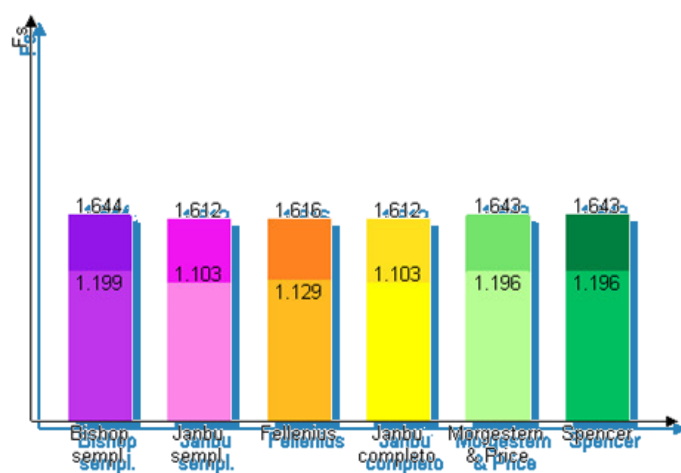




**CDM DOLMEN srl**  
SOFTWARE STRUTTURALE E GEOTECNICO - RESISTENZA AL FUOCO

# IS GeoPendii



**MANUALE UTENTE**

# Indice

<b>1</b>	<b>Teoria</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>Metodi implementati</b>	<b>4</b>
1.1.1	Metodo di Fellenius	5
1.1.2	Metodo di Bishop	5
1.1.3	Metodo di Janbu semplificato	6
1.1.4	Metodo di Janbu completo	7
1.1.5	Metodo di GLE / Morgenstern-Price	7
1.1.6	Metodo di Spencer	8
1.1.7	Metodo di Sarma	8
<b>1.2</b>	<b>Inserimento interventi</b>	<b>9</b>
1.2.1	Tiranti	9
1.2.2	Terre rinforzate	11
1.2.3	Muri	12
1.2.4	Gradonature	14
1.2.5	Palificate	14
<b>1.3</b>	<b>Normativa (caso statico)</b>	<b>16</b>
1.3.1	Eurocodice 7	16
1.3.2	D.M. 11 marzo 1988	17
1.3.3	D.M. 17 gennaio 2018	18
<b>1.4</b>	<b>Normativa (caso dinamico)</b>	<b>18</b>
1.4.1	Ordinanza 3274	19
1.4.2	D.M. 16 gennaio 1996	19
1.4.3	D.M. 17 gennaio 2018	19
<b>2</b>	<b>Utilizzo del programma</b>	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>Dati generali</b>	<b>23</b>
<b>2.2</b>	<b>Normativa</b>	<b>24</b>
2.2.1	Norme Europee	24
2.2.2	Norme Italiane (vecchie)	25
2.2.3	NTC 2008	25
2.2.4	NTC 2018	26
<b>2.3</b>	<b>Inserimento strati</b>	<b>26</b>
<b>2.4</b>	<b>Inserimento falda</b>	<b>28</b>
<b>2.5</b>	<b>Proprietà terreni</b>	<b>28</b>
<b>2.6</b>	<b>Assegnazione proprietà terreno</b>	<b>30</b>
<b>2.7</b>	<b>Coordinate strati e falda</b>	<b>31</b>
<b>2.8</b>	<b>Comandi di inserimento strati tramite disegno</b>	<b>31</b>
<b>2.9</b>	<b>Carichi</b>	<b>31</b>
<b>2.10</b>	<b>Interventi</b>	<b>32</b>
2.10.1	Tiranti	32
2.10.2	Muri	33
2.10.3	Terre rinforzate	34
2.10.4	Gradonature	35
2.10.5	Palificate	35
<b>2.11</b>	<b>Generali calcolo</b>	<b>36</b>
<b>2.12</b>	<b>Elabora</b>	<b>38</b>

<b>2.13</b>	<b>Visualizza strisce</b>	<b>38</b>
<b>2.14</b>	<b>Caratteristiche strisce</b>	<b>38</b>
<b>2.15</b>	<b>Visualizza raggi</b>	<b>40</b>
<b>2.16</b>	<b>Superfici Fs e Mappa Fs</b>	<b>40</b>
<b>2.17</b>	<b>Filtro superfici</b>	<b>41</b>
<b>2.18</b>	<b>Diagramma tensioni</b>	<b>41</b>
<b>2.19</b>	<b>Riassunto calcolo</b>	<b>42</b>
<b>2.20</b>	<b>Confronto Fs</b>	<b>42</b>
<b>2.21</b>	<b>Relazione di calcolo</b>	<b>42</b>
<b>2.22</b>	<b>Strumenti</b>	<b>43</b>
2.22.1	Opzioni disegno	43

**IS GeoPendii** è il software omnia IS che studia l'analisi di stabilità di pendii in terreni sciolti, basandosi sui metodi all'equilibrio limite. Il programma è fornito di un ambiente grafico interattivo attraverso il quale è possibile definire il caso da analizzare: stratigrafia, falda, carichi ed interventi. I tipi di intervento che è possibile inserire sono muri di sostegno, tiranti attivi e passivi, terre rinforzate, palificate e gradonature. Le superfici di rottura hanno forma circolare possono essere superfici generiche, passanti per un punto o per due punti, tangenti ad una polilinea o limitate a monte ed a valle. Tali superfici possono anche avere forma qualunque definita dall'utilizzatore.

## 1 Teoria

All'interno di un pendio molto esteso e sottoposto a deformazione piana si isola un volume mediante una superficie cilindrica. Il terreno è in equilibrio limite quando viene soddisfatta la condizione di rottura, che nell'ipotesi del criterio di Mohr - Coulomb è funzione della coesione, dell'angolo di resistenza al taglio e della pressione interstiziale:

$$\tau = c' + (\sigma - u) \cdot \tan \phi$$

In cui:

$\tau$  = tensione tangenziale mobilitata

$c'$  = coesione efficace intercetta

$u$  = pressione idrostatica

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio

Se lungo la superficie la tensione tangenziale applicata, detta resistenza mobilitata, è minore della resistenza a rottura disponibile, si può determinare una condizione di equilibrio limite tramite un coefficiente di sicurezza, che rappresenta il fattore per cui dividere i parametri di resistenza del terreno ed avere la rottura del pendio lungo la superficie considerata.

$$\tau = \frac{c'}{F} + \frac{1}{F} (\sigma - u) \cdot \tan \phi$$

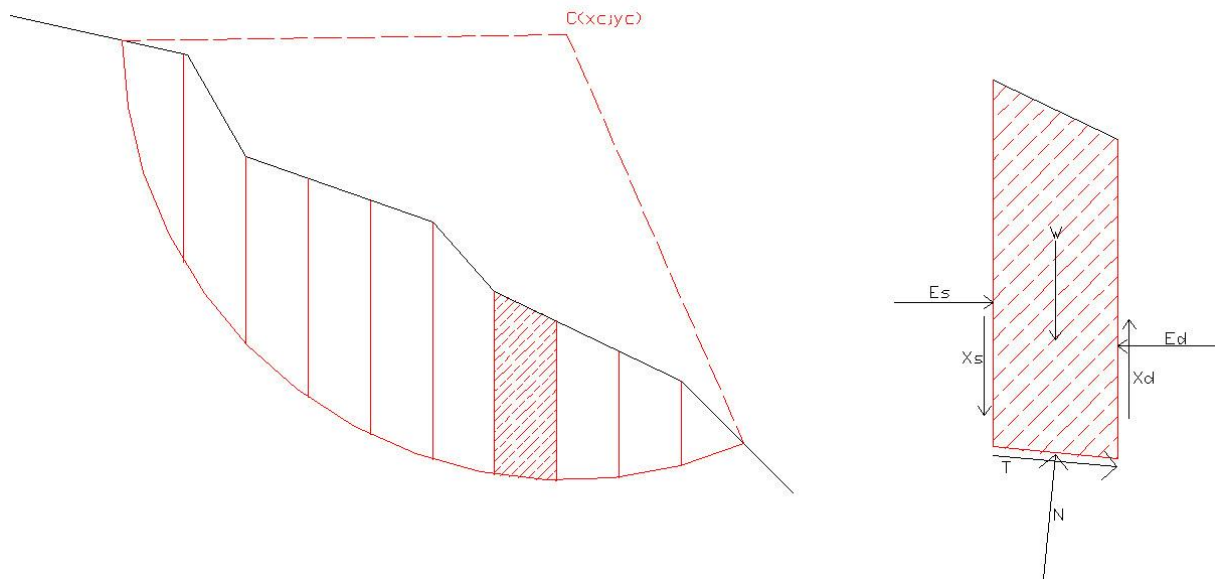
Questo valore è utilizzato per determinare la sicurezza del pendio nei confronti della rottura per taglio e viene assunto costante lungo tutta la superficie, in modo che in ogni punto di essa venga mobilitata la stessa aliquota di resistenza al taglio. Si ricava che il fattore di sicurezza è dato dal rapporto tra la resistenza disponibile e quella mobilitata. Per determinare tale valore si utilizzano le equazioni dell'equilibrio dei corpi rigidi ossia le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale ed alla rotazione rispetto ad un punto del piano delle forze.

Nel pendio viene definito un numero elevato di superfici di scorrimento, ad ognuna di queste è possibile associare un fattore di sicurezza. Il fattore di sicurezza minore definisce la cosiddetta superficie critica e viene assunto come rappresentativo delle condizioni di stabilità del pendio.

Nell'ambito della teoria dell'equilibrio limite sono stati sviluppati numerosi metodi per il calcolo del fattore di sicurezza. Fra questi vi sono i cosiddetti metodi delle strisce, che prevedono di suddividere il volume di terreno considerato in blocchi di spessore finito, ma piccolo, di cui è possibile scrivere le equazioni di

equilibrio. Si riescono a considerare, grazie all'efficacia ed alla flessibilità di questi metodi, pendii di forma complessa e costituiti da terreni aventi caratteristiche fisiche e meccaniche diverse.

Per mantenere le strisce in condizione di equilibrio bisogna applicare sui lati e sulla base le risultanti degli sforzi efficaci e delle pressioni interstiziali, che si trasmettono mutuamente tra i blocchi. Per il volume suddiviso in  $n$  strisce si ha che il problema è  $n-2$  volte iperstatico e le incognite sono le forze di interazione tra le strisce ( $X_i$  ed  $E_i$ ), i bracci di queste, valutate rispetto al limite inferiore del lato considerato, e le forze normali alla base ( $N_i$ ). Complessivamente si hanno  $4n-2$  incognite. Avendo a disposizione  $3n$  equazioni di equilibrio, ossia 3 per ciascuna striscia, il problema risulta affetto da un alto grado di indeterminatezza.



**Figura 1. 1** Suddivisione della superficie in strisce e forze agenti su una di esse

I metodi di calcolo vengono suddivisi in due grandi gruppi: i metodi “semplificati” ed i metodi “rigorosi”. Nei primi si adottano semplificazioni che trascurano alcune forze che agiscono sulle strisce o fissano la loro direzione ed il loro punto di applicazione. La soluzione che si ricava non consente di soddisfare tutte le condizioni di equilibrio delle strisce. Per quanto riguarda il secondo tipo di metodi si ricercano le  $n-2$  equazioni mancanti, rispettando così l'equilibrio globale delle strisce.

### 1.1 Metodi implementati

I metodi di calcolo implementati da IS GeoPendii sono:

- Fellenius (1927)
- Bishop (1955)
- Janbu semplificato (1955)
- Janbu completo (1967)
- GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)
- Spencer (1967)
- Sarma (1973)

### 1.1.1 Metodo di Fellenius

Il metodo calcola l'equilibrio alla traslazione in direzione normale alla base della striscia. L'ipotesi semplificativa prevede di assumere che la risultante delle forze, agente sui lati di ogni striscia, non abbia componenti in direzione normale alla base di questa, oppure si trascurano le forze interstriscia ( $X_i = E_i = 0$ ).

La formula per valutare il fattore di sicurezza risulta quindi:

$$F = \frac{\sum [c' l_i + (W_i \cdot \cos \alpha_i - U_{bi}) \cdot \tan \phi]}{\sum W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

In cui:

$c'$  = coesione efficace

$l_i$  = lunghezza della base della striscia i-esima

$W_i$  = peso della striscia i-esima

$\alpha_i$  = inclinazione della base della striscia

$U_{bi}$  = pressione interstiziale agente alla base della striscia i-esima

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio

La formula per valutare il fattore di sicurezza in presenza di sisma risulta:

$$F = \frac{\sum [c' l_i + [W_i (1 + K_v) \cdot \cos \alpha_i - K_H \cdot W_i \cdot \sin \alpha_i - U_{bi} (1 + K_v)] \cdot \tan \phi]}{\sum W_i \cdot \left[ (1 + K_v) \cdot \sin \alpha_i + K_H \left( \frac{d_G}{R} \right) \right]}$$

In cui:

$R$  = raggio della superficie circolare

$d_G$  = distanza tra il baricentro della striscia i-esima ed il centro della superficie circolare

Il calcolo in presenza di sisma vale solo per le superfici di forma circolare, per quelle generiche è applicabile solo il caso statico.

### 1.1.2 Metodo di Bishop

Si suppone che le forze interstriscia abbiano direzione orizzontale e che le forze di taglio siano nulle, questo è alla base del metodo di Bishop semplificato, che non presenta svantaggi rispetto al metodo rigoroso. Dall'equazione d'equilibrio alla traslazione in direzione normale alla base della striscia si ricava l'espressione del fattore di sicurezza:

$$F = \frac{\sum [c' b_i + (W_i - u_{bi} \cdot b) \cdot \tan \phi] \left[ \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \cdot \frac{\tan \phi}{F}} \right]}{\sum W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

In cui:

$b_i$  = larghezza della base della striscia i-esima

$c'$  = coesione efficace

$W_i$  = peso della striscia i-esima

$\alpha_i$  = inclinazione della base della striscia

$U_{bi}$  = pressione interstiziale agente alla base della striscia i-esima

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio

Il calcolo segue una procedura iterativa, partendo, come primo tentativo, dal valore del fattore di sicurezza calcolato con il metodo di Fellenius.

Questo metodo non tiene conto dell'equilibrio alla traslazione orizzontale della striscia, che, quindi, non è verificato. Nonostante ciò il metodo dà risultati molto simili a quelli ottenuti con i cosiddetti metodi "rigorosi".

La formula per valutare il fattore di sicurezza in presenza di sisma risulta:

$$F = \frac{\sum [c' \cdot b_i + W_i (1 + K_v) \cdot \tan \phi - u_{bi} \cdot b \cdot \tan \phi] \cdot \left[ \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \cdot \frac{\tan \phi}{F}} \right]}{\sum W_i \cdot \left[ (1 + K_v) \cdot \sin \alpha_i + K_H \left( \frac{d_G}{R} \right) \right]}$$

In cui:

$R$  = raggio della superficie circolare

$d_G$  = distanza tra il baricentro della striscia i-esima ed il centro della superficie circolare

Il calcolo in presenza di sisma vale solo per le superfici di forma circolare, per quelle generiche è applicabile solo il caso statico.

### 1.1.3 Metodo di Janbu semplificato

Tale metodo si basa sulla stessa semplificazione utilizzata da Bishop, ossia trascurare le forze di taglio interstriscia ipotizzando che lungo i lati comuni delle strisce agiscano solo forze normali.

Il metodo calcola l'equilibrio alla traslazione in direzione verticale e ricava le forze agenti alla base della striscia in funzione del fattore di sicurezza (la forza normale  $N_i$  e la forza tangenziale  $T_i$ ). Effettuando il calcolo dell'equilibrio alla traslazione orizzontale si ricava il fattore di sicurezza:

$$F = \frac{\sum [c' \cdot b_i + (W_i - U_{bi} \cdot \cos \alpha_i) \cdot \tan \phi] \frac{1}{n_{ai}}}{\sum W_i \cdot \tan \alpha_i}$$

In cui:

$c'$  = coesione efficace

$b_i$  = larghezza della base della striscia i-esima

$W_i$  = peso della striscia i-esima

$\alpha_i$  = inclinazione della base della striscia

$U_{bi}$  = pressione interstiziale agente alla base della striscia i-esima

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio

$$n_{ai} = \left( \cos \alpha_i + \frac{1}{F} \sin \alpha_i \cdot \tan \phi \right) \cdot \cos \alpha_i$$

Il calcolo segue una procedura iterativa, partendo, come primo tentativo, da un valore del fattore di sicurezza pari a 1.

#### 1.1.4 Metodo di Janbu completo

Il metodo fissa la posizione della linea di spinta, ossia la distanza tra la superficie di scivolamento ed il punto di applicazione della risultante delle forze interstriscia. Per calcolare il fattore di sicurezza del pendio viene effettuato l'equilibrio alla traslazione in direzione orizzontale.

$$F = \frac{\sum (c' l_i + N_i' \tan \phi) \cos \alpha_i}{\sum Q_i + \sum N_i' \sin \alpha_i + (E_a - E_b)}$$

In cui:

$c'$  = coesione efficace

$l_i$  = lunghezza della base della striscia i-esima

$N_i$  = tensione normale agente sulla base della striscia

$\alpha_i$  = inclinazione della base della striscia

$Q_i$  = Tensione normale esterna

$U_{bi}$  = pressione interstiziale agente alla base della striscia i-esima

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio

$E_a, E_b$  = forze interstriscia delle strisce di estremità

Il calcolo segue una procedura iterativa, rendendo nullo il valore delle forze interstriscia con direzione verticale ( $X_i = 0$ ) e partendo da un valore di tentativo del fattore di sicurezza. Applicando questi valori nell'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale della singola striscia si ricava la forza di interstriscia orizzontale, inserendo tale valore nell'equazione di equilibrio alla rotazione si ricava la forza di interstriscia verticale. Il calcolo procede iterativamente ottenendo nuovi valori del fattore di sicurezza fino a che la variazione che si ha è minore di una tolleranza.

#### 1.1.5 Metodo di GLE / Morgenstern-Price

Tale metodo si basa principalmente sul fatto di definire un legame tra le forze di interstriscia orizzontali ( $E_i$ ) e verticali ( $X_i$ ):

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

In cui:

$\lambda$  = costante scalare

Con l'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale si ricava il coefficiente  $F_f$ :



$$F_f = \frac{\sum (c' l_i + N_i' \cdot \tan \phi) \cos \alpha_i}{\sum (N_i' + U_{bi}) \sin \alpha_i + \sum k W_i - \sum Q_i + (A_R - A_L)}$$

mentre con l'equazione di equilibrio alla rotazione si ricava  $F_m$ :

$$F_m = \frac{\sum (c' l_i + N_i' \cdot \tan \phi) r_i}{\sum W_i x_i + \sum k W_i e_i + \sum P_i x_i - \sum Q_i d_i + (A_R a_R - A_L a_L) - \sum (N_i' + U_{bi}) f_i}$$

In cui:

$c'$  = coesione efficace

$l_i$  = lunghezza della base della striscia i-esima

$N_i$  = tensione normale agente sulla base della striscia

$\alpha_i$  = inclinazione della base della striscia

$Q_i$  = Tensione normale esterna

$W_i$  = peso della striscia i-esima

$k$  = coefficiente sismico

$A_R, A_L$  = tensione interstriscia delle strisce limite

$U_{bi}$  = pressione interstiziale agente alla base della striscia i-esima

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio

Calcolando l'andamento dei due coefficienti in funzione di  $\lambda$  e ricavandone il punto in cui si uguagliano, si ottiene il fattore di sicurezza finale.

### 1.1.6 Metodo di Spencer

Questo metodo è definibile "rigoroso" poiché si basa sull'equilibrio dei momenti e sull'equilibrio delle forze agenti. Pone che le forze di interstriscia abbiano tutte la stessa inclinazione rispetto all'orizzontale, per cui si ha:

$$X_i = E_i \cdot \tan \theta$$

In cui:

$\theta$  = inclinazione delle forze interstriscia

La soluzione è ottenuta attribuendo diversi valori a  $\theta$  e calcolando i corrispondenti valori del fattore di sicurezza  $F_f$ , ottenuto dalla formula dell'equilibrio alla traslazione, e  $F_m$ , ottenuto dalla formula dell'equilibrio alla rotazione (v. metodo di GLE/Morgestern e Price). Tracciando l'andamento dei due fattori in funzione dell'inclinazione, il punto di intersezione delle due curve dà il valore del fattore di sicurezza.

### 1.1.7 Metodo di Sarma

Al fine di rendere staticamente determinato il problema Sarma fissa l'intensità delle forze di interstriscia verticali tramite:

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \psi_i$$

In cui:

$\lambda$  = costante scalare

$\psi_i$  = funzione determinata nell'ipotesi che in ogni punto del lato della striscia sia raggiunta la condizione di rottura.

Si determinano, quindi, i coefficienti dimensionali:

$$K_c = \frac{\sum D_i + \lambda \sum \psi_i \cdot \text{tg}(\phi_i - \alpha_i)}{\sum W_i}$$

$$\lambda = \frac{-\sum D_i (y_i - y_G)}{\sum \psi_i [(x_i - x_G) + (y_i - y_G) \text{tg}(\phi - \alpha_i)]}$$

In cui:

$x_i$  e  $y_i$  = bracci in direzione orizzontale e verticale

$\alpha_i$  = inclinazione della base della striscia

$W_i$  = peso della striscia i-esima

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio

Riducendo i valori della coesione e dell'angolo d'attrito per dei prefissati valori del fattore di sicurezza si calcolano i corrispondenti valori di  $K_c$ . Ripetendo il calcolo si traccia un diagramma avente F in ascissa e  $K_c$  in ordinata. Dall'intersezione con l'asse delle ascisse si ricava il valore finale del fattore di sicurezza del pendio.

## 1.2 Inserimento interventi

I tipi di intervento che è possibile inserire in IS GeoPendii sono:

- Tiranti attivi e passivi
- Terre rinforzate
- Muri
- Gradonature
- Palificate

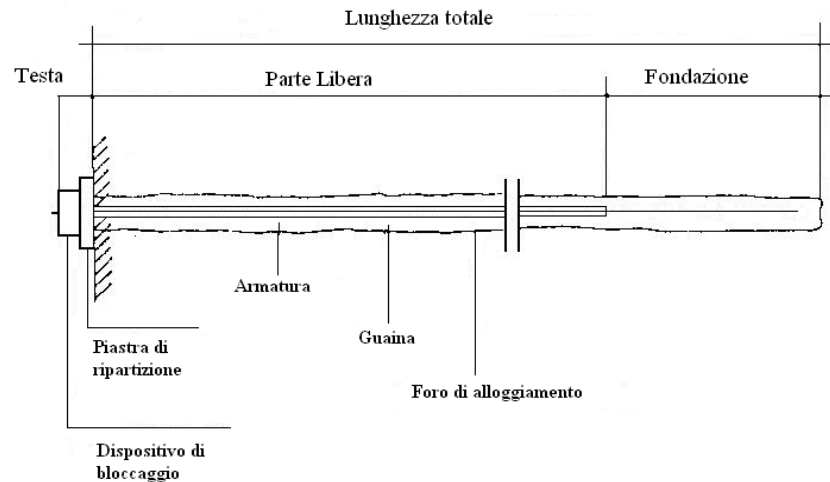
Si può decidere se considerare oppure no il contributo e l'effetto degli interventi nel calcolo del fattore di sicurezza. Ciò è fatto per aumentare le combinazioni di calcolo e per rendere questo, in alcuni casi, più rapido.

### 1.2.1 Tiranti

L'installazione dei tiranti prevede l'esecuzione di un foro all'interno del quale viene inserita un'armatura di acciaio costituita da barre, trefoli o fili in acciaio ad alta resistenza, di lunghezza variabile. Il saldo legame con l'ammasso circostante è garantito da un'iniezione a bassa o alta pressione di malte cementizie, resine o altri leganti.

Tali elementi hanno lunghezza notevole, anche superiore ai 10 m, lavorano a trazione e trasmettono forze all'ammasso circostante in modo da mobilitarne la resistenza al taglio totalmente, o parzialmente. Il funzionamento si basa sulla trasmissione di una forza nota poiché l'armatura è tesata, in modo stabilito, da

un martinetto in superficie. La pretensione impressa all'elemento ha l'effetto di incrementare le forze resistenti e diminuire quelle instabilizzanti, assicurando deformazioni contenute e l'assenza di fratture per trazione. Questi elementi sono messi in opera con una spaziatura pari ad almeno 2 m affinché non ci sia interferenza tra i bulbi di fondazione, cosa che farebbe sì che due tiranti si comportino come uno solo.



**Figura 1. 2** Rappresentazione schematica di un tirante di ancoraggio

Un tirante di ancoraggio è formato da tre parti funzionali (v. Figura 1.2):

- **Testa d'ancoraggio:** è l'insieme di elementi con cui la struttura viene ancorata alla roccia, è in acciaio ed è formata da un dispositivo di bloccaggio, unico per tutti gli elementi o multiplo, e da una piastra di appoggio, a cui possono essere associati blocchi in calcestruzzo o travi in acciaio in caso di tensioni di notevole entità.
- **Lunghezza libera:** è il tratto compreso tra la testa di ancoraggio e la fondazione e rappresenta la parte che può allungarsi liberamente quando avviene il tensionamento. Deve avere una dimensione tale da oltrepassare il piano di scivolamento nell'ammasso. Il suo ruolo è quello di trasmettere la tensione di trazione dalla testa al bulbo.
- **Fondazione o bulbo d'ancoraggio:** è la zona avente il compito di trasmettere la tensione di trazione del tirante alla roccia mediante l'iniezione di malta cementizia o resina che va ad avvolgere l'armatura ed a riempire il foro. La lunghezza del bulbo è determinata dalle proprietà geotecniche del terreno e dalla capacità del tirante; varia da 4 a 10 m.

I **tiranti passivi** non vengono pretensionati ed agiscono incrementando, a lungo termine, le forze stabilizzanti agenti sulla superficie di rottura, questo dopo la deformazione del terreno a monte. La variazione del fattore di sicurezza è espressa dalla seguente espressione:

$$F = \frac{Forze_{stab} + \sum T \cdot \cos \theta}{Forze_{dest}}$$

In cui:

$T$  = resistenza allo sfilamento del tirante

$\theta$  = angolo che il tirante forma con la perpendicolare alla base della striscia

I **tiranti attivi** vengono pretensionati fino al raggiungimento della resistenza allo sfilamento. L'installazione dell'opera riduce le forze tangenziali instabilizzanti agenti sulla superficie di rottura, la variazione del fattore di sicurezza è espressa dalla seguente espressione:

$$F = \frac{Forze_{stab}}{Forze_{dest} - \sum T \cdot \sin \theta}$$

In cui:

$T$  = resistenza allo sfilamento del tirante

$\theta$  = angolo che il tirante forma con la perpendicolare alla base della striscia

I **tiranti parzialmente attivi** vengono pretensionati fino ad un valore minore della resistenza massima allo sfilamento. L'installazione dell'opera riduce le forze tangenziali instabilizzanti e incrementa, a lungo termine, le forze stabilizzanti agenti sulla superficie di rottura; la variazione del fattore di sicurezza è espressa dalla seguente espressione:

$$F = \frac{Forze_{stab} + \sum (T - P) \cos \theta}{Forze_{dest} - \sum P \cdot \sin \theta}$$

In cui:

$T$  = resistenza allo sfilamento del tirante

$P$  = pretensionamento del tirante

$\theta$  = angolo che il tirante forma con la perpendicolare alla base della striscia

La grandezza  $T$  viene calcolata con la formula di Bustamante e Doix.

### 1.2.2 Terre rinforzate

Le strutture in terra rinforzata sono utilizzate correntemente per stabilizzare scarpate artificiali e pendii. Parlando di terra rinforzata si vuole intendere un materiale composito che combina insieme la resistenza di due materiali diversi per avere delle caratteristiche migliori. A tale scopo vengono utilizzati geogriglie e geosintetici:

- terra rinforzata con geogriglie: prevede l'inserimento nel terreno di elementi planari costituiti da polietilene oppure da poliesteri, aventi resistenza a trazione determinata dalla loro geometria costruttiva ( $\approx 40$  kN/m)
- terra rinforzata con geosintetico:
  - tessuto non tessuto: feltri senza resistenza a trazione, aventi funzione drenante, separazione di due strati di materiale diverso, impedimento della migrazione di fine tra due strati di terreno;
  - tessuto: elevata resistenza a trazione, funzione anche drenante e filtrante. Presentano trama ed ordito e vanno inseriti secondo la direzione di minor estensibilità.

In presenza di tali rinforzi in seguito all'applicazione di uno sforzo verticale si ha una deformazione del terreno ed un allungamento dell'elemento di rinforzo. Ciò genera una resistenza a trazione da cui si ricava uno sforzo orizzontale che confina i granuli di terreno, aumentando la resistenza e riducendo le deformazioni in direzione orizzontale.

I vantaggi delle terre rinforzate consistono nel basso costo dell'opera, nel miglioramento della stabilità e nella possibilità di costruire direttamente su terreni a bassa capacità portante.

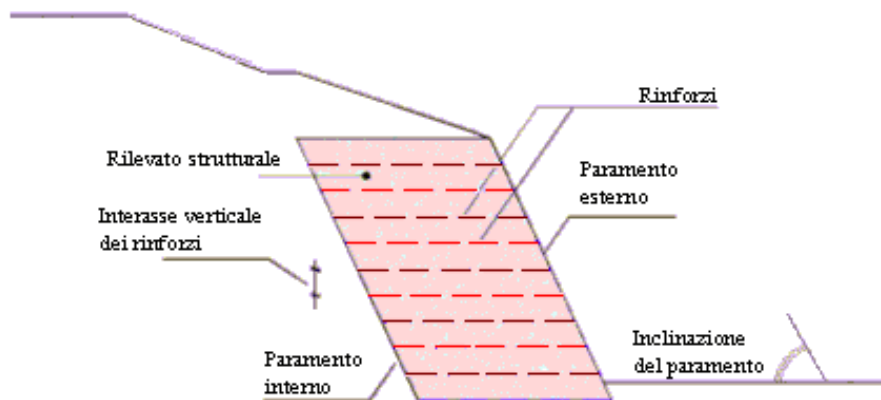


Figura 1. 3 Schematizzazione di una terra rinforzata

Gli elementi di rinforzo influenzano il coefficiente di sicurezza complessivo del pendio; bisogna tenere conto della tensione o resistenza massima di progetto, della posizione, della lunghezza della lunghezza e dell'interazione con le varie superfici di scivolamento. La variazione del fattore di sicurezza, data da una componente orizzontale e da una verticale, è espressa dalla seguente formula:

$$F = \frac{Forze_{stab} + \sum T_i (\sin^2 \theta + \cos^2 \theta \cdot tg \phi)}{Forze_{dest}}$$

In cui:

$\theta$  = angolo tra il rinforzo e la base della striscia

$T_i$  = minimo tra la resistenza unitaria a trazione ( $T$ ) e la resistenza allo sfilamento ( $P_r$ ) data dalla seguente espressione:

$$P_r = 2 \cdot f_b \cdot tg \phi \cdot \sigma_v' \cdot \alpha \cdot L_a$$

In cui:

$f_b$  = coefficiente di interazione suolo – geogriglie/geosintetico, varia tra 0,5 e 1,0.

$\sigma_v'$  = tensione efficace verticale

$\alpha$  = fattore di scala nella ripartizione dello sforzo lungo tutta la lunghezza dell'ancoraggio, variabile tra 1,0 e 0,6.

$L_a$  = valore minore tra la lunghezza dell'ancoraggio a destra ed a sinistra della superficie di scivolamento.

### 1.2.3 Muri

I muri a gravità hanno l'esigenza di avere una sezione interamente reagente e la risultante delle azioni esterne deve ricadere entro il terzo medio; per questo motivo, quindi, la base è solitamente pari ad 1/3 o a 2/3 dell'altezza. I movimenti che il muro subisce sono di tipo rigido e la deformabilità della struttura è trascurabile, ciò rende il problema staticamente determinato e per risolverlo sono sufficienti le equazioni di equilibrio.

Le forze che agiscono sono:

- la spinta attiva;
- il peso proprio.

La resistenza passiva che agisce a valle del muro è solitamente trascurata perché il terreno può essere asportato o subire cicli di imbibizione e di essiccamento, per cui diventa difficile determinare i parametri di resistenza.

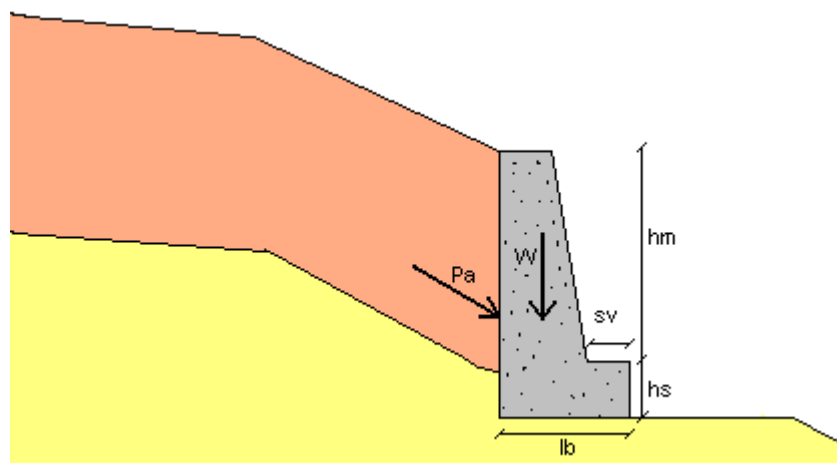
Tali opere di stabilizzazione vanno considerate nella verifica di stabilità di un pendio per il loro effetto di sovraccarico verticale  $S_v$ , sia per l'azione di contenimento che esercitano sul terreno a monte (spinta attiva).

$$S_o = S_v \left( 1 + P_{a,v} \cdot \frac{S_v}{W_{muro}} \right)$$

In cui:

$W_{muro}$  = peso del muro

$P_{a,v}$  = spinta attiva del terreno in direzione verticale



**Figura 1. 4** Schematizzazione di un muro

Il muro va inserito al di sopra della superficie topografica ed i suoi punti non devono ricadere all'interno della stratigrafia; in caso di errato posizionamento il contributo dell'opera non verrà considerato in fase di calcolo. La schematizzazione non prevede la presenza di una mensola a monte.

Quest'azione di contenimento va tenuta in conto solo nei casi in cui le superfici di scivolamento si trovino al di sotto dell'opera e va ad incidere, in particolare, sulle strisce che si trovano al di sotto dell'opera. La variazione del fattore di sicurezza è data dalla seguente equazione:

$$F = \frac{Forze_{stab} + \sum S_o \cdot \cos \alpha_i}{Forze_{dest} + \sum S_o \cdot \sin \alpha_i}$$

In cui:

$\alpha_i$  = inclinazione della base del concio i-esimo

### 1.2.4 Gradonature

Per quanto riguarda il profilo della sezione trasversale del pendio i parametri geometrici significativi sono l'altezza totale ( $H_t$ ) e l'angolo globale del fronte ( $\alpha_f$ ). La riduzione di quest'ultimo, ai fini della sicurezza, è spesso ottenuta con la profilatura mediante gradoni.

La gradonatura del fronte consiste nella creazione di berme o gradoni intermedi di dimensioni opportune, che vanno ad interrompere l'andamento originario del pendio. Bisogna determinare le dimensioni dei gradoni, affinché non abbiano problemi di stabilità. La larghezza ( $h_g$ ) non deve essere minore di 4-5m e l'altezza ( $H_g$ ) non deve essere maggiore del doppio della larghezza. Tali misure vanno scelte in funzione delle caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso, dello scopo della gradonatura e del sistema di manutenzione previsto.

La presenza di una gradonatura aumenta il fattore di sicurezza poiché si ha, in superficie, un terreno avente delle caratteristiche migliori rispetto a quello sottostante, e poiché si ha un'inclinazione minore del fronte. La riprofilatura del fronte non incide particolarmente sulle condizioni di stabilità nel caso in cui vi sia una superficie di scorrimento profonda, mentre è significativa su quelle superficiali e tanto più il terreno riportato ha caratteristiche di resistenza elevate.

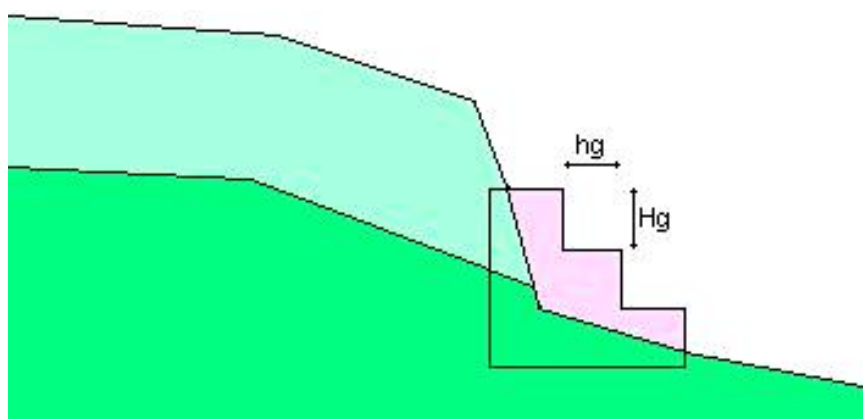


Figura 1. 5 Schematizzazione di una gradonatura

### 1.2.5 Palificate

Le palificate sono piuttosto utilizzate negli interventi di stabilizzazione dei versanti. I pali che intersecano le potenziali superfici di scorrimento, danno un contributo alle azioni resistenti esercitando una forza orizzontale, e permettono di aumentare il valore del fattore di sicurezza.

Per calcolare questo contributo è stato utilizzato il metodo di Ito e Matsui (1981), che ipotizzano pali sottoposti a carichi noti ed assimilabili a travi su suolo elastico al di sopra delle superfici di scivolamento. Le sollecitazioni esercitate dal terreno sono contenute dall'azione esercitata dai pali e valutate in base alle dimensioni degli stessi, al loro interasse ed alle caratteristiche del terreno che si trova a monte. Con questo metodo possono essere inserite diverse file di pali, supponendo che non vi sia interazione tra essi.

Viene calcolata la funzione della distribuzione della forza, variabile con la profondità, che agisce sulla palificata.

$$p(z) = c \cdot A \left( \frac{1}{N_\phi \cdot \text{tg}\phi} (E - 2N_\phi^{0,5} \cdot \text{tg}\phi - 1) + B \right) - c(D_1 B - 2D_2 N_\phi^{-0,5}) + \frac{\sigma}{N_\phi} (AE - D_2)$$

In cui:

$$N_\phi = \text{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$A = D_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{N_\phi^{0,5} \text{tg}\phi + N_\phi - 1}$$

$$B = \frac{2 \cdot \text{tg}\phi + 2 \cdot N_\phi^{0,5} + N_\phi^{-0,5}}{N_\phi^{0,5} \cdot \text{tg}\phi + N_\phi - 1}$$

$$E = \exp \left( \frac{D_1 - D_2}{D_2} N_\phi \cdot \text{tg}\phi \cdot \text{tg} \left( \frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \right)$$

$c$  = coesione media del terreno a monte

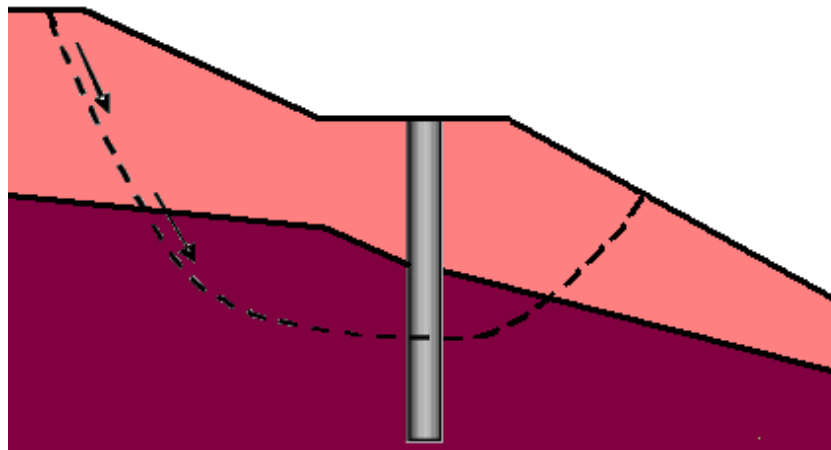
$\phi$  = angolo di attrito medio del terreno a monte

$\sigma$  = tensione totale calcolata alla quota  $z$

$D$  = diametro pali

$D_1$  = interasse tra i pali

$D_2$  = apertura tra i pali



**Figura 1. 6** Schematizzazione di una palificata

La forza orizzontale agisce tra la cima del palo ed il punto in cui questo interseca la superficie di scivolamento, il suo andamento è trapezio e la spinta totale è data dalla seguente espressione:

$$F_p = \frac{\int_0^H p(z) dz}{D_1}$$

Per tenere conto dell'effettivo grado di mobilitazione gli autori hanno proposto di dividere il valore di  $F_p$  per il fattore di sicurezza e di introdurlo all'interno del calcolo iterativo del fattore di sicurezza.



### 1.3 Normativa (caso statico)

Di seguito vengono illustrate le documentazioni normative vigenti riguardanti gli aspetti geotecnici della progettazione, a livello europeo (Eurocodice 7) ed a livello italiano (D.M. 11 marzo 1988: 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), NTC 2008 e NTC 2018.

Per quanto riguarda l'Eurocodice 7 si fa riferimento al Capitolo 11, dedicato alla stabilità globale ed ai movimenti nel terreno, mentre, per quanto riguarda la norma italiana, ci si sofferma sulle sezioni G ed O, trattanti la stabilità dei pendii e gli ancoraggi.

#### 1.3.1 Eurocodice 7

La versione definitiva della normativa geotecnica europea (EN 1997-1) si applica agli aspetti geotecnici della progettazione di costruzioni e di opere di ingegneria civile, occupandosi dei requisiti per la resistenza, della stabilità, della funzionalità e della durabilità delle strutture.

L'Eurocodice 7 introduce inoltre tre diversi approcci di progettazione per lo stato limite ultimo, ognuno dei quali usa coefficienti di sicurezza e combinazioni differenti: Approccio 1, 2 e 3.

- **Approccio 1**

Deve essere verificato che lo stato limite da rottura o di eccessiva deformazione non accada con una delle seguenti combinazioni di gruppi di fattori parziali:

Combinazione 1:  $A1'' + M1'' + R1$

Con coefficienti parziali  $A1$  sulle azioni e coefficienti unitari  $M1$  sulle caratteristiche del terreno.

Combinazione 2:  $A2'' + M2'' + R1$

Con coefficienti parziali  $M2$  sulle caratteristiche di resistenza del terreno e coefficienti sulle azioni  $A2$  unitari tranne nel caso delle azioni variabili;  $\gamma_E$  e  $\gamma_R$  sono unitari.

È evidente che una delle due combinazioni determina il progetto, ma differenti combinazioni possono essere critiche per i diversi aspetti dello stesso progetto.

- **Approccio 2**

Deve essere verificato che lo stato limite da rottura o di eccessiva deformazione non accada con la seguente combinazione di gruppi di fattori parziali:

Combinazione:  $A1'' + M1'' + R2$

In questo approccio i fattori parziali  $A1$  sono applicati alle azioni o agli effetti delle azioni, i coefficienti  $R2$  sono applicati alle resistenze del terreno e sono unitari i coefficienti  $M1$  relativi alle caratteristiche di resistenza.

- **Approccio 3**

Deve essere verificato che lo stato limite da rottura o di eccessiva deformazione non accada con la seguente combinazione di gruppi di fattori parziali:

Combinazione:  $A1^* \text{ o } A2^{\wedge} + M2'' + R3$

\* sulle azioni strutturali

$\wedge$  sulle azioni geotecniche

In questo approccio i fattori parziali R3 sull'effetto delle azioni e sulla resistenza sono unitari, i coefficienti M2 sono relativi alle caratteristiche di resistenza del terreno. Si tratta di un misto delle combinazioni 1 e 2 dell'Approccio 1.

La **verifica del miglioramento** deve essere eseguita controllando che il valore di progetto delle azioni destabilizzanti sia minore o uguale del valore di progetto delle azioni stabilizzanti:

I valori dei coefficienti di sicurezza da utilizzare per il calcolo dei termini precedenti sono riportati nell'Appendice A dell'Eurocodice 7.

### 1.3.2 D.M. 11 marzo 1988

Il D.M. 11 marzo 1988 si applica allo studio della stabilità dei pendii naturali ed al progetto delle opere di stabilizzazione di pendii e frane. Vanno eseguiti dei rilievi piano – altimetrici per definire la superficie del pendio, studi geologici per accertare l'origine e la natura dei terreni, il loro assetto tettonico – strutturale. Vanno inoltre indagate le pressioni dell'acqua nel suolo e nelle discontinuità, la forma e la posizione delle possibili superfici di scivolamento e l'entità degli eventuali spostamenti in atto.

*“Il metodo di calcolo per la verifica della stabilità deve essere scelto tenendo conto della posizione e della forma delle possibili superfici di scorrimento, dell'assetto strutturale, delle caratteristiche meccaniche del terreno, nonché della distribuzione delle pressioni neutre... Il valore del coefficiente di sicurezza sarà assunto dal progettista e giustificato sulla base delle considerazioni relative al livello di conoscenze raggiunto ed al grado di affidabilità dei dati disponibili, alla complessità della situazione geologica e geotecnica, alla esperienza locale su pendii naturali in situazioni simili, nonché alle conseguenze di un'eventuale frana.”*

Si devono esaminare le possibili superfici di scivolamento per trovare quella a cui corrisponda il coefficiente di sicurezza più basso. In base ai calcoli di stabilità deve essere progettato l'intervento di consolidamento, la verifica della cui efficacia deve essere documentata in modo da ottenere un adeguato margine di sicurezza *“Nel caso di terreni omogenei e nei quali le pressioni neutre siano note con sufficiente attendibilità, il coefficiente di sicurezza non deve essere minore di 1,3.”*

Le azioni dovute al terreno, ai sovraccarichi, all'acqua ed al peso proprio dovranno essere combinate in modo da dare la situazione più sfavorevole nei confronti delle verifiche.

La norma prevede lo svolgimento di verifiche di stabilità esterna:

- **verifica allo scorrimento:** tale procedimento di calcolo vuole salvaguardare il manufatto da un possibile scorrimento orizzontale sul piano di posa, prevede che il rapporto tra la somma delle forze resistenti in direzione dello slittamento e le forze instabilizzanti nella stessa direzione sia maggiore o uguale a 1,3;
- **verifica al ribaltamento:** è definita come il rapporto tra il momento delle forze stabilizzanti e quello delle forze ribaltanti e non deve risultare minore di 1,5;
- **verifica al carico limite:** deve tener conto anche dell'inclinazione della risultante delle forze trasmessa al terreno, il coefficiente di sicurezza deve essere maggiore di 2;
- **verifica di stabilità globale:** riguarda la stabilità del terreno in cui è inserita l'opera, nei confronti di uno scorrimento profondo. Il coefficiente di sicurezza deve essere maggiore di 1,3.

### 1.3.3 D.M. 17 gennaio 2018

Le NTC 2018 prevedono un approccio di progettazione “Approccio 1 combinazione 2” ossia A2 + M2 + R2 e un approccio con coefficienti unitari sulle proprietà del terreno, secondo il punto 6.3.4 della Circolare, il valore minimo del coefficiente di sicurezza deve essere scelto e motivato dal progettista.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

## 1.4 Normativa (caso dinamico)

Di seguito vengono illustrate le documentazioni normative vigenti riguardanti il calcolo sismico, a livello europeo (Ordinanza 3274) ed a livello italiano (D.M. 16/01/1996 e Norme Tecniche per le Costruzioni).

### 1.4.1 Ordinanza 3274

L'azione sismica nel caso di stabilità di pendii può essere verificata con metodi semplificati di tipo pseudo-statici che consistono nello stabilire forze di inerzia dovute all'azione sismica agenti in direzione orizzontale:

$$F_H = \pm 0,5 \cdot S \cdot a_g \cdot \frac{W}{g}$$

In cui:

$S$  = fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione;

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima;

$g$  = accelerazione di gravità;

$W$  = il peso complessivo delle masse.

ed in direzione verticale:

$$F_V = \pm F_H$$

Queste devono essere applicate nel baricentro della massa potenzialmente instabile.

Nel caso di strutture importanti erette sopra o in vicinanza di pendii con inclinazione  $>15^\circ$  e dislivello superiore a 30 m si deve aggiungere un incremento dato dal coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  di cui sono raccomandati i seguenti valori:

- $S_T = 1,2$  per siti situati in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;
- $S_T = 1,4$  per siti prossimi alla sommità di profili topografici con larghezza in cresta inferiore alla larghezza della base e pendenza media maggiore di  $30^\circ$ ;
- $S_T = 1,2$  per siti prossimi alla sommità di profili topografici con larghezza in cresta inferiore alla larghezza della base e pendenza media minore di  $30^\circ$ .

### 1.4.2 D.M. 16 gennaio 1996

Tale norma riguarda tutte le opere situate in zone dichiarate sismiche ai sensi dell'art. 3 della legge n. 64 del 2 Febbraio 1974 e la cui sicurezza è di pubblico interesse. Il grado di sismicità, necessario per il calcolo delle azioni sismiche, è riportato dall'apposito decreto ministeriale.

### 1.4.3 D.M. 17 gennaio 2018

L'analisi sismica in IS GeoPendii viene effettuata a partire dai dati definiti nella finestra dedicata alla Normativa nella parte denominata "Azione sismica".

Selezionata la categoria topografica e la categoria di sottosuolo occorre inserire i parametri  $F_0$  ed  $a_g$ ; tramite il tasto "Automatico" è possibile ricavare questi parametri grazie al pannello dedicato "Parametri spettrali NTC18".

Il programma consente di scegliere il coefficiente "beta" tra quanto definito per i pendii e quanto definito per fronti di scavo e i rilevati.

Il valore di "kh" può essere anche assegnato manualmente da parte dell'utilizzatore, mentre la componente verticale "kv" può essere applicata verso l'alto oppure verso il basso, sempre a scelta del progettista.

Coef. proprietà terreno

	Statico	Sismico
Coesione:	$\gamma_c$ 1.000	1.000
Angolo d'attrito:	$\gamma_\phi$ 1.000	1.000
Coesione non drenata:	$\gamma_{cu}$ 1.000	1.000
Peso per unità di volume:	$\gamma_\gamma$ 1.000	1.000

**Azione sismica**

Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, Fo **2.6807**

Accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido, ag **0.3952 m/s<sup>2</sup>**

Categoria topografica **Categoria T2**

Categoria di sottosuolo **Categoria B**

Coefficiente di riduzione dell'accelerazione "beta S"

☒ Tabella 7.11.1 (pendii) **0.2**

☐ Paragrafo 7.11.4 (fronti di scavo e rilevati)

☐ Assegna manualmente il valore di kh: Kh **0.0116**

Componente verticale

☒ Kv in alto (-) ☐ Kv in basso (+)

**Parametri Spettrali NTC 18**

☒ Ricerca per nome località: **Torino [7.6667,45.05]**

Coordinate della località:

Longitudine: **7.6667**

Latitudine: **45.05**

Vita nominale: **50**

Classe d'uso: **Classe II**

Cu: **1.00** Vr: **50**

Stati limite ultimi

SLV: Stato Limite di Salvaguardia della Vita

Tr: **475**

ag: **0.554 m/s<sup>2</sup>**

Fo: **2.7579**

T\*c: **0.27 s**

Stati limite di esercizio

SLD: Stato Limite di Danno

Tr: **50**

ag: **0.2878 m/s<sup>2</sup>**

Fo: **2.5849**

T\*c: **0.1936 s**

Calcolo eseguito correttamente.

☒ Mappa (solo a titolo informativo - necessario collegamento a internet) ☐ Dettaglio ☒ Globale

ID 13570 lon 7.6138 lat 45.091

ID 13571 lon 7.6844 lat 45.095

lon 7.6667 lat 45.05

ID 13792 lon 7.6187 lat 45.041

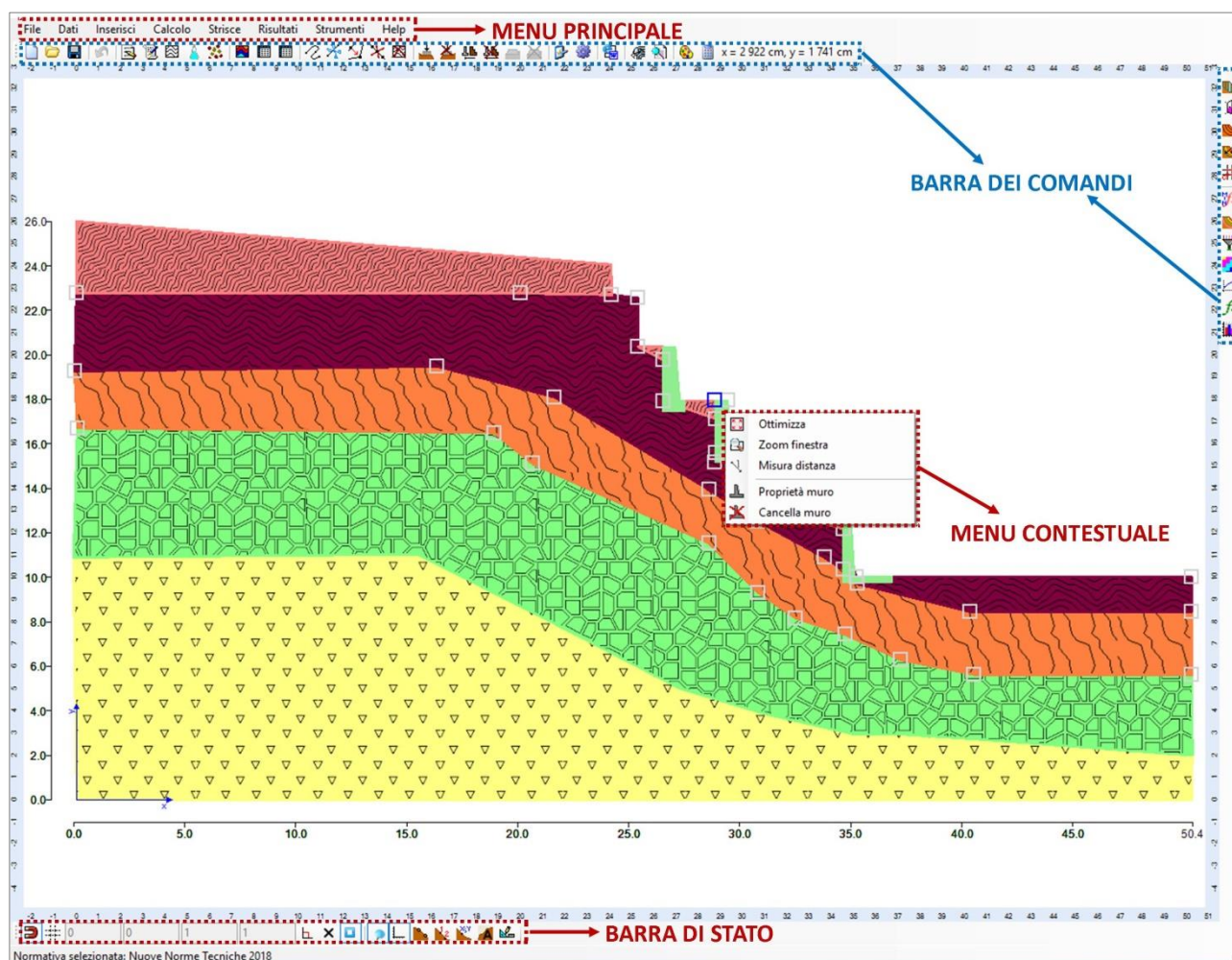
ID 13793 lon 7.6893 lat 45.045

Ogni parametro è liberamente modificabile dall'utente al fine di poter simulare qualsiasi situazione.



## 2 Utilizzo del programma

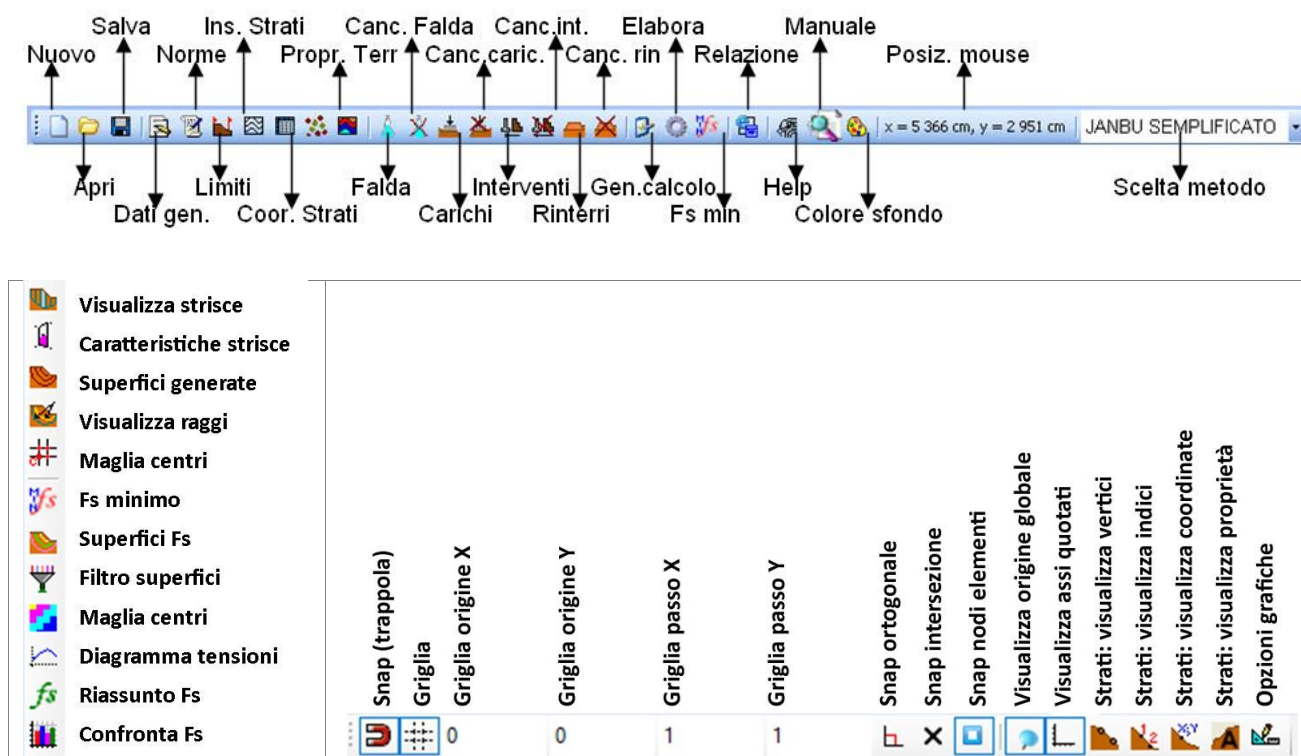
IS GeoPendii offre diverse strade per inserire i dati inerenti la stratigrafia, la falda, i carichi e gli interventi, fornisce numerose rappresentazioni e visualizzazioni dei risultati, adattandosi alle esigenze dell'utente. L'ambiente di lavoro ha la tipica interfaccia dell'ambiente Windows® e, quando il programma viene avviato, appare una finestra come quella illustrata di seguito.



Il **Menu principale** o menu a tendina, in alto a sinistra, dà accesso a tutte le possibilità offerte dal programma così come la barra dei comandi, situata nella linea ad esso sottostante ed in verticale a destra. Nel menu sono riportate diverse voci: *File, Dati, Inserisci, Calcolo, Strisce, Risultati* e *Help*. Sotto la dicitura *File* si trovano i comandi relativi all'apertura e salvataggio del file: *Nuovo, Apri, Salva con nome, Salva* e *Chiudi*. Di qui si può, inoltre, modificare il colore dello sfondo del pannello principale con *Colore sfondo* e procedere alla generazione della relazione di calcolo con *Relazione*. In corrispondenza della voce *Dati* si hanno gli accessi per inserire i dati generali inerenti il pendio e la stratigrafia che lo compone: *Generali, Normativa, Limiti, Inserimento strati, Coordinate strati, Proprietà terreni* e *Assegna proprietà*. Da *Inserisci* si introducono, all'interno della rappresentazione del pendio, falda, carichi, interventi e rinterri, e si procede alla loro rimozione: *Falda, Elimina falda, Carichi, Elimina carichi, Interventi, Elimina Interventi, Rinterri* e *Elimina rinterri*. A partire dalla dicitura *Calcolo* si passa al calcolo del fattore di sicurezza del pendio, scegliendo prima i metodi da utilizzare: *Generali calcolo, Elabora* e *Fs minimo*. Dalla voce *Disegno* si accede a tutte le funzioni del Cad dedicato e si ha *MiniCad, Colore MiniCad, Griglia, Origine, Copia immagine, Salva*

*immagine, Polilinea, Linea, Aggiungi punto, Sposta punto, Vertici, Numero vertici e Coordinate vertici.* Dal menu *Strisce* si ha la visualizzazione delle superficie generate e la loro suddivisione in strisce: *Visualizza, Caratteristiche, Superfici generate, Raggi e Maglia centri*. La possibilità di visualizzazione dei risultati si ha sotto la dicitura Risultati: *Riassunto calcolo, Superfici Fs, Mappa Fs, Filtro superfici, Confronto Fs e Diagramma tensioni*. Infine da *Help* si accede alla guida in linea: *Manuale e Contatti*.

Avvicinandosi ad ogni pulsante delle **barre dei comandi** (riportati in dettaglio qui di seguito) compare un testo contenente una veloce spiegazione della sua funzione. Cliccando questi tasti si può accedere a tutte le funzioni prima elencate per il menu. Entrambe le barre possono essere spostate con un semplice Clic ed un trascinamento.



Il Cad dedicato, il MiniCad, consente di sovrapporre una griglia con passo editabile dall'utente (*Griglia*), si può visualizzarne l'origine e disegnare sopra tramite polilinea (*Polilinea*) o linea (*Linea*). Ad ogni movimento del mouse si possono vedere le sue coordinate nella barra dei comandi superiore (*Posizione mouse*).

La **Barra laterale** consente di accedere a molte funzioni riguardanti le strisce, dalle caratteristiche alla geometria, fino ai fattori di sicurezza. Rappresentazioni grafiche colorate consentono di visualizzare le variazioni dei fattori di sicurezza a seconda delle superfici.

La **Barra di stato** si trova in basso e dà indicazioni sui comandi attivi, sulla normativa selezionata e sulle opzioni di calcolo scelte. Degli utili snap aiutano nel disegno e nell'inserimento di carichi e di interventi.

Una volta inserito il pendio si possono visualizzarne i vertici (*Vertici e Numero vertici*) e le loro coordinate (*coord. Vertici*), gli indici (*indici*) e consente di esaminare le proprietà degli strati.

Il **Menu contestuale** è visualizzabile cliccando il tasto destro del mouse all'interno del MiniCad. A seconda della zona in cui si è cliccato, il menu consente di visualizzare tutti i comandi utilizzabili, tra i quali:

*Ottimizza*: allarga il disegno in modo che occupi l'intero schermo;

*Zoom finestra*: permette di selezionare un'area, che viene poi visualizzata ingrandita;

*Misura distanza*: selezionando due punti sul disegno ne calcola la distanza;

*Chiudi funzione*: se vi è una funzione attiva consente di chiuderla ed uscirne.

*Proprietà "intervento"*: consente di aprire una finestra dedicata alle caratteristiche dell'intervento selezionato.

*Cancella "intervento"*: permette di eliminare l'intervento selezionato.

**Il tasto centrale del mouse** può essere utilizzato per muoversi agevolmente sull'area di disegno, in particolare il *doppio click* gestisce la funzione ottimizza e centra l'immagine all'interno della finestra, il *click trascinando il mouse* permette di spostare la parte dell'immagine su cui si trova il puntatore nella zona voluta della finestra e la *rotazione della rotella* consente di ingrandire e rimpicciolire il disegno a seconda della direzione della rotazione.

All'interno di ogni pannello se vengono introdotti dati errati (ad esempio si scrivono delle lettere là dove andrebbero inseriti dei numeri o vengono digitati valori al di fuori dei limiti previsti) o non vengono inserite delle informazioni viene segnalato l'errore non appena si va col mouse su un'altra casella. A quel punto compare un punto esclamativo di colore rosso e, avvicinandogli il mouse, si può leggere la tipologia di sbaglio. Per quanto riguarda le caselle di testo numeriche e le tabelle, se si verifica un errore nell'editazione, quanto scritto viene colorato di rosso.

## 2.1 Dati generali

In questo pannello si inseriscono notizie generali inerenti il pendio ed il progetto di stabilizzazione da eseguire. Vi si può accedere tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Generali* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la quarta icona a partire da sinistra "Dati generali".

I dati richiesti sono i seguenti:

- Impresa: nome dell'impresa che esegue il lavoro.
- Committente: nome del committente.
- Progetto: nome e tipologia di progetto in esame.
- Progettista: nome del progettista.
- Direttore lavori: nome del direttore dei lavori.
- Località: luogo in cui è stato eseguito il sondaggio.
- Posizione: posizione del pendio, possono essere riportate le coordinate topografiche o una descrizione.



- **Logo**: si può inserire il logo dell'impresa cliccando sul pulsante "Cerca", sullo stesso tasto viene scritto il nome del file scelto e nel piccolo riquadro compare il logo selezionato.
- **Foto caricate**: cliccando sul pulsante "Aggiungi" si possono caricare delle immagini, che compariranno nella relazione di calcolo, insieme alle altre informazioni chieste in questo pannello. Nella casella di testo al di sotto del pulsante "Aggiungi" compaiono elencati i nomi dei file di immagini. Selezionando tali nomi si può vedere l'anteprima dell'immagine nel pannellino situato a sinistra dell'elenco.

## 2.2 Normativa

**Normativa**

**Scelta normativa**

☐ Eurocodice 7 + Ordinanza 3274  
EN 1997-1: la norma fornisce gli elementi fondamentali della progettazione di opere civili.  
Ordinanza 3274 del 08/05/2003: normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

☐ D.M. 1988 + D.M. 1996  
D.M. 11 MARZO 1988: norme tecniche riguardanti le opere geotecniche.  
D.M. 16/01/1996: norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

☐ Norme Tecniche per le Costruzioni 2008  
D.M. 14/01/2008: definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni. Esse forniscono i criteri generali di sicurezza.

☒ Norme Tecniche per le Costruzioni 2018  
D.M. 17/01/2018: definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni. Costituiscono un aggiornamento delle precedenti NTC08.

Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Normativa* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la quinta icona a partire da sinistra "Normativa".

In questo pannello viene scelta la normativa di riferimento per quanto riguarda il calcolo statico ed il calcolo sismico.

Le possibili scelte coprono le normative più aggiornate in campo geotecnico e sono l'Eurocodice 7 e l'Ordinanza 3274, il D.M. 1988 e il D.M. 1996, le NTC 2008 e le NTC 2018.

A seconda della scelta effettuata si apre un'apposita finestra in cui vengono richieste le informazioni necessarie per eseguire il calcolo con la normativa selezionata.

**Il calcolo verrà effettuato per la situazione scelta in questo pannello (statica o sismica).**

### 2.2.1 Norme Europee

Nella finestra dedicata all'Eurocodice 7 e all'ordinanza 3274 si ha una prima parte in cui viene chiesto l'approccio progettuale, di cui si riporta una breve descrizione nella parte destra, ed i coefficienti da applicare alle azioni, alle proprietà dei terreni ed alle resistenze. Di default il programma propone i valori previsti da Norma, ma l'utente può modificarli a suo piacimento.

Nella seconda parte vengono riportati i dati sismici inerenti la zona, la classe, il verso della forza sismica verticale ed il coefficiente di amplificazione topografica.

Cliccando sul pulsante si apre la finestra con i suggerimenti per l'inserimento dei vari coefficienti.

**Norme Europee**

**Eurocodice 7**

☒ Approccio progettuale 1  
☐ Combinazione 1  
☒ Combinazione 2  
☐ Approccio progettuale 2  
☐ Approccio progettuale 3

Coeff. sulle azioni  
Azioni permanenti:  $\gamma_G$  1.00 Suggerimenti

Azioni variabili:  $\gamma_Q$  1.30 Suggerimenti

Coeff. sulle resistenze  
Ancoraggi (tiranti):  $\gamma_A$  1.10

**Ordinanza 3274**

Zona 2 Classe C

☒ Kv in alto (-) ☐ Kv in basso (+)

Coeff. amplif. topografica St 1.00 Suggerimenti

**APPROC. 1 - COMBIN. 2**  
Coefficienti unitari applicati sulle azioni e coefficienti parziali applicati alle caratteristiche di resistenza del terreno.

Coeff. proprietà terreno  
Coesione:  $\gamma_c$  1.25  
Angolo d'attrito:  $\gamma_\phi$  1.25  
Peso per unità di volume:  $\gamma_\gamma$  1.00

## 2.2.2 Norme Italiane (vecchie)

**Norme Italiane**

**D.M. 1988**  
Metodo D.M. LL PP 11 Marzo 1988 per cui le verifiche sono eseguite rispetto ai coefficienti di sicurezza indicati.

Coeff. stabilità globale: 1.30  
Coeff. sfilamento tirante: 1.25  
Coeff. sfilamento terra rinforzata: 3.00  
Coeff. resistenza laterale palo: 2.50

**D.M. 1996**  
Gli effetti sismici sono valutati in modo convenzionale mediante analisi statica di strutture.

☒ Zona sismica ☐ Zona non sismica

Grado di sismicità S: 6

☒ Sisma solo in orizzontale  
☐ Sisma in orizzontale ed in verticale  
☐ Kv in alto (-) ☐ Kv in basso (+)

☒ Conferma ☐ Annulla

Scegliendo il **D.M. 11 Marzo 1988** ed il **D.M. 16 Gennaio 1996** si apre una finestra in cui, nella prima parte, vengono riportati i coefficienti previsti per il soddisfacimento delle verifiche a momento ribaltante, a slittamento, a carico limite ed a spinta passiva; tali valori non sono modificabili.

Nella seconda parte viene richiesto il grado di sismicità per il calcolo della forza sismica, nel caso in cui la zona sia sismica. Bisogna, inoltre, scegliere se applicare la forza sismica solo in direzione orizzontale o anche in direzione verticale. In questo secondo caso il coefficiente utilizzato sarà pari alla metà di quello agente in direzione orizzontale e potrà essere diretto verso l'alto o verso il basso.

## 2.2.3 NTC 2008

**Norme NTC 2008**

**NTC 2008**  
☒ Approccio progettuale 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2)  
☐ Applicazione delle NTC - C6.3.4  
☐ Approccio utente - nome:

Coeff. sulle resistenze (3)  
Coeff. sulle azioni: Coeff. sulle resistenze (1)  
Coeff. proprietà terreno: Coeff. sulle resistenze (2)

Coesione:  $\gamma_c$  1.250  
Angolo d'attrito:  $\gamma_\phi$  1.250  
Coesione non drenata:  $\gamma_{cu}$  1.400  
Peso per unità di volume:  $\gamma_\gamma$  1.000

**Azione sismica**  
Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,  $F_o$ : 2.7579  
Accelerazione orizzontale massima attesa su sito diriferimento rigido,  $a_g$ : 0.554 m/s<sup>2</sup>

Categoria topografica: Categoria T3  
Categoria di sottosuolo: Categoria C

☐ Assegna manualmente il valore di  $k_h$ :  $k_h$  0.0203

**Componente verticale**  
☒ Kv in alto (-) ☐ Kv in basso (+)

☒ Conferma ☐ Annulla

Se si sceglie di applicare le **NTC 2008** bisogna selezionare il tipo di approccio, i coefficienti di sicurezza corrispondenti saranno indicati automaticamente. I valori dei coefficienti potranno essere personalizzati scegliendo l'approccio di tipo "Utente".

Per quanto riguarda l'azione sismica bisogna indicare il valore di  $F_o$ , l'accelerazione orizzontale  $a_g$ , scegliere la categoria topografica e la categoria di sottosuolo.

In alternativa si può utilizzare il tasto con il simbolo del mondo (evidenziato in rosso nell'immagine a lato), che apre il programma per la definizione dei dati sismici in base alla località in cui si trova il pendio oggetto di studio.

In base alle scelte effettuate viene calcolato in automatico, il valore di  $k_h$  oppure può essere inserito un valore "manualmente".

La componente verticale del sisma può essere applicata verso l'alto oppure verso il basso.

## 2.2.4 NTC 2018

Se si sceglie di applicare le NTC 2018 bisogna selezionare il tipo di approccio, i coefficienti di sicurezza corrispondenti saranno indicati automaticamente.

È altresì disponibile un approccio completamente personalizzabile da parte dell'utilizzatore che può indicare tutti i coefficienti.

Per quanto riguarda l'azione sismica bisogna indicare il valore di  $F_0$ , l'accelerazione orizzontale  $a_g$ , scegliere la categoria topografica e la categoria di sottosuolo.

In alternativa si può utilizzare il tasto con il simbolo del mondo (evidenziato in rosso nell'immagine a lato), che apre il programma per la definizione dei dati sismici in base alla località in cui si trova il pendio oggetto di studio.

In base alle scelte effettuate viene calcolato in automatico, il valore di  $k_h$  oppure può essere inserito un valore "manualmente".

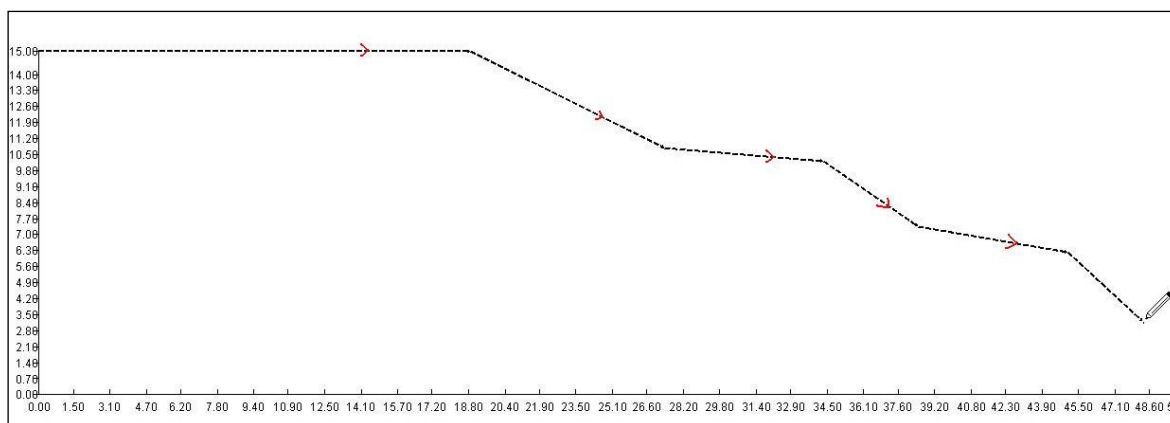
La componente verticale del sisma può essere applicata verso l'alto oppure verso il basso.

## 2.3 Inserimento strati

Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Inserimento strati* oppure dalla barra dei comandi, cliccando l'icona "Inserimento strati".

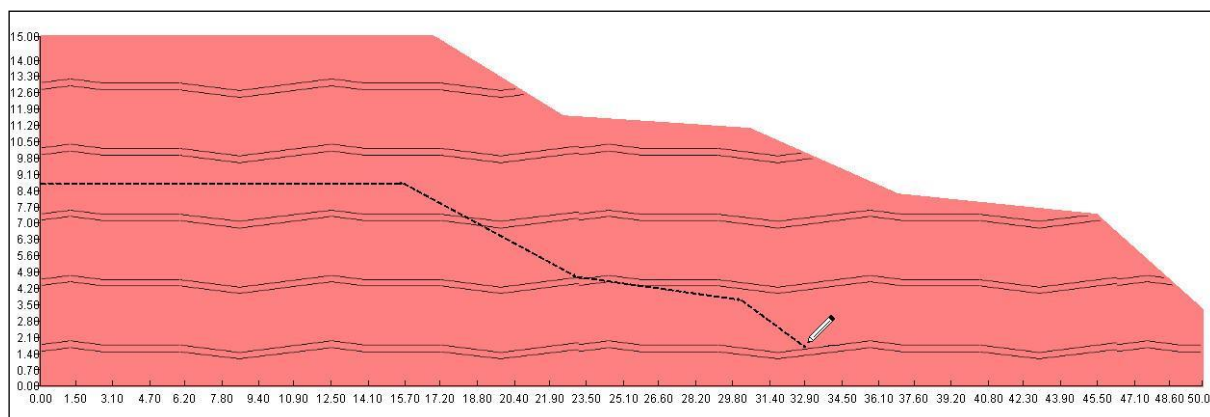
Tramite questo pannellino si decide la modalità di inserimento degli strati:

- Inserisci coordinate: inserimento manuale delle coordinate all'interno di una tabellina;
- Disegna: attiva la possibilità di utilizzare la funzione polilinea per disegnare su schermo;
- Importa da DXF: consente di importare un pendio da un disegno fatto con un CAD e salvato in dxf.



**Figura 2. 1** Disegno del profilo esterno con la modalità polilinea, seguendo la direzione indicata dalla freccia

Per quanto riguarda le prime due opzioni (non l'importazione da .dxf) il disegno del pendio o l'introduzione delle sue coordinate deve essere fatto in senso orario, partendo dal disegno di un contorno esterno. Si deve partire da un punto avente come coordinate l'ascissa minima e l'ordinata massima (precedentemente definiti nel pannello "Limiti") e si procede fino a raggiungere la massima ascissa e la minima ordinata (precedentemente definiti nel pannello "Limiti"), si deve poi tornare, chiudendo la polilinea.



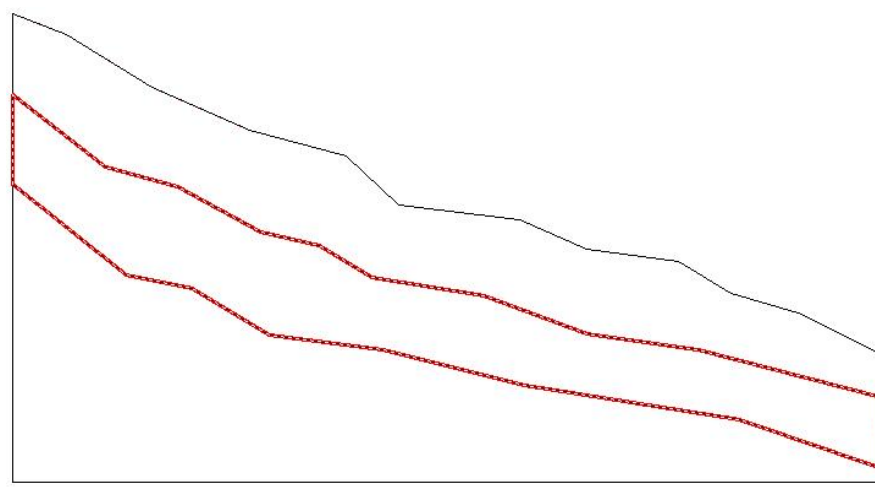
**Figura 2. 2** Disegno del profili esterno con la modalità polilinea

Gli strati successivi vanno inseriti all'interno del primo, sempre procedendo con i punti in senso orario. Un aiuto in caso di inserimento manuale dei punti può essere dato dall'asse graduato, dalle griglie, dagli snap e dalle coordinate del mouse, scritte nella Barra dei comandi superiore.

- **Importa da .dxf:** importa la stratigrafia da un file impostato con un programma di disegno (ad esempio AutoCAD) salvato in formato DXF di AutoCAD 2000.

Il disegno deve essere costituito solo da polilinee chiuse, una polilinea per strato, come evidenziato nel disegno sottostante. I punti di confine tra due strati devono avere le stesse coordinate in entrambe le polilinee ed il numero di punti deve essere uguale.

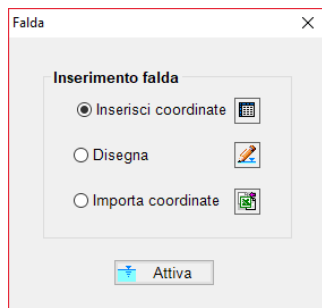
L'unità di misura da utilizzare in AutoCAD è: metri.



Al termine dell'inserimento, in qualunque modo sia avvenuto, sarà possibile vedere le coordinate all'interno di una tabella, accedendo dal menu principale dalla voce "Dati → Coordinate strati" oppure dalla

barra dei comandi, cliccando l'icona "Coordinate strati". Spuntando la dicitura "Visualizza numero vertici" sarà possibile vedere il numero del vertice ed il numero dello strato, separati da un punto e virgola, quando viene cliccato il pulsante "Numero vertici" dalla barra dei comandi o dal menu principale.

## 2.4 Inserimento falda

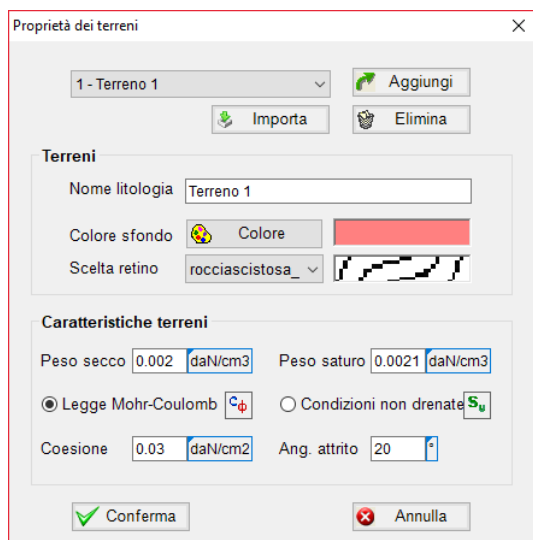


Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce Inserisci → Falda oppure dalla barra dei comandi, cliccando l'icona "Falda".

L'inserimento dei vertici della falda avviene nello stesso modo in cui si inseriscono gli strati, tranne per l'importazione da dxf, che in questo caso non è disponibile.

Si possono incollare le coordinate da Excel, avendole suddivise in due colonne, una per le ascisse ed una per le ordinate. Selezionando una o più righe, cliccando poi sul tasto rosso "E" si elimina quel numero di righe. Se non si seleziona niente viene eliminata l'ultima riga in basso. Cliccando, invece, il tasto verde "A" si aggiunge una riga al di sopra della riga selezionata oppure in fondo alla tabella se non c'è alcuna riga selezionata.

## 2.5 Proprietà terreni



Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce Dati → Proprietà terreni oppure dalla barra dei comandi, cliccando l'icona "Proprietà terreni".

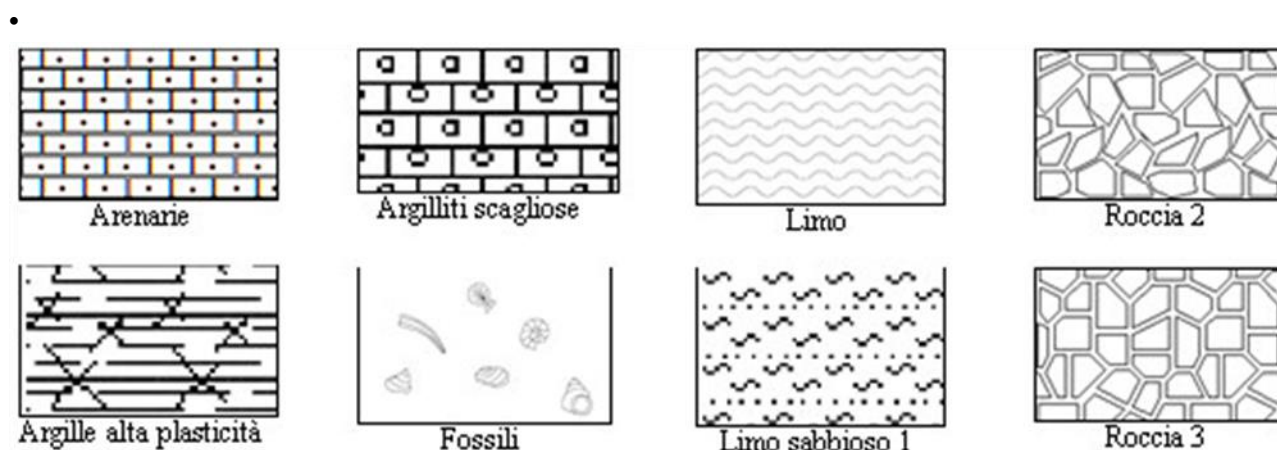
In questo pannello vengono salvati i dati di numerose litologie e vengono scelti i colori ed i riempimenti con cui verranno rappresentate.

Il tasto "Importa" consente di importare i terreni definiti nel programma DBStrati di IS ProGeo.

I dati richiesti sono i seguenti:

- **Nome litologia:** descrizione della litologia del terreno;
- **Colore sfondo:** cliccando questo tasto si apre il pannellino di scelta dei colori;
- **Scelta retino:** scorrendo la freccia nella casella si può

scegliere il riempimento tra tutti quelli disponibili per le varie litologie e vederne l'anteprima. Si può scegliere anche il retino vuoto. I riempimenti disponibili sono riportati di seguito:







Argille bassa plasticità



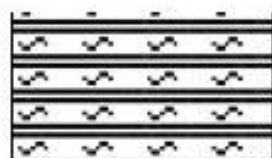
Ghiaia 1



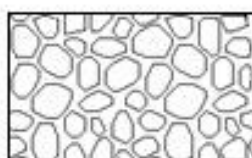
Limo sabbioso 2



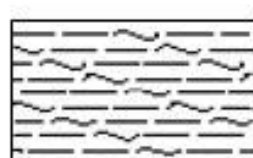
Roccia 4



Argilla limosa



Ghiaia 2



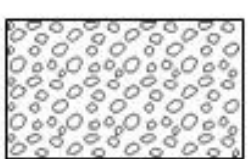
Limo argilloso



Roccia 5



Argilla marnosa



Ghiaia 3



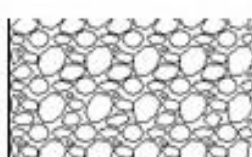
Marna



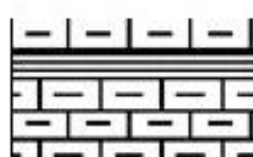
Roccia 6



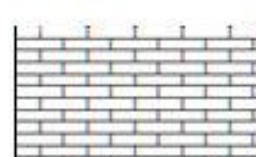
Argilla media plasticità



Ghiaia 4



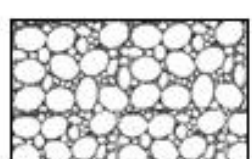
Marna argillosa



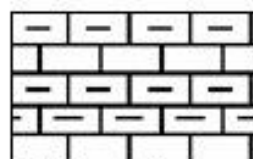
Roccia calcarea



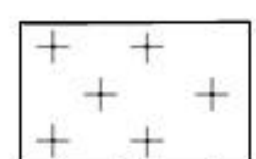
Argilla sabbiosa



Ghiaia eterometrical



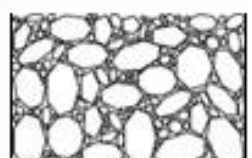
Marna calcarea



Roccia ignea 1



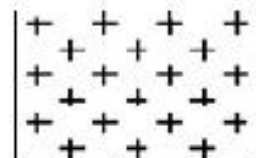
Argilliti



Ghiaia eterometrica2



Roccia 1



Roccia ignea2



Roccia ignea 2



Sabbia grossa1



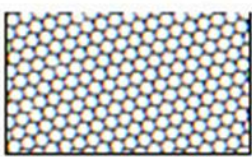
Terra 1



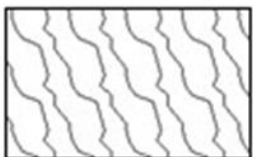
Terreno vegetale 1



Roccia scistosa 1



Sabbia grossa2



Terra 2



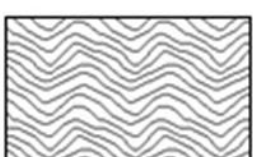
Terra vegetale 2



Roccia scistosa 2



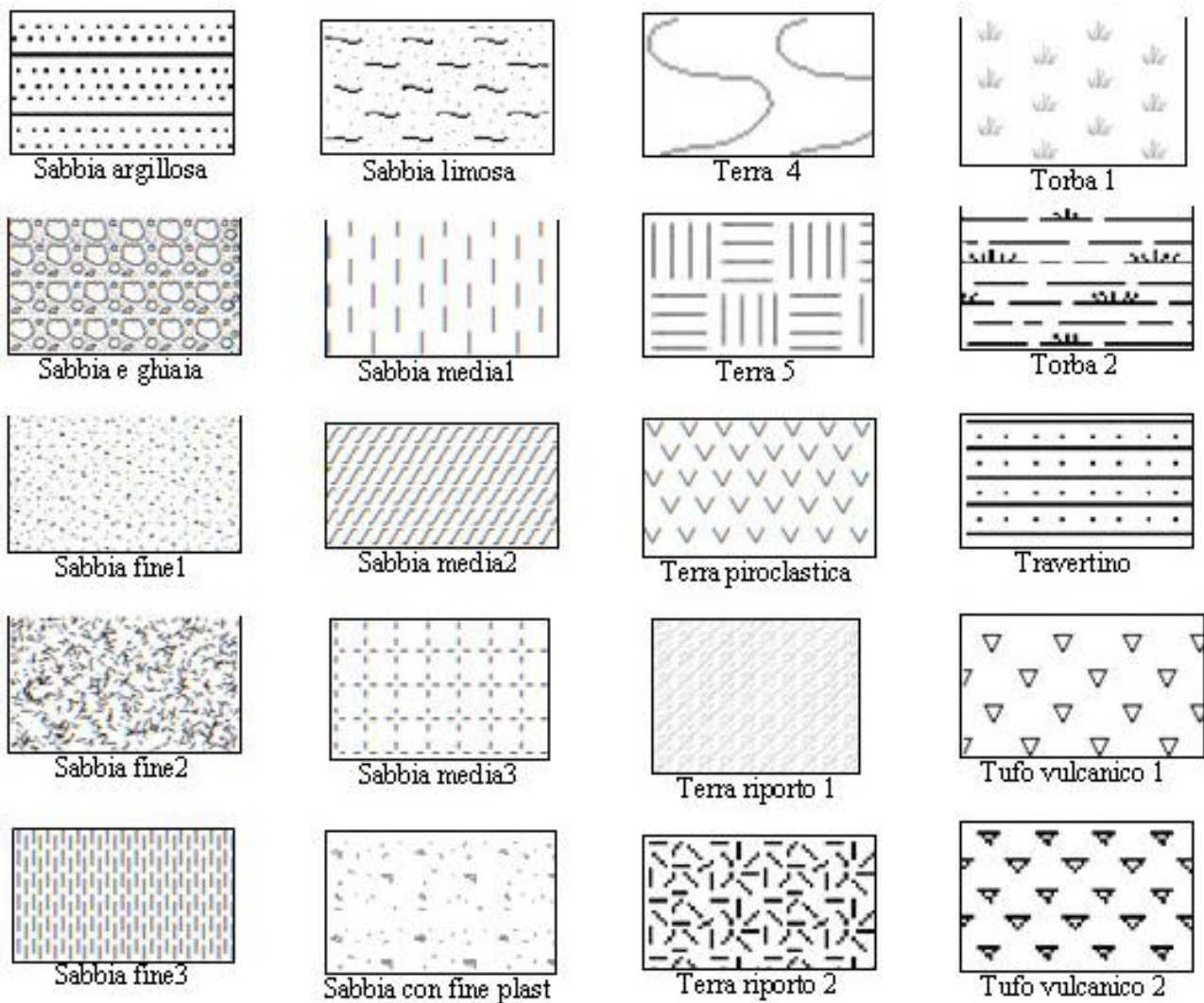
Sabbia grossa3



Terra 3



Terreno organico



Le caratteristiche da indicare sono:

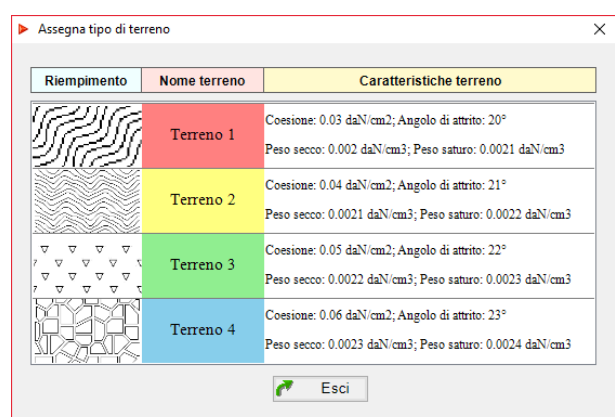
- Peso secco: peso secco del terreno;
- Peso saturo: peso saturo del terreno;
- Scelta tra legge di Mohr Coulomb e comportamento non drenato: vengono richiesti coesione e angolo di attrito del terreno nel primo caso e coesione non drenata nel secondo caso.

Infine si può scegliere se considerare o no la presenza della falda in quel terreno.

## 2.6 Assegnazione proprietà terreno

Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Assegna proprietà* oppure dalla barra dei comandi, cliccando l'icona "Assegna proprietà".

Nella finestra sono riassunte le principali caratteristiche di ciascun terreno: riempimento, colore, coesione, angolo di attrito, peso secco e peso saturo. Cliccando un terreno lo si può trascinare all'interno dello strato voluto, assegnandogli così le caratteristiche di quel terreno.



## 2.7 Coordinate strati e falda

	Nome	Terreno	X	Y
1		5) TGNa (tufo giallo napoletano)	-0.128679620303447	10.9023901429338
2		4) Cap (cappellaccio tufo giallo)	15.3838782934137	11.0323836450041
3		3) Psb2 (piroclastite)	22.2302027357806	7.56589025646393
4		2) Psb1 (piroclastite)	27.1699558144503	5.00935138241557
5		1) RP (riporto)	30.9397673744877	3.88274103114002
6		1) RP (riporto)	35.0995594407359	2.92945534929147
7		1) RP (riporto)	37.3053925455399	2.93339536737846
8		1) RP (riporto)	40.4921012791127	2.72911916650841
9		1) RP (riporto)	50.2513024641965	1.99674730314752
10			50.2375180958643	0
11			0	0

Il pannello si apre dal menu principale alle voci “Dati → Coordinate strati”, qui si possono trovare le coordinate strato per strato. Tramite i tasti “A” e “E” è possibile aggiungere e eliminare punti, con il tasto “Incolla da Excel” si incollano le coordinate da un foglio di calcolo. Stessa cosa vale anche per la falda.

## 2.8 Comandi di inserimento strati tramite disegno

Nel menu dati sono presenti delle funzioni di disegno strati all’interno del CAD interno:



**Polilinea:** funzione che consente di disegnare la stratigrafia tramite polilinee.

**Aggiungi punto:** con il mouse è possibile aggiungere vertici all’interno di uno strato.

**Sposta punto:** con il mouse è possibile trascinare un vertice, cambiandone così le coordinate. Sono presenti aiuti come lo “snap” e la “griglia”.

**Elimina punto:** permette di eliminare vertici all’interno di uno strato.

**Elimina strato:** funzione che consente di cancellare gli strati con un semplice click del mouse.

## 2.9 Carichi

Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Inserisci → Carichi* oppure dalla barra dei comandi, cliccando l'icona “Carichi”.

I carichi possono avere diversa distribuzione spaziale, intensità ed inclinazione variabili.

Il loro inserimento è semplice e può avvenire con il mouse, oppure indicandone le coordinate da tastiera. L’ordinata può essere determinata automaticamente dal programma come punto più alto sul pendio per una determinata ascissa.

I dati richiesti sono i seguenti:

- **Carico**
  - **Nome carico:** nome del carico;
  - **Attiva carico:** spuntando la casella il carico in questione verrà inserito.
  - **Colore:** colore con cui viene disegnato;
- **Caratteristiche carico**
  - **Distribuzione:** concentrato o variabile;
  - **Intensità:** valore iniziale e finale, se positivo il carico è diretto verso il basso, se negativo il carico è diretto verso l’alto;
  - **Durata del carico:** permanente o variabile.



- Direzione carico
  - **Normale al profilo;**
  - **Orizzontale;**
  - **Verticale;**
  - **Inclinato:** occorre indicare un angolo di inclinazione.
- Ascisse carico
  - **x iniziale;**
  - **x finale.**
- Ordinate carico
  - **y iniziale;**
  - **y finale.**

Cliccando il pulsante “Assegna” si va a posizionare il carico con il mouse, se si è selezionato “Con mouse”, oppure si vede direttamente il carico disegnato sul pendio se si sono indicate le coordinate “Da tastiera”.

Il carico può essere eliminato cliccando l'icona “Elimina carico” e selezionando con il mouse il carico voluto, oppure dal menu contestuale da “Elimina carico”.

## 2.10 Interventi



Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce “Inserisci → Interventi” oppure dalla barra dei comandi, cliccando l'icona “Interventi”.

In questa finestra si hanno tutti gli interventi che sono stati definiti e l'indicazione di quanti sono stati riportati sul pendio; di qui si può andare a modificarne le caratteristiche e ad inserirli sul pendio.

Per l'inserimento bisogna cliccare la riga corrispondente all'intervento scelto e, con il trascinamento, posizionarlo nel punto del pendio desiderato. In automatico l'intervento viene messo nel punto avente ascissa data dal punto in cui si è rilasciato il mouse ed ordinata data dal valore massimo delle y nel pendio per quella determinata x. Per spostare l'intervento bisogna cliccare, tramite il menu contestuale “Proprietà”, e modificare le coordinate cambiandole entrambe manualmente, oppure correggendone una e lasciando che l'altra venga modificata automaticamente dal programma. Su ogni pannello delle proprietà dell'intervento sono riassunte le principali caratteristiche dello stesso.

### 2.10.1 Tiranti

I dati richiesti sono i seguenti:

- Nome tirante;
- Lunghezza libera;
- Lunghezza sigillata;
- Inclinazione;
- Interasse;
- Area resistente;
- Diametro perforazione;
- Tiro applicato;

- Tensione d'esercizio;
- Tipo iniezione: si può scegliere tra il metodo IGU (Iniezione Globale Unica) ed il metodo IRS (Iniezione Ripetuta Selettiva);
- Terreno di fondazione: si può scegliere tra alcune litologie (sabbia fina, sabbia limosa, argilla, limo, marna,...);
- SPT medio o Pressione limite di Menard;
- Colore: colore con cui va rappresentato sul pendio.

Il numero di tiranti definiti può essere aumentato o diminuito rispettivamente con i tasti “Aggiungi” e “Elimina”. Ad ogni modifica delle caratteristiche geometriche il disegno cambia proporzionalmente e vengono corrette le quote.

Nella parte destra della finestra viene riportato il riassunto delle verifiche eseguite: la verifica tensionale, che è soddisfatta se il rapporto tra il tiro applicato al tirante e l'area resistente del tirante è minore della tensione d'esercizio, e la verifica allo sfilamento, che è positiva se il tiro applicato al tirante è inferiore alla resistenza totale del bulbo.

## 2.10.2 Muri

I dati richiesti sono i seguenti:

- Nome muro;
- Base muro;
- Altezza muro;

- Inclinazione valle;
- Altezza suola;
- Lungh. suola valle: larghezza della suola a valle;
- Peso di volume muro;
- Coesione muro - terreno;
- Angolo di attrito muro - terreno;
- Inclinazione del terreno a monte;
- Colore.

Il numero di muri definiti può essere aumentato o diminuito rispettivamente con i tasti “Aggiungi” e “Elimina”. Ad ogni

modifica delle caratteristiche geometriche il disegno cambia proporzionalmente e vengono corrette le quote.

### 2.10.3 Terre rinforzate

I dati richiesti sono i seguenti:

- Nome terra rinforzata;
- Tipo di rinforzo utilizzato: a scelta tra geogriglie e geotessuti;
- Colore;
- Numero rinforzi: numero di rinforzi sulla sezione verticale;
- Interasse rinforzi: distanza tra i rinforzi nella sezione verticale;
- Lunghezza rinforzi;
- Lunghezza risvolto;
- Inclinazione della base;
- Coeff. Cpo: coefficiente di interazione suolo/rinforzo, per sfilamento (pullout), è variabile a seconda del tipo di rinforzo ed è indicato nella caratteristiche tecniche dello stesso. Varia tra 0.5 e 1.0, se non lo si conosce si pone 0.75;
- Coeff. Cds: coefficiente di interazione suolo/rinforzo, per scivolamento diretto (direct sliding), è variabile a seconda del tipo di rinforzo ed è indicato nelle caratteristiche tecniche dello stesso. Usualmente varia tra 0,5 e 1,0, se non lo si conosce si pone 0.75;
- Coeff. scala: varia tra 0.6 e 1.0, se non si sa si pone 0.8;
- Resistenza a trazione;
- Fattore res. Traz.
- Caratteristiche terreno fondazione, terreno rinforzato (interno) e terreno sostenuto:
  - **Coesione**;
  - **Angolo di attrito**;
  - **Peso per unità di volume**.
- Sovraccarico:
  - **Carico**: carico distribuito sul rilevato, considerato SOLO per le verifiche INTERNE e ESTERNE. Può essere Permanente o Variabile.

The screenshot displays the 'Terre rinforzate' software interface. On the left, a diagram shows a cross-section of a reinforced earth wall with a width of 400.0 and a height of 500.0. The main panel contains input fields for various parameters:

- Nome terra rinforzata:** Terra rinforzata 1
- Tipo rinforzo utilizzato:** Geogriglie
- Colore:** (visual representation of the reinforcement material)
- Caratteristiche terra rinforzata:**
  - Numero rinforzi: 5
  - Interasse rinforzi: 100 cm
  - Lunghezza rinforzi: 400 cm
  - Lunghezza risvolto: 0 cm
  - Inclinazione: 0°
  - Coeff. Cpo: 0.75
  - Coeff. Cds: 0.75
  - Coeff. scala: 0.8
  - Resist. a trazione: 40 kN/m
  - Fattore res. traz.: 2.5
- Terreno fondazione / Sovraccarico:**
  - Terreno rinforzato (interno): 0.03 daN/cm<sup>2</sup>
  - Angolo attrito: 20°
  - Peso: 0.002 daN/cm<sup>3</sup>

On the right, the 'Verifiche esterne' and 'Verifiche interne' sections provide calculation results:

**Verifiche esterne**

Eccentricità [m]	0.48 (L/6 = 0.67)
Ribaltamento [daN*cm], Fs	6 956 522/1 923 932 = 3.62
Scorrimento [daN], Fs	10 588/12 333 = 0.859
Capacità portante [daN/cm <sup>2</sup> ], Fs	0.9/1.3 = 0.68

**Verifiche interne**

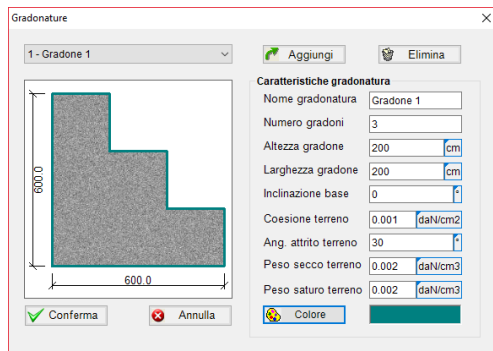
Livello	Quota [cm]	Scorrimento diretto [daN], Fs	Trazione [daN], Fs	Sfilamento [daN], Fs
1	0.00	5 824/12 333 = 0.47	1 067/2 674 = 0.40	6 988/2 674 = 2.61
2	100.00	4 659/7 625 = 0.61	1 067/4 504 = 0.24	4 542/4 504 = 1.01
3	200.00	3 494/4 044 = 0.86	1 067/3 378 = 0.32	2 620/3 378 = 0.78
4	300.00	2 329/1 589 = 1.47	1 067/2 252 = 0.47	1 222/2 252 = 0.54
5	400.00	1 165/260 = 4.47	1 067/1 267 = 0.84	349/1 267 = 0.28

Buttons for 'Conferma' (Confirm) and 'Annulla' (Cancel) are at the bottom.

Il numero di terre rinforzate definite può essere aumentato o diminuito rispettivamente con i tasti “Aggiungi” e “Elimina”. Ad ogni modifica delle caratteristiche geometriche il disegno cambia proporzionalmente e vengono corrette le quote.

Nella parte laterale destra della finestra sono riportate le “Verifiche esterne” (eccentricità, ribaltamento e corrisponde fattore di sicurezza, scorrimento e corrispondente fattore di sicurezza, capacità portante e corrispondente fattore di sicurezza) e le “Verifiche interne” (scorrimento diretto con il fattore di sicurezza, trazione con il fattore di sicurezza e sfilamento con il fattore di sicurezza) alle varie quote.

## 2.10.4 Gradonature



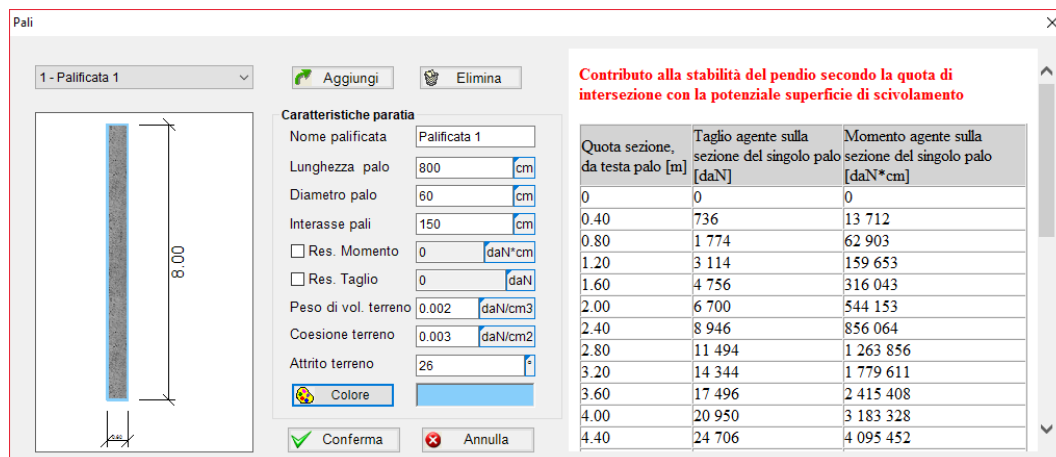
I dati richiesti sono i seguenti:

- Nome gradonatura;
- Numero di gradoni;
- Altezza gradone;
- Larghezza gradone;
- Inclinazione base;
- Coesione terreno;
- Angolo di attrito terreno;
- Peso secco terreno;

- Peso saturo terreno;
- Colore.

Il numero di gradonature definite può essere aumentato o diminuito rispettivamente con i tasti “Aggiungi” e “Elimina”. Ad ogni modifica delle caratteristiche geometriche il disegno cambia proporzionalmente e vengono corrette le quote.

## 2.10.5 Palificate



I dati richiesti sono i seguenti:

- Nome palificata
- Lunghezza palo
- Diametro palo
- Interasse pali

Si possono indicare:

- **Res. Momento:** resistenza a momento flettente della sezione del singolo palo
- **Res. Taglio:** resistenza a taglio della sezione del singolo palo

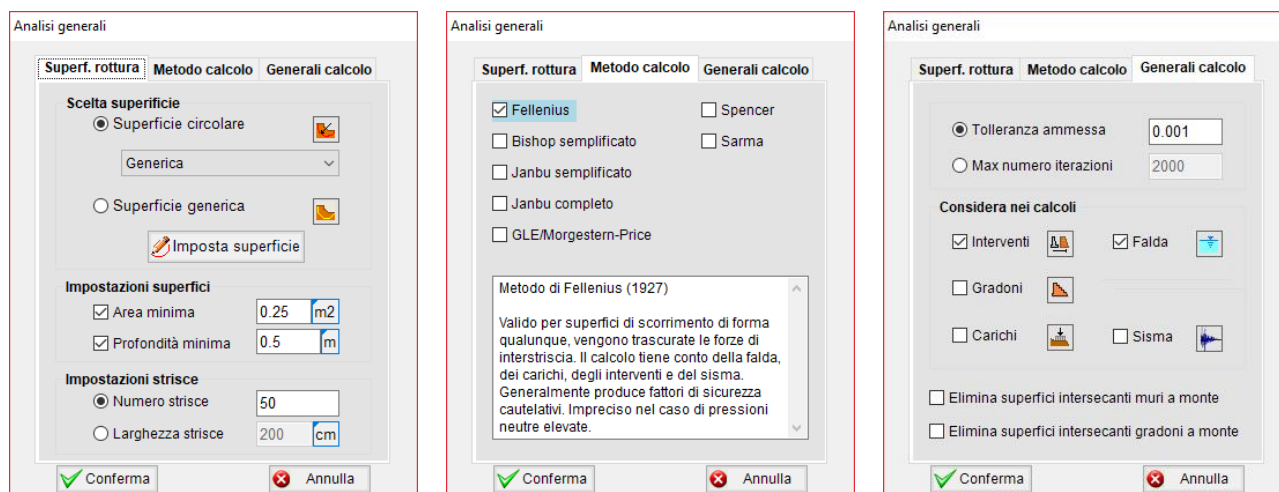
Caratteristiche del terreno a monte della palificata:

- Peso di volume medio del terreno
- Coesione media del terreno
- Angolo di attrito del terreno

Il numero di palificate definite può essere aumentato o diminuito rispettivamente con i tasti “Aggiungi” e “Elimina”. Ad ogni modifica delle caratteristiche geometriche il disegno cambia proporzionalmente e vengono corrette le quote.

Nella parte destra della finestra dedicata all'intervento palificata è riportato il contributo alla stabilità del pendio secondo la quota di intersezione con la potenziale superficie di scorrimento. In una tabella sono riportati il momento e il taglio agenti sulla sezione del singolo palo alle varie quote dalla testa del palo in giù.

## 2.11 Generali calcolo



Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Calcolo* → *Generali Calcolo* oppure dalla barra dei comandi, cliccando l'icona a partire da sinistra “Generali calcolo”.

In questa finestra si sceglie la tipologia di superfici da generare tra circolare e generica e, nel caso di superficie circolare, questa potrà essere Generica, Passante per un punto, Passante per due punti, Limitata a monte e a valle, Tangente o Sopra ad un segmento.

In “Impostazioni superfici” si può definire un valore minimo dell’area delle superfici e una profondità minima di queste (tali opzioni sono attivabili dall’utente).

In “Impostazioni strisce” si può definire un valore minimo del numero delle strisce o una larghezza minima di queste (tali opzioni sono attivabili dall’utente).

Nella parte dedicata al “Metodo di calcolo” sono poi elencati i metodi di calcolo utilizzabili (per ognuno dei quali è disponibile una breve descrizione) ed è possibile sceglierne uno o più di uno ed effettuare la verifica con vari metodi in contemporanea.

Nella parte “Generali calcolo” poi viene chiesta una tolleranza ammessa o un numero massimo di iterazioni, se considerare la presenza di: Interventi, Falda, Gradoni, Carichi e Sisma all’interno del calcolo; ciò consente di avere numerose combinazioni di calcolo senza dover cancellare degli elementi sul pendio. **Ogni calcolo farà l’analisi per la situazione scelta in questo pannello.** Infine si può scegliere di eliminare le superfici che intersecano a monte eventuali muri o gradoni poiché la verifica di queste superfici non rientra negli scopi di questo programma.

Per definire le superfici di rottura, aventi forma circolare, bisogna creare la maglia di centri data dalle coordinate dell’origine, dal passo della griglia, dal numero di intervalli in direzione x ed y e dalla rotazione della maglia stessa.

Occorre, poi, indicare il valore iniziale del raggio e scegliere se questo sarà costante o variabile. Nel secondo caso si dovrà indicare il valore dell’incremento ed il numero di incrementi.

Nel caso di superfici passanti per un punto o per due punti vanno indicate le coordinate del punto o dei punti di passaggio; nel caso, invece, di superfici limitate a monte ed a valle occorre indicare le ascisse limite. Infine, per le superfici tangenti ad un segmento, bisogna riportare le coordinate dei punti costituenti il segmento.

Per definire la superficie generica occorre indicare le coordinate della stessa o definirle, tramite mouse, direttamente sul pendio. Definita la linea spezzata si indica il numero di superfici da generare, la distanza tra queste e se la traslazione, rispetto alla superficie di partenza, dovrà essere fatta verso l’alto oppure verso il basso.

Alla chiusura del pannello vengono disegnate sul pendio, le superfici generate. Una casellina di messaggio comunica il numero di centri e di superfici di rottura totali oppure solo il numero di superfici, nel caso in cui la loro forma non sia circolare.

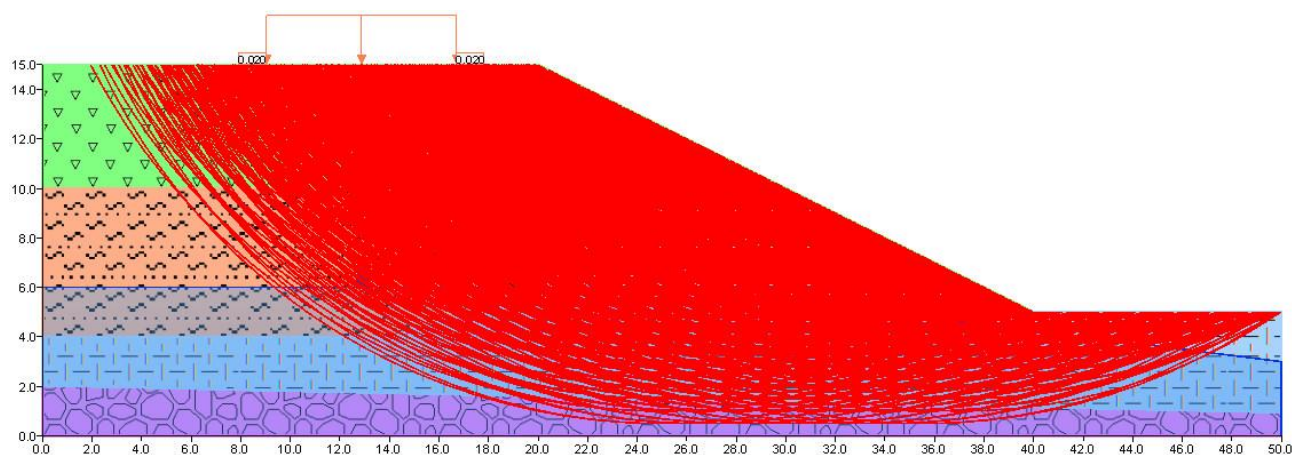


Figura 2. 3 Rappresentazione delle superfici generate di forma circolare



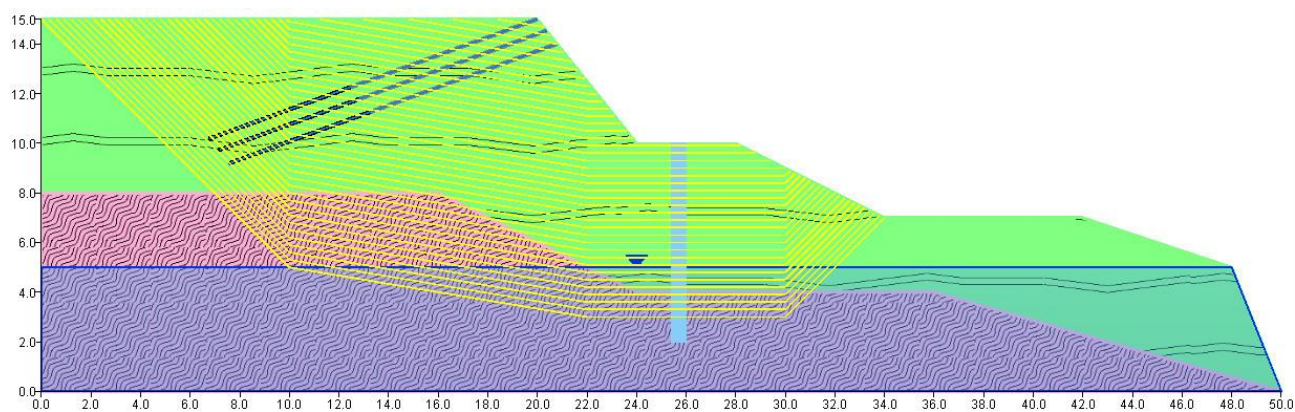
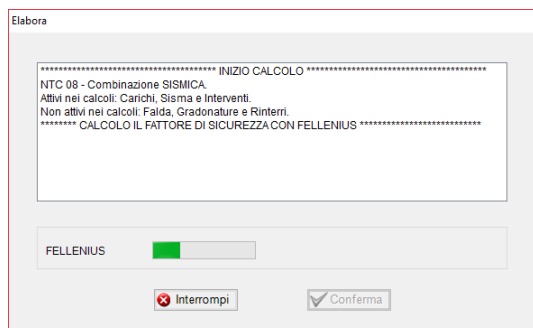


Figura 2. 4 Rappresentazione delle superfici generate di forma generica

## 2.12 Elabora

Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Calcolo* → *Elabora* oppure dalla barra dei comandi, cliccando l'icona "Elabora".



Il calcolo ha inizio subito dopo l'apertura e lo si può seguire nello svolgersi, guardando gli opportuni indicatori a tacchette verdi che si riempiono, e leggendo quanto scritto nella casella di testo superiore.

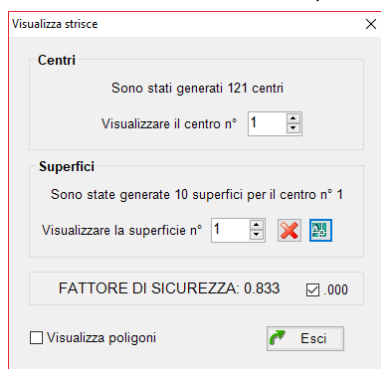
Al termine del calcolo si può chiudere il pannello e visualizzare il fattore di sicurezza critico e la superficie corrispondente per ogni metodo di calcolo scelto.

**Il calcolo viene eseguito unicamente per la situazione in esame, che può essere di tipo statico o dinamico, con o senza interventi, falda, carichi, ecc.**

**L'utente deve aver cura di eseguire più analisi fino ad identificare la situazione più gravosa.**

## 2.13 Visualizza strisce

Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Strisce* → *Visualizza* oppure dalla barra dei comandi laterali, cliccando l'icona "Visualizza strisce".



Bisogna scegliere il centro e la superficie e contemporaneamente si visualizzano il centro, evidenziato di verde sulla maglia dei centri, e la superficie, sempre di colore verde, suddivisa in strisce o in poligoni (se è stata spuntata la richiesta "Visualizza poligoni").

Cliccando il tasto "Elimina" viene eliminata la superficie visualizzata e, nel caso questa fosse la superficie con fattore di sicurezza minore, ne viene trovata un'altra con fattore di sicurezza più basso. Se è già stato effettuato il calcolo del fattore di sicurezza si può leggerne il valore corrispondente ad ogni superficie.

Il tasto azzurro accanto salva in DXF la superficie scelta con la sua suddivisione in strisce.

## 2.14 Caratteristiche strisce

Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Strisce* → *Caratteristiche* oppure dalla barra dei comandi laterali, cliccando l'icona "Caratteristiche strisce".

Se non è stato effettuato il calcolo all'interno del pannello vi è una sola linguetta ed è quella che riguarda la geometria della striscia. In caso contrario è presente anche la linguetta che riporta le sollecitazioni agenti.

**Caratteristiche strisce**

Visualizzare: Striscia 24

**Geometria** Sollecitazioni

Estremi striscia

x1	18.017477 m	y1	15.507936 m
x2	18.254916 m	y2	15.247156 m
x3	18.254916 m	y3	24.528563 m
x4	18.017477 m	y4	24.547702 m

Base striscia

Larghezza: 23.74 cm

Inclinazione: 47.7°

Lunghezza: 35.27 cm

Centro n°: 1 Superf. n°: 1

Raggio sup.: 1875 cm

Esci

**Caratteristiche strisce**

Visualizzare: Striscia 24

**Geometria** Sollecitazioni

Forze totali agenti

W: 33.1318 kN H: 2.4214 kN

U: 0 kN

T: 9.8612 kN N: 20.5147 kN

Caratteristiche alla base

Coesione: 0 daN/cm2

Ang. attrito: 25.6730°

Forze interstriscia

Es: 0 kN Es: 0 kN

Xs: 0 kN Xs: 0 kN

Esci

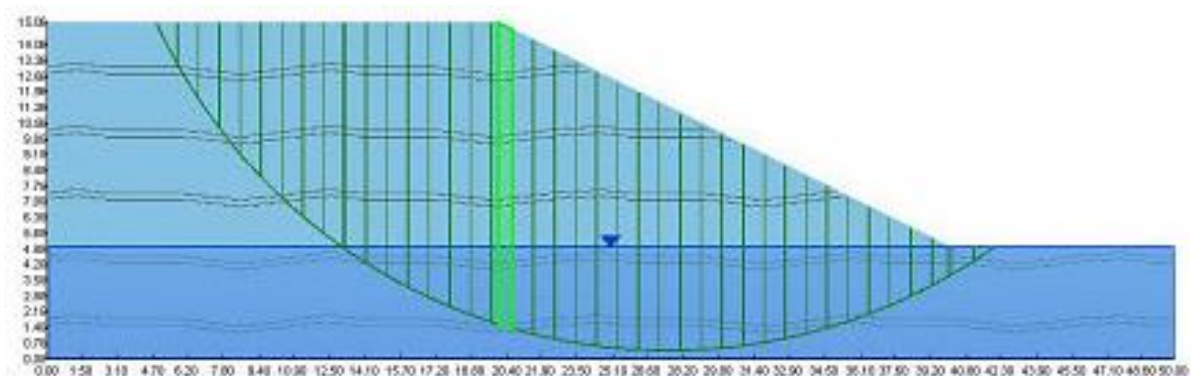
Nella prima linguetta "Geometria" sono riportati:

- Le coordinate x e y degli estremi della striscia;
- La larghezza della base della striscia;
- L'inclinazione della striscia;
- La lunghezza della base della striscia;
- Il numero del centro;
- Il numero della superficie;
- Il raggio della superficie.

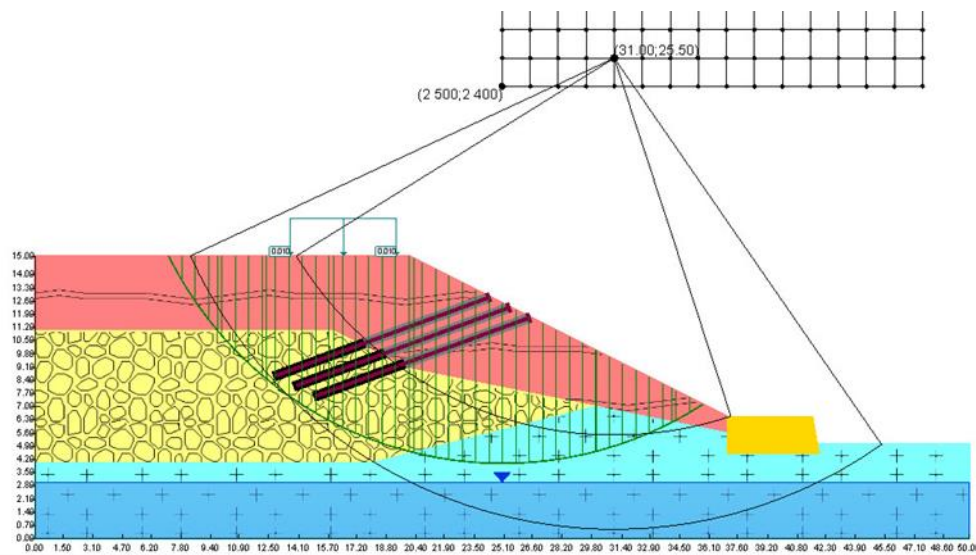
Nella seconda linguetta "Sollecitazioni" sono riportati:

- Le forze agenti (verticale, orizzontale e la pressione dell'acqua);
- Lo sforzo tangenziale T;
- Lo sforzo normale N;
- La coesione alla base;
- L'angolo di attrito alla base;
- Le forze interstriscia orizzontali e verticali (che alcuni metodi pongono nulle).

Mentre si scorrono le strisce sul pannellino, sul pendio quelle stesse strisce vengono evidenziate.

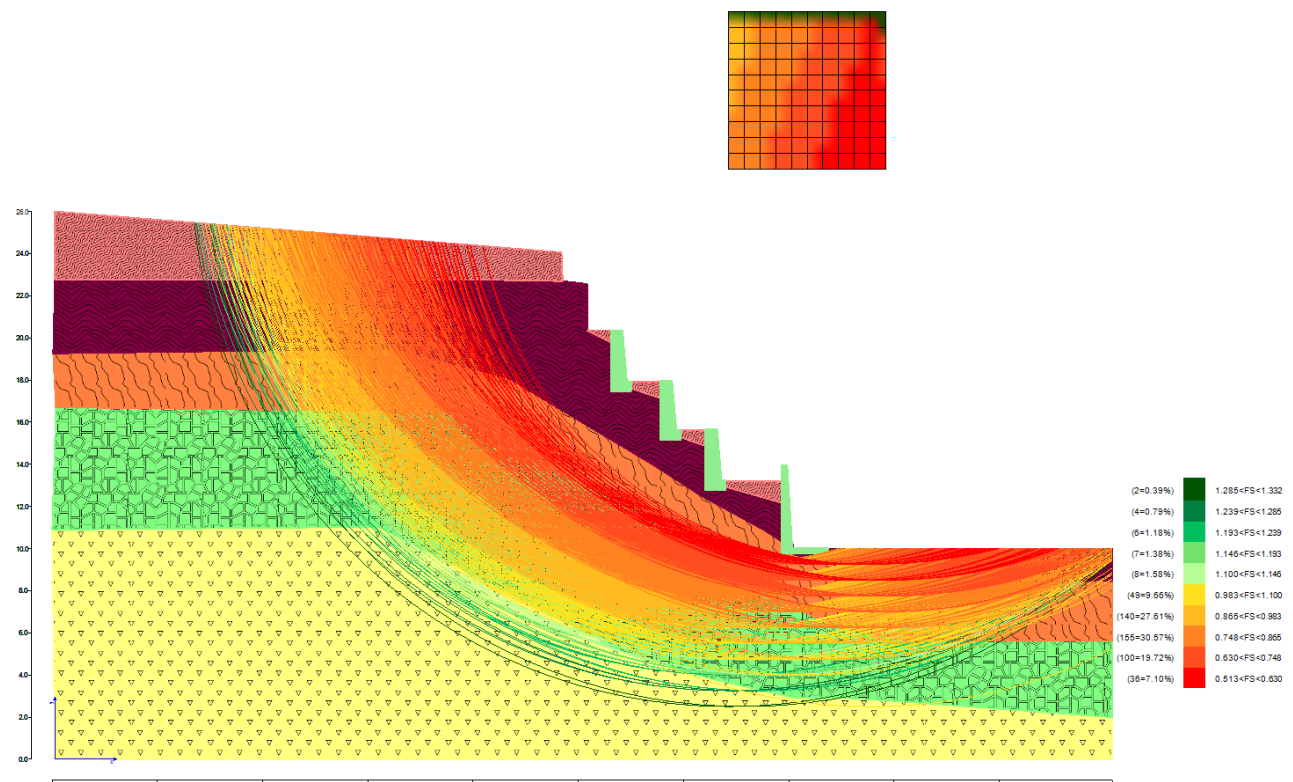


## 2.15 Visualizza raggi



Questa funzione viene attivata dalla voce *Strisce* → *Raggi* oppure dalla barra dei comandi laterali, cliccando l'icona "Visualizza raggi". Bisogna cliccare un centro all'interno della maglia dei raggi e si possono visualizzare il raggio minimo ed il raggio massimo, generati da quel punto, ed i corrispondenti valori del fattore di sicurezza, se è già stato effettuato il calcolo.

## 2.16 Superfici Fs e Mappa Fs



Questa funzione viene attivata dalla voce *Calcolo* → *Superfici Fs* oppure dalla barra dei comandi laterali alla voce "Superfici Fs".

Le superfici vengono colorate a seconda del fattore di sicurezza che le caratterizza. A destra è riportata la scala di colori, che parte dal rosso, che corrisponde al fattore di sicurezza critico, fino ad arrivare al verde scuro, che corrisponde al fattore di sicurezza massimo. Si ha il verde, in varie tonalità, per tutte le superfici verificate. Accanto ai quadratini colorati sono scritti i range di variazione del fattore di sicurezza (a destra) e il numero di superfici che vi appartiene con la relativa percentuale rispetto al totale (sulla sinistra).

Cliccando dal menu principale alla voce *Calcolo* → *Mappa Fs* oppure l'icona della barra dei comandi laterali "Mappa Fs" la maglia dei centri si colora a seconda del fattore di sicurezza più basso di ogni centro, seguendo sempre i colori dal rosso al verde.

## 2.17 Filtro superfici

Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Calcolo* → *Filtro superfici* oppure dalla barra dei comandi laterali, cliccando l'icona "Filtro superfici".

Filtrare le superfici

**Superfici a video**

☒ Le 10 superfici con fattore di sicurezza minore

☐ Superfici con fattore di sicurezza minore di: 1.332

☐ Superfici con fattore di sicurezza maggiore di: 0.513

☐ Superfici aventi ascissa a monte pari a: -12.87 cm

☐ Superfici aventi ascissa a valle pari a: 5025.13 cm

☐ Superfici aventi l'area minore di: 0 cm<sup>2</sup>

☐ Superfici aventi l'area maggiore di: 0 cm<sup>2</sup>

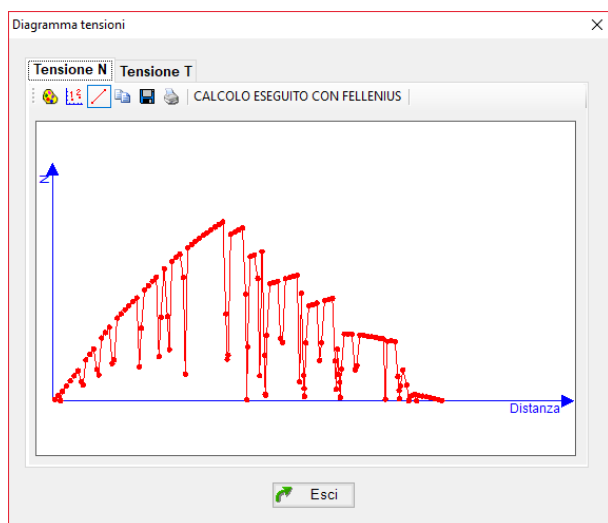
Conferma  Annulla

Di qui si decide quali superfici visualizzare:

- Le n superfici con fattore di sicurezza minore;
- Superfici con fattore di sicurezza minore di un valore definibile dall'utente;
- Superfici con fattore di sicurezza maggiore di un valore definibile dall'utente;
- Le superfici aventi una certa ascissa a monte;
- Le superfici aventi una certa ascissa a valle;
- Le superfici aventi l'area minore di un certo valore;
- Le superfici aventi l'area maggiore di un valore.

## 2.18 Diagramma tensioni

Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Calcolo* → *Diagramma tensioni* oppure dalla barra dei comandi laterali, cliccando la ventiquattresima icona a partire dall'alto "Diagramma tensioni".

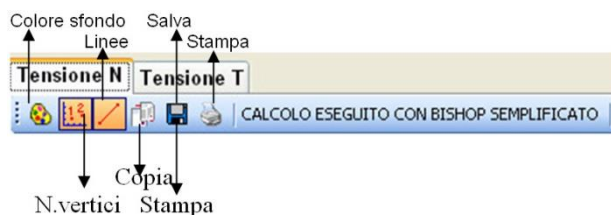


In questa finestra si visualizza un diagramma avente sull'asse delle ascisse le distanze e sull'asse delle ordinate le tensioni normali e le tensioni tangenziali agenti sulla base delle strisce. Cliccando sui punti si legge il valore della tensione.

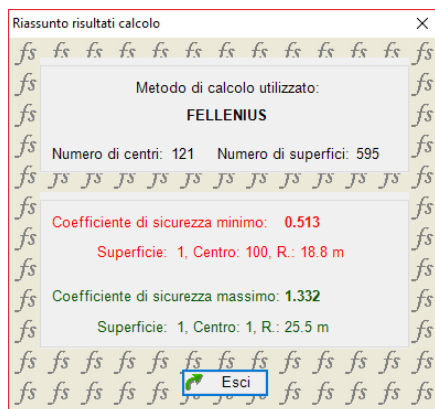
Il grafico dà la possibilità di inserire i numeri dei punti e le linee che li collegano e di variare il colore dello sfondo, in modo indipendente tra la parte della tensione N e quella della tensione T.

Questo diagramma, così come quello del Confronto Fs (di cui si parla qui di seguito), può essere salvato come immagine e stampato direttamente dalla sua finestra tramite i tasti posti nella barra degli strumenti.





## 2.19 Riassunto calcolo

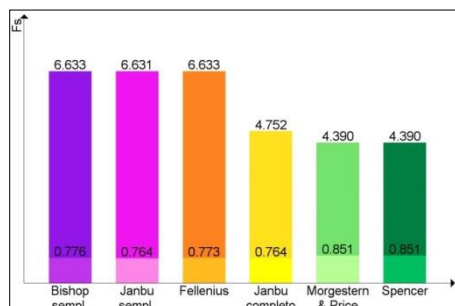


Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Calcolo* → *Riassunto calcolo* oppure dalla barra dei comandi laterali, cliccando l'icona "Riassunto calcolo".

Qui sono riportati il numero di centri, il numero di superfici generate, i coefficienti di sicurezza minimo e massimo e le corrispondenti superfici con le loro caratteristiche.

## 2.20 Confronto Fs

Se è stato effettuato il calcolo del fattore di sicurezza con più di un metodo si può vedere un confronto tra i valori ottenuti. Si accede a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Calcolo* → *Confronto Fs* oppure dalla barra dei comandi laterali, cliccando l'icona "Confronto Fs".



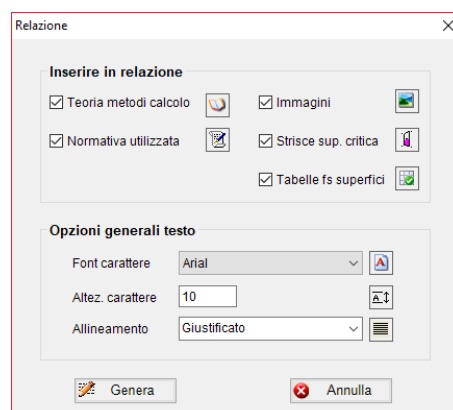
Un istogramma raffigura i valori minimo (con il colore più chiaro) e massimo (con il colore più scuro) del fattore di sicurezza calcolati con ogni metodo scelto.

## 2.21 Relazione di calcolo

IS GeoPendii crea una relazione di calcolo sintetica, ma estremamente completa, in formato RTF, HTML, in formato Word® (.doc) oppure in formato testo (.txt); può essere personalizzata nei contenuti e nell'aspetto.

Nella relazione sono riportati i dati inerenti la stratigrafia, la falda, i carichi, gli interventi ed i rinterri. Vengono indicati i metodi di calcolo utilizzati ed i risultati ottenuti (vengono riportati i grafici più significativi).

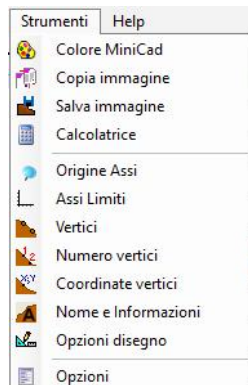
Si può procedere alla creazione della relazione selezionando sul menu principale *File* → *Relazione* oppure cliccando l'icona "Relazione".



Dalla finestra che si apre si possono scegliere alcune opzioni per la compilazione della relazione. Si deve decidere se si vogliono inserire cenni di teoria sui metodi all'equilibrio limite e sulla normativa utilizzata, le immagini e la suddivisione della superficie in strisce con le loro caratteristiche geometriche e tensionali.

Si scelgono, poi, opzioni generali inerenti il testo tra cui il font da utilizzare, l'altezza del carattere e l'allineamento del testo, a scelta tra giustificato, centrato, a sinistra ed a destra.

## 2.22 Strumenti



Tramite le voci del menu principale "Strumenti" è possibile accedere ad alcune funzioni legate all'aspetto e all'utilizzo del programma, alle visualizzazioni e al salvataggio delle immagini.

**Colore MiniCad:** definisce il colore di sfondo del CAD su cui è rappresentato il pendio.

**Copia immagine:** copia l'immagine del pendio che viene visualizzata a schermo.

**Salva immagine:** salva l'immagine del pendio che viene visualizzata a schermo.

**Calcolatrice:** apre la calcolatrice.

**Origine Assi:** consente di visualizzare l'origine degli assi.

**Assi Limiti:** attiva e disattiva la visualizzazione degli assi.

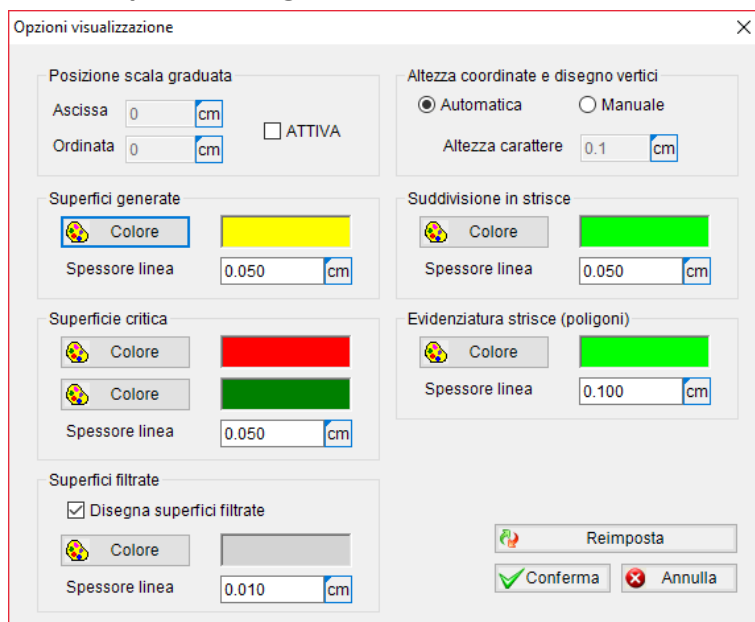
**Vertici:** evidenzia i vertici degli strati.

**Numero vertici:** attiva la visualizzazione del numero vertici e dello strato a cui appartengono.

**Coordinate vertici:** attiva la visualizzazione delle coordinate dei vertici.

**Nome e informazioni:** attiva la visualizzazione del nome e delle informazioni degli strati.

### 2.22.1 Opzioni disegno



Si può accedere a questo pannello dal menu principale alla voce "Strumenti" o cliccando l'icona "Opzioni disegno" nella barra di stato.

In questa finestra si possono attivare la scala graduata, definire le dimensioni dei caratteri e delle coordinate.

Da qui si impostano i colori e gli spessori con cui verranno rappresentate:

- le superfici generate;
- la superficie critica;
- la suddivisione in strisce della superficie;
- l'evidenziazione delle strisce.