

Slope Stability Analysis Program

(Programma di calcolo per l'analisi della stabilità dei pendii)
SSAP2010 (4.3.1-2014)



<http://www.ssap.eu>

Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D
Universidad Autonoma de San Luis Potosi -UASLP
Instituto de Geología, Facultad de Ingeniería.
San Luis Potosi, MEXICO

lborselli@gmail.com

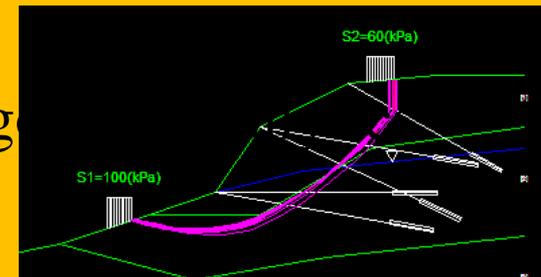
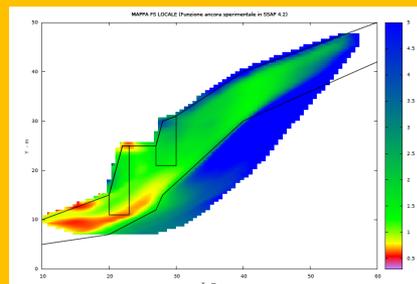
lorenzo.borselli@uaslp.mx

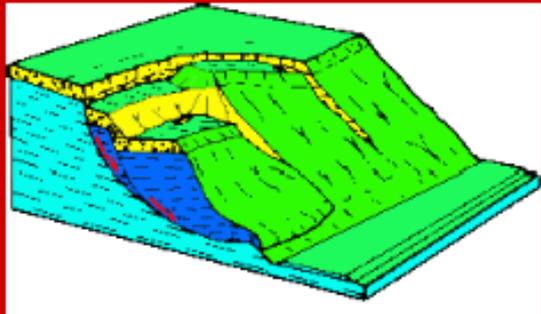
<http://www.lorenzo-borselli.it>

Politecnico di Bari,

Dipartimento ingegneria Civile, (Bari, Italy) – 21/01/2014

SSAP2010 (Slope Stability Analysis Program) – rel. 4.3.1 (2014)





SSAP2010
(rel. 4.3.1)

versione PORTABLE
(installabile su chiavi USB e
senza bisogno di configurazioni)

SSAP2010
SU
WWW.SSAP.EU

SSAP2010

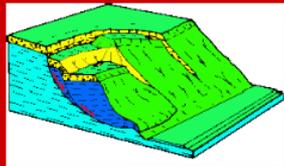
(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)

Versione 4.3.1 (2014)
(7 gennaio 2014)

Software Interamente Freeware

Completamente Gratuito e di utilizzo libero
per Privati, Ingegneri, Geologi, Studenti
e Pubbliche Amministrazioni (vedasi [licenza d'uso](#))

SSAP2010 su WWW.SSAP.EU



SSAP2010 (rel. 4.3.1)

versione **PORTABLE**
(installabile su chiavi USB e
senza bisogno di configurazioni)



[Caratteristiche generali](#)

[Manuale Tecnico \(PDF\)](#)
(DISPONIBILE LA NUOVA
VERSIONE AGGIORNATA,
rel. 4.2.2 ultima modifica :
3 Giugno 2013)

[AREA Download](#)

[Novità e Bug fixes](#)
[note su update a
versione 4.3.1 e
ultimo aggiornamento
del 07/01/2014]

[Procedure installazione](#)
(ultimo aggiornamento
del 02/06/2013)

SSAP2010

(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)

Versione 4.3.1 (2014)
(7 gennaio 2014)

Software Interamente Freeware

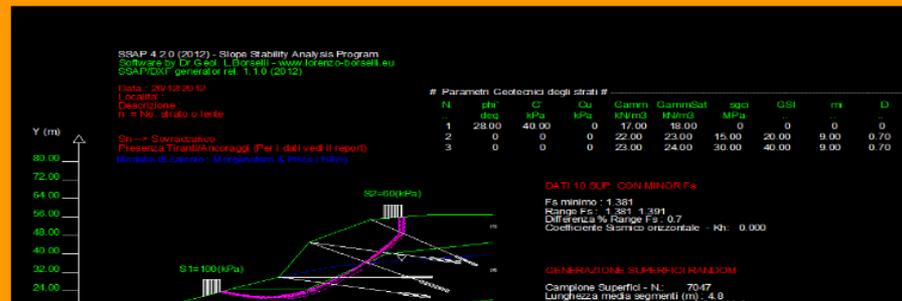
Completamente Gratuito e di utilizzo libero
per Privati, Ingegneri, Geologi, Studenti
e Pubbliche Amministrazioni (vedasi [licenza d'uso](#))



[Informazioni su Corsi SSAP](#)

(esclusivamente organizzati da enti senza fini di lucro)

NEW! 21 gennaio 2014, seminario presso Dipartimento di Ingegneria Civile, Politecnico di Bari
(vedi [pagina Corsi su SSAP](#))



Parte I - Complessità intrinseca delle procedure di verifica della stabilità dei pendii e tecniche di soluzione

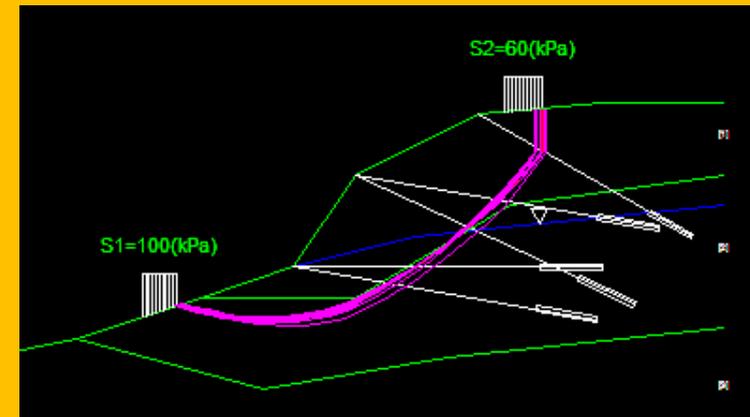
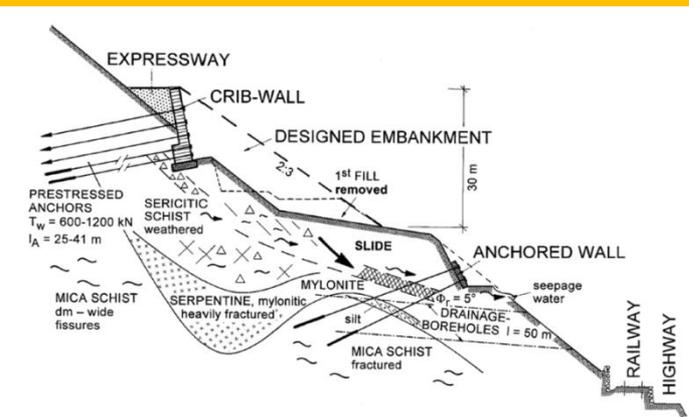
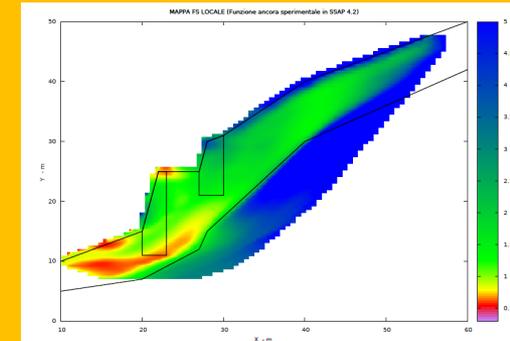
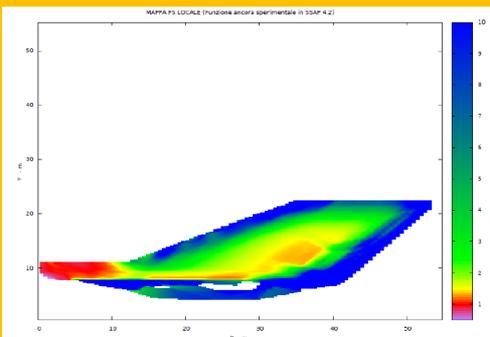
Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D
Universidad Autonoma de San Luis Potosi -UASLP

Instituto de Geología
Facultad de Ingeniería.
San Luis Potosi, MEXICO

lborselli@gmail.com

lorenzo.borselli@uaslp.mx

<http://www.lorenzo-borselli.eu>



Politecnico di Bari, Dipartimento ingegneria Civile, (Bari, Italy) – 21/01/2014

Borselli L.- SSAP2010 (Slope Stability Analysis Program) – rel. 4.3.1 (2014)

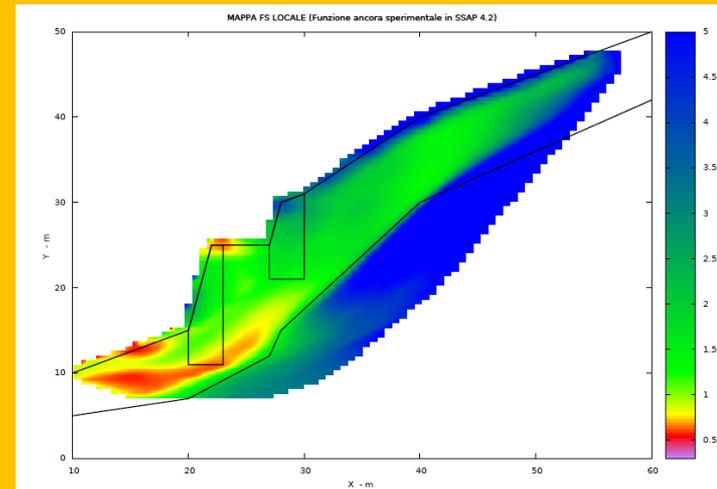
Verifica di stabilità dei pendii : cosa significa?

Una Possibile definizione:

Verifica del livello di potenziale instabilità di un pendio attraverso analisi delle forze interne e esterne, oppure dei campi sforzi-deformazioni, nei confronti di un potenziale collasso-deformazione permanente o formazione una di superficie di rottura, che interessi una porzione significativa del pendio stesso.

- **Importanza nelle valutazioni della pericolosità di fenomeni movimenti di massa, a livello territoriale.**

- **Importanza a scala locale per la verifica di stabilità di pendii naturali o pendii con opere di ingegneria.**



Evoluzione dei metodi di verifica di stabilità dei pendii

Metodo dell'equilibrio limite semplice (dal 1927 circa)

- Pendii omogenei superfici circolari
- Senza effetti strutture
- Carte di stabilità

Evoluzioni e raffinamenti del metodo (dalla fine anni 70 a oggi)

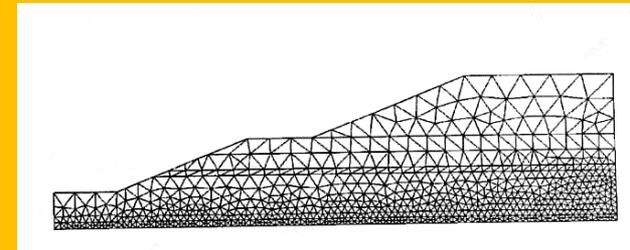
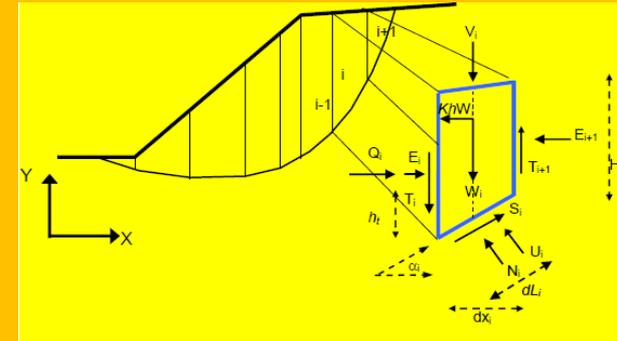
- Pendii non omogenei → superfici non circolari
- Con effetti strutture e sismici
- Automatizzazione dei calcoli con software specializzato

Modelli agli elementi finiti FEM (da anni 70 a oggi)

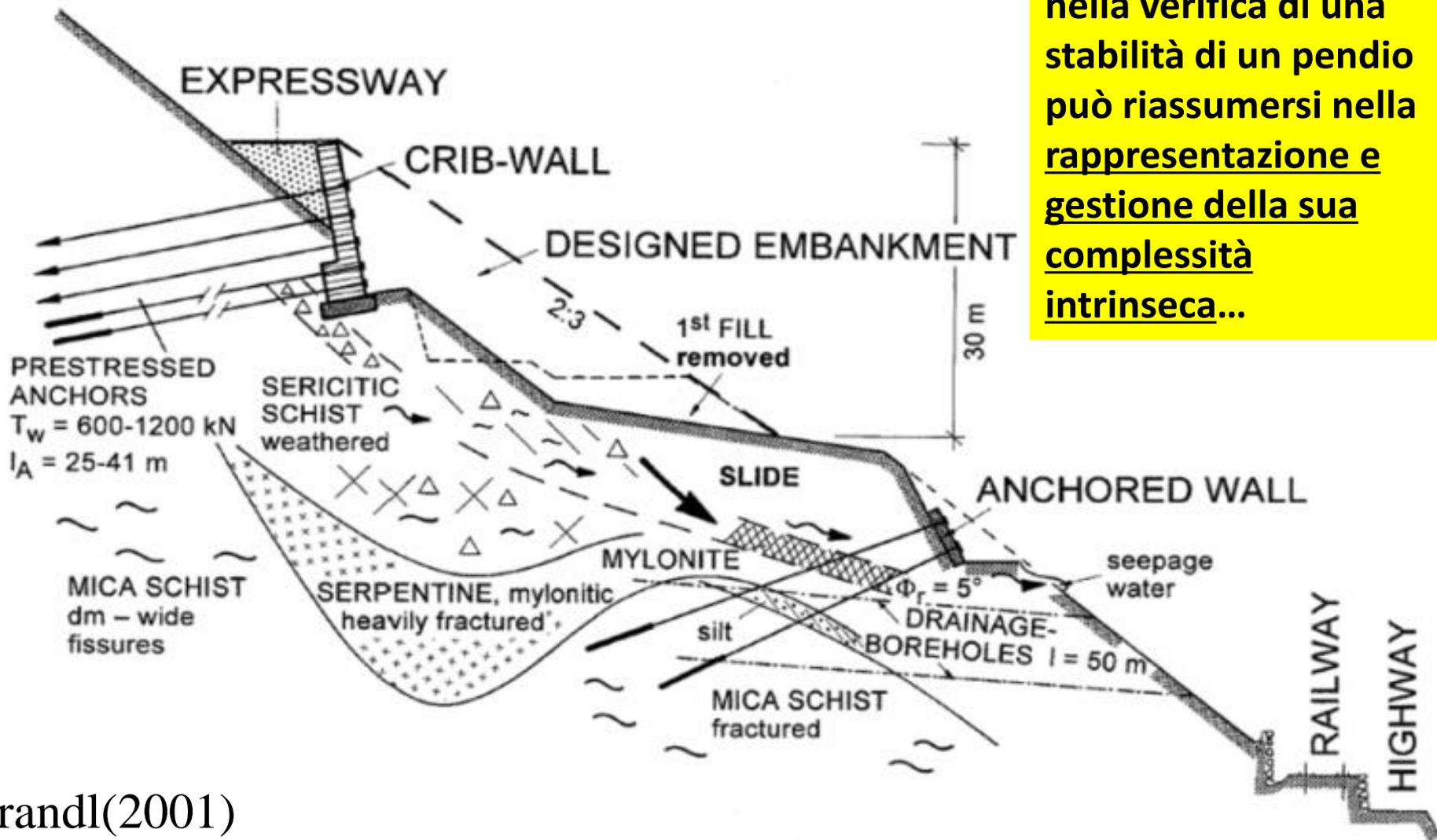
- Pendii omogenei - non omogenei con e senza strutture
- Software specializzato

Modelli applicati a pendii 3D (da metà anni 90 a oggi)

- Elevata complessità
- Promettenti ! Ma ancora non affermati nell'uso comune..



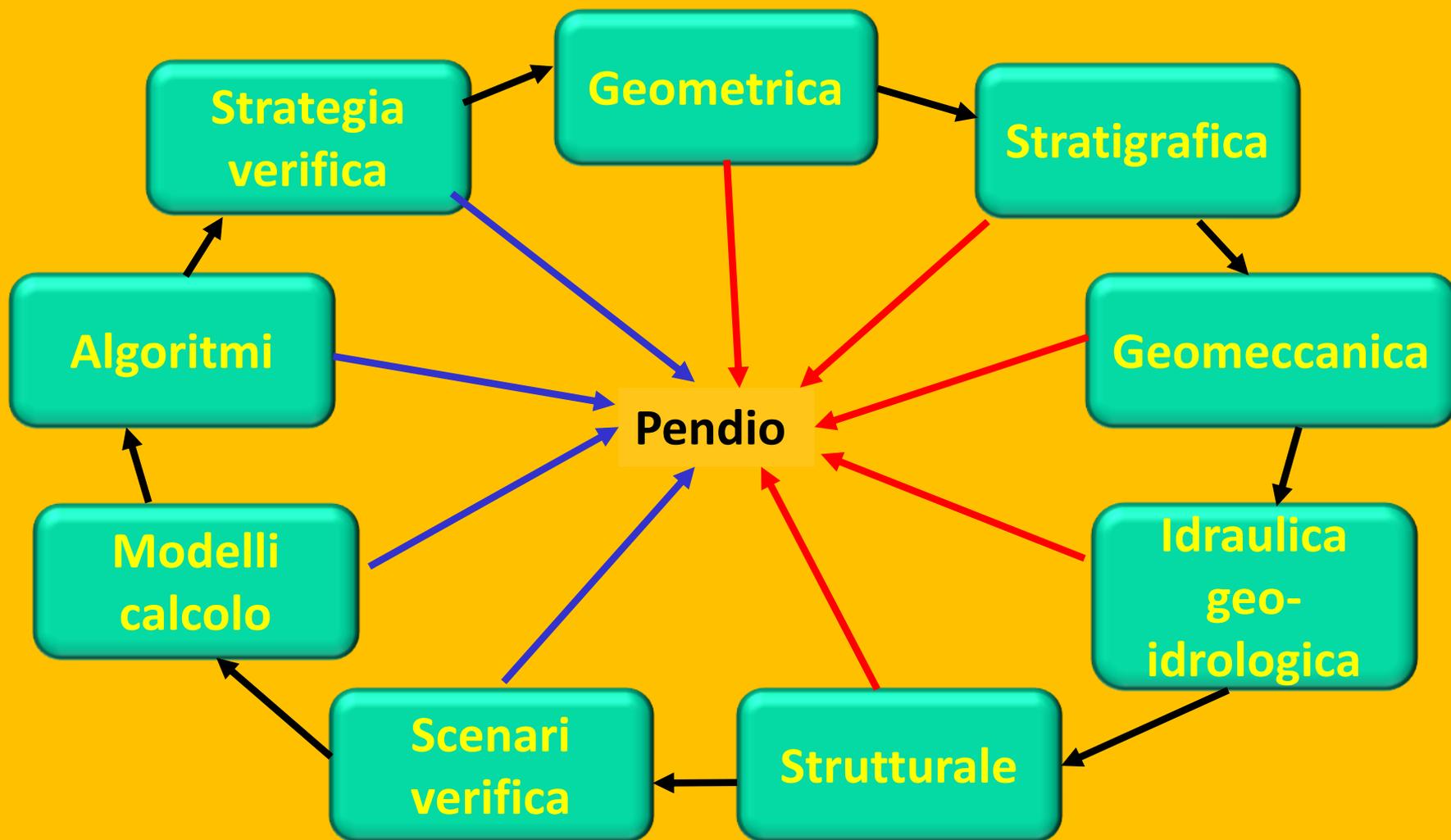
La maggiore difficoltà nella verifica di una stabilità di un pendio può riassumersi nella representazione e gestione della sua complessità intrinseca...



Brandl(2001)

Esempio di complessità geologica e geotecnica e strutturale

Complessità verifica stabilità: componenti e interazioni



Componenti della modellistica

Componenti del Modello pendio

Risorse e strumenti per rappresentazione e gestione della complessità:

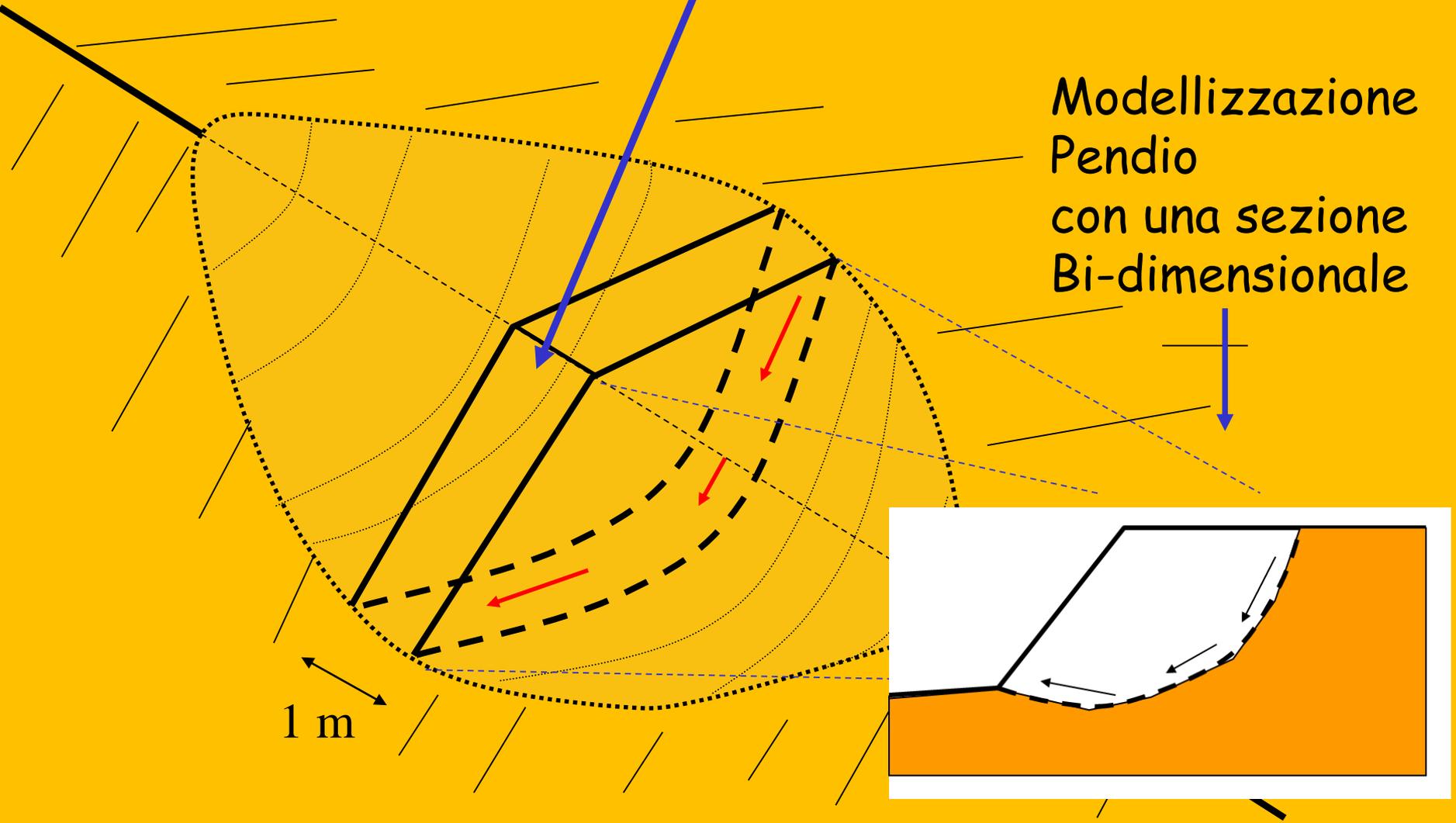
1. Rilievi topografici: sezioni dettagliate;
2. Indagini geologiche – geo idrologiche, geotecniche, geofisiche
3. Modelli geomeccanici: parametrizzazione, criterio di rottura
- 4. Modello del pendio:** definizione modello di pendio che ingloba i punti 1,2 3
- 5. Modelli di calcolo:** modelli e procedure di calcolo esistenti
- 6. Software di calcolo (es. SSAP):** una galassia di software da scegliere e usare con molta attenzione...
7. E per finire (o per cominciare) le risorse più importanti: **le conoscenze, la esperienza del geologo e/o ingegnere e.... l'uso prima di tutto del nostro cervello!**

Verifica di stabilità 3D→2D
LEM (limit equilibrium method)

Complessità geometrica

Verifica su striscia di
larghezza unitaria (1 m)
Rappresentativa di una massa
potenzialmente instabile

Modellizzazione
Pendio
con una sezione
Bi-dimensionale



Complessità geometrica

Verifica di stabilità 3D→2D

Verifica di diverse sezioni 2D

E calcolo di ciascun Fs.
Fs3D è ottenuto come media ponderata rispetto all'area delle differenti sezioni

(Lambe and Whitman, 1969; Chowdhury 2010)

$$F = \frac{F_1 A_1 + F_2 A_2 + F_3 A_3 + \dots}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots}$$

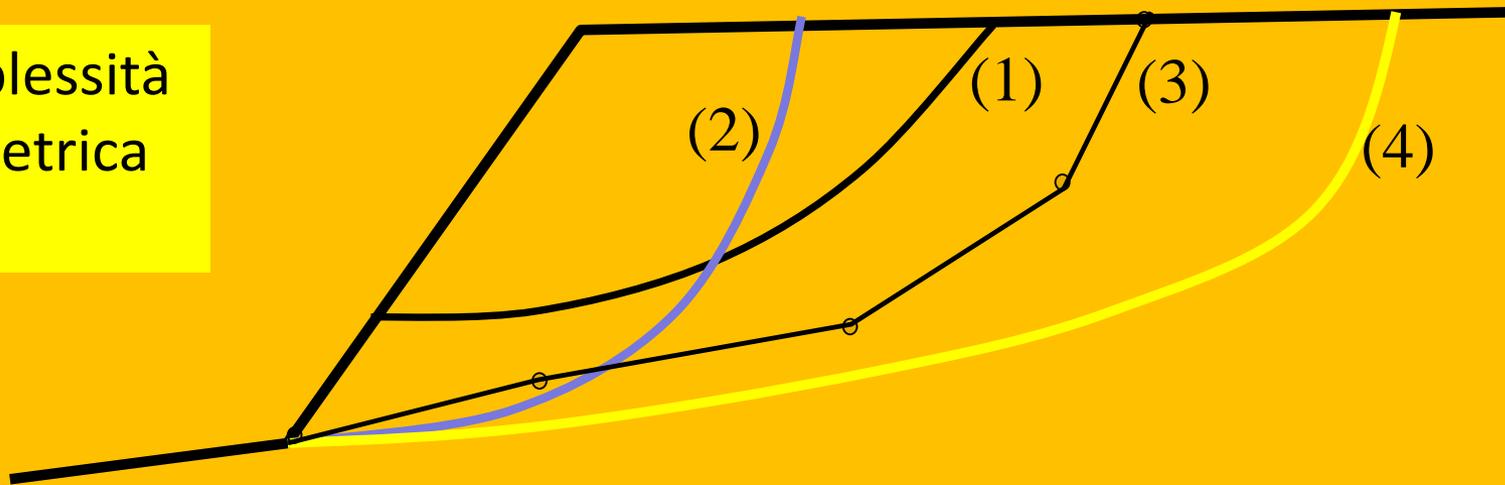
È il metodo più semplice e logico e che alla fine ha meno incertezze

Esistono comunque molti metodi completamente 3D...
che lavorano su superfici 3D



Fig. 2.2. Scivolamenti: a) di traslazione; b) di rotazione; c) composti

Complessità
geometrica



Tipi di superfici generabili nel piano della sezione del pendio:

- (1) **Circolari** : definite da eq. Circonfrenza (arco di cerchio: centro e raggio)
- (2) **Spirali logaritmiche**: eq. Spirale logaritmica
- (3) **Generiche**: serie di punti (nodi) collegati da tratti rettilinei (SSAP)
- (4) **Generiche smussate**: superficie smussata interpolante serie di punti (SSAP).

Complessità geometrica

Tipi di superfici generabili nel piano della sezione del pendio: alcuni tipi di superfici (es. circolari non sono in grado di seguire le discontinuità presenti che possono avere una determinate influenza sulla instabilità

Vari autori (ABRAMSON L.W. et al. (2002); DUNCAN J.M. (1996; SARMA S.K. (1979).; CHENG Y.M. (2003); JANBU N. (1973))indicano con assoluta chiarezza che il metodo dell'equilibrio limite deve essere applicato in una modalità differenziata in funzione del grado di omogeneità del pendio, presenza di discontinuità stratigrafiche o strutturali.

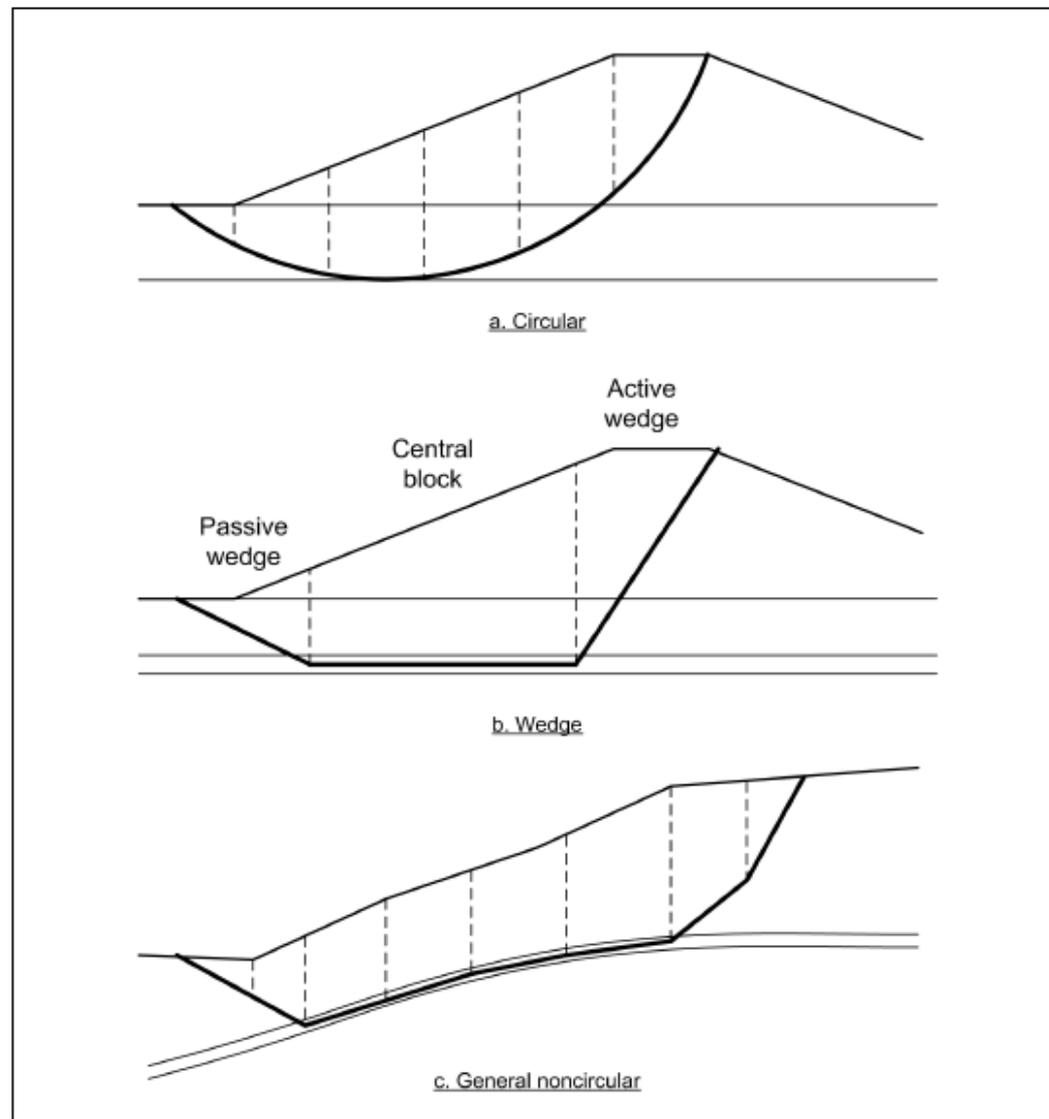
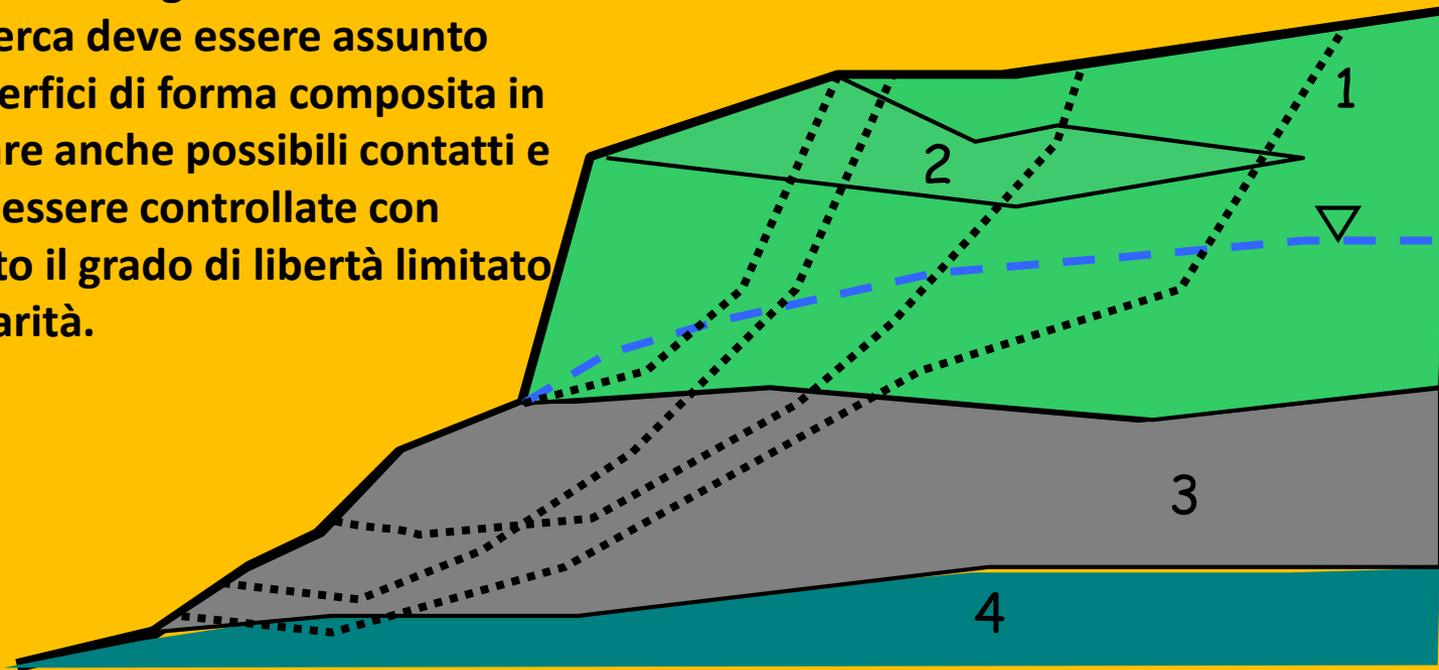


Figure C-3. Shapes for potential slip surfaces

Le superfici reali dei limiti di strato o discontinuità sono potenzialmente molto complesse.

Talvolta assumere anche superfici totalmente planari è una eccessiva semplificazione.

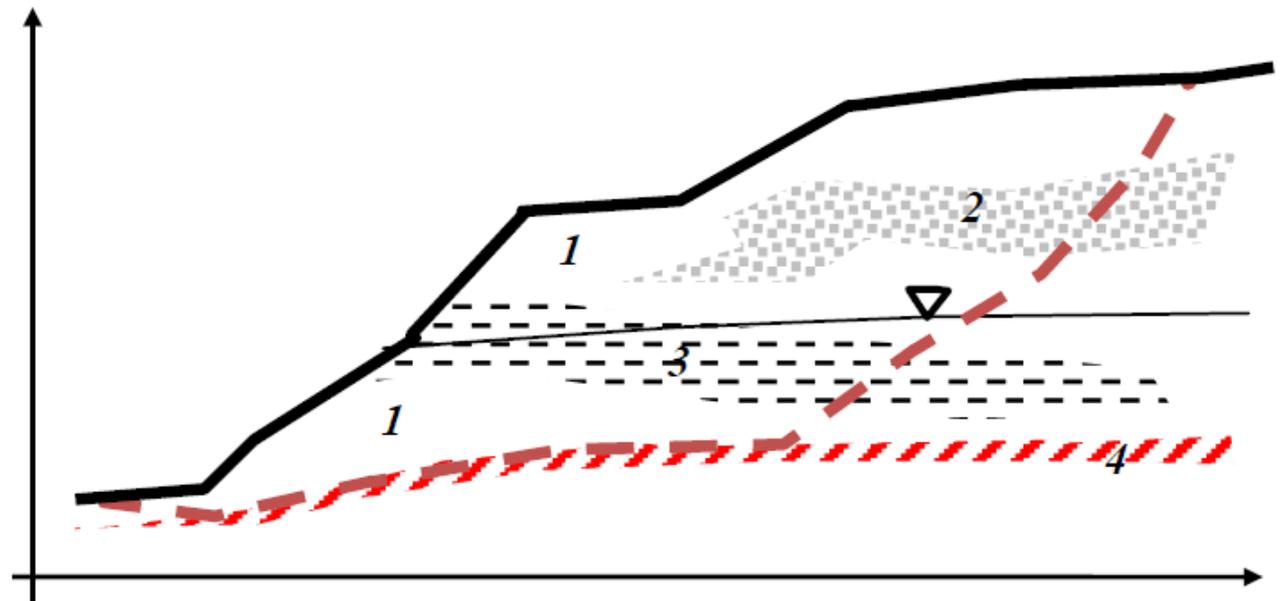
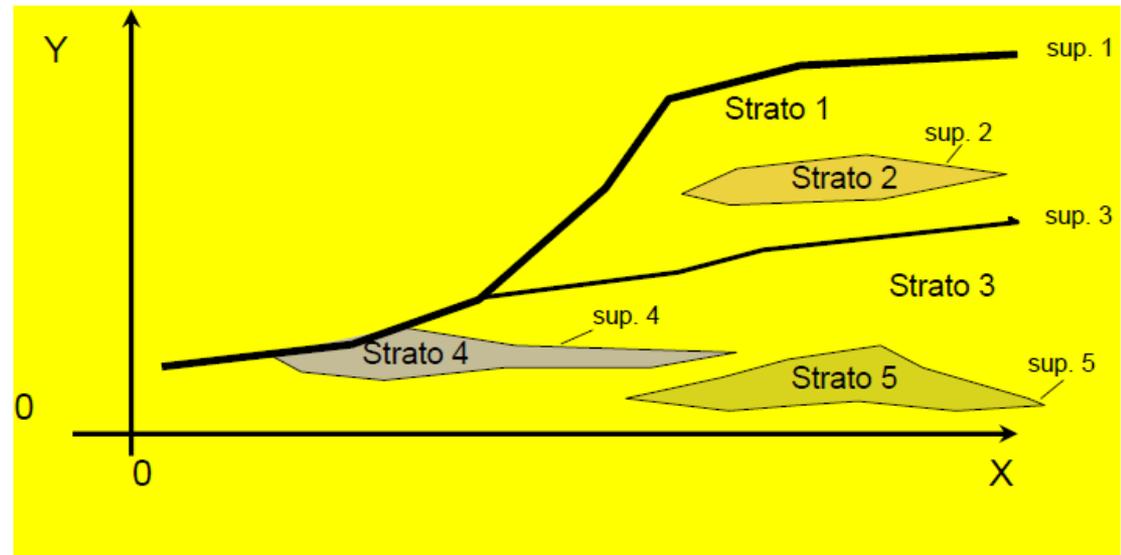
Nel caso di presenza di disomogeneità nella tecnica di verifica e ricerca deve essere assunto preferenzialmente superfici di forma composta in modo da poter verificare anche possibili contatti e zone che non possono essere controllate con forme più semplici, dato il grado di libertà limitato dal vincolo della circolarità.



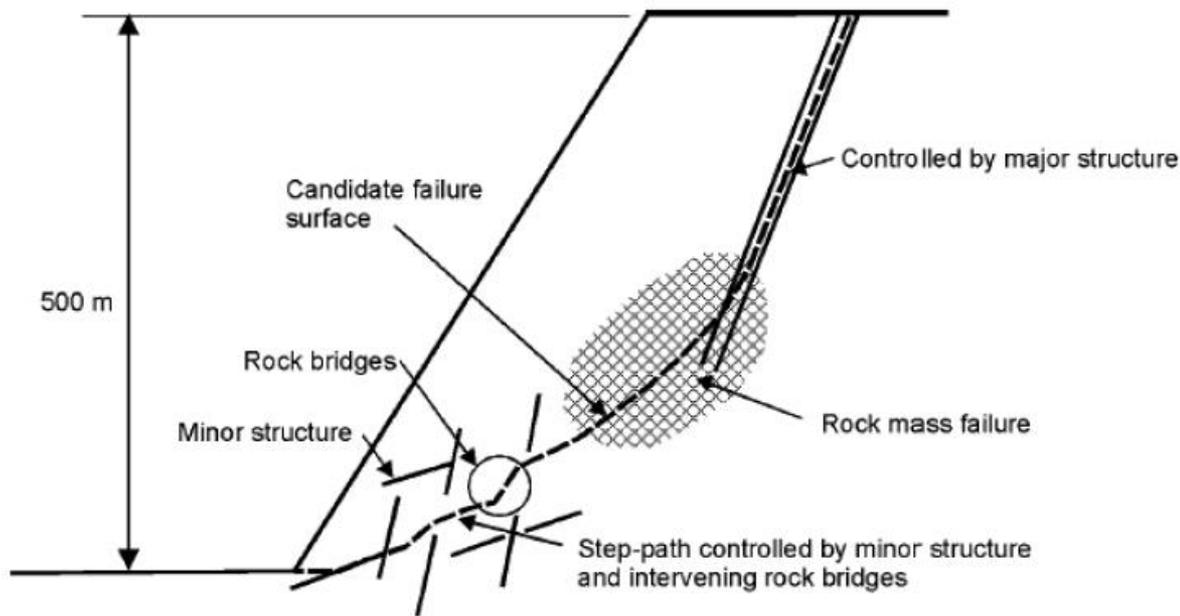
Complessità stratigrafica

Tutti i pendii sono generalmente disomogenei dal punto di vista stratigrafico.. Molto spesso anche quelli artificiali..

La modellistica LEM deve necessariamente tenere conto di questa realtà...

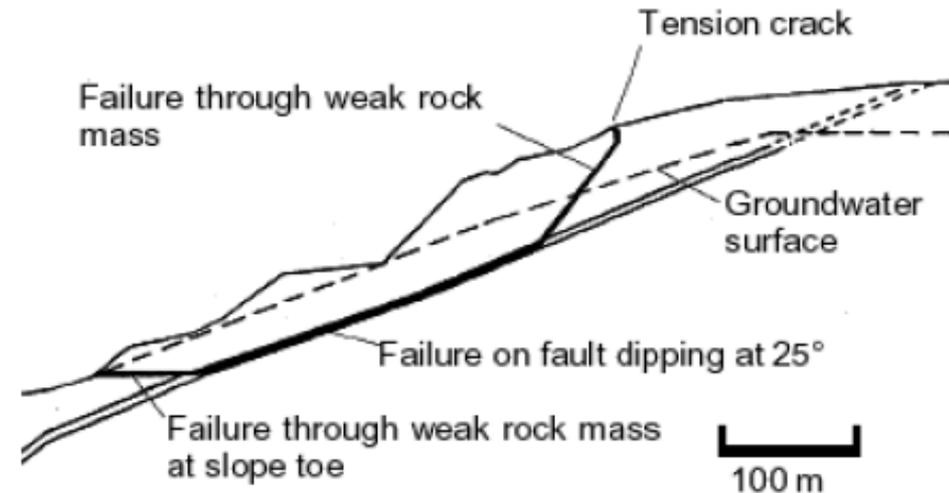


Complessità stratigrafica



Piccole Discontinuità strutturali o stratigrafiche Fanno la differenza talvolta tra un pendio stabile e uno instabile.

**La ricostruzione stratigrafica e strutturale
E l'analisi deve tenere conto il più possibile di queste caratteristiche, senza eccessive semplificazioni.**



Complessità geomeccanica

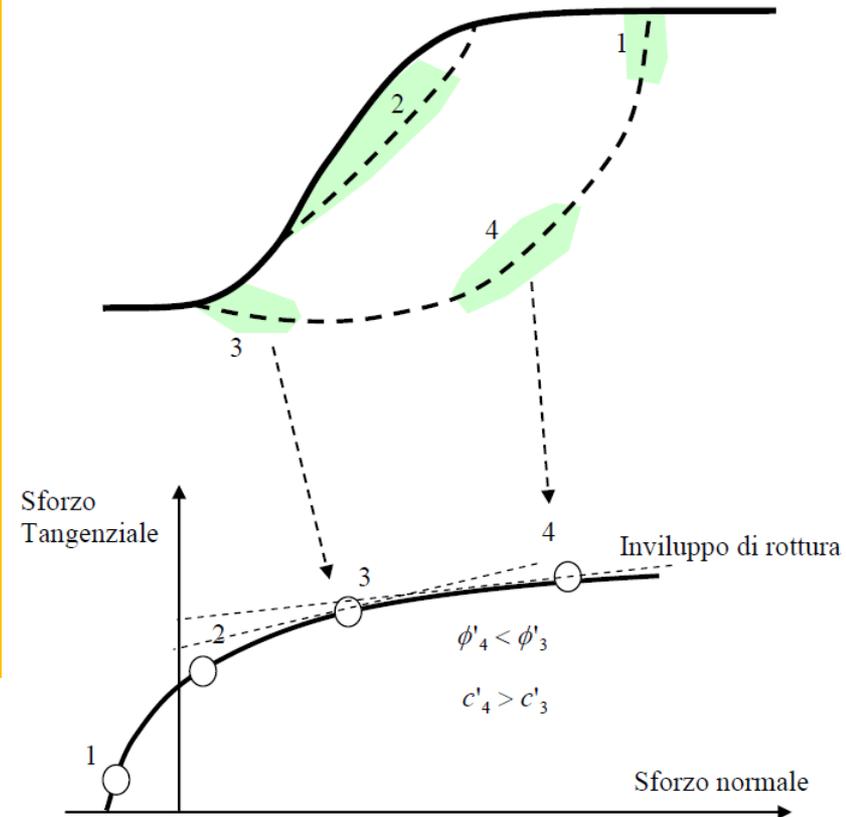
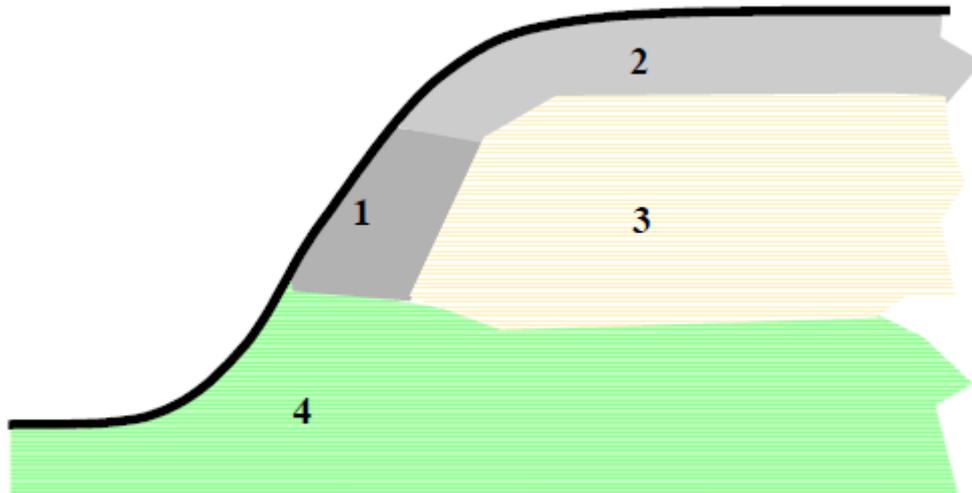
Criteri di rottura utilizzati:

Es: mohr-coulomb

Hoek et al. (2002)

Barton ...

Condizioni a breve e lungo termine
(dissipazione pressioni interstiziali:
cond drenate e non drenate)



Non linearità involucro
cond di rottura (piano tau-
sigmaN)

Complessità geo-idrologica e idraulica

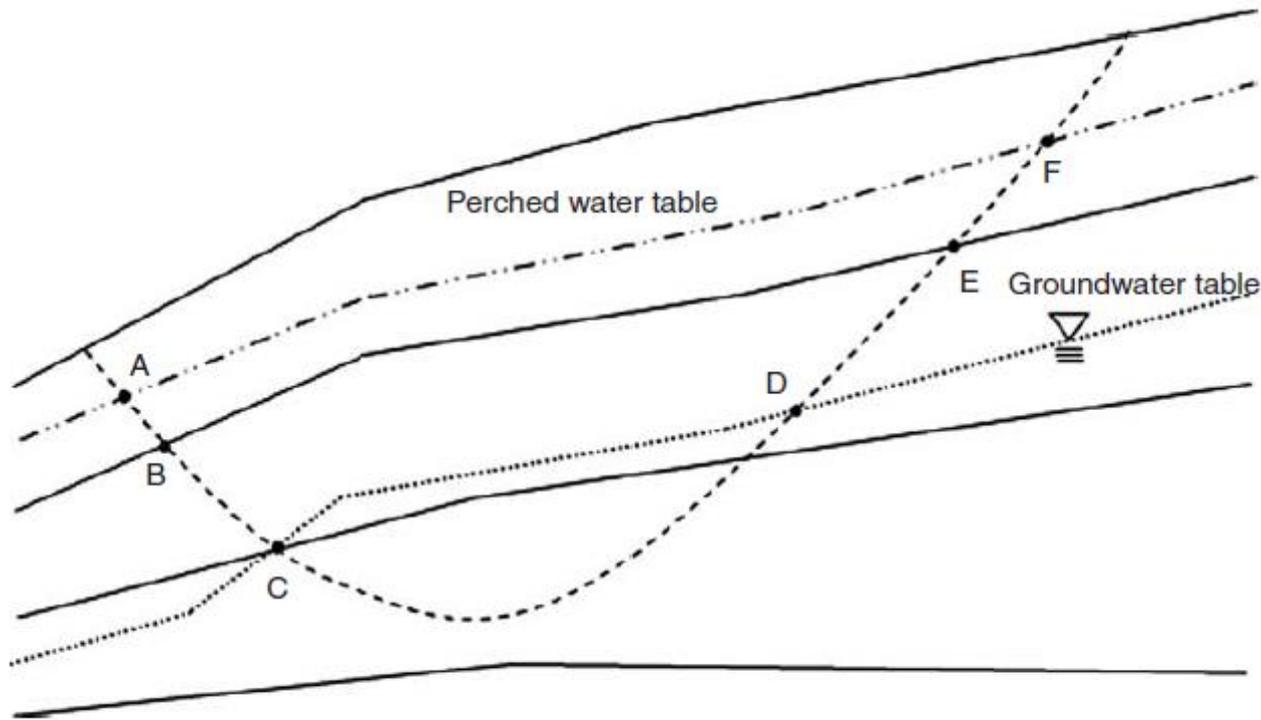
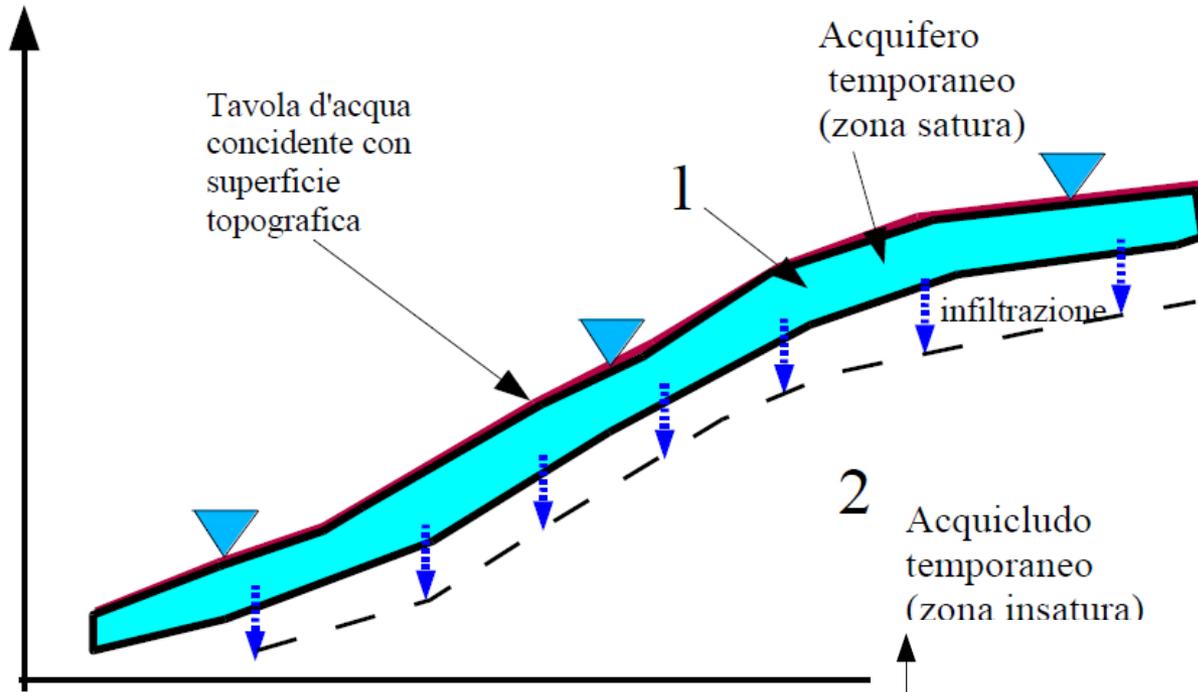


Figure 2.6 Perched water table in a slope.

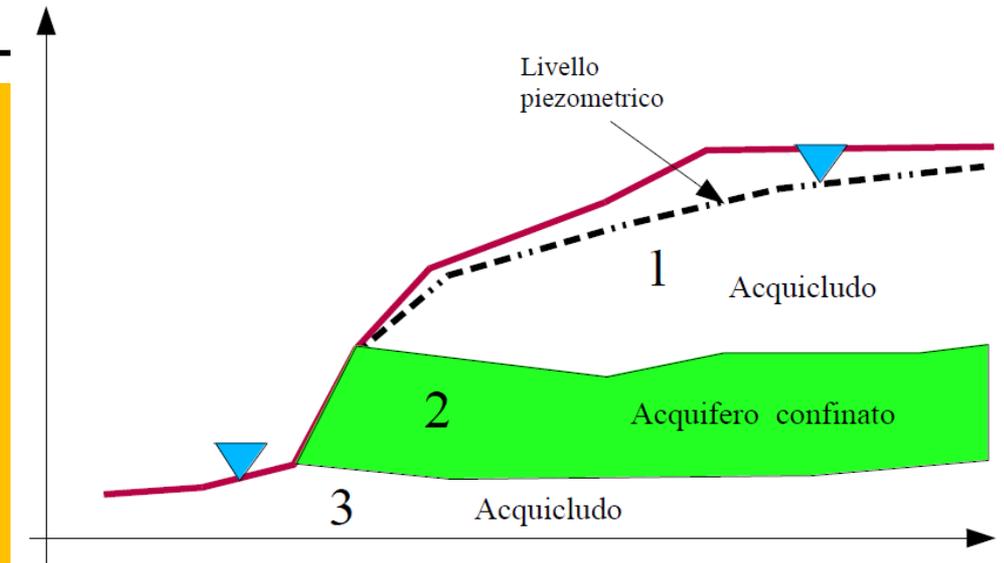
In un pendio possono sussistere porzioni sature e insature, acquiferi in pressione e sospesi, pendii sommersi.. etc.

Complessità geo-idrologica e idraulica



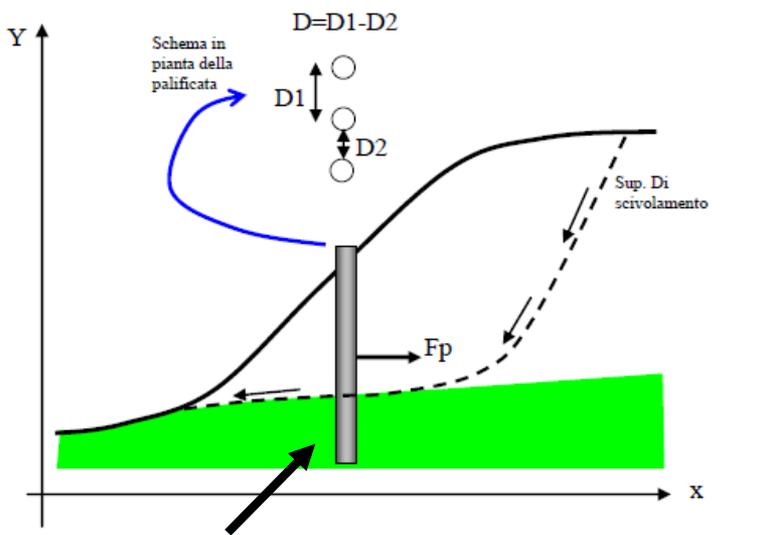
Zone superficiali temporaneamente sature

Acquifero confinato

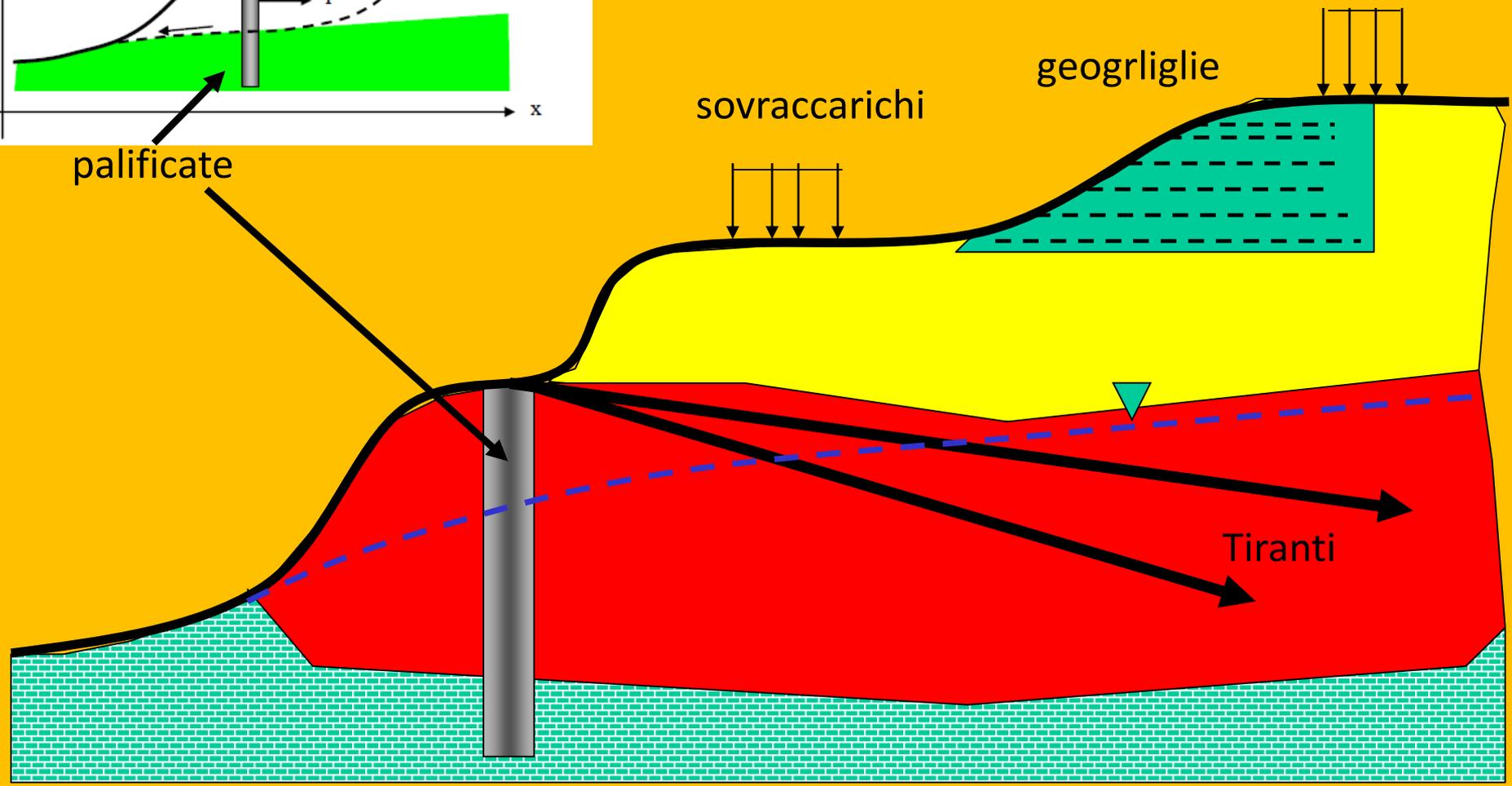


Complessità strutturale

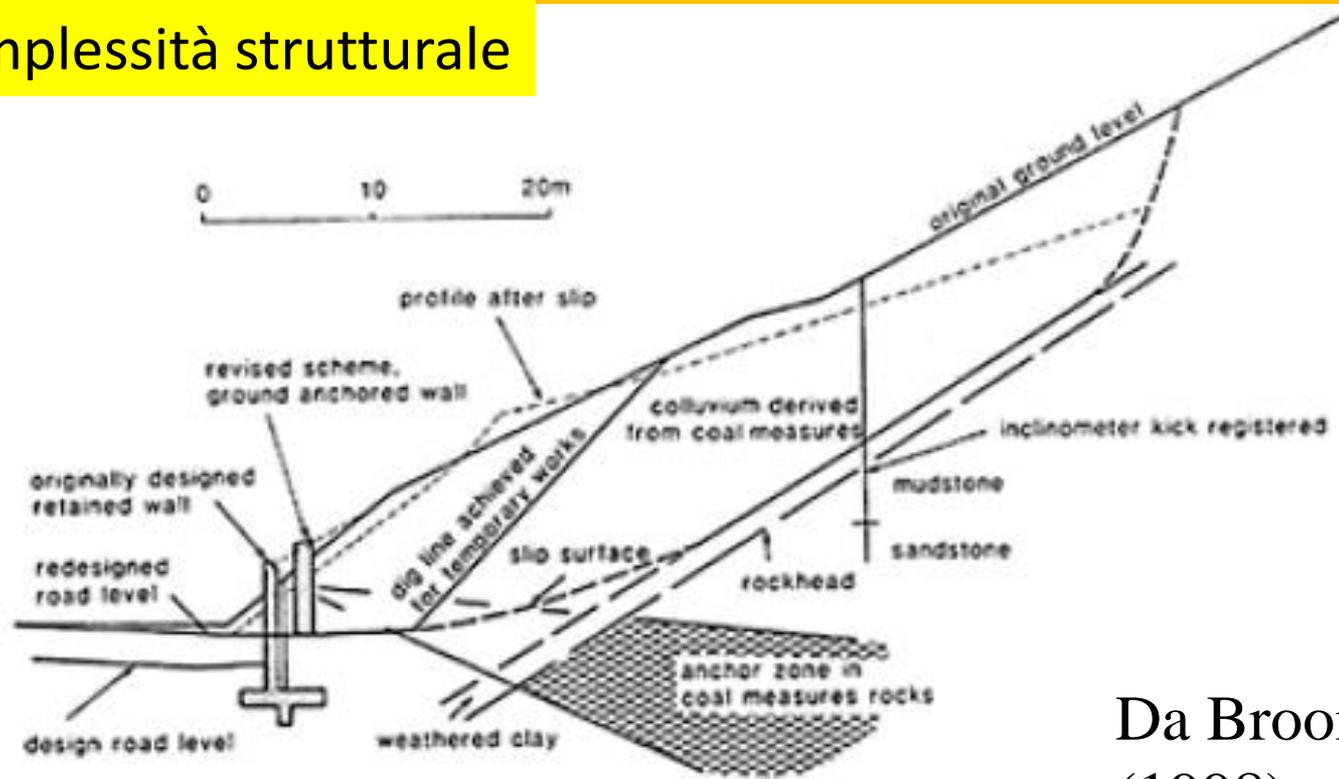
La presenza di strutture di sostegno influenza pesantemente la complessità del pendio... e i metodi di verifica



palificate



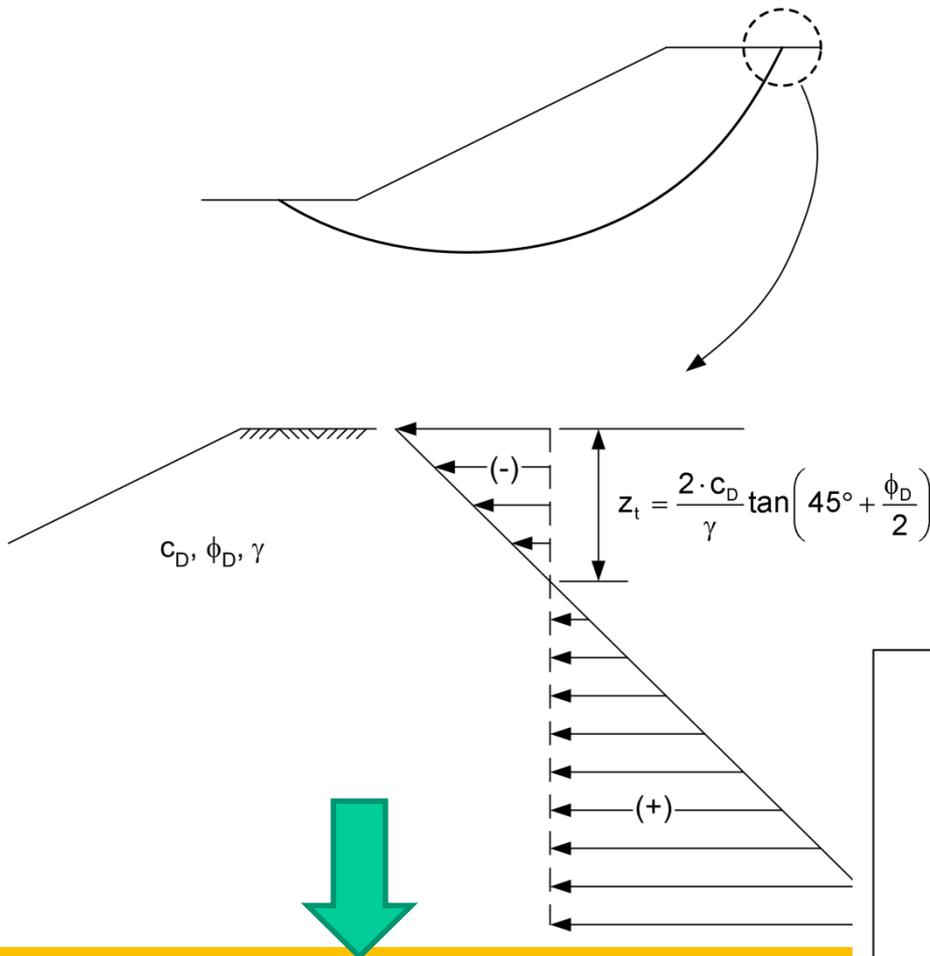
Complessità strutturale



Da Broomhead
(1998)

Figure 8.13 Ground anchored stabilization scheme on the Risca-Rogerstone bypass, South Wales. An early design demonstrating principle is shown. In the final design, anchors higher up the slope were used to counter potential overriding slips.

Condizioni particolari:
es.: Sisma.. inducono ulteriore complessità nel sistema da analizzare.
È quindi necessario analizzare un largo ventaglio di scenari possibili.



**Un esempio semplice è il caso
Di possibile sviluppo di fratture
di trazione in testa al pendio**

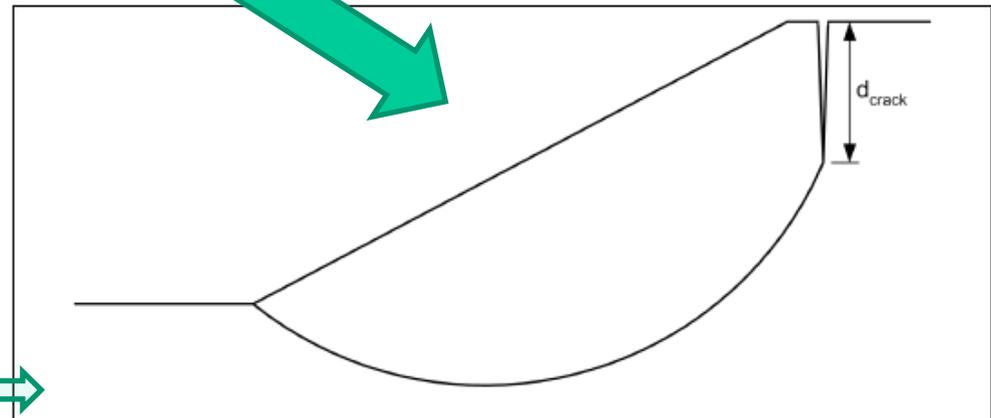


Figure C-22. Vertical crack introduced to eliminate tension near the crest of a slope

Data : 26/12/2012
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. 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	28.00	40.00	0	17.00	18.00	0	0	0	0
2	0	0	0	22.00	23.00	15.00	20.00	9.00	0.70
3	0	0	0	23.00	24.00	30.00	40.00	9.00	0.70

S_n -> Sovraccarico
 Presenza Tiranti/Ancoraggi (Per i dati vedi il report)
 Modello di calcolo : Morgenstern & Price (1965)

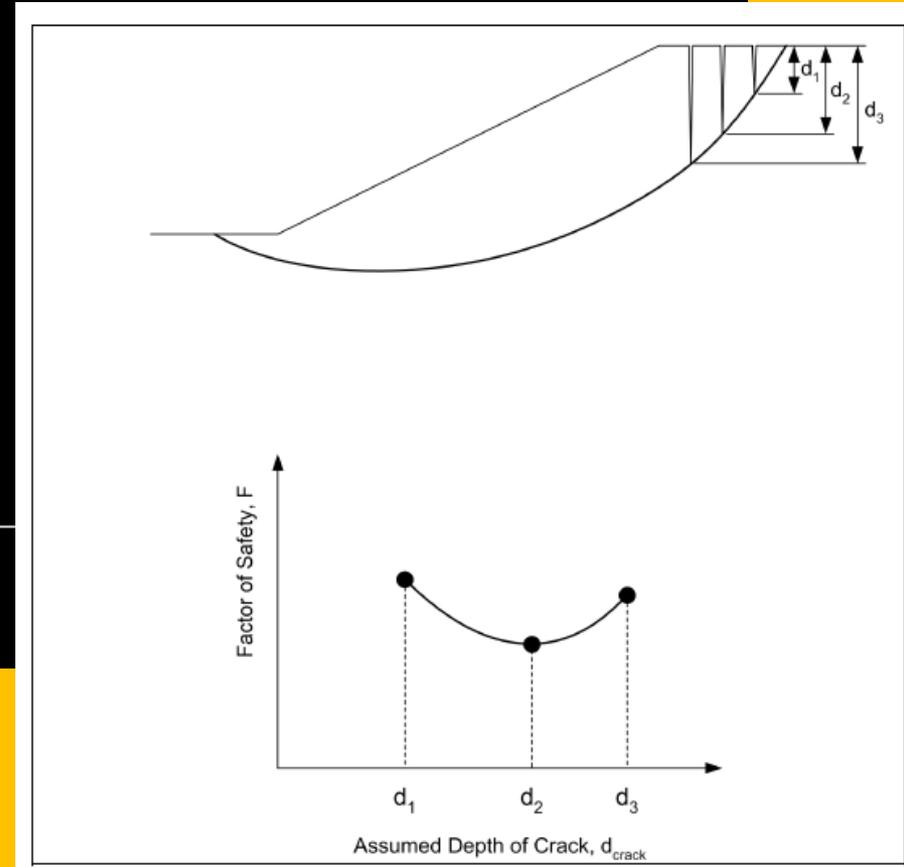
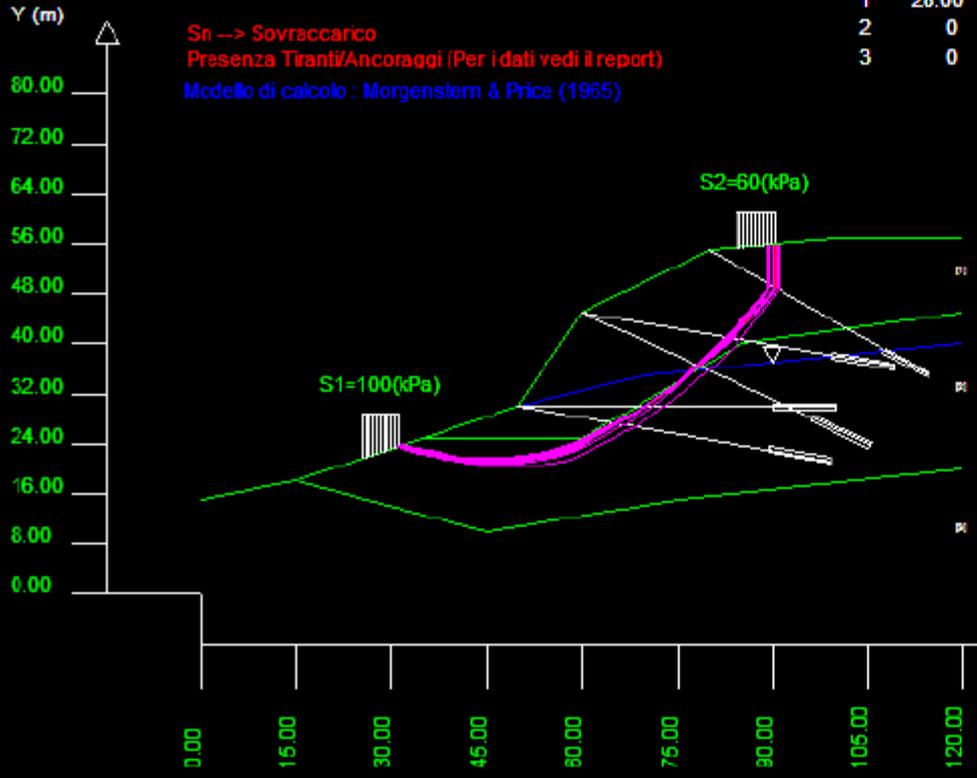


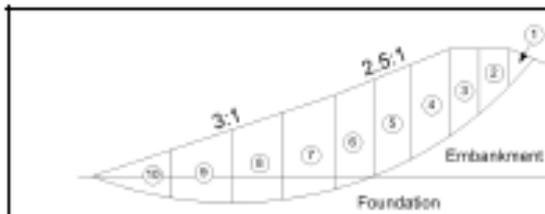
Figure 2-5. Variation in the factor of safety with the assumed depth of vertical crack

esempio Tension cracks in SSAP

Complessità modelli di calcolo

Metodo Bishop semplificato che è ancora possibile calcolare con un semplice foglio di calcolo

Metodo Janbu rigoroso Molto più complesso e difficilmente calcolabile senza metodi automatici



Material	Total Unit Weight, γ (pcf)	c (psf)	ϕ (degrees)
Embankment	135	1700	8
Foundation	127	1800	2

b. Material properties

Sliding Surface in	Slice	Horizontal Width (b) ft	Average Slice Height	Slice Area, sq. ft.	Weight, kips		Slope of Slip Surface (α) degrees	Base Length of Slice (Δl) ft.	$W \sin(\alpha)$	c, ksf	ϕ , degrees	$c/\Delta x + W \tan(\phi)$	m_u (Assumed $F = 1.33$)	$[c/\Delta x + W \tan(\phi)] + m_u$
					Embank./Found.	Total Weight								
Embankment	1	57	13	224	30	30	48	59.1	23	1.78	6	33	0.71	46
	2	44	36	797	108	108	43	44.1	73	1.78	6	49	0.78	62
	3	36	54	1170	158	158	37	36.1	95	1.78	6	62	0.84	62
	4	37	65	1857	251	251	31	37.7	128	1.78	6	73	0.89	81
	5	28	69	1782	241	241	24	29.5	99	1.78	6	67	0.94	72
Foundation	6	26	64	1781	241	241	18	28.5	80	1.80	2	54	0.96	56
	6'	5	129	16	16	16								
	7	29	52	1918	259	259	11	33.1	63	1.60	2	70	0.99	71
	7'	13	479	61	61	61								
	8	22	40	1428	193	193	4	26.8	18	1.60	2	67	1.00	67
	8'	18	842	82	82	82								
	9	22	26	1159	155	155	-5	29.9	-20	1.60	2	79	0.99	80
	9'	17	759	97	97	97								
	10	17	10	542	73	73	-15	25.8	-34	1.60	2	96	0.96	100
	10'	8	442	55	55	55								
Sum for all slices:									524					698

c. Computation table

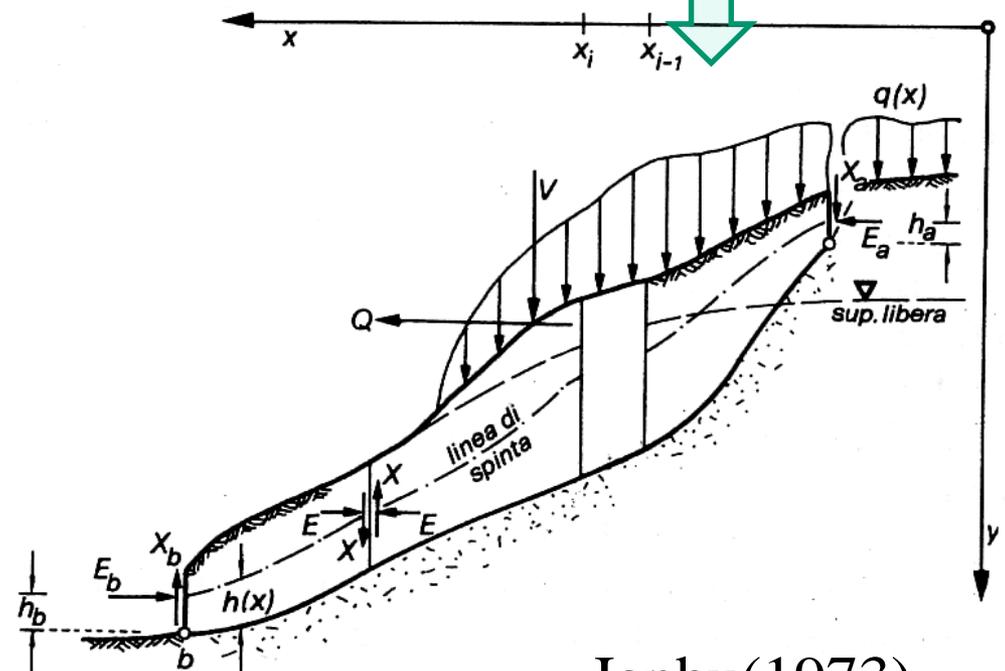
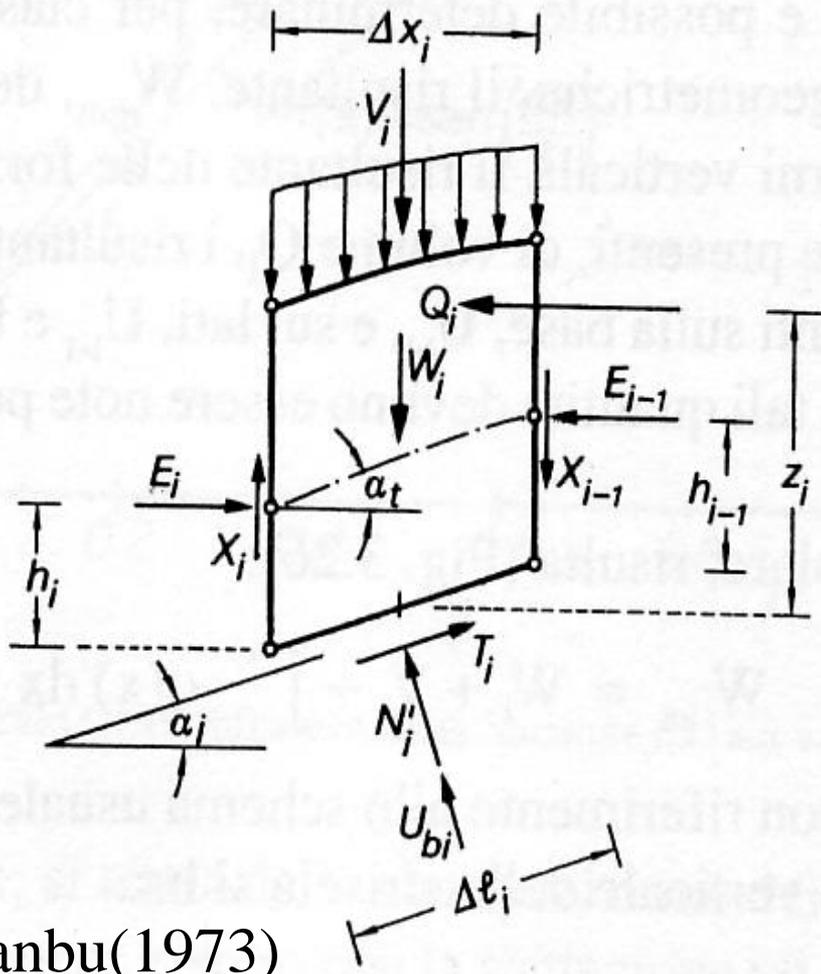


Figure F-11. End-of-construction example – Simplified Bishop Method

Complessità modelli di calcolo



Janbu(1973)

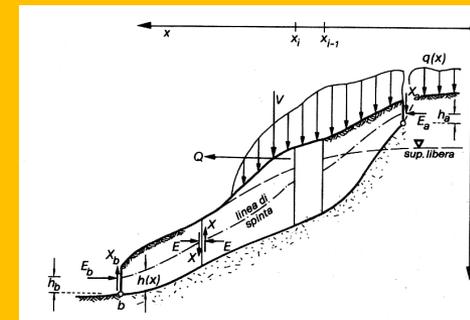
La maggior parte
dei metodi di calcolo rigorosi
Si differenziano
Per le assunzioni fatte
Per rendere il problema
staticamente determinato
Es: $T(x) = \lambda f(x) E(x)$

$h_i(x)$ = posizione linea di spinta

λ = costante (variabile tra 0 e 1.25)

$f(x)$ = funzione interconco variabile tra 0 e 1

$E(x)$ = forza interazione
orizz. (normale) Conci



Complessità 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	√	√	√

Dove opera SSAP

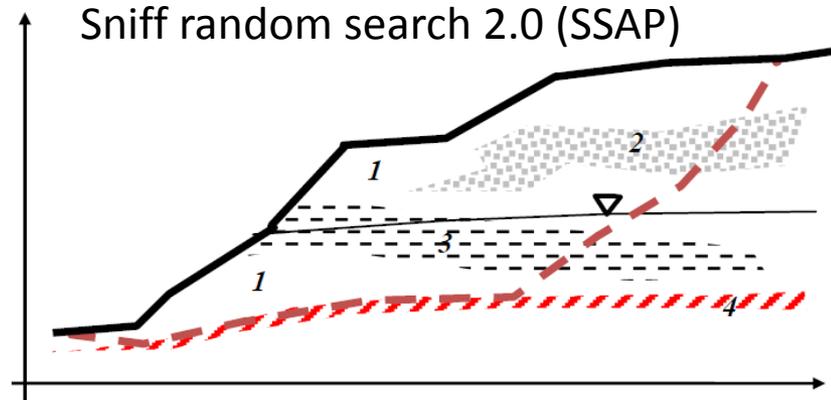
Table 3.8 Results for example 2 (Spencer method)

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	51,74
	30 slices	1.2689	77,096	75,31
	40 slices	1.3238	190,664	190,64
GA	20 slices	1.2819	28,808	28,80
	30 slices	1.2749	39,088	39,08
	40 slices	1.2855	115,266	115,20
PSO	20 slices	1.2659	42,000	33,01
	30 slices	1.2662	64,800	55,81
	40 slices	1.2600	94,400	94,40
SHM	20 slices	1.3414	29,942	29,76
	30 slices	1.2784	118,505	97,05
	40 slices	1.2521	123,581	106,21
MHM	20 slices	1.2813	34,668	34,64
	30 slices	1.2720	26,891	26,89
	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		

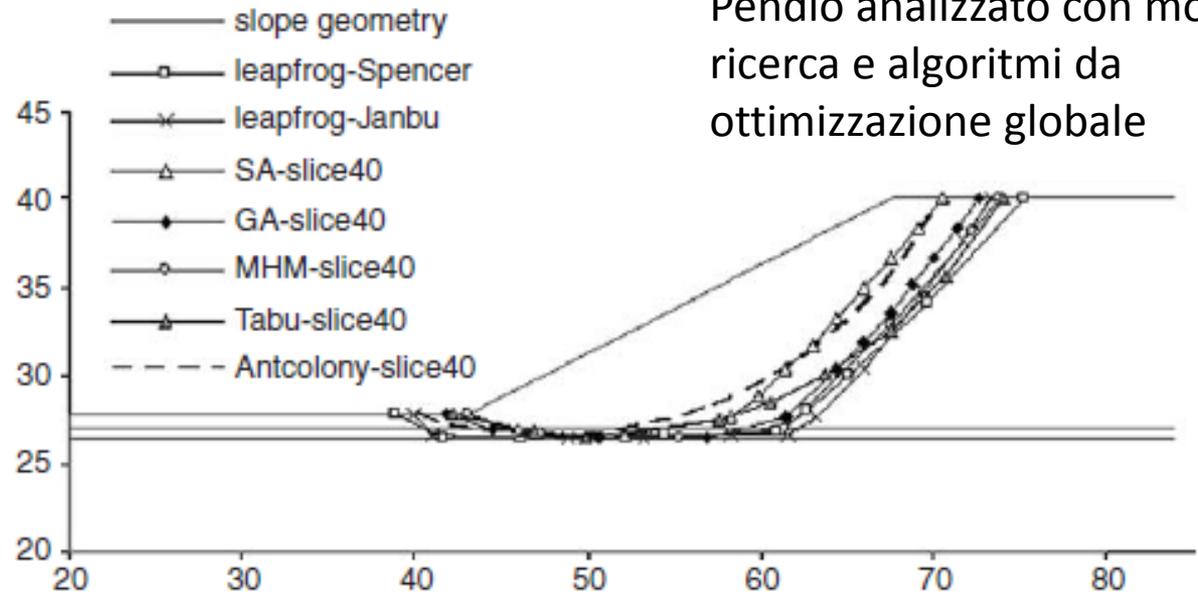


Complessità algoritmi.

Sniff random search 2.0 (SSAP)



Pendio analizzato con motori di ricerca e algoritmi da ottimizzazione globale



Date le condizioni precedentemente descritte, gli algoritmi necessari sono ovviamente complessi

Complessità algoritmi.

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	28.73	0	18.84	18.84	0	0	0	0
2	10.00	0	0	18.84	18.84	0	0	0	0
3	20.00	28.73	0	18.84	18.84	0	0	0	0

SSAP 4.2.0 (2012) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.1.0 (2012)

Data : 10/1/2013
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. strato o lente

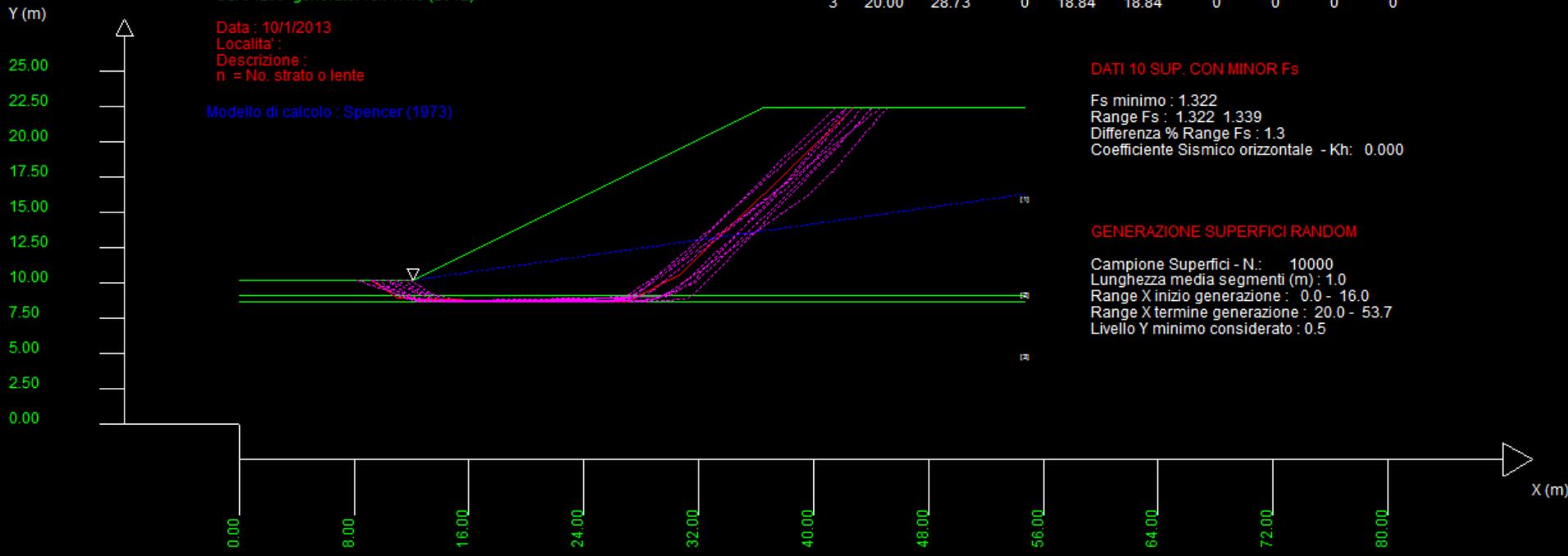
Modello di calcolo : Spencer (1973)

DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

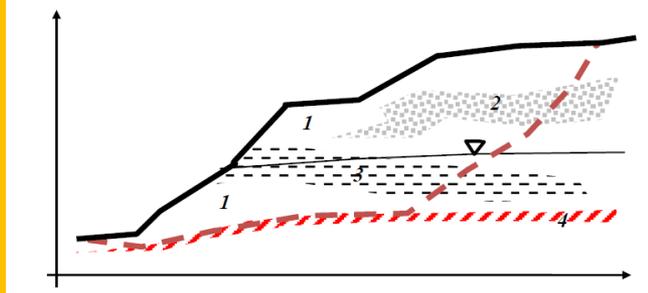
Fs minimo : 1.322
 Range Fs : 1.322 - 1.339
 Differenza % Range Fs : 1.3
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.000

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 10000
 Lunghezza media segmenti (m) : 1.0
 Range X inizio generazione : 0.0 - 16.0
 Range X termine generazione : 20.0 - 53.7
 Livello Y minimo considerato : 0.5



Risultato di applicazione algoritmo SNIFF RANDOM SEARCH2.0 che consente di effettuare verifiche nelle condizioni più gravose che sfuggono ai metodi di ricerca usuali. Ad esempio il tracciamento di esili discontinuità con bassa resistenza al taglio.



Complessità algoritmi.

Risultato
SNIFF search
2.0
Implementato
in SSAP

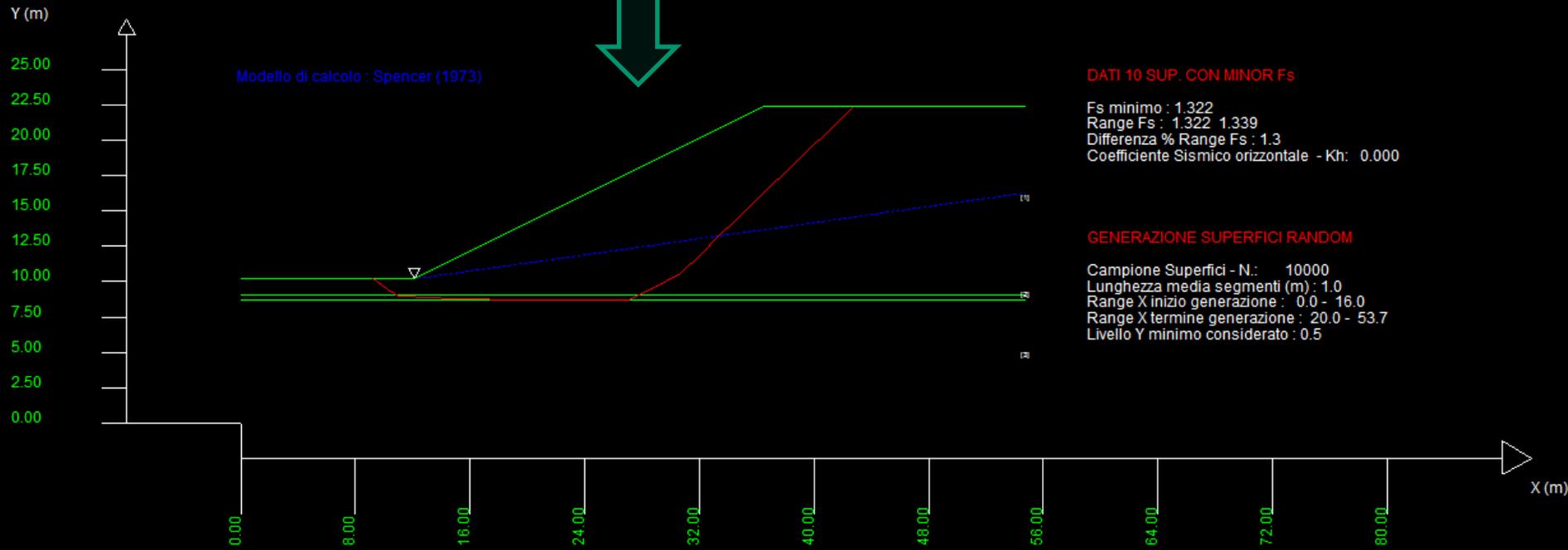
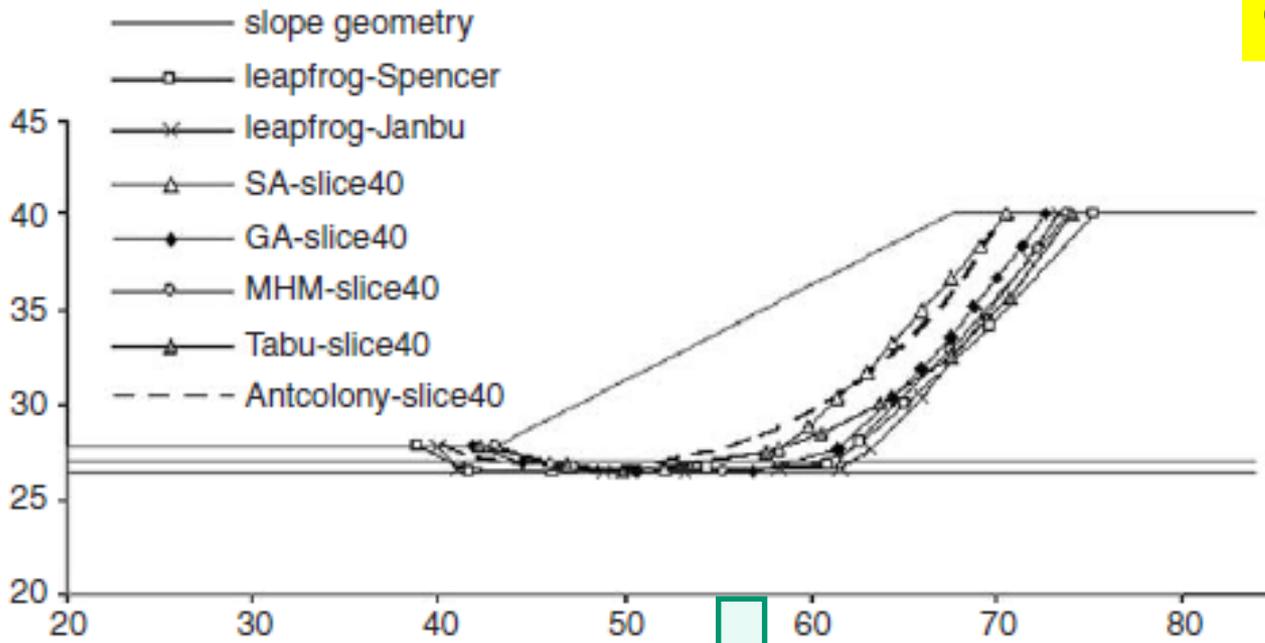


Table 2. Comparison of Factors of Safety for Example 2 by Various Methods

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

^aFredlund and Krahn (1977).

^bLeshchinsky and Huang (1993).

^cPCSTABL6.

^dThis study.

Da Kim et al. (2002)

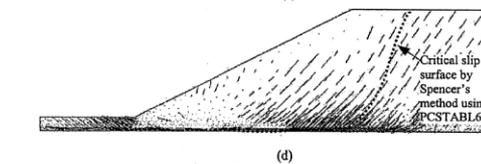
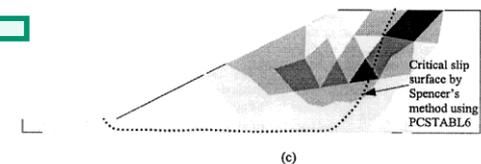
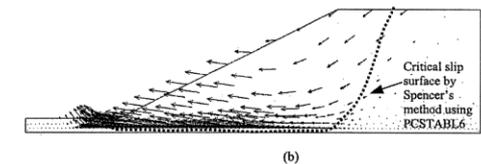
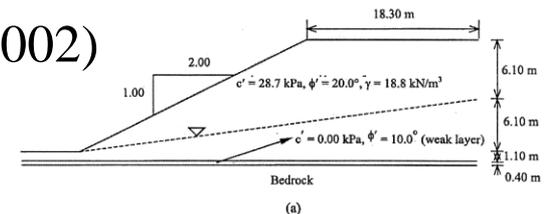
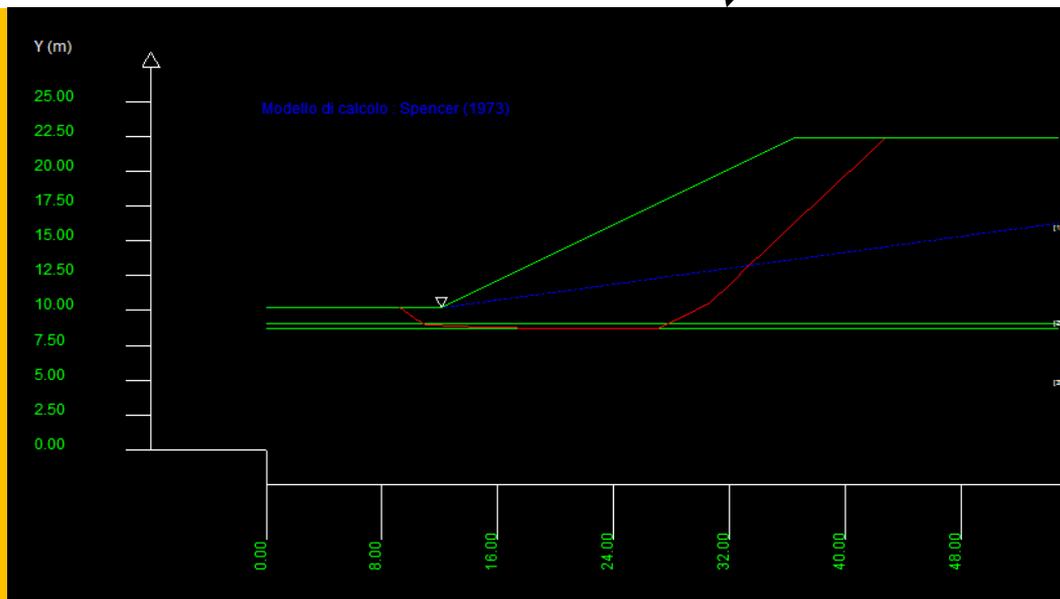
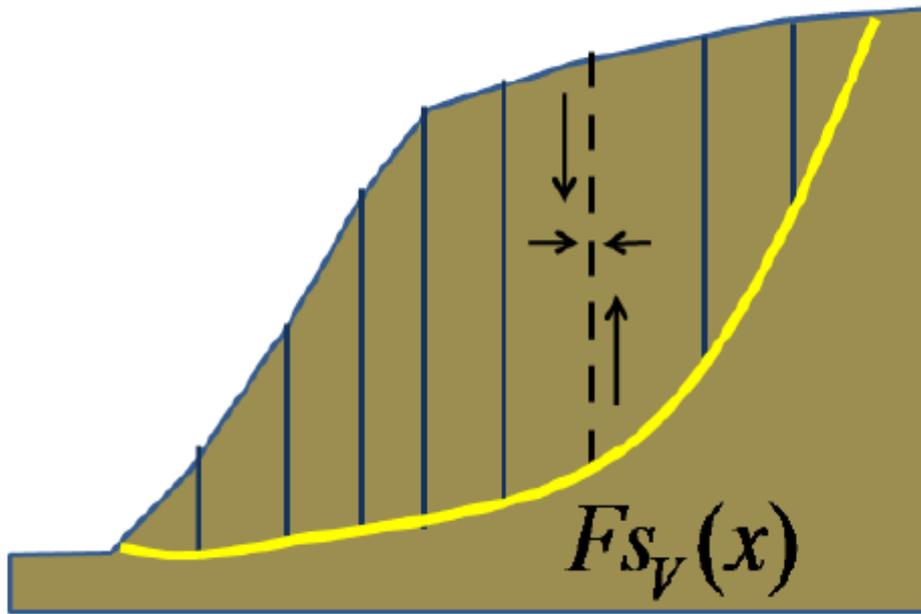


Fig. 7. Slope analyzed in example 2 [with pore-water pressure defined by water table; dotted line in (a)]: (a) slope geometry and soil profile (after Fredlund and Krahn 1977); (b) velocity field from upper-bound analysis; (c) plastic zone from upper-bound analysis; and (d) principal stress zone from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



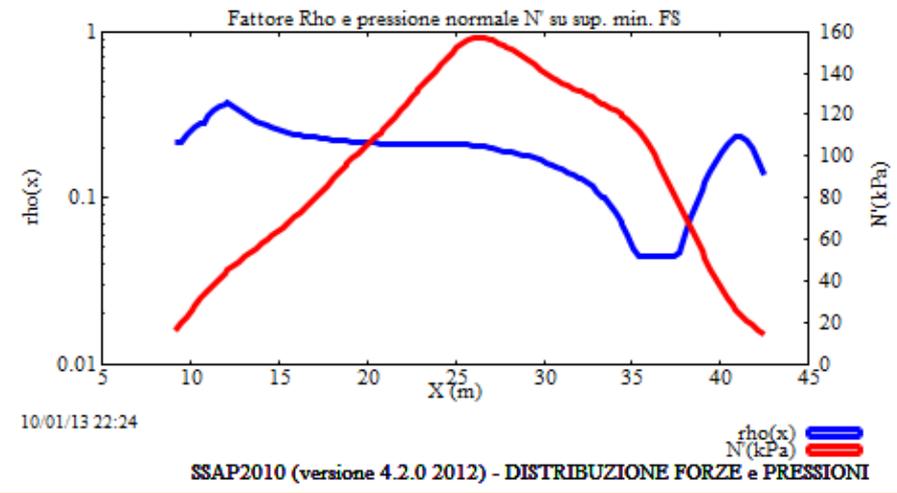
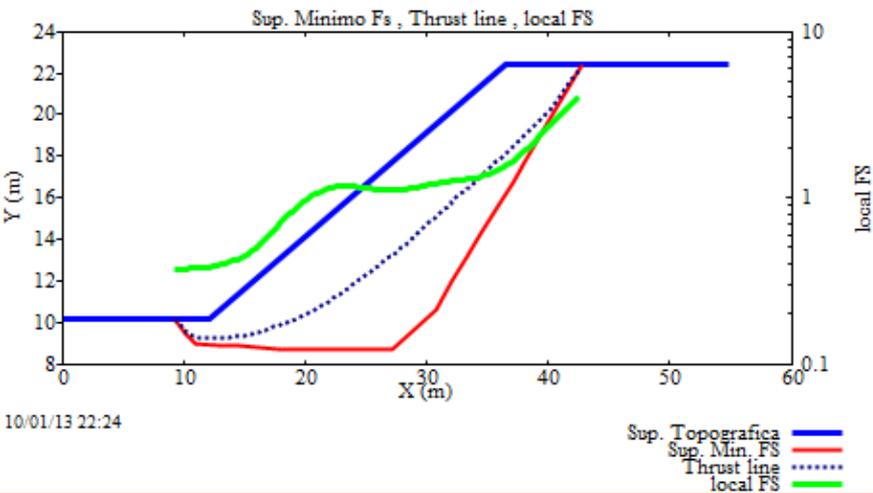
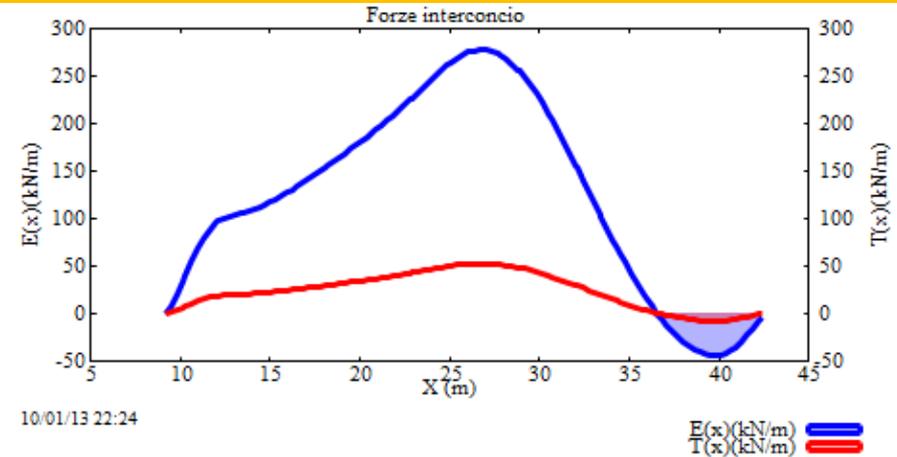
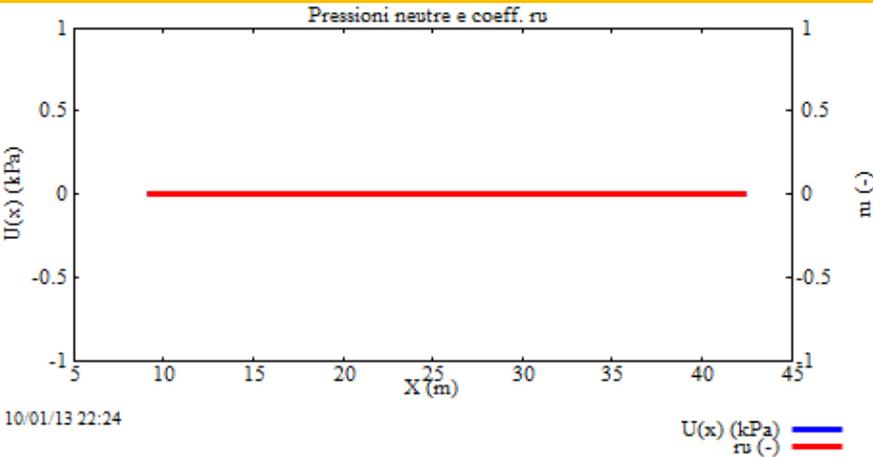


Filtri di post verifica:
Quando un risultato potrebbe essere non accettabile

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



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



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

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 **Strategia di ricerca** per trovare la superficie con **Fattore di sicurezza MINIMO**

Motori di ricerca e generazione delle superfici:

- Griglia a passo fisso (per sup. Circolari)
- Minimizzazione multidimensionale della funzione

Che definisce $F_s \rightarrow \text{MIN} [F_s]$

dove :

$F_s = f(x_1, y_1, \dots, x_i, y_i, \dots, x_n, y_n)$ (per sup. Generiche)

- Random (monte carlo) (circolari e generiche)
- Misti

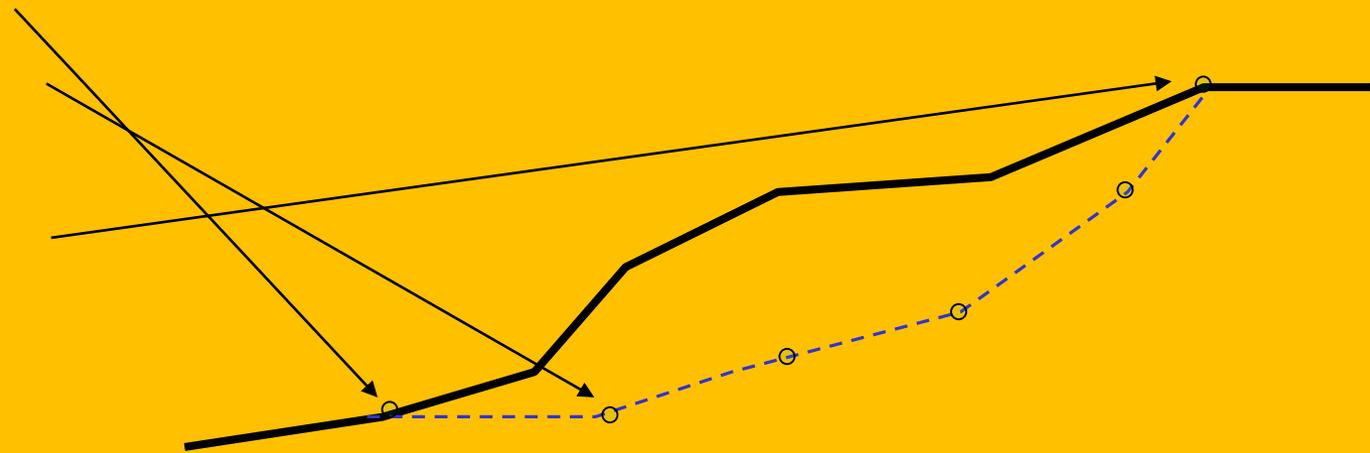
Superfici generiche - metodi di minimizzazione F_s

Obiettivo:

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

Uso di un algoritmo che fa variare automaticamente i nodi E calcola l' F_s per ogni superficie

N	X	Y
1	22.1	34
2	32.0	37.5
...
n	56.2	50.3



Complessità strategie di verifica

Superfici generiche - metodi di minimizzazione Fs

Problemi:

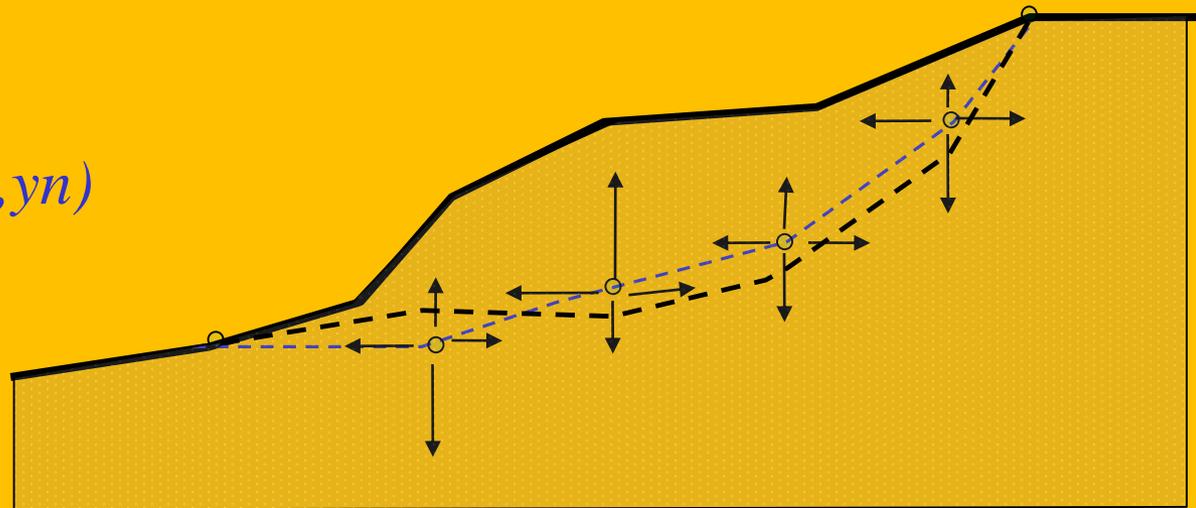
- Esistono infinite varianti o possibili superfici
- Deve essere prefissato in numero n di nodi
- Spesso devono essere fissate le coordinate del primo e dell'ultimo nodo
- Lo spazio di ricerca deve essere predefinito
- Numerose constraints durante la ricerca
- Complessità algoritmo di minimizzazione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

MIN [Fs]

dove :

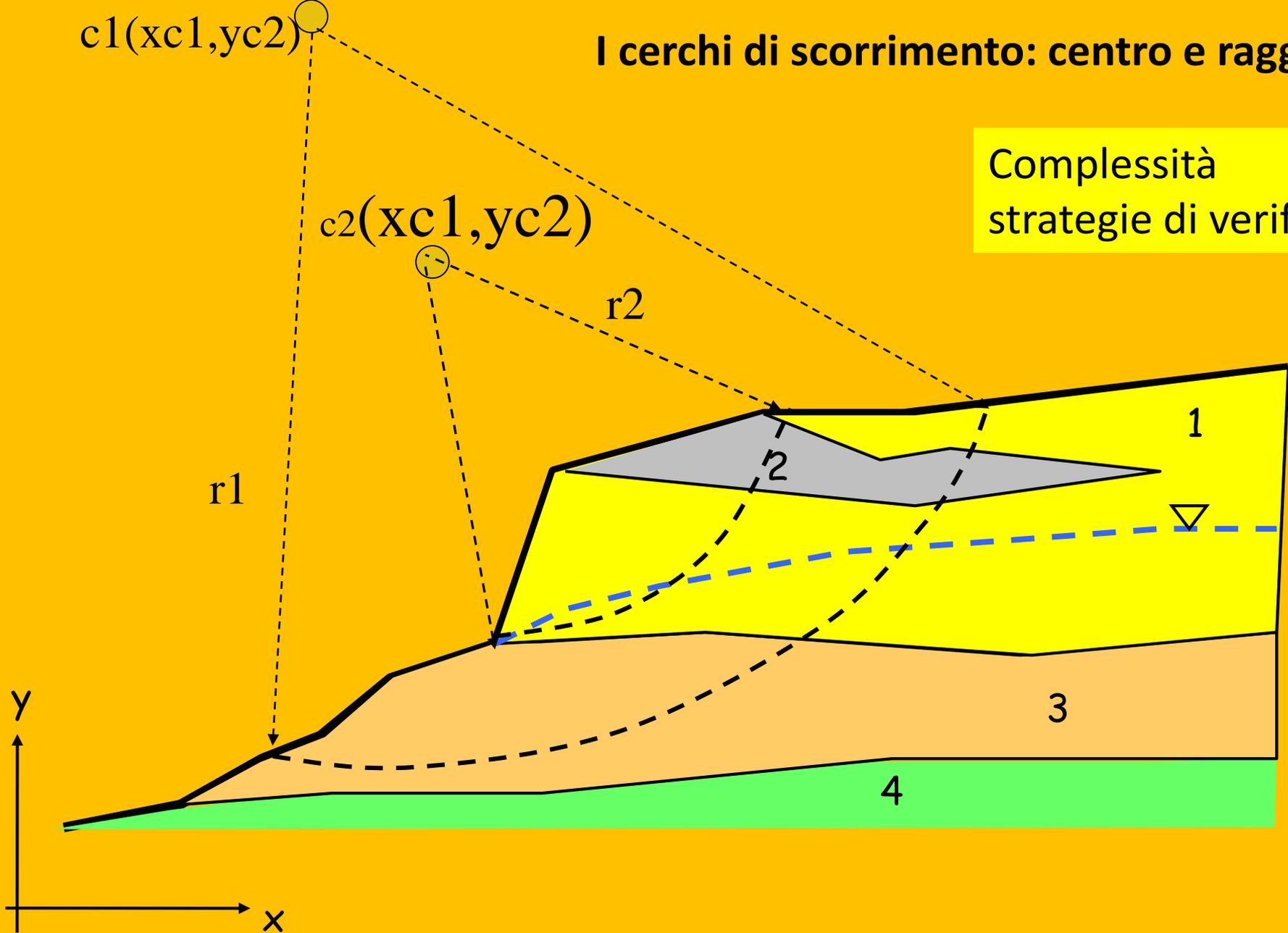
$$F_s = f(x_1, y_1, \dots, x_i, y_i, \dots, x_n, y_n)$$

Complessità
strategie di verifica

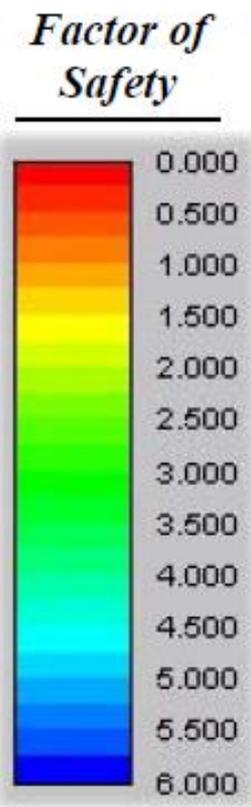
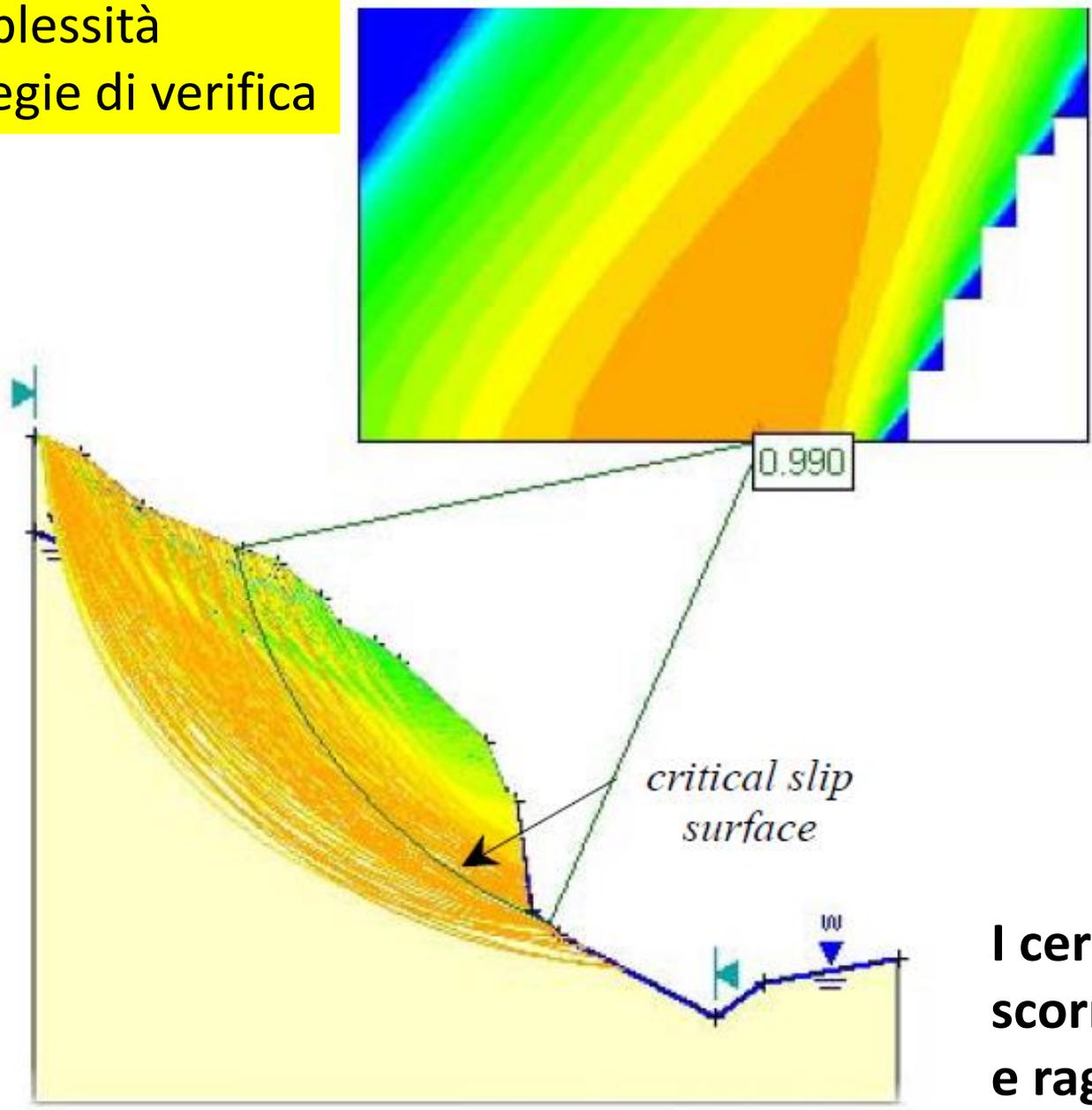


I cerchi di scorrimento: centro e raggio

Complessità
strategie di verifica



Complessità strategie di verifica



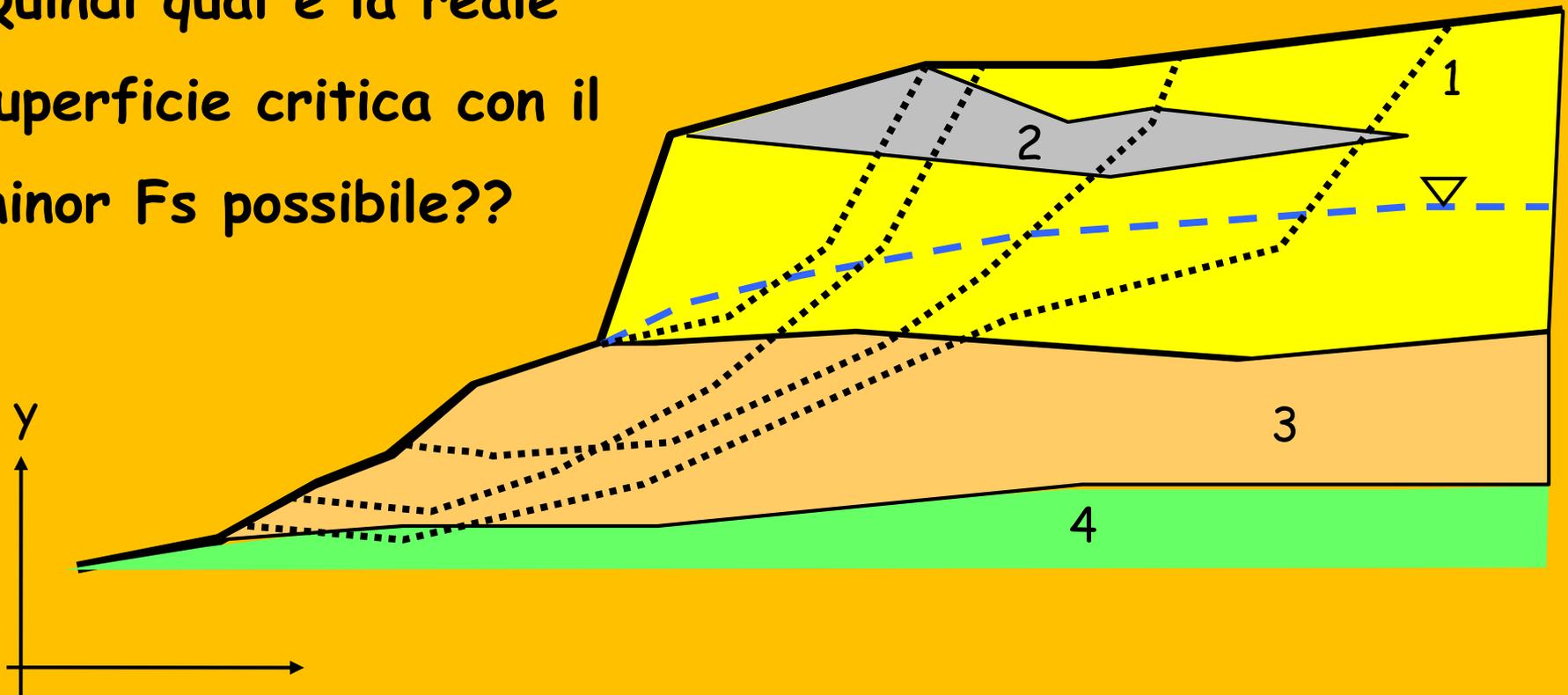
I cerchi di scorrimento: centro e raggio

Superfici di forma generica..

ovvero quanto si osserva nella realtà !

Infinite superfici e quasi infinite forme possibili..

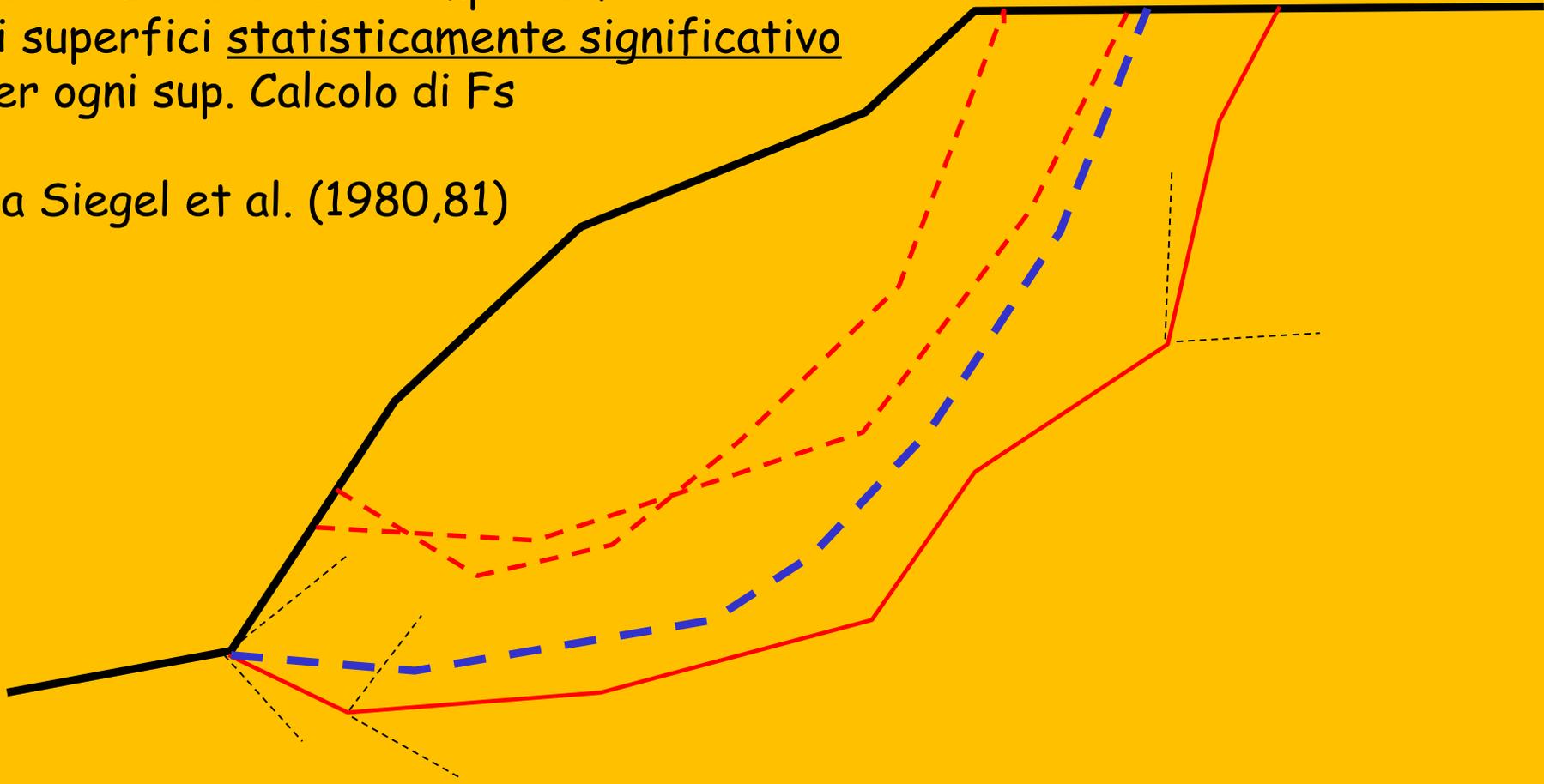
Quindi qual è la reale
superficie critica con il
minor F_s possibile??



Superfici generiche - Generazione random montecarlo Sfrutta la possibilità da parte del computer di generare Sequenze di numeri pseudocasuali (random)

Generazione di una campione finito
di superfici statisticamente significativo
Per ogni sup. Calcolo di F_s

Da Siegel et al. (1980,81)



Superfici generiche - Generazione random montecarlo

Problemi:

- Definizione spazio di ricerca
- Lunghezza segmenti
- Numero di superfici (criterio di arresto)
- Efficienza intrinseca dell'algoritmo per generare le sup.

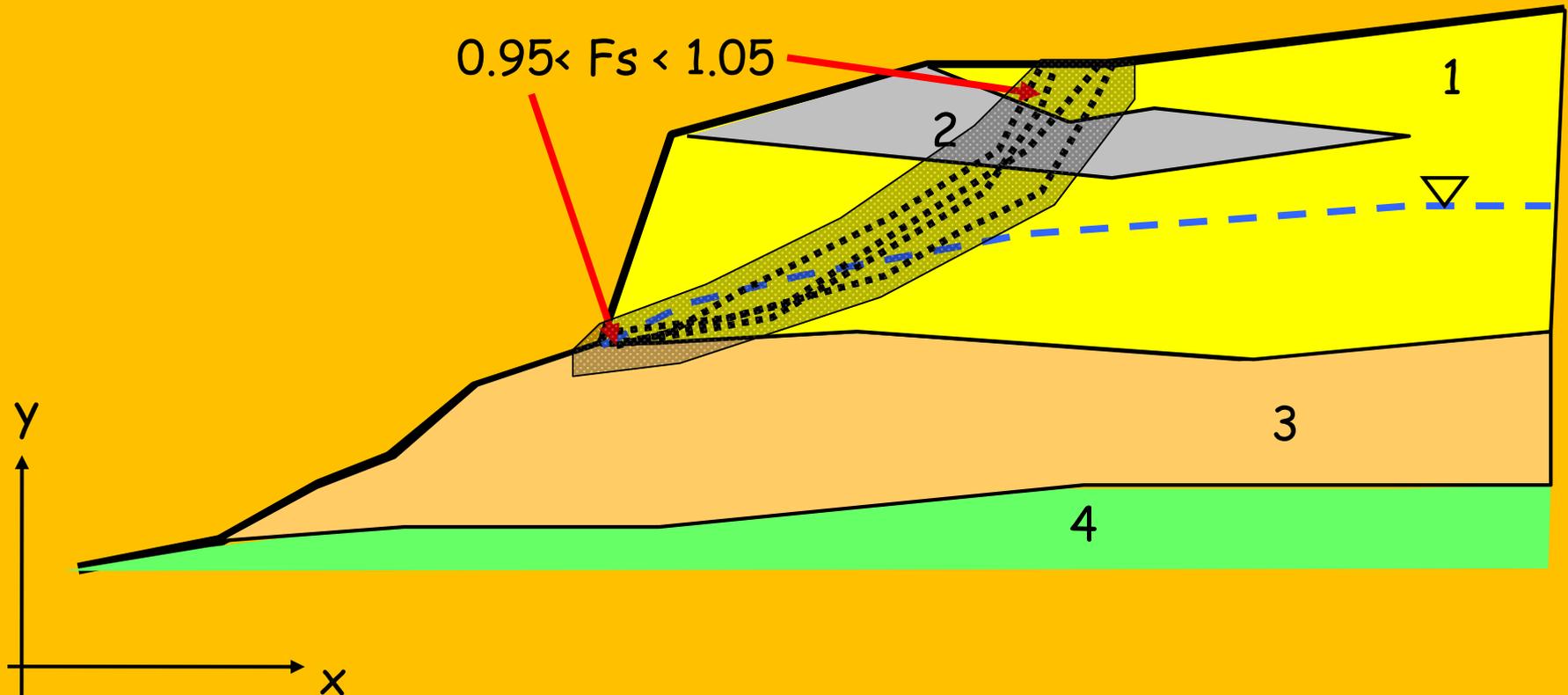
Vantaggi: Versatilità Semplicità



Complessità strategie di verifica

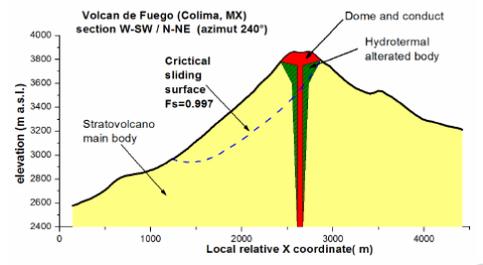
Dopo la generazione di un campione significativo di superfici

Quelle per le quali abbiamo i minori F_s identificano
Una, o più zone critiche entro il pendio



Alcune Considerazioni generali

- La complessità è nella esperienza quotidiana
- La complessità è gestibile
- La complessità non può essere affrontata con procedure e strumenti totalmente automatizzati.
- Alcuni strumenti (anche se imperfetti..) possono aiutarci a gestire la complessità (es. il SSAP)
- Il ragionamento logico e scientifico determinano il modo appropriato di gestire la complessità



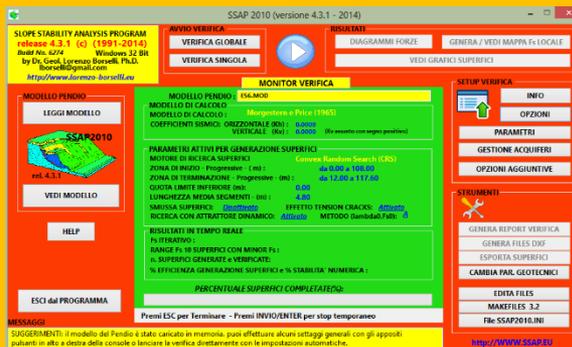
Parte II

Introduzione a SSAP 2010 e descrizione delle sue funzionalità di base

Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D

Universidad Autonoma de San Luis Potosi -UASLP

Instituto de Geología
Facultad de Ingeniería.
San Luis Potosi, MEXICO



E_mail:

lborselli@gmail.com

lorenzo.borselli@uaslp.mx

http://www.lorenzo-borselli.eu

Stabilità dei pendii - Domande a cui rispondere...

Sono possibili metodi calcolo affidabili di FS ?

È possibile gestire la complessità stratigrafica e geomeccanica?

Quali strumenti software Sono Affidabili ?

Posso analizzare scenari diversi (sismici, strutture, scavi, riporti, sovraccarichi, acquiferi in pressione)?

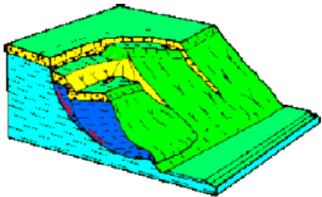
Esistono software di questo tipo .. ma a costo Zero?

Una possibile risposta alle precedenti domande

SSAP (slope stability analysis program) è un codice di calcolo per la verifica della stabilità dei pendii, mediante il metodo dell'equilibrio limite in modalità avanzata...

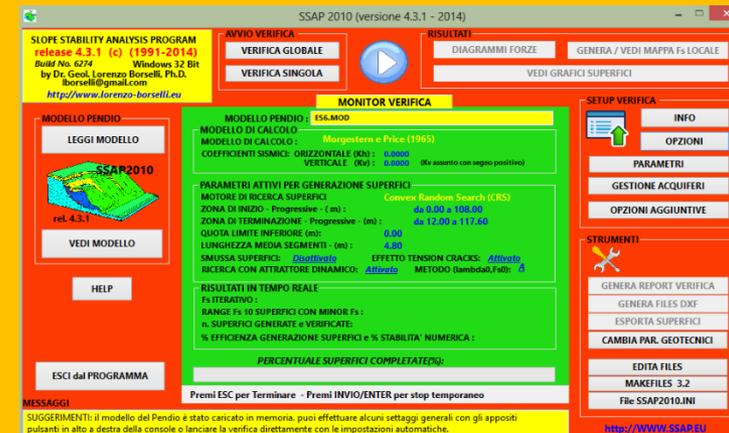
La versione attuale, SSAP 2010, è la 4.3.1 (7 gennaio 2014). Il software e' caratterizzato da un utilizzo completamente libero per tutti coloro che, per motivi di studio e lavoro, sono interessati a effettuare verifiche di stabilità dei pendii con rigorosi metodi di calcolo all'equilibrio limite su pendii naturali, artificiali e/o con opere di rinforzo quali (terre armate, palificate, tiranti..).

sito ufficiale SSAP: <http://www.ssap.eu>



SSAP 2010

"un passo oltre..."



CNR-IRPI (Perugia, Italy) – 28/01/2013

Borselli L.- SSAP2010 (Slope Stability Analysis Program) – rel. 4.2.1 (2013)

SSAP 2010 non è un software commerciale

Software Interamente Freeware,
Gratuito e di utilizzo libero
per Privati, Geologi, Ingegneri, Studenti
Ricercatori e Pubbliche Amministrazioni
Vedasi licenza d'uso su:

<http://www.ssap.eu/ssap2010licence.pdf>

The image displays a complex software interface for Slope Stability Analysis (SSAP 2010). The main window, titled "SSAP 2010 (versione 4.3.1 - 2014)", features a central control panel with buttons for "AVVIO VERIFICA", "VERIFICA GLOBALE", "VERIFICA SINGOLA", "RISULTATI", "DIAGRAMMI FORZE", and "GENERA / VEDI MAPPA Fs LOCALE". Below these are buttons for "MONITOR VERIFICA" and "VEDI GRAFICI SUPERFICI".

Surrounding the main window are several other windows:

- GESTIONE ACQUIFERI**: A window on the left showing fluid characteristics (Gamma fluido, Coefficiente A, Coefficiente K, Uo minima) and piezometric management options.
- MODELLO PENDIO**: A window showing a 3D terrain model and parameters for the slope stability calculation, including the "Morgestern e Price (1965)" model and "Convex Random Search (CRS)" method.
- OPZIONI GENERALI**: A window on the right for general settings, including the seismic coefficient (Kv), calculation method (e.g., Janbu Rigoroso, Spencer, Sarma I, etc.), and safety factor (Fs) settings.
- STRUMENTI**: A vertical toolbar on the left with icons for file operations and analysis tools.
- MESSAGGI**: A status window at the bottom left providing real-time feedback on the analysis process.

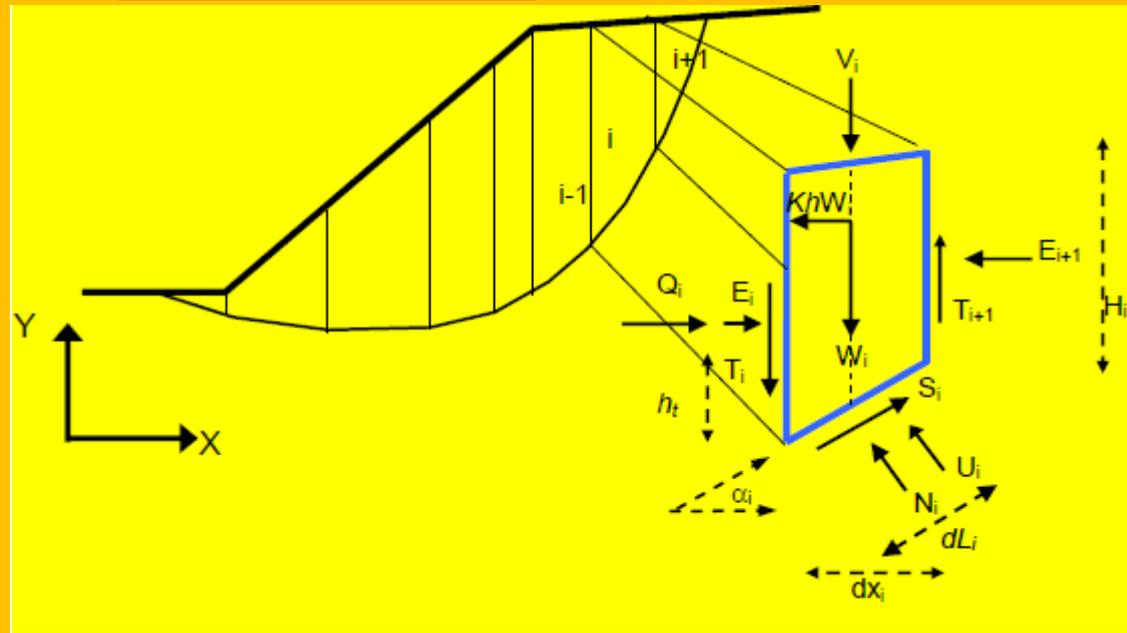
The interface includes various graphs, such as the "Distribuzione resistenza" (Resistance Distribution) and "Fattore di riduzione Fp", and a "PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETATE" (Percentage of completed surfaces) indicator.

Caratteristiche base di SSAP 2010

- Verifiche di stabilità dei pendii con il metodo dell'equilibrio limite (Limit Equilibrium Method -LEM)
- Pendii in terreni sciolti e/o con ammassi rocciosi fratturati
- Condizioni sismiche (metodo pseudo statico)

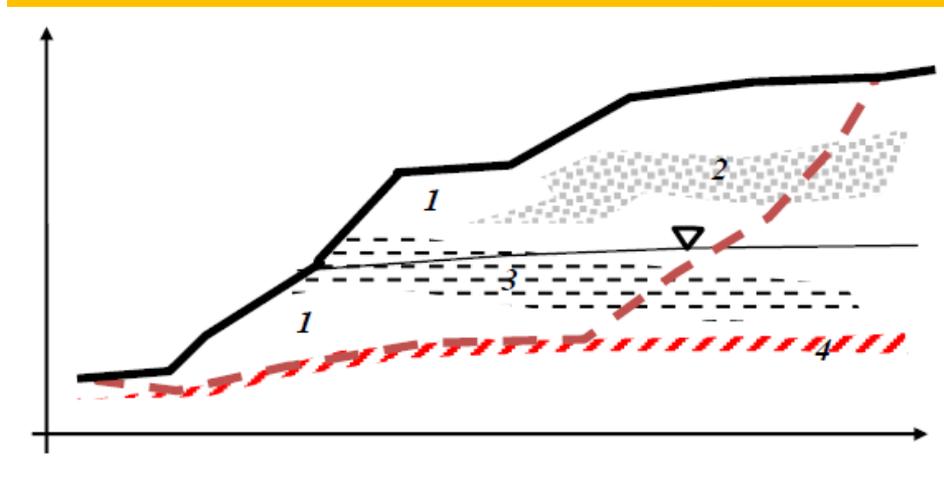
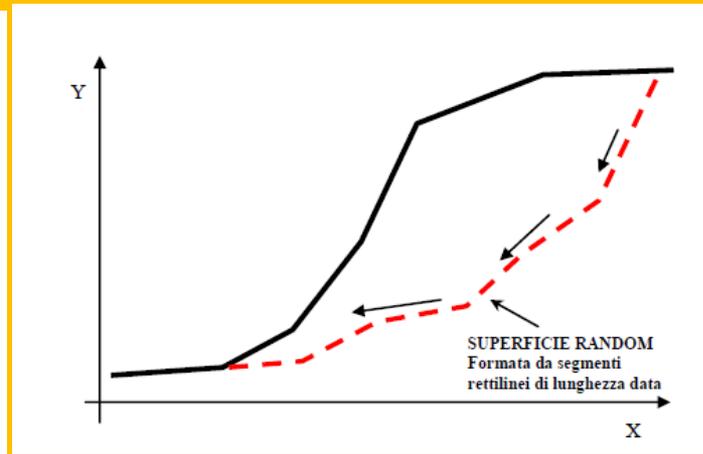
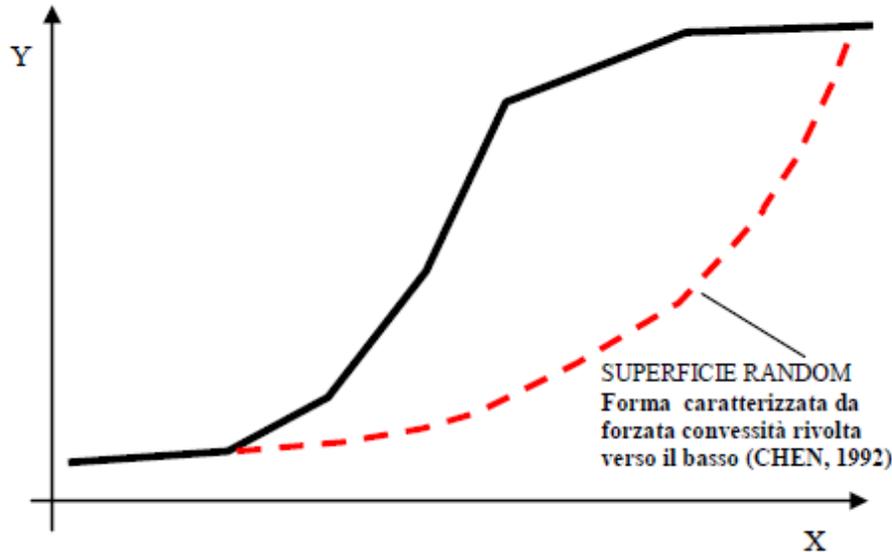
6 metodi di calcolo LEM - RIGOROSI !!!

- * *Janbu rigoroso*(1973);
- * *Spencer* (1973)
- * *Sarma I* (1973);
- * *Morgenstern & Price* (1965);
- * *Correia* (1988)
- * *Sarma II* (1979)



Caratteristiche base di SSAP 2010 ... continua

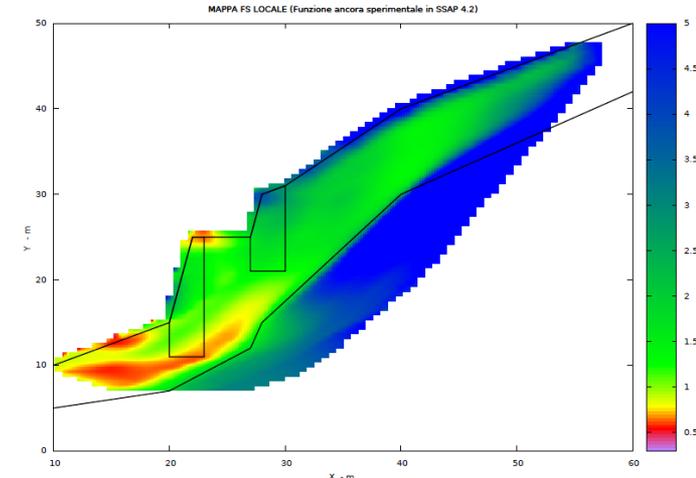
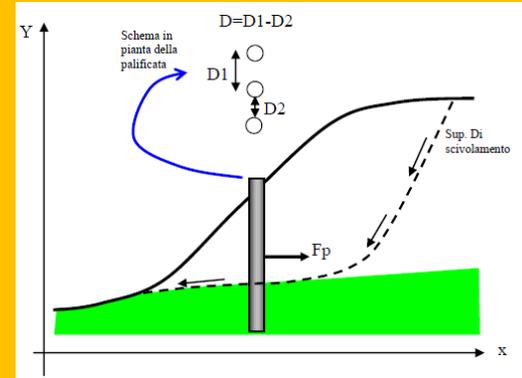
- 3 motori di ricerca superfici random (per superfici con F_s minimo) e 3 varianti principali (totale 9 metodologie diverse per generare e ricercare superfici con F_s minimo)



Caratteristiche base di SSAP 2010

... continua

- Strutture di sostegno e rinforzo (muri - tiranti - terre rinforzate con geogriglie/geosintetici - palificate - sovraccarichi)
- Creazione DXF istantanea e

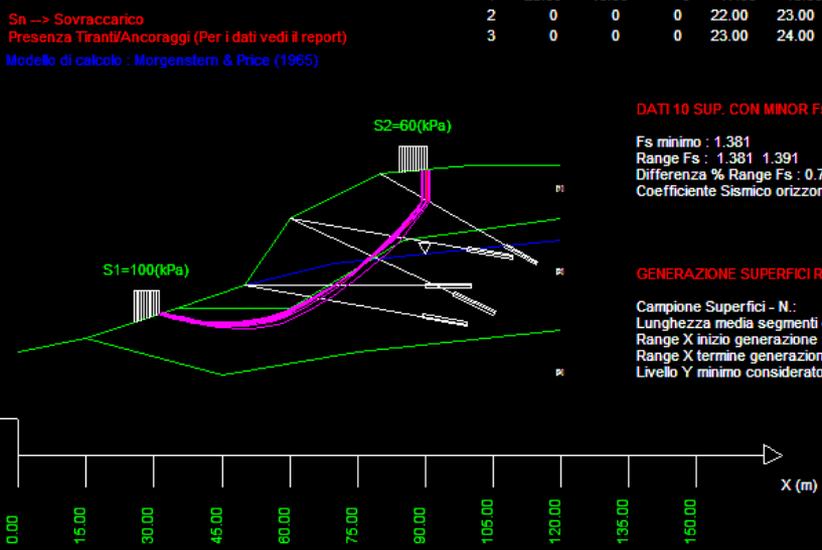


SSAP 4.2.0 (2012) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.1.0 (2012)

Data : 26/12/2012
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. 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	28.00	40.00	0	17.00	18.00	0	0	0	0
2	0	0	0	22.00	23.00	15.00	20.00	9.00	0.70
3	0	0	0	23.00	24.00	30.00	40.00	9.00	0.70

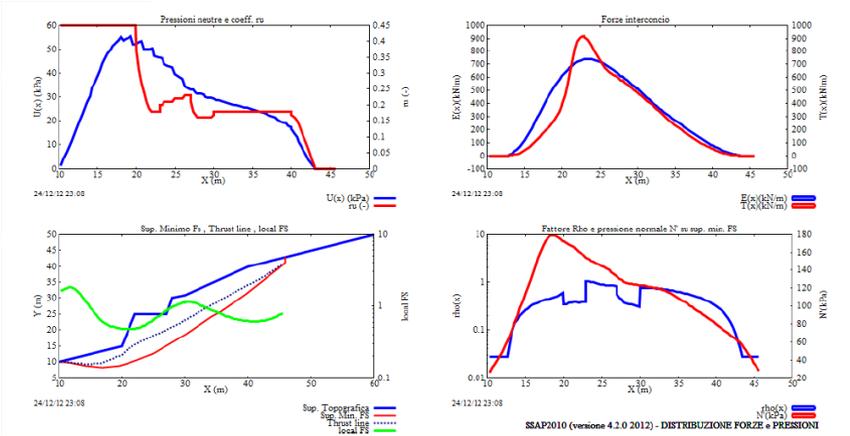


DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 1.381
 Range Fs : 1.381 - 1.391
 Differenza % Range Fs : 0.7
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.00

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 7047
 Lunghezza media segmenti (m) : 4.8
 Range X inizio generazione : 0.0 - 108.0
 Range X termine generazione : 12.0 - 117.6
 Livello Y minimo considerato : 0.0



Caratteristiche base di SSAP 2010 ... continua

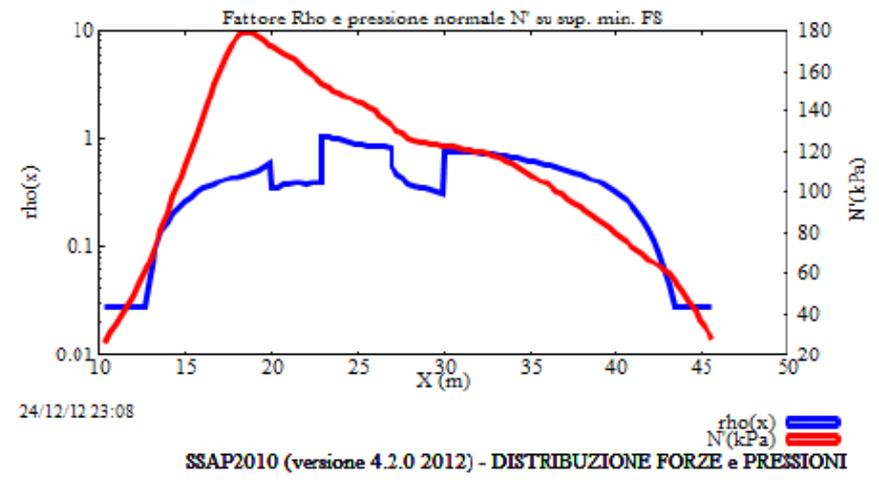
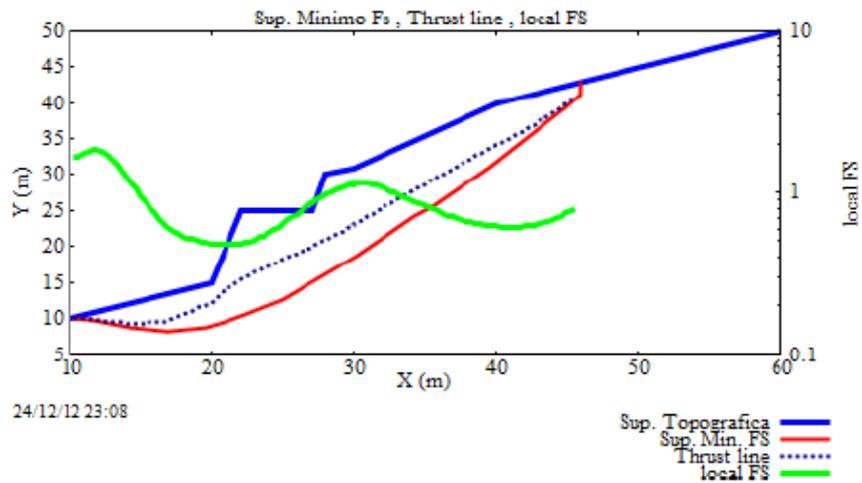
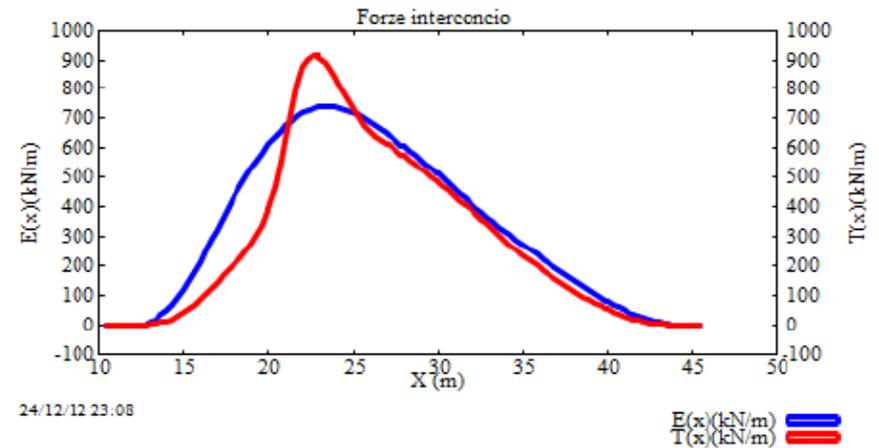
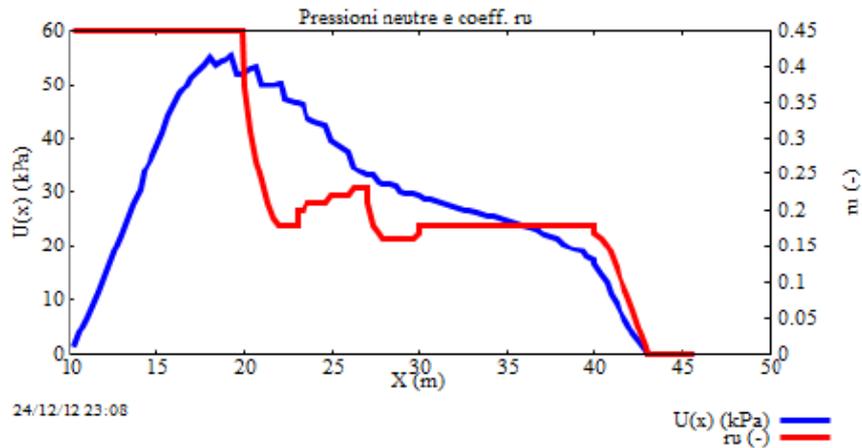
Inoltre:

- filtro di sub-verifica per eliminare le superfici di scivolamento non fisicamente possibili (Sarma 1973).
(nuovo nella versione 4.0)
- opzione per effettuare verifica con ricerca automatica delle superfici di scivolamento con fessure di trazione in testa al pendio (nuovo nella versione 4.0)
- console per il controllo della stabilità numerica delle soluzioni (nuovo nella versione 4.0)
- compatibilità NTC 2008 e analisi in condizioni sismiche pseudostatiche

Caratteristiche base di SSAP 2010 ... continua

Inoltre:

- finestra con i diagrammi delle pressioni interne, del FS locale, e delle forze interne tangenziali e orizzontali entro la massa in scivolamento soggetta a verifica. (nuovo nella versione 4.0)
- Utilizzo di nuove strategie computazionali proposte anche da Zhu et al (2003) per eliminare i problemi di convergenza notoriamente esistenti nel metodo di calcolo di Janbu(1973) e negli altri metodi di calcolo rigorosi. Questi algoritmi sono stati ulteriormente sviluppati in modo originale, migliorati, testati e resi più affidabili in SSAP2010.
- Completa verifica di superfici di scivolamento singole definite dall'utente;
- Reporting in modo testo e grafico (DXF)



SSAP2010 (versione 4.2.0 2012) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

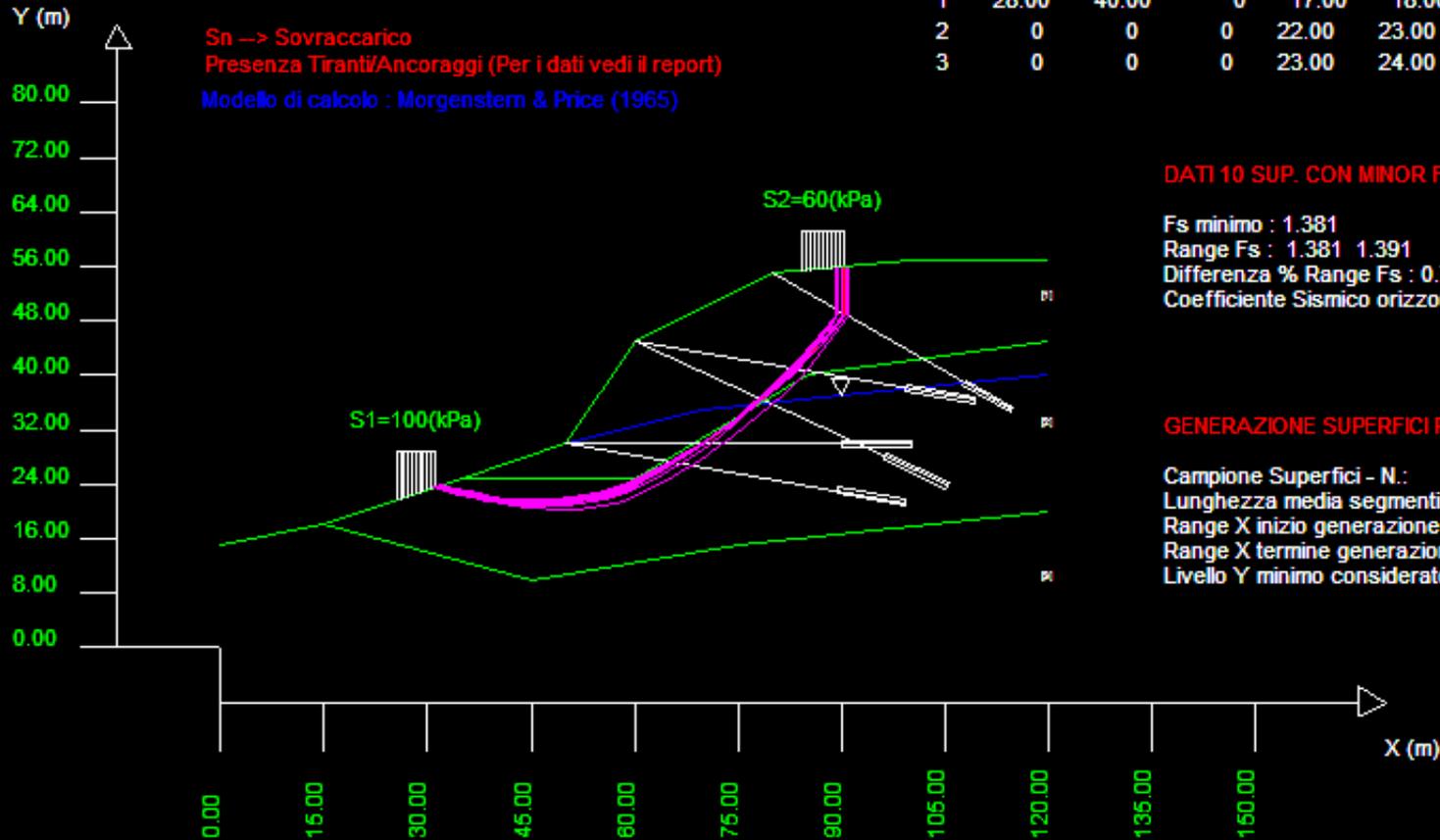
Diagrammi distribuzione interna forze e pressioni

Data : 26/12/2012
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. strato o lente

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi ⁱ deg	C ⁱ kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	28.00	40.00	0	17.00	18.00	0	0	0	0
2	0	0	0	22.00	23.00	15.00	20.00	9.00	0.70
3	0	0	0	23.00	24.00	30.00	40.00	9.00	0.70

Sn -> Sovraccarico
 Presenza Tiranti/Ancoraggi (Per i dati vedi il report)
 Modello di calcolo : Morgenstern & Price (1965)



DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 1.381
 Range Fs : 1.381 1.391
 Differenza % Range Fs : 0.7
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.000

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 7047
 Lunghezza media segmenti (m) : 4.8
 Range X inizio generazione : 0.0 - 108.0
 Range X termine generazione : 12.0 - 117.6
 Livello Y minimo considerato : 0.0

Generazione Grafici in tempo reale in formato DXF esportabili e modificabili.

Coefficiente sismico orizzontale - Kh Kv (negativo) Fs di Progetto richiesto (analisi deficit)

METODO DI CALCOLO

- JANBU RIGOROSO - (1973)
- SPENCER - (1973)
- SARMA I - (1973)
- MORGESTERN PRICE - (1965)
- CORREIA - (1988)
- SARMA II - (1979)

$$T(x) = \lambda f(x) E(x)$$

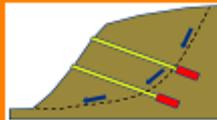
Esplora spazio (lambda0, fs0)

Metodo

- A (rapido e accurato)
- B (più accurato)
- C (molto più accurato)

TIRANTI - ANCORAGGI

- PASSIVI
- ATTIVI



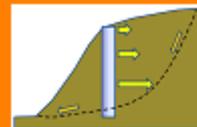
Distribuzione resistenza

- Rettangolare
- Trapezoidale

PALIFICATE

Metodo calcolo

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



Fattore di riduzione Fp (NTC2008)

(Variare da 1 a 100)

% massima mobilizzazione teorica

Applicare nuova metodologia calcolo mobilizzazione

SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO

- EFFETTO ATTIVATO
- EFFETTO DISATTIVATO



TENSION CRACKS TESTA PENDIO

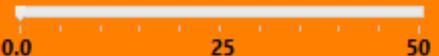
- EFFETTO DISATTIVATO
- EFFETTO ATTIVATO



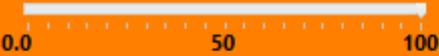
Opzioni Tension Cracks

CONTROLLO STABILITA' NUMERICA

% Tolleranza stress normali negativi



% Tolleranza RHO=|Fs/Fv| > 1.0



Reimposta Valori Standard



Limita T(x)/E(x)

- LIMITATO
- Non LIMITATO

MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI

- RANDOM SEARCH (RS)
- CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)
- SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 2.0

RANDOM...

00100101001
01010010101
00010101001
10110101000

SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH

Steps di scansione

Frequenza di attivazione



FORZE AGGIUNTIVE PER SUPERFICIE SINGOLA

Forza Ea (alla Base) - kN/m

Forza Eb (in Testa) - kN/m



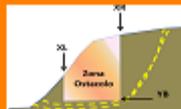
FILTRAGGIO SUPERFICI

- FILTRARE
- NON FILTRARE



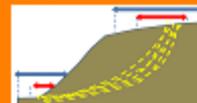
PRESENZA DI OSTACOLO

- CON OSTACOLO INTERNO
- SENZA OSTACOLO INTERNO



ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI

- DISATTIVATO
- ATTIVATO



HELP

OK

Cancel



Opzioni per verifica stabilità

PARAMETRI GEOMETRICI VERIFICHE DI STABILITA'

LUNGHEZZA MEDIA (m) SEGMENTI DELLE SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO 4.80

DEFINIZIONE DELLA ZONA DI INIZIO

ASCISSA LIMITE SINISTRO (X1) ZONA DI INIZIO (m) 0.00

ASCISSA LIMITE DESTRO (X2) ZONA DI INIZIO (m) 108.00

QUOTA (Yo) ZONA PROIBITA INFERIORE (m) 0.00

DEFINIZIONE DELLA ZONA DI TERMINAZIONE

ASCISSA LIMITE SINISTRO (X1) DI TERMINAZIONE (m) 12.00

ASCISSA LIMITE DESTRO (X2) DI TERMINAZIONE (m) 117.60

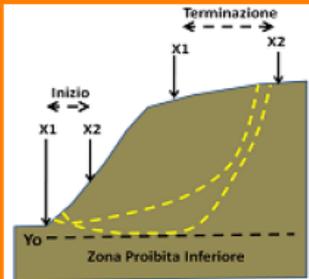
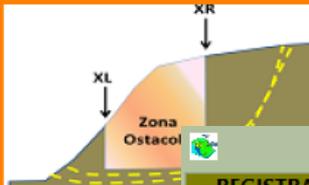
NUMERO MASSIMO SUPERFICI DA GENERARE 10000

COORDINATE OSTACOLO

XL 0.00 XR 0.00 YB 0.00
 Ascissa sinistra (m) Ascissa destra (m) Quota base ostacolo (m)

NOTA BENE: Tutte le coordinate sono espresse in metri (vedasi manuale per descrizione PARAMETRI)..

HELP OK

SSAP 4.3.1 - OPZIONI AGGIUNTIVE

REGISTRAZIONE SUPERFICI

$F_{s_{min}} < F_s \leq F_{s_{max}}$

Fs minimo 0.50

Fs massimo 1.10

Numero massimo superfici da registrare 10000

ATTIVA REGISTRATORE SUPERFICI

GENERAZIONE MAPPA Fs LOCALE

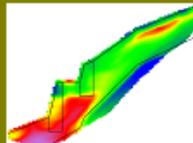
Dimensione Griglia mappa FS

Nodi X 75 X Nodi Y 75

Fs Minimo 0.30 % dei dati da usare 100.0

Fs Massimo 10.00 ATTIVA MAPPATURA Fs LOCALE

HELP OK Cancel

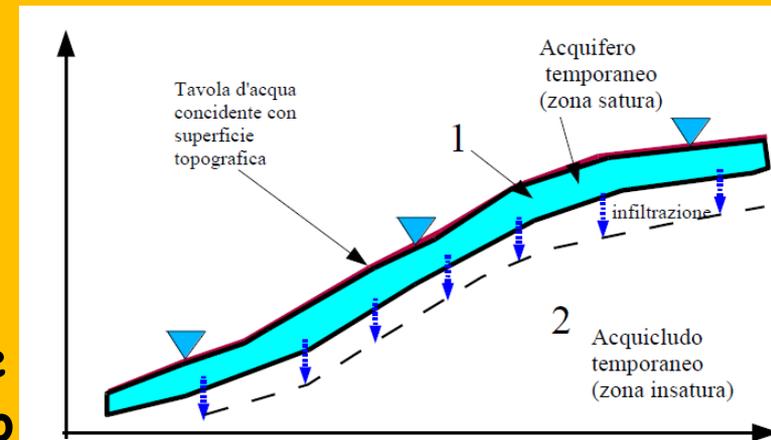
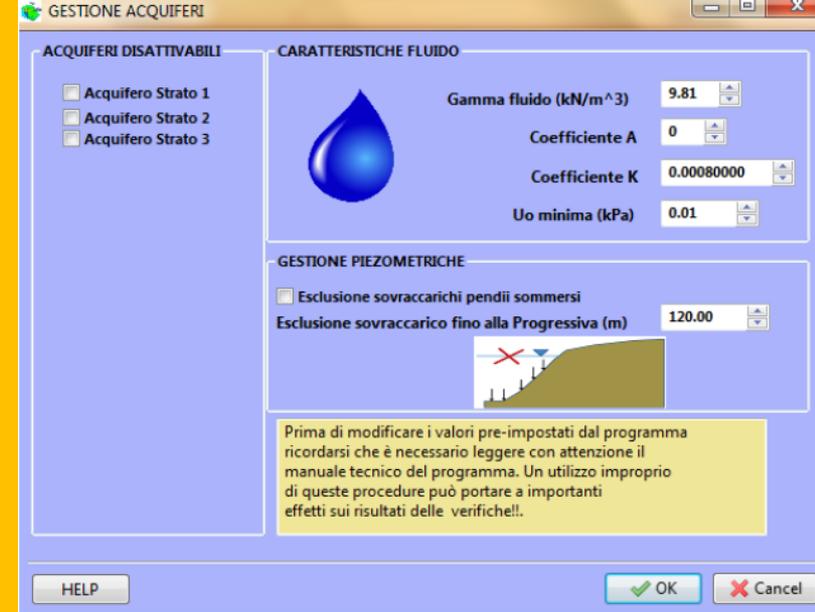
Opzioni aggiuntive e parametri
Modificabili per verifica stabilità

Caratteristiche base di SSAP 2010 ... continua

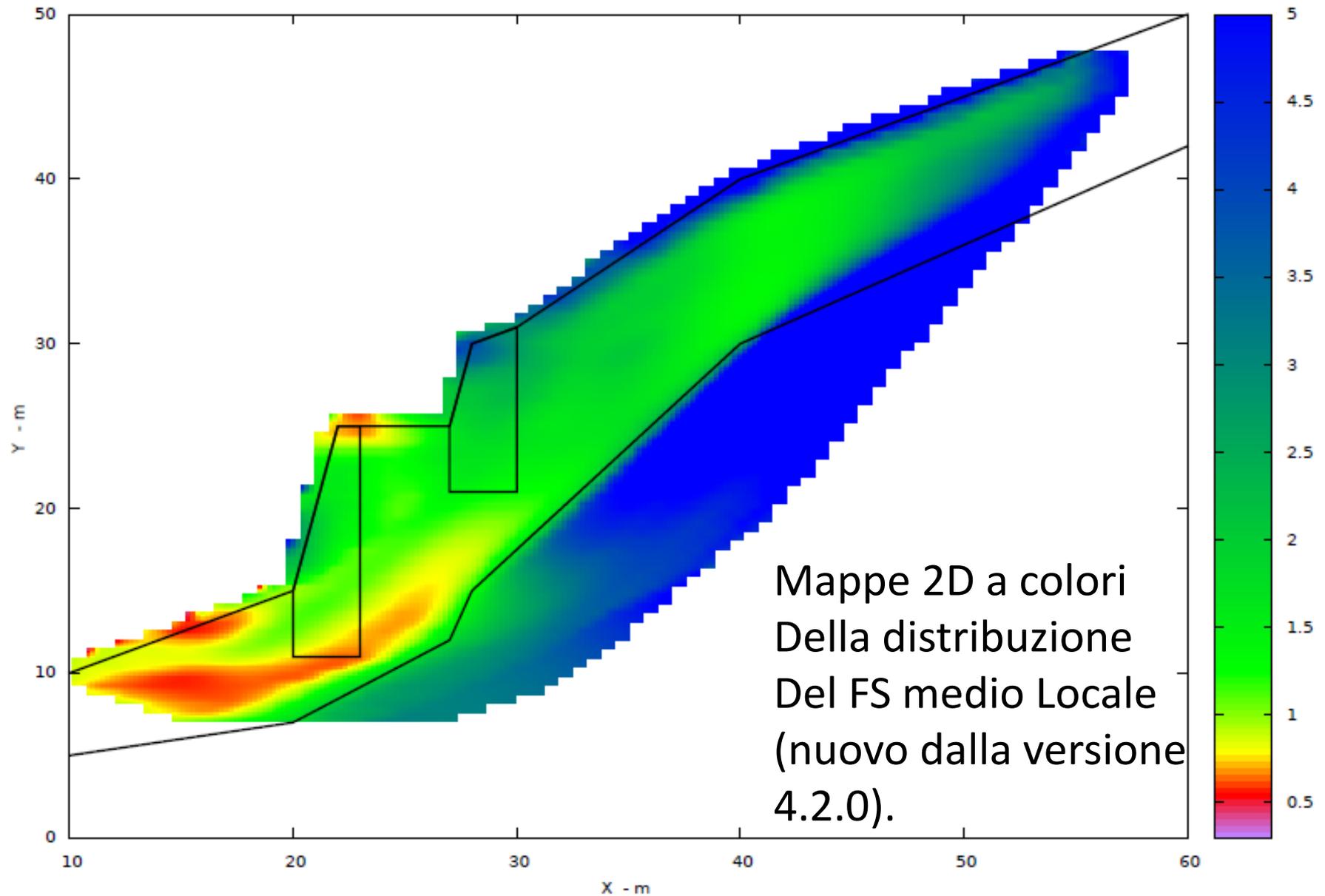
Inoltre...

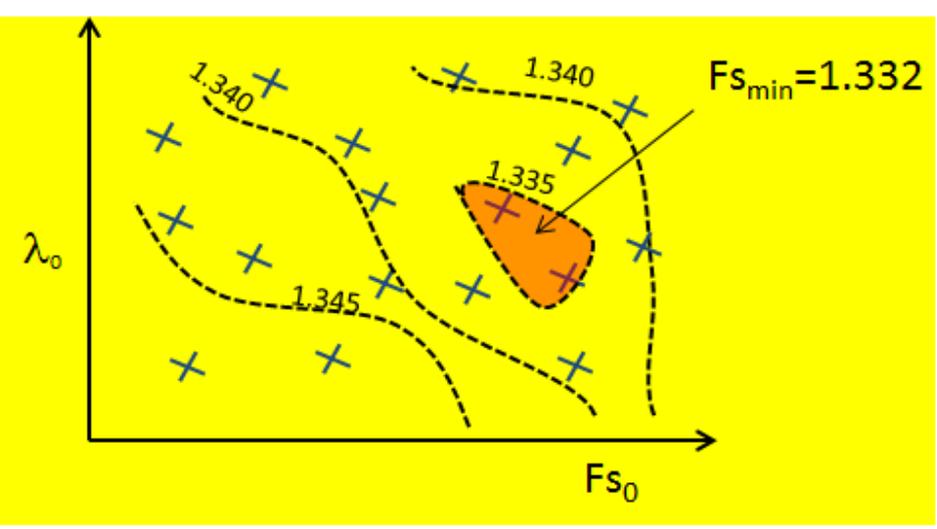
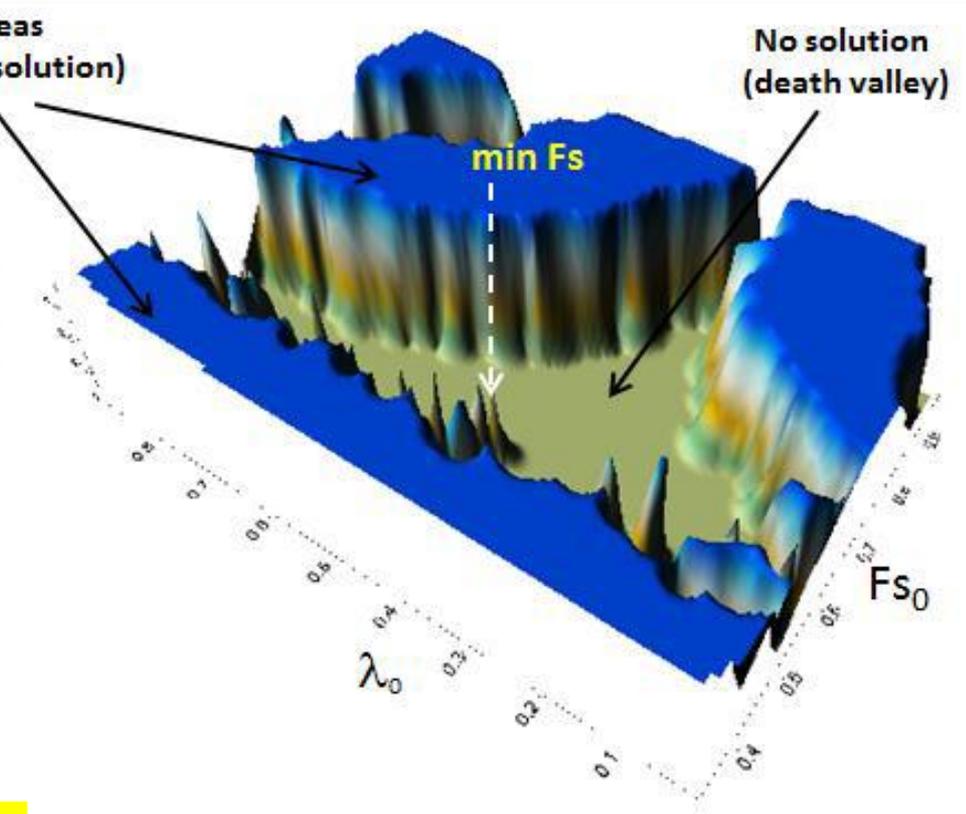
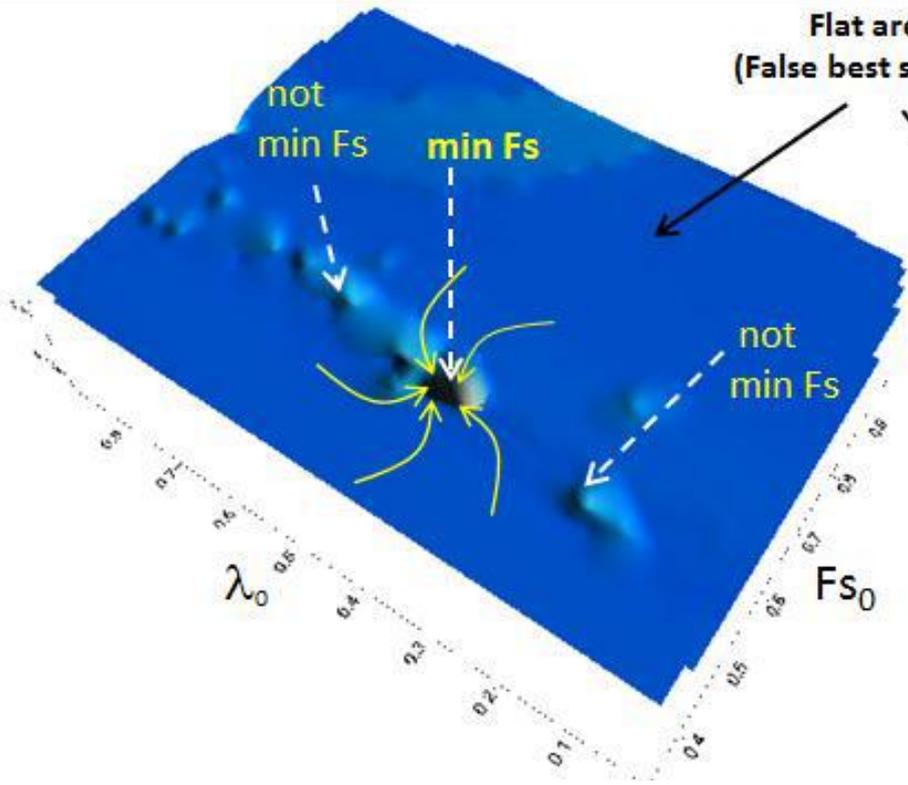
Modulo gestione acquiferi

- falde in pressione
- acquicludi; falde sospese e stati temporaneamente saturi sopra porzioni insature;
- Nel caso di falde in pressione algoritmo, sviluppato in modo originale dall'autore, per simulare la dissipazione progressiva della pressione di pori in prossimità della superficie;
- escludere il calcolo del sovraccarico esterno di masse d'acqua nel caso di porzioni di pendio sommerso. (simulazione di un effetto di svasso rapido in un bacino artificiale);

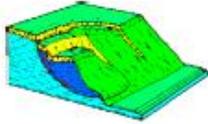


MAPPA FS LOCALE (Funzione ancora sperimentale in SSAP 4.2)





3 algoritmi per la esplorazione dello spazio (λ_0 , F_s0) ai fini della determinazione del fattore F_s finale più basso (nuovo dalla versione 4.2.0).



SSAP 2010

"un passo oltre..."

(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)

<http://www.ssap.eu>



Manuale di Riferimento
Versione 4.2.2 (2013)

by

Dr. Lorenzo Borselli, Geol., Ph.D.,***

Giugno 2013

* Docente di Geotecnica e Geologia Applicata
Facoltà Di Ingegneria
Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
San Luis Potosí., Mexico

** Già Ricercatore e Responsabile di Sezione (fino al Luglio 2011)
C.N.R. - IRPI, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica
Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino, Firenze, ITALIA

WEB: Curriculum Vitae
<http://www.lorenzo-borselli.eu>

E-mails:
lborselli@gmail.com
lorenzo.borselli@uaslp.mx

Manuale di SSAP2010 (PDF 9MB – 189 pagine)

http://www.ssap.eu/manuale_ssap2010.pdf

Qualcosa in più sulla licenza d'uso di SSAP2010

SSAP2010 è un software FREEWARE, cioè distribuito gratuitamente solo via web (<http://WWW.SSAP2005.IT>).

Esiste una unica versione completa del software SSAP2010 ed è quella disponibile gratuitamente e scaricabile dal sito ufficiale.

La licenza d'uso di SSAP2010 consente agli utenti un uso illimitato del software con la possibilità di scaricare da web tutti i futuri aggiornamenti.

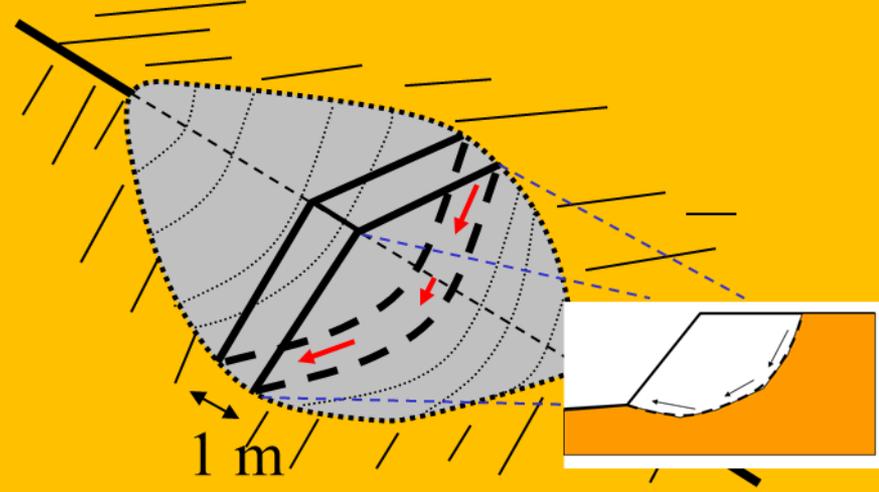
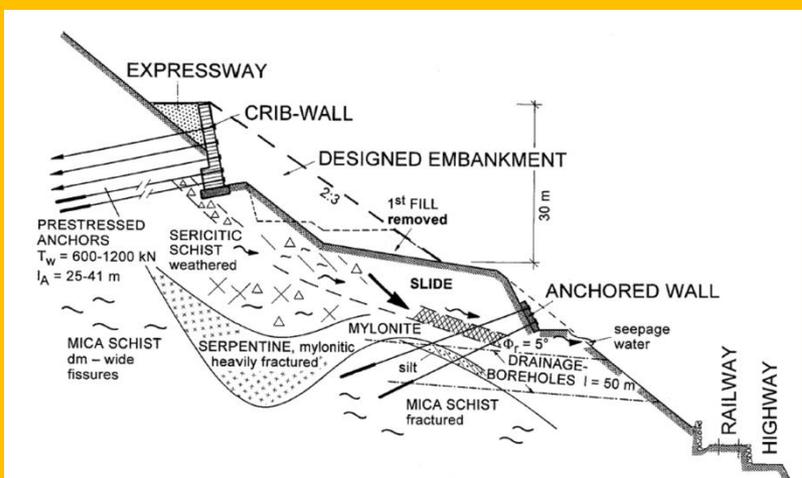
La ri-distribuzione non è consentita. (da altri siti web o servers)

Qualcosa in più sulla licenza d'uso di SSAP2010.. continua

Il software SSAP20010 non è un software commerciale. La sua distribuzione è senza fini di lucro.

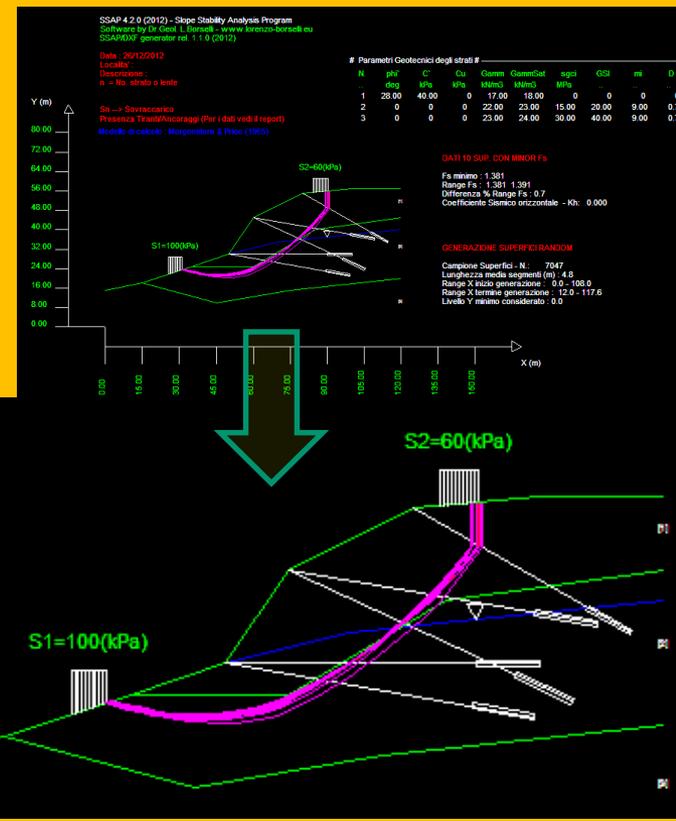
Tuttavia anche se SSAP2010 è un software freeware , esso non è un software OPEN-SOURCE. Infatti il codice sorgente rimane nella esclusiva disponibilità del solo Autore.

I risultati della applicazione sono di esclusiva responsabilità dell'utilizzatore... Non si è responsabili di danni a infrastrutture informatiche e/o perdita di dati..



PARTE III-Tecniche di base nella verifica della stabilità dei pendii

Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D
 Universidad Autonoma de San Luis Potosi - UASLP
 Instituto de Geología
 Facultad de Ingeniería.
 San Luis Potosi, MEXICO
 lborselli@gmail.com
 lorenzo.borselli@uaslp.mx
 http://www.lorenzo-borselli.eu



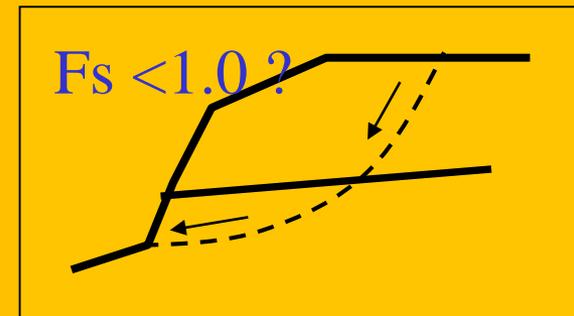
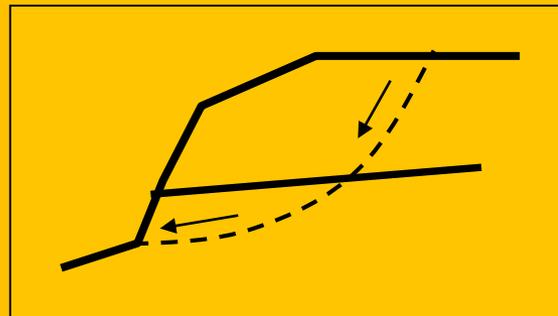
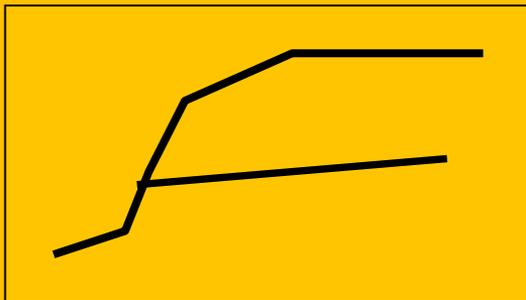
CNR-IRPI (Perugia, Italy) - 28/01/2013

Borselli L.- SSAP2010 (Slope Stability Analysis Program) - rel. 4.2.1 (2013)

Verifiche di stabilità 2D mediante il metodo dell'equilibrio limite.

Fasi della analisi:

1. Definizione Modello 2D del pendio (geometria e par. geomeccanici)
2. Assunzione di una Superficie di potenziale scivolamento
3. Calcolo di Fattore di sicurezza (F_s) (o fattore di stabilità)



Definizione di Modello 2D del pendio (un problema spesso estremamente complesso):

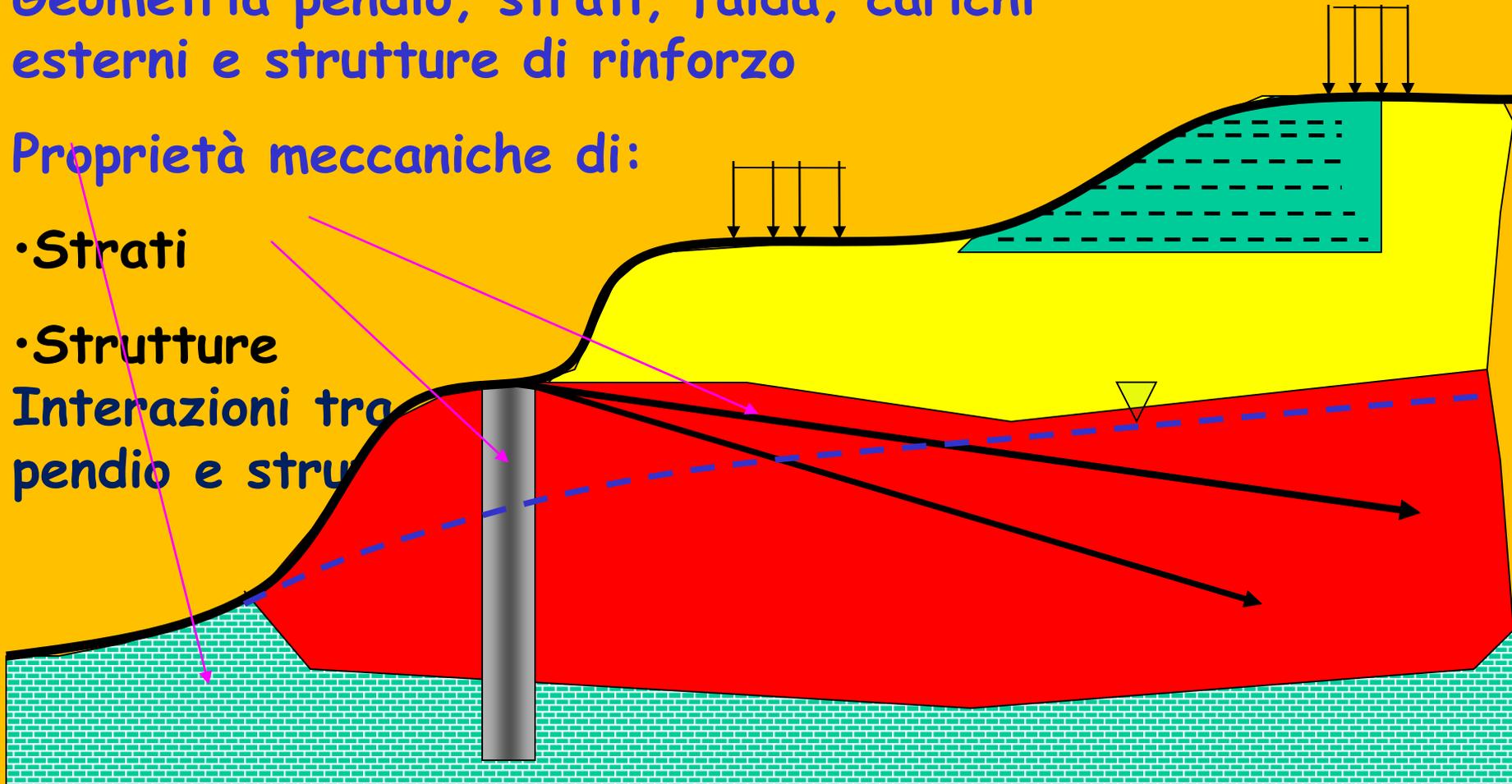
Geometria pendio, strati, falda, carichi esterni e strutture di rinforzo

Proprietà meccaniche di:

- Strati

- Strutture

Interazioni tra
pendio e stru



Superficie di potenziale scivolamento

- Nella applicazione del metodo dell'equilibrio limite la superficie di potenziale scivolamento separa la parte di pendio stabile da quella potenzialmente instabile.
- Si assume che la parte stabile inferiore rimane indeformata e non subisce rotture.
- Si suppone che la massa superiore, fino al momento della rottura, non subisca deformazioni.
- Collassi e deformazioni sono posteriori allo sviluppo di una superficie di rottura.

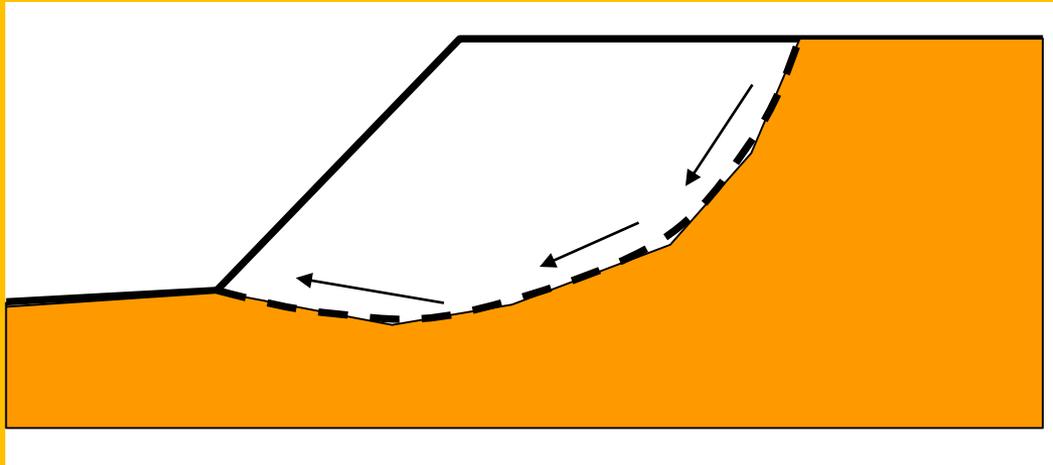
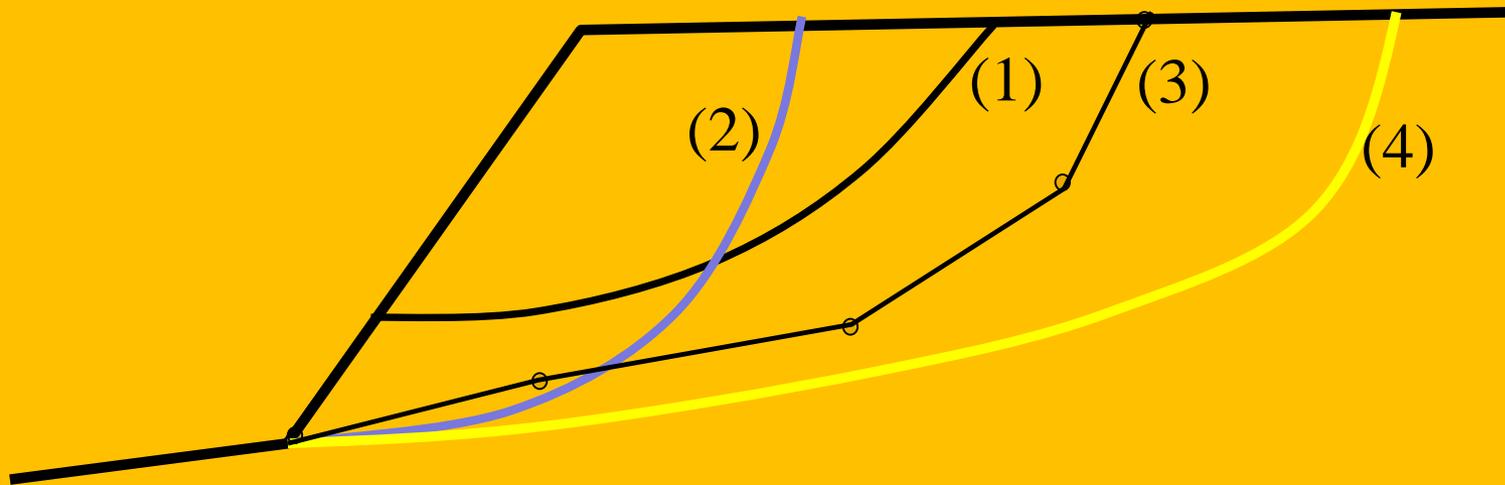




Fig. 2.2. Scivolamenti: a) di traslazione; b) di rotazione; c) composti



Tipi di superfici generabili nel piano della sezione del pendio:

- (1) **Circolari** : definite da eq. Circonfrenza (arco di cerchio: centro e raggio)
- (2) **Spirali logaritmiche**: eq. Spirale logaritmica
- (3) **Generiche**: serie di punti (nodi) collegati da tratti rettilinei (SSAP)
- (4) **Generiche smussate**: superficie smussata interpolante serie di punti (SSAP).

Superfici di forma generica..

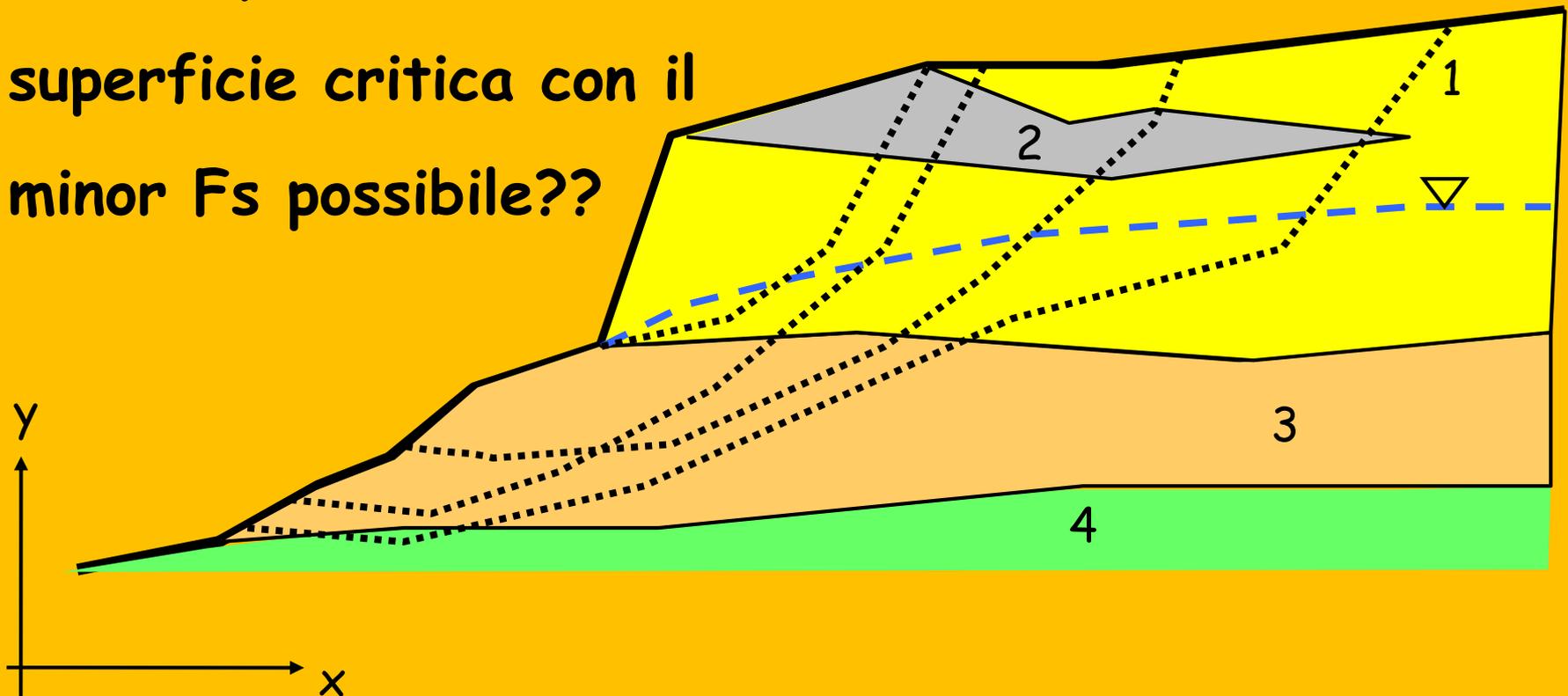
ovvero quanto si osserva nella realtà !

Infinite superfici e quasi infinite forme possibili..

Quindi qual è la reale

superficie critica con il

minor F_s possibile??



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 **Strategia di ricerca** per trovare la superficie con **Fattore di sicurezza MINIMO**
Motori di ricerca e generazione delle superfici:

- Griglia a passo fisso (per sup. Circolari)
- Minimizzazione multidimensionale della funzione
Che definisce $F_s \rightarrow \text{MIN} [F_s]$
dove : $F_s = f(x_1, y_1, \dots, x_i, y_i, \dots, x_n, y_n)$ (per sup. Generiche)
- Random (monte carlo) (circolari e generiche)
- Metodi Misti

Griglia di ricerca

Vincolato al passo prefissato:

ΔX

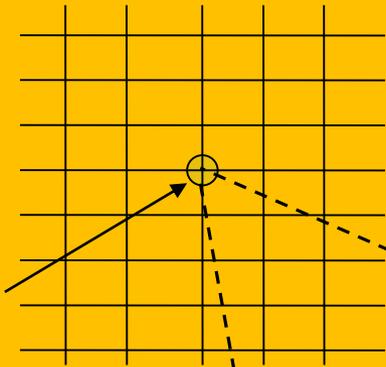
ΔY

ΔX

ΔY

Δr

$c(xc1, yc2)$



r

1

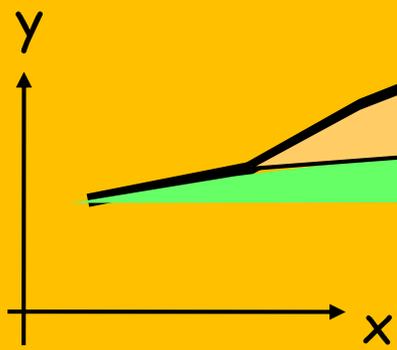
2

1

∇

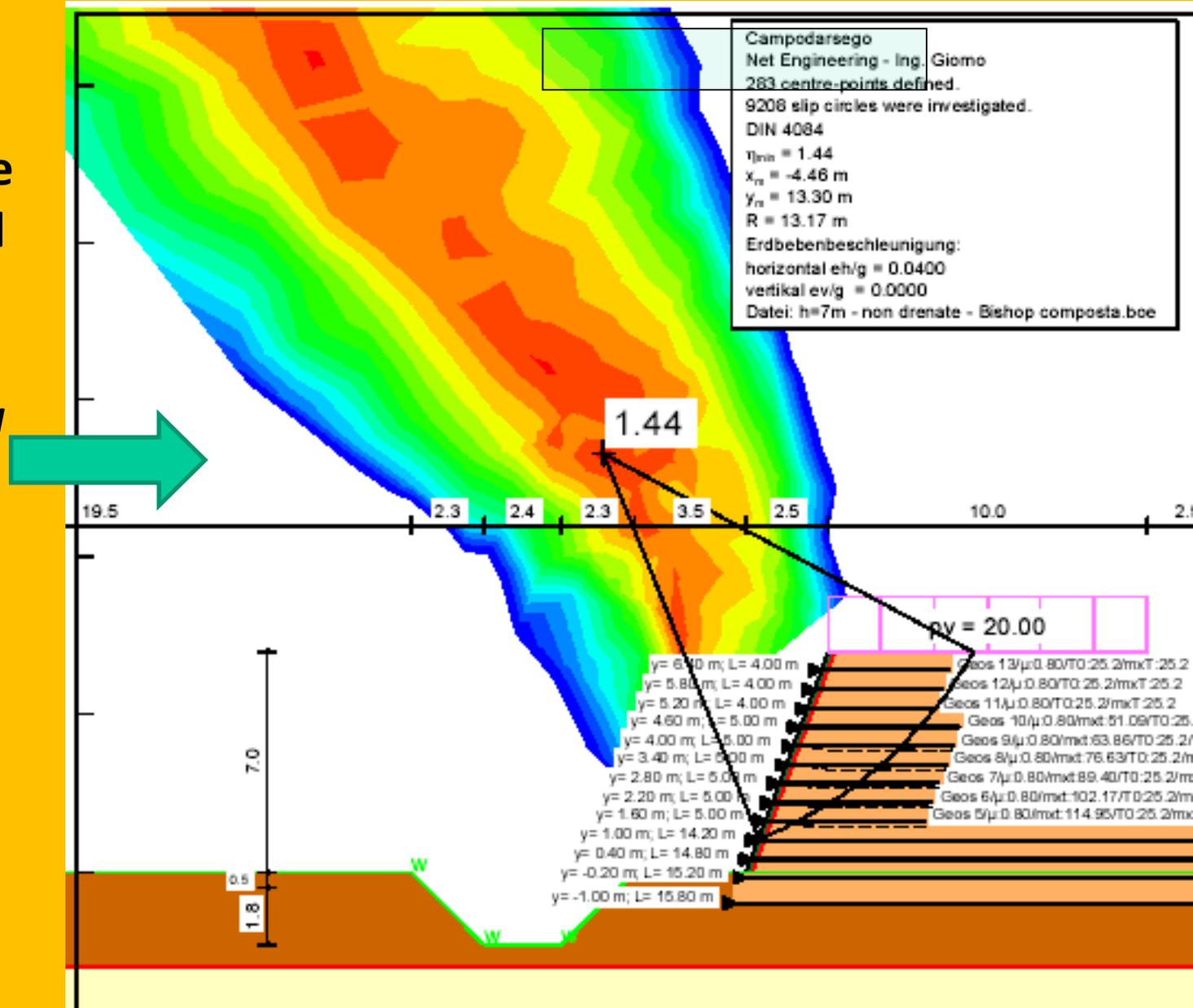
3

4



I cerchi di scorrimento e problemi di indentificazione e significato del centro e raggio critico.

Es. non basta la Mappa di F_s in funzione dei centri di scorrimento .. Perché ad ogni centro corrisponde un quasi infinito numero di raggi..



Griglia di ricerca

Vincolato al passo prefissato:

ΔX

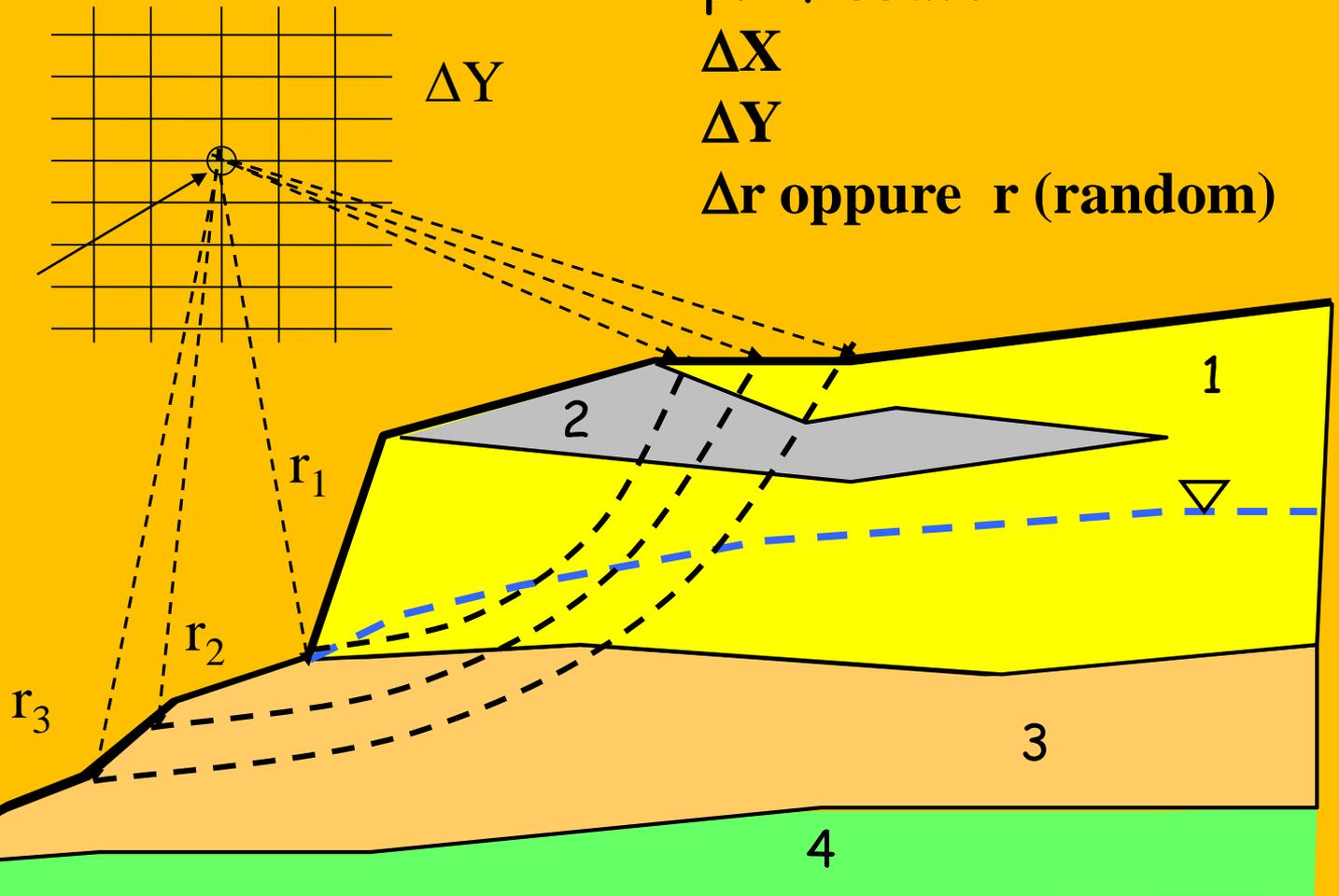
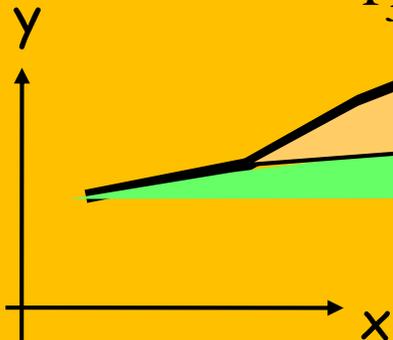
ΔY

Δr oppure r (random)

ΔX

ΔY

$c(xc1, yc2)$



**N.B.: La mappa di F_s in funzione dei centri sposta la attenzione fuori del pendio anziché dentro.
Le forme circolari sono solo una frazione delle forme possibili**

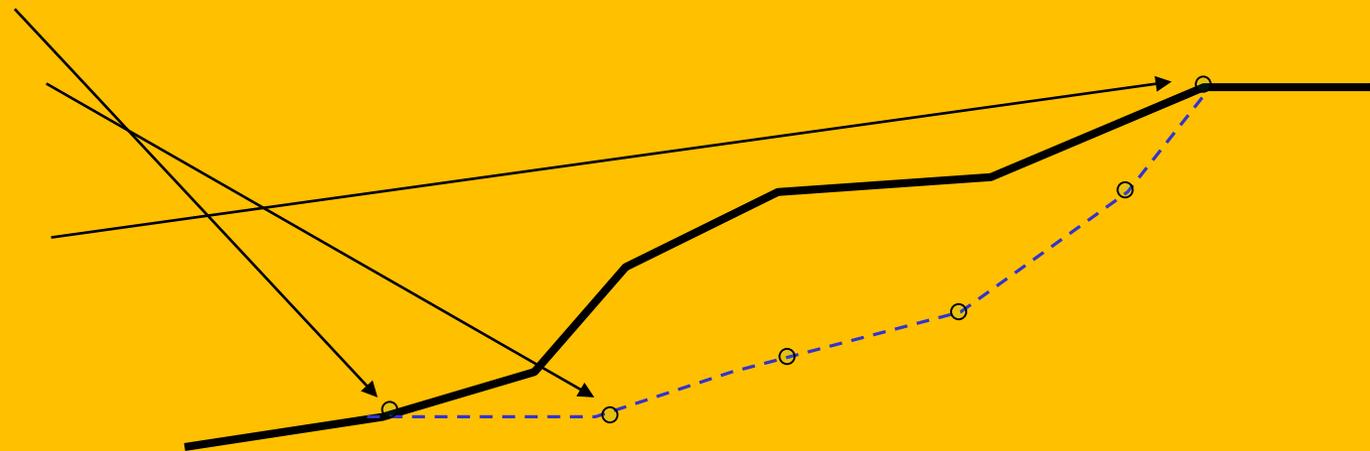
Superfici generiche - metodi di minimizzazione F_s

Obiettivo:

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

Uso di un algoritmo che fa variare automaticamente i nodi E calcola l' F_s per ogni superficie

N	X	Y
1	22.1	34
2	32.0	37.5
...
n	56.2	50.3



Superfici generiche - metodi di minimizzazione Fs

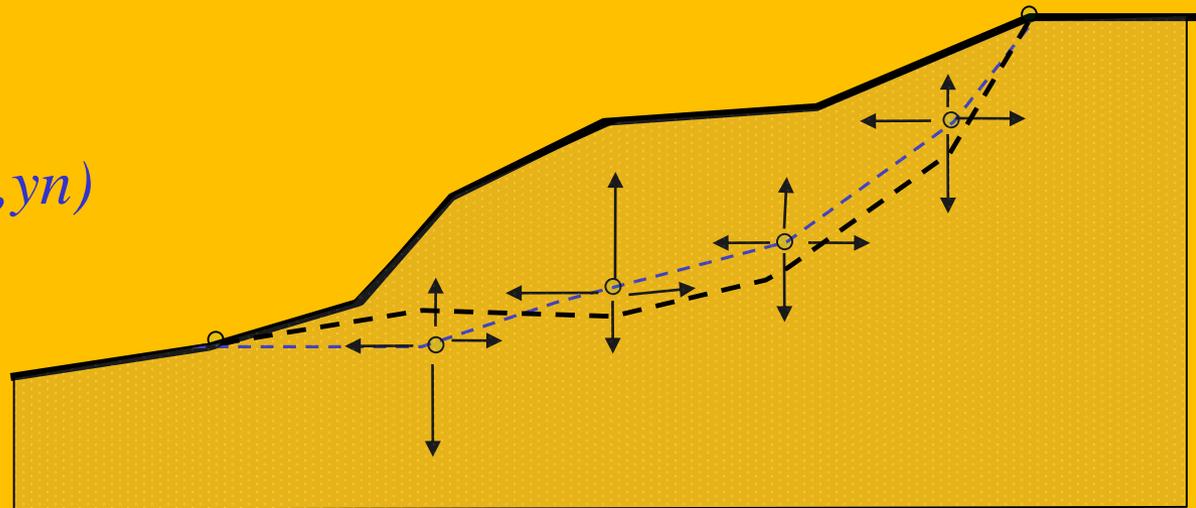
Problemi:

- 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

MIN [Fs]

dove :

$$F_s = f(x_1, y_1, \dots, x_i, y_i, \dots, x_n, y_n)$$

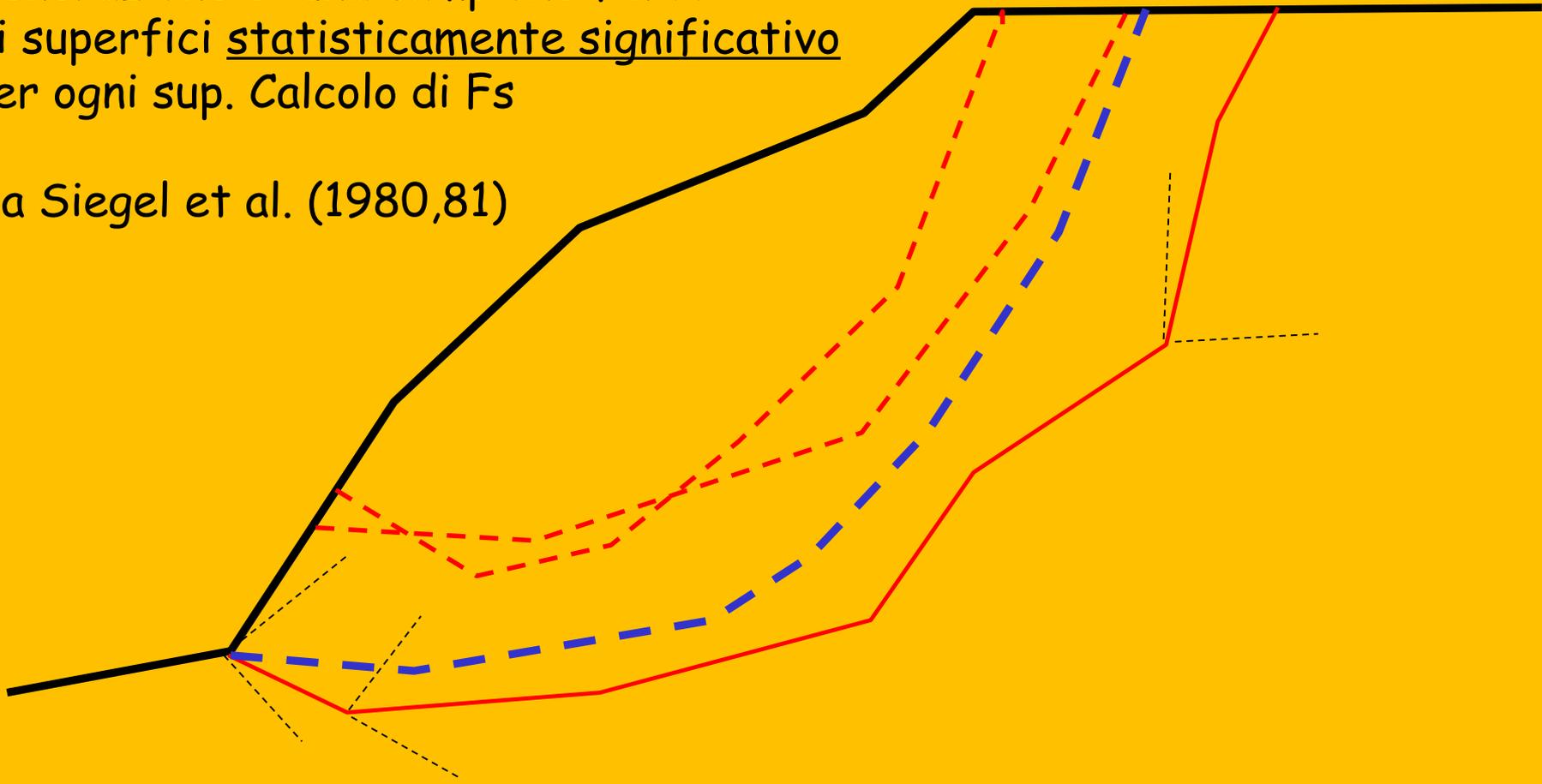


Superfici generiche - Generazione random montecarlo

Sfrutta la possibilità da parte del computer di generare
Sequenze di numeri pseudocasuali (random)

Generazione di una campione finito
di superfici statisticamente significativo
Per ogni sup. Calcolo di Fs

Da Siegel et al. (1980,81)

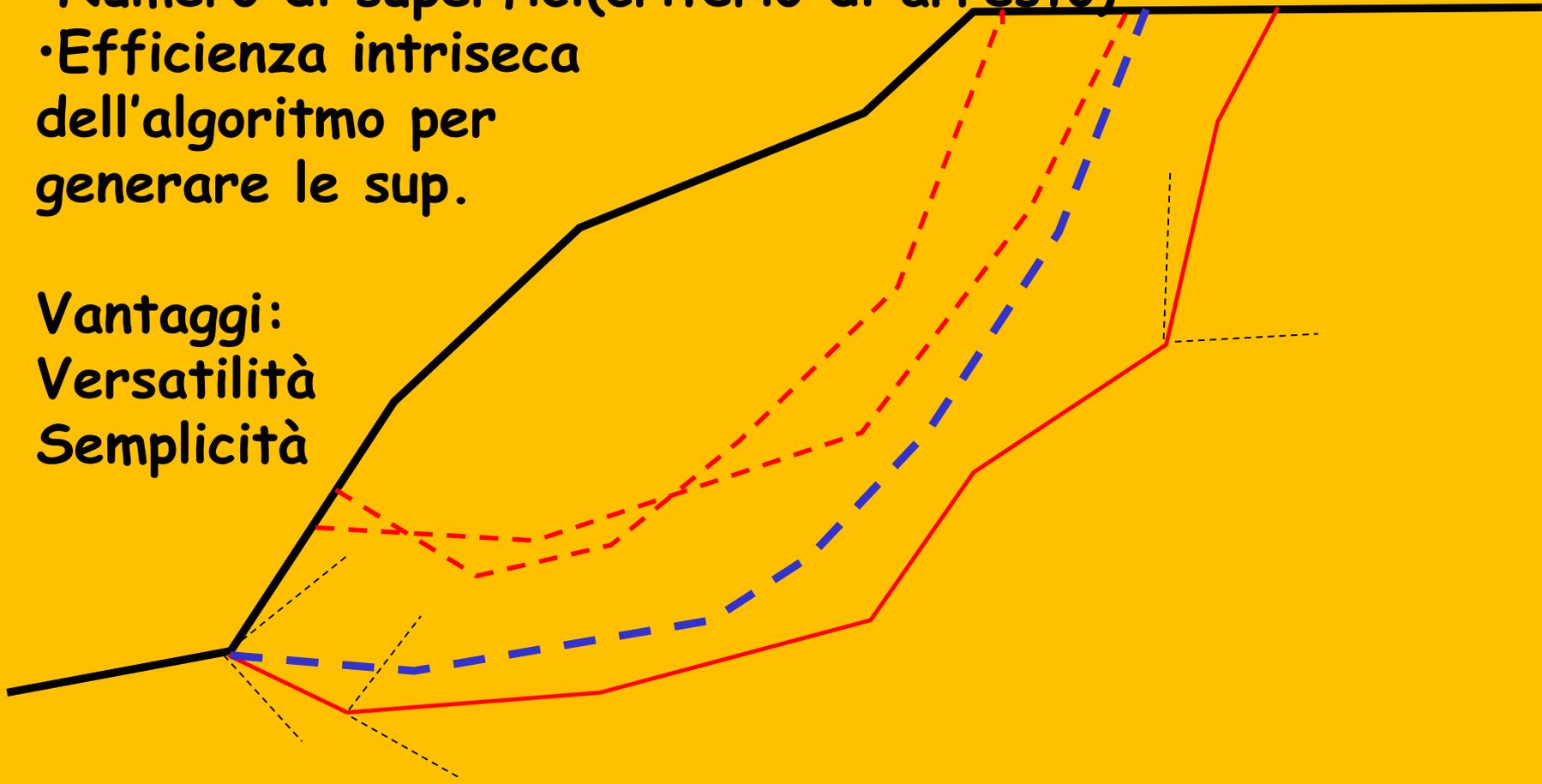


Superfici generiche - Generazione random montecarlo

Problemi:

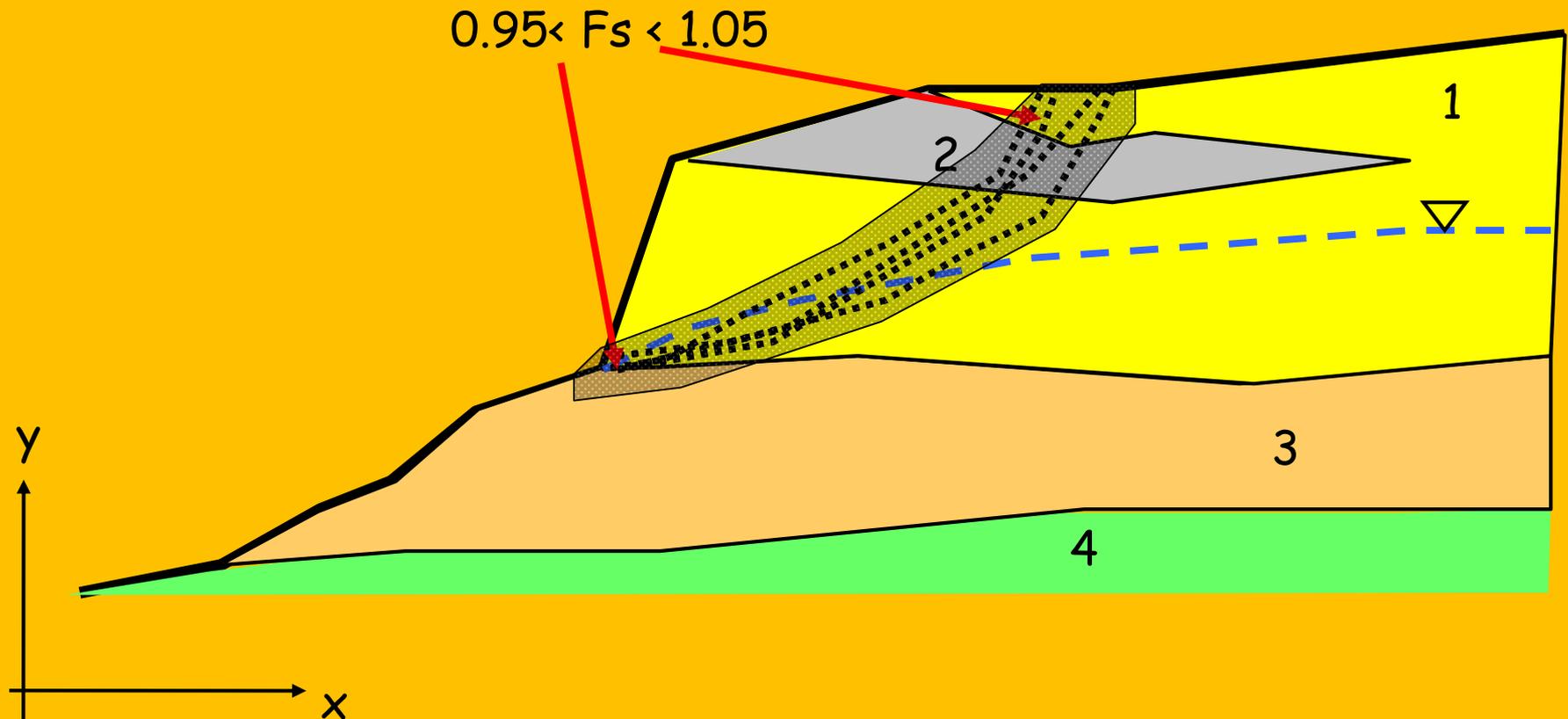
- Definizione spazio di ricerca
- Lunghezza segmenti
- Numero di superfici (criterio di arresto)
- Efficienza intrinseca dell' algoritmo per generare le sup.

Vantaggi:
Versatilità
Semplicità

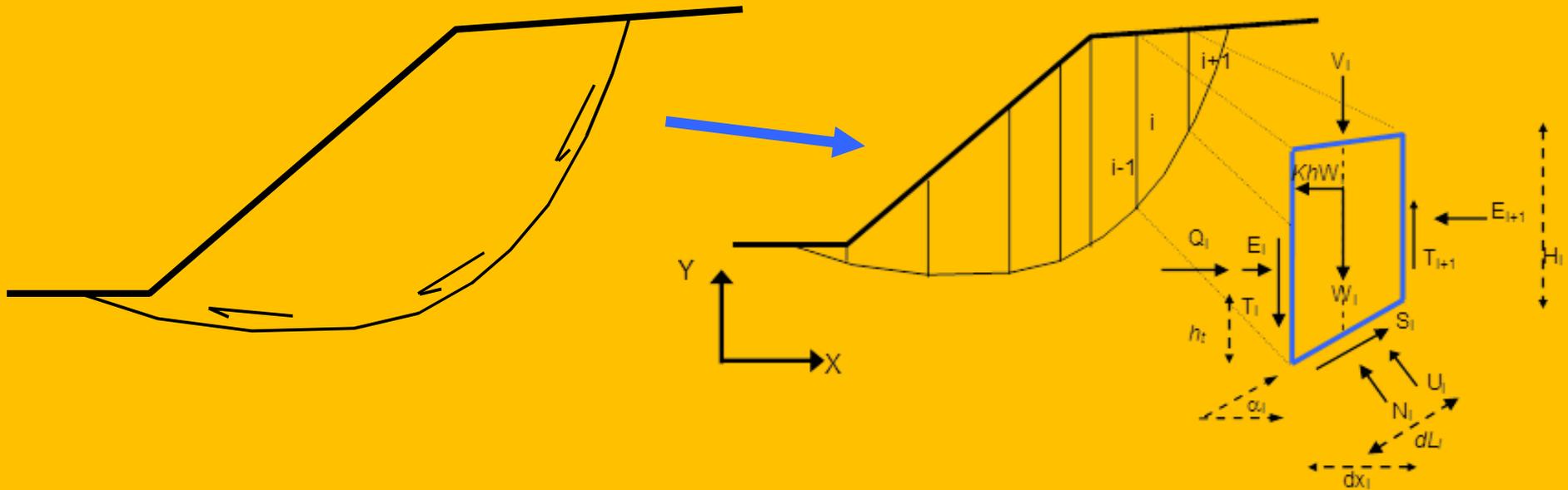


Dopo la generazione di un campione significativo di
superfici

Quelle per le quali abbiamo i minori F_s identificano
Una, o più zone critiche entro il pendio



Metodo dell'equilibrio limite



F_s può essere determinato mediante gruppi di eq. per l'equilibrio dei corpi rigidi:

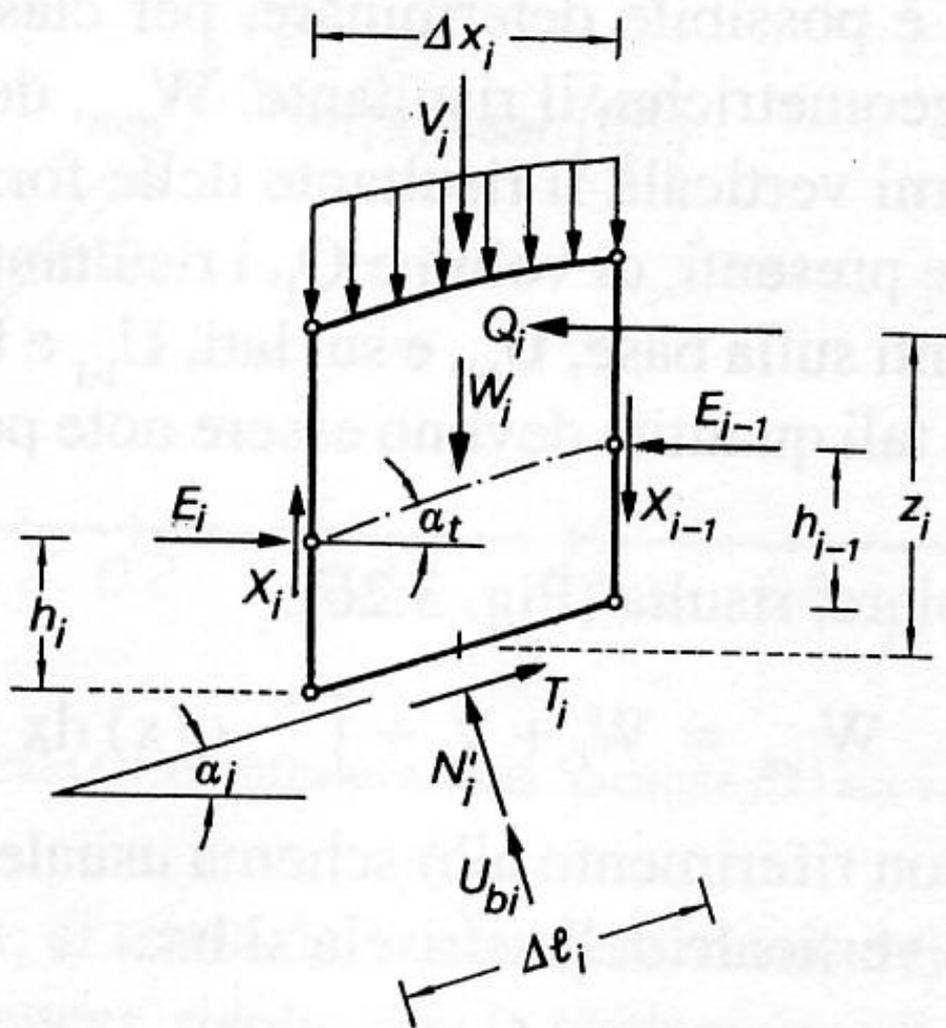
Equilibrio alla traslazione nelle direzioni verticali e orizzontali

$$\sum V_i = 0$$

$$\sum H_i = 0$$

Equilibrio alla rotazione rispetto a un punto

$$\sum M_i = 0$$



La maggior parte
dei metodi di calcolo
Si differenziano
Per le assunzioni fatte
Per rendere il problema
staticamente determinato
Es: $T(x) = \lambda f(x) E(x)$

$h_t(x)$ = posizione linea di spinta

λ = costante (variabile tra 0 e 1.25)

$f(x)$ = funzione interconco variabile tra 0 e 1

$E(x)$ = forza interazione
orizz. (normale) Conci

$T(x) = X(x)$ = forza di taglio
Verticale tra i conci

Janbu(1973)

Metodi che garantiscono



$$\sum_{V_i=0} V_i = 0 \quad \sum_{H_i=0} M_i = 0$$

tabella 2.1: relazione funzionale che esprime $t(x)$ per i vari modelli di calcolo implementati

Gruppo	Modello di calcolo adottato per la risoluzione di FS	Relazione funzionale che esprime $T(x)$
I	Spencer (1967)	$T(x) = \lambda E(x)$
I	Sarma I (1973)	$T(x) = \lambda \left[\bar{c}' H(x) + \left((E(x) - Pw(x)) \tan \bar{\phi}' \right) \right] \frac{1}{F_s}$
II	Morgestern & Price (1965)	$T(x) = \lambda f(x) E(x)$
II	Correia (1988)	$T(x) = \lambda f(x)$
II	Sarma II (1979)	$T(x) = \lambda f(x) \left[\bar{c}' H(x) + \left((E(x) - Pw(x)) \tan \bar{\phi}' \right) \right] \frac{1}{F_s}$
III	Janbu Rigoroso (1973)	$T(x) = E(x) \tan \alpha_t + h_t \frac{dE(x)}{dx} + \dots$

Fs → procedura di calcolo iterativa

Se si prendono in esame i soli metodi rigorosi che considerano sempre la distribuzione delle forze interne interconco E(x) e T(x) come potenzialmente non nulle e i momenti delle forze è necessario applicare speciali algoritmi di risoluzione per ottenere Fs associato a una specifica superficie.

I metodi iterativi sono i più usati .. Calcolo di Fs(forze)=Fs(momenti) per specifici valori di lambda (Fredlund e Krahn 1975) .
Il metodo classico ha molti fasi di iterazioni..

Calcolo iterativo diretto (una sola fase di iterazioni) .,,, (Zhu, 2005)

Fs (forze e momenti)

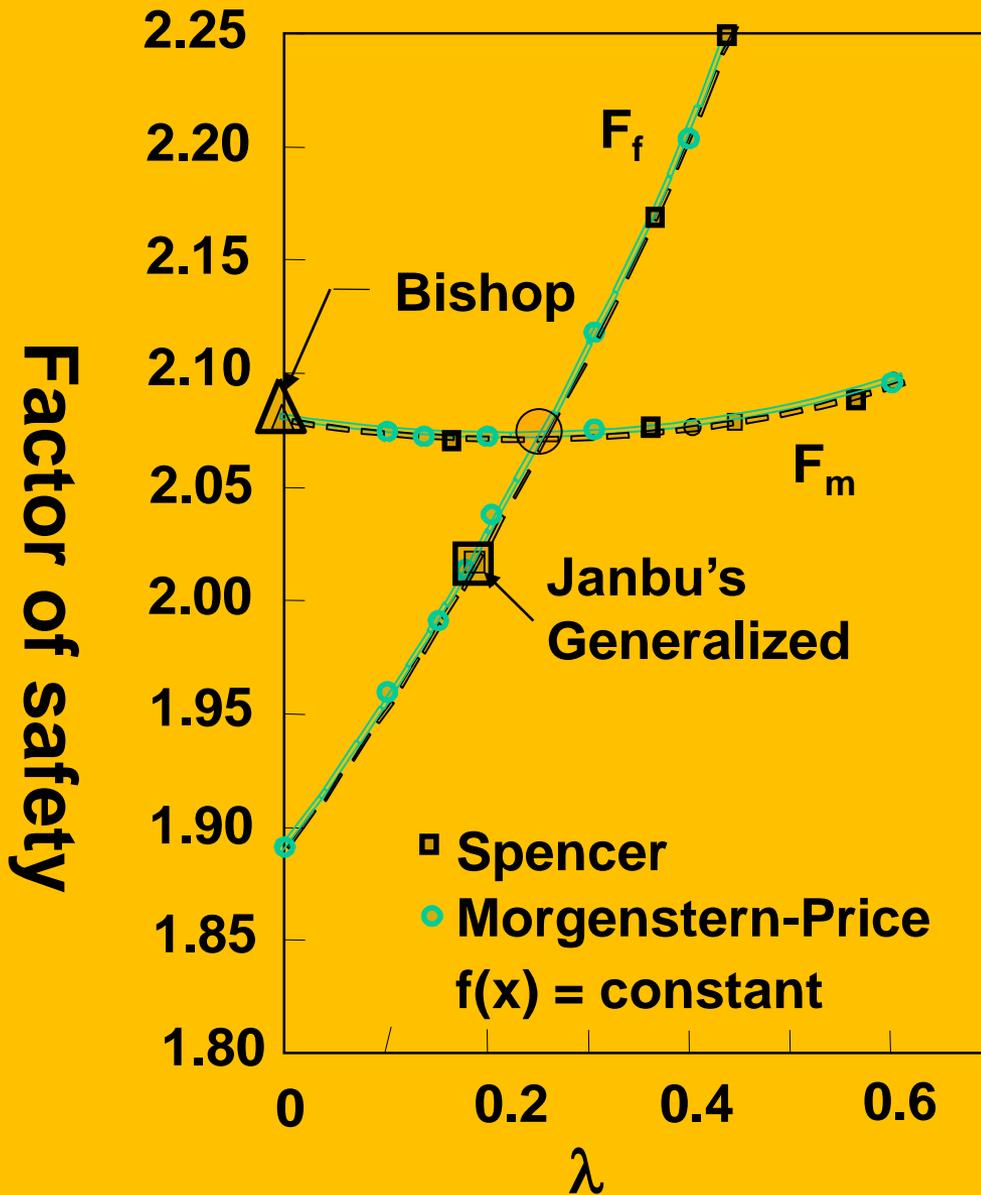
Che permette di trovare anche

Il valore ottimale di lambda:

$h_t(x)$ = posizione linea di spinta

λ = fattore di scala (variabile tra 0 e 1.25)

$f(x)$ = funzione interconco variabile tra 0 e 1



Equilibrio
dei momenti
e delle forze

$$F_m = F_f$$

Per dati valori di
Lambda....

(un numero di cicli di
iterazioni elevato...)

Da Fredlund and Krahn
(1975)

Però In SSAP 2010..

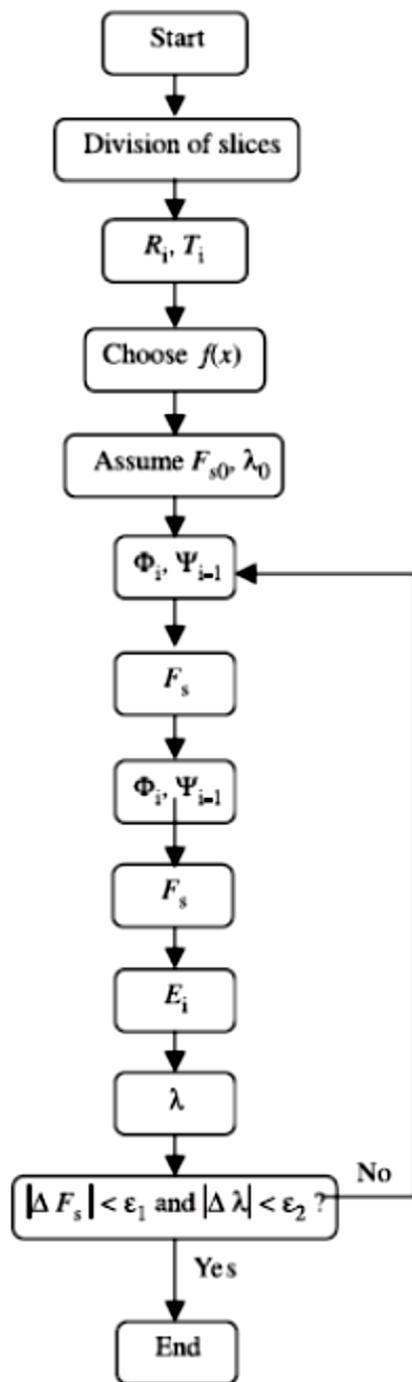
Si usa un algoritmo di calcolo innovativo che è una evoluzione di quello proposta da Zhu (2005) per metodo di Morgestern & Price (1965).

La parte nuova è :

*1) ulteriore generalizzazione del metodo di Zhu(2005) consentendo di usare l'algoritmo anche con i vari metodi di calcolo rigorosi adottati nelle verifiche di stabilità:
(es. janbu rigoroso, spencer, sarma, morgestern, correia ..)*

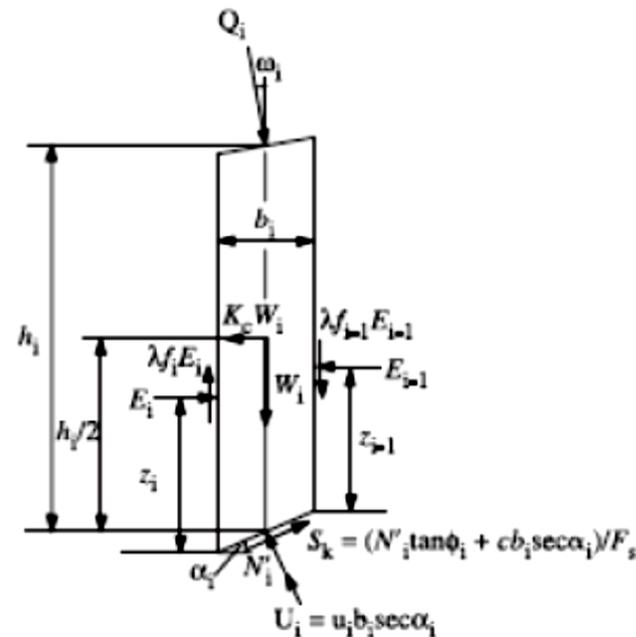
2) inclusione delle interazioni delle strutture di rinforzo (quasi assenti nel metodo di Zhu(2005) originale)

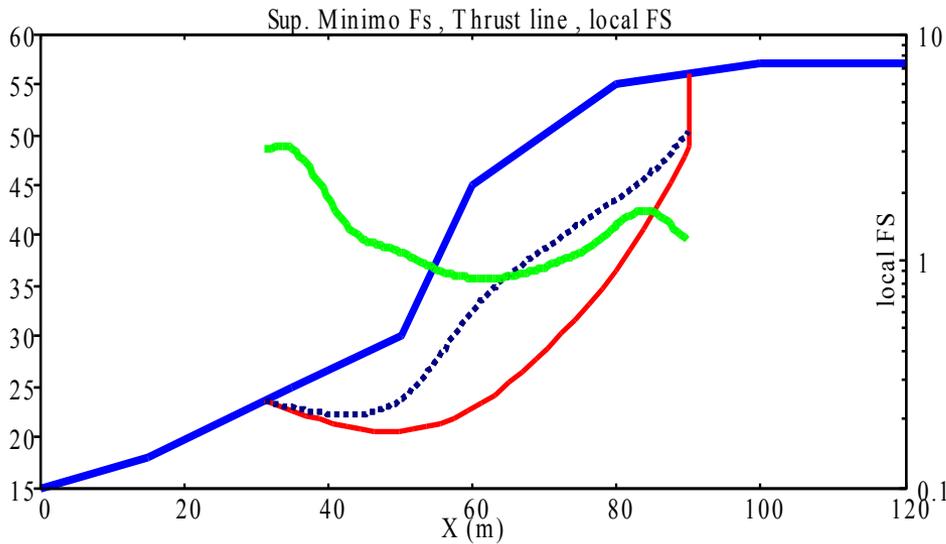
Fs (generale per equilibrio momenti e forze) e fattore di scala λ sono calcolati mediante un procedimento numerico più efficiente di quelli tradizionali



Una singola fase di iterazioni
 Per la determinazione
 contemporanea
 di F_s e λ (da Zhu 2005)

Adottato, generalizzato e
 penso.. Migliorato In
 ssap2010.....





**Durante la ricerca della soluzione
Fs e lambda
Vengono anche ottenute
La distribuzione delle forze
E(x) e T(x)**

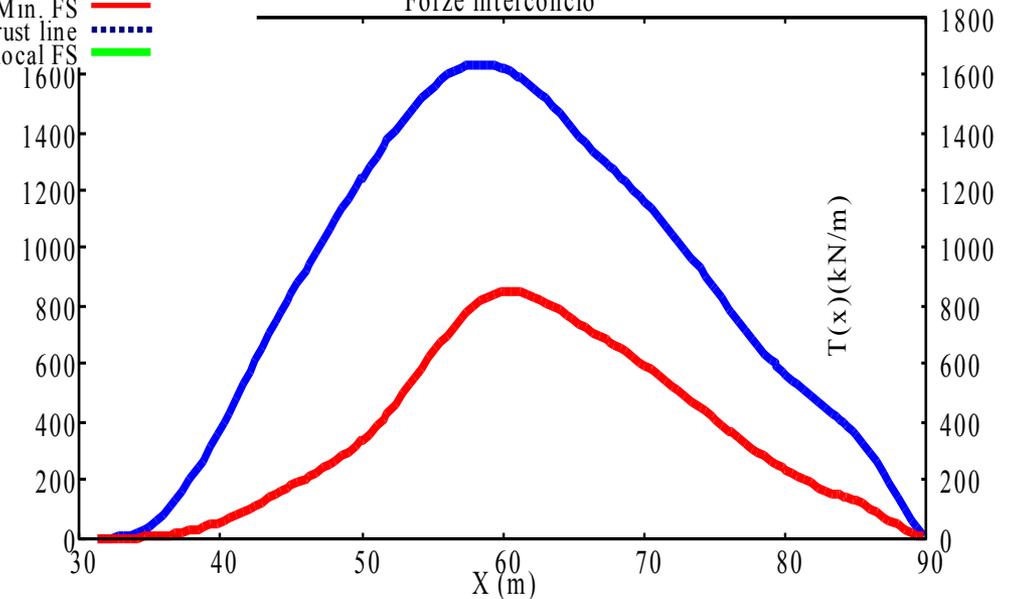
rho(x)



27/01/13 09:13

Sup. Topografica —
Sup. Min. FS —
Thrust line - - -
local FS —

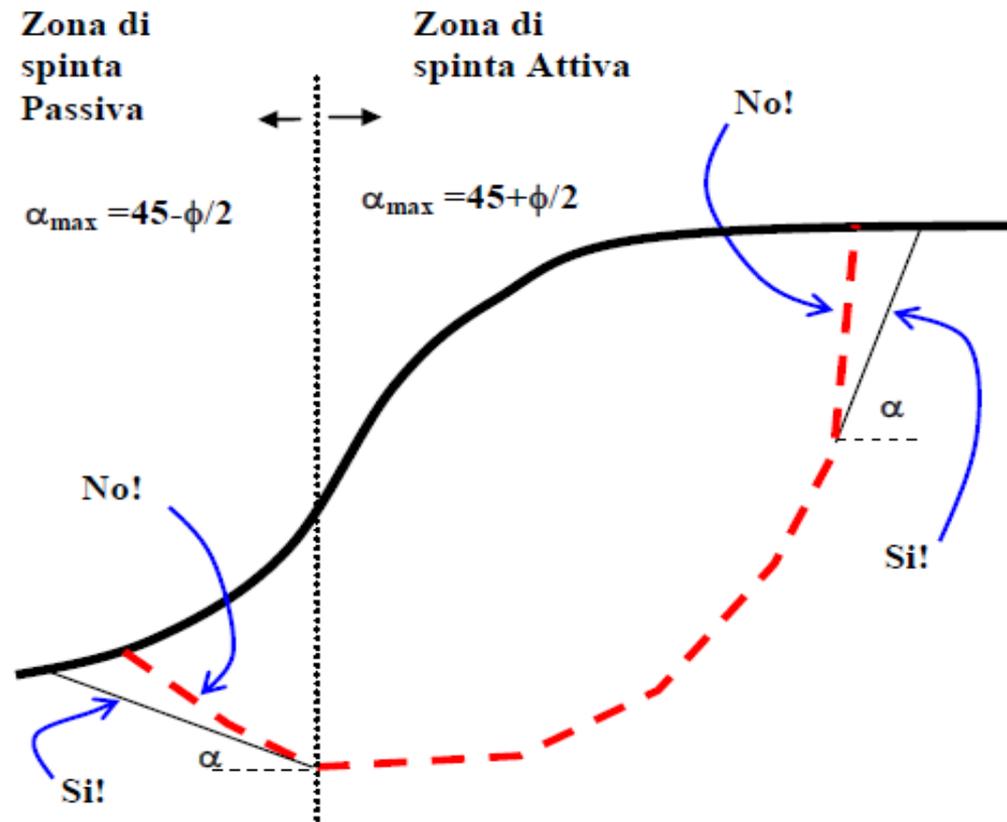
Forze interconcio



27/01/13 09:13

E(x)(kN/m) —
T(x)(kN/m) —

Verifica della accettabilità delle superfici prima del calcolo

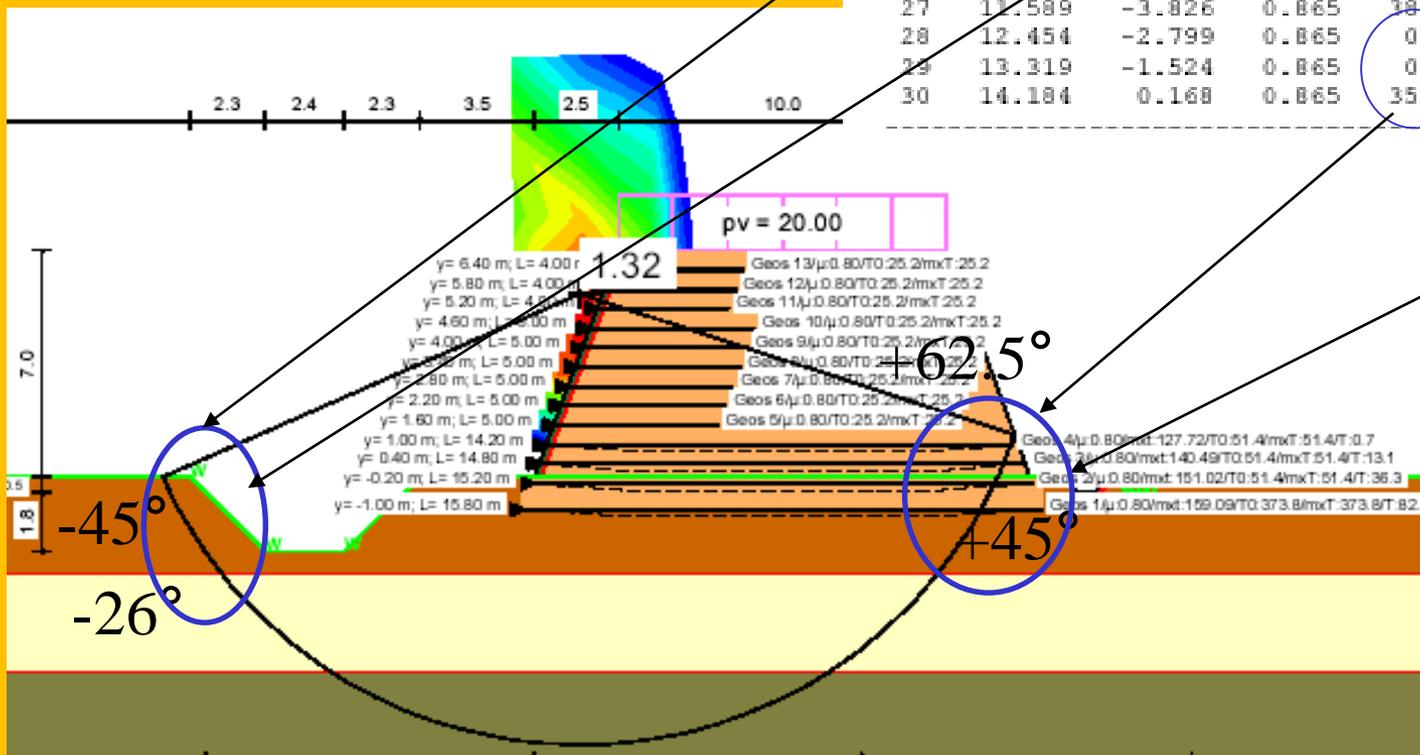


Limitazioni nella forma delle superfici di scivolamento

Per evitare problemi numerici con superfici non cinematicamente possibili

Significatività dei risultati:

Forma e inclinazione locale delle superfici

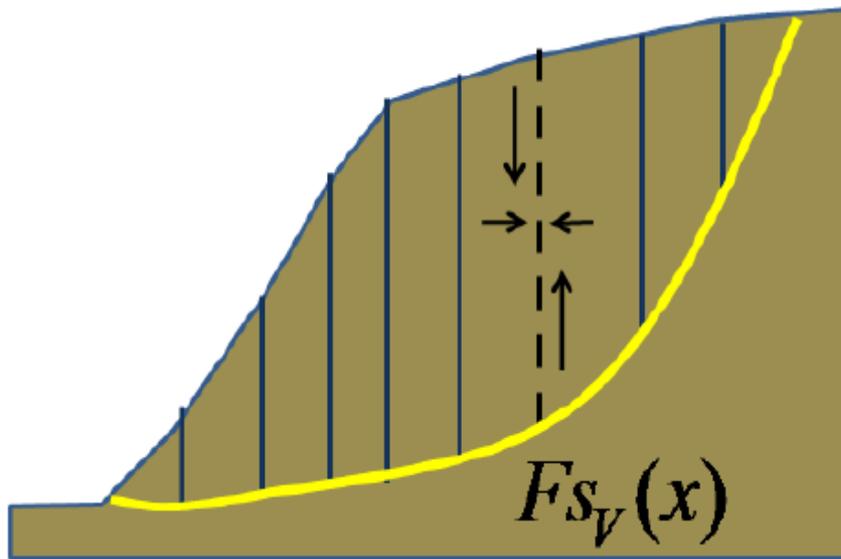


No.	x [m]	y [m]	b [m]	phi [°]	c [kN/m²]	FWD [-]	tet [°]
1	-10.902	-0.889	0.865	0.1	35.0	0.00	-62.0
2	-10.037	-2.305	0.865	0.1	35.0	0.00	-55.2
3	-9.172	-3.423	0.865	38.0	0.0	0.00	-49.4
4	-8.307	-4.343	0.865	38.0	0.0	0.00	-44.2
5	-7.442	-5.115	0.865	38.0	0.0	0.00	-39.4
6	-6.577	-5.771	0.865	38.0	0.0	0.00	-34.9
7	-5.712	-6.328	0.865	0.1	30.0	0.00	-30.7
8	-4.847	-6.800	0.865	0.1	30.0	0.00	-26.6
9	-3.982	-7.197	0.865	0.1	30.0	0.00	-22.7
10	-3.117	-7.526	0.865	0.1	30.0	0.00	-18.9

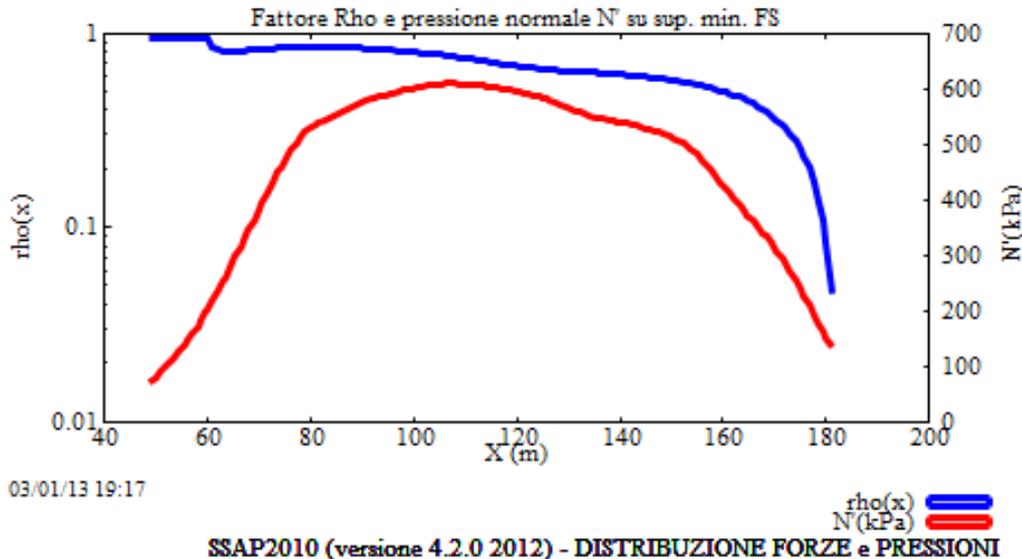
21	6.399	-7.342	0.865	0.1	30.0	0.00	21.1
22	7.264	-6.974	0.865	0.1	30.0	0.00	25.0
23	8.129	-6.534	0.865	0.1	30.0	0.00	29.0
24	8.994	-6.013	0.865	0.1	30.0	0.00	33.1
25	9.859	-5.400	0.865	38.0	0.0	0.00	37.5
26	10.724	-4.680	0.865	38.0	0.0	0.00	42.1
27	11.589	-3.826	0.865	38.0	0.0	0.00	47.1
28	12.454	-2.799	0.865	0.1	35.0	0.00	52.7
29	13.319	-1.524	0.865	0.1	35.0	0.00	59.0
30	14.184	0.168	0.865	35.0	0.0	0.00	66.8

Ulteriori Problemi numerici e di convergenza

- Numero insufficiente (o eccessivo..) di conci che dividono la massa scivolante
- dE/dx e altre derivate (metodo di Janbu)
- Sovrappressioni negative (in aree con basso peso unitario terreno, basso c' , basso W e forti spinte idrostatiche)
- Pressioni normali alla sup. di sciv., negative
- Tension cracks (forze di trazione in zone sommitali dei pendii con $C', C_u > 0$)
- + molti altri... come fattore $Rho(x)$ e $Fv(x)$..



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



$$Rho(x) = \left| \frac{Fs}{F_{S_v}(x)} \right|$$

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

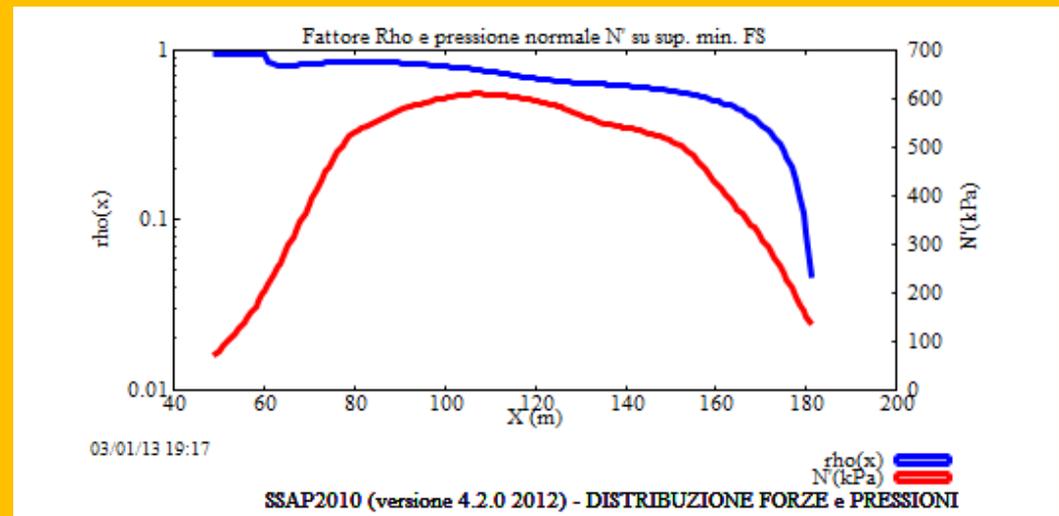
$$F_{S_v} = \frac{c' H(x) + [E(x) - U_v(x)] \tan \bar{\phi}'}{T(x)} > 1.0$$

Mentre altri autori (es. Zhu , 2003) sostengono che comunque che **deve essere sempre**:

$$Rho(x) = \left| \frac{F_s}{F_{S_v}(x)} \right| < 1.0$$

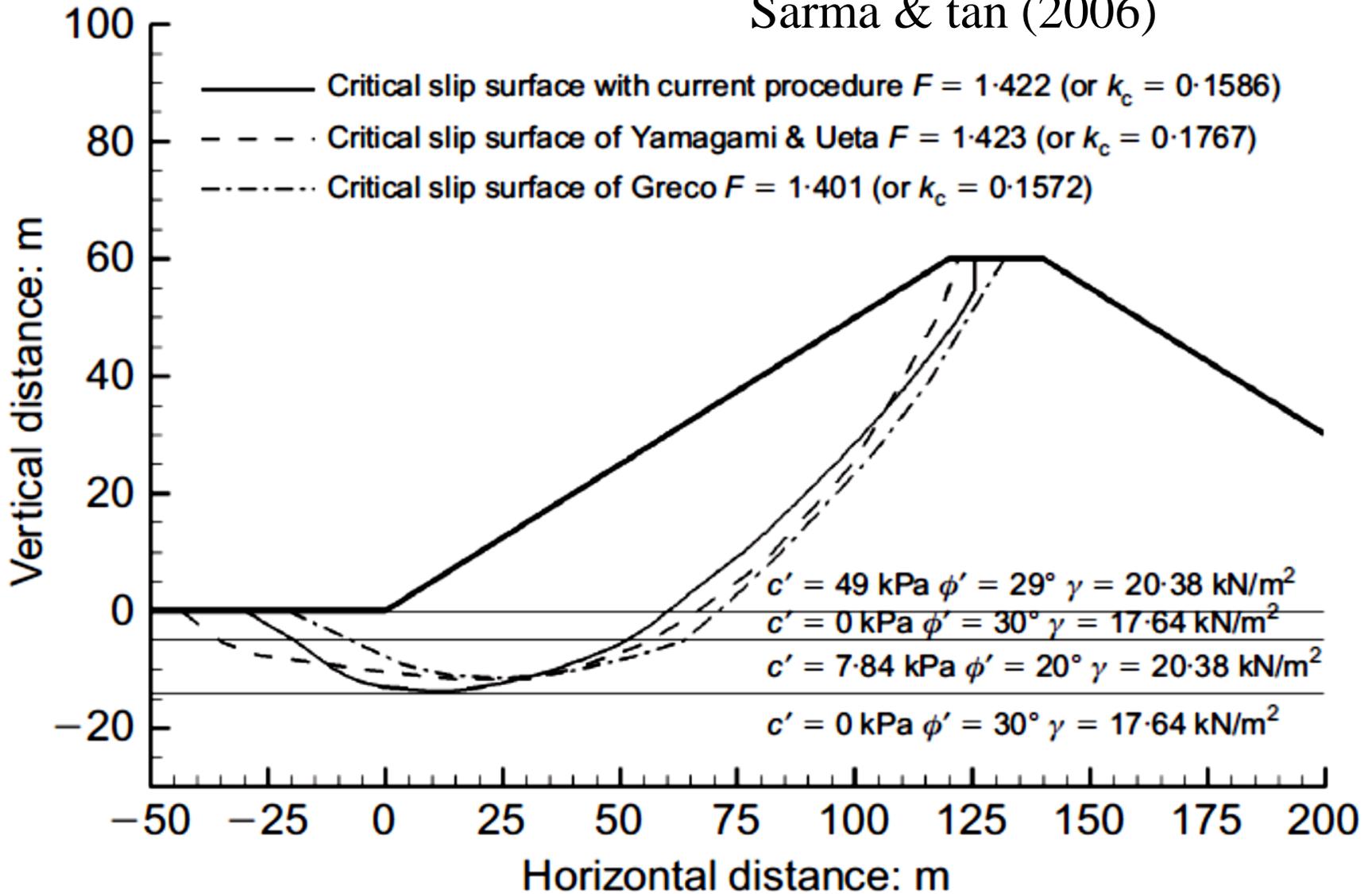
ovvero

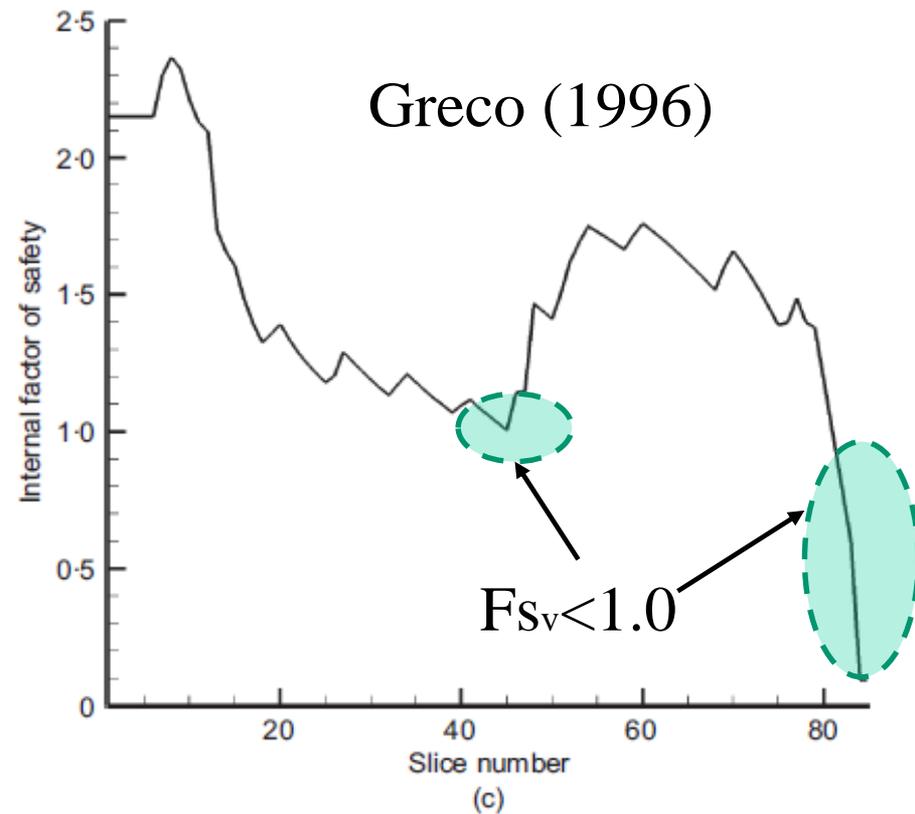
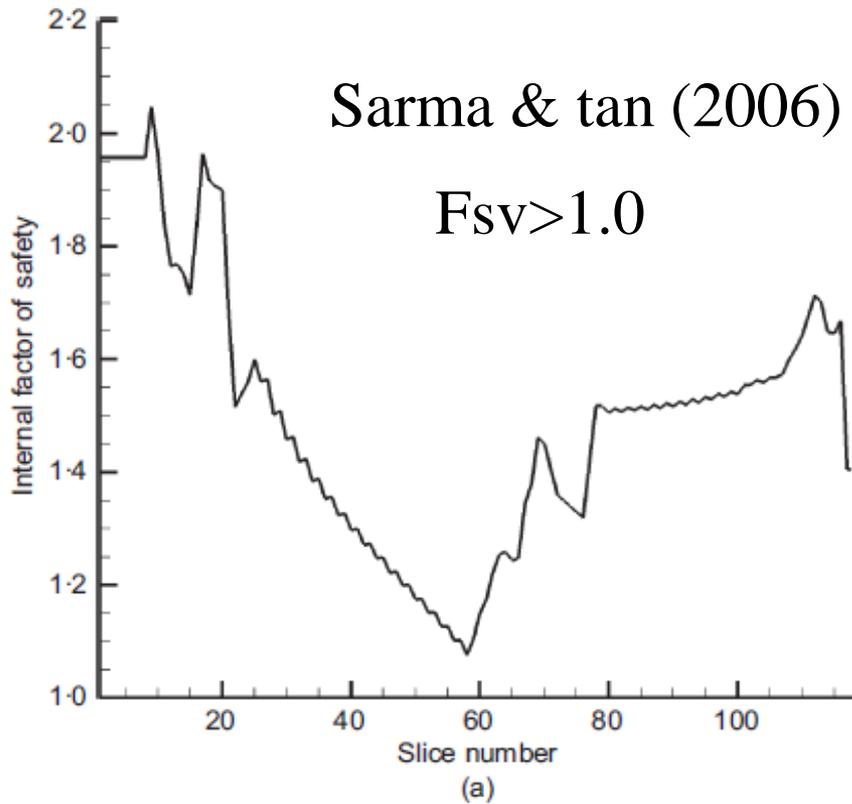
$$|F_s| < |F_{S_v}(x)|$$



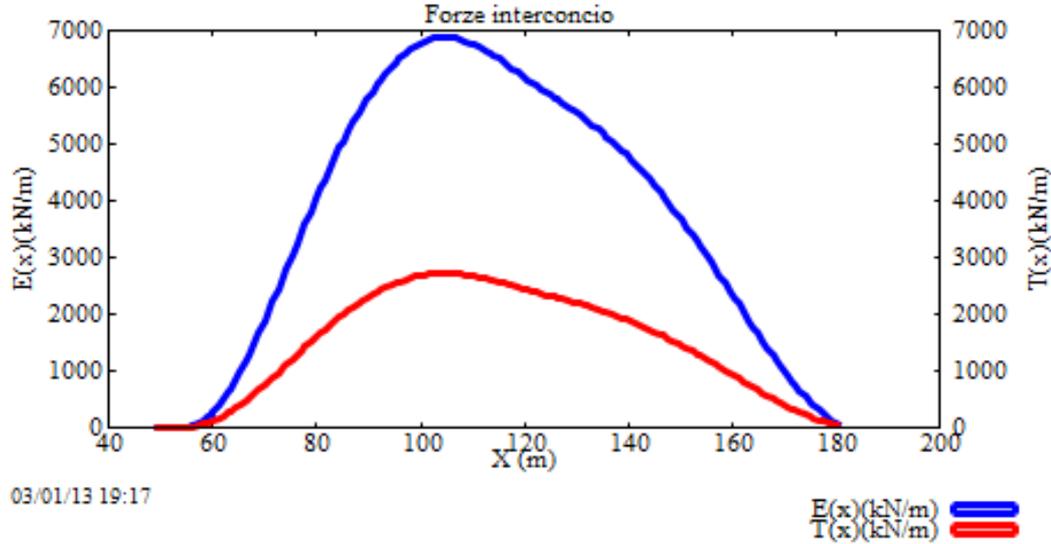
Questo è il criterio in uso in SSAP2010 al momento.. Che può essere usato per filtrare superfici non compatibili

Sarma & tan (2006)

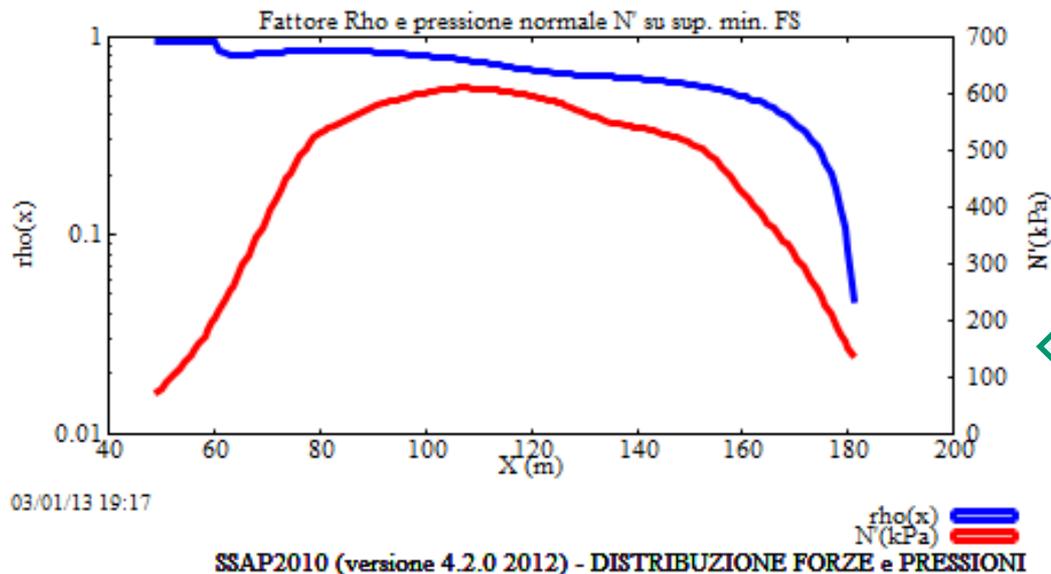




F_{sv} ricalcolato da Sarma e Tan (2006) per le due Superfici critiche corrispondenti



**Distribuzione Funzione
forze interconcorso $E(x)$
 $T(x)$**

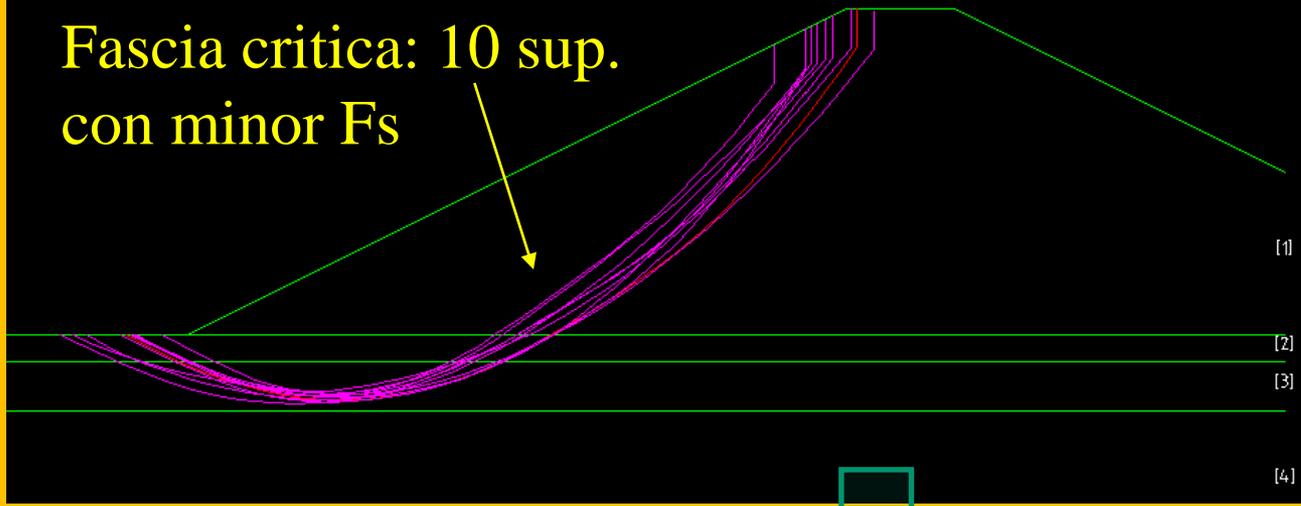


**Distribuzione $\rho(x)$ e
 $N'(x)$ (stress normale
Efficace sulla superficie di
Scivolamento)**



**Esempio di *Sarma*
e *Tan* (2006) in SSAP 4.2.0**

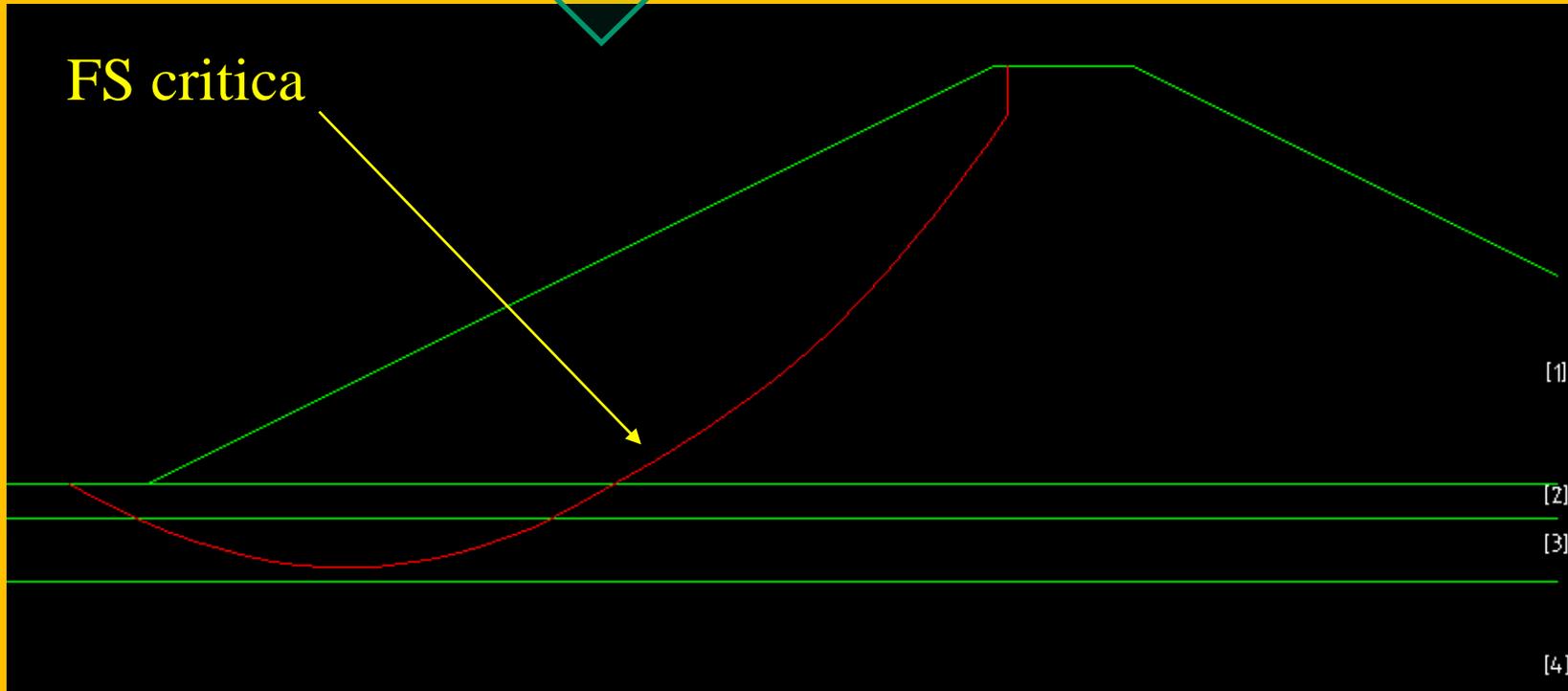
Fascia critica: 10 sup.
con minor Fs

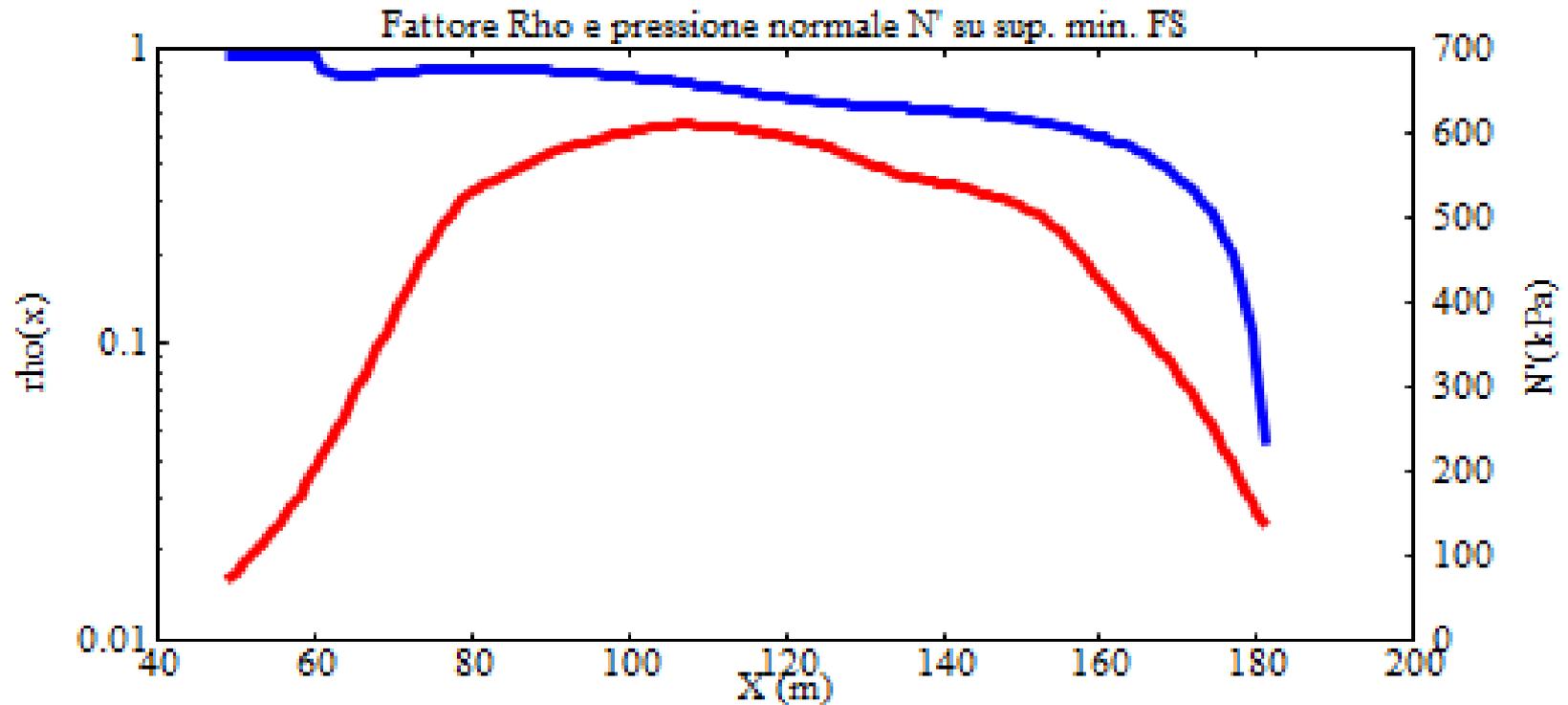


Lo stesso pendio in ssap
2010 rel 4.2.0
Fs=1.367 (metodo
spencer 1973) con
tension crack,
Motore random search
smooth...



FS critica





03/01/13 19:17

rho(x)
N'(kPa)

SSAP2010 (versione 4.2.0 2012) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

Funzione Rho(x)

$$Rho(x) = \left| \frac{F_s}{F_{s_v}(x)} \right| < 1.0$$

Parte V - Descrizione delle funzionalità di SSAP2010

Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
UASLP

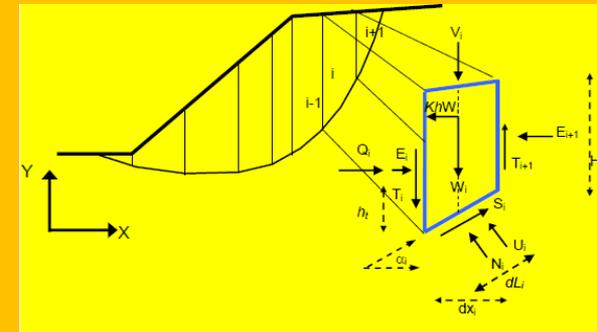
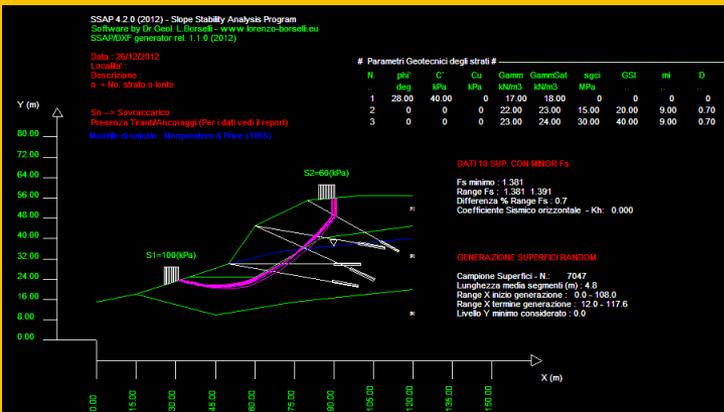
Instituto de Geología
Facultad de Ingeniería.
San Luis Potosí, MEXICO

E_mail:

lborselli@gmail.com

lorenzo.borselli@uaslp.mx

<http://www.lorenzo-borselli.eu>

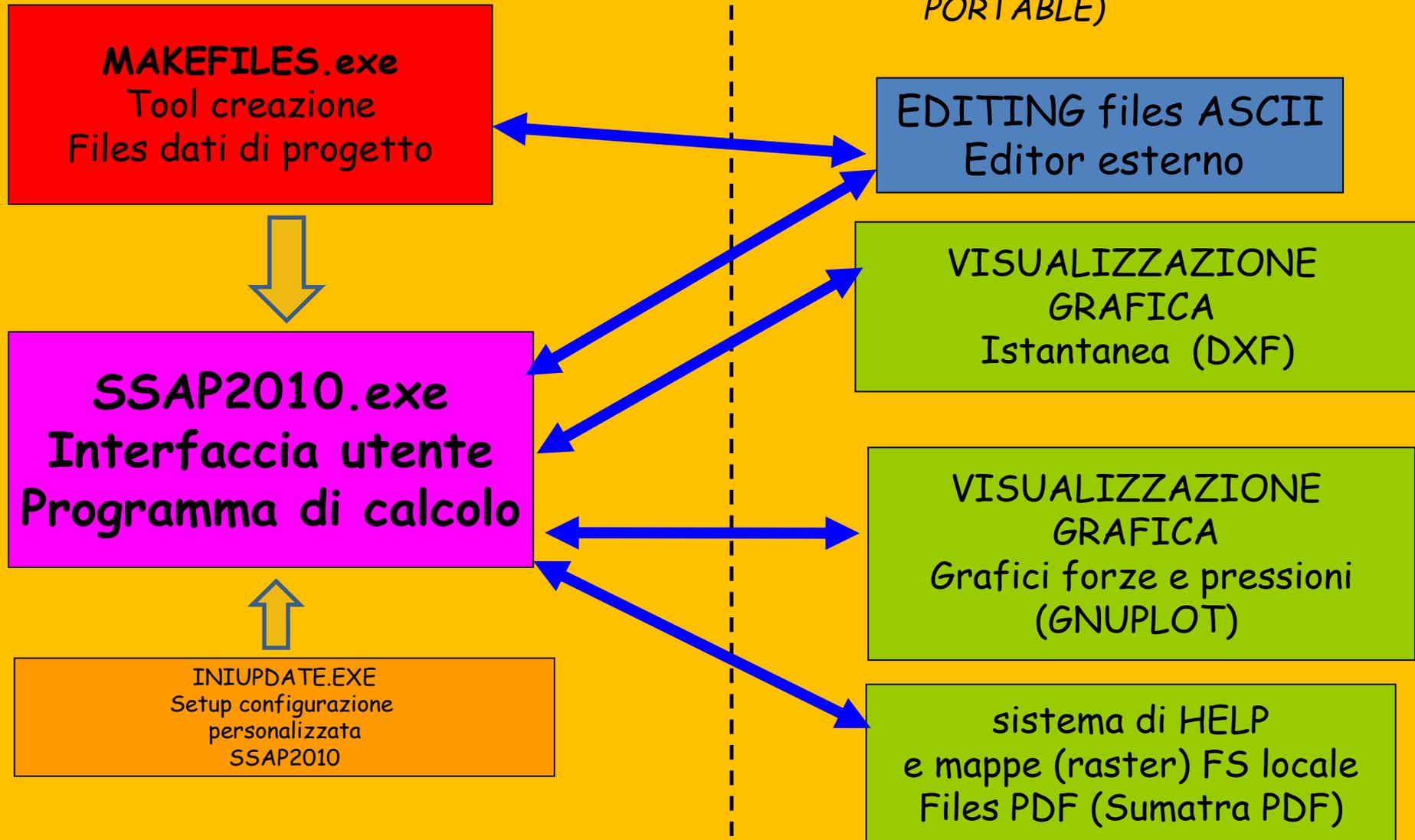


Struttura del software

software SSAP2010

SSAP 2010 (rel. 4.3.1)

Programmi esterni (Generalmente freeware) A scelta dell'utente o preimpostati nella versione PORTABLE)



SSAP2010 – Finestra principale

SSAP 2010 (versione 4.3.1 - 2014)

SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM
release 4.3.1 (c) (1991-2014)
Build No. 6274 Windows 32 Bit
by Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D.
lborselli@gmail.com
<http://www.lorenzo-borselli.eu>

AVVIO VERIFICA

VERIFICA GLOBALE

VERIFICA SINGOLA

RISULTATI

DIAGRAMMI FORZE

GENERA / VEDI MAPPA Fs LOCALE

VEDI GRAFICI SUPERFICI

MONITOR VERIFICA

MODELLO PENDIO : ES6.MOD

MODELLO DI CALCOLO : Morgestern e Price (1965)

COEFFICIENTI SISMICI: ORIZZONTALE (Kh) : 0.0000
VERTICALE (Kv) : 0.0000 (Kv assunto con segno positivo)

PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI

MOTORE DI RICERCA SUPERFICI : Convex Random Search (CRS)

ZONA DI INIZIO - Progressive - (m) : da 0.00 a 108.00

ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - (m) : da 12.00 a 117.60

QUOTA LIMITE INFERIORE (m) : 0.00

LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI - (m) : 4.80

SMUSSA SUPERFICI: Disattivato EFFETTO TENSION CRACKS: Attivato

RICERCA CON ATTRATTORE DINAMICO: Attivato METODO (lambda0,Fs0): A

RISULTATI IN TEMPO REALE

Fs ITERATIVO :

RANGE Fs 10 SUPERFICI CON MINOR Fs :

n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE:

% EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA :

PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETATE(%):

Premi ESC per Terminare - Premi INVIO/ENTER per stop temporaneo

SETUP VERIFICA

INFO

OPZIONI

PARAMETRI

GESTIONE ACQUIFERI

OPZIONI AGGIUNTIVE

STRUMENTI

GENERA REPORT VERIFICA

GENERA FILES DXF

ESPORTA SUPERFICI

CAMBIA PAR. GEOTECNICI

EDITA FILES

MAKEFILES 3.2

File SSAP2010.INI

<http://WWW.SSAP.EU>

MODELLO PENDIO

LEGGI MODELLO

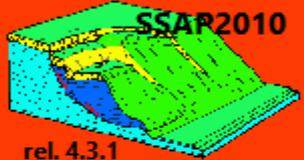
VEDI MODELLO

HELP

ESCI dal PROGRAMMA

MESSAGGI

SUGGERIMENTI: il modello del Pendio è stato caricato in memoria, puoi effettuare alcuni settaggi generali con gli appositi pulsanti in alto a destra della console o lanciare la verifica direttamente con le impostazioni automatiche.



SSAP2010 - Monitor controllo verifica

SSAP 2010 (versiono .1 - 2014)

SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM
release 4.3.1 (c) (1991-2014)
Build No. 6274 Windows 32 Bit
by Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D.
lborselli@gmail.com
<http://www.lorenzo-borselli.eu>

AVVIO VERIFICA
VERIFICA GLOBALE
VERIFICA SINGOLA

RISULTATI
DIAGRAMMI FORZE
GENERA / VEDI MAPPA F_s LOCALE
VEDI GRAFICI SUPERFICI

MONITOR VERIFICA

MODELLO PENDIO
LEGGI MODELLO
VEDI MODELLO
HELP
ESCI dal PROGRAMMA

MODELLO PENDIO : ES6.MOD
MODELLO DI CALCOLO : Morgestern e Price (1965)
MODELLO DI CALCOLO : Morgestern e Price (1965)
COEFFICIENTI SISMICI: ORIZZONTALE (Kh) : 0.0000
VERTICALE (Kv) : 0.0000 (Kv assunto con segno positivo)

PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI
MOTORE DI RICERCA SUPERFICI: Convex Random Search (CRS)
ZONA DI INIZIO - Progressive - (m) : da 0.00 a 108.00
ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - (m) : da 12.00 a 117.60
QUOTA LIMITE INFERIORE (m) : 0.00
LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI - (m) : 4.80
SMUSSA SUPERFICI: Disattivato EFFETTO TENSION CRACKS: Attivato
RICERCA CON ATTRATTORE DINAMICO: Attivato METODO (lambda0,Fs0): A

RISULTATI IN TEMPO REALE
Fs ITERATIVO :
RANGE Fs 10 SUPERFICI CON MINOR Fs :
n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE:
% EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA :

PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETATE(%):

Premi ESC per Terminare - Premi INVIO/ENTER per stop temporaneo

SETUP VERIFICA
INFO
OPZIONI
PARAMETRI
GESTIONE ACQUIFERI
OPZIONI AGGIUNTIVE

STRUMENTI
GENERA REPORT VERIFICA
GENERA FILES DXF
ESPORTA SUPERFICI
CAMBIA PAR. GEOTECNICI
EDITA FILES
MAKEFILES 3.2
File SSAP2010.INI

MESSAGGI
SUGGERIMENTI: il modello del Pendio è stato caricato in memoria. puoi effettuare alcuni settaggi generali con gli appositi pulsanti in alto a destra della console o lanciare la verifica direttamente con le impostazioni automatiche.

<http://WWW.SSAP.EU>

SSAP2010 - Opzioni generali per la verifica

OPZIONI GENERALI per Verifiche di Stabilità SSAP 4.3.1

Coefficiente sismico orizzontale - Kh Kv (negativo) F_s di Progetto richiesto (analisi deficit)

METODO DI CALCOLO

JANBU RIGOROSO - (1973) $T(x) = \lambda f(x) E(x)$

SPENCER - (1973)

SARMA I - (1973)

MORGESTERN PRICE - (1965)

CORREIA - (1988)

SARMA II - (1979)

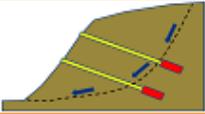
Esplora spazio (lambda0, fs0) **Metodo**

A (rapido e accurato)

B (più accurato)

C (molto più accurato)

TIRANTI - ANCORAGGI

PASSIVI 

ATTIVI

Distribuzione resistenza

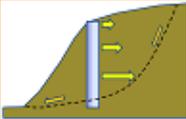
Rettangolare

Trapezoidale

PALIFICATE

Metodo calcolo

ITO-MATSUI (1975) - HASSIOTIS (1997)

KUMAR-HALL (2006) (+ conservativo) 

Fattore di riduzione F_p (NTC2008) % massima mobilizzazione teorica Applicare nuova metodologia calcolo mobilizzazione

SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO

EFFETTO ATTIVATO 

EFFETTO DISATTIVATO

MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI

RANDOM SEARCH (RS)

CONVEX RANDOM SEARCH (CRS) **RANDOM...**
00100101001
01010010101
00010101001
10110101000

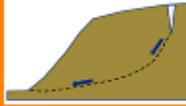
SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 2.0

SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH

Steps di scansione 

Frequenza di attivazione

TENSION CRACKS TESTA PENDIO

EFFETTO DISATTIVATO 

EFFETTO ATTIVATO Opzioni Tension Cracks

FORZE AGGIUNTIVE PER SUPERFICIE SINGOLA

Forza E_a (alla Base) - kN/m 

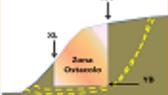
Forza E_b (in Testa) - kN/m

FILTRAGGIO SUPERFICI

FILTRARE 

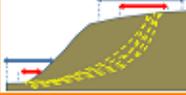
NON FILTRARE

PRESENZA DI OSTACOLO

CON OSTACOLO INTERNO 

SENZA OSTACOLO INTERNO

ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI

DISATTIVATO 

ATTIVATO

HELP

Parametri geometrici per la generazione delle superfici

PARAMETRI GEOMETRICI VERIFICHE DI STABILITA'

LUNGHEZZA MEDIA (m) SEGMENTI DELLE SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO 4.80

DEFINIZIONE DELLA ZONA DI INIZIO

ASCISSA LIMITE SINISTRO (X1) ZONA DI INIZIO (m) 0.00

ASCISSA LIMITE DESTRO (X2) ZONA DI INIZIO (m) 108.00

QUOTA (Y_o) ZONA PROIBITA INFERIORE (m) 0.00

DEFINIZIONE DELLA ZONA DI TERMINAZIONE

ASCISSA LIMITE SINISTRO (X1) DI TERMINAZIONE (m) 12.00

ASCISSA LIMITE DESTRO (X2) DI TERMINAZIONE (m) 117.60

NUMERO MASSIMO SUPERFICI DA GENERARE 10000

COORDINATE OSTACOLO

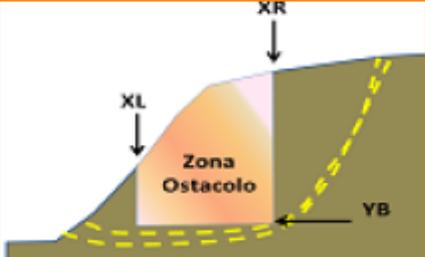
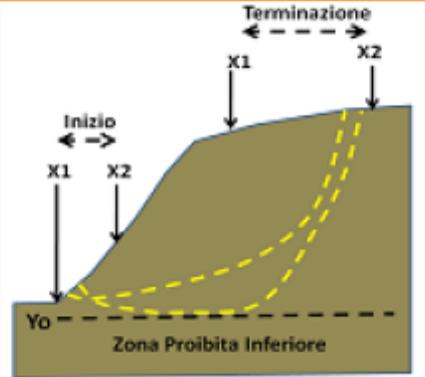
XL 0.00 Ascissa sinistra (m)

XR 0.00 Ascissa destra(m)

YB 0.00 Quota base ostacolo (m)

NOTA BENE: Tutte le coordinate sono espresse in metri (vedasi manuale per descrizione PARAMETRI)..

HELP OK Cancel



The image shows a software interface for defining geometric parameters for slope stability analysis. It includes input fields for average segment length, start and end coordinates for the initial and termination zones, a lower prohibited zone elevation, and obstacle coordinates. Two diagrams illustrate the 'Zona Proibita Inferiore' and 'Zona Ostacolo' on a slope profile.

Motori di generazione e ricerca delle superfici – generalità.

Random Search : forme generiche con cambio locale di curvatura
E concavità/convessità. Adatto a pendii con disomogeneità
Algoritmo di siegel(1980) però ottimizzato dall'autore

Convex Random Search: random search modificato secondo le
Indicazioni di Chen(1992) - forzata convessità verso il basso.

Sniff Random Search: sviluppato in modo originale dall'autore per
massimizzare il passaggio nelle aree con peggiori caratteristiche
geomeccaniche

Note importanti:

Ogni superficie è costituita da segmenti rettilinei.

Tradizionalmente la lunghezza dei segmenti è COSTANTE

In SSAP la lunghezza dei segmenti varia in modo random intorno
una lunghezza media indicata dall'utente.

In questo modo aumenta la generalizzazione delle forme prodotte !!

Opzioni generali per la verifica - motori di generazione e ricerca superfici

OPZIONI GENERALI per Verifiche di Stabilità SSAP 4.3.1

Coefficiente sismico orizzontale - Kh Kv (negativo) Fs di Progetto richiesto (analisi deficit)

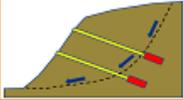
METODO DI CALCOLO

JANBU RIGOROSO - (1973) $T(x) = \lambda f(x) E(x)$
 SPENCER - (1973)
 SARMA I - (1973)
 MORGESTERN PRICE - (1965)
 CORREIA - (1988)
 SARMA II - (1979)

Esplora spazio (lambda0, fs0) Metodo

A (rapido e accurato)
 B (più accurato)
 C (molto più accurato)

TIRANTI - ANCORAGGI

PASSIVI 
 ATTIVI

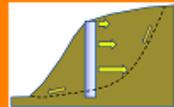
Distribuzione resistenza

Rettangolare
 Trapezoideale

PALIFICATE

Metodo calcolo

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



Fattore di riduzione Fp (NTC2008) % massima mobilizzazione teorica

(Variare da 1 a 100)

Applicare nuova metodologia calcolo mobilizzazione

SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO

EFFETTO ATTIVATO
 EFFETTO DISATTIVATO 

MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI

RANDOM SEARCH (RS)
 CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)
 SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 2.0

RANDOM...

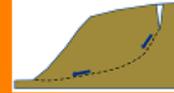
00100101001
01010010101
00010101001
10110101000

SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH

Steps di scansione 

Frequenza di attivazione

TENSION CRACKS TESTA PENDIO

EFFETTO DISATTIVATO
 EFFETTO ATTIVATO 

Opzioni Tension Cracks

FORZE AGGIUNTIVE PER SUPERFICIE SINGOLA

Forza Ea (alla Base) - kN/m

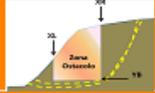
Forza Eb (in Testa) - kN/m



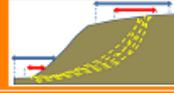
FILTRAGGIO SUPERFICI

FILTRARE 
 NON FILTRARE

PRESENZA DI OSTACOLO

CON OSTACOLO INTERNO
 SENZA OSTACOLO INTERNO 

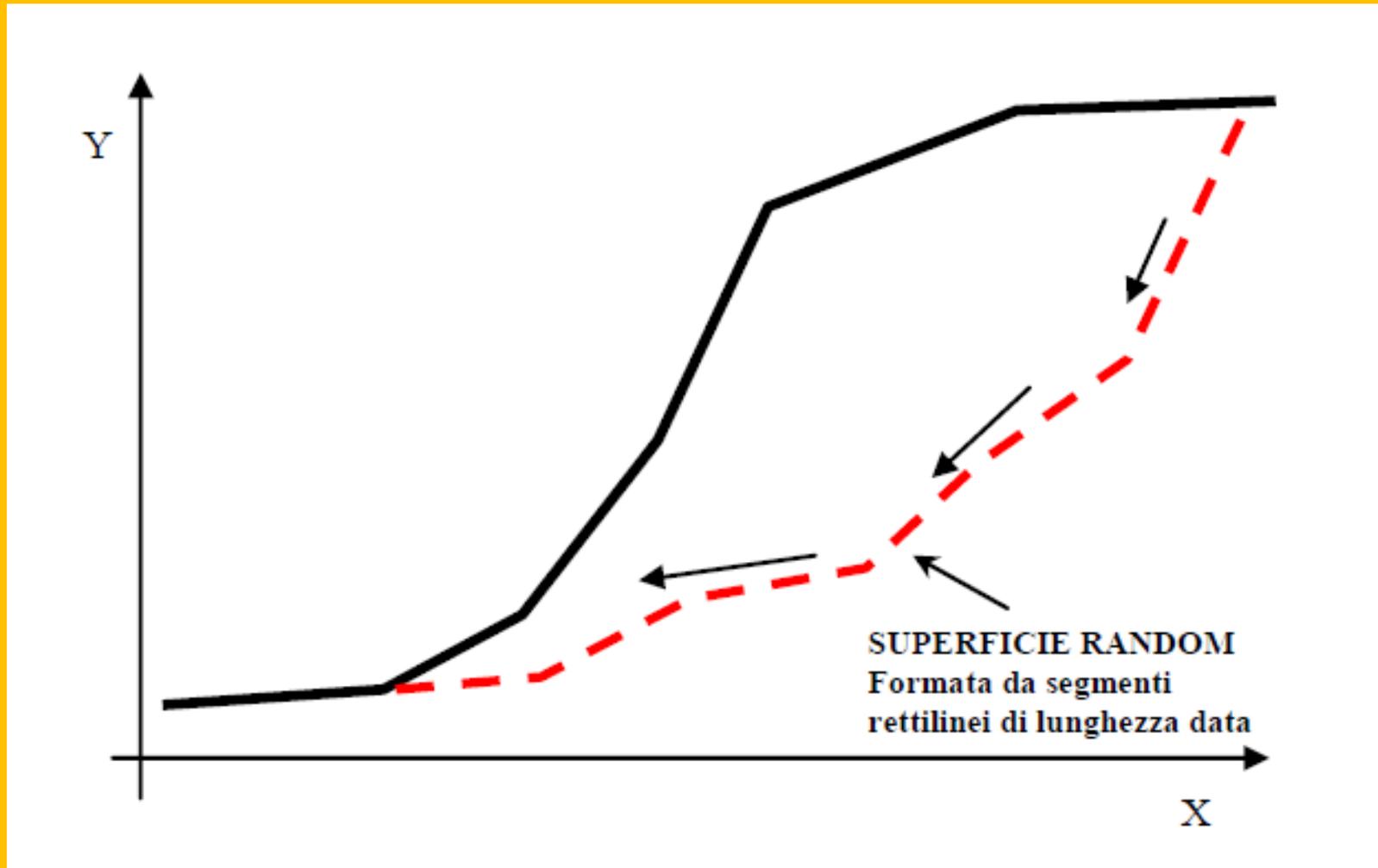
ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI

DISATTIVATO
 ATTIVATO 

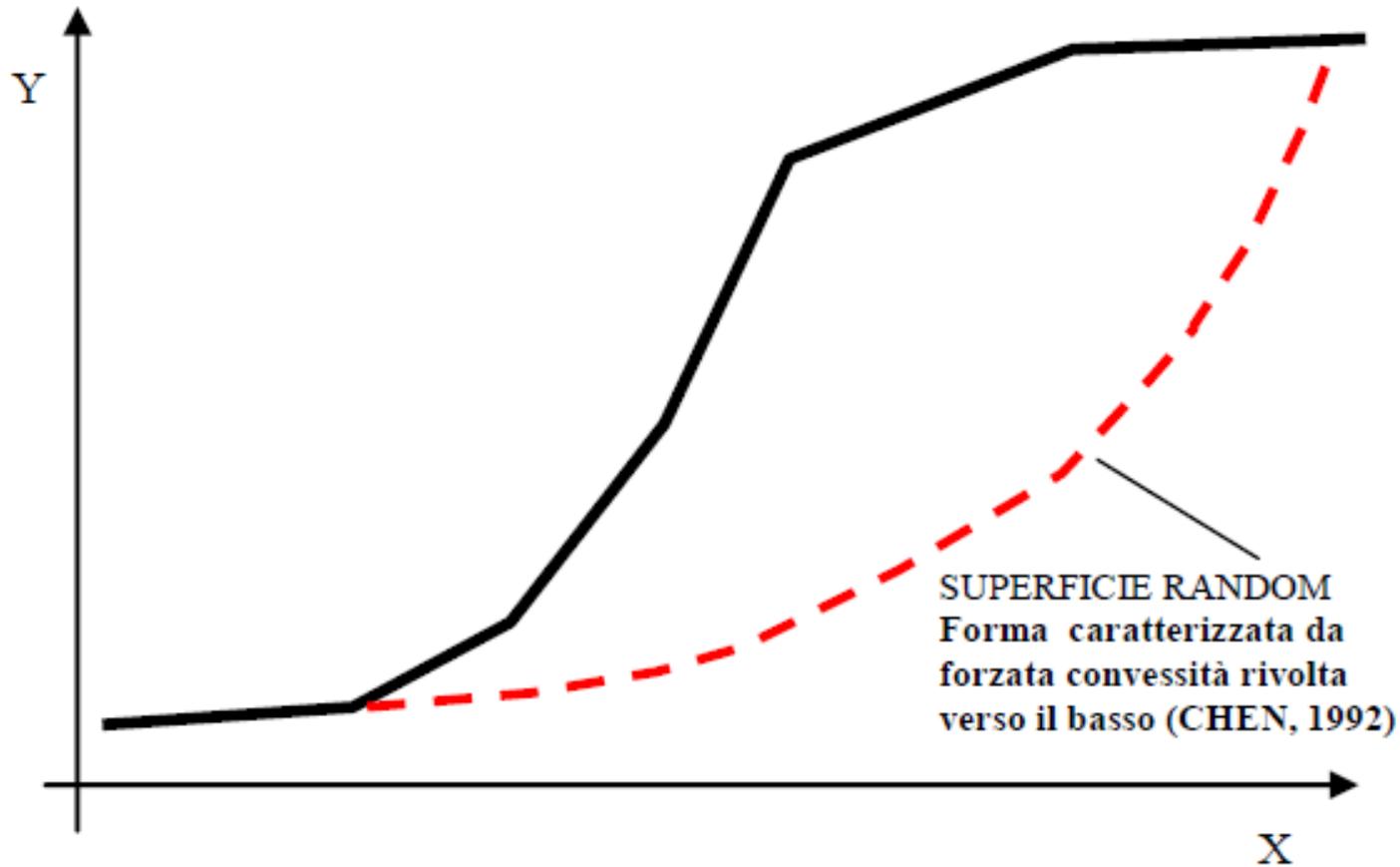
HELP



Random search Seigel (1981)



Convex random search

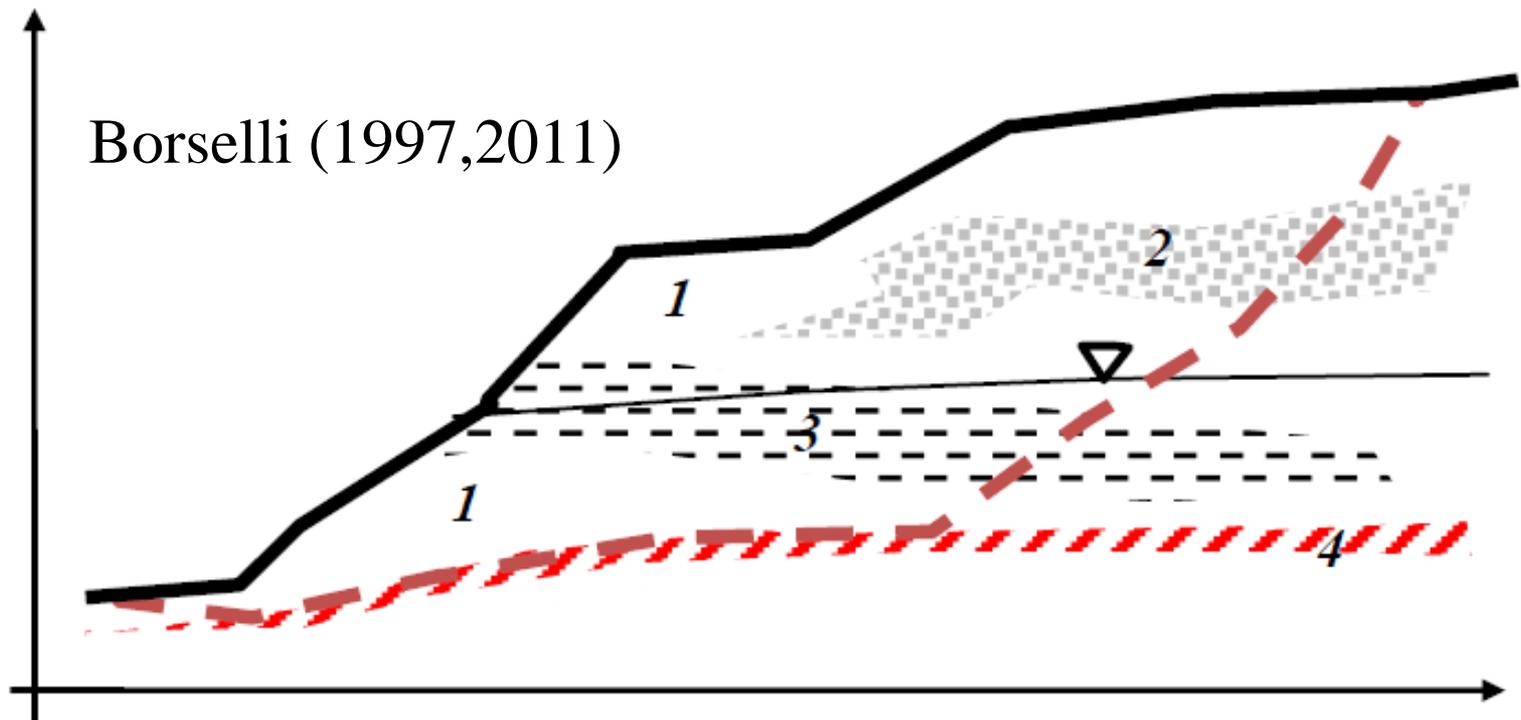


Sniff random search

Sniff Random Search

E' il **metodo più innovativo** ma anche il **più versatile e potente** tra quelli impiegati del programma. L'algoritmo, implementato in un motore di ricerca particolare, nasce dalle esperienze fatte in numerose casistiche particolari e dal tentativo di superare i problemi normalmente incontrati con i precedenti metodi.

Il metodo si basa sulla **strategia che tende a massimizzare, durante la generazione di superfici random, il passaggio negli strati che hanno le caratteristiche di resistenza più scadenti.**



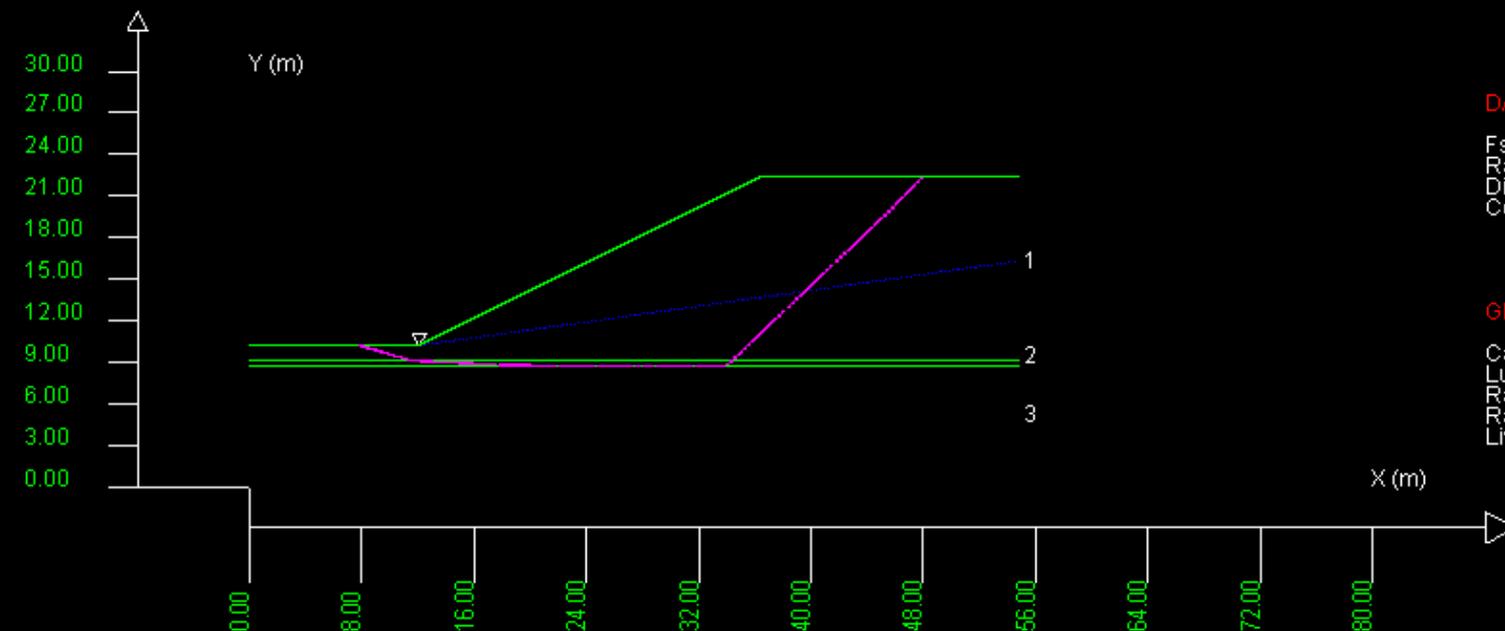
Sniff random search

Sniff Random Search

E' il **metodo più innovativo** ma anche **il più versatile e potente** tra quelli impiegati del programma. L'algoritmo, implementato in un motore di ricerca particolare, nasce dalle esperienze fatte in numerose casistiche particolari e dal tentativo di superare i problemi normalmente incontrati con i precedenti metodi.

Il metodo si basa sulla **strategia che tende a massimizzare, durante la generazione di superfici random, il passaggio negli strati che hanno le caratteristiche di resistenza più scadenti.**

Modello di calcolo : JANBU Rigoroso (1973)

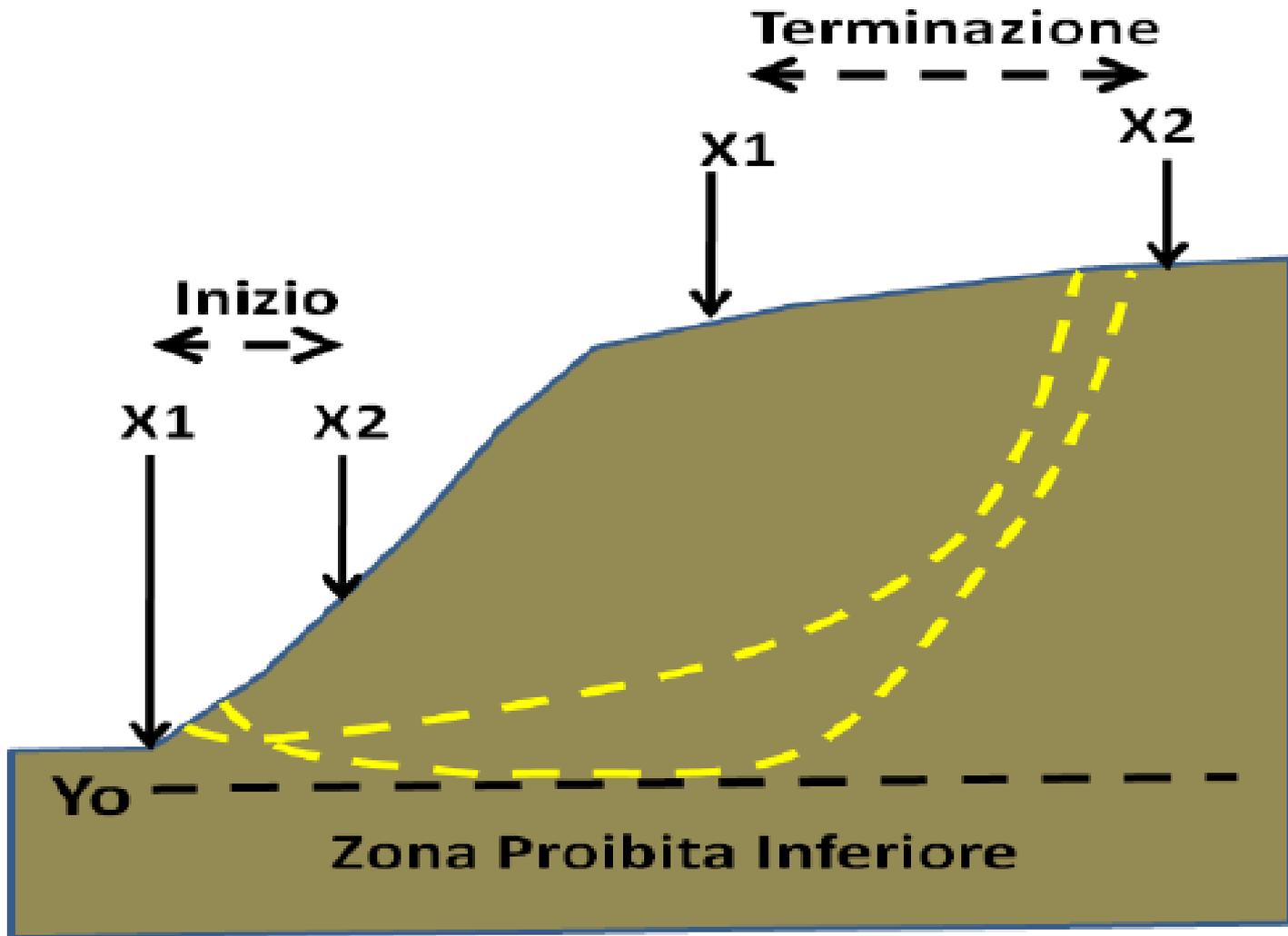


DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 1.185
Range Fs : 1.185 - 1.271
Diff. % Range Fs : 6.7
Coeff. Sismico : 0.000

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 1433
Lunghezza media segmenti (m) : 3.0
Range X inizio generazione : 0.0 - 49.3
Range X termine generazione : 5.5 - 54.8
Livello Y minimo considerato : 0.4



Input limiti geometrici zona di ricerca e lunghezza media segmenti

PARAMETRI GEOMETRICI VERIFICHE DI STABILITA'

LUNGHEZZA MEDIA (m) SEGMENTI DELLE SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO 4.80

DEFINIZIONE DELLA ZONA DI INIZIO

ASCISSA LIMITE SINISTRO (X1) ZONA DI INIZIO (m) 0.00

ASCISSA LIMITE DESTRO (X2) ZONA DI INIZIO (m) 108.00

QUOTA (Y_o) ZONA PROIBITA INFERIORE (m) 0.00

DEFINIZIONE DELLA ZONA DI TERMINAZIONE

ASCISSA LIMITE SINISTRO (X1) DI TERMINAZIONE (m) 12.00

ASCISSA LIMITE DESTRO (X2) DI TERMINAZIONE (m) 117.60

NUMERO MASSIMO SUPERFICI DA GENERARE 10000

COORDINATE OSTACOLO

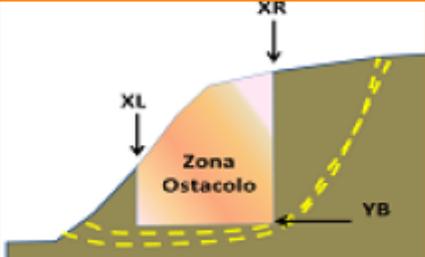
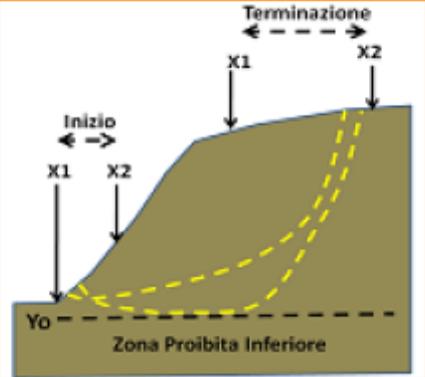
XL 0.00 Ascissa sinistra (m)

XR 0.00 Ascissa destra(m)

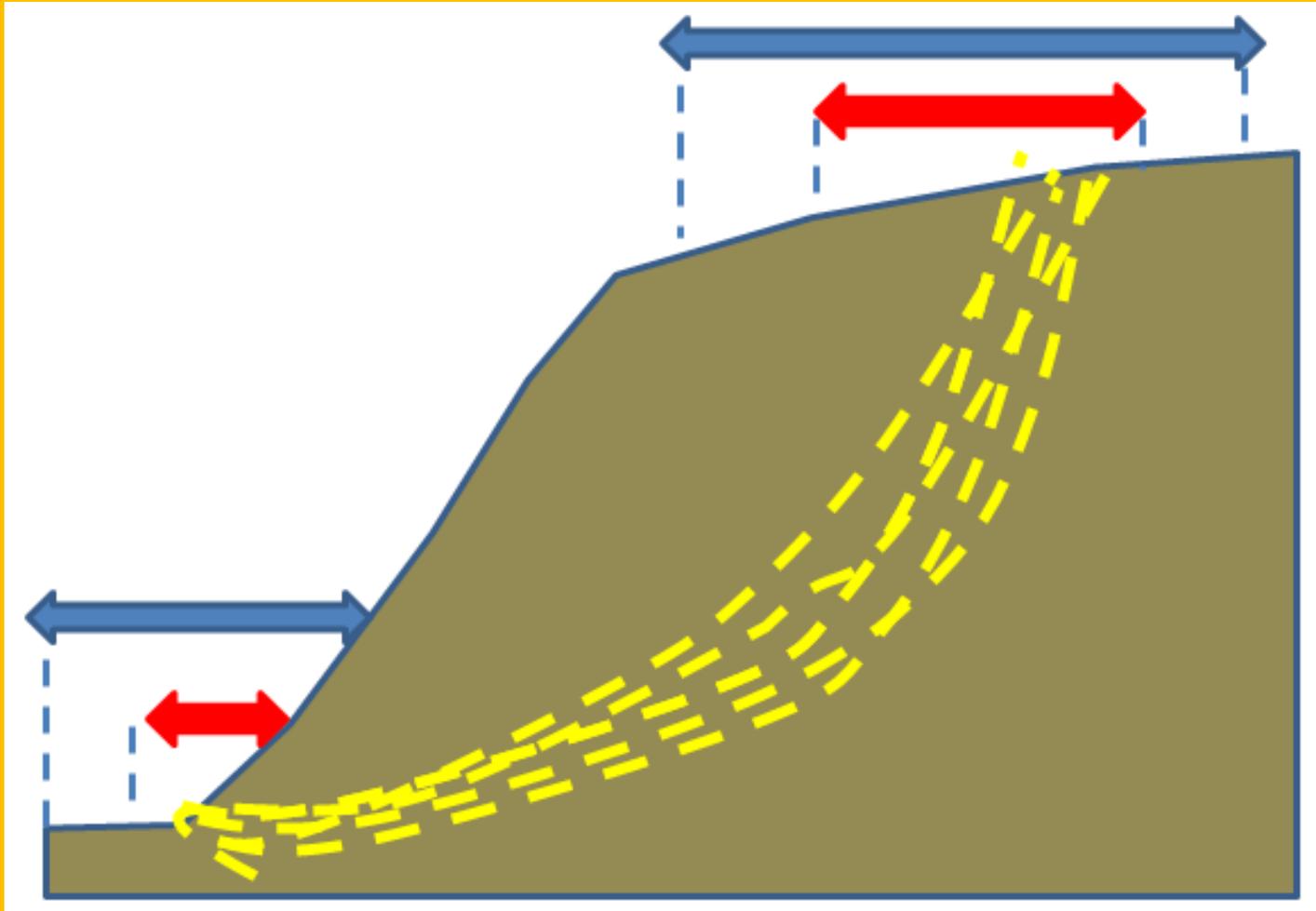
YB 0.00 Quota base ostacolo (m)

NOTA BENE: Tutte le coordinate sono espresse in metri (vedasi manuale per descrizione PARAMETRI)..

HELP OK Cancel



Range dinamico .. Algoritmo che restringe progressivamente l'area di ricerca durante l'analisi.



Opzioni generali per la verifica - range dinamico

OPZIONI GENERALI per Verifiche di Stabilità SSAP 4.3.1

Coefficiente sismico orizzontale - Kh Kv (negativo) Fs di Progetto richiesto (analisi deficit)

METODO DI CALCOLO

JANBU RIGOROSO - (1973) $T(x) = \lambda f(x) E(x)$

SPENCER - (1973)

SARMA I - (1973)

MORGESTERN PRICE - (1965)

CORREIA - (1988)

SARMA II - (1979)

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 (NTC2008) (% massima mobilizzazione teorica) Applicare nuova metodologia calcolo mobilizzazione

SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO

EFFETTO ATTIVATO

EFFETTO DISATTIVATO

MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI

RANDOM SEARCH (RS)

CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)

SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 2.0

RANDOM...

00100101001

01010010101

00010101001

10110101000

SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH

Steps di scansione

Frequenza di attivazione

TENSION CRACKS TESTA PENDIO

EFFETTO DISATTIVATO

EFFETTO ATTIVATO

Opzioni Tension Cracks

FORZE AGGIUNTIVE PER SUPERFICIE SINGOLA

Forza Ea (alla Base) - kN/m

Forza Eb (in Testa) - kN/m

FILTRAGGIO SUPERFICI

FILTRARE

NON FILTRARE

PRESENZA DI OSTACOLO

CON OSTACOLO INTERNO

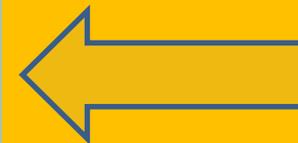
SENZA OSTACOLO INTERNO

ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI

DISATTIVATO

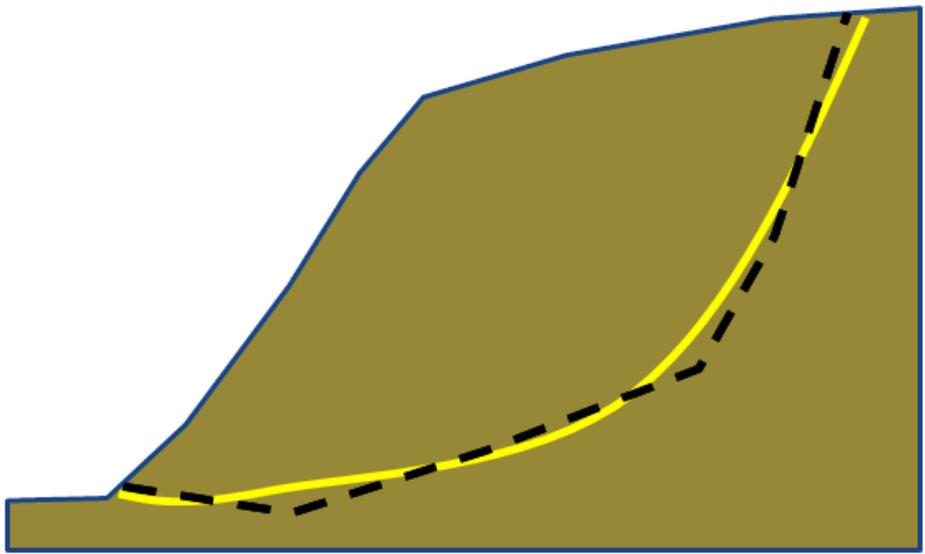
ATTIVATO

HELP

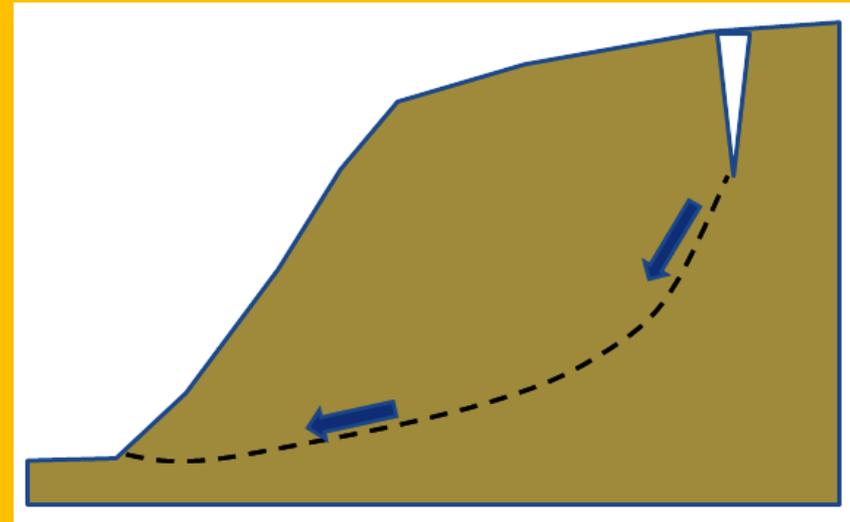


Inoltre

Generatore superficie random
Smussate.. (ssap 2010)



Ricerca automatica superfici
con max profondità Tension cracks



Opzioni generali per la verifica - altre varianti generazione superficie: smussatura e tension cracks

OPZIONI GENERALI per Verifiche di Stabilità SSAP 4.3.1

Coefficiente sismico orizzontale - Kh Kv (negativo) F_s di Progetto richiesto (analisi deficit)

METODO DI CALCOLO

JANBU RIGOROSO - (1973) $T(x) = \lambda f(x) E(x)$

SPENCER - (1973)

SARMA I - (1973)

MORGESTERN PRICE - (1965)

CORREIA - (1988)

SARMA II - (1979)

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 F_p (NTC2008) (% massima mobilizzazione teorica)

(Variare da 1 a 100) Applicare nuova metodologia calcolo mobilizzazione

SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO

EFFETTO ATTIVATO

EFFETTO DISATTIVATO

TENSION CRACKS TESTA PENDIO

EFFETTO DISATTIVATO

EFFETTO ATTIVATO

Opzioni Tension Cracks

MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI

RANDOM SEARCH (RS)

CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)

SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 2.0

SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH

Steps di scansione

Frequenza di attivazione

FILTRAGGIO SUPERFICI

FILTRARE

NON FILTRARE

PRESENZA DI OSTACOLO

CON OSTACOLO INTERNO

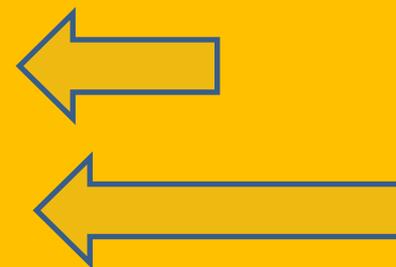
SENZA OSTACOLO INTERNO

ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI

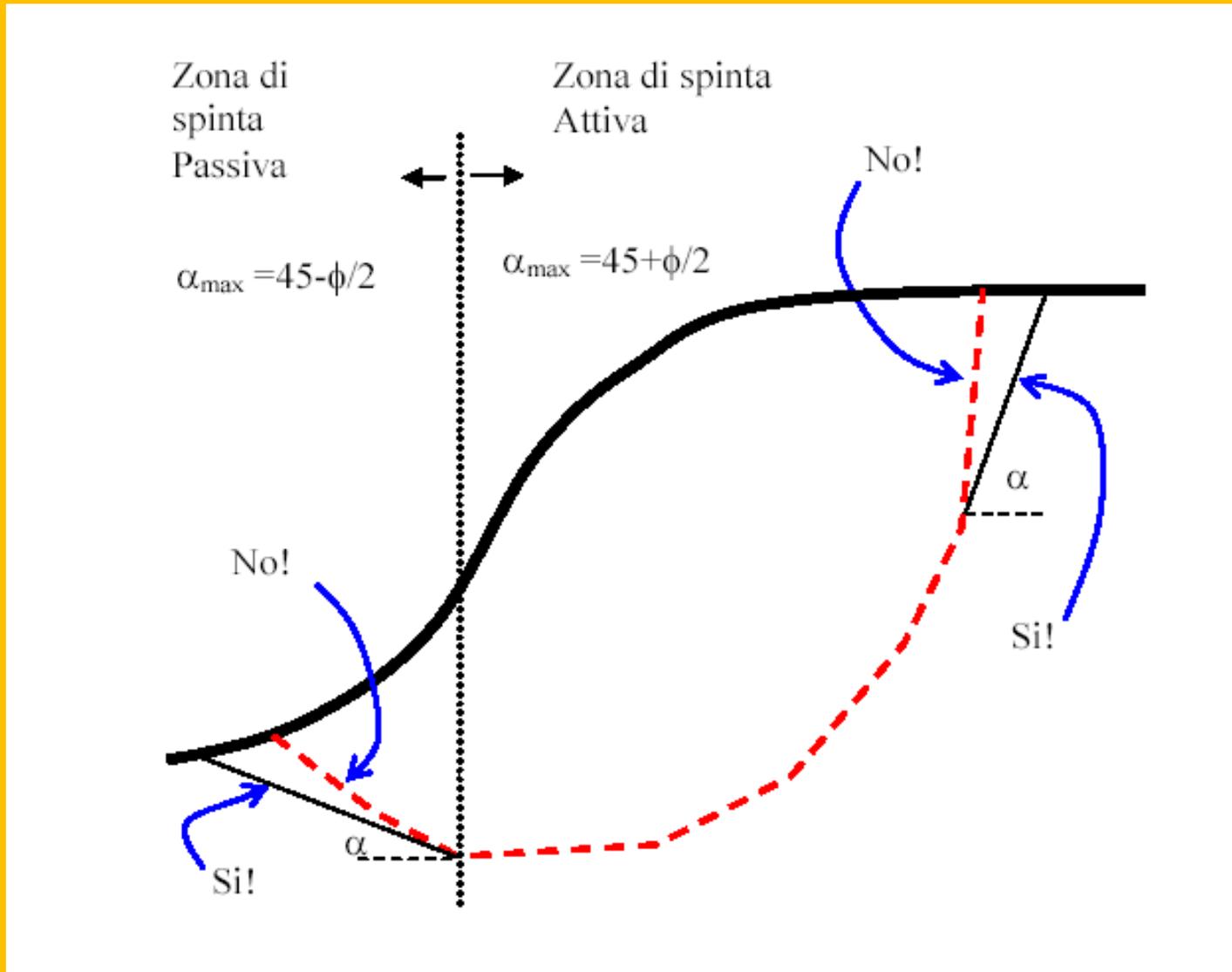
DISATTIVATO

ATTIVATO

HELP



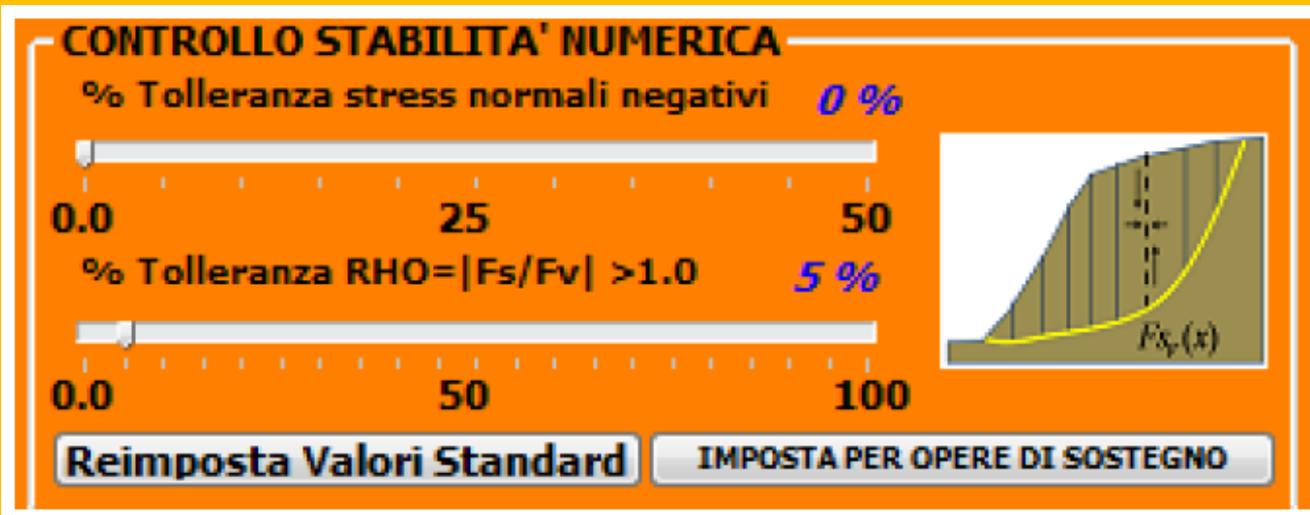
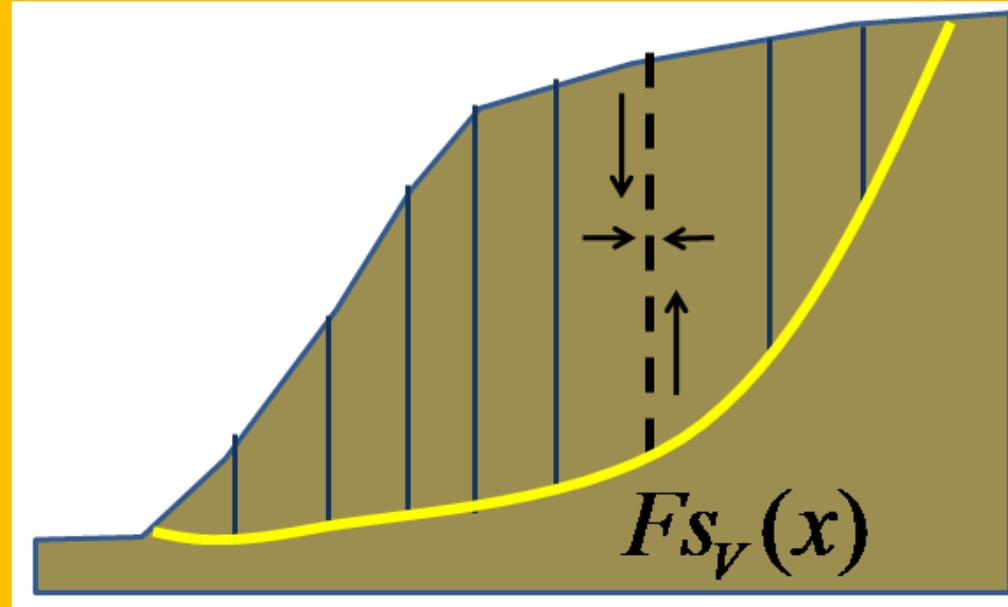
Criterio di controllo delle superfici POST GENERAZIONE



Filtro di post generazione: esclude superfici per le quali sulle superfici Verticali interconco il fattore di sicurezza locale F_{s_v} è inferiore

Al fattore di sicurezza globale...
(Sarma 1973, Zhu 2003)

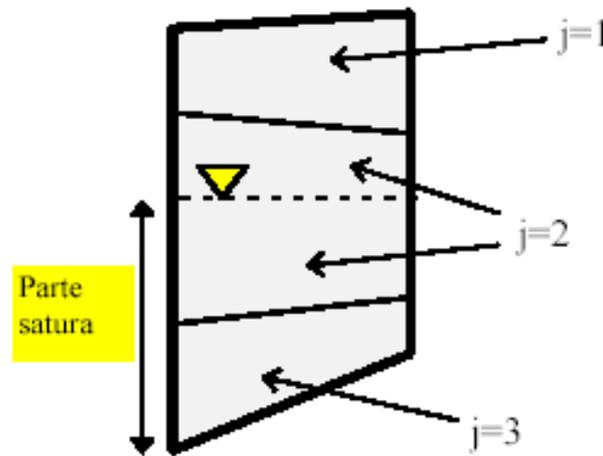
Ma In SSAP2010 è prevista una Tolleranza Massima (come % di volume) dove questo può Avvenire...



$$Rho(x) = \left| \frac{F_s}{F_{s_v}(x)} \right|$$

Pressioni idrostatiche - pressioni dei pori - pendii sommersi

La pressione interstiziale alla base di ogni concio viene calcolata attraverso il coefficiente della pressione interstiziale alla base di ogni concio, r_{u_i} che viene determinato, nel caso generico di un concio costituito da strati di materiali diversi (fig. 2.3):

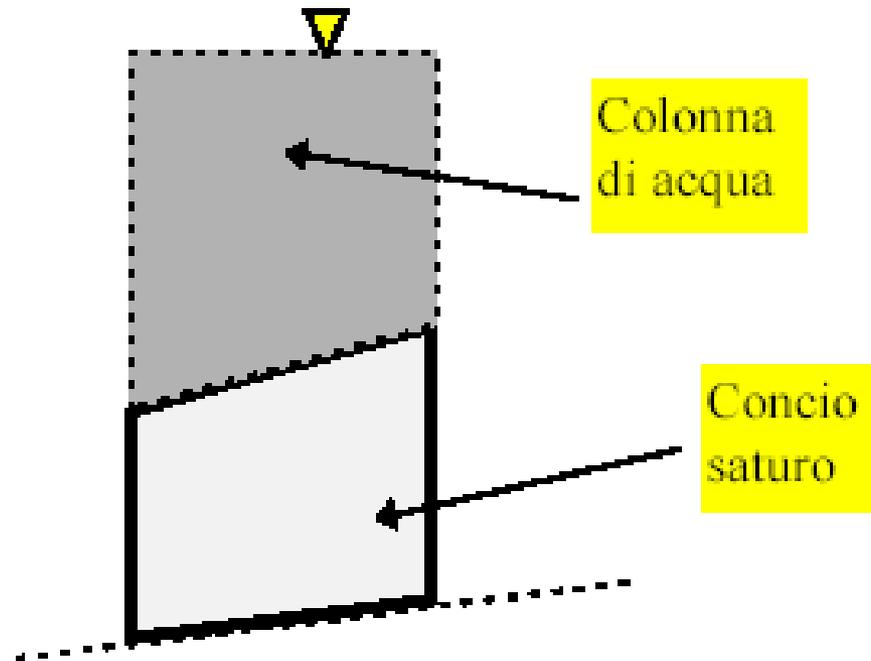


$$r_{u_i} = \frac{V_w \gamma_w}{\sum_j V_j \gamma_j} \quad (2.5)$$

dove:

- J indice dello strato che fa parte del concio i-esimo
- V_w Volume della parte di concio satura
- γ_w Peso unitario dell'acqua
- V_j Volume dello strato j che fa parte del concio concio i-esimo
- γ_j Peso unitario dello strato j (peso unitario sopra falda o peso unitario saturo, se in falda)

Pressioni idrostatiche - pressioni dei pori - pendii sommersi



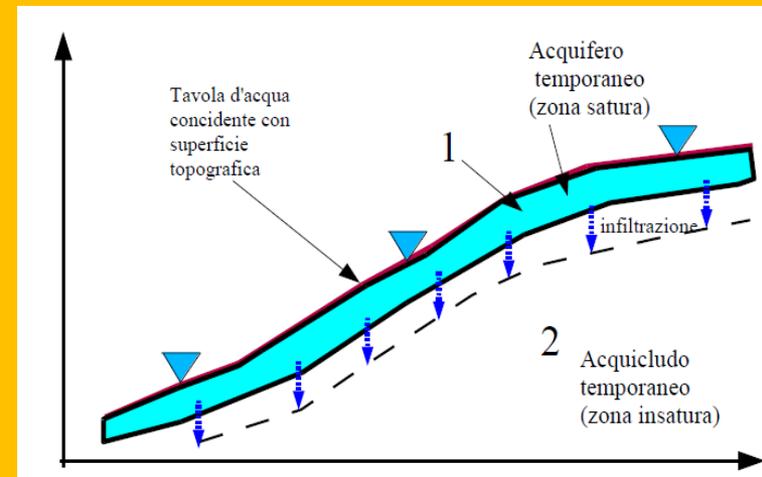
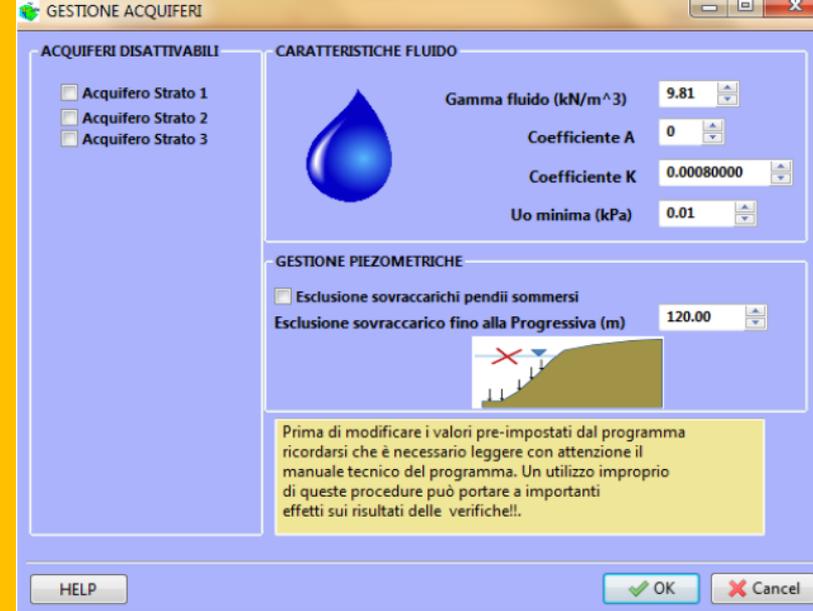
$$S_{w_i} = V_{sw_i} \gamma_w$$

Caratteristiche base di SSAP 2010 ... continua

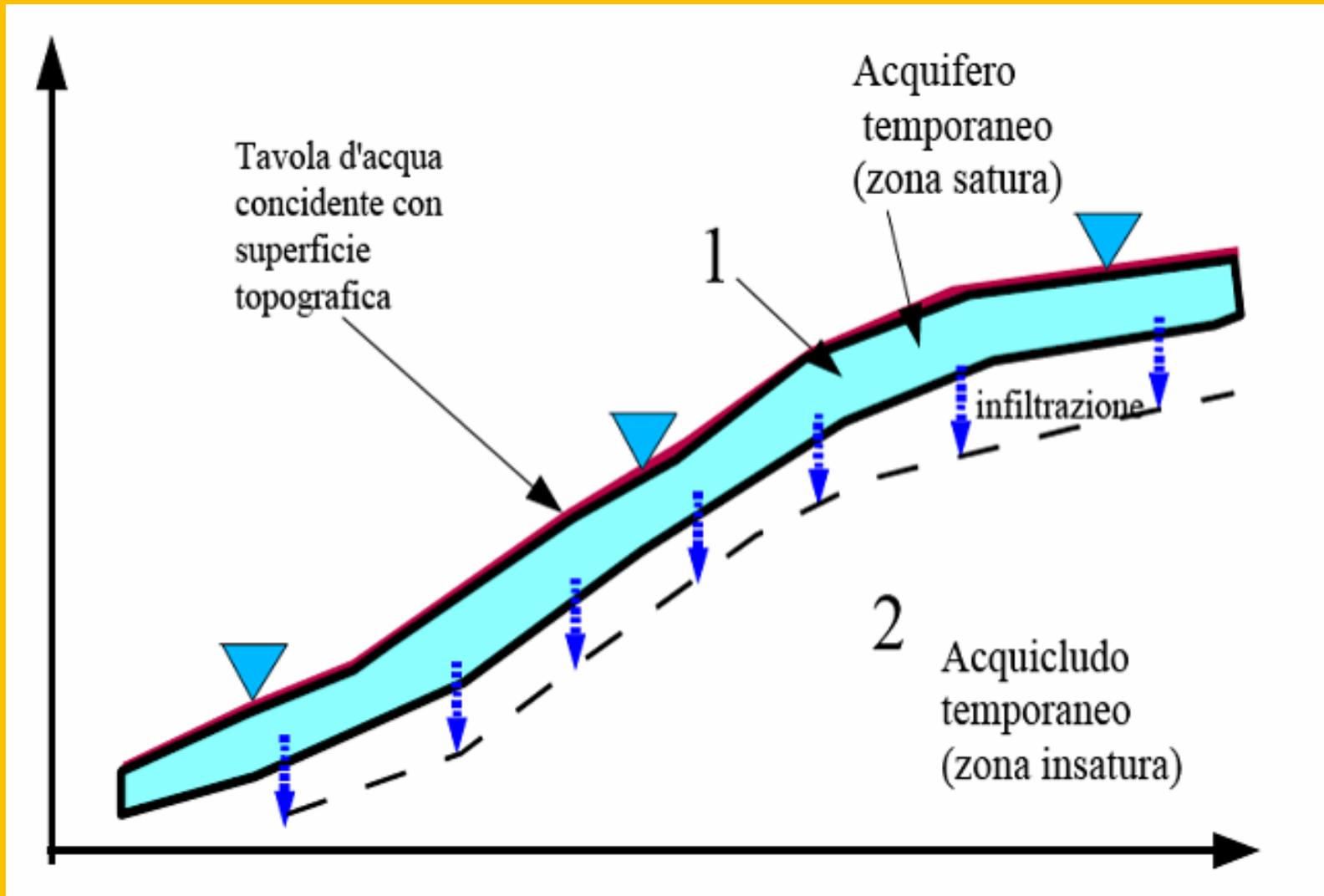
Inoltre...

Modulo gestione acquiferi

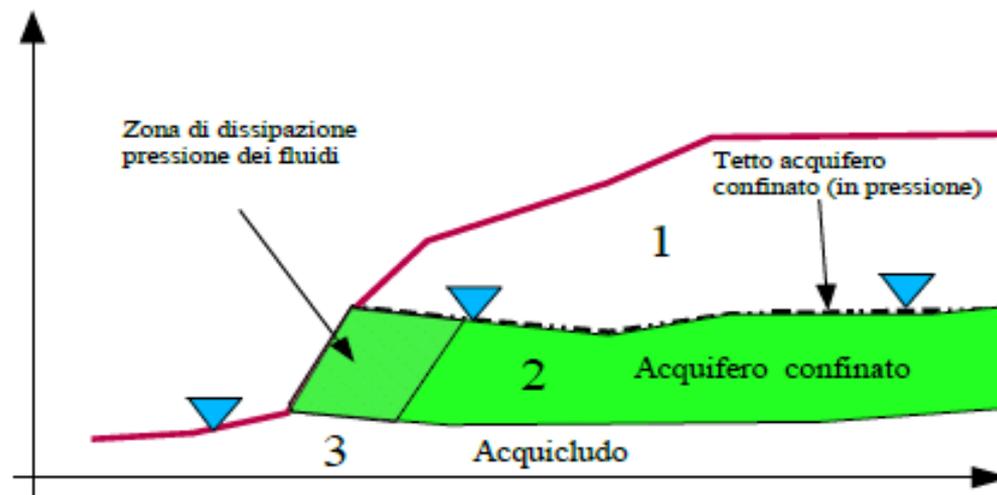
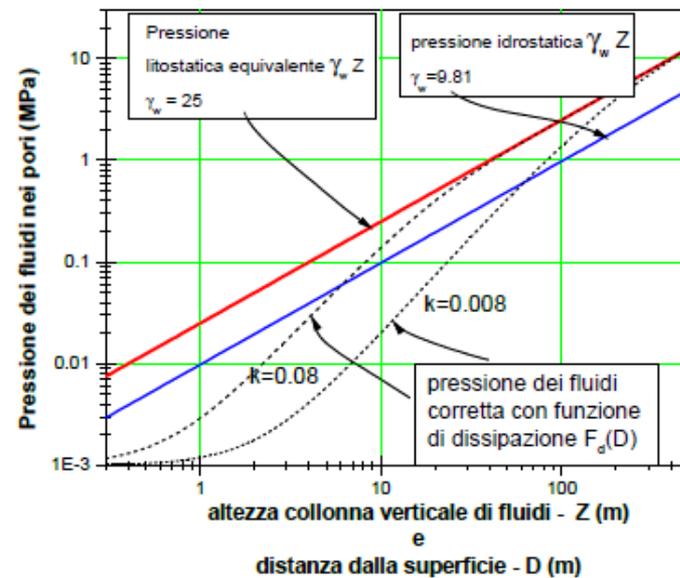
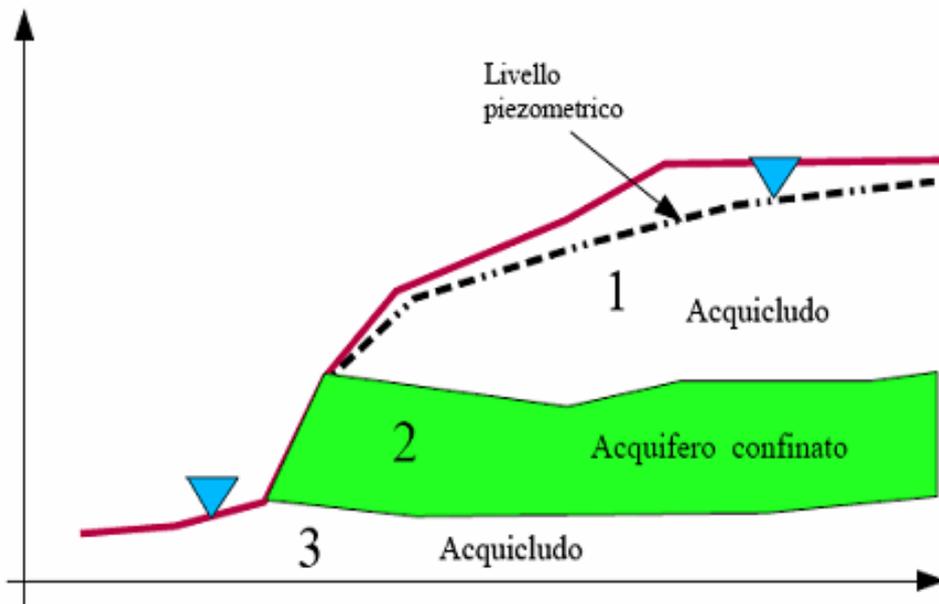
- falde in pressione
- acquicludi; falde sospese e stati temporaneamente saturi sopra porzioni insature;
- Nel caso di falde in pressione algoritmo, sviluppato in modo originale dall'autore, per simulare la dissipazione progressiva della pressione di pori in prossimità della superficie;
- escludere il calcolo del sovraccarico esterno di masse d'acqua nel caso di porzioni di pendio sommerso. (simulazione di un effetto di svaso rapido in un bacino artificiale);



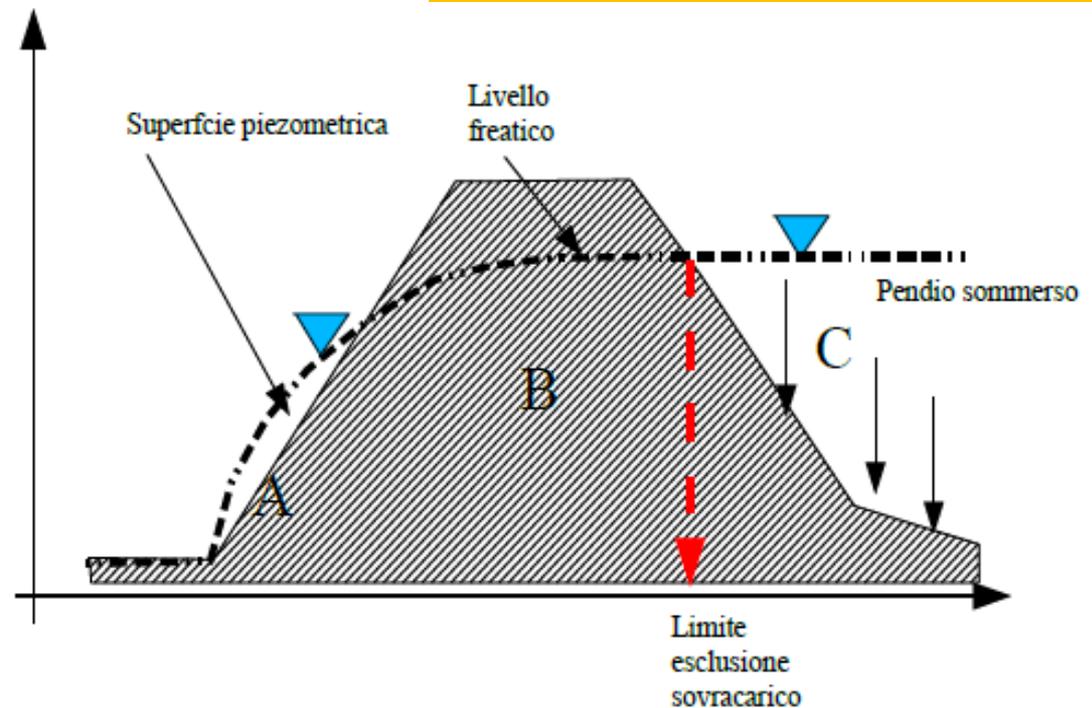
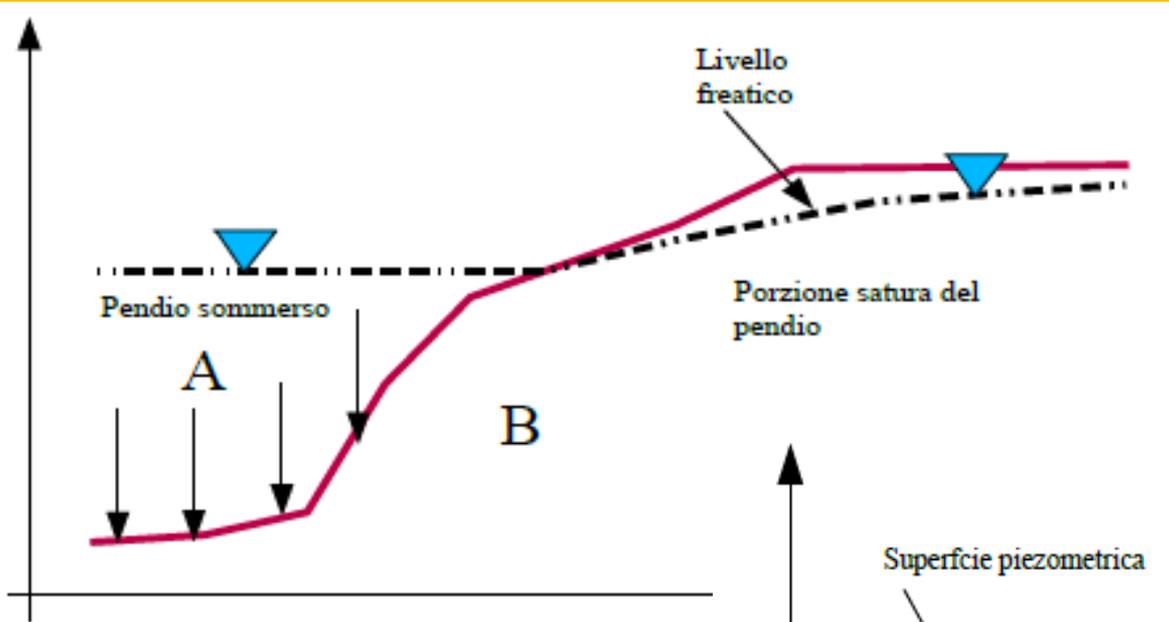
Gestione acquiferi



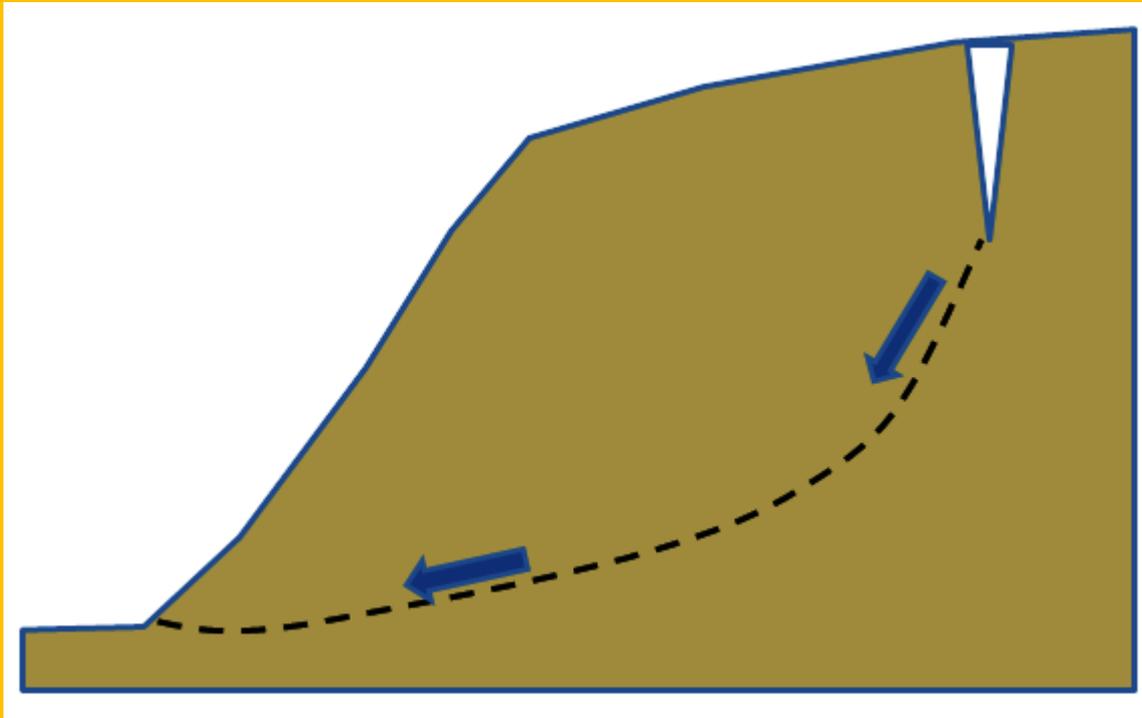
Gestione acquiferi



Gestione acquiferi



Verifiche di stabilità dei pendii (metodo dell'equilibrio limite) con tension cracks in testa al pendio



Per suoli con coesione
e attrito

Una stima della profondità
Massima di un tension cracks
Può essere (Craig 1997):

$$H_c = \frac{\lambda c'}{\gamma_s \sqrt{\frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'}}$$

Con $2 < \lambda < 3$

Esempio di verifica di stabilità dei pendii – effetto tension cracks

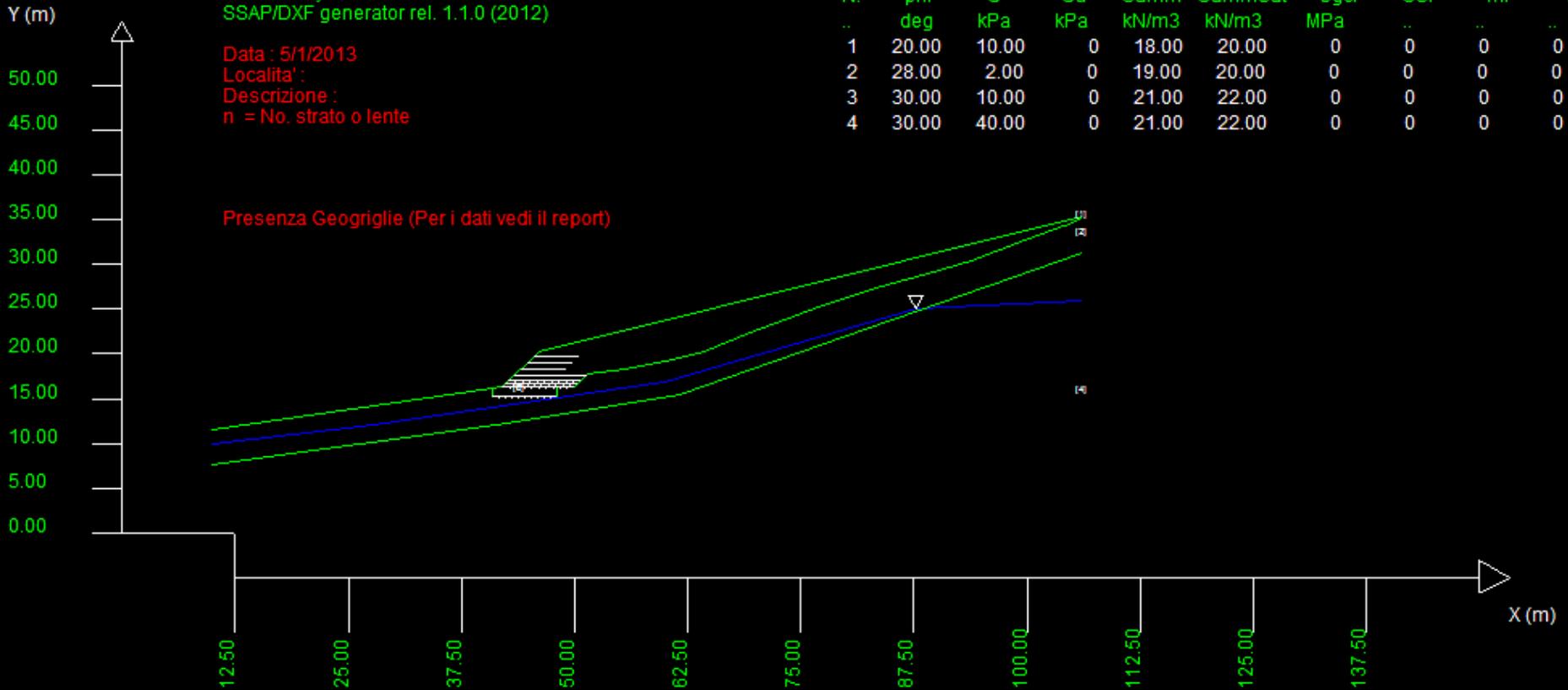
SSAP 4.2.0 (2012) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.1.0 (2012)

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	10.00	0	18.00	20.00	0	0	0	0
2	28.00	2.00	0	19.00	20.00	0	0	0	0
3	30.00	10.00	0	21.00	22.00	0	0	0	0
4	30.00	40.00	0	21.00	22.00	0	0	0	0

Data : 5/1/2013
 Localita':
 Descrizione :
 n = No. strato o lente

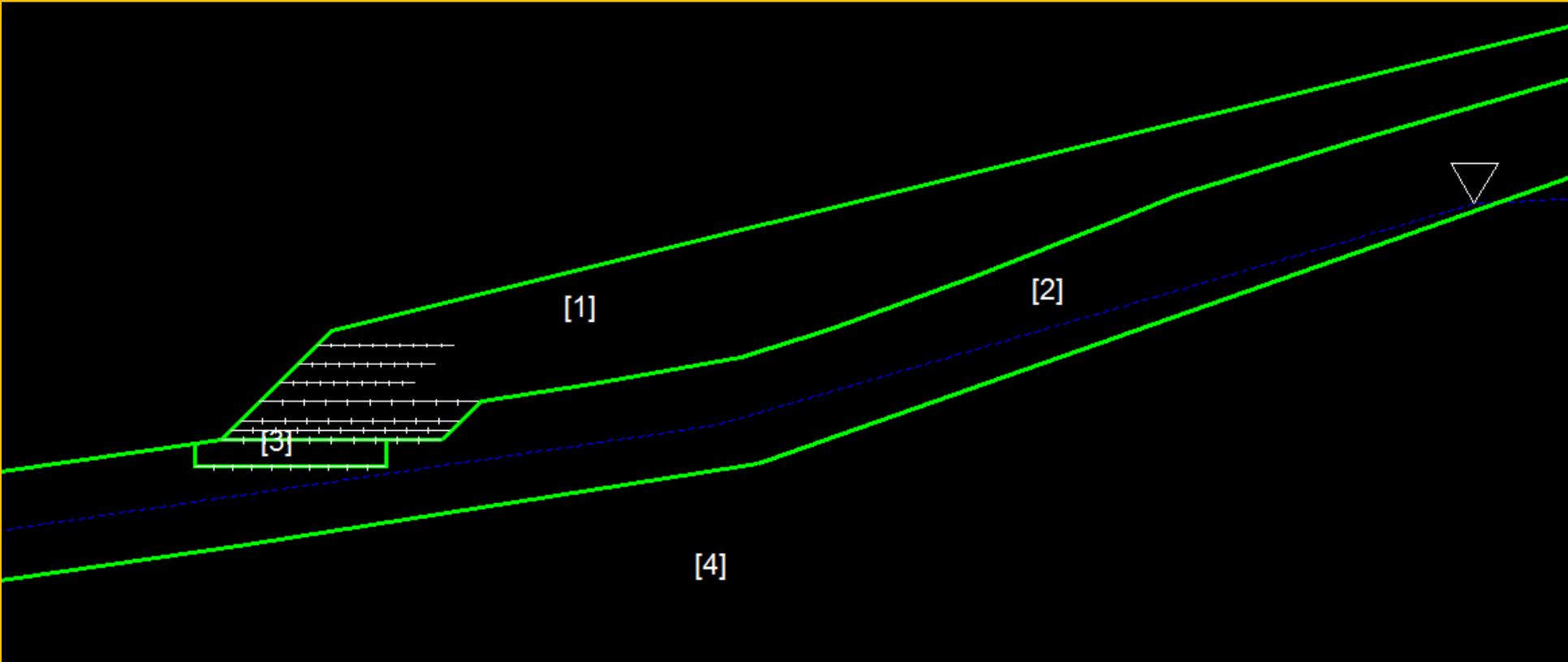
Presenza Geogriglie (Per i dati vedi il report)



Modello pendio: 4 strati – lenti; sistema di geogriglie e
 Strato 1: terreno di riporto con coesione e attrito

Esempio di verifica di stabilità dei pendii – effetto tension cracks

(dettaglio modello pendio)



Modello pendio: 4 strati – lenti; sistema di geogriglie e Strato 1 terreno di riporto con coesione e attrito

Esempio di verifica – morgestern e price (1965) , le 10 superfici con minor FS

Su un campione di 10.000 generate con motore di ricerca convex random search

Con smussatore superficie, con attrattore dinamico e senza effetto tension crack in testa al pendio

SSAP 4.2.0 (2012) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.1.0 (2012)

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	20.00	10.00	0	18.00	20.00	0	0	0	0
2	28.00	2.00	0	19.00	20.00	0	0	0	0
3	30.00	10.00	0	21.00	22.00	0	0	0	0
4	30.00	40.00	0	21.00	22.00	0	0	0	0

Data : 5/1/2013
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. strato o lente

Presenza Geogriglie (Per i dati vedi il report)

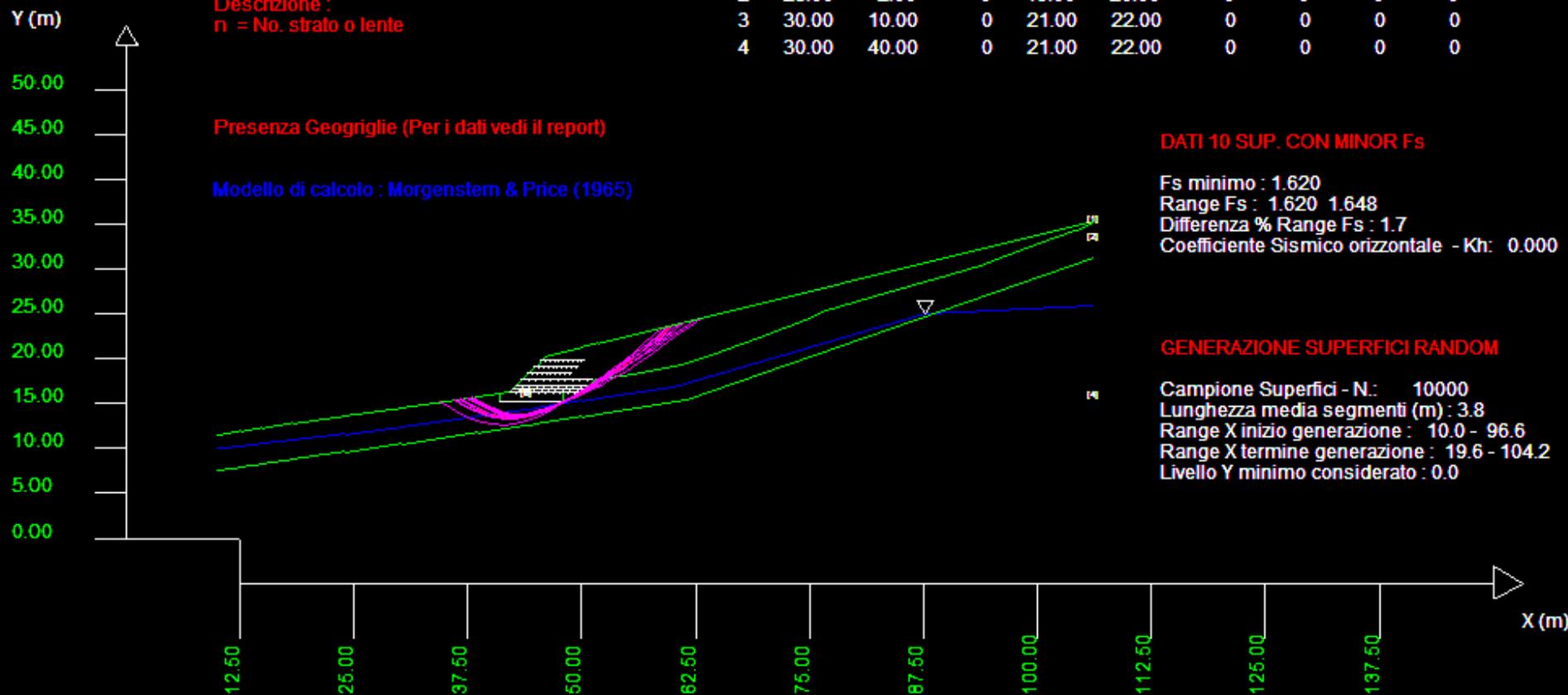
Modello di calcolo : Morgenstern & Price (1965)

DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

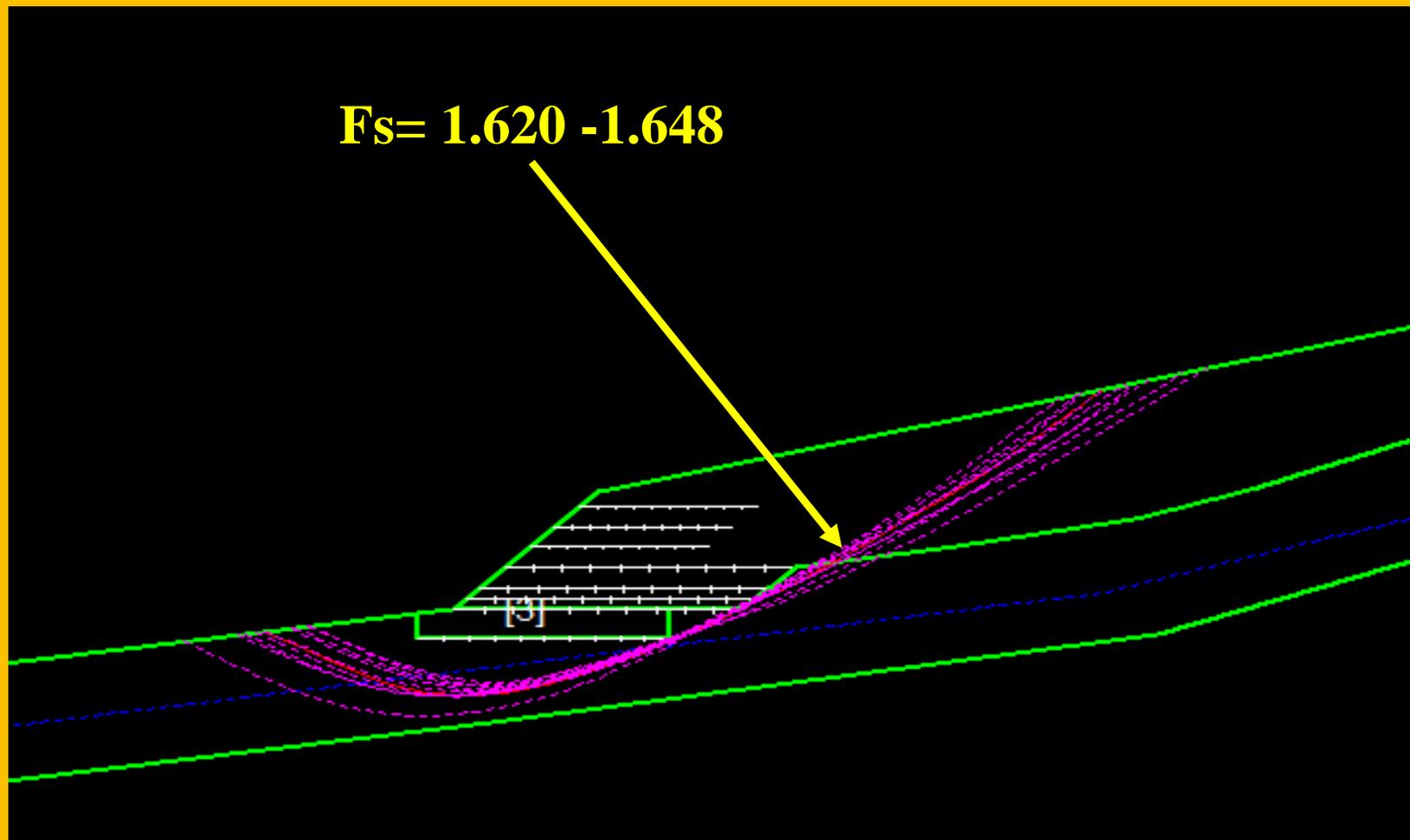
Fs minimo : 1.620
 Range Fs : 1.620 1.648
 Differenza % Range Fs : 1.7
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.000

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

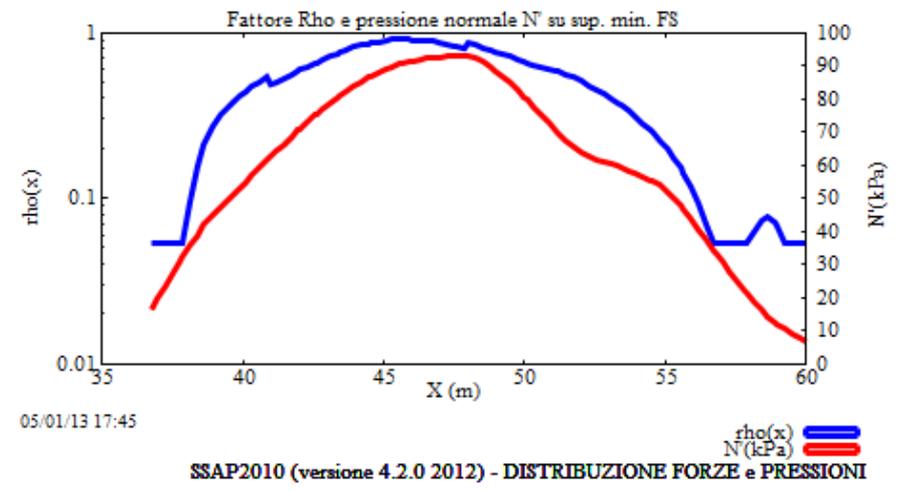
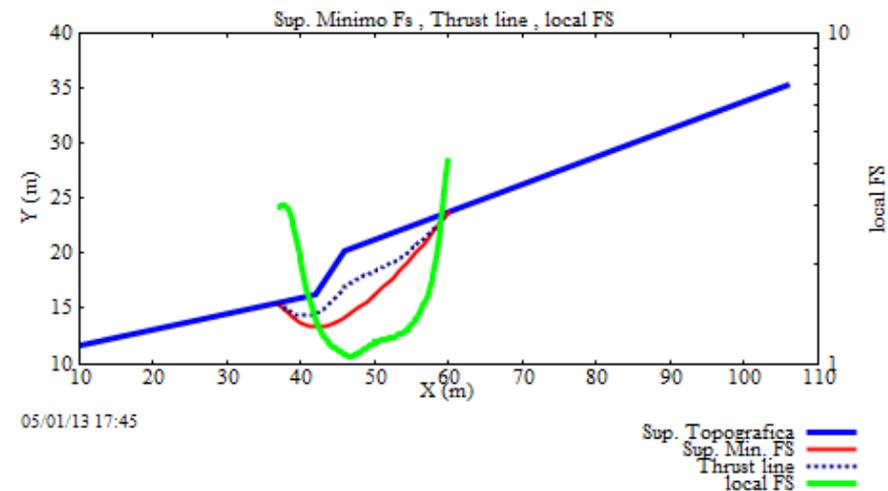
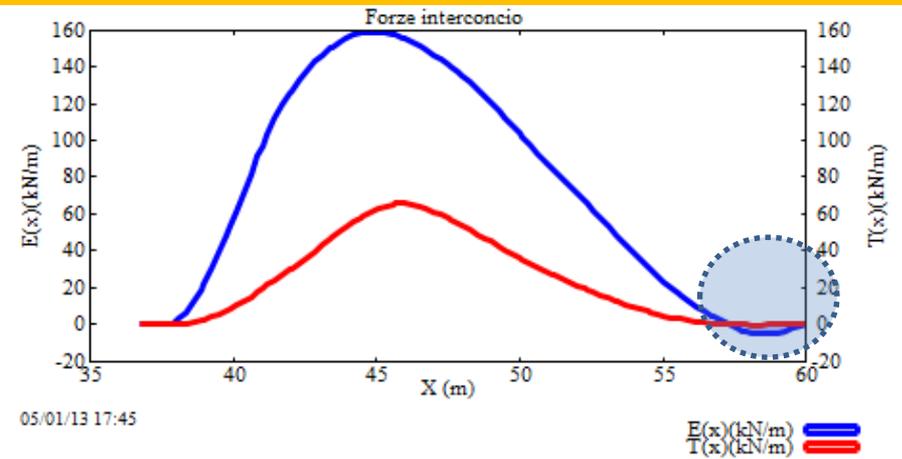
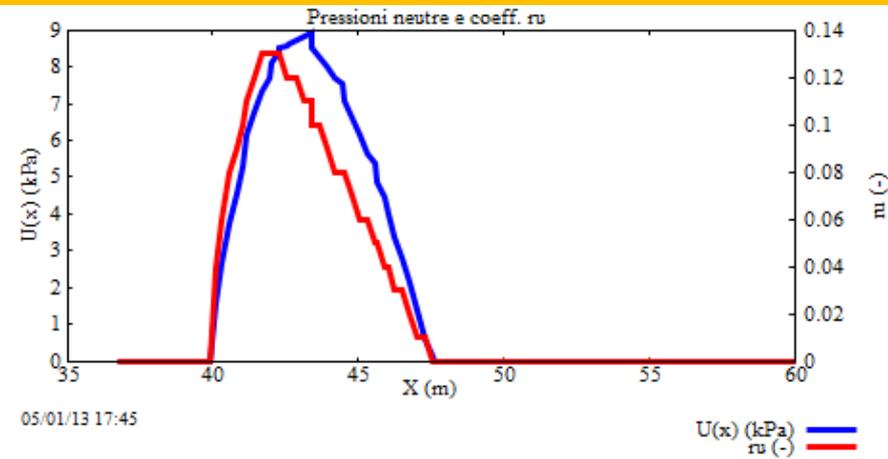
Campione Superfici - N.: 10000
 Lunghezza media segmenti (m) : 3.8
 Range X inizio generazione : 10.0 - 96.6
 Range X termine generazione : 19.6 - 104.2
 Livello Y minimo considerato : 0.0



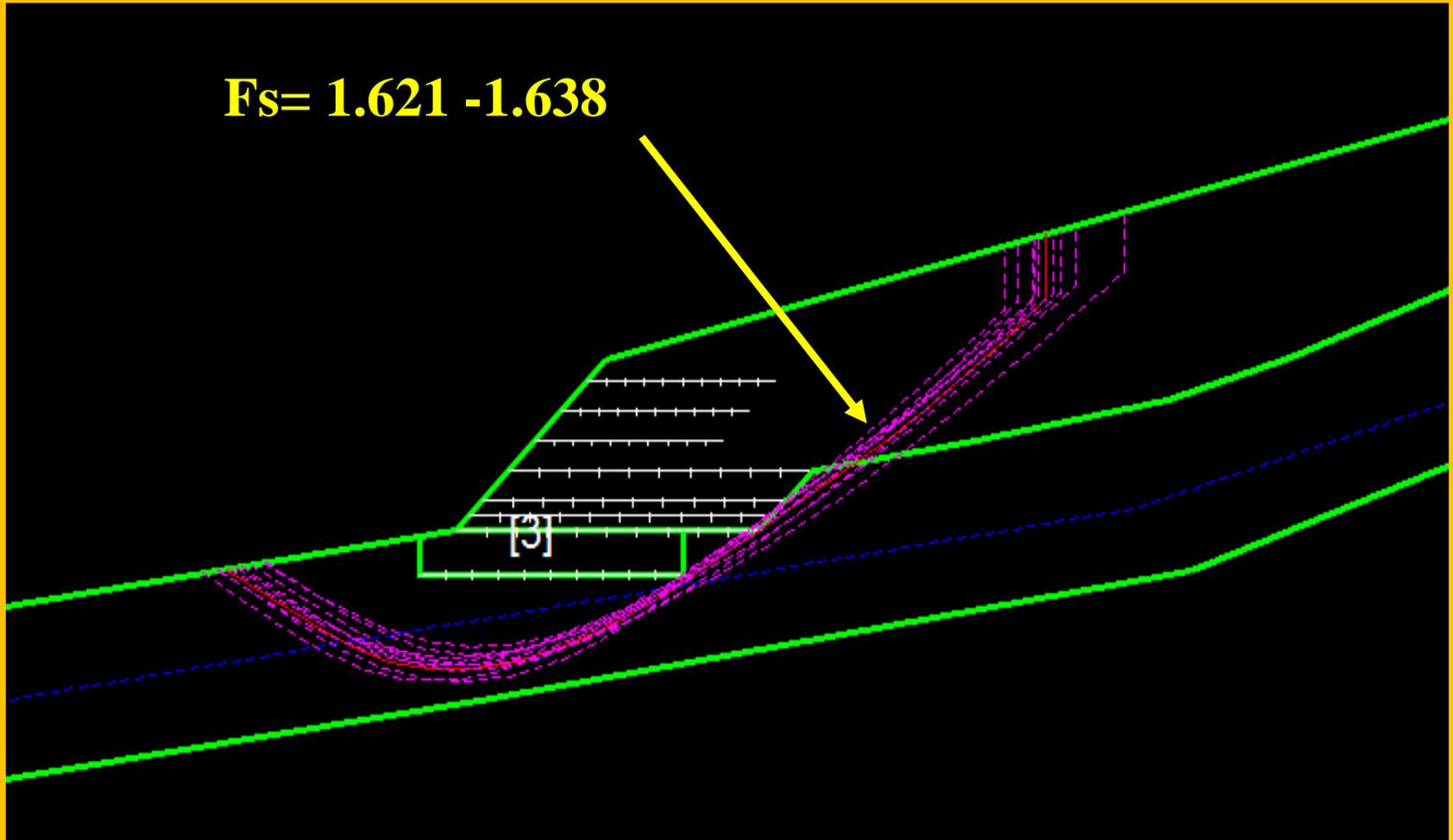
Esempio di verifica – morgestern e price (1965) , le 10 superfici con minor FS
Su un campione di 10.000 generate con motore di ricerca convex random search
Con smussatore superficie, con attrattore dinamico e senza effetto tension crack
in testa al pendio (dettaglio)



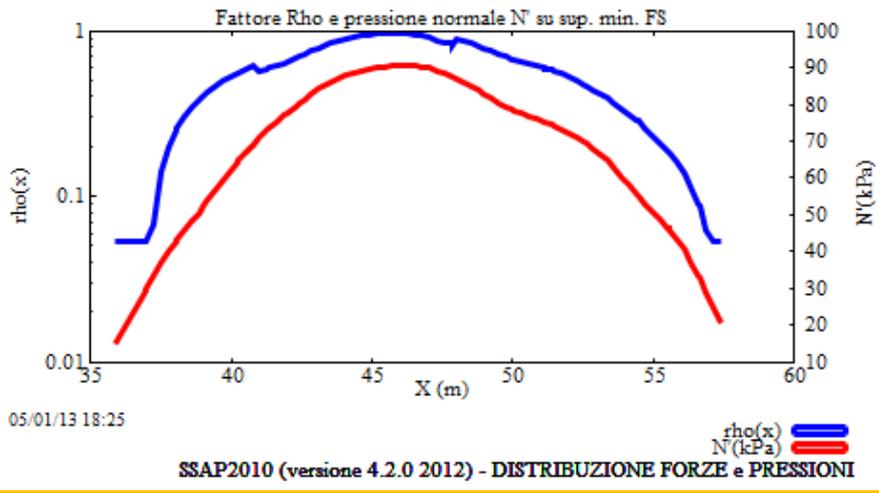
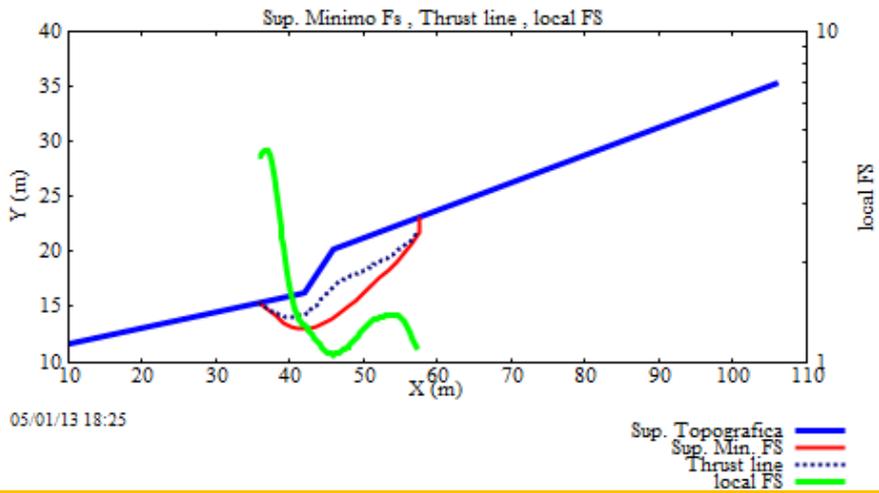
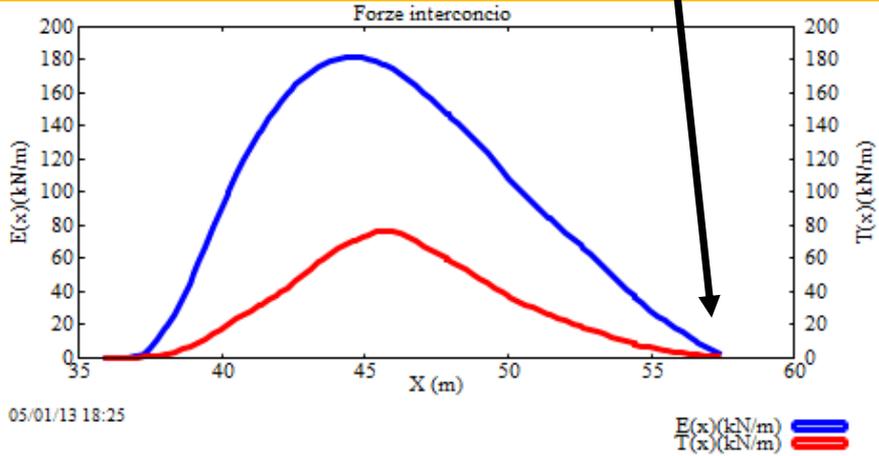
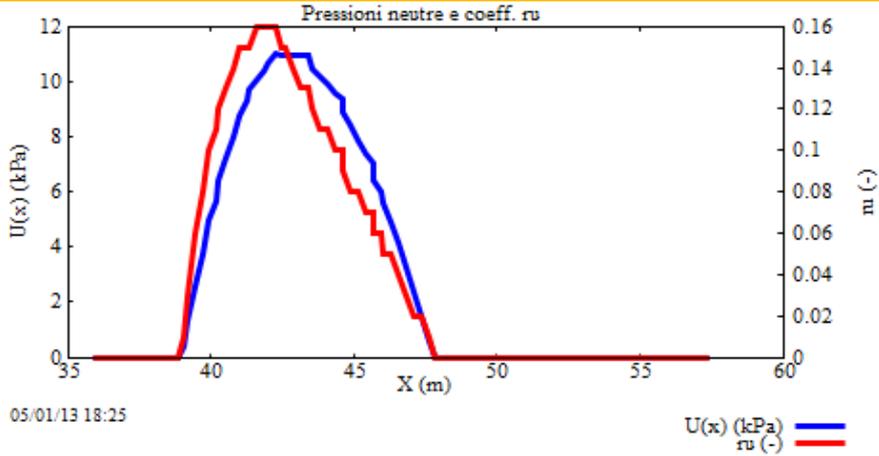
Presenza forze interconco orizzontali E(x) Negative in testa al pendio



**L'effetto dei tension cracks genera un gruppo di superfici diverse
E la differenza con le verifiche senza fessura di trazione può arrivare fino al 10%
È sempre utile incorporare nella ricerca l'effetto tension crack
(Chowdhury 2009).**



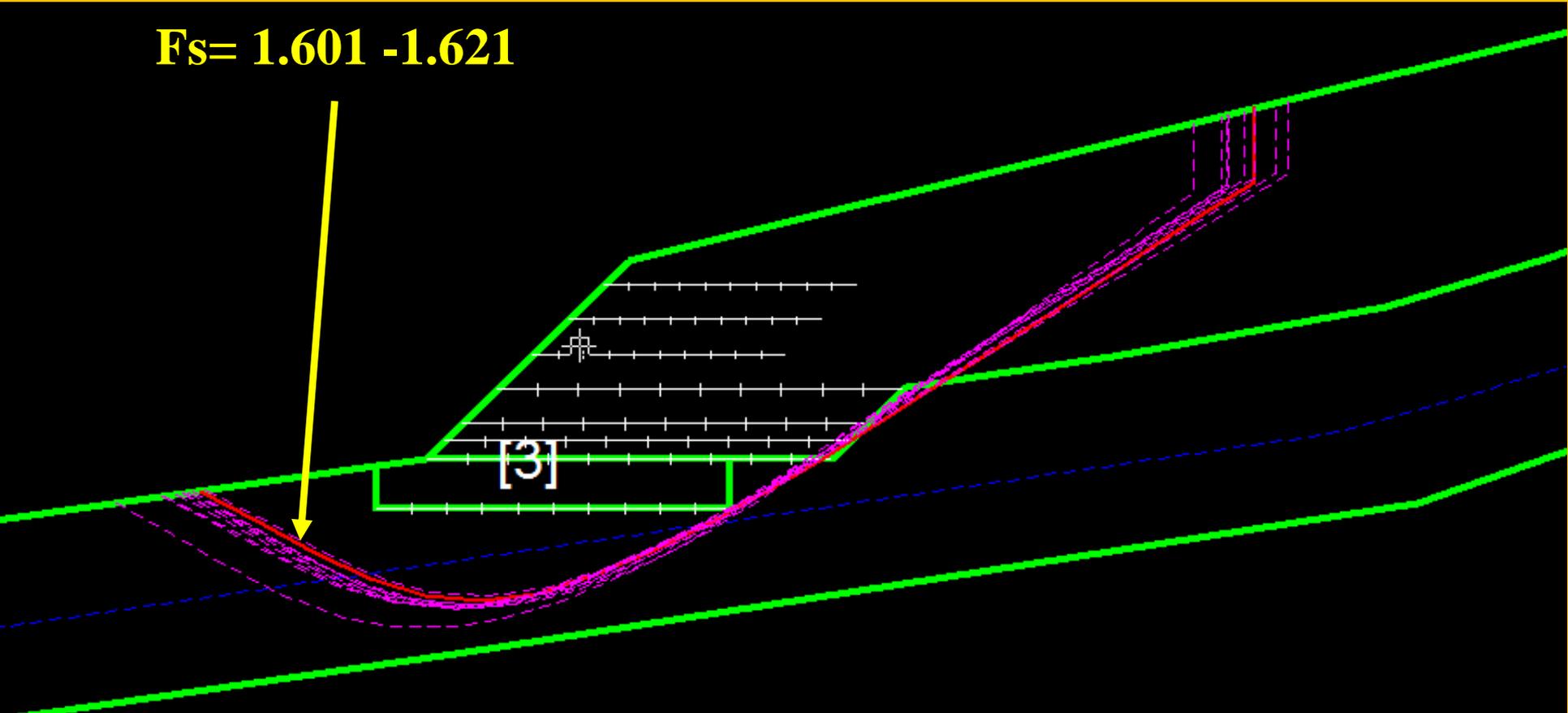
facendo la analisi con tension cracks spariscono le forze interconco orizzontali negative in testa al pendio



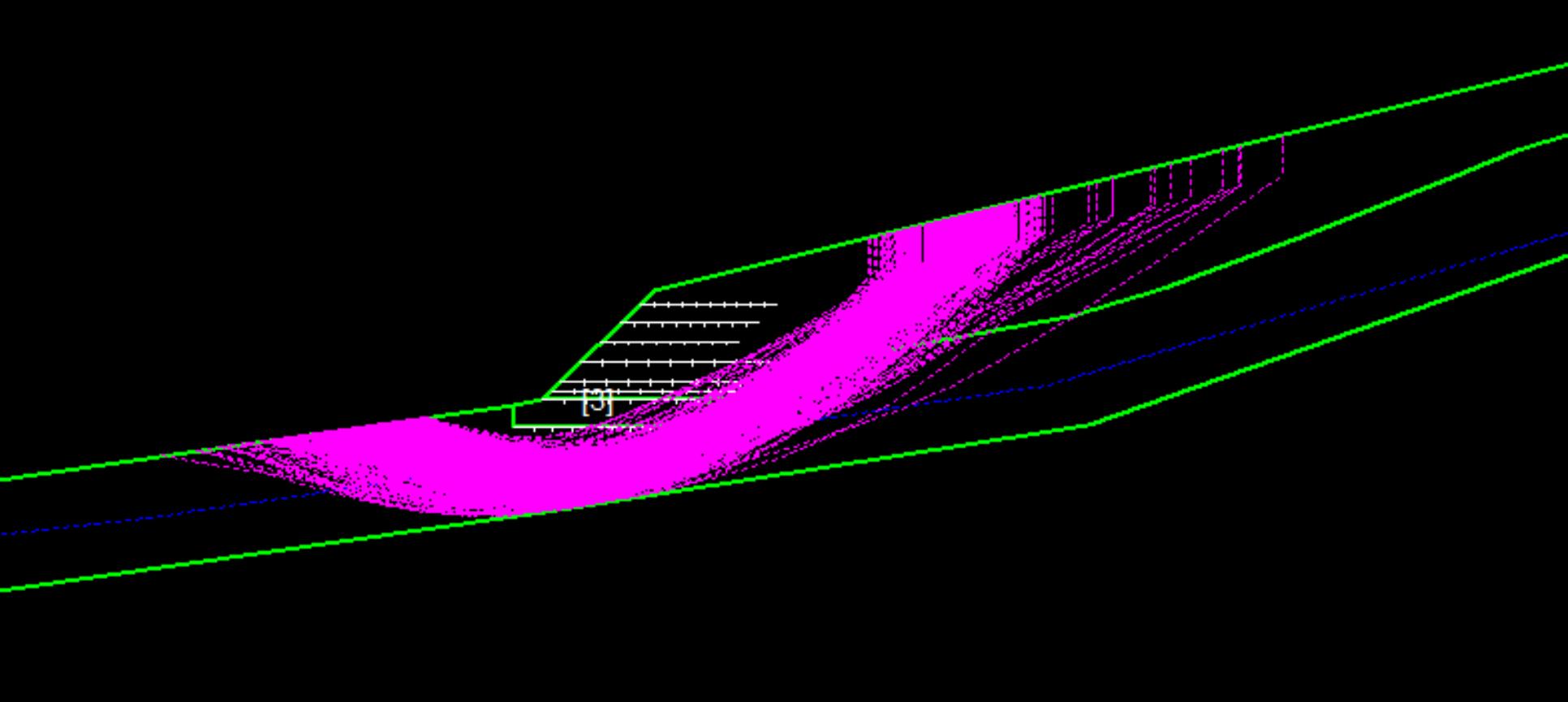
SSAP2010 (versione 4.2.0 2012) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

Esempio di verifica – morgestern e price (1965) , le 10 superfici con minor FS
Su un campione di 5.000 generate con motore di ricerca SNIFF RANDOM
SEARCH Con smussatore superficie, con attrattore dinamico con effetto tension
crack in testa al pendio (dettaglio)

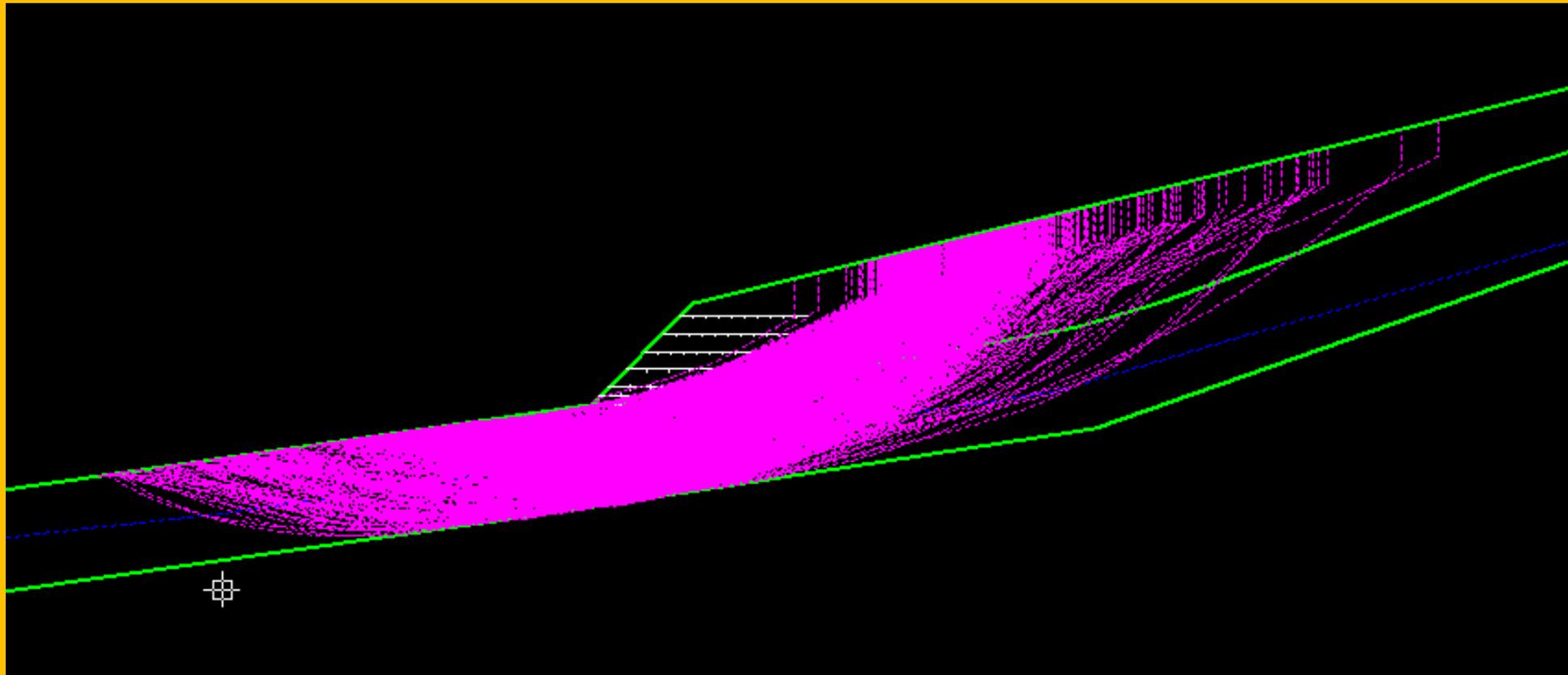
$F_s = 1.601 - 1.621$



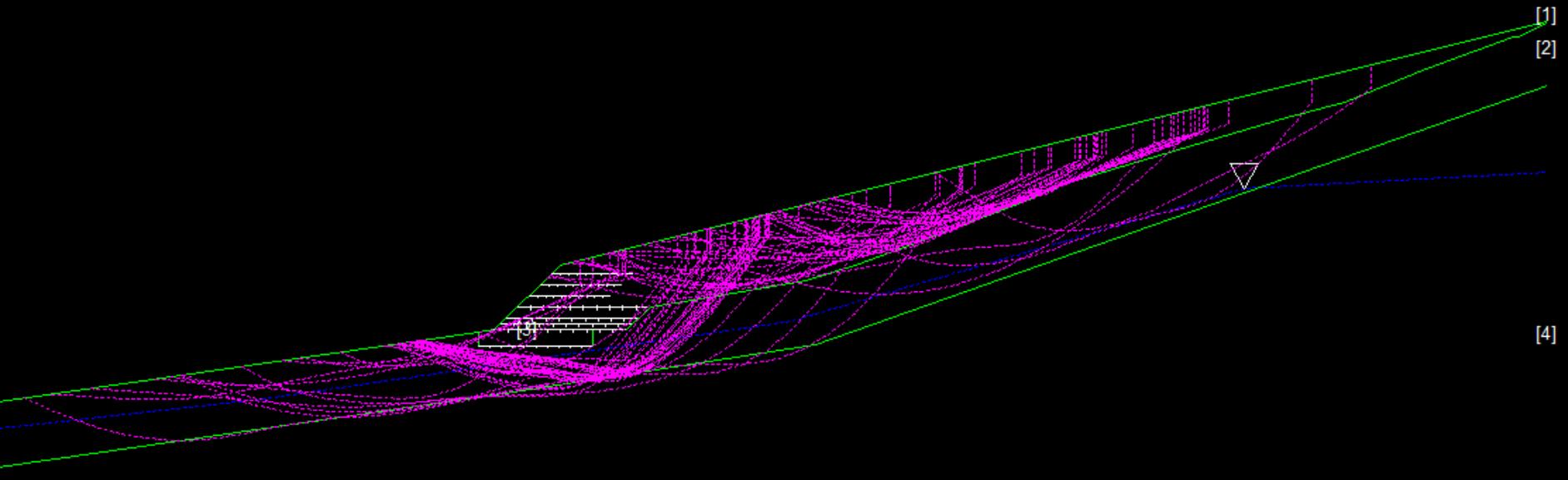
Plottaggio superficie registrate – es. intervallo di F_s 1.6 -1.8
(nuova funzionalità in SSAP2010 rel. 4.2.0 (2012))
Plottaggio di 1530 superfici..



**Plottaggio superficie registrate – es. intervallo di Fs 1.8 -2.0
(nuova funzionalità in SSAP2010 rel. 4.2.0 (2012))
Plottaggio di 1900 superfici..**



Plottaggio superficie registrate – es. intervallo di Fs 2.8 -3.0 (nuova funzionalità in SSAP2010 rel. 4.2.0 (2012)) Plottaggio di 78 superfici..



Reporting e analisi dei risultati – alcuni moduli presenti nel file di report

FORZE APPLICATE/RESISTENTI SU PALIFICATE

CRITERIO DI ROTTURA secondo Hoek (1998,2002)

Strato 2 -- Parametri di resistenza al taglio equivalenti dell'ammasso roccioso

(2006)

Sigma' (kPa)	Phi' (deg)	c' (kPa)
20.00	57.39	25.96
40.00	53.92	30.64
60.00	51.59	35.03
80.00	49.82	39.15
100.00	48.39	43.04
120.00	47.18	46.74
140.00	46.14	50.27
160.00	45.23	53.66
180.00	44.41	56.93
200.00	43.67	60.10
220.00	43.00	63.16
240.00	42.38	66.14
260.00	41.80	69.04
280.00	41.27	71.86
300.00	40.77	74.63
320.00	40.31	77.33
340.00	39.87	79.97
360.00	39.45	82.56
380.00	39.06	85.10
400.00	38.68	87.60
420.00	38.32	90.05
440.00	37.98	92.46
460.00	37.66	94.83
480.00	37.35	97.17
500.00	37.05	99.47
520.00	36.76	101.74
540.00	36.48	103.97
560.00	36.22	106.18
580.00	35.96	108.36

qz0(kN)	:	0.00
qzmax(kN)	:	47.23
Fp(kN/m)	:	10.92
H(m)	-	2.31

TABELLA PARAMETRI CONCII E

X (m)	dx (m)
16.520	1.037
17.557	1.037
18.593	1.037
19.630	0.370
20.000	0.666
20.666	1.037
21.703	1.037
22.739	1.037
23.776	0.252
24.028	0.784
24.812	0.114
24.927	0.073
25.000	0.849
25.849	1.037
26.895	1.037
27.922	1.037
28.958	1.037
29.995	0.005
30.000	1.031
31.031	0.511
31.542	0.525
32.068	1.037
33.104	1.037

LEGENDA SIMBOLI

X(m)	: Anziana al
dx(m)	: Lunghezza
alpha (A°)	: Angolo pa
W(kN/m)	: Forza peso
su(-)	: Coefficient
U(kPa)	: Pressione
phi' (A°)	: Angolo di
c'/Cu (kPa)	: Coesione e
ht(m)	: Altezza li
yt(m)	: coordinata Y linea di trust
yt' (-)	: gradiente pendenza locale linea di trust
E(x) (kN/m)	: Forza Normale interconcio
T(x) (kN/m)	: Forza Tangenziale interconcio
E' (kN)	: derivata Forza normale interconcio
Rho(x) (-)	: fattore mobilitazione resistenza al taglio verticale interconcio Zhu et al. (2003)

T (x) (kN/m)	E' (kN)	rho (x) (-)	local_FS
0.000	9.586	0.069	3.406
0.430	13.296	0.069	11.358
2.014	14.114	0.153	2.409
4.733	13.802	0.249	1.086
5.956	13.380	0.289	1.219
8.279	9.864	0.338	3.889
11.104	0.439	0.406	4.145
11.731	-8.816	0.442	3.111
10.700	-7.490	0.440	3.224
10.454	-6.685	0.438	3.159
9.793	-3.883	0.428	2.781
9.725	-3.529	0.427	2.704
9.683	-3.355	0.427	2.652
9.014	-5.124	0.411	2.047
6.686	-11.115	0.344	1.610
2.976	-14.777	0.194	1.486
-0.197	-10.211	0.069	1.625
-1.638	-5.082	0.187	1.682
-1.641	-5.055	0.188	1.679
-1.709	-0.759	0.333	1.283
-1.452	0.906	0.387	1.483
-1.079	2.938	0.414	1.781
-0.306	5.739	0.266	1.871

Diametro pali D1(m):	0.40
Interasse tra pali D1(m):	1.20
Distanza tra pali D2(m):	0.80
Fattore riduttivo resistenza palificata (NTC 2008):	1.00

Altre funzioni importanti:

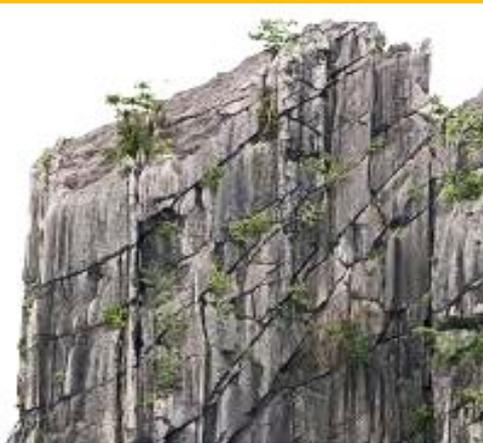
- Integrazione strutture (pali, geogriglie, tiranti..)
- Generazione files DXF (creazione file DXF) :
 - a. Plottaggio modello pendio
 - b. Fascia critica 10 sup con minor F_s
 - c. Superfici di minor F_s in assoluto
 - d. Plottaggio di superfici entro uno specifico intervallo di F_s
- Esportazione superficie con minor F_s in file .SIN coordinate superficie singola critica Con minor F_s
- Verifiche su superfici singole definite dall'utente, con ricerca K_h critico (come il metodo Sarma(1973) classico ma esteso a tutti i metodi di calcolo..)
- Generazione mappe 2D (raster) F_s medio locale. (funzione sperimentale)

Video1_ssap.avi

(9 min)

Parte VI - Applicazione di SSAP 2010 in ammassi rocciosi fratturati e rocce tenere: uso del criterio di rottura Hoek & Brown 2002,2006

Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D
Universidad Autonoma de San Luis Potosi -UASLP
Instituto de Geología
Facultad de Ingeniería.
San Luis Potosi, MEXICO
lborselli@gmail.com
lorenzo.borselli@uaslp.mx
<http://www.lorenzo-borselli.eu>



Nella versione 2.9 del codice SSAP è stato introdotto il criterio di rottura pubblicato da Hoek et al. (2002) per la caratterizzazione della resistenza al taglio degli ammassi rocciosi fratturati.

Questo criterio di rottura estende quello tradizionalmente utilizzato per i terreni sciolti (Mohr-Coulomb) e permette di utilizzare il metodo di verifica della stabilità mediante l'equilibrio limite anche in presenza di ammassi rocciosi fratturati, dove è necessario una metodologia che permetta di definire la resistenza al taglio dell'ammasso in termini dei parametri ϕ' e c' .

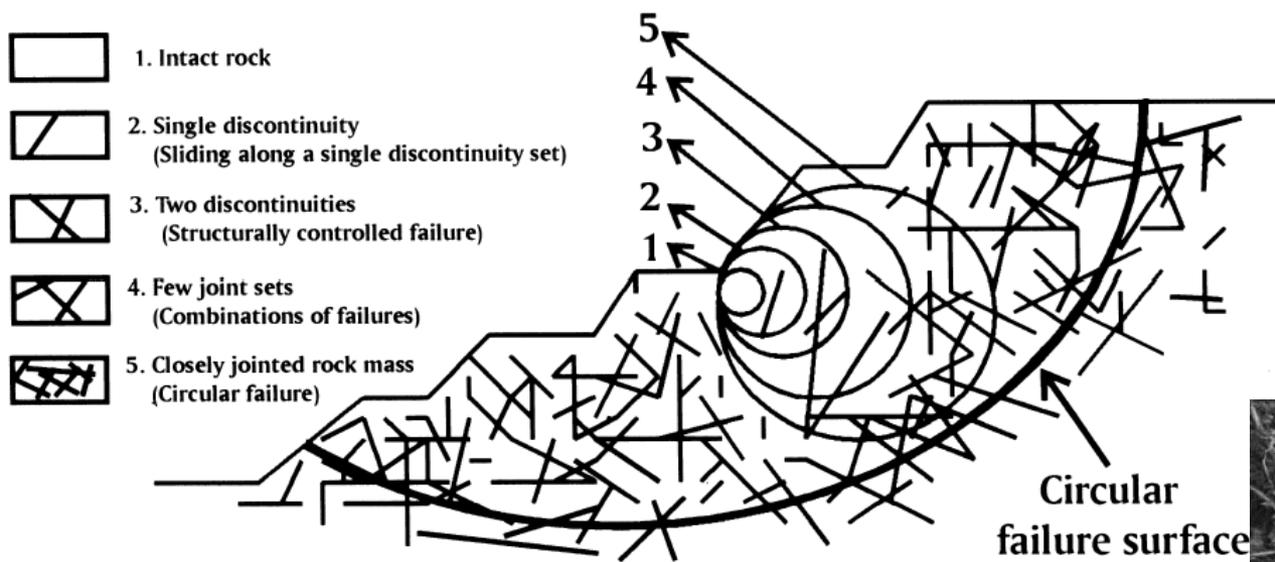
La metodologia di Hoek che si è evoluta in oltre 25 anni di studi di meccanica e ingegneria delle rocce (Hoek & Bray, 1997; Marinos & Hoek, 2001, Hoek et al.; 2002) permette attraverso una caratterizzazione delle qualità meccaniche e strutturali dell'ammasso una percorso non ambiguo che porta alla valutazione dei parametri necessari per effettuare una verifica di stabilità dei pendii.

Il campo di applicazione della metodologia è limitato ai pendii in roccia dove non sono presenti instabilità e distacchi di natura strutturale:(scivolamenti di cunei o poliedri di roccia , toppling /ribaltamenti, e caduta di massi).

STRUCTURE	TYPICAL PROBLEMS	CRITICAL PARAMETERS	ANALYSIS METHODS	ACCEPTABILITY CRITERIA
 <p>Landslides.</p>	Complex failure along a circular or near circular failure surface involving sliding on faults and other structural features as well as failure of intact materials.	<ul style="list-style-type: none"> • Presence of regional faults. • Shear strength of materials along failure surface. • Groundwater distribution in slope, particularly in response to rainfall or to submergence of slope toe. • Potential earthquake loading. 	Limit equilibrium methods which allow for non-circular failure surfaces can be used to estimate changes in factor of safety as a result of drainage or slope profile changes. Numerical methods such as finite element or discrete element analysis can be used to investigate failure mechanisms and history of slope displacement.	Absolute value of factor of safety has little meaning but rate of change of factor of safety can be used to judge effectiveness of remedial measures. Long term monitoring of surface and subsurface displacements in slope is the only practical means of evaluating slope behaviour and effectiveness of remedial action.
 <p>Soil or heavily jointed rock slopes.</p>	Circular failure along a spoon-shaped surface through soil or heavily jointed rock masses.	<ul style="list-style-type: none"> • Height and angle of slope face. • Shear strength of materials along failure surface. • Groundwater distribution in slope. • Potential surcharge or earthquake loading. 	Two-dimensional limit equilibrium methods which include automatic searching for the critical failure surface are used for parametric studies of factor of safety. Probability analyses, three-dimensional limit equilibrium analyses or numerical stress analyses are occasionally used to investigate unusual slope problems.	Factor of safety > 1.3 for "temporary" slopes with minimal risk of damage. Factor of safety > 1.5 for "permanent" slopes with significant risk of damage. Where displacements are critical, numerical analyses of slope deformation may be required and higher factors of safety will generally apply in these cases.
 <p>Jointed rock slopes.</p>	Planar or wedge sliding on one structural feature or along the line of intersection of two structural features.	<ul style="list-style-type: none"> • Slope height, angle and orientation. • Dip and strike of structural features. • Groundwater distribution in slope. • Potential earthquake loading. • Sequence of excavation and support installation. 	Limit equilibrium analyses which determine three-dimensional sliding modes are used for parametric studies on factor of safety. Failure probability analyses, based upon distribution of structural orientations and shear strengths, are useful for some applications.	Factor of safety > 1.3 for "temporary" slopes with minimal risk of damage. Factor of safety > 1.5 for "permanent" slopes with significant risk of damage. Probability of failure of 10 to 15% may be acceptable for open pit mine slopes where cost of clean up is less than cost of stabilization.
 <p>Vertically jointed rock slopes.</p>	Toppling of columns separated from the rock mass by steeply dipping structural features which are parallel or nearly parallel to the slope face.	<ul style="list-style-type: none"> • Slope height, angle and orientation. • Dip and strike of structural features. • Groundwater distribution in slope. • Potential earthquake loading. 	Crude limit equilibrium analyses of simplified block models are useful for estimating potential for toppling and sliding. Discrete element models of simplified slope geometry can be used for exploring toppling failure mechanisms.	No generally acceptable criterion for toppling failure is available although potential for toppling is usually obvious. Monitoring of slope displacements is the only practical means of determining slope behaviour and effectiveness of remedial measures.
 <p>Loose boulders on rock slopes.</p>	Sliding, rolling, falling and bouncing of loose rocks and boulders on the slope.	<ul style="list-style-type: none"> • Geometry of slope. • Presence of loose boulders. • Coefficients of restitution of materials forming slope. • Presence of structures to arrest falling and bouncing rocks. 	Calculation of trajectories of falling or bouncing rocks based upon velocity changes at each impact is generally adequate. Monte Carlo analyses of many trajectories based upon variation of slope geometry and surface properties give useful information on distribution of fallen rocks.	Location of fallen rock or distribution of a large number of fallen rocks will give an indication of the magnitude of the potential rockfall problem and of the effectiveness of remedial measures such as draped mesh, catch fences and ditches at the toe of the slope.

Uno dei principi base della meccanica delle rocce è che la resistenza meccanica di un ammasso roccioso nel suo insieme è generalmente più bassa rispetto a quello degli elementi di roccia intatta che lo compongono.

La resistenza meccanica complessiva è infatti funzione della resistenza meccanica degli elementi di roccia intatta e di una serie di caratteristiche dell'ammasso: presenza e distribuzione di **fessure e giunti**; **effetti di disturbo esterni** quali scavi, trivellazione e uso di esplosivi; variabilità delle caratteristiche dell'ammasso alla scala dell'affioramento, indotta da **discontinuità litologiche e strutturali**: **bande di alterazione e fasce milonitiche/catacaclastiche**, **sistemi di faglie**, alternanze con litologie diverse in formazioni in **facies di flysch**.



da Sonmez et al. (1998)

prendendo in esame una dimensione di ammasso preogressivamente maggiore le singole discontinuità diventano meno importanti per la stabilità locale e diventano prevalenti la loro distribuzione e densità nell'indebolire le caratteristiche meccaniche generali. In questo caso eventuali superfici di scivolamento potranno realizzarsi parzialmente, e localmente, anche in modo parallelo a discontinuità presenti ma in generale tagliando eventuali ponti di roccia

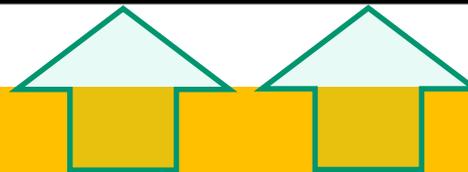
RMR (Bieniawski 1989)

Categorías de la clasificación

R.M.R.	Descripción del macizo rocoso	Clase
Suma de los puntajes obtenidos de las tablas anteriores		
81 - 100	Muy bueno	I
61 - 80	Bueno	II
41 - 60	Medio	III
21 - 40	Malo	IV
0 - 20	Muy malo	V

Características resistentes del macizo rocoso

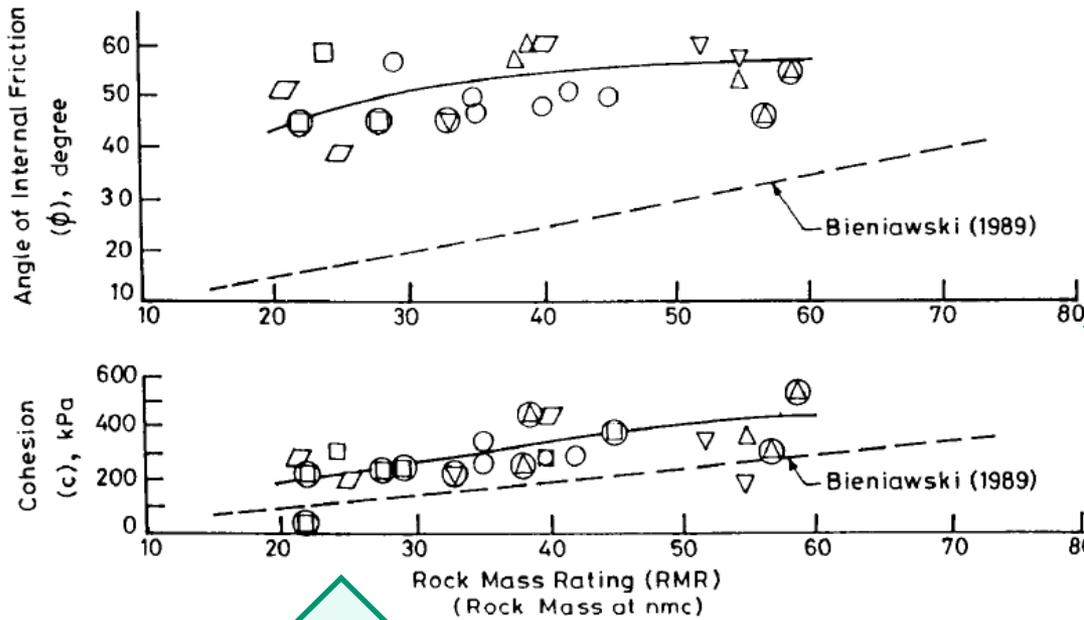
Clase (R.M.R.)	c [Kpa]	ϕ°	t sin soporte
I (81 - 100)	> 400	> 45	20 años, luz de 15m
II (61 - 80)	300 - 400	35 - 45	1 año, luz de 10m
III (41 - 60)	200 - 300	25 - 35	1 semana, luz 5 m
IV (21 - 40)	100 - 200	15 - 25	10 hs., luz 2.50 m
V (0 - 20)	< 100	< 15	30 min, luz 1m



c'

ϕ

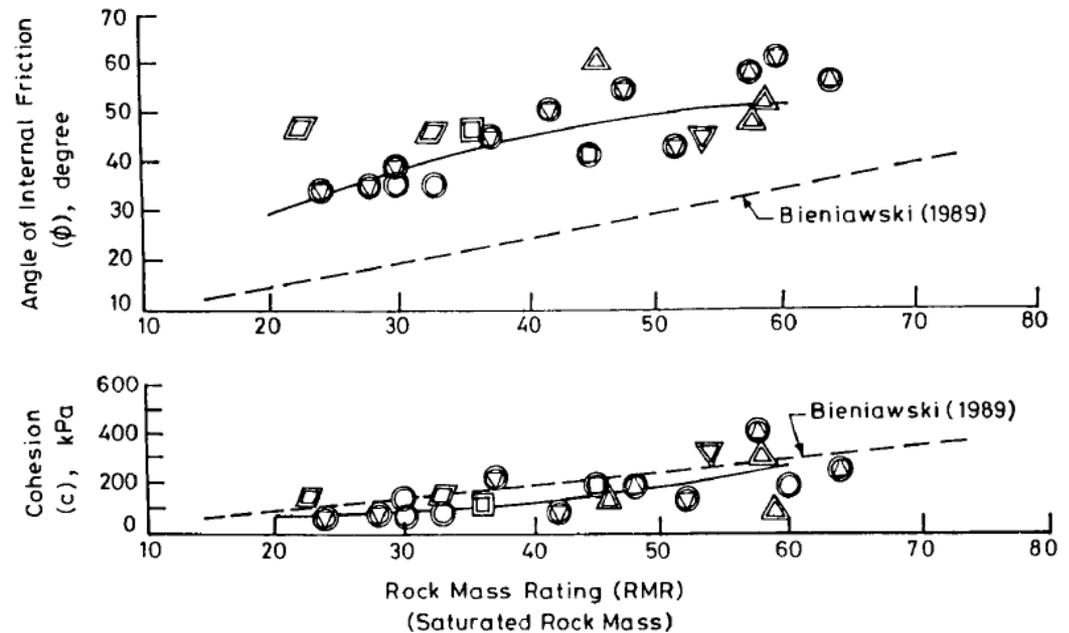
Comparazione valori tavola beniawski (RMR) e E dati sperimentali resistenza a taglio in sito



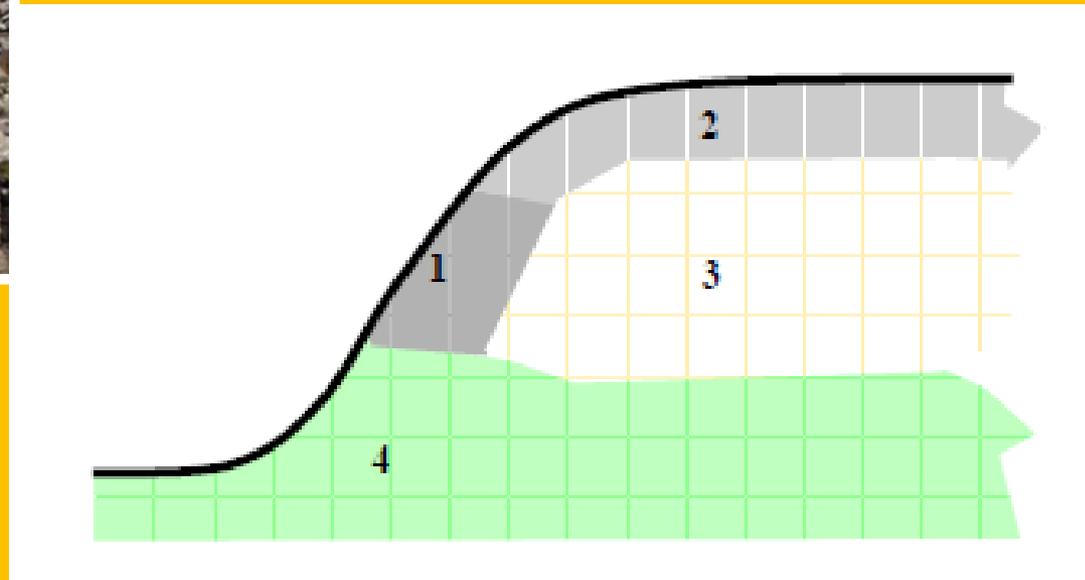
In ammasso ricciosi non saturi e saturi

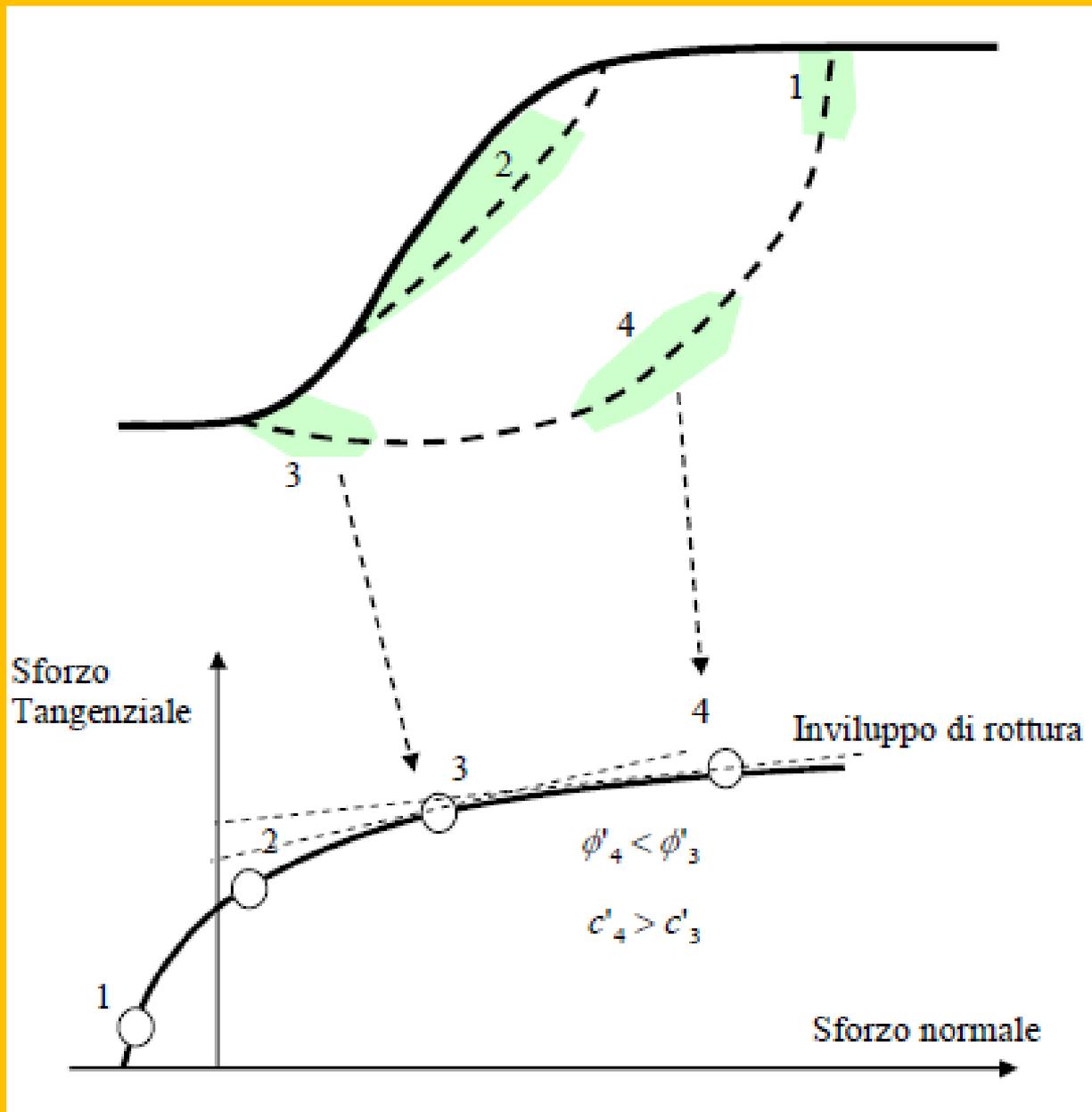
Mehrotra, 1993

I valori della tavola Beniawski (RMR) sottostimano mdi molto l'angolo di frizione interna E talvolta anche la un poco la coesione



Con la caratterizzazione di un ammasso mediante il metodo di Hoek è implicito assumere che esso venga considerato un mezzo omogeneo e isotropo. Nella realtà in un ammasso, anche se omogeneo dal punto di vista della litologia, possono esistere zone con caratteristiche di alterazione o caratterizzazione delle discontinuità diverse. In questo caso il metodo va applicata dopo aver suddiviso l'ammasso stesso in unità strutturali e meccaniche diverse che vengono poi, al loro interno assunte omogenee.





Una delle caratteristiche del criterio di rottura di Hoek è che esso definisce, per l'ammasso nel suo insieme, un inviluppo di rottura curvo all'interno del diagramma degli sforzi normali e tangenziali

Per l'applicazione del criterio di rottura di Hoek et al (2002), anche detto "sistema/metodo GSI", è necessario determinare o stimare per l'ammasso quattro parametri di base:

1. La resistenza a compressione uniassiale σ_{ci} (Mpa) degli elementi di roccia intatta, valutata solitamente mediante prove Point Load o assimilate.
2. L'indice geologico di resistenza GSI (adimensionale) che sintetizza le caratteristiche strutturali essenziali dell'ammasso.
3. La costante litologica m_i (adimensionale) che dipende dalla litologia dell'ammasso ed è stimabile da apposite tabelle.
4. Il fattore di disturbo D (adimensionale) che variando da 0 a 1 rappresenta il grado di disturbo indotto da operazioni di scavo meccanico o esplosivi.

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$



$$c' = \frac{\sigma_{ci} \left[(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n} \right] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \left(6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1} \right) / ((1+a)(2+a))}}$$



Phi' e C' da GSI model, Hoek et al (2002) e calcolati punto punto in SSAP

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

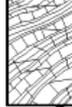
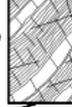
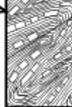
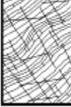
$$\sigma_{3n} = \sigma'_{3\max} / \sigma_{ci}$$

$$\frac{\sigma'_{3\max}}{\sigma'_{cm}} = 0.72 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91}$$

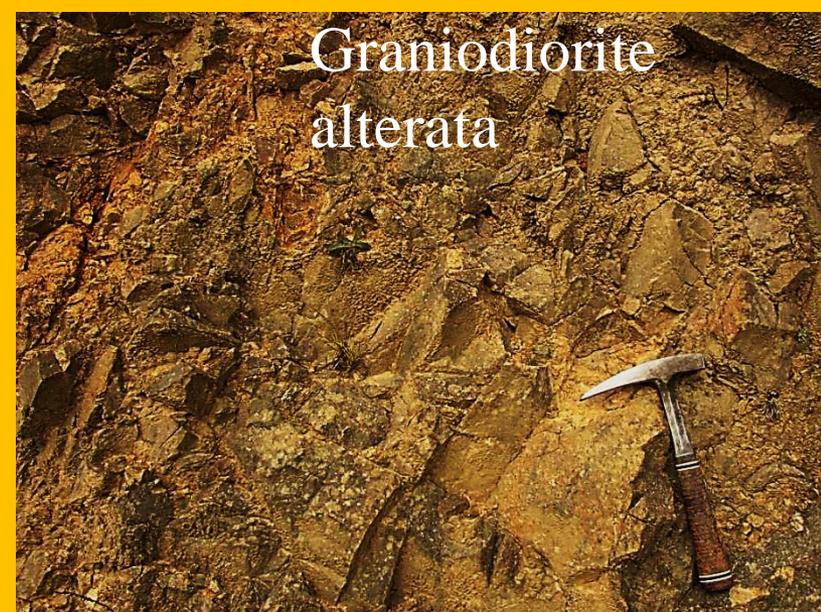
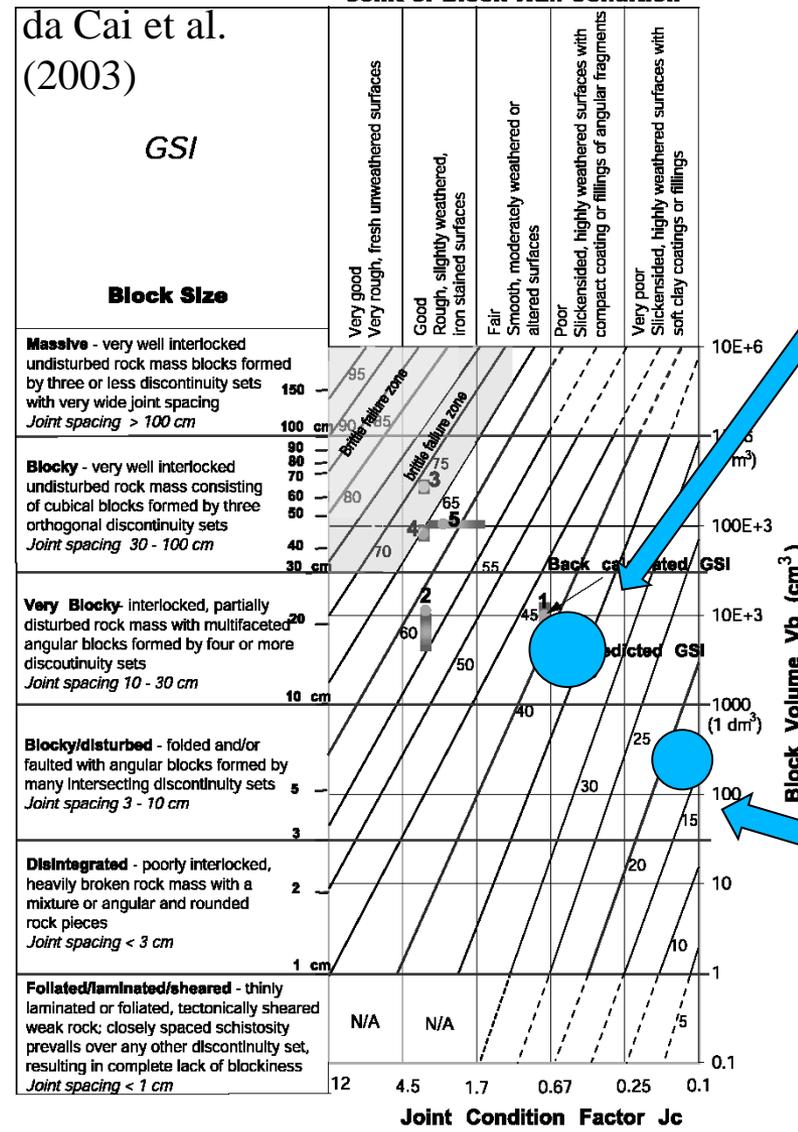
$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \cdot \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b/4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80				
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		70			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			60		
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				50	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					40
						30
						20
						10

Da software ROCKLAB:
GSI e struttura ammasso

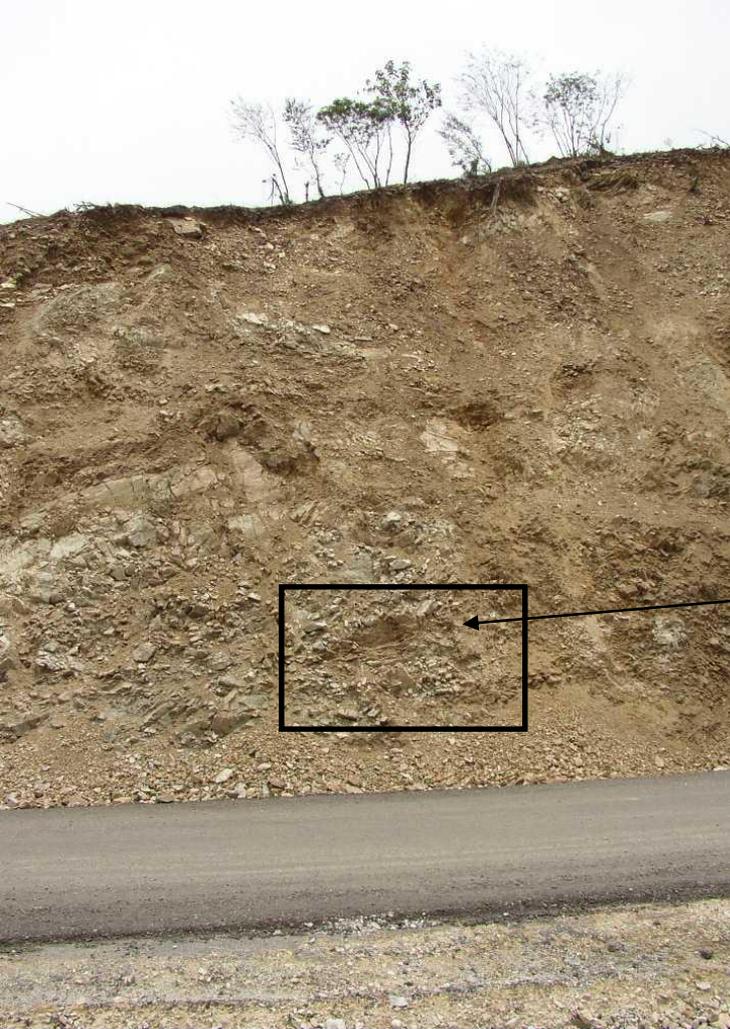
COMPOSITION AND STRUCTURE		SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
	A. Thick bedded, very blocky sandstone The effect of pelitic coatings on the bedding planes is minimized by the confinement of the rock mass. In shallow tunnels or slopes these bedding planes may cause structurally controlled instability.	70				
	B. Sandstone with thin inter-layers of siltstone		60			
	C. Sandstone and siltstone in similar amounts			50		
	D. Siltstone or silty shale with sandstone layers				40	
	E. Weak siltstone or clayey shale with sandstone layers					30
C, D, E and G - may be more or less folded than illustrated but this does not change the strength. Tectonic deformation, faulting and loss of continuity moves these categories to F and H.						20
	F. Tectonically deformed, intensively folded/faulted, sheared clayey shale or siltstone with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure					10
	G. Undisturbed silty or clayey shale with or without a few very thin sandstone layers					
	H. Tectonically deformed silty or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces.					

→ : Means deformation after tectonic disturbance



(foto Borselli, 2004)





Contatto tettonico graniti /micascisti
 Breccia di faglia (foto Borselli, chiapas
 Mexico 2004)

Hoek rock mass strenght parameters (Hoek
 1997,2002)

strength parameters at
 Z=4m

sgci (MPa)

GSI

mi

D

assumed Unit weighth
 (kN/m³)

effective stress at Z=4m
 (kPa)

c' (kPa)

φ' (degrees)

35

20

10

0.7

24

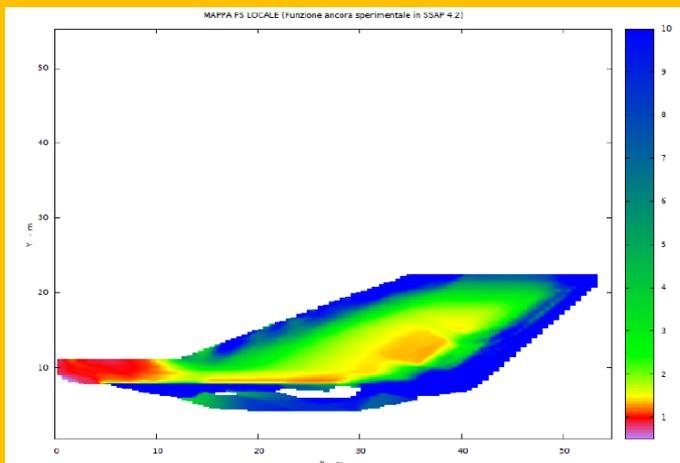
104

26.1

41.5

Parte VII - Alcuni Esempi

Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D
Universidad Autonoma de San Luis Potosi -UASLP
Instituto de Geología
Facultad de Ingeniería.
San Luis Potosi, MEXICO
lborselli@gmail.com
lorenzo.borselli@uaslp.mx
<http://www.lorenzo-borselli.eu>



In questa sezione tratteremo alcuni aspetti legati alla complessità stratigrafica e a quella indotta da particolari condizioni di una falda entro pendii naturali e artificiali e la interazione con strutture presenti

Prenderemo in esame 3 esempi di pendio:

- ***Un rilevato poggiante su uno stato orizzontale torboso*****
- ***Una diga in terra di una lago collinare *****
- ***Un pendio naturale molto complesso con una struttura di rinforzo alla base e simulando uno scenario di risalita della falda(video di 13 minuti) (esempio con SSAP2010 4.3.1 – 2014)***

In tutti i casi gli scenari selezionati e la strategia di analisi sono determinanti.

*** NB.: esempi di verifiche realizzate con SSAP 4.2.1 (2013)**

7.1 Introduction

In 1988 a set of 5 basic slope stability problems, together with 5 variants, was distributed both in the Australian Geomechanics profession and overseas as part of a survey sponsored by ACADS (Refs.1,2). This is the ACADS 3(a) problem.

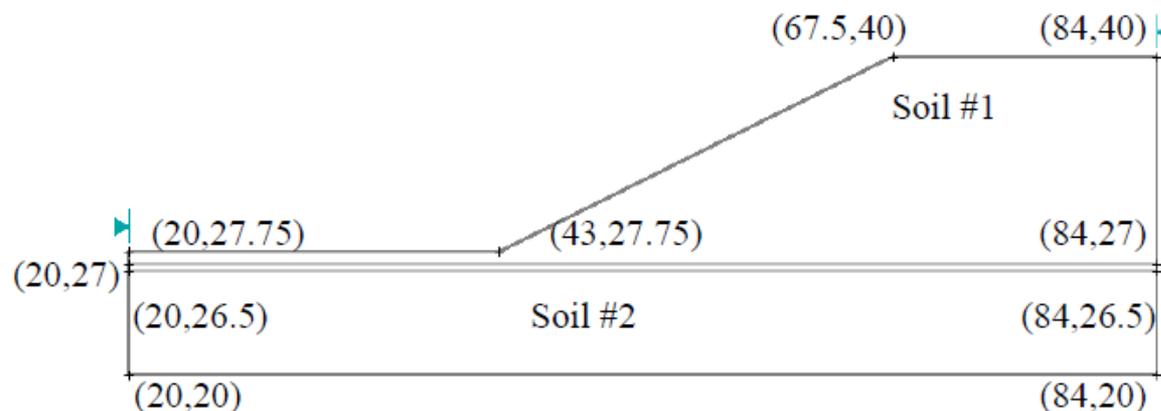
7.2 Problem description

This problem has material properties given in Table 7.1, and is shown in Figure 7. The water table is assumed to coincide with the base of the weak layer. The effect of negative pore water pressure above the water table is to be ignored. (i.e. $u=0$ above water table). The effect of the tension crack is also to be ignored in this problem. The factor of safety and its corresponding critical non-circular failure surface is required.

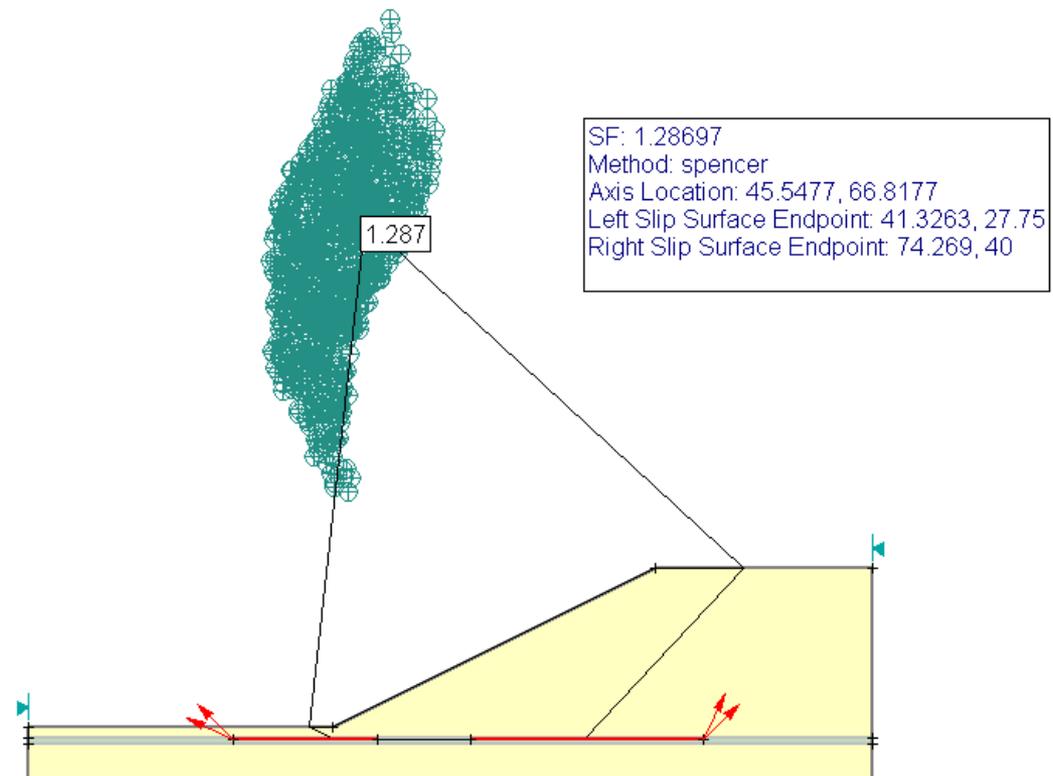
7.3 Geometry and Properties**Table 7.1: Material Properties**

	c' (kN/m ²)	ϕ' (deg.)	γ (kN/m ³)
Soil #1	28.5	20.0	18.84
Soil #2	0	10.0	18.4

Da SLIDE
verification
manuale
Rockscience inc.
(2002)



Risultati analisi software SLIDE (2002)



7.4 Results

Method	Factor of Safety	Xc (m)	Yc (m)
Bishop	1.232	45.72	66.36
Spencer	1.287	45.55	66.82
GLE	1.275	45.81	67.18
Janbu Corrected	1.308	45.72	66.36

Note : Referee Factor of Safety = 1.24 – 1.27 [Giam]
Mean Non-circular FOS (19 samples) = 1.293

Risultato SSAP

SSAP 4.2.0 (2012) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.1.0 (2012)

Data : 12/1/2013
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. 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	28.50	0	18.84	18.84	0	0	0	0
2	10.00	0	0	18.84	18.84	0	0	0	0
3	20.00	28.50	0	18.84	18.84	0	0	0	0

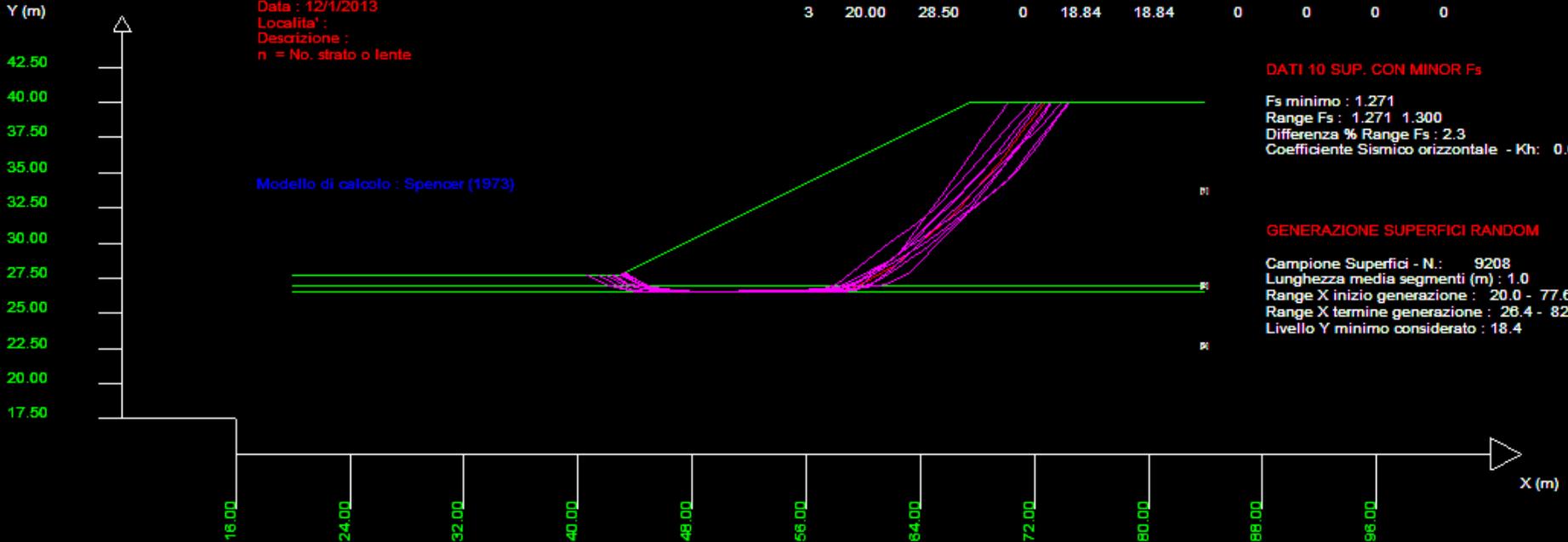
DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 1.271
 Range Fs : 1.271 1.300
 Differenza % Range Fs : 2.3
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.000

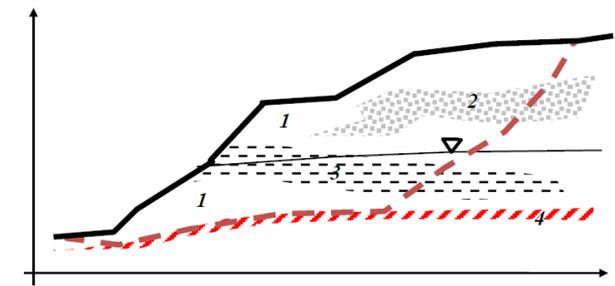
GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N: 9208
 Lunghezza media segmenti (m) : 1.0
 Range X inizio generazione : 20.0 - 77.6
 Range X termine generazione : 26.4 - 82.7
 Livello Y minimo considerato : 18.4

Modello di calcolo : Spencer (1973)



Risultato di applicazione algoritmo SNIFF RANDOM SEARCH2.0 che consente di effettuare verifiche nelle condizioni più gravose che sfuggono ai metodi di ricerca usuali. Ad esempio il tracciamento di esili discontinuità con bassa resistenza al taglio.



Risultato SSAP

SSAP 4.2.0 (2012) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.1.0 (2012)

Data : 12/1/2013
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. 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	28.50	0	18.84	18.84	0	0	0	0
2	10.00	0	0	18.84	18.84	0	0	0	0
3	20.00	28.50	0	18.84	18.84	0	0	0	0



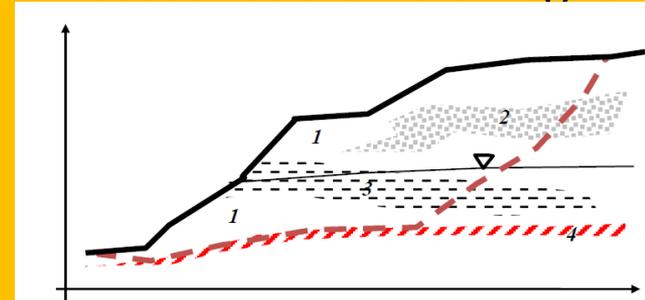
DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 1.271
 Range Fs : 1.271 1.300
 Differenza % Range Fs : 2.3
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.000

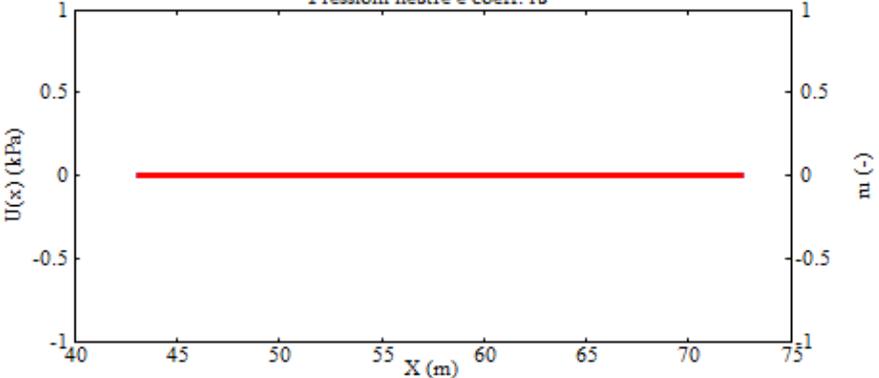
GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 9208
 Lunghezza media segmenti (m) : 1.0
 Range X inizio generazione : 20.0 - 77.6
 Range X termine generazione : 26.4 - 82.7
 Livello Y minimo considerato : 18.4

Risultato di applicazione algoritmo SNIFF RANDOM SEARCH2.0 che consente di effettuare verifiche nelle condizioni più gravose che sfuggono ai metodi di ricerca usuali. Ad esempio il tracciamento di esili discontinuità con bassa resistenza al taglio.

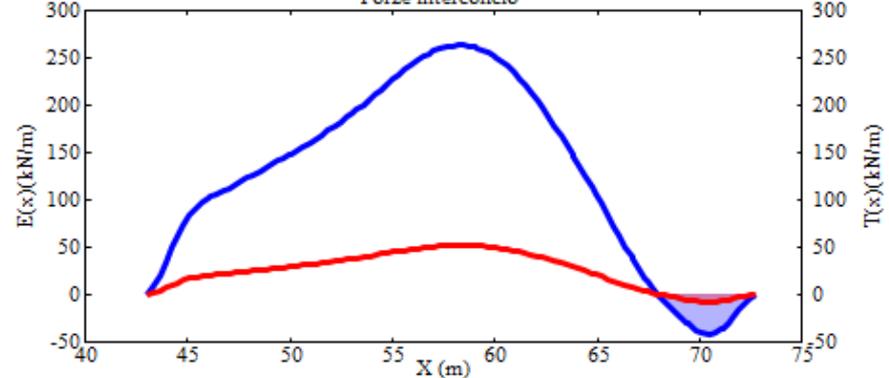


Pressioni neutre e coeff. ru



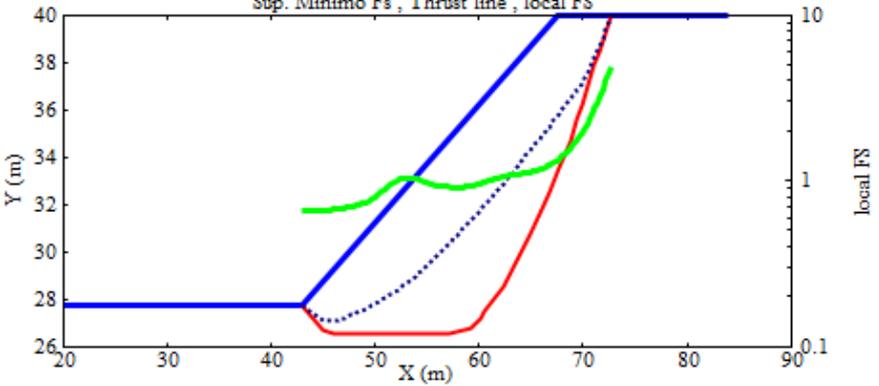
12/01/13 01:06
 $U(x)$ (kPa) — blue line
 ru (-) — red line

Forze interconcoio



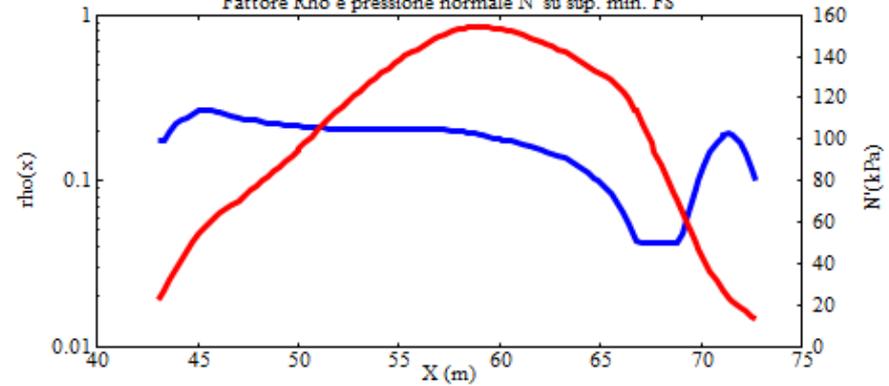
12/01/13 01:06
 $E(x)$ (kN/m) — blue line
 $T(x)$ (kN/m) — red line

Sup. Minimo Fs , Thrust line , local FS



12/01/13 01:06
 Sup. Topografica — blue line
 Sup. Min. FS — red line
 Thrust line — dotted blue line
 local FS — green line

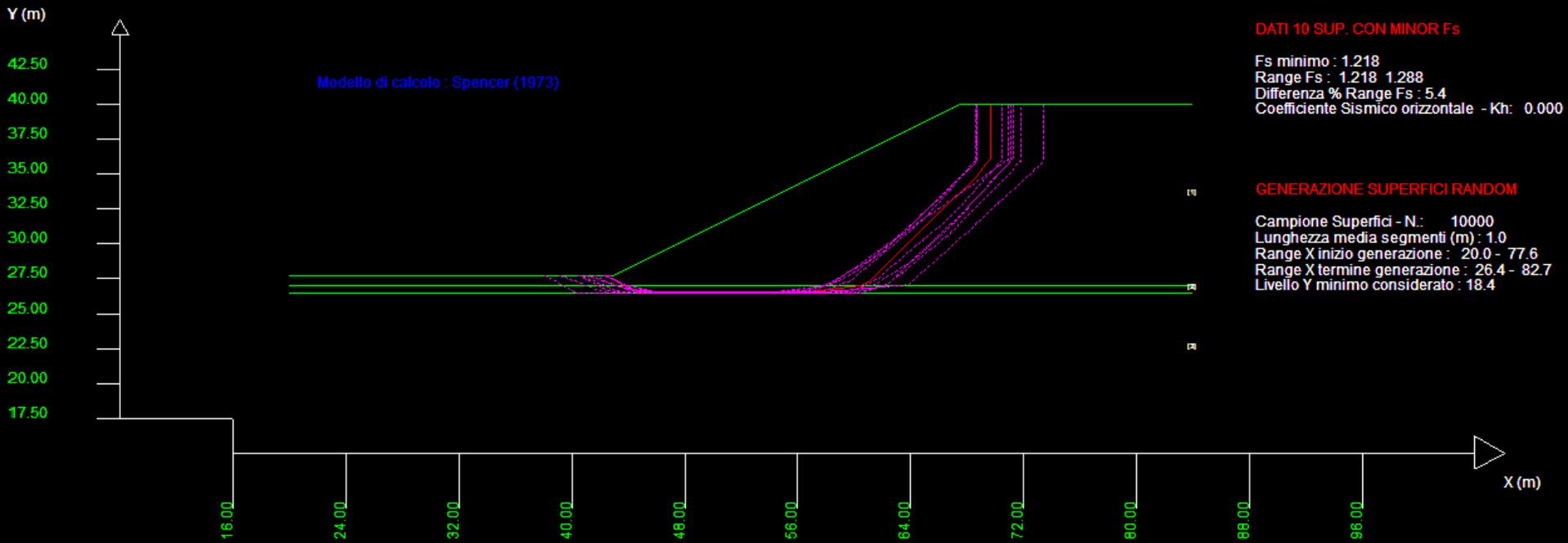
Fattore Rho e pressione normale N' su sup. min. FS



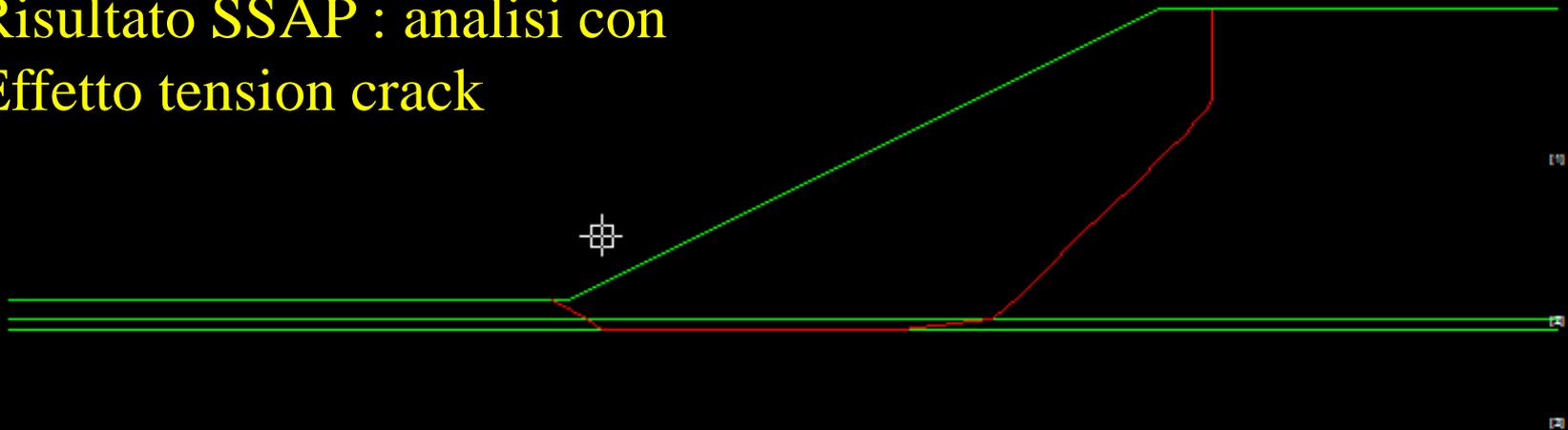
12/01/13 01:06
 $\rho(x)$ — blue line
 N' (kPa) — red line
 SSAP2010 (versione 4.2.0 2012) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

Risultato SSAP

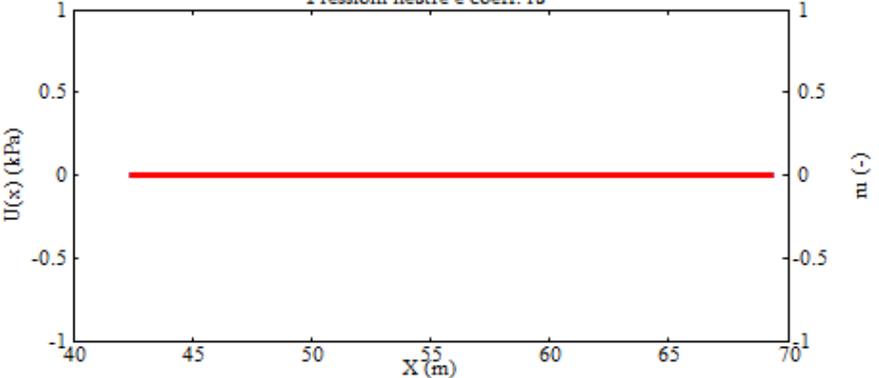
Distribuzione forze interne



Risultato SSAP : analisi con Effetto tension crack



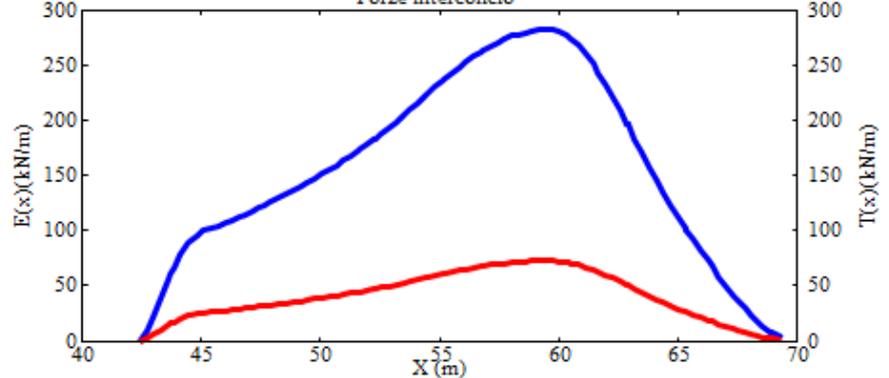
Pressioni neutre e coeff. ru



12/01/13 01:26

U(x) (kPa) —
ru (-) —

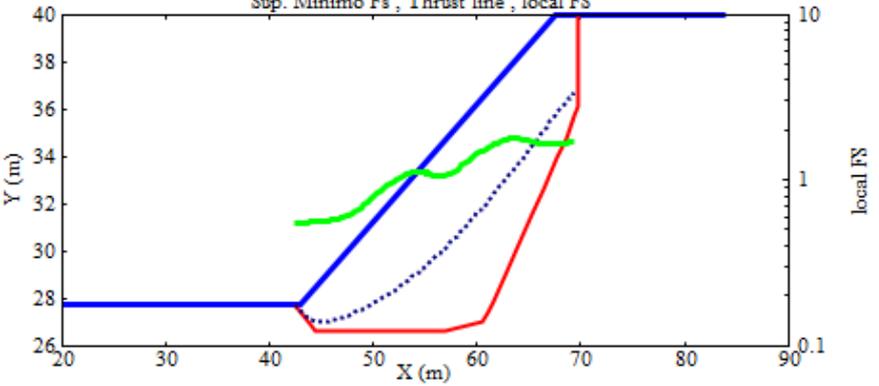
Forze interconcorcio



12/01/13 01:26

E(x)(kN/m) —
T(x)(kN/m) —

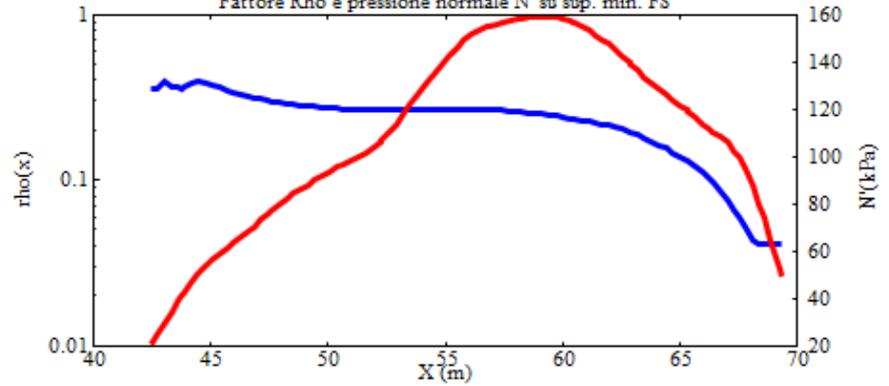
Sup. Minimo Fs , Thrust line , local FS



12/01/13 01:26

Sup. Topografica —
Sup. Min. FS —
Thrust line -.-
local FS —

Fattore Rho e pressione normale N' su sup. min. FS



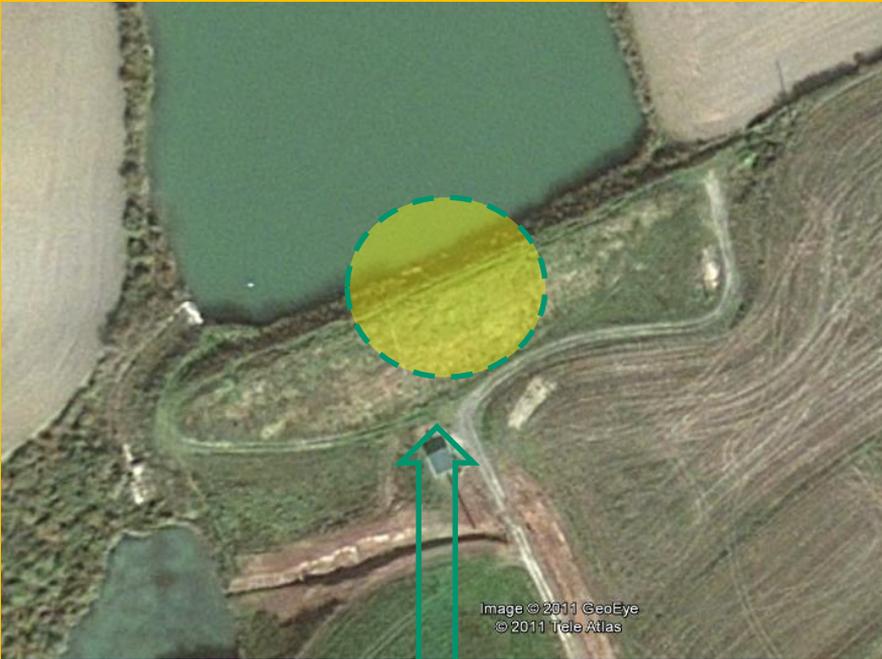
12/01/13 01:26

rho(x) —
N'(kPa) —

SSAP2010 (versione 4.2.0 2012) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

Distribuzione forze interne

Controllo sulle Verifiche stabilità bacino (anti.mod) Eseguito da L Borselli



Bacino costruito fine anni 50
Primi anni 60
Con problemi di cedimento
del corpo diga

Substrato argille plioceniche
Toscana centrale

Data : 12/1/2013
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. strati o lense

# Parametri Geotecnici degli strati #									
N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	23.00	42.00	0	20.00	20.00	0	0	0	0
2	21.00	10.00	0	19.00	20.00	0	0	0	0
3	42.50	31.40	0	21.00	21.00	0	0	0	0



Modello del pendio

Opzioni attivate in Ssap 4.2.0

Coeff sismico orizz.

Smussatore superfici di scorrimento

OPZIONI GENERALI per Verifiche di Stabilità SSAP 4.2.0

Coefficiente sismico orizzontale - Kh

Fs di Progetto richiesto (analisi deficit)

METODO DI CALCOLO

$T(x) = \lambda f(x) E(x)$

Esplora spazio (lambda0, fs0) Metodo

- JANBU RIGOROSO - (1973)
- SPENCER - (1973)
- SARMA I - (1973)
- MORGESTERN PRICE - (1965)
- CORREIA - (1988)
- SARMA II - (1979)

- A (rapido e accurato)
- B (più accurato)
- C (molto più accurato)

CONTROLLO STABILITA' NUMERICA

% Tolleranza stress normali negativi

% Tolleranza RHO=|Fs/Fv| > 1.0

Limita T(x)/E(x)

- LIMITATO
- Non LIMITATO

Reimposta Valori Standard

MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI

- RANDOM SEARCH (RS)
- CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)
- SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 2.0

RANDOM...

```
00100101001
01010010101
00010101001
10110101000
```

SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH

Steps di scansione

Frequenza di attivazione

FILTRAGGIO SUPERFICI

- FILTRARE
- NON FILTRARE

PRESENZA DI OSTACOLO

- CON OSTACOLO INTERNO
- SENZA OSTACOLO INTERNO

TIRANTI - ANCORAGGI

- PASSIVI
- ATTIVI

Distribuzione resistenza

- Rettangolare
- Trapezoidale

PALIFICATE - Metodo calcolo

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

PALIFICATE fattore induttivo NTC2008

Fattore di riduzione (Variare da 1 a 10)

SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO

- EFFETTO ATTIVATO
- EFFETTO DISATTIVATO

TENSION CRACKS TESTA PENDIO

- EFFETTO DISATTIVATO
- EFFETTO ATTIVATO

FORZE AGGIUNTIVE PER SUPERFICIE SINGOLA

Forza Ea (alla Base) - kN/m

Forza Eb (in Testa) - kN/m

ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI

- DISATTIVATO
- ATTIVATO

HELP

Effetto
Tension crack
Disattivato
(se uno vuole)

Lunghezza media segmenti (2 m)

PARAMETRI GEOMETRICI VERIFICHE DI STABILITA'

LUNGHEZZA MEDIA (m) SEGMENTI DELLE SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO 2.00

DEFINIZIONE DELLA ZONA DI INIZIO

ASCISSA LIMITE SINISTRO (X1) ZONA DI INIZIO (m) 0.00

ASCISSA LIMITE DESTRO (X2) ZONA DI INIZIO (m) 63.59

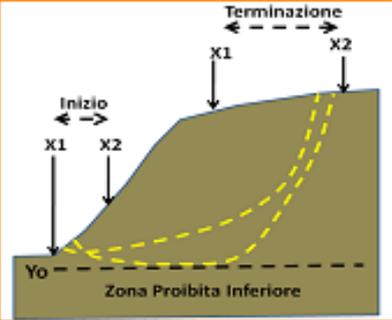
QUOTA (Y0) ZONA PROIBITA INFERIORE (m) 0.00

DEFINIZIONE DELLA ZONA DI TERMINAZIONE

ASCISSA LIMITE SINISTRO (X1) DI TERMINAZIONE (m) 7.07

ASCISSA LIMITE DESTRO (X2) DI TERMINAZIONE (m) 69.24

NUMERO MASSIMO SUPERFICI DA GENERARE 10000



NOTA BENE: Tutte le coordinate sono espresse in metri (vedasi manuale per descrizione PARAMETRI)..

OK Annulla

verifiche di stabilità:

1) Condizioni drenate a lungo termine

A. Senza svasso rapido

B. Con svasso rapido (*molto poco probabile*)

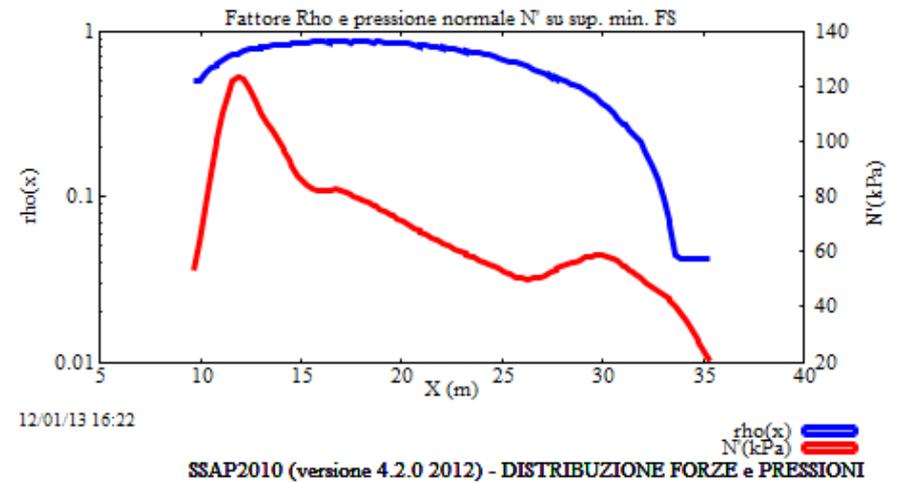
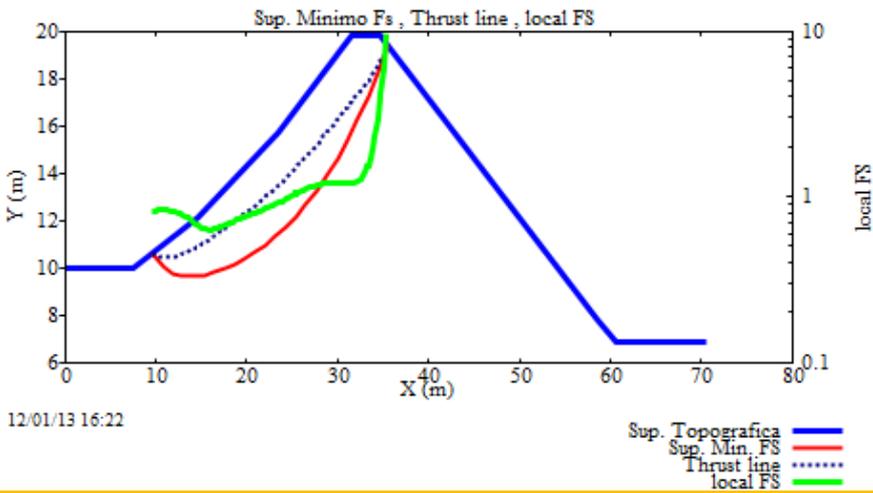
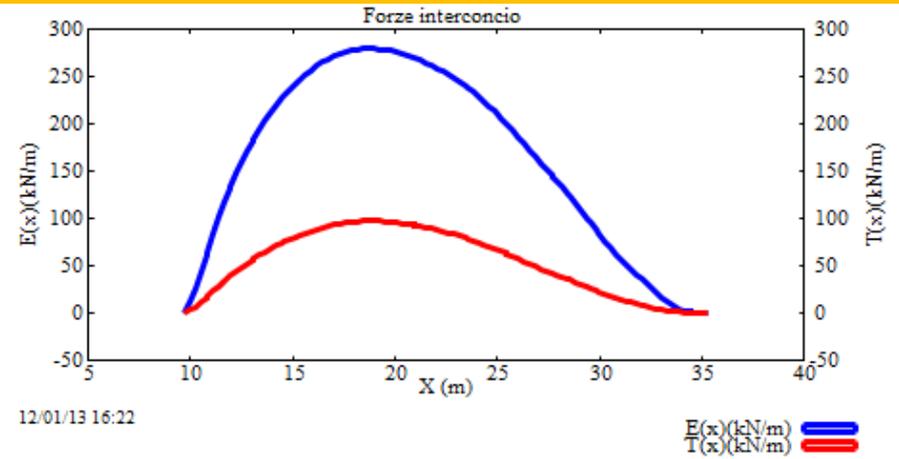
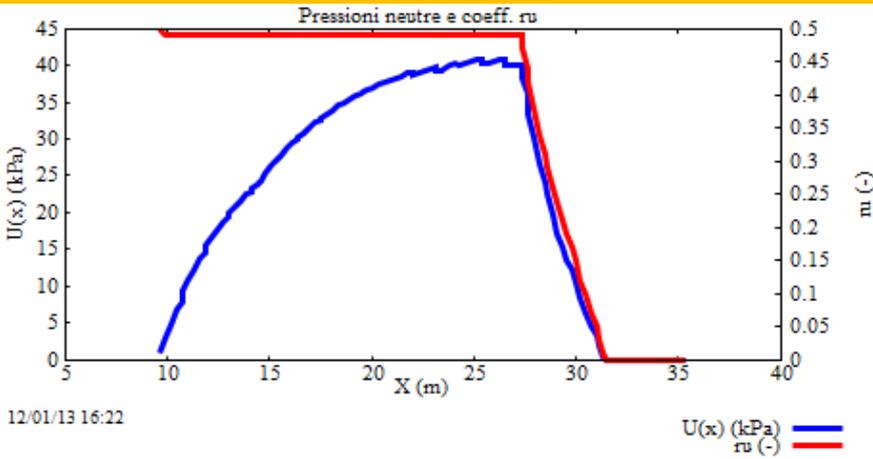
2) Condizioni non drenate (breve termine)

A. Senza svasso rapido

B. con svasso rapido

tutte verifiche con effetto sismico $K_h=0.08$

Diagramma delle forze relativo a superficie con FS minimo



1.B i cond. Drenate con svaso rapido (ipotetica)

GESTIONE ACQUIFERI

ACQUIFERI DISATTIVABILI

- Acquifero Strato 1
- Acquifero Strato 2
- Acquifero Strato 3

CARATTERISTICHE FLUIDO



Gamma fluido (kN/m³) 9.81

Coefficiente A 0

Coefficiente K 0.00080000

Uo minima (kPa) 0.01

GESTIONE PIEZOMETRICHE

Esclusione sovraccarichi pendii sommersi

Esclusione sovraccarico fino alla Progressiva (m) 27.50



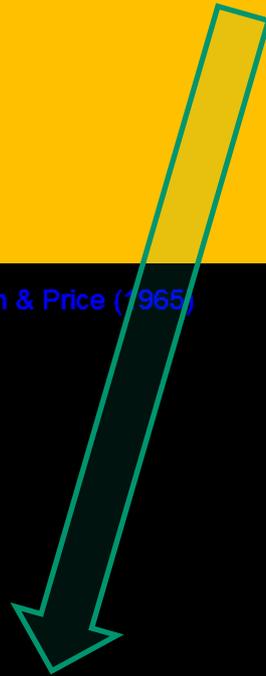
Prima di modificare i valori pre-impostati dal programma ricordarsi che è necessario leggere con attenzione il manuale tecnico del programma. Un utilizzo improprio di queste procedure può portare a importanti effetti sui risultati delle verifiche!!.

HELP OK Cancel

1.B i cond. Drenate con svasso rapido (molto ipotetica) con $K_h=0.08$!

Eliminando l'effetto del sovraccarico dell'acqua (cond di svasso rapido)
Fs arriva a essere inferiore di 0.9 !!!

Questa condizione è poco probabile
data la natura del materiale e
della permeabilità bassa del corpo diga



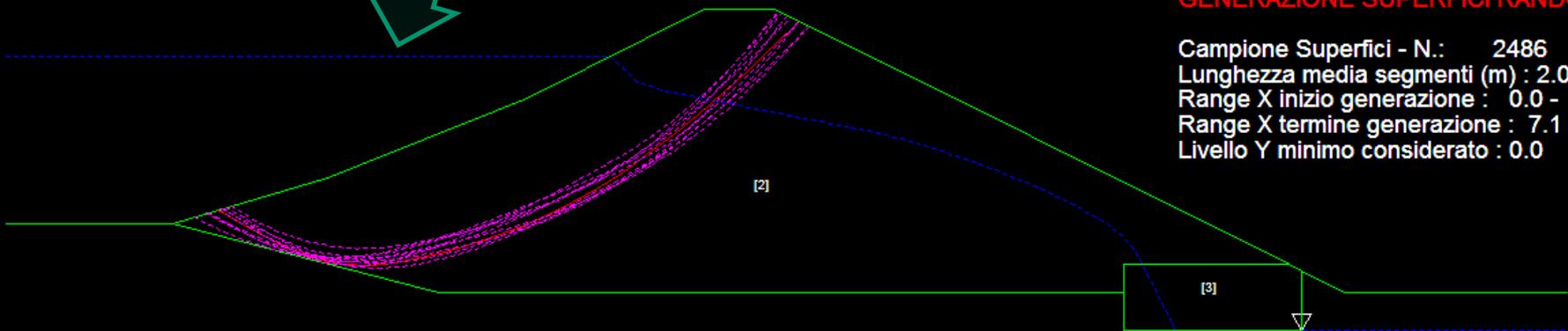
Modello di calcolo : Morgenstern & Price (1965)

DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 0.896
Range Fs : 0.896 - 0.902
Differenza % Range Fs : 0.7
Coefficiente Sismico orizzontale - K_h : 0.080

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 2486
Lunghezza media segmenti (m) : 2.0
Range X inizio generazione : 0.0 - 63.6
Range X termine generazione : 7.1 - 69.2
Livello Y minimo considerato : 0.0



[1]

1.B i cond. Drenate con svaso rapido (ipotetica) -- ma senza sisma !! $K_h=0$

Eliminando l'effetto del sovraccarico dell'acqua (cond di svaso rapido)
Fs arriva a essere superiore a 1.1!!!

Questa condizione è poco probabile
data la natura del materiale e
della permeabilità bassa del corpo diga

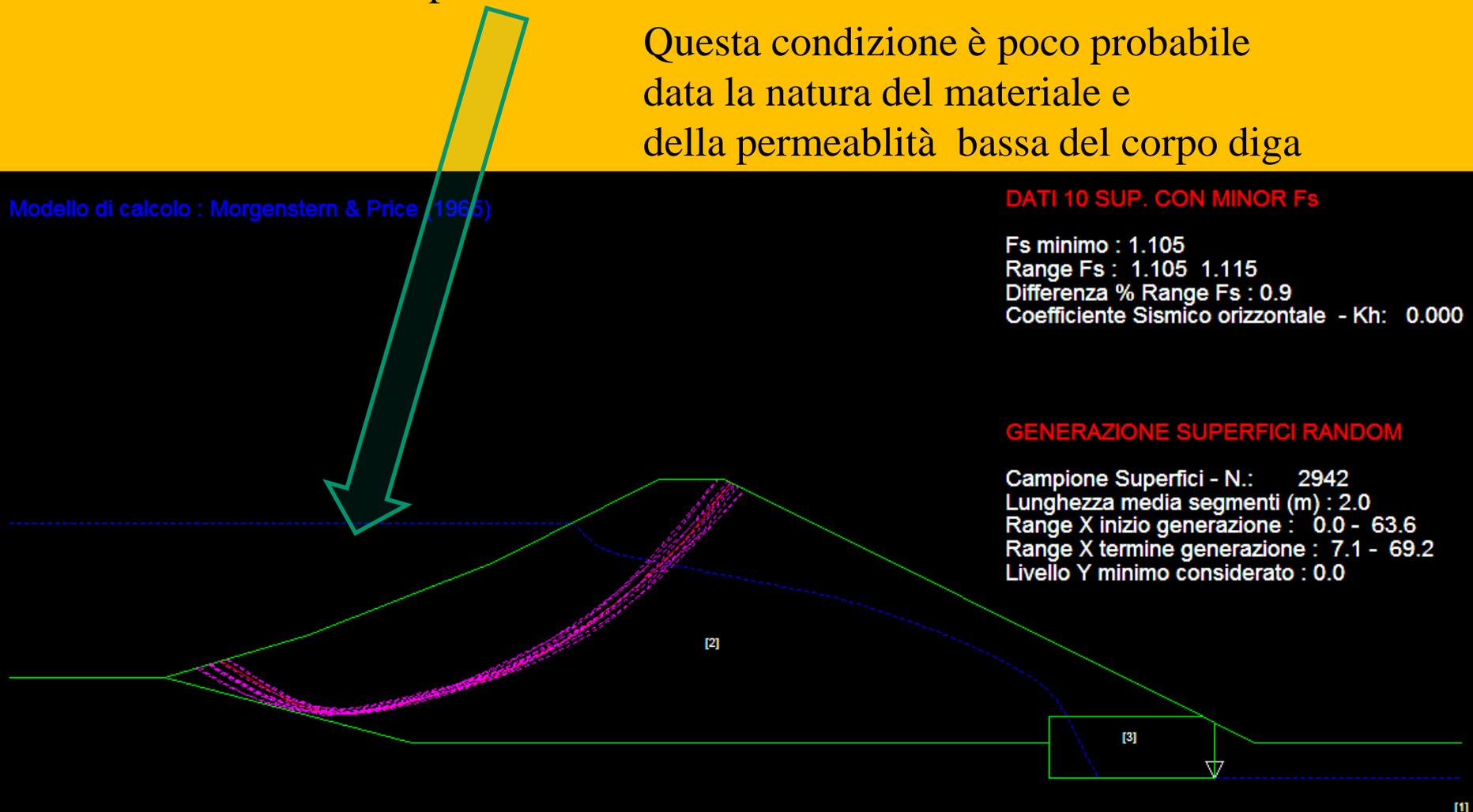
Modello di calcolo : Morgenstern & Price (1965)

DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 1.105
Range Fs : 1.105 1.115
Differenza % Range Fs : 0.9
Coefficiente Sismico orizzontale - K_h : 0.000

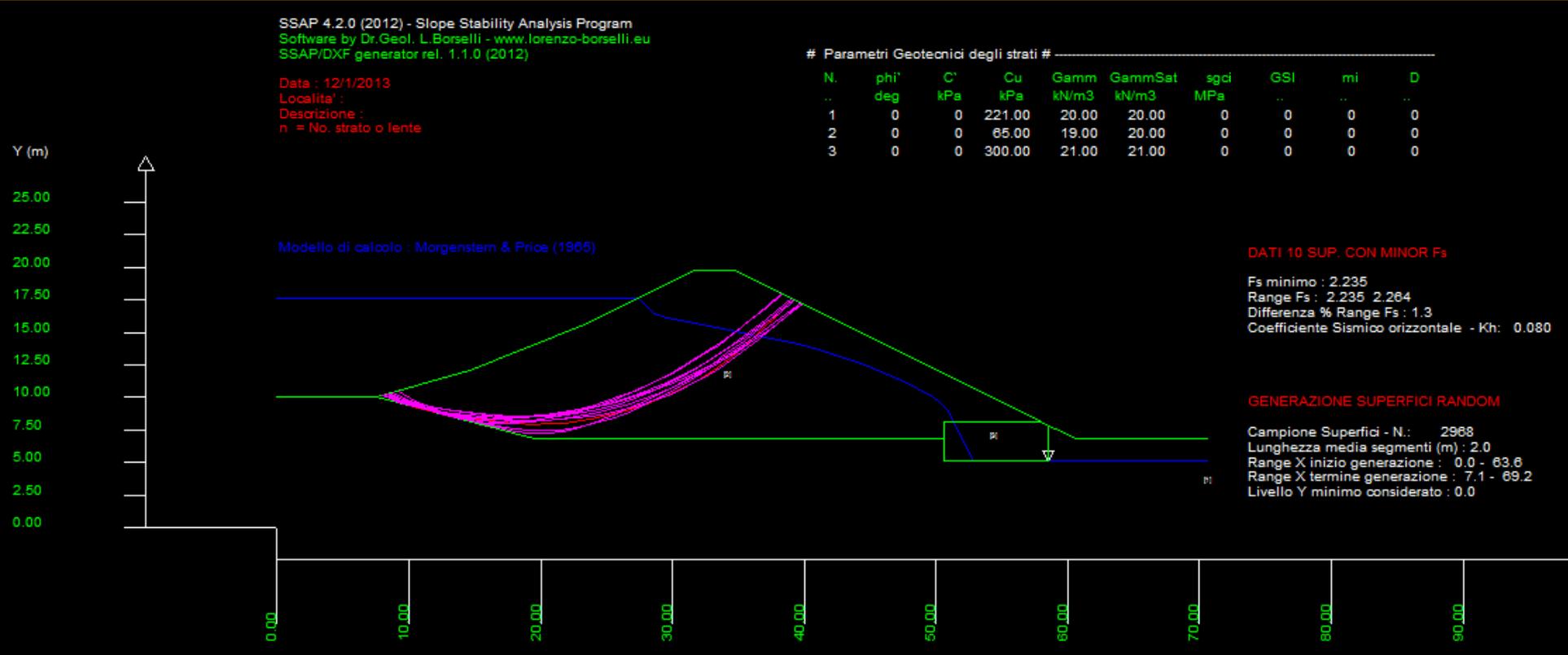
GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 2942
Lunghezza media segmenti (m) : 2.0
Range X inizio generazione : 0.0 - 63.6
Range X termine generazione : 7.1 - 69.2
Livello Y minimo considerato : 0.0



2.A non drenate (a breve termine) con massimo invaso (più consone per verificare l'effetto sismico)

Fs circa 2.235 con coeff sismico kh=0.08



Condizioni a lungo termine drenate
Max invaso
FS=1.235

# Parametri Geotecnici degli strati #						
N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	
1	23.00	42.00	0	20.00	20.00	
2	21.00	10.00	0	19.00	20.00	
3	42.50	31.40	0	21.00	21.00	

Condizioni a breve Termine non drenate
Con svaso rapido
FS=2.0

# Parametri Geotecnici degli strati #						
N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	
1	0	0	221.00	20.00	20.00	
2	0	0	65.00	19.00	20.00	
3	0	0	300.00	21.00	21.00	

Il risultato finale è determinato dal valore elevato della CU dello strato 2 comparato a c' e phi' delle cond drenate.

Infatti assumendo per lo strato 2 una CU= 35 kPa Il risultato è FS=1.1

2.B cond Non . Drenate con svaso rapido -effetto tension crack

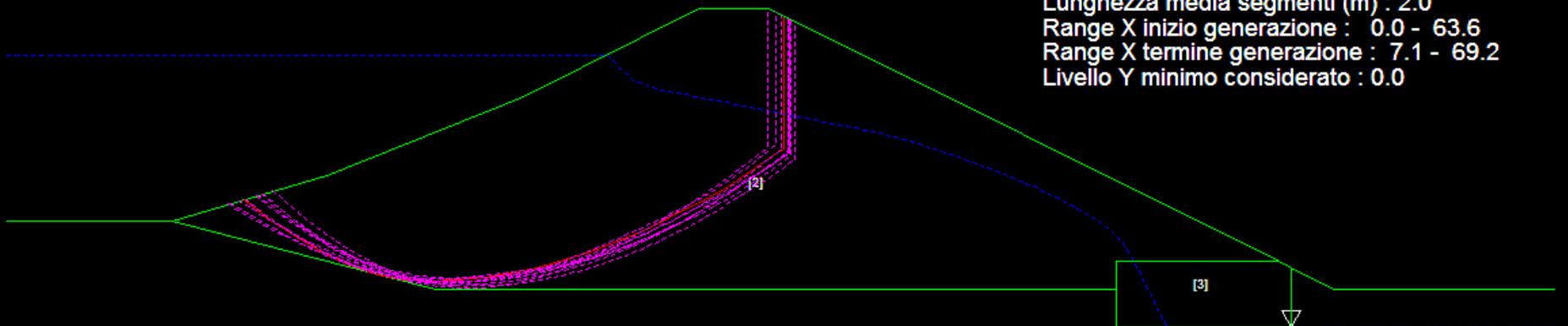
Modello di calcolo : Morgenstern & Price (1965)

DATI 10 SUP. CON MINOR F_s

F_s minimo : 2.009
Range F_s : 2.009 - 2.047
Differenza % Range F_s : 1.9
Coefficiente Sismico orizzontale - K_h : 0.080

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 4170
Lunghezza media segmenti (m) : 2.0
Range X inizio generazione : 0.0 - 63.6
Range X termine generazione : 7.1 - 69.2
Livello Y minimo considerato : 0.0



[1]

Video2_ssap.avi

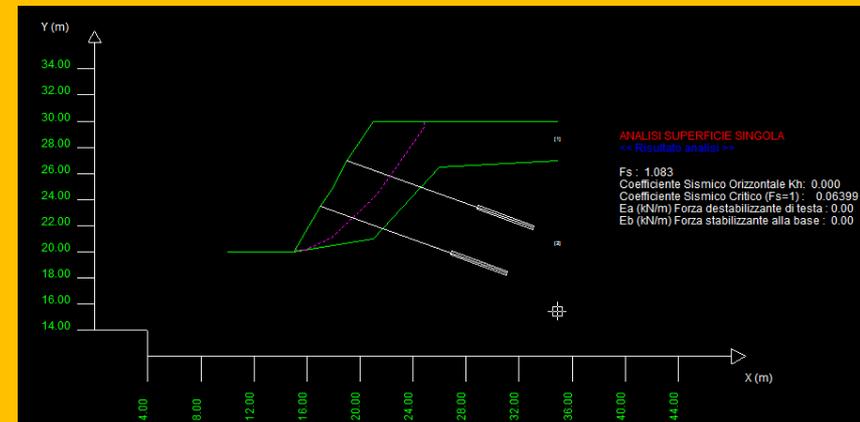
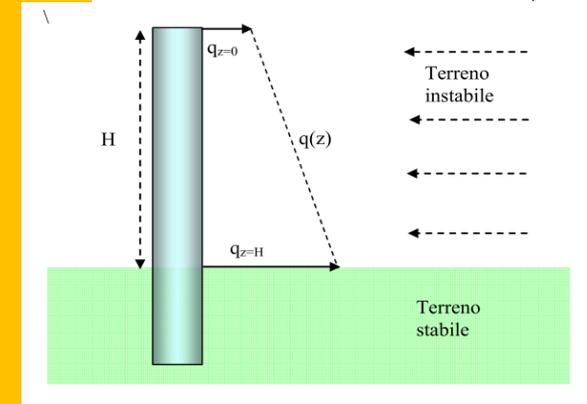
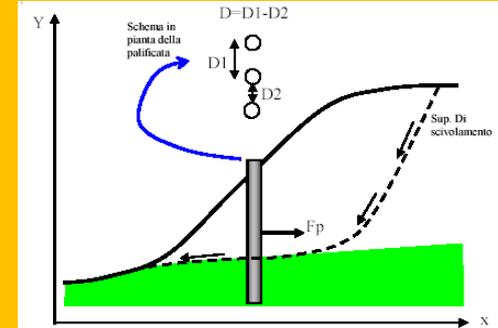
(13 min)

Parte VIII - verifiche di stabilità con opere di sostegno (palificate, tiranti, terre rinforzate, geogriglie, muri di sostegno):

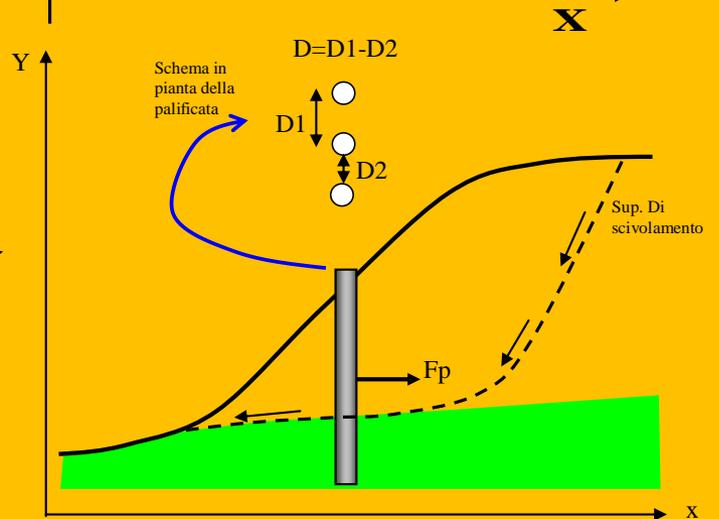
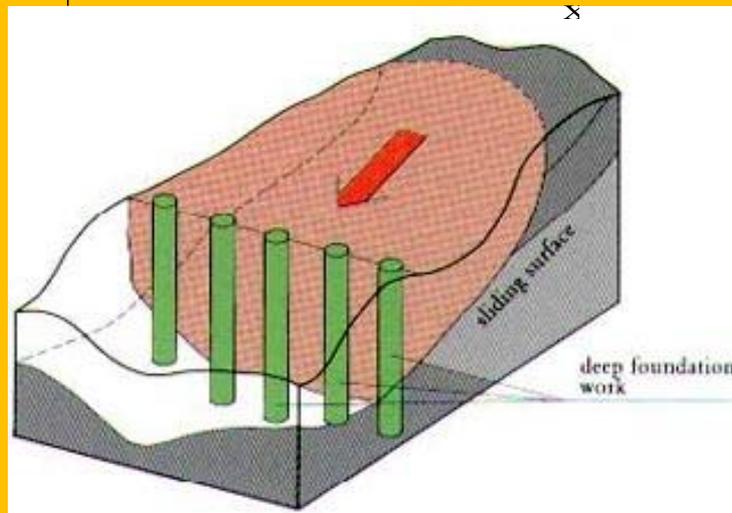
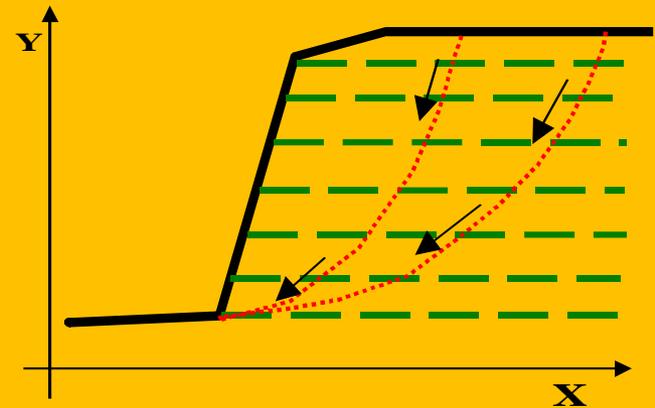
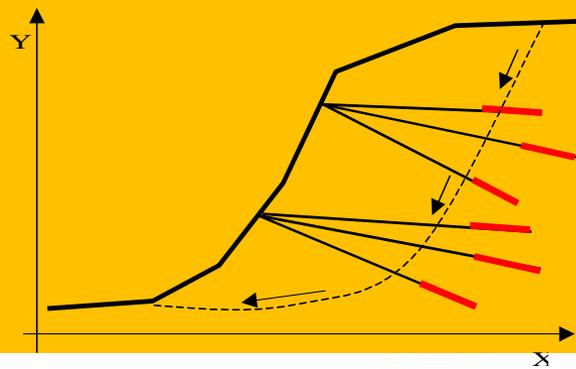
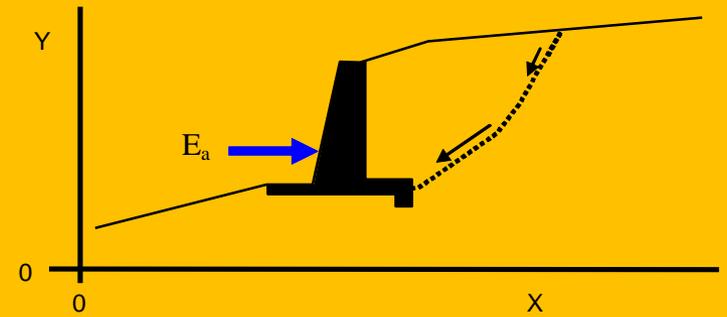
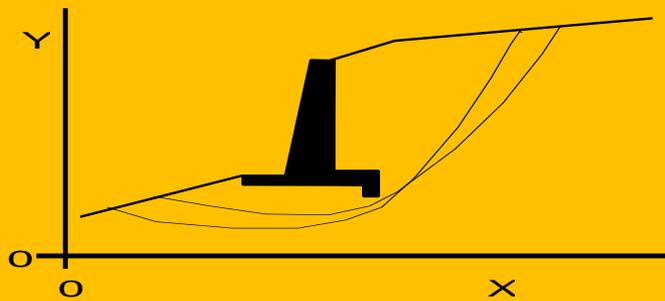
Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D
Universidad Autonoma de San Luis
Potosi
UASLP

Instituto de Geología
Facultad de Ingeniería.
San Luis Potosi, MEXICO
lborselli@gmail.com
lorenzo.borselli@uaslp.mx

<http://www.lorenzo-borselli.eu>



Tipi strutture di rinforzo in un pendio



In SSAP è possibile inserire una serie di strutture di sostegno per valutare l'effetto complessivo nell'incremento del grado di stabilità.

Tiranti max 40

Geogriglie/geosintetici max 120

Palificate max 12

Muri o strutture di contenimento locale (limitate dal max numero strati)

Ogni struttura viene inserita nel modello del pendio attraverso una specifica parametrizzazione geometrica e meccanica, a seconda del modello adottato, per valutare gli effetti sulla stabilità.

Nel caso della stabilità globale di muri di sostegno si procede invece in un modo diverso.

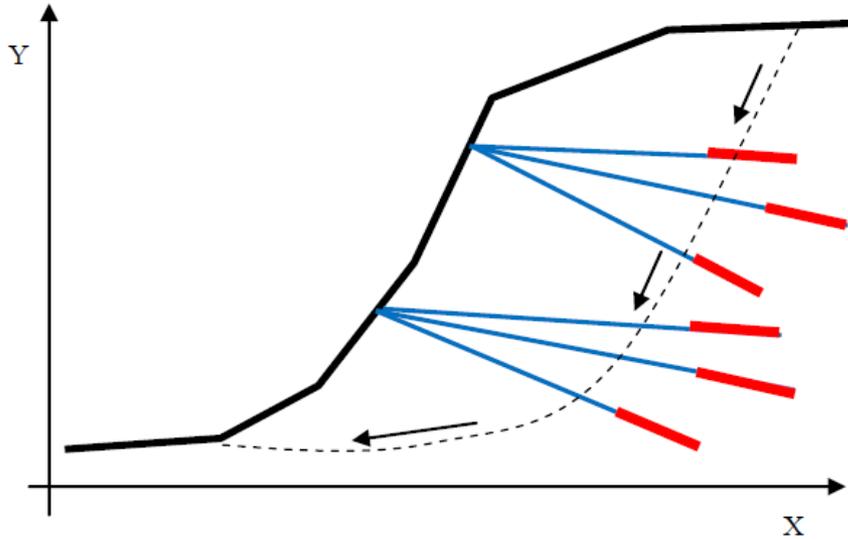
Tiranti

Secondo le RACCOMANDAZIONI ISRM (1993) il termine Tirante si riferisce "all'insieme composto da armatura, malta, dadi di bloccaggio, piastra di ripartizione, ecc , utilizzati per il rinforzo del terreno oppure come trasferimento al terreno di carichi esterni".

Tali strutture sono solitamente utilizzate per incrementare la stabilità di un pendio e per ancorare opere di sostegno a un substrato generalmente ad elevate proprietà meccaniche (es. roccia). L'azione dei tiranti , solitamente in gruppo, è in pratica una azione di tipo stabilizzante che ha influenza sul coefficiente di sicurezza complessivo del pendio ove essi sono posizionati.

Secondo la normativa vigente per ciascuno dei tiranti è previsto una tensione o resistenza di progetto (espressa in Tonnellate o kN/m) ricavata mediante opportune prove di carico fino a rottura o sfilamento(RACCOMANDAZIONI ISRM , 1993).

Tiranti

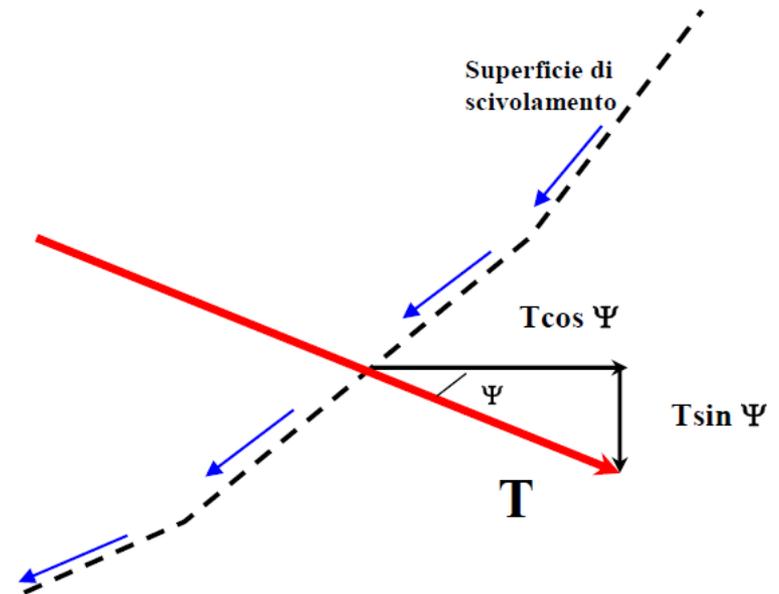


TIRANTE PASSIVO

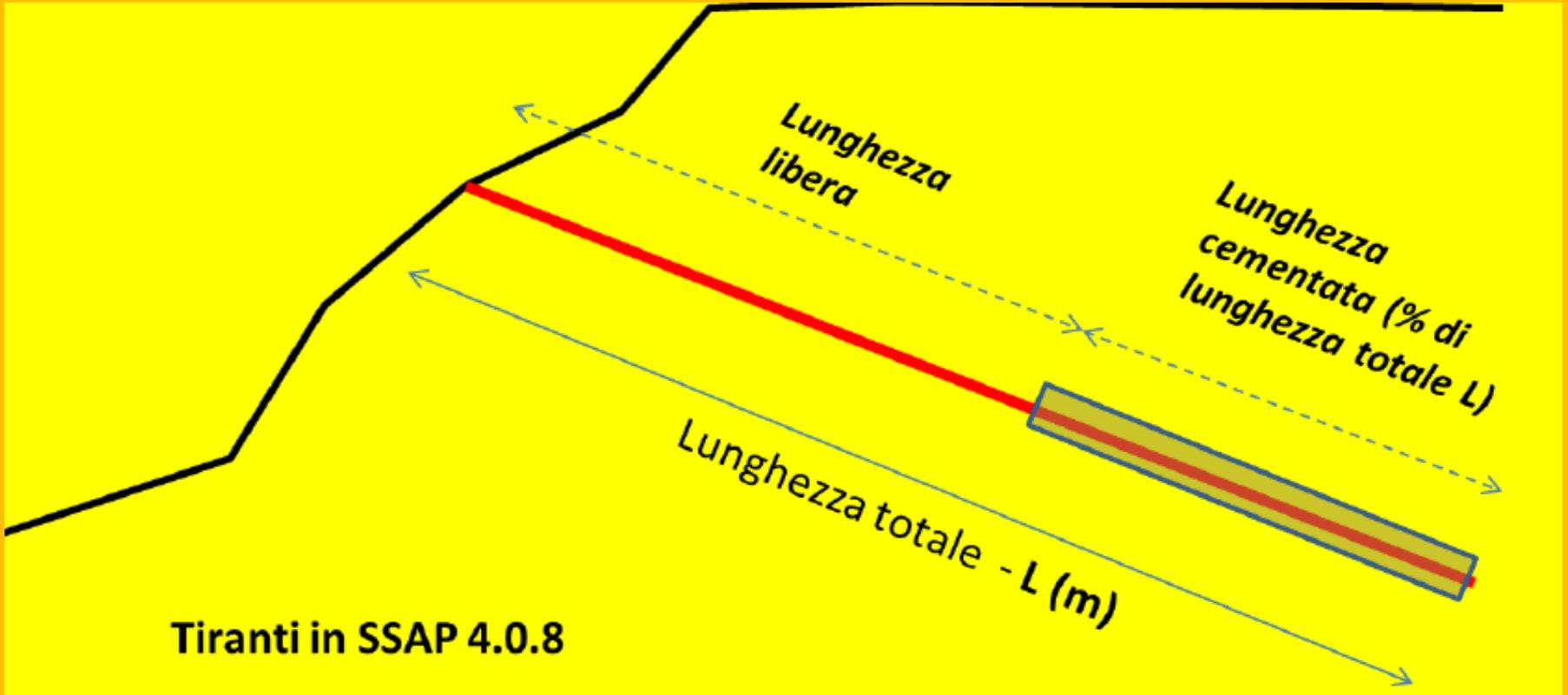
$$F_s = \frac{\text{Forze resistenti} + \sum_i T \cos \psi_i}{\text{Forze agenti}}$$

$$F_s = \frac{\text{Forze resistenti}}{\text{Forze agenti} - \sum_i T \cos \psi_i}$$

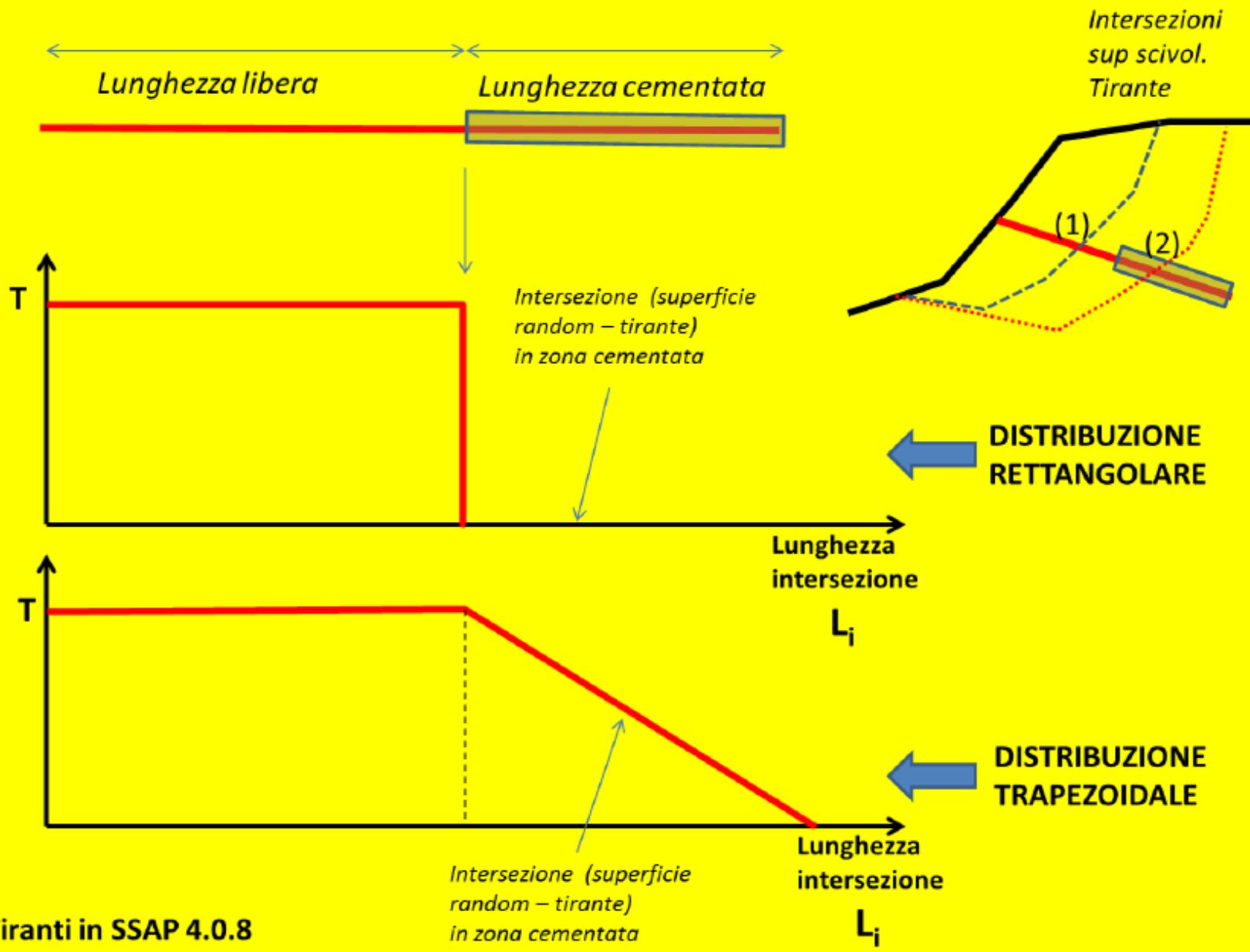
TIRANTE ATTIVO



Tiranti



Tirant



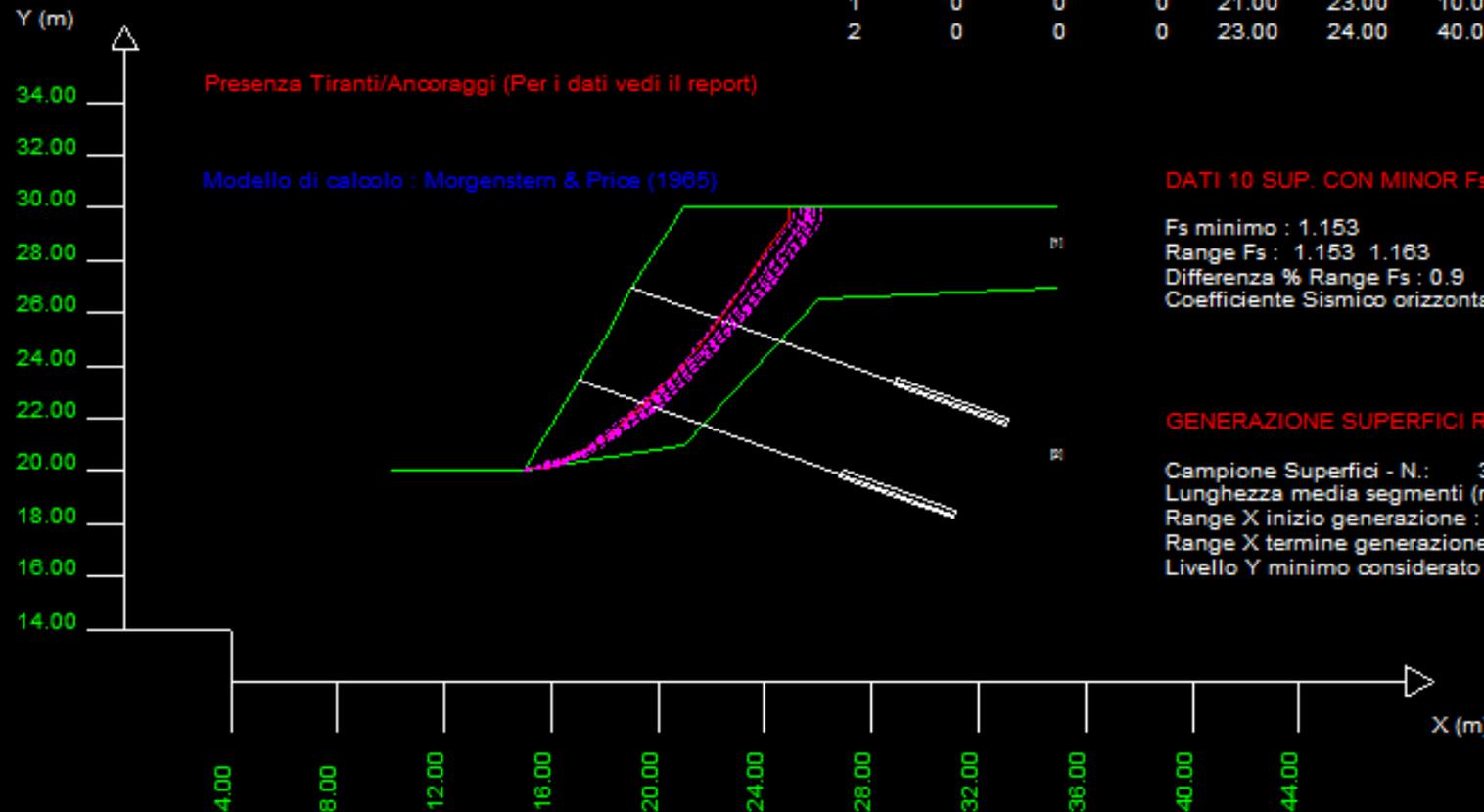
Data : 7/1/2013
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. strato o lente

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	0	0	0	21.00	23.00	10.00	20.00	18.00	1.00
2	0	0	0	23.00	24.00	40.00	50.00	18.00	1.00

Presenza Tiranti/Ancoraggi (Per i dati vedi il report)

Modello di calcolo : Morgenstern & Price (1965)



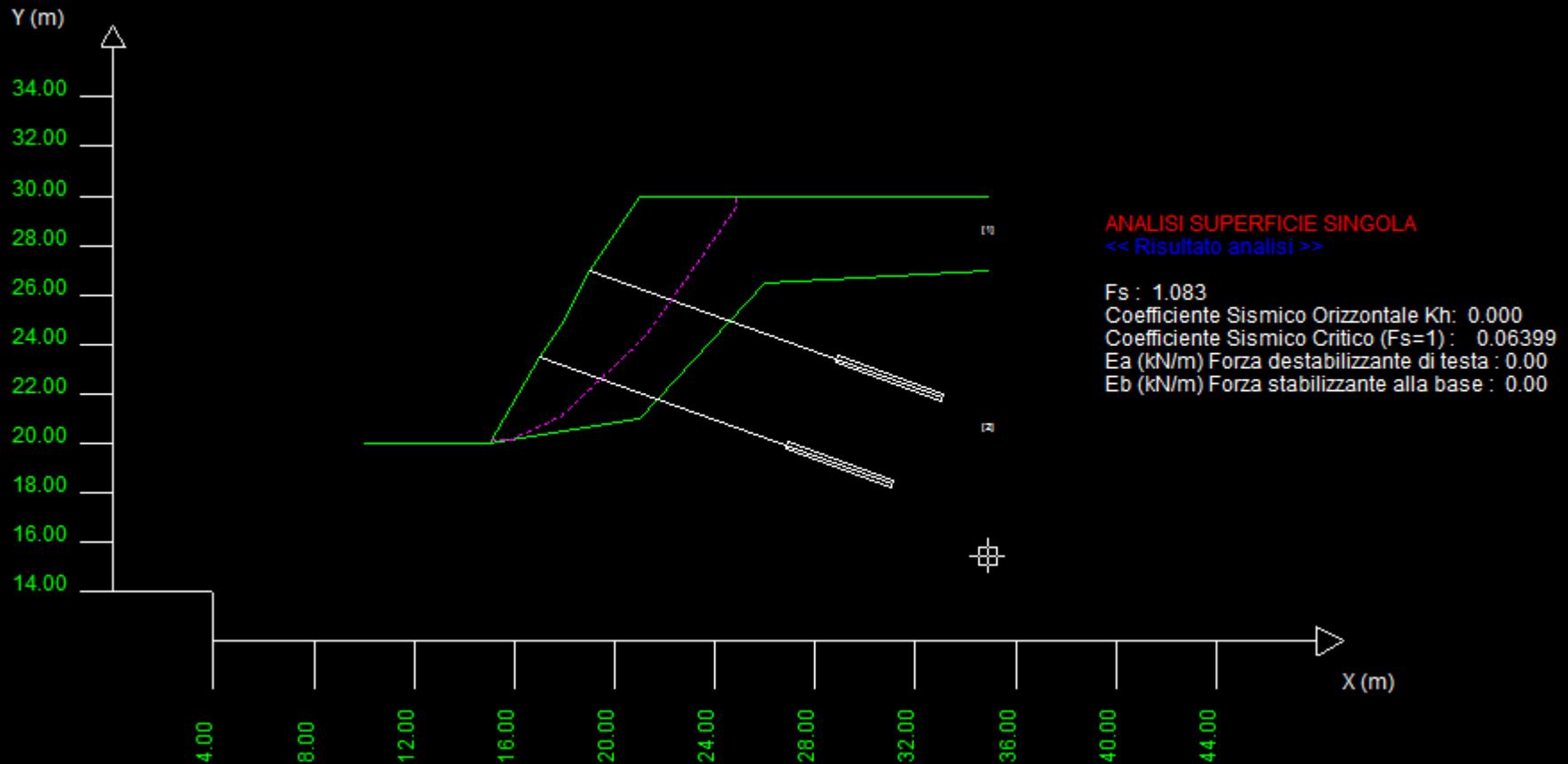
DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 1.153
 Range Fs : 1.153 - 1.163
 Differenza % Range Fs : 0.9
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.000

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 3228
 Lunghezza media segmenti (m) : 1.0
 Range X inizio generazione : 10.0 - 20.0
 Range X termine generazione : 12.5 - 34.5
 Livello Y minimo considerato : 14.0

Risultato della verifica (tiranti passivi): FS=1.153
 10 superfici con minor FS di 3228 generate e calcolate

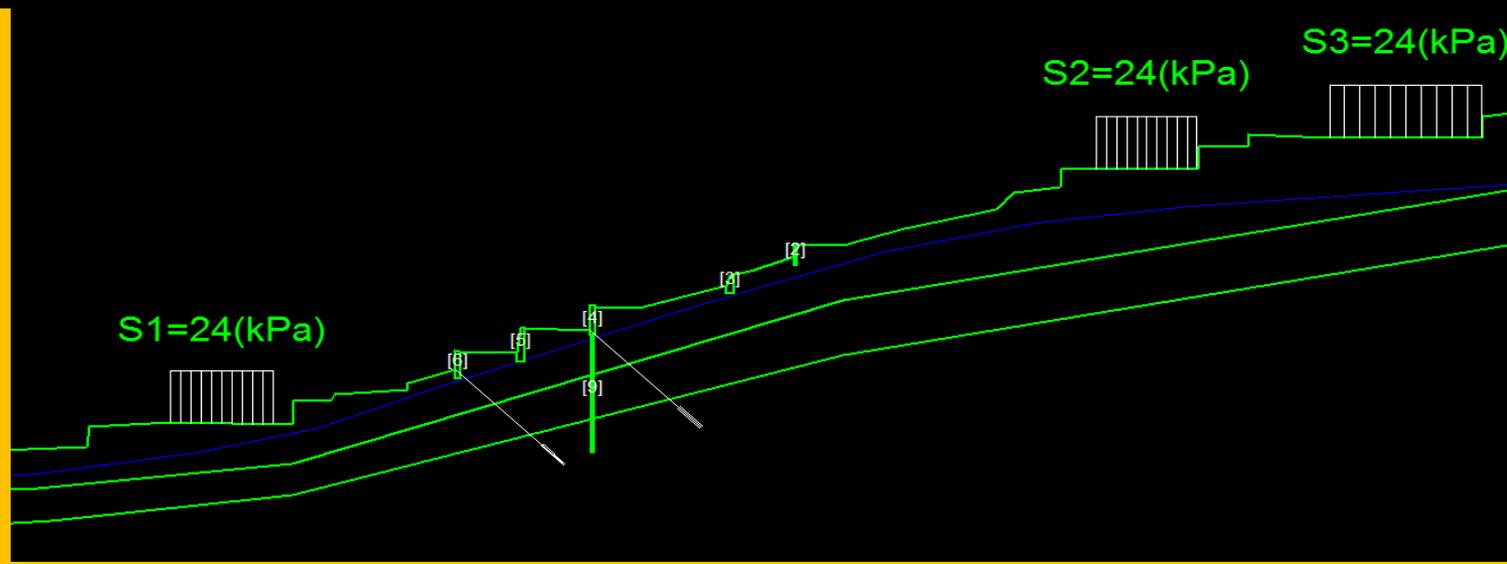


Risultato della verifica (tiranti attivi): $F_s=1.083$
 Sup. con minor F_s che con tiranti passivi aveva
 $F_s=1.153$

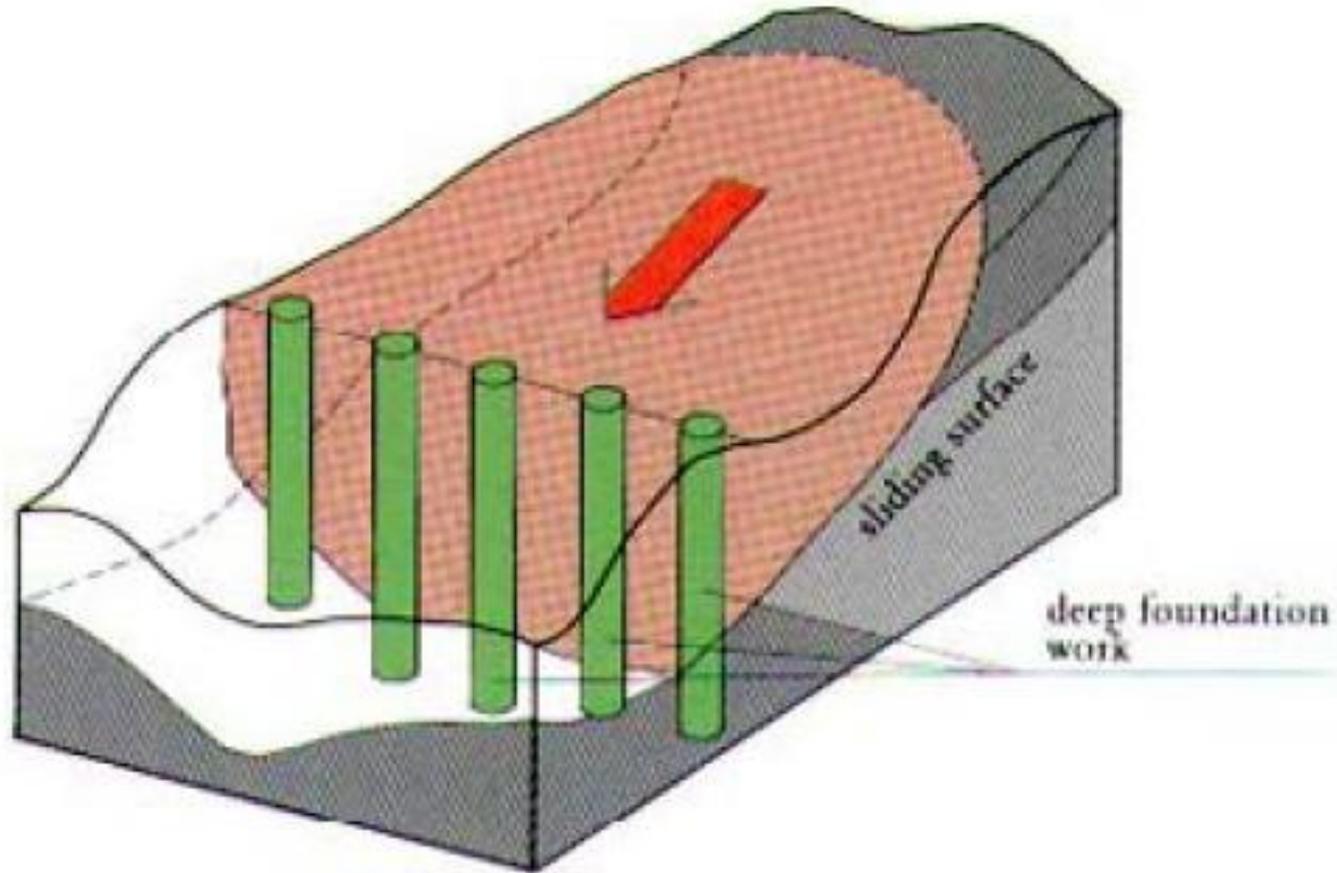
N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	28.00	5.00	0	19.00	20.00	0	0	0	0
2	0	0	500.00	26.00	26.00	0	0	0	0
3	0	0	500.00	26.00	26.00	0	0	0	0
4	0	0	500.00	26.00	26.00	0	0	0	0
5	0	0	500.00	26.00	26.00	0	0	0	0
6	0	0	500.00	26.00	26.00	0	0	0	0
7	40.00	0	0	20.00	21.00	0	0	0	0
8	23.00	200.00	0	23.00	23.00	0	0	0	0
9	0	0	1220.00	26.00	26.00	0	0	0	0

Data : 24/1/2013
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. strato o lente

Sn -> Sovraccarico
 Presenza Tiranti/Ancoraggi (Per i dati vedi il report)

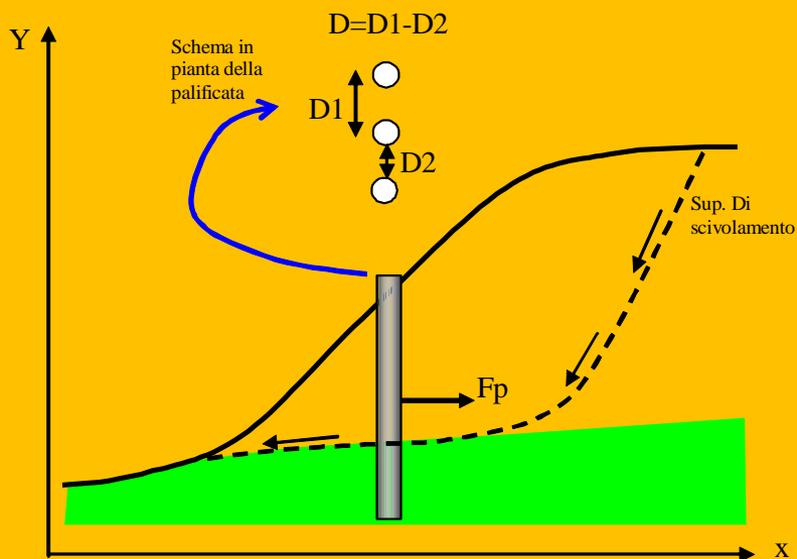
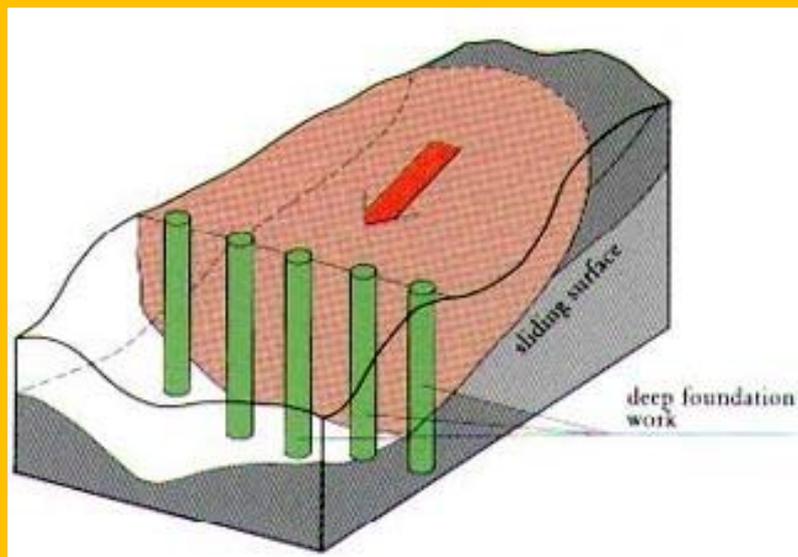


INTERAZIONE PALIFICATE PENDIO IN SSAP 2010



palificate

Le palificate, nella forma di una o più file di pali, sono una tecnica frequentemente adottata negli interventi di stabilizzazione di pendii. Ogni fila di pali inserita per una certa profondità nel pendio, attraversando la potenziale superficie di scivolamento, e inserendosi saldamente e profondamente entro un livello con adeguata resistenza meccanica, è in grado di esercitare (mobilitare) una forza di reazione F_p opposta al movimento che permette di aumentare il fattore di sicurezza globale del pendio.



STEPS analisi con PALI in SSAP 2010

1. Calcolo spinta massima a cui la palificata viene sottoposta per effetto del terreno che si deforma plasticamente all'intorno dei pali.
2. **Uso di frazione della forza di spinta massima così determinata come forza resistente aggiunta che la palificata è in grado di mobilitare.**
3. Calcolo di un nuovo fattore di sicurezza F_s che tenga conto di questo effetto aggiuntivo.



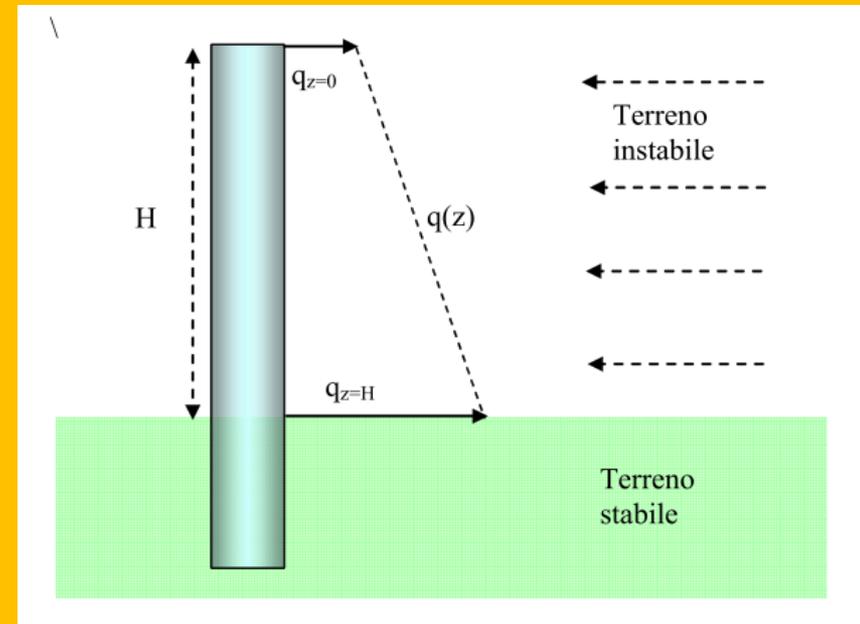
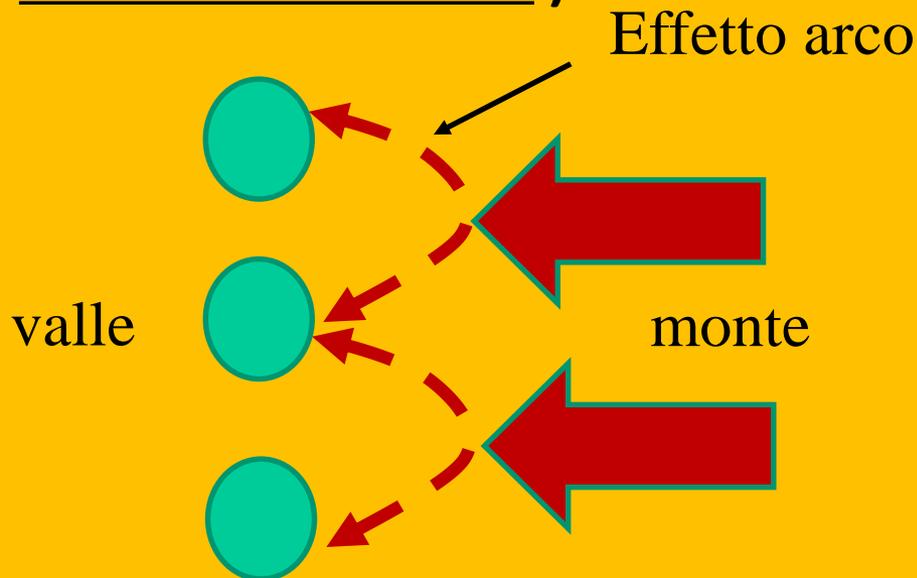
Successiva Interazione con analisi strutturale

Nel caso che F_s risulti adeguato si effettua successivamente una **analisi strutturale alle** differenze finite della deformata del palo, dei momenti flettenti e della forza di taglio in funzione della profondità dalla superficie. Questa analisi strutturale (distinta dalla analisi all'equilibrio limite) permette di verificare se tali grandezze sono compatibili con le caratteristiche strutturali dell'opera. In caso contrario l'analisi ai punti 1, 2 e 3 viene ripetuta con caratteristiche geometriche della palificata diverse.

Metodo

Ito Matsui (1975-1981) - Hassiotis et al. (1997) - Kumar et Hall. (2006)

- 1) al di sopra della superficie di scorrimento assunta i pali sono sottoposti a carichi noti e pari ai valori indicati al punto 1 precedente.
- 2) Al di sotto della superficie di scorrimento i pali sono assimilati a travi su suolo elastico. A questa ipotesi possono essere associate ipotesi aggiuntive sulla cinematica della testa dei pali: come la possibilità di avere la testa dei pali bloccata o libera alla traslazione o alla rotazione.
- 3) Il terreno instabile è contenuto dalla azione esercitata dai pali
- 4) Le sollecitazioni dei pali sono pari a quelle ammissibili. (salvo poi fare una verifica STRUTTURALE).



Hassiotis et al. (1997)

La forza di reazione massima mobilitata offerta dalla palificata viene calcolata con la metodologia adottata da Ito e Matsui(1981) e successivamente modificata parzialmente da Hassiotis et al. (1997).

Viene prima calcolata la funzione di distribuzione con la profondità $q(z)$ della forza, per strato di spessore unitario, che agisce sulla palificata:

$$q(z) = cA \left(\frac{1}{N_s \tan \phi} \{E - 2N_s^{0.5} \tan \phi - 1\} + B \right) - c(D_1 B - 2D_2 N_s^{-0.5}) + \frac{\sigma}{N_s} (AE - D_2) \quad (2.15)$$

dove:

$$N_s = \tan^2 \left[\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right] ; \quad A = D_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{N_s^{0.5} \tan \phi + N_s - 1} ; \quad B = \frac{2 \tan \phi + 2N_s^{0.5} + N_s^{-0.5}}{N_s^{0.5} \tan \phi + N_s - 1}$$

$$E = \exp \left[\frac{D_1 - D_2}{D_2} N_s \tan \phi \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \right]$$

e dove:

D_1 = interasse tra i pali (m)

D_2 = apertura tra i pali (m)

D = diametro dei pali (m)

σ = pressione litostatica calcolata alla profondità z dalla superficie (kPa)

c = valore medio della coesione fino alla profondità z (kPa)

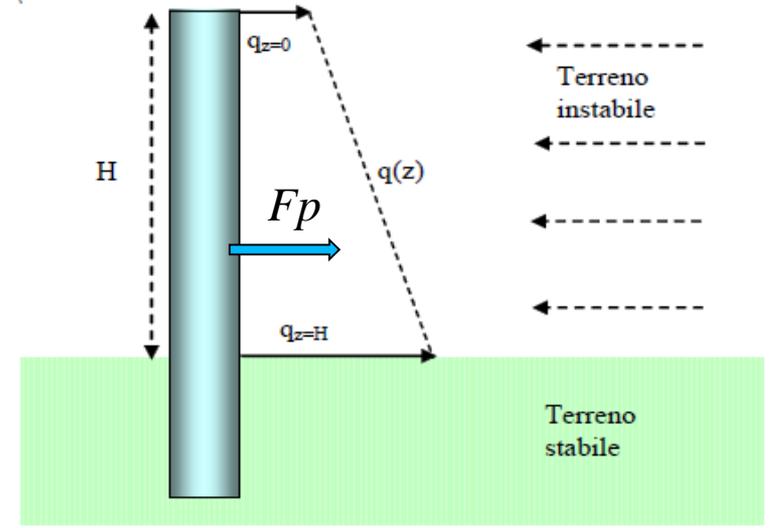
ϕ = angolo di attrito interno medio calcolato fino alla profondità z

Per avere la forza risultante di reazione della palificata F_p (kN/m) (forza di reazione unitaria per metro di larghezza fronte scarpata) localmente profonda H (fig. 2.18), la eq. (2.16a) deve essere integrata da 0 a H e successivamente divisa per l'interasse della palificata D_1 :

$$F_p = \frac{\int_0^H q(z) dz}{D_1} \quad (2.17)$$

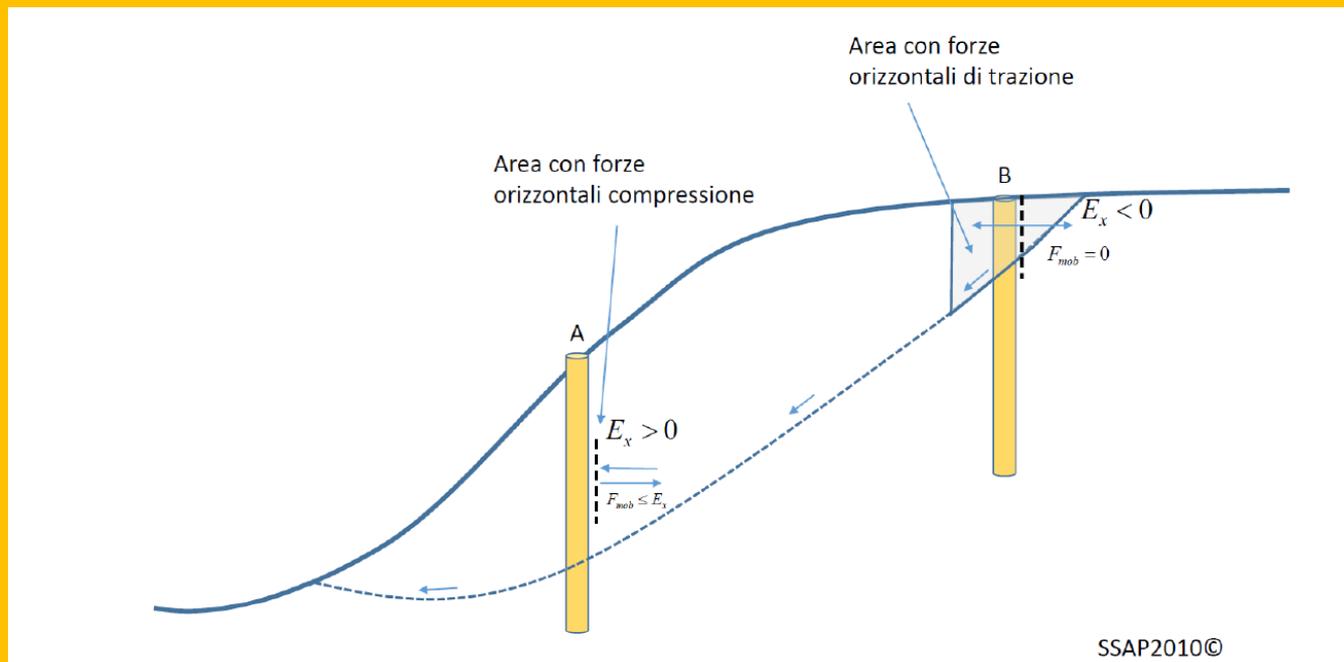
Il valore di F_p andrà a incrementare il contributo delle forze orizzontali resistenti nel calcolo di F_s . Tale valore dipenderà dalla complessa interazione delle caratteristiche geometriche e meccaniche del pendio e dalle caratteristiche geometriche della palificata, nonché dal suo posizionamento all'interno del pendio (fig. 2.19).

F_p così' calcolato e' la spinta massima di plasticizzazione del terreno intorno ai pali. Quindi la spinta effettiva potrebbe essere una frazione di questa...



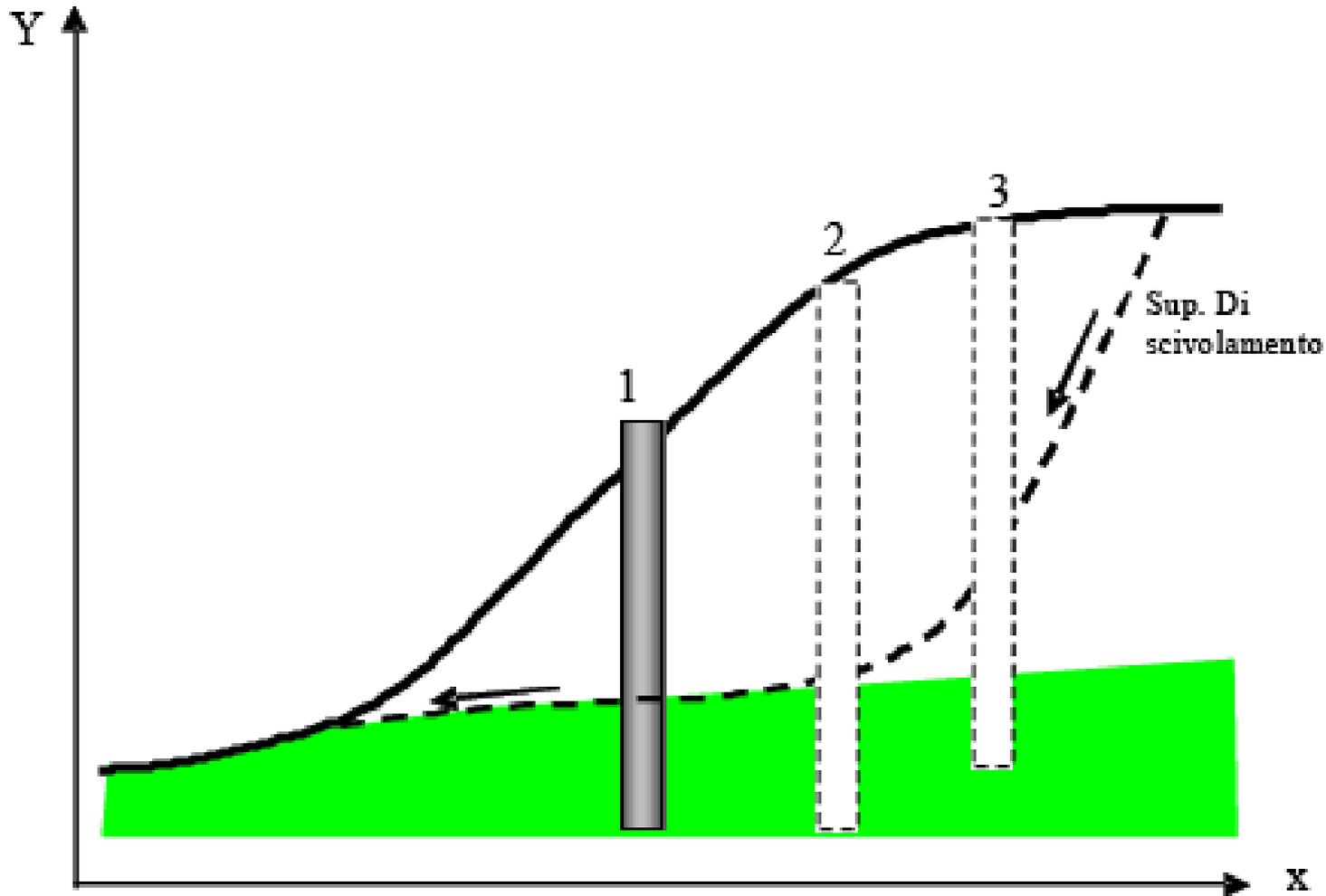
Quindi sono definiti e usati in ssap:

- **Coefficiente riduttivo di mobilitazione e**
- **fattore correttivo NTC2008**
- **una nuova Procedura alternativo con il calcolo automatico della frazione di mobilitazione**
- **una procedura per il calcolo della resistenza al taglio del sistema terreno pendio**



Vedasi il manuale di SSAP per i dettagli...(pag 30-37 e appendice C)

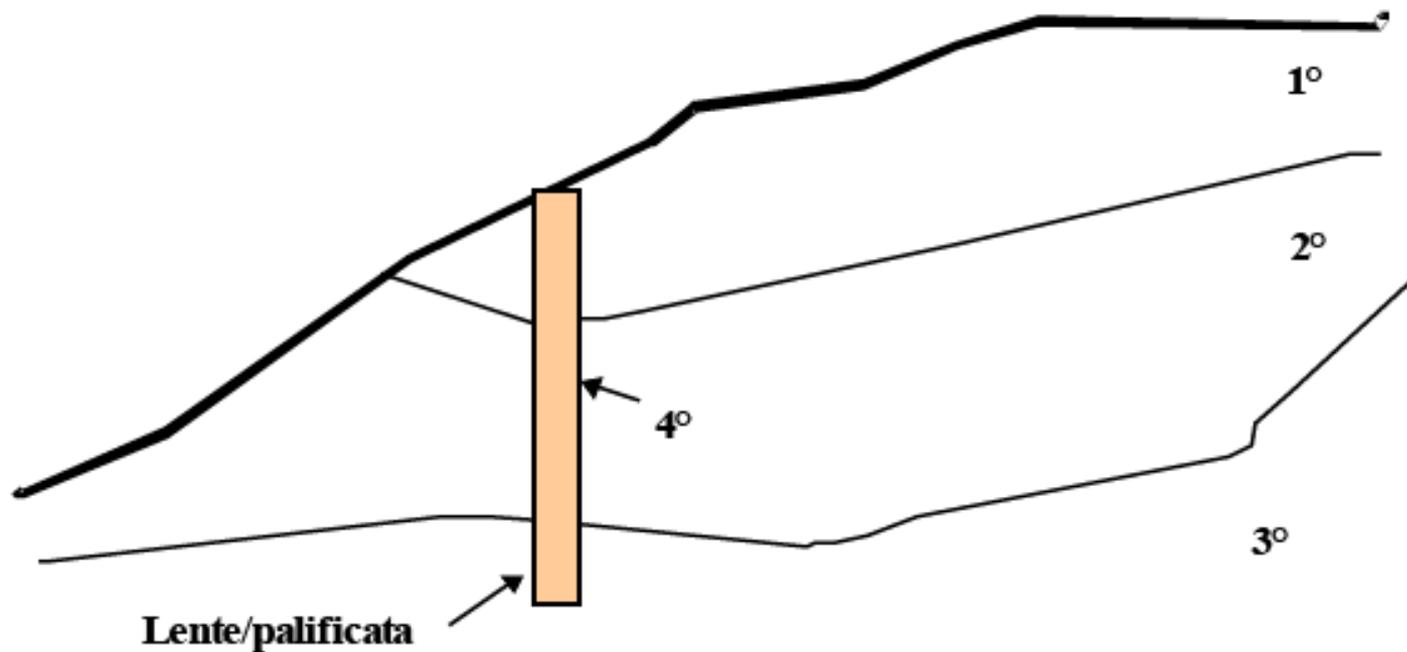
Possibili posizionamenti palificate (fino a 12 linee contemporaneamente)



É tuttavia importante ricordare che:

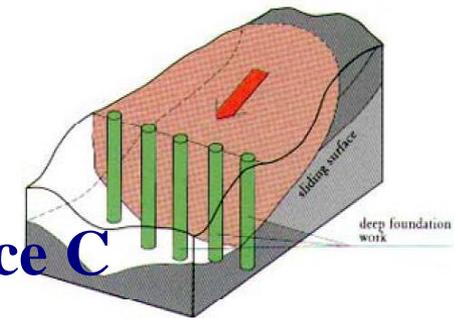
- 1. Nel caso di palificate di lunghezza insufficiente alcune superfici profonde possono ugualmente rendere instabile un pendio.**
- 2. La superficie critica trovata per un pendio senza pali di sostegno può non esserlo più in presenza di una palificata.**
- 3. Esistono vari criteri di progettazione che suggeriscono le caratteristiche geometriche limite per palificate, paratie di pali e file di fondazioni a Pozzo, oltre il quale gli interventi risultano non economicamente convenienti o comunque sconsigliati.**
- 4. E ' necessario sempre accoppiare la analisi mediante l'equilibrio limite fino qui descritta con un analisi strutturale, per verificare che gli sforzi mobilitati dalla palificata per incrementare il valore complessivo di F_s non mettano in crisi la struttura**
- 5. É importante considerare che ogni palificata viene inserita nel pendio anche come un elemento resistente la taglio, con forma e geometria propria come un qualsiasi strato o lente (vedi slides successive)**

Inserimento palificata come strato(tipo lente)
Con proprio peso di volume, propria geometria, e
resistenza al taglio



VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA AL TAGLIO DI UNA PALIFICATA SU PENDIO IN FRANA

Per dettagli Vedasi manuale SSAP – Appendice C



Per una palificata la resistenza al taglio del calcestruzzo armato deve essere moltiplicato per un fattore geometrico ε (compreso tra 0 e 2):

$$\tau_p = \frac{\varepsilon \tau_c}{F_c}$$

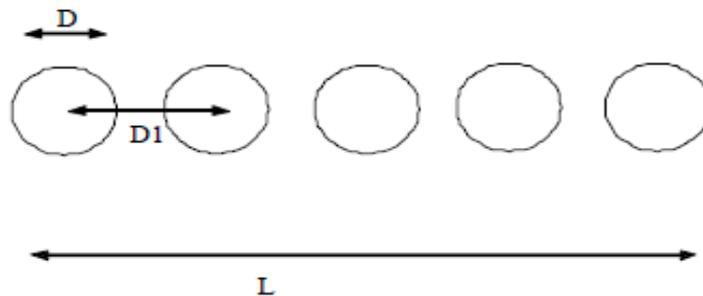
dove :

τ_p = resistenza al taglio della palificata – es. Cu non drenata equivalente (kPa)

τ_c = resistenza al taglio del calcestruzzo armato(Kpa)

F_c = Fattore di sicurezza aggiuntivo (Variabile tra 1 e 3) che puo essere scelto dal progettista in funzione di vari fattori come: qualità del calcestruzzo, aggressività della falda, invecchiamento del materiale, integrità dei pali

Il fattore geometrico ε si calcola con la seguente espressione e dipende dalla geometria della palificata:



$$\varepsilon = \frac{\frac{L}{D1} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2}{DL}$$

dove :

ε = fattore moltiplicativo (adimensionale)

D1 = interasse minimo tra i pali (m)

D = diametro dei pali (m)

L = lunghezza della palificata (m)

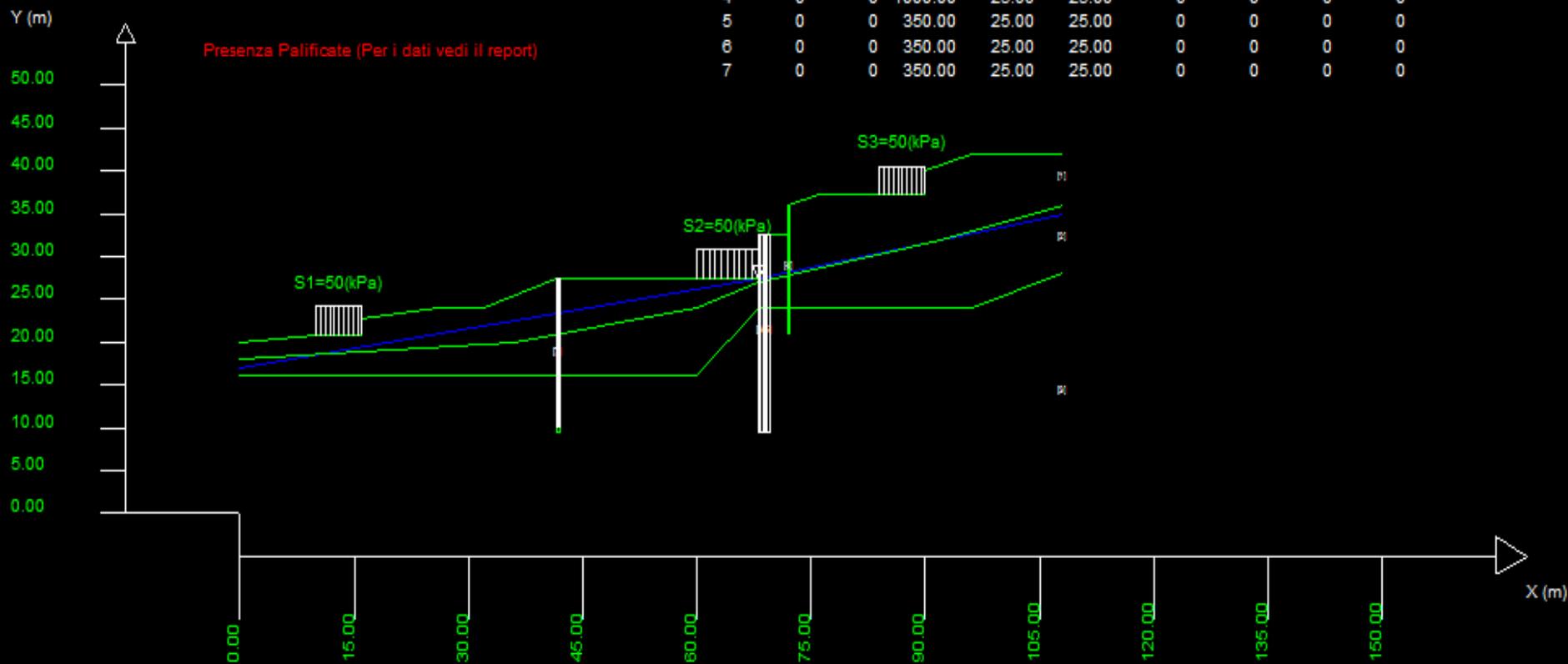
Data : 24/1/2013
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. strato o lente

Sn --> Sovraccarico

Presenza Palificate (Per i dati vedi il report)

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	18.00	2.00	0	16.50	18.00	0	0	0	0
2	21.00	5.00	0	17.50	18.50	0	0	0	0
3	26.00	10.00	0	18.50	19.00	0	0	0	0
4	0	0	1000.00	25.00	25.00	0	0	0	0
5	0	0	350.00	25.00	25.00	0	0	0	0
6	0	0	350.00	25.00	25.00	0 </td <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td>	0	0	0
7	0	0	350.00	25.00	25.00	0	0	0	0



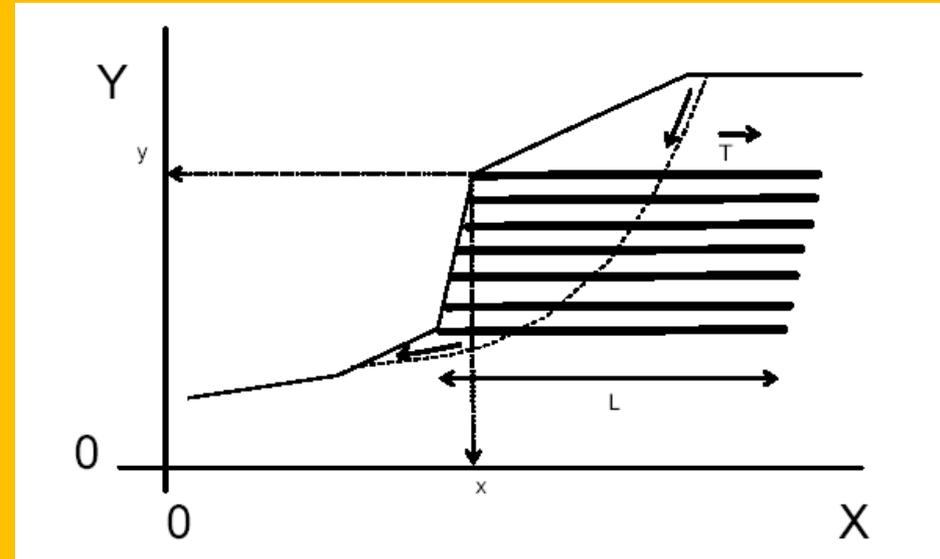
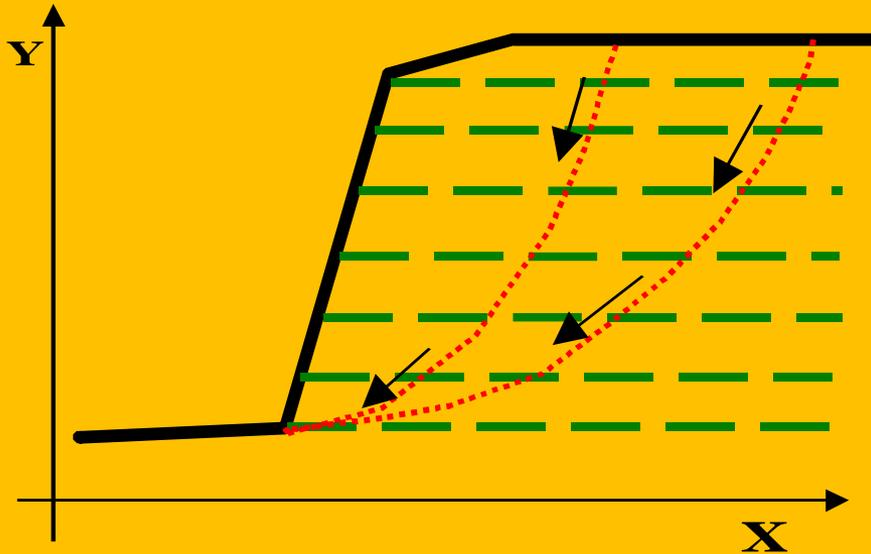
geogriglie

Le strutture in terra rinforzata sono correntemente utilizzate per la stabilizzazione di scarpate artificiali e rilevati..

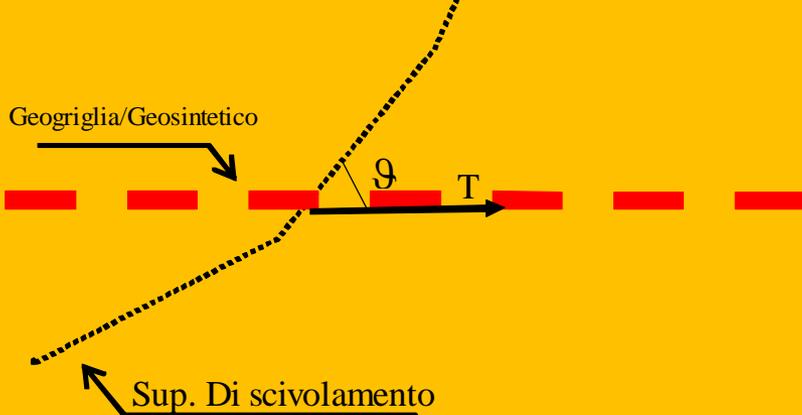
La stabilità complessiva di un pendio dove è presente un sistema di geogriglie deve essere effettuata tenendo conto della tensione o resistenza massima di progetto, della posizione, lunghezza di ciascuna delle geogriglie presenti e della interazione con le varie superfici di scivolamento possibili

La resistenza massima unitaria di progetto e la lunghezza di ogni geogriglia deve essere determinata mediante i correnti metodi di progettazione che tengono conto della stabilità interna dell'opera(collasso, superamento di resistenza delle armature, sfilamento ecc.). Vedasi a questo proposito: Jewell (1990,1991), Greenwood(1990), FHWA (1997,2009).

geogriglie



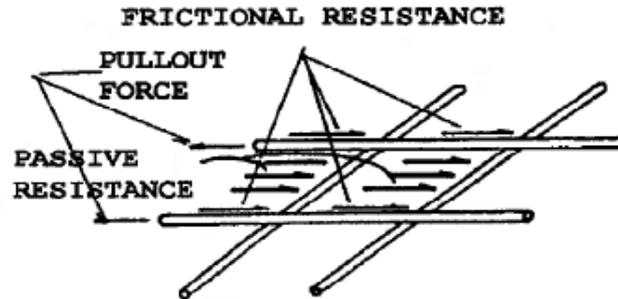
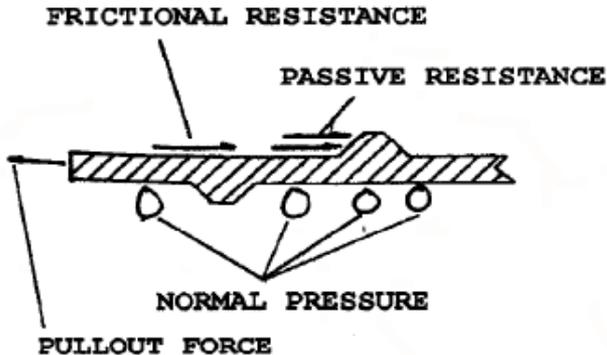
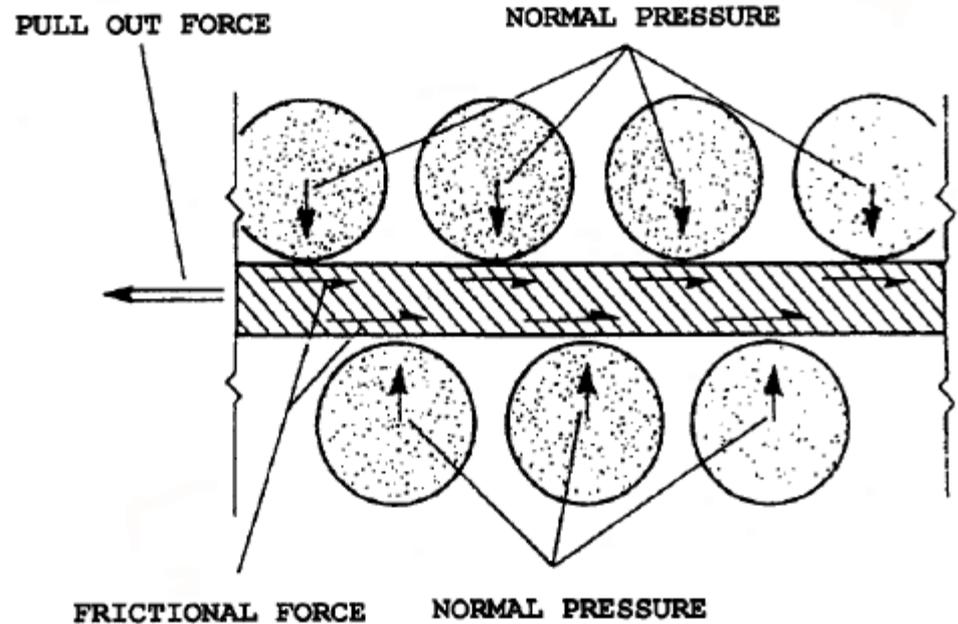
Notazione introdotta e usata
In SSAP 2003(rel 2.9)



X	(in m)
y	(in m)
Lunghezza - L	(in m)
Res. Unit.	(in kN/m)
Trazione T	
Coeff. fb	(adimensionale)
Coeff α	(adimensionale)
Lunghezza risolto Lw	(in m)

Interazione base terreno struttura

Attrito per sviluppo di res. Passiva



B) SOIL PASSIVE (BEARING) RESISTANCE ON REINFORCEMENT SURFACES

interazione terreno e armature e geometrie opera : un sistema complesso ...

Caratteristiche terreno e stato tensionale interno opera in terra

Interazione tra geotessile e terreno

Resistenza tensionale ultima e di progetto del geotessile

Resistenza allo sfilamento del geotessile (pullout)

•••••

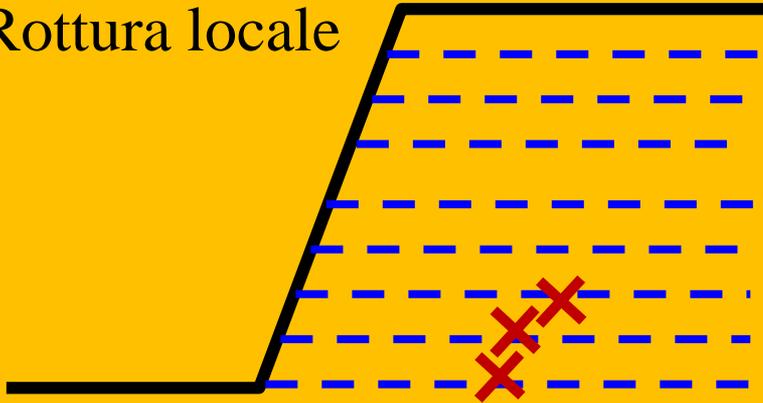
Distribuzione Spinta attiva e suo contrasto a opera del sistema dei rinforzi

Protezione superficie esterna da erosione e progetto contenimento

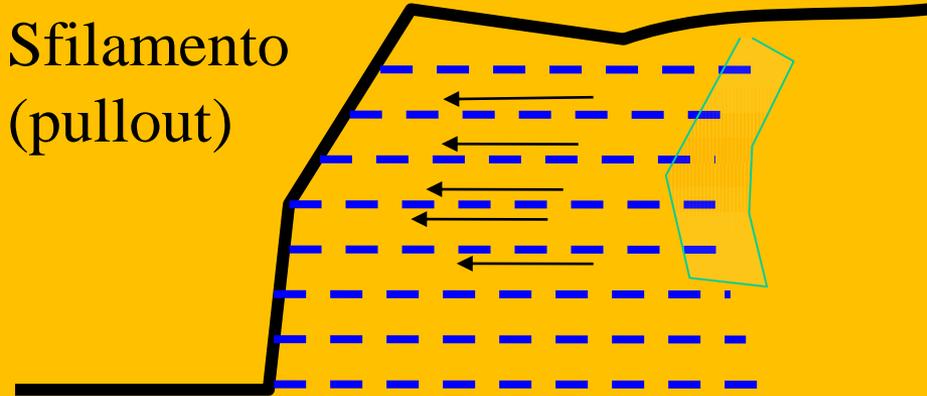
Geometria opera e progetto sistema dei rinforzi e paramento

Processi di rottura e collasso in terre armate

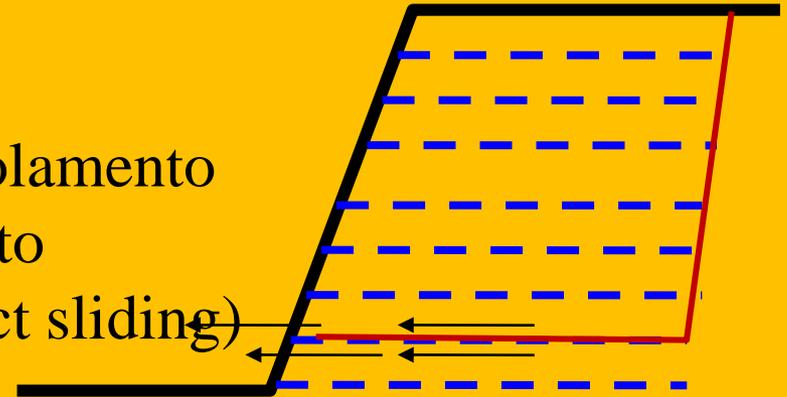
Rottura locale



Sfilamento
(pullout)



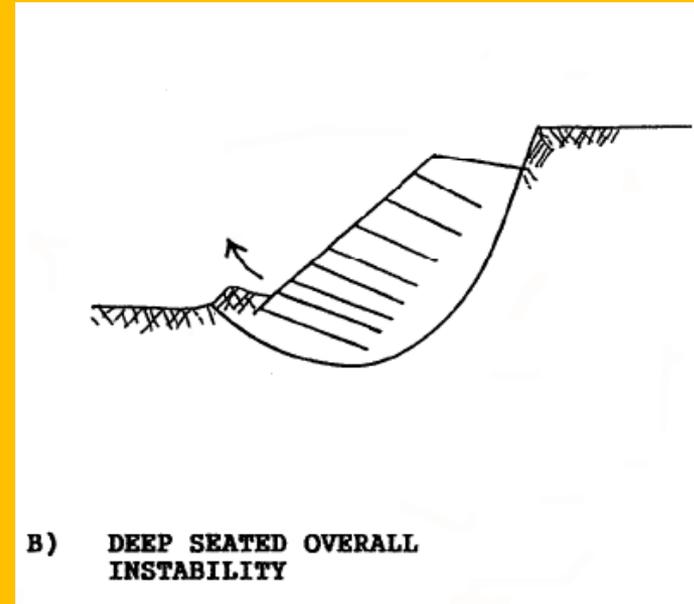
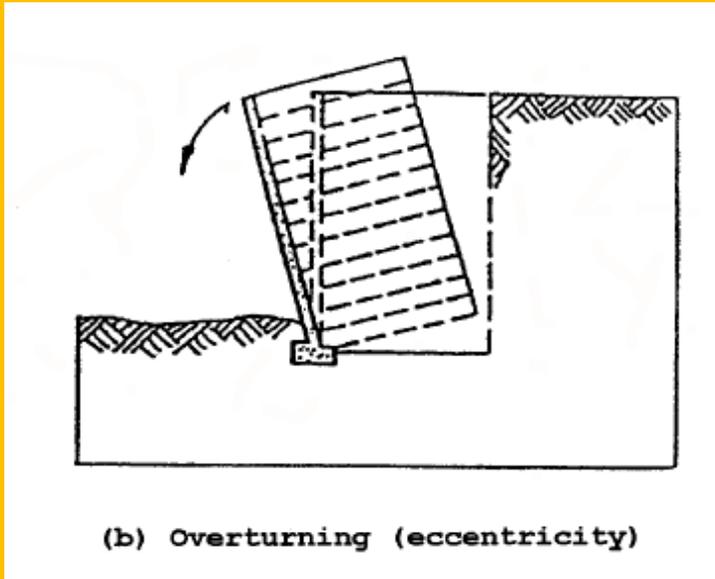
Scivolamento
Diretto
(direct sliding)



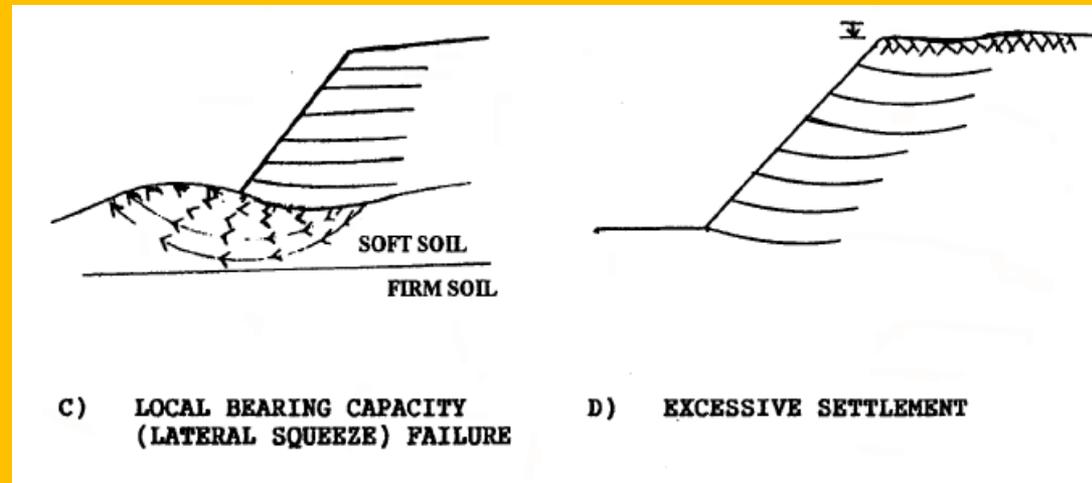
Verifiche stabilità interna

(sfilamento, rottura dei rinforzi, scivolamento diretto)

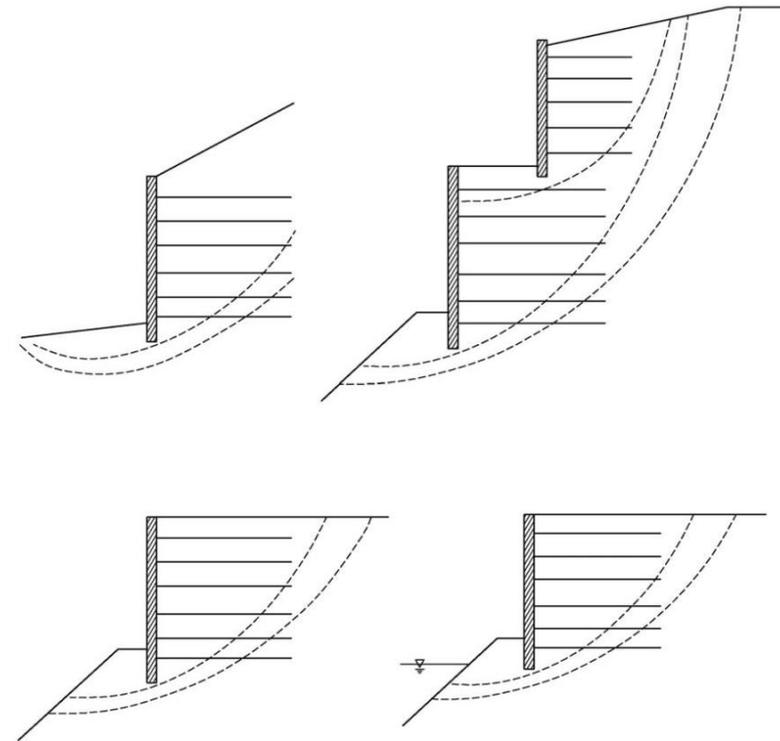
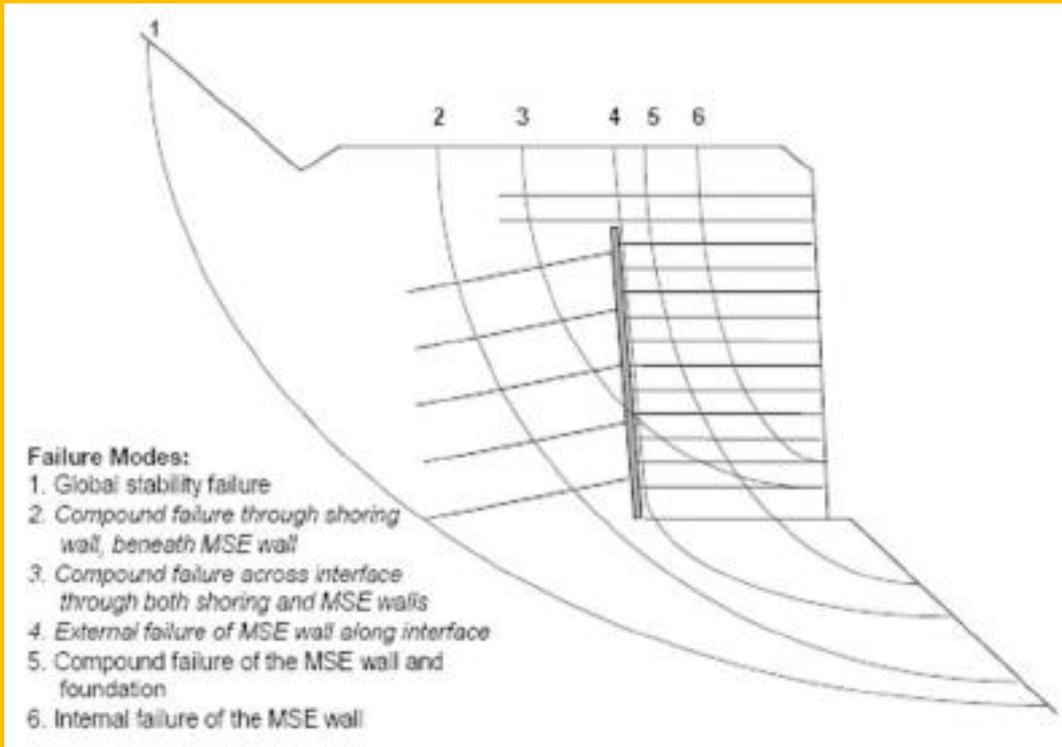
Cenni sui criteri di progettazione e verifica di stabilità di una TA



Verifiche stabilità esterna
(capacità portante
e ribaltamento,
Scivolamento rotazionale,
Cedimento...)



Verifiche stabilità globale e interazioni con terre armate e altre opere di sostegno.



Le verifiche di stabilità globale sono fondamentali per valutare l'equilibrio idrogeologico dell'area dove le TA sono Inserite

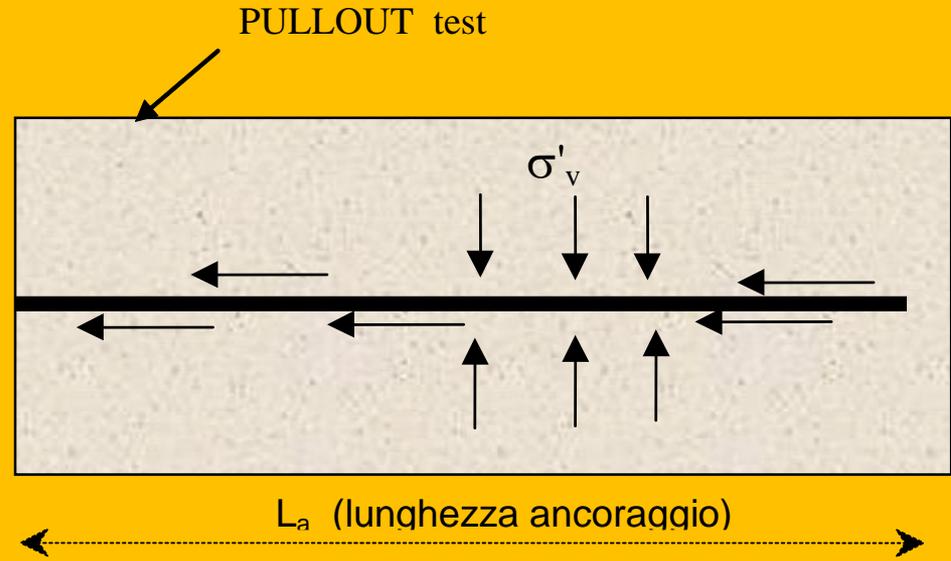
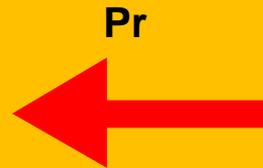
Cenni sui criteri di progettazione e verifica di stabilità interna di una TA

La Resistenza tensionale ultima T_{ult} e di progetto T_{pr} di un geotessile (in kN/m)



Cenni sui criteri di progettazione e verifica di stabilità interna di una TA

Resistenza allo sfilamento (pullout)



$$P_r = 2f_b \tan \varphi'_d \sigma'_v \alpha L_a$$

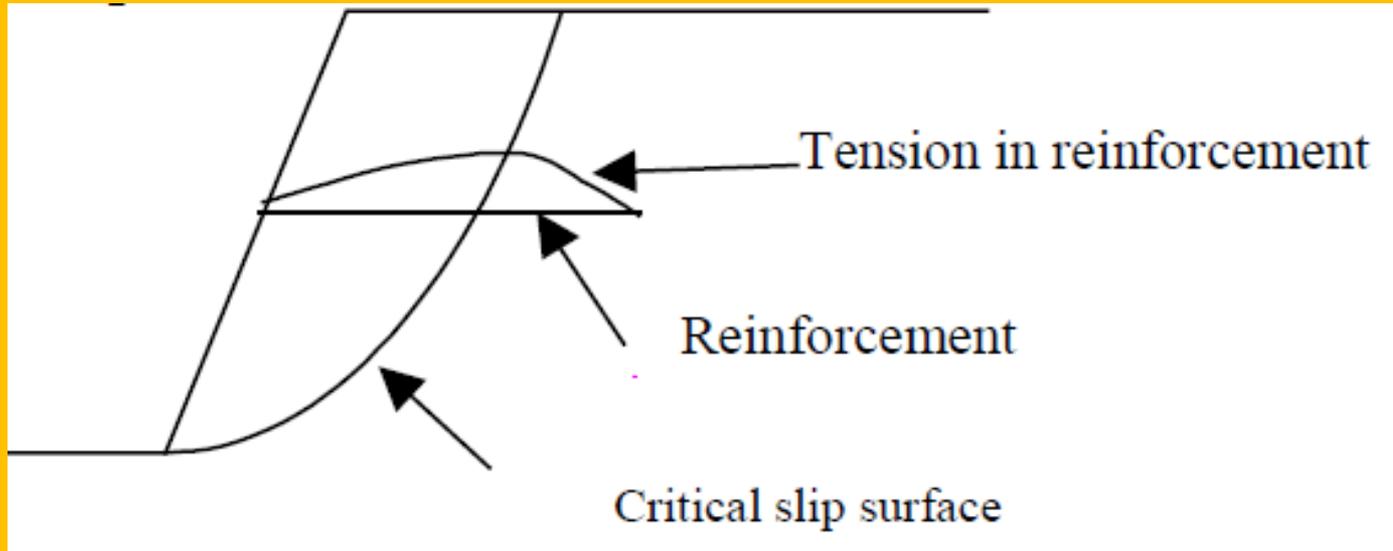
f_b coefficiente di interazione suolo/geogriglia-geosintetico; variabile, a seconda di tipo di geosintetico/geogriglia, tra 0.6 e 1.0. Tale parametro è indicato nelle caratteristiche tecniche della geogriglia/geosintetico

α fattore di scala nella ripartizione dello sforzo lungo tutta la lunghezza dell'ancoraggio; valore sperimentale variabile tra 1.0 e 0.6;

$$\tan \varphi'_d = \frac{\tan \varphi'_p}{F_s}$$

Fattore di attrito di progetto

Cenni sui criteri di progettazione e verifica di stabilità interna di una TA



Nei fatti all'interno della terra armata
La resistenza assunta per ogni armatura
è sempre la minore tra quelle di progetto
La tensione di resistenza al pullout.
A questa si aggiunge la connessione rivestimento – geosintetico (caso dei MSW)

$$T_d = \min [T_{pr}, P_r, \dots]$$

Metodi di verifica stabilità globale con metodo dell'equilibrio limite in presenza di TA

Si devono evitare:

- ❑ Metodi di calcolo non rigorosi (es. Fellenius, Bishop e Janbu semplificati)
- ❑ Usare solamente ricerca di superfici circolari...

Non si deve rinunciare MAI a :

- ❑ Corretta definizione modello geotecnico e idraulico del pendio
- ❑ Metodi di calcolo rigorosi (es. Janbu rigoroso, Morgenstern & Price, Spencer, Sarma..) che garantiscono in contemporanea equilibrio delle forze e dei momenti... sempre!
- ❑ Interazione rigorosa sup. di scivolamento con i sistemi di rinforzo presenti (TA, tiranti, palificate..sovraccarichi)
- ❑ Eliminazione delle superfici, e soluzioni che non sono fisicamente accettabili (... algoritmi di filtro e sub verifica....)
- ❑ Ricerca automatica superfici di forma generica (le sup. circoli sono solo un caso particolare...)

Esempio verifica stabilità globale con TA su terreni sabbiosi e argilloso-limosi

SSAP 4.0 (2010) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr. Geol. L. Borselli - CNR IRPI (FI)
 SSAP/DXF generator rel. 1.0 (2010)

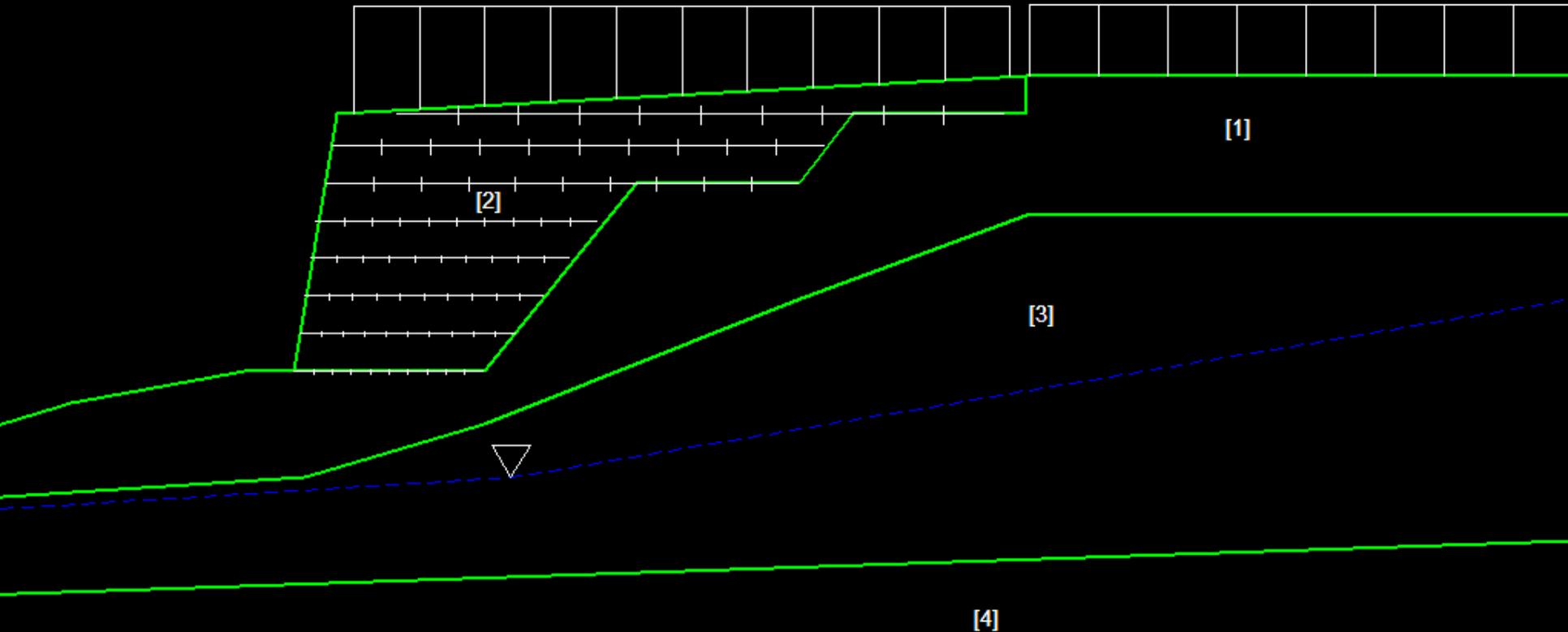
Data : 22/9/2010
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. strato o lente

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	29.00	2.00	0	20.00	21.00	0	0	0	0
2	30.00	0	0	18.00	19.00	0	0	0	0
3	25.00	10.00	0	19.30	20.30	0	0	0	0

S1=5(kPa)

S2=100(kPa)

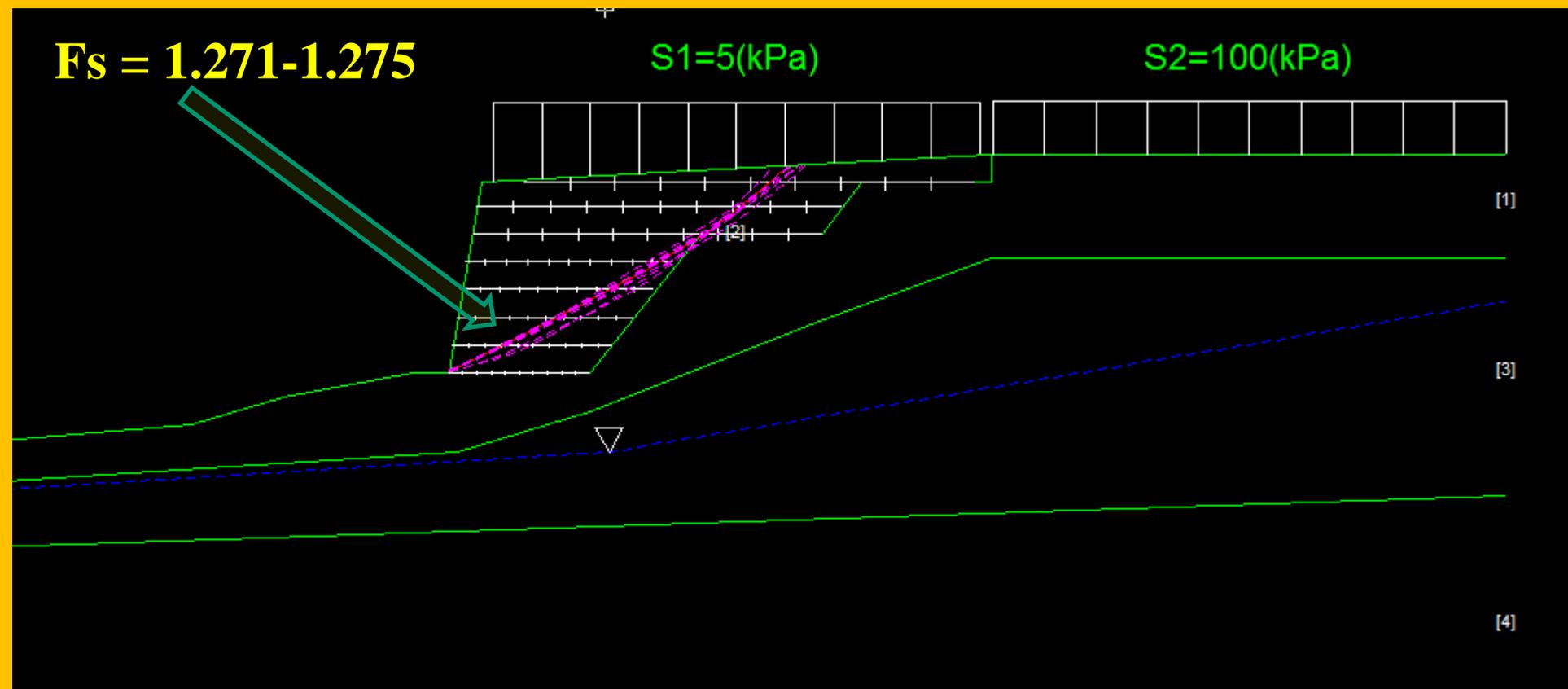


Verifica di stabilità globale (con effetto sismico $K_h=0.05$; $K_v=0.025$) .. limitata alla sola TA

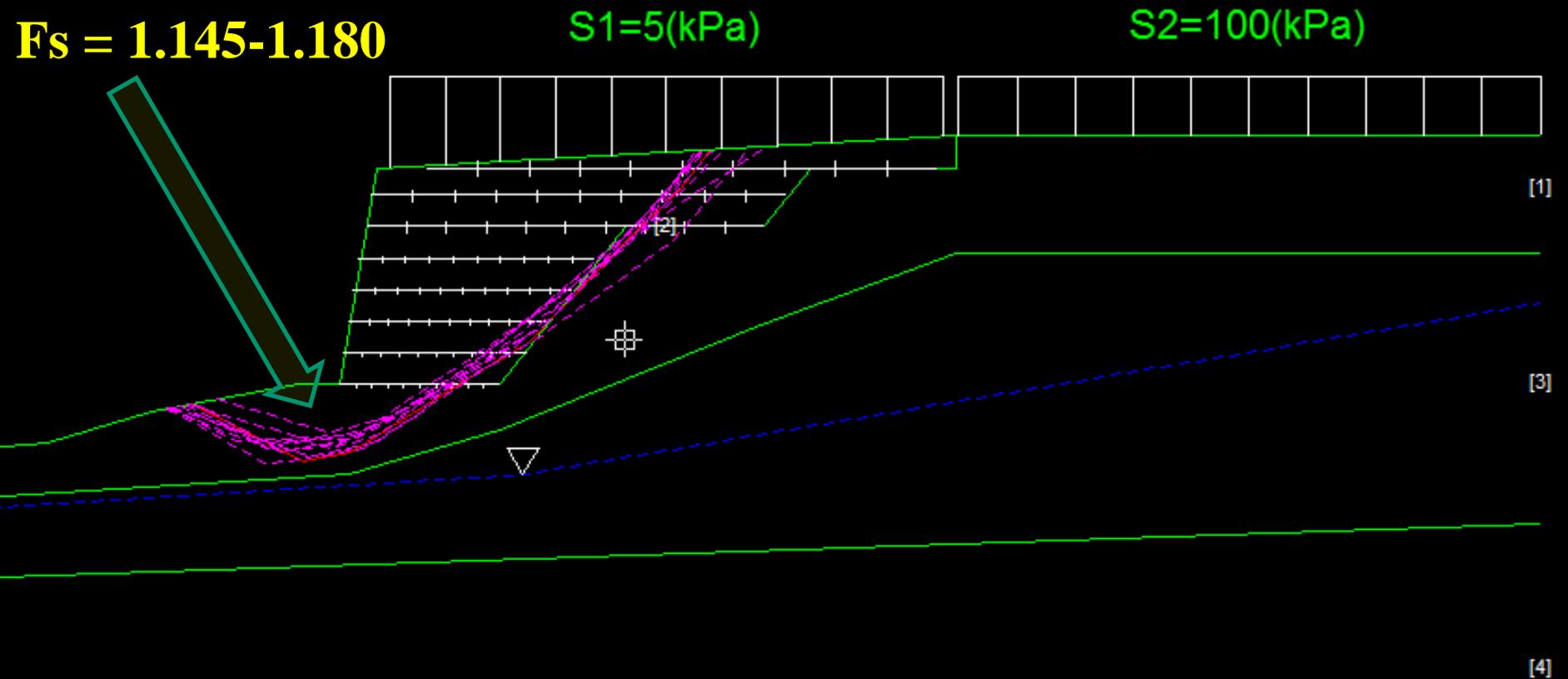
$F_s = 1.271-1.275$

$S1=5(kPa)$

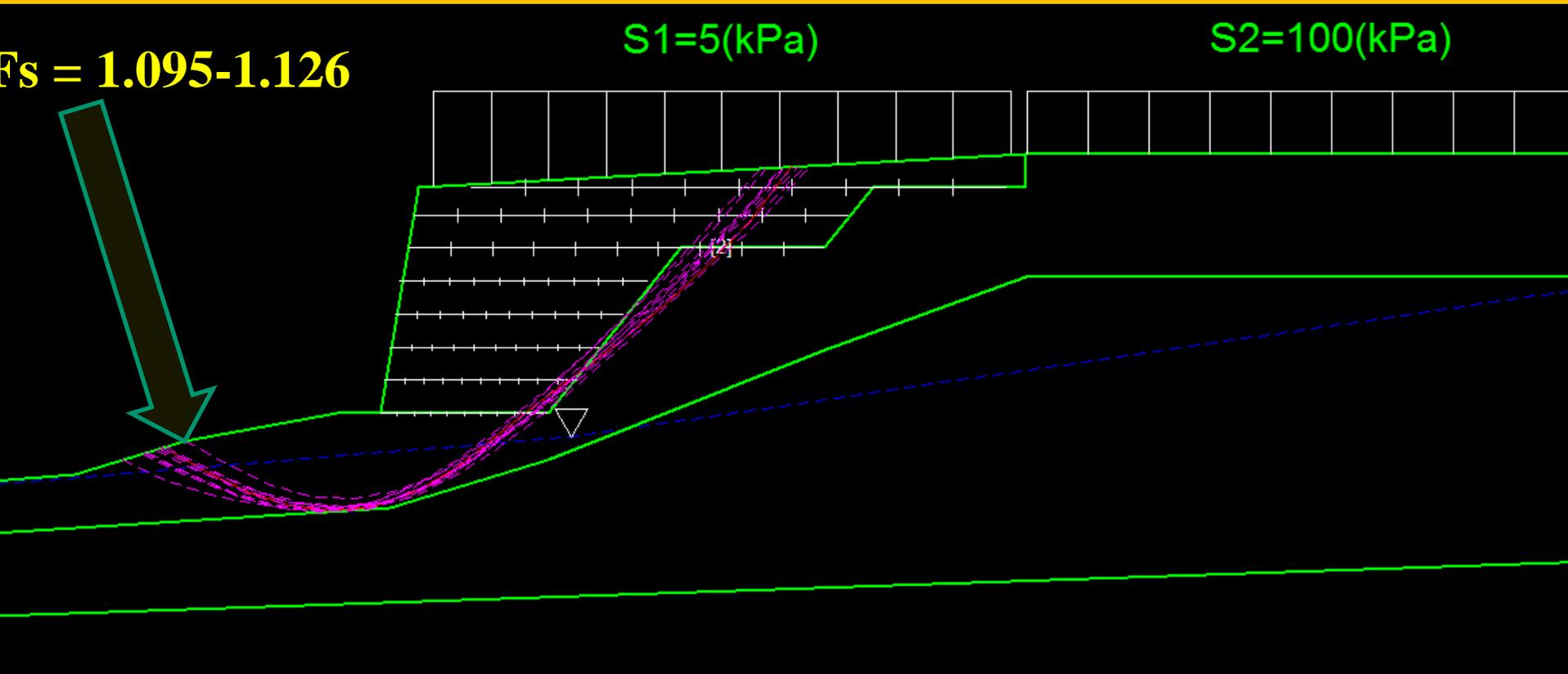
$S2=100(kPa)$



Verifica di stabilità globale (con effetto sismico $K_h=0.05$; $K_v=0.025$) .. Generale

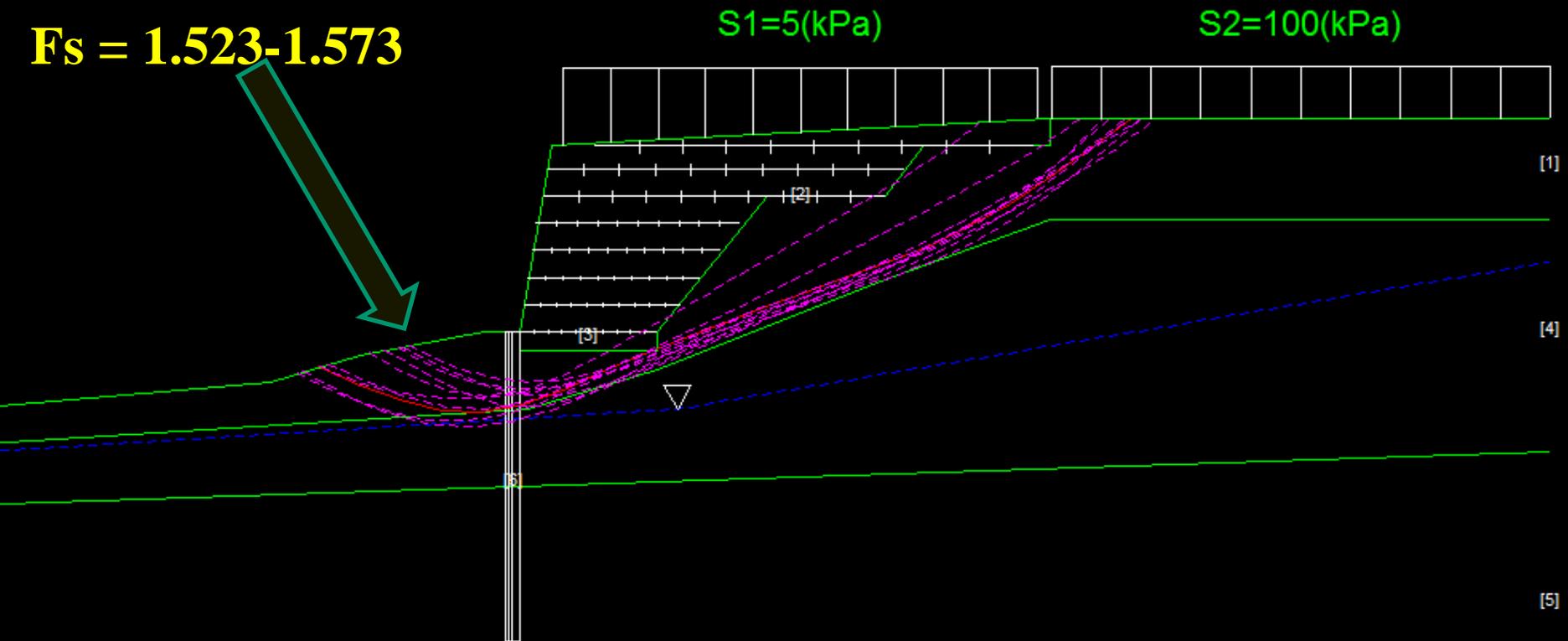


Verifica di stabilità globale (con effetto sismico $K_h=0.05$; $K_v=0.025$) .. Generale Simulazione risalita falda di 1.2 m

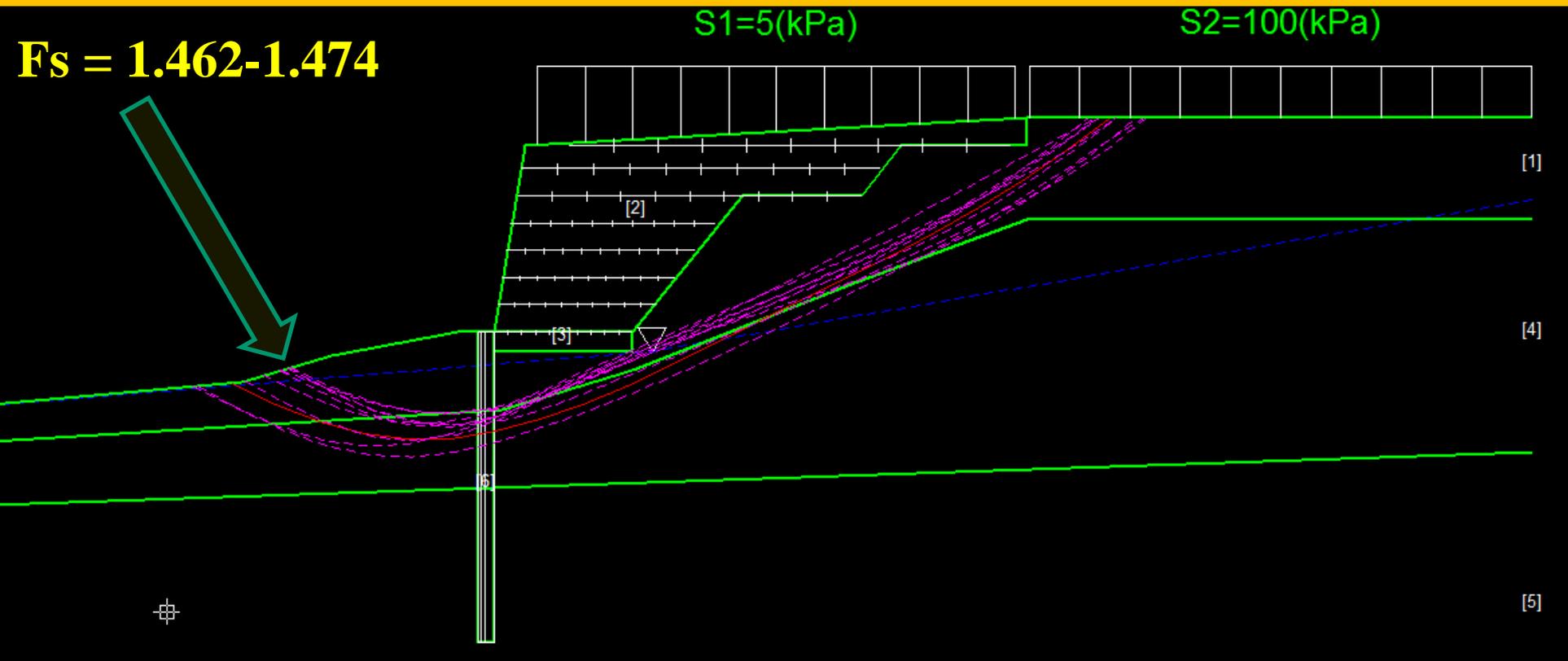


**Verifica di stabilità globale (con effetto sismico $K_h=0.05$; $K_v=0.025$)
.. inserimento di palificata alla base (d= 40 interasse 1.5 m L =8 m)
E strato drenante alla base della TA
Le 10 superfici con minor FS su 14000 calcolate...**

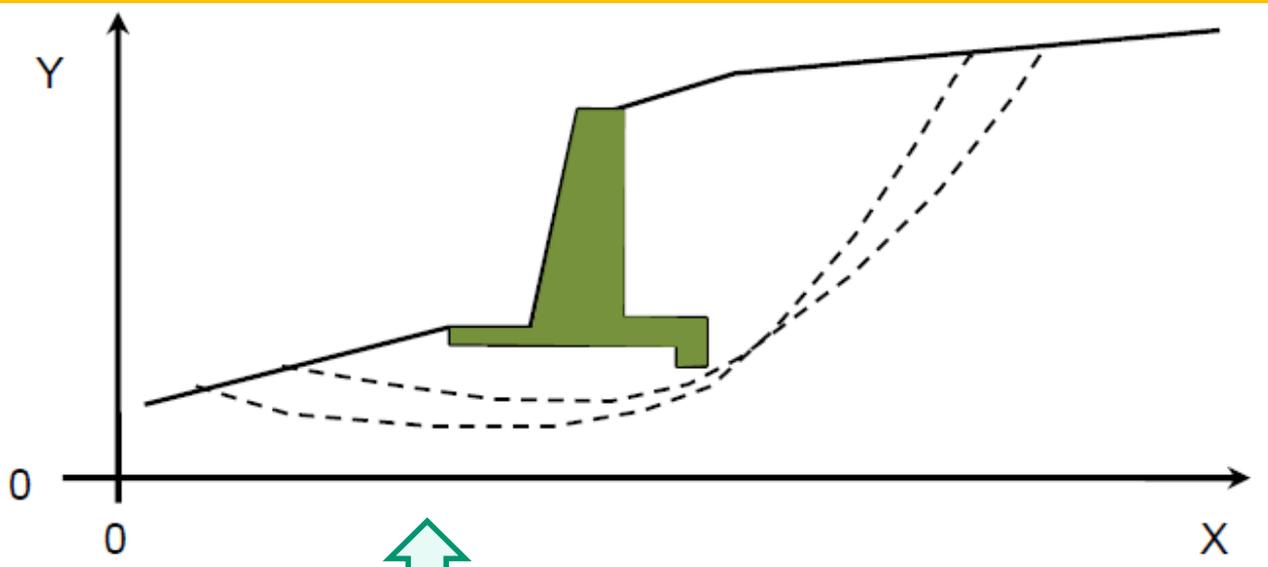
$F_s = 1.523-1.573$



Verifica di stabilità globale (con effetto sismico $K_h=0.05$; $K_v=0.025$) .. Simulazione risalita falda di 1.2 m

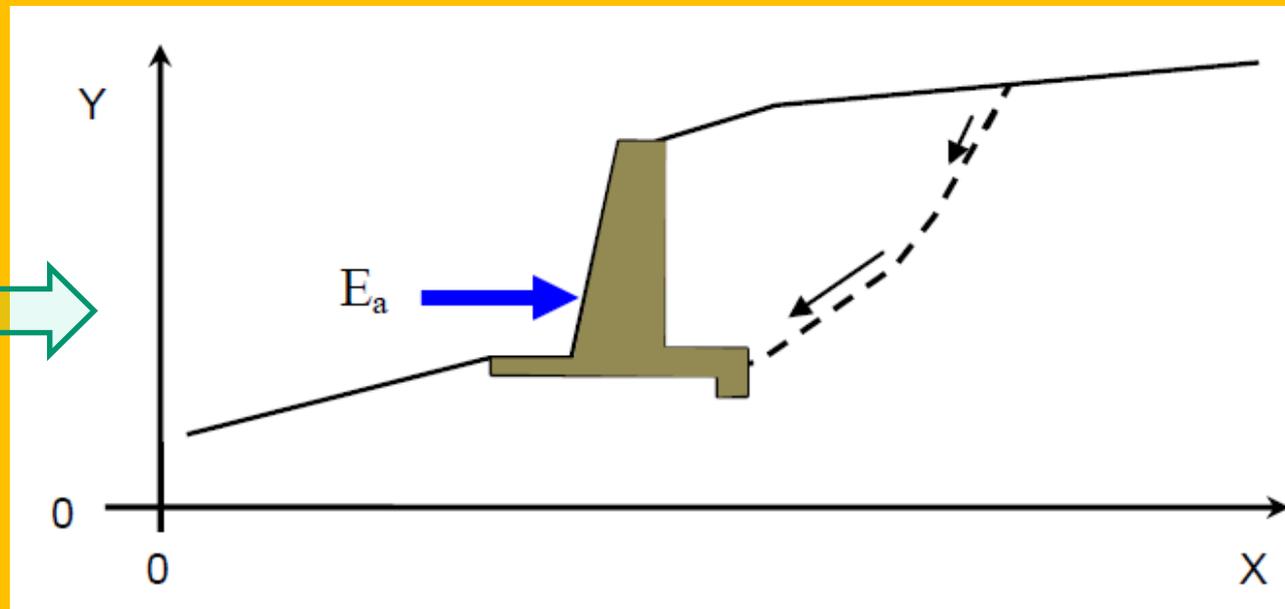


Muri

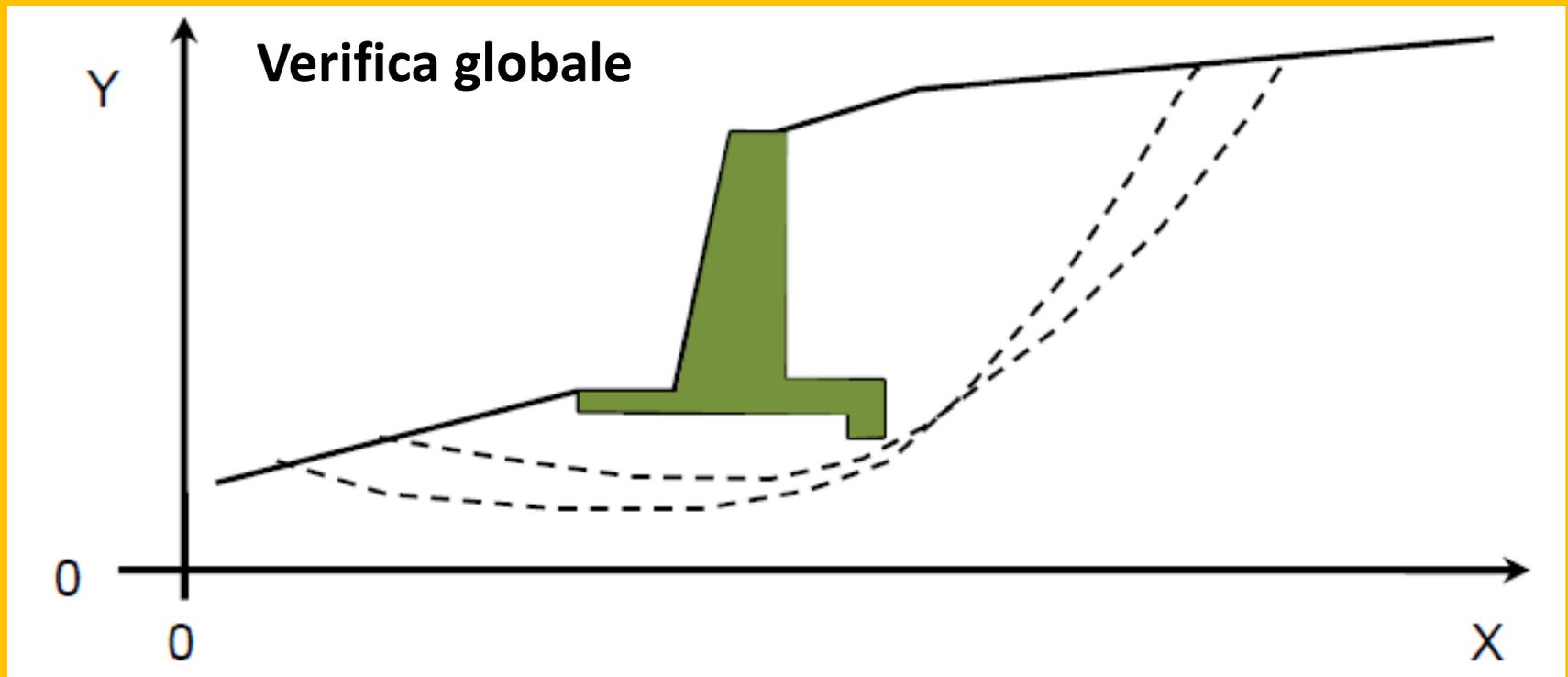


Una tipo di opera con Particolari interazioni Sono i muri di sostegno a gravità

**SSAP consente le verifiche globali
Includendo il muro
E speciali verifiche singole
Che comprendono
la reazione alla base
del muro (verfica locale)**



Nel codice SSAP è possibile considerare al presenza di opere di sostegno posizionate in vari punti su di un pendio. La verifica viene sviluppata considerando le opere stesse come ostacoli invalicabili per le superfici di scorrimento o come entità aventi una resistenza meccanica elevata (indicata dall'utente) e potenzialmente attraversabili da superfici di rottura



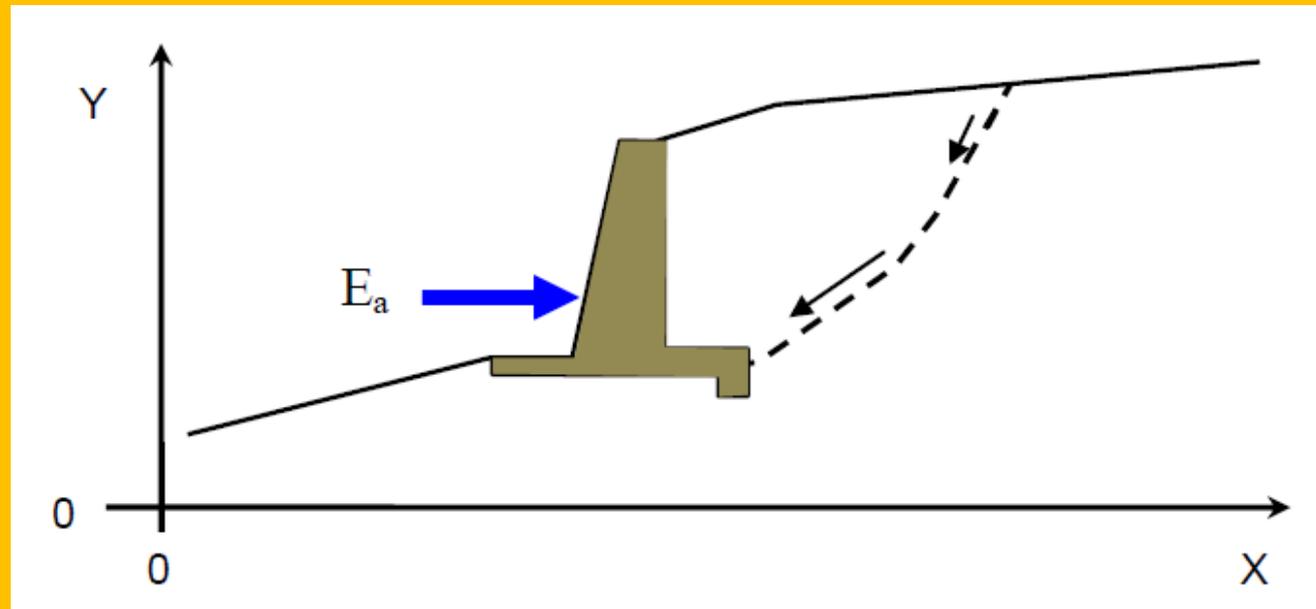
Il SSAP può quindi essere utilizzato per la verifica di stabilità globale necessaria ai fini progettuali dell'opera . La normativa italiana infatti prevede che sia effettuata una verifica di stabilità generale del complesso opera-pendio. **Le potenziali superfici di scivolamento testate dovranno considerare possibili scorrimenti superficiali e profondi (caso di muro fondato su pali).**

In generale le superfici di scivolamento dovranno passare in prossimità dello spigolo più interno, rispetto al pendio, dell'opera stessa e dovranno essere verificate anche superfici più profonde (BOWLES 1991).

Tuttavia si consideri che **i muri di sostegno offrono solo un effetto locale alla stabilità e la presenza di superfici più profonde, con minor F_s , potrebbe indicare un grado di stabilità globale ancora inadeguato.**

Nel caso di muri di sostegno il programma SSAP è in grado di valutare l'entità massima del cuneo di spinta a tergo del muro. In questo caso, dopo che la superficie a cui compete la maggior spinta, è stata identificata è possibile ripetere l'analisi su tale superficie (salvata e ricaricata come superficie singola) aggiungendo però una spinta orizzontale esterna E_a pari alla reazione orizzontale offerta dal muro e valutare così l'incremento del valore di F_s dovuto all'opera

**Verifica singola
Con effetto di
reazione del muro
Dovuto alla
Frizione base
muro/suolo**



Effetti aggiuntivi di spinta in testa alla superficie di scorrimento singola (forza E_b) Possono essere aggiunti (effetto Tension crack riempito di acqua)

I valori introdotti di E_a e E_b influenzano direttamente la distribuzione delle Forze interconco interne $E(x)$ e $T(x)$, e quindi il risultato come F_s finale.
La applicazione della forza E_a comporterà un incremento del F_s finale; mentre la applicazione della forza E_b produrrà un decremento del valore di F_s .

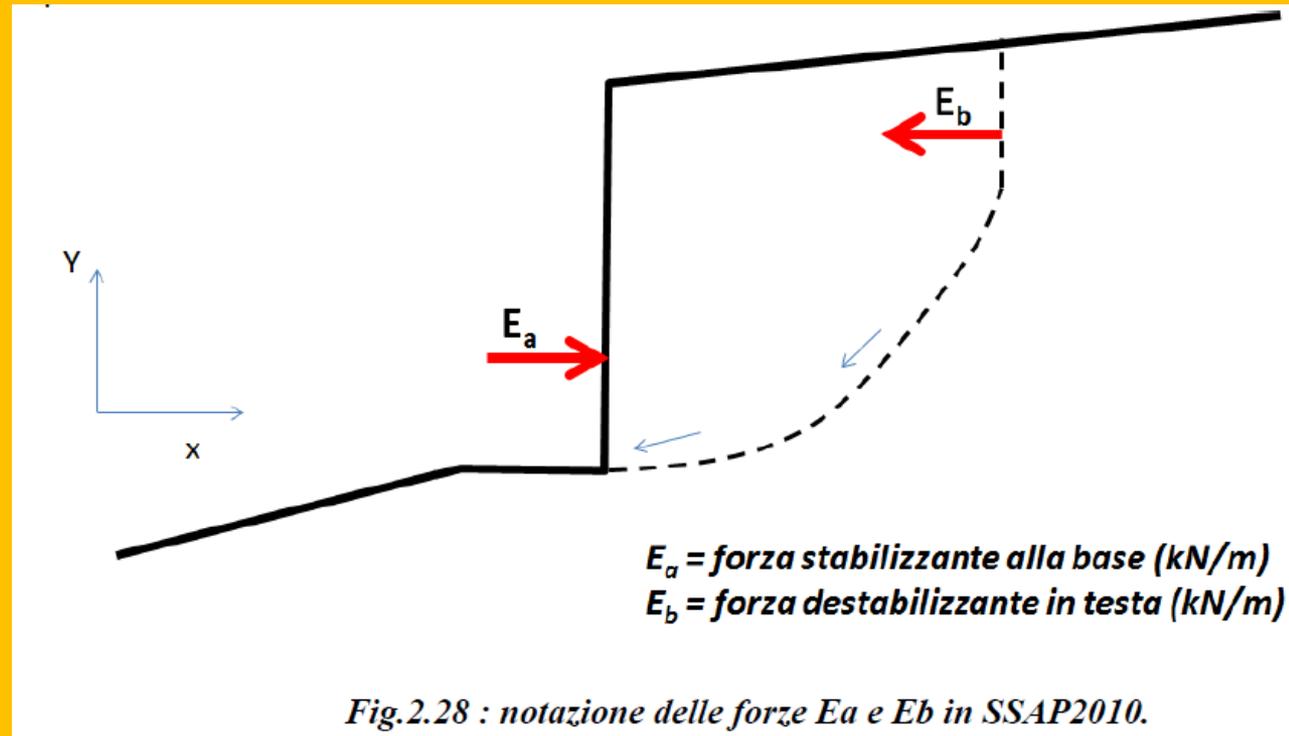


Fig.2.28 : notazione delle forze E_a e E_b in SSAP2010.

Vedasi anche manuale ssap pagina 42-43

In sintesi in presenza di Muri di sostegno:

- Inserire il muro come sua sezione e strato(lente) entro il pendio.
- Assegnare al muro di sostegno, in funzione del materiale costitutivo, opportuni valori di densità e resistenza al taglio:
(es. $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$; $C_u = 500\text{-}2000 \text{ kPa}$).
- Effettuare verifiche di stabilità globali con il metodo usuale, considerando anche superfici che possono per lo spigolo interno dell'opera
- Considerare superfici singole che si originano nello spigolo esterno in basso dell'opera e aggiungere una la forza di reazione stabilizzante alla base
- Considerare possibili effetti di forze destabilizzanti in testa alla superficie come tension crack riempiti di acqua

Video0_ssap.avi

(13 min)

Conclusioni

Alcuni risultati di SSAP2010

Il Progetto SSAP ha raggiunto alcuni dei suoi obiettivi iniziali:

- 1) Larga Diffusione a un ampio spettro di potenziali utenti: imprese private, professionisti, enti pubblici, studenti, ricercatori. (si stimano circa 1500 utilizzatori attivi in Italia)**
- 2) Sito web accessibile e documentazione aggiornata. (media di 500 accessi al mese (con 70% nuovi visitatori)).**
- 3) Alcuni Componenti e algoritmi totalmente originali.**
- 4) Metodi LEM rigorosi e più avanzati dello standard medio. SSAP.. Comunque competitivo con alcuni blasonati software commerciali.**
- 5) Formazione e divulgazione con corsi e seminari (in Italia e Messico).**
- 6) E' attualmente al mondo il primo software completo per analisi LEM rigorose, completamente freeware (cioè Gratis) senza versioni di prova a scadenza (trial) o limitate.**

Ma vi è ancora spazio per fare molto di più...

SSAP 2010 (versione 4.3.1 - 2014)

SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM
release 4.3.1 (c) (1991-2014)
 Build No. 6274 Windows 32 Bit
 by Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D.
 lborselli@gmail.com
<http://www.lorenzo-borselli.eu>

AVVIO VERIFICA
 VERIFICA GLOBALE
 VERIFICA SINGOLA

RISULTATI
 DIAGRAMMI FORZE
 GENERA / VEDI MAPPA Fs LOCALE
 VEDI GRAFICI SUPERFICI

MONITOR VERIFICA

MODELLO PENDIO : ES6.MOD
 MODELLO DI CALCOLO : Morgestern e Price (1965)
 MODELLO DI CALCOLO : Morgestern e Price (1965)
 COEFFICIENTI SISMICI: ORIZZONTALE (Kh) : 0.0000
 VERTICALE (Kv) : 0.0000 (Kv assunto con segno positivo)

PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI
 MOTORE DI RICERCA SUPERFICI : Convex Random Search (CRS)
 ZONA DI INIZIO - Progressive - (m) : da 0.00 a 108.00
 ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - (m) : da 12.00 a 117.60
 QUOTA LIMITE INFERIORE (m) : 0.00
 LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI - (m) : 4.80
 SMUSSA SUPERFICI : *Disattivato* EFFETTO TENSION CRACKS : *Attivato*
 RICERCA CON ATTRATTORE DINAMICO : *Attivato* METODO (lambda0,Fs0) : *A*

RISULTATI IN TEMPO REALE
 Fs ITERATIVO :
 RANGE Fs 10 SUPERFICI CON MINOR Fs :
 n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE :
 % EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA :

PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETATE(%):

Premi ESC per Terminare - Premi INVIO/ENTER per stop temporaneo

MESSAGGI
 SUGGERIMENTI: il modello del Pendio è stato caricato in memoria, puoi effettuare alcuni settaggi generali con gli appositi pulsanti in alto a destra della console o lanciare la verifica direttamente con le impostazioni automatiche.

OPZIONI GENERALI per Verifiche di Stabilità SSAP 4.3.1

Coefficiente sismico orizzontale - Kh : 0.000 Kv (negativo) Fs di Progetto richiesto (analisi deficit) : 1.100

METODO DI CALCOLO
 JANBU RIGOROSO - (1973)
 SPENCER - (1973)
 SARMA I - (1973)
 MORGESTERN PRICE - (1965)
 CORREIA - (1988)
 SARMA II - (1979)

$T(x) = \lambda f(x) E(x)$
 Esplora spazio (lambda0, fs0)
 Metodo
 A (rapido e accurato)
 B (più accurato)
 C (molto più accurato)

CONTROLLO STABILITA' NUMERICA
 % Tolleranza stress normali negativi : 0 %
 % Tolleranza RHO=Fs/Fsx > 1.0 : 100 %
 Limita Tau/Eta :
 LIMITATO
 Non LIMITATO

MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI
 RANDOM SEARCH (RS)
 CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)
 SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 2.0

SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH
 Steps di scansione : 60
 Frequenza di attivazione : 0.75

TIRANTI - ANCORAGGI
 PASSIVI
 ATTIVI

Distribuzione resistenza
 Rettangolare
 Trapezoidale

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

Fattore di riduzione Fp (NTC2008) (% massima mobilizzazione teorica) : 1.00 (100.00 %)
 Applicare nuova metodologia calcolo mobilizzazione

SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO
 EFFETTO ATTIVATO
 EFFETTO DISATTIVATO

TENSION CRACKS TESTA PENDIO
 EFFETTO DISATTIVATO
 EFFETTO ATTIVATO

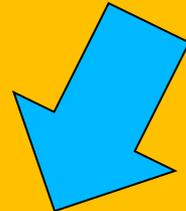
FORZE AGGIUNTIVE PER SUPERFICIE SINGOLA
 Forza Ea (alla Base) - kN/m : 0.00
 Forza Eb (in Testa) - kN/m : 0.00

FILTRAGGIO SUPERFICI
 FILTRARE
 NON FILTRARE

PRESENZA DI OSTACOLO
 CON OSTACOLO INTERNO
 SENZA OSTACOLO INTERNO

ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI
 DISATTIVATO
 ATTIVATO

OK Cancel



Quali futuri sviluppi per il CODICE ssap....



EVOLUZIONE CERTA per SSAP2010:

- **INTERFACCIA UTENTE** (per tenere il passo con la evoluzione Sistemi operativi di PC o tablet...)
- **METODI DI CALCOLO:** possibili miglioramenti e nuove opzioni per migliorare ancora la stabilità numerica e i filtri post-processing.
- **MOTORI DI RICERCA:** nuove opzioni e ottimizzazioni:
Nuovo MOTORE DI RICERCA BASATO SU GLOBAL OPTIMIZATION E GENETIC ALGORITHMS (GIA IN USO NELLA ESPLORAZIONE DELLO SPAZIO (F_s0, λ_0) e nel software Decolog 5.0 (www.decolog.org))
- **STRUTTURE:** nuove opzioni (per tiranti e pali)
- **Miglioramento GRAFICI E OUTPUT GRAFICO RISULTATI:** mappe F_s , e DXF e rendering in GNUPLOT migliorati
- **REVISIONE/ESTENSIONE REPORTING**
- **SITO WEB:** aggiornamento continuo
- **MANUALE UTENTE:** aggiornamento continuo (PROSSIMO AGGIORNAMENTO APRILE 20014..)

SVILUPPI POSSIBILI..

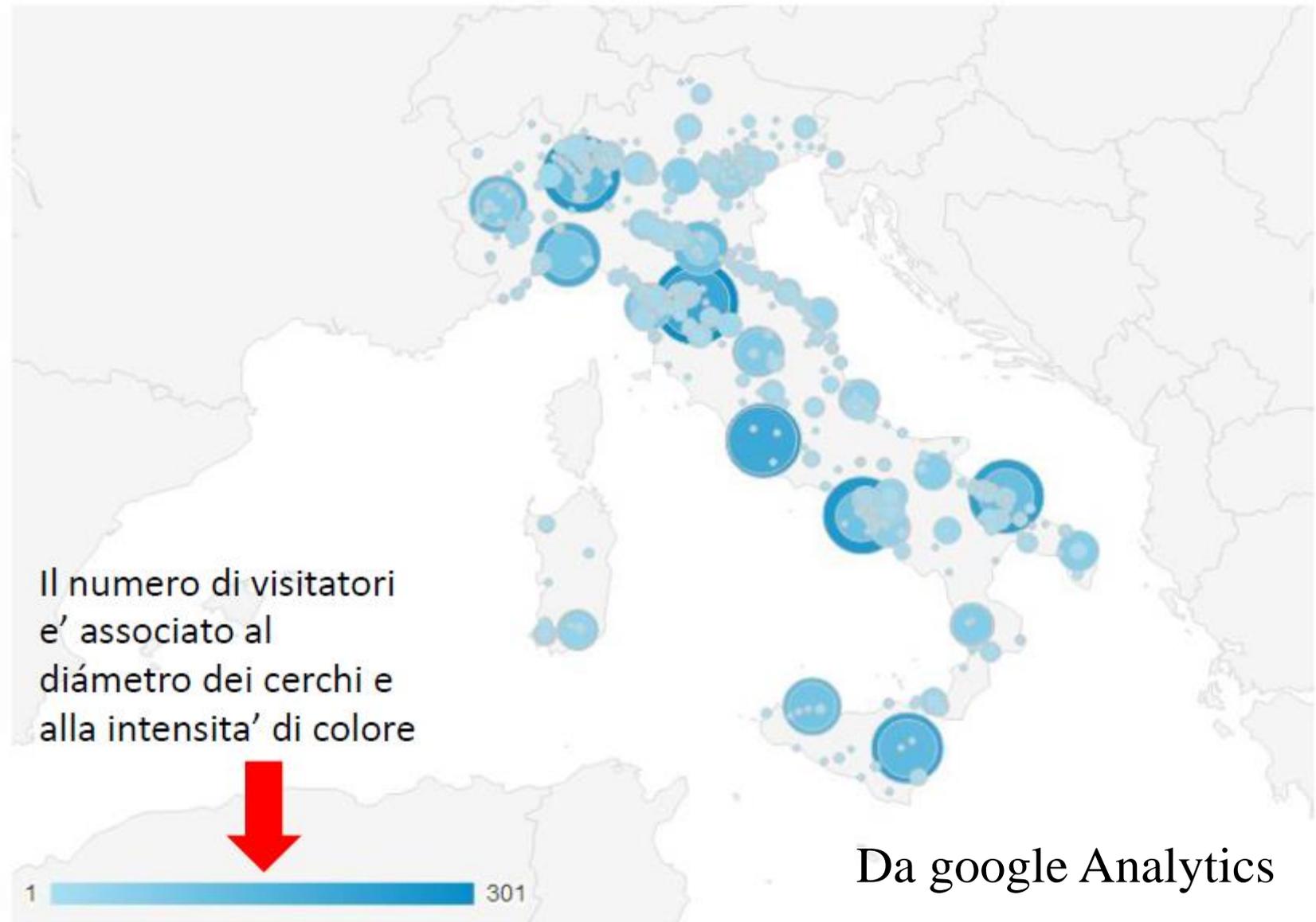
INTEGRAZIONE CRITERIO DI ROTTURA di Barton(2013)
con il criterio GSI di Hoek et al. (2002.2006) per ammassi
rocciosi fratturati...

LIQUEFAZIONE E STABILITA' PENDIO..INTEGRAZIONE
CON GLI EFFETTI SISMICI..

ALTRI SISTEMI OPERATIVI (android (TABLET...??))

VARIE E EVENTUALI SUGGERITE DAGLI UTENTI !!
(come è sempre stato..)

Distribuzione geografica in italia flusso di visitatori (20 ottobre 2012 - 1 dicembre 2013)



Distribuzione di visitatori e statistiche relative alle principali aree urbane in Italia (20 ottobre 2012 - 1 dicembre 2013)

City [?]	Acquisition			Behavior		
	Visits [?] ↓	% New Visits [?]	New Visits [?]	Bounce Rate [?]	Pages / Visit [?]	Avg. Visit Duration [?]
	7,278 % of Total: 93.31% (7,800)	70.42% Site Avg: 70.50% (-0.12%)	5,125 % of Total: 93.20% (5,499)	40.70% Site Avg: 41.17% (-1.14%)	3.05 Site Avg: 3.03 (0.60%)	00:03:56 Site Avg: 00:03:52 (1.40%)
1. Rome	667	73.01%	487	41.38%	2.89	00:03:39
2. Florence	503	60.24%	303	43.14%	2.89	00:03:30
3. Milan	390	75.90%	296	46.41%	2.92	00:03:48
4. Naples	358	75.70%	271	34.92%	3.39	00:04:29
5. Catania	349	52.44%	183	44.70%	3.13	00:03:40
6. Bari	344	68.31%	235	43.60%	2.65	00:03:45
7. Turin	290	73.45%	213	40.00%	3.10	00:04:03
8. Genoa	276	54.71%	151	51.45%	2.76	00:03:05
9. Palermo	237	75.95%	180	33.33%	3.75	00:05:42
10. Perugia	185	45.41%	84	59.46%	2.09	00:02:20

Da google Analytics

© 2013 Google | [Analytics Home](#) | [Terms of Service](#) | [Privacy Policy](#) | [Contact us](#) | [Send Feedback](#)

Progetto no-profit per la divulgazione di SSAP2010

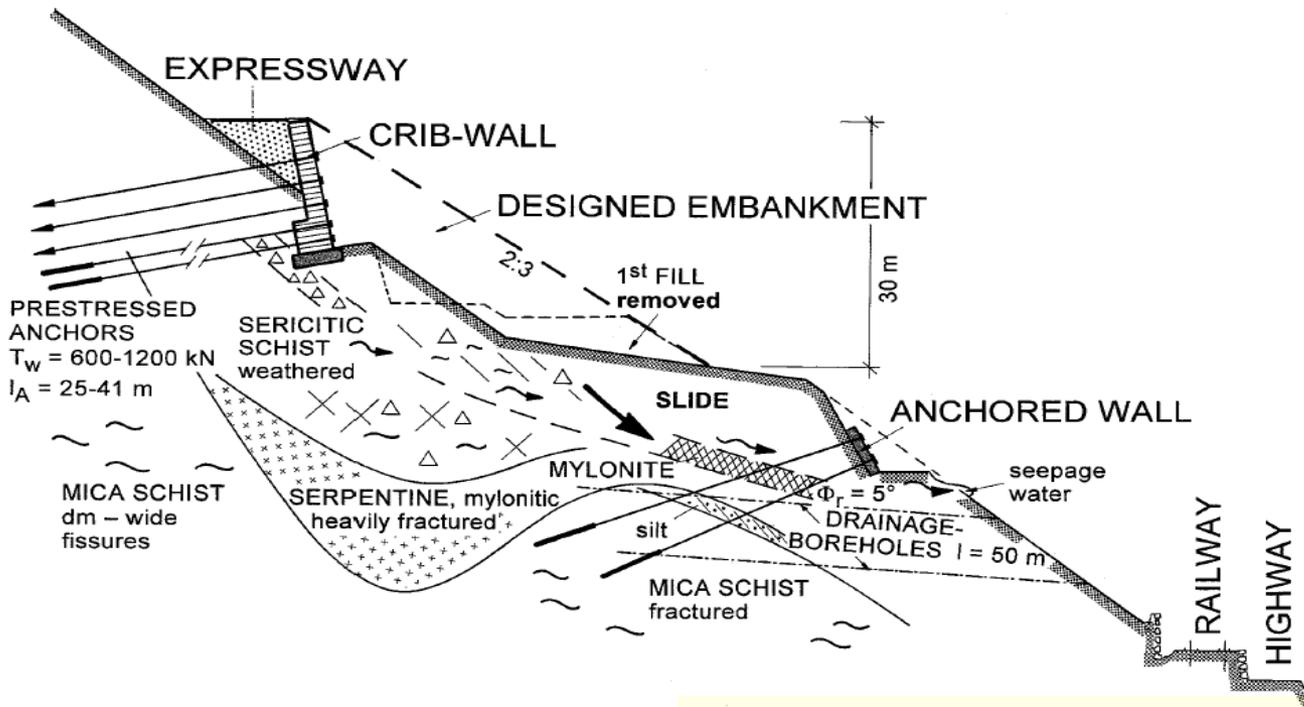
Informazioni su www.ssap.eu/corsi.html

Per il 2014 sono in fase di programmazione tre corsi:

- un corso base e un corso avanzato, presso l'ordine dei geologi della Puglia. (dal 10 al 12 aprile);
- corso base , presso l'ordine dei geologi della Basilicata. (dal 14 al 15 aprile);

Gli ordini regionali che organizzeranno i corsi provvederanno, nel mese di febbraio, a pubblicare la informazione e le istruzioni per la iscrizione.

Si prega di contattare l'ordine dei geologi della Puglia o l'ordine dei geologi della Basilicata , o l'ing. Lucia Greco (email: lugreco10@gmail.com) per informazioni.



**Grazie per il vostro tempo
 e la vostra attenzione ...
 Buon lavoro a tutti... !!
 Lorenzo Borselli**