



# COMUNE DI MONTELLA

Provincia di Avellino

## PROGETTO DI DISMISSIONE DELL'ATTIVITA' ESTRATTIVA DELLE CAVE IN LOCALITA' PIETRA DELLE GATTE NEL COMUNE DI MONTELLA

(Progetto redatto ai sensi dell'art. 27 delle Norme di Attuazione del PRAE e delle L. R. 54/85 e 17/95)

Committente: Società Calcestruzzi Terminio s.r.l.  
Via N. Clemente n. 38 - Montella (Av) P. IVA 00120990643

## Rilievo strutturale, relazione sismica e verifiche di stabilità

---

### Aspetti geologici

dr. Enrico Spagnuolo



### Aspetti sismici



Avellino, 22.10.2013

---

**SOMMARIO**

1.0 PREMESSA ..... 3  
2.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA ..... 5  
3.0 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E STABILITA' DEI FRONTI..... 6  
4.0 CARATTERIZZAZIONE SISMICA E MICROZONAZIONE .....15  
5.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....22

[CARTE TEMATICHE \(L.R. 9/83\) - TAVOLA 1:1000](#)

- Carta ubicazione indagini e della Microzonazione Sismica;

[ALLEGATI:](#)

- RILIEVO STRUTTURALE
- RELAZIONE DI CALCOLO VERIFICHE DI STABILITA'
- INDAGINE SISMICA (MASW)
- INDAGINE SISMICA (HVSR)

## 1.0 PREMESSA

Facendo seguito all'incarico ricevuto, dalla Società Calcestruzzi Terminio s.r.l., riguardante lo studio delle aree interessate dal PROGETTO DI DISMISSIONE DELL'ATTIVITA' ESTRATTIVA DELLE CAVE IN LOCALITA' PIETRA DELLE GATTE NEL COMUNE DI MONTELLA, ai sensi dell'art. 27 delle Norme di Attuazione del PRAE e delle L. R. 54/85 e 17/95 è stato eseguito il seguente studio specialistico, riferito alla stabilità dei fronti e alla microzonazione sismica dell'area.

La cava di proprietà della ditta committente, è ubicata in agro del comune di Montella, alla Località Pietra delle Gatte, nell'ambito di una estesissima "area di crisi", che interessa i terreni del Comune di Montella, ad essa si accede direttamente percorrendo una comoda strada statale e la viabilità comunale

Nello specifico, lo studio redatto secondo la normativa nazionale (D.M. 14/01/2008 e s.m.) e regionale vigente (L.R. 9/83 e s.m.), è basato sulla seguente campagna di indagini geologiche e sismiche (come ubicate nella Carta Ubicazione Indagini - Microzonazione sismica) eseguite direttamente sul sito e costituite da:

- 2 prove sismiche di tipo MASW e HVSR finalizzate alla definizione della categoria di sottosuolo basata sul valore delle onde Vs (30);

si è fatto inoltre riferimento ai sondaggi e alle prove di laboratorio eseguite nell'ambito degli studi geologici precedenti e del PUC Comunale, in aree prossime a quella in oggetto con caratteristiche geologiche, idrogeologiche, morfoevolutive e geotecniche simili all'area in esame al fine di inquadrare il tutto in uno scenario geologico a scala regionale.

Lo studio, è stato articolato in più fasi, anche nel rispetto di quanto riportato negli strumenti urbanistici e di pianificazione, sia a livello comunale che sovracomunale, come di seguito riportate:

- fase preliminare durante la quale si sono reperiti gli studi eseguiti sul territorio comunale e presenti presso vari Enti, una cartografia aggiornata in scala di dettaglio e tutte le foto aeree riguardanti il territorio in questione;
- seconda fase nella quale è stato effettuato un rilevamento geologico di campagna e un rilevamento geomorfologico, confortato sempre dalle foto aeree;
- terza fase durante la quale è stata eseguita una campagna sismica di dettaglio, che si è sviluppata mediante sondaggi geognostici, prospezioni sismiche e prove di laboratorio consultate.

*Tutti i dati reperiti, misurati e interpretati hanno permesso di chiarire le caratteristiche geologiche e sismiche del sito in esame, i cui risultati sono rappresentati nelle seguenti carte tematiche e negli elaborati allegati in fondo alla presente:*

- *Carta ubicazione indagini e di Microzonazione Sismica, in scala 1:1.000*
- *Relazione illustrativa finale, stratigrafie, grafici e tabulati relativi alle indagini geognostiche, ai rilievi strutturali e alle verifiche di stabilità sui fronti di progetto.*

## 2.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

L'intero centro urbano di Montella, in uno con le frazioni storiche, occupa una superficie di circa 240 ha, e ricade nel Foglio 186 "S. Angelo dei Lombardi" della carta topografica d'Italia I.G.M. in scala 1:100.000. Esso ricade nel settore settentrionale dei Monti Picentini ed in particolare comprende i versanti orientali del Monte Terminio e di M. Sassosano con quote variabili dai 1500m s.l.m. (zona montuosa) ai 580 mt. sl.m (zona del centro abitato). I terreni affioranti sono prevalentemente calcari mesozoici di età cretacea riferibili all'unità tettonica Picentini-Taburno in Bonardi et alii, 1988. Sui calcari poggiano, con limitati spessori, quasi sempre dell'ordine dei 20 centimetri, piroclastiti rimaneggiate e detriti e, nelle zone di raccordo con il fondovalle, detriti di falda e depositi alluvionali, sia ghiaiosi che limoso-argillosi.

L'intera area è interessata da faglie a prevalente andamento appenninico, la più importante delimita il versante nord orientale del Monte Sassosano. Tali faglie hanno ribassato i flysch miocenici nella zona orientale del comune di Montella, che sono ricoperti in gran parte da depositi clastici quaternari presenti nel fondovalle del Fiume Calore. Il sito in oggetto è ubicato, invece, in linea d'area, a circa 500 metri dall'abitato, in un'area a prevalente vocazione agricola, lungo un versante maturo della dorsale carbonatica, con spessori di copertura piroclastica modesti e discontinui, con rare presenze vegetazionali.

Dal punto di vista geologico fa parte del massiccio carbonatico dei Monti Picentini, facies tipica di piattaforma carbonatica appenninica, ascivibile al Cretacico superiore; che è costituita da una serie di blocchi monoclinali variamente dislocati da faglie parallele fra loro, in generale orientate in direzione nord - ovest ed sud - est, a seguito degli eventi tettonici del Pliocene, su questo primo sistema di faglie, in più parti si è sovrapposto un secondo sistema ad orientazioni appenniniche e tirreniche.

### 3.0 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E STABILITA' DEI FRONTI

Le indagini eseguite hanno permesso di definire le caratteristiche tecniche dell'ammasso roccioso oggetto di coltivazione, le quali sono state tarate anche con dati presenti in "letteratura" ed in altri lavori, poiché i terreni in studio, principalmente quelli più esterni, si presentano con un grado di fratturazione variabile, sia in senso verticale che in senso orizzontale.

A verifica, comunque, dei dati prelevati dalla letteratura e da altri lavori sono state eseguite, nel rispetto delle norme tecniche per le costruzioni - D.M. 14 Gennaio 2008, delle nuove prospezione sismiche che hanno fornito indicazioni sullo stato di consistenza e la categoria di suolo con relativo Vs30.

Si è rilevato, comunque, che le normali metodologie di analisi su campioni per la misura diretta dei parametri fisici non sono applicabili ed inoltre l'estrapolazione del dato puntiforme di laboratorio all'intero complesso è in molti casi non attendibile.

Pertanto i dati ricavati dal rilievo geomeccanico, eseguito e presente nella relazione geologica-geotecnica, hanno portato alla determinazione della qualità dell'ammasso roccioso, esprimibile attraverso appositi indici che hanno lo scopo di permettere una valutazione preliminare delle caratteristiche meccaniche della roccia.

- indice RMR (Bieniawski)
- indice Q (Barton)

Pertanto le verifiche di stabilità svolte nell'ambito del presente studio, sono state eseguite ai fini di verificare che nello stato di fatto e in particolar modo nello stato di progetto si abbiano adeguate condizioni di stabilità anche per un uso successivo dell'area oggetto di estrazione, nello specifico sono state analizzate le sezioni T4 e T12 che meglio rappresentano lo stato di fatto e di progetto.

Le analisi sono state eseguite nel rispetto del D.M. 11/3/88, relativo alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", così come integrate e modificate dalla norme tecniche sulle costruzioni DM 14/01/2008.

I calcoli sono stati effettuati mediante due approcci differenti, il primo dell'equilibrio limite globale, che si basa sulle seguenti ipotesi:

- La legge tensioni-deformazioni del terreno è di tipo rigido-plastico
- La deformazione è piana
- La rottura si raggiunge contemporaneamente lungo tutta la superficie di scorrimento
- Il coefficiente di sicurezza FS è definito come rapporto tra le forze resistenti disponibili e quelle necessarie per l'equilibrio.

ed un secondo che sfrutta il metodo di Hoek e Bray, successivamente descritto.

E' stato adottato, quindi per il primo approccio, un programma di calcolo basato sul metodo dell'equilibrio limite, in cui l'operatore fornisce la geometria del pendio, la sua stratigrafia, le caratteristiche meccaniche del materiale e la maglia dei centri, ossia una regione del piano in cui il programma di calcolo colloca i centri dei cerchi di scorrimento, distanziandoli in verticale ed in orizzontale di una quantità specificata dallo stesso operatore. I risultati sono espressi in termini di coefficiente di sicurezza FS, definito come il rapporto fra la resistenza a taglio disponibile e la resistenza a taglio mobilitata (aliquota della resistenza disponibile necessaria all'equilibrio).

Adoperando i vari metodi di Bishop, Fellenius e Jambu, nell'equilibrio del concio i-mo con il quale si suddivide la superficie analizzata (si veda fig.1), si considera nota la forma della funzione che lega le forze di interstriscia

tangenziali X con le forze normali E.

In particolare la suddetta relazione si esprime come:

$$X = \lambda f(x) E$$

dove  $\lambda$  è una costante scalare incognita ed  $f(x)$  è una funzione di inclinazione definibile con la limitazione  $|f(x)| \leq 1$ .

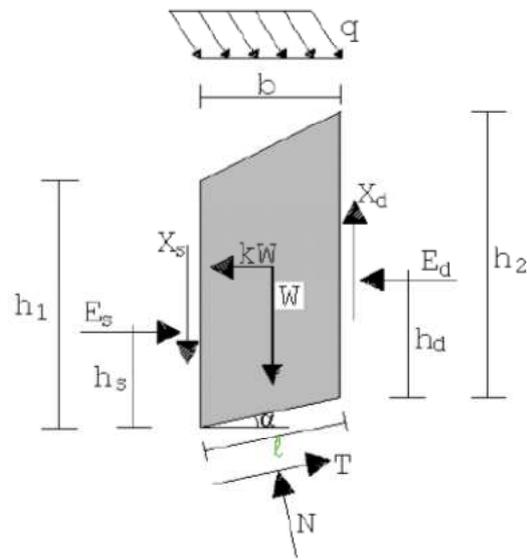


Figura 1 – Forze che intervengono nell’equilibrio del concio i-mo.

Questo metodo consente l’analisi di stabilità per qualsiasi forma della superficie di rottura. Supponendo che la linea di rottura abbia equazione  $y = y(x)$  e la linea delle forze abbia equazione  $y = yt(x)$ , il coefficiente di sicurezza si ottiene risolvendo il sistema di equazioni differenziali che esprimono l’equilibrio alla traslazione e quello alla rotazione.

La risoluzione di queste equazioni differenziali è tutt’altro che agevole, e suggerisce di linearizzare il problema in modo che

- la superficie di rottura ha sulla striscia un’espressione del tipo  $y = Ax + B$
- la funzione  $f(x)$  ha sulla striscia un’espressione del tipo  $f(x) = kx + m$
- la funzione peso ha sulla striscia un’espressione del tipo  $dW/dx = px + q$

Il software utilizzato, è in grado di risolvere le suddette equazioni differenziali, applicando le opportune condizioni al contorno. Inoltre con riferimento alla superficie circolare più critica, ossia quella a cui compete il coefficiente di sicurezza minimo, il software esegue un processo di ottimizzazione della superficie di scorrimento basato su una procedura di discretizzazione con la quale l'arco di circonferenza viene suddiviso in una serie di segmenti i cui vertici vengono spostati in maniera consequenziale fino a quando non si ottiene una superficie a cui compete un coefficiente di sicurezza inferiore. Il processo di calcolo viene ripetuto fino a quando viene soddisfatto il criterio di convergenza imposto, ossia quando la differenza tra i coefficienti di sicurezza calcolati negli ultimi 2 step rientra nei limiti della tolleranza dettata dall'utente (si vedano fig. 2 e 3). Questo tipo di analisi numerica, basato su analisi statistiche del tipo Monte Carlo, è il frutto delle ultime ricerche nel campo della stabilità dei pendii affrontata con gli usuali metodi dell'equilibrio limite (Greco, 1996; Malkawi, Hassan e Sarma, 2001)

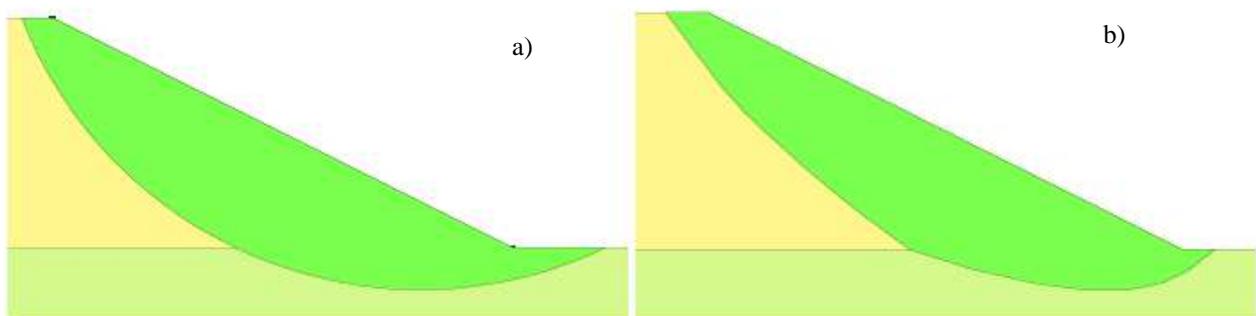


Figura 2 – Superficie di scorrimento ottenuta dagli usuali metodi dell'equilibrio limite (a) e superficie di scorrimento a seguito del processo di ottimizzazione (b).

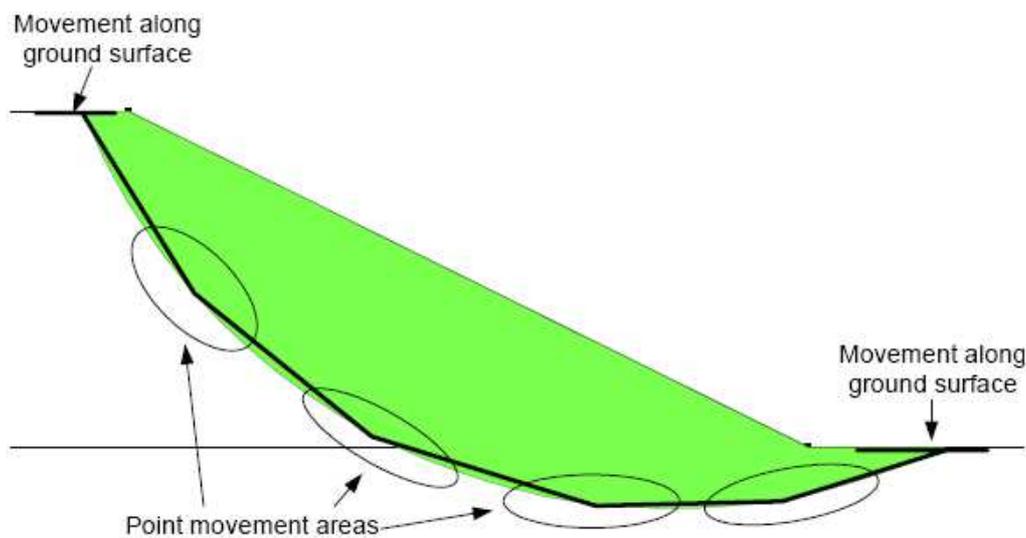


Figura 3 – Schema grafico che illustra il processo di ottimizzazione della superficie analizzata.

Le verifiche, condotte sempre in condizioni drenate, sono state inoltre effettuate in condizioni sismiche, adottando un metodo pseudo-statico con il quale si introducono delle forze instabilizzanti mediante un coefficiente moltiplicativo  $c$  dei pesi propri di ciascun concio in cui è stato suddiviso il volume analizzato. In base alla classificazione sismica del territorio nazionale l'area in questione presenta i seguenti parametri sismici.

Sito in esame

latitudine: 40,8337197239201  
longitudine: 15,0269107222896  
Classe: 2  
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 33212 Lat: 40,8248 Lon: 15,0097 Distanza: 1752,516  
Sito 2 ID: 33213 Lat: 40,8239 Lon: 15,0758 Distanza: 4251,238  
Sito 3 ID: 32991 Lat: 40,8739 Lon: 15,0769 Distanza: 6137,559  
Sito 4 ID: 32990 Lat: 40,8748 Lon: 15,0109 Distanza: 4764,874

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B<sup>1</sup>  
Categoria topografica: T2  
Periodo di riferimento: 50 anni  
Coefficiente cu: 1  
Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 475 [anni]  
ag: 0,191 g  
Fo: 2,368  
Tc\*: 0,407[s]

Coefficienti Sismici (SLV):

Ss: 1,200  
Cc: 1,320  
St: 1,200  
Kh: 0,066  
Kv: 0,033  
Amax: 2,695  
Beta: 0,240

<sup>1</sup> come risulta dalle prove MASW e HVSR eseguite in sito e allegate in fondo alla presente

E' opportuno sottolineare che adoperando tali metodi per le analisi di stabilità in condizioni sismiche si opera molto a vantaggio di sicurezza in quanto la sollecitazione dovuta al sisma sul pendio è considerata sincrona, quindi estremamente gravosa.

Dai risultati emerge che nelle ipotesi di progetto proposte, la configurazione delle pareti come schematizzata nelle sezioni più critiche analizzate (sez. T4 e T12), risulta sufficiente a garantire coefficienti di sicurezza maggiore di quelli previsti dalla normativa e anche di quelli dello stato di fatto attuale, sia in condizioni statiche che in presenza di sisma, come si evince dalla tabella 2 - approccio 1.

Per i versanti in roccia, è possibile eseguire le verifiche anche con un' approccio diverso da quelli utilizzati tipicamente per i versanti in terra in s.s., il criterio di rottura di Mohr-Coulomb non può essere impiegato per definire la resistenza del materiale; tuttavia con questo metodo viene descritta una procedura che consente l'applicazione dei metodi classici dell'Equilibrio Limite anche nei versanti rocciosi (metodo di Hoek e Bray). A tale scopo vengono definiti l'angolo di resistenza a taglio e la coesione che si mobilitano lungo la superficie di scorrimento secondo le seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\varphi &= AB \left( \frac{N}{\sigma_c} - T \right)^{B-1} \\ c &= A\sigma_c \left( \frac{N}{\sigma_c} - T \right)^B - N\operatorname{tg}\varphi \end{aligned}$$

dove:

$\sigma_c$  è la resistenza a compressione monassiale della roccia;

A, B, T costanti in funzione del litotipo e della qualità della roccia;

N sforzo normale alla base del concio.

Le costanti A, B e T vengono determinate in funzione della classificazione della roccia secondo Bieniawski (indice RMR) e secondo Barton (indice Q). Tra i

due sistemi di classificazione, sulla base di numerosi esempi analizzati, è stata trovata la seguente correlazione:

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

I calcoli sono stati eseguiti mediante l'approccio all'equilibrio limite globale, che si basa sulle seguenti ipotesi:

- la legge tensioni-deformazioni del terreno è di tipo rigido plastico;
- la deformazione è piana;
- la rottura si raggiunge contemporaneamente lungo tutta la superficie di scorrimento, che è nota;
- il coefficiente di sicurezza FS, definito come rapporto fra la resistenza disponibile e la tensione tangenziale agente lungo la superficie di scorrimento ipotizzata, è costante lungo l'intera superficie di scorrimento.

Le analisi di stabilità sono state effettuate riferendosi alle sezioni geologiche significative rappresentative del versante nello stato di fatto e finale di progetto, utilizzando anche considerazioni di back analyst (metodo di Jambu) per individuare i parametri minimi in condizioni di sicurezza estreme, pertanto le proprietà geotecniche del giacimento sono state ricavate mediante un'analisi a ritroso, variando l'angolo di attrito e la coesione in modo tale da giustificare la stabilità del fronte roccioso nello stato di fatto di aree già oggetto di coltivazione.

Variando nel modello di calcolo i valori dei parametri geotecnici nell'ambito dell'intervallo di valori definito dall'indice RMR, sono stati ricavati i valori della coesione e dell'angolo di attrito tali da giustificare la stabilità all'equilibrio limite (FS=1-1,3), tali valori riportati in tab. 1, sono, nel complesso confrontabili con quelli ricavati con la classificazione del sistema Q Barton e Beniawsky e Romana di termini *Calcari*, *Dolomie* e *Marne* come quelli che saranno oggetto di coltivazione, in particolare si è scelta la classe RMR=44 e Q=1, (ampiamente cautelativa rispetto al rilievo geomeccanico di campagna che ha misurato

RMR=51 e Q=7.5) in oggetto e riportati integralmente nell'allegato verifiche di stabilità e relativi tabulati.

I risultati delle analisi di stabilità, basate sul calcolo e sui parametri prima riportati, confermano che le configurazioni finali della gradonatura, risultano sufficienti a garantire coefficienti di sicurezza maggiori di quelli minimi previsti dalla normativa e di quelli relativi allo stato di fatto.

14.26

	Peso dell'unità di volume (kg/m <sup>3</sup> )	Resistenza a taglio di picco		Resistenza a compressione (kg/cm <sup>2</sup> )
		Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo di attrito (°)	
<b>Giacimento minerario</b>	2200	1,5	35°	500 - 750

Tab. 1 - Proprietà fisico-meccaniche dei terreni utilizzati nel modello stratigrafico

SEZ	STATO	Stato di fatto e di progetto		
		Metodo di Fellenius	Metodo di Bishop	Metodo di Jambu
T4	di Fatto	1.38	<b>1.25</b>	1.52
	di Progetto	<b>1.69</b>	1.92	1.92
T12	di Fatto	1.12	<b>1.02</b>	1.21
	di Progetto	1.17	<b>1.15</b>	1.23

Tabella 2 - Sintesi dei risultati delle analisi di stabilità

## 4.0 CARATTERIZZAZIONE SISMICA E MICROZONAZIONE

**Sismicamente** con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ( $V_{s30} > 800$  m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Ciò comporta delle non trascurabili differenze nel calcolo dell'accelerazione sismica di base rispetto alle precedenti normative.

Per microzonazione sismica si intende l'individuazione, nell'area investigata, di varie zone aventi caratteristiche di omogeneità, mediante caratterizzazioni quantitative e semi - quantitative delle risposte dinamiche locali.

In base alla vecchia legislazione vigente il territorio comunale di Montella era ascritto alla II categoria di rischio sismico, con "grado sismico"  $S = 9$  a cui corrisponde un coefficiente di intensità sismica  $C = (S - 2) / 100$  che rappresenta l'accelerazione tangenziale che può prodursi durante un evento sismico sulle strutture edilizie, la nuova classificazione (Giunta Regionale n. 5447 del 7 novembre 2002), riporta tale comune in categoria 2 (zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti).

Detta valutazione del rischio sismico, frutto del Progetto Finalizzato Geodinamica del C.N.R., pur avendo prodotto una discreta macrozonazione sismica del territorio nazionale, in tempi brevi, presenta oggettivamente un grosso limite, cioè quello di caratterizzare omogeneamente un intero territorio comunale con un unico valore di intensità sismica, quando è indiscutibile, anche alla luce delle condizioni fatte nei precedenti paragrafi, che gli effetti di un sisma in superficie, interagendo con le strutture, variano da zona a zona in funzione delle caratteristiche idro - geomorfologiche, topografiche e di rigidità dei luoghi.

Il quadro normativo, tuttavia, in tema di Pianificazione Urbanistica e

Costruzioni ha subito, negli ultimi anni, un travagliato processo evolutivo nell'adeguamento alla norma europea di riferimento (Eurocodice 8). Tale adeguamento è partito con l'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 n° 3274, successivamente modificata dal Testo Unico sulle Costruzioni 14/09/2005, poi integralmente sostituito dall'ultimo D.M. Infrastrutture emanato il 14/01/2008. Tutte le normative citate fanno riferimento, ai fini della valutazione dell'azione sismica di progetto, alla definizione del quadro morfologico e stratigrafico che contribuisce alla ricostruzione della "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa è definita in termini di accelerazione sismica massima attesa ( $a_g$ ), in campo libero su profilo stratigrafico di riferimento rigido (A), pianeggiante.

L'ultimo riferimento normativo varato, nella valutazione della pericolosità sismica, fa richiamo, alla Vita nominale ( $V_n$ ) ed alla Classe d'uso ( $C_u$ ) dell'opera in progetto, che insieme contribuiscono alla definizione della Vita Reale del manufatto ( $V_r$ ), riferimento fondamentale per la definizione del Periodo di ritorno dell'azione sismica (Cap.2.4); essa, infatti, sarà d'intensità maggiore quanto più lunga sarà la vita reale del manufatto ( $V_r$ ). Al punto 3.2, che esamina l'azione sismica, definisce le forme spettrali in funzione di ciascuna probabilità di superamento del Periodo di riferimento ( $P_{Vr}$ ) a partire dai seguenti parametri riferiti a sito rigido orizzontale:

- **$a_g$**  accelerazione orizzontale massima al sito;
- **$F_o$**  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- **$T$**  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alla norma cui ci si riferisce (Allegato B), sono tabellati i valori

dei parametri citati per tutti i siti considerati (10751) elencati per coordinate geografiche sul reticolo di riferimento e per 9 periodi di ritorno crescenti ( 30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni ), i cui vertici dell'area in oggetto sono riportati nell'allegato parametri sismici.

Le categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione riportate al punto 3.2.2 nell'ultimo decreto di riferimento, sono rimaste pressoché invariate e sono definite, preferibilmente, in virtù del parametro Vs30, ovvero della velocità media di propagazione entro 30 metri di profondità rispetto al piano di fondazione delle onde di taglio, calcolata con la seguente espressione :

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

dove hi e Vi indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato iesimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori. Alternativamente le stesse categorie di suolo possono essere definite in funzione della resistenza penetrometrica dinamica equivalente NSPT30 :

$$N_{SPT30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} h_i / N_{SPTi}}$$

o della resistenza non drenata equivalente Cu30:

$$C_{u30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} h_i / C_{ui}}$$

**Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo**

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>NSPT_{,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; NSPT_{,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>NSPT_{,30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s &gt; 800</math> m/s).</i>

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test)  $NSPT_{30}$  (definito successivamente) nei terreni prevalentemente a grana grossa o della resistenza non drenata equivalente  $Cu_{30}$  (definita successivamente) nei terreni prevalentemente a grana fina.

Pertanto, il sito in esame è stato parametrizzato, partendo dalla ricostruzione litostratigrafia e in base ai risultati delle misurazioni sismografiche di onde di taglio ( $V_s$ ) eseguite con metodologia MASW e HVSR in più punti dello giacimento.

Rimandando, per i dettagli, ai certificati relativi all'indagine sismica

eseguita, per l'area indagata è risultata una schematizzazione geosismica, costituita dalla presenza, in superficie di uno strato, superficiale, dovuto ai terreni fratturati superficiali e uno sottostante corrispondente proprio al giacimento in questione (con  $V_s$  mediamente superiori ai 300-400 m/sec) con velocità delle onde sismiche di taglio crescenti (circa 600 m/sec) che poi passano gradatamente ad un substrato profondo con velocità delle onde S maggiori che raggiungono anche i 800-1000 m/sec..

Sulla base di tali valori, è possibile calcolare il parametro  $V_{s30}$  la cui espressione di calcolo è quella sopra descritta ed il cui valore consentirà di classificare il sottosuolo sismicamente significativo dell'area in studio nell'ambito della scala di cui al punto 3.1 del D.M..

La classificazione ottenuta condurrà, quindi, alla individuazione del fattore di amplificazione  $S$ , che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo e delle condizioni topografiche (ricavate dalla carta delle pendenze elaborata che ha portato ad una classificazione T1 per i piazzali e T2 per le pareti di cava), secondo quanto disposto alle tabelle 3.2.IV, 3.2.V e 3.2.VI che appresso si descrivono. La categoria Topografica distingue, quindi, 4 condizioni topografiche, come appresso esplicitato:

**Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche**

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

A tali categorie topografiche corrispondono altrettanti Fattori di amplificazione  $ST$  che si rifanno ad altrettante condizioni morfologiche.

Il parametro  $ST$  viene definito in base alla seguente tabella che, oltre alla categoria topografica, considera anche l'ubicazione dell'opera:

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

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	ST
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

Il fattore di amplificazione S che viene utilizzato nel calcolo dello spettro di risposta elastico, come indicato al punto 3.2.3. del D.M., combina anche una componente dipendente dalla classe di suolo presente nel sito in esame (S<sub>s</sub>).

La stessa Classe di suolo condiziona anche il calcolo del Periodo T<sub>C</sub> corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante nello spettro di risposta sismica, che in uno con il fattore S<sub>S</sub> viene così computato:

**Tabella 3.2.V – Espressioni di S<sub>S</sub> e di C<sub>C</sub>**

Categoria sottosuolo	S <sub>S</sub>	C <sub>C</sub>
<b>A</b>	1,00	1,00
<b>B</b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 F_0 a_g / g \leq 1,20$	$1,10^*(T_C)^{-0,20}$
<b>C</b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 F_0 a_g / g \leq 1,50$	$1,05^*(T_C)^{-0,33}$
<b>D</b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 F_0 a_g / g \leq 1,80$	$1,25^*(T_C)^{-0,50}$
<b>E</b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 F_0 a_g / g \leq 1,60$	$1,15^*(T_C)^{-0,40}$

Per i valori ricavati dalla prospezione MASW e HVSR eseguita sul sito si ottiene un valore del Vs30 in superficie (Vs30 dal p.c.) che nel rispetto di tutte le approssimazioni può essere cautelativamente considerato compreso nella classe tra 360 m/sec e 800 m/sec.

Il valore del parametro Vs30 così ottenuto ricade nella Classe di profilo stratigrafico di suolo di tipo "B", così come definito nel paragrafo 3.1 del D.M. 14/01/08 citato *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero*

*NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).*

In funzione delle tipologie di opere da realizzare (Tabella 2.4.I – Vita nominale  $V_n$  per diversi tipi di opere), e della classe d’uso dell’opera di “frequentazione pubblica”, il periodo di riferimento e lo stato limite a cui riferirsi per la definizione dell’azione sismica di progetto sarà quindi:

$$V_R = V_N * C_u$$

I vari parametri sismici caratteristici per il sito oggetto di variante in funzione anche delle finalità dell’intervento, per i diversi periodi di ritorno, definiscono una Risposta Sismica Locale  $S$ , calcolata secondo la formula riportata nella tabella 3.2.V del D.M. 14/01/08 funzione della categoria del sottosuolo  $S_s$  e della categoria topografica  $ST$ , riportati sia negli allegati dei parametri sismici che della Carta della zonazione in prospettiva sismica, redatta in conformità alla L.R. 9/83 e al DM 14/01/2008.

## 5.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nella presente relazione sono stati analizzati e presentati gli aspetti relativi alla stabilità e alla sismicità dei terreni che saranno oggetto delle varie fasi di coltivazione ed estrazione. Lo studio ha consentito l'inquadramento globale dell'intera area interessata, al fine di individuare le parti del territorio geologicamente e geotecnicamente omogenee, alle quali riferire la caratterizzazione dei terreni.

Secondo i dati emersi dal presente studio, tuttavia, si evince che gli interventi a farsi non daranno luogo a disequilibri nell'assetto statico dei terreni, che alla fine del periodo di coltivazione risulteranno ampiamente in sicurezza come di mostrato dalle verifiche eseguite.

Relativamente agli aspetti sismici e di microzonazione, per le possibili classi di suolo individuate in sito, e in funzione delle caratteristiche morfologiche del sito analizzato legato al contributo morfologico dell'amplificazione sismica, il valore relativo all'amplificazione sismica locale, varia, come noto, in funzione della tipologia dell'opera, della classe di utilizzo e quindi dello stato limite di progetto (funzione del tempo di ritorno).

Sulla base delle tipologie di lavorazioni previste, scavo e risagomatura del giacimento, e sulla scorta delle classi d'uso ipotizzabili, l'Amplificazione Sismica Locale, su sottosuolo di categoria B e categoria topografica T2, tende a variare in funzione dello stato limite considerato.

Pertanto, valutati i parametri spettrali  $ag$ ,  $F0$  e  $T^*c$  per il sito di progetto (approccio "sito-dipendente"), corretti per il calcolo del periodo di ritorno necessario, incrementati per l'amplificazione stratigrafica e topografica e sulla base della classe d'uso, è stato possibile definire gli spettri orizzontali e verticali, necessari per la stima dell'azione sismica di progetto delle singole opere a farsi, che nel caso in esame sono state utili per eseguire le verifiche di stabilità.

Le indagini specifiche eseguite integrate con le indagini sismiche ha permesso di redigere la carta in prospettiva sismica classificando i suoli secondo la nuova normativa tecnica.

Nello specifico, le risultanze dei parametri sismici integrati con i rilievi geomorfologici e di stabilità del territorio, hanno permesso di definire le prescrizioni e le raccomandazioni per la zona classificata, anche in accordo con quanto indicato dalla Regione Campania – A.G.C. LL.PP. – Settore Geologico Regionale, nelle Linee Guida finalizzate alla mitigazione del Rischio sismico - Indagini ed Analisi Geologiche, Geofisiche e Geotecniche – Zonazione Sismica.

Pertanto, la carta in prospettiva sismica che riporta la microzonazione dell'area interessata, in funzione delle attività e/o infrastrutture previste ha consentito di giungere all'obiettivo finale di definire la suscettibilità :

- alla amplificazione del segnale sismico
- alla liquefazione
- alla instabilità dei pendii naturali

L'approccio utilizzato, integrazione dei dati geolitologici, geomorfologici e dei dati sismici di campagna, ha quindi permesso la redazione di una carta in scala 1:1.000 che rispetta anche quanto previsto dalla normativa regionale 9/83 che riporta la "categoria di suolo media della Microzona" e quindi il relativo fattore di incremento da applicare, nelle varie Microzone o Sottozone individuate.

E' da sottolineare che, nello spirito della normativa, tale suddivisione del territorio rappresenta una sottozonazione sismica a carattere ancora generale, a livello cioè di pianificazione del territorio e non può, né vuole, rappresentare una specifica e corretta identificazione della categoria di terreno presente nell'immediato sottosuolo di uno specifico sito. I valori di "Vs30" determinati nei punti di rilevamento sono stati infatti estrapolati su tutta l'area sulla base anche della litologia affiorante e, come è ben comprensibile, possono solo

essere rappresentativi di situazioni non particolari, ma generali, come è appunto negli obiettivi di una Microzonazione in prospettiva sismica di un territorio Comunale o di una porzione di esso.

Pertanto, ai fini delle opere previste a farsi, gli interventi di coltivazione con sistemazione finale (stato di progetto), sono da considerarsi compatibili con il rischio sismico presente e rilevato nell'area.

In definitiva, i terreni potenzialmente interessati dalle opere di coltivazione, non essendo riconducibili a situazioni tipo di "grave pericolosità sismica" non sono pertanto da escludere quale sito oggetto di intervento estrattivo, resta chiaro che, sarà necessario e indispensabile uno studio di Risposta sismica locale con procedure di indagine e di analisi di maggiore dettaglio così come d'altro canto prevede la normativa sismica oggi in vigore, per qualunque opera o manufatto accessorio a farsi.

In definitiva, quindi si sono individuati due areali con le seguenti caratteristiche, geologiche, geomorfologiche, geotecniche e sismiche (vedi carta in prospettiva sismica):

- 1) - Area con velocità delle onde  $360 \text{ m/sec} < S(30) < 800 \text{ m/sec}$  (di tipo B) e caratteristiche topografiche T1 lungo le aree di piazzale
- 2) - Area con velocità delle onde  $360 \text{ m/sec} < S(30) < 800 \text{ m/sec}$  (di tipo B) e caratteristiche topografiche T2 lungo le scarpate nello stato di progetto.

Inoltre, al fine di ottemperare a quanto previsto dalla nuova normativa si è provveduto, in questa fase di microzonazione, a indicare le amplificazioni di sito delle aree in funzione del tipo di suolo e della categoria topografica, indicando come suolo di partenza ad incremento uno quello di tipo "A" relativo al comune di Sant'Andre di Conza e considerando le possibili tipologie di opere e la relativa classe di utilizzo.

La dipendenza dello spettro di risposta elastico dalle caratteristiche geo-

sismiche o comunque dinamiche dei terreni di fondazione, sembrerebbe aver superato i problemi di genericità e di scarsa attenzione alle problematiche geolitologiche, geosismiche e geotecniche, che pur tantissima e preponderante influenza hanno sulla Risposta di Sito, riscontrati nelle leggi antisismiche precedenti.

E' da sottolineare, infatti, che già la precedente normativa in materia della Regione Campania (L.R. 9/83 art.14 e seg.) prevedeva, per le indagini a scopo antisismico in un sito ove era ubicata o doveva esser ubicata una costruzione, la valutazione sperimentale delle caratteristiche sismiche dei terreni fino ad una profondità di 20-40 metri. Ciò evidentemente allo scopo di procedere, utilizzando tale dato, alla modulazione della funzione di risposta  $R(T)$  che la legge definiva specificamente in Ampiezza,  $R$ , ed in Periodo,  $T$ , per il basamento rigido, e di individuare così i periodi per i quali si sarebbero potute avere particolari amplificazioni del segnale sismico in superficie in presenza di terreni di copertura non rigidi.

La Microzonazione sismica deve tener conto di quanto espressamente citato nella su indicata legge regionale 9/83 relativamente alla programmazione dell'uso del territorio ed ai Piani Regolatori Generali e nella più recente normativa della Regione Campania (Delibera n. 5447 G. R. Campania del 07/11/2002; Delibera n. 248 G. R. Campania del 24/01/2003; Delibera n. 334 G. R. Campania del 31/01/2003; Delibera n°816 G. R. Campania del 10-6-2004) riguardante la zonazione del territorio in prospettiva sismica, ma essere anche congrua ed omogenea con quanto previsto dalla Ordinanza 3274 e dalle Nuove Norme Tecniche relativamente alle costruzioni ed ai relativi siti.

I valori di incremento assegnati alla singola "Microzona" individuata possono quindi essere anche essi resi congrui con quanto disposto della normativa vigente, considerando soltanto i fattori di incremento del livello massimo raggiunto dallo spettro elastico relativo alle varie Categorie di suolo

rispetto a quello riferito alla Categoria di suolo A. Ovviamente non si vuole qui definire la specifica forma spettrale che caratterizza il sito, non essendo necessario eseguire una valutazione della Risposta Sismica di Sito, ma solo dare una valutazione generale del livello massimo dell'amplificazione dell'evento sismico che si avrà nella microzona individuata rispetto a quello che si avrà nelle altre sottozone ove affiori il basamento o in ogni caso affiori un mezzo rigido.

26.26

## SCHEDA DI RILEVAMENTO DATI GEOLOGICO-TECNICI RILIEVO GEOSTRUTTURALE

Stazione	RS	Riferimento cartografico	Carta ubicazione indagini
Data del rilievo	24.07.08	Affioramento	Cava
Rilevatore	Enrico Spagnuolo	Metodo di scavo	Mezzi meccanici
Località	cava Terminio	Rullino n°	0
Quota (m.s.l.m.)	0	Foto n°	0

### Litologia

Carbonatica
-------------

Potenza (m)	400	Struttura geologica	Moderatamente fagliata
Formazione	Cretaceo	Fattori geologici	Ammasso stratificato
Età		Zone alterate o corrose	Terreno residuale
Genesi	Sedimentario	Spessore zone alterate (m)	2

Blocchi Jv(Giunti / mc)	Molto grandi < 1	Grandi 1-3	Medi 3-10 x	Piccoli 10-30	Molto piccoli > 30	Int. fratturato > 60
----------------------------	---------------------	---------------	-------------------	------------------	-----------------------	-------------------------

### Instabilità

Scivolamenti planari	Scivolamenti a cuneo x	Scivolamenti rotazionali	Crolli x
Ribaltamenti diretti X	Ribaltamenti flessionali	Ribaltamenti complessi	

### Tipo di ammasso (ISRM)

Massivo x	Cubico	Tabulare	Colonnare	Irregolare	Frantumato
--------------	--------	----------	-----------	------------	------------

### Struttura

Massiccia	Stratificata X	Scistosa	Semicoerente	Alternanze
-----------	-------------------	----------	--------------	------------

### Alterazione (ISRM)

Fresco	Leggermente alterato x	Moderatamente alterato	Fortemente alterato	Completamente alterato	Suolo residuale
--------	---------------------------	------------------------	---------------------	------------------------	-----------------

### Resistenza (ISRM)

Estremamente debole 0.25 - 1 MPa	Molto debole 1 - 5 MPa	Debole 5 - 25 MPa	Mediamente resistente 25 - 50 MPa x	Resistente 50 - 100 MPa	Molto resistente 50 - 100 MPa	Estremamente resistente 50 - 100 MPa
-------------------------------------	---------------------------	----------------------	---	----------------------------	----------------------------------	---

### Resistenza 'R' sclerometro

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Numero famiglie	2 famiglie + occasionali	Forma dei blocchi	Prismatica
-----------------	--------------------------	-------------------	------------

### Giacitura del piano di affioramento

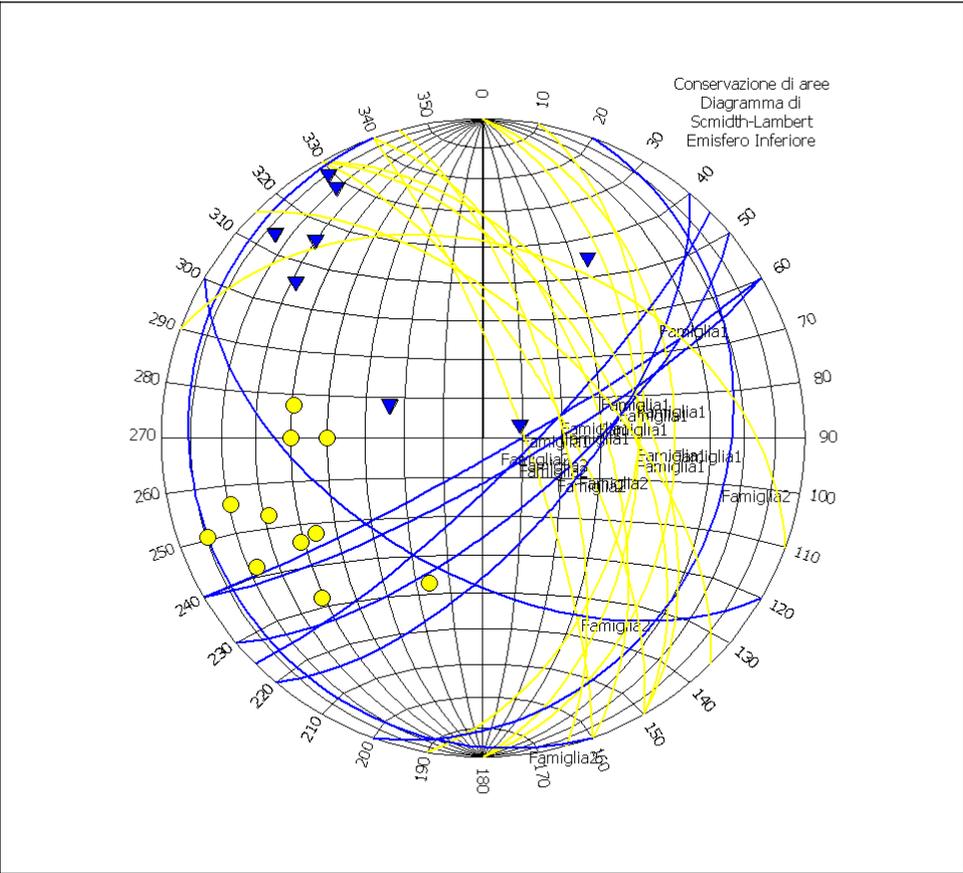
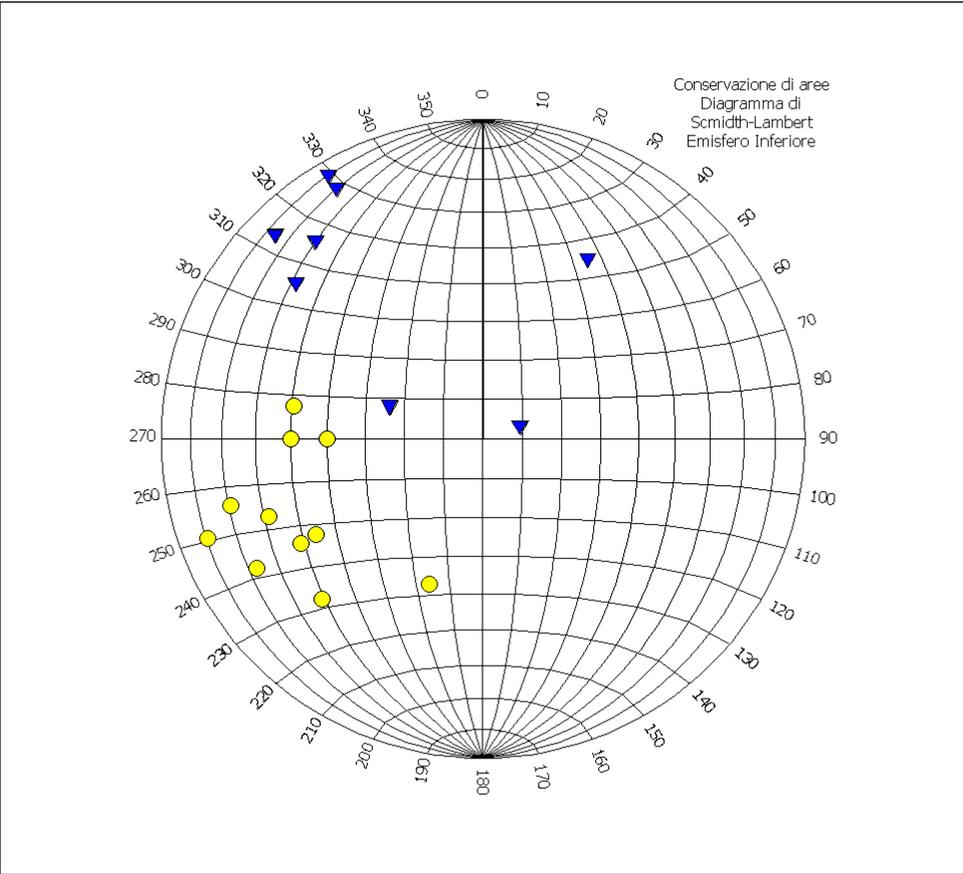
Immersione (°)	Inclinazione (°)	Altezza (m)	Larghezza (m)
20	70	150	300

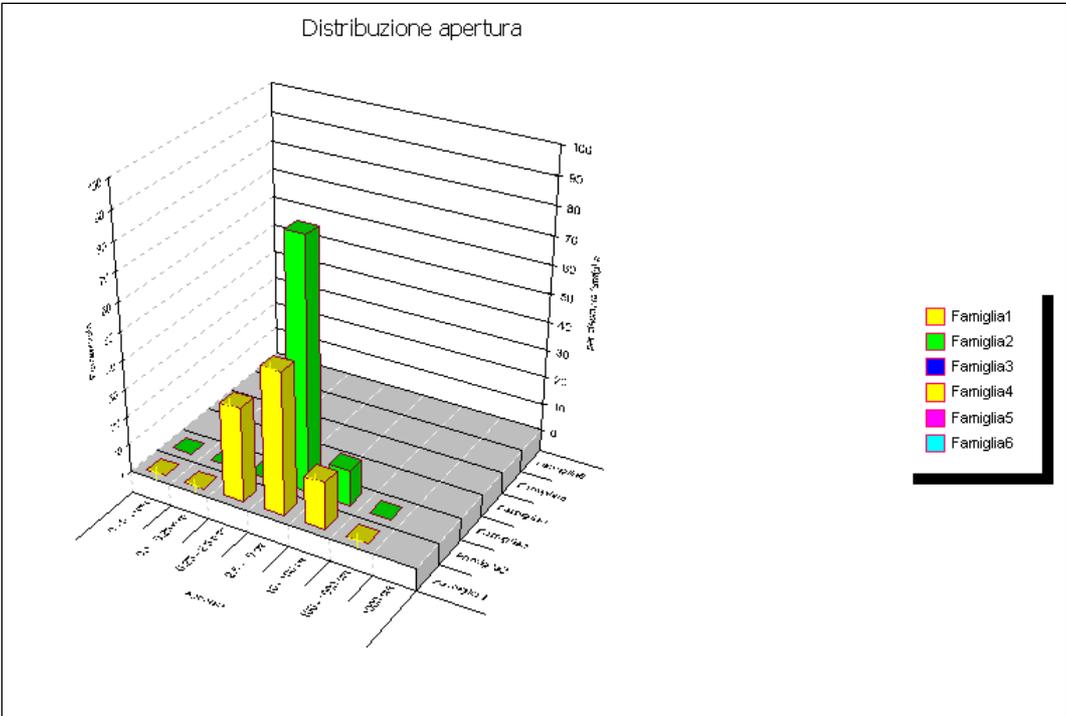
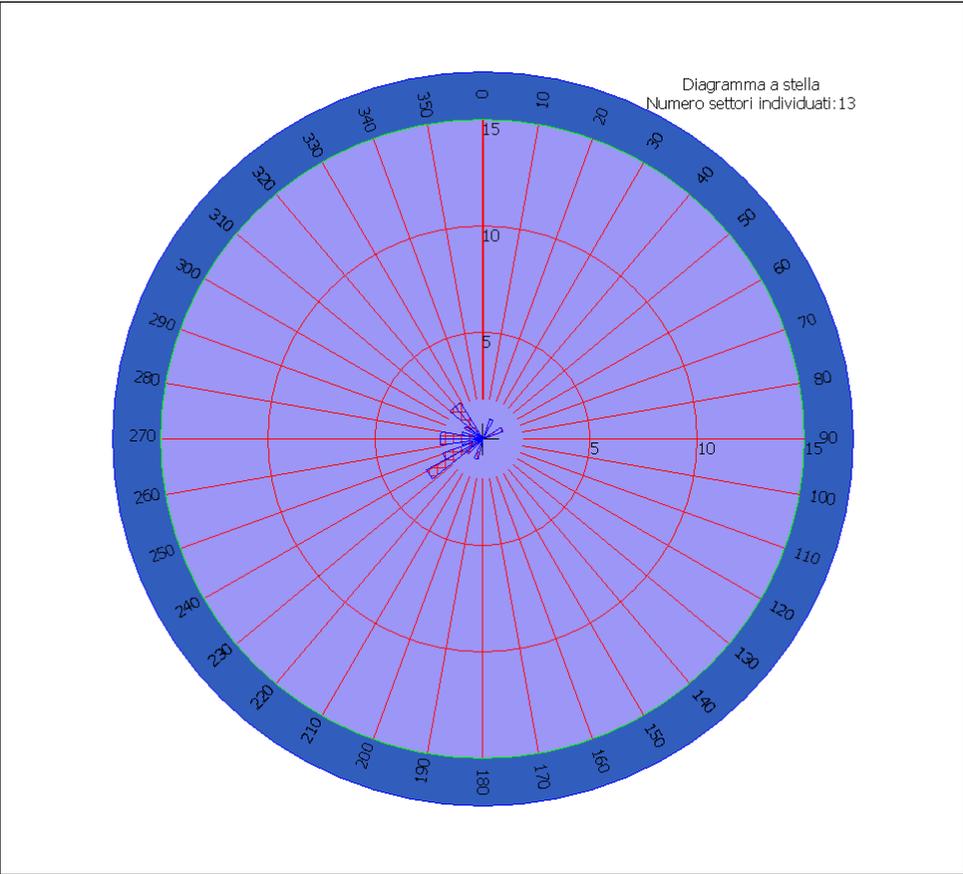
### Giacitura della linea di scansione

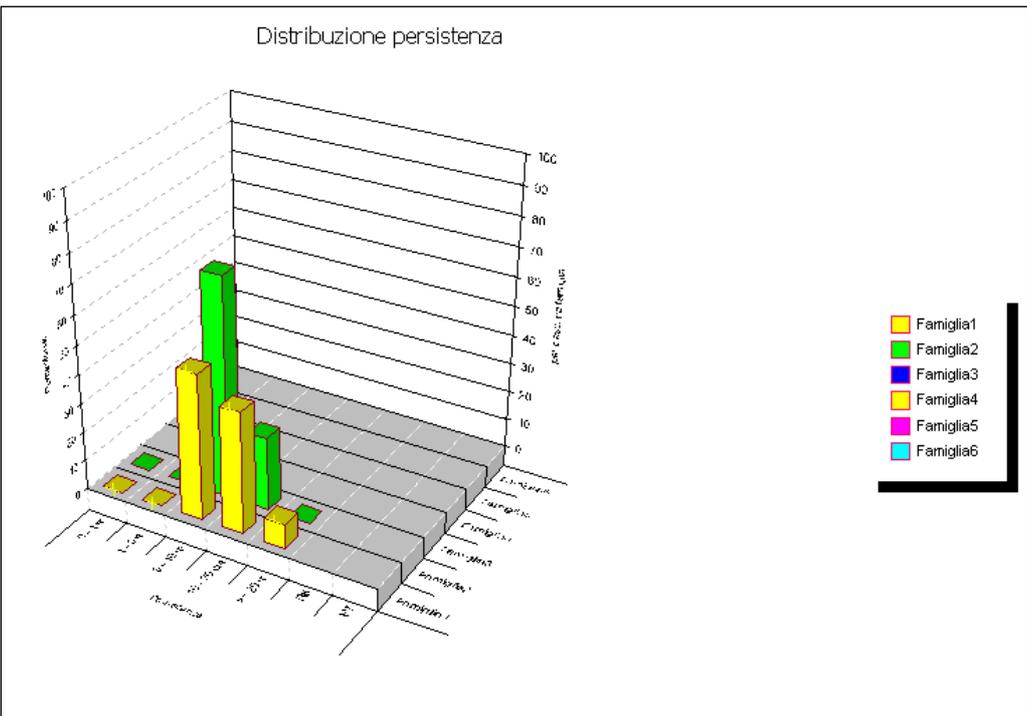
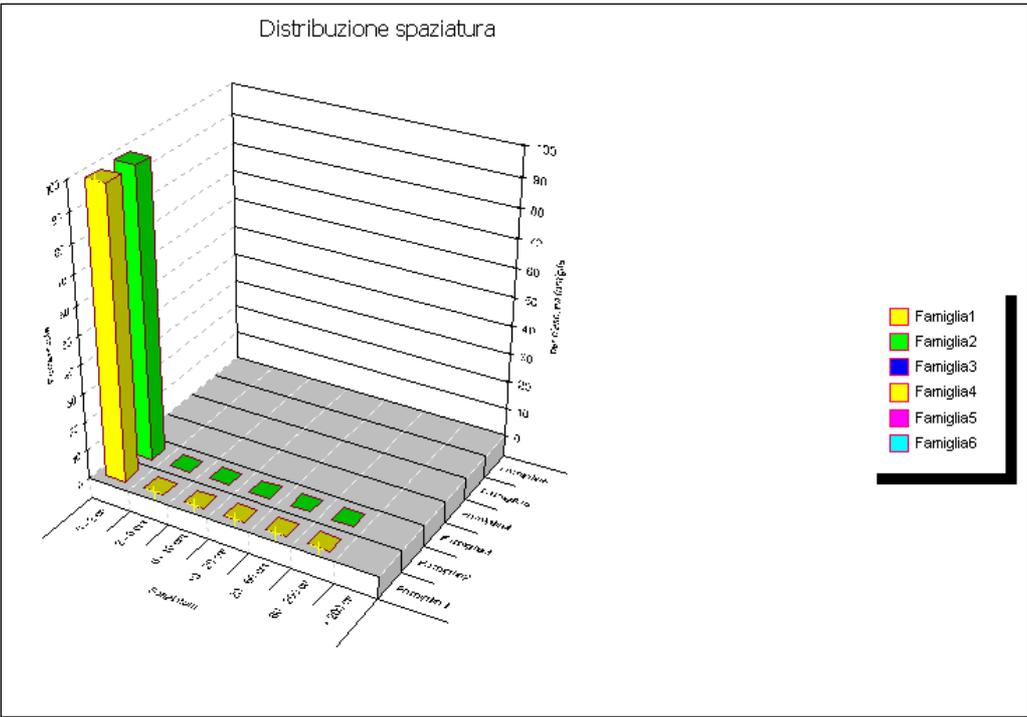
Direzione (°)	Deviazione (°)	Lunghezza (m)
20	0	10

Nr.	Immersione (°)	Inclinazione (°)	Famiglia	Distanza (cm)	Lunghezza (m)	Apertura (mm)	Rugosità (mm)	JRC	Riempimento	Grado di alterazione	Prove indice manuale (Mpa)	Prove Martello di Schmidt	Grado di filtrazione	Note
1	150	85	Famiglia 2	0	10	8	V-Liscia ondulata	4	Assente	II-Leggermente alterata	0	0		
2	100	50	Famiglia 1	0	4	2	VI-Levigata ondulata	4	Assente	III-Mod. alterata	0	0		
3	100	50	Famiglia 1	0	5	1	IV-Rugosa, ondultata	4	Incoerente	I-Fresca	0	0		
4	70	80	Famiglia 1	0	5	2	IV-Rugosa, ondultata	8	Incoerente	III-Mod. alterata	0	0		
5	90	40	Famiglia 1	0	8	5	VI-Levigata ondulata	6	Assente	II-Leggermente alterata	0	0		
6	210	55	Famiglia 2	0	6	5	III-Levigata segmentata	6	Assente	I-Fresca	0	0		
7	60	55	Famiglia 1	0	20	5	IV-Rugosa, ondultata	6	Coesivo	II-Leggermente alterata	0	0		
8	90	50	Famiglia 1	0	16	5	V-Liscia ondulata	4	Incoerente	III-Mod. alterata	0	0		
9	110	25	Famiglia 2	0	10	6	V-Liscia ondulata	8	Coesivo	I-Fresca	0	0		
10	60	70	Famiglia 1	0	12	2	IV-Rugosa, ondultata	6	Assente	II-Leggermente alterata	0	0		
11	70	60	Famiglia 1	0	10	10	IV-Rugosa, ondultata	6	Incoerente	III-Mod. alterata	0	0		
12	140	70	Famiglia 2	0	8	10	V-Liscia ondulata	4	Incoerente	I-Fresca	0	0		
13	135	80	Famiglia 2	0	8	8	V-Liscia ondulata	8	Incoerente	II-Leggermente alterata	0	0		
14	150	80	Famiglia 2	0	8	8	VI-Levigata ondulata	2	Assente	II-Leggermente alterata	0	0		
15	60	50	Famiglia 1	0	10	4	IV-Rugosa, ondultata	4	Incoerente	IV-Fort. alterata	0	0		
16	75	70	Famiglia 1	0	4	4	V-Liscia ondulata	6	Incoerente	I-Fresca	0	0		
17	130	65	Famiglia 2	0	6	4	V-Liscia ondulata	6	Assente	II-Leggermente alterata	0	0		
18	250	10	Famiglia 2	0	6	8	VI-Levigata ondulata	8	Incoerente	II-Leggermente alterata	0	0		
19	20	40	Famiglia 1	0	8	8	VI-Levigata ondulata	6	Incoerente	IV-Fort. alterata	0	0		
20	45	60	Famiglia 1	0	16	10	II-Liscia segmentata	4	Assente	II-Leggermente alterata	0	0		

Nr.	Inclinazione (°)	Immersione (°)	Famiglia
1	50	180	Famiglia1
2	70	020	Famiglia2







---

# RELAZIONE DI CALCOLO

## Definizione

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

## Introduzione all'analisi di stabilità

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

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

(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

## Metodo equilibrio limite (LEM)

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

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

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

## Metodo dei conci

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

$n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;

$n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$

$(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;

$(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;

$n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;

$(n-1)$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;

una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .

**Complessivamente le incognite sono  $(6n-2)$ .**

mentre le equazioni a disposizione sono:

Equazioni di equilibrio dei momenti  $n$

Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale  $n$

Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale  $n$

Equazioni relative al criterio di rottura  $n$

Totale numero di equazioni  $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

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

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quando si fa l'assunzione che

$N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le  $(n-2)$  indeterminazioni.

**Metodo di FELLENIUS (1927)**

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

$n$  valori delle forze normali  $N_i$ ;

$n$  valori delle forze da taglio  $T_i$ ;

$I$  fattore di sicurezza.

Incognite  $(2n+1)$

Le equazioni a disposizione sono:

$n$  equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;

$n$  equazioni relative al criterio di rottura;

$I$  equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \varphi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

**Metodo di BISHOP (1955)**

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$\Sigma F_v = 0, \Sigma M_0 = 0$ , Criterio di rottura.

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

I valori di  $F$  e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $\Delta X = 0$  ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

**Metodo di JANBU (1967)**

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

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia

(nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente

valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

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

Assumendo  $\Delta X_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario.

Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

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

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

**Metodo di BELL (1968)**

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno,  $W$ , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali  $K_x W$  e  $K_z W$ , le forze orizzontali e verticali  $X$  e  $Z$  applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio  $\sigma$  e  $\tau$  agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori  $u$  che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da *Taylor*.

In accordo con la legge della resistenza di *Mohr-Coulomb* in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell' $i$ -esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \phi_i}{F}$$

in cui

$F$  = il fattore di sicurezza;

$c_i$  = la coesione efficace (o totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;

$\phi_i$  = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;

$L_i$  = la lunghezza della base dell' $i$ -esimo concio;

$u_{ci}$  = la pressione dei pori al centro della base dell' $i$ -esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[ C_1 (1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$W_i \cos \alpha_i / L_i$  = valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei conci.

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left( \frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

Dove  $x_0$  ed  $x_n$  sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre  $x_{ci}$  rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio  $i$ -esimo.

Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno  $K_z g$  può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore  $(1 - K_z)$ .

Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza  $F$ , sostituendo l'espressione di  $N_i$  e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario  $C_3$ .

Si assume una relazione di linearità tra detto coefficiente, determinabile tramite la regola di Cramer, ed il fattore di sicurezza  $F$ . Il corretto valore di  $F$  può essere ottenuto dalla formula di interpolazione lineare:

$$F = F(2) + \left( \frac{1 - C_3(2)}{C_3(2) - C_3(1)} \right) (F(2) - F(1))$$

dove i numeri in parentesi (1) e (2) indicano i valori iniziale e successivo dei parametri F e C<sub>3</sub>.

Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

### Metodo di SARMA (1973)

Il metodo di **Sarma** è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica *Kc*) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in *n* strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale *N<sub>i</sub>* agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$\begin{aligned} N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i &= W_i - \Delta X_i \\ T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i &= K W_i + \Delta E_i \end{aligned}$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\begin{aligned} \sum \Delta E_i &= 0 \\ \sum \Delta X_i &= 0 \end{aligned}$$

dove *E<sub>i</sub>* e *X<sub>i</sub>* rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia *i*-esima del concio generico *i*. L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel metodo di **Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:

$$\begin{aligned} * \sum \Delta X_i \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i &= \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i \\ ** \sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha'_i) + (x'_i - x_G)] &= \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G) \end{aligned}$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di *K* (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione *K* corrispondente al fattore di sicurezza *F* = 1, ossia l'*accelerazione critica*.

Si ha pertanto:

*K* = *Kc* *accelerazione critica* se *F* = 1

*F* = *Fs* *fattore di sicurezza in condizioni statiche* se *K* = 0

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne *X<sub>i</sub>* ed *E<sub>i</sub>* tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.

E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze *X<sub>i</sub>*:

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove *Q<sub>i</sub>* è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla *i*-esima faccia del concio *i*, e *λ* rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di  $Kc$ ,  $\lambda$  e  $F$ , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

## METODO DI SPENCER

Il metodo è basato sull'assunzione:

Le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo  $\theta$ . tutti i momenti sono nulli  $M_i = 0 \quad i=1, \dots, n$

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione  $f(x) = 1$ .

Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$\sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h l \sec \alpha) \frac{tg \alpha}{F_s} - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[ \frac{F_s + tg \phi g(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

forza d'interazione fra i conci;

R = raggio dell'arco di cerchio;

$\theta$  = angolo d'inclinazione della forza  $Q_i$  rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum (Q_i \cos \theta) = 0 \quad \sum (Q_i \sin \theta) = 0$$

Con l'assunzione delle forze  $Q_i$  parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$\sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo ( $F_{sm}$ ) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo ( $F_{sf}$ ) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo  $\theta$ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia  $F_{sm} = F_{sf}$ .

## METODO DI MORGENSTERN E PRICE

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo  $X = \lambda f(x)E$ , dove  $\lambda$  è un fattore di scala e  $f(x)$ , funzione della posizione di E e di X, definisce una relazione tra la variazione della forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione  $f(x)$  è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite E, X, il coefficiente di sicurezza  $F_s$ , il peso della striscia infinitesima  $dW$  e la risultante delle pressioni neutra alla base  $dU$ .

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + tg \phi \left( \frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - tg \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) =$$

$$= \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \left( \frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$

Una seconda equazione, detta “equazione dei momenti”, viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzeria della base:

$$X = \frac{d(E_\gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.

Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

### **Pendii in roccia (*Metodo di Hoek e Bray*)**

Per i versanti in roccia, diversamente da quelli in terra, il criterio di rottura di Mohr-Coulomb non può essere impiegato per definire la resistenza del materiale; tuttavia con questo metodo viene descritta una procedura che consente l'applicazione dei metodi classici dell'Equilibrio Limite anche nei versanti rocciosi. A tale scopo vengono definiti l'angolo di resistenza a taglio e la coesione che si mobilitano lungo la superficie di scorrimento secondo le seguenti espressioni:

$$\operatorname{tg} \varphi = AB \left( \frac{N}{\sigma_c} - T \right)^{B-1}$$

$$c = A \sigma_c \left( \frac{N}{\sigma_c} - T \right)^B - N \operatorname{tg} \varphi$$

dove:

$\sigma_c$  è la resistenza a compressione monassiale della roccia;

A, B, T costanti in funzione del litotipo e della qualità della roccia (*riportati in tabella*);

N sforzo normale alla base del concio.

Le costanti A, B e T sono vengono determinate in funzione della classificazione della roccia secondo Bieniawski (indice RMR) e secondo Barton (indice Q). Tra i due sistemi di classificazione, sulla base di 111 esempi analizzati, è stata trovata la seguente correlazione:

$$\text{RMR} = 9 \ln Q + 44$$

	<b>Calcarei Dolomie Marne</b>	Argilliti Siltiti Scisti	Areniti Quarziti	Andesiti Basalti Rioliti	Anfiboliti Gneiss Graniti
RMR = 100 Q = 500	A = 0.816 B = 0.658 T = -0.140	A = 0.918 B = 0.677 T = -0.099	A = 1.044 B = 0.692 T = -0.067	A = 1.086 B = 0.696 T = -0.059	A = 1.220 B = 0.705 T = -0.040
RMR = 85 Q = 100	A = 0.651 B = 0.679 T = -0.028	A = 0.739 B = 0.692 T = -0.020	A = 0.848 B = 0.702 T = -0.013	A = 0.883 B = 0.705 T = -0.012	A = 0.998 B = 0.712 T = -0.008
RMR = 65 Q = 10	A = 0.369 B = 0.669 T = -0.006	A = 0.427 B = 0.683 T = -0.004	A = 0.501 B = 0.695 T = -0.003	A = 0.525 B = 0.698 T = -0.002	A = 0.603 B = 0.707 T = -0.002
<b>RMR = 44 Q = 1</b>	<b>A = 0.198 B = 0.662 T = -0.0007</b>	A = 0.234 B = 0.675 T = -0.0005	A = 0.280 B = 0.688 T = -0.0003	A = 0.295 B = 0.691 T = -0.003	A = 0.346 B = 0.700 T = -0.0002
RMR = 3 Q = 0.1	A = 0.115 B = 0.646 T = -0.0002	A = 0.129 B = 0.655 T = -0.0002	A = 0.162 B = 0.672 T = -0.0001	A = 0.172 B = 0.676 T = -0.0001	A = 0.203 B = 0.686 T = -0.0001
RMR = 3 Q = 0.01	A = 0.042 B = 0.534 T = 0	A = 0.050 B = 0.539 T = 0	A = 0.061 B = 0.546 T = 0	A = 0.065 B = 0.548 T = 0	A = 0.078 B = 0.556 T = 0

---

## VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

$F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

$K_o$ : Coefficiente sismico orizzontale

$K_v$ : Coefficiente sismico verticale.

### Calcolo coefficienti sismici

Le NTC 2008 calcolano i coefficienti  $K_o$  e  $K_v$  in dipendenza di vari fattori:

$$K_o = \beta_s \times (a_{\max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_o$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S S_T a_g$$

$S_S$  (effetto di amplificazione stratigrafica):  $0.90 \leq S_S \leq 1.80$ ; è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

$S_T$  (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di  $S_T$  varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1(S_T = 1.0) \quad T2(S_T = 1.20) \quad T3(S_T = 1.20) \quad T4(S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici. Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

**Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)****SEZIONE SF4 - STATO DI FATTO**

Lat./Long.	40.8337197239201/15.0269107222896
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	-25.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	-850.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	7.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	-823.14 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

**Coefficienti sismici [N.T.C.]****Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.51	2.37	0.28
S.L.D.	50.0	0.66	2.36	0.31
<b>S.L.V.</b>	<b>475.0</b>	<b>1.87</b>	<b>2.37</b>	<b>0.41</b>
S.L.C.	975.0	2.56	2.35	0.42

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.7344	0.2	0.015	0.0075
S.L.D.	0.9504	0.2	0.0194	0.0097
<b>S.L.V.</b>	<b>2.6928</b>	<b>0.24</b>	<b>0.0659</b>	<b>0.033</b>
S.L.C.	3.5469	0.28	0.1013	0.0506

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.066
Coefficiente azione sismica verticale	0.033

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	-869.34
2	8.7	-869.11
3	8.7	-856.83
4	15.58	-845.25
5	21.72	-840.45
6	62.95	-846.99

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

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	A	B	T	Resistenza compressione e monoassiale (kg/cm <sup>2</sup> )	Texture	Descrizione
1	2200	0.198	0.662	-0.0007	500		Giacimento calcareo

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

<b>Fs minimo individuato</b>	<b>1.25</b>
Ascissa centro superficie	0.6 m
Ordinata centro superficie	-847.31 m
Raggio superficie	20.59 m

**Numero di superfici esaminate....(153)**

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	-5.8	-850.0	19.1	1.76
2	-4.2	-848.7	19.9	1.37
3	-2.6	-850.0	17.1	1.53
4	-1.0	-848.7	19.4	1.25
5	0.6	-850.0	16.6	1.35
6	2.2	-848.7	19.3	1.29
7	3.8	-850.0	18.1	1.36
8	5.4	-848.7	17.8	1.47
9	7.0	-850.0	18.7	1.53
10	-10.6	-846.0	24.1	2.70
11	-9.0	-847.3	22.6	2.20
12	-7.4	-846.0	23.1	1.59
13	-5.8	-847.3	21.6	1.43
14	-4.2	-846.0	20.9	1.51

---

15	-2.6	-847.3	19.7	1.37
16	-1.0	-846.0	20.5	1.32
17	0.6	-847.3	20.6	1.25
18	2.2	-846.0	21.8	1.28
19	3.8	-847.3	20.6	1.33
20	5.4	-846.0	21.9	1.38
21	7.0	-847.3	21.0	1.46
22	-10.6	-843.3	26.1	2.10
23	-9.0	-844.6	22.8	3.70
24	-7.4	-843.3	23.1	2.27
25	-5.8	-844.6	23.7	1.37
26	-4.2	-843.3	22.5	1.53
27	-2.6	-844.6	23.2	1.25
28	-1.0	-843.3	22.1	1.37
29	0.6	-844.6	21.3	1.33
30	2.2	-843.3	24.1	1.30
31	3.8	-844.6	21.0	1.38
32	5.4	-843.3	24.3	1.41
33	7.0	-844.6	23.3	1.47
34	-13.8	-840.6	29.3	3.15
35	-10.6	-840.6	25.5	7.49
36	-9.0	-841.9	26.6	1.62
37	-7.4	-840.6	24.7	2.20
38	-5.8	-841.9	25.8	1.35
39	-4.2	-840.6	24.1	1.59
40	-2.6	-841.9	25.3	1.27
41	-1.0	-840.6	23.7	1.43
42	0.6	-841.9	25.1	1.29
43	2.2	-840.6	23.7	1.42
44	3.8	-841.9	25.3	1.37
45	5.4	-840.6	26.6	1.46
46	7.0	-841.9	25.6	1.51
47	-13.8	-837.9	31.2	2.40
48	-9.0	-839.3	25.8	3.16
49	-7.4	-837.9	26.2	2.23
50	-5.8	-839.3	25.1	1.82
51	-4.2	-837.9	28.7	1.33
52	-2.6	-839.3	27.4	1.30
53	-1.0	-837.9	25.4	1.50
54	0.6	-839.3	24.5	1.45
55	2.2	-837.9	28.4	1.40
56	3.8	-839.3	27.5	1.43
57	5.4	-837.9	28.7	1.52
58	7.0	-839.3	24.9	1.63
59	-17.0	-835.2	34.4	3.89
60	-15.4	-836.6	32.8	2.95
61	-13.8	-835.2	33.2	2.08
62	-12.2	-836.6	31.6	1.85
63	-10.6	-835.2	28.6	5.36
64	-9.0	-836.6	30.7	1.50
65	-7.4	-835.2	31.5	1.41
66	-5.8	-836.6	26.7	1.89
67	-4.2	-835.2	27.7	1.66
68	-2.6	-836.6	26.3	1.58
69	-1.0	-835.2	27.6	1.53
70	0.6	-836.6	26.3	1.52
71	2.2	-835.2	31.0	1.45

---

---

72	3.8	-836.6	26.6	1.57
73	5.4	-835.2	31.3	1.57
74	7.0	-836.6	30.3	1.62
75	-17.0	-832.5	36.7	2.53
76	-13.8	-832.5	35.6	1.78
77	-12.2	-833.9	30.2	9.08
78	-10.6	-832.5	34.7	1.49
79	-9.0	-833.9	29.6	2.48
80	-7.4	-832.5	34.1	1.39
81	-5.8	-833.9	32.6	1.37
82	-4.2	-832.5	33.7	1.38
83	-2.6	-833.9	32.3	1.38
84	-1.0	-832.5	33.6	1.42
85	0.6	-833.9	32.2	1.43
86	2.2	-832.5	33.7	1.50
87	3.8	-833.9	29.3	1.62
88	5.4	-832.5	33.8	1.63
89	7.0	-833.9	32.7	1.68
90	-20.2	-829.9	39.5	5.67
91	-17.0	-829.9	39.1	2.00
92	-15.4	-831.2	37.4	1.89
93	-13.8	-829.9	38.1	1.61
94	-12.2	-831.2	32.8	3.52
95	-10.6	-829.9	37.3	1.45
96	-9.0	-831.2	35.7	1.41
97	-7.4	-829.9	36.7	1.40
98	-5.8	-831.2	35.2	1.38
99	-4.2	-829.9	33.0	1.60
100	-2.6	-831.2	34.9	1.41
101	-1.0	-829.9	36.2	1.46
102	0.6	-831.2	34.9	1.48
103	2.2	-829.9	33.0	1.66
104	3.8	-831.2	35.0	1.59
105	5.4	-829.9	36.2	1.69
106	7.0	-831.2	35.1	1.73
107	-20.2	-827.2	42.2	2.71
108	-18.6	-828.5	40.9	2.16
109	-17.0	-827.2	41.6	1.75
110	-15.4	-828.5	39.9	1.67
111	-13.8	-827.2	40.7	1.52
112	-12.2	-828.5	39.0	1.48
113	-10.6	-827.2	39.9	1.43
114	-9.0	-828.5	38.3	1.41
115	-7.4	-827.2	39.4	1.42
116	-5.8	-828.5	37.9	1.41
117	-4.2	-827.2	39.0	1.45
118	-2.6	-828.5	37.6	1.45
119	-1.0	-827.2	38.9	1.51
120	0.6	-828.5	37.6	1.53
121	2.2	-827.2	38.7	1.61
122	3.8	-828.5	37.4	1.64
123	5.4	-827.2	34.7	1.88
124	7.0	-828.5	37.5	1.79
125	-23.4	-824.5	44.8	7.16
126	-21.8	-825.8	43.5	3.96
127	-20.2	-824.5	44.9	2.07
128	-18.6	-825.8	43.4	1.84

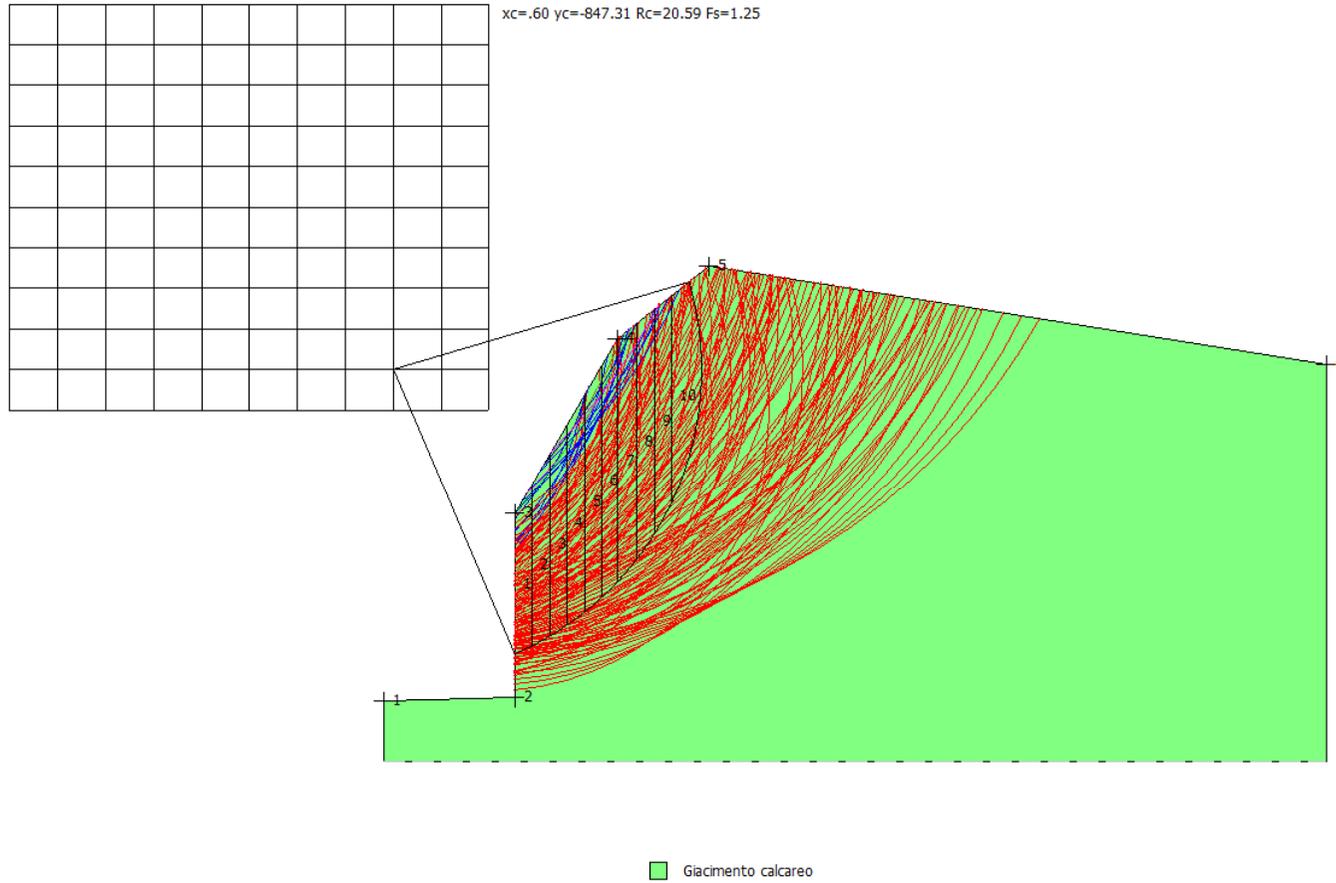
---

---

129	-17.0	-824.5	40.3	4.07
130	-15.4	-825.8	38.7	3.40
131	-13.8	-824.5	39.6	2.35
132	-12.2	-825.8	41.6	1.46
133	-10.6	-824.5	39.0	1.83
134	-9.0	-825.8	41.0	1.43
135	-7.4	-824.5	38.6	1.68
136	-5.8	-825.8	40.5	1.44
137	-4.2	-824.5	41.7	1.48
138	-2.6	-825.8	40.3	1.49
139	-1.0	-824.5	41.4	1.56
140	0.6	-825.8	40.0	1.59
141	2.2	-824.5	41.1	1.67
142	3.8	-825.8	39.8	1.70
143	5.4	-824.5	36.8	1.97
144	7.0	-825.8	39.9	1.86
145	-18.6	-823.1	42.0	5.12
146	-15.4	-823.1	45.0	1.52
147	-12.2	-823.1	40.6	1.93
148	-9.0	-823.1	43.6	1.45
149	-5.8	-823.1	43.2	1.48
150	-2.6	-823.1	42.8	1.55
151	0.6	-823.1	38.6	1.79
152	3.8	-823.1	38.1	1.93
153	7.0	-823.1	42.2	1.92

---

---



**SEZIONE SF4 - STATO DI FATTO**

**Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS (1936)**  
**SEZIONE SF4 - STATO DI PROGETTO**

Lat./Long.	40.8337197239201/15.0269107222896
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	-1.86 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	-122.61 m
Ascissa vertice destro superiore xs	18.4 m
Ordinata vertice destro superiore ys	-107.87 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

**Coefficienti sismici [N.T.C.]**

**Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.51	2.37	0.28
S.L.D.	50.0	0.66	2.36	0.31
<b>S.L.V.</b>	<b>475.0</b>	<b>1.87</b>	<b>2.37</b>	<b>0.41</b>
S.L.C.	975.0	2.56	2.35	0.42

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.7344	0.2	0.015	0.0075
S.L.D.	0.9504	0.2	0.0194	0.0097
<b>S.L.V.</b>	<b>2.6928</b>	<b>0.24</b>	<b>0.0659</b>	<b>0.033</b>
S.L.C.	3.5469	0.28	0.1013	0.0506

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0659
Coefficiente azione sismica verticale	0.033

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	-137.58
2	6.47	-137.38
3	9.6	-137.96
4	10.04	-134.88
5	13.17	-135.46
6	13.6	-132.38
7	16.74	-132.96
8	17.17	-129.88
9	20.31	-130.46
10	20.74	-127.38
11	23.88	-127.96
12	24.31	-124.88
13	27.44	-125.46
14	27.88	-122.38
15	31.01	-122.96
16	31.44	-119.88
17	34.58	-120.46
18	35.1	-117.07
19	41.24	-118.05

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

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	A	B	T	Resistenza compressione e monoassiale (kg/cm <sup>2</sup> )	Texture	Descrizione
1	2200	0.198	0.662	-0.0007	500		Giacimento calcareo

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

<b>Fs minimo individuato</b>	<b>1.69</b>
Ascissa centro superficie	17.39 m
Ordinata centro superficie	-117.45 m
Raggio superficie	21.49 m

**Numero di superfici esaminate....(109)**

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
----	----	----	----	----

---

1	8.3	-122.6	15.5	4.16
2	9.3	-121.9	16.4	3.77
3	10.3	-122.6	16.4	3.42
4	11.3	-121.9	17.5	2.50
5	12.3	-122.6	17.4	2.38
6	13.3	-121.9	18.2	2.51
7	14.4	-122.6	17.5	2.12
8	15.4	-121.9	18.1	2.07
9	16.4	-122.6	17.5	2.03
10	17.4	-121.9	18.2	1.91
11	18.4	-122.6	17.4	1.94
12	9.3	-120.4	17.7	3.86
13	10.3	-121.1	17.6	3.15
14	11.3	-120.4	18.6	2.49
15	12.3	-121.1	18.5	2.39
16	13.3	-120.4	19.5	2.23
17	14.4	-121.1	16.8	2.44
18	15.4	-120.4	19.4	1.81
19	16.4	-121.1	18.8	1.97
20	17.4	-120.4	17.3	2.15
21	18.4	-121.1	16.7	2.08
22	7.3	-118.9	18.0	4.40
23	10.3	-119.7	18.7	2.62
24	11.3	-118.9	19.7	2.49
25	12.3	-119.7	19.6	2.33
26	13.3	-118.9	18.5	2.33
27	14.4	-119.7	20.1	2.04
28	15.4	-118.9	18.5	2.24
29	16.4	-119.7	18.0	2.19
30	17.4	-118.9	20.9	1.89
31	18.4	-119.7	17.9	2.05
32	7.3	-117.5	19.4	4.32
33	8.3	-118.2	19.0	3.59
34	9.3	-117.5	20.1	3.35
35	10.3	-118.2	19.9	2.61
36	11.3	-117.5	20.9	2.47
37	12.3	-118.2	20.7	2.36
38	13.3	-117.5	21.8	1.79
39	14.4	-118.2	21.5	1.74
40	15.4	-117.5	22.1	1.73
41	16.4	-118.2	21.5	1.98
42	17.4	-117.5	21.5	1.69
43	18.4	-118.2	18.3	2.09
44	7.3	-116.0	20.6	4.37
45	8.3	-116.7	20.3	3.53
46	9.3	-116.0	18.8	5.14
47	10.3	-116.7	21.0	3.08
48	12.3	-116.7	21.8	2.40
49	13.3	-116.0	22.9	1.82
50	14.4	-116.7	22.7	1.78
51	15.4	-116.0	23.4	1.77
52	16.4	-116.7	20.0	2.22
53	17.4	-116.0	19.4	2.23
54	18.4	-116.7	18.4	2.23
55	7.3	-114.5	21.9	4.19
56	9.3	-114.5	20.2	4.72
57	10.3	-115.2	22.2	2.48

---

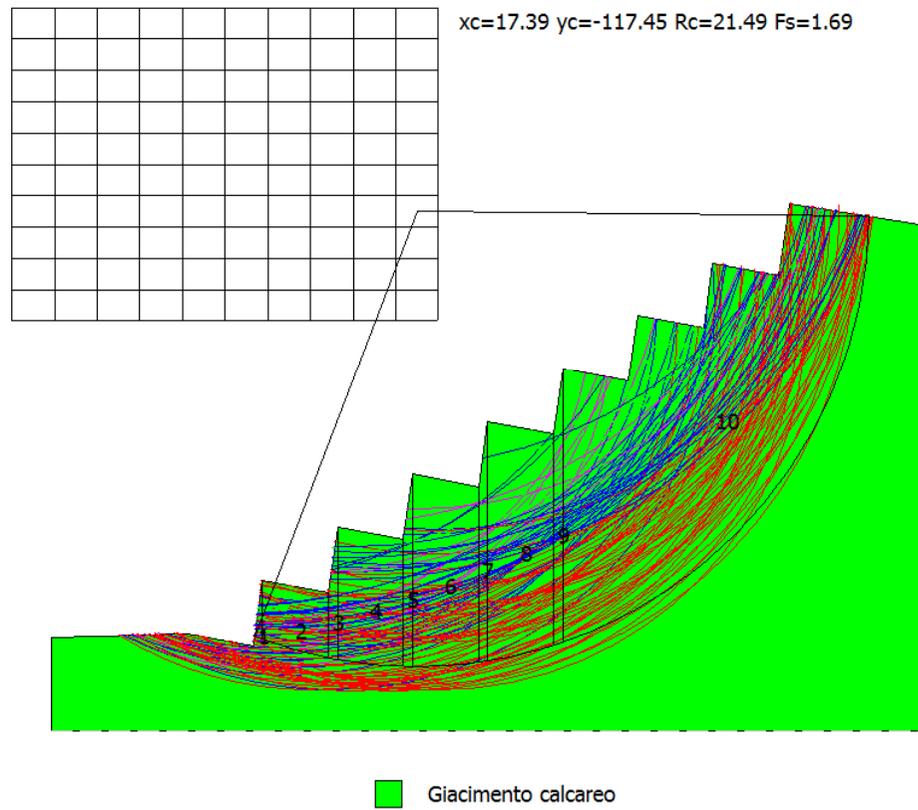
---

58	11.3	-114.5	23.2	2.34
59	12.3	-115.2	23.0	1.87
60	13.3	-114.5	21.4	2.53
61	14.4	-115.2	24.0	1.82
62	15.4	-114.5	21.0	2.29
63	16.4	-115.2	22.6	1.78
64	17.4	-114.5	21.7	2.24
65	18.4	-115.2	20.8	2.13
66	8.3	-113.8	22.8	4.01
67	10.3	-113.8	23.4	2.51
68	11.3	-113.0	24.4	2.40
69	12.3	-113.8	24.2	2.26
70	13.3	-113.0	25.2	2.01
71	14.4	-113.8	21.8	2.40
72	15.4	-113.0	21.3	2.49
73	16.4	-113.8	22.7	1.86
74	17.4	-113.0	19.7	3.15
75	18.4	-113.8	18.7	3.14
76	8.3	-112.3	24.0	4.09
77	9.3	-111.6	25.0	2.73
78	10.3	-112.3	24.7	2.54
79	11.3	-111.6	23.0	3.77
80	12.3	-112.3	25.4	2.31
81	13.3	-111.6	25.8	1.96
82	14.4	-112.3	22.2	2.52
83	15.4	-111.6	24.1	2.38
84	17.4	-111.6	19.9	3.70
85	18.4	-112.3	21.3	2.42
86	8.3	-110.8	25.4	3.93
87	9.3	-110.1	26.4	2.72
88	10.3	-110.8	26.0	2.56
89	11.3	-110.1	27.0	2.50
90	12.3	-110.8	23.8	3.46
91	13.3	-110.1	23.2	3.93
92	14.4	-110.8	22.5	2.81
93	15.4	-110.1	24.5	2.43
94	16.4	-110.8	23.3	2.45
95	18.4	-110.8	21.7	2.34
96	8.3	-109.3	26.8	2.95
97	9.3	-108.6	27.8	2.73
98	10.3	-109.3	24.7	3.93
99	11.3	-108.6	28.2	2.27
100	12.3	-109.3	27.3	2.10
101	13.3	-108.6	23.6	3.70
102	14.4	-109.3	25.5	2.44
103	15.4	-108.6	24.9	2.62
104	17.4	-108.6	20.6	4.56
105	18.4	-109.3	19.9	4.04
106	8.3	-107.9	28.2	2.93
107	10.3	-107.9	28.6	2.71
108	14.4	-107.9	25.9	2.64
109	16.4	-107.9	21.6	4.70

---



---



**SEZIONE SF4 - STATO DI PROGETTO**

**Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)****SEZIONE SF12 - STATO DI FATTO**

Lat./Long.	40.8337197239201/15.0269107222896
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	-21.46 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	-634.43 m
Ascissa vertice destro superiore xs	8.57 m
Ordinata vertice destro superiore ys	-607.41 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

**Coefficienti sismici [N.T.C.]****Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.51	2.37	0.28
S.L.D.	50.0	0.66	2.36	0.31
<b>S.L.V.</b>	<b>475.0</b>	<b>1.87</b>	<b>2.37</b>	<b>0.41</b>
S.L.C.	975.0	2.56	2.35	0.42

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.7344	0.2	0.015	0.0075
S.L.D.	0.9504	0.2	0.0194	0.0097
<b>S.L.V.</b>	<b>2.6928</b>	<b>0.24</b>	<b>0.0659</b>	<b>0.033</b>
S.L.C.	3.5469	0.28	0.1013	0.0506

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0659
Coefficiente azione sismica verticale	0.033

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	-656.42
2	18.87	-656.25
3	30.63	-619.11
4	49.33	-610.95

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

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	A	B	T	Resistenza compressione monoassiale (kg/cm <sup>2</sup> )	Texture	Descrizione
1	2200	0.198	0.662	-0.0007	500		Giacimento calcareo

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

<b>Fs minimo individuato</b>	<b>1.02</b>
Ascissa centro superficie	5.57 m
Ordinata centro superficie	-620.92 m
Raggio superficie	33.17 m

**Numero di superfici esaminate....(75)**

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	8.6	-629.0	25.9	1.15
2	5.6	-626.3	27.9	1.16
3	7.1	-625.0	26.6	1.15
4	8.6	-626.3	28.4	1.05
5	2.6	-623.6	30.3	1.19
6	4.1	-622.3	29.1	1.24
7	5.6	-623.6	30.5	1.04
8	7.1	-622.3	32.0	1.02
9	8.6	-623.6	28.1	1.08
10	-1.9	-619.6	34.5	1.42
11	-0.4	-620.9	33.0	1.33
12	1.1	-619.6	31.8	1.40
13	2.6	-620.9	30.4	1.31
14	4.1	-619.6	34.4	1.03
15	5.6	-620.9	33.2	1.02
16	7.1	-619.6	34.7	1.03

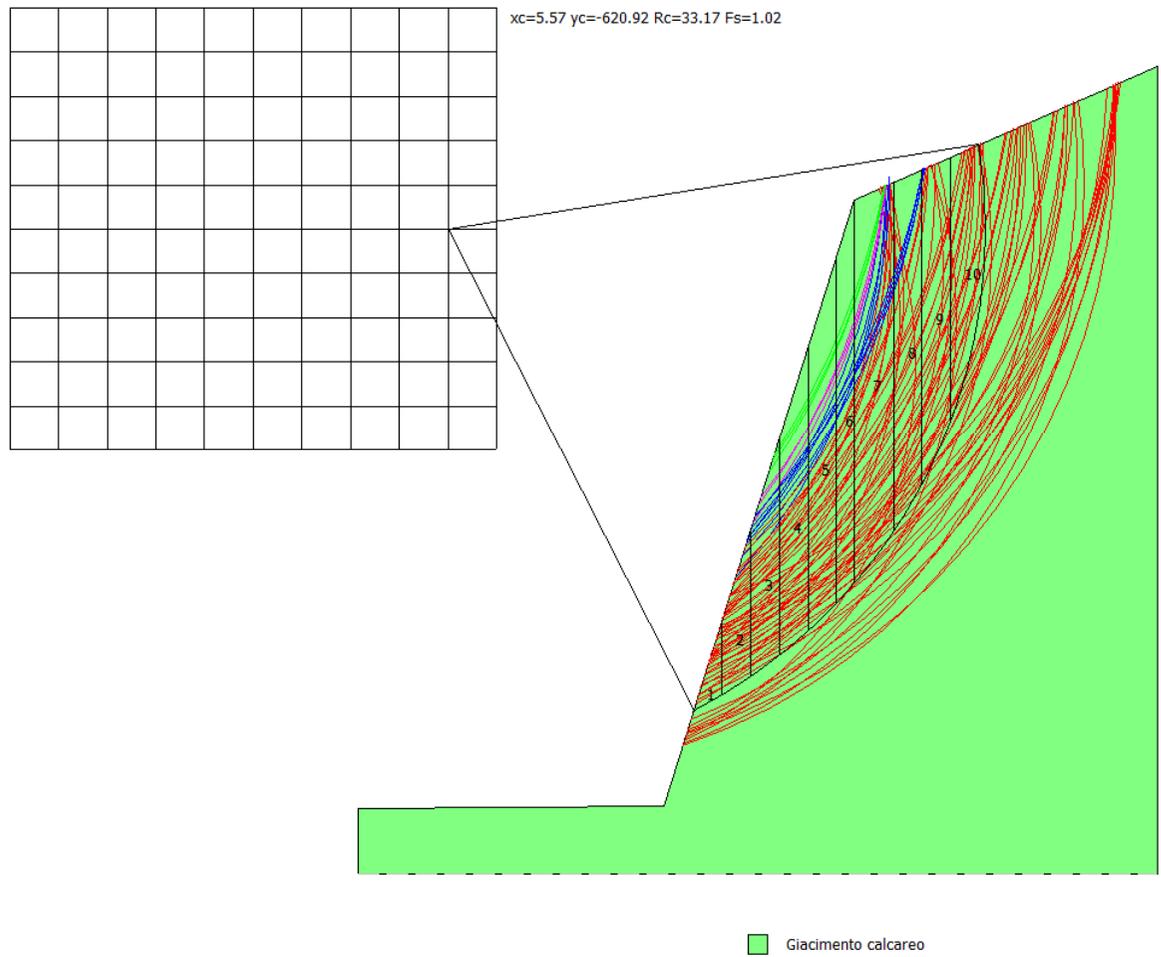
---

17	8.6	-620.9	33.6	1.03
18	-3.4	-618.2	36.0	1.53
19	-1.9	-616.9	34.7	1.66
20	-0.4	-618.2	33.2	1.52
21	1.1	-616.9	37.0	1.06
22	2.6	-618.2	33.0	1.16
23	4.1	-616.9	34.3	1.09
24	5.6	-618.2	33.0	1.07
25	7.1	-616.9	37.3	1.04
26	8.6	-618.2	36.2	1.04
27	-7.9	-614.2	40.7	1.95
28	-6.4	-615.5	39.1	1.80
29	-4.9	-614.2	37.8	2.00
30	-3.4	-615.5	38.6	1.24
31	-1.9	-614.2	39.8	1.11
32	-0.4	-615.5	38.4	1.08
33	1.1	-614.2	39.7	1.05
34	2.6	-615.5	38.3	1.04
35	4.1	-614.2	37.0	1.08
36	5.6	-615.5	35.7	1.07
37	7.1	-614.2	36.7	1.08
38	8.6	-615.5	38.1	1.06
39	-9.4	-612.8	42.3	2.10
40	-7.9	-611.5	41.0	2.43
41	-6.4	-612.8	41.7	1.35
42	-4.9	-611.5	42.8	1.17
43	-3.4	-612.8	38.9	1.38
44	-1.9	-611.5	40.0	1.20
45	-0.4	-612.8	38.5	1.17
46	1.1	-611.5	39.7	1.12
47	2.6	-612.8	41.0	1.04
48	4.1	-611.5	39.6	1.09
49	5.6	-612.8	41.0	1.05
50	7.1	-611.5	37.1	1.14
51	8.6	-612.8	38.2	1.10
52	-14.0	-608.8	47.4	2.62
53	-12.5	-610.1	45.7	2.44
54	-11.0	-608.8	46.6	1.54
55	-9.4	-610.1	45.0	1.48
56	-7.9	-608.8	46.0	1.24
57	-6.4	-610.1	42.0	1.54
58	-4.9	-608.8	43.1	1.29
59	-3.4	-610.1	44.0	1.10
60	-1.9	-608.8	45.2	1.07
61	-0.4	-610.1	41.2	1.14
62	1.1	-608.8	42.4	1.11
63	2.6	-610.1	43.7	1.05
64	4.1	-608.8	42.8	1.09
65	5.6	-610.1	41.2	1.09
66	7.1	-608.8	40.0	1.15
67	8.6	-610.1	38.4	1.15
68	-12.5	-607.4	48.3	1.62
69	-9.4	-607.4	47.6	1.28
70	-6.4	-607.4	47.0	1.14
71	-3.4	-607.4	44.2	1.19
72	-0.4	-607.4	43.8	1.13
73	2.6	-607.4	44.4	1.09

---

---

74	5.6	-607.4	41.6	1.14
75	8.6	-607.4	38.8	1.21



**SEZIONE SF12 - STATO DI FATTO**

**Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)**  
**SEZIONE SF12 - STATO DI PROGETTO**

Lat./Long.	40.8337197239201/15.0269107222896
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	-4.02 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	-1966.23 m
Ascissa vertice destro superiore xs	23.8 m
Ordinata vertice destro superiore ys	-1937.72 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

**Coefficienti sismici [N.T.C.]**

**Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.51	2.37	0.28
S.L.D.	50.0	0.66	2.36	0.31
<b>S.L.V.</b>	<b>475.0</b>	<b>1.87</b>	<b>2.37</b>	<b>0.41</b>
S.L.C.	975.0	2.56	2.35	0.42

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.7344	0.2	0.015	0.0075
S.L.D.	0.9504	0.2	0.0194	0.0097
<b>S.L.V.</b>	<b>2.6928</b>	<b>0.24</b>	<b>0.0659</b>	<b>0.033</b>
S.L.C.	3.5469	0.28	0.1013	0.0506

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0659
Coefficiente azione sismica verticale	0.033

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	-1989.21
2	14.21	-1989.21
3	17.59	-1989.79
4	18.06	-1986.71
5	21.44	-1987.29
6	21.57	-1985.21
7	48.91	-1937.1
8	55.0	-1935.74

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

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Peso unità di volume (Kg/m³)	A	B	T	Resistenza compressione e monoassiale (kg/cm²)	Texture	Descrizione
1	2200	0.198	0.662	-0.0007	500		Giacimento calcareo

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

<b>Fs minimo individuato</b>	<b>1.15</b>
Ascissa centro superficie	11.28 m
Ordinata centro superficie	-1944.84 m
Raggio superficie	40.26 m

**Numero di superfici esaminate....(94)**

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	9.9	-1966.2	23.6	20.00
2	11.3	-1964.8	25.2	20.00
3	14.1	-1964.8	24.0	1.61
4	15.5	-1966.2	25.4	2.16
5	16.8	-1964.8	21.6	1.55
6	18.2	-1966.2	20.2	1.61
7	19.6	-1964.8	20.8	1.62
8	21.0	-1966.2	19.3	1.73
9	22.4	-1964.8	23.3	1.86
10	23.8	-1966.2	19.6	1.95
11	11.3	-1961.9	27.6	20.00

---

12	14.1	-1961.9	28.4	1.81
13	15.5	-1963.4	25.3	1.53
14	16.8	-1961.9	23.8	1.49
15	18.2	-1963.4	22.3	1.54
16	19.6	-1961.9	25.9	1.60
17	21.0	-1963.4	24.4	1.71
18	22.4	-1961.9	25.6	1.74
19	23.8	-1963.4	24.5	1.91
20	11.3	-1959.1	30.0	1.44
21	12.7	-1960.5	29.1	20.00
22	15.5	-1960.5	30.0	1.72
23	16.8	-1959.1	28.7	1.45
24	18.2	-1960.5	27.4	1.51
25	19.6	-1959.1	28.3	1.52
26	21.0	-1960.5	26.8	1.62
27	22.4	-1959.1	27.8	1.55
28	23.8	-1960.5	26.7	1.68
29	12.7	-1957.7	29.1	1.38
30	14.1	-1956.2	30.4	1.32
31	15.5	-1957.7	32.3	1.59
32	16.8	-1956.2	33.9	1.53
33	18.2	-1957.7	32.9	1.61
34	19.6	-1956.2	34.1	1.59
35	21.0	-1957.7	29.2	1.46
36	22.4	-1956.2	30.1	1.49
37	23.8	-1957.7	29.0	1.60
38	12.7	-1954.8	33.9	1.31
39	14.1	-1953.4	35.5	1.29
40	15.5	-1954.8	31.6	1.29
41	16.8	-1953.4	32.9	1.28
42	18.2	-1954.8	35.5	1.51
43	19.6	-1953.4	32.3	1.34
44	21.0	-1954.8	31.5	1.41
45	22.4	-1953.4	33.4	1.37
46	23.8	-1954.8	32.9	1.52
47	11.3	-1950.5	36.7	1.21
48	14.1	-1950.5	37.6	1.25
49	15.5	-1952.0	37.0	1.27
50	16.8	-1950.5	37.4	1.25
51	18.2	-1952.0	36.7	1.29
52	19.6	-1950.5	34.9	1.26
53	21.0	-1952.0	34.1	1.31
54	22.4	-1950.5	32.3	1.32
55	14.1	-1947.7	38.7	1.16
56	16.8	-1947.7	36.3	1.20
57	18.2	-1949.1	35.7	1.22
58	19.6	-1947.7	34.0	1.24
59	21.0	-1949.1	33.1	1.27
60	22.4	-1947.7	31.4	1.30
61	23.8	-1949.1	30.6	1.34
62	11.3	-1944.8	40.3	1.15
63	12.7	-1946.3	39.4	1.15
64	15.5	-1946.3	37.0	1.18
65	16.8	-1944.8	35.4	1.21
66	18.2	-1946.3	34.6	1.22
67	19.6	-1944.8	33.0	1.25
68	21.0	-1946.3	32.3	1.26

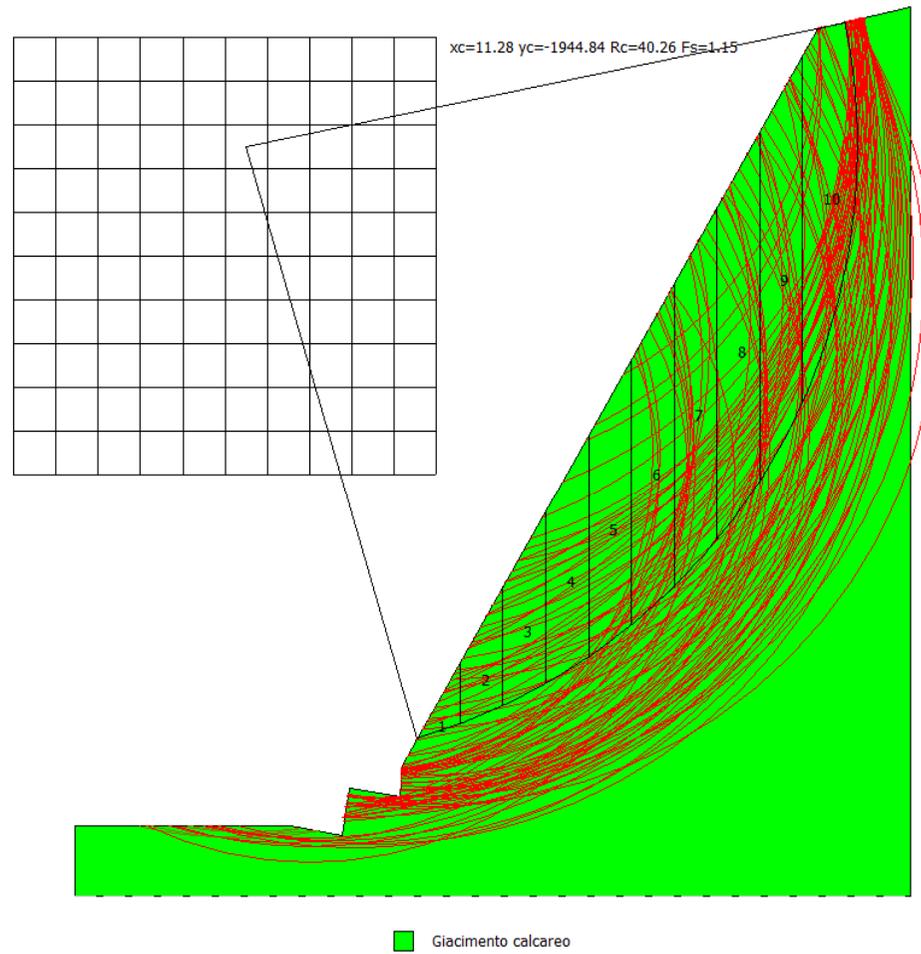
---

---

69	8.5	-1942.0	42.6	1.16
70	9.9	-1943.4	41.4	1.15
71	11.3	-1942.0	40.1	1.18
72	12.7	-1943.4	38.9	1.18
73	14.1	-1942.0	37.6	1.21
74	16.8	-1942.0	35.0	1.24
75	18.2	-1943.4	33.9	1.24
76	19.6	-1942.0	32.5	1.28
77	22.4	-1942.0	30.0	1.32
78	23.8	-1943.4	29.0	1.33
79	5.7	-1939.1	45.2	1.19
80	7.1	-1940.6	43.9	1.17
81	12.7	-1940.6	38.8	1.22
82	14.1	-1939.1	37.5	1.26
83	15.5	-1940.6	36.2	1.25
84	16.8	-1939.1	35.0	1.29
85	18.2	-1940.6	33.7	1.28
86	21.0	-1940.6	31.2	1.32
87	22.4	-1939.1	26.6	1.69
88	23.8	-1940.6	25.4	1.61
89	7.1	-1937.7	44.0	1.23
90	9.9	-1937.7	41.4	1.25
91	12.7	-1937.7	38.9	1.28
92	18.2	-1937.7	33.7	1.35
93	21.0	-1937.7	31.0	1.39
94	23.8	-1937.7	25.2	1.93

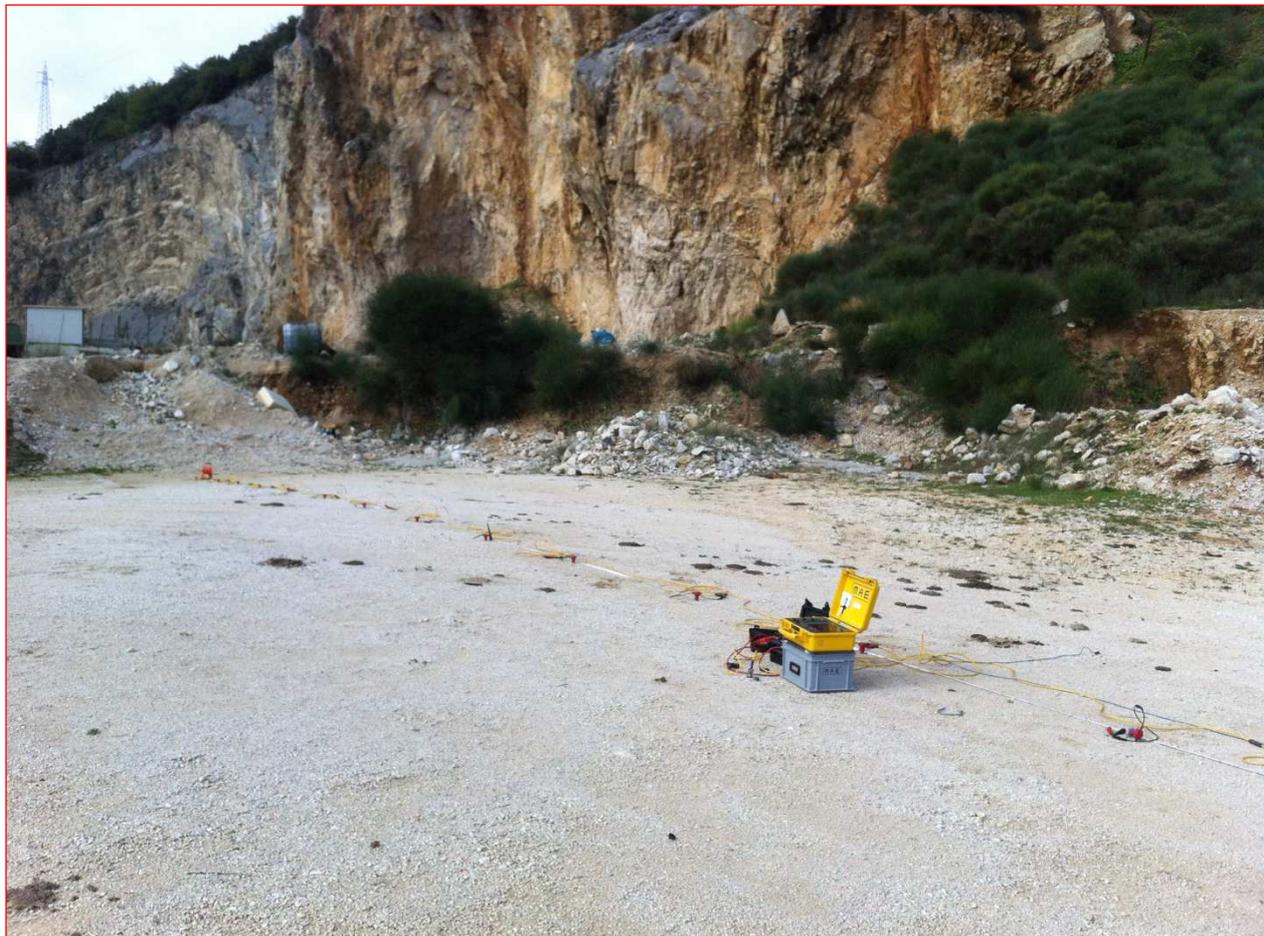
---

---



**SEZIONE SF12 - STATO DI PROGETTO**

## INDAGINE GEOFISICA (M.A.S.W. + H.V.S.R.)



<b>Programma di riqualificazione ambientale attività estrattiva</b> <b>Loc. Pietra delle gatte</b> <b>MONTELLA</b> <b>AV</b>	<b>Data:</b> ottobre 2013 <b>Prot.:</b> 044/2013/GS
	<b>Il committente:</b> <b>CALCESTRUZZO TERMINIO srl</b> di Salvatore MAZZEI
	<b>Il Geologo</b> Dott. E. Spagnuolo
	<b>Il Progettista</b> Ing.
Indagine geofisica tramite tecnica MASW + HVSR EASY MASW/HVSR - Geostru Software	

Nr. Lic. 88119179316149E7BDFD72714F6BE9DD

## INDICE

LA TECNICA MASW .....	1
Dati generali .....	3
Tracce .....	4
Analisi spettrale .....	5
Curva di dispersione .....	5
Inversione .....	7
Risultati .....	9
LA TECNICA HVSR .....	10
Dati generali .....	11
Tracce INPUT .....	12
FINESTRE SELEZIONATE .....	14
RAPPORTO SPETTRALE H/V .....	17
Risultati .....	17
VERIFICHE (progetto SESAME) .....	18
MODELLO STRATIGRAFICO .....	18

## LA TECNICA MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

1.19

### Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- 1 P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- 2 S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- 3 L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- 4 R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

### Onde di Rayleigh – "R"

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

### Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

### Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

### Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

2.19

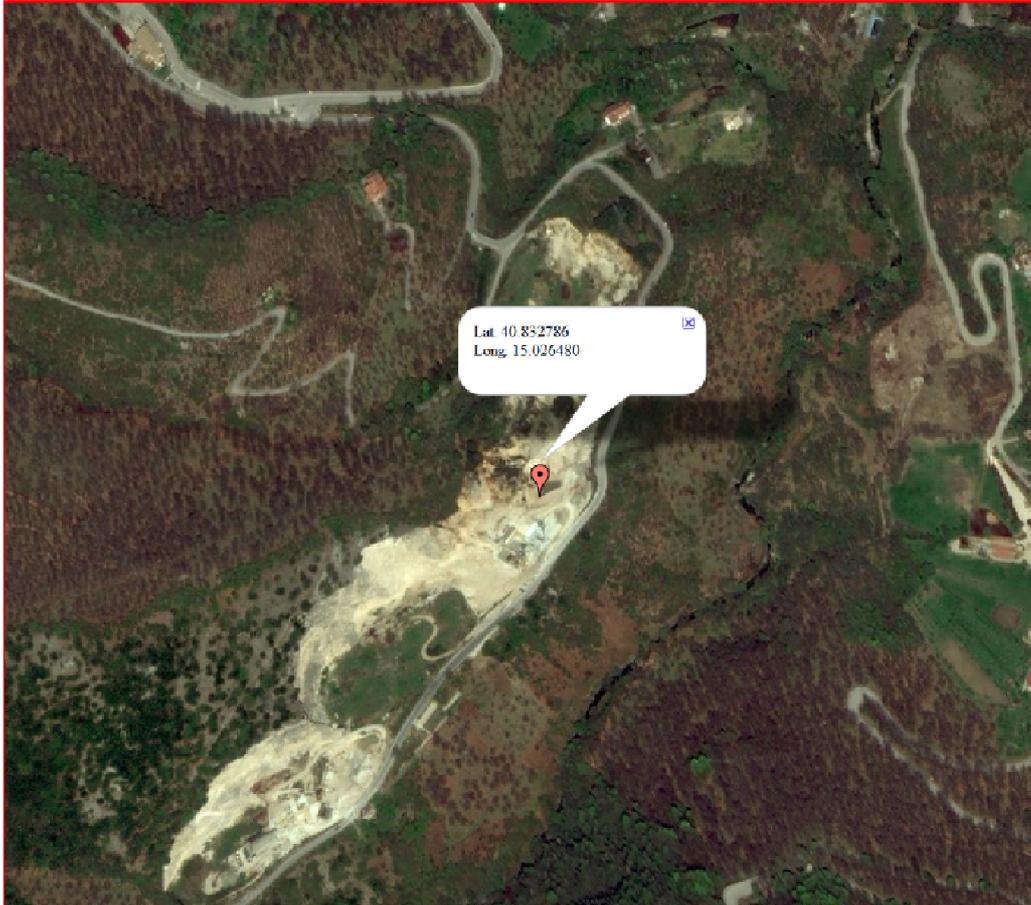
### **Profondità di indagine**

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

## DATI GENERALI

<b>Committente</b>	CALCESTRUZZI TERMINIO srl
<b>Cantiere</b>	MONTELLA
<b>Località</b>	Pietra delle gatte
<b>Operatore prova</b>	GEOSAFE SAS
<b>Comune</b>	MONTELLA - Av
<b>Data</b>	14/10/2013 10.30
<b>Latitudine</b>	40.8328
<b>Longitudine</b>	15.0265
<b>Strumentazione</b>	M.A.E. srl 24 canali 24 bit per canale / geofoni 4.5 Hz verticali

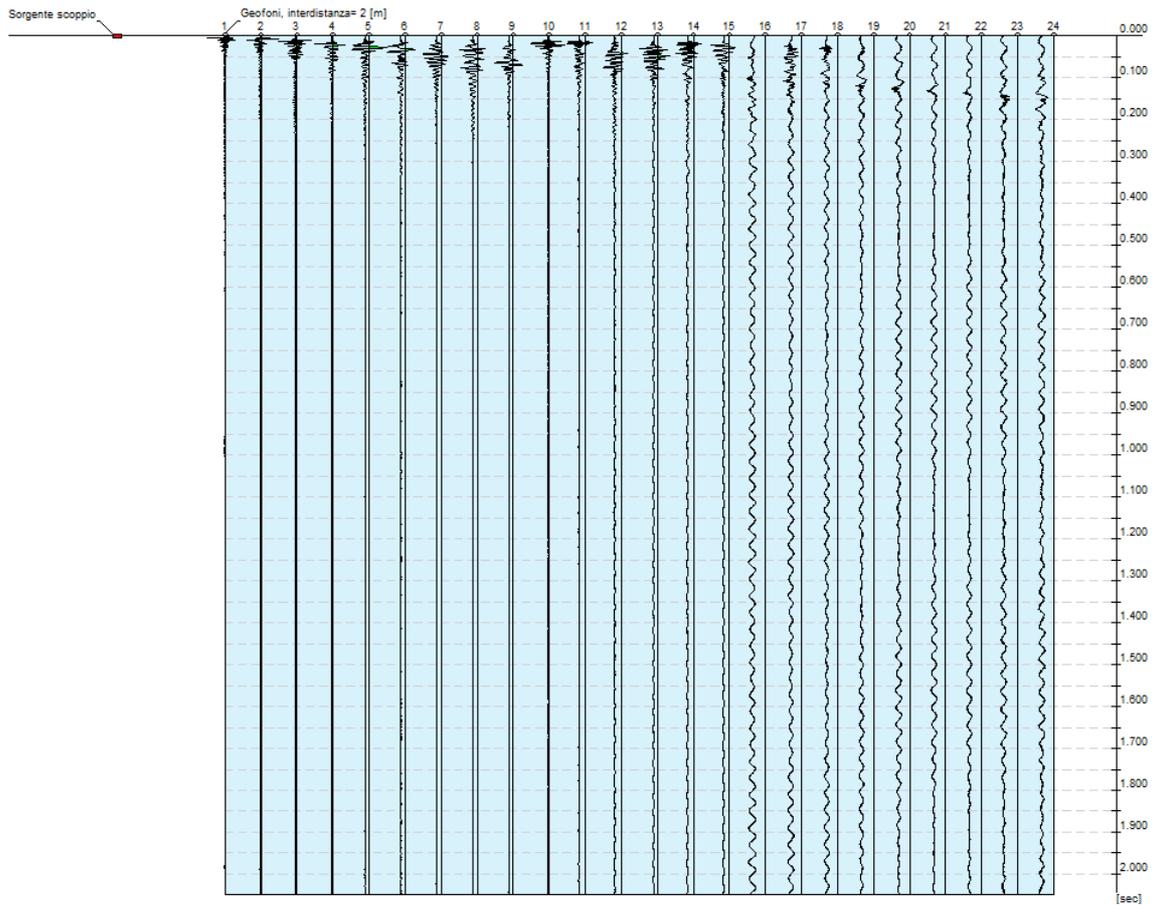
3.19



## TRACCE

**N. tracce** | 24  
**Durata acquisizione** | 2048.0  
**[msec]**  
**Interdistanza** | 2.0  
**geofoni [m]**  
**Periodo di** | 1.00  
**campionamento** |  
**[msec]**

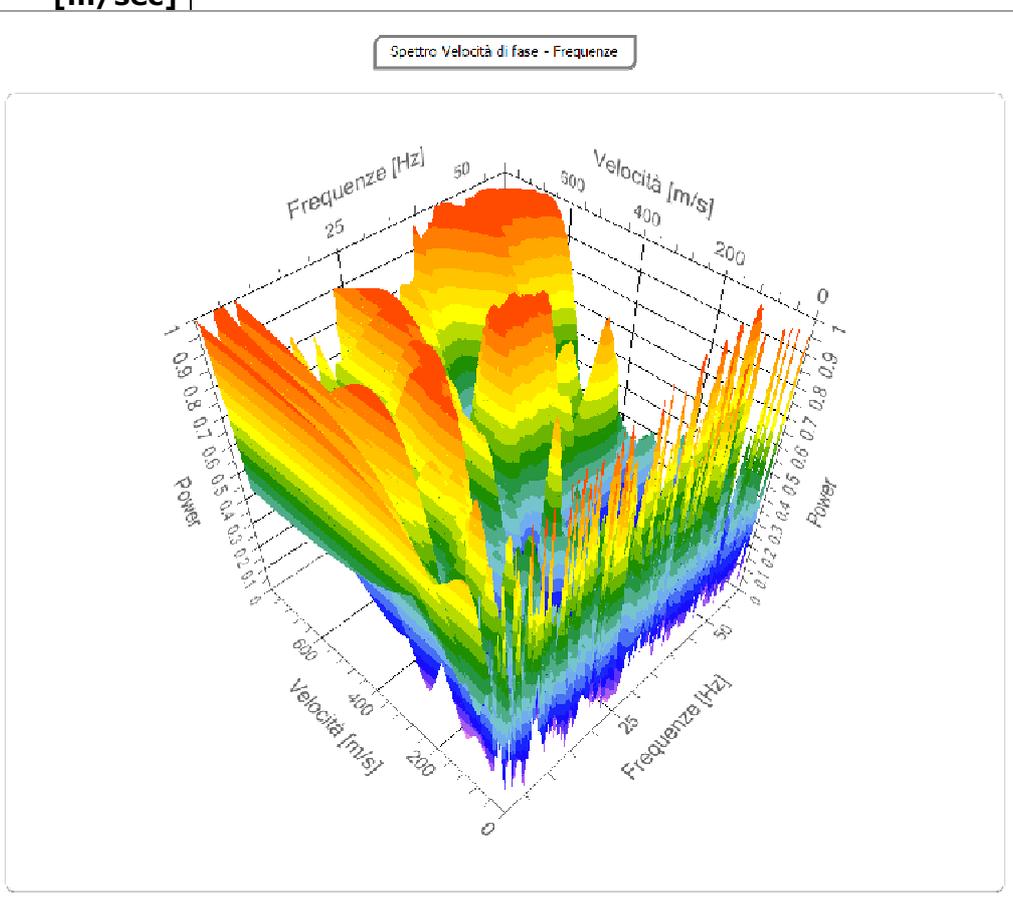
4.19



### ANALISI SPETTRALE

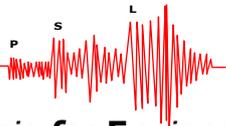
**Frequenza minima di elaborazione [Hz]** 1  
**Frequenza massima di elaborazione [Hz]** 60  
**Velocità minima di elaborazione [m/sec]** 1  
**Velocità massima di elaborazione [m/sec]** 800  
**Intervallo velocità [m/sec]** 1

5.19

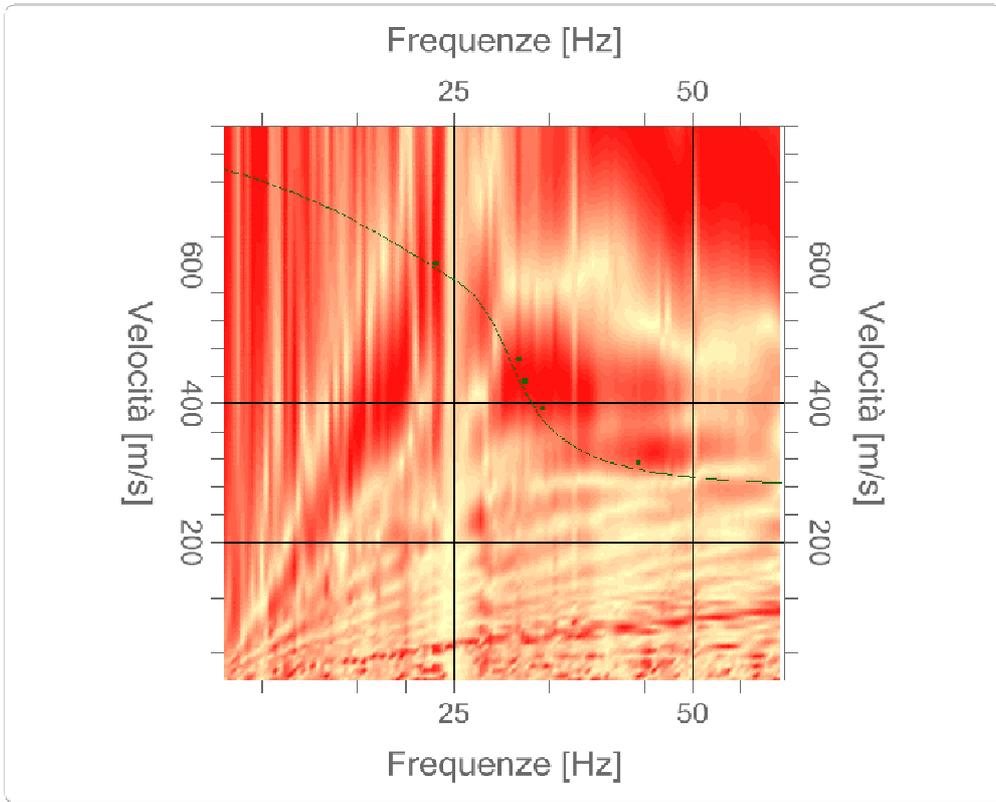


### CURVA DI DISPERSIONE

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	23.2	601.3	0
2	31.9	463.7	0
3	32.5	432.4	0
4	34.3	392.7	0
5	44.4	314.6	0



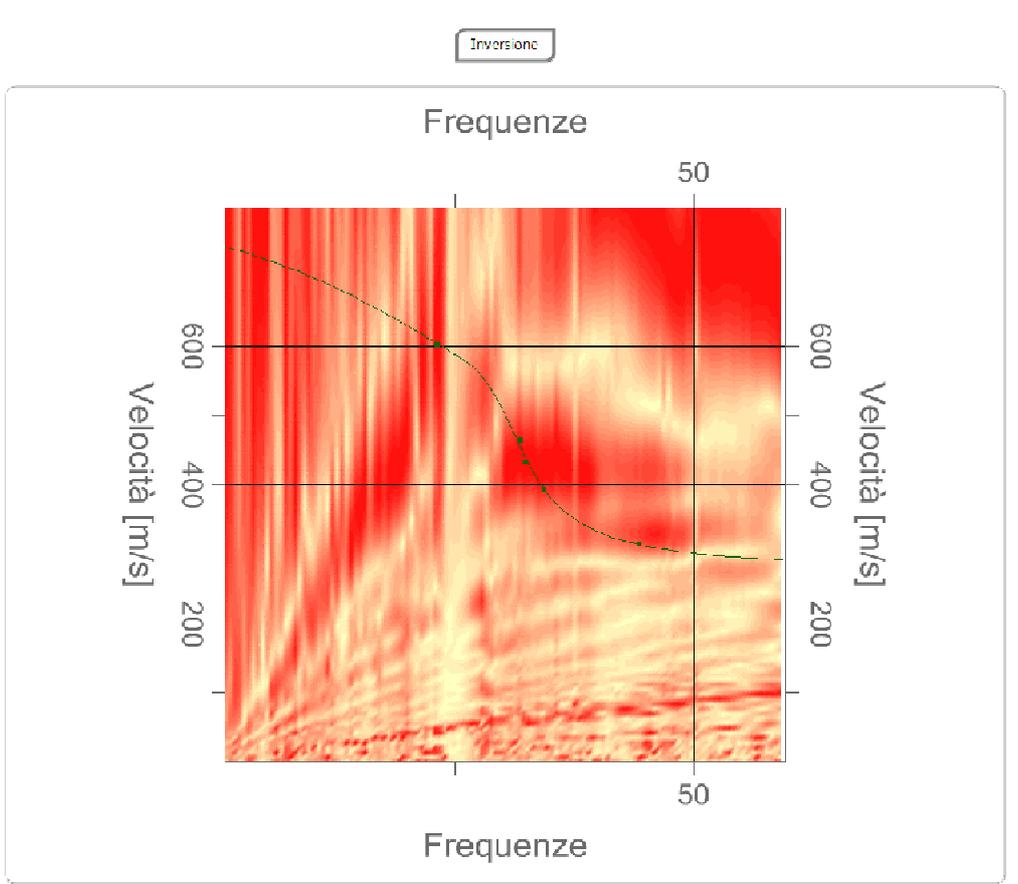
Spettro Velocità di fase - Frequenza



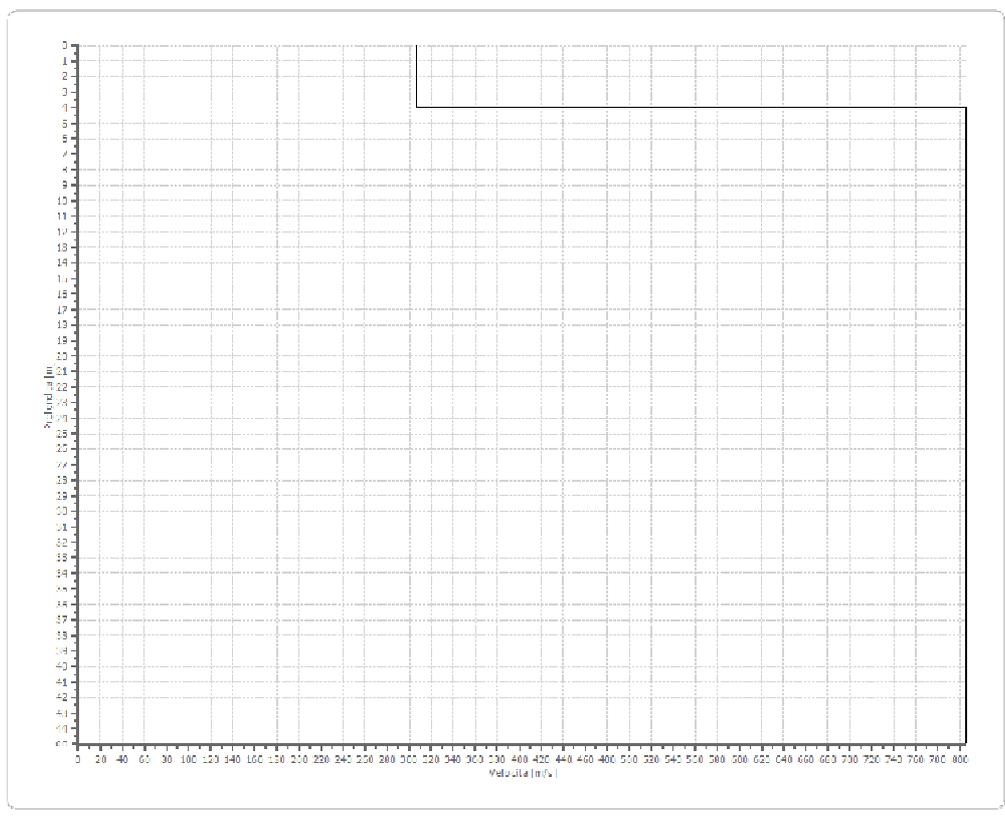
**INVERSIONE**

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso saturo per unità di volume [kg/mc]	Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	4.03	4.03	1800.0	0.3	No	574.5	307.1
2	oo	oo	2100.0	0.3	No	1507.7	805.9

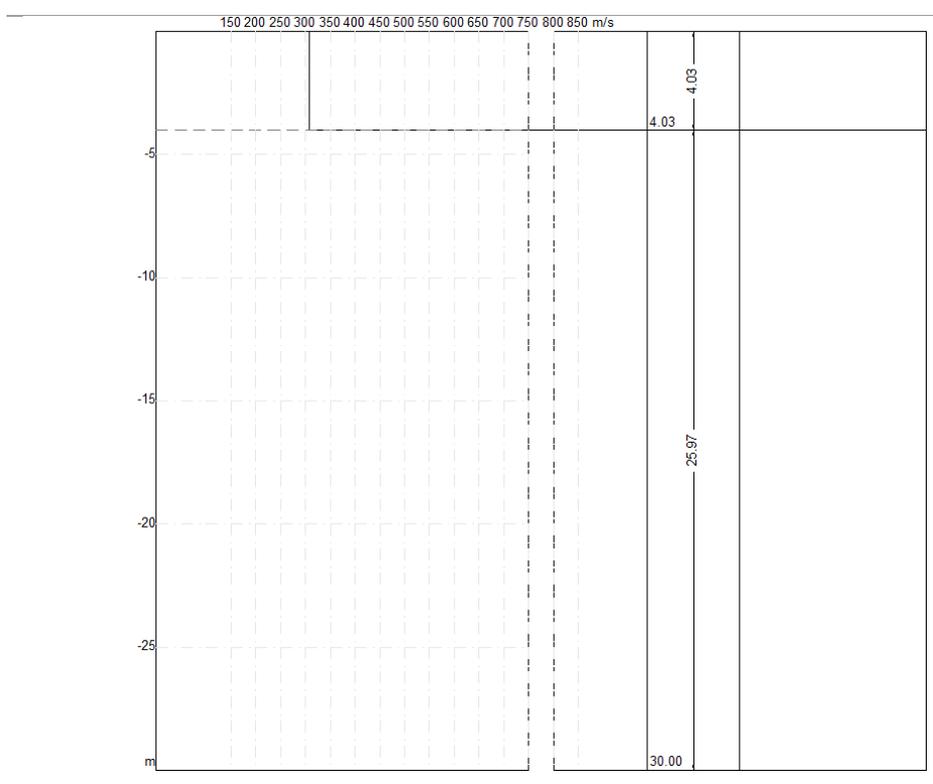
7.19



Profile di velocità



8.19



## RISULTATI

<b>Profondità piano di</b>	0.00
<b>posa [m]</b>	
<b>Vs30 [m/sec]</b>	660.00
<b>Categoria del suolo</b>	<b>B</b>

9.19

Suolo di tipo **B**: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

## LA TECNICA HVSR

10.19

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo Vs30 attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del suddetto progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo Vs30.

## DATI GENERALI

<b>Committente</b>	CALCESTRUZZI TERMINIO srl
<b>Cantiere</b>	MONTELLA
<b>Località</b>	Pietra delle gatte
<b>Operatore prova</b>	GEOSAFE SAS
<b>Comune</b>	MONTELLA - Av
<b>Data</b>	14/10/2013 10.30
<b>Latitudine</b>	40.8328
<b>Longitudine</b>	15.0265
<b>Strumentazione</b>	M.A.E. srl 24 canali 24 bit per canale / 3 geofoni 2.0 Hz verticali

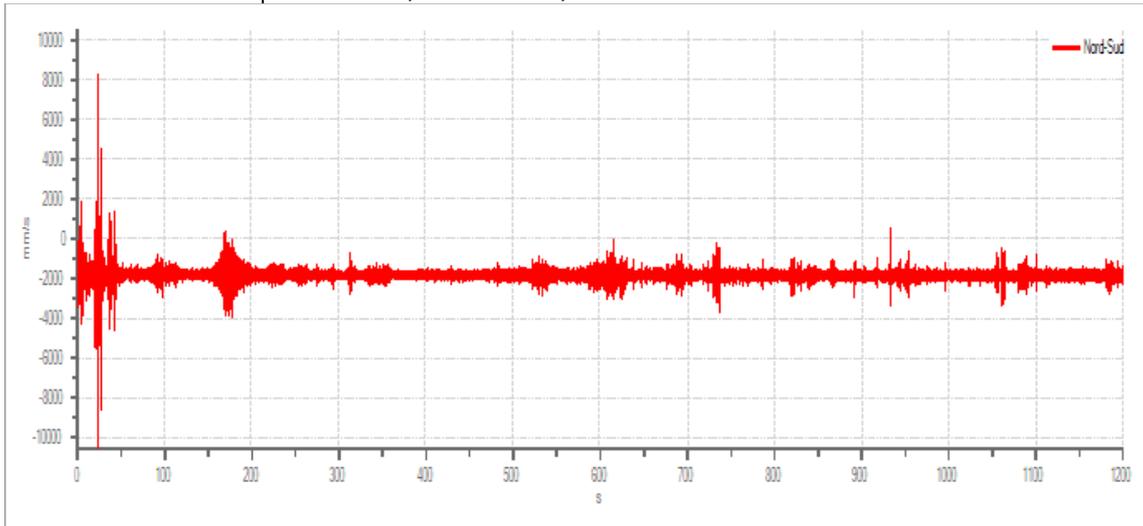
11.19



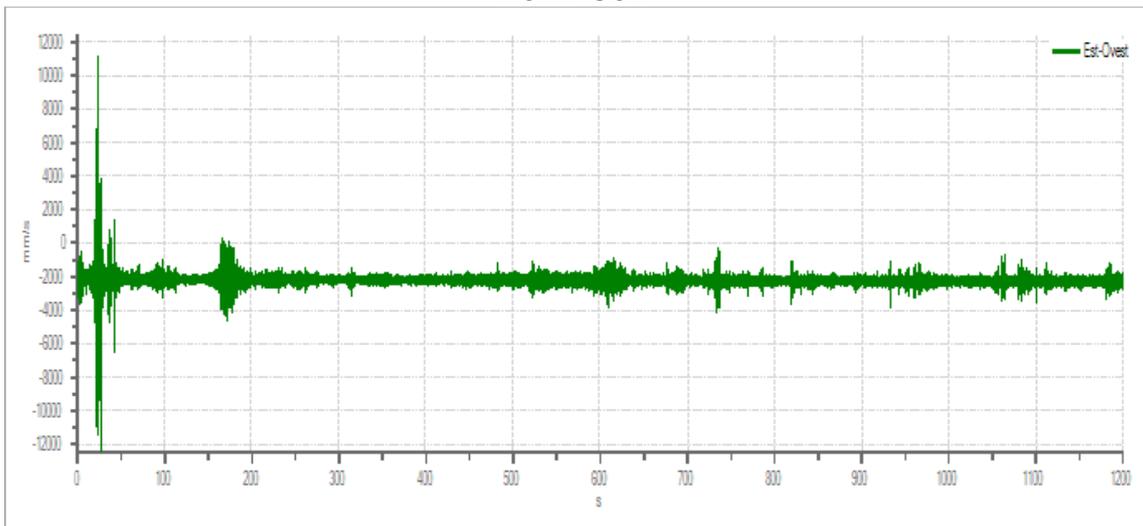
### TRACCE INPUT

<b>N. tracce</b>	3
<b>Durata registrazione [sec]</b>	1200
<b>Frequenza di campionamento [Hz]</b>	250
<b>Numero di campioni</b>	300000
<b>Direz. Tracce</b>	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale

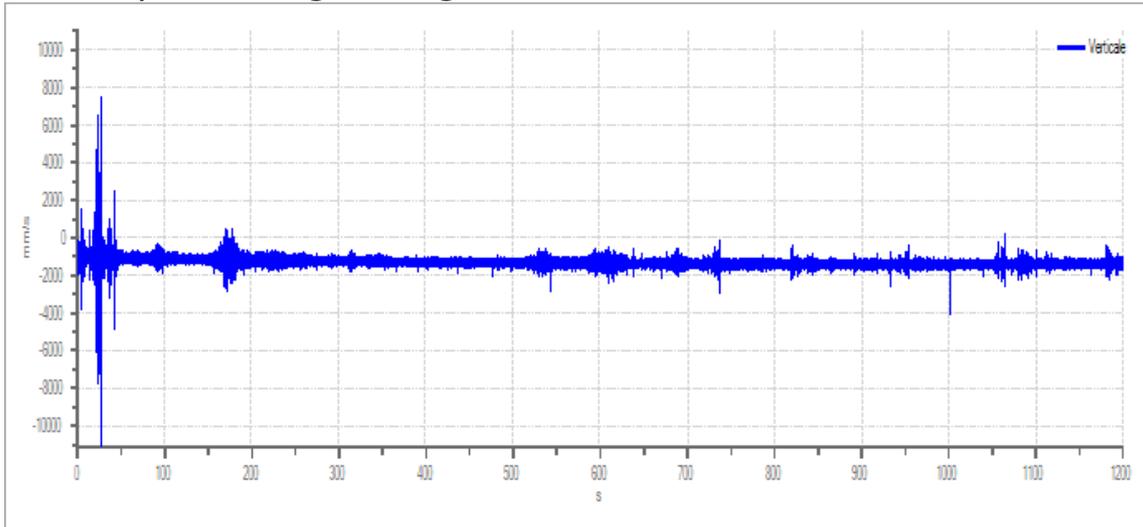
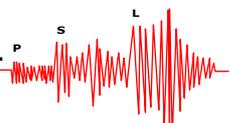
12.19



NORD-SUD



EST-OVEST



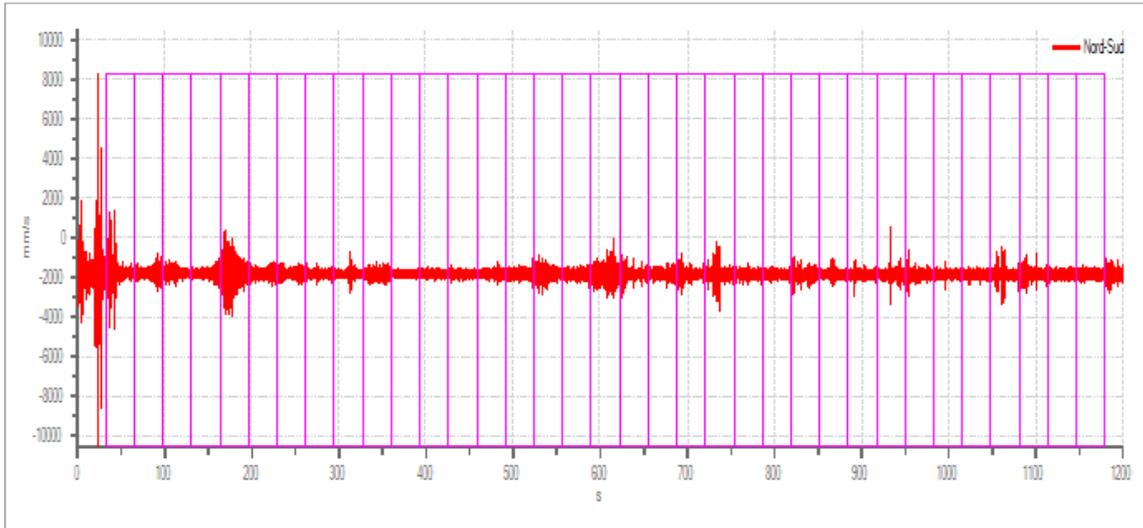
VERTICALE

**FINESTRE SELEZIONATE**

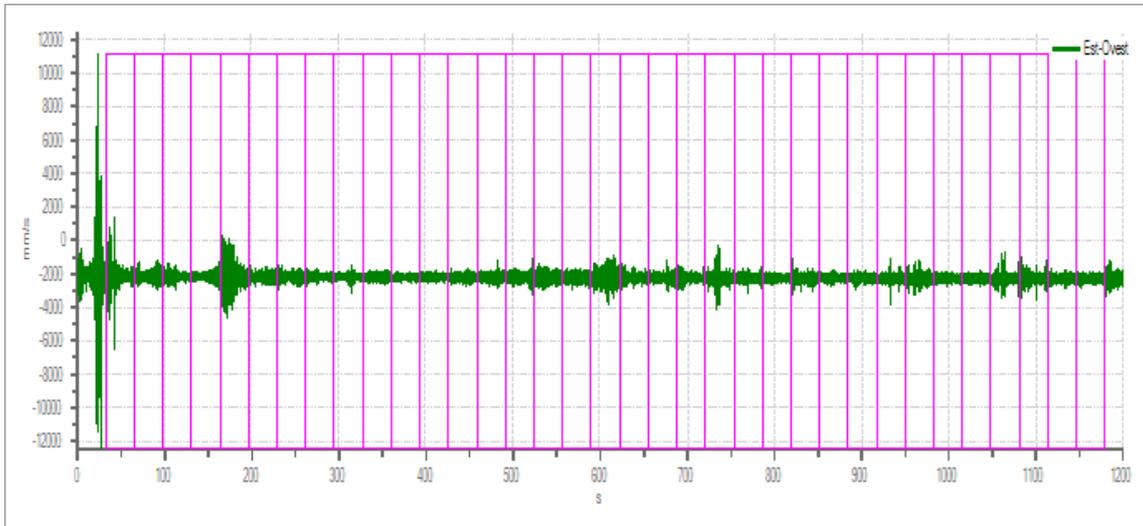
<b>Numero totale finestre selezionate</b>	35
<b>Numero finestre incluse nel calcolo</b>	35
<b>Dimensione temporali finestre [sec]</b>	32.768
<b>Tipo di lisciamento</b>	Triangolare proporzionale
<b>Percentuale di lisciamento [%]</b>	10

14.19

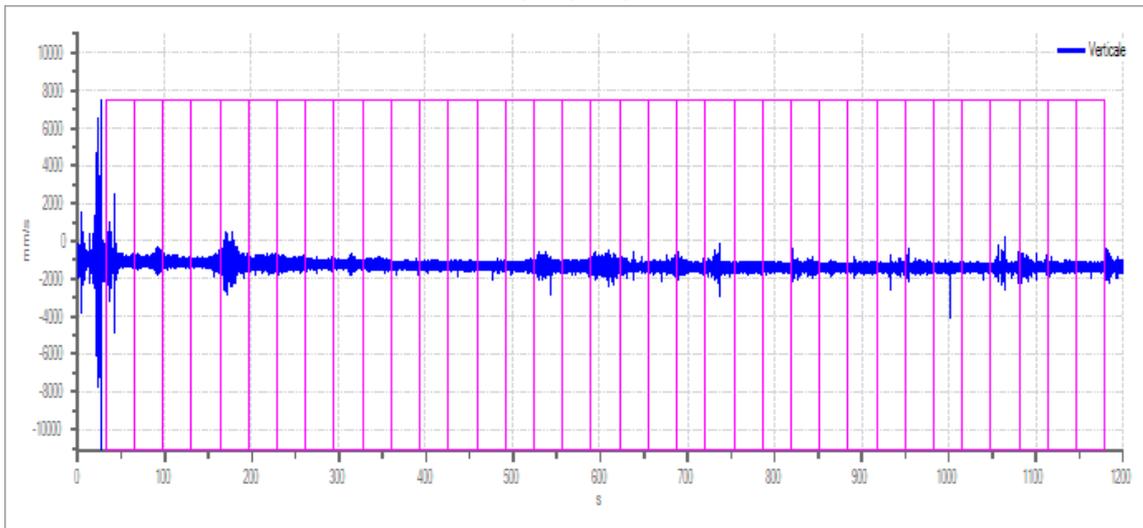
<b>Numero finestra</b>	<b>Istante iniziale</b>	<b>Istante finale</b>	<b>Selezione</b>
1	32.768	65.536	Inclusa
2	65.536	98.304	Inclusa
3	98.304	131.072	Inclusa
4	131.072	163.84	Inclusa
5	163.84	196.608	Inclusa
6	196.608	229.376	Inclusa
7	229.376	262.144	Inclusa
8	262.144	294.912	Inclusa
9	294.912	327.68	Inclusa
10	327.68	360.448	Inclusa
11	360.448	393.216	Inclusa
12	393.216	425.984	Inclusa
13	425.984	458.752	Inclusa
14	458.752	491.52	Inclusa
15	491.52	524.288	Inclusa
16	524.288	557.056	Inclusa
17	557.056	589.824	Inclusa
18	589.824	622.592	Inclusa
19	622.592	655.36	Inclusa
20	655.36	688.128	Inclusa
21	688.128	720.896	Inclusa
22	720.896	753.664	Inclusa
23	753.664	786.432	Inclusa
24	786.432	819.2	Inclusa
25	819.2	851.968	Inclusa
26	851.968	884.736	Inclusa
27	884.736	917.504	Inclusa
28	917.504	950.272	Inclusa
29	950.272	983.04	Inclusa
30	983.04	1015.808	Inclusa
31	1015.808	1048.576	Inclusa
32	1048.576	1081.344	Inclusa
33	1081.344	1114.112	Inclusa
34	1114.112	1146.88	Inclusa
35	1146.88	1179.648	Inclusa



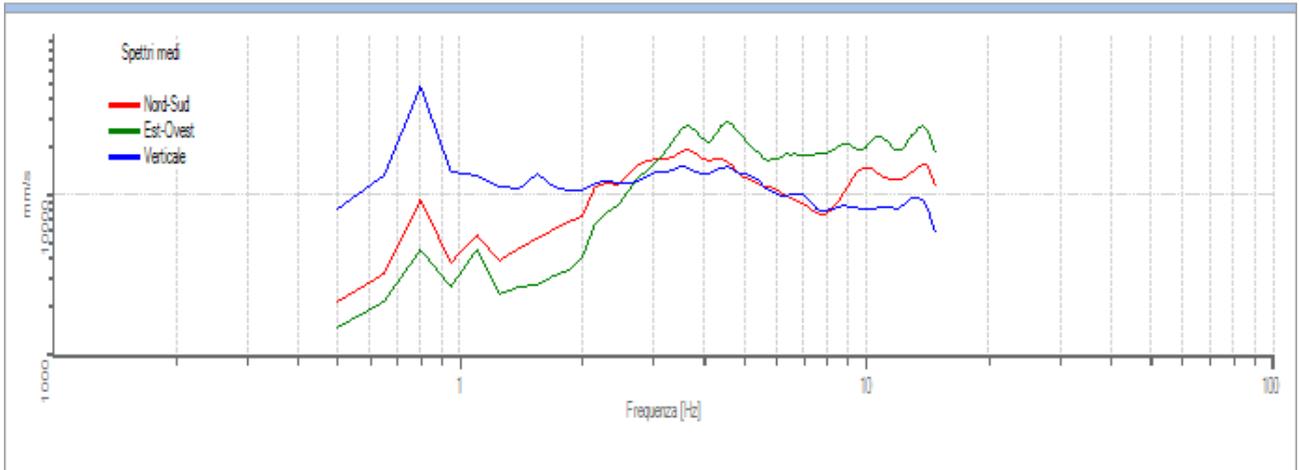
NORD-SUD



EST-OVEST

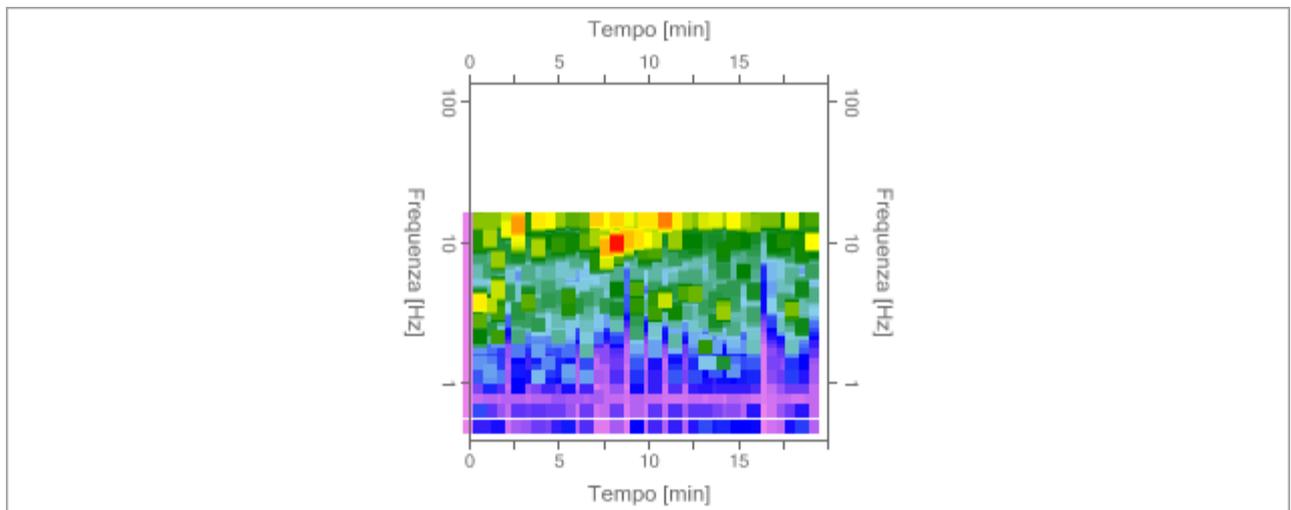


VERTICALE

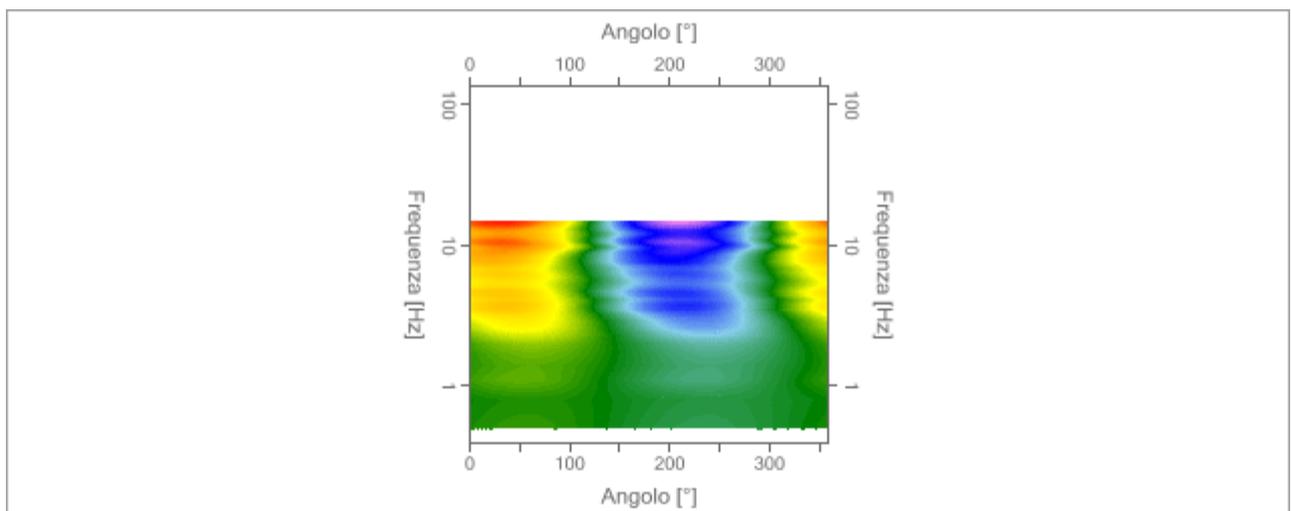


SPETTRI MEDI NELLE TRE DIREZIONI

16.19



MAPPA DELLA STAZIONARIETA' DEGLI SPETTRI



MAPPA DELLA DIREZIONALITA' DEGLI SPETTRI

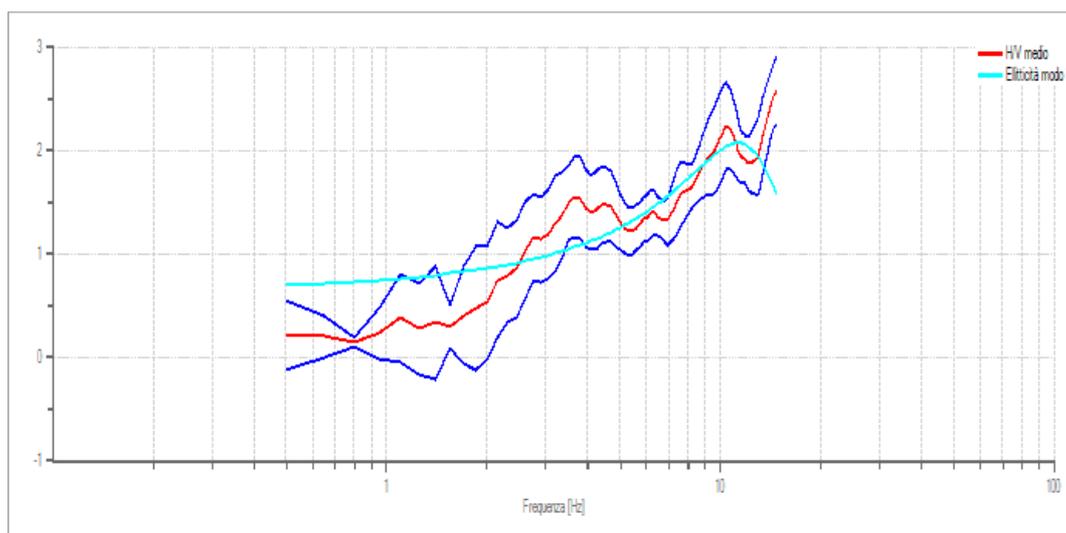
## RAPPORTO SPETTRALE H/V

<b>Frequenza massima [Hz]</b>	15.00
<b>Frequenza minima [Hz]</b>	0.50
<b>Passo frequenze [Hz]</b>	0.15
<b>Tipo di lisciamento</b>	Triangolare proporzionale
<b>Percentuale di lisciamento [%]</b>	10
<b>Tipo di somma direzionale</b>	Media aritmetica

17.19

## RISULTATI

**Frequenza del picco del rapporto H/V [Hz]** | **14.75 ± 0.13**



RAPPORTO SPETTRALE H/V E SUO INTERVALLO DI FIDUCIA

## VERIFICHE (PROGETTO SESAME)

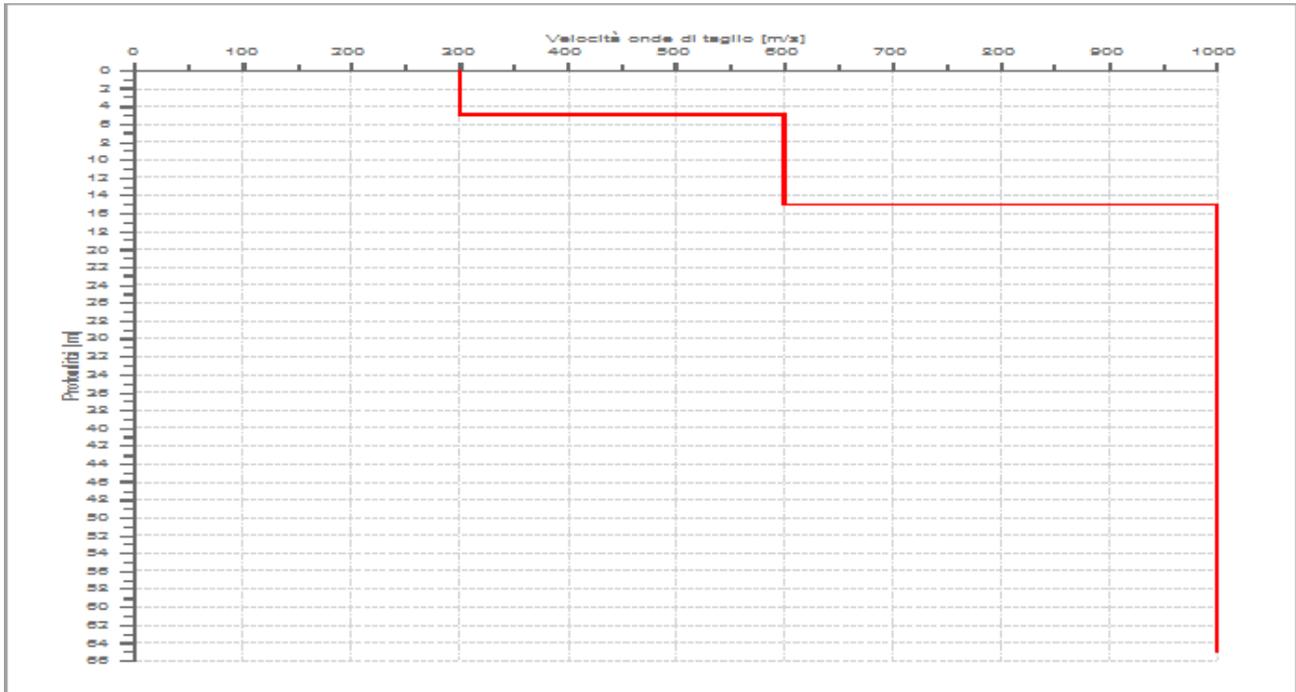
18.19

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Non superato
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

## MODELLO STRATIGRAFICO

<b>Numero di strati</b>	3
<b>Frequenza di picco dell'ellitticità [Hz]</b>	11.30
<b>Valore di disadattamento</b>	- 1.00
<b>Valore di Vs(30) [m/s]</b>	620.00

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	5	18	0.3	300
2	5	10	20	0.3	600
3	15	50	22	0.3	1000



PROFILO DELLE VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO

$$360 < V_s(30) \text{ [m/s]} < 800$$

**Ipotetico suolo di tipo: B**

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).