

**STUDIO ASSOCIATO**  
**INGEGNERIA GEOLOGIA E ARCHITETTURA**

Via Cavour n.30 - Andora (SV) - tel.0182/684363  
P.Iva: 00986040095 - E-mail:stingeo2@tiscali.it

**COMUNE DI BRIGA ALTA**

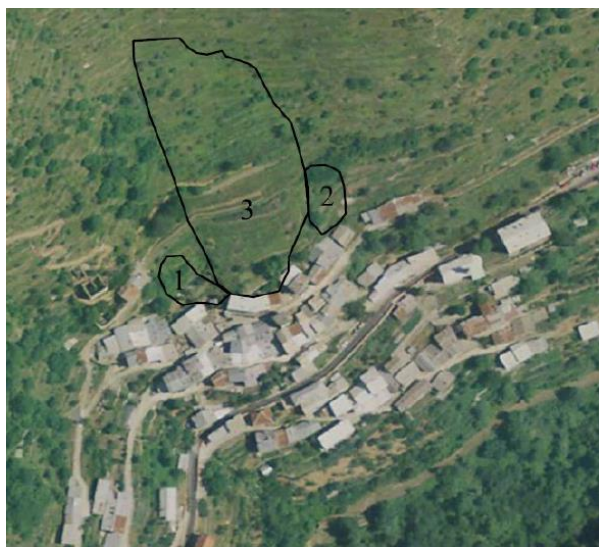
**PROVINCIA DI CUNEO**

**SISTEMAZIONE MOVIMENTO FRANOSO IN FRAZIONE PIAGGIA**

**CODICE INTERVENTO CN A18 430 16 142**

**RELAZIONE GEOTECNICA STABILITA':**

**VERIFICA STABILITA' DEL PENDIO**



**COMMITTENTE:**

COMUNE DI Briga Alta

**PROGETTISTA ARCHITETTONICO:**

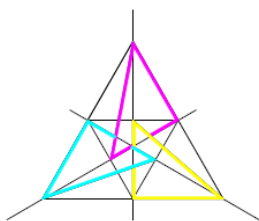
Ing. Mauro Marchiano

**PROGETTISTA STRUTTURALE:**

Ing. Mauro Marchiano

**DATA:**

Aprile 2017



**STUDIO ASSOCIATO**  
**INGEGNERIA GEOLOGIA E ARCHITETTURA**

Via Cavour n.30 - Andora (SV) - tel.0182/684363  
P.Iva: 00986040095 - E-mail:stingeo2@tiscali.it

**COMUNE DI BRIGA ALTA**

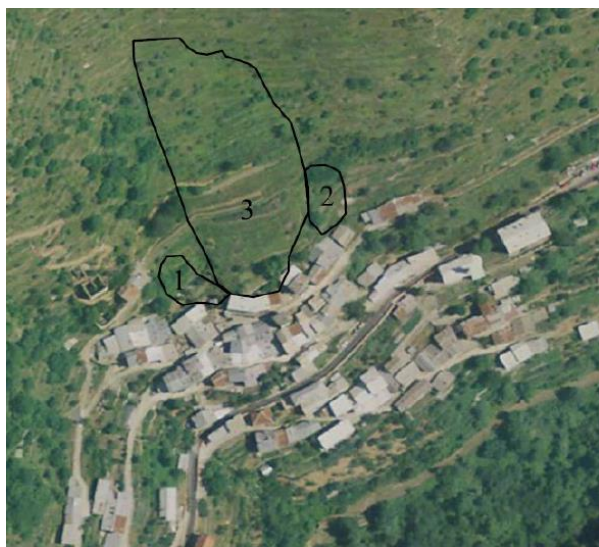
**PROVINCIA DI CUNEO**

**SISTEMAZIONE MOVIMENTO FRANOSO IN FRAZIONE PIAGGIA**

**CODICE INTERVENTO CN A18 430 16 142**

**RELAZIONE GEOTECNICA STABILITA':**

**VERIFICA STABILITA' DEL PENDIO**



**COMMITTENTE:**

COMUNE DI Briga Alta

**PROGETTISTA ARCHITETTONICO:**

Ing. Mauro Marchiano

**PROGETTISTA STRUTTURALE:**

Ing. Mauro Marchiano

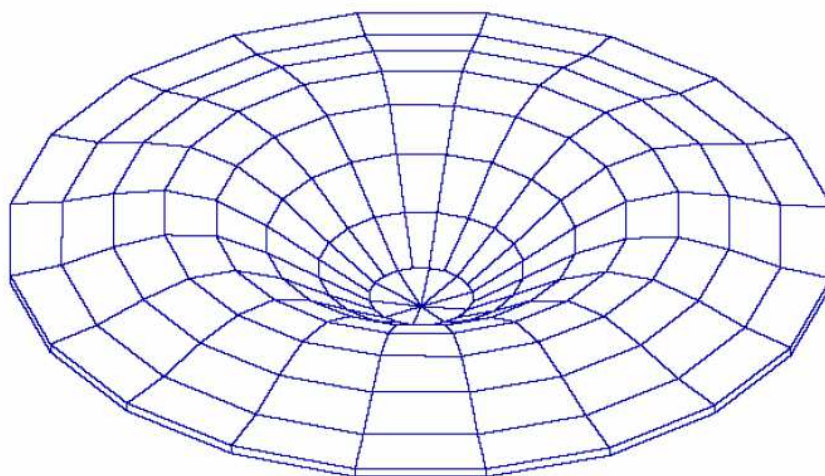
**DATA:**

Aprile 2017

## **CDDWin**

*Release 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 e 2014*

### ***Validazione del codice di calcolo***





## ESEMPI DI VALIDAZIONE DEL PROGRAMMA *CDDWin* della *S.T.S. S.r.l.*

Il programma *CDDWin* della *S.T.S. S.r.l* effettua il calcolo di stabilità di pendii generici secondo i metodi di *Bell, Bishop, Jambu, Morgenstern-Price, Sarma* e *Spencer*.

Per testare la validità del solutore e del modello di calcolo si sono effettuati test su esempi di cui è nota la soluzione numerica in letteratura.

In particolare, si è presa come riferimento la pubblicazione “*L’applicazione dei metodi dell’equilibrio limite nello studio dei pendii naturali e delle scarpate*”, autori *G. Barla, C. Corneri, M. Cravero* e *G. P. Giani* – Supplemento al *BOLLETTINO*, pubblicazione edita con autorizzazione del Tribunale di Torino, n. 1682 del 20 Novembre 1964 e cura dell’*Associazione Mineraria Subalpina* presso l’*Istituto di Arte Mineraria – Politecnico di Torino*.

### **Esempio 1 – Pendio omogeneo con superfici di scivolamento circolari**

È assegnato un pendio di forma regolare e nota in cui sia conosciuta anche la posizione della linea di saturazione (fig. 1), costituito da terreno omogeneo dalle seguenti caratteristiche:

- $\gamma = 2,00 \text{ t/m}^3$
- $C = 1,00 \text{ t/m}^2$
- $\phi = 27,15^\circ$

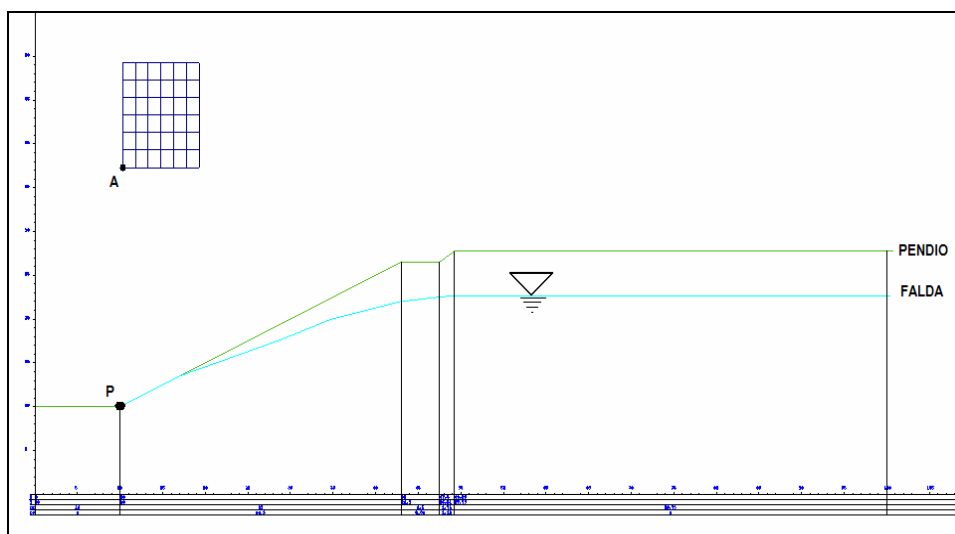


Figura 1 - Schema del pendio

Si suppone che, a causa della omogeneità del terreno interessante il pendio, le linee di scivolamento più probabili abbiano forma circolare e passino per il piede (punto P, fig. 1).

Si considera, inoltre, che ogni massa scivolante, determinata da un diverso arco di scivolamento, è suddivisa in 20 conci.

Le teorie prese in esame sono quelle di *Bell*, *Bishop*, *Jambu* e *Morgestern-Price*.

### **Dati:**

- Sisma assente ( $K_h = K_v = 0$ ).
- Coeff. parziali geotecnici  $M2/R2$  tutti uguali a 1 al fine di equiparare i risultati con quelli dell'esempio di riferimento.
- Parametri di calcolo:
  - Numero conci = 20
  - Elementi rigidi = 0
  - Rapporto  $H_{spinta}/H_{concio} = 0,35$  (dato valido solo per la teoria di *Jambu*)
  - Superficie di rottura: CIRCOLARE PER UN PUNTO
  - $\gamma_{acqua} = 1,00 \text{ t/m}^3$
- Coordinate pendio:

|          | <i>P1</i> | <i>P2</i> | <i>P3</i> | <i>P4</i> | <i>P5</i> | <i>P6</i> |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>X</i> | 0,00      | 10,00     | 43,00     | 47,50     | 49,25     | 100,00    |
| <i>Y</i> | 10,00     | 10,00     | 26,50     | 26,51     | 27,75     | 27,75     |

- Coordinate falda:

|          | <i>P1</i> | <i>P2</i> | <i>P3</i> | <i>P4</i> | <i>P5</i> | <i>P6</i> | <i>P7</i> |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>X</i> | 10,00     | 17,00     | 29,00     | 34,80     | 42,80     | 49,25     | 100,00    |
| <i>Y</i> | 10,00     | 13,50     | 17,70     | 20,00     | 22,00     | 22,70     | 22,70     |

- Parametri geotecnici STRATO 1:
  - Coesione =  $1,00 \text{ t/m}^2$
  - Angolo di attrito =  $27,15^\circ$
  - Peso specifico =  $2,00 \text{ t/m}^3$
- Maglia dei centri:
  - Ascissa polo, m. = 10,30
  - Ordinata polo, m. = 37,30

- Numero colonne = 7
  - Numero righe = 7
  - Step ascisse, m. = 1,50
  - Step ordinate, m. = 2,00
- Punto di passaggio, P:
- Ascissa, m. = 10,00
  - Ordinata, m. = 10,00

### Risultati:

In riferimento alla fig. 2, si ottengono i seguenti risultati di calcolo:

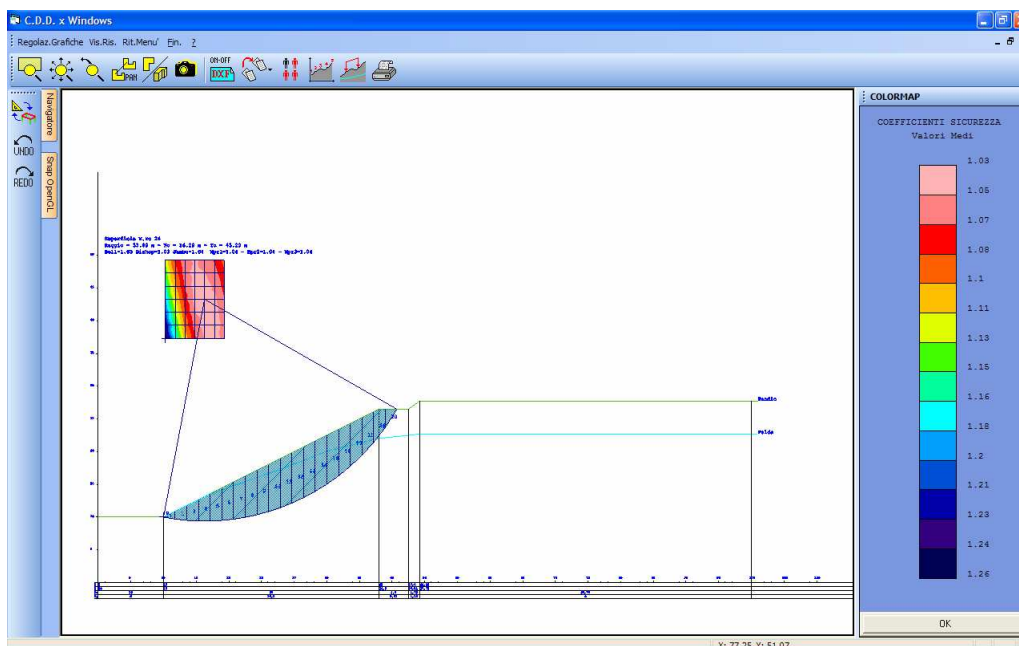


Figura 2 - Risultati

La superficie di scivolamento circolare cui corrisponde il coefficiente minimo di sicurezza è la numero 26, come nell'esempio di riferimento, avente ascissa del centro pari a 16,30 m. ed ordinata del centro pari a 43,30 m.

In particolare:

|                      | <i>Raggio</i> | <i>Bishop</i> | <i>Jambu</i> | <i>Bell</i> | <i>MP</i> $F_x=C$ | <i>MP</i> $F_x=\sin$ | <i>MP</i> $F_x=\sin/2$ |
|----------------------|---------------|---------------|--------------|-------------|-------------------|----------------------|------------------------|
| <i>Teorico</i>       | 33,891        | 1,035689      | 1,042031     | 1,035507    | 1,045487          | 1,045039             | 1,045056               |
| <b><i>CDDWin</i></b> | 33,9          | 1,0356        | 1,0423       | 1,0354      | 1,0454            | 1,0451               | 1,0450                 |
| <u><i>Scarto</i></u> | 0,02%         | 0,01%         | 0,02%        | 0,01%       | 0,01%             | 0,01%                | 0,01%                  |

Tutti i risultati ottenuti con **CDDWin** risultano in linea con l'esempio di riferimento. Lo scarto, infatti, è dovuto essenzialmente al differente numero di cifre decimali prese in considerazione.

### **Esempio 2 – Pendio omogeneo con superficie di scorrimento poligonale con falda**

È assegnato un pendio naturale costituito da una coltre superficiale di terreno non coesivo e giacente sopra una formazione rocciosa dotata di elevate caratteristiche di resistenza al taglio (fig. 3). La superficie di separazione tra la coltre superficiale e l'ammasso sottostante individua la più probabile superficie di scivolamento.

Si suppone di conoscere le caratteristiche geotecniche proprio lungo questa superficie:

- $\gamma = 2,00 \text{ t/m}^3$
- $C = 0,00 \text{ t/m}^2$
- $\phi = 16,00^\circ$

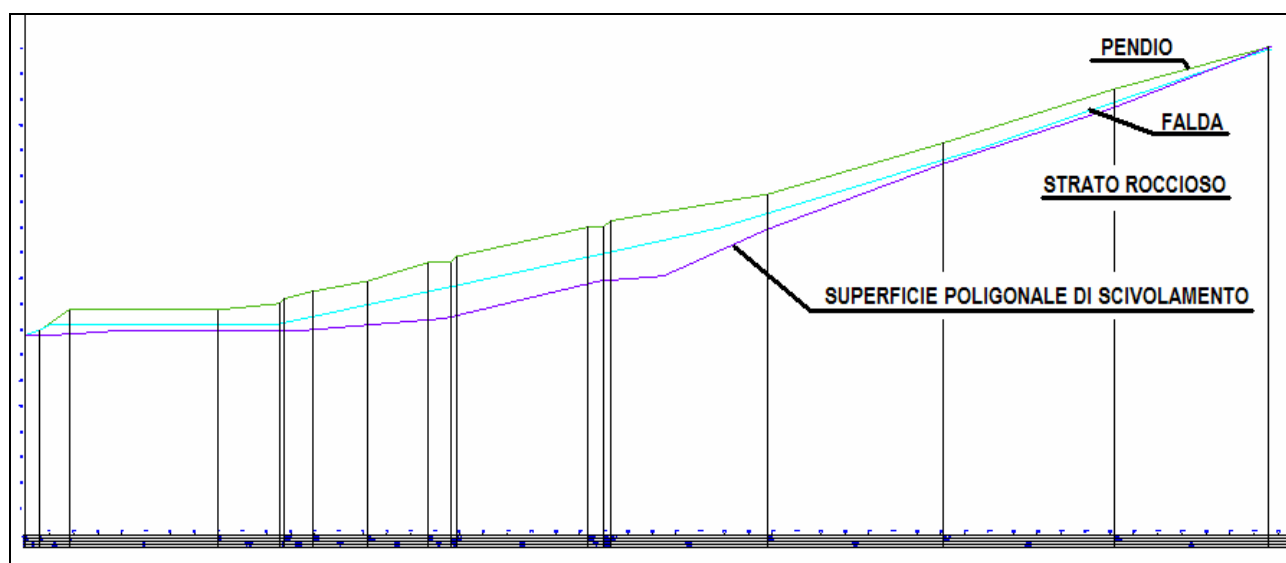


Figura 3 - Schema del pendio

Si è ritenuto opportuno suddividere la massa scivolante in 30 conci.

Le teorie prese in esame sono quelle di *Bell*, *Jambu* e *Morgestern-Price*.

**Dati:**

- Sisma assente ( $K_h = K_v = 0$ ).
- Coeff. parziali geotecnici  $M2/R2$  tutti uguali a 1 al fine di equiparare i risultati con quelli dell'esempio di riferimento.
- Parametri di calcolo:
  - Numero conci = 30
  - Elementi rigidi = 0
  - Rapporto  $H_{spinta}/H_{concio} = 0,4$  (dato valido solo per la teoria di *Jambu*)
  - Superficie di rottura: POLIGONALE
  - $\gamma_{acqua} = 1,00 \text{ t/m}^3$
- Coordinate pendio:

|   | P1 | P2    | P3 | P4    | P5   | P6   | P7   | P8   | P9   | P10   | P11  | P12   | P13   | P14   | P15  | P16   | P17  | P18  |
|---|----|-------|----|-------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|
| X | 0  | 3     | 9  | 40    | 52,8 | 53,8 | 59,6 | 71   | 83,4 | 88,2  | 89,4 | 116,8 | 120   | 121,4 | 154  | 190,4 | 226  | 258  |
| Y | 39 | 40,01 | 44 | 44,01 | 45,2 | 46,2 | 47,6 | 49,6 | 53,2 | 53,21 | 54,4 | 60,2  | 60,21 | 61,4  | 66,6 | 76,6  | 87,2 | 95,4 |

- Coordinate falda:

|   | P1    | P2    | P3    | P4    | P5     | P6     | P7     | P8     |
|---|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| X | 0,00  | 2,00  | 5,00  | 51,60 | 120,00 | 144,00 | 196,40 | 258,00 |
| Y | 39,00 | 40,00 | 41,00 | 41,01 | 55,00  | 60,00  | 75,00  | 95,00  |

- Coordinate POLIGONALE:

|   | P1    | P2    | P3    | P4    | P5    | P6    | P7     | P8     | P9    | P10    | P11    | P12    |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| X | 0,00  | 1,60  | 9,00  | 17,60 | 56,00 | 87,00 | 119,00 | 132,40 | 153,6 | 190,00 | 226,00 | 258,00 |
| Y | 39,00 | 39,00 | 39,20 | 39,80 | 39,81 | 42,30 | 49,60  | 50,60  | 59,6  | 72,40  | 83,60  | 95,40  |

- Parametri geotecnici STRATO 1:

- Coesione =  $0,00 \text{ t/m}^2$
- Angolo di attrito =  $16^\circ$
- Peso specifico =  $2,00 \text{ t/m}^3$

## Risultati:

In riferimento alla fig. 4, si ottengono i seguenti risultati di calcolo:

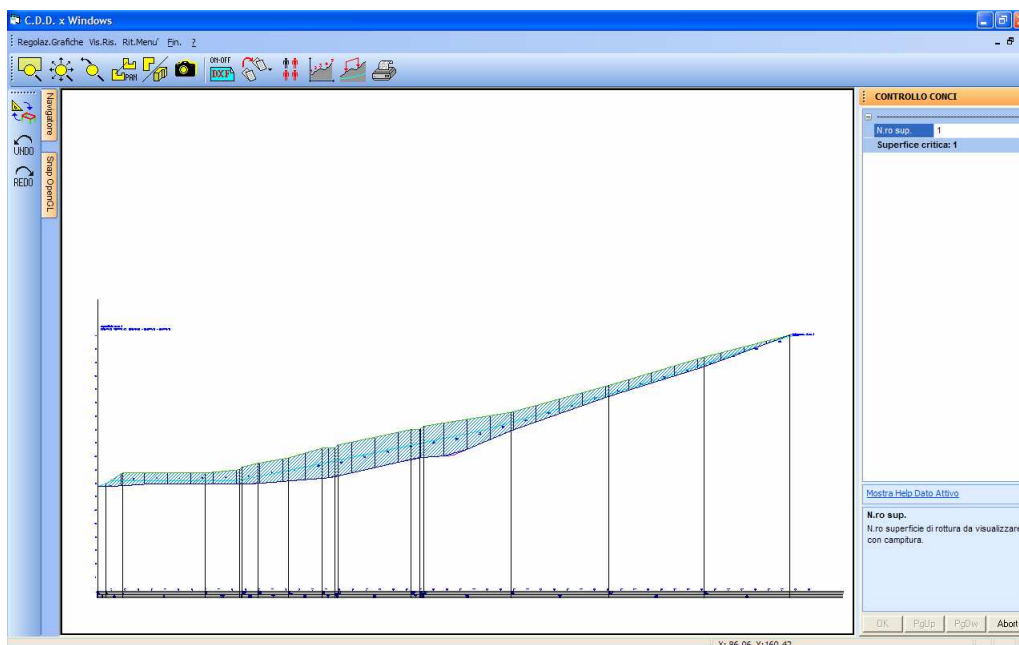


Figura 4 - Risultati

|                      | <i>Jambu</i> | <i>Bell</i> | <i>MP</i> $F_x=C$ | <i>MP</i> $F_x=\sin$ | <i>MP</i> $F_x=\sin/2$ |
|----------------------|--------------|-------------|-------------------|----------------------|------------------------|
| <i>Teorico</i>       | 1,114885     | 1,117484    | 1,114668          | 1,116356             | 1,116241               |
| <b><i>CDDWin</i></b> | 1,1145       | 1,1174      | 1,1146            | 1,1163               | 1,1162                 |
| <u><i>Scarto</i></u> | 0,03%        | 0,01%       | 0,01%             | 0,01%                | 0,00%                  |

Tutti i risultati ottenuti con **CDDWin** risultano in linea con l'esempio di riferimento. Lo scarto, infatti, è dovuto essenzialmente al differente numero di cifre decimali prese in considerazione.

### **Esempio 3 – Pendio omogeneo con superficie di scorrimento poligonale senza falda**

In riferimento all'esempio precedente (Esempio 2), si vuole studiare lo stesso pendio ma in assenza di falda (fig. 5):

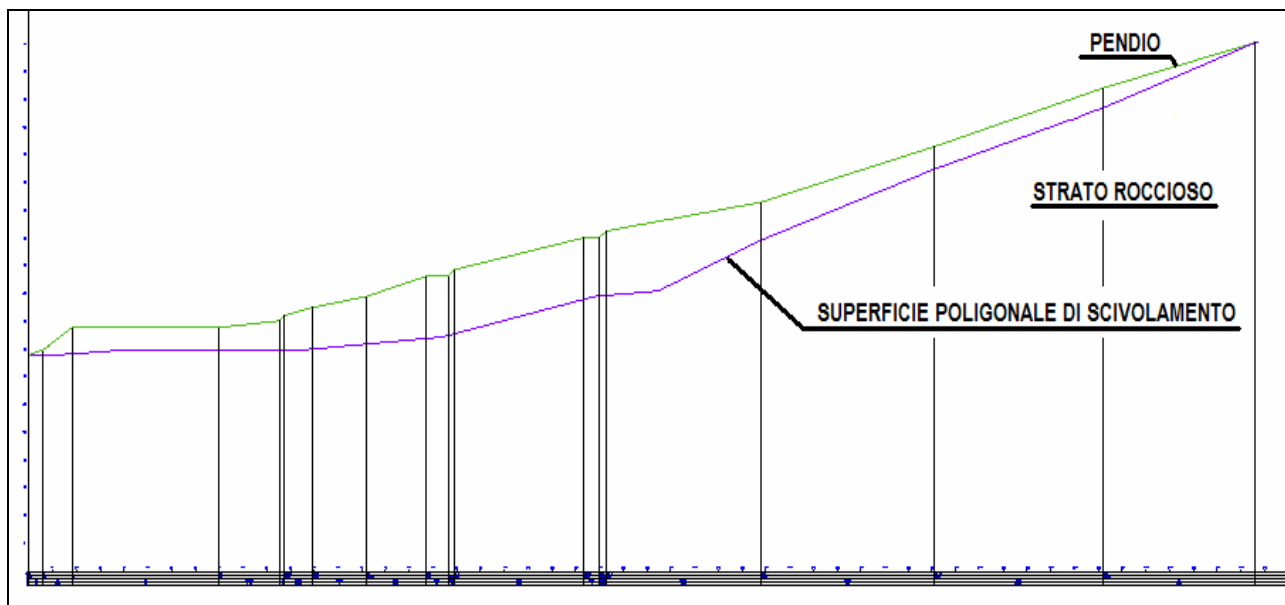


Figura 5 - Schema del pendio

### Dati:

- Sisma assente ( $K_h = K_v = 0$ ).
- Coeff. parziali geotecnici  $M2/R2$  tutti uguali a 1 al fine di equiparare i risultati con quelli dell'esempio di riferimento.
- Parametri di calcolo:
  - Numero conci = 30
  - Elementi rigidi = 0
  - Rapporto  $H_{spinta}/H_{concio} = 0,4$  (dato valido solo per la teoria di Jambu)
  - Superficie di rottura: POLIGONALE
- Coordinate pendio:

|   | P1 | P2    | P3 | P4    | P5   | P6   | P7   | P8   | P9   | P10   | P11  | P12   | P13   | P14   | P15  | P16   | P17  | P18  |
|---|----|-------|----|-------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|
| X | 0  | 3     | 9  | 40    | 52,8 | 53,8 | 59,6 | 71   | 83,4 | 88,2  | 89,4 | 116,8 | 120   | 121,4 | 154  | 190,4 | 226  | 258  |
| Y | 39 | 40,01 | 44 | 44,01 | 45,2 | 46,2 | 47,6 | 49,6 | 53,2 | 53,21 | 54,4 | 60,2  | 60,21 | 61,4  | 66,6 | 76,6  | 87,2 | 95,4 |

- Coordinate POLIGONALE:

|   | P1    | P2    | P3    | P4    | P5    | P6    | P7     | P8     | P9    | P10    | P11    | P12    |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| X | 0,00  | 1,60  | 9,00  | 17,60 | 56,00 | 87,00 | 119,00 | 132,40 | 153,6 | 190,00 | 226,00 | 258,00 |
| Y | 39,00 | 39,00 | 39,20 | 39,80 | 39,81 | 42,30 | 49,60  | 50,60  | 59,6  | 72,40  | 83,60  | 95,40  |

- Parametri geotecnici STRATO 1:

- Coesione =  $0,00 \text{ t/m}^2$

- Angolo di attrito =  $16^\circ$
- Peso specifico =  $2,00 \text{ t/m}^3$

### Risultati:

In riferimento alla fig. 6, si ottengono i seguenti risultati di calcolo:

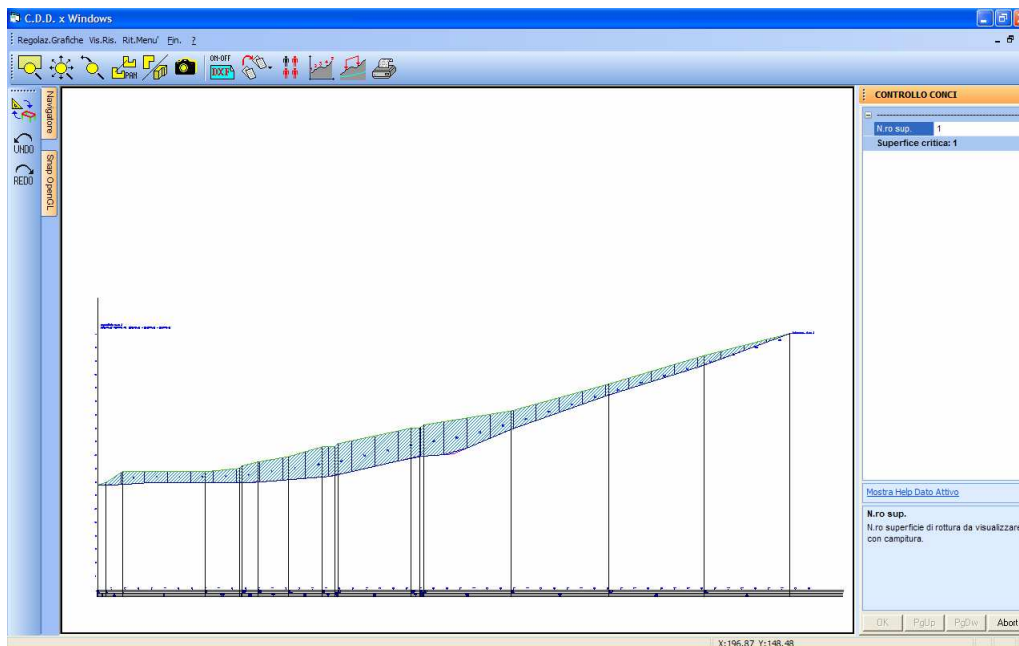


Figura 6 - Risultati

|                      | <i>Jambu</i> | <i>Bell</i> | <i>MP</i> $F_x=C$ | <i>MP</i> $F_x=\sin$ | <i>MP</i> $F_x=\sin/2$ |
|----------------------|--------------|-------------|-------------------|----------------------|------------------------|
| <i>Teorico</i>       | 1,417374     | 1,420213    | 1,416513          | 1,418792             | 1,418632               |
| <b><i>CDDWin</i></b> | 1,4171       | 1,42        | 1,4164            | 1,4187               | 1,4185                 |
| <u><i>Scarto</i></u> | 0,02%        | 0,01%       | 0,01%             | 0,01%                | 0,01%                  |

Tutti i risultati ottenuti con **CDDWin** risultano in linea con l'esempio di riferimento. Lo scarto, infatti, è dovuto essenzialmente al differente numero di cifre decimali prese in considerazione.

#### Esempio 4 – Pendio non omogeneo con superficie di scorrimento poligonale

È assegnato un pendio di forma regolare e nota (fig. 7) costituito da diversi materiali di cui sono date le seguenti caratteristiche:

- STRATO 1:
  - $\gamma = 2,05 \text{ t/m}^3$
  - $C = 0,00 \text{ t/m}^2$
  - $\phi = 35^\circ$
- STRATO 2:
  - $\gamma = 2,00 \text{ t/m}^3$
  - $C = 0,00 \text{ t/m}^2$
  - $\phi = 33^\circ$
- STRATO 3:
  - $\gamma = 1,76 \text{ t/m}^3$
  - $C = 0,73 \text{ t/m}^2$
  - $\phi = 20^\circ$

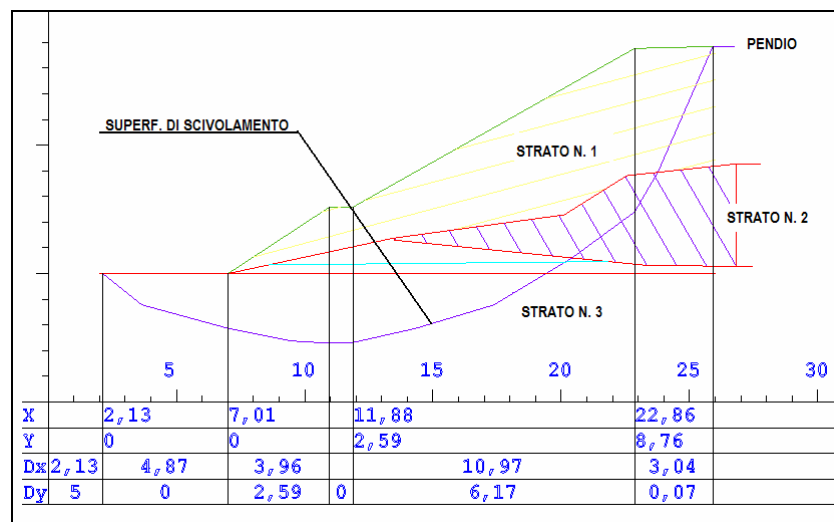


Figura 7 - Schema del pendio

Internamente al pendio non è presente la linea di saturazione.

Si considera, inoltre, che la massa scivolante è approssimabile tramite una forma quasi circolare, suddivisa in 20 conci.

Le teorie prese in esame sono quelle di *Bell*, *Jambu* e *Morgestern-Price*.

### Dati:

- Sisma assente ( $K_h = K_v = 0$ ).
- Coeff. parziali geotecnici  $M2/R2$  tutti uguali a 1 al fine di equiparare i risultati con quelli dell'esempio di riferimento.
- Parametri di calcolo:
  - Numero conci = 20
  - Elementi rigidi = 0
  - Rapporto  $H_{spinta}/H_{concio} = 0,35$  (dato valido solo per la teoria di *Jambu*)
  - Superficie di rottura: POLIGONALE
- Coordinate pendio:

|   | <i>P1</i> | <i>P2</i> | <i>P3</i> | <i>P4</i> | <i>P5</i> | <i>P6</i> |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| X | 2,1336    | 7,0104    | 10,9728   | 11,8872   | 22,8600   | 25,9080   |
| Y | 0,0000    | 0,0000    | 2,5908    | 2,5908    | 8,7630    | 8,8392    |

- Profilo stratigrafico 1 (Strati 1-2):

|   | <i>P1</i> | <i>P2</i> | <i>P3</i> | <i>P4</i> | <i>P5</i> |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| X | 7,0104    | 13,4112   | 20,1168   | 22,5552   | 26,8224   |
| Y | 0,0000    | 1,3716    | 2,2860    | 3,8100    | 4,2700    |

- Profilo stratigrafico 2 (Strati 2-3):

|   | <i>P1</i> | <i>P2</i> | <i>P3</i> |
|---|-----------|-----------|-----------|
| X | 13,5000   | 23,4696   | 26,8224   |
| Y | 1,3000    | 0,3048    | 0,2900    |

- Coordinate POLIGONALE:

|   | <i>P1</i> | <i>P2</i> | <i>P3</i> | <i>P4</i> | <i>P5</i> | <i>P6</i> | <i>P7</i> | <i>P8</i> | <i>P9</i> | <i>P10</i> | <i>P11</i> | <i>P12</i> |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| X | 2,1336    | 3,6576    | 7,0104    | 9,4488    | 10,9728   | 11,8872   | 14,3256   | 17,3736   | 20,4216   | 22,860     | 23,7744    | 25,908     |
| Y | 0,0000    | -1,2192   | -2,1336   | -2,62128  | -2,7100   | -2,68224  | -2,1336   | -1,2192   | 0,6096    | 2,400      | 3,9624     | 8,8392     |

## Risultati:

In riferimento alla fig. 8, si ottengono i seguenti risultati di calcolo:

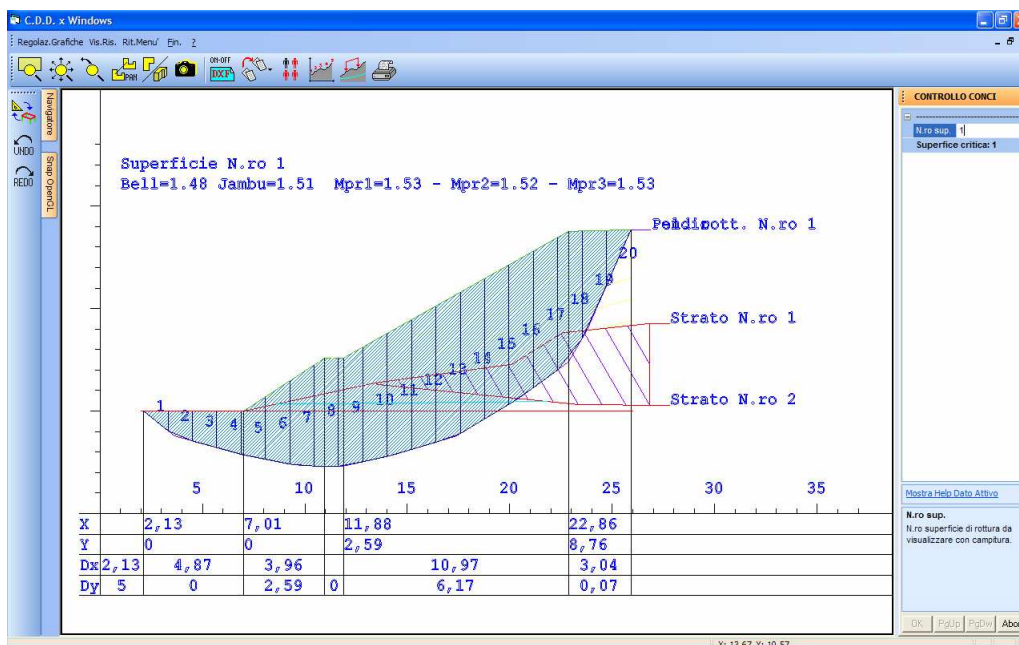


Figura 8 - Risultati

|                      | Jambu    | Bell     | MP $F_x=C$ | MP $F_x=\sin$ | MP $F_x=\sin/2$ |
|----------------------|----------|----------|------------|---------------|-----------------|
| <i>Teorico</i>       | 1,515433 | 1,465503 | 1,550710   | 1,545384      | 1,54508         |
| <b><i>CDDWin</i></b> | 1,5132   | 1,4851   | 1,538      | 1,5285        | 1,5303          |
| <u><i>Scarto</i></u> | 0,15%    | 1,32%    | 0,83%      | 1,10%         | 0,97%           |

Tutti i risultati ottenuti con **CDDWin** risultano in linea con l'esempio di riferimento.

Da notare, infatti, che l'esempio di riferimento è riportato in letteratura in coordinate anglosassoni per cui si è resa necessaria la conversione nel sistema tecnico. Questo ha introdotto nuove approssimazioni oltre a quelle dovute al differente numero di cifre decimali prese in considerazione.