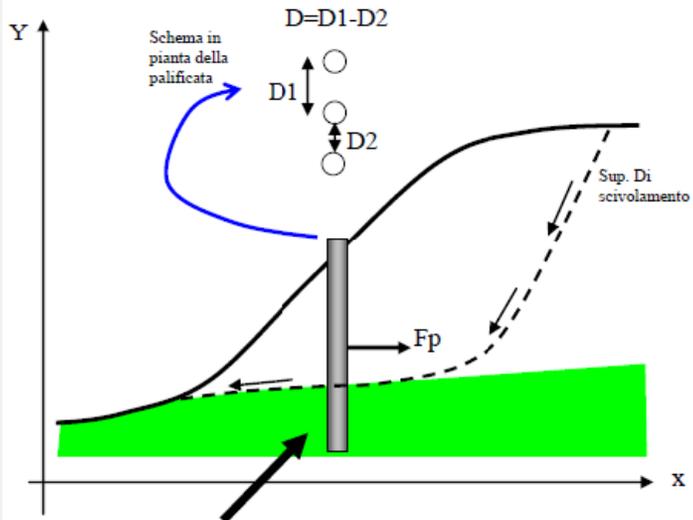


# Complessità strutturale

La presenza di strutture di sostegno influenza pesantemente la complessità del pendio... e i metodi di verifica



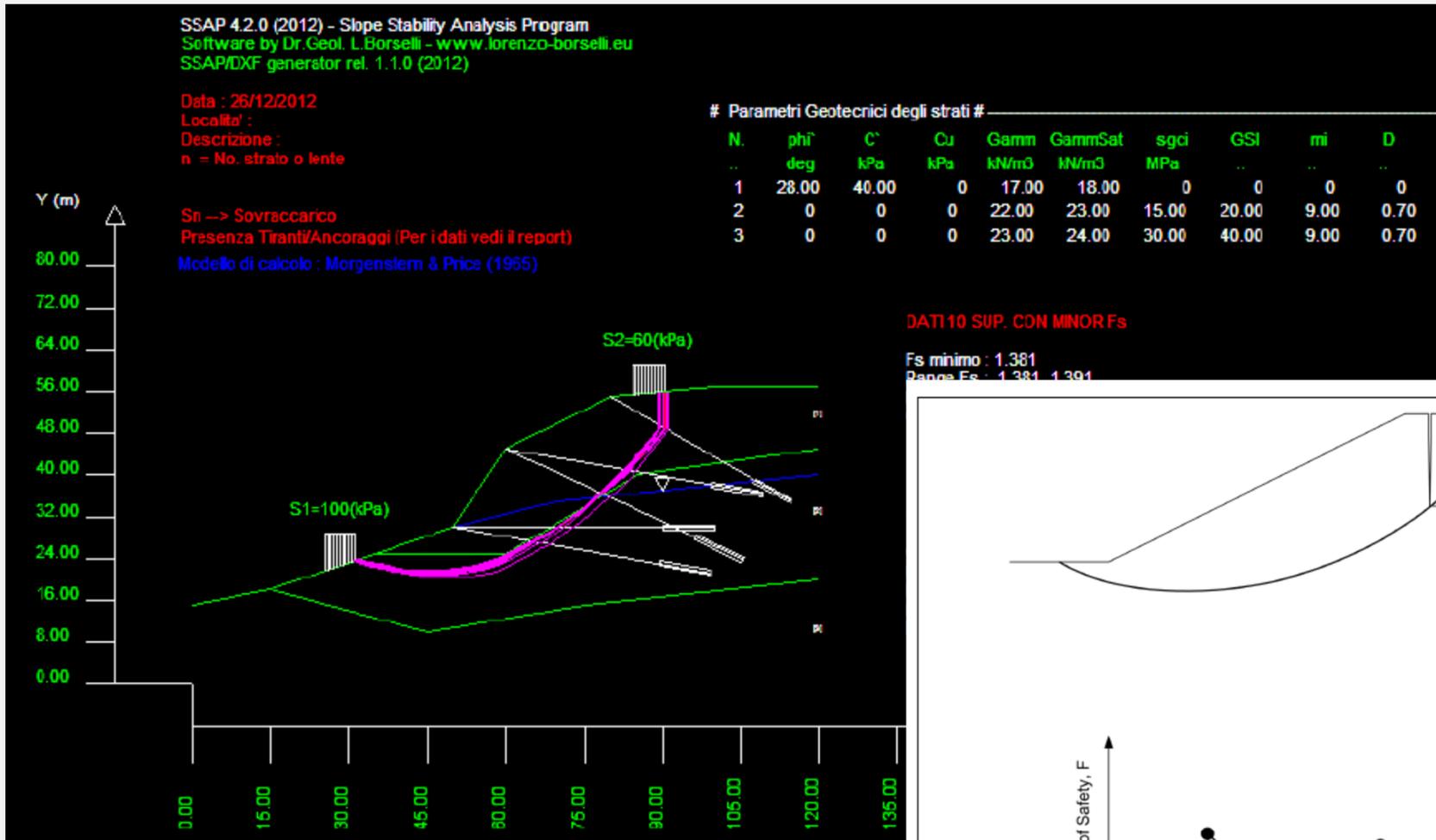
palificate

sovraccarichi

geogriglie

Tiranti

# COMPLESSITA' DEGLI SCENARI DI VERIFICA



esempio Tension cracks in SSAP

<http://www.ssap.eu>



Chiara Calligaris, Ph.D. – D.M.G. Università degli Studi di Trieste

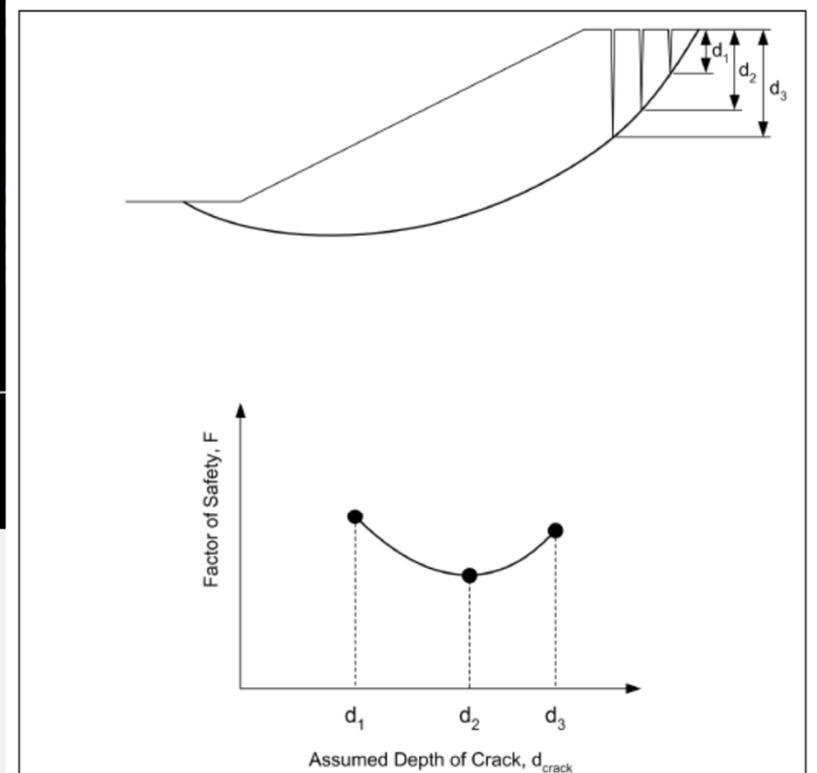


Figure 2-5. Variation in the factor of safety with the assumed depth of vertical crack

## COMPLESSITA' DEI MODELLI DI CALCOLO

Table 2.5 Assumptions used in various methods of analysis (× means not satisfied and √ means satisfied)

Method	Assumptions	Force equilibrium		Moment equilibrium
		X	Y	
1 Swedish	$P = V = 0$	×	×	√
2 Bishop simplified	$V = 0$ or $\Phi = 0$	×	√	√
3 Janbu simplified	$V = 0$ or $\Phi = 0$	√	√	×
4 Lowe and Karafiath	$\Phi = (\alpha + \beta)/2$	√	√	×
5 Corps of Engineers	$\Phi = \beta$ or $\Phi_{i-1,i} = \frac{\alpha_{i-1} + \alpha_i}{2}$	√	√	×
6 Load transfer	$\Phi = \alpha$	√	√	×
7 Wedge	$\Phi = \phi$	√	√	×
8 Spencer	$\Phi = \text{constant}$	√	√	√
9 Morgenstern–Price and GLE	$\Phi = \lambda f(x)$	√	√	√
10 Janbu rigorous	Line of thrust ( $Xp$ )	√	√	√
11 Leshchinsky	Magnitude and distribution of $N$	√	√	√

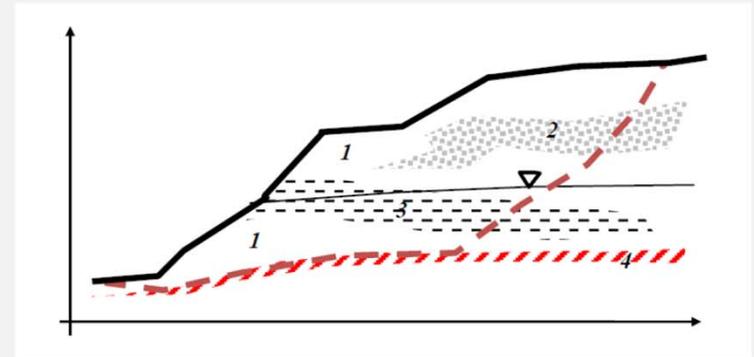
SSAP opera in questa fascia

# COMPLESSITA' DEGLI ALGORITMI

Table 3.8 Results for example 2 (Spencer method)

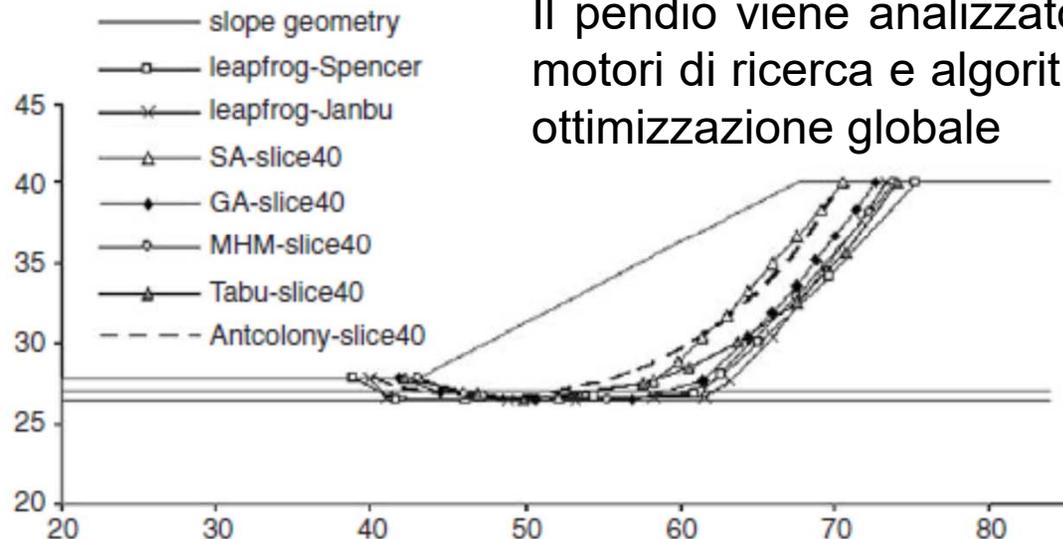
Optimization methods	Minimum factors of safety	NOFs		
		Total	Critical	
Leap-frog (Bolton <i>et al.</i> , 2003)	1.305	Unknown		
SA	20 slices	1.2411	51,770	51,745
	30 slices	1.2689	77,096	75,314
	40 slices	1.3238	190,664	190,648
GA	20 slices	1.2819	28,808	28,808
	30 slices	1.2749	39,088	39,088
	40 slices	1.2855	115,266	115,202
PSO	20 slices	1.2659	42,000	33,012
	30 slices	1.2662	64,800	55,810
	40 slices	1.2600	94,400	94,400
SHM	20 slices	1.3414	29,942	29,760
	30 slices	1.2784	118,505	97,055
	40 slices	1.2521	123,581	106,210
MHM	20 slices	1.2813	34,668	34,648
	30 slices	1.2720	26,891	26,891
	40 slices	1.2670	38,827	38,817
Tabu	20 slices	1.5381		
	30 slices	1.5354		
	40 slices	1.5341		
Ant-colony	20 slices	1.4897		
	30 slices	1.5665		
	40 slices	1.5815		

## Sniff random search 2.0 (SSAP)

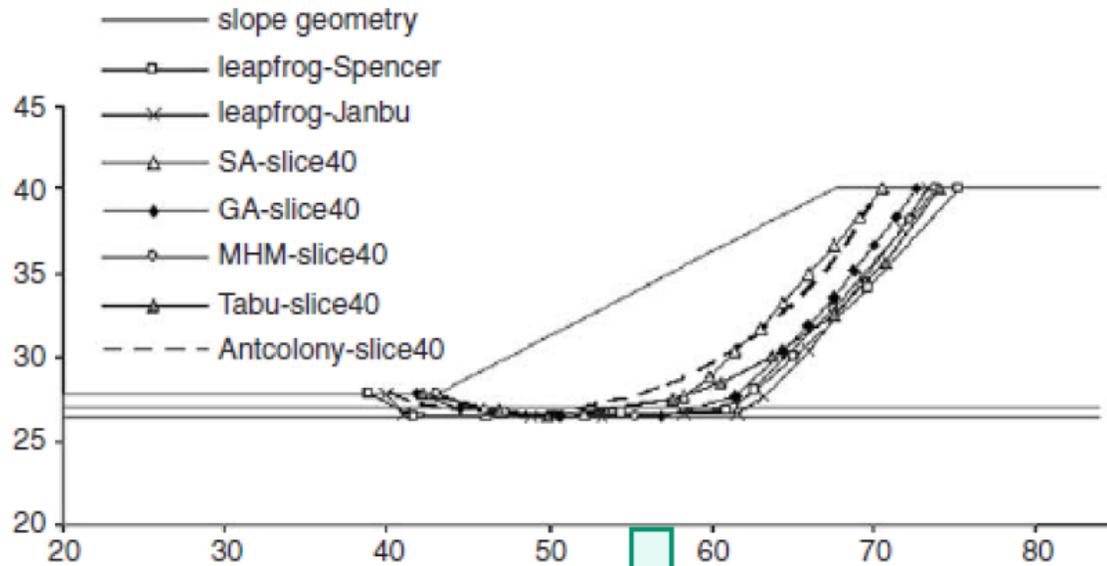


Il pendio viene analizzato con motori di ricerca e algoritmi da ottimizzazione globale

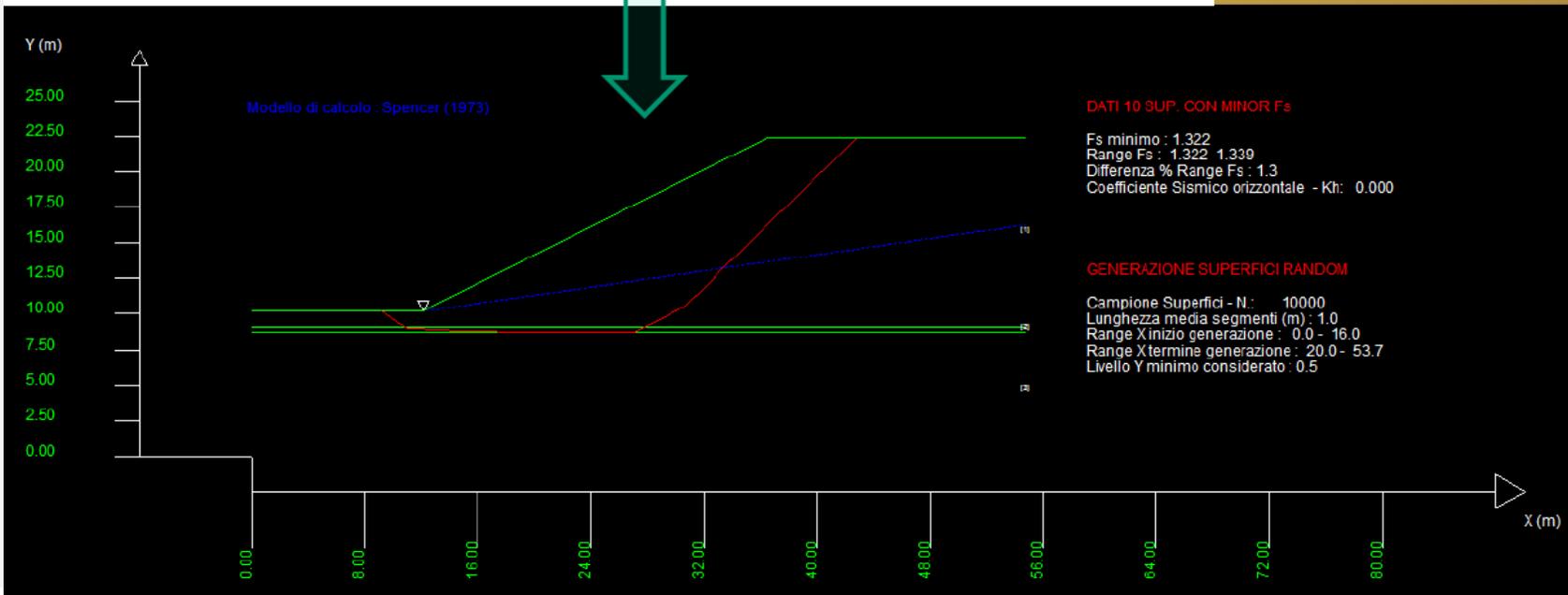
Date le condizioni descritte, gli algoritmi necessari sono ovviamente complessi



# COMPLESSITA' DEGLI ALGORITMI



Risultato  
SNIFF search  
2.0  
Implementato  
in SSAP



# COMPLESSITA' DEGLI ALGORITMI

**Table 2.** Comparison of Factors of Safety for Example 2 by Various Methods

Method of analysis	No water table	Pore pressure by $r_u (=0.250)$	Pore pressure by water table
Bishop's simplified method <sup>a</sup>	1.38	1.12	1.25
Spencer's method <sup>a</sup>	1.37	1.12	1.25
Morgenstern and Price's method with $f(x) = \text{constant}$ <sup>a</sup>	1.39	1.12	1.25
Variational stability analysis <sup>b</sup>	1.33	1.08	1.19
Spencer's method using random search method <sup>c</sup>	1.34	N/A	1.21
Lower-bound analysis <sup>d</sup>	1.25	1.07	1.10
Upper-bound analysis <sup>d</sup>	1.37	1.16	1.23

<sup>a</sup>Fredlund and Krahn (1977).

<sup>b</sup>Leshchinsky and Huang (1993).

<sup>c</sup>PCSTABL6.

<sup>d</sup>This study.

Da Kim et al. (2002)

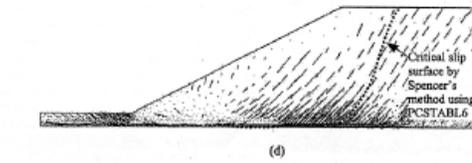
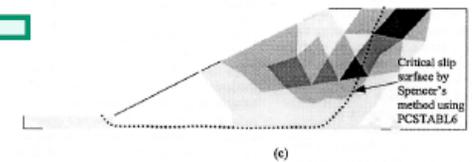
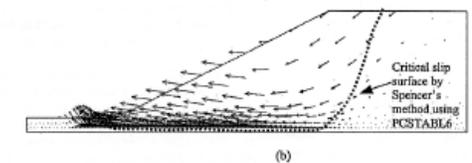
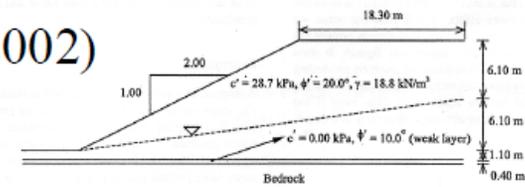
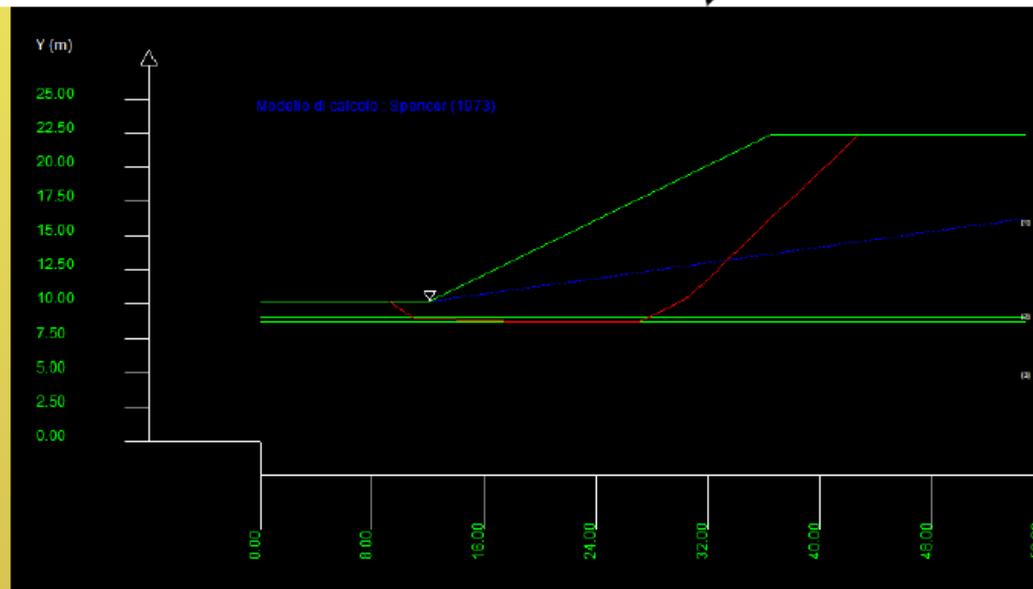
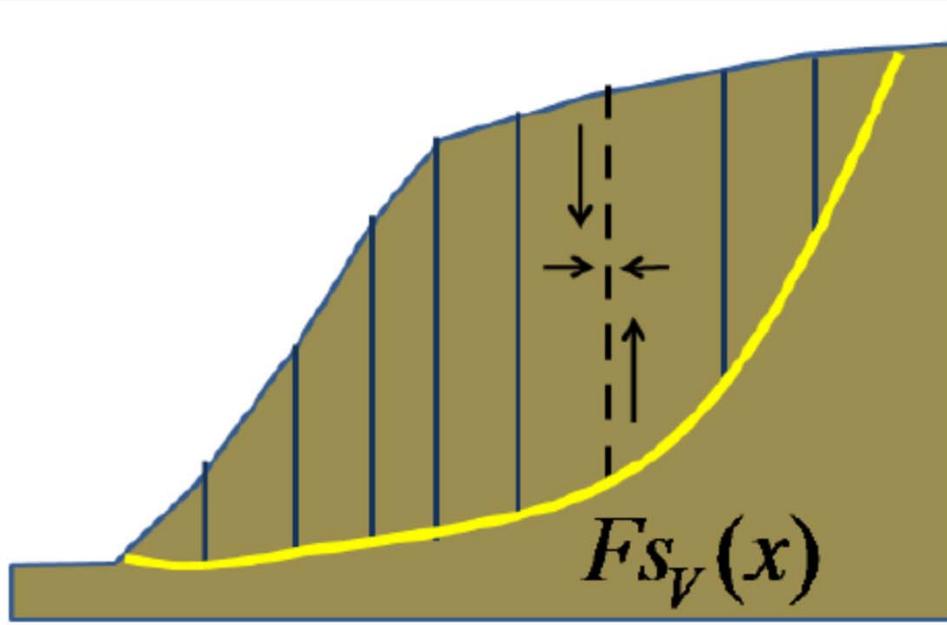


Fig. 7. Slope analyzed in example 2 [with pore-water pressure defined by water table; dotted line in (a)]; (a) slope geometry and soil profile (after Fredlund and Krahn 1977); (b) velocity field from upper-bound analysis; (c) plastic zone from upper-bound analysis; and (d) principal stress zone from lower-bound analysis.

## COMPLESSITA' DEGLI ALGORITMI



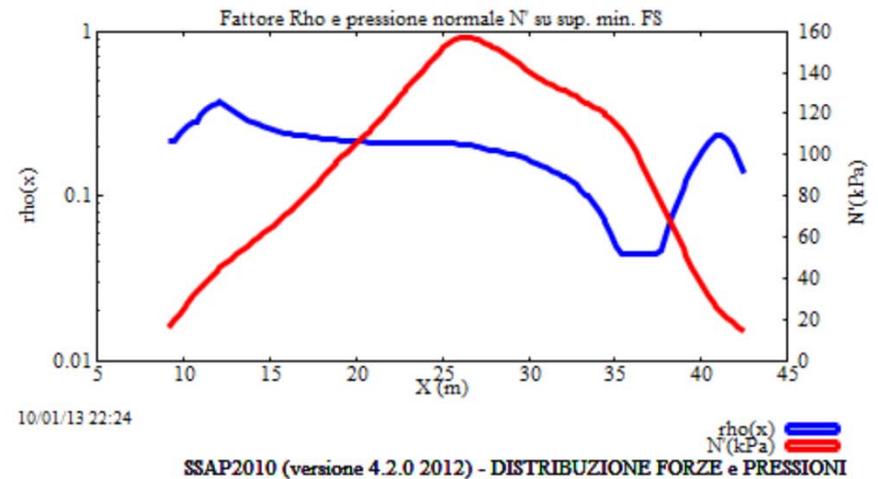
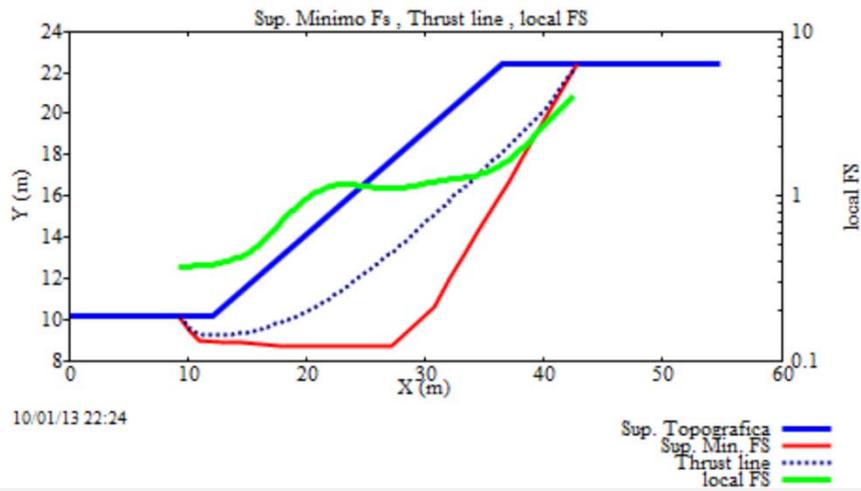
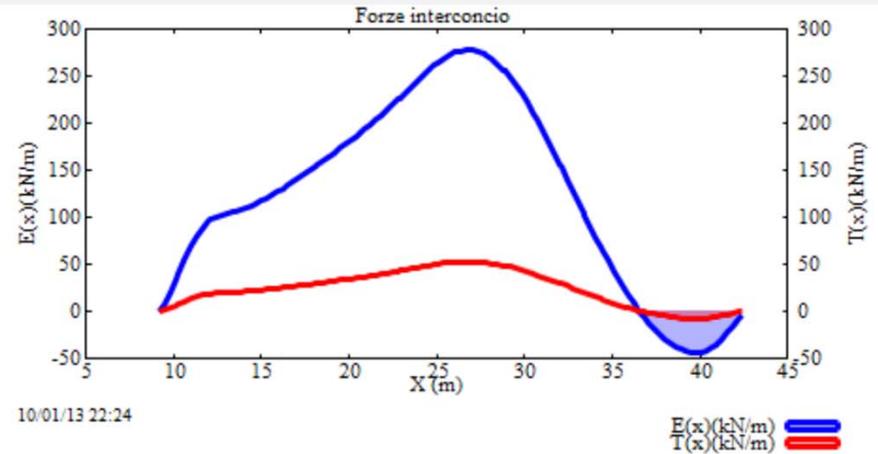
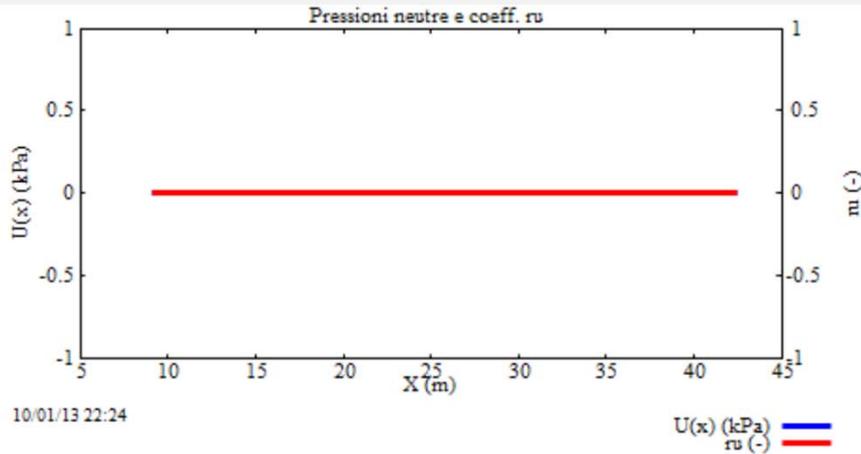
Filtri di post verifica:  
quando un risultato  
potrebbe essere non  
accettabile

Da bibliografia (Sarma ,1973;Sarma e Tan. 2006) affinché sia staticamente e cinematicamente accettabile il valore di **FS** calcolato, è necessario che all'interno della massa potenzialmente scivolante sia sempre verificato:



$$Fs_v(x) = \frac{\bar{c}' H(x) + [E(x) - U_v(x)] \tan \bar{\phi}'}{T(x)} > 1.0$$

# COMPLESSITA' DEGLI ALGORITMI



Analisi della distribuzione interna delle forze, delle pressioni e parametro di filtro post verifica in SSAP: esempio di Kim et al. 2002

## COMPLESSITA' DELLE STRATEGIE DI VERIFICA

Fs del pendio – ovvero quello associato alla superficie con Fs minimo in assoluto:

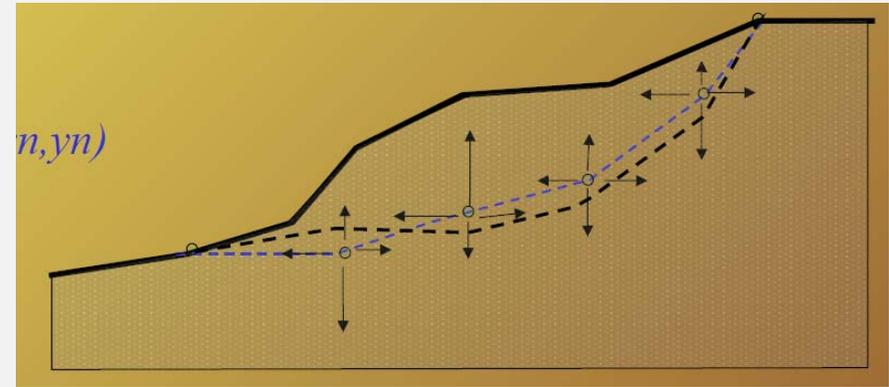
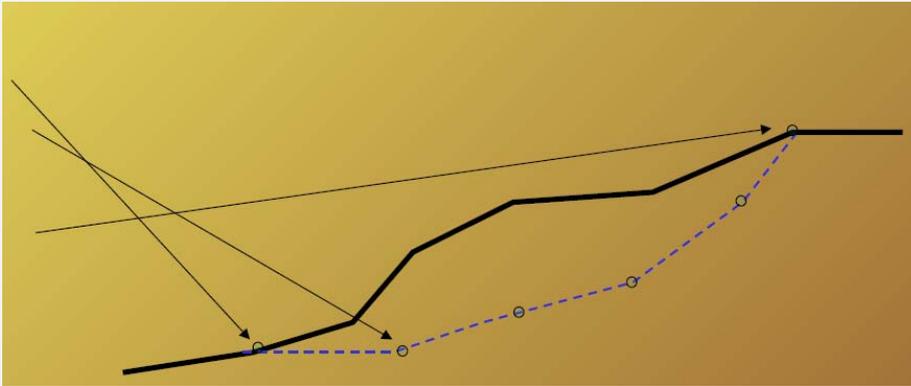
Dopo un test su un numero di superfici significativo o aver esplorato adeguatamente un campo vasto di possibili superfici, l'Fs del pendio è quello della superficie con minor Fs tra quelle calcolate.

Abbiamo bisogno di una strategia di ricerca per trovare la superficie con Fattore di sicurezza MINIMO

Si utilizzano allora dei Motori di ricerca e generazione delle superfici:

- **Griglia a passo fisso** (per sup. Circolari)
- **Minimizzazione multidimensionale della funzione che definisce Fs MIN**  
dove :  
 $Fs=f(x_1,y_1,\dots,x_i,y_i, \dots ,x_n,y_n)$  (per sup. Generiche)
- Random (monte carlo) (circolari e generiche)
- Misti

# COMPLESSITA' DELLE STRATEGIE DI VERIFICA



## Superfici generiche – metodi di minimizzazione FS

### Obiettivo:

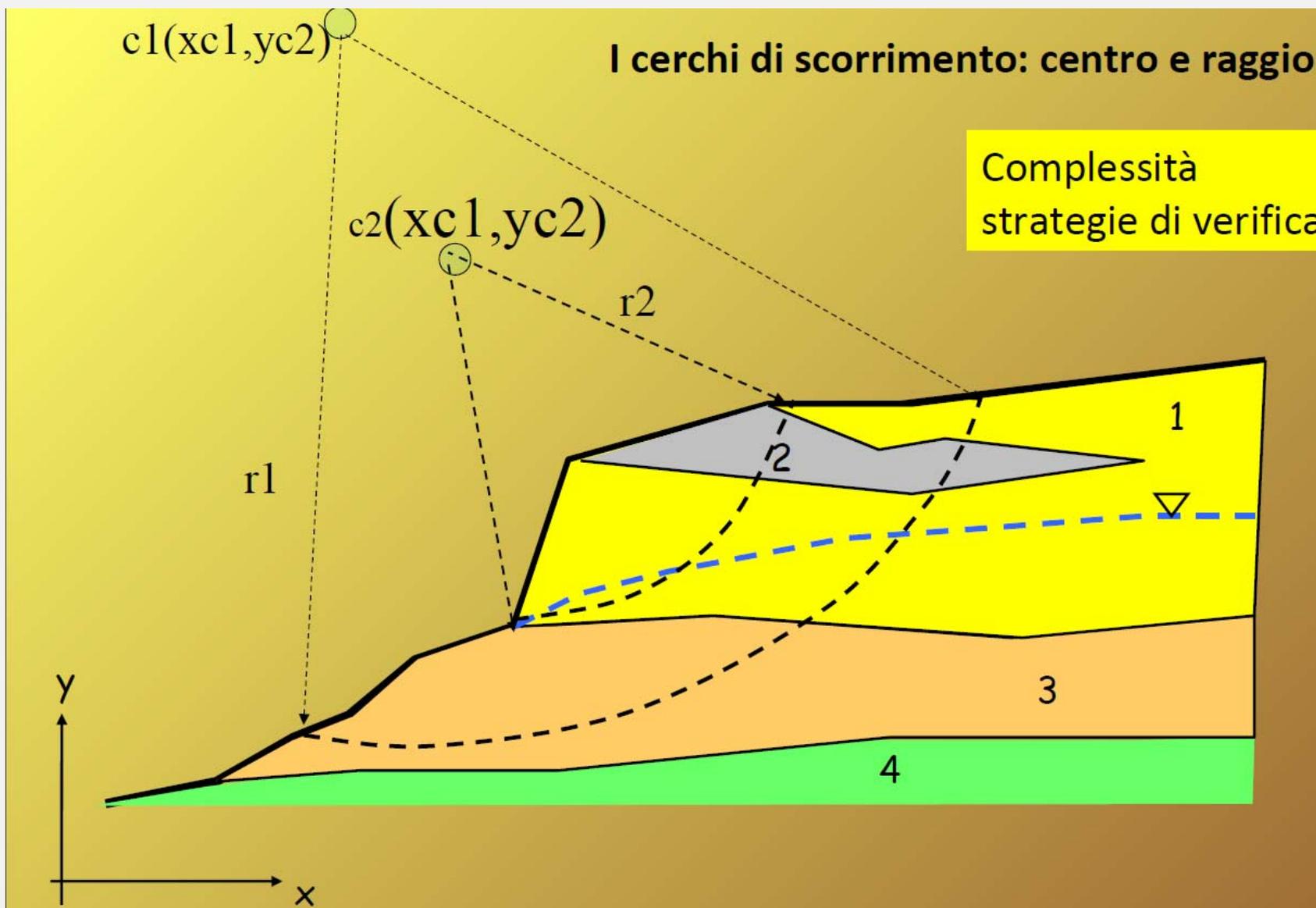
Determinare il vettore che definisce le coordinate dei nodi che definiscono la superficie alla quale compete il minor FS possibile.

Uso di un algoritmo che fa variare automaticamente i nodi e calcola l'Fs per ogni superficie.

### Problemi:

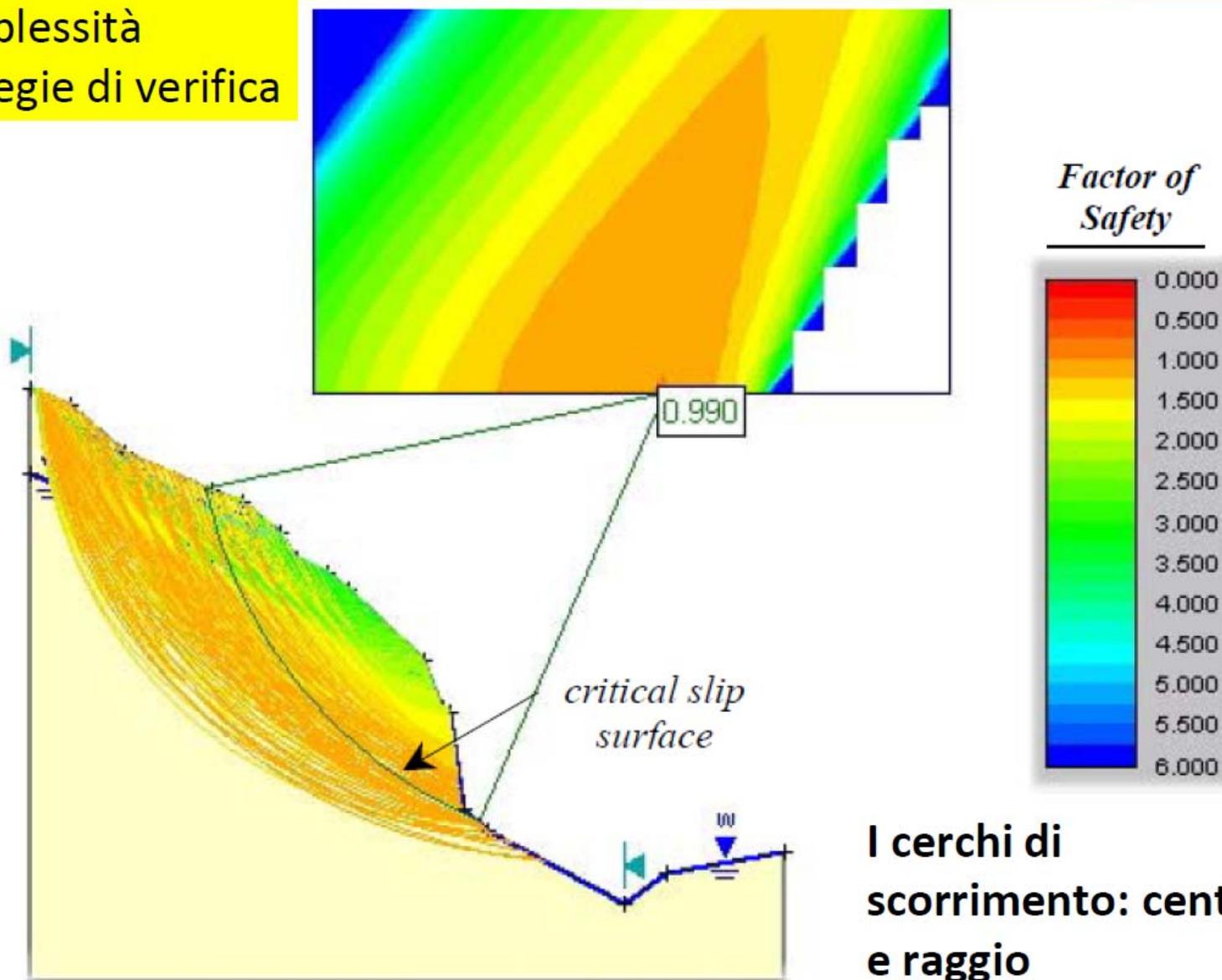
- Esistono infinite varianti o possibili superfici
- Deve essere prefissato in numero  $n$  di nodi
- Spesso devono essere fissate le coordinate del primo e dell'ultimo nodo
- Lo spazio di ricerca deve essere predefinito
- Numerose *constraints* durante la ricerca
- Complessità algoritmo di minimizzazione
- Problemi numerici e minimi locali

# COMPLESSITA' DELLE STRATEGIE DI VERIFICA

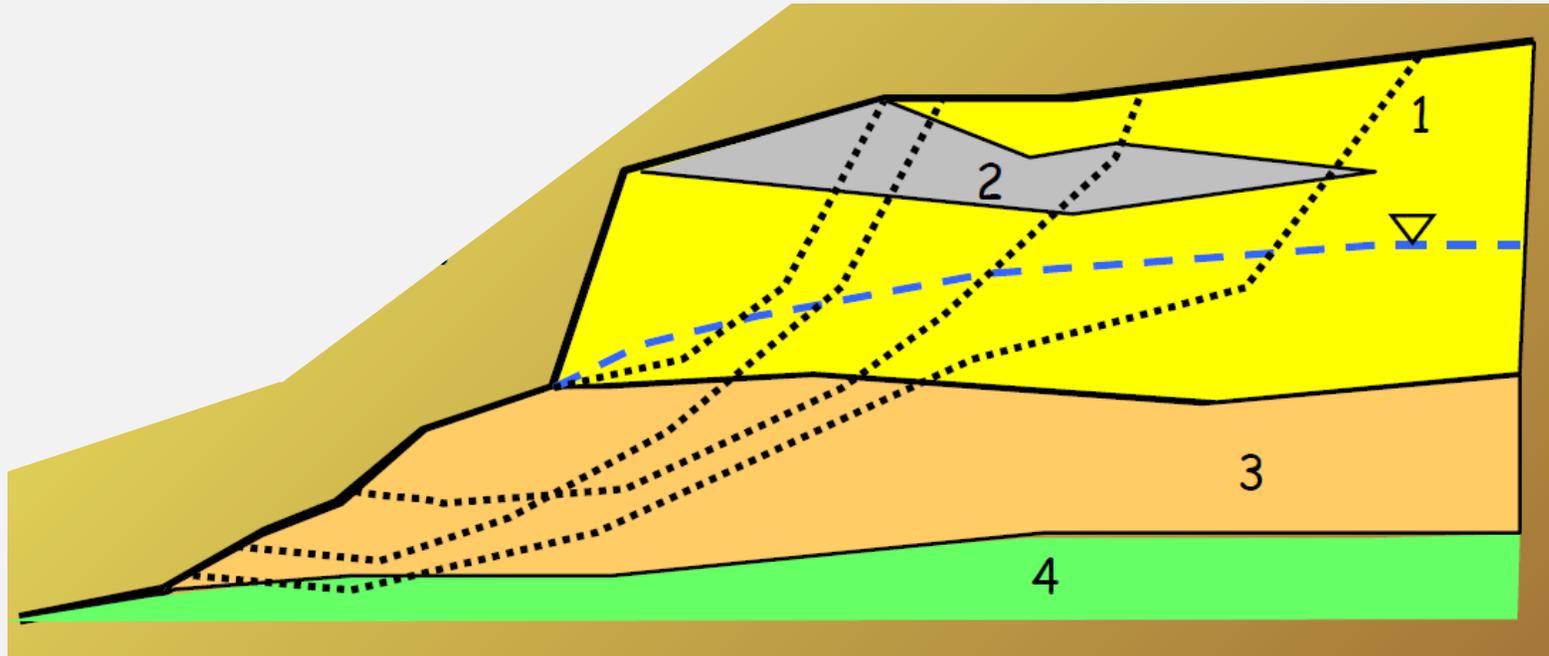


# COMPLESSITA' DELLE STRATEGIE DI VERIFICA

Complessità  
strategie di verifica



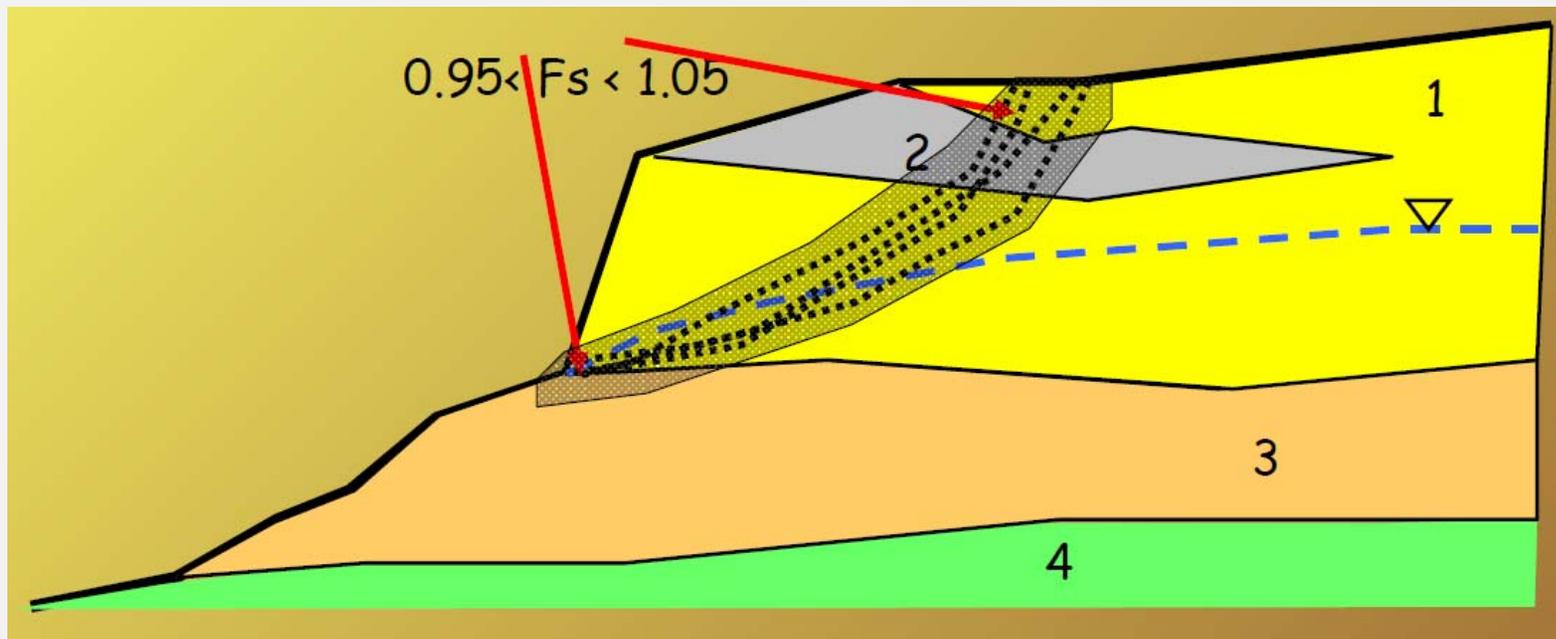
## COMPLESSITA' DELLE STRATEGIE DI VERIFICA



Quando viene fatta l'analisi, si devono identificare superfici di forma qualsiasi, come quelle reali.

Ma, qual è la superficie critica a cui associare il fattore di sicurezza minimo???

## COMPLESSITA' DELLE STRATEGIE DI VERIFICA



Secondo Siegel et al. (1980,81), attraverso l'utilizzo del metodo MONTECARLO, possono essere generate sequenze di numeri pseudocasuali (random) con una conseguente generazione di un campione finito di superfici statisticamente significativo.

Una volta identificata la superficie, per ciascuna superficie calcolo il  $F_s$ . Le superfici che hanno valore del fattore di sicurezza minore possono identificare delle zone critiche entro il pendio.

SSAP 4.8.4 (2017) - Slope Stability Analysis Program  
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu  
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.0 (2017)

Data : 3/4/2017  
 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	33.00	20.00	0	21.00	22.00	0	0	0	0
2	0	0	0	24.00	25.00	100.00	50.00	10.00	0
3	0	0	0	23.50	24.00	100.00	20.00	10.00	0.50
4	0	0	0	23.50	24.00	100.00	20.00	10.00	0.50

Y (m)

60.00  
54.00  
48.00  
42.00  
36.00  
30.00  
24.00  
18.00  
12.00  
6.00  
0.00

Modello di calcolo : Morgenstern - Price (1965)

DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 0.7292  
 Range Fs : 0.7292 0.7508  
 Differenza % Range Fs : 2.87  
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0000

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 10000  
 Lunghezza media segmenti (m) : 2.0  
 Range X inizio generazione : 10.0 - 55.0  
 Range X termine generazione : 15.0 - 59.0  
 Livello Y minimo considerato : 0.0

X (m)

0.00 8.00 16.00 24.00 32.00 40.00 48.00 56.00 64.00 72.00 80.00

