

Regione PUGLIA  
Provincia di FOGGIA  
COMUNE di ASCOLI SATRIANO



**CODICE IDENTIFICATIVO**

**ID\_VIP:4402**

**IMPIANTO EOLICO**  
**"San Potito"**

(AUTORIZZAZIONE UNICA ai sensi del D.L. 29 dicembre 2003, n. 387)

**PROGETTO DEFINITIVO**

**INTEGRAZIONI AdB PUGLIA art.11 – 15 P.A.I. VERIFICA STABILITA' PENDIO**

Cod. Elaborato	<b>RELAZIONE GEOLOGICA</b> Studio di compatibilità geologica, geotecnica, idrogeologica, idrologica e sismica
<b>A. 2</b>	
SCALA = DATA: Ottobre 2018	

**COMMITTENTE:**

**Winderg s.r.l.**  
via Trento, 64  
20871 – VIMERCATE (MB)  
P.IVA 04702520968

WINDERG

WINDERG s.r.l.  
Presidente o Amministratore Delegato  
Dott. Michela Granata

**CONSULENTE PER AdR srls:**

Dott Geologo  
R. A. FALCONE



Via Enrico Fermi n°38  
85021 Avigliano (PZ)  
Tel/fax 0971.700637  
mail: [adr\\_srls@virgilio.it](mailto:adr_srls@virgilio.it)

**A.D.R. srls**  
Via Enrico Fermi, 38  
85021 AVIGLIANO (PZ)  
C.F. e PIVA 02022800763

Rev	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
00	16/10/2018	I emissione	R.A. Falcone	A.D.R S.r.l.s	Winderg S.r.l
	<b>25/03/2019</b>				

## PREMESSA

La presente nota tecnica viene redatta a seguito della richiesta di integrazioni da parte dell'Autorità di Bacino della Puglia riguardante il progetto per la realizzazione del parco eolico "San Potito" in agro del Comune di Ascoli Satriano(FG). L'area interessata dal costruendo parco eolico è considerata dall'Autorità di Bacino della Puglia come area a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1), da ciò la richiesta dell'Ente di effettuare verifiche analitiche di stabilità dei versanti interessati. Dall'incontro avuto con il funzionario responsabile del procedimento è emersa la necessità di verificare le condizioni di stabilità di quelle aree ritenute a maggiore criticità, individuate in quelle che ospitano gli aerogeneratori **A10, A9 e A1**, la restante parte dell'area è caratterizzata da superfici sub-orizzontali.

### **GEOMORFOLOGIA ED EVOLUZIONE DEI VERSANTI**

L'area indagata si estende in sinistra orografica del Torrente Carapelle e ricade nel Fg. 175 IV S.O. per ciò che attiene agli aerogeneratori A10 – A9 – A1 e nel F.g. 175 IV N.O per ciò che attiene ad alcuni tratti del cavidotto e alla cabina di conferimento dell'energia prodotta.

L'intera area è caratterizzata da basse colline a dolci forma del terreno; la loro sommità è pianeggiante con i versanti debolmente inclinati verso Est. Gli stessi versanti sono esenti da fenomeni dislocativi sia superficiale che profondi. Le superfici interessate dal progetto sono inserite in un contesto definito dall'AdB di Puglia a pericolosità geomorfologica media e moderata PG1, da ciò la necessità di verificare analiticamente la stabilità di quei versanti che presentano una maggiore criticità. Dal confronto avuto con il responsabile del procedimento all'interno dell'AdB di Puglia è emersa la necessità di verificare le superfici che ospitano gli aerogeneratori A10 – A9 – A1 in quanto sono le superfici che presentano una criticità maggiore rispetto alle altre. La verifica verrà condotta in condizioni sismiche e in situazione **ante opera** e **post opera**.

### **VERIFICA ANALITICA DI STABILITA' DEI VERSANTI**

Al fine di valutare in via preliminare la stabilità delle opere ubicate in corrispondenza dei versanti in studio, è stata eseguita una verifica di stabilità in condizioni estreme di alcune sezioni tipo. In questo paragrafo vengono illustrate le conclusioni cui si perviene in seguito alla verifica analitica delle condizioni di stabilità dei versanti che caratterizzano l'area interessata dal progetto di realizzazione di un parco eolico "San Potito" in agro del Comune di Ascoli Satriano(FG). Le verifiche di stabilità sono state condotte lungo le sezioni A' \_\_\_ A , B' \_\_\_ B , C' \_\_\_ C orientate secondo la direzione di massima pendenza, le stesse sono state condotte in una prima fase sul pendio naturale e in una seconda fase sul pendio gravato dall'opera in progetto con un carico distribuito di 4,0 Kg/cm<sup>2</sup>.

Nell'effettuare il calcolo si è inteso ricercare le condizioni più sfavorevoli e verosimilmente ipotizzabili:

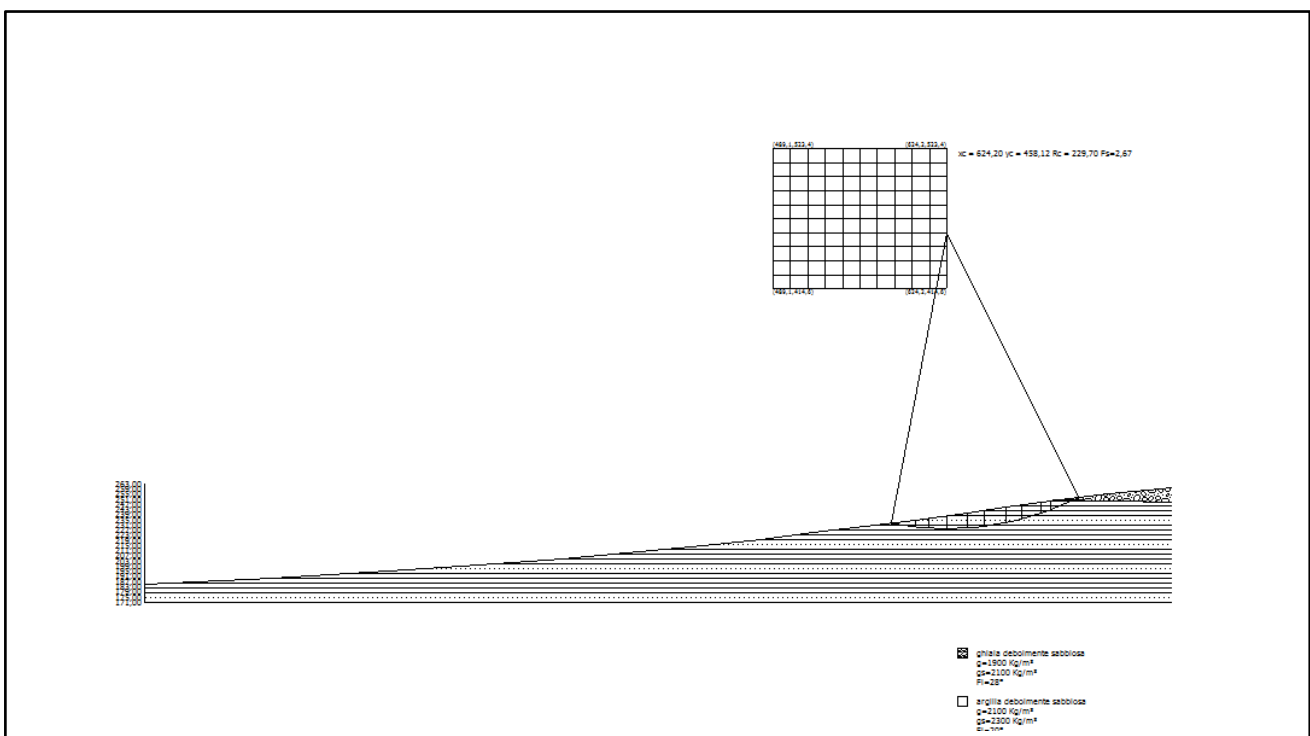
1. Il metodo adottato è il metodo di BELL poiché fornisce valori maggiormente sottostimati, quindi a favore della sicurezza, rispetto ad altri e pur validi metodi;
2. I calcoli di verifica di stabilità sono stati effettuati esclusivamente in condizione sismica e nella modalità di **S.L.U.** essendo il Comune di Ascoli Satriano classificato come zona **sismica 1**;

3. Le caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni in pendio sono state desunte dalla letteratura e da indagini eseguite su gli stessi materiali in precedenti lavori eseguiti dallo scrivente;
4. La situazione stratigrafica schematizzata nel calcolo è il risultato dell'interpretazione del rilevamento geolitologico effettuato e dalle prospezioni sismiche eseguite durante la campagna di indagine realizzata per il presente lavoro;
5. Le superfici critiche ottenute sono il risultato di numerose interazioni volte all'individuazione dei coefficienti minimi di sicurezza.

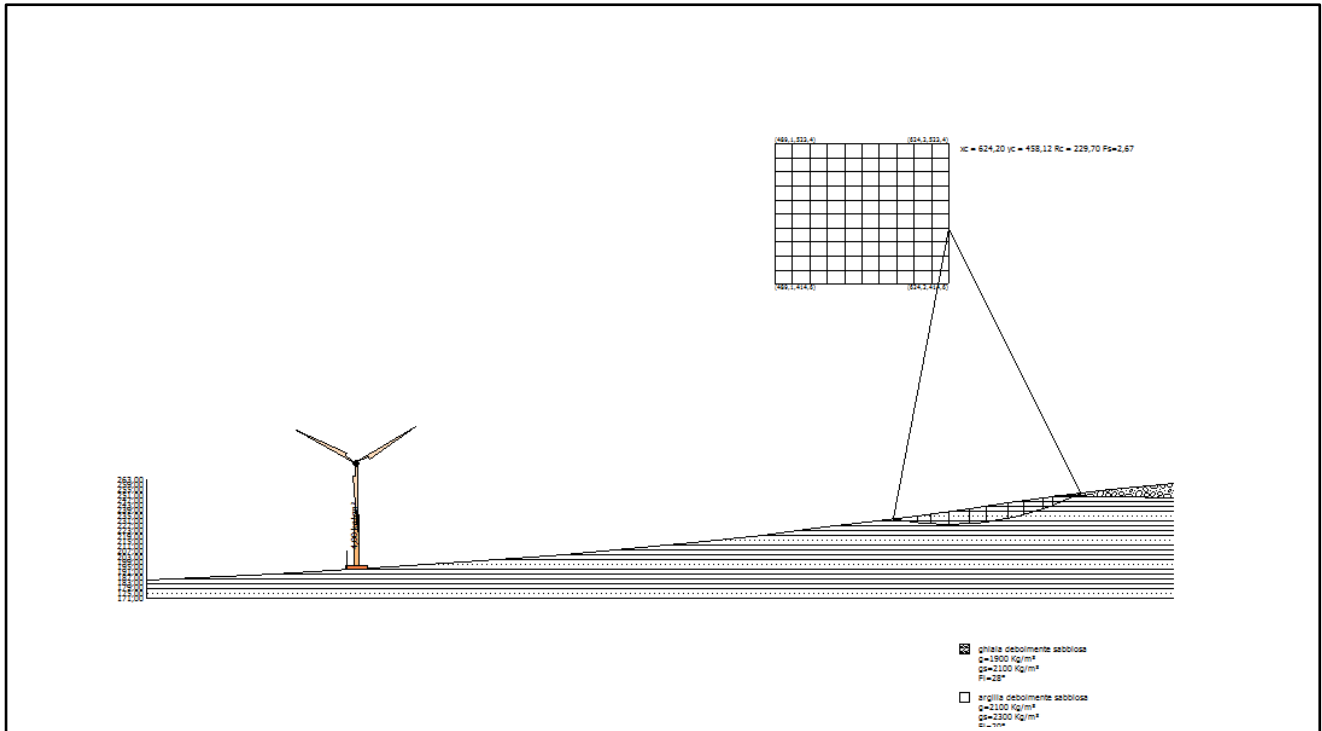
**I risultati ottenuti dal calcolo e gli elaborati grafici illustrano dettagliatamente come le condizioni di equilibrio morfologico dell'area interessata dal presente lavoro sono caratterizzate da un coefficiente di sicurezza superiore a quello previsto dalla norma vigente.**

Sez. A'__A	a.o.	_____	$F_s = 2.67 > 1.3$ Stabile
Sez. A'__A	p.o.	_____	$F_s = 2.67 > 1.3$ Stabile
Sez. B'__B	a.o.	_____	$F_s = 1.83 > 1.3$ Stabile
Sez. B'__B	p.o.	_____	$F_s = 1.83 > 1.3$ Stabile
Sez. C'__C	a.o.	_____	$F_s = 1.78 > 1.3$ Stabile
Sez. C'__C	p.o.	_____	$F_s = 1.78 > 1.3$ Stabile

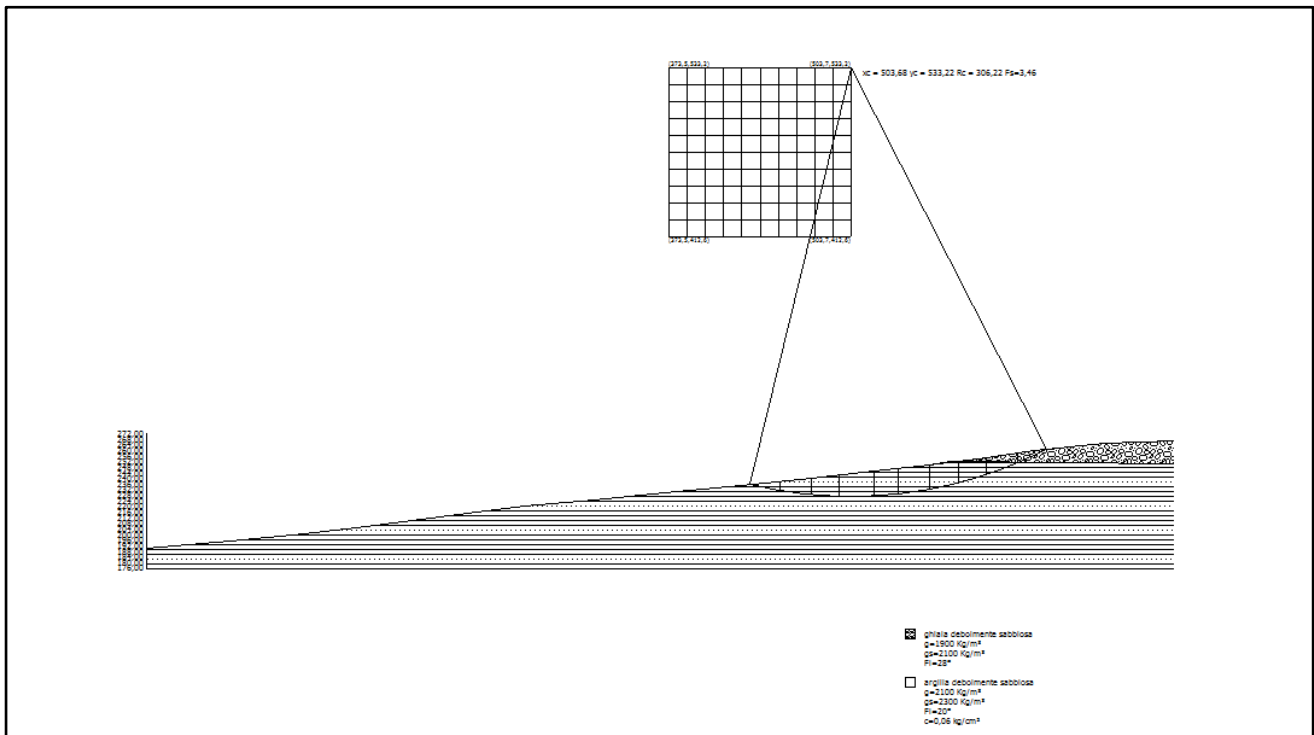
**Il risultato ottenuto dai calcoli di verifica di stabilità dei versanti prima e dopo la realizzazione delle opere in progetto evidenzia come gli stessi non subiscono modificazioni delle condizioni di equilibrio geomorfologico in seguito alla realizzazione dei manufatti previsti dal progetto. Il carico applicato di  $4.0 \text{ Kg/cm}^2$  è trasmesso al terreno mediante una fondazione diretta.**



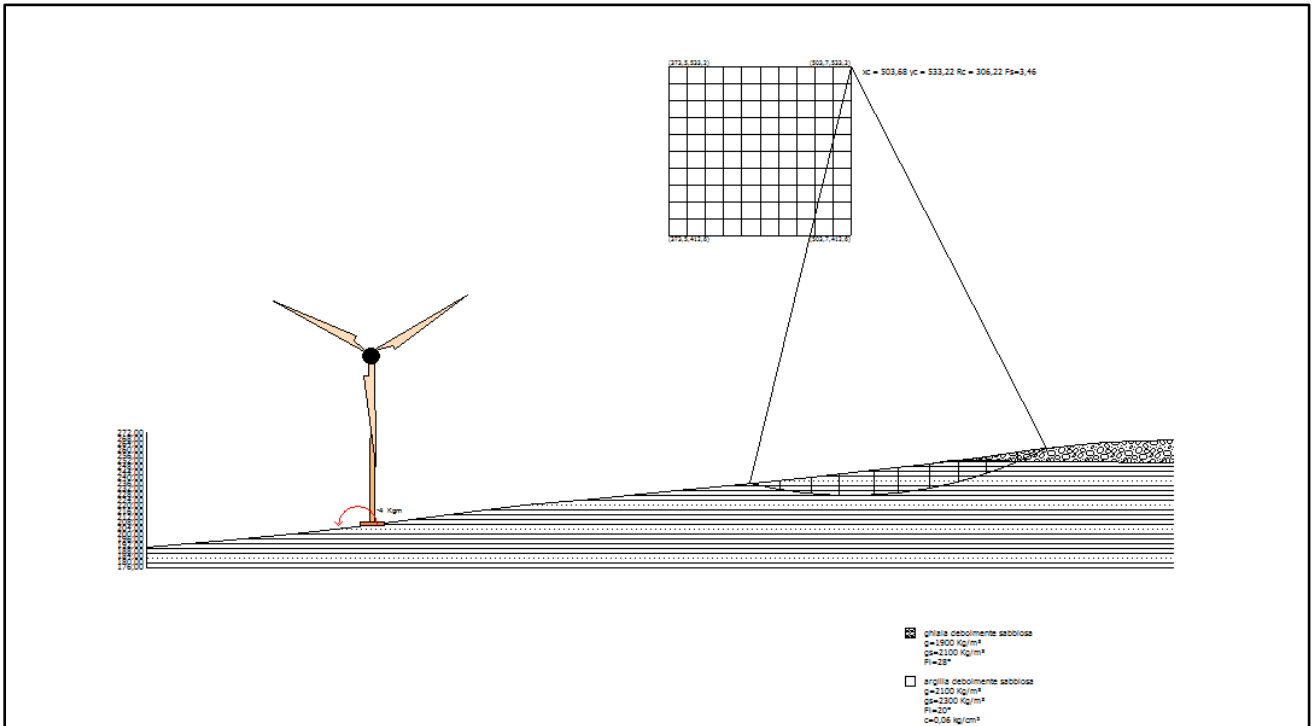
**Sezione A' \_\_\_\_ A pendio naturale  $F_s = 2,67 > 1,3$  pendio STABILE**



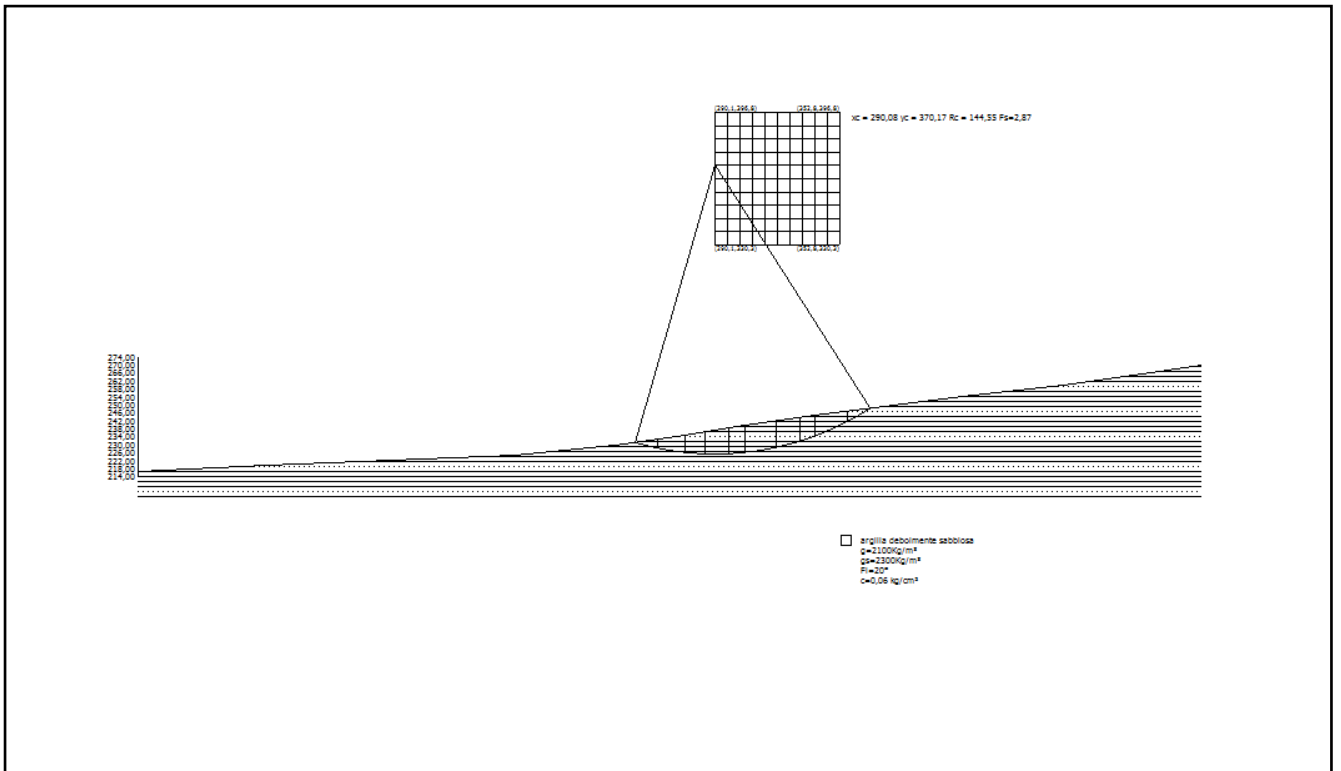
**Sezione A' \_\_\_\_ A pendio gravato dal carico delle opere  $F_s = 2,67 > 1,3$  pendio STABILE**



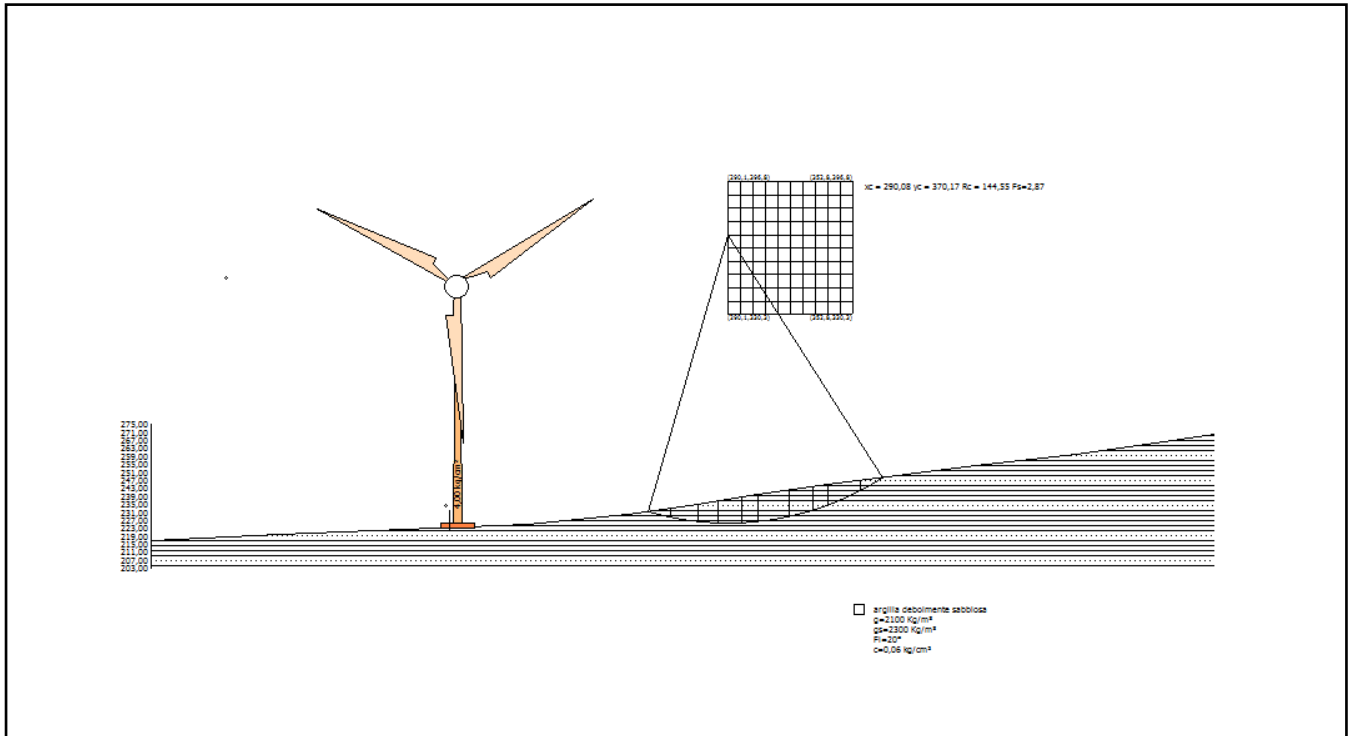
**Sezione B' \_\_\_\_ B pendio naturale  $F_s = 1.83 > 1,3$  pendio STABILE**



**Sezione B' \_\_\_\_ B pendio gravato dal carico delle opere  $F_s = 1,83 > 1,3$  pendio STABILE**



**Sez. C' \_\_\_\_ C pendio naturale  $F_s = 1,78 > 1,3$  pendio STABILE**



Sez. C' \_\_\_\_\_ C pendio gravato dalle opere in progetto  $Fs = 1,78 > 1,3$  pendio STABILE

## CONCLUSIONI

Dalle verifiche analitiche di equilibrio geomorfologico di quelle aree che presentano una maggiore criticità, perché ubicate in versanti più acclivi rispetto all'intera area interessata dal progetto, si evince chiaramente che le condizioni di equilibrio geomorfologico a seguito della costruzione delle opere in progetto, non subiscono alterazioni tali da richiedere la realizzazione di elementi a presidio geomorfologico. A maggior ragione le aree, caratterizzate da lievi pendenze o pianeggianti che non sono state oggetto di verifica analitica, conserveranno il loro stato di equilibrio geomorfologico anche dopo la costruzione del Parco Eolico nella sua interezza.

# 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 ( $\varphi$ ), 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  $T_i$ ;
- $1$  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;
- $1$  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.

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

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.

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

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:

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

dove  $f_o$  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  $C_3$ .

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  $K_c$ ) 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  $N_i$  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  $E_i$  e  $X_i$  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:

$K = K_c$  accelerazione critica se  $F = 1$

$F = F_s$  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  $X_i$  ed  $E_i$  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  $X_i$ :

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

dove  $Q_i$  è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla  $i$ -esima faccia del concio  $i$ , e  $\lambda$  rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di  $K_c$ ,  $\lambda$  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  $M_i = 0$   
 $i=1 \dots n$

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:

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

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":

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

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

Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzzeria 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.

## **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 2018** 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.

Con l'**OPCM 3274** e successive modifiche, i coefficienti sismici orizzontale  $K_O$  e verticale  $K_V$  che interessano tutte le masse vengono calcolati come:

$$K_O = S \cdot (a_g/g) \quad K_V = 0.5 \cdot K_O$$

$S$ : fattore dipendente dal tipo di suolo secondo lo schema:

tipo A -  $S=1$ ;

tipo B -  $S=1.25$ ;

tipo C - S=1.25;  
 tipo E - S=1.25;  
 tipo D - S=1.35.

Per pendii con inclinazione superiore a 15° e dislivello superiore a 30 m, l'azione sismica deve essere incrementata moltiplicandola per il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ :

$S_T \geq 1,2$  per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;

$S_T \geq 1,4$  per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in testa molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media > 30°;  $S_T \geq 1,2$  per siti dello stesso tipo ma pendenza media inferiore.

L'applicazione del **D.M. 88** e successive modifiche ed integrazioni è consentito mediante l'inserimento del coefficiente sismico orizzontale  $K_0$  in funzione delle Categorie Sismiche secondo il seguente schema: I Cat.  $K_0=0.1$ ; II Cat.  $K_0=0.07$ ; III Cat.  $K_0=0.04$

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$K_0 = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S / (g)$$

$a_{gR}$  : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,

$\gamma_I$ : fattore di importanza,

S: soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale  $K_v$  è definito in funzione di  $K_0$ , e vale:

$$K_v = \pm 0.5 \cdot K_0$$

### **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.

### **PENDIO NATURALE A10**

#### **Analisi di stabilità dei pendii con BELL**

Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
<b>Superficie di forma circolare</b>	
<b>Maglia dei Centri</b>	
Ascissa vertice sinistro inferiore xi	489,12 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	414,59 m
Ascissa vertice destro superiore xs	624,2 m
Ordinata vertice destro superiore ys	523,41 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**

Descrizione:	S1
Latitudine:	41,25
Longitudine:	15,51
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:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,47	2,43	0,29
S.L.D.	50,0	0,59	2,56	0,32
S.L.V.	475,0	1,74	2,51	0,42
S.L.C.	975,0	2,39	2,46	0,43

**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.	0,705	0,2	0,0144	0,0072
S.L.D.	0,885	0,2	0,0181	0,009
S.L.V.	2,493	0,24	0,061	0,0305
S.L.C.	3,2032	0,28	0,0915	0,0457

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0144
Coefficiente azione sismica verticale	0,0072

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0,0	185,0
2	100,0	190,0
3	190,0	195,0
4	260,0	200,0
5	325,0	205,0
6	385,0	210,0
7	435,0	215,0
8	480,0	220,0
9	520,0	225,0
10	560,0	230,0
11	600,0	235,0
12	640,0	240,0
13	670,0	245,0
14	705,0	250,0
15	750,0	255,0
16	800,0	260,0



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

N	X m	y m
1	0,0	185,0
2	100,0	190,0
3	190,0	195,0
4	260,0	200,0
5	325,0	205,0
6	385,0	210,0
7	435,0	215,0
8	480,0	220,0
9	520,0	225,0
10	560,0	230,0
11	600,0	235,0
12	640,0	240,0
13	670,0	245,0
14	705,0	250,0
15	707,41	250,27
16	800,0	248,21

**Stratigrafia**

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0	28	1900	2100	0,00	ghiaia debolmente sabbiosa
2	0,06	20	2100	2300	0,00	argilla debolmente sabbiosa

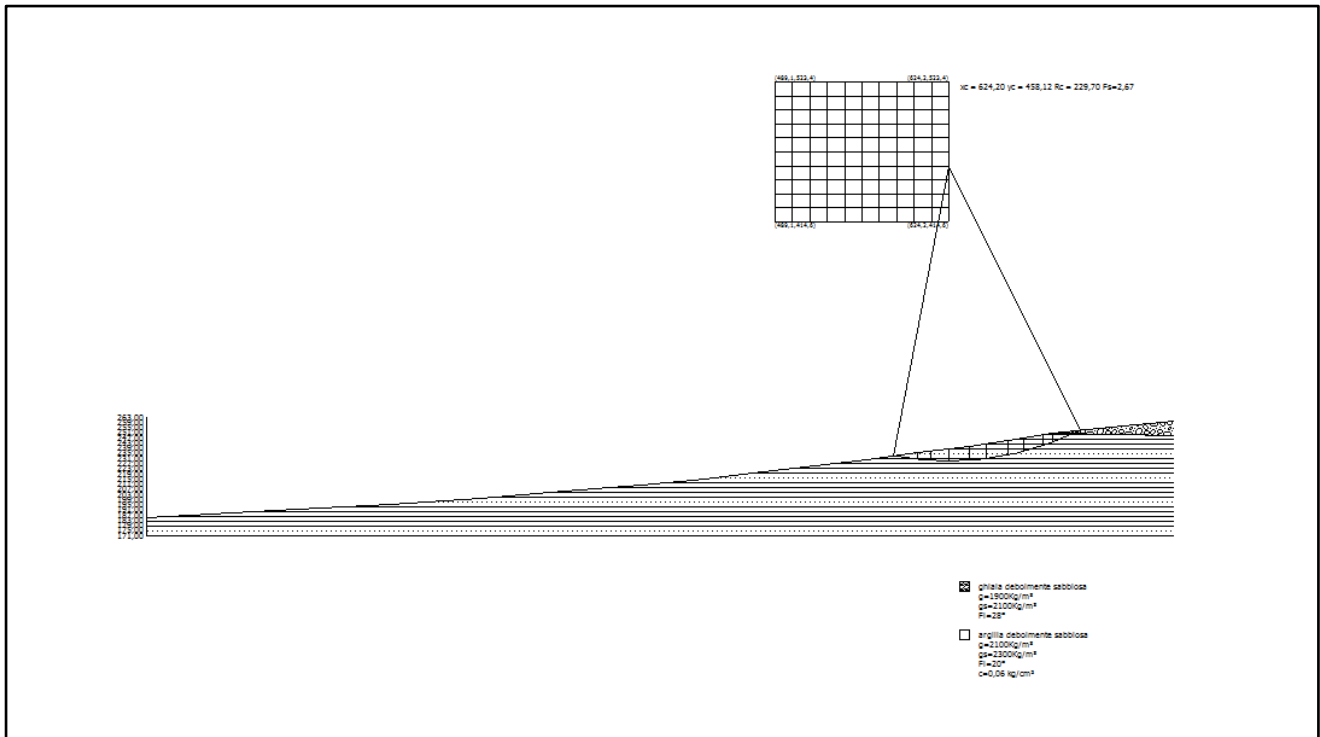
**Risultati analisi pendio**

Fs minimo individuato	2,67
Ascissa centro superficie	624,2 m
Ordinata centro superficie	458,12 m
Raggio superficie	229,7 m

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

**Analisi dei conci. Superficie...xc = 624,202 yc = 458,119 Rc = 229,701 Fs=2,6695**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	19,34	-8,5	19,55	116226,4	1673,66	836,83	0,06	20,0	0,0	-334000,7	-41191,9
2	9,8	-4,8	9,83	131263,9	1890,2	945,1	0,06	20,0	0,0	-107535,9	-12460,1
3	14,57	-1,8	14,57	263255,8	3790,88	1895,44	0,06	20,0	0,0	-117616,4	-12762,1
4	15,64	2,0	15,65	343691,8	4949,16	2474,58	0,06	20,0	0,0	190314,9	29462,6
5	13,5	5,6	13,56	328662,8	4732,74	2366,37	0,06	20,0	0,0	442255,9	63331,0
6	16,5	9,4	16,73	419977,4	6047,68	3023,84	0,06	20,0	0,0	1158888,0	161714,2
7	12,63	13,1	12,97	304825,4	4389,49	2194,74	0,06	20,0	0,0	904338,2	126137,3
8	14,57	16,6	15,2	300608,1	4328,76	2164,38	0,06	20,0	0,0	1318056,0	182979,8
9	7,8	19,6	8,28	127370,9	1834,14	917,07	0,06	20,0	0,0	356022,0	50294,9
10	21,33	23,5	23,26	164261,7	2365,37	1182,68	0,06	20,0	0,0	1534152,0	213962,5



Sez. A' \_\_\_\_\_ A pendio naturale  $F_s = 2.67 > 1.3$  STABILE

**PENDIO GRAVATO DALLE OPERE IN PROGETTO A10**

**Analisi di stabilità dei pendii con BELL**

Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0

**Superficie di forma circolare**

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	489,12 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	414,59 m
Ascissa vertice destro superiore xs	624,2 m
Ordinata vertice destro superiore ys	523,41 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**

Descrizione:	S1
Latitudine:	41,25
Longitudine:	15,51
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:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,47	2,43	0,29
S.L.D.	50,0	0,59	2,56	0,32
S.L.V.	475,0	1,74	2,51	0,42
S.L.C.	975,0	2,39	2,46	0,43

**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.	0,705	0,2	0,0144	0,0072
S.L.D.	0,885	0,2	0,0181	0,009
S.L.V.	2,493	0,24	0,061	0,0305
S.L.C.	3,2032	0,28	0,0915	0,0457

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0144
Coefficiente azione sismica verticale	0,0072

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0,0	185,0
2	100,0	190,0
3	190,0	195,0
4	260,0	200,0
5	325,0	205,0
6	385,0	210,0
7	435,0	215,0
8	480,0	220,0
9	520,0	225,0
10	560,0	230,0
11	600,0	235,0
12	640,0	240,0
13	670,0	245,0
14	705,0	250,0
15	750,0	255,0
16	800,0	260,0

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

N	X m	y m
1	0,0	185,0
2	100,0	190,0
3	190,0	195,0
4	260,0	200,0
5	325,0	205,0
6	385,0	210,0
7	435,0	215,0
8	480,0	220,0
9	520,0	225,0
10	560,0	230,0
11	600,0	235,0
12	640,0	240,0
13	670,0	245,0
14	705,0	250,0
15	707,41	250,27
16	800,0	248,21

**Stratigrafia**

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0	28	1900	2100	0,00	ghiaia debolmente sabbiosa
2	0,06	20	2100	2300	0,00	argilla debolmente sabbiosa

**Carichi distribuiti**

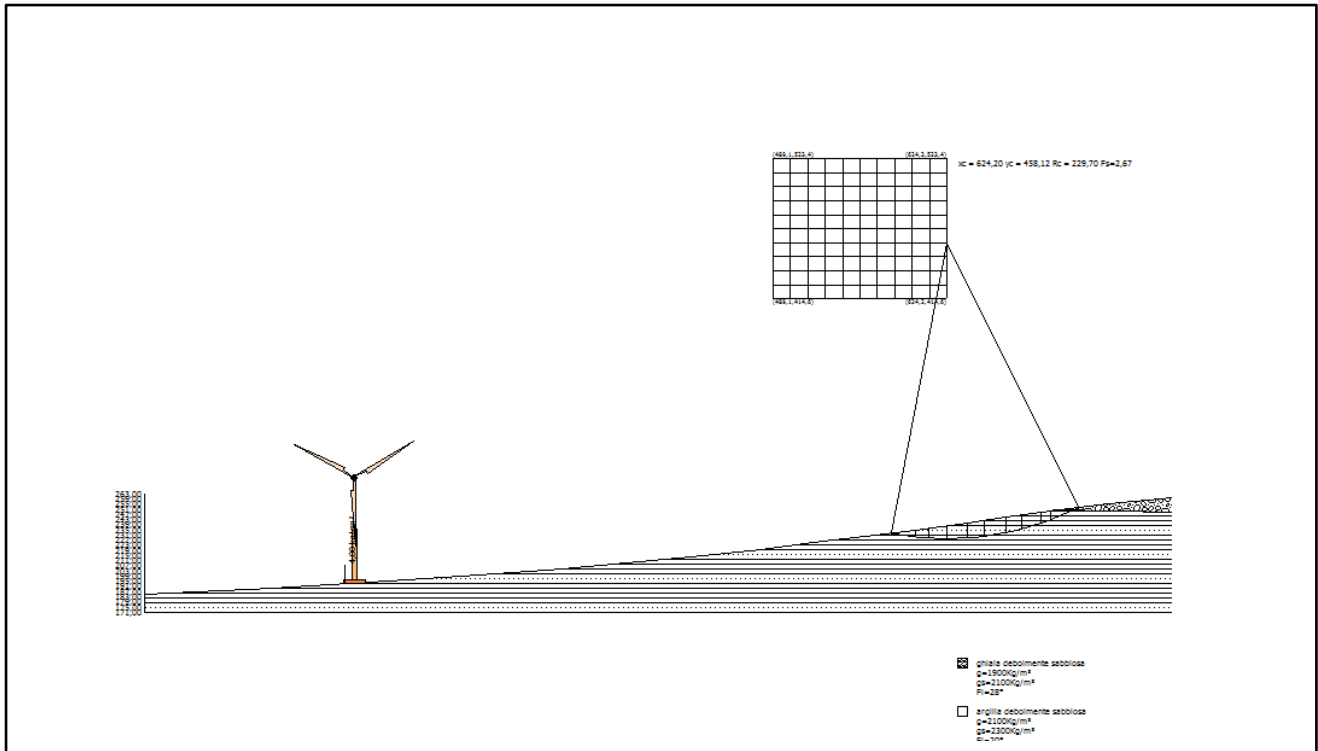
N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	156,1	193,33	156,1	193,33	4

**Risultati analisi pendio**

Fs minimo individuato	2,67
Ascissa centro superficie	624,2 m
Ordinata centro superficie	458,12 m
Raggio superficie	229,7 m

**Analisi dei conci. Superficie...xc = 624,202 yc = 458,119 Rc = 229,701 Fs=2,6695**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	19,34	-8,5	19,55	116226,4	1673,66	836,83	0,06	20,0	0,0	-334000,7	-41191,9
2	9,8	-4,8	9,83	131263,9	1890,2	945,1	0,06	20,0	0,0	-107535,9	-12460,1
3	14,57	-1,8	14,57	263255,8	3790,88	1895,44	0,06	20,0	0,0	-117616,4	-12762,1
4	15,64	2,0	15,65	343691,8	4949,16	2474,58	0,06	20,0	0,0	190314,9	29462,6
5	13,5	5,6	13,56	328662,8	4732,74	2366,37	0,06	20,0	0,0	442255,9	63331,0
6	16,5	9,4	16,73	419977,4	6047,68	3023,84	0,06	20,0	0,0	1158888,0	161714,2
7	12,63	13,1	12,97	304825,4	4389,49	2194,74	0,06	20,0	0,0	904338,2	126137,3
8	14,57	16,6	15,2	300608,1	4328,76	2164,38	0,06	20,0	0,0	1318056,0	182979,8
9	7,8	19,6	8,28	127370,9	1834,14	917,07	0,06	20,0	0,0	356022,0	50294,9
10	21,33	23,5	23,26	164261,7	2365,37	1182,68	0,06	20,0	0,0	1534152,0	213962,5



Sez. A' \_\_\_\_\_ A Pendio gravato dalle opere in progetto  $F_s = 2.67 > 1.3$  STABILE

### PENDIO NATURALE A9

#### Analisi di stabilità dei pendii con BELL

Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
<b>Superficie di forma circolare</b>	

#### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	373,53 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	412,55 m
Ascissa vertice destro superiore xs	503,68 m
Ordinata vertice destro superiore ys	533,22 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**

Descrizione:	S1
Latitudine:	41,25
Longitudine:	15,51
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:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,471	2,43	0,29
S.L.D.	50,0	0,59	2,56	0,32
S.L.V.	475,0	1,738	2,51	0,42
S.L.C.	975,0	2,392	2,45	0,43

**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.	0,7065	0,2	0,0144	0,0072
S.L.D.	0,885	0,2	0,0181	0,009
S.L.V.	2,4907	0,24	0,061	0,0305
S.L.C.	3,2087	0,28	0,0916	0,0458

---

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0916
Coefficiente azione sismica verticale	0,0458

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0,0	190,0
2	60,0	195,0
3	105,0	200,0
4	150,0	205,0
5	190,0	210,0
6	230,0	215,0
7	270,0	220,0
8	320,0	225,0
9	370,0	230,0
10	425,0	235,0
11	475,0	240,0
12	520,0	245,0
13	560,0	250,0
14	600,0	255,0
15	635,0	260,0
16	685,0	265,0
17	735,0	267,0

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

N	X m	y m
1	0,0	190,0
2	60,0	195,0
3	105,0	200,0
4	150,0	205,0
5	190,0	210,0
6	230,0	215,0
7	270,0	220,0
8	320,0	225,0
9	370,0	230,0
10	425,0	235,0
11	475,0	240,0
12	520,0	245,0
13	560,0	250,0
14	575,04	251,88
15	735,0	250,16

**Stratigrafia**

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0	28	1900	2100	0,00		ghiaia debolmente sabbiosa
2	0,06	20	2100	2300	0,00		argilla debolmente sabbiosa

**Carichi distribuiti**

N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	151,7	205,38	151,7	205,38	0

**Risultati analisi pendio**


---



---

Fs minimo individuato	1,83
Ascissa centro superficie	503,68 m
Ordinata centro superficie	533,22 m
Raggio superficie	306,22 m

---

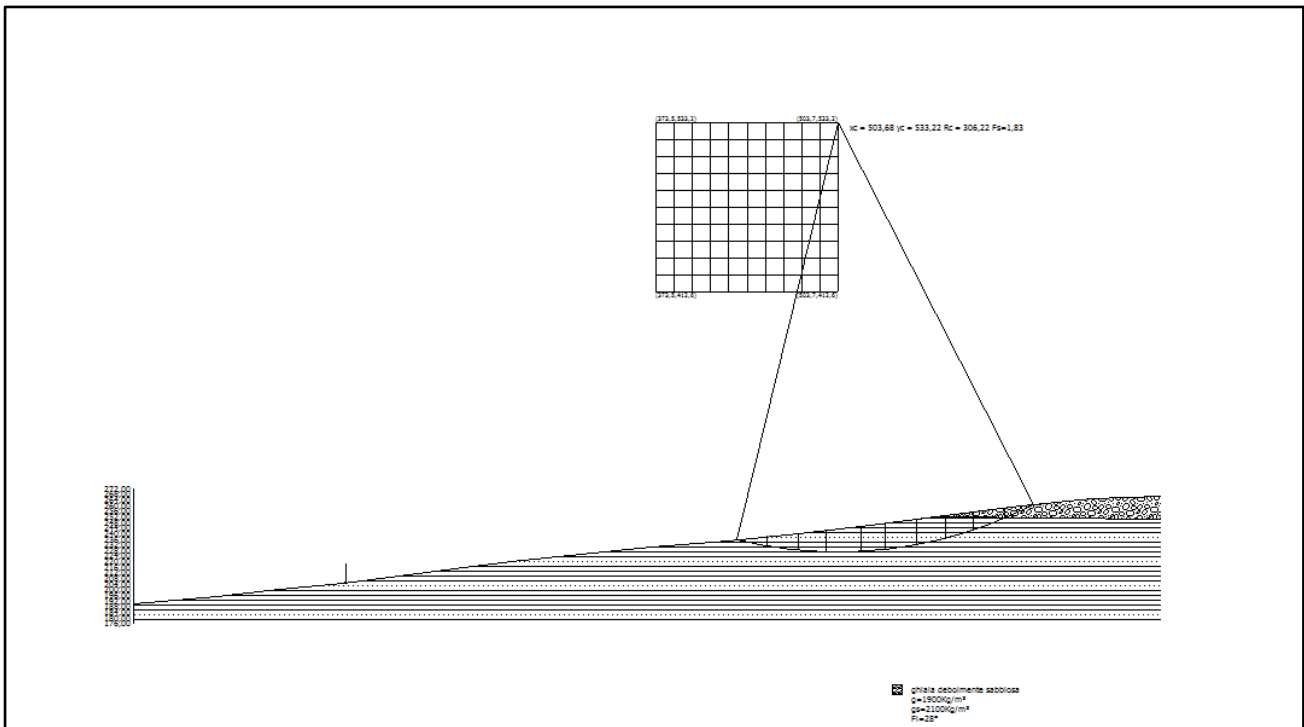


---

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

**Analisi dei conci. Superficie...xc = 503,675 yc = 533,215 Rc = 306,22 Fs=1,8335**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	21,22	-11,6	21,67	153291,6	14041,51	7020,76	0,06	20,0	0,0	-621441,9	-116419,0
2	22,36	-7,5	22,55	435794,1	39918,74	19959,37	0,06	20,0	0,0	-1204243,0	-231742,6
3	20,09	-3,5	20,13	571905,3	52386,53	26193,26	0,06	20,0	0,0	-655883,1	-123626,3
4	24,91	0,7	24,91	868086,9	79516,77	39758,38	0,06	20,0	0,0	272910,7	62327,3
5	17,54	4,7	17,6	665695,8	60977,73	30488,87	0,06	20,0	0,0	922360,5	188841,5
6	22,46	8,5	22,71	861301,2	78895,19	39447,59	0,06	20,0	0,0	2753095,0	553875,9
7	19,99	12,5	20,48	713091,4	65319,17	32659,59	0,06	20,0	0,0	3019489,0	605951,3
8	20,01	16,4	20,86	594273,8	54435,48	27217,74	0,06	20,0	0,0	3333942,0	668380,6
9	22,44	20,6	23,97	453076,3	41501,79	20750,89	0,06	20,0	0,0	3638513,0	729637,2
10	21,22	25,0	23,42	163464,2	14973,32	7486,66	0,0	28,0	0,0	1542754,0	447399,3



**Sez. B' \_\_\_\_\_ B pendio naturale Fs = 1.83 > 1.3 STABILE**



## PENDIO GRAVATO DAI CARICHI DI PROGETTO A9

### Analisi di stabilità dei pendii con BELL

---

---

Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0

---

---

**Superficie di forma circolare**

---

---

### Maglia dei Centri

---

---

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	373,53 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	412,55 m
Ascissa vertice destro superiore xs	503,68 m
Ordinata vertice destro superiore ys	533,22 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

Descrizione:	S1
Latitudine:	41,25
Longitudine:	15,51
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:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,471	2,43	0,29
S.L.D.	50,0	0,59	2,56	0,32
S.L.V.	475,0	1,738	2,51	0,42
S.L.C.	975,0	2,392	2,45	0,43

### 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.	0,7065	0,2	0,0144	0,0072
S.L.D.	0,885	0,2	0,0181	0,009
S.L.V.	2,4907	0,24	0,061	0,0305
S.L.C.	3,2087	0,28	0,0916	0,0458

---

---

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0916
Coefficiente azione sismica verticale	0,0458

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0,0	190,0
2	60,0	195,0
3	105,0	200,0
4	150,0	205,0
5	190,0	210,0
6	230,0	215,0
7	270,0	220,0
8	320,0	225,0
9	370,0	230,0
10	425,0	235,0
11	475,0	240,0
12	520,0	245,0
13	560,0	250,0
14	600,0	255,0
15	635,0	260,0
16	685,0	265,0
17	735,0	267,0

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

N	X m	y m
1	0,0	190,0
2	60,0	195,0
3	105,0	200,0
4	150,0	205,0
5	190,0	210,0
6	230,0	215,0
7	270,0	220,0
8	320,0	225,0
9	370,0	230,0
10	425,0	235,0
11	475,0	240,0
12	520,0	245,0
13	560,0	250,0
14	575,04	251,88
15	735,0	250,16

**Stratigrafia**

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0	28	1900	2100	0,00	ghiaia debolmente sabbiosa
2	0,06	20	2100	2300	0,00	argilla debolmente sabbiosa

**Carichi distribuiti**

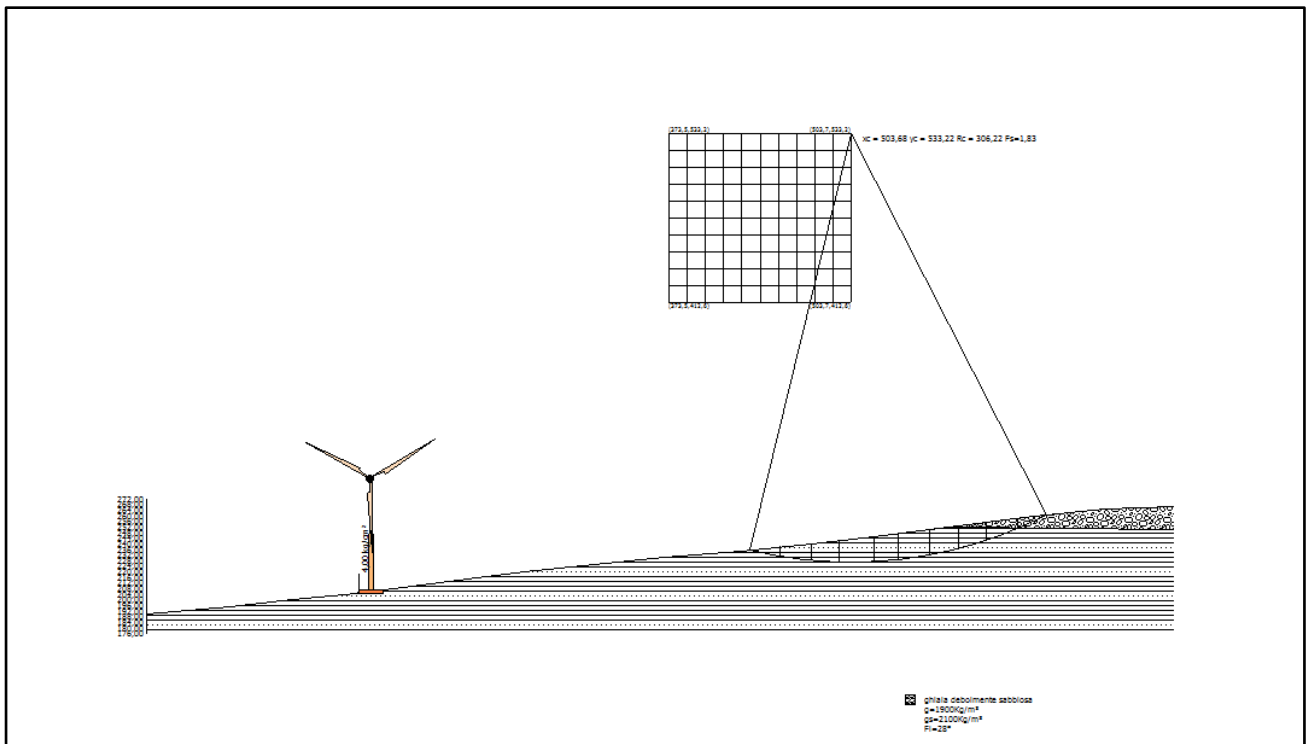
N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	151,7	205,38	151,7	205,38	4

## Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,83
Ascissa centro superficie	503,68 m
Ordinata centro superficie	533,22 m
Raggio superficie	306,22 m

### Analisi dei conci. Superficie...xc = 503,675 yc = 533,215 Rc = 306,22 Fs=1,8335

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	21,22	-11,6	21,67	153291,6	14041,51	7020,76	0,06	20,0	0,0	-621441,9	-116419,0
2	22,36	-7,5	22,55	435794,1	39918,74	19959,37	0,06	20,0	0,0	-1204243,0	-231742,6
3	20,09	-3,5	20,13	571905,3	52386,53	26193,26	0,06	20,0	0,0	-655883,1	-123626,3
4	24,91	0,7	24,91	868086,9	79516,77	39758,38	0,06	20,0	0,0	272910,7	62327,3
5	17,54	4,7	17,6	665695,8	60977,73	30488,87	0,06	20,0	0,0	922360,5	188841,5
6	22,46	8,5	22,71	861301,2	78895,19	39447,59	0,06	20,0	0,0	2753095,0	553875,9
7	19,99	12,5	20,48	713091,4	65319,17	32659,59	0,06	20,0	0,0	3019489,0	605951,3
8	20,01	16,4	20,86	594273,8	54435,48	27217,74	0,06	20,0	0,0	3333942,0	668380,6
9	22,44	20,6	23,97	453076,3	41501,79	20750,89	0,06	20,0	0,0	3638513,0	729637,2
10	21,22	25,0	23,42	163464,2	14973,32	7486,66	0,0	28,0	0,0	1542754,0	447399,3



## **PENDIO NATURALE A1**

### **Analisi di stabilità dei pendii con BELL**

---

---

Numero di strati	1,0
Numero dei conci	10,0

---

---

**Superficie di forma circolare**

---

---

### **Maglia dei Centri**

---

---

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	290,08 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	330,27 m
Ascissa vertice destro superiore xs	352,82 m
Ordinata vertice destro superiore ys	396,77 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**

Descrizione:	S1
Latitudine:	41,2457
Longitudine:	15,5116
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:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,471	2,43	0,29
S.L.D.	50,0	0,59	2,56	0,32
S.L.V.	475,0	1,738	2,51	0,42
S.L.C.	975,0	2,392	2,46	0,43

#### **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.	0,5652	0,2	0,0115	0,0058
S.L.D.	0,708	0,2	0,0144	0,0072
S.L.V.	2,0856	0,24	0,051	0,0255
S.L.C.	2,7746	0,28	0,0792	0,0396

---

---

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0792
Coefficiente azione sismica verticale	0,0396

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0,0	217,0
2	65,0	220,0
3	190,0	225,0
4	240,0	230,0
5	275,0	235,0
6	305,0	240,0
7	340,0	245,0
8	380,0	250,0
9	420,0	255,0
10	465,0	260,0
11	500,0	265,0
12	535,0	270,0

**Stratigrafia**

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0,06	20	2100	2300	0,00	argilla debolmente sabbiosa

**Carichi distribuiti**

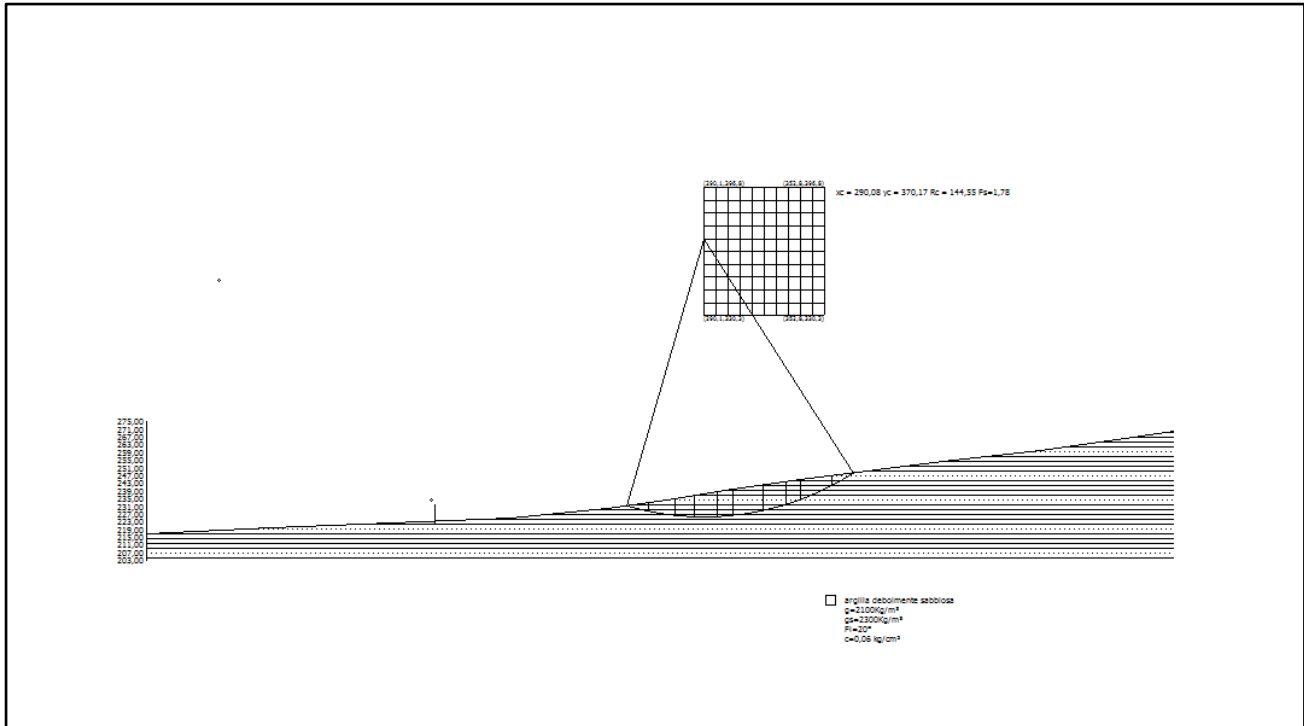
N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	150,19	222,37	150,19	222,37	0

**Risultati analisi pendio**

Fs minimo individuato	1,78
Ascissa centro superficie	290,08 m
Ordinata centro superficie	370,17 m
Raggio superficie	144,55 m

**Analisi dei conchi. Superficie...xc = 290,084 yc = 370,169 Rc = 144,554 Fs=1,7786**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	11,85	-13,8	12,2	60638,96	4802,61	2401,3	0,06	20,0	0,0	-165256,2	-29819,2
2	13,48	-8,7	13,64	191565,3	15171,98	7585,99	0,06	20,0	0,0	-377091,0	-72616,7
3	10,22	-4,0	10,24	212249,6	16810,17	8405,09	0,06	20,0	0,0	-141551,6	-25519,6
4	11,85	0,4	11,85	300434,9	23794,44	11897,22	0,06	20,0	0,0	29468,6	10028,0
5	7,93	4,3	7,95	221689,3	17557,79	8778,9	0,06	20,0	0,0	132085,6	29704,9
6	15,77	9,1	15,97	453778,5	35939,26	17969,63	0,06	20,0	0,0	1114875,0	233460,6
7	11,85	14,7	12,25	317848,4	25173,59	12586,8	0,06	20,0	0,0	960134,9	200473,6
8	7,38	18,7	7,79	174610,5	13829,15	6914,58	0,06	20,0	0,0	423268,2	89104,2
9	16,32	23,7	17,83	281960,1	22331,24	11165,62	0,06	20,0	0,0	1965370,0	407687,1
10	11,85	30,0	13,68	71306,72	5647,49	2823,75	0,06	20,0	0,0	473493,2	100890,4



Sez. C' \_\_\_\_\_ C pendio naturale  $F_s = 1.78 > 1.3$  STABILE

**PENDIO GRAVATO DAI CARICHI DI PROGETTO A1**

**Analisi di stabilità dei pendii con BELL**

Numero di strati	1,0
Numero dei conci	10,0
<b>Superficie di forma circolare</b>	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore $x_i$	290,08 m
Ordinata vertice sinistro inferiore $y_i$	330,27 m
Ascissa vertice destro superiore $x_s$	352,82 m
Ordinata vertice destro superiore $y_s$	396,77 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**

Descrizione:	S1
Latitudine:	41,2457
Longitudine:	15,5116
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:

T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,471	2,43	0,29
S.L.D.	50,0	0,59	2,56	0,32
S.L.V.	475,0	1,738	2,51	0,42
S.L.C.	975,0	2,392	2,46	0,43

**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.	0,5652	0,2	0,0115	0,0058
S.L.D.	0,708	0,2	0,0144	0,0072
S.L.V.	2,0856	0,24	0,051	0,0255
S.L.C.	2,7746	0,28	0,0792	0,0396

Coefficiente azione sismica orizzontale

0,0792

Coefficiente azione sismica verticale

0,0396

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0,0	217,0
2	65,0	220,0
3	190,0	225,0
4	240,0	230,0
5	275,0	235,0
6	305,0	240,0
7	340,0	245,0
8	380,0	250,0
9	420,0	255,0
10	465,0	260,0
11	500,0	265,0
12	535,0	270,0

**Stratigrafia**

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0,06	20	2100	2300	0,00	argilla debolmente sabbiosa

**Carichi distribuiti**

N°	xi m	yi m	xf m	yf m	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	150,19	222,37	150,19	222,37	4

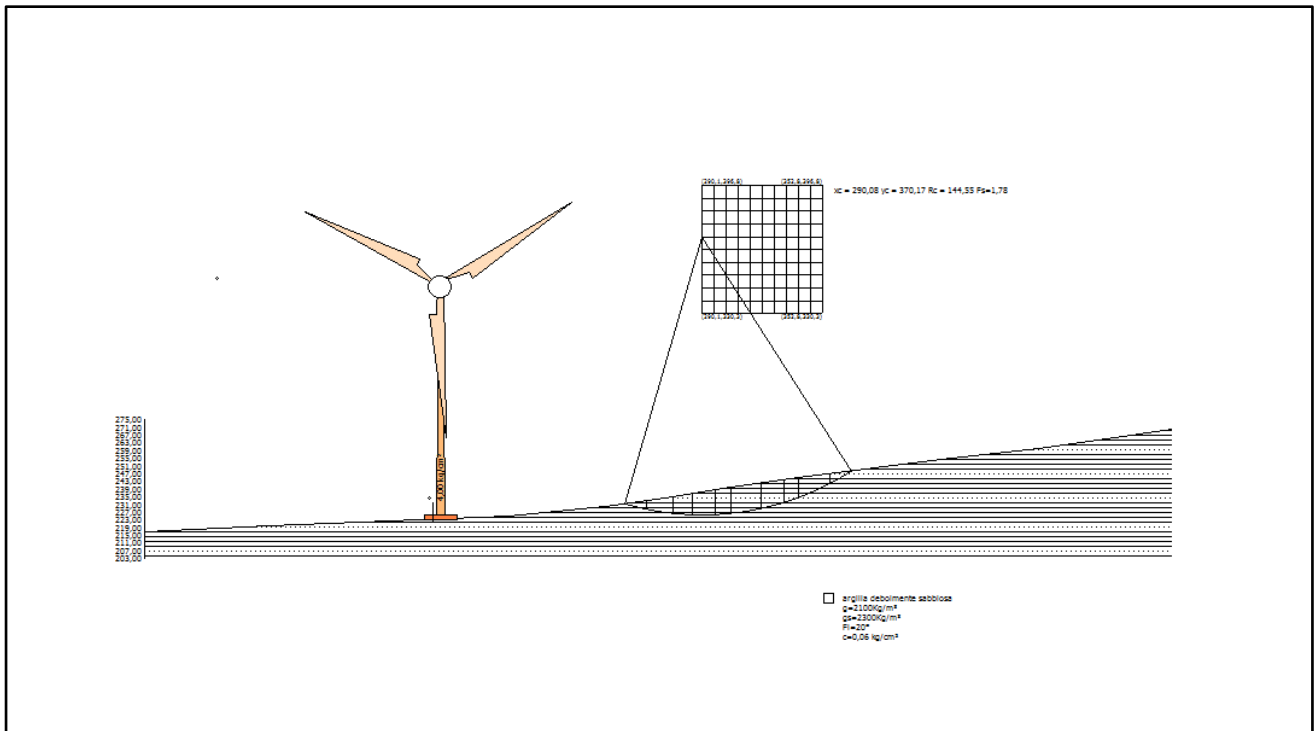
## Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,78
Ascissa centro superficie	290,08 m
Ordinata centro superficie	370,17 m
Raggio superficie	144,55 m

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

### Analisi dei conci. Superficie...xc = 290,084 yc = 370,169 Rc = 144,554 Fs=1,7786

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	11,85	-13,8	12,2	60638,96	4802,61	2401,3	0,06	20,0	0,0	-165256,2	-29819,2
2	13,48	-8,7	13,64	191565,3	15171,98	7585,99	0,06	20,0	0,0	-377091,0	-72616,7
3	10,22	-4,0	10,24	212249,6	16810,17	8405,09	0,06	20,0	0,0	-141551,6	-25519,6
4	11,85	0,4	11,85	300434,9	23794,44	11897,22	0,06	20,0	0,0	29468,6	10028,0
5	7,93	4,3	7,95	221689,3	17557,79	8778,9	0,06	20,0	0,0	132085,6	29704,9
6	15,77	9,1	15,97	453778,5	35939,26	17969,63	0,06	20,0	0,0	1114875,0	233460,6
7	11,85	14,7	12,25	317848,4	25173,59	12586,8	0,06	20,0	0,0	960134,9	200473,6
8	7,38	18,7	7,79	174610,5	13829,15	6914,58	0,06	20,0	0,0	423268,2	89104,2
9	16,32	23,7	17,83	281960,1	22331,24	11165,62	0,06	20,0	0,0	1965370,0	407687,1
10	11,85	30,0	13,68	71306,72	5647,49	2823,75	0,06	20,0	0,0	473493,2	100890,4



Sez. C' \_\_\_\_\_ C pendio gravato dai carichi di progetto  $Fs = 1,78 > 1,3$  STABILE







## **ALLEGATI**

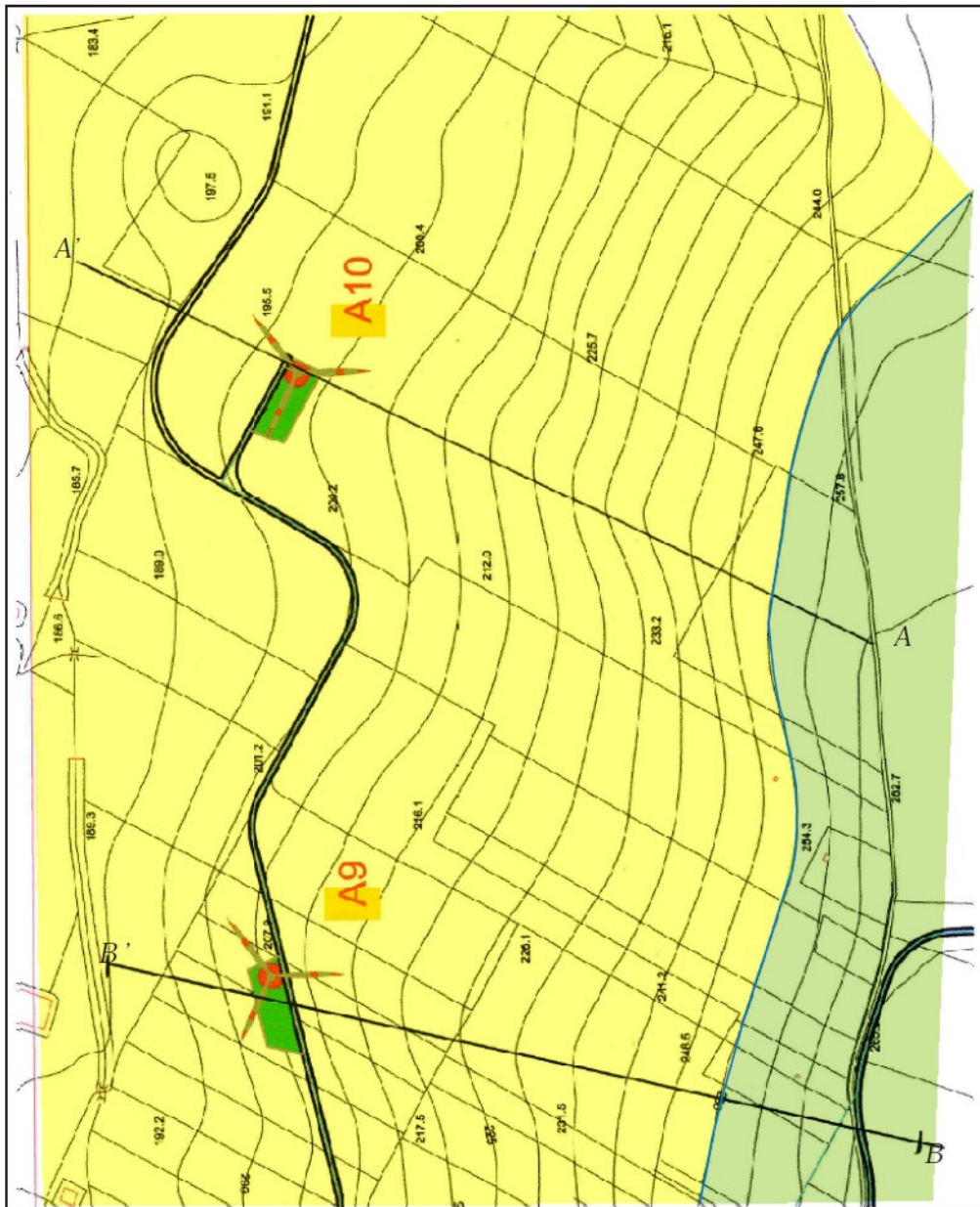
**Carta Geolitologica in scala 1:5000**

**Indagini indirette di tipo MASW- ReMi**


PARCO EOLICO SAN POTTO  
ASCOLI SATRIANO


CARTA GEOLITOLOGICA  
scala 1:5000

-  *Subsistema di Monte Livagni: conglomerati poligenici poco selezionati ma ben cementati. (Pleistocene Medio)*
-  *Argille Subappennine: Silt argillosi e marne siltose grigie a stratificazione poco evidente. (Calabriano)*
-  *Contatto litologico*
-  *Traccia di sezione di verifica di stabilità pendio*



PARCO EOLICO SAN POTITO  
ASCOLI SATTRIANO  
CARTA GEOLITOLOGICA  
Scala 1 : 5000

 Argille Subappennine: Silt argillosi e mame siltose grigie a stratificazione poco evidente. ( CALABRIANO )

 Traccia di sezione di verifica di stabilità pendio



**laboratorio**  
**geoTecnico** terre - rocce - aggregati - prove cicliche e dinamiche -  
**Ge** prove geotecniche in sito - geochimica ambientale -  
**St** prospezioni geofisiche - prove non distruttive - misura del Radon  
Via Lucca 55 A-B MELFI (PZ) - tel/fax 0972.238231 -  
E-MAIL: geotest@tiscali.it - http://www.geotest.it - C.Fisc. e P.IVA 01073440768 - C.C.I.A.A. 77714  
**r.o.s. di Carbone Andrea & C.**

 **LABORATORIO UFFICIALE**  
Art. 59 D.P.R. 380/2001  
Circolare 7618/STC  
Settori "A" e "B"  
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici



**Certitalia**  
Sistemi di Gestione Certificati  
UNI EN ISO 9001:2008

Geotest S.a.s. - Melfi (PZ) - Italy has been resulted in compliance with the standard  
**UNI EN ISO 9001:2008** for the following field of activities: Provision of geotechnical tests -  
Classification EA (European co-operation for Accreditation): 35

## INDAGINI SISMICHE **MASW-REMI**

**COMMITTENTE : Winderg srl**

**PROGETTO : Impianto eolico "San Potito" - Ascoli Satriano (FG)**

*Melfi, marzo 2019*

IL DIRETTORE TECNICO  
**DOTT. GEOL. TUCCI CLEMENTE MARCO**



**INDICE**

<b>1. PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2. INDAGINE GEOFISICA MASW-REMI: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA</b>	<b>4</b>
<b>3. ELABORAZIONE DATI</b>	<b>6</b>
<b>4. CALCOLO DELLE <math>VS_{eq}</math></b>	<b>8</b>
<b>5. ALLEGATI MASW-REMI</b>	<b>12</b>

## 1. PREMESSA

Nel mese di marzo 2019 per il progetto: **Impianto eolico "San Potito" - Ascoli Satriano (FG)**, è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche. Tale campagna è consistita nelle seguenti prospezioni:

- N°3 stendimenti di sismica MASW-ReMI per la determinazione della  $V_{seq}$  e della **categoria di suolo di fondazione** dei terreni ai sensi del D.M. 17.01.2018

## 2. INDAGINE GEOFISICA MASW-ReMi: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh. Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006):

1) Nel "**metodo attivo**" le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

2) Nel "**metodo passivo**" lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche "microtremori") prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

Le due tecniche indagano bande spettrali differenti: mentre il metodo attivo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso essenzialmente tra 10 e 60-70 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo, il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione essenzialmente nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni per lo più sugli strati più profondi. La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 35-40 m di profondità (sempre in funzione della rigidità degli strati).

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 2.0 m. Per ottenere una buona risoluzione in



termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 10 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking). La sorgente è stata posta ad una distanza di 4 e 6 m dal primo geofono.

Terminata l'indagine attiva, con la stessa configurazione geometrica si è passati alla registrazione dei microtremori (MASW passiva - REMI) registrazioni di rumore, ciascuna della lunghezza di 32 s. Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva e passiva:

<b>n°</b>	<b>STRUMENTAZIONE</b>	<b>CARATTERISTICHE</b>
1	Unità di acquisizione	sismografo <b>GEOMETRICS "GEODE"</b> a 24 bit
24	Geofoni verticali	"Geospace" con $f_0 = 4.5$ Hz
1	Cavi sismici	L = 120 m
1	Sorgente	Mazza battente su piattello metallico

<b>Riassunto modalità esecutiva della prova MASW ATTIVA</b>	
Spaziatura tra i geofoni	2,0 m
Distanza sorgente 1° geofono	4 e 6 m
Tempo di campionamento	0,5 ms
Tempo di registrazione	4,1 ms

<b>Riassunto modalità esecutiva della prova MASW PASSIVA-REMI</b>	
Spaziatura tra i geofoni	3,0 m
Tempo di campionamento	2 ms
Tempo di registrazione	32 ms



### 3. ELABORAZIONE DATI

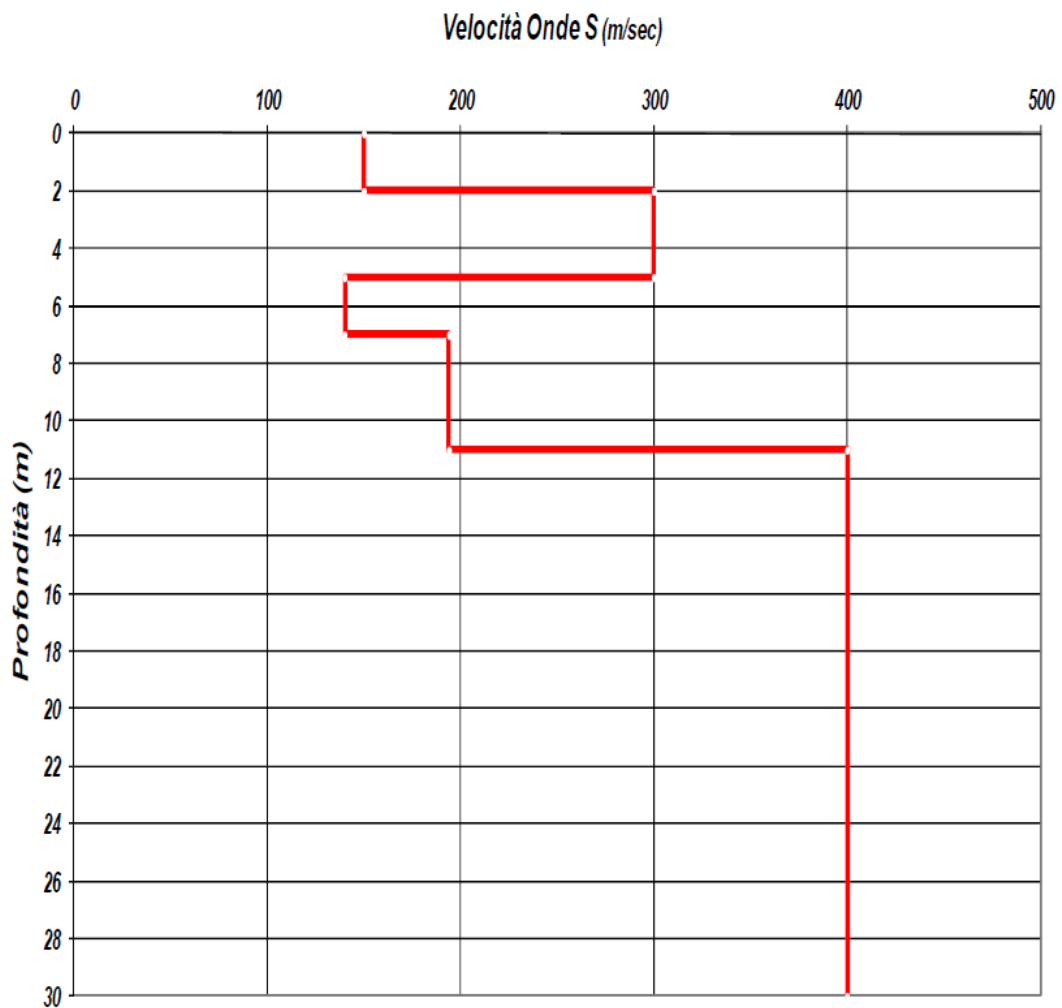
I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (MASW 2007). Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo. L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "*phase velocity-frequency (c-f)*" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. Gli spettri bidimensionali ottenuti dalle registrazioni con il metodo attivo e con quello passivo, elaborati in fasi separate, vengono successivamente combinati in modo da ottenere uno spettro unico. In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple). Inoltre, la combinazione dei due metodi MASW consente di individuare il "modo fondamentale" delle onde di superficie nel campo di frequenze compreso tra i 4 e i 60-70 Hz e di ottenere informazioni sia "superficiali" che "profonde". Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze. Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_s$  in funzione della profondità. Dall'inversione della curva di dispersione si ottengono i seguenti modelli medi di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativi dell'area investigata.

**MASW-ReMi N. 1**

Modello monodimensionale			
strato	spessore (m)	Vs (m/s)	Profondità (m)
1	2,00	150,00	2,00
2	3,00	300,00	5,00
3	2,00	140,00	7,00
4	4,00	194,00	11,00
5	19,00	400,00	30,00

Tabella 1: modello sismico monodimensionale

**Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion**

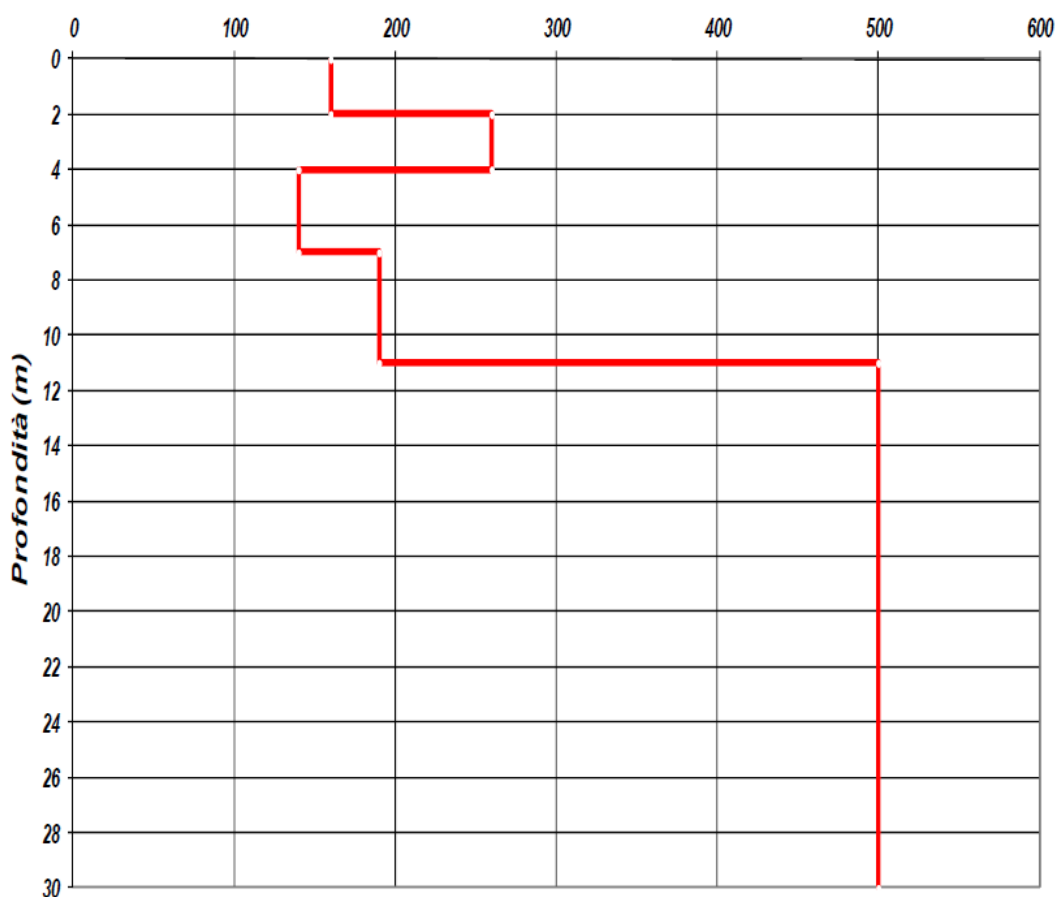
**MASW-ReMi N. 2**

Modello monodimensionale			
strato	spessore (m)	Vs (m/s)	Profondità (m)
1	2,00	160,00	2,00
2	2,00	260,00	4,00
3	3,00	140,00	7,00
4	4,00	190,00	11,00
5	19,00	500,00	30,00

Tabella 2: modello sismico monodimensionale

**Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion**

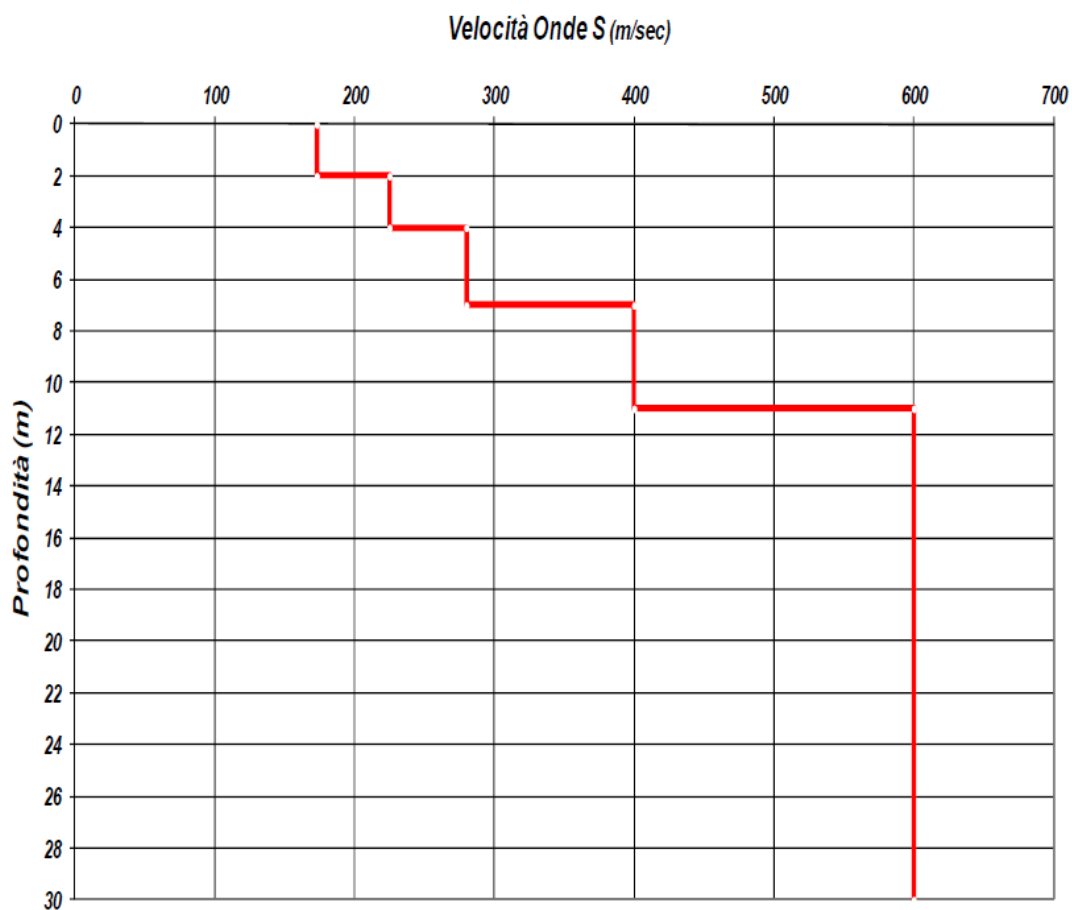
Velocità Onde S (m/sec)



**MASW-ReMi N. 3**

Modello monodimensionale			
strato	spessore (m)	Vs (m/s)	Profondità (m)
1	2,00	173,00	2,00
2	2,00	225,00	4,00
3	3,00	280,00	7,00
4	4,00	400,00	11,00
5	19,00	600,00	30,00

Tabella 3: modello sismico monodimensionale

**Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion**

#### 4. CALCOLO DELLE $V_{s,eq}$

Per il calcolo della  $V_{s,eq}$  si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 17.01.2018 (*"Norme tecniche per le costruzioni"*), considerato che la profondità del substrato è superiore ai 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  nell'espressione delle velocità equivalente:

$$V_{s,eq} = H / \sum (h_i / V_{s_i})$$

$$V_{s30} = 30 / \sum (h_i / V_{s_i})$$

dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori. Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore (quota iniziale = piano campagna attuale):

##### MASW N.1

$$V_{s30} = 283 \text{ m/s}$$

a cui corrisponde la **categoria di suolo di fondazione di tipo C** (si veda la tabella seguente);

##### MASW N.2

$$V_{s30} = 297 \text{ m/s}$$

a cui corrisponde la **categoria di suolo di fondazione di tipo C**.

##### MASW N.3

$$V_{s30} = 416 \text{ m/s}$$

a cui corrisponde la **categoria di suolo di fondazione di tipo B**.

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

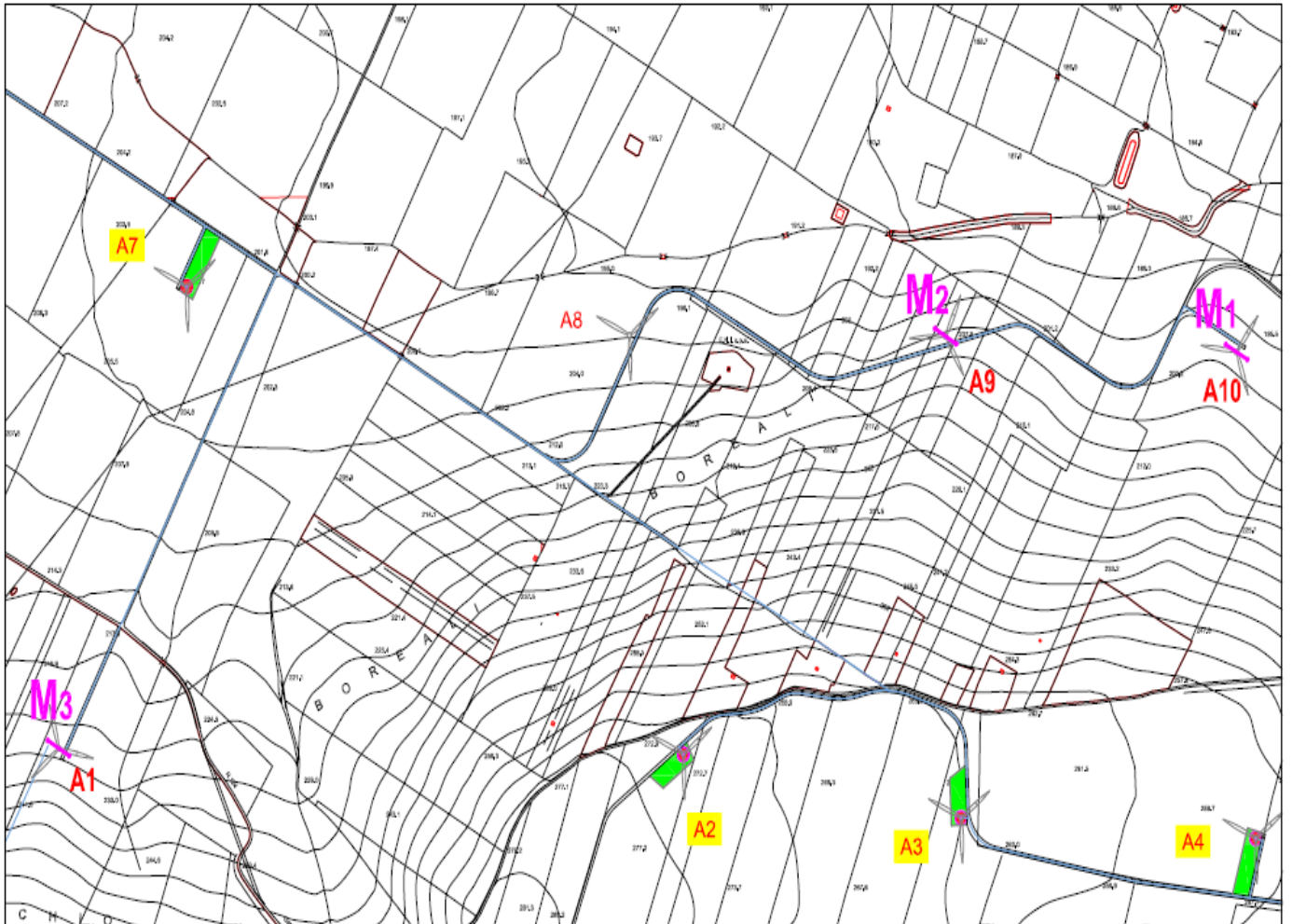
**Tabella 4:** categorie di suolo di fondazione (D.M. 17.01.2018)

**5. ALLEGATI MASW-ReMi**

**PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI SISMICHE  
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E SISMOGRAMMI  
MASW-REMI**

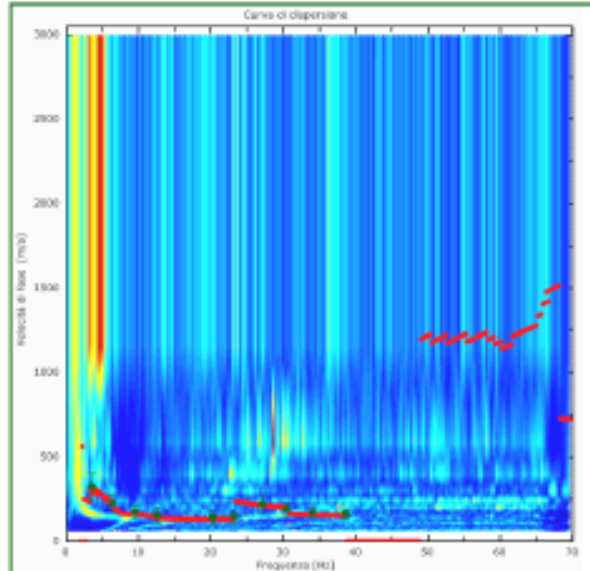
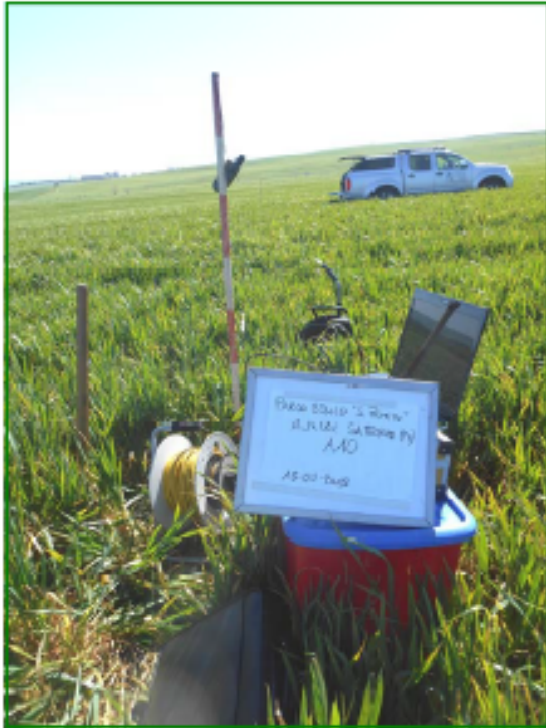
# PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI - *Scala 1 : 6.000*

Ubicazione stendimenti sismici Masw-ReMI

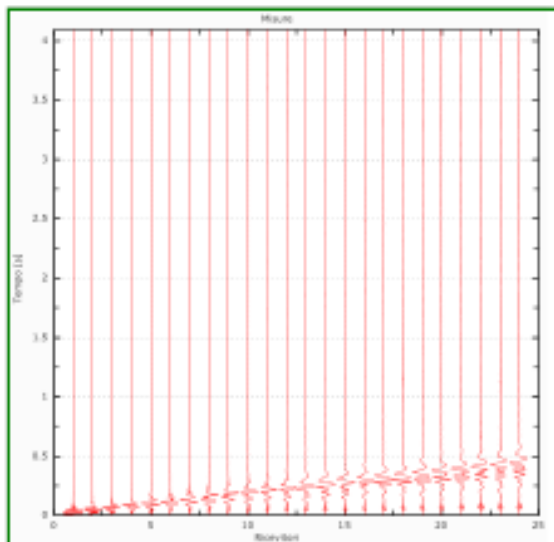




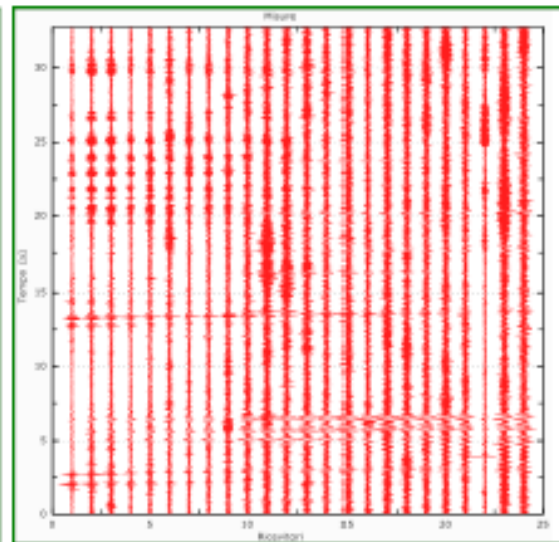
Stendimento MASW-ReMi N. 1



Spettro ReMi con curva di dispersione sperimentale MASW ATTIVA

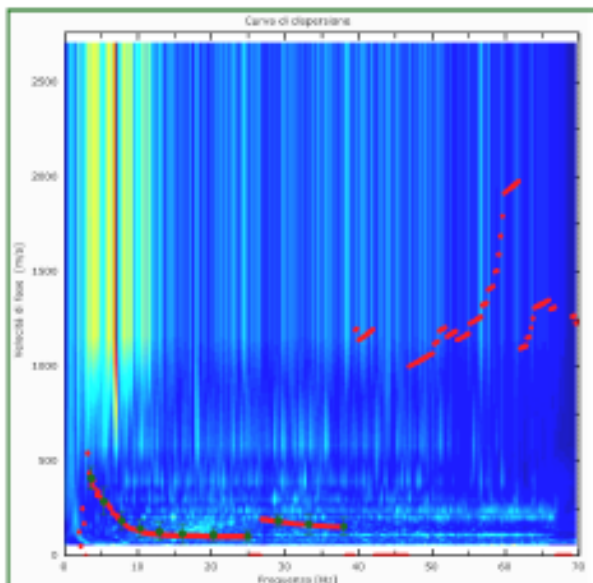


Registrazione MASW ATTIVA

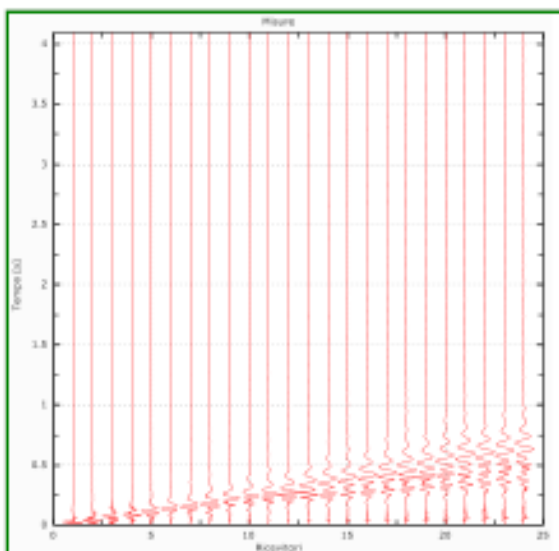


Registrazione ReMi

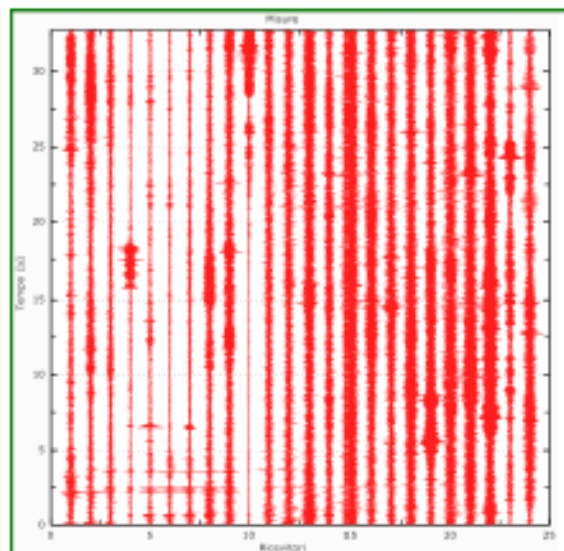
Stendimento MASW-ReMi N. 2



Spettro ReMi con curva di dispersione sperimentale MASW ATTIVA

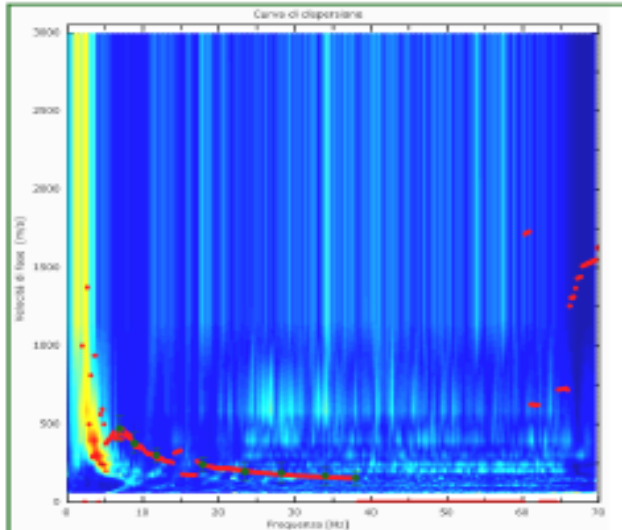
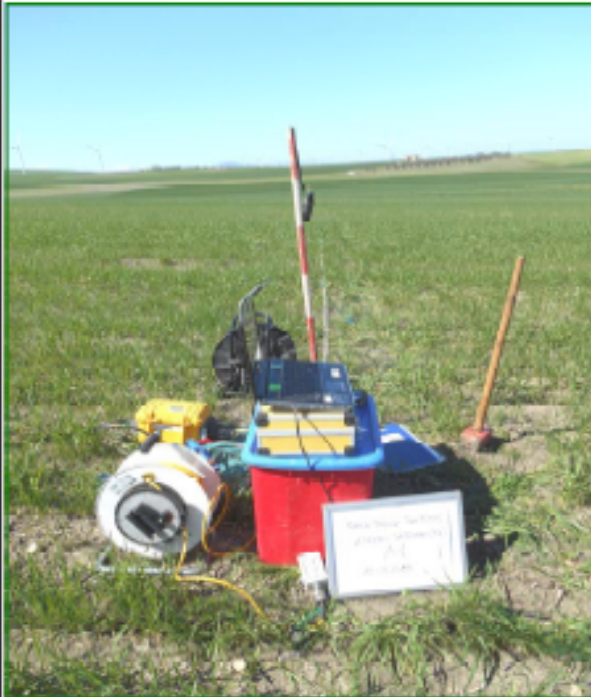


Registrazione MASW ATTIVA

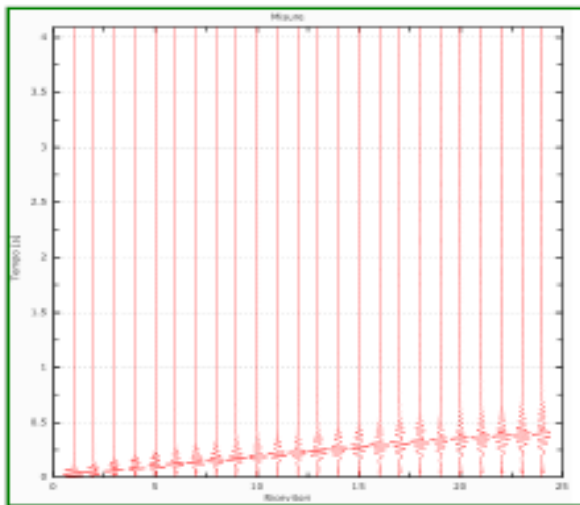


Registrazione ReMi

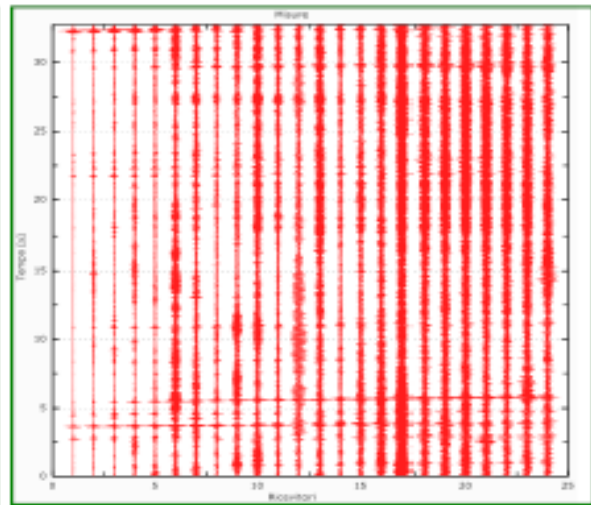
Stendimento MASW-ReMi N. 3



Spettro ReMi con curva di dispersione sperimentale MASW ATTIVA



Registrazione MASW ATTIVA



Registrazione ReMi