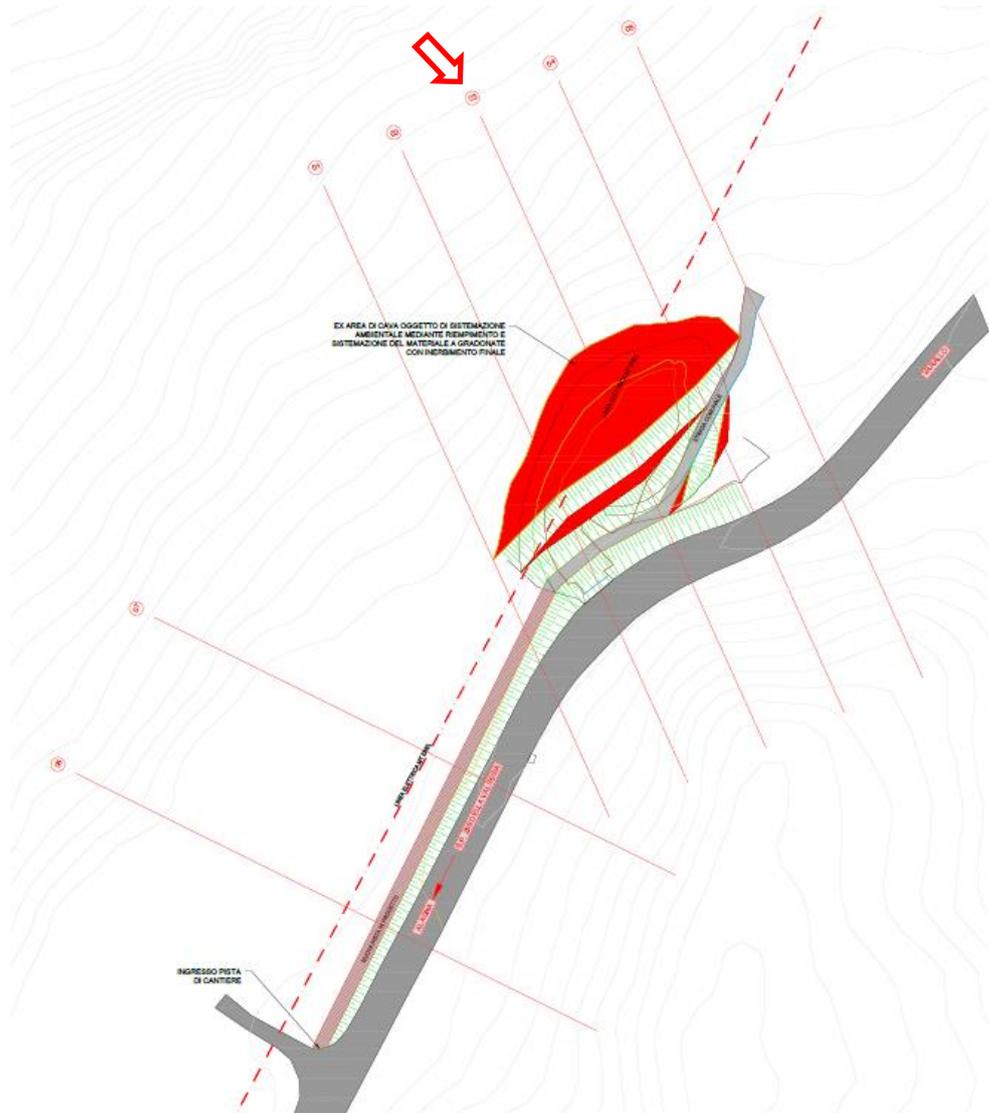


Figura 27 - Stralcio elaborati di progetto: planimetria e sezione 3 (traccia indicata in planimetria da freccia), non in scala

## VERIFICA DI STABILITÀ

### Premessa

Questo capitolo si occupa delle verifiche di stabilità del versante della ZONA DI INTERVENTO DINELLI, in configurazione di progetto. Tra tutte le verifiche di progetto è stata analizzata quella di maggior impegno da parte delle opere previste, nonché quella maggiormente critica ovvero quella indicata dal numero 3 negli elaborati progettuali (si veda la traccia nello stralcio di figura 27).

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. È 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 ( $\phi$ ), 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 ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), 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.

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

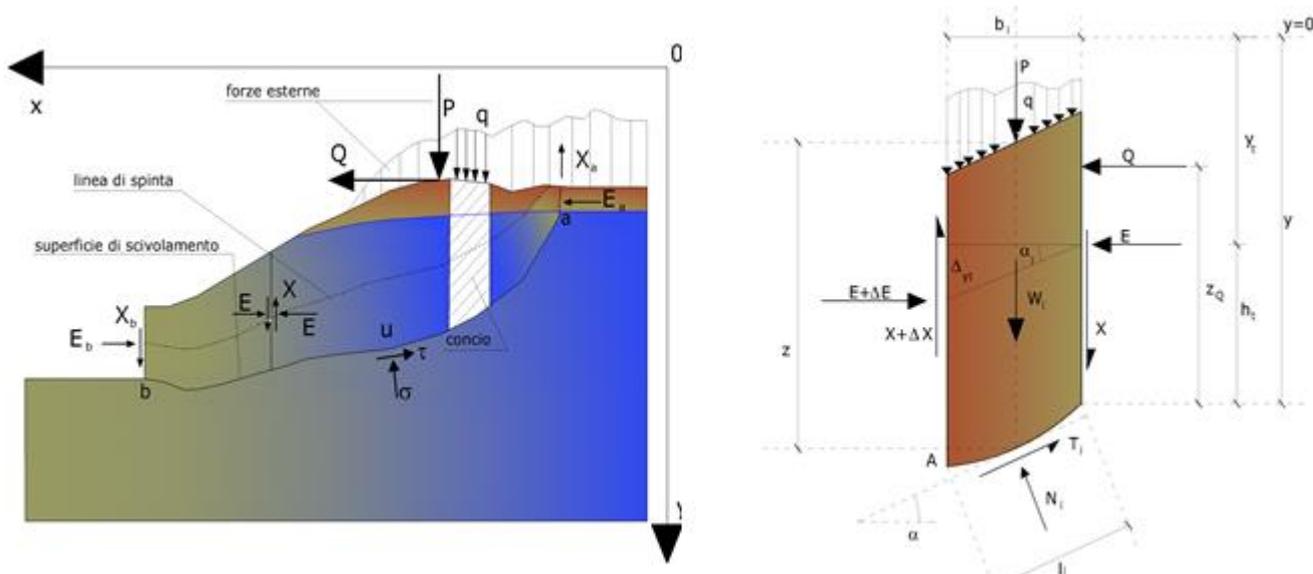
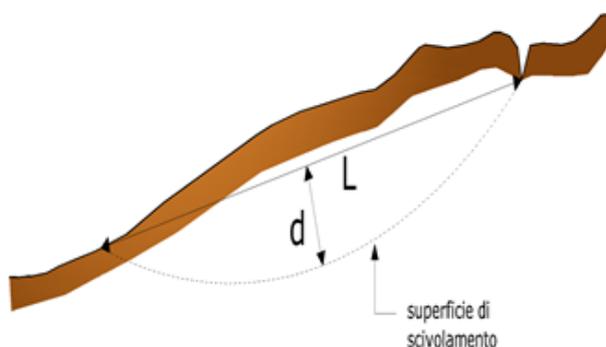
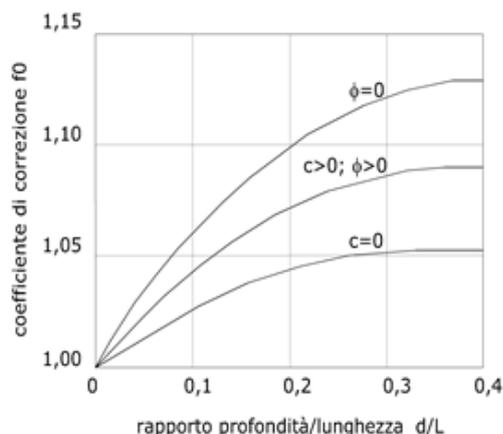


Figura 28 - Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

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.



## Verifiche di stabilità del versante coinvolto dalle opere

### Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
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:	E
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,2	2,56	0,16
S.L.D.	50,0	0,25	2,54	0,19
S.L.V.	475,0	0,52	2,68	0,29
S.L.C.	975,0	0,62	2,76	0,31

### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,384	0,2	0,0078	0,0039
S.L.D.	0,48	0,2	0,0098	0,0049
S.L.V.	0,9984	0,2	0,0204	0,0102
S.L.C.	1,1904	0,2	0,0243	0,0121

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0204

Coefficiente azione sismica verticale 0,0102

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia terreno**

Strato	Coesione (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1			36	18			
2			35	18			
3	340		39	26			

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	620,0
2	10,6	620,21
3	11,03	620,47
4	14,1	622,15
5	15,7	623,08
6	17,97	624,21
7	21,08	624,21
8	26,87	627,14
9	29,96	627,15
10	35,77	630,11
11	59,16	630,11
12	60,68	631,21
13	66,25	636,21
14	70,59	641,23
15	74,67	645,83
16	79,42	651,22
17	83,65	656,21
18	88,27	661,23
19	95,19	666,22
20	103,97	671,22

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	619,97
2	10,6	620,21
3	11,03	620,47
4	14,1	622,15
5	15,7	623,08
6	17,27	623,23

7	20,28	622,0
8	22,67	622,0
9	25,7	621,24
10	46,02	622,2
11	53,66	626,18
12	59,16	630,11
13	60,68	631,21
14	66,25	636,21
15	70,59	641,23
16	74,67	645,83
17	79,42	651,22
18	83,65	656,21
19	88,27	661,23
20	95,19	666,22
21	103,97	671,22

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	613,93
2	9,12	613,93
3	17,27	614,07
4	25,7	614,05
5	40,94	615,74
6	50,91	621,2
7	55,67	625,14
8	66,25	636,21
9	70,59	641,23
10	74,67	645,83
11	79,42	651,22
12	83,65	656,21
13	88,27	661,23
14	95,19	666,22
15	103,97	671,22

**Vertici superficie Nr...1**

N	X m	y m
1	16,52	623,6
2	25,55	622,03
3	44,68	622,66
4	51,78	626,88
5	54,73	630,18

**Vertici superficie Nr...2**

N	X m	y m
1	16,84	623,76
2	19,49	623,42
3	26,97	623,35
4	35,58	625,79
5	41,76	628,75
6	43,18	630,17

**Vertici superficie Nr...3**

N	X m	y m
1	17,02	623,85
2	24,47	623,12
3	30,16	623,92
4	33,72	625,53
5	36,17	628,41

N	X m	y m
6	36,71	630,19

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=3,16

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	3,8	-9,9	3,86	66,03	1,35	0,67	0,0	30,2	0,0	69,0	11,7
2	3,8	-9,9	3,86	156,55	3,19	1,6	0,0	30,2	0,0	163,7	27,8
3	3,8	-2,1	3,8	315,76	6,44	3,22	0,0	30,2	0,0	318,0	53,3
4	3,8	2,0	3,8	340,75	6,95	3,48	0,0	30,2	0,0	339,0	56,8
5	3,8	2,0	3,8	464,5	9,48	4,74	0,0	30,2	0,0	462,1	77,4
6	3,8	1,8	3,8	525,41	10,72	5,36	0,0	30,2	0,0	522,9	87,6
7	3,8	2,0	3,8	516,84	10,54	5,27	0,0	30,2	0,0	514,2	86,1
8	3,8	21,2	4,08	461,93	9,42	4,71	0,0	30,2	0,0	465,3	83,5
9	3,8	30,7	4,42	334,47	6,82	3,41	0,0	30,2	0,0	353,8	68,8
10	3,8	44,7	5,35	128,72	2,63	1,31	0,0	30,2	0,0	155,4	36,6

Superficie Nr...2 Fattore di sicurezza=1,84

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	2,61	-7,0	2,63	29,75	0,61	0,3	0,0	30,2	0,0	31,1	9,0
2	2,61	-0,5	2,61	37,82	0,77	0,39	0,0	30,2	0,0	37,9	10,9
3	2,61	-0,4	2,61	97,35	1,99	0,99	0,0	30,2	0,0	97,5	28,0
4	2,61	2,4	2,61	157,37	3,21	1,61	0,0	30,2	0,0	155,6	44,7
5	2,61	15,8	2,71	154,71	3,16	1,58	0,0	30,2	0,0	148,7	44,3
6	2,61	15,8	2,71	153,73	3,14	1,57	0,0	30,2	0,0	147,8	44,1
7	2,61	15,8	2,71	181,66	3,71	1,85	0,0	30,2	0,0	174,6	52,1
8	2,61	24,6	2,87	179,18	3,66	1,83	0,0	30,2	0,0	174,2	55,0
9	2,61	25,6	2,89	121,64	2,48	1,24	0,0	30,2	0,0	118,6	37,7
10	2,61	37,0	3,27	46,12	0,94	0,47	0,0	30,2	0,0	47,5	17,0

Superficie Nr...3 Fattore di sicurezza=1,57

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1,95	-5,5	1,96	16,56	0,34	0,17	0,0	30,2	0,0	17,2	5,8
2	1,95	-5,6	1,96	23,19	0,47	0,24	0,0	30,2	0,0	24,1	8,2
3	1,95	-5,6	1,96	47,56	0,97	0,49	0,0	30,2	0,0	49,4	16,7
4	1,95	-2,1	1,95	86,79	1,77	0,89	0,0	30,2	0,0	87,9	29,7
5	1,95	8,4	1,97	117,66	2,4	1,2	0,0	30,2	0,0	113,3	38,6
6	1,95	8,0	1,97	123,89	2,53	1,26	0,0	30,2	0,0	119,4	40,7
7	1,95	13,9	2,01	110,64	2,26	1,13	0,0	30,2	0,0	105,2	36,5
8	1,95	24,4	2,14	119,89	2,45	1,22	0,0	30,2	0,0	114,2	42,3
9	1,95	39,8	2,53	110,9	2,26	1,13	0,0	30,2	0,0	112,7	49,4
10	1,95	60,0	3,9	58,17	1,19	0,59	0,0	30,2	0,0	73,5	49,6

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla

superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

## Risultati delle verifiche e considerazioni

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

La verifica è stata effettuata utilizzando il software SLOPE della GeoStru Software s.a.s., indagando n 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.

Le superfici indagate sono 3 e il fattore di sicurezza minimo è risultato pari a **1,57**, ovvero superiore a quello minimo richiesto dalla normativa (1,00). In particolare la superficie di scivolamento più critica è quella contrassegnata con il n° 3.

Nella tabella seguente vengono sintetizzati i risultati della verifica di stabilità del versante eseguita.

Numero superficie	Fattore di sicurezza	ESITO
1	3,16	OK
2	1,84	OK
3	1,57	OK

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

Le verifiche di questo tipo devono essere considerate in maniera orientativa, in quanto bisogna adottare nell'analisi condizioni semplificate, data l'impossibilità di conoscere analiticamente tutto il volume di terreno. In particolare si ricorda che il metodo si riferisce ad una singola sezione del pendio (sebbene quella considerata maggiormente critica), mentre il problema è di tipo tridimensionale e la variazione dei terreni e delle condizioni idrauliche nelle varie dimensioni non sono prevedibili con gli attuali mezzi di analisi.

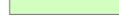
Le verifiche dalla porzione più superficiale del terreno non vengono eseguite perché fino ad una profondità di circa 1 m bisognerebbe considerare le eventuali forze coesive del terreno e degli apparati radicali.



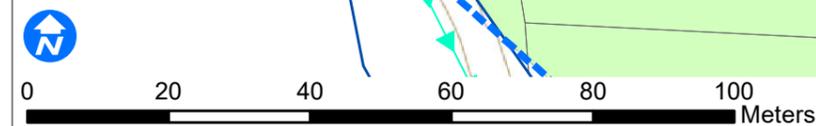
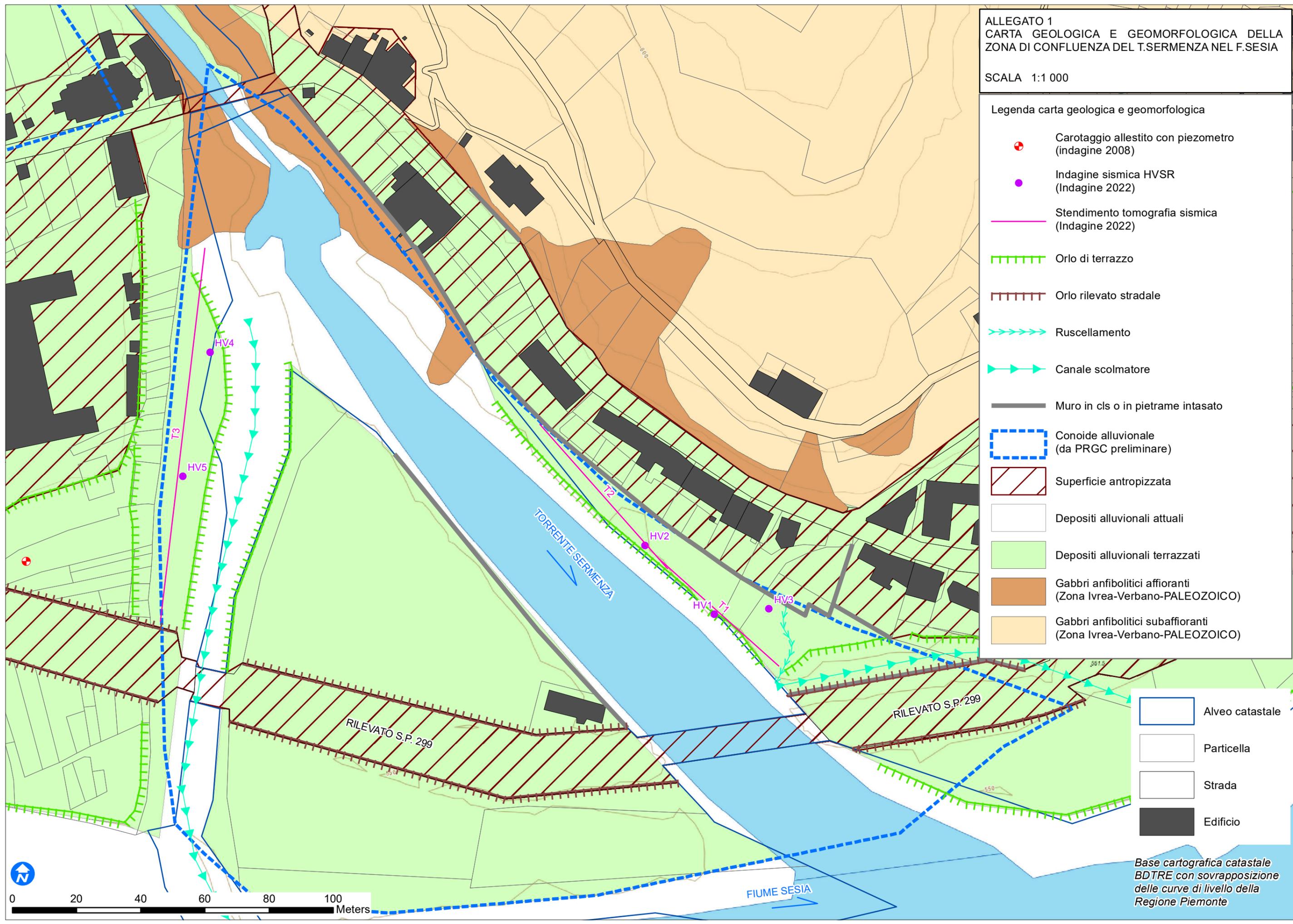
ALLEGATO 1  
 CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA DELLA  
 ZONA DI CONFLUENZA DEL T.SERMENZA NEL F.SESIA

SCALA 1:1 000

Legenda carta geologica e geomorfologica

-  Carotaggio allestito con piezometro (indagine 2008)
-  Indagine sismica HVSR (Indagine 2022)
-  Stendimento tomografia sismica (Indagine 2022)
-  Orlo di terrazzo
-  Orlo rilevato stradale
-  Ruscellamento
-  Canale scolmatore
-  Muro in cls o in pietrame intasato
-  Conoide alluvionale (da PRGC preliminare)
-  Superficie antropizzata
-  Depositi alluvionali attuali
-  Depositi alluvionali terrazzati
-  Gabbri anfibolitici affioranti (Zona Ivrea-Verbano-PALEOZOICO)
-  Gabbri anfibolitici subaffioranti (Zona Ivrea-Verbano-PALEOZOICO)

-  Alveo catastale
-  Particella
-  Strada
-  Edificio



Base cartografica catastale  
 BDTRE con sovrapposizione  
 delle curve di livello della  
 Regione Piemonte