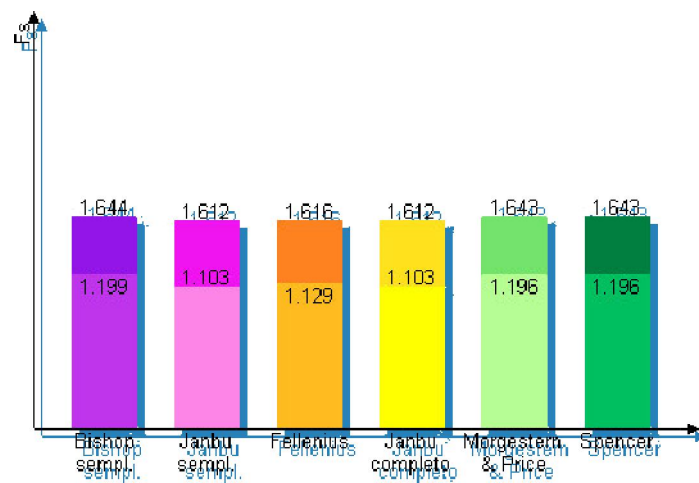


# IS GeoPendii



## 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	4
1.1.2	Metodo di Bishop	5
1.1.3	Metodo di Janbu semplificato	6
1.1.4	Metodo di Janbu completo	6
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	10
1.2.3	Muri	12
1.2.4	Gradonature	13
1.2.5	Palificate	13
<b>1.3</b>	<b>Inserimento rinterri</b>	<b>15</b>
<b>1.4</b>	<b>Normativa (caso statico)</b>	<b>15</b>
1.4.1	Eurocodice 7	16
1.4.2	D.M. 11 marzo 1988	16
<b>1.5</b>	<b>Normativa (caso dinamico)</b>	<b>17</b>
1.5.1	Ordinanza 3274	17
1.5.2	D.M. 16 gennaio 1996	18
<b>2</b>	<b>Utilizzo del programma</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Dati generali</b>	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>Normativa</b>	<b>22</b>
2.2.1	Norme Europee	22
2.2.2	Norme Italiane	23
<b>2.3</b>	<b>Limiti</b>	<b>23</b>
<b>2.4</b>	<b>Inserimento strati</b>	<b>24</b>
<b>2.5</b>	<b>Proprietà terreni</b>	<b>25</b>
<b>2.6</b>	<b>Assegnazione terreno</b>	<b>28</b>
<b>2.7</b>	<b>Falda</b>	<b>28</b>
<b>2.8</b>	<b>Carichi</b>	<b>29</b>
<b>2.9</b>	<b>Interventi</b>	<b>30</b>
2.9.1	Tiranti	30
2.9.2	Muri	30
2.9.3	Terre rinforzate	31
2.9.4	Gradonature	31
2.9.5	Palificate	32
<b>2.10</b>	<b>Rinterri</b>	<b>32</b>
<b>2.11</b>	<b>Generali calcolo</b>	<b>33</b>
<b>2.12</b>	<b>Elabora</b>	<b>34</b>

2.13	Opzioni disegno	35
2.14	Visualizza strisce	35
2.15	Caratteristiche strisce	35
2.16	Visualizza raggi	36
2.17	Riassunto calcolo	37
2.18	Superfici Fs e Mappa Fs	37
2.19	Filtro superfici	38
2.20	Diagramma tensioni	38
2.21	Confronto Fs	39
2.22	Relazione di calcolo	39

**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.

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

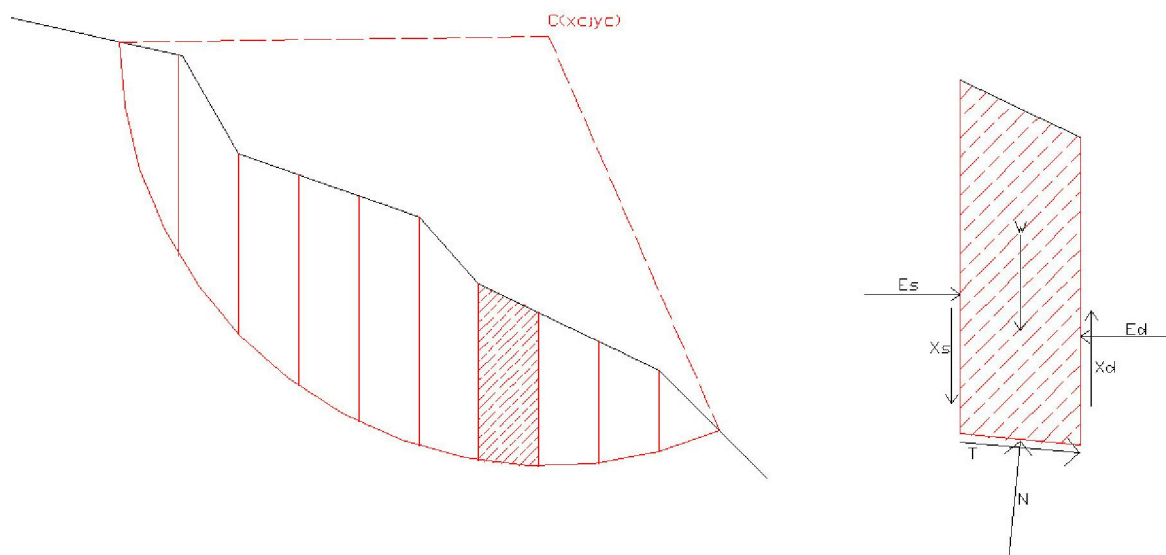
Questo valore è utilizzato per determinare la sicurezza del pendio nei confronti della rottura per taglio e viene assunto costante lungo tutta la superficie, in modo che in ogni punto di essa venga mobilitata la stessa aliquota di resistenza al taglio. Si ricava che il fattore di sicurezza è dato dal 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:

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

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:

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

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:

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

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.

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

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  $F_f$ :

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

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

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

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:

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

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

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:

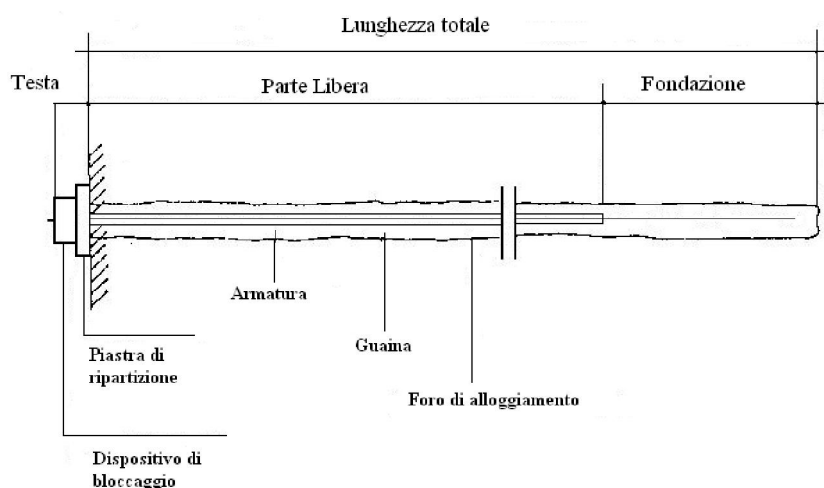
- Tiranti attivi e passivi
- Terre rinforzate
- Muri
- Gradonature
- Palificate

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 ( $\approx 40 \text{ kN/m}$ )
- 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.

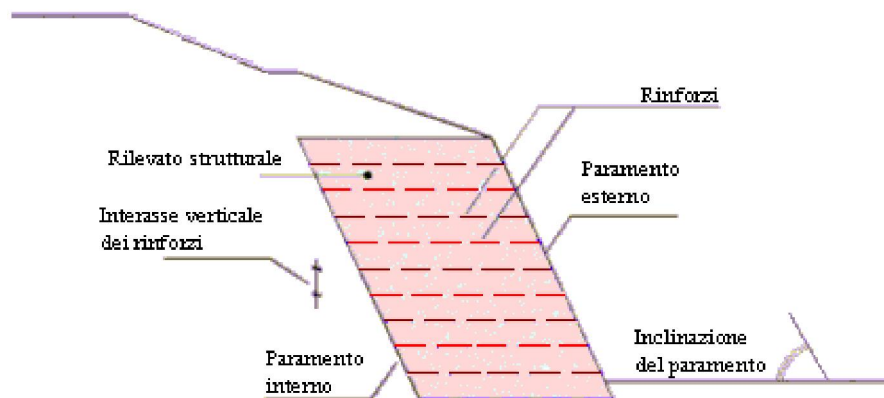


Figura 1.3 Schematizzazione di una terra rinforzata

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:

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

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:

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

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

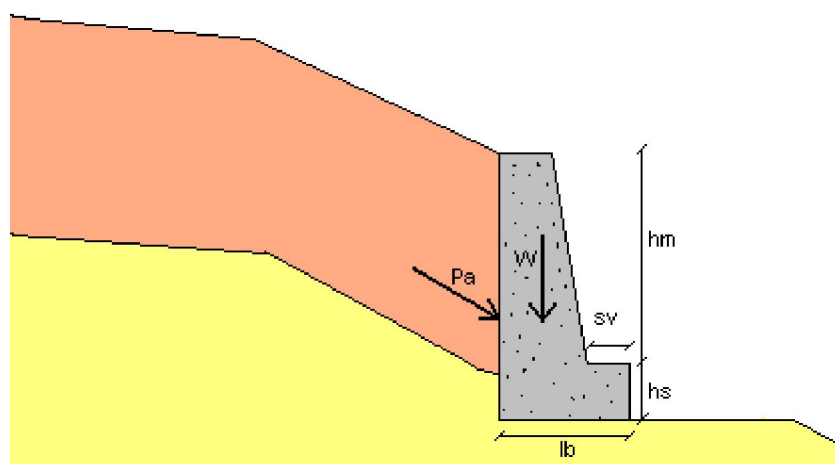


Figura 1. 4 Schematizzazione di un muro

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:

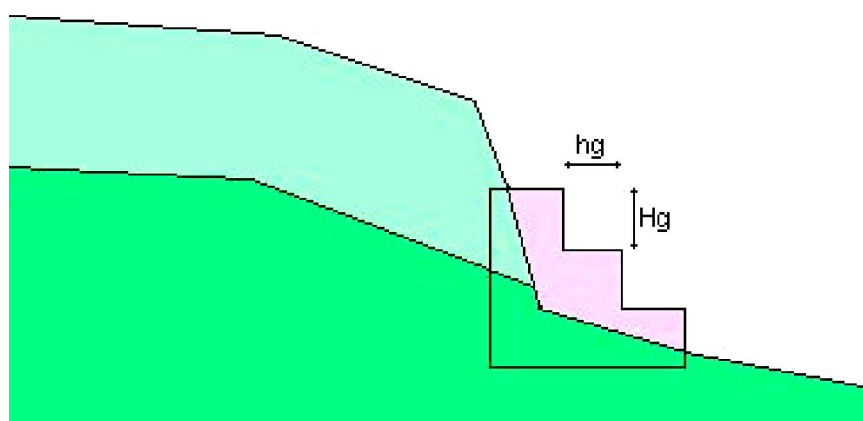
$\alpha_i$  = inclinazione della base del concio i-esimo

### 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.

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

In cui:

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

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

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

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

$c$  = coesione media del terreno a monte

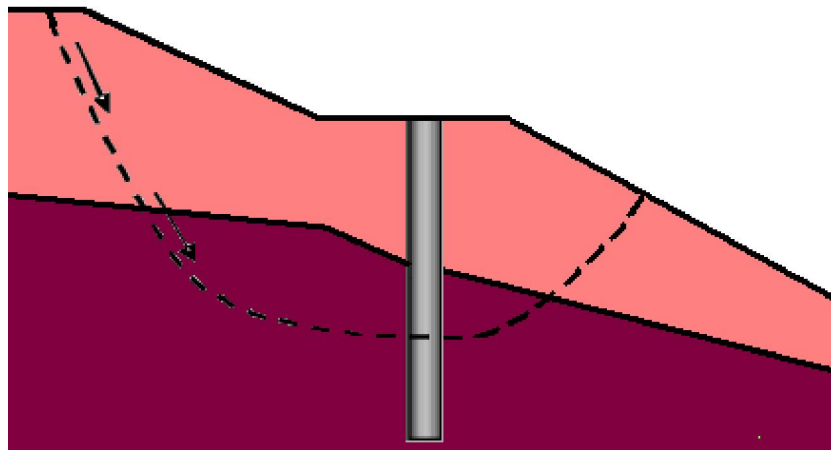
$\phi$  = angolo di attrito medio del terreno a monte

$\sigma$  = 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:

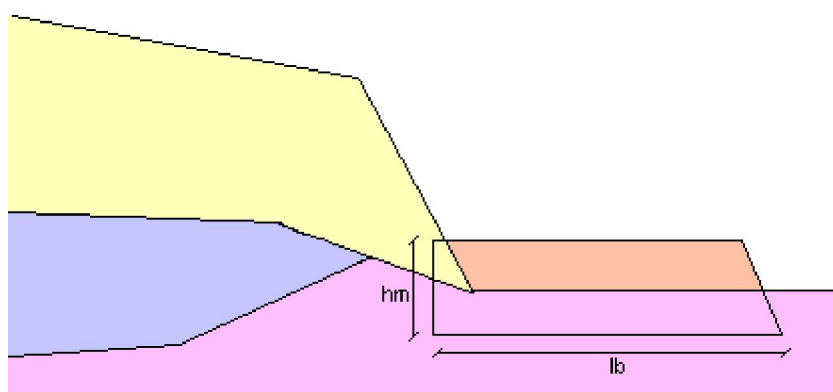
$$F_p = \frac{\int_0^H p(z) dz}{D_1}$$

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 Inserimento rinterri

Il programma consente di inserire rinterri con possibile funzione di rilevato stradale, di sostegno o di riprofilatura del versante. Questo dà l'opportunità di eseguire il calcolo del fattore di sicurezza prima dell'inserimento del rinterro ed in seguito alla sua esecuzione.

Il rinterro dovrà essere effettuato con materiale arido di cava messo in opera a strati di uniforme spessore compressi tramite idonea bagnatura e vibratura onde garantire un buon costipamento dei materiali.



**Figura 1. 7** Schematizzazione di un rinterro

La presenza di un rinterro 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. Il rinterro incide significativamente sulle superfici poco profonde tanto più il terreno riportato ha caratteristiche di resistenza elevate, è poco influente, invece, per quanto riguarda le condizioni di stabilità di superfici di scorrimento profonde.

Al di sopra del rinterro si possono aggiungere carichi concentrati e distribuiti, permanenti e variabili, aventi qualsivoglia inclinazione.

Come visto precedentemente per gli interventi è possibile tenere conto oppure no del contributo e dell'effetto che il rinterro dà nel calcolo del fattore di sicurezza.

### 1.4 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).

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.



### 1.4.1 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.

### 1.4.2 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.

## 1.5 Normativa (caso dinamico)

Di seguito vengono illustrate le documentazioni normative vigenti riguardanti il calcolo sismico, a livello europeo (Ordinanza 3274 dell'8 maggio 2003: primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica) ed a livello italiano (D.M. 16/01/1996: norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche).

### 1.5.1 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  $30^\circ$ .

### 1.5.2 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.

Gli effetti del sisma possono essere valutati mediante:

- un sistema di forze orizzontali parallele distribuite sia planimetricamente che altimetricamente in modo da simulare con buona approssimazione gli effetti dinamici del sisma, la cui risultante viene valutata con l'espressione:

$$F_h = C \cdot R \cdot I \cdot W$$

In cui:

$C = (S-2)/100$  il coefficiente di intensità sismica;

$S$  = il grado di sismicità ( $S \geq 2$ );

$R$  = il coefficiente di risposta relativo alla direzione considerata, dipende dal periodo di oscillazione;

$I$  = il coefficiente di protezione sismica;

$W$  = il peso complessivo delle masse.

- un sistema di forze verticali, distribuite sulla struttura proporzionalmente alle masse presenti, la cui risultante è:

$$F_v = m \cdot C \cdot I \cdot W$$

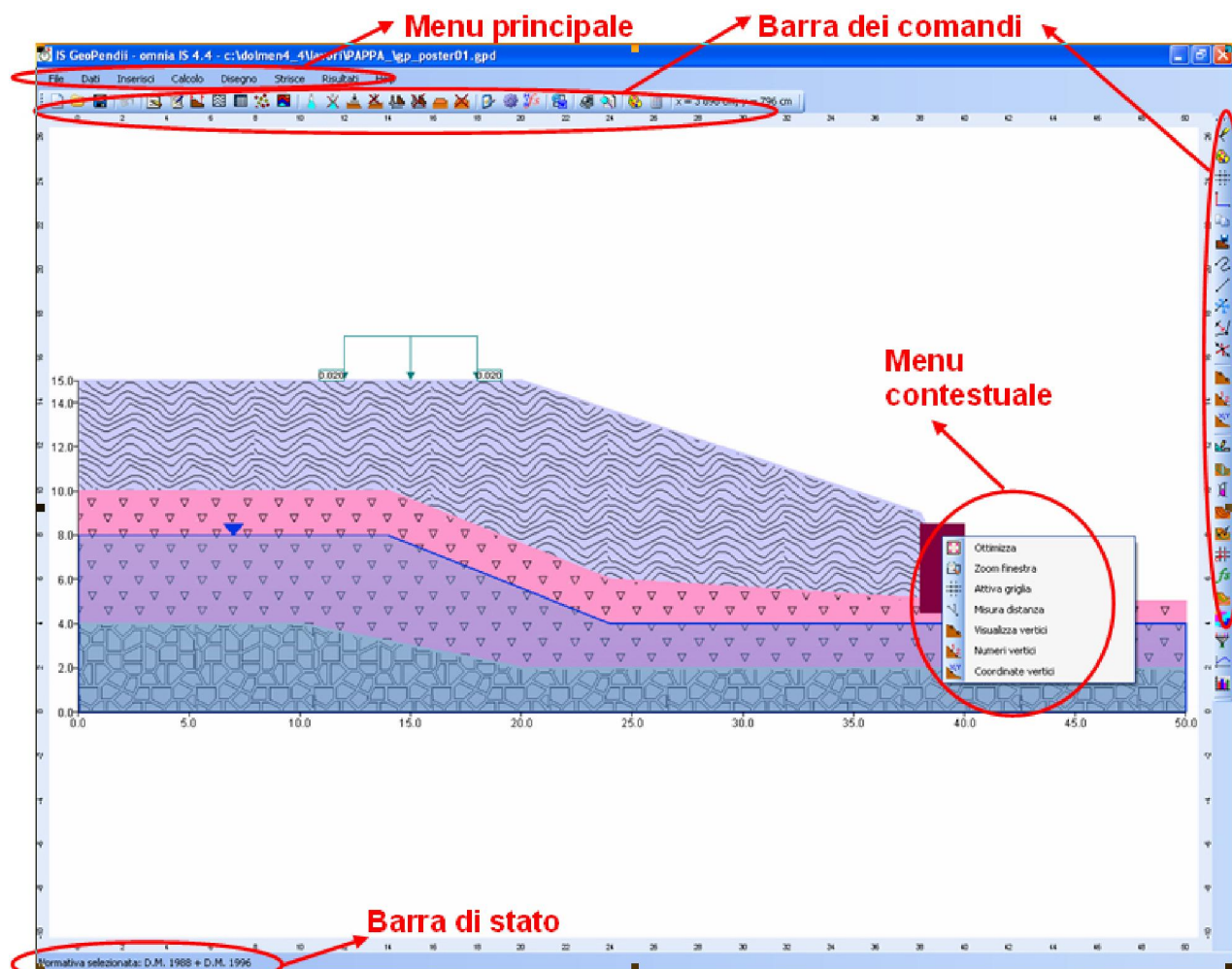
In cui:

$m = 2$ , salvo per opere particolari.

Tale forze deve considerarsi diretto sia verso l'alto, sia verso il basso, mediante due distinte combinazioni di carichi. **Nel caso di stabilità di pendii sono solitamente trascurabili.**

## 2 Utilizzo del programma

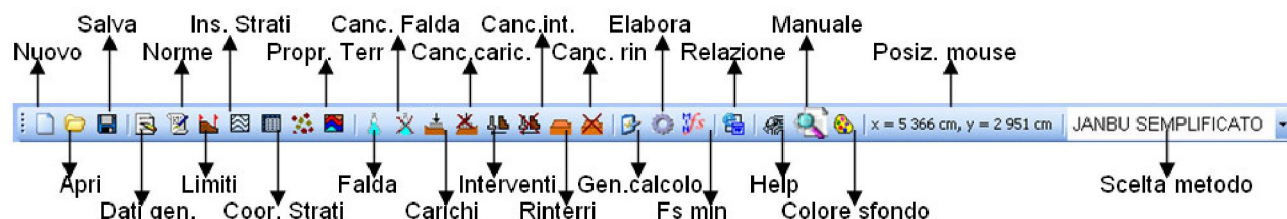
**IS GeoPendii** offre diverse strade per inserire i dati inerenti la stratigrafia, la falda, i carichi e gli interventi, fornisce numerose rappresentazioni e visualizzazioni dei risultati, adattandosi alle esigenze dell'utente. L'ambiente di lavoro ha la tipica interfaccia dell'ambiente Windows® e, 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.



All'apertura del programma il Cad dedicato, il MiniCad, è chiuso, per procedere con la rappresentazione del pendio bisogna, quindi, aprirlo (*minicad*). Il MiniCad può avere sfondo bianco o colorato (*Colore minicad*), gli si può sovrapporre una griglia con passo editabile dall'utente (*Griglia*), si può visualizzare l'origine e disegnarci 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*). Una volta inserito il pendio si possono visualizzarne i vertici (*Vertici* e



*Numero vertici*) e le loro coordinate (*coord. Vertici*), lì si può spostare (*Sposta punto*) ed aggiungerne di nuovi (*Aggiungi punto*).

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.

La **Barra di stato** si trova in basso e dà indicazioni sui comandi attivi, sulla normativa selezionata e sulle opzioni di calcolo scelte.

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

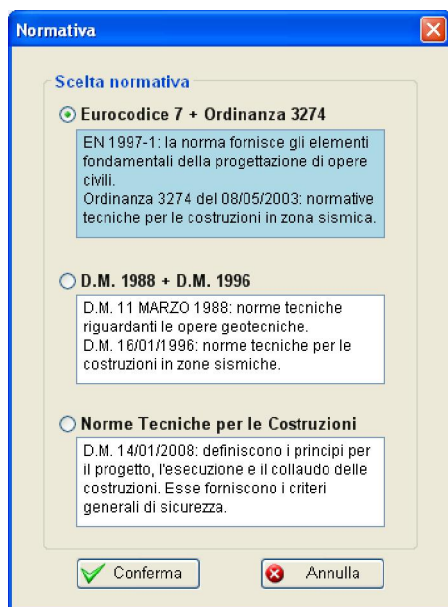
In questo pannello si inseriscono notizie generali inerenti il pendio ed il progetto di stabilizzazione da eseguire. Vi si può accedere tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Generali* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la quarta icona a partire da sinistra "Dati generali".

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



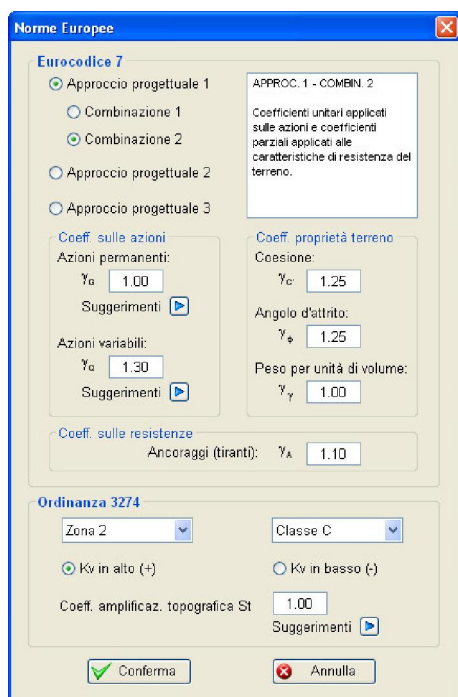
Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Normativa* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la quinta icona a partire da sinistra "Normativa".

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, le NTC 2008 ed il D.M. 11 Marzo 1988, per quanto riguarda il caso statico, l'ordinanza 3257, le NTC 2008 ed il D.M. 16 Gennaio 1996, per quanto riguarda il calcolo sismico.

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

### 2.2.1 Norme Europee



Questa finestra viene aperta se sono stati scelti L'Eurocodice 7 e l'ordinanza 3274.

Nella prima parte viene chiesto l'approccio progettuale, di cui si riporta una breve descrizione nel pannellino di 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.

## 2.2.2 Norme Italiane

Questa finestra viene aperta se sono stati scelti il **D.M. 11 Marzo 1988** ed il **D.M. 16 Gennaio 1996**.

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.

Se si sceglie di applicare le **NTC 08** bisogna selezionare il tipo di approccio ed inserire i coefficienti di sicurezza corrispondenti. Tramite il tasto “Suggerimenti” si possono vedere i valori dati da Normativa.

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  $k_h$ .

## 2.3 Limiti

Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Limiti* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la sesta icona a partire da sinistra “Limiti”.

Tramite questa finestra vengono definiti i limiti del pendio, le coordinate dell'origine ed il passo della maglia minicad (visibile cliccando il pulsante “Griglia” sulla barra degli strumenti).

I dati richiesti sono i seguenti:

- Min coordinata x: valore minimo sull'asse delle ascisse;
- Max coordinata x: valore massimo sull'asse delle ascisse;
- Min coordinata y: valore minimo sull'asse delle ordinate;
- Max coordinata y: valore massimo sull'asse delle ordinate;
- Coordinata x: ascissa dell'origine;
- Coordinata y: ordinata dell'origine;



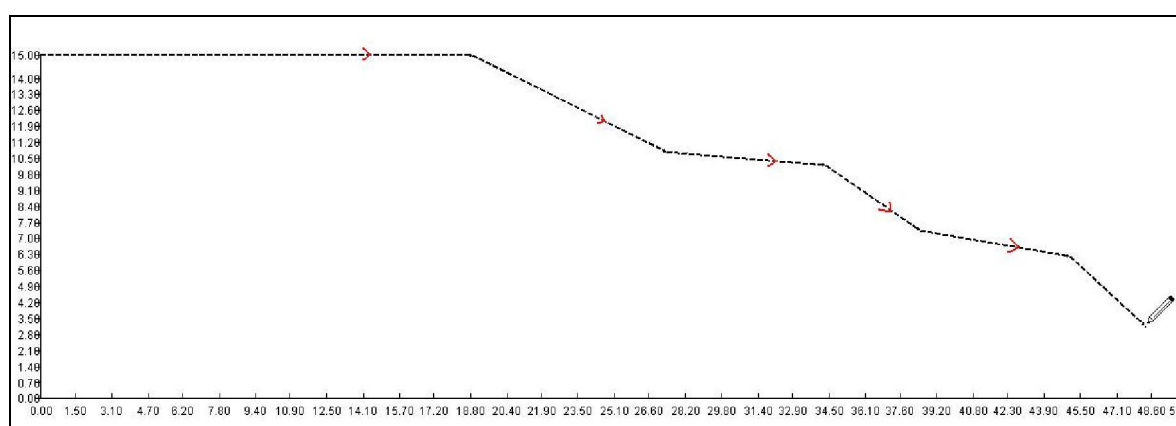
- Direzione x: passo della griglia sull'asse delle ascisse;
- Direzione y: passo della griglia sull'asse delle ordinate.

## 2.4 Inserimento strati

Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Inserimento strati* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la settima icona a partire da sinistra “Inserimento strati”.

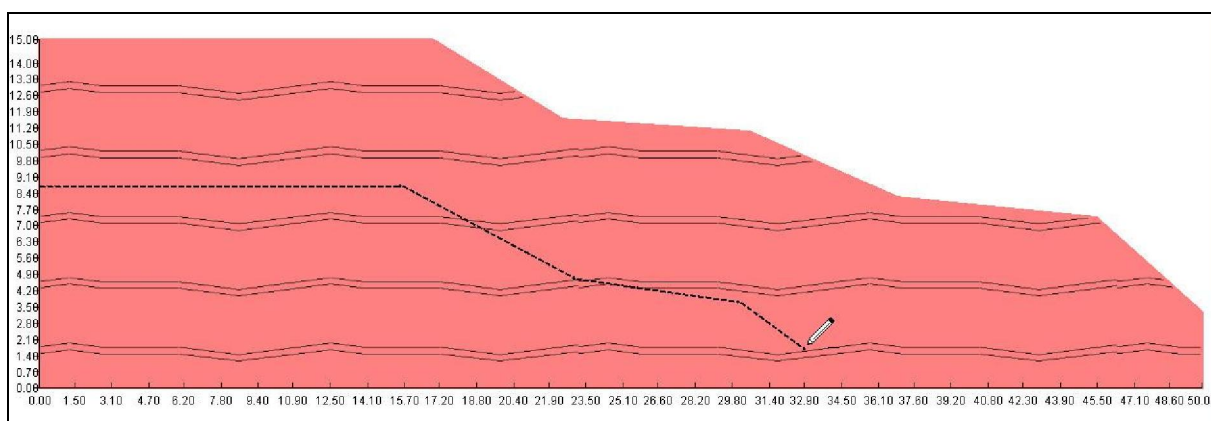
Tramite questo pannellino si decide la modalità di inserimento degli strati:

- 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 coordinate: consente di incollare le coordinate copiate da un foglio Excel (le coordinate devono essere disposte su due colonne di cui una per le ascisse ed una per le ordinate).



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

Per quanto riguarda le prime tre 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”). In automatico, poi, il pendio si richiude formando una polilinea chiusa.



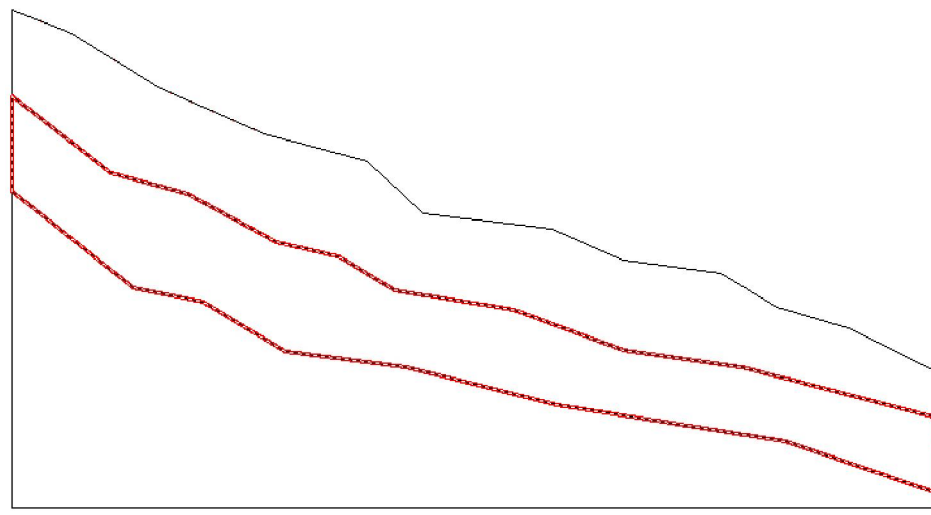
**Figura 2. 2** Disegno del profili esterno con la modalità polilinea

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 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.



Il tasto “Elimina tutti gli strati” cancella tutti gli strati disegnati e mantiene il valore dei limiti in direzione x ed in direzione y.

Al termine dell'inserimento, in qualunque modo sia avvenuto, sarà possibile vedere le coordinate all'interno della tabella, accedendo dal menu principale dalla voce *Dati* → *Coordinate strati* oppure dalla barra dei comandi, cliccando l'ottava icona a partire da sinistra “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 laterale o dal menu principale dalla voce *Disegna* e *Numero vertici*.

## 2.5 Proprietà terreni

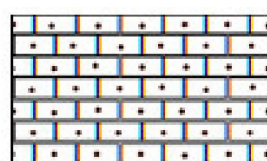
Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Proprietà terreni* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la nona icona a partire da sinistra “Proprietà terreni”.

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

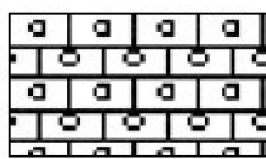
I dati richiesti sono i seguenti:

- **Nome litologia:** descrizione della litologia del terreno;
- **Colore sfondo:** cliccando questo tasto si apre il pannellino di scelta dei colori;

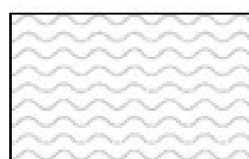
- Scelta retino: scorrendo la freccia nella casella si può scegliere il riempimento tra tutti quelli disponibili per le varie litologie e vederne l'anteprima. Si può scegliere anche il retino vuoto. I riempimenti disponibili sono riportati di seguito:



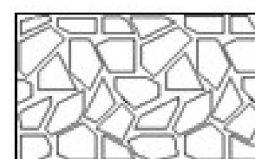
Arenarie



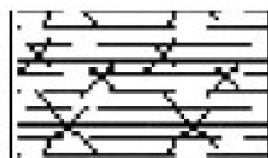
Argilliti scagliose



Limo



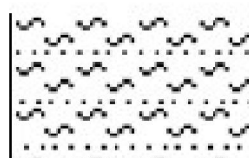
Roccia 2



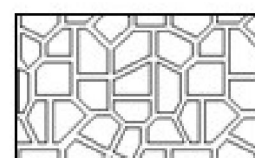
Argille alta plasticità



Fossili



Limo sabbioso 1



Roccia 3



Argille bassa plasticità



Ghiaia 1



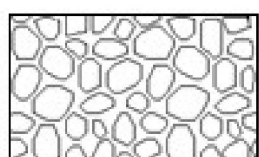
Limo sabbioso 2



Roccia 4



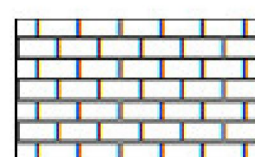
Argilla limosa



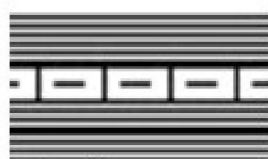
Ghiaia 2



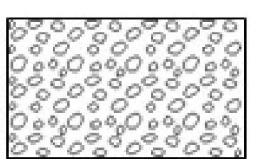
Limo argilloso



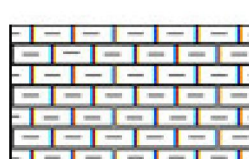
Roccia 5



Argilla marnosa



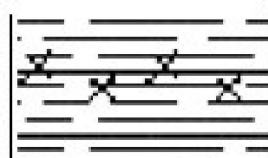
Ghiaia 3



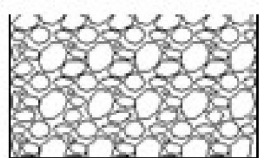
Marna



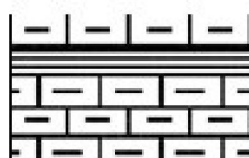
Roccia 6



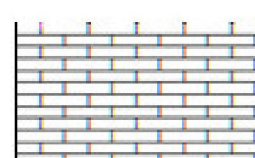
Argilla media plasticità



Ghiaia 4

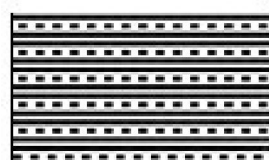


Marna argillosa

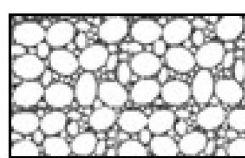


Roccia calcarea

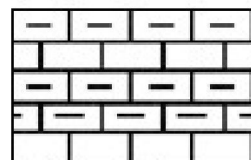




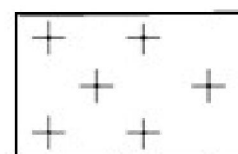
Argilla sabbiosa



Ghiaia eterometrica1



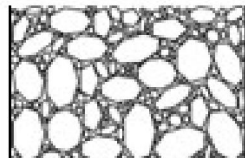
Marna calcarea



Roccia ignea 1



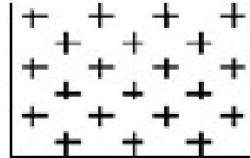
Argilliti



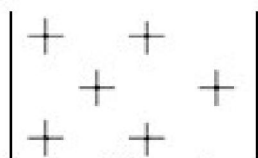
Ghiaia eterometrica2



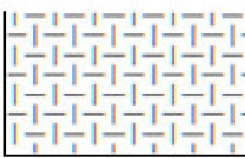
Roccia 1



Roccia ignea2



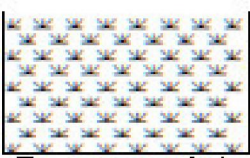
Roccia ignea 2



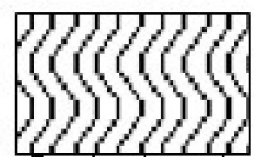
Sabbia grossa1



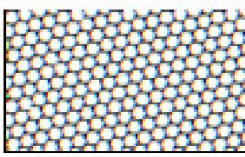
Terra 1



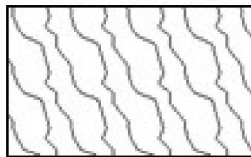
Terreno vegetale 1



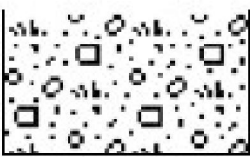
Roccia scistosa 1



Sabbia grossa2



Terra 2



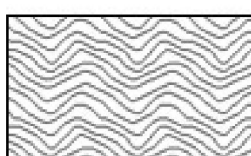
Terra vegetale 2



Roccia scistosa 2



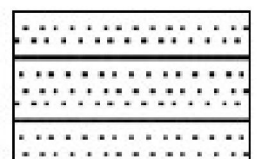
Sabbia grossa3



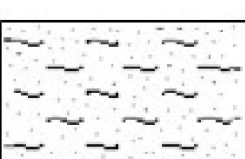
Terra 3



Terreno organico



Sabbia argillosa



Sabbia limosa



Terra 4



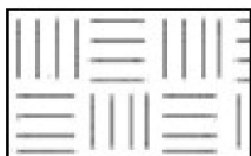
Torba 1



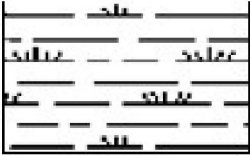
Sabbia e ghiaia



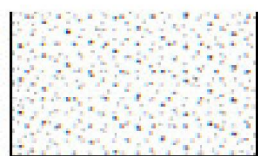
Sabbia media1



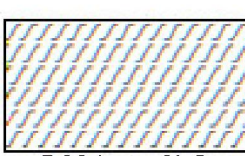
Terra 5



Torba 2



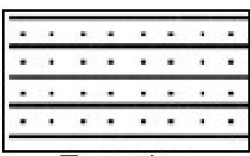
Sabbia fine1



Sabbia media2



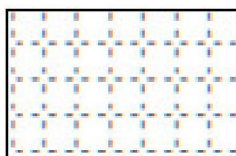
Terra piroclastica



Travertino



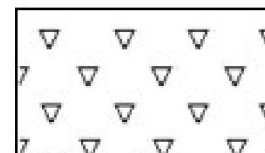
Sabbia fine2



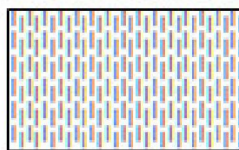
Sabbia media3



Terra riporto 1



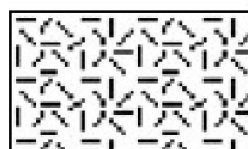
Tufo vulcanico 1



Sabbia fine3



Sabbia con fine plast

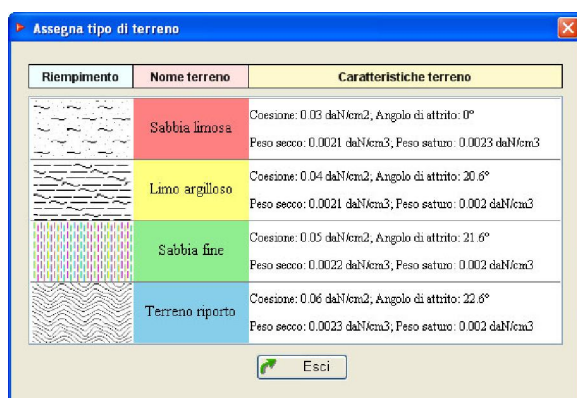


Terra riporto 2



Tufo vulcanico 2

- 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.

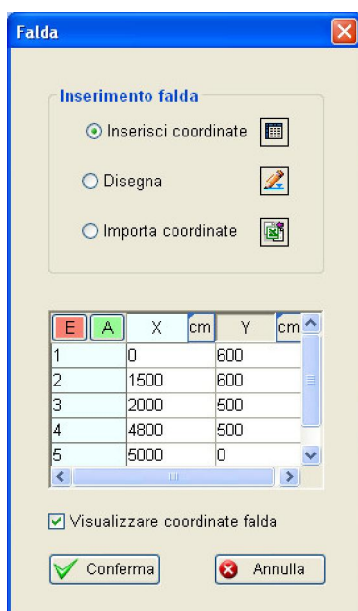


## 2.6 Assegnazione terreno

Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Assegna proprietà* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la decima icona a partire da sinistra “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 Falda



Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Inserisci* → *Falda* oppure dalla barra dei comandi, cliccando l'undicesima icona a partire da sinistra “Falda”, oppure dal menu contestuale da “Inserisci falda”.

L'inserimento delle coordinate avviene nello stesso modo, precedentemente descritto, in cui si inseriscono gli strati.

Anche in questo caso 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.

La falda può essere eliminata cliccando la dodicesima icona a partire da sinistra “Elimina falda”, oppure dal menu contestuale da “Elimina falda”.

## 2.8 Carichi

Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Inserisci* → *Carichi* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la tredicesima icona a partire da sinistra “Carichi”.

I carichi possono avere diversa distribuzione spaziale, durata temporale ed inclinazione.

Il loro inserimento è semplice e può avvenire posizionandoli 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;
  - **Colore:** colore con cui viene disegnato;
  - **Attiva carico:** spuntando la casella il carico in questione verrà inserito.
- 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;
  - **Variabilità nel tempo:** 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 la quattordicesima icona a partire da sinistra “Elimina carico” e selezionando con il mouse il carico voluto, oppure dal menu contestuale da “Elimina carico”.



## 2.9 Interventi



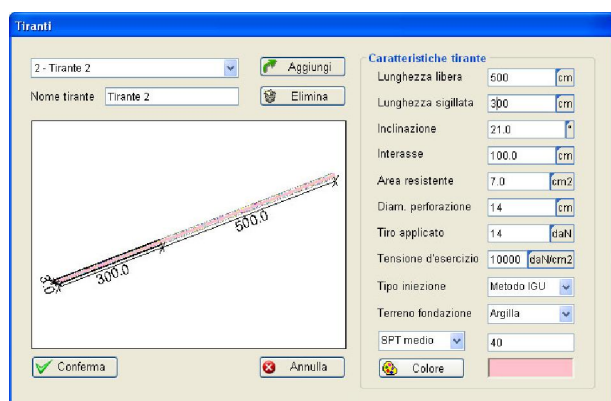
Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Inserisci* → *Interventi* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la quindicesima icona a partire da sinistra “Interventi”.

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.

### 2.9.1 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);

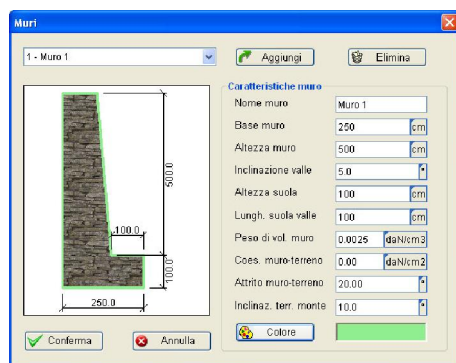
- Terreno di fondazione: si può scegliere tra alcune litologie (sabbia fina, sabbia limosa, argilla, limo, marna,...);
- SPT medio o Pressione limite di Menard;
- Colore: colore con cui va rappresentato sul pendio.

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.

### 2.9.2 Muri

I dati richiesti sono i seguenti:

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



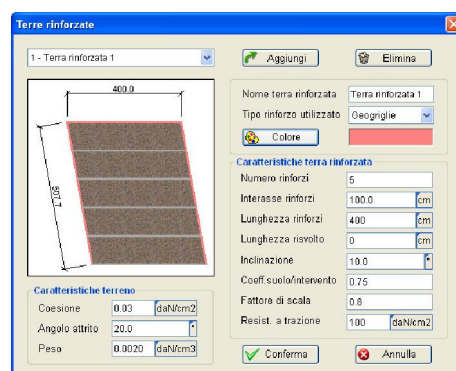
- Inclinazione valle;
- Altezza suola;
- Suola valle: larghezza della suola a valle;
- Peso di volume muro;
- Coesione muro – terreno;
- Angolo di attrito muro – terreno;
- Inclinazione del terreno a monte;
- Colore.

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.

### 2.9.3 Terre rinforzate

I dati richiesti sono i seguenti:

- Nome terra rinforzata;
- Tipo di rinforzo utilizzato: a scelta tra geogriglie e geotessuti;
- Colore;

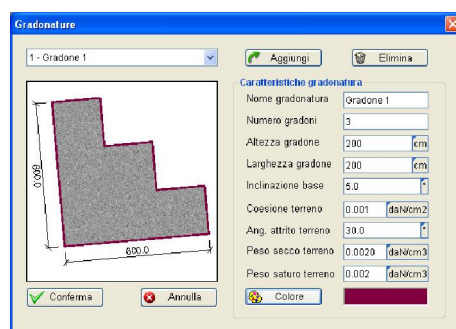


- Numero rinforzi: numero di rinforzi sulla sezione verticale;
- Interasse rinforzi: distanza tra i rinforzi nella sezione verticale;
- Lunghezza rinforzi;
- Lunghezza risvolto;
- Inclinazione della base;
- Coefficiente suolo-intervento: varia tra 0.5 e 1.0, se non lo si conosce si pone 0.75;
- Fattore di scala: varia tra 0.6 e 1.0, se non si sa si pone 0.8;
- Resistenza a trazione;

- Caratteristiche terreno:
  - **Coesione;**
  - **Angolo di attrito;**
  - **Peso per unità di volume.**

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.

### 2.9.4 Gradonature



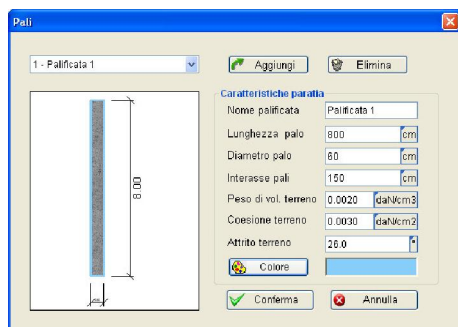
I dati richiesti sono i seguenti:

- Nome gradonatura;
- Numero di gradoni;
- Altezza gradone;
- Larghezza gradone;
- Inclinazione base;
- Colore
- Caratteristiche terreno
  - **Coesione;**
  - **Angolo di attrito;**
  - **Peso per unità di volume.**



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.

## 2.9.5 Palificate



I dati richiesti sono i seguenti:

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



## 2.10 Rinterri

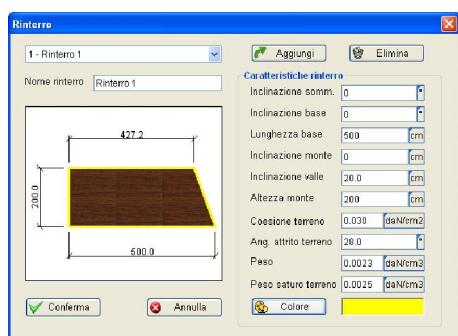
Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Inserisci* → *Rinterri* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la diciassettesima icona a partire da sinistra “Rinterri”.

In questa finestra si hanno tutti i rinterri 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 al rinterro scelto (distinguibile dal nome e dal colore) e con il trascinamento posizionarlo nel punto del pendio desiderato. 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. Sul pannello delle proprietà del rinterro sono riassunte le principali caratteristiche dello stesso.

Per cancellare un rinterro inserito si può cliccare la diciottesima icona a partire da sinistra “Elimina rinterri” e poi il rinterro voluto, oppure accedere alla voce “Elimina rinterri” del menu contestuale quando si è posizionati col mouse sul rinterro voluto.



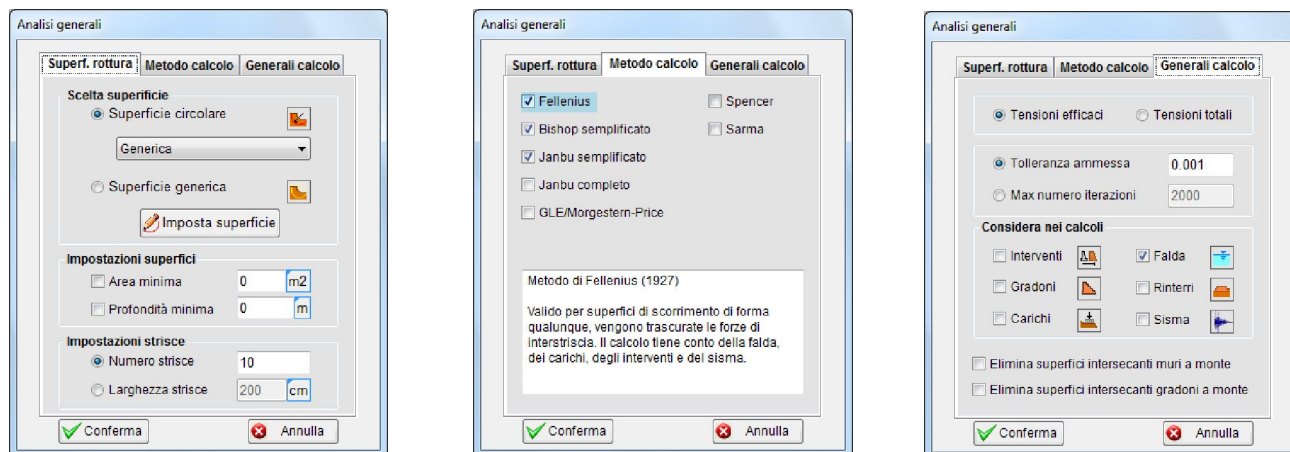
I dati richiesti sono i seguenti:

- Nome rinterro;
- Inclinazione sommità;
- Inclinazione base;
- Lunghezza base;
- Inclinazione monte;
- Inclinazione valle;
- Altezza monte;
- Colore
- Caratteristiche terreno
- Coesione;
- Angolo di attrito;

- **Peso secco per unità di volume;**
- **Peso saturo per unità di volume.**

Il numero di rinterri 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.

## 2.11 Generali calcolo



Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Calcolo* → *Generali Calcolo* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la diciannovesima 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 o una profondità minima di queste (tali opzioni sono attivabili dall’utente).

Si sceglie, inoltre, se definire il numero di strisce o la larghezza di queste, se fissare una tolleranza o un numero massimo di iterazioni, se effettuare il calcolo secondo le tensioni totali o quelle efficaci. 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.

Viene chiesto se considerare la presenza di: Interventi, Falda, Gradoni, Rinterri, Carichi e Sisma; ciò consente di avere numerose combinazioni di calcolo senza dover cancellare degli elementi sul pendio. Infine si può scegliere di eliminare le superfici che intersecano eventuali muri presenti a monte 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.

	X cm	Y cm
1	0	1500
2	1000	500
3	2200	300
4	3000	300
5	3400	700

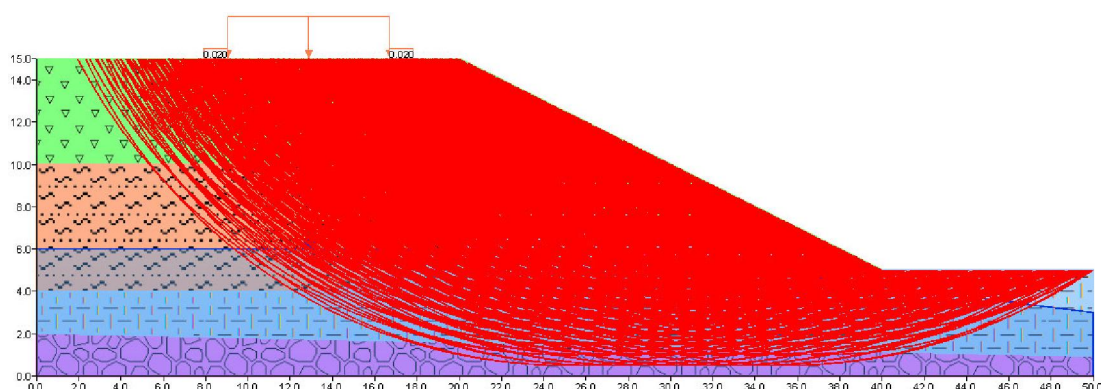


Figura 2.3 Rappresentazione delle superfici generate di forma circolare

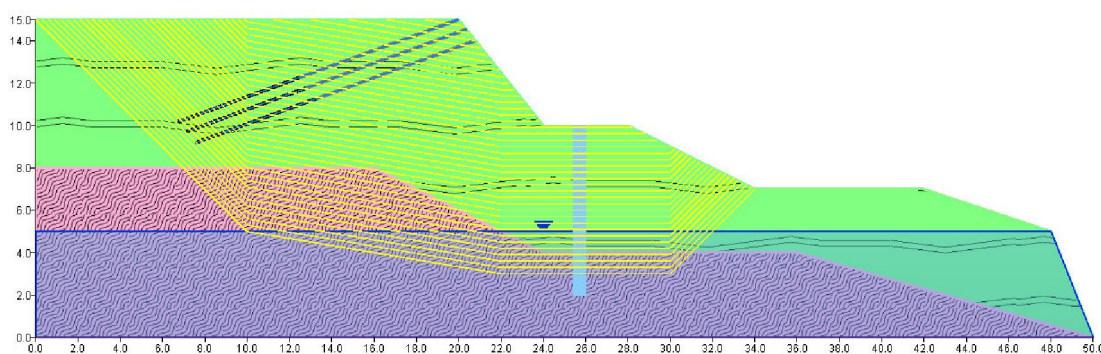


Figura 2.4 Rappresentazione delle superfici generate di forma generica

## 2.12 Elabora

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

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.

## 2.13 Opzioni disegno



Si può accedere a questo pannello cliccando la quattordicesima icona a partire dall'alto "Opzioni disegno".

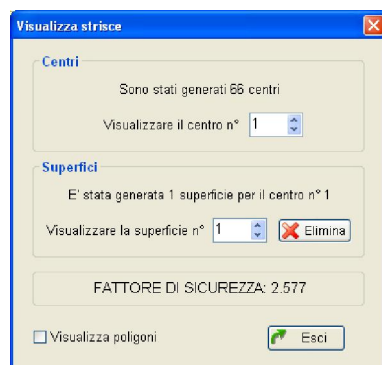
Da qui si impostano i colori e gli spessori con cui verranno rappresentate:

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

Si può, inoltre, attivare e disattivare la grafica dinamica. Si consiglia di disattivarla quando il computer fatica a gestire le funzioni di disegno e di visualizzazione sulla pagina principale.

## 2.14 Visualizza strisce

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



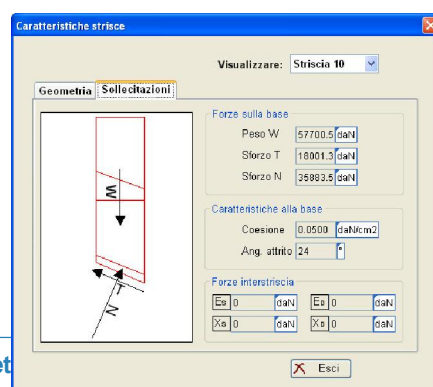
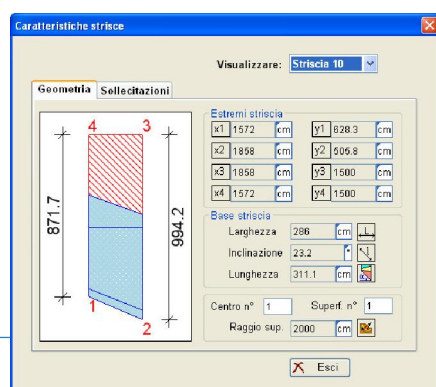
Bisogna scegliere il centro e la superficie e contemporaneamente si visualizzano il centro, evidenziato di verde sulla maglia dei centri, e la superficie, sempre di colore verde, suddivisa in strisce o in poligoni (se è stata spuntata la richiesta "Visualizza poligoni").

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.

## 2.15 Caratteristiche strisce

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

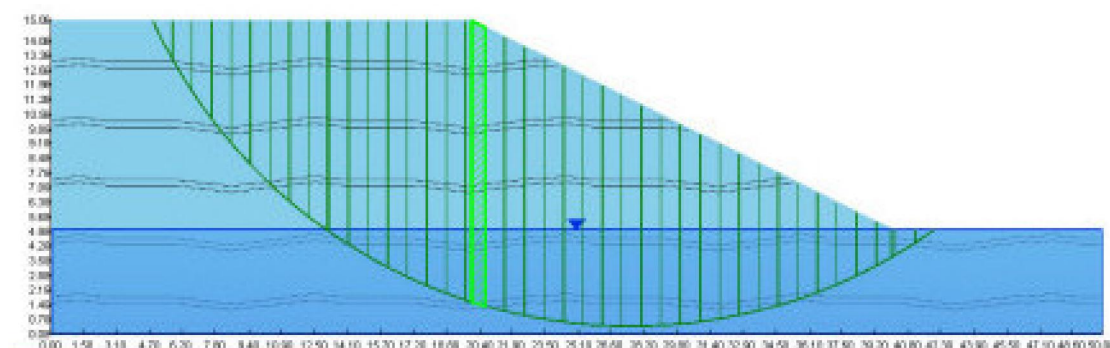
Nella prima linguetta sono riportati:

- 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.

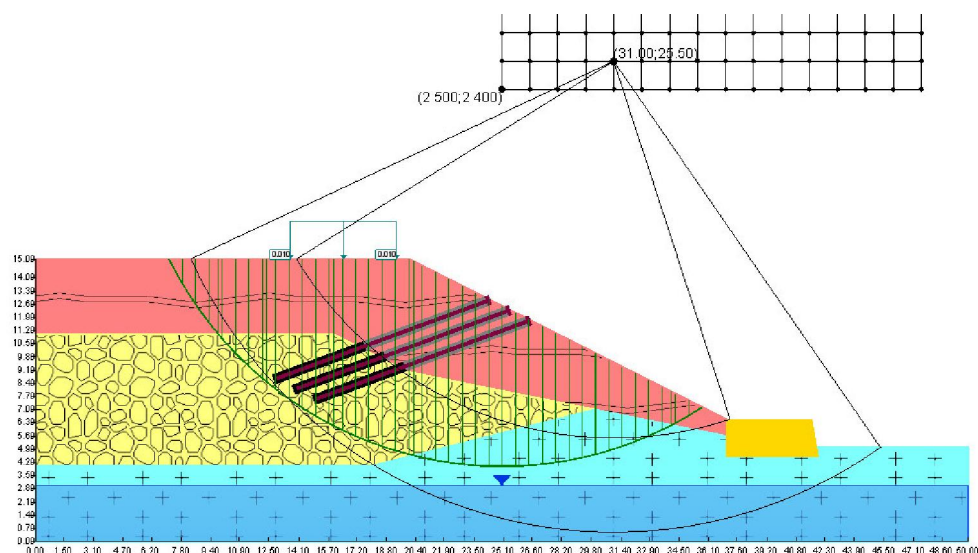
Nella seconda linguetta sono riportati:

- Il peso della striscia;
- 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.

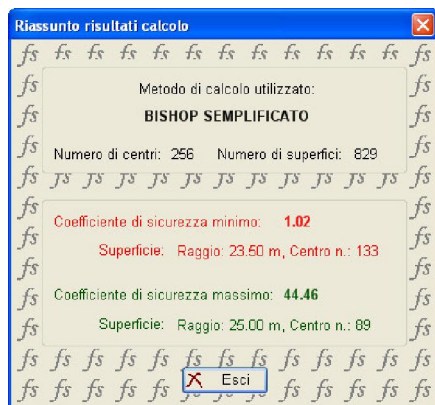


## 2.16 Visualizza raggi



Questa funzione viene attivata dalla voce *Strisce* → *Raggi* oppure dalla barra dei comandi laterali, cliccando la diciottesima icona a partire dall'alto "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.

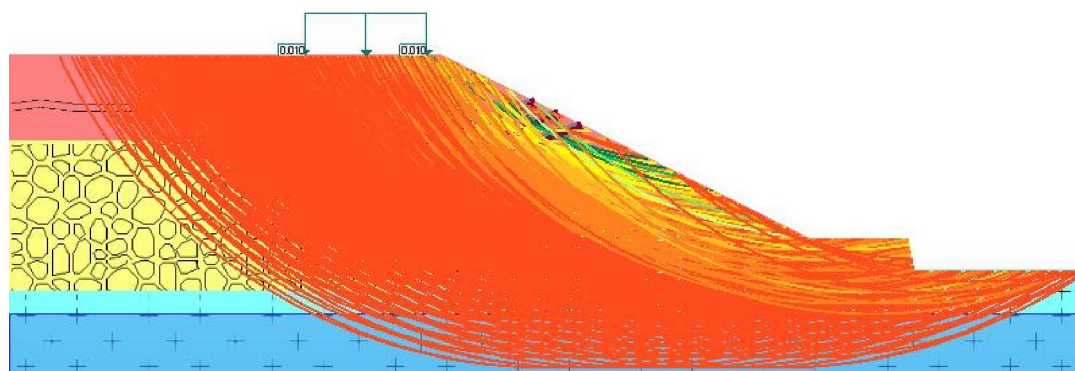
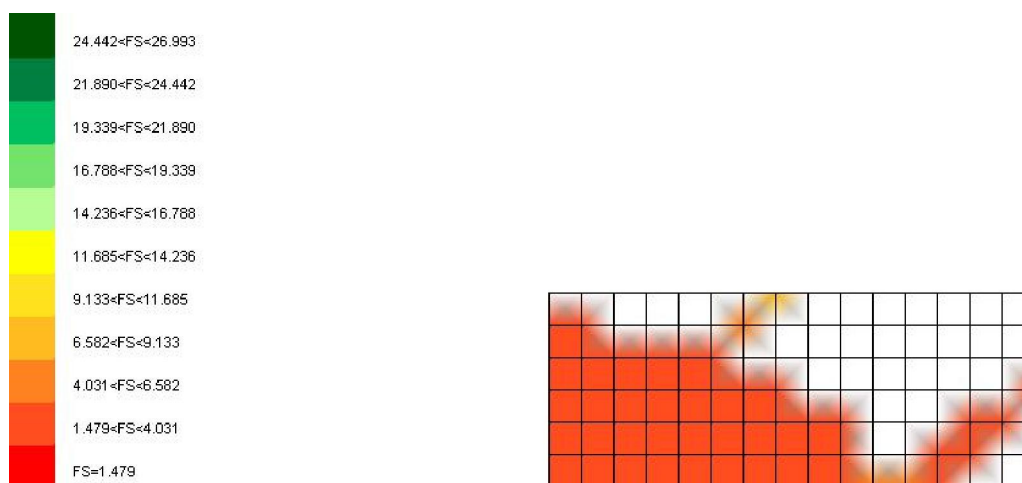
## 2.17 Riassunto calcolo



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

## 2.18 Superfici Fs e Mappa Fs



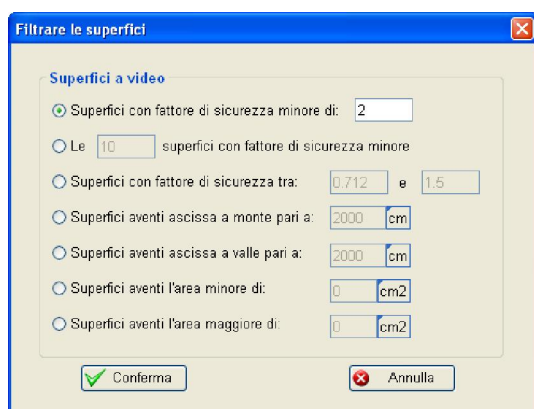
Questa funzione viene attivata dalla voce *Calcolo* → *Superfici Fs* oppure dalla barra dei comandi laterali, cliccando la ventesima icona a partire dall'alto "Visualizza raggi".

Le superfici vengono colorate a seconda del fattore di sicurezza che le caratterizza. A sinistra è riportata la scala di colori, che parte dal rosso, che corrisponde al fattore di sicurezza critico, fino ad arrivare al verde, che corrisponde al fattore di sicurezza massimo.

Cliccando dal menu principale alla voce *Calcolo* → *Mappa Fs* oppure la diciannovesima icona a partire dall'alto 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.

## 2.19 Filtro superfici

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

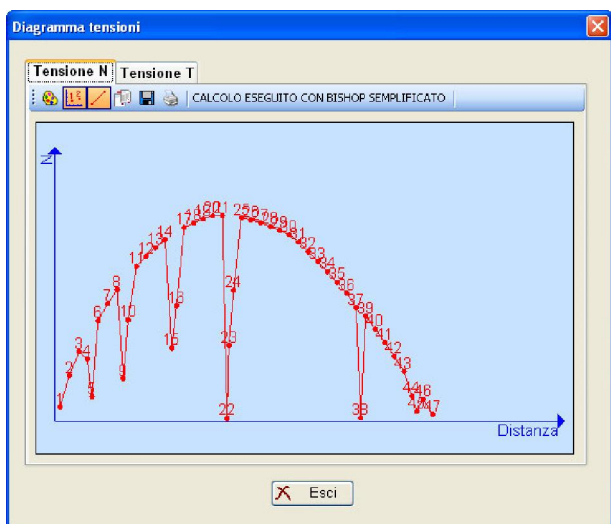


Di qui si decide quali superfici visualizzare:

- Superfici con fattore di sicurezza minore di un valore definibile dall'utente;
- Le n superfici con fattore di sicurezza minore;
- Le superfici con fattore di sicurezza compreso tra un valore ed un altro;
- 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.

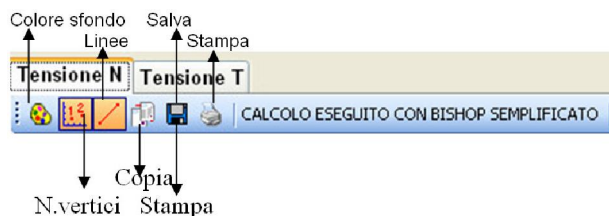
## 2.20 Diagramma tensioni

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".



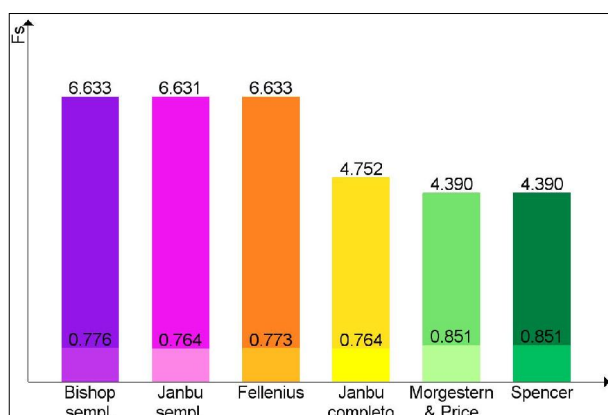
In questa finestra si visualizza un diagramma avente sull'asse delle ascisse le distanze e sull'asse delle ordinate le tensioni normali e le tensioni tangenziali agenti sulla base delle strisce. Cliccando sui punti si legge il valore della tensione.

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.



## 2.21 Confronto $F_s$

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  $F_s$*  oppure dalla barra dei comandi laterali, cliccando la venticinquesima icona a partire dall'alto "Confronto  $F_s$ ".

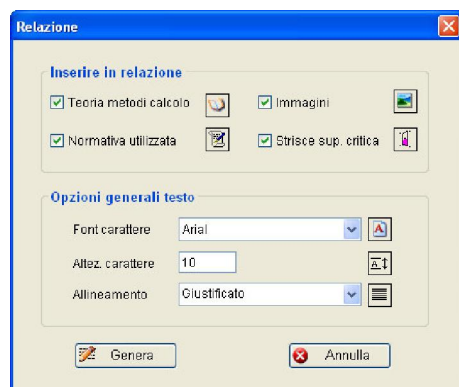


Un istogramma raffigura i valori minimo (con il colore più chiaro) e massimo (con il colore più scuro) del fattore di sicurezza calcolati con ogni metodo scelto.

## 2.22 Relazione di calcolo

IS GeoPendii crea una relazione di calcolo sintetica, ma estremamente completa, in formato HTML (.html), in formato Word® (.doc) oppure in formato testo (.txt).

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 la ventiduesima icona a partire da sinistra "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.