

MOVIMENTO FRANOSO IN CORSO DI UN TRATTO DI COSTA COSTITUITA DA TERRAPIENO POSTO A SOSTEGNO DELLA STRADA STATALE N° 1 AURELIA NEL TRATTO DENOMINATO VIA GIANCARDI IN COMUNE DI ALASSIO (SV)

Elaborato:

RG01

Committente: Comune di Alassio

Progettisti: Ing. Stefano Puppo; Luca Tarantino, Stefàna Rossi

Settembre 2022

Dott. Geol. Marco Abbo
Via Pascoli 259
18038 Sanremo (IM)

INDICE

PREMESSA **2**

LE PROBLEMATICHE LOCALI 5

MODELLO GEOLOGICO **7**

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE 11
PROVA A RIFRAZIONE 15
PROVA MASW 23
VERIFICHE DI CONGRUITÀ 26
LA SEZIONE GEOLOGICA 27

MODELLO GEOTECNICO **29**

I MATERIALI DELLE OPERE DI DIFESA 29
SEDIMENTI MARINI 29
MATERIALE DI COLMATA 30

Back analysis *30*

STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA 33
LIQUEFACIBILITÀ DEI SUOLI 37
ANALISI DI STABILITA 40

PRESCRIZIONI **44**

CONCLUSIONI **44**

ALLEGATO: PROVA MASW1 ..... **45**

ALLEGATO: PROVA MASW2 ..... **51**

ALLEGATO: BACK ANALYSIS SEZIONE A **57**

ALLEGATO: BACK ANALYSIS SEZIONE B **67**

ALLEGATO: STABILITÀ GLOBALE **76**

SEZIONE C, PROGETTO - CONDIZIONI STATICHE 76
SEZIONE C – PROGETTO, CONDIZIONE DINAMICA 86

ALLEGATO: VERIFICA LIQUEFACIBILITÀ DEI SUOLI **96**

ANDRUS E STOKOE *(1998)* 96
METODO DELL'EUROCODICE 8 (ENV 1998-5) 106

PREMESSA

In riferimento al progetto in oggetto ubicato nella cartografia allegata in Comune di **Alassio,** si presenta a codesto Ufficio la relazione geologica, per conto della Committenza **Comune di Alassio,** in cui si analizzano le caratteristiche del terreno di un'area significativa circostante il sito di progetto, verificando la conformità dell'intervento in oggetto con:

- quanto previsto dalle N.T.C. 2018;
- quanto previsto dagli EC 7/8;
- quanto previsto dall'attuale normativa sismica (EC7/8; O.P.C.M 20.03.2003; O.P.C.M. 3519/2006; NTC.2008-2018); per cui **Alassio** risulta Comune sismico di **zona 2 (PGA 0.25g)**, la sismicità del sito secondo la NTC 2018 verrà calcolata in seguito in quanto "sito dipendente" e quindi variabile da punto a punto;
- quanto previsto dal vigente Piano di Bacino le aree limitrofe sono classificate come zona **Pg3a e Aree speciali tipo B2)**. L'area in oggetto è **esterna** alle fasce esondabili delle acque pubbliche e alla fascia di inedificabilità/rispetto dei 40 m nonché dal vincolo idrogeologico, in quanto collocata nell'ambito del demanio marittimo e non del demanio fluviale (colmata in mare).



Figura 1: suscettività al dissesto Dec. Segr. Gen. N° 42 del 13.04.2022 Tav. 1.



Figura 2: Dividente demaniale (linea rossa a monte), sostanzialmente coincidente con la Via Aurelia (cartografia Regione Liguria)



Figura 3: Andamento della linea di riva nel rilievo costiero del 1944 (linea azzurra). Nel rilievo del 1973 la colmata appare già realizzata sostanzialmente nella sua forma attuale (Cartografia Regione Liguria)

La colmata antropica dunque presenza una discreta età di servizio e un avanzato grado di *aging* e compattazione.

Le opere previste

Il progetto prevede la protezione del piede della colmata mediante costruzione di una scogliera radente in massi disposti su doppia berma, per minimizzare l'azione del moto ondoso.
La parte superiore della scarpata della colmata verrà protetta con telo anti erosivo a favorirne il rinverdimento.

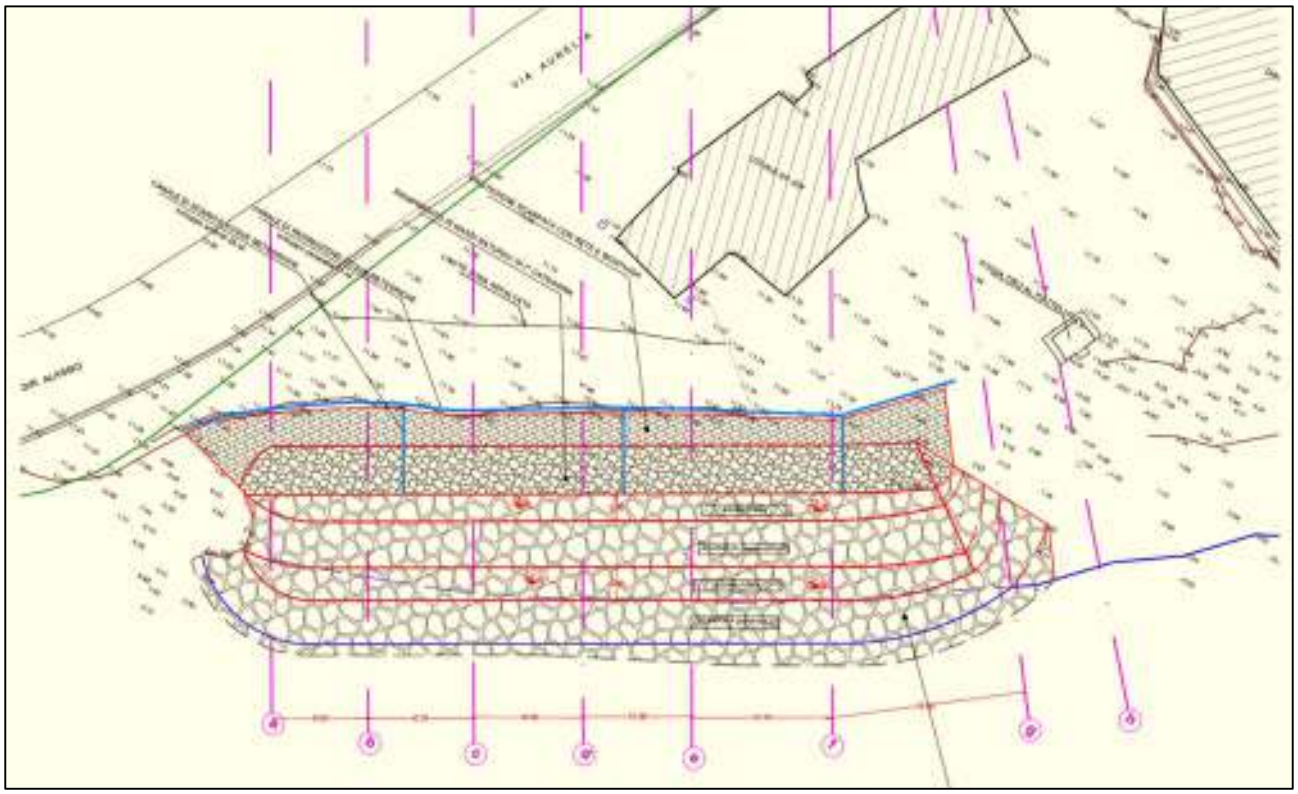
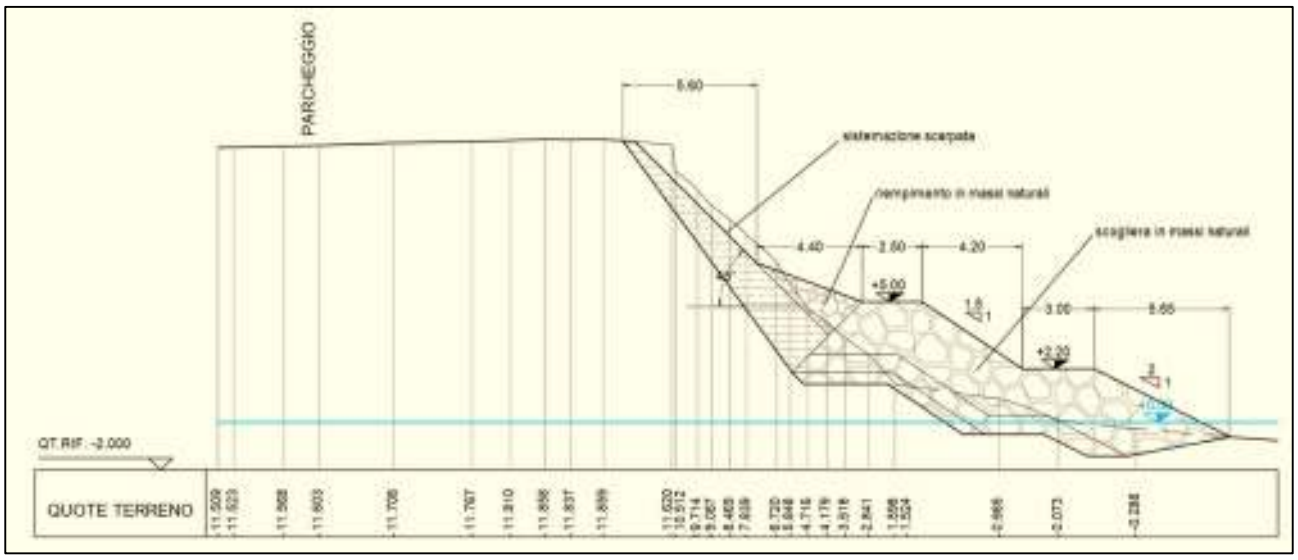


Figura 4: Stralcio planimetrico con ubicazione degli interventi in progetto. Sotto, la sezione significativa dell'opera



Tale opera ricade, 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 d'uso 2**.

Tab. 2.4.1 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. 2.4.1I NTC 2018

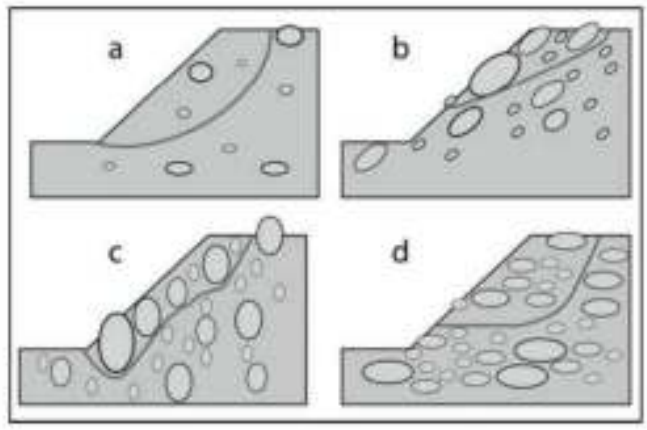
Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente Cu	0.7	**1.0**	1.5	2.0
Note	Presenza occasionale	Normali affollamenti	Affollamenti significativi	Funzioni strategiche

Tab. C2.4.1 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

LE PROBLEMATICHE LOCALI

Il sedime di colmata, in quanto derivante da riporti di smarino, presenta pezzatura assai eterogenea, con presenza diffusa di massi, talora di dimensioni notevoli, immersi in "matrice" più fine. E' evidente come l'elevata presenza percentuale dei massi in affioramento diretto, derivi dall'azione di classazione del mare, che lascia in posto, quali resti residuali, le pezzature di maggior diametro, che appaiono più numerosi di quanto effettivamente siano all'interno del corpo della colmata, formando la "spiaggia" emersa attuale.



(Medley, Sanz 2004)

L'estrema mutevolezza dimensionale rende ragione della buona densità locale e del compiuto grado di assestamento raggiunto dalla colmata nei numerosi anni di servizio, laddove i "vuoti" generati dall'accostamento delle pezzature maggiori, vengono riempiti dalla matrice più fine, riducendo l'indice dei vuoti generale della colmata.

L'insieme dunque ricade nell'ambito delle cosiddette BIM ROCK, ossia ammassi sciolti di materiali eterogenei in cui le pezzature maggiori possono formare una sorta di "ossatura" dell'insieme, garantendo parametri di resistenza – nel complesso – maggiori di quelli descrittivi la sola "matrice" legante.

Il materiale dunque mal si presta ad una compiuta caratterizzazione con sole prove di laboratorio, che interessano volumi evidentemente troppo piccoli per essere rappresentativi del volume significativo interessato dalle geometrie dell'opera.



Figura 5: Accumulo basale di massi e pezzature più grossolane.

Se da un lato l'azione di "pulizia" basale esercitata dal mare seleziona le pezzature maggiori, dall'altro lato impedisce l'accumulo basale – con conseguente mancata riduzione degli angoli di scarpa.

Quindi l'erosione continua della scarpata, favorita dall'azione dell'aerosol marino, dalle elevate velocità di scorrimento delle acque di ruscellamento, dai cicli di continuo inumidimento ed essiccazione, comporta il continuo "ringiovamimento" della scarpata, che si erode continuamente in modo arealmente diffuso, ma solo per la sua porzione corticale – con attecchimento rado e precario della vegetazione spontanea.

Di fatto si assiste ad una dinamica evolutiva di tipo calanchivo, ove la scarpata arretra parallelamente a sé stessa, dunque mantenendo elevate pendenze, solo grazie alla infaticabile azione di pulizia esercita al piede della colmata dal mare.

Se dunque l'azione del mare è il fattore evolutivo morfogenetico dominante, l'intervento mediante protezione del piede appare risolutivo al fine di arrestare il progressivo arretramento della colmata.

La porzione superiore della colmata, sottratta all'azione erosiva marina, deve essere protetta al solo fine di consentire il radicamento diffuso e stabile di vegetazione, con funzione di stabilizzazione corticale, evitando al contempo, il versamento casuale e incontrollato di acque di ruscellamento, derivanti dagli scoli della superficie di colmata. Non si manifestano infatti sul terreno le tipiche fessurazioni beanti a segnalazione di forme di rottura fragile interne al rilevato, che dunque ha raggiunto una sua configurazione di equilibrio, restando morfologicamente attivo solo nella sua scarpata frontale, che è sottoposta a fenomeni di continua erosione, non di franosità, ossia di destabilizzazione per rotture fragili.

MODELLO GEOLOGICO

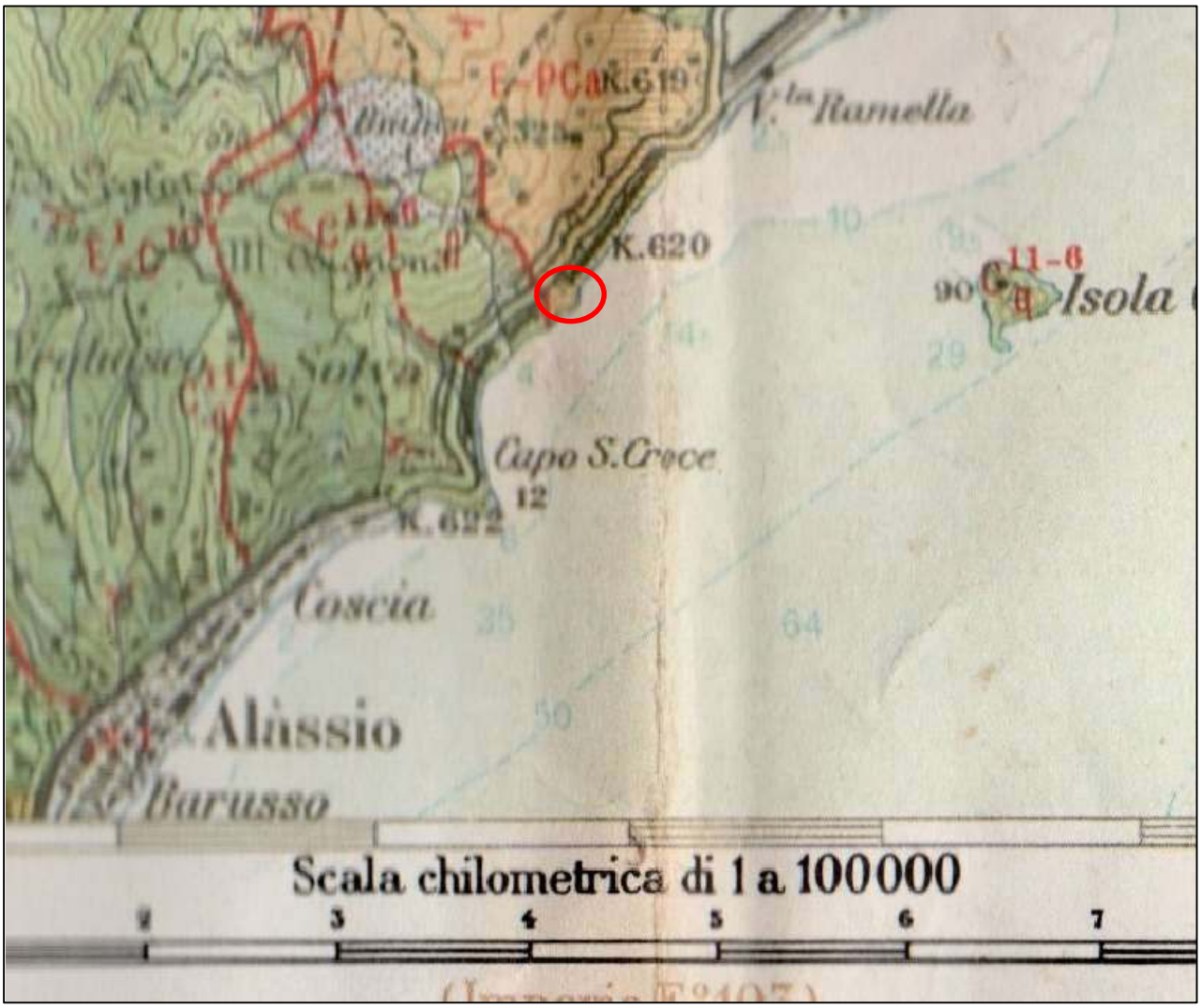
Attraverso il rilievo geologico di superficie, la ricerca bibliografica e cartografica, nonché l'esecuzione di specifiche prove e numerose prove in sito, viene definito il modello geologico locale.

GEOLOGIA E STRATIGRAFIA

L'area in studio appartiene alla serie di Albenga, secondo la vecchia nomenclatura della Carta Geologica d'Italia, in fase di revisione, che identifica come affioranti i termini della serie EPCa, costituite prevalentemente da Arenarie grossolane quarzose e feldspatiche, alternate con siltiti, direttamente affioranti sia a monte dell'Aurelia sia ai margini della colmata sulla costa "naturale".



Figura 6: Affioramenti naturali dei calcari locali



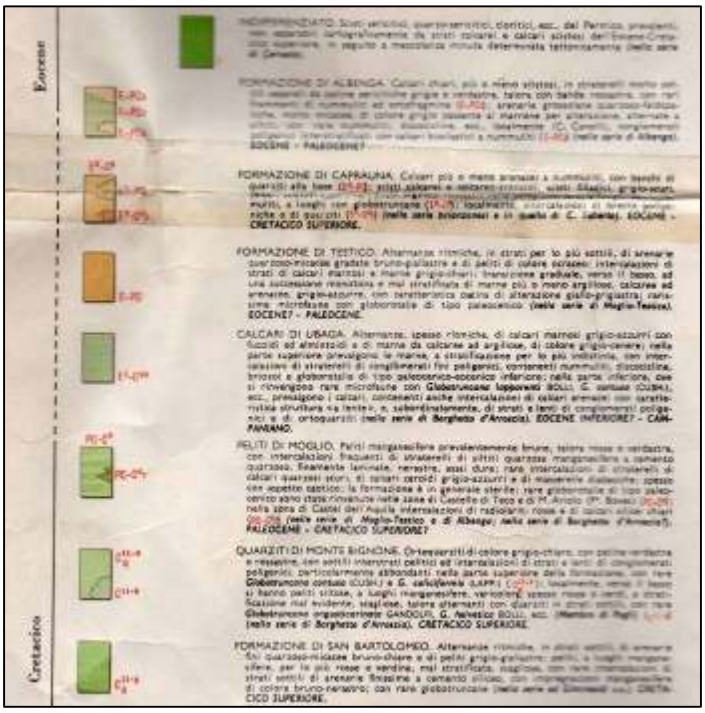


Figura 7: Stralcio carta geologica d'Italia

IDROGEOLOGIA

La zona è caratterizzata da una sostanziale impermeabilità del substrato roccioso: esso può infatti presentare al più una bassa permeabilità secondaria per circolazione di acqua lungo le fratture dell'ammasso, con carattere però molto discontinuo e variabile arealmente, con valore crescente in funzione del grado di fratturazione, fagliazione ed alterazione dell'ammasso roccioso, oltre che al grado di microcarsismo che si sviluppa negli orizzonti maggiormente calcarei del Flysch. La falda è coincidente con il livello del medio mare. Fenomeni di risalita capillare, associati a variazioni del livello marino possono comportare risalite anche pari a 2-3 m. Tuttavia sebbene il livello equipotenziale sia appunto pari allo zero topografico, si deve tener conto della perdita di carico generata dal lavoro effettuato per la filtrazione attraverso la colmata ed i sedimenti marini, che comportano un abbassamento del livello.

GEOMORFOLOGIA

L'area di progetto si trova nella parte basale del versante. Nella determinazione della valutazione dell'azione sismica tale versante ricade nella Categoria Topografica T2, pendii con inclinazione media maggiore di 15°.

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 $i > 30°$

Ne deriva un coefficiente di amplificazione topografica S_t di **1.0**, stante la posizione basale dell'area rispetto alla cresta del pendio.

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

INDAGINI GEOGNOSTICHE E RILIEVI SVOLTI

Nell'area, in data 29/09/2022 n° 4 prove penetrometriche con penetrometro dinamico leggero da 30 kg per caratterizzare gli orizzonti superficiali dei due stendimenti sismici a rifrazione, ribattuti come profili MASW, al fine dell'estensione areale delle informazioni.

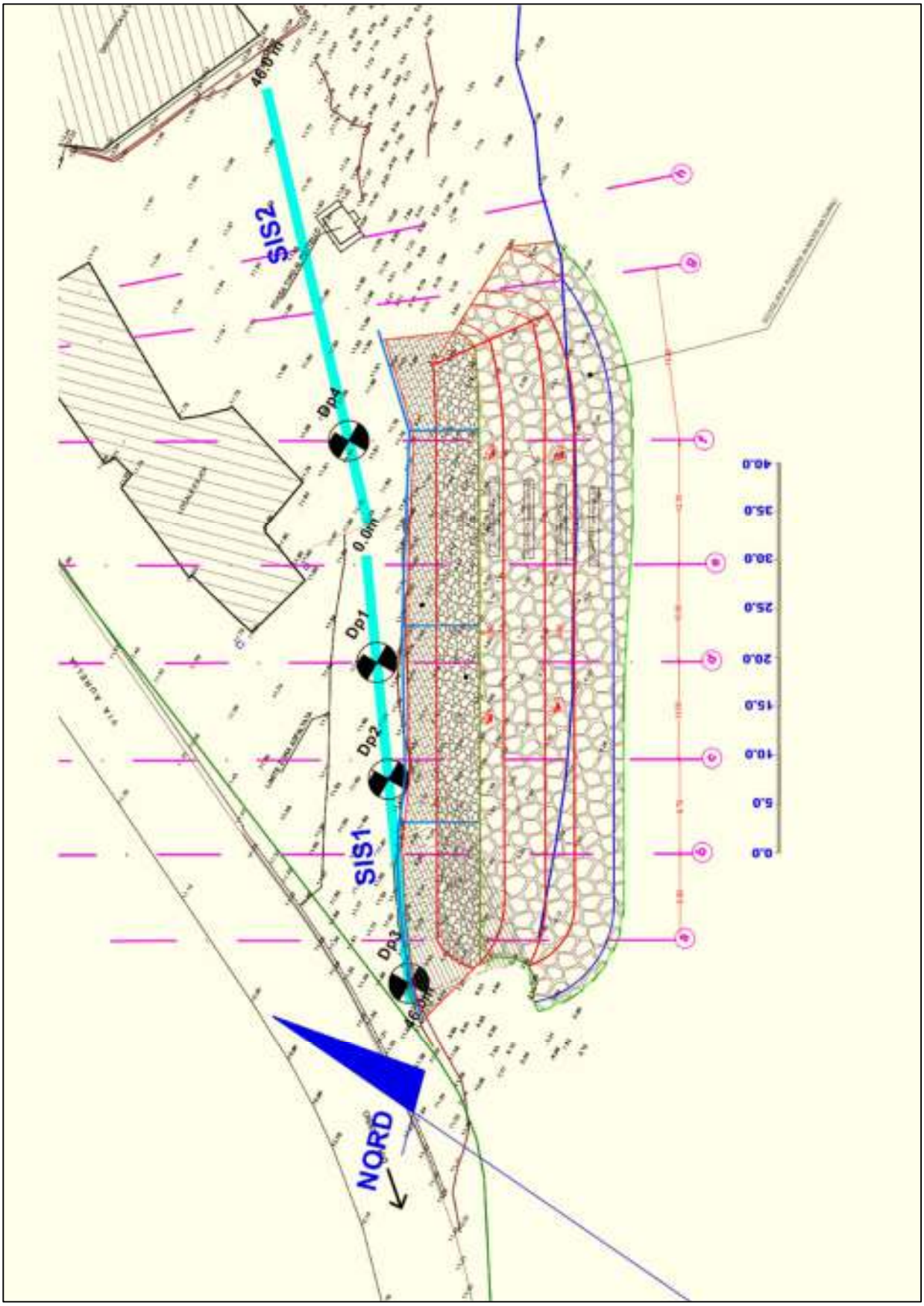


Figura 8: Ubicazione indagini svolte in sito

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Le prove confermano la natura estremamente eterogenea del materiale di colmata, con rifiuti alla penetrazione a diverse profondità, in rapporto alla presenza di clasti o trovanti di dimensioni tali da arrestare la prova.
Le prove non evidenziano la presenza di acqua a fondo foro.
In presenza di rifiuti superficiali sono state eseguiti almeno tre tentativi spostando leggermente la verticale di prova.
La prova Dp3 al secondo tentativo di esecuzione, si approfondisce sino a -3.6 m
Le prove Dp2 e Dp3 si arrestano dopo 20 cm di penetrazione, nonostante gli spostamenti locali effettuati.
La prova Dp4 si arresta a circa -2.0 dal piano campagna.

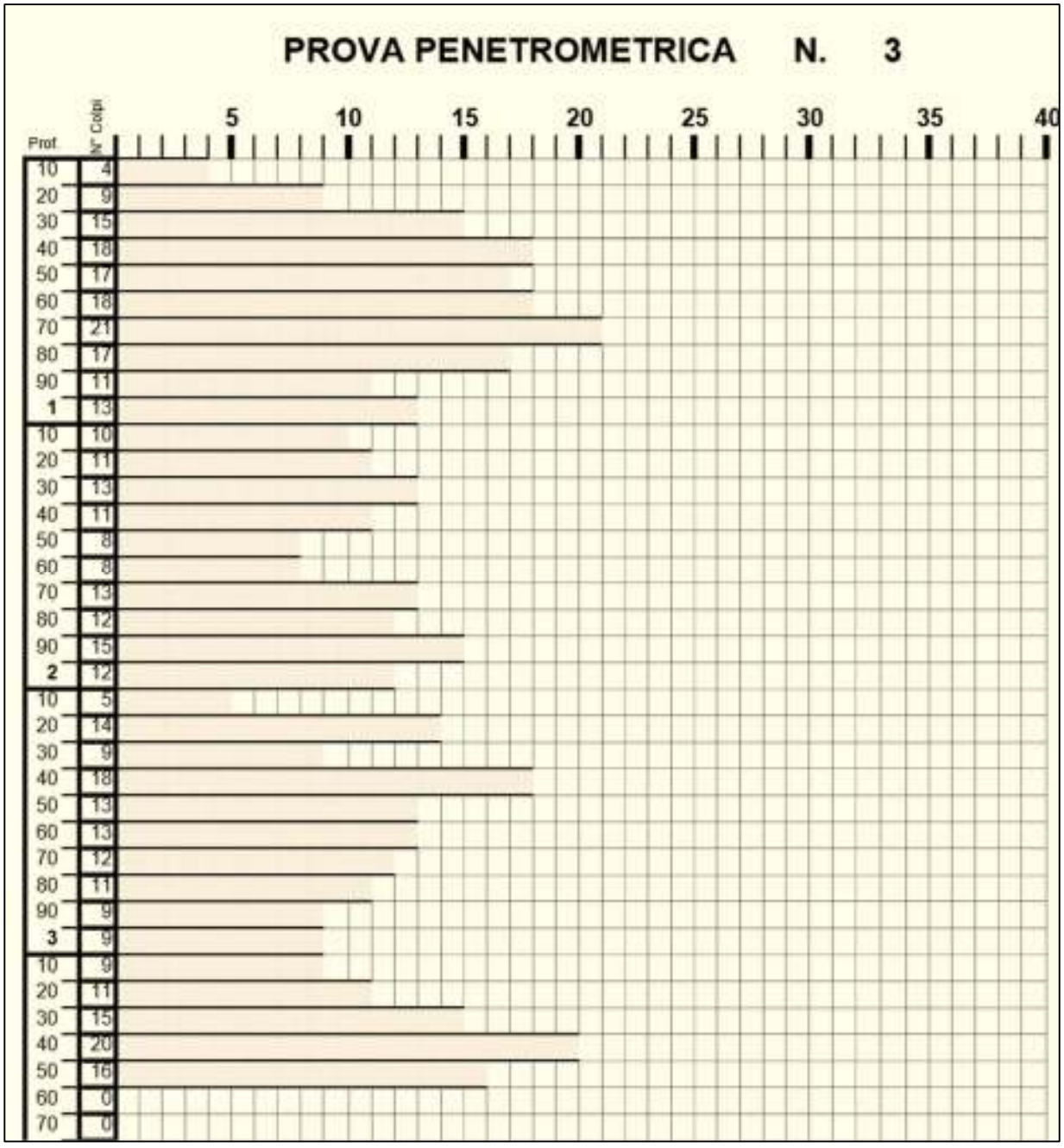


Figura 9: Prova penetrometrica Dp3

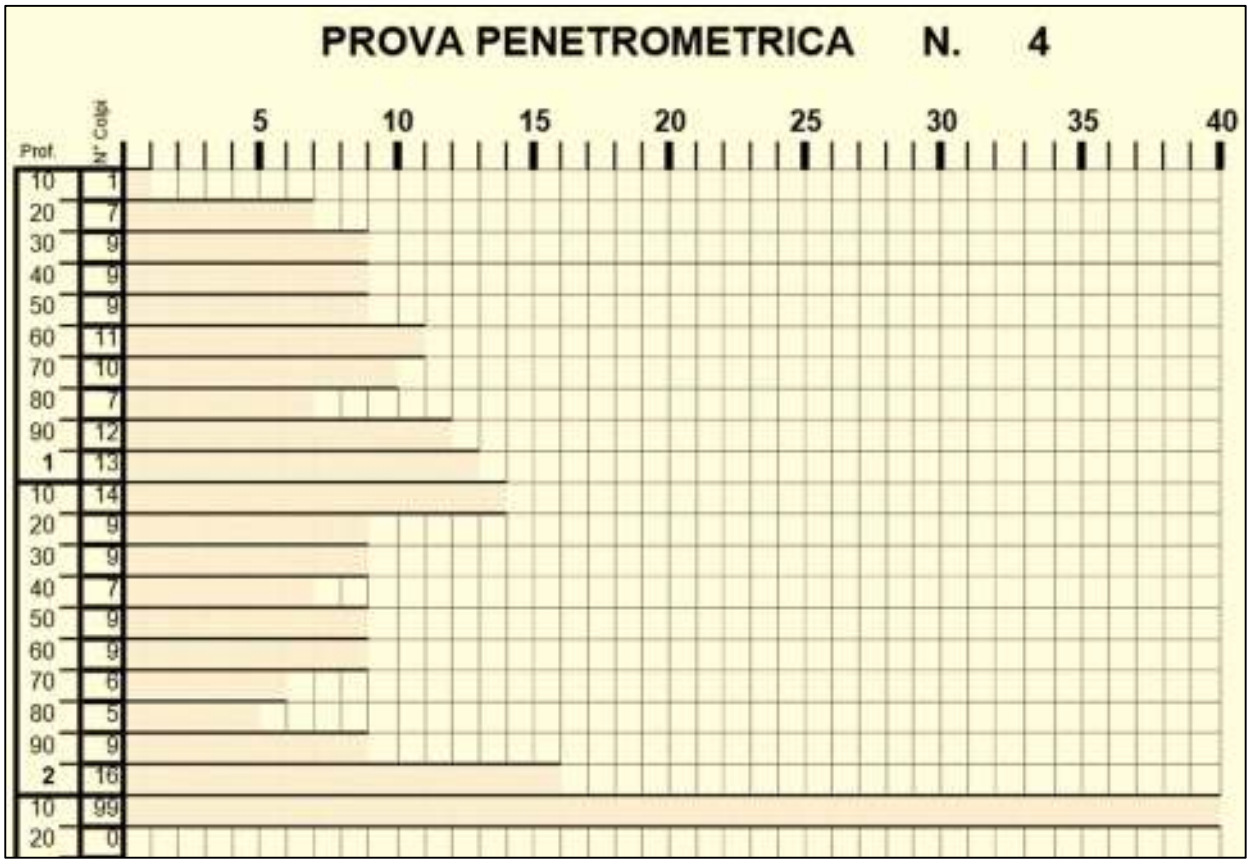


Figura 10: Prova Dp4

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

Distribuzione di probabilità per i terreni superficiali sino a -1.0-1.5 m di profondità

Coltri superficiali

Tipo di elaborazione	Distribuzione standard
Valore considerato	5° percentile media
N° misure	52
Valore caratteristico	**10.09**
Minimo	1
Massimo	21
Valore medio	11
Varianza	15.88
Dev. St.	3.99
Dev. St. Med.	0.52
C.O.V.	0.36

Per i terreni di riporto e le coltri sino a circa 3 m di profondità si ottiene un valore caratteristico di N10 pari a 10 colpi, corrispondente a circa **8 colpi di Nspt standard.**

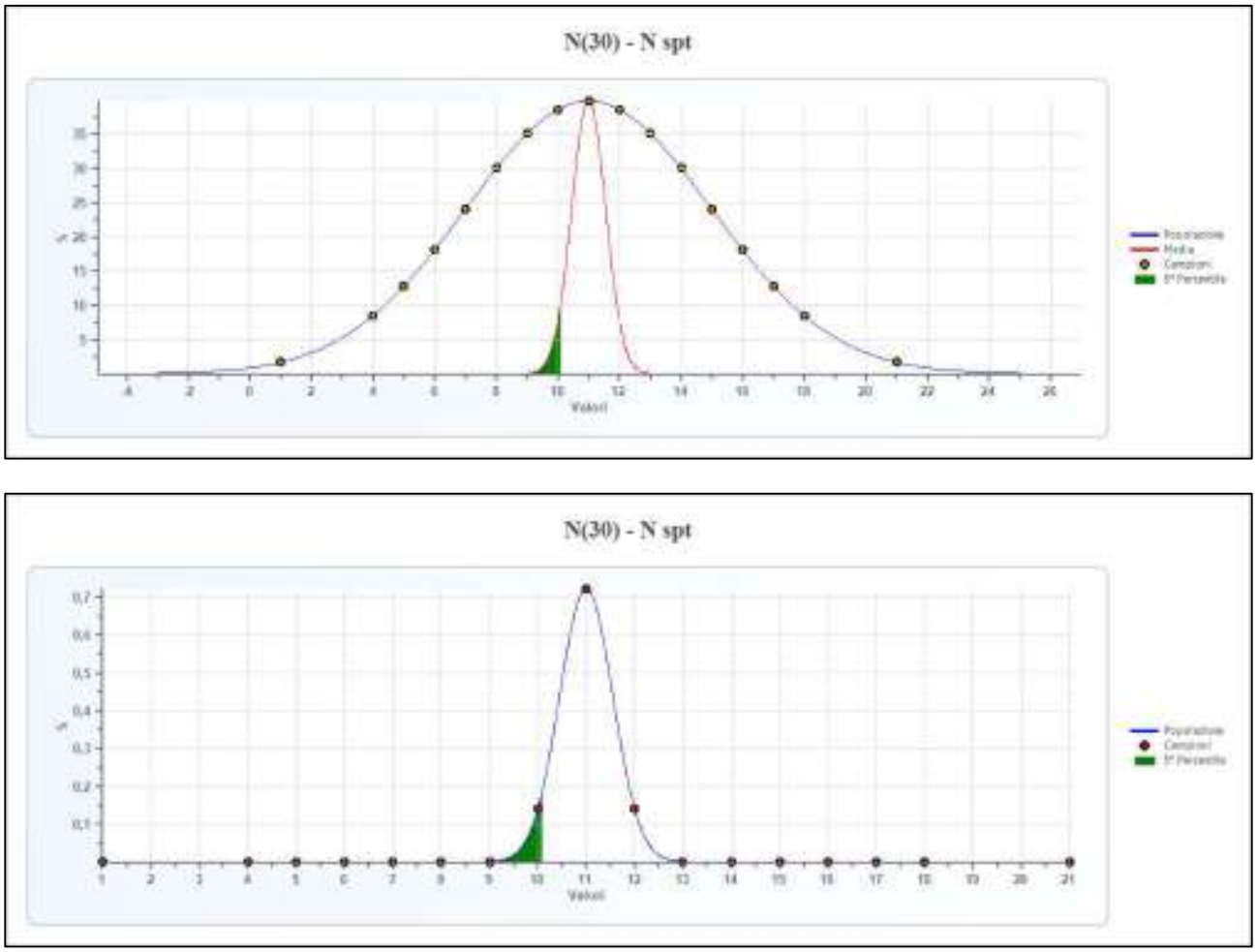
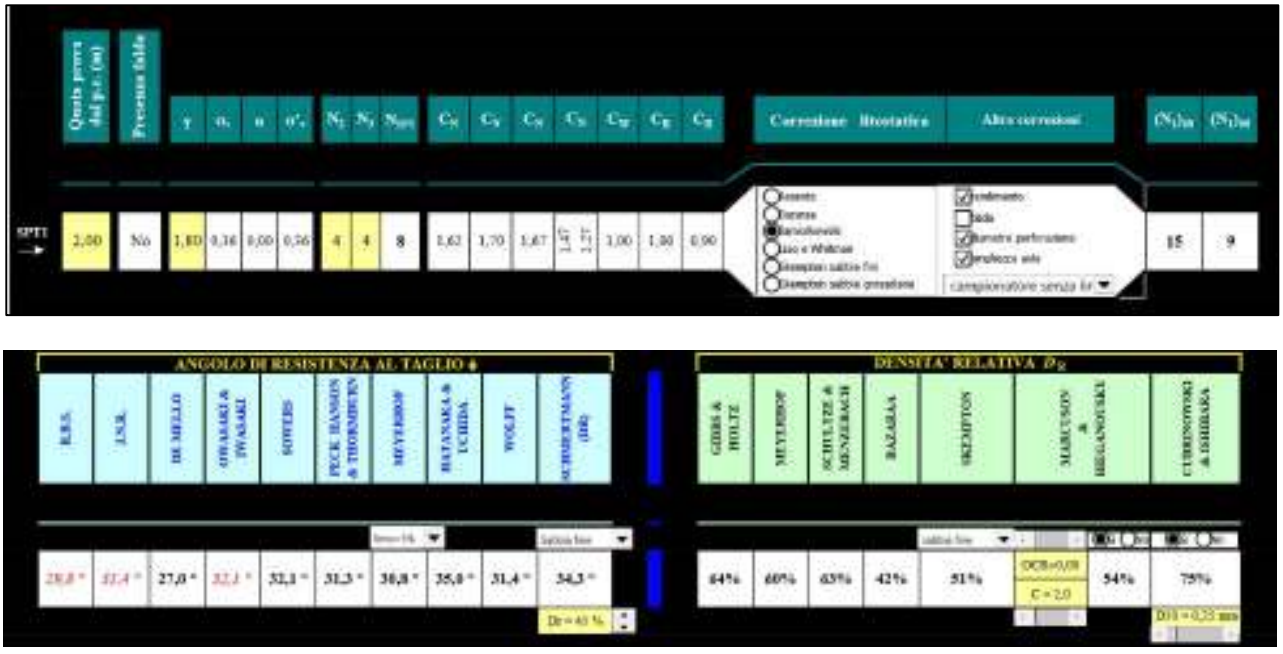


Figura 11: Curve standardizzate, sopra. Sotto. Distribuzione di probabilità



I valori di Nspt sono quindi indicativi delle caratteristiche della matrice più fine costituente la BIM ROCK equiparabile al corpo di colmata.



Figura 12: Prova DP3. Sotto Prova DP4





Figura 13: Prova Dp1 e Dp2, caratterizzate da arresto superficiale ripetuto

PROVA A RIFRAZIONE

In corrispondenza delle prove penetrometriche sono state eseguite le due stese sismiche, verso il bordo meridionale della colmata.
La geometria dello stendimento è la seguente:

nome	Lunghezza (m)	Interasse geofoni (m)	N° geofoni	Offset sparo
SIS1	46	2.0	22	2.0
SIS2	46	2.0	22	2.0

Per le stese sono state fatte delle energizzazioni di andata, 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.

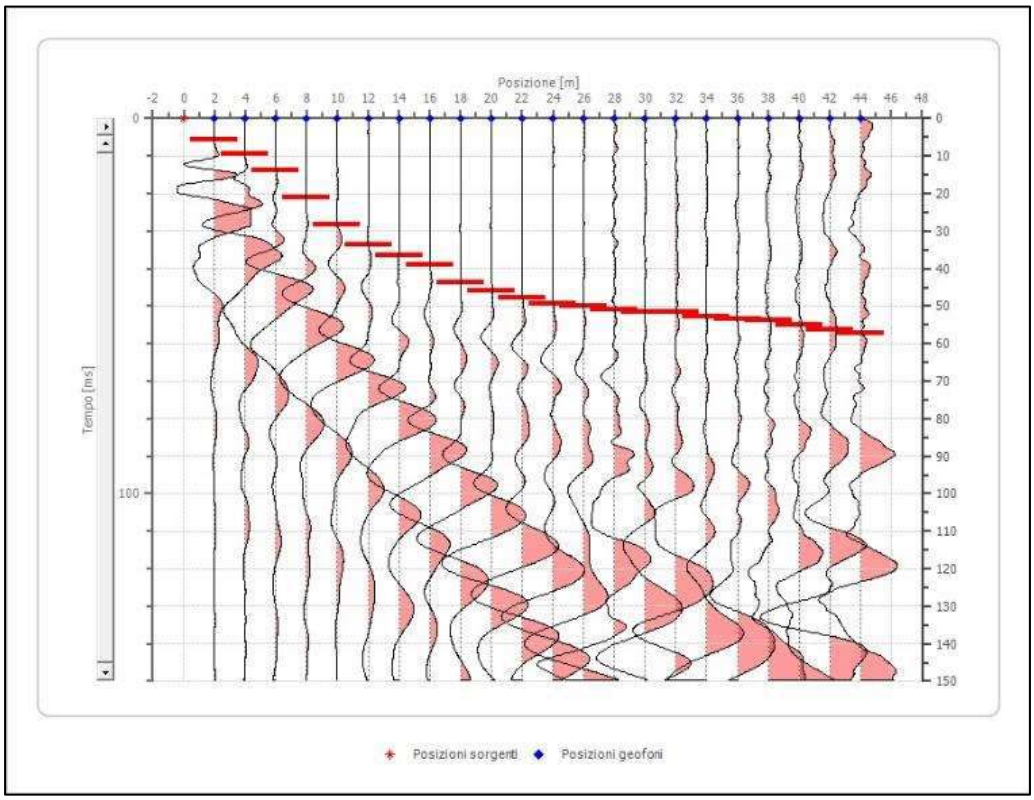


Figura 14:Scoppio di andata SIS1

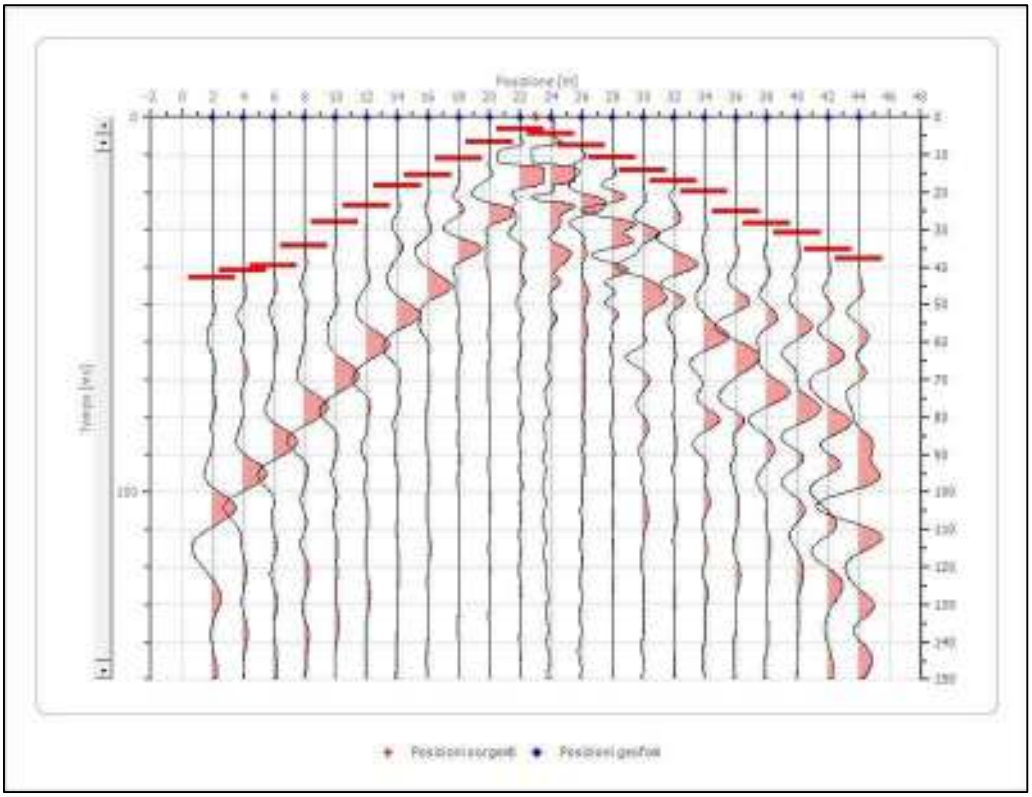


Figura 15: Scoppio centrale SIS1

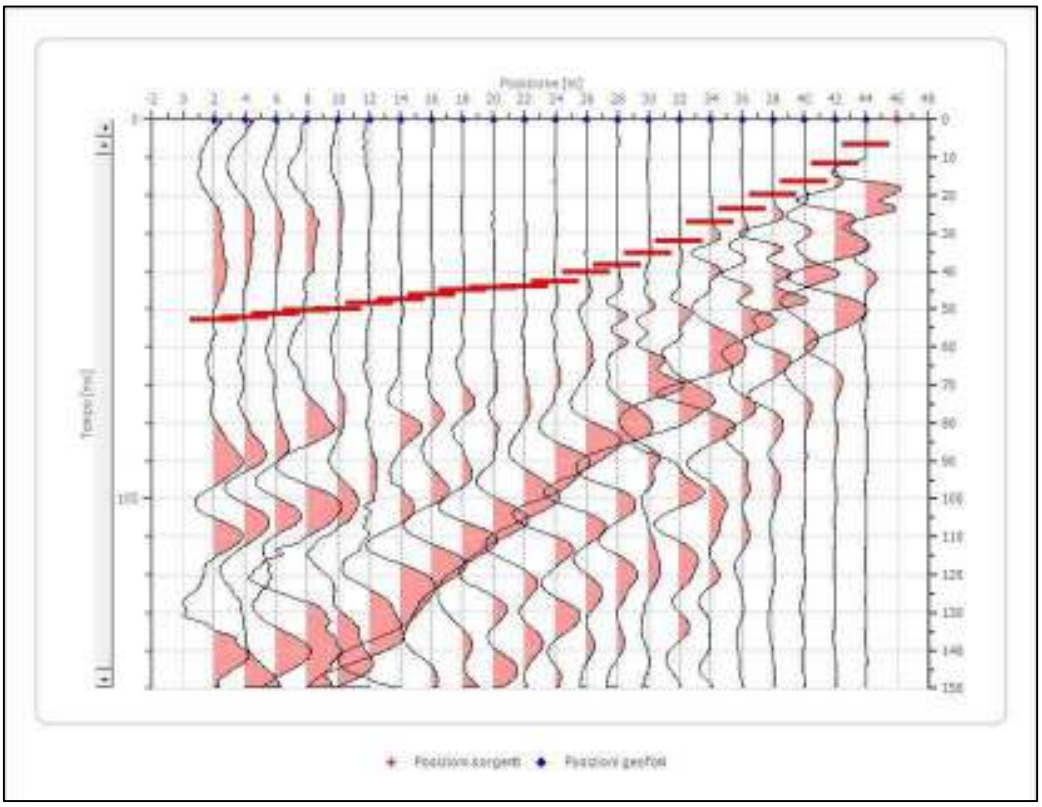


Figura 16: Scoppio di ritorno SIS1

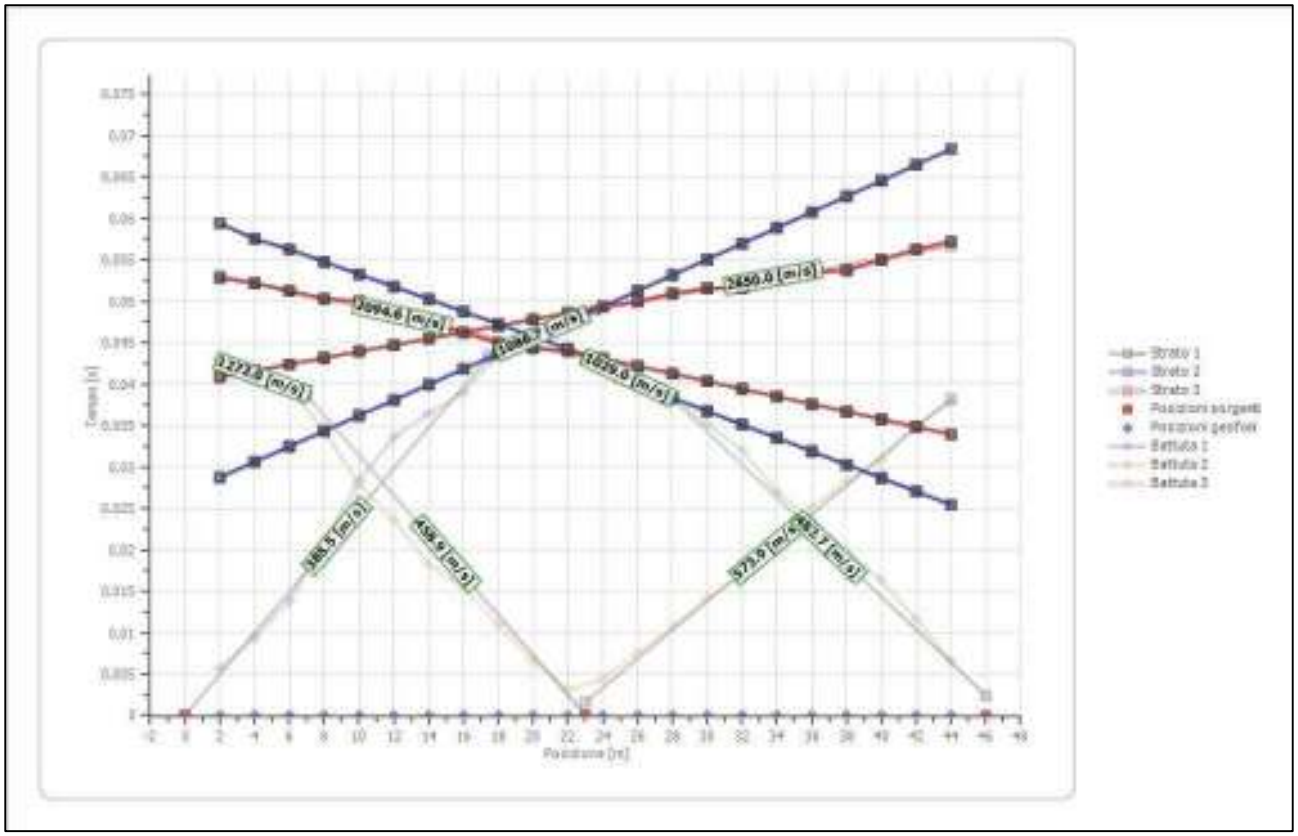


Figura 17: Dromocrone interpretate SIS1

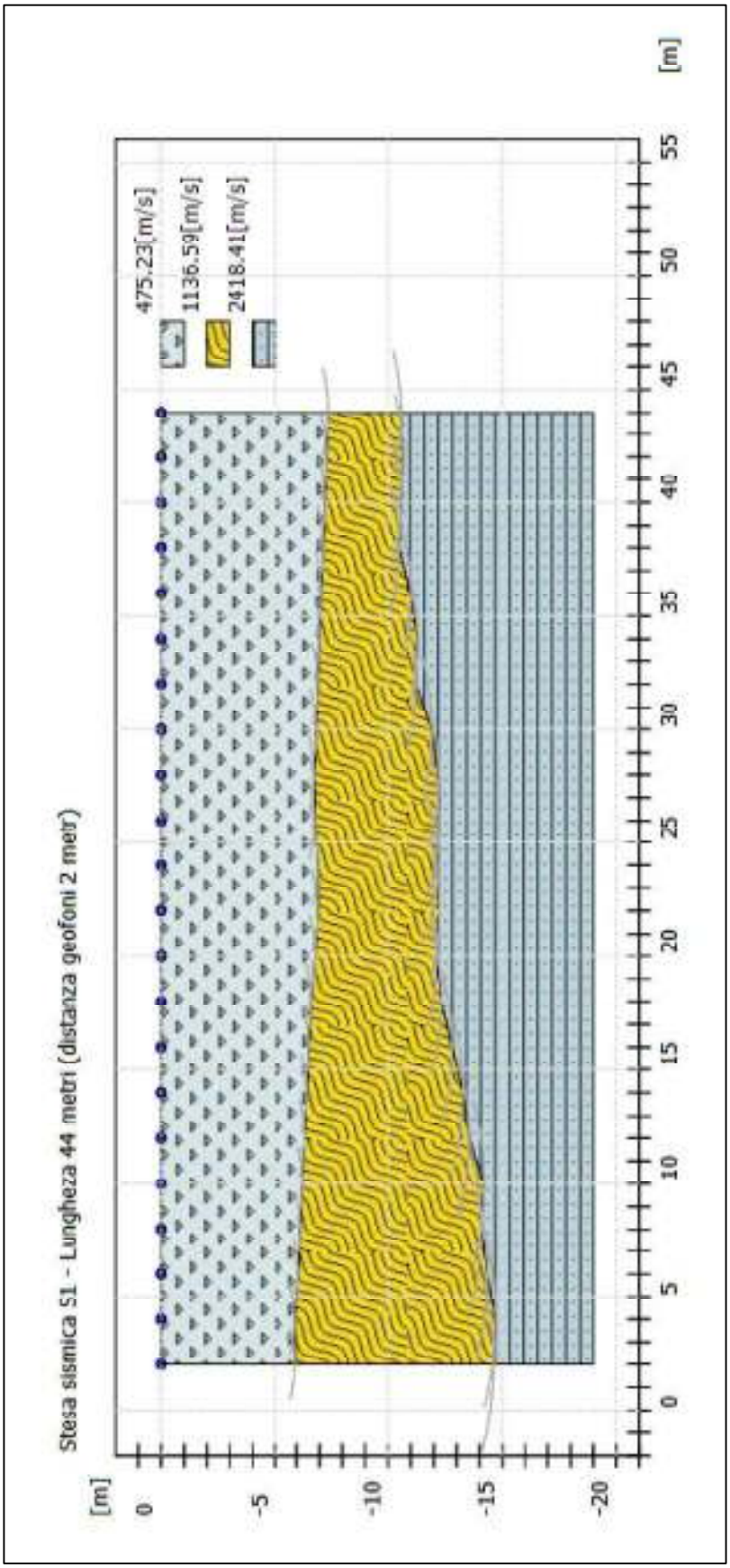


Figura 18: Sezione sismica e velocità Vp SIS1

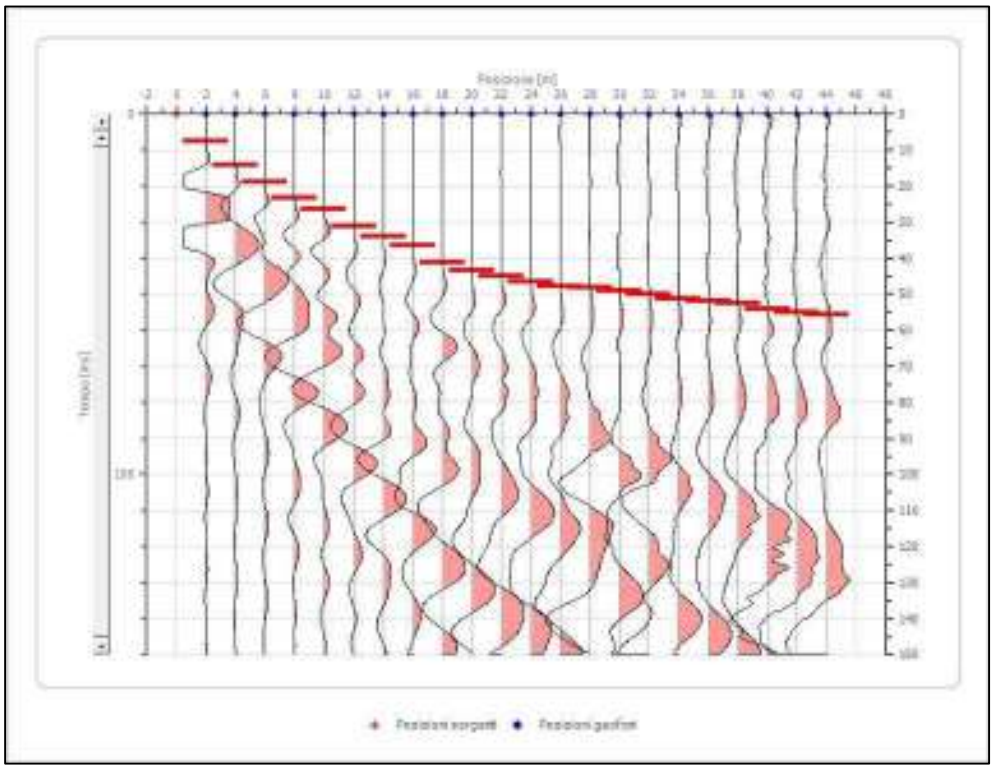


Figura 19:Scoppio di andata SIS2

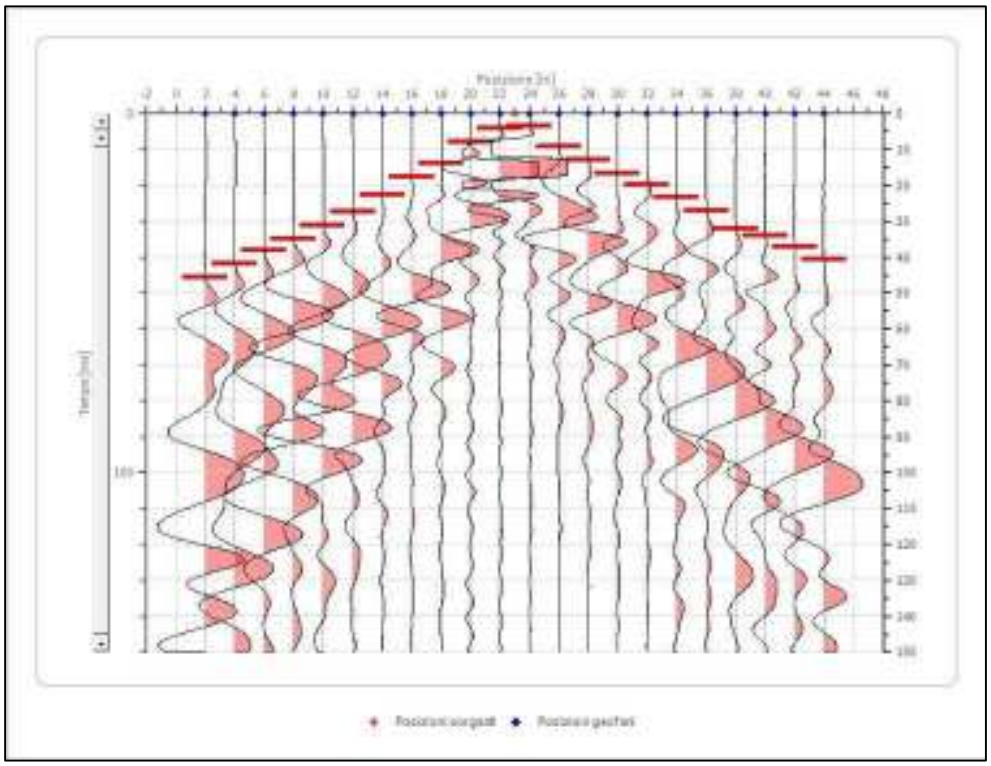


Figura 20: Scoppio centrale SIS2

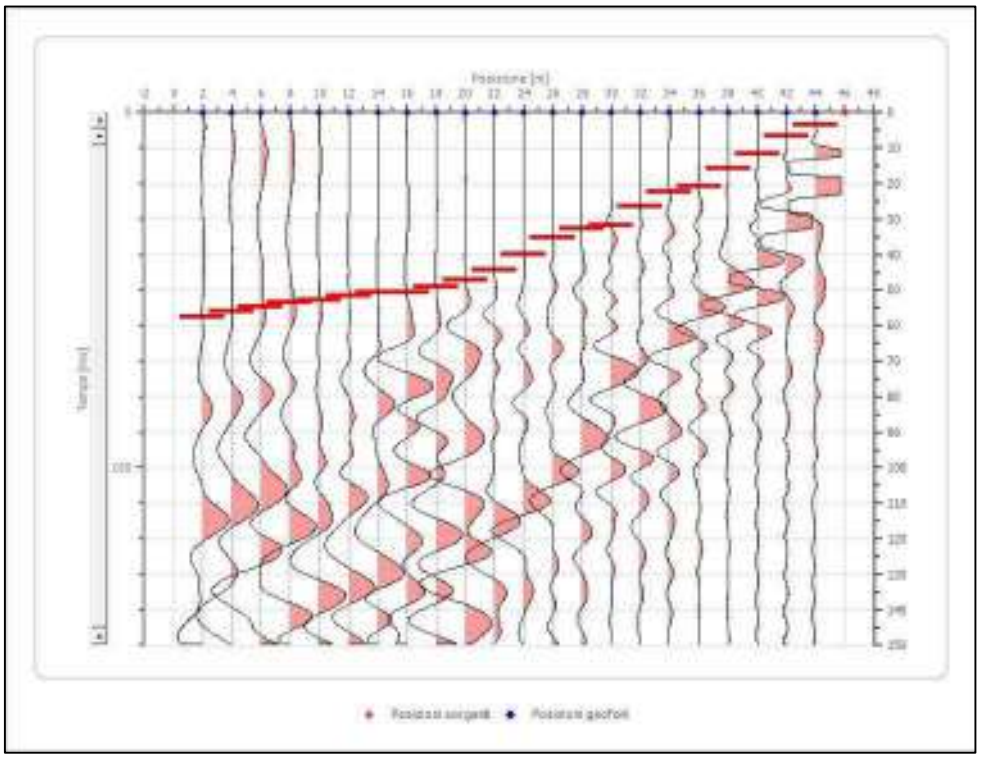


Figura 21: scoppio di ritorno SIS2

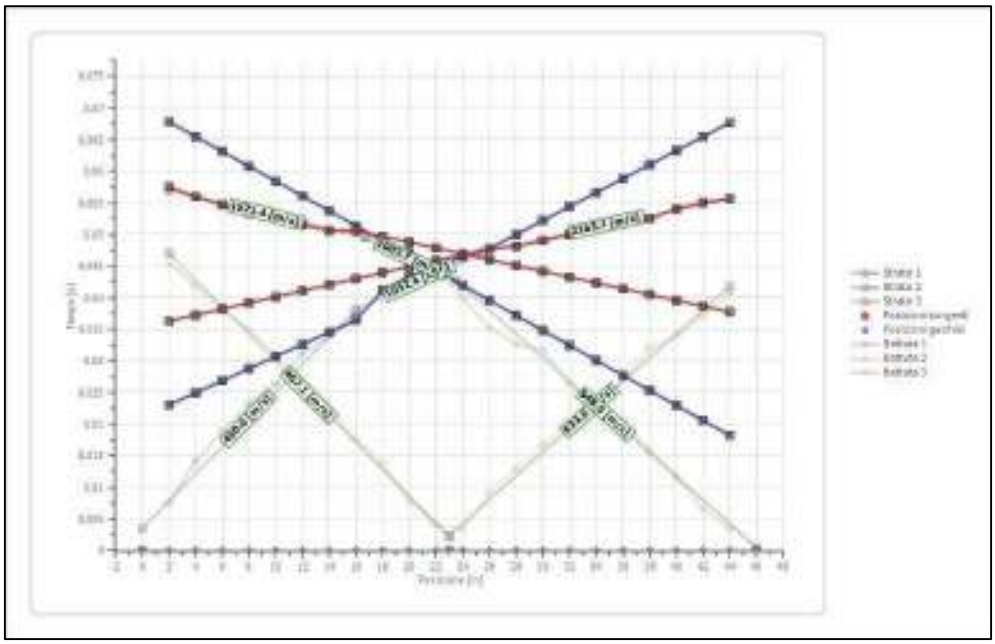


Figura 22: Dromocrone interpretate SIS2

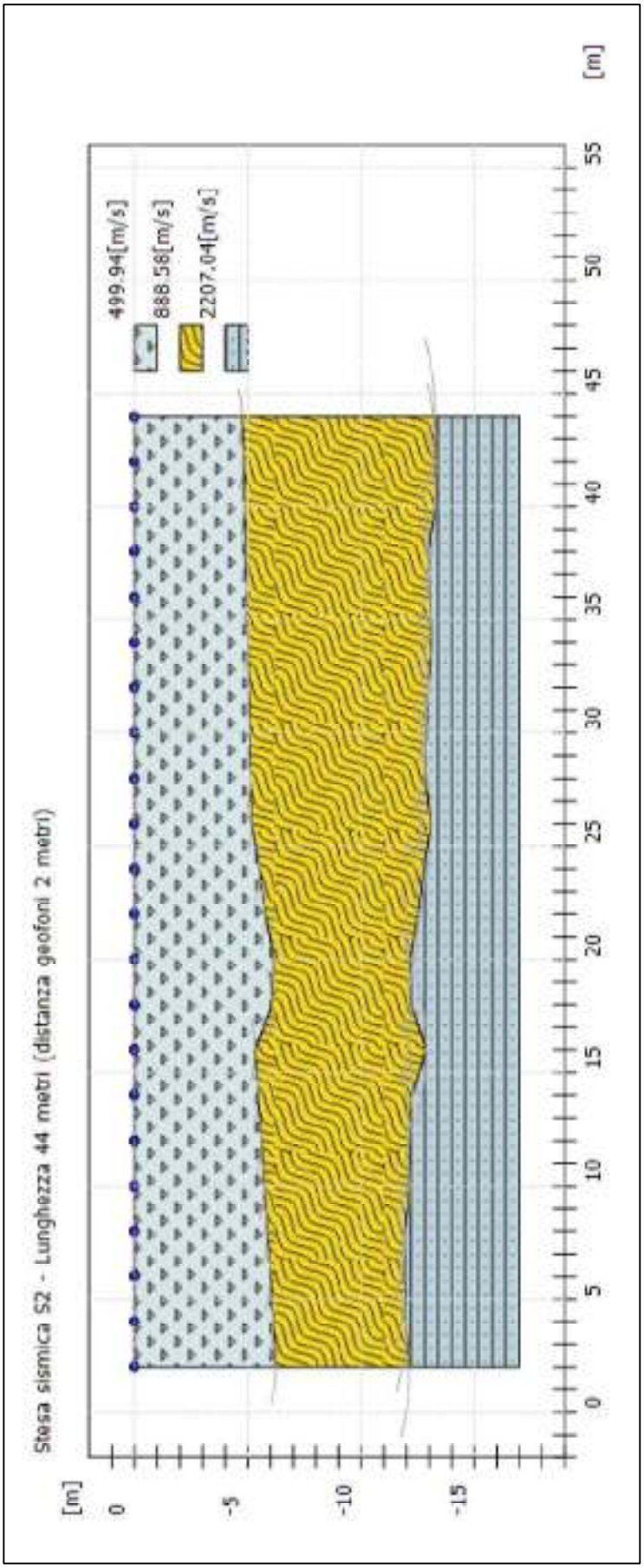


Figura 23: Sezione sismica e velocità Vp Masw2



Figura 24: Sopra – Prova sismica SIS1. Sotto: Prova sismica SIS2



PROVA MASW

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.

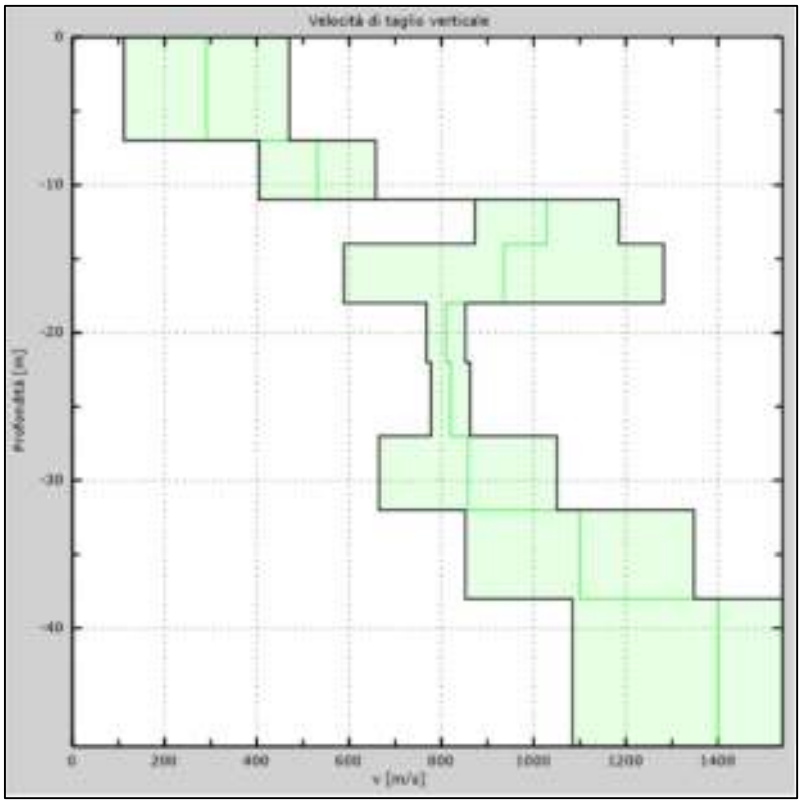
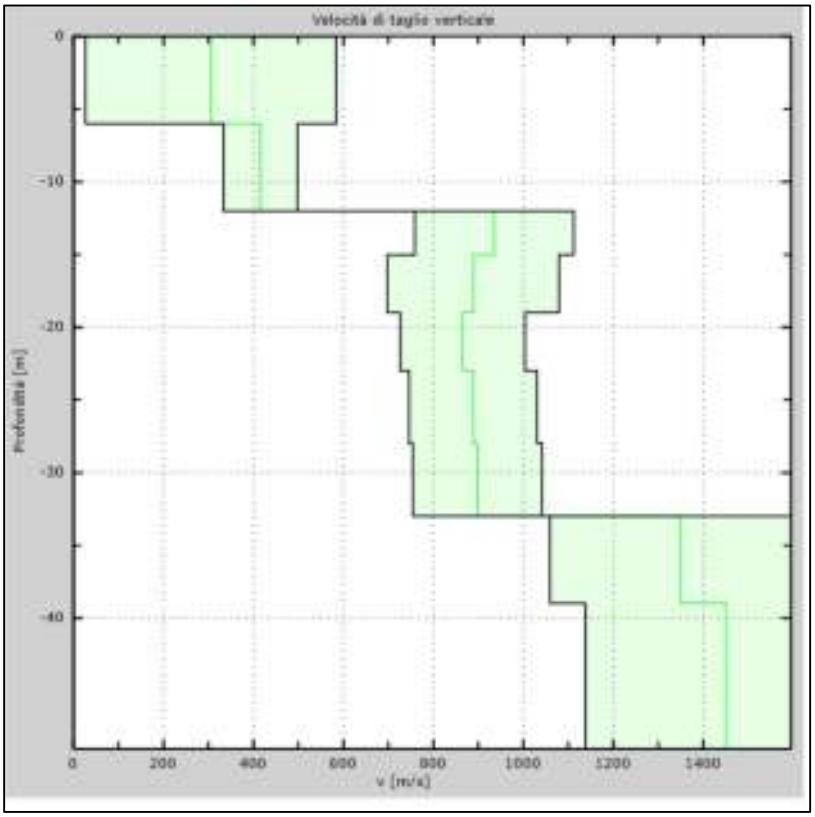


Figura 25 : profilo Vs numerico MASW1 – Sotto profilo numerico MASW2



Come si può notare il valore di **Vs30 (NTC 2008)** varia fra 563-553 m/sec, mentre il valore delle **Vsequivalenti (NTC 2018)** varia fra **348-352 m/s**, tenuto conto della taratura eseguita con le prove penetrometriche.
I dati possono essere utilmente elaborati per ricavare le grandezze sotto descritte.

PROVA MASW1

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
475	290,88	7	7	0,024064906	m/sec	
1136,01	531,32	4	11	0,00752842		
2200,01	1028,96	3	14	0,002915565		
1999,99	935,41	4	18	0,0042762		
1731,85	810	4	22	0,004938272		
1753,23	820	5	27	0,006097561		
1834,12	857,83	3	30	0,003497196		
				0,05331812	563	348

Acquisizioni con MASW1							
note	coltri detritiche	dati	substrato molto alterato	dati	substrato alterato	dati	unità di misura
velocità onda longitudinale	Vp =	475	Vp =	1136	Vp =	2000	m/s
velocità onda trasversale	Vs =	291	Vs =	531	Vs =	935	m/s
densità	g =	2	g =	2	g =	3	t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	10	g =	10	g =	10	m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	3726	Edin =	18786	Edin =	60652	kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0,20	ν =	0,36	ν =	0,36	
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gmax =	1552	Gmax =	6906	Gmax =	22298	kg/cmq

PROVA MASW2

Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Spessore (m)	Profondità (m)	h/V	Vs30	Vs equivalenti (m/sec)
498,99	305	6	6	0,019672131	m/sec	
889	415,79	6	12	0,014430361		
1999,99	935,41	3	15	0,00320715		
1899,99	888,64	4	19	0,00450126		
1850	865,26	4	23	0,004622888		
1920	898	5	28	0,005567929		
1920	898	2	30	0,002227171		
				0,054228891	553	352

Acquisizioni con MASW2							
	coltri detritiche		substrato molto alterato		substrato alterato		unità di
note		dati		dati		dati	misura
velocità onda longitudinale	Vp =	499	Vp =	889	Vp =	1900	m/s
velocità onda trasversale	Vs =	305	Vs =	416	Vs =	889	m/s
densità	g =	2	g =	2	g =	3	t/mc
accelleraz. gravitaz.	g =	10	g =	10	g =	10	m/sq
Modulo elastico dinamico	Edin =	4103	Edin =	11504	Edin =	54738	kg/cmq
Coeff. di Poisson	ν =	0,20	ν =	0,36	ν =	0,36	
Mod. deform. al taglio, mezzo elastico	Gmax =	1707	Gmax =	4230	Gmax =	20124	kg/cmq

VERIFICHE DI CONGRUITÀ

I risultati delle prove sismiche sono ben compatibili con la presenza del substrato in posizione subaffiorante presso la linea di riva.

Le prove sismiche inoltre rilevano un graduale approfondimento del substrato roccioso verso Levante, generato "apparentemente" dalla maggior estensione verso mare (e dunque "batimetrie" originarie maggiori) della colmate.

L'orizzonte sismico intermedio, a circa 6 m di profondità, non indica un differente livello litologico all'interno della colmata, ma è un rifrattore definito e continuo che verosimilmente deve essere riferito a un primitivo livello di spianamento della colmata, ovvero ad un livello di inizio di segregazione meccanica durante il versamento (maggiore accumulo basale di materiale grossolano), inizio degli effetti di parziale saturazione per risalita capillare ecc…

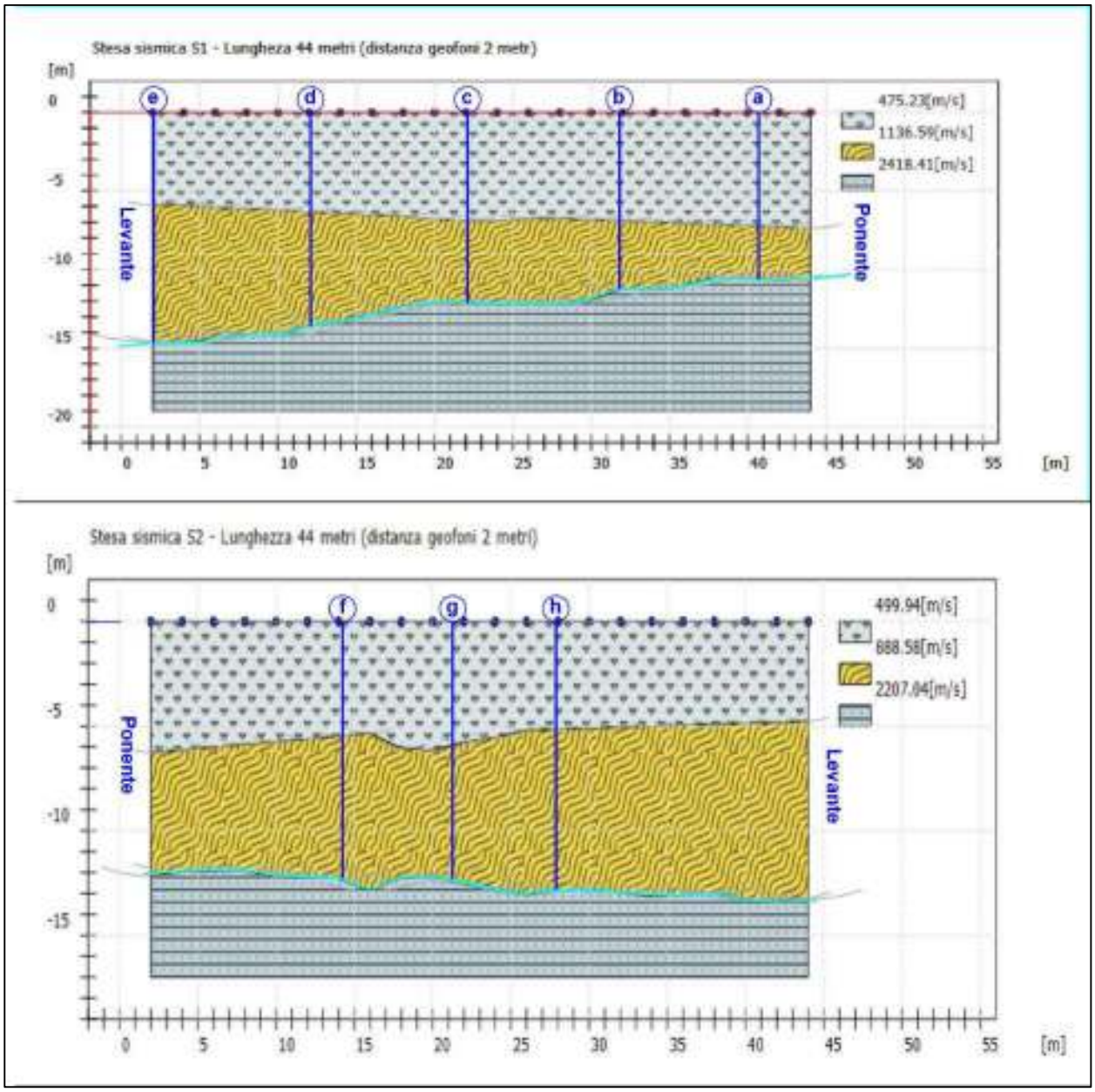


Figura 26: Ubicazione delle tracce delle sezioni sui profili sismici

LA SEZIONE GEOLOGICA

L'area presenta una certa regolarità dalle sezione "C" alla sezione "H". Solo le sezioni "A" e "B" si presentano relativamente più acclivi, a segnalare il maggiore dinamismo morfoevolutivo sul settore di Levante.

La sezione "C" sotto rappresentata assume dunque valore di sezione tipo.

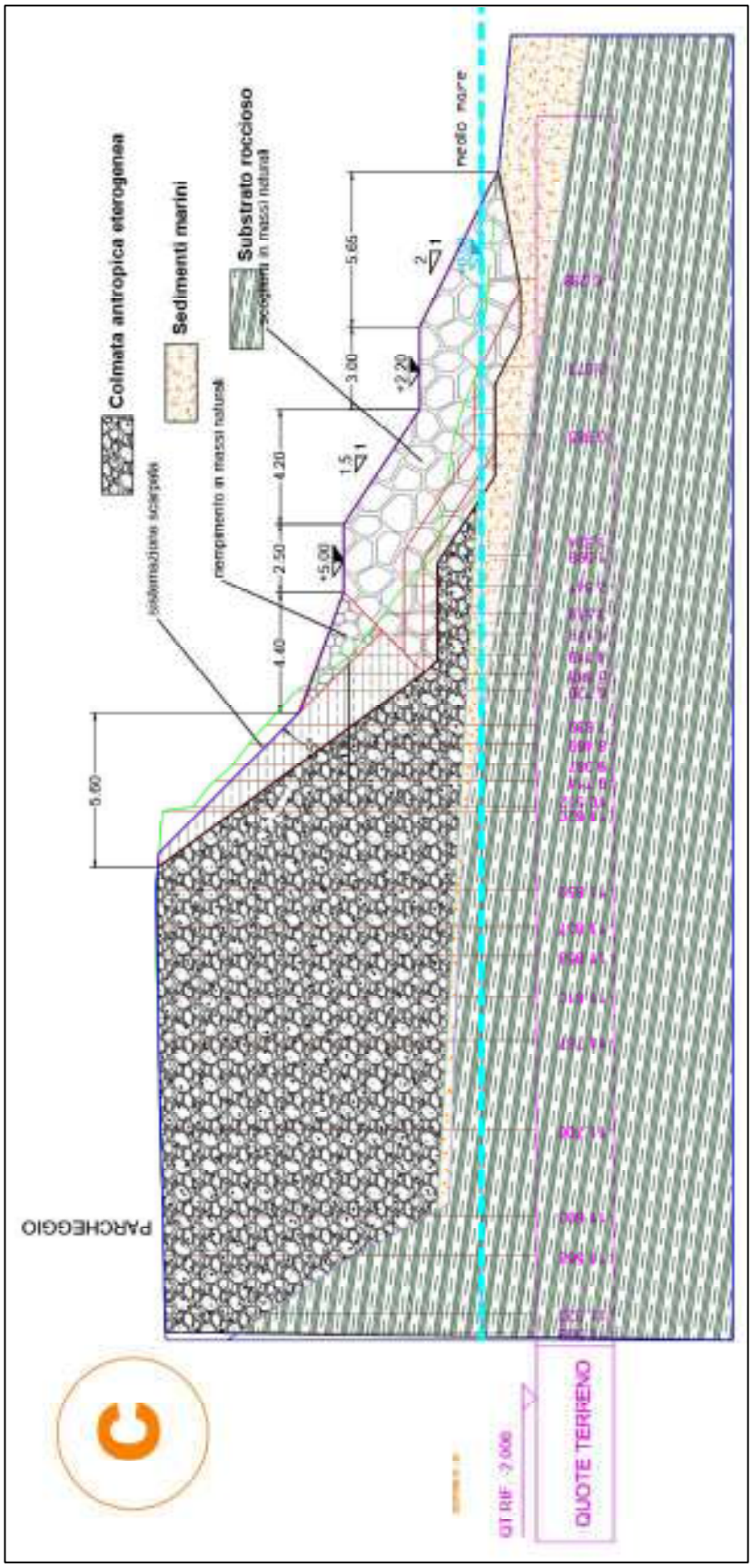


Figura 27: Sezione geologica rappresentativa

MODELLO GEOTECNICO

Il modello geotecnico parametrizza il sedime di studio in 3 livelli:

1) riporti antropici costituenti il corpo di colmata emerso e sommerso;
2) Sedimenti marini costituiti da sabbie di spiaggia sepolta ed attuale;
3) Substrato roccioso alterato con caratteristiche in progressivo miglioramento con la profondità.

La falda è coincidente con il medio mare.

I MATERIALI DELLE OPERE DI DIFESA

Viste le notevoli dimensioni del materiale è possibile una stima dell'angolo di resistenza sulla base dell'angolo di natural declivio in cumulo, mentre per i valori del modulo elastico si rimanda ai valori di bibliografia (10.4-104 MPa prima della compattazione, passanti a 52-1040 Mpa secondo il "Manual on the use of rock in idraulic engineering"). Tali valori possono essere convenientemente paragonati con i valori relativi a ghiaie a spigoli vivi, pari a circa 150-300 MPa a seconda dello stato di addensamento.

Mantellata:

peso di volume	γ = 1.9-2.1 t/m^3
coesione	c' = 0 t/m^2
angolo di attrito	ϕ' = 49°-51°
modulo elastico	E = 500 kg/cm^2

Strato di transizione:

peso di volume	γ = 1.9-2.1 t/m^3
coesione	c' = 0 t/m^2
angolo di attrito	ϕ' = 44°-46°
modulo elastico	E = 500 kg/cm^2

Nucleo:

peso di volume	γ = 2.0-2.2 t/m^3
coesione	c' = 0 t/m^2
angolo di attrito	ϕ' = 39-41°
modulo elastico	E = 260 kg/cm^2

Viste le notevoli dimensioni del materiale costituente la mantellata e lo strato di transizione al filtro la permeabilità (in regime di moto turbolento) passa da 0.3 a 1 m/sec, passante a 0.1 m/sec per il nucleo.

SEDIMENTI MARINI

Il livello geotecnico comprende l'attale spiaggia emersa in clasti e ciottoli e la spiaggia sommersa e sepolta, con frazione sabbiosa più abbondante.

peso di volume	γ = 1.6-1.8 t/m3
coesione	c' = 0 t/m2
angolo di attrito	ϕ' = 34°-36°
modulo elastico (E25 da prove SPT)	E = 550-650 kg/cm2

Per le sabbie fini marine viene adottato il valore tipico di permeabilità pari a 10-5 m/sec, passante a 10-3 m/sec per sabbie medie.

MATERIALE DI COLMATA

Il materiale presenta notevoli problemi di caratterizzazione geotecnica, laddove la distribuzione degli elementi lapidei più grossolana condiziona evidentemente la resistenza complessiva al taglio, mentre la coesione sviluppata per aging e suzione nella matrice legante fine genera un surplus di resistenza dovuta alla componente coesiva.

Non potendo sfruttare prove di laboratorio (non rappresentative alla scala reale) e avendo limitate informazioni dalle prove in sito (a causa dei frequenti rifiuti alla penetrazione strumentale), è consigliabile ricavare i parametri di resistenza del volume rappresentativo, mediante back analysis della stabilità del fronte meridionale della scarpata.

A tal fine sono implementate due analisi di stabilità della situazione attuale (sezioni "A" e "B", scelte come maggiormente rappresentative ai fini della back analysis).

La scarpata viene ipotizzata come in equilibrio limite (F.S. prossimo a 1)in presenza di risalita ordinaria del mare al piede e in assenza di saturazione dle corpo di colmata.

Ovviamente non vengono implementati gli usuali fattori di sicurezza, che comporterebbero una sovrastima dei valori di coesione caratteristici.

BACK ANALYSIS

Per le verifiche di stabilità globali viene utilizzato apposito software "Slide" della Rocscience per le analisi all'equilibrio limite.

Per le sezioni esaminate, imponendo un valore di F.S. prossimo all'equilibrio, si ottiene una coppia di valori di coesione e resistenza al taglio pari a:

Sezione AA

coesione	c' = 7 KPa
angolo di attrito	ϕ' = 35°

Sezione BB

coesione	c' = 9 KPa
angolo di attrito	ϕ' = 35°

Il ristretto campo di variazione del valore di coesione consente di indicare i seguenti parametri di resistenza come rappresentativi per il corpo di colmata:

Colmata:

peso di volume	γ = 1.8-2.0 t/m^3
coesione	c' = 7-9 kPa
angolo di attrito	ϕ' = 35°
modulo elastico	E = 390 kg/cm^2

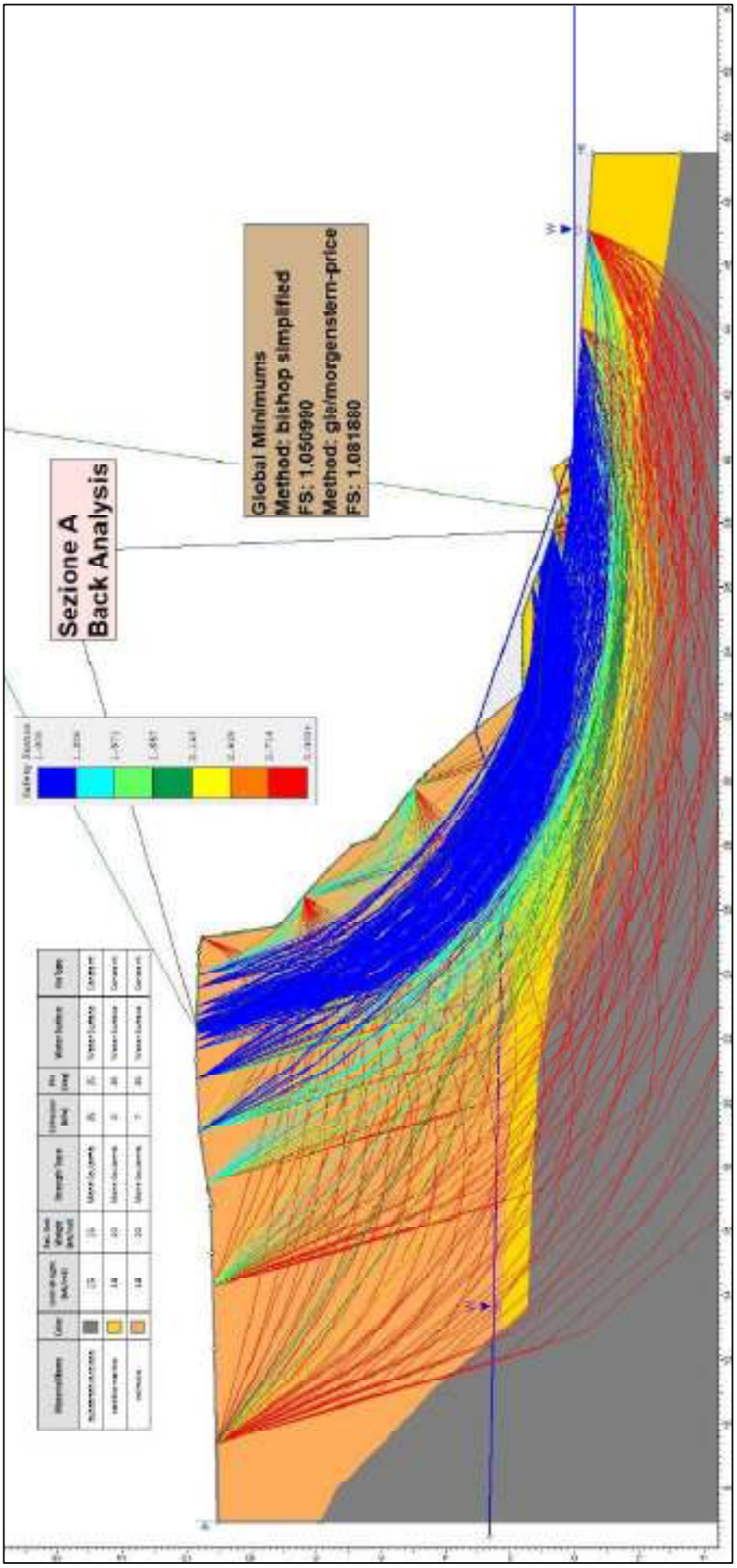


Figura 28: Back analysis sezione AA: valori minimi di coesione pari a 7 kPa, angolo di resistenza al taglio pari a 35°

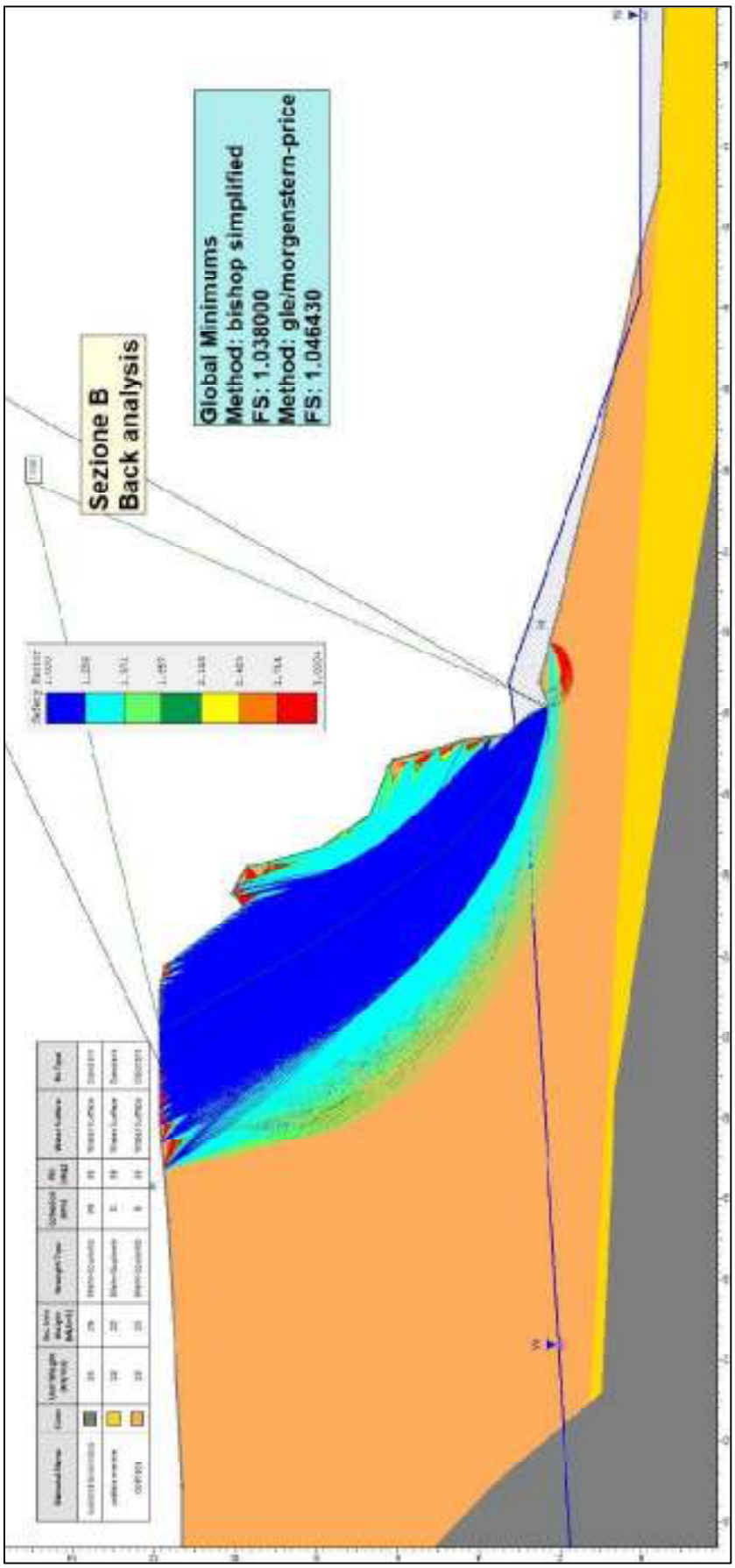


Figura 29: Back analysis sezione BB: valori minimi di coesione pari a 9 kPa, angolo di resistenza al taglio pari a 35°

STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Il valore delle Vsequivalenti (**NTC 2018**) è pari mediamente a **348-352 m/s, al piano campagna,** che consente di adottare una classificazione del suolo nel tipo "**E",** riferita a suoli di tipo "C" con profondità del substrato roccioso sismogenico inferiore a 30m.

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.

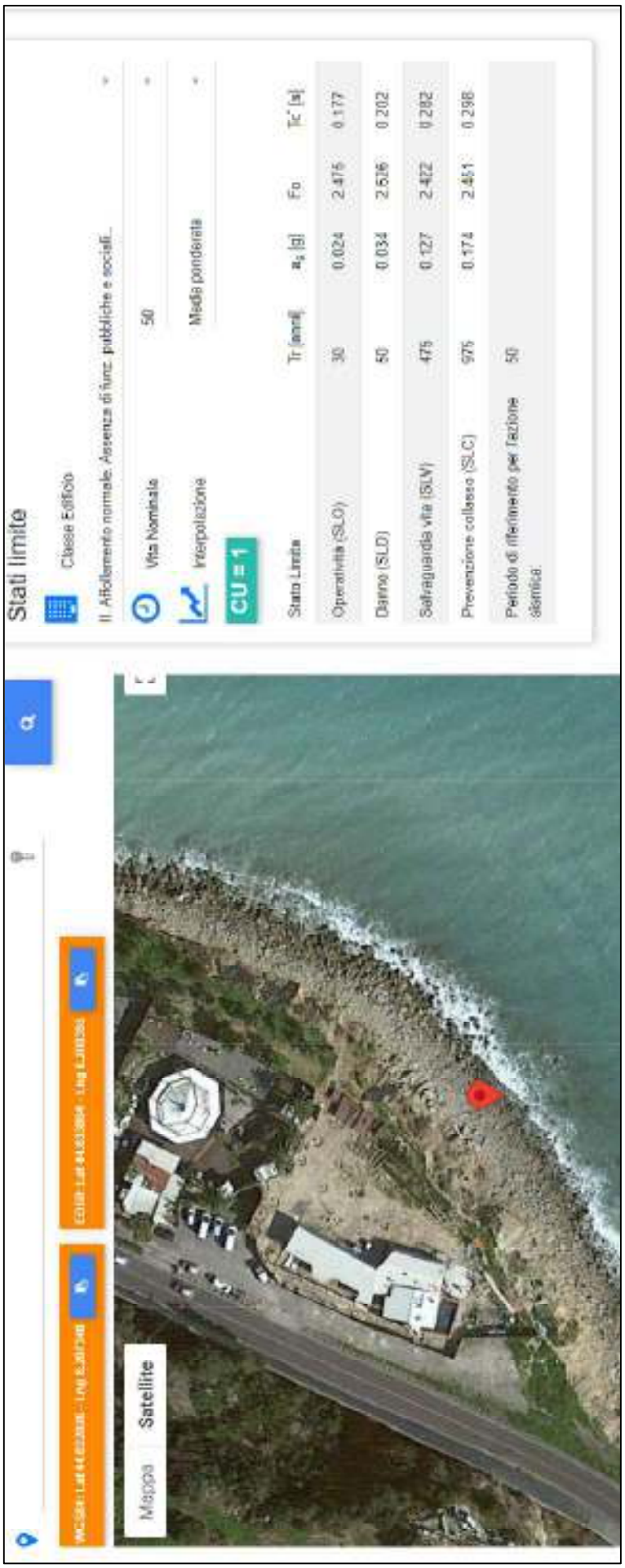
Per determinare la stima della pericolosità sismica del sito in oggetto si deve ricercare a_g (accelerazione orizzontale massima attesa su un sito di riferimento rigido). Per poterlo determinare è necessario conoscere le coordinate geografiche dell'opera da verificare in gradi decimali. Procedendo in 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:

Stabilità dei pendii

VN	>50
Classe edificio	II
Periodo di riferimento	50
Categoria di sottosuolo	E
Categoria topografica	T2
Amplificazione topografica	1.0
Kh	0.049
Kv	0.024
Ag/g (**SLV**)	0.127
WGS84 latitudine, longitudine	44.032826,8.207340

Fronti di scavo e rilevati

VN	>50
Classe edificio	II
Periodo di riferimento	50
Categoria di sottosuolo	E
Categoria topografica	T2
Amplificazione topografica	1.0
Kh	0.077
Kv	0.039
Ag/g (**SLV**)	0.127
WGS84 latitudine, longitudine	44.032826,8.207340


Stati limite
Classe Edificio
II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...
Vita Nominale
50
Interpolazione
Media ponderata
CU = 1
Stato Limite
Tr [anni]
a_g [g]
Fo
Tc* [s]
Operatività (SLO)
30
0.024
2.475
0.177
Danno (SLD)
50
0.034
2.526
0.202
Salvaguardia vita (SLV)
475
0.127
2.422
0.282
Prevenzione collasso (SLC)
975
0.174
2.451
0.298
Periodo di riferimento per l'azione sismica:
50
Mappa
Satellite

Stabilità dei pendii

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

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

H (m): 1

us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: E

Cat. Topografica: T2

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,60	1,60	1,60	1,53
CC Coeff. funz categoria	2,30	2,18	1,91	1,87
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

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

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.008	0.011	0.049	0.064
kv	0.004	0.005	0.024	0.032
Amax [m/s²]	0.375	0.532	1.992	2.616
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti sismici

Tipo: Fronti di scavo e rilevati

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

H (m): 1

us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: E

Cat. Topografica: T2

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,60	1,60	1,60	1,53
CC Coeff. funz categoria	2,30	2,18	1,91	1,87
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

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

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.026	0.077	0.000
kv	--	0.013	0.039	--
Amax [m/s²]	0.375	0.532	1.992	2.616
Beta	--	0.470	0.380	--

LIQUEFACIBILITÀ DEI SUOLI

Attraverso le formulazioni proposte da diversi autori è possibile escludere il pericolo di liquefazione in sito, tenuto conto dei seguenti dati generali.

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE
Titolo lavoro: Via Giancardi Alassio
Data 06/10/2022
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA
Profondità falda idrica 10 m
CARICHI SUL PIANO CAMPAGNA
Base 0 m
Lunghezza 0 m
Carico in superficie 25 kPa
Metodo calcolo stato tensionale Bussinesq
Coefficiente di Poisson 0.2

DATI SISMICI
Accelerazione Bedrock 0.13
Fattore amplificazione 0.13

Tipo Suolo: E-Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali su substrato rigido Vs30>= 800m/s
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i<=15°

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.6
Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1
Magnitudo momento sismico (Mw) 6.5
Peak ground acceleration (PGA) 0.208

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	colmata	0	11	18	20	300
2	sabbie marine	11	12	18	20	460
3	substrato roccioso	12	30	25	26	900

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.44

I terreni NON risultano liquefacibili.

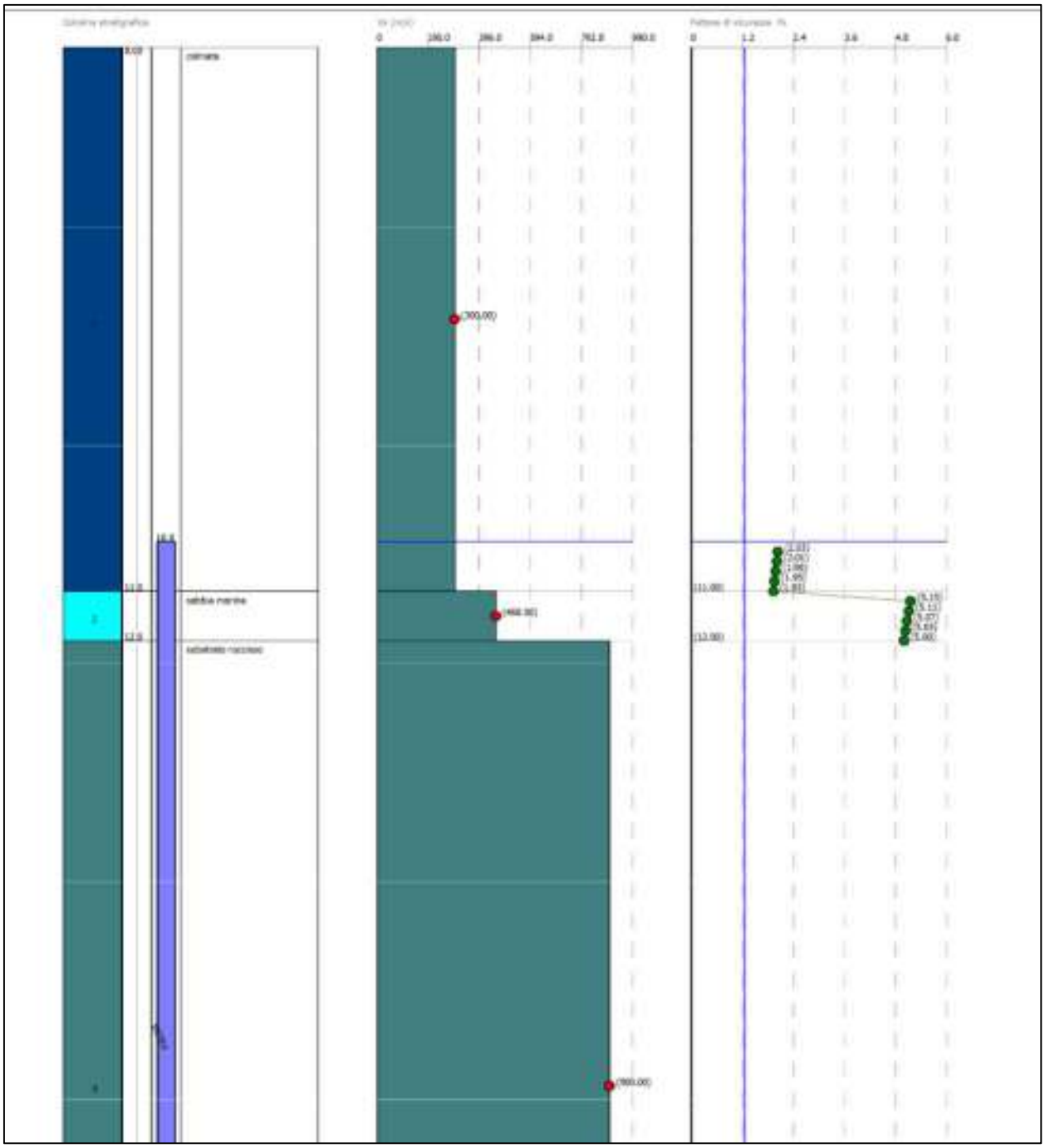


Figura 30: Metodo di Andrus e Stokoe (Vs)

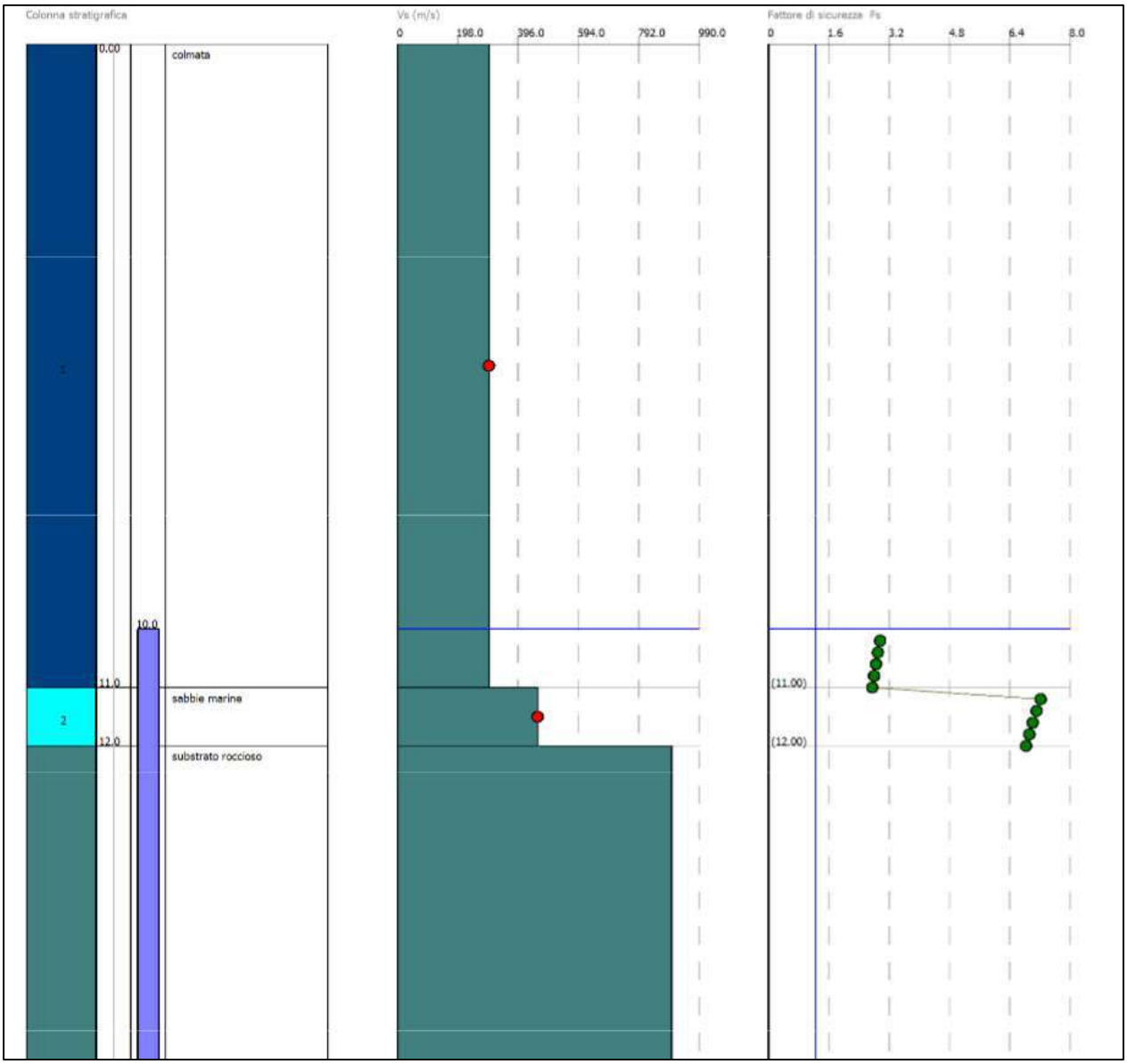


Figura 31: Metodo EC8 (Vs)

ANALISI DI STABILITA

Per le verifiche di stabilità globali viene utilizzato apposito software "Slide" della Rockscience per le analisi all'equilibrio limite.
Le condizioni di calcolo sono le seguenti:

- Parametri geotecnici efficaci di progetto (approccio 1, combinazione 2);
- Spinta sismica ricavata allo SLU per categoria di suolo unica in classe "E", verifiche allo stato limite ultimo (SLV).

Nelle figure che seguono sono riportate le superfici relative al minimo fattore di sicurezza calcolato ed il corrispondente valore di questo fattore.

I calcoli sulle analisi di stabilità saranno condotti coerentemente secondo quanto indicato nelle NTC 2018 al punto 6.4.3.
Verranno di seguito eseguite le analisi sui deficit delle forze resistenti in condizioni sia statiche sia dinamiche nelle condizioni peggiori e quindi nello stato limite ultimo.
Per tale verifica si utilizza, secondo quanto esplicato dal NTC, l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2), ricavando così i coefficienti parziali delle Azioni A(1.0), dei Parametri Geotecnici M(1.0) e della Resistenza Globale del Sistema R(1.2), facendo quindi riferimento alle condizioni imposte per "opere di materiali sciolti/fronti di scavo" (βs = 0.38 SLU-SLV)

Resta inoltre inteso che le opere di sostegno presenti vengono modellate come infinitamente resistenti, ossia localmente verificate da un punto di vista statico, nonché a **comportamento perfettamente monolitico**.

Viene inoltre ipotizzato un carico aggiuntivo in testa al rilevato pari a 2500 kg/mq.



In condizioni sismiche, nella configurazione di progetto e in presenza dei carichi di progetto ed esistenti, il valore del F.S. si mantiene superiore **a 1.15.**

In condizioni statiche con la riduzione dei parametri di resistenza previsti dalla norma, condizione di calcolo che risulta spesso maggiormente conservativa, il F.S. risulta pari a **1.13.**

Le condizioni di stabilità previste per le analisi globali sono dunque rispettate.

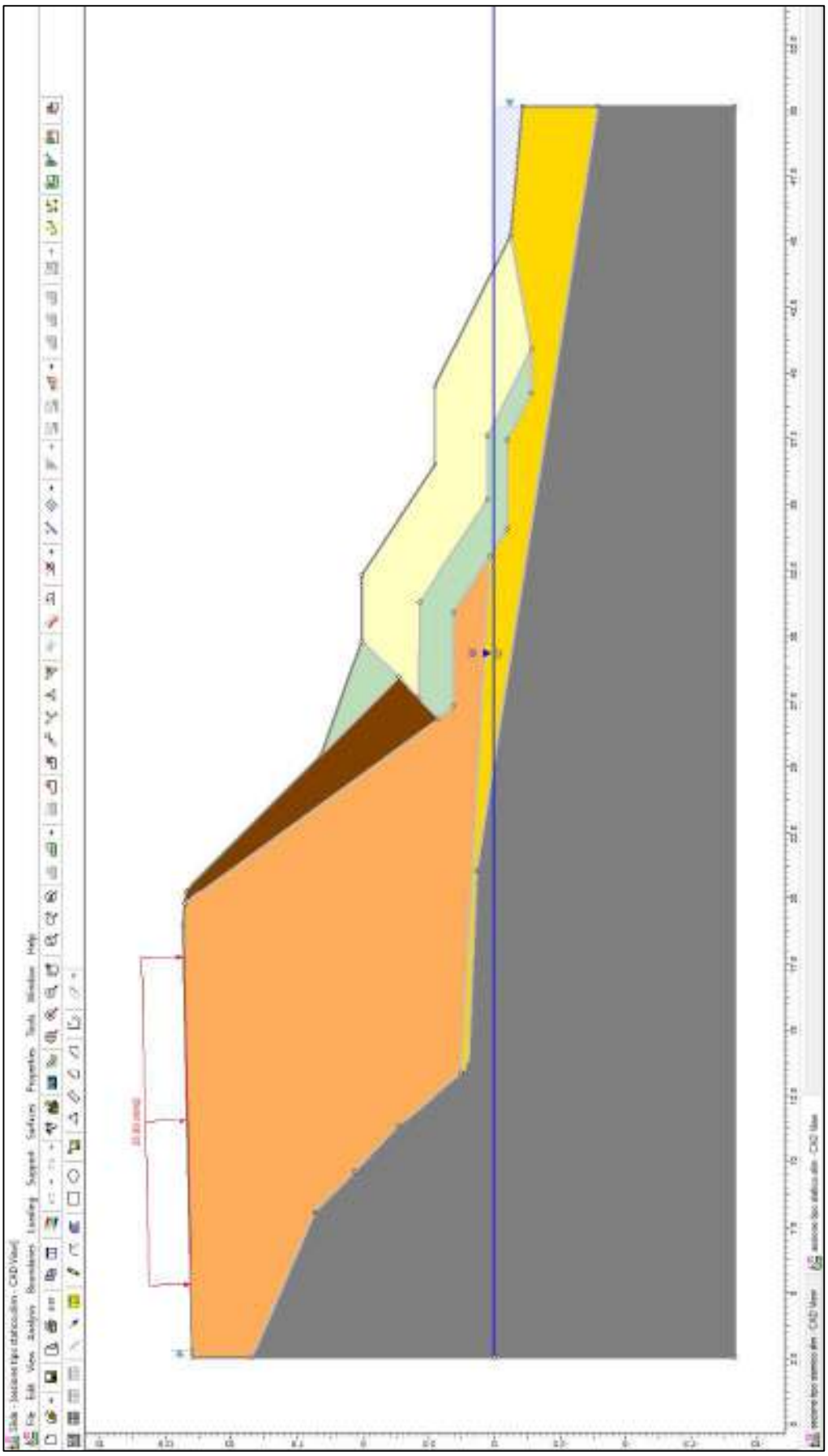


Figura 32: Modello di calcolo

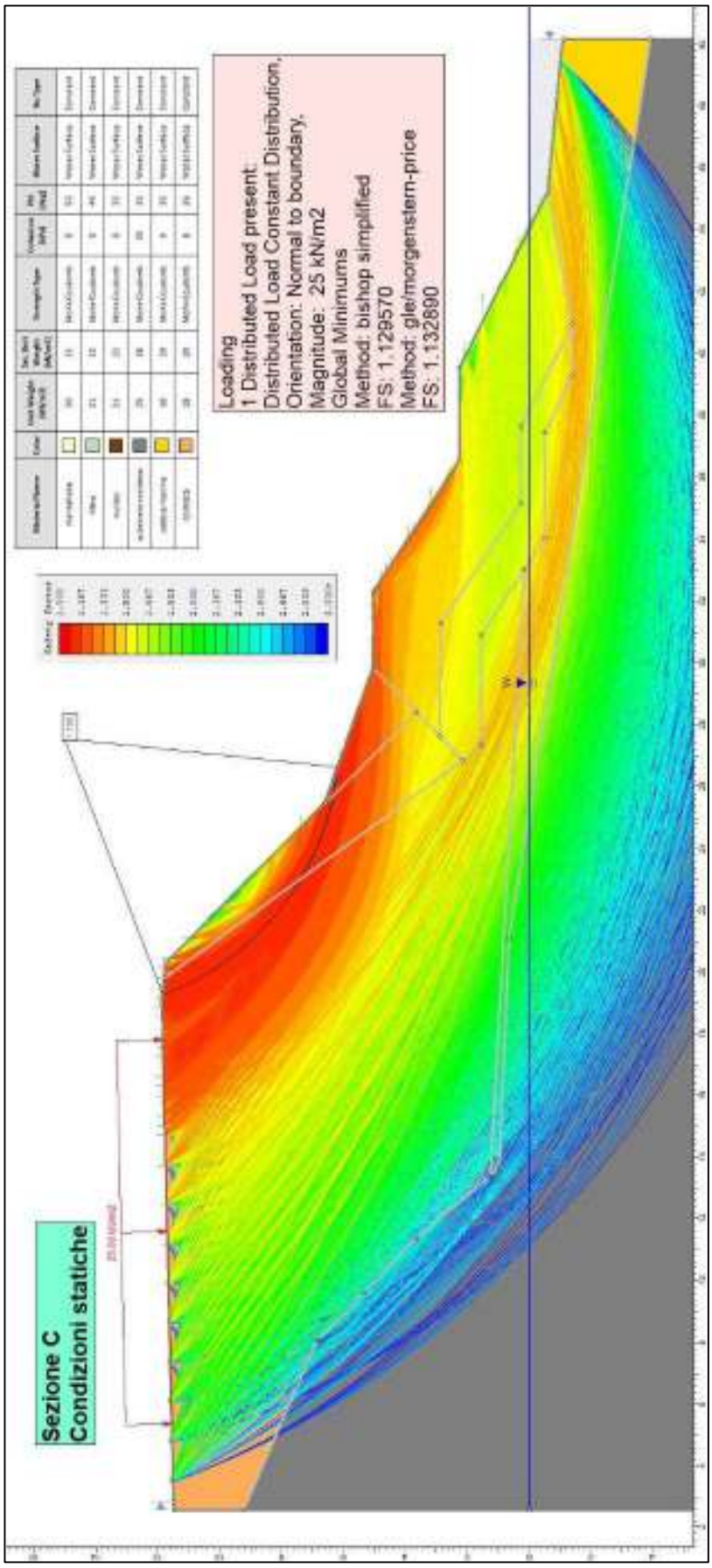


Figura 33: Sezione C – Stato a progetto, condizione statica

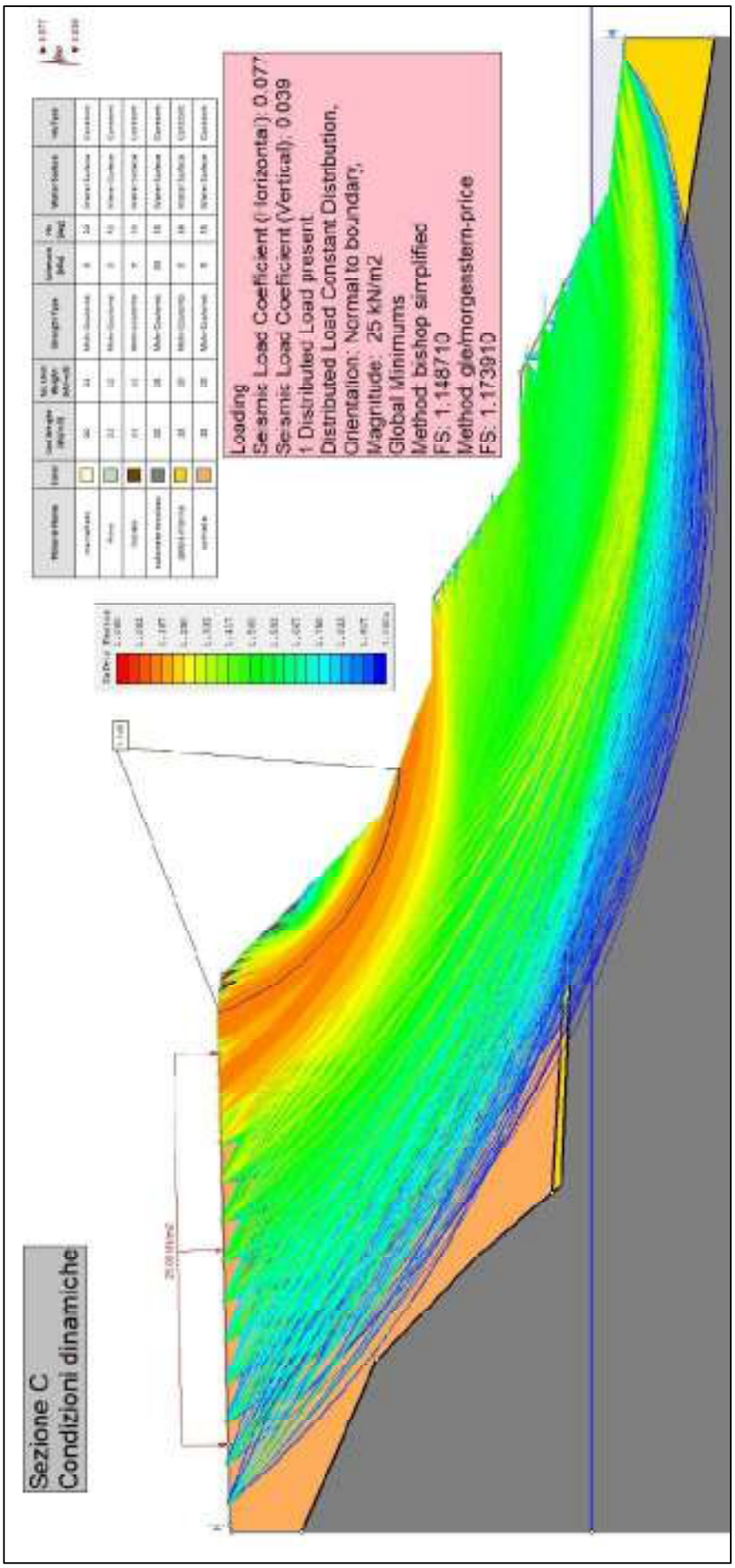


Figura 34: Sezione C stato a progetto, condizioni dinamiche

PRESCRIZIONI

Le analisi di stabilità sopra svolte considerano la scarpata frontale come derivata da azione di risagomatura e riprofilatura mediante scavo del rilevato esistente.

Laddove per qualsiasi ragione debbano essere effettuati riempimenti con materiale granulare per realizzare la sagoma di progetto nella porzione non protetta dalla scogliera, venendo a mancare il contributo, sia pur minimo, della coesione, devono essere previste opere aggiuntive, costituite ad esempio da rete composita con chiodatura a maglia 2X2 disposta a quinconce e lunghezza delle barre, verosimilmente compresa fra 3-5 ml, ma comunque da dimensionare in sede realizzativa.

Al fine di permettere l'insediamento di vegetazione stabile in scarpata e arrestare i processi erosi, è inoltre indispensabile impedire il versamento incontrollato delle acque di ruscellamento o di eventuali scarichi lungo la scarpata della colmata, per esempio mediante la realizzazione di fosso di guardia a coronamento del ciglio, dotato di scarichi verso mare ad intervalli regolari.

Tale opera di regimazione andrà messa in atto prima della realizzazione degli scavi di sbancamento, al fine di proteggere lo scavo, unitamente alla necessità di non utilizzare il ciglio di scarpa per stoccaggi o imposizione di sovraccarichi di qualunque natura, fatto salvo le necessità di passaggio dei mezzi operativi.

In sede di scavo provvisionale dovranno essere disponibili in cantiere teli impermeabili per l'eventuale protezione della scarpata in caso di eventi meteo avversi.

Conclusioni

Sulla base di quanto sopra specificato, il sottoscritto Dott. Geol. Marco ABBO, come Tecnico Incaricato per la redazione della presente Relazione per gli aspetti geologici e di parametrizzazione del terreno,

attesta

che le opere previste dal Progetto sono fattibili sotto il profilo geologico, idrogeologico e sismico.

Confermando i contenuti e le conclusioni della relazione del 2014, aggiornata solo in funzione della realizzazione della prova HVSR sopra descritta, tramite cui si sono adeguati i contenuti della relazione del 2014 al dettato delle NTC 2018.

Sanremo, Settembre 2022



Dott. Geol. Marco ABBO

Allegato: PROVA MASW1

Sito: Le Vele
Data: 29-09-2022
Stesa sismica S1 – Lunghezza 44 metri
Acquisizione di ritorno

1 - Dati sperimentali

Nome del file delle tracce \\Mac\Home\Desktop\Relazioni\Marco Abbo\le vele 29-09-2022\le vele 1 44 metri\andata\2022-09-29_10-50-52_05000_00200_022_Acq v2.drm
Numero di ricevitori 22
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 sono invertiti (l'ultimo ricevitore nel file è il primo per l'analisi)

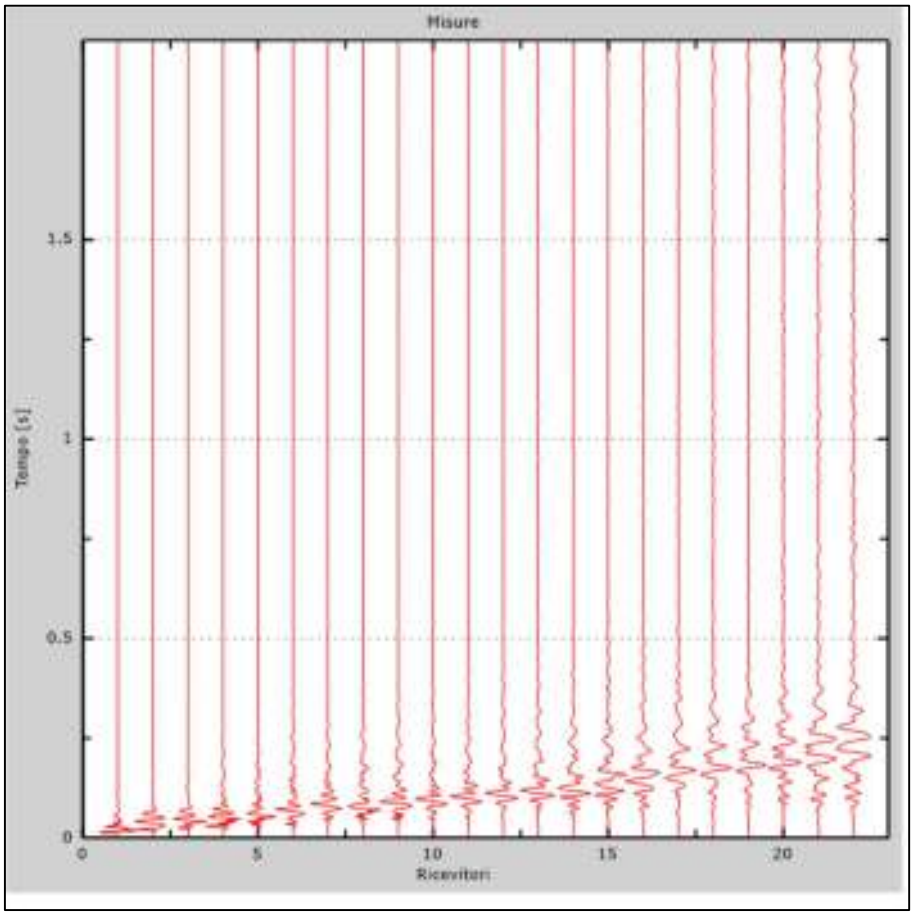


Figura 35: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale 70Hz
Frequenza iniziale 2Hz

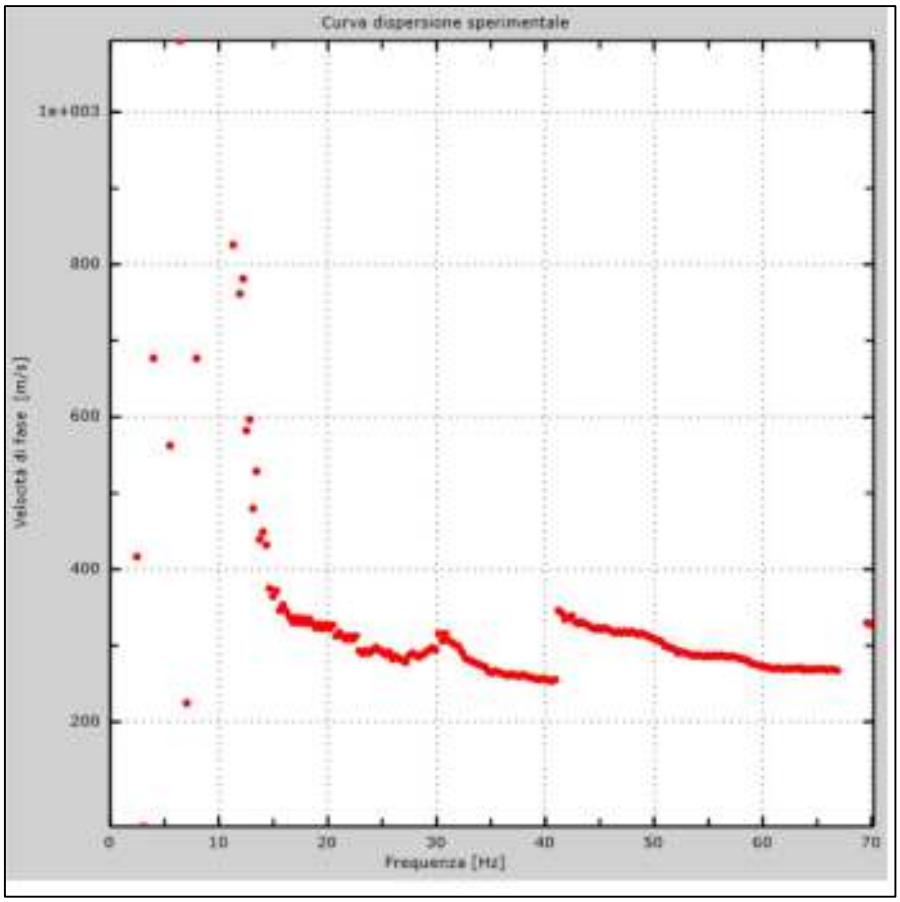


Figura 36: Curva di dispersione sperimentale

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]
11.583	772.051	761.686	782.417
12.9898	562.672	548.16	577.183
14.7276	376.096	359.511	392.68
20.6856	315.977	299.392	332.561
31.4432	295.246	272.443	318.05
41.7871	280.735	212.324	349.146
53.4549	264.15	183.301	345

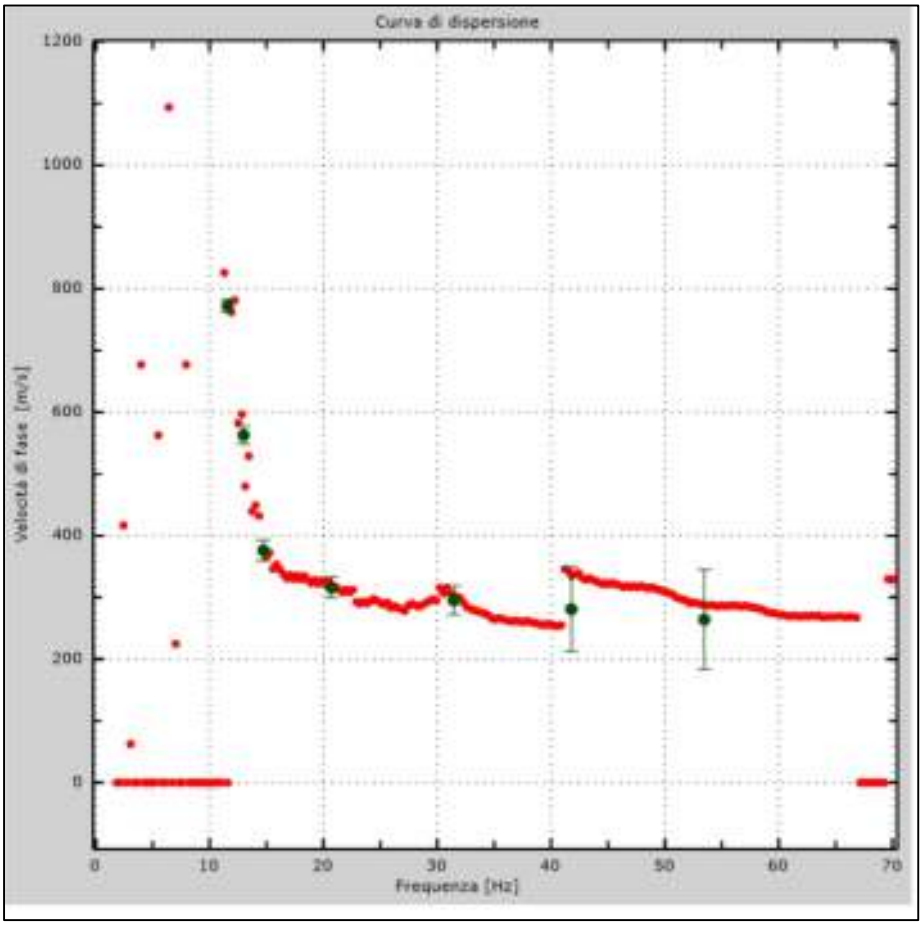


Figura 37: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio) 9
Spaziatura ricevitori [m]..... 2m
Numero ricevitori.....22
Numero modi 1

Strato 1

h [m] 7
z [m].....-7
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson.....0.2
Vs [m/s] 290.88
Vp [m/s] 475.01
Vs min [m/s] 146.75
Vs max [m/s] 436.320000
Vs fin.[m/s] 290.880

Strato 2

h [m] 4
z [m].....-11
Densità [kg/m^3] 2300
Poisson.....0.36
Vs [m/s] 531.32
Vp [m/s] 1136.01
Vs min [m/s] 164.03
Vs max [m/s] 796.980000

Vs fin.[m/s] 531.320

Strato 3

h [m] 3
z [m] ..... -14
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1028.96
Vp [m/s] 2200.01
Vs min [m/s] 175.54
Vs max [m/s] 1543.440000
Vs fin.[m/s] 1028.960

Strato 4

h [m] 4
z [m] ..... -18
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 935.41
Vp [m/s] 1999.99
Vs min [m/s] 62.360000
Vs max [m/s] 1403.115000
Vs fin.[m/s] 935.410

Strato 5

h [m] 4
z [m] ..... -22
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 810
Vp [m/s] 1731.85
Vs min [m/s] 312.60
Vs max [m/s] 1215.000000
Vs fin.[m/s] 810.000

Strato 6

h [m] 5
z [m] ..... -27
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 820
Vp [m/s] 1753.23
Vs min [m/s] 312.60
Vs max [m/s] 1230.000000
Vs fin.[m/s] 820.000

Strato 7

h [m] 5
z [m] ..... -32
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 857.83
Vp [m/s] 1834.12
Vs min [m/s] 428.92
Vs max [m/s] 1715.67
Vs fin.[m/s] 857.830

Strato 8

h [m] 6
z [m] ..... -38
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1100
Vp [m/s] 2351.90
Vs min [m/s] 428.92
Vs max [m/s] 1650.000000
Vs fin.[m/s] 1100.000

Strato 9

h [m] 0

z [m] .....-oo
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson.....0.36
Vs [m/s] 1400
Vp [m/s] 2993.33
Vs min [m/s] 428.92
Vs max [m/s] 2100.000000
Vs fin.[m/s] 1400.000

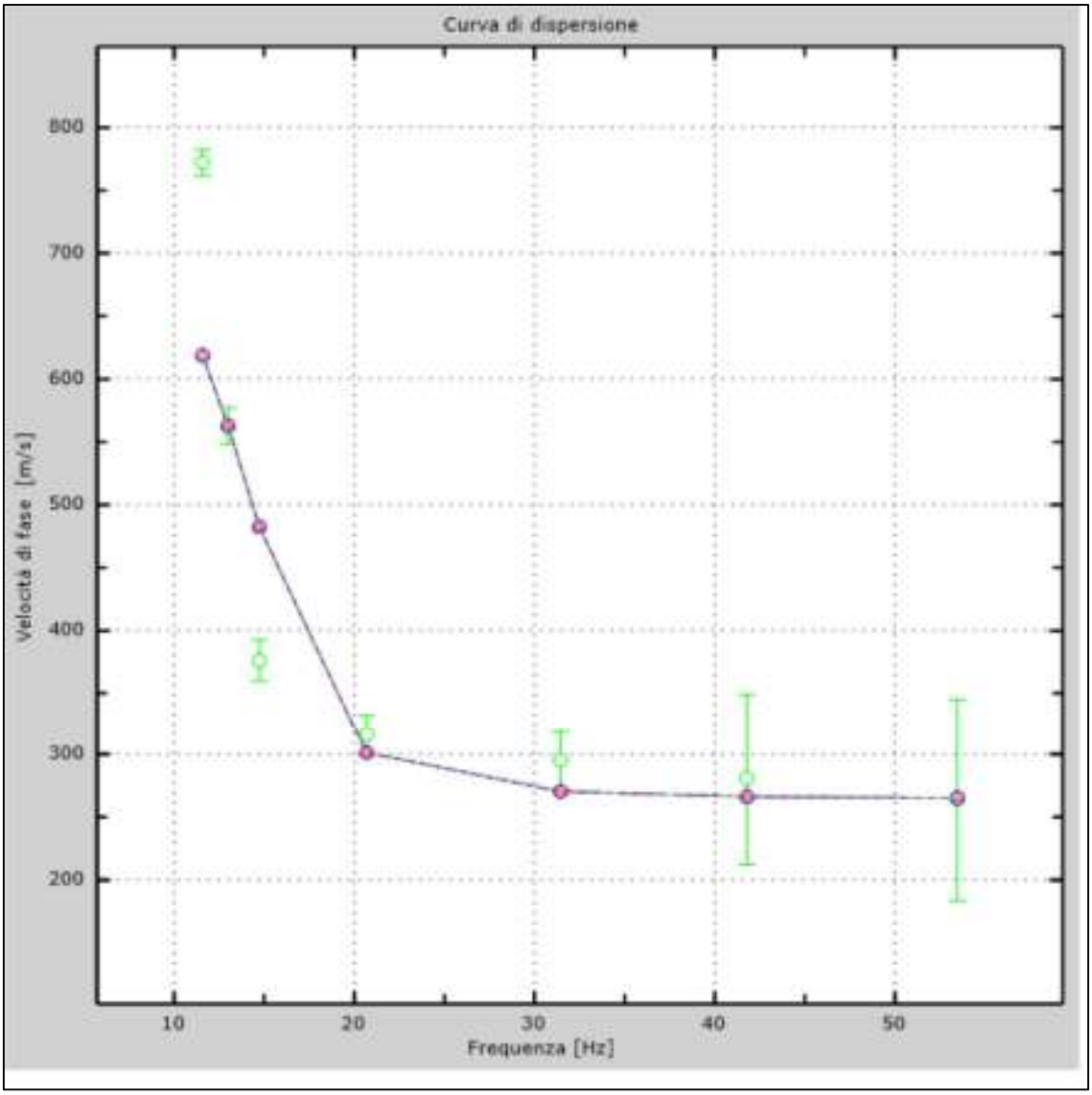


Figura 38: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

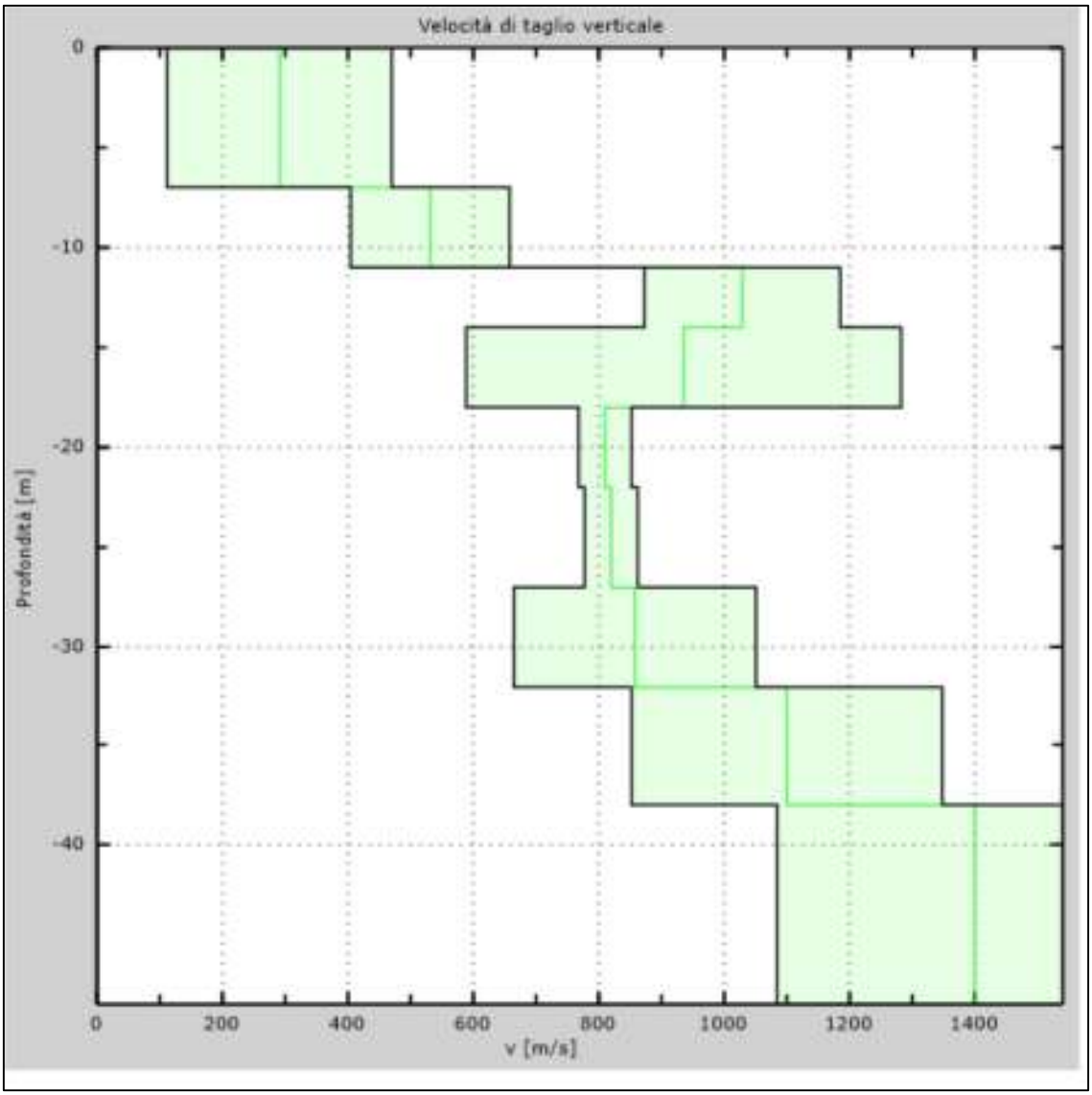


Figura 39: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m] 0
Vs30 (NTC 2008) [m/s] 563
Vsequivalenti (NTC 2018) [m/s] 348

Allegato: PROVA MASW2

Sito: Le Vele
Data: 29-09-2022
Stesa sismica S2
Lunghezza 44 metri (distanza geofoni 2 metri)
Acquisizione di andata

1 - Dati sperimentali

Nome del file delle tracce \\Mac\Home\Desktop\Relazioni\Marco Abbo\le vele 29-09-2022\le vele 2 44 metri\andata\2022-09-29_10-50-52_05000_00200_022_Acq v2.drm
Numero di ricevitori 22
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 sono invertiti (l'ultimo ricevitore nel file è il primo per l'analisi)

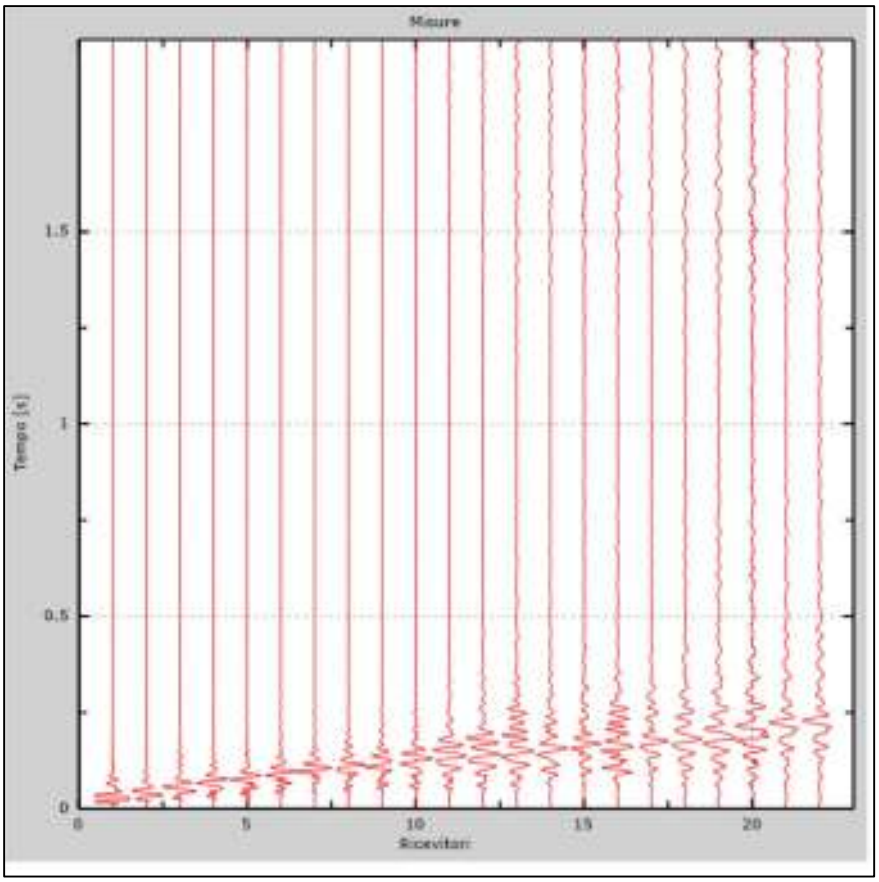


Figura 40: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale 70Hz
Frequenza iniziale 2Hz

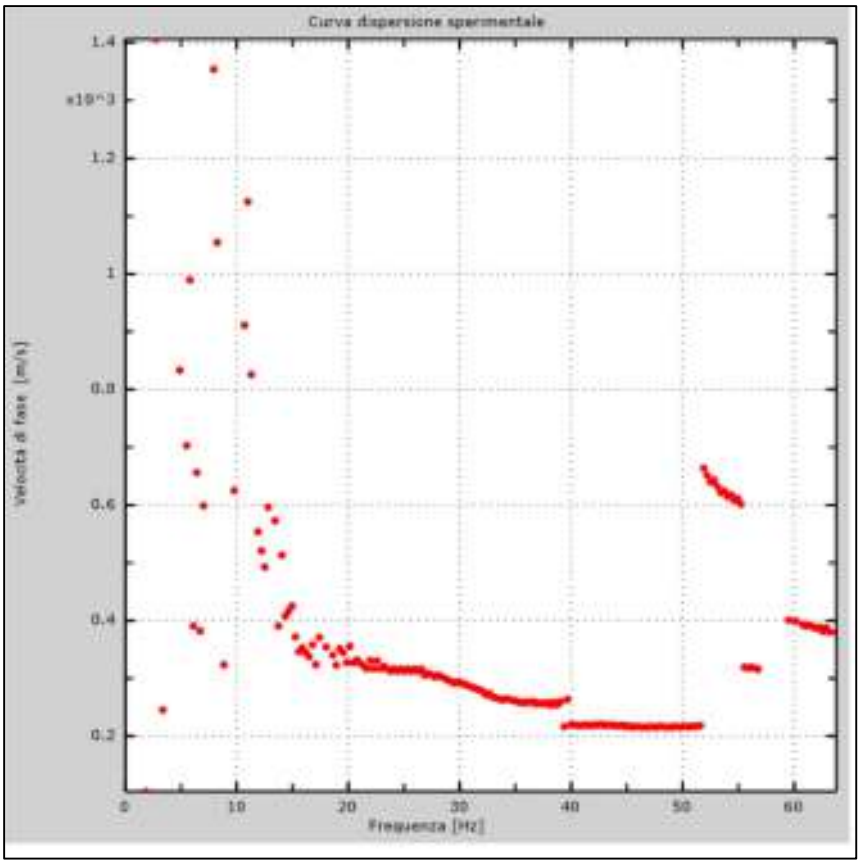


Figura 41: Curva di dispersione sperimentale

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]
10.8603	853.988	836.275	871.701
12.5082	557.93	542.748	573.113
15.9688	373.211	352.967	393.454
22.8899	322.602	297.298	347.906
31.5413	274.525	254.281	294.768
40.5223	241.629	148.004	335.254
50.0801	244.16	150.535	337.785

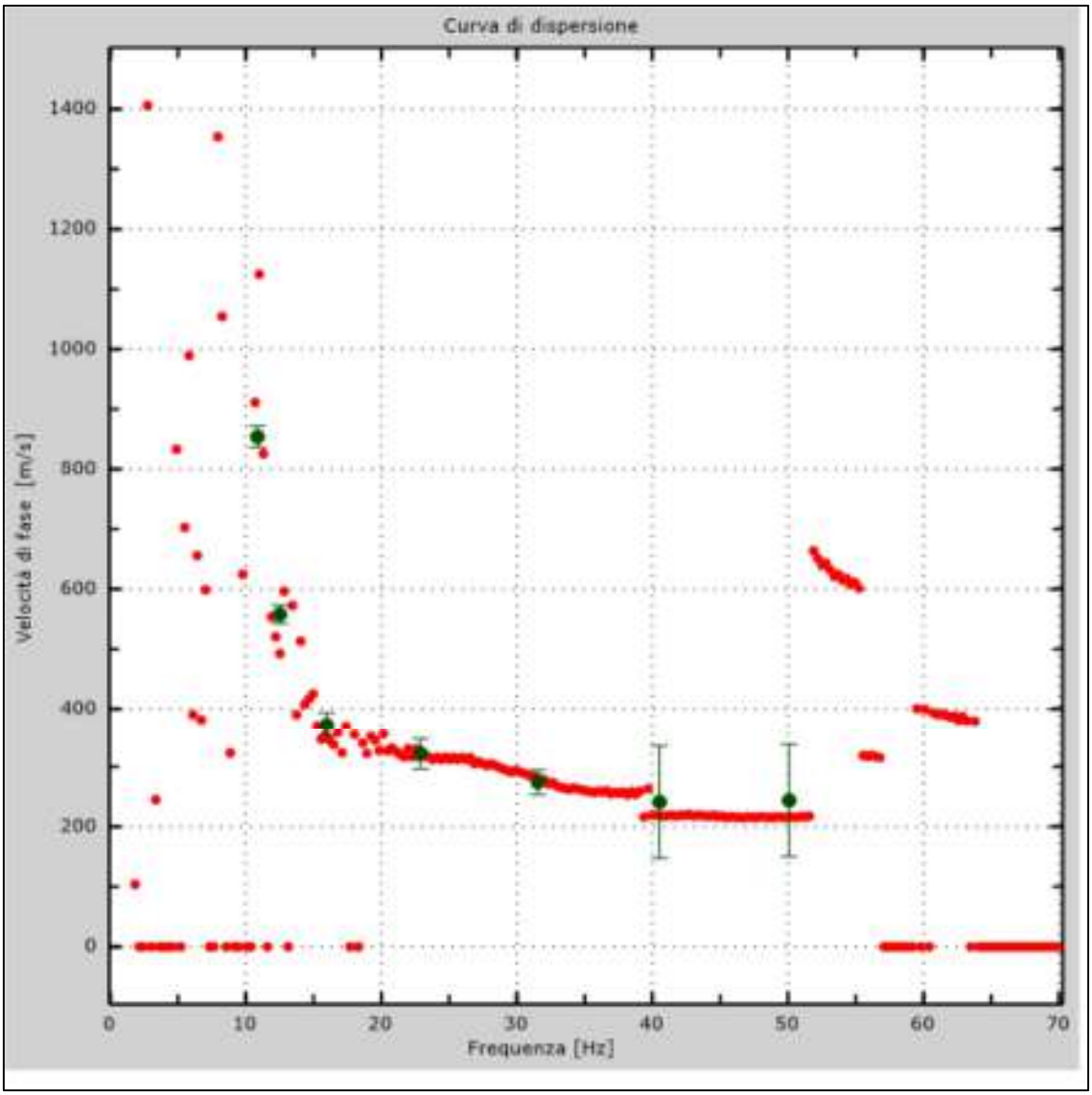


Figura 42: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio) 9
Spaziatura ricevitori [m]..... 2m
Numero ricevitori.....22
Numero modi 1

Strato 1

h [m] 6
z [m].....-6
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson.....0.2
Vs [m/s] 305.57
Vp [m/s] 498.99
Vs min [m/s] 135.64
Vs max [m/s] 458.355000
Vs fin.[m/s] 305.570

Strato 2

h [m] 6
z [m] ..... -12
Densità [kg/m^3] 2300
Poisson 0.36
Vs [m/s] 415.79
Vp [m/s] 889.00
Vs min [m/s] 152.51
Vs max [m/s] 623.685000
Vs fin.[m/s] 415.790

Strato 3

h [m] 3
z [m] ..... -15
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 935.41
Vp [m/s] 1999.99
Vs min [m/s] 179.22
Vs max [m/s] 1403.115000
Vs fin.[m/s] 935.410

Strato 4

h [m] 4
z [m] ..... -19
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 888.64
Vp [m/s] 1899.99
Vs min [m/s] 207.34
Vs max [m/s] 1332.960000
Vs fin.[m/s] 888.640

Strato 5

h [m] 4
z [m] ..... -23
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 865.26
Vp [m/s] 1850.00
Vs min [m/s] 309.96
Vs max [m/s] 1297.890000
Vs fin.[m/s] 865.260

Strato 6

h [m] 5
z [m] ..... -28
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 888.64
Vp [m/s] 1899.99
Vs min [m/s] 309.96
Vs max [m/s] 1332.960000
Vs fin.[m/s] 888.640

Strato 7

h [m] 5
z [m] ..... -33

Densità [kg/m^3] 2400
Poisson.....0.36
Vs [m/s] 898.00
Vp [m/s] 1920.00
Vs min [m/s] 309.96
Vs max [m/s] 1347.000000
Vs fin.[m/s] 898.000

Strato 8

h [m] 6
z [m].....-39
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson.....0.36
Vs [m/s] 1350
Vp [m/s] 2886.42
Vs min [m/s] 474.44
Vs max [m/s] 2025.000000
Vs fin.[m/s] 1350.000

Strato 9

h [m] 0
z [m].....-oo
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson.....0.36
Vs [m/s] 1450
Vp [m/s] 3100.23
Vs min [m/s] 474.44
Vs max [m/s] 2175.000000
Vs fin.[m/s] 1450.000

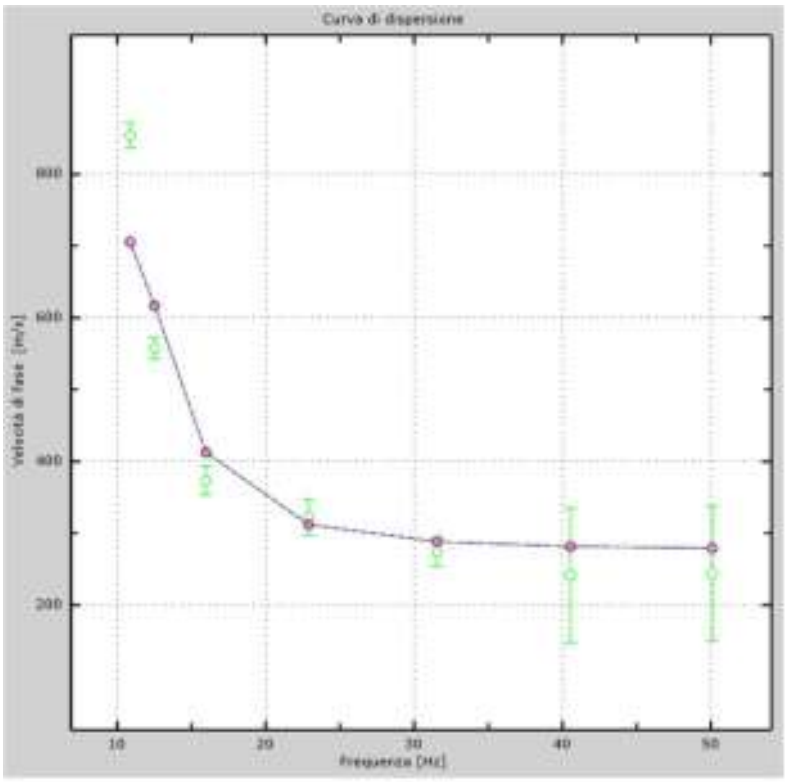


Figura 43: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

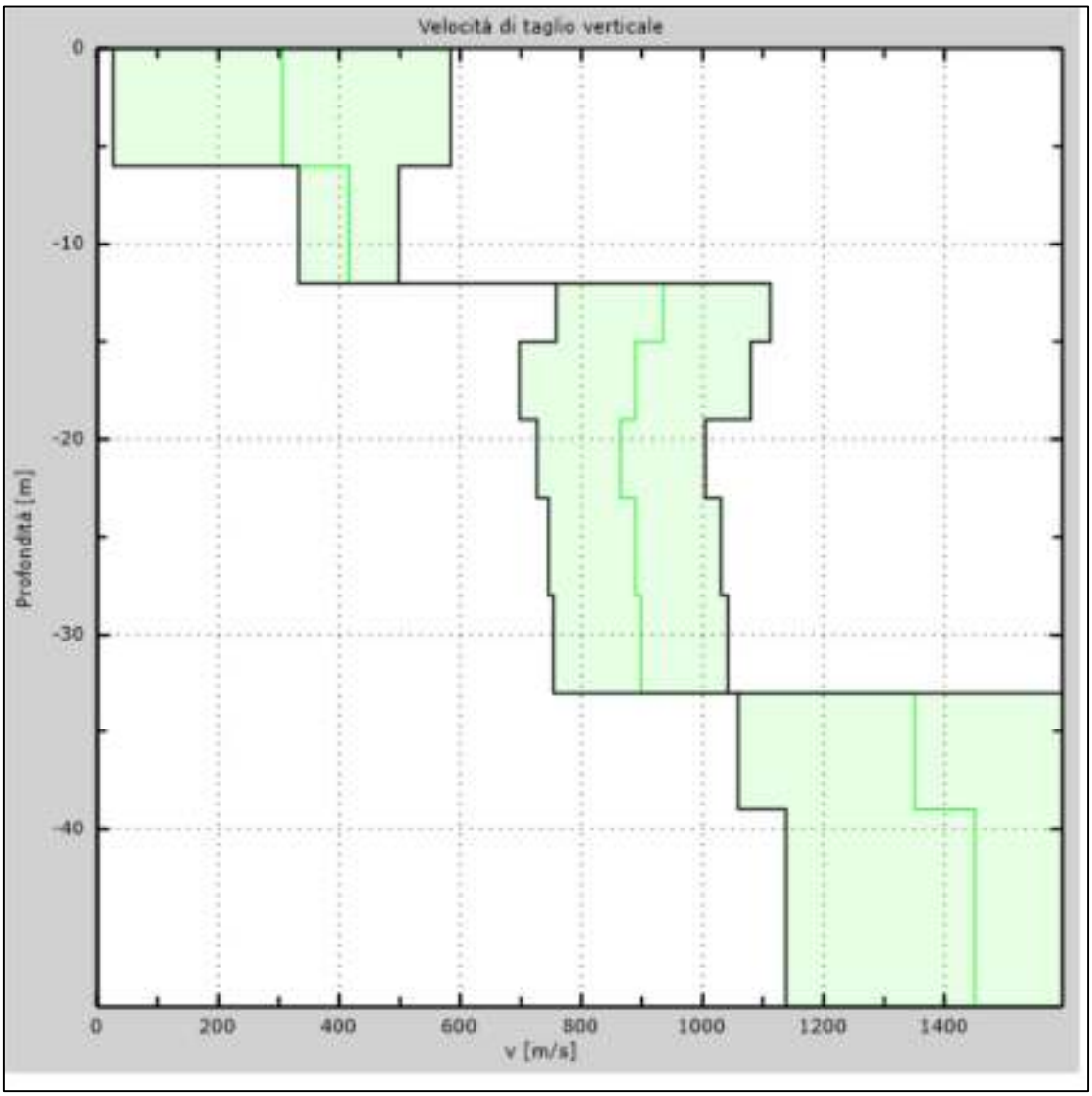


Figura 44: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m] 0
Vs30 (NTC 2008) [m/s] 553
Vsequivalenti (NTC 2018) [m/s] 352

ALLEGATO: BACK ANALYSIS SEZIONE A

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: sezione A fronte naturale statico back.slim
- Slide Modeler Version: 6.025
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 19/12/2018, 11:38:19

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Number of vertices per surface: 12
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1.5

Back Analysis

- Required Factor of Safety: 1.1
- Reinforcement Load Elevation: 71 m

Material Properties

Property	substrato roccioso	sabbie marine	colmata
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	25	18	18
Saturated Unit Weight [kN/m3]	26	20	20
Cohesion [kPa]	35	0	7
Friction Angle [deg]	35	36	35
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	0.1	0.8	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.050990
- Axis Location: 41.576, 22.238
- Left Slip Surface Endpoint: 22.258, 11.703
- Right Slip Surface Endpoint: 38.413, 0.462
- Left Slope Intercept: 22.258 11.703
- Right Slope Intercept: 38.413 0.688
- Resisting Moment=7872.33 kN-m
- Driving Moment=7490.41 kN-m
- Total Slice Area=31.2512 m2

Method: gle/morgenstern-price

- FS: 1.081880
- Axis Location: 41.678, 22.439
- Left Slip Surface Endpoint: 22.127, 11.705
- Right Slip Surface Endpoint: 38.535, 0.358
- Left Slope Intercept: 22.127 11.705
- Right Slope Intercept: 38.535 0.646
- Resisting Moment=8148.93 kN-m
- Driving Moment=7532.22 kN-m
- Resisting Horizontal Force=259.905 kN
- Driving Horizontal Force=240.236 kN
- Total Slice Area=31.6989 m2

Global Minimum Coordinates

Method: bishop simplified

X	Y
22.2576	11.7028
22.9346	10.5285
24.1127	8.4904
25.2908	6.45233
25.927	5.7761
27.0049	4.73551
28.0829	3.69493
29.7781	2.44551
30.6466	1.85226
31.9909	1.16141
32.4515	1.12821
34.0188	1.01545
35.5861	0.902681

36.4688	0.774026
38.4126	0.462238
38.4136	0.68828

Method: gle/morgenstern-price

X	Y
22.127	11.7047
23.215	9.73692
25.1749	6.56316
25.3733	6.31424
28.0433	3.838
29.2295	2.93264
30.4219	2.0699
31.116	1.6571
32.7715	1.1788
34.2589	1.033
37.2324	0.47676
38.5349	0.357937
38.5359	0.645642

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1133
- Number of Invalid Surfaces: 3369

Error Codes:

- Error Code -105 reported for 1381 surfaces
- Error Code -106 reported for 644 surfaces
- Error Code -107 reported for 44 surfaces
- Error Code -108 reported for 1 surface
- Error Code -115 reported for 1233 surfaces
- Error Code -123 reported for 66 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

- Number of Valid Surfaces: 1122
- Number of Invalid Surfaces: 3380

Error Codes:

- Error Code -105 reported for 1381 surfaces
- Error Code -106 reported for 644 surfaces
- Error Code -107 reported for 44 surfaces
- Error Code -108 reported for 11 surfaces
- Error Code -111 reported for 1 surface
- Error Code -115 reported for 1233 surfaces
- Error Code -123 reported for 66 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
- -106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- -107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- -108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- -111 = safety factor equation did not converge
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -123 = Surface radius equal or less than the internal cutoff of 0.01.

Slice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.05099**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.677034	7.0945 6	colmata	7	35	6.32843	6.65112	-0.49825 8	0	-0.49825 8
2	0.589047	17.612 8	colmata	7	35	12.3486	12.9782	8.53782	0	8.53782
3	0.589047	28.187	colmata	7	35	17.9046	18.8176	16.8773	0	16.8773
4	0.589047	38.810 3	colmata	7	35	23.4865	24.6841	25.2554	0	25.2554
5	0.589047	46.901 6	colmata	7	35	27.738	29.1524	31.6368	0	31.6368
6	0.636175	34.511 8	colmata	7	35	25.0576	26.3353	27.6137	0	27.6137
7	0.53898	29.256	colmata	7	35	26.0622	27.3911	29.1215	0	29.1215

8	0.53898	29.8174	colmata	7	35	26.4846	27.835	29.7555	0	29.7555
9	0.53898	30.2493	colmata	7	35	26.8095	28.1765	30.2431	0	30.2431
10	0.53898	30.0156	colmata	7	35	26.6337	27.9917	29.9793	0	29.9793
11	0.565075	26.7786	colmata	7	35	25.6419	26.9494	28.4908	0	28.4908
12	0.565075	26.13	colmata	7	35	25.1291	26.4104	27.7209	0	27.7209
13	0.565075	25.9243	colmata	7	35	24.9665	26.2395	27.4768	0	27.4768
14	0.868478	38.9156	colmata	7	35	22.9172	24.0858	29.1544	4.75341	24.4009
15	0.376937	15.498	colmata	7	35	20.0466	21.0688	30.8132	10.7207	20.0925
16	0.967312	33.4547	sabbie marine	0	36	10.9555	11.5141	28.9549	13.1071	15.8478
17	0.460669	12.9205	sabbie marine	0	36	9.67564	10.169	27.3501	13.3537	13.9964
18	0.783647	16.3764	sabbie marine	0	36	5.85732	6.15598	20.4762	12.0033	8.47291
19	0.783647	14.5343	sabbie marine	0	36	5.42955	5.7064	18.1563	10.3021	7.85419
20	0.783647	13.3181	sabbie marine	0	36	5.52784	5.8097	16.5974	8.60094	7.99643
21	0.783647	11.7891	sabbie marine	0	36	5.36323	5.6367	14.658	6.89977	7.75824
22	0.882646	9.96229	sabbie marine	0	36	3.73044	3.92065	10.7431	5.34679	5.39631
23	0.647942	5.28738	sabbie marine	0	36	2.48561	2.61235	7.76159	4.16599	3.5956
24	0.647942	3.64307	sabbie marine	0	36	1.5018	1.57838	5.38164	3.20918	2.17246
25	0.647942	2.14735	sabbie marine	0	36	0.660704	0.694393	3.20813	2.25238	0.955747

- **Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.08188**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.544002	4.77882	colmata	7	35	5.80665	6.2821	-1.02527	0	-1.02527
2	0.544002	14.308	colmata	7	35	10.944	11.8401	6.91241	0	6.91241
3	0.653295	28.9349	colmata	7	35	16.545	17.8997	15.5664	0	15.5664
4	0.653295	41.109	colmata	7	35	21.0546	22.7785	22.534	0	22.534
5	0.653295	52.792	colmata	7	35	24.9157	26.9558	28.4998	0	28.4998
6	0.198445	13.9645	colmata	7	35	25.3829	27.4612	29.2216	0	29.2216
7	0.667479	35.5441	colmata	7	35	23.8428	25.795	26.8421	0	26.8421

8	0.667479	35.9607	colmata	7	35	24.1601	26.1383	27.3324	0	27.3324
9	0.667479	36.4896	colmata	7	35	24.5595	26.5704	27.9494	0	27.9494
10	0.667479	36.2185	colmata	7	35	24.5548	26.5653	27.9421	0	27.9421
11	0.593122	27.2367	colmata	7	35	24.5252	26.5333	27.8964	0	27.8964
12	0.593122	26.4593	colmata	7	35	24.2926	26.2817	27.5371	0	27.5371
13	0.596183	26.4062	colmata	7	35	25.2389	27.3055	28.9991	0	28.9991
14	0.596183	25.9799	colmata	7	35	23.0363	24.9225	28.7086	3.11259	25.596
15	0.694126	27.9766	colmata	7	35	20.0415	21.6825	30.4052	9.43647	20.9687
16	0.827731	26.097	sabbie marine	0	36	13.7213	14.8448	32.595	12.1628	20.4322
17	0.827731	18.9104	sabbie marine	0	36	10.5829	11.4494	27.5341	11.7754	15.7587
18	0.743697	13.5552	sabbie marine	0	36	5.47248	5.92057	18.9995	10.8506	8.14891
19	0.743697	12.7482	sabbie marine	0	36	6.60074	7.14121	19.2174	9.3883	9.82907
20	0.743398	12.4287	sabbie marine	0	36	6.30183	6.81782	17.5699	8.18604	9.38388
21	0.743398	12.0037	sabbie marine	0	36	6.8887	7.45275	17.5017	7.24382	10.2579
22	0.743398	10.1893	sabbie marine	0	36	5.47236	5.92044	14.4504	6.30161	8.14875
23	0.743398	8.31945	sabbie marine	0	36	4.06462	4.39743	11.4119	5.35939	6.05254
24	0.651232	5.34514	sabbie marine	0	36	2.87844	3.11413	8.51692	4.23068	4.28624
25	0.651232	3.2578	sabbie marine	0	36	1.39329	1.50737	4.99021	2.9155	2.07471

Interslice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.05099**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	22.2576	11.7028	0	0	0
2	22.9346	10.5285	-4.86971	0	0
3	23.5237	9.50943	-3.44332	0	0
4	24.1127	8.4904	3.2085	0	0
5	24.7018	7.47137	15.11	0	0
6	25.2908	6.45233	31.01	0	0
7	25.927	5.7761	33.7421	0	0
8	26.466	5.25581	34.8468	0	0
9	27.0049	4.73551	36.0537	0	0
10	27.5439	4.21522	37.3392	0	0
11	28.0829	3.69493	38.5822	0	0

12	28.648	3.27845	35.9582	0	0
13	29.2131	2.86198	33.3033	0	0
14	29.7781	2.44551	30.6387	0	0
15	30.6466	1.85226	28.0314	0	0
16	31.0235	1.65854	26.4442	0	0
17	31.9909	1.16141	29.4881	0	0
18	32.4515	1.12821	23.6877	0	0
19	33.2352	1.07183	19.3454	0	0
20	34.0188	1.01545	18.141	0	0
21	34.8025	0.959064	16.0396	0	0
22	35.5861	0.902681	13.0088	0	0
23	36.4688	0.774026	11.0684	0	0
24	37.1167	0.670097	10.2415	0	0
25	37.7646	0.566167	9.80369	0	0
26	38.4126	0.462238	0.250621	0	0

- **Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.08188**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	22.127	11.7047	0	0	0
2	22.671	10.7208	-4.1676	-0.376589	5.16329
3	23.215	9.73692	-3.32011	-0.596766	10.1897
4	23.8683	8.679	2.33911	0.665297	15.877
5	24.5216	7.62108	12.4235	4.77879	21.0396
6	25.1749	6.56316	26.2966	12.593	25.589
7	25.3733	6.31424	28.5333	14.4404	26.8435
8	26.0408	5.69518	29.2355	17.3078	30.6261
9	26.7083	5.07612	30.0295	20.0681	33.754
10	27.3758	4.45706	30.9388	22.6983	36.2657
11	28.0433	3.838	31.8468	25.0651	38.2046
12	28.6364	3.38532	29.9285	24.6538	39.4802
13	29.2295	2.93264	27.9855	23.7833	40.3593
14	29.8257	2.50127	25.4478	22.0133	40.861
15	30.4219	2.0699	24.098	20.9404	40.9896
16	31.116	1.6571	22.7379	19.5388	40.6726
17	31.9437	1.41795	18.5684	15.3745	39.6245
18	32.7715	1.1788	11.5515	8.9632	37.8091
19	33.5152	1.1059	11.213	7.98951	35.4707
20	34.2589	1.033	9.39785	5.96468	32.4027
21	35.0023	0.89394	8.18977	4.45559	28.5481
22	35.7457	0.75488	5.62983	2.49062	23.8645
23	36.4891	0.61582	3.54579	1.1765	18.3559
24	37.2324	0.47676	2.08451	0.447122	12.1064
25	37.8837	0.417348	0.691679	0.074762	6.16902
26	38.5349	0.357937	0.406008	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
6.495	2.643
28.924	2.189
31.529	3.08762
40.3951	-0.002737
54.2991	0

External Boundary

X	Y
6.97502	-11.3685
49.505	-11.3685
49.505	-3.32949
49.505	-0.608536
40.1434	0.053523
39.6751	0.661826
38.5349	0.357937
38.3563	0.51023
38.01	0.569209
35.1752	1.6
33.6703	1.6
32.7719	1.6
30.5063	4.31173
30.1879	4.59523
29.992	4.8186
28.2282	6.1821
28.0074	6.86566
27.2276	7.64687
25.4207	9.19709
25.2119	10.8307
25.1374	11.5022
25.1051	11.4748
25.05	11.546
24.8294	11.6183
24.6685	11.6389
24.2681	11.6417
22.8402	11.6944

21.3418	11.716
19.1913	11.6165
19.0917	11.6112
19.0328	11.6095
18.6721	11.5522
17.3046	11.3478
17.2584	11.3409
17.2326	11.3273
16.8418	11.2154
16.7361	11.248
16.7054	11.2516
15.3249	11.219
12.3904	11.1473
6.97502	11.0454
6.97502	7.89548

Material Boundary

X	Y
6.97502	7.89548
8.0414	7.32675
9.568	5.80015
11.3191	4.13885
12.9119	2.26496
13.609	1.44486
21.0624	1.13056
49.505	-3.32949

Material Boundary

X	Y
12.9119	2.26496
32.7719	1.6

ALLEGATO: BACK ANALYSIS SEZIONE B

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: sezione B fronte naturale statico back.slim
- Slide Modeler Version: 6.025
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 19/12/2018, 11:38:19

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 30
- Circles per division: 30
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Number of vertices per surface: 12
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 0.5

Back Analysis

- Required Factor of Safety: 1.1
- Reinforcement Load Elevation: 71 m

Material Properties

Property	substrato roccioso	sabbie marine	colmata
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	25	18	18
Saturated Unit Weight [kN/m3]	26	20	20
Cohesion [kPa]	35	0	9
Friction Angle [deg]	35	36	35
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	0.1	0.8	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.038000
- Axis Location: 35.735, 15.120
- Left Slip Surface Endpoint: 22.137, 11.867
- Right Slip Surface Endpoint: 30.178, 2.290
- Left Slope Intercept: 22.137 11.867
- Right Slope Intercept: 30.178 3.170
- Resisting Moment=3885.9 kN-m
- Driving Moment=3743.64 kN-m
- Total Slice Area=20.6945 m2

Method: gle/morgenstern-price

- FS: 1.046430
- Axis Location: 35.733, 15.124
- Left Slip Surface Endpoint: 22.133, 11.867
- Right Slip Surface Endpoint: 30.178, 2.290
- Left Slope Intercept: 22.133 11.867
- Right Slope Intercept: 30.178 3.170
- Resisting Moment=3933.61 kN-m
- Driving Moment=3759.06 kN-m
- Resisting Horizontal Force=187.837 kN
- Driving Horizontal Force=179.502 kN
- Total Slice Area=20.9298 m2

Global Minimum Coordinates

Method: bishop simplified

X	Y
22.1366	11.8672
22.9876	10.3814
23.8988	8.74429
24.309	8.07729
24.7925	7.35347
25.3921	6.53532
26.4283	5.02965
27.0124	4.41256
27.8168	3.68276
28.2254	3.29423
29.3671	2.26555
30.1783	2.28963
30.1793	3.17005

Method: gle/morgenstern-price

X	Y
22.1325	11.8672
22.9731	10.1367
23.8334	8.57766
24.3075	7.84294
24.8209	7.13977
25.9907	5.66957
26.4489	5.11707
26.9997	4.56059
28.0896	3.55995
28.8013	2.87933
29.3999	2.40414
30.1783	2.28963
30.1793	3.17005

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 32448
- Number of Invalid Surfaces: 98054

Error Codes:

- Error Code -105 reported for 6891 surfaces
- Error Code -106 reported for 32086 surfaces
- Error Code -107 reported for 323 surfaces
- Error Code -108 reported for 2109 surfaces
- Error Code -112 reported for 1 surface
- Error Code -115 reported for 43670 surfaces
- Error Code -123 reported for 12974 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

- Number of Valid Surfaces: 27957
- Number of Invalid Surfaces: 102545

Error Codes:

- Error Code -105 reported for 6891 surfaces

- Error Code -106 reported for 32086 surfaces
- Error Code -107 reported for 323 surfaces
- Error Code -108 reported for 5781 surfaces
- Error Code -111 reported for 819 surfaces
- Error Code -112 reported for 1 surface
- Error Code -115 reported for 43670 surfaces
- Error Code -123 reported for 12974 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
- -106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- -107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- -108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- -111 = safety factor equation did not converge
- -112 = The coefficient M-Alpha = cos(alpha)(1+tan(alpha)tan(phi)/F) < 0.2 for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -123 = Surface radius equal or less than the internal cutoff of 0.01.

Slice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.038**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.283654	1.26587	colmata	9	35	5.3636	5.56742	-4.90224	0	-4.90224
2	0.283654	3.79762	colmata	9	35	8.12824	8.43711	-0.803886	0	-0.803886
3	0.283654	6.32844	colmata	9	35	10.8919	11.3058	3.29295	0	3.29295
4	0.303748	9.56438	colmata	9	35	13.5229	14.0368	7.19323	0	7.19323
5	0.303748	12.2515	colmata	9	35	16.2209	16.8373	11.1928	0	11.1928
6	0.303748	14.6767	colmata	9	35	18.6558	19.3647	14.8023	0	14.8023
7	0.410196	21.1455	colmata	9	35	20.7187	21.506	17.8604	0	17.8604
8	0.241732	12.8381	colmata	9	35	22.138	22.9792	19.9644	0	19.9644
9	0.241732	13.0322	colmata	9	35	22.4076	23.2591	20.364	0	20.364
10	0.299825	16.3265	colmata	9	35	23.643	24.5414	22.1955	0	22.1955
11	0.299825	16.9427	colmata	9	35	24.3649	25.2908	23.2657	0	23.2657
12	0.345385	23.1959	colmata	9	35	27.2565	28.2922	27.5522	0	27.5522
13	0.345385	25.4767	colmata	9	35	29.506	30.6272	30.8869	0	30.8869

14	0.345385	25.434	colmata	9	35	29.4638	30.5834	30.8244	0	30.8244
15	0.292052	17.5521	colmata	9	35	28.7342	29.8261	29.7427	0	29.7427
16	0.292052	15.9985	colmata	9	35	26.6389	27.6512	26.6366	0	26.6366
17	0.402188	20.6322	colmata	9	35	26.8457	27.8658	26.9431	0	26.9431
18	0.402188	20.0026	colmata	9	35	26.1906	27.1858	25.972	0	25.972
19	0.408576	21.9403	colmata	9	35	27.3502	28.3895	27.691	0	27.691
20	0.380591	21.9425	colmata	9	35	29.5829	30.7071	31.001	0	31.001
21	0.380591	22.3449	colmata	9	35	29.1167	30.2231	32.4783	2.16857	30.3098
22	0.380591	16.8542	colmata	9	35	21.4606	22.2761	24.9493	5.98918	18.9602
23	0.270375	5.70832	colmata	9	35	17.8583	18.537	21.6426	8.02239	13.6202
24	0.270375	4.0795	colmata	9	35	13.5423	14.0569	15.4902	8.26822	7.22197
25	0.270375	3.04354	colmata	9	35	10.7356	11.1435	11.5753	8.51404	3.06128

- **Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.04643**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.280205	1.45612	colmata	9	35	5.52088	5.77721	-4.60262	0	-4.60262
2	0.280205	4.36835	colmata	9	35	8.90621	9.31973	0.456615	0	0.456615
3	0.280205	7.27976	colmata	9	35	11.7579	12.3038	4.7183	0	4.7183
4	0.286774	10.2407	colmata	9	35	15.1094	15.8109	9.727	0	9.727
5	0.286774	12.6684	colmata	9	35	16.9989	17.7881	12.5507	0	12.5507
6	0.286774	14.9862	colmata	9	35	18.6067	19.4706	14.9536	0	14.9536
7	0.474055	26.523	colmata	9	35	20.9816	21.9558	18.5028	0	18.5028
8	0.256685	14.6551	colmata	9	35	22.6468	23.6983	20.9914	0	20.9914
9	0.256685	14.7228	colmata	9	35	22.5598	23.6073	20.8614	0	20.8614
10	0.292459	16.7703	colmata	9	35	23.7397	24.8419	22.6245	0	22.6245
11	0.292459	17.3088	colmata	9	35	24.209	25.333	23.3258	0	23.3258
12	0.292459	20.0154	colmata	9	35	26.7906	28.0345	27.1842	0	27.1842
13	0.292459	21.4019	colmata	9	35	28.144	29.4507	29.2065	0	29.2065
14	0.458216	33.2803	colmata	9	35	28.9768	30.3222	30.4512	0	30.4512
15	0.275373	15.831	colmata	9	35	27.9924	29.2921	28.9801	0	28.9801
16	0.275373	14.4595	colmata	9	35	26.5439	27.7763	26.8154	0	26.8154
17	0.363319	17.8889	colmata	9	35	27.2918	28.559	27.9332	0	27.9332
18	0.363319	17.0692	colmata	9	35	26.6532	27.8907	26.9788	0	26.9788
19	0.363319	18.226	colmata	9	35	27.9756	29.2745	28.9551	0	28.9551
20	0.355846	19.1563	colmata	9	35	28.7973	30.1344	30.183	0	30.183
21	0.355846	20.3816	colmata	9	35	30.2719	31.6774	32.3866	0	32.3866
22	0.299286	15.6356	colmata	9	35	29.8968	31.2849	34.3703	2.54422	31.8261
23	0.299286	11.2178	colmata	9	35	22.0615	23.0858	25.3509	5.23425	20.1167
24	0.389181	6.29207	colmata	9	35	17.6212	18.4394	20.5745	7.09369	13.4808
25	0.389181	4.46859	colmata	9	35	11.5518	12.0882	12.5329	8.12254	4.41039

Interslice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.038**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	22.1366	11.8672	0	0	0
2	22.4203	11.3719	-3.94932	0	0
3	22.7039	10.8767	-6.65307	0	0
4	22.9876	10.3814	-8.1117	0	0
5	23.2913	9.83569	-8.2939	0	0
6	23.5951	9.28999	-7.11306	0	0
7	23.8988	8.74429	-4.70207	0	0
8	24.309	8.07729	-1.28799	0	0
9	24.5508	7.71538	0.585928	0	0
10	24.7925	7.35347	2.5393	0	0
11	25.0923	6.9444	4.53008	0	0
12	25.3921	6.53532	6.74221	0	0
13	25.7375	6.03343	11.1564	0	0
14	26.0829	5.53154	16.4674	0	0
15	26.4283	5.02965	21.7615	0	0
16	26.7203	4.7211	22.5465	0	0
17	27.0124	4.41256	22.9851	0	0
18	27.4146	4.04766	22.0196	0	0
19	27.8168	3.68276	20.9633	0	0
20	28.2254	3.29423	20.5475	0	0
21	28.6059	2.95134	19.9185	0	0
22	28.9865	2.60844	19.9735	0	0
23	29.3671	2.26555	20.3607	0	0
24	29.6375	2.27358	15.3586	0	0
25	29.9079	2.2816	10.9886	0	0
26	30.1783	2.28963	3.80209	0	0

- **Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.04643**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	22.1325	11.8672	0	0	0
2	22.4127	11.2904	-4.20183	-0.438715	5.96068
3	22.6929	10.7136	-6.43401	-1.33552	11.7265
4	22.9731	10.1367	-7.00704	-2.15993	17.132
5	23.2599	9.61705	-6.28495	-2.5609	22.1692
6	23.5467	9.09735	-4.63724	-2.32593	26.6373
7	23.8334	8.57766	-2.20187	-1.29779	30.5152
8	24.3075	7.84294	1.44614	1.0382	35.675
9	24.5642	7.49136	3.01328	2.34285	37.8654
10	24.8209	7.13977	4.55707	3.77917	39.6689
11	25.1133	6.77222	5.92987	5.20725	41.2876

12	25.4058	6.40467	7.42319	6.79623	42.4754
13	25.6982	6.03712	9.57957	9.01451	43.2594
14	25.9907	5.66957	12.0835	11.5305	43.6585
15	26.4489	5.11707	15.6303	14.8478	43.5293
16	26.7243	4.83883	15.9854	14.9098	43.0061
17	26.9997	4.56059	16.1371	14.5995	42.1362
18	27.363	4.22704	15.5385	13.2366	40.4263
19	27.7263	3.89349	14.8536	11.6138	38.0213
20	28.0896	3.55995	14.3474	9.98877	34.8459
21	28.4455	3.21964	14.3716	8.60454	30.9097
22	28.8013	2.87933	14.621	7.15974	26.0905
23	29.1006	2.64173	13.8395	5.40555	21.335
24	29.3999	2.40414	13.26	3.7945	15.9691
25	29.7891	2.34688	7.39499	1.07041	8.23625
26	30.1783	2.28963	3.80209	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
7.343	1.625
26.966	2.777
30.7874	3.24458
40.3951	-0.002737
54.2991	0

External Boundary

X	Y
49.5024	-8.47713
49.5024	-3.8753
49.5024	-0.614999
43.0502	-0.429801
41.2259	0.053986
38.9214	0.54609
37.3835	0.899325
36.929	0.972544
34.3583	1.63607
32.5731	2.02443
30.7874	2.50997
30.1783	2.28963

29.9473	2.74665
29.6177	3.12455
29.4541	3.31222
29.3134	4.4271
29.1885	4.76707
28.8255	6.09643
28.6016	6.25682
27.4809	6.67184
26.6255	7.97793
26.1871	9.68837
25.9501	9.8674
25.5385	10.0708
25.2276	9.79981
23.7456	11.745
23.1088	11.8685
22.765	11.8685
19.9029	11.8625
17.4387	11.6545
10.8757	11.3183
8.54669	11.3183
8.54669	5.93123
8.54669	-8.47713

Material Boundary

X	Y
12.9473	1.26111
43.0502	-0.429801

Material Boundary

X	Y
8.54669	5.93123
9.16	5.31792
10.9111	3.65662
12.9473	1.26111
13.201	0.96262
20.6544	0.64832
49.5024	-3.8753

ALLEGATO: STABILITÀ GLOBALE

SEZIONE C, PROGETTO - CONDIZIONI STATICHE

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: sezione tipo statico.slim
- Slide Modeler Version: 6.025
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 19/12/2018, 11:38:19

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Design Standard

- Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
- Name: fronte statico

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1

Shear strength (other models)	1
Earth resistance	1.1
Tensile and plate strength	1.1
Shear strength	1.1
Compressive strength	1.1
Bond strength	1.1
Seismic Coefficient	1

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 40
- Circles per division: 15
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%

- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

Loading

- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kPa]: 25
- Orientation: Normal to boundary
- Load Action: Live

Back Analysis

- Required Factor of Safety: 1.1
- Reinforcement Load Elevation: 71 m

Material Properties

Property	mantellata	filtro	nucleo	substrato roccioso	sabbie marine	colmata
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	20	21	21	25	18	18
Saturated Unit Weight [kN/m3]	21	22	22	26	20	20
Cohesion [kPa]	0	0	8	35	0	8
Friction Angle [deg]	50	45	35	35	36	35
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	0.6	0.4	0.4	0.1	0.8	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.129570
- Center: 27.529, 15.029
- Radius: 8.894
- Left Slip Surface Endpoint: 19.226, 11.839
- Right Slip Surface Endpoint: 26.612, 6.182
- Resisting Moment=1096.11 kN-m
- Driving Moment=970.373 kN-m
- Total Slice Area=9.08408 m2

Method: gle/morgenstern-price

- FS: 1.132890
- Center: 27.505, 15.191
- Radius: 9.115
- Left Slip Surface Endpoint: 19.022, 11.856
- Right Slip Surface Endpoint: 26.844, 6.100
- Resisting Moment=1229.6 kN-m
- Driving Moment=1085.36 kN-m
- Resisting Horizontal Force=103.845 kN
- Driving Horizontal Force=91.6635 kN
- Total Slice Area=10.1982 m2

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 75912
- Number of Invalid Surfaces: 0

Method: gle/morgenstern-price

- Number of Valid Surfaces: 45474
- Number of Invalid Surfaces: 30438

Error Codes:

- Error Code -108 reported for 3914 surfaces
- Error Code -111 reported for 26482 surfaces
- Error Code -112 reported for 42 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).

- -111 = safety factor equation did not converge
- -112 = The coefficient M-Alpha = cos(alpha)(1+tan(alpha)tan(phi)/F) < 0.2 for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.

Slice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.12957**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.292374	1.71426	colmata	6.4	29.2561	3.63308	4.10382	-3.36651	0	-3.36651
2	0.292374	4.82541	colmata	6.4	29.2561	6.48949	7.33033	2.96941	0	2.96941
3	0.292374	7.59727	colmata	6.4	29.2561	9.34255	10.5531	9.2979	0	9.2979
4	0.292374	10.0738	colmata	6.4	29.2561	12.1209	13.6914	15.4606	0	15.4606
5	0.292374	11.1119	colmata	6.4	29.2561	13.6759	15.4479	18.9098	0	18.9098
6	0.292374	11.5254	colmata	6.4	29.2561	14.6303	16.526	21.0269	0	21.0269
7	0.292374	11.7596	colmata	6.4	29.2561	15.3787	17.3713	22.6868	0	22.6868
8	0.292374	11.8412	colmata	6.4	29.2561	15.9406	18.0061	23.9335	0	23.9335
9	0.292374	11.7901	colmata	6.4	29.2561	16.3316	18.4477	24.8006	0	24.8006
10	0.292374	11.6214	colmata	6.4	29.2561	16.5635	18.7096	25.3149	0	25.3149
11	0.292374	11.3472	colmata	6.4	29.2561	16.6459	18.8027	25.4976	0	25.4976
12	0.292374	10.977	colmata	6.4	29.2561	16.5864	18.7355	25.3658	0	25.3658
13	0.292374	10.5186	colmata	6.4	29.2561	16.3913	18.5151	24.933	0	24.933
14	0.301581	10.1722	nucleo	6.4	29.2561	15.9296	17.9936	23.9089	0	23.9089
15	0.301581	9.28641	nucleo	6.4	29.2561	15.1851	17.1526	22.2575	0	22.2575
16	0.301581	8.30864	nucleo	6.4	29.2561	14.2828	16.1334	20.256	0	20.256
17	0.301581	7.24389	nucleo	6.4	29.2561	13.2252	14.9388	17.9102	0	17.9102

18	0.301581	6.09635	nucleo	6.4	29.2561	12.014	13.5707	15.2236	0	15.2236
19	0.301581	4.86957	nucleo	6.4	29.2561	10.65	12.0299	12.198	0	12.198
20	0.301581	3.56658	nucleo	6.4	29.2561	9.13303	10.3164	8.83318	0	8.83318
21	0.301581	2.18991	nucleo	6.4	29.2561	7.46228	8.42917	5.1272	0	5.1272
22	0.301581	1.24254	nucleo	6.4	29.2561	6.31009	7.12769	2.57148	0	2.57148
23	0.290094	0.920042	filtro	0	38.6598	1.80235	2.03588	2.79934	0	2.79934
24	0.290094	0.593799	filtro	0	38.6598	1.18853	1.34253	1.84598	0	1.84598
25	0.290094	0.207814	filtro	0	38.6598	0.425054	0.480128	0.660177	0	0.660177

- **Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.13289**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.318133	1.97698	colmata	6.4	29.2561	3.72145	4.21599	-3.14621	0	-3.14621
2	0.318133	5.55635	colmata	6.4	29.2561	6.76409	7.66297	3.62263	0	3.62263
3	0.318133	8.58392	colmata	6.4	29.2561	9.74007	11.0344	10.2432	0	10.2432
4	0.318133	11.4755	colmata	6.4	29.2561	12.8346	14.5402	17.1275	0	17.1275
5	0.318133	13.1927	colmata	6.4	29.2561	15.0394	17.038	22.0323	0	22.0323
6	0.318133	13.597	colmata	6.4	29.2561	16.0528	18.1861	24.2868	0	24.2868
7	0.318133	13.7892	colmata	6.4	29.2561	16.8065	19.0399	25.9634	0	25.9634
8	0.318133	13.8025	colmata	6.4	29.2561	17.3231	19.6252	27.1129	0	27.1129
9	0.318133	13.6598	colmata	6.4	29.2561	17.6219	19.9637	27.7775	0	27.7775
10	0.318133	13.3789	colmata	6.4	29.2561	17.7207	20.0756	27.9972	0	27.9972
11	0.318133	12.9736	colmata	6.4	29.2561	17.6365	19.9802	27.8099	0	27.8099
12	0.318133	12.4549	colmata	6.4	29.2561	17.3849	19.6952	27.2502	0	27.2502
13	0.318133	11.8317	colmata	6.4	29.2561	16.9803	19.2368	26.3501	0	26.3501
14	0.29645	10.2678	nucleo	6.4	29.2561	16.3218	18.4908	24.8853	0	24.8853
15	0.29645	9.33859	nucleo	6.4	29.2561	15.4156	17.4642	22.8692	0	22.8692

16	0.29645	8.32789	nucleo	6.4	29.2561	14.3805	16.2915	20.5665	0	20.5665
17	0.29645	7.23959	nucleo	6.4	29.2561	13.2211	14.9781	17.9874	0	17.9874
18	0.29645	6.07698	nucleo	6.4	29.2561	11.9397	13.5264	15.1367	0	15.1367
19	0.29645	4.84289	nucleo	6.4	29.2561	10.5359	11.936	12.0136	0	12.0136
20	0.29645	3.5397	nucleo	6.4	29.2561	9.0066	10.2035	8.61143	0	8.61143
21	0.29645	2.19398	nucleo	6.4	29.2561	7.37928	8.35991	4.99119	0	4.99119
22	0.29645	1.57013	nucleo	6.4	29.2561	6.68853	7.57737	3.45452	0	3.45452
23	0.339293	1.41109	filtro	0	38.6598	2.33899	2.64982	3.6435	0	3.6435
24	0.339293	0.911233	filtro	0	38.6598	1.5607	1.7681	2.43113	0	2.43113
25	0.339293	0.319024	filtro	0	38.6598	0.567631	0.643063	0.884212	0	0.884212

Interslice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.12957**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	19.2265	11.8389	0	0	0
2	19.5189	11.163	-3.33654	0	0
3	19.8112	10.6082	-3.58454	0	0
4	20.1036	10.133	-1.89542	0	0
5	20.396	9.71608	1.00969	0	0
6	20.6884	9.3446	4.03949	0	0
7	20.9807	9.01014	6.79864	0	0
8	21.2731	8.70681	9.18799	0	0
9	21.5655	8.43032	11.1489	0	0
10	21.8578	8.17743	12.6502	0	0
11	22.1502	7.9456	13.6807	0	0
12	22.4426	7.73283	14.2435	0	0
13	22.735	7.53749	14.3535	0	0
14	23.0273	7.35825	14.0345	0	0
15	23.3289	7.18907	13.2798	0	0
16	23.6305	7.03483	12.1374	0	0
17	23.9321	6.89468	10.6728	0	0
18	24.2337	6.76791	8.95842	0	0
19	24.5352	6.65391	7.07406	0	0
20	24.8368	6.55216	5.10631	0	0
21	25.1384	6.46223	3.14887	0	0
22	25.44	6.38374	1.30285	0	0
23	25.7416	6.3164	-0.425225	0	0
24	26.0317	6.26189	-0.795005	0	0
25	26.3218	6.21726	-1.05709	0	0

26	26.6119	6.18236	0	0	0

- **Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.13289**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	19.0224	11.8559	0	0	0
2	19.3405	11.1389	-3.43933	0.043828	-0.730091
3	19.6587	10.5527	-3.46677	0.0876349	-1.44805
4	19.9768	10.0524	-1.43911	0.0538251	-2.14196
5	20.2949	9.61473	1.97514	-0.0966141	-2.80039
6	20.6131	9.22597	5.75792	-0.34335	-3.41256
7	20.9312	8.87705	9.12724	-0.633196	-3.9685
8	21.2493	8.56168	11.9709	-0.933567	-4.45926
9	21.5675	8.27527	14.2275	-1.214	-4.8771
10	21.8856	8.01435	15.8716	-1.44871	-5.21533
11	22.2037	7.77622	16.9033	-1.61828	-5.46869
12	22.5219	7.55876	17.3425	-1.71063	-5.63332
13	22.84	7.36024	17.2238	-1.72117	-5.70661
14	23.1581	7.17925	16.5931	-1.65254	-5.68745
15	23.4546	7.02535	15.5863	-1.52458	-5.58664
16	23.751	6.88487	14.2308	-1.347	-5.40716
17	24.0475	6.75715	12.5963	-1.13558	-5.1514
18	24.3439	6.6416	10.7569	-0.907587	-4.82277
19	24.6404	6.53775	8.79084	-0.6804	-4.4258
20	24.9368	6.44517	6.78097	-0.470118	-3.96591
21	25.2333	6.36351	4.81526	-0.290252	-3.44947
22	25.5297	6.29247	2.98315	-0.150269	-2.8837
23	25.8262	6.2318	1.21075	-0.048132	-2.27653
24	26.1655	6.17482	0.625097	-0.0168273	-1.542
25	26.5048	6.13089	0.202581	-0.00275219	-0.778351
26	26.844	6.09982	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
2.54163	0
56.1627	0

Line Load

X	Y
17.7925	11.8335
5.36065	11.5639

External Boundary

X	Y
2.54163	11.4804
2.54163	9.23936
2.54163	-9.16821
50.1536	-9.16821
50.1536	-3.92169
50.1536	-1.07546
45.2336	-0.614999
39.5189	2.24234
36.5189	2.24234
32.3189	5.04234
29.8189	5.04234
25.4695	6.58843
20.3094	11.7485
19.7881	11.792
18.9824	11.8593
2.82023	11.5088

Material Boundary

X	Y
19.7881	11.792
26.839	2.14086
27.3311	1.55
30.8908	1.55
33.0312	0.157036
34.0408	-0.5
37.4287	-0.5
39.2475	-1.40941
40.9246	-1.40941
45.2336	-0.614999

Material Boundary

X	Y
27.6027	2.87022
31.2693	2.85

35.1693	0.25
37.6058	0.25
40.9246	-1.40941

Material Boundary

X	Y
26.839	2.14086
27.6027	2.87022
28.4134	3.64455
29.8189	5.04234

Material Boundary

X	Y
25.4695	6.58843
28.4134	3.64455

Material Boundary

X	Y
2.54163	9.23936
8.06172	6.84452
9.58832	5.31792
11.3394	3.65662
13.3756	1.26111
13.6293	0.96262
21.0827	0.64832
50.1536	-3.92169

Material Boundary

X	Y
13.3756	1.26111
33.0312	0.157036

SEZIONE C – PROGETTO, CONDIZIONE DINAMICA

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: sezione tipo sismico.slim
- Slide Modeler Version: 6.025
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 19/12/2018, 11:38:19

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Design Standard

- Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
- Name: globale sismico

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1
Coefficient of shearing resistance	1
Undrained strength	1
Weight density	1
Shear strength (other models)	1
Earth resistance	1.2
Tensile and plate strength	1.1

Shear strength	1.1
Compressive strength	1.1
Bond strength	1.1
Seismic Coefficient	1

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 40
- Circles per division: 15
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.077
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.039
- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kPa]: 25
- Orientation: Normal to boundary
- Load Action: Variable

Back Analysis

- Required Factor of Safety: 1.1
- Reinforcement Load Elevation: 71 m

Material Properties

Property	mantellata	filtro	nucleo	substrato roccioso	sabbie marine	colmata
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	20	21	21	25	18	18
Saturated Unit Weight [kN/m3]	21	22	22	26	20	20
Cohesion [kPa]	0	0	9	35	0	9
Friction Angle [deg]	50	45	35	35	36	35
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	0.6	0.4	0.4	0.1	0.8	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.148710

- Center: 27.576, 15.159
- Radius: 9.091
- Left Slip Surface Endpoint: 19.109, 11.849
- Right Slip Surface Endpoint: 26.851, 6.097
- Resisting Moment=1360.76 kN-m
- Driving Moment=1184.6 kN-m
- Total Slice Area=9.79112 m2

Method: gle/morgenstern-price

- FS: 1.173910
- Center: 28.117, 19.137
- Radius: 13.514
- Left Slip Surface Endpoint: 16.761, 11.811
- Right Slip Surface Endpoint: 28.183, 5.624
- Resisting Moment=4017.21 kN-m
- Driving Moment=3422.07 kN-m
- Resisting Horizontal Force=246.431 kN
- Driving Horizontal Force=209.923 kN
- Total Slice Area=20.8242 m2

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 55731
- Number of Invalid Surfaces: 0

Method: gle/morgenstern-price

- Number of Valid Surfaces: 24768
- Number of Invalid Surfaces: 30963

Error Codes:

- Error Code -108 reported for 627 surfaces
- Error Code -111 reported for 30325 surfaces
- Error Code -112 reported for 11 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- -111 = safety factor equation did not converge

- -112 = The coefficient M-Alpha = cos(alpha)(1+tan(alpha)tan(phi)/F) < 0.2 for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.

Slice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.14871**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.308118	1.86908	colmata	9	35	4.08453	4.69194	-4.8124	0	-4.8124
2	0.308118	5.25841	colmata	9	35	7.28097	8.36373	1.48024	0	1.48024
3	0.308118	8.18532	colmata	9	35	10.4315	11.9827	7.6824	0	7.6824
4	0.308118	10.9459	colmata	9	35	13.6635	15.6954	14.0452	0	14.0452
5	0.308118	12.3283	colmata	9	35	15.7397	18.0803	18.1322	0	18.1322
6	0.308118	12.741	colmata	9	35	16.8755	19.3851	20.3684	0	20.3684
7	0.308118	12.9564	colmata	9	35	17.7752	20.4185	22.1394	0	22.1394
8	0.308118	13.0036	colmata	9	35	18.459	21.204	23.4855	0	23.4855
9	0.308118	12.9045	colmata	9	35	18.9426	21.7596	24.4378	0	24.4378
10	0.308118	12.6757	colmata	9	35	19.2386	22.0996	25.0205	0	25.0205
11	0.308118	12.3301	colmata	9	35	19.3565	22.235	25.2525	0	25.2525
12	0.308118	11.8782	colmata	9	35	19.3038	22.1745	25.1488	0	25.1488
13	0.308118	11.3286	colmata	9	35	19.0865	21.9248	24.7209	0	24.7209
14	0.300318	10.3142	nucleo	9	35	18.5667	21.3278	23.6979	0	23.6979
15	0.300318	9.39597	nucleo	9	35	17.734	20.3712	22.0584	0	22.0584
16	0.300318	8.39103	nucleo	9	35	16.7237	19.2107	20.0696	0	20.0696
17	0.300318	7.30371	nucleo	9	35	15.5372	17.8477	17.7336	0	17.7336
18	0.300318	6.13774	nucleo	9	35	14.1744	16.2822	15.0508	0	15.0508

19	0.300318	4.89626	nucleo	9	35	12.6345	14.5134	12.0194	0	12.0194
20	0.300318	3.58196	nucleo	9	35	10.9159	12.5392	8.636	0	8.636
21	0.300318	2.21271	nucleo	9	35	9.03944	10.3837	4.94203	0	4.94203
22	0.300318	1.54915	nucleo	9	35	8.18213	9.39889	3.25428	0	3.25428
23	0.344266	1.40119	filtro	0	45	2.65831	3.05363	3.66434	0	3.66434
24	0.344266	0.908576	filtro	0	45	1.77631	2.04047	2.44857	0	2.44857
25	0.344266	0.318906	filtro	0	45	0.642782	0.73837	0.886044	0	0.886044

- **Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.17391**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.467237	2.89338	colmata	9	35	13.8287	16.2337	14.9676	0	14.9676
2	0.467237	8.35032	colmata	9	35	18.1266	21.279	23.6142	0	23.6142
3	0.467237	13.2126	colmata	9	35	14.594	17.1321	16.5073	0	16.5073
4	0.467237	17.5894	colmata	9	35	16.1691	18.9811	19.6761	0	19.6761
5	0.467237	21.5444	colmata	9	35	19.6365	23.0515	26.6518	0	26.6518
6	0.467237	24.8626	colmata	9	35	22.7713	26.7314	32.9585	0	32.9585
7	0.467237	27.8665	colmata	9	35	25.757	30.2364	38.9652	0	38.9652
8	0.467237	30.8758	colmata	9	35	28.8137	33.8247	45.1146	0	45.1146
9	0.467237	30.6137	colmata	9	35	29.2848	34.3777	46.0625	0	46.0625
10	0.467237	29.3788	colmata	9	35	28.8899	33.9142	45.2681	0	45.2681
11	0.467237	27.929	colmata	9	35	28.2316	33.1414	43.9436	0	43.9436
12	0.467237	26.2785	colmata	9	35	27.3273	32.0798	42.1243	0	42.1243
13	0.467237	24.4392	colmata	9	35	26.1926	30.7478	39.8416	0	39.8416
14	0.467237	22.4209	colmata	9	35	24.8409	29.161	37.1222	0	37.1222
15	0.467237	20.2322	colmata	9	35	23.2824	27.3315	33.9867	0	33.9867
16	0.423928	16.0457	nucleo	9	35	21.3257	25.0345	30.0502	0	30.0502
17	0.423928	13.4173	nucleo	9	35	18.9693	22.2682	25.3094	0	25.3094
18	0.423928	10.6555	nucleo	9	35	16.4085	19.2621	20.1577	0	20.1577
19	0.423928	7.76395	nucleo	9	35	13.6363	16.0078	14.5805	0	14.5805
20	0.423928	5.93908	nucleo	9	35	11.9369	14.0129	11.1617	0	11.1617
21	0.423928	5.22837	nucleo	9	35	11.4177	13.4033	10.117	0	10.117
22	0.467416	4.79179	filtro	0	45	6.67768	7.83899	9.40679	0	9.40679
23	0.467416	3.61693	filtro	0	45	5.21291	6.11949	7.34339	0	7.34339
24	0.467416	2.28166	filtro	0	45	3.40977	4.00276	4.80332	0	4.80332
25	0.467416	0.787043	filtro	0	45	1.22332	1.43607	1.72328	0	1.72328

Interslice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.14871**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	19.1095	11.8487	0	0	0
2	19.4176	11.1489	-4.48013	0	0
3	19.7257	10.575	-5.4659	0	0
4	20.0338	10.084	-4.27318	0	0
5	20.3419	9.65372	-1.59077	0	0
6	20.6501	9.2708	1.4589	0	0
7	20.9582	8.92652	4.26012	0	0
8	21.2663	8.61477	6.6905	0	0
9	21.5744	8.33111	8.67431	0	0
10	21.8825	8.07215	10.168	0	0
11	22.1906	7.83528	11.1513	0	0
12	22.4988	7.61841	11.6215	0	0
13	22.8069	7.41987	11.5899	0	0
14	23.115	7.23827	11.079	0	0
15	23.4153	7.07648	10.1392	0	0
16	23.7156	6.92882	8.80156	0	0
17	24.016	6.79453	7.12735	0	0
18	24.3163	6.67299	5.1856	0	0
19	24.6166	6.56366	3.05303	0	0
20	24.9169	6.46606	0.814079	0	0
21	25.2172	6.37982	-1.43889	0	0
22	25.5175	6.3046	-3.60761	0	0
23	25.8179	6.24011	-5.73223	0	0
24	26.1621	6.17911	-6.31466	0	0
25	26.5064	6.13163	-6.73911	0	0
26	26.8507	6.09747	0	0	0

- **Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.17391**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	16.7613	11.8111	0	0	0
2	17.2286	11.1332	4.23775	-0.0518705	-0.701271
3	17.6958	10.5337	10.8972	-0.264566	-1.39077
4	18.163	9.99717	14.0202	-0.50355	-2.05695
5	18.6303	9.51311	17.3442	-0.814511	-2.68872
6	19.0975	9.07392	21.5334	-1.23241	-3.27561
7	19.5647	8.67396	25.9904	-1.7299	-3.80794
8	20.032	8.30888	30.3271	-2.26812	-4.27711
9	20.4992	7.97525	34.2934	-2.80465	-4.67547
10	20.9665	7.67033	37.0132	-3.23609	-4.9967
11	21.4337	7.39188	38.3818	-3.51714	-5.23571

12	21.9009	7.13807	38.4953	-3.63122	-5.3887
13	22.3682	6.90734	37.4696	-3.57708	-5.45328
14	22.8354	6.69843	35.4367	-3.36752	-5.42847
15	23.3026	6.51025	32.5424	-3.02725	-5.31463
16	23.7699	6.34188	28.9443	-2.59012	-5.11357
17	24.1938	6.20561	25.2343	-2.14482	-4.85825
18	24.6177	6.08452	21.2905	-1.68946	-4.53707
19	25.0417	5.9782	17.2983	-1.25639	-4.15415
20	25.4656	5.88628	13.4556	-0.87357	-3.71457
21	25.8895	5.80847	9.72099	-0.54761	-3.22422
22	26.3134	5.74452	5.93027	-0.278592	-2.68966
23	26.7809	5.68985	3.69229	-0.132661	-2.05771
24	27.2483	5.6516	1.81517	-0.0440857	-1.39129
25	27.7157	5.62961	0.502696	-0.0061554	-0.701539
26	28.1831	5.62382	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
2.54163	0
56.1627	0

Line Load

X	Y
17.7925	11.8335
5.36065	11.5639

External Boundary

X	Y
2.54163	11.4804
2.54163	9.23936
2.54163	-9.16821
50.1536	-9.16821
50.1536	-3.92169
50.1536	-1.07546
45.2336	-0.614999
39.5189	2.24234

36.5189	2.24234
32.3189	5.04234
29.8189	5.04234
25.4695	6.58843
20.3094	11.7485
19.7881	11.792
18.9824	11.8593
2.82023	11.5088

Material Boundary

X	Y
19.7881	11.792
26.839	2.14086
27.3311	1.55
30.8908	1.55
33.0312	0.157036
34.0408	-0.5
37.4287	-0.5
39.2475	-1.40941
40.9246	-1.40941
45.2336	-0.614999

Material Boundary

X	Y
27.6027	2.87022
31.2693	2.85
35.1693	0.25
37.6058	0.25
40.9246	-1.40941

Material Boundary

X	Y
26.839	2.14086
27.6027	2.87022
28.4134	3.64455
29.8189	5.04234

Material Boundary

X	Y
25.4695	6.58843
28.4134	3.64455

Material Boundary

X	Y
2.54163	9.23936
8.06172	6.84452
9.58832	5.31792
11.3394	3.65662
13.3756	1.26111
13.6293	0.96262
21.0827	0.64832
50.1536	-3.92169

Material Boundary

X	Y
13.3756	1.26111
33.0312	0.157036

ALLEGATO: VERIFICA LIQUEFACIBILITÀ DEI SUOLI

ANDRUS E STOKOE *(1998)*

Il *'metodo di Andrus e Stokoe'* è basato sulle misure provenienti da prove sismiche a rifrazione, (Vs).
La velocità delle onde di taglio viene corretta dalla sovrapressione, usando l'equazione *(Robertson et alii, 1992)*:

$$V_{S1} = V_S \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25}$$

dove

V_{S1} velocità delle onde di taglio corretta dalla sovrapressione;

V_S velocità delle onde di taglio misurate in situ;

Pa pressione atmosferica (circa 100 kPa);

σ'_{vo} pressione effettiva iniziale nelle stesse unità di misura della **Pa**.

Per il calcolo della resistenza alla liquefazione, Andrus e Stokoe hanno proposto la seguente relazione:

$$CRR = 0,03 \left(\frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + 0,9 \left[\frac{1}{(V_{S1})_{cs} - V_{S1}} - \frac{1}{(V_{S1})_{cs}} \right]$$

dove la presenza di fini FC (%) interviene nel modello di calcolo tramite le seguenti indicazioni:

$(V_{S1})_{CS} = 220$ per $FC \leq 5\%$
$220 < (V_{S1})_{CS} \leq 200$ per $5\% < FC \leq 35\%$
$(V_{S1})_{CS} = 200$ per $FC > 35\%$

Il Rapporto di Tensione Ciclica per eventi sismici di magnitudo 7,5 (**$CSR_{7,5}$**) si determina dalla seguente espressione:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d$$

dove a_{max} rappresenta l'accelerazione orizzontale massima attesa in superficie contenente gli effetti amplificativi di sito. Utilizzando le raccomandazioni del **NCEER** , per magnitudo diverse occorre introdurre il fattore correttivo **MSF** *(Magnitudo Scaling Factor)* (vedi Tabella 1)

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF}$$

Tabella 1- *Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori*

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M. *(1982)*	Ambraseys N.N *(1988).*	NCEER (Seed R. B. et alii) *(1997; 2003)*

5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84
8,5	0,89	0,44	0,73

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo **r_d** vengono utilizzate le formule raccomandate da un gruppo di esperti del **NCEER** *(National Center for Earthquake Engineering Research)*:

per z < 9,15 m

$$r_d = 1,0 - 0,00765\ z$$

per 9,15 ≤ z < 23 m

$$r_d = 1,174 - 0,00267\ z$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione **FS** viene determinato dalla relazione:

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

mentre **l'indice e il rischio di liquefazione** vengono calcolati con il metodo di **Iwasaki et alii** *(1978; 1984)*.

DATI GENERALI

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE
Titolo lavoro: Via Giancardi Alassio
Data 06/10/2022
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA
Profondità falda idrica 10 m
CARICHI SUL PIANO CAMPAGNA
Base 0 m
Lunghezza 0 m
Carico in superficie 25 kPa
Metodo calcolo stato tensionale Bussinesq
Coefficiente di Poisson 0.2

DATI SISMICI
Accelerazione Bedrock 0.13
Fattore amplificazione 0.13

Tipo Suolo: E-Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali su substrato rigido Vs30>= 800m/s
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i<=15°

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS)	1.6
Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1
Magnitudo momento sismico (Mw)	6.5
Peak ground acceleration (PGA)	0.208

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	colmata	0	11	18	20	0	0	0	0	300
2	sabbie marine	11	12	18	20	22	0.2	0	0	460
3	substrato roccioso	12	30	25	26	50	0.2	0	0	900

Nr.	Frazione fine (%)	Validità
	7.8	Valido
	6.9	Valido
	1.9	Non valido

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.44

Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Velocità normalizzata Vs1 (m/s)	Valore critico di Vs1 (Vs1c) (m/s)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
1	10.20	184.000	182.039	258.274	218.133	0.902	0.174	0.085	2.03	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
2	10.40	188.000	184.077	257.556	218.133	0.896	0.172	0.086	2.01	Terreno non suscett	0.00	Molto basso

										ibile di liquefazione		
3	10.60	192.000	186.116	256.848	218.133	0.891	0.171	0.086	1.98	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
4	10.80	196.000	188.155	256.149	218.133	0.886	0.169	0.086	1.95	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
5	11.00	200.000	190.193	255.460	218.133	0.880	0.168	0.087	1.93	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
6	11.20	204.000	192.232	390.662	218.733	0.875	0.449	0.087	5.15	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
7	11.40	208.000	194.271	389.633	218.733	0.870	0.446	0.087	5.11	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
8	11.60	212.000	196.309	388.618	218.733	0.864	0.444	0.087	5.07	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
9	11.80	216.000	198.348	387.615	218.733	0.859	0.441	0.088	5.03	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso

										di liquefazione		
10	12.00	220.000	200.387	386.626	218.733	0.854	0.439	0.088	5.00	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
11	12.20	225.200	203.625						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
12	12.40	230.400	206.864						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
13	12.60	235.600	210.103						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
14	12.80	240.800	213.341						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
15	13.00	246.000	216.580						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
16	13.20	251.200	219.819						0	Terreno non suscettibile di	0.00	Molto basso

										liquefazione		
17	13.40	256.400	223.057						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
18	13.60	261.600	226.296						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
19	13.80	266.800	229.535						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
20	14.00	272.000	232.773						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
21	14.20	277.200	236.012						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
22	14.40	282.400	239.251						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
23	14.60	287.600	242.489						0	Terreno non suscettibile di	0.00	Molto basso

										liquefazione		
24	14.80	292.800	245.728						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
25	15.00	298.000	248.967						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
26	15.20	303.200	252.205						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
27	15.40	308.400	255.444						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
28	15.60	313.600	258.683						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
29	15.80	318.800	261.921						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
30	16.00	324.000	265.160						0	Terreno non suscettibile di	0.00	Molto basso

										liquefazione		
31	16.20	329.200	268.399						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
32	16.40	334.400	271.638						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
33	16.60	339.600	274.876						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
34	16.80	344.800	278.115						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
35	17.00	350.000	281.354						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
36	17.20	355.200	284.592						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
37	17.40	360.400	287.831						0	Terreno non suscettibile di	0.00	Molto basso

										liquefazione		
38	17.60	365.600	291.070						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
39	17.80	370.800	294.308						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
40	18.00	376.000	297.547						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
41	18.20	381.200	300.786						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
42	18.40	386.400	304.024						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
43	18.60	391.600	307.263						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
44	18.80	396.800	310.502						0	Terreno non suscettibile di	0.00	Molto basso

										liquefazione		
45	19.00	402.000	313.740						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
46	19.20	407.200	316.979						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
47	19.40	412.400	320.218						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
48	19.60	417.600	323.456						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
49	19.80	422.800	326.695						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
50	20.00	428.000	329.934						0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso

METODO DELL'EUROCODICE 8 (ENV 1998-5)

Le indicazioni della normativa europea sono contenute al punto 4.1.3 a cui si aggiungono ulteriori indicazioni che si possono trovare nell'appendice B della parte 5 dell'Eurocodice 8 (ENV 1998-5).

Secondo tale normativa si può escludere pericolo di liquefazione per i terreni sabbiosi saturi che si trovano a profondità di 15 m o quando $a_g < 0,15$ e, contemporaneamente, il terreno soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:

- contenuto in argilla superiore al 20%, con indice di plasticità > 10;
- contenuto di limo superiore al 10% e resistenza $N_{1,60} > 20$
- frazione fine trascurabile e resistenza $N_{1,60} > 25$

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, *la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.*

Lo sforzo ciclico di taglio **CSR** viene valutato con l'espressione semplificata:

$$CSR = 0,65 \frac{a_g}{g} S \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \frac{r_d}{MSF} \qquad (8.0)$$

dove **S** è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue:

Tabella 1- *Coefficienti di profilo stratigrafico*

Categoria suolo	Spettri di Tipo 1 *S (M > 5,5)*	Spettri di Tipo 2 *S (M ≤ 5,5)*
A	1,00	1,00
B	1,20	1,35
C	1,15	1,50
D	1,35	1,80
E	1,40	1,60

Il fattore di correzione della magnitudo **MSF** consigliato dalla normativa è quello di **Ambraseys** (Tabella 2).

Tabella 2- *Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori*

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M. *(1982)*	Ambraseys N.N *(1988).*	NCEER (Seed R. B. et alii) *(1997; 2003)*
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84

8,5	0,89	0,44	0,73

Nel caso vengano utilizzati dati provenienti da prove **SPT** la resistenza alla liquefazione viene calcolata mediante la seguente relazione di **Blake**, 1997:

$$CRR = \frac{0{,}04844 - 0{,}004721\left(N_{1,60}\right)_{cs} + 0{,}0006136\left[\left(N_{1,60}\right)_{cs}\right]^2 - 0{,}00001673\left[\left(N_{1,60}\right)_{cs}\right]^3}{1 - 0{,}1248\left(N_{1,60}\right)_{cs} + 0{,}009578\left[\left(N_{1,60}\right)_{cs}\right]^2 - 0{,}0003285\left[\left(N_{1,60}\right)_{cs}\right]^3 + 0{,}000003714\left[\left(N_{1,60}\right)_{cs}\right]^4} \qquad (8.1)$$

Il valore di $N_{1,60}$ misurato in sabbie limose può essere trasformato in una resistenza equivalente $(N_{1,60})_{cs}$ dove con "cs" si indica "sabbie pulite". Tale valore viene valutato con il metodo proposto da **Youd e Idriss** *(1997)* e raccomandato dal **NCEER**:

$$\left(N_{1,60}\right)_{cs} = \alpha + \beta\, N_{1,60} \qquad (8.2)$$

dove $\mathbf{N_{1,60}}$ è la normalizzazione dei valori misurati dell'indice $\mathbf{N_m}$ (ridotti del 25% per profondità < 3 m) nella prova **SPT** rispetto ad una pressione efficace di confinamento di 100 KPa ed a un valore del rapporto tra l'energia di impatto e l'energia teorica di caduta libera pari al 60%, cioè:

$$N_{1,60} = C_N\, C_E\, N_m \qquad (8.3a)$$

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}}\right)^{0,5} \qquad (8.3b)$$

$$C_E = \frac{ER}{60} \qquad (8.3c)$$

dove ER è pari al (rapporto dell'energia misurato rispetto al valore teorico) x 100 e dipende dal tipo di strumento utilizzato (Tabella 3).

Tabella 3- *Rendimenti dei sistemi di infissione*

Attrezzatura	$\mathbf{C_E}$
Safety Hammer	0,7÷1,2
Donut Hammer (USA)	0,5÷1,0
Donut Hammer (Giappone)	1,1÷1,4
Automatico-Trip Hammer (Tipo Donut o Safety)	0,8÷1,4

I parametri α e β, invece, dipendono dalla frazione fine FC:

$\alpha = 0$	per FC ≤ 5%
$\alpha = \exp[1{,}76 - (190 / FC^2)]$	per 5% < FC ≤ 35%
$\alpha = 5$	per FC > 35%
$\beta = 1{,}0$	per FC ≤ 5%
$\beta = [0{,}99 + (FC^{1,5} / 1000)]$	per 5% < FC ≤ 35%

β= 1,2 per FC > 35%

Se invece si possiedono dati provenienti da una prova penetrometrica statica (**CPT**), i valori di resistenza alla punta misurati q_c devono essere normalizzati rispetto ad una pressione efficace di confinamento pari a 100 KPa e vanno calcolati tramite la seguente relazione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa}\left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}}\right)^n \qquad (8.4)$$

Per poter tenere conto della eventuale presenza di fini, il software utilizza il metodo di Robertson e Wride. Poiché, come dimostrato, è possibile assumere:

$$\frac{(q_{c1N})_{cs}}{(N_{1,60})_{cs}} = 5 \qquad (8.5)$$

come proposto dall'**EC8**, derivato $(N_{1,60})_{cs}$ dalla (5.3), si utilizza la (5.2) per il calcolo di **CRR**.
Quando invece si possiedono dati provenienti da prove sismiche di rifrazione, si calcola la velocità di propagazione normalizzata con la (4.9) e la resistenza alla liquefazione mediante la formula di Andrus e Stokoe (5.0):

DATI GENERALI

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE
Titolo lavoro: Via Giancardi Alassio
Data 06/10/2022
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa	1.25	
FALDA		
Profondità falda idrica	10	m
CARICHI SUL PIANO CAMPAGNA		
Base	0	m
Lunghezza	0	m
Carico in superficie	25	kPa
Metodo calcolo stato tensionale	Bussinesq	
Coefficiente di Poisson	0.2	
DATI SISMICI		
Accelerazione Bedrock	0.13	
Fattore amplificazione	0.13	

Tipo Suolo: E-Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali su substrato rigido Vs30>= 800m/s
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i<=15°

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS)	1.6
Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1
Magnitudo momento sismico (Mw)	6.5

Peak ground acceleration (PGA) 0.208

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	colmata	0	11	18	20	0	0	0	0	300
2	sabbie marine	11	12	18	20	22	0.2	0	0	460
3	substrato roccioso	12	30	25	26	50	0.2	0	0	900

Strato Nr.	Frazione limosa (%)	Frazione argillosa (%)	Indice di plasticità (%)	Tipo Suolo	Validità
1-colmata	2	10	<= 10	A-Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi Vs30>800	Valido
2-sabbie marine	2	10	<= 10	A-Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi Vs30>800	Valido
3-substrato roccioso	1	0	<= 10	A-Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi Vs30>800	Non valido

Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Velocità normalizzata Vs1 (m/s)	Valore critico di Vs1 (Vs1c) (m/s)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Probabilità di liquefazione (%)
1	10.20	184.000	182.039	258.274	215.333	0.902	0.175	0.059	2.96	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.240

2	10.40	188.000	184.077	257.556	215.333	0.896	0.174	0.060	2.90	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.314
3	10.60	192.000	186.116	256.848	215.333	0.891	0.172	0.060	2.85	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.390
4	10.80	196.000	188.155	256.149	215.333	0.886	0.171	0.061	2.80	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.469
5	11.00	200.000	190.193	255.460	215.333	0.880	0.169	0.062	2.75	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.552
6	11.20	204.000	192.232	390.662	215.333	0.875	0.449	0.062	7.22	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.079
7	11.40	208.000	194.271	389.633	215.333	0.870	0.446	0.063	7.11	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.082
8	11.60	212.000	196.309	388.618	215.333	0.864	0.444	0.063	7.01	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.086
9	11.80	216.000	198.348	387.615	215.333	0.859	0.441	0.064	6.92	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.090
10	12.00	220.000	200.387	386.626	215.333	0.854	0.439	0.064	6.83	Terreno non	0.094

										suscettibile di liquefazione	
11	12.20	225.200	203.625							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
12	12.40	230.400	206.864							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
13	12.60	235.600	210.103							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
14	12.80	240.800	213.341							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
15	13.00	246.000	216.580							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
16	13.20	251.200	219.819							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
17	13.40	256.400	223.057							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
18	13.60	261.600	226.296							Terreno non suscettibile di	0.000

										liquefazione	
19	13.80	266.800	229.535							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
20	14.00	272.000	232.773							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
21	14.20	277.200	236.012							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
22	14.40	282.400	239.251							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
23	14.60	287.600	242.489							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
24	14.80	292.800	245.728							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
25	15.00	298.000	248.967							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
26	15.20	303.200	252.205							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000

27	15.40	308.400	255.444							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
28	15.60	313.600	258.683							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
29	15.80	318.800	261.921							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
30	16.00	324.000	265.160							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
31	16.20	329.200	268.399							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
32	16.40	334.400	271.638							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
33	16.60	339.600	274.876							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
34	16.80	344.800	278.115							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
35	17.00	350.000	281.354							Terreno non	0.000

										suscettibile di liquefazione	
36	17.20	355.200	284.592							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
37	17.40	360.400	287.831							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
38	17.60	365.600	291.070							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
39	17.80	370.800	294.308							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
40	18.00	376.000	297.547							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
41	18.20	381.200	300.786							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
42	18.40	386.400	304.024							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
43	18.60	391.600	307.263							Terreno non suscettibile di	0.000

										liquefazione	
44	18.80	396.800	310.502							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
45	19.00	402.000	313.740							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
46	19.20	407.200	316.979							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
47	19.40	412.400	320.218							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
48	19.60	417.600	323.456							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
49	19.80	422.800	326.695							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000
50	20.00	428.000	329.934							Terreno non suscettibile di liquefazione	0.000

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso