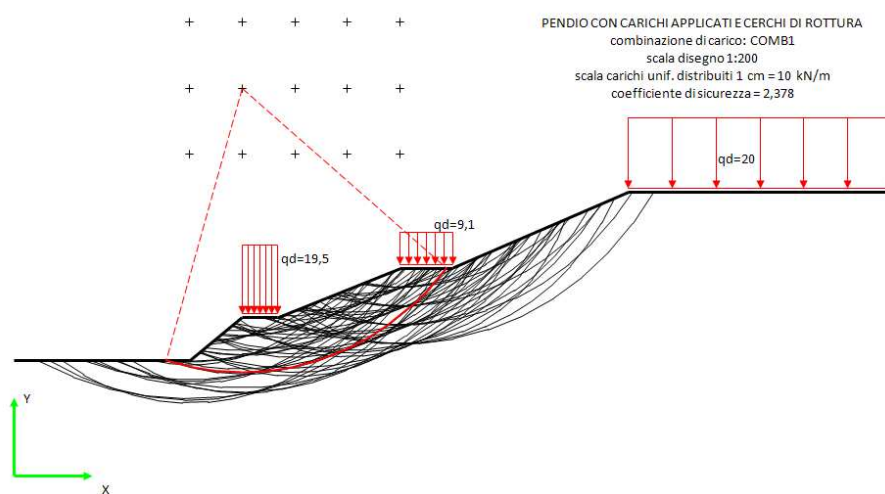


# ***Pendii.Az***

***Software per le verifiche di stabilità di pendii naturali e di opere in  
materiale sciolto e fronti di scavo***

*(versione 8.0)*



## **Manuale d'uso**

### **Autore**

Ing. **Ciro Azzara**

Via E. Majorana, 8 – 90035 Maroneo (PA)

Cell. 348 1514947

e-mail: [ing.azzara@libero.it](mailto:ing.azzara@libero.it) [azzara.ciro@gmail.com](mailto:azzara.ciro@gmail.com)

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 2 di 44
--	----------------------	--------------

## **INDICE**

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>AVVIO DEL SOFTWARE .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>INPUT.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>DATI GENERALI.....</b>	<b>8</b>
3.1.1	Unità di misura.....	8
3.1.2	Tipologia pendio.....	9
3.1.3	Normativa di riferimento .....	9
3.1.4	Geometria superficie di rottura.....	11
3.1.5	Dati costruzione .....	11
<b>3.2</b>	<b>Menù GEOMETRIA.....</b>	<b>12</b>
3.2.1	Pendio.....	12
3.2.2	Superfici di rottura .....	13
3.2.2.1	Superfici di rottura circolari .....	13
3.2.2.2	Superficie di rottura poligonale.....	15
3.2.3	Stratigrafia.....	15
3.2.4	Condizione drenate o non drenate .....	16
3.2.5	Pendio Indefinito - Superficie di rottura piana .....	16
<b>3.3</b>	<b>TERRENI.....</b>	<b>17</b>
<b>3.4</b>	<b>FORME DI CARICO .....</b>	<b>17</b>
<b>3.5</b>	<b>Menù CARICHI ESTERNI.....</b>	<b>19</b>
3.5.1	Azione sismica.....	19
3.5.2	Sovraccarichi ripartiti.....	20
3.5.3	Carichi concentrati .....	21
3.5.4	Combinazioni di carico SLU.....	21
<b>3.6</b>	<b>METODO E IMPOSTAZIONI DI CALCOLO .....</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>CALCOLO .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Back Analysis .....</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>OUTPUT (MENÙ VISUALIZZA).....</b>	<b>24</b>
<b>5.1</b>	<b>Superfici di rottura circolari e poligonali.....</b>	<b>24</b>
<b>5.2</b>	<b>Pendio indefinito.....</b>	<b>28</b>

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 3 di 44
--	----------------------	--------------

<b>6</b>	<b>LICENZA D'USO E RESTRIZIONI DEL SOFTWARE .....</b>	<b>28</b>
	<b>APPENDICE 1 – Valori indicativi proprietà fisico-meccaniche terreni .....</b>	<b>30</b>
	<b>APPENDICE 2 – Gestione errori e requisiti di sistema .....</b>	<b>31</b>
	<b>APPENDICE 3 – Novità versioni software Pendii.Az .....</b>	<b>33</b>
	<b>APPENDICE 4 – Esempi svolti.....</b>	<b>34</b>
	Es. 1 - Pendio stratificato con superficie critica nota .....	34
	Es. 2 - Pendio omogeneo con superficie critica non nota e sovraccarichi.....	35
	Es. 3 - Scavo in argilla satura omogenea .....	41
	<b>APPENDICE 5 – Conversione unità di misura.....</b>	<b>43</b>
	<b>APPENDICE 6 – Bibliografia .....</b>	<b>44</b>

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 4 di 44
--	----------------------	--------------

## 1 INTRODUZIONE

Il software *Pendii.Az*, realizzato in ambiente Microsoft Excel<sup>®1</sup>, effettua le **verifiche di stabilità di pendii naturali e di opere in materiali sciolti e fronti di scavo** applicando i **“metodi dell’equilibrio limite”** con **superfici di rottura circolari o poligonali**.

I pendii possono essere omogenei (costituiti cioè da un solo strato) o stratificati. I metodi di risoluzione implementati sono:

- metodo di **Fellenius** (1936)
- metodo di **Bishop** (1955)
- metodo di **Janbu semplificato** (1957)
- metodo di **Janbu rigoroso** (1973)
- metodo **GLE** (soluzione Generale dell’Equilibrio Limite)/**Morgenstern-Price** (1965)
- metodo di **Spencer** (1967).

Il software, che consente anche di risolvere il problema del **pendio indefinito** in cui la superficie di rottura è piana e parallela alla superficie topografica, è aggiornato alle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni **DM 17/01/2018** (approccio agli **Stati Limite**) e permette di tenere conto:

- delle **azioni sismiche**
- delle **pressioni neutre** (falda) in terreni a grana grossa o media o con applicazione lenta dei carichi in cui si verificano le **condizioni drenate**;
- dei terreni a grana fina (argille, limi) in **condizioni non drenate**
- dei **sovraccarichi ripartiti**, permanenti o variabili, sui vari tratti del pendio
- dei **carichi concentrati e coppie** applicati in qualunque punto del pendio
- di tutte le **combinazioni di carico**, non sismiche e sismiche, che vengono create in automatico in base alla normativa di riferimento.

Le verifiche di stabilità possono essere eseguite anche in conformità alle normative precedenti di cui ai **DD.MM. 11/03/1988** e **16/01/1996** (approccio alle **Tensioni ammissibili**) e al **D.M. 14/01/2008** (approccio agli Stati Limite).

In automatico viene prodotta la **Relazione geotecnica e di calcolo** contenente, tra l’altro, l’esplicitazione delle teorie e dei metodi implementati nel software.

Come per ogni software tecnico, l’utente di *Pendii.Az* deve essere un tecnico dotato di buona padronanza della materia (Geotecnica) e deve conoscere i metodi e i principi a base delle tecniche risolutive adottate dal software; è sempre necessario che l’utente verifichi l’attendibilità dei risultati ottenuti.

---

<sup>1</sup> Per l’utilizzo di *Pendii.Az* è necessario che l’utente disponga del software Microsoft Excel<sup>®</sup> con regolare licenza d’uso.

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 5 di 44
--	----------------------	--------------

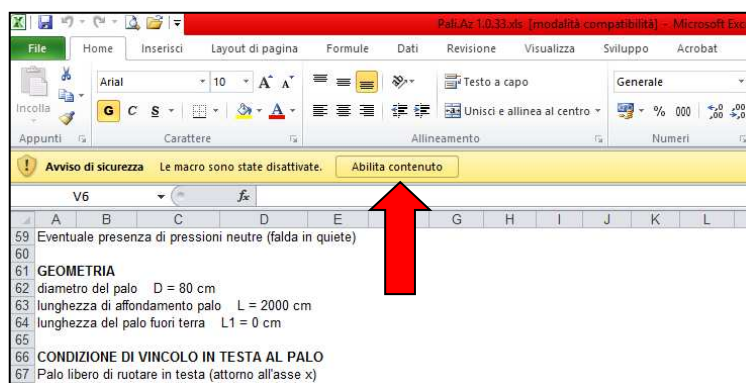
L'applicativo, il cui utilizzo è estremamente semplice ed intuitivo, è molto indicato ai fini didattici oltre che per scopi professionali.

## 2 AVVIO DEL SOFTWARE

Il file contenente l'applicativo si **installa** come uno comune file e può essere allocato in qualsiasi cartella.

Per il funzionamento del software occorre che alla sua apertura le **macro** ivi inserite vengano attivate. Se compare l'*Avviso di sicurezza* di cui all'immagine seguente occorre premere sul pulsante "**Abilita contenuto**".

Se non compare la schermata di presentazione del programma di cui alla Fig. 1 (il che vuol dire che le macro non si sono attivate), occorre impostare il livello di protezione delle macro a "medio" o "basso". Per fare ciò occorre:



✓ se si utilizza Microsoft Excel 1997, 2000, 2003: scegliere il menù *Strumenti*, quindi *Macro*, *Protezione* e scegliere il livello di protezione: se si sceglie

"media" occorre premere il bottone "attiva macro" quando si aprirà l'applicativo *Pendii.Az*;

✓ se si utilizza Microsoft Excel 2007, 2010, 2013 o successivo: occorre mantenere il file come *Cartella di lavoro di Excel 97-2003* e visualizzare il menù **Sviluppo** con la seguente procedura:

- con Excel 2007: fare clic sul pulsante in alto a sinistra **Microsoft Office** e quindi su **Opzioni di Excel**, scegliere **Impostazioni generali** e quindi selezionare la casella di controllo **Mostra scheda Sviluppo sulla barra multifunzione**;
- con Excel 2010/2013: fare clic sul pulsante in alto a sinistra **Microsoft Office** e quindi su **Opzioni di Excel**, scegliere **Personalizza barra multifunzione** e spuntare, nell'elenco *Schede principali*, la voce *Sviluppo*.

Successivamente dal menù Sviluppo scegliere **Protezione macro** => **Impostazioni macro** => scegliere **Attiva tutte le macro** o **Disattiva tutte le macro con notifica**, quindi chiudere e riaprire *Pendii.Az*. Nella barra dei menù in alto a destra si formerà il menù "*Componenti aggiuntivi*" che comprenderà i menù personalizzati di *Pendii.Az*.

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 6 di 44
--	----------------------	--------------

Il software funziona perfettamente ma ha una durata limitata nel tempo. Per eliminare la limitazione temporale occorre **attivarlo** dal menù INFORMAZIONI SU inserendo il codice di attivazione fornito dall'autore. A tale scopo l'utente deve preventivamente comunicare all'autore il **codice HD** che viene visualizzato nel menù INFORMAZIONI SU, tenendo conto che alle volte detto codice è preceduto da un segno meno "-". Il codice di attivazione è riferito al solo PC su cui è stato installato il software e sui cui quindi si è letto il codice HD. Ad attivazione avvenuta è possibile inserire il titolare della licenza d'uso.

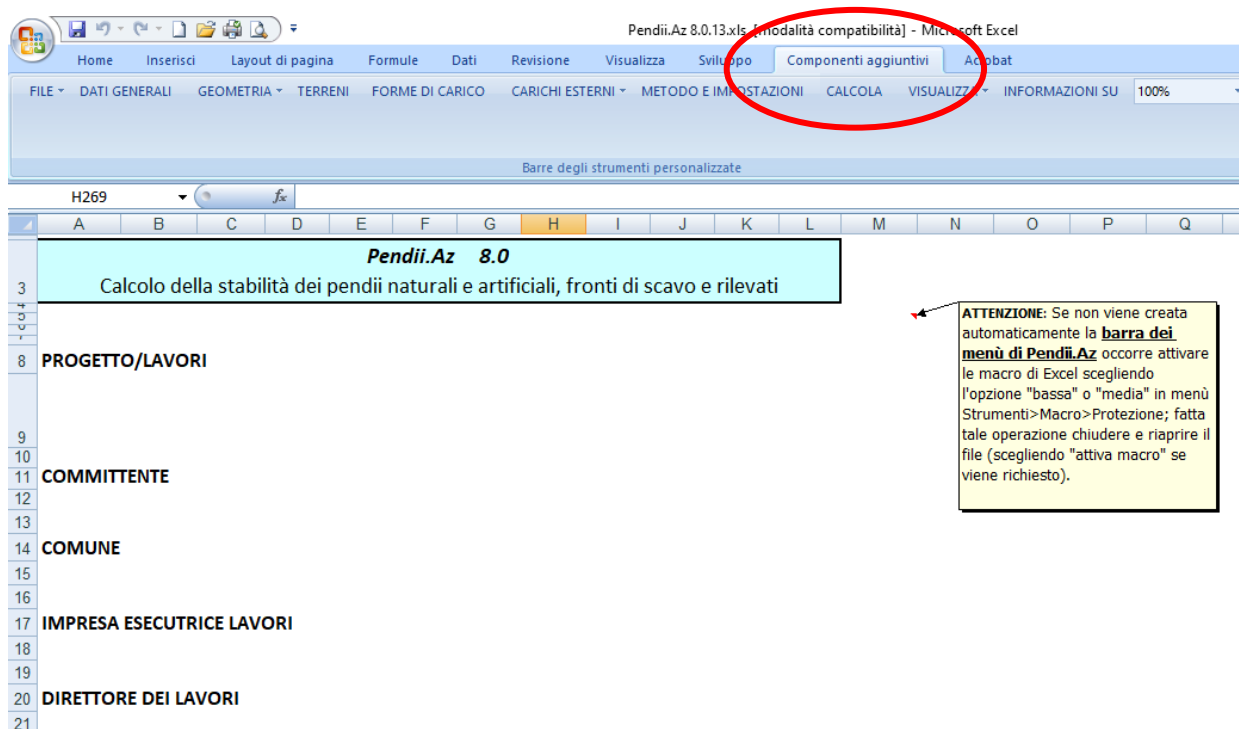
Il software non attivato è comunque funzionante per un certo periodo di tempo e per un determinato numero di volte ma **non può essere utilizzato per scopi professionali** (il tabulato di calcolo e ogni altro riferimento al software non possono essere allegati a progetti sia pubblici che privati).

Avviato il software (anche se non attivato) appare la seguente schermata di presentazione in cui è indicato, tra l'altro, il titolare della licenza d'uso:



Fig. 1 Schermata di presentazione del software

Chiusa la schermata di presentazione, l'area di lavoro di *Pendii.Az* si presenta come segue (notare la barra menù personalizzata, che in Excel 2007/2010/2013 e successivi è sotto il menù **Componenti aggiuntivi**):



Il **menù FILE** (il primo da sinistra) contiene i comandi per:

- effettuare un nuovo calcolo: vengono cancellati tutti i dati riferiti al precedente calcolo, previo avviso di conferma;
- salvare il calcolo con le modifiche apportate;
- salvare le modifiche in un altro file (Salva con nome...), da allocare ovunque si vuole;
- effettuare l'anteprima di stampa;
- stampare il tabulato di calcolo e i disegni;
- impostare l'area di stampa;
- cancellare l'area di stampa precedentemente impostata.

### 3 INPUT

Per i dati di input rappresentati da numeri decimali occorre utilizzare il carattere virgola “,”. Durante la fase di inserimento dei dati di input è opportuno effettuare ogni tanto il “salvataggio” degli stessi per mezzo del menù FILE o premendo il relativo

pulsante .

### 3.1 DATI GENERALI

Il pannello DATI GENERALI permette di inserire i dati generali sul calcolo da effettuare.

Il nominativo indicato nel campo “Tecnico/Società” viene riportato in calce al tabulato di calcolo.

Il numero massimo di strati che possono essere analizzati dal software è 6 (essi vengono definiti geometricamente, come chiarito di seguito, inserendo le coordinate dei vertici del profilo costituente la base dello strato).

#### 3.1.1 UNITÀ DI MISURA

Per le unità di misura si può adottare sia il Sistema Tecnico che il Sistema Internazionale.

Con il Sistema Tecnico le dimensioni geometriche (coordinate punti, raggi cerchi, ...) sono misurate in **m**, gli angoli in gradi sessagesimali ( $^{\circ}$ ), i pesi dell’unità di volume (o pesi specifici) in **kg/m<sup>3</sup>**, la coesione in **kg/m<sup>2</sup>**, il carico uniformemente ripartito in **kg/m**.

Con il Sistema Internazionale le dimensioni geometriche sono misurate in **m**, gli angoli in gradi sessagesimali ( $^{\circ}$ ), il peso dell’unità di volume in **kN/m<sup>3</sup>**, la coesione in **kN/m<sup>2</sup>** (=kPa), il carico uniformemente ripartito in **kN/m**.

**Attenzione:** quando si varia dal pannello DATI GENERALI il sistema per le unità di misura (ad esempio da S.T. a S.I.) con i dati di input già inseriti, ricordarsi di cambiare i valori dei vari parametri di input per adeguarli alle nuove unità di misura; occorre in particolare adeguare i valori dei pesi dell’unità di volume, delle coesioni dei terreni e i



<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 9 di 44
--	----------------------	--------------

valori dei carichi esterni. Ad esempio, il valore del peso dell'unità di volume del terreno nel sistema tecnico di  $1800 \text{ kg/m}^3$  diventa, nel Sistema Internazionale,  $18 \text{ kN/m}^3$ .

### 3.1.2 TIPOLOGIA PENDIO

A seconda che si tratta di pendio naturale o artificiale possono variare i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (definiti in automatico dal software), oltre che i valori dei coefficienti di sicurezza del pendio (fissati dal progettista o assunti dal software in automatico a seconda dei casi).

### 3.1.3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa di riferimento ha riflessi essenzialmente su:

- calcolo dell'azione sismica;
- coefficienti parziali di sicurezza e metodo di verifica (Stati Limite o Tensioni Ammissibili).

Con le NTC del 2018 e del 2008 si adotta per le verifiche di stabilità di **pendii artificiali**<sup>2</sup> (argini di difesa per fiumi, canali e litorali, rinfianchi, rinterri, terrapieni e colmate, costruzioni in terra, rilevati, discariche, scavi per fondazioni di piazzali e/o trincee, ...) il **metodo agli Stati Limite Ultimi**. Viene utilizzato il cosiddetto "Approccio 1-Combinazione 2 ( $A2+M2+R2$ )" che comporta l'applicazione di **coefficienti parziali alle azioni** (gruppo di coefficienti  $A2$ ), **ai parametri di resistenza dei terreni** ( $M2$ ) e alla **resistenza globale** del sistema geotecnico ( $R2$ ). In pratica si opera nel seguente modo:

- i carichi permanenti  $G$ , tra cui il terreno e l'acqua, non vengono amplificati ( $\gamma_G = 1,0$ );
- i carichi variabili  $Q_k$  (ad esempio traffico veicolare) vengono amplificati moltiplicandoli per il coefficiente  $\gamma_Q = 1,3$  quando hanno effetto sfavorevole

---

<sup>2</sup> I **pendii artificiali** sono caratterizzati dal fatto che quasi sempre la geometria è semplice ed è definita a priori, i terreni sono materiali da costruzione omogenei di cui sono note le principali caratteristiche fisico-meccaniche e lo schema di problema piano è verosimile, trattandosi di opere (es. rilevati stradali) aventi una dimensione di gran lunga maggiore rispetto alle altre due e con variazioni graduali della sezione trasversale. Nel caso di pendii artificiali in rilevato, in genere il terreno naturale di fondazione è differente dal terreno in rilevato da costruzione. La messa in opera del rilevato determina un incremento tensionale nel terreno di fondazione inducendo anche un processo di consolidazione. Occorre quindi associare alla verifica della stabilità del pendio anche la verifica a carico limite e il calcolo dei cedimenti, a breve e a lungo termine, del complesso rilevato-terreno di fondazione.

I **pendii naturali**, invece, sono caratterizzati da una geometria irregolare e da una elevata variabilità della stratigrafia e delle caratteristiche geotecniche dei terreni.

Infine nel caso di **scavi** la geometria del pendio è ben definita e regolare ma il terreno è naturale (situazione intermedia).

Non sono inclusi nella trattazione di cui al presente software gli sbarramenti di ritenuta idraulica di materiali sciolti (dighe in terra), oggetto di normativa specifica non inserita nelle NTC.

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 10 di 44
--	----------------------	---------------

per la sicurezza, mentre vengono azzerati se il loro effetto è a favore di sicurezza ( $\gamma_Q = 0$ );

- si riducono i parametri di resistenza al taglio del terreno ( $\tan\phi'_k$ ,  $c'_k$ ,  $c_{uk}$ ) dividendoli per i coefficienti  $\gamma_{\tan\phi'} = 1,25$   $\gamma_{c'} = 1,25$   $\gamma_{cu} = 1,4$ ;
- si assume come coefficiente di sicurezza del pendio artificiale il valore  $\gamma_R = 1,1$  (valore del coefficiente di sicurezza al di sotto del quale il pendio viene dichiarato instabile);
- per le combinazioni di carico sismiche i carichi di qualunque tipo, anche quelli variabili, non vengono amplificati, non si riducono i parametri di resistenza al taglio dei terreni e si assume con le NTC 2018 come coefficiente di sicurezza del pendio artificiale il valore  $\gamma_R = 1,2$  (con le NTC 2008 quest'ultimo valore è fissato dal progettista).

Per i **pendii naturali**, invece, si opera analogamente a quanto previsto dalla normativa D.M. 11/03/1988 (approccio alle **tensioni ammissibili**) adoperando cioè i valori caratteristici dei parametri di resistenza dei terreni, non amplificando i carichi e assumendo come coefficienti di sicurezza del pendio, per combinazioni non sismiche e sismiche, valori assunti e motivati dal progettista in funzione:

- dell'affidabilità del modello geotecnico adottato, ovvero dello schema stratigrafico e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni;
- dei limiti del metodo di calcolo, ovvero delle ipotesi semplificative ad esso associate;
- delle conseguenze di un'eventuale rottura (concetto di "rischio");
- della funzionalità delle strutture e delle infrastrutture che potrebbe essere compromessa anche da movimenti che hanno luogo con coefficienti di sicurezza superiori ad 1 (stato limite di servizio);
- del tempo, ovvero se la stabilità del pendio deve essere assicurata per un breve oppure per un lungo periodo di tempo.

Di seguito si riassumono i coefficienti parziali previsti dalle NTC per i due tipi di pendii:

Verifiche	NTC 2008		NTC 2018	
	combinaz. statiche	combinaz. sismiche	combinaz. statiche	combinaz. sismiche
Stabilità globale pendii artificiali	A2+M2+R2	A0+M2+R2	A2+M2+R2	A0+M1+R2
	R2: 1,1	R2: fissato dal progettista	R2: 1,1	R2: 1,2
Stabilità globale pendii naturali	A0+M1+R2	A0+M1+R2	A0+M1+R2	A0+M1+R2
	R2: fissato dal progettista		R2: fissato dal progettista	

A0 = azioni permanenti e accidentali non amplificate

R = coefficiente parziale di sicurezza sulla singola verifica

La Normativa Italiana previgente (D.M. 11/03/1988) prescriveva, per i rilevati e le opere in materiali sciolti in genere, che: *“Nel caso di terreni omogenei e nei quali le pressioni interstiziali siano note con sufficiente attendibilità, il coefficiente di sicurezza*

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 11 di 44
--	----------------------	---------------

*non deve essere minore di 1,3. Nelle altre situazioni il valore del coefficiente di sicurezza da adottare deve essere scelto caso per caso, tenuto conto principalmente della complessità strutturale del sottosuolo, delle conoscenze del regime delle pressioni interstiziali e delle conseguenze di un eventuale fenomeno di rottura.”*

Per le verifiche di stabilità effettuate a frana in corso, e quindi in cui è nota la superficie di scivolamento e si utilizza la resistenza al taglio residua del terreno, si possono adottare coefficienti di sicurezza relativamente più bassi rispetto ai valori suggeriti. Analogamente possono adottarsi coefficienti più bassi per quelle opere in cui le conseguenze di un'eventuale rottura sono limitate e per quelle verifiche che prevedono la contemporanea presenza di azioni sismiche.

### 3.1.4 GEOMETRIA SUPERFICIE DI ROTTURA

Il software consente di scegliere tra superficie di rottura circolare, che può essere nota a priori o incognita, superficie di rottura poligonale (nota) e superficie di rottura piana e parallela alla superficie limite (pendio indefinito).

### 3.1.5 DATI COSTRUZIONE

Con il calcolo secondo le NTC 2008 e 2018 occorre indicare la **Vita nominale di progetto** (non minore di 5 anni) dell'opera in materiale sciolto o delle costruzioni insistenti nel pendio, la **Classe d'uso** e il **Coefficiente d'uso**; per quest'ultimo il software evidenzia il valore indicato dalla norma a seconda della classe d'uso prescelta.

La **vita nominale di progetto**  $V_N$  dell'opera strutturale si individua in base alle

**Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni**

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

indicazioni della tabella 2.4.I delle NTC.

La Classe d'uso si fissa, tra le quattro previste dalla

norma di cui al paragrafo 2.4.2. NTC, avuto riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso. Alla classe d'uso fissata corrisponde il coefficiente d'uso di cui alla tabella 2.4.II.

*Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

*Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

*Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

*Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

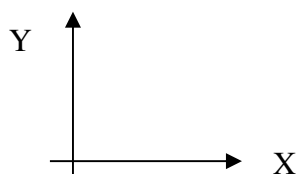
CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Per le costruzioni a servizio di attività a rischio di incidente rilevante si adotteranno valori di  $C_U$  anche superiori a 2, in relazione alle conseguenze sull'ambiente e sulla pubblica incolumità determinate dal raggiungimento degli stati limite.

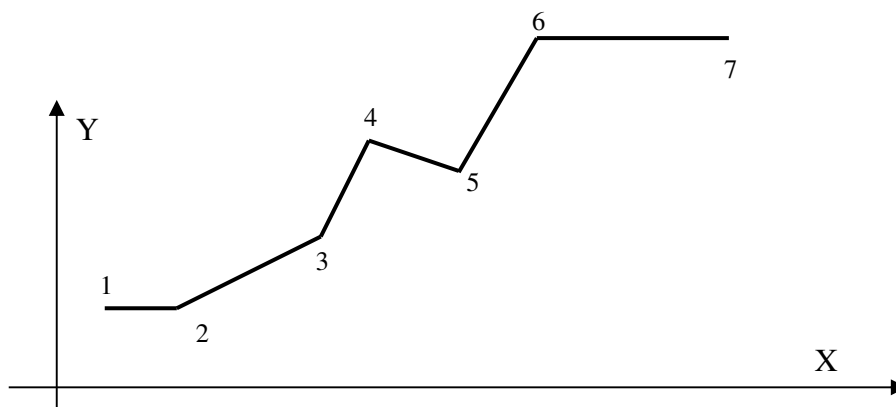
## 3.2 Menù GEOMETRIA

### 3.2.1 PENDIO

Il sistema di riferimento globale XY è del tipo di cui sotto, con l'asse X orizzontale verso destra, l'asse Y verticale diretto verso l'alto e l'origine fissata a piacere rispetto alla geometria del pendio.



Nell'inserire le coordinate dei vertici del pendio occorre rispettare le condizioni di pendio senza tratti verticali e/o in contropendenza procedendo da sinistra verso destra.



Deve essere quindi:

$$X_{i+1} > X_i \quad \text{per } i = 1, 2, \dots, N_{vp}-1$$

dove  $N_{vp}$  è il numero dei vertici del pendio (nell'esempio di sopra  $N_{vp} = 7$ ) ed "i" indica il generico vertice del pendio. Se l'utente inavvertitamente inserisce dati che non sono geometricamente ammissibili il software dà il relativo messaggio di errore appena si esegue il calcolo. Nel caso di tratto di pendio verticale, basta inserire l'ascissa del vertice finale aumentata di pochissimo, anche 0,01 m.

La maschera di inserimento dati geometria è qui di seguito riportata; essa contiene sufficienti indicazioni per consentire l'input correttamente. Il pulsante "Carica" (attivabile anche premendo il tasto INVIO) consente di inserire in coda all'elenco le

N°	ascissa vertice (m)	ordinata vertice (m)	N° vert.	X	Y
1			1	0	6,1
2			2	10	6,1
3			3	13	8,4
4			4	15	8,4
...			...	22	11
				25	11
				35	15

coordinate del vertice; per inserire un punto P(X,Y) prima di un punto già inserito basta selezionare dalla lista quest'ultimo punto, inserire le coordinate del nuovo punto e premere su "Carica". Il pulsante "Modifica" consente di modificare le coordinate

del punto selezionato dall'elenco (in alternativa basta cliccare due volte sul punto dell'elenco).

### 3.2.2 SUPERFICI DI ROTTURA

#### 3.2.2.1 SUPERFICI DI ROTTURA CIRCOLARI

Quando non è noto o fissato a priori il cerchio critico (cerchio a cui corrisponde il minimo coefficiente di sicurezza), il software effettua il calcolo assumendo il centro

**Cerchi di rottura**

☐ E' noto o fissato il cerchio critico (di rottura)

☒ coordinate del centro e raggio del cerchio

☐ cerchio passante per 3 punti non allineati

☒ Non è noto il cerchio critico (di rottura)

Ascissa vertice inf. sinistro rettang. centri dei cerchi di rottura xC1 (m) 10

Ordinata vertice inf. sinistro rettang. centri dei cerchi di rottura yC1 (m) 17

Ascissa vertice sup. destro rettang. centri dei cerchi di rottura xC2 (m) (>=xC1) 22

Ordinata vertice sup. destro rettang. centri dei cerchi di rottura yC2 (m) (>=yC1) 24

N° di centri di cerchio da considerare lungo x (>=1) 5

N° di centri di cerchio da considerare lungo y (>=1) 3

☒ senza vincoli ☐ con vincolo: sub-strato rigido profilo n°

N° di cerchi per ogni centro 4 Distanze tra i cerchi (m) 1

☐ con vincolo: passanti per un punto noto x (m) y (m)

del cerchio di rottura variabile all'interno di una regione rettangolare fissata dall'utente. Occorre dunque fissare le coordinate dei vertici della diagonale principale di tale rettangolo:

$$X_{c1} \geq 0$$

$$Y_{c1} \geq 0$$

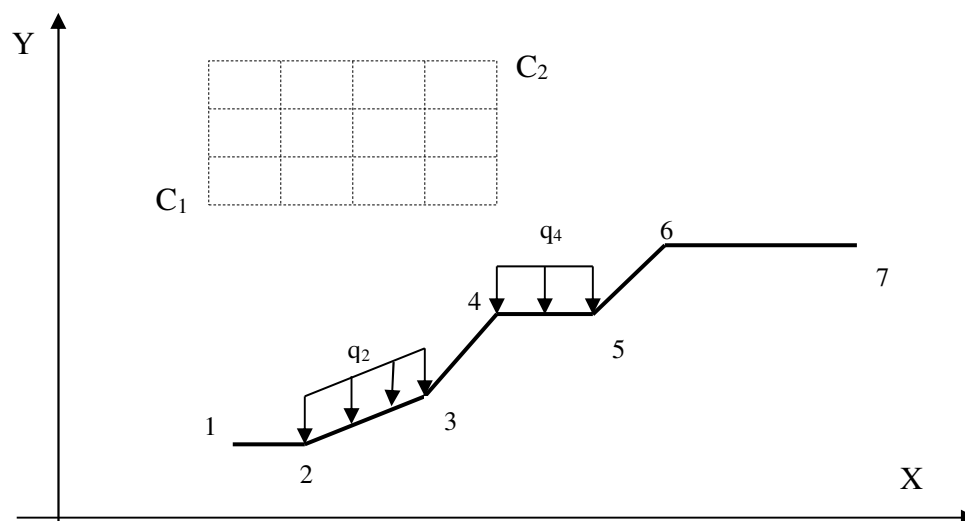
$$X_{c2} \geq X_{c1}$$

$$Y_{c2} \geq Y_{c1}$$

Occorre fissare pure il numero di centri di cerchio da considerare lungo le direzioni X e Y (**maglia dei centri** dei cerchi di rottura). Così se ad es.  $N_{cx} = 5$  e  $N_{cy} = 4$ , il software effettuerà il calcolo considerando un totale di 20 centri, come in figura. Vengono automaticamente scartati i centri che non sono geometricamente ammissibili (quelli cioè che cadono sotto il profilo del pendio e/o il cui arco di cerchio non è secato, per dato raggio, dal profilo del pendio).

Conviene iniziare il calcolo assumendo una maglia di centri abbastanza ampia e con un passo non ridotto. Effettuato il calcolo si individua il cerchio critico. Si imposta

allora un calcolo di maggiore precisione fissando una maglia di centri nell'intorno del centro del cerchio critico trovato, con un passo più piccolo. Questo secondo calcolo darà un risultato più preciso sulla superficie critica e sul corrispondente coefficiente di sicurezza.



I cerchi di rottura possono essere definiti senza alcun vincolo oppure con il vincolo di non secare/attraversare un substrato rigido<sup>3</sup> (roccioso). In entrambi i casi occorre fissare:

- il numero dei cerchi da analizzare per ogni centro (tra 1 e 11);
- la distanza tra i cerchi di rottura (si consiglia di non superare i 2 m).

Nel caso di presenza di substrato rigido (n° di strati maggiore di uno) occorre precisare il numero del profilo che separa lo strato soprastante da quello rigido. Se ad esempio sono presenti tre strati, di cui il terzo rigido, occorre indicare il profilo n° 2 che rappresenta il profilo di base dello strato n° 2 e quello di testa dello strato n° 3.

Un'altra vincolo che può essere imposto è quello di far passare tutti i cerchi da uno stesso punto noto.

Quando è noto o fissato il cerchio critico<sup>4</sup> questo può essere definito in due modi:

- inserendo le coordinate del centro del cerchio e il raggio;
- inserendo le coordinate di tre punti non allineati per i quali passa il cerchio critico.

Mediante **Visualizza pendio** del menù GEOMETRIA è possibile verificare se l'input della geometria è stato effettuato correttamente. Qualora la scala di rappresentazione non sia soddisfacente è possibile cambiarla dal pannello METODO E IMPOSTAZIONI. Le varie scritte presenti nel disegno (che riportano i dati geotecnici

<sup>3</sup> Lo strato rigido/roccioso ha una rigidità al taglio molto maggiore degli altri, e quindi non viene attraversato dai cerchi di rottura. Tutte le superfici di rottura generate in fase di calcolo, che attraversano lo strato rigido, vengono pertanto escluse dalla verifica.

<sup>4</sup> Ad esempio nei pendii in frana nei quali, per mezzo di indagini, è possibile conoscere la reale superficie di scorrimento.

dei vari strati, ecc.) possono essere spostate con il mouse per il posizionamento ottimale.

### 3.2.2.2 SUPERFICIE DI ROTTURA POLIGONALE

La superficie di rottura poligonale viene inserita come già visto per i vertici del pendio:

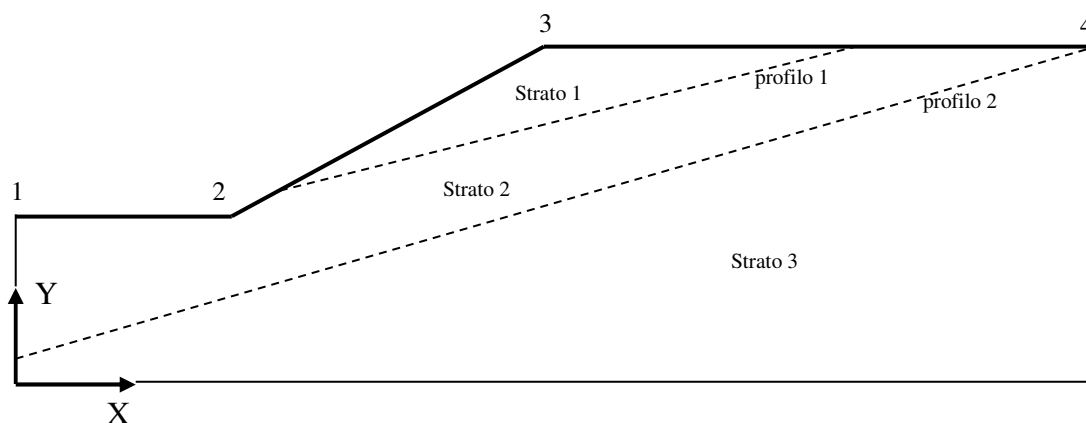
Mediante **Visualizza pendio** è possibile verificare se l'input è stato effettuato correttamente.

### 3.2.3 STRATIGRAFIA

Se il numero degli strati inserito in DATI GENERALI è maggiore di uno occorre inserire le coordinate dei vertici dei profili che definiscono la base dei vari strati, con procedura identica a quella vista per la geometria del pendio.

Se con N si indicano il numero degli strati, i profili di separazione degli strati sono N-1. Il profilo n° 1 definisce la base (il fondo) dello strato n° 1 e così via. Per l'ultimo strato non occorre definire il profilo di base (lo strato si suppone di estensione infinita). Nella numerazione degli strati, da cui ne segue la numerazione dei profili stratigrafici, è necessario

procedere dall'alto verso il basso del pendio.



### 3.2.4 CONDIZIONE DRENATE O NON DRENATE

Il software consente di effettuare il calcolo sia in condizioni drenate che non drenate. In condizioni drenate con presenza della falda, quando questa non coincide con il piano di campagna (terreno saturo), deve essere inserito il relativo profilo della falda con procedura analoga a quella vista per l'inserimento del profilo del pendio e dei profili stratigrafici. Nell'inserire il profilo della falda si deve possibilmente fare in modo che il primo e l'ultimo punto abbiano, rispettivamente, l'ascissa del primo e dell'ultimo punto del profilo del pendio.

Il profilo della falda può essere visualizzato cliccando su **Visualizza** del menù GEOMETRIA.

Nel caso di condizioni non drenate (es. in presenza di argille sature), se occorre

fare anche il calcolo a lungo termine in condizione drenate basta fare una copia del file (menù *FILE>Salva con nome ...*) e scegliere nel presente pannello l'opzione "Condizioni drenate" e "terreno saturo" o "falda avente il seguente profilo".

### 3.2.5 PENDIO INDEFINITO - SUPERFICIE DI ROTTURA PIANA

Nel caso di pendio indefinito si presenta la seguente maschera di inserimento dati sulla geometria e sulle pressioni neutre:



La funzione “*Calcola z noto lo spessore h*” consente di calcolare l’affondamento  $z$  (misurato lungo la verticale) della superficie di rottura noti lo spessore  $h$  e l’inclinazione  $\alpha$  dello strato di pendio oggetto di scivolamento.

### 3.3 TERRENI

Permette di inserire le caratteristiche fisico - meccaniche dei terreni costituenti i vari strati (pesi dell’unità di volume, angoli di resistenza al taglio, coesioni). Per le analisi in condizioni di rottura non drenate è necessario inserire i relativi parametri di resistenza al taglio non drenati ( $\phi_u=0$  e  $c_u$ ).

Se un terreno è saturo il peso dell’unità di volume  $\gamma$  coincide con il peso dell’unità di volume saturo  $\gamma_{sat}$ . Se invece è presente la falda ad una certa profondità occorre inserire i valori relativi al terreno sopra la falda e a quello interessato dalla falda (in genere sono diversi).

**CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI**

Parametri geotecnici terreni (valori caratteristici)

Descrizione strato

Peso dell'unità di volume  $g$  (kN/mc)

Peso dell'unità di volume saturo  $g_{sat}$  (kN/mc)

Angolo di resistenza al taglio drenato  $f'$  (°)

Coesione drenata  $c'$  (kN/mq)

Angolo di resistenza al taglio non dren.  $f_u$  (°)

Coesione non drenata  $c_u$  (kN/mq)

N° str.	descriz	$g$	$g_{sat}$	$f'$	$c'$	$f_u$	$c_u$
1	Strato omogeneo	17.64		10	9.8		

Carica >> Modifica Elimina

Annulla Salva e chiudi

### 3.4 FORME DI CARICO

I carichi che agiscono sul pendio vengono gestiti per **Forme di carico**. Una forma di carico rappresenta, in pratica, uno o più carichi che vengono gestiti come un tutt'uno (come a disegnare una “forma” di carico): se una data forma di carico è presente in una combinazione di carico allora sono presenti tutti i carichi appartenenti alla medesima forma di carico.

Una combinazione di carico è la “somma” di più forme di carico: le forme di carico inserite nella stessa combinazione agiscono simultaneamente, in genere con coefficienti di partecipazione diversi a seconda se si tratta di forma di carico permanente, variabile ecc.

Definite le forme di carico, le combinazioni di carico possono essere generate in automatico dal software (vedi oltre), in modo da considerare le più sfavorevoli condizioni di stabilità per il pendio in studio, e possono essere modificate.

**DEFINIZIONE FORME DI CARICO**

Nome forma di carico:

tipologia:

favorevole o sfavorevole alla sicurezza:

imposta

coeff. di combinazione "raro"  $\Psi_0$ :

coeff. di combinazione "frequente"  $\Psi_1$ :

coeff. di combinazione "quasi permanente"  $\Psi_2$ :

Aggiungi >>

Modifica

Elimina

	Nome	tipologia	fav/sfav	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
1	G1	permanente	sfavorevole			
2	ACC1	variabile		0,7	0,5	0,3
3	ACC2	variabile		0,7	0,5	0,3

Annulla Salva e chiudi

Per definire una forma di carico occorre indicare il nome e la tipologia (tra "permanente", "permanente non strutturale" e "variabile"). Per le forme di carico permanenti occorre precisare se sono a "favore di sicurezza" o "a sfavore di sicurezza". Per le forme di carico variabili occorre inserire i coefficienti di combinazione "raro"  $\Psi_0$ , "frequente"  $\Psi_1$  e "quasi permanente"  $\Psi_2$ ; premendo su "imposta" vengono inseriti i valori relativi alla *Categoria G-Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli* di cui alla Tab. 2.5.I delle NTC, ovvero 0,7 per il coeff. "raro" e "frequente" e 0,6 per il coeff. "quasi permanente", fatto salvo che l'utente può inserire valori diversi.

Nell'inserire i carichi concentrati o distribuiti, permanenti e/o saltuari, che agiscono nel pendio occorrerà precisare a quale forma di carico il predetto carico appartiene, ricordandosi che un dato carico può fare parte di una e una sola forma di carico.

Si accenna a qualche casistica che si può presentare nelle applicazioni pratiche:

1. se nel pendio non ci sono carichi o sovraccarichi applicati occorre definire una sola forma di carico di tipo permanente (chiamata ad esempio G) per simulare il peso proprio del terreno;
2. se nel pendio sono presenti solo carichi e sovraccarichi permanenti occorre definire una sola forma di carico di tipo permanente;
3. se nel pendio sono presenti due sovraccarichi accidentali indipendenti tra loro (nel senso che la presenza di uno non è legata alla presenza dell'altro), occorre definire due forme di carico di tipo variabile (chiamandole es. ACC1 e ACC2);
4. nel caso 3, se i due sovraccarichi accidentali non sono tra loro indipendenti è sufficiente definire una sola forma di carico di tipo accidentale (es. ACC); il software nelle combinazioni di carico gestirà in contemporanea i due sovraccarichi (o tutti e due presenti o tutte e due assenti).

Si rinvia agli esempi in appendice per maggiori chiarimenti.

## 3.5 Menù CARICHI ESTERNI

### 3.5.1 AZIONE SISMICA

Il pannello è attivo quando in DATI GENERALI si è scelto di considerare l'azione sismica. I coefficienti sismici possono essere calcolati dal software (scelta da preferire) o inseriti direttamente dall'utente.

Per l'analisi sismica del pendio viene applicato il **metodo Pseudo-statico** in cui l'azione sismica viene simulata da forze statiche (costanti nel tempo), applicate nei baricentri dei conci in cui si divide il pendio, di intensità proporzionale al peso dei conci e di direzione orizzontale e verticale; i coefficienti di proporzionalità sono detti **coefficienti sismici** e vengono inseriti o calcolati dal software in funzione dei parametri sismici di cui al pannello sopra stante:

$C_H$  coefficiente sismico orizzontale;

$C_v$  coefficiente sismico verticale.

La forza sismica orizzontale ha verso positivo quando agevola lo scivolamento del pendio (verso valle); la forza sismica verticale ha verso positivo se diretta verso il basso (sima verso l'alto, forze di inerzia verso il basso). Il software effettua il calcolo sia per  $C_v$  positivo che negativo, assumendo la condizione più sfavorevole per la sicurezza.

Per calcolare i coefficienti sismici con il D.M. 14/01/2008 o il D.M. 17/01/2018 (**NTC**) occorre precisare:

- la **localizzazione del sito**;
- la **categoria di sottosuolo**;

- la **categoria topografica**.

Per i siti ricadenti sulla penisola o nelle isole di Sicilia, Ischia, Procida e Capri, la localizzazione avviene mediante le coordinate Latitudine e Longitudine (esprese in gradi sessadecimali). Le coordinate geografiche si ricavano dalla cartografia di progetto oppure mediante Internet (es. con Google Maps o con Google Earth).

Si ricorda che il range di validità del reticolo sismico di riferimento, contenente tutto il territorio italiano, è il seguente:

- Longitudine compresa tra 6°,5448 e 18°,594;
- Latitudine compresa tra 36°,573 e 47°,178.

Per le altre isole italiane basta precisare il gruppo a cui appartiene il sito di costruzione.

Se si è scelto il D.M. 11/03/1988+16/01/1996 occorre inserire l'unico parametro **Grado di sismicità S** relativo al sito.

### 3.5.2 SOVRACCARICHI RIPARTITI

Pannello con cui si caricano gli eventuali sovraccarichi uniformi, permanenti e/o variabili, applicati nei vari tratti del pendio. Detti sovraccarichi hanno direzione verticale (lungo Y) e segno positivo (verso il basso).

Per ogni tratto interessato da sovraccarichi uniformi occorre precisare la *Forma di carico* a cui appartiene il sovraccarico e l'intensità. Un dato tratto di pendio può essere interessato da più sovraccarichi appartenenti a forme di carico diverse. Si

penzi all'esempio in cui è applicato un sovraccarico permanente e uno accidentale sullo stesso tratto di pendio.

I sovraccarichi sono uniformi per ogni tratto. Se in uno stesso tratto di pendio sono presenti due sovraccarichi di intensità differente basta fare la suddivisione in due tratti e fare l'input della geometria del pendio che ne consegue.

### 3.5.3 CARICHI CONCENTRATI

Pannello in cui si inseriscono eventuali carichi concentrati applicati al pendio

Componenti lungo gli assi globali e coordinate punto di applicazione					
Forma di carico	FX ( kN)	FY ( kN)	CZ ( kN*m)	X (m)	Y (m)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

<<Aggiungi  
Modifica  
Elimina

FX è positiva se diretta da monte verso valle, FY è positiva se diretta dall'alto verso il basso, CZ è positiva se antioraria. I carichi sono riferiti ad un metro di pendio lungo la direzione trasversale Z

Annulla Salva e chiudi

(componente orizzontale FX, verticale FY e momenti CZ), precisando le coordinate del punto di applicazione (X, Y) e la forma di carico a cui appartiene.

La componente FX è positiva se diretta da monte verso valle (-X), la componente verticale è positiva se diretta dall'alto verso il basso (-Y), il momento/coppia è positiva se antioraria.

I carichi concentrati possono essere inseriti per

simulare la presenza di **interventi di stabilizzazione del pendio**, quali muri di sostegno, paratie, tiranti, zavorre a valle ecc.

In corrispondenza di tali opere si andranno ad inserire forze verticali che ne rappresentano la forza peso. In presenza di tiranti si andranno ad inserire forze, in genere inclinate, di intensità pari alla resistenza allo sfilamento dei tiranti ecc.

### 3.5.4 COMBINAZIONI DI CARICO SLU

Permette di generare le combinazioni di carico allo stato limite ultimo secondo le indicazioni della normativa di riferimento. Premendo su "Visualizza/modifica combinazioni" verranno visualizzate le combinazioni di carico in cui alle forme di carico presenti vengono assegnati i coefficienti di combinazione  $C_c$ :

- il valore 0 (zero) significa che la forma di carico non è presente nella combinazione
- il valore >0 significa che la forma di carico partecipa alla combinazione, eventualmente con coefficiente di combinazione  $C_c = \Psi$  minore di 1

COMBINAZIONI DI CARICO S.L.U.										
<b>10</b>	Numero di combinazioni create									
Nome combinaz.	FORME DI CARICO E COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE C <sub>c</sub>									
	E	G1	ACC1	ACC2						
COMB. 1 (SLU-F)	0	1	0	0						
COMB. 2 (SLU-F)	0	1	1	0						
COMB. 3 (SLU-F)	0	1	0	1						
COMB. 4 (SLU-F)	0	1	1	0,7						
COMB. 5 (SLU-F)	0	1	0,7	1						
COMB. 6 (SLU-S)	1	1	0	0						
COMB. 7 (SLU-S)	1	1	0,3	0						
COMB. 8 (SLU-S)	1	1	0	0,3						
COMB. 9 (SLU-S)	1	1	0,3	0,3						
COMB. 10 (SLU-S)	1	1	0,3	0,3						

Detto N<sub>p</sub> il numero di forme di carico permanenti e N<sub>v</sub> il numero di forme di carico variabili, vengono create dal software:

- la combinazione di carico in cui sono presenti solo i carichi permanenti

$$Comb_1 = G_1 + G_2 + \dots$$

- N<sub>v</sub> combinazioni in cui è presente a rotazione una sola forma di carico variabile

$$Comb_j = G_1 + G_2 + \dots + Q_i \quad i=1,2, \dots, N_v$$

- N<sub>v</sub> combinazioni in cui è presente una forma di carico variabile dominante e le altre forme di carico variabili secondarie (che partecipano con Ψ<sub>0</sub>). Ognuna delle forme variabili viene impostata a turno come dominante:

$$Comb_j = G_1 + G_2 + \dots + Q_1 + \Psi_{02} \cdot Q_2 + \Psi_{03} \cdot Q_3 + \dots$$

In presenza di sisma le combinazioni di carico raddoppiano (le stesse di prima con la presenza della forma di carico "sisma" E e con i coefficienti "quasi permanenti" Ψ<sub>2</sub> al posto di quelli "rari" Ψ<sub>0</sub>).

La sigla "SLU-F" indica combinazione allo stato limite ultimo di tipo "Fondamentale" (cfr. Capitolo 2 NTC), la sigla "SLU-S" combinazione allo stato limite ultimo sismica (E).

Nell'esempio sopra indicato, la combinazione 10 coincide con la 9 essendo i coefficienti di combinazione Ψ<sub>2</sub> delle forme di carico variabili uguali. In questo caso la combinazione di carico 10 può essere eliminata.

L'utente può eliminare, inserire o modificare le combinazioni di carico create dal software, non lasciando righe vuote tra le combinazioni. Nel caso di aggiunta o eliminazione di combinazioni occorre adeguare il valore della cella "Numero di combinazioni create".

### 3.6 METODO E IMPOSTAZIONI DI CALCOLO

Permette di selezionare, per le superfici di rottura circolare, il metodo di calcolo tra:

- **metodo di Fellenius**

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 23 di 44
--	----------------------	---------------

- **metodo di Bishop semplificato**
- **metodo di Janbu semplificato**
- **metodo di Janbu rigoroso**
- **metodo GLE** (soluzione Generale dell'Equilibrio Limite)/Morgenstern-Price
- **metodo di Spencer.**

Per le superfici di rottura poligonali non possono utilizzarsi i metodi di Fellenius e di Bishop, applicabili solo a superfici di rottura circolari.

Se si sceglie il metodo "Janbu rigoroso", i cui risultati è sempre bene confrontare con quelli ottenuti con altro metodo in quanto in alcuni casi si possono presentare problemi di convergenza (problema mal condizionato), occorre inserire il rapporto d/H tra la distanza d del punto di applicazione della forza di interconco dalla superficie di scivolamento e l'altezza H del concio. Tale rapporto deve essere compreso tra 0 e 1.

Con il metodo GLE occorre specificare la funzione f(x) da adottare (funzione costante, sinusoidale o a trapezio).

**IMPOSTAZIONI E METODI DI CALCOLO**

**Metodo di calcolo**

☐ Metodo di Fellenius

☐ Metodo di Bishop

☒ Metodo di Janbu semplificato

☐ Metodo di Janbu rigoroso; rapporto d/H =

☐ Metodo GLE (soluzione Generale)  
Morgenstern-Price con f(x) =

☐ Metodo di Spencer

**Scelta dei coefficienti di sicurezza**

*Indicare, quando non imposti dalla normativa, i valori dei coefficienti di sicurezza al di sotto dei quali il pendio viene dichiarato instabile*

Combinazioni non sismiche

Combinazioni sismiche

**Altre impostazioni**

N° medio di conci in cui dividere il pendio (>1)

Scala disegni 1:

**Annulla** **Salva e chiudi**

Per il numero di conci in cui mediamente suddividere il pendio ai fini del calcolo si consiglia un valore compreso tra 10 e 20.

Occorre tenere presente che se si calcolano un numero elevato di cerchi con i metodi GLE o Spencer, il tempo di calcolo può essere sensibilmente superiore a quello necessario con altri metodi; ciò deriva dal maggior numero di operazioni necessarie.

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 24 di 44
--	----------------------	---------------

Si consiglia l'applicazione del metodo di Bishop che pure essendo un metodo semplificato da risultati del tutto in linea con i metodi c.d. "rigorosi" (GLE, Spencer) con un tempo di esecuzione dei calcoli molto più basso.

Per la scelta dei coefficienti di sicurezza, quando non sono imposti dalla normativa prescelta (in questo caso le celle di input sono disattivate, come in figura), occorre prendere in considerazione quanto indicato al paragrafo 3.1.3.

## 4 CALCOLO

Terminata la fase di input può essere avviato il calcolo premendo il relativo bottone. Durante la fase di calcolo il programma controlla la compatibilità geometrica dei dati introdotti segnalando eventuali errori.

Si precisa comunque che il programma si limita a verificare le incongruenze geometriche che non permettano l'elaborazione; non segnala eventuali errori del progettista sulle caratteristiche fisico-meccaniche del pendio né altri tipi di errori.

Nella risoluzione del problema la larghezza  $\Delta X$  dei conci viene determinata, per ogni superficie di rottura, prendendo a riferimento il numero medio di conci (scelto dall'utente) in cui dividere il tratto di pendio in esame, in maniera tale che tra due vertici consecutivi del pendio ci sia sempre un numero intero di conci.

Per superfici di rottura circolari libere da vincoli si assume che il raggio del cerchio di rottura cresca, ad ogni calcolo per dato centro, della distanza fissata dall'utente (cerchi equidistanti).

Le metodologie e le teorie di calcolo implementate nel software sono riportate nella **Relazione di calcolo** che corredata il software.

### 4.1 Back Analysis

Il software permette di effettuare l'analisi a ritroso (**Back Analysis**), ovvero nota che è la superficie di scivolamento (frana avvenuta), le condizioni idrogeologiche, la stratigrafia dei terreni e imponendo il coefficiente di sicurezza  $\eta = 1$  (calcoli a tentativi) si ricava il valore medio della resistenza al taglio mobilitata a rottura (coesione e angolo  $\phi$ ). In questo modo si può verificare se la resistenza al taglio mobilitata a rottura coincide o meno con la resistenza di picco dei terreni o con quella residua o con un valore intermedio.

## 5 OUTPUT (Menù Visualizza)

### 5.1 Superfici di rottura circolari e poligonali

Il menù **VISUALIZZA** permette la visualizzazione:



<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 25 di 44
--	----------------------	---------------

- dei risultati numerici (**Tabulato di calcolo**):
  - Parametri sismici per il sito di costruzione (coefficienti sismici, accelerazione massima attesa al sito, ecc.)
  - Azioni e parametri geotecnici di progetto
  - Coefficienti di sicurezza per ogni superficie di rottura calcolata
  - Cerchio critico
  - Coefficiente di sicurezza del pendio, sia per le combinazioni non sismiche che per quelle sismiche
- del disegno del pendio con indicazione dei sovraccarichi distribuiti, dei carichi concentrati e delle superficie di rottura calcolati (un disegno per ogni combinazione di carico). Nel caso di superficie di rottura circolare viene visualizzato in rosso il cerchio di rottura corrispondente al minimo coefficiente di sicurezza (**cerchio critico**). Vengono anche indicati i centri dei cerchi di rottura presi in esame;
- dei diagrammi su coefficiente di sicurezza del pendio relativi ai metodi di Spencer e GLE/Morgerstern-Price;
- della **Relazione di calcolo** in formato .doc modificabile, contenente anche le teorie ed i metodi implementati in *Pendii.Az*, a cui allegare il Tabulato di calcolo. Il progettista/tecnico apporterà alla Relazione di calcolo le modifiche e le integrazioni dipendenti dal caso in studio, con particolare riferimento alle parti evidenziate in giallo e laddove ritenuto necessario.

L'applicativo fornisce i coefficienti di sicurezza per tutti i cerchi di rottura fissati dall'utente. Così, nel caso di cerchio critico non noto a priori (menù GEOMETRIA), se  $N_{cx} = 5$ ,  $N_{cy} = 5$ ,  $N_{cerchi} = 5$ , l'applicativo fornirà i dati calcolati per tutti e  $5 \times 5 \times 5 = 125$  cerchi, per ogni combinazione di calcolo considerata dal software!!!

Per ogni cerchio calcolato il software effettua la suddivisione in conci e calcola:

- il peso  $W_t$  di ogni concio, tenendo conto delle caratteristiche dei vari terreni (stratigrafia) e dell'eventuale presenza di falda
- la risultante verticale  $W_q$  del sovraccarico distribuito sul concio per la data combinazione di carico
- le forze risultanti orizzontale  $F_x$ , verticale  $F_y$  e momenti  $C_z$ , dei carichi concentrati applicati sul concio
- l'angolo alfa ( $< 90^\circ$ ) formato dalla base del concio con l'orizzontale (positivo se orario)
- la pressione neutre "u" alla base di ogni concio
- la larghezza  $\Delta X$  del concio

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. <i>Ciro Azzara</i> )	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 26 di 44
--	----------------------	---------------

- le forze sismiche orizzontale Fsh e verticale Fsv e il braccio della forza sismica orizzontale rispetto al polo dei momenti (centro del cerchio di rottura nel caso di superfici di rottura circolari);
- la coesione e l'angolo di resistenza al taglio di progetto del terreno alla base del concio (a seconda dei casi possono essere i valori drenati o quelli non drenati, ridotti o meno per effetto dei coefficienti parziali)
- le forze normali e tangenziale alla base del concio (N, T)
- le forze di interconcio (X, E)

Per il cerchio critico il software riporta i dati relativi ai vari conci mentre per gli altri cerchi si riporta solo il corrispondente coefficiente di sicurezza. Qui di seguito si riporta un esempio:

**Cerchio critico: Xc (m)= 8,67 Yc (m)= 13,93 Rc (m)= 9,68**

concio	Wt	Wq	alfa (°)	u	DX	Fsh	bFsh	Fsv	C_d	Fi_d (°)
1	0,02	0	-22,48	0	0,07	0	8,94	0	9,8	10
2	3,31	0	-20,31	0	0,62	0	8,92	0	9,8	10
3	9,04	0	-16,41	0	0,62	0	8,87	0	9,8	10
4	14,27	0	-12,59	0	0,62	0	8,8	0	9,8	10
5	19,02	0	-8,82	0	0,62	0	8,7	0	9,8	10
6	23,31	0	-5,1	0	0,62	0	8,58	0	9,8	10
7	27,14	0	-1,39	0	0,62	0	8,44	0	9,8	10
8	30,53	0	2,31	0	0,62	0	8,29	0	9,8	10
9	33,47	0	6,02	0	0,62	0	8,11	0	9,8	10
10	35,96	0	9,75	0	0,62	0	7,91	0	9,8	10
11	37,99	0	13,54	0	0,62	0	7,69	0	9,8	10
12	39,53	0	17,37	0	0,62	0	7,44	0	9,8	10
13	40,55	0	21,3	0	0,62	0	7,18	0	9,8	10
14	41,02	0	25,32	0	0,62	0	6,89	0	9,8	10
15	40,89	0	29,5	0	0,62	0	6,57	0	9,8	10
16	40,07	0	33,85	0	0,62	0	6,22	0	9,8	10
17	38,47	0	38,44	0	0,62	0	5,84	0	9,8	10
18	34,48	0	43,36	0	0,63	0	5,49	0	9,8	10
19	27,17	0	48,76	0	0,63	0	5,16	0	9,8	10
20	18,19	0	54,83	0	0,63	0	4,77	0	9,8	10
21	6,61	0	62,05	0	0,63	0	4,33	0	9,8	10

concio	N	T	E	X
1	0,25	0,56	0,62	0
2	5,59	5,58	7,8	0
3	11,26	6,22	16,94	0
4	16,13	6,78	27,07	0
5	20,38	7,27	37,38	0
6	24,09	7,72	47,22	0
7	27,35	8,13	56,01	0
8	30,21	8,51	63,3	0
9	32,72	8,86	68,68	0
10	34,91	9,19	71,82	0
11	36,79	9,5	72,45	0
12	38,35	9,79	70,34	0

13	39,6	10,07	65,34	0
14	40,49	10,34	57,37	0
15	40,98	10,6	46,41	0
16	40,97	10,85	32,6	0
17	40,31	11,09	16,22	0
18	36,9	11,15	-1,01	0
19	28,94	10,76	-15,68	0
20	17,1	10,21	-23,78	0
21	-3,5	9,34	-16,31	0

Alla fine del tabulato viene riportato l'esito finale con indicazione dei **coefficienti di sicurezza del pendio**, sia per le combinazioni di carico fondamentali che per quelle sismiche (minimi coefficienti di sicurezza che si ottengono al variare della superficie di scivolamento e al variare della combinazione di carico). Se il coefficiente di sicurezza del pendio calcolato è inferiore a quello fissato in METODO E IMPOSTAZIONI o imposto dalla normativa il pendio viene dichiarato instabile (scritto in colore **rosso**).

Quando si sceglie di visualizzare il pendio compare il seguente pannello.

**VISUALIZZA PENDIO E SUPERFICI DI ROTTURA** ✕

Scala disegno

1:

Scala carichi unif. distribuiti

1 cm =  kN/m

Scala forze concentrate

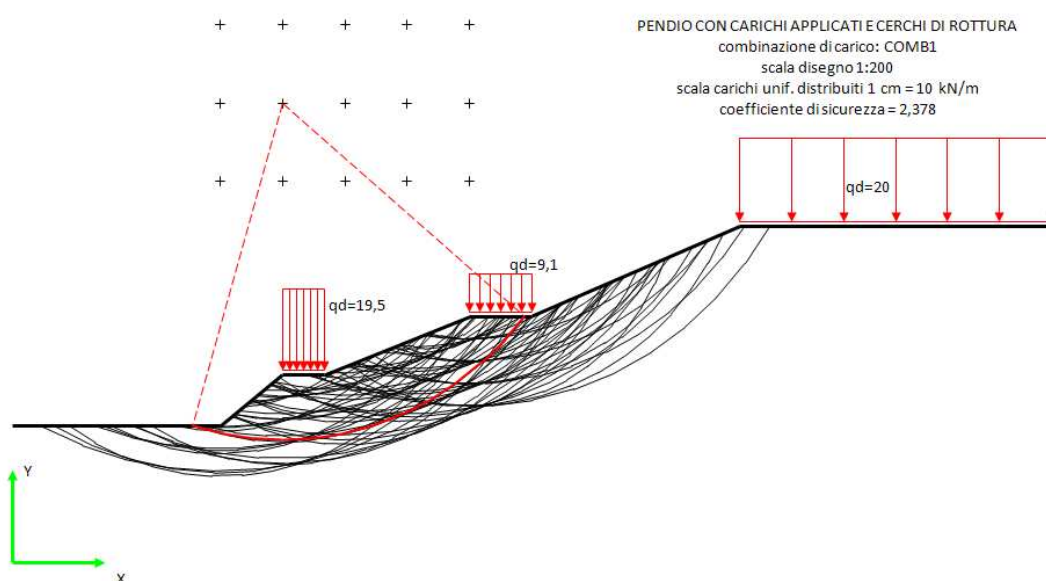
1 cm =  kN

☒ Disegna tutti i cerchi di rottura calcolati

Chiudi
Ricostruisci
Visualizza

Il bottone *Ricostruisci* permette di ricostruire i disegni ad es. quando si varia la scala di rappresentazione. Il bottone *Visualizza* invece visualizza i disegni precedentemente costruiti dal software ed eventualmente modificati dall'utente.

L'opzione *Disegna tutti i cerchi di rottura calcolati* consente di disegnare, in uno con il pendio, le tracce delle superficie di scivolamento calcolate (quando il numero delle superficie di rottura calcolate è elevato il disegno del pendio è interessato da un groviglio di archi di cerchio); se non si seleziona l'opzione, il programma disegnerà il solo cerchio di rottura critico, in colore rosso.



<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 28 di 44
--	----------------------	---------------

Nel foglio in cui sono riportati i disegni, col mouse possono essere spostate le scritte, ridotte le distanze tra i vari disegni eliminando alcune righe ecc, il tutto per ottimizzare la resa dei disegni e la loro stampa.

## 5.2 Pendio indefinito

Il **menù VISUALIZZA** permette la visualizzazione dei risultati numerici (*Tabulato di calcolo*). Alla fine del tabulato vengono riportati i coefficienti di sicurezza corrispondenti alla superficie di rottura piana fissata, sia per le combinazioni fondamentali che per quelle sismiche; se essi sono inferiori ai valori inseriti in METODO E IMPOSTAZIONI o imposti dalla normativa il pendio viene dichiarato instabile (scritta in colore **rosso**).

## 6 LICENZA D'USO E RESTRIZIONI DEL SOFTWARE

L'autore conferisce licenza d'uso non esclusiva dell'applicativo, ma rimane titolare sia dello stesso che della relativa documentazione. L'uso è consentito **su un singolo computer** e, pertanto, non potrà essere utilizzato in rete, venduto, dato in locazione o in comodato ad un altro utente, né essere decodificato o decompilato, adattato o modificato, senza previo consenso scritto dell'autore.

L'utente non potrà rimuovere o alterare il nome dell'applicativo o altre indicazioni di riserva di diritti apposti o inseriti nel programma. Non è consentito l'inserimento in pacchetti destinati all'editoria o alla vendita senza la preventiva autorizzazione scritta dell'autore.

L'autore si riserva di apportare modifiche al software e alla documentazione tecnica senza preavviso.

Per potere utilizzare l'applicativo è indispensabile che l'utente disponga ed abbia già installato sul proprio computer il programma Excel® della Microsoft, non fornito dall'autore e senza il quale questo software non può essere utilizzato.

L'autore garantisce che l'applicativo funziona in conformità con il presente manuale d'uso e che esso non contiene virus.

L'uso dell'applicativo è subordinato alla conoscenza dei problemi ingegneristici di che tratta (si presume che l'uso dell'applicativo avvenga da parte di persone qualificate). È stato curato in gran parte il controllo dei dati inseriti.

La verifica dell'idoneità, l'uso e la gestione dell'applicativo sono responsabilità esclusiva dell'utente. L'autore non garantisce che le funzioni contenute nell'applicativo siano idonee a soddisfare le esigenze dell'utente né garantisce che i difetti riscontrati nell'applicativo vengano corretti. Non garantisce altresì circa i danni od i benefici ottenuti dalla utilizzazione del software.

<b>Pendii.Az 8.0</b> <i>(Ing. Ciro Azzara)</i>	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 29 di 44
---	----------------------	---------------

L'autore è espressamente sollevato da ogni responsabilità per qualsiasi danno, diretto od indiretto, di ogni genere e specie derivante dall'uso del software compreso, tra l'altro, quello improprio, erroneo o fraudolento. L'intero rischio circa la qualità e le prestazioni dell'applicativo è a carico dell'utente ed i risultati devono essere verificati personalmente.

In nessun caso il limite di responsabilità a carico dell'autore potrà superare l'importo per l'acquisto dell'applicativo.

Per tutto quanto sopra non indicato, il presente contratto è regolato dalle leggi sul copyright, sul diritto d'autore e dalle altre leggi nazionali applicabili. Per qualsiasi controversia fra le parti sarà competente in via esclusiva il Foro di Palermo.

## **APPENDICE 1 – Valori indicativi proprietà fisico-meccaniche terreni**

### **Peso dell'unità di volume (espressi in kg/m<sup>3</sup>)**

<b>Terreno</b>	<b><math>\gamma_t</math></b>
Ghiaia asciutta	1800-2000
Ghiaia umida	1900-2100
Sabbia asciutta compatta	1700-2000
Sabbia umida compatta	1900-2100
Sabbia asciutta sciolta	1500-1800
Sabbia umida sciolta	1600-1900
Argilla sabbiosa	1800-2200
Argilla dura	2000-2100
Argilla semisolidi	1900-1950
Argilla molle	1800-1850

### **Angoli di resistenza al taglio (espressi in °)**


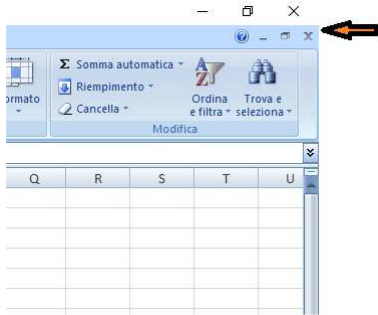
<b>Terreno</b>	<b><math>\phi'</math></b>
Ghiaia compatta	35
Ghiaia sciolta	33-35
Sabbia compatta	35-45
Sabbia sciolta	25-35
Marna sabbiosa	22-29
Marna grassa	16-22
Argilla grassa	5-30
Argilla sabbiosa	16-28
Limo	20-27

### **Coesione (espressi in kg/m<sup>2</sup>)**

<b>Terreno</b>	<b>c</b>
Argilla sabbiosa	2000
Argilla molle	1000
Argilla plastica	2500
Argilla semisolidi	5000
Argilla solida	10000
Argilla tenace	2000-10000
Limo compatto	1000

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 31 di 44
--	----------------------	---------------

## APPENDICE 2 – Gestione errori e requisiti di sistema

Tipo di errore	Soluzione
Errore di run-time 13 oppure non vengono calcolati i coefficienti sismici oppure altri parametri danno risultati sballati	<p>È necessario verificare che venga usato, da sistema operativo, come separatore decimale la virgola e come separatore di migliaia il punto. Se l'utente utilizza l'impostazione inversa, infatti, alcuni parametri non vengono calcolati correttamente. Per verificare i separatori andare in <b>Opzioni Internazionali e della lingua</b> del Pannello di controllo di Windows.</p> <p>Se il problema persiste, aprire Excel (nelle versioni precedenti alla 2007 cercare il menù Opzioni), fare clic sul pulsante  (in alto a sinistra), quindi su <b>Opzioni di Excel</b>. In <b>Opzioni di modifica</b> nella categoria <b>Impostazioni avanzate</b> selezionare la casella di controllo <b>Utilizza separatori di sistema</b>.</p>
Non si apre la Relazione di calcolo dal menù Visualizza	<p>Controllare che il modello (file .doc) della relazione di calcolo sia presente nella stessa cartella che contiene il software e che abbia il nome di <i>"Relazione di calcolo Pendii.Az"</i>, estensione .doc.</p> <p>Se il problema persiste, esso può dipendere dalla versione e dai componenti installati del pacchetto Office di Microsoft nel pc dell'utente.</p> <p>In ogni caso la Relazione di calcolo che si genera premendo nel relativo link del software è la stessa di quella in formato .doc che viene inviata all'utente al momento dell'acquisto. Pertanto, anche se non si apre dal link del software <i>Pendii.Az</i>, si può lo stesso utilizzarla accedendo direttamente al file .doc.</p>
Errore di run-time 1004	<p>Questo tipo di errore si può verificare alla prima installazione. In genere basta chiudere e riaprire il file.</p> <p>Controllare anche se gli identificativi delle colonne dei fogli di Excel sono rappresentati da numeri. Se è così, occorre ripristinare la configurazione di default in cui le colonne sono identificate con le lettere A, B, C, .... (File&gt;Opzioni&gt;Formule&gt; togliere la spunta in <i>Stile di riferimento R1C1</i>)</p>
Alla chiusura del software viene richiesta una password di Visual Basic	<p>La password non va inserita e si deve cliccare sul bottone chiudi per diverse volte consecutive.</p> <p>Per evitare la richiesta di password si provi a chiudere prima il file e poi Excel (con riferimento alle due X in alto a destra, cliccare prima sulla X inferiore e poi su quella superiore):</p> 

### Requisiti di sistema

<b>Pendii.Az 8.0</b> <i>(Ing. Ciro Azzara)</i>	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 32 di 44
---	----------------------	---------------

**Microsoft Excel®** 2019, 2016, 2013, 2010, 2007, 2003, 2000, 1997 o Office 365 con Excel, o versioni successive.

**Microsoft Windows®** 10, 8.1, 8, Windows 7, Vista, XP SP3, Server 2008, Server 2003, o versioni successive. Su sistema operativo **Apple macOS** è necessaria una virtual machine (per esempio *BootCamp* o *Desktop Parallels*) che consenta di eseguire Windows e Microsoft Excel

**256 MB RAM** (Raccomandati: 512 MB RAM o più)

**Hard Disk:** almeno 100 MB di spazio libero.



<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 33 di 44
--	----------------------	---------------

## APPENDICE 3 – Novità versioni software Pendii.Az

### Versione 6.0

- **facilitazione dell'input per il calcolo dell'azione sismica:** basta ora indicare le coordinate geografiche del sito di costruzione in quanto il software effettua in automatico il calcolo dei parametri sismici (prima era richiesto all'utente di precisare i parametri  $a_g$ ,  $F_0$  ecc.)<sup>5</sup>
- **Relazione esplicativa** sulle teorie e metodi di calcolo implementati nel software
- Calcolo per tutte le **Combinazioni di carico** da definire in base alla normativa vigente per ottenere le condizioni più sfavorevoli per la sicurezza tenendo conto della probabilità di contemporanea presenza dei diversi tipi di carichi accidentali. Possono quindi essere gestiti anche i sovraccarichi variabili e la combinazione sismica
- **Miglioramento dei disegni**

### Versione 7.0

- **Aggiornamento alle NTC 2018**
- **Combinazione di carico determinate in automatico dal software**
- **Relazione di calcolo** in formato .doc modificabile dall'utente
- Modifiche nell'**interfaccia utente**

### Versione 8.0

- **Forme di carico** e creazione **combinazioni di carico**
- **coefficienti sismici inputabili** dall'utente
- **carichi concentrati** e coppie sul pendio
- **cerchi di rottura passanti per un punto**
- cerchi di rottura che non intersecano l'eventuale **strato rigido del terreno** (roccia)
- **superficie di rottura poligonale**
- **formattazione tabulato di calcolo**
- **documento di Validazione**

---

<sup>5</sup> In *Pendii.Az* è stato implementato il software *Sismica.Az* dello stesso autore.

## APPENDICE 4 – Esempi svolti

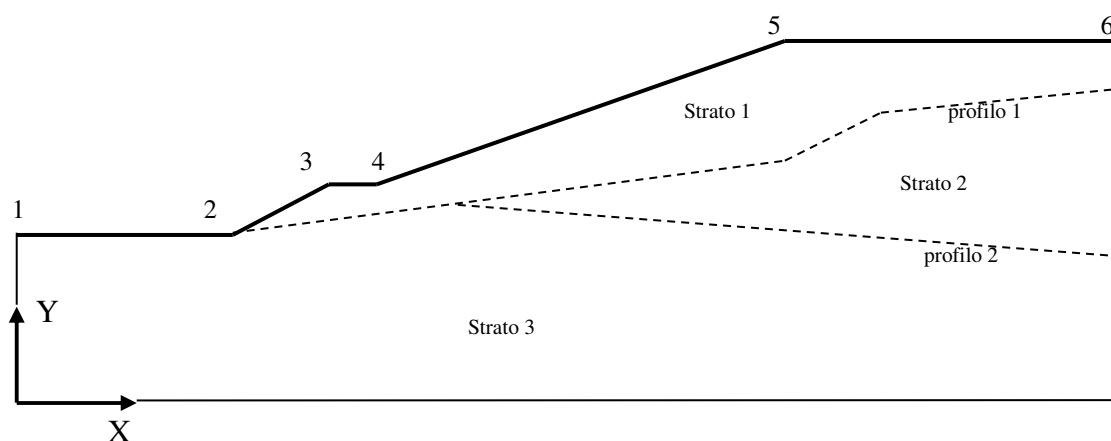
Nel documento di Validazione che correda il software vengono effettuati dei confronti tra i risultati ottenuti con il software *Pendii.Az* e quelli ottenuti da vari autori nel passato e riscontrabili in letteratura o ottenibili con altri programmi di calcolo presenti sul mercato. La taratura dei vari algoritmi di calcolo implementati nel software, al fine di dimostrare l'attendibilità dei risultati, è una operazione fondamentale che va a tutela e garanzia dell'utente finale ed è espressamente prevista dalle NTC di cui al D.M. 14/01/2008 e D.M. 17/01/2018 (capitolo 10).

Nel seguito sono riportati altri esempi al fine di dare ulteriori indicazioni sull'uso del software.

In tutti gli esempi che seguono si assume il numero medio dei conci in cui dividere la porzione di pendio pari a 20.

### ES. 1 - PENDIO STRATIFICATO CON SUPERFICIE CRITICA NOTA

Si consideri il seguente pendio costituito da tre strati senza falda



Fissato il sistema di riferimento cartesiano, le coordinate dei vertici del pendio siano:

Vertice	X [m]	Y [m]
1	0,00	6,10
2	9,75	6,10
3	13,56	8,38
4	14,33	8,38
5	25,15	14,17
6	30,48	14,78

Le coordinate dei due profili che costituiscono la base dei primi due strati siano:

	Profilo 1		Profilo 2	
Vertice	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
1	9,75	6,10	16,15	7,16
2	16,15	7,16	30,48	5,64
3	22,56	8,08		
4	25,15	9,60		
5	30,48	10,21		

Le caratteristiche geotecniche degli strati sono le seguenti

Strato n°	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1	20,11	35	0
2	19,64	33	0
3	17,28	20	7,18

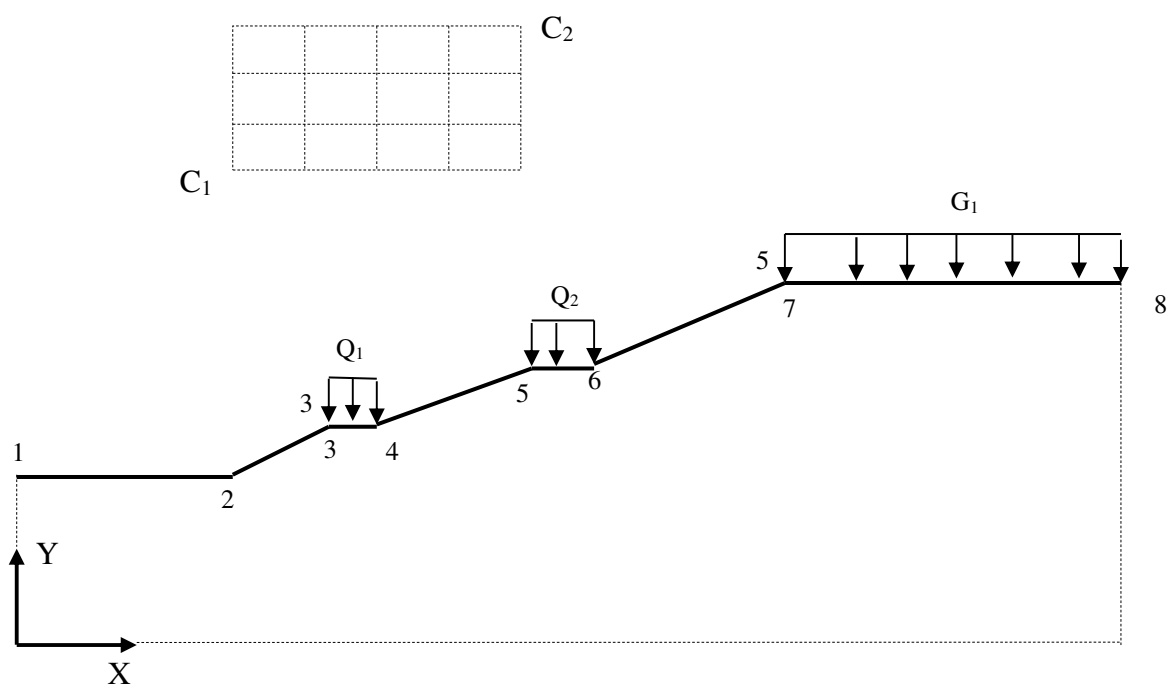
Si conosce la forma e la posizione della superficie di rottura: arco di cerchio avente centro di coordinate  $X_{cr} = 13,41$  m,  $Y_{cr} = 18,59$  m e raggio  $R_{cr} = 15,24$  m.

Definita una forma di carico G di tipo permanente sfavorevole alla sicurezza (peso del terreno), il coefficiente di sicurezza del pendio fornito dal software *Pendii.Az*, valutato in base al DM 1988, è:

	Mogernstern/Price ( $f(x)=1$ )	Bishop
Software Pendii.Az	1,543	1,573

## ES. 2 - PENDIO OMOGENEO CON SUPERFICIE CRITICA NON NOTA E SOVRACCARICHI

Si consideri il seguente pendio artificiale omogeneo, privo di falda, soggetto a sovraccarichi uniformi permanenti ed accidentali, in zona sismica:



Fissato il sistema di riferimento cartesiano, le coordinate dei vertici del pendio sono:

Vertice	X [m]	Y [m]
1	0,00	6,10
2	10,00	6,10
3	13,00	8,40
4	15,00	8,40
5	22,00	11,00

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 36 di 44
--	----------------------	---------------

6	25,00	11,00
7	35,00	15,00
8	50,00	15,00

La normativa di riferimento da assumere è il D.M. 17/01/2018 (Stati Limite).

Non si conosce la posizione della superficie critica di rottura. Si considera una maglia di centri di cerchi di rottura definita dai seguenti parametri:

$$x_{c1} = 10 \text{ m}$$

$$y_{c1} = 17 \text{ m}$$

$$x_{c2} = 22 \text{ m}$$

$$y_{c2} = 24 \text{ m}$$

n° di centri da considerare lungo X = 5

n° di centri da considerare lungo Y = 3

n° di cerchi da calcolare per ogni centro = 4

distanza tra i cerchi aventi lo stesso centro = 1 m.

I sovraccarichi uniformi  $Q_1$  e  $Q_2$  sono accidentali, indipendenti tra loro (la presenza di uno non è legata alla presenza dell'altro) e i valori caratteristici sono pari a  $Q_{k1} = 15 \text{ kN/m}$  e  $Q_{k2} = 10 \text{ kN/m}$ . Il sovraccarico  $G_1$  è permanente con valore nominale pari a  $20 \text{ kN/m}$ .

Le caratteristiche geotecniche del terreno sono le seguenti:

Strato n°	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1	19	31	10

I parametri per il calcolo dell'azione sismica sono i seguenti:

- Latitudine = 37°,9632
- Longitudine = 13°,4226
- Vita nominale dell'opera = 100 anni;
- Classe d'uso = II (coefficiente d'uso = 1,0);
- Categoria di sottosuolo = B;
- Categoria topografica = T2.

In base ai sovraccarichi presenti occorre definire tre Forme di carico, una di tipo permanente (che chiamiamo  $G_1$ ) e due di tipo accidentale (che chiamiamo ACC1 e ACC2):

Nome	coeff. di combinazione $\psi_0$	coeff. di combinazione $\psi_1$	coeff. di combinazione $\psi_2$
$G_1$ (sfavorevole alla sicurezza)	---	---	---
ACC1 (per $Q_1$ )	0,7	0,5	0,3
ACC2 (per $Q_2$ )	0,7	0,5	0,3

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 37 di 44
--	----------------------	---------------

Da notare che se i due sovraccarichi accidentali  $Q_1$  e  $Q_2$  non fossero stati indipendenti tra loro sarebbe stato sufficiente definire una sola forma di carico di tipo accidentale ACC (nelle combinazioni di carico comparivano infatti accoppiati).

Si inseriscono, dal pannello *CARICHI ESTERNI>Sovraccarichi ripartiti*, le intensità dei sovraccarichi sui tratti del pendio precisando contestualmente la forma di carico a cui appartengono. Le combinazioni di carico vengono determinate dal software.

Finita la fase di input e avviato il calcolo, i principali risultati che si ottengono, adottando il metodo di Bishop e  $N_{mc}=20$ , sono di seguito riportati (si riporta la sola prima combinazione di carico):

#### **PARAMETRI SISMICI PER IL SITO DI COSTRUZIONE**

Nel caso di sito non coincidente con uno dei nodi del reticolo sismico, i parametri sismici sono ottenuti per interpolazione con quelli dei quattro nodi della maglia elementare che contiene il sito

Tr (anni)	ag (m/s <sup>2</sup> )	ag/g	Fo	Tc* (s)
30	0,431	0,044	2,346	0,23
50	0,581	0,059	2,352	0,25
72	0,709	0,072	2,341	0,263
101	0,84	0,086	2,342	0,27
140	0,981	0,1	2,34	0,279
201	1,149	0,117	2,352	0,285
475	1,614	0,165	2,388	0,303
975	2,088	0,213	2,456	0,315
2475	2,831	0,289	2,53	0,331

Periodo di riferimento,  $V_r=100$  anni

coeff. di amplificazione topografica,  $S_t=1,2$

Verifiche agli SLU (Stato Limite di salvaguardia della Vita - SLV)

percentuale di superamento nel periodo di riferimento,  $P_v=10\%$

Tempo di ritorno,  $T_r=949$  anni

accelerazione orizzontale max attesa al sito di rifer. ridotto ed orizz,  $a_g=2,068$  m/s<sup>2</sup>

parametro  $F_o=2,454$

coeff. di amplificazione stratigrafica,  $S_s=1,1931$

accelerazione orizzontale max attesa al sito,  $a_{max}=2,961$  m/s<sup>2</sup>

coeff. di riduzione dell'accelerazione max attesa al sito,  $\beta_s=0,38$

Coefficiente sismico orizzontale,  $C_h=11,471\%$

Coefficiente sismico verticale,  $C_v=5,735\%$

#### **COMBINAZIONE DI CARICO: COMB. 1 (SLU-F)**

##### **Azioni di progetto**

Carichi uniform. ripartiti di progetto sui tratti del pendio

##### **Tratto**

pendio	qd ( kN/m)
1-2	0
2-3	0
3-4	0

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 38 di 44
--	----------------------	---------------

4-5	0
5-6	0
6-7	0
7-8	20

#### Parametri geotecnici di progetto

strato 1 -

angolo di resistenza al taglio drenato,  $\text{Fi}_d=25,67^\circ$

coesione drenata,  $c'_d=8 \text{ kN/mq}$

#### Coefficienti di sicurezza relativi ai vari cerchi

$X_c=10 \text{ m}$ ,  $Y_c=17 \text{ m}$

$R_c (m) =$	10,11	11,1	12,1	13,1
$C_{sic} =$	4,125	2,854	2,859	2,99

$X_c=10 \text{ m}$ ,  $Y_c=20,5 \text{ m}$

$R_c (m) =$	13,47	14,5	15,5	16,5
$C_{sic} =$	4,795	2,743	2,704	2,831

$X_c=10 \text{ m}$ ,  $Y_c=24 \text{ m}$

$R_c (m) =$	16,89	17,9	18,9	19,9
$C_{sic} =$	4,565	2,529	2,643	2,831

$X_c=13 \text{ m}$ ,  $Y_c=17 \text{ m}$

$R_c (m) =$	9,6	10,6	11,6	12,6
$C_{sic} =$	4,254	2,78	2,441	2,545

$X_c=13 \text{ m}$ ,  $Y_c=20,5 \text{ m}$

$R_c (m) =$	13,04	14	15	16
$C_{sic} =$	3,701	2,639	2,455	2,59

$X_c=13 \text{ m}$ ,  $Y_c=24 \text{ m}$

$R_c (m) =$	16,32	17,3	18,3	19,3
$C_{sic} =$	3,656	2,752	2,534	2,571

$X_c=16 \text{ m}$ ,  $Y_c=17 \text{ m}$

$R_c (m) =$	8,71	9,7	10,7	11,7
$C_{sic} =$	3,497	3,17	3,028	2,936

$X_c=16 \text{ m}$ ,  $Y_c=20,5 \text{ m}$

$R_c (m) =$	11,99	13	14	15
$C_{sic} =$	3,558	3,281	3,04	2,791

$X_c=16 \text{ m}$ ,  $Y_c=24 \text{ m}$

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. <i>Ciro Azzara</i> )	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 39 di 44
--	----------------------	---------------

Rc (m) = 15,28      16,3      17,3      18,3  
C\_sic = 3,951      3,505      2,99      2,669

Xc=19 m, Yc=17 m  
Rc (m) = 7,67      8,7      9,7      10,7  
C\_sic = 4,412      3,75      3,451      3,42

Xc=19 m, Yc=20,5 m  
Rc (m) = 10,96      12      13      14  
C\_sic = 5,33      3,925      3,234      3,064

Xc=19 m, Yc=24 m  
Rc (m) = 14,34      15,3      16,3      17,3  
C\_sic = 6,409      3,76      3,007      2,799

Xc=22 m, Yc=17 m  
Rc (m) = 7      8      9      10  
C\_sic = 9,892      4,743      3,772      3,426

Xc=22 m, Yc=20,5 m  
Rc (m) = 10,5      11,5      12,5      13,5  
C\_sic = 6,558      3,714      3,103      2,871

Xc=22 m, Yc=24 m  
Rc (m) = 14      15      16      17  
C\_sic = 4,746      3,156      2,696      2,467

**Cerchio critico: Xc=13 m, Yc=17 m, Rc=11,6 m**

concio	alfa (°)	DX	Wt	Wq	Fx	Fy	Cz	Fsh	bFsh	Fsv	u
1	-17,5	0,97	2,81	0	0	0	0	0	11	0	0
2	-13,09	0,75	9,69	0	0	0	0	0	10,93	0	0
3	-9,31	0,75	20	0	0	0	0	0	10,73	0	0
4	-5,57	0,75	29,59	0	0	0	0	0	10,49	0	0
5	-1,85	0,75	38,48	0	0	0	0	0	10,23	0	0
6	1,65	0,67	37,88	0	0	0	0	0	10,1	0	0
7	4,95	0,67	37,39	0	0	0	0	0	10,08	0	0
8	8,26	0,67	36,41	0	0	0	0	0	10,04	0	0
9	11,69	0,7	38,36	0	0	0	0	0	9,91	0	0
10	15,25	0,7	39,58	0	0	0	0	0	9,7	0	0
11	18,87	0,7	40,18	0	0	0	0	0	9,46	0	0
12	22,57	0,7	40,11	0	0	0	0	0	9,2	0	0
13	26,37	0,7	39,32	0	0	0	0	0	8,91	0	0
14	30,31	0,7	37,75	0	0	0	0	0	8,59	0	0
15	34,4	0,7	35,3	0	0	0	0	0	8,24	0	0

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 40 di 44
--	----------------------	---------------

16	38,72	0,7	31,84	0	0	0	0	0	7,85	0	0
17	43,31	0,7	27,18	0	0	0	0	0	7,42	0	0
18	48,28	0,7	21,03	0	0	0	0	0	6,94	0	0
19	54,87	0,93	11,62	0	0	0	0	0	6,44	0	0

concio	c_d	Fi_d (°)	N	T	E	X
1	8	25,6731	4,26	4,17	5,26	0
2	8	25,6731	11,04	4,7	12,33	0
3	8	25,6731	21,37	6,7	22,4	0
4	8	25,6731	30,56	8,49	33,81	0
5	8	25,6731	38,83	10,11	45,17	0
6	8	25,6731	37,62	9,59	53,68	0
7	8	25,6731	36,72	9,42	59,9	0
8	8	25,6731	35,46	9,19	63,9	0
9	8	25,6731	37,17	9,66	65,83	0
10	8	25,6731	38,32	9,92	65,33	0
11	8	25,6731	39	10,11	62,27	0
12	8	25,6731	39,19	10,2	56,65	0
13	8	25,6731	38,83	10,21	48,55	0
14	8	25,6731	37,82	10,11	38,19	0
15	8	25,6731	36,02	9,88	25,98	0
16	8	25,6731	33,21	9,48	12,61	0
17	8	25,6731	28,99	8,86	-0,83	0
18	8	25,6731	22,71	7,92	-12,51	0
19	8	25,6731	9,91	7,24	-16,45	0

Sviluppo arco del cerchio di scivolamento,  $L=15,97$  m

Momento resistente = 4698,73 kN\*m

Momento instabilizzante = 1925,17 kN\*m

Coff. sicurezza per la combinazione di carico = 2,441

n° di iterazioni per il calcolo del coeff. di sicurezza = 4

#### **ESITO FINALE**

Coefficiente di sicurezza del pendio per combinazioni di carico non sismiche = 2,261

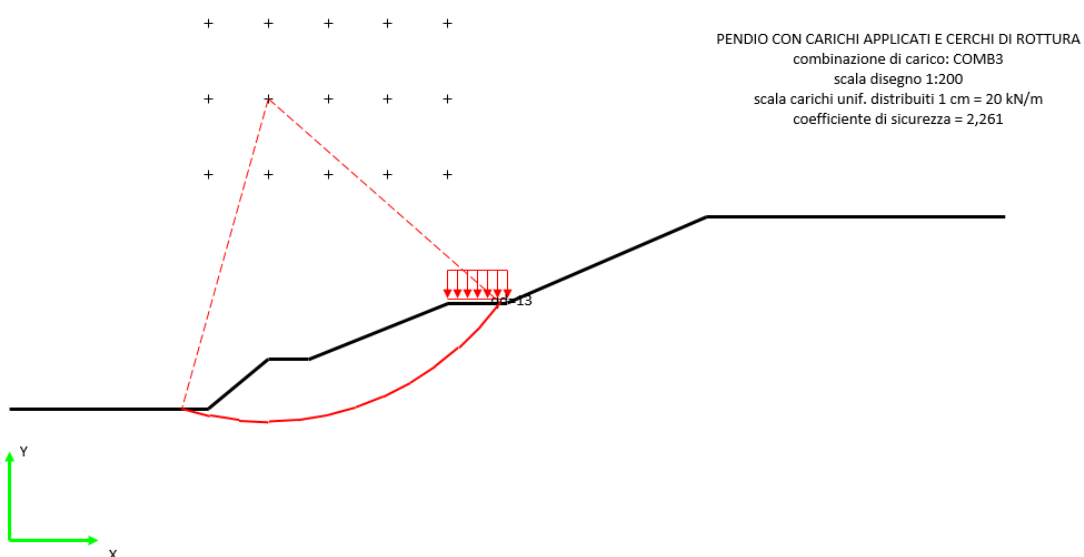
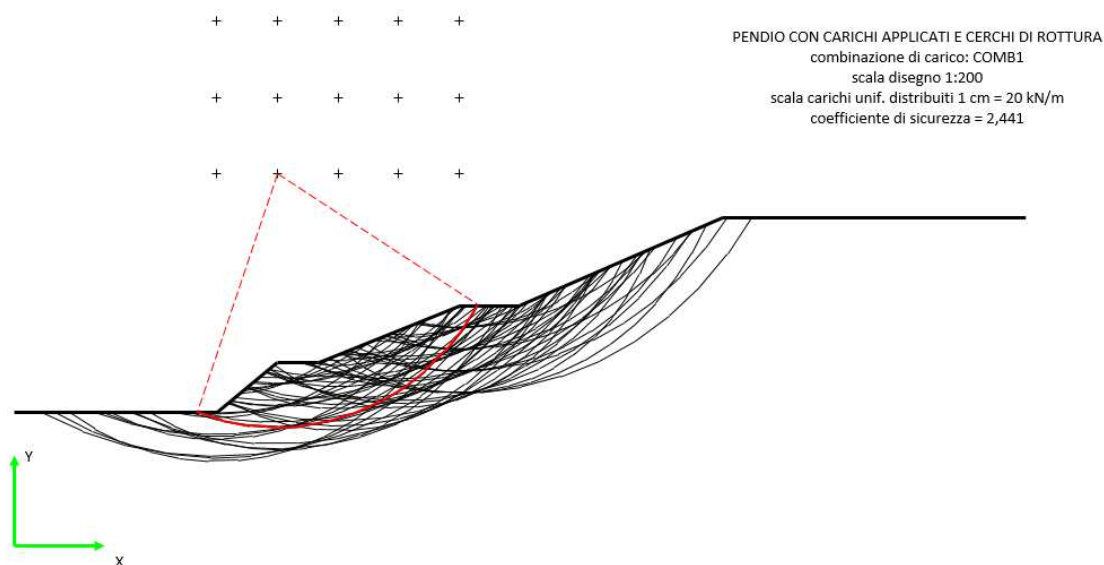
**Pendio stabile!!!**

Coefficiente di sicurezza del pendio per combinazioni di carico sismiche = 2,2

**Pendio stabile!!!**

Sisma verticale più gravoso verso l'alto (forze di inerzia verso il basso)





### ES. 3 - SCAVO IN ARGILLA SATURA OMOGENEA

In una argilla saturata con peso di volume  $\gamma_{\text{sat}}=18 \text{ kN/m}^3$  e una resistenza al taglio non drenata  $c_u=30 \text{ kPa}$  deve essere scavata una trincea di 12 metri di profondità. Determinare l'inclinazione massima  $\alpha$  che possono avere le sponde, assumendo il coefficiente di sicurezza pari a 1,3.

Fissiamo un sistema di riferimento globale come in figura e ricaviamo le coordinate dei quattro vertici del pendio:

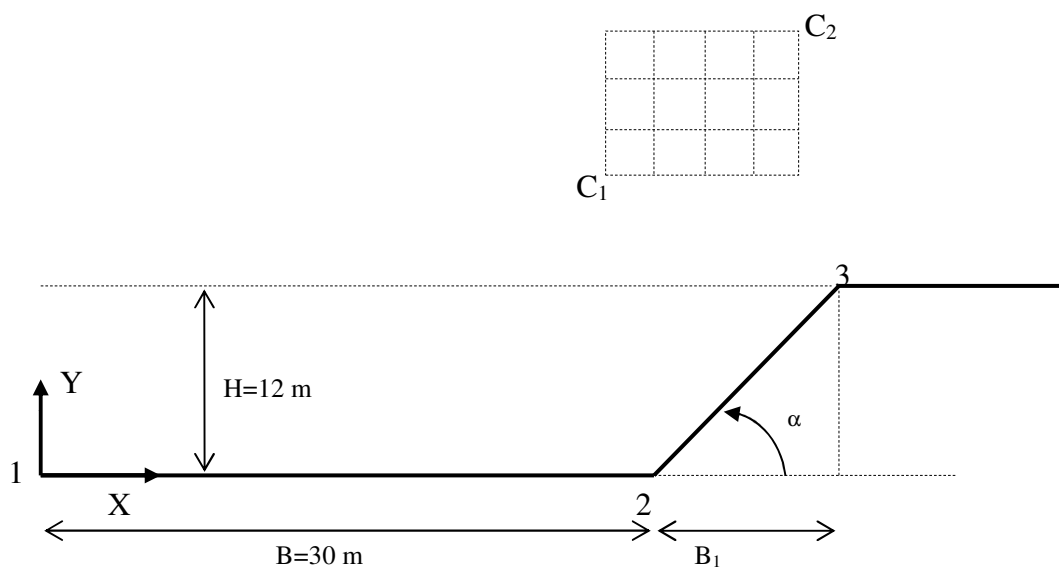
Vertice	X [m]	Y [m]
1	0,00	0,00
2	30,00	0,00

3	$30+B_1$	12,00
4	$X_3+15,00$	12,00

dove  $B_1=H/\tan\alpha$ . In corrispondenza dei seguenti valori di  $\alpha$  si ottiene  $B_1$ :

$\alpha$ (°)	$B_1$ [m]
15	44,78
20	32,97
25	25,73
30	20,78

Si considerano superfici di rottura circolari passanti per il piede della scarpata (punto 2), adottando il metodo di Bishop e la maglia dei cerchi definita da  $C_1$  (29,00;19,00),  $C_2$  (38,00;29,00),  $N_{CX}=5$ ,  $N_{CY}=4$ .



Eseguito il calcolo (DM 1988, assenza di sisma, condizioni non drenate, una forma di carico di tipo permanente) si ottengono i seguenti risultati sul coefficiente di sicurezza in funzione dell'angolo  $\alpha$ :

$\alpha$ (°)	FS
15	2,558
20	1,505
25	1,060
30	0,978

Ne segue che il valore massimo dell'angolo  $\alpha$ , tra quelli considerati, per il quale il coefficiente di sicurezza non è inferiore a 1,3 è 20°.

<b>Pendii.Az 8.0</b> <i>(Ing. Ciro Azzara)</i>	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 43 di 44
---	----------------------	---------------

## APPENDICE 5 – Conversione unità di misura

### Forze

$$1 \text{ N} = 1/9,81 \text{ kg} = 0,102 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kN} = 1000 \text{ N} = 102 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} = 9,81 \text{ N}$$

### Pressione/tensione

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ kPa} = 1.000 \text{ Pa} = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$1 \text{ MPa} = 1.000.000 \text{ Pa} = 1.000 \text{ kN/m}^2$$

$$1 \text{ kg/cm}^2 \text{ (} 10.000 \text{ kg/m}^2 \text{)} = 9,81 \text{ N/cm}^2$$

$$1 \text{ daN/cm}^2 = 10 \text{ N/cm}^2 = 100.000 \text{ N/m}^2 = 100 \text{ kPa} = 0,1 \text{ MPa} = 1,02 \text{ kg/cm}^2$$

<b>Pendii.Az 8.0</b> (Ing. Ciro Azzara)	<b>Manuale d'uso</b>	Pag. 44 di 44
--	----------------------	---------------

## APPENDICE 6 – Bibliografia

- [1] Jappelli R. (1984) – *Corso di Geotecnica, Tavole sinottiche* - Università di Palermo
- [2] CroceA. (1980) – *Appunti di Geotecnica* – L’Ateneo, Napoli
- [3] Bishop A.W. (1955) - *The use of the slip circle in the stability analysis of slopes*, Geotechnique Vol. 5
- [4] Lancellotta R. (2004) - *Geotecnica*. Zanichelli, Bologna
- [5] Morgenstren N.R. & Price V.E. (1965) – *The analysis of the stability of general slip surfaces*. Geotechnique, 15, 79-93
- [6] Spencer, E., 1967. *A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces*. Geotechnique, 17 (1), 11–26.
- [7] Janbu, N., 1973. *Slope stability computations. Embankment dam engineering*. New York, NY: John Wiley
- [8] D.M. 11/03/1988 – *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*
- [9] Circolare Min. LL.PP. 24/09/1988, n. 30483 – *Legge 2 febbraio 1974 – D.M. 11 marzo 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l’applicazione;*
- [10] D.M. 16/01/1996 – *Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica*
- [11] D.M. 14/01/2008 – *Norme tecniche per le costruzioni (NTC)*
- [12] Circ. 02/02/2009, n. 617 – *Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008*
- [13] D.M. 17/01/2018 – *Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”*
- [14] Circ. 21/01/2019, n. 7 C.S.LL.PP. – *Istruzioni per l’applicazione dell’“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018.*

Data revisione Manuale d'uso: **Giugno 2021**