CONVENZIONE TRA AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR LIGURE OCCIDENTALE ED INFRASTRUTTURE RECUPERO ENERGIA – AGENZIA REGIONALE LIGURE - I.R.E. S.p.A. PER ATTIVITA' DI CENTRALE DI COMMITTENZA PER GLI INTERVENTI NELL'AMBITO DELL' "EMERGENZA SAVONA" ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE DI SAVONA

Attività:

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA TERRAPIENO MARGONARA
AD ALBISSOLA MARINA (SV)

Oggetto:

PROGETTO ESECUTIVO

Titolo:

RELAZIONE GEOLOGICA

Doc. n: I0101\ESE\ESE\GEO\R001

Timbro e firma



IL GEOLOGO

Giambattista VEZZOLLA

Rel. n.

E01

Rev.	Data	Sez.	Pag.	Redatto	Controllato	Approvato	Descrizione
1	23/10/20	9	29	GV	FB	SB	Per Emissione

Infrastrutture Recupero Energia Agenzia Regionale Ligure I.R.E. S.p.A.
Società soggetta alla direzione ed al coordinamento di FI.L.S.E. S.p.A.
Capitale Sociale € 1.526.691,00 i.v. – R.E.A. n. 473022 – Cod. Fisc,.e P IVA 02264880994
info@ireliguria.it irespa@legalmail.it www.ireliguria.it

Sede Legale: Via Peschiera 16, 16122 Genova
Uffici Genova: Via XX Settembre 41
Uffici Savona: Via A.Magliotto 2, Campus Universitario Pal. Locatelli

DIVISIONE SANITÀ, TUTELA DEL TERRITORIO E PROGRAMMI DI INTERESSE STRATEGICO
tel. +39 0108403252
infrastrutture@ireliguria.it

SOMMARIO

1 PREMESSA 3
2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEMORFOLOGICO 3
2.1 Geologia 3
2.2 Geomorfologia 6
2.3 Geologia marina 9
3 INDAGINI GEOFISICHE 11
3.1 Sismica a rifrazione di superficie (onde P) e tecnica tomografica 11
3.2 Metodo MASW 15
3.3 Metodo H/V 16
3.4 Indagine congiunta tra metodo MASW e H/V 17
4 CLASSIFICAZIONE SISMICA 18
5 PARAMETRI SISMICI 19
6 CARATTERIZZAZIONE AMMASSO ROCCIOSO 20
7 ANALISI GRANULOMETRICHE 24
8 MODELLO GEOLOGICO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 25
9 INDICAZIONI OPERATIVE 26
9.1 Scavi e preparazione dell'area 27
9.2 Fondazioni 27
9.3 Caratteristiche dei materiali da utilizzare 27
9.4 Sistemazioni esterne 28
9.5 Conclusioni 28

Allegati al testo

- Estratti cartografici – stralcio "Carta Tecnica Regionale" con ubicazione punti di rilievo geostrutturale e piano di bacino Torrente Podestà; "Carta della suscettività al dissesto", Carta del reticolo idrografico", "Carta degli interventi", scala 1:10000;
- Planimetria generale con elementi geologici geomorfologici ed ubicazione delle indagini sismiche, scala 1:500;
- Elaborati indagini sismiche;
- Elaborati analisi granulometriche;
- Sezioni geologiche e geotecniche interpretative, scala 1:200.

1 PREMESSA

La Società IRE S.p.a., nell'ambito della Convenzione con Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale per interventi di emergenza all'interno del bacino portuale di Savona, ha incaricato lo scrivente di redigere la Relazione Geologica relativa al progetto esecutivo dei lavori di messa in sicurezza del terrapieno Margonara, nel Comune di Albissola Marina, interessato da una serie di fenomeni di dissesto provocati dall'azione erosiva del mare, l'ultimo dei quali nell'ottobre 2018.

Con il presente progetto si intende provvedere alla messa in sicurezza definitiva del rilevato, assicurandone la stabilità della base tramite la posa di una mantellata in massi naturali, avente il duplice scopo di fornire un piede al terrapieno e di smorzare l'energia e l'effetto erosivo delle onde.

Come si evince dagli elaborati progettuali (planimetrie e sezioni), cui si rimanda per una precisa definizione degli interventi, la mantellata in progetto presenta una lunghezza di circa 200 m lineari, con un'inclinazione sull'orizzontale di 35°, posizionata a terra (spiaggia emersa) in maniera da tale da ricostituire il terrapieno nella posizione originale, precedente agli arretramenti degli ultimi anni.

La presente relazione, in ottemperanza alle N.T.C. 2018, viene redatta con lo scopo di valutare le condizioni geologico geomorfologiche dell'area interessata dall'intervento, di verificare la compatibilità dell'opera in progetto con l'attuale stato dei luoghi e di caratterizzare i terreni presenti, tramite la definizione dei loro parametri geotecnici medi.

A tale scopo, tenuto conto del contesto in cui si colloca l'area d'intervento, si è ritenuto opportuno eseguire:

- Tomografia sismica (onde P) ed una prova sismica tipo MASW (SS1);
- Rilievi sismici passivi (H/V1-2);
- 4 stazioni di rilievo geomeccanico (RS1-4) (affioramenti litoidi nelle vicinanze al sito).

L'ubicazione delle indagini sismiche è visibile sulla planimetria in allegato 2 al testo, mentre per le stazioni di rilievo geomeccanico, ubicate al di fuori dell'area rappresentata in planimetria, si rimanda allo stralcio della C.T.R. in allegato 1.1 al testo.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEMORFOLOGICO

2.1 GEOLOGIA

Dal punto di vista geologico, l'area in questione ricade all'interno dei terreni appartenenti all'Unità del "massiccio cristallino" di Savona; si tratta di ortogneiss e micascisti paraderivati con paragenesi a biotite, mica bianca, plagioclasio, sillimanite fibrolitica e quarzo. La sequenza mineralogica descritta si sovrappone ad una più antica paragenesi a granato, staurolite, sillimanite e biotite. Datazioni eseguite su cristalli di biotite, nelle masse granitiche del massiccio di Savona, hanno fornito un'età di minima di 300 Ma che colloca le rocce in esame al Carbonifero superiore. Sui terreni descritti sono registrati più eventi metamorfici,

legati all'orogenesi ercinica e alpina, con deformazioni plastiche polifasiche e fratturazioni e fagliazioni di età plio-quaternaria. Tali azioni tettoniche determinano uno scadente comportamento geomeccanico degli ammassi rocciosi lungo tutto il tratto allo studio, come meglio evidenziato in seguito.

Tali materiali sono ascrivibili alla "Formazione degli Ortogneiss I". (Regione Liguria; Carta Geologica con elementi di geomorfologia 1:25000 Foglio n. 229.4- "Savona") (Figura 2.1).

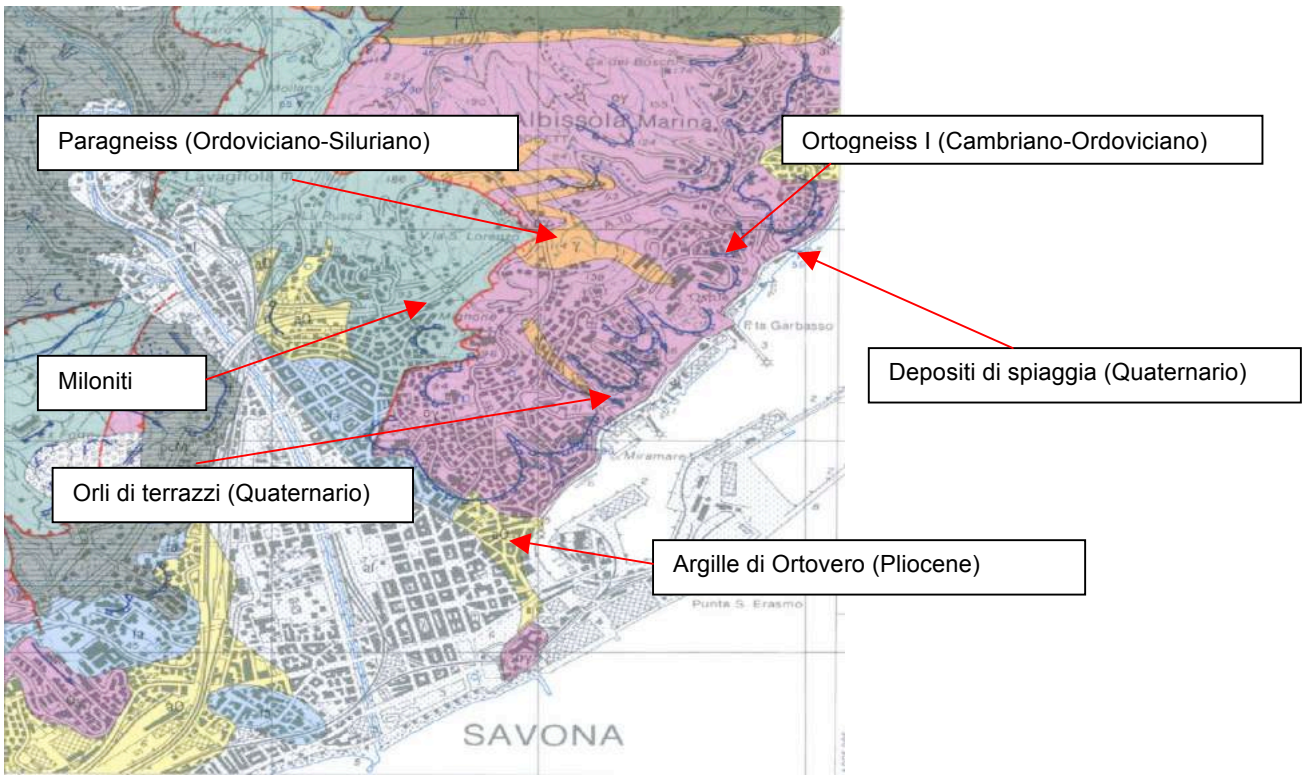


Figura 2.1: estratto Carta Geologica con elementi di geomorfologia 1:25000

Il principale complesso geologico strutturale, che caratterizza il settore di Alpi Liguri in studio, è l'Unità Calizzano-Savona, appartenente al dominio brianzonese interno, che costituisce il substrato tettonico. Le deformazioni del basamento iniziano in età paleozoica (orogenesi caledoniana), a cavallo tra l'Ordoviciano e il Siluriano, con un primo evento metamorfico che determina una marcata scistosità iniziale S1; contemporaneamente si hanno le trasformazioni metamorfiche in paragneiss, micascisti e Ortogneiss I.

Una nuova attività magmatica riprende nel Carbonifero inferiore, connessa con l'orogenesi ercinica, che determina una nuova scistosità S2 associata ad un metamorfismo che raggiunge la facies anfibolica. In questa fase si verificano intrusioni di nuove masse granitoidi accompagnate da manifestazioni filoniane e dalla loro trasformazione in Ortogneiss tipo II.

Le successive deformazioni alpine hanno determinato la formazione di un edificio a falde sovrapposte, con lo scollamento e l'impilamento dei terreni del Massiccio di Savona

associato a fasi deformative più recenti. Tutta la struttura è complicata da una intensa deformazione intraformazionale.

A partire dal Pliocene e per tutto il Quaternario, le Alpi Liguri sono state oggetto di movimenti a componente verticale responsabili del sollevamento e del basculamento della catena montuosa; questa fase è associata ad un collassamento del rilievo, testimoniata da faglie e lineazioni disposte ortogonalmente e parallelamente alla linea di costa. Lungo tali discontinuità si formano strutture di tipo distensivo tipo Horst-Graben.

Le depressioni prossime alla linea di costa sono state pertanto invase dal mare entro il quale si è avuta la deposizione delle Argille di Ortovero corrispondenti all'ingressione marina nel Pliocene.

Di seguito si riporta una descrizione stratigrafica e litologica delle formazioni presenti a livello di scala vasta.

Unità Calizzano-Savona (Precarbonifero)

Miloniti

Si tratta di cataclasiti, miloniti e blastomiloniti indifferenziate di rocce del basamento con intensa sovraimpronta metamorfica alpina deformativa, spesso polifasica. Sono presenti nell'area d'intervento sotto forma di fasce non cartografabili separatamente.

Anfiboliti (già Anfiboliti di Monte Spinarda)

Si tratta di anfiboliti massicce a grana fine, di colore scuro, verdastro-bluastro, con tessitura a bande, talora granatifere passanti a gneiss anfibolici. In corrispondenza dei principali contatti tettonici presentano una maggiore fissilità e scistosità. Sono visibili in modesti affioramenti, non cartografabili separatamente, a nucleo di complesse strutture a pieghe.

Paragneiss e micascisti (già Gneiss di Albisola)

Si tratta di rocce a tessitura fine, scistosa, prodotto di metamorfismo regionale di arenarie e peliti, costituite da paragneiss minuti a due miche, talora granatieri o anfibolici e micascisti quarzitici. Non sono presenti direttamente nell'intorno dell'area in esame ma si rilevano sull'alto versante, all'interno della struttura ospedaliera.

Ortogneiss I (già Gneiss di Albisola)

Si tratta di gneiss da fortemente scistosi a granitoidi biotitici di colore grigio-verde, ricchi di cristalloblasti quarzosi e lenti di K-feldspato. Costituiscono il litotipo affiorante in prevalenza nell'area d'intervento, a costituire i contrafforti strutturali intensamente ripiegati e deformati.

Rocce sedimentarie (Pliocene)

Argille di Ortovero

Si tratta di depositi marini costituiti prevalentemente da argille marnose di colore grigio-cinereo, con livelli sabbiosi e siltosi intercalati irregolarmente e lenti conglomeratiche al tetto. Sono localizzati al di fuori della zona in esame, all'interno del tessuto urbano di Savona ed Albissola Marina.

Depositi alluvionali (Pleistocene – Olocene)

Alluvioni terrazzate attuali e recenti e depositi costieri

I terreni alluvionali costituiscono i piccoli terrazzi presenti sulle due sponde del Rio Termine, nel suo tratto terminale compreso tra il vecchio ponte ferroviario e quello stradale; si tratta di alternanze di depositi fluviali grossolani e fini, interdigitati, talora rimaneggiati in superficie.

I depositi costieri, come già detto in precedenza, sono caratterizzati dalla presenza di sabbia, con ghiaia e ciottoli.

Gli elementi rilevati in superficie sono riportati sulla carta geologica e geomorfologica del modello geologico in allegato al testo.

2.2 GEOMORFOLOGIA

L'area in esame si colloca lungo la linea di costa fra gli abitati di Albissola Marina e Savona e, più in particolare, fra il limite di ponente della spiaggia di Albisola e lo scoglio della Madonnetta, proprio in corrispondenza di un esteso rilevato attualmente adibito a parcheggio, nel Comune di Albissola Marina (SV).

La figura seguente riporta uno stralcio della Carta Tecnica Regionale con l'ubicazione dell'area in studio.



Figura 2.2: viste del sito d'intervento su stralcio C.T.R. e dall'alto (fonte Google Earth).

La morfologia costiera è definita da una falesia in rocce gneissiche, di età paleozoica, allungata secondo una direttrice NE-SW, controllata da faglie distensive di età Plio-Quaternaria. Gli elementi salienti della falesia sono caratterizzati dalla Punta dello Scoglio della Madonnetta, costituita da un isolotto parzialmente collegato a terra da uno stretto tombolo in massi e depositi di spiaggia grossolani, estremo di ponente dell'area in esame (vedi foto seguente).



Fotografia 2.1: viste estremo di ponente e di levante sito d'intervento

La parte sommitale dell'antica falesia costituisce un terrazzo morfologico marino, attestato a quote comprese fra 50 e 60 m s.l.m., che definisce un antico livello di costa quaternario attribuito al Siciliano inf. - Tirreniano inf.

In questo contesto si evidenzia l'azione di modellamento antropico che ha determinato, in tempi successive, significative modificazioni all'ambiente naturale con la costruzione della via Aurelia, della antica linea ferroviaria e del porto di Savona.

La morfologia della vecchia falesia è stata progressivamente modificata con rilevanti interventi di sbancamento, che hanno comportato la costruzione di muri di controripa di altezza talora superiore a 20 m, muri di sottoscarpa sulla linea di costa con reinterri fino a 7-8 m, gallerie con andamento parietale rispetto la linea di falesia e imponenti colmate a mare in corrispondenza del lato Savona.

Parte di questi interventi, sommariamente descritti, ha comportato significative alterazioni della rete idrografica superficiale; quest'ultima è essenzialmente incentrata sul bacino del Rio Termine, il quale rappresenta il corso d'acqua principale, non interessante l'area d'intervento.

I depositi costieri sono di limitata entità ed estensione; si tratta di piccole spiagge, in larga parte di origine artificiale, il cui equilibrio dinamico risulta essenzialmente controllato dalle opere di difesa esterne del porto di Savona.

In particolare, tutta la base del rilevato oggetto d'intervento è costituita da spiaggia, alimentata dalla conoide del Sansobbia e dal trasporto costiero di scirocco; questo tratto di

litorale è suddivisibile in due comparti dalle caratteristiche morfologiche differenti. Il primo, a levante del piccolo pennello esistente (lato Albissola Marina), caratterizzato da deposito di spiaggia di natura prevalentemente sabbiosa con subordinati ciottoli e ghiaia, che si estende per una profondità massima di circa 10-15 m. Il secondo, a ponente del pennello (lato Savona), caratterizzato da un deposito di spiaggia molto più grossolano (ciottoli e ghiaia prevalenti) e di estensione sino a quasi 20 m di profondità.

Il rilevato oggetto d'intervento si sviluppa parallelamente alla linea di costa per una lunghezza di circa 200 m lineari, costituito dal materiale proveniente dallo scavo delle gallerie autostradali messo in opera alla fine degli anni '60, e presenta una base non protetta al piede, soggetta all'azione erosiva delle mareggiate, che negli ultimi anni ha subito un arretramento progressivo in pianta di oltre 4 m. Ad oggi, a seguito dell'ultimo scalzamento del 2018, tutta la scarpata attuale, a partire dal lato Savona sino al piccolo molo lato Albissola, presenta un fronte non protetto, di altezza media variabile tra 4-5 m, con inclinazione di circa 60° sull'orizzontale, come appare evidente dalla fotografia seguente.



Fotografia 2.2: vista panoramica dalla spiaggia del rilevato lato ponente

Nella zona immediatamente a levante del piccolo molo, verso Albissola, si è registrata la massima incisione dovuta alla mareggiata dell'ottobre 2018, con la creazione di un fronte pressoché verticale, ed il massimo arretramento, di circa 2 m. Questo tratto è stato oggetto di un intervento di messa in sicurezza, realizzato dal Comune di Albissola Marina, consistente nella realizzazione di un piccolo tratto di scogliera subverticale (L = 14 m) intestata alla base del rilevato, come visibile nella foto seguente.



Fotografia 2.3: vista della scogliera di recente realizzazione lato levante

2.3 GEOLOGIA MARINA

Lo scrivente ha partecipato, in passato, a diversi progetti riguardanti la zona a mare antistante il rilevato oggetto dell'intervento; in tali occasioni sono stati prese in considerazione le risultanze di varie indagini a mare, fornite dall'Autorità Portuale di Savona o eseguite per l'occasione, tramite le quali si è potuta estendere, per completezza d'informazione, l'analisi geologica allo specchio acqueo antistante il progetto, benché non interessato dalle opere.

In questo settore, l'esame di due distinte campagne di indagini (5 sondaggi a mare eseguiti nel 1981 e 2 sondaggi eseguiti nel 2003), evidenzia un basamento gneissico a profondità dal fondale variabile, in direzione mare, da 1 a 22 m; al di sopra si attraversano depositi marini costituiti da sabbia limosa medio-fine, localmente medio grossolana, con ghiaietto e resti organici.

Dal punto di vista costiero ambientale il sito d'intervento si estende sulla fascia litoranea del Comune di Albissola Marina, nella porzione più occidentale dell'Unità Fisiografica (UF_17) compresa tra il porto di Savona e Varazze.

All'interno di tale Unità sono presenti diversi paraggi costieri, il più occidentale dei quali interessa il tratto in studio (**Paraggio 2**) e si estende tra Punta Margonara (limite W) e Capo Torre (limite E).

Il tratto interessato dall'intervento si trova al di fuori delle celle litorali individuate nel paraggio (spiagge di Albissola Marina).

Nella figura seguente, tratta dalla cartografia on line della Regione Liguria – Ripascimenti-Criteri di progettazione, sono rappresentati gli elementi sopradescritti relativamente al tratto costiero interessato del comune di Albissola Marina.



Figura 2.3: stralcio cartografia regionale "Ripascimenti".

2.4 - Compatibilità con il Piano di Rischio Idrogeologico

Com'è noto, l'Amministrazione Provinciale nell'ottobre 2002 ha approvato in via definitiva i Piani di Rischio Idrogeologico (redatti in osservanza del D.L. 180/98 e s.m.i.), più volte aggiornati nel seguito. Il prodotto di tali studi è rappresentato da una serie di carte tematiche riguardanti le diverse problematiche (suscettività al dissesto, fasce di inondabilità, ecc) e da una Normativa Generale che regola le possibilità di intervento all'interno delle classi in cui è stato suddiviso il territorio.

Con il presente paragrafo s'intende confrontare la posizione del comparto interessato dall'intervento rispetto al rischio geomorfologico ed idrogeologico del Piano di Bacino del Torrente Podestà; in particolare si determinano le seguenti condizioni:

Suscettività al dissesto: tutta l'area d'intervento è ubicata in una zona a suscettività al dissesto molto bassa (azzurro);

Reticolo idrografico principale: l'area in esame si trova ad una distanza > 50 m rispetto ai corsi d'acqua censiti più vicini;

Interventi: non sono previsti interventi sull'area in esame.

Nel complesso, dal confronto con il piano di rischio idrogeologico non emergono particolari problematiche per la realizzazione dell'intervento in progetto.

3 INDAGINI GEOFISICHE

3.1 SISMICA A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE (ONDE P) E TECNICA TOMOGRAFICA

Al di sopra del rilevato oggetto d'intervento, nei pressi dell'orlo della scarpata, sono state eseguite, lungo l'allineamento mostrato in figura 3.1, un'indagine sismica a rifrazione ed una MASW.



Figura 3.1. Localizzazione delle indagini su foto aerea



Foto 3.1 vista dal geofono G1



Foto 3.2 vista dal geofono G12.

La prospezione è consistita in due allineamenti sismici di superficie aventi le seguenti caratteristiche:

- lunghezza: 46 m;
- spazio intergeofonico: 4 m;
- punti di battuta: 5;
- 12 geofoni con frequenza propria di 4.5 Hz.

La prova è stata effettuata utilizzando un sismografo Dolang DBS280 della "Dolang Geophysical" con energizzazione a massa battente dal peso di 10 kg in alufer.

Le misure effettuate con la tecnica a rifrazione sono state elaborate con la procedura tomografica al fine di evidenziare in dettaglio le variazioni locali di velocità utilizzando il programma SmartTomo 2019.3 Versione 4 della V_{s30}.it.

La tecnica tomografica, rispetto alla tradizionale sismica a rifrazione, risolve il problema delle eterogeneità laterali del sottosuolo. I dati sperimentali misurati sul terreno (tempi di arrivo) sono confrontati con quelli teorici (tempi ottenuti dalla modellizzazione diretta) simulati mediante un modello iniziale, seguendo quanto proposto da Moser, T. J. (1991) Shortest path calculation of seismic rays. Geophysics 56: 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 singola cella sono presenti più nodi che costituiscono i nodi della rete di ipotetici raggi sismici che connettono tutte le sorgenti e tutti i ricevitori che sono anch'essi dei nodi. Ogni nodo è connesso con quelli delle celle adiacenti.

Nella fase "inversa" i tempi sintetici calcolati nella fase "diretta" vengono confrontati con i tempi misurati. Le differenze tra i due tempi sono usate per aggiornare il modello sintetico (smartTomo impiega un algoritmo riconducibile alla famiglia delle Simultaneous Iterative Reconstruction Technique). La risoluzione del modello finale dipende dalla densità dei raggi, che a sua volta dipende dal numero di energizzazioni e di geofoni. La soluzione numerica del modello di velocità è affrontata in modo iterativo cercando la soluzione che riduce la differenza tra i tempi misurati e quelli calcolati.

Mediamente si può considerare che l'indagine raggiunga una profondità di circa un terzo della lunghezza dell'allineamento; in sintesi, la procedura seguita nella tecnica tomografica è consistita in:

- lettura dei tempi di arrivo sui sismogrammi acquisiti in campagna;
- definizione del modello iniziale del sottosuolo, passo diretto (si parte con un modello piano-stratificato del sottosuolo);
- tracciatura del raggio (tracciamento dei raggi dalla sorgente ai ricevitori – raytracing);
- determinazione dei residui (differenza tra tempi osservati e quelli calcolati);
- applicazione del metodo di inversione;
- ripetizione della procedura fino alla stabilizzazione delle soluzioni.

Dall'elaborazione dei dati registrati in campagna si ottiene:

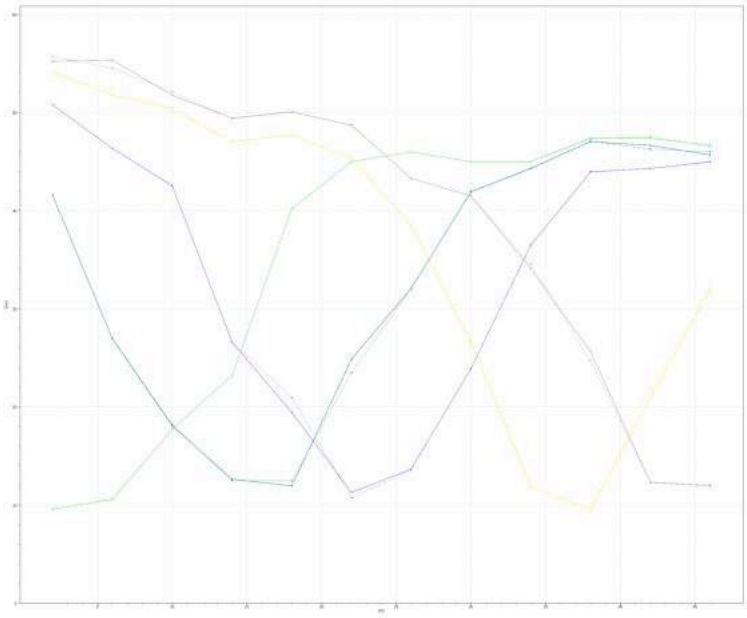


Figura 3.2 Confronto tra dromocrone osservate (linea continua) e calcolate (linea in tratteggio) per il sito analizzato.

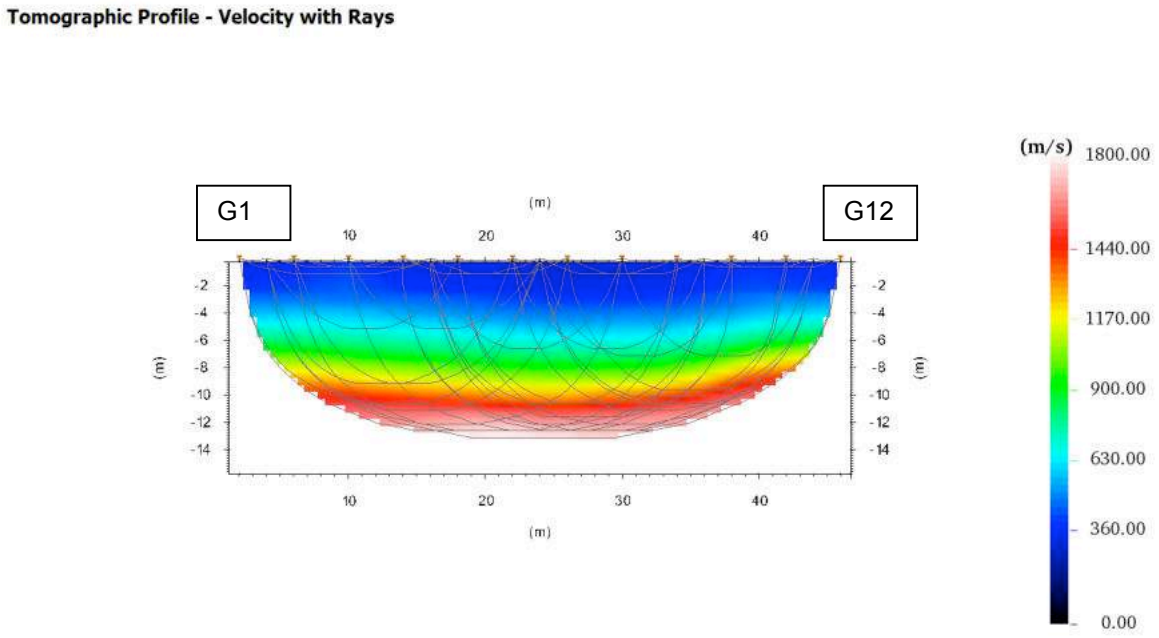


Figura 3.3 Profilo tomografico con raggi sismici

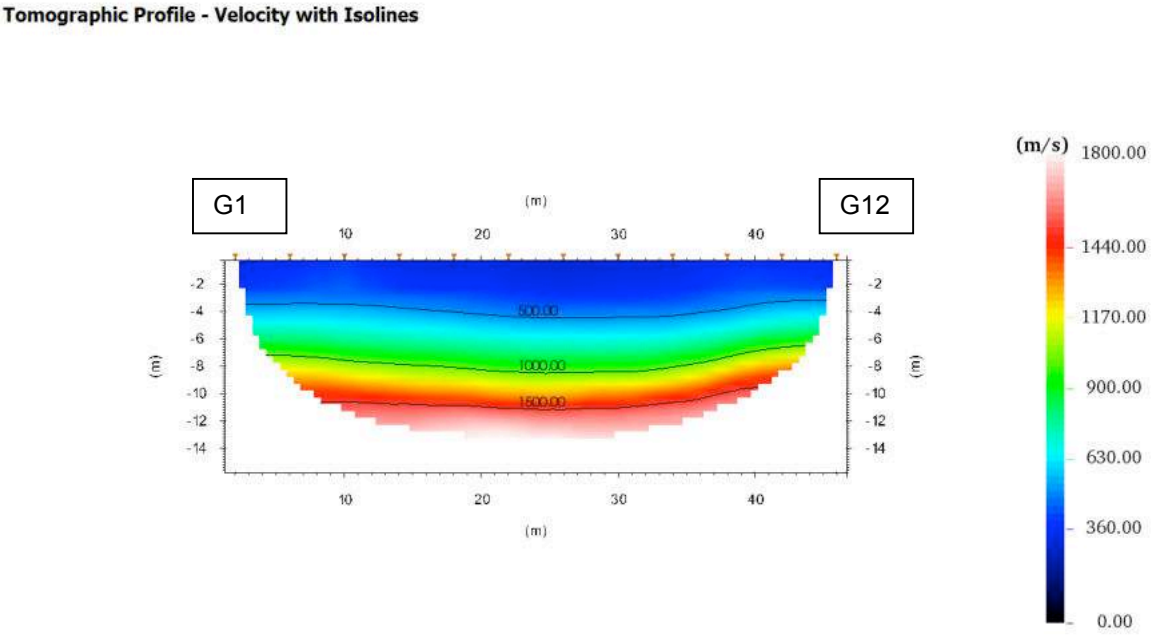


Figura 3.4 Profilo tomografico con isolinee di velocità V_s

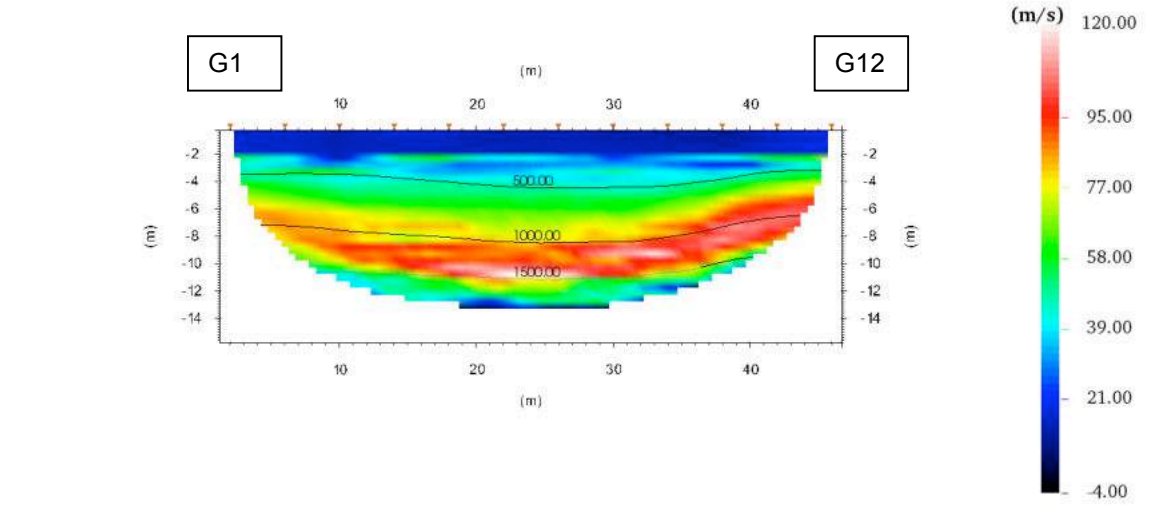


Figura 3.5 Profilo tomografico con gradiente verticale velocità V_s

La sezione tomografica evidenzia la presenza dei seguenti orizzonti (cfr. profili in allegato 3):

- intervallo di velocità Vp = 0 - 500 m/s: coperture sciolte da poco a mediamente addensate, corrispondente alla parte superficiale del terrapieno (terreno di riporto), a debole matrice fine, dello spessore variabile da circa 3 m a 4 m;
- intervallo di velocità Vp = 500 - 1000 m/s: coperture più addensate (sabbie litorali) passanti e/o intercalate al substrato molto alterato e fratturato (cappellaccio), di spessore variabile tra circa 2 m a 3 m;
- interfaccia Vp = 1000 m/s rappresenta il “tetto” dell’ammasso roccioso in condizioni francamente litoidi, in graduale miglioramento con l’aumentare della profondità. Il tetto dell’ammasso roccioso sano compare ad una profondità variabile tra -6 / -7 m da p.c., agli estremi della stesa, con una concavità centrale intorno agli 8 m.

3.2 METODO MASW

L’analisi multicanale delle onde sismiche superficiali (MASW) è consistita nella registrazione simultanea tramite 12 geofoni (frequenza propria di 4.5 Hz), distanziati di 2 m, di una vibrazione prodotta da una sorgente sismica impulsiva (martello da 10 kg), sistemata agli estremi dell’allineamento a 2 m di distanza dal ricevitore (vedere l’allegato per dettagli sui parametri utilizzati).

La figura seguente mostra i sismogrammi della componente verticale delle onde di Rayleigh.

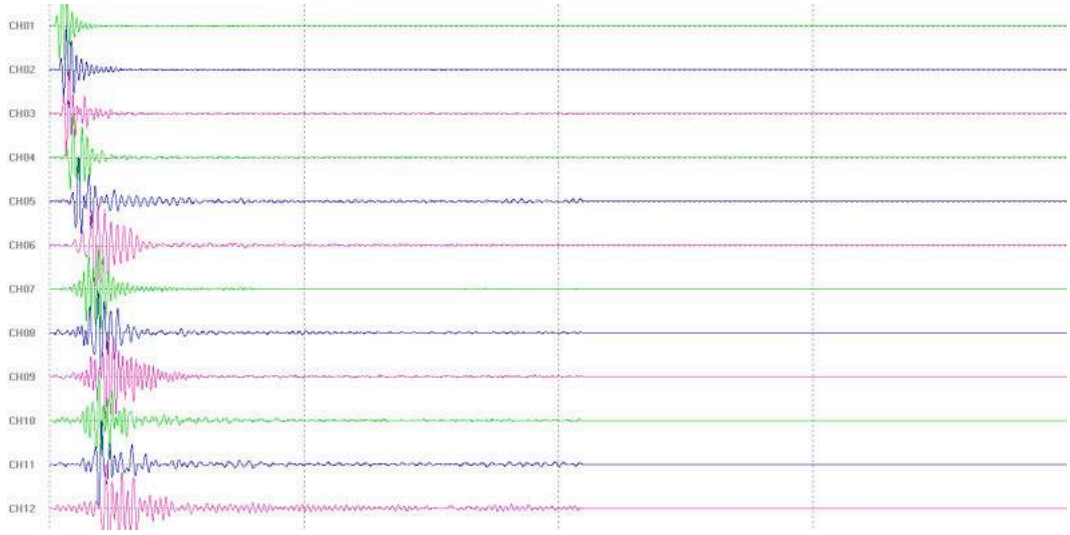


Figura 3.6 Sismogrammi (in ordinata i canali e in ascissa il tempo in secondi – intervallo 1 s), sorgente sismica a 2 m dal geofono 1.

Nella Figura seguente è mostrato lo spettro di velocità di fase dell’onda di Rayleigh.

Il software preleva automaticamente l’ampiezza massima per ogni frequenza definendo la curva di dispersione.

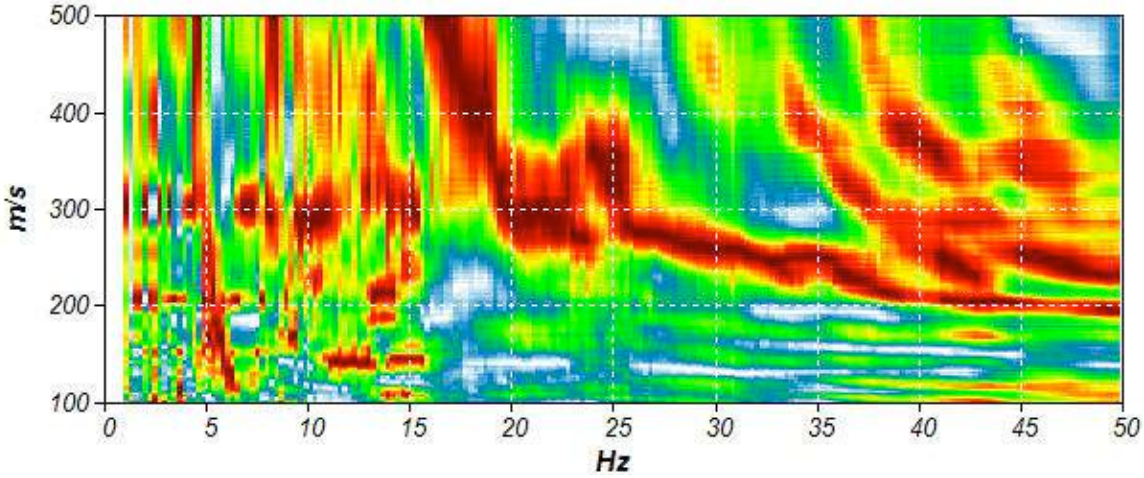


Figura 3.7 Spettro di velocità di fase dell'onda di Rayleigh.

3.3 METODO H/V

Si basa sullo studio dei rapporti di ampiezza che, nelle diverse frequenze di vibrazione (rapporti spettrali), esistono tra il rumore sismico ambientale (microtremore) misurato sul piano orizzontale (H) e quello lungo la verticale (V).

I risultati che si possono ottenere da un'indagine di questo tipo sono la velocità media delle onde di taglio calcolata tramite un codice di calcolo e la stratigrafia di massima del suolo.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello Tromino®Zero della Moho s.r.l. È costituito essenzialmente da tre velocimetri orientati secondo le direzioni N-S, E-W e verticale, rispettivamente ortogonali tra loro.

La strumentazione opera nell'intervallo di frequenze tra 0.1 e 128 Hz, consentendo di ottenere un'elevata risoluzione. I dati del moto del terreno, dopo essere stati amplificati e digitalizzati, vengono memorizzati su una memoria interna digitale.

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

a) le curve H/V ricavate con i seguenti parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s;
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale;
- rimozione nelle finestre di eventuali transienti ancora presenti.

b) le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto, ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto (a).

La scheda in esteso, secondo le linee guida del progetto europeo *Sesame*, è riportata in Allegato 3.2. I criteri di significatività consistono nella valutazione dell'attendibilità statistica della curva H/V e nella valutazione della chiarezza del picco H/V.

Le curve H/V sono curve sperimentali che rappresentano il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali (riferite alle componenti verticale e orizzontali del moto) in funzione della frequenza.

I picchi della curva H/V presenti a una data frequenza possono essere più o meno evidenti e interpretabili a seconda dell'entità del contrasto d'impedenza sismica tra il substrato rigido e lo strato più superficiale di copertura.

3.4 INDAGINE CONGIUNTA TRA METODO MASW E H/V

Per produrre un profilo sismo-stratigrafico con il metodo H/V è indispensabile conoscere la profondità del riflettore principale oppure, in assenza di sondaggi o prove penetrometriche, il profilo V_s ottenuto dalla prova MASW.

Nella prova MASW, alla presenza di un riflettore importante caratterizzato da elevata rigidità, l'energia prodotta da una sorgente convenzionale superficiale rimane quasi tutta confinata nel mezzo tenero, rimanendo poca energia disponibile per caratterizzare le velocità di propagazione delle onde sismiche nel mezzo rigido.

Conseguentemente, l'analisi congiunta tra metodo MASW e H/V si rivela ideale, poiché la prova MASW fornisce il vincolo per la tecnica H/V, che permette di ottenere profili V_s a profondità maggiori di quelle raggiungibili con la sola MASW.

L'elaborazione è stata eseguita con il software *Grilla* della Moho s.r.l.

L'analisi congiunta è mostrata nella figura sottostante, dove sono riportati gli spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh derivanti dalla prova MASW e la curva H/V sperimentale.

Usando un approccio di tipo diretto, basato sulla simulazione del campo di onde di superficie in sistemi a strati piani e paralleli, la sovrapposizione delle curve sperimentali, ottenute con le due prove (MASW e metodo H/V) con quella calcolata dal modello, ha fornito il profilo di V_s mostrato in Fig. 3c per il sito d'indagine.

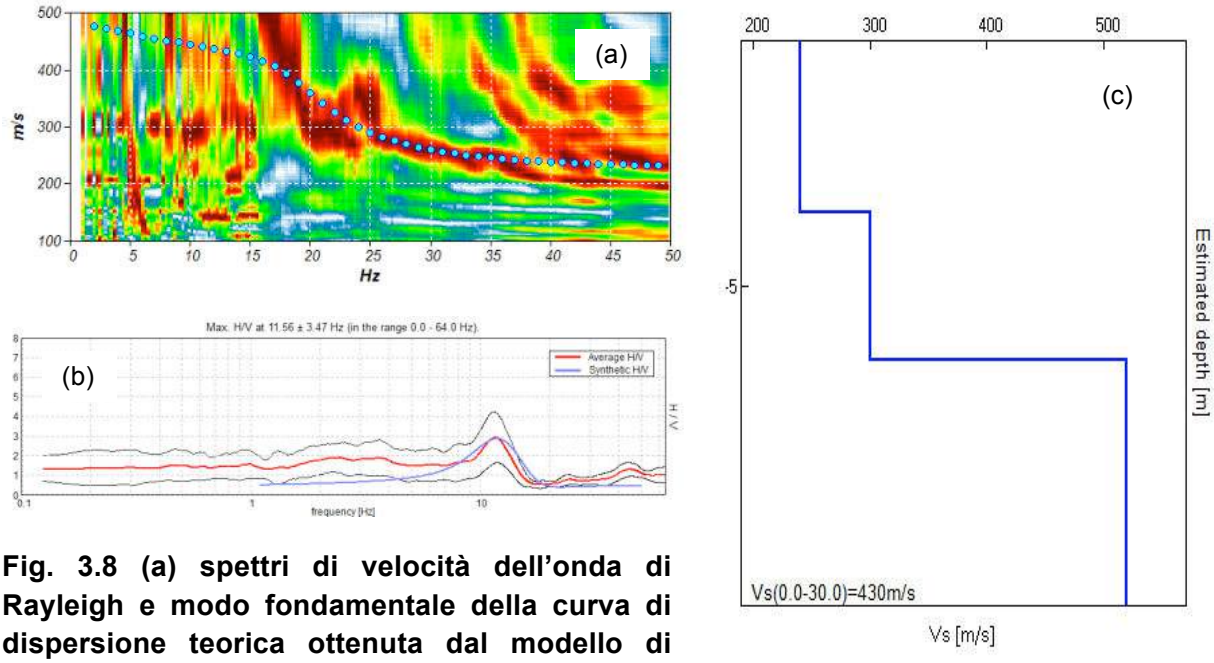


Fig. 3.8 (a) spettri di velocità dell'onda di Rayleigh e modo fondamentale della curva di dispersione teorica ottenuta dal modello di sottosuolo (c); (b) curva media H/V sperimentale (rosso) con deviazione standard (curva nera sottile) e sintetica (blu) calcolata dal modello di sottosuolo (c); (c) modello di sottosuolo in termini di Vs derivato dall'analisi congiunta della prova MASW e del metodo H/V.

In base al profilo di V_s e ai sensi del DM/2018, si ha: **$V_{s\ eq}$ = 430 m/s**

4 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Con la presente vengono analizzate le condizioni di rischio sismico dell'area d'intervento, ai fini di un'adeguata verifica strutturale. Il quadro sismo tettonico locale e le analisi eseguite dal Servizio Sismico Nazionale individuano, per il territorio comunale, un basso grado di rischio sismico. Sulla base della O.P.C.M. n. 3519/2006 e la conseguente D.G.R. n° 216 del 17.03.2017, il Comune di Albissola Marina è inserito in zona sismica 4.

Con l'entrata in vigore del D.M. 17/01/2018, la stima della pericolosità sismica viene effettuata mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". L'azione sismica di progetto, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione, viene definita dalla "pericolosità sismica di base" del sito, elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Nella determinazione dello spettro di risposta elastico l'Eurocodice 8 e la recente normativa nazionale prevedono l'adozione di un coefficiente S, detto di *stratigrafia del suolo di fondazione*, attraverso il quale stimare gli effetti di amplificazione del sisma di progetto rispetto alle accelerazioni imposte, riferite al substrato roccioso rigido.

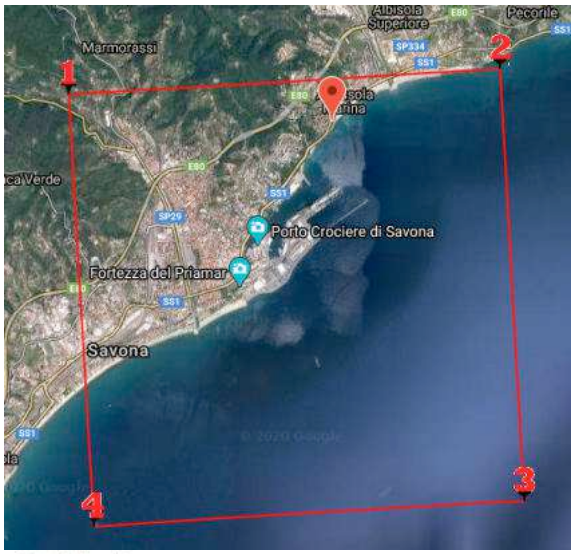
Facendo riferimento alle cinque categorie di terreno riportate in normativa (tabella 3.2 II delle N.T.C./2018), utilizzando le risultanze delle indagini sismiche eseguite, risulta che il profilo

stratigrafico della zona d'intervento sia ascrivibile alla categoria **B**, di cui si riporta la definizione:

*"**B** – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s"*

5 PARAMETRI SISMICI

Sulla base dei dati tipici del sito in esame citati nei precedenti paragrafi, utilizzando un apposito software on line (GEOSTRU), sono stati calcolati i coefficienti sismici, esposti e sintetizzati nella seguente scheda.



Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

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

H (m): 1 — us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: B

Cat. Topografica: T2

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,59	1,54	1,39	1,38
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] — 0.6

Stati limite

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

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.019	2.574	0.158
Danno (SLD)	50	0.024	2.544	0.187
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.054	2.619	0.305
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.068	2.700	0.326
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.005	0.007	0.016	0.019
kv	0.003	0.003	0.008	0.010
Amax [m/s²]	0.264	0.343	0.768	0.954
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

Figura 5.1 Scheda riassuntiva analisi sismica sito specifica (fonte GEOSTRU)

6 CARATTERIZZAZIONE AMMASSO ROCCIOSO

Tenuto conto della presenza del substrato litoide in affioramento su ampie aree nelle immediate vicinanze della zona in esame (cfr. allegato 1.1 stralcio C.T.R.), per definire le sue caratteristiche geomeccaniche sono state eseguite n. 4 stazioni di rilievo geostrutturale, siglate RSn, le cui schede sono riportate in allegato n. 3 al testo.

Complessivamente l'analisi dei dati ha consentito di riconoscere, per le formazioni in esame, n. 4 famiglie o set di giunti principali ricorrenti; ad eccezione del set 1, che rappresenta la scistosità, tutti gli altri sono rappresentativi di discontinuità da frattura e sono stati individuati omogeneamente in quasi tutte le stazioni. Nella tabella seguente sono riportati, in sintesi, gli intervalli entro i quali si trovano i valori delle giaciture dei vari sistemi di discontinuità rilevati.

Stazioni di rilievo	Litologia	Set 1 (SC)	Set 2 (FR)	Set 3 (FR)	Set 4 (FR)
RS1	Ortogneiss	15°/53 25°/60°	125°/85° 100°/75°	220°/40° 190°/45°	270°/65° 260/68
RS2	Ortogneiss	250°/58° 290°/65°	120°/65° 145°/75°	30°/80° 50°/40°	--
RS3	Ortogneiss	230°/32° 250°/45°	15°/55° 360°/58°	90°/53° 50°/40°	310°/72° 330°/69°
RS4	Ortogneiss	270°/38° (80°/55°coniugata)	5°/55° 360°/70°	190°/43° 160°/50°	--

(SC: scistosità; FR: frattura)

Tabella 6.1: valori medi giaciture delle famiglie di discontinuità

La valutazione della qualità degli ammassi è stata eseguita applicando le classificazioni proposte da Bieniawski (1989) e da Barton (1974) nelle più recenti versioni. Come noto, la metodologia proposta da da Bieniawski è basata su un indice "RMR" ottenuto dalla sommatoria di diversi parametri quali:

- C0: resistenza a compressione uniassiale della roccia (ricavabile sia attraverso misure sclerometriche in sito, che sulla base dell'indice "Is" ricavato dai Point Load in laboratorio);
- RQD: (Rock Qualità Designation);
- Sp. Gn.: spaziatura dei giunti;

- Cond. Gn.: condizioni dei giunti fornite dalla somma di indici che tengono conto di parametri riferiti ai giunti quali: continuità, apertura, grado di scabrezza, alterazione e riempimento;
- Acqua: le condizioni idrauliche presenti.

Ogni parametro viene valutato in modo quantitativo assegnando un indice parziale, la cui somma fornisce l'RMR di base (BMR), dal quale si ricava la classe di qualità dell'ammasso.

La classificazione proposta da Barton, è invece basata su l'indice di qualità Q, espresso dalla relazione:

$$Q = (RQD / J_n) \times (j_r / j_a) \times (j_w / SRF)$$ dove:

- Jn: il numero delle famiglie di giunti;
- Jr: la scabrezza delle superfici di giunti più sfavorevoli alla stabilità dello scavo;
- Ja: il grado di alterazione delle superfici dei giunti ed eventuale presenza di materiale di riempimento
- Jw: l'eventuale presenza di acqua;
- SRF: fattore di riduzione delle tensioni.

Anche in questo caso, a ciascuno dei parametri indicati viene attribuito un valore numerico, sulla base di valutazioni qualitative e quantitative. Gli indici RMR e Q possono essere messi in correlazione mediante l'indice "GSI" (Geological Strength Index) attraverso le relazioni seguenti:

$$GSI = RMR – 5;$$

$$GSI = 9 \ln Q_{mod} + 44;$$

dove Q_{mod} è pari a $(RQD / J_n) \times (j_r / j_a)$

Una buona correlazione tra i due indici principali a mezzo del fattore GSI, testimonia una buona classificazione e quindi parametrizzazione dell'ammasso roccioso. A tale proposito i parametri medi di resistenza al taglio dell'ammasso, sono stati dedotti utilizzando le note relazioni (Bieniawski 1974 e succ. modificazioni):

$$c = 5\ RMRb = (kPa);$$

$$\phi = 5 + RMRb\ /2 = (°).$$

L'attendibilità dei dati geomeccanici estrapolati è controllata anche mediante la nota relazione di Barton (1996):

$$V_p = 3.5 + \log Q_c$$

Con Q_c pari a $Q \times C_0/100$, ovvero l'indice Q normalizzato rispetto alla resistenza a compressione monoassiale della roccia. I valori di velocità delle onde sismiche, correlati con quelli ricavati in sito, se confrontabili forniscono un buon grado di attendibilità dei dati.

Di seguito vengono riportati gli indici di classificazione relativi ai rilievi eseguiti nel comparto in esame, con schede dove sono riportate le risultanze parametriche principali per entrambi i sistemi proposti.

Rilievo strutturale RS1

Il rilievo è stato realizzato in corrispondenza dell'affioramento a di sotto della Via Aurelia nelle immediate vicinanze dell'estremo W dell'area d'intervento.

STAZIONE RS1 (Metodo RMR - Bieniawski)		**STAZIONE RS1 (Metodo Q – Barton System)**	
Parametro	Rating	Parametro	Rating
C0	4	RQD	16
RQD	3	Jn	15
Sp. gn.	8	Jr	1.5
Cond. Gn.	15-19	Ja	2
Acqua	10-15	Jw	1
R.M.R. (classe)	**40-49 (IV-III Scadente-Mediocre)**	**S.R.F.**	**2.5**
Coesione (kPa) **Angolo di attrito ϕ**	**200 – 245** **25°- 30°**	**Q**	**0.32 (Poor Rock Quality)**

Rilievo strutturale RS2

Il rilievo è stato realizzato in corrispondenza di un affioramento sul lato a valle della Via Aurelia, nei pressi dello scoglio della Madonnetta.

STAZIONE RS2 (Metodo RMR - Bieniawski)		**STAZIONE RS2 (Metodo Q – Barton System)**	
Parametro	Rating	Parametro	Rating
C0	4	RQD	27
RQD	6	Jn	12
Sp. gn.	8	Jr	4
Cond. Gn.	19	Ja	4
Acqua	15	Jw	1
R.M.R. (classe)	**52 (III Mediocre)**	**S.R.F.**	**2.5**
Coesione (kPa) **Angolo di attrito ϕ**	**260** **31°**	**Q**	**0.90 (Poor Rock Quality)**

Rilievo strutturale RS3

Il rilievo è stato realizzato in corrispondenza di un affioramento al di sotto della Via Aurelia, in sponda sinistra del Rio Termine.

STAZIONE RS3 (Metodo RMR - Bieniawski)		**STAZIONE RS3 (Metodo Q – Barton System)**	
Parametro	Rating	Parametro	Rating
C0	2-4	RQD	18
RQD	3	Jn	15
Sp. gn.	8	Jr	4
Cond. Gn.	17-19	Ja	6
Acqua	15	Jw	1
B.M.R. (classe)	**45-49 (III Mediocre)**	**S.R.F.**	**2.5**
Coesione (kPa) **Angolo di attrito f**	**225 – 245** **27°- 30°**	**Q**	**0.32 (Poor Rock Quality)**

Rilievo strutturale RS4

Il rilievo è stato realizzato in corrispondenza del lato W di un promontorio, a lato della Via Aurelia, in sponda destra del Rio Termine.

STAZIONE RS4 (Metodo RMR - Bieniawski)		**STAZIONE RS4 (Metodo Q – Barton System)**	
Parametro	Rating	Parametro	Rating
C0	4	RQD	32
RQD	6	Jn	12
Sp. gn.	8	Jr	4
Cond. Gn.	19-21	Ja	4
Acqua	15	Jw	1
B.M.R. (classe)	**52-54 (III Mediocre)**	**S.R.F.**	**2.5**
Coesione (kPa) **Angolo di attrito f**	**260 - 270** **31°- 32°**	**Q**	**2.84 (Poor Rock Quality)**

Come detto, gli indici RMR (Bieniawski) e Q (Barton) possono essere tra loro correlati mediante il parametro GSI. Utilizzando le formule nel paragrafo generale si ottiene:

STAZIONE	GSI (da Bieniawski)	GSI (da Barton)
RS1	35 – 44	41
RS2	47	51
RS3	40 – 44	42
RS4	47 – 49	52

Tabella 6.2: valori indici GSI

L'indice GSI ottenuto con i due metodi evidenzia una buona correlazione fra i dati misurati e applicati secondo i due criteri.

La buona attendibilità dei dati è confermata anche dal discreto accordo tra le velocità Vp, ricavate applicando la formula di Barton (1996) all'indice Qc normalizzato, pari a 2700 m/sec, con quelle registrate attraverso le prospezioni sismiche a rifrazione eseguite sullo stesso litotipo.

7 ANALISI GRANULOMETRICHE

In considerazione del fatto che l'intervento in progetto andrà ad incidere su di un tratto di spiaggia emersa, sono stati prelevati dei campioni delle spiagge oggetto d'intervento al fine di valutarne le caratteristiche granulometriche.

Sono stati prelevati 4 campioni distribuiti lungo l'arenile al piede del rilevato, la cui ubicazione è visibile nella planimetria scala 1:500 in allegato alla presente, sottoposti ad analisi granulometrica secondo la scala di Wenthworth, con indicazione della % in peso delle frazioni granulometriche.

La tabella seguente riassume i dati risultanti, visibili negli elaborati in allegato.

Campione	Spiaggia	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Pelite (%)	D_{50} (mm)	D_{60}/D_{10}
1	Margonara	69,71	30,26	0,04	3,0	4,0
2	Margonara	81,78	18,09	0,13	3,3	2,8
3	Margonara	66,44	33,51	0,05	3,0	2,9
4	Margonara	59,22	40,72	0,06	2,7	3,4

Tabella 7.1: esiti analisi granulometriche

Il materiale di spiaggia si presenta "*ben classato*" (D_{60}/D_{10} < 2.5), composto in maggioranza da ghiaia (sempre > 50%) e sabbia medio grossolana le cui dimensioni maggiormente presenti sono comprese tra 1-2 mm.

La frazione fine (limo argilla) è presente in valori minimi (massimo valore a 0,13% in peso C2).

La composizione molto grossolana del sedimento conferma, in primis, la dinamica litorale ad elevata energia che caratterizza il tratto di costa in esame.

Inoltre, sotto il profilo geotecnico, le risultanze delle analisi granulometriche avvalorano la caratterizzazione di tale orizzonte esposta nel capitolo successivo.

8 MODELLO GEOLOGICO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

I dati provenienti dal rilevamento di superficie, unitamente alle risultanze delle indagini geognostiche, hanno permesso di definire nel dettaglio le caratteristiche stratigrafiche dell'area, ed in particolare:

- le condizioni specifiche del terreno interessato dall'intervento;
- la presenza di orizzonti di terreni sciolti di discreta potenza;

È stato pertanto possibile ricostruire quattro sezioni geologiche interpretative in scala 1:200, trasversali rispetto alla nuova opera in progetto, rappresentative delle condizioni specifiche delle singole porzioni di versante interessate.

Di seguito vengono caratterizzati dal punto di vista geotecnico e geomeccanico i terreni indagati, facendo riferimento a dati bibliografici desunti da indagini in situ (Standard Penetration Test) eseguite su coltri di natura analoga e ai rilievi geomeccanici eseguiti.

***Orizzonte "a"* – Terreno di riporto superficiale**: si tratta del terrapieno, realizzato dal materiale proveniente dagli scavi delle gallerie autostradali, costituito da materiale eminentemente granulare, con resistenza al taglio a prevalente componente d'attrito e coesione secondaria, non interessato dalle fondazioni della mantellata in progetto.

Tale orizzonte presenta uno spessore variabile da 3 m a 4 m, come risulta evidente dall'indagine sismica: gli scavi eseguiti sul rilevato nel tratto sistemato dal Comune di Albissola Marina, ne hanno evidenziato una forte eterogeneità laterale, a testimonianza delle diverse fonti di origine della colmata.

Sulla scorta di analogie con terreni similari investigati ad altro titolo, ai terreni in esame possono essere assegnati i seguenti valori medi dei principali parametri geotecnici:

- peso di volume naturale: γ_n = 19 kN/m3;
- angolo di attrito interno: ϕ = 28° - 32°;
- coesione drenata (residua): c' = 3 - 5 kPa

Orizzonte "b" – Depositi di spiaggia: si tratta dei depositi costieri, grossolani, costituiti da ciottoli e ghiaia in matrice sabbiosa, a comportamento esclusivamente granulare, il cui spessore medio si aggira intono ai 2,5 m, presenti anche al di sotto del terrapieno e sovrastanti il substrato litoide:

- peso di volume naturale: γ_n = 20 kN/m3;
- angolo di attrito interno: ϕ = 36°;
- coesione: c' = 0.

Orizzonte "c" - Substrato roccioso ("Ortogneiss I")

All'interno di tale orizzonte è inserito anche il cappellaccio d'alterazione. Sulla base dell'elaborazione di rilievi geomeccanici eseguiti, i parametri medi che possono essere adottati per il substrato roccioso sono i seguenti:

- peso di volume naturale: γ_n = 25 kN/m3;
- angolo di attrito interno: ϕ = 31°;
- coesione: c' = 250 kPa;

I suddetti valori medi dei parametri geotecnici costituiscono la base di partenza per le eventuali verifiche agli S.L.U., secondo la recente normativa (N.T.C. 2018).

Inoltre, con riferimento alla normativa antisismica gli interventi a progetto ricadono in:

Zona sismica: **4**	Categoria sottosuolo: **B**
Classe d'uso: **II**	Categoria topografica:**T2**

9 INDICAZIONI OPERATIVE

Le risultanze emerse dalla campagna di indagini geognostiche hanno consentito la ricostruzione del modello geologico dell'area in esame e l'elaborazione di quattro sezioni geologiche interpretative interessanti la zona ed il volume significativo delle opere in progetto.

Sulla base di quanto sin qui esposto l'intervento in progetto risulta per se stesso fattibile in quanto non esistono condizioni di ordine geologico che ne inficino la realizzazione; si certifica che lo stesso è compatibile con la natura dei luoghi e nulla osta alla sua realizzazione sotto il profilo del vincolo idrogeologico.

Lasciando, ovviamente, al Progettista incaricato le scelte che riterrà più idonee nella situazione in esame, sulla base dei dimensionamenti e delle verifiche geotecniche che faranno riferimento al modello geologico e geotecnico così come identificato nell'indagine e di cui ai paragrafi precedenti, nel seguito si evidenziano le problematiche da affrontare in sede di progettazione geotecnica e strutturale (esecutiva) dell'intervento.

9.1 SCAVI E PREPARAZIONE DELL'AREA

L'elemento determinante nella realizzazione dell'intervento è rappresentato dagli scavi che si svilupperanno per la realizzazione dei quasi tutta la mantellata e che incideranno il terrapieno costituito dal terreno di riporto.

Solamente in corrispondenza dell'intorno della sez. 3, per circa una lunghezza di circa 35 m , tutta la mantellata sarà realizzata all'esterno dell'attuale rilevato, in maniera da ricostituirne la sagoma originaria precedente agli eventi erosivi.

Nei casi in cui si intercetterà il rilevato (orizzonte "a"), in fase esecutiva occorrerà adottare la creazione di una scarpata unica con inclinazione < 45°; tale geometria assicurerà sufficienti condizioni di stabilità del fronte in fase esecutiva.

La creazione di tale scarpata dovrà precedere la messa in opera della mantellata.

Inoltre, considerando la lunghezza complessiva della mantellata, occorrerà procedere con una tecnica a campioni, con parzializzazione della realizzazione in almeno 4 tratti successivi.

La configurazione geometrica del fronte di scavo e le modalità esecutive sopradescritte garantiscono sufficienti condizioni di stabilità dello stesso.

Durante la fase realizzativa occorrerà interdire l'utilizzo della porzione sommitale del rilevato per una larghezza di almeno 12 m a partire dall'attuale ciglio della scarpata.

9.2 FONDAZIONI

Vista le caratteristiche stratigrafiche della zona, la fondazione della mantellata, prevista ad una profondità di circa 1,5 m dal p.c., si intesterà all'interno dei depositi di spiaggia (orizzonte "b") senza intercettare il substrato litoide.

Tenuto conto del rilievo plani-altimetrico, è possibile che per alcuni tratti della fondazione (sez. 3-6-9) dell'opera si arrivi ad intercettare il livello medio marino sul fondo scavo; tale possibilità, tenuto conto delle condizioni al contorno, non rappresenta una criticità particolare.

9.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DA UTILIZZARE

Il progetto prevede la realizzazione di una mantellata, a protezione del rilevato della Margonara, utilizzando massi naturali.

I massi per scogliera, come è noto, devono possedere determinate caratteristiche per opporsi alla rimozione dalla mantellata della scogliera da parte del moto ondoso, principalmente valori alti di massa volumica e resistenza alla rottura per compressione ed inoltre determinate qualità di forma (non devono avere forma allungata o piatta).

La massa volumica solitamente richiesta deve essere compresa tra 2,4 - 2,6 t/m3 , e resistenza alla rottura per compressione > 1000 Mpa.

Nel calcolo della stabilità del masso di mantellata di una scogliera, entra fra l'altro il peso P del masso stesso ed è importante che questo, sottoposto ad urti indotti dalla mareggiata, non si spezzi.

Un'altra importante caratteristica richiesta è l'assenza di "piani di sfaldamento" e di fessurazioni, ad evitare la frattura del masso lungo questi piani, per cui si trasformi in due o più massi di peso insufficiente e quindi instabili.

Tutto ciò considerato, per la mantellata in progetto occorrerà utilizzare massi naturali di III - IV categoria, di opportuna litologia; tenuto conto del contesto geologico di riferimento, saranno ammesse litologie quali gneiss, graniti e porfidi, escludendo quelle sedimentarie e/o calcaree.

A titolo meramente esemplificativo, nel seguito sono evidenziate due cave la cui produzione corrisponde alle caratteristiche principali della roccia sopra evidenziate:

- BARBERA INERTI
  Cava "Rocce Samprin"
  Via Forzani 13
  12089 Villanova Mondovì (CN)

- GSD sas
  Via delle Rocchette, 5
  10060 Bibiana (TO)

In relazione al materiale sciolto, non si evidenziano problematiche per quel che riguarda quello movimentato e riutilizzato nell'ambito della stessa spiaggia (fondazione della scogliera), mentre, nel caso di utilizzo di materiale proveniente da altro sito per il rinfianco a tergo della scogliera, dovrà essere certificato con opportune analisi chimiche, al fine di verificarne il rispetto della colonna A - tab.1 parte 4° D. Lgs. 152/2006.

9.4 SISTEMAZIONI ESTERNE

Come si evince dagli elaborati progettuali, al di sopra della testa della scogliera è prevista la realizzazione di una scarpata in terra, avente un'inclinazione di circa 45° sull'orizzontale, di altezza media inferiore a 2 m, a raggiungere la quota del piazzale esistente.

In questo caso si consiglia il rivestimento della scarpata in terra con una biostuoia, opportunamente fissata tramite picchetti in legno, al fine di svolgere una funzione antierosiva nei confronti delle acque meteoriche oltre a favorire un rapido inerbimento.

Infine, a completamento delle opere in progetto, si consiglia la realizzazione, parallelamente al bordo del terrapieno, di un canale di superficiale di raccolta delle acque provenienti dal piazzale, per la loro eduzione verso opportuni punti di deflusso.

9.5 CONCLUSIONI

Al termine dell'incarico affidato, relativo al progetto di messa in sicurezza definitiva del rilevato in loc. Margonara, interessato, negli anni, da erosione provocata dagli eventi meteo marini (mareggiate) succedutisi, se ne riassumono le caratteristiche principali;

- creazione al piede di tutto il terrapieno di una mantellata in massi naturali (III-IV categoria), di lunghezza pari a circa 200 m, con altezza fuori terra di circa 3,7 m, avente effetto stabilizzante nei confronti del terrapieno e per evitare erosioni da parte del mare;
- ricostituzione del profilo del terrapieno nelle condizioni originarie (ante erosione), tramite riprofilatura della scarpata in testa alla scogliera secondo il profilo di progetto, utilizzando materiale terroso (terre e rocce da scavo) rivestito da biostuoia al fine di assicurare un contributo antierosivo a favore di stabilità;
- creazione di una canale di gronda, nei pressi del ciglio del rilevato, onde assicurare l'eduzione delle acque di ruscellamento provenienti dal piazzale;

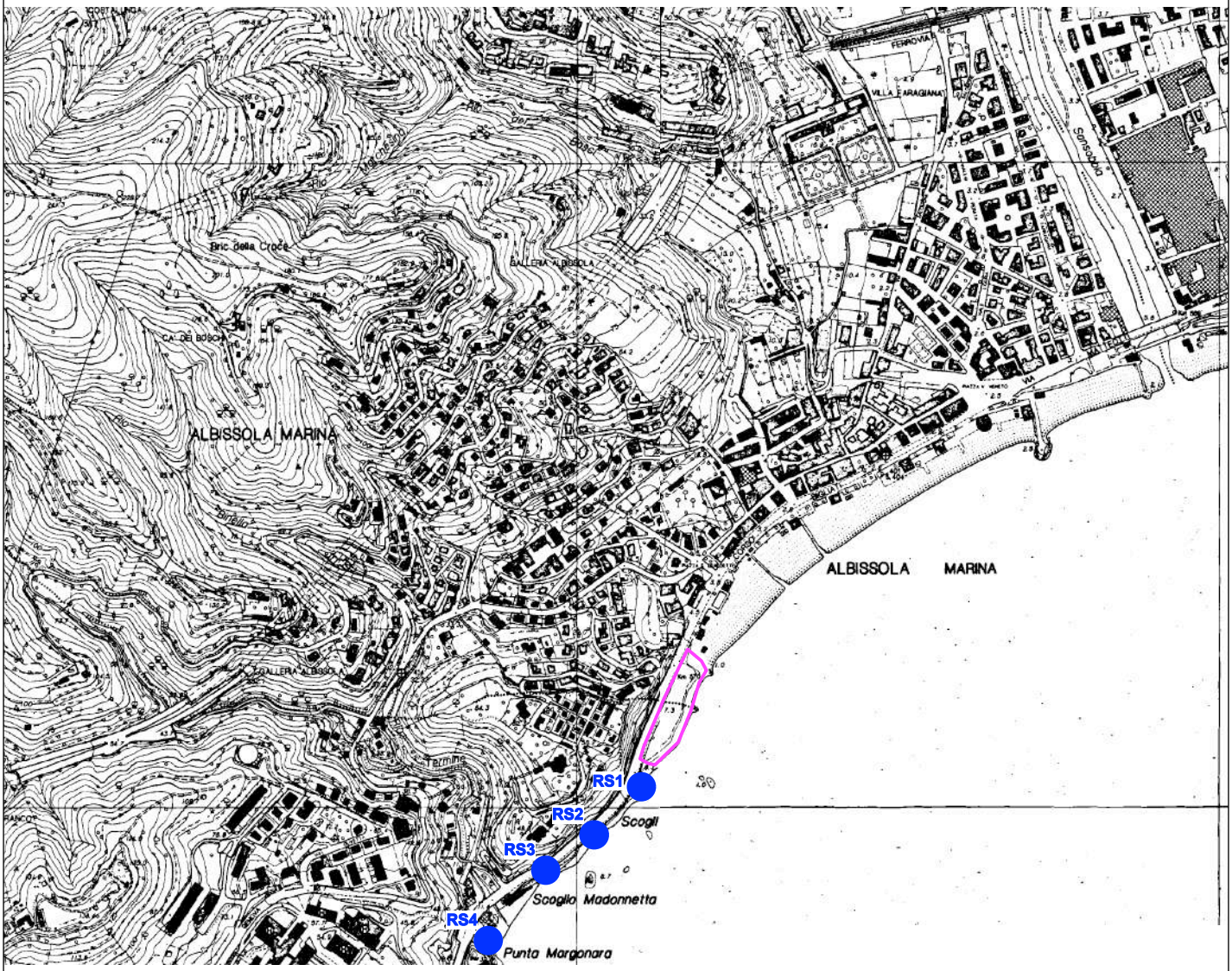
Tale sistemazione, che costituisce l'intervento risolutivo nei confronti della messa in sicurezza definitiva del terrapieno in oggetto, è pienamente fattibile sotto il profilo geologico.

Celle Ligure, 23 ottobre 2020

IL GEOLOGO

Giambattista VEZZOLLA

Estratto Carta Tecnica Regionale
scala 1:10000

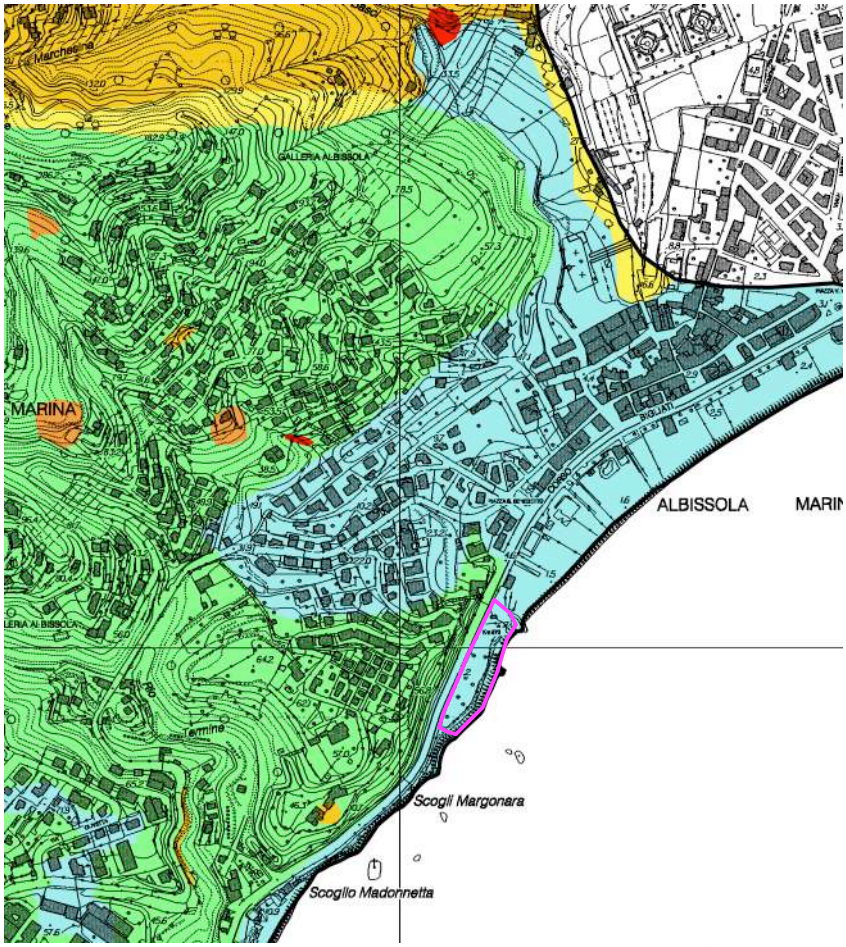


Area d'intervento

RS1

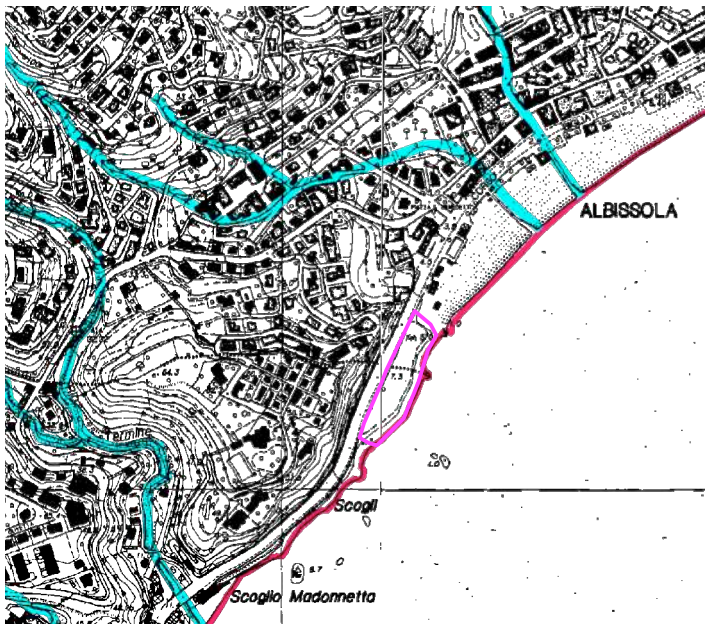
Stazione di rilievo geomeccanico

Estratti Cartografia Piano di Bacino



Estratto cartografico Piano di Bacino "Torrente Podestà" - Carta della Suscettività al dissesto, scala 1:10000

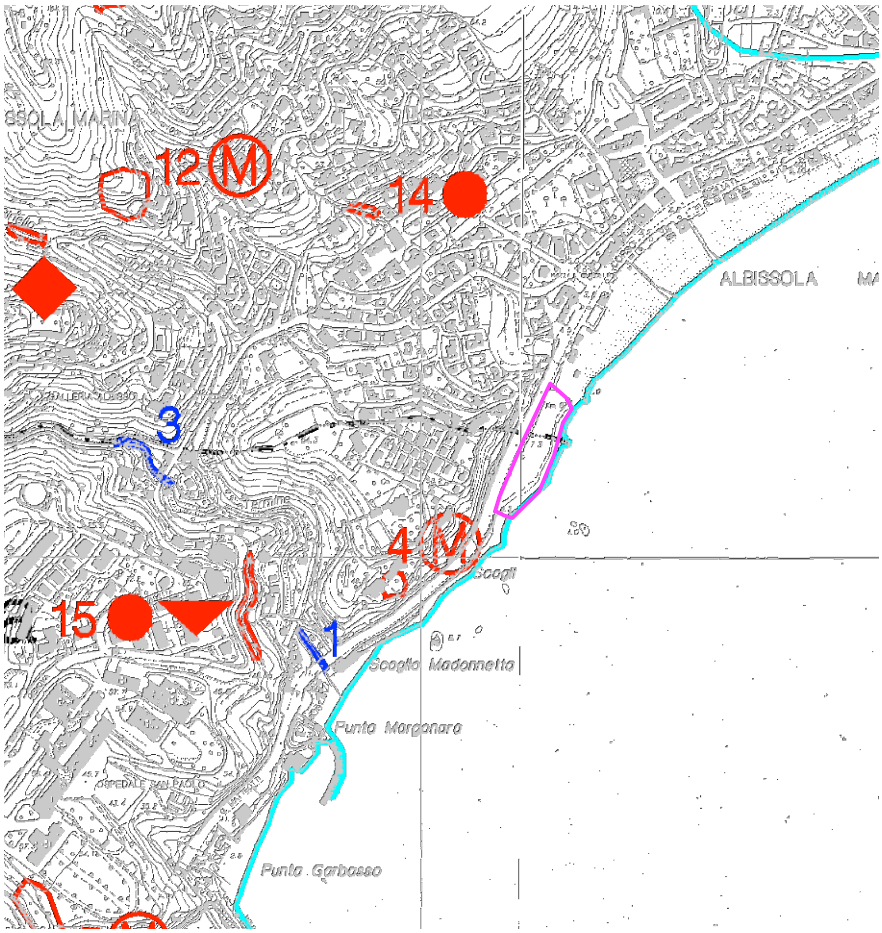
Area d'intervento



Estratto cartografico Piano di Bacino "Torrente Podestà" - Carta del Reticolo idrografico principale, scala 1:10000

Area d'intervento

Estratti Cartografia Piano di Bacino



Estratto cartografico Piano di Bacino "Torrente Podestà" - Carta degli Interventi, scala 1:10000

Area d'intervento

Stralcio planimetrico con elementi geologici geomorfologici scala 1:500

LEGENDA

- Mar Ligure
- Aree impermeabili: asfalto e/o pavimentazioni
- Depositi costieri e di spiaggia grossolani
- Terreno di riporto proveniente da smarino gallerie autostradali
- Substrato litoide: "Ortogneiss I"
- Orlo di scarpata
- SS1 — Tomografia sismica a rifrazione - MASW
- H/V1 — Rilievo sismico passivo
- PUNTO 1 — Punti di prelievo per analisi fisiche
- Opere in progetto (schematizzate)
- Traccia di sezione

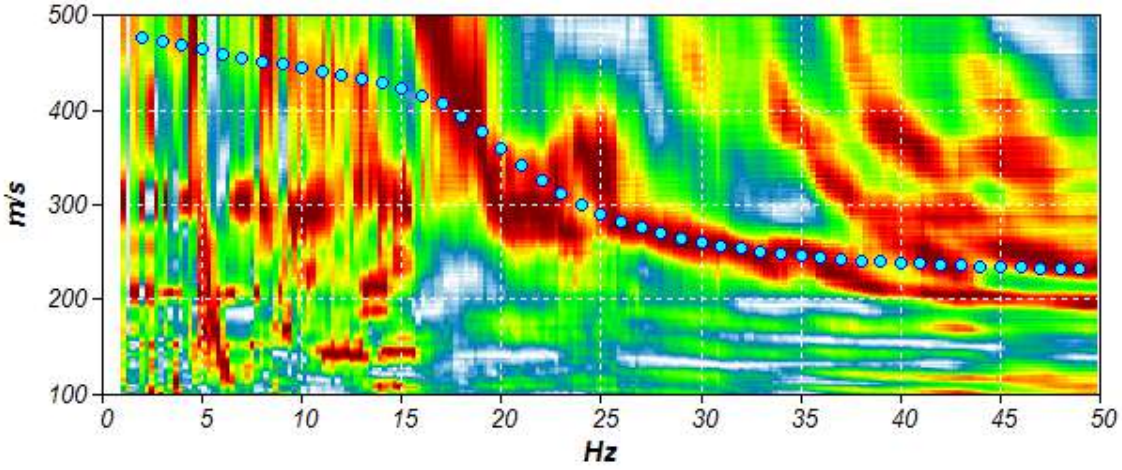
PUNTO 4
PUNTO 3
PUNTO 2
PUNTO 1
H/V1
H/V2
SS1
RECINZIONE
testa scarpata
Parapetto in legno
piede scogliera
EDIFICIO
-1.50
SCOGLIO DELLA MARGONARA

Allegato

MASW (file 1002.seg)
Start recording: 15/09/20 12:09:57 End recording: 15/09/20 12:09:59
Trace length: 0h00'02".
Sampling rate: 977 Hz
Channel labels: CH01 ; CH02 ; CH03 ; CH04 ; CH05 ; CH06 ; CH07 ; CH08 ; CH09 ; CH10 ; CH11 ; CH12

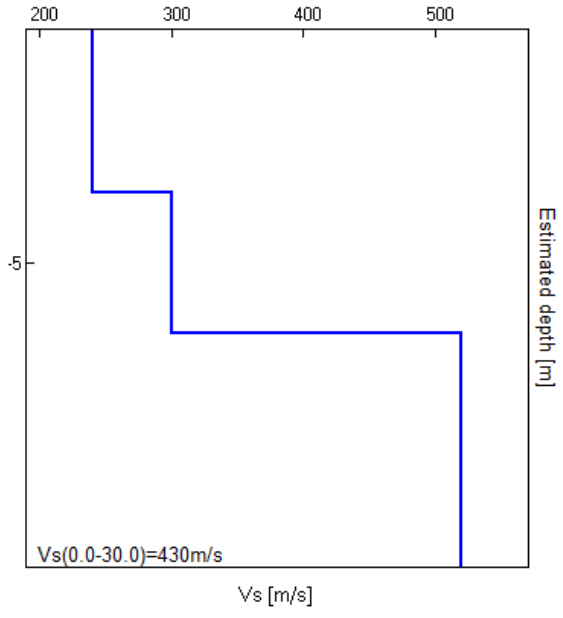
Array geometry (x): 0.0 4.0 8.0 12.0 16.0 20.0 24.0 28.0 32.0 36.0 40.0 44.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.50	3.50	240	0.40
6.50	3.00	300	0.35
inf.	inf.	520	0.35

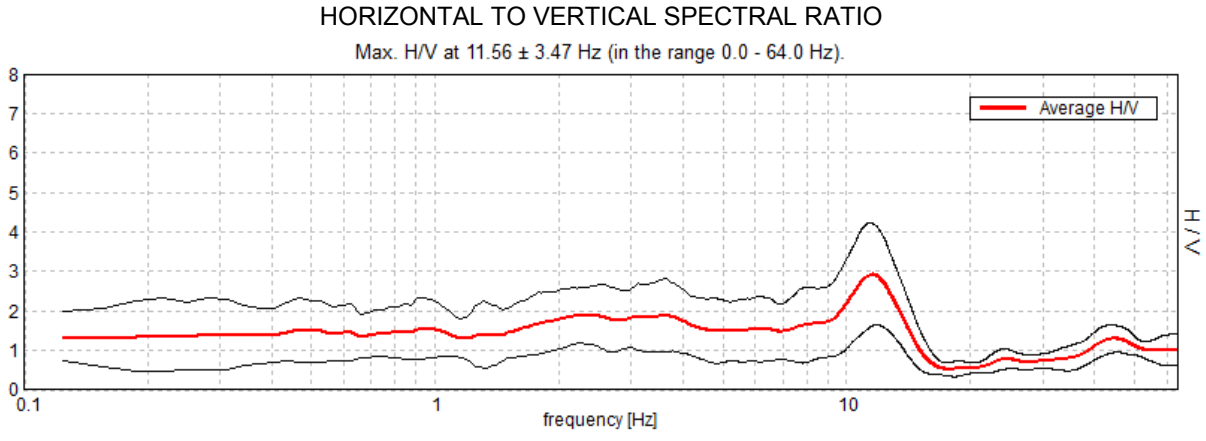
Vseq = 430 m/s



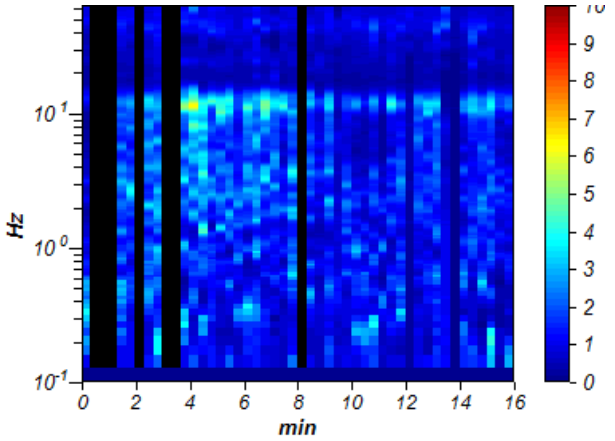
HV1



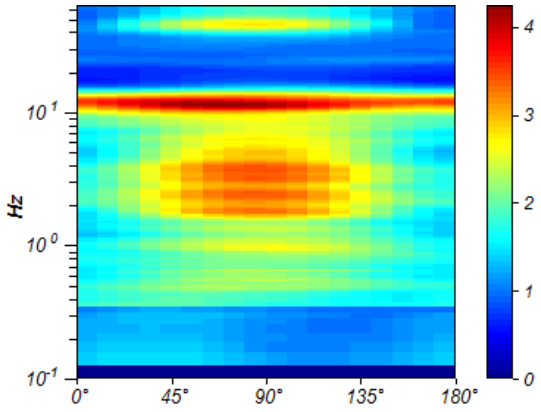
Start recording: 15/09/20 11:17:56 End recording: 15/09/20 11:33:55
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Trace length: 0h16'00''. Analyzed 85% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%



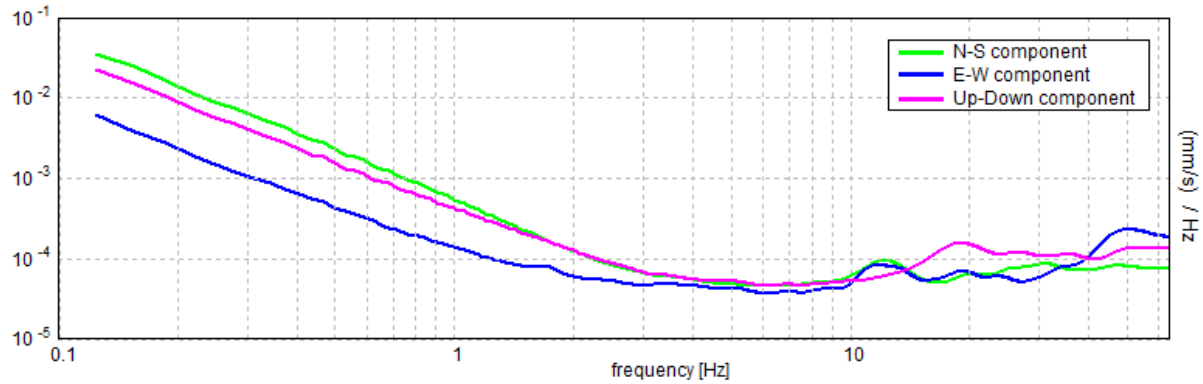
H/V TIME HISTORY



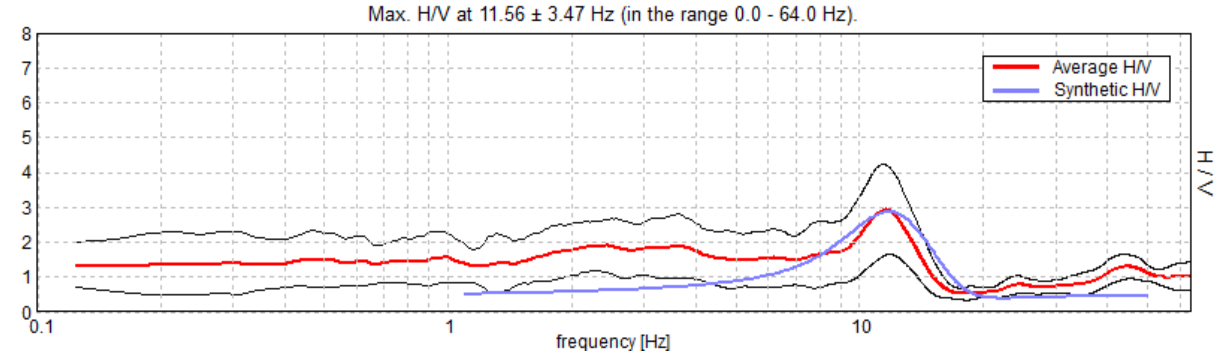
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

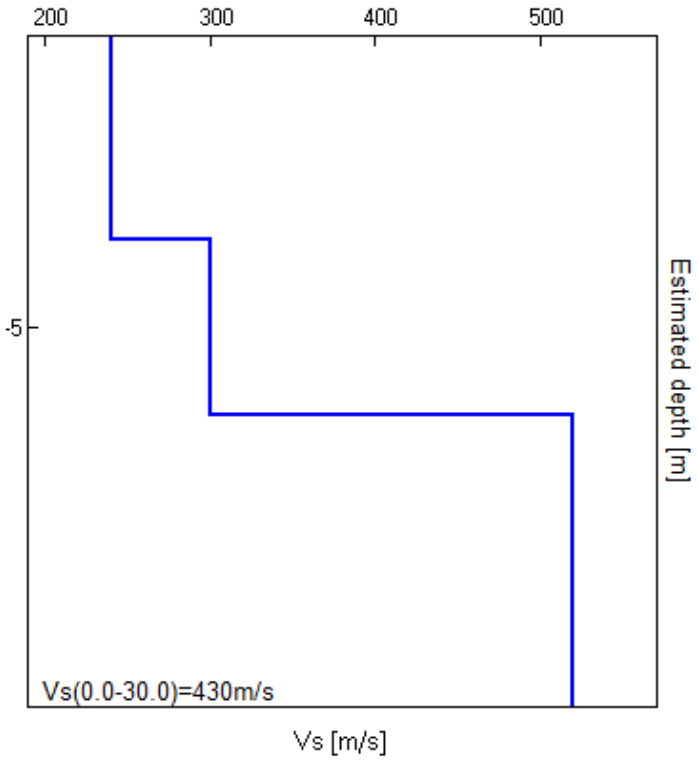


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.50	3.50	240	0.40
6.50	3.00	300	0.35
inf.	inf.	520	0.35

Vseq = 430 m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 11.56 ± 3.47 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

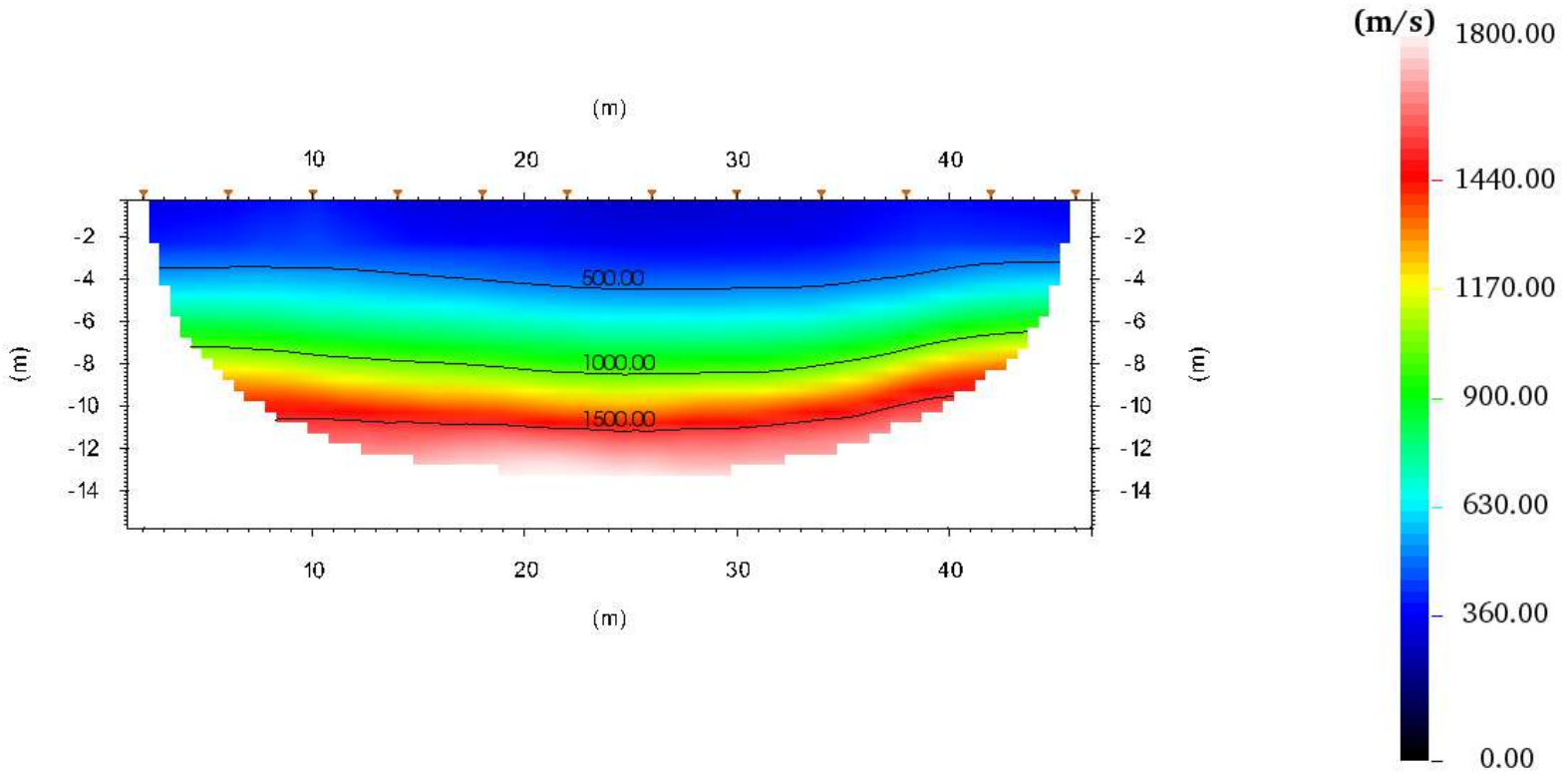
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	11.56 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	9481.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 556 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	14.313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.93 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.30039| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	3.47326 < 0.57813		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.2983 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency

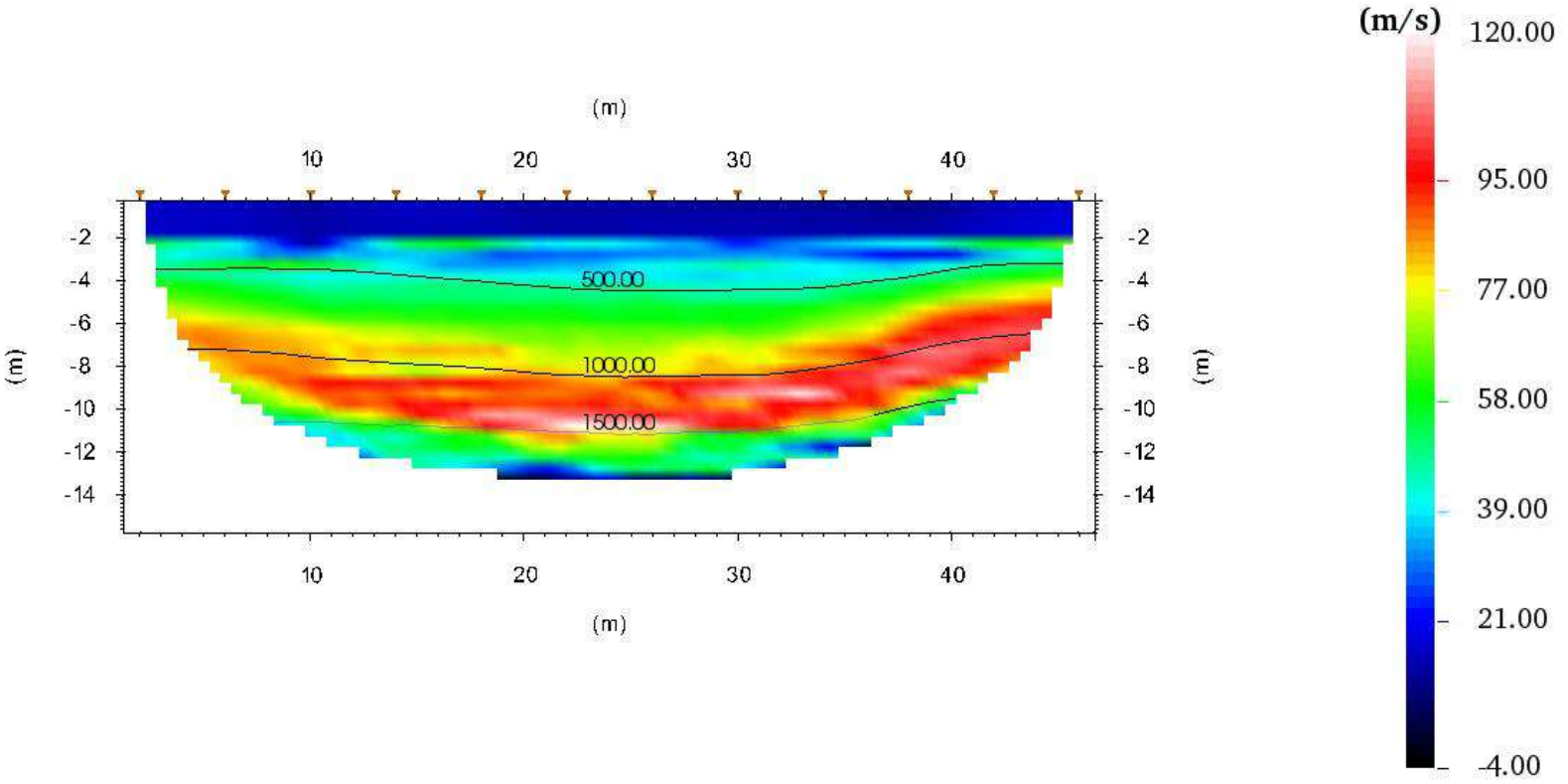
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Tomographic Profile - Velocity with Isolines



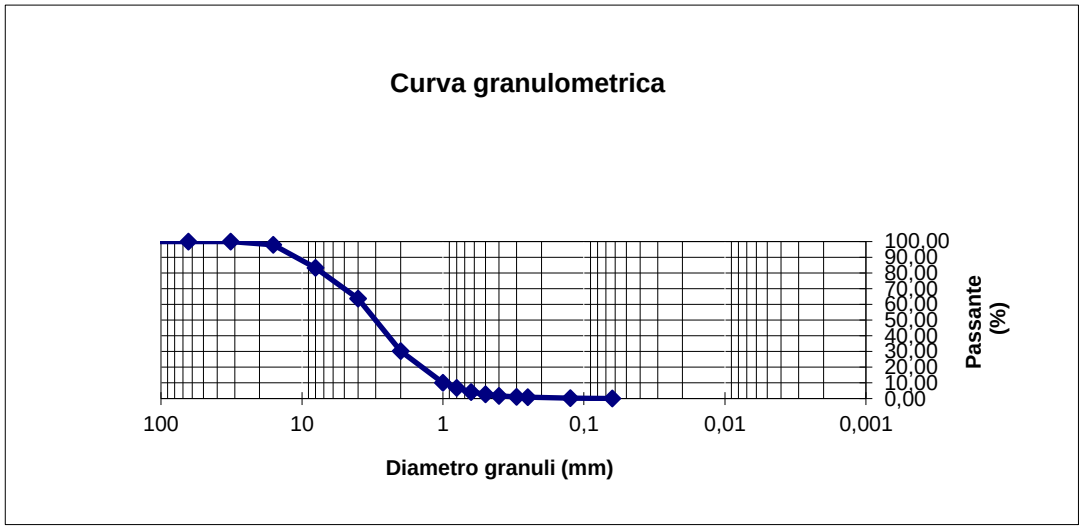
Tomographic Profile - Vertical Gradient with Isolines



Allegato al rapporto di prova n°: 20LA20181 del 21/10/2020

ANALISI GRANULOMETRICA

		Terreno analizzato M (g)=	656,55		
Apertura maglie (mm)	Peso terreno trattenuto (g)	Parziale dei trattenuti %	Totale dei trattenuti (%)	Totale dei passanti (%)	
128	0,00	0,00	0,00	100,00	
64	0,00	0,00	0,00	100,00	
32	0,00	0,00	0,00	100,00	
16	13,56	2,07	2,07	97,93	
8	96,22	14,66	16,72	83,28	
4	129,30	19,69	36,41	63,59	
2	218,58	33,29	69,71	30,29	
1	133,00	20,26	89,96	10,04	
0,8	21,54	3,28	93,24	6,76	
0,63	16,98	2,59	95,83	4,17	
0,5	9,37	1,43	97,26	2,74	
0,4	6,38	0,97	98,23	1,77	% ghiaia
0,3	4,30	0,65	98,89	1,11	69,71
0,25	1,90	0,29	99,17	0,83	% sabbia
0,125	3,80	0,58	99,75	0,25	30,26
0,063	1,38	0,21	99,96	0,04	% limo/argilla
Fondo	0,24				0,04



L'analisi granulometrica è stata eseguita per via secca secondo UNI EN 933-1: 2012

I risultati riportati sul presente rapporto di prova sono rappresentativi del solo campione sottoposto a prova.

Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente, senza l'autorizzazione del Direttore Generale Tecnico.

Il presente allegato al rapporto di prova è firmato digitalmente

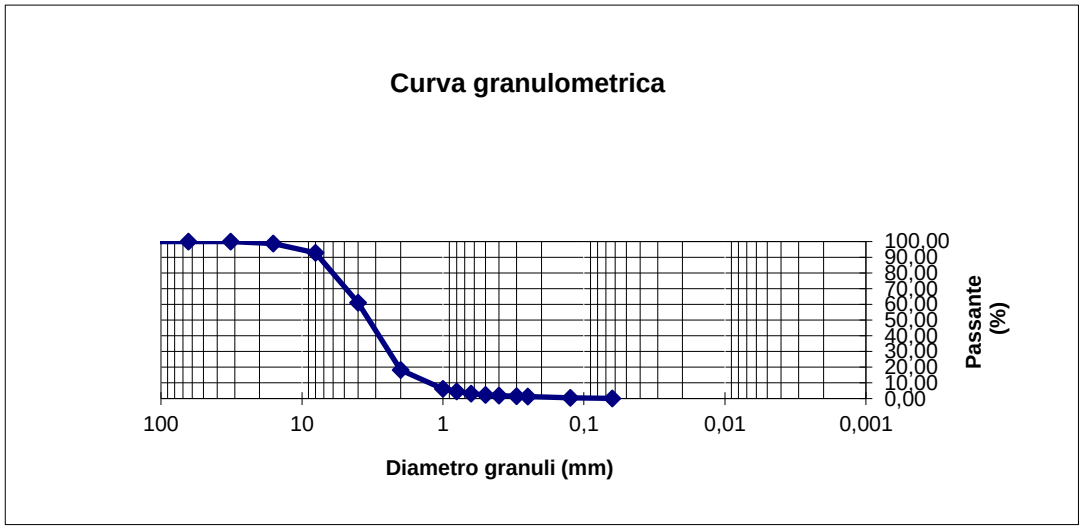
Responsabile del Laboratorio Cairo M.tte
Dott. Brignone Massimiliano - Ordine
dei chimici della Liguria, n°1278

Consulenza Progettazione Gestione
analisi, studi e ricerche
chimiche - ambientali - agroalimentari
Sistemi di Gestione Certificati RINA
Qualità UNI EN ISO 9001:2008 - Ambiente UNI EN ISO 14001:2004

Allegato al rapporto di prova n°: 20LA20182 del 21/10/2020

ANALISI GRANULOMETRICA

		Terreno analizzato M (g)=	650,51		
Apertura maglie (mm)	Peso terreno trattenuto (g)	Parziale dei trattenuti %	Totale dei trattenuti (%)	Totale dei passanti (%)	
128	0,00	0,00	0,00	100,00	
64	0,00	0,00	0,00	100,00	
32	0,00	0,00	0,00	100,00	
16	8,22	1,26	1,26	98,74	
8	38,57	5,93	7,19	92,81	
4	206,95	31,81	39,01	60,99	
2	278,23	42,77	81,78	18,22	
1	78,45	12,06	93,84	6,16	
0,8	10,08	1,55	95,39	4,61	
0,63	9,60	1,48	96,86	3,14	
0,5	5,28	0,81	97,67	2,33	
0,4	3,22	0,49	98,17	1,83	% ghiaia
0,3	2,32	0,36	98,53	1,47	81,78
0,25	1,07	0,16	98,69	1,31	% sabbia
0,125	4,78	0,73	99,43	0,57	18,09
0,063	2,90	0,45	99,87	0,13	% limo/argilla
Fondo	0,84				0,13



L'analisi granulometrica è stata eseguita per via secca secondo UNI EN 933-1: 2012

I risultati riportati sul presente rapporto di prova sono rappresentativi del solo campione sottoposto a prova.

Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente, senza l'autorizzazione del Direttore Generale Tecnico.

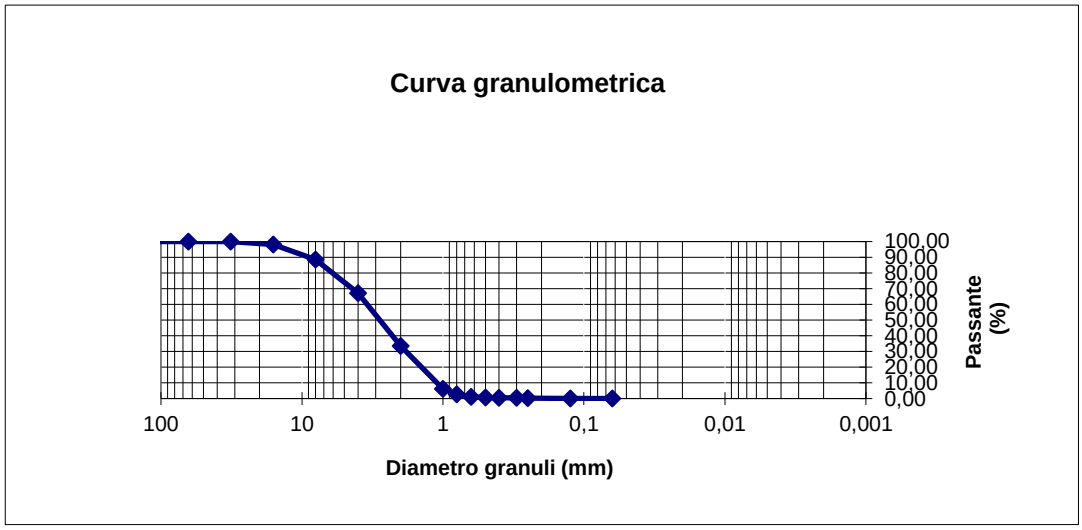
Il presente allegato al rapporto di prova è firmato digitalmente

Responsabile del Laboratorio Cairo M.tte
Dott. Brignone Massimiliano - Ordine
dei chimici della Liguria, n°1278

Allegato al rapporto di prova n°: 20LA20183 del 21/10/2020

ANALISI GRANULOMETRICA

		Terreno analizzato M (g)=	721,41		
Apertura maglie (mm)	Peso terreno trattenuto (g)	Parziale dei trattenuti %	Totale dei trattenuti (%)	Totale dei passanti (%)	
128	0,00	0,00	0,00	100,00	
64	0,00	0,00	0,00	100,00	
32	0,00	0,00	0,00	100,00	
16	13,62	1,89	1,89	98,11	
8	69,07	9,57	11,46	88,54	
4	154,01	21,35	32,81	67,19	
2	242,62	33,63	66,44	33,56	
1	197,11	27,32	93,76	6,24	
0,8	25,92	3,59	97,36	2,64	
0,63	10,68	1,48	98,84	1,16	
0,5	3,12	0,43	99,27	0,73	
0,4	1,45	0,20	99,47	0,53	% ghiaia
0,3	0,90	0,12	99,60	0,40	66,44
0,25	0,41	0,06	99,65	0,35	% sabbia
0,125	1,38	0,19	99,84	0,16	33,51
0,063	0,76	0,11	99,95	0,05	% limo/argilla
Fondo	0,36				0,05



L'analisi granulometrica è stata eseguita per via secca secondo UNI EN 933-1: 2012

I risultati riportati sul presente rapporto di prova sono rappresentativi del solo campione sottoposto a prova.

Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente, senza l'autorizzazione del Direttore Generale Tecnico.

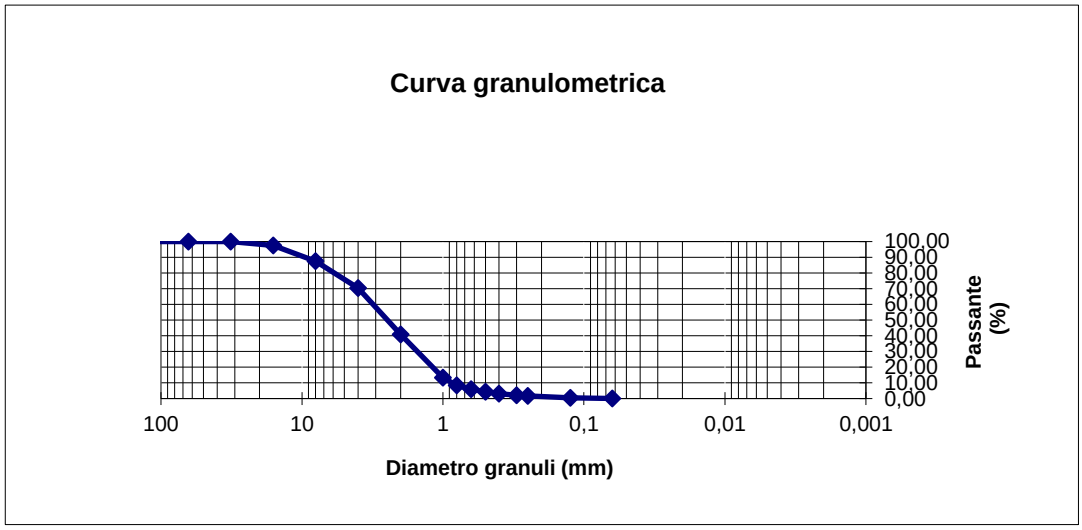
Il presente allegato al rapporto di prova è firmato digitalmente

Responsabile del Laboratorio Cairo M.tte
Dott. Brignone Massimiliano - Ordine
dei chimici della Liguria, n°1278

Allegato al rapporto di prova n°: 20LA20184 del 21/10/2020

ANALISI GRANULOMETRICA

		Terreno analizzato M (g)=	678,87		
Apertura maglie (mm)	Peso terreno trattenuto (g)	Parziale dei trattenuti %	Totale dei trattenuti (%)	Totale dei passanti (%)	
128	0,00	0,00	0,00	100,00	
64	0,00	0,00	0,00	100,00	
32	0,00	0,00	0,00	100,00	
16	17,02	2,51	2,51	97,49	
8	68,16	10,04	12,55	87,45	
4	116,10	17,10	29,65	70,35	
2	200,73	29,57	59,22	40,78	
1	186,55	27,48	86,70	13,30	
0,8	32,47	4,78	91,48	8,52	
0,63	17,44	2,57	94,05	5,95	
0,5	10,94	1,61	95,66	4,34	
0,4	7,61	1,12	96,78	3,22	% ghiaia
0,3	8,15	1,20	97,98	2,02	59,22
0,25	2,72	0,40	98,38	1,62	% sabbia
0,125	7,97	1,17	99,56	0,44	40,72
0,063	2,58	0,38	99,94	0,06	% limo/argilla
Fondo	0,43				0,06



L'analisi granulometrica è stata eseguita per via secca secondo UNI EN 933-1: 2012

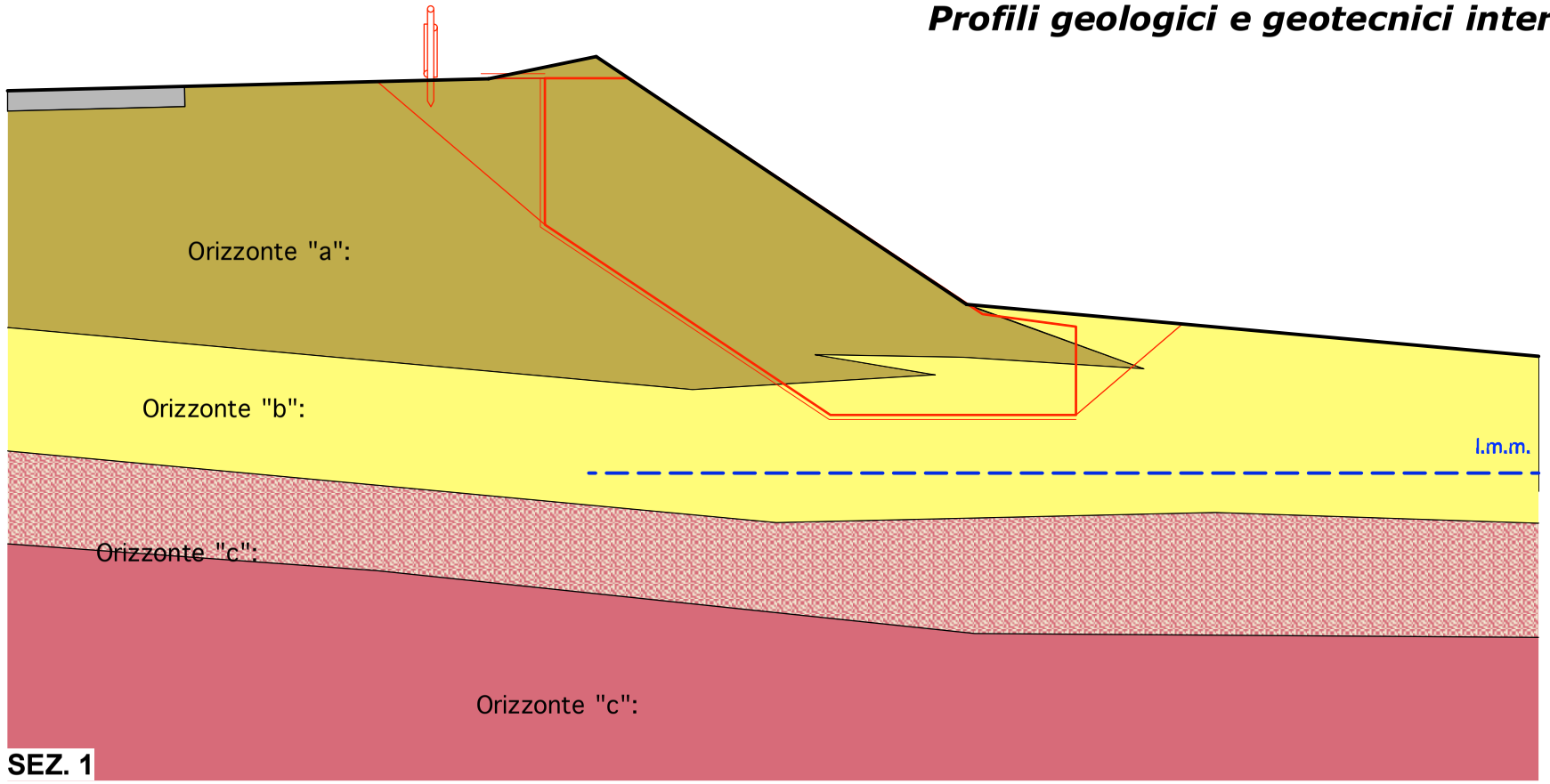
I risultati riportati sul presente rapporto di prova sono rappresentativi del solo campione sottoposto a prova.

Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente, senza l'autorizzazione del Direttore Generale Tecnico.

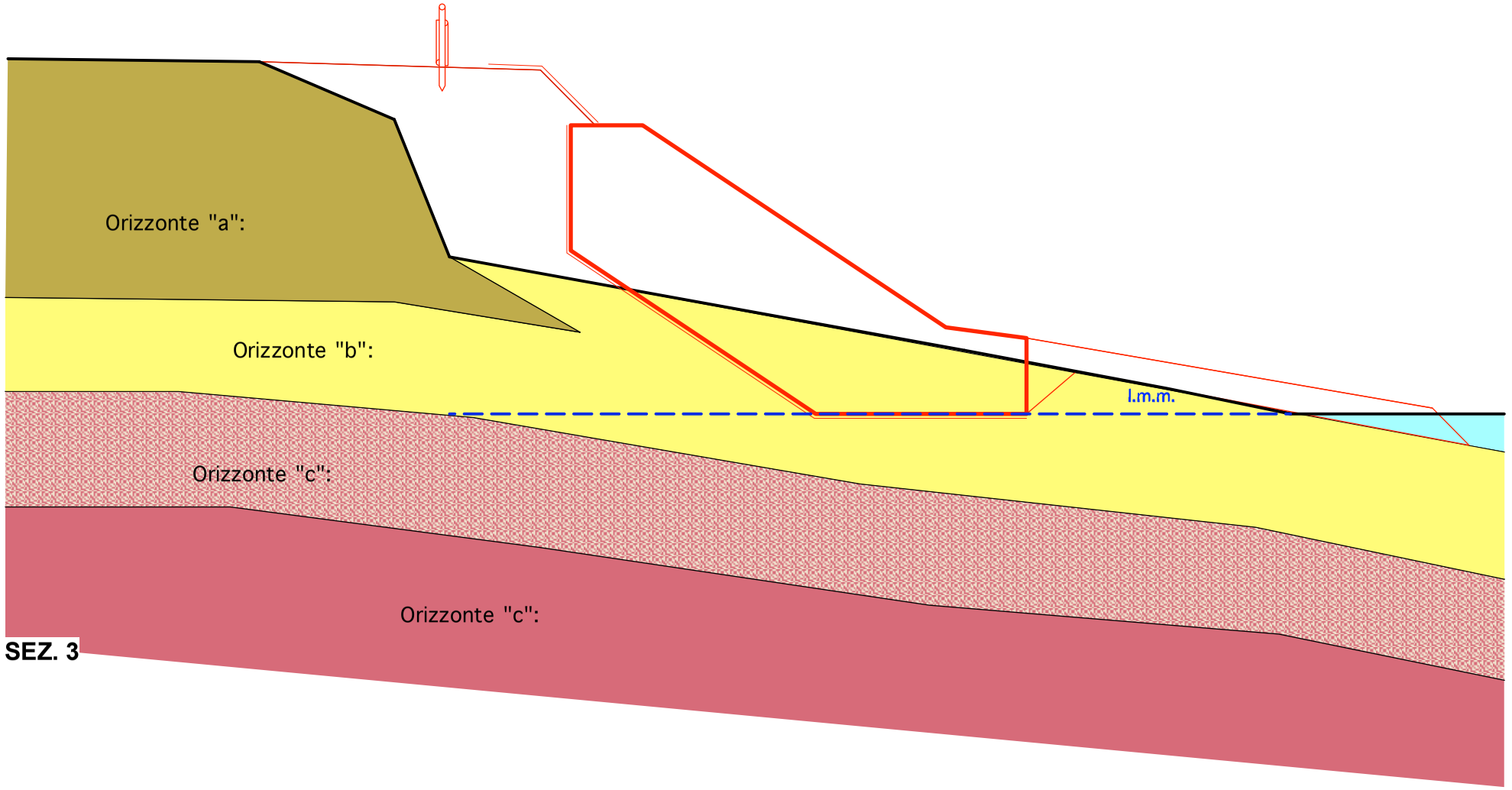
Il presente allegato al rapporto di prova è firmato digitalmente

Responsabile del Laboratorio Cairo M.tte
Dott. Brignone Massimiliano - Ordine
dei chimici della Liguria, n°1278

Profili geologici e geotecnici interpretativi



SEZ. 1



SEZ. 3

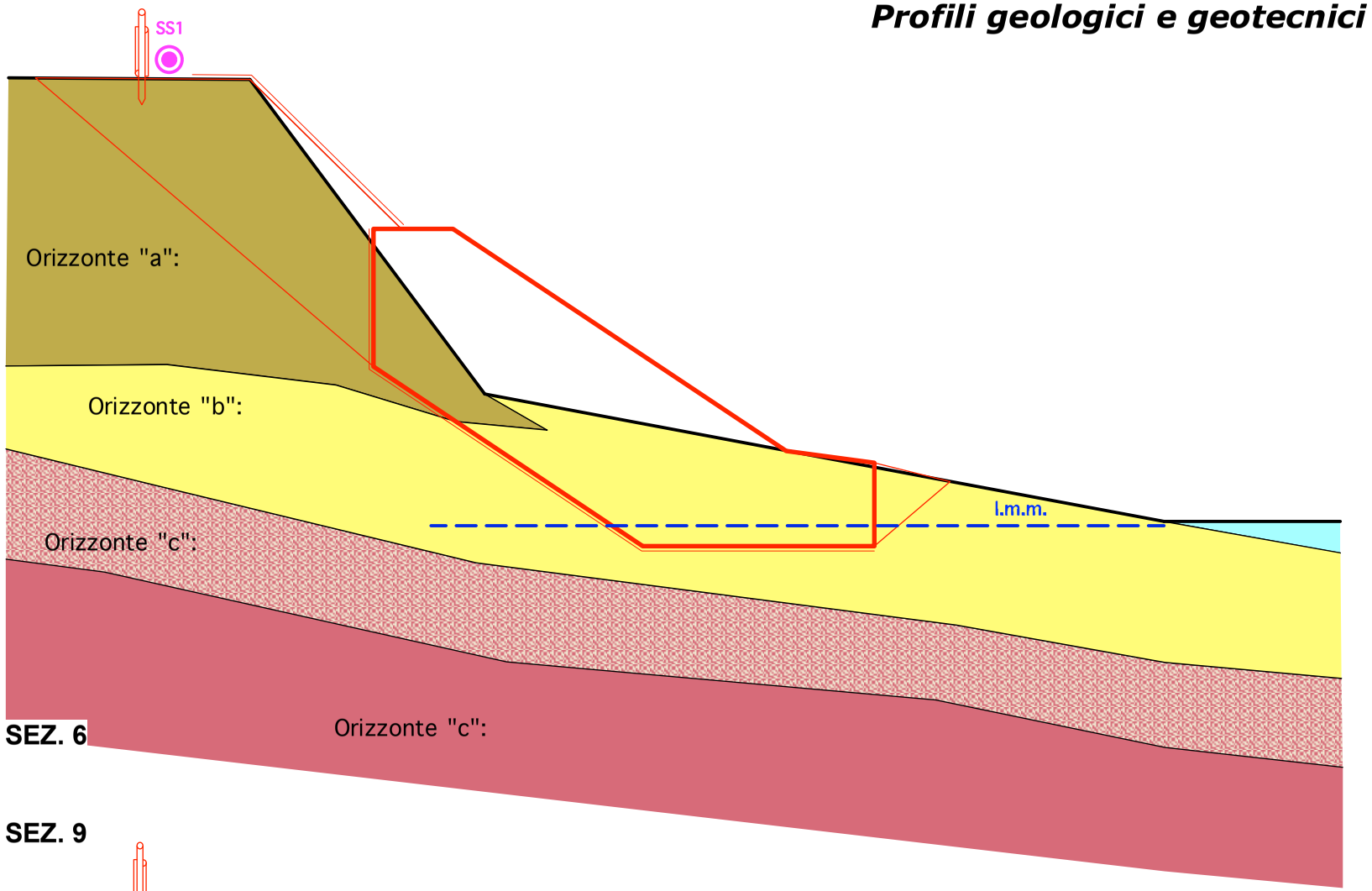
scala 1:200

Orizzonte "a":	Parametri geotecnici "medi" γ = 19 kN/m3 ϕ = 28°-32° C' = 3-5 kPa
Orizzonte "b":	Parametri geotecnici "medi" γ = 20 kN/m3 ϕ = 36° C' = 0
Orizzonte "c":	Parametri geotecnici "medi" γ = 25 kN/m3 ϕ = 31° C' = 250 kPa

LEGENDA

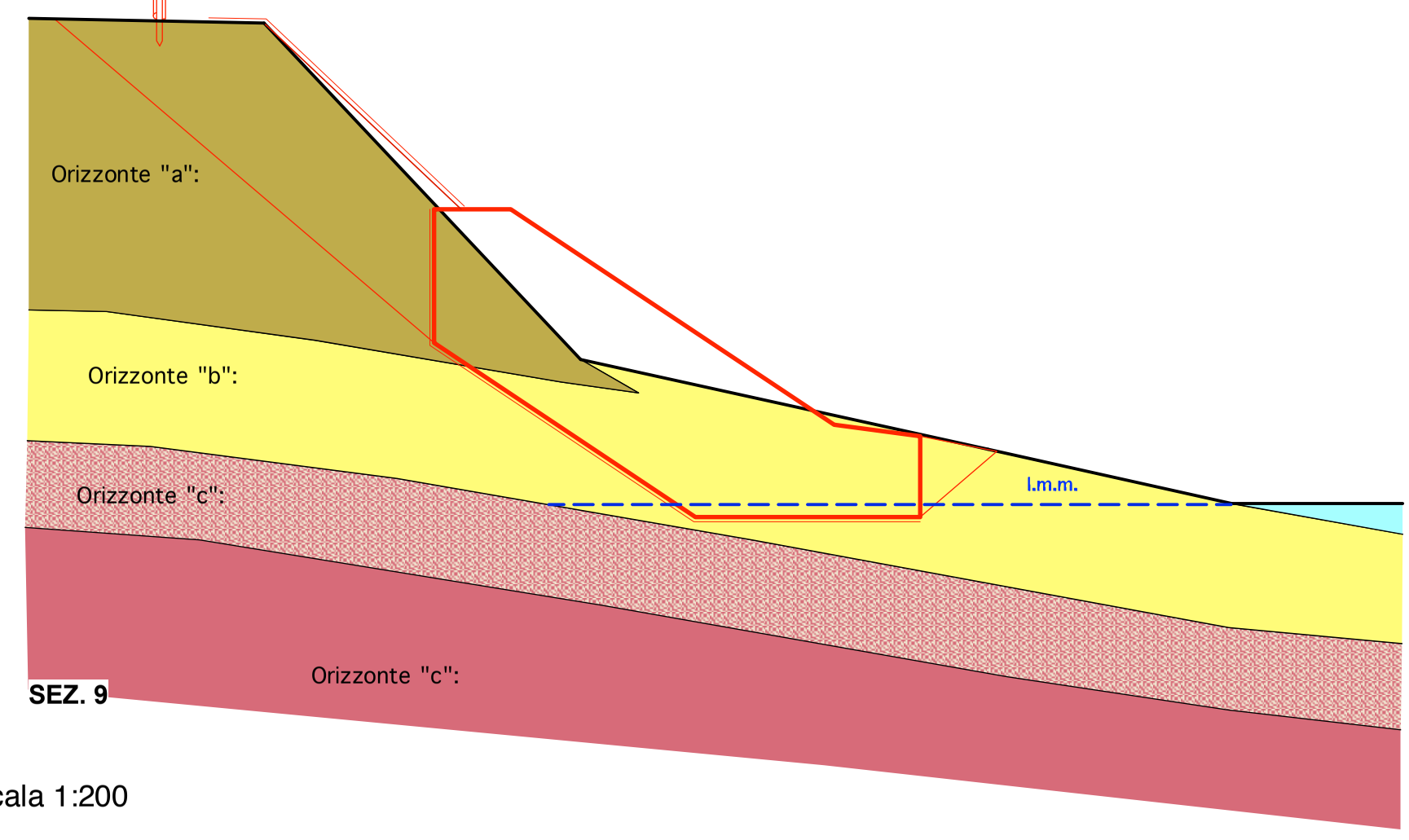
- Mar Ligure
- Asfalto e sottofondo stradale
- Terreno di riporto (orizzonte "a"): scaglie e pietrame in matrice sabbioso limosa
- Depositi di spiaggia (orizzonte "b"): ciottoli e ghiaia in matrice sabbiosa
- Substrato litoide (orizzonte "c"): a) Ortogneiss I (Carbonifero inf.); b) Cappellaccio d'alterazione.
- SS1 — Traccia stendimento sismico
- Opere in progetto (schematizzate)

Profili geologici e geotecnici interpretativi



SEZ. 6

SEZ. 9



SEZ. 9

scala 1:200

	Parametri geotecnici "medi"
Orizzonte "a":	γ = 19 kN/m3 ϕ = 28°-32° C' = 3-5 kPa
Orizzonte "b":	γ = 20 kN/m3 ϕ = 36° C' = 0
Orizzonte "c":	γ = 25 kN/m3 ϕ = 31° C' = 250 kPa

LEGENDA

- Mar Ligure
- Asfalto e sottofondo stradale
- Terreno di riporto (orizzonte "a"): scaglie e pietrame in matrice sabbioso limosa
- Depositi di spiaggia (orizzonte "b"): ciottoli e ghiaia in matrice sabbiosa
- Substrato litoide (orizzonte "c"): a) Ortogneiss I (Carbonifero inf.); b) Cappellaccio d'alterazione.
- SS1 — Traccia stendimento sismico
- Opere in progetto (schematizzate)