

Grimaldi Garden

Accordo di Programma ex art. 58 l.r. 36/97

All. 4. Relazione geologica

GRIMALDI GARDEN

Proprietà:
S.A.S. il Principe Albert II
SAR la Principessa Caroline di Hannover
S.A.S. La principessa Stéphanie

Gruppo di Lavoro:
Architettura: Eldert Overzee
Urbanistica: Marcofilippo Alborno
Geologia: Marco Abbo
Ambiente: NCA Consulting
Archeologia: Frida Occelli
Botanica: Marco Alberti

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DELLA LIGURIA
A.P. n° 289
MARCO ABBO
GEOLOGO
data iscr. 30-09-1994
O.R.

RELAZIONE GEOLOGICA

Ai sensi dell'art. 89 del DPR 380/2001
Come da circolare n° 4551 del 12/12/89 in applicazione del DGR 714/2011



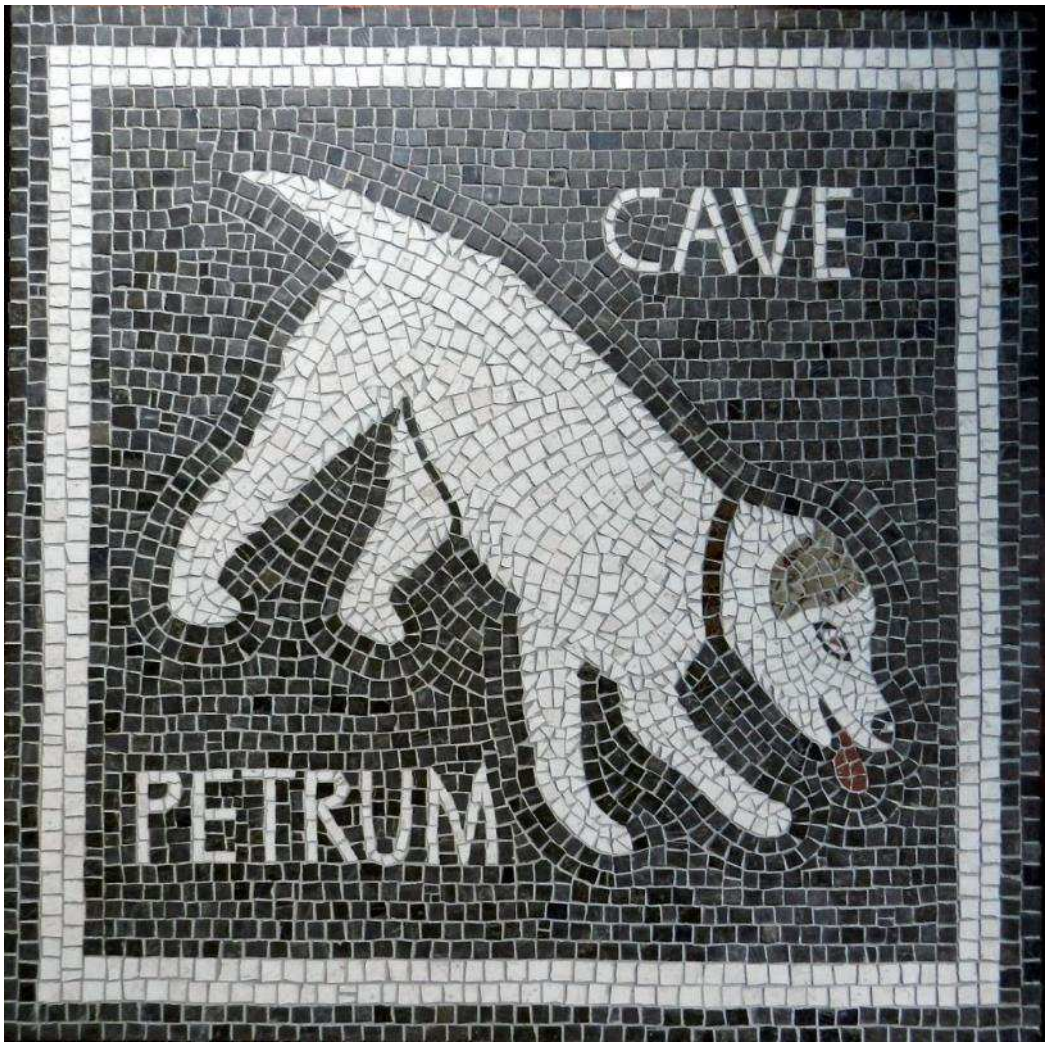
Numero elaborato: GEO R1
Data rilievo: 5-8 /11/2019

Scala: Varie
Data: 06/04/2021

SOMMARIO

Premessa 3
Breve descrizione degli interventi previsti 3
Inquadramento normativo 7
Analisi delle problematiche locali 9
La cava e il versante del Parco urbano 9
Il vallone del rio Sorba 22
Modellazione numerica del crollo 37
MODELLO GEOLOGICO 40
Geologia e stratigrafia 40
Stratigrafia della successione di avampaese 42
Idrogeologia e geomorfologia 43
Fattori di amplificazione topografici 47
Idrogeologia nell'area cimiteriale 48
INDAGINI GEOGNOSTICHE 51
Prove Penetrometriche dinamiche 51
Riassunto parametri deducibili prove DP 64
Prova sismica HVSR CAVA 65
Correlazione vs - hz per HVSR 71
Il modulo di reazione unitario (costante di Winkler) 78
Prova sismica a rifrazione e MASW CAVA 81
Considerazioni riassuntive sulle acquisizioni sismiche in cava 94
LA SEZIONE GEOLOGICA IN CAVA 95
Prova sismica HVSR RIO SORBA 96
Correlazione vs - hz per HVSR 101
Prova sismica a rifrazione e MASW RIO SORBA 108
Considerazioni riassuntive sulle acquisizioni sismiche sul rio Sorba 131
LA SEZIONE GEOLOGICA SUL RIO SORBA 132
Le colmate antropiche 132
MODELLO GEOTECNICO 135
VALUTAZIONE DEL VOLUME SIGNIFICATIVO 135
Il substrato roccioso 136
Materiali incoerenti di copertura 140
STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA (NTC2018) 141
Risposta sismica locale (criteri microzonazione sismica) 146
ANALISI GEOTECNICA DEL PROGETTO 151
PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI 151
Cava e versante meridionale del rilievo del Cimitero dei Ciotti 151
Scuola e sedime colmata del rio Sorba 152
Disamina delle problematiche e soluzioni progettuali 152

Il versante superiore della cava 153
A sedime dei fabbricati previsti in cava 159
Le scarpate a valle della cava 161
La scuola sul Rio Sorba 162
PRESCRIZIONI 163
CONCLUSIONI 164
Allegato: Prova sismica MASW SIS1 165
Allegato: Prova sismica MASW SIS2 171
Allegato: Prova sismica MASW SIS3 177
Allegato: Prova sismica MASW SIS4 183
Allegato: Prova sismica MASW SIS5 189
Allegato: Prova sismica MASW SIS6 195
Allegato: Prova sismica MASW SIS7 201



A PARSON JACK RUSSELL VERSION OF THE FAMOUS POMPEII CAVE CANEM MOSAIC

Premessa

In riferimento al contenuto della DGR n° 1149 del 17/12/2019, avente come oggetto "*Comune di Ventimiglia (IM). Verifica di Assoggettabilità a VAS ai sensi dell'art. 13 della L.R. 32/2012 e s.m.i. su variante al PUC e al PTCP sottese all'Accordo di Programma in loc. Terre Bianche – Ex Cava Grimaldi*", di cui alla deliberazione di Consiglio Comunale di Ventimiglia n°5 del 18/01/2019 e specificatamente al contenuto della Relazione istruttoria n° 166 del 21/11/2019 allegata alla DGR 1149/2019, con la presente si integrano i contenuti della "Relazione illustrativa del progetto", per quanto attiene il rilascio del parere ex art. 89 del DPR 380/2001, approfondendo i contenuti richiesti nella parere prot. PG/2019/242158 del 21/08/2019 (Settore Assetto del Territorio), richiedente:

- *Relazione geologica di dettaglio conforme alle indicazioni della circolare n° 4551/1989 della Regione Liguria;*
- *Approfondimento sismico di secondo livello ai sensi della DGR 714/2011, tenuto conto dell'appartenenza del Comune di Ventimiglia alla classe sismica 3 (DGR 216 del 17/03/2017), dell'estensione areale oggetto degli interventi superiore a 5 ettari, della carta delle MOPS di primo livello, che indica nella zona in oggetto aree suscettibili di amplificazione locale e morfologica; presenza di scarpate, riempimenti ecc e aree suscettibili di instabilità;*
- *Studio di verifica e idoneità idraulica ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle Normative del Piano di Bacino del Roja, in quanto l'area rientra all'interno della fascia di rispetto dei 20 metri dal rio Sorba, che non risulta indagato nel suddetto Piano di Bacino;*
- *Inquadramento planimetrico e altimetrico di maggior dettaglio degli interventi edilizi.*

La presente relazione tiene altresì conto di quanto ulteriormente richiesto, in merito agli "*aspetti idraulici, geologici, sismici e suolo*" contenuti nella relazione istruttoria n° 166/2019, sopra richiamata.
Si precisa che gli aspetti inerenti la materia idraulica e – in genere - la regimazione delle acque di scolo, sono trattati a parte in apposito elaborato specialistico e non comprese nel presente lavoro.
Stante la complessità della procedura di Accordo di Programma in atto, si impone una gradualità nella definizione progettuale degli interventi, soggetti oltre che alla disciplina geologica-idrogeologica, anche ad una miriade di altre variabili che ne rendono problematica la puntuale definizione nella presente fase dell'iter progettuale.

In questo senso verranno precisate al meglio le problematiche geologiche a contorno degli interventi di progetto, delineando le opportune azioni di messa in sicurezza, bonifica e gestione del territorio, a fronte delle previsioni progettuali ad oggi disponibili. Nel corso dello sviluppo dell'iter progettuale si provvederà ad adeguare tali accorgimenti di presidio alle eventuali modifiche progettuali che si rendessero necessarie, precisando tuttavia sin da ora le necessarie limitazioni e i vincoli entro cui potranno esperirsi tali variazioni, così come imposte dal quadro geologico-geomorfologico – idraulico e sismico locale.

Breve descrizione degli interventi previsti

Si possono individuare tre ambiti principali d'intervento, costituiti dall'intervento di edificazione a sedime della ex Cava Grimaldi e dalle strutture a servizi costituite sia dalla scuola e parcheggi a servizio della Villa Hanbury nel vallone di rio Sorba, sia dai collegamenti pedonoli e ciclabili nell'area del cosiddetto Parco Urbano.
L'intervento edificatorio principale, costituito dalle residenze della ex Cava Grimaldi, consente il reperimento delle risorse private atte a finanziare le opere a servizi.
Lo studio architettonico preliminare è stato guidato da due indirizzi prioritari: il corretto inserimento paesaggistico volto a suturare le ferita causata nel passato dagli sbancamenti e il contestuale consolidamento del versante roccioso.
Le superfici abitabili sono quindi disposte su vari livelli via via arretrati, rispettosi dei profili naturali del terreno che circonda la cava. Giardini pensili davanti ad ogni gradonatura consentono, attraverso adeguate piantumazioni, di filtrare l'impatto visivo delle costuzioni. Le importanti porzioni di verde serviranno a ritmare le curve dilivello rappresentate dai vari piani degli edifici. Il fabbricato è costituito da elementi modulari prefabbricati con utilizzo di parti in legno, il tutto finalizzato al raggiungimento di una certificazione di cantiere a CO_2 zero (Vedi allegato Progetto Architettonico).
Sopra due livelli interrati l'edificio sviluppa uno-tre livelli principali in elevazione.

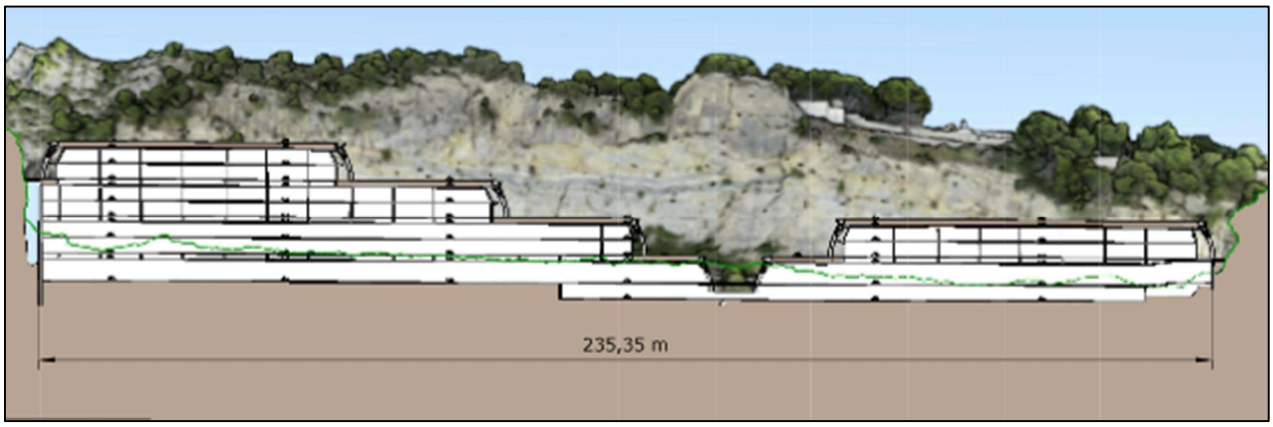


Figura 1: Sezione E-W

La scuola di botanica su rio Sorba e i relativi servizi (zona a parcheggi a servizio di Villa Hanbury e area di manovra degli autobus turistici) è essenzialmente costituita da un edificio a due piani, direttamente imbasato sui riporti a sedime del rio Sorba, posto in sponda destra del sedime originario e catastale del rio Sorba, oggetto di importanti interventi idraulici (trattati nella sede specialistica propria). L'intervento rispetta quindi i limiti della fascia di rispetto sia inerente il demanio, sia inerente l'Autostrada dei Fiori.

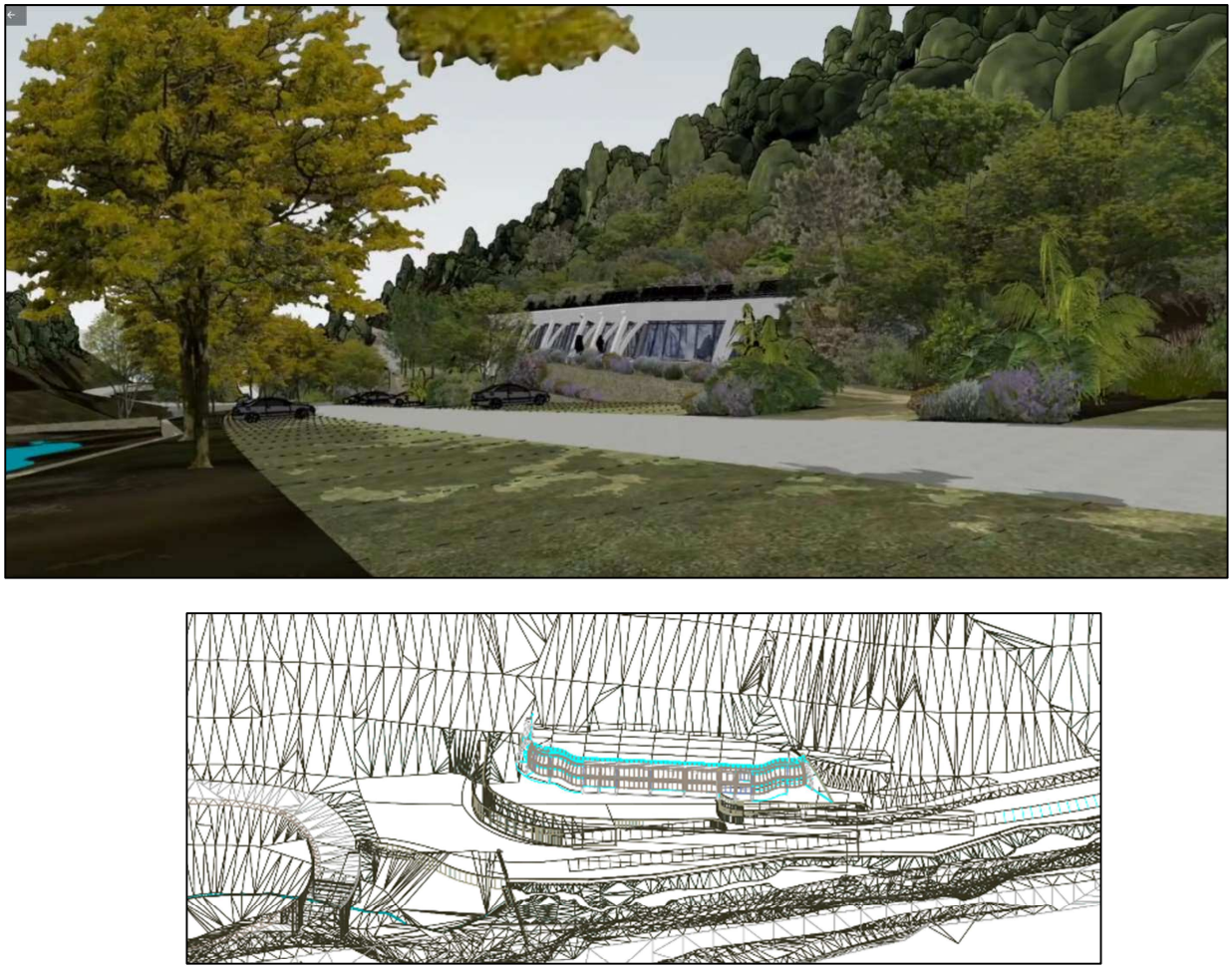


Figura 2: Ubicazione sedime della scuola sul rio Sorba con traccia della sezione

Le opere idrauliche sono descritte nella relazione specialistica.

Le opere di minor impegno progettuale e minore impatto sono costituite dalla rete di sentieri ciclopedonali del cosiddetto Parco Urbano. La loro funzione, tuttavia, ha una notevole importanza ai fini della valorizzazione ambientale e della fruibilità pubblica dell'area, ma soprattutto consente una migliore sistemazione idrogeologica dell'area, consentendo un miglioramento della rete dei deflussi, la stabilizzazione di alcune problematiche di franosità locale, la realizzazione di punti di presa dell'acqua per il servizio antincendio, costituendo i passaggi non solo vie di accesso più agevoli, ma anche configurandosi come vere e proprie "tagliafuoco".

Tali opere ricadono, secondo i dettami dell'EC 8 e delle NTC 2018, nelle opere con Vita nominale (VN) pari a **50 anni,** con vita di riferimento (VR) che ottenuta moltiplicando il valore di VN per il coefficiente d'uso CU, pari a **1.0**, stante i normali affollamenti previsti nella **Classe s'uso 2**.

Tab. 2.4.I NTC 2018

	Tipi di costruzioni	Valori minimi di VN (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazione ordinari	**50**
3	Costruzioni con livelli di prestazione elevati	100

Tab. 2.4.II NTC 2018

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente Cu	0.7	1.0	1.5	2.0
note	Presenza occasionale	Normali affollamenti	Affollamenti significativi	Funzioni strategiche

Tab. C2.4.I NTC 2018

Vita nominale Vn	Valori di Vr			
	Classe d'uso			
	I	II	III	IV
≤10	35	35	35	35
≤50	≤35	≤50	≤75	≤100
≤100	≤70	≤100	≤150	≤200

L'intervento relativo al ripristino dei sentieri pedonali e alla creazione di tratti di pista ciclabile non può che fare riferimento ai pregevoli elaborati prodotti da IRE SpA per conto della Regione Liguria, nell'ambito del Programma Alcotra – Progetto Edumob (Doc. n° 10074/ESE/MPL/GNR/R002 e seguenti, citati in corsivo nel testo), che definisce la necessaria cornice unitaria entro cui debbono svilupparsi gli itinerari pedonali e ciclabili laddove per itinerario ciclabile si intende un percorso avente caratteristiche omogenee, ma composto da tratti con parametri dimensionali e di distribuzione dell'utenza diverse a seconda delle caratteristiche fisiche, storiche e paesaggistiche del territorio.

La premessa dunque è costituita dalla volontà di creare una Rete Ciclabile Ligure, a sua volta inserita in un contesto nazionale e trasnsfrontaliero, ossia una opera di dimensione tale da consentire un significativo impatto sulla cultura della mobilità, sul modo di fare turismo e di percepire un territorio, consentendo al contempo il recupero di larghe porzioni del territorio stesso ad una fruibilità consapevole, compatibile ed in grado di sostenersi economicamente. Per questo 'itinerario ciclabile dovrà risultare efficiente ed attrattivo, soddisfacendo requisiti di:

- riconoscibilità della rete ciclabile attraverso un adeguato piano della segnaletica, semplice ed intuitivo;

- percezione della sicurezza, garantendo la reciproca visibilità tra le biciclette e i veicoli nei differenti punti di conflitto quali le intersezioni, i passi carrabili, le fermate bus, ecc;

- uniformità degli elementi caratterizzanti quali la pavimentazione, l'illuminazione e l'arredo;

- integrazione con aree verdi, zone di sosta, punti ristoro e unità ricettive.

Tali prescrizioni sono formalizzate nel dettato del D.M. n° 375 del 20/07/2017 e L. n° 2 del 11/01/2018, che introducono il concetto di "ciclovia" con le relative caratteristiche tecniche.

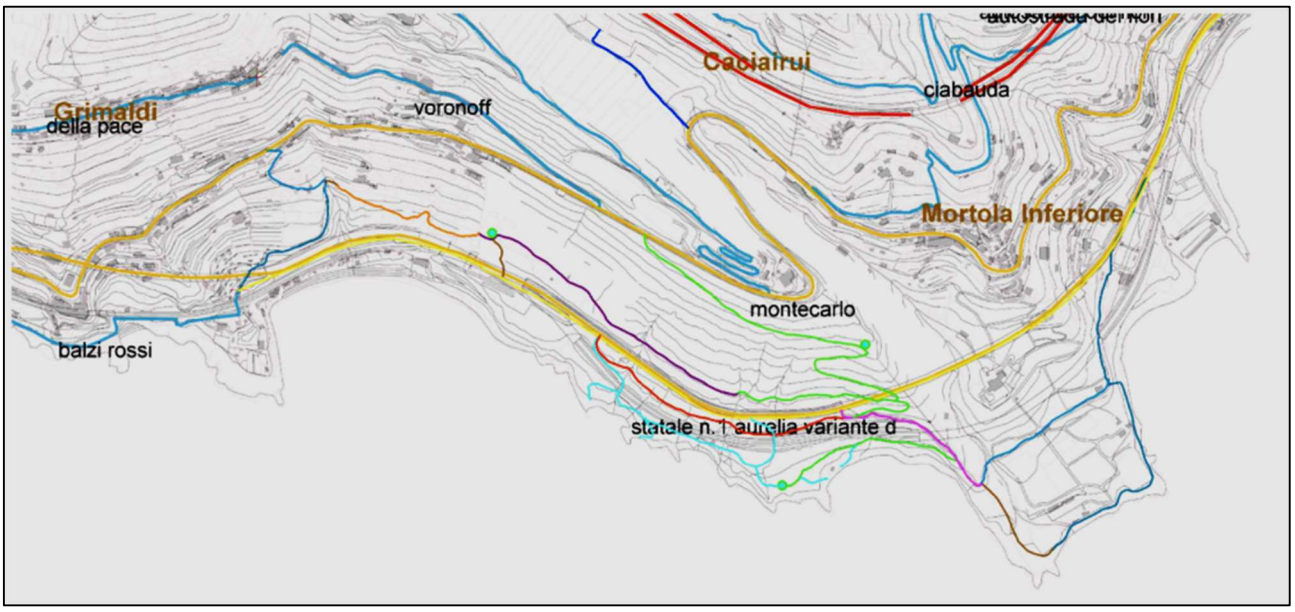


Figura 3: la rete dei percorsi ciclopedonali

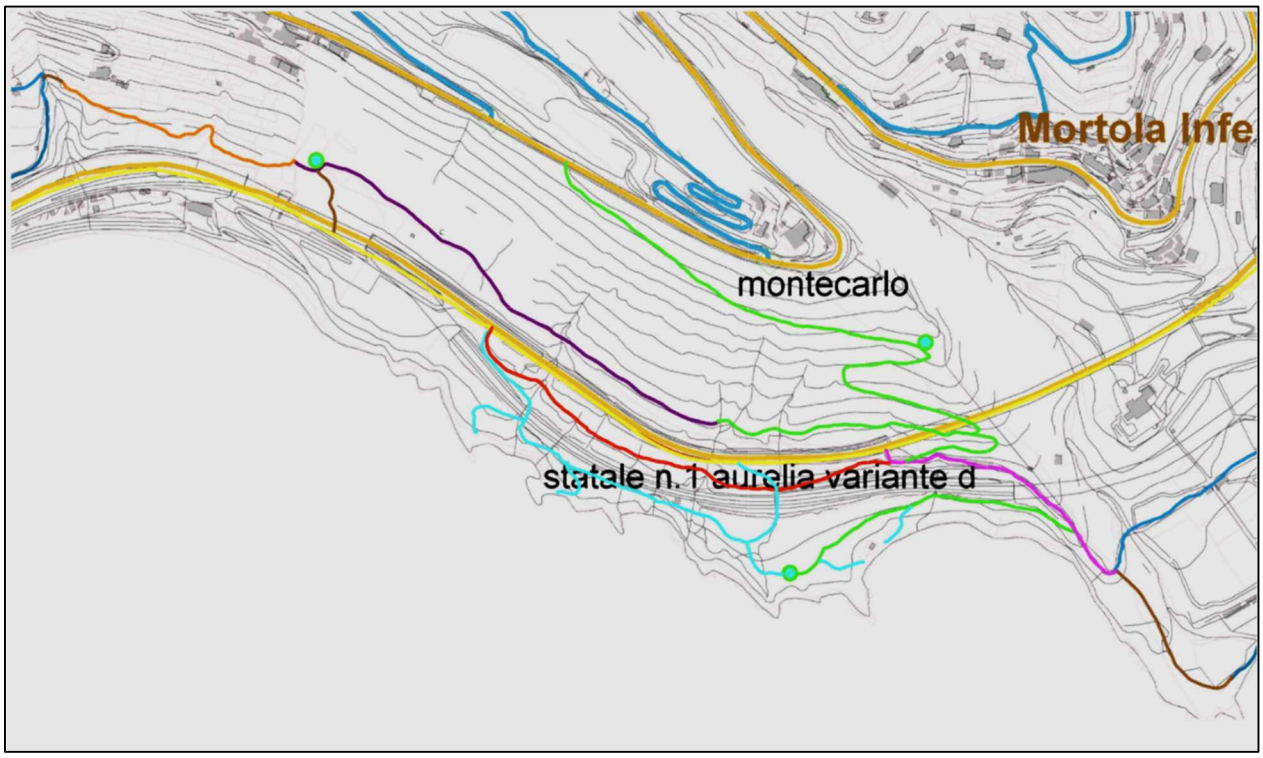


Figura 4: Area in cui sono previsti gli interventi a carico del soggetto attuatore

La rete dei sentieri, oltre all'ovvio miglioramento della fruibilità delle aree, abbina la possibilità di una migliore regimazione delle acque di scolo superficiale, attualmente in ruscellamento diffuso non regimato, oltre che consentire la disponibilità di allacci antincendio, laddove l'area – già percorsa dal fuoco a più riprese – è estremamente vulnerabile e depauperata nella sua copertura vegetale, soprattutto di medio ed alto fusto.

Inquadramento normativo

Il comune di Ventimiglia risulta comune sismico di Zona 3 (Pga = 0.15 g).

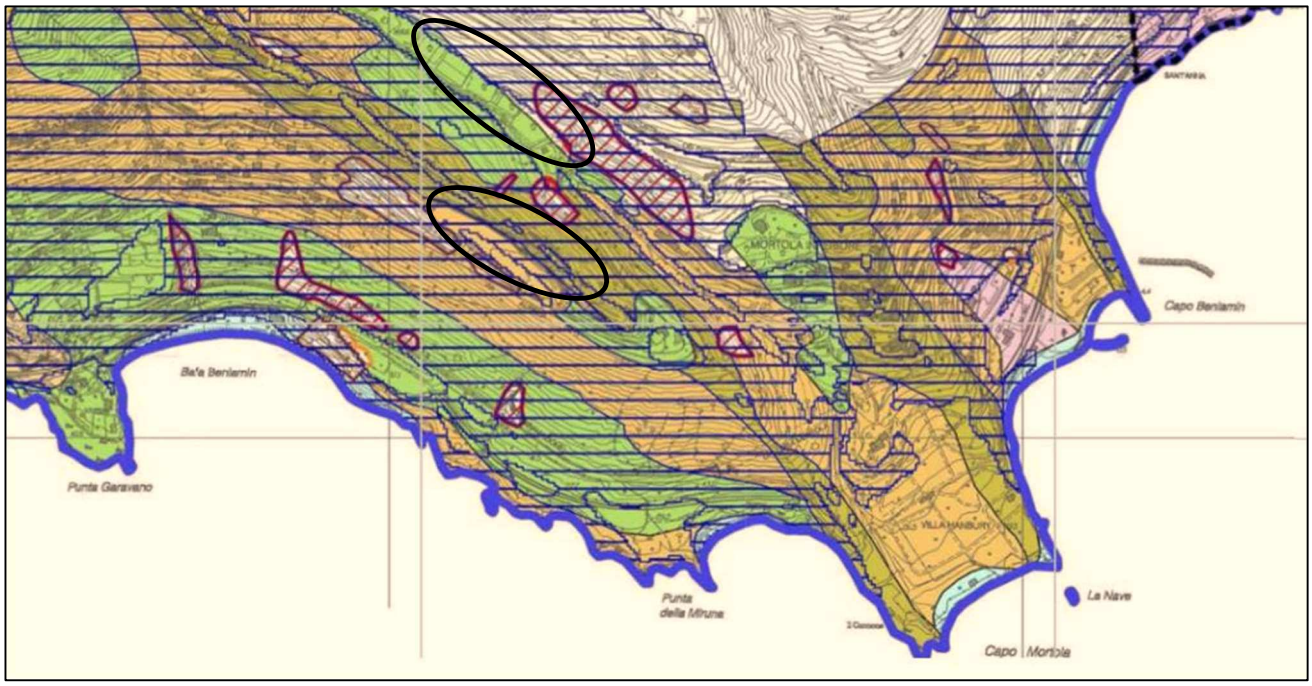


Figura 5: Cartografia conoscitiva propedeutica agli studi di microzonazione sismica di 1° livello (Regione Liguria

La cartografia regionale indica la presenza di zone con acclività maggiori di 15° sulle pendici vallive che insistono sulle aree in progetto, sia sul rio Sorba che sul piazzale della Cava Grimaldi. Si individuano le seguenti **zone instabili**:

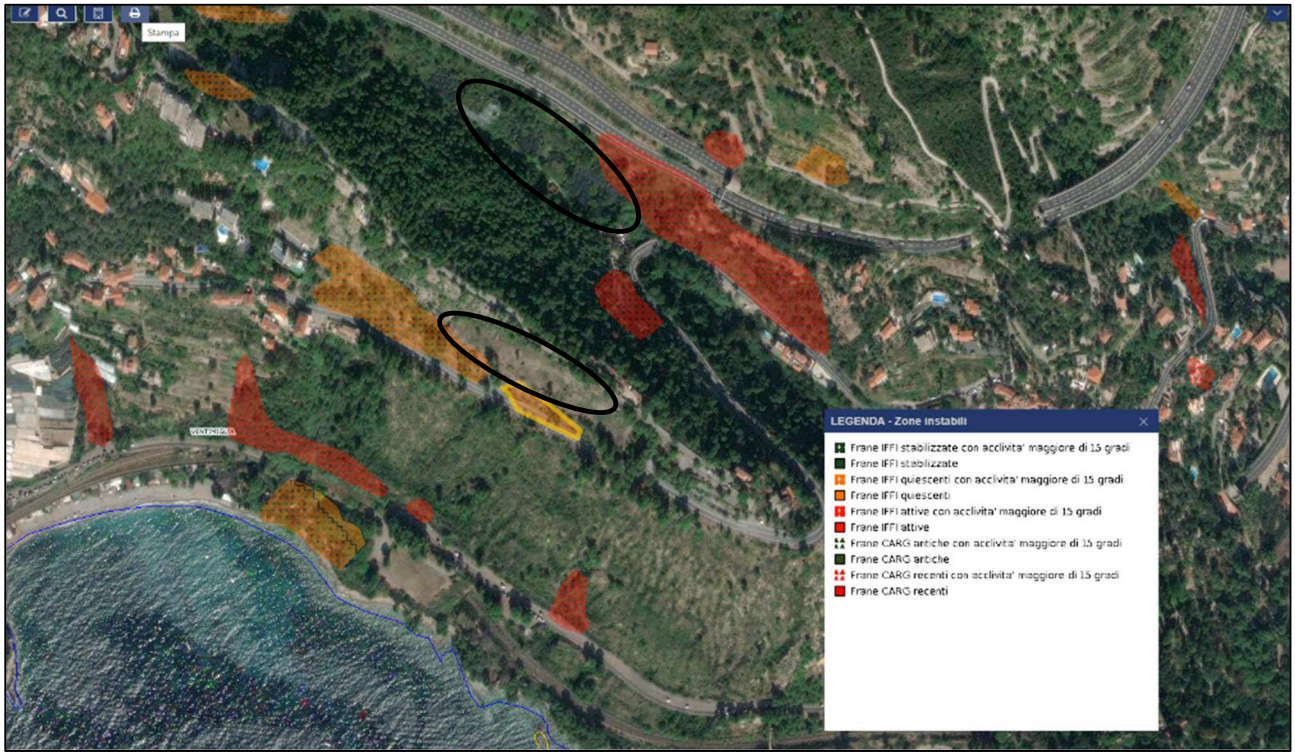


Figura 6: Zone instabili

Tali aree instabili sono essenzialmente costituite dalla scarpata sul lato di valle della Cava, estesa fino al bivio per Grimaldi (Frane IFFI quiescenti con acclività > 15°) a partire dal Corso Mentone (tratto superiore della Via Aurelia SSn° 1), alcune frane attive sulla scarpata di monete del Corso Europa (tratto inferiore della Via Aurelia).
Nel vallone del rio Sorba sono cartografate altresì due frane attive, sia in destra che in sinistra orografica.

Sono altresì oggetto di attenzione le seguenti zone stabili, che risultano tuttavia suscettibili di amplificazione:

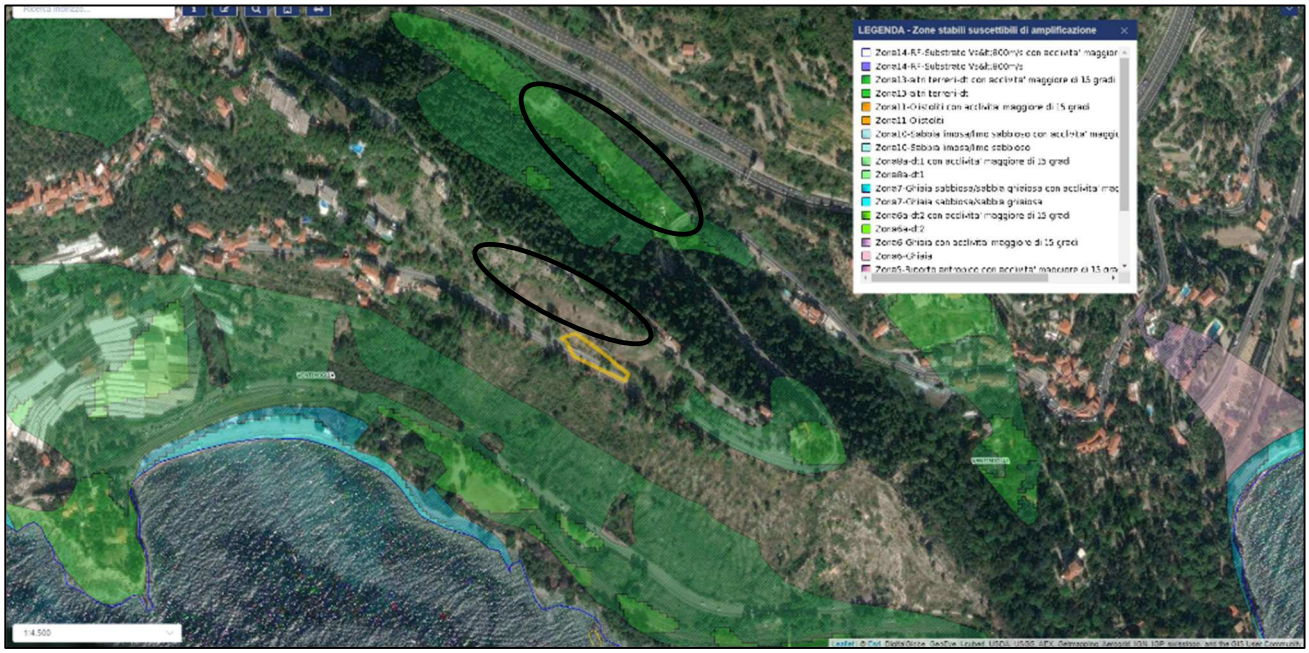


Figura 7: Zone stabili suscettibili di amplificazione

Nell'area sono ricomprese in tale categoria praticamente tutta la parte medio bassa del versante insistente sul Corso Europa, il primo tratto di arroccamento della Via delle Ginestre (bivio per Mortola Superiore), il versante in destra orografica del rio Sorba, nel tratto dell'abbancamento, l'abbancamento presente sul sedime del rio Sorba stesso. Le situazioni di rischio potenziale sono sostanzialmente le stesse evidenziate dalla cartografia di Piano di bacino.

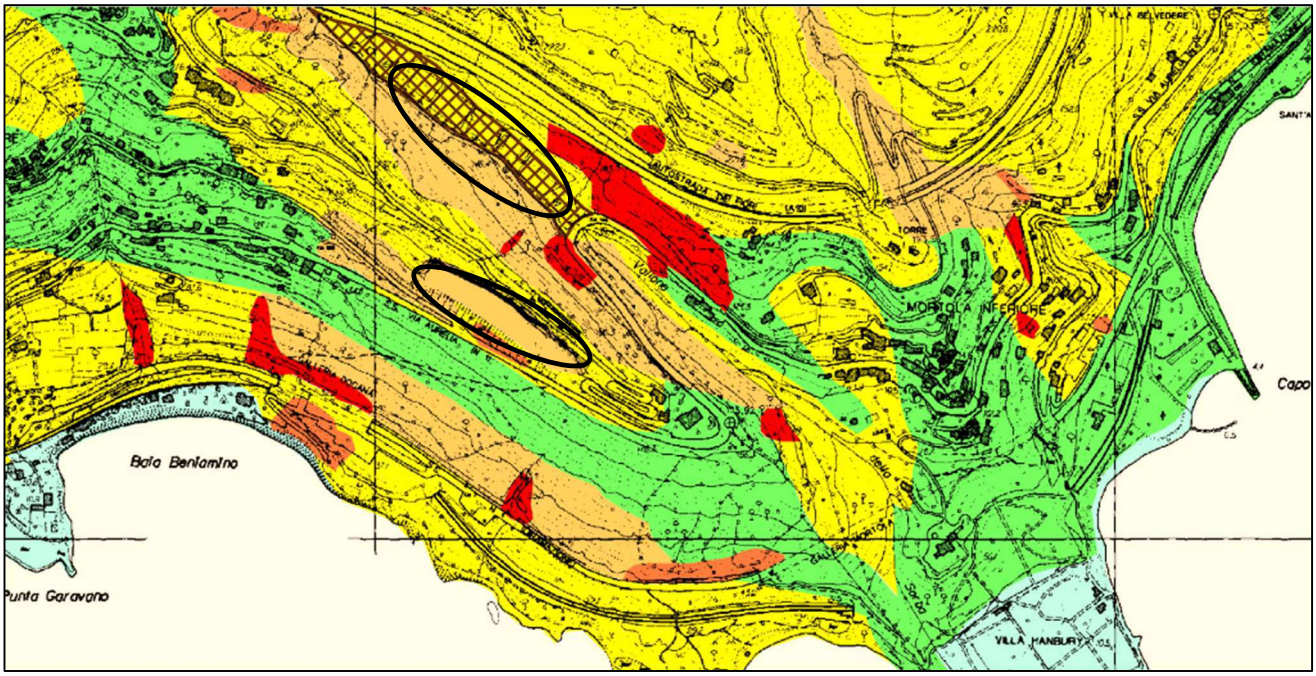


Figura 8: Stralcio Carta della Suscettività al dissesto (Piano di Bacino del Roja)

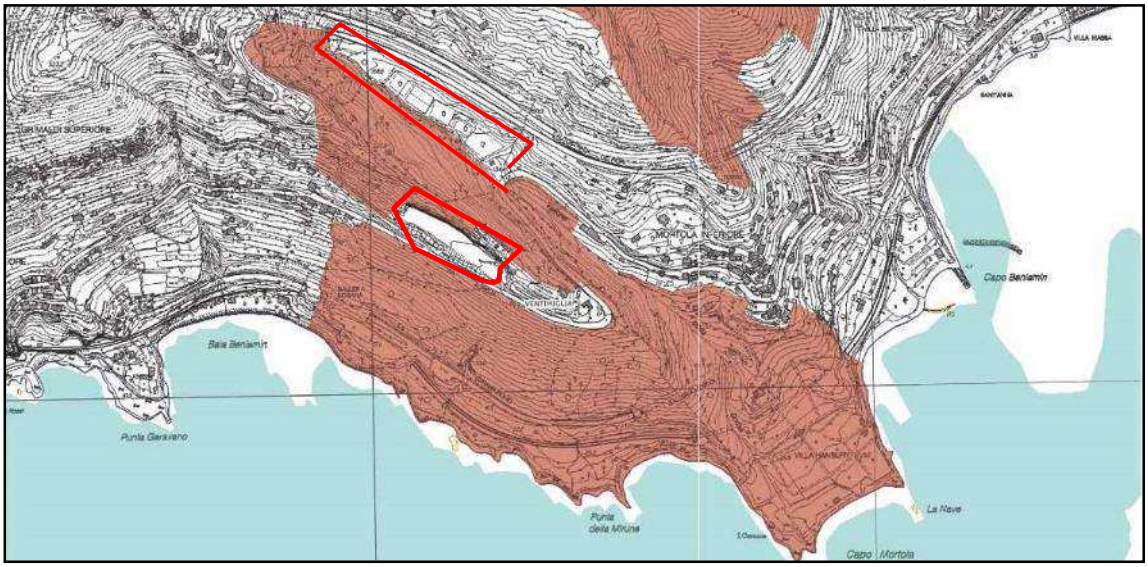


Figura 9: Siti di interesse comunitario

La presenza dei siti comunitari a contorno delle aree d'intervento, la classificazione come aree carsiche e l'insieme di tutti i vincoli gravanti sull'area, definiscono l'estrema delicatezza del territorio in esame, assieme alla necessità di interventi antropici volti alla stabilizzazione locale e alla bonifica delle problematiche idrogeologiche presenti.

Analisi delle problematiche locali

Appare opportuno redigere una breve descrizione delle principali problematiche presenti in sito, evidenziandone lo "stato di fatto" anche in rapporto ai continui interventi eseguiti in sito da vari attori.

LA CAVA E IL VERSANTE DEL PARCO URBANO

Il fronte di coltivazione della cava dismessa presenta una altezza complessiva variabile fra 30-40 m, è interessato dall'affioramento diretto dei Calcari nummuliti.



Figura 10: Il piazzale di cava

L'area appare sostanzialmente sgombra da proiettili di recentissimo distacco, ma certamente rappresenta un'area di potenziale pericolo per crolli di porzioni lapidee anche rilevanti.

Non a caso è presente a ridosso del fronte un cumulo basale, in cui è possibile riconoscere la presenza di massi, anche di notevole dimensione (0.05-0.25 mc), di più recente distacco ed attività di detrizione attiva.



Figura 11: Massi di crollo relativamente recente e accumulo di detrizione, solo in parte coperto dalla vegetazione spontanea



Figura 12: Particolare del lato di SW del fronte. Si notino le alberature superiori radicate superficialmente, e l'insieme delle linee di stratificazione a reggipoggio che incrociate con le fessurazioni isolano blocchi di grosse dimensioni prevalenti, fatto salvo per alcune parti aggettanti e formanti cunei potenzialmente instabili a coronamento della scarpata

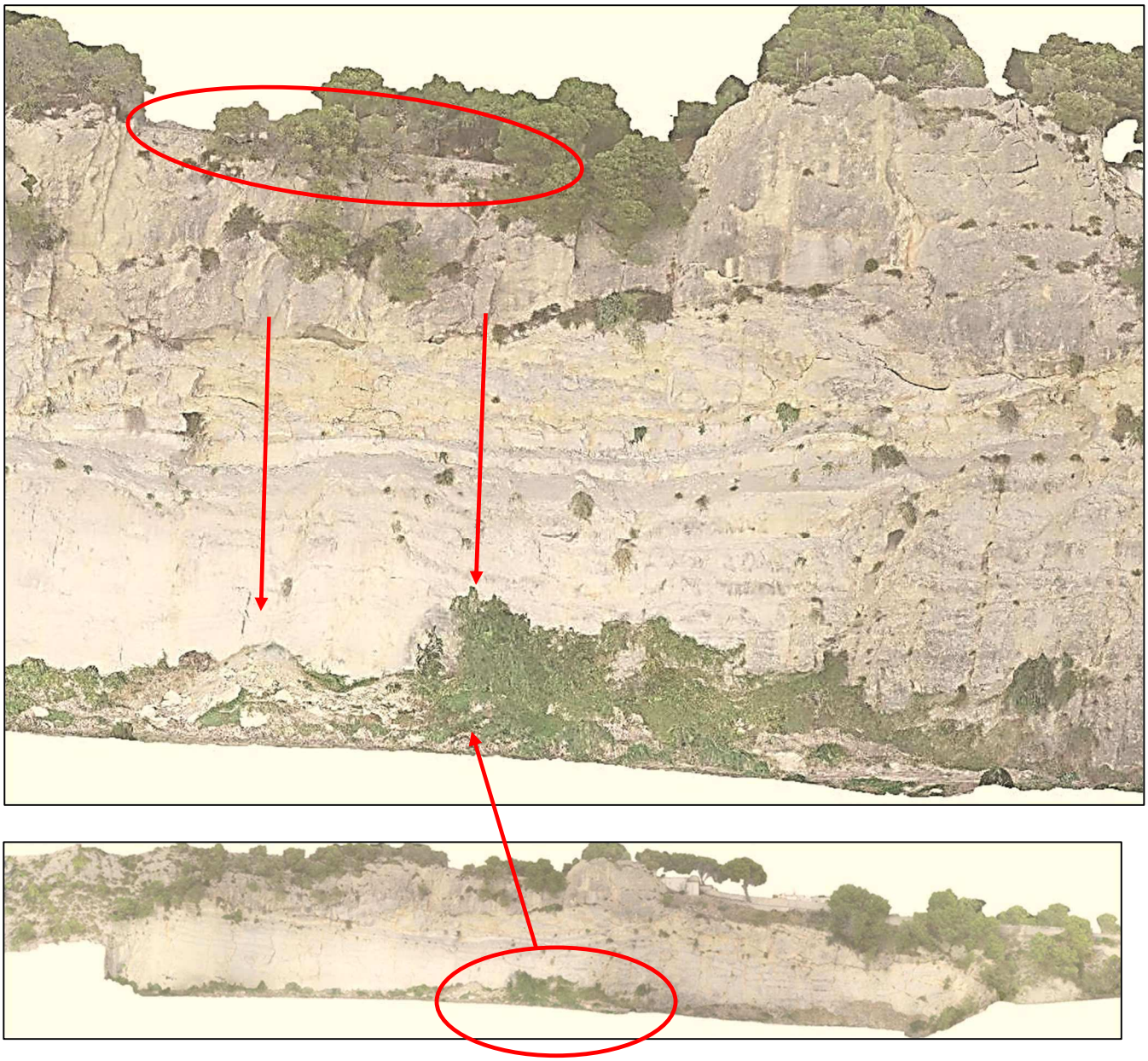


Figura 13: Prospetto del fronte di cava

Non a caso i maggiori sviluppi degli accumuli detritici basali si trovano nell'area centrale del fronte, laddove il fronte di cava è sostanzialmente prossimo alla strada per la Mortola (Via delle Ginestre), con fronte posto quasi a perpendicolo dal muro di sottoscarpa stradale.

Per quanto attiene alla **scarpata inferiore** della cava, esso è protetta da reti chiodate in aderenza, oltre che da muri di sostegno.

Tali opere furono realizzate circa vent'anni fa, in occasione degli eventi alluvionali del 2001, dalla Provincia di Imperia, in allora competente in materia.

Le reti appaiono in più punti ampiamente distaccate dalla parete, spesso in tensione a causa dei distacchi contenuti alla base, e realizzate con tecnologie ormai desuete.

Il consolidamento si estende per tutta la scarpata di monte della Via Aurelia, ben oltre il bivio per Grimaldi, laddove in occasione delle recenti piogge Natalizie, si è verificato un distacco di una certa rilevanza.



Figura 14: Reti in aderenza per il contenimento dei distacchi a valle del piazzale di cava.



Figura 15: Scoscendimento corticale in corrispondenza del km 695 poco dopo il bivo per Grimaldi



Figura 16: Gli ancoraggi della perimetrale di monte



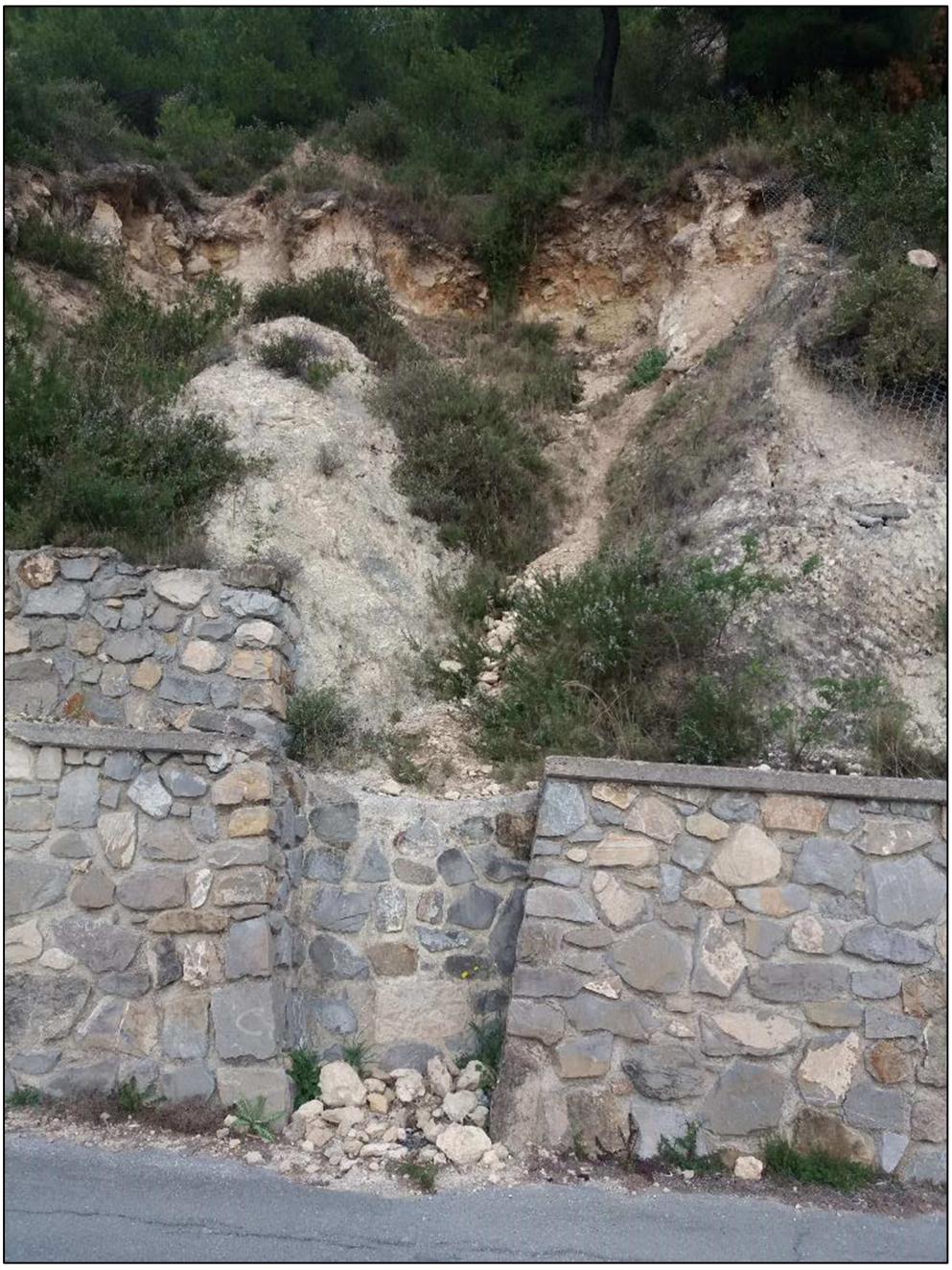


Figura 17: La detrizione delle Marne di Trucco, per altro molto fratturate e alterate in sito, comporta l'ostruzione delle bocche di lupo per il drenaggio delle acque di piattaforma stradale (Via della Pace), con conseguente versamento delle acque sulla scarpata sottostante.

L'instabilità, l'alterabilità e l'erodibilità dei terreni a cui soggiace la formazione delle Marne di Trucco, rappresenta la problematica principale del tratto di versante compreso fra i due rami della via Aurelia, tanto più laddove l'area è soggetta ad una serie di versamenti impropri di acque, principalmente provenienti dal tratto di monte della Via Aurelia, in cui le canalizzazioni stradali non sono opportunamente convogliate lungo le difese di versante.



Figura 18: Il brullo versante oggetto dei versamenti impropri fra le due "Aurelie". Sullo sfondo i depositi di colore biancastro che determinano il toponimo locale.

La situazione di estrema erodibilità locale è determinata anche dalla presenza di estesi depositi pseudo coesivi limo-argillosi, non cartografati nella carta geologica regionale, che assumono spessori consistenti verso la parte basale del versante, nonché dagli incendi che si sono succeduti nel tempo, che hanno depauperato la copertura vegetale locale.

Tali depositi sono caratterizzati dalla presenza di un crostone indurito superficiale, di esiguo spessore, a cui soggiacciono depositi pseudo-coesivi fini, con vario grado di alterazione, segnatamente in funzione degli effetti degli aerosol marini.

Laddove esposti in forme aggettanti, il front tende a franare, frantumandosi in prismi di notevoli dimensioni, che tuttavia non hanno sufficiente resistenza per giungere intatti - come proiettili - sulla careggiata stradale sottostante.



Figura 19: Affioramenti delle Terre Bianche sopra il tratto inferiore dell'Aurelia. Sotto: particolare



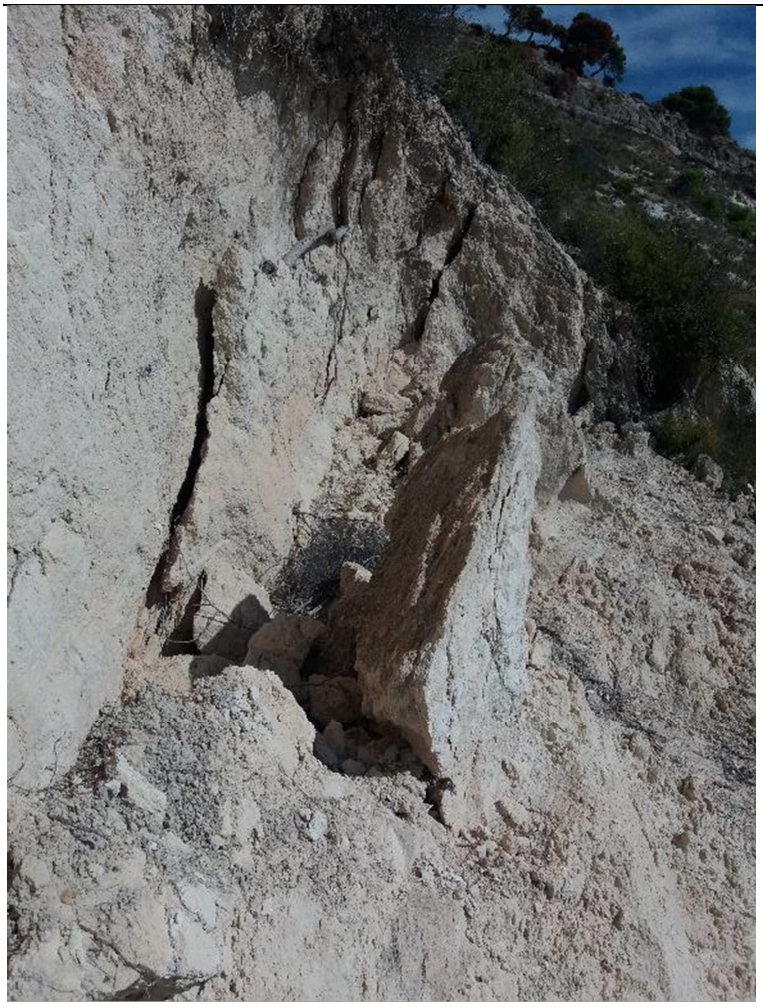


Figura 20: distacco dei prismi. Sotto: Il particolare crostone indurito superficiale



Quale ultima nota, si segnala la presenza di una frana di crollo sul confine Ovest dei Giandini Hanbury, laddove parte della recinzione è coinvolta nel crolo dei termini in Calcari nummulitici, qui affiornanti anche al disotto dell'Aurelia.

In ragione della intensa fratturazione presente alla zona di cerniera della sinclinale, sono presenti numerosi blocchi lapidei disgiunti, e notevoli fratture di tensione al coronamento del crollo.



Figura 21: Fratturazione deli Calcari Nummulitici e frana di crollo verso i Giardini Hanbury.





Figura 22: Fratture beanti al coronamento della frana di crollo

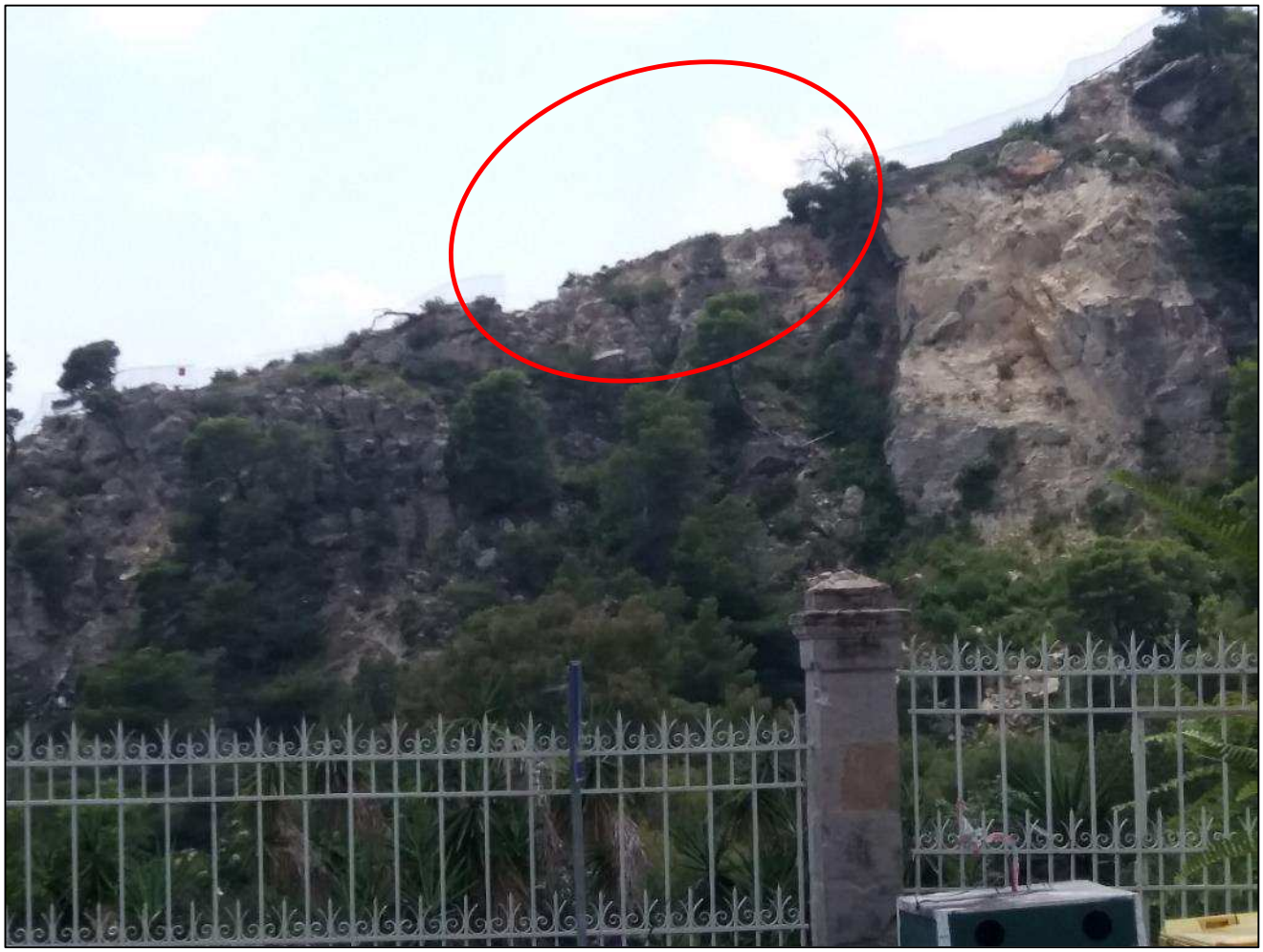


Figura 23: Frana di crollo nei Calcari nummulitici al confine W dei Giardini Hanbury

La presenza della fratturazione nei calcari, favorisce l'azione dell'apparato radicale delle piante di alto fusto. Nello sperone naturale in roccia, presente in fregio al cimitero dei Ciotti, è possibile vedere plasticamente tale situazione: le radici tendono ad allargare e separare i prismi rocciosi, favorendo il distacco dei massi.

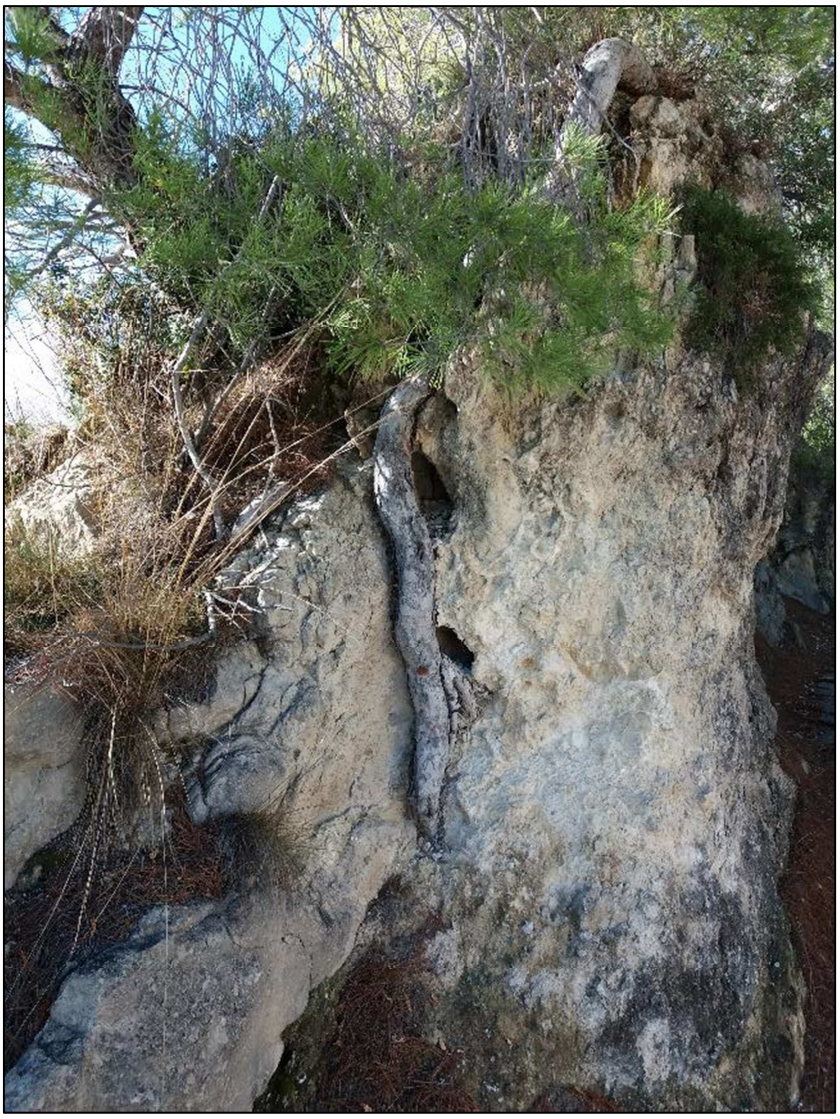


Figura 24: Azione dell'apparato radicale delle piante di alto fusto



IL VALLONE DEL RIO SORBA

Le problematiche di franosità del rio Sorba sono ben poco dissimili da quelle sopra esaminate. Infatti anche in questo paraggio ritroviamo la sovrapposizione di un litotipo "resistente" e a stratificazione massiva (Calcareniti di Capo Mortola a Ponente), al di sopra di un litotipo "debole" e finemente stratificato come le Marne siltose di Olivetta S. Michele. In sinistra orografica. Ciò determina una "rottura" di pendio, con aggetto del litotipo collocato superiormente sul litotipo più "debole" sottostante, caratterizzato da morfologia superficiale più debole.

In sponda sinistra, tale conformazione si realizza con la sovrapposizione del Flysch di Ventimiglia sulle Marne siltose.

Il tutto è ulteriormente condizionato dalla fratturazione e dalla deformazione tettonica imposte dalla presenza della sinclinale, orientata in direzione NW-SE a posta all'incirca a sedime del tracciato autostradale.

Ecco che dunque si ritrovano le medesime condizioni "geologiche" che condizionano la geomorfologia locale e la stabilità dei versanti della cava, ritrovando le condizioni per il rilascio di frane di crollo dai litotipi "resistenti" superiori, in risposta all'erosione dei litotipi "deboli" inferiori.

In particolare quindi sono presenti frane attive sia in sponda destra che in sponda sinistra del rio Sorba.

A Ponente la situazione di franosità è mitigata dalle opere di presidio della Via Aurelia, costituite da reti in aderenza accoppiate a barriere paramassi.



Figura 25: Opere di protezione della Via Aurelia in sponda destra

Il versante appare duqnue presidiato, e – prescindendo da ogni considerazione estetica e paesaggistica - appare descrivibile più come un **versante franoso consolidato**, che non una frana attiva.

Appare necessario introdurre qualche riserva sul grado di manutenzione dlele opere, laddove gli ancoraggi profondi dei piloni della paramassi, appaiono realizzati con un sistema a testa flottante – ormai desueto – nelle condizioni di sotto visibili.



Figura 26: Ancoraggi delle paramassi

Per quanto attiene la sponda sinistra, la franosità determinata dal distacco di parte del Flysch di Ventimiglia, è contenuta da reti ancorate in aderenza.

Il versante presenta un contatto geologico fra le Marne, che costituiscono la parte medio bassa del pendio – disposta regolarmente a circa 45°-55° d'inclinazione - e la parte superiore, subverticale, costituita dal Flysch di Ventimiglia, disposto a reggipoggio e dalla cui base si distaccano i massi franati. Infatti le Marne risultano molto facilmente alterabili ed erodibili da parte degli agenti esogeni, per semplice esposizione, in ragione della loro natura essenzialmente argillosa e risultano dunque in affioramento con pendenze medie di versante certamente meno acclivi del Flysch (fatto derivato dalla sola disposizione a reggipoggio). La creazione di vuoti al di sotto della formazione del Flysch, ove i litotipi calcareniti e calcarei, decisamente fratturati, presentano prismi rocciosi in precario equilibrio, che si distaccano e seguito della loro posizione "a sbalzo" sulle marne sottostanti.

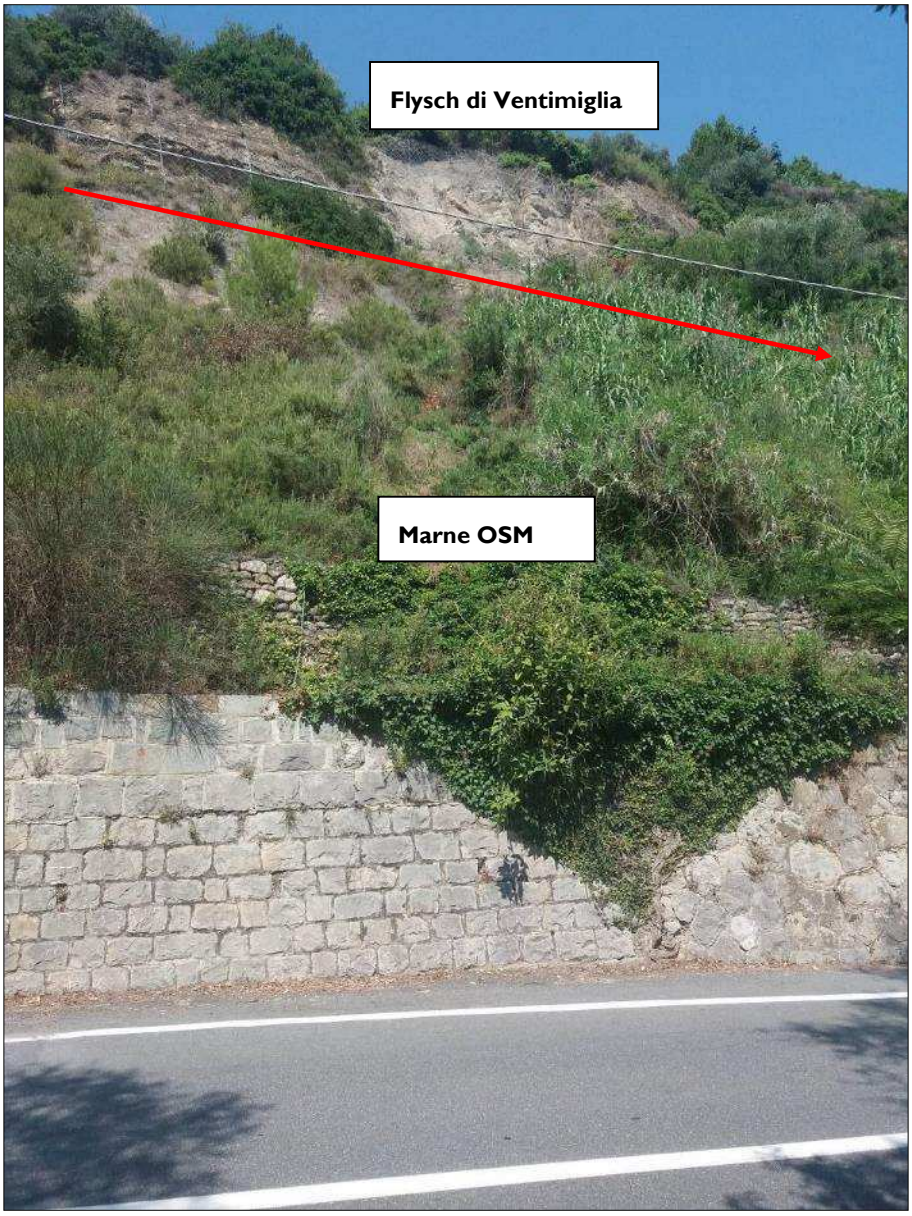


Figura 27: La situazione geologico-morfologica in sinistra orografica sopra la via Aurelia

Infatti anche la sequenza del Flysch di Ventimiglia, presenta alternanze di litotipi diversi, in cui la frazione argillo – marnosa risulta facilmente erodibile, mentre i livelli calcarei e calcarenitici, formano le spesse bancate in aggetto, fratturate, da cui si distaccano i prismi rocciosi messi "in falso" dall'erosione del sottostante livello argillo-marnoso.

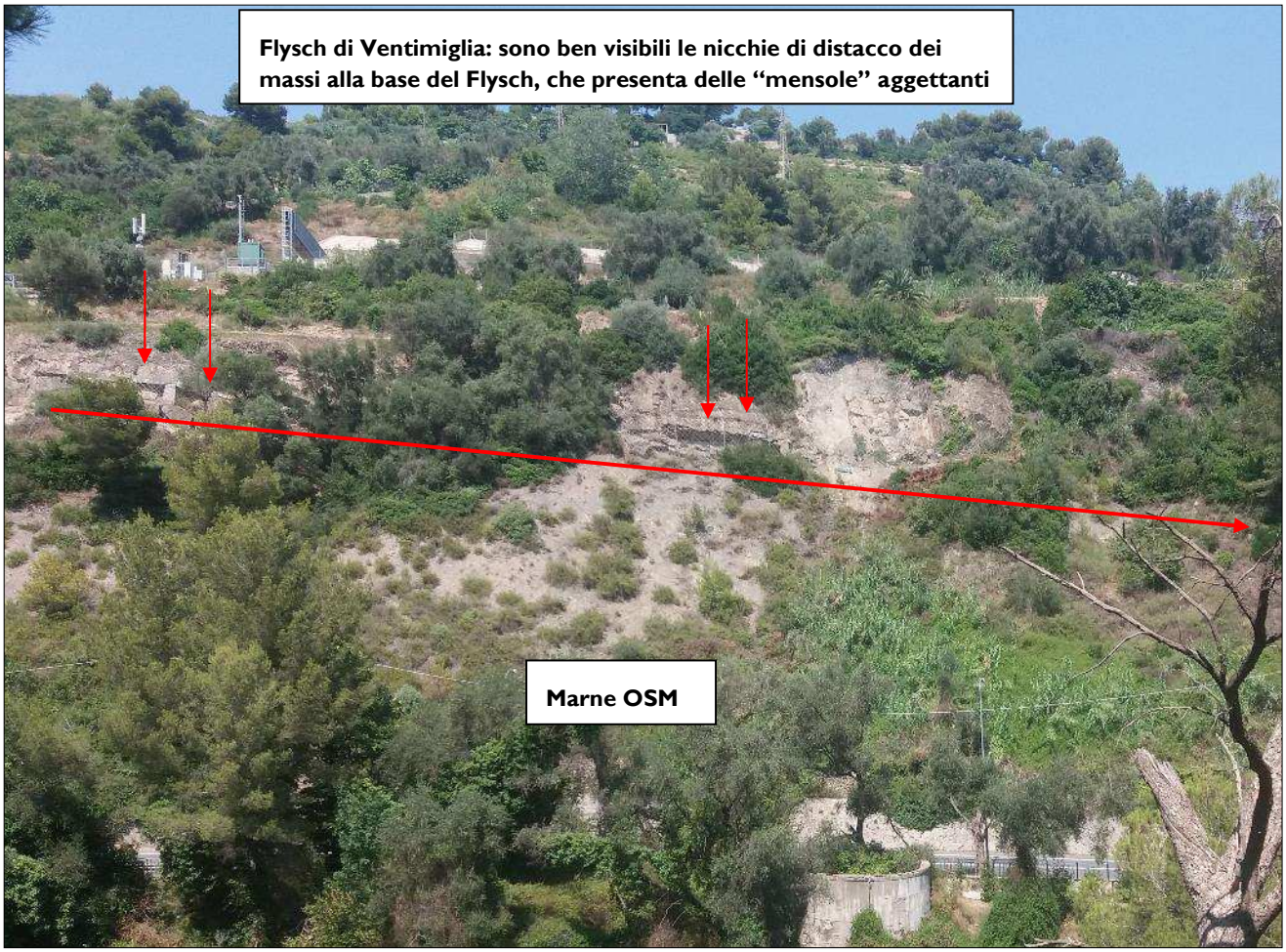


Figura 28: Versante in sinistra e ingrandimento delle aree di distacco basale del Flysch, con evidenti nicchie di distacco, reti di contenimento e speroni in cls





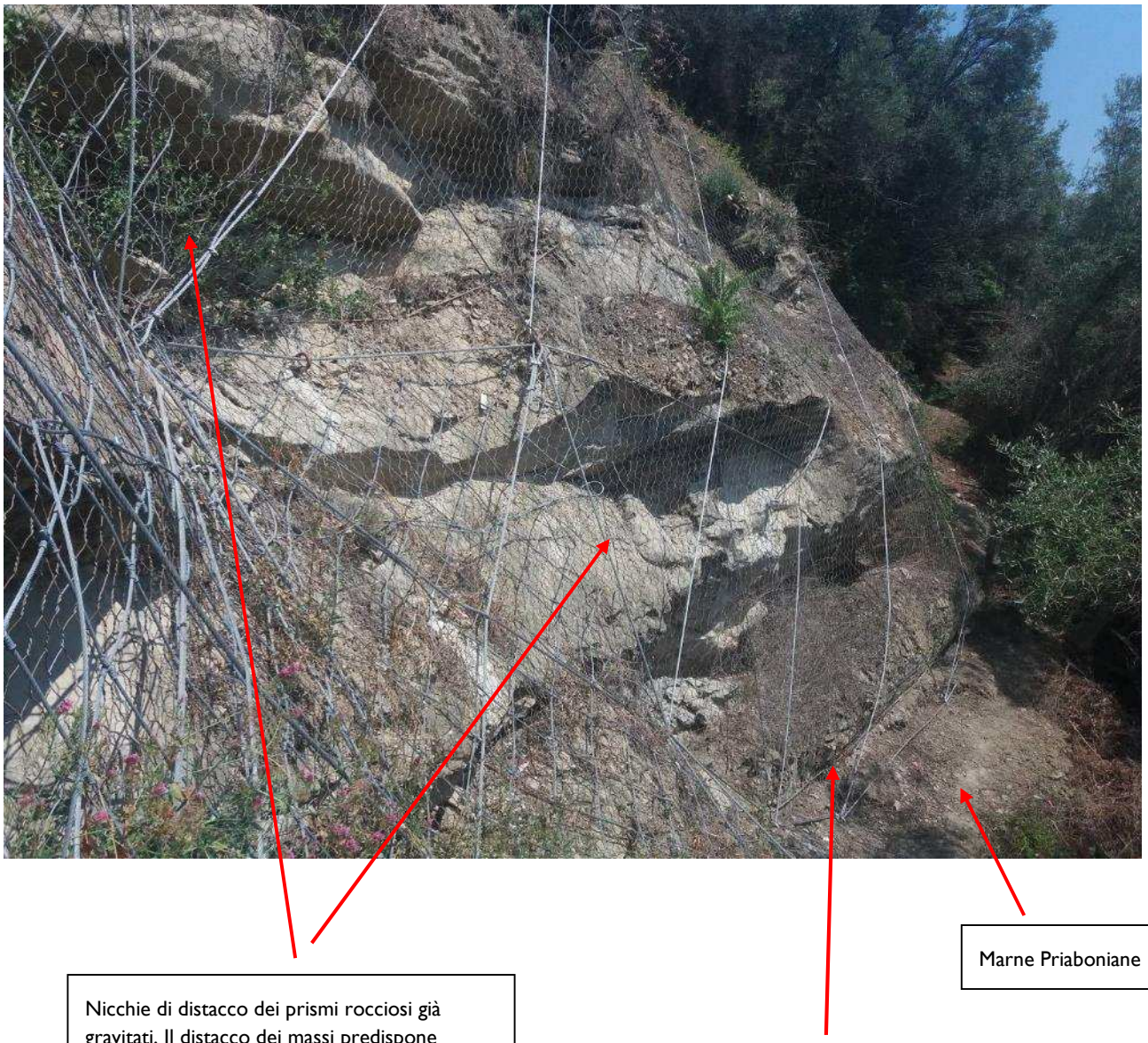


Figura 29: Particolari sul punto di distacco superiore



Figura 30: Le reti in aderenza poste in opera da ANAS nei terreni in destra a seguito dell'evento alluvionale anni 2000-2002



Figura 31: Rialzo del muro di controripa stradale e messa in opera di gabbionate metalliche per proteggere la strada Aurelia.

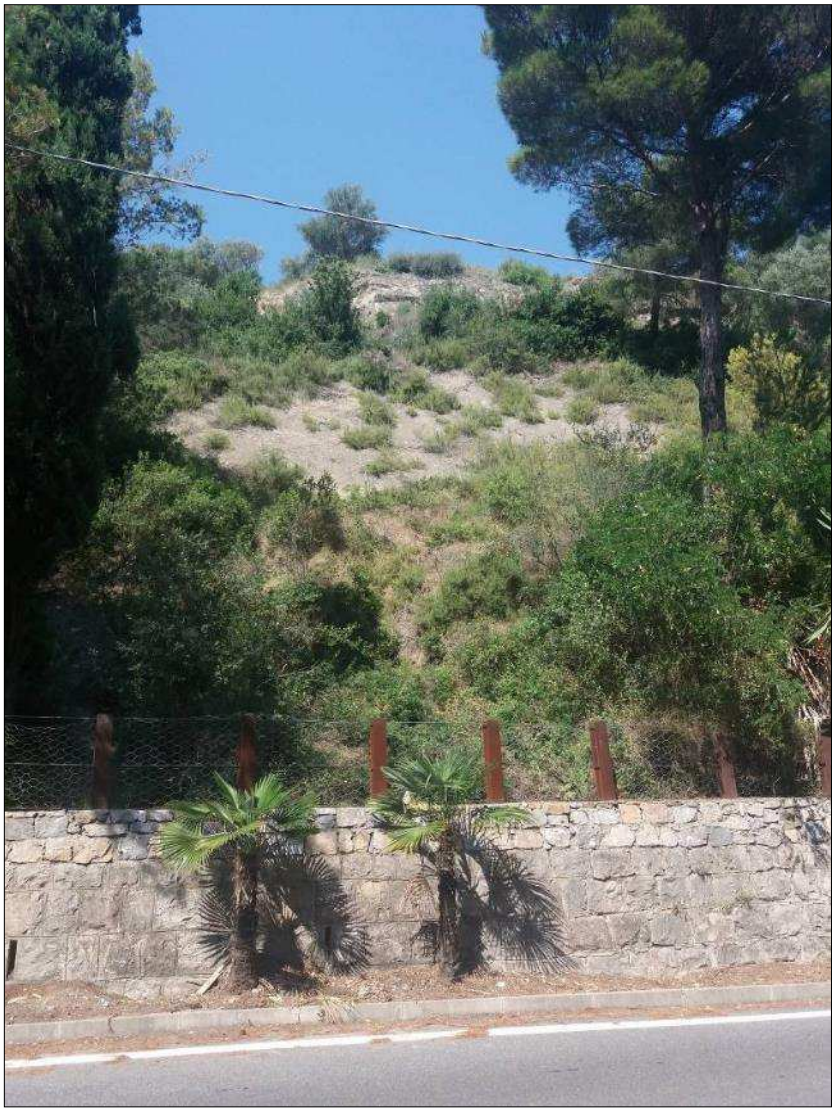


Figura 32: Messa in opera di opere paramassi passive alla testa del muro

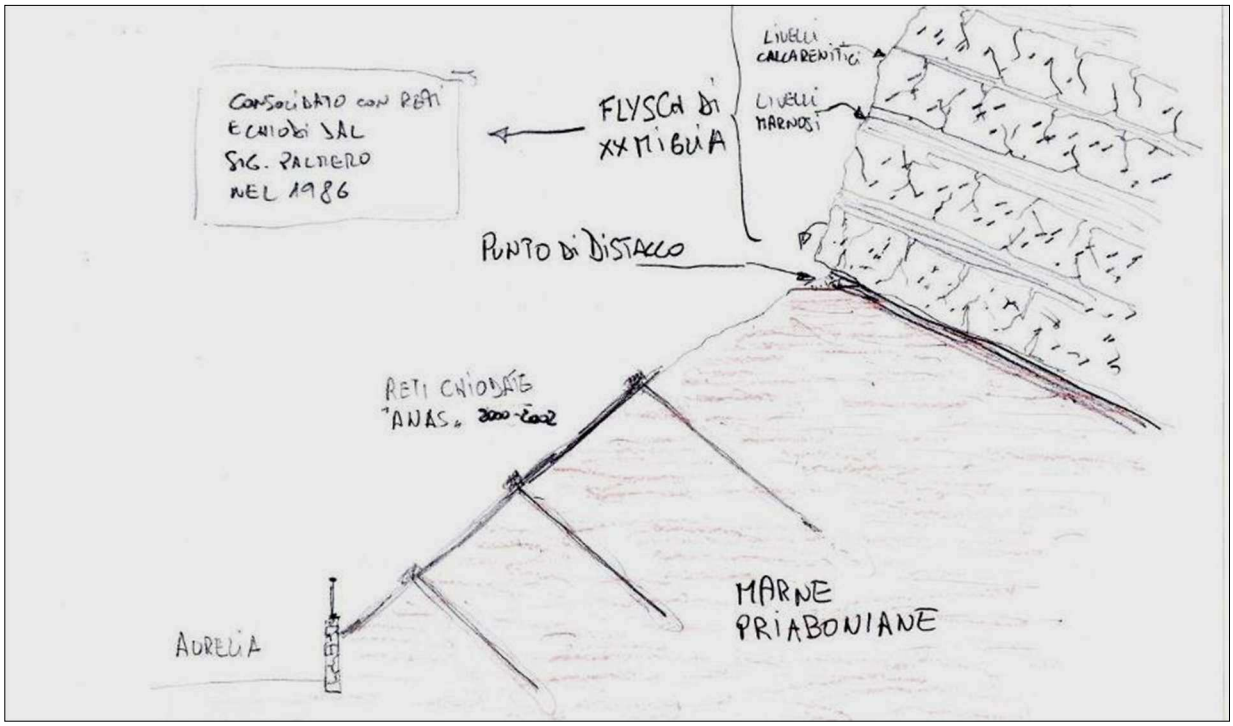


Figura 33: Modello di evoluzione morfologica

Le opere di presidio e messa in sicurezza, mostrano inadeguatezza già al 07/02/2009.

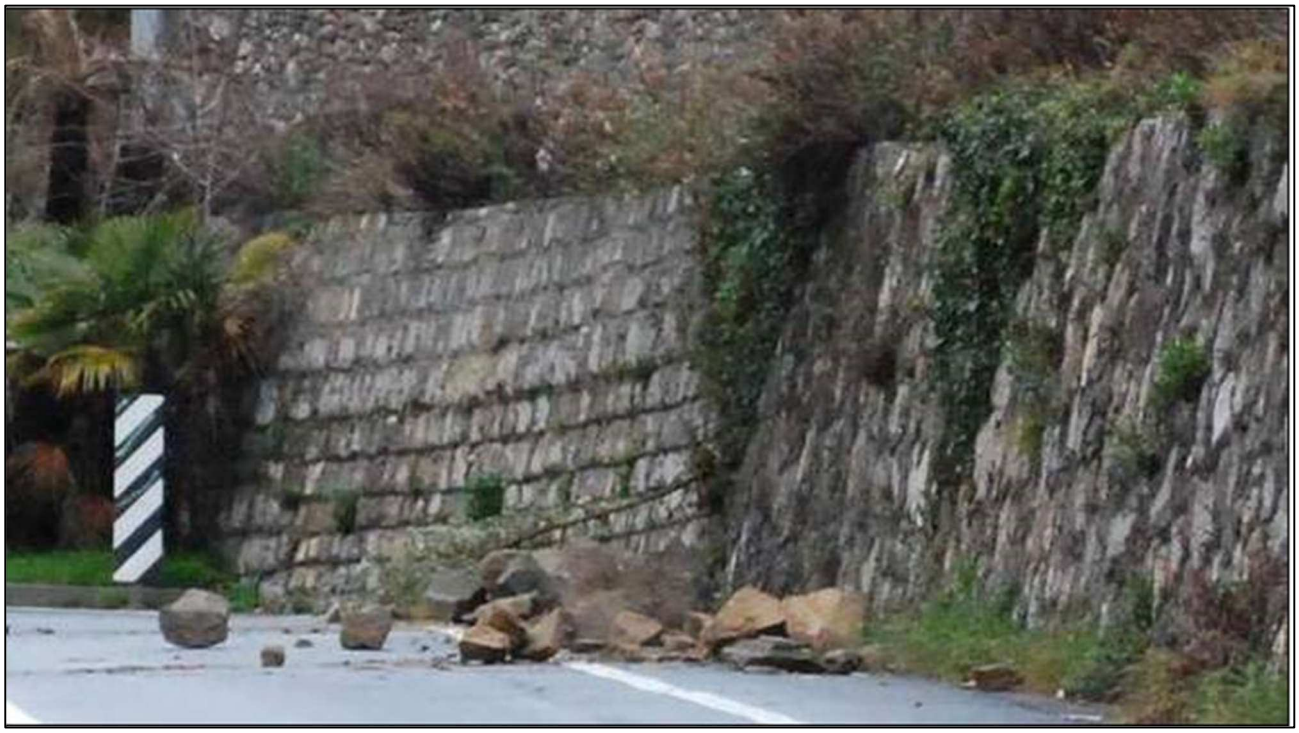


Figura 34; Foto del 07/02/2009

Analoghi distacchi si presentano al 02/03/2018, a seguito dei quali Ans interviene con rinforzo delle reti presenti sul Flysch di Ventimiglia, nella parte alta del versante.

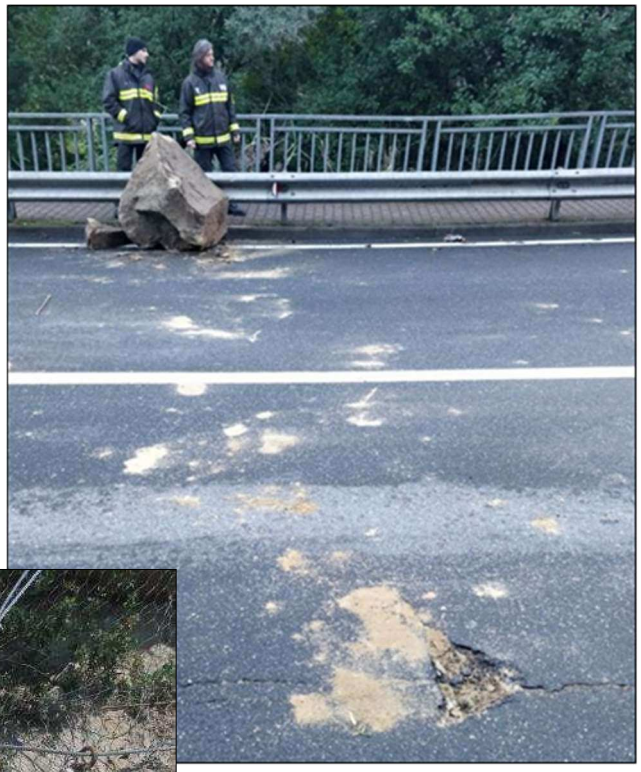


Figura 35: Crollo del 02/03/2018



Rete esagonale a maglia "piccola" posta in opera da privati (1986).

Rete a maglia "larga" romboidale sovrapposta e posta in opera da ANAS con funi in acciaio di rinforzo (2018)

Figura 36: Interventi ANAS (2018) sovrapposti ad interventi di privati (1986)



Figura 37: Analoga situazione si ritrova a valle dell'Autostrada, poco più a NW delle foto precedenti

Anche in questo caso la scarpata risulta consolidata da interventi con reti in aderenza a protezione della stabilità dei terreni a valle della E80.



Figura 38: Erosione superficiale nelle marne siltose

Soprattutto alla base dei versanti, sia in destra che in sinistra del Rio Sorba, la sottile cotica di ricoprimento delle Marne siltose è soggetta a dilavamento, con locale destabilizzazione delle specie di alto fusto, che non hanno apparati radicali sviluppati in profondità, bensì arealmente: in tal senso l'eventuale mobilitazione della sottile cotica vegetale, può coinvolgere nello scoscendimento le specie arboree di medio-alto fusto.



Figura 39: Vista sul versante in destra in prossimità dell'incrocio con la Via Aurelia

Le problematiche di versante incidono comunque in maniera secondaria sul sedime a progetto, laddove o risultano esterne all'area d'interesse, o risultano contenute con adeguate opere: solo localmente, come nella foto sopra, insistono direttamente su aree interessate dalla viabilità o dagli interventi in progetto.

Il paraggio è dominato invece dalle problematiche generate dal riempimento vallivo, effettuato con lo smarino di galleria stoccato durante la costruzione dell'autostrada, accumulato sul fondovalle e disposto su ampie terrazze digradanti verso il mare. Simili scempi devastano buona parte delle vallette liguri ed hanno imposto alla posterità pesanti gravami, laddove la Società Autostrade non solo ha accumulato il terreno da essa prodotto "occupando" l'alveo demaniale, ma impone tributi ulteriori alla portata di deflusso, convogliando dalle opere idrauliche "dedicate" gli scoli della piattaforma stradale. Tali ulteriori contributi sono stati lasciati liberi di erodere il corpo del rilevato, senza l'opportuna realizzazione di forme di canalizzazione protetta e sostitutiva dell'originario alveo.

Il corso originario del rio Sorba, interamente seppellito dallo smarino di galleria, non svolge più alcuna funzione di drenaggio. Le acque pertanto scolano direttamente sul corpo del rilevato, ove hanno scavato un canale di erosione che tuttavia assume le funzioni di "alveo" e scorre parallelo alla pista di cantiere ubicata in sponda orografica destra.



Figura 40: Canale di scolo "dedicato" della rete autostradale ormai semisepolto dalla vegetazione

L'incremento della portata da monte verso valle, a seguito dei contributi laterali fra cui anche le opere dedicate provenienti dall'Autostrada, sfocia in modo non controllato sul piede frontale del rilevato, costituito dall'unghia basale dell'accumulo, ove esercita la sua massima funzione erosiva, oltretutto dovendo percorrere una curva sinistrorsa per rientrare nell'alveo naturale del rio e passare sotto il ponte della Via Aurelia a sedime del tornante stradale.

E' dunque evidente come l'azione erosiva, libera di esplicarsi sul corpo di colmata, "armi" potenzialmente la piena, con un trasporto solido molto maggiorato, che rende l'azione delle acque ancor più distruttiva, sia laddove le stesse esondino direttamente sulla via Aurelia, sia che – rimanendo in sede – percorrano i terreni della sottostante Villa Hanbury.



Figura 41: L'ampia sezione di deflusso a valle dell'intersezione con la Via Aurelia. Sotto il corpo della colmata, ormai semisepolto dalla rigogliosa rivegetazione spontanea, che oblitera completamente le serre sepolte





Figura 42: L'interno delle serre, nei pochi punti ancora accessibili

E' di tutta evidenza come la presenza delle serre, sebbene obliterata dai rampicanti, **renda l'intervento in progetto estremamente utile per restituire un'ampia zona di territorio ad una permeabilità "naturale"**, contribuendo significativamente a mitigare il dissesto idrogeologico locale.

Per quanto attiene agli aspetti più prettamente idraulici, si rimanda al contenuto della relazione specialistica.

Quale ultima notazione si sottolinea come la presenza del rilevato ingeneri potenziali problemi di appoggio in fondazione delle nuove strutture, nonché potenziali effetti sismici (da fenomeni di assestamento a possibili amplificazioni superficiali).

Effettivamente i riporti hanno subito nel corso degli ultimi 70 anni, una notevole attività di *aging*, termine anglofilo per indicare la progressiva tendenza al costipamento naturale dei riporti.

E' altrettanto vero che l'appoggio diretto delle fondazioni ad esempio su platea molto estesa, può essere confortato da sufficiente portanza (verificando gli equilibri a rottura), ma per una serie di complesse iterazioni fra le fasi solide e fluide in tale tipo di terreno insaturo, spesso non risultano verificati i cedimenti a lungo e lunghissimo termine, obbligando ad un approfondimento esecutivo volto ad appurare la necessità di fondazioni profonde, come micropali quali fattori di riduzione dei possibili cedimenti.

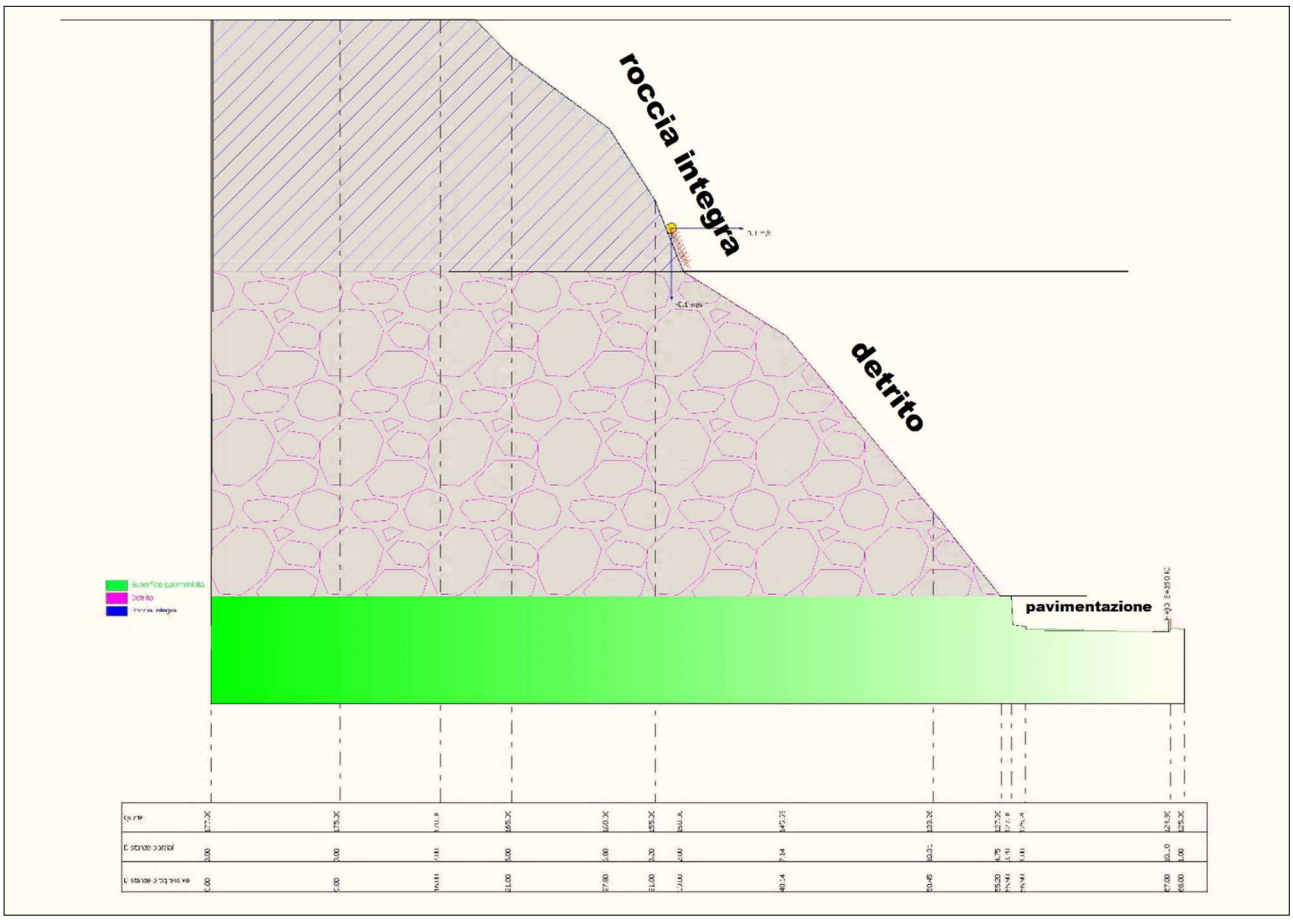


Figura 43 :Dalla foto satellitare è forse meglio identificabile l'estensione delle aree coperte delle serre. Sotto il ritano di erosione a fianco della pista di cantiere di accesso all'area



MODELLAZIONE NUMERICA DEL CROLLO

L'analisi numerica del pericolo di crollo conferma la necessità delle opere dicontenimento realizzate in sito, verificando la possibilità di arrivo di proiettili sino alla via Aurelia. Il programma opera sia con il modello Lumped Mass che con il C.R.S.P. Per il modello Lumped Mass le ipotesi di calcolo sono: schema piano, profilo del pendio assimilabile ad una spezzata costituita da segmenti rettilinei, blocco puntiforme e resistenza dell'aria trascurabile. Il Modello CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program) è stato messo a punto da Pfeiffer e Bowen (1989) con lo scopo di modellare il moto di caduta di blocchi aventi la forma di sfere, cilindri o dischi, con sezione circolare, nel piano verticale del movimento.
Le condizioni di calcolo a contorno, per quanto attiene al pendio sono esemplificate nella figura seguente, in cui si esplicita anche la sezione indicativa di riferimento:



In cui i fattori di restituzione normali e tangenziali sono i seguenti:

Elenco materia li

N	Descrizione	Rn	Rt	Rugosità (m)	Frequenza (m)	Texture
1	Roccia integra	0.9	0.8	0		
2	Roccia alterata	0.7	0.7	0		
3	Sabbia	0.4	0.6	0		
4	Detrito	0.6	0.6	0		
5	Detrito fino	0.32	0.82	0		
6	Detrito vegetato	0.29	0.8	0		
7	Detrito con arbusti	0.3	0.7	0		
8	Terreno o prato	0.31	0.79	0		
9	Superficie pavimentata	0.4	0.9	0		

La rugosità locale non viene considerata in rapporto alle elevate dimensioni del masso, laddove dunque le asperità locali non possono incidere significativamente sulle traiettorie: inoltre la porzione di versante in Marne Priaboniane appare regolarmente disposta, senza evidenti irregolarità. Non si considera preliminarmente l'influenza delle reti in aderenza posta su parte del versante in sinistra orografica.

Le caratteristiche del blocco di progetto, come sopra motivate, sono le seguenti:

CARATTERISTICHE DEL BLOCCO

==========

Forma del blocco	Sferico		
Densità	2500.0	Kg/m³	
Elasticità	1000000.0	kPa	
Velocità iniziale in x		0.1	m/s
Velocità iniziale in y		-0.1	m/s
Velocità limite di arresto		0.01	m/s
Diametro	0.7	m	

==========

Massa	448.986	Kg	
Peso	448.986	Kgf	
Momento d'inerzia		22.0	Kgxm2

==========

Impostando il distacco del masso di progetto alla quota +153 m (circa tre metri al di sopra del confine fra le proprietà Zecca/Palmero, ossia proprio in corrispondenza delle nicchie di distacco visibili sull'erta parete in Flysch che demarca l'area di distacco, si ottengono, in base a semplici leggi di caduta dei gravi, velocità di impatto sulla scarpata pari al massimo a circa 7 m/sec.

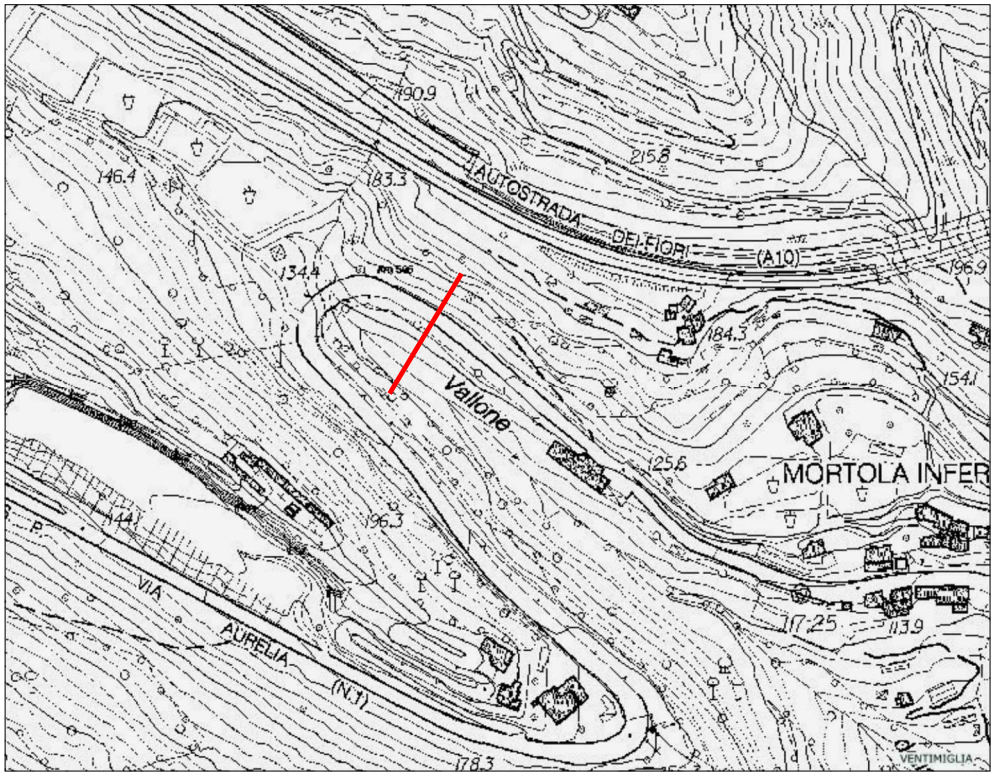
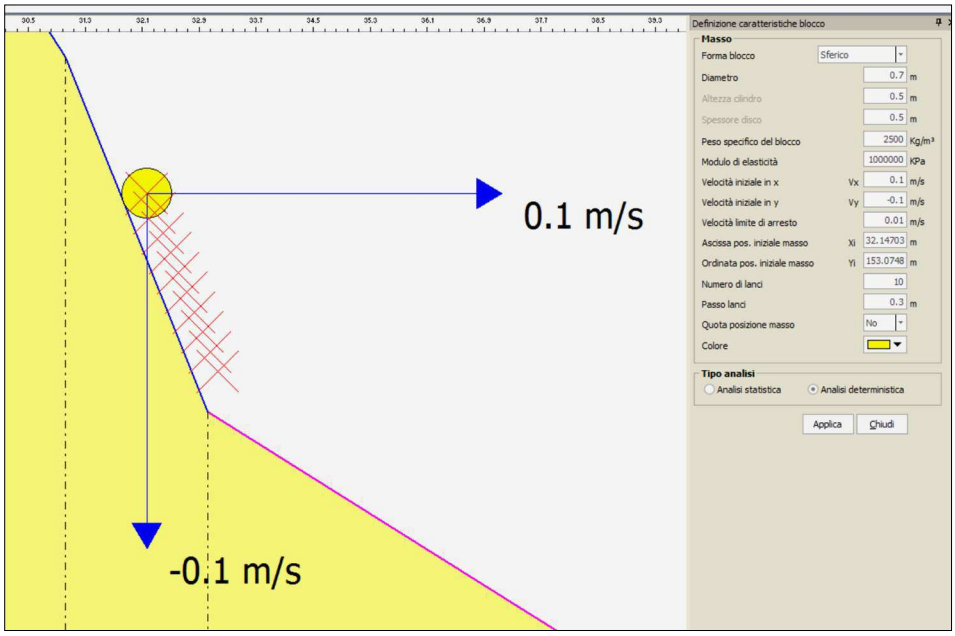


Figura 44: Ubicazione sezione di calcolo



Il programma simula la traiettoria di n° 10 gravi distaccatisi dalla parete rocciosa da altezze via via decrescenti, e precisamente diminuite di 0.3 m al ogni lancio.
Ciò significa che la velocità finale di caduta libera (o, se si preferisce, la velocità iniziale di urto sul versante) passa da circa 7 m/sec (hcaduta = 3 m) a poco più di 3.0 m/sec (hcaduta = 0.5 m).

La simulazione mostra come soltanto due massi arrivino fino alla strada, e precisamente quelli relativi alle traiettorie n° 1 e n° 2, ossia quelle relative ai punti di distacco ubicati più in alto, e dotati quindi delle maggiori velocità iniziali di rotolamento, arrestandosi sull'ostacolo formato dal guardia via stradale.
Il resto dei massi si ferma immediatamente alla base della ripida scarpata di distacco, e un paio sulla scarpata stessa.
Rispetto alla documentazione fotografica sopra allegata la simulazione appare ben aderente alla realtà.

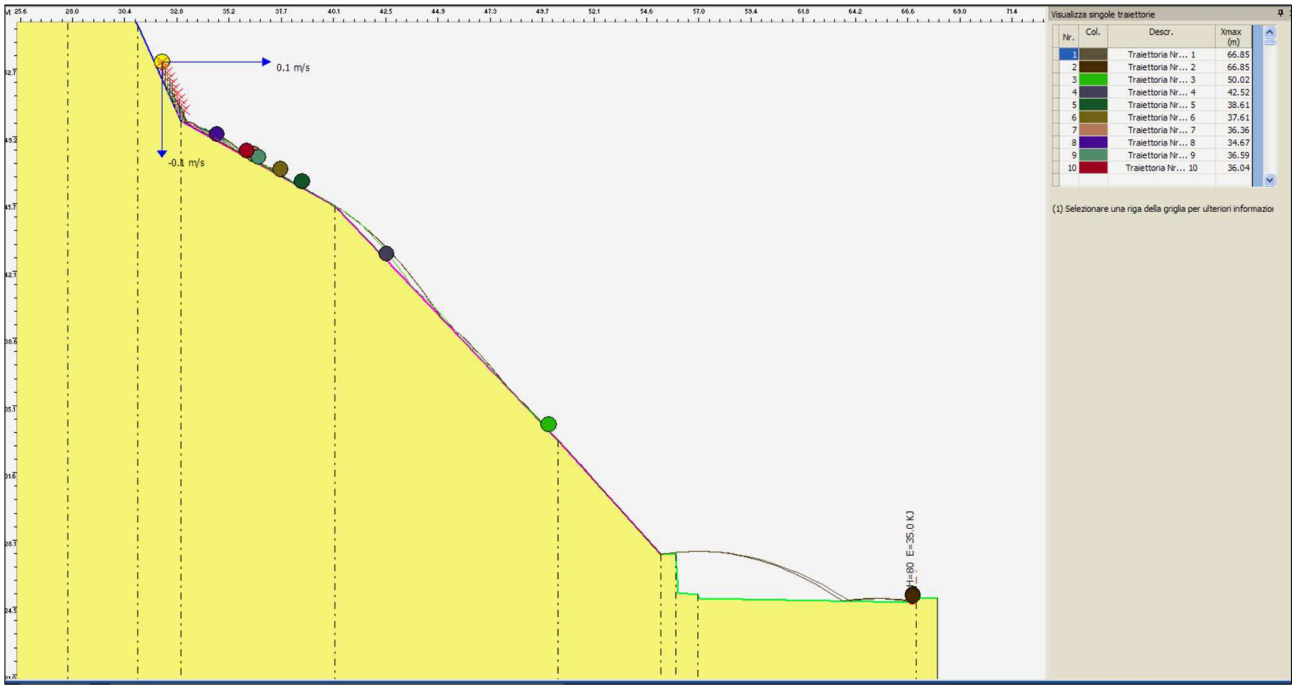


Figura 45; Risultati della simulazione

MODELLO GEOLOGICO

Attraverso il rilievo geologico di superficie, la ricerca bibliografica e cartografica, nonché l'esecuzione di specifiche prove in sito, viene definito il modello geologico locale.

GEOLOGIA E STRATIGRAFIA

La "geologia" dell'area presenta caratteri di notevole peculiarità, al punto da rientrare fra le categorie dei morfotipi da preservare in alcune sue emergenze degne di rilievo.

Il Sito di Interesse Comunitario IT 316118, posto a cavallo del promontorio di Capo Mortola, presenta un'acclività dell'ordine del 45% nella porzione superiore dell'area e nel versante ovest del Capo, che diminuisce nella porzione inferiore fino a presentare valori di poco superiori al 10% e con tratti sub-pianeggianti

Capo Mortola costituisce la terminazione meridionale di una stretta sinclinale con asse avente direzione circa nordovest-sudest, ed è una delle strutture che si sviluppano sul fianco dell'anticlinale di Grammondo. L'ossatura geologica dell'areale in studio è caratterizzata da rocce sedimentarie tipiche della Geologia delle Alpi Occidentali di confine, le cui litologie costituiscono la copertura del Dominio Delfinese-Provenzale (P.D.G. del S.I.C. – Programma Alcotra – Progetto Rete Natura 2000, Dott. S. Zanella e F. Dente).

Nella "culla" formata dalla sinclinale di capo Mortola troviamo all'interno i termini delle marne siltose di Olivetta S. Michele (OSM), appoggiate sulle Calcareniti di Capo Mortola (NCM), all'interno delle quali sono cartografabili "lenti" della Formazione a Microdium (MIC). Le formazioni quaternarie più recenti, cartografabili separatamente alla scala della carta, sono costituite da potenti accumuli detritici di versante presso la Mortola inferiore (a) e di frana (a1).

Ai bordi della struttura affiorano i termini della sequenza delle marne e calcari marnosi di Trucco.

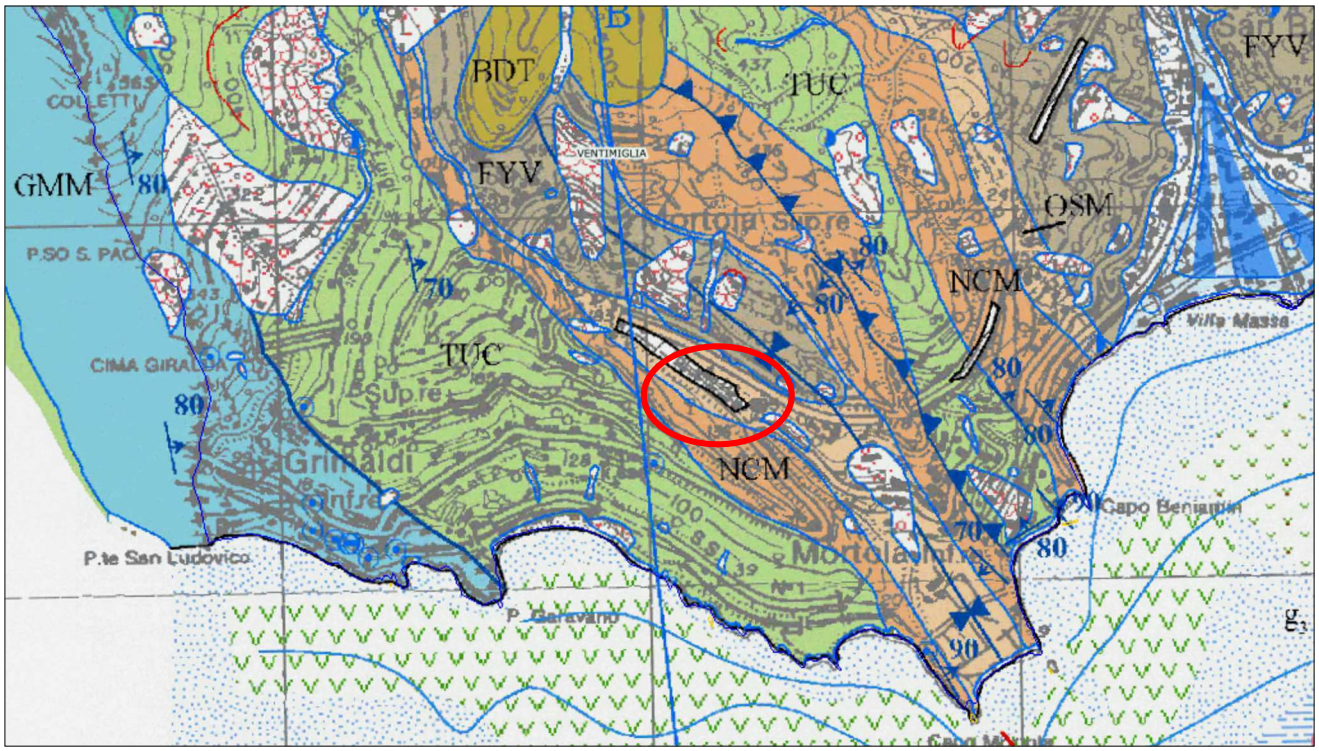


Figura 46: Stralcio Carta Geologica Progetto CARG

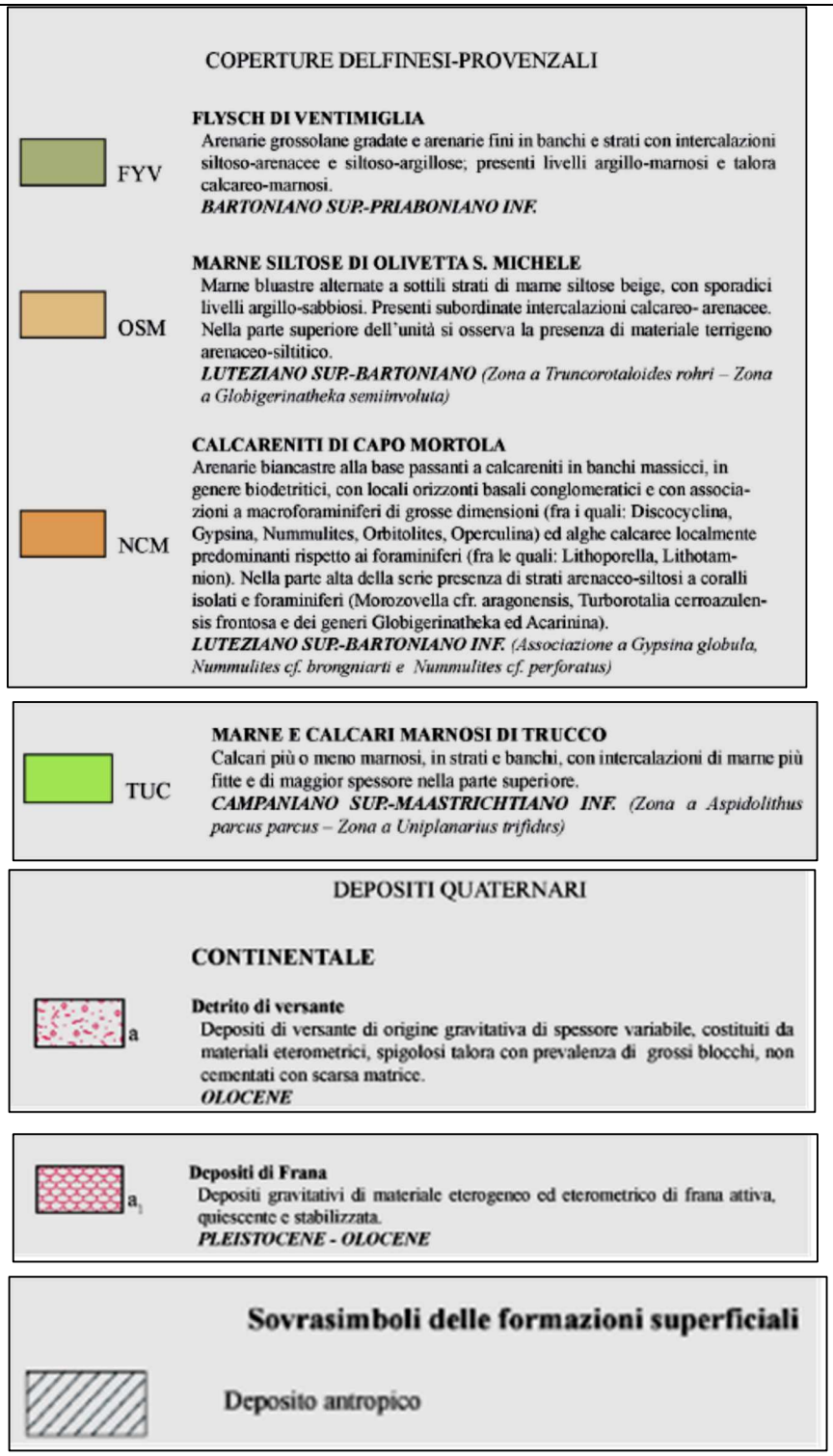


Figura 47: Legenda significativa della carta geologica

STRATIGRAFIA DELLA SUCCESSIONE DI AVAMPAESE

Rif. Note illustrative C.G. F. 257-270

- MARNE E CALCARI MARNOSI DI TRUCCO (**TUC**)

Calcari e calcari marnosi, di piana bacinale, in strati di spessore decimetrico e pluridecimetrico con interstrati marnosi che si alternano dapprima in proporzioni variabili e verso l'alto diventano più fitti e di spessore maggiore. La formazione affiora nella parte occidentale e in quella settentrionale dei due fogli dove offre buone esposizioni sia lungo tutta la parte italiana della Val Roja tra Trucco e il confine, sia dal Passo Muratone lungo la via che porta al Monte Toraggio. I piegamenti presenti all'interno della formazione rendono di difficile definizione il suo spessore massimo che può essere valutato attorno ai 200 m.

- CALCARENITI DI CAPO MORTOLA (**NCM**):

Conosciute in letteratura come "calcari a nummuliti", rappresentano il prodotto della trasgressione eocenica i cui sedimenti, di piattaforma terrigena e localmente di scarpata interna a macroforaminiferi, sono noti da tempo e citati in bibliografia (BOUSSAC, 1912; LANTEAUME, 1968; VANOSSI *et alii*, 1984). La formazione affiora in corrispondenza di sinclinali allungate in direzione circa nord-sud, nella parte centrale dei fogli, dalla costa (di Capo Mortola) sino al confine settentrionale italo-francese e sui monti Toraggio e Pietravecchia. La porzione inferiore dell'unità è costituita da arenarie biancastre alla cui base è talora presente un orizzonte conglomeratico contenente anche clasti di marne a *Microcodium*. Le arenarie vanno da quarzoso-feldspatiche (grovacche) a prevalentemente quarzose (arcose) in strati da decimetrici a metrici, con bioclasti costituiti da nummulitidi. Queste passano a calcareniti, in banchi massicci e potenti anche diversi metri, privi di strutture sedimentarie, con locali orizzonti conglomeratici basali e abbondanti associazioni a macroforaminiferi (Fig. 3) di dimensione anche pluricentimetrica, coralli sia isolati, come *Trochosmilia corniculum*, sia coloniali (CARBONE *et alii*, 1980), megalodontidi e alghe calcaree. Nei settori settentrionali dei fogli il contenuto in macroforaminiferi è localmente subordinato a quello delle alghe calcaree, aspetto peraltro già segnalato da LANTEAUME (1968) e che ha indotto gli autori del Foglio 258-271 San Remo (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2010) a istituire il Membro Calcareniti di Loreto (**NCM1**) caratterizzato appunto da un maggior contenuto in alghe rispetto ai settori meridionali (Capo Mortola), dove prevalgono i macroforaminiferi. In questa sede non si procederà ad una suddivisione in membri in quanto si è ritenuto che tali differenze nel contenuto paleontologico non rappresentino un carattere utile e sufficiente ad operare rilevanti distinzioni litostratigrafiche, quanto piuttosto esprimano una locale variazione di facies.

Le calcareniti sono alternate a orizzonti siltoso-arenaceo e marnosi il cui spessore diventa predominante via via verso il tetto dell'unità al passaggio con le marne di Olivetta. Lo spessore di questa unità varia da circa 40 a 110 m. I campioni esaminati hanno rilevato la presenza di macroforaminiferi come *Gypsina globula*, *Lenticulina* sp., *Asterocyclina* sp., *Discocyclina* sp., *Orbitoclypeus* sp., e, oltre a grossi esemplari di *Nummulites* sp. ed *Assilina (Operculina)* sp., anche *Nummulites* cf. *brongniarti* e *Nummulites* cf. *perforatus* riferibili alla biozona SB 17 di SERRA-KIEL *et alii* (1998) e alla biozona locale MALF1 (VARRONE & DECROUEz, 2007), cioè nel Bartoniano inferiore. Gli intervalli marnosi intercalati alle calcareniti ed affioranti nella stessa sezione hanno fornito associazioni a foraminiferi in genere mal conservate e caratterizzate da rari orarissimi individui; tra questi da segnalare la presenza, seppur modesta e sporadica, delle specie planctoniche *Morozovella* cfr *aragonensis*, *Turborotalia cerroazulensis frontosa* e dei generi *Globigerinatheka* ed *Acarinina*.

Sulla base dell'associazione a foraminiferi planctonici sopra descritta le Calcareniti di Capo Mortola possono essere attribuite al Luteziano superiore, Bartoniano inferiore.

- MARNE SILTOSE DI OLIVETTA S. MICHELE (**OSM**)

Note in letteratura come "marne a globigerine" (CAMPREDON, 1977) si sviluppano al di sopra delle Calcareniti di Capo Mortola con passaggio graduale costituito da banchi alternanti delle due diverse litofacies sia al tetto delle calcareniti che nella parte inferiore delle marne. Si tratta di emipelagiti rappresentate da marne bluastre, marne siltose e marne calcaree, biancastre sulla superficie di alterazione, con strati di spessore decimetrico e metrico, frequentemente caratterizzate da un clivaggio di frattura verticale tipo *pencil cleavage* a luoghi molto penetrativo.

Affiorano in corrispondenza delle sinclinali citate sopra (§ 2.1.7) per uno spessore massimo di 100 m.

I campioni prelevati nei dintorni di Olivetta San Michele per l'analisi sia delle associazioni a foraminiferi sia per lo studio delle nannoflore calcaree hanno fornito, seppur con riserva, una età bartoniana (dubitativamente luteziana sup.) - priaboniana inferiore. Nella porzione basale dell'unità sono infatti presenti le specie planctoniche *Globigerinatheka* spp., ad esclusione di *G. semiinvoluta*, *T. cerroazulensis pomeroli* e *T.cerroazulensis cerroazulensis*, mentre salendo verso il tetto, compare anche la specie *G.semiinvoluta*, la cui prima comparsa si verifica durante il Bartoniano sommitale e insieme a*T. cerroazulensis cerroazulensis* caratterizza il Priaboniano inferiore. I foraminiferi bentonici rinvenuti (*Nuttalides trümpy*, *Anomalinoides alazanensis*, *Gyroidinoides girardanus* e *Vulvulina spinosa*), sono in accordo con i dati sopra menzionati. In particolare la specie *N. trümpy* è segnalata in area mediterranea (MANCIN *et alii*, 2003; 2007) limitatamente distribuita fino al Priaboniano inferiore.Nelle note illustrative del Foglio San Remo (GIANMARINO *et alii*, 2010), le Marne di Olivetta sono state attribuite al Luteziano superiore-Bartoniano.

- FLYSCH DI VENTIMIGLIA (**FYV**)

Noto anche come Grés d'Annot degli AA. Francesi (LANTEAUME, 1968), l'unità è formata da ritmi torbiditici costituiti da alternanze di arenarie e peliti di colore grigio marrone. La formazione è variamente distribuita nei fogli, occupa il nucleo di strutture sinclinaliche ed affiora nel settore centro-orientale del Foglio Dolceacqua, sino sulle pendici meridionali del M. Toraggio, ove raggiunge uno spessore massimo di ca. 400 m. La formazione è costituita da arenarie grossolane gradate e arenarie fini in banchi e strati con intercalazioni siltoso-arenacee e siltoso-argillose; presenti livelli argillo-marnosi e talora calcareo-marnosi. Gli strati presentano frequenti strutture sedimentarie con impronte da carico, lamine pianoparallele e convolute, *flute casts* e spettacolari fenomeni di *slumping* (Fig. 6). La composizione delle arenarie, che è data da quarzo, feldspati e miche rappresentate da clorite, muscovite e biotite, varia da termini arcosici a grovacche con poca o tanta matrice e presenza di cemento carbonatico. I campioni raccolti limitatamente nella parte basale dell'unità hanno fornito associazioni a foraminiferi poco significative (grandi globigerinidi e *Catapsydrax dissimilis*) dubitativamente attribuibili al Priaboniano superiore prevalentemente sulla base della posizione stratigrafica soprastante le Marne di Olivetta. Come nel Foglio San Remo (GIANMARINO *et alii*, 2010), questa formazione viene attribuita al Bartoniano superiore-Priaboniano inferiore.

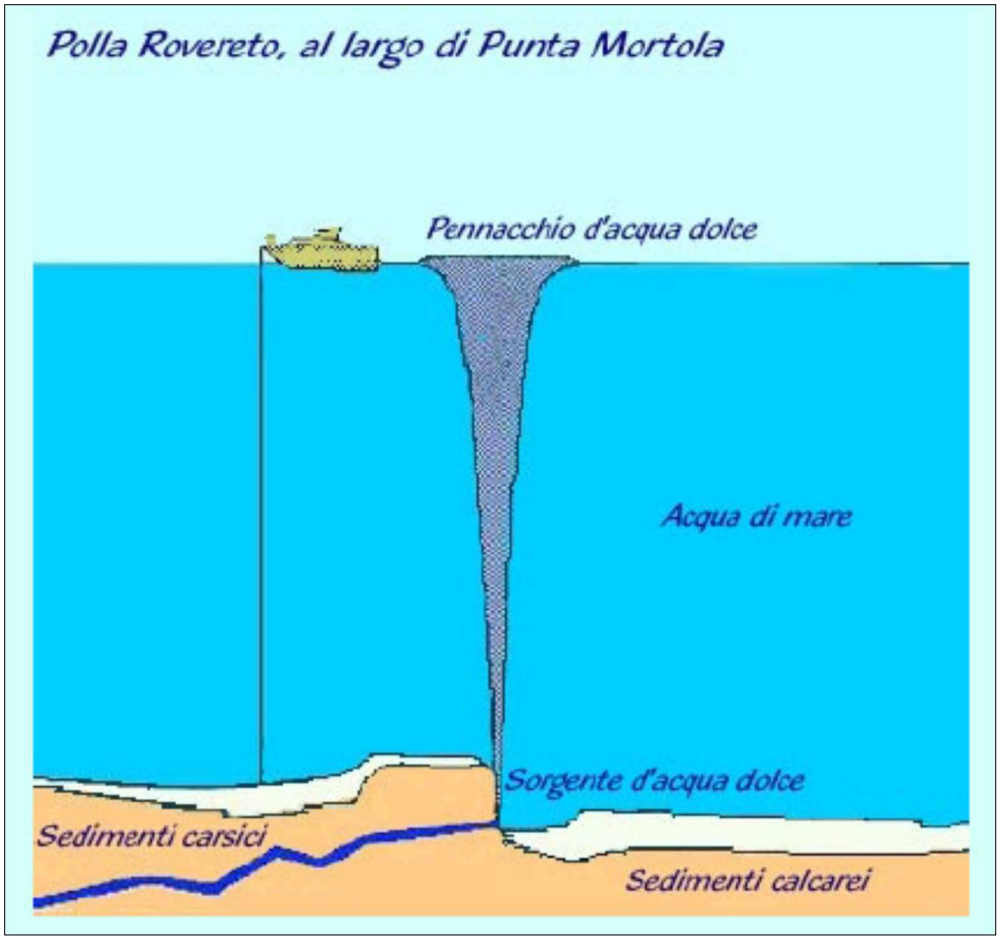
IDROGEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Cavità, grotte risorgive, terrazzi marini costituiscono ulteriori dettagli della particolarità geologica del paraggio, a cui si associa l'interesse paleontologico dei calcari di Capo Mortola, così ricchi di reperti fossili.

Inevitabilmente ricorre un riferimento al vicino sito dei Balzi rossi, che riveste un grandissimo interesse sia dal punto di vista geologico, per i sedimenti marini fossiliferi che per i reperti paleontologici (TINÈ, 1990) che consentono di tracciare l'evoluzione geomorfologica dell'area e della sua frequentazione da parte dell'uomo, e di segnarne anche le tappe cronologiche.

Data la notevole estensione degli affioramenti di rocce carbonatiche nell'area in esame sono diffusi i fenomeni carsici e le relative morfologie. Infatti sono presenti manifestazioni sia epigee con campi carreggiati e solcati, sia ipogee con pozzi e cavità di varie dimensioni, ma anche con la presenza di alcune sorgenti carsiche poste vicino al livello del mare e sottomarine. Tra le prime, tutte a bassa portata, una si trova alla radice orientale e due sul lato occidentale di Punta Garavano, poco distante dall'area di studio, una tra la Baia Beniamino e Capo Mortola ed una ad Est del capo.
Quest'area riveste però un particolare interesse soprattutto per quanto riguarda le sorgenti sottomarine, che sgorgano con buona probabilità dal Giurese (Fig. 6.2). In particolare ne sono state individuate alcune lungo la prosecuzione in mare di Punta Garavano: due di esse si trovano a 27 e a 28 m di profondità e a 30 m di distanza tra loro, su un terrazzo lievemente inclinato ai piedi di una scarpata rocciosa, e si presentano come zone sabbiose subcircolari, prive di flora, del diametro di oltre un metro, circondate da roccia e sabbia, su cui prospera una più o meno fitta vegetazione (Calvino e Stefanon, 1963). La sorgente principale, nota come "Polla Rovereto", si trova però poco più al largo, a quasi 800 m dalla costa e ad una profondità di 39 m, sempre sulla prosecuzione di P. Garavano, in direzione di circa 150°.
Le sorgenti subacquee della Mortola sono alimentate da condotti a U formatisi nel calcare giurese per soluzione ad opera di acque sotterranee contenenti anidride carbonica (Calvino e Stefanon, 1963). Le sorgenti un tempo emerse hanno poi continuato la loro attività anche dopo essere state coperte dal mare.

Secondo De Marchi (1922) le fasi ripetute di abbassamento del livello marino hanno ravvivato più volte l'azione carsica, ampliando le cavità sotterranee e facendo progressivamente calare la quota delle sorgenti. Ad ogni nuova avanzata del mare il livello di base si rialzava, ma non fino a quello primitivo, a causa della maggiore capacità dei vani. Potevano così tornare in attività solamente le sorgenti più basse, anche se sommerse, e si può supporre che ciò sia avvenuto anche alla Mortola.
Questi condotti contengono acqua in pressione e i valori di pressione e portata ai diversi sbocchi dipendono dalla forma e dalle dimensioni delle vie di circolazione: una comunicazione diretta con l'esterno attraverso cunicoli e gallerie di ampia sezione, anche se sotto decine di metri di mare, viene scelta dall'acqua rispetto ad un percorso stretto e tortuoso più in alto e all'aperto (Diviacco, in prep.).(ciaz. da:SIC IT1316118 Capo Mortola, Piano di Gestione, autori vari, Settembre 2016).



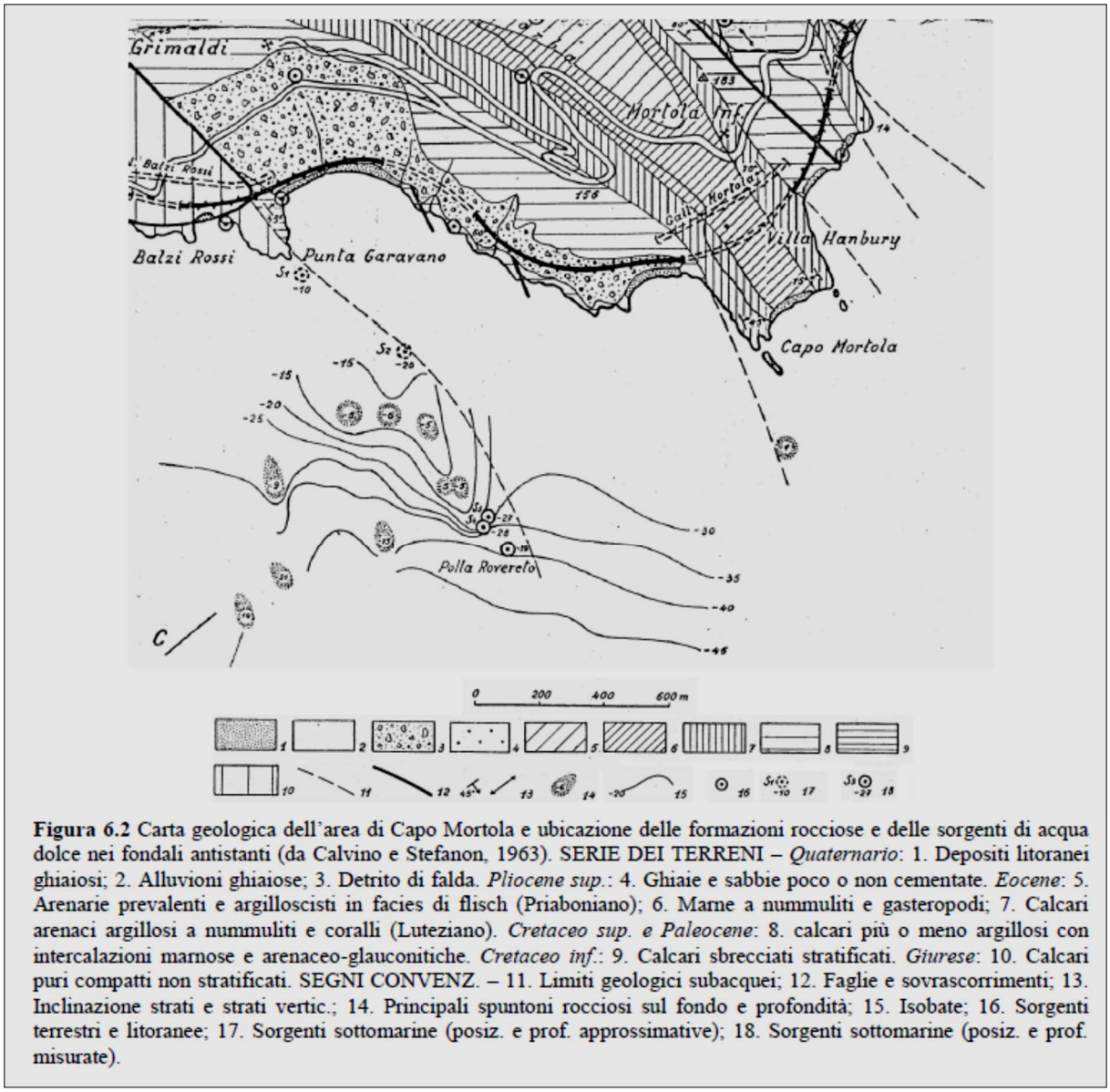


Figura 6.2 Carta geologica dell'area di Capo Mortola e ubicazione delle formazioni rocciose e delle sorgenti di acqua dolce nei fondali antistanti (da Calvino e Stefanon, 1963). SERIE DEI TERRENI – *Quaternario*: 1. Depositi litoranei ghiaiosi; 2. Alluvioni ghiaiose; 3. Detrito di falda. *Pliocene sup.*: 4. Ghiaie e sabbie poco o non cementate. *Eocene*: 5. Arenarie prevalenti e argilloscisti in facies di flisch (Priaboniano); 6. Marne a nummuliti e gasteropodi; 7. Calcari arenaci argillosi a nummuliti e coralli (Luteziano). *Cretaceo sup. e Paleocene*: 8. calcari più o meno argillosi con intercalazioni marnose e arenaceo-glauconitiche. *Cretaceo inf.*: 9. Calcari sbrecciati stratificati. *Giurese*: 10. Calcari puri compatti non stratificati. SEGNI CONVENZ. – 11. Limiti geologici subacquei; 12. Faglie e sovrascorrimenti; 13. Inclinazione strati e strati vertic.; 14. Principali spuntoni rocciosi sul fondo e profondità; 15. Isobate; 16. Sorgenti terrestri e litoranee; 17. Sorgenti sottomarine (posiz. e prof. approssimative); 18. Sorgenti sottomarine (posiz. e prof. misurate).

Figura 48: Le sorgenti sottomarine

Tuttavia tali spettacolari manifestazioni carsiche non trovano corrispondente alcuno a terra, laddove nell'area d'intervento non solo non sono presenti risorgive, ma l'aspetto idrogeologico predominante è costituito altresì dai fenomeni di **ruscellamento superficiale ed areale**, soprattutto a valle del contatto fra le Calcareniti di Capo Mortola e la formazione decisamente più impermeabile della Marne di Trucco, come mostrato nella rassegna fotografica delle problematiche locali sopra esposta.

Nella sezione geologica sotto allegata, ove è mostrata la struttura geologica alla mesoscala, è possibile riconoscere l'andamento "a culla" degli strati verso il vallone del rio Sorba, che non a caso ospita il rio, essendo la sede naturale di arrivo dei deflussi superficiali e sotterranei.

Dal nucleo verso l'esterno della piega sinclinalica, si succedono i terreni in ordine di età, dal più "giovane" (Flysch di Ventimiglia) al più antico (Marne di Trucco).

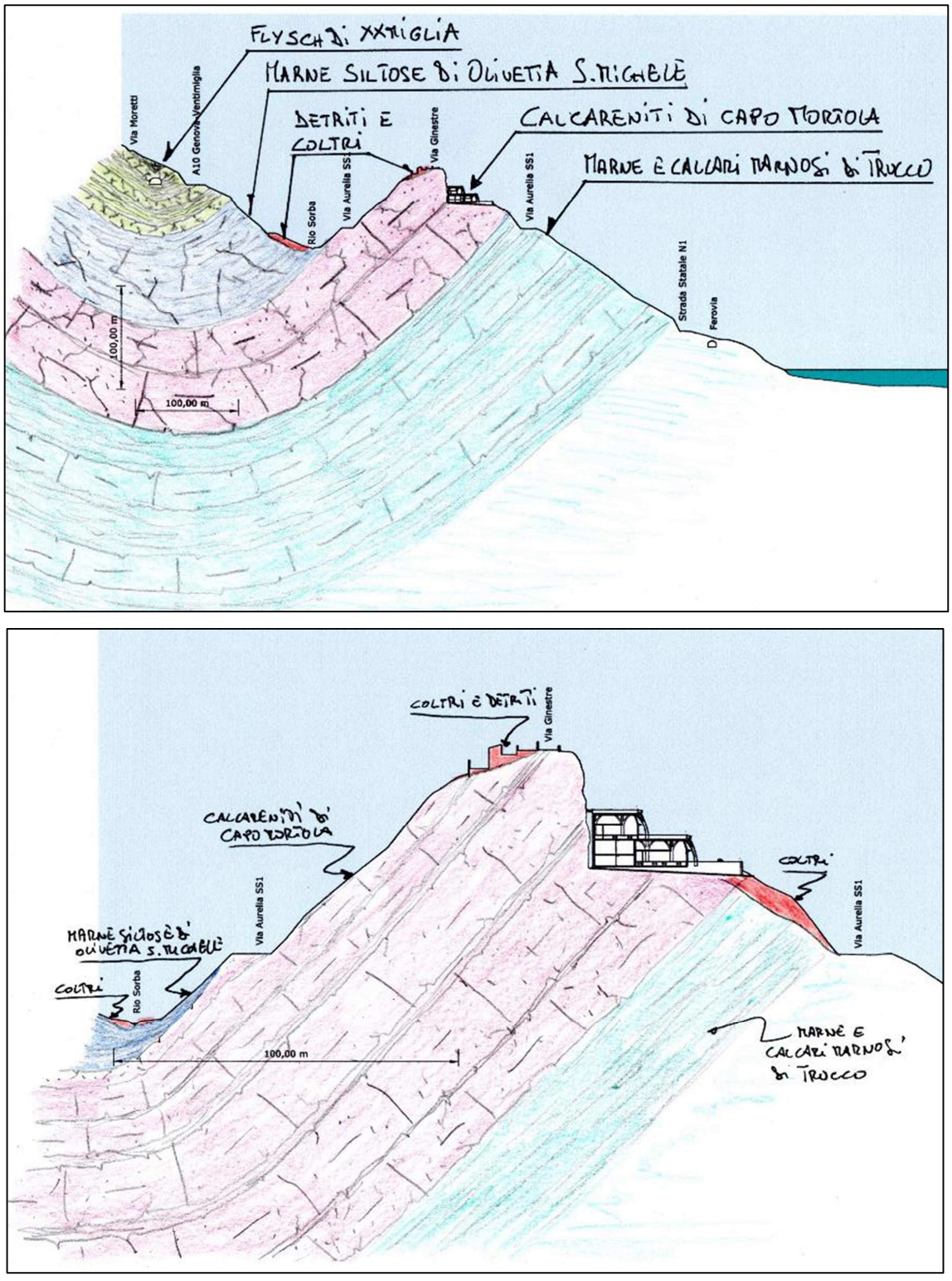


Figura 49: Schema geologico in sezione Est/Ovest

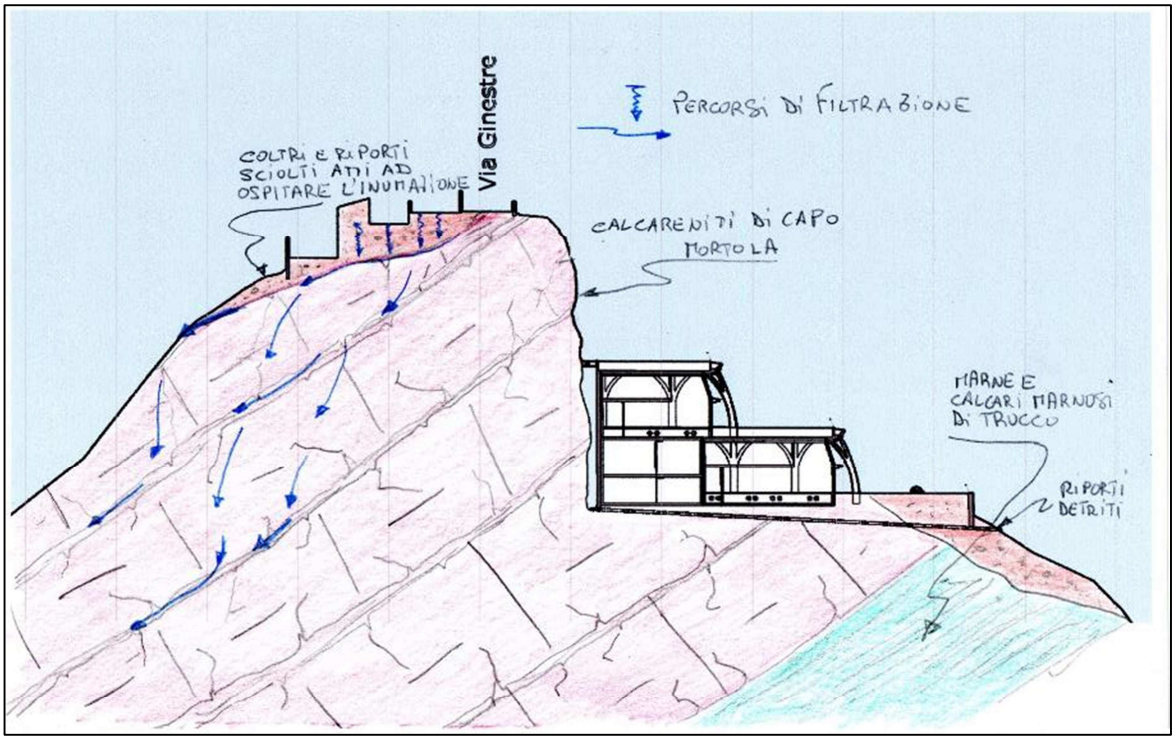


Figura 50: Percorsi di filtrazione

Nella sezione geologica alla mesoscala, si può notare come la formazione carsica delle Calcareniti di Capo Mortola, sia "confinata" all'interno di due formazioni "marnose", costituite al tetto dalle Marne di Olivetta S. Michele e alla base dalle Marne di Trucco. Appare dunque maggiormente chiaro come la struttura sinclinalica svolga il compito di "trappola" per le acque, laddove la porzione di ammasso che porta contributi sotterranei per carsismo e/o elevata fratturazione (le Calcareniti di Capo Mortola), possono interamente convogliare il loro carico laddove non vi sono perdite alla base, in presenza di litologie marnose decisamente più impermeabili, e che efficacemente "costringono" il percorso delle acque verso il rio Sorba.

Sul versante meridionale del rilievo l'attività carsica è molto inferiore, laddove appunto la disposizione tettonica è sfavorevole ad un efficace sviluppo di percorsi di filtrazione ipogei, mentre predominano gli scorrimenti superficiali, con azioni erosive sulle marne e sui depositi superficiali di coltre detritica.

FATTORI DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICI

L'area d'intervento della cava e sul versante meridionale (Parco urbano) sono del rilievo a forte pendenza, con pendenze medie superiori a 30° e quasi verticali sul fronte di cava.
L'area d'intervento sul rio Sorba insiste su un fondovalle pianeggiante, con amplificazione topografica nulla.

Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15°$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15°$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15° \leq i \leq 30°$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30°$

Tabella 3.2.VI – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica* S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Ne deriva un fattore di amplificazione topografica

- Area Cava e Parco Urbano: **da 1.0 a 1.4** in funzione linearmente decrescente dalla cresta al livello del mare
- Area Rio Sorba: **1.0**

IDROGEOLOGIA NELL'AREA CIMITERIALE

Nel solco tracciato dall'editto di Saint Cloud, si colloca il Testo Unico delle Leggi Sanitarie R.D. n. 1265 del 27 luglio 1934, che introdusse per quanto riguarda la collocazione dei cimiteri l'art. 338.

Tale articolo prevede che : "*I cimiteri devono essere collocati alla distanza di almeno 200 metri dal centro abitato. È vietato costruire intorno ai cimiteri nuovi edifici entro il raggio di 200 metri dal perimetro dell'impianto cimiteriale, quale risultante dagli strumenti urbanistici vigenti nel comune o, in difetto di essi, comunque quale esistente in fatto, salve le deroghe ed eccezioni previste dalla legge*".

In questo caso la ratio della norma persegue una molteplicità di interessi pubblici:

- la tutela di esigenze sanitarie;
- la tutela della sacralità del luogo;
- preordinazione dell'area alla possibile espansione del plesso cimiteriale;

Il comma 5° di detta disposizione, che qui interessa, è stato nel tempo più volte modificato da ultimo con l'art. 28, comma 1, lett. b) della legge 1 agosto 2002 n. 166, introducendo specifiche deroghe alla fascia di rispetto prevista dal TULS, prevedendo che: "*Per dare esecuzione ad un'opera pubblica o all'attuazione di un intervento urbanistico, purché non vi ostino ragioni igienico-sanitarie, il consiglio comunale può consentire, previo parere favorevole della competente azienda sanitaria locale, la riduzione della zona di rispetto tenendo conto degli elementi ambientali di pregio dell'area, autorizzando l'ampliamento di edifici preesistenti o la costruzione di nuovi edifici. La riduzione di cui al periodo precedente si applica con identica procedura anche per la realizzazione di parchi, giardini e annessi, parcheggi pubblici e privati, attrezzature sportive, locali tecnici e serre*".

Nella sezione geologica di dettaglio, sopra presentata, sono inoltre evidenziati i percorsi delle acque di filtrazione che possono provenire dal Cimitero dei Ciotti.

La struttura cimiteriale è ubicata in posizione leggermente scostata dall'asse di colmo del crinale, insistendo nettamente verso il vallone del rio Sorba.

Infatti, verso il lato a mare, lo spazio è occupato dalla strada di via Ginestre, costruita con roccia affiorante a sedime.

Il cimitero invece, si appoggia a sedime in terreni sciolti (coltri, riporti), per l'evidente ragione di permettere l'inumazione a sufficiente profondità. Questi terreni sciolti, dotati di media permeabilità, sono completamente insaturi.

Infatti, nella posizione di crinale occupata dal cimitero non si ha presenza di falda stabile, laddove evidentemente le acque piovane si infiltrano nel terreno e devono compiere un lungo tragitto prima di arrivare alla falda stabile, orientativamente ubicata in corrispondenza del rio Sorba.

In un terreno insaturo sciolto, si sviluppano le condizioni ideali per l'abbattimento aerobico del carico microbico: infatti i pori e gli interstizi del terreno sono occupati da aria, che favorisce i fenomeni di ossidazione necessari al processo di "autodepurazione" sopra descritto.

In ogni caso la presenza della struttura geologica a sinclinale, obbliga di fatto le eventuali acque di filtrazione, che attraversano i terreni insaturi come passando attraverso un filtro purificatore, a dirigersi verso il rio Sorba, naturale ricettacolo delle acque superficiali e sotterranee.

Si noti, da un punto di vista puramente geomorfologico, come il versante Nord del rio Sorba definisca univocamente un solco vallivo di drenaggio delle acque, a differenza del versante Sud, in corrispondenza della ex Cava, ove non si sviluppano morfologie vallive rilevanti, con immersione regolare del crinale verso mare.

La struttura geologica quindi – in questo specifico caso – determina le caratteristiche dell'acquifero, concentrando i deflussi delle acque (e le conseguenti azioni erosive) interamente nel vallone del rio Sorba, il cui solco si approfondisce e si delinea nel tempo, sino ad assumere la conformazione attuale, mentre verso mare si hanno solo modeste strutture superficiali di deflusso delle acque di pioggia superficiali, senza sviluppo di solchi vallivi.

Per una preliminare valutazione della tutela delle esigenze igienico-sanitarie, è necessario premettere alcuni dati: nel far ciò alla naturale pietas, si lascia prevalere l'aspetto meccanico e scientifico nella trattazione.

Nel cimitero dei Ciotti ai cadaveri viene data sepoltura per inumazione (sepoltura in terra) e tumulazione (sepoltura in loculi).

Nel cimitero si svolgono essenzialmente due funzioni:

- luogo di deposito e trasformazione dei cadaveri senza pericolo per la salute pubblica;
- luogo di frequentazione pubblica, della memoria personale, storica e della comunità sociale.

Nel cimitero dunque si procede alla trasformazione di un cadavere in ossa (scheletrizzazione). Compiuto questo processo si può estumulare i resti ossei o corificati (al termine della durata della concessione dello spazio), che andranno in modo promiscuo nell'ossario, consentendo la rotazione successiva.

Più si facilita l'ossidazione (e quindi l'ossigenazione) e più sono rapidi i processi trasformativi.

Non si ottengono solo ossa, ma salme non decomposte interamente, con grado diverso di

consistenza, che secondo le condizioni sono originati da processi di:

a) saponificazione (trasformazione in adipocera, generalmente per eccesso di acqua o umidità nei suoli);

b) mummificazione (per effetto di eccesso di aria, per disidratazione);

c) corificazione (per tumulazioni in loculo stagno, in presenza di cassa metallica).

I riflessi ambientali dovuti alla presenza di un cimitero sono assimilabili per gli effetti sull'ambiente, ad una discarica di materiale organico, senza membrana sotterranea di protezione e con possibilità di diluizione e dispersione della materia organica nel terreno e nelle falde circostanti (Ing. D. Fogli, "Tecniche di trattamento dei cadaveri che si adottano nei cimiteri e loro rapporto con l'ambiente)..

La decomposizione dei cadaveri determina potenziali inquinanti chimici, in cui prevalgono composti a base di carbonio, ammoniaca, cloruri, solfati, sodio, potassio.

La seguente tabella indica i potenziali inquinanti di un corpo umano di 70 Kg. inumato, nell'arco di 10 annidi sepoltura in terra.

Esempio dei potenziali inquinanti di un corpo umano di 70 Kg. inumato, nell'arco di 10 anni di sepoltura in terra

Tabella 4 – Esempio dei potenziali inquinanti di un corpo umano di 70 Kg. inumato, nell'arco di 10 anni di sepoltura in terra

Year	Potential mass release (g)					
	C	NH4	P	SO4	Cd	Ni
1	6000.0	870.0	250.0	210.0	0.01875	0.00375
2	3000.0	435.0	125.0	105.0	0.009	0.002
3	1500.0	217.5	62.5	52.5	0.005	0.001
4	750.0	108.8	31.3	26.3	0.002	0.000
5	375.0	54.4	15.6	13.1	0.001	0.000
6	187.5	27.2	7.8	6.6	0.001	0.000
7	93.8	13.6	3.9	3.3	0.000	0.000
8	46.9	6.8	2.0	1.6	0.000	0.000
9	23.4	3.4	0.98	0.82	0.000	0.000
10	11.7	1.7	0.49	0.41	0.000	0.000

Fonte: Environment Agency della Gran Bretagna (Aprile 2004)

Di queste sostanze i più pericolosi sono nichel e cadmio, evidentemente presenti in minime tracce (proprio perché derivanti da attività biologica, con cui sono incompatibili in elevate concentrazioni). Di fatto quindi il potenziale inquinante è costituito essenzialmente dalla massa batterica e microbica e non dalla composizione chimica del cadavere.

La contaminazione delle acque può seguire due strade:

a) dall'alto, per effetto della lisciviazione dei terreni conseguenti la percolazione delle acque meteoriche (per pioggia), che scendendo nel terreno lambiscono il corpo in degradazione, trascinano taluni composti verso il basso e in particolare verso la falda acquifera. L'elemento più importante per la garanzia dall'inquinamento delle acque è la zona di terreno insatura compresa tra la falda acquifera e il piano di posa della bara. Questo strato di terreno fa da filtro per i germi patogeni che vengono trattenuti, soprattutto se il terreno è limoso o argilloso;

b) dal basso, se la falda acquifera è talmente alta da lambire, nei periodi di massimo carico (nelle stagioni delle piogge) la zona di sepoltura del corpo.

Nel nostro caso, stante la posizione di crinale del cimitero, questa seconda ipotesi è fa escludere, vista la assenza di falda superficiale: l'acqua infatti è confinata all'interno dell'ammasso roccioso. In tal senso l'elevato sviluppo della zona insatura a l di sopra della falda stabile, confinata nelle profondità dell'ammasso roccioso, è una ulteriore garanzia di sviluppo per i fenomeni depurativi aerobici.

Essendo la carica microbica e batterica il principale problema, esso è assimilabile sostanzialmente allo smaltimento di liquami fognari chiarificati nel terreno, come avviene per esempio nella fase di subirrigazione dopo il trattamento nelle vasche Imhoff.

Infatti dopo la chiarificazione del sedimento assicurato nella fossa Imhoff, non si può assolutamente immetter ei liquami direttamente nel collettore di scarico: l'abbattimento dei microorganismi è infatti piuttosto modesto, con liquido di uscita che risulta popolato da uova di elminti, cisti amebiche, virus, batteri del tifo e della tubercolosi, virus della poliomelite e coliformi fecali....

E' quindi indispensabile una fase successiva di purificazione, assicurata dall'impianto di subirrigazione.

Anche in questo caso la fase di mineralizzazione è dovuta prioritariamente all'ossidazione del liquame da parte dall'aria presente nel terreno, all'azione di microrganismi aerobici e, subordinatamente, all'azione di assorbimento delle particelle colloidali del terreno stesso.

Poiché tali processi siano effettivamente attivi è indispensabile una buona aereazione del terreno, esattamente in modo analogo a quanto avviene nel processo di trasformazione per inumazione..

Dal punto di vista microbiologico, gli studi fino ad ora condotti sulla diffusione di germi patogeni all'esterno di cimiteri sono concordi nel ritenere che tale pericolo sia molto limitato e circoscritto nella immediata vicinanza del cimitero, sempre nullo a 10 metri di distanza dal punto di contaminazione ((Ing. D. Fogli, "Tecniche di trattamento dei cadaveri che si adottano nei cimiteri e loro rapporto con l'ambiente).

Nelle more di ogni approfondimento esecutivo è quindi possibile affermare che – per quanto attiene all'aspetto igienico sanitario – il limite dei 50 m appare ampiamente derogabile senza rischio alcuno di contaminazione, laddove già la naturale conformazione del terreno favorisce i processi di decontaminazione per azione autodepurante del terreno e che tali azioni possono essere controllate mediante opportune opere volte a migliorare lo stato di aerazione del terreno superficiale, oltre che di controllo delle eventuali acque di percolazione dovute alle piogge, laddove le stesse possono essere intercettate e trattate aerobicamente prima dell'immissione nel reticolo fratturativo profondo delle rocce e da qui, nei sistemi carsici e nella circolazione ipogea.

Nonostante la classificazione come area carsica, la disposizione giaciturale degli strati nell'area a sedime del cimitero, è comunque orientata verso il rio Sorba, che si trova appunto nella "culla " naturale formata dalla disposizione delle rocce, ed è naturale ricettacolo delle acque locali – sia superficiali, sia sotterranee – nella "trappola" formata appunto dalla disposizione a "sinclinale" della valle del rio Sorba, individuata dal rilievo geologico dell'area e sotto meglio descritta.

Sistemi artificiali di drenaggio con trattenimento e distruzione della carica microbica mediante granulari disposti secondo la tecnica dei filtri rovesci di Terzaghi consentirebbero inoltre una ulteriore garanzia, migliorando l'efficienza naturale del terreno, permettendo al contempo il controllo periodico dello stato igienico sanitario dell'area e il prelievo delle eventuali acque di percolazione per controlli periodici.

Non vi sono pertanto limitazioni di carattere igienico sanitario alla deroga del limite cimiteriale, portando lo stesso al suo limite morfologico e naturale costituito dal ciglio di scarpata, sul lato di valle della Via delle Ginestre, specialmente una volta operata l'opportuna regimazione delle eventuali acque di percolazione con opere di drenaggio e filtro, da progettarsi in sede esecutiva.

INDAGINI GEOGNOSTICHE

In coerenza con quanto espresso nella premessa, relativamente al grado di approfondimento delle indagini geologiche, si è ritenuto di effettuare una serie di verifiche in sito, atte a definire il quadro stratigrafico e di risposta sismica locale, idoneo a fornire i contenuti minimi richiesti dalla presente richiesta autorizzativa.
E' evidente, ma utilmente da ribadire, la necessità di ulteriori approfondimenti d'indagine, come meglio specificato in seguito, che tuttavia possono essere rimandati ad una fase progettuale successiva (ad esempio in sede di VAS), laddove le opere di presidio, mitigazione e stabilizzazione dovranno avere un più compiuto sviluppo progettuale.
Le indagini sismiche (Prove HVSR, sismica a rifrazione, MASW), abbinate a prove penetrometriche dinamiche speditive sin qui eseguite, rappresentano dunque un approfondimento iniziale, atto a definire i "macro caratteri" geologici e geotecnici, permettendo più oculate e mirate scelte d'indagine di approfondimento esecutivo, da destinarsi alle fasi successive del progetto.
Nelle tavole Geo C1 e Geo C2 sono riassunte le prove effettuate a sedime dell'intervento della Cava Grimaldi, costituite da:

- n° 5 prove penetrometriche dinamiche;
- n° 3 profili sismici a rifrazione ribattuti come MASW;
- n° 4 profili HVSR

Nella Tavola Geo S1 sono riassunte le prove effettuate a sedime dell'intervento della colmata del rio Sorba, costituite dalle prove eseguite al Novembre 2019:

- n° 4 prove penetrometriche dinamiche;
- n° 3 profili sismici a rifrazione ribattuti come MASW;
- n° 3 profili HVSR

e dalle integrazioni svolte in data 02/03/2021:

- n° 5 prove penetrometriche dinamiche;
- n° 1 profilo sismico a rifrazione ribattuto come MASW con sistema di battuta ad alta energia
- n° 1 profilo HVSR

L'osservazione degli affioramenti diretti e l'insieme delle risultanze delle prove sismiche permettono l'elaborazione delle sezioni geologiche allegate nelle tavole.

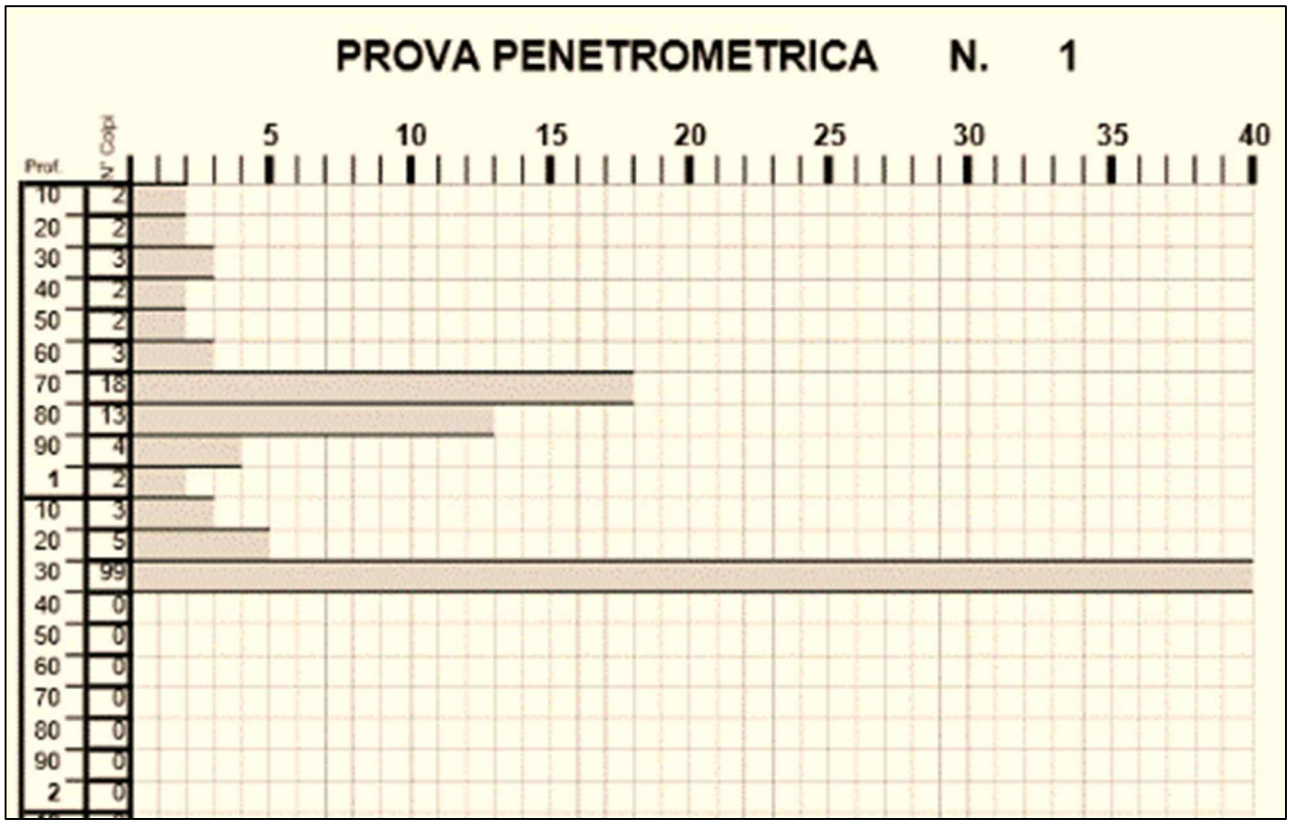
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

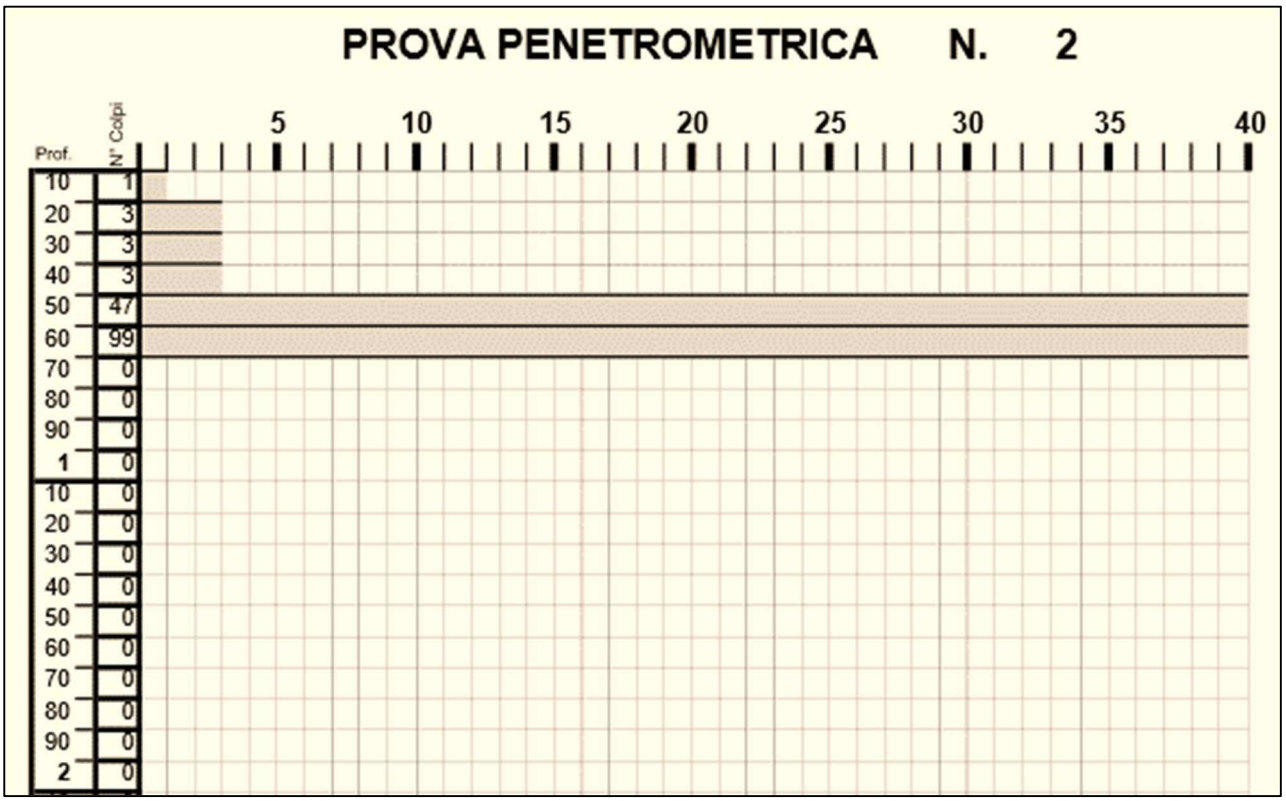
Le prove sono state eseguite con penetrometro leggero DL30 della Pagani, stante le difficili condizioni di accesso dell'area, in data 6-7/11/2019.

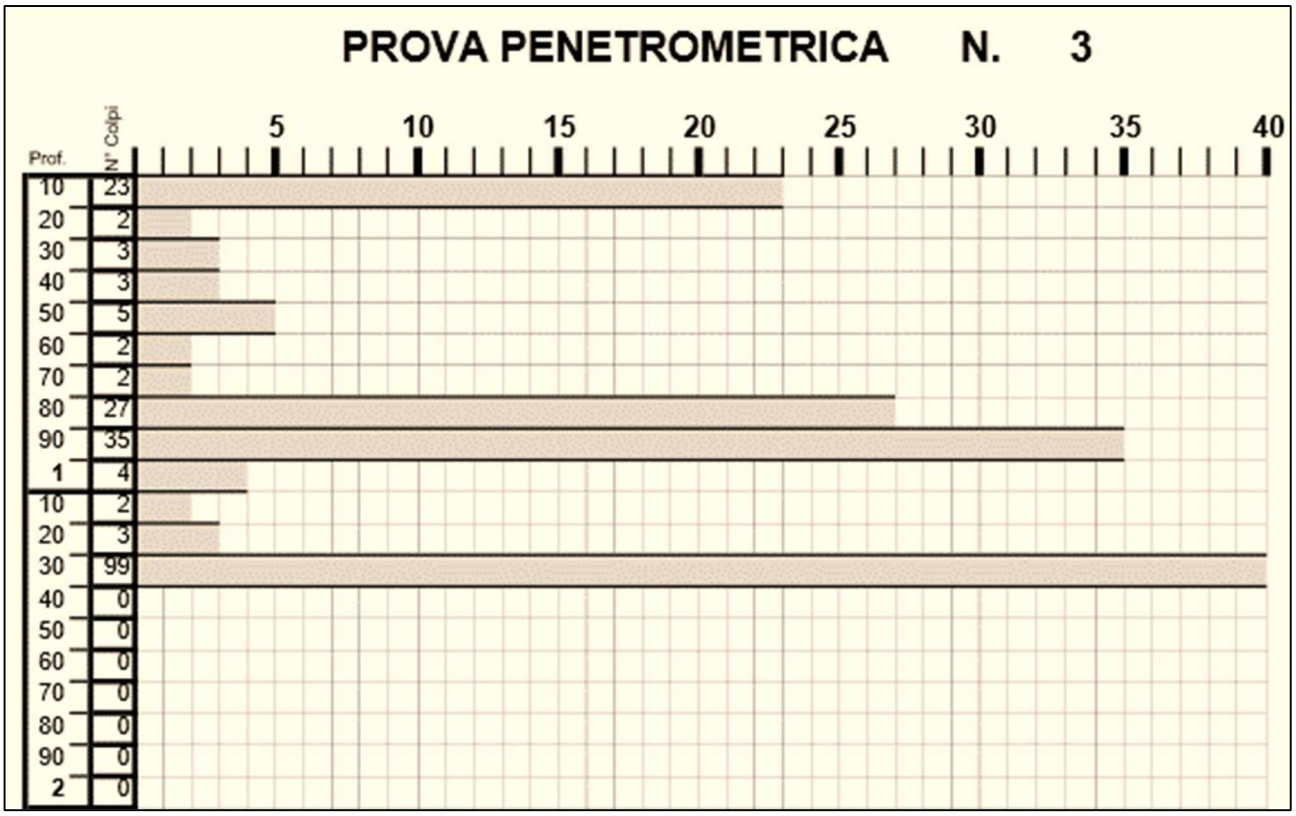
Per quanto attiene **all'area di cava** le prove penetrometriche hanno subito arresti a basse profondità di penetrazione, in ragione della presenza di trovanti nei terreni a sedime delle sismiche. La loro utilità risiede nella taratura del livello più superficiale della stesa sismica locale e nella caratterizzazione della porzione più superficiale del detrito presente, che certamente – nel complesso – risulta caratterizzato dalla presenza di blocchi lapidei anche di notevole dimensione, di cui il livello indagato con le prove penetrometriche rappresenta una sorta di "matrice" nelle classi granulometriche minori (privi dei trovanti di più grosse dimensioni).

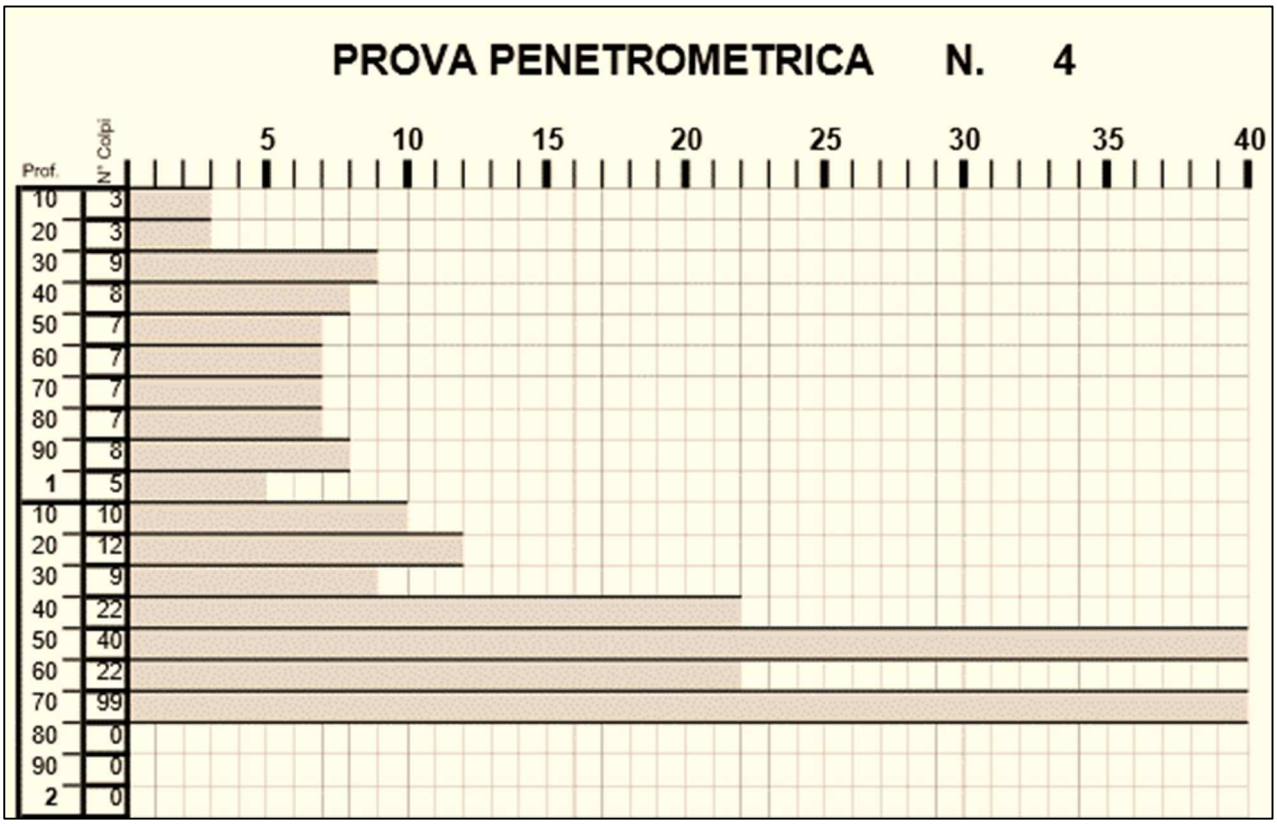
Naturalmente anche nelle prove eseguite si nota la presenza di trovanti di piccole dimensioni (rapido innalzamento del numero di colpi) e

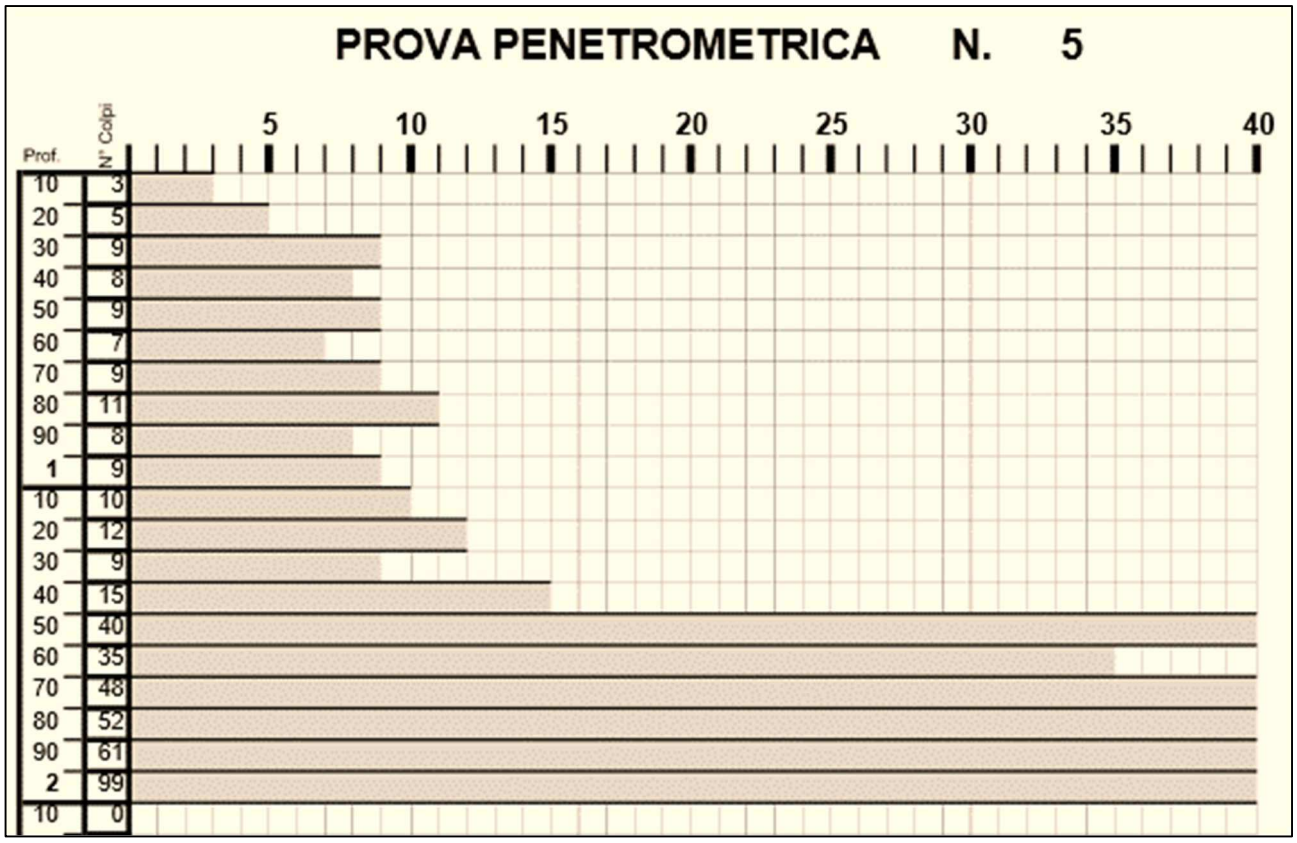
Tutte le prove non incontrano il livello di falda e l'osservazione della parete non consente di identificare emergenze idriche o particolari segni di occasionali filtrazioni di acqua, fatto salvo per le evidenze morfologiche dei ruscellamenti superficiali.


PROVA PENETROMETRICA N. 1
Prof.
N° Colpi
5 10 15 20 25 30 35 40
10 2
20 2
30 3
40 2
50 2
60 3
70 18
80 13
90 4
1 2
10 3
20 5
30 99
40 0
50 0
60 0
70 0
80 0
90 0
2 0


PROVA PENETROMETRICA N. 2
Prof.
N° Colpi
5 10 15 20 25 30 35 40
10 1
20 3
30 3
40 3
50 47
60 99
70 0
80 0
90 0
1 0
10 0
20 0
30 0
40 0
50 0
60 0
70 0
80 0
90 0
2 0


PROVA PENETROMETRICA N. 3
Prof.
N° Colpi
5
10
15
20
25
30
35
40
10 23
20 2
30 3
40 3
50 5
60 2
70 2
80 27
90 35
1 4
10 2
20 3
30 99
40 0
50 0
60 0
70 0
80 0
90 0
2 0


PROVA PENETROMETRICA N. 4
Prof.
N° Colpi
5
10
15
20
25
30
35
40
10 3
20 3
30 9
40 8
50 7
60 7
70 7
80 7
90 8
1 5
10 10
20 12
30 9
40 22
50 40
60 22
70 99
80 0
90 0
2 0

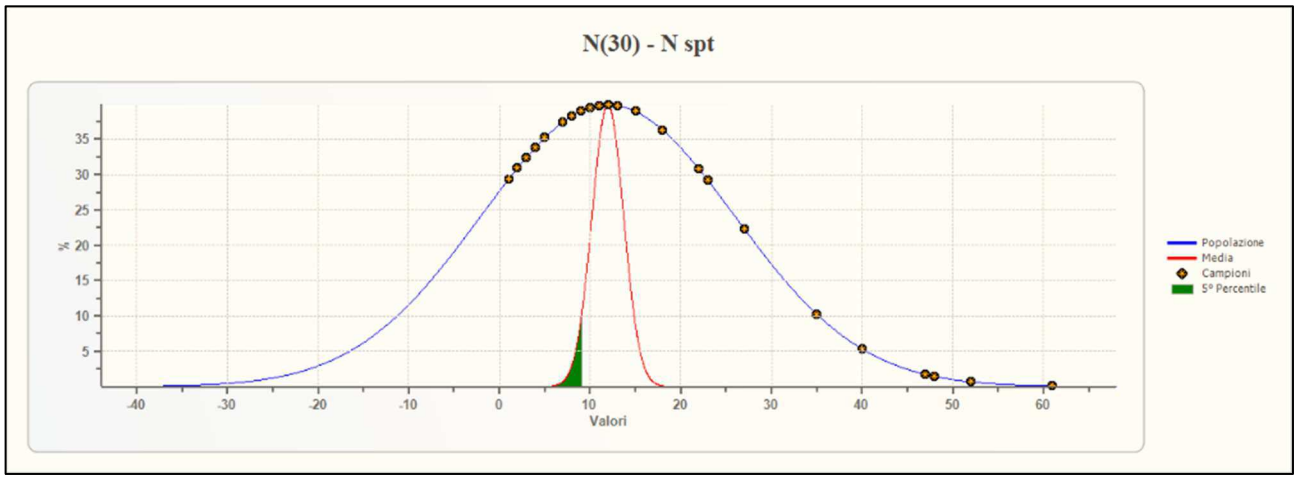


Le prove possono essere così analizzate per la definizione dei parametri caratteristici:

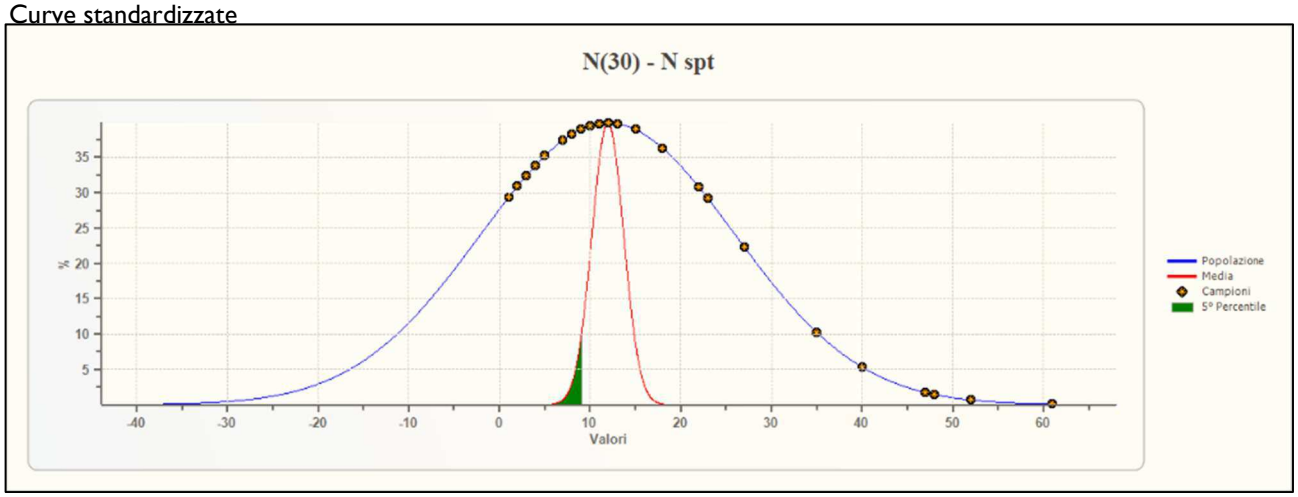
Distribuzione di probabilità per i terreni superficiali sino a 2 m

Tipo di elaborazione	Distribuzione standard – Resistenze compensate
Valore considerato	5° percentile media
N° misure	64
Valore caratteristico	**9.09**
Minimo	1.0
Massimo	61
Valore medio	11.97
Varianza	195.52
Dev. St.	13.98
Dev. St. Med.	1.75
C.O.V.	1.17

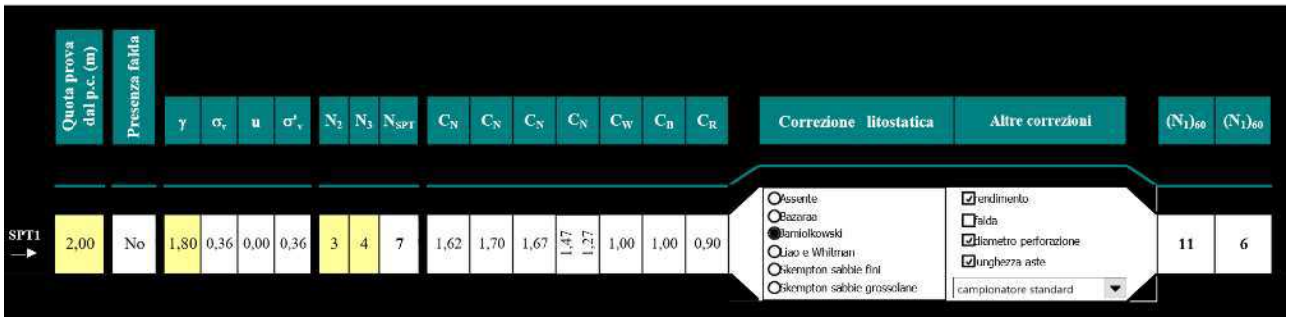
Per i terreni di riporto e le coltri sino a circa 2 m di profondità si ottiene un valore caratteristico di N30 pari a 9 colpi, corrispondente a circa **7 colpi di Nspt standard.**

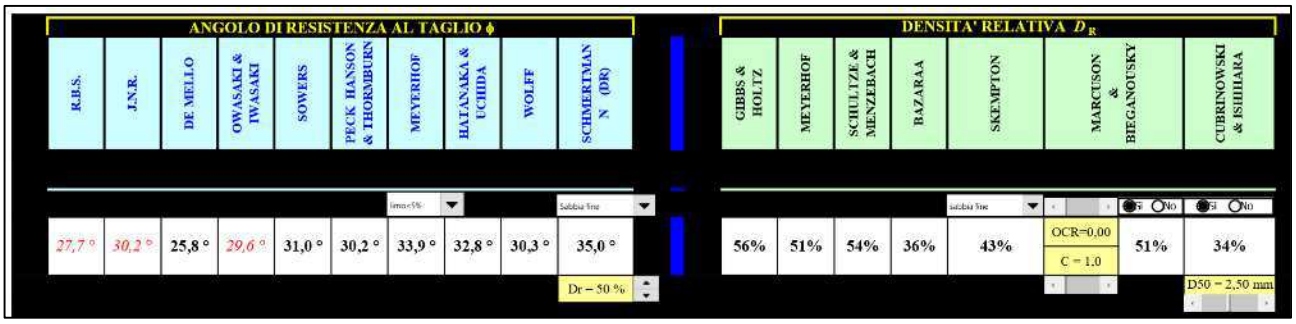


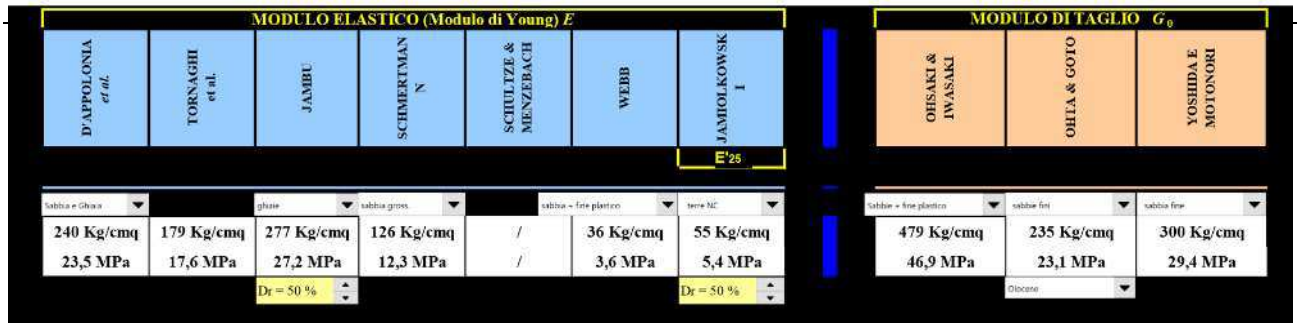
Curve standardizzate

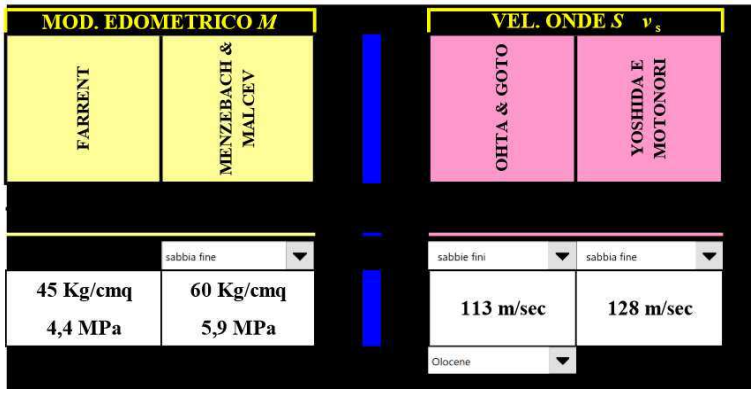


Distribuzione di probabilità





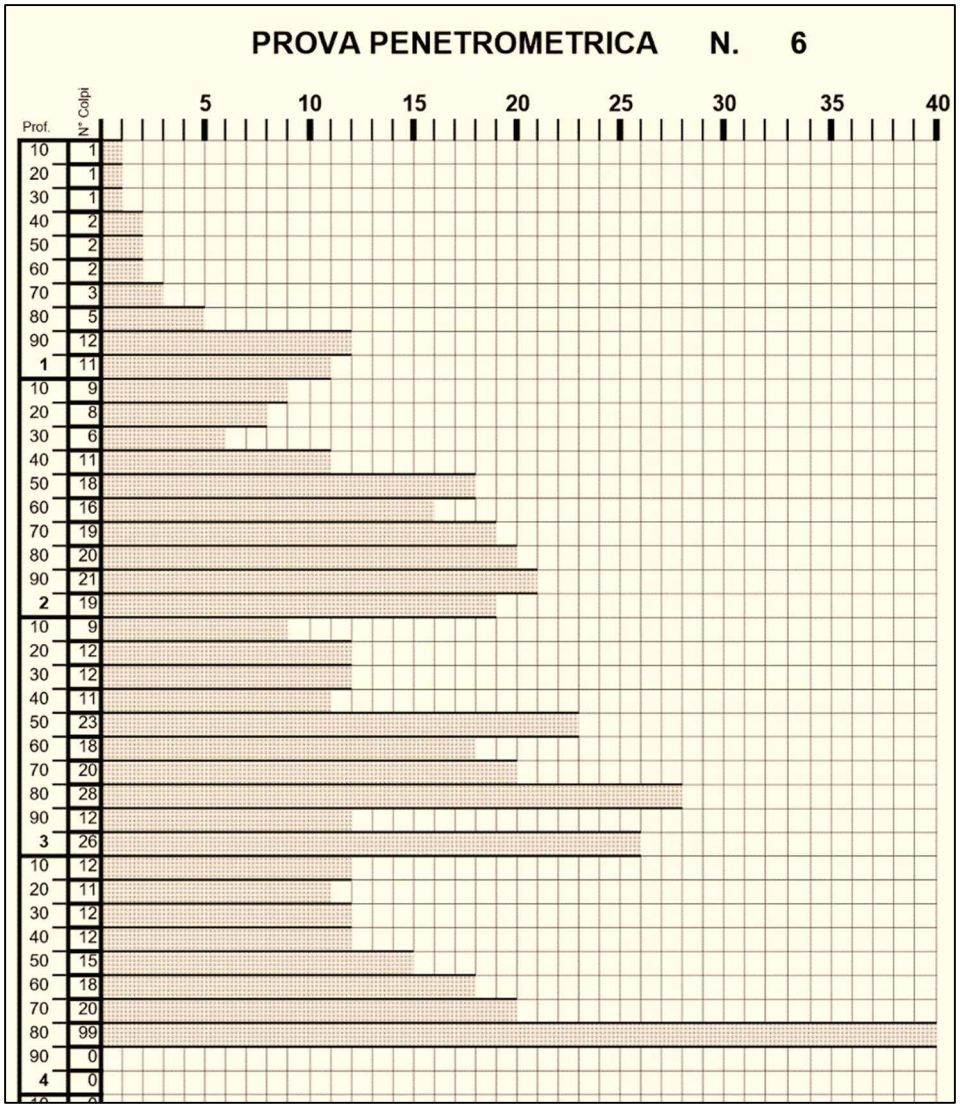


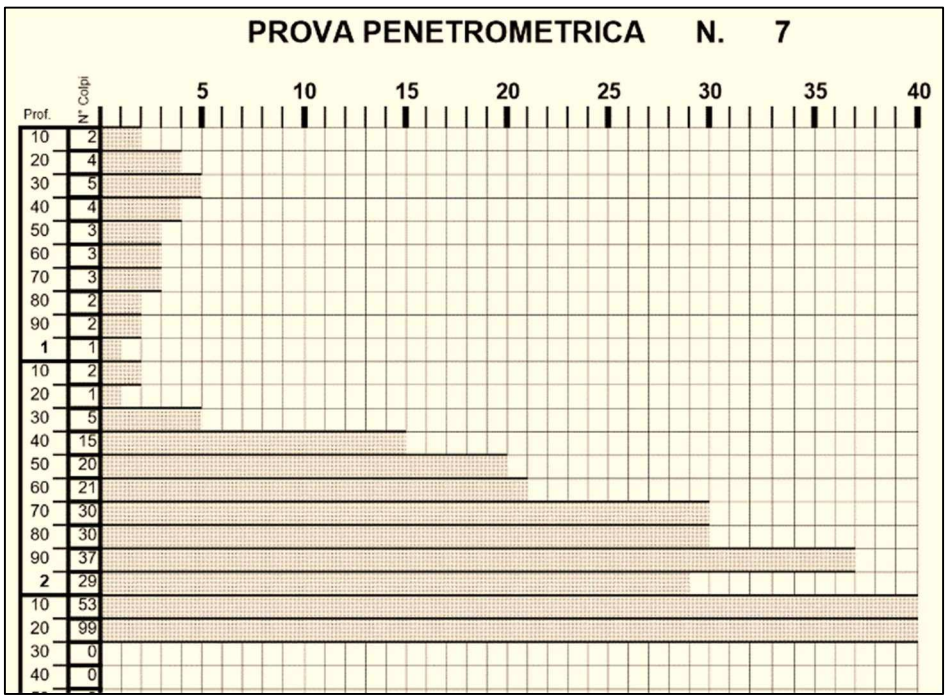


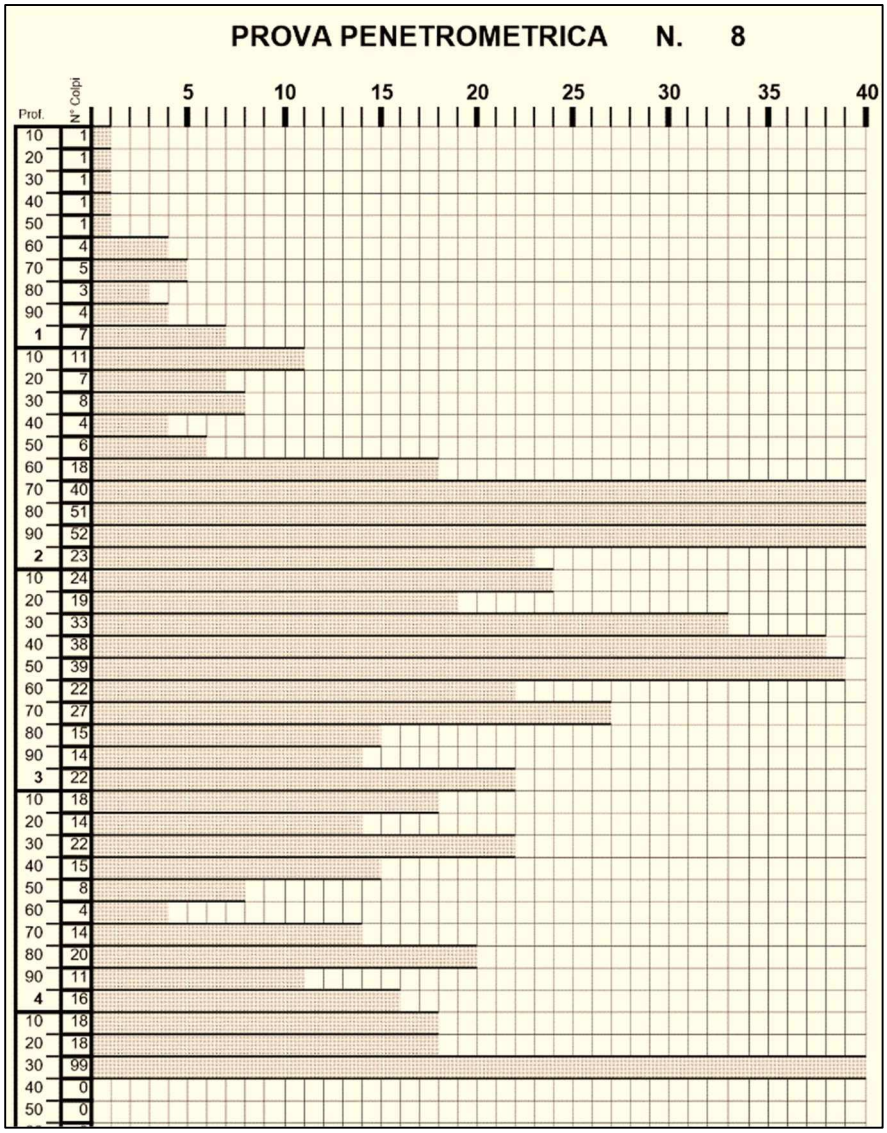
- *in rosso i risultati fuori campo applicabilità formule empiriche*

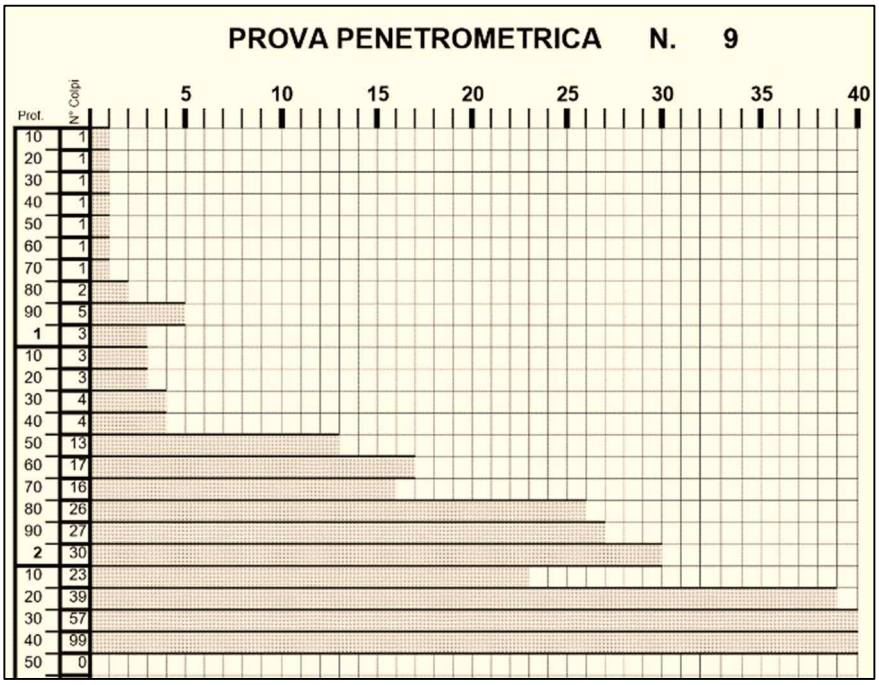
formula di Terzaghi (1955)			modulo di reazione
B (cm) =	100		terreni incoerenti
prova SPT		Kp (kg/cmq)	Kp (kg/cmc)
n° colpi	7	0,9	0,4

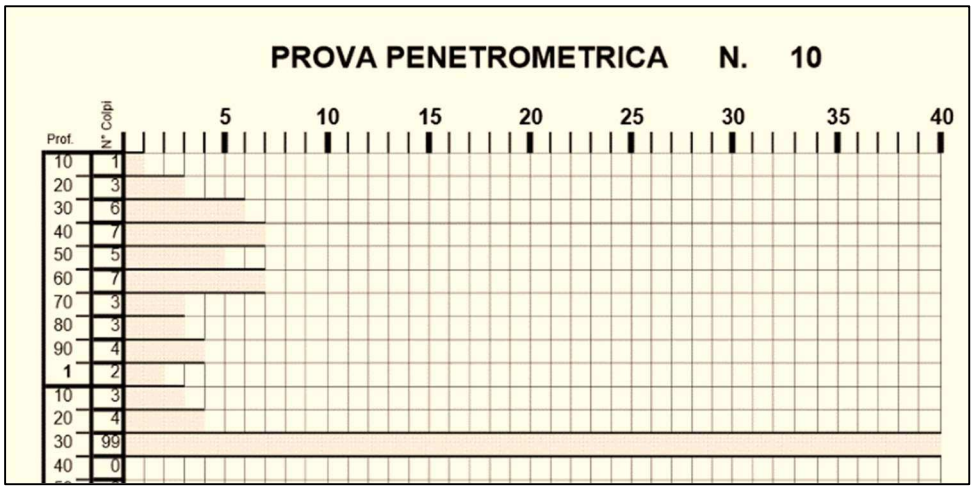
Per quanto attiene **all'area del Rio Sorba** le prove penetrometriche hanno subito arresti a medio-basse profondità di penetrazione, ma trovano comunque un arresto condizionato dalla presenza di trovanti di grosse dimensioni. La loro utilità risiede nella taratura del livello più superficiale della stesa sismica locale e nella caratterizzazione della porzione più superficiale del detrito presente. Tutte le prove non incontrano il livello di falda.

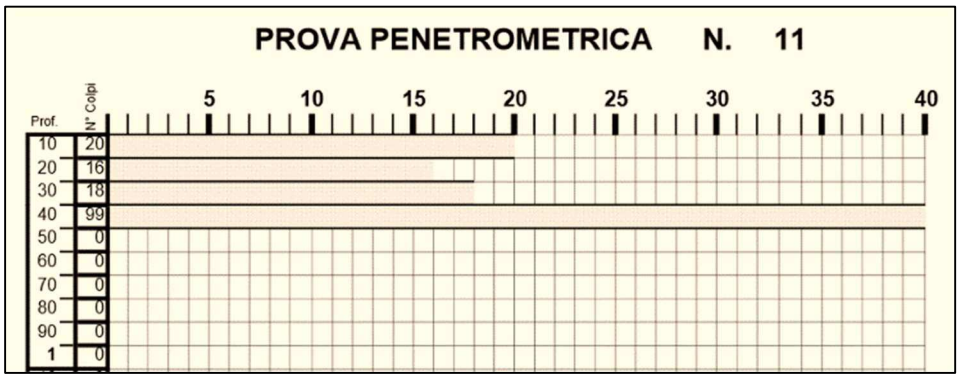

PROVA PENETROMETRICA N. 6
Prof.
N° Colpi
5 10 15 20 25 30 35 40
10 1
20 1
30 1
40 2
50 2
60 2
70 3
80 5
90 12
1 11
10 9
20 8
30 6
40 11
50 18
60 16
70 19
80 20
90 21
2 19
10 9
20 12
30 12
40 11
50 23
60 18
70 20
80 28
90 12
3 26
10 12
20 11
30 12
40 12
50 15
60 18
70 20
80 99
90 0
4 0


PROVA PENETROMETRICA N. 7
Prof.
N° Colpi
5 10 15 20 25 30 35 40
10 2
20 4
30 5
40 4
50 3
60 3
70 3
80 2
90 2
1 1
10 2
20 1
30 5
40 15
50 20
60 21
70 30
80 30
90 37
2 29
10 53
20 99
30 0
40 0

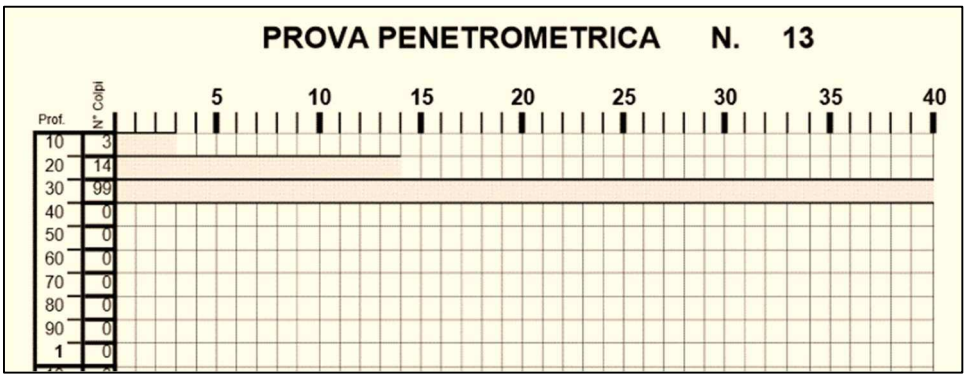

PROVA PENETROMETRICA N. 8
Prof.
N° Colpi
5 10 15 20 25 30 35 40
10 1
20 1
30 1
40 1
50 1
60 4
70 5
80 3
90 4
1 7
10 11
20 7
30 8
40 4
50 6
60 18
70 40
80 51
90 52
2 23
10 24
20 19
30 33
40 38
50 39
60 22
70 27
80 15
90 14
3 22
10 18
20 14
30 22
40 15
50 8
60 4
70 14
80 20
90 11
4 16
10 18
20 18
30 99
40 0
50 0

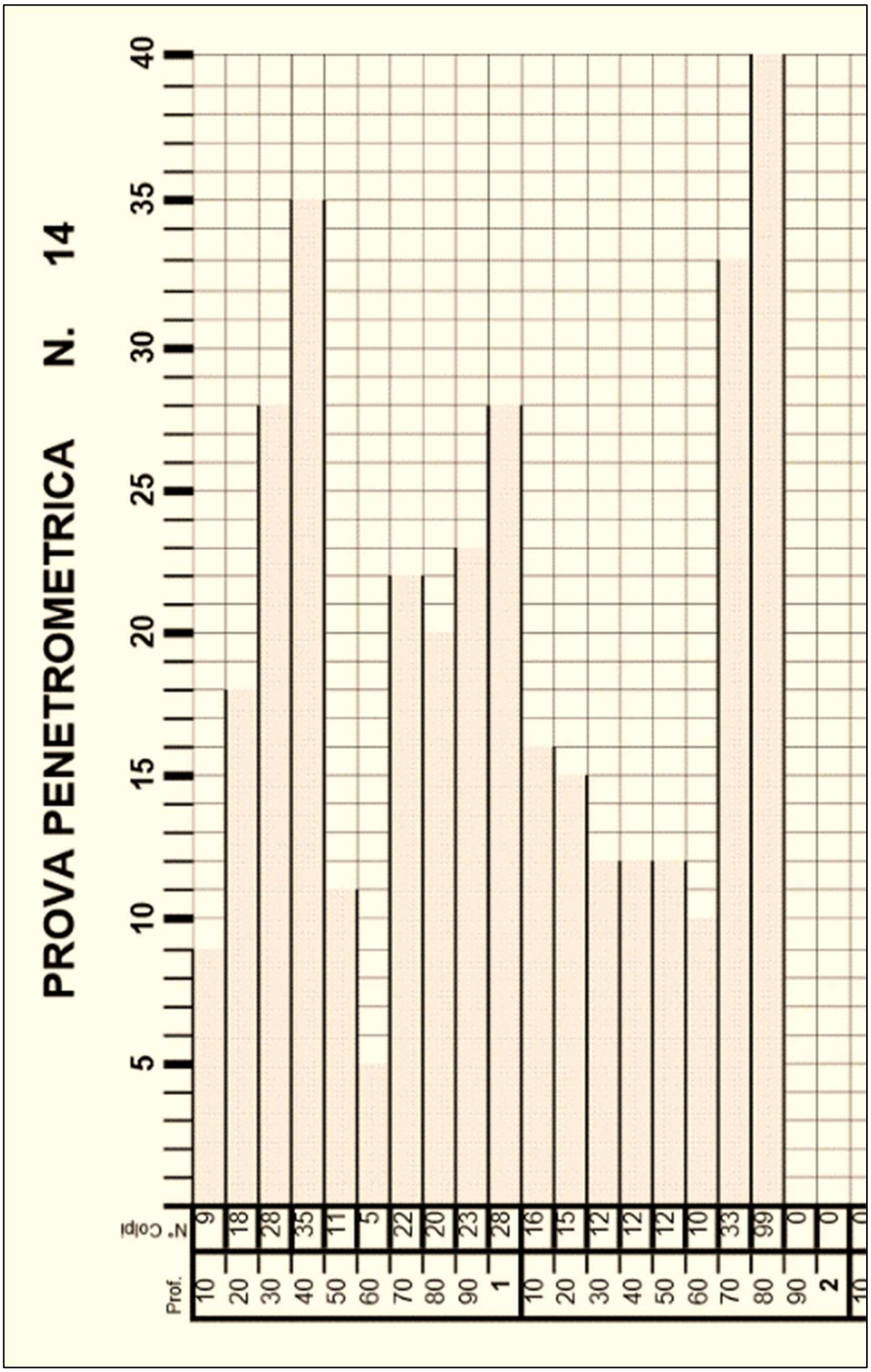

PROVA PENETROMETRICA N. 9
Prof.
N° Colpi
5 10 15 20 25 30 35 40
10 1
20 1
30 1
40 1
50 1
60 1
70 1
80 2
90 5
1 3
10 3
20 3
30 4
40 4
50 13
60 17
70 16
80 26
90 27
2 30
10 23
20 39
30 57
40 99
50 0


PROVA PENETROMETRICA N. 10
Prof.
N° Colpi
5 10 15 20 25 30 35 40
10 1
20 3
30 6
40 7
50 5
60 7
70 3
80 3
90 4
1 2
10 3
20 4
30 99
40 0


PROVA PENETROMETRICA N. 11
Prof.
N° Colpi
5 10 15 20 25 30 35 40
10 20
20 16
30 18
40 99
50 0
60 0
70 0
80 0
90 0
1 0


PROVA PENETROMETRICA N. 12
Prof.
N° Colpi
5 10 15 20 25 30 35 40
10 30
20 22
30 32
40 19
50 99
60 0
70 0
80 0
90 0
1 0


PROVA PENETROMETRICA N. 13
Prof.
N° Colpi
5 10 15 20 25 30 35 40
10 3
20 14
30 99
40 0
50 0
60 0
70 0
80 0
90 0
1 0


PROVA PENETROMETRICA N. 14
5
10
15
20
25
30
35
40
Prof.
N° Colpi
10 9
20 18
30 28
40 35
50 11
60 5
70 22
80 20
90 23
1 28
10 16
20 15
30 12
40 12
50 12
60 10
70 33
80 99
90 0
2 0
10 0



Dp1



Dp2



Dp3



Dp4



Dp5



Dp6



Dp7



Dp8



Dp9



Dp10



Dp11



Dp12



DP13

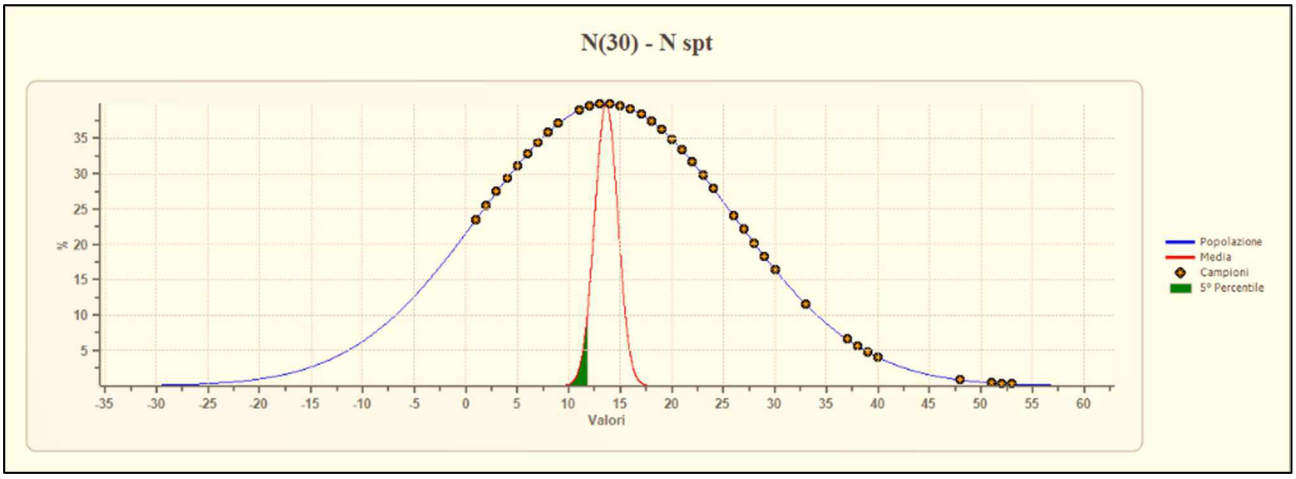


Dp14

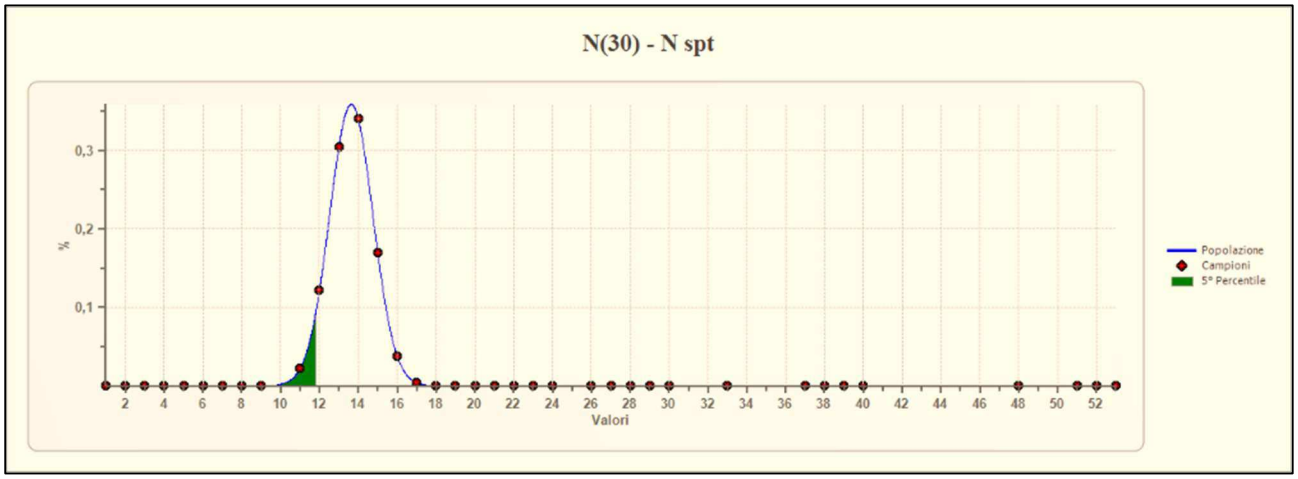
Distribuzione di probabilità per i terreni superficiali sino a 4m

Tipo di elaborazione	Distribuzione standard – Resistenze compensate
Valore considerato	5° percentile media
N° misure	122
Valore caratteristico	**11.81**
Minimo	1.0
Massimo	53
Valore medio	13.64
Varianza	151.27
Dev. St.	12.30
Dev. St. Med.	1.11
C.O.V.	0.90

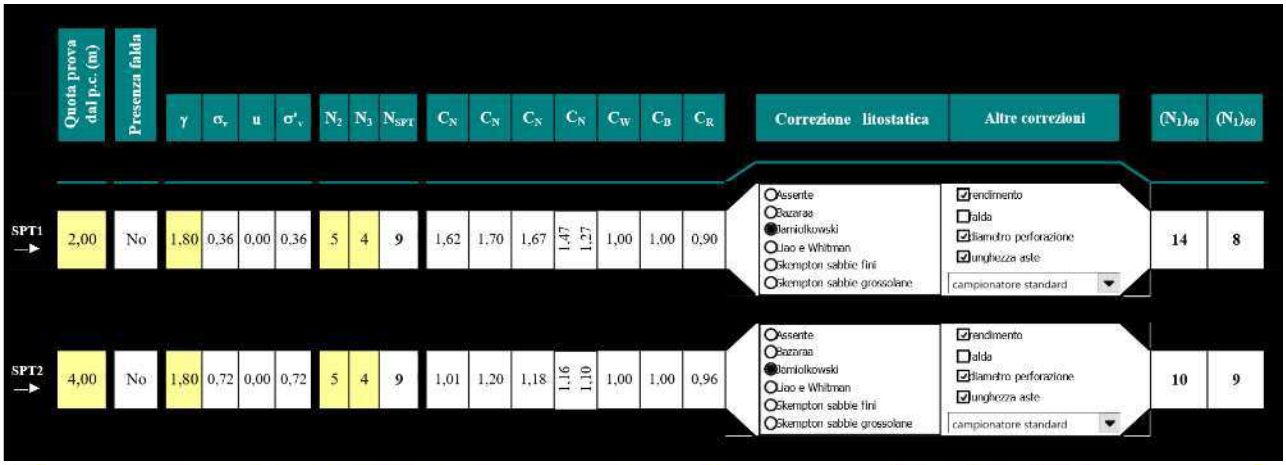
Per i terreni di riporto sino a circa 4 m di profondità si ottiene un valore caratteristico di N30 pari a 12 colpi, corrispondente a circa **9 colpi di Nspt standard.**



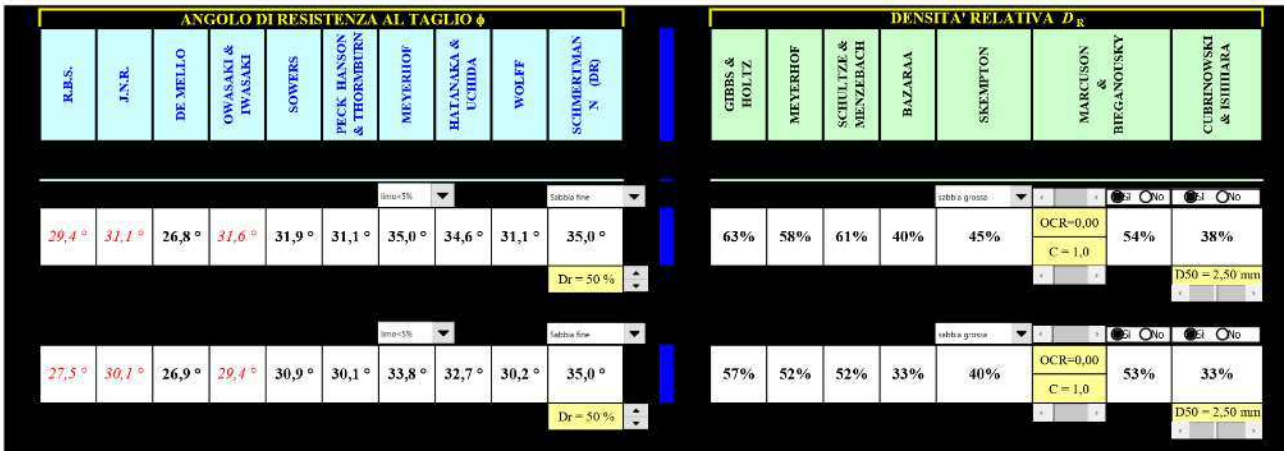
Curve standardizzate



Distribuzione di probabilità



	Quota prova dal p.c. (m)	Presenza falda	γ	σ_v	u	σ'_v	N_2	N_3	N_{SPT}	C_N	C_N	C_N	C_N	C_W	C_B	C_R	Correzione litostatica	Altre correzioni	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60}$
SPT1	2,00	No	1,80	0,36	0,00	0,36	5	4	9	1,62	1,70	1,67	1,47 1,27	1,00	1,00	0,90	Assente; Bazaraa; Iamiolkowski; Liao e Whitman; Skempton sabbie fini; Skempton sabbie grossolane	rendimento; falda; diametro perforazione; lunghezza aste; campionatore standard	14	8
SPT2	4,00	No	1,80	0,72	0,00	0,72	5	4	9	1,01	1,20	1,18	1,16 1,10	1,00	1,00	0,96	Assente; Bazaraa; Iamiolkowski; Liao e Whitman; Skempton sabbie fini; Skempton sabbie grossolane	rendimento; falda; diametro perforazione; lunghezza aste; campionatore standard	10	9



ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO ϕ

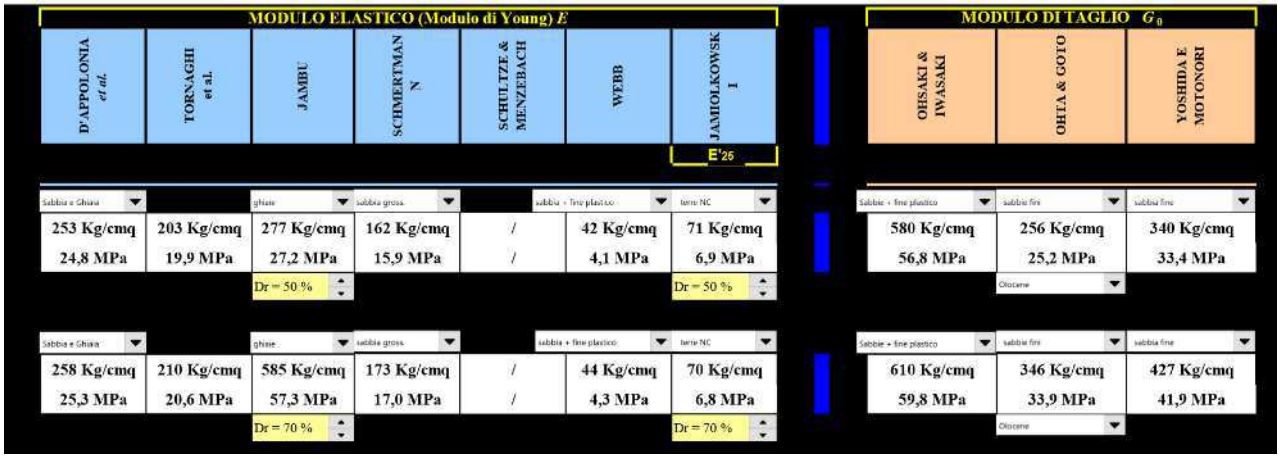
R.B.S.	J.N.R.	DE MELLO	OWASAKI & IWASAKI	SOWERS	PECK HANSON & THORNBURN	MEYERHOF	HATANAKA & UCHIDA	WOLFF	SCHMERTMANN (DR)
29,4 °	31,1 °	26,8 °	31,6 °	31,9 °	31,1 °	35,0 °	34,6 °	31,1 °	35,0 °
27,5 °	30,1 °	26,9 °	29,4 °	30,9 °	30,1 °	33,8 °	32,7 °	30,2 °	35,0 °

Dr = 50 %

DENSITA' RELATIVA D_R

GIBBS & HOLTZ	MEYERHOF	SCHULTZE & MENZEBACH	BAZARAA	SKEMPTON	MARCUSON & BIEGANOUSKY	CUBRINOWSKI & ISHIHARA
63%	58%	61%	40%	45%	54%	38%
57%	52%	52%	33%	40%	53%	33%

OCR=0,00; C = 1,0; D50 = 2,50 mm



MODULO ELASTICO (Modulo di Young) E

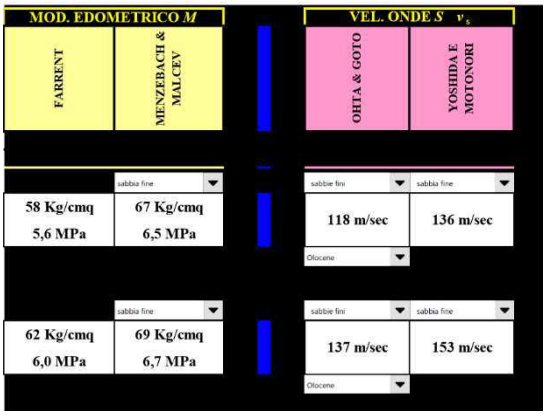
D'APPOLONIA et al.	TORNAGHI et al.	JAMBU	SCHMERTMANN	SCHULTZE & MENZEBACH	WEBB	JAMIOLKOWSKI E'_{25}
253 Kg/cmq 24,8 MPa	203 Kg/cmq 19,9 MPa	277 Kg/cmq 27,2 MPa	162 Kg/cmq 15,9 MPa	/	42 Kg/cmq 4,1 MPa	71 Kg/cmq 6,9 MPa
258 Kg/cmq 25,3 MPa	210 Kg/cmq 20,6 MPa	585 Kg/cmq 57,3 MPa	173 Kg/cmq 17,0 MPa	/	44 Kg/cmq 4,3 MPa	70 Kg/cmq 6,8 MPa

Dr = 50 %; Dr = 70 %

MODULO DI TAGLIO G_0

OHSAKI & IWASAKI	OHTA & GOTO	YOSHIDA E MOTONORI
580 Kg/cmq 56,8 MPa	256 Kg/cmq 25,2 MPa	340 Kg/cmq 33,4 MPa
610 Kg/cmq 59,8 MPa	346 Kg/cmq 33,9 MPa	427 Kg/cmq 41,9 MPa

Olocene



MOD. EDOMETRICO M

FARRENT	MENZEBACH & MALCEV
58 Kg/cmq 5,6 MPa	67 Kg/cmq 6,5 MPa
62 Kg/cmq 6,0 MPa	69 Kg/cmq 6,7 MPa

VEL. ONDE S v_s

OHTA & GOTO	YOSHIDA E MOTONORI
118 m/sec	136 m/sec
137 m/sec	153 m/sec

Olocene

formula di Terzaghi (1955)			modulo di reazione
B (cm) =	100		terreni incoerenti
prova SPT		Kp (kg/cmq)	Kp (kg/cmc)
n° colpi	9	1.2	0,5

RIASSUNTO PARAMETRI DEDUCIBILI PROVE DP

Terreni Incoerenti superficiali a sedime della cava, parametri caratteristici:

peso di volume	γ = 1.9-2.1 t/m^3
Resistenza penetrazione DL30	N30 = 9 colpi
Resistenza alla penetrazione SPT standard	Nspt = 7 colpi
Nspt ridotto rendim. Energetico ecc..	N1(60) = 6 colpi
Densità relativa	Dr = 50%
angolo di resistenza al taglio	ϕ' = 30°
Modulo elastico	E' = 5-20 Mpa
Modulo di resistenza al taglio	G' = 20-30 Mpa
Modulo Edometrico	M = 4-6 Mpa
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 110-130 m/sec
Modulo di reazione (c. di Winkler ridotto per B= 1m)	K_r = 0.4 kg/cm^3
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 0.9 kg/cm^3

Terreni Incoerenti superficiali a sedime della colmata del rio Sorba, parametri caratteristici:

peso di volume	γ = 1.9-2.1 t/m^3
Resistenza penetrazione DL30	N30 = 12 colpi
Resistenza alla penetrazione SPT standard	Nspt = 9 colpi
Nspt ridotto rendim. Energetico ecc..	N1(60) = 8-9 colpi
Densità relativa	Dr = 50-55%
angolo di resistenza al taglio	ϕ' = 32-35°
Modulo elastico	E' = 5-25 Mpa
Modulo di resistenza al taglio	G' = 25-35 Mpa
Modulo Edometrico	M = 5-7 Mpa
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 120-150 m/sec
Modulo di reazione (c. di Winkler ridotto per B= 1m)	K_r = 0.9 kg/cm^3
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 1.2 kg/cm^3

PROVA SISMICA HVSR CAVA

I metodo HVSR si basa sulla misura dei microtremori ambientali (derivanti ad esempio da attività antropica, dal moto ondoso del mare, dal vento, ecc..), misurati nelle tre componenti (due orizzontali e una verticale).
La tecnica HVSR consente di valutare la frequenza di risonanza di uno strato soffice a partire dalle sole registrazioni di superficie. In particolare, Nakamura (1989) ha ipotizzato che la componente verticale del rumore sismico ambientale (di varia origine, come sopra indicato) fosse relativamente non influenzata dai sedimenti. Per cui il rapporto H/V tra lo spettro di Fourier delle componenti orizzontale e verticali è stato messo in evidenza come una stima affidabile della risposta di sito alle onde S, non solo per la frequenza di risonanza, ma anche per la relativa amplificazione, partendo dall'ipotesi che la divisione della componente verticale assunta come riferimento, permettesse di rimuovere gli effetti della sorgente, oltre a quelli dovuti alle onde di Rayleigh.
I metodi d'inversione tendono a comparare i dati acquisiti con quelli calcolati fino a quando non si riesce a trovare la migliore sovrapposizione (come nel caso del programma Dinver, collegato al programma open source Geopsy). Quindi è eseguita una serie di tentativi, sulla base di algoritmi di calcolo, al fine di ottenere la sovrapposizione migliore con i dati sperimentali (ovvero quelli acquisiti durante le registrazioni dei microtremori).
Sulla base di queste sovrapposizioni e di calcoli il software Dinver permette di ottenere una stima dell'andamento delle velocità delle onde P (longitudinali) e delle onde S (di taglio o seconde) in base alla profondità (e quindi di determinare il valore delle Vs30/Vsequivalenti richiesto dalla normativa italiana), previa la definizione di una modellazione del terreno investigato. Quindi i calcoli sono vincolati alla preliminare conoscenza della stratigrafia del terreno investigato (nel nostro caso, al rilevamento geologico di superficie e all'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche medio-leggere). Nel caso di situazioni stratigrafiche consone con il metodo utilizzato generalmente si ottengono dati molto simili alla situazione geologica reale (grazie alla "taratura sopra indicata", laddove sia quindi possibile escludere ragionevolmente anomalie stratigrafiche, rumori a più modi di vibrazione, rumori ambientali, imprecisioni del metodo di calcolo che possono far ottenere risultati completamente errati). Nel caso delle acquisizioni di seguito riportate tali problematiche sono in parte superate, come già illustrato, grazie all'esecuzione delle indagini penetrometriche.
La strumentazione e il software utilizzati in questo caso sono costituiti da:
- scheda madre Theremino master, con uscita USB (Strumento 1);
Adc 24 bit (Strumento 2);
geoamplificatori (Strumento 1);
- n. 2 geofoni orizzontali da 4,5 hz (Strumenti 1 e 2);
- n. 1 geofono verticale da 4,5 hz (Strumenti 1 e 2);
- Frequenza di campionamento 125, 150, 200, 250, 333, 500 Hz (Strumenti 1 e 2);
- Durata acquisizione 10, 20, 30 minuti (Strumenti 1 e 2);
- Registrazione dei dati acquisiti in formato *.SAF (Strumenti 1 e 2);
- pc Windows compatibile con software Theremino-Dolfrang (per visionare e acquisire i dati in tempo reale);
- software open source “geopsy”, per l'elaborazione del diagramma H/V-frequenza;
software open source “dinver”, per l'elaborazione di stratigrafie indicative delle onde S, P e della densità sismica dei terreni investigati.
La durata della registrazione è stata pari a 30 minuti, il segnale è stato elaborato con il software Geopsy per definire la frequenza propria del terreno (vedere figure sottoriportate). Una prima stima dello spessore del livello detritico superficiale può essere eseguita con l'uso della tabella sotto riportata (dahttp://comunitadigeologia.blogspot.it/2015/03/4-correlazione-vs-hz-per-hvsr.html).



Figura 51: Acquisizione HVSR – Strumento 1 – Zona verso la parete rocciosa



Figura 52:Acquisizione HVSR – Strumento 1 – Zona verso valle dei riporti



Figura 53: Acquisizione HVSR – Strumento 1 – Zona a monte della parete rocciosa



Figura 54: Acquisizione HVSR – Strumento 2 – Zona a monte della parete rocciosa

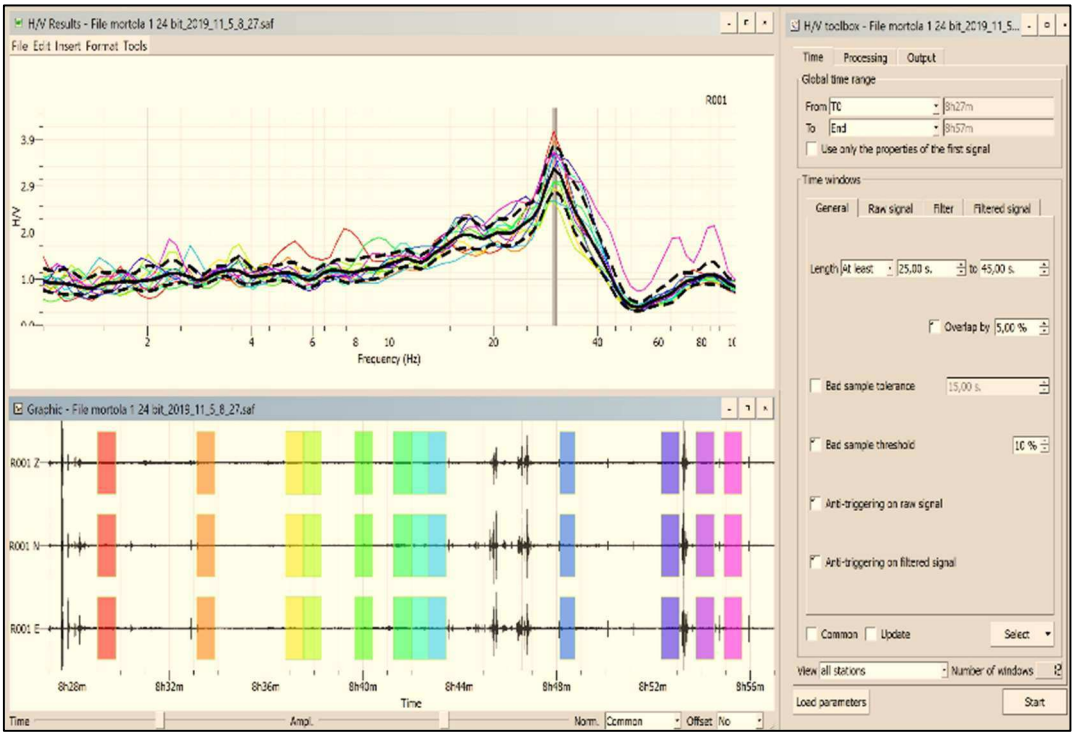


Figura 55: Grafico HVSR della registrazione n. 1 (Strumento 1)

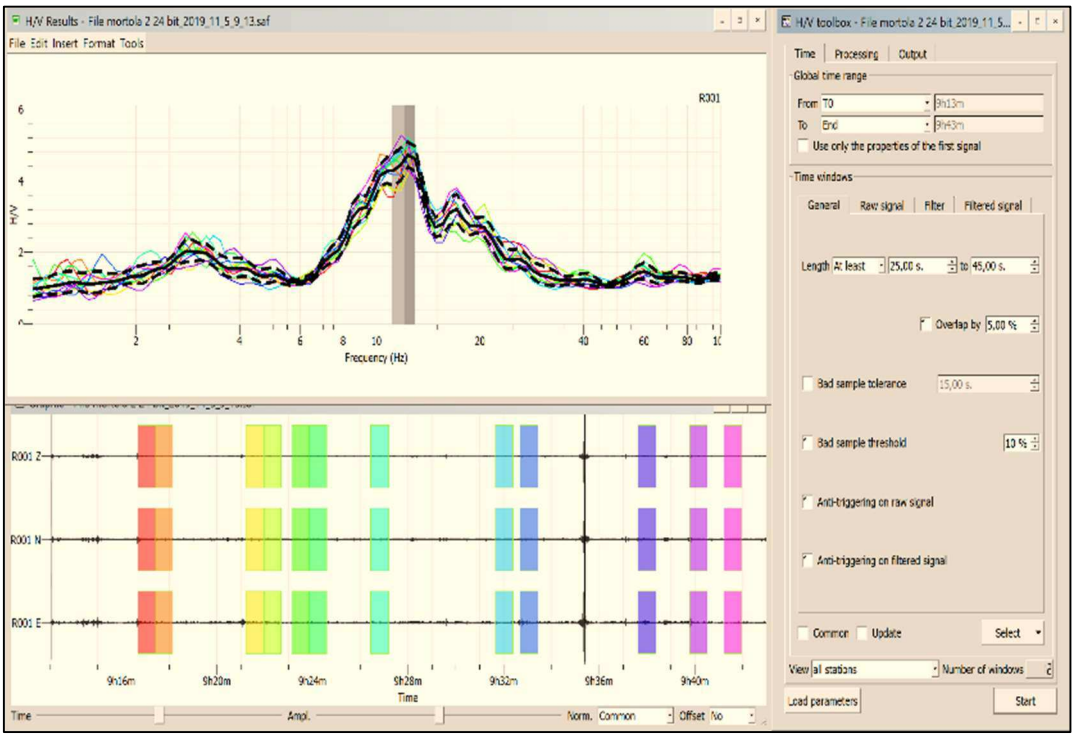


Figura 56: Grafico HVSR della registrazione n. 2 (Strumento 1)

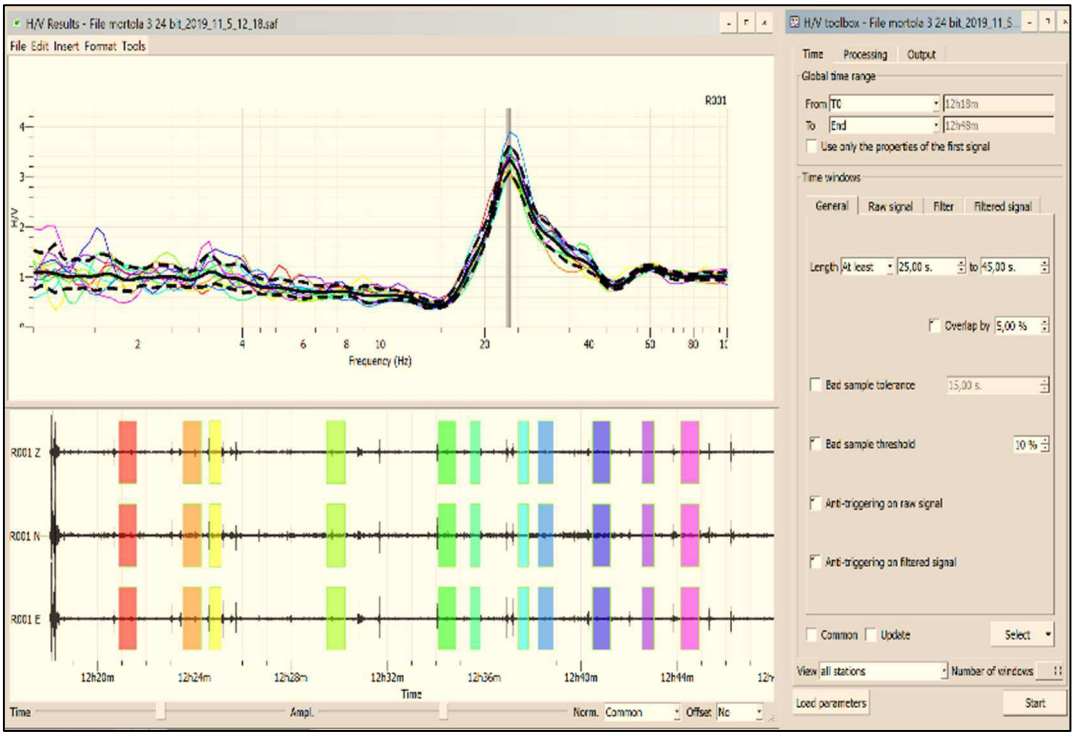


Figura 57: Grafico HVSR della registrazione n. 3 (Strumento 1)

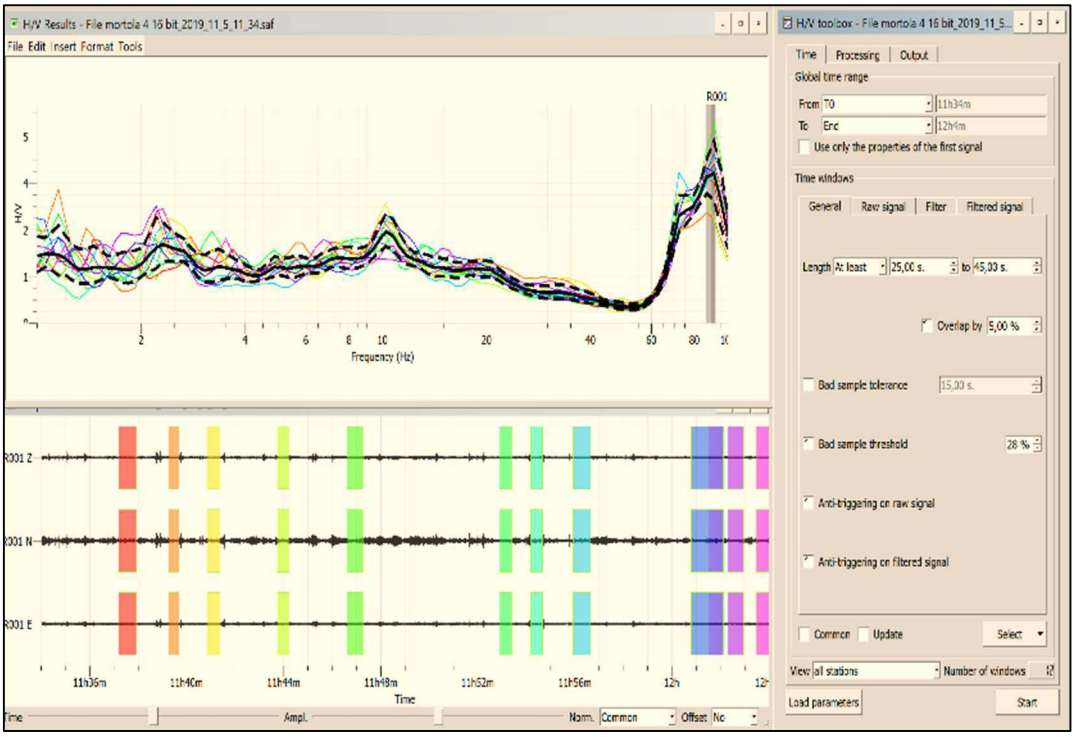


Figura 58: Grafico HVSR della registrazione n. 4 (Strumento *2)*

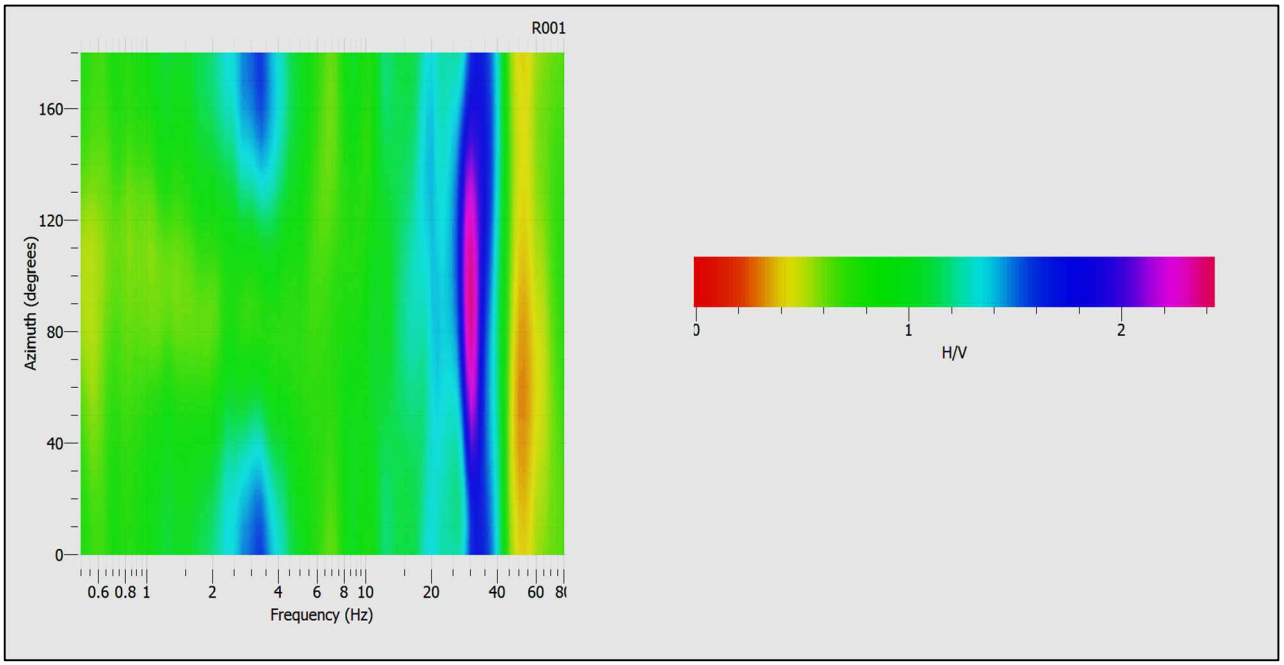


Figura 59: Grafico HVSR rotate – acquisizione n. 1

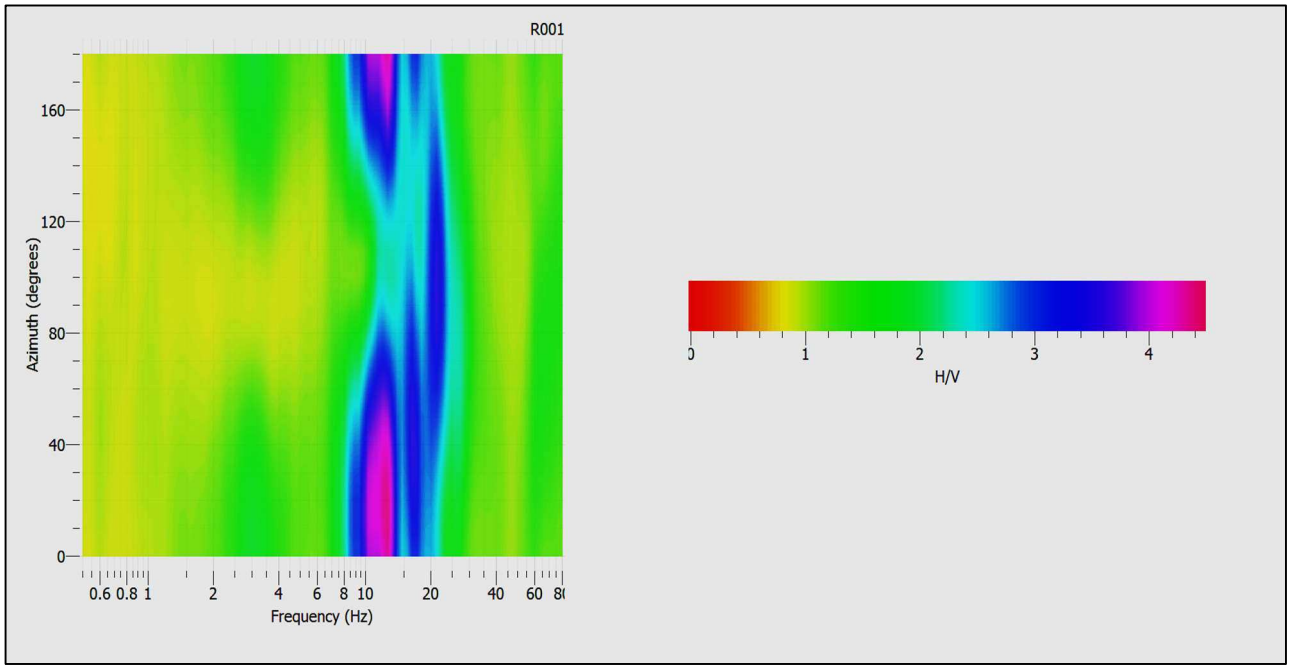


Figura 60: grafico HVSR rotate – acquisizione n. 2

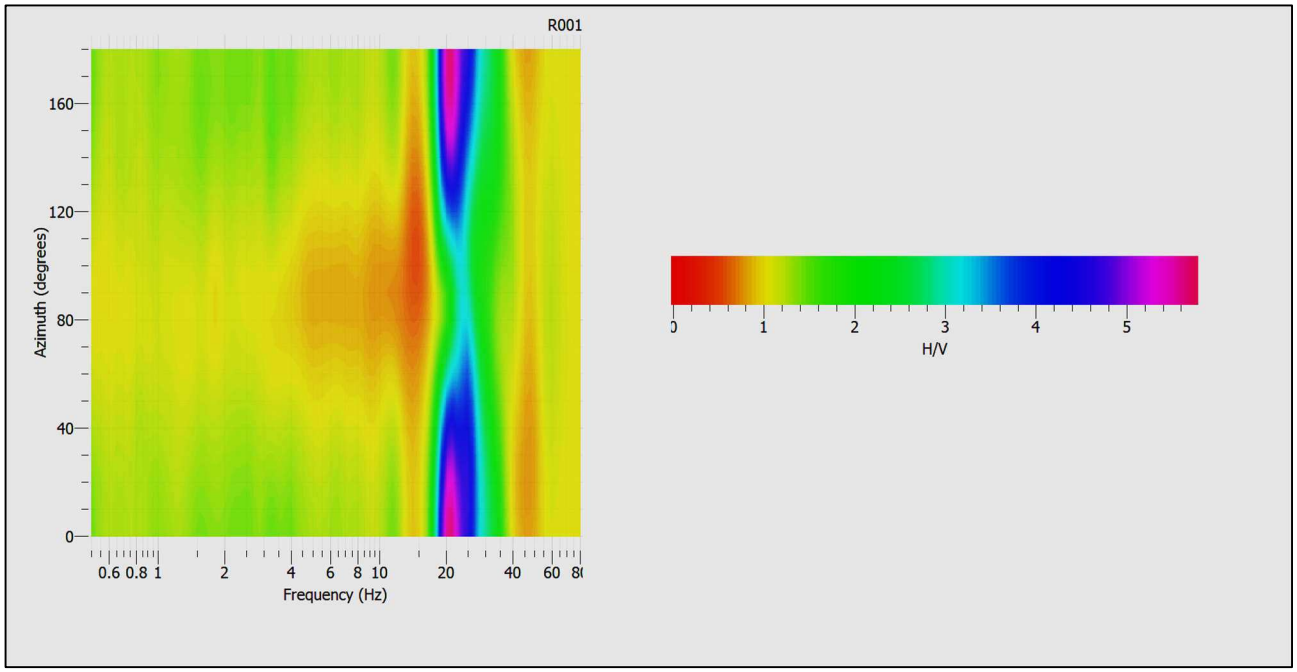


Figura 61: Grafico HVSR rotate – acquisizione n. 3

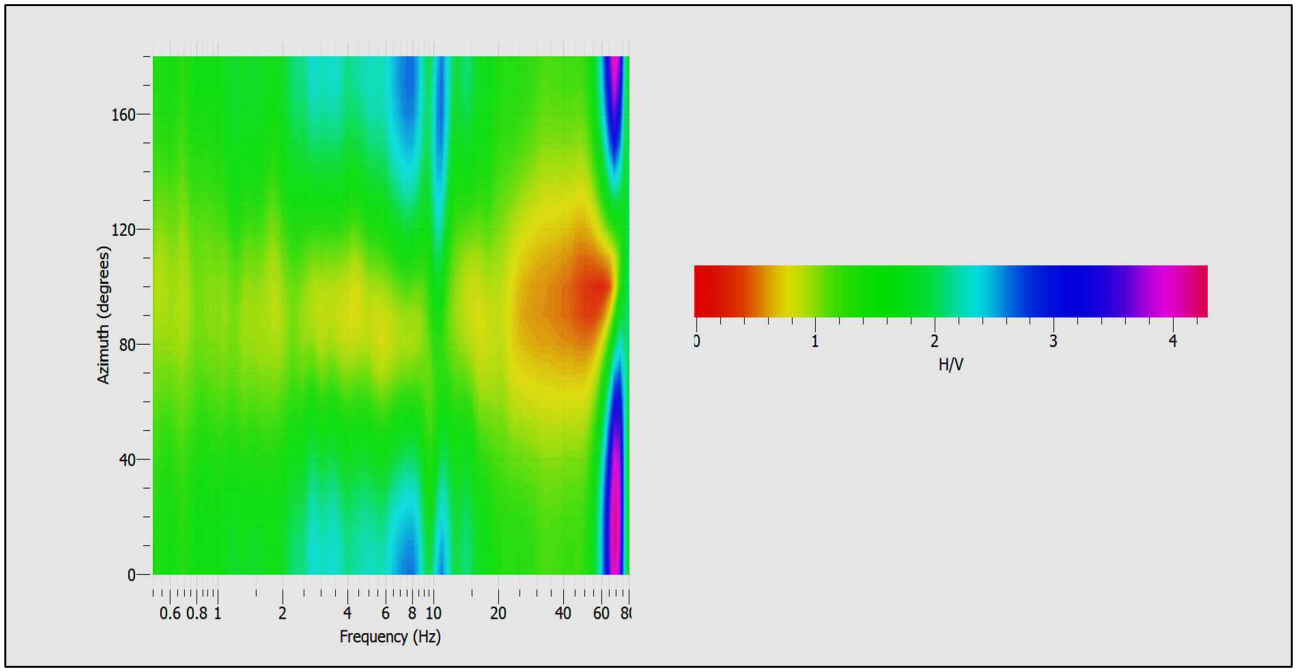


Figura 62: Grafico HVSR rotate – acquisizione n. 4

Correlazione vs - hz per HVSR

Calcolo empirico per determinare la stratigrafia tramite un sondaggio hvsr

La tabella sotto indicata è ricavata da quanto riportato nell'articolo "INDAGINI GEOFISICHE DI SUPERFICIE A SUPPORTO DELLA RICOSTRUZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO" - Dario Albarello - Università di Siena (Italy). In presenza di sedimenti granulari si può ipotizzare che la Vs dipenda principalmente dal carico della colonna stratigrafica soprastante. Se il sedimento risponde a tale legge si può considerare valida la seguente relazione che lega la frequenza di risonanza con la profondità. La tabella sottostante riporta la frequenza di risonanza (prima colonna) con la profondità di tre tipi di terreni:

1) terreni coesivi;
2) sabbie;
3) terreni rimaneggiati

Tali tabelle sono state ricavate sperimentalmente calcolando la funzione interpolatrice di un certo numero di sondaggi, pertanto i dati cosi calcolati sono puramente indicativi ed utili per valutare la profondità corrispondenti ai principali picchi di un sondaggio HVSR per avere una idea di massima della stratigrafia del sito.

	terreni coesivi	sabbie	terreni rimaneggiati coesivi		terreni coesivi	sabbie	terreni rimaneggiati coesivi
Vs=	150,0	170,0	110,0	Vs=	150,0	170,0	110,0
σ=	0,20	0,25	0,40	σ=	0,20	0,25	0,40
Hz	H	H	H	Hz	H	H	H
100,00	0,50	0,45	0,29	4,80	14	14	11
95,00	0,52	0,47	0,31	4,50	16	15	12
90,00	0,55	0,50	0,32	4,20	17	17	13
85,00	0,59	0,53	0,34	4,00	18	18	14
80,00	0,63	0,56	0,37	3,80	19	19	15
75,00	0,67	0,60	0,39	3,60	20	20	17
70,00	0,72	0,65	0,42	3,40	22	22	18
65,00	0,78	0,70	0,46	3,30	23	22	19
60,00	0,85	0,76	0,50	3,10	24	24	21
55,00	0,93	0,84	0,55	3,00	25	25	22
50,00	1,03	0,93	0,61	2,90	26	26	23
45,00	1,1	1,0	0,7	2,80	27	28	24
43,00	1,2	1,1	0,7	2,70	29	29	25
40,00	1,3	1,2	0,8	2,60	30	30	50
37,00	1,4	1,3	0,8	2,50	32	32	
34,00	1,6	1,4	0,9	2,40	33	34	
32,00	1,7	1,5	1,0	2,30	35	36	
30,00	1,8	1,6	1,1	2,20	37	38	
28,00	1,9	1,8	1,2	2,10	39	40	
27,00	2,0	1,8	1,2	2,00	41	42	
25,00	2,2	2,0	1,3	1,90	44	45	
24,00	2,3	2,1	1,4	1,80	47	48	
23,00	2,4	2,2	1,5	1,70	50	52	
22,00	2,6	2,3	1,5	1,60	54	57	
21,00	2,6	2,4	1,6	1,50	59	62	
20,00	2,8	2,6	1,7	1,40	64	67	
19,00	2,9	2,7	1,8	1,30	70	74	
18,00	3,1	2,9	2,0	1,20	77	82	
17,00	3,3	3,1	2,1	1,10	86	92	
16,00	3,5	3,3	2,3	1,00	98	104	
15,00	3,8	3,6	2,4	0,95	105	112	
14,00	4,2	3,9	2,7	0,90	113	120	
13,00	4,5	4,2	2,9	0,85	118	129	
12,00	5,0	4,5	3,2	0,80	127	140	
11,00	5,5	5,1	3,6	0,75	138	152	
10,00	6,1	5,7	4,1	0,70	150	166	
9,00	6,9	6,5	4,7	0,65	164	183	
8,50	7,4	7,0	5,0	0,60	181	204	
8,00	7,9	7,5	5,5	0,55	202	228	
7,50	8,5	8,1	6	0,50	227	259	
7,00	9,2	8,8	7				
6,50	10,1	9,7	7				
6,00	11	11	8				
5,50	13	12	10				
5,10	14	13	10				

Attraverso il programma Dinver precedentemente indicato è stata ricavata una stima indicativa delle velocità delle onde di taglio S e delle onde longitudinali P, come sotto riportato:

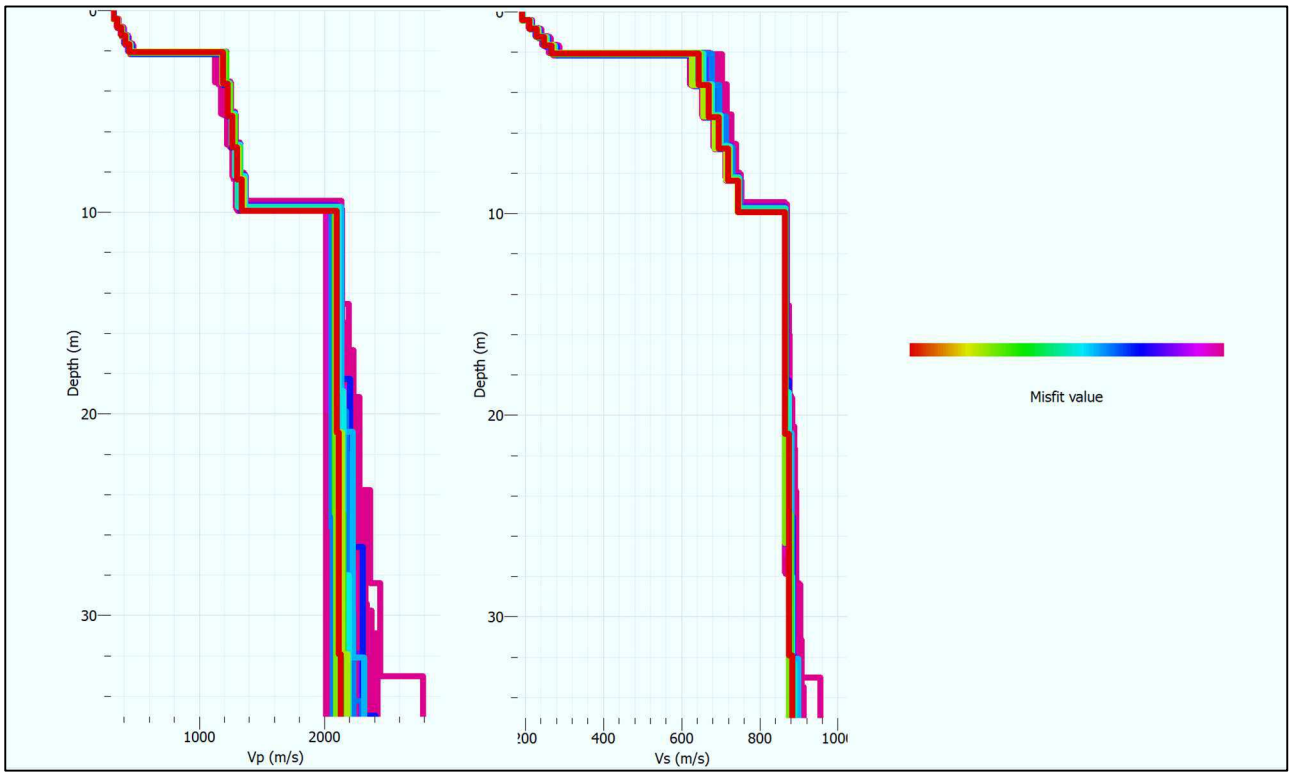


Figura 63:Elaborazione con Dinver della prova n. 1 (Strumento 1) con il theremino (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)

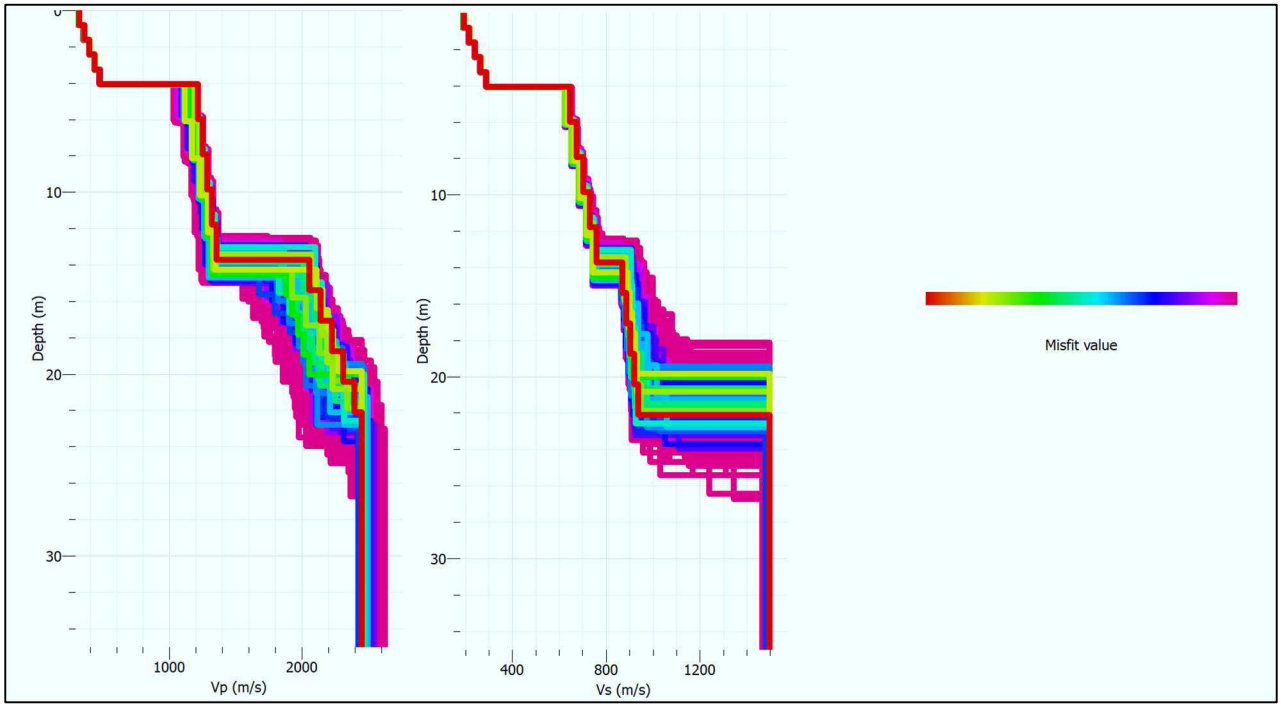


Figura 64: Elaborazione con Dinver della prova n. 2 (Strumento 1) con il theremino (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)

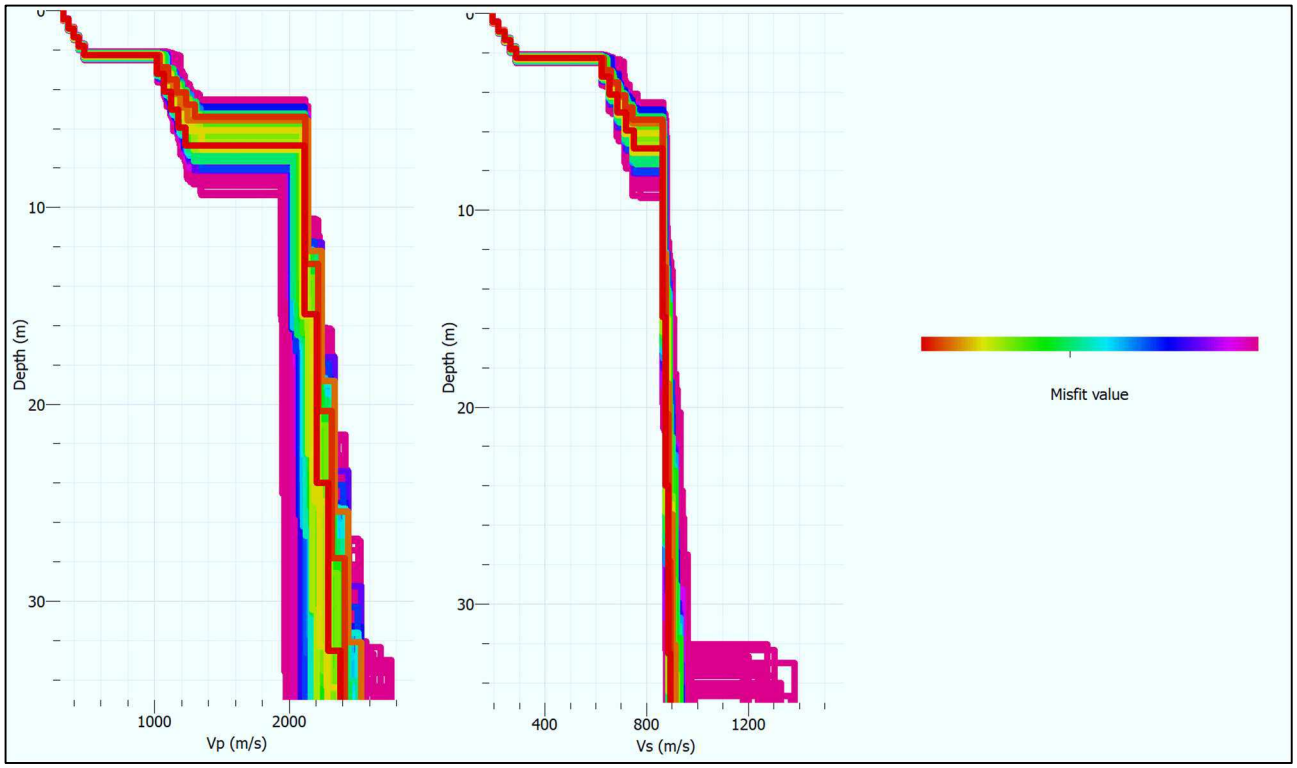


Figura 65: Elaborazione con Dinver della prova n. 3 (Strumento 1) con il theremino (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)

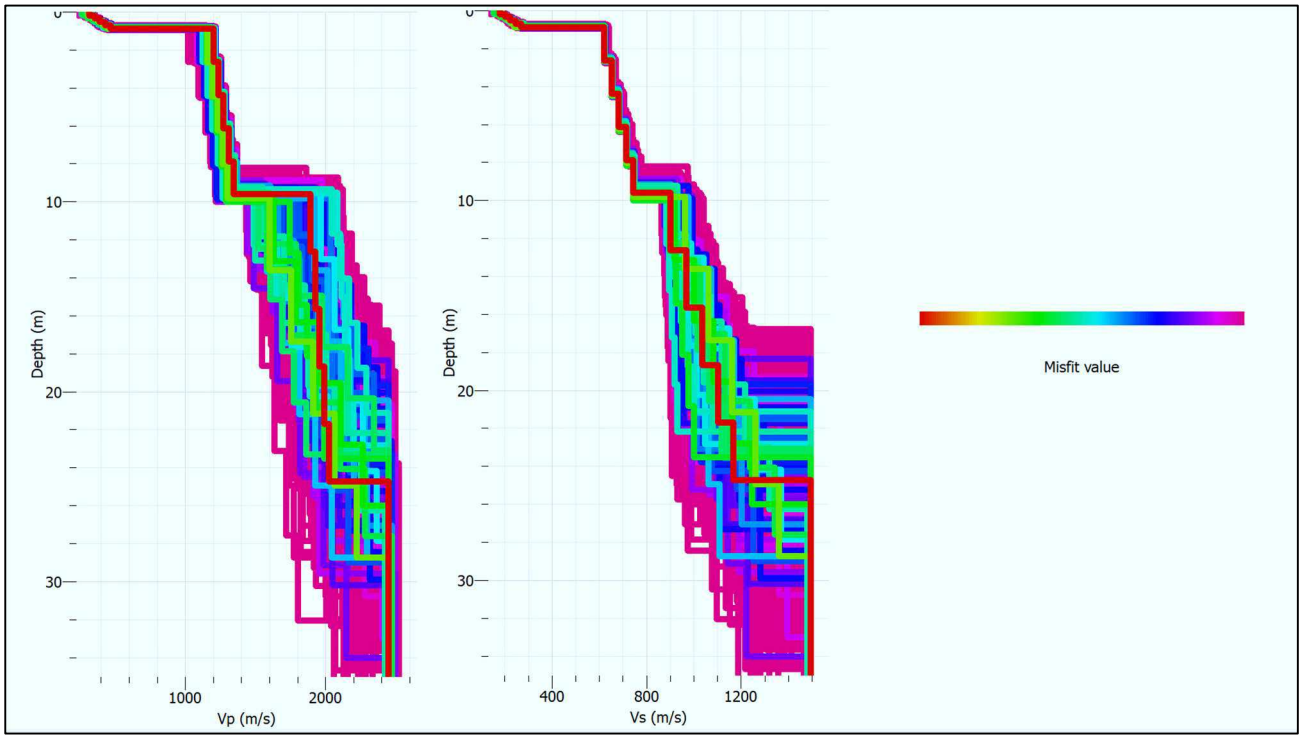


Figura 66: Elaborazione con Dinver della prova n. 4 (Strumento 2) con il theremino (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)

Acquisizione HVSR n. 1 (Strumento 1)

Velocità delle onde S – Acquisizione HVSR n. 1:

Profondità (m)	Vs (m/s)
da 0,00 a – 2,00	242
da -2,00 a – 9,96	698
da -20,04 a – 30,00	876

Velocità delle onde P – Acquisizione HVSR n. 1:

Profondità (m)	Vp (m/s)
da 0,00 a – 2,00	403
da -2,00 a – 9,96	1259
da -20,04 a – 30,00	2113

Il valore di Vs30 (NTC 2008) ottenuto con l'acquisizione HVSR n. 1 (Strumento 1) sopra riportata, è pari a 705 m/s, mentre il valore delle Vsequivalenti (NTC 2018) è pari a 509 m/s.

I dati possono essere utilmente elaborati per ricavare le grandezze sotto descritte.

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
403	242	2	2	0,008264463	m/sec	
1259	698	7,96	9,96	0,011404011		
2113	876	20,04	30	0,022876712		
				0,042545187	**705,13**	**506,39**

Acquisizioni con HVSR							
	Riporti Cava		Cappellaccio TUC		Substrato TUC		unità di
note		dati		dati		dati	misura
velocità onda longitudinale	Vp =	403	Vp =	1259	Vp =	2113	m/s
velocità onda trasversale	Vs =	242	Vs =	698	Vs =	876	m/s
densità	g =	1,8	g =	2,4	g =	2,5	t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	2618	Edin =	30469	Edin =	54609	kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0,22	ν =	0,28	ν =	0,40	
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gamx =	1075	Gmax =	11919	Gmax =	19556	kg/cmq

Acquisizione HVSR n. 2 (Strumento 2)

Velocità delle onde S – Acquisizione HVSR n. 2:

Profondità (m)	Vs (m/s)
da 0,00 a – 4,23	240
da -4,23 a – 13,85	704
da -13,85 a – 22,09	913
da -22,09 a – 30,00	1490

Velocità delle onde P – Acquisizione HVSR n. 2:

Profondità (m)	Vp (m/s)
da 0,00 a – 4,23	401
da -4,23 a – 13,85	1293
da -13,85 a – 22,09	2225
da -22,09 a – 30,00	2445

Il valore di Vs30 (NTC 2008) ottenuto con l'acquisizione HVSR n. 2 (Strumento 1) sopra riportata, è pari a 658 m/s, mentre il valore delle Vsequivalenti (NTC 2018) è pari a 442 m/s.

I dati possono essere utilmente elaborati per ricavare le grandezze sotto descritte.

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
401	240	4,23	4,23	0,017625	m/sec	
1293	704	9,62	13,85	0,013664773		
2225	913	8,24	22,09	0,009025192		
2445	1490	7,91	30	0,005308725		
				0,045623689	**657,55**	**442,64**

Acquisizioni con HVSR						
	Riporti Cava		Cappellaccio TUC		Substrato TUC	unità di
note		dati		dati		dati misura
velocità onda longitudinale	Vp =	401	Vp =	1293	Vp =	2225 m/s
velocità onda trasversale	Vs =	240	Vs =	704	Vs =	913 m/s
densità	g =	1,8	g =	2,4	g =	2,5 t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81 m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	2581	Edin =	31266	Edin =	59428 kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0,22	ν =	0,29	ν =	0,40
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gamx =	1057	Gmax =	12125	Gmax =	21243 kg/cmq

* Il substrato TUC mostra miglioramenti in profondità

Acquisizione HVSR n. 3 (Strumento 1)

Velocità delle onde S – Acquisizione HVSR n. 3:

Profondità (m)	Vs (m/s)
da 0,00 a – 2,11	256
da -2,11 a – 6,78	712
da -6,78 a – 30,00	882

Velocità delle onde P – Acquisizione HVSR n. 3:

Profondità (m)	Vp (m/s)
da 0,00 a – 2,11	405
da -2,11 a – 6,78	1142
da -6,78 a – 30,00	2189

Come si può notare il valore di Vs30 (NTC 2008) ottenuto con l'acquisizione HVSR n. 3 (Strumento 1) sopra riportata, è pari a 729 m/s, mentre il valore delle Vsecquivalenti (NTC 2018) è pari a 458 m/s.

I dati possono essere utilmente elaborati per ricavare le grandezze sotto descritte.

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
405	256	2,11	2,11	0,008242188	m/sec	
1142	712	4,67	6,78	0,006558989		
2189	882	23,22	30	0,026326531		
				0,041127707	**729,44**	**458,07**

Acquisizioni con HVSR						
	Riporti Cava		CappellaccioNCM		Substrato NCM	unità di
note		dati		dati	dati	misura
velocità onda longitudinale	Vp =	405	Vp =	1142	Vp = 2189	m/s
velocità onda trasversale	Vs =	256	Vs =	712	Vs = 882	m/s
densità	g =	1,8	g =	2,4	g = 2,5	t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81	g =	9,81	g = 9,81	m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	2807	Edin =	29320	Edin = 55632	kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0,17	ν =	0,18	ν = 0,40	
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gamx =	1202	Gmax =	12402	Gmax = 19825	kg/cmq

Acquisizione HVSR n. 4 (Strumento 2)

Velocità delle onde S – Acquisizione HVSR n. 4:

Profondità (m)	Vs (m/s)
da 0,00 a – 0,66	237
da -0,66 a – 9,62	698
da -9,62 a – 24,79	1037
da -24,79 a – 30,00	1500

Velocità delle onde P – Acquisizione HVSR n. 4:

Profondità (m)	Vp (m/s)
da 0,00 a – 0,66	403
da -0,66 a – 9,62	1279
da -9,62 a – 24,79	1959
da -24,79 a – 30,00	2442

Come si può notare il valore di Vs30 (NTC 2008) ottenuto con l'acquisizione HVSR n. 4 (Strumento 2) sopra riportata, è pari a 890 m/s, mentre il valore delle Vsequivalenti (NTC 2018) è pari a 615 m/s.

I dati possono essere utilmente elaborati per ricavare le grandezze sotto descritte.

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
403	237	0,66	0,66	0,00278481	m/sec	
1279	698	8,96	9,62	0,012836676		
1959	1037	15,17	24,79	0,014628737		
2442	1500	5,21	30	0,003473333		
				0,033723556	**889,59**	**615,82**

	Acquisizioni con HVSR						
	Riporti Cava		CappellaccioNCM		Substrato NCM		unità di
note		dati		dati		dati	misura
velocità onda longitudinale	Vp =	403	Vp =	1279	Vp =	1959	m/s
velocità onda trasversale	Vs =	237	Vs =	698	Vs =	1037	m/s
densità	g =	1,8	g =	2,4	g =	2,5	t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	2547	Edin =	30702	Edin =	71546	kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0,24	ν =	0,29	ν =	0,31	
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gamx =	1031	Gmax =	11919	Gmax =	27405	kg/cmq

* Il substrato NCM mostra miglioramenti in profondità

IL MODULO DI REAZIONE UNITARIO (COSTANTE DI WINKLER)

Abbiamo visto come il valore del modulo possa essere ricavato direttamente dal valore del numero di colpi della prova SPT (N) o dai risultati di prove di piastra standard di lato 30cm.
Kp = N/7.8 = [kg/cmq)
Il valore del modulo di reazione deve essere riferito alla dimensione in pianta della fondazione (B), assumendo così la sua formulazione dimensionale tradizionale in kg/cmc.
K = kp/(1.5*B) per terreni coerenti
K = kp*[(B+30)/(2B)]^2 per terreni incoerenti
Con B = 15 m, si ottiene

formula di Terzaghi (1955)			**Modulo di reazione**	
B (cm) =	100		terreni incoerenti	
	prova SPT	Kp (kg/cmq)	K (kg/cmc)	
n° colpi	7	0,9	0,4	Riporti superficiali CAVA
n° colpi	9	1,2	0,5	Riporti superficiali colmata Rio Sorba

Lo stesso Terzaghi propone una formulazione in dipendenza del valore del modulo Elastico E e della forma e della dimensione in pianta della fondazione:
k = a1(E/b) per fondazioni quadrate o circolari
k = a2(E/b) per fondazioni nastriformi. I valori di a1 e a2 sono funzione della potenza dello strato comprimibile H e della larghezza b della fondazione.

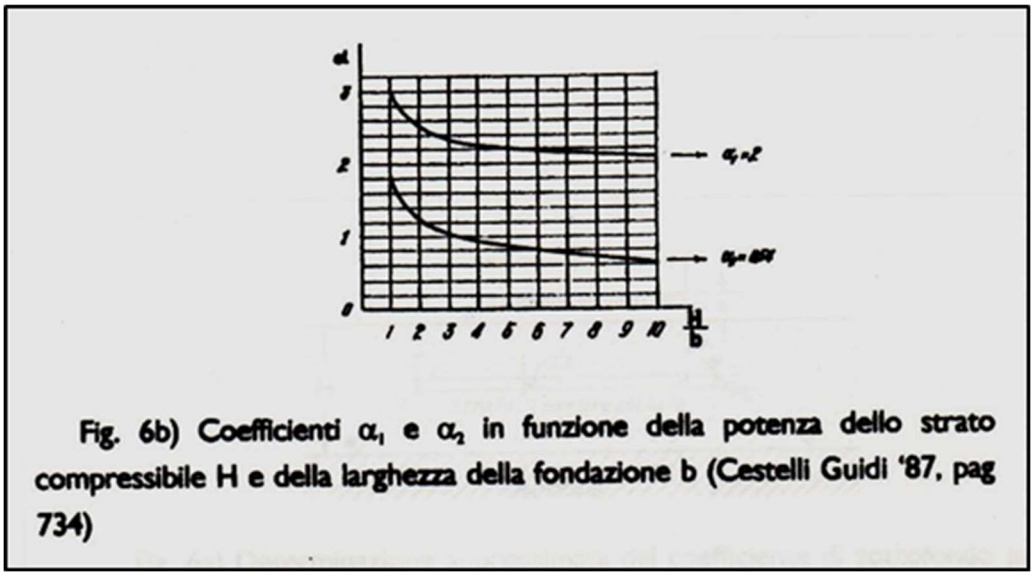


Fig. 6b) Coefficienti α_1 e α_2 in funzione della potenza dello strato compressibile H e della larghezza della fondazione b (Cestelli Guidi '87, pag 734)

Si ottiene pertanto:

formula di Terzaghi HVSR1		**Modulo elastico pari a 1/20 Edyn**			
B (cm) =	100	f. quadrata	f.nastriforme		
Modulo Elastico		K (kg/cmc)	K (kg/cmc)		
E riporti	130,9	3,9	2,6	alfa1=	3
E cappellaccio	1523,4	45,7	30,5	Alfa 2=	2

formula di Terzaghi HVSR2		Modulo elastico pari a 1/20 Edyn			
B (cm) =	100	f. quadrata	f.nastriforme		
Modulo Elastico		K (kg/cmc)	K (kg/cmc)		
E riporti	129,0	5,5	3,7	alfa1=	3
E cappellaccio	1563,3	67,0	44,7	Alfa 2=	2

formula di Terzaghi HVSR3		Modulo elastico pari a 1/20 Edyn			
B (cm) =	100	f. quadrata	f.nastriforme		
Modulo Elastico		K (kg/cmc)	K (kg/cmc)		
E riporti	140,4	4,2	2,8	alfa1=	3
E cappellaccio	1466,0	44,0	29,3	Alfa 2=	2

formula di Terzaghi HVSR4		Modulo elastico pari a 1/20 Edyn			
B (cm) =	100	f. quadrata	f.nastriforme		
Modulo Elastico		K (kg/cmc)	K (kg/cmc)		
E riporti	127,3	3,8	2,5	alfa1=	3
E cappellaccio	1535,1	46,1	30,7	Alfa 2=	2

Infine Vesic propone di legare il modulo di deformazione k alla dimensione in pianta delle fondazioni B, e al valore del modulo di deformazione dei terreni Ev. Tale modulo, ricavabile da prove di piastra, coincide con il modulo elastico di Young (E) sotto ricavato, per terreni con coefficiente di Poisson pari a 0.2 (tipico delle sabbie) e prove con piastra circolare e superficiali (Cestari, 1990). La formulazione utilizzata è la seguente (Cetraro 2007):

La relazione proposta da *Vesic* (1961) è la seguente:

$$k = \frac{1}{B} \cdot 0{,}65 \cdot \left[\frac{(Et \cdot B^4)}{(Ef \cdot If)}\right]^{1/12} \cdot \frac{Et}{(1-\Pi^2)} = [kg/cm^3]$$

dove

Et e ***Ef*** rispettivamente i moduli di deformazione del terreno e della fondazione

If momento d'inerzia della fondazione

B larghezza fondazione

Π rapporto di *Poisson*

In considerazione del termine $0{,}65 \cdot \left[\frac{(Et \cdot B^4)}{Ef \cdot If}\right]^{1/12} \cong 1$ l'equazione può essere semplificata nel seguente modo:

$$k = \frac{1}{B} \cdot \frac{Et}{(1-\Pi^2)} = [kg/cm^3]$$

Si ottiene quindi:

formula di Vesic semplificata (1961)			HVSR1	
Ev ricavato da prove di piastra tradizionali coincide con E per ν=0.2				
Modulo Elastico pari a 1/20 del valore di Edyn				
E kg/cmq	ν	B (cm)	K (kg/cmc)	
130,88	0,22	100,00	1,37	coltri
1523,43	0,28	100,00	16,51	cappellaccio

formula di Vesic semplificata (1961)			HVSR2	
Ev ricavato da prove di piastra tradizionali coincide con E per ν=0.2				
Modulo Elastico pari a 1/20 del valore di Edyn				
E kg/cmq	ν	B (cm)	K (kg/cmc)	
129,04	0,22	100,00	1,36	coltri
1563,32	0,29	100,00	17,06	cappellaccio

formula di Vesic semplificata (1961)			HVSR3	
Ev ricavato da prove di piastra tradizionali coincide con E per ν=0.2				
Modulo Elastico pari a 1/20 del valore di Edyn				
E kg/cmq	ν	B (cm)	K (kg/cmc)	
140,37	0,17	100,00	1,44	coltri
1466,02	0,18	100,00	15,16	cappellaccio

formula di Vesic semplificata (1961)			HVSR4	
Ev ricavato da prove di piastra tradizionali coincide con E per ν=0.2				
Modulo Elastico pari a 1/20 del valore di Edyn				
E kg/cmq	ν	B (cm)	K (kg/cmc)	
127,35	0,24	100,00	1,35	coltri
1535,12	0,29	100,00	16,74	cappellaccio

PROVA SISMICA A RIFRAZIONE E MASW CAVA

In corrispondenza dell'allineamento sismico predisposto è stata eseguita una serie di indagini sismiche a rifrazione, per definire l'andamento delle velocità delle onde P (longitudinali).
La geometria dello stendimento è la seguente:

nome	Lunghezza (m)	Interasse geofoni (m)	N° geofoni	Offset sparo
SIS1	54	3.0	18	3.0
SIS2	45	2.5	18	2.5
SIS3	45	2.5	18	2.5

Per le stese sono state fatte delle energizzazioni di andata (a 2,5-3.0 metri dal primo geofono), delle energizzazioni di ritorno, oltre che una energizzagione centrale presso cui è stata eseguita la prova penetrometrica atta alla taratura della risposta sismica.
Per le prove in situ è stata utilizzata un'apparecchiatura costituita da un sismografo DoReMi di Sara Electronic Instruments a 24 bit, con 18 canali modulari con geofoni verticali ad alta sensibilità da 4,5 Hz. Frequenze selezionabili dal sismografo da 500 a 20000 Hz (passi di campionamento da 2 a 0.05 ms).
La durata delle acquisizioni per la stesa sismica a rifrazione è stata pari a 0,250 s, per l'acquisizione Masw pari a 2 s.
Per l'energizzazione è utilizzata una mazza da 8 kg con battuta su piastra metallica. Il sismografo è collegato ad un pc Windows compatibile, tramite porta USB, su cui è installato il software di gestione omonimo DoReMi che consente di controllare le numerose possibilità di acquisizione dello strumento.
Per l'elaborazione della stesa sismica a rifrazione è stato utilizzato il software Easyrefract di Geostru (metodo GRM o di Palmer) e con il metodo delle intercette.
La prospezione sismica a rifrazione si basa sulla determinazione delle velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) nel terreno.
Le onde generate da una massa battente si propagano nel terreno e vengono rilevate dai geofoni, mentre i tempi di arrivo delle onde sono registrati e visualizzati sul sismografo.
Dall'elaborazione matematica dei dati si risale alla geometria dei mezzi attraversati e quindi si opera l'interpretazione grafica mediante sezioni interpretative.
La profondità di investigazione è pari a circa 1/3 della lunghezza dello stendimento.

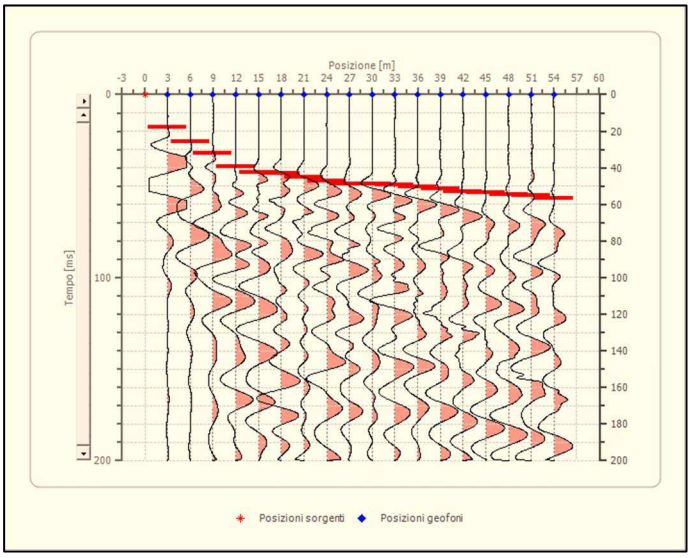


Figura 67: SIS1 Acquisizione di Andata

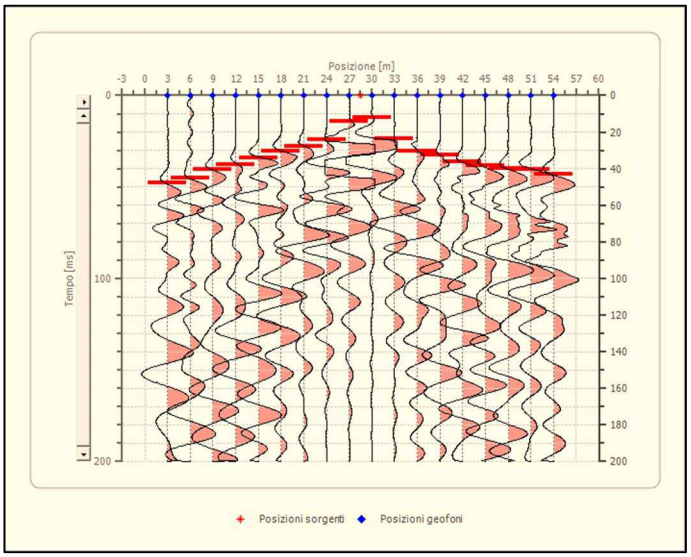


Figura 68: SIS1 Acquisizione centrale

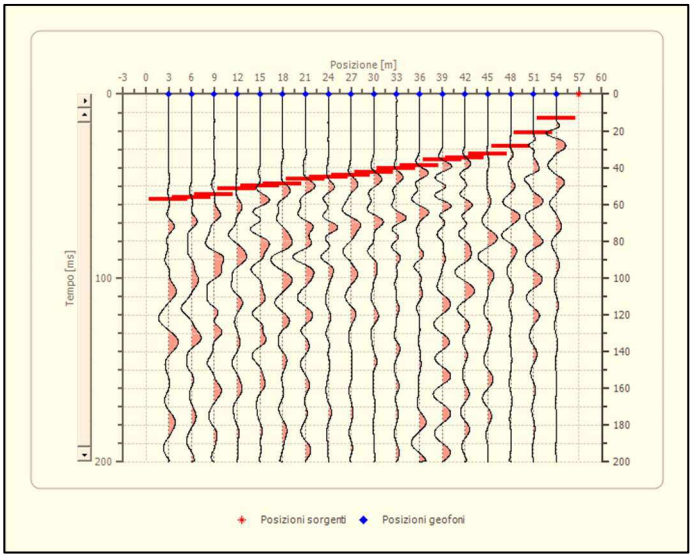


Figura 69: SIS1 Acquisizione di ritorno

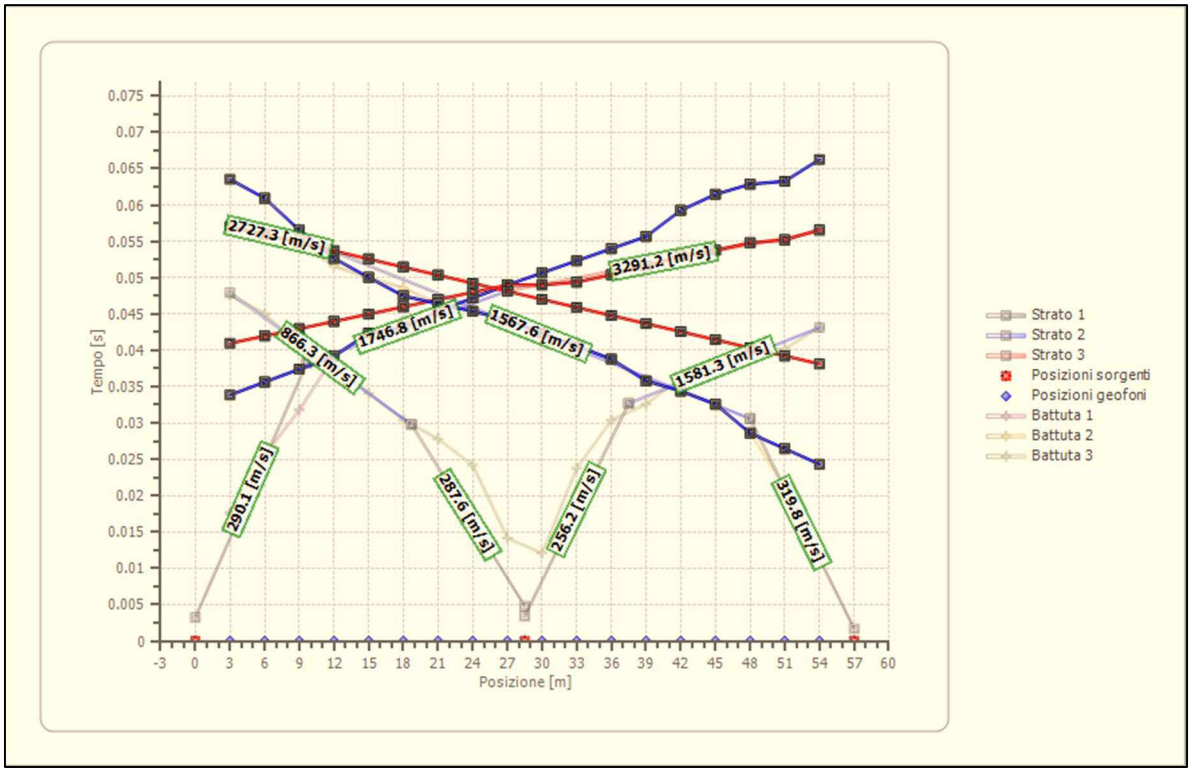


Figura 70: SIS1 Dromocrone

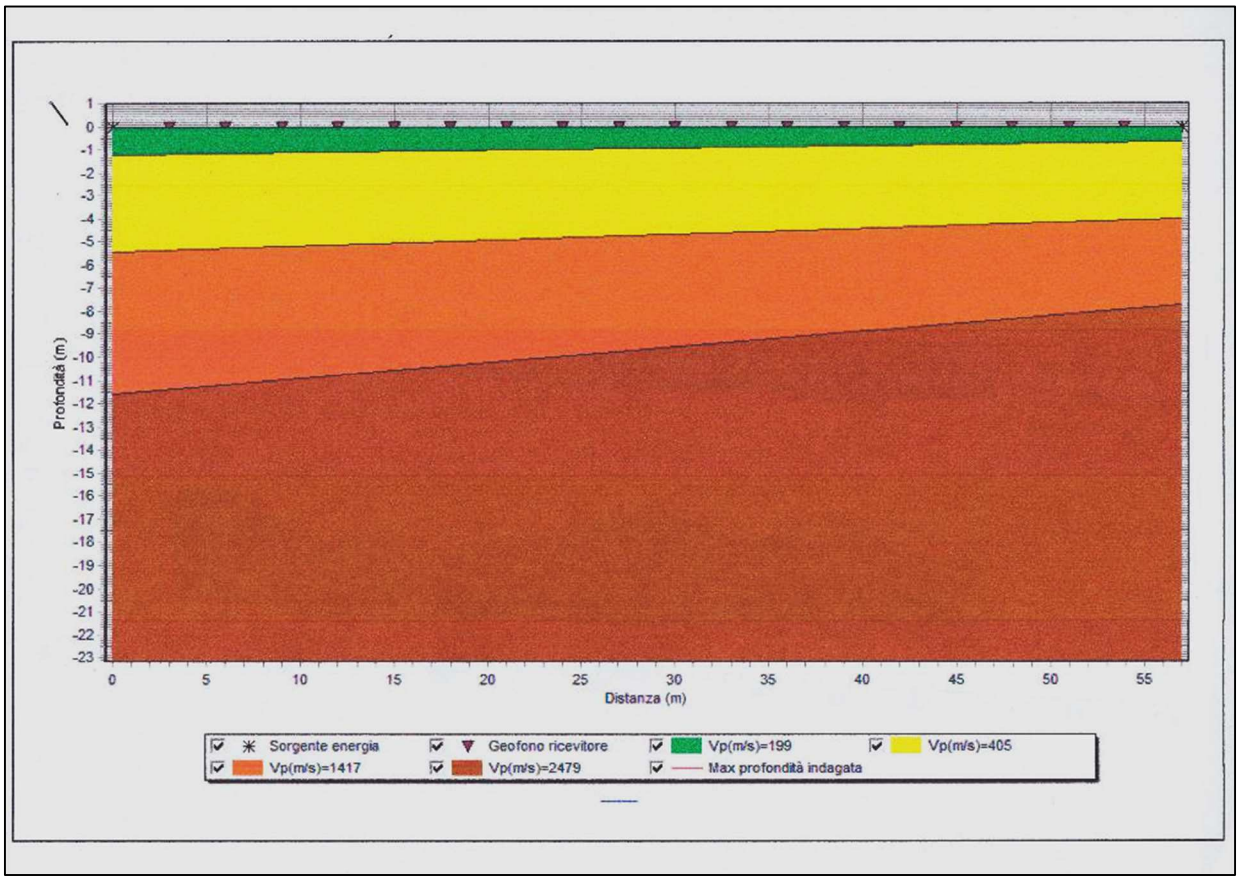


Figura 71: SIS 1 Metodo delle intercette

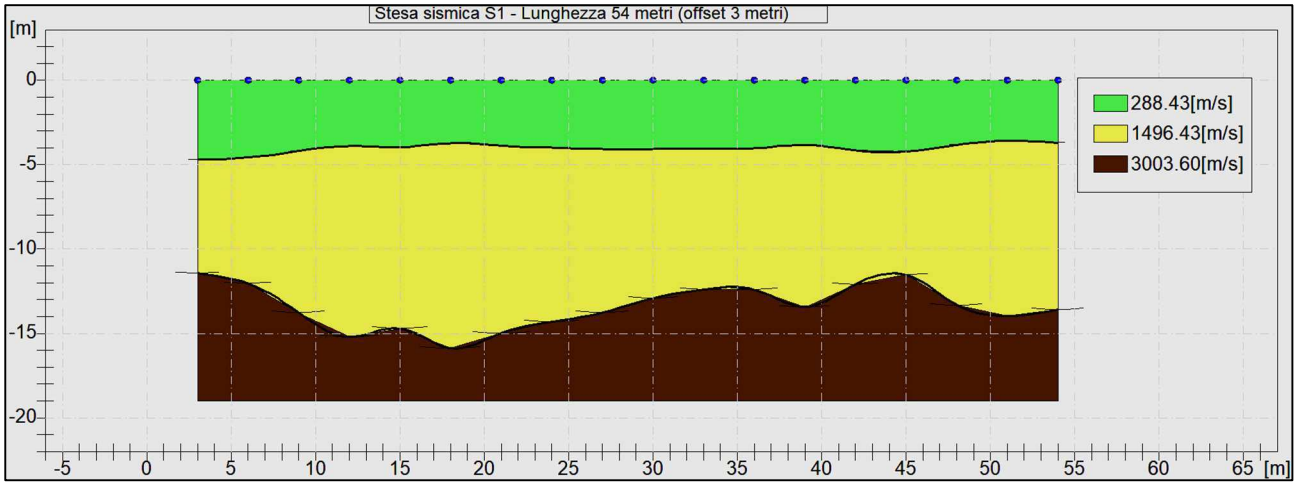


Figura 72: SIS1 Sezione Metodo GRM

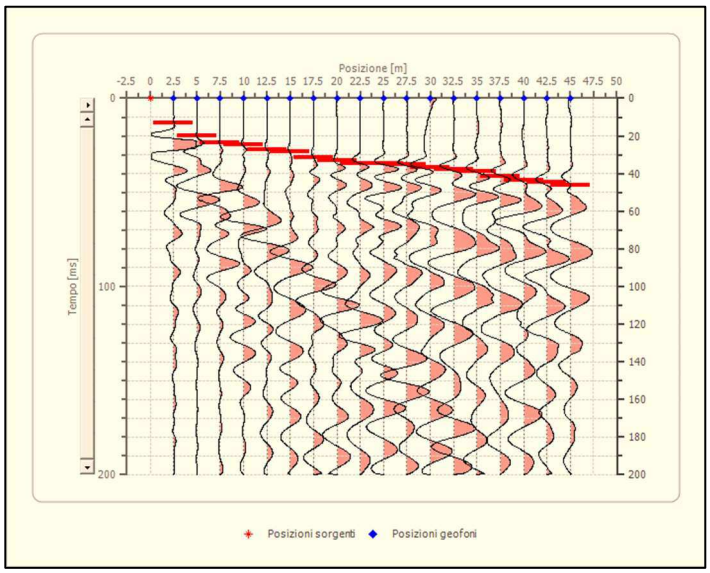
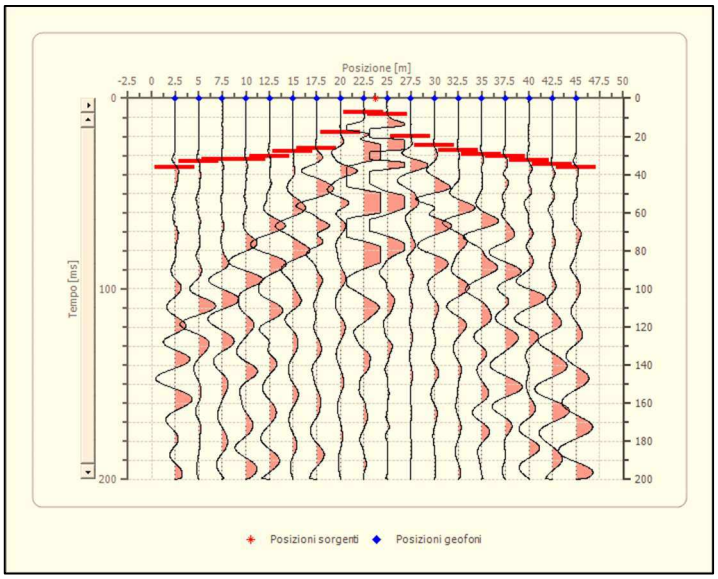


Figura 73: SIS2 Acquisizione di Andata

Figura 74: SIS2 Acquisizione centrale



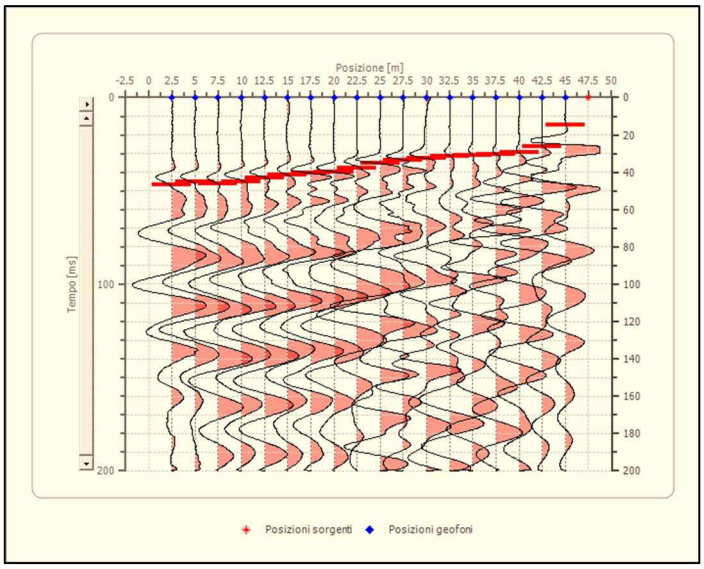


Figura 75: SIS2 Acquisizione di ritorno

Figura 76: SIS2 Dromocrone

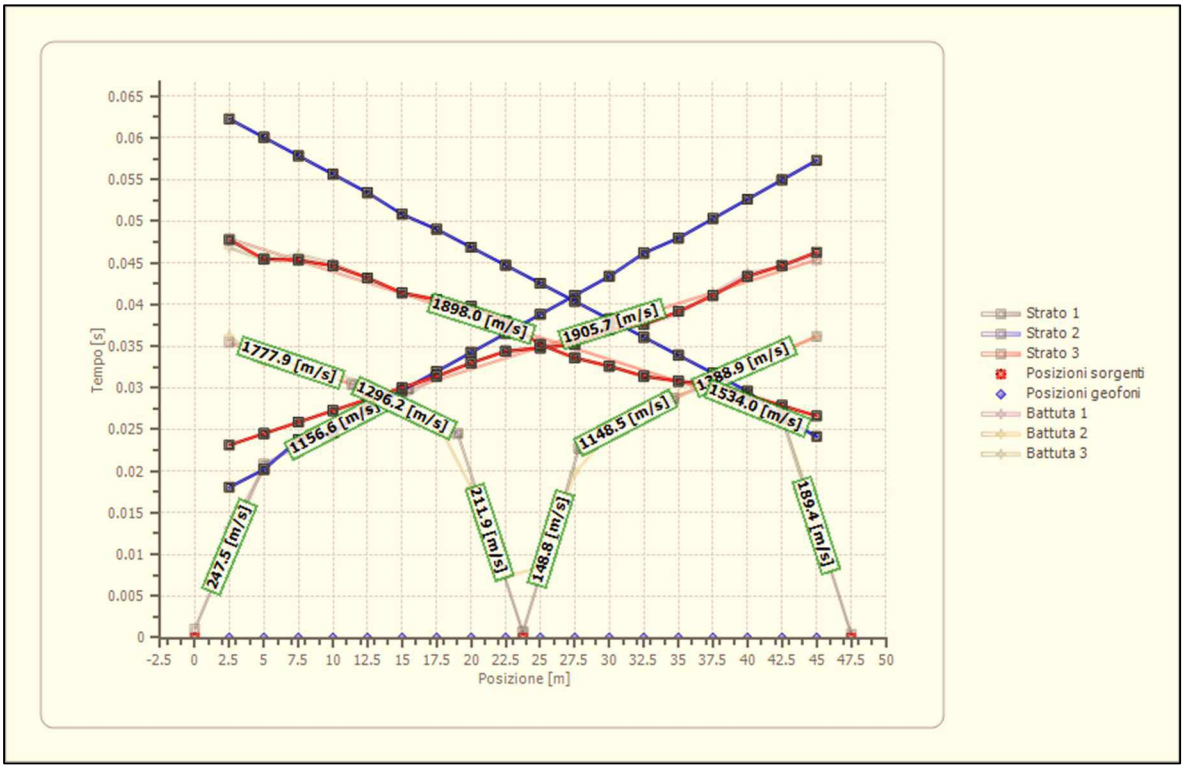
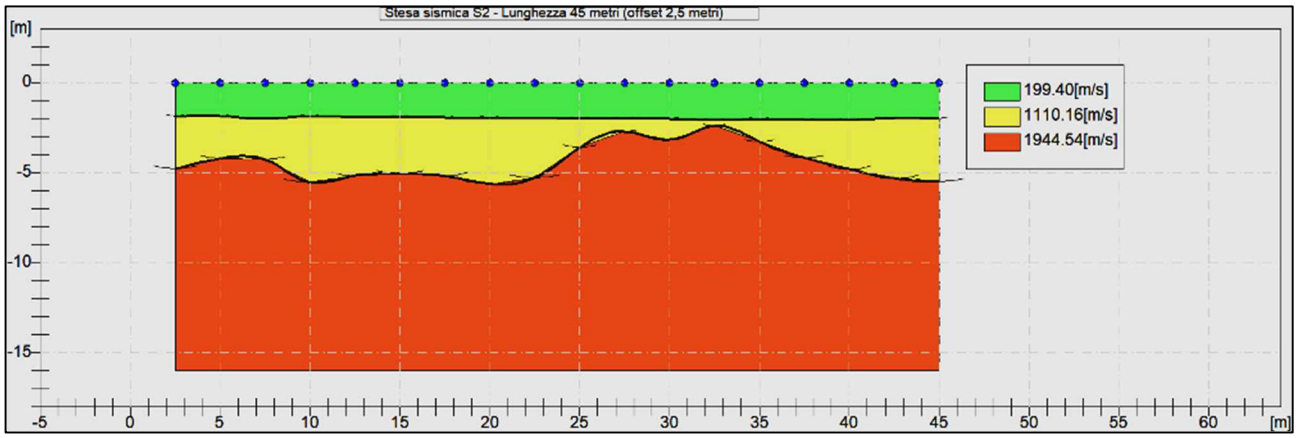


Figura 77: SIS2 Sezione Metodo GRM



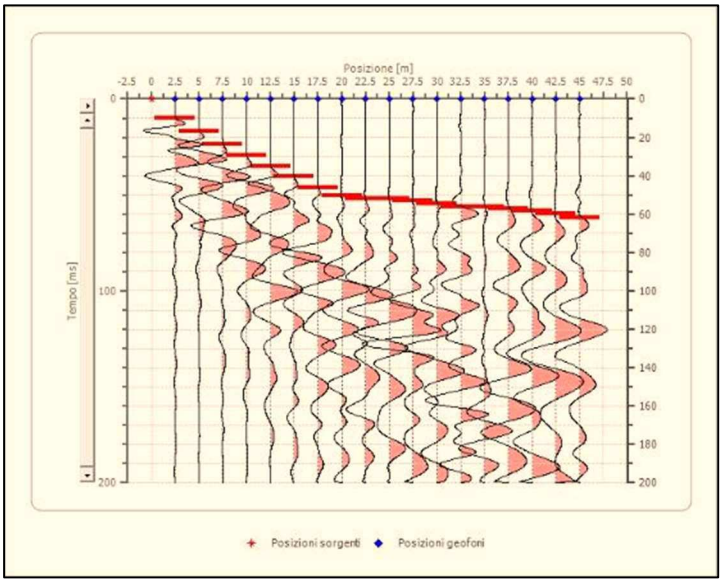


Figura 78: SIS3 Acquisizione di Andata

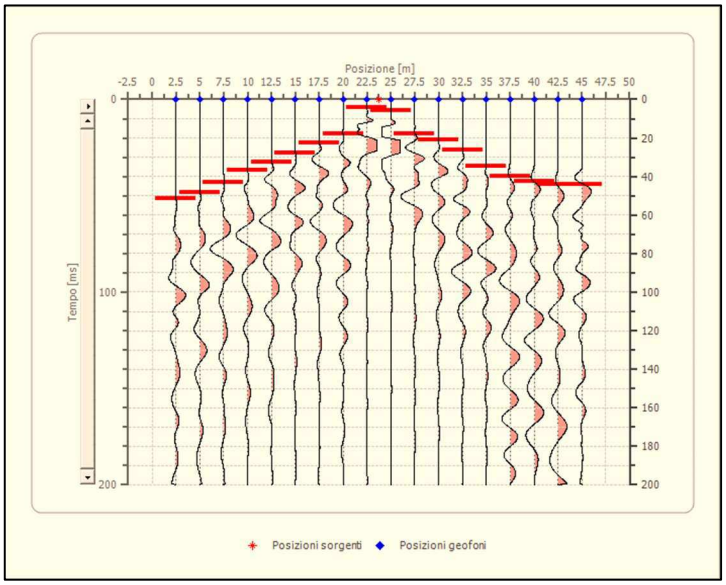


Figura 79: SIS3 Acquisizione centrale

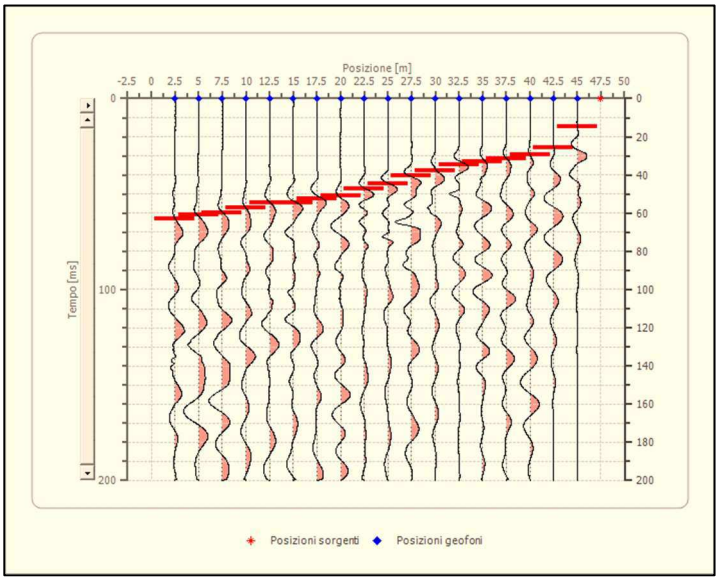


Figura 80: SIS3 Acquisizione di ritorno

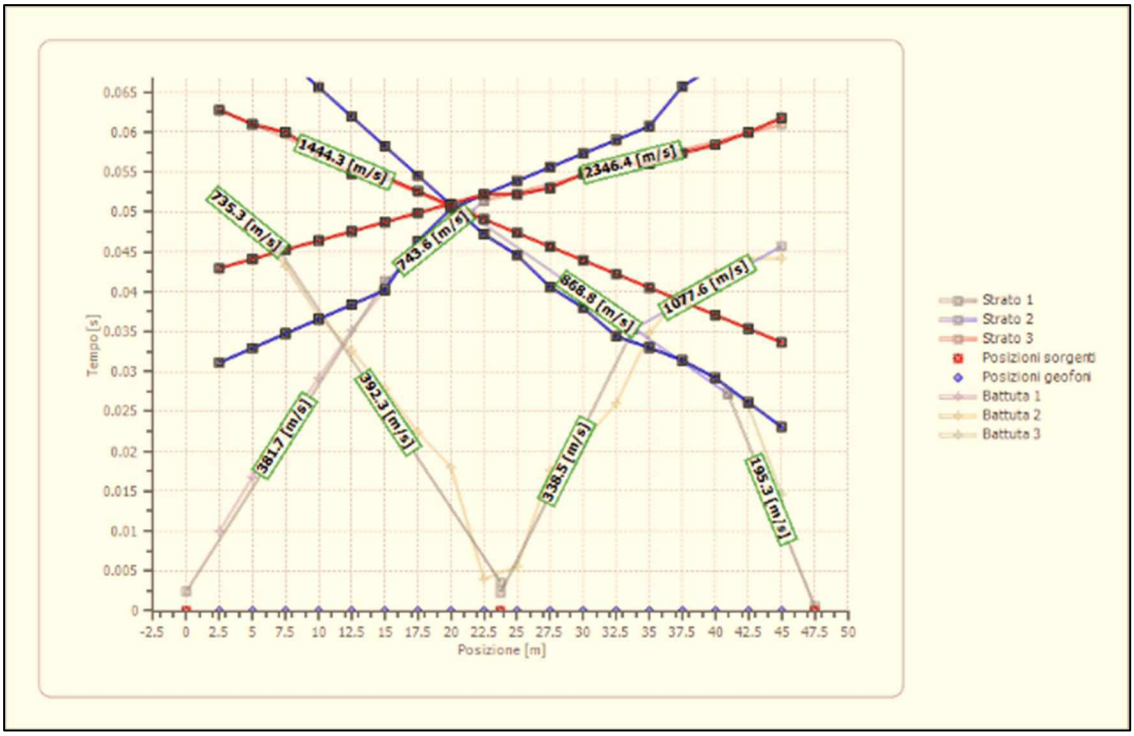


Figura 81: SIS3 Dromocrone

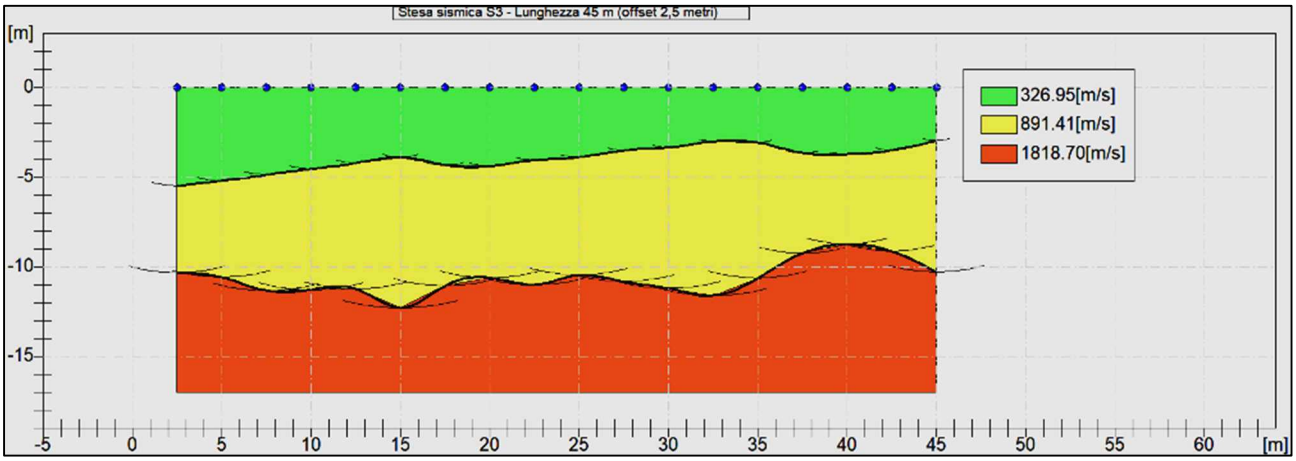


Figura 82: SIS3 Sezione Metodo GRM

Per una valutazione della velocità delle onde sismiche trasversale (Vs) nei primi 30 metri di profondità (a partire dalla quota 0 m costituita dal piano campagna esistente), è stata eseguita anche una **acquisizione MASW** sui singoli profili**.** L'apparecchiatura impiegata è quella descritta nel precedente paragrafo, mentre le registrazioni sono state eseguite in corrispondenza dell'andata e del ritorno della prospezione sismica a rifrazione.

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè le onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che le onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli stati più profondi del suolo. Il metodo MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo, nel nostro caso è stato considerato il metodo attivo, ovvero eseguendo una energizzazione tramite mazza battente.

Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, in funzione della rigidezza del suolo. Il metodo MASW (attivo) consiste in tre fasi (Roma 2002): la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica, la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio Vs e di compressione Vp (o in maniera alternativa alle velocità Vp è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo assegnato. Per l'elaborazione è stato impiegato il software "MASW" dell'Ing. Vitantonio Roma, per una dettagliata descrizione del metodo Masw e del programma fare riferimento a "Caratterizzazione sismica dei suoli con il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) di Vitantonio Roma (Libri Tecnici Professionali Editrice – 2006). Nel dettaglio sono state eseguite circa quattro registrazioni MASW (in seguito, in fase di elaborazione è stata effettuata una scelta della registrazione migliore), in corrispondenza di entrambi gli estremi della stesa, energizzando con la mazza per una durata ciascuna pari a due secondi.



Figura 83: SIS1 profilo Vs numerico

Il valore di **Vs30 (NTC 2008)** è pari a 797 **m/s**, mentre il valore delle **Vsequivalenti (NTC 2018)** è pari a **492 m/s,** tenuto conto della taratura eseguita con le prove penetrometriche eseguite.

I dati possono essere utilmente elaborati per ricavare le grandezze sotto descritte:

MASW SIS1

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
451	276	3,5	3,5	0,012681159	m/sec	
1291	620	0,8	4,3	0,001290323		
1497	719	8	12,3	0,011126565		
2993	1400	0,5	12,8	0,000357143		
3000	1403	4,2	17	0,002993585		
2993	1400	5	22	0,003571429		
2995	1401	5	27	0,003568879		
3164	1480	6	33	0,004054054		
3314	2325	7	40	0,003010753		
				0,039643137	**796**	**492**

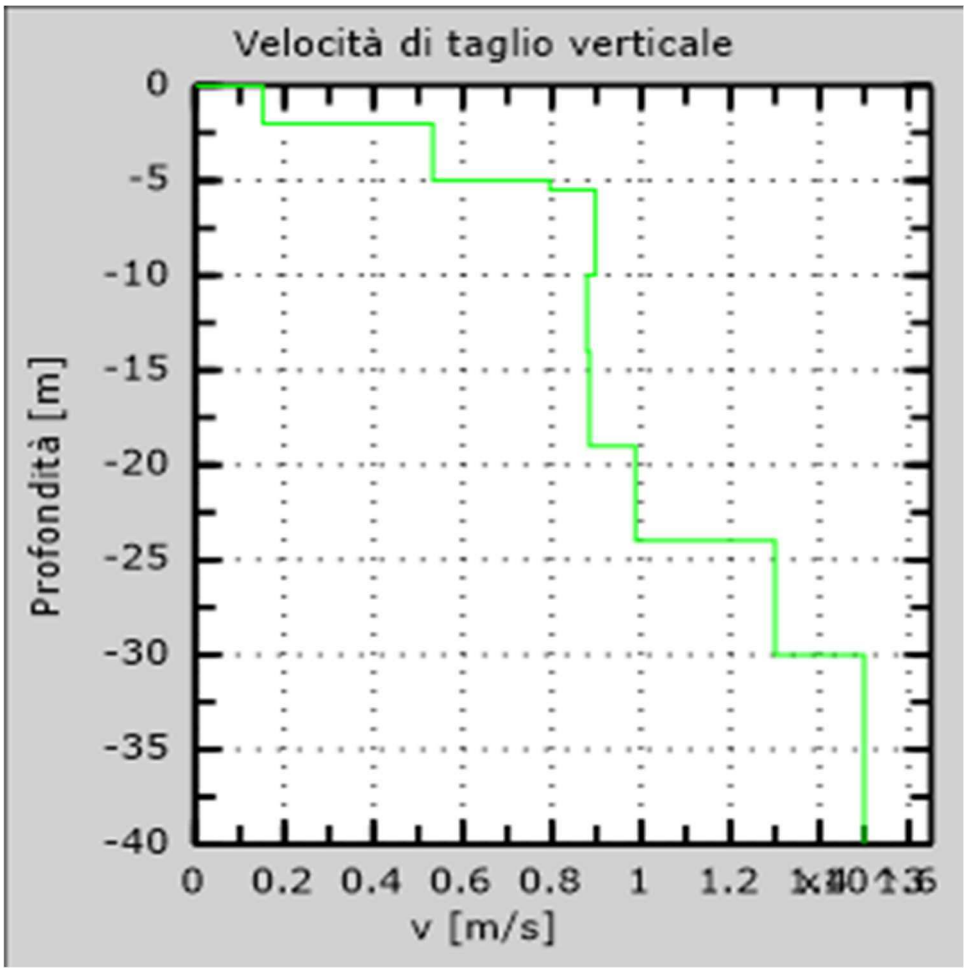
Acquisizioni con MASW						
	riporti		Coltri e accumulo		Substrato		unità di
note		dati		dati		dati	misura
velocità onda longitudinale	Vp =	451	Vp =	1291	Vp =	2993	m/s
velocità onda trasversale	Vs =	276	Vs =	620	Vs =	1400	m/s
densità	g =	1,8	g =	2,4	g =	2,5	t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	3356	Edin =	25394	Edin =	135857	kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0,20	ν =	0,35	ν =	0,36	
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gmax =	1398	Gmax =	9404	Gmax =	49949	kg/cmq

formula di Vesic semplificata (1961)		**MASW SIS1**		
Ev ricavato da prove di piastra tradizionali coincide con E per ν=0.2				
Modulo Elastico pari a 1/20 del valore di Edyn				
E kg/cmq	ν	B (cm)	K (kg/cmc)	
167,81	0,200	100	**1,7**	coltri
1269,68	0,350	100	**14,4**	cappellaccio

* Il substrato TUC mostra miglioramenti in profondità, sia nella sua porzione superficiale alterata che in quella profonda

MASW SIS2

Profilo Vs Numerico



Il valore di **Vs30 (NTC 2008)** è pari a 678 **m/s**, mentre il valore delle **Vsequivalenti (NTC 2018)** è pari a **285 m/s,** tenuto conto della taratura eseguita con le prove penetrometriche eseguite.

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
250	153	2	2	0,013071895	m/sec	
1110	533	3	5	0,005628518		
1700	795	0,5	5,5	0,000628931		
1920	898	4,5	10	0,005011136		
1879	879	4	14	0,004550626		
1890	884	5	19	0,005656109		
2110	987	5	24	0,005065856		
2780	1300	6	30	0,004615385		
3207	1500	10	40	0,006666667		
				0,044228455	**678,30**	**284,54**

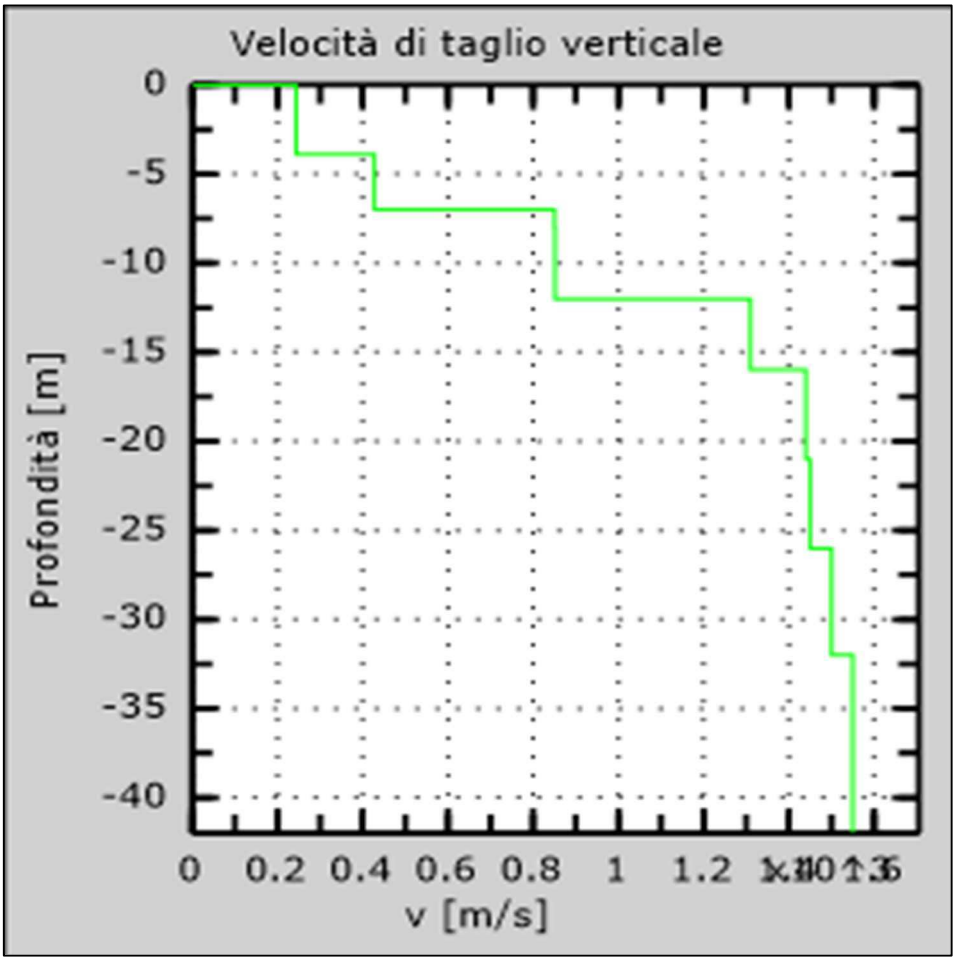
Acquisizioni con MASW									
	riporti		Riporti cava grossolani/TUC alterato		Substrato alterato TUC		Substrato roccioso TUC		unità di
note		dati		dati		dati		dati	misura
velocità onda longitudinale	Vp =	250	Vp =	1110	Vp =	1700	Vp =	2780	m/s
velocità onda trasversale	Vs =	153	Vs =	533	Vs =	795	Vs =	1300	m/s
densità	g =	1,8	g =	2,4	g =	2,5	g =	2,5	t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	1031	Edin =	18768	Edin =	43812	Edin =	117151	kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0,20	ν =	0,35	ν =	0,36	ν =	0,36	
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gmax =	430	Gmax =	6950	Gmax =	16107	Gmax =	43068	kg/cmq

formula di Vesic semplificata (1961)		**MASW SIS2**		
Ev ricavato da prove di piastra tradizionali coincide con E per ν=0.2				
Modulo Elastico pari a 1/20 del valore di Edyn				
E kg/cmq	ν	B (cm)	K (kg/cmc)	
51,57	0,20	100,00	**0,54**	coltri
938,39	0,35	100,00	**10,70**	Depositi cava grossolani
2190,58	0,36	100,00	**25,17**	Cappellaccio

* Il substrato TUC mostra miglioramenti in profondità, sia nella sua porzione superficiale alterata che in quella profonda

MASW SIS3

Profilo Vs Numerico



Il valore di **Vs30 (NTC 2008)** è pari a 718 **m/s**, mentre il valore delle **Vsequivalenti (NTC 2018)** è pari a **302 m/s,** tenuto conto della taratura eseguita con le prove penetrometriche eseguite.

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
398	244	3,9	3,9	0,015983607	m/sec	
891	428	3,1	7	0,007242991		
1817	850	1	8	0,001176471		
1820	851	4	12	0,004700353		
2801	1310	4	16	0,003053435		
3079	1440	5	21	0,003472222		
3100	1450	5	26	0,003448276		
3207	1500	6	32	0,004		
3314	1550	8	40	0,00516129		
				0,039643137	**796**	**492**

Acquisizioni con MASW								
	riporti		Riporti cava grossolani		Substrato alterato TUC		Substrato roccioso TUC		unità di
note		dati		dati		dati		dati	misura
velocità onda longitudinale	Vp =	398	Vp =	891	Vp =	1820	Vp =	3079	m/s
velocità onda trasversale	Vs =	244	Vs =	428	Vs =	851	Vs =	1440	m/s
densità	g =	1,8	g =	2,4	g =	2,5	g =	2,5	t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	2619	Edin =	12100	Edin =	50203	Edin =	143738	kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0,20	ν =	0,35	ν =	0,36	ν =	0,36	
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gmax =	1092	Gmax =	4482	Gmax =	18456	Gmax =	52844	kg/cmq

formula di Vesic semplificata (1961)		**MASW SIS3**		
Ev ricavato da prove di piastra tradizionali coincide con E per ν=0.2				
Modulo Elastico pari a 1/20 del valore di Edyn				
E kg/cmq	ν	B (cm)	K (kg/cmc)	
130,97	0,20	100,00	**1,36**	coltri
605,02	0,35	100,00	**6,89**	Depositi cava grossolani
2510,15	0,36	100,00	**28,84**	Cappellaccio

* Il substrato TUC mostra miglioramenti in profondità, sia nella sua porzione superficiale alterata che in quella profonda



Figura 84: stesa sismica SIS1



Figura 85: Stesa sismica SIS2



Figura 86: Stesa sismicqa SIS3

CONSIDERAZIONI RIASSUNTIVE SULLE ACQUISIZIONI SISMICHE IN CAVA

Le acquisizioni sismiche realizzate in cava, interessando un sensibile volume di terreno, sono considerate quali espressione dei valori caratteristici dei parametri misurati.

I dati sopra esposti possono essere così riassunti, procedendo idealmente dall'alto verso il basso:

1) Coperture "naturali" a coronamento della cava (HVSR3-4)

peso di volume	γ = 1.8-2.0 t/m^3
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 245 m/sec
Velocità onde sismiche longitudinali:	Vp = 405 m/sec
Modulo elastico dinamico	E'$_{dyn}$ = 2600 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.20
Modulo di resistenza al taglio dinamico	G'$_{dyn}$ = 110 Mpa
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 1.3 kg/cm^3

2) Calcari nummulitici (NCM) alterati (HVSR3-4)

peso di volume	γ = 2.2-2.4 t/m^3
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 700 m/sec
Velocità onde sismiche longitudinali:	Vp = 1200 m/sec
Modulo elastico dinamico	E'$_{dyn}$ = 30000 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.23
Modulo di resistenza al taglio dinamico	G'$_{dyn}$ = 1200 Mpa
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 16 kg/cm^3

3) Calcari nummulitici (NCM) (HVSR3-4)

peso di volume	γ = 2.5-2.6 t/m^3
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 960 m/sec
Velocità onde sismiche longitudinali:	Vp = 2100 m/sec
Modulo elastico dinamico	E'$_{dyn}$ = 64000 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.35
Modulo di resistenza al taglio dinamico	G'$_{dyn}$ = 2300 Mpa
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 35 kg/cm^3

4) Coperture "fini" a sedime della cava (HVSR1-2, SIS1-2-3)

peso di volume	γ = 1.8-2.0 t/m^3
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 230 m/sec
Velocità onde sismiche longitudinali:	Vp = 485 m/sec
Modulo elastico dinamico	E'$_{dyn}$ = 2400 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.21
Modulo di resistenza al taglio dinamico	G'$_{dyn}$ = 100 Mpa
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 1.3 kg/cm^3

5) Coperture "grossolane" a sedime della cava (SIS13)

peso di volume	γ = 1.8-2.0 t/m^3
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 430 m/sec
Velocità onde sismiche longitudinali:	Vp = 890 m/sec
Modulo elastico dinamico	E'$_{dyn}$ = 12000 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.25
Modulo di resistenza al taglio dinamico	G'$_{dyn}$ = 450 Mpa
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 6.9 kg/cm^3

6) Marne di Trucco (TUC) alterate (HVSR1-2, SIS1-2-3)

peso di volume	γ = 2.2-2.4 t/m^3
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 684 m/sec
Velocità onde sismiche longitudinali:	Vp = 1300 m/sec
Modulo elastico dinamico	E'_{dyn} = 31000 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.32
Modulo di resistenza al taglio dinamico	G'_{dyn} = 1200 Mpa
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 18 kg/cm^3

7) Marne di Trucco (TUC) (HVSR1-2, SIS1-2-3)

peso di volume	γ = 2.5-2.6 t/m^3
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 1100 m/sec
Velocità onde sismiche longitudinali:	Vp = 2500 m/sec
Modulo elastico dinamico	E'_{dyn} = 95000 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.38
Modulo di resistenza al taglio dinamico	G'_{dyn} = 3400 Mpa
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 75 kg/cm^3

LA SEZIONE GEOLOGICA IN CAVA

Sulla base delle prove realizzate in sito è possibile ricostruire le sezioni geologiche trasversali, riportate nelle **Tavole GEO C1 e C2**, allegate alla presente.

Il livello di falda, pur non riscontrato durante la realizzazione delle prove penetrometriche, viene posto appena al di sotto del piano di contatto fra coltri e substrato alterato. Al fine di tener conto della possibilità di percolazione e formazione di falda "sospesa" in occasione di piogge prolungate, a causa della differente permeabilità fra i terreni sciolti superficiali e i terreni, sia pure alterati, del substrato roccioso. Il confine fra base delle coltri detritiche e substrato roccioso alterato e fratturato è sfumato: le prove penetrometriche si arrestano nella parte superiore di tale cappellaccio di alterazione, dopo una certa lunghezza di penetrazione.

PROVA SISMICA HVSR RIO SORBA

Come visibile in Tavola GEO RS01 sono state eseguite n° 3 prove HVS, ubicate in posizione apicale, media e inferiore dell'asse della valletta del rio Sorba, colmata dai riporti autostradali.



Figura 87: Acquisizione HVSR 5 – Strumento 1 – Zona a monte del rio Sorba



Figura 88:Acquisizione HVSR 6 – Strumento 2 – Zona mediana presso il canale artificiale della ADF



Figura 89: Acquisizione HVSR 7 – Strumento 1 – Zona a valle, interno della serra, in corrispondenza della mediana della stesa sismica SIS6



Figura 90: Acquisizione HVSR 8 – Strumento 1 – Acquisizione sul versante prospiciente la colmata in destra del rio Sorba, leggermente a Ponente della stesa sismica SIS7

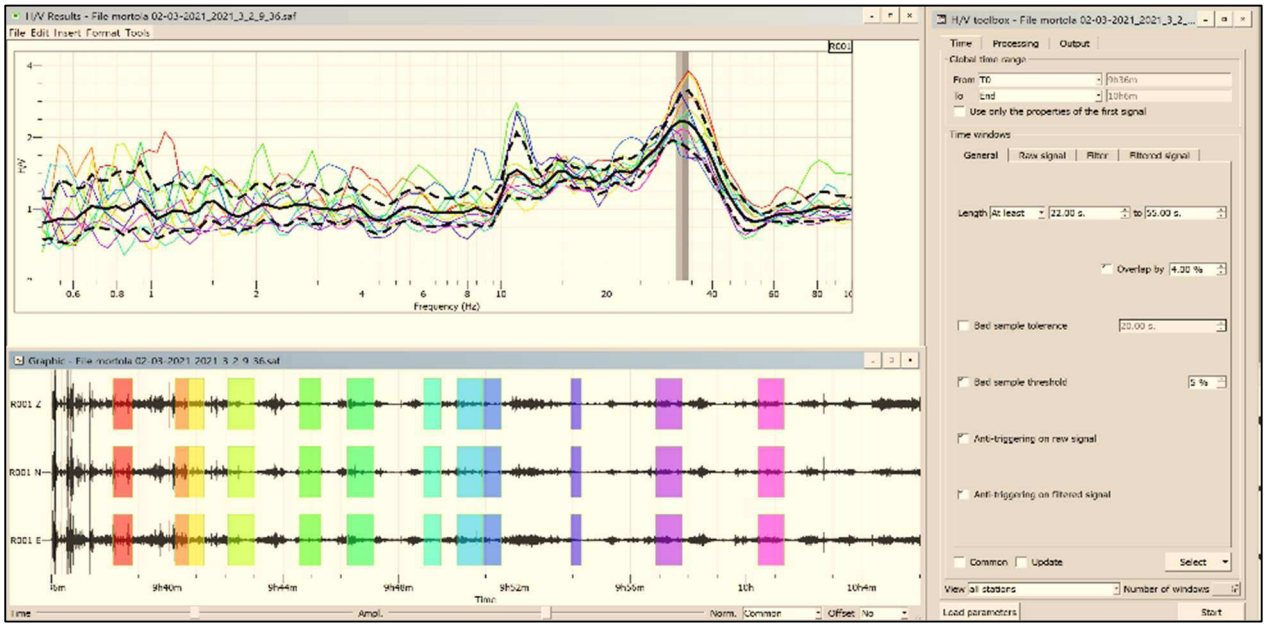


Figura 91: Grafico HVSR della registrazione n° 8 (Strumento 1)

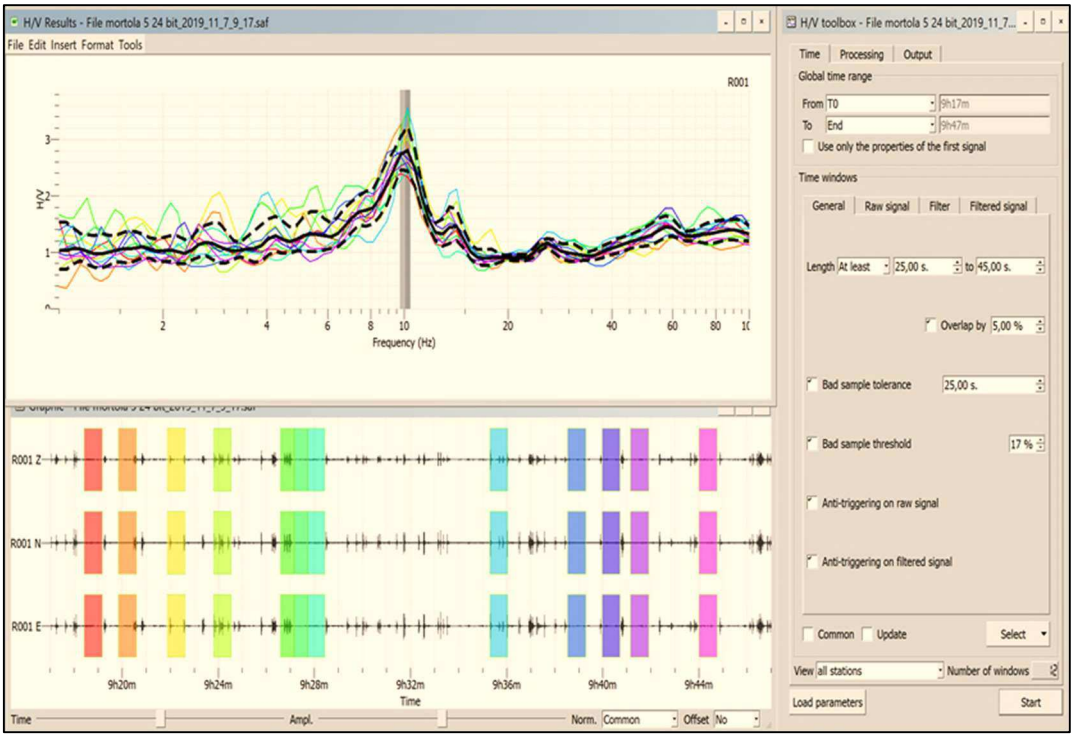


Figura 92: Grafico HVSR della registrazione n. 5 (Strumento 1)

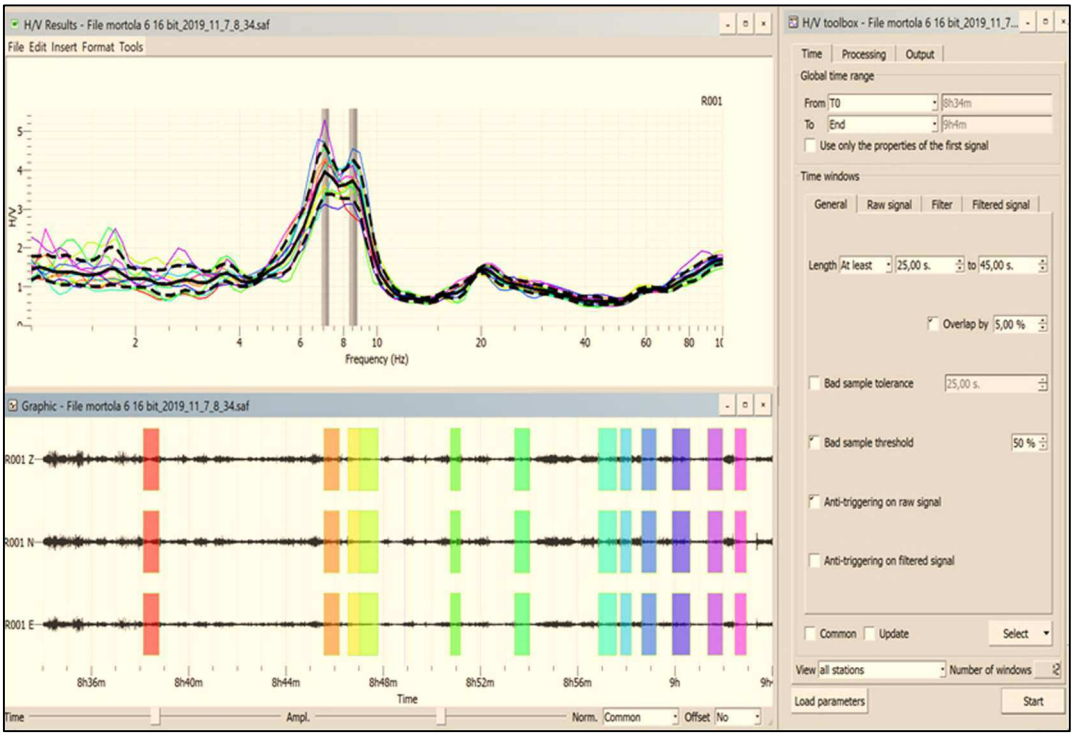


Figura 93: Grafico HVSR della registrazione n. 6 (Strumento 2)



Figura 94: Grafico HVSR della registrazione n. 7 (Strumento 1)

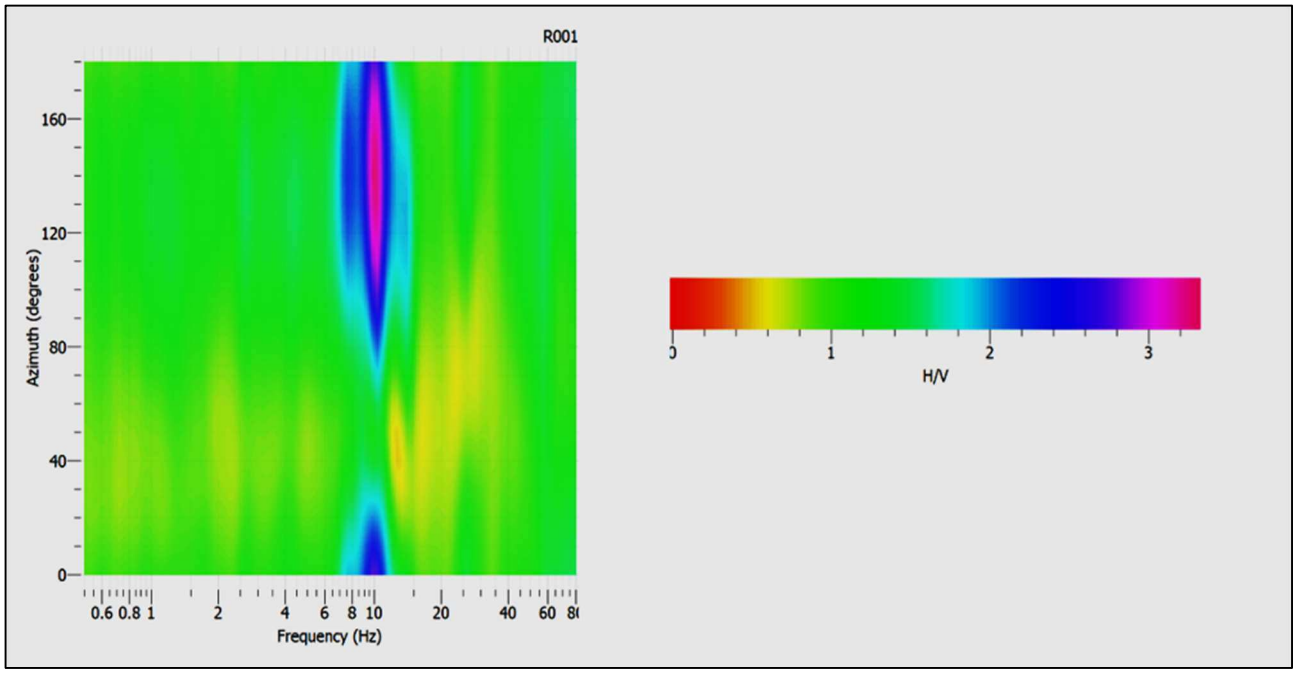


Figura 95: Grafico HVSR rotate – acquisizione n. 5

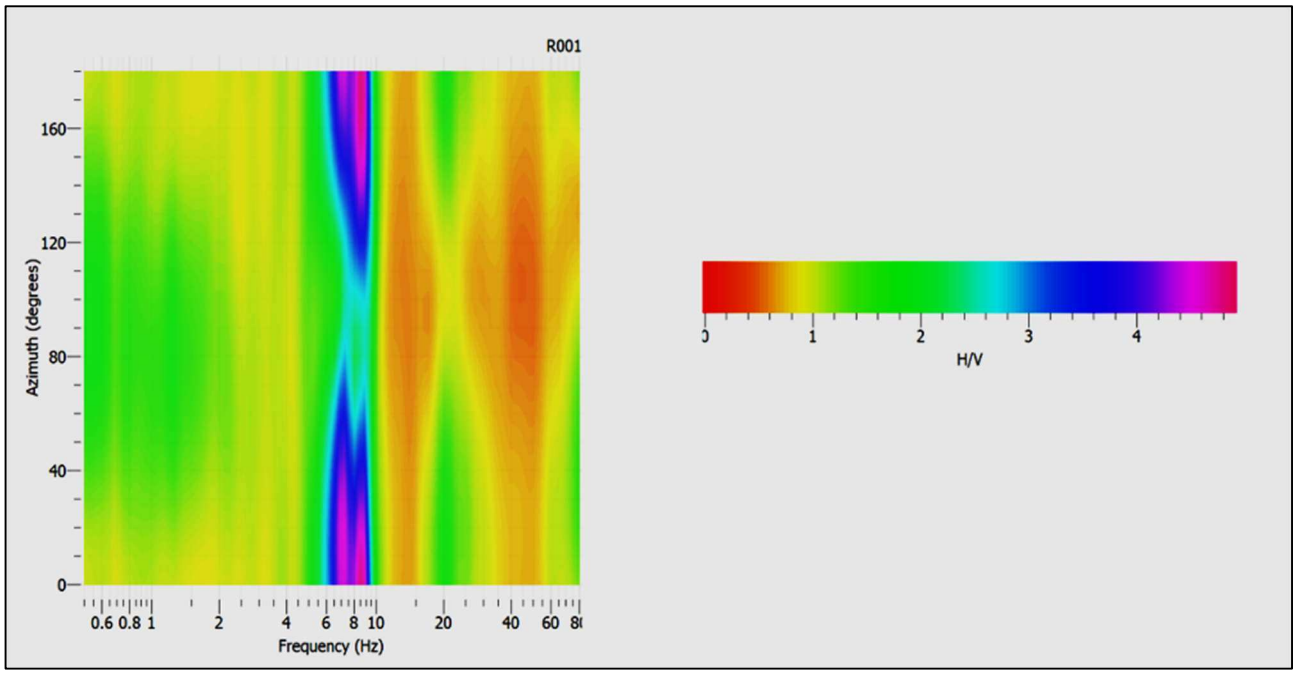


Figura 96: grafico HVSR rotate – acquisizione n. 6

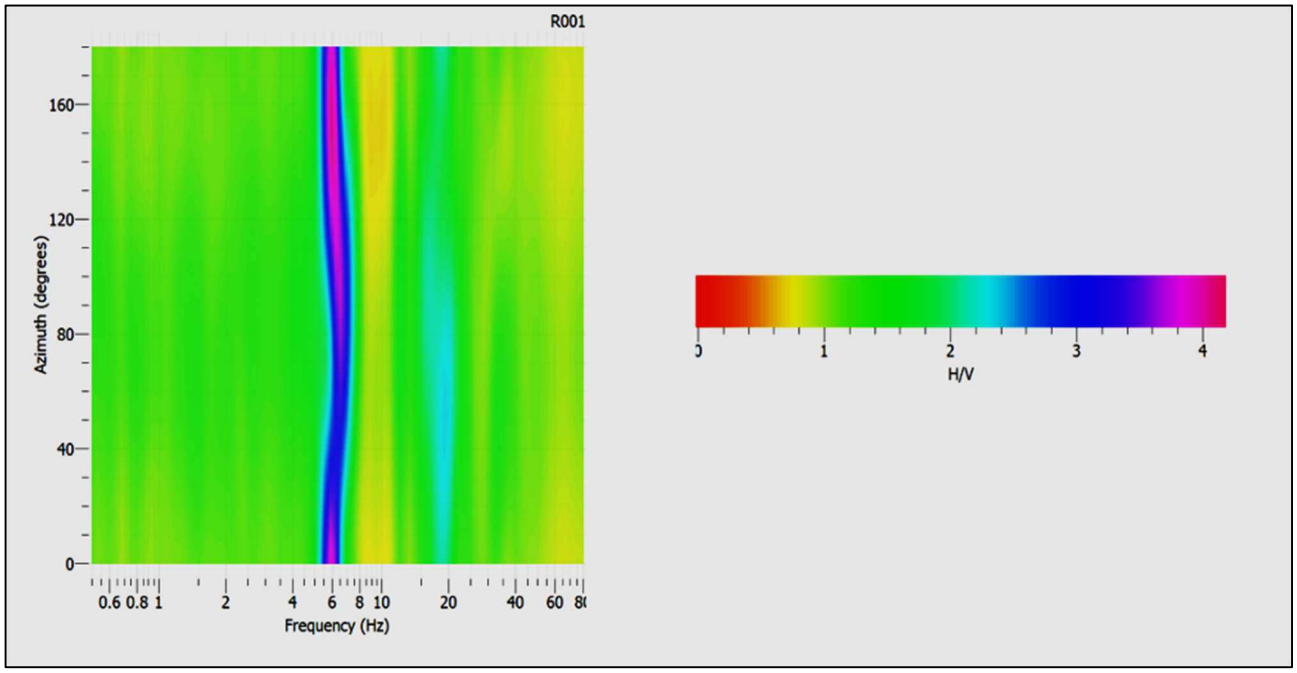


Figura 97: Grafico HVSR rotate – acquisizione n. 7

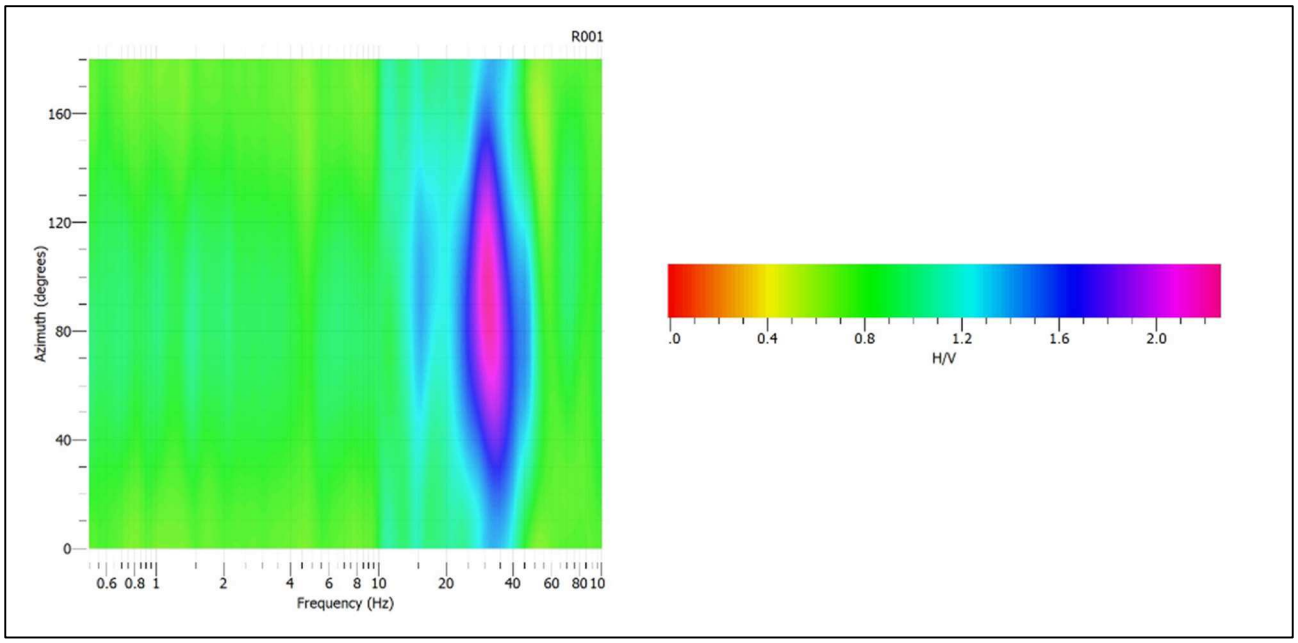
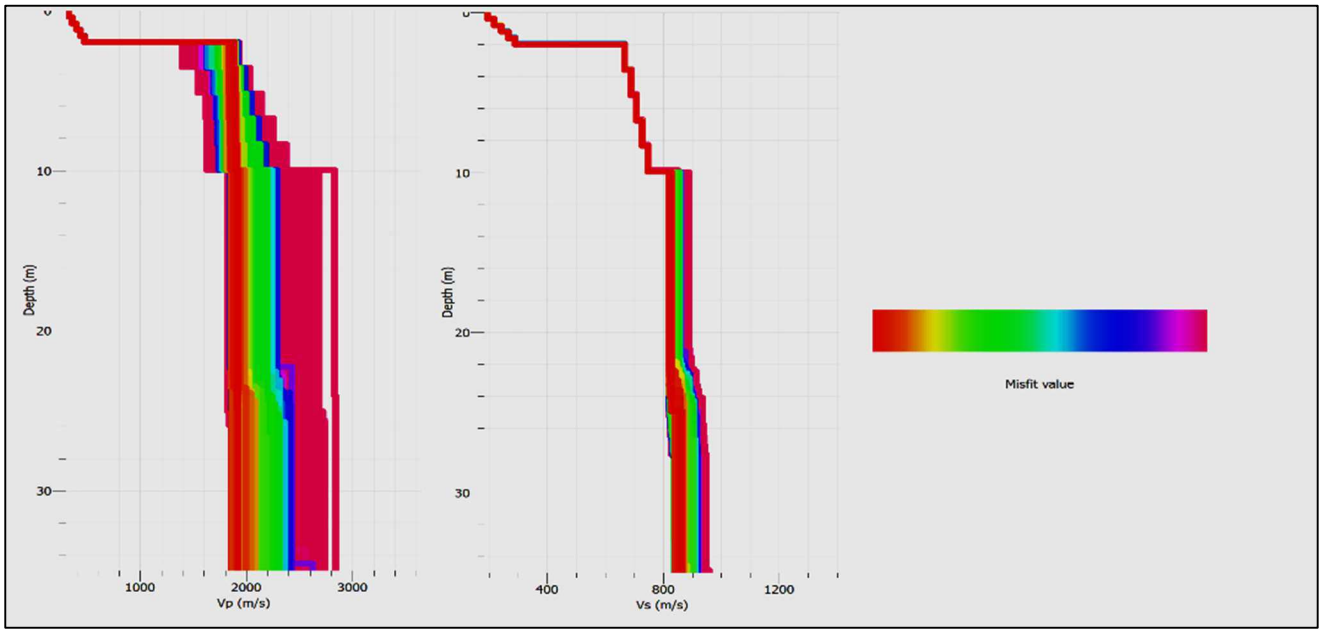


Figura 98: Grafico HVSR rotate – acquisizione n° 8

Correlazione vs - hz per HVSR

Attraverso il programma Dinver precedentemente indicato è stata ricavata una stima indicativa delle velocità delle onde di taglio S e delle onde longitudinali P, come sotto riportato:

Figura 99: Elaborazione con Dinver della prova n. 8 (Strumento 1) con il theremino (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)



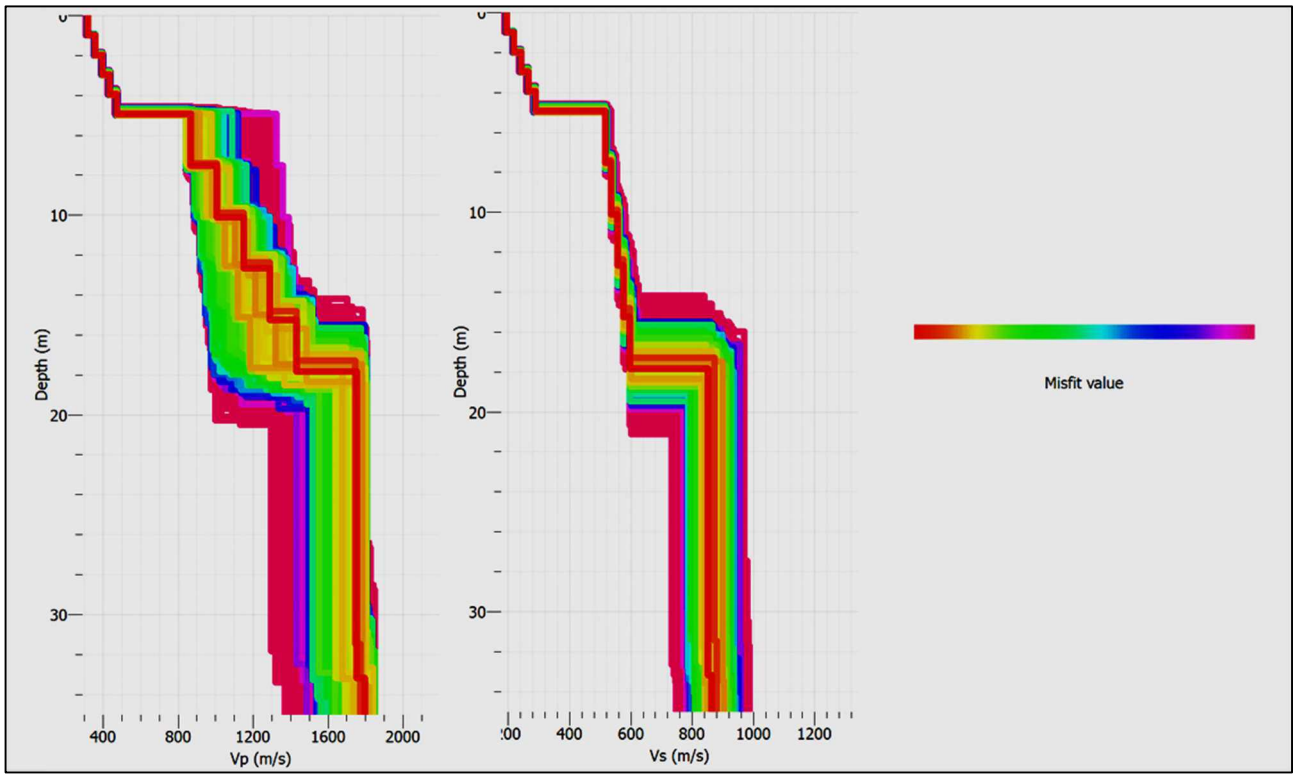


Figura 100:Elaborazione con Dinver della prova n. 5 (Strumento 1) con il theremino (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)

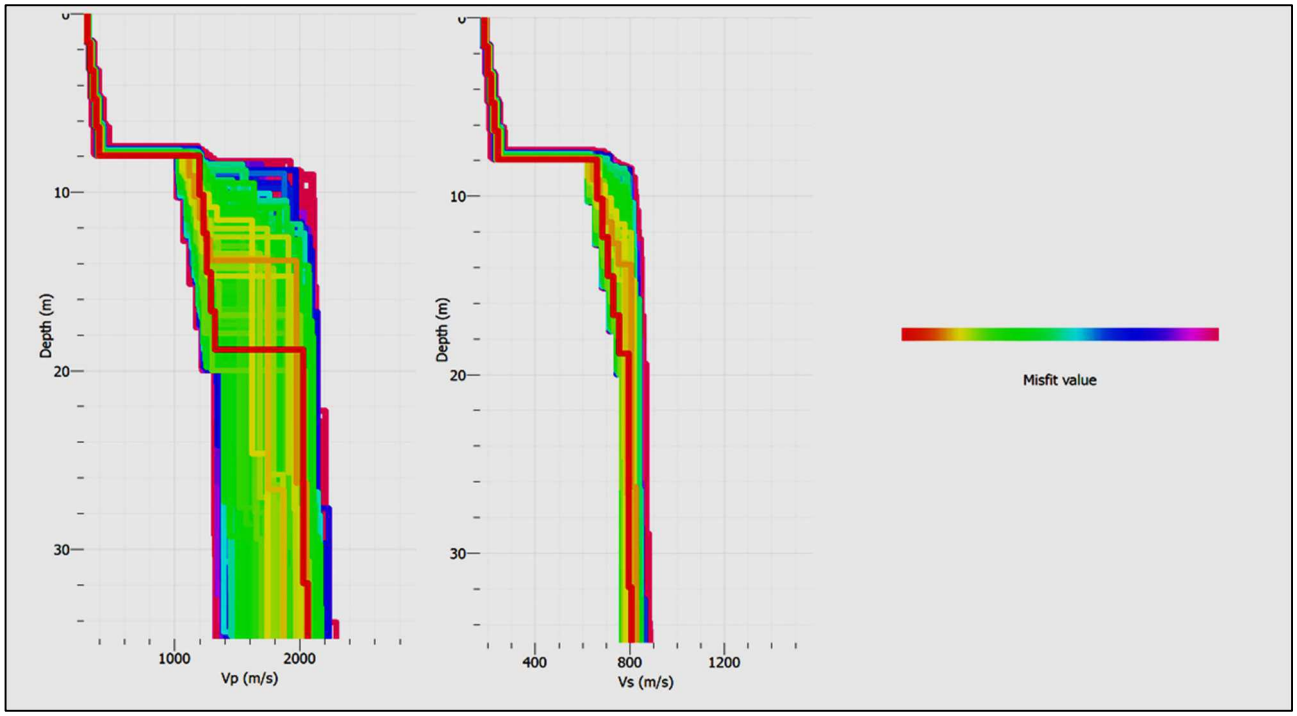


Figura 101: Elaborazione con Dinver della prova n. 6 (Strumento 2) con il theremino (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)

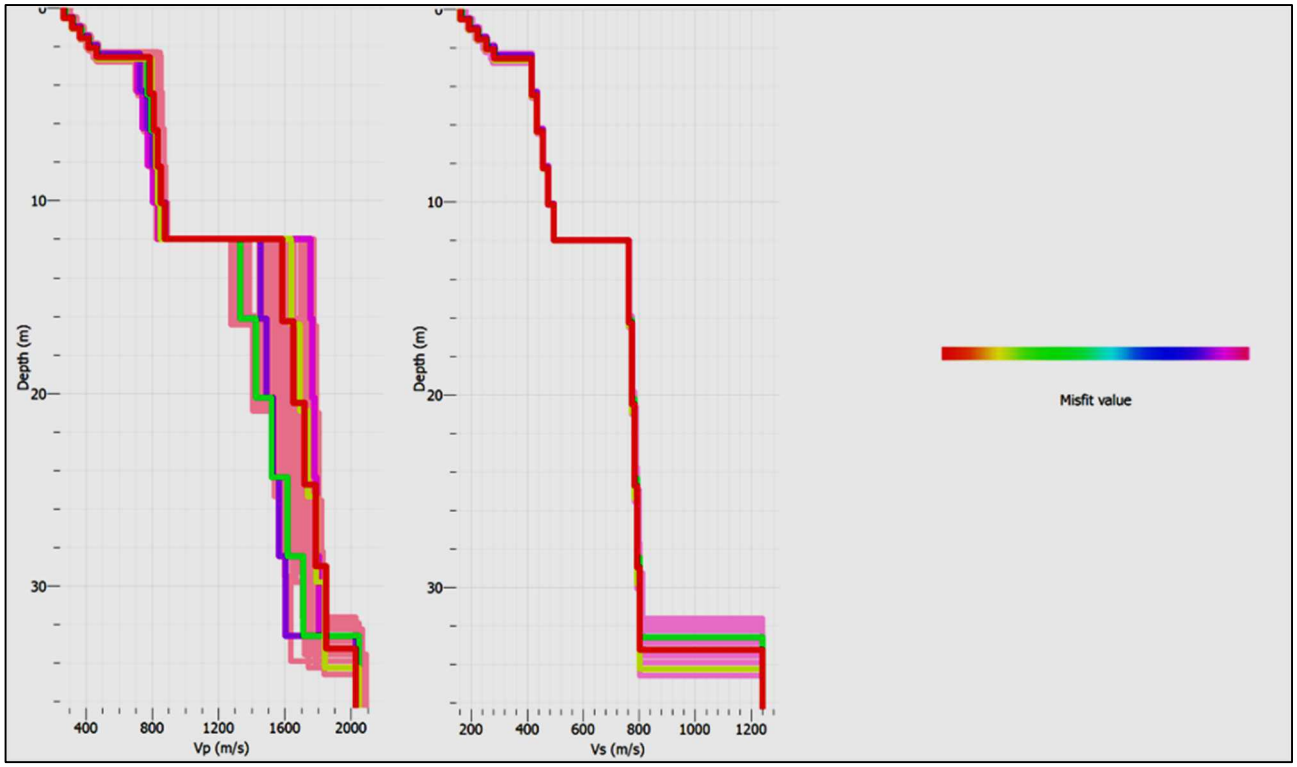


Figura 102: Elaborazione con Dinver della prova n. 7 (Strumento 1) con il theremino (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)

Acquisizione HVSR n. 5 (Strumento 1)

Velocità delle onde S – Acquisizione HVSR n. 5:

Profondità (m)	Vs (m/s)
da 0,00 a – 5,10	246
da -5,10 a – 17,94	556
da -17,94 a – 30,00	863

Velocità delle onde P – Acquisizione HVSR n. 5:

Profondità (m)	Vp (m/s)
da 0,00 a – 5,10	399
da -5,10 a – 17,94	1149
da -17,94 a – 30,00	1752

Il valore di Vs30 (NTC 2008) ottenuto con l'acquisizione HVSR n. 5 (Strumento 1) sopra riportata, è pari a 519 m/s, mentre il valore delle Vsequivalenti (NTC 2018) è pari a 409 m/s.

I dati possono essere utilmente elaborati per ricavare le grandezze sotto descritte.

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
399	246	5,1	5,1	0,020731707	m/sec	
1149	556	12,84	17,94	0,023093525		
1752	863	12,06	30	0,013974508		
				0,05779974	**519,03**	**409,35**

Acquisizioni con HVSR						
	Riporti Cava		Cappellaccio OSM		Substrato OSM	unità di
note		dati		dati		dati	misura
velocità onda longitudinale	Vp =	399	Vp =	1149	Vp =	1752	m/s
velocità onda trasversale	Vs =	246	Vs =	556	Vs =	863	m/s
densità	g =	1,80	g =	2,40	g =	2,50	t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	2650	Edin =	20376	Edin =	50859	kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0,19	ν =	0,35	ν =	0,34	
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gamx =	1110	Gmax =	7563	Gmax =	18980	1110

formula di Vesic semplificata (1961)		**HVSR 5**		
Ev ricavato da prove di piastra tradizionali coincide con E per ν=0.2				
Modulo Elastico pari a 1/20 del valore di Edyn				
E kg/cmq	ν	B (cm)	K (kg/cmc)	
132,51	0,19	100,00	**1,38**	coltri
1018,82	0,35	100,00	**11,58**	cappellaccio
2542,95	0,34	100,00	**28,75**	substrato

Acquisizione HVSR n. 6 (Strumento 2)

Velocità delle onde S – Acquisizione HVSR n. 6:

Profondità (m)	Vs (m/s)
da 0,00 a – 8,00	230
da -8,00 a – 18,81	709
da -18,81 a – 30,00	806

Velocità delle onde P – Acquisizione HVSR n. 6:

Profondità (m)	Vp (m/s)
da 0,00 a – 8,00	383
da -8,00 a – 18,81	1267
da -18,81 a – 30,00	2042

Il valore di Vs30 (NTC 2008) ottenuto con l'acquisizione HVSR n. 6 (Strumento 2) sopra riportata, è pari a 469 m/s, mentre il valore delle Vsequivalenti (NTC 2018) è pari a 376 m/s.

I dati possono essere utilmente elaborati per ricavare le grandezze sotto descritte.

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
383	230	8	8	0,034782609	m/sec	
1267	709	10,81	18,81	0,015246827		
2042	806	11,19	30	0,013883375		
				0,06391281	**469,39**	**375,98**

Acquisizioni con HVSR						
	Riporti Cava		Cappellaccio OSM		Substrato OSM	unità di
note		dati		dati	dati	misura
velocità onda longitudinale	Vp =	383	Vp =	1267	Vp = 2042	m/s
velocità onda trasversale	Vs =	230	Vs =	709	Vs = 806	m/s
densità	g =	1,8	g =	2,4	g = 2,5	t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81	g =	9,81	g = 9,81	m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	2364	Edin =	31287	Edin = 46611	kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0,22	ν =	0,27	ν = 0,41	
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gamx =	1110	Gmax =	7563	Gmax = 18980	1110

formula di Vesic semplificata (1961)		**HVSR 6**		
Ev ricavato da prove di piastra tradizionali coincide con E per ν=0.2				
Modulo Elastico pari a 1/20 del valore di Edyn				
E kg/cmq	ν	B (cm)	K (kg/cmc)	
118,22	0,22	100,00	**1,24**	coltri
1564,37	0,27	100,00	**16,89**	cappellaccio
2330,55	0,41	100,00	**27,95**	substrato

Acquisizione HVSR n. 7 (Strumento 1)

Velocità delle onde S – Acquisizione HVSR n. 7:

Profondità (m)	Vs (m/s)
da 0,00 a – 2,72	227
da -2,72 a – 12,02	457
da -12,02 a – 24,62	771
da -24,62 a – 30,00	804

Velocità delle onde P – Acquisizione HVSR n. 7:

Profondità (m)	Vp (m/s)
da 0,00 a – 2,72	379
da -2,72 a – 12,02	838
da -12,02 a – 24,62	1662
da -24,62 a – 30,00	1796

Il valore di Vs30 (NTC 2008) ottenuto con l'acquisizione HVSR n. 7 (Strumento 1) sopra riportata, è pari a 542 m/s, mentre il valore delle Vsequivalenti (NTC 2018) è pari a 506 m/s.

I dati possono essere utilmente elaborati per ricavare le grandezze sotto descritte.

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
379	227	2,72	2,72	0,011982379	m/sec	
838	457	9,3	12,02	0,020350109		
1662	771	12,6	24,62	0,016342412		
1796	804	5,38	30	0,006691542		
				0,055366443	**541,84**	**505,80**

Acquisizioni con HVSR 7									
	Riporti superficiali		Riporti addensati		Substrato alterato OSM		Substrato roccioso OSM		unità di
note		dati		dati		dati		dati	misura
velocità onda longitudinale	Vp =	379	Vp =	838	Vp =	1662	Vp =	1796	m/s
velocità onda trasversale	Vs =	227	Vs =	457	Vs =	771	Vs =	804	m/s
densità	g =	1,8	g =	2,4	g =	2,5	g =	2,5	t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	2308	Edin =	13166	Edin =	41293	Edin =	45292	kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0,22	ν =	0,29	ν =	0,36	ν =	0,37	
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gmax =	945	Gmax =	5109	Gmax =	15149	Gmax =	16473	kg/cmq

formula di Vesic semplificata (1961) HVSR 7				
Ev ricavato da prove di piastra tradizionali coincide con E per ν=0.2				
Modulo Elastico pari a 1/20 del valore di Edyn				
E kg/cmq	ν	B (cm)	K (kg/cmc)	
115,38	0,22	100,00	1,21	Riporti superficiali
658,28	0,29	100,00	7,18	Riporti addensati
2064,63	0,36	100,00	23,78	Cappellaccio
2264,58	0,37	100,00	26,34	Substrato

Acquisizione HVSR n. 8 (Strumento 1)

Velocità delle onde S – Acquisizione HVSR n. 8:

Profondità (m)	Vs (m/s)
da 0,00 a – 1.71	285
da -1.71 a – 9.69	665
da -9.69 a – 30.00	865

Velocità delle onde P – Acquisizione HVSR n. 8:

Profondità (m)	Vp (m/s)
da 0,00 a – 1.71	414
da -1.71 a – 9.69	1892
da -9.69 a – 30.00	2011

Il valore di Vs30 (NTC 2008) ottenuto con l'acquisizione HVSR n. 7 (Strumento 1) sopra riportata, è pari a 723 m/s, mentre il valore delle Vsequivalenti (NTC 2018) è pari a 538 m/s.

I dati possono essere utilmente elaborati per ricavare le grandezze sotto descritte.

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
414	285	1,71	1,71	0,006	m/sec	
1892	665	7,98	9,69	0,012		
2011	865	20,31	30	0,023479769		
				0,041479769	**723,24**	**538,33**

Acquisizioni con HVSR 8							
	Riporti superficiali		Substrato alterato OSM		Substrato roccioso OSM		
note			dati		dati	dati	misura
velocità onda longitudinale	Vp =	414	Vp =	1892	Vp =	2011	m/s
velocità onda trasversale	Vs =	255	Vs =	695	Vs =	865	m/s
densità	γ =	1,8	γ =	2,4	γ =	2,5	t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	2850	Edin =	33608	Edin =	52875	kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0.19	ν =	0.42	ν =	0.39	
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gmax =	1193	Gmax =	11817	Gmax =	19068	kg/cmq

formula di Vesic semplificata (1961)		**HVSR 7**		
Ev ricavato da prove di piastra tradizionali coincide con E per ν=0.2				
Modulo Elastico pari a 1/20 del valore di Edyn				
E kg/cmq	ν	B (cm)	K (kg/cmc)	
142,50	0,19	100,00	1,48	Riporti superficiali
1680,40	0,42	100,00	20,45	Cappellaccio
2643,75	0,39	100,00	31,08	Substrato

PROVA SISMICA A RIFRAZIONE E MASW RIO SORBA

In corrispondenza dell'allineamento sismico predisposto è stata eseguita una serie di indagini sismiche a rifrazione, per definire l'andamento delle velocità delle onde P (longitudinali).
La geometria dello stendimento è la seguente:

nome	Lunghezza (m)	Interasse geofoni (m)	N° geofoni	Offset sparo
SIS4	34	2.0	16	2.0
SIS5	36	2.0	18	2.0
SIS6	36	2.0	18	2.0
SIS7	69	3	22	0.0;13.5;34.5;55.5;69

Per le stese sono state fatte delle energizzazioni di andata (a 2,0 metri dal primo geofono), delle energizzazioni di ritorno, oltre che una energizzazione centrale presso cui è stata eseguita la prova penetrometrica atta alla taratura della risposta sismica. Per le prove in situ è stata utilizzata un'apparecchiatura costituita da un sismografo DoReMi di Sara Electronic Instruments a 24 bit, con 18 canali modulari con geofoni verticali ad alta sensibilità da 4,5 Hz. Frequenze selezionabili dal sismografo da 500 a 20000 Hz (passi di campionamento da 2 a 0.05 ms). La durata delle acquisizioni per la stesa sismica a rifrazione è stata pari a 0,250 s, per l'acquisizione Masw pari a 2 s. Per l'energizzazione è utilizzata una mazza da 8 kg con battuta su piastra metallica. Il sismografo è collegato ad un pc Windows compatibile, tramite porta USB, su cui è installato il software di gestione omonimo DoReMi che consente di controllare le numerose possibilità di acquisizione dello strumento. Per l'elaborazione della stesa sismica a rifrazione è stato utilizzato il software Easyrefract di Geostru (metodo GRM o di Palmer) e con il metodo delle intercette. La prospezione sismica a rifrazione si basa sulla determinazione delle velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) nel terreno.
Le onde generate da una massa battente si propagano nel terreno e vengono rilevate dai geofoni, mentre i tempi di arrivo delle onde sono registrati e visualizzati sul sismografo. Dall'elaborazione matematica dei dati si risale alla geometria dei mezzi attraversati e quindi si opera l'interpretazione grafica mediante sezioni interpretative.
La profondità di investigazione è pari a circa 1/3 della lunghezza dello stendimento.

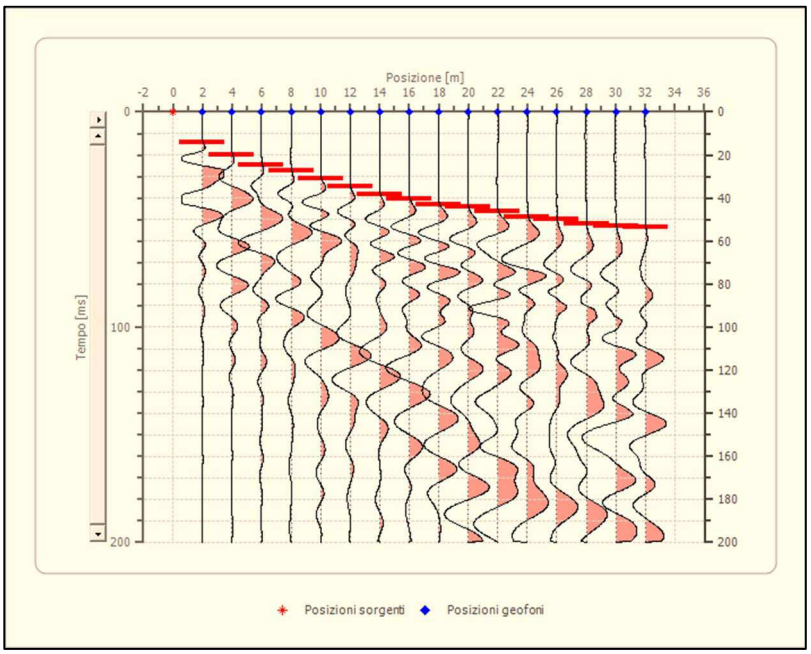


Figura 103: SIS4 Acquisizione di Andata

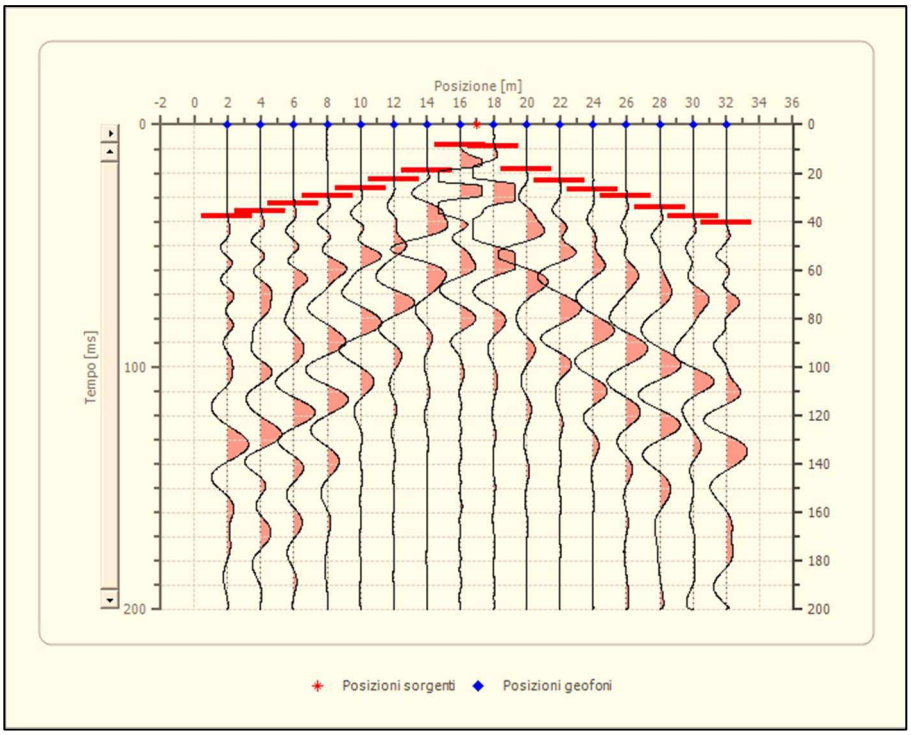
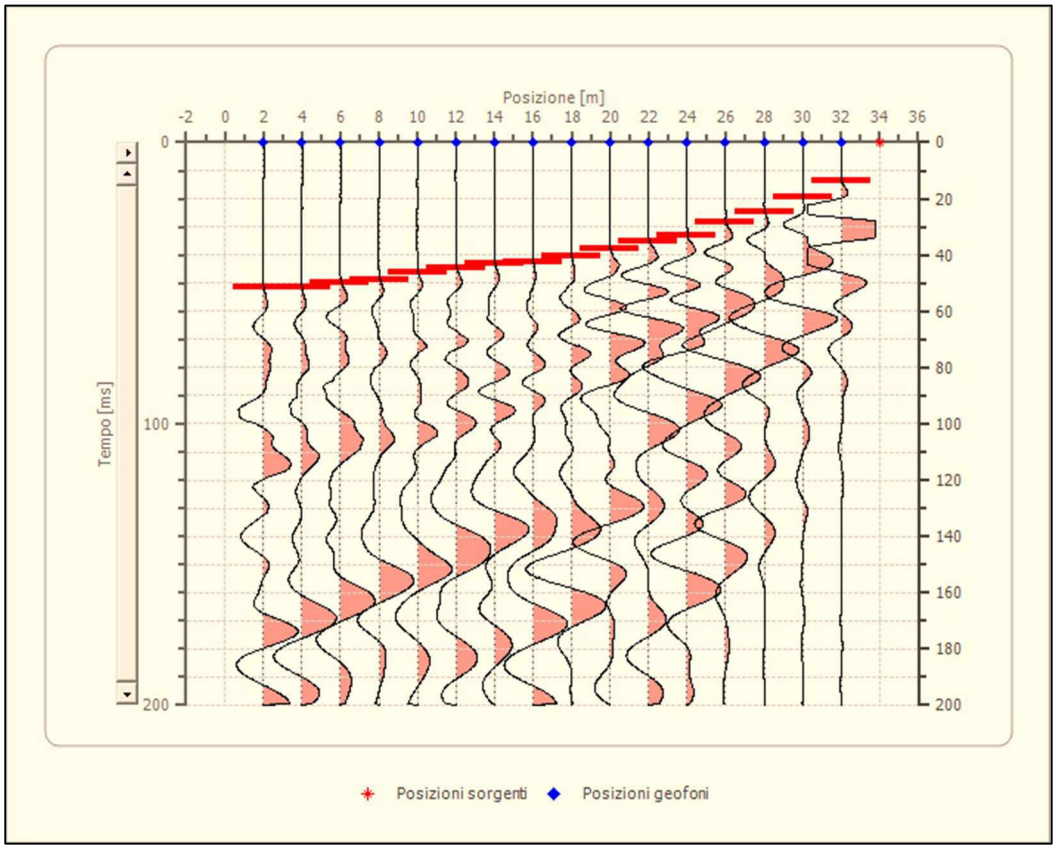


Figura 104: SIS$ Acquisizione centrale

Figura 105: Acquisizione di ritorno



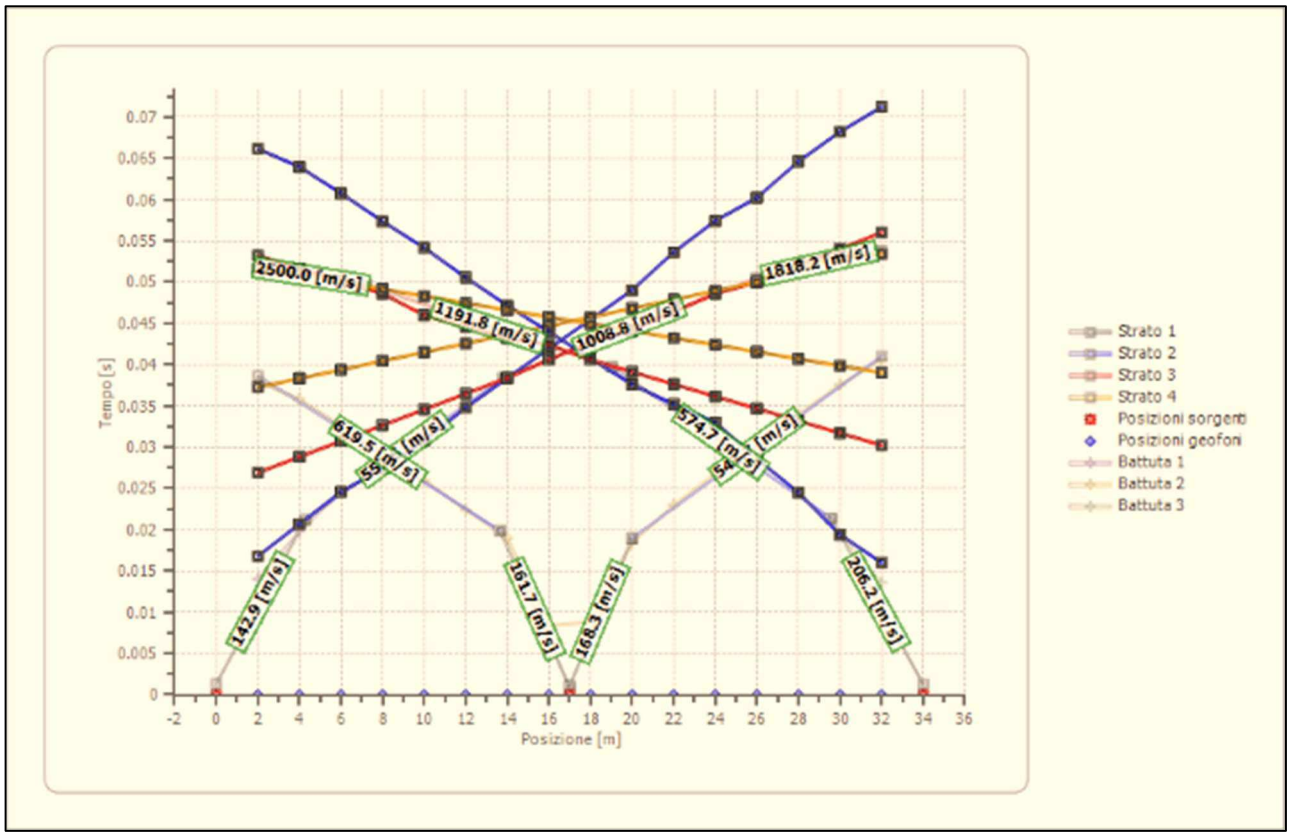


Figura 106: SIS4 Dromocrone

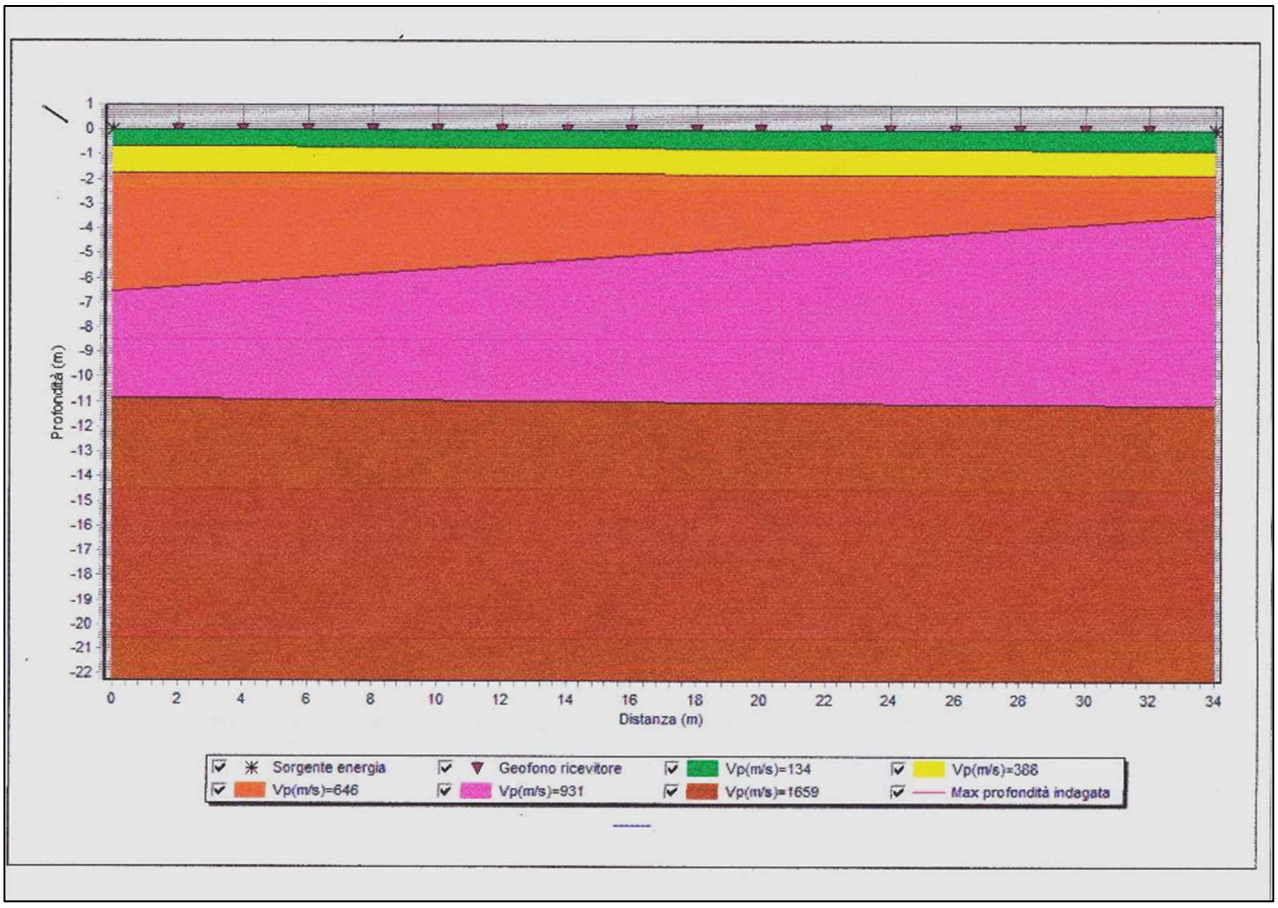


Figura 107: SIS4 sezione - Medoto delle intercette

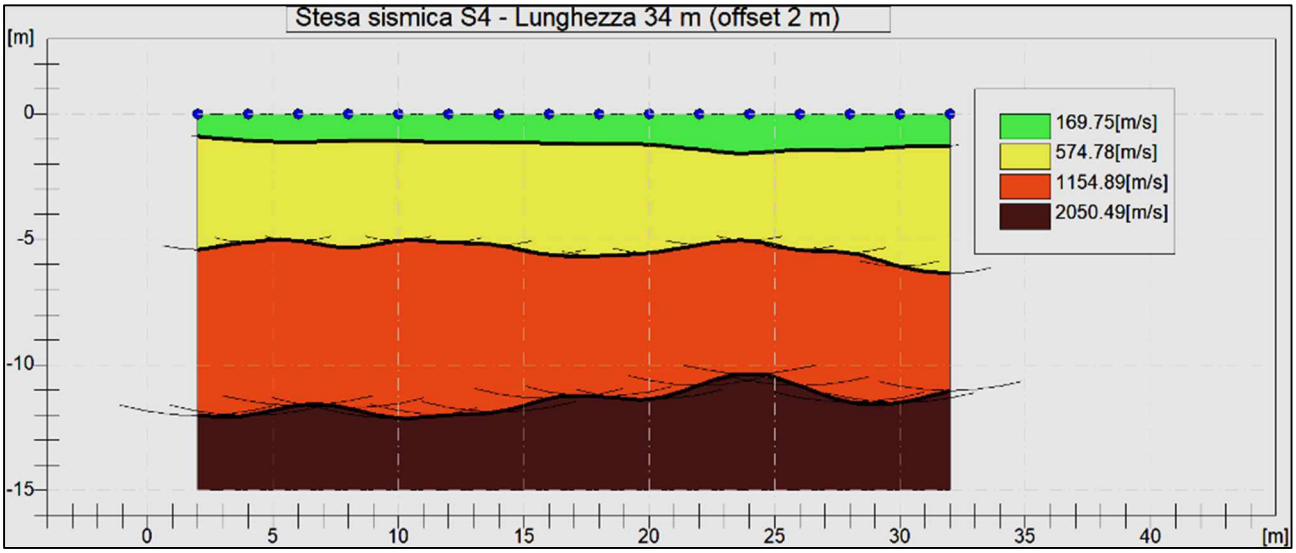


Figura 108: SIS4 Sezione Metodo GRM

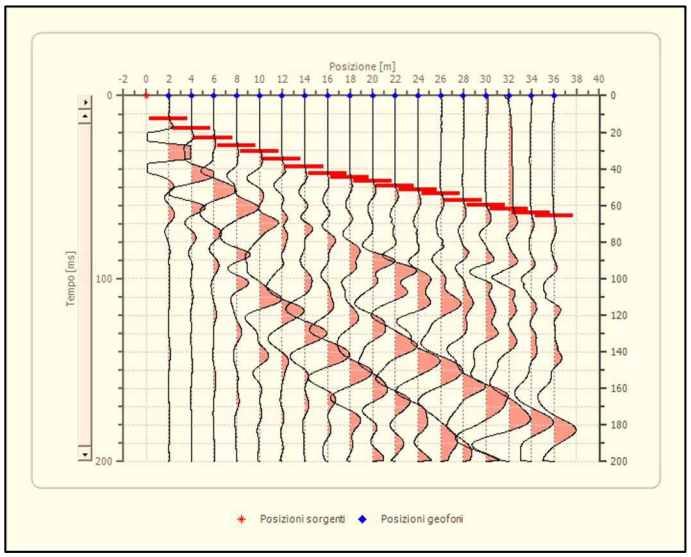
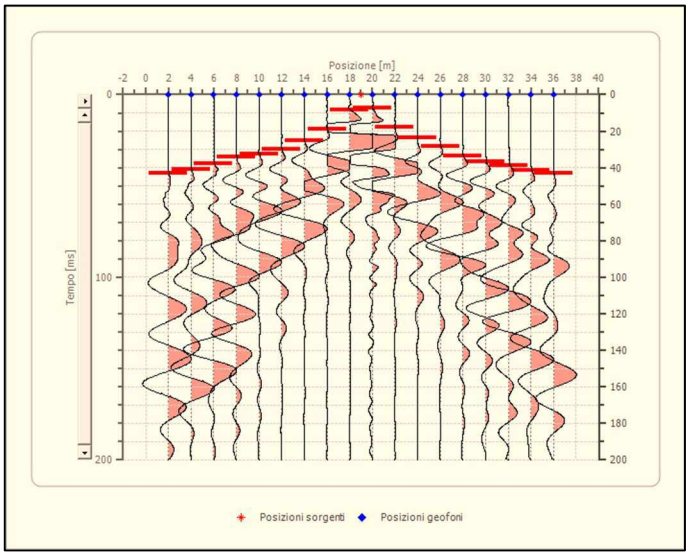


Figura 109: SIS5 Acquisizione di andata

Figura 110: SIS5 Acquisizione centrale



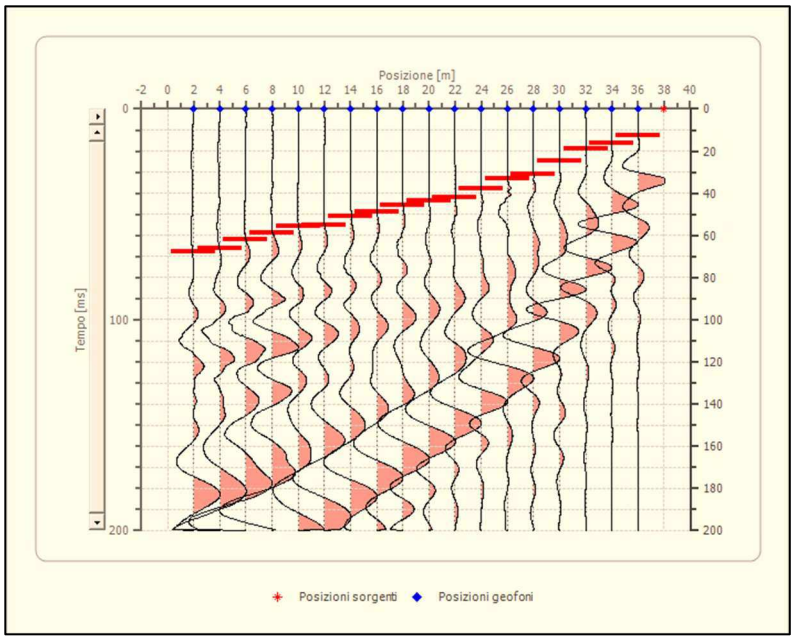


Figura 111: SIS5 Acquisizione di ritorno

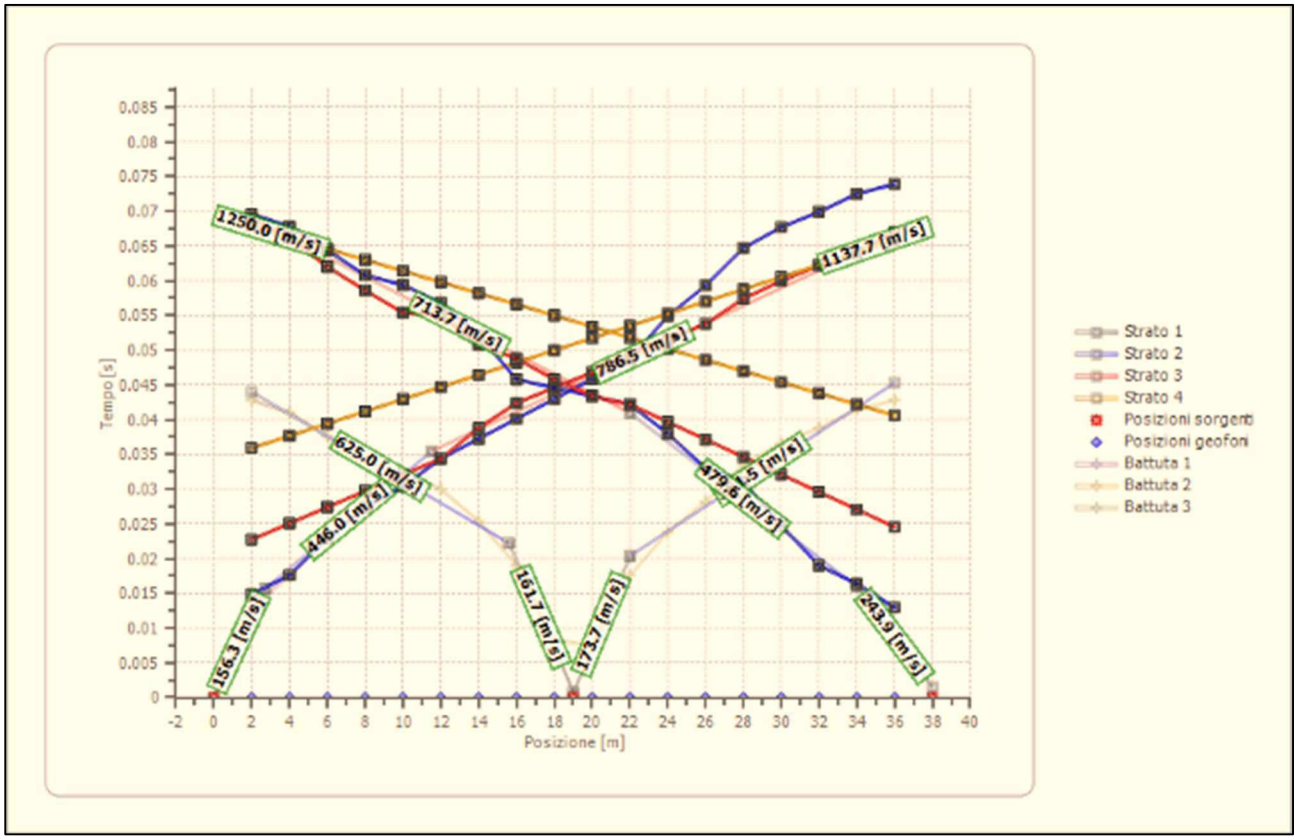


Figura 112: SIS5 Dromocrone

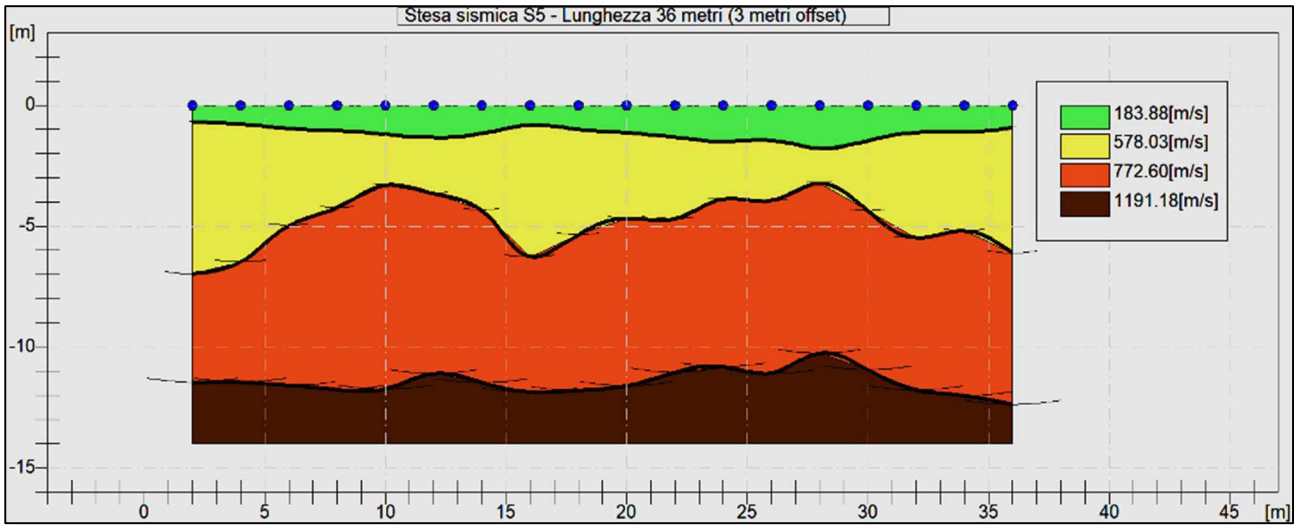


Figura 113: SIS5 Sezione Metodo GRM

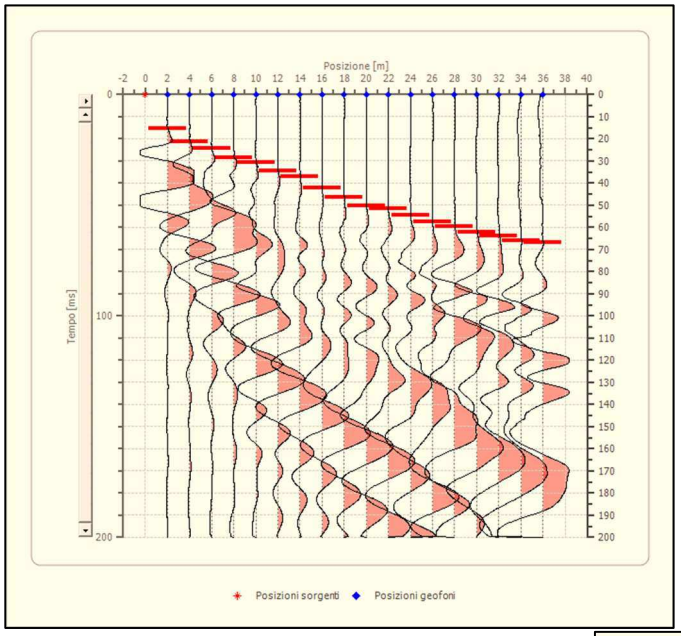


Figura 114: SIS6 Acquisizione di andata

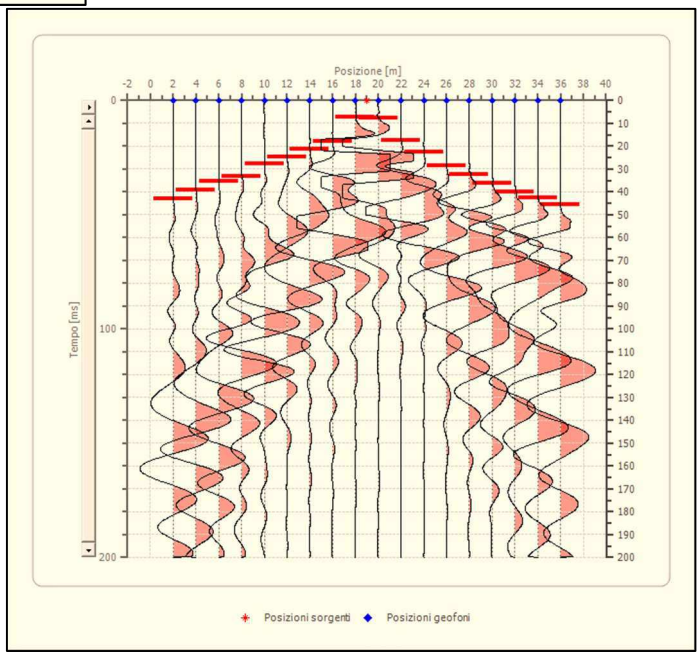


Figura 115: Acquisizione centrale

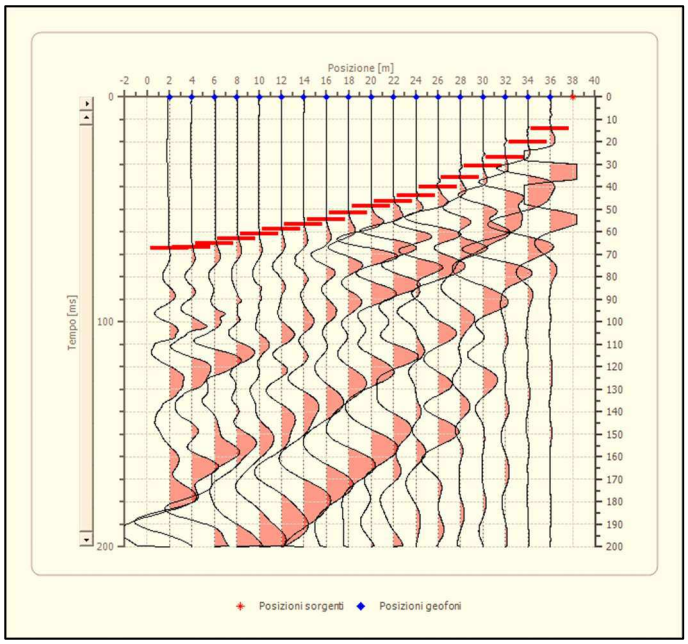


Figura 116: SIS6 Acquisizione di ritorno

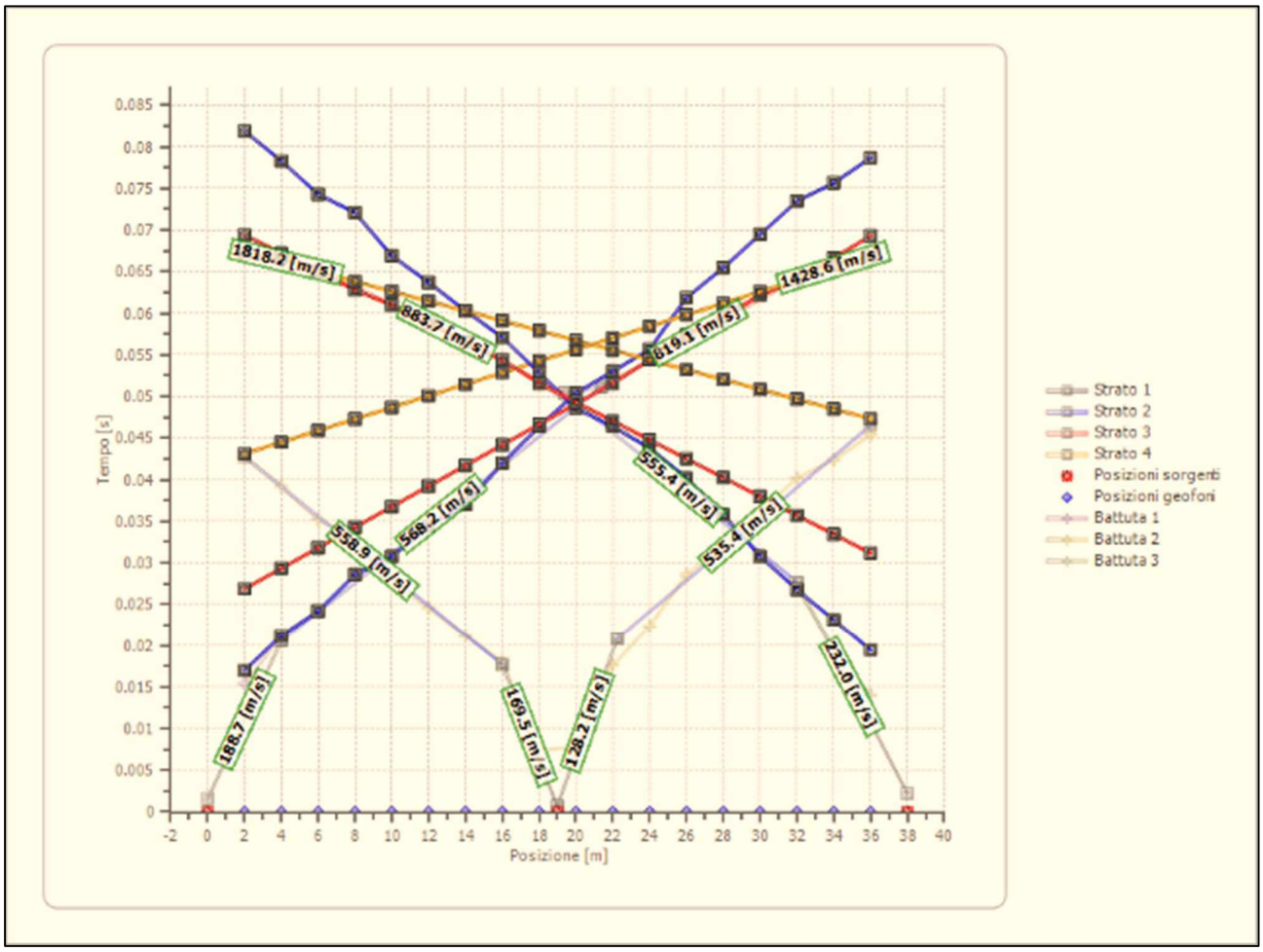


Figura 117: SIS6 Dromocrone

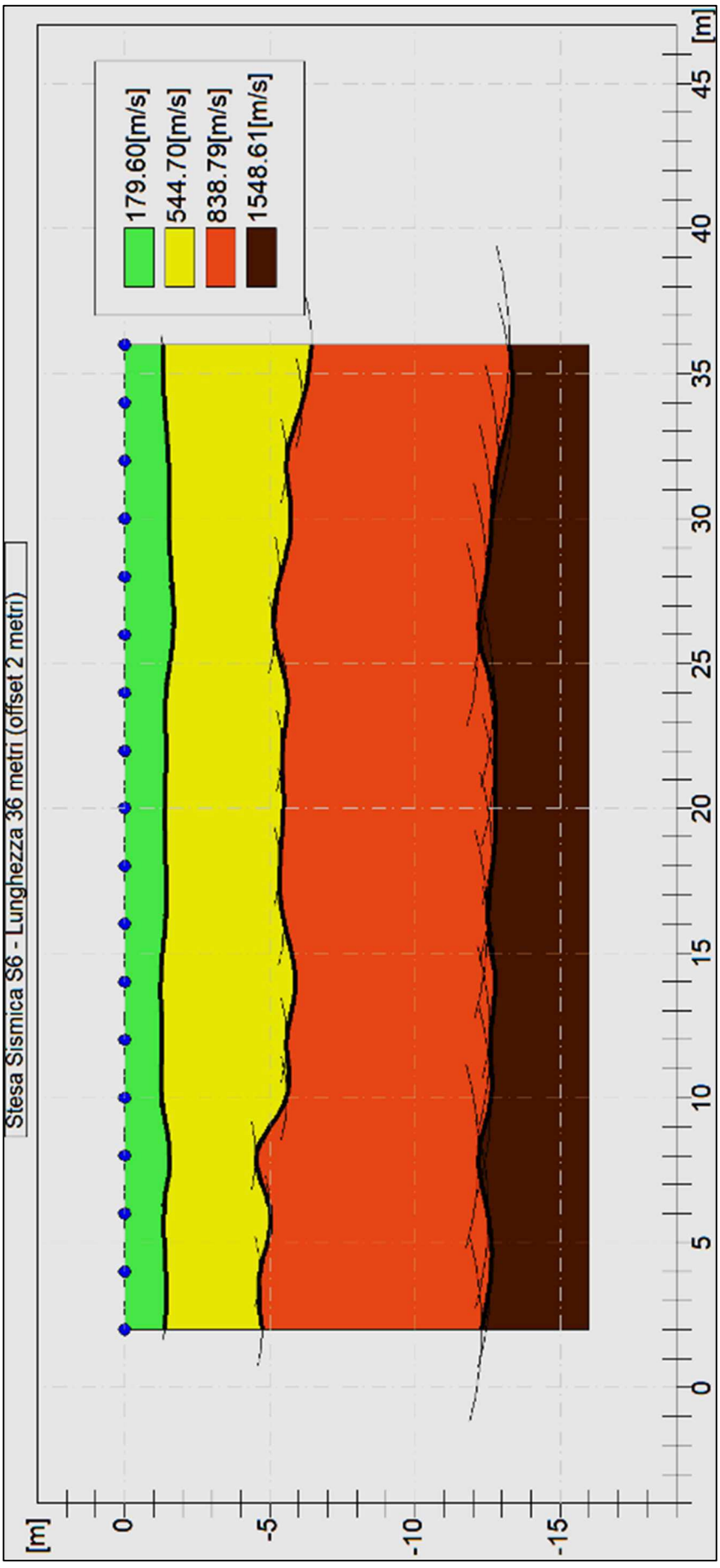


Figura 118: SIS 6 Sezione Metodo GRM

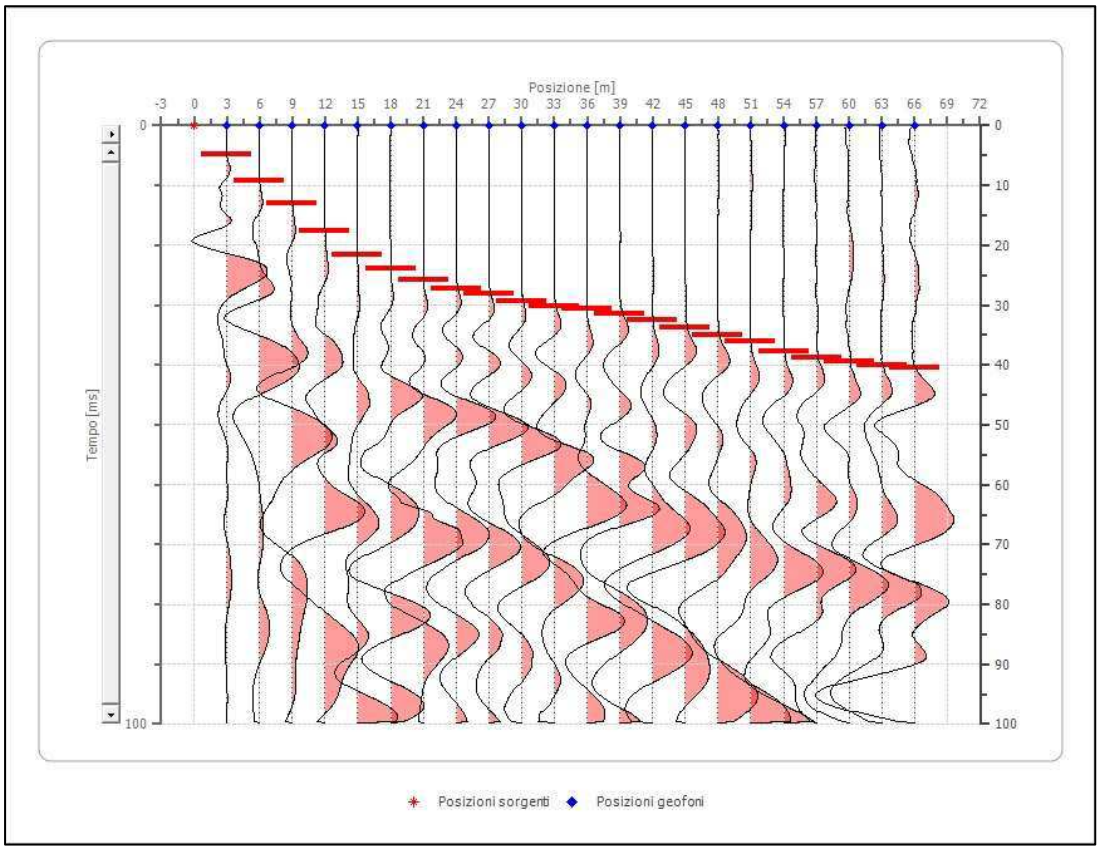
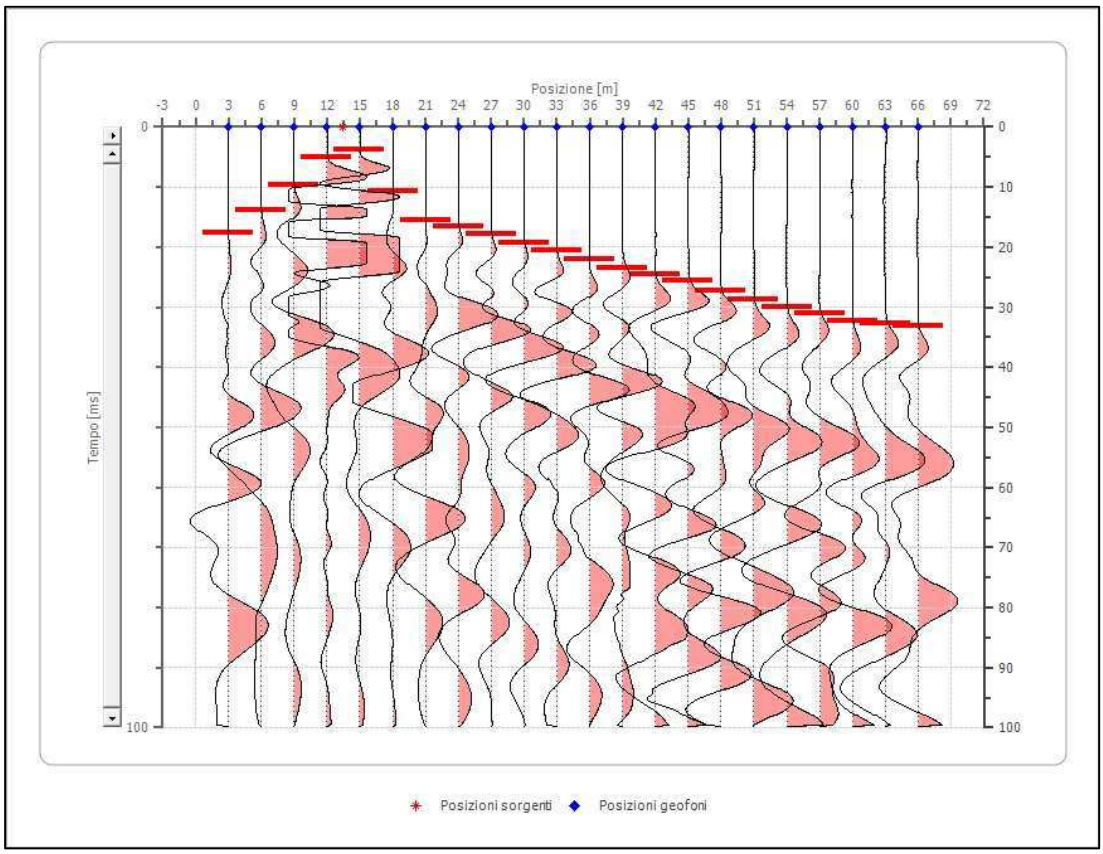


Figura 119: SIS7- Acquisizione a 0.0 m e a +13.5 m



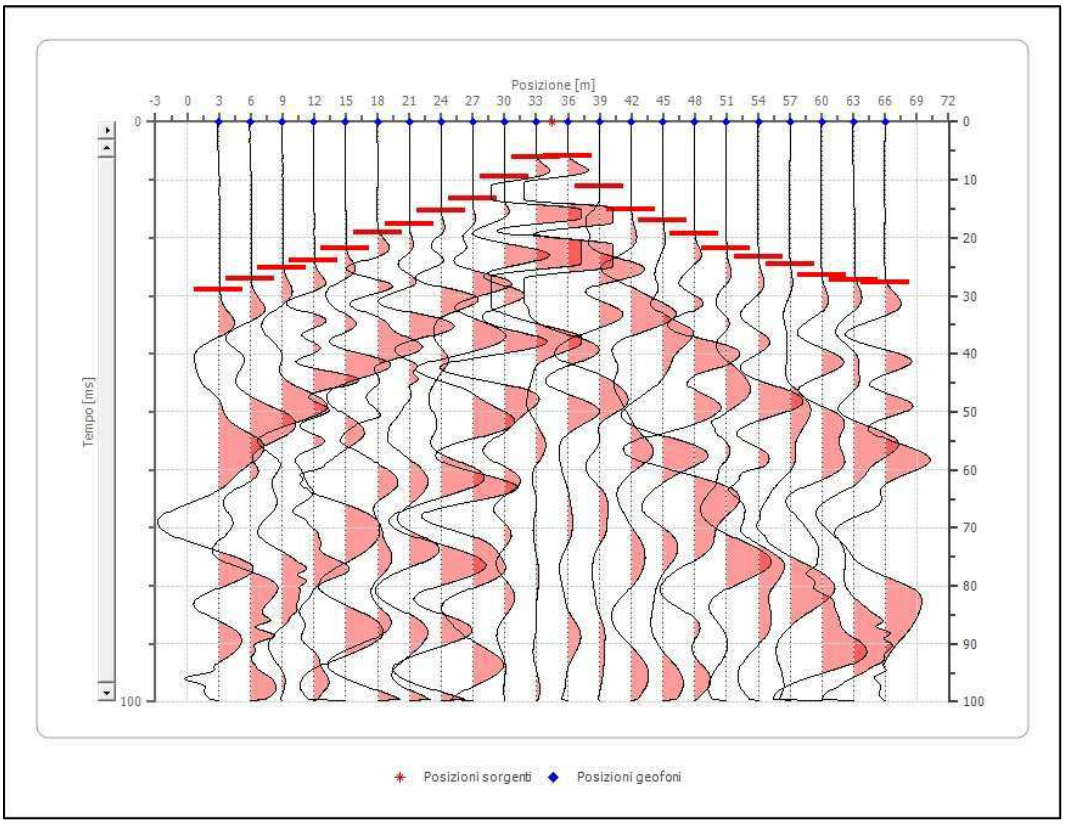
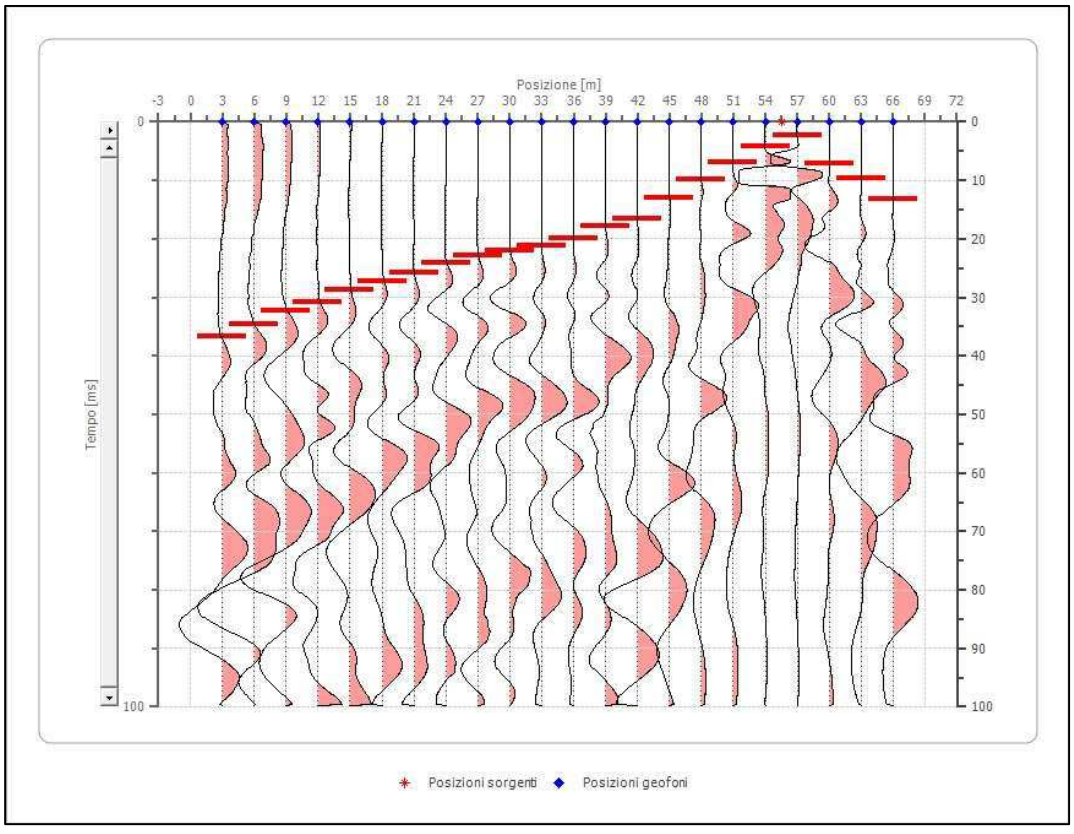


Figura 120: SIS/ - Acquisizione a +34.5 m e a +55.5 m



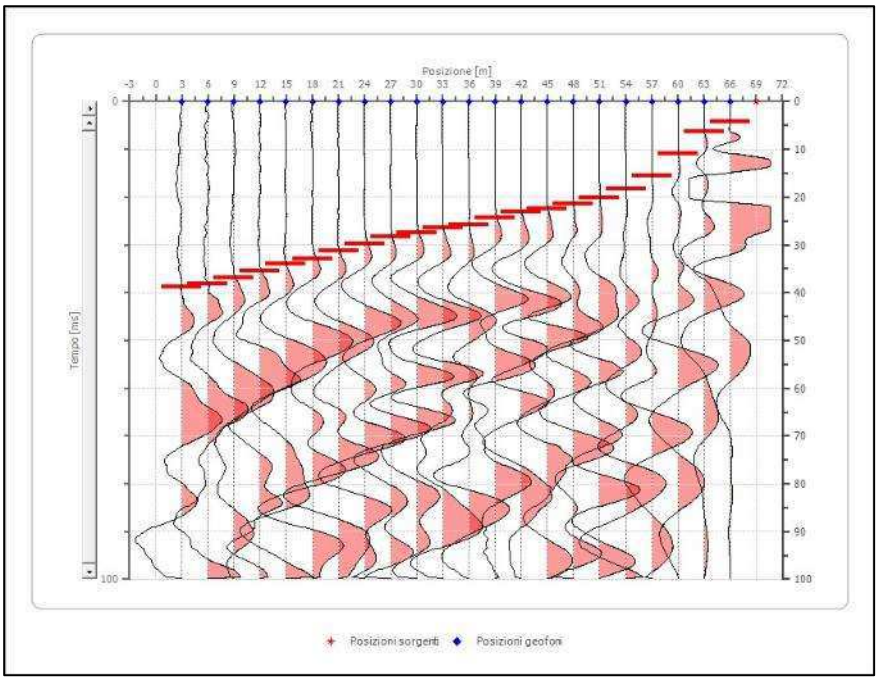


Figura 121: Acquisizione a +69 m

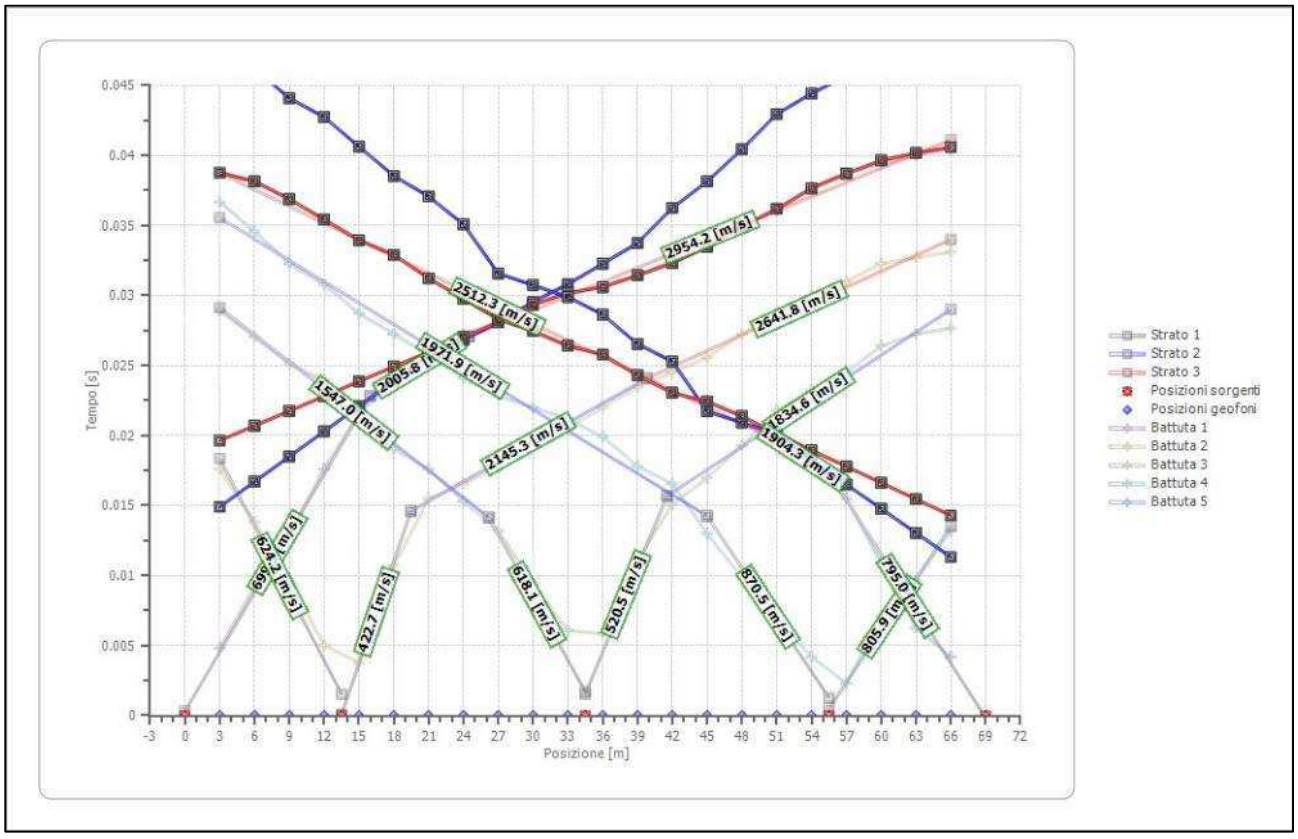


Figura 122: SIS7- Dromocrone

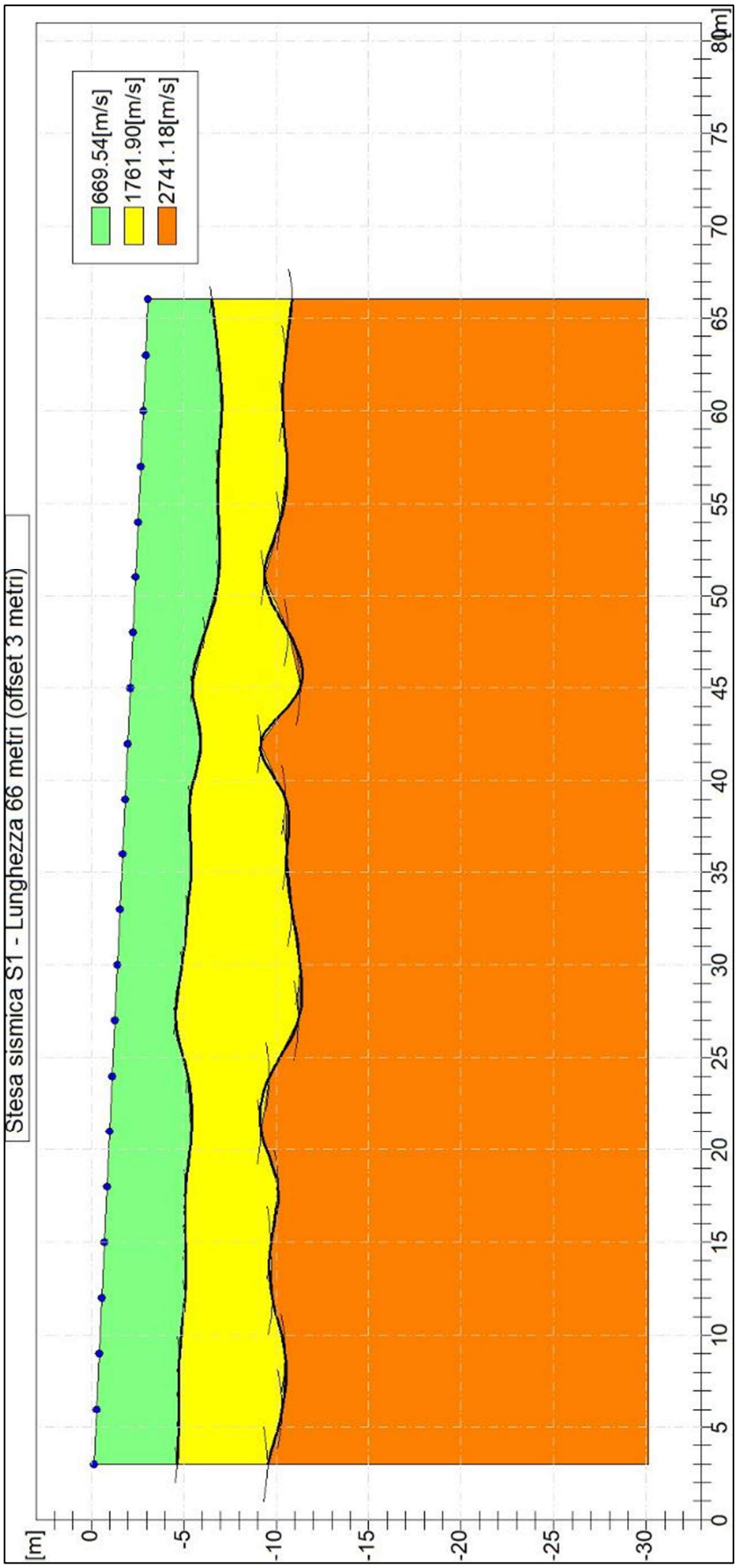


Figura 123: SiS 7- Sezione sismica

MASW SIS4

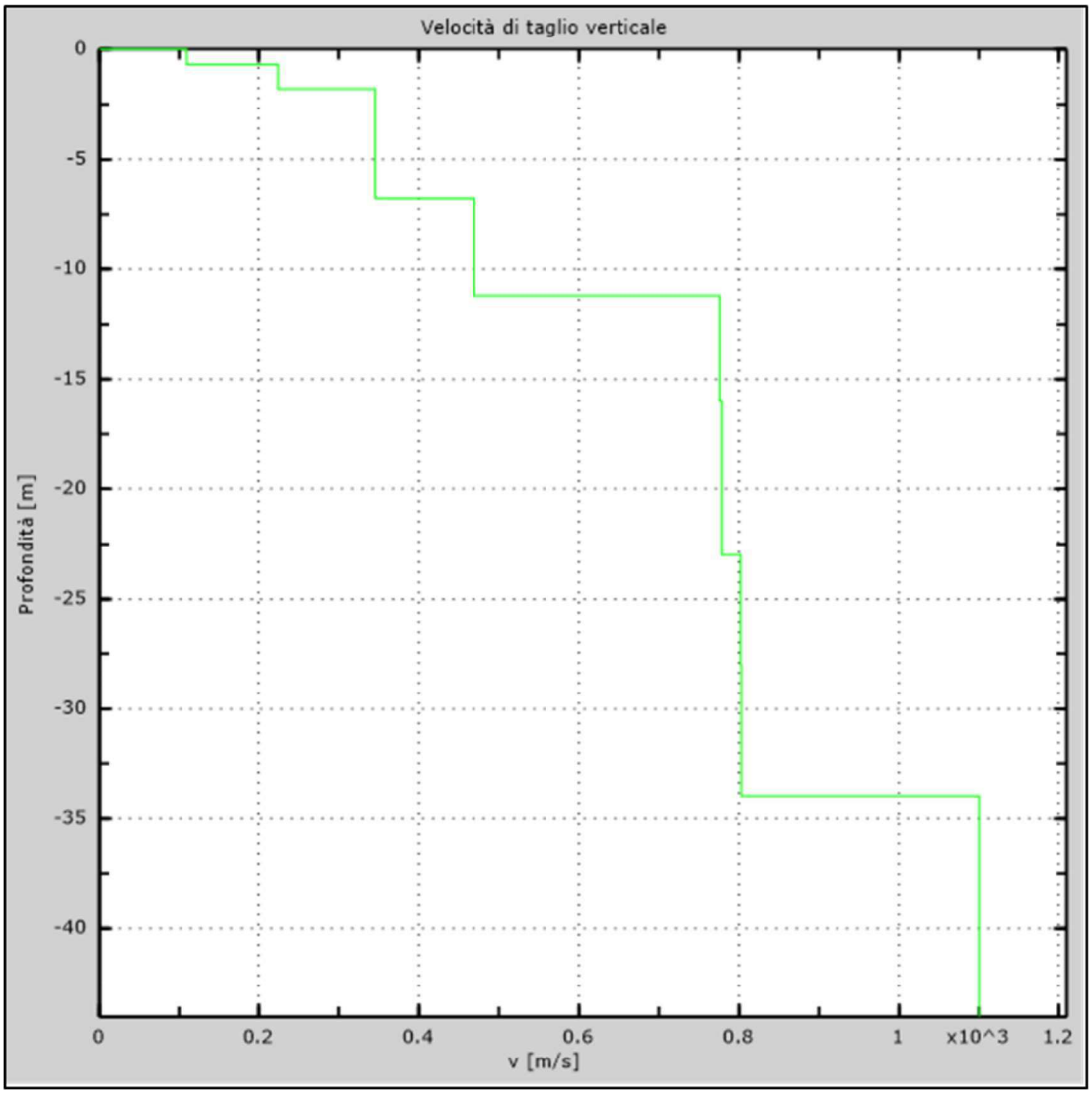


Figura 124: Profilo Vs Numerico MASW SIS4

Il valore di **Vs30 (NTC 2008)** è pari a 508 **m/s**, mentre il valore delle **Vsequivalenti (NTC 2018)** è pari a **457 m/s,** tenuto conto della taratura eseguita con le prove penetrometriche eseguite.

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
180	110	0,7	0,7	0,006363636	m/sec	
388	224	1,1	1,8	0,004910714		
645	345	5	6,8	0,014492754		
931	469	4,4	11,2	0,009381663		
1659	776	4,8	16	0,006185567		
1666	779	7	23	0,008985879		
1715	802	5	28	0,006234414		
1717	803	6	34	0,00747198		
2352	1100	6	40	0,005454545		
				0,064026608	**508,00**	**457,00**

	Acquisizioni con MASW								
	riporti		Riporti addensati		Riporti molto addensati		Substrato roccioso OMS alterato		unità di
note		dati		dati		dati		dati	misura
velocità onda longitudinale	Vp =	388	Vp =	645	Vp =	931	Vp =	1715	m/s
velocità onda trasversale	Vs =	224	Vs =	345	Vs =	469	Vs =	802	m/s
densità	g =	1,8	g =	2,2	g =	2,5	g =	2,5	t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	2302	Edin =	6938	Edin =	14910	Edin =	44587	kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0,25	ν =	0,30	ν =	0,33	ν =	0,36	
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gmax =	921	Gmax =	2669	Gmax =	5606	Gmax =	16392	kg/cmq

	Acquisizioni con MASW	
	Substrato roccioso NCM?	
note		dati
velocità onda longitudinale	Vp =	2352
velocità onda trasversale	Vs =	1100
densità	g =	2,5
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81
Modulo elastico dinamico	Edin =	83875
Coeff. di Poisson	ν =	0,36
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gmax =	30836

formula di Vesic semplificata (1961)		MASW SIS4		
Ev ricavato da prove di piastra tradizionali coincide con E per ν=0.2				
Modulo Elastico pari a 1/20 del valore di Edyn				
E kg/cmq	ν	B (cm)	K (kg/cmc)	
115,09	0,25	100,00	1,23	Riporti superficiali
346,90	0,30	100,00	3,81	Riporti addensati
745,51	0,33	100,00	8,37	Riporti molto addensati
2229,34	0,36	100,00	25,61	Substrato alterato

* Il substrato OMS mostra miglioramenti in profondità

MASW SIS5

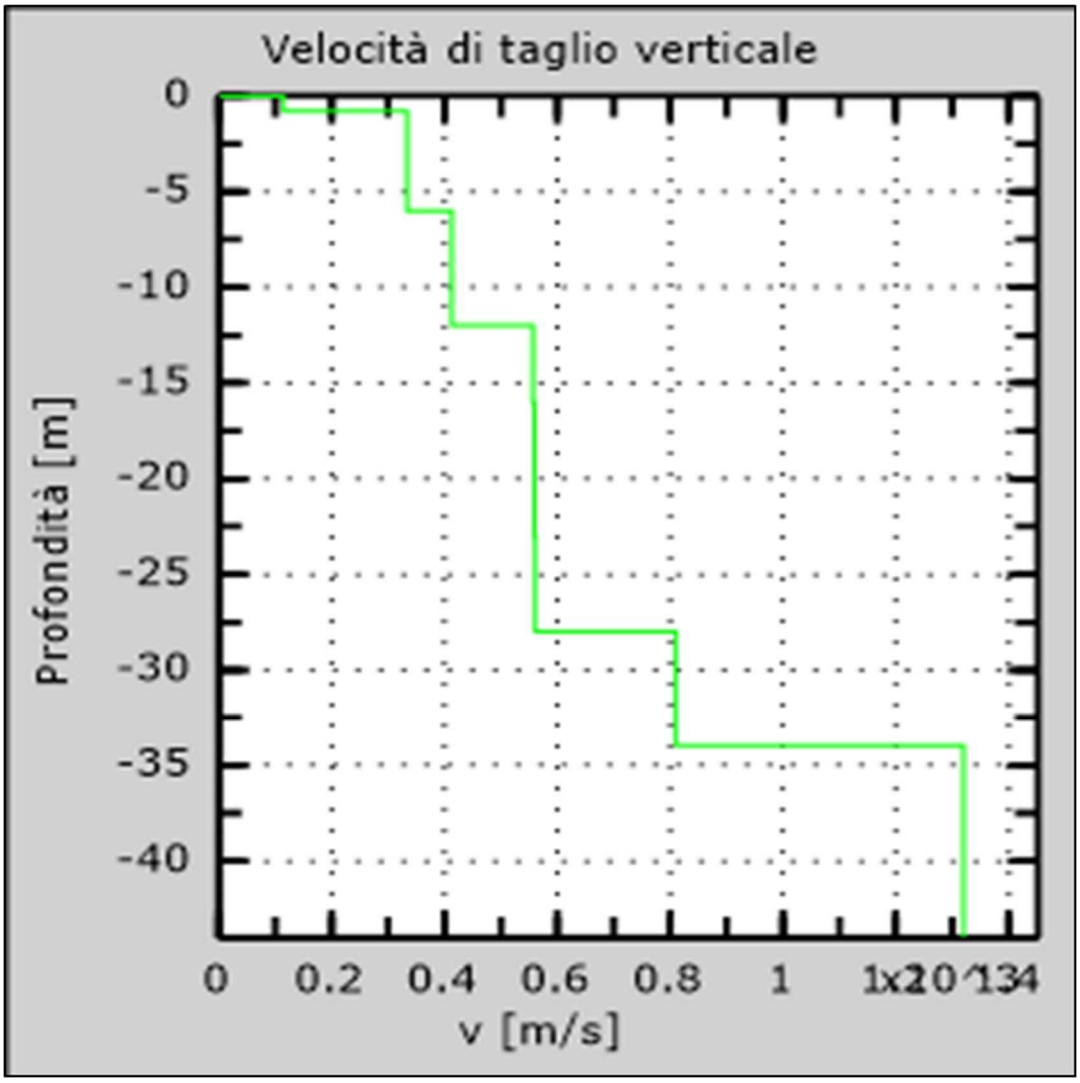


Figura 125: Profilo Vs Numerico

Il valore di **Vs30 (NTC 2008)** è pari a 440 **m/s**, mentre il valore delle **Vsequivalenti (NTC 2018)** è pari a **425 m/s,** tenuto conto della taratura eseguita con le prove penetrometriche eseguite.

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
188	115	0,8	0,8	0,006956522	m/sec	
579	334	5,2	6	0,015568862		
1191	557	10	16	0,017953321		
1195	559	4	20	0,007155635		
1195	559	3	23	0,005366726		
1199	561	5	28	0,008912656		
1732	810	6	34	0,007407407		
2822	1320	6	40	0,004545455		
188	115	0,8	0,8	0,006956522		
				0,073866585	**440,00**	**425,00**

	Acquisizioni con MASW								
	riporti		Riporti addensati		Riporti molto addensati		Substrato roccioso OMS alterato		unità di
note		dati		dati		dati		dati	misura
velocità onda longitudinale	Vp =	579	Vp =	1191	Vp =	1195	Vp =	1732	m/s
velocità onda trasversale	Vs =	334	Vs =	557	Vs =	559	Vs =	810	m/s
densità	g =	1,8	g =	2,2	g =	2,5	g =	2,5	t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	5120	Edin =	18925	Edin =	21659	Edin =	45480	kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0,25	ν =	0,36	ν =	0,36	ν =	0,36	
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gmax =	2047	Gmax =	6958	Gmax =	7963	Gmax =	16720	kg/cmq

	Acquisizioni con MASW	
	Substrato roccioso NCM?	
note		dati
velocità onda longitudinale	Vp =	2822
velocità onda trasversale	Vs =	1320
densità	g =	2,5
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81
Modulo elastico dinamico	Edin =	120775
Coeff. di Poisson	ν =	0,36
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gmax =	44404

formula di Vesic semplificata (1961)		MASW SIS5		
Ev ricavato da prove di piastra tradizionali coincide con E per ν=0.2				
Modulo Elastico pari a 1/20 del valore di Edyn				
E kg/cmq	ν	B (cm)	K (kg/cmc)	
255,99	0,25	100,00	2,73	Riporti superficiali
946,26	0,36	100,00	10,87	Riporti addensati
1082,97	0,36	100,00	12,44	Cappellaccio
2274,00	0,36	100,00	26,13	substrato

* Il substrato OMS mostra miglioramenti in profondità

MASW SIS6

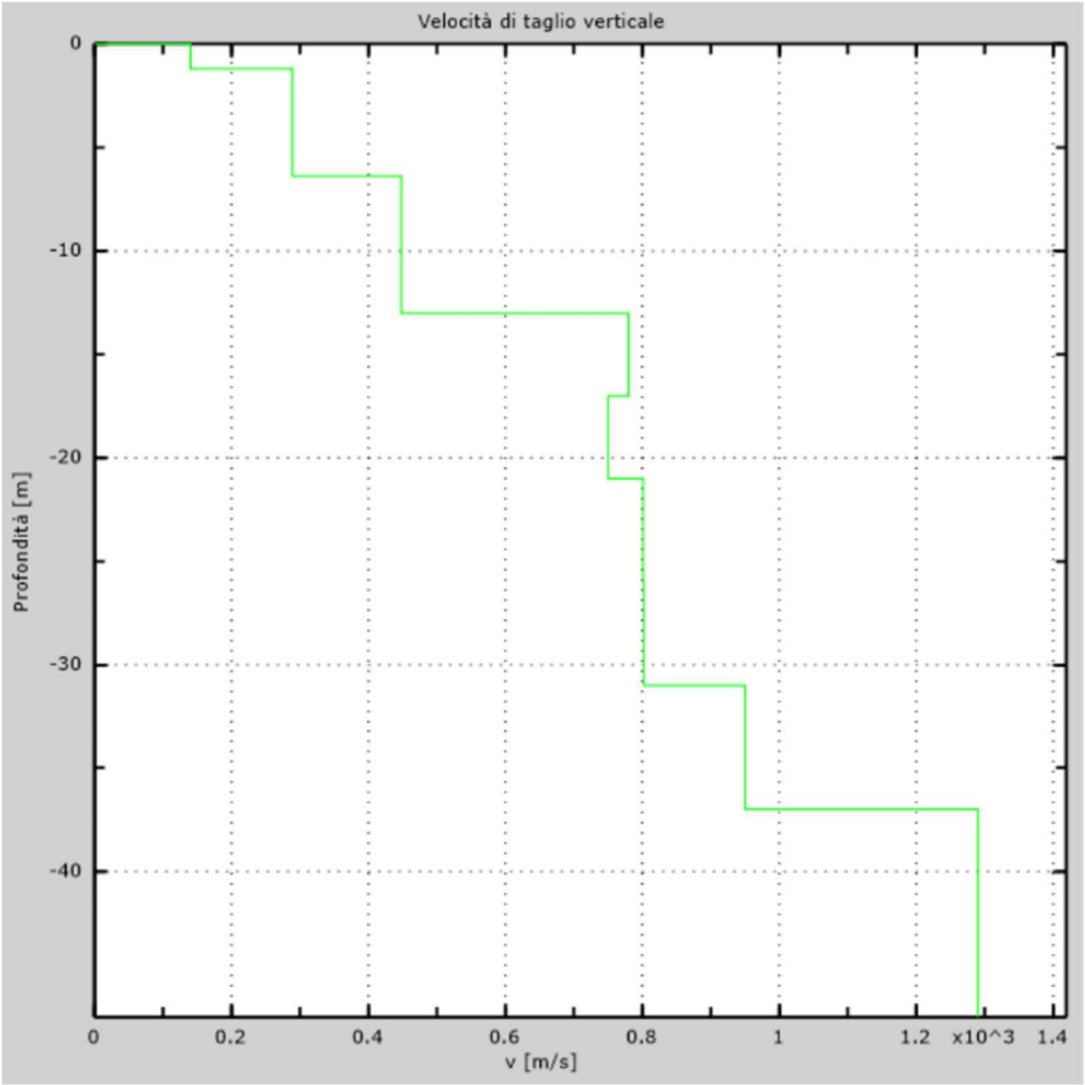


Figura 126: MASW SIS6 Profilo Vs numerico

Il valore di **Vs30 (NTC 2008)** è pari a 476 **m/s**, mentre il valore delle **Vsequivalenti (NTC 2018)** è pari a **406 m/s,** tenuto conto della taratura eseguita con le prove penetrometriche eseguite.

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
229	140	1,2	1,2	0,008571429	m/sec	
501	289	5,2	6,4	0,01799308		
838	448	6,6	13	0,014732143		
1548	780	4	17	0,005128205		
1489	750	4	21	0,005333333		
1590	801	5	26	0,006242197		
1732	802	5	31	0,006234414		
1886	950	6	37	0,006315789		
2561	1290	9	40	0,006976744		
				0,077527334	**476,00**	**406,00**

Acquisizioni con MASW									
	riporti		Riporti addensati		Riporti molto addensati		Substrato roccioso OMS alterato		unità di
note		dati		dati		dati		dati	misura
velocità onda longitudinale	Vp =	501	Vp =	838	Vp =	1548	Vp =	1886	m/s
velocità onda trasversale	Vs =	289	Vs =	448	Vs =	780	Vs =	950	m/s
densità	g =	1,8	g =	2,2	g =	2,5	g =	2,5	t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	g =	9,81	m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	3833	Edin =	11702	Edin =	41238	Edin =	61179	kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0,25	ν =	0,30	ν =	0,33	ν =	0,36	
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gmax =	1532	Gmax =	4501	Gmax =	15505	Gmax=	22999	kg/cmq

Acquisizioni con MASW		
	Substrato roccioso NCM?	
note		dati
velocità onda longitudinale	Vp =	2561
velocità onda trasversale	Vs =	1290
densità	g =	2,5
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81
Modulo elastico dinamico	Edin =	112807
Coeff. di Poisson	ν =	0,33
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gmax =	42408

formula di Vesic semplificata (1961)		MASW SIS6		
Ev ricavato da prove di piastra tradizionali coincide con E per ν=0.2				
Modulo Elastico pari a 1/20 del valore di Edyn				
E kg/cmq	ν	B (cm)	K (kg/cmc)	
191,66	0,25	100,00	2,05	Riporti superficiali
585,09	0,30	100,00	6,43	Riporti addensati
2061,89	0,33	100,00	23,14	Cappellaccio
3058,94	0,33	100,00	34,33	substrato

MASW SIS7

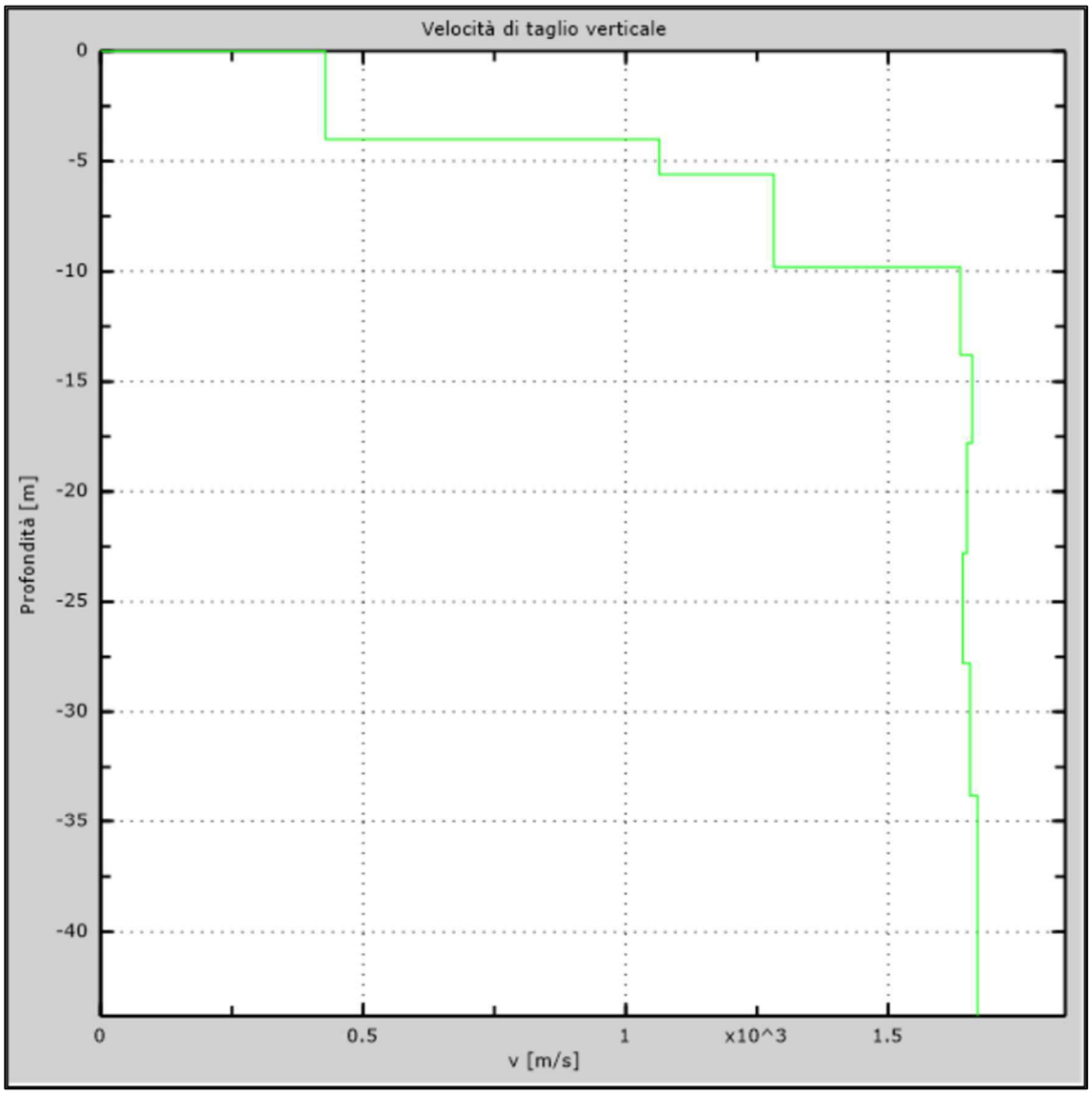


Figura 127: MASW SIS7 Profilo Vs numerico

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
699	428	4	4	0,009345794	m/sec	
1991	1064	1,6	5,6	0,001503759		
2741	1282	4,2	9,8	0,003276131		
3500	1637	4	13,8	0,002443494		
3549	1660	4	17,8	0,002409639		
3528	1650	5	22,8	0,003030303		
3528	1642	5	27,8	0,003045067		
3541	1656	6	33,8	0,003623188		
3571	1670	12,2	40	0,007305389		
				0,035982765	**1137,00**	**428,00**

Acquisizioni con MASW						
	riporti		Substrato OSM		Substrato NCM	unità di
note		dati		dati	dati	misura
velocità onda longitudinale	Vp =	699	Vp =	1991	Vp = 3549	m/s
velocità onda trasversale	Vs =	428	Vs =	1064	Vs = 1660	m/s
densità	g =	1,8	g =	2,2	g = 2,5	t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	9,81	g =	9,81	g = 9,81	m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	8068	Edin =	66016	Edin = 191007	kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0,20	ν =	0,30	ν = 0,36	
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gmax =	3361	Gmax =	25388	Gmax = 70224	kg/cmq

formula di Vesic semplificata (1961)		**MASW SIS7**		
Ev ricavato da prove di piastra tradizionali coincide con E per ν=0.2				
Modulo Elastico pari a 1/20 del valore di Edyn				
E kg/cmq	ν	B (cm)	K (kg/cmc)	
403,38	0,20	100,00	4,20	Riporti superficiali
3300,82	0,30	100,00	36,28	Sub. OSM
9550,34	0,36	100,00	109,72	Sub. NCM

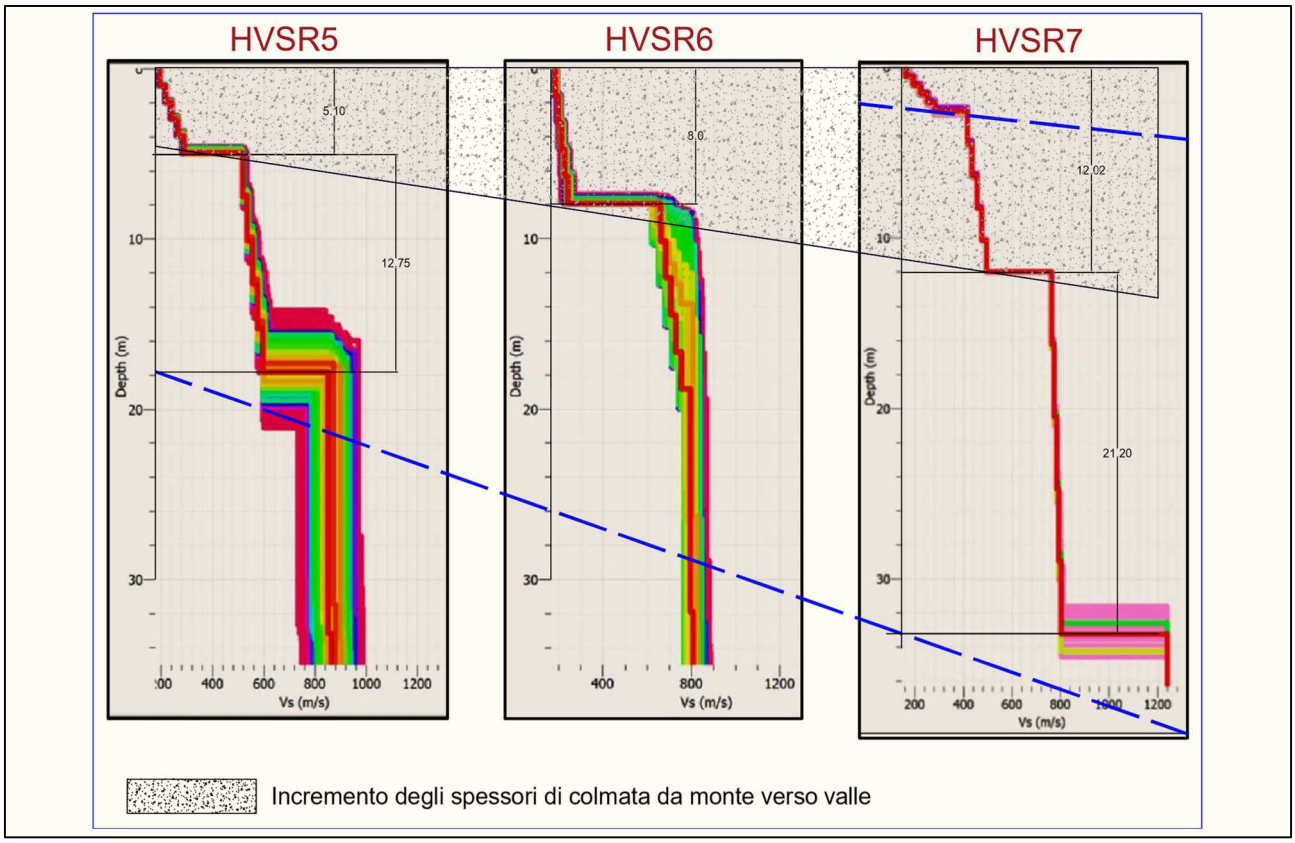


Figura 128: Il costante incremento da monte verso valle degli spessori di colmata.

Sulla base delle restituzioni HVSR, in coerenza con le acquisizioni sismiche a rifrazione e MASW poste a sedime della futura scuola sul Rio Sorba, è deducibile uno spessore di colmata crescente da monte verso valle (5-8-12 m circa), oltre che un probabile contatto stratigrafico profondo, oltre i -35 m di profondità, con i sottostanti Calcari nummulitici di Capo Mortola (NCM). Tale contatto è nettamente visibile nella stesa sismica SIS7, spostata in destra orografica, ove aumentano sensibilmente i valori delle Vs e delle Vp, rispetto al rifrattore individuato nelle stese SIS4-5-6 in sinistra orografica del rio Sorba

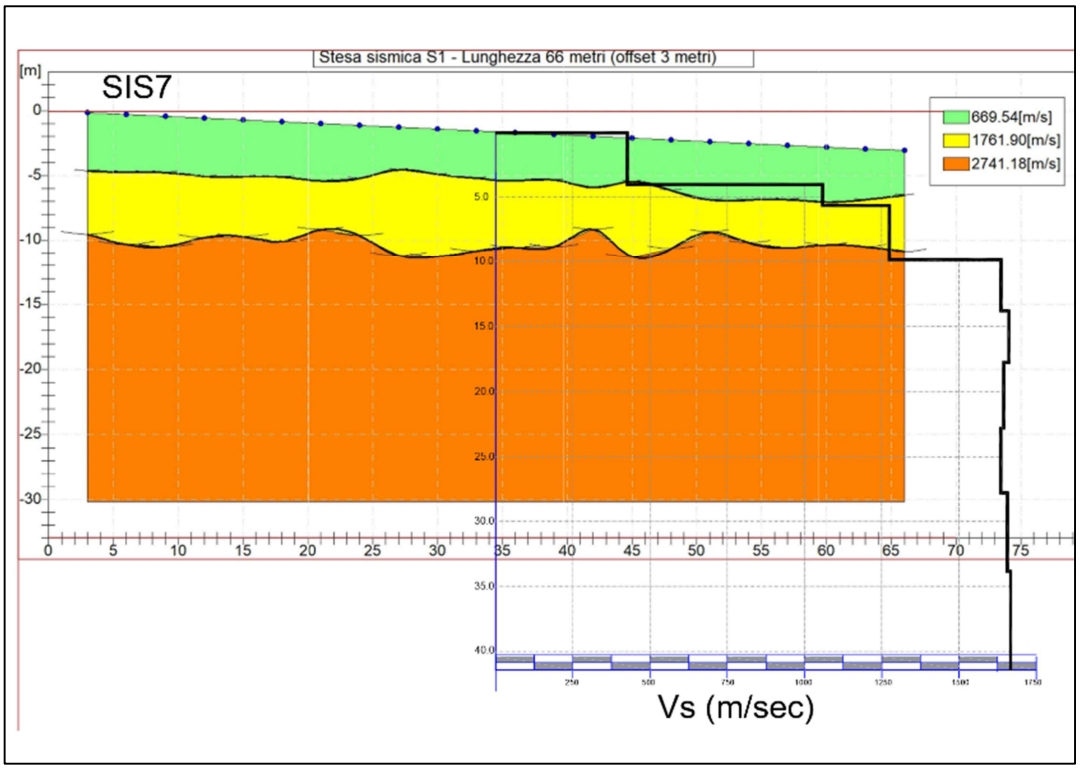




Figura 129: Stesa sismica SIS4



Figura 130: Stesa sismica SIS5



Figura 131: Stesa sismica SIS6



Figura 132: Stesa sismica SIS7 con scoppio mediante pesi da 50 kg

CONSIDERAZIONI RIASSUNTIVE SULLE ACQUISIZIONI SISMICHE SUL RIO SORBA

Le acquisizioni sismiche realizzate in cava, interessando un sensibile volume di terreno, sono considerate quali espressione dei valori caratteristici dei parametri misurati.

I dati sopra esposti possono essere così riassunti, procedendo idealmente dall'alto verso il basso:

1) Riporti superficiali

peso di volume	γ = 1.8-2.0 t/m^3
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 260 m/sec
Velocità onde sismiche longitudinali:	Vp = 440 m/sec
Modulo elastico dinamico	E'_{dyn} = 3000 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.23
Modulo di resistenza al taglio dinamico	G'_{dyn} = 125 Mpa
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 1.6 kg/cm^3

2) Riporti addensati

peso di volume	γ = 2.0-2.2 t/m^3
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 460 m/sec
Velocità onde sismiche longitudinali:	Vp = 870 m/sec
Modulo elastico dinamico	E'_{dyn} = 13000 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.30
Modulo di resistenza al taglio dinamico	G'_{dyn} = 490 Mpa
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 7.1 kg/cm^3

3) Riporti molto addensati/alluvioni rio Sorba, detriti di versante, cappellaccio di alterazione OSM

peso di volume	γ = 2.4-2.5 t/m^3
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 640 m/sec
Velocità onde sismiche longitudinali:	Vp = 1300 m/sec
Modulo elastico dinamico	E'_{dyn} = 28000 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.33
Modulo di resistenza al taglio dinamico	G'_{dyn} = 1050 Mpa
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 16 kg/cm^3

4) Substrato roccioso in Marne di Olivetta San Michele (OSM)

peso di volume	γ = 2.5-2.6 t/m^3
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 839 m/sec
Velocità onde sismiche longitudinali:	Vp = 1821 m/sec
Modulo elastico dinamico	E'_{dyn} = 49000 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.36
Modulo di resistenza al taglio dinamico	G'_{dyn} = 1800 Mpa
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 28.2 kg/cm^3

5) Substrato roccioso in Calcareniti di Capo Mortola (NCM)

peso di volume	γ = 2.5-2.6 t/m^3
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 1660 m/sec
Velocità onde sismiche longitudinali:	Vp = 3549 m/sec
Modulo elastico dinamico	E'_{dyn} = 190000 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.36
Modulo di resistenza al taglio dinamico	G'_{dyn} = 7000 Mpa
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 110 kg/cm^3

LA SEZIONE GEOLOGICA SUL RIO SORBA

Sulla base delle prove realizzate in sito è possibile ricostruire la sezione geologica, riportate nelle **Tavole GEO RS1**, allegate alla presente.
Il livello di falda, pur non riscontrato durante la realizzazione delle prove penetrometriche, viene posto appena al di sotto del piano di contatto fra corpo di colmata addensato e substrato alterato. Al fine di tener conto della possibilità di percolazione e formazione di falda "sospesa" in occasione di piogge prolungate, a causa della differente permeabilità fra i terreni sciolti superficiali e i terreni, sia pure alterati, del substrato roccioso, anche se le prove penetrometriche si arrestano nella parte medio inferiore dei riporti antropici, non riuscendo mai a raggiungere il substrato alterato.

LE COLMATE ANTROPICHE

Come si è già accennato nel Ponente Ligure sono purtroppo assai numerose le colmate effettuate a cavallo fra gli anni '60 e '80 per alloggiare il materiale di smarino derivante dai trafori autostradali e ferroviari.
Sono disponibili pertanto numerosi studi ed esperienze su tale tipologia di materiale.
In particolare si cita una certa uniformità delle caratteristiche fisiche e granulometriche, laddove le stesse, pur presentandosi inizialmente diverse a seconda del sistema di abbattimento utilizzato (fresa, martellone idraulico, esplosivi), tende nel tempo ad uniformarsi, con sensibile diminuzione del diametro medio, in ragione del progressivo sfaldarsi dei clasti lapidei a componente prevalente più argillosa e marnosa.
Il fuso mantiene comunque una notevole ampiezza ed eterogeneità.

La componente minore dei 5 cm risulta mediamente composta da:

Classe granulometrica	Percentuale
Ghiaia e ciottoli piccoli	40
Sabbia	21
Silt	15
Argilla	9
Collodi	15

Mediamente il fuso granulometrico ha il seguente aspetto, con setacciature a secco e in umido, aerometria, e si forniscono alcuni valori tipici di misura dei limiti di Atterberg, porosità, permeabilità edometrica, prova edometrica:

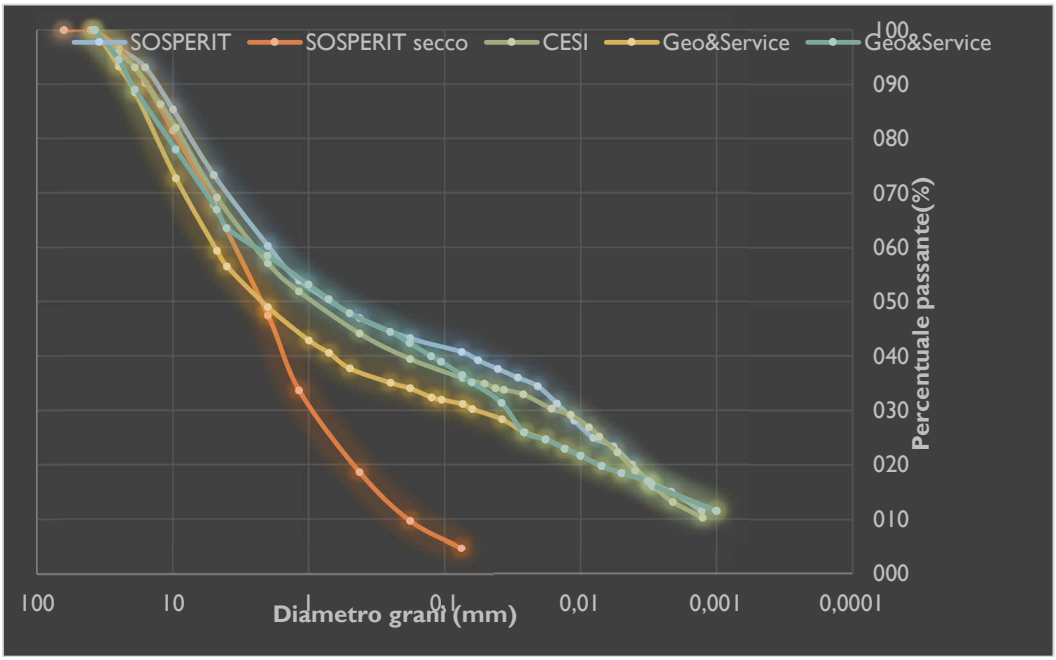
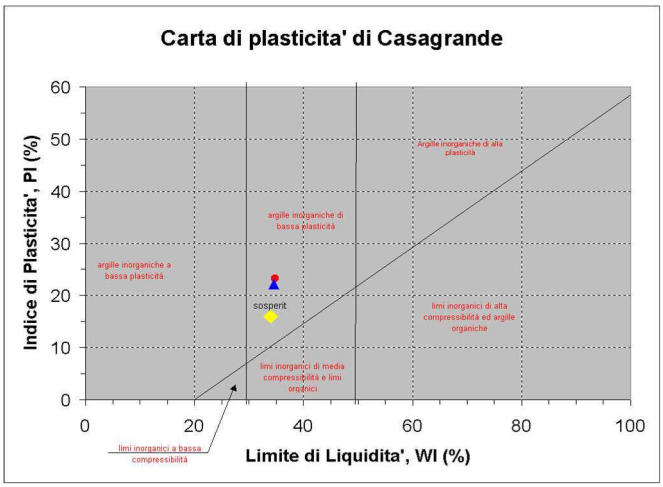


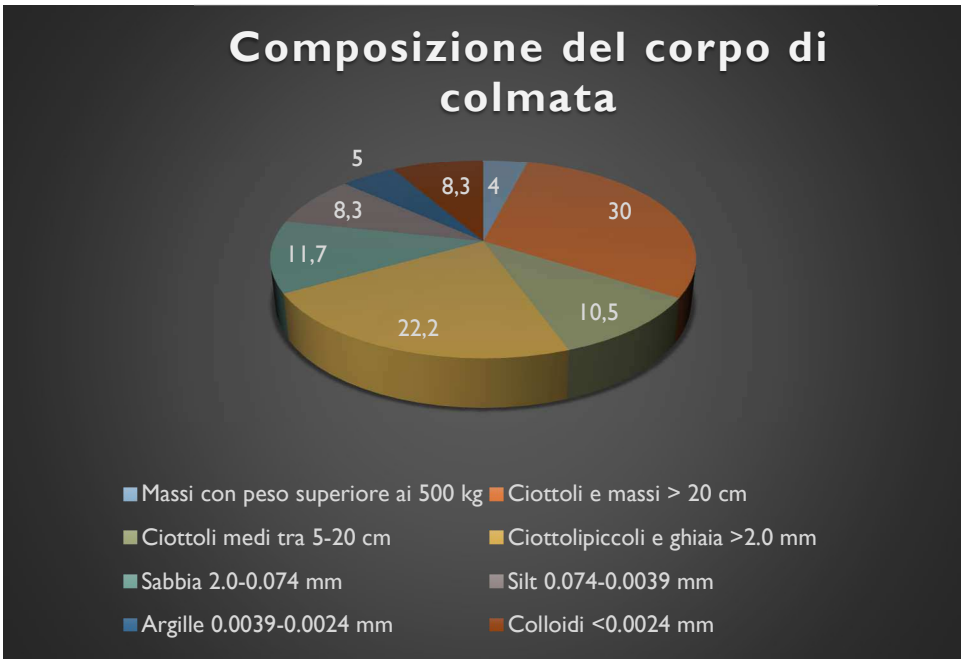
Figura 133: Fuso granulometrico del passante ai 5 cm.



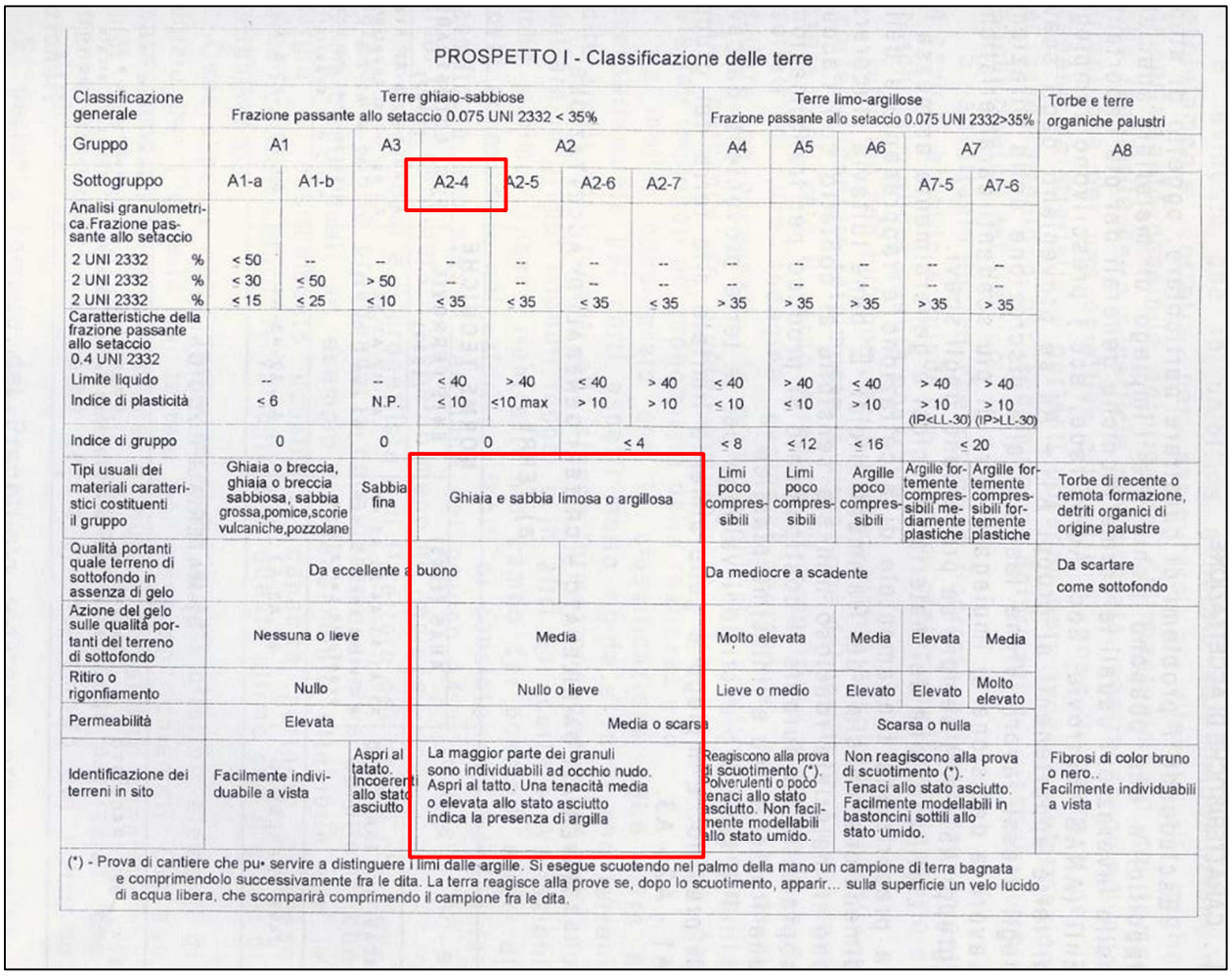
Come si può vedere il fuso delle setacciature in umido risulta abbastanza stretto, tenuto conto dell'eterogeneità del materiale.
La carta di plasticità di Casagrande indica come la frazione fina sia costituita da argille inorganiche di media plasticità, buona consistenza e non attiva.
La porosità dei granulo è pari a circa 8.66%
La permeabilità edometrica è compresa fra 6.8-7.9^{-8} cm/sec.

In definitiva il corpo di colmata può essere preliminarmente rappresentato mediante le seguenti componenti percentuali:

Dimensioni	Percentuale
Massi con peso superiore ai 500 kg	4.0
Ciottoli e massi > 20 cm	30.0
Ciottoli medi tra 5-20 cm	10.5
Ciottolipiccoli e ghiaia >2.0 mm	22.2
Sabbia 2.0-0.074 mm	11.7
Silt 0.074-0.0039 mm	8.3
Argille 0.0039-0.0024 mm	5.0
Colloidi <0.0024 mm	8.3
TOTALE	100



La composizione del corpo di colmata, rende il materiale idoneo per la realizzazione di riempimenti, tombature, rilevati, livellamenti, sottofondi, collocandosi generalmente nel A2-4 della classificazione UNI10006



PROSPETTO I - Classificazione delle terre

Classificazione generale	Terre ghiaio-sabbiose Frazione passante allo setaccio 0.075 UNI 2332 < 35%							Terre limo-argillose Frazione passante allo setaccio 0.075 UNI 2332>35%					Torbe e terre organiche palustri
Gruppo	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		A8
Sottogruppo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6	
Analisi granulometrica.Frazione passante allo setaccio													
2 UNI 2332 %	< 50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2 UNI 2332 %	< 30	< 50	> 50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2 UNI 2332 %	< 15	< 25	< 10	< 35	< 35	< 35	< 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35	
Caratteristiche della frazione passante allo setaccio 0.4 UNI 2332													
Limite liquido	--		--	< 40	> 40	< 40	> 40	< 40	> 40	< 40	> 40	> 40	
Indice di plasticità	< 6		N.P.	< 10	<10 max	> 10	> 10	< 10	< 10	> 10	> 10 (IP<LL-30)	> 10 (IP>LL-30)	
Indice di gruppo	0		0	0		< 4		< 8	< 12	< 16	< 20		
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa,pomice,scorie vulcaniche,pozzolane		Sabbia fina	Ghiaia e sabbia limosa o argillosa				Limi poco compressibili	Limi poco compressibili	Argille poco compressibili	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	Argille fortemente compressibili fortemente plastiche	Torbe di recente o remota formazione, detriti organici di origine palustre
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	Da eccellente a buono							Da mediocre a scadente					Da scartare come sottofondo
Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo	Nessuna o lieve			Media				Molto elevata		Media	Elevata	Media	
Ritiro o rigonfiamento	Nullo			Nullo o lieve				Lieve o medio		Elevato	Elevato	Molto elevato	
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa						Scarsa o nulla			
Identificazione dei terreni in sito	Facilmente individuabile a vista		Aspri al tatato. Incoerenti allo stato asciutto	La maggior parte dei granuli sono individuabili ad occhio nudo. Aspri al tatto. Una tenacità media o elevata allo stato asciutto indica la presenza di argilla				Reagiscono alla prova di scuotimento (*). Polverulenti o poco tenaci allo stato asciutto. Non facilmente modellabili allo stato umido.		Non reagiscono alla prova di scuotimento (*). Tenaci allo stato asciutto. Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido.			Fibrosi di color bruno o nero... Facilmente individuabili a vista

(*) - Prova di cantiere che pu• servire a distinguere i limi dalle argille. Si esegue scuotendo nel palmo della mano un campione di terra bagnata e comprimendolo successivamente fra le dita. La terra reagisce alla prove se, dopo lo scuotimento, apparir... sulla superficie un velo lucido di acqua libera, che scomparirà comprimendo il campione fra le dita.

Figura 134: Classificazione delle terre e caratteristiche di utilizzo

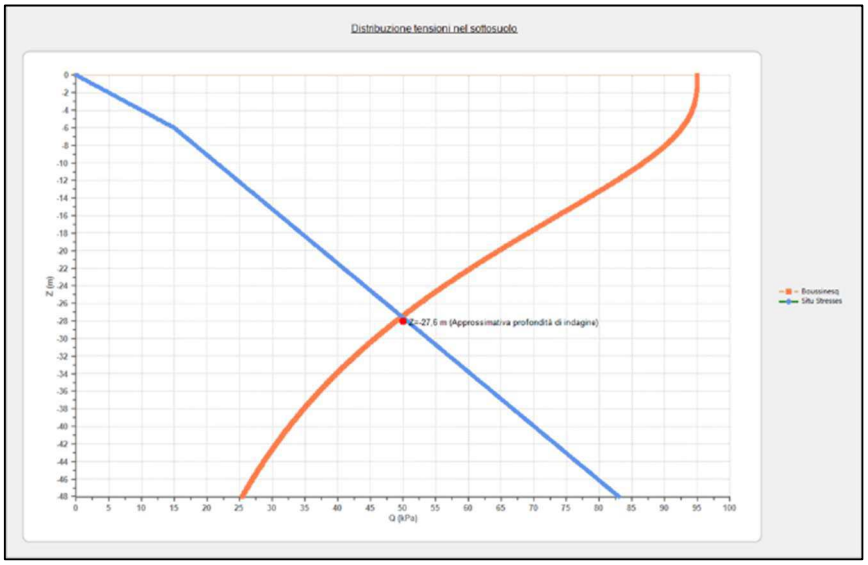
MODELLO GEOTECNICO

Sulla base delle indagini preliminari sinora svolte è possibile ricostruire il seguente modello geotecnico.

VALUTAZIONE DEL VOLUME SIGNIFICATIVO

CAVA

In prima approssimazione, sulla base delle sole condizioni a contorno, è possibile indicare un volume significativo (e una profondità d'indagine necessaria) pari a circa **28 m** (match point + profondità del piano di fondazione), compreso nel livello indagato direttamente ed indirettamente con le prove eseguite in sito.



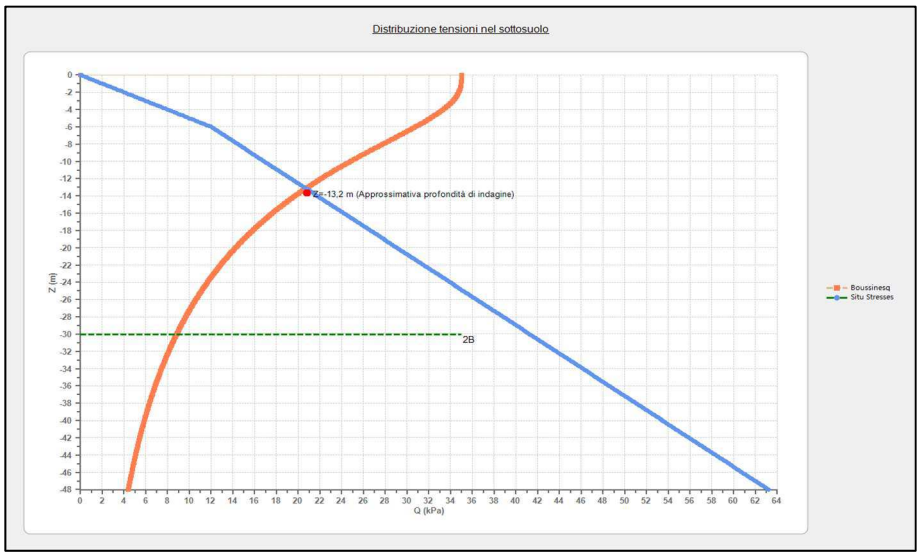
Sovraccarico: 95kPa
Profondità fondazione: 3m

Dimensione massima in pianta (lato lungo)	60	m
Dimensione massima in pianta (lato corto)	30	m

SCUOLA RIO SORBA

In prima approssimazione, sulla base delle sole condizioni a contorno, è possibile indicare un volume significativo (e una profondità d'indagine necessaria) pari a circa **13 m** (match point + profondità del piano di fondazione), compreso nel livello indagato direttamente ed indirettamente con le prove eseguite in sito.

Sovraccarico	35	kPa
Profondità fondazione	1	m
Dimensione massima in pianta (lato lungo)	50	m
Dimensione massima in pianta (lato corto)	15	m



IL SUBSTRATO ROCCIOSO

Dalle misure di velocità sonica su campione di roccia intatto si ricava il valore medio bibliografico della velocità su ammasso non fratturato:

Calcari Nummulitici (NCM)	4500
Marne di Trucco (TUC)	3600
Marne di Olivetta S. Michele (OSM)	3800

Da cui, noti i valori di Vp misurati in sito, è possibile ricavare i valori di R.Q.D., secondo la classica relazione di Deere e Miller, che lega il valore dell'indice di Velocità (Iv) al vaore dell'RQD (%)
$(V_{psito})^2/(V_{plaboratorio})^2$ = Ip = R.Q.D.%

Vlaboratorio	Vp sito	Vs sito	R.Q.D. Miller	
m/sec	m/sec	m/sec	%	
4500	1200	700	7,1	Cappellaccio NCM
4500	2100	960	21,8	Substrato NCM
3600	1300	684	13,0	Cappellaccio TUC
3600	2500	1100	48,2	Substrato TUC
3800	1821	839	23.0	Substrato OSM

Palmström (1995) ha proposto due differenti correlazioni per legare le velocità Vp misurate in sito e delle velocità di laboratorio su campione intatto, con il numero di giunti per metro (Nl), inteso come numero di fratture monodimensionali:
$Nl = (V_{laboratorio})^{3.4}*(Vp)^{-2.8}$; $Nl = 3*(V_{laboratorio}/Vp)^{0.5}*V_{laboratorio}$
Dal valore di Nl si risale al valore di R.Q.D. secondo le formulazioni di Priest &Hudson (1981) e di Palmström (2005), calcolate per il substrato roccioso:
Priest & Hudson : $RQD = 100\ e^{-0.1\lambda(1+0.1\lambda)}$; λ = n° fratture/ml
Palmström: RQD = 110-2.5 Jv; Jv = n° fratture/dell'ammasso per mc

Nl n° giunti/ml una dimens.	Jv n° giunti /m nell'ammasso	R.Q.D. Palmstrom 2005	R.Q.D. (Priest e Hudson 1981)	Litotipo
26,1	52,3	N.A.	12,0	Cappellaccio NCM
19,8	39,5	11,2	23,7	Substrato NCM
18,0	35,9	20,1	28,4	Cappellaccio TUC
13,0	25,9	45,2	45,9	Substrato TUC
16,5	32,9	27,7	33,0	Substrato OSM

I valori di Vp e Vs relativi ai Calcari Nummuliti sono stati ottenuti con le sole prove HVSR eseguite in quota sulla cava.

Tali valori appaiono abbastanza penalizzanti, rispetto a quanto visibile in affioramento (fronte verticale di cava pari a oltre 40 m di altezza). I valori di Vp e Vs ottenuti nel rio Sorba (rifrattore di profondità), attribuibili in prima analisi proprio alla formazione dei Calcari Nummuliti sono decisamente maggiori e pari a 2580 m/sec per le Vp e 1240 m/sec per le Vs.

Utilizzando tali valori si ottiene:

Vlaboratorio	Vp sito	Vs sito	R.Q.D. Miller	
m/sec	m/sec	m/sec	%	
4500	2580	1237	32,9	Substrato NCM

Che comporta

Nl n° giunti/ml una dimens.	Jv n° giunti /m nell'ammasso	R.Q.D. Palmstrom 2005	R.Q.D. (Priest e Hudson 1981)	Litotipo
17,8	35,7	20,9	28,8	Substrato NCM

Ottenendo valori più coerenti con l'osservazione diretta in affioramento

Dalle misure eseguite in sito, facendo riferimento alla classificazione della qualità della roccia di Deere (1965): si ottiene una qualità della roccia **molto scadente, con miglioramento in funzione della profondità, fino a roccia scadente**.

R.Q.D. (%)	**Qualità della Roccia**
0-25	Molto scadente
25-50	Scadente
50-75	Discreta
75-90	Buona
90-100	Eccelllente

In geomeccanica è evidente già da lungo tempo l'accortezza da porre nella valutazione del parametro RQD, rispetto al parametro Jv (n° di fratture a mc), come visibile dalle figure seguenti (Palmström, 2005):

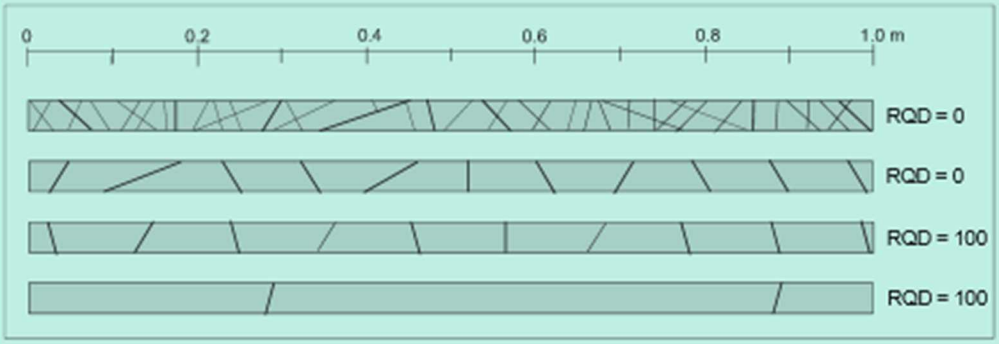


Figure 11. Examples of minimum and maximum values of RQD for various joint densities along drill cores (from Palmstrom, 2001).

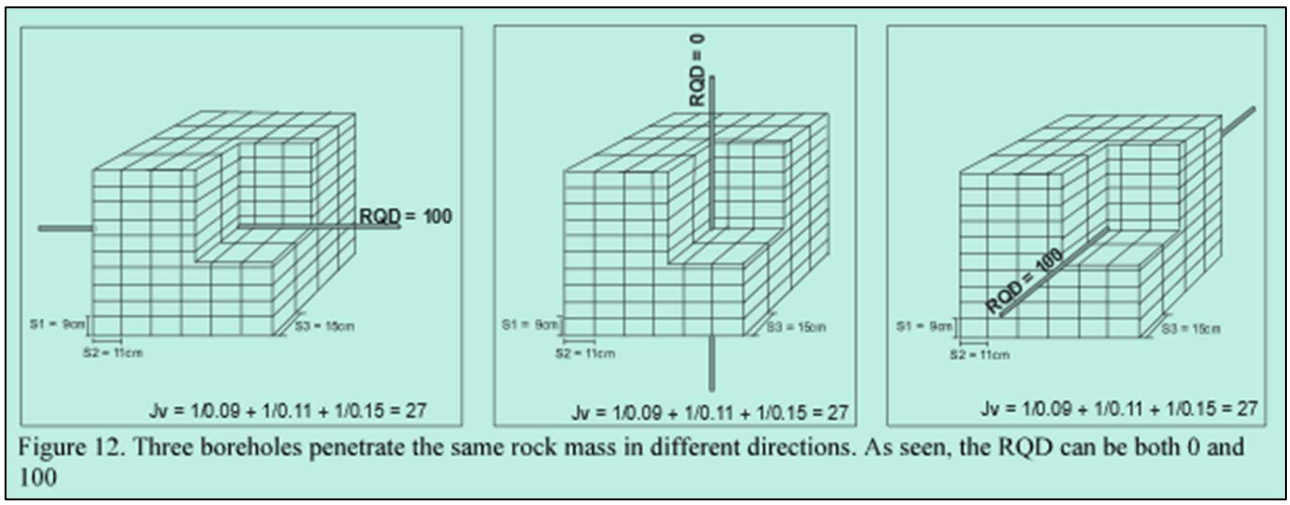
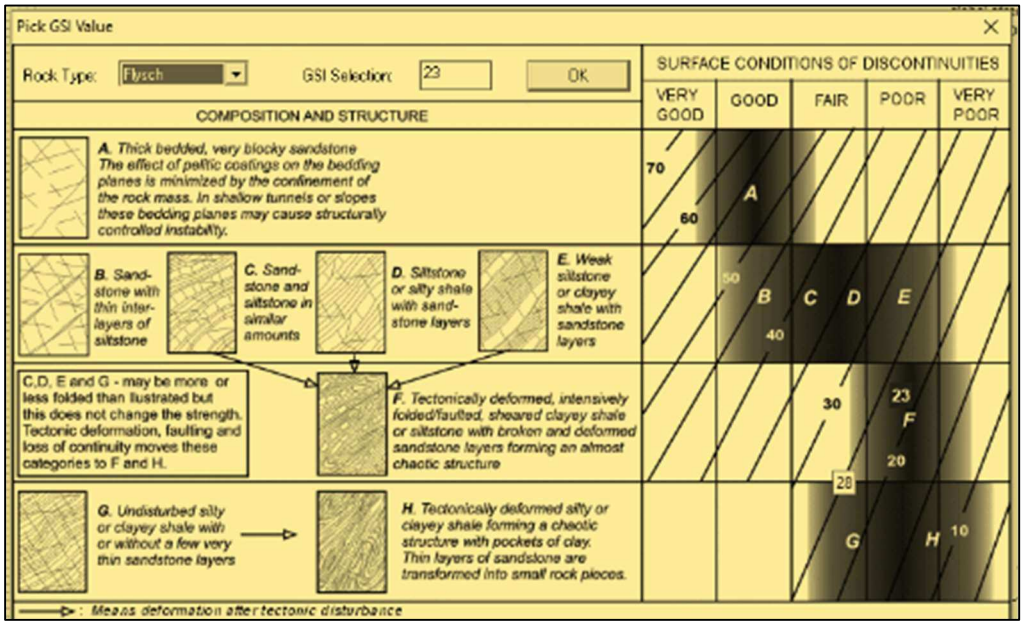


Figure 12. Three boreholes penetrate the same rock mass in different directions. As seen, the RQD can be both 0 and 100

E' quindi evidente come si faccia riferimento ad uno stato fratturativo "di volume" della roccia, laddove lo stesso viene determinato dalla modalità di propagazione dell'onda sismica in una porzione significativa dell'ammasso, con un riferimento di caratterizzazione ben più ampio, quindi, del singolo spezzone di carota.

In tal modo, anche in assenza di prove specifiche di laboratorio e di estesa classificazione geomeccanica sugli affioramenti (in realtà possibile solo sul fronte di cava per i NCM), è possibile risalire ad una parametrizzazione dell'ammasso preliminare, procedendo secondo quanto indicato da Marinos e Hoek (Bull. Eng. Geol. Env n° 60 pp 85-92 del 2001), per i litotipi marnosi (TUC e OSM) individuando un indice rappresentativo del G.S.I. pari a 23-30, coerente con lo stato di fratturazione indicato della roccia.

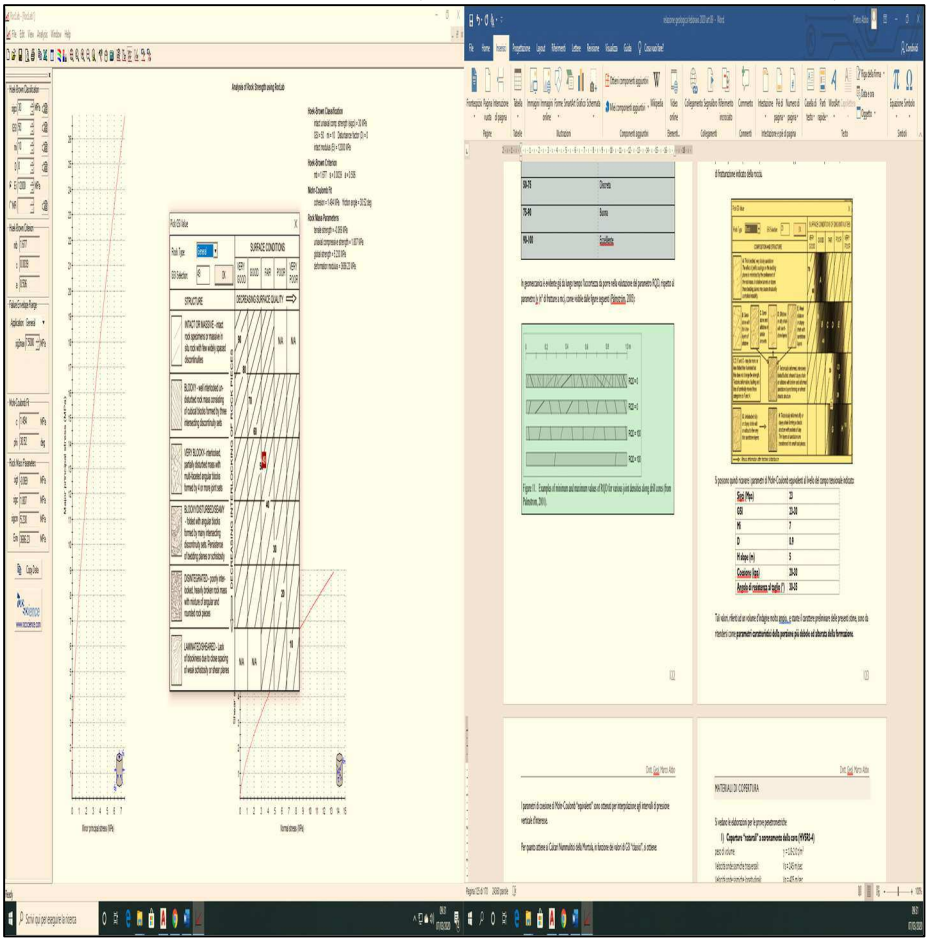


Si possono quindi ricavare i parametri di Mohr-Coulomb equivalenti al livello del campo tensionale indicato:

Sigci (Mpa)	**23**
GSI	**23-30**
Mi	**7**
D	**0.9**
H slope (m)	**5**
Coesione (kpa)	**30-40**
Angolo di resistenza al taglio (°)	**30-35**

Tali valori, riferiti ad un volume d'indagine molto ampio, e stante il carattere preliminare delle presenti stime, sono da ritendersi come **parametri caratteristici della porzione più debole ed alterata della formazione**.

Per quanto attiene ai Calcari Nummulitici della Mortola, in funzione dei valori di GSI "classici", si ottiene:



Si possono quindi ricavare i parametri di Mohr-Coulomb equivalenti al livello del campo tensionale indicato:

Sigci (Mpa)	**50-60**
GSI	**45-50**
Mi	**8**
D	**0.7**
H slope (m)	**40**
Coesione (kpa)	**280-340**
Angolo di resistenza al taglio (°)	**40-42**

MATERIALI INCOERENTI DI COPERTURA

Assimilando le sottili coperture "naturali" al coronamento superiore del fronte di cava ai terreni incoerenti superficiali a sedime della cava, visti i risultati delle prove penetrometriche e delle prove sismiche, si può indicare i seguenti valori:

1) Terreni Incoerenti superficiali a sedime e a coronamento della cava, parametri caratteristici, in miglioramento con la profondità:

peso di volume	γ = 1.9-2.1 t/m^3
Resistenza penetrazione DL30	N30 = 9 colpi
Resistenza alla penetrazione SPT standard	Nspt = 7 colpi
Nspt ridotto rendim. Energetico ecc..	N1(60) = 6 colpi
Densità relativa	Dr = 50%
angolo di resistenza al taglio	ϕ' = 30°
Modulo elastico	E' = 5-20 Mpa (100-120 Mpa in profondità)
Modulo di resistenza al taglio	G' = 20-30 Mpa
Modulo Edometrico	M = 4-6 Mpa
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 230-250 m/sec (402-450 m/sec in profondità)
Velocità onde sismiche longitudinali:	Vp = 440-480 m/sec (880-900 m/sec in profondità)
Coeff. di Poisson	ν = 0.23-0.25
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 1.3 kg/cm^3 (6.8-7.0 kg/cm^3 in profondità)

2) Terreni Incoerenti superficiali a sedime della colmata del rio Sorba, parametri caratteristici:, in miglioramento con la profondità:

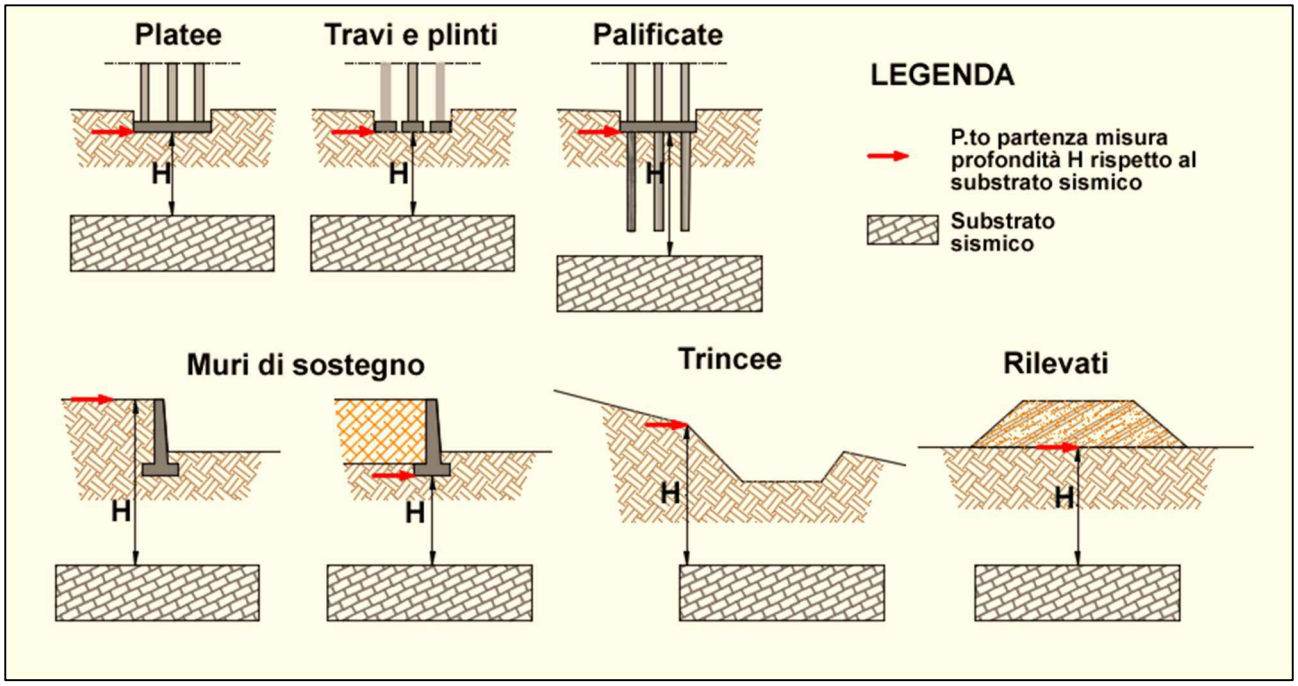
peso di volume	γ = 1.9-2.1 t/m^3
Resistenza penetrazione DL30	N30 = 12 colpi
Resistenza alla penetrazione SPT standard	Nspt = 9 colpi
Nspt ridotto rendim. Energetico ecc..	N1(60) = 8-9 colpi
Densità relativa	Dr = 50-55%
angolo di resistenza al taglio	ϕ' = 32-35°
Modulo elastico	E' = 5-25 Mpa (130-280 Mpa in profondità)
Modulo di resistenza al taglio	G' = 25-35 Mpa
Modulo Edometrico	M = 5-7 Mpa
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 250-270 m/sec (460-640 m/sec in profondità)
Velocità onde sismiche longitudinali:	Vp = 440-480 m/sec (870-1300 m/sec in profondità)
Coeff. di Poisson	ν = 0.23-0.33
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 1.6 kg/cm^3 (7-16 kg/cm^3 in profondità)

STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA (NTC2018)

Il valore delle Vs equivalenti (**NTC 2018**) è risultato mediamente pari a:

ubicazione	prova	Vs equivalenti	litotipo sotteso
prova	n°	m/sec	
sedime cava	HVSR n°1	506	TUC
sedime cava	HVSR n° 2	442	TUC
sedime cava	SIS1	492	TUC
sedime cava	SIS2	285	TUC
sedime cava	SIS3	302	TUC
fronte sup. cava	HVSR n° 3	458	NCM
fronte sup. cava	HVSR n° 4	616	NCM
Rio sorba	HVSR n° 5	409	OSM
Rio sorba	HVSR n° 6	376	OSM
Rio sorba	HVSR n° 7	506	OSM
Rio sorba	HVSR n° 8	723	OSM
Rio sorba	SIS4	457	OSM/NCM
Rio sorba	SIS5	425	OSM/NCM
Rio sorba	SIS6	406	OSM/NCM
Rio sorba	SIS7	1137	OSM/NCM

Considerato che sul **sedime della cava** sono previsti considerevoli approfondimenti del piano di fondazione, ivi comprese le bonifiche/sostituzioni di terreno fino al raggiungimento del substrato roccioso alterato delle Marne di Trucco, in cui i valori delle Vs passano da 680 m/sec a valori superiori agli 800 m/sec, appare ragionevole affidare una Categoria "**B**" al sottosuolo ai fini dell'approccio semplificato (rocce tenere caratterizzate da un miglioramento con la profondità)



Considerato altresì che **sul Rio Sorba**, le fondazioni della scuola saranno invece dirette in superfici (o eventualmente sostenute da micropali aventi funzione di riduttori dei cedimenti, nel qual caso occorre pur sempre misurare le Vs

equivalenti dalla testa della palificazione), si riscontrano valori di Vs equivalenti prossimi al limite superiore della categoria "C". Considerando la potenza della colmata antropica, inferiore ai 30 m di spessore, risultano probabili sensibili effetti di sito, consigliando quindi l'adozione di una categoria di tipo "**E**".

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti,* caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D,* con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per determinare la stima della pericolosità sismica del sito in oggetto si deve ricercare ag (accelerazione orizzontale massima attesa su un sito di riferimento rigido). Per poterlo determinare è necessario conoscere le coordinate geografiche dell'opera da verificare in gradi decimali. Procedendo in tal modo si determina quindi la maglia di riferimento, in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero e, sulla base della maglia interessata, si determinano i valori di riferimento del punto in esame. Oltre alle coordinate geografiche si deve disporre della Classe d'uso CU del progetto, della sua vita nominale VN, della categoria di sottosuolo e di quella topografica. Nel caso in esame tali parametri sono stati tutti ricavati nei capitoli precedenti e sono i seguenti (stabilità dei pendii e fondazioni):

Area CAVA: base del versante:

VN	>50
Classe edificio	II
Periodo di riferimento	50
Categoria di sottosuolo	B
Categoria topografica	T2
Amplificazione topografica	1.0
Kh	0.047
Kv	0.023
Ag/g (SLC)	0.163
WGS84 latitudine, longitudine	43.783582,7.546819

Area CAVA: sedime di fondazione:

VN	>50
Classe edificio	II
Periodo di riferimento	50
Categoria di sottosuolo	B
Categoria topografica	T2
Amplificazione topografica	1.2
Kh	0.056
Kv	0.028
Ag/g (SLC)	0.163
WGS84 latitudine, longitudine	43.785750,7.547152

Area CAVA: colmo del versante:

VN	>50
Classe edificio	II
Periodo di riferimento	50
Categoria di sottosuolo	B
Categoria topografica	T4
Amplificazione topografica	1.4
Kh	0.066
Kv	0.033
Ag/g (SLC)	0.163
WGS84 latitudine, longitudine	43.786346,7.547098

Come si può notare, avendo assimilato le condizioni di copertura del bed-rock rilevate a sedime della cava e al colmo della stessa (note dalle prove effettuate) anche alla base del pendio, l'effetto della sola amplificazione topografica sull'azione sismica prevedibile, è sensibile, ma non di eccessiva incidenza.

Di contro, a sedime della scuola sul rio Sorba, ubicato nel fondovalle, si annullano gli effetti di amplificazione topografica, ma risultano probabili effetti di amplificazione di sito, in ragione della presenza della colmata antropica.

Area RIO SORBA: sedime della scuola:

VN	>50
Classe edificio	II
Periodo di riferimento	50
Categoria di sottosuolo	E
Categoria topografica	T1
Amplificazione topografica	1.0
Kh	0.061
Kv	0.030
Ag/g (SLC)	0.163
WGS84 latitudine, longitudine	43.787304,7.547860

Per entrambi i casi, ma per ragioni diverse, si ritrovano quindi i seguenti coefficienti sismici, adottabili nei calcoli di portanza e stabilità preliminari, in attesa degli approfondimenti necessari nelle fasi successive del progetto:

Kh	0.060
Kv	0.030
Ag/g (SLC)	0.163

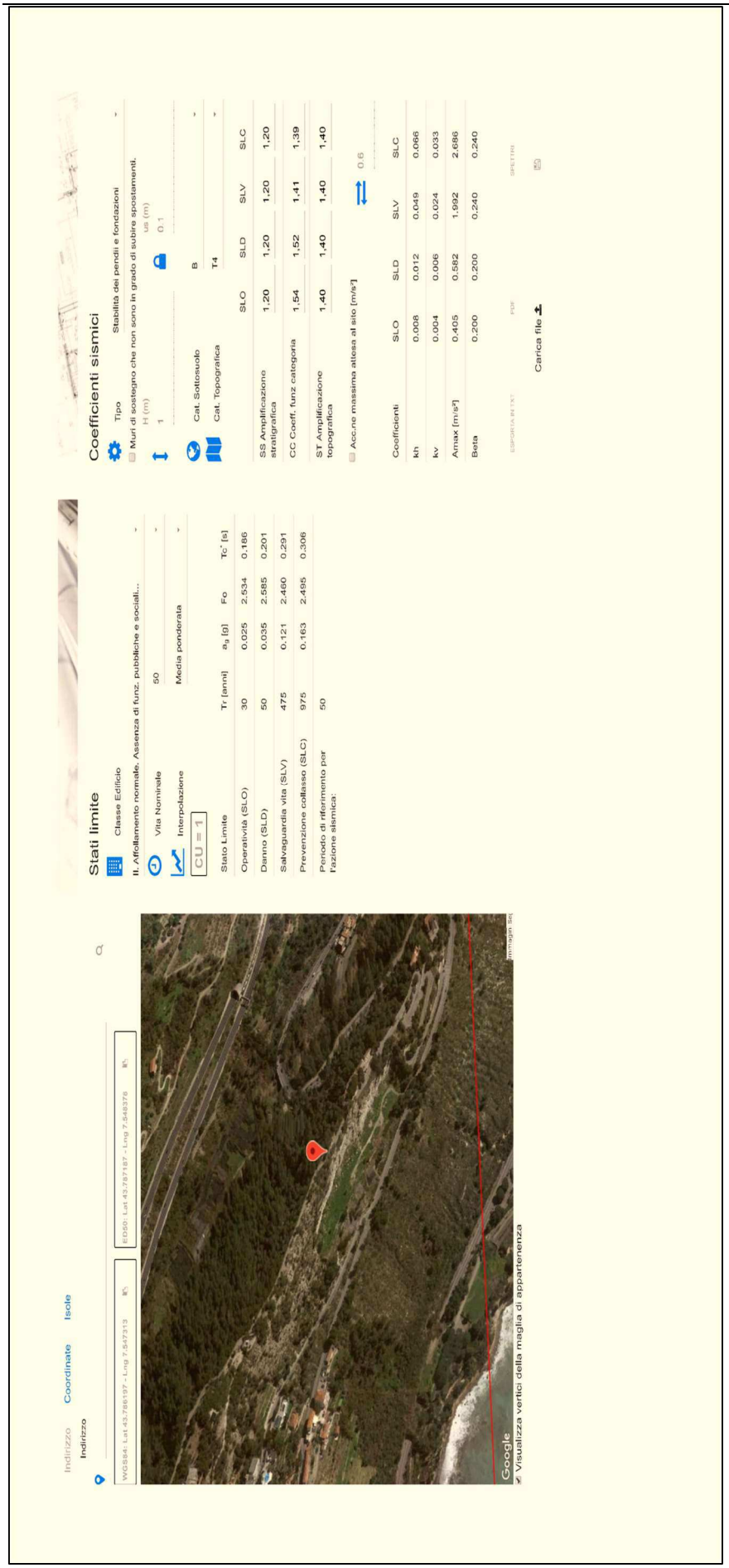


Figura 135: Coefficienti sismici locali colmo del versante Cava

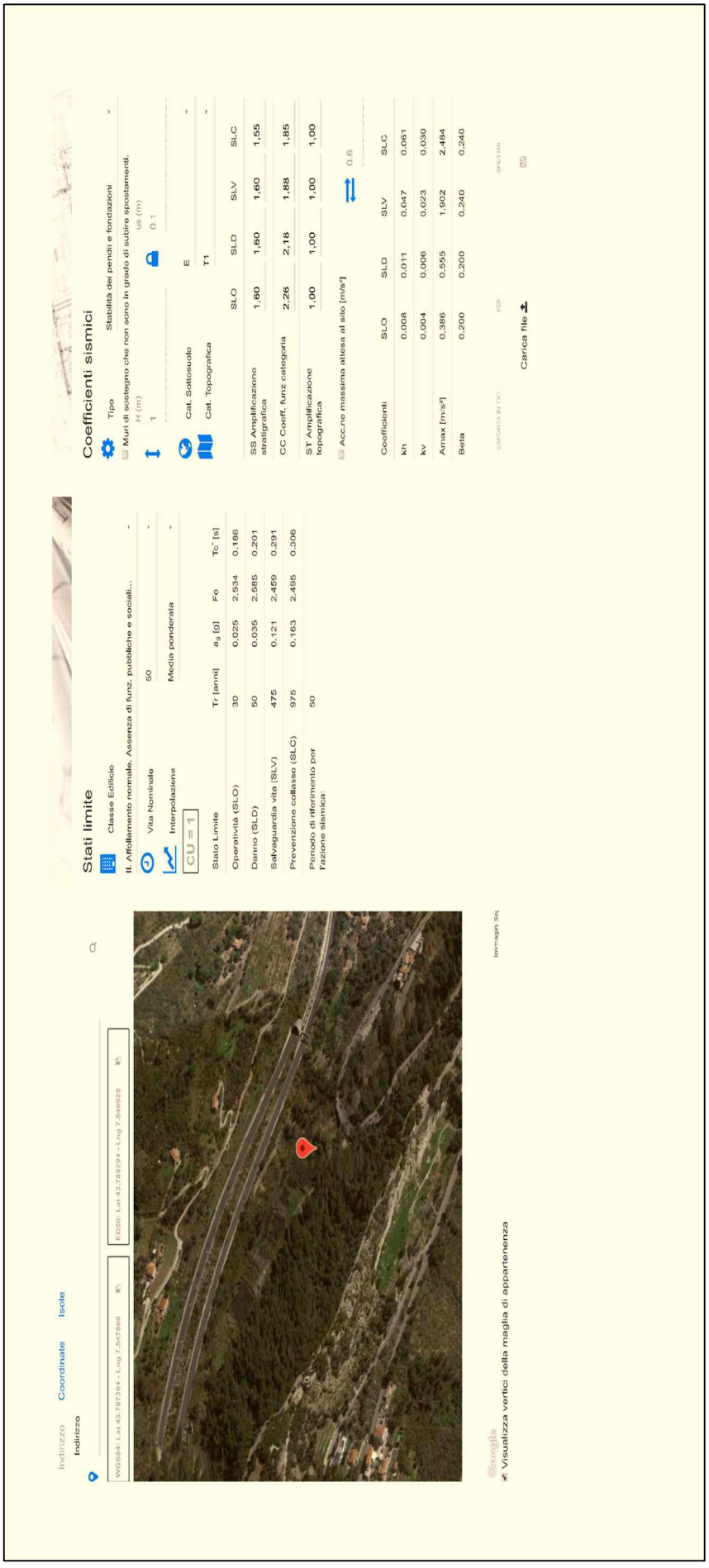


Figura 136: Coefficienti sismici area a sedime della scuola sul Rio Sorba

RISPOSTA SISMICA LOCALE (CRITERI MICROZONAZIONE SISMICA)

Nell'ottica della microzonazione sismica, stante il carattere preliminare della presente, gli effetti dell'amplificazione sismica litostratigrafica può avvenire attraverso l'utilizzo degli abachi proposti a livello nazionale nel documento ICMS, considerando i due fattori di amplificazione FA e FV, con riferimento ai valori di Vs equivalente noti dalle indagini in sito.

Stante la composizione granulometrica dei terreni a sedime degli edifici in progetto, essenzialmente di natura antropica e derivati l'uno dallo sfido della coltivazione di cava, l'altro da quello di abbattimento di galleria, si fa riferimento al tipodi terreno "Ghiaia", e a valori di $A_g(g)$ di 0.18g, con profilo di velocità a pendenza intermedia.

Fattore di amplificazione *FA* | **Tipo di terreno** Ghiaia | **a_g (g)** 0.18g | **Profilo di velocità** Lineare pendenza intermedia

H \ $V_{s,eq}$ (m/s)	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.47	1.91	1.70	1.51	1.30	1.16	1.09	1.05	1.02	1.01
10	-	2.39	2.14	1.79	1.56	1.38	1.26	1.18	1.08	1.03
15	-	2.22	2.19	1.99	1.78	1.58	1.43	1.30	1.14	1.05
20	-	1.90	2.08	1.99	1.80	1.65	1.50	1.38	1.19	1.07
25	-	1.63	1.87	1.90	1.77	1.65	1.51	1.41	1.23	1.09
30	-	1.57	1.68	1.73	1.71	1.61	1.51	1.40	1.22	1.10
35	-	-	1.62	1.65	1.59	1.57	1.47	1.38	1.22	1.09
40	-	-	1.60	1.59	1.53	1.47	1.43	1.35	1.21	1.09
50	-	-	1.47	1.52	1.46	1.38	1.33	1.27	1.17	1.07
60	-	-	1.37	1.47	1.42	1.35	1.29	1.23	1.13	1.04
70	-	-	1.25	1.34	1.38	1.32	1.27	1.21	1.10	1.01
80	-	-	1.13	1.26	1.29	1.29	1.23	1.19	1.08	1.00
90	-	-	1.11	1.20	1.24	1.25	1.22	1.17	1.07	0.99
100	-	-	1.02	1.13	1.19	1.19	1.19	1.15	1.06	0.98
110	-	-	0.98	1.11	1.15	1.17	1.14	1.13	1.04	0.97
120	-	-	0.92	1.06	1.11	1.11	1.12	1.09	1.03	0.96
130	-	-	0.87	1.00	1.08	1.09	1.09	1.06	1.02	0.95
140	-	-	0.85	0.96	1.04	1.06	1.07	1.05	0.99	0.94
150	-	-	0.80	0.92	1.00	1.02	1.04	1.02	0.97	0.93

Fattore di amplificazione *FV* | **Tipo di terreno** Ghiaia | **a_g (g)** 0.18g | **Profilo di velocità** Lineare pendenza intermedia

H \ $V_{s,eq}$ (m/s)	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.25	1.10	1.06	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00
10	-	1.73	1.22	1.12	1.08	1.05	1.04	1.03	1.01	1.00
15	-	2.36	1.73	1.36	1.18	1.12	1.08	1.06	1.03	1.01
20	-	2.70	2.15	1.66	1.38	1.21	1.14	1.10	1.05	1.02
25	-	2.72	2.36	1.94	1.58	1.37	1.22	1.15	1.07	1.03
30	-	2.67	2.51	2.07	1.74	1.50	1.33	1.21	1.10	1.04
35	-	-	2.50	2.21	1.83	1.59	1.41	1.28	1.12	1.04
40	-	-	2.44	2.25	1.93	1.66	1.47	1.33	1.15	1.05
50	-	-	2.34	2.19	1.98	1.78	1.59	1.42	1.20	1.08
60	-	-	2.19	2.11	1.95	1.76	1.61	1.47	1.23	1.09
70	-	-	2.14	2.00	1.89	1.75	1.60	1.46	1.24	1.10
80	-	-	1.99	1.96	1.81	1.69	1.58	1.46	1.26	1.11
90	-	-	1.87	1.89	1.75	1.63	1.54	1.45	1.25	1.11
100	-	-	1.85	1.81	1.72	1.59	1.50	1.41	1.25	1.11
110	-	-	1.83	1.72	1.66	1.56	1.47	1.38	1.24	1.10
120	-	-	1.81	1.69	1.63	1.53	1.43	1.36	1.21	1.08
130	-	-	1.76	1.67	1.55	1.50	1.41	1.33	1.20	1.06
140	-	-	1.73	1.67	1.55	1.45	1.40	1.30	1.18	1.06
150	-	-	1.71	1.65	1.53	1.41	1.36	1.28	1.16	1.05

Figura 137: Abachi di riferimento per il calcolo di FA e FV

Si ricavano quindi i seguenti valori di FA e FV:

ubicazione	prova	Vs equivalenti	H	litotipo sotteso	FA	FV
prova	n°	m/sec	m		litostratigrafica	litostratigrafica
sedime cava	HVSR n°1	506	9,96	TUC	1,18	1,01
sedime cava	HVSR n° 2	442	13,85	TUC	1,58	1,05
sedime cava	SIS1	492	12,3	TUC	1,43	1,04
sedime cava	SIS2	285	5,5	TUC	2,14	1,22
sedime cava	SIS3	302	7	TUC	1,79	1,12
fronte sup, cava	HVSR n° 3	458	6,78	NCM	1,26	1,04
fronte sup, cava	HVSR n° 4	616	9,92	NCM	1,08	1,01
Rio sorba	HVSR n° 5	409	17,94	OSM	1,65	1,12
Rio sorba	HVSR n° 6	376	18,81	OSM	1,8	1,38
Rio sorba	HVSR n° 7	506	24,62	OSM	1,38	1,15
Rio sorba	SIS4	457	23	OSM/NCM	1,5	1,22
Rio sorba	SIS5	425	28	OSM/NCM	1,61	1,5
Rio sorba	SIS6	406	21	OSM/NCM	1,65	1,37
Media		437				
massimo		616				
minimo		285				

E' possibile commentare i dati osservando che:

- La presenza dei depositi antropici a sedime della cava comporta possibili effetti di amplificazione a livello del suolo attuale. La prevista bonifica del livello di copertura antropico e l'approfondimento del piano fondazionale mitigano o annullano tali effetti, fatta eccezione per il lato meridionale e di levante del sedime. Laddove sono maggiori gli spessori dei depositi antropici.
- Sul rio Sorba la relativa ristrettezza dell'intervento edificatorio non comporta sensibili differenze relative, ma resta un possibile effetto di sito sensibile, da mitigarsi con opportune tecniche costruttive e dimensionali, anche in presenza di micropali in fondazione.
- L'estrema eterogeneità caratteristica del fuso granulometrico del sedimento sciolto superficiale, proveniente dall'attività antropica, non comporta l'attualità di fenomeni di liquefazione. Tuttavia lo scuotimento può comportare fenomeni di assestamento, da valutarsi in sede di progettazione esecutiva, considerando tuttavia il lungo tempo di *aging* subito dai materiali della colmata sul rio Sorba e dei riempimenti di cava, ormai cinquantennale.
- L'ambito in esame può essere considerato una cresta rocciosa (dislivello altimetrico minimo (107 m) maggiore o eguale a un terzo del dislivello altimetrico massimo (225/3= 75 m), in particolare una cresta rocciosa apuntita (larghezza in cresta – 25 m molto minore di un terzo della larghezza alla base – 450/3=150m). Il coefficiente di forma (H/L) è pari a circa 0.50. Ciò comporta valori di FA pari a circa 1.7. Tale sensibile effetto topografico, stante la posizione prossimale alla cresta dell'intervento in oggetto, dovrà essere preso in considerazione nella fase esecutiva, approfondendone la modellazione con metodologie più di dettaglio.

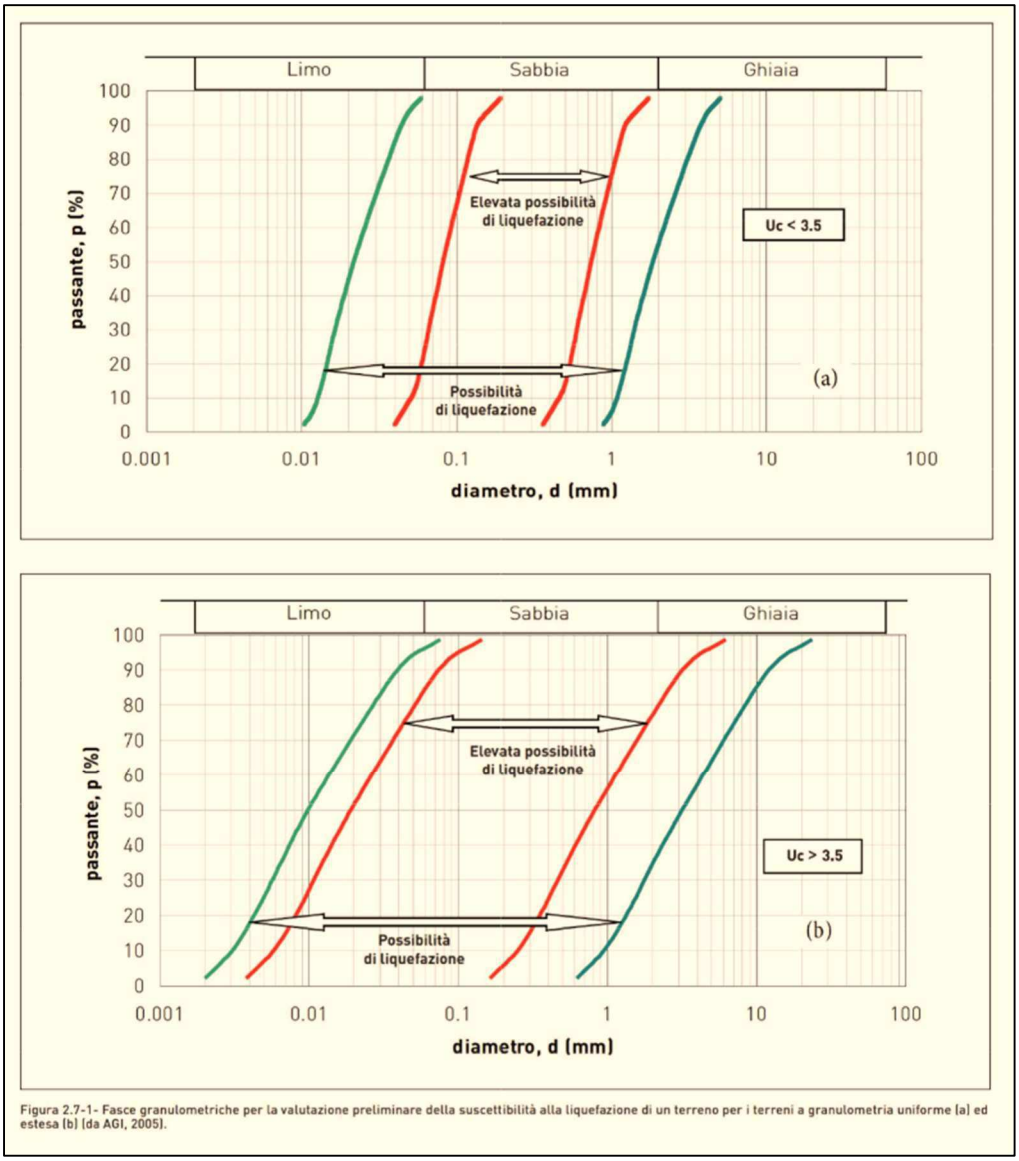


Figura 2.7-1- Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno per i terreni a granulometria uniforme (a) ed estesa (b) (da AGI, 2005).

Figura 138: fasce granulometriche

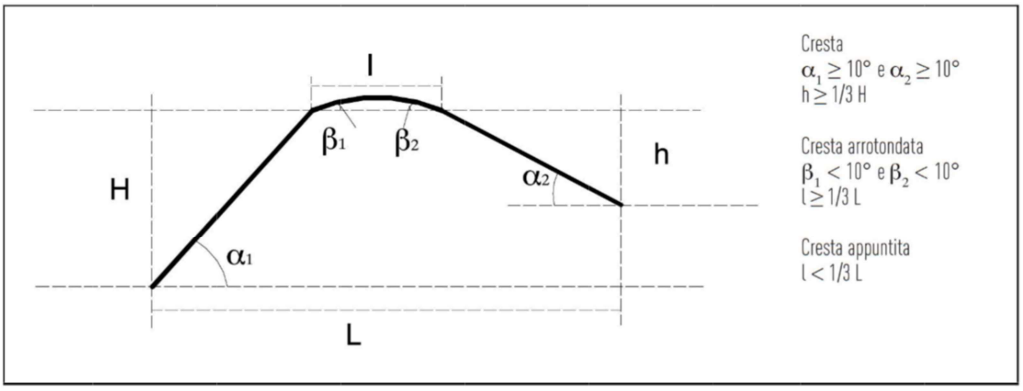


Figura 139: Schema di riferimento per la cresta e criteri di riconoscimento

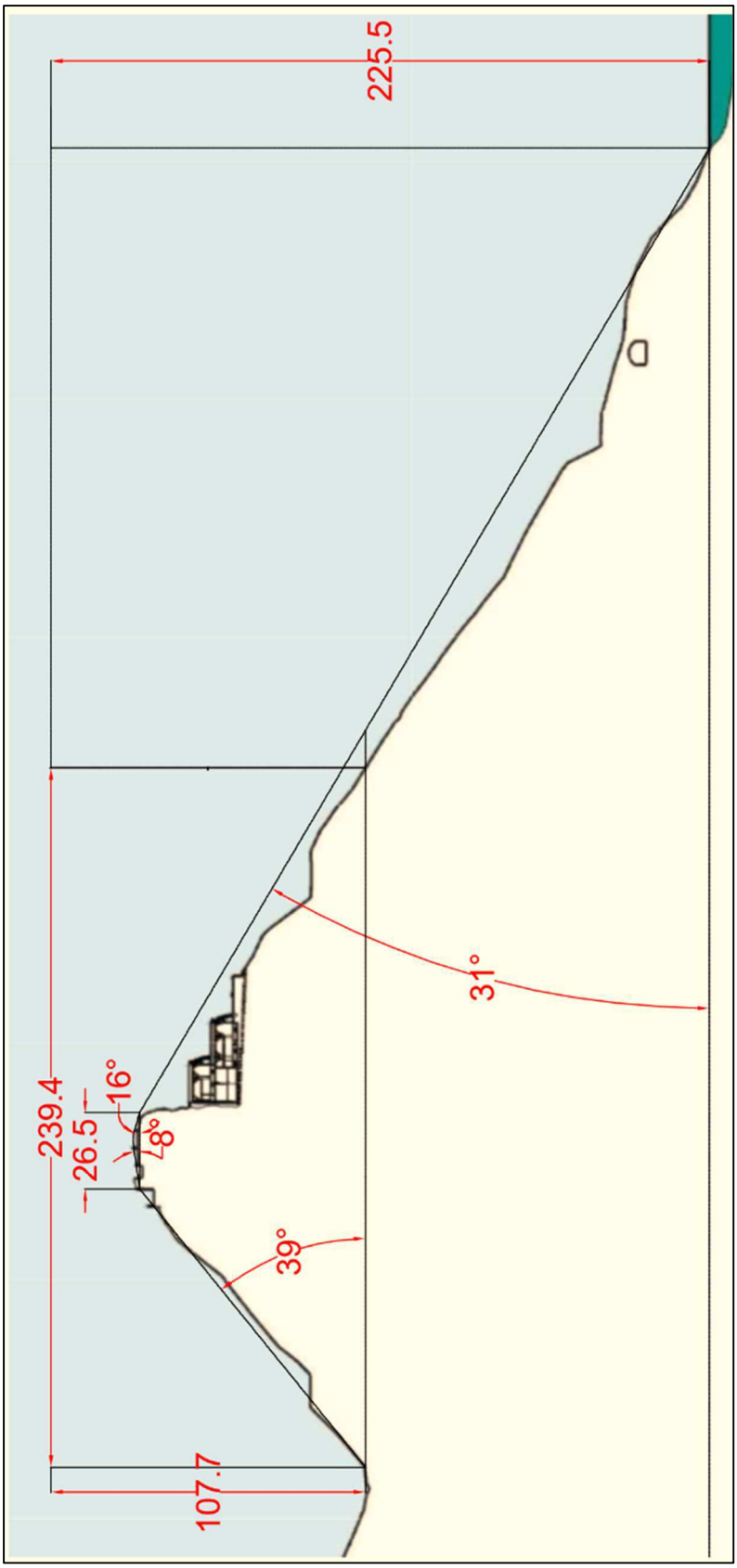


Figura 140: Le caratteristiche geometriche del sito individuano potenziali effetti di amplificazione topografica

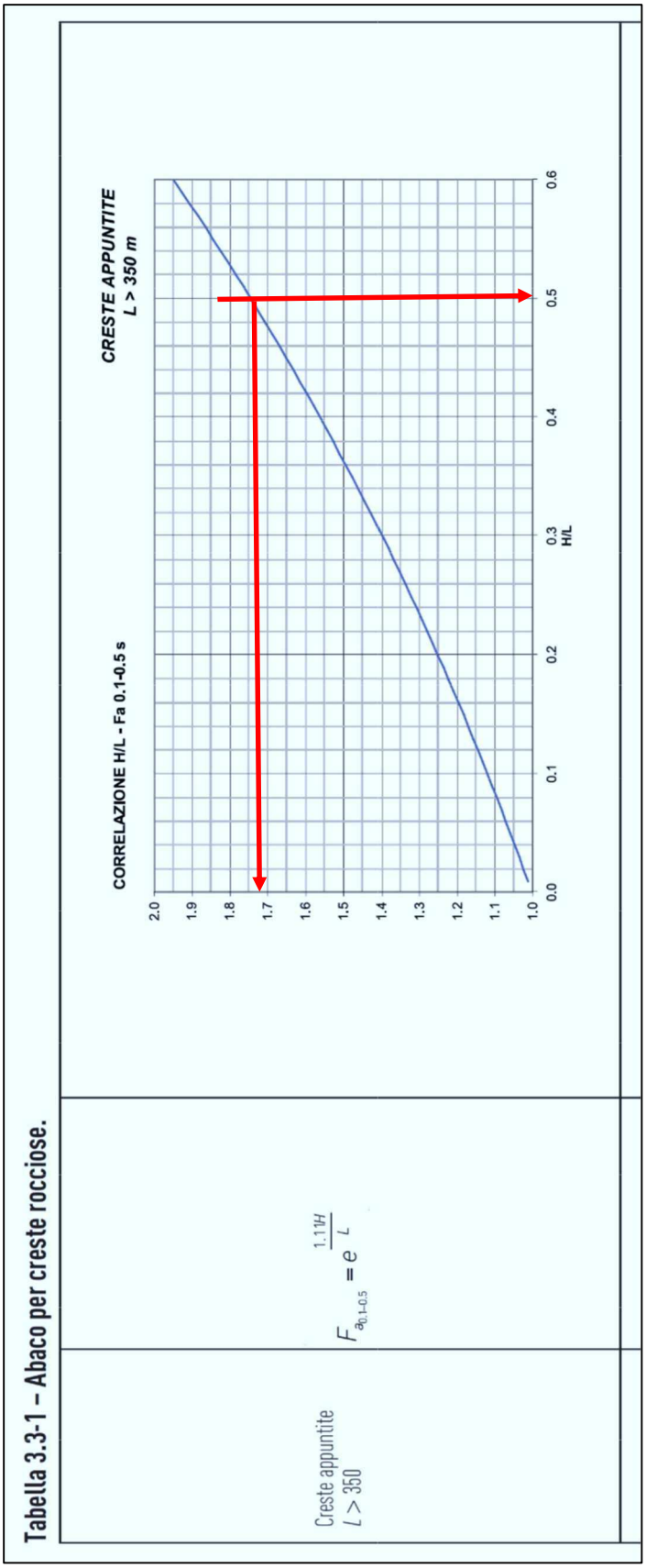


Figura 141: Calcolo Fa topografico

ANALISI GEOTECNICA DEL PROGETTO

Definito il modello geologico, si passa a considerare i comportamenti a portanza e alla stabilità generale del versante, distinguendo evidentemente le diverse situazioni che si configurano sul Rio Sorba e nell'area di cava, sia per il fronte superiore al sedime d'intervento, sia per il versante collocato inferiormente.

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Dalle prove eseguite in sito è possibile indicare il seguente quadro sintetico delle principali caratteristiche geotecniche dei materiali.

CAVA E VERSANTE MERIDIONALE DEL RILIEVO DEL CIMITERO DEI CIOTTI

1) Terreni Incoerenti superficiali a sedime e a coronamento della cava, parametri caratteristici, in miglioramento con la profondità:

peso di volume	γ = 1.9-2.1 t/m^3
Resistenza penetrazione DL30	N30 = 9 colpi
Resistenza alla penetrazione SPT standard	Nspt = 7 colpi
Nspt ridotto rendim. Energetico ecc..	N1(60) = 6 colpi
Densità relativa	Dr = 50%
angolo di resistenza al taglio	ϕ' = 30°
Modulo elastico	E' = 5-20 Mpa (100-120 Mpa in profondità)
Modulo di resistenza al taglio	G' = 20-30 Mpa
Modulo Edometrico	M = 4-6 Mpa
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 230-250 m/sec (402-450 m/sec in profondità)
Velocità onde sismiche longitudinali:	Vp = 440-480 m/sec (880-900 m/sec in profondità)
Coeff. di Poisson	ν = 0.23-0.25
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 1.3 kg/cm^3 (6.8-7.0 kg/cm^3 in profondità)

2) Livello di alterazione del substrato roccioso in Calcari nummulitici (NCM)

peso di volume	γ = 2.2-2.4 t/m^3
coesione	c' = 250 kPa
angolo di attrito	ϕ' = 38°
Modulo elastico (10% Edyn)	E' = 3500-6000 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.23-0.30

3) substrato roccioso in Calcari nummulitici (NCM)

peso di volume	γ = 2.5-2.6 t/m^3
coesione	c' = 340 kPa
angolo di attrito	ϕ' = 40°
Modulo elastico (10% Edyn)	E' = 10000-11000 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.36

4) Livello di alterazione del substrato roccioso in Marne di Trucco (TUC)

peso di volume	γ = 2.2-2.4 t/m^3
coesione	c' = 30 kPa
angolo di attrito	ϕ' = 30°
Modulo elastico (10% Edyn)	E' = 3000-3200 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.32

5) Substrato roccioso in Marne di Trucco (TUC)

peso di volume	γ = 2.5-2.6 t/m^3
coesione	c' = 40 kPa
angolo di attrito	ϕ' = 35°
Modulo elastico (10% Edyn)	E' = 9000-10000 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.35

SCUOLA E SEDIME COLMATA DEL RIO SORBA

6) Terreni Incoerenti superficiali a sedime della colmata del rio Sorba, parametri caratteristici:, in miglioramento con la profondità:

peso di volume	γ = 1.9-2.1 t/m^3
Resistenza penetrazione DL30	N30 = 12 colpi
Resistenza alla penetrazione SPT standard	Nspt = 9 colpi
Nspt ridotto rendim. Energetico ecc..	N1(60) = 8-9 colpi
Densità relativa	Dr = 50-55%
angolo di resistenza al taglio	ϕ' = 32-35°
Modulo elastico	E' = 5-25 Mpa (130-280 Mpa in profondità)
Modulo di resistenza al taglio	G' = 25-35 Mpa
Modulo Edometrico	M = 5-7 Mpa
Velocità onde sismiche trasversali:	Vs = 250-270 m/sec (460-640 m/sec in profondità)
Velocità onde sismiche longitudinali:	Vp = 440-480 m/sec (870-1300 m/sec in profondità)
Coeff. di Poisson	ν = 0.23-0.33
Modulo di reazione (c. di Winkler unitario)	k = 1.6 kg/cm^3 (7-16 kg/cm^3 in profondità)

7) Substrato roccioso in Marne siltose di Olivetta S. Michele (OSM)

peso di volume	γ = 2.5-2.6 t/m^3
coesione	c' = 40 kPa
angolo di attrito	ϕ' = 35°
Modulo elastico (10% Edyn)	E' = 5500 kg/cm^2
Coeff. di Poisson	ν = 0.36

DISAMINA DELLE PROBLEMATICHE E SOLUZIONI PROGETTUALI

Vengono di seguito esaminate le problematiche locali, emerse dall'esame della cartografia di pianificazione territoriale, attualizzate e contestualizzate attraverso il rilievo sul terreno ed infine modellate dal punto di vista geotecnico-geomeccanico, al fine di essere esaminate analiticamente, laddove possibile, nella presente fase preliminare.

IL VERSANTE SUPERIORE DELLA CAVA

Al di sopra del tetto completamente inerbito degli edifici previsti sul sedime della cava, si estendono circa 20 m del fronte di cava originario, ad eccezione della porzione centrale, ove l'originario fronte è mantenuto "a vista" per tutta la sua estensione, nel punto di sviluppo massimo, pari a circa 44 m, laddove i due corpi principali degli edifici lasciano una ampia zona centrale libera.

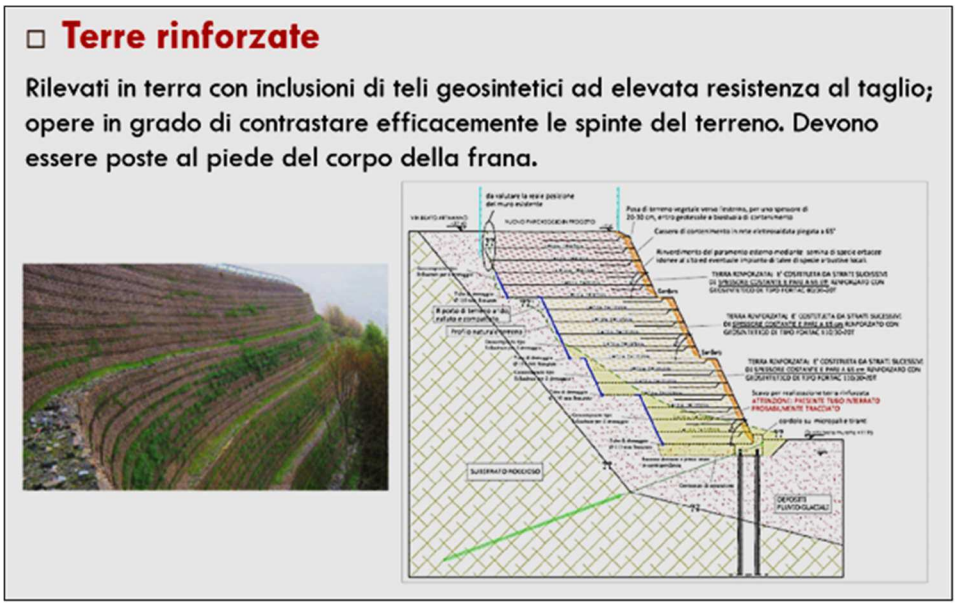
E' quindi evidente come sia necessario un intervento di stabilizzazione al fine di mitigare il pericolo generato dal potenziale distacco di prismi rocciosi.

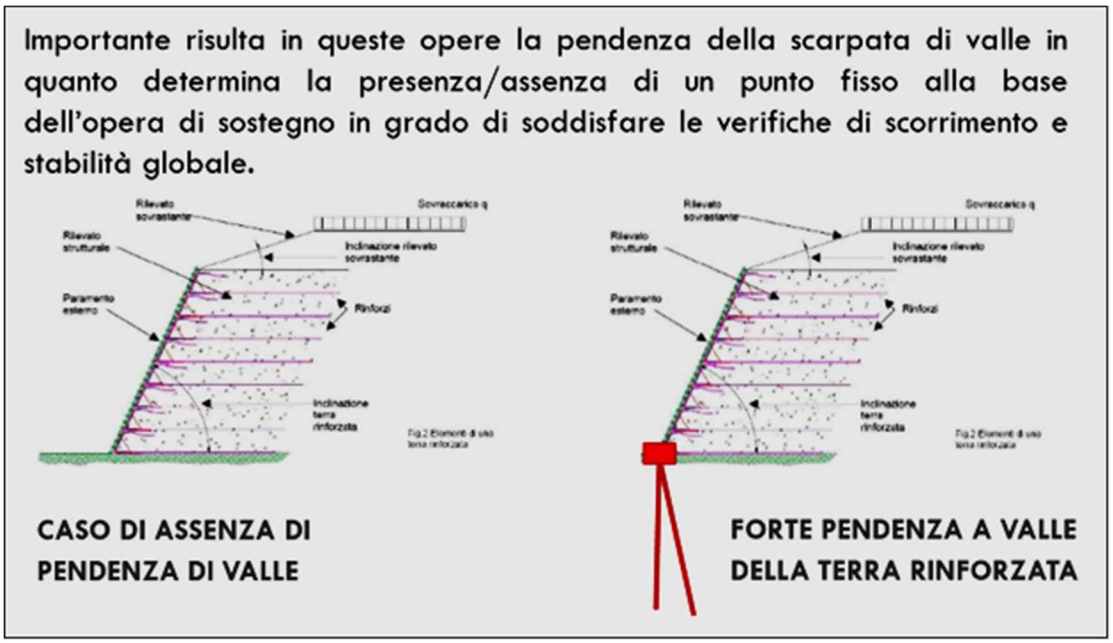
L'intervento progettuale è diviso nelle seguenti fasi:

1) La stabilizzazione sarà preceduta dal distacco delle parti aggettanti e/o pericolanti da eseguirsi preliminarmente ad ogni opera;
2) Nel tratto di versante compreso fra la via del Ginestre (Viabilità secondaria verso la Mortola superiore sul crinale) e il tratto subverticale del fronte di cava, saranno poste in opera reti in aderenza chiodata, rinforzate con funi in acciaio incrociate. Stante la "non verticalità" del tratto in oggetto, l'impatto visivo delle reti sarà ben presto mitigata dallo sviluppo della vegetazione spontanea (o di tipo artificiale – se del caso), in quanto, in virtù delle pendenze relativamente "modeste" presenti in tale tratto sommitale del versante, è possibile il radicamento e lo sviluppo della vegetazione, per altro in parte già naturalmente presente. La chiodatura potrà interessare anche il muro di sottoscarpa della via delle Ginestre, per i tratti pericolanti o direttamente affacciati sulla cava. L'intervento consentirà la stabilizzazione del sottile livello umifero e la mitigazione degli effetti di erosione per ruscellamento delle acque, laddove si utilizzino reti in acciaio accoppiate a geotessuti o reti a maglie ristrette. Nella parte basale dell'intervento le reti in aderenza possono essere sostituite con terre rinforzate, o più verosimilmente **con pareti chiodate a paramento esterno a verde**. Ciò consentirebbe la creazione di un maggior spessore di terreno di coltivo stabile, per la realizzazione di un muro verde – da realizzarsi con apposite essenze – dotate di sufficiente sviluppo di apparato radicale. Tale muro verde ubicato ben sotto il piano stradale e quindi non in grado di modificare la visuale panoramica, potrebbe comunque svolgere una utile funzione di schermo verso i sottostanti edifici, oltre che di "trattenimento naturale" dal lancio di oggetti provenienti dalla strada superiore. E' evidente inoltre l'aumento della funzione di "filtro areato" del terreno, nei confronti di ogni possibile percolazione proveniente dal cimitero dei Ciotti. Per gli alberi di maggior altezza di fusto, **in nessun caso sarà previsto l'abbattimento**, operando eventualmente con "cinturamento" del preventivo del fusto e ancoraggio al versante con funi in acciaio di sicurezza, solo per le piante in evidente precario equilibrio: in caso di crollo la pianta non potrà quindi precipitare a valle.



La realizzazione delle opere in "terra armata", s'impone come soluzione tecnica, laddove la perfetta rinverdibilità del sistema permette un inserimento nel contesto paesaggistico di minor impatto rispetto alle opere di sostegno rigide.
Tuttavia oltre ai pregi tecnici ed economici, resta indubitabile l'alto valore "paesaggistico" laddove – ad opera finita – è possibile avere un inerbimento completo e la rinaturalizzazione totale del versante, che pure presenta migliori caratteristiche di stabilità, con opere completamente "nascoste" e un aspetto morfologico finale, modulabile a piacere, per il miglior inserimento nel contesto paesaggitico.
Naturalmente si deve tener conto dell'evoluzione delle tecniche di realizzazione delle cosiddette "terre armate", che sono diventate, al giorno d'oggi, dei veri e propri sistemi complessi, altamente modulari e adattabili a quasi qualunque situazione locale. In tal senso infatti è possibile rinforzare localmente le terre armate con chiodature in barre autoperforanti, supplire a carenza di spazio locali mediante realizzazione di pareti chiodate con paramento esterno a verde, utilizzare casseri in rete di forma predefinita o casseri con reti flessibili. Oltre che di "terre armate" si parlerà quindi di "pareti chiodate", "terre rinforzate" ecc.. a seconda della declinazione progettuale necessaria.
La modularità del sistema è estremamente grande, anche in riferimento alle necessità di contenere gli assestamenti e/o sovraccarichi stradali e spinte sismiche.





Testi e immagini da:
C. Pilati, Geosoluzioni Engineering srl; LE BARRE AUTOPERFORANTI: PRODUZIONE, QUALIFICAZIONE E CARATTERISTICHE TECNICHE – Convegno Ricerca e Sviluppo nella stabilizzazione dei versanti e protezione da frane con ancoraggi passivi, Catania 4 Maggio 2008
C. Pilati, Geosoluzioni Engineering srl; CONTROLLI IN CORSO D'OPERA SUGLI ANCORAGGI GEOTECNICI – Convegno Ricerca e Sviluppo nella stabilizzazione dei versanti e protezione da frane con ancoraggi passivi, Catania 4 Maggio 2008

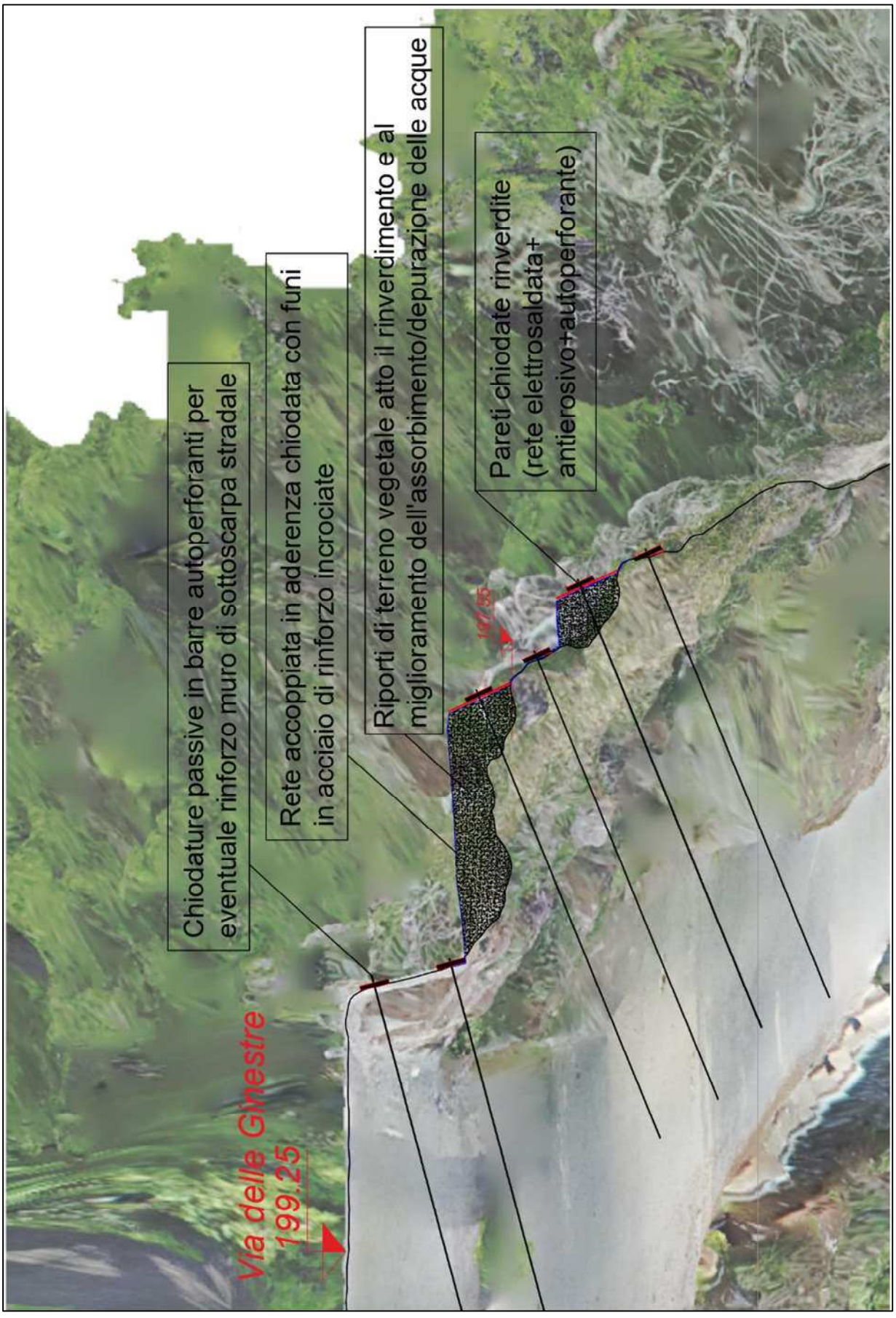


Figura 142: Consolidamento del coronamento del fronte di cava



Figura 143: Consolidamento misto eseguito su versante in Comune di Ospedaletti (IM). Versante chiodato con rete ed ecospritz, in basso le pareti chiodate in via di rinverdimento



Figura 144: Altro esempio di consolidamento misto con reti in aderenza nella parte superiore del versante e terre rinforzate con chiodatura basale, a ricostituire il sentiero della Sorgente Sulfurea franato in Comune di Bordighera (IM)



Figura 145: Particolare delle terre rinforzate, con chiodatura basale prima del rinverdimento.

3) La parete subsverticale dovrà essere oggetto di attenta valutazione per l'individuazione di potenziali cunei isolati e la conseguente chiodatura locale dei prismi rocciosi di maggiori dimensioni. Per la parete dunque si prevede la realizzazione di **chiodature sparse**, ed inserite sporadicamente "*ad hoc*", al solo fine di contenere i potenziali rilasci di cunei di maggiori dimensioni. Ciò consentirà di limitare al massimo l'impatto visivo ed ambientale delle opere di consolidamento, anche adottando particolari colori coprenti per le piastre di ancoraggio. Tuttavia è evidente che tale intervento non potrà garantire la totale assenza di rilasci di blocchi di più piccole dimensioni. Attraverso lo studio dimensionale dei proiettili ancora presenti in cava, nonché sulla scorta di un attento rilievo geomeccanico, andranno quindi dimensionate reti paramassi di protezione passiva, da posizionarsi in prossimità del tetto dei fabbricati di progetto. In tale ubicazione esse saranno praticamente invisibili, sia per l'osservatore posto su Via delle Ginestre, sia per l'osservatore posto inferiormente alla cava. Ovviamente per l'area centrale fra i due corpi principali in progetto dovrà essere prevista una idonea **fascia di rispetto non fruibile**, protetta, e "pavimentata" con materiali (anche naturali) dotati di alto assorbimento dell'energia d'impatto del potenziale proiettile di progetto.
4) Le zone "coperte" dagli edifici possono essere consolidate con interventi di chiodatura più estensivi, abbinati all'uso di reti, eventuale ecospritz ecc… in funzione delle risultanze del dimensionamento progettuale esecutivo.

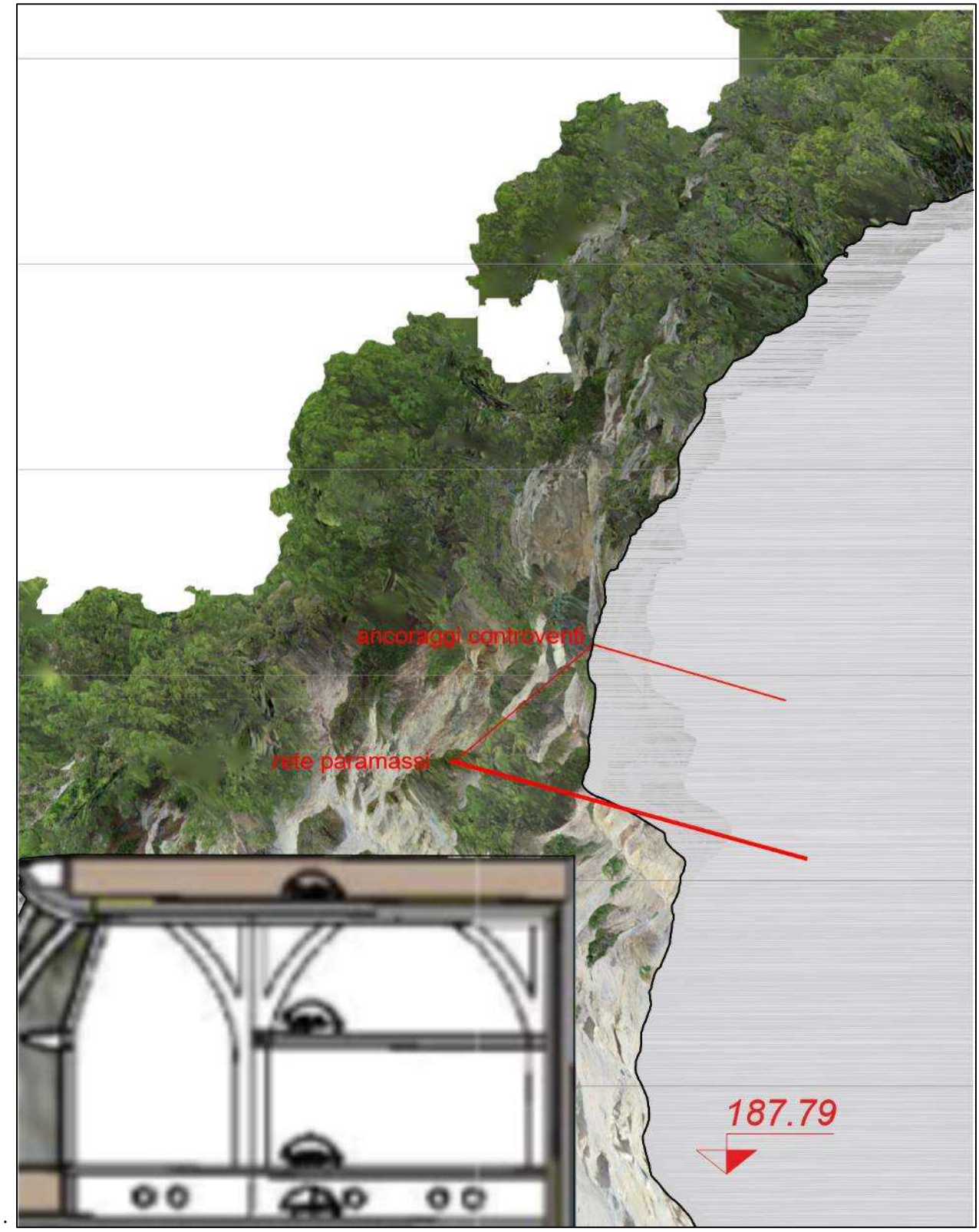


Figura 146: Reti di protezione passiva dai rilasci localizzati

A SEDIME DEI FABBRICATI PREVISTI IN CAVA

Abbiamo visto che i fabbricati possono risentire di sensibili problemi di amplificazione topografica, a cui si sovrappongono solo in parte effetti di amplificazione litostratigrafica: sul lato di Ponente infatti, la realizzazione della porzione interrata dell'edificio consente di raggiungere i termini del bed-rock, mentre sul lato di levante restano dai 3 ai 5 m di spessori di riporti antropici legati agli sfridi della cava.

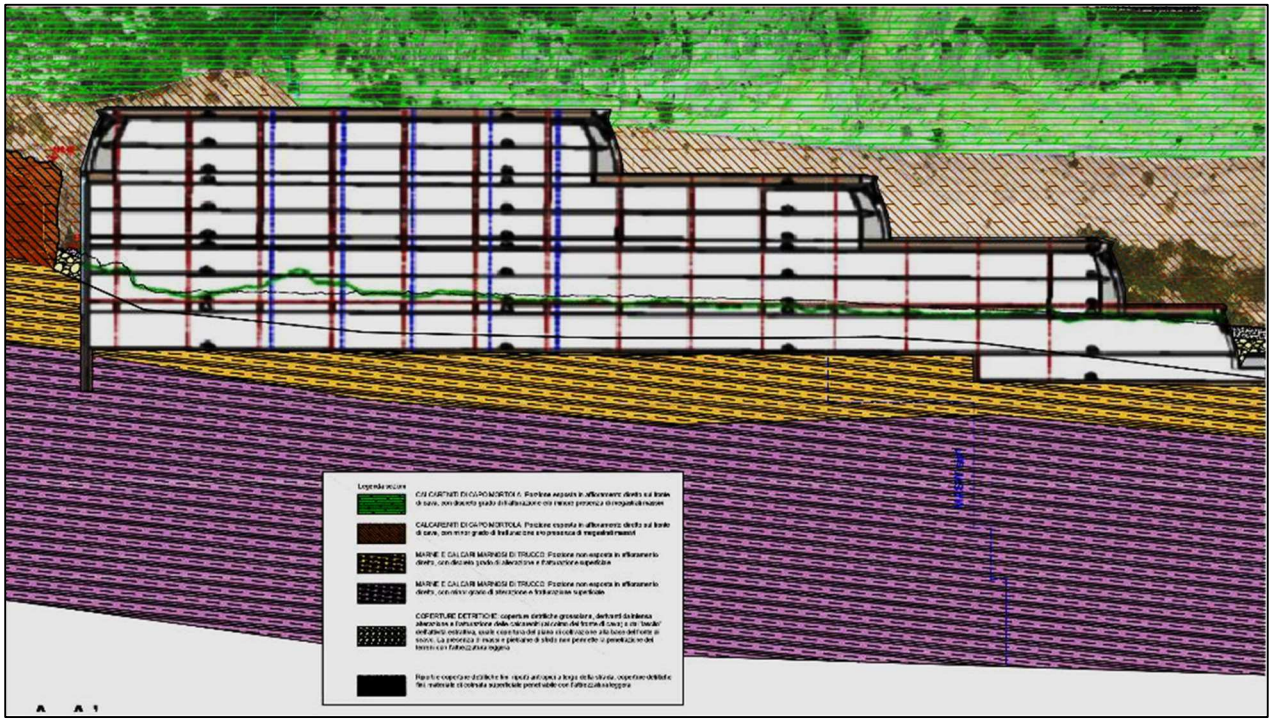
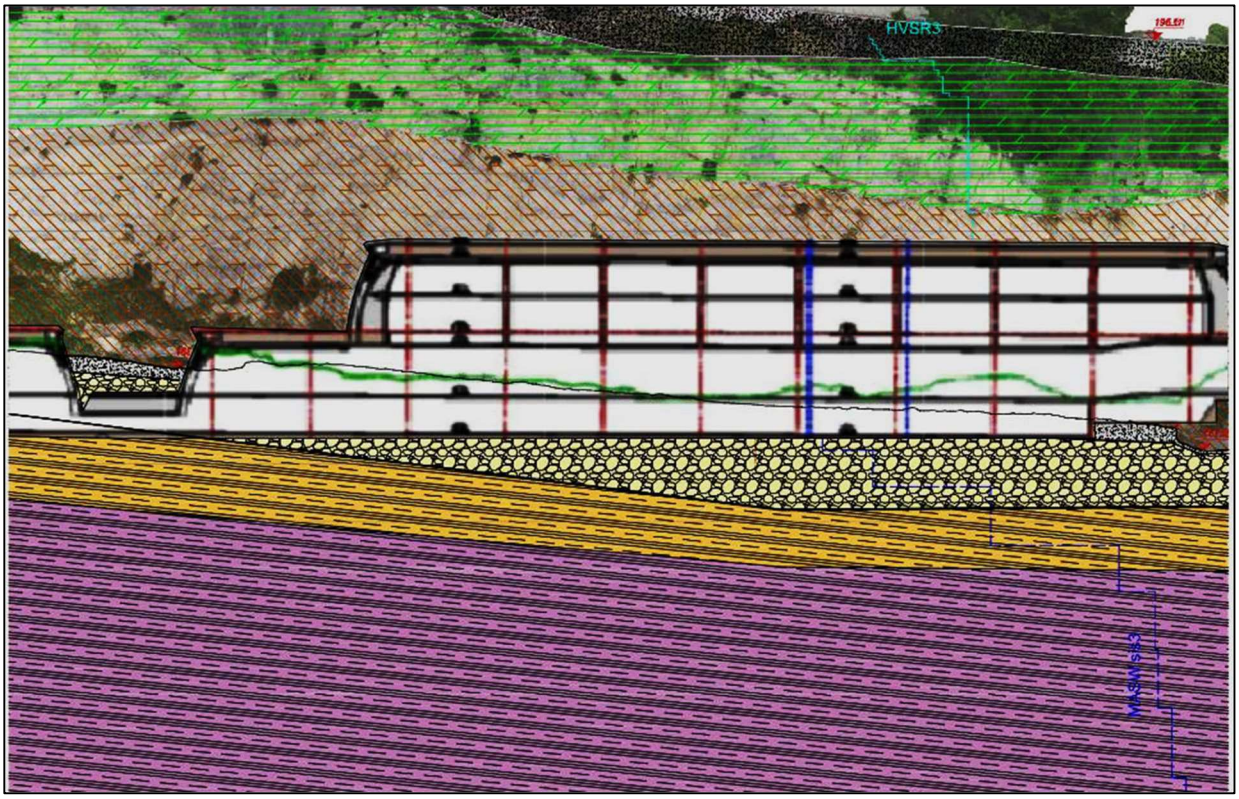


Figura 147: Il lato di ponente degli edifici raggiunge in fondazione la porzione più alterata del substrato in Marne di Trucco, mentre il lato di Levante appoggia solo parzialmente sul substrato ed interessa spessori metrici dei riporti di cava (vedi sotto).



In tal senso dunque potrebbe essere opportuno:

- Valutare la realizzazione di un piano interrato in più;
- Bonificare il terreno sino al substrato;
- Utilizzare fondazioni profonde (micropali, pali di grande diametro ecc…)

Da un punto di vista della realizzazione degli scavi, essendo gli stessi ubicati all'interno di una sorta di "catino" in roccia ed essendo costituiti appunto da riporti, a tombamento di scavi precedenti, non vi sono particolari problematiche alla realizzazione in sicurezza degli scavi stessi, che non espongono **fronti di scavo** pericolosi, laddove costituiti in roccia o, se insistenti su riporti, sagomati in scarpa di 45° di inclinazione (rapporto 1:1).

La necessità di realizzare opportuni basamenti direttamente intestati sul substrato roccioso, con rimozione dei livelli sciolti superficiali, comporta la produzione di circa 55.000 mc di terreni (volume stimato in banco).Tali volumi di sbancamento potranno avere proficuo **riutilizzo** all'interno della sistemazione del rio Sorba, laddove ai fini della mitigazione del rischio idraulico residuo, possono essere incrementate le quote relative del sedime delle opere di fruibilità pubblica, stoccando al contempo gli esuberi degli scavi realizzati in cava.
Poiché la distanza fra il punto di scavo e il punto di riutilizzo è pari a poco più di 600 m, si limiterebbe inoltre l'impatto ambientale legato al trasporto alla movimentazione di camion versoi siti di discarica più vicini, presso Ventimiglia oltre al risparmio di ulteriore consumo di suolo e risorse non rinnovabili.



Figura 148: La distanza su strada dalla Cava alla colmata del rio Sorba è di circa 640 ml.

Il materiale troverebbe inoltre riutilizzo nelle opere di tombamento previste a tergo della scuola, per mitigarne l'impatto visivo. Le coperture a verde previste sia per la scuola sul rio Sorba, sia per gli edifici in cava, laddove superiori agli 80 cm – 100 cm, consentirebbero di eliminare gli effetti di una eccessiva **impermeabilizzazione** del suolo. La realizzazione di vasche di recupero delle acque, ai fini del risparmio sul consumo d'acqua, potrà essere implementata da funzioni di ritardo dell'immissione della portata nella rete di scolo.

LE SCARPATE A VALLE DELLA CAVA

La scarpata a valle della cava, e a monte del tratto superiore della Via Aurelia, dovrà beneficiare dei seguenti interventi continui e diffusi:

- Eliminazione dei ruscellamenti e dei versamenti impropri provenienti dal piazzale di cava, che andranno opportunamente canalizzati e scaricati presso la più prossima difesa di versante.
- Completo rifacimento della rete in aderenza in oggi presente, sostituita da interventi con materiali e tecnologie più moderne, ma pur sempre costituiti da posa di reti in aderenza, con chiodature e funi in acciaio incrociate, L'opera, anche in questo caso, sarà completamente rinverdibile.
- Mediante le medesime tecniche sopra esposte per il consolidamento della parete di cava, si provvederà a consolidare i muri esistenti, mediante chiodatura, o sostituzione integrale, laddove non più recuperabili ad un corretto funzionamento statico.

E' evidente che la canalizzazione degli scarichi delle acque bianche comporterà l'attraversamento della Via Aurelia e dovrà essere immessa nella più prossima difesa di versante. Ciò comporta la realizzazione di idonee opere di regimazione idraulica a sedime della strada Aurelia e per almeno 100-110 ml sul versante inferiore, con le tecniche tipiche della sistemazione dei piccoli bacini montani, per garantire un regolare deflusso alle nuove portate verso valle.

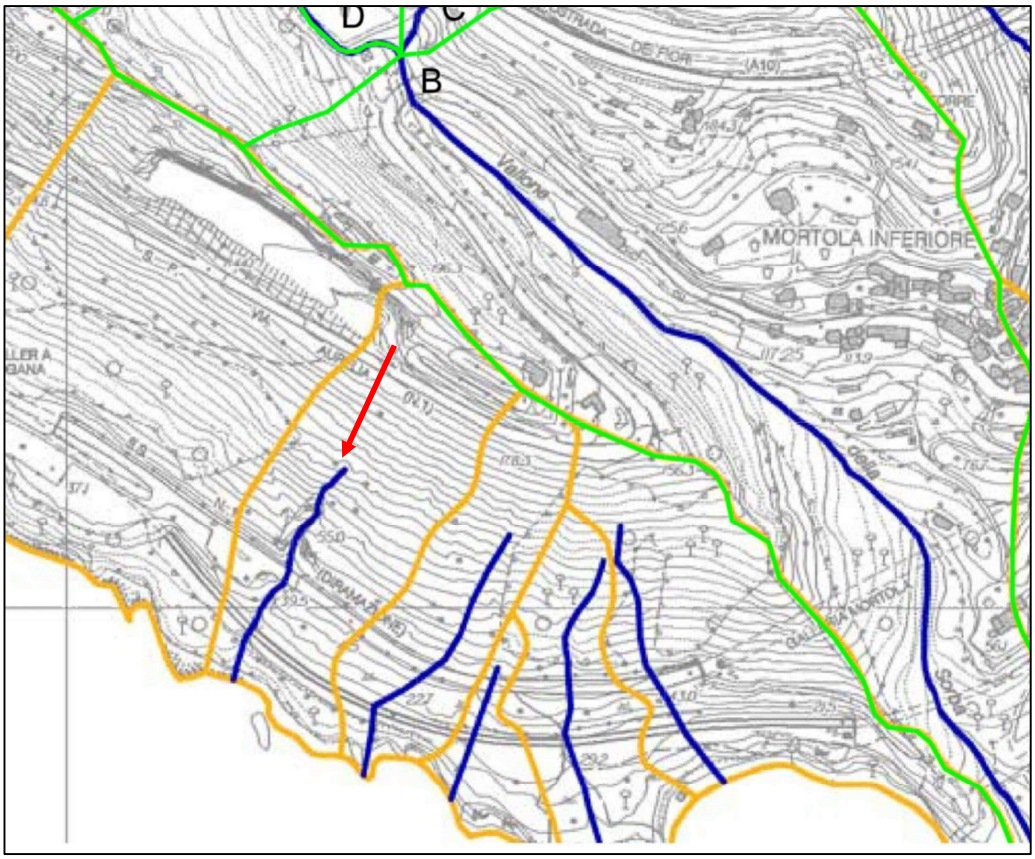


Figura 149: Ubicazione delle opere idrauliche di adeguamento per scarico delle acque bianche

Per le acque di versante in generale, non legate a scarichi meccanici e collettati, sarà importante la funzione dei nuovi sentieri ciclopedonali, laddove gli stessi avranno anche la "storica" (almeno nel Ponente ligure) duplice funzione di via "pedonale" e di via "di deflusso" delle acque in caso di precipitazioni intense. La presenza di ritani e scoli più o meno naturali, variamente dislocati sul versante, consentirà di distribuire ordinatamente agli scoli via via intercettati le portate in deflusso. Si rammenta che la posa di idonee tubazioni lungo i sentieri, consentirà di avere idranti antincendio disponibili in punti strategici, con vie di accesso più favorevoli per le emergenze e funzioni aggiunte, quali pista tagliafuoco nell'area.

In fig.6 sono già state identificate le aree di versante con problematiche di franosità, ubicate tutte a ridosso del muro di controripa dell'Aurelia, nel suo tratto inferiore. In tali casi tuttavia le problematiche di stabilità, che abbiamo visto essere interamente connesse a problemi di ruscellamento incontrollato delle acque sul versante, devono essere risolti in accordo con ANAS, laddove la stessa versa impropriamente le proprie acque di piattaforma stradale del tratto superiore dell'Aurelia, generando da sè stessa, per così dire, le problematiche sul muro di monte del tratto inferiore dell'Aurelia.

LA SCUOLA SUL RIO SORBA

Per quanto attiene l'area del rio Sorba abbiamo visto come le problematiche principali siano costituite dall'inidoneità della rete di scoli realizzata dall'Autostrada dei Fiori, in occasione della creazione della colmata che ha stravolto la morfologia originaria dei luoghi obliterando l'originario corso del Rio Sorba.
Come ben descritto nella relazione specialistica dedicata all'analisi quantitativa del problema, una volta realizzate le opportune opere idrauliche – con creazione di fatto di un nuovo alveo per il Rio Sorba - permane solamente un rischio residuo, facilmente risolvibile mediante modesti "accorgimenti tecnici", essenzialmente costituiti dalla realizzazione di rilevati protetti, posti in elevazione rispetto al basso tirante idrico residuo previsto.
In tal senso trova opportuno utilizzo il volume di terreni provenienti dalla vicina casa, che non solo dunque viene interamente **riutilizzato praticamente in sito**, ma consentirà la definitiva risoluzione dei problemi di sicurezza idraulica locali.
Particolare cura dovrà essere posta nella realizzazione dei consolidamenti del lato frontale della colmata, costituto da una scarpata di dislivello di circa 10 m, variamente inclinato, sia per quanto riguarda la zona d'alveo, ma anche per il contenimento di effetti erosivi sul resto del fronte di colmata.
In tal senso le acque di scolo meccanico o naturale, provenienti dalle aree di monte o dalla pista di accesso, dovranno essere convogliate nel rio Sorba, impedendo ogni forma di ruscellamento diffuso sul fronte. La scarpata potrà quindi essere consolidata con opere di ingegneria naturalistica con inerbimenti/riforestazione e – laddove necessari – con le tecniche di soil – nailing rinverdibili sopra già descritte.
La collocazione della scuola in sponda destra, la sottrae di fatto al pericolo di caduta massi, che nell'area è tuttavia ormai estremamente circoscritto, in ragione della diffusa presenza di alberature e delle opere di consolidamento realizzate da ANAS e Autostrada dei Fiori, ognuna per le proprie competenze. Opere passive posono tuttavia essere previste a protezione dell'area a tergo della scuola.
Solo nel tratto iniziale dell'area, in contiguità con la Via Aurelia, sarà necessario valuta la realizzazione di barriera passiva per la protezione dell'accesso all'area dai crolli/smottamenti provenienti dal versante in destra orografica.

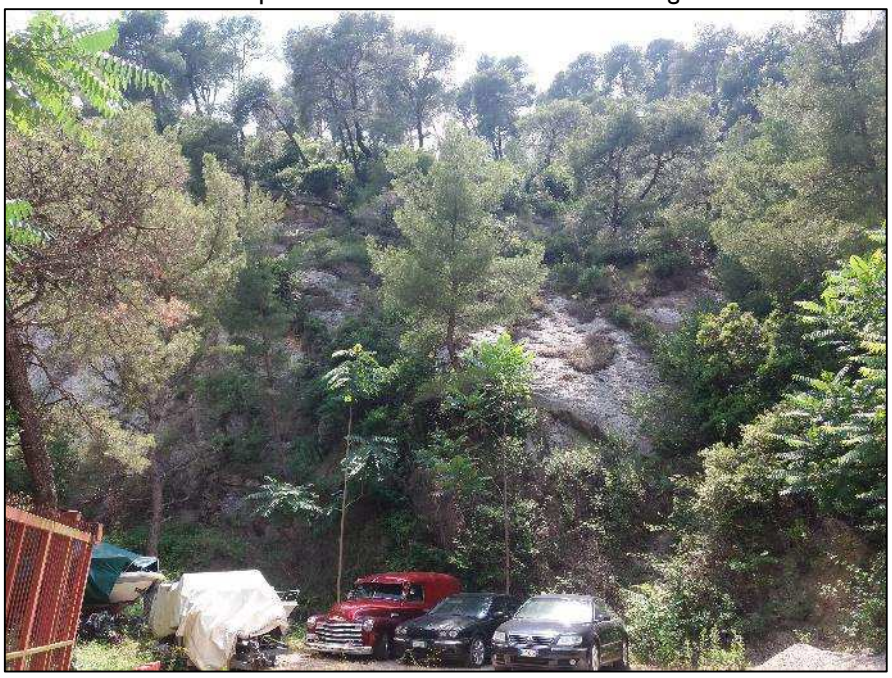


Figura 150: Versante in destra orografica

Per quanto attiene alla realizzazione dell'edificio stesso della scuola, abbiamo visto come siano possibili sensibili effetti di sito, in ragione della presenza di sensibili spessori di materiali di colmata antropica al di sopra il bed-rock.
Tenuto conto di ciò, si segnala comunque la necessità di provvedere alla realizzazione di fondazioni profonde o indirette: ciò non tanto in riferimento ai relativamente modesti carichi presenti in fondazione - ossia ai correlati problemi di portanza – quanto piuttosto in relazione ai cedimenti possibili sul medio-lungo termine.
La struttura della scuola si presenta infatti come notevolmente allungata in direzione monte – valle, ossia nella stessa direzione in cui si è verificato la crescita degli spessi di colmata. Poiché il materiale di smarino presenta una certa preponderanza di elementi fini argillosi, è soggetta a sensibili azioni di rigonfiamento/assestamento stagionali, in funzione del contenuto relativo di umidità del suolo.
Come tutti i terreni insaturi, risente inoltre dell'effetto di passaggio del fronte di percolazione, che induce valori di pressione negativi dell'aria interstiziale, cioè inferiori alla pressione dell'aria al suolo.
L'insieme di questi fenomeni determinano una continua azione di assestamento del rilevato, con lentissima tendenza alla reptazione verso valle, almeno della porzione frontale dello stesso.
Tali meccanismi possono quindi indurre, nel tempo, a cedimenti del lato frontale (quello più meridionale e più verso il centro valle) della scuola.
A tali cedimenti differiti nel tempo si aggiungano i cedimenti istantanei, che – specie nel caso di adozione di platee di fondazione – possono essere sensibili e non uniformi, stante l'estrema eterogeneità della colmata.
Tutte queste ragioni fanno optare per la realizzazione di una struttura intelaiata molto rigida, eventualmente coadiuvata dall'azione di (micro)pali in fondazione, quali riduttori dei cedimenti.
Anche in questo caso l'adozione di pavimentazioni drenanti e di tetti rinverdibili con 80-100 cm di spesso di terreni di coltivo, rende nullo l'incremento dell'impermeabilizzazione totale dell'area, che altresì beneficerà di un notevolissimo decremento, in ragione **dell'eliminazione delle coperture a vetro delle serre esistenti**.

PRESCRIZIONI

Vista la peculiarità del procedimento in atto, che non consente l'usuale graduale incremento delle conoscenze geologiche, idrogeologiche e sismiche in concomitanza e contemporaneità di un analogo affinamento del progetto architettonico e delle opere di consolidamento, si è stati "costretti", in questa sede, ad approfondire – per quanto possibile – le tematiche geologiche, in modo "sbilanciato" rispetto allo sviluppo del progetto architettonico/strutturale.

E' infatti evidente come solo laddove siano già definite l'insieme delle opere architettoniche, sia possibile realizzare idonea campagna d'indagini geognostica e definire l'insieme degli approfondimenti specifici necessari alla compiuta progettazione delle opere necessarie.

In tal senso dunque il contenuto della presente assume obbligatoriamente una veste preliminare, che necessita quindi di approfondimenti futuri, in funzione delle scelte urbanistiche/architettoniche/paesaggistiche e strategiche che verranno operate nel corso dello sviluppo dell'iter procedurale.

Avendo tuttavia descritto un quadro abbastanza completo delle problematiche locali, è già possibile elencare i seguenti approfondimenti necessari alla prosecuzione della progettazione.

AREA CAVA:

1) Realizzazione di sondaggi meccanici "profondi" con recupero in cresta al pendio, presso la via delle Ginestre, con almeno un sondaggio dotato di piezometro strumentato, al fine di verificare la possibilità di percolazioni di acque dal Cimitero dei Ciotti (laddove presenti le acque anche con opportune analisi chimiche) e la dinamica di falda. Devono essere inoltre previste prove sismiche (down-hole o cross-hole) in grado di definire con maggiore precisione lo stato fessurativo dei Calcari Nummulitici, abbinato ad esteso rilievo geomeccanico in parete.
2) A sedime dei fabbricati debbono essere realizzati un sufficiente numero di carotaggi con recupero fino alla profondità significativa, anche in questo caso con almeno una verticale attrezzata con tubo piezometrico. Oltre alla realizzazione dei sondaggi sismici, potranno essere verificate le interpretazioni stratigrafiche sin qui

condotte sulla base di soli dati indiretti. Dai sondaggi è possibile inoltre estrarre opportuni campioni per le determinazioni di laboratorio.

3) Debbono essere approfondite le conoscenze stratigrafiche sul versante meridionale della cava, oggetto di consolidamento continuo ed esteso, eseguendo alcuni rilevamenti sismici intermedi e basali, tarati sulle risultanze dei sondaggi meccanici eseguiti in cava.
4) Per quanto attiene alle opere di regimazione idrogeologica, i sentieri, le canalizzazioni previste per la realizzazione della rete ciclopedonale, sarà invece di fondamentale importanza il rilevamento di superficie e l'individuazione delle linee di scolo, proprie ed improprie, che insistono sul versante. Solo in modo puntuale e mirato si potranno eseguire i minimi accertamenti geognostici in corrispondenza delle opere puntuali di consolidamento che si riterranno indispensabili.
5) Attento studio statistico dei proiettili presente sul sedime di cava, soprattutto mediante vaglio selezionate degli accumuli inerbiti presenti al piede del fronte.

AREA SCUOLA SUL RIO SORBA

1) Anche in questo caso è necessaria la realizzazione di sondaggi con recupero al fine della verifica della stratigrafia locale, dedotta dalle prove indirette sinora effettuate, con usuale precisazione degli aspetti sismici e geotecnici, mediante apposite prove in sito e in laboratorio.
2) Particolare attenzione sarà dedicata alla definizione dei parametri geotecnici dei terreni superficiali, connessi sia con la realizzazione di opere deformabili e di rinaturalizzazione del sito, sia di opere "rigide" o semirigide, dedicate alla sistemazione idraulica del rio.
3) Per quanto attiene la messa in sicurezza del versante in sponda destra, valgano le solite raccomandazioni in merito alla realizzazione di barriere passive.

CONCLUSIONI

Nel presente lavoro, partendo dalle problematiche note ed evidenziate dalla cartografia tematica dell'area, si è provveduto ad un primo approfondimento, mediante ricostruzione degli eventi franosi significativi avvenuti nel paraggio, con ricognizione estesa ed aggiornata sul terreno, volta ad attualizzare lo stato di fatto dei dissesti e delle relative opere nel frattempo eseguite da vari attori.
Identificate le principali criticità dell'area è stata eseguita una prima campagna geognostica con attrezzatura portatile, volta a fornire i parametri di base per una modellazione geologica, geotecnica e sismica.
Sulla scorta di ciò, si è in grado di identificare le tipologie e le tecnologie d'intervento più idonee alla messa in sicurezza dell'area, non trascurando la verifica dell'impatto ambientale, ossia adottando tutte quelle tecniche di bassa incidenza visiva e di facile rinaturalizzazione.
Sia pure nell'ambito forzatamente preliminare delle osservazioni sinora svolte, in ragione dello stato ancora embrionale della procedura di Accordo di Programma e del conseguente stato preliminare della progettazione architettonica degli interventi nell'area, è stato possibile individuare le maggiori criticità locali e individuare le opzioni tecniche d'intervento realmente applicabili al sito. In tal senso dunque è possibile affermare la fattibilità geologica, geotecnica e sismica degli interventi in progetto, nelle more del rispetto delle prescrizioni e delle previsioni d'intervento, facenti parte integrante della presente.
Quanto sopra a sgravio di responsabilità per gli Uffici competenti.

Sanremo Aprile 2021

dott. Geol. Marco Abbo



ALLEGATO: PROVA SISMICA MASW SIS1

Sito: Mortola – Ventimiglia (IM)
Data: 05-11-2019
Stesa sismica S1 – Lunghezza 54 metri (3 metri di offset)
Acquisizione di andata

1 - Dati sperimentali

Nome del file delle tracce\\Mac\Home\Desktop\Relazioni\Marco Abbo\Mortola\mortola\s1 54 metri\andata\masw5.drm
Numero di ricevitori 18
Distanza tra i sensori: 3m
Numero di campioni temporali 10000
Passo temporale di acquisizione 0.2ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 18
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 2500ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

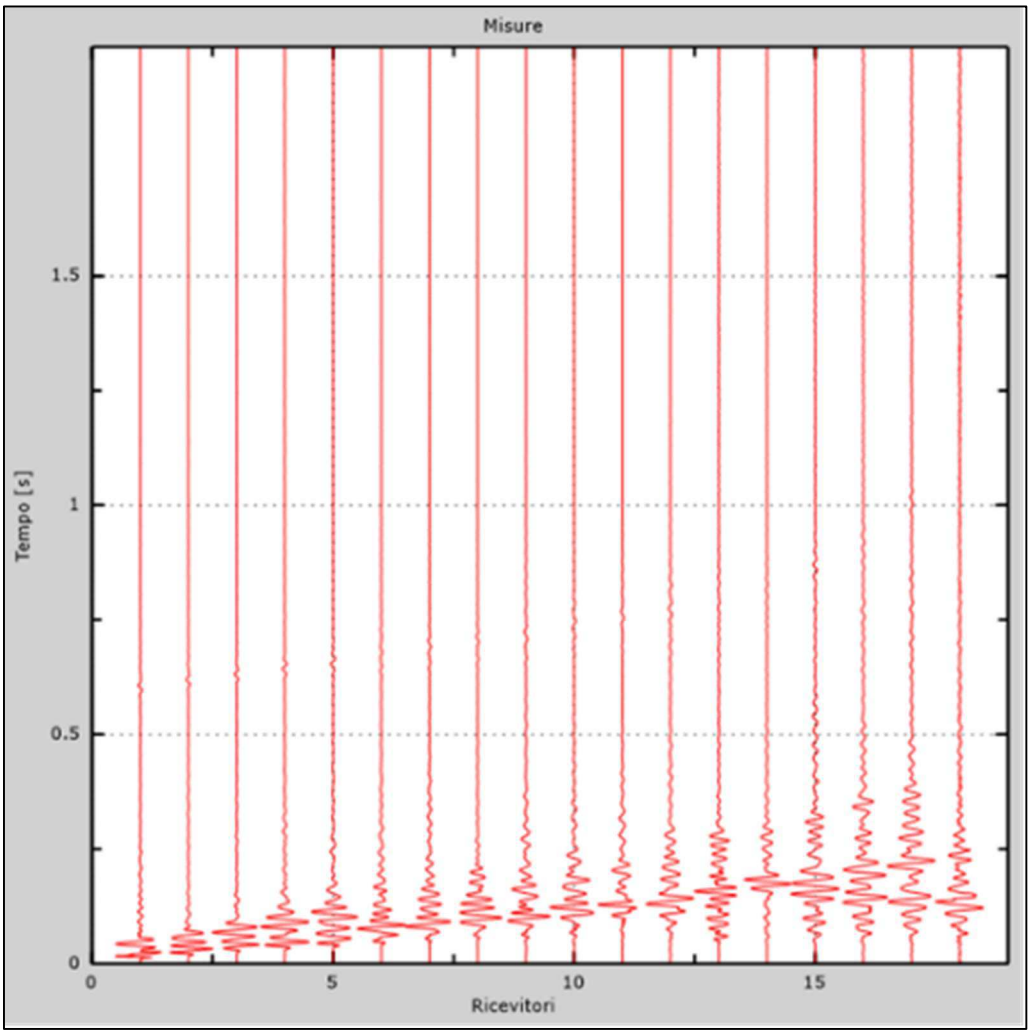


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale..... 70Hz
Frequenza iniziale 2Hz

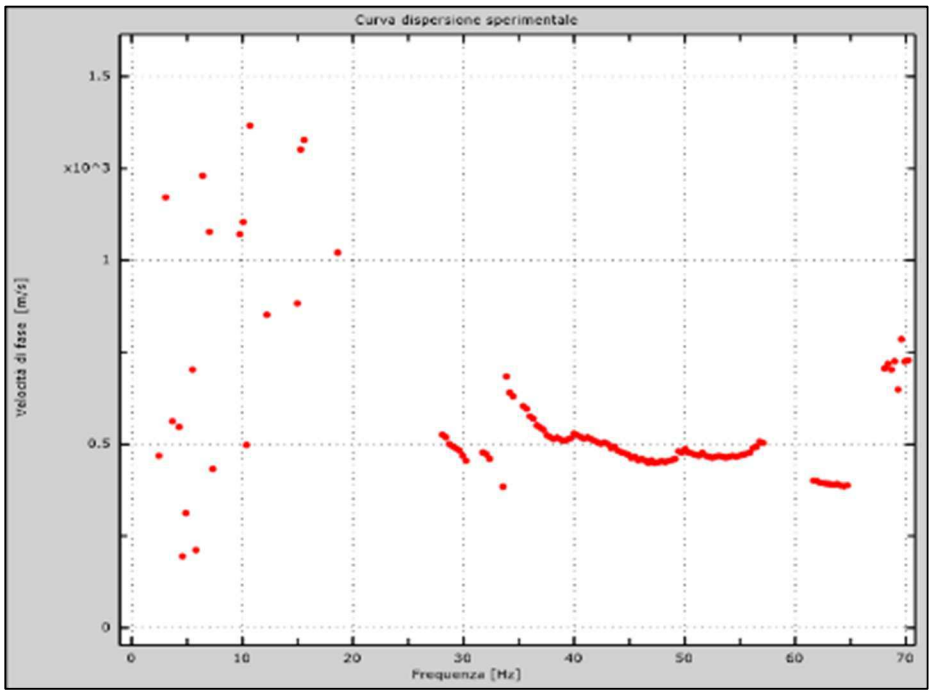


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Curva di dispersione

Tabella 1:Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
15.3701	1322.05	1280.07	1364.03
18.1874	1019.81	990.421	1049.19
24.4258	797.319	469.886	1124.75
29.9598	528.656	440.501	616.811
33.8293	518.544	353.427	683.66
38.2106	516.062	486.677	545.447
45.0631	468.291	295.995	640.587
53.2422	453.933	242.153	665.713

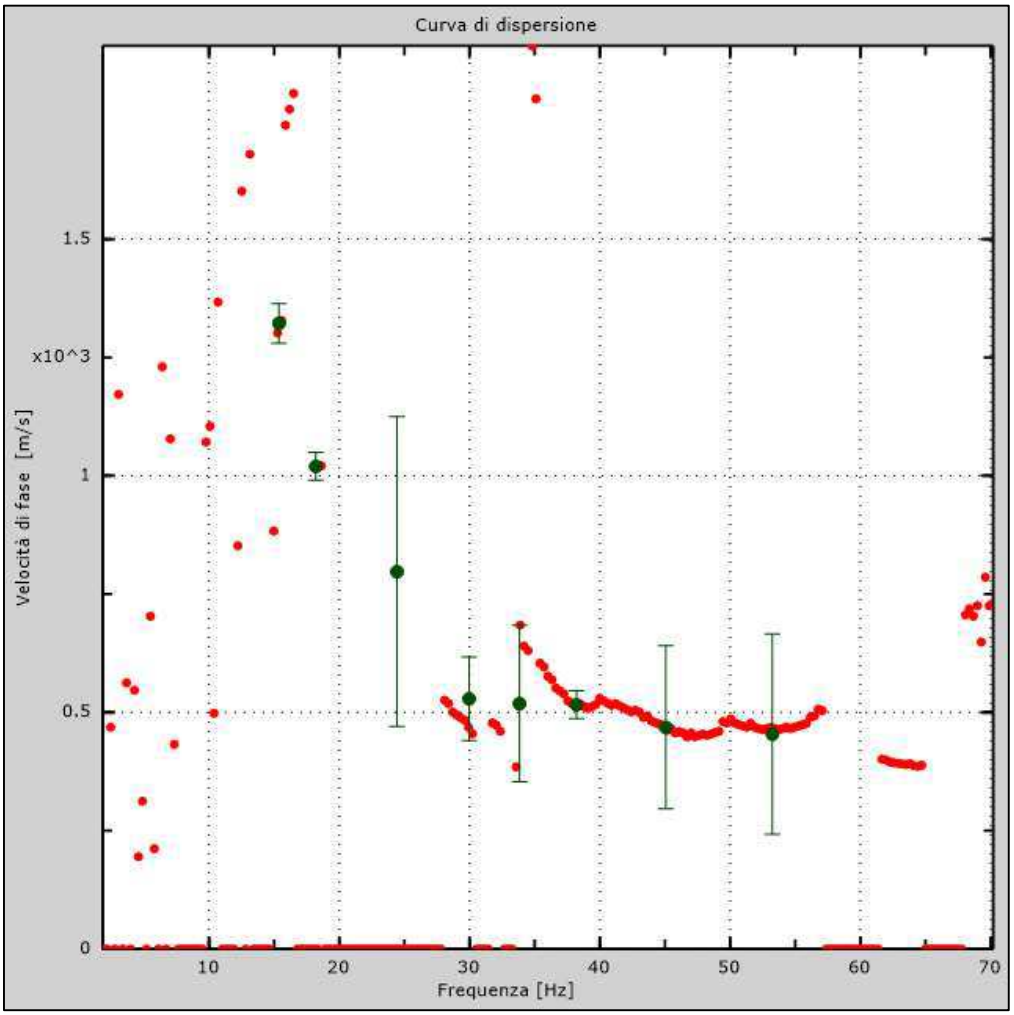


Figura 3: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio).....9
Spaziatura ricevitori [m].....3m
Numero ricevitori.....18
Numero modi.....1

Strato 1

h [m].....3,50
z [m].....-3.5
Densità [kg/m^3].....1800
Poisson.....0.2
Vs [m/s].....276
Vp [m/s].....451
Vs min [m/s].....163
Vs max [m/s].....414
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s].....276

Strato 2

h [m].....0.80
z [m].....-4.3
Densità [kg/m^3].....2300
Poisson.....0.35
Vs [m/s].....620
Vp [m/s].....1291

Vs min [m/s] 160
Vs max [m/s] 930
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 620

Strato 3

h [m] 8
z [m] ..... -12.3
Densità [kg/m^3] 2300
Poisson 0.35
Vs [m/s] 719
Vp [m/s] 1497
Vs min [m/s] 288
Vs max [m/s] 1079
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 719

Strato 4

h [m] 0,50
z [m] ..... -12.8
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1400
Vp [m/s] 2993
Vs min [m/s] 294
Vs max [m/s] 2100
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1400

Strato 5

h [m] 4,2
z [m] ..... -17
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1403
Vp [m/s] 3000
Vs min [m/s] 443
Vs max [m/s] 2105
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1403

Strato 6

h [m] 5
z [m] ..... -22
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1400
Vp [m/s] 2993
Vs min [m/s] 567
Vs max [m/s] 2100
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1400

Strato 7

h [m] 5
z [m] ..... -27
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1401
Vp [m/s] 2995

Vs min [m/s] 700
Vs max [m/s] 2102
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1401

Strato 8

h [m] 6
z [m] ..... -33
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1480
Vp [m/s] 3164
Vs min [m/s] 734
Vs max [m/s] 2220
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1480

Strato 9

h [m] 0
z [m] ..... -oo
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1550
Vp [m/s] 3314
Vs min [m/s] 734
Vs max [m/s] 2325
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1550

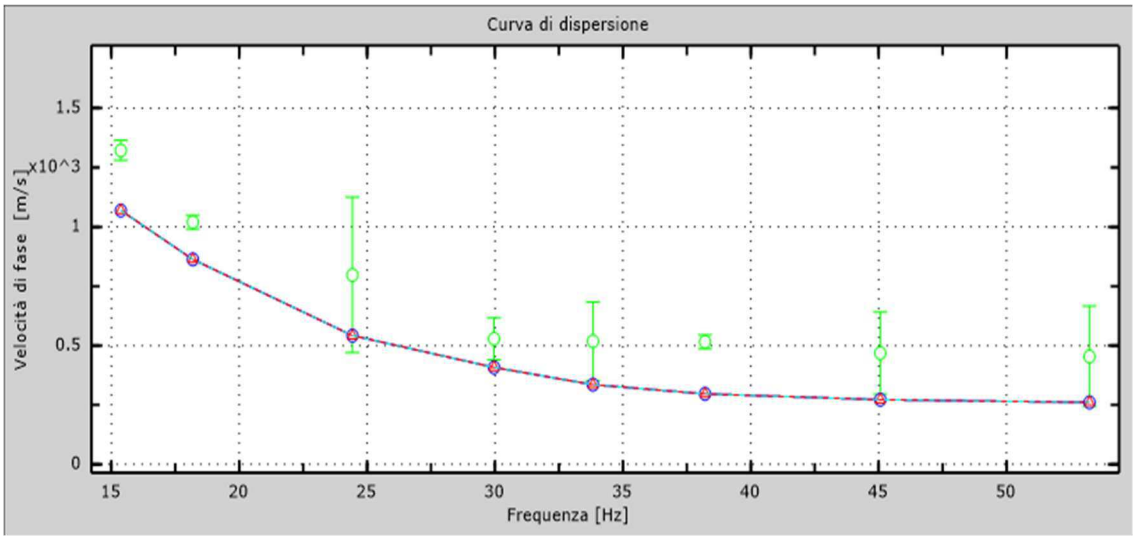


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

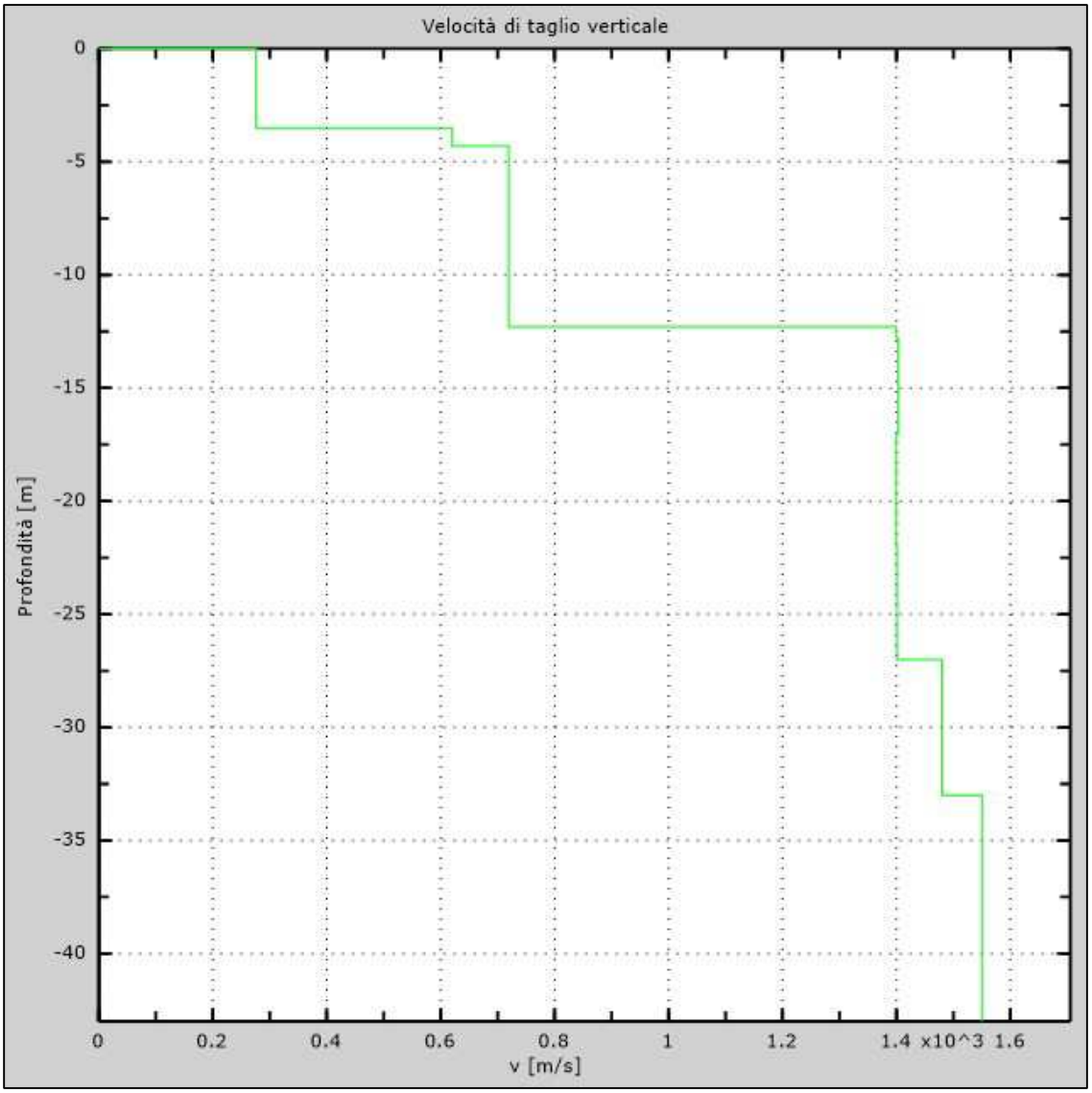


Figura 5: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m] 0
Vs30 (NTC 2008) [m/s] 797
Vsequivalenti (NTC 2018) [m/s] 492

ALLEGATO: PROVA SISMICA MASW SIS2

Sito: Mortola – Ventimiglia (IM)
Data: 05-11-2019
Stesa sismica S2 – Lunghezza 45 metri (2.5 metri di offset)
Acquisizione di andata

1 - Dati sperimentali

Nome del file delle tracce \\Mac\Home\Desktop\Relazioni\Marco Abbo\Mortola\mortola\s2 45 metri\andata\masw3.drm
Numero di ricevitori 18
Distanza tra i sensori: 2.5m
Numero di campioni temporali 10000
Passo temporale di acquisizione 0.2ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 2500ms
I ricevitori sono invertiti (l'ultimo ricevitore nel file è il primo per l'analisi)

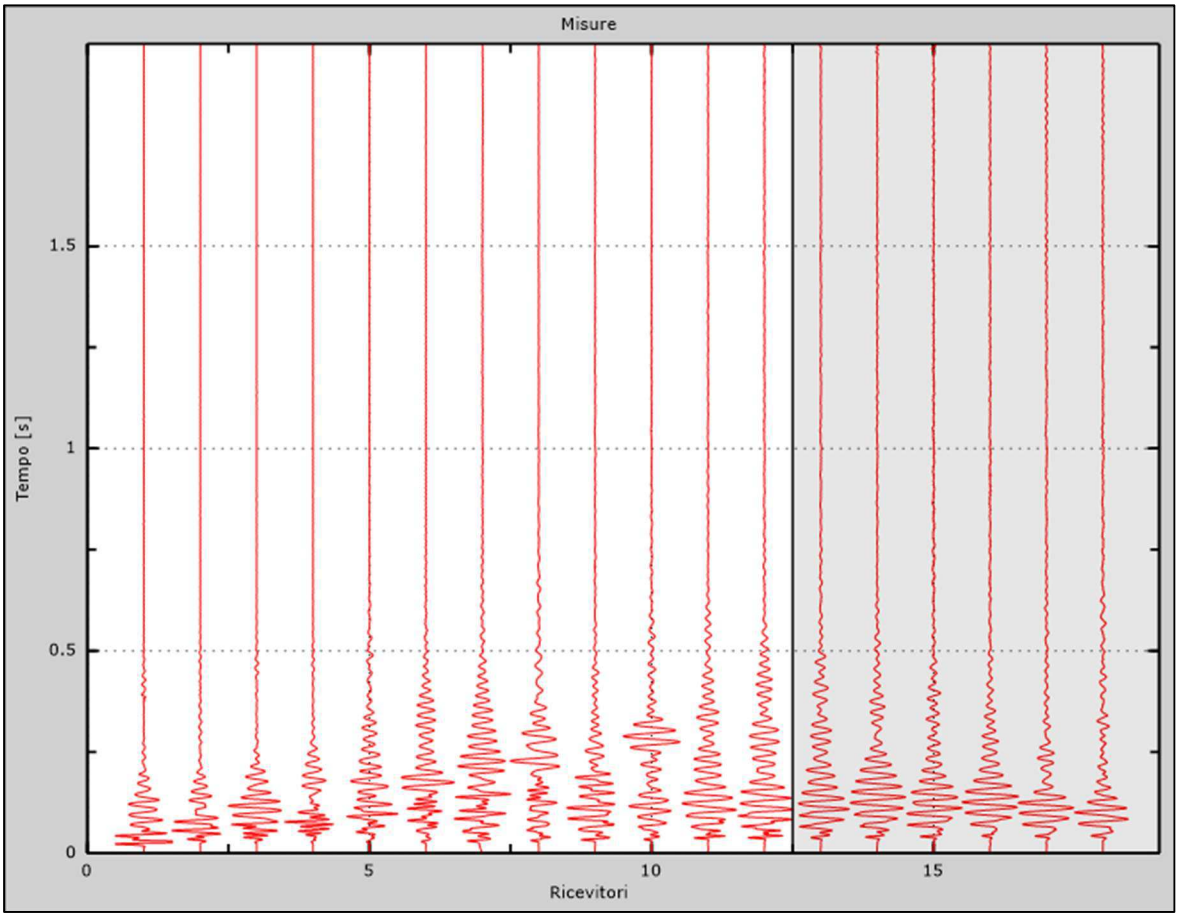


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale 70Hz
Frequenza iniziale 2Hz

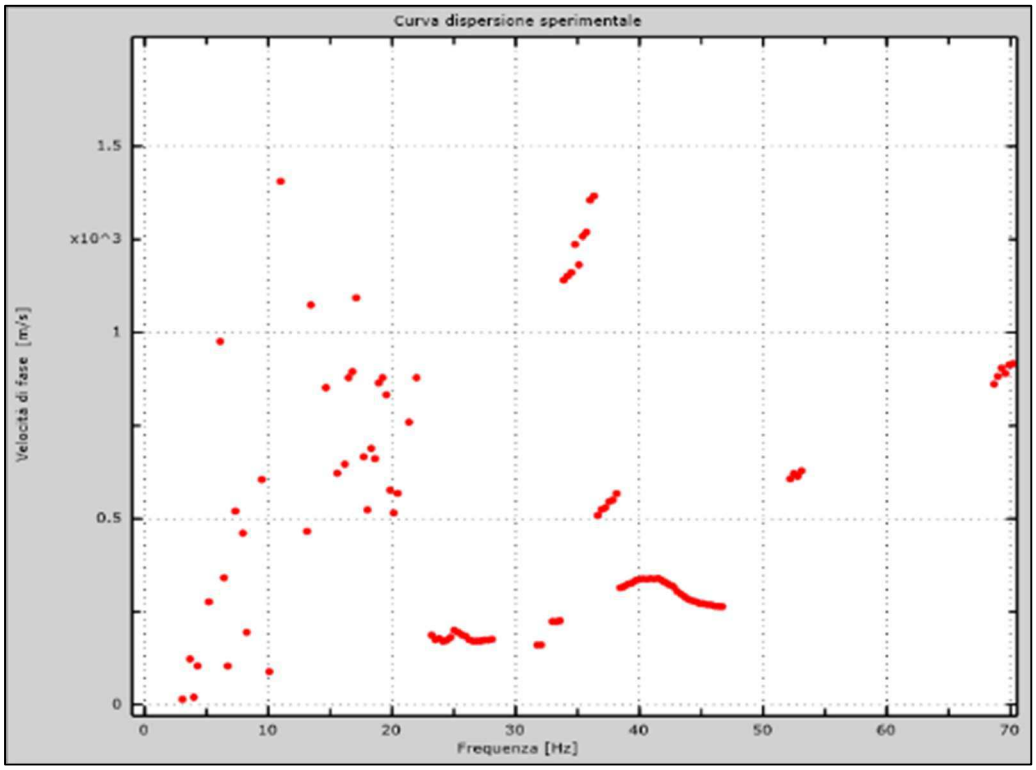


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Curva di dispersione

Tabella 1:Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
13.6354	1068.02	1027.99	1108.05
14.3342	887.906	847.88	927.931
16.1311	694.449	661.094	727.803
17.6966	654.586	595.35	713.821
19.725	574.372	521.005	627.739
24.2173	287.522	167.445	407.599
32.9024	240.826	114.078	367.573
39.8904	300.864	134.091	467.637
45.5806	274.18	174.116	374.244

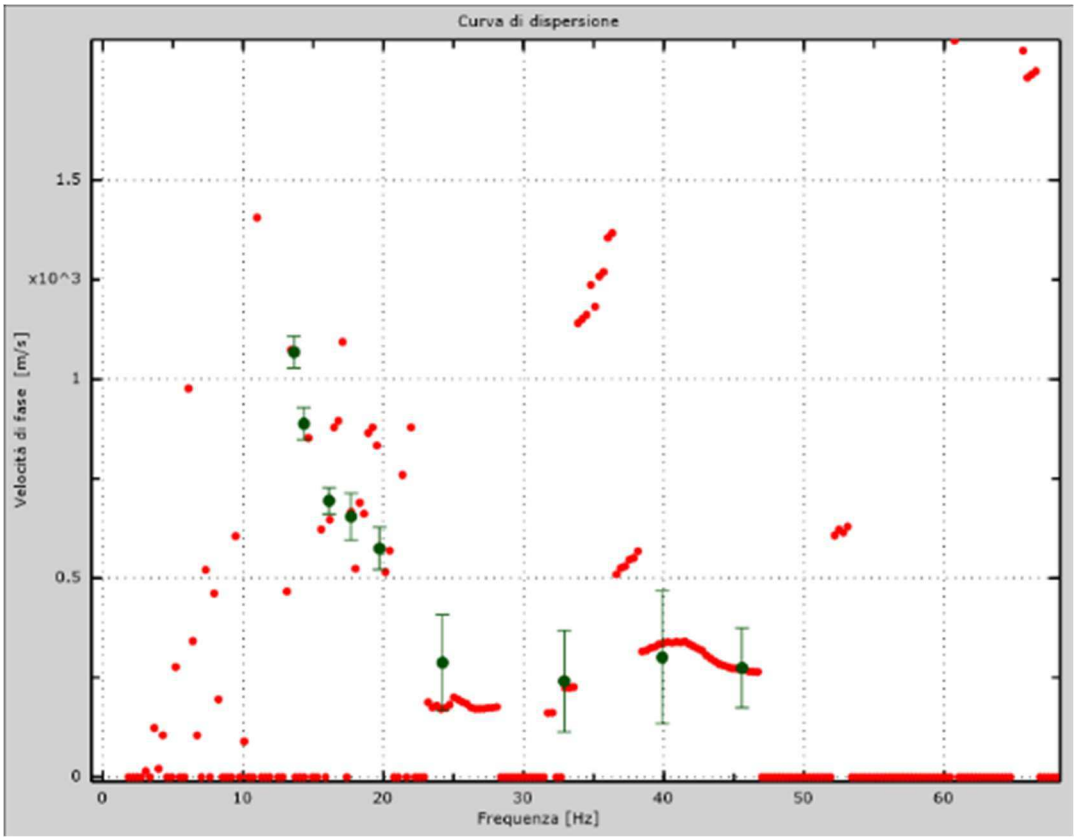


Figura 3: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio) 9
Spaziatura ricevitori [m] 2.5m
Numero ricevitori 18
Numero modi 1
Strato 1
h [m] 2
z [m] ..... -2
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson 0.2
Vs [m/s] 153
Vp [m/s] 250
Vs min [m/s] 152
Vs max [m/s] 230
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 153
Strato 2
h [m] 3
z [m] ..... -5
Densità [kg/m^3] 2300
Poisson 0.35
Vs [m/s] 533
Vp [m/s] 1110
Vs min [m/s] 167
Vs max [m/s] 800
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 533
Strato 3
h [m] 0,5

z [m] ..... -5.5
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 795
Vp [m/s] 1700
Vs min [m/s] 160
Vs max [m/s] 1193
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 795
Strato 4
h [m] 4,5
z [m] ..... -10
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 898
Vp [m/s] 1920
Vs min [m/s] 319
Vs max [m/s] 1347
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 898
Strato 5
h [m] 4
z [m] ..... -14
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 879
Vp [m/s] 1879
Vs min [m/s] 364
Vs max [m/s] 1319
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 879
Strato 6
h [m] 5
z [m] ..... -19
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 884
Vp [m/s] 1890
Vs min [m/s] 386
Vs max [m/s] 1326
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 884
Strato 7
h [m] 5
z [m] ..... -24
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 987
Vp [m/s] 2110
Vs min [m/s] 493
Vs max [m/s] 1973
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 987
Strato 8
h [m] 6
z [m] ..... -30
Densità [kg/m^3] 2500

Poisson 0.36
Vs [m/s] 1300
Vp [m/s] 2780
Vs min [m/s] 593
Vs max [m/s] 1950
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1300
Strato 9
h [m] 0
z [m] ..... -oo
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1500
Vp [m/s] 3207
Vs min [m/s] 1
Vs max [m/s] 2250
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1500

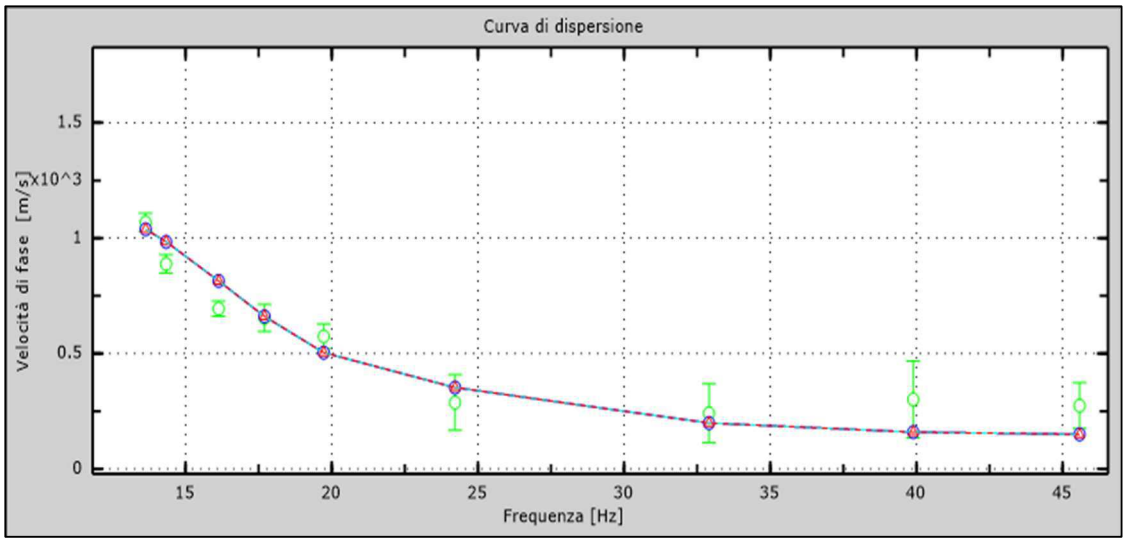


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m] 0

Vs30 (NTC 2008)[m/s] 678

Vsequivalenti (NTC 2018)[m/s] 285

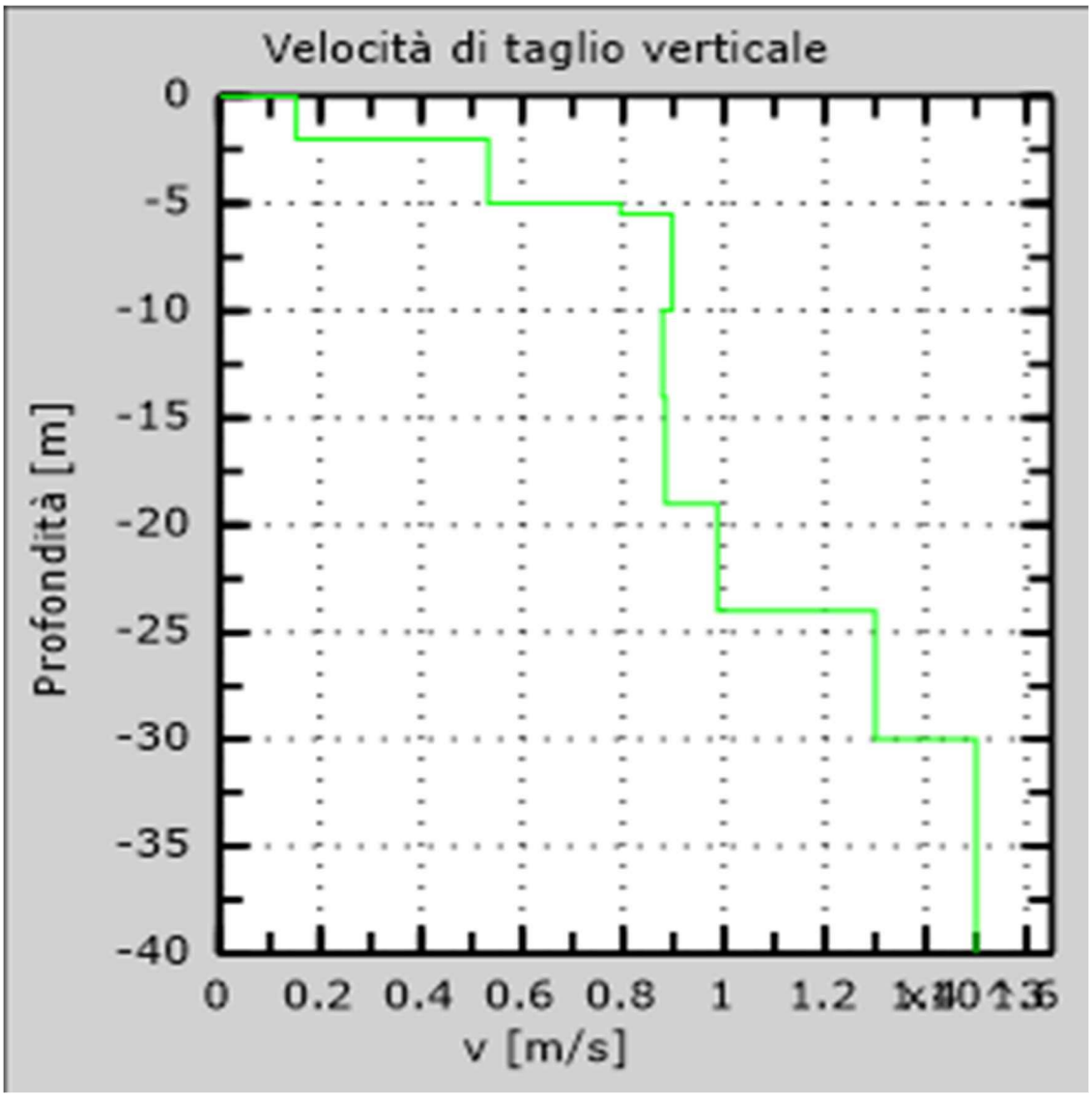


Figura 5: Profilo Vs numerico

ALLEGATO: PROVA SISMICA MASW SIS3

Sito: Mortola – Ventimiglia (IM)
Data: 05-11-2019
Stesa Sismica S3 – Lunghezza 45 metri (2,5 metri di offset)
Acquisizione di ritorno

1 - Dati sperimentali

Nome del file delle tracce\\Mac\Home\Desktop\Relazioni\Marco Abbo\Mortola\mortola\s3 45 metri\ritorno\masw4.drm
Numero di ricevitori 18
Distanza tra i sensori: 2,5m
Numero di campioni temporali 10000
Passo temporale di acquisizione 0.2ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 18
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1999.8ms
I ricevitori sono invertiti (l'ultimo ricevitore nel file è il primo per l'analisi)

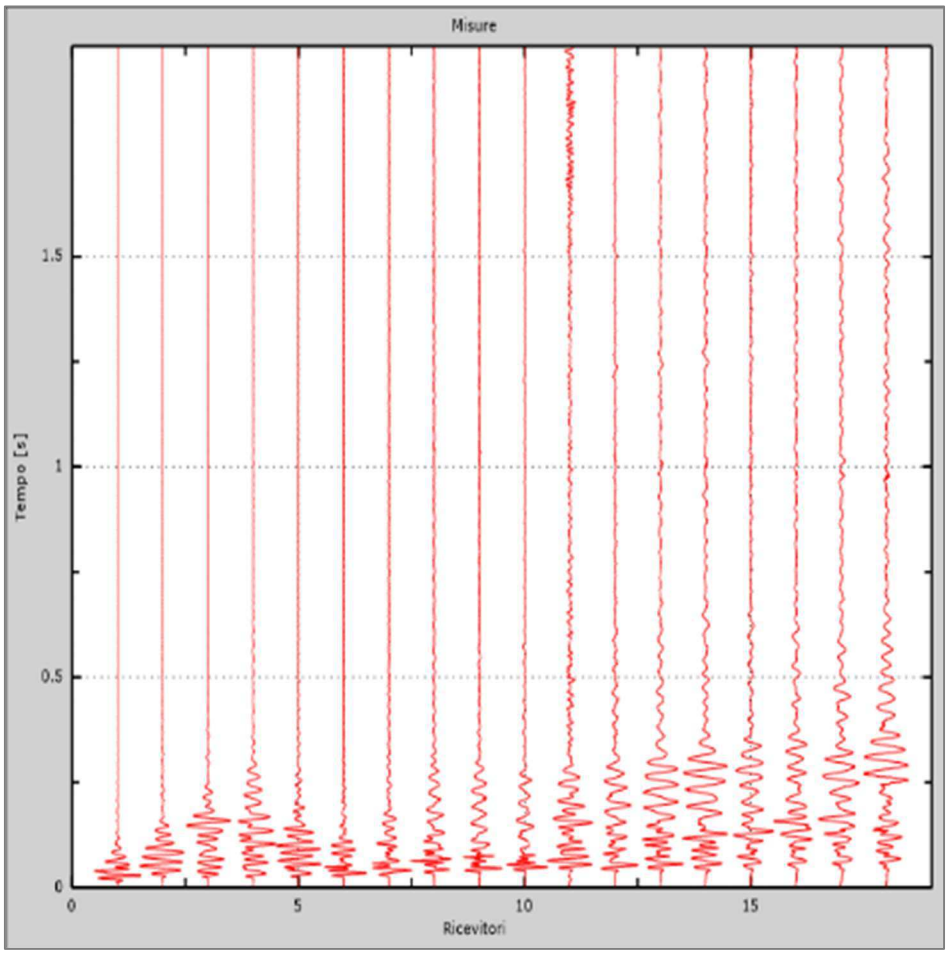


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale 70Hz
Frequenza iniziale 2Hz

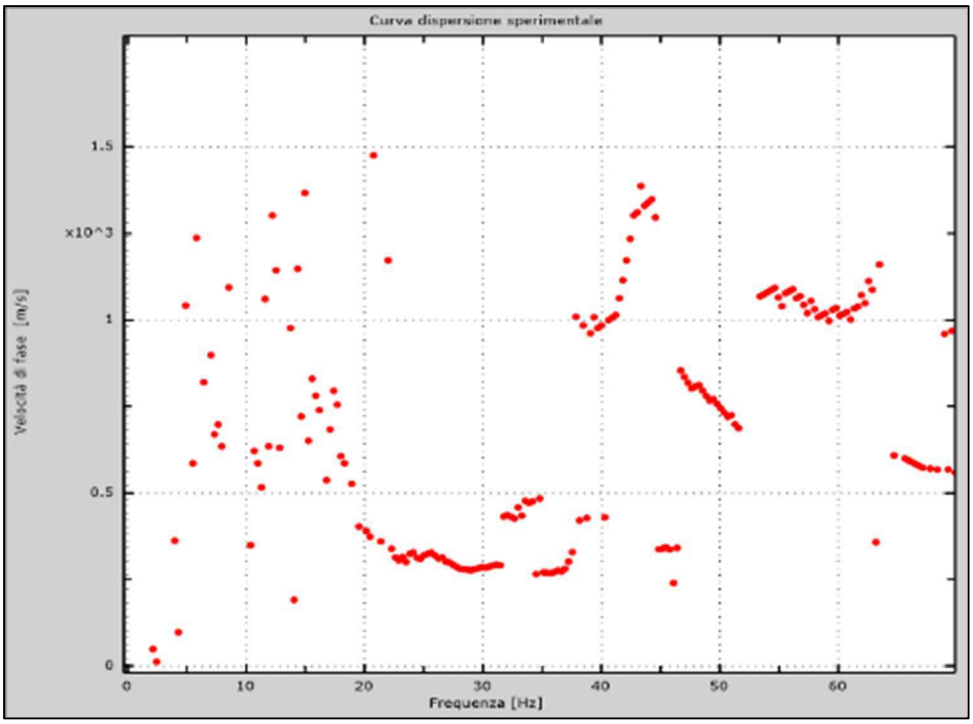


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

Curva di dispersione

Tabella 1:Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
14.0223	978.835	967.815	989.855
15.7961	806.183	791.489	820.876
16.3873	718.02	695.979	740.06
17.1757	618.836	582.102	655.571
19.9348	391.082	380.062	402.103
23.4824	328.633	313.94	343.327
28.1139	295.572	280.879	310.266
35.2089	273.532	207.409	339.654
46.0486	258.838	137.614	380.062

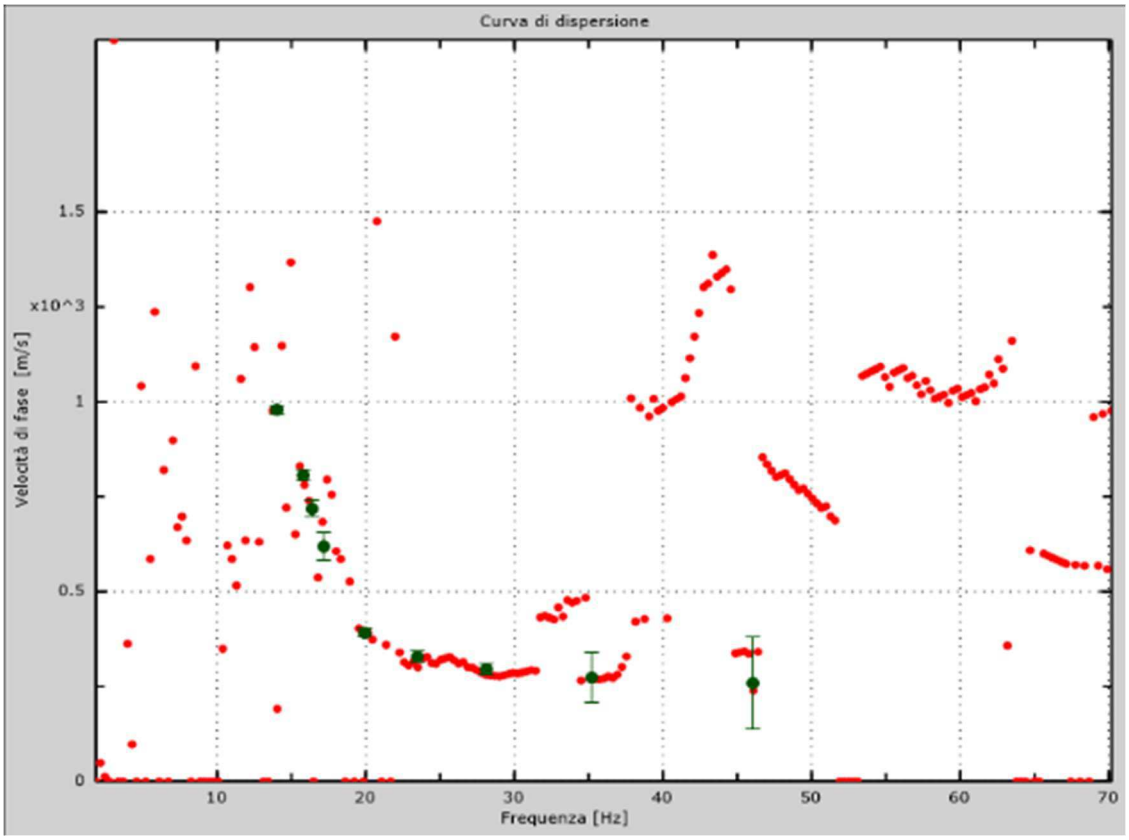


Figura 3: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio) 9
Spaziatura ricevitori [m] 2.5m
Numero ricevitori 18
Numero modi 1

Strato 1

h [m] 3,9
z [m] ..... -3.9
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson 0.20
Vs [m/s] 244
Vp [m/s] 398
Vs min [m/s] 144
Vs max [m/s] 366
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 244

Strato 2

h [m] 3,1
z [m] ..... -7
Densità [kg/m^3] 2300
Poisson 0.35
Vs [m/s] 428
Vp [m/s] 891
Vs min [m/s] 152
Vs max [m/s] 642
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s] 428

Strato 3

h [m] 1
z [m] ..... -8
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 850
Vp [m/s] 1817
Vs min [m/s] 183
Vs max [m/s] 1275
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 850

Strato 4

h [m] 4
z [m] ..... -12
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 851
Vp [m/s] 1820
Vs min [m/s] 217
Vs max [m/s] 1277
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 851

Strato 5

h [m] 4
z [m] ..... -16
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1310
Vp [m/s] 2801
Vs min [m/s] 344
Vs max [m/s] 1965
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1310

Strato 6

h [m] 5
z [m] ..... -21
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1440
Vp [m/s] 3079
Vs min [m/s] 399
Vs max [m/s] 2160
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1440

Strato 7

h [m] 5
z [m] ..... -26
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1450
Vp [m/s] 3100
Vs min [m/s] 448
Vs max [m/s] 2175
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s] 1450

Strato 8

h [m] 6
z [m] ..... -32
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1500
Vp [m/s] 3207
Vs min [m/s] 544
Vs max [m/s] 2250
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1500

Strato 9

h [m] 0
z [m] ..... -oo
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1550
Vp [m/s] 3314
Vs min [m/s] 544
Vs max [m/s] 2325
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1550

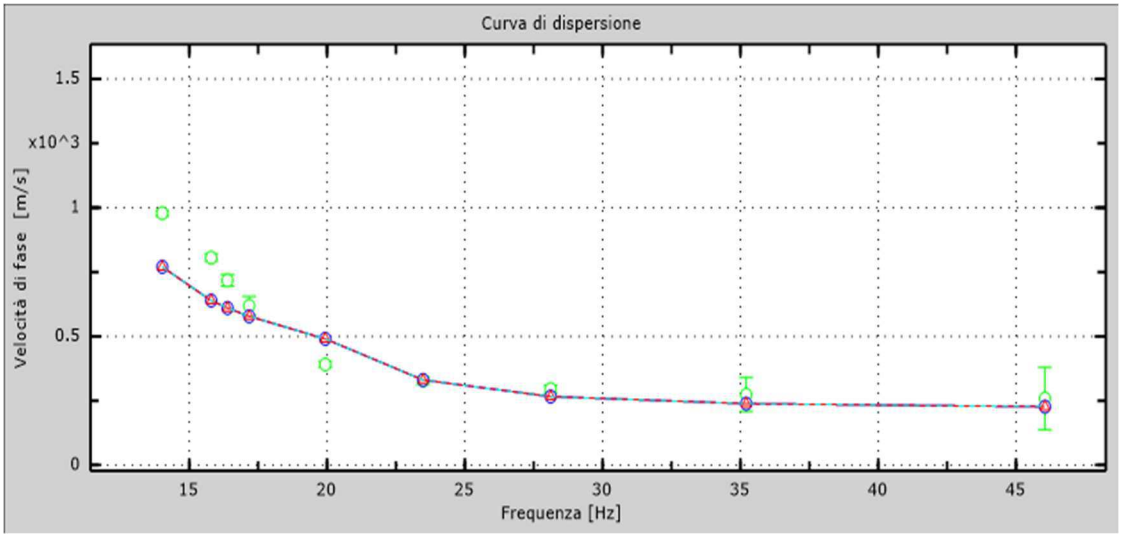


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

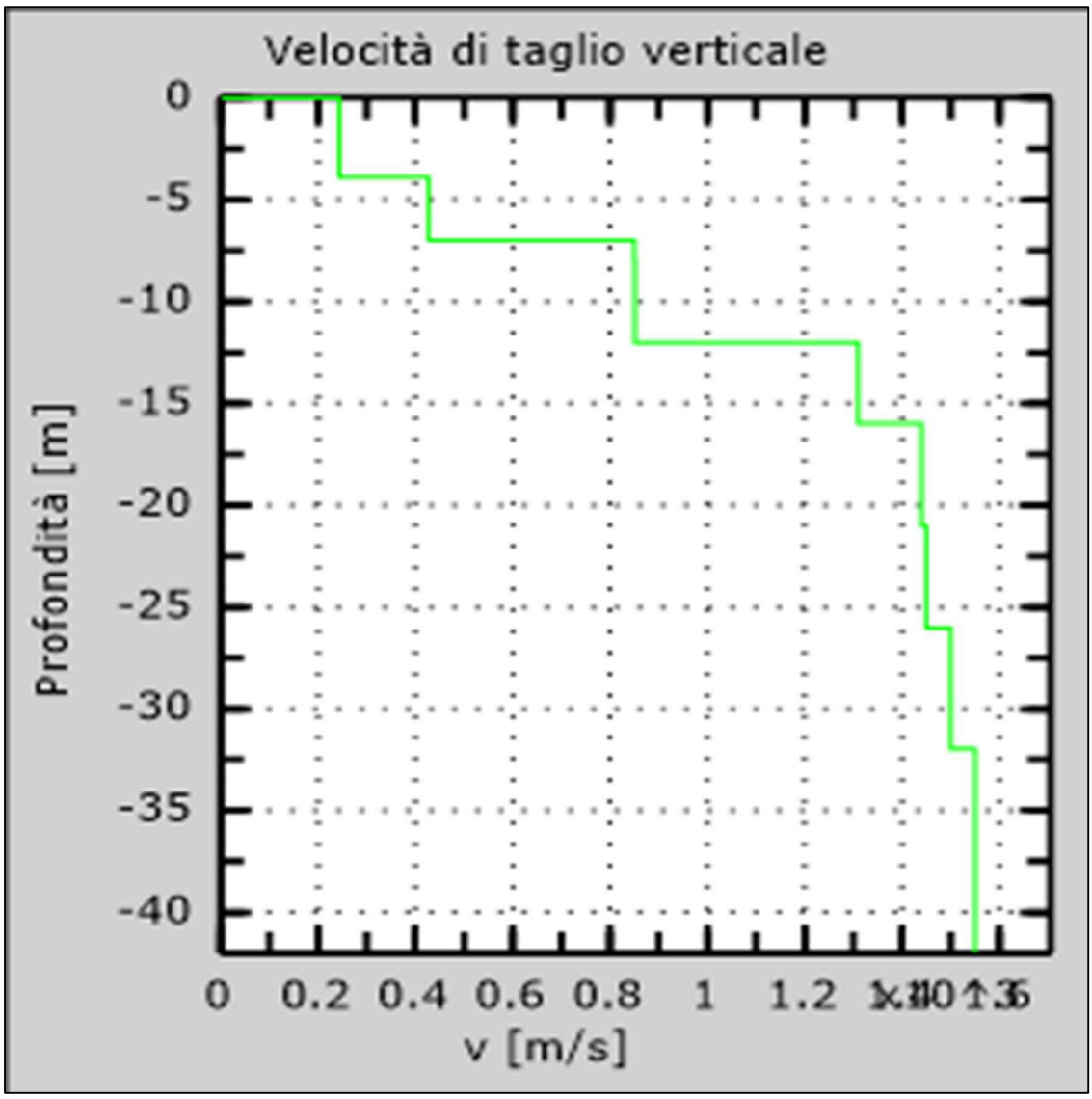


Figura 5: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m] 0
Vs30 (NTC 2008) [m/s] 718
Vsequivalenti (NTC 2018) [m/s] 302

ALLEGATO: PROVA SISMICA MASW SIS4

Sito: Mortola – Ventimiglia (IM)
Data: 07-11-2019
Stesa Sismica S4 – Lunghezza 32 metri (offset 2 m)
Acquisizione di andata

1 - Dati sperimentali

Nome del file delle tracce .....
Numero di ricevitori 16
Distanza tra i sensori: 2m
Numero di campioni temporali 10000
Passo temporale di acquisizione 0.2ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 16
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1999.8ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

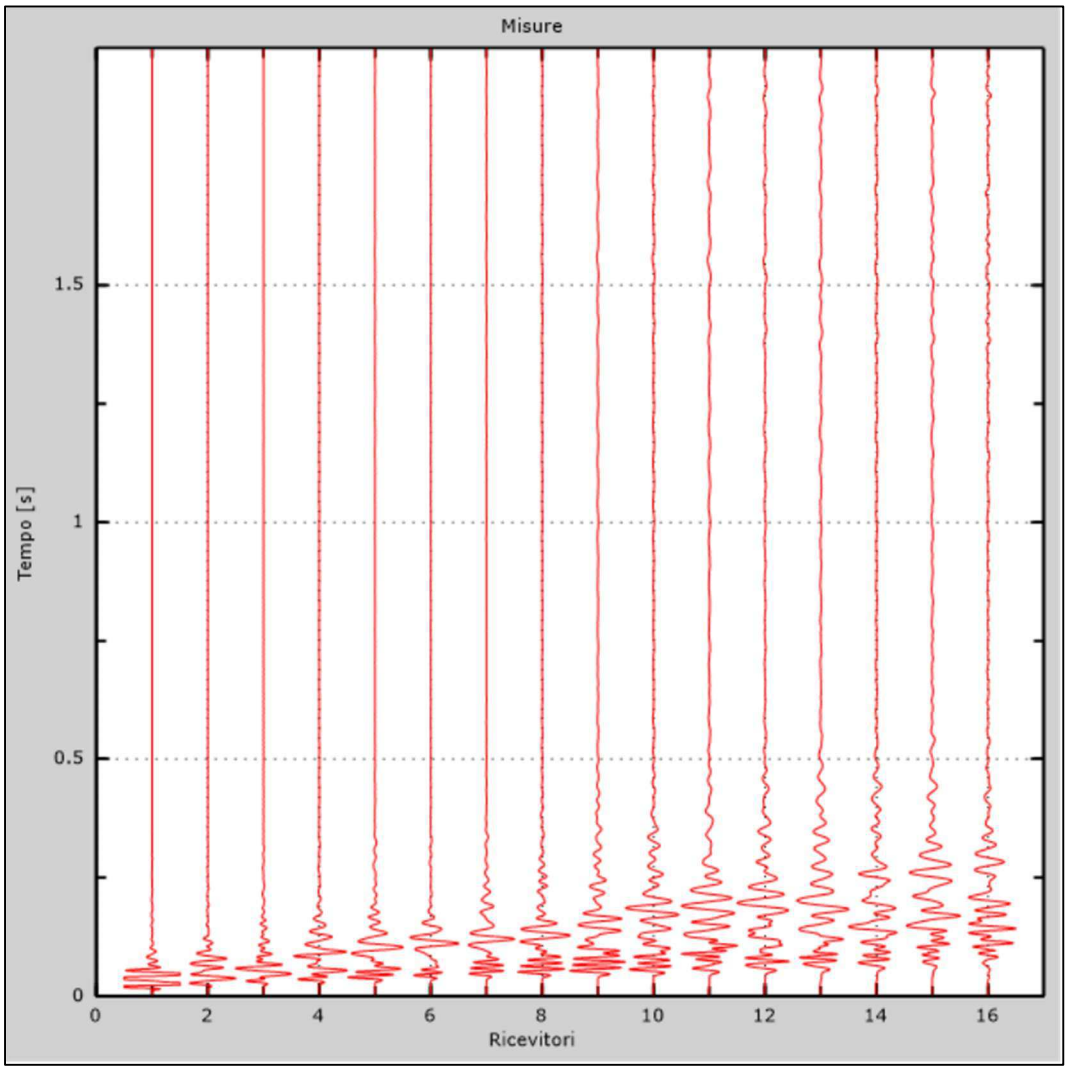


Figura 151: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale..... 70Hz
Frequenza iniziale 2Hz

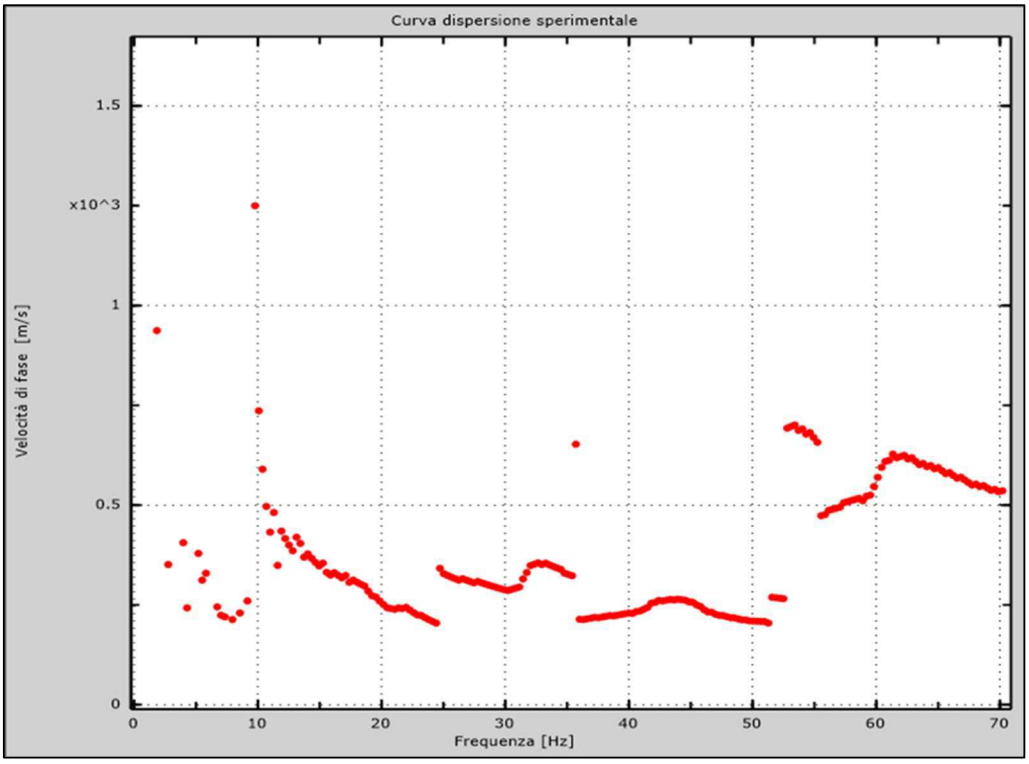


Figura 152: Curva dispersione sperimentale

3 - Curva di dispersione

Tabella 1:Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
9.9141	733.214	723.058	743.371
10.5069	504.693	499.615	509.771
13.8661	372.658	362.502	382.815
19.1025	283.789	268.554	299.024
24.24	248.241	169.528	326.954
34.4164	250.78	164.45	337.111
40.8384	235.546	199.998	271.093
46.5688	225.389	169.528	281.25
51.1135	207.615	146.676	268.554

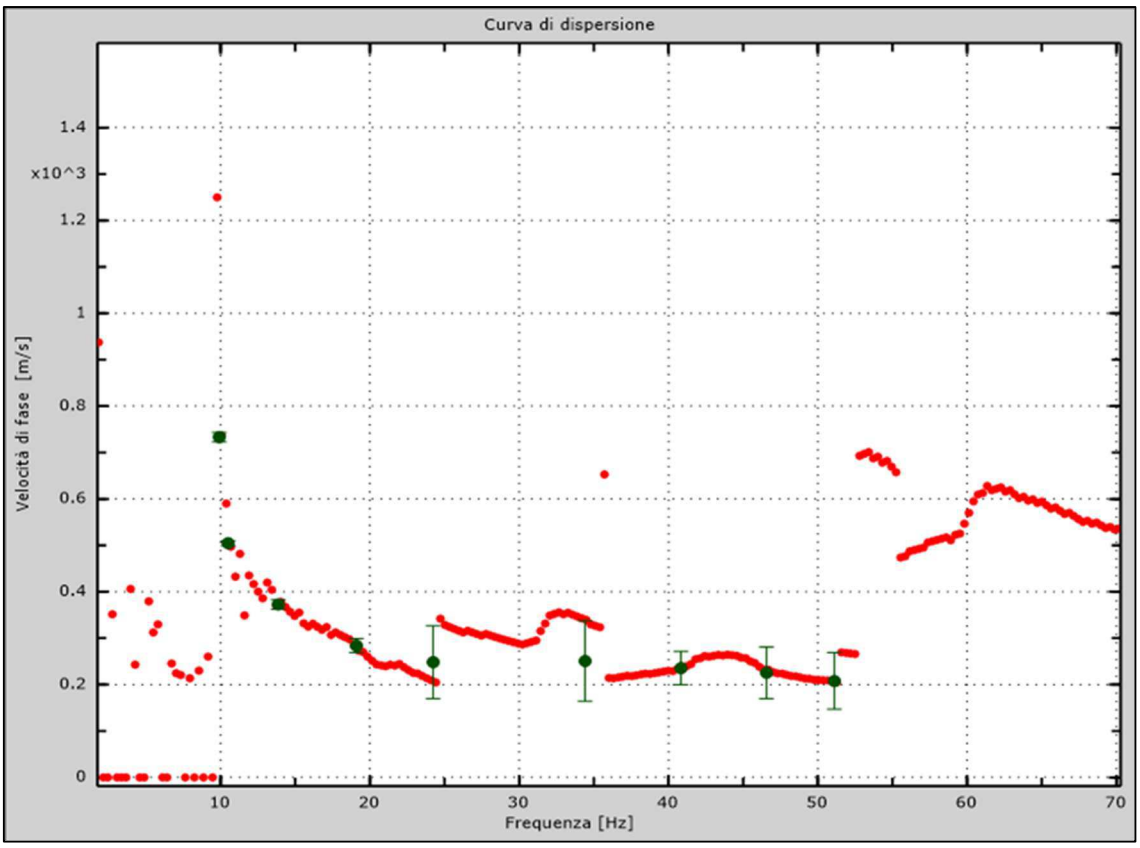


Figura 153: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio) 9
Spaziatura ricevitori [m] 2m
Numero ricevitori 16
Numero modi 1

Strato 1

h [m] 0,70
z [m] ..... -0.7
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson 0.2
Vs [m/s] 110
Vp [m/s] 180
Vs min [m/s] 61
Vs max [m/s] 165
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 110

Strato 2

h [m] 1,10
z [m] ..... -1.8
Densità [kg/m^3] 2000
Poisson 0.25

Vs [m/s] 224
Vp [m/s] 388
Vs min [m/s] 139
Vs max [m/s] 336
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 224

Strato 3

h [m] 5
z [m] ..... -6.8
Densità [kg/m^3] 2200
Poisson 0.30
Vs [m/s] 345
Vp [m/s] 645
Vs min [m/s] 158
Vs max [m/s] 518
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 345

Strato 4

h [m] 4,4
z [m] ..... -11.2
Densità [kg/m^3] 2200
Poisson 0.33
Vs [m/s] 469
Vp [m/s] 931
Vs min [m/s] 207
Vs max [m/s] 704
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 469

Strato 5

h [m] 4,8
z [m] ..... -16
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 776
Vp [m/s] 1659
Vs min [m/s] 207
Vs max [m/s] 1164
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 776

Strato 6

h [m] 7
z [m] ..... -23
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 779
Vp [m/s] 1666
Vs min [m/s] 280

Vs max [m/s] 1169
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 779

Strato 7

h [m] 5
z [m] ..... -28
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 802
Vp [m/s] 1715
Vs min [m/s] 280
Vs max [m/s] 1203
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 802

Strato 8

h [m] 6
z [m] ..... -34
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 803
Vp [m/s] 1717
Vs min [m/s] 407
Vs max [m/s] 1205
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 803

Strato 9

h [m] 0
z [m] ..... -oo
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1100
Vp [m/s] 2352
Vs min [m/s] 407
Vs max [m/s] 1650
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1100

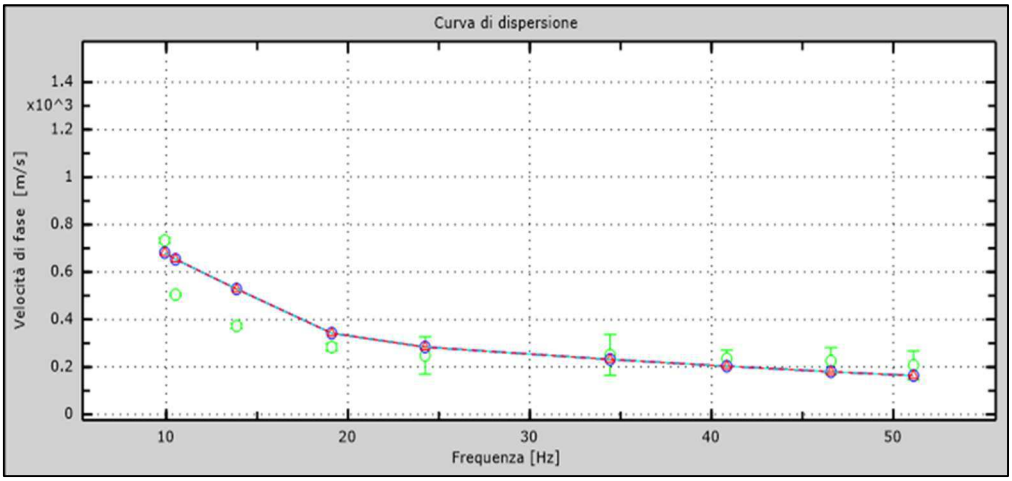


Figura 154: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

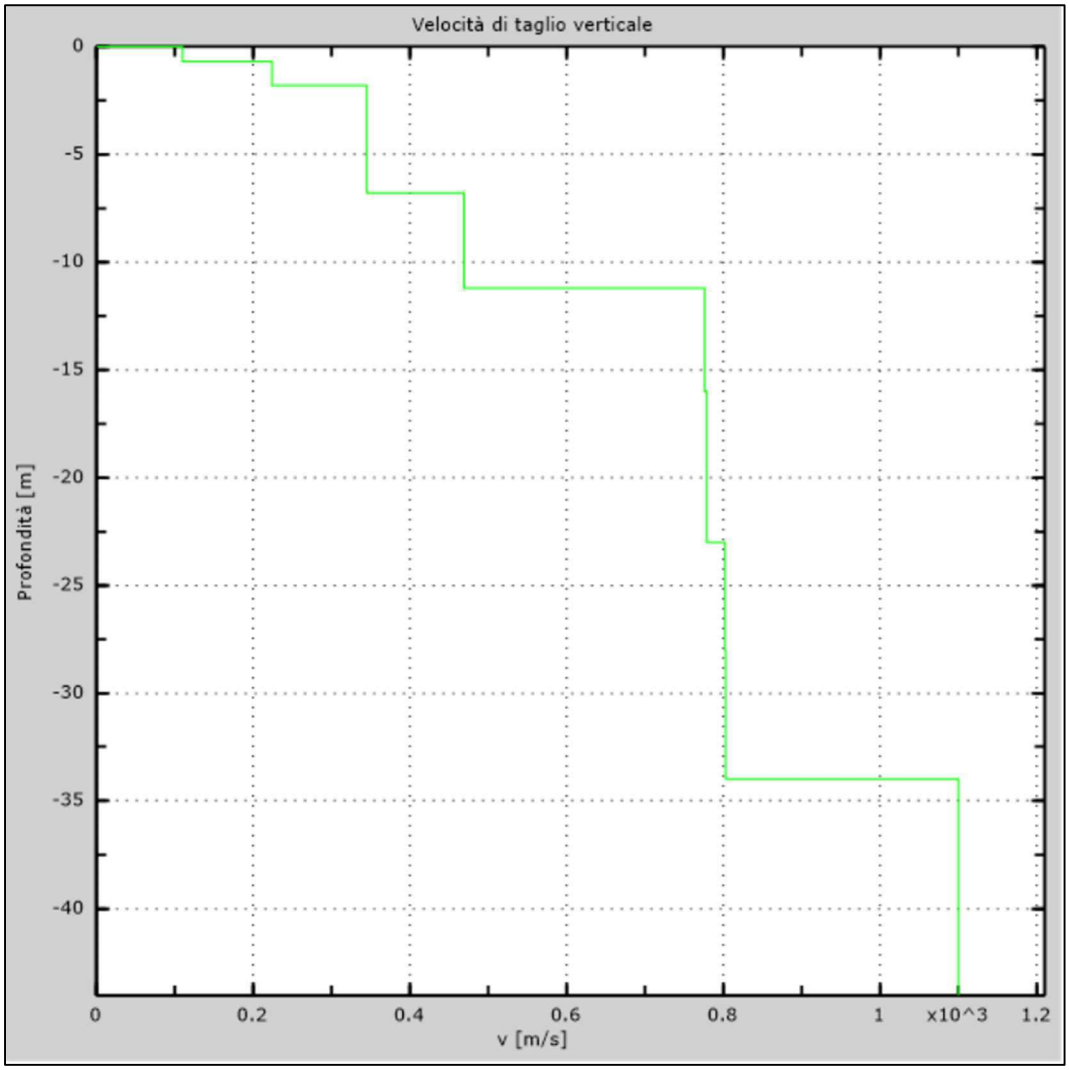


Figura 155: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m] 0

Vs30 (NTC 2008) [m/s] 508
Vsequivalenti (NTC 2018) [m/s] 457

ALLEGATO: PROVA SISMICA MASW SIS5

Sito: Mortola – Ventimiglia (IM)
Data: 07-11-2019
Stesa sismica S5 – Lunghezza 36 metri (offset 2 metri)
Acquisizione di ritorno

1 - Dati sperimentali

Nome del file delle tracce\\Mac\Home\Desktop\Relazioni\Marco Abbo\Mortola\mortola\s5 36 metri\ritorno\masw1.drm
Numero di ricevitori 18
Distanza tra i sensori: 2m
Numero di campioni temporali 10000
Passo temporale di acquisizione 0.2ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 18
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1999.8ms
I ricevitori sono invertiti (l'ultimo ricevitore nel file è il primo per l'analisi)

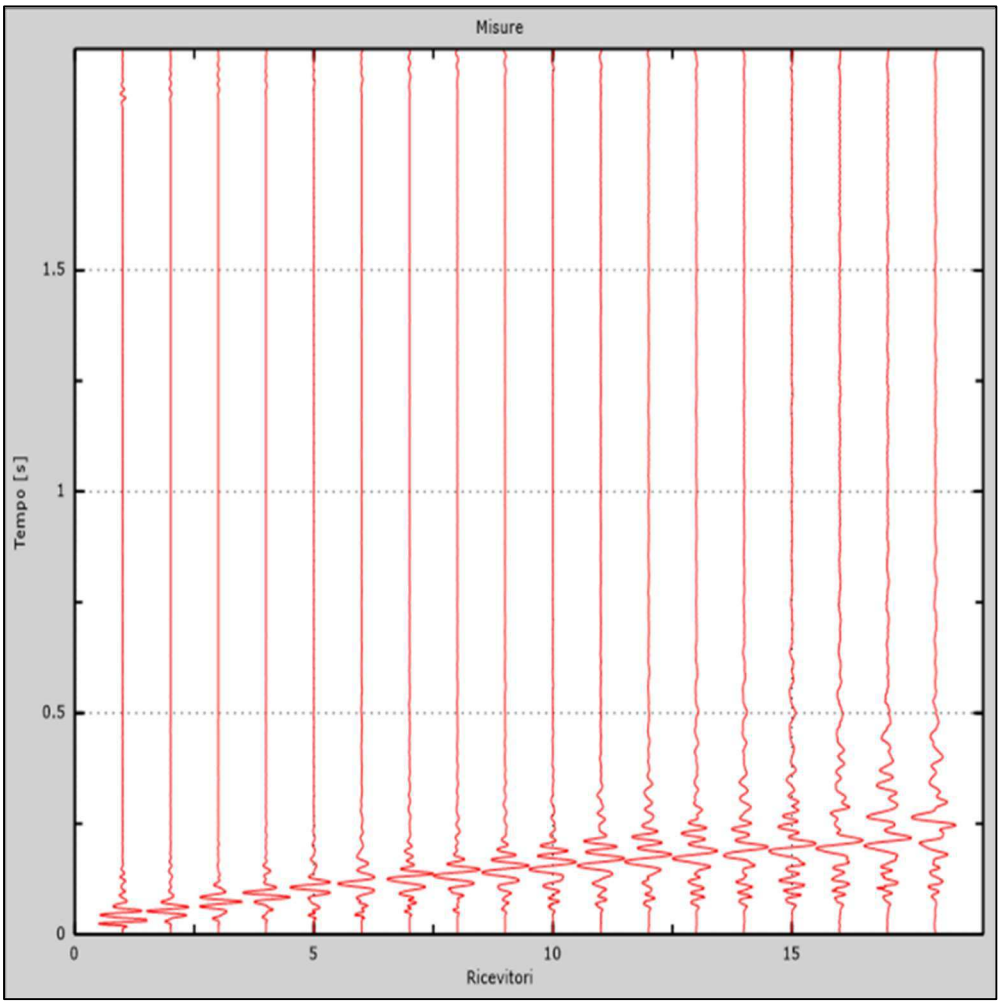


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale..... 70Hz
Frequenza iniziale 2Hz

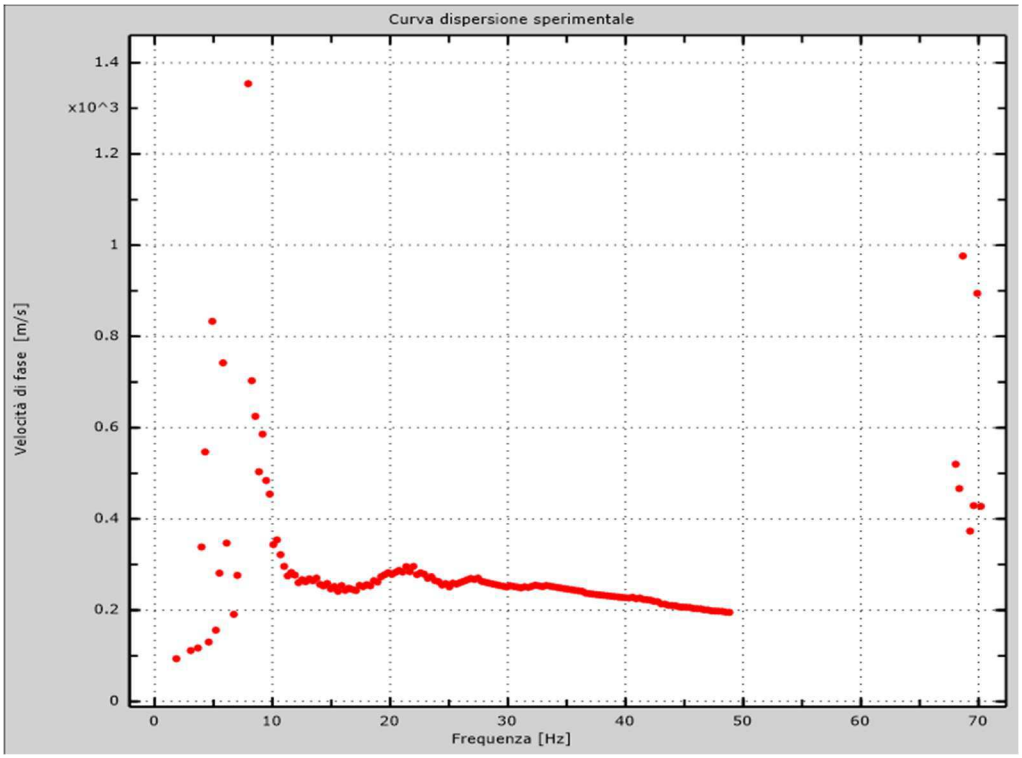


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Curva di dispersione

Tabella 1:Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
8.15829	760.255	735.324	785.186
8.58007	665.517	645.572	685.462
9.95089	451.111	426.18	476.042
12.2707	266.621	251.663	281.58
17.4376	251.663	221.746	281.58
26.1897	261.635	231.718	291.552
33.0438	246.677	216.759	276.594
39.8978	226.732	181.856	271.608
48.2281	201.801	107.063	296.538

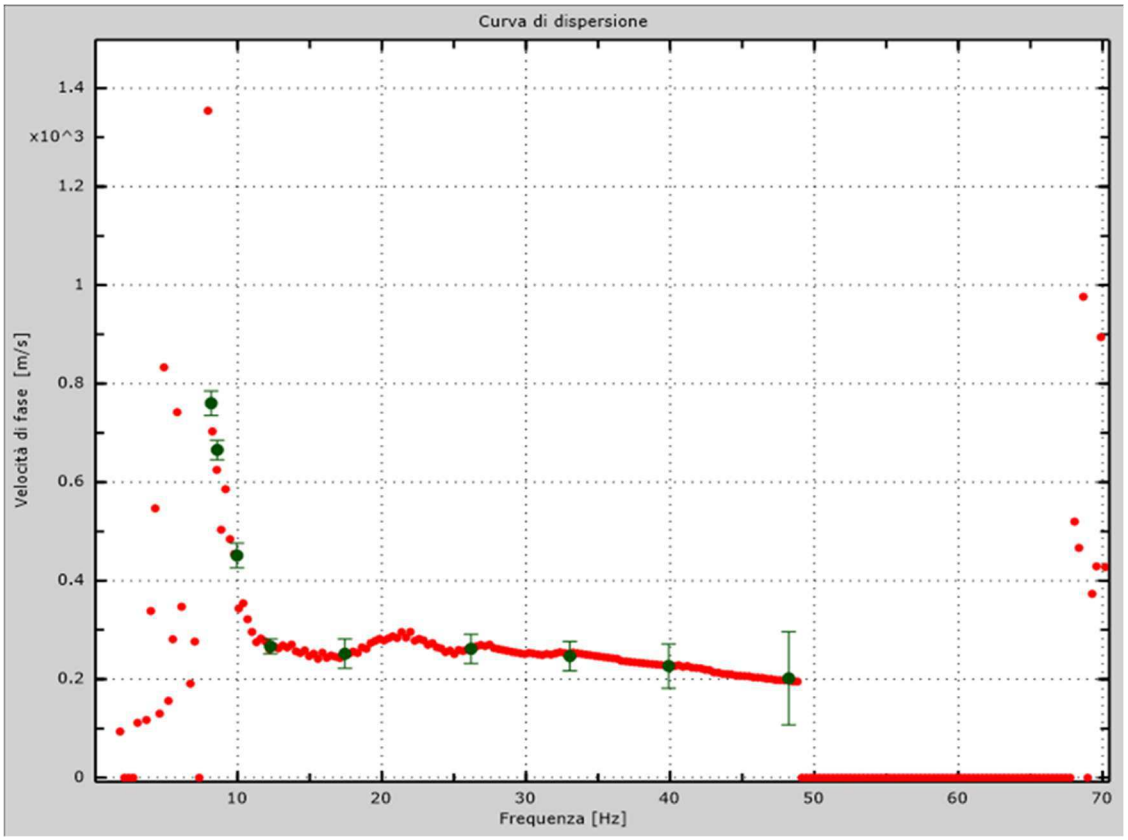


Figura 3: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio) 9
Spaziatura ricevitori [m] 2m
Numero ricevitori 18
Numero modi 1
Strato 1
h [m] 0,8
z [m] ..... -0.8
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson 0.2
Vs [m/s] 115
Vp [m/s] 188
Vs min [m/s] 112
Vs max [m/s] 173
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 115

Strato 2
h [m] 5,2
z [m] ..... -6
Densità [kg/m^3] 2000
Poisson 0.25
Vs [m/s] 334
Vp [m/s] 579
Vs min [m/s] 145
Vs max [m/s] 501
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s] 334

Strato 3
h [m] 6
z [m] ..... -12
Densità [kg/m^3] 2200
Poisson 0.30
Vs [m/s] 413
Vp [m/s] 773
Vs min [m/s] 140
Vs max [m/s] 620
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 413

Strato 4
h [m] 4
z [m] ..... -16
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 557
Vp [m/s] 1191
Vs min [m/s] 148
Vs max [m/s] 836
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 557

Strato 5
h [m] 4
z [m] ..... -20
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 559
Vp [m/s] 1195
Vs min [m/s] 251
Vs max [m/s] 839
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 559

Strato 6
h [m] 3
z [m] ..... -23
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 559
Vp [m/s] 1195
Vs min [m/s] 251
Vs max [m/s] 839
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 559

Strato 7
h [m] 5
z [m] ..... -28
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 561
Vp [m/s] 1199
Vs min [m/s] 251

Vs max [m/s] 842
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 561

Strato 8
h [m] 6
z [m] ..... -34
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 810
Vp [m/s] 1732
Vs min [m/s] 370
Vs max [m/s] 1215
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 810

Strato 9
h [m] 0
z [m] ..... -oo
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1320
Vp [m/s] 2822
Vs min [m/s] 422
Vs max [m/s] 1980
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1320

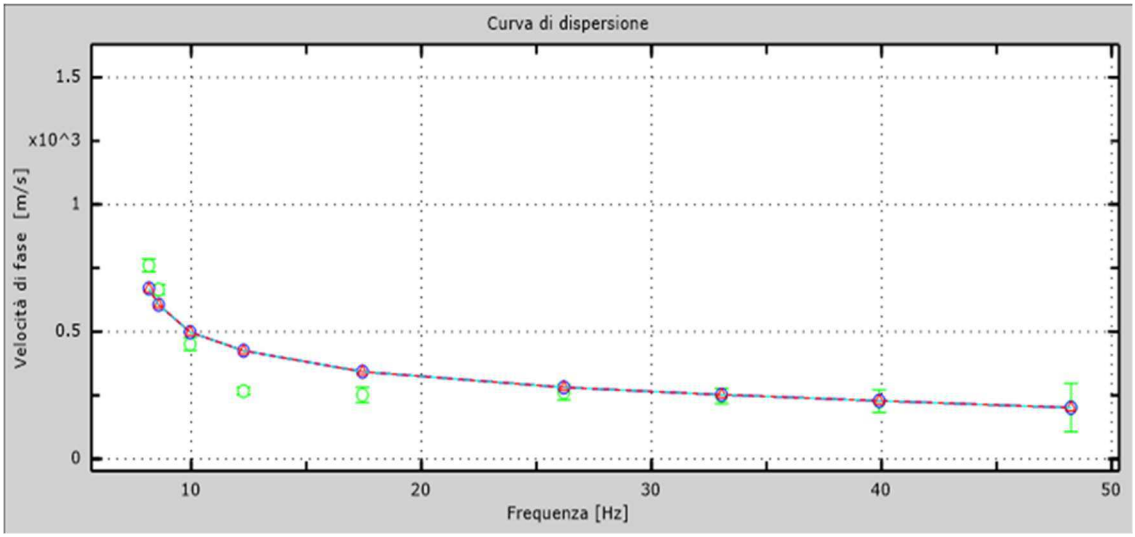


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

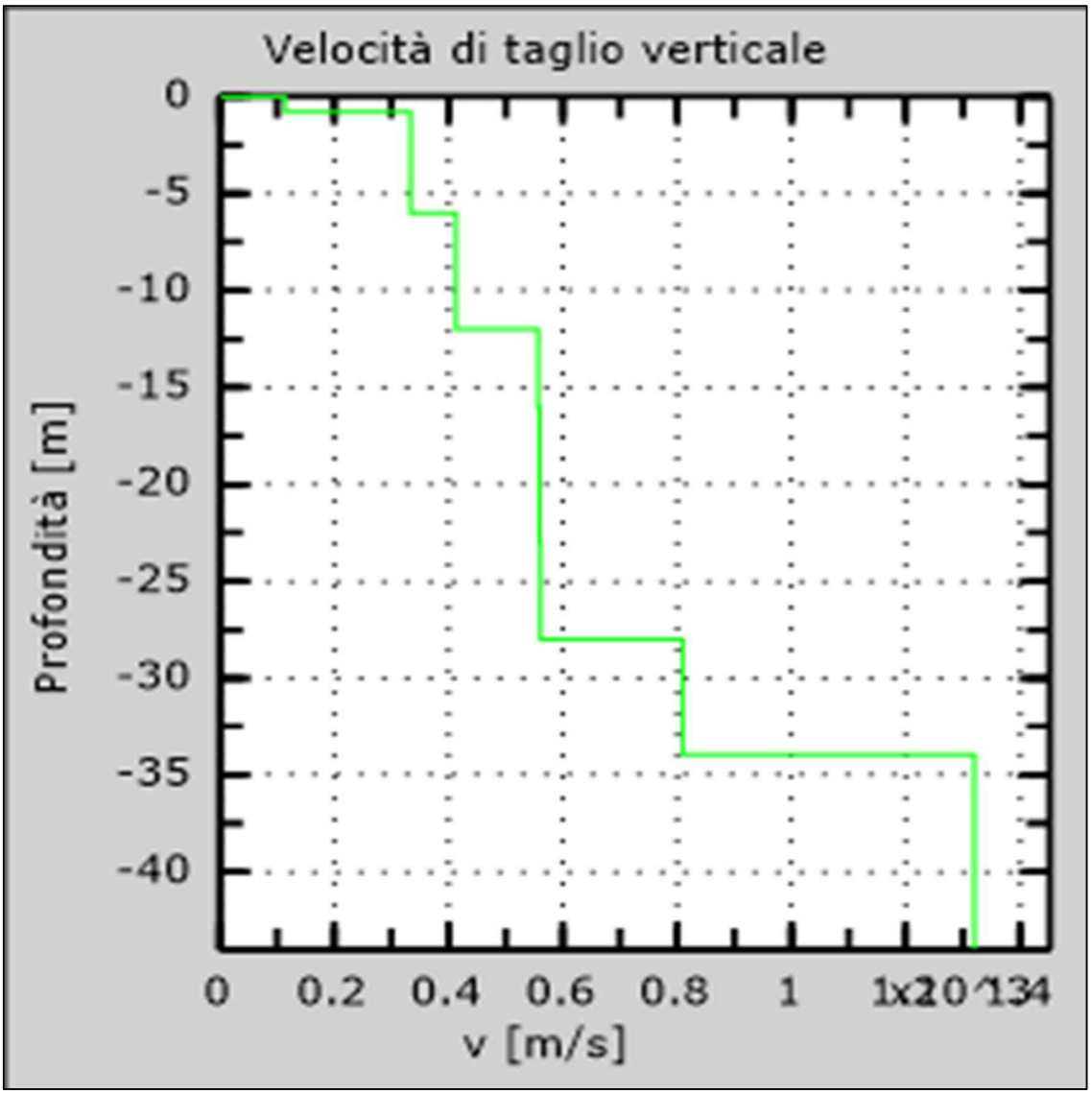


Figura 5: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m] 0

Vs30 (NTC 2008) [m/s] 440

Vsequivalenti (NTC 2018) [m/s] 425

ALLEGATO: PROVA SISMICA MASW SIS6

Sito: Mortola – Ventimiglia (IM)
Data: 07-11-2019
Stesa sismica S6 – Lunghezza 36 metri (2 metri di offset)
Acquisizione di ritorno

1 - Dati sperimentali

Nome del file delle tracce\\Mac\Home\Desktop\Relazioni\Marco Abbo\Mortola\mortola\s6 36 metri\ritorno\MASW1.drm
Numero di ricevitori 18
Distanza tra i sensori: 2m
Numero di campioni temporali 10000
Passo temporale di acquisizione 0.2ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 18
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1999.8ms
I ricevitori sono invertiti (l'ultimo ricevitore nel file è il primo per l'analisi)

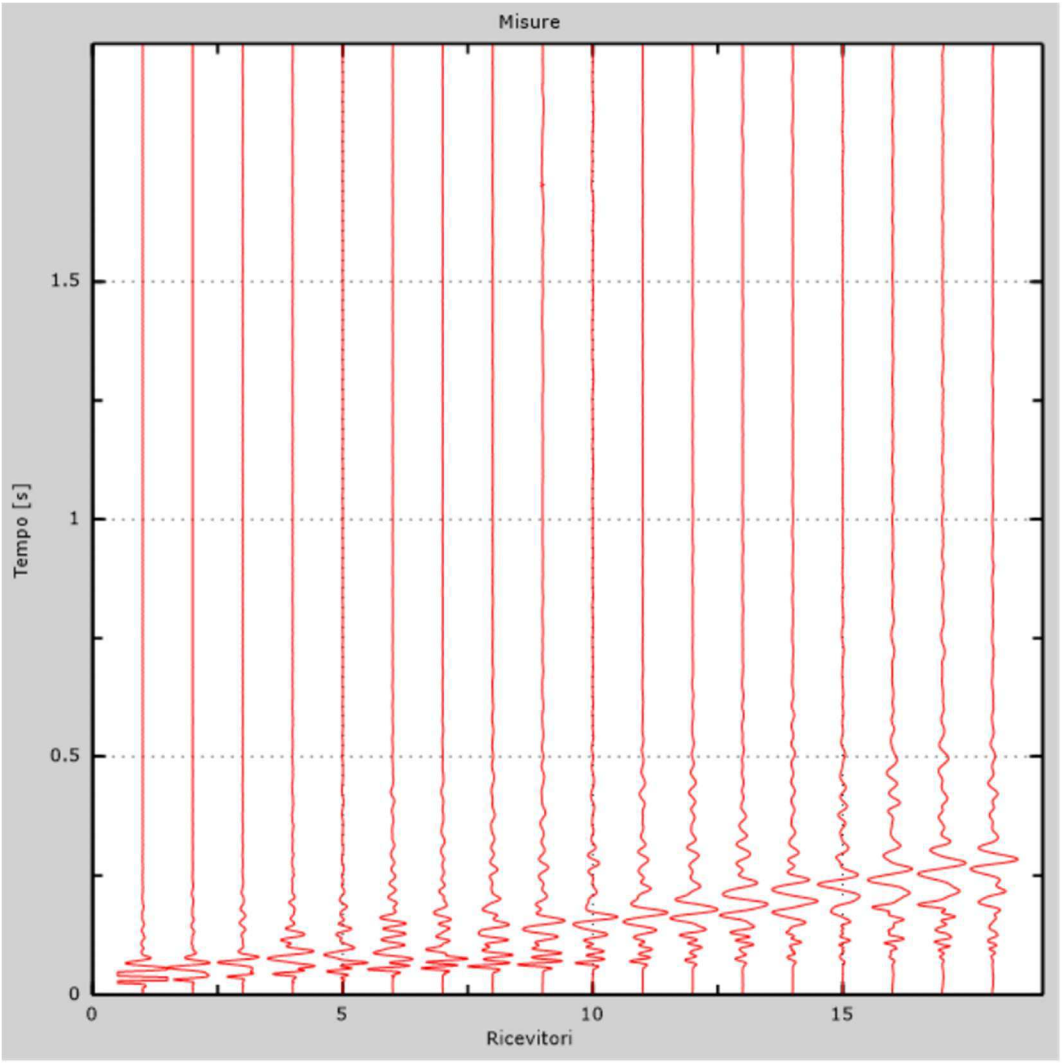


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale..... 70Hz
Frequenza iniziale 2Hz

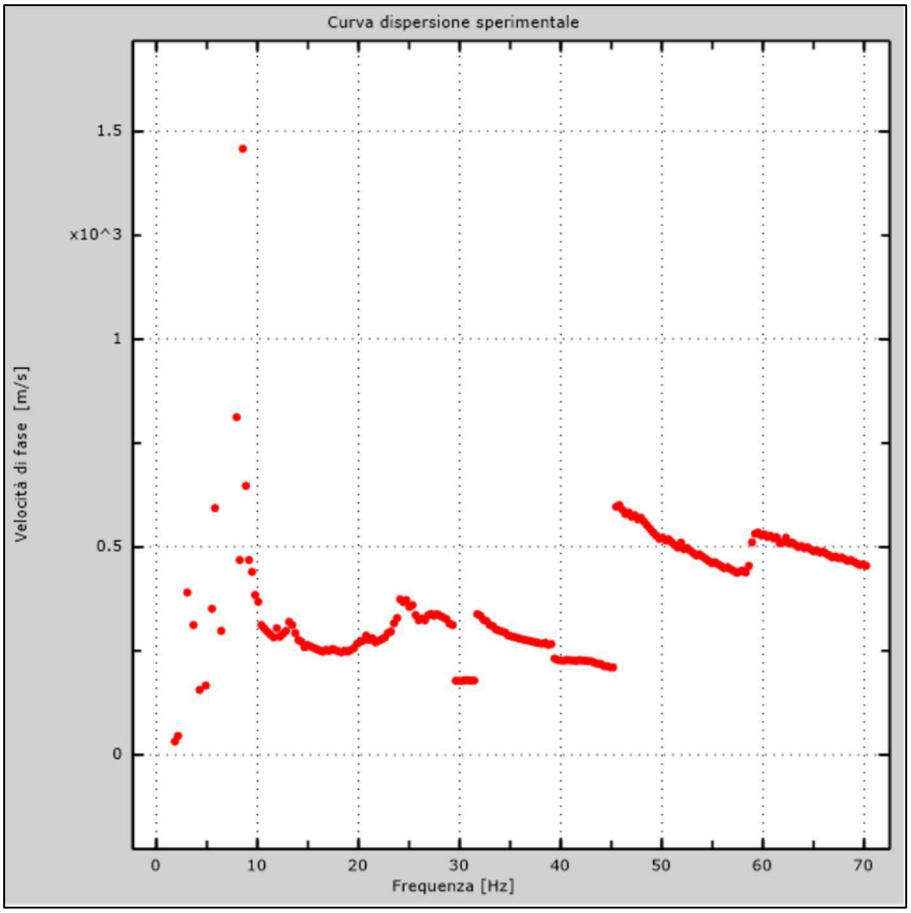


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Curva di dispersione

Tabella 1:Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
7.68857	870.789	818.823	922.756
8.67409	652.531	610.958	694.104
9.7492	413.487	345.931	481.043
12.7057	293.964	257.588	330.341
16.7374	252.391	221.212	283.571
22.4713	283.571	241.998	325.144
29.2803	278.375	200.425	356.324
34.0287	288.768	241.998	335.537

39.1355	241.998	190.032	293.964
43.6151	221.212	127.673	314.751

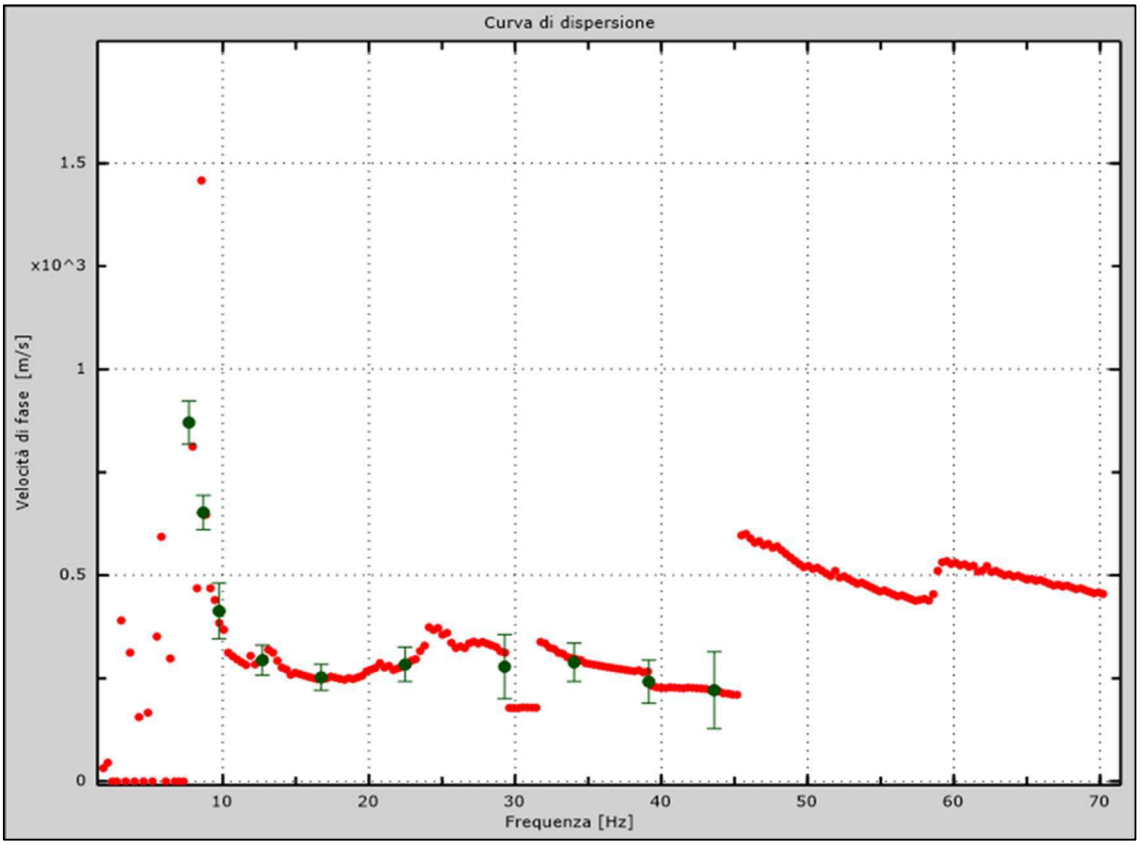


Figura 3: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)....9
Spaziatura ricevitori [m]....2m
Numero ricevitori....18
Numero modi....1

Strato 1
h [m]....1,2
z [m]....-1.2
Densità [kg/m^3]....1800
Poisson....0.2
Vs [m/s]....140
Vp [m/s]....229
Vs min [m/s]....73
Vs max [m/s]....210
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s]....140

Strato 2
h [m]....5.2
z [m]....-6.4
Densità [kg/m^3]....2000
Poisson....0.25

Vs [m/s] 289
Vp [m/s] 501
Vs min [m/s] 160
Vs max [m/s] 434
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 289

Strato 3
h [m] 6,6
z [m] ..... -13
Densità [kg/m^3] 2200
Poisson 0.30
Vs [m/s] 448
Vp [m/s] 838
Vs min [m/s] 140
Vs max [m/s] 672
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 448

Strato 4
h [m] 4
z [m] ..... -17
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.33
Vs [m/s] 780
Vp [m/s] 1548
Vs min [m/s] 163
Vs max [m/s] 1170
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 780

Strato 5
h [m] 4
z [m] ..... -21
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.33
Vs [m/s] 750
Vp [m/s] 1489
Vs min [m/s] 230
Vs max [m/s] 1125
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 750

Strato 6
h [m] 5
z [m] ..... -26
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.33
Vs [m/s] 801
Vp [m/s] 1590
Vs min [m/s] 230
Vs max [m/s] 1202
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 801

Strato 7
h [m] 5

z [m] ..... -31
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.33
Vs [m/s] 802
Vp [m/s] 1592
Vs min [m/s] 230
Vs max [m/s] 1203
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 802

Strato 8
h [m] 6
z [m] ..... -37
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.33
Vs [m/s] 950
Vp [m/s] 1886
Vs min [m/s] 363
Vs max [m/s] 1425
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 950

Strato 9
h [m] 0
z [m] ..... -oo
Densità [kg/m^3] 2500
Poisson 0.33
Vs [m/s] 1290
Vp [m/s] 2561
Vs min [m/s] 484
Vs max [m/s] 1935
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1290

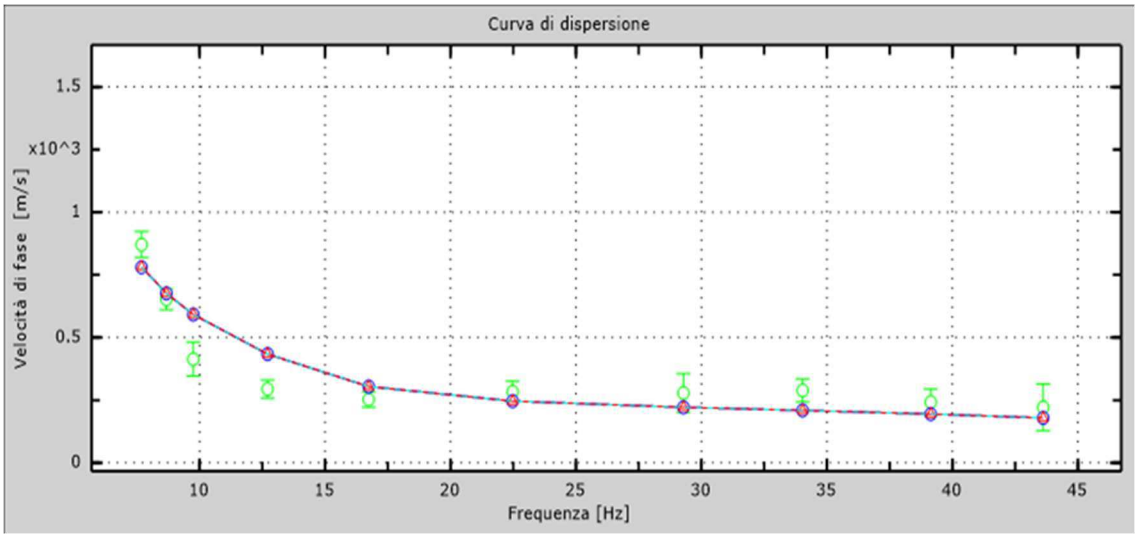


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

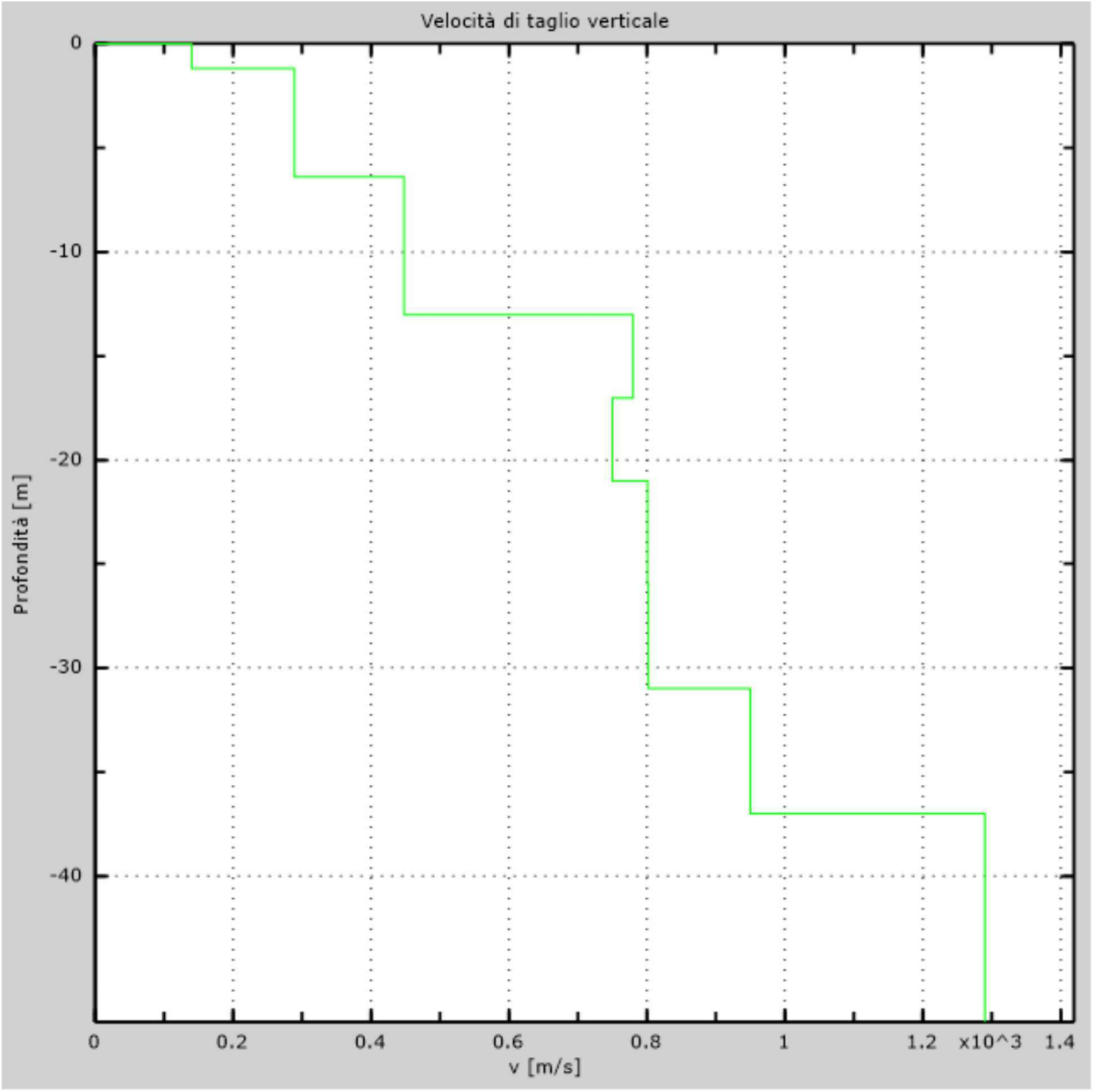


Figura 5: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m] 0

Vs30 (NTC 2008)[m/s] 476

Vsequivalenti (NTC 2018)[m/s] 406

ALLEGATO: PROVA SISMICA MASW SIS7

Sito: Mortola – Ventimiglia (IM)
Data: 02-03-2021
Stesa sismica S1 – Lunghezza 66 metri (offset 2 metri)
Acquisizione di andata

1 - Dati sperimentali

Nome del file delle tracce\\Mac\Home\Desktop\Relazioni\Marco Abbo\Mortola 2021\mortola 2021\0\masw4.drm
Numero di ricevitori 22
Distanza tra i sensori: 3m
Numero di campioni temporali 10000
Passo temporale di acquisizione 0.2ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 22
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1999.8ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

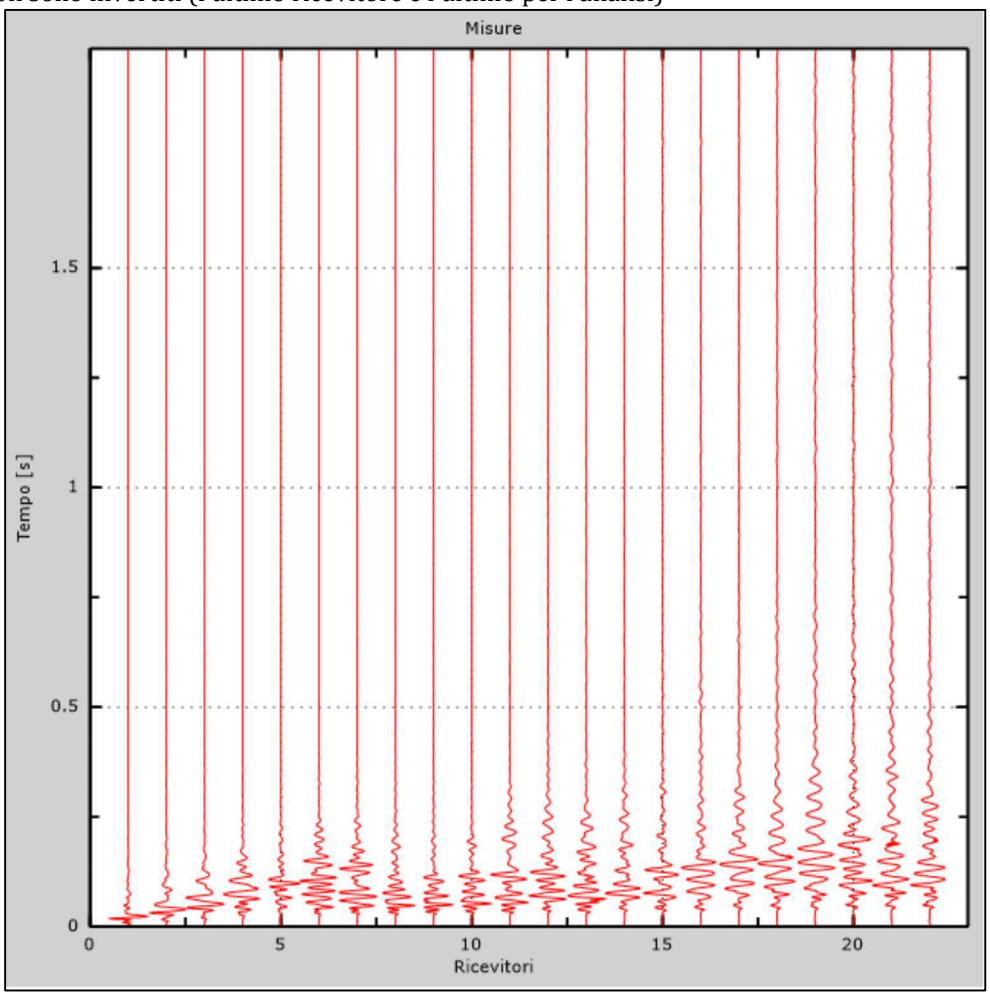


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale 70Hz
Frequenza iniziale 10Hz

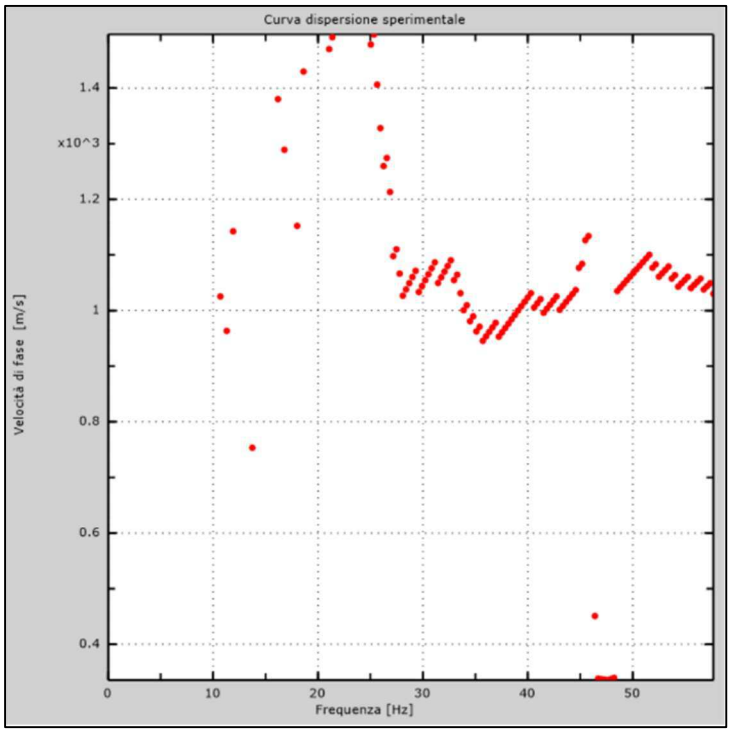


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Curva di dispersione

Tabella 1:Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
26.2311	1288.37	1263.86	1312.87
29.1311	1058.02	989.403	1126.63
31.3338	1032.73	982.387	1083.06
33.7101	999.205	940.393	1058.02
37.2206	964.898	876.679	1053.12
43.2495	964.898	710.044	1219.75
54.4074	860.989	641.466	1080.51

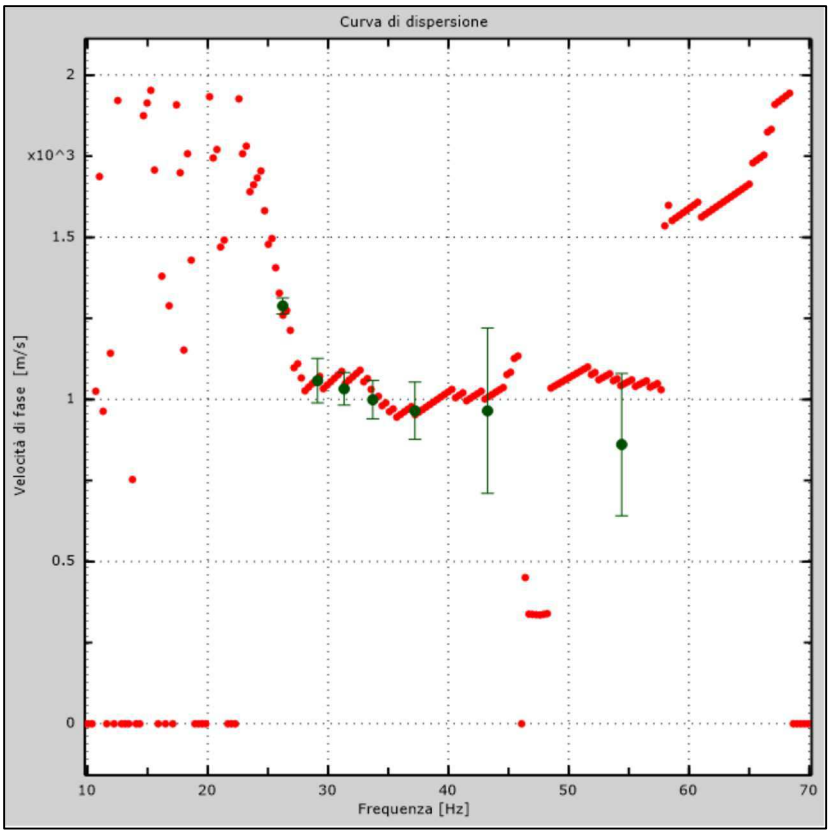


Figura 3: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio) 9
Spaziatura ricevitori [m] 3m
Numero ricevitori 22
Numero modi 1

Strato 1

h [m] 4
z [m] ..... -4
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson 0.20
Vs [m/s] 428
Vp [m/s] 699
Vs min [m/s] 273
Vs max [m/s] 642
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 428

Strato 2

h [m] 1.6
z [m] ..... -5.6
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.30
Vs [m/s] 1064
Vp [m/s] 1991
Vs min [m/s] 478
Vs max [m/s] 1596
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s] 1064

Strato 3
h [m] 4.2
z [m] ..... -9.8
Densità [kg/m^3] 2600
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1282
Vp [m/s] 2741
Vs min [m/s] 478
Vs max [m/s] 1923
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1282

Strato 4
h [m] 4
z [m] ..... -13.8
Densità [kg/m^3] 2600
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1637
Vp [m/s] 3500
Vs min [m/s] 536
Vs max [m/s] 2456
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1637

Strato 5
h [m] 4
z [m] ..... -17.8
Densità [kg/m^3] 2600
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1660
Vp [m/s] 3549
Vs min [m/s] 588
Vs max [m/s] 2490
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1660

Strato 6
h [m] 5
z [m] ..... -22.8
Densità [kg/m^3] 2600
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1650
Vp [m/s] 3528
Vs min [m/s] 716
Vs max [m/s] 2475
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1650

Strato 7
h [m] 5
z [m] ..... -27.8
Densità [kg/m^3] 2600
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1642
Vp [m/s] 3511
Vs min [m/s] 716

Vs max [m/s] 2463
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1642

Strato 8
h [m] 6
z [m] ..... -33.8
Densità [kg/m^3] 2600
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1656
Vp [m/s] 3541
Vs min [m/s] 716
Vs max [m/s] 2484
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1656

Strato 9
h [m] 0
z [m] ..... -oo
Densità [kg/m^3] 2600
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1670
Vp [m/s] 3571
Vs min [m/s] 716
Vs max [m/s] 2505
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1670

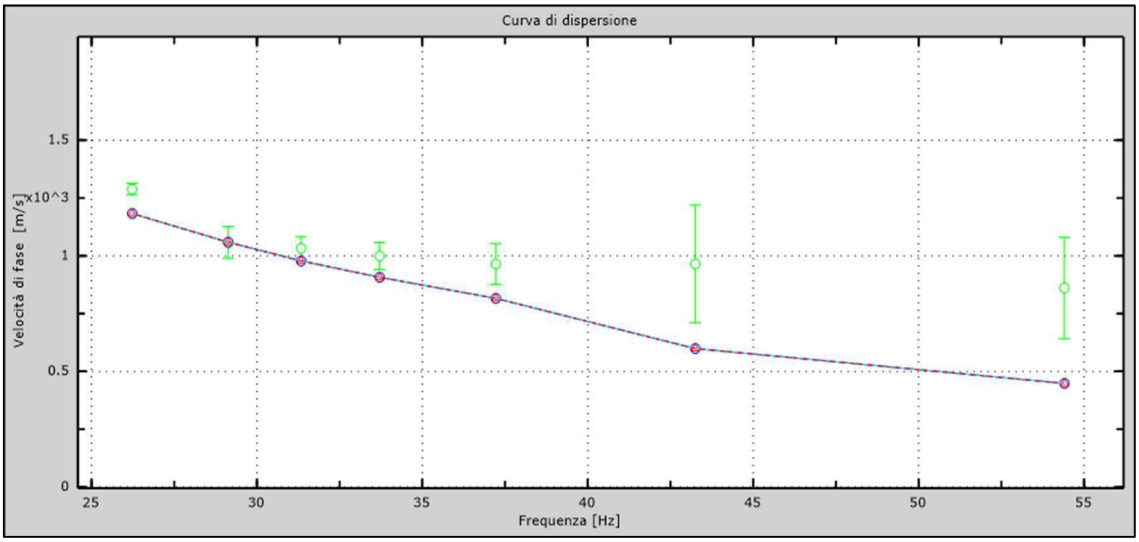


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

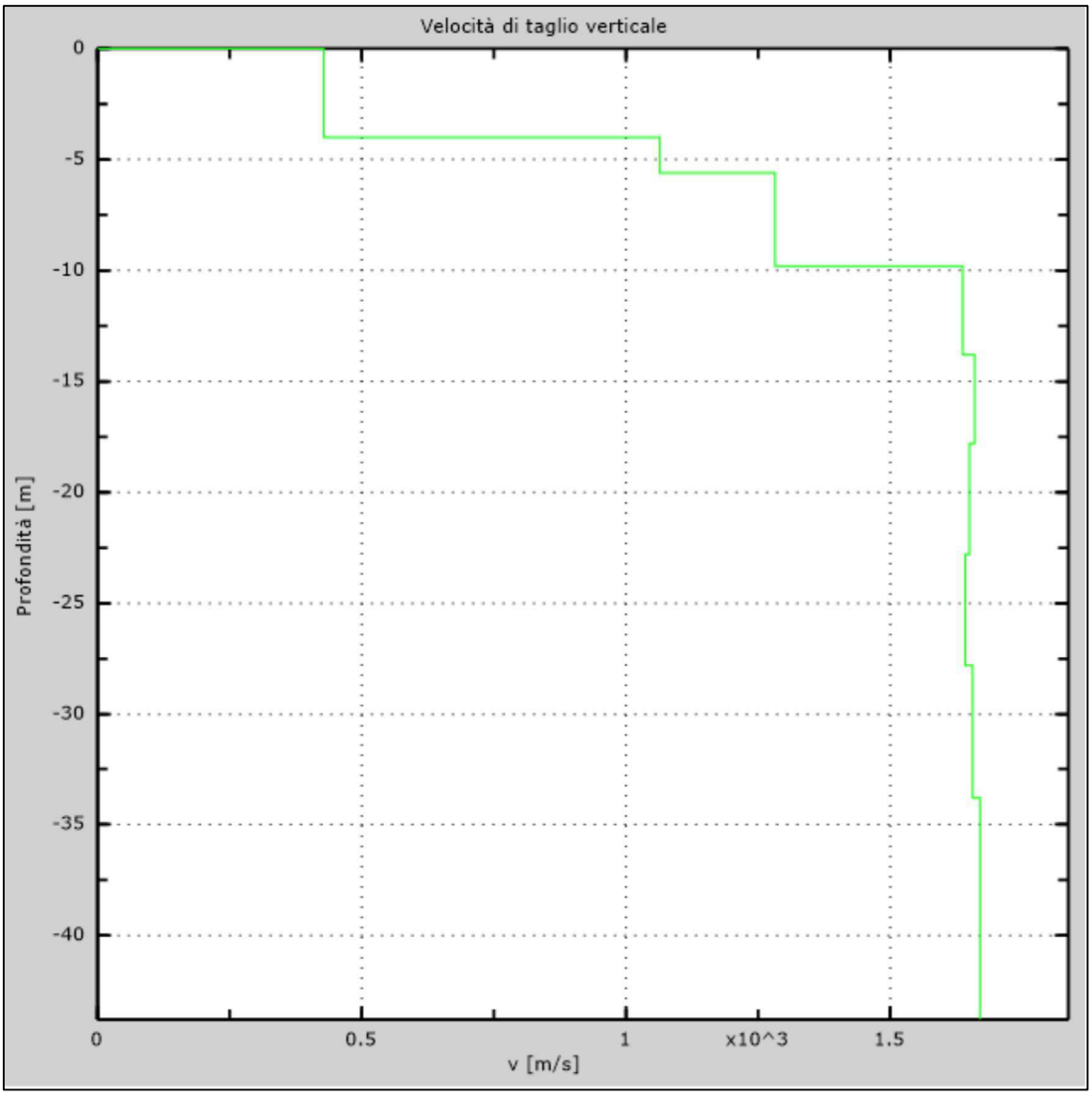


Figura 5: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m] 0

Vs30 (NTC 2008)[m/s] 1137

Vsequivalenti (NTC 2018)[m/s] 428