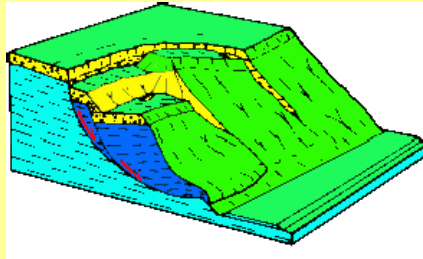


SSAP2010
SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM
Versione 4.9.9 (2019) - Win 64 Bit

[HTTPS://WWW.SSAP.EU](https://www.ssap.eu)



Dr. Geol. Lorenzo Borselli P.hD.

www.lorenzo-borselli.eu

Validazione del codice di calcolo SSAP

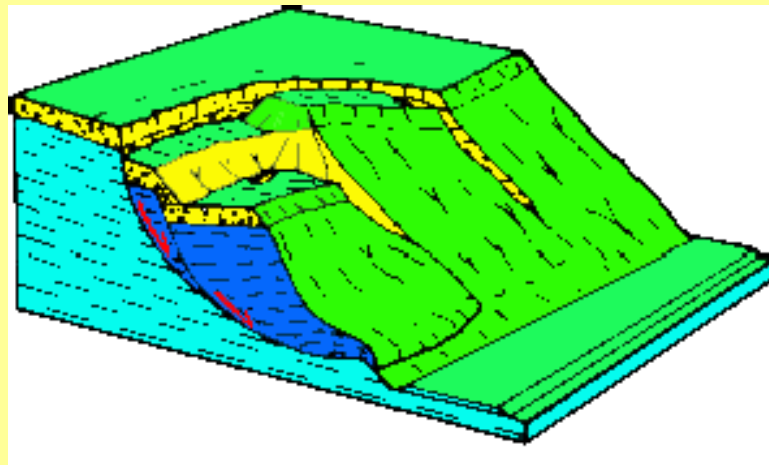
Versione validazione 1.4 - (16-06-2019)

Parte 1

Validazione del codice di calcolo SSAP 4.9.9 (2019) e comparazione con risultati codice CDDWin

(<http://www.stsweb.it>), release 2018,
disponibili pubblicamente su:

<http://www.stsweb.it/downloads/Validazione/Validazione%20CDD.pdf>



INTRODUZIONE

In questa parte del documento viene proposta un primo esempio di validazione del codice SSAP e un esempio di comparazione dei risultati del codice CDDWin disponibili al seguente link di accesso pubblico:

<http://www.stsweb.it/downloads/Validazione/Validazione%20CDD.pdf>

Si ringrazia S.T.S. s.r.l. per aver messo disposizione del pubblico il proprio documento di validazione..

Come per il documento di validazione del codice CDDWIN, si considerano gli esempi presenti nel seguente lavoro: *“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.

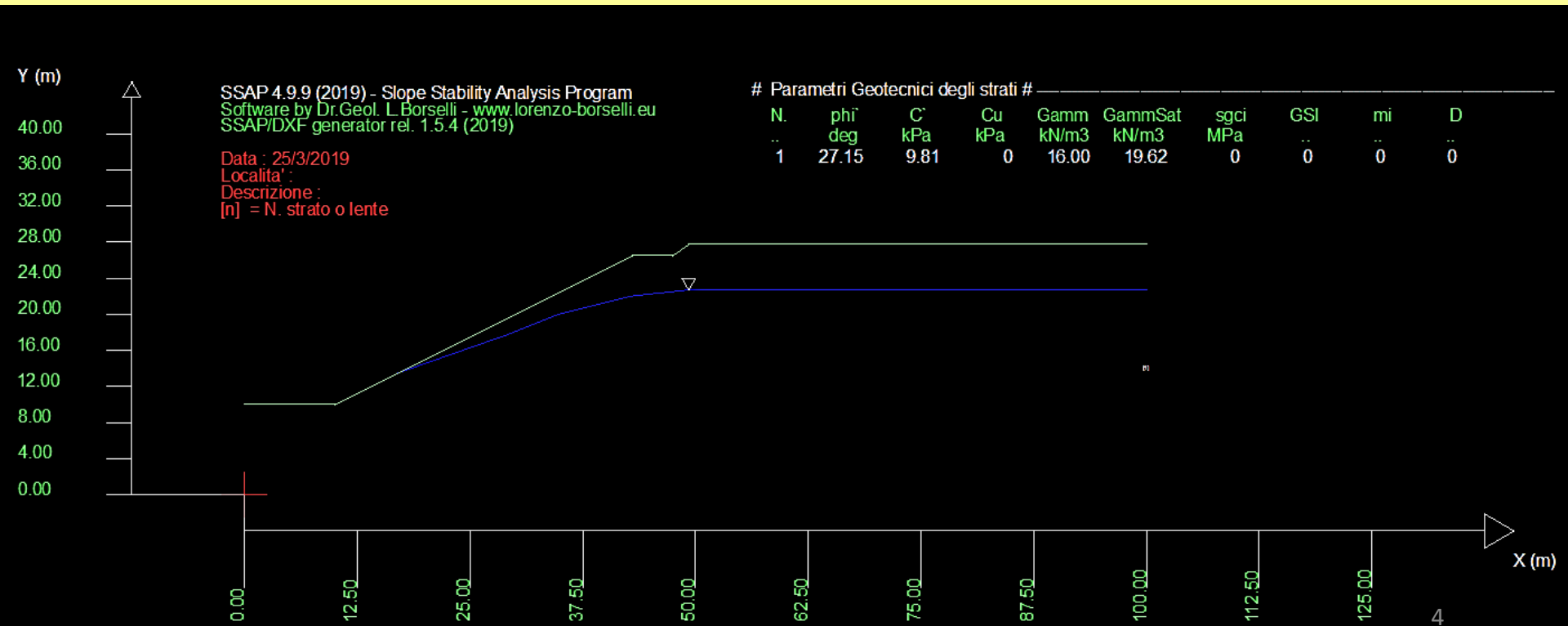
Per tutti dettagli sulle caratteristiche del software SSAP si suggerisce di collegarsi ai seguenti documenti disponibili nel sito ufficiale di SSAP:

- <https://www.ssap.eu/caratteristiche.html>
- <https://www.ssap.eu/manualessap2010.pdf> (manuale técnico software SSAP)
- [BORSELLI L. , GRECO. L, PETRI P.- 2018. SSAP2010 “Un passo Oltre”. Software di uso libero \(freeware\) per le verifiche di stabilità all’equilibrio limite \(LEM\) nei pendii naturali e artificiali, con metodi rigorosi e avanzati. Il GEOLOGO, No. 106, Nov. 2018. \(in italian\)](#)
- [Slope Stability Analysis Program - Programma di calcolo per l’analisi della stabilità dei pendii - SSAP2010](#). Invited Seminar. UNESCO Chair on the Prevention and Sustainable Management of Geo-Hydrological Hazards, University of Florence, Italy. 10-11-2016 (in italian)
- [La stabilità dei versanti secondo le NTC 2018:cenni teorici e algoritmi di applicazione con SSAP](#). IL RUOLO DELLA GEOINGEGNERIA NELLE NTC 2018 E NEGLI EUROCODICI: OPPORTUNITÀ DA COGLIERE. Politecnico di Milano 29 maggio 2018

Esempio 1.1, tratto da Barla et al. (1964) e S.T.S. (2018)

Pendio omogeneo parzialmente in falda.

Le unita' di misura seguono Il Sistema Internazionale (SI) , (*pressioni in kPa, pesi unitary in kN/m³*), *lunghezze in m*).



Esempio 1.1, tratto da Barla et al. (1964) e S.T.S. (2018)

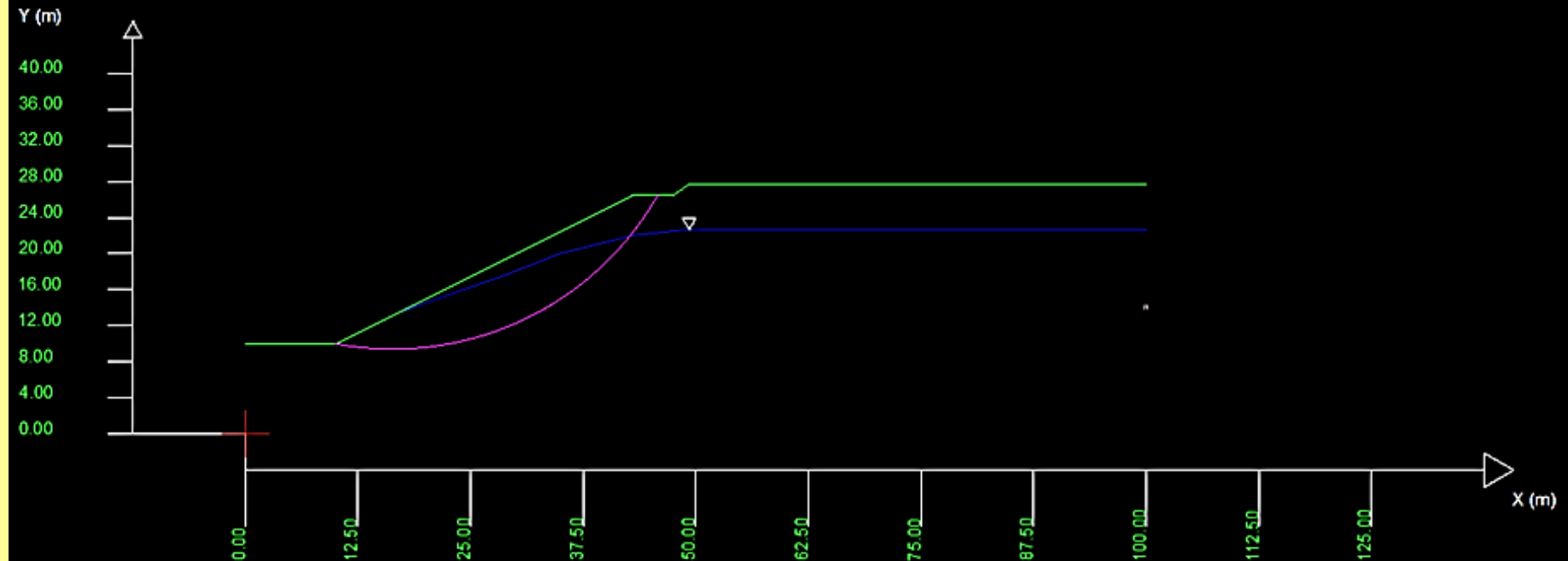
Superficie di riferimento: arco di cerchio (centro X=16.3m, Y=43.3m)
passante per il punto P con coordinate X=10, Y=10.

SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program
Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
SSAP/DXF generator rel. 1.5.4 (2019)

Data : 25/3/2019
Localita' :
Descrizione :
[n] = N. strato o lente

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi deg	C kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	27.15	9.81	0	16.00	19.62	0	0	0	0



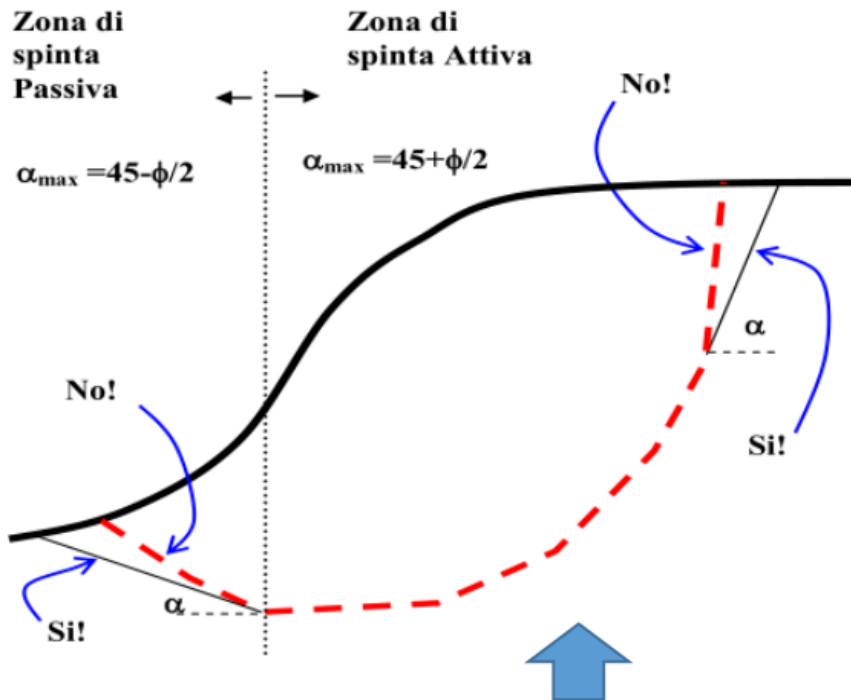
Data : 25/3/2019
Localita' :
Descrizione :
[n] = N. strato o lente

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi°	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	27.15	9.81	0	16.00	19.62	0	0	0	0



Tuttavia La superficie circolare, ottenuta e calcolata da Barla et al. 1964 e da CDDWin viola localmente il criterio di rottura di Mohor-Coulomb e spinta delle terre. La zona indicate , in testa al pendio ha localmente una pendenza superiore al limite Indicato da Ching e Fredlund (1983).. (vedasi pagine seguenti tratte da manuale SSAP pagine 409-413)



Some difficulties associated with the limit equilibrium method of slices

R. K. H. CHING AND D. G. FREDLUND

Department of Civil Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, Sask., Canada S7N 0W0

Received February 15, 1983

Accepted July 11, 1983

001

Several commonly encountered problems associated with the limit equilibrium methods of slices are discussed. These problems are primarily related to the assumptions used to render the inherently indeterminate analysis determinate. When these problems occur in the stability computations, unreasonable solutions are often obtained. It appears that problems occur mainly in situations where the assumption to render the analysis determinate seriously departs from realistic soil conditions. These problems should not, in general, discourage the use of the method of slices. Example problems are presented to illustrate these difficulties and suggestions are proposed to resolve these problems.

Keywords: slope stability, limit equilibrium, method of slices, factor of safety, side force function.

In: **CHING R.K. & FREDLUND D.G. (1983) Some difficulties associated with the limit equilibrium method of slices. Can.Geotech. J. 20 pp 661-672.**

Le limitazioni teoriche nella forma delle superfici, dettate dalla teoria della spinta delle terre e da problemi computazionali di convergenza nel calcolo di F_s o di produzione di valori anomali come $F_s < 0$ furono trattati in maniera estensiva e dimostrati da CHING & FREDLUND (1983).

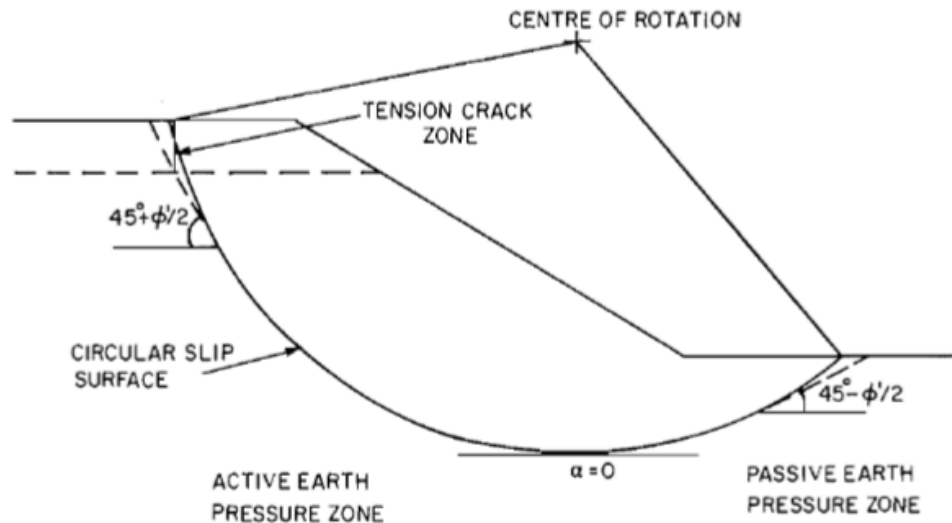


FIG. 4. Soil slope divided into active and passive earth pressure zones.

In applying the earth pressure theory, the soil slope is divided into two regions, namely, an active earth pressure zone in which the lateral earth pressure decreases due to lateral displacement and a passive earth pressure zone in which the lateral earth pressure increases due to lateral displacement of the soil mass (Fig. 4). In the active zone, the soil mass moves downward which in effect releases the lateral earth pressure, whereas in the passive pressure zone, the soil mass is pushed by the movement of the active soil wedge. The inclination of the slip surface in the passive zone of the sliding mass should be limited to the maximum obliquity for the passive state:

$$[9] \quad \alpha = \phi' / 2 - 45^\circ$$

Likewise, it is suggested that the inclination of the slip surface in the active zone should not exceed the value obtained from the following equation:

$$[10] \quad \alpha = \phi' / 2 + 45^\circ$$

↑

← da CHING & FREDLUND (1983) pag 664
CHING R.K. & FREDLUND D.G. (1983) *Some difficulties associated with the limit equilibrium method of slices.* Can.Geotech. J. 20 pp 661-672.

NOTE SU SSAP

*Successivamente alla generazione di una superficie, prima di effettuare il calcolo del relativo valore di F_s , è necessario effettuare una serie di **controlli molto importanti**. Il più importante è quello di verificare che localmente la inclinazione dei segmenti non violi il criterio di rottura Mohr-Culomb e di spinta delle terre nelle zone dove prevalgono le spinte attive e le spinte passive (vedasi figure precedenti), Ching e Freduld (1983).*

In pratica ogni inclinazione della superficie di scivolamento deve essere compresa tra i due valori limite indicati nella figura precedente. I valori limite delle inclinazioni dipendono dalle caratteristiche meccaniche del terreno/ammasso roccioso. In casi di marcata variabilità litologica/stratigrafica o in presenza di ammassi rocciosi fratturati, i valori degli angoli limite possono avere una forte variabilità entro il pendio. In questi casi fornire dei valori limite fissi agli angoli di inclinazione dei segmenti è una forte approssimazione.

*Il programma SSAP2010 effettua quindi un **controllo stringente su ogni superficie, prima di effettuare i calcoli, e scarta quelle superfici che, anche solo localmente, violano gli angoli di inclinazione limite indicata da Ching e Freduld (1983)**. Le superfici vengono scartate perché considerate cinematicamente non possibili. Infatti in queste superfici potremmo avere valori di F_s anormalmente bassi, generalmente non realistici e, a volte, $F_s < 0$!!.*

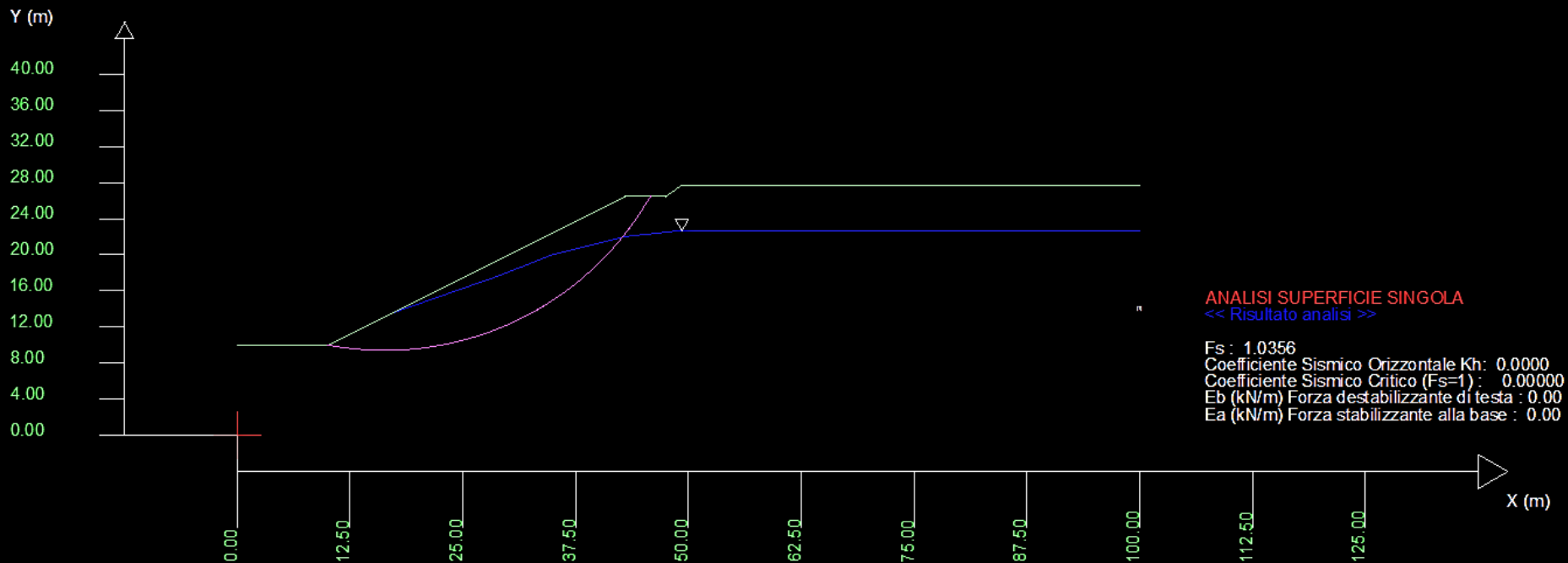
***In SSAP 2010 il controllo viene fatto automaticamente** senza necessità di intervento dell'utente. Questo aspetto innovativo ha incrementato la affidabilità dei risultati e tiene in maniera definita conto della letteratura scientifica sull'argomento.*

Data : 25/3/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	27.15	9.81	0	16.00	19.62	0	0	0	0

Modello di calcolo : Morgenstern - Price (1965)



La superficie circolare quindi considerate ottenuta da Barla eT al (1964), che non conoscevano I risultati del lavoro di Ching e Fredlund (1983) ,e' quindi stata leggermente modificata nella parte di testa nella zona di uscita riducendo la pendenza con un tratto lineare in modo da non superare la pendenza limite di 58.75°, in accordo alla teoria di spinta delle terre, prima di effettuare la verifica in SSAP.

Tabella risultati CDDWin(pagina 6 documento validazione codice di calcolo S.T.S(2018))
 superficie circolare data da Barla et al. (1964), caratterizzata da con una leggera
 violazione della teoria di spinta delle terre in testa al pendio (secondo Ching e Fredlund
 1983).



	<i>Raggio</i>	<i>Bishop</i>	<i>Jambu</i>	<i>Bell</i>	<i>MP_{Fx=C}</i>	<i>MP_{Fx=sin}</i>	<i>MP_{Fx=sin/2}</i>
<i>Teorico</i>	33,891	1,035689	1,042031	1,035507	1,045487	1,045039	1,045056
<i>CDDWin</i>	33,9	1,0356	1,0423	1,0354	1,0454	1,0451	1,0450
<i>Scarto</i>	0,02%	0,01%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%

ssap2010_64bit

```

RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA
METODO DI CALCOLO.....Fs.....lambda....MLD....Kc.....Esito.....Note...
JANBU_RIGOROSO(1973)..... 1.0391 1.0000 0.0745 0.0000 Verificata [5]
SPENCER(1973)..... 1.0351 0.3631 0.0702 0.0000 Verificata [5]
SARMA_I(1973)..... 1.0341 0.4970 0.0690 0.0000 Verificata [5]
MORGESTERN-PRICE(1965)... 1.0356 0.4243 0.0697 0.0000 Verificata [5]
CHEN-MORGESTERN(1983)... 1.0360 0.2828 0.0710 0.0000 Verificata [5]
SARMA_II(1979)..... 1.0346 0.5766 0.0685 0.0000 Verificata [5]
BORSELLI(2016)..... 1.0355 0.2818 0.0697 0.0000 Verificata [5]
NOTE di Calcolo:-----
[0]--> Fs<1.0 oppure non convergenza calcolo
[1]--> Fs>50
[2]--> Kc=0.0 per FS<1.0
[3]--> Kc=0.0 per Fs>50
[4]--> Calcolo Kc senza convergenza
[5]--> Calcolo Kc non attivato
    
```



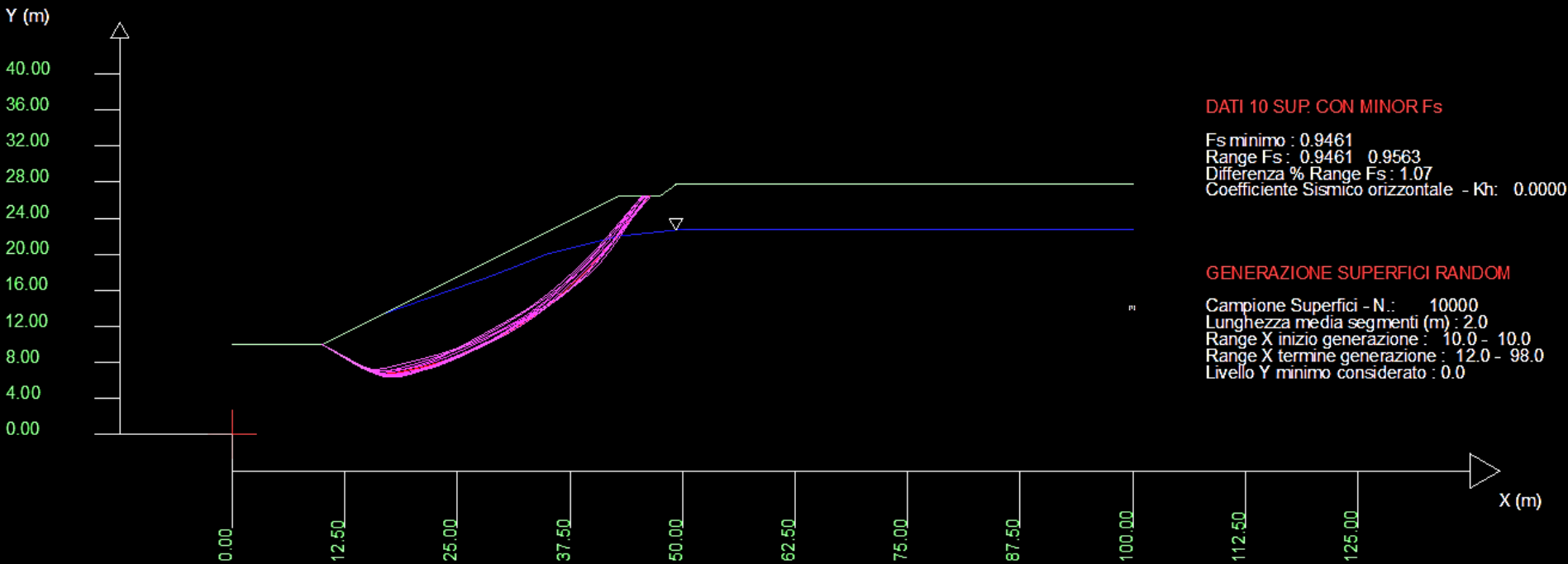
Tabella risultati comparativi
 SSAP2010 (rel. 4.9.9) sulla stessa
 superficie, con leggera modifica in
 testa, per non violare la teoria di
 spinta delle terre (secondo Ching e
 Fredlund (1983)).

Data : 25/3/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi°	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	27.15	9.81	0	16.00	19.62	0	0	0	0

Modello di calcolo : Morgenstem - Price (1965)



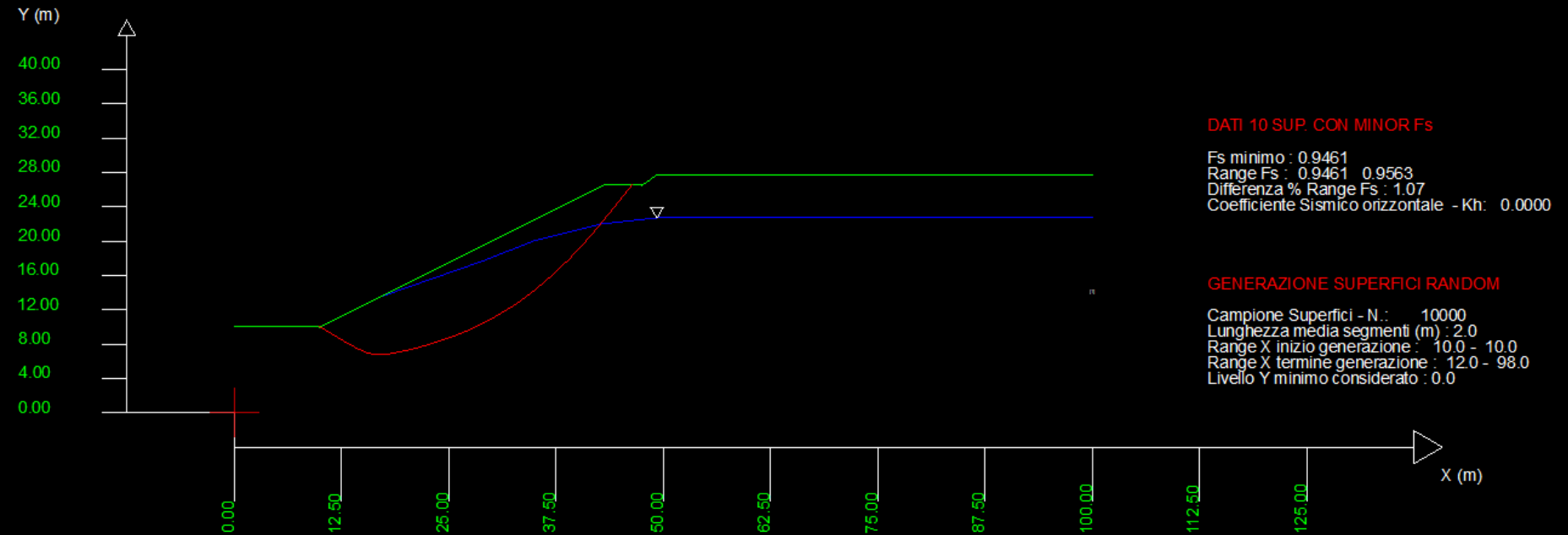
Comunque Con SSAP, eseguendo una ricerca di superfici di forma libera , passanti per il punto P (10,10), otteniamo questo risultato: **Fs minimo 0.946** . (nella figura le 10 superfici con Minor FS , su 10000 generate in totale con motore di ricerca CONVEX RANDOM SEARCH).

Data : 25/3/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	27.15	9.81	0	16.00	19.62	0	0	0	0

Modello di calcolo : Morgenstern - Price (1965)

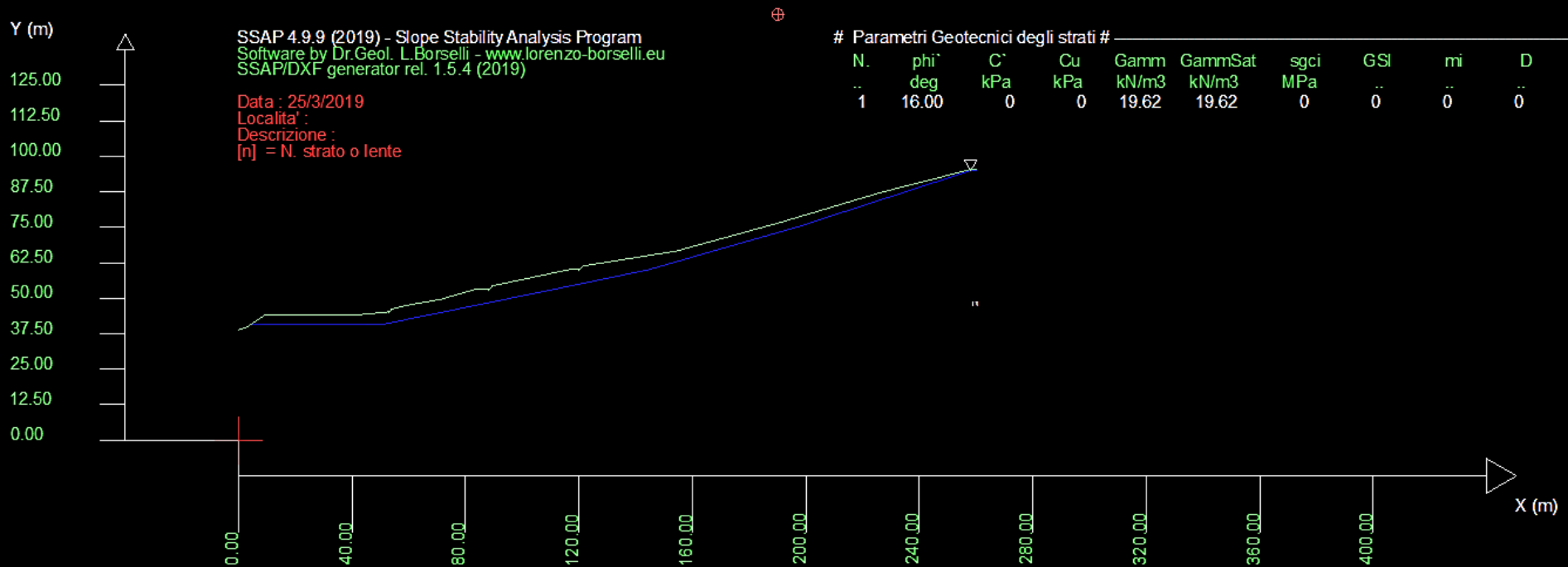


Si noti che La superficie con Fs minimo 0.946 non e' circolare..

Esempio 1.2, tratto da Barla et al. (1964) e S.T.S. (2018)

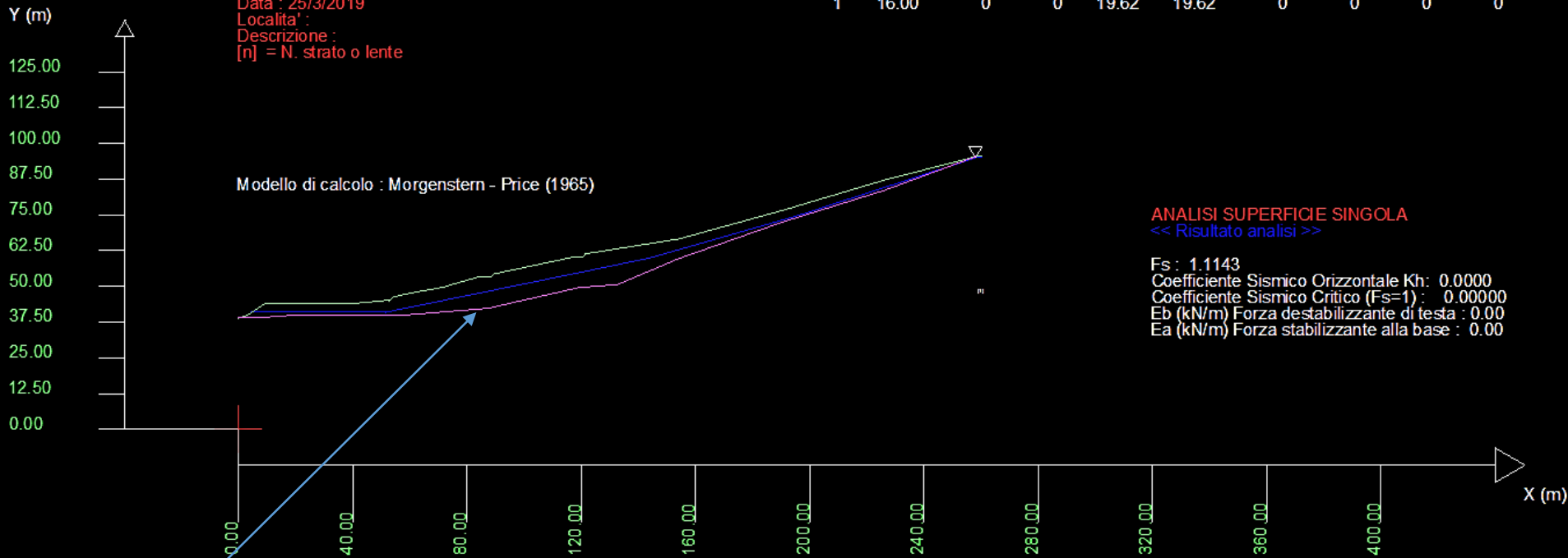
Pendio parzialmente in falda.

Le unita' di misura seguono Il Sistema Internazionale (SI) , (*pressioni in kPa, pesi unitary in kN/m³*), lunghezze in m).



N.	phi deg	C kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	16.00	0	0	19.62	19.62	0	0	0	0

Data : 25/3/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente



Coordinate Superficie di scivolamento poligonale considerata da Barla et al. (1964) e S.T.S. (2018)

	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

Si noti che in questo caso non si registrano anomalie e violazione del principio di spinta delle terre dovuto a eccesso di pendenza locale della sup di scivolamento considerata...

Tabella con Risultati forniti da Barla et al. (1964) e S.T.S. (2018)(software CDDWin)

	<i>Jambu</i>	<i>Bell</i>	<i>MP_{Fx=C}</i>	<i>MP_{Fx=sin}</i>	<i>MP_{Fx=sin/2}</i>
<i>Teorico</i>	1,114885	1,117484	1,114668	1,116356	1,116241
<i>CDDWin</i>	1,1145	1,1174	1,1146	1,1163	1,1162
<i>Scarto</i>	0,03%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%

ssap2010_64bit

RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA

```

METODO DI CALCOLO.....Fs.....lambda....MLD....Kc.....Esito.....Note...
JANBU_RIGOROSO(1973)..... 1.1096 1.0000 0.0284 0.0000 Verificata [5]
SPENCER(1973)..... 1.1109 0.2031 0.0285 0.0000 Verificata [5]
SARMA_I(1973)..... 1.1108 0.8191 0.0285 0.0000 Verificata [5]
MORGESTERN-PRICE(1965)... 1.1143 0.2990 0.0287 0.0000 Verificata [5]
CHEN-MORGESTERN(1983)... 1.1146 0.0327 0.0289 0.0000 Verificata [5]
SARMA_II(1979)..... 1.1131 1.0000 0.0285 0.0000 Verificata [5]
BORSELLI(2016)..... 1.1142 0.2253 0.0287 0.0000 Verificata [5]
    
```

NOTE di Calcolo:-----

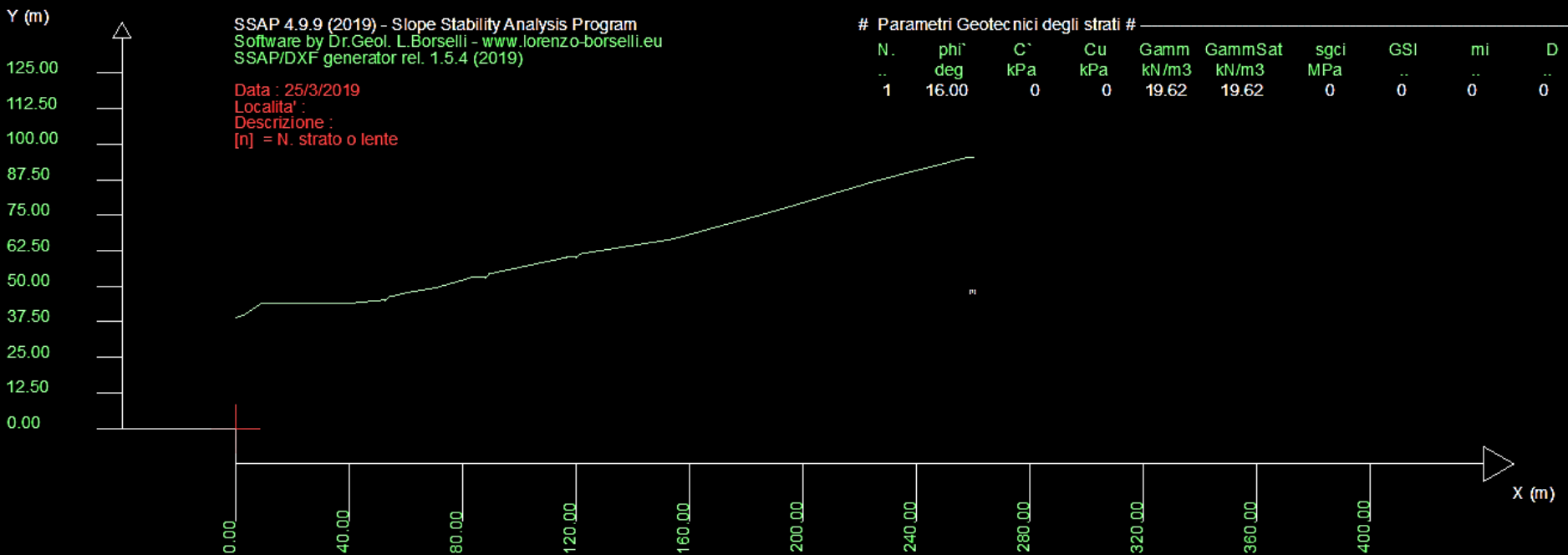
- [0]--> $F_s < 1.0$ oppure non convergenza calcolo
- [1]--> $F_s > 50$
- [2]--> $K_c = 0.0$ per $F_s < 1.0$
- [3]--> $K_c = 0.0$ per $F_s > 50$
- [4]--> Calcolo K_c senza convergenza
- [5]--> Calcolo K_c non attivato

← Tabella Risultati ottenuti con SSAP2010

Esempio 1.3, tratto da Barla et al. (1964) e S.T.S. (2018)

Pendio senza falda.

Le unita' di misura seguono Il Sistema Internazionale (SI) , (*pressioni in kPa, pesi unitary in kN/m³*), *lunghezze in m*).



N.	phi°	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	16.00	0	0	19.62	19.62	0	0	0	0

Data : 25/3/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente



Coordinate Superficie di scivolamento poligonale considerata da Barla et al. (1964) e S.T.S. (2018)

	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

Si noti che in questo caso non si registrano anomalie e violazione del principio di spinta delle terre dovuto a eccesso di pendenza locale della sup di scivolamento considerata...

	<i>Jambu</i>	<i>Bell</i>	<i>MP_{Fx=C}</i>	<i>MP_{Fx=sin}</i>	<i>MP_{Fx=sin/2}</i>
<i>Teorico</i>	1,417374	1,420213	1,416513	1,418792	1,418632
<i>CDDWin</i>	1,4171	1,42	1,4164	1,4187	1,4185
<i>Scarto</i>	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%

ssap2010_64bit

RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA

METODO DI CALCOLO.....	Fs.....	lambda.....	MLD....	Kc.....	Esito.....	Note....
JANBU_RIGOROSO(1973).....	1.4168	1.0000	0.0292	0.0000	Verificata	[5]
SPENCER(1973).....	1.4191	1.2500	0.0293	0.0000	Verificata	[5]
SARMA_I(1973).....	1.4191	1.0000	0.0293	0.0000	Verificata	[5]
MORGESTERN-PRICE(1965)...	1.4191	1.2500	0.0293	0.0000	Verificata	[5]
CHEN-MORGESTERN(1983)...	1.4191	1.2500	0.0293	0.0000	Verificata	[5]
SARMA_II(1979).....	1.4178	1.0000	0.0290	0.0000	Verificata	[5]
BORSELLI(2016).....	1.4191	1.2500	0.0293	0.0000	Verificata	[5]

NOTE di Calcolo:-----

- [0]--> Fs<1.0 oppure non convergenza calcolo
- [1]--> Fs> 50
- [2]--> Kc=0.0 per FS<1.0
- [3]--> Kc=0.0 per Fs> 50
- [4]--> Calcolo Kc senza convergenza
- [5]--> Calcolo Kc non attivato

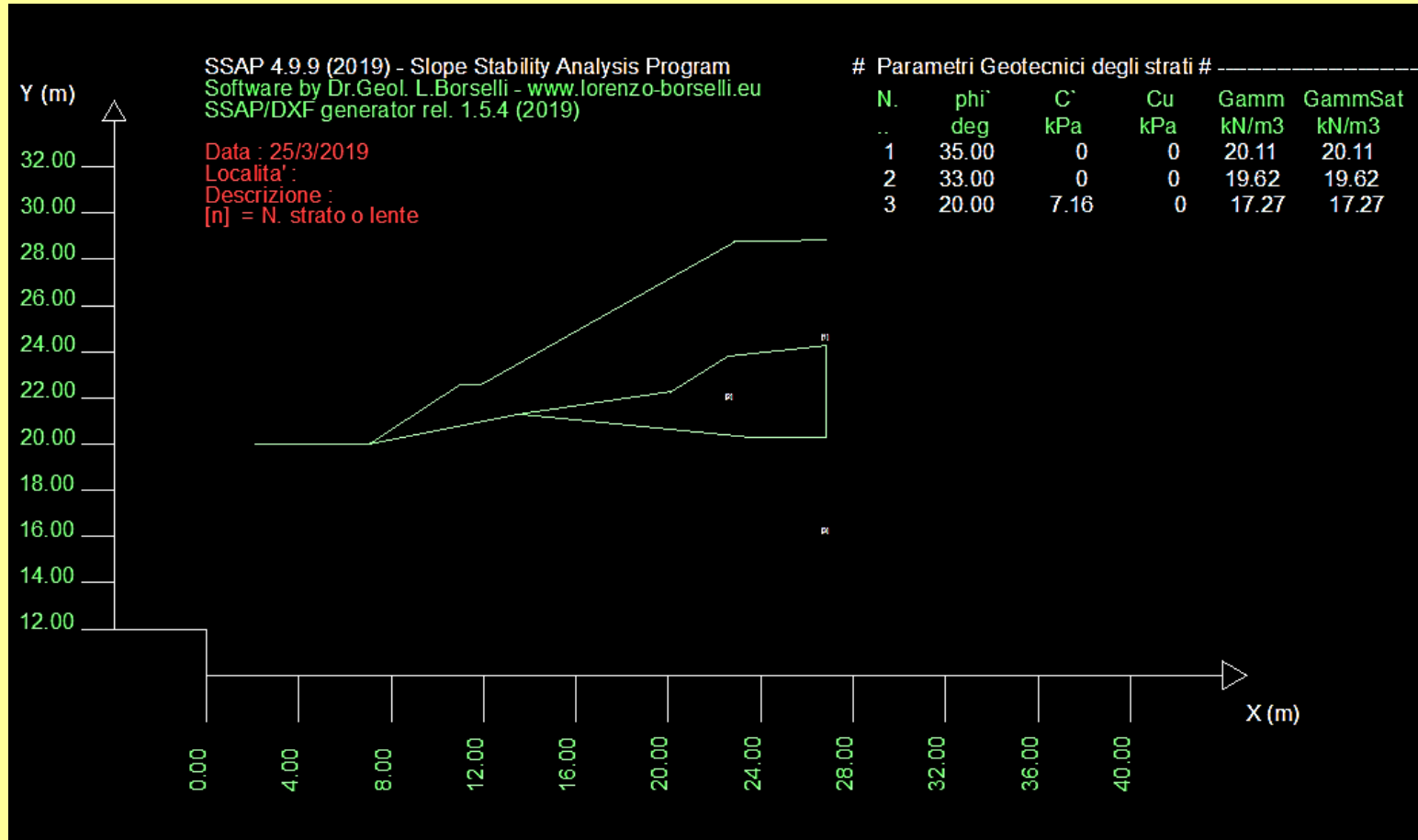


Tabella Risultati ottenuti con SSAP2010

Esempio 1.4, tratto da Barla et al. (1964) e S.T.S. (2018)

Pendio multistrato non in falda.

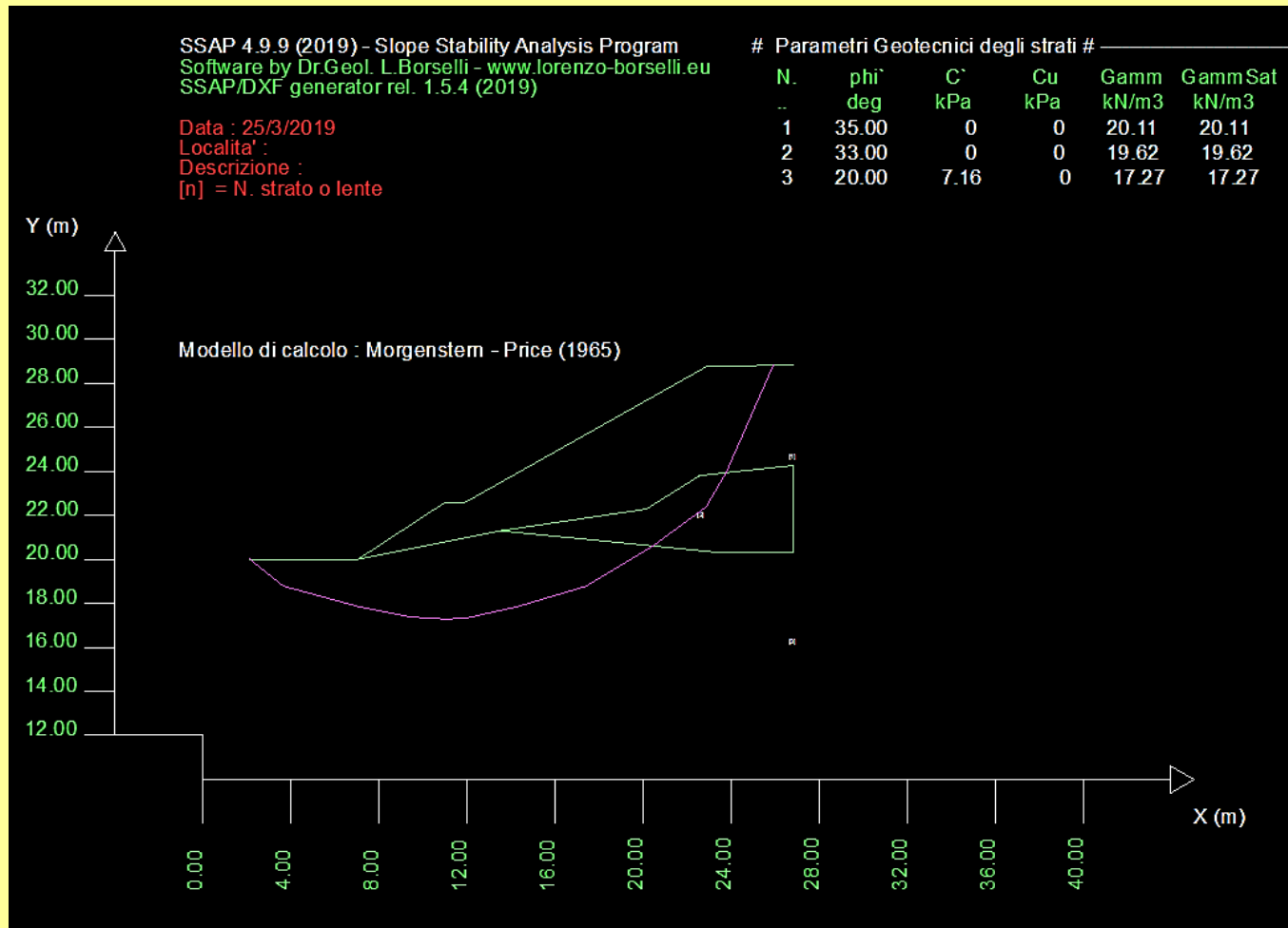
Le unita' di misura seguono Il Sistema Internazionale (SI), (*pressioni in kPa, pesi unitari in kN/m³, lunghezze in m*). Le quote Y sono state translate verso l'alto di 20 m per tenere conto delle convenzioni geometriche utilizzate in SSAP (**no coordinate negative!**)



Superficie di scivolamento poligonale considerata da Barla et al. (1964) e S.T.S. (2018)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
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

In ssap le coordinate Y sono translate verso l'alto di 20 m)



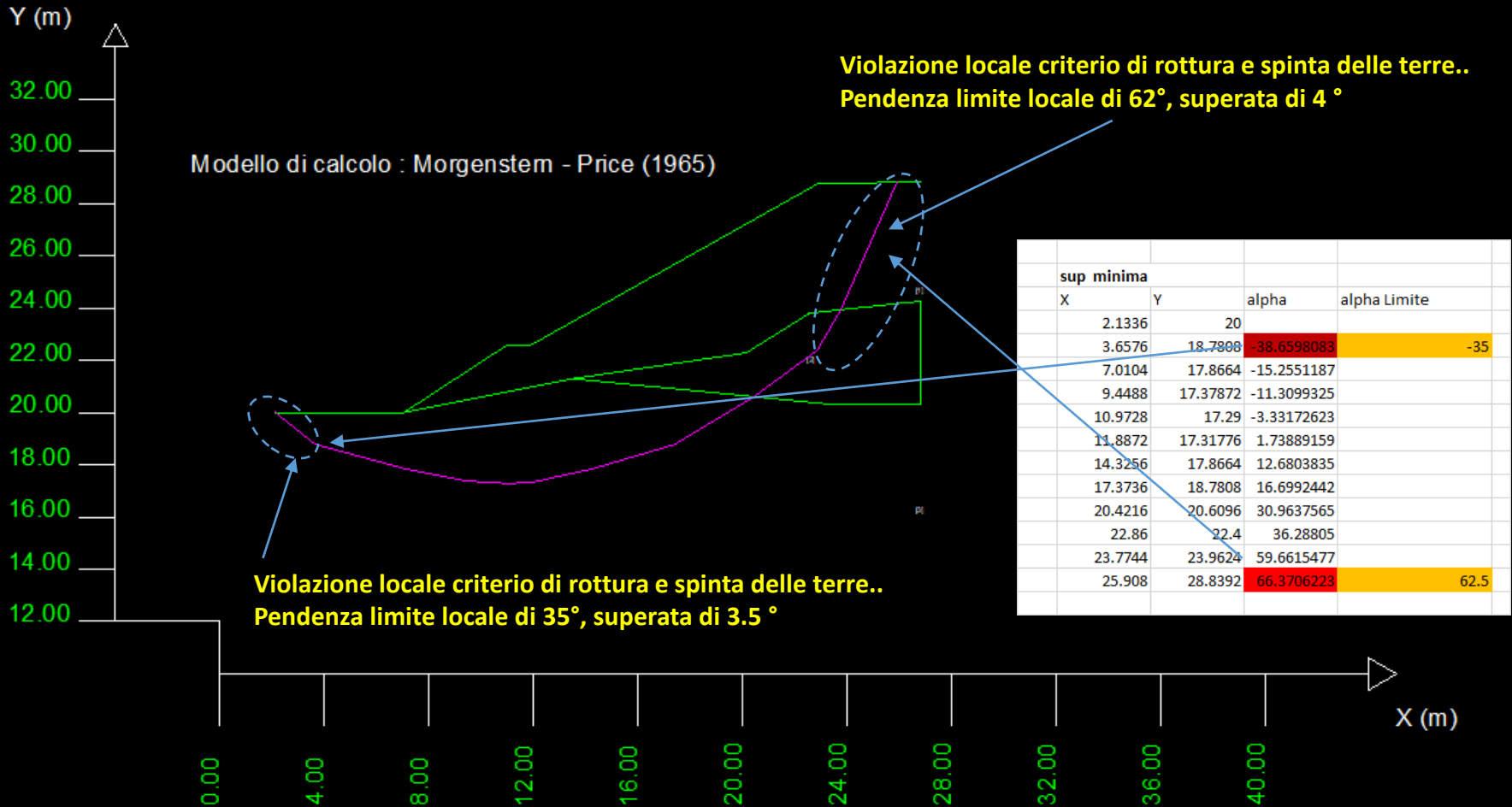
La superficie poligonale precedentemente indicata viola in due zone il principio di spinta delle terre e le pendenze limite indicate da Ching e Fredlund (1983)...

SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.4 (2019)

Data : 25/3/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3
1	35.00	0	0	20.11	20.11
2	33.00	0	0	19.62	19.62
3	20.00	7.16	0	17.27	17.27



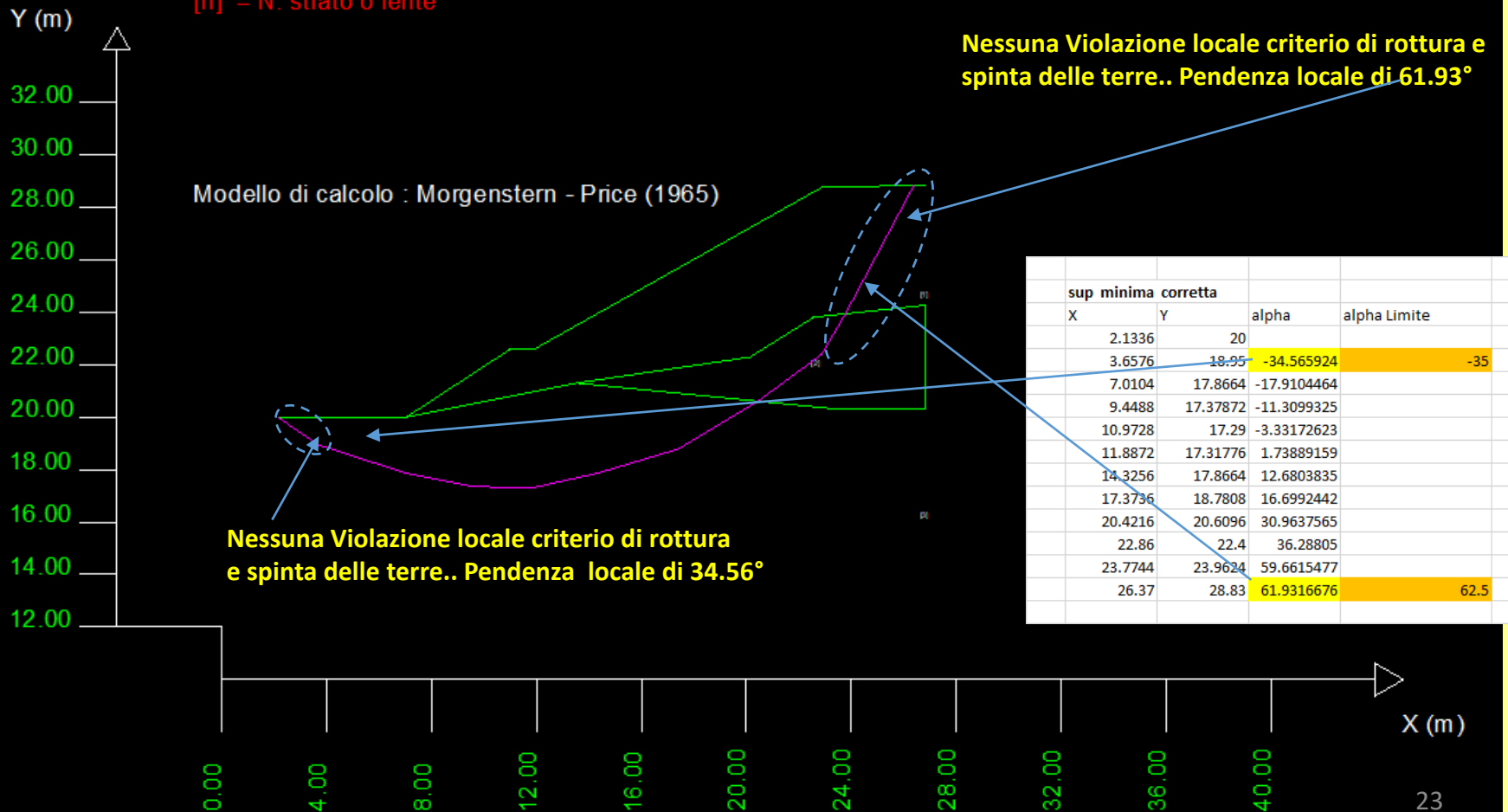
La superficie precedentemente indicata non puo' essere calcolata con le precedenti coordinate .
 Per questa ragione viene imposta una leggera modifica alle pendenze di entrata (a valle) e di uscita (a monte) in modo da ottemperare correttamente al principio di spinta delle terre..(Ching e Fredlund(1983).

SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.4 (2019)

Data : 25/3/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi° deg	C° kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3
1	35.00	0	0	20.11	20.11
2	33.00	0	0	19.62	19.62
3	20.00	7.16	0	17.27	17.27



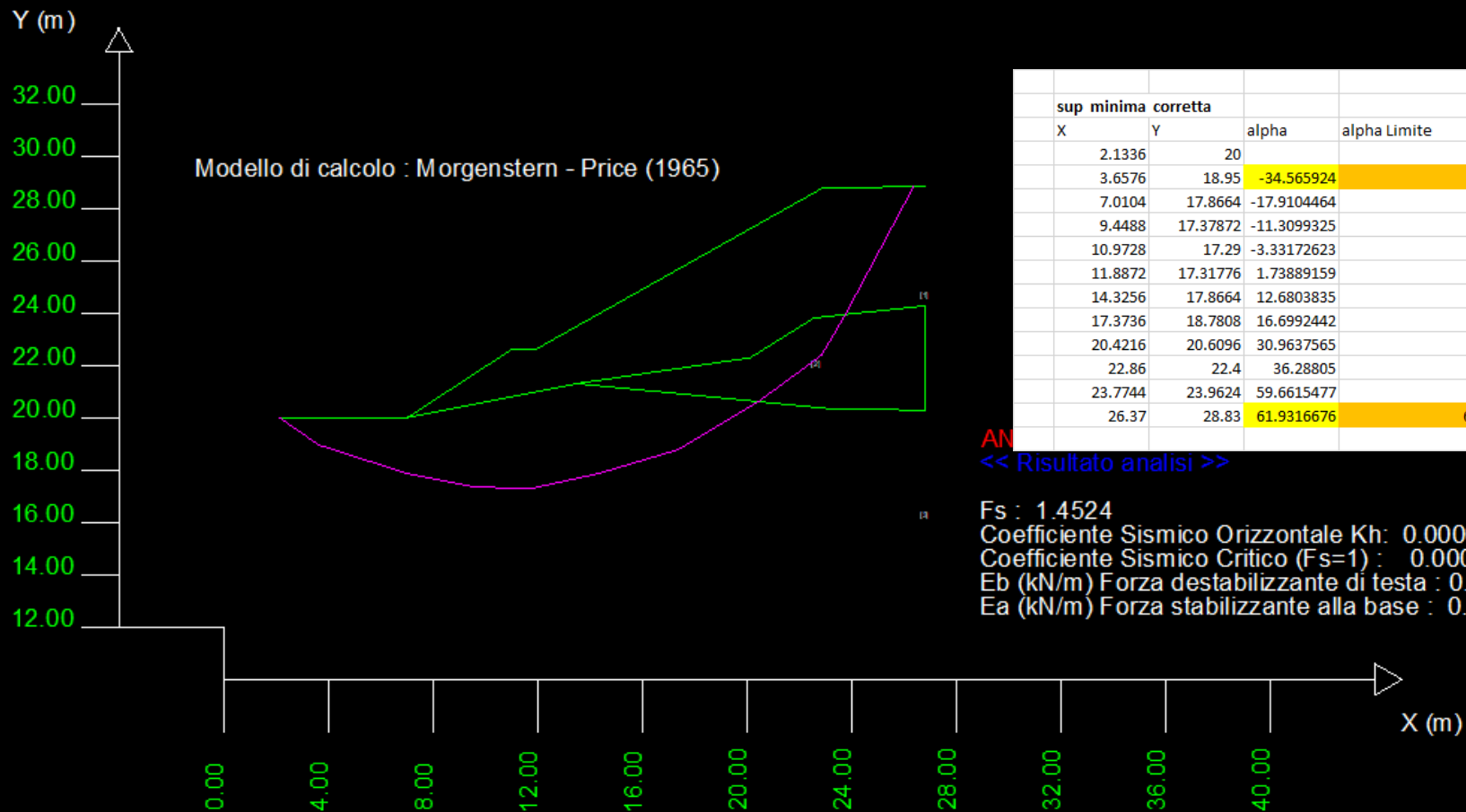
Risultati verifica su superfici poligonale minimamente corretta, **che non viola il principio di rottura per spinta delle terre**, secondo le indicazioni di Ching e Fredlund (1983).

SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.4 (2019)

Data : 25/3/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente


Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi° deg	C° kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3
1	35.00	0	0	20.11	20.11
2	33.00	0	0	19.62	19.62
3	20.00	7.16	0	17.27	17.27



AN
 << Risultato analisi >>

Fs : 1.4524
 Coefficiente Sismico Orizzontale Kh: 0.0000
 Coefficiente Sismico Critico (Fs=1) : 0.00000
 Eb (kN/m) Forza destabilizzante di testa : 0.00
 Ea (kN/m) Forza stabilizzante alla base : 0.00

Risultati verifica su superficie poligonale riportata da Barla et al. (1964) e S.T.S (2018). La superficie indicata viola il principio di rottura per spinta delle terre, secondo le indicazioni di Ching e Fredlund (1983). 

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

ssap2010_64bit

RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA


```

METODO DI CALCOLO.....Fs.....lambda....MLD....Kc.....Esito.....Note..
JANBU_RIGOROSO(1973)..... 1.4585 1.0000 0.1077 0.0000 Verificata [5]
SPENCER(1973)..... 1.4580 0.3190 0.1033 0.0000 Verificata [5]
SARMA_I(1973)..... 1.4544 0.7731 0.1017 0.0000 Verificata [5]
MORGESTERN-PRICE(1965)... 1.4524 0.4182 0.1006 0.0000 Verificata [5]
CHEN-MORGESTERN(1983)... 1.4529 0.3880 0.1009 0.0000 Verificata [5]
SARMA_II(1979)..... 1.4476 0.9646 0.0994 0.0000 Verificata [5]
BORSELLI(2016)..... 1.4529 0.2920 0.1010 0.0000 Verificata [5]

```

NOTE di Calcolo:-----

- [0]--> $F_s < 1.0$ oppure non convergenza calcolo
- [1]--> $F_s > 50$
- [2]--> $K_c = 0.0$ per $F_s < 1.0$
- [3]--> $K_c = 0.0$ per $F_s > 50$
- [4]--> Calcolo K_c senza convergenza
- [5]--> Calcolo K_c non attivato

 Tabella Risultati ottenuti con SSAP2010, sulla superficie minimamente corretta, in modo da non violare il principio di rottura per spinta delle terre, secondo le indicazioni di Ching e Fredlund (1983).

Conclusioni - Parte 1

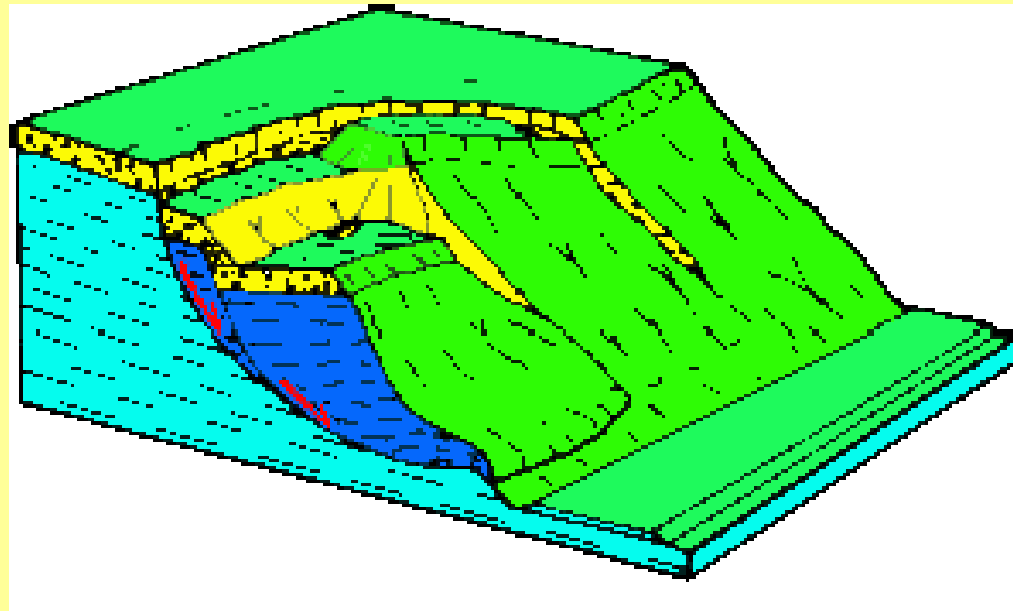
- **Gli esempi di riferimento utilizzati da Barla et al. (1964) effettuano, in 2 casi calcoli senza considerare le indicazioni dell'importante lavoro di Ching e Fredlund (1983).**
- Alcune delle superfici poligonali indicate non possono essere verificate con il set di coordinate XY fornite dai testi citati, dato che localmente possono violare il principio di rottura della teoria della spinta delle terre , causato da eccessi di pendenza locale della superfici di scivolamento considerate.
- **Le differenze riportate tra SSAP e gli altri risultati di calcolo ottenuti da Barla ET al. (1964) e da S.T.S(2018) per gli esempi 1,2 e 3, sono inferiori all'1%**
- **Nel caso dell'esempio 4 la differenza e' superiore al 10%, ma in questo caso essa e' principalmente dovuta al calcolo, in SSAP, su una superficie cinematicamente corretta e caratterizzata da una riduzione minima delle pendenze di entrata (a valle) e uscita (a monte) rispetto alla superfici poligonale originale.**
- Alcuni elementi di incertezza possono determinare altre piccole differenze. In particolare in Barla et al.(1964) la mancata indicazione della densita', o del peso unitario totale (gamma) , rispettivamente della porzione satura e della porzione insatura di uno stesso strato. **Questa indicazione si rende necessaria per considerare correttamente il peso unitario a diversi contenuti di acqua e a completa saturazione del terreno, affiche' il calcolo delle masse totali in gioco e delle pressioni efficaci sia il piu corretto possibile.**

Riferimenti bibliografici – parte 1

- BARLA G., C. CORNERI, M. CRAVERO E G. P. GIANI. (1964) “L’applicazione dei metodi dell’equilibrio limite nello studio dei pendii naturali e delle scarpate”, 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.
- BORSELLI L. (2018). "SSAP 4.9.8 - SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM". MANUALE DI RIFERIMENTO. DEL CODICE SSAP Versione 4.9.8 https://www.ssap.eu/manuale_ssap2010.pdf. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17674.31683>
- CHING R.K. & FREDLUND D.G. (1983) Some difficulties associated with the limit equilibrium method of slices. *Can.Geotech. J.* 20 pp 661-672
- S.T.S. s.r.l. (2018). Validazione codice di calcolo CDDWin. <http://www.stsweb.it/downloads/Validazione/Validazione%20CDD.pdf> (ultimo accesso 25-03-2019)

Parte 2

In questa parte vengono presentati esempi di del codice SSAP mediante comparazione dei risultati di verifica tratti da riviste scientifiche internazionali di geotecnica:



Esempio tratto da Leshinsky and Ambauen (2015)

Leshchinsky, B. and Ambauen, S. (2015). "Limit Equilibrium and Limit Analysis: Comparison of Benchmark Slope Stability Problems." *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001347.

Limit Equilibrium and Limit Analysis: Comparison of Benchmark Slope Stability Problems

Ben Leshchinsky^a and Spencer Ambauen^b

^aAssistant Professor, A.M.ASCE, Dept. of Forest Eng., Res. and Mgmt., Oregon State University, 280 Peavy Hall, Corvallis, OR 97331, ben.leshchinsky@oregonstate.edu, +15417378873 (Corresponding author)

^bM.S., School of Construction and Civil Engineering, Oregon State University, 101 Kearney Hall, Corvallis, OR 97331

Gli autori presentano Molteplici esempi di pendii, con differente grado di complessita', con risultati ottenuti con due diversi tipi di modelli di calcolo (LEM e Analisi Limite), nonche offrono una accurate discussion dei risultati.

Esempio 2.1, (figura 12 Leshchinsky, B. and Ambauen, S. (2015))

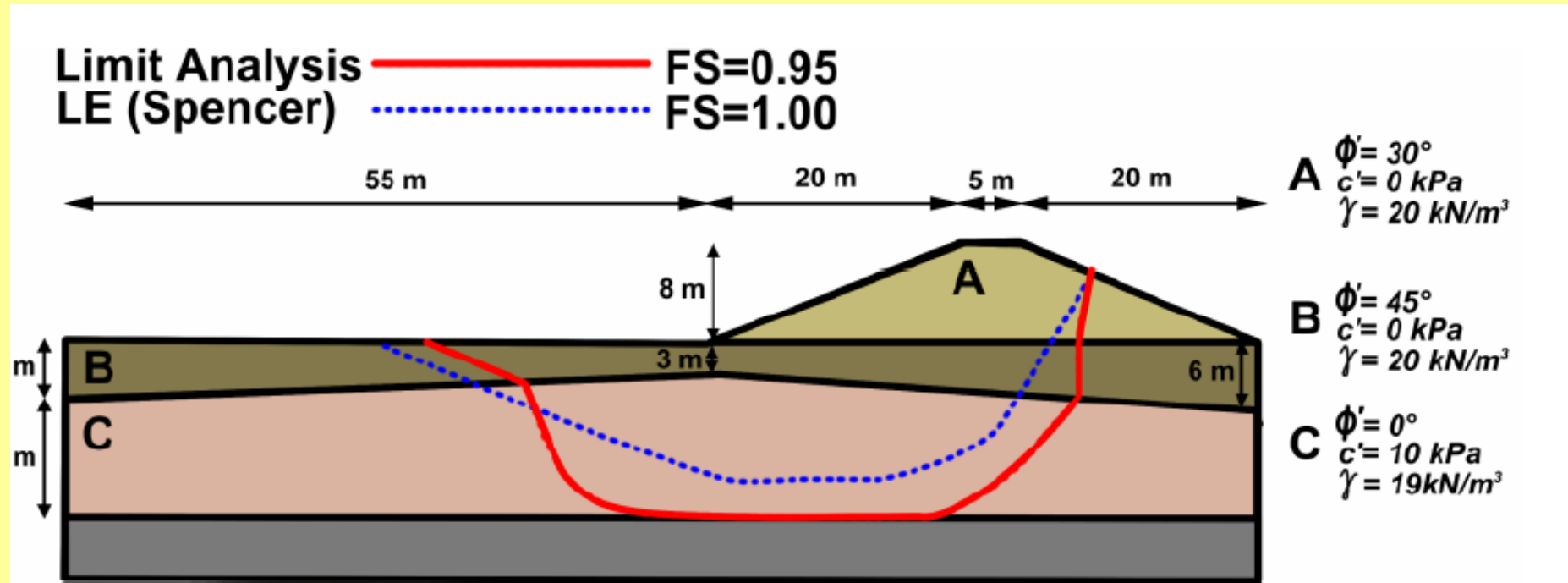


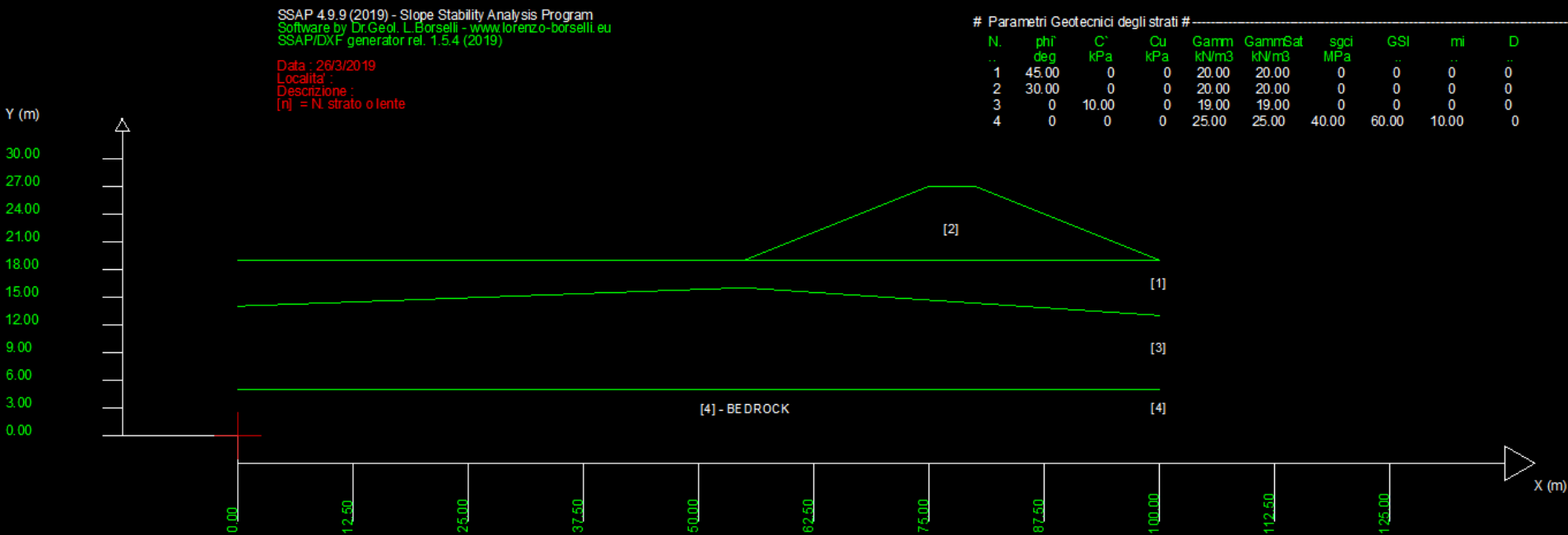
Figure 12. Comparison of failure mechanisms for embankment overlying layers of sand and weak clay.

Rilevato di recente costruzione sopra strato di sabbie molto resistente poggiante su strato di argilla soffice. Le unita' di misura seguono Il Sistema Internazionale (SI), (pressioni in kPa, pesi unitary in kN/m³), lunghezze in m).

La superficie critica di riferimento e' quella di individuata con il método Spencer.

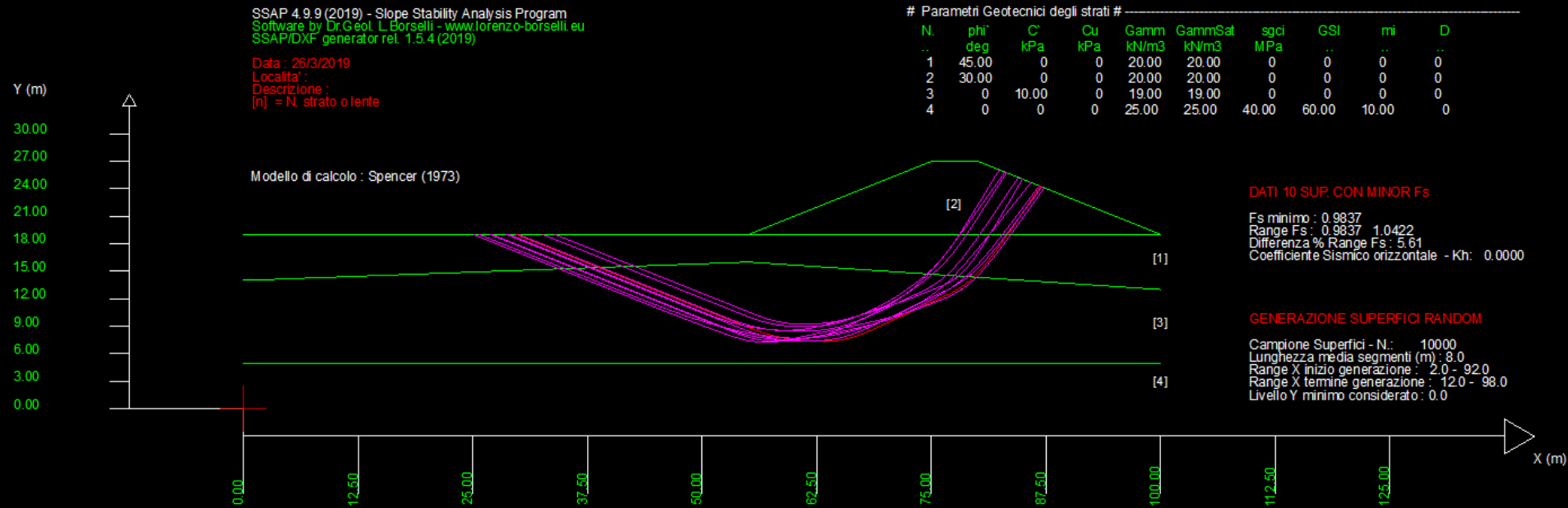
Esempio 2.1, (Leshchinsky, B. and Ambauen, S. (2015))

Modello del rilevato in SSAP, Il substrato Rigido (bedrock) e' inserito come strato 4
Ammasso roccioso molto resistente.. Leshchinsky & Ambauen (2015) invece lo
inseriscono semplicemente come un livello non attraversabile.



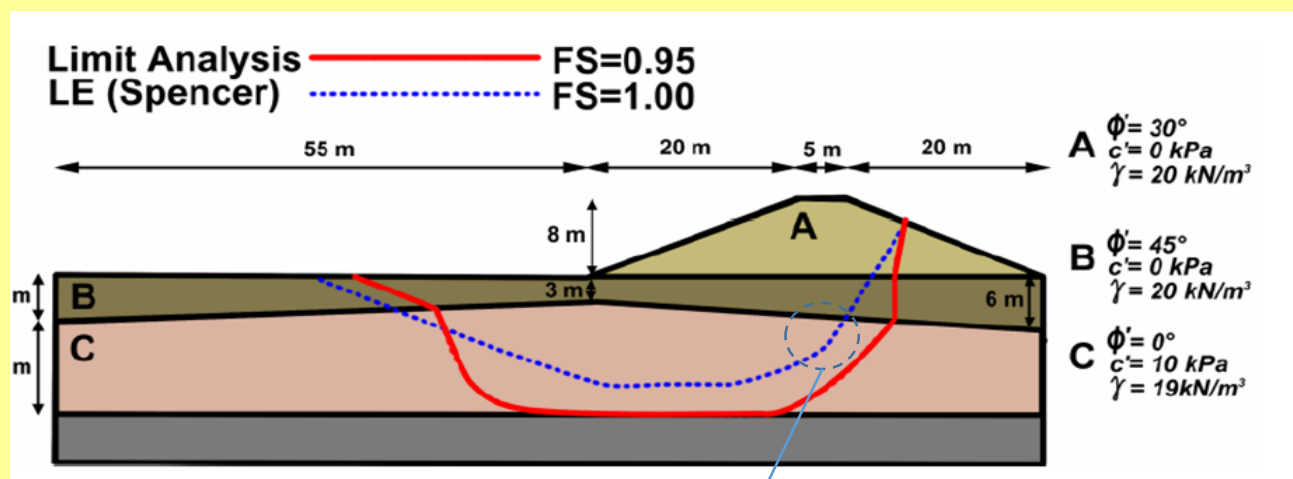
Esempio 2.1, (Leshchinsky, B. and Ambauen, S. (2015))

Risultato con SSAP – le 10 superfici con minor FS
 Motore di ricerca utilizzato: SNIFF RANDOM SEARCH
 Numero superfici generate 10000



Esempio 2.1, (Leshchinsky, B. and Ambauen, S. (2015))

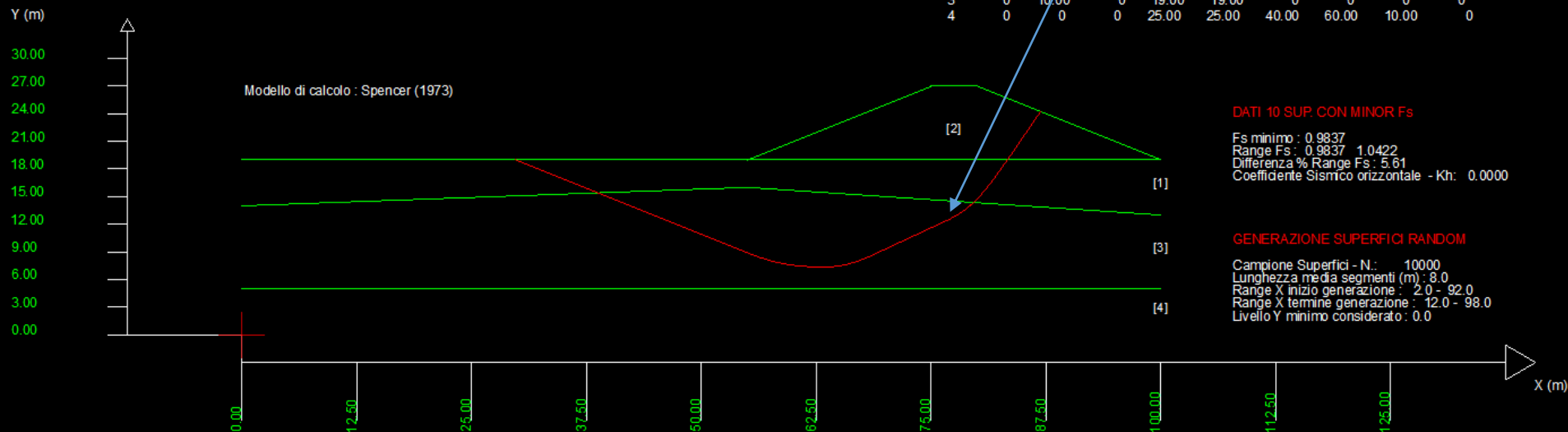
In corrispondenza del cerchio abbiamo una evidente violazione del criterio di rottura per spinta attiva. Essendo la pendenza locale nello strato 3 ($>45^\circ$). SSAP invece genera solo superfici che non violano il principio di spinta delle terre. Eccetto questa variazione la superficie individuata rimane la sostanzialmente medesima così pure il valore di FS minimo..



SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/IDXF generator rel. 1.5.4 (2019)

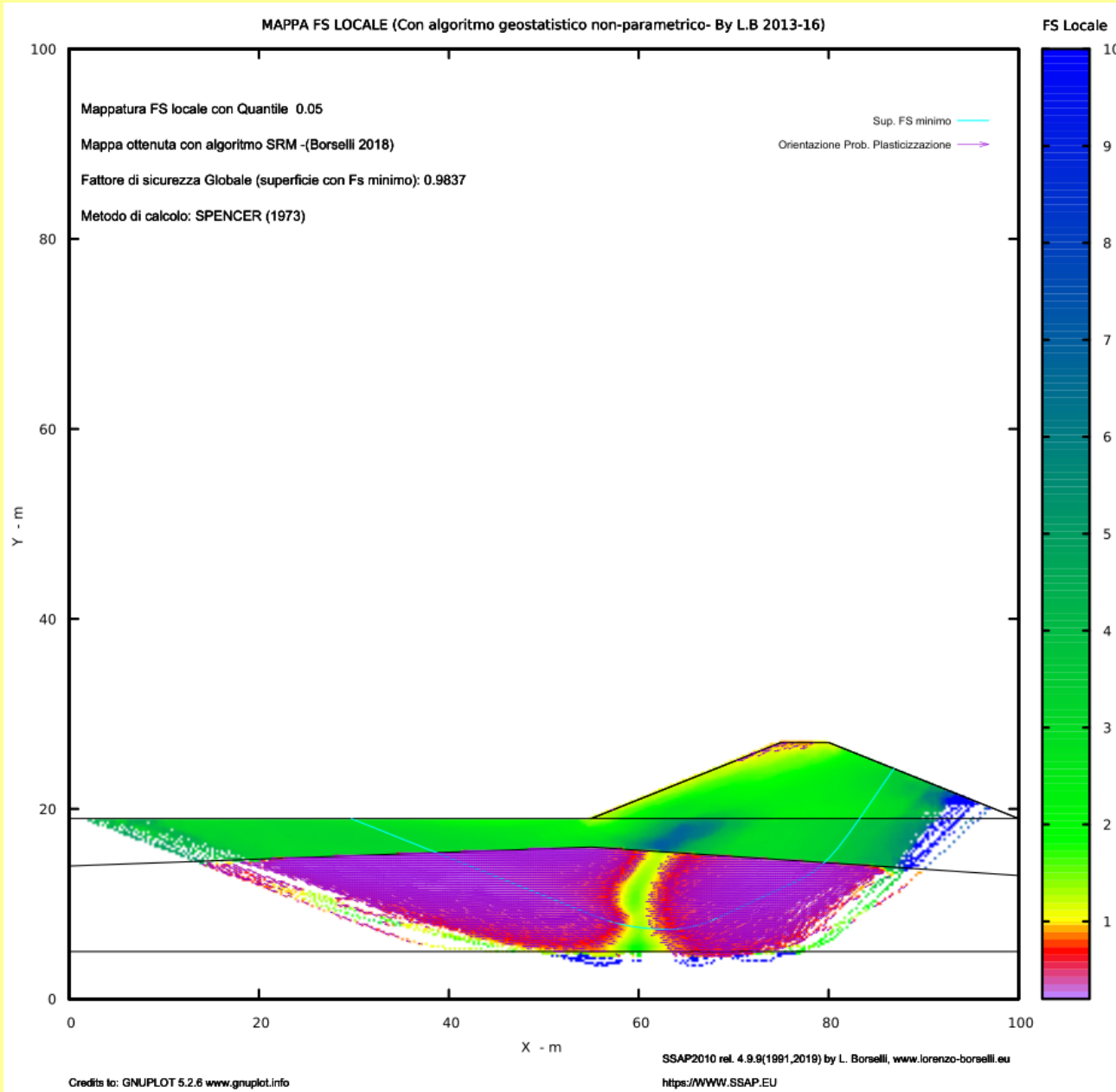
Data : 26/3/2019
 Località :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

# Parametri Geotecnici degli strati #										
N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D	
deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..	..
1	45.00	0	0	20.00	20.00	0	0	0	0	
2	30.00	0	0	20.00	20.00	0	0	0	0	
3	0	10.00	0	19.00	19.00	0	0	0	0	
4	0	0	0	25.00	25.00	40.00	60.00	10.00	0	



Risultato con SSAP – superficie con FS MINIMO FS=0.9837

Esempio 2.1, (Leshchinsky, B. and Ambauen, S. (2015))



Mappa Fattore FS locale
In SSAP

Esempio di verifica molto complessa, presentata in Cheng et al. (2007)



Available online at www.sciencedirect.com



Computers and Geotechnics 34 (2007) 92–103

COMPUTERS
AND
GEOTECHNICS

www.elsevier.com/locate/compgeo

Particle swarm optimization algorithm for the location
of the critical non-circular failure surface
in two-dimensional slope stability analysis

Y.M. Cheng ^{a,*}, Liang Li ^{a,b}, Shi-chun Chi ^b, W.B. Wei ^a

^a *Department of Civil and Structural Engineering, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong*

^b *School of Civil and Hydraulic Engineering, Da Lian University of Technology, China*

Received 9 March 2006; received in revised form 6 October 2006; accepted 18 October 2006

Available online 27 December 2006

Gli autori presentano e testano un algoritmo di ottimizzazione multidimensionale al fine di individuare la superficie critica con minor FS.

Si considera il test di maggiore difficoltà tra quelli presentati: l'esempio di pendio 7

Esempio 7 da Cheng et al. (2007)

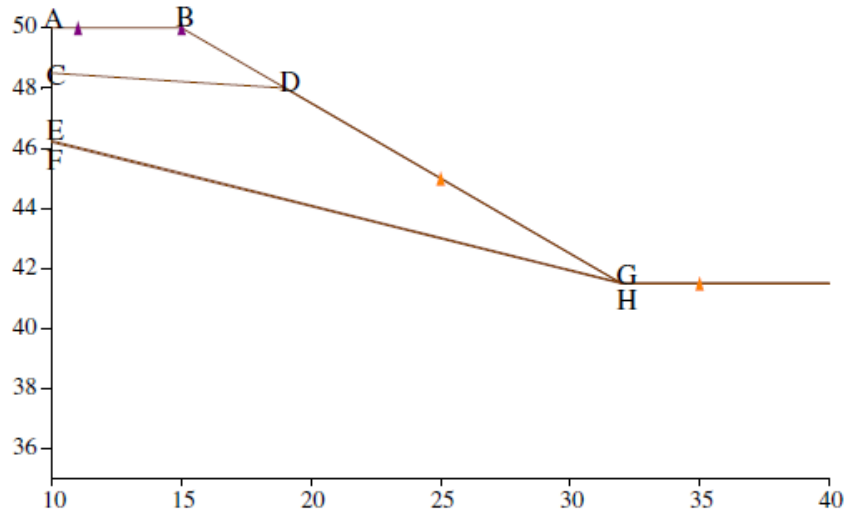


Fig. 19. The cross section of example 7, which has a very thin soft band.

Table 11
Summary of coordinates for key points

Coordinates	A	B	C	D	E	F	G	H
x-Ordinate	10	15	10	19	10	10	31.9	32
y-Ordinate	50	50	48.5	48.0	46.25	46.2	41.55	41.5

Table 12
Geotechnical parameters for example 7

Layer	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (deg)
1	19.0	15.0	20.0
2	19.0	17.0	21.0
3	19.0	5.00	10.0
4	19.0	35.0	28.0

Lo strato 3 con piu deboli caratteristiche ha uno spessore di meno di 3 cm !!

Table 13
Minimum factors of safety for example 7 (Spencer method)

Different number of slices	Minimum factor of safety	NOF
PSO, number of slices = 15	1.2204	89,744
PSO, number of slices = 20	1.2193	119,563
PSO, number of slices = 30	1.1835	123,326
MPSO, number of slices = 15	1.1876	17,915
MPSO, number of slices = 20	1.2260	15,321
MPSO, number of slices = 30	1.2006	15,153

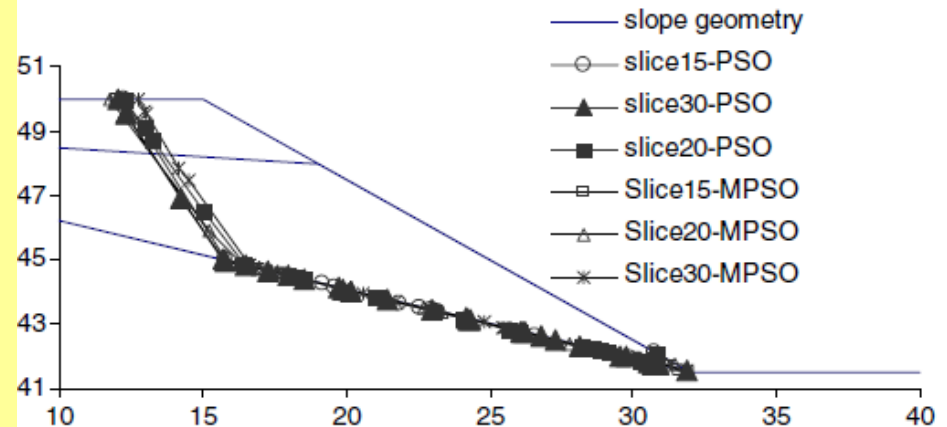


Fig. 20. Comparisons of critical slip surfaces for example 7.

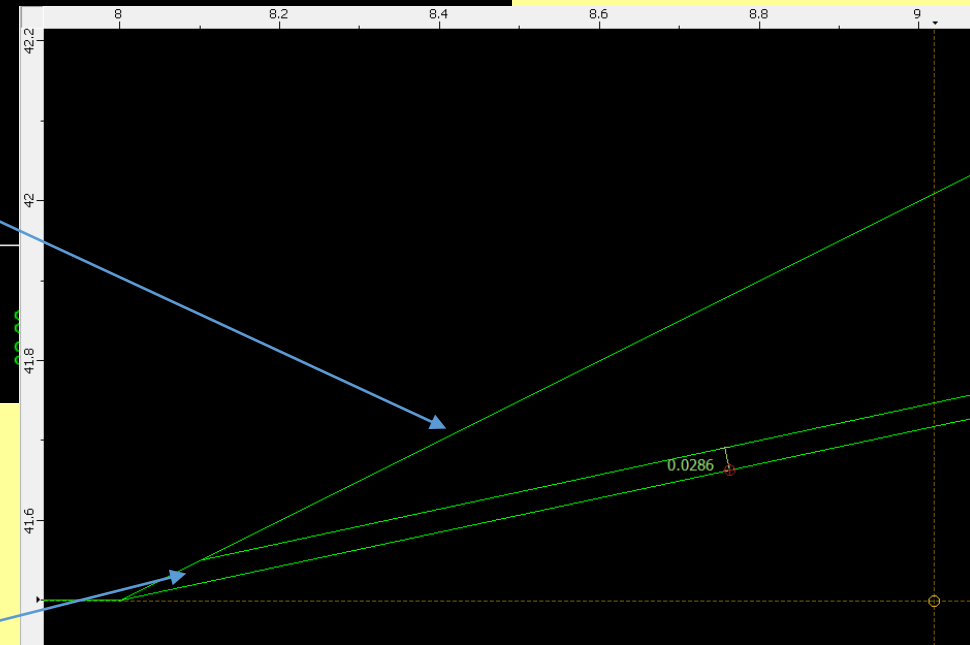
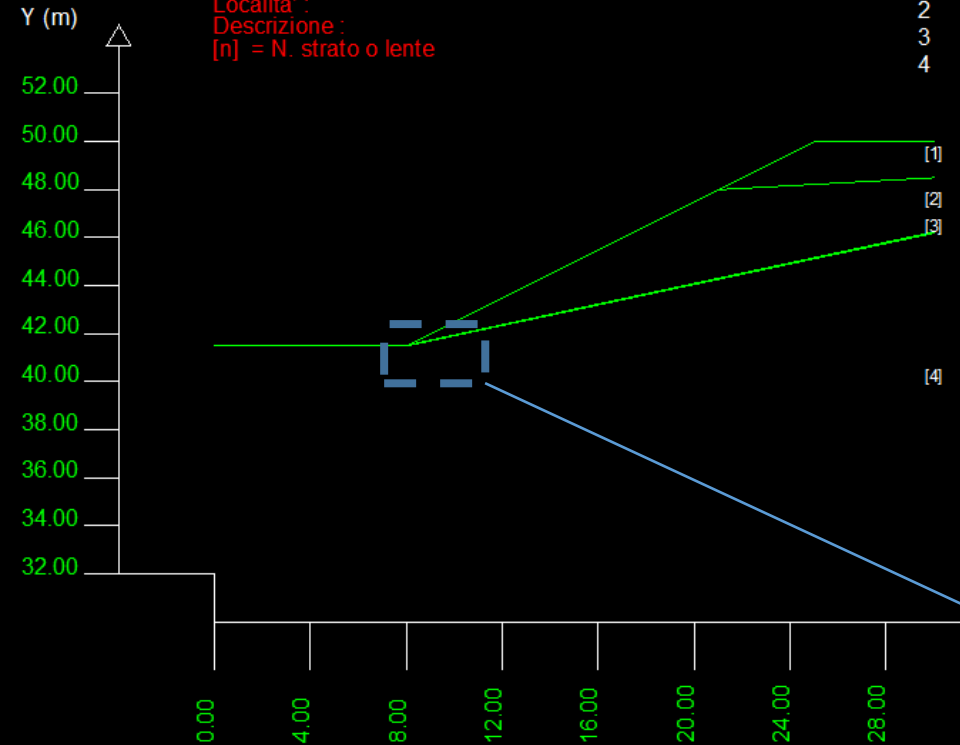
E' un test che presenta notevoli difficoltà' per qualunque motore di ricerca ..

SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.4 (2019)

Data : 24/4/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Parametri Geotecnici degli strati

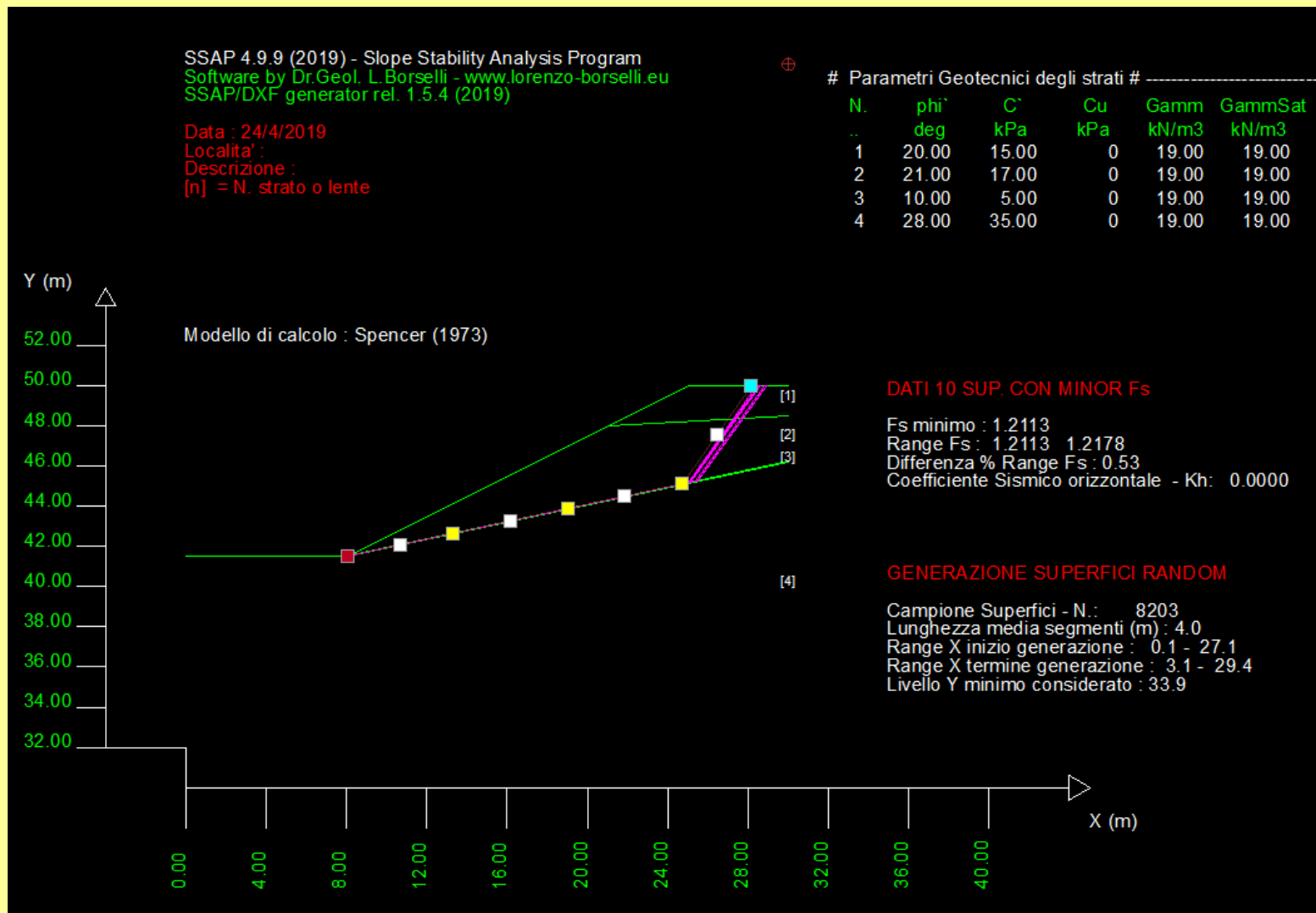
N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3
1	20.00	15.00	0	19.00	19.00
2	21.00	17.00	0	19.00	19.00
3	10.00	5.00	0	19.00	19.00
4	28.00	35.00	0	19.00	19.00



Modello esempio 7 in SSAP 4.9.9.
 Lo strato sottile (strato 3)
 ha uno spessore di meno di 3 cm !!

Si noti che la orientazione del pendio originale e' invertita, date le convenzioni usate dal SSAP

ESEMPIO 2.2



Modello esempio 7 in SSAP 4.9.9. ricerca effettuata con Motore SNIFF RANDOM SEARCH (modalita' per discontinuita' sottili). La superficie con FS minimo e' indicata con nodi quadrati colorati.

Con SSAP **valore di FS finale e' 1.211** (metodo Spencer) , dopo con generazione di 8200 superfici.

Cheng et al. (2007) trovano valori compresi tra 1.19 e 1.22 con approssimativamente una valutazione di 16000 superfici..

Si noti che la orientazione del pendio originale e' invertita date le convenzioni usate dal SSAP

Data : 24/4/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

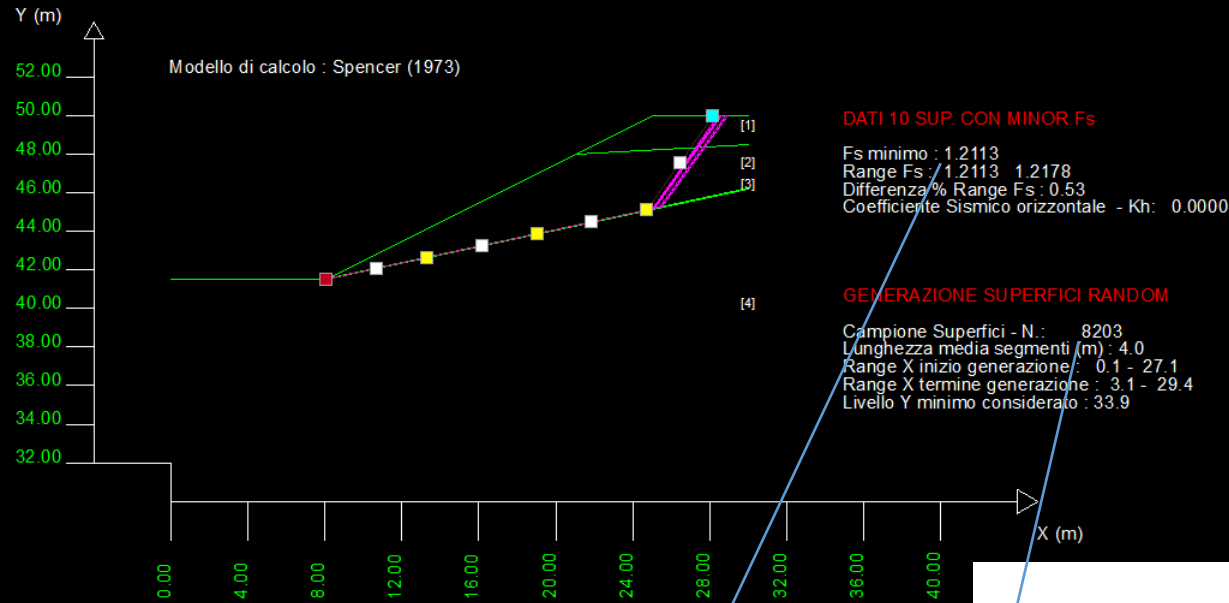
Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat
	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3
1	20.00	15.00	0	19.00	19.00
2	21.00	17.00	0	19.00	19.00
3	10.00	5.00	0	19.00	19.00
4	28.00	35.00	0	19.00	19.00

ESEMPIO 2.2

Si noti che la orientazione del pendio originale e' invertita date le convenzioni usate dal SSAP

Il motore SNIFF RANDOM SEARCH mostra la sua evidente potenzialita' anche in casi estremi di difficolta' prodotte da presenza di discontinuita' estremamente sottili.



Esempio 7 risultati da Cheng et al. (2007)

Table 13
 Minimum factors of safety for example 7 (Spencer method)

Different number of slices	Minimum factor of safety	NOF
PSO, number of slices = 15	1.2204	89,744
PSO, number of slices = 20	1.2193	119,563
PSO, number of slices = 30	1.1835	123,326
MPSO, number of slices = 15	1.1876	17,915
MPSO, number of slices = 20	1.2260	15,321
MPSO, number of slices = 30	1.2006	15,153

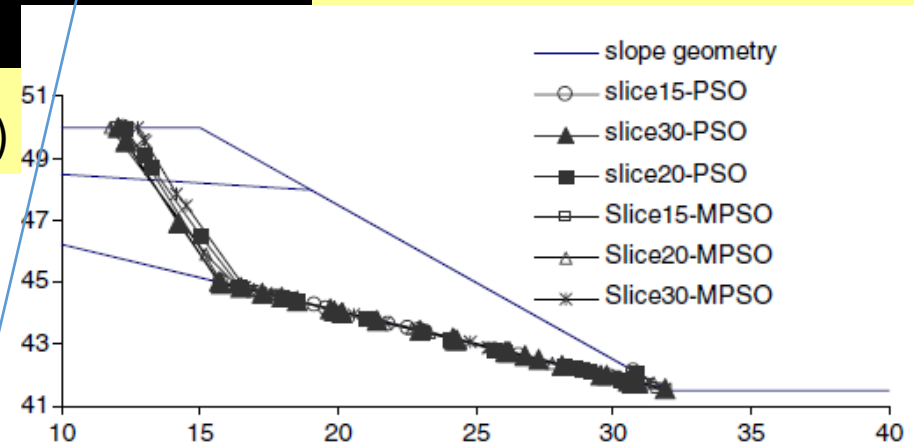


Fig. 20. Comparisons of critical slip surfaces for example 7.

ESEMPIO 2.3

Muro in terre rinforzate con geoblocchi e geogriglie (MSE WALL),
da Han & Leshinsky (2004)

*17th ASCE Engineering Mechanics Conference
June 13–16, 2004, University of Delaware, Newark, DE*

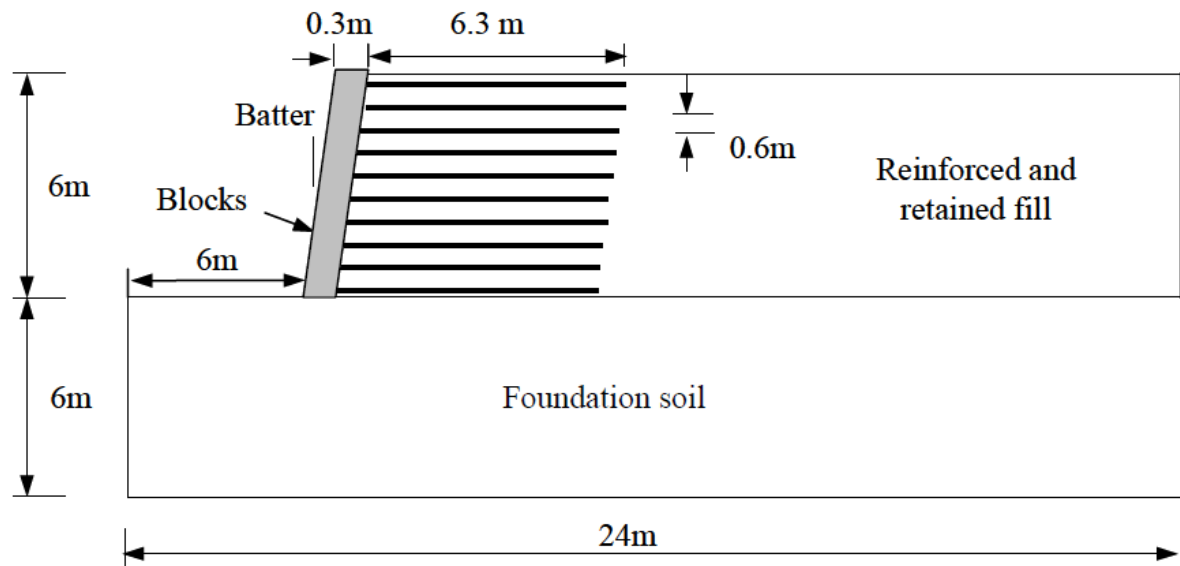
EM2004

**LIMIT EQUILIBRIUM AND CONTINUUM MECHANICS-BASED
NUMERICAL METHODS FOR ANALYZING STABILITY OF MSE WALLS**

Jie Han¹ (Member, ASCE) and Dov Leshchinsky² (Member, ASCE)

Il muro viene verificato con il metodo a equilibrio limite (LEM) con il software RESSA e con il software a elementi finiti (FEM), FLAC2D.

Esempio con muro esterno inclinato 70°



Han & Leshinsky (2004)

Fig. 1. Model for limit equilibrium and numerical analyses

TABLE 1. Material Properties Used in the Analyses

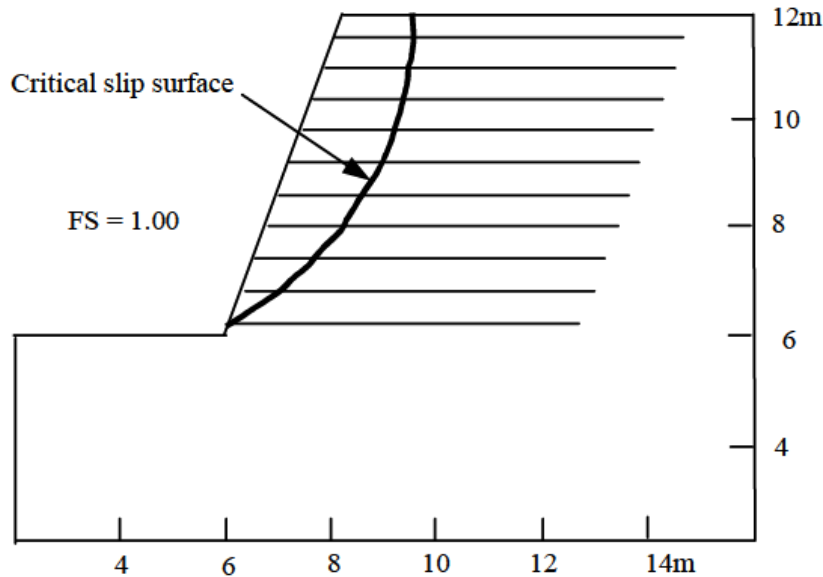
Materials	Blocks	Reinforced and retaining fill	Foundation soil	Reinforcement
Properties	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, $c = 2.5 \text{ kPa}$, $\phi = 34^\circ$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, $c = 0 \text{ kPa}$, $\phi = 34^\circ$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, $c = 10 \text{ kPa}$, $\phi = 34^\circ$	$T_a = 11.1 \text{ kN/m}$ (vertical wall) or $T_a = 6.2 \text{ kN/m}$ (20° batter), $C_i = 0.8$

γ = unit weight, c = cohesion, ϕ = friction angle, T_a = design tensile strength of reinforcement, and C_i = interaction coefficient of reinforcement and soil.

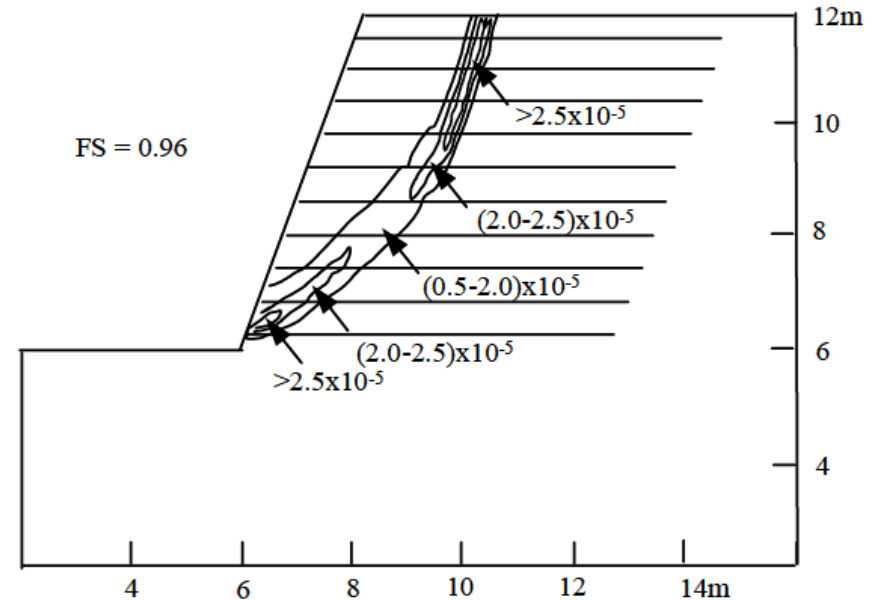
ESEMPIO 2.3

Risultati FS con RESSA (FS=1.0 – método Bishop)
E FLAC2D (FS=0.96)

Han & Leshinsky (2004)



(a) Critical slip surface and FS by ReSSA



(b) Maximum shear strain rate and FS by FLAC

Fig. 5. Critical slip surfaces and minimal factors of safety (20° batter MSE wall)

SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.4 (2019)

Data : 26/4/2019

Localita' :

Descrizione :

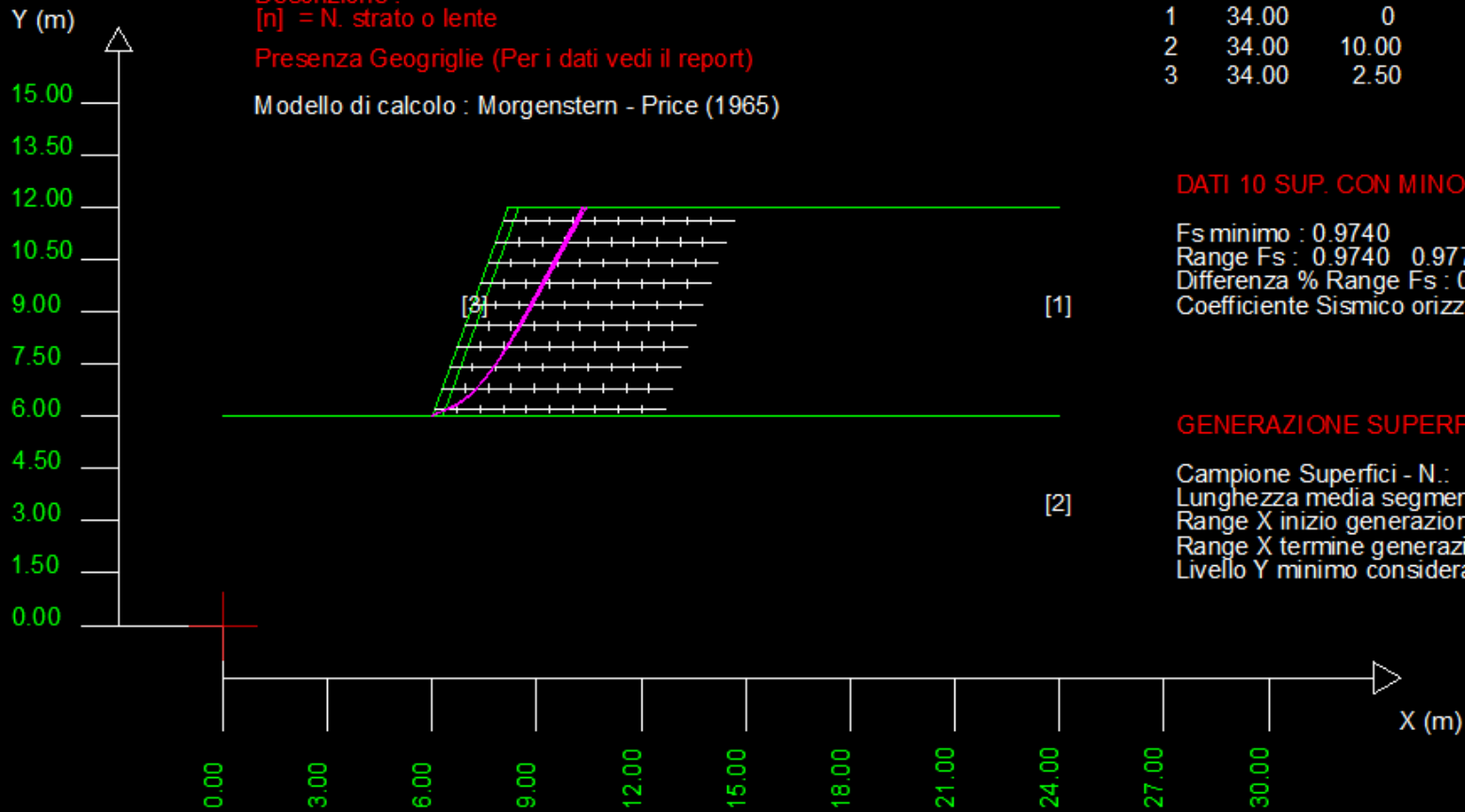
[n] = N. strato o lente

Presenza Geogriglie (Per i dati vedi il report)

Modello di calcolo : Morgenstern - Price (1965)

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3
1	34.00	0	0	18.00	18.00
2	34.00	10.00	0	18.00	18.00
3	34.00	2.50	0	18.00	18.00



DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 0.9740

Range Fs : 0.9740 0.9776

Differenza % Range Fs : 0.37

Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0000

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 10000

Lunghezza media segmenti (m) : 0.5

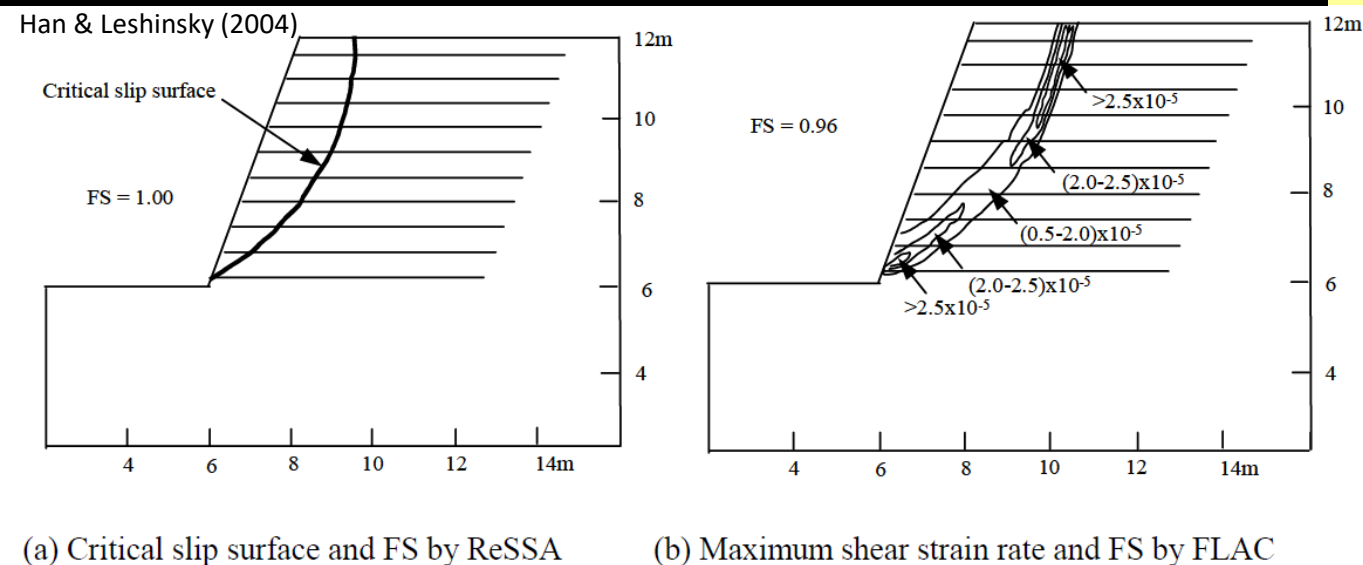
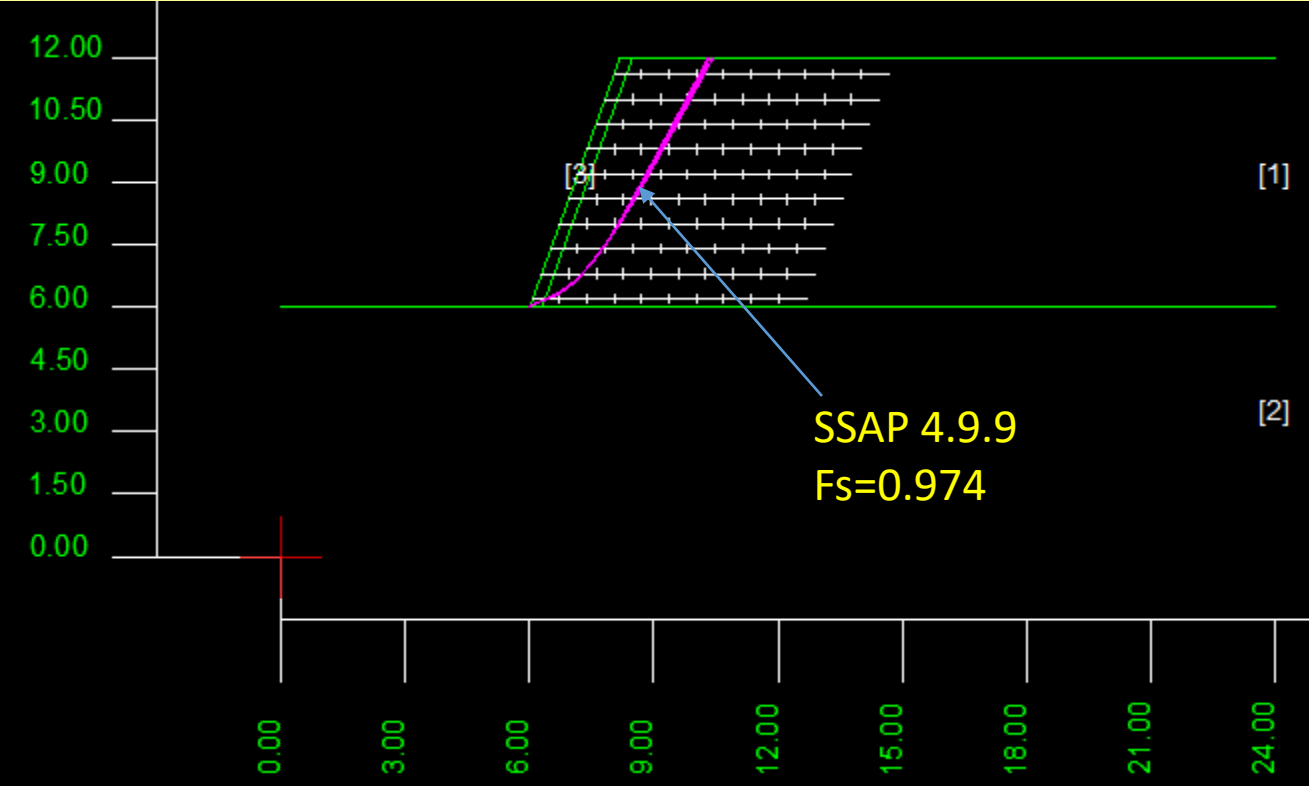
Range X inizio generazione : 0.5 - 22.1

Range X termine generazione : 2.9 - 23.5

Livello Y minimo considerato : 0.6

ESEMPIO 2.3

Il valore di F_s prodotto da SSAP E' intermedio tra quello prodotto da RESSA e FLAC2D.

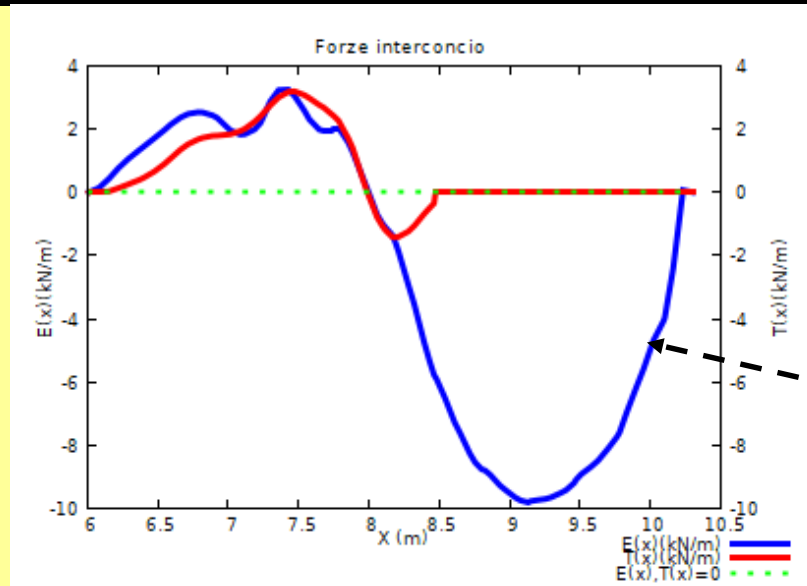
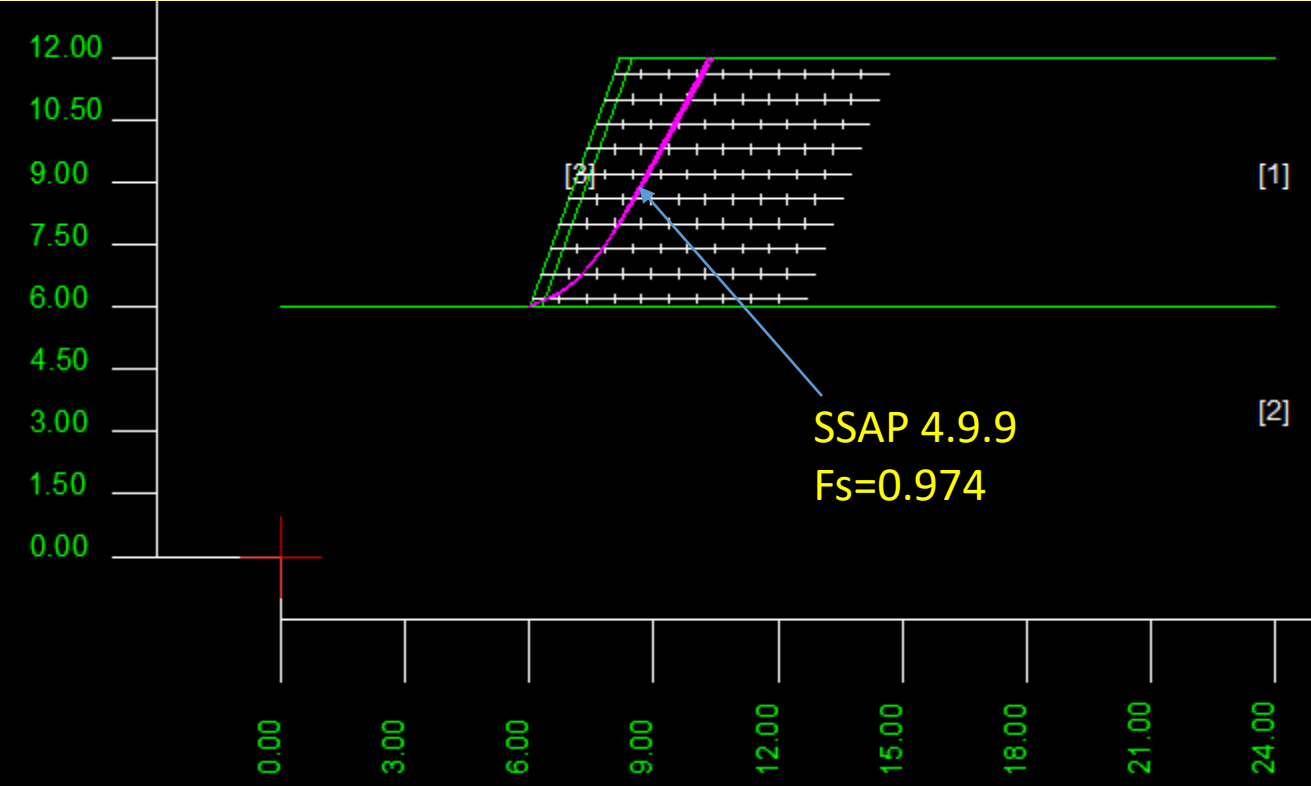


(a) Critical slip surface and F_s by ReSSA

(b) Maximum shear strain rate and F_s by FLAC

ESEMPIO 2.3

SSAP - Valutazione
grafico forze
interconco



Forze interconco
 $E(x)$, orizzontali
negative, legate
alla mobilizzazione
della trazione
indotta dai
geosintetici

ESEMPIO 2.4

Chapter 3 Seismic Slope Stability Analysis by Considering Tension Crack

Abstract This chapter proposes an approach for how to consider tension failure in addition to shear failure in widely used FLAC^{3D}, a finite difference method, so that stability analysis can also be carried out for a slope with a complex slip surface. It is shown that the safety factors estimated using the numerical methods are almost the same comparing to an analytical method for a homogeneous slope. Additionally, it is shown by a large number of analysis examples that the effect of tension failure on slope stability is significant and the safety factor will be incorrect if tensile failure is ignored in the case of seismic loading.

Keywords Slope stability · FLAC^{3D} · Tension failure



© Science Press, Beijing and Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2018
Y. Zhang, *Earthquake-Induced Landslides*, Springer Natural Hazards,
DOI 10.1007/978-981-10-2935-6_3

da Zhang (2018)

Analisi originale con método analisi Limite (LA) e finite element method (FEM)

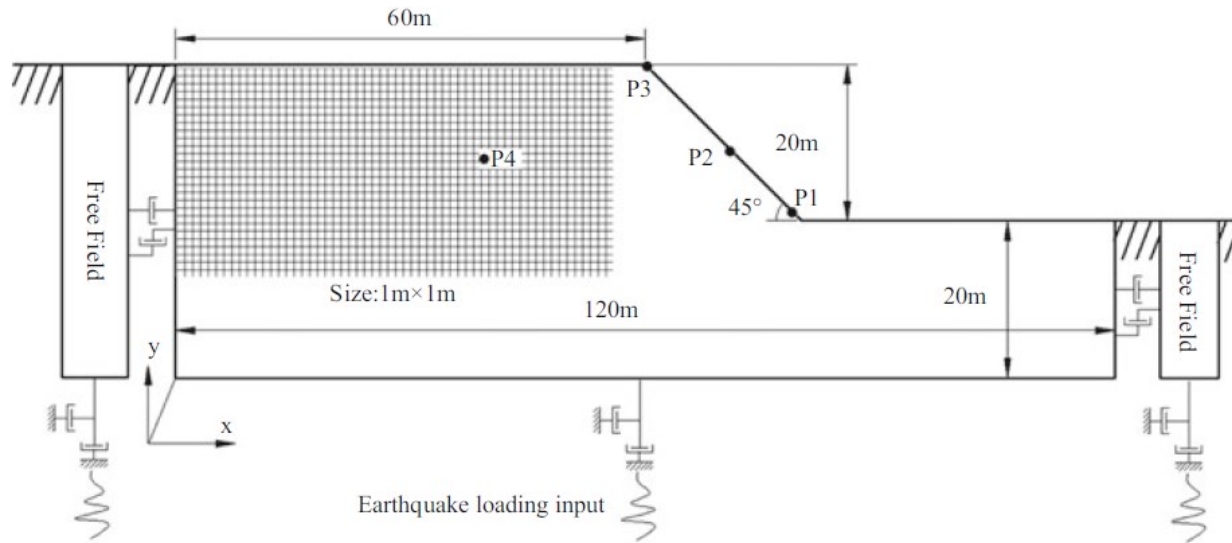
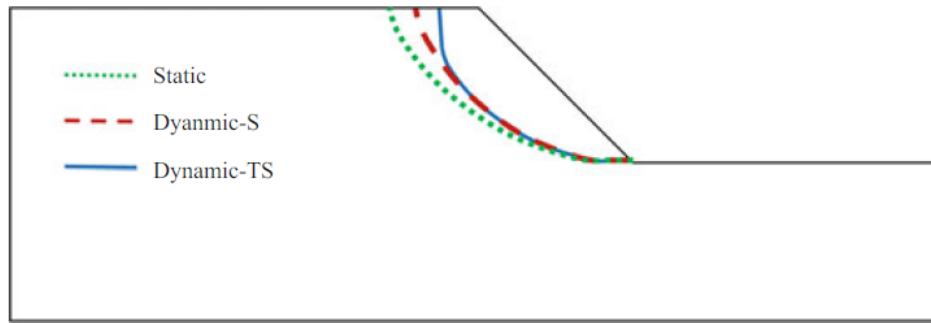


Fig. 3.6 Mesh generation and boundary conditions of finite difference model for dynamic slope stability analysis

Table 3.1 Property parameters of slope material

Parameters	Value
Modulus of elasticity E	77.48×10^6 Pa
Poisson's ratio μ	0.3
Density ρ	2000 kg/m^3
Cohesion c	40,000 Pa
Interfriction angle φ	20°
Dilation angle ψ	20°
Tensile strength σ_t	0





Note: *S* in *dynamic-S* is shear failure mechanism
TS in *dynamic-TS* is tension-shear failure mechanism

Fig. 3.19 Failure surfaces under static and dynamic situations based on different failure mechanisms

Analisi con (e senza) effetti tensionali (trazione)

Method		FOS	
		Tension-shear	Shear
Limit analysis	$k_h = 0.5\text{PGA}/g = 0.1$	1.0151	1.1001
	$k_h = 0.75\text{PGA}/g = 0.15$	0.9795	1.0261
FLAC ^{3D}	Cut-through	0.98	1.11

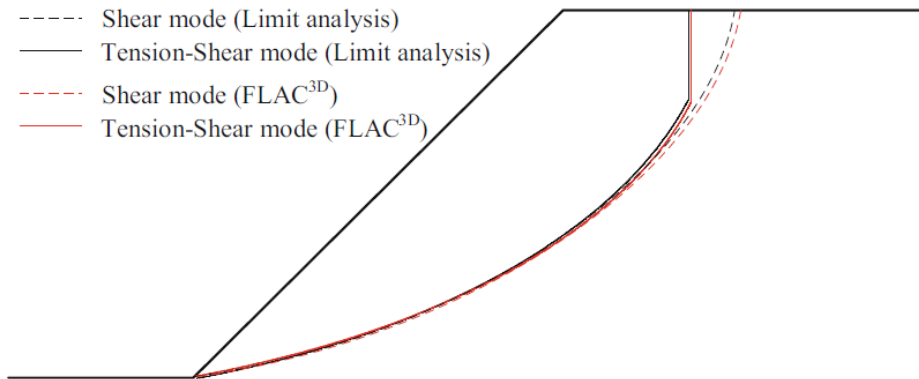


Fig. 3.21 Comparison of failure surface between limit analysis and FLAC^{3D} under two failure modes

Table 3.2 FOS calculated from various methods

Method		FOS	
		Tension-shear	Shear
Limit analysis	$k_h = 0.5PGA/g = 0.1$	1.0151	1.1001
	$k_h = 0.75PGA/g = 0.15$	0.9795	1.0261
FLAC ^{3D}		Cut-through	1.11

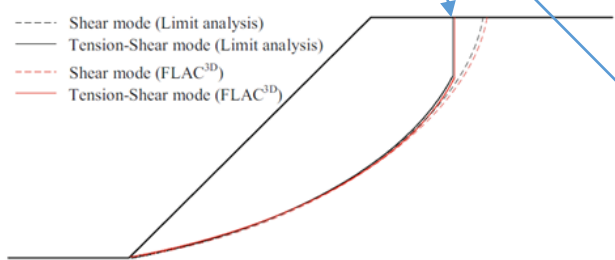


Fig. 3.21 Comparison of failure surface between limit analysis and FLAC^{3D} under two failure modes

da Zhang (2018)

ESEMPIO 2.4

Risultato Analisi con effetti tensionali (trazione)

da SSAP 4.9.9 (2019)

SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.4 (2019)

Data : 26/4/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

# Parametri Geotecnici degli strati #									
N.	phi	C	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	20.00	40.00	0	19.62	19.62	0	0	0	0

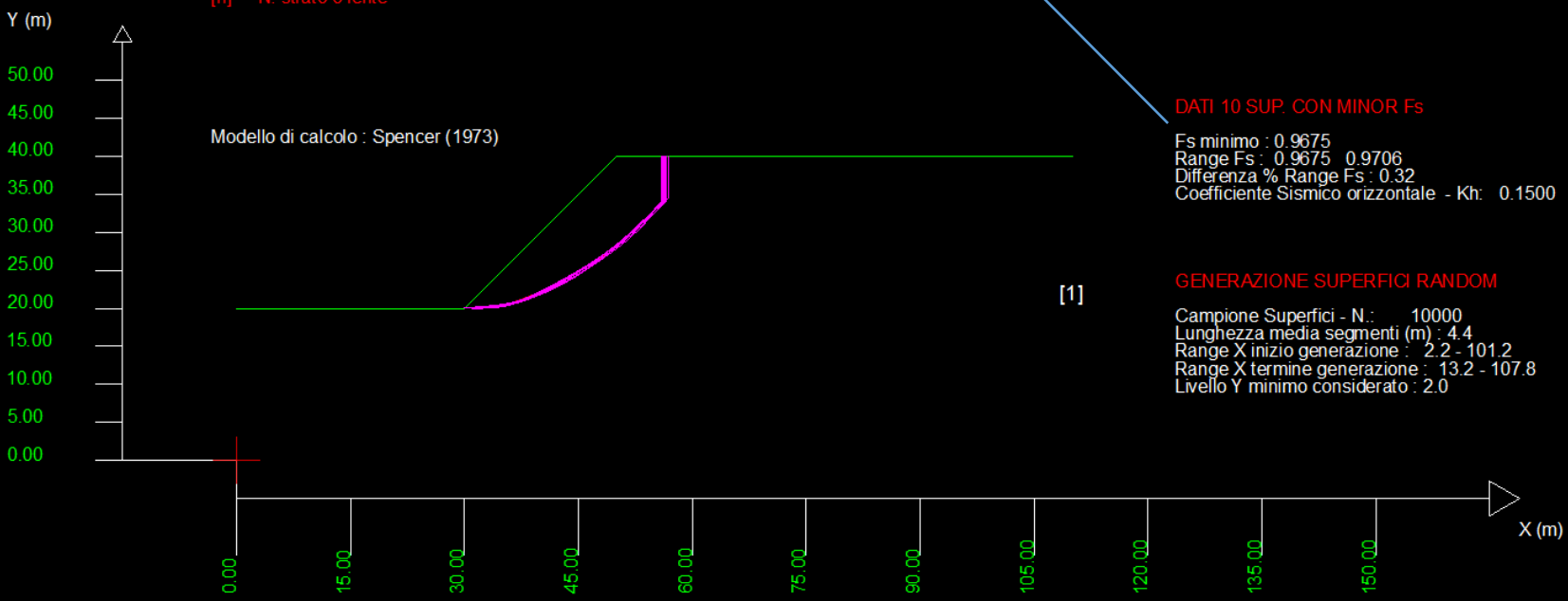


Table 3.2 FOS calculated from various methods

Method		FOS	
		Tension-shear	Shear
Limit analysis	$k_h = 0.5PGA/g = 0.1$	1.0151	1.1001
	$k_h = 0.75PGA/g = 0.15$	0.9795	1.0261
FLAC ^{3D}	Cut-through	0.98	1.11

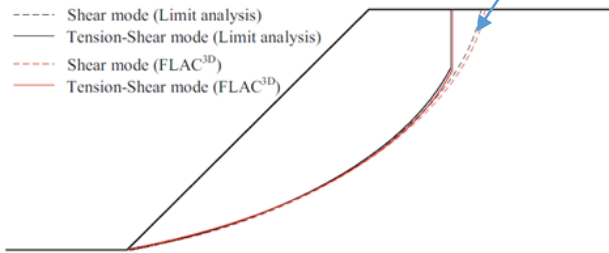


Fig. 3.21 Comparison of failure surface between limit analysis and FLAC^{3D} under two failure modes

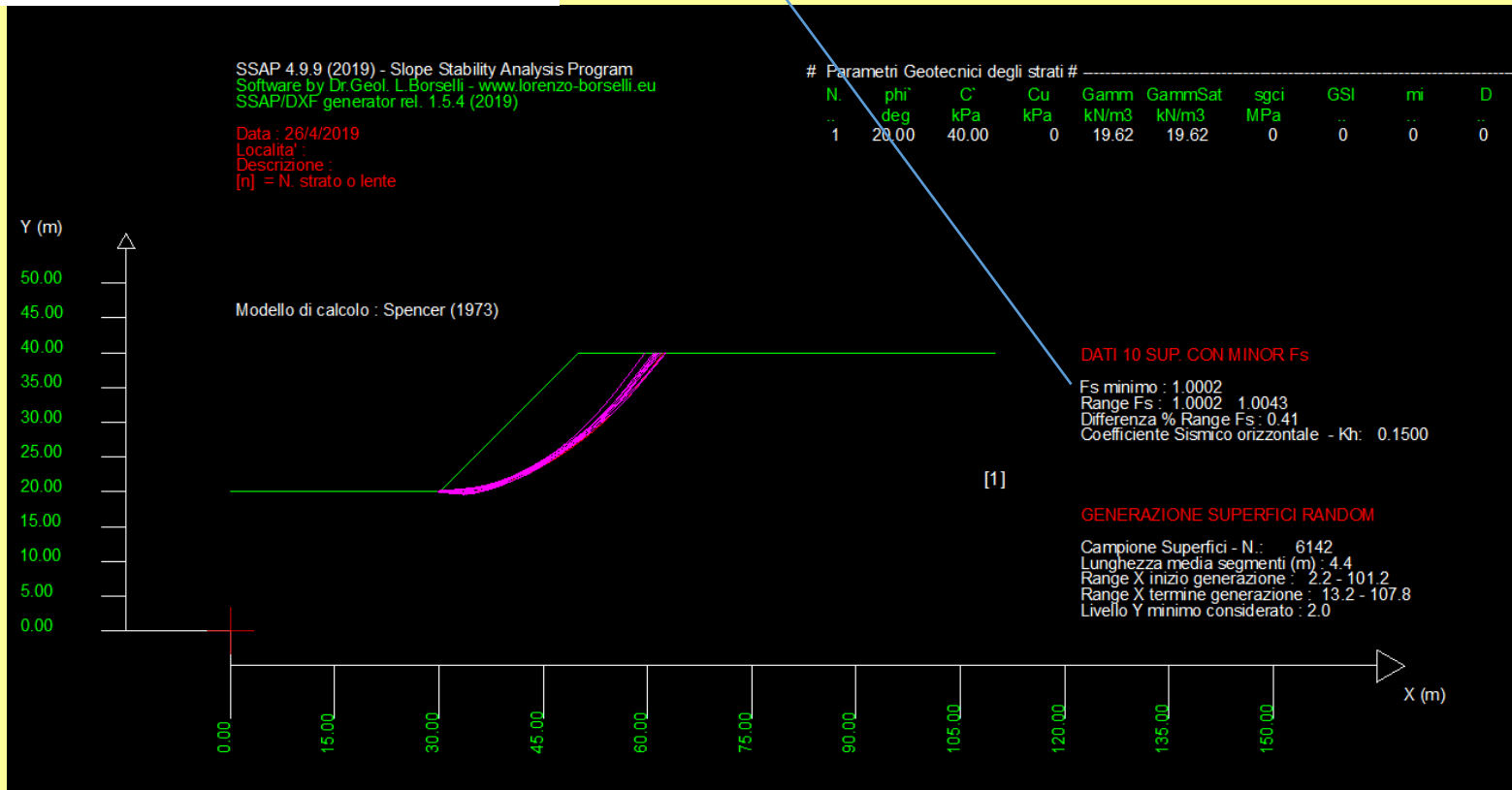


da Zhang (2018)

ESEMPIO 2.4

Analisi senza effetti tensionali (trazione)

da SSAP 4.9.9 (2019)



Caso di pendio a 2 strati.

DOI: 10.14256/JCE.1030.2014

Građevinar 10/2015

Primljen / Received: 3.2.2014.

Ispravljen / Corrected: 26.6.2015.

Prihvaćen / Accepted: 23.7.2015.

Dostupno online / Available online: 10.11.2015.

Slope stability analyses using limit equilibrium and strength reduction methods

Authors:



Zoran Berisavljević, BSc.Geol.

Koridori of Sebia

berisavljevic_zoran@yahoo.com

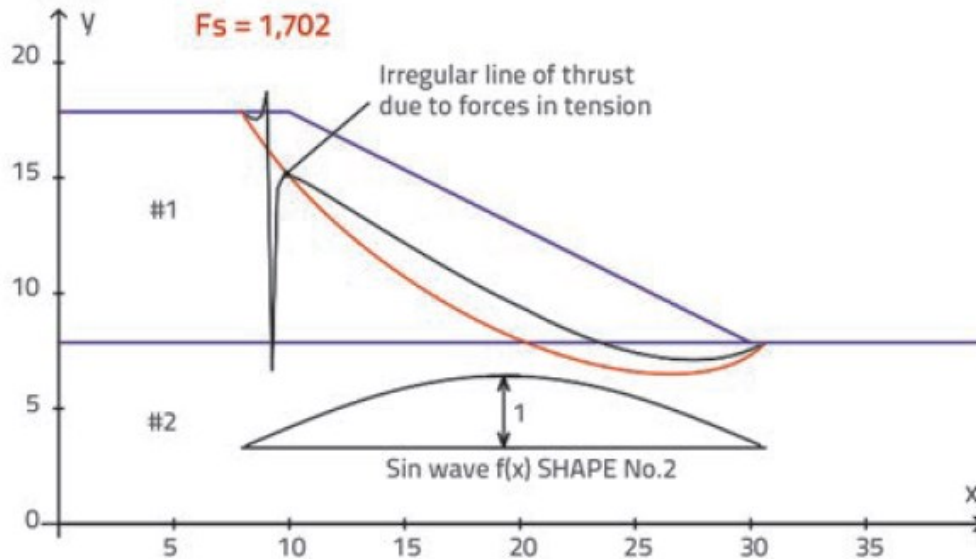
Subject review

[Zoran Berisavljević](#), [Dušan Berisavljević](#), [Vladimir Čebašek](#), [Dragoslav Rakić](#)

Slope stability analyses using limit equilibrium and strength reduction methods

This paper presents results of comparative slope stability analyses conducted by limit equilibrium and strength reduction methods. Several slopes, taken either from geotechnical practice or literature review, are considered. The influence of tension, distributed load, finite element size and model parameters is analysed in relation to the location, shape of the critical failure surface and the corresponding value of the factor of safety. Both methods provide similar results if they are correctly applied using appropriate software programs.

ESEMPIO 2.5



Il pendio viene analizzato con il método all'equilibrio limite e con il método SRM (strength reduction method)

Figure 6. Slope geometry and appearance of tension (BGSLOPE calculations)

Table 5. Input parameters for analyses

Parameter Layer	Unit weight γ [kN/m ³]	Young's modulus E [kN/m ²]	Poisson's ratio ν [-]	Cohesion c [kN/m ²]	Angle of shear resist. ϕ [°]	Angle of dilatancy ψ (°)
#1	18	5000	0.3	10	30	30/0
#2	18	5000	0.3	5	25	25/0

ESEMPIO 2.5

b)

Tension crack depth 0,92 m

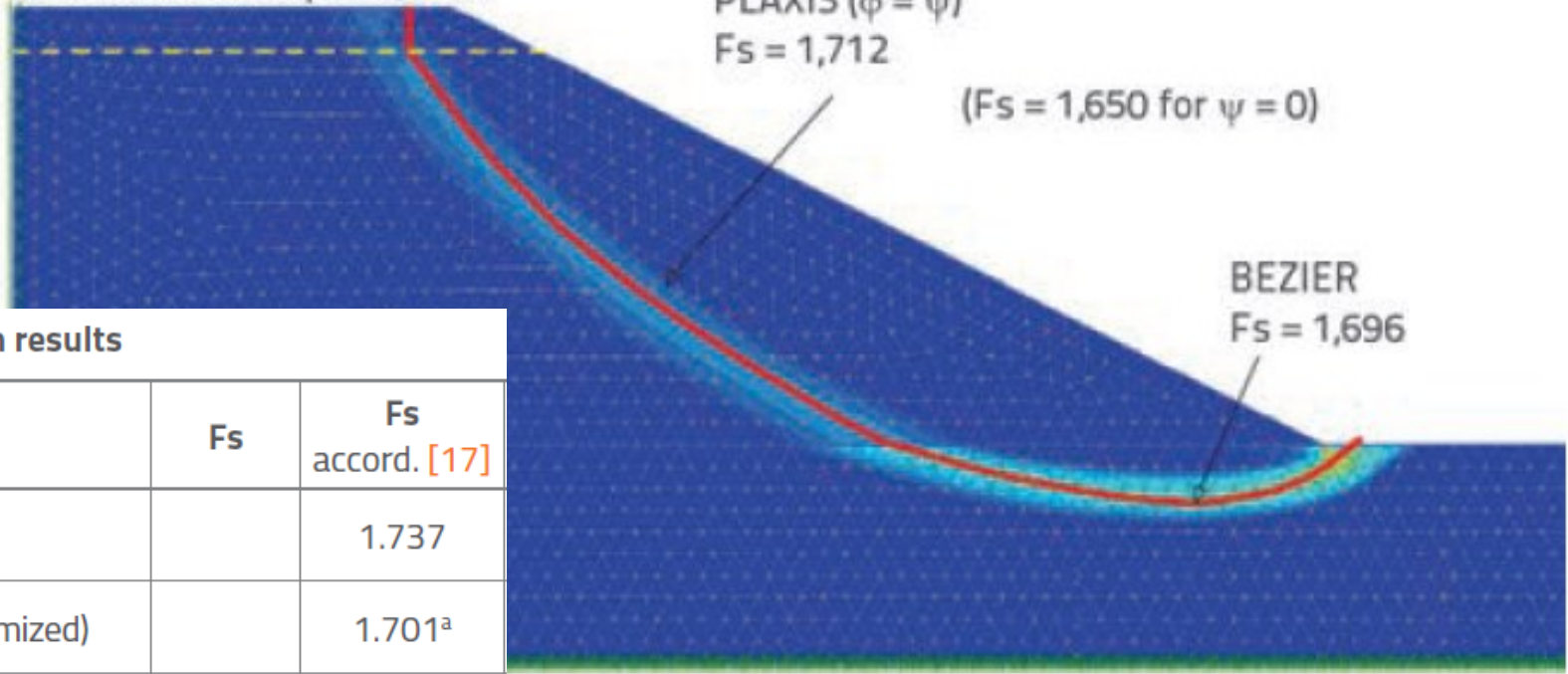


Table 6. Calculation results

Metoda	Fs	Fs accord. [17]
Slope/W (Bishop)		1.737
Slope/W(M-P, optimized)		1.701 ^a
Slide (GLE, optimized)	1.691	
BGSLOPE (Maksimovic, optimized)	1.696 (1.702) a	
Plaxis (φ = ψ)	1.712	
Plaxis (ψ = 0)	1.650	1.654
Phase ² (ψ = 0)	1.690	

^awithout tension crack



Fs con valori compresi tra 1.65 e 1.7

ESEMPIO 2.5

Risultati e comparazione con SSAP

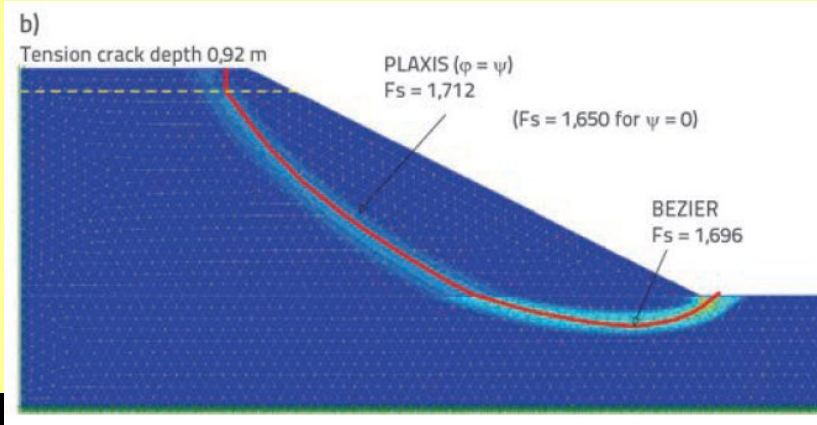


Table 6. Calculation results

Metoda	Fs	Fs accord. [17]
Slope/W (Bishop)		1.737
Slope/W(M-P, optimized)		1.701 ^a
Slide (GLE, optimized)	1.691	
BGSLOPE (Maksimovic, optimized)	1.696 (1.702) ^a	
Plaxis ($\phi = \psi$)	1.712	
Plaxis ($\psi = 0$)	1.650	1.654
Phase ² ($\psi = 0$)	1.690	

^awithout tension crack

SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.4 (2019)

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi deg	C' kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSa kN/m3
1	30.00	10.00	0	18.00	18.00
2	25.00	5.00	0	18.00	18.00

Data : 26/4/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Modello di calcolo : Morgenstem - Price (1965)



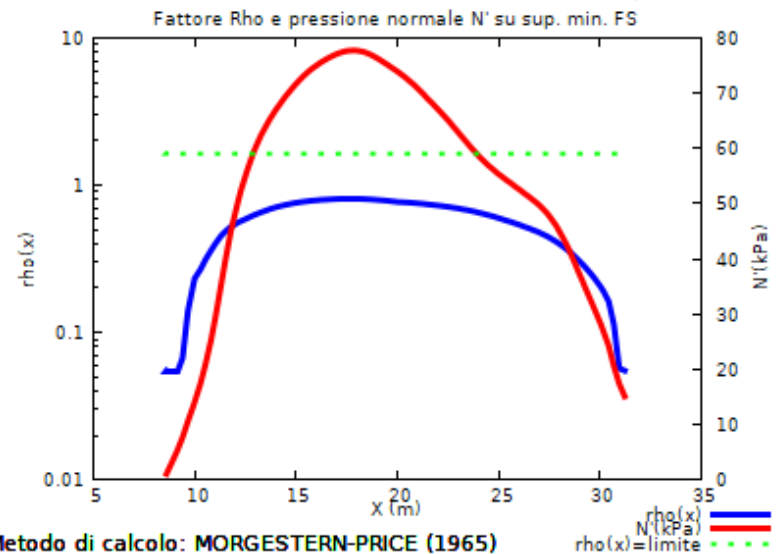
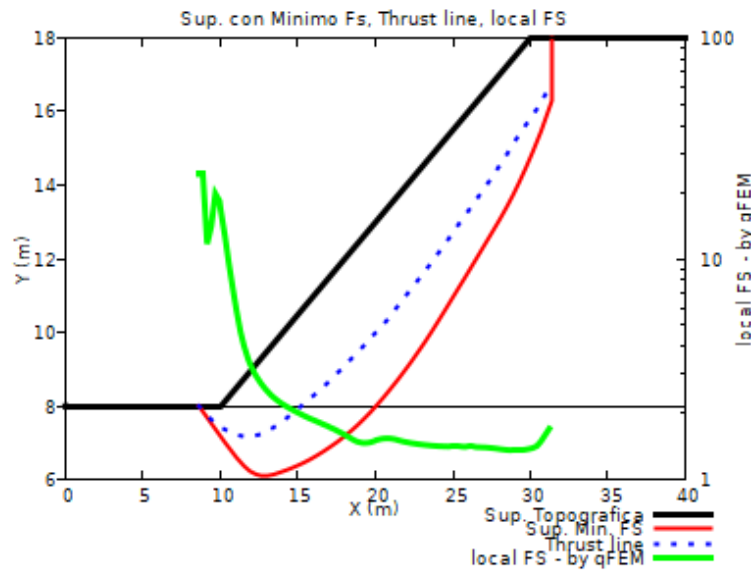
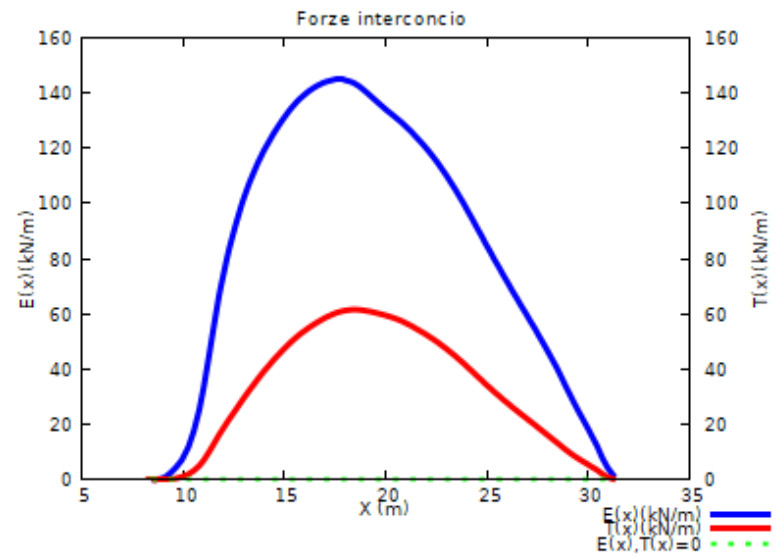
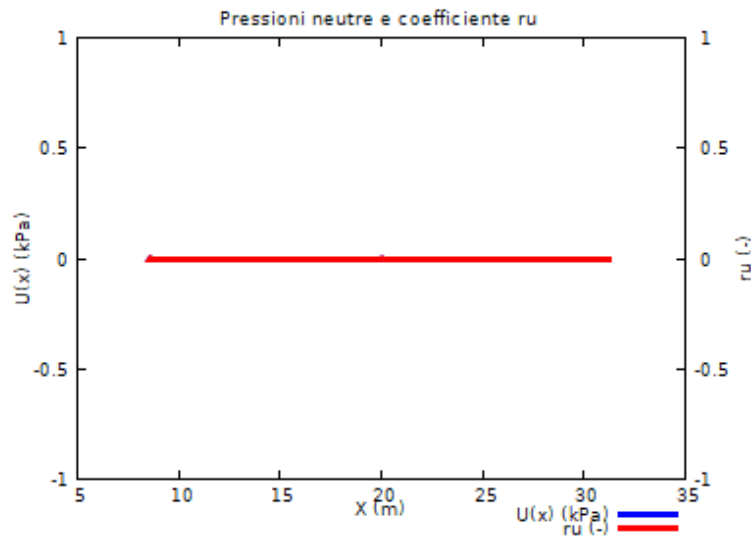
DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 1.6485
 Range Fs : 1.6485 - 1.6576
 Differenza % Range Fs : 0.55
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0000

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 10000
 Lunghezza media segmenti (m) : 1.6
 Range X inizio generazione : 0.8 - 36.8
 Range X termine generazione : 4.8 - 39.2
 Livello Y minimo considerato : 0.0

ESEMPIO 2.5



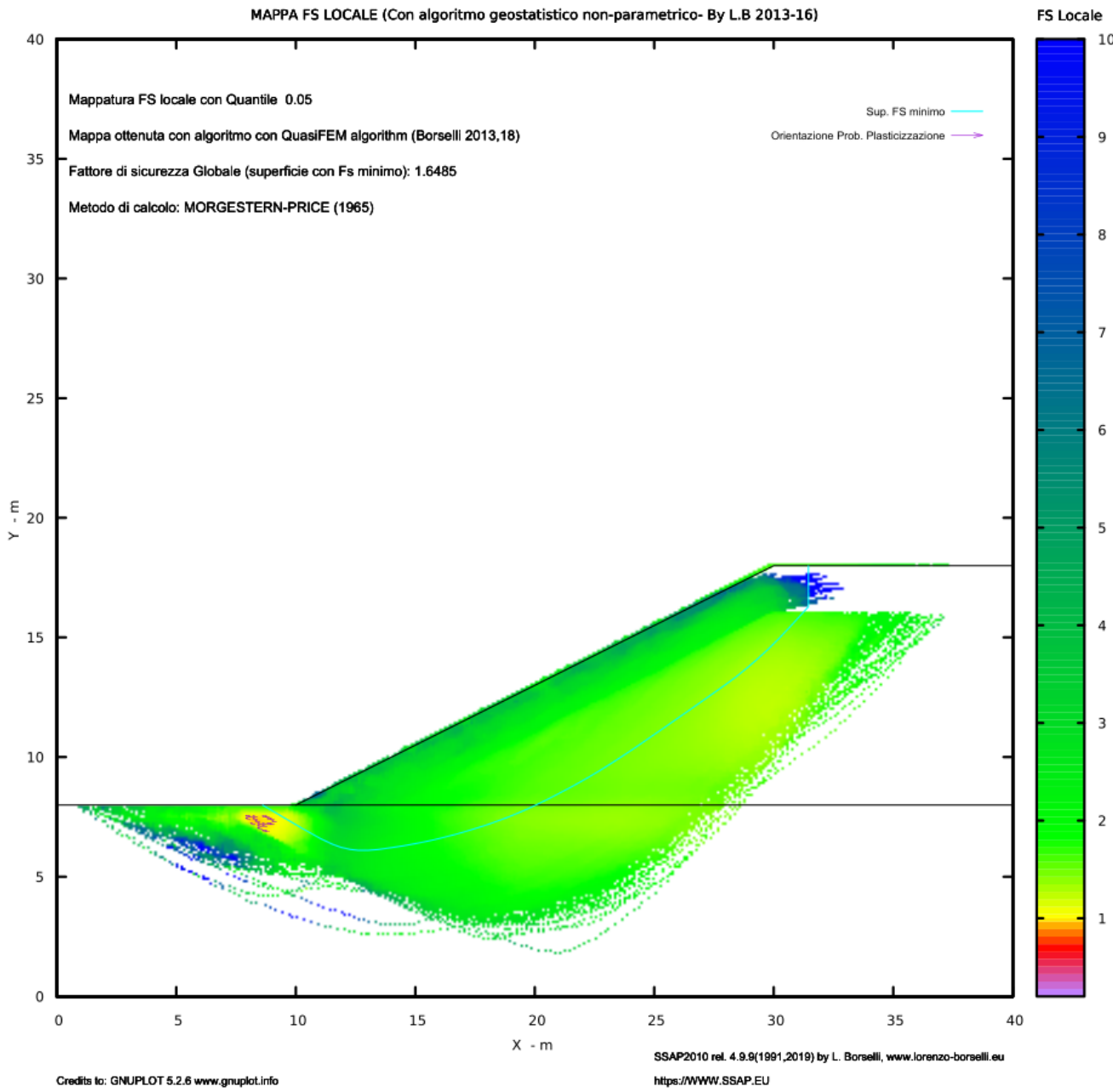
26/04/19 15:57

Metodo di calcolo: MORGESTERN-PRICE (1965)

SSAP2010 (versione 4.9.9 - 2019) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

Risultati distribuzione di forze interconcio e pressioni in SSAP

Mappa Fs locale in SSAP



Loukidis, D., Bandini, P. & Salgado, R. (2003). *Géotechnique* 53, No. 5, 463–479

Stability of seismically loaded slopes using limit analysis

D. LOUKIDIS*, P. BANDINI* and R. SALGADO*

Numerical limit analysis is used to assess the stability of slopes subjected to seismic loading. The soil is assumed to follow the Mohr–Coulomb failure criterion. The lower and upper bound theorems are formulated as linear problems to be solved using linear programming techniques. Based on finite element discretisation of the slope, the velocity field is optimised to find the lowest upper bound, and the stress field is optimised to obtain the highest lower bound. Limit equilibrium computations and log-spiral upper bound solutions were also performed for comparison purposes. Additionally, finite element analyses were done for selected cases. Results from the limit equilibrium and finite element methods are in excellent agreement with the rigorous lower and upper bounds for all cases studied. The slip surfaces obtained from both the limit equilibrium and log-spiral upper bound methods lie within the plastic zones obtained for the slopes from both finite element and numerical limit analysis. Plots are presented of the horizontal pseudo-static acceleration ratio $k_c = a_c/g$ required to cause collapse of simple homogeneous slopes as a function of the slope inclination and shear strength parameters.

KEYWORDS: earthquakes; limit state design/analysis; numerical modelling and analysis; plasticity; slopes

In questo articolo (Loukidis et al. 2003) gli autori sviluppano un método numérico per ottenere il coeficiente sísmico orizzontale Critico K_c necessario per portare il fattore di sicurezza del pendio a $FS=1.0$. SSAP permette di valutare lo stesso K_c , ma con una metodología numérica completamente differente.

ESEMPIO 2.6

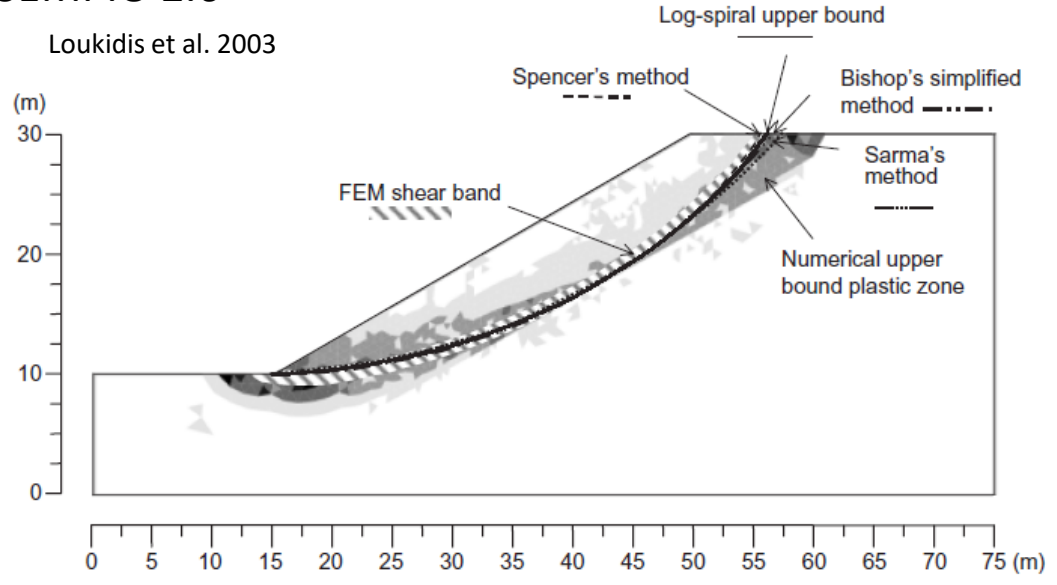


Fig. 4. Comparison of critical slip surfaces obtained from limit equilibrium methods and plasticity zones determined from upper bound analysis and the finite element method for the case of $\beta = 30^\circ$, $c = 20$ kPa and $\phi = 30^\circ$

Su questo pendio con proprieta' Omogenee, Loukidis et al. 2003, Testano varie combilazioni di proprieta' geomeccaniche per ottnerene i valori di Kc. (gli autori non considerano il coefficiente sismico verticale, ovvero viene imposto Kv=0).

← Loukidis et al. 2003 ↓

$$\lambda = \frac{c}{\gamma H \tan \phi}$$

Il valore di lambda e' utilizzato per ottenere il peso unitario del suolo nel pendio.

Table 1. Comparison of horizontal critical seismic coefficient, k_c , for simple homogeneous slope with $\beta = 30^\circ$ by various methods of analysis Loukidis et al. 2003

ϕ : deg	λ	Methods of analysis							
		Numerical lower bound	Numerical upper bound	Log-spiral upper bound	Finite elements	Spencer's method	Bishop's simplified method	Sarma's method	Leshchinsky & San's charts
20	0.137	0.107	0.133	0.114	0.114	0.113	0.114	0.109	NA
20	0.275	0.271	0.304	0.287	0.285	0.286	0.284	0.279	0.275
20	0.412	0.399	0.431	0.420	0.415	0.420	0.416	0.414	NA
30	0.022	0.111	0.145	0.118	0.118	0.117	0.118	0.116	NA
30	0.043	0.181	0.220	0.189	0.190	0.188	0.188	0.185	NA
30	0.087	0.291	0.331	0.302	0.304	0.302	0.298	0.295	0.304
30	0.173	0.464	0.504	0.477	0.478	0.477	0.469	0.469	NA
30	0.260	0.593	0.631	0.615	0.613	0.615	0.603	0.607	NA
30	0.303	0.646	0.678	0.674	0.671	0.672	0.661	0.666	NA

NA = not available

Tabella con i coefficienti sismici critici orizzontali individuati

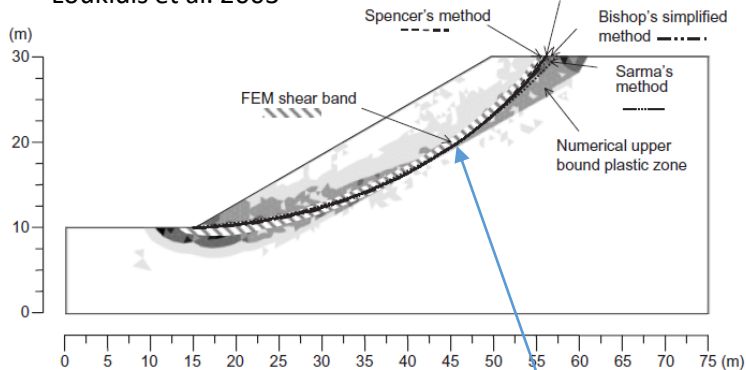


Fig. 4. Comparison of critical slip surfaces obtained from limit equilibrium methods and plasticity zones determined from upper bound analysis and the finite element method for the case of $\beta=30^\circ$, $c=20$ kPa and $\phi=30^\circ$

← Loukidis et al. 2003

SSAP identifica una superficie critica con $FS=1.7165$ caratterizzata da $Kc=Kh=0.29875$ con método di Spencer, e Kv assunto =0

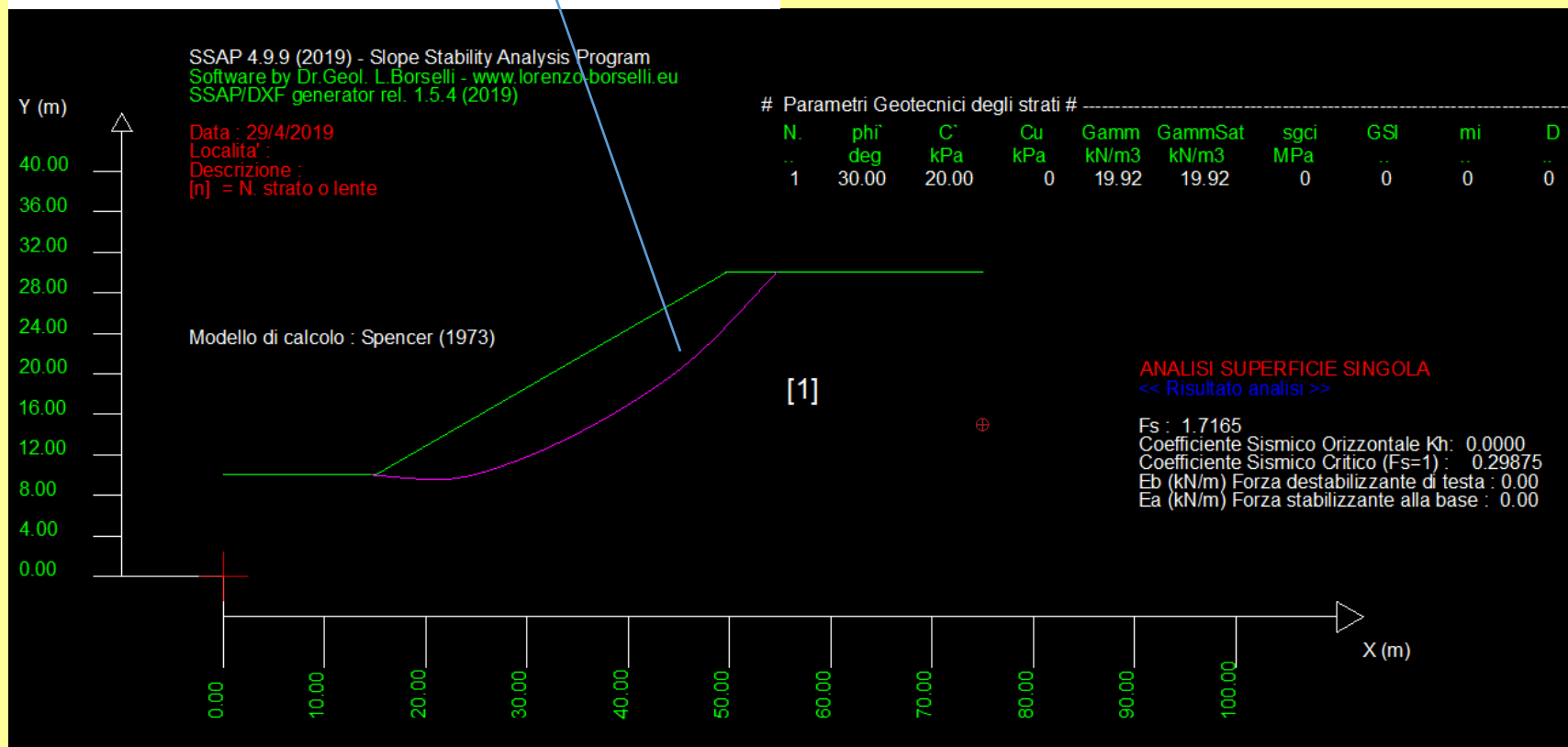


Table I. Comparison of horizontal critical seismic coefficient, k_c , for simple homogeneous slope with $\beta = 30^\circ$ by various methods of analysis

ϕ : deg	λ	Methods of analysis							
		Numerical lower bound	Numerical upper bound	Log-spiral upper bound	Finite elements	Spencer's method	Bishop's simplified method	Sarma's method	Leshchinsky & San's charts
20	0-137	0-107	0-133	0-114	0-114	0-113	0-114	0-109	NA
20	0-275	0-271	0-304	0-287	0-285	0-286	0-284	0-279	0-275
20	0-412	0-399	0-431	0-420	0-415	0-420	0-416	0-414	NA
30	0-022	0-111	0-145	0-118	0-118	0-117	0-118	0-116	NA
30	0-043	0-181	0-220	0-189	0-190	0-188	0-188	0-185	NA
30	0-087	0-291	0-331	0-302	0-304	0-302	0-298	0-295	0-304
30	0-173	0-464	0-504	0-477	0-478	0-477	0-469	0-469	NA
30	0-260	0-593	0-631	0-615	0-613	0-615	0-603	0-607	NA
30	0-303	0-646	0-678	0-674	0-671	0-672	0-661	0-666	NA

NA = not available

Il valore di K_c trovato da SSAP differisce dai valori identificati Loukidis et al. 2003 per un Massimo del 1.6 % (método SARMA) , mentre per un 1% utilizzando il Metodo di SPENCER.

```

ssap2010_64bit

RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA
METODO DI CALCOLO.....Fs.....lambda.....MLD.....Kc.....Esito.....Note....
JANBU_RIGOROSO(1973)..... 1.7259 1.0000 0.0944 0.2950 Verificata
SPENCER(1973)..... 1.7165 0.4416 0.0989 0.2988 Verificata
SARMA_I(1973)..... 1.7112 0.7246 0.0932 0.2950 Verificata
MORGESTERN-PRICE(1965)... 1.7073 0.5163 0.0944 0.2925 Verificata
CHEN-MORGESTERN(1983)... 1.7145 0.3354 0.0965 0.2950 Verificata
SARMA_II(1979)..... 1.7032 0.8270 0.0900 0.2900 Verificata
BORSELLI(2016)..... 1.7096 0.3294 0.0955 0.2938 Verificata
NOTE di Calcolo:-----
[0]--> Fs<1.0 oppure non convergenza calcolo
[1]--> Fs>50
[2]--> Kc=0.0 per FS<1.0
[3]--> Kc=0.0 per Fs>50
[4]--> Calcolo Kc senza convergenza
[5]--> Calcolo Kc non attivato

SPOSTAMENTO ATTESO S(cm) CON 10% PROB. ECCENDENZA - da BIONDI ET AL.(2011)
.....||----- S(cm) per Amax(g)-----||
METODO DI CALCOLO.....Kc.....Sr.....0.1g.....0.2g.....0.4g.....0.6g.....0.8g.....1.0g
JANBU_RIGOROSO(1973)..... 0.2950 1.022 0.001 0.001 0.096 0.688 1.512 2.424
SPENCER(1973)..... 0.2988 1.021 0.001 0.001 0.087 0.659 1.465 2.362
SARMA_I(1973)..... 0.2950 1.023 0.001 0.001 0.096 0.688 1.513 2.427
MORGESTERN-PRICE(1965)... 0.2925 1.024 0.001 0.001 0.103 0.708 1.544 2.468
CHEN-MORGESTERN(1983)... 0.2950 1.022 0.001 0.001 0.096 0.688 1.512 2.424
SARMA_II(1979)..... 0.2900 1.026 0.001 0.001 0.110 0.729 1.579 2.515
BORSELLI(2016)..... 0.2938 1.023 0.001 0.001 0.099 0.698 1.528 2.446
    
```

ESEMPIO 2.6

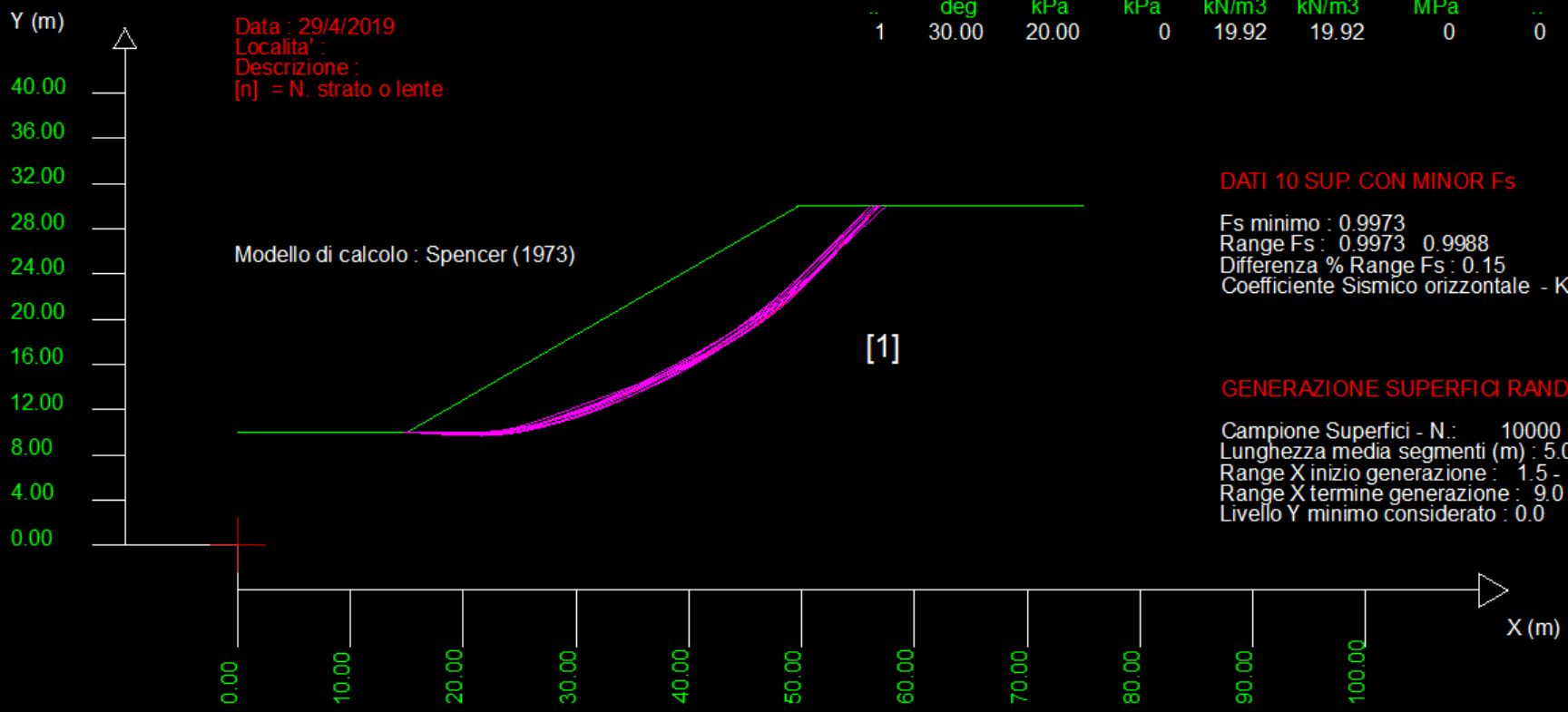
Le 10 Superfici con FS minore ottenute assumendo $K_h=0.295$ e $K_v=0$

SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.4 (2019)

# Parametri Geotecnici degli strati #										
N.	ϕ_i deg	C kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D	
1	30.00	20.00	0	19.92	19.92	0	0	0	0	0

Data : 29/4/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Modello di calcolo : Spencer (1973)



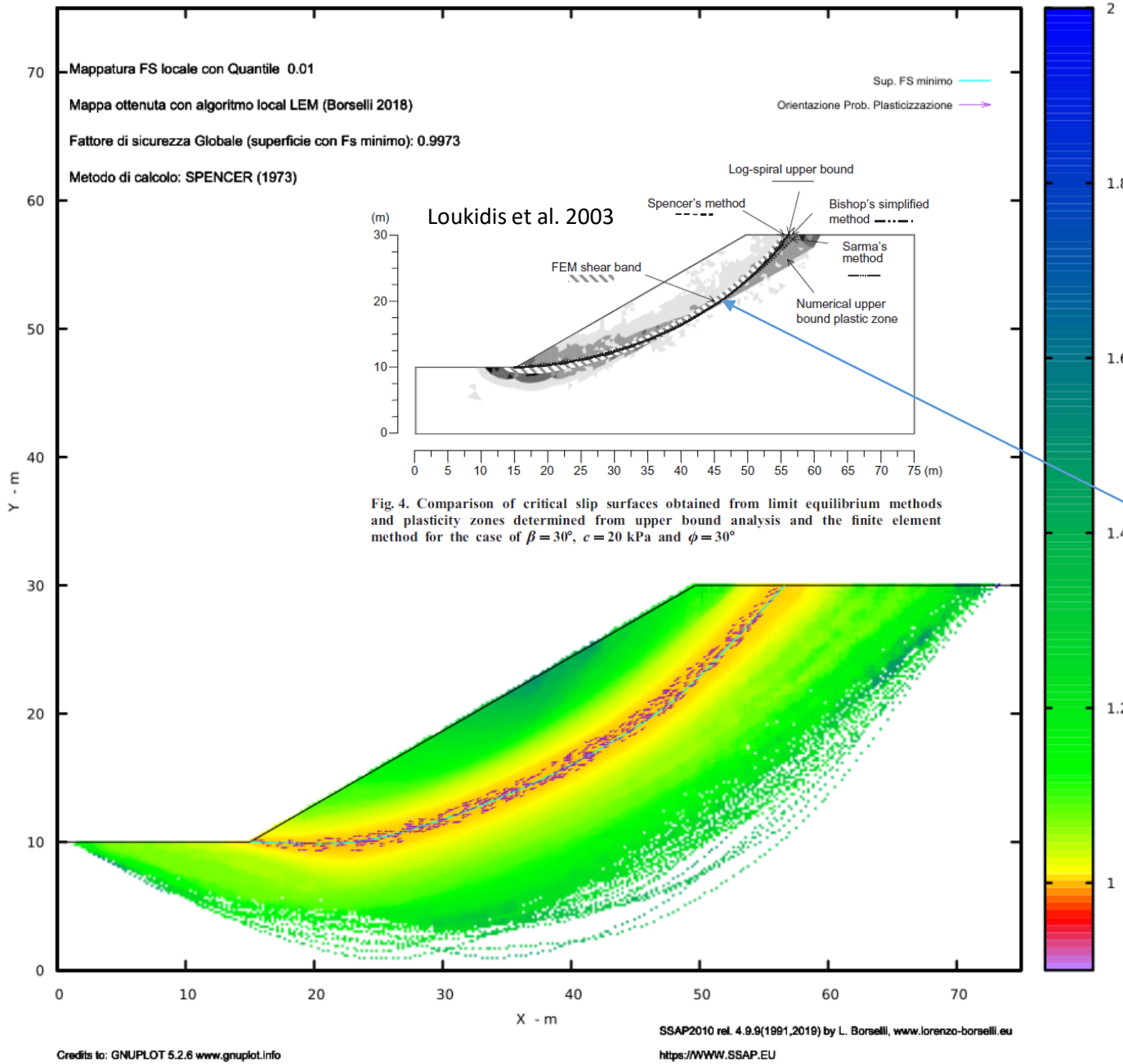
DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 0.9973
 Range Fs : 0.9973 - 0.9988
 Differenza % Range Fs : 0.15
 Coefficiente Sismico orizzontale - K_h : 0.2950

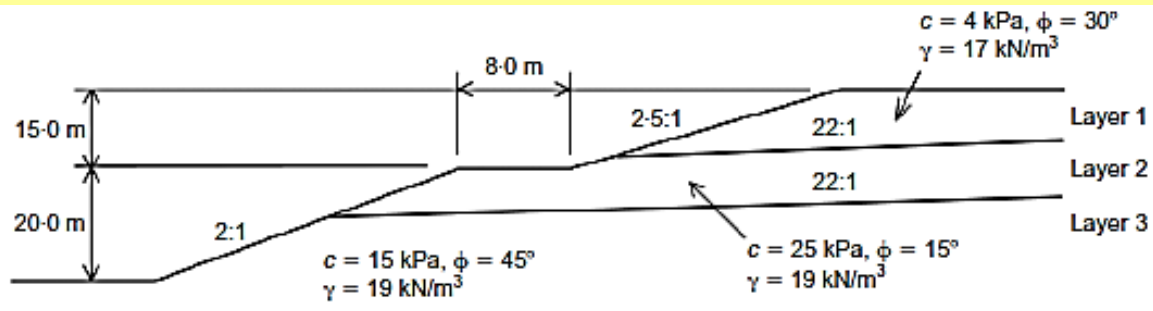
GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 10000
 Lunghezza media segmenti (m) : 5.0
 Range X inizio generazione : 1.5 - 69.0
 Range X termine generazione : 9.0 - 73.5
 Livello Y minimo considerato : 0.0

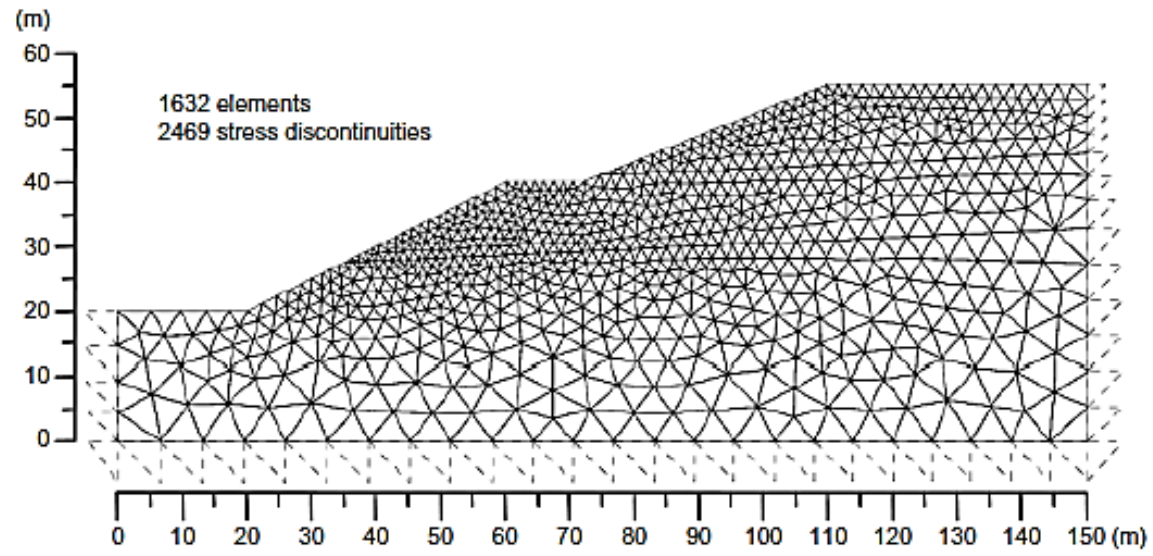
ESEMPIO 2.6



La mappa di FS con algoritmo di Local LEM , In SSAP , coincide con la FEM Shear Band identificata da Loukidis et al. 2003



(a)



pendio con 3 strati

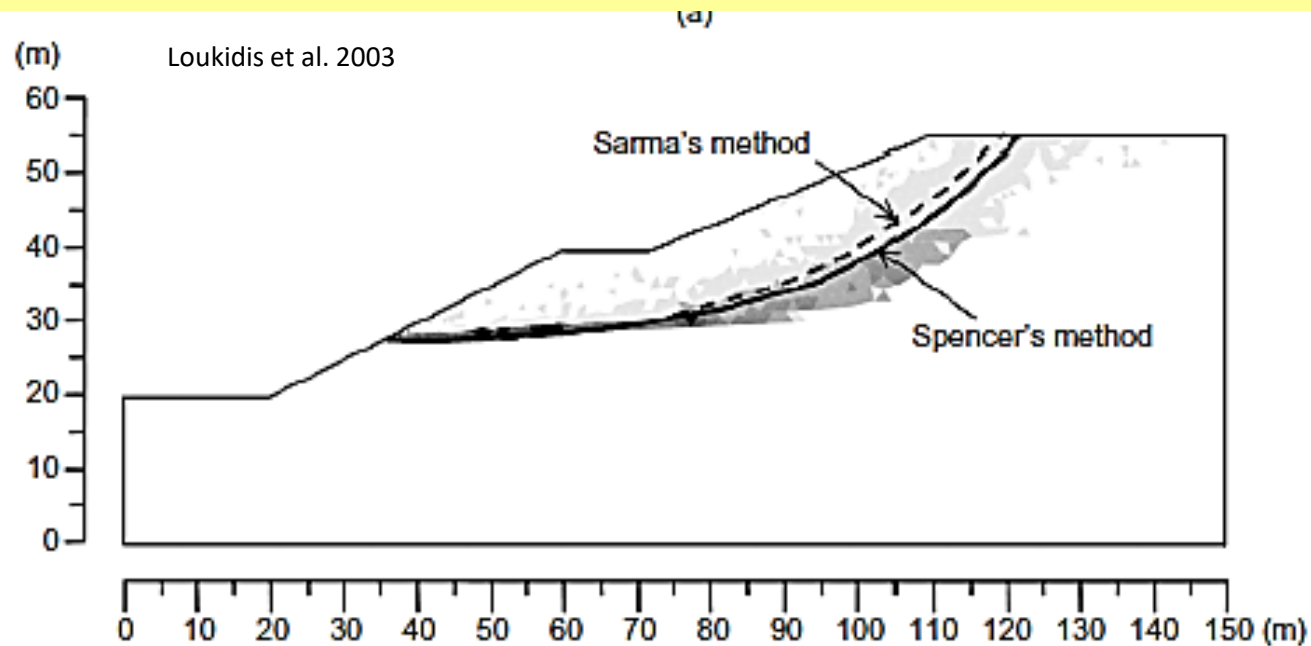
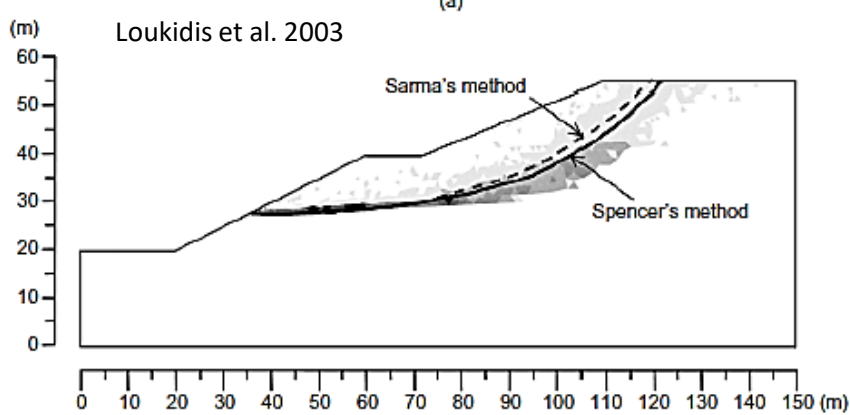


Table 3. Comparison of values of horizontal critical seismic coefficient, k_c , for example 2 by various methods of analysis

Method of analysis	k_c
Numerical upper bound method	0.172
Numerical lower bound method	0.148
Finite element method	0.161
Spencer's method	0.155
Sarma's method	0.159

← Risultati ottenuti da Loukidis et al. 2003



← Risultati ottenuti da Loukidis et al. 2003

ESEMPIO 2.7

Banda di superfici critiche ottenute da SSAP

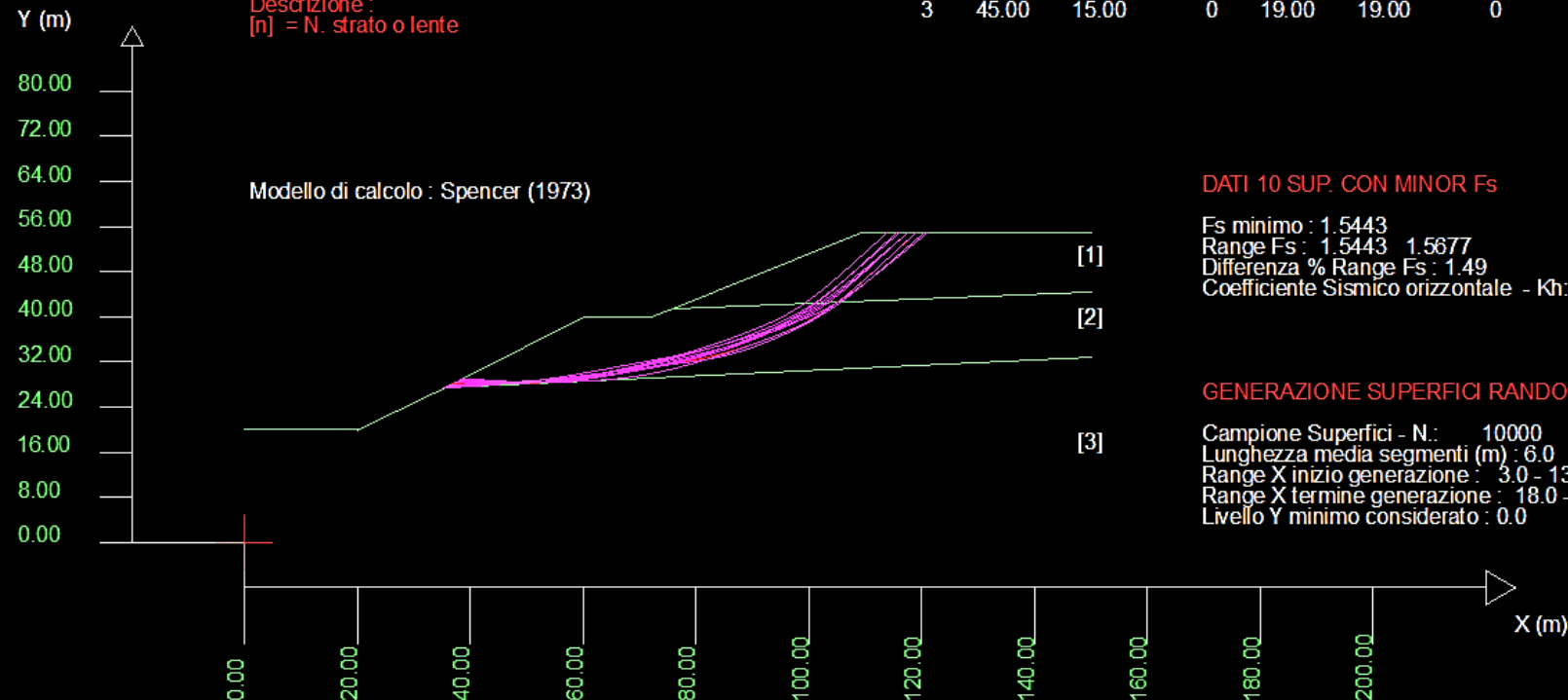


SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.4 (2019)

Data : 30/4/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi° deg	C' kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	30.00	4.00	0	17.00	17.00	0	0	0	0
2	15.00	25.00	0	19.00	19.00	0	0	0	0
3	45.00	15.00	0	19.00	19.00	0	0	0	0



DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

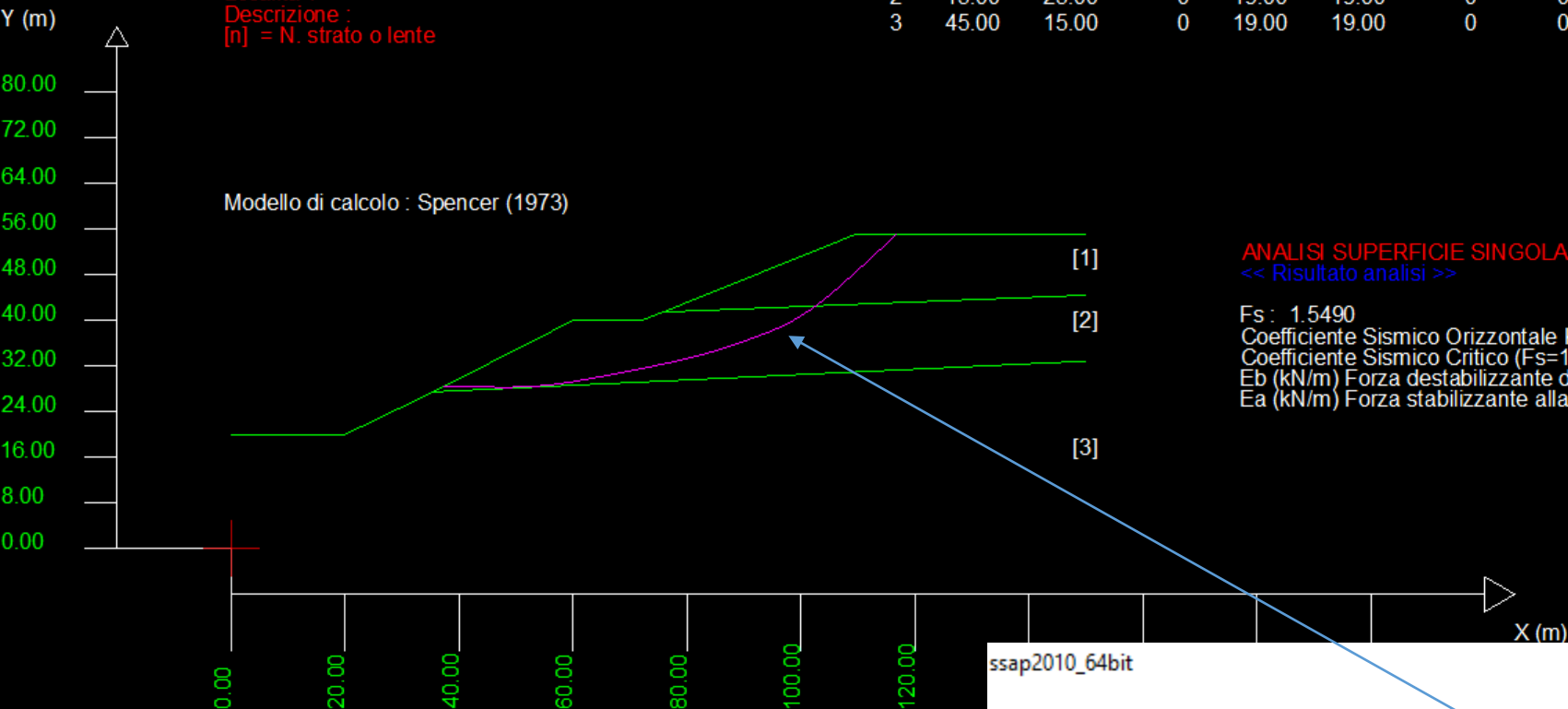
Fs minimo : 1.5443
 Range Fs : 1.5443 - 1.5677
 Differenza % Range Fs : 1.49
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0000

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 10000
 Lunghezza media segmenti (m) : 6.0
 Range X inizio generazione : 3.0 - 138.0
 Range X termine generazione : 18.0 - 147.0
 Livello Y minimo considerato : 0.0

N.	phi deg	C kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	30.00	4.00	0	17.00	17.00	0	0	0	0
2	15.00	25.00	0	19.00	19.00	0	0	0	0
3	45.00	15.00	0	19.00	19.00	0	0	0	0

Data : 30/4/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente



ANALISI SUPERFICIE SINGOLA
 << Risultato analisi >>

Fs: 1.5490
 Coefficiente Sismico Orizzontale Kh: 0.0000
 Coefficiente Sismico Critico (Fs=1): 0.15125
 Eb (kN/m) Forza destabilizzante di testa: 0.00
 Ea (kN/m) Forza stabilizzante alla base: 0.00

ssap2010_64bit

RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA

METODO DI CALCOLO	Fs	lambda	MLD	Kc	Esito	Note
JANBU_RIGOROSO(1973)	1.5544	1.0000	0.0587	0.1525	Verificata	
SPENCER(1973)	1.5490	0.2848	0.0582	0.1513	Verificata	
SARMA_I(1973)	1.5498	0.7178	0.0579	0.1513	Verificata	
MORGESTERN-PRICE(1965)	1.5504	0.3231	0.0582	0.1519	Verificata	
CHEN-MORGESTERN(1983)	1.5498	0.2004	0.0586	0.1519	Verificata	
SARMA_II(1979)	1.5515	0.8197	0.0580	0.1525	Verificata	
BORSELLI(2016)	1.5513	0.2448	0.0580	0.1525	Verificata	

Table 3. Comparison of values of horizontal critical seismic coefficient, k_c , for example 2 by various methods of analysis

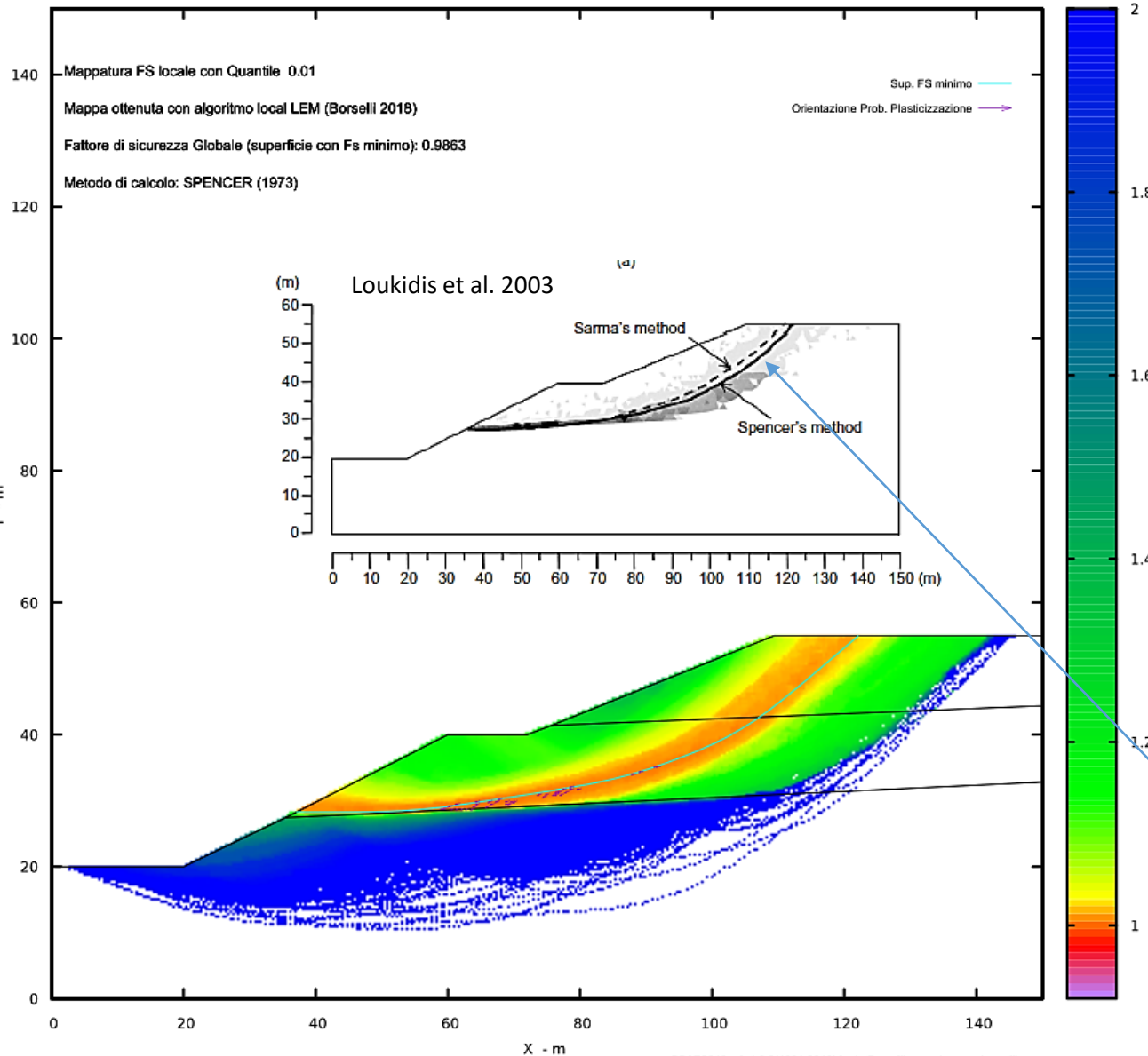
Method of analysis	k_c
Numerical upper bound method	0.172
Numerical lower bound method	0.148
Finite element method	0.161
Spencer's method	0.155
Sarma's method	0.159

ESEMPIO 2.7

Kc calcolato da SSAP sulla superficie identificata con minor FS

MAPPA FS LOCALE (Con algoritmo geostatistico non-parametrico- By L.B 2013-16)

FS Locale



La mappa di FS con algoritmo di Local LEM, In SSAP , ottenuta utilizzando $K_h=0.1513$ e $K_v=0$, coincide con la FEM Shear Band identificata da Loukidis et al. 2003

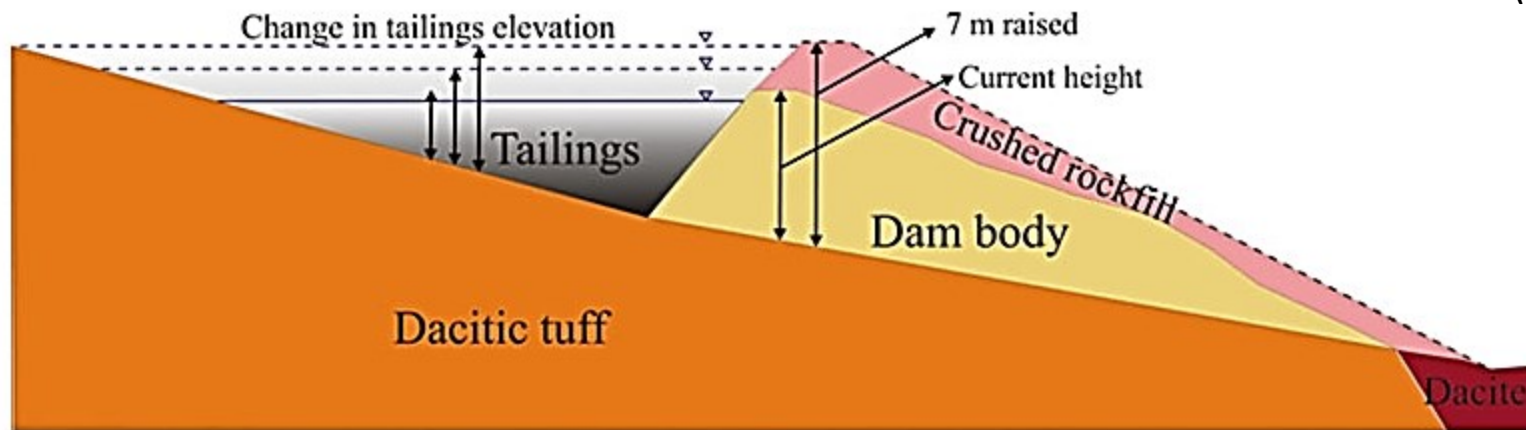
A study on geotechnical characterization and stability of downstream slope of a tailings dam to improve its storage capacity (Turkey)

Nazli Tunar Ozcan · Resat Ulusay ·
Nihat Sinan Isik

Received: 3 May 2012 / Accepted: 18 September 2012 / Published online: 2 October 2012
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

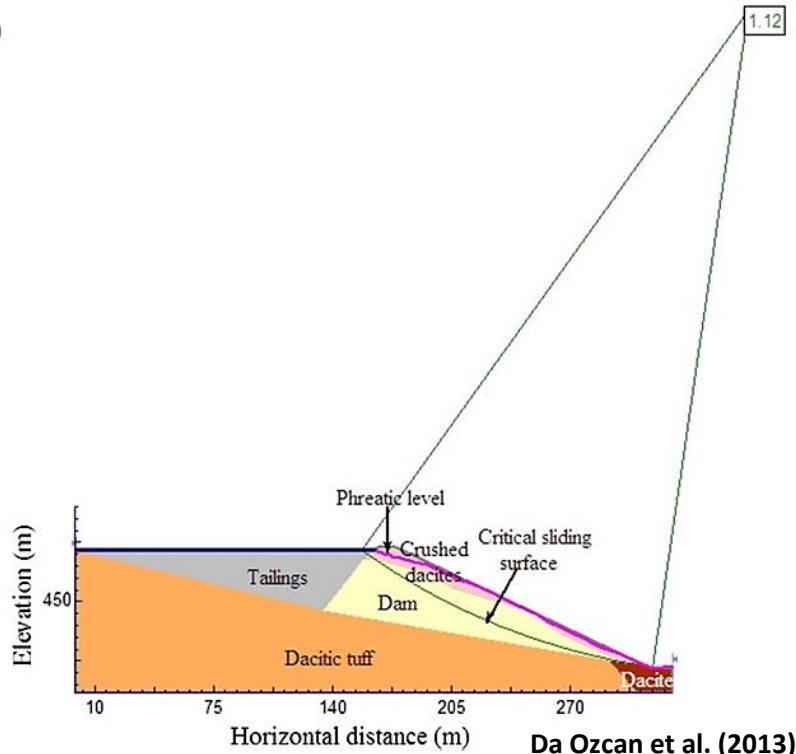
In questo articolo (Ozacan et al. 2013) gli autori effettuano una complessa verifica di stabilità per valutare il grado di stabilità di una Tailings Dam che accumula i residui post flottazione della lavorazione di minerale di Rame e Zinco in Turchia.

La analisi più complessa e completa è stata effettuata dagli Autori con software a elementi finiti (PHASE 2.0 di Rocscience). La analisi considera condizioni sia statiche che dinamiche (sisma Magnitudo 7). Il progetto di consolidazione del Tailing Dam esistente prevede la costruzione di una copertura con rockfill di dacite frantumata che viene modellizzato con un criterio Hoek-GSI di tipo non lineare.



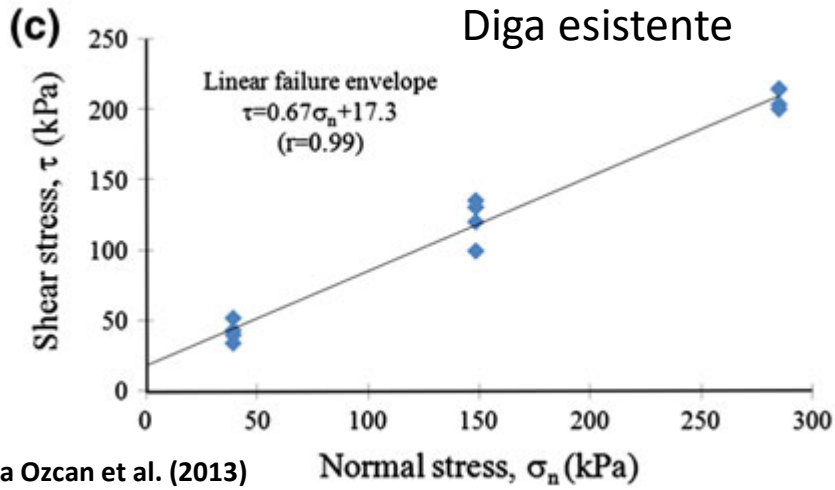
ESEMPIO 2.8

(c)

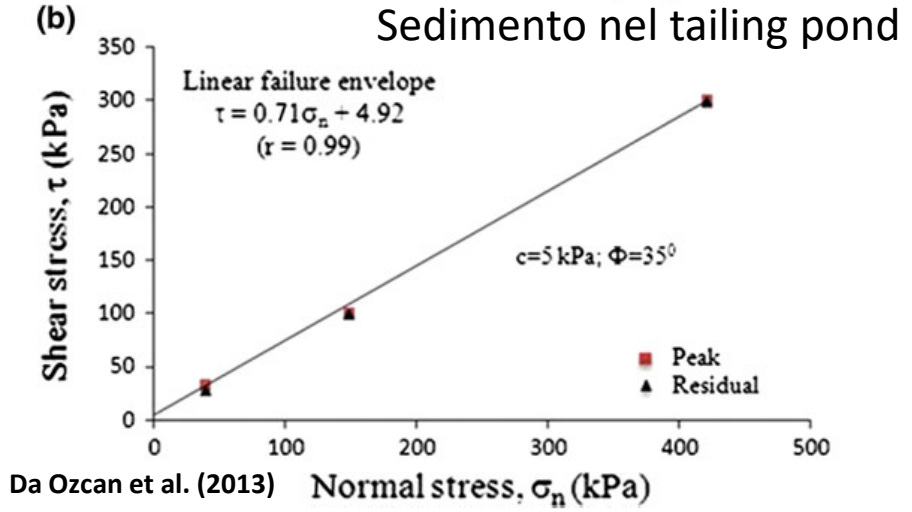


Il progetto prevede l'innalzamento di 7 m della diga esistente con un rockfill di dacite frantumata fino a una quota massima di 478 m.

Con la analisi LEM classica il fattore di sicurezza (superficie circolari) arriva a $FS=1.12$ per condizioni statiche



Da Ozcan et al. (2013)



Da Ozcan et al. (2013)

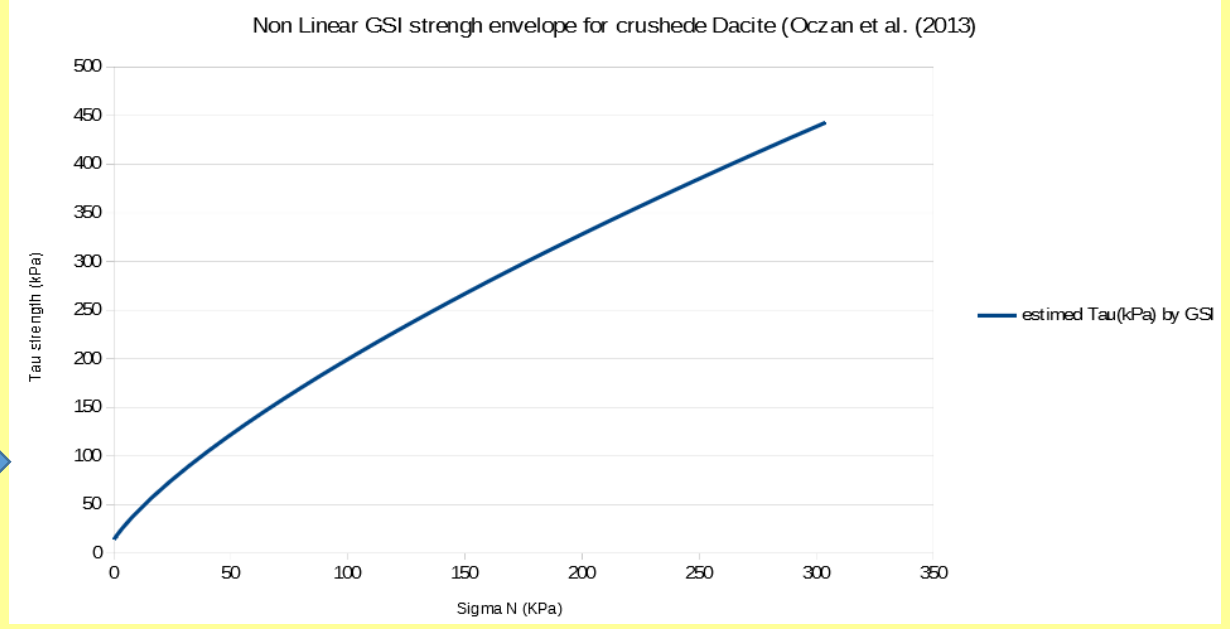
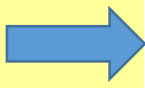
ESEMPIO 2.8

Table 3 Hoek-Brown parameters of the crushed dacite
 Da Ozcan et al. (2013)

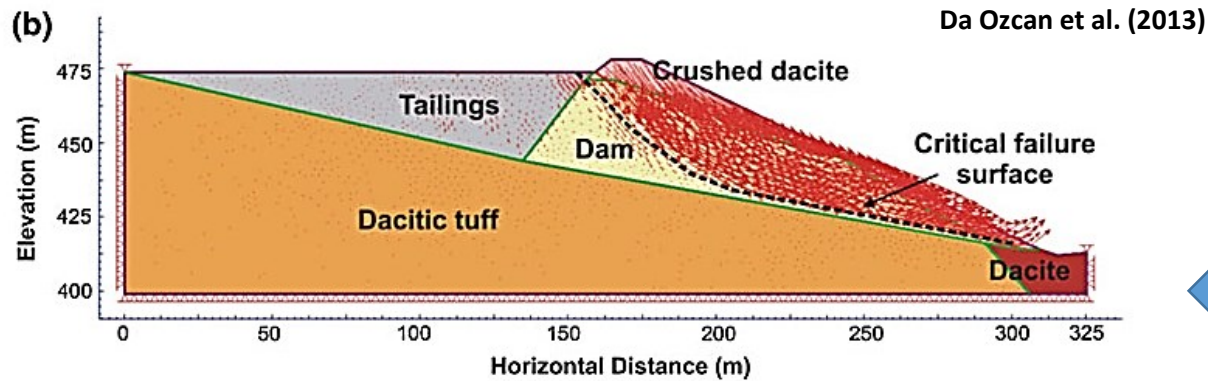
J_v (joint/m ³)	SR	SCR	GSI	a	d_f	b_m	b_s	s	m_i	m_b
60.6	8	9	29.5	0.5	0.9	16.5	6.55	2.1×10^{-5}	25	0.35

Resistenza al taglio derivata per i materiali del Nuovo tailing Dam Fa Ozcan et al. (2013)

Inviluppo di rottura assunto per Rockfill di dacite frantumata Secondo modello Hoek - GSI Dacite con Con UCS=50 MPa.

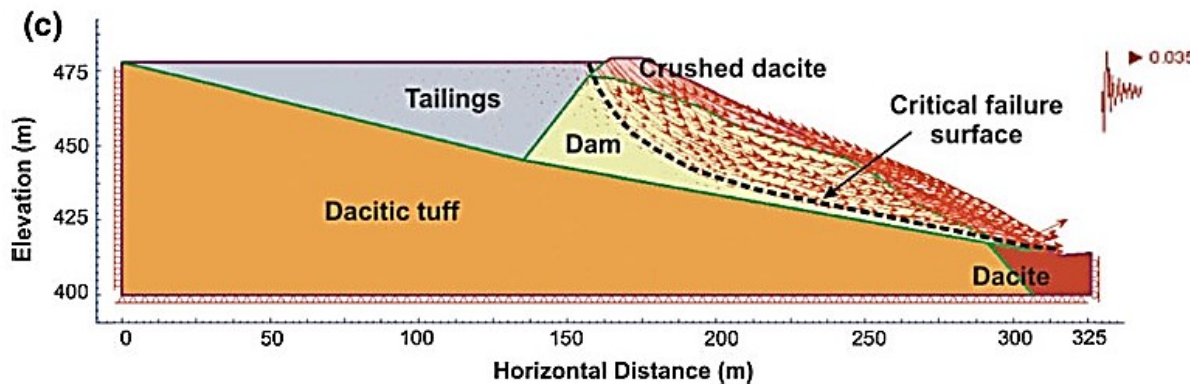


ESEMPIO 2.8



Modello di verifica FEM
Vengono individuate superfici critiche non circolari

Fs=1.14 condizioni statiche



Fs=1.06 condizioni dinamiche
Kh=0.035, Kv=0.035

Table 5 Safety factors (SF) obtained from the numerical analyses for static condition

Dam condition	Tailings elevation (m)	SF
Current dam	468.5	1.14
An increase of 7 m in the dam height	468.5	1.52
	472.5	1.29
	475.5	1.18
	478.0	1.14

Fattori di sicurezza ottenuti considerando varie quote di elevazione del rilevato..considerando il rivestimento di rockfill da implementare

In SSAP viene considerata la quota piu elevata

Da Ozcan et al. (2013)

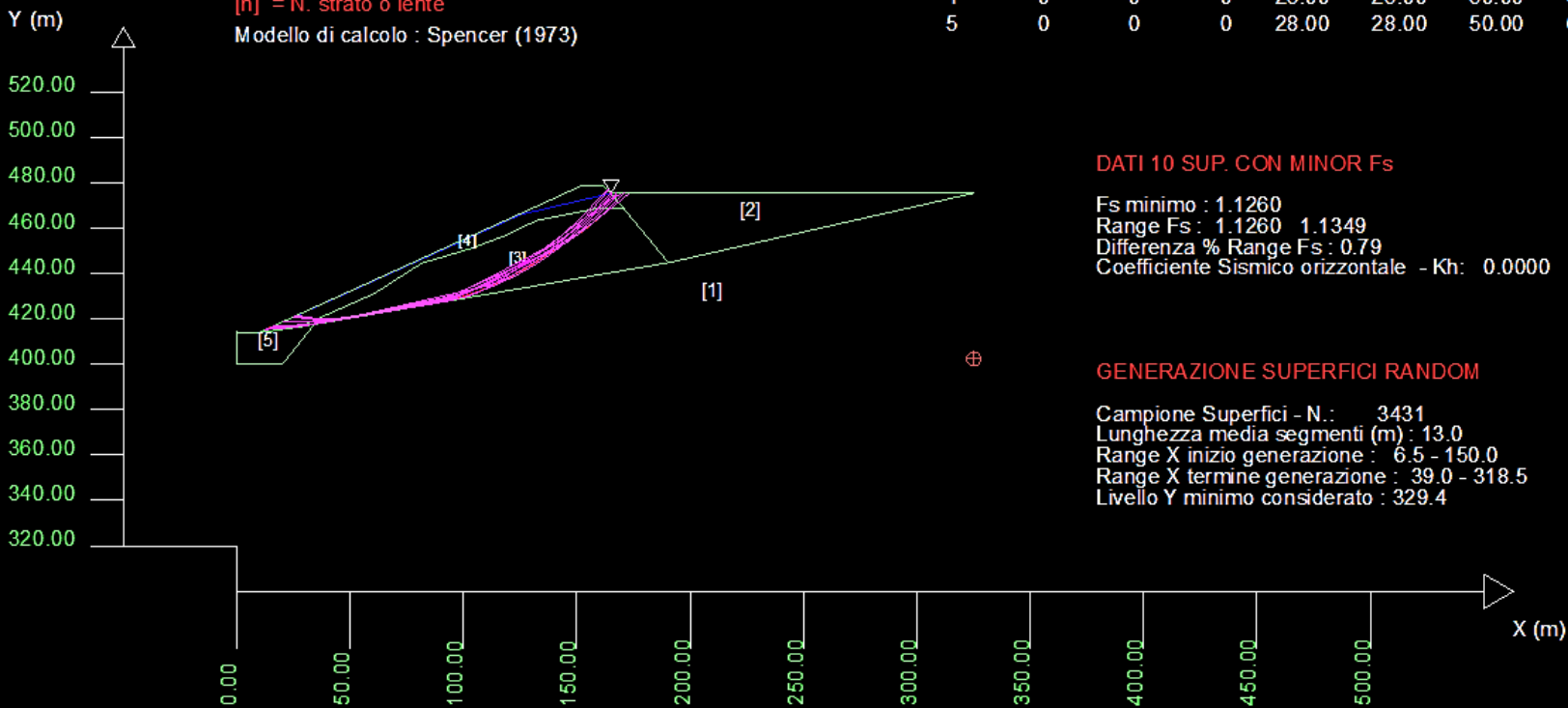
SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.4 (2019)

Data : 8/6/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Modello di calcolo : Spencer (1973)

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi`	C`	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	38.00	50.00	0	22.00	22.00	0	0	0	0
2	35.00	5.00	0	31.00	31.00	0	0	0	0
3	34.00	17.30	0	20.00	20.00	0	0	0	0
4	0	0	0	23.00	25.00	50.00	30.00	25.00	0.82
5	0	0	0	28.00	28.00	50.00	60.00	25.00	0



DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 1.1260
 Range Fs : 1.1260 1.1349
 Differenza % Range Fs : 0.79
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0000

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

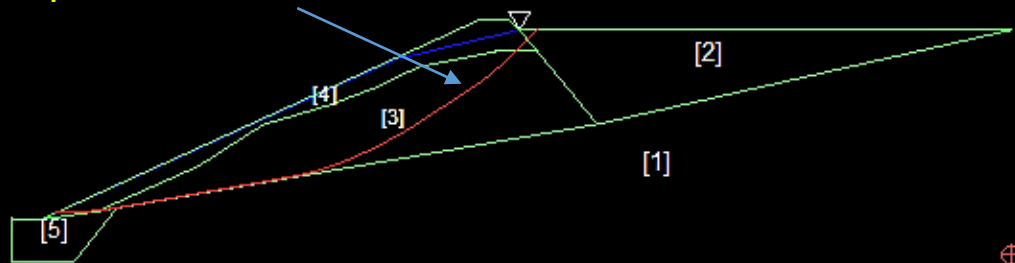
Campione Superfici - N.: 3431
 Lunghezza media segmenti (m) : 13.0
 Range X inizio generazione : 6.5 - 150.0
 Range X termine generazione : 39.0 - 318.5
 Livello Y minimo considerato : 329.4

Analisi in SSAP con SNIFF RANDOM SEARCH.

**Fs compreso tra 1.126 e 1.135
 Per condizione statica.**

ESEMPIO 2.8

Sup. FS minimo Fs=1.126



ESEMPIO 2.8

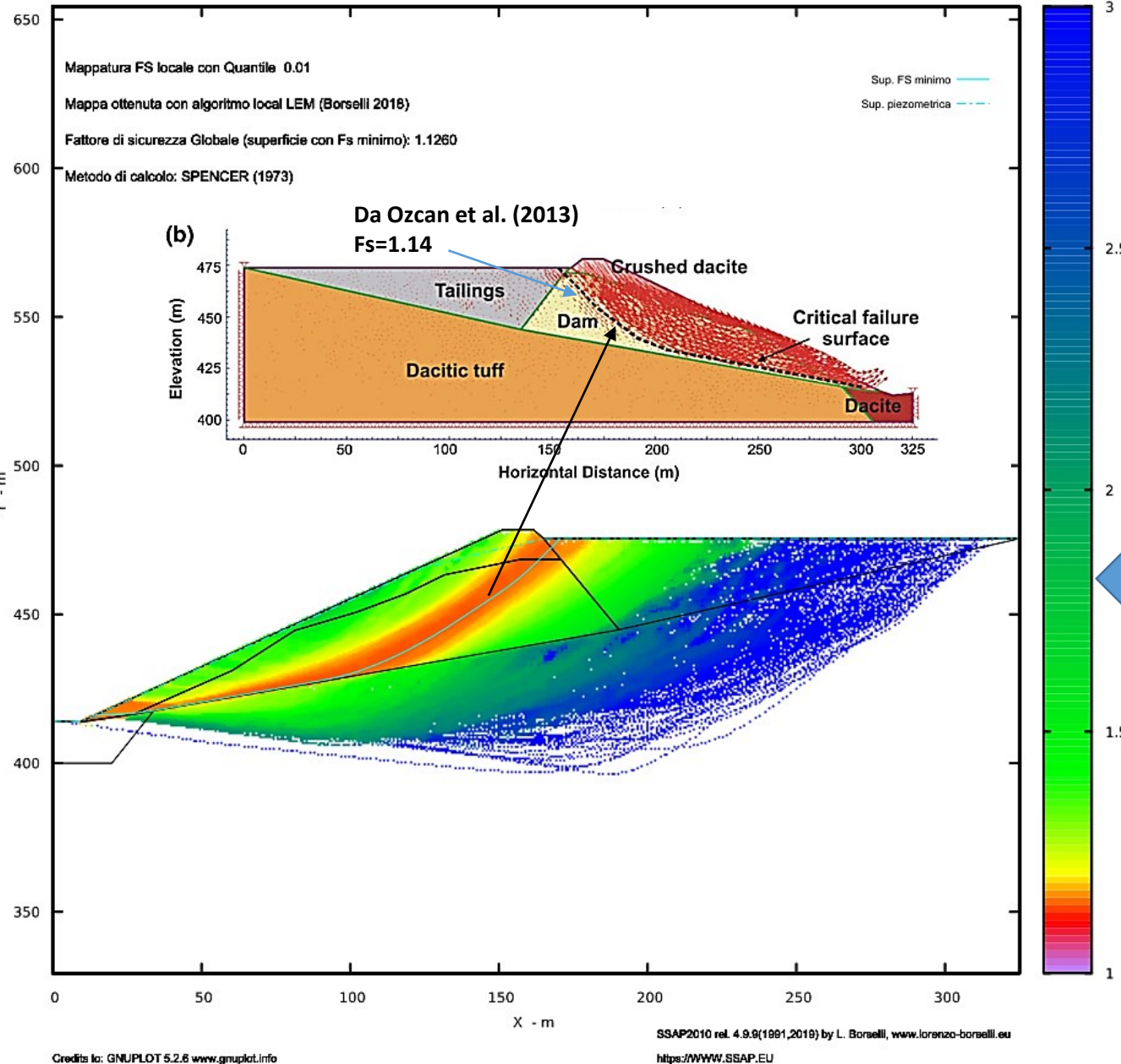


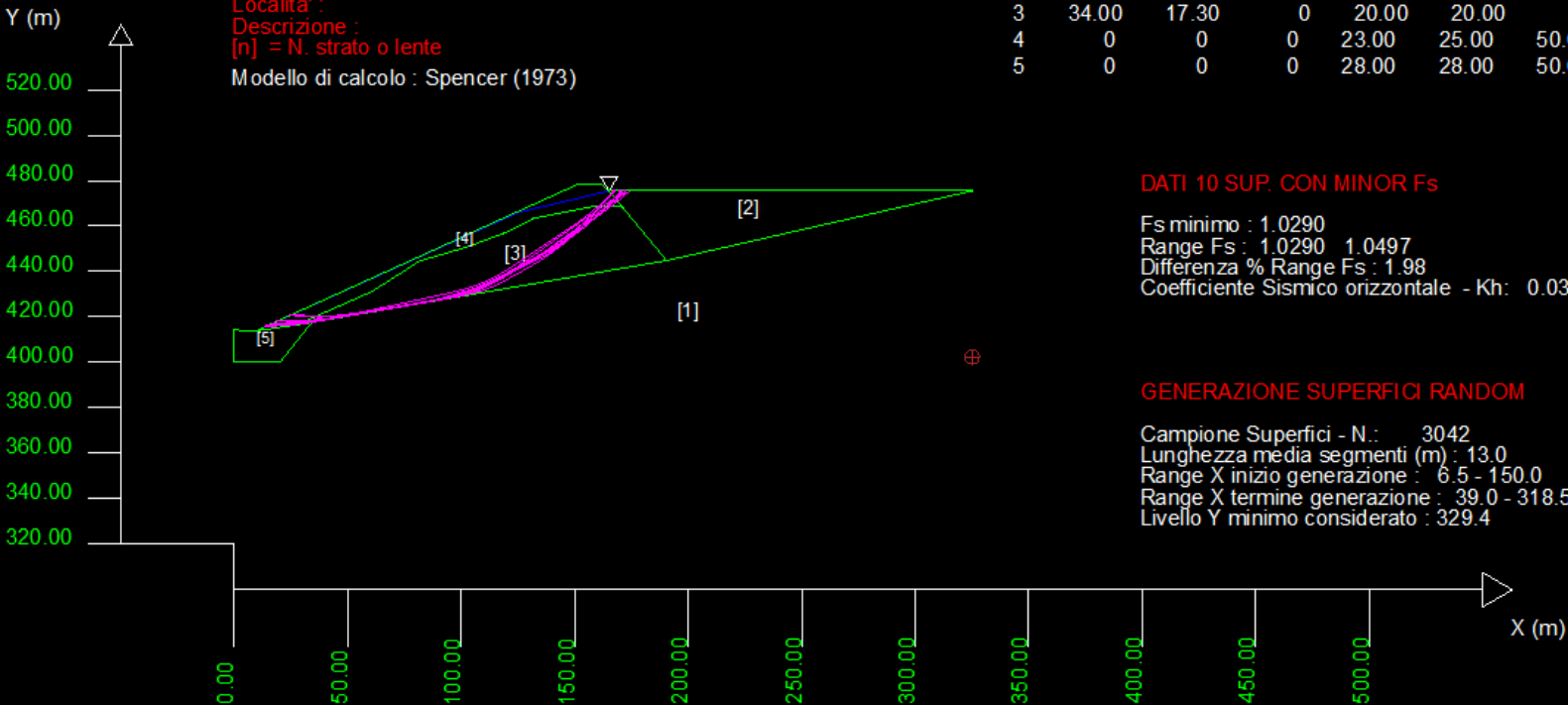
Diagramma che
 identifica la banda
 delle superficie con
 minor FS con
 andamento non
 circolare.
 Per condizione statica

Data : 8/6/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Modello di calcolo : Spencer (1973)

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	38.00	50.00	0	22.00	22.00	0	0	0	0
2	35.00	5.00	0	31.00	31.00	0	0	0	0
3	34.00	17.30	0	20.00	20.00	0	0	0	0
4	0	0	0	23.00	25.00	50.00	30.00	25.00	0.82
5	0	0	0	28.00	28.00	50.00	60.00	25.00	0



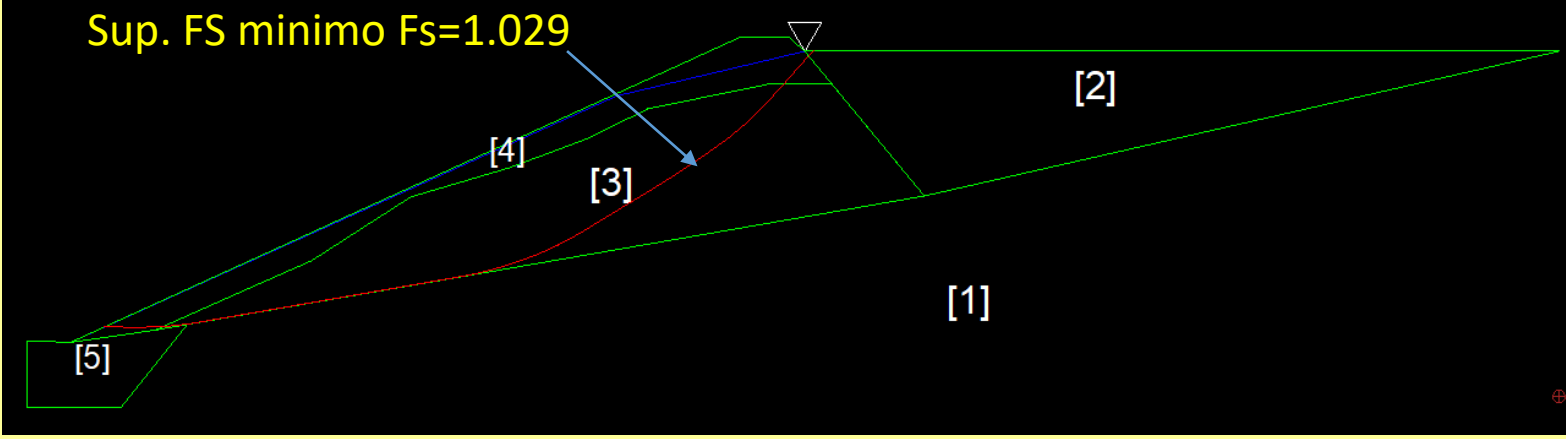
DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 1.0290
 Range Fs : 1.0290 1.0497
 Differenza % Range Fs : 1.98
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0350

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 3042
 Lunghezza media segmenti (m) : 13.0
 Range X inizio generazione : 6.5 - 150.0
 Range X termine generazione : 39.0 - 318.5
 Livello Y minimo considerato : 329.4

**Analisi in SSAP
 con SNIFF
 RANDOM
 SEARCH.
 Fs compreso tra
 1.029 e 1.05
 Per condizione
 dinamica.
 Kh=0.035
 Kv=0.035**



ESEMPIO 2.8

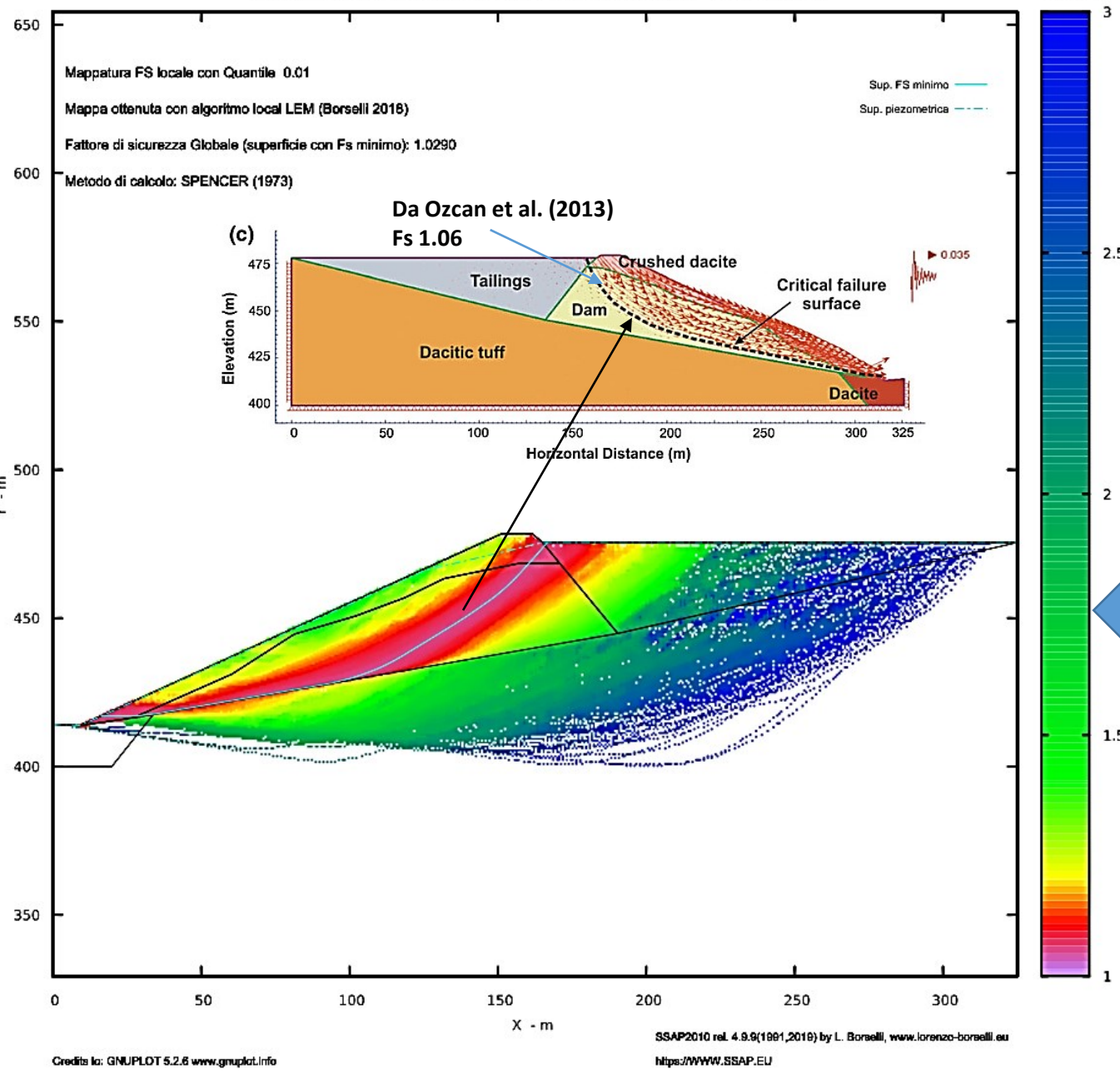


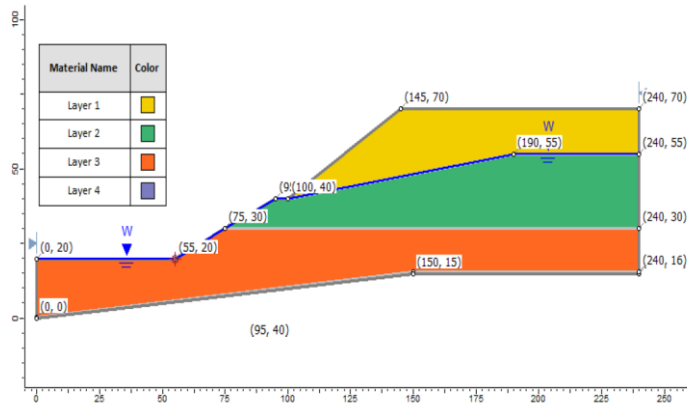
Diagramma che indentifica la banda delle superfici con minor FS con andamento non circolare. Per condizione dinamica

ZU-YU CHEN AND CHANG-MING SHAO

Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power Research, P.O. Box 366, Beijing, People's Republic of China

Received September 1, 1987

Accepted April 11, 1988



This paper explores the feasibility of using optimization methods to search for the minimum factor of safety in slope stability analysis. The routine procedure includes comparing a number of admissible surfaces that are basically selected by random searches. Low efficiency and unreliability are the problems commonly encountered.

Optimization methods allow a mathematically rigorous and reliable search for the minimum factor of safety and its associated "critical slip surfaces." This paper employs simplex, steepest descent, and Davidon–Fletcher–Powell (DFP) methods. The results of a number of test problems, in conjunction with closed-form and grid search solutions, showed that all the above-mentioned methods can provide reasonable results. Case history analyses supported the feasibility of the methods. Modifications to the DFP method were found to be essential for successful implementation of the minimization procedure.

Key words: slope stability, landslide, analysis, limit equilibrium, interslice forces, factor of safety, spline function, optimization methods, case history.

Can. Geotech. J. 25, 735–748 (1988)

EFFICIENT MONTE CARLO TECHNIQUE FOR LOCATING CRITICAL SLIP SURFACE

By Venanzio R. Greco¹

ABSTRACT: The search for the critical slip surface in slope-stability analysis is performed by means of a minimization of the safety factor. The procedures most widely used are deterministic methods of nonlinear programming, and random search methods have been neglected, since they are considered to be generally less efficient. In this paper, an efficient Monte-Carlo method for locating the critical slip surface is presented. The procedure is articulated in a sequence of stages, where each new slip surface is randomly generated by an appropriate technique. From a comparative analysis, the proposed method provides solutions of the same quality as the best nonlinear programming methods. However, the structure of the presented method is very simple, and it can be more easily programmed, integrated, and modified for particular exigencies.

¹Asst. Prof., Università della Calabria, Facoltà di Ingegneria, 87030 Roges di Rende (Cs), Italy.

Note. Discussion open until December 1, 1996. To extend the closing date one month, a written request must be filed with the ASCE Manager of Journals. The manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on July 1, 1994. This paper is part of the *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 122, No. 7, July, 1996. ©ASCE, ISSN 0733-9410/96/0007-0517-0525/\$4.00 + \$.50 per page. Paper No. 8785.

In questo esempio analizziamo un pendio tattato da Chen & Shao(1988) e Greco (1996), RocScience(2016).

Un pendio multistrato con un sottile strato a bassa resistenza alla base.

Slope, (4) materials, weak layer, water table

20.1 Introduction

This model is taken from Greco (1996) example #5, and it was originally published by Chen and Shao (1988). It consists of a layered slope with pore pressure and a weak seam.

20.2 Problem Description

Verification problem #20 is shown in Figure 20.1. The material properties are given in Table 20.1. The position of the critical slip surface and the corresponding factor of safety is calculated for a circular and noncircular slip surface. The weak seam is modeled as a 0.5m thick material layer at the base of the model.

20.3 Geometry and Material Properties

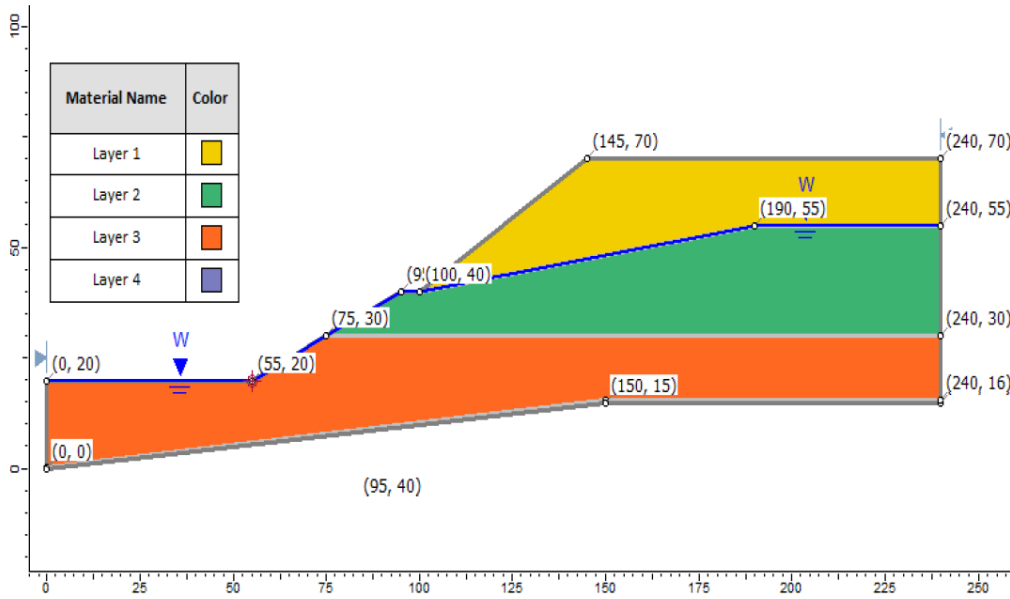


Figure 20.1 – Geometry Setup in Slide

Table 20.1: Soil Properties

	c' (kN/m ²)	φ' (deg.)	γ (kN/m ³)
Layer 1	9.8	35	20
Layer 2	58.8	25	19
Layer 3	19.8	30	21.5
Layer 4	9.8	16	21.5

Slide

2D limit equilibrium slope stability for soil and rock slopes

Slope Stability Verification Manual

© 2016 Rocscience Inc.

Dati pendio da Greco (1996)

TABLE 9. Geotechnical Parameters for Example 5

Layer (1)	φ' (degrees) (2)	c' (kPa) (3)	γ (g/cm ³) (4)
1	35°	9.8	2.00
2	25°	58.8	1.90
3	30°	19.8	2.15
4	16°	9.8	2.15

Dati pendio con SLIDE versione 7.0 (SLIDE Verification Manual), Rocscience Inc.(2016)

Noncircular – using Block search polyline in the weak seam and Monte-Carlo optimization

Method	Factor of Safety
Spencer	1.010

SLIDE 7.0 (Rocscience, 2016)

Note: Chen and Shao (1988) Spencer Factor of Safety = 1.01 - 1.03
 Greco (1996) Spencer Factor of Safety = 0.973 - 1.1

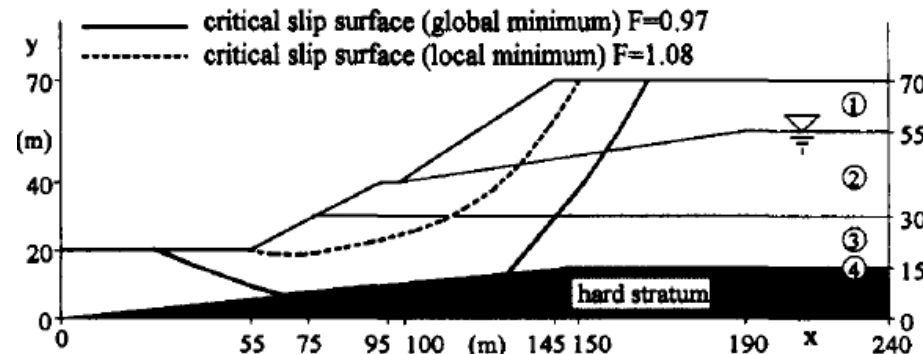
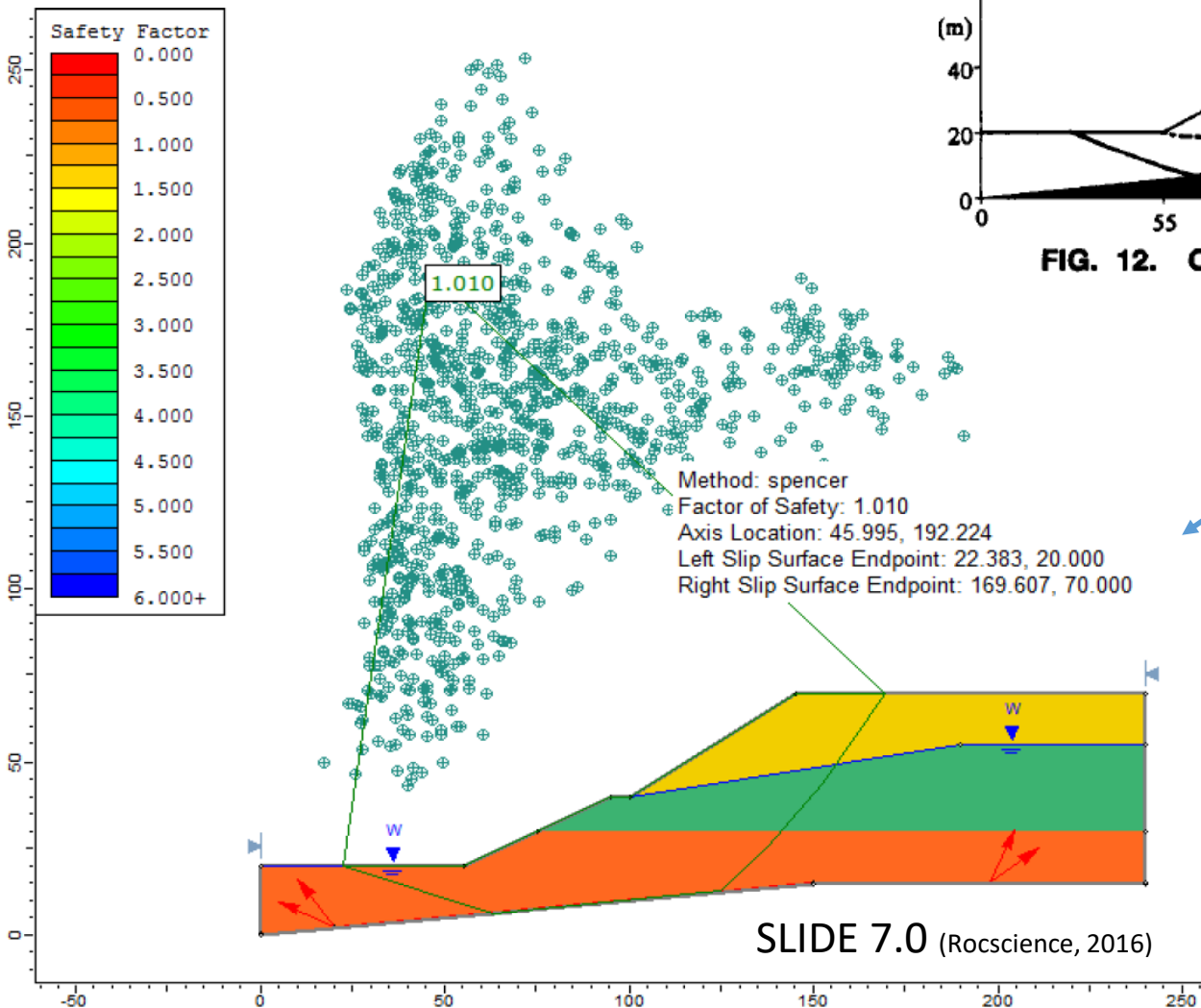


FIG. 12. Cross Section of Slope In Example 5

Greco(1996)

Risultati finali
 Superficie con minor
 FS ottenuta con
 metodo Spencer

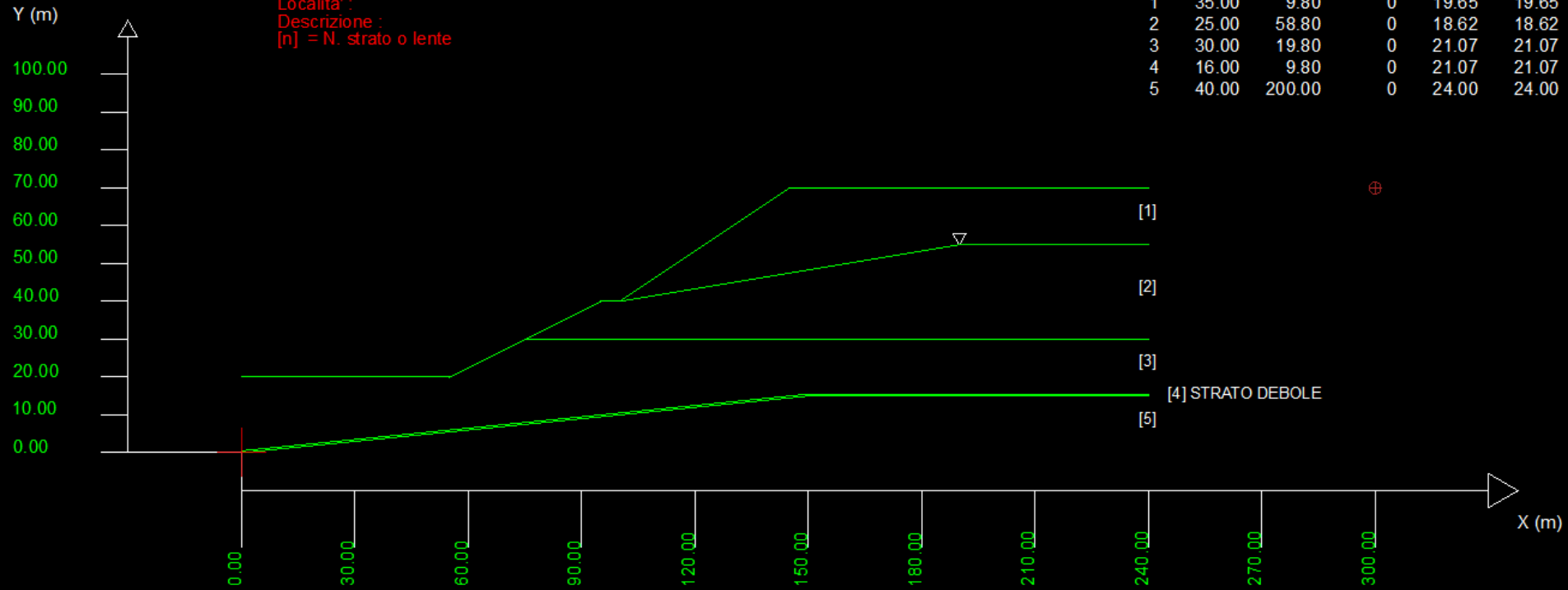
SLIDE 7.0 (Rocscience, 2016)

N.B.: esistono lievi differenze nel valore del peso unitario nei vari strati nel modello di Greco (1996) e in SLIDE 7.0

Figure 20.4 – Noncircular failure surface, using the Spencer method and block search

Data : 16/6/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

#	Parametri Geotecnici degli strati #				
N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3
1	35.00	9.80	0	19.65	19.65
2	25.00	58.80	0	18.62	18.62
3	30.00	19.80	0	21.07	21.07
4	16.00	9.80	0	21.07	21.07
5	40.00	200.00	0	24.00	24.00



Lo strato 4 e' uno strato dello spessore di 0.5 m sopra roccia.
 I parametri del modelo utilizzato da SSAP sono gli stessi usati da Greco(1996), ma convertiti completamente in unita' SI.


ESEMPIO 2.9

ESEMPIO 2.9

OPZIONI GENERALI per Verifiche di Stabilità SSAP

Coefficiente sismico orizzontale - Kh Kv (negativo)
 Coefficiente c=Kv/Kh

FS di Progetto richiesto. Solo per analisi deficit di resistenza.


NTC2018/EC-7 - ROCCE
 DISATTIVATO 
 ATTIVATO

ROCCE - Criterio Hoek et al. (2002)
 HB Generalizzato - Carranza-Torres(2004)
 HB Generalizzato - Lei et al.(2016)
 HB Generalizzato - Lee et Pietruszczack(2017)

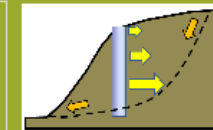
METODO DI CALCOLO

JANBU RIGOROSO (1973) $T(x) = \lambda f(x) E(x)$
 SPENCER (1973)
 SARMA I (1973)
 MORGESTERN - PRICE (1965)
 CHEN - MORGESTERN (1983)
 SARMA II (1979)
 BORSELLI (2016)

Esplora spazio(lambda0,fs0) Metodo
 A (rapido e accurato)
 B (più accurato)
 C (molto più accurato)

TIRANTI - ANCORAGGI
 PASSIVI 
 ATTIVI

Distribuzione resistenza
 Rettangolare
 Trapezoidale

PALIFICATE
 Metodo calcolo
 ITO-MATSUI (1975) - HASSIOTIS (1997)
 KUMAR-HALL (2006) (+ conservativo) 

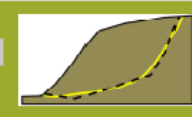
Fattore di riduzione Fp (NTC2018) (Variare da 1 a 100)
 % di massima mobilitazione teorica 100.00 (%)

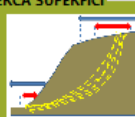
Applicare nuova metodologia Calcolo Mobilitazione
 Criterio Calcolo Mobilitazione
 MAX [Fp.m . E(x)]
 MIN [Fp.m . E(x)]

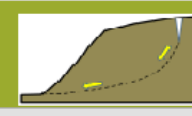
CONTROLLO STABILITA' NUMERICA
 % Tolleranza stress normali negativi
 % Tolleranza RHO=|Fs/Fv| >1.0
 Limita T(x)/E(x)
 LIMITATO
 Non LIMITATO
 Stabilizzatore numerico attivo
 Reimposta Valori Standard


MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI
 RANDOM SEARCH (RS)
 CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)
 SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 2.7 SOLO PER CONVEX
 Convessita' limitata
 Delta alpha


SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH
 Variante NO-CONVEX SNIFF
 Steps di scansione
 Frequenza attivazione
 ottimizza tracciatore discontinuita' sottili
 No-convex oscillazione masima (gradi)

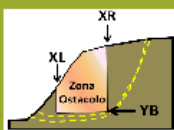
SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO
 EFFETTO ATTIVATO Opzioni Smussatore 
 EFFETTO DISATTIVATO

ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI
 DISATTIVATO 
 ATTIVATO

TENSION CRACKS TESTA PENDIO
 EFFETTO DISATTIVATO 
 EFFETTO ATTIVATO Opzioni Tension Cracks

FILTRAGGIO SUPERFICI
 FILTRARE 
 NON FILTRARE

FORZE AGGIUNTIVE PER SUPERFICIE SINGOLA
 Forza Ea (alla Base) - kN/m
 Forza Eb (in Testa) - kN/m 

PRESENZA DI OSTACOLO INTERNO
 CON OSTACOLO 
 SENZA OSTACOLO

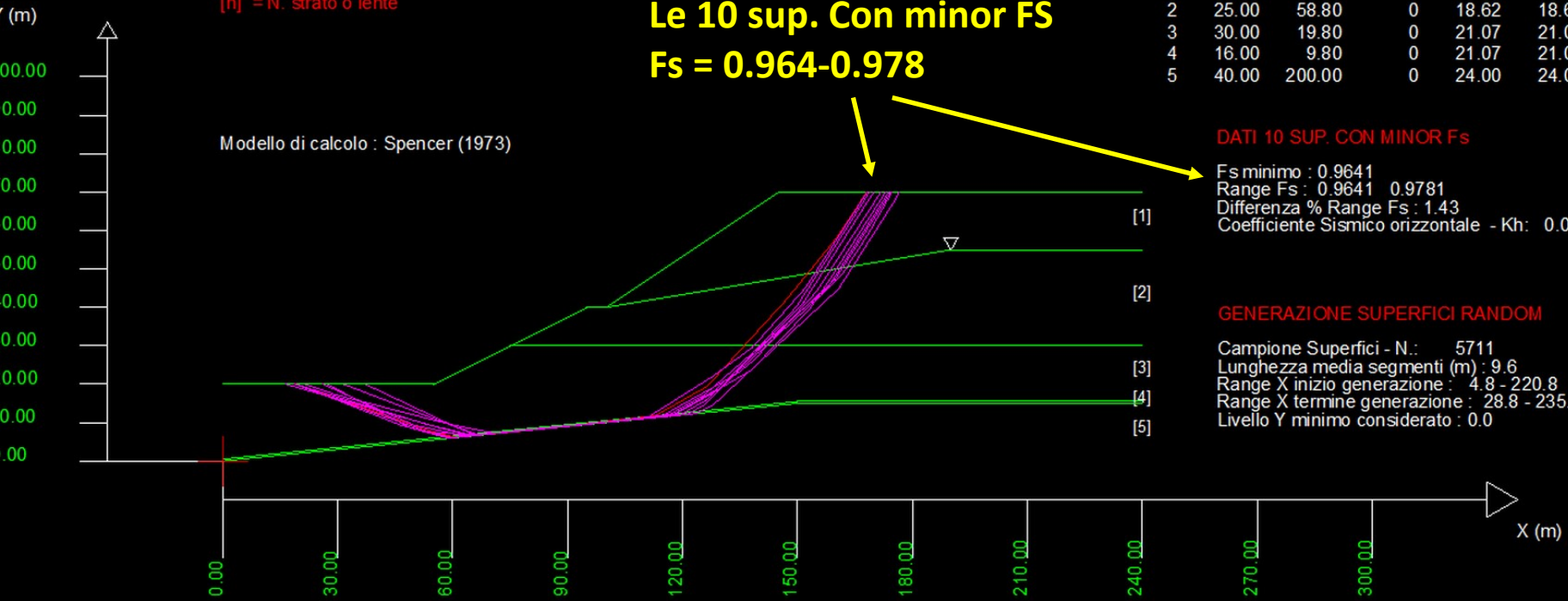
HELP

- 1 →
- 2 →
- 3 →
- 4 →
- 5 →

IMPOSTAZIONI per la verifica utilizzate in SSAP nella finestra OPZIONI GENERALI.
 Si noti che si e' utilizzato il motore SNIFF RANDOM SEARCH (4) e sono state disattivate le procedure di STABILIZZAZIONE NUMERICA (3) (questa opzione e' impostata per conformita' con i precedenti studi che non si sono avvalsi di speciali algoritmi di calcolo)

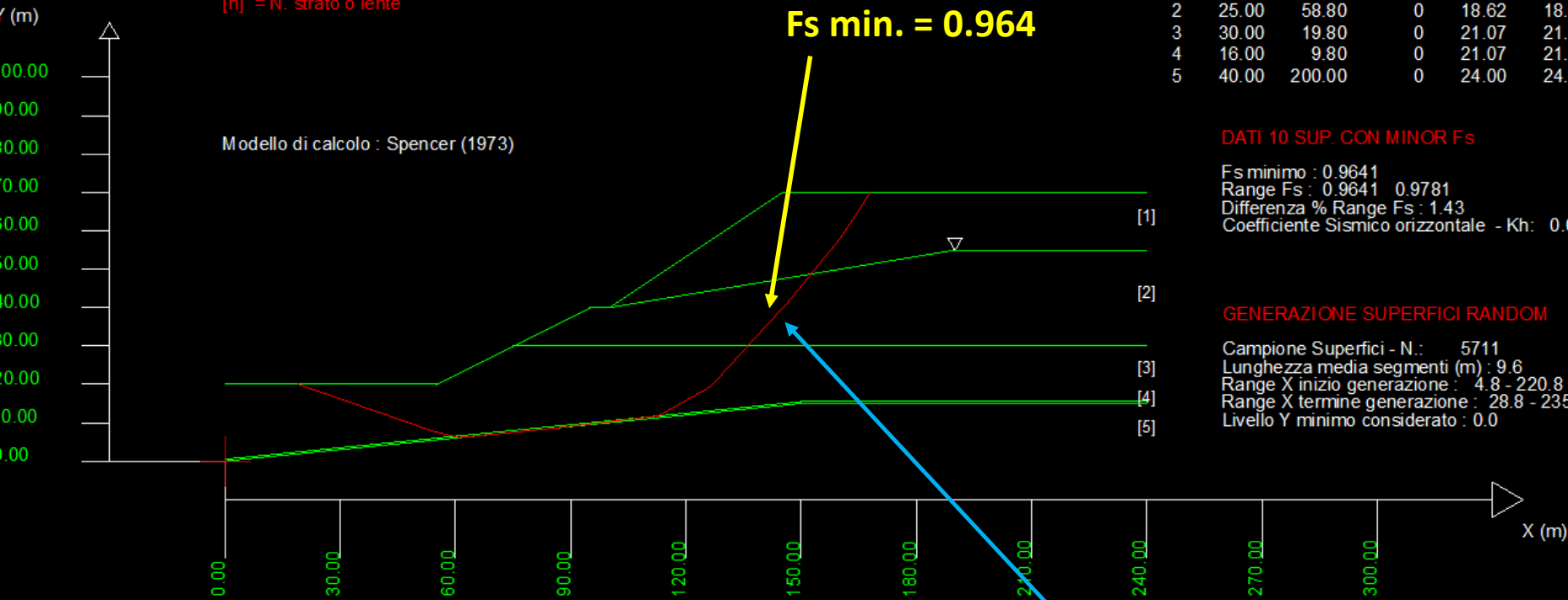
Data : 16/6/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

# Parametri Geotecnici degli strati #					
N.	phi`	C`	Cu	Gamm	GammSat
	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3
1	35.00	9.80	0	19.65	19.65
2	25.00	58.80	0	18.62	18.62
3	30.00	19.80	0	21.07	21.07
4	16.00	9.80	0	21.07	21.07
5	40.00	200.00	0	24.00	24.00



ESEMPIO 2.9

Data : 16/6/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente



Comparazione risultato ottenuto con SSAP e con Greco (1996)

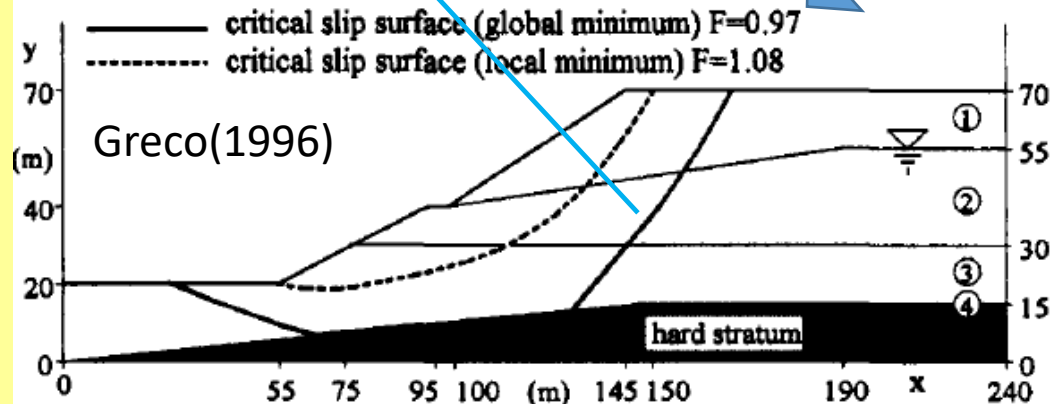


FIG. 12. Cross Section of Slope in Example 5

ESEMPIO 2.9

Noncircular – using Block search polyline in the weak seam and Monte-Carlo optimization

Method	Factor of Safety
Spencer	1.010

← SLIDE 7.0 (Rocscience, 2016)

Note: Chen and Shao (1988) Spencer Factor of Safety = 1.01 - 1.03
 Greco (1996) Spencer Factor of Safety = 0.973 - 1.1

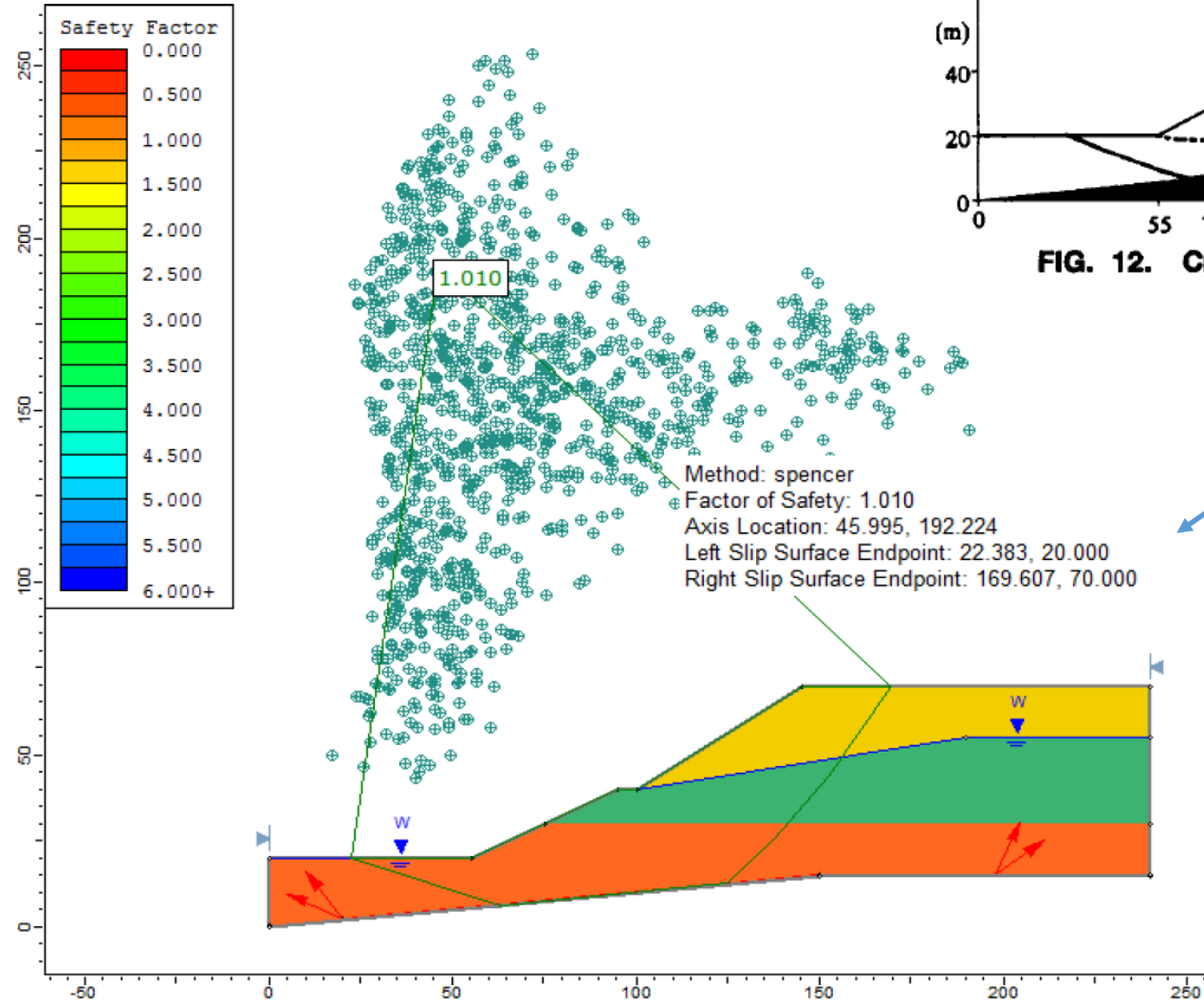


FIG. 12. Cross Section of Slope In Example 5

↑ Greco(1996)

Risultati finali
 Superficie con minor
 FS ottenuta con
 metodo Spencer

← SLIDE 7.0 (Rocscience, 2016)

N.B.: esistono lievi differenze nel valore del peso unitario nei vari strati nel modello di Greco (1996) e in SLIDE 7.0

Figure 20.4 – Noncircular failure surface, using the Spencer method and block search

Gli esempi di riferimento utilizzati nella parte 2 di questo documento sono stati scelti in funzione delle seguenti caratteristiche :

- 1. Presenza in riviste scientifiche internazionali.**
- 2. Utilizzo di metodi di calcolo LEM (rigorosi) e/a metodi Analisi Limite(LA) e/o elementi finiti (FEM) e/o Strength reduction Method (SRM).**
- 3. Descrizione completa dei parametri di resistenza la taglio e elementi di rinforzo del pendio.**

I risultati di comparazione permettono di trarre alcune conclusioni:

- 1. I risultati ottenuti con SSAP sono comparabili completamente con quelli ottenuti nei diversi lavori pubblicati in riviste internazionali di Geotecnica.**
- 2. I valori di FS ottenuti e le superfici individuate da SSAP sono praticamente coincidenti con quelli pubblicati , nonostante in alcuni casi questi siano calcolati con metodi di calcolo alternativi a quelli LEM come: LA , SRM e FEM.**
- 3. La comparazione dei risultati di identificazione di coefficienti sismici critici K_c , confermano la affidabilita' del metodo numerico utilizzato a questo proposito da SSAP.**
- 4. I motori di ricerca avanzati utilizzati da SSAP confermano la loro validita' nella molteplicita' di condizioni presentate.**
- 5. Le informazioni presentate in questo documento di validazione non sono esclusivamente una comparazione tra valori numerici, ma presentano una discussione di varie e complesse problematiche associate alla stabilita' dei pendii.**

Riferimenti bibliografici – parte 2

- *Berisavljević, Z., Berisavljević, D., Čebašek, V., & Rakić, D. (2015). Slope stability analyses using limit equilibrium and strength reduction methods. Građevinar, 67(10.), 975-983.*
- *Chen, Z. Y., & Shao, C. M. (1988). Evaluation of minimum factor of safety in slope stability analysis. Canadian Geotechnical Journal, 25(4), 735-748.*
- *Cheng, Y. M., Li, L., Chi, S. C., & Wei, W. B. (2007). Particle swarm optimization algorithm for the location of the critical non-circular failure surface in two-dimensional slope stability analysis. Computers and Geotechnics, 34(2), 92-103.*
- *Greco, V. R. (1996). Efficient Monte Carlo technique for locating critical slip surface. Journal of Geotechnical Engineering, 122(7), 517-525.*
- *Han, J., & Leshchinsky, D. (2004). Limit equilibrium and continuum mechanics-based numerical methods for analyzing stability of MSE walls. In 17th ASCE Engineering Mechanics Conference (pp. 13-16).*
- *Loukidis, D., Bandini, P., & Salgado, R. (2003). Stability of seismically loaded slopes using limit analysis. Geotechnique, 53(5), 463-480.*
- *Leshchinsky, B., & Ambauen, S. (2015). Limit equilibrium and limit analysis: comparison of benchmark slope stability problems. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 141(10), 04015043.*
- *Ozcan, N. T., Ulusay, R., & Isik, N. S. (2013). A study on geotechnical characterization and stability of downstream slope of a tailings dam to improve its storage capacity (Turkey). Environmental earth sciences, 69(6), 1871-1890.*
- *ROCSCIENCE Inc. (2016). SLIDE, 2D limit equilibrium slope stability for soil and rock slopes, Slope Stability Verification Manual. https://www.rocscience.com/help/slide2/pdf_files/verification/Slide_SlopeStabilityVerification.pdf*
- *Zhang, Y. (2018). Seismic Slope Stability Analysis by Considering Tension Crack. In Earthquake-Induced Landslides (pp. 41-62). Springer, Singapore.*