



Slope Stability Analysis Program

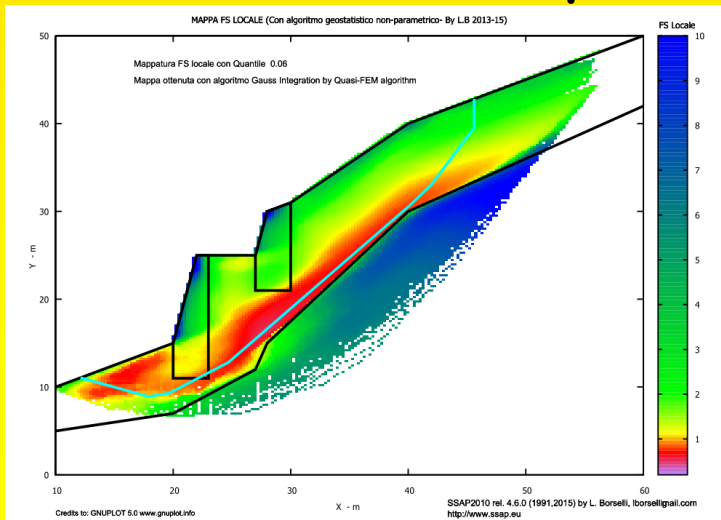
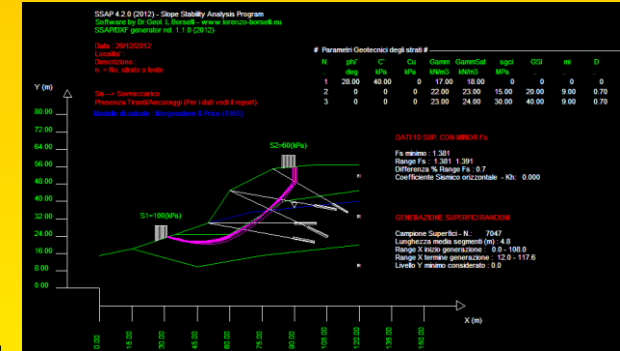
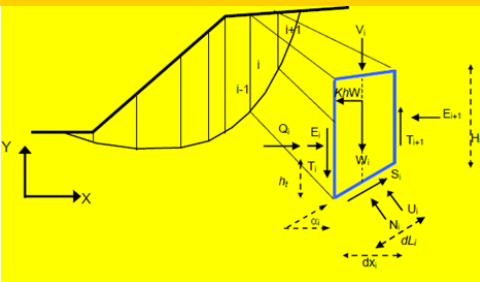
Programma di calcolo per l'analisi della stabilità dei pendii

SSAP2010



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>



SSAP 2010 (versione 4.8.0 - 2016)

SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM
 release 4.8.0 (c) (1991-2016)
 Build No. 8885 - Windows 64 Bit
 by Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D.
 lborselli@gmail.com
<http://www.lorenzo-borselli.eu>

MODELLO PENDIO
 MODELLO DI CALCOLO: **Morgestern - Price (1965)**
 MODELLO DI CALCOLO:
 COEFFICIENTI SIMILICI: ORIZZONTALE (K_h): 0.0000 (K_v assunto con segno positivo)
 VERTICALE (K_v): 0.0000 (K_v assunto con segno positivo)

PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI
 MOTORE DI RICERCA SUPERFICI: **Sniff Random Search (SRS)**
 ZONA DI INIZIO - Progressive - (m): da 0.10 a 108.10
 ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - (m): da 12.10 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 (lambda*Fs0): *A*

RISULTATI IN TEMPO REALE
 F_s ITERATIVO: 1.6178 **F_s Min. 1.4342 - 1.5126**
 n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE: 2108 di 10000
 % EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA: 16.975 - 95.00

PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETATE(%): 23.08

STOP VERIFICA VEDI RISULTATI TEMPORANEI

MESSAGGI
 SUGGERIMENTI: effettuata una verifica di stabilità è possibile generare un rapporto (file di testo) con tutti i risultati e anche una serie di file DXF con i grafici e esportare un file con le coordinate della superficie critica.

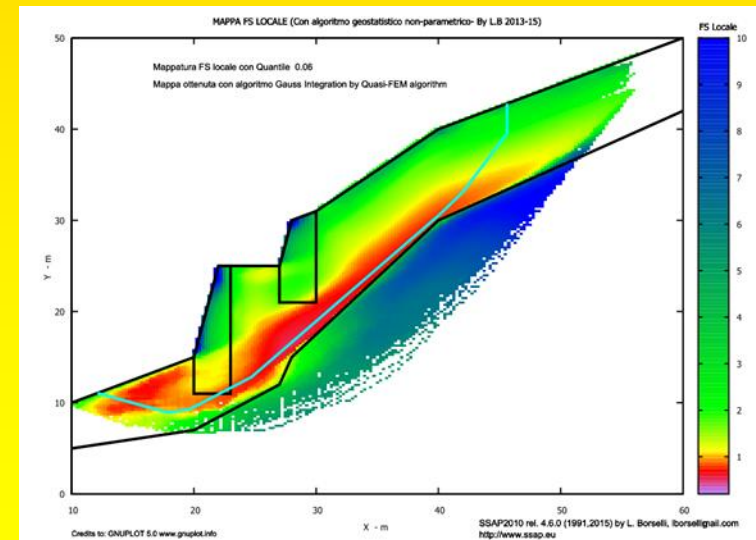
Verifica di stabilità dei pendii : cosa significa?

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

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



Verifica Stabilità dei pendii, Domande a cui rispondere...

Sono possibili metodi calcolo affidabili di FS ?

È possibile gestire la complessità stratigrafica e geomeccanica di un pendio ?

Quali strumenti software Sono Affidabili ?

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

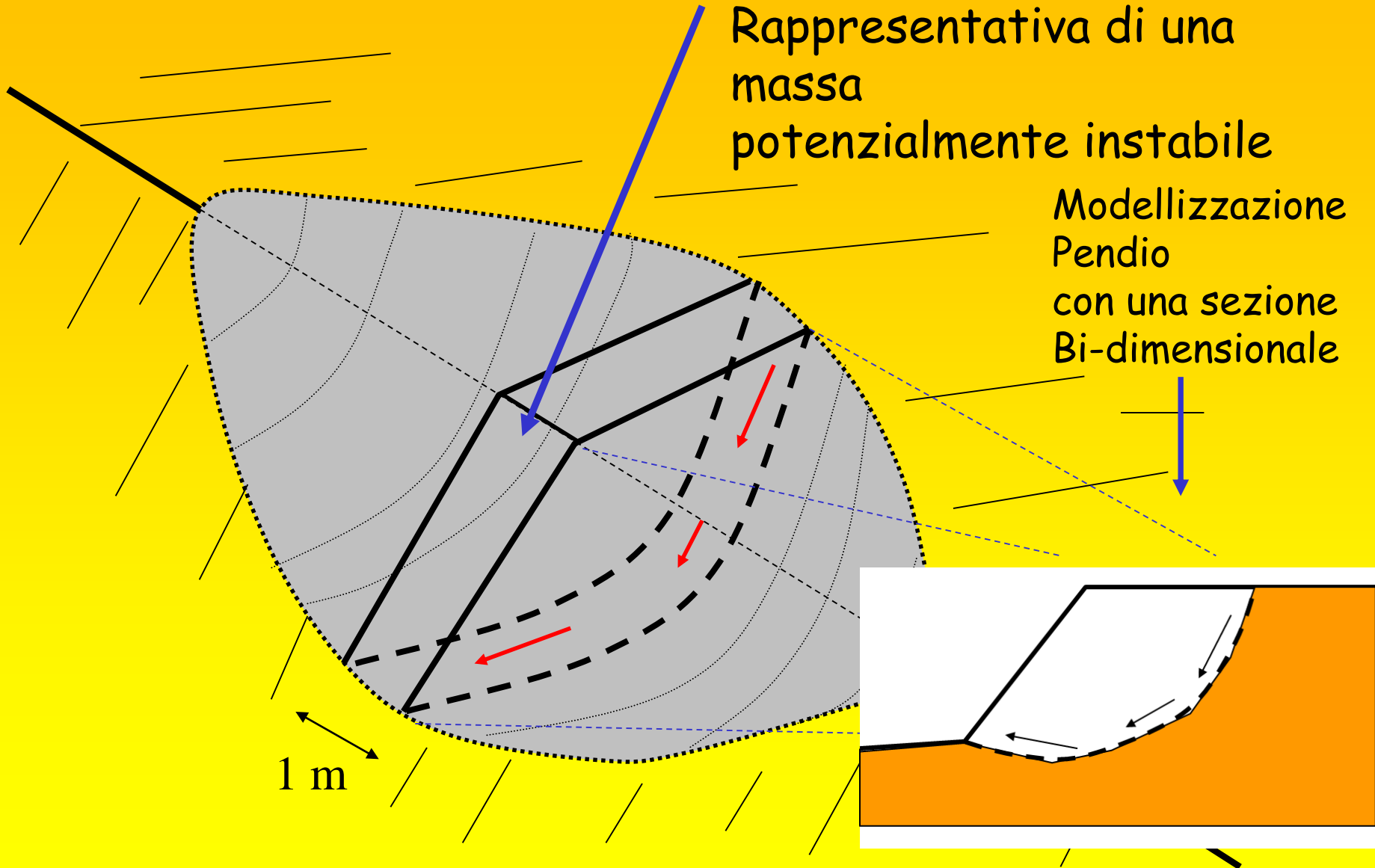
Esistono software di questo tipo .. a costo Zero?

Verifica di stabilità 3D→2D

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

Modellizzazione
Pendio
con una sezione
Bi-dimensionale

1 m



Confronto tra metodologie

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.

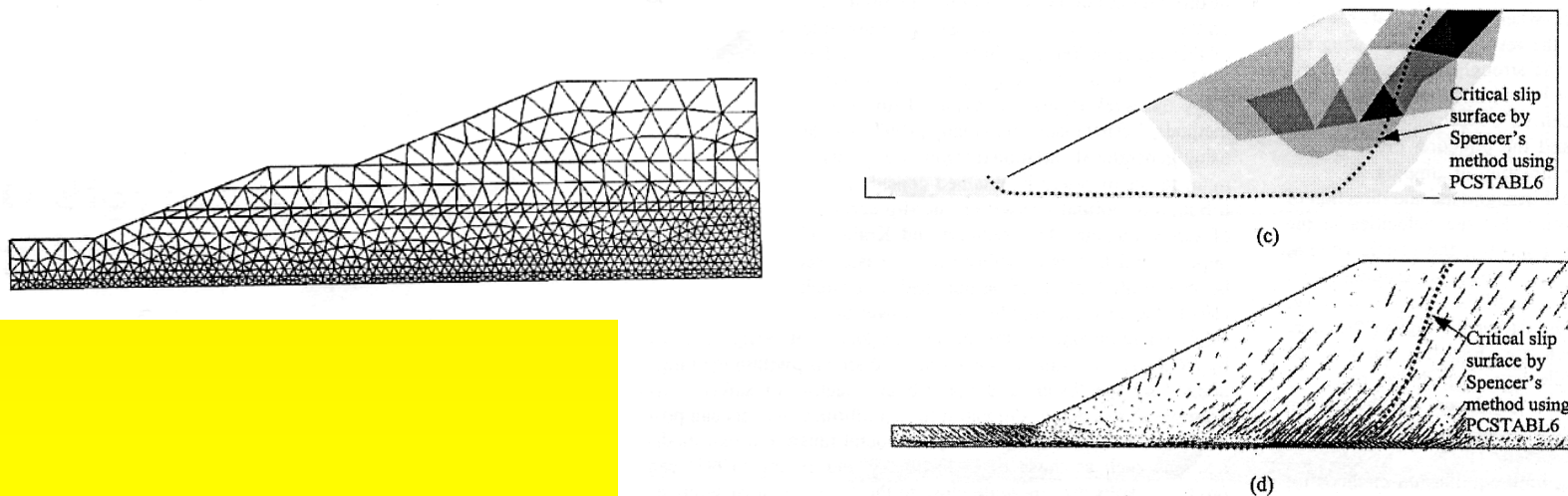
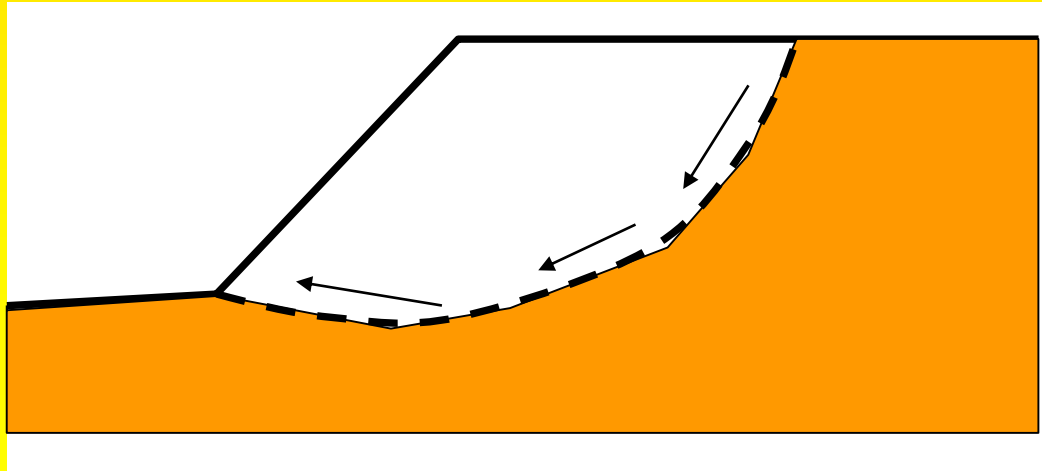


Fig. 7. Slope analyzed in example 2 [with pore-water pressure defined by water table; dotted line in (a)]: (a) slope geometry and soil profile (after Fredlund and Krahn 1977); (b) velocity field from upper-bound analysis; (c) plastic zone from upper-bound analysis; and (d) principal stress zone from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

Da Kim et al. (2002)

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.



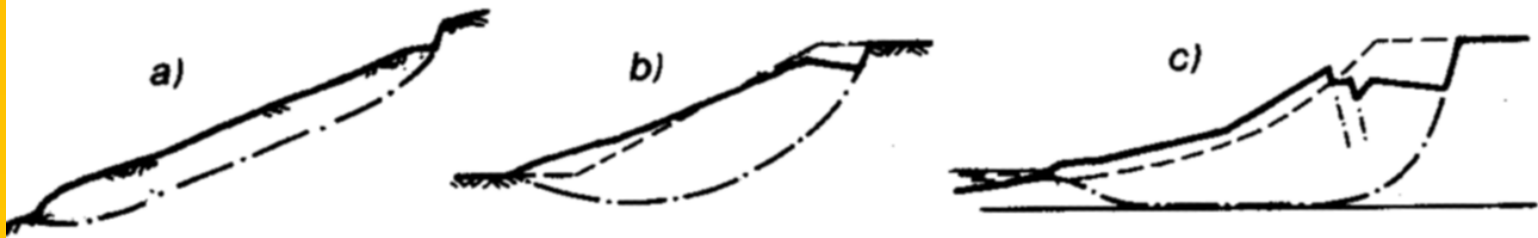
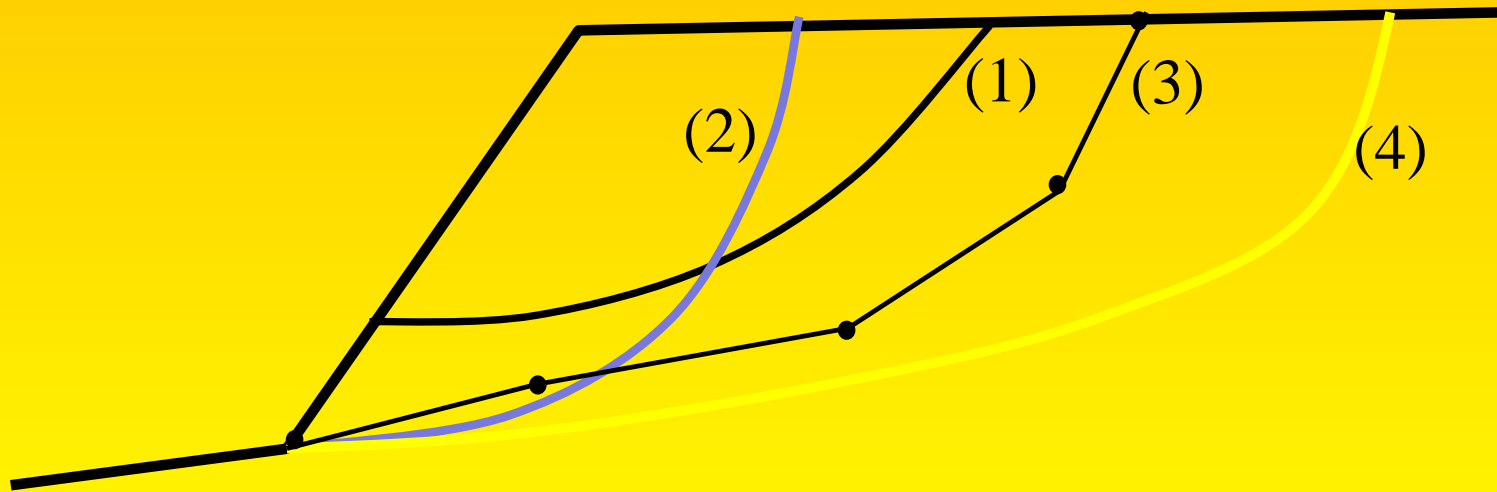


Fig. 2.2. Scivolamenti: a) di traslazione; b) di rotazione; c) composti



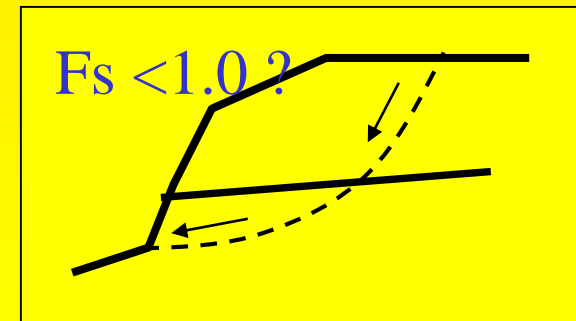
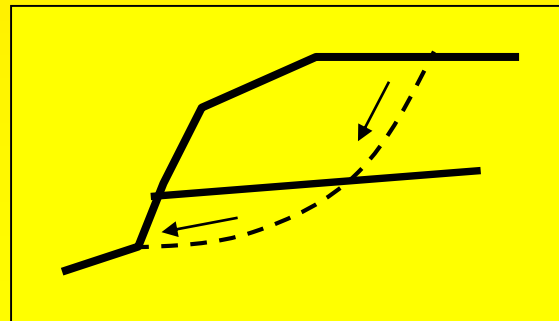
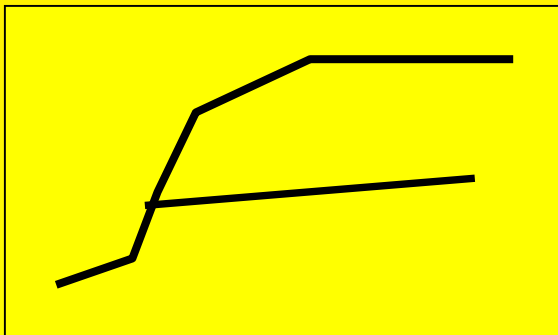
Tipi di superfici generabili nel piano della sezione del pendio:

- (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).

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):

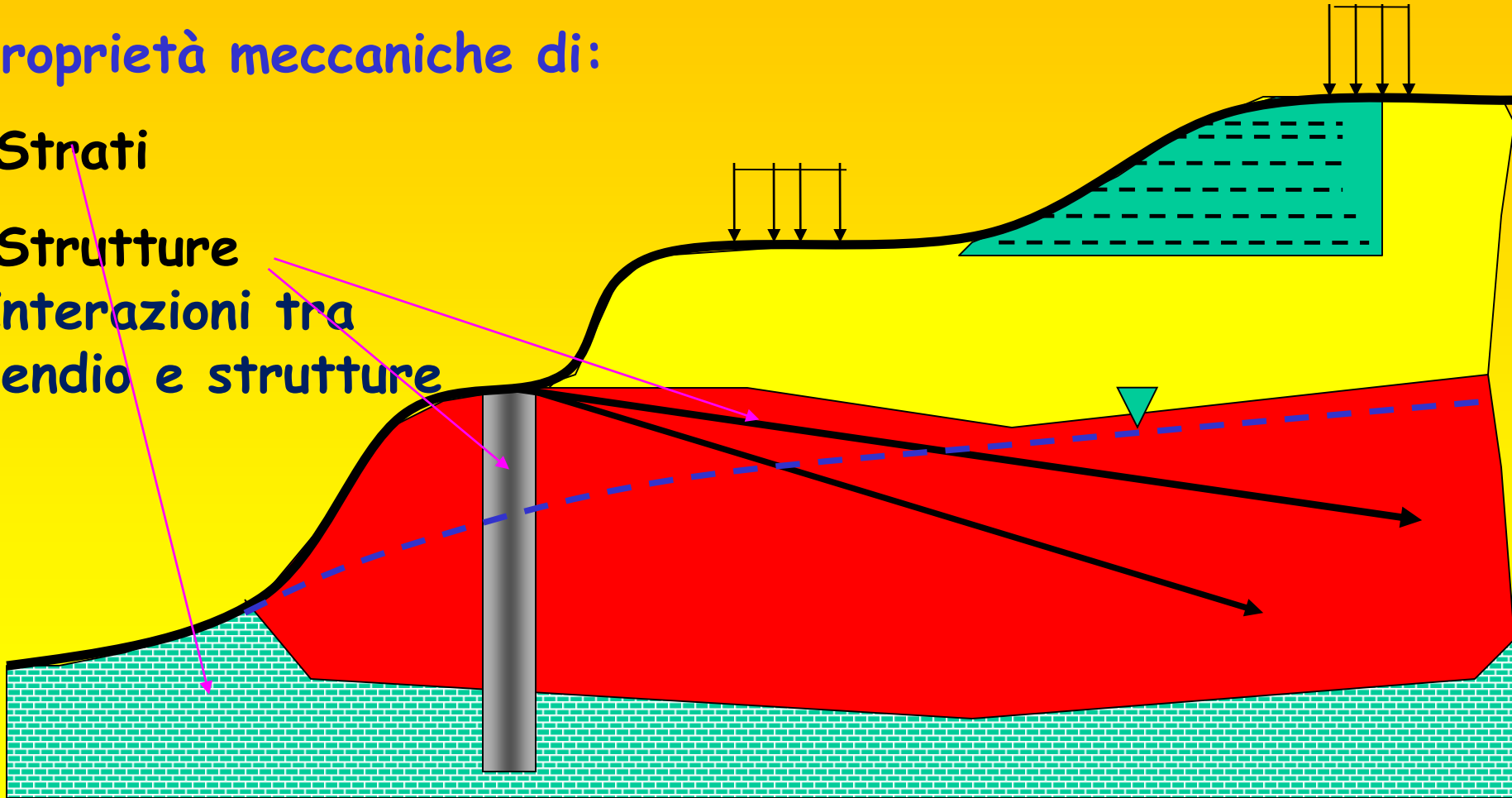
Geometria pendio, strati, falda, carichi esterni e strutture di rinforzo

Proprietà meccaniche di:

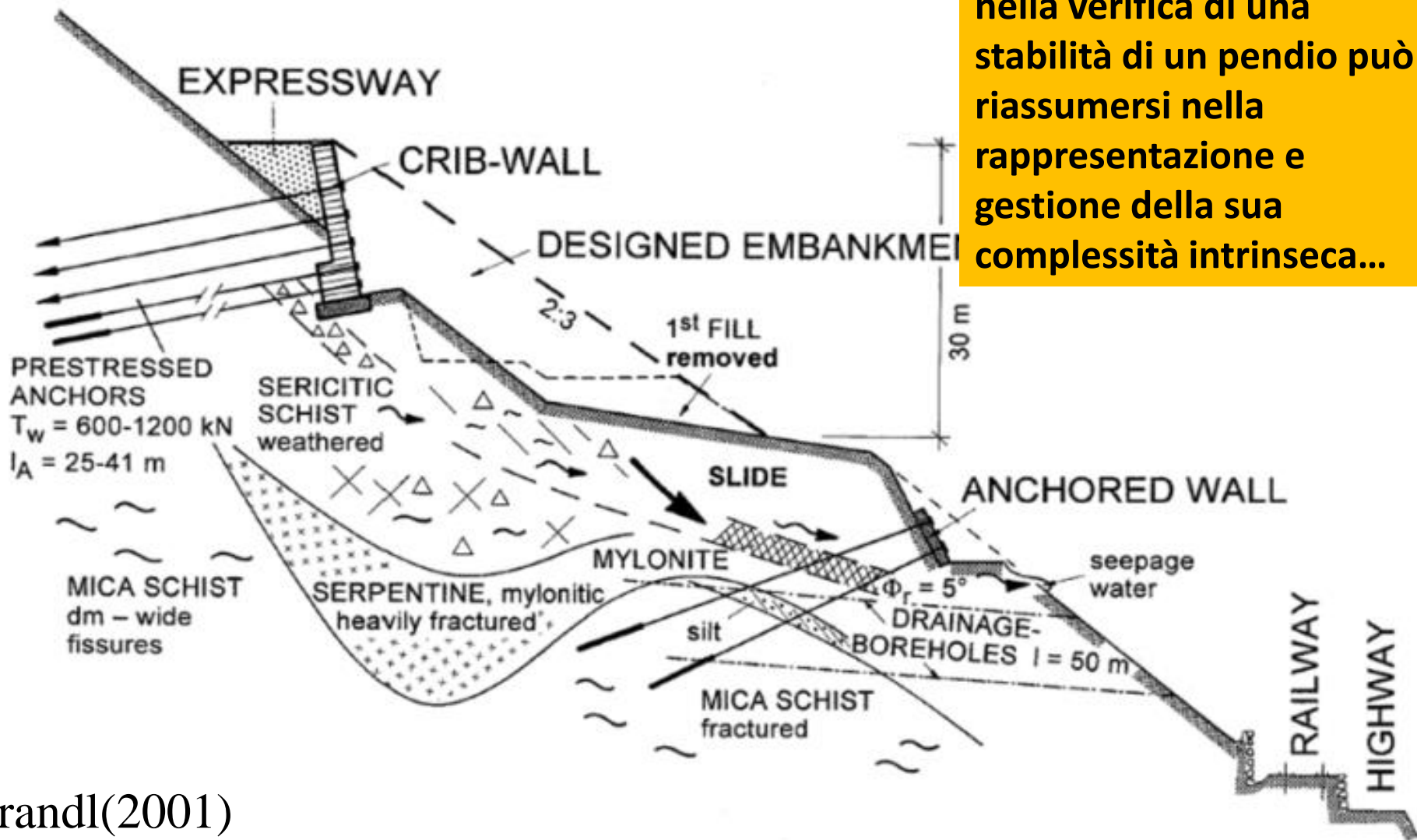
•Strati

•Strutture

Interazioni tra
pendio e strutture



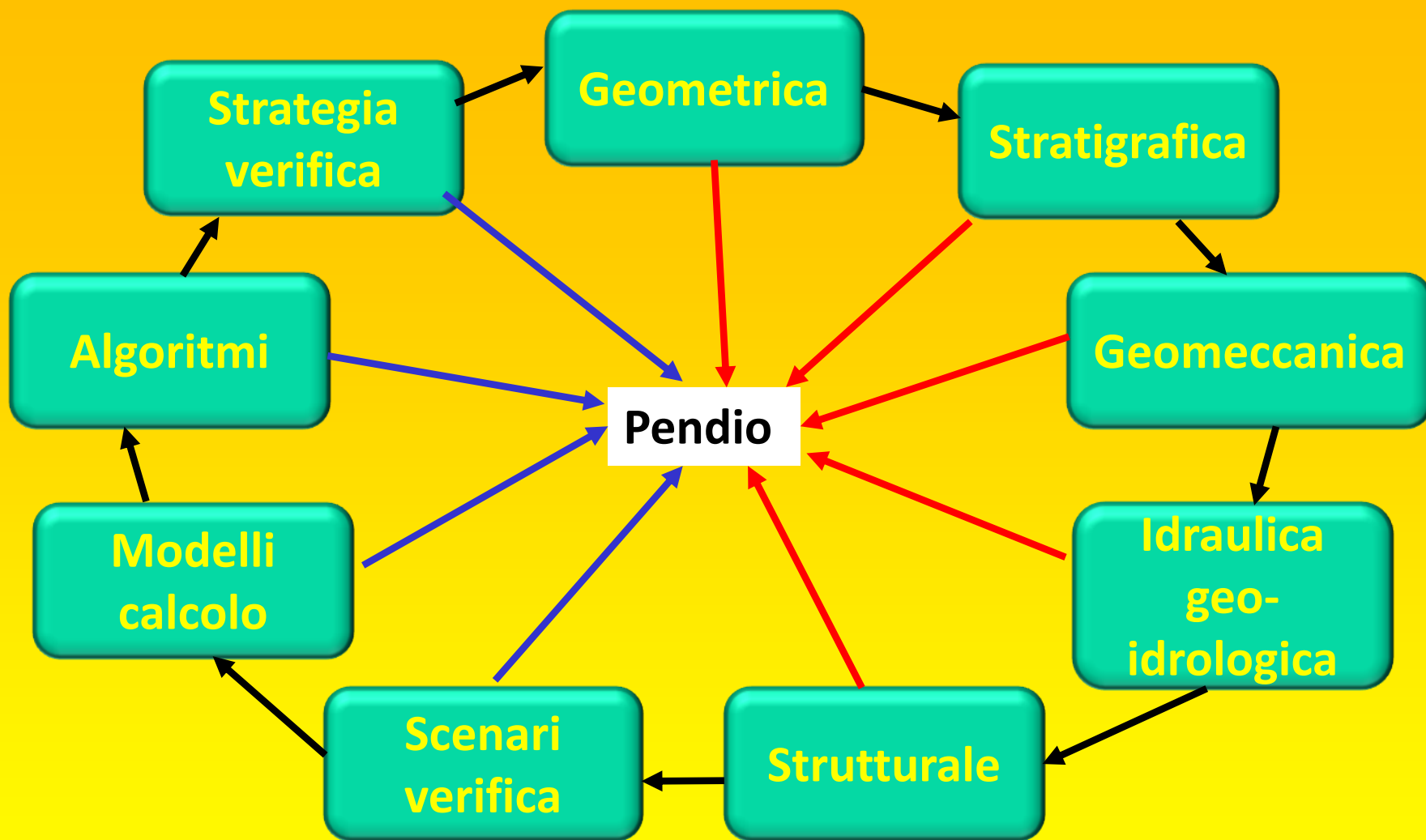
La maggiore difficoltà nella verifica di una stabilità di un pendio può riassumersi nella rappresentazione e gestione della sua complessità intrinseca...



Brandl(2001)

Esempio di complessità geologica e geotecnica e strutturale

Complessità verifica stabilità: componenti e interazioni



Componenti della modellistica



Componenti del Modello pendio



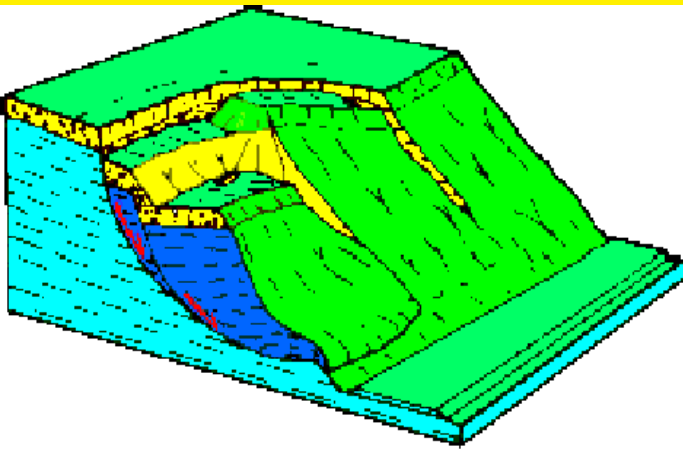
Una possibile risposta alle precedenti domande

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 4.8.0 (ottobre 2016).

SSAP2010 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..etc.).

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



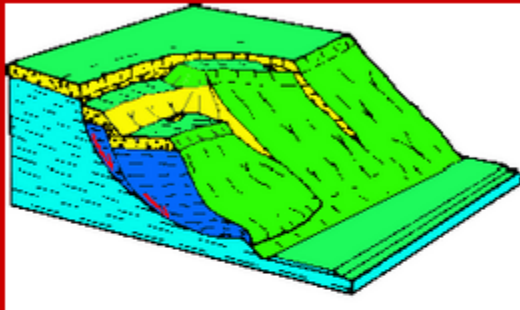
A screenshot of the SSAP 2010 software interface. The window title is "SSAP 2010 (versione 4.8.0 - 2016)". The interface is divided into several panels. The top left panel contains the program name "SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM", version "release 4.8.0 (c) (1991-2016)", and contact information for Dr. Geol. Lorenzo Borselli. The top right panel shows "AVVIO VERIFICA" with buttons for "VERIFICA GLOBALE" and "VERIFICA SINGOLA", and a "MONITOR VERIFICA" section with a graph. The main central panel displays calculation parameters: "MODELLO DI CALCOLO: Morgenstern - Price (1965)", "COEFFICIENTI SISMICI: ORIZZONTALE (KH): 0.0000, VERTICALE (KV): 0.0000", "PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI: Sniff Random Search (SRS)", "ZONA DI INIZIO - Progressive - (m): da 0.10 a 108.10", "ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - (m): da 12.10 a 117.60", "QUOTA LIMITE INFERIORE (m): 0.00", "LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI - (m): 4.80", "SMUSSA SUPERFICIE: Disattivato", "EFFETTO TENSION CRACKS: Attivato", "RICERCA CON ATTRATTORE DINAMICO: Attivato", "METODO (lambda0.Fs0): A". The bottom panel shows "RISULTATI IN TEMPO REALE" with "Fs ITERATIVO: 1.6178" and "Fs Min.: 1.4342 - 1.5126". The bottom right panel contains "STRUMENTI" and "MESSAGGI" sections.

special credits:

CONACYT:

Proyecto Ciencia Basica

CB-2012/184060



SSAP2010

(rel. 4.8.0)

versione

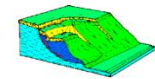
PORTABLE

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

SSAP2010

SU

WWW.SSAP.EU



SSAP 2010

"un passo oltre..."

(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)

<http://www.ssap.eu>



Manuale di Riferimento
Versione 4.7.2 (2016)

by
Dr. Lorenzo Borselli, Geol., Ph.D.,**
Marzo 2016

* Docente di Geotecnica e Geologia Applicata
Facoltà Di Ingegneria, Universidad Autonoma 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, ITALIA
Web e Curriculum Vitae: <http://www.lorenzo-borselli.eu>
E-mail: lborselli@gmail.com, lorenzo.borselli@uaslp.mx

SSAP2010

(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)

Versione 4.8.0 (2016) - Win 32 e 64 Bit

(22 ottobre 2016)

Software Interamente Freeware

Completamente Gratuito e di utilizzo libero

*per Privati, Ingegneri, Geologi, Studenti
e Pubbliche Amministrazioni (vedasi [licenza d'uso](#))*

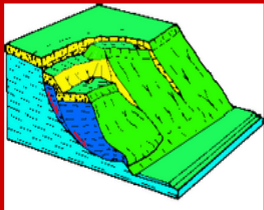
SSAP2010 su *WWW.SSAP.EU*



special credits:

CONACYT:

Proyecto Ciencia Basica
CB-2012/184060



SSAP2010

(rel. 4.8.0)

versione

PORTABLE

(Installabile su chiavi
USB e senza bisogno di
configurazioni)

Perche' SSAP?

SSAP2010

(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)

Versione 4.8.0 (2016) - Win 32 e 64 Bit

(22 ottobre 2016)

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)

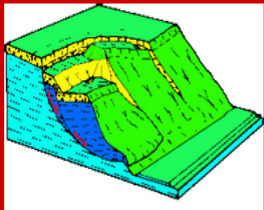
SSAP2010 su *WWW.SSAP.EU*



special credits:

CONACYT:

Proyecto Ciencia Basica
CB-2012/184060



SSAP2010

(rel. 4.8.0)

versione

PORTABLE

(Installabile su chiavi
USB e senza bisogno di
configurazioni)

Perche' SSAP?

SSAP2010

(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)

Versione 4.8.0 (2016) - Win 32 e 64 Bit

(22 ottobre 2016)

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)

SSAP 2010 non è un software commerciale

Software Interamente Freeware

Gratuito e di utilizzo libero

per Privati, Geologi, Ingegneri, Studenti

e Pubbliche Amministrazioni

Vedasi licenza d'uso su:

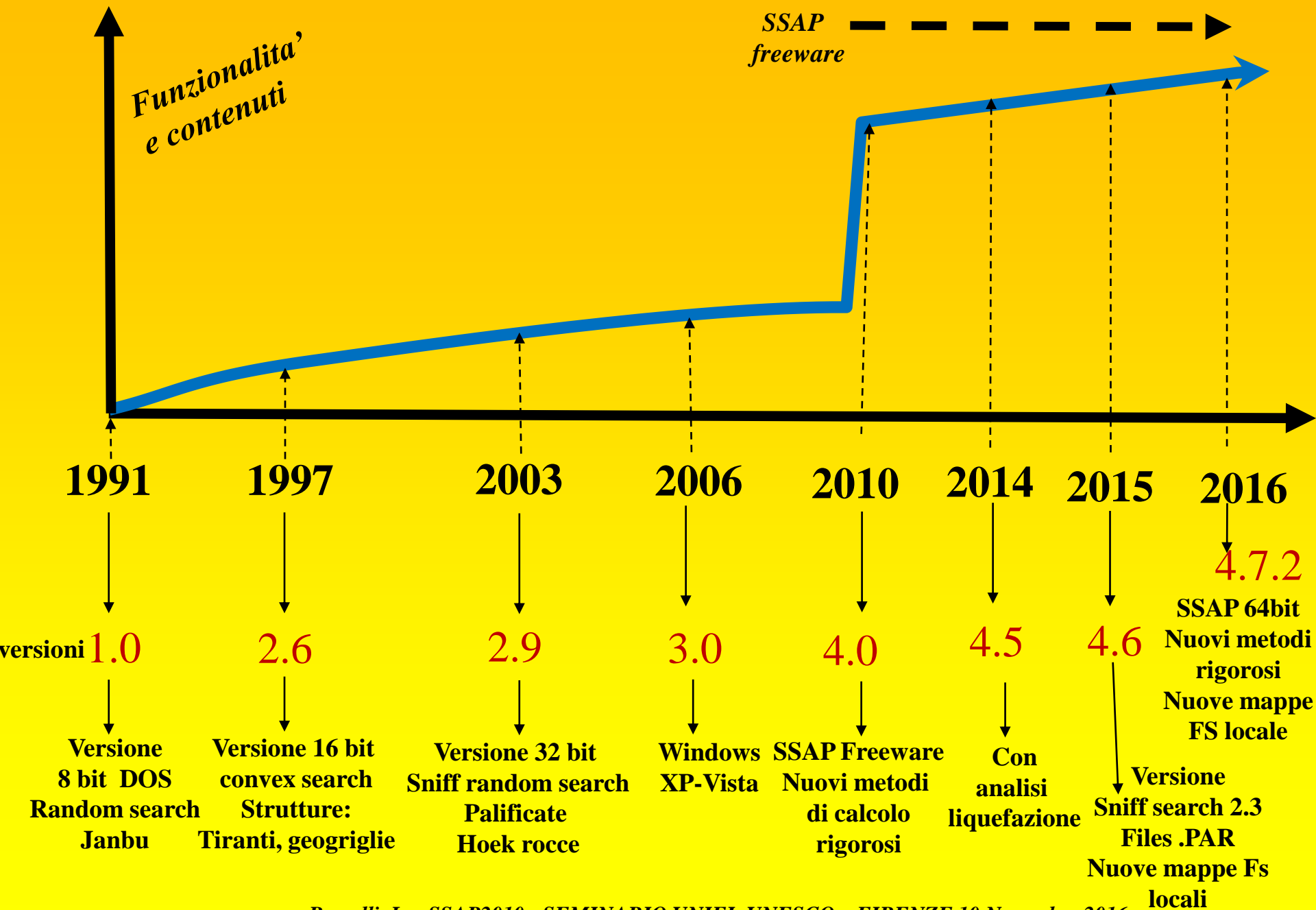
<http://www.ssap.eu/ssap2010licence.pdf>

The screenshot displays the SSAP 2010 software interface, which is a Slope Stability Analysis Program. The main window is titled "SSAP 2010 (versione 4.8.0 - 2016)" and contains several panels and controls:

- AVVIO VERIFICA:** Includes buttons for "VERIFICA GLOBALE" and "VERIFICA SINGOLA".
- RISULTATI:** Includes buttons for "DIAGRAMMI FORZE", "MAPPA PRESSIONE FLUIDI", "VEDI GRAFICI SUPERFICI", and "GENERA / VEDI MAPPA Fs LOCALE".
- MODELLO PENDIO:** Includes a "LEGGI MODELLO" button and a 3D terrain model visualization.
- PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI:** Shows the "Morgestern - Price (1965)" model with coefficients: ORIZZONTALE (K_h): 0.0000 and VERTICALE (K_v): 0.0000. It also shows the "Sniff Random Search (SRS)" engine and various search parameters like "ZONA DI INIZIO" and "ZONA DI TERMINAZIONE".
- RISULTATI IN TEMPO REALE:** Displays "Fs ITERATIVO: 1.6178" and "Fs Min. INTERVALLO Fs delle 10 SUPERFICI CON MINOR Fs: 1.4342 - 1.5126". It also shows the number of surfaces generated and verified: "n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE: 2108 di 10000".
- SETUP VERIFICA:** Includes a "GESTIONE ACQUIFERI" section with a graph of $x) = \lambda f(x) L(x)$ and a "STRUMENTI" section with a wrench icon.
- STABILITÀ SSAP:** A detailed control panel on the right with various settings for "TIRANTI - ANCORAGGI", "PALIFICATE", "SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO", "TENSION CRACKS TESTA PENDIO", and "FORZE AGGIUNTIVE PER SUPERFICIE SINGOLA". It includes a "Fattore di riduzione Fp (NTC2008)" and a "Distribuzione resistenza" section.

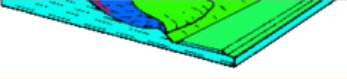
At the bottom, there is a "MESSAGGI" section with a suggestion: "SUGGERIMENTI: effettuata una verifica di stabilità è possibile generare un rapporto (file di testo) con tutti i risultati e anche una serie di file DXF con i grafici e esportare un file con le coordinate della superficie critica." The interface also includes a "HELP" button and a "VEDEI RISULTATI TEMPORANEI" button.

Storia e evoluzione del codice SSAP .. Continua...



SSAP2010 - news and bug fix

www.ssap.eu/newsandbugsfix.html



[\[torna alla Home page\]](#)

ssap2010 (rel. 4.x.x , 2010-2016).

SI CONSIGLIANO GLI UTENTI DI TENERE SEMPRE AGGIORNATO IL PACCHETTO SSAP INSTALLATO....!!

Cronologia - Novità e bug fixes.

(si ricorda in [area download](#) è possibile sempre scaricare la versione più aggiornata del programma con la correzione dei seguenti bugs o con le seguenti funzionalità aggiunte):

- 10-04-2016: versione 4.7.2 SSAP2010.exe -PORTABLE- Aggiornamento pagina download e programma di installazione.
 - Nuovo programma di installazione automatica disponibile nella pagina di Download. In aggiunta viene messo a disposizione una versione totalmente Portable del pacchetto di installazione. E' quindi fornito anche il pacchetto completo in un solo file .ZIP compresso che puo' essere scompattato dove lo si desidera. Vedasi le istruzioni di installazione nella appendice H del manuale, per la selezione corretta delle cartelle che sono compatibili per ospitare la installazione manuale di SSAP.
- 09-04-2016: versione 4.7.2 SSAP2010.exe -PORTABLE- Aggiornamento pacchetto di installazione
 - Correzione procedura calcolo della funzione del fattore $Rho(x)$ nei grafici delle forze e pressioni relativi alla superficie con F_s minimo individuata. Il bug riscontrato, e corretto, non influenzava comunque il calcolo di F_s . Segnalazione anomalia da aprte del Dott. Geol. Gianluca Giovannelli, che ringrazio molto.
 - Nuovo algoritmo per il calcolo della distribuzione della pressione normale efficace (N') sulla superficie di scorrimento.
 - Alcune ottimizzazioni del codice sorgente per un miglior redimento dei tempi di calcolo.
 - Nel grafico della distribuzione del valore di FS locale, o di OSR, sulla superficie individuata con FS globale minimo, viene da adesso riportata tutta la stratigrafia completa del pendio, e non piu' la sola superficie topografica.
 - Aggiornamento del pacchetto GNXPLOT alla versione 5.1 del febbraio 2016.
 - Rendering grafico di GNUXPLOT con terminale WXT per maggiore compatibilita' con windows 10. Mantiene la possibilita' di salvare i grafici come PDF.
 - Aggiornameto pacchetto QCAD alla versione 3.13 del marzo 2016.
 - (SI CONSIGLIA VIVAMENTE L'AGGIORNAMENTO DEL PACCHETTO SSAP2010).
- 19-03-2016: versione 4.7.2 SSAP2010.exe -PORTABLE- Aggiornamento pacchetto di installazione
 - Due nuovi metodi di calcolo Rigorosi per la analisi all'equilibrio limite avanzata
Nella versione 4.7.2 di SSAP sono stati introdotti 2 nuovi metodi di calcolo rigorosi: Il metodo Chen-Morgestern (1983) che sostituisce il metodo Correia (1988); Un nuovo metodo sviluppato e proposto dall'autore qui per la prima volta come evoluzione e generalizzazione del metodo Morgestern-Price (1965) e Chen-Morgestern (1983). Entrambi i nuovi metodi sono descritti in dettaglio nella nuova appendice I del manuale insieme a una analisi comparativa tra i vari metodi rigorosi sopra un

Cronologia evoluzione ssap dal ottobre 2010 cambiamenti e correzioni

<http://www.ssap.eu/newsandbugsfix.html>

Metodi verifiche di stabilita' secondo il Limit Equilibrium Method (LEM) Novità introdotte da SSAP... fino all'ottobre 2016

SSAP 2010 (versione 4.8.0 - 2016)

SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM
release 4.8.0 (c) (1991-2016)
 Build No. 8885 Windows 64 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
 MAPPA PRESSIONE FLUIDI
 VEDI GRAFICI SUPERFICI
 GENERA / VEDI MAPPA F_s LOCALE

MONITOR VERIFICA

MODELLO PENDIO
 LEGGI MODELLO
 VEDI MODELLO
 HELP
 ESCI dal PROGRAMMA

MODELLO PENDIO
 MODELLO DI CALCOLO: **ES6.MOD**
 MODELLO DI CALCOLO: **Morgestern - Price (1965)**
 COEFFICIENTI SISMICI: ORIZZONTALE (K_h): 0.0000
 VERTICALE (K_v): 0.0000 (K_v assunto con segno positivo)

PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI
 MOTORE DI RICERCA SUPERFICI: **Sniff Random Search (SRS)**
 ZONA DI INIZIO - Progressive - (m): da 0.10 a 108.10
 ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - (m): da 12.10 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 (λ , F_s0): λ

RISULTATI IN TEMPO REALE
 F_s ITERATIVO: 1.6178 **F_s Min.**
 INTERVALLO F_s delle 10 SUPERFICI CON MINOR F_s : **1.4342 - 1.5126**
 n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE: **2108 di 10000**
 % EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA: **16.975 -- 95.08**

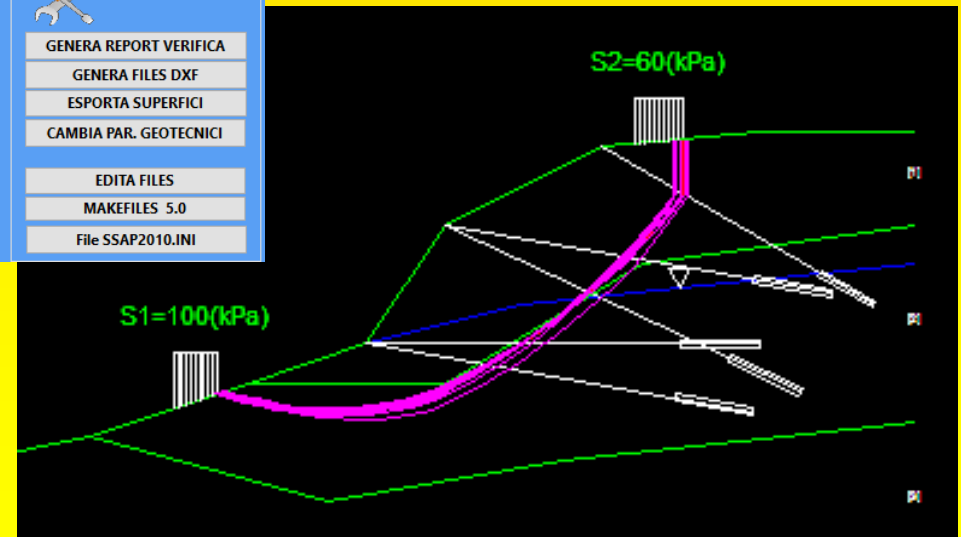
PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETATE(%): 21.08

STOP VERIFICA VEDI RISULTATI TEMPORANEI

SETUP VERIFICA
 INFO
 OPZIONI
 PARAMETRI
 GESTIONE ACQUIFERI
 OPZIONI AGGIUNTIVE
 SALVA IMPOSTAZIONI
 CARICA IMPOSTAZIONI

STRUMENTI
 GENERA REPORT VERIFICA
 GENERA FILES DXF
 ESPORTA SUPERFICI
 CAMBIA PAR. GEOTECNICI
 EDITA FILES
 MAKEFILES 5.0
 File SSAP2010.INI

MESSAGGI
 SUGGERIMENTI: effettuata una verifica di stabilita' è possibile generare un rapporto (file di testo) con tutti i risultati e anche una serie di file DXF con i grafici e esportare un file con le coordinate della superficie critica.



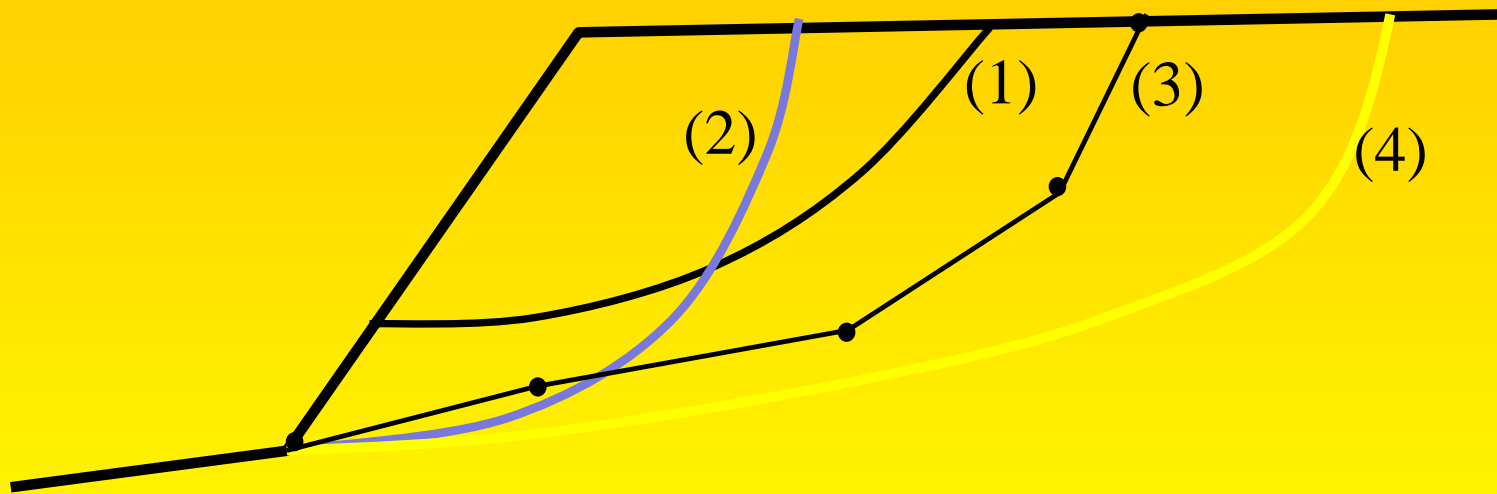
Contenuti Originali di SSAP nel panorame dei software e teoria delle Verifiche di stabilita' LEM

- 3 Motori di generazione superfici Random tra cui Uno totalmente originale (SNIFF RANDOM SEARCH, borselli 1997-2016)
- Tecniche di generazione integrata e controllo rispetto teoria spinta delle terre integrata nella metodologia LEM
- 7 Metodi di calcolo LEM rigorosi ottenuti dalla modifica dell'algoritmo di Zang(2005) per il calcolo efficiente di FS
- Nuovo metodo LEM rigoroso (Borselli 2016)
- Controlli di significatività fisica distribuzioni $E(x)$ e $T(x)$ come criterio di convergenza FS

- **Mappe a raster a colori distribuzione spaziale F_s locale con una innovativa metodologia (Quasi FEM , Borselli 2013)**
- **4 criteri di rottura per terreni, ammassi rocciosi fratturati, suoli liquefacibili**
- **Metodo Sarma(1973) generalizzato a tutti i metodi calcolo LEM per il calcolo del coefficiente sismico orizzontale critico tale che abbiamo $F_s=1$**
- **Verifiche di stabilita' in condizioni di liquefazione post sisma per effetti di liquefazione totale o parziale.**



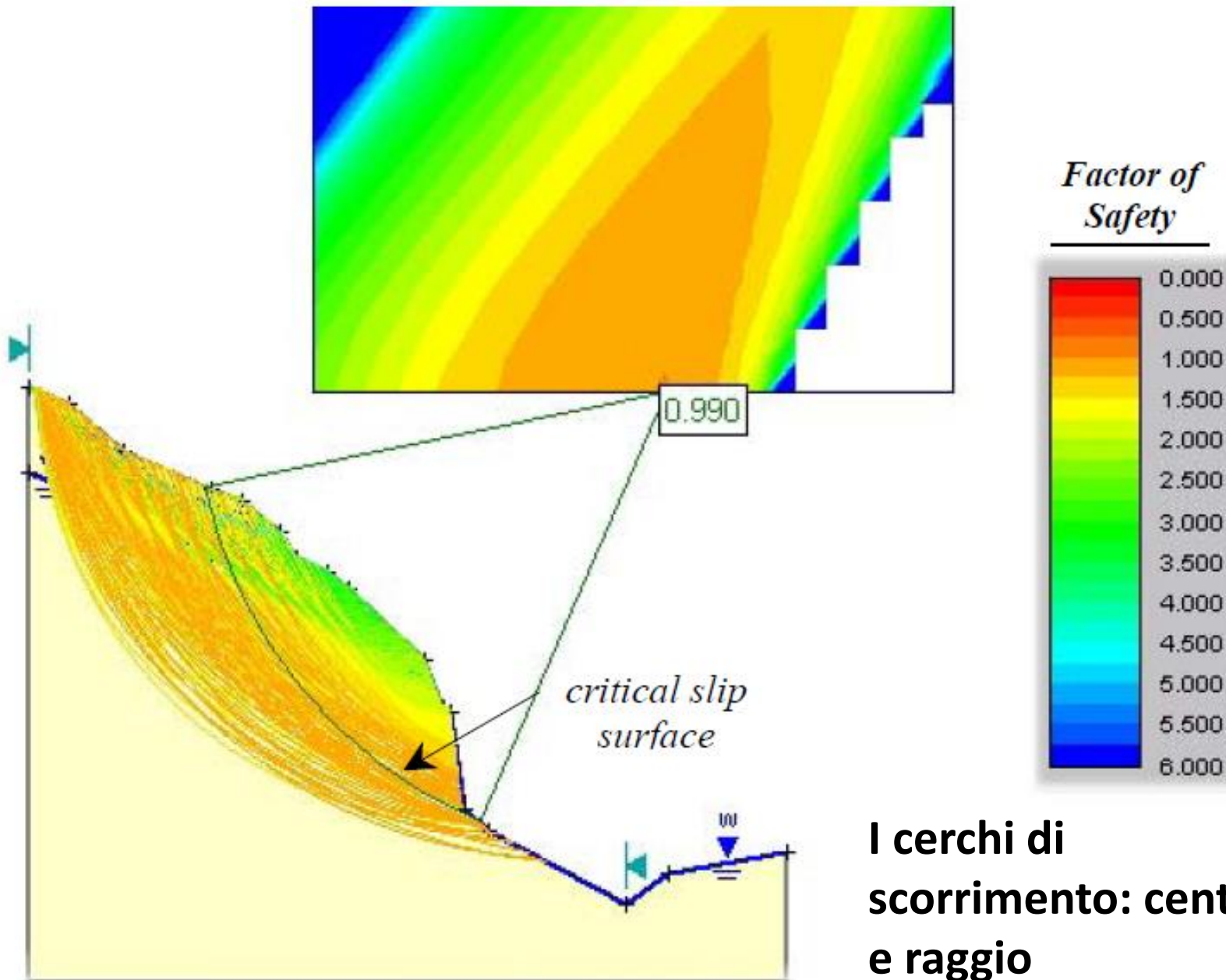
Fig. 2.2. Scivolamenti: a) di traslazione; b) di rotazione; c) composti



Esistono vari 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).

E' importante considerare che le forme sopra indicate sono associate a osservazioni dirette della morfologia di movimenti di massa in campo, fatte da geomorfologi, geologi e ingegneri nel corso degli ultimi 100 anni...



Griglia di ricerca

Vincolato al passo prefissato:

ΔX

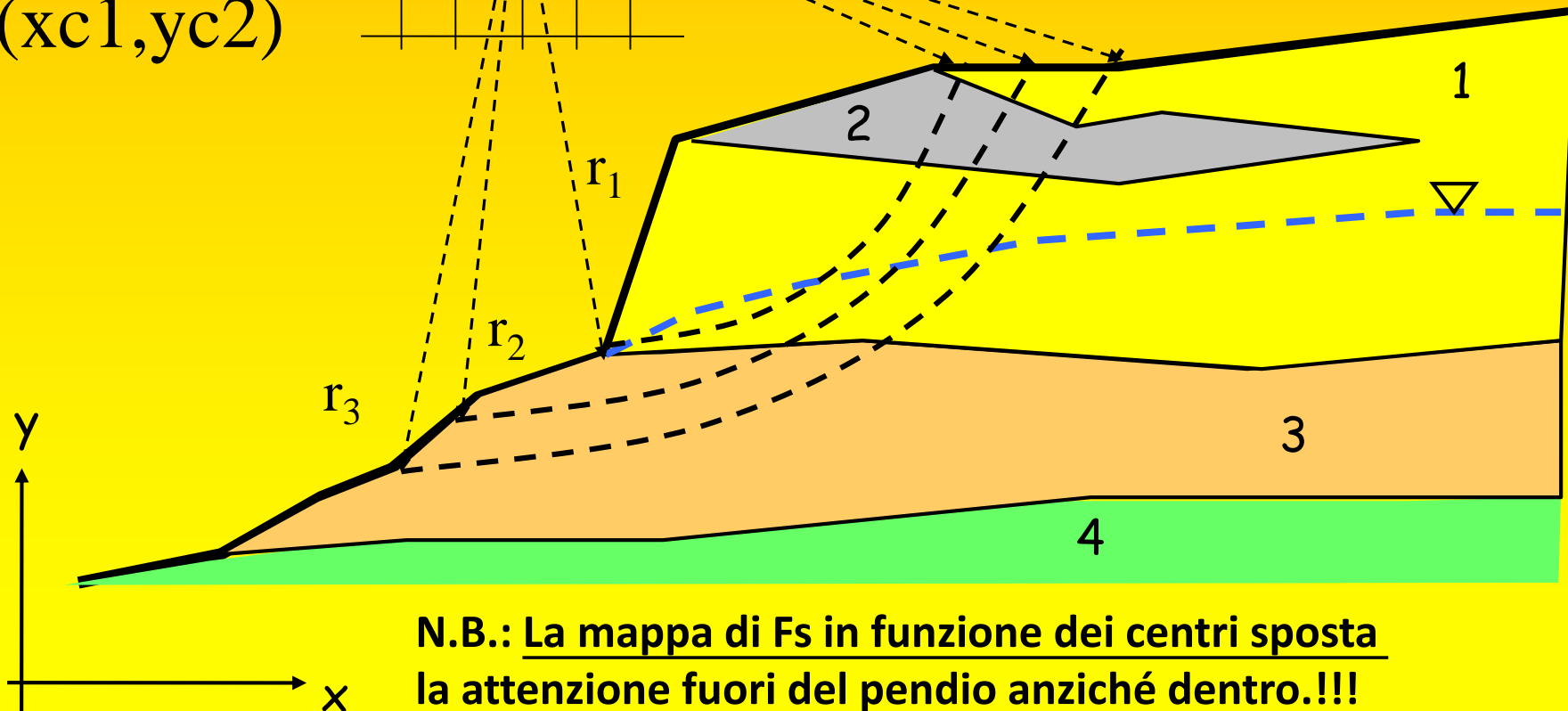
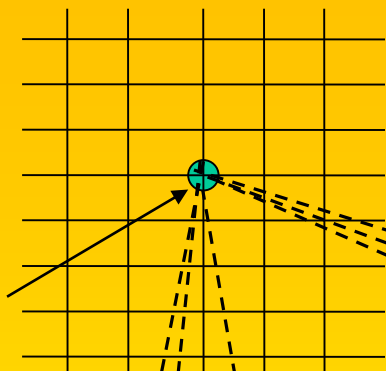
ΔY

Δr oppure r (random)

ΔX

ΔY

$c(xc1, yc2)$

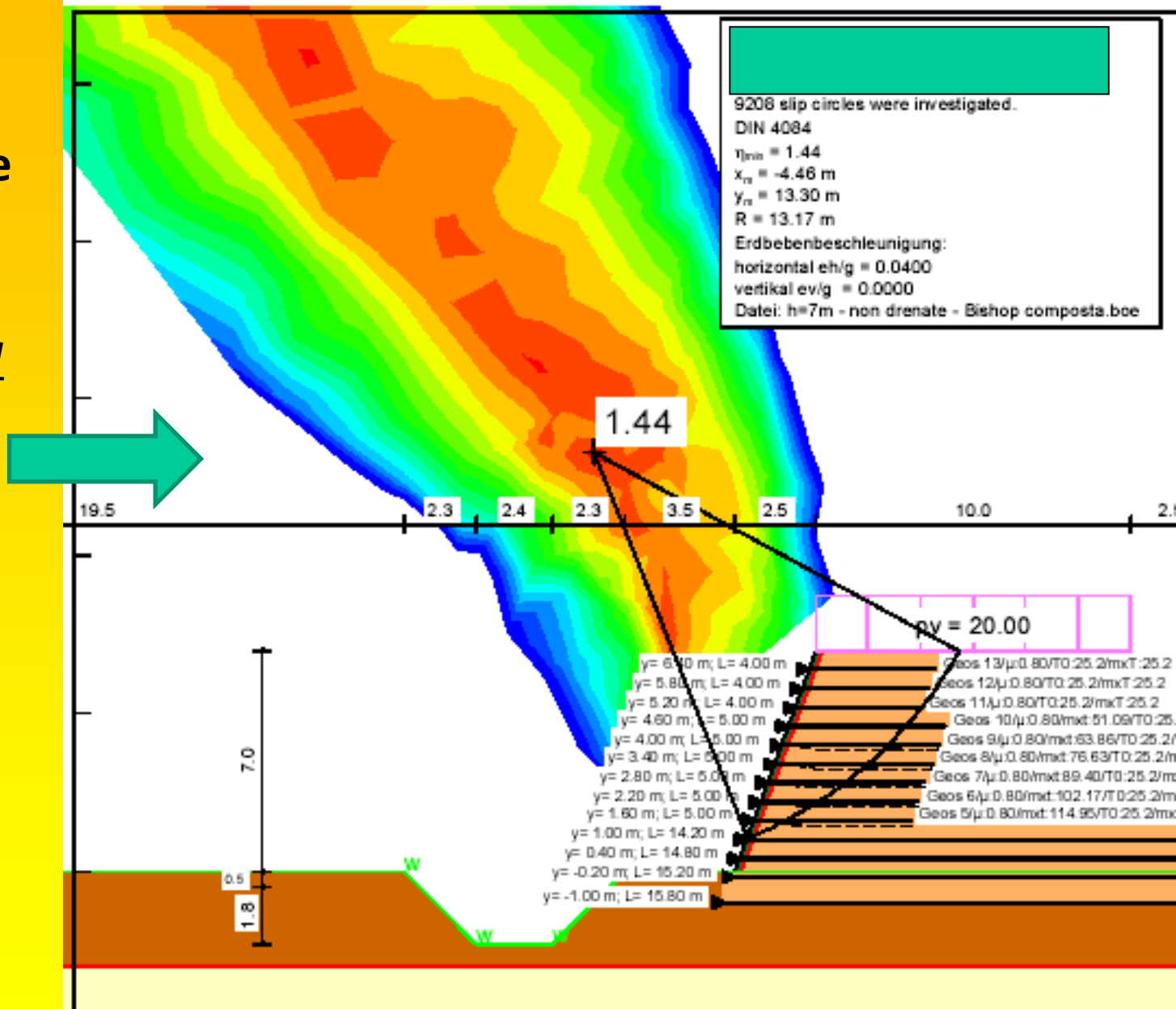


N.B.: La mappa di Fs in funzione dei centri sposta la attenzione fuori del pendio anziché dentro!!!

Le forme circolari sono solo una frazione delle forme possibili

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

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

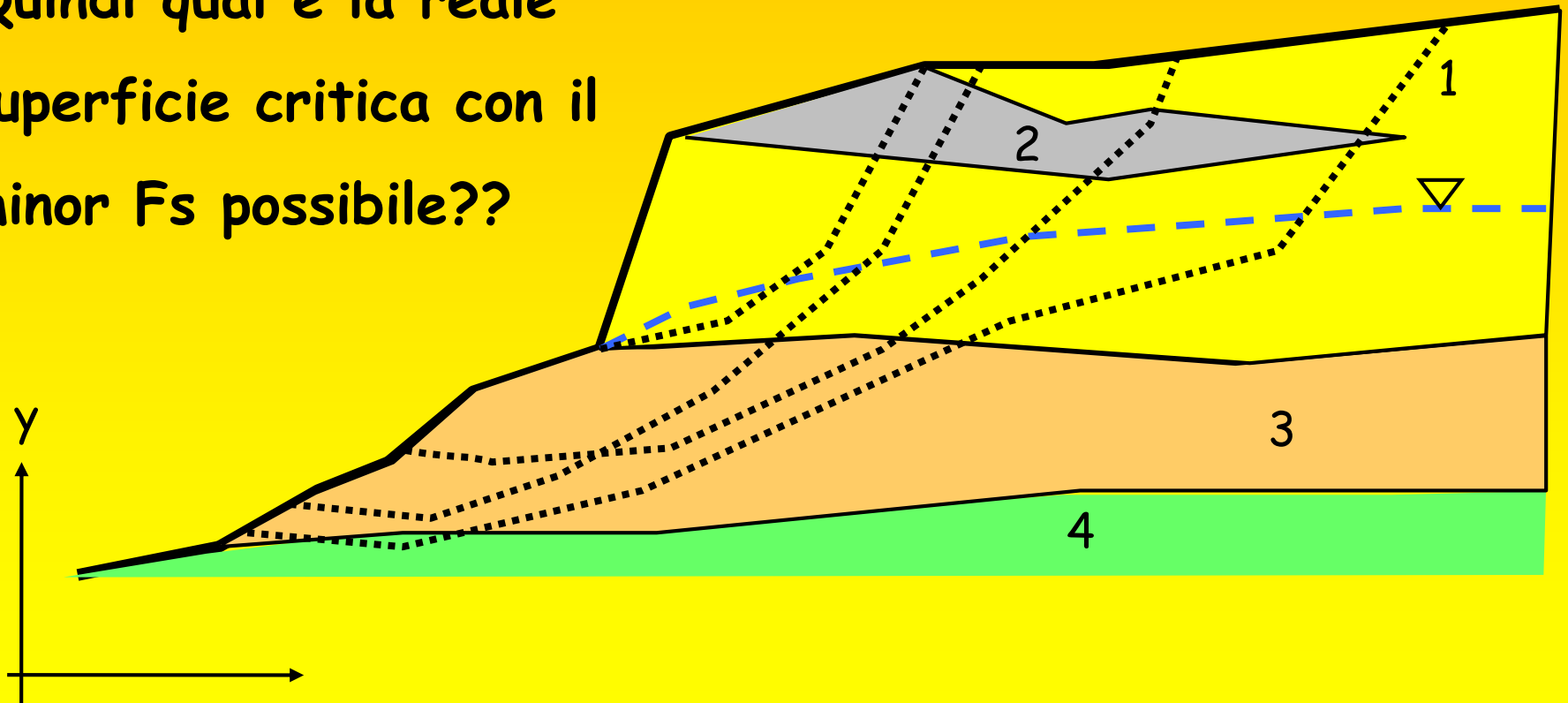


Superfici di forma generica..

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??



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.

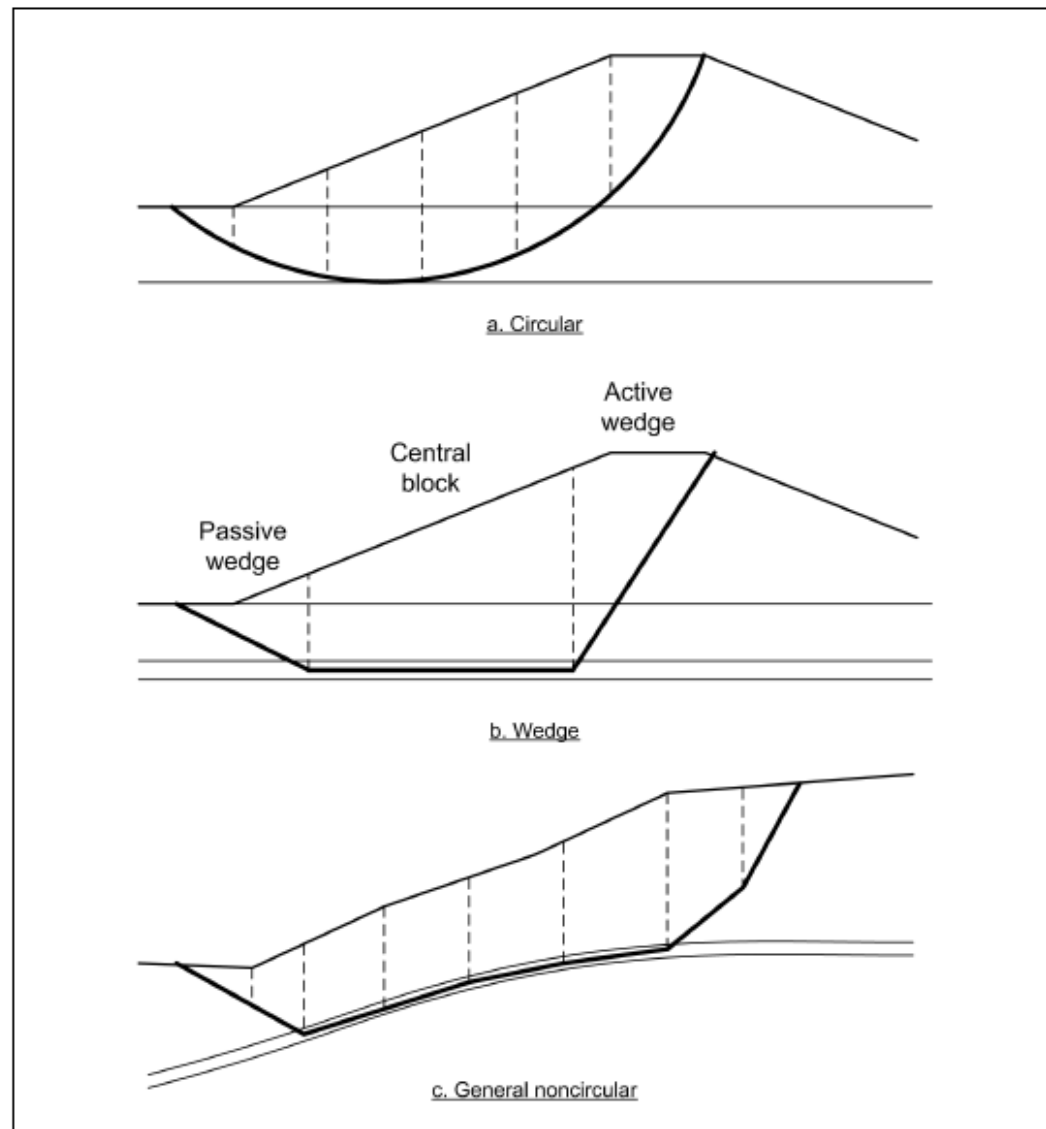
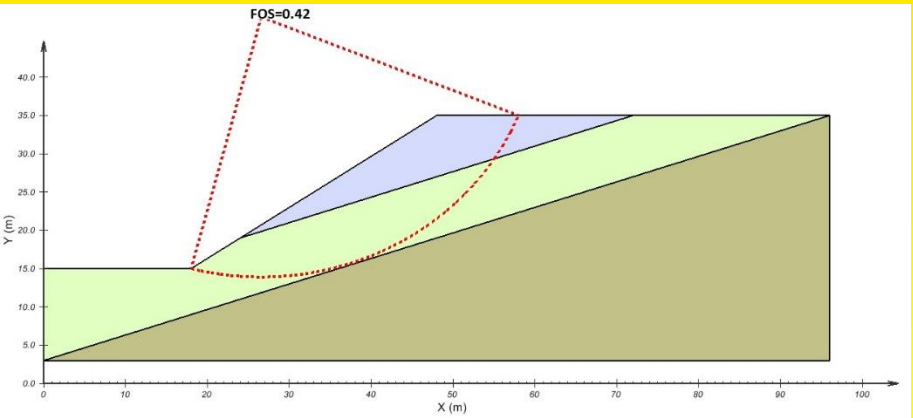
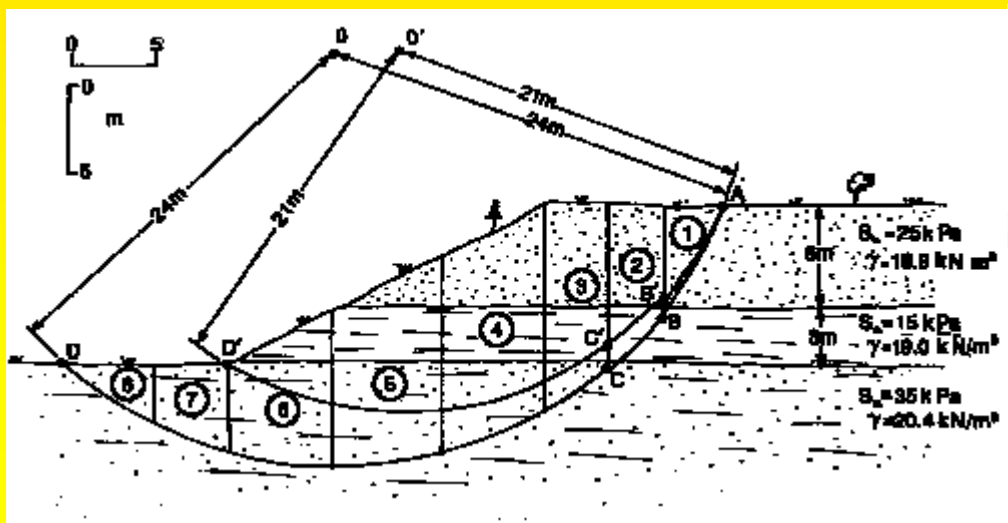
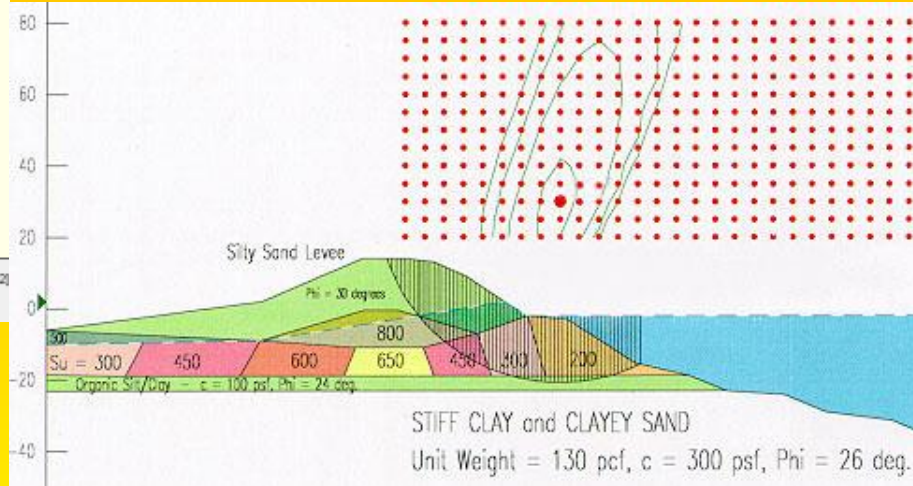
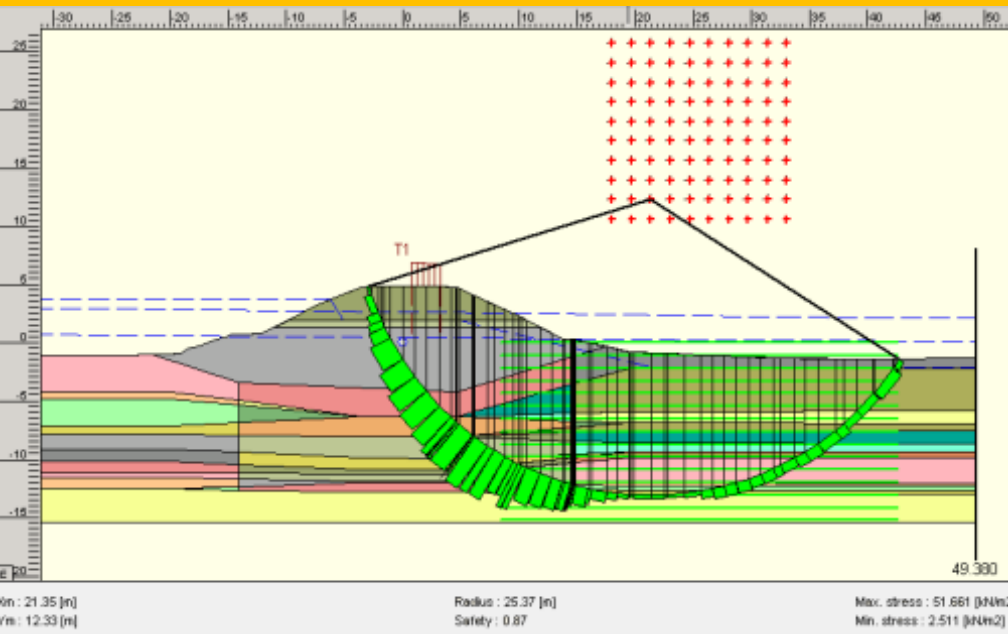


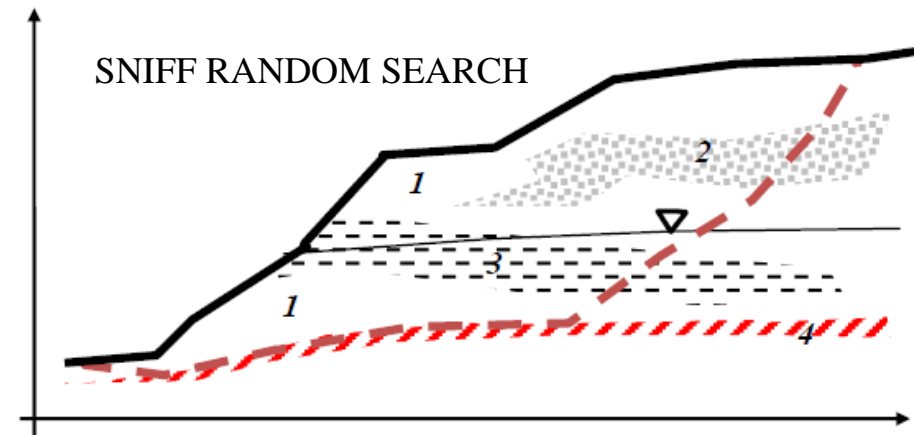
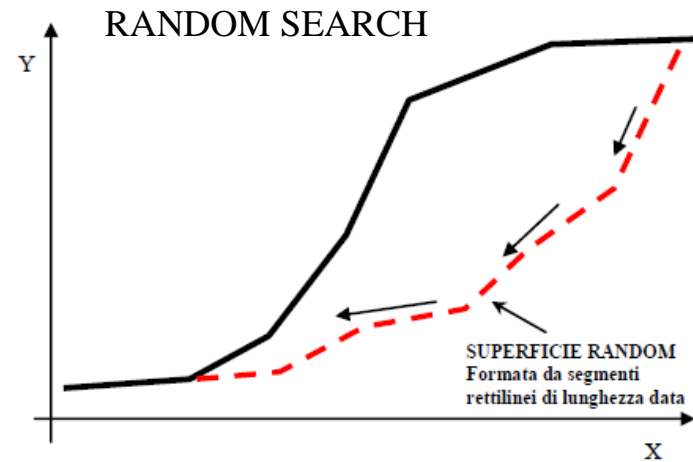
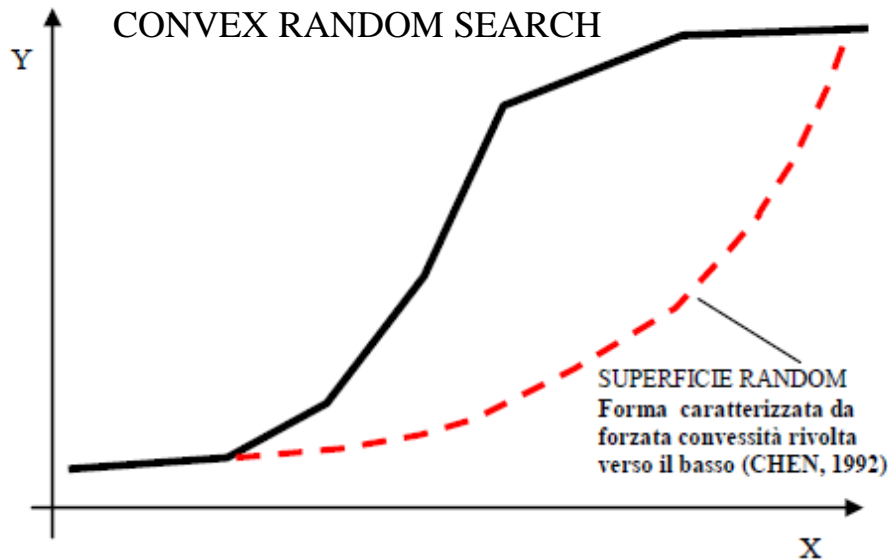
Figure C-3. Shapes for potential slip surfaces

**E' sicuro che tutto e' possibile con sole superfici circolari ??
 Quando la sola complessita' stratigrafica e' cosi Dominante?**



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)



N.B.: Testati due nuovi motori di ricerca che saranno resi disponibili a partire dalla versione 5.0 di SSAP...

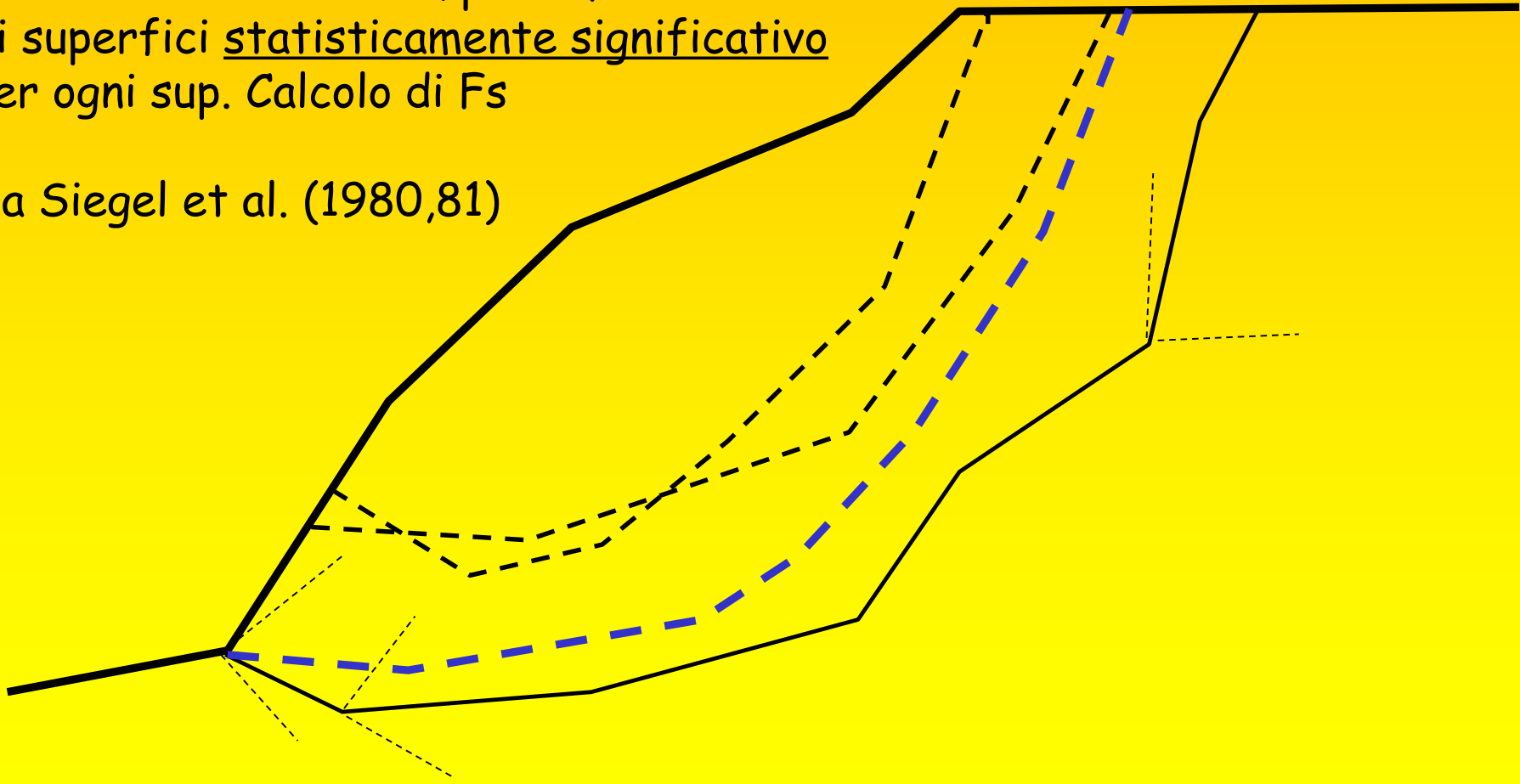
Superfici generiche - Generazione random montecarlo

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

Generazione di una campione finito
di superfici statisticamente significativo

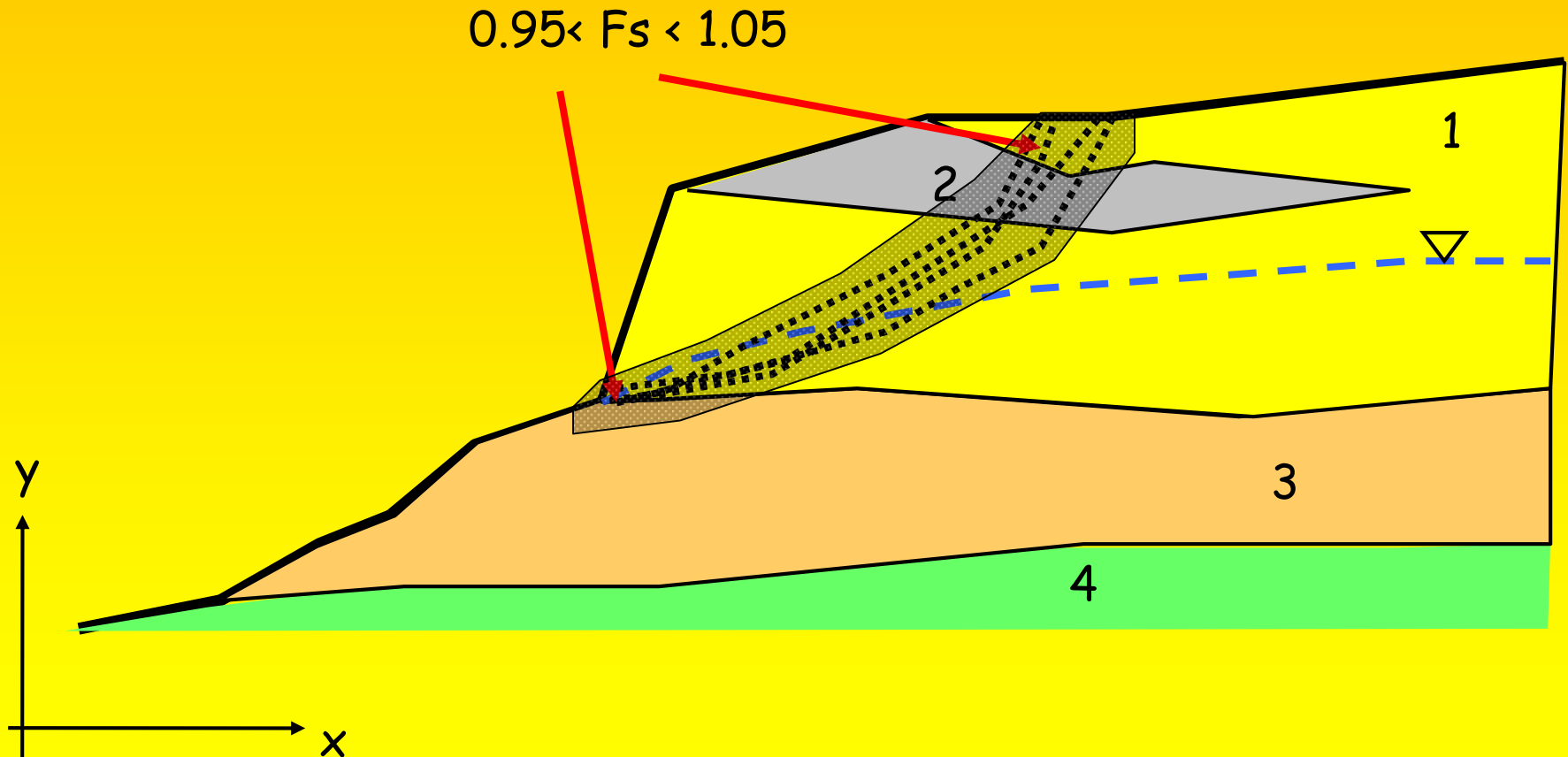
Per ogni sup. Calcolo di Fs

Da Siegel et al. (1980,81)



Dopo la generazione di un campione significativo di superfici

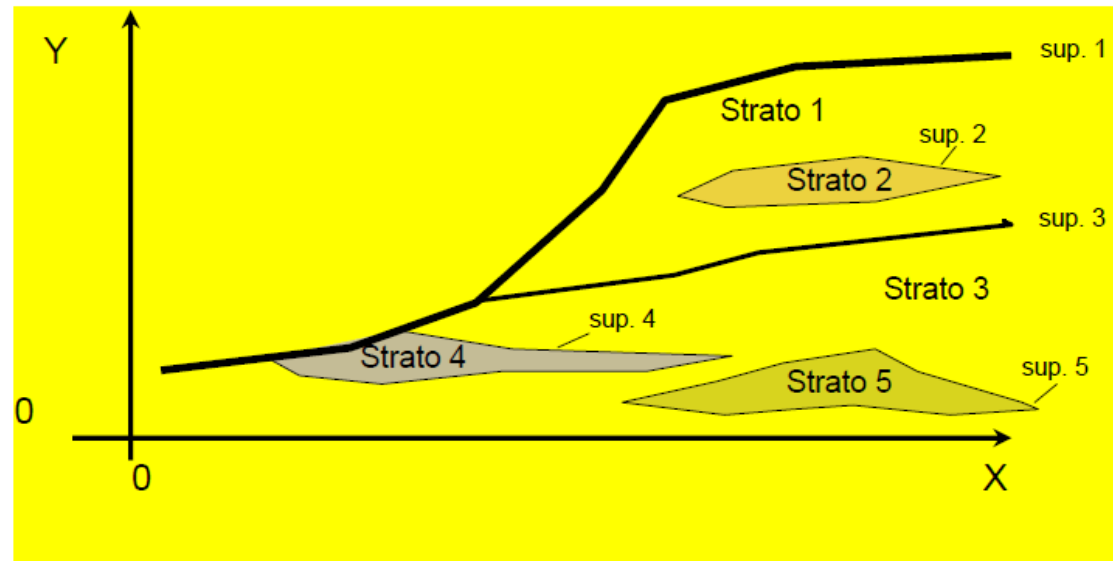
Quelle per le quali abbiamo i minori F_s identificano
Una, o più zone critiche entro il pendio



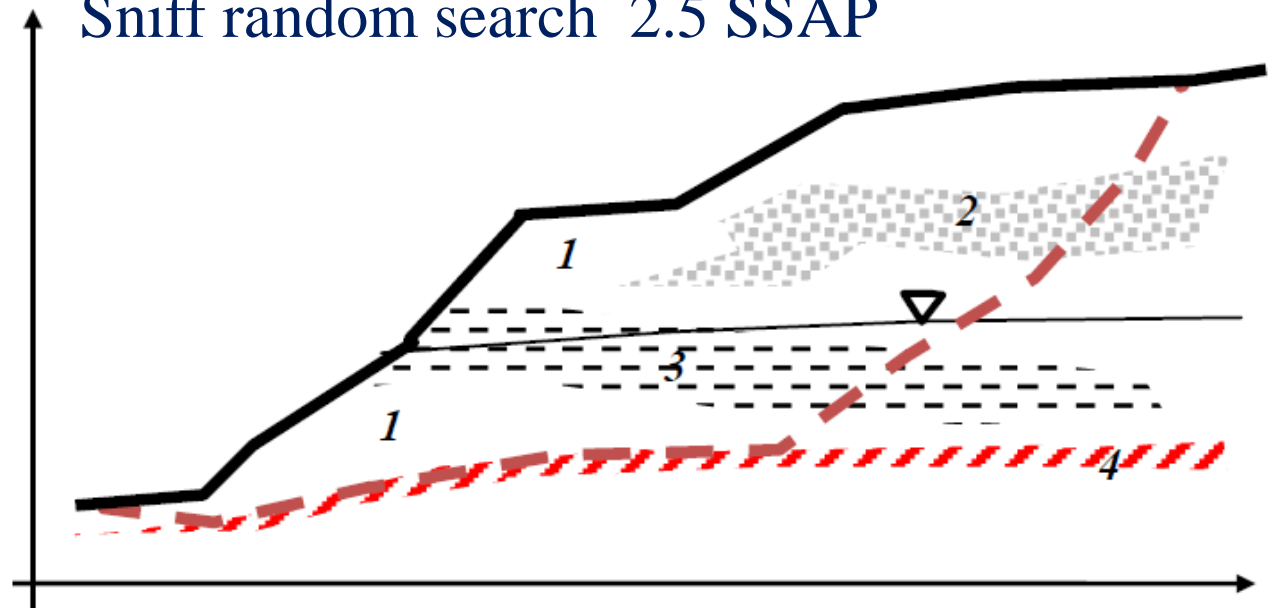
Complessità stratigrafica

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...



Sniff random search 2.5 SSAP



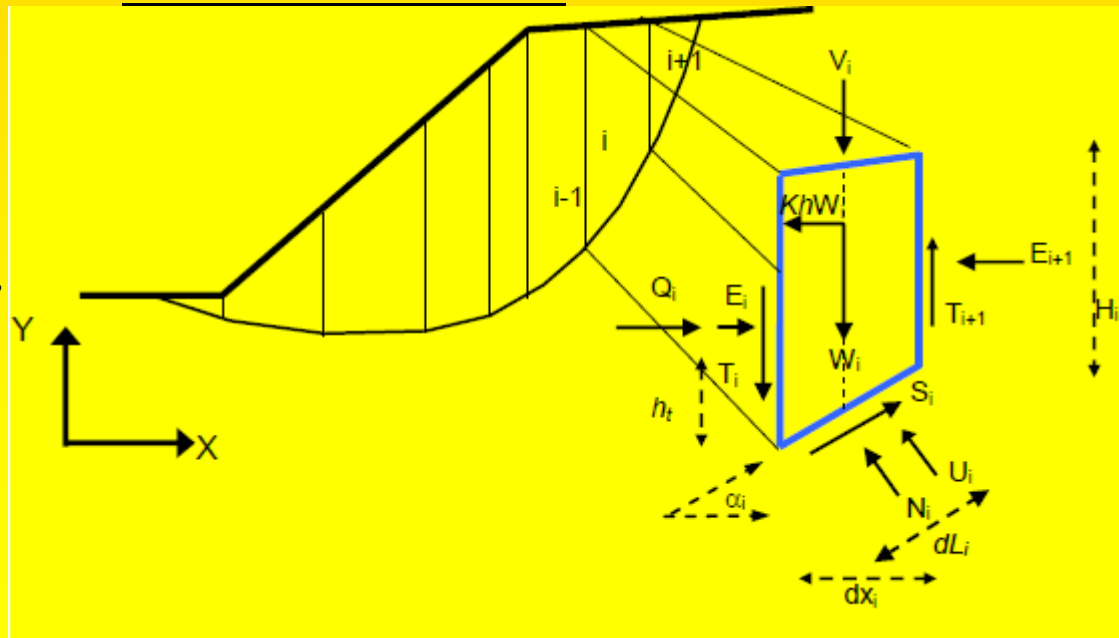
Caratteristiche base di SSAP 2010

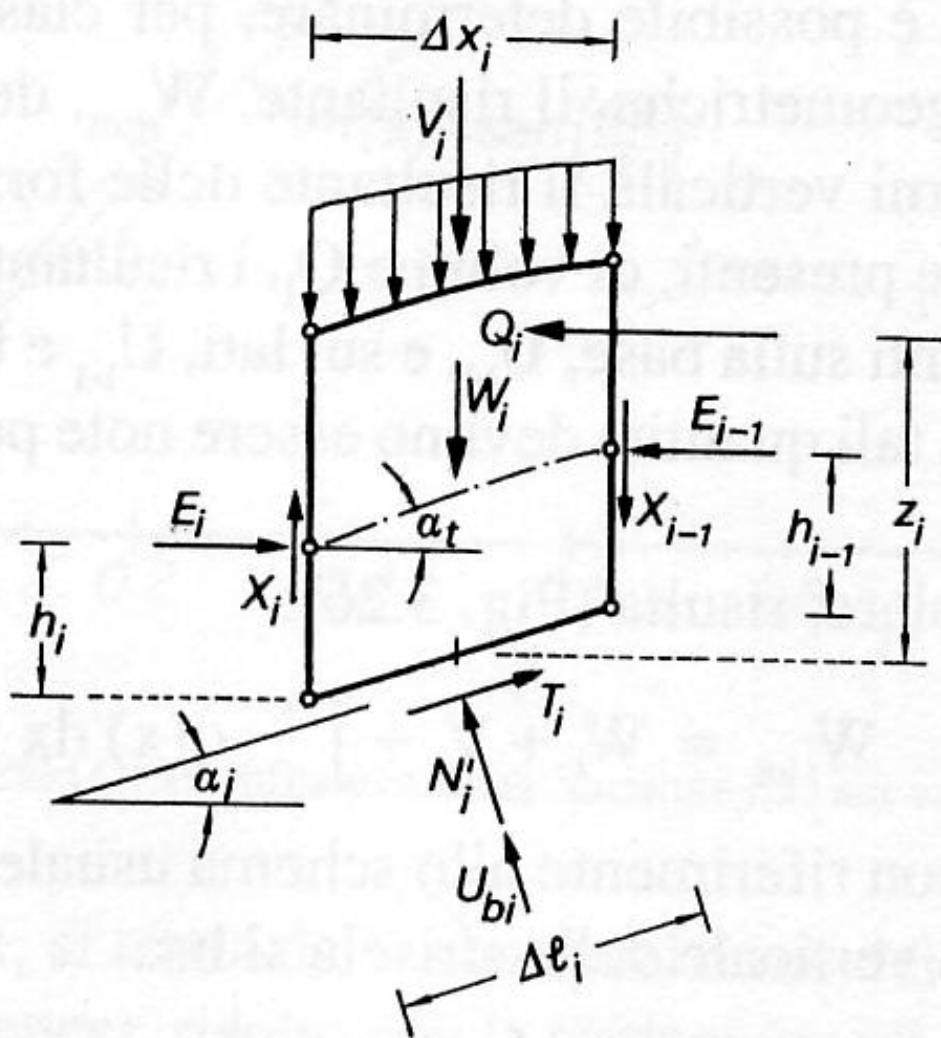
- Verifiche di stabilità dei pendii con il metodo dell'equilibrio limite (Limit Equilibrium Method -LEM)
- Pendii in terreni sciolti e/o con ammassi rocciosi fratturati, e/o condizioni di liquefazione
- Condizioni sismiche (metodo pseudo statico)

7 metodi di calcolo LEM - RIGOROSI....!!

- * Janbu rigoroso(1973);
- * Spencer (1973)
- * Sarma I (1973);
- * Morgenstern & Price (1965);
- * Chen & Morgestern (1983)
- * Sarma II (1979)
- * Borselli (2016)**

** incluso a partire dalla versione SSAP 4.7.2





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

$h_i(x)$ = 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

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

Janbu(1973)

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

Metodi di calcolo di FS - confronto
Metodi che garantiscono



$$\sum V_i = 0 \quad \sum M_i = 0$$
$$\sum H_i = 0$$

$$T(x) = E(x) \tan \alpha_t + h_t \frac{dE(x)}{dx} + \dots$$

Janbu Rigoroso (1973)
di uso generale... ..

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

Spencer (1967) .. *Di uso generale..quasi uno standard*

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

Morgestern & Price (1965) .. *Forse il migliore*

$$T(x) = \lambda \left[\bar{c}' H(x) + \left((E(x) - Pw(x)) \tan \bar{\phi}' \right) \right] \frac{1}{F_s}$$

Sarma I (1973)



Validi e stabili...



$$T(x) = \lambda f(x) \left[\bar{c}' H(x) + \left((E(x) - Pw(x)) \tan \bar{\phi}' \right) \right] \frac{1}{F_s}$$

Sarma II (1979)

Metodi di calcolo di FS - confronto
Metodi che garantiscono



$$\begin{array}{l} \sum V_i = 0 \\ \sum H_i = 0 \end{array} \quad \sum M_i = 0$$

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

Morgestern & Price (1965) .. Il classico



$$T(x) = [\lambda f(x) + f_0(x)] E(x)$$

Chen & Morgestern (1983) .. Poco conosciuto, ma e' una evoluzione di Morgestern & Price(1965) .. Presente dalla versione 4.7.2



$$T(x) = \lambda [f(x) + f_1(x)] E(x)$$

Borselli (2016) .. Nuovo!! , evoluzione di di Morgestern & Price(1965) e di Chen e Morgestern (1983).. E' presente dalla versione 4.7.2

(Trattato in dettaglio nel corso avanzato.. Ma vedasi in appendice Appendice I del manuale)

7.1 Introduction

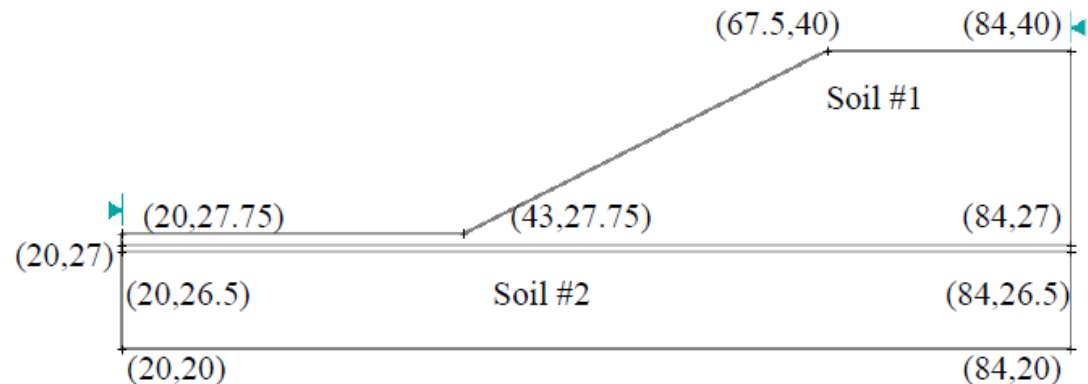
In 1988 a set of 5 basic slope stability problems, together with 5 variants, was distributed both in the Australian Geomechanics profession and overseas as part of a survey sponsored by ACADS (Refs.1,2). This is the ACADS 3(a) problem.

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**

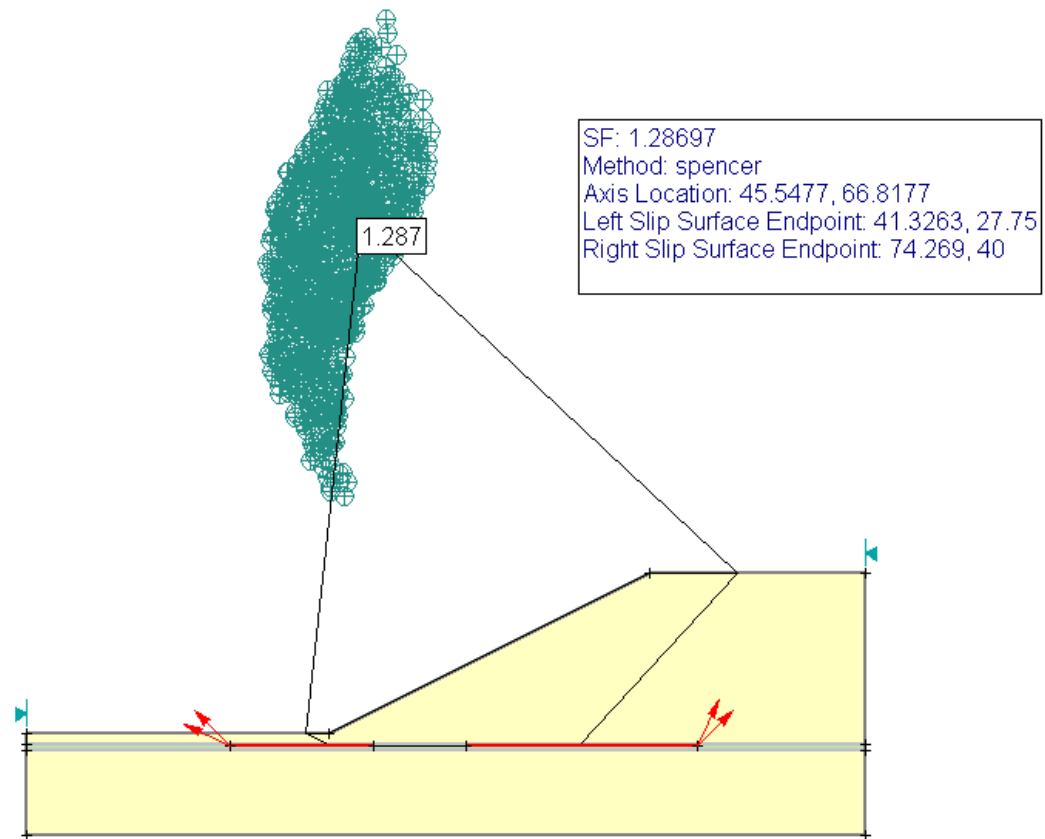
	c' (kN/m ²)	ϕ' (deg.)	γ (kN/m ³)
Soil #1	28.5	20.0	18.84
Soil #2	0	10.0	18.4



Da SLIDE
verification
manuale
Rockscience inc.
(2002)

Pendio da
Fredlund (1977) →

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

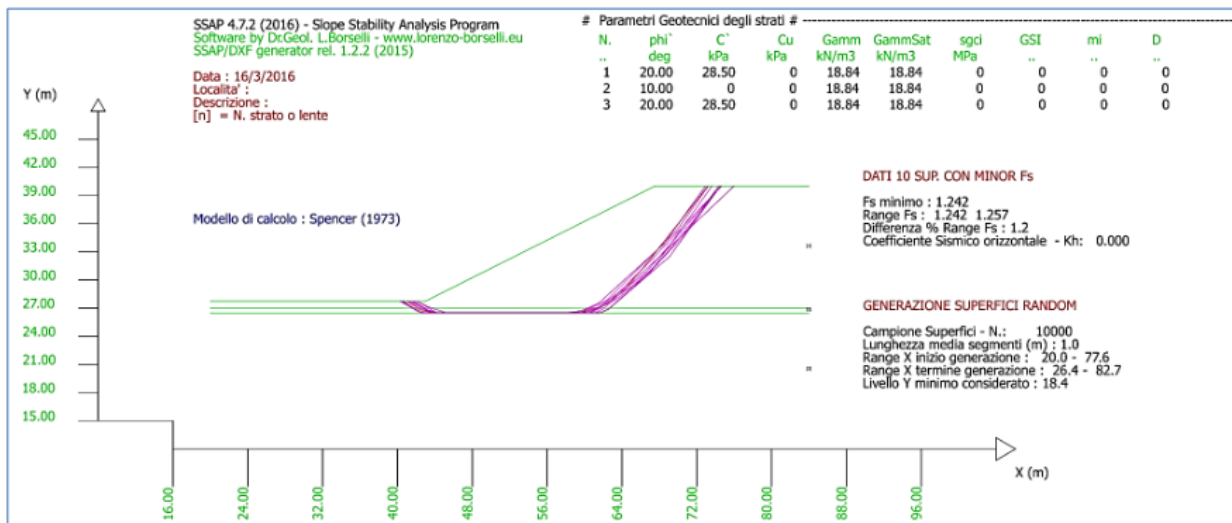
SSAP $F_s=1.244$

Metodi di calcolo di FS - confronto Metodi che garantiscono Una Analisi Comparativa -1



$$\sum V_i = 0 \quad \sum M_i = 0$$

$$\sum H_i = 0$$



Si tratta quindi rilevato poggiate su strato a bassa resistenza. Caso critico, utilizzato nella letteratura internazionale, per testare i programmi di verifica di stabilità (Fredlund 1977). Questo tipo di pendio è normalmente usato come benchmark per i software di analisi di stabilità che non usano superfici esclusivamente circolari e per metodi ad elementi finiti.

Nello studio comparativo viene utilizzato il motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH.

Il pendio è caratterizzato da uno stato molto sottile orizzontale con una resistenza al taglio bassissima (livello torboso..). Sopra di esso un rilevato con coesione e attrito e sotto di esso uno strato molto resistente.

Fig. I.3: Risultato verifica utilizzando motore SNIFF-RANDOM SEARCH con segmenti medi di lunghezza 1m, assenza effetto tension cracks e metodo di calcolo Spencer (1973)

Metodo Spencer (1967,1973) → Fs 1.242

Borselli L.- SSAP2010 - SEMINARIO UNIFI, UNESCO – FIRENZE 10 November 2016

Metodi di calcolo di FS - confronto Metodi che garantiscono



Una Analisi Comparativa -2

$$\sum V_i = 0 \quad \sum M_i = 0$$

$$\sum H_i = 0$$

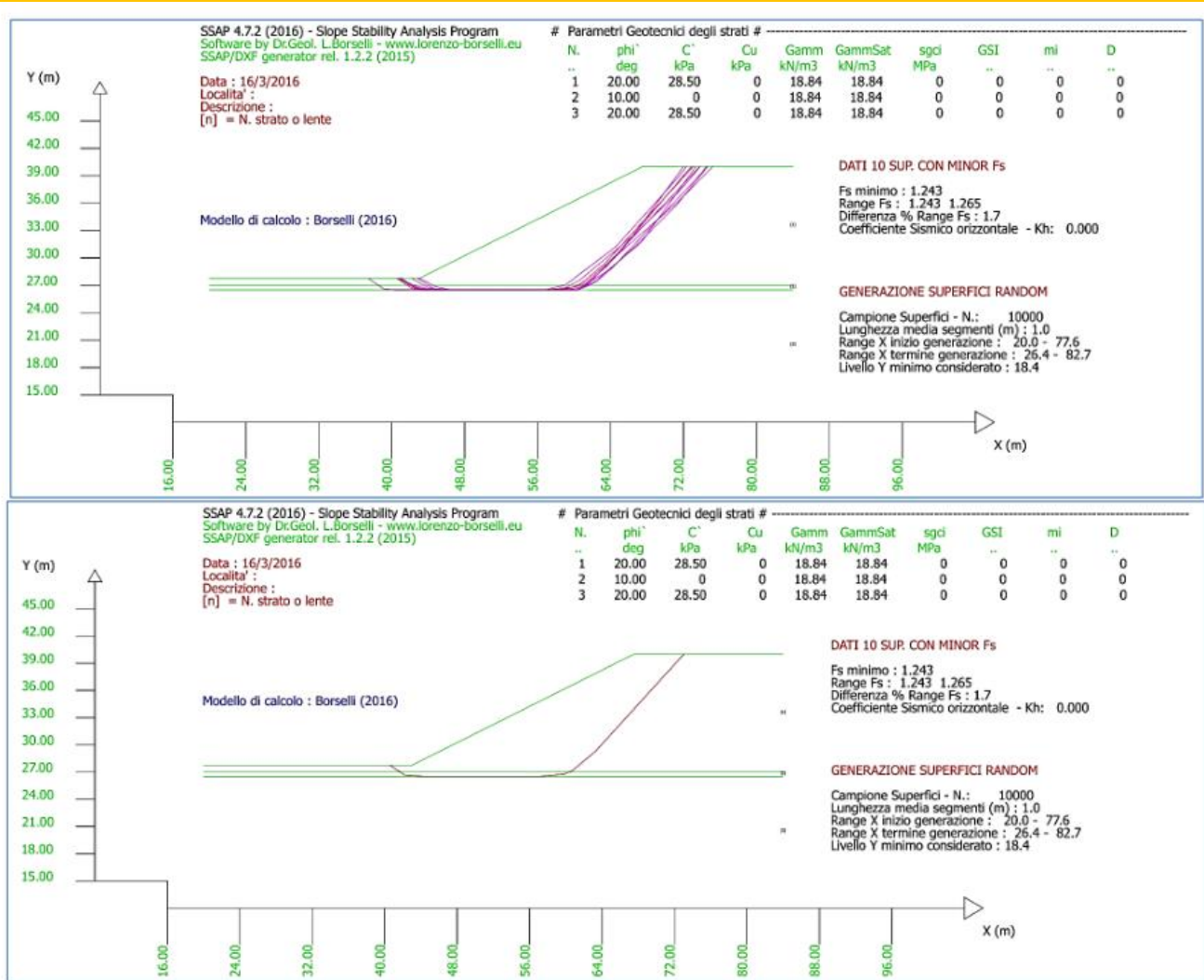


Fig. I.6: Risultato verifica utilizzando motore SNIFF-RANDOM SEARCH con segmenti medi di lunghezza 1m, assenza effetto tension cracks e metodo di calcolo Borselli (2016)

Metodo Borselli (2016) → Fs 1.243

Borselli L.- SSAP2010 - SEMINARIO UNIFI, UNESCO - FIRENZE 10 November 2016

Metodi di calcolo di FS - confronto
 Metodi che garantiscono



$$\sum V_i = 0 \quad \sum M_i = 0$$

$$\sum H_i = 0$$

Una Analisi Comparativa -3

Tabella I.2. Risultati analisi comparativa tra i vari metodi di calcolo rigorosi.

Tipo modello (gruppo)	Metodo di calcolo	FS	lambda	Differenza % Fs rispetto metodo Spencer
I	Spencer (1973)	1.241	0.1660	←
II	Borselli (2016)	1.243	0.1564	+0.16
II	Morgestern –Price (1965)	1.246	0.2313	+0.402
II	Chen-Morgestern (1983)**	1.246	0.2313	+0.402
I	Sarma I (1973)	1.234	0.1107	-0.56
II	Sarma II (1979)	1.238	0.1444	-0.242
III	Jambu Rigoroso (1973)*	1.262	-	+1.692

Note: *il metodo di Janbu rigoroso non fa uso del fattore di scala lambda per la soluzione di FS; **Il metodo di Chen- Morgestern coincide con quello Morgestern-Price nel caso che la pendenza della superficie topografica, agli estremi della superficie di scivolamento, sia uguale a 0 (come nel caso in studio)

Metodi di calcolo di FS - confronto Metodi che garantiscono Una Analisi Comparativa - 4



$$\sum V_i = 0 \quad \sum M_i = 0$$

$$\sum H_i = 0$$

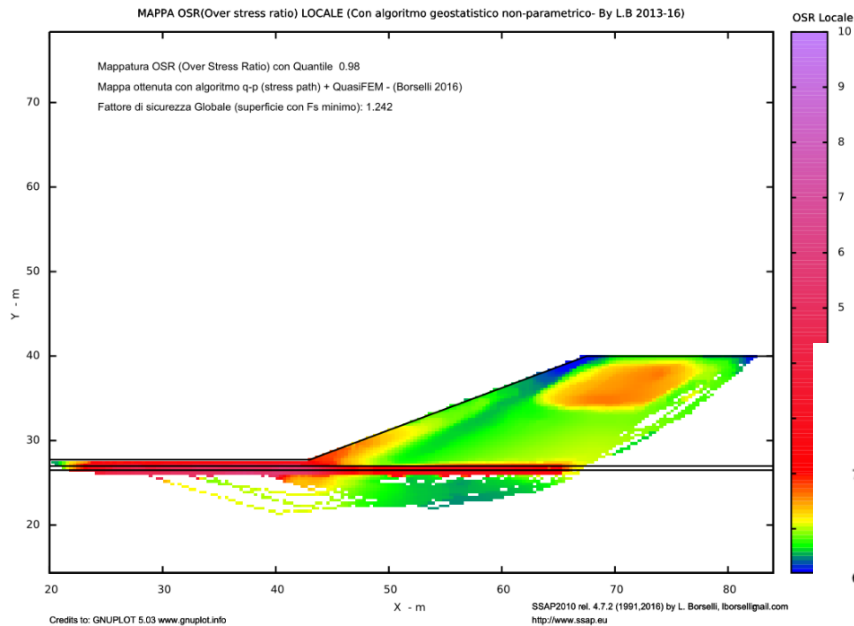


Fig. 1.5: Risultato verifica utilizzando motore SNIFF-RANDOM SEARCH con segmenti medi di lunghezza 1m, assenza effetto tension cracks e metodo di calcolo Spencer (1973): mappa del OSR (over stress ratio)

Risultato con metodo Spencer

Risultato con método Borselli (2016)

**Mappa Over stress ratio
(per dettagli vedasi manuale SSAP 4.7.2
Appendice I)**

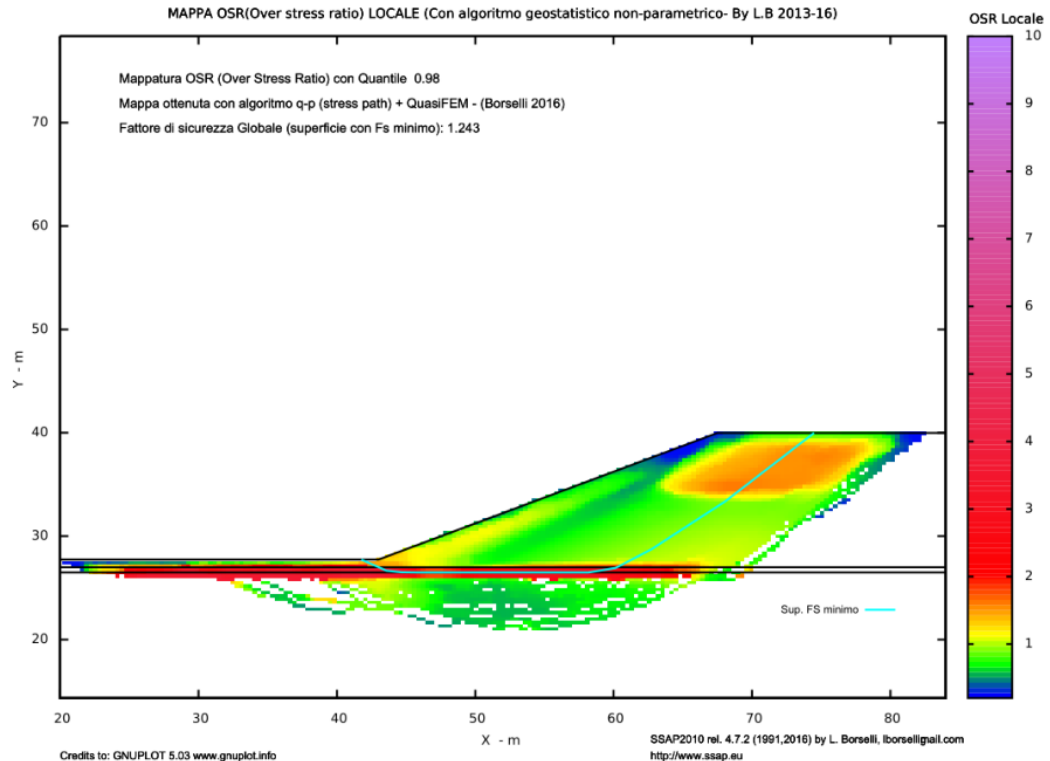


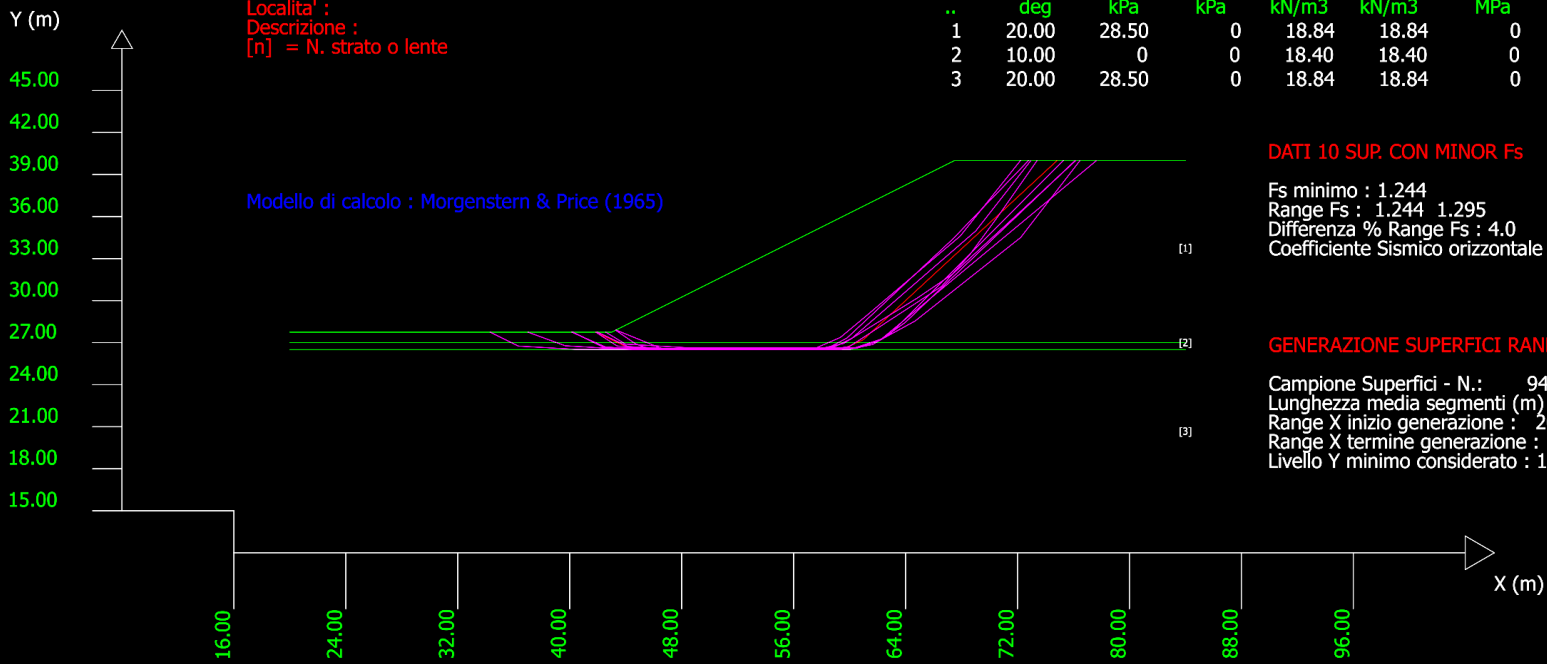
Fig. 1.8: Risultato verifica utilizzando motore SNIFF-RANDOM SEARCH con segmenti medi di lunghezza 1m, assenza effetto tension cracks e metodo di calcolo Borselli (2016): mappa del OSR (over stress ratio)

Complessità algoritmi.

SSAP 4.6.6 (2015) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.2.1 (2014)

Data : 7/10/2015
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

# Parametri Geotecnici degli strati #										
N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D	
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..	..
1	20.00	28.50	0	18.84	18.84	0	0	0	0	0
2	10.00	0	0	18.40	18.40	0	0	0	0	0
3	20.00	28.50	0	18.84	18.84	0	0	0	0	0



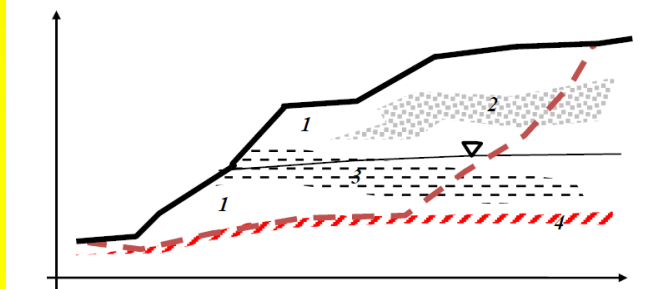
DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 1.244
 Range Fs : 1.244 - 1.295
 Differenza % Range Fs : 4.0
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.000

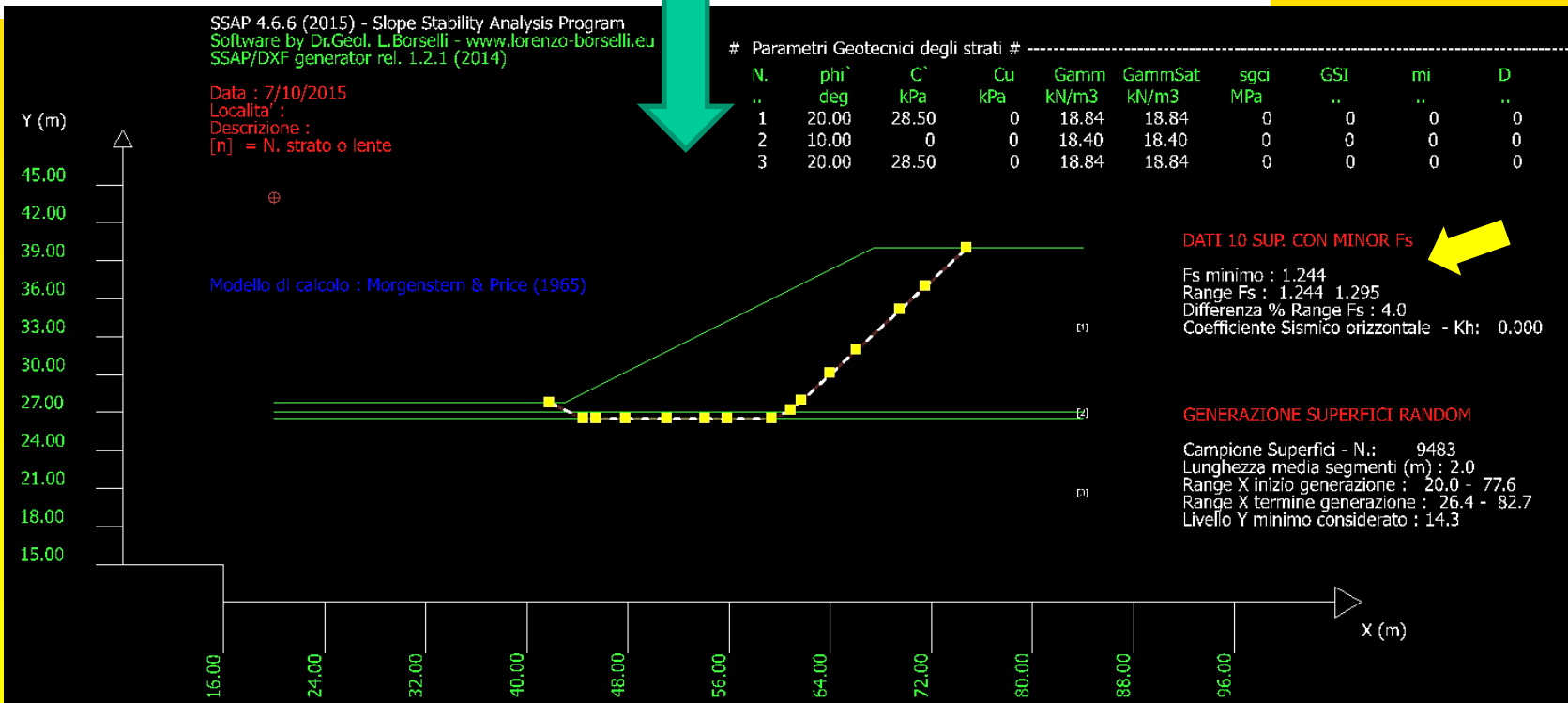
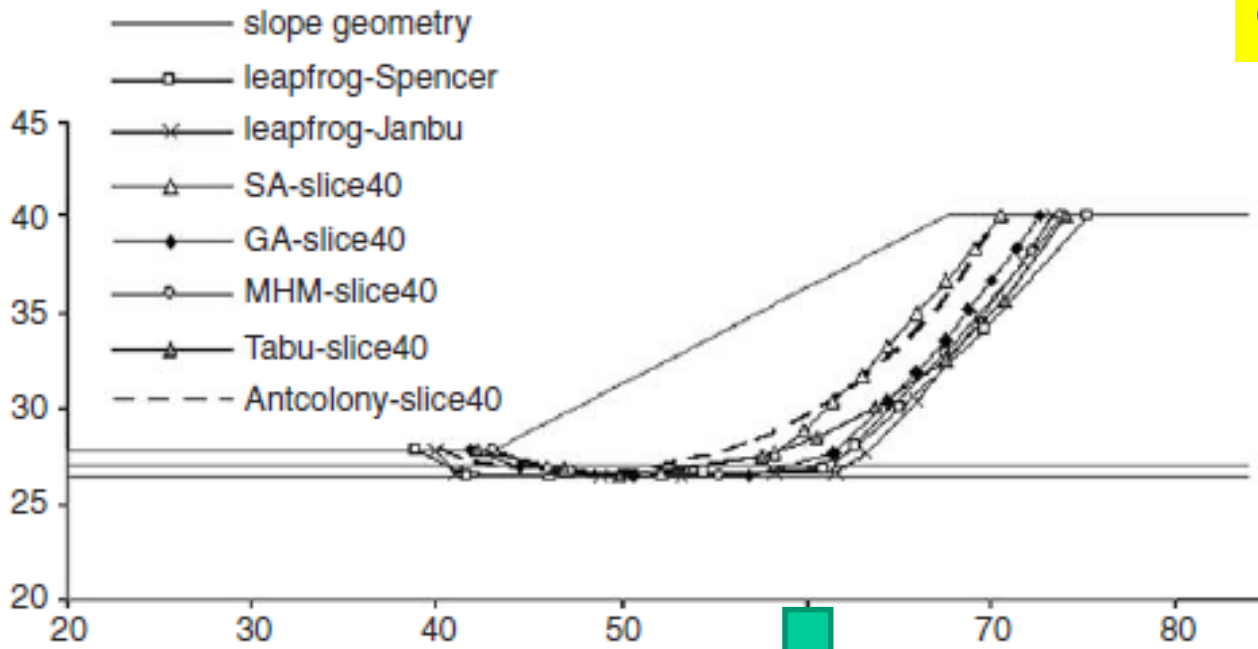
GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

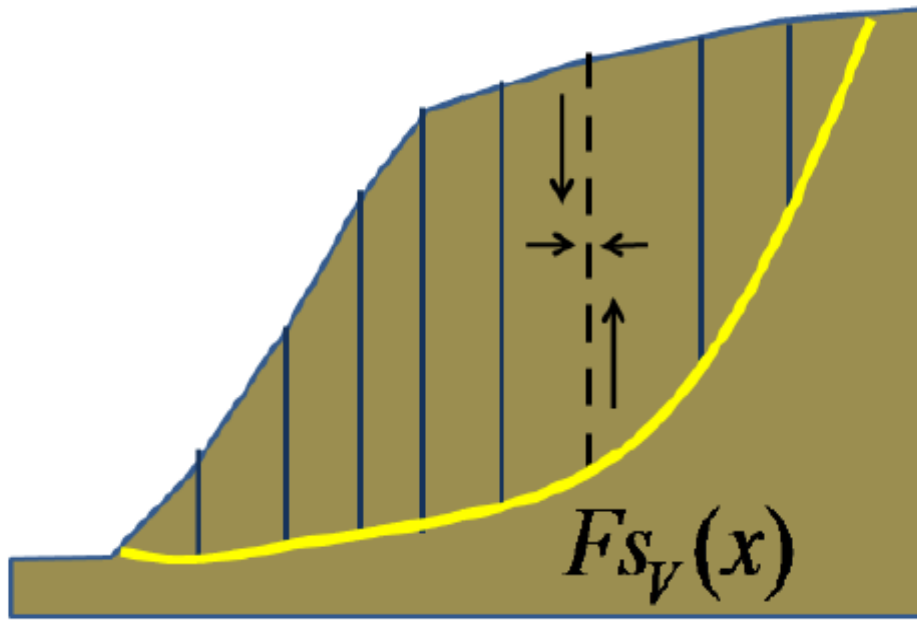
Campione Superfici - N.: 9483
 Lunghezza media segmenti (m) : 2.0
 Range X inizio generazione : 20.0 - 77.6
 Range X termine generazione : 26.4 - 82.7
 Livello Y minimo considerato : 14.3

Risultato di applicazione algoritmo SNIFF RANDOM SEARCH2.3 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
 SNIFF search
 2.3
 Implementato
 in SSAP





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:



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

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

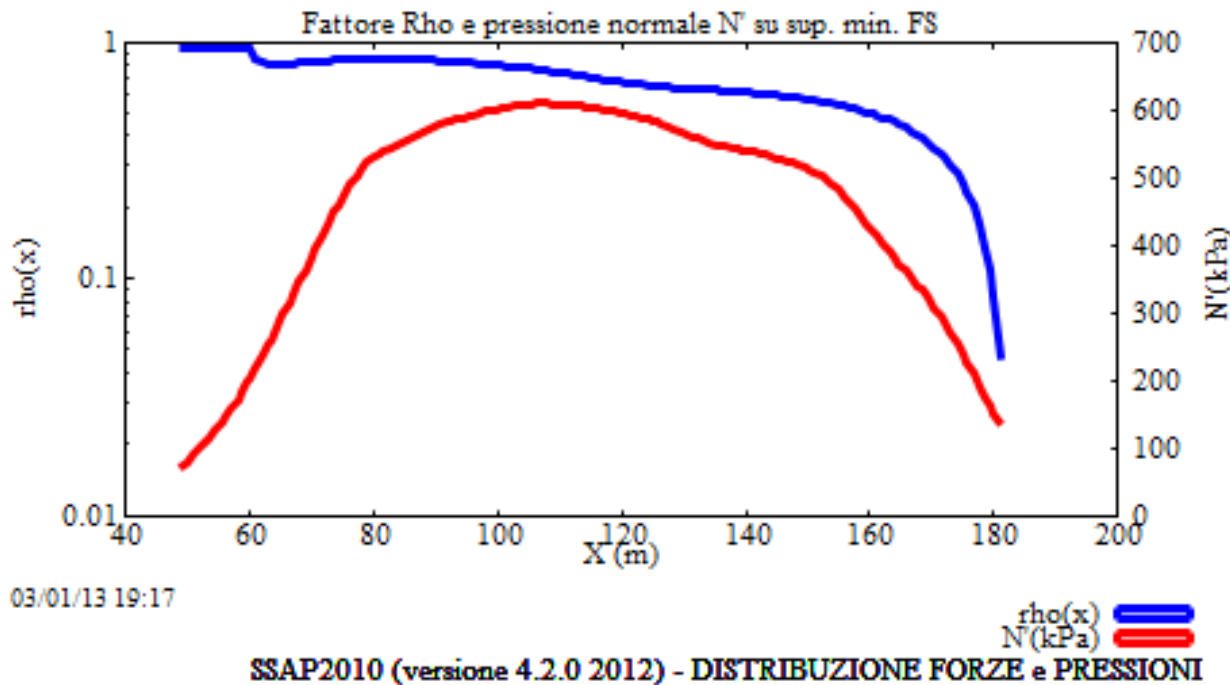


$$Rho(x) = \left| \frac{Fs}{Fs_v(x)} \right| < 1.0$$



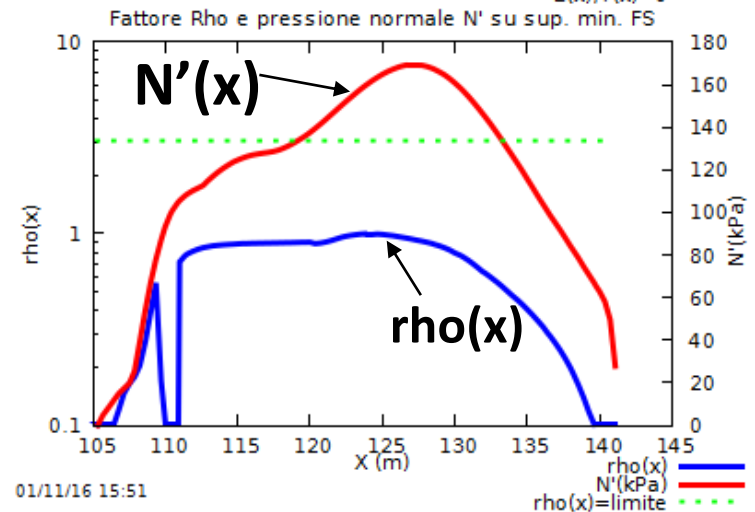
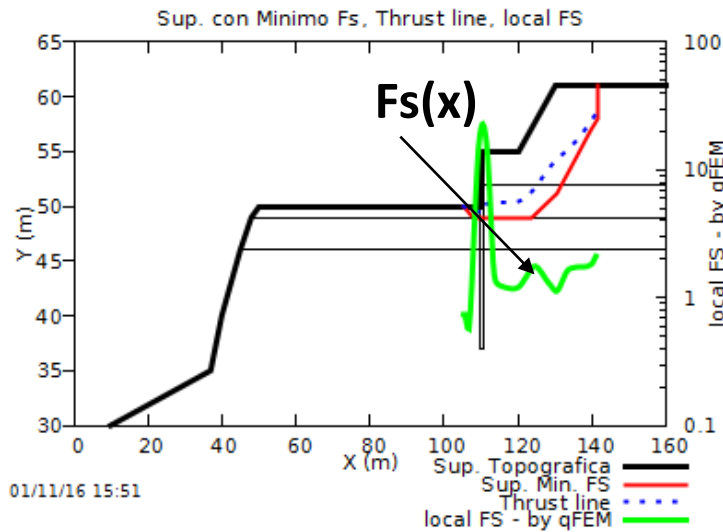
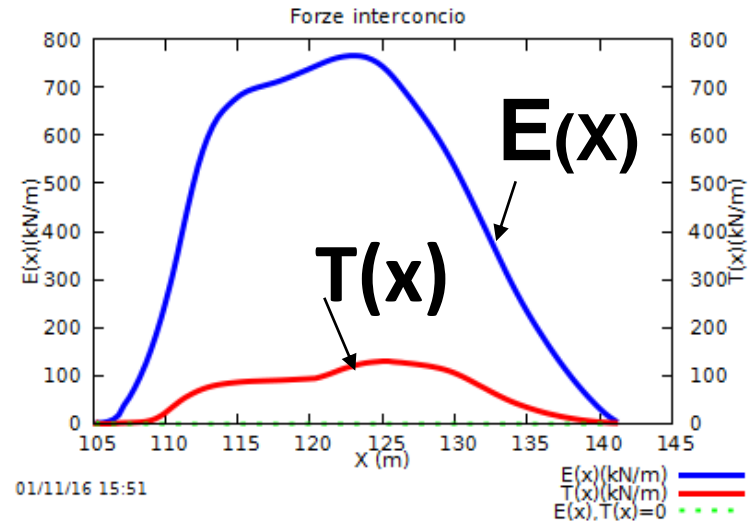
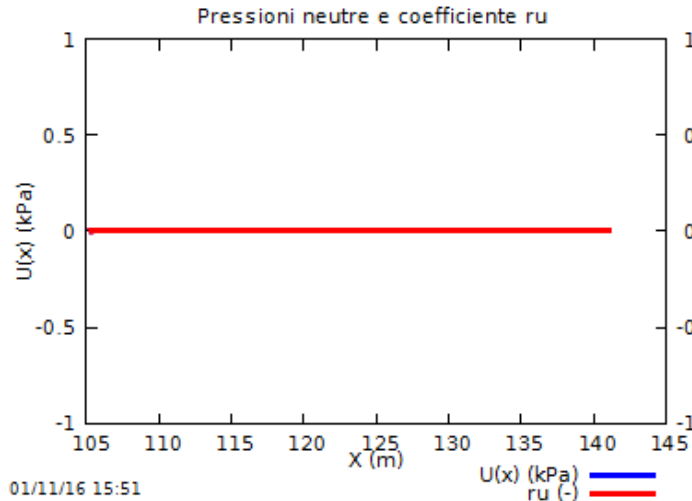
Ovvero:

$$|Fs| < |Fs_v(x)|$$

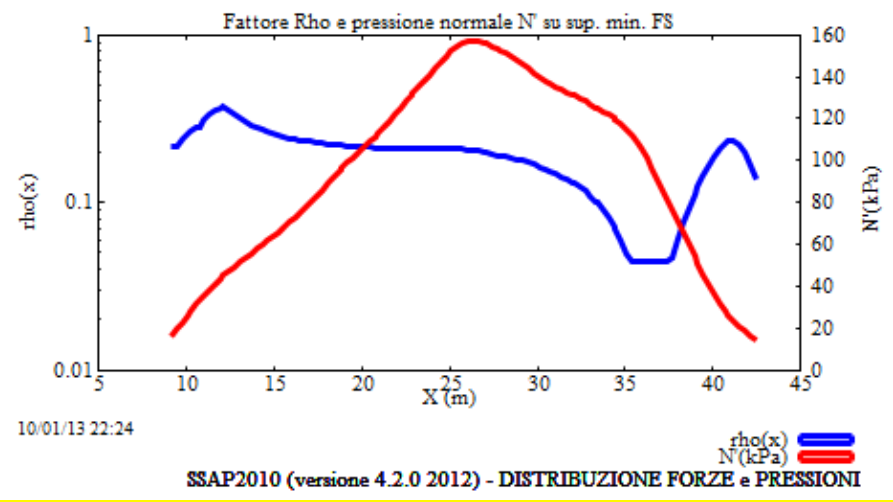
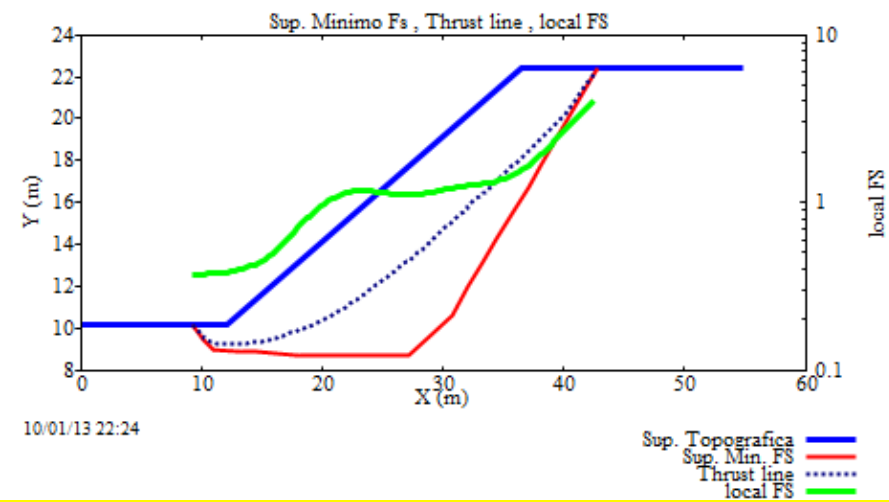
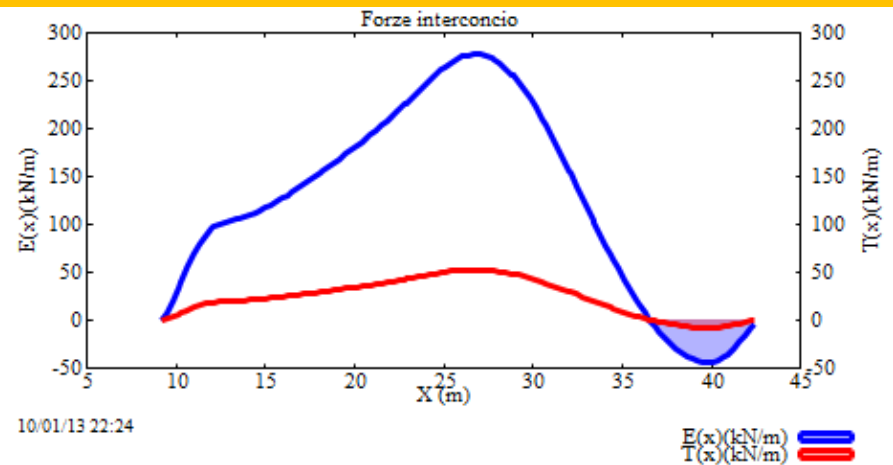
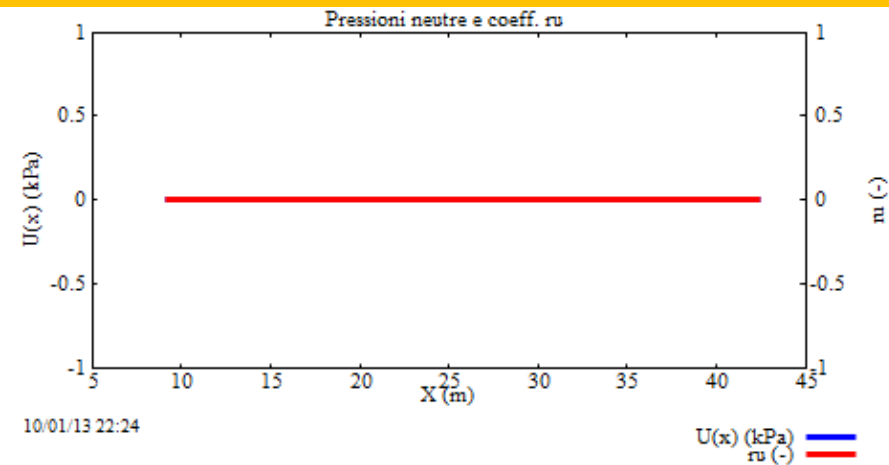


Questo è il criterio in uso in SSAP2010 al momento.. Che può essere usato per filtrare superfici non compatibili

Distribuzioni forze interne e pressioni nel volume individuato dalla superficie critica.

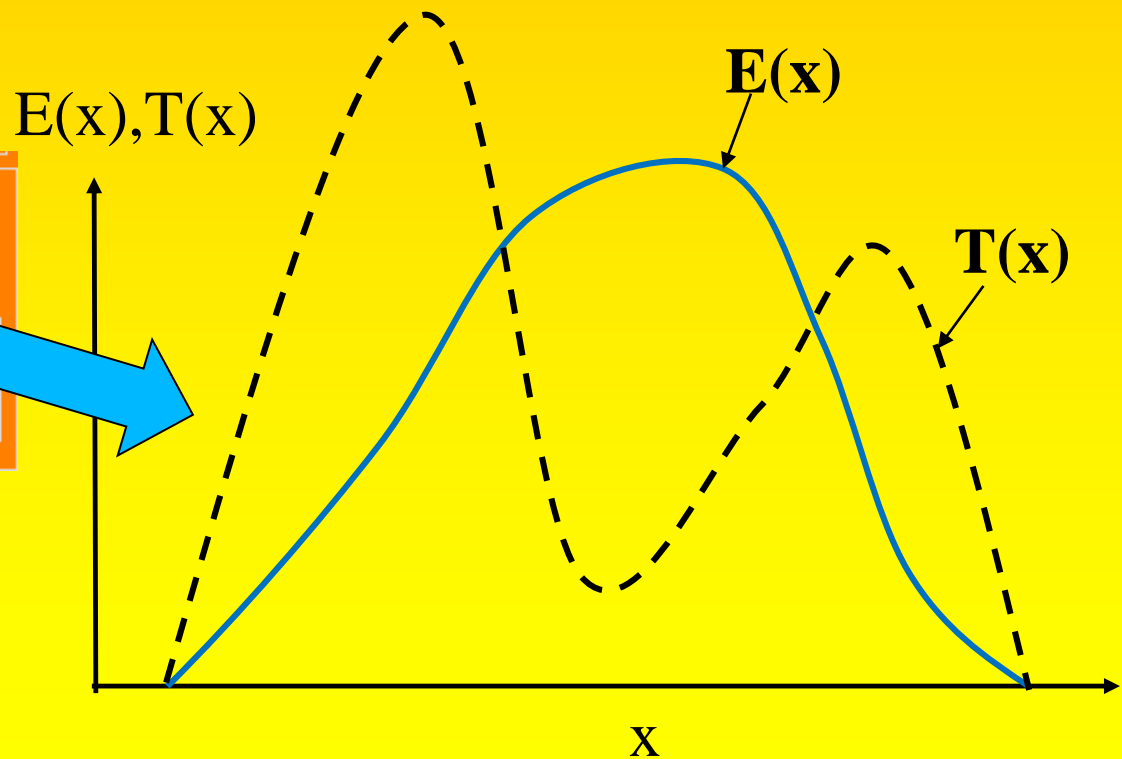
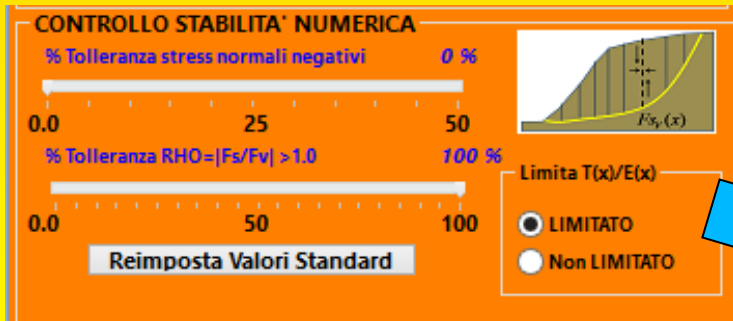


SSAP2010 (versione 4.8.0 - 2016) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI



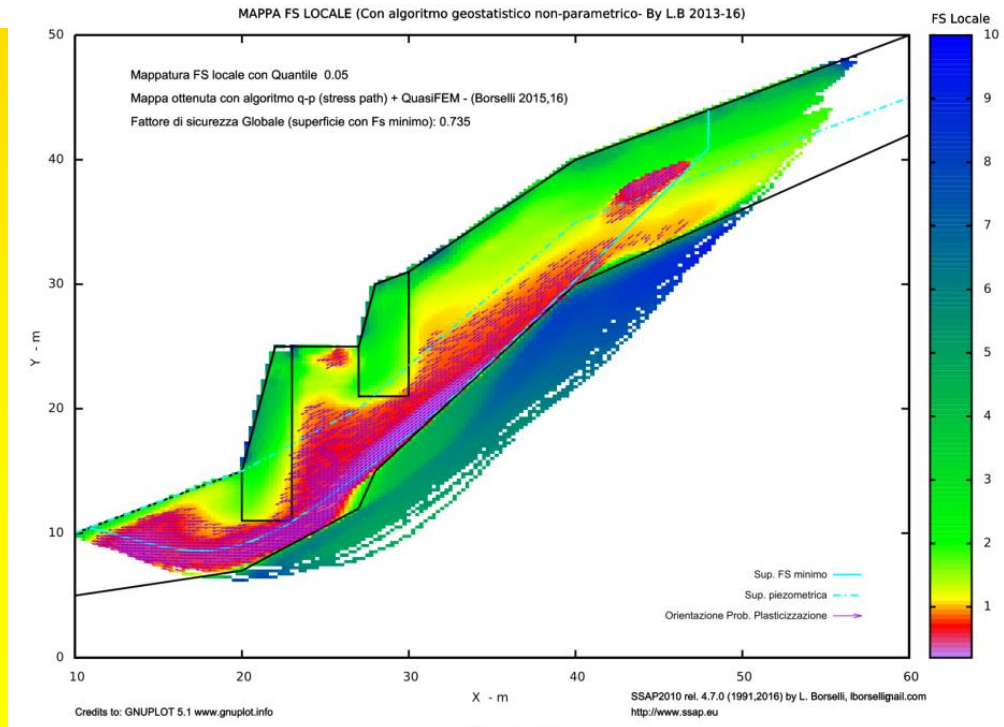
analisi della distribuzione interna di forze, pressioni e parametro di filtro post verifica in SSAP: esempio di Kim et al. 2002

Algoritmo per ottenere il valore di FS finale. La nuova procedura integra un controllo diretto anche sulla significatività fisica della distribuzione delle forze interne interconco. La procedura determina un evidente incremento di stabilità numerica e filtra i casi di convergenza associati a distribuzioni di forze interconco fisicamente non realistiche. Questa è sicuramente una novità assoluta nel panorama dei metodi di calcolo rigorosi

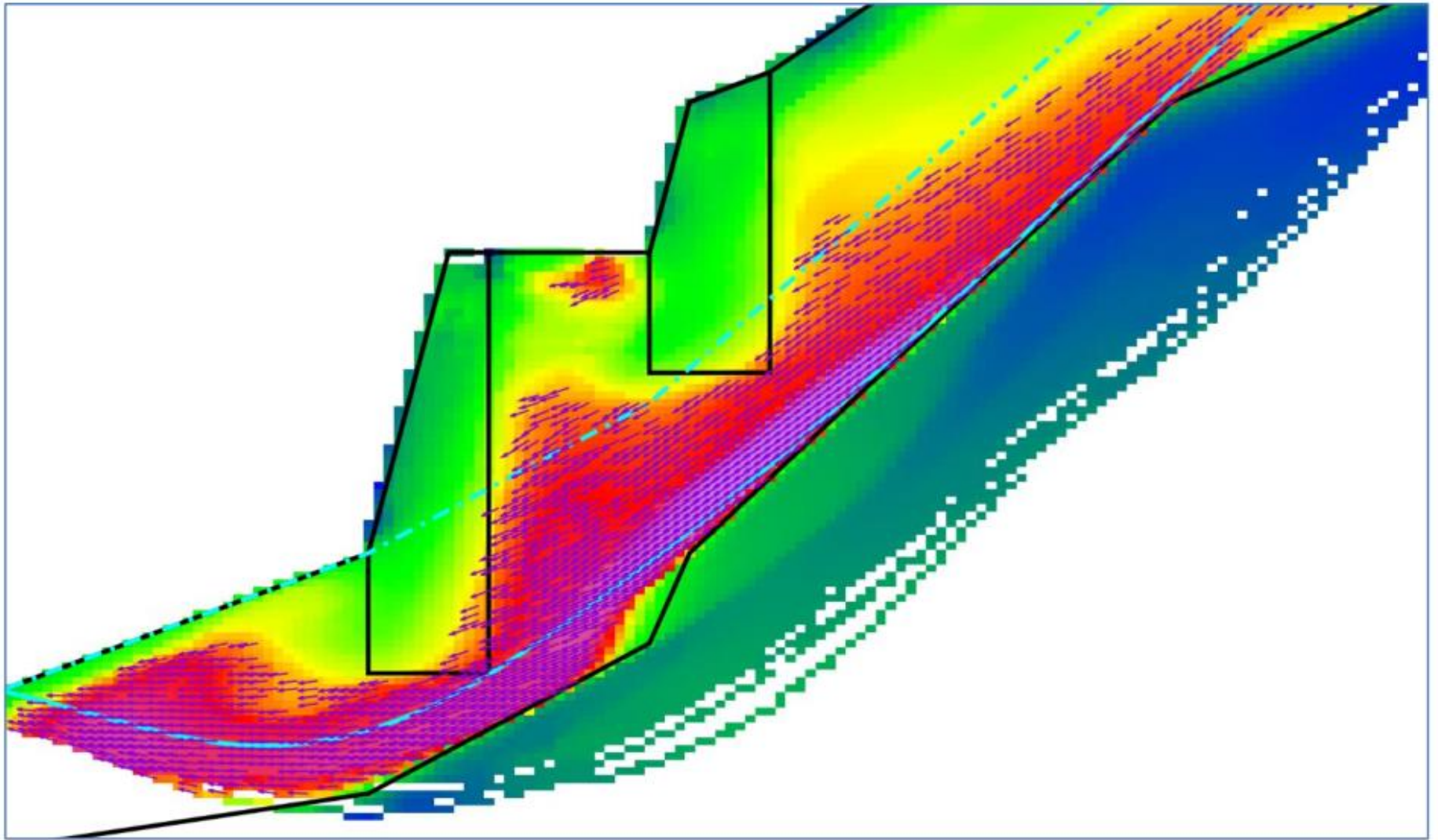


I nuovi algoritmi per generare la mappa dei valori di FS locali .. Ora consolidati.

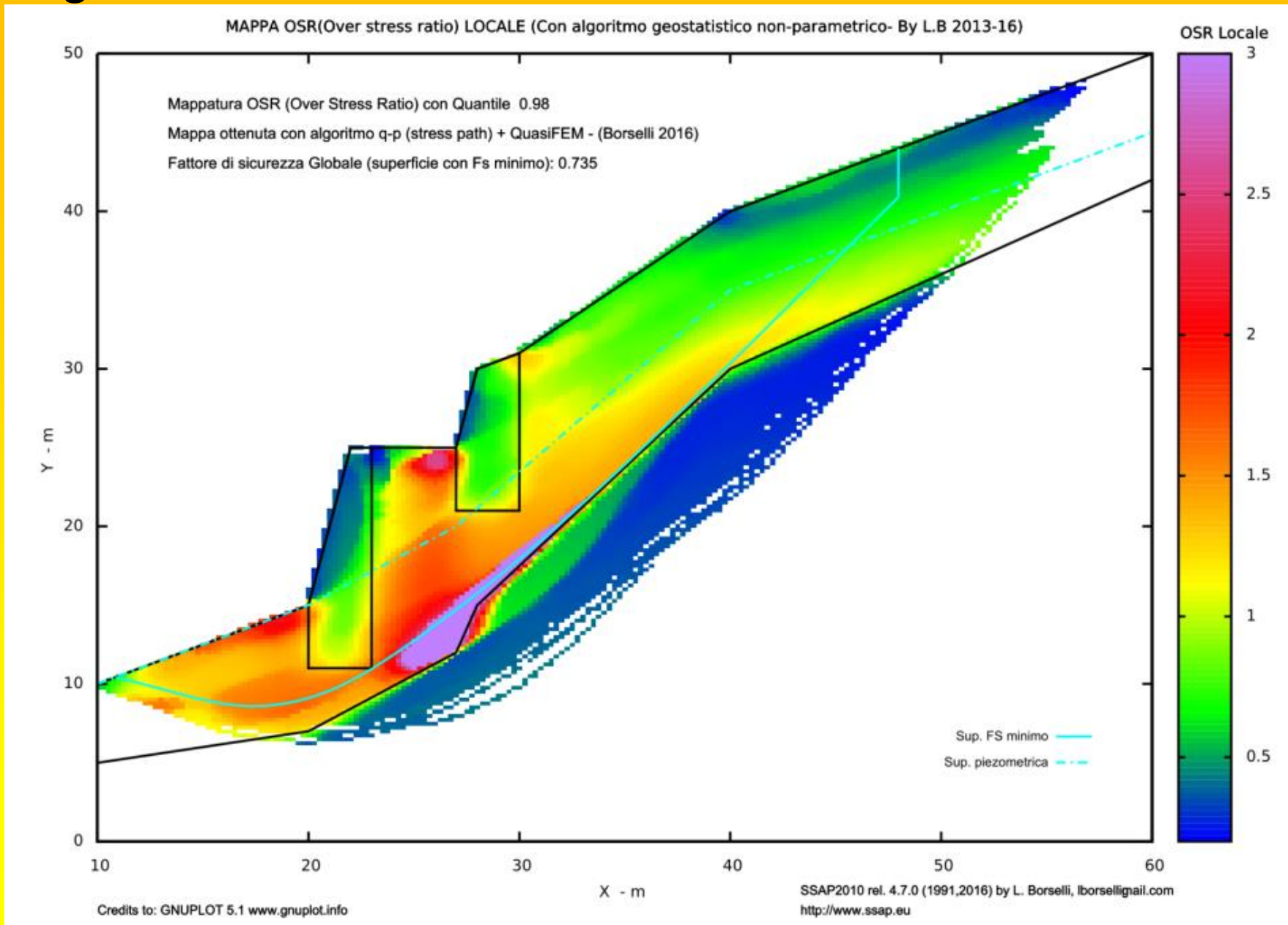
- mappa – **qFEM** con algoritmo quasi Gauss integration e analisi geostatistica non parametrica, basato su sistema FEM di Schofield & p. Wroth(1968) e Griffith et al.1999 (vedasi figura 2.47)
- mappa – **p-qFEM con** algoritmo quasi Gauss integration e geostatistica non parametrica basato su sistema FEM di Farias & Naylor e 1998 (vedasi fig. 249, 2.50)
- mappa –**OSR (Over stress ratio)** con algoritmo quasi Gauss integration e geostatistica non parametrica basato su sistema FEM di Farias & Naylor a 1998 (fig. fig.2.51)



Segue...



Segue...

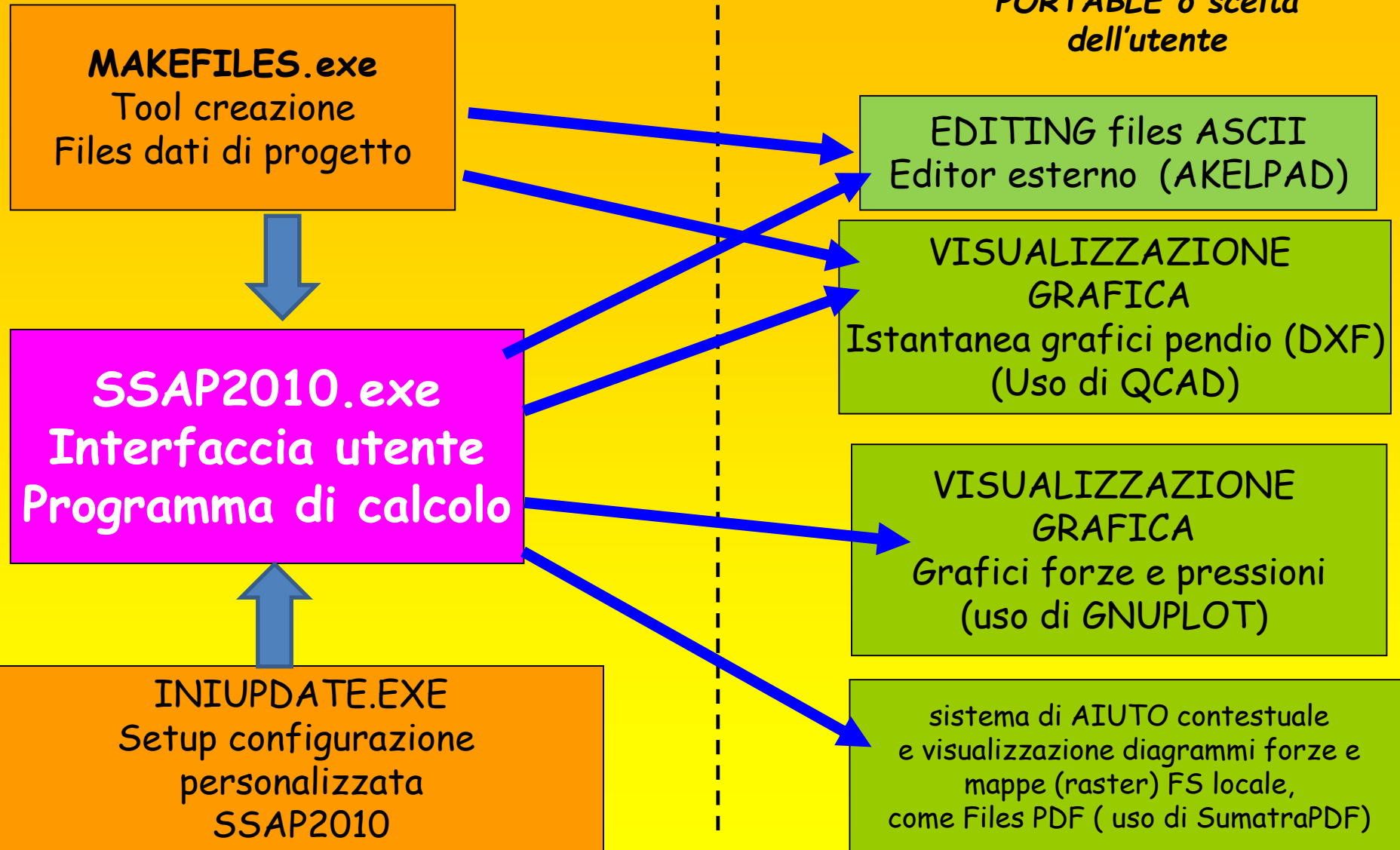


Struttura del software

SSAP 2010 (rel. 4.8.0)

software SSAP2010

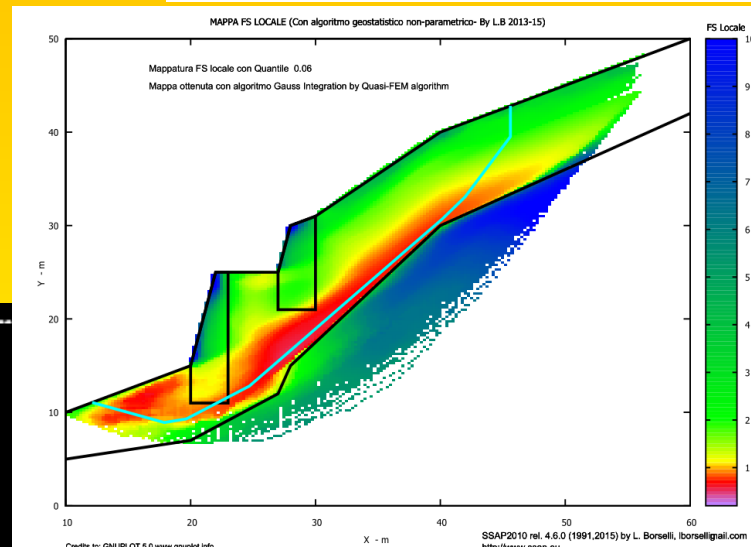
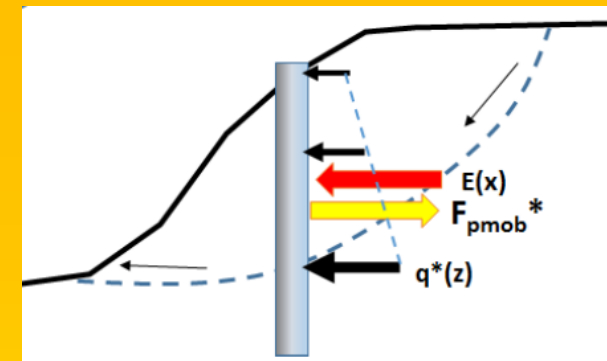
Programmi esterni
(freeware), preimpostati
nella versione
PORTABLE o scelta
dell'utente



Caratteristiche base di SSAP 2010

... continua

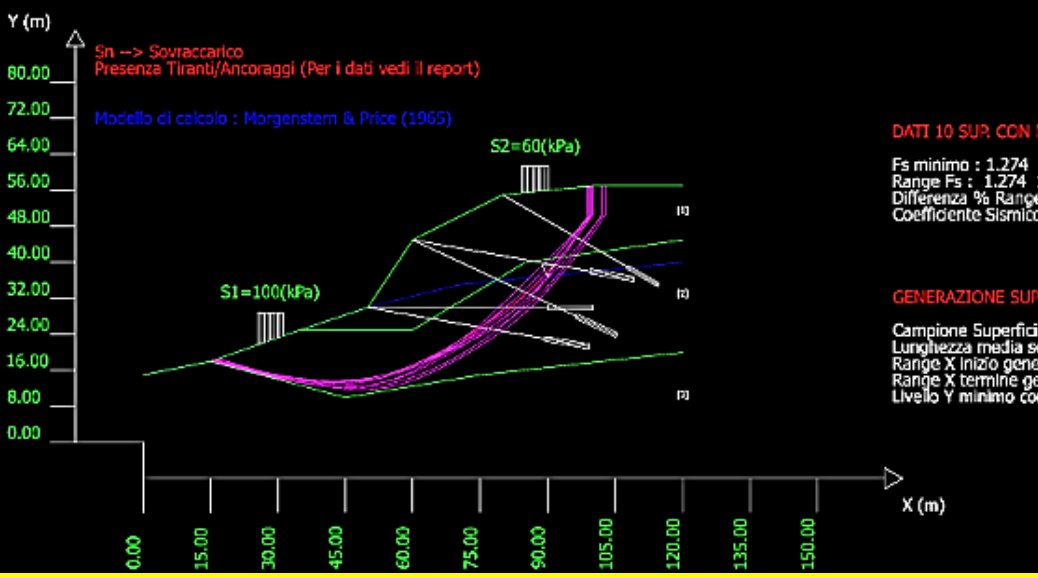
- Strutture di sostegno e rinforzo (muri - tiranti - terre rinforzate con geogriglie/geosintetici - palificate - sovraccarichi)
- Creazione DXF istantanea e visualizzazione grafica



SSAP 4.5.0 (2014) - Slope Stability Analysis Program
Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
SSAP/DXF generator rel. 1.2.1 (2014)

Data : 7/10/2014
Localita' :
Descrizione :
(n) = N. strato o lente

# Parametri Geotecnici degli strati #							
N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgd	GSI
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..
1	28.00	40.00	0	17.00	18.00	0	0
2	0	0	0	22.00	23.00	15.00	20.00
3	0	0	0	23.00	24.00	30.00	40.00

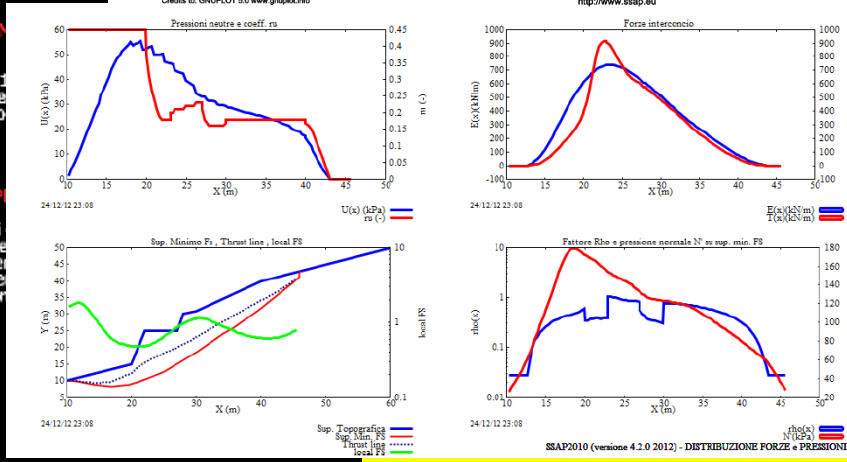


DATI 10 SUP. CON V

Fs minimo : 1.274
Range Fs : 1.274 -
Differenza % Range
Coefficiente Sismico

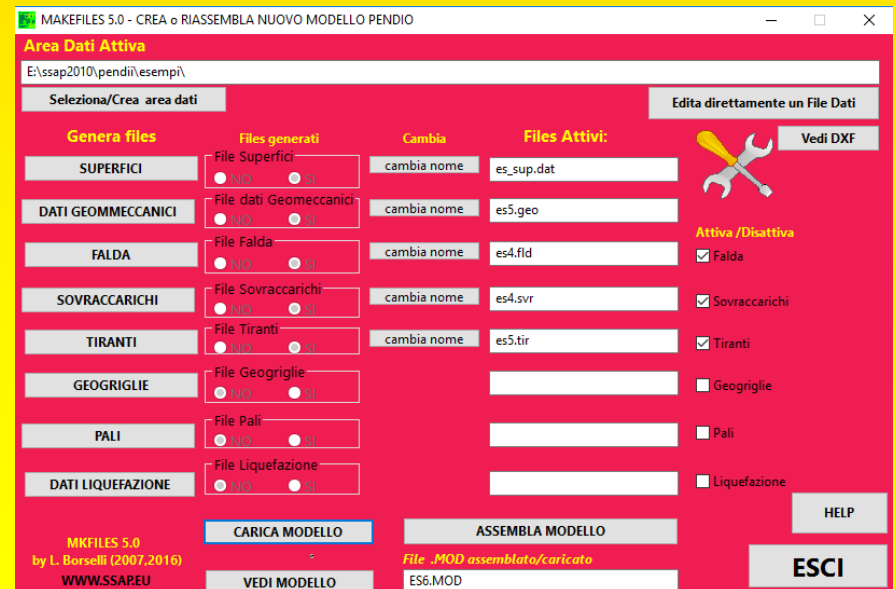
GENERAZIONE SUP

Campione Superfici
Lunghezza media se
Range X inizio gene
Range X termine ge
Livello Y minimo co



Interfaccia utente e programmi esterni e di utilità.

Programma MAKEFILES 5.0: miglioramento procedura di importazione di superfici direttamente da files DXF (superfici strati e falda) mediante un algoritmo di scansione dei file DXF e estrazione delle superfici (polilinee utili) che poi verranno selezionate dell'utente per la importazione diretta nei files .DAT e .FLD. Inoltre soprattutto la possibilità' di caricare un Modello preesistente , modificarlo, integrarlo, e visualizzarlo direttamente.




MAKEFILES 5.0 - CREA o RIASSEMBLA NUOVO MODELLO PENDIO

Area Dati Attiva

E:\ssap2010\pendii\esempi\

Seleziona/Crea area dati Edita direttamente un File Dati

Genera files	Files generati	Cambia	Files Attivi:	
SUPERFICI	File Superfici <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI	cambia nome	es_sup.dat	 <p>Attiva /Disattiva</p> <input checked="" type="checkbox"/> Falda <input checked="" type="checkbox"/> Sovraccarichi <input checked="" type="checkbox"/> Tiranti <input type="checkbox"/> Geogriglie <input type="checkbox"/> Pali <input type="checkbox"/> Liquefazione
DATI GEOMMECCANICI	File dati Geomeccanici <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI	cambia nome	es5.geo	
FALDA	File Falda <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI	cambia nome	es4.fld	
SOVRACCARICHI	File Sovraccarichi <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI	cambia nome	es4.svr	
TIRANTI	File Tiranti <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI	cambia nome	es5.tir	
GEOGRIGLIE	File Geogriglie <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI			
PALI	File Pali <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI			
DATI LIQUEFAZIONE	File Liquefazione <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI			

Vedi DXF

MKFILES 5.0
by L. Borselli (2007,2016)
WWW.SSAP.EU

CARICA MODELLO

ASSEMBLA MODELLO

File .MOD assemblato/caricato

VEDI MODELLO

ES6.MOD

HELP

ESCI

Novita'

MAKEFILES 5.0

Novita'

Integrazione procedura importazione superfici da files DXF

Crea file dati superfici Strati

INSERIMENTO COORDINATE
GENERATO NODO n.4 SUP. n.3

Coordinate nodo superficie (in m)

Coordinata X nodo

Coordinata Y nodo


Scrivi Nodo Cancella Ultimo

Nuova Superficie

MKFILES 5.0
by L. Borselli (2007,2016)

Importazione Nodi da Files (Testo o DXF)

- Importazione nodi da file di testo (sup. singola)
- Importa Nodi da DXF (superficie singola)
- Importa Nodi da DXF (superfici multiple)

Vedi DXF 

```
1 |
2 | file : es_sup.dat
3 |
4 | ## 1 -----
5 |         0.00      15.00
6 |         15.00     18.00
7 |         35.00     25.00
8 |         50.00     30.00
9 |         60.00     45.00
10 |        80.00     55.00
11 |       100.00     57.00
12 |       120.00     57.00
13 | ## 2 -----
14 |        35.00     25.00
15 |        60.00     25.00
16 |        85.00     40.00
17 |       120.00     45.00
18 | ## 3 -----
19 |        15.00     18.00
20 |        45.00     10.00
21 |        75.00     15.00
22 |       120.00     20.00
```

Fai Doppio Click con il mouse nella Scheda Gialla per aggiornarla dopo l'editing !!

✓ Salva Scheda e ESCI ✗ Annulla Scheda e ESCI

Importazione superfici da files DXF: integrazioni alla procedura

The image shows a CAD software interface (likely AutoCAD) displaying a 2D plot of a surface profile. The plot shows a cross-section with a vertical axis labeled 'Y (m)' ranging from 0.00 to 80.00 and a horizontal axis labeled 'X (m)' ranging from 0.00 to 150.00. The profile is defined by several points connected by lines, with a peak around X=90.00. A 'Lista layer' window is open on the right, showing layer 0 and layer 1. Below the plot, a command line shows the file path and format: 'Apertura disegno: E:\ssap2010\pendi\semp\vx.dxf... Formato: R15 (2000) DXF Drawing (dxfib) (*.dxf)'. A 'Comando:' field is also visible.

Overlaid on the right side of the CAD window is a smaller application window titled 'Scansione DXF'. It contains a table with the following data:


Inizia da Y	Finisce a X	Finisce a Y	N. Nodi	Lente	N. Strato/Falda	Inverti flusso coordinate
15	120	40	7	NO	0	0
37	90	37	4	SI	0	0
15	120	57	8	NO	0	0
25	120	45	4	NO	0	0
18	120	20	4	NO	0	0
21.675	31	23.6	4	NO	0	0
55.43	90.2	56.02	4	NO	0	0
30	99.24039	21.31759	2	NO	0	0
20.82519	99.15356	20.82519	5	SI	0	0
30	100	30	2	NO	0	0
29.5	100	29.5	5	SI	0	0

The 'Scansione DXF' window also includes a 'file : es_sup.dat' field, a 'Editare queste colonne' button, and a 'dinate nodi' field set to 2. At the bottom, there are buttons for 'consolida assegnazione strati', 'cancella assegnazione strati', 'MKFILES 5.0 by L. Borselli (2007,2016)', 'Vedi DXF', 'HELP', 'OK', and 'Annulla'.

Modifiche alla finestra di dialogo per importazione superfici da DXF

Procedura importazione nodi Strati/Falda da DXF

Lista Entita', nel file DXF analizzato, utilizzabili per la importazione (DXF compatibili con versione autocad 14 (2000) e superiori)



Editare queste colonne

N. Entita'	Tipo	Inizia da X	Inizia da Y	Finisce a X	Finisce a Y	N. Nodi	Lente	N. Strato/Falda	Inverti flusso coordinate
1	Polilinea	0	15	120	40	7	NO	0	0
2	Polilinea	90	37	90	37	4	SI	0	
3	Polilinea	0	15	120	57	8	NO	0	
4	Polilinea	35	25	120	45	4	NO		
5	Polilinea	15	18	120	20	4	NO	0	
6	Polilinea	25.5	21.675	31	23.6	4	NO	0	
7	Polilinea	84.3	55.43	90.2	56.02	4	NO	0	0
8	Polilinea	50	30	99.24039	21.31759	2	NO	0	0
9	Polilinea	99.15356	20.82519	99.15356	20.82519	5	SI	0	0
10	Polilinea	50	30	100	30	2	NO	0	0
11	Polilinea	100	29.5	100	29.5	5	SI	0	0

Decimals ammessi per esportazione Coordinate nodi

File DXF Analizzato: xx.dxf

Stato del lavoro: **NON CONSOLIDATO**

consolida assegnazione strati cancella assegnazione strati

MKFILES 5.0 by L. Borselli (2007,2016)

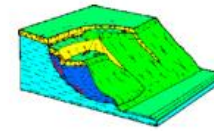
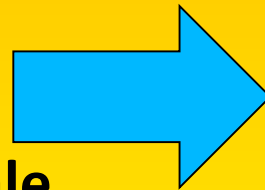
SCANSIONE DXF Vedi DXF

HELP OK Annulla

Note: A blue arrow labeled 'Novita'' points to the 'N. Strato/Falda' column in the table. Two red arrows labeled 'Editare queste colonne' point to the 'Lente' and 'Inverti flusso coordinate' columns.

DOCUMENTAZIONE

- Manuale completo per la versione SSAP2010, aggiornato alla 4.7.2, disponibile in formato elettronico PDF (289 pagine). Nuovo manuale speriamo nel gennaio 2017
- + documentazione aggiuntiva non ancora integrata nel manuale che vedremo in parte nelle diapositive successive (es. gabbionate, superfici circolari e non..)



SSAP 2010

“un passo oltre...”

(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)

<http://www.ssap.eu>



Manuale di Riferimento
Versione 4.7.2 (2016)

by

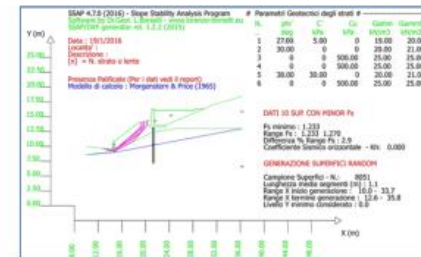
Dr. Lorenzo Borselli, Geol., Ph.D.*,**
Marzo 2016

* Docente di Geotecnica e Geologia Applicata
Facoltà Di Ingegneria, Universidad Autonoma 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, ITALIA

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

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



**6 Video con esempi
pratici uso SSAP
Su YOUTUBE.COM
Canale:
LORENZO BORSELLI**

https://www.youtube.com/channel/UCcOmf_OHXWIDr9oXvS6X7fw

Esempio completo di verifica di stabilita' - [Video 1](#) (15:32 min)

Esempio di salvataggio e caricamento impostazioni di verifica - [Video 2](#) (5:37 min)

Esempio di importazione di superfici da file DXF - [Video 3](#) (20:12 min)

Confronto tra SSAP 32 bit e SSAP 64 bit - [Video 4](#) (5:31 min)

SSAP Versione 4.7.2 del 19 marzo 2016 - [Video 5](#) (14:30 min)

Esempio di editazione di un file .GEO nel corso di una verifica - [Video 6](#) (4:47 min)

SSAP2010.EXE (versione 32 bit) o SSAP2010_64bit.EXE (versione 64 bit) presente nella cartella di installazione di SSAP ..

Versione
Win 64 bit



SSAP 2010 (versione 4.8.0 - 2016)

SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM
release 4.8.0 (c) (1991-2016)
Build No. 8885 Windows 64 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
VEDI GRAFICI SUPERFICI
MAPPA PRESSIONE FLUIDI
GENERA / VEDI MAPPA F_s LOCALE

MONITOR VERIFICA

MODELLO PENDIO
LEGGI MODELLO
VEDI MODELLO

rel. 4.8.0
<http://WWW.SSAP.EU>
HELP
ESCI dal PROGRAMMA

MODELLO PENDIO : ES6.MOD
MODELLO DI CALCOLO : Morgestern - 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 Sniff Random Search (SRS)
ZONA DI INIZIO - Progressive - (m) : da 0.10 a 108.10
ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - (m) : da 12.10 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 : 1.6178 **Fs Min.**
INTERVALLO F_s delle 10 SUPERFICI CON MINOR F_s : 1.4342 - 1.5126
n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE: 2108 di 10000
% EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA : 16.975 -- 95.08

PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETATE(%) : 21.08

STOP VERIFICA VEDI RISULTATI TEMPORANEI

SETUP VERIFICA
INFO
OPZIONI
PARAMETRI
GESTIONE ACQUIFERI
OPZIONI AGGIUNTIVE
SALVA IMPOSTAZIONI
CARICA IMPOSTAZIONI

STRUMENTI
GENERA REPORT VERIFICA
GENERA FILES DXF
ESPORTA SUPERFICI
CAMBIA PAR. GEOTECNICI
EDITA FILES
MAKEFILES 5.0
File SSAP2010.INI

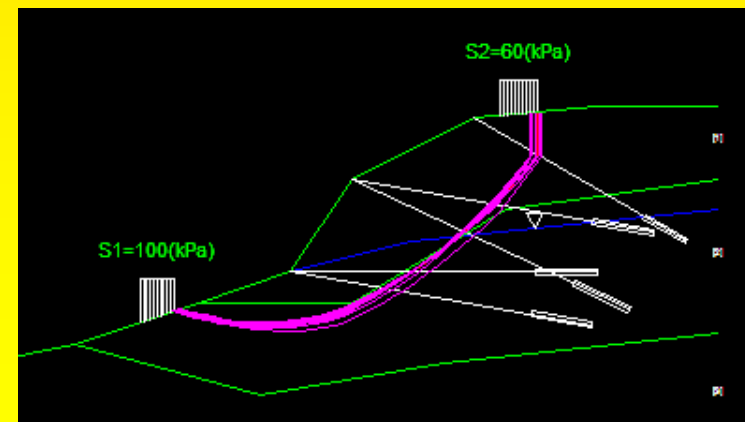
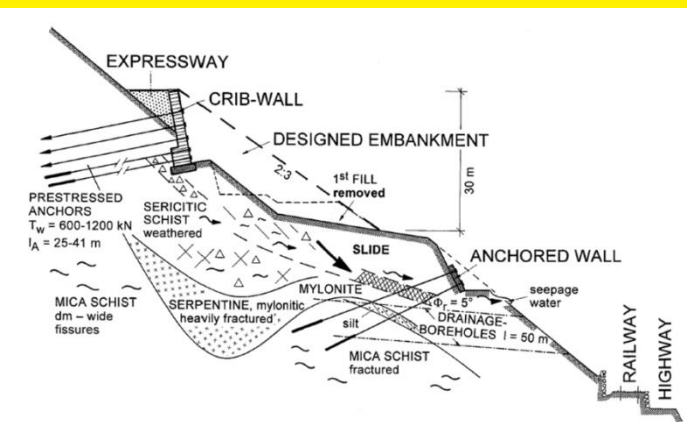
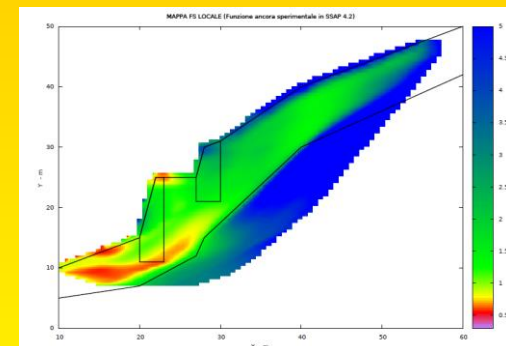
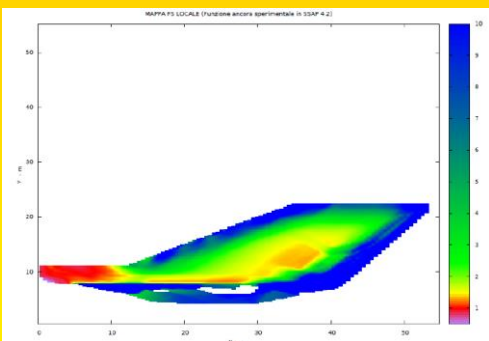
MESSAGGI
SUGGERIMENTI: effettuata una verifica di stabilità è possibile generare un rapporto (file di testo) con tutti i risultati e anche una serie di file DXF con i grafici e esportare un file con le coordinate della superficie critica.

Introduzione alla complessità intrinseca delle procedure di verifica della stabilità dei pendii e tecniche di soluzione

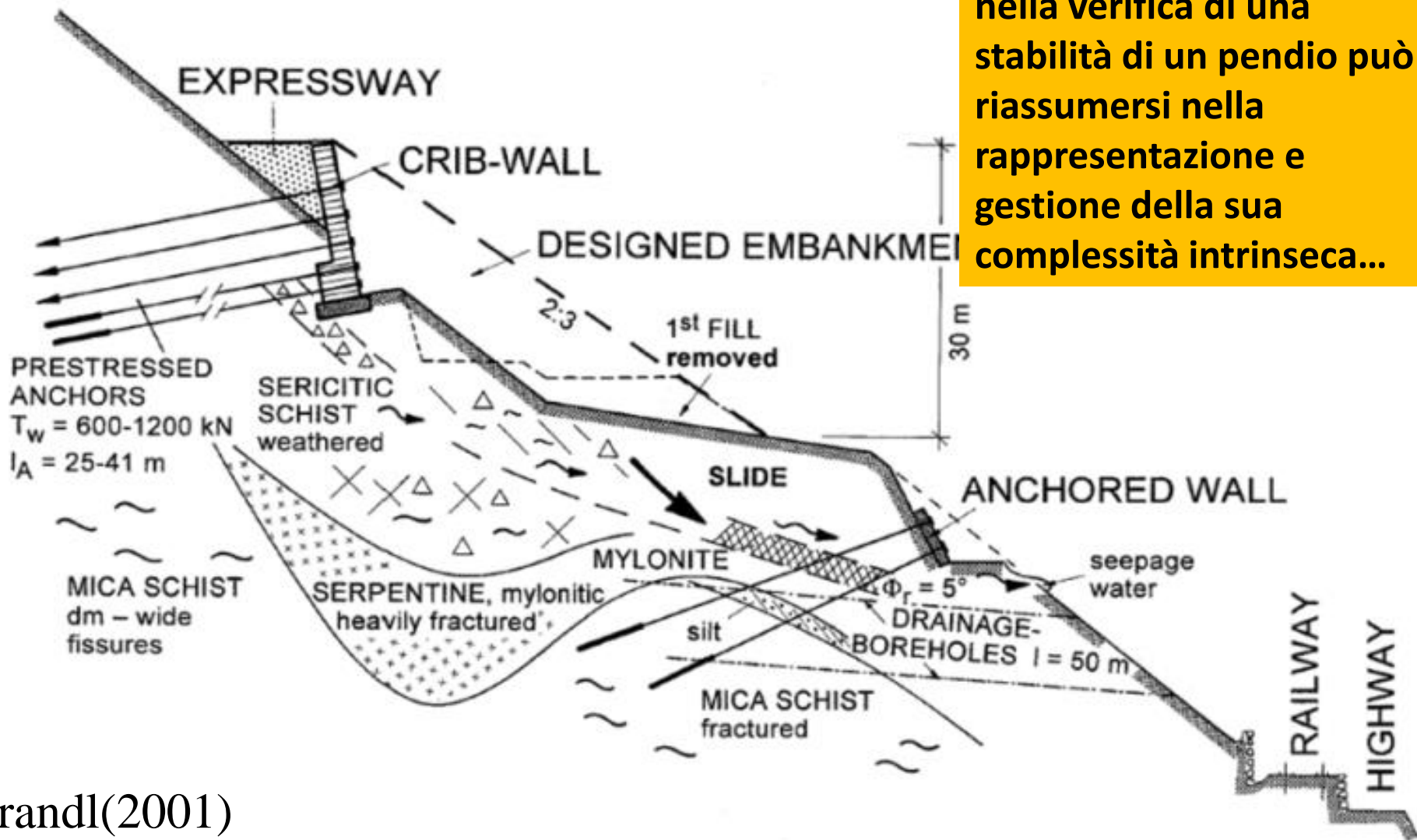
Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D
Universidad Autonoma de San Luis Potosi -UASLP

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

lborselli@gmail.com
lorenzo.borselli@uaslp.mx
<http://www.lorenzo-borselli.eu>



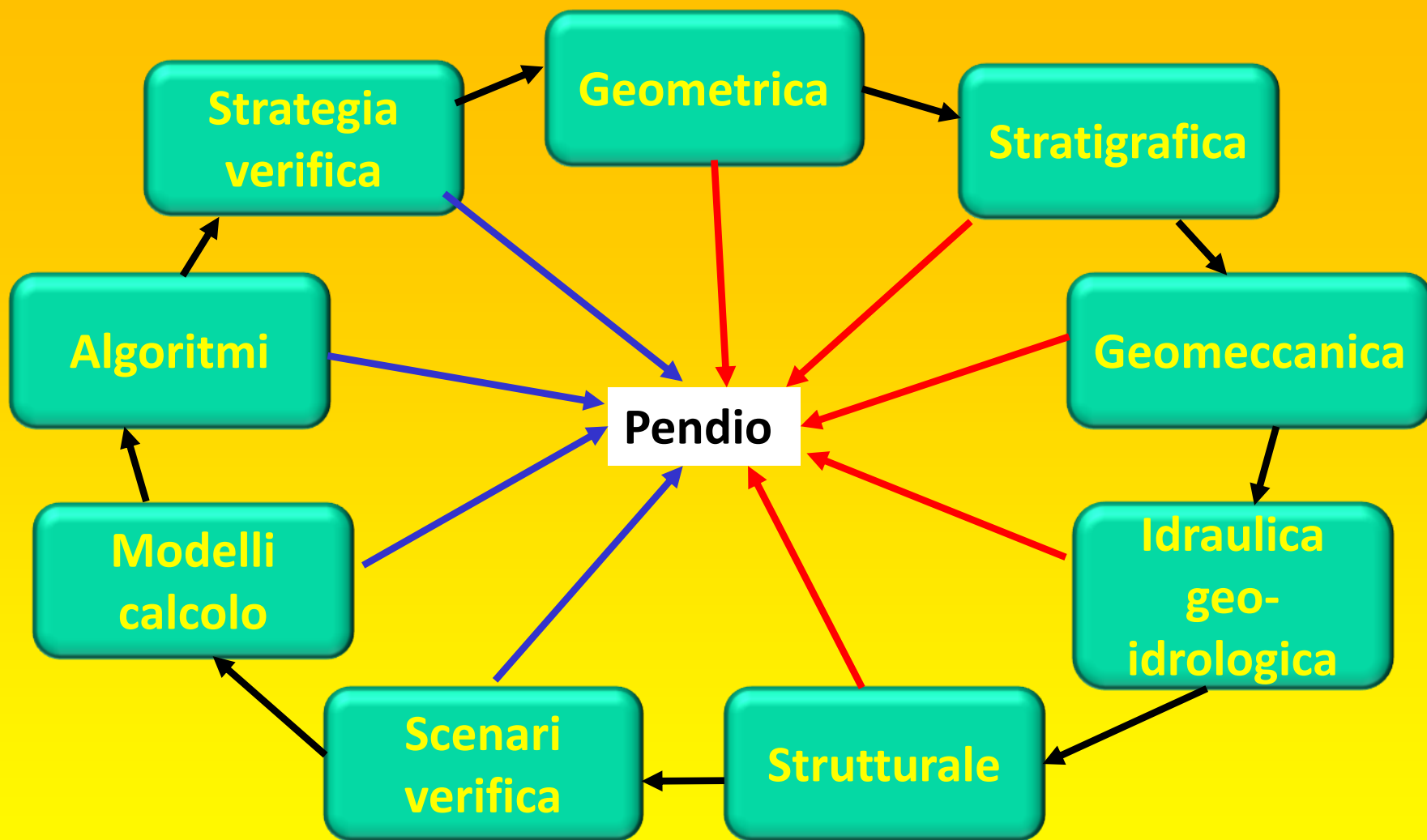
La maggiore difficoltà nella verifica di una stabilità di un pendio può riassumersi nella rappresentazione e gestione della sua complessità intrinseca...



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, ma con molta attenzione...***

E per finire (o per cominciare) le risorse più importanti:
le conoscenze, la esperienza del geologo e ingegnere e l'uso prima di tutto del nostro cervello! Non pensate che tutto può essere automatico... è sempre l'opposto.

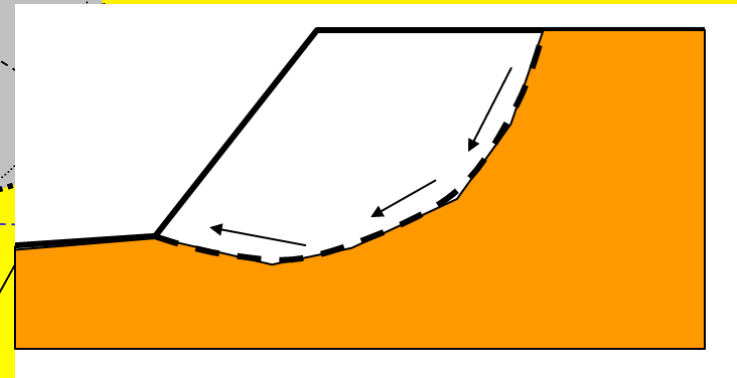
Verifica di stabilità 3D→2D

Complessità geometrica

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

Modellizzazione
Pendio
con una sezione
Bi-dimensionale

1 m



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

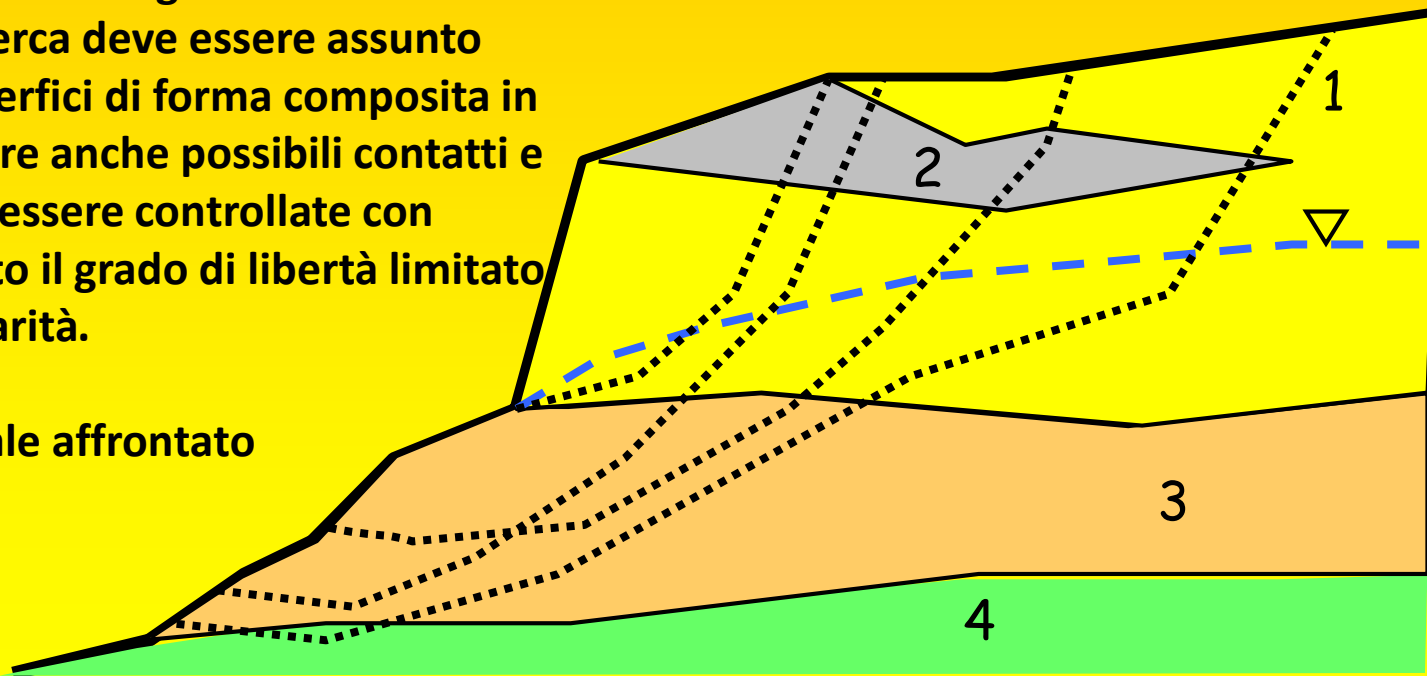
Esistono comunque molti metodi completamente 3D...
che lavorano su superfici 3D ma hanno ancora dei problemi

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

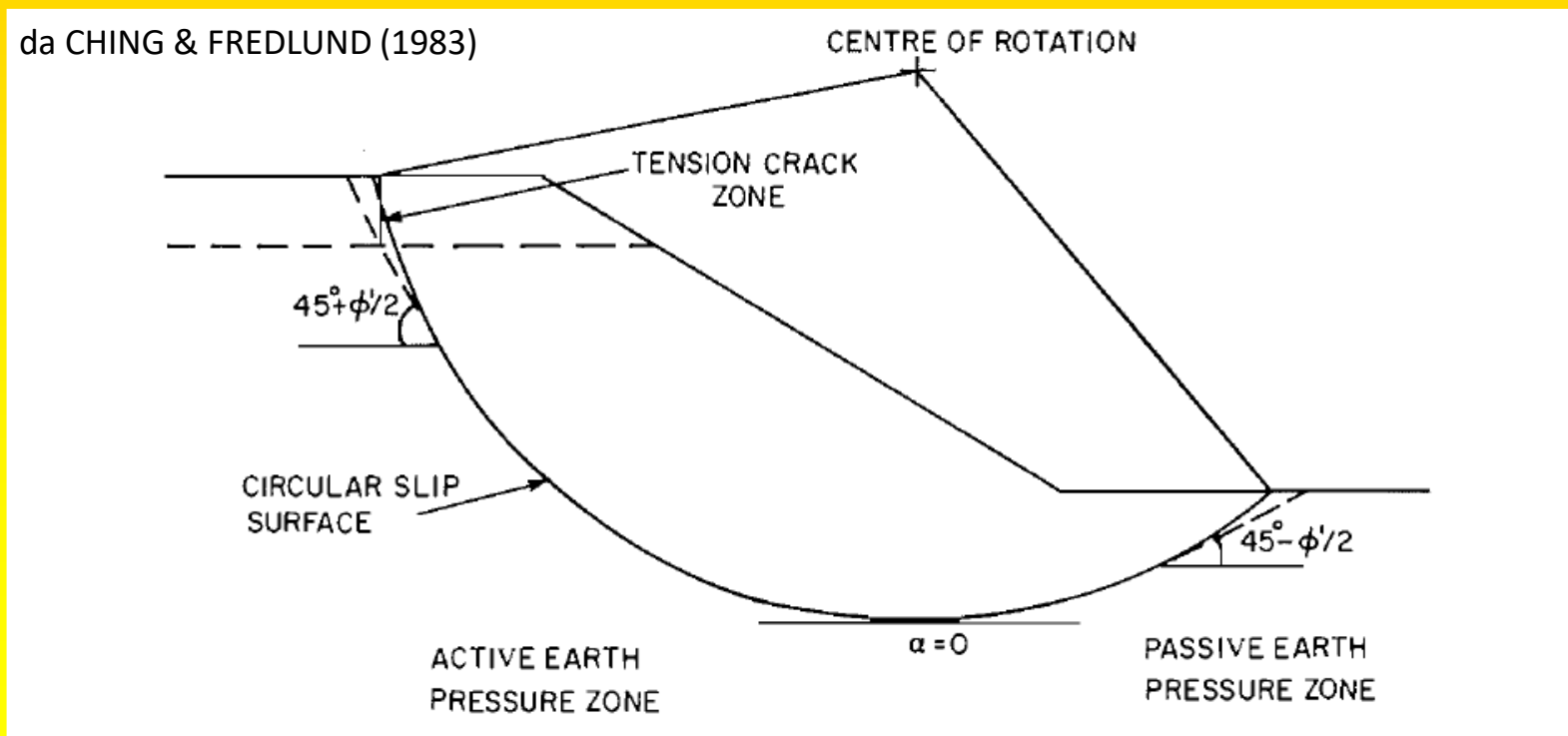
Talvolta assumere anche superfici totalmente planari è una eccessiva semplificazione.

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.

Questo è il caso generale affrontato da SSAP....



Perche' le sole superfici circolari non vanno bene nelle verifiche di stabilita' LEM



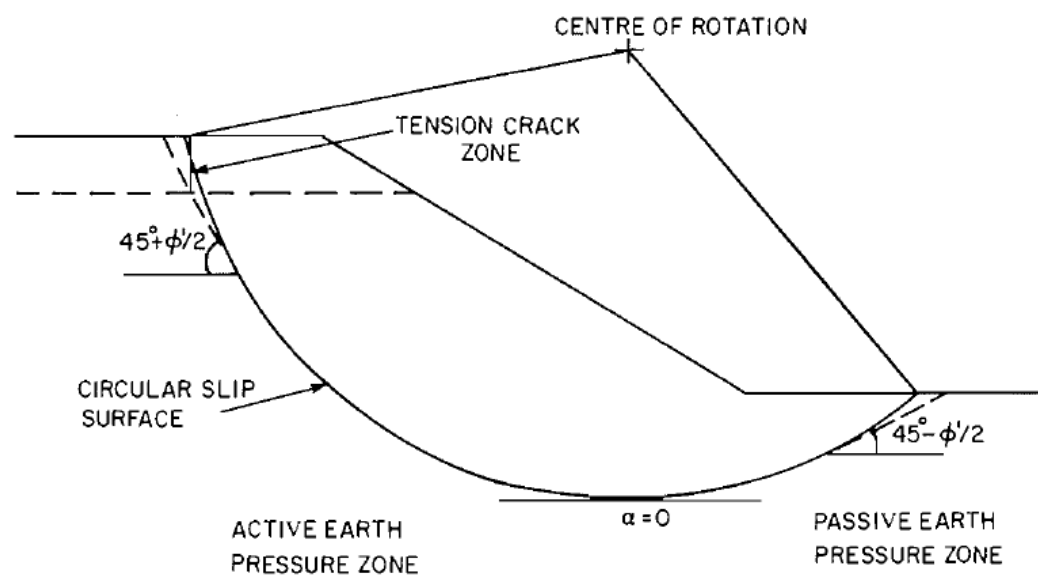


FIG. 4. Soil slope divided into active and passive earth pressure zones.

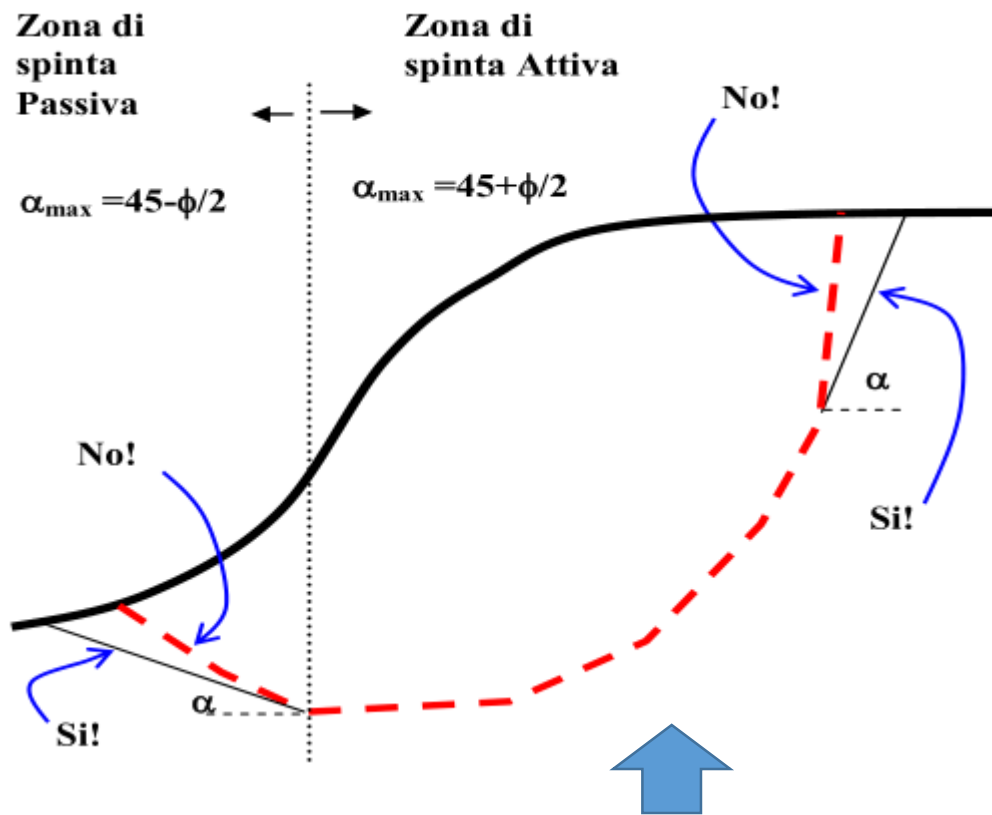
In applying the earth pressure theory, the soil slope is divided into two regions, namely, an active earth pressure zone in which the lateral earth pressure decreases due to lateral displacement and a passive earth pressure zone in which the lateral earth pressure increases due to lateral displacement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

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

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

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

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



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

Some difficulties associated with the limit equilibrium method of slices

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

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

Received February 15, 1983

Accepted July 11, 1983

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

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

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

Caso 1: su ammasso roccioso, arenarie della serie toscana

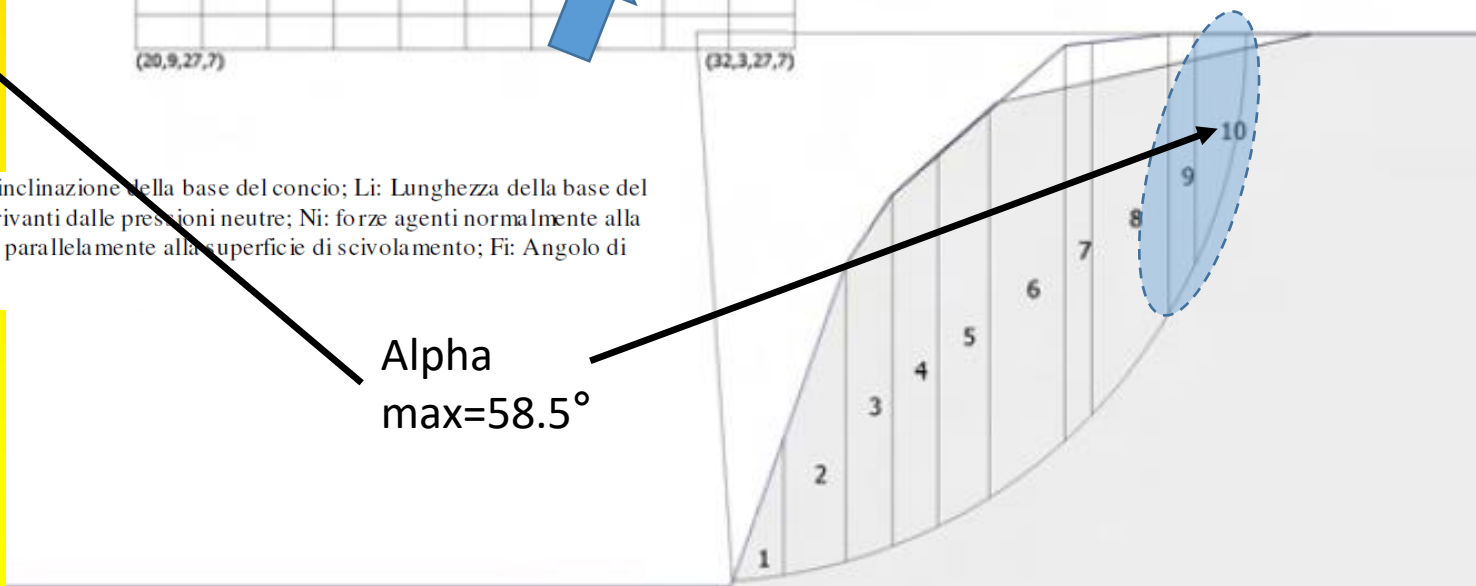
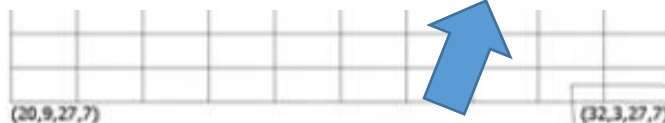
Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato	1,67
Ascissa centro superficie	30,6 m
Ordinata centro superficie	28,02 m
Raggio superficie	9,54 m

$x_c = 30,604$ $y_c = 28,023$ $R_c = 9,543$ $F_s = 1,669$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,89	6,5	0,9	2119,81	198,41	99,21	0,8	27,5	1197,5	595,7	4077,2
2	1,07	12,5	1,1	8016,86	750,38	375,19	0,8	27,5	3783,2	2817,4	5585,9
3	0,8	18,3	0,84	8884,88	831,63	415,81	0,8	27,5	5627,6	3109,8	4552,5
4	0,8	23,5	0,87	9904,18	927,03	463,52	0,8	27,5	6269,5	3272,4	4729,5
5	0,89	29,2	1,02	11579,72	1083,86	541,93	0,8	27,5	6585,0	3506,3	5439,1
6	1,31	37,1	1,64	17577,19	1645,23	822,61	0,8	27,5	6822,7	4474,9	8419,4
7	0,47	44,1	0,66	6196,03	579,95	289,97	0,8	27,5	6654,6	1139,2	3196,9
8	1,33	52,6	2,18	14987,36	1402,82	701,41	0,8	27,5	5752,4	-243,0	9448,3
9	0,46	62,1	0,98	3991,82	373,63	186,82	0,8	27,5	4451,4	-2502,3	3542,7
10	0,89	77,5	4,1	4994,12	467,45	233,73	0,8	27,5	2848,9	-30379,3	9277,2

(ID=16) $x_c = 30,60$ $y_c = 28,02$ $R_c = 9,54$ $F_s = 1,67$



B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

Alpha
max=58.5°

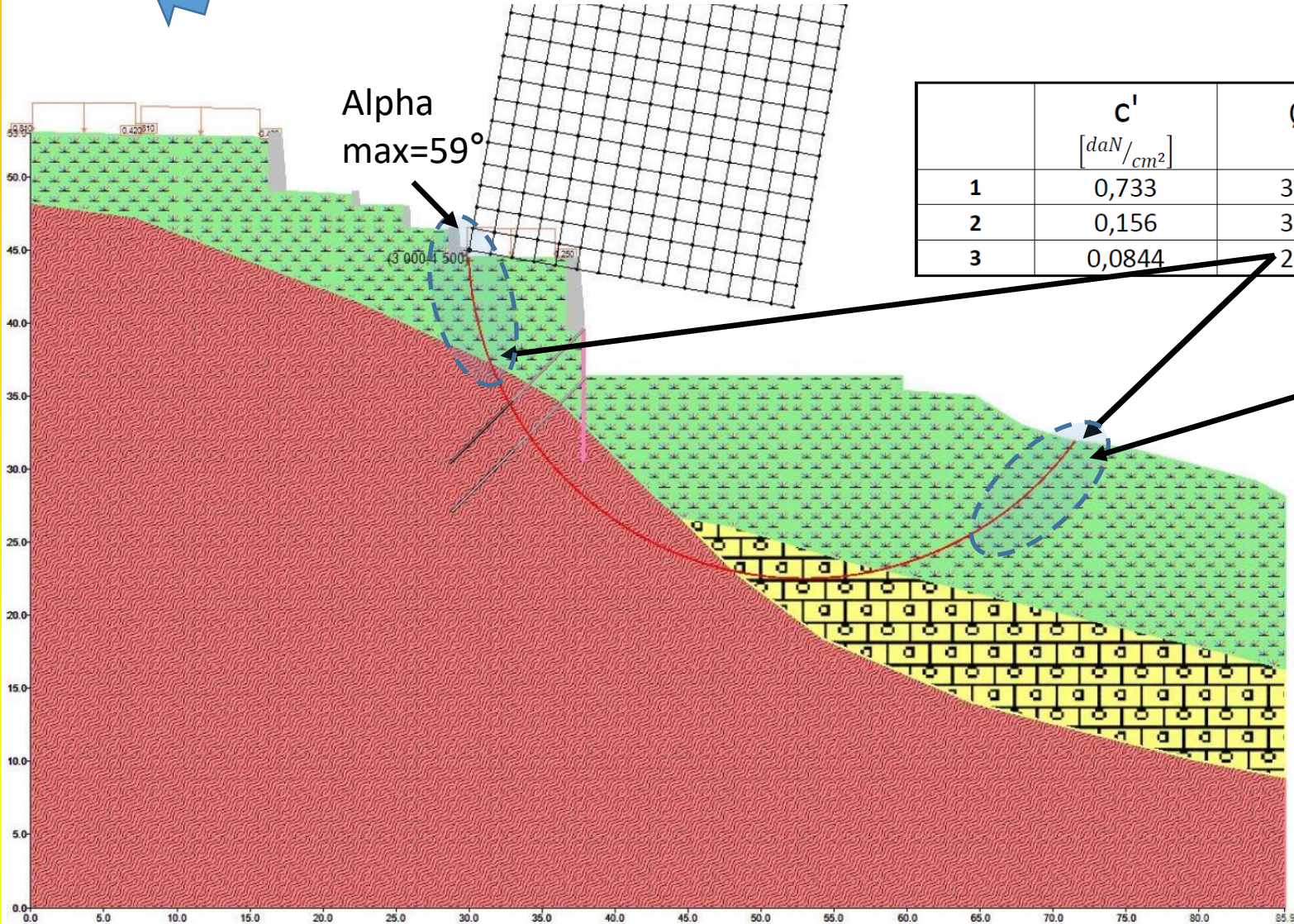
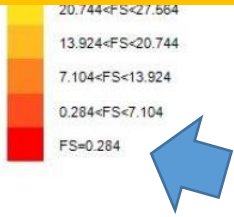
Caso 2: AMPLIAMENTO PARCHEGGIO su argilliti di brolio e copertura di suolo residuale. BERLINESE DI MICROPALI E TIRANTI..

2 Due progettisti

2 Software diversi

.... ma stessi errori (secondo me) nei softwares....

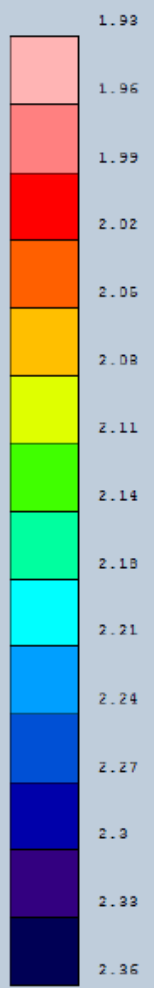
- 1- Materiale litoide da fratturato ad integro;
- 2- Stratificazioni disarticolate e sequenze disordinate di argilliti molto fessurate ed alterate in argille con giunti di rottura. In qualche caso struttura caotica;
- 3- Suoli residuali e colluviali con frammenti di rocce più o meno alterate in matrice argillosa; rara presenza di blocchi.



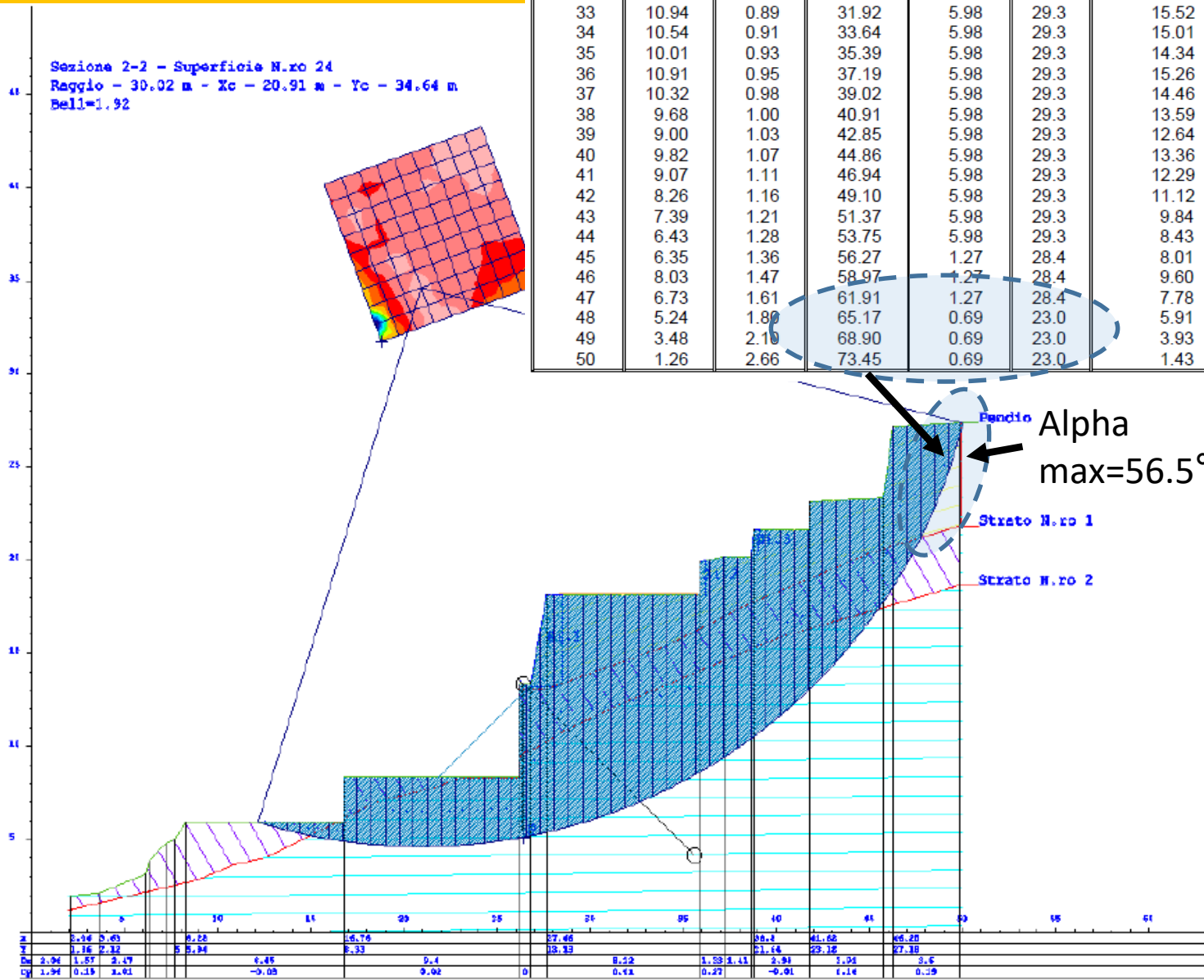
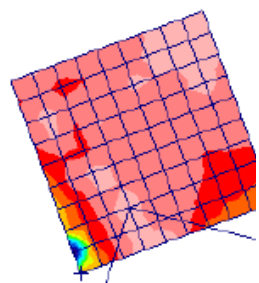
	c' [daN/cm ²]	ϕ	γ [KN/m ³]
1	0,733	35°	21
2	0,156	34°	19,1
3	0,0844	28°	14,9

Concio N.ro	h (m)	L (m)	α (°)	c (t/mg)	ϕ (°)	W (t)
28	10.97	0.83	23.73	5.98	29.3	15.70
29	10.63	0.84	25.32	5.98	29.3	15.28
30	10.26	0.85	26.93	5.98	29.3	14.84
31	9.86	0.86	28.57	5.98	29.3	14.38
32	11.24	0.88	30.23	5.98	29.3	15.90
33	10.94	0.89	31.92	5.98	29.3	15.52
34	10.54	0.91	33.64	5.98	29.3	15.01
35	10.01	0.93	35.39	5.98	29.3	14.34
36	10.91	0.95	37.19	5.98	29.3	15.26
37	10.32	0.98	39.02	5.98	29.3	14.46
38	9.68	1.00	40.91	5.98	29.3	13.59
39	9.00	1.03	42.85	5.98	29.3	12.64
40	9.82	1.07	44.86	5.98	29.3	13.36
41	9.07	1.11	46.94	5.98	29.3	12.29
42	8.26	1.16	49.10	5.98	29.3	11.12
43	7.39	1.21	51.37	5.98	29.3	9.84
44	6.43	1.28	53.75	5.98	29.3	8.43
45	6.35	1.36	56.27	1.27	28.4	8.01
46	8.03	1.47	58.97	1.27	28.4	9.60
47	6.73	1.61	61.91	1.27	28.4	7.78
48	5.24	1.80	65.17	0.69	23.0	5.91
49	3.48	2.10	68.90	0.69	23.0	3.93
50	1.26	2.66	73.45	0.69	23.0	1.43

COEFFICIENTI SICUREZZA
Valori Medi



Sezione 2-2 - Superficie N.ro 24
Raggio - 30.02 m - Xc - 20.91 m - Yc - 34.64 m
Bell=1.92

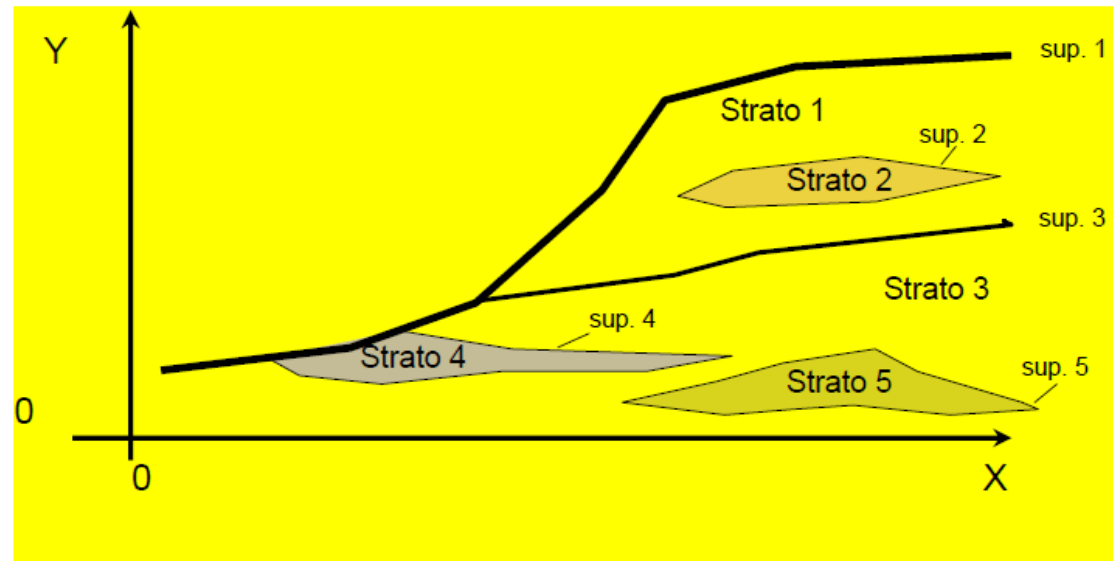


z	3.34	0.63	0.28	0.76	27.46	38.2	41.62	46.25
y	1.16	2.32	5.24	8.33	10.33	11.44	12.18	12.38
Da	2.94	1.85	2.47	4.45	6.22	7.81	9.01	9.6
Ch	1.94	0.15	2.61	-0.05	0.42	0.27	1.14	0.59

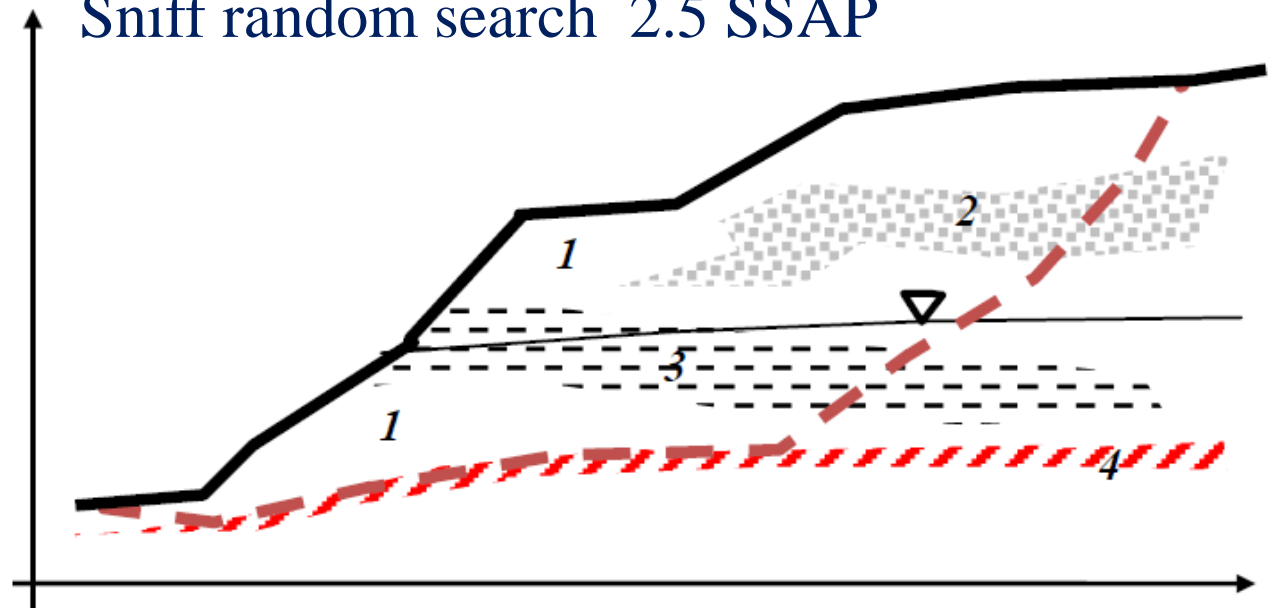
Complessità stratigrafica

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...

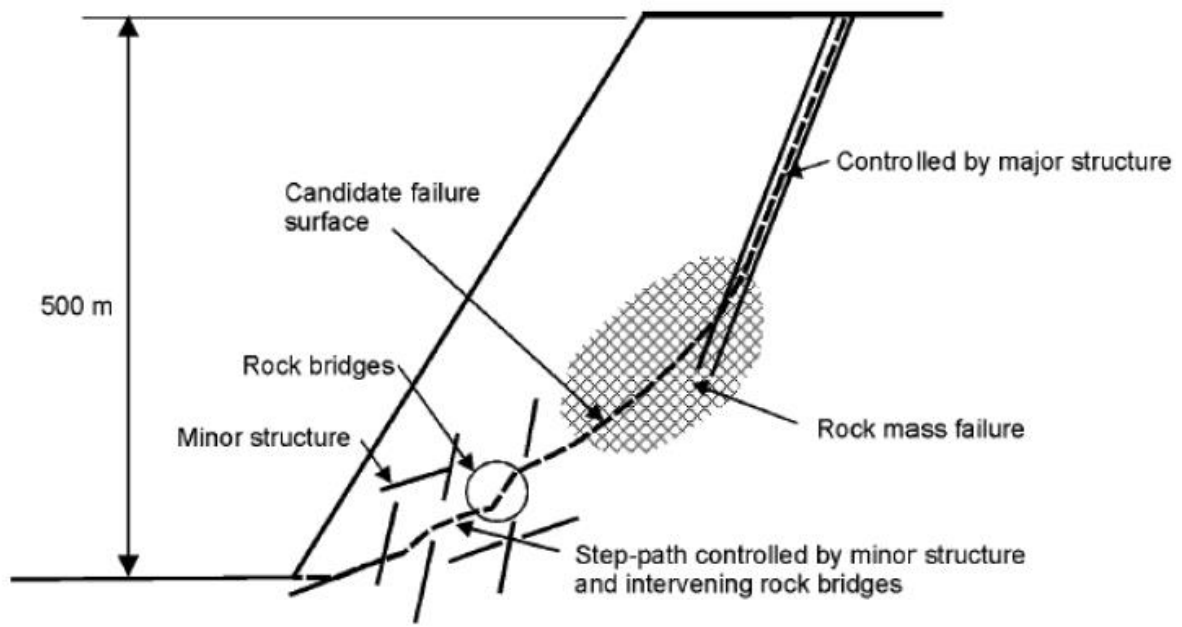


Sniff random search 2.5 SSAP

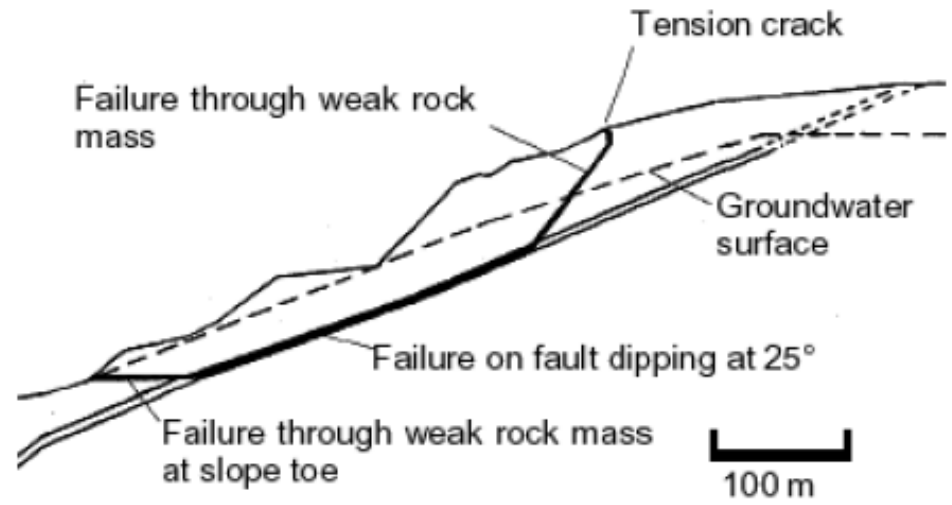


Complessità stratigrafica

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

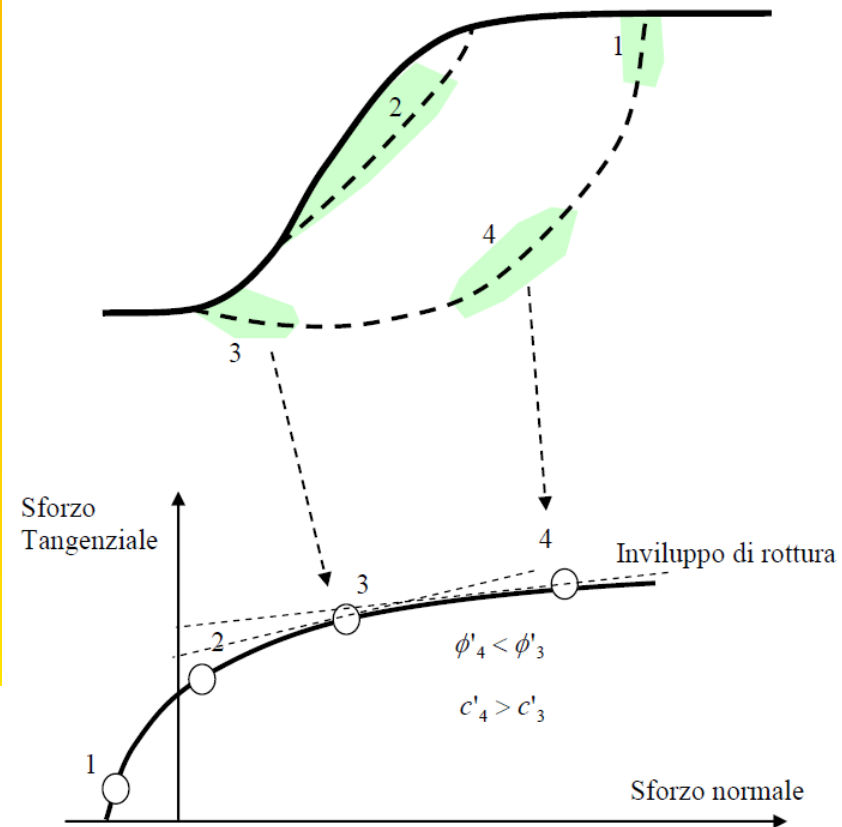
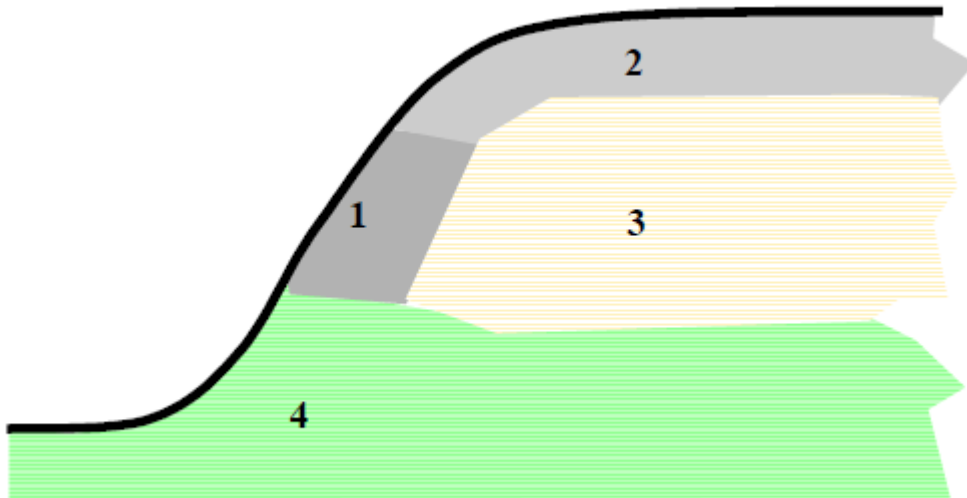


La ricostruzione stratigrafica e strutturale E l'analisi deve tenere conto il più possibile di queste caratteristiche, senza eccessive semplificazioni.



Complessità geomeccanica

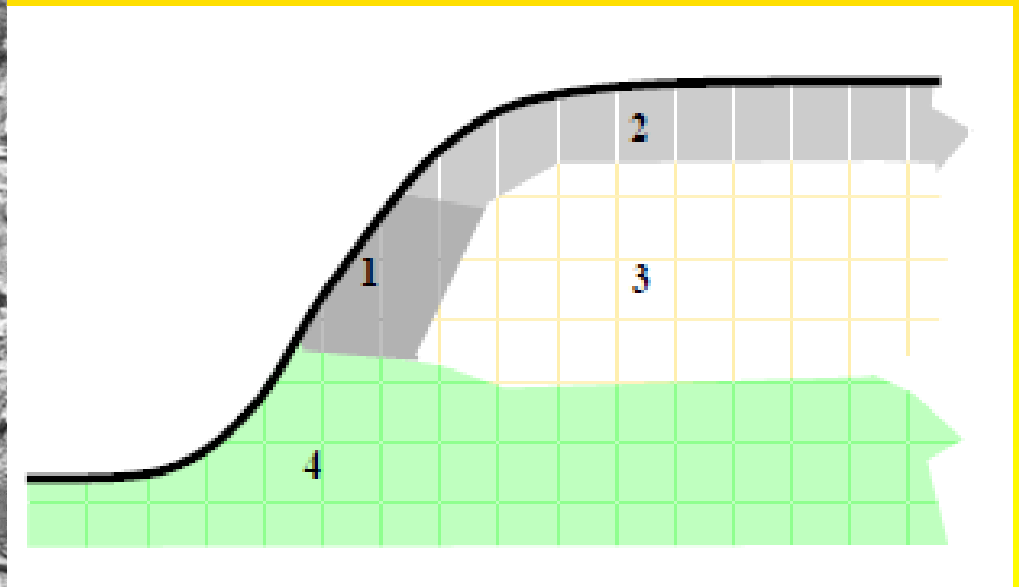
- Criteri di rottura utilizzati: Es: mohr-coulomb Hoek et al. (2002) Barton ...
- Condizioni a breve e lungo termine (dissipazione pressioni interstiziali: cond drenate e non drenate)



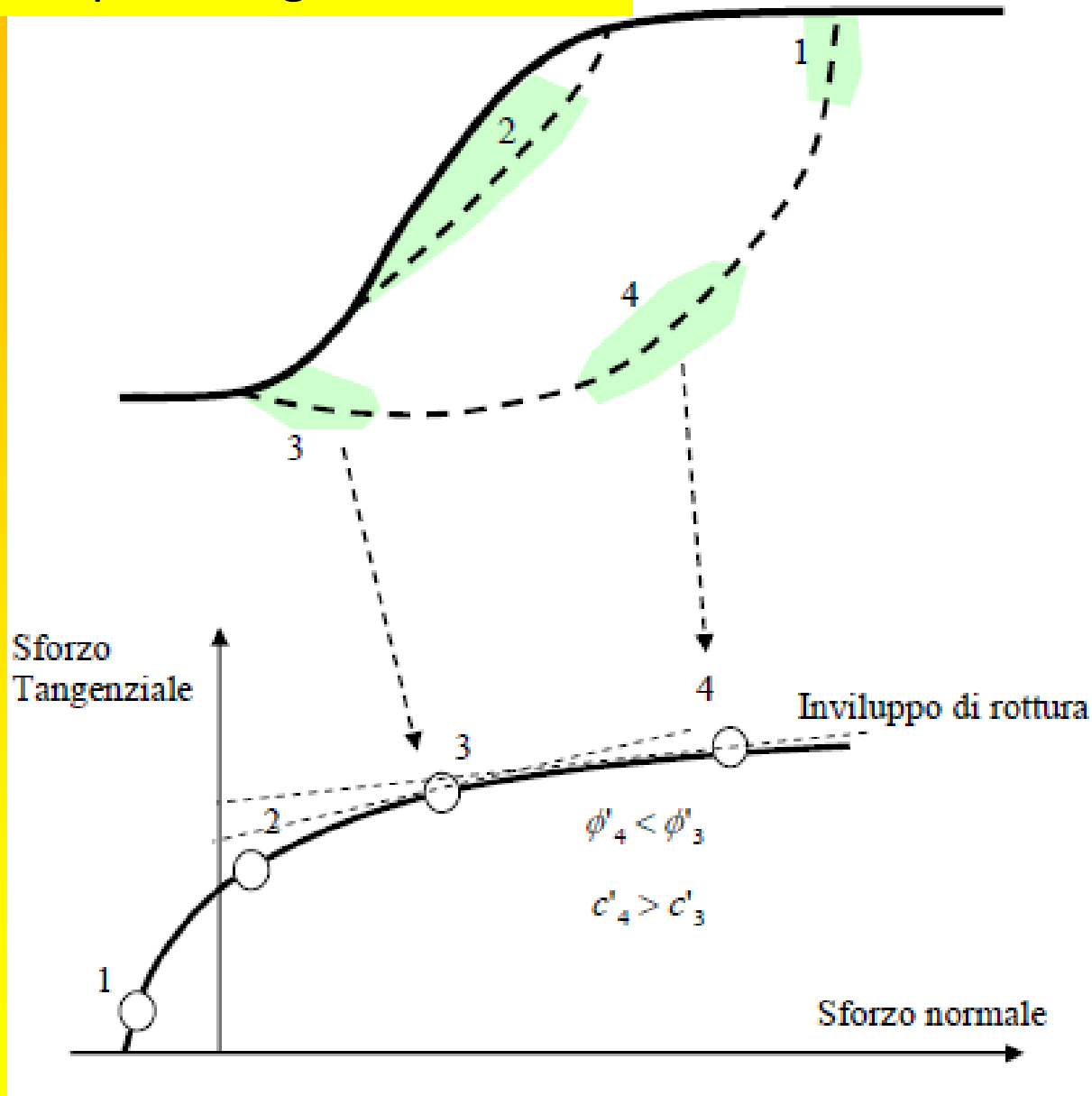
- Non linearità involucro condizioni di rottura (piano tau-sigmaN)

Complessità geomeccanica

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.



Complessità geomeccanica



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.

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

← Phi'

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

← C'

GSI: determinazione parametri equivalente locali resistenza al taglio

Dove:

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

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

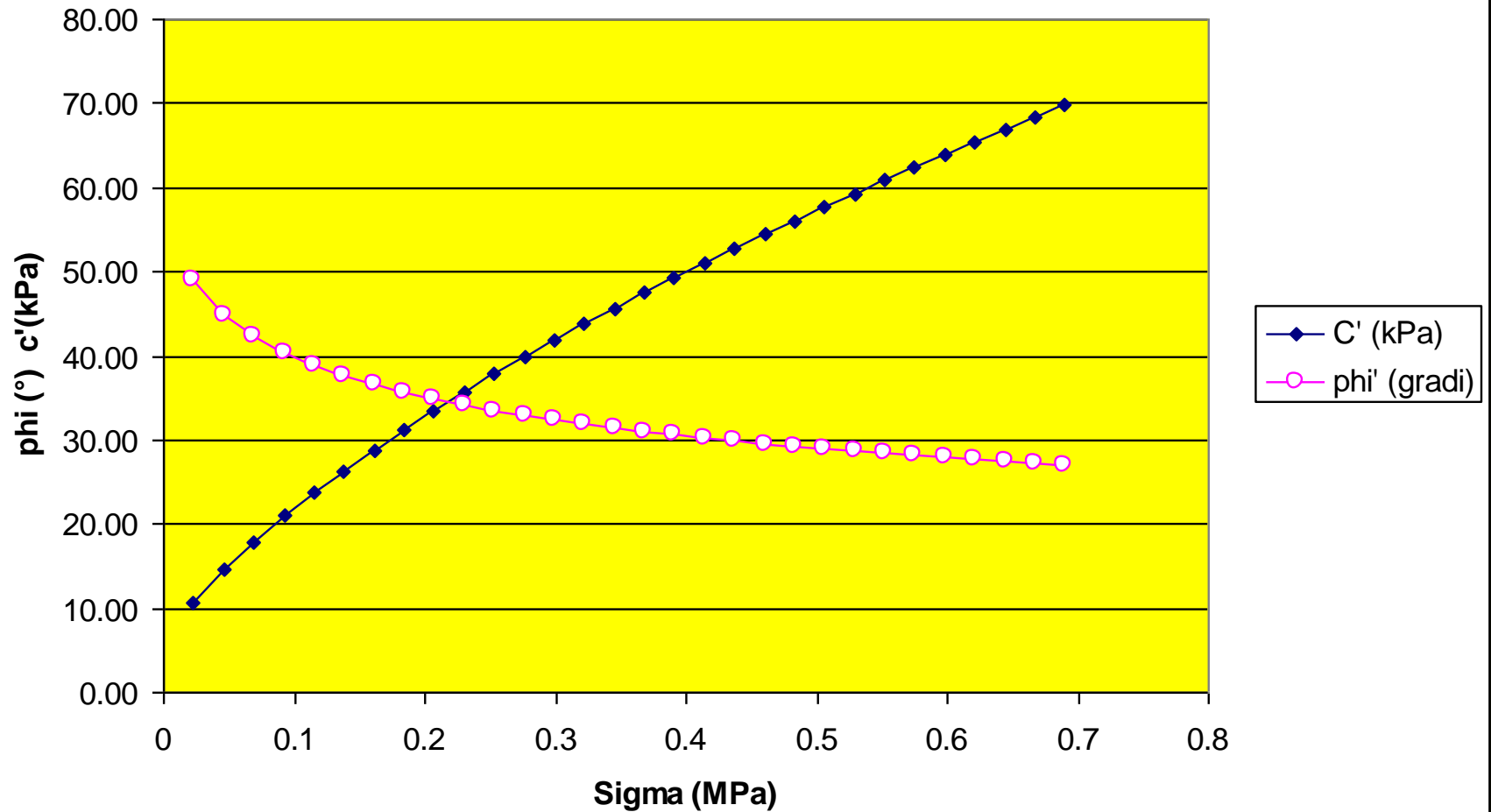
$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

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

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

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

Criterio di Rottura Hoek et al (2002)



Complessità geomeccanica

Una alternativa al GSI che puo' essere gia usata in SSAP...

Da Barton (2013) stima di phi' e c' equivalenti
In ammasso roccioso partendo parametri di
Classificazione del metodo Q (quindi una
alternativa al RMR e al GSI)



The remarkable complexity of the algebra for estimating c' and φ' with Hoek–Brown GSI-based formulations is contrasted with the simplicity of equations derived by ‘splitting’ the existing Q_c formula into two parts, as described in Barton (2002) ($Q_c = Q\sigma_c/100$, with σ_c expressed in MPa).

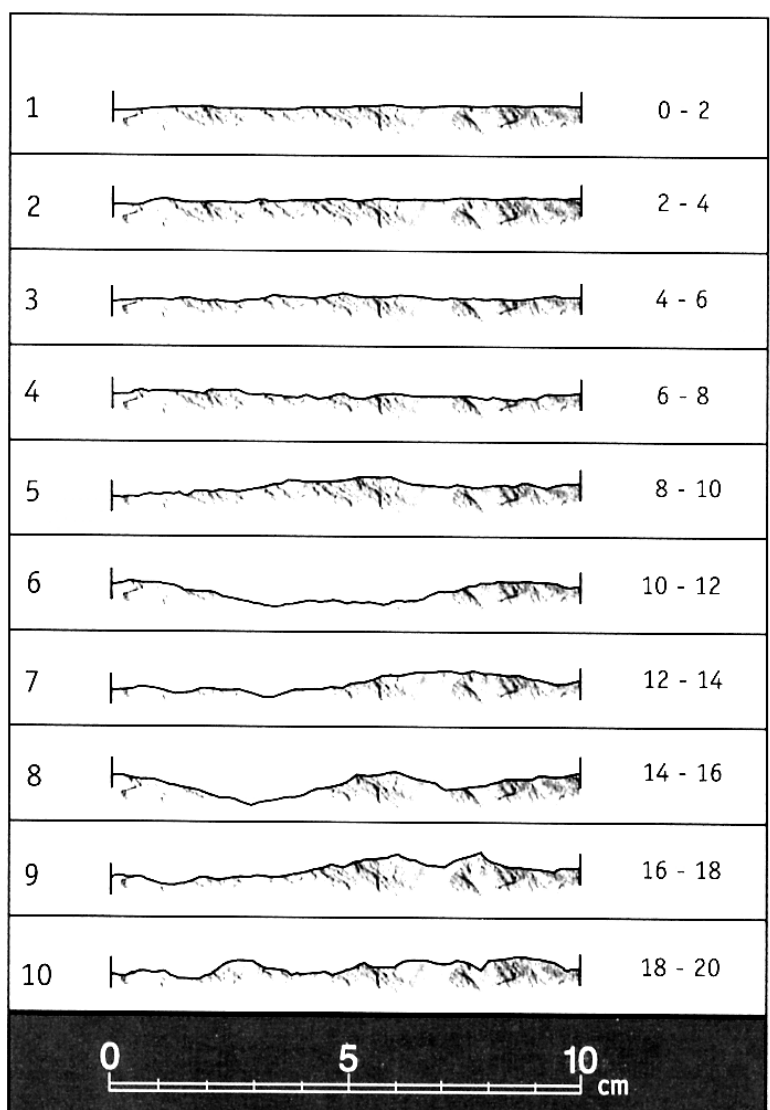
Expression	Origin
$“\varphi” \approx \tan^{-1} \left(\frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{1} \right)$	(1) FC from Q
$\varphi' = a \sin \left[\frac{6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$	(2) From GSI
$“c” \approx \left(\frac{RQD}{J_n} \times \frac{1}{SRF} \times \frac{\sigma_c}{100} \right)$	(3) CC from Q
$c' = \frac{\sigma_{ci} \left[(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n} \right] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+u)(2+a) \sqrt{1 + [6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}] / [(1+a)(2+a)]}}$	(4) From GSI

Da Barton (2013)

Complessità geomeccanica

Caso di discontinuità ben identificate

Tavola del JCR



Criterio di Barton (1985) y Patton 1966 per resistenza al taglio di discontinuità

JRC = coefficiente adimensionale di rugosità
 JCS = resistenza compressione uniassiale sulla superficie della discontinuità (MPa)

σ_n = presión normale alla superficie della discontinuità

ϕ_b = angolo di frizione basale (o residuale) da tilt test.

i = angolo di dilatanza

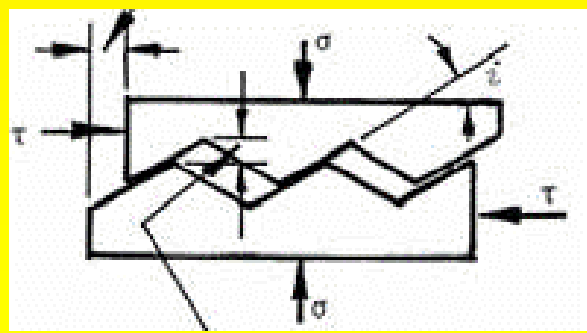
Barton (1985)

$$\tau = \sigma_n * \tan \left[JRC * \text{Log}_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \phi_b \right]$$

$$\tau = \sigma_n \text{tg} (\phi_b + i)$$

Patton (1966)

$$\phi_p = \phi_b + i$$



**Area con Isotropia strutturale
(strati a reggipoggio piu'
Famiglie aggiuntive di discontinuita')**

(Barton 1985
Per specifiche
discontinuita')

Metodo GSI

**Area con discontinuita' e marcata
Anisotropia strutturale
(strati a franapoggio)**

Metodo
BARTON(1985)
(+ GSI..)

Letti di strato
(Barton 1985)

GSI

Campi di applicazione dei metodi GSI e Barton

Parametri geomeccanici in SSAP - file .GEO

Criterio di rottura Hoek et al. (2002).

Nel caso di strati che vengono caratterizzati geomeccanicamente in base al **criterio di rottura di Hoek(2002)**, da applicarsi a **ammassi rocciosi fratturati e rocce deboli/tenere**

i **parametri da usare in alternativa** a quelli del **criterio Mohr-Coulomb** per la definizione delle caratteristiche di resistenza al taglio dell'ammasso e che vengono posizionati in **colonne aggiuntive**, sono i seguenti:

6° colonna : **sigci** = Resistenza Compressione Uniassiale Roccia Intatta (in MPa);

7° colonna: **GSI** = Geological Strength Index ammasso(adimensionale);

8° colonna: **m_i**= Indice litologico ammasso(adimensionale);

9° colonna: **D**= Fattore di disturbo ammasso(adimensionale);

Parametri
método GSI



30.0	0.0	0.0	20.00	22.00				
0.0	0.0	60.0	21.00	23.00				
20.0	30.0	0.0	19.00	20.00				
0.0	0.0	0.0	23.00	25.00	20.0	30	12	0.7
0.0	0.0	0.0	24.00	25.50	35.0	42	12	0.5

N.B.: Nel caso di uso criterio di Barton(2013) si fa uso dei soli valori **phi'** e **c'** equivalenti. Lo stesso nel caso d discontinuità' strutturali e giunti (Barton 1985)

Complessità geo-idrologica e idraulica

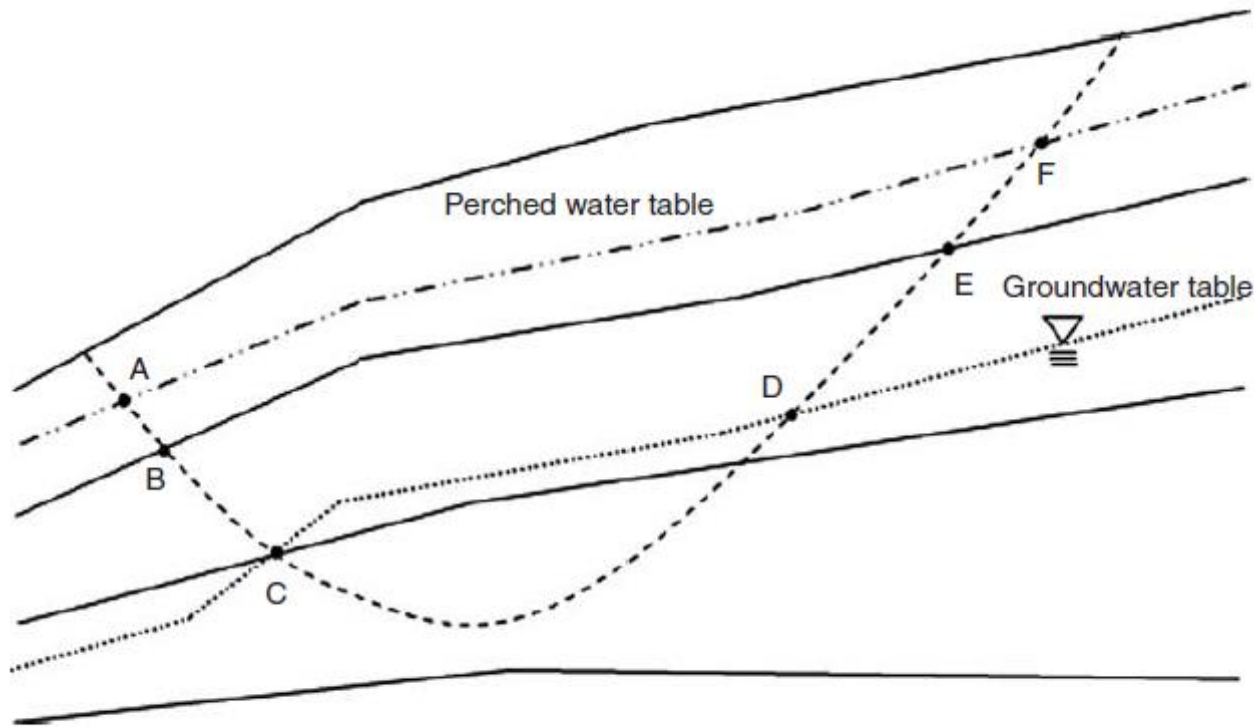


Figure 2.6 Perched water table in a slope.

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

Complessità geo-idrologica e idraulica

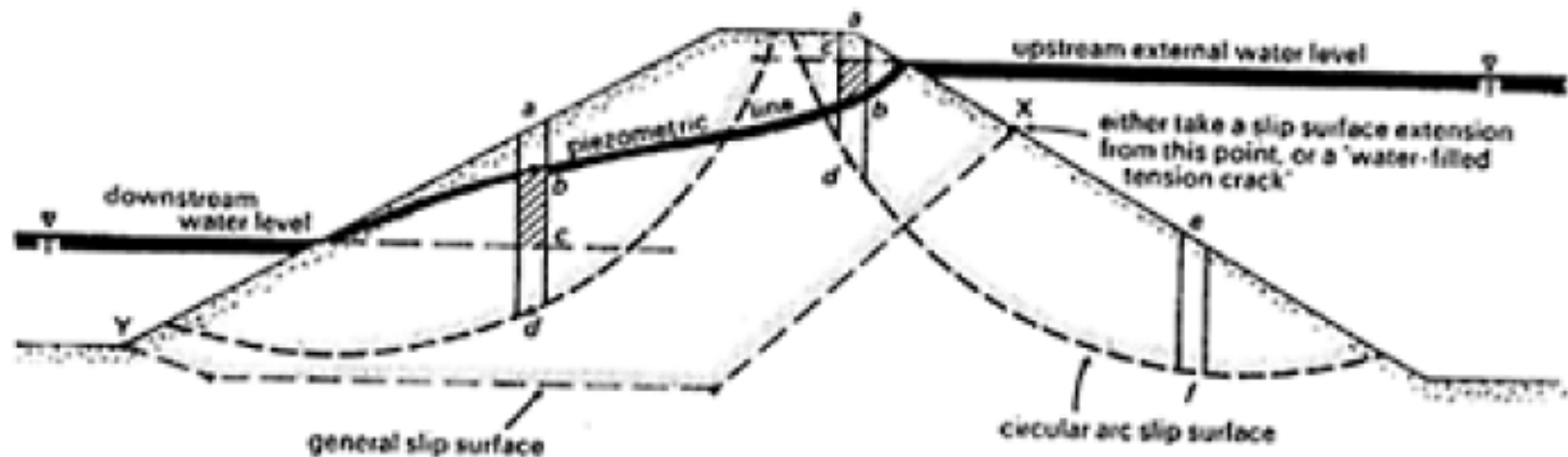
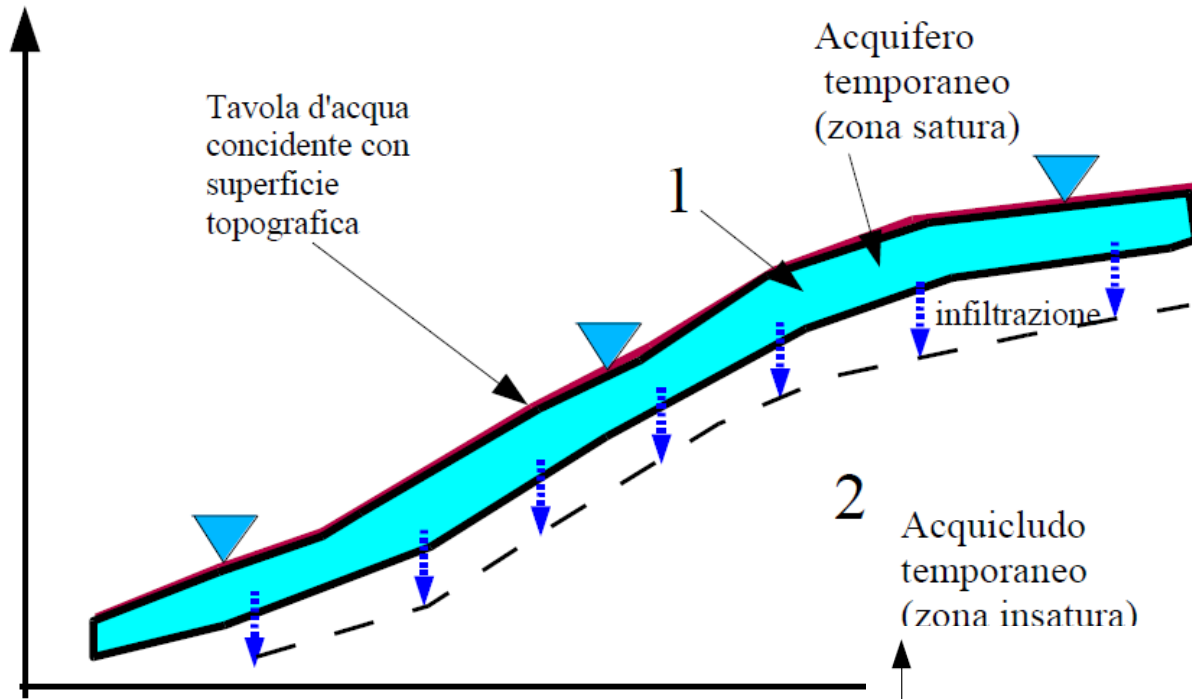


Figure 6.5 Submerged and partly submerged slopes. Bishop's technique for dealing with these is poorly understood, and often misapplied. See the text for details.

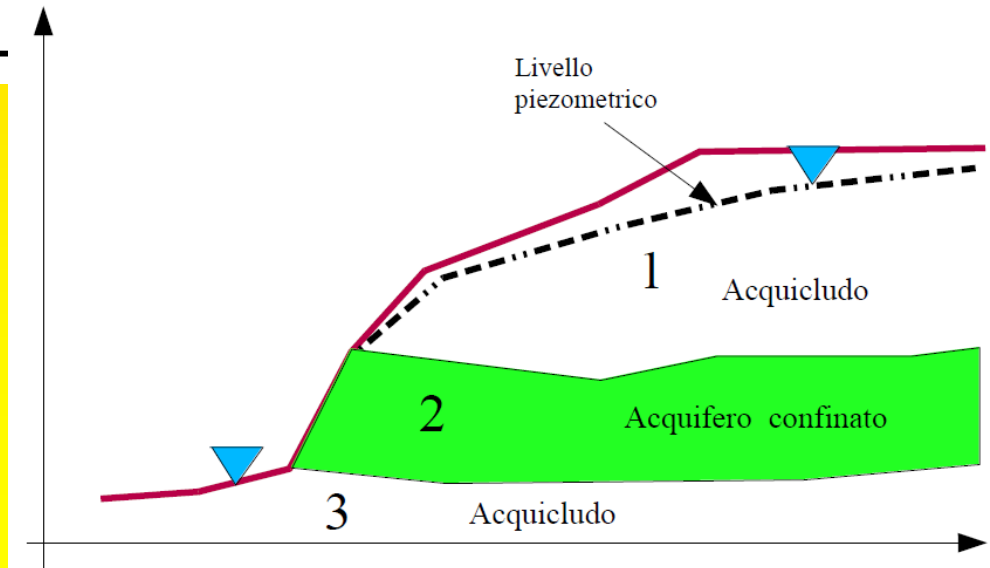
Da Broomhead
(1998)

Complessità geo-idrologica e idraulica



Zone superficiali temporaneamente sature

Acquifero confinato

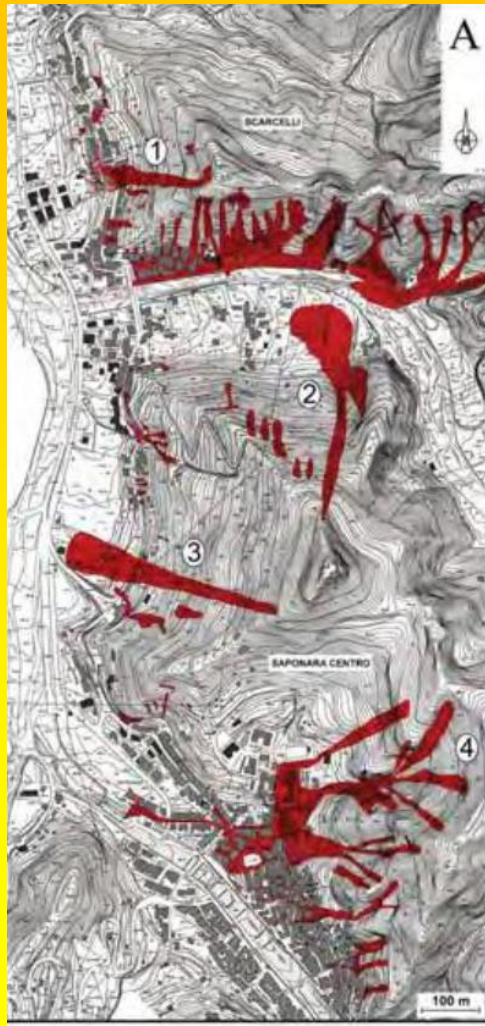


Complessità geo-idrologica e idraulica

Zone superficiali
temporaneamente

Sature: esempio Monti Peloritani
Loc. Scarcelli (MS) – Novembre 2011

Da Rasa' et al. 2011, Geologia dell'ambiente 4/11



Complessità geo-idrologica e idraulica

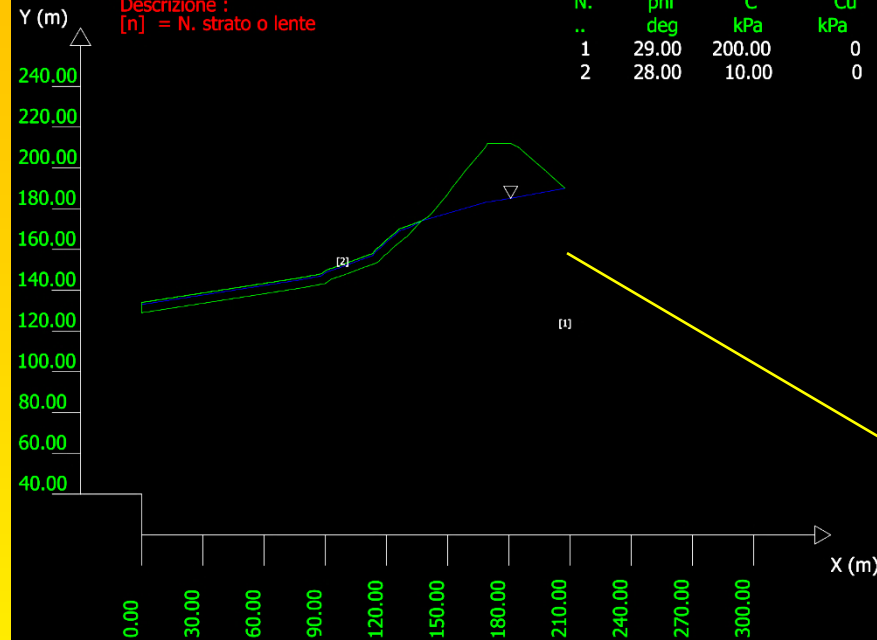
Zone superficiali
temporaneamente
sature

SSAP 4.6.5 (2015) - Slope Stability Analysis Program
Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
SSAP/DXF generator rel. 1.2.1 (2014)

Data : 29/9/2015
Località :
Descrizione :
[n] = N. strato o lente

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	29.00	200.00	0	19.00	21.00	0	0	0	0
2	28.00	10.00	0	16.00	19.00	0	0	0	0



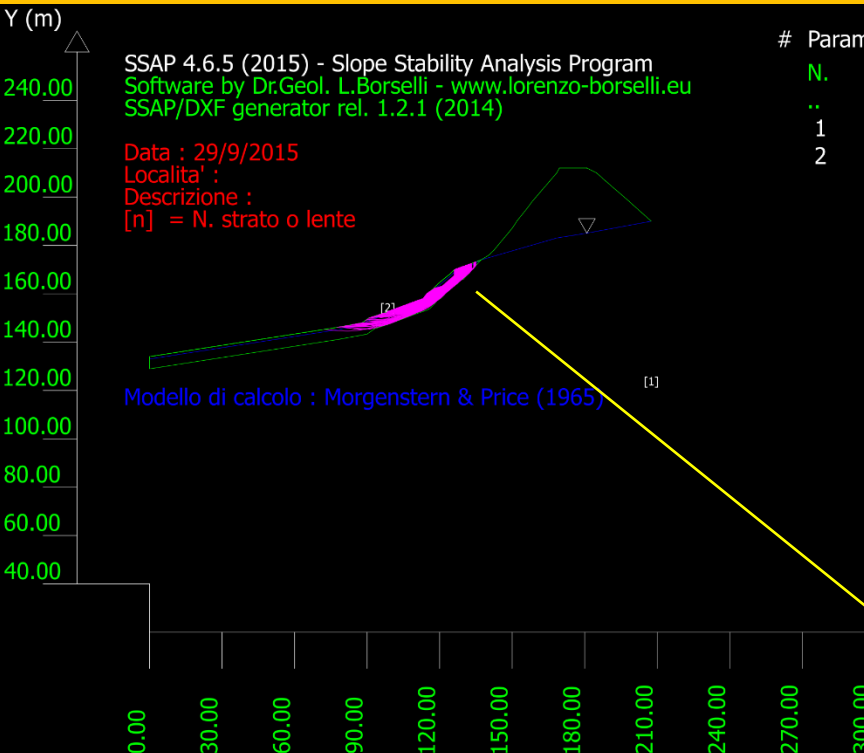
Strato pedogenetico e detrítico
colluviale sopra rocce metamorfiche
o calcaree



Complessità geo-idrologica e idraulica

Zone superficiali

Temporaneamente sature



Parametri Geotecnici degli strati

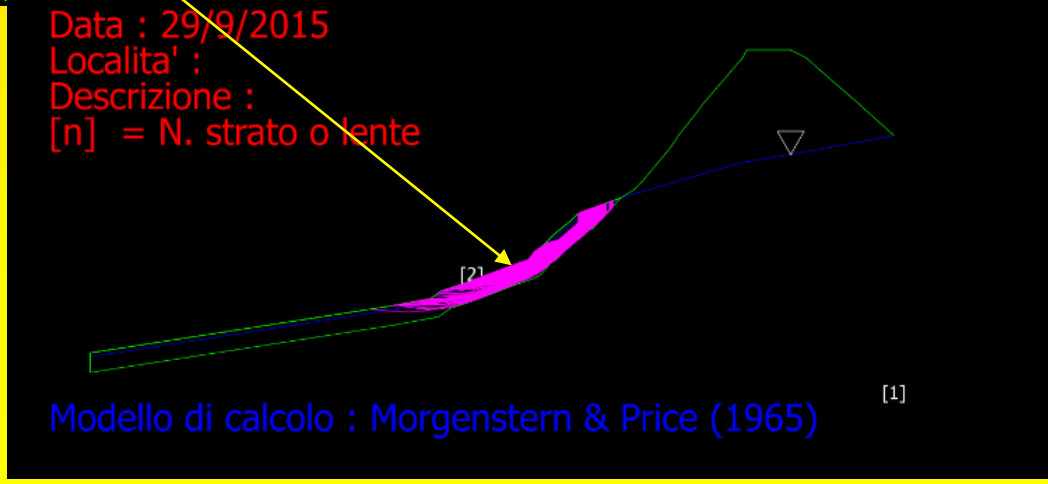
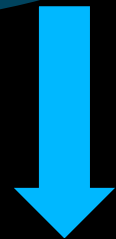
N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	29.00	200.00	0	19.00	21.00	0	0	0	0
2	28.00	10.00	0	16.00	19.00	0	0	0	0

SUPERFICI REGISTRATE CON Fs ENTRO INTERVALLO PREDEFINITO

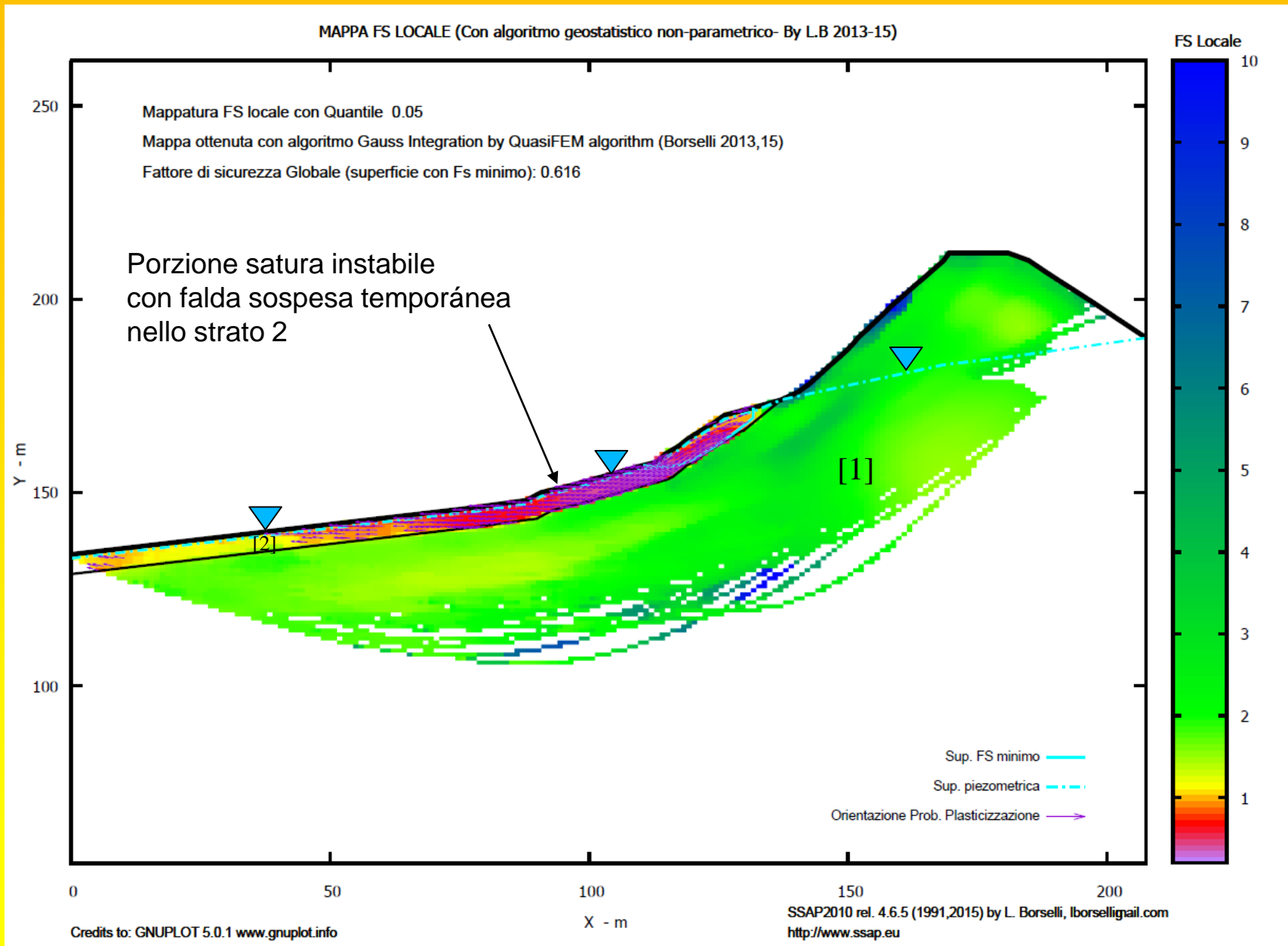
Fs minimo : 0.400
 Fs massimo : 1.000
 N.Superfici plottate : 2456
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.000

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

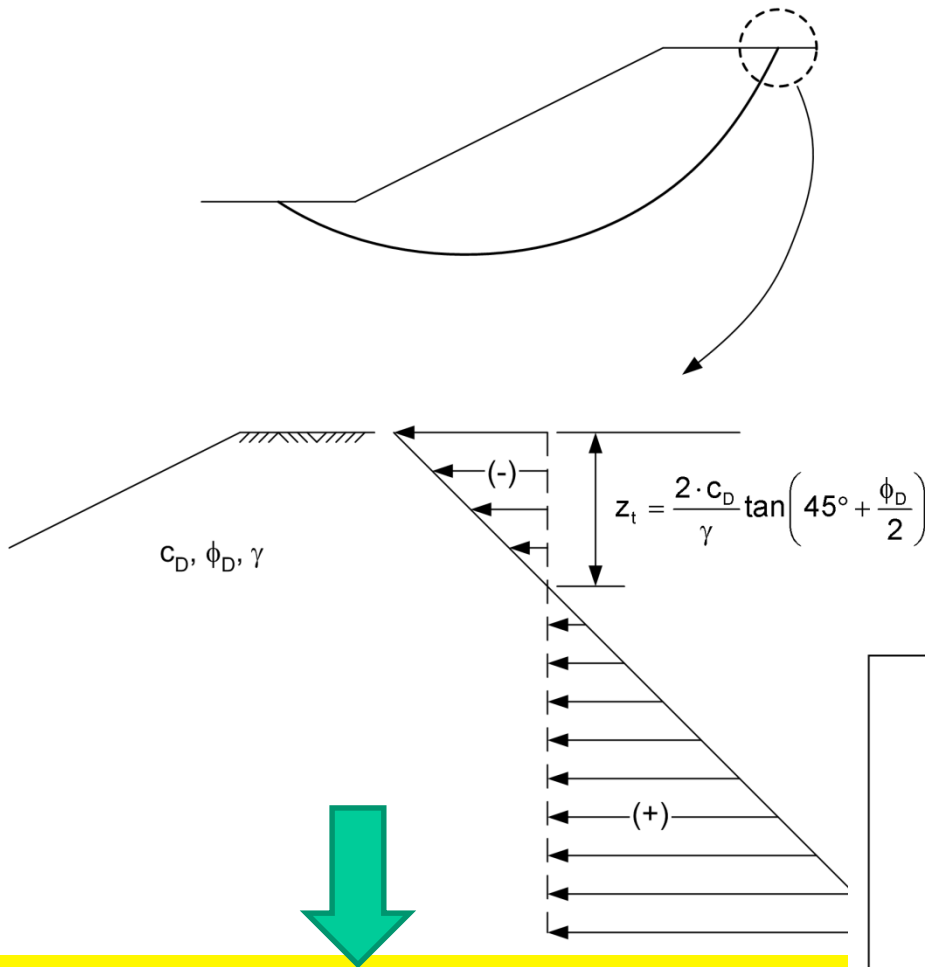
Campione Superfici - N.: 8365
 Lunghezza media segmenti (m) : 8.3
 Range X inizio generazione : 0.1 - 186.9
 Range X termine generazione : 20.9 - 203.4
 Livello Y minimo considerato : 54.2



Complessità geo-idrologica e idraulica



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**

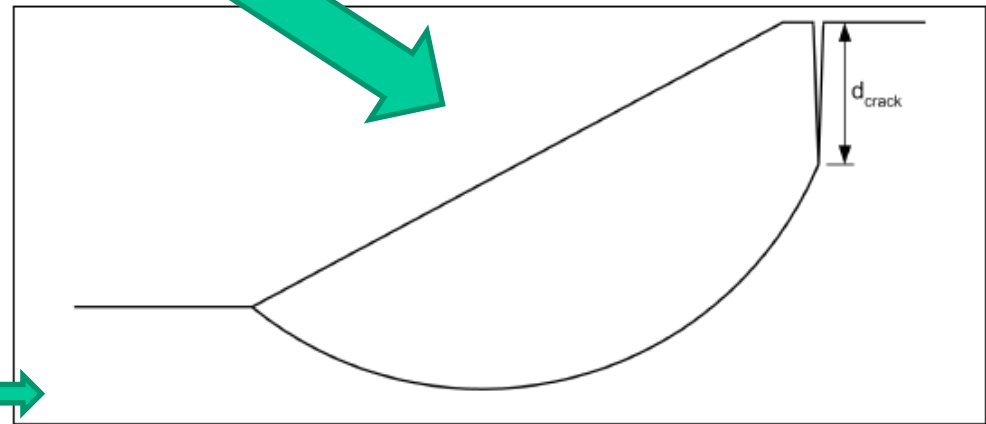


Figure C-22. Vertical crack introduced to eliminate tension near the crest of a slope

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)

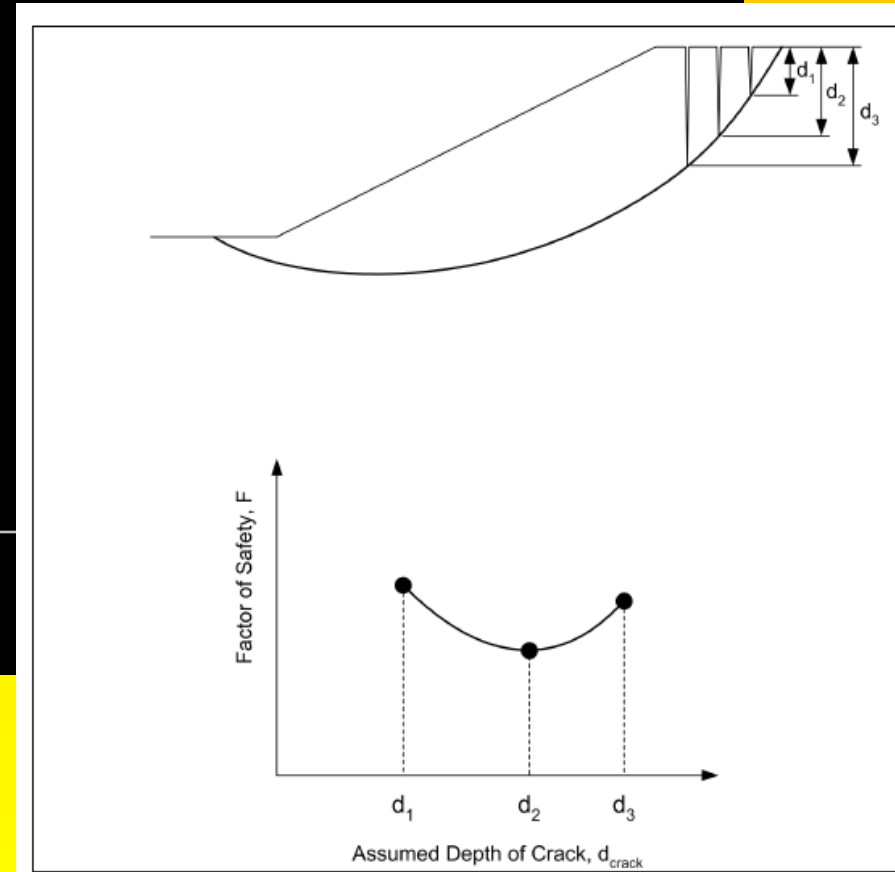
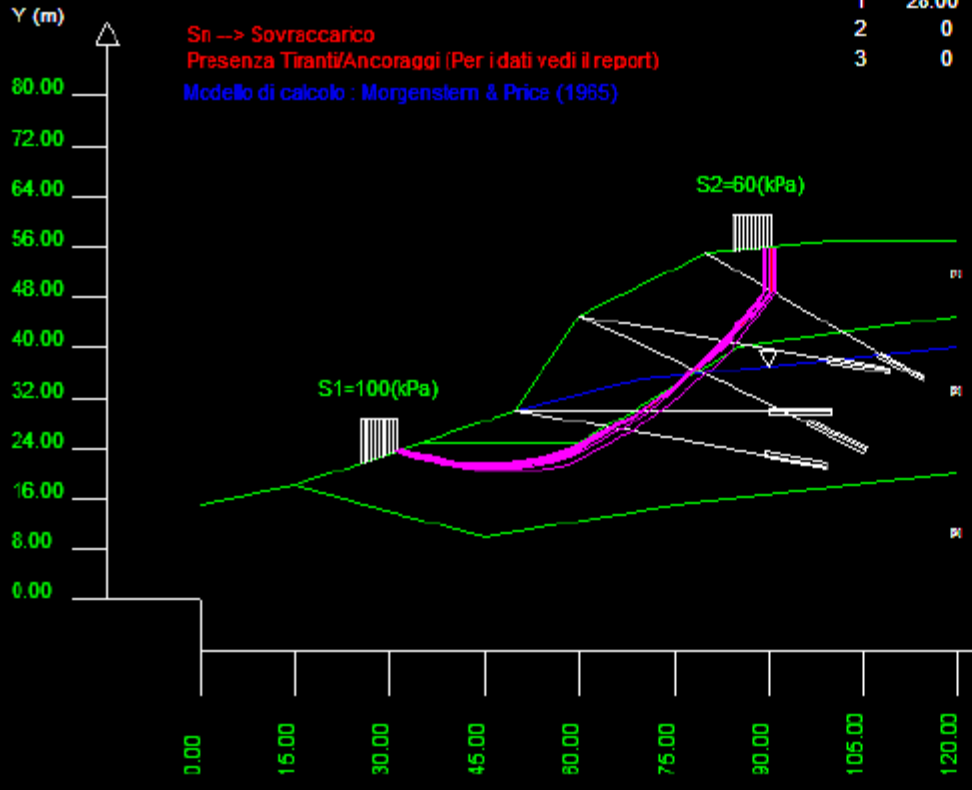
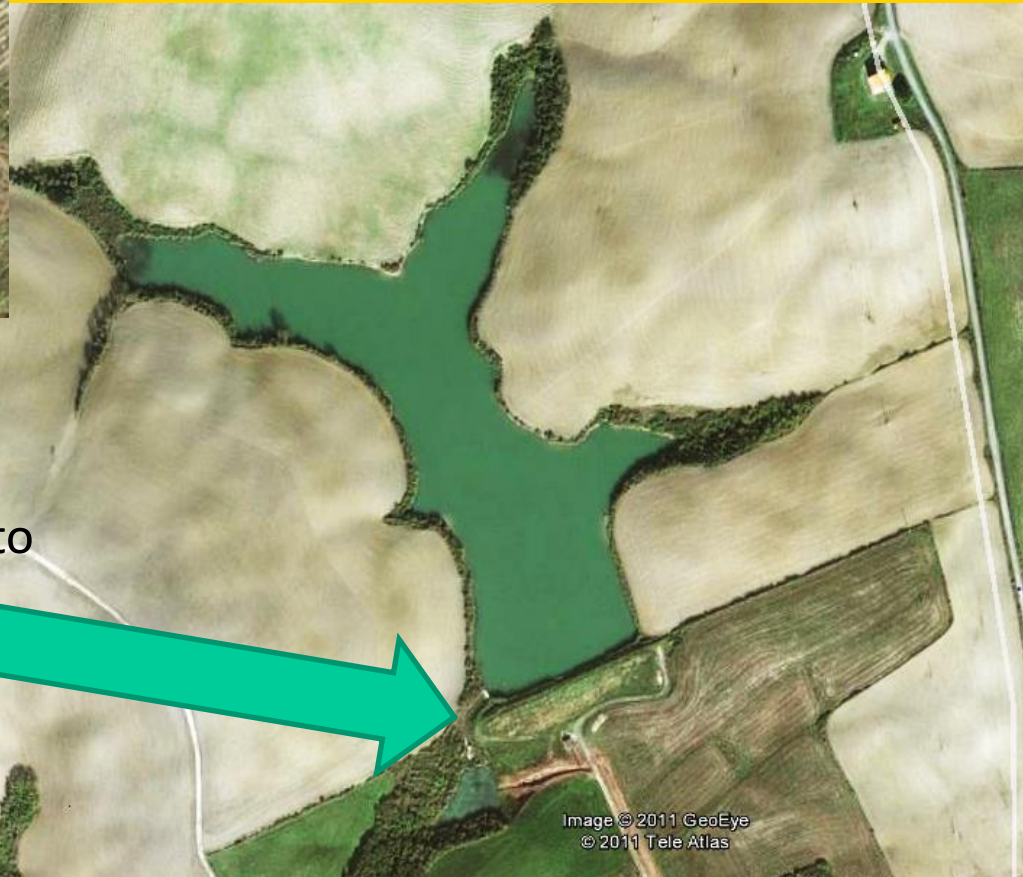


Figure 2-5. Variation in the factor of safety with the assumed depth of vertical crack

esempio Tension cracks in SSAP

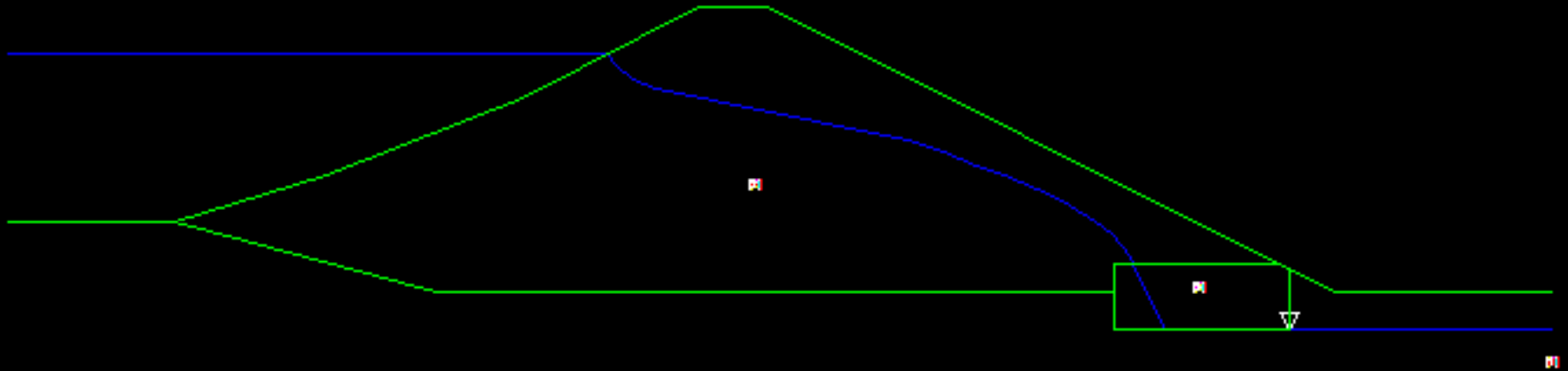
Controllo sulle Verifiche stabilità bacino (anti.mod) Eseguito da L Borselli



Bacino costruito fine anni 50
Primi anni 60 con problemi di cedimento
del corpo diga.
Substrato argille plioceniche
Toscana centrale

Data : 12/1/2013
 Località :
 Descrizione :
 n = No. strati o lenti

# Parametri Geotecnici degli strati #									
N.	phi°	C'	Cu	Gamm	GammSat	aggi	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

verifiche di stabilità:

1) Condizioni drenate a lungo termine

A. Senza svaso rapido

B. Con svaso rapido (molto ipotetica)

2) Condizioni non drenate (breve termine)

A. Senza svaso rapido

B. con svaso rapido

verifiche con effetto sismico $K_h=0.08$

Opzioni attivate in Ssap 4.8.0

Coeff sismico orizz. →

Smussatore superfici di scorrimento →

OPZIONI GENERALI per Verifiche di Stabilità SSAP

Coefficiente sismico orizzontale - Kh **0.080**

Coefficiente c=Kv/Kh **0.500** Kv (negativo)

Fs di Progetto richiesto (solo per analisi deficit di resistenza) **1.100**

METODO DI CALCOLO

JANBU RIGOROSO (1973)

SPENCER (1973)

SARMA I (1973)

MORGESTERN - PRICE (1965)

CHEN - MORGESTERN (1983)

SARMA II (1979)

BORSELLI (2016)

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

Esplora spazio (lambda0, fs0)

Metodo

A (rapido e accurato)

B (più accurato)

C (molto più accurato)

TIRANTI - ANCORAGGI

PASSIVI

ATTIVI

Distribuzione resistenza

Rettangolare

Trapezoidale

NTC2008 - ROCCE

DISATTIVATO

ATTIVATO

$\gamma_{\phi'}$
 $\gamma_{c'}$

PALIFICATE

Metodo calcolo

ITO - MATSUI (1975) - HASSIOTIS (1997)

KUMAR - HANU (2006) (+ conservativo)

Fattore di riduzione Fd (NTC2008) (Variare da 1 a 100) **1.00**

% di massima mobilizzazione teorica **100.00 (%)**

Applicare nuova metodologia Calcolo Mobilizzazione

Criterio Calcolo Mobilizzazione

MAX [Fpm, E(x)]

MIN [Fpm, E(x)]

SMUSSO SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO

EFFETTO ATTIVATO **Opzioni Smussatore**

EFFETTO DISATTIVATO

ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI

DISATTIVATO

ATTIVATO

MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI

RANDOM SEARCH (RS)

CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)

SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 2.5

RANDOM...

00100101001
01010010101
00010101001
10110101000

TENSION CRACKS TESTA PENDIO

EFFETTO DISATTIVATO

EFFETTO ATTIVATO **Opzioni Tension Cracks**

FILTRAGGIO SUPERFICI

FILTRARE

NON FILTRARE

SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH

Steps di scansione **60**

Frequenza attivazione **0.75**

No-convex oscillazione massima (gradi) **-10.00**

FORZE AGGIUNTIVE PER SUPERFICIE SINGOLA

Forza Ea (alla Base) - kN/m **0.00**

Forza Eb (in Testa) - kN/m **0.00**

PRESENZA DI OSTACOLO INTERNO

CON OSTACOLO

SENZA OSTACOLO

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



1.A con Drenate stabilità a lungo termine – max invaso (senza svaso rapido) Kh=0.08

Fs circa 1.1869 con coeff sismico kh=0.08

Modello di calcolo : Morgenstern - Price (1965)

DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 1.1869
Range Fs : 1.1869 - 1.2013
Differenza % Range Fs : 1.20
Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0800

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 10000
Lunghezza media segmenti (m) : 2.8
Range X inizio generazione : 0.1 - 63.7
Range X termine generazione : 7.2 - 69.2
Livello Y minimo considerato : 0.0

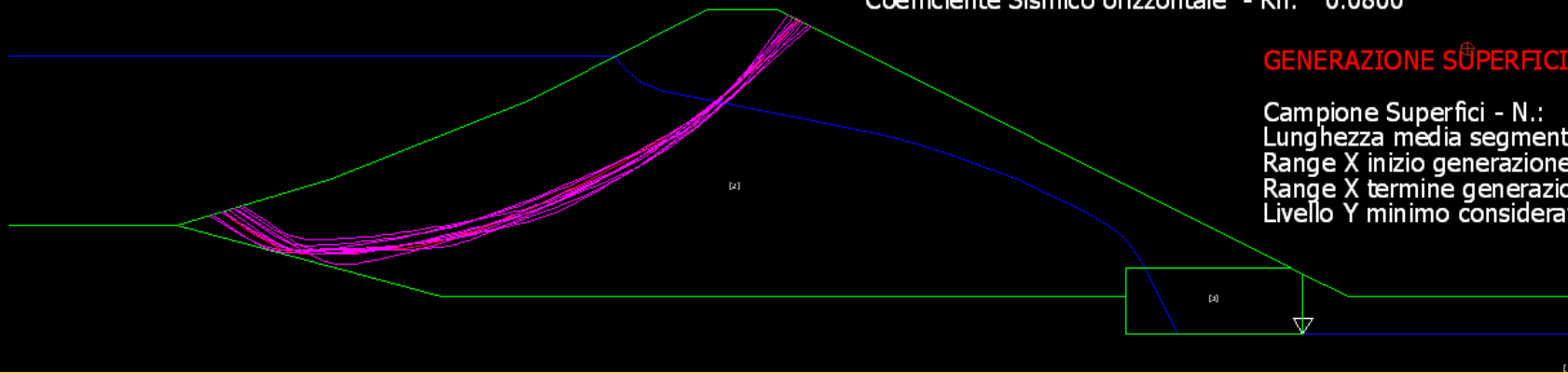
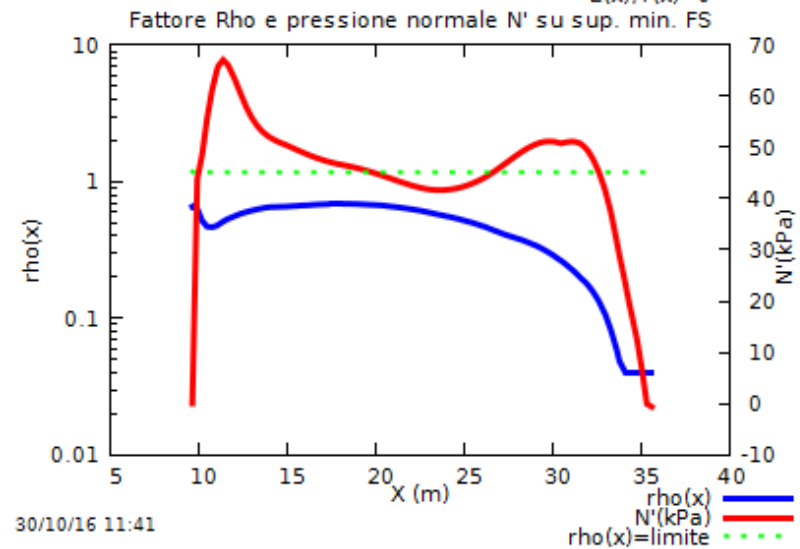
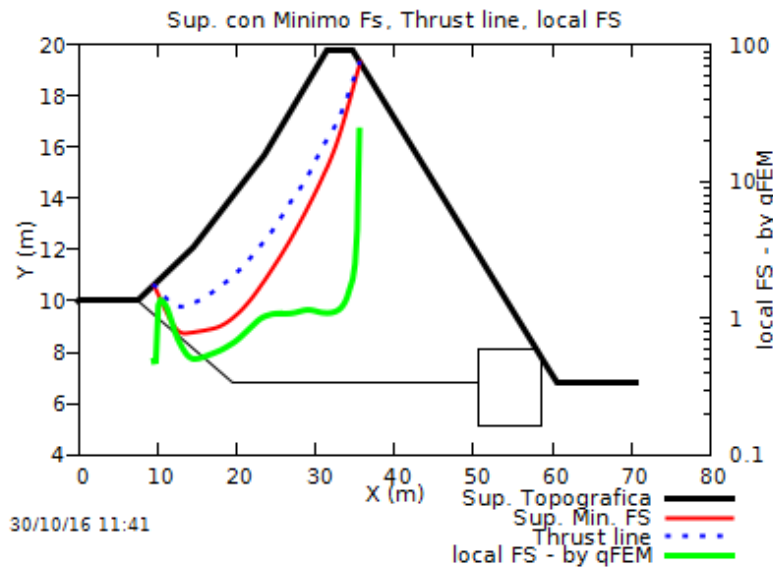
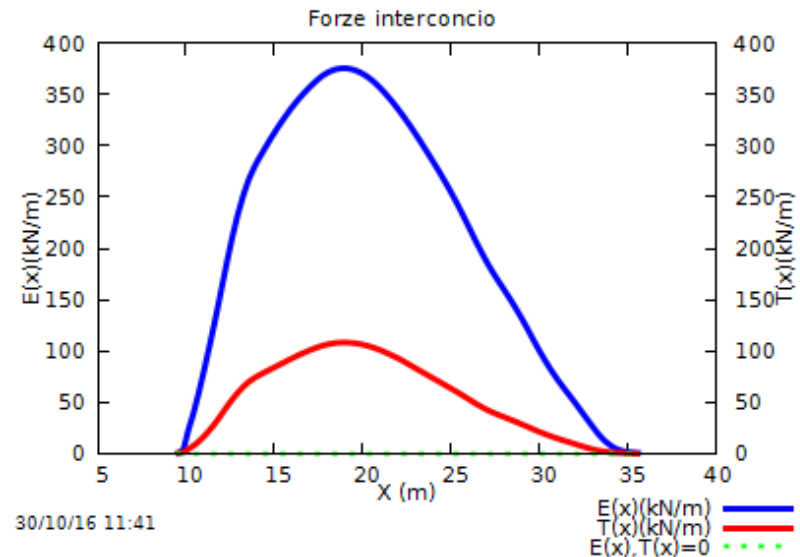
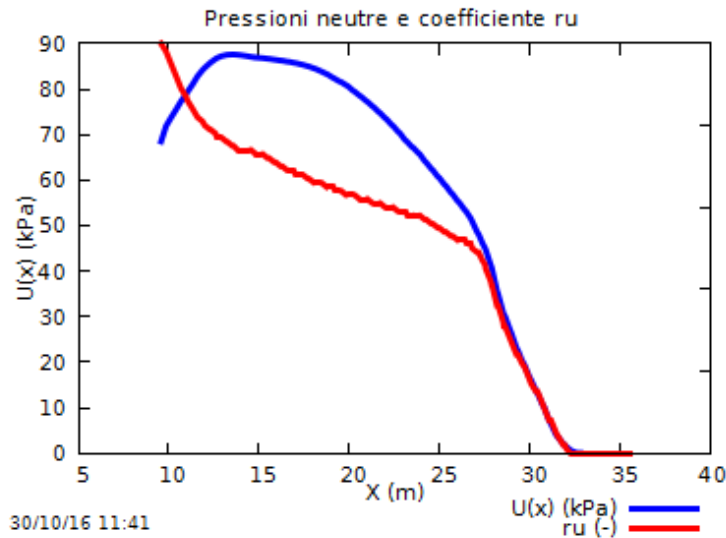
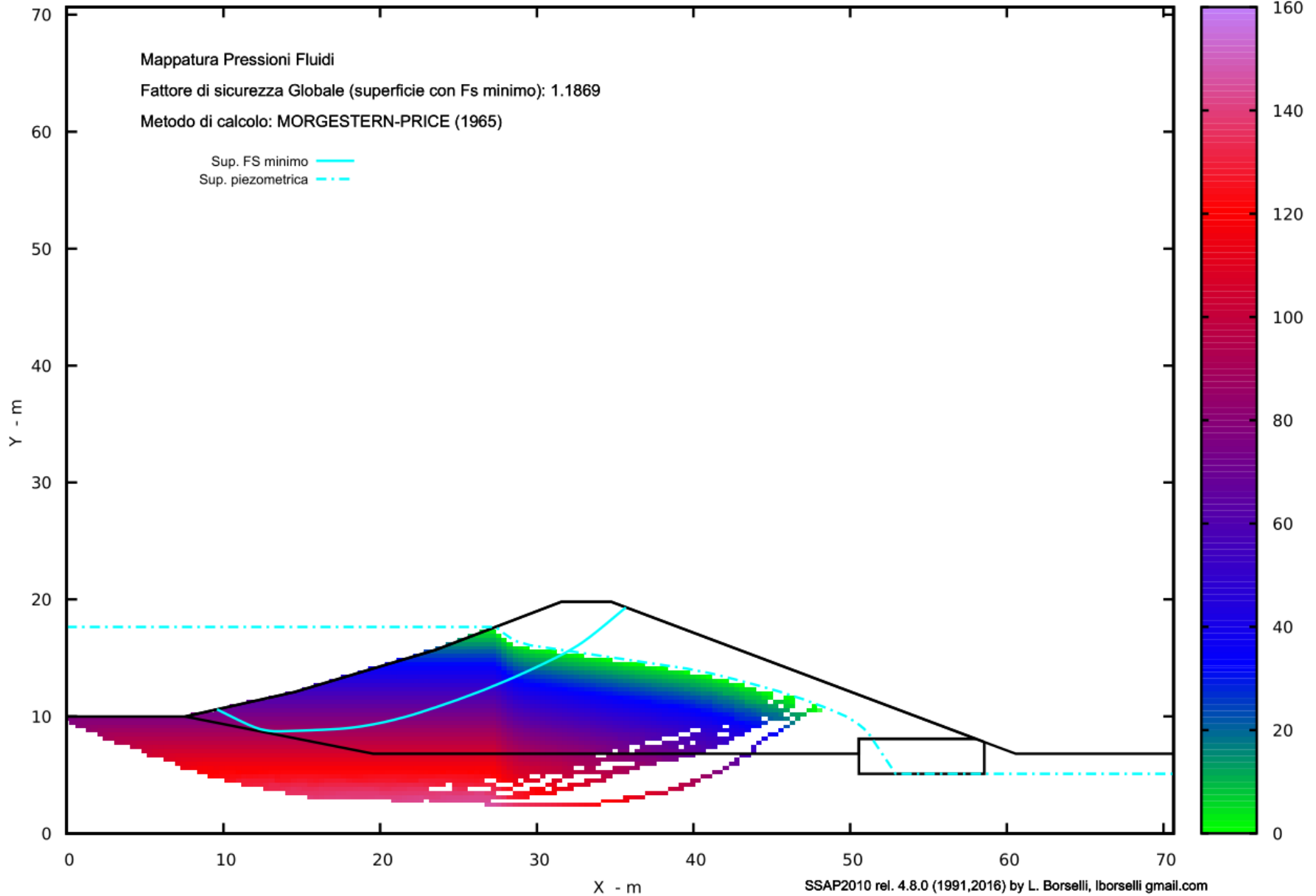


Diagramma delle forze relativo a superficie con FS minimo



SSAP2010 (versione 4.8.0 - 2016) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

MAPPA PRESSIONI FLUIDI (Con algoritmo geostatistico non-parametrico- By L.B 2013-16)



Credits to: GNUPLOT 5.1 www.gnuplot.info

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

Fs circa 2.7761 con coeff sismico $kh=0.08$

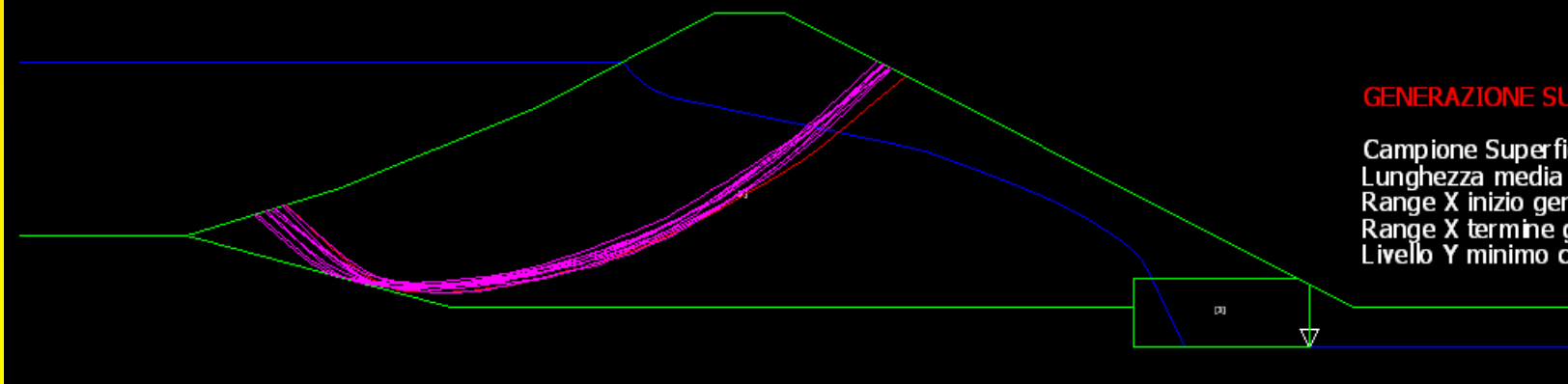
Modello di calcolo : Morgenstern - Price (1965)

DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 2.7761
Range Fs : 2.7761 2.8373
Differenza % Range Fs : 2.15
Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0800

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 10000
Lunghezza media segmenti (m) : 2.8
Range X inizio generazione : 0.1 - 63.7
Range X termine generazione : 7.2 - 69.2
Livello Y minimo considerato : 0.0



2.B cond Non . Drenate con svaso rapido

Eliminando l'effetto del sovraccarico dell'acqua (cond di svaso rapido)




Questo è lo scenario più probabile
Supponendo una scarsa permeabilità del corpo diga

ACQUIFERI DISATTIVABILI

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

CARATTERISTICHE FLUIDO

 **Plotta Curva sovrappressioni**

Gamma fluido (kN/m³) 9.81

Coefficiente A 0

Coefficiente K 0.00080000

Uo minima (kPa) 0.01

Coefficiente di sovrappressione S 1.00

Limita Dissipazione a pressione idrostatica

GENERAZIONE MAPPA PRESSIONE FLUIDI

Attivare Mappa Pressioni Fluidi

Dimensione Griglia Mappa Pressioni

Nodi X 200 X Nodi Y 200

Unita' di misura

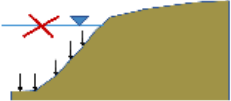
kPa

MPa

GESTIONE PIEZOMETRICHE

Esclusione sovraccarichi pendii sommersi

Esclusione sovraccarico (come pendio sommerso) fino alla Progressiva a (m) 27.00



Prima di modificare i valori PRE-IMPOSTATI dal programma delle CARATTERISTICHE DEL FLUIDO 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

2.B cond Non . Drenate con svaso rapido

Eliminando l'effetto del sovraccarico dell'acqua (cond di svaso rapido)
Fs arriva a essere circa 2.0 !!!



Questo è lo scenario più probabile
Supponendo una scarsa permeabilità del corpo diga

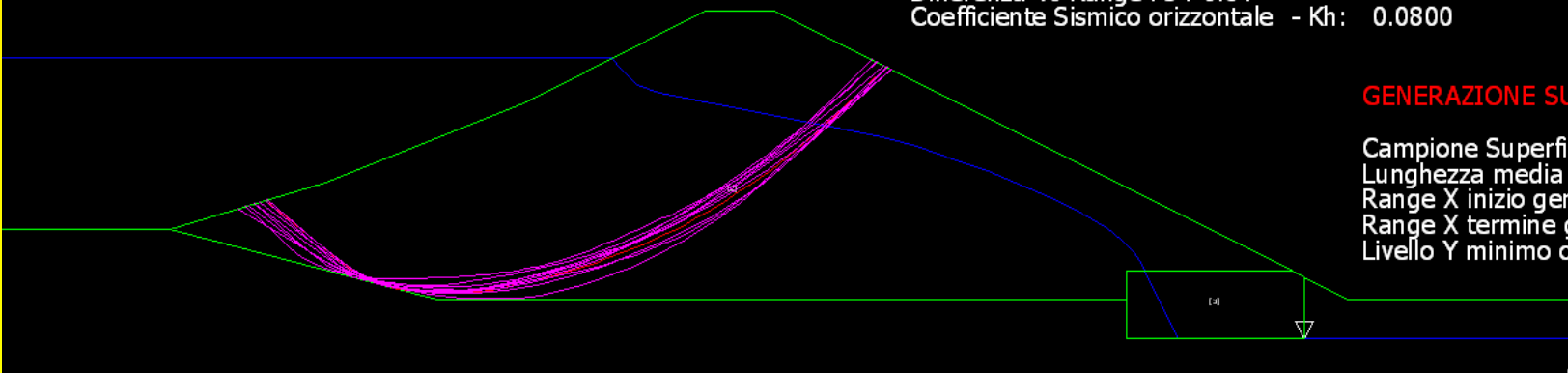
Modello di calcolo : Morgenstern - Price (1965)

DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

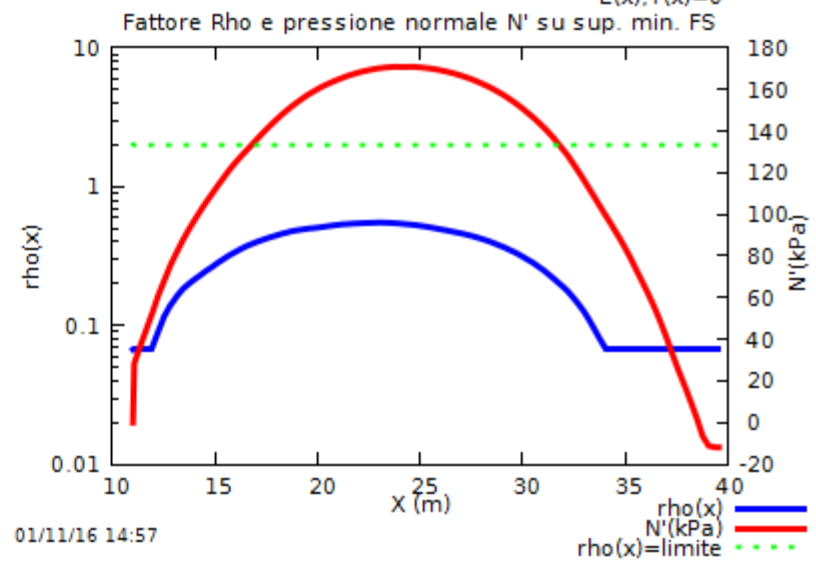
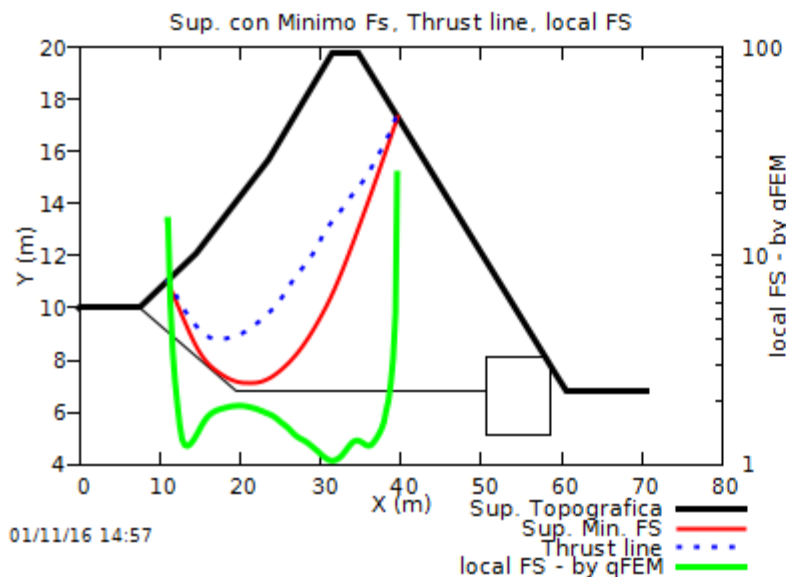
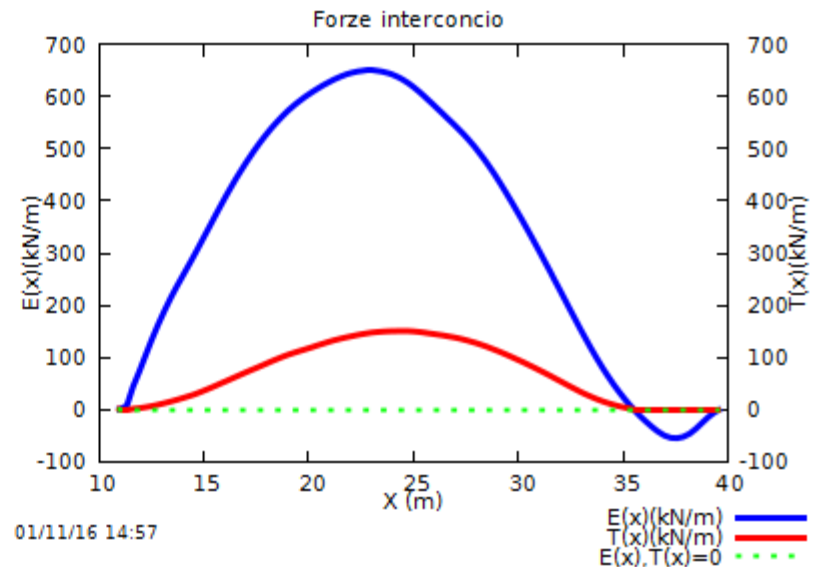
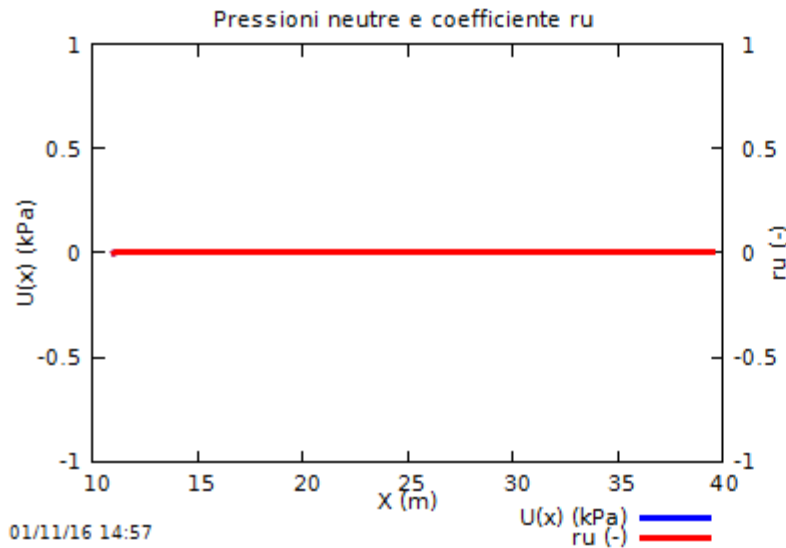
Fs minimo : 1.9914
Range Fs : 1.9914 2.0082
Differenza % Range Fs : 0.84
Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0800

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 10000
Lunghezza media segmenti (m) : 2.8
Range X inizio generazione : 0.1 - 63.7
Range X termine generazione : 7.2 - 69.2
Livello Y minimo considerato : 0.0



2.B cond Non . Drenate con svaso rapido - forze e pressioni interne



SSAP2010 (versione 4.8.0 - 2016) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

Condizioni a lungo termine drenate
Max invaso
FS=1.18

# 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=1.99

# 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	

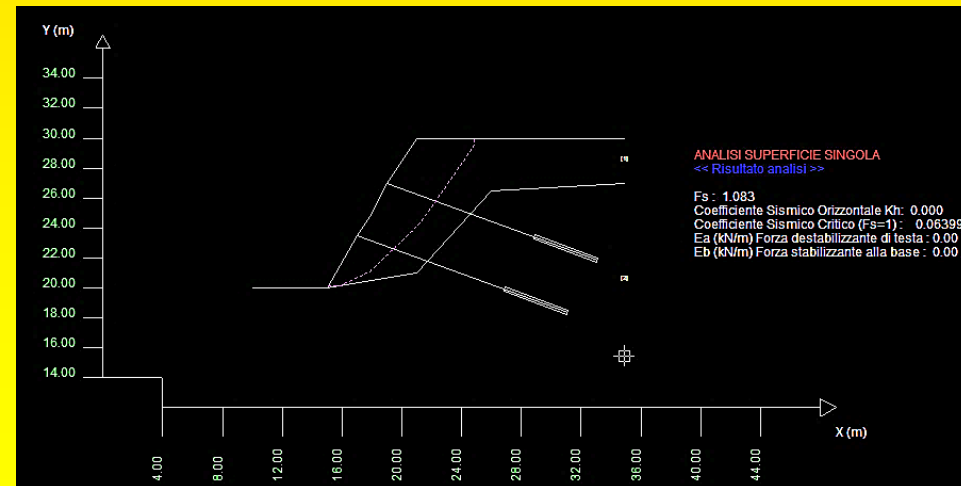
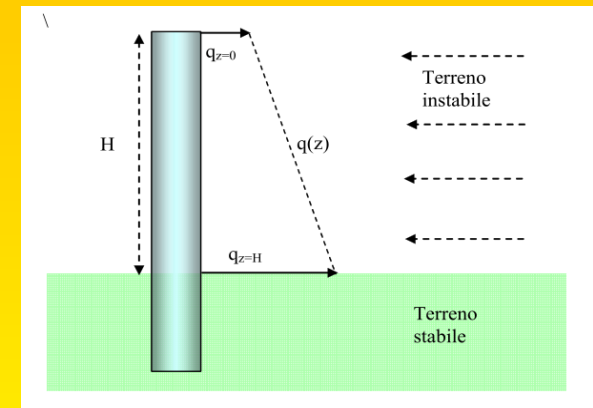
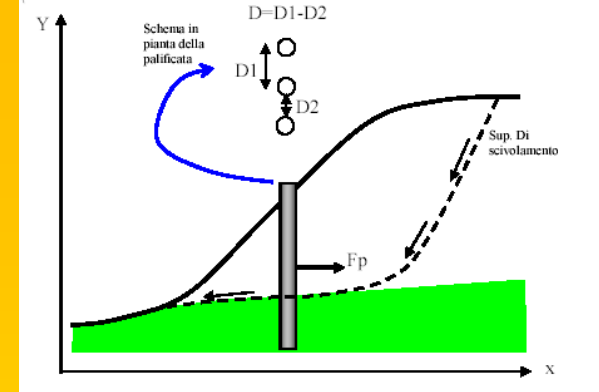
Il risultato finale è determinato dal valore elevato della CU dello stato 2 comparato a c' e phi' delle cond drenate.

Infatti assumendo per lo strato 2 una CU= 35 kPa Il risultato è FS=1.5

verifiche di stabilità con opere di sostegno (palificate, tiranti, terre rinforzate, geogriglie, muri di sostegno): un uso avanzato

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 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

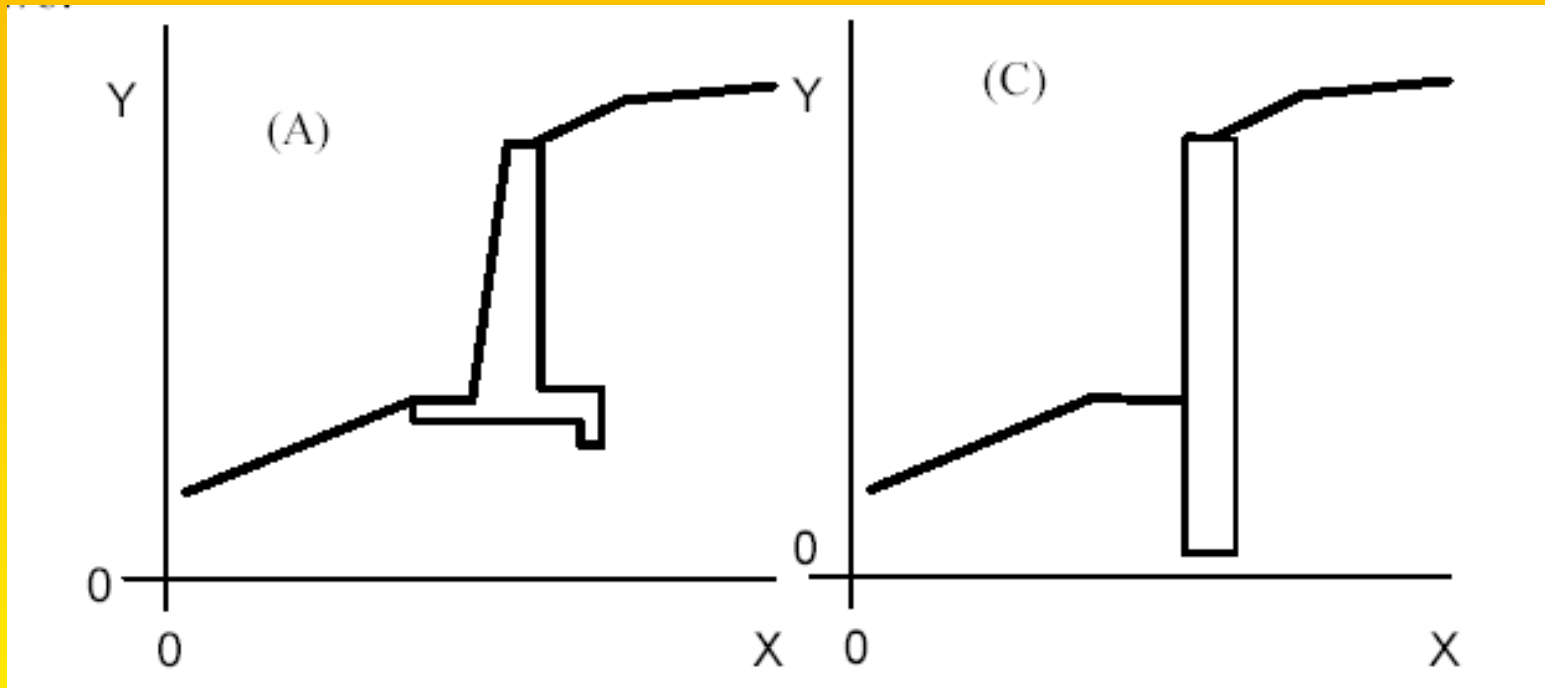
Palificate max 12

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.

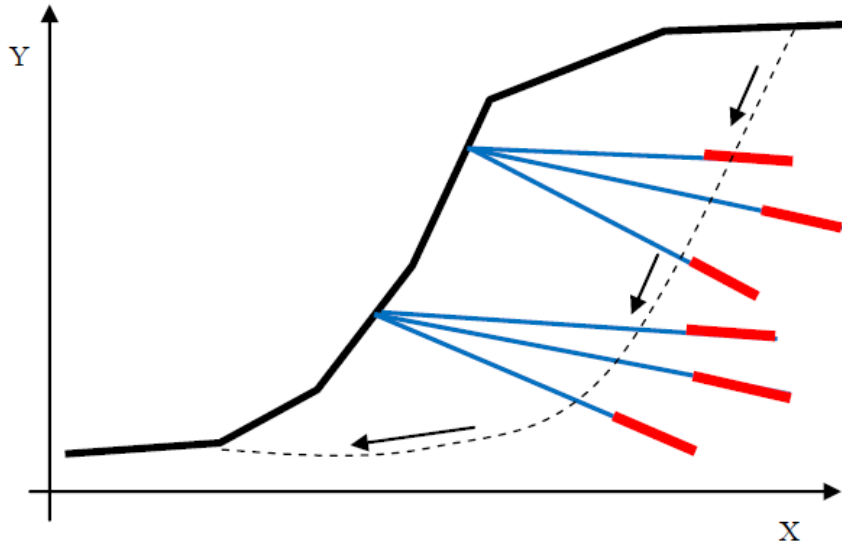
Nel caso della stabilità globale di muri di sostegno si procede invece in un modo diverso.

Elementi strutturali di contenimento e stabilizzazione



Inserimento elementi strutturali 3D
attraverso la loro sezione verticale in 2D
Ogni elemento è definito come una LENTE
entro uno strato
Per ogni elemento conviene definire
La sua resistenza al taglio equivalente (kPa)

Tiranti

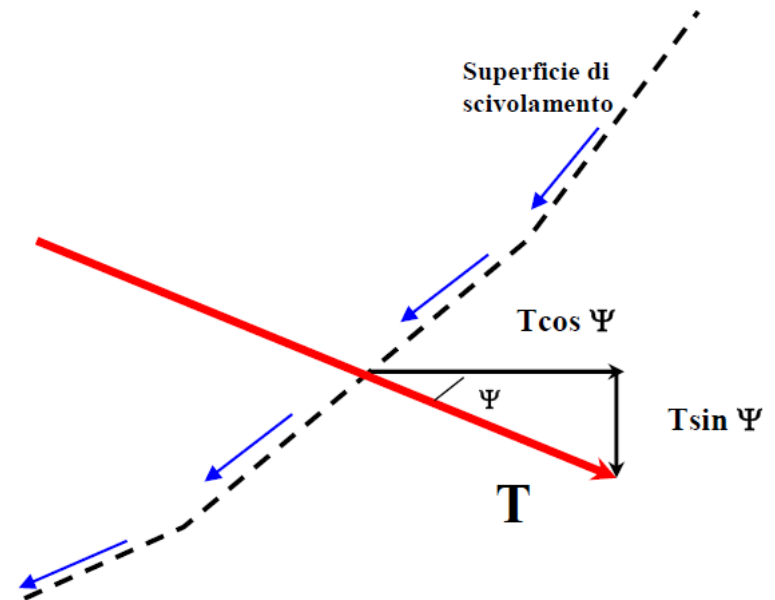


TIRANTE PASSIVO

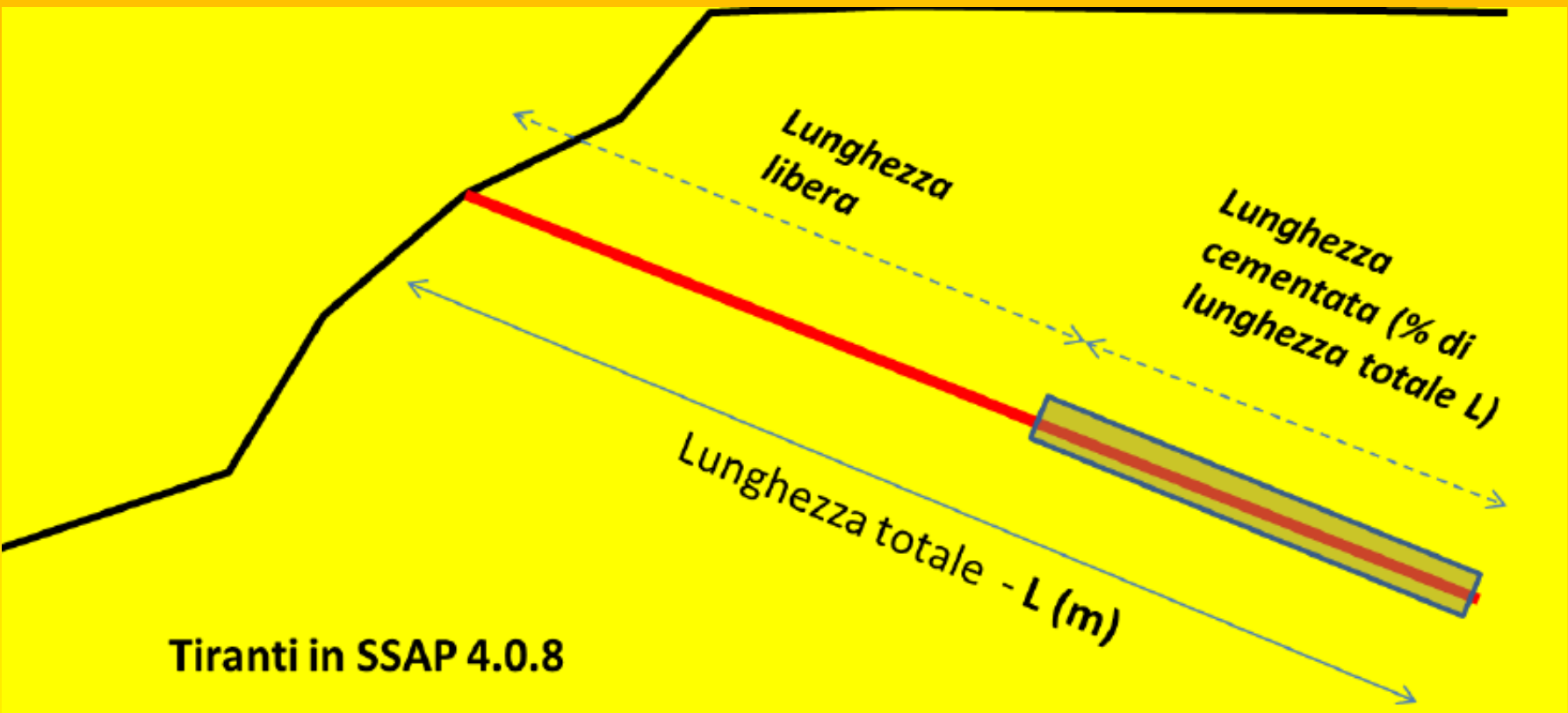
$$F_s = \frac{\text{Forze resistenti} + \sum_i T \cos \psi_i}{\text{Forze agenti}}$$

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

TIRANTE ATTIVO

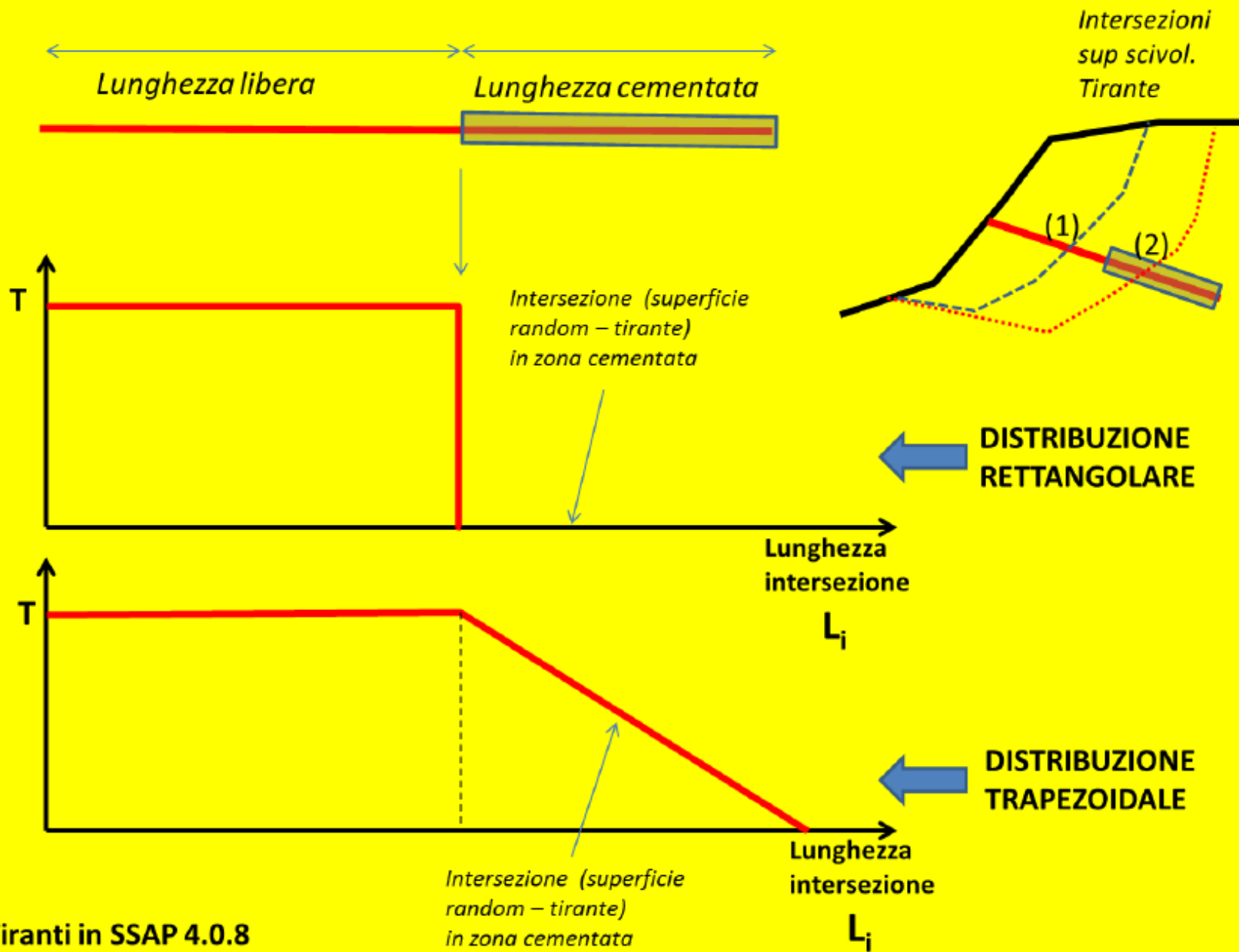


Tiranti



Tiranti in SSAP 4.0.8

Tirant



Tiranti in SSAP 4.0.8

Assemblaggio Files con utility MKFILES.EXE File .TIR -

Tiranti

Coord. Testa tiranti

(19,27)

(17,23.5)

[1]

[2]

L=15 m
T=150 kN
 $\beta = -20^\circ$
%c= 30%

Creazione File Dati Tiranti

1	17.00	23.50	-20.00	15.00	150.00	30.00
2	19.00	27.00	-20.00	15.00	150.00	30.00

Coordinata X Testa: 19.00 Angolo (°): -20.00 Forza (kN): 150.00
Coordinata Y Testa: 27.00 Lunghezza (m): 15.00 % lunghezza cementata: 30.00

Scrive Dati Tirante Cancella Ultimo

MAKFILES 3.2
By L.BORSELLI (2007,2011)

GENERATI DATI TIRANTE n. 2

Fai Doppio Click con il mouse nella Scheda Gialla per aggiornarla dopo l'editing !!

✓ Salva Scheda e ESCI ✗ Annulla Scheda e ESCI

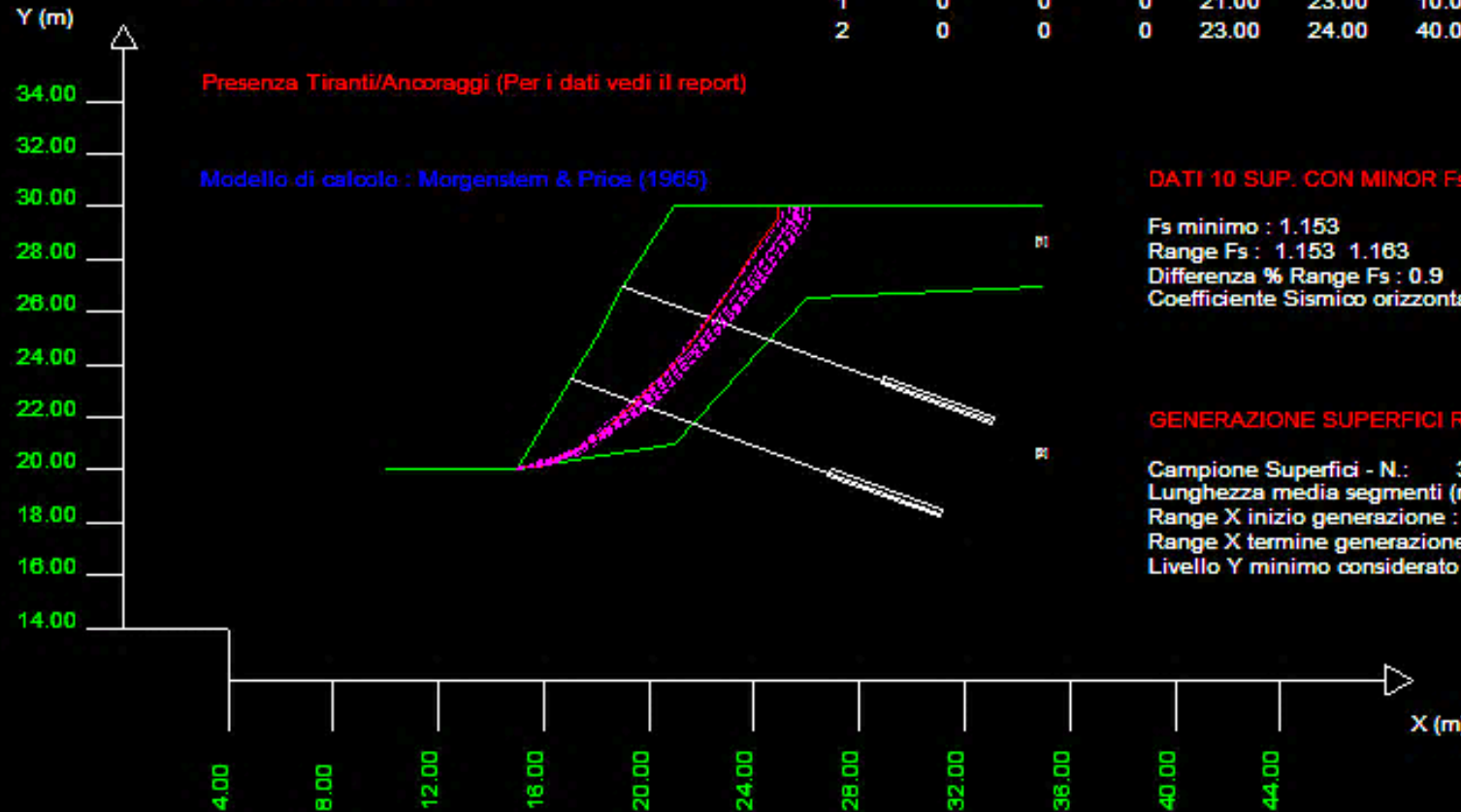
Data : 7/1/2013
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. strato o lente

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 : Morgenstem & Price (1965)



DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

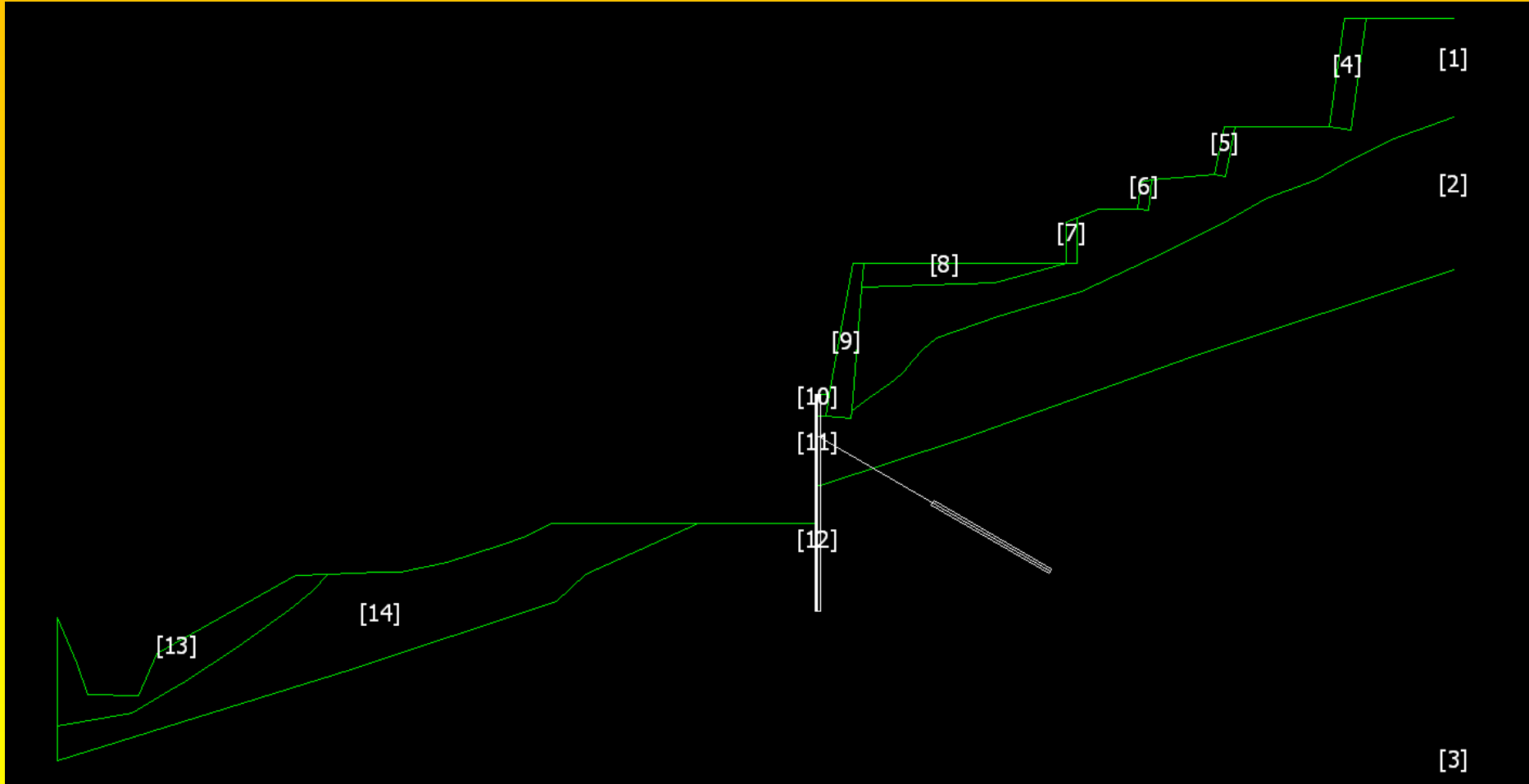
Fs minimo : 1.153
 Range Fs : 1.153 - 1.163
 Differenza % Range Fs : 0.9
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.000

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

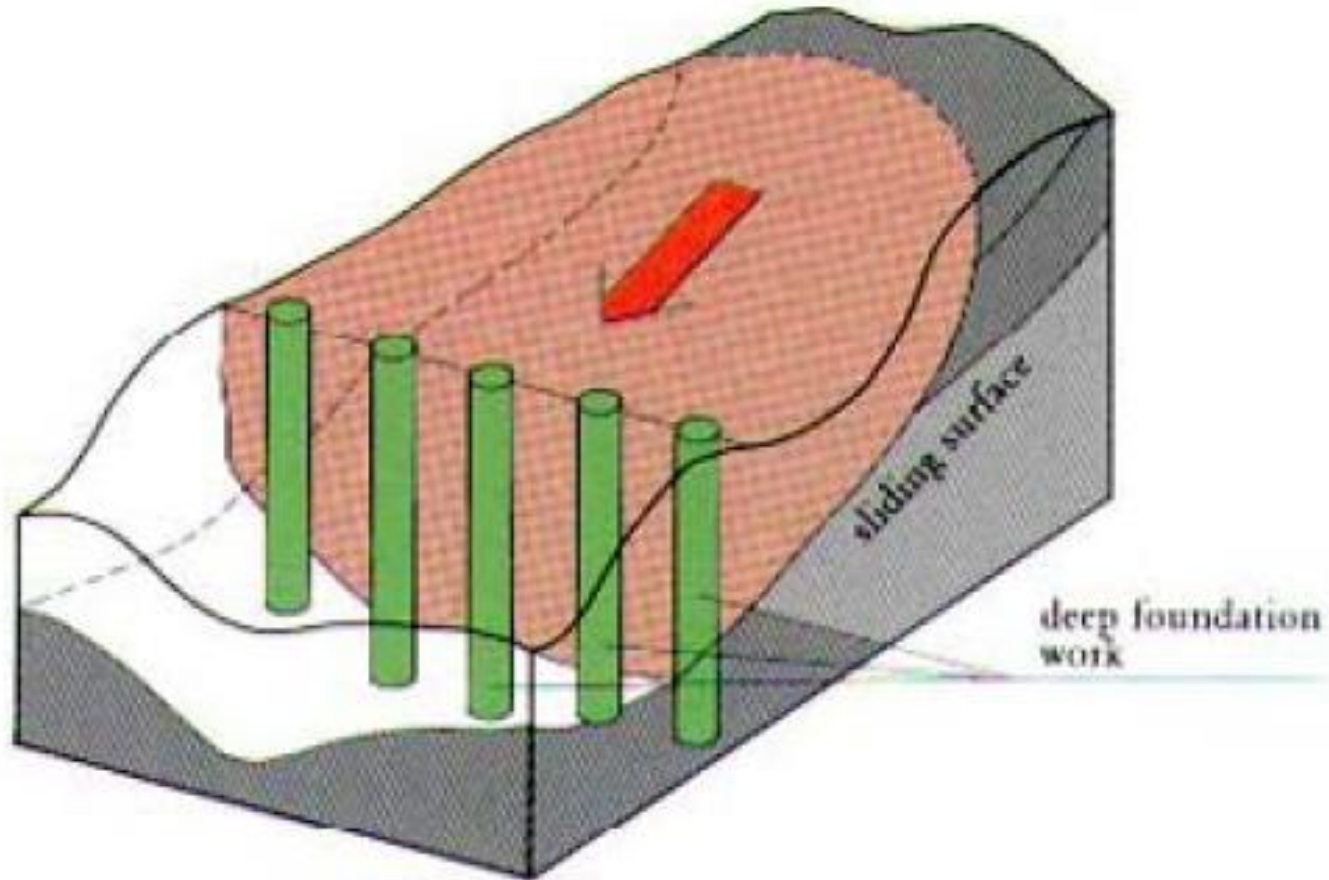
Studio e pratica su un esempio reale con tiranti e pali in rocce tenere (provincia di la spezia) :



Cartella esempi corso : **gulf_star\sez-D**

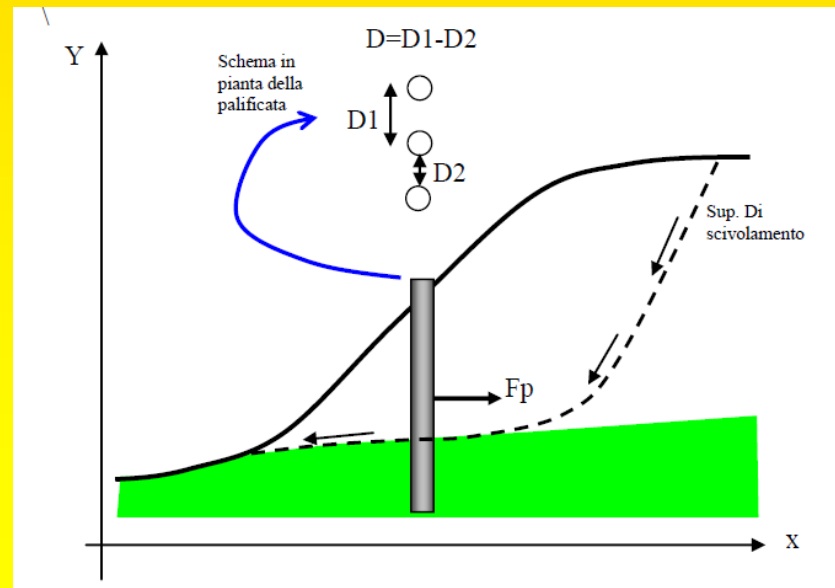
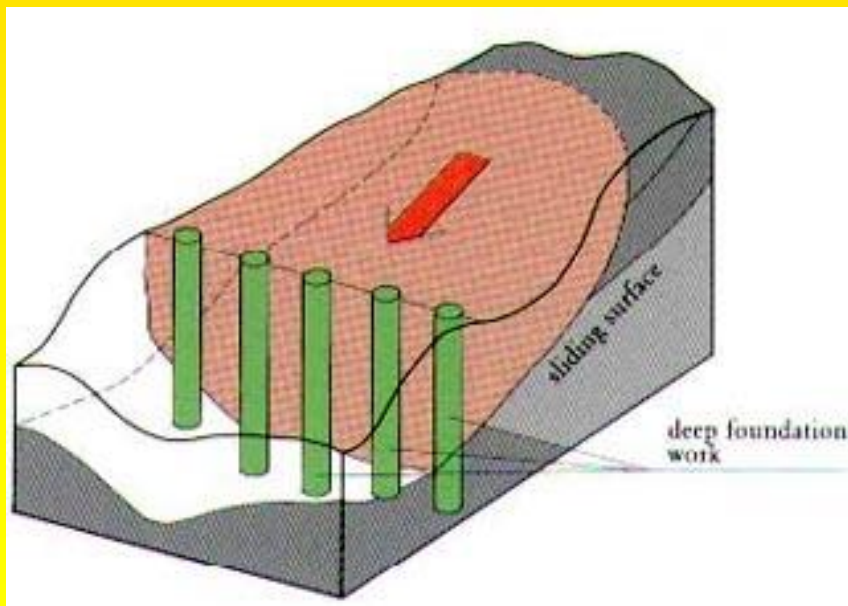
Esercizio : inserire un secondo tirante per incrementare F_s

INTERAZIONE PALIFICATE PENDIO IN SSAP 2010



palificate

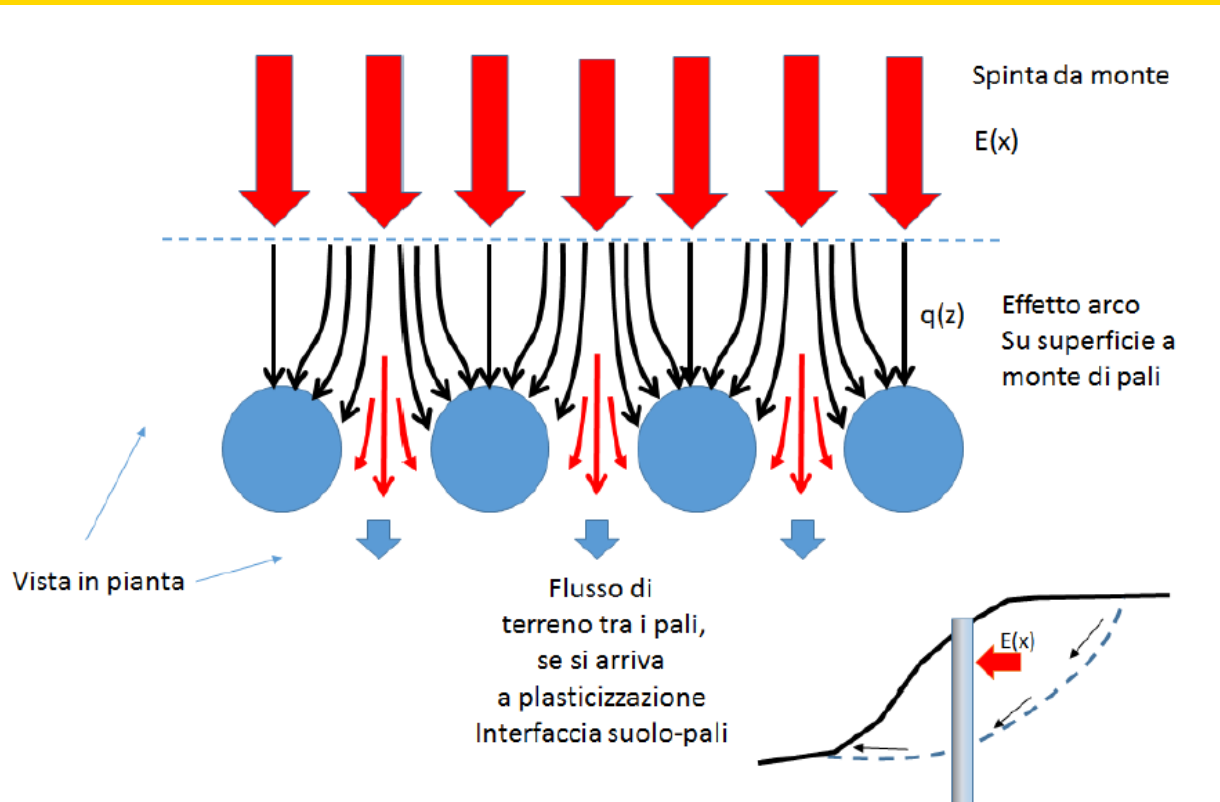
Le palificate, nella forma di una o più file di pali, sono una tecnica frequentemente adottata negli interventi di stabilizzazione di pendii. Ogni fila di pali inserita per una certa profondità nel pendio, attraversando la potenziale superficie di scivolamento, e inserendosi saldamente e profondamente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



Metodo

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

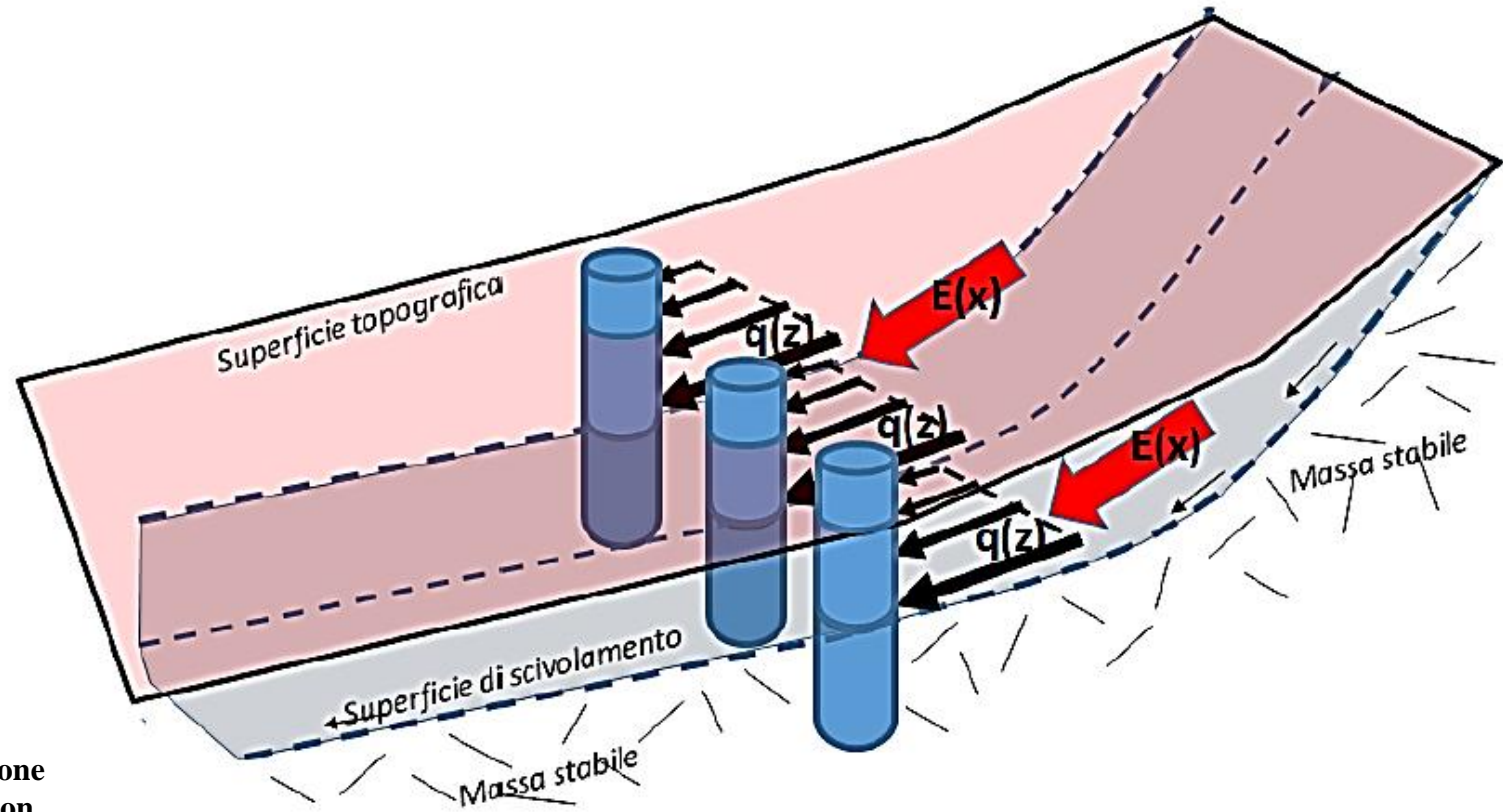
- 1) al di sopra della superficie di scorrimento assunta i pali sono sottoposti a carichi noti e pari ai valori indicati al punto 1 della precedente diapositiva.
- 2) Al di sotto della superficie di scorrimento i pali sono assimilati a travi su suolo elastico. A questa ipotesi possono essere associate 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, necessaria per la analisi strutturale finale.



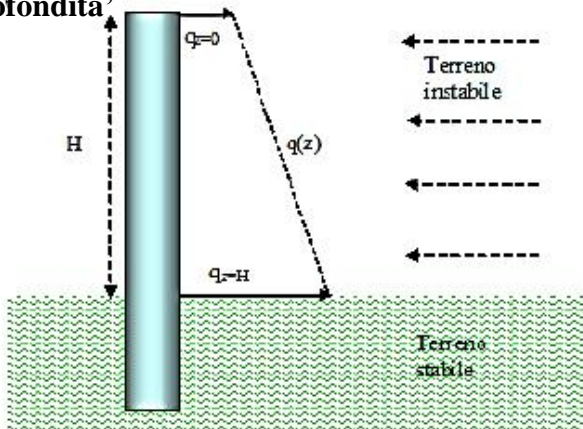
3) Il terreno instabile è contenuto dalla azione esercitata dai pali

4) Le sollecitazioni dei pali sono pari a quelle ammissibili. (salvo poi fare una verifica STRUTTURALE).

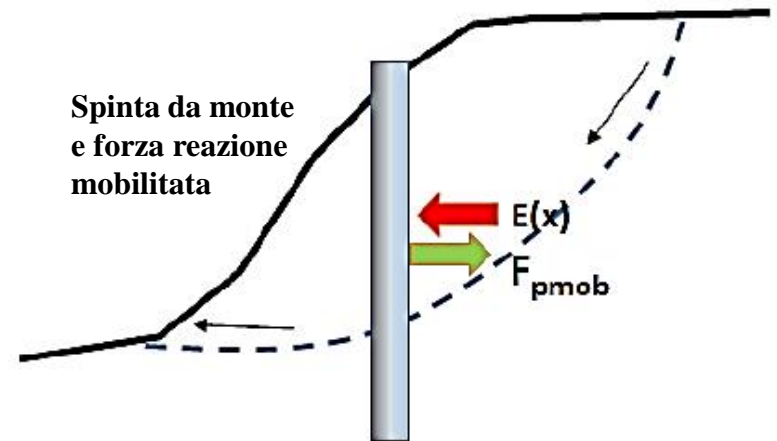
Metodo Ito Matsui (1975-1981) - Hassiotis et al. (1997) - Kumar et Hall. (2006)



Distribuzione di spinta con La profondità?



Spinta da monte e forza reazione mobilitata



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:

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

dove:

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

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

e dove:

D_1 = interasse tra i pali (m)

D_2 = apertura tra i pali (m)

D = diametro dei pali (m)

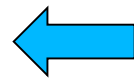
σ = pressione litostatica calcolata alla profondità z dalla superficie (kPa)

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 :

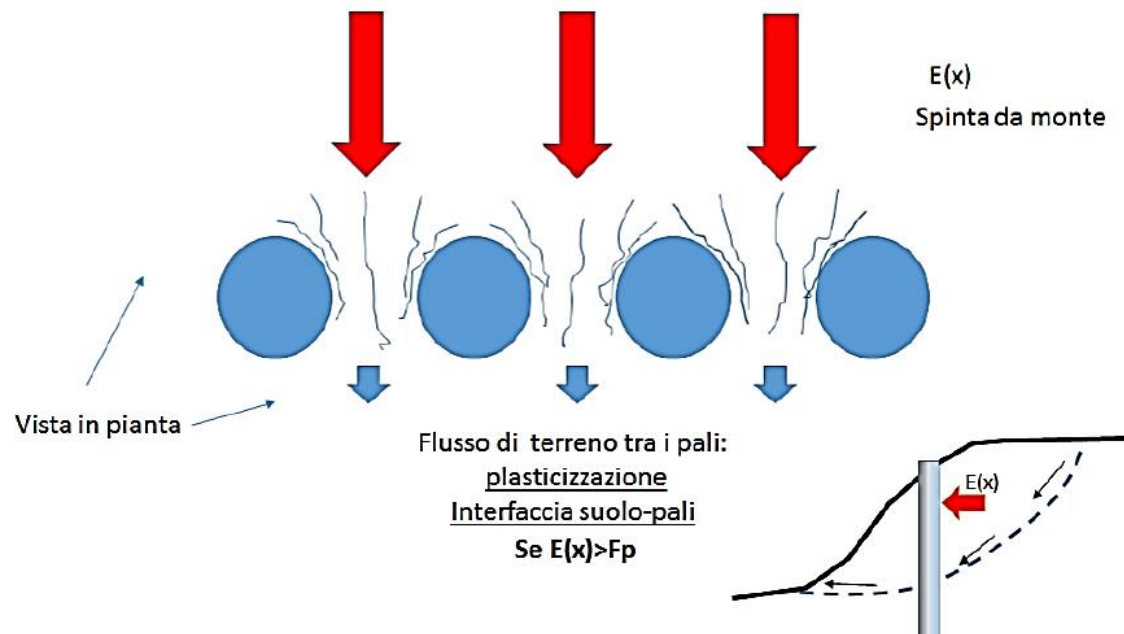
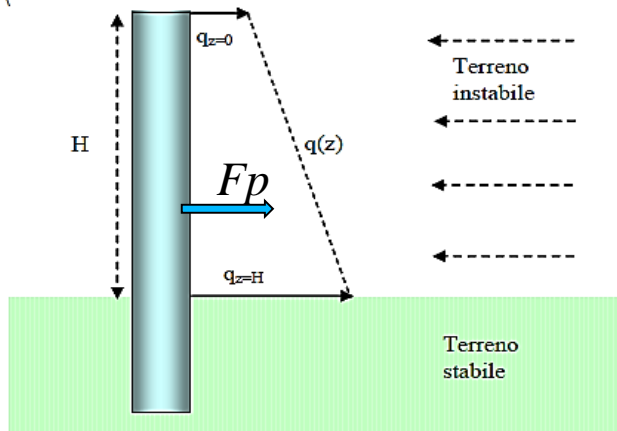
$$F_p = \frac{\int_0^H q(z) dz}{D_1}$$



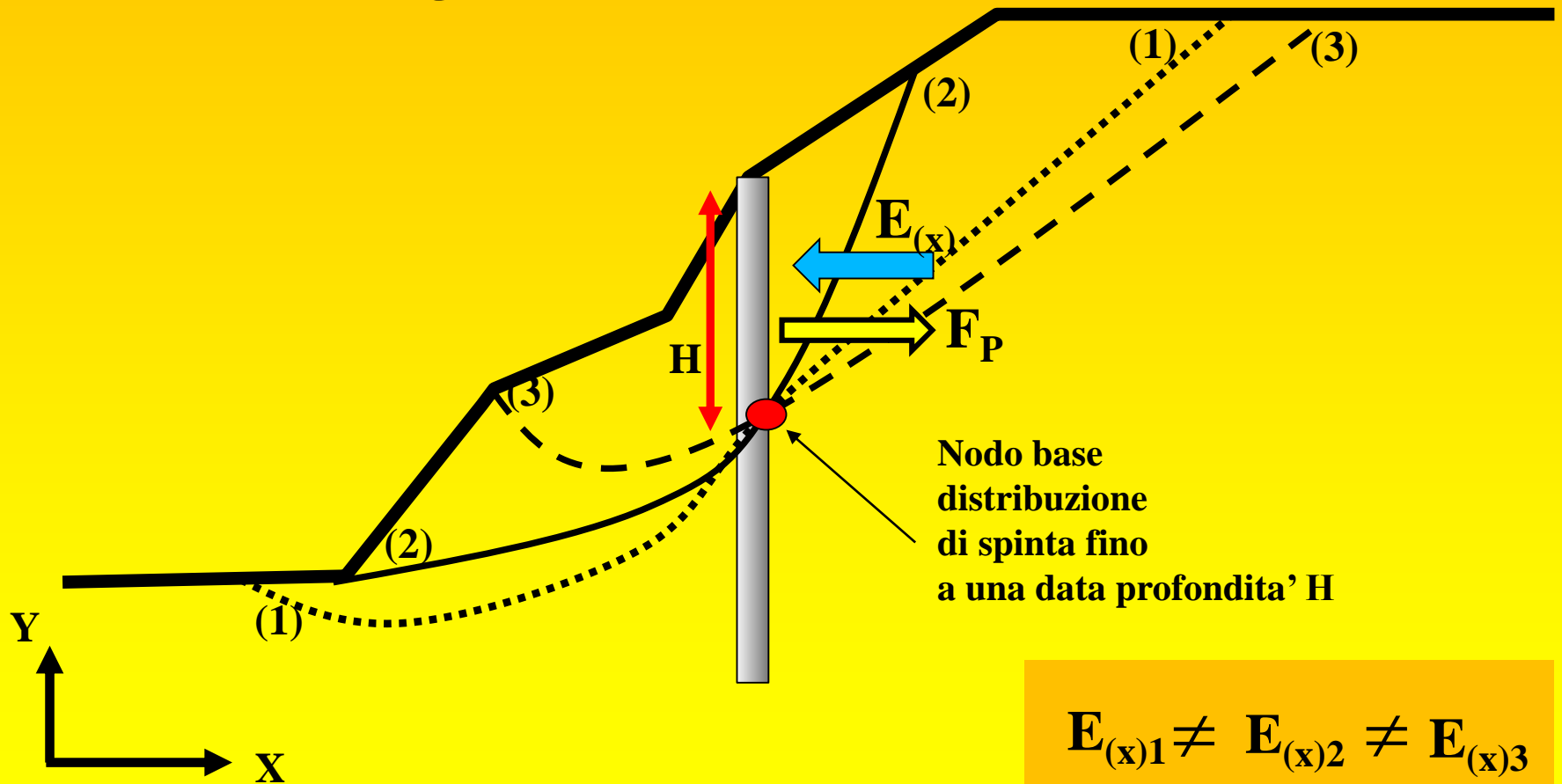
*Spinta teorica massima
per arrivare a plasticizzazione interfaccia suolo-pali*

(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).



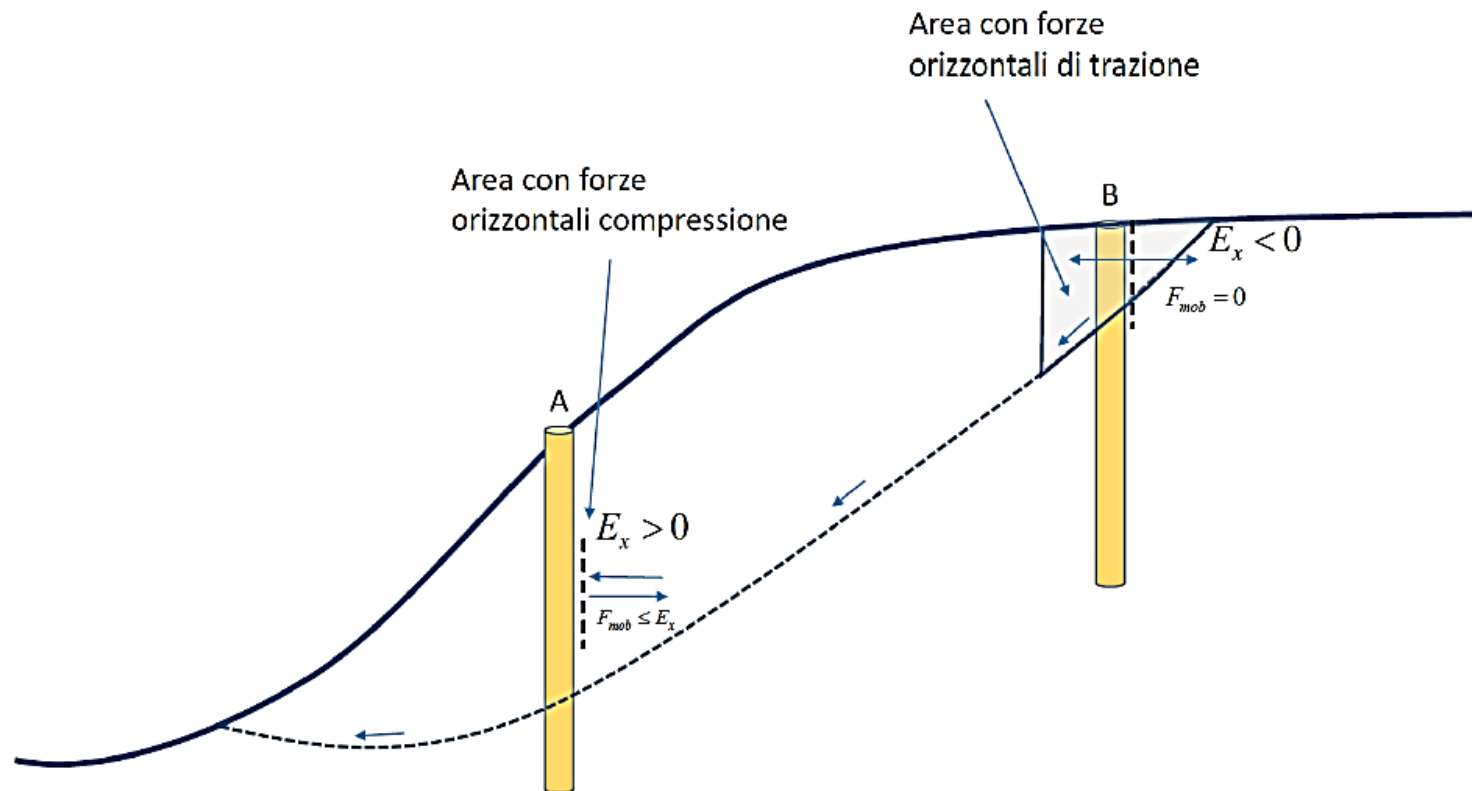
Nel nodo base della distribuzione di spinta, a profondita' H, la spinta di reazione massima teorica F_p e' la stessa, dato che dipende da H e dal tipo di terreno, ma diverse saranno le Spinte effettive $E(x)$ che agiscono considerando le superfici (1), (2) e (3) nella figura sotto.



Da un punto di vista fisico, una volta che si assume una potenziale superfici di scorrimento che interseca la palificata a una certa profondità H e si calcola in prima approssimazione la Fp_{mob} con la eq. (2.19) può verificarsi il caso che, nella zona immediatamente a monte della palificata, il valore di Fp_{mob} sia superiore, o inferiore, al valore effettivo e iterativo di $E(x)$ locale. Ovvero abbiamo la possibilità che si realizzino una delle due condizioni nella eq. 2.21:

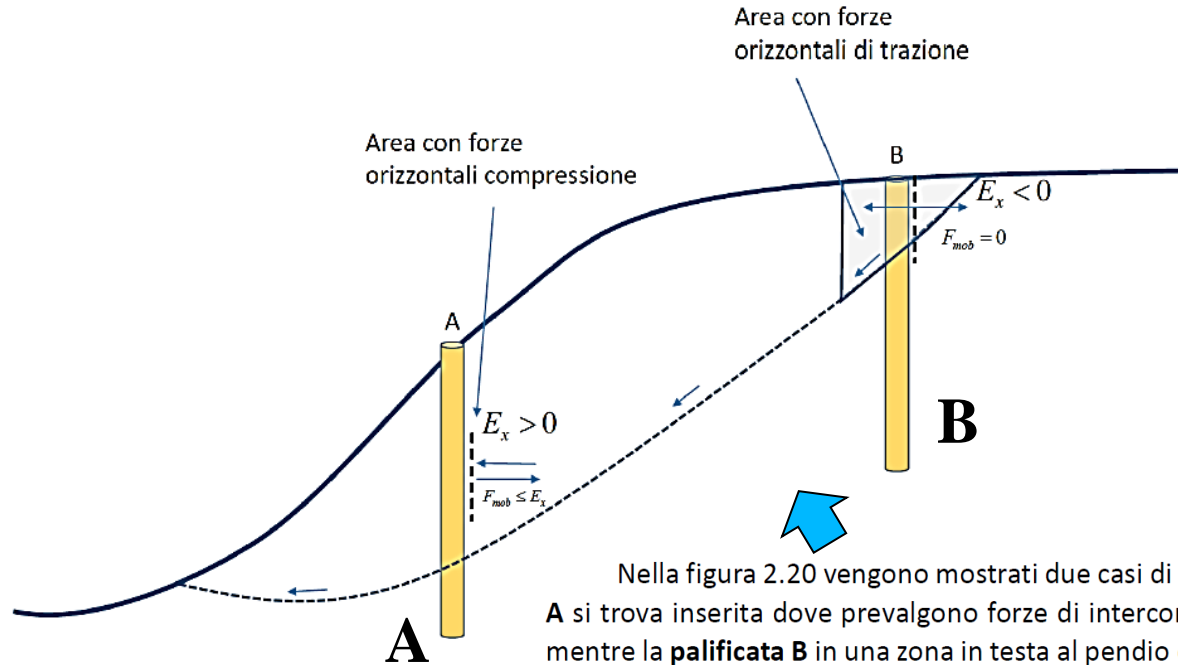
$$\left\{ \begin{array}{l} Fp_{mob} \geq E_x \end{array} \right. \quad (2.21a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Fp_{mob} < E_x \end{array} \right. \quad (2.21b)$$



SSAP2010©

**Procedura automatica
Calcolo della forza
massima mobilitata.**



Nella figura 2.20 vengono mostrati due casi di palificate inserite in una pendio. La **palificata A** si trova inserita dove prevalgono forze di interconco orizzontali di tipo compressivo ($E(x) > 0$), mentre la **palificata B** in una zona in testa al pendio dove prevalgono forze orizzontali interconco orizzontali in regime di trazione ($E(x) < 0$) essendo la palificata B posizionata in una zona a bassa è profondità e intersecata da una superficie di scivolamento a profondità inferiore della profondità critica per lo sviluppo di Tension Cracks (in suoli con C' o $C_u > 0$).

In questo caso il valore di Fp_{mob} può essere modificato fino ad un valore finale Fp_{mob}^* considerando i seguenti casi:

$$Fp_{mob}^* = 0 \quad \text{se } E_X \leq 0 \quad (2.22a)$$

$$Fp_{mob}^* = \text{Min}[Fp_{mob}, E_X] \quad \text{se } E_X > 0 \quad (2.22b)$$

$$Fp_{mob}^* = \text{Max}[Fp_{mob}, E_X] \quad \text{se } E_X > 0 \quad (2.22c)$$

dove:

$$Fp_{mob}^* < F_p \quad \text{sempre verificato} \quad (2.22d)$$

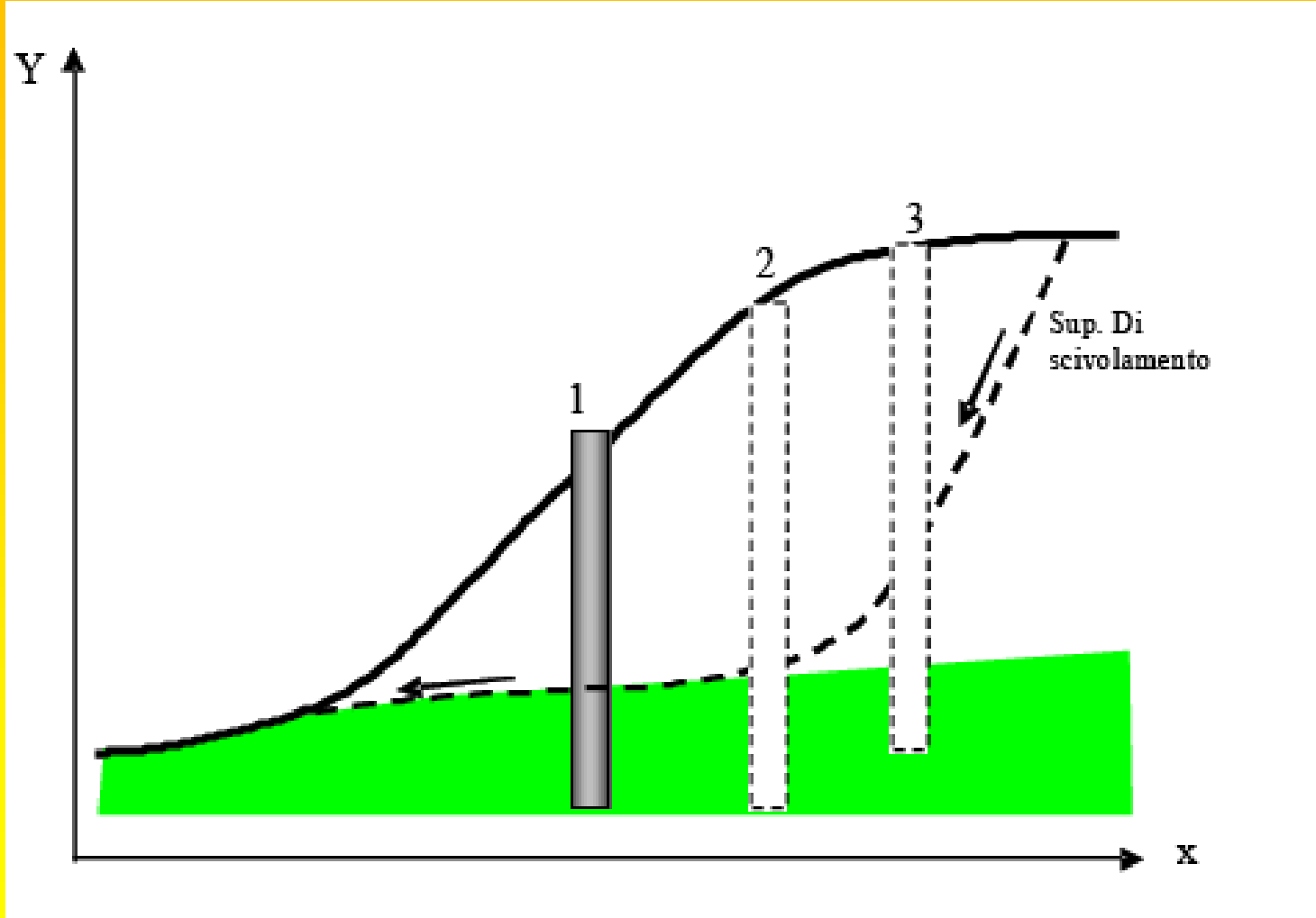
**Critério
scelto
dall'utente**

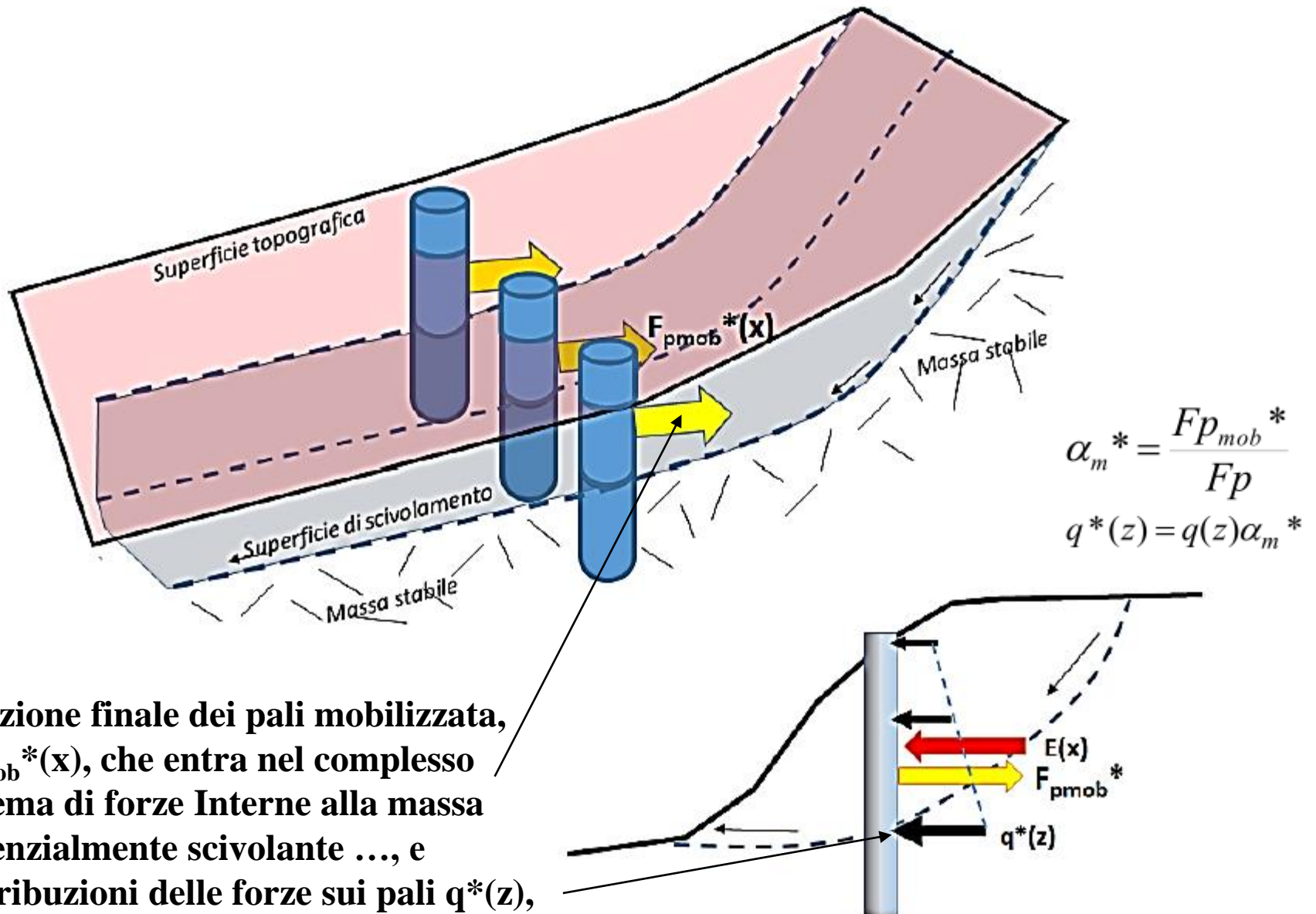
$$\alpha_m^* = \frac{Fp_{mob}^*}{Fp}$$

**Valore finale coefficiente
di mobilitazione**

**Valore finale
 Fp (mobilitato)**

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)**

Pendio complesso: 6 strati, falda e una palificata di rinforzo.

Percorso nella cartella esempi_corso_avanzato:

Scenario base : **FILIPP/sismica.mod**

Scenario con risalita della falda:

FILIPP/sismica_risalita_falda.mod

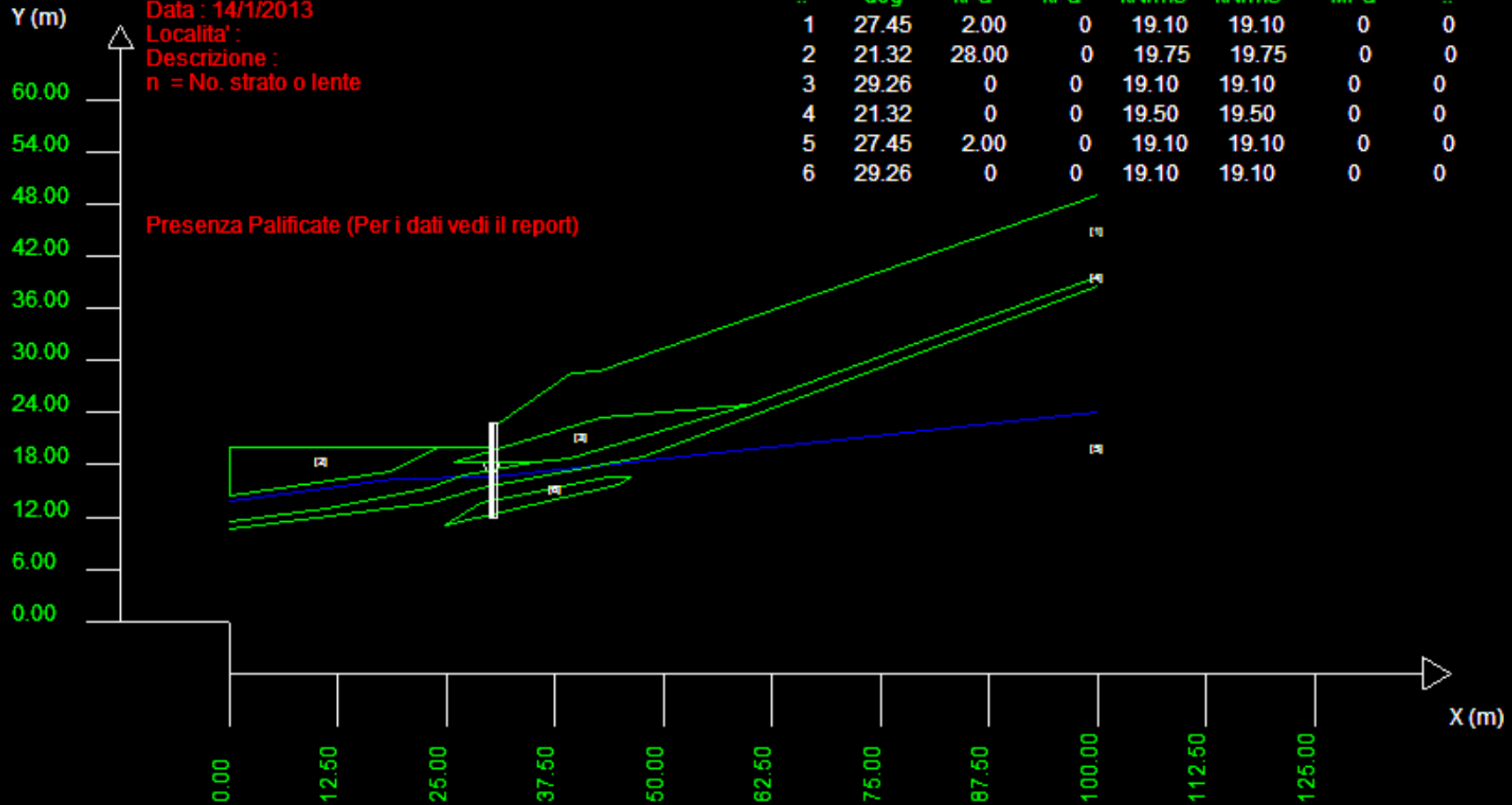
Motori di ricerca:

- Convex random search
- **SMIFF RANDOM SEARCH**
- Disattivare acquifero negli stati 5 e 6
- Provare a considerare solamente le superfici che attraversano la palificata
- Provare effetto sismico $K_h=0.1$

N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	27.45	2.00	0	19.10	19.10	0	0	0	0
2	21.32	28.00	0	19.75	19.75	0	0	0	0
3	29.26	0	0	19.10	19.10	0	0	0	0
4	21.32	0	0	19.50	19.50	0	0	0	0
5	27.45	2.00	0	19.10	19.10	0	0	0	0
6	29.26	0	0	19.10	19.10	0	0	0	0

Data : 14/1/2013
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. strato o lente

Presenza Palificate (Per i dati vedi il report)

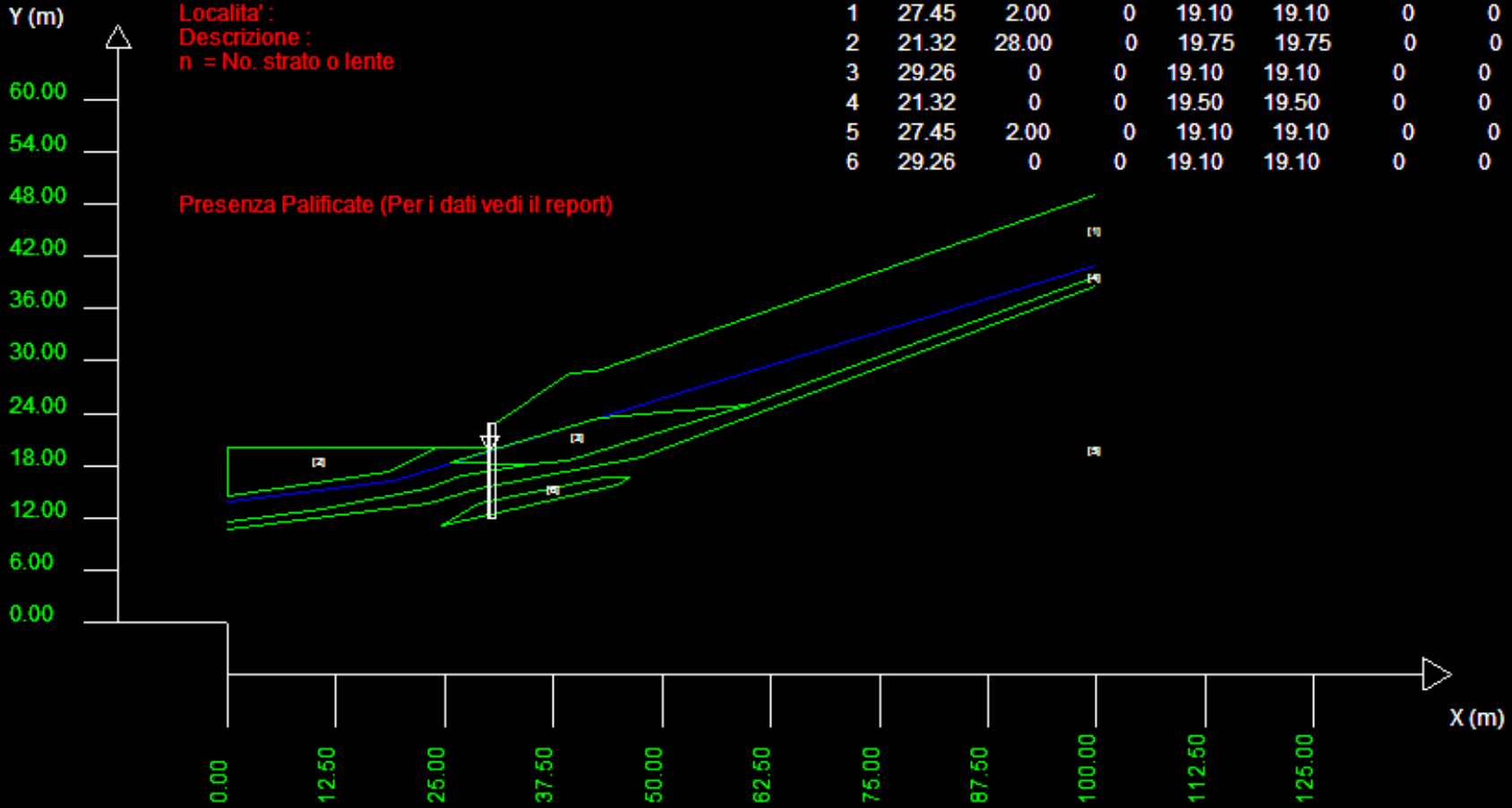


Scenario classico

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	27.45	2.00	0	19.10	19.10	0	0	0	0
2	21.32	28.00	0	19.75	19.75	0	0	0	0
3	29.26	0	0	19.10	19.10	0	0	0	0
4	21.32	0	0	19.50	19.50	0	0	0	0
5	27.45	2.00	0	19.10	19.10	0	0	0	0
6	29.26	0	0	19.10	19.10	0	0	0	0

Data : 14/1/2013
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. strato o lente



Scenario Risalita della falda

Pendio complesso: 6 strati falda e una palificata e muri di rinforzo.

Percorso nella cartella esempi_corso_avanzato:

Scenario base : **corso_avanzato\FILIPP\s2m_pali.mod**

Motori di ricerca:

- Convex random search
- SNIFF RANDOM SEARCH (importante)
- Disattivare tension cracks dagli strati 3, 4 e 6 (muri e palificata)
- Provare a considerare solamente le superfici che attraversano la palificata provare a considerare solo le superfici a valle della palificata
- Provare effetto sismico $K_h=0.1$

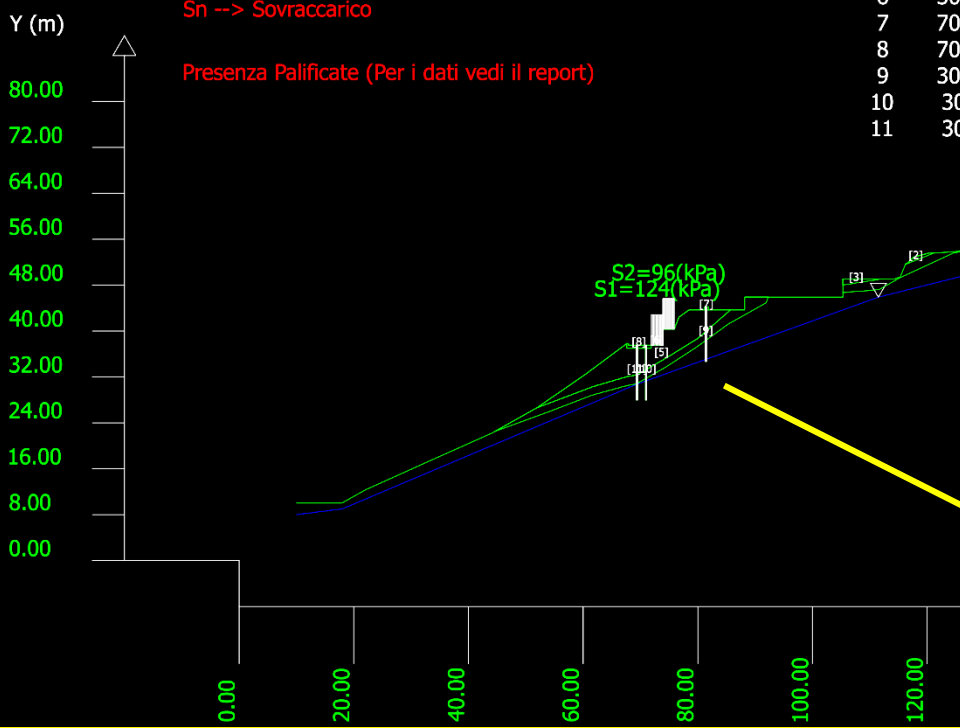
Data : 13/10/2015
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Sn --> Sovraccarico

Presenza Palificate (Per i dati vedi il report)

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	35.00	5.00	0	20.00	21.00	0	0	0	0
2	30.00	5.00	0	19.00	20.00	0	0	0	0
3	30.00	5.00	0	19.00	20.00	0	0	0	0
4	50.00	500.00	0	22.00	22.00	0	0	0	0
5	35.00	5.00	0	20.00	21.00	0	0	0	0
6	30.00	5.00	0	19.00	20.00	0	0	0	0
7	70.00	200.00	0	25.00	25.00	0	0	0	0
8	70.00	200.00	0	25.00	25.00	0	0	0	0
9	30.00	100.00	0	25.00	25.00	0	0	0	0
10	30.00	100.00	0	25.00	25.00	0	0	0	0
11	30.00	100.00	0	25.00	25.00	0	0	0	0



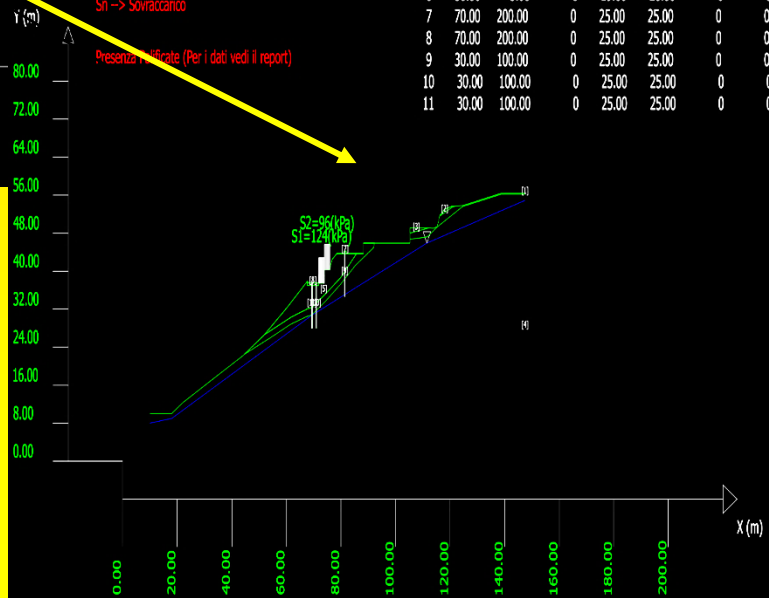
Data : 13/10/2015
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Sn --> Sovraccarico

Presenza Palificate (Per i dati vedi il report)

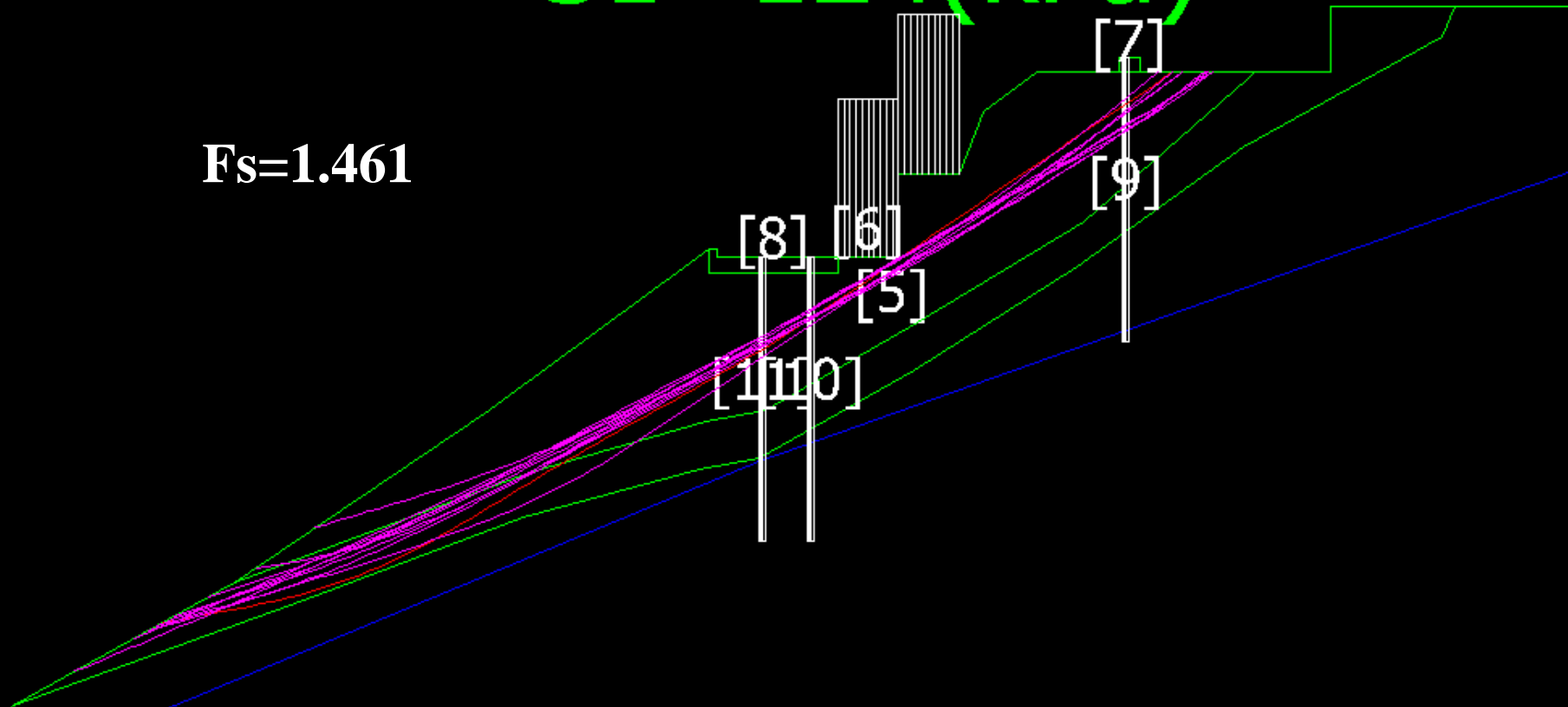
Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	35.00	5.00	0	20.00	21.00	0	0	0	0
2	30.00	5.00	0	19.00	20.00	0	0	0	0
3	30.00	5.00	0	19.00	20.00	0	0	0	0
4	50.00	500.00	0	22.00	22.00	0	0	0	0
5	35.00	5.00	0	20.00	21.00	0	0	0	0
6	30.00	5.00	0	19.00	20.00	0	0	0	0
7	70.00	200.00	0	25.00	25.00	0	0	0	0
8	70.00	200.00	0	25.00	25.00	0	0	0	0
9	30.00	100.00	0	25.00	25.00	0	0	0	0
10	30.00	100.00	0	25.00	25.00	0	0	0	0
11	30.00	100.00	0	25.00	25.00	0	0	0	0

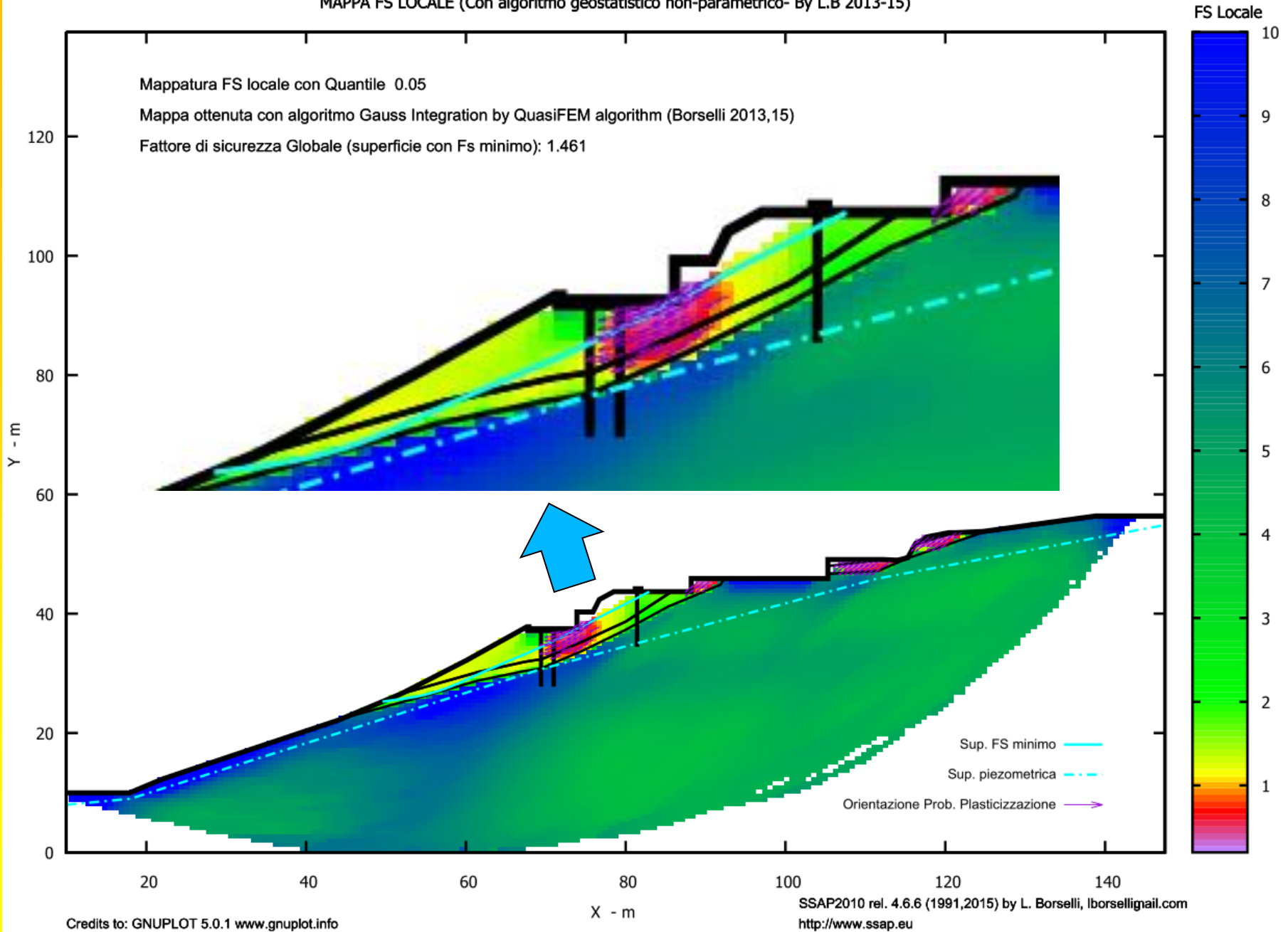


$S2=96(\text{kPa})$
 $S1=124(\text{kPa})$

$Fs=1.461$



MAPPA FS LOCALE (Con algoritmo geostatistico non-parametrico- By L.B 2013-15)



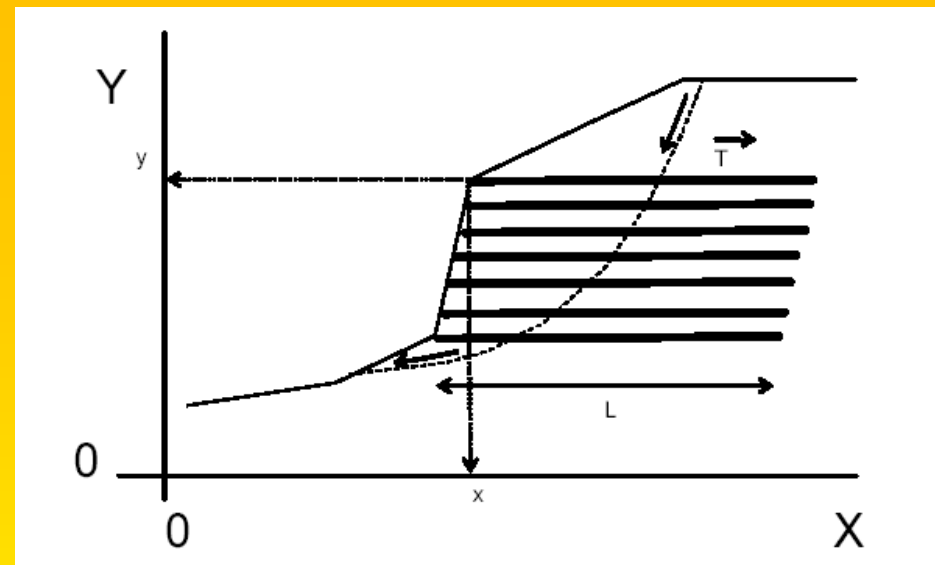
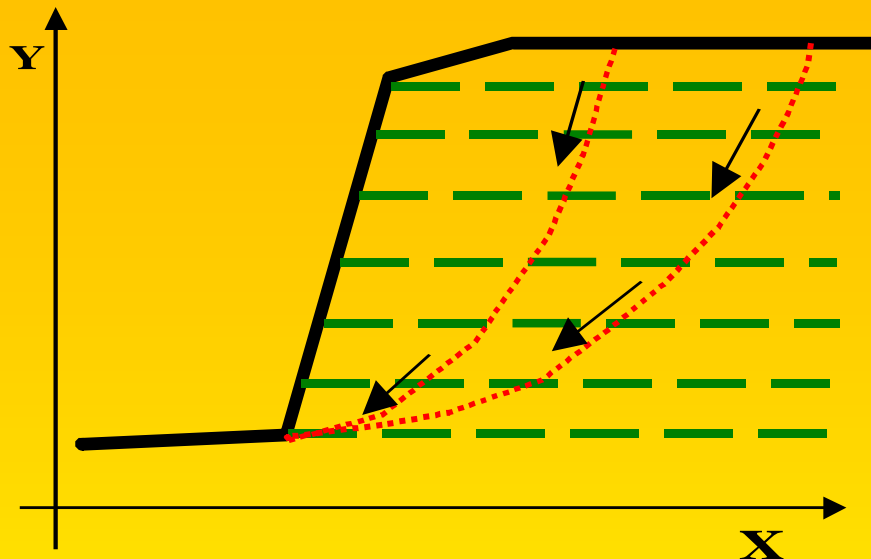
geogriglie

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

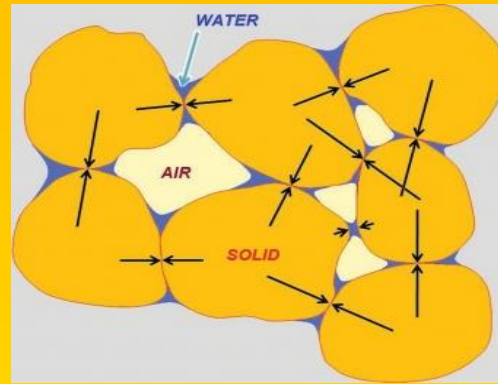
La resistenza massima unitaria di progetto e la lunghezza di ogni geogriglia deve essere determinata mediante i correnti metodi di progettazione che tengono conto della stabilità interna dell'opera(collasso, superamento di resistenza delle armature, sfilamento ecc.). Vedasi a questo proposito: Jewell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

geogriglie



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)

Principi fisici di interazione terreno e armature e funzionamento delle terre armate - alternativa alla fisica dei castelli di sabbia (Leshchinsky, 2010)



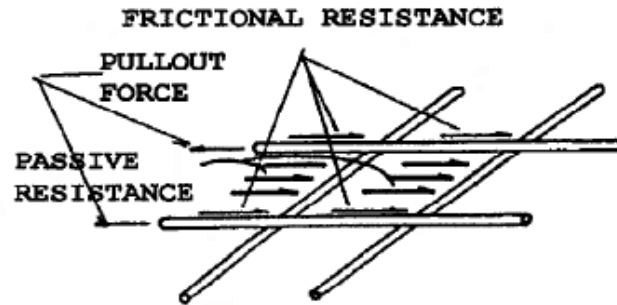
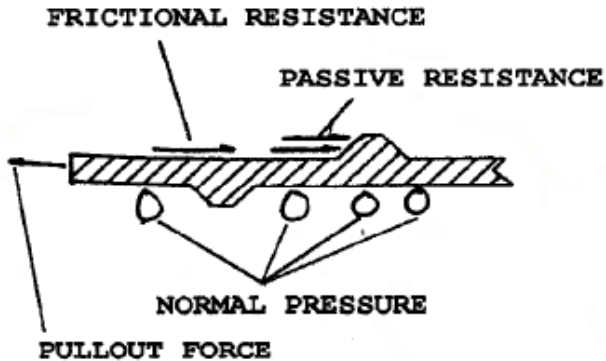
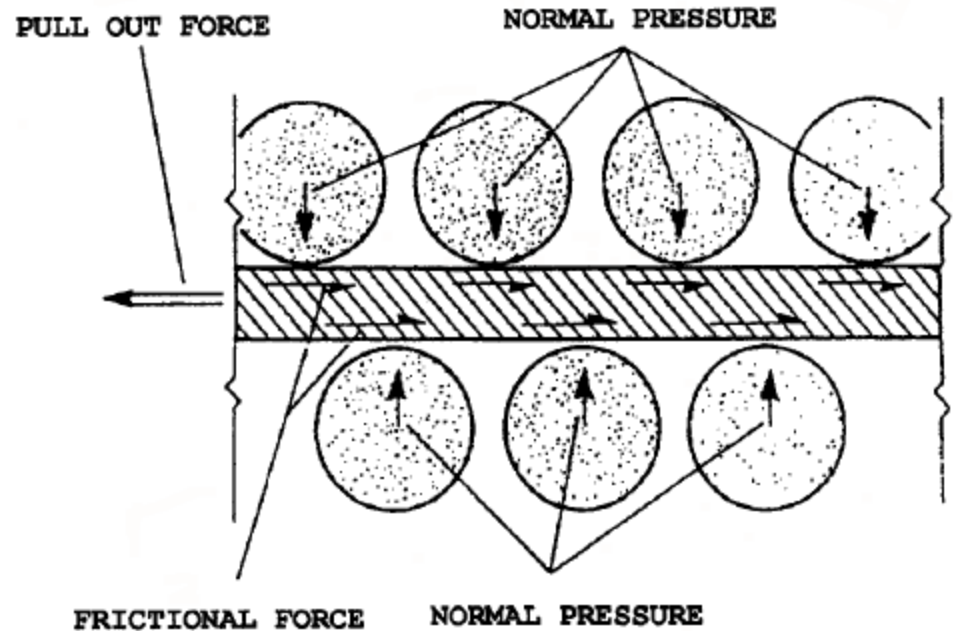
“.. Non ci si deve meravigliare che alcuni ingegneri geotecnici considerano la coesione come “l’invenzione del diavolo” (es. Un poco di coesione rende stabile anche un pendio sabbioso a forte pendenza). Affidandosi però a questo concetto sbagliato si può arrivare al disastro..”

“fortunatamente l’alternativa alla coesione apparente (dovuta alla suzione n.d.t.) è il rinforzo dei geosintetici. Esso ha un impatto equivalente della coesione, perchè questi materiali costruiti dall’uomo sono prevedibili affidabili, durevoli e possono essere facilmente integrabili nell’analisi geotecnica..”

Da : Leshchinsky D. 2010. Geosynthetic reinforced walls and steep slopes: *Is it magic?*.
http://geosyntheticsmagazine.com/articles/0610_f2_slopes.html

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)

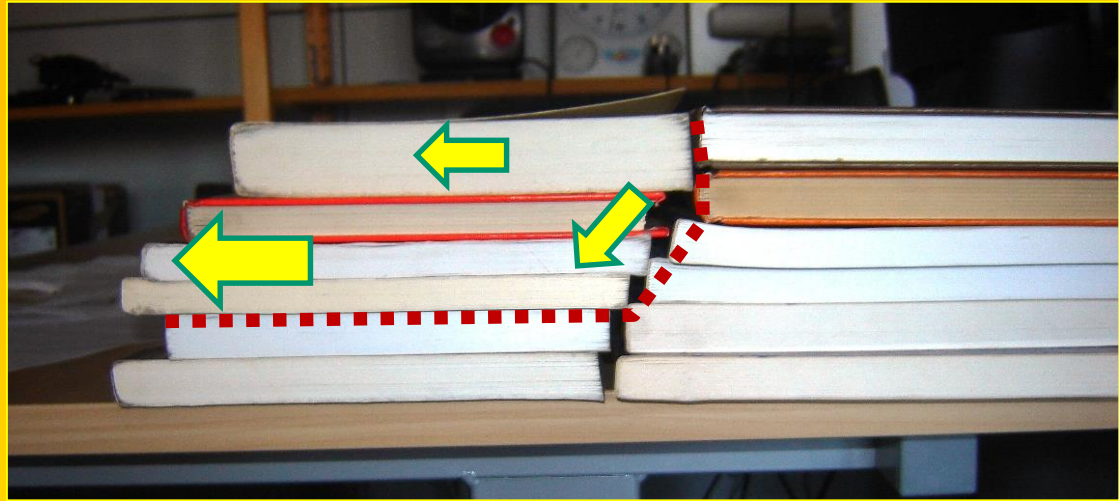
•••••

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

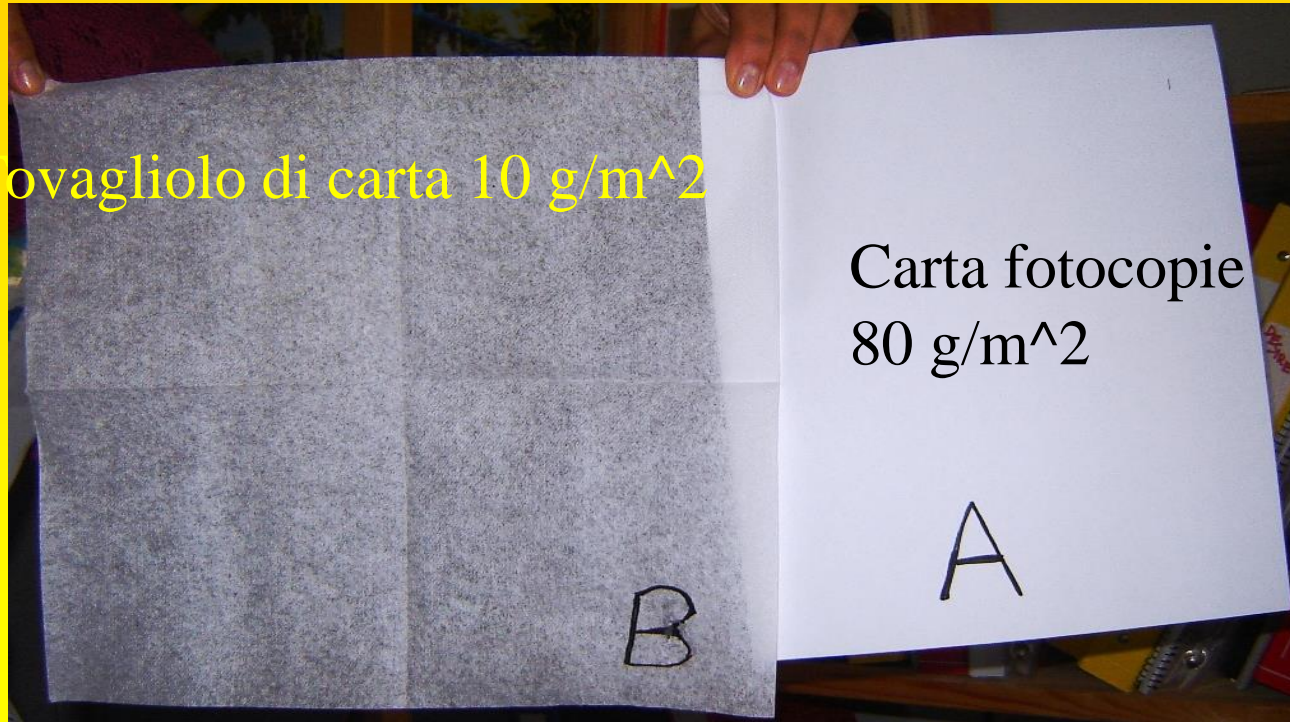
Protezione superficie esterna da erosione e progetto contenimento

Geometria opera e progetto sistema dei rinforzi e paramento

Cenni Principi fisici di interazione terreno e armature: simulazione effetti geotessile



Pseudo pendio



Pseudo
Geotessili

Cenni Principi fisici di interazione terreno e armature – simulazione effetti geotessile

Stato tensionale e res. al taglio terreno geotessile
Che contrastano la spinta attiva



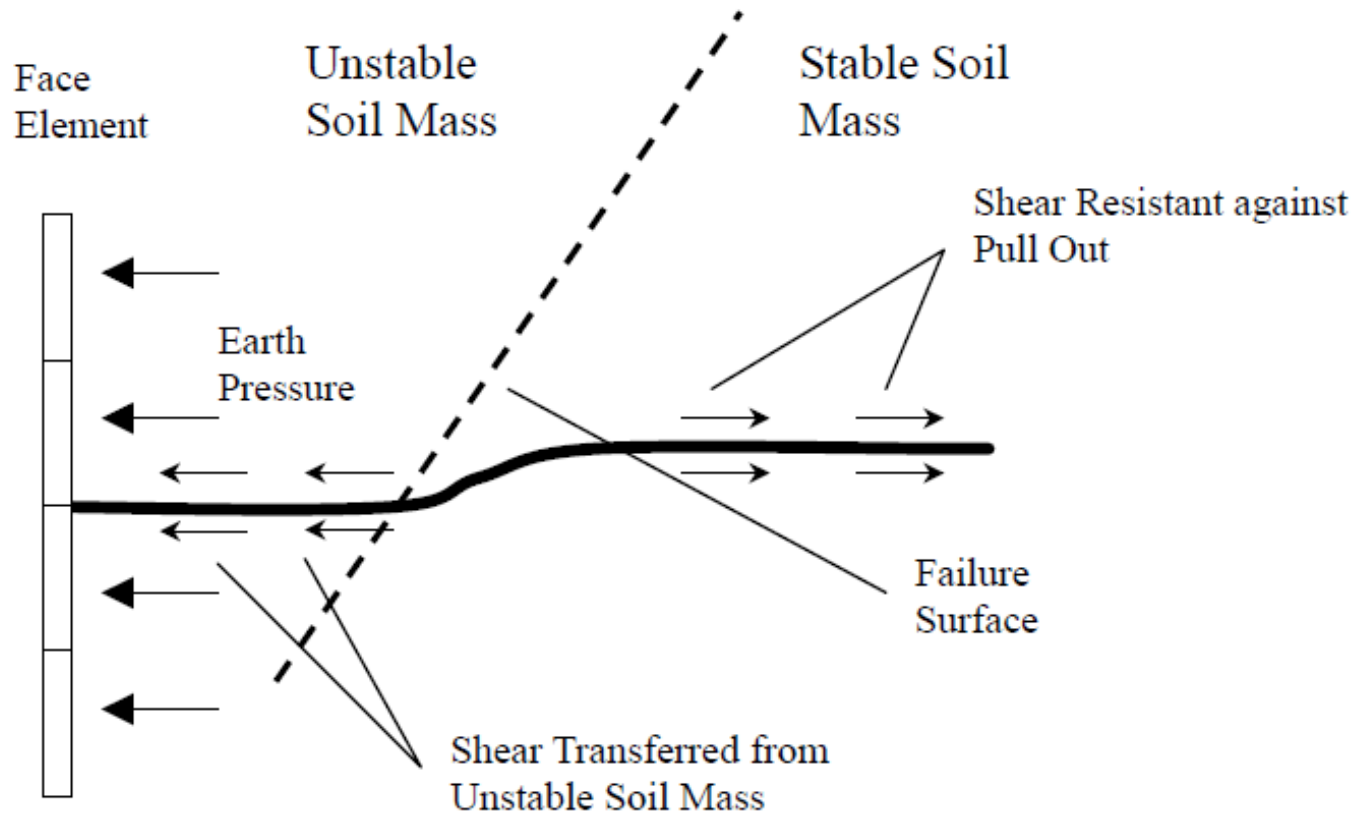
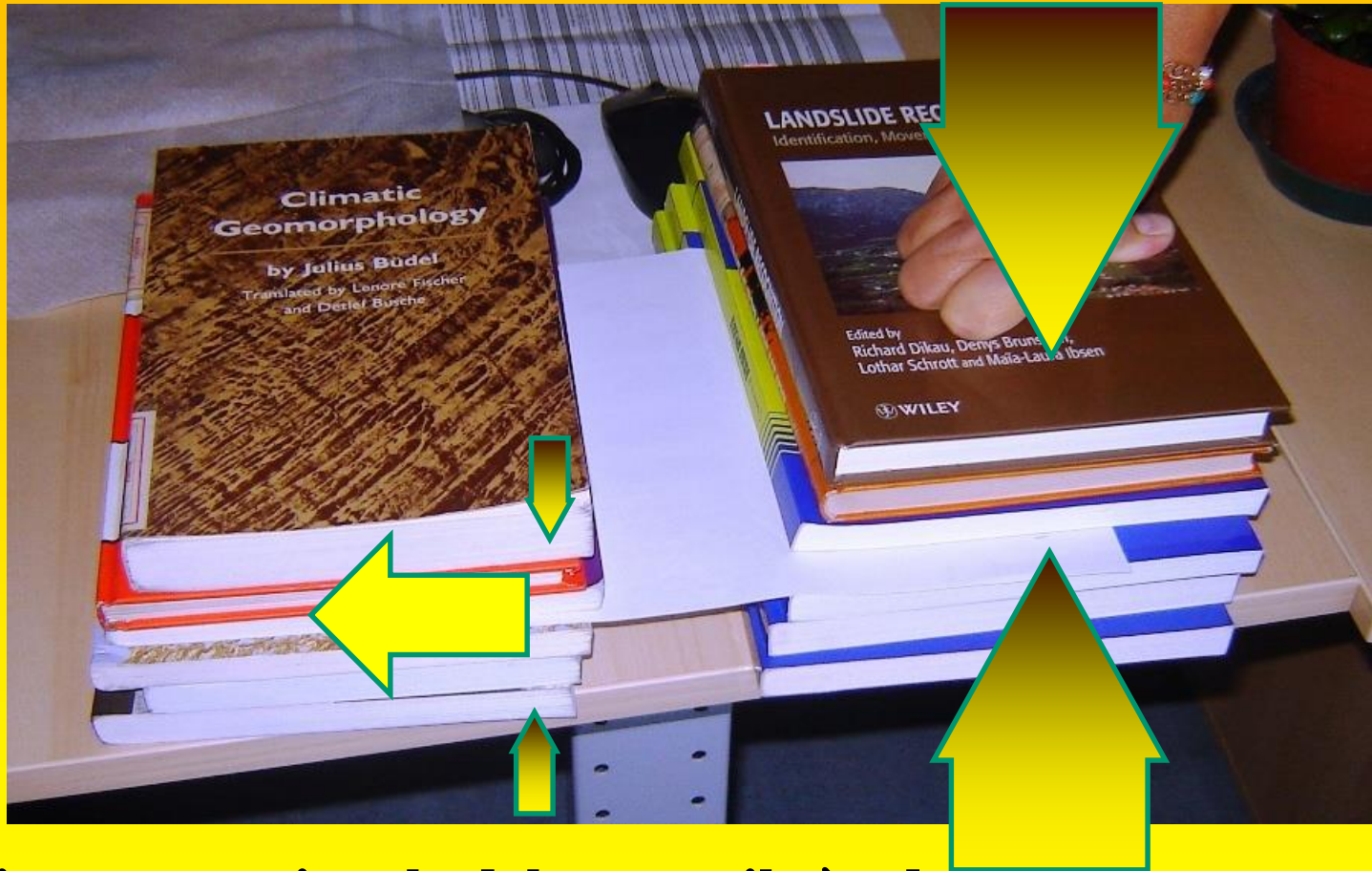


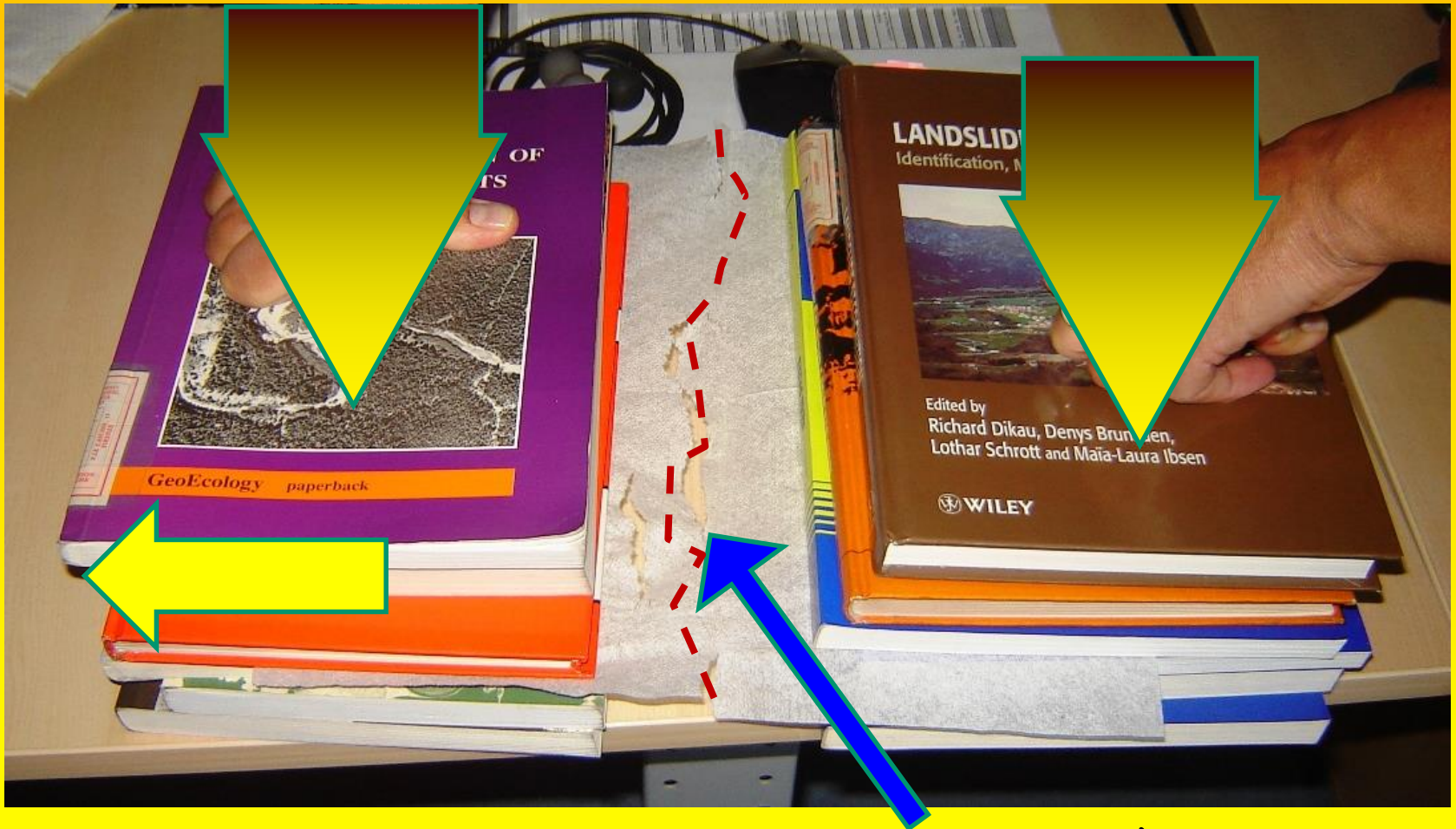
Figure 2.3.1 Reinforcing mechanism of reinforced soil retaining structures (after Huasman, 1990).

Instabilità per sfilamento (pullout)



La resistenza tensionale del geotessile è adeguata ma la resistenza allo sfilamento no..!! (scarso attrito dovuto a terreno, pressione di confinamento o tipo di geotessile .. o tutti e tre)

Rottura o deformazione eccessiva geotessile



La resistenza tensionale del geotessile NON è adeguata. È inferiore a quella richiesta anche se la resistenza allo sfilamento sarebbe sufficiente

Fondazione Geologi della Toscana

Borselli L.- Impiego di SSAP -2010(freeware) CORSO AVANZATO – Firenze 24-25 Gennaio 2013

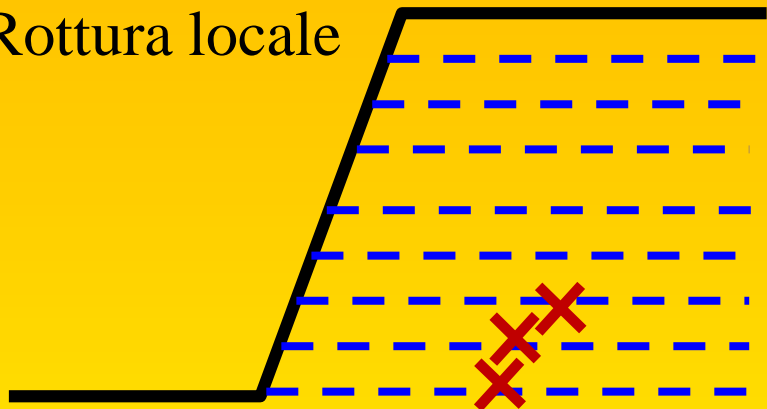
Sistema adeguato di rinforzi (spaziatura, resistenza, lunghezza , risvolti)



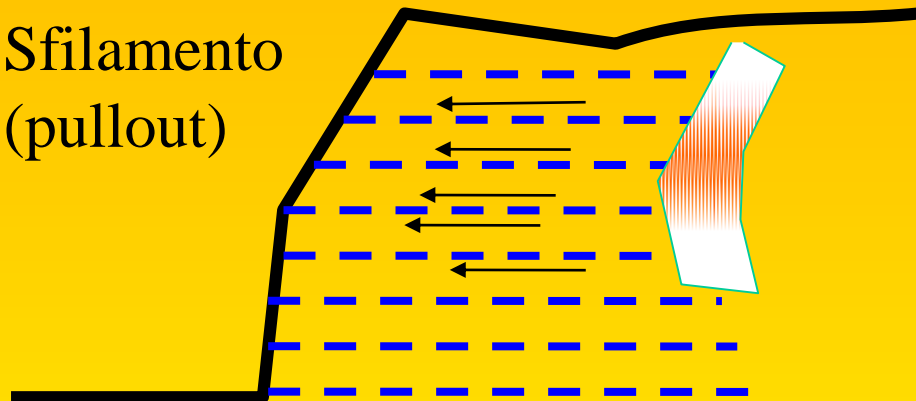
L'unione fa la forza ... ma solo se il tutto è ben progettato....

Processi di rottura e collasso in terre armate

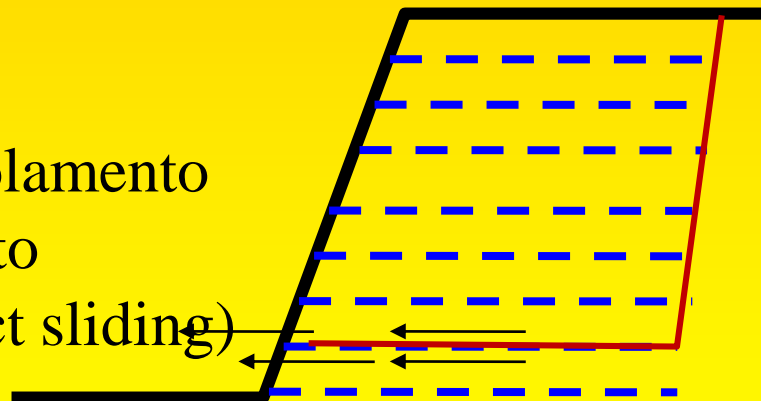
Rottura locale



Sfilamento
(pullout)



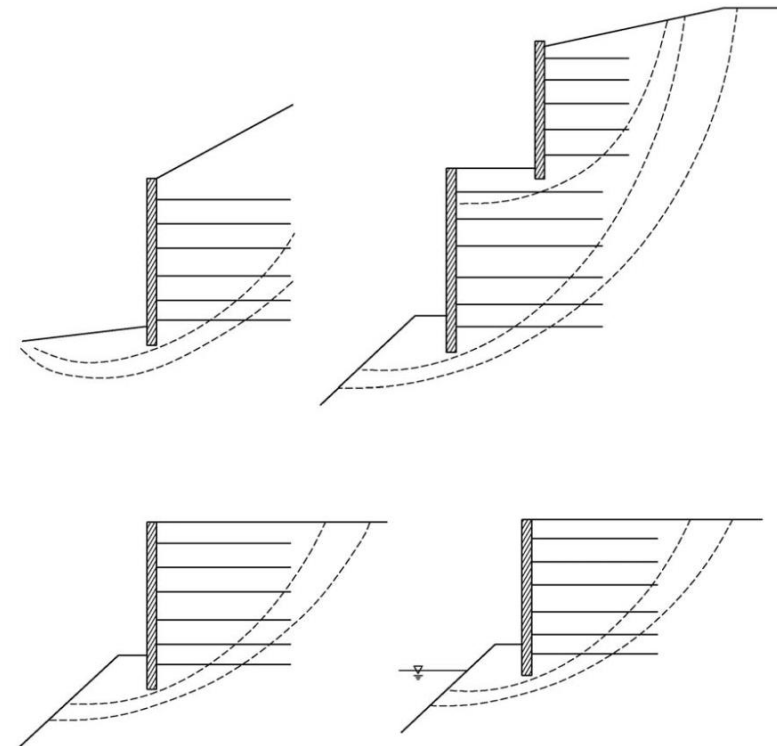
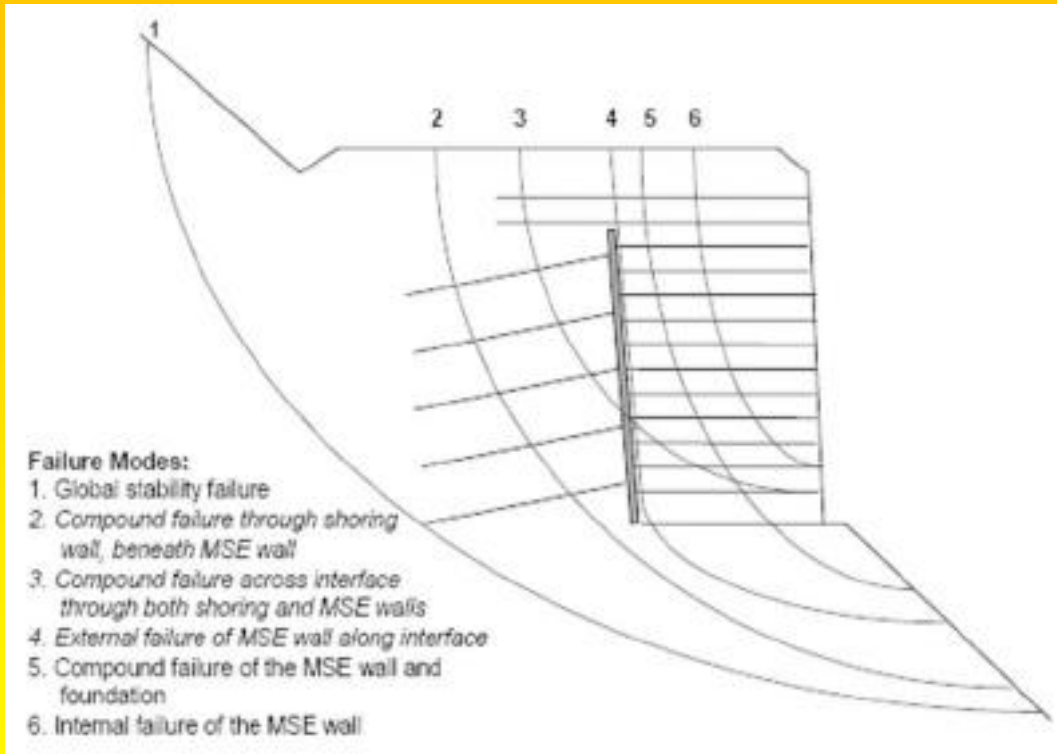
Scivolamento
Diretto
(direct sliding)



Verifiche stabilità interna

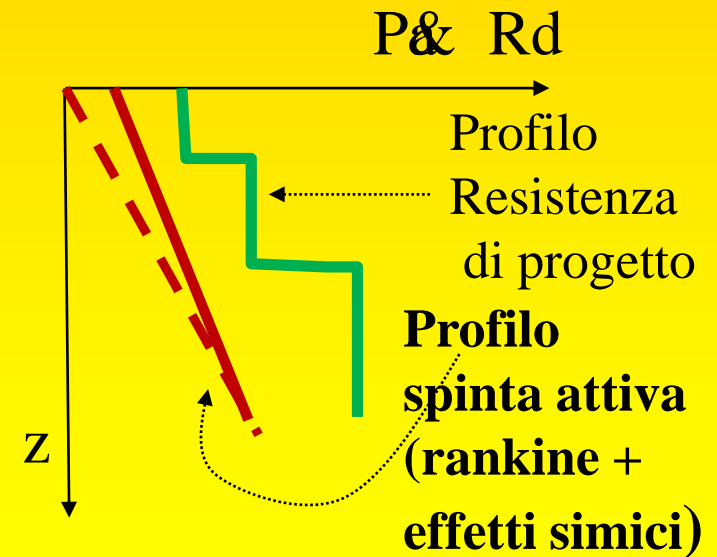
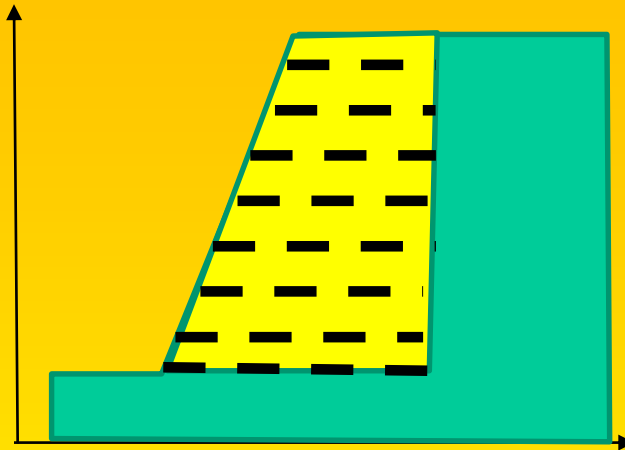
(sfilamento, rottura dei rinforzi, scivolamento diretto)

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



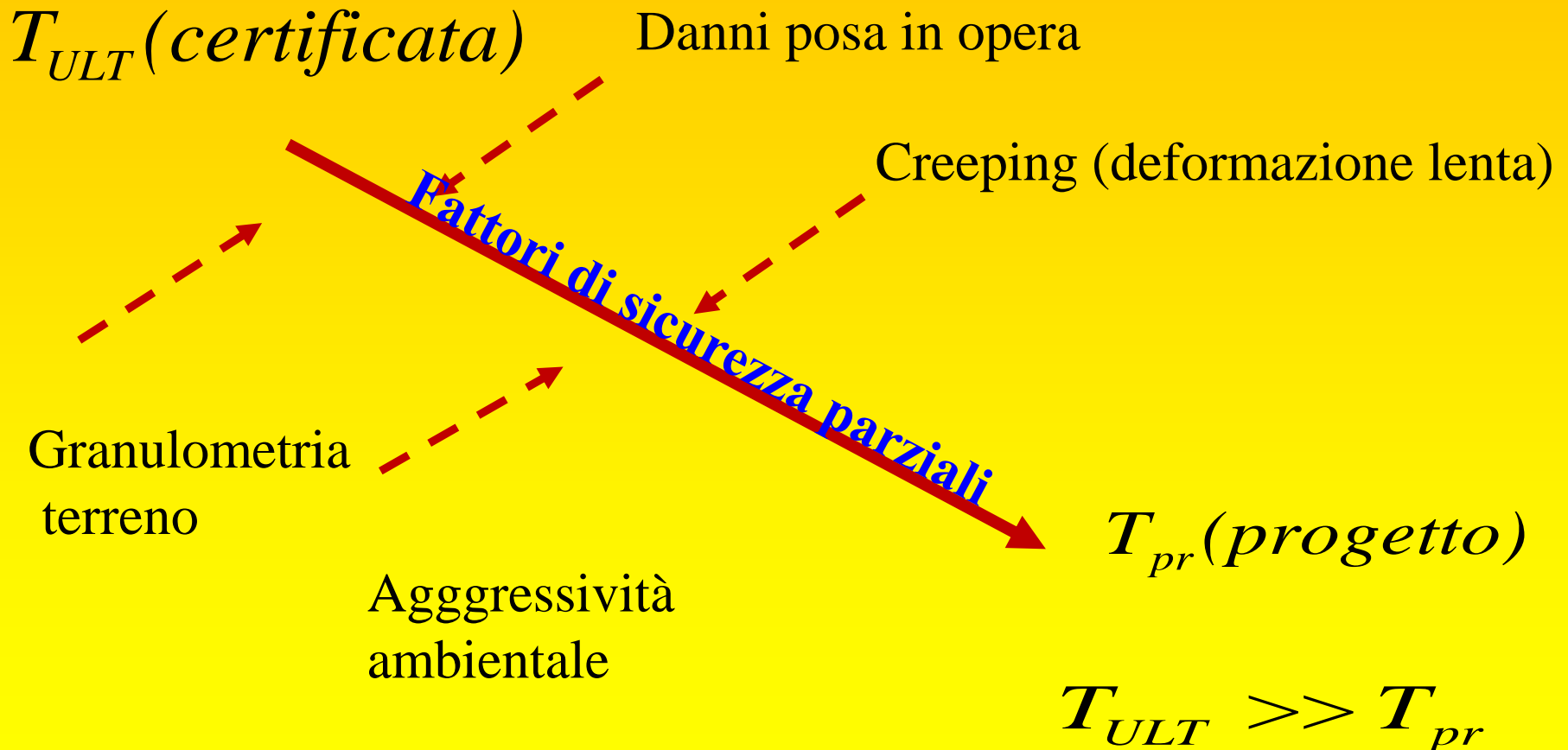
Le verifiche di stabilità globale sono fondamentali per valutare l'equilibrio idrogeologico dell'area dove le TA sono Inserite

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



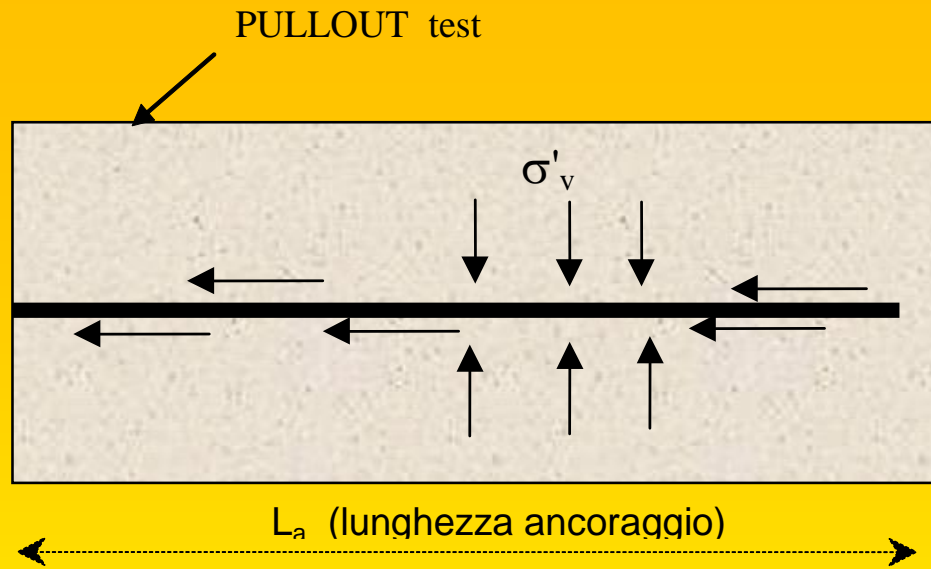
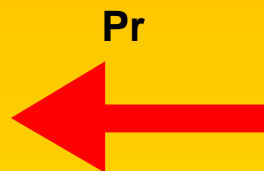
Cenni sui criteri di progettazione e verifica di stabilità interna di una TA

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)



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

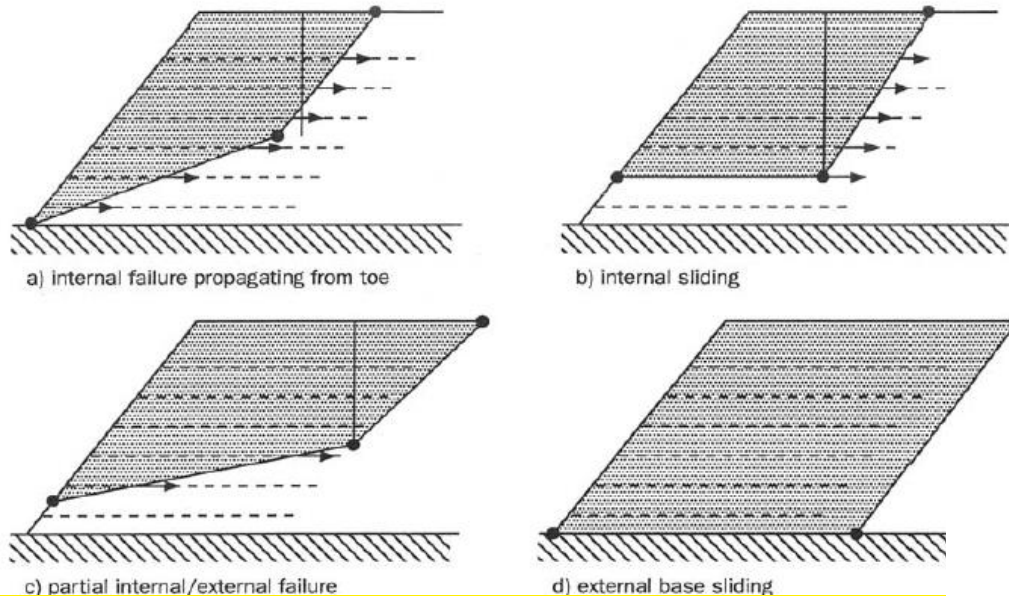
f_b coefficiente di interazione suolo/geogriglia-geosintetico; variabile, a seconda di tipo di geosintetico/geogriglia, tra 0.6 e 1.0. Tale parametro è indicato nelle caratteristiche tecniche della geogriglia/geosintetico

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

$$\tan \varphi'_d = \frac{\tan \varphi'}{F S_p}$$

Fattore di attrito di progetto

Terre armate e verifiche di stabilità globale del sistema opera-pendio: criteri e procedure di analisi, trappole frequenti e scelta software



**Verifiche di stabilità interna
All'equilibrio limite**

**Sist. 2 concii e
Equilibrio dei momenti**

**Vengono usati per il
dimensionamento
E verifica stabilità interna**

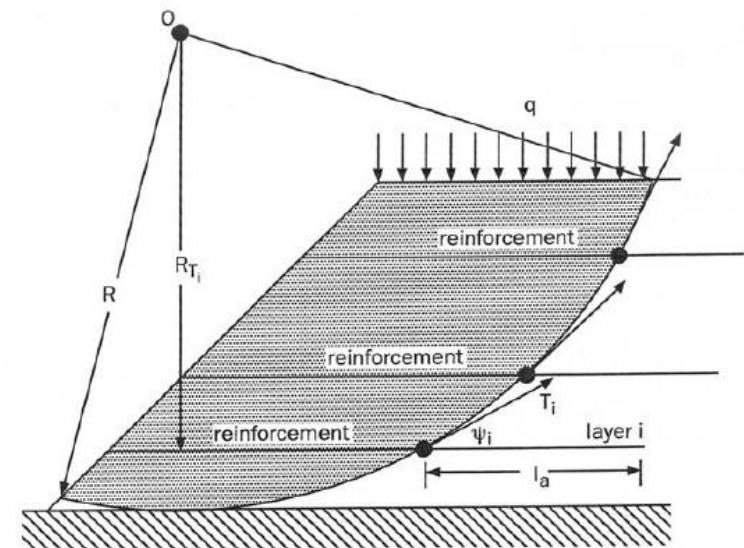
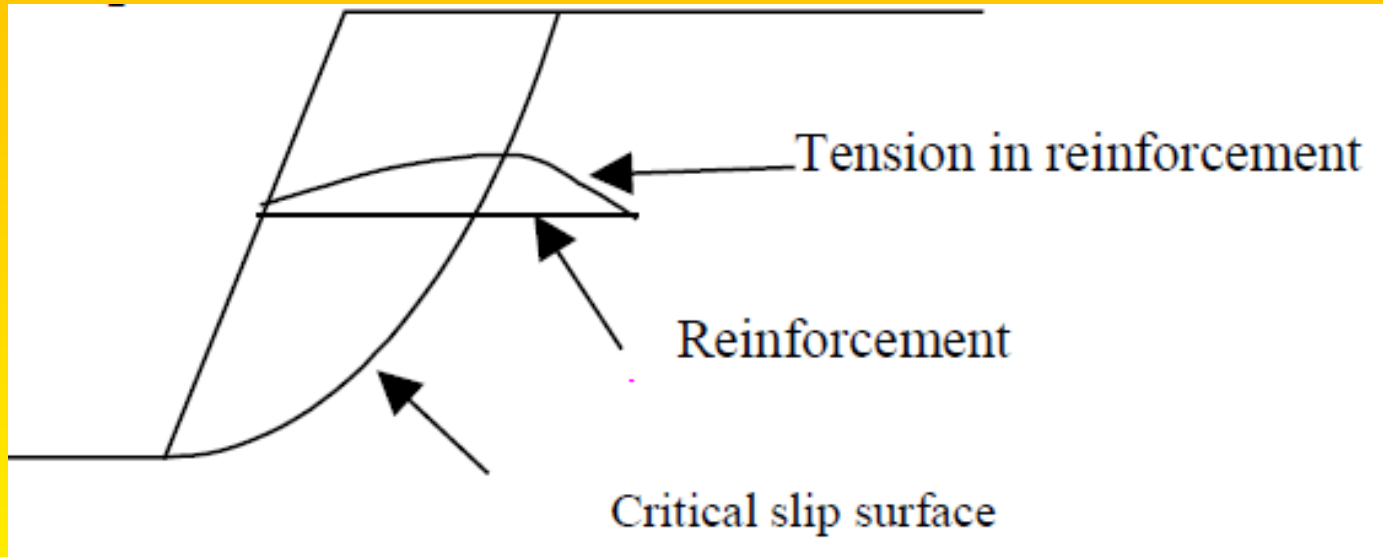


Figure 7: Circular Slip Analysis and Method of Slices for Reinforced Slope

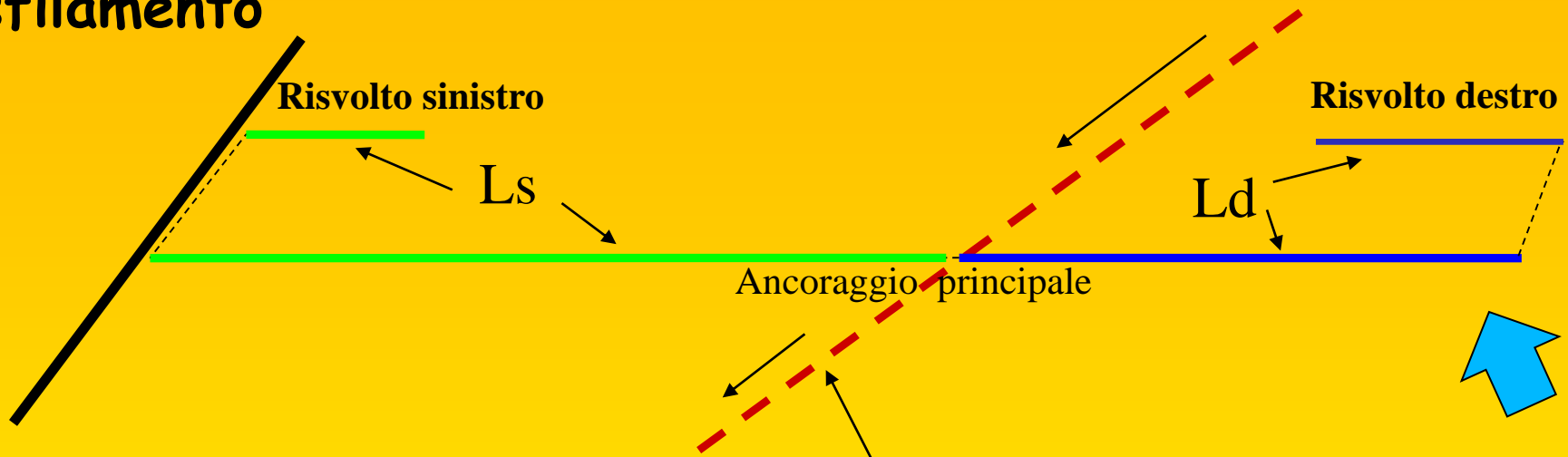
Cenni sui criteri di progettazione e verifica di stabilità interna di una TA



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

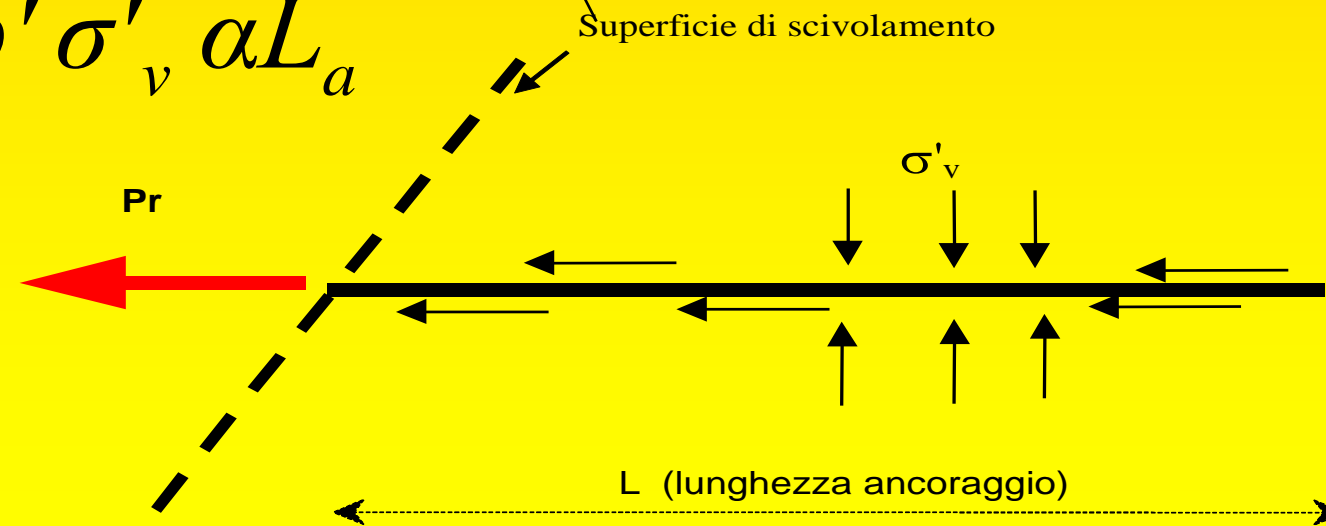
$$T_d = \min[T_{pr}, P_r, \dots]$$

Geogriglie in ssap 4.7.2 (2016) effetto resistenza allo sfilamento



$$L_a = \min(L_s, L_d)$$

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



Terre armate e verifiche di stabilità globale del sistema opera-pendio: criteri e procedure di analisi, trappole frequenti e scelta software

Per progettare un opera in terra armata occorre:

- Abachi , calcolatrice o foglio elettronico
- Software forniti dai produttori di geosintetici
- Software commerciali.
- soprattutto il proprio cervello

OPPURE:

Puoi farti fare il progetto completo dal produttore/fornitore del geotessile... !!!! Ma

Terre armate e verifiche di stabilità globale del sistema opera-pendio: criteri e procedure di analisi, trappole frequenti e scelta software

Software forniti dai produttori di geosintetici

PREGI: offrono una guida passo-passo nella scelta del tipo di prodotto, nel dimensionamento e progettazione (con i loro stessi prodotti), analisi dei costi e loro ottimizzazione.

DIFETTI: limiti nella scelta dei criteri di progettazione, database prodotti limitato alla sola casa produttrice, ottimizzazione costi limitata (chiaramente orientata a vantaggio del rivenditore o produttore).

Software commerciali: non legati a specifici geotessili o tipi di strutture.

Richiedono spesso maggiore esperienza e consapevolezza dei problemi e delle possibili soluzioni.

Solo pochi consentono verifiche con tecniche rigorose (es, anche verifiche a equilibrio Limite con metodi rigorosi).

Spesso permettono verifiche della stabilità interna in modo corretto ma non quella globale in modo completo e rigoroso

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, Morgestern & 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)

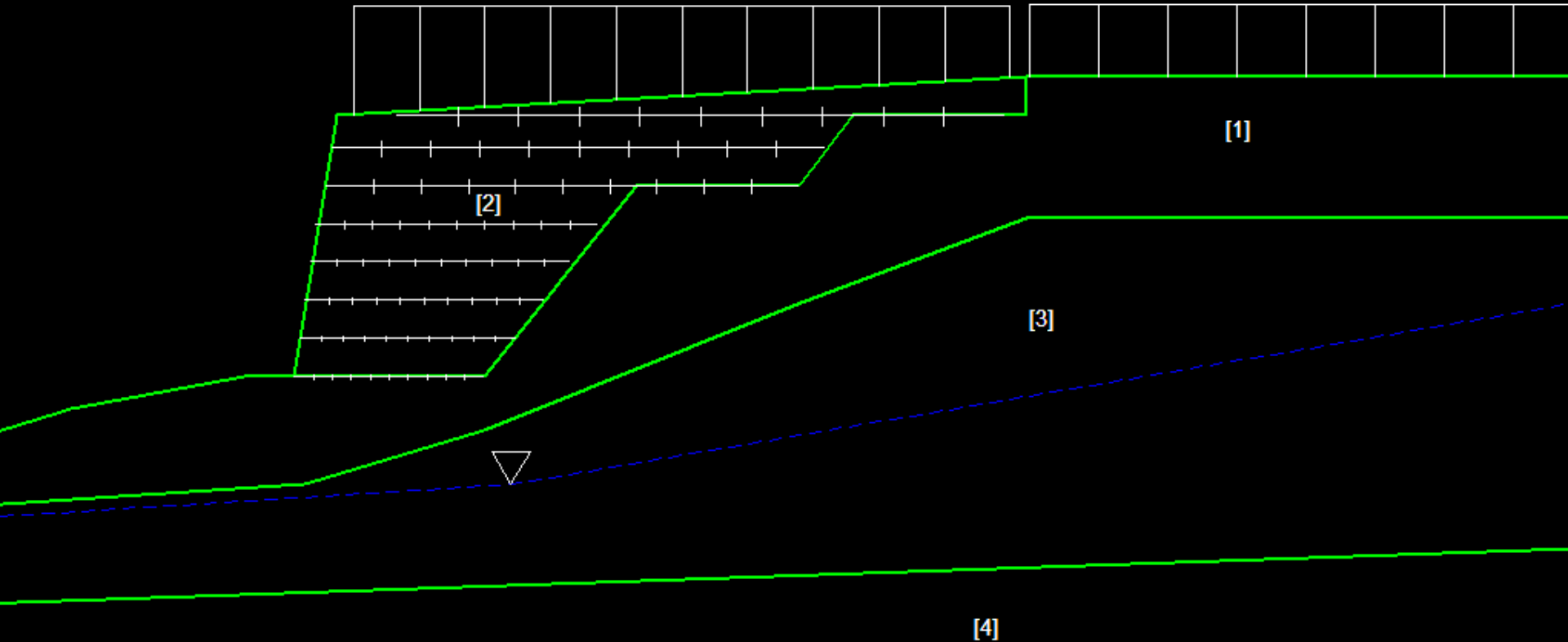
Data : 22/9/2010
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. strato o lente

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)

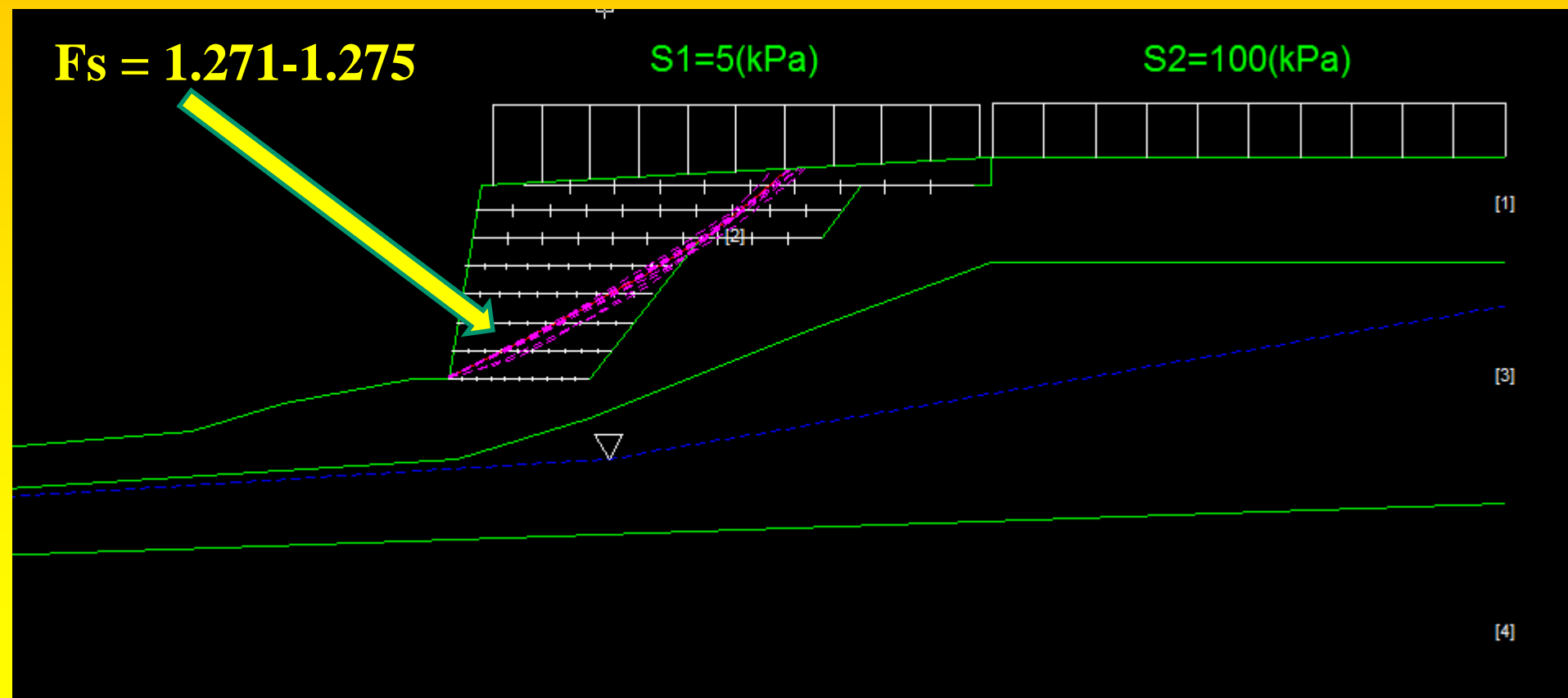


Verifica di stabilità globale (con effetto sismico $K_h=0.05$; $K_v=0.025$) .. limitata alla sola TA

$F_s = 1.271-1.275$

$S_1=5(\text{kPa})$

$S_2=100(\text{kPa})$

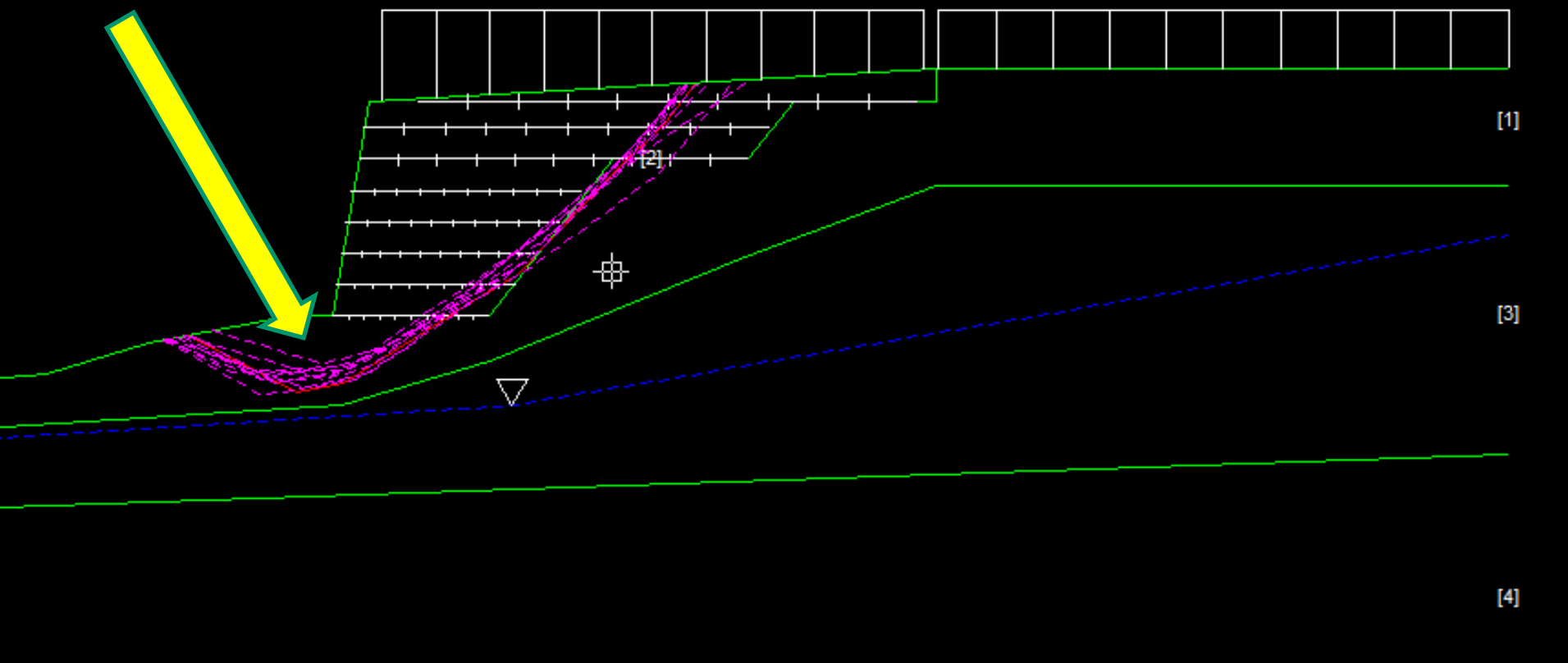


Verifica di stabilità globale (con effetto sismico $K_h=0.05$; $K_v=0.025$) .. Generale

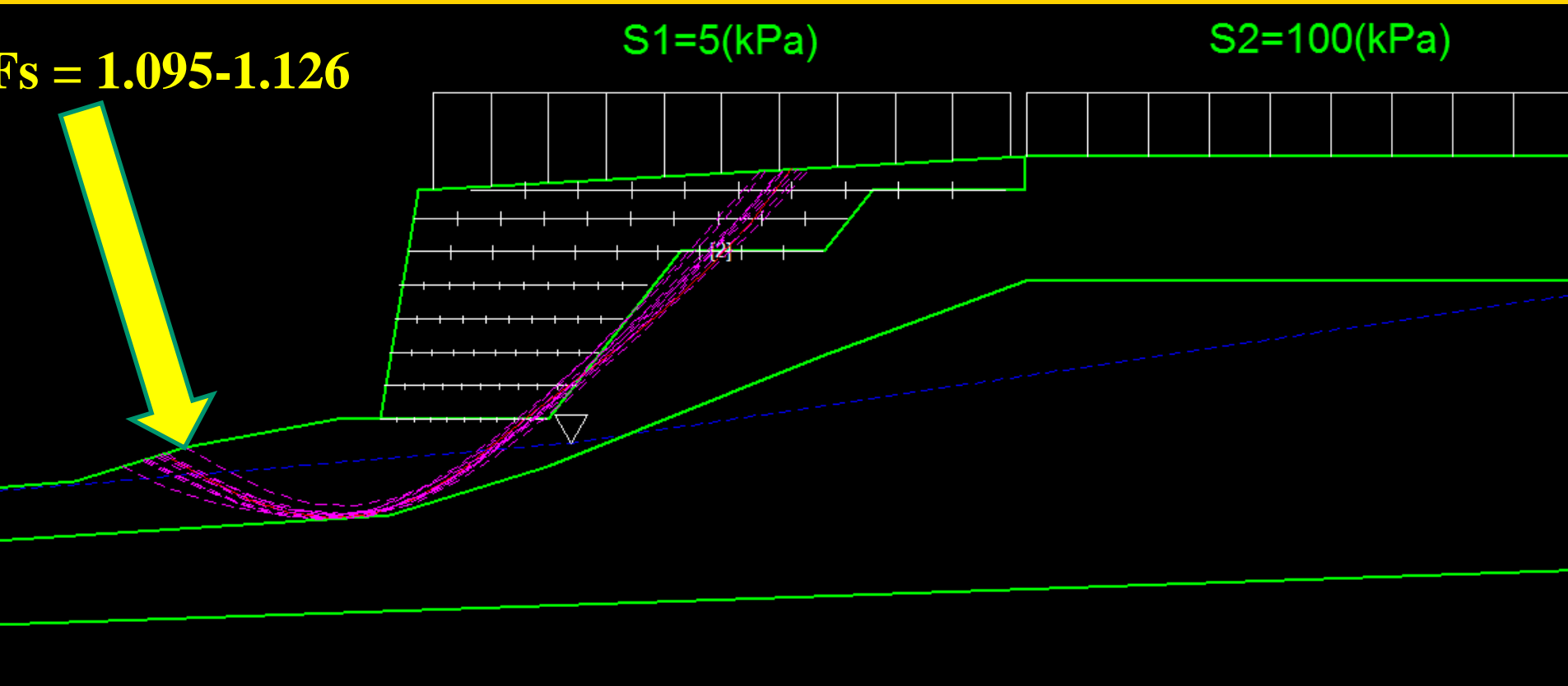
$F_s = 1.145-1.180$

$S_1=5(\text{kPa})$

$S_2=100(\text{kPa})$

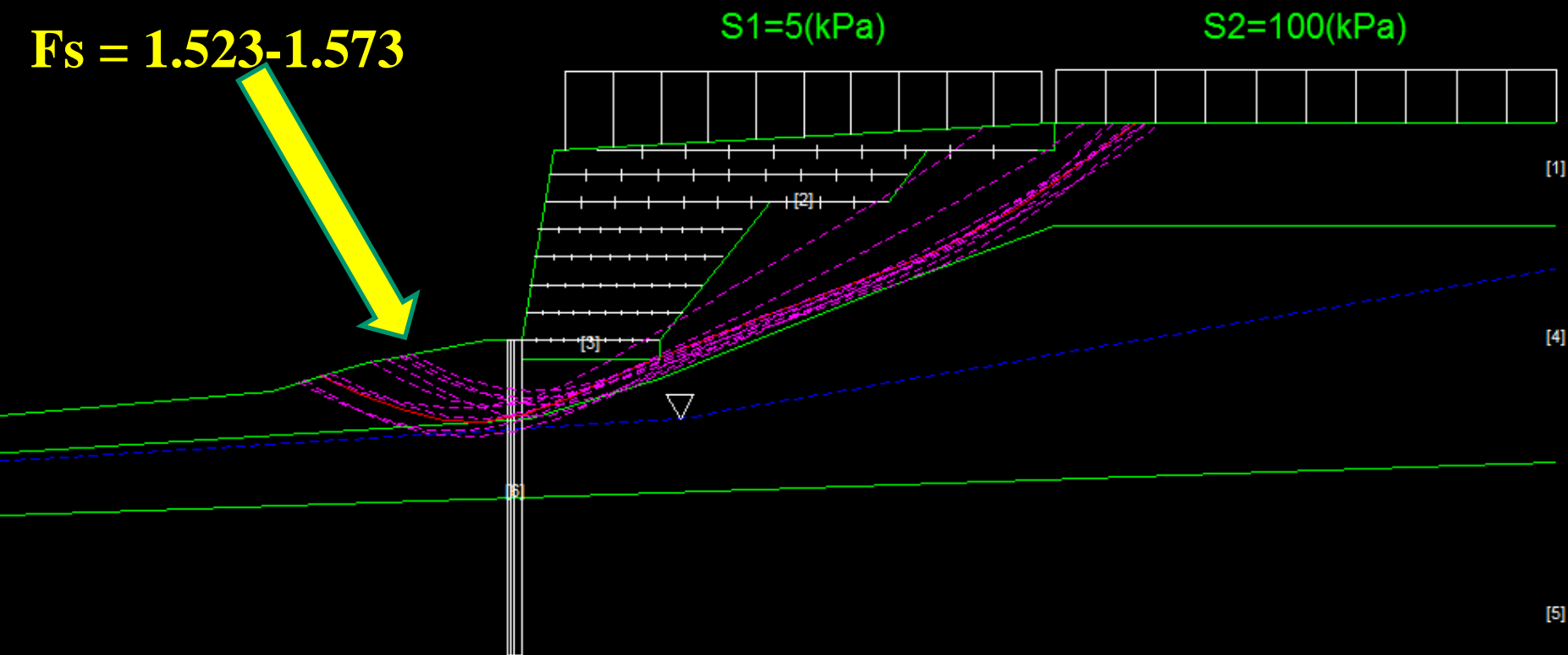


Verifica di stabilità globale (con effetto sismico $K_h=0.05$; $K_v=0.025$) .. Generale Simulazione risalita falda di 1.2 m

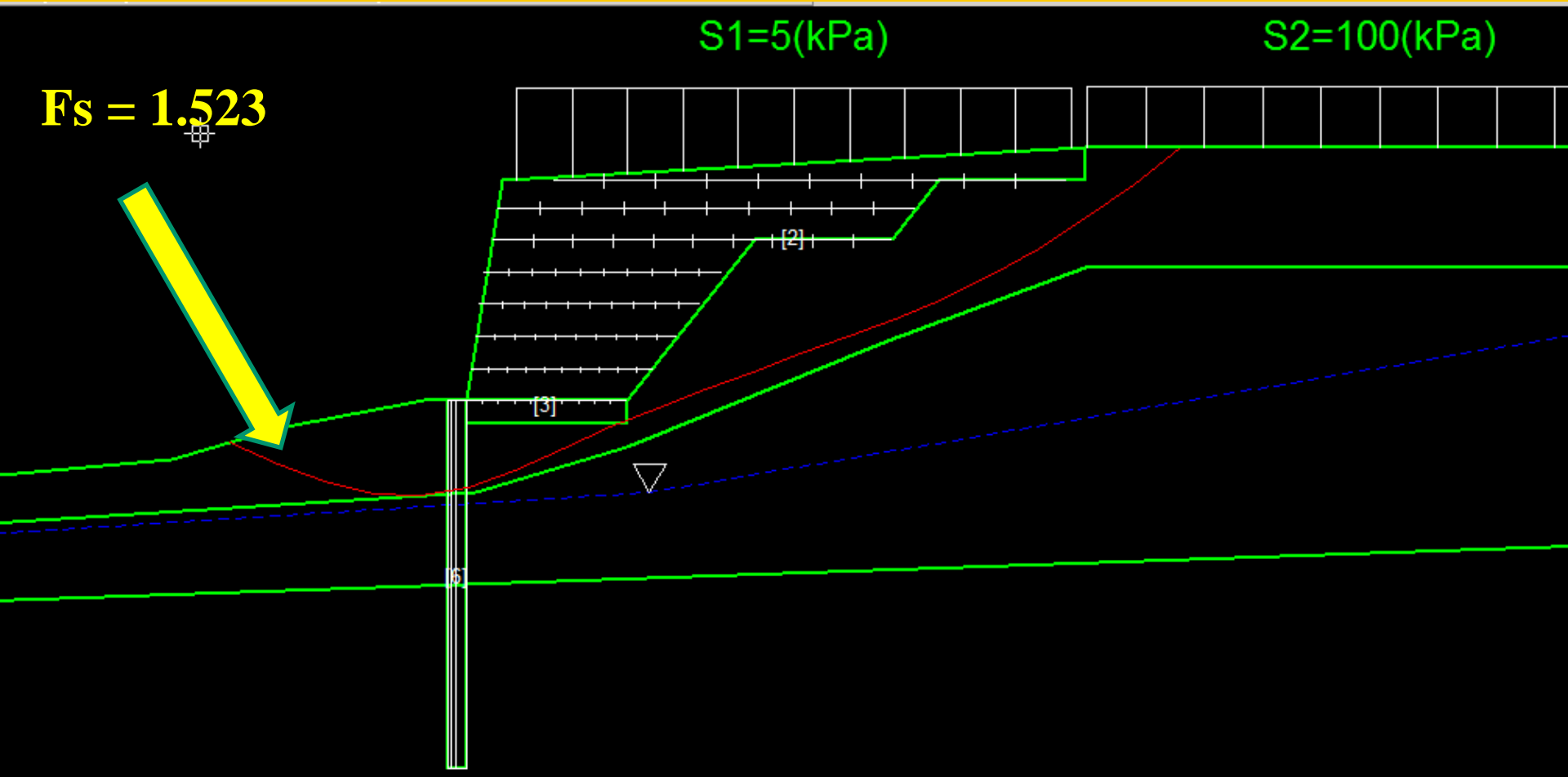


**Verifica di stabilità globale (con effetto sismico $K_h=0.05$; $K_v=0.025$)
.. inserimento di palificata alla base (d= 40 interasse 1.5 m L =8 m)
E strato drenante alla base della TA
Le 10 superfici con minor FS su 14000 calcolate...**

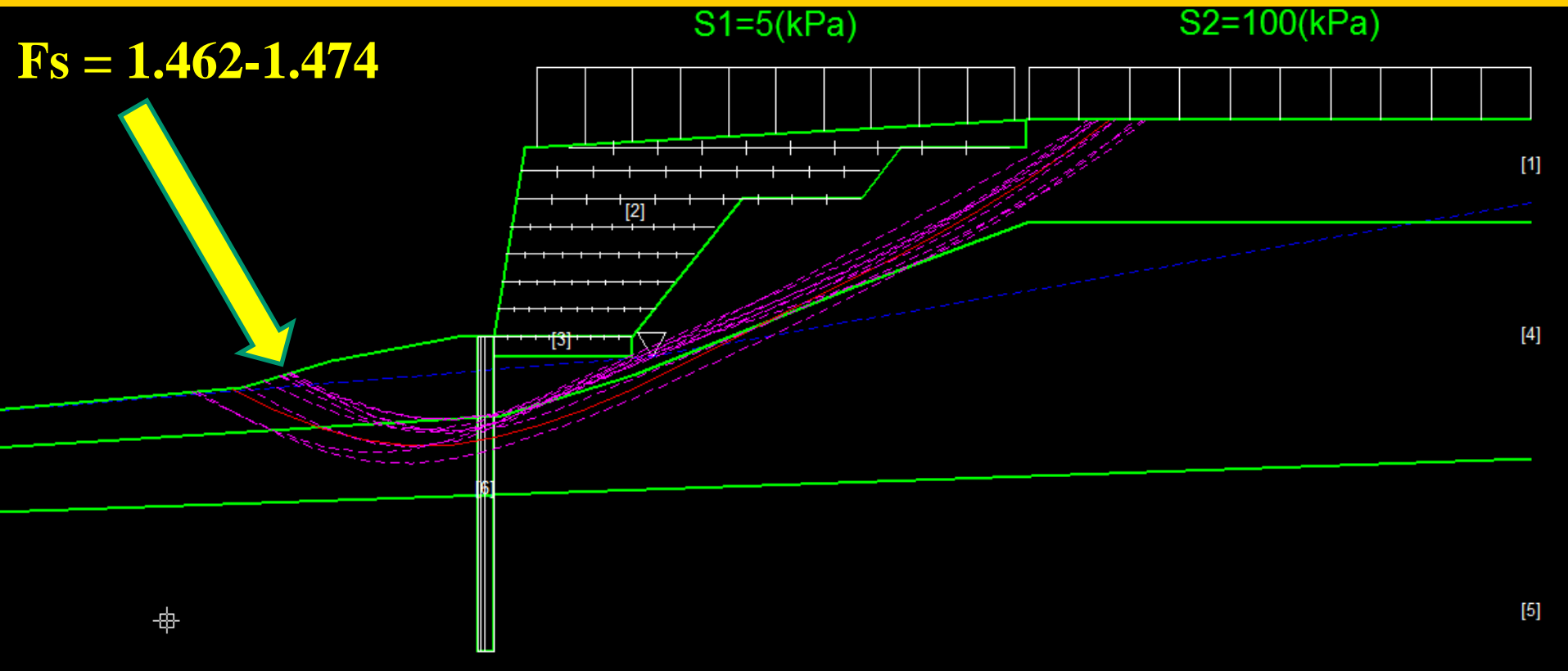
$F_s = 1.523-1.573$



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

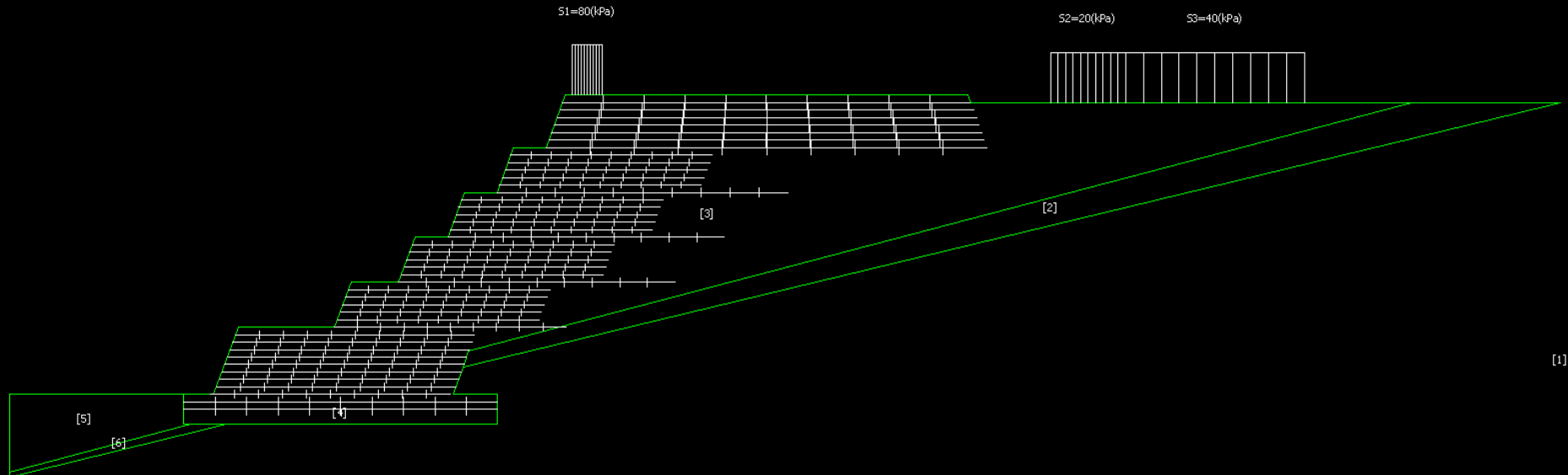


Verifica di stabilità globale (con effetto sismico $K_h=0.05$; $K_v=0.025$) .. Simulazione risalita falda di 1.2 m



Studio e pratica su un esempio reale con geogriglie :

Cartella esempi corso : **geogriglie_2016**



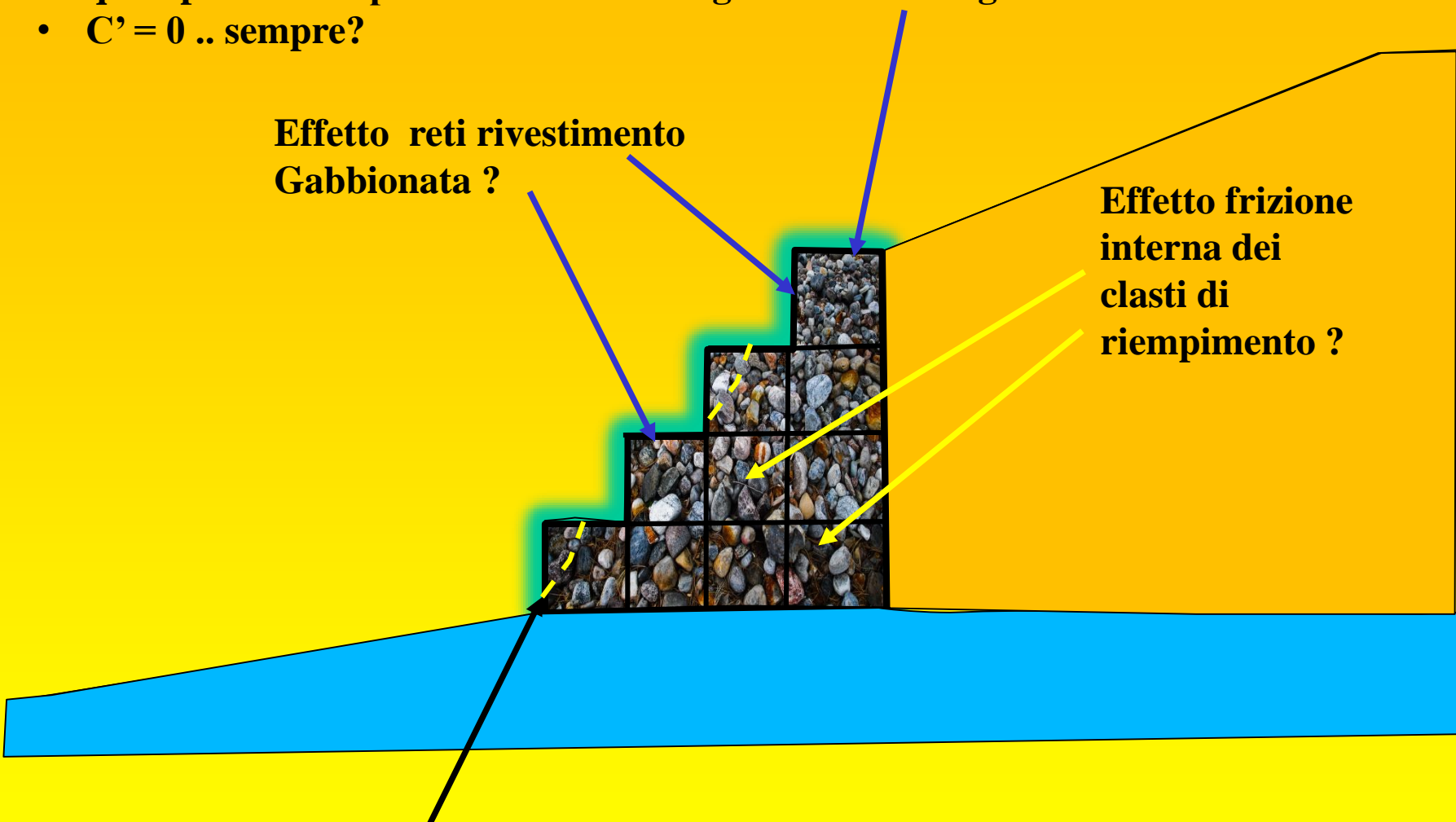
Condizioni particolari: cambiare
lunghezza e resistenza geogriglie
Condizioni opzionali: a piacere....
Introdurre effetto sismico con $kh=0.05$

Caso particolare gabbionate-1

- quali parametri ϕ' e c' sono da assegnare alla lente gabbionata ?
- $C' = 0$.. sempre?

Effetto reti rivestimento
Gabbionata ?

Effetto frizione
interna dei
clasti di
riempimento ?

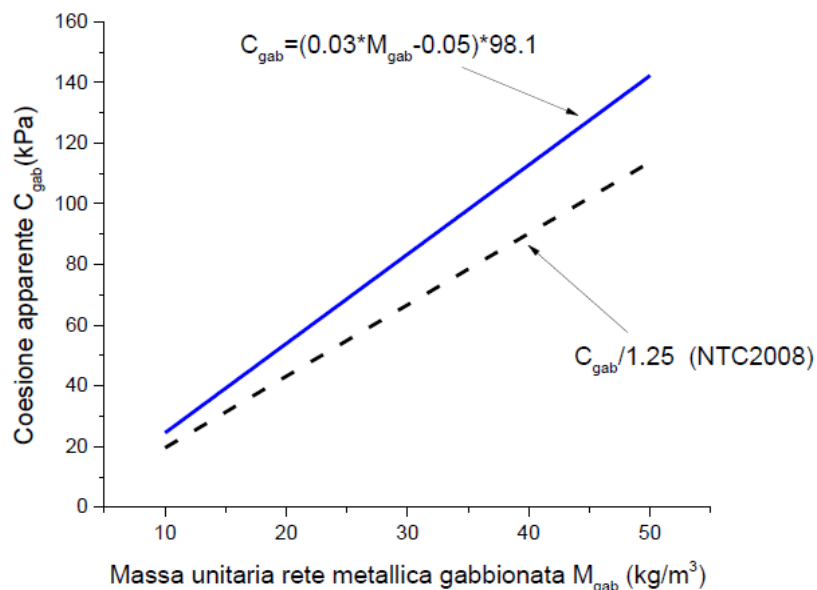


A scala di dettaglio non e' possibile garantire stabilita' con una gabbionata con $\phi' = 40-45$ gradi e $c' = 0$ (scala delle pareti verticali di ogni elemento) quindi e' necessario che fisicamente sia sempre $C' > 0$...

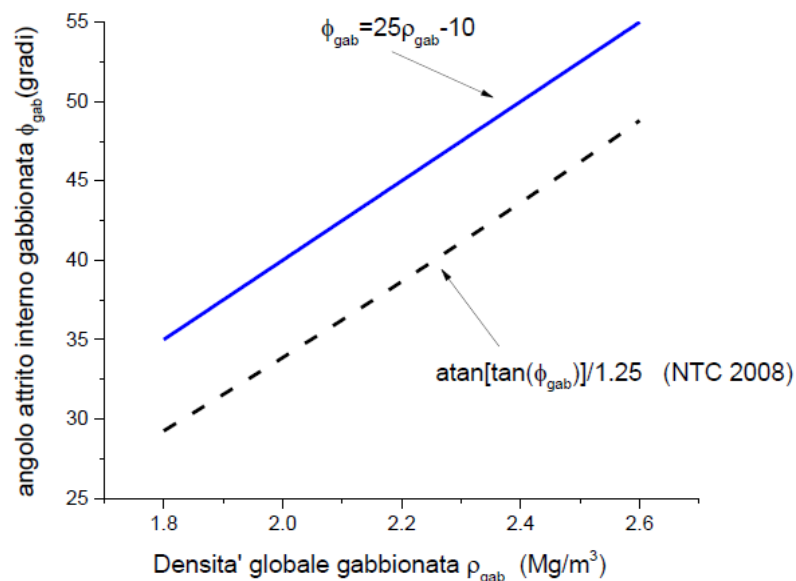
Caso particolare gabbionate -2

Una possibile risposta ai precedenti questi...

Stima dei parametri ϕ e c per gabbionate : tratto dal manuale di progettazione gabbionate
**(www.borghiazio.com) con integrazioni by Lorenzo Borselli (www.lorenzo-borselli.eu)



fonte: manuale progettazione gabbionate (www.borghiazio.com) - con integrazioni by L.B. 2016



fonte: manuale progettazione gabbionate (www.borghiazio.com) - con integrazioni by L.B. 2016

**** N.B. la impresa viene citata grazie alla documentazione presente nel proprio sito web, e disponibile gratuitamente per tutti. L'autore di SSAP no ha alcuna relazione commerciale e/o preferenziale con la stessa impresa citata...**

Liquefazione e stabilita' dei pendii

In

SSAP2010

Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D

Universidad Autónoma de San Luis Potosi -UASLP

Instituto de Geología

Facultad de Ingeniería.

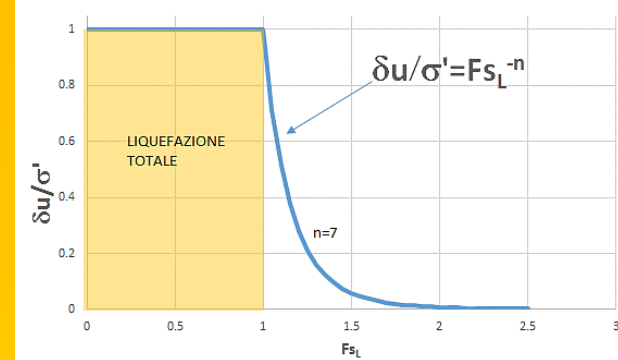
San Luis Potosi, MEXICO

E_mail:

lborselli@gmail.com

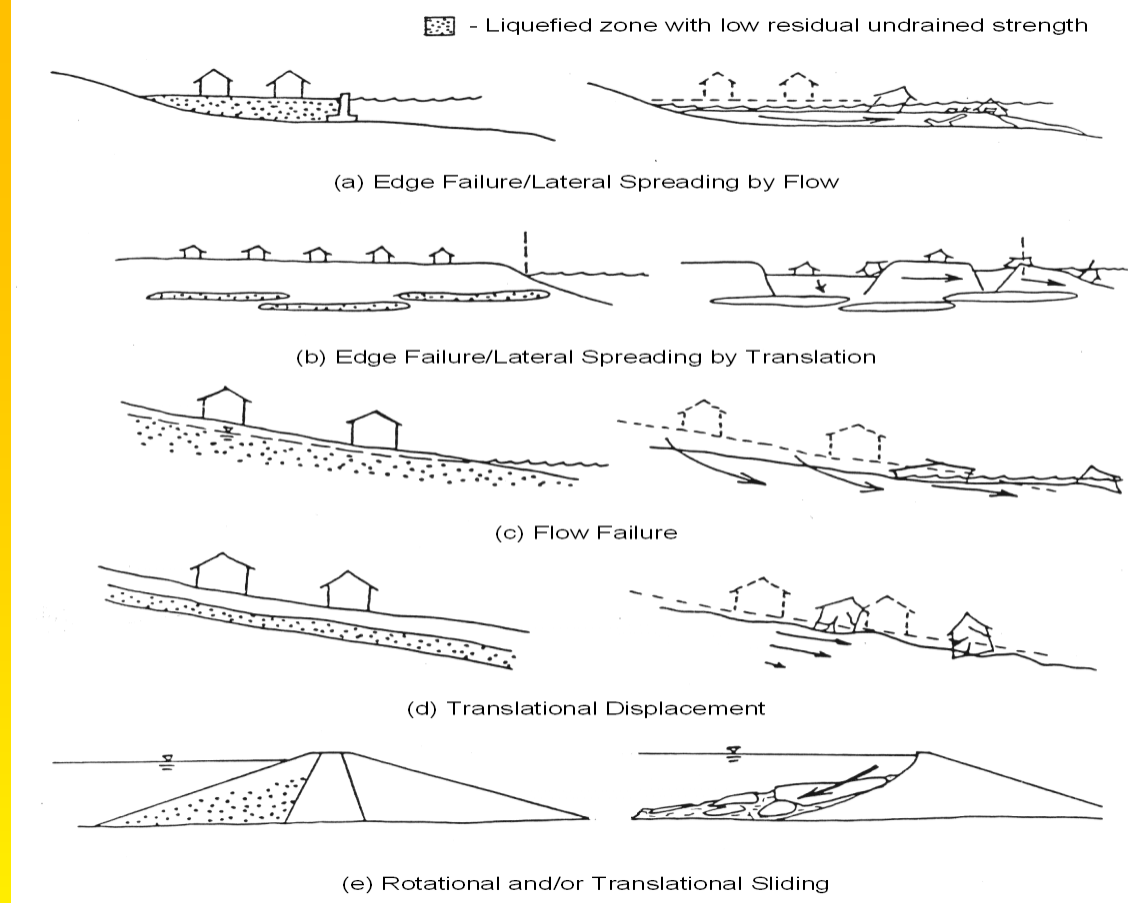
lorenzo.borselli@uaslp.mx

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



Liquefazione e stabilità dei pendii

Il processo di liquefazione del suolo è fenomeno per cui un terreno saturo perde sostanzialmente resistenza e rigidità in risposta ad uno stress applicato, usualmente uno stress ciclico, prodotto da un terremoto, che induce il terreno stesso a comportarsi come un liquido.

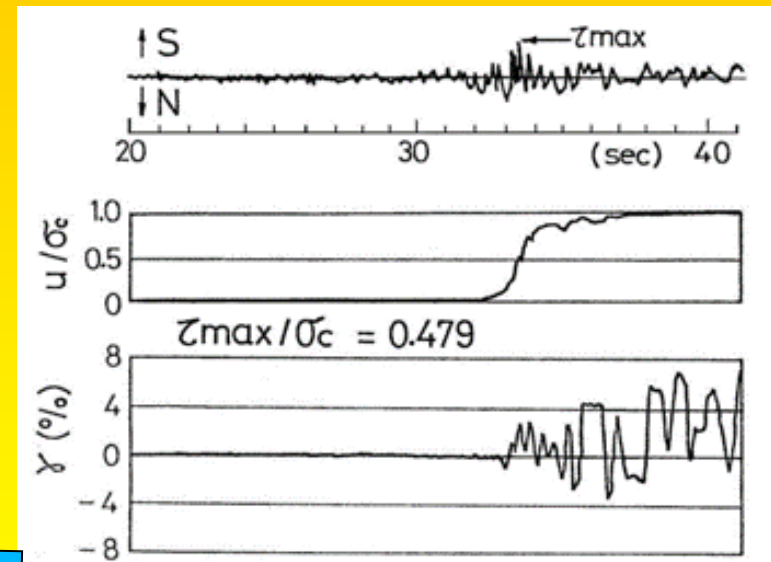


Fenomeno osservato soprattutto in terreni saturi, con basso addensamento e tipicamente caratterizzati da terreni sabbiosi o sabbioso limosi sciolti.

Liquefazione e stabilità dei pendii

Se il terreno è in condizioni sature la tendenza a comprimersi del terreno in seguito carico monotono (esempio un aumento del carico su un terrapieno) o carico ciclico (vibrazioni o scuotimento sismico) produce un incremento della pressione di poro (pressione neutra) in risposta alla compressione del suolo.

Il processo contrattivo (o dilatazione negativa) dei depositi soggetti a liquefazione, prodotto da uno stress ciclico, porta a un incremento progressivo della pressione di poro in tempi molto rapidi dato che il tempo necessario a dissipare questa pressione è generalmente molto più lungo della durata del sisma.



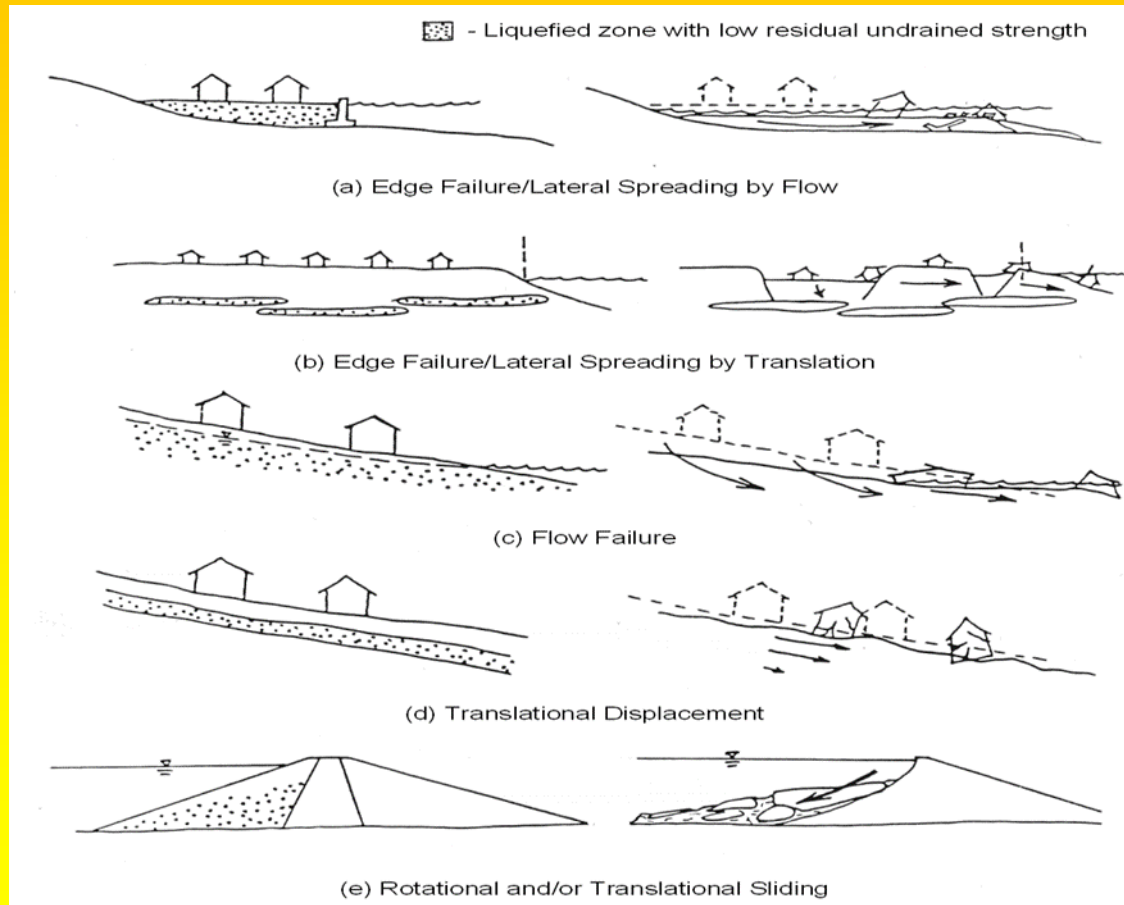
La figura mostra come in seguito a uno stress ciclico sismico abbiamo in pochi secondi una risalita della pressione di poro fino ad eguagliare la pressione di contatto dei granuli. Nella figura si osserva il progressivo incremento del coefficiente della pressione interstiziale con la progressione dello stress ciclico.

Liquefazione e stabilità dei pendii

Se l'incremento di pressione di poro raggiunge livelli equivalenti alla pressione totale si produce una pressione efficace uguale a zero e quindi il terreno comincia a comportarsi come un fluido. In sostanza lo stato di “**liquefazione**” del suolo si verifica quando la tensione effettiva di suolo è ridotta a praticamente zero, che corrisponde ad una riduzione (teorica) quasi totale di resistenza al taglio.

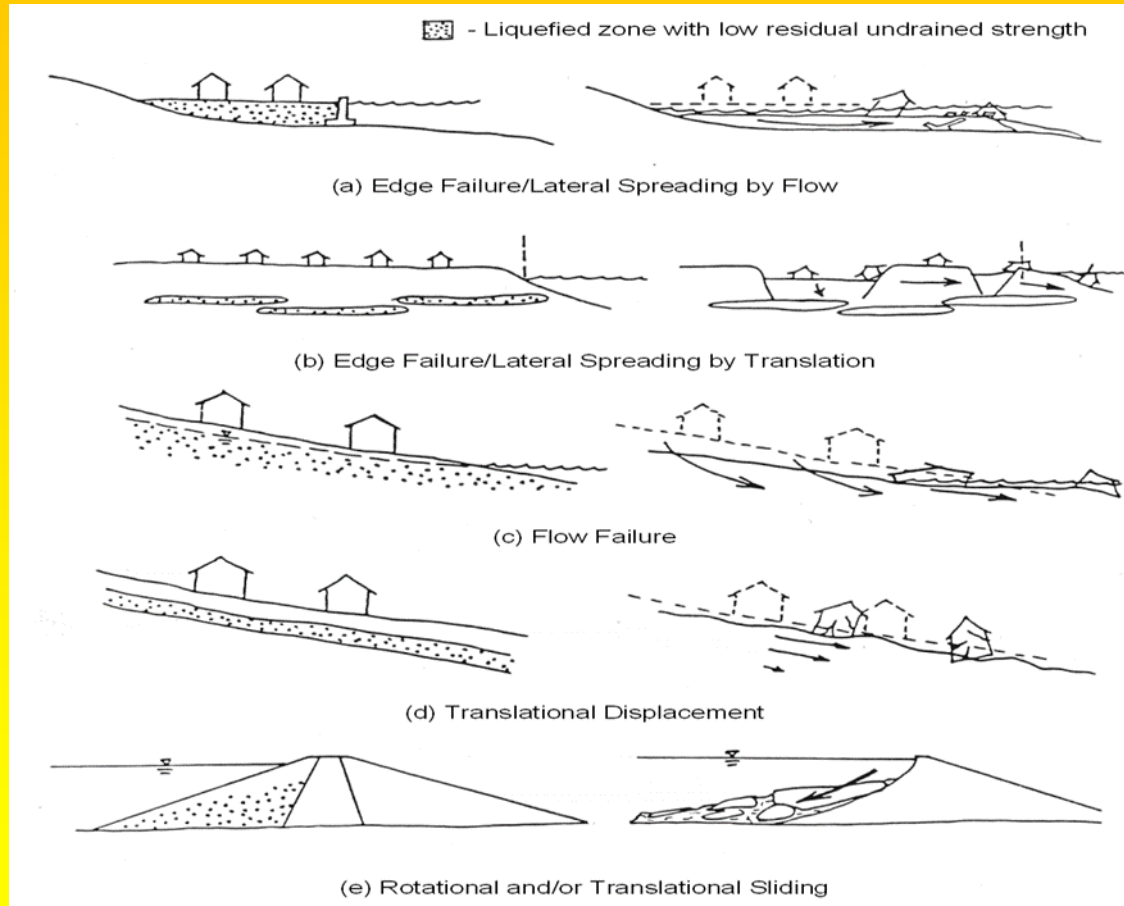
Ma la resistenza al taglio effettiva non sarà mai in realtà pari a zero..

Liquefazione e stabilità dei pendii



Dal punto di vista del SSAP facciamo in particolare riferimento al processo di liquefazione che ha luogo su pendii naturali o artificiali (figura a lato). Il processo di liquefazione in pendii o opere in terra deve essere analizzato con procedure particolari, posteriormente a una analisi preliminare di liquefacibilita' del deposito associata a una specifica sollecitazione sismica di progetto..

Liquefazione e stabilità dei pendii



Il primo passo per integrare in una verifica di stabilità l'effetto di una potenziale liquefazione totale o parziale è rispondere a una serie di quesiti:

1. Se e quali strati del nostro pendio hanno caratteristiche di potenzialmente liquefacibili.
2. Se esistono strati liquefacibili quale è il potenziale di liquefazione (Fattore di sicurezza liquefazione) rispetto a uno stress ciclico (sismico) in condizioni non drenate, che produrrà una liquefazione totale o parziale.

Liquefazione e stabilità dei pendii

La determinazione preliminare del fattore di sicurezza a liquefazione avviene attraverso varie fasi

Fase 1 e 2: calcolo del rapporto di stress ciclico considerando la correzione per la profondità (CSR)

Fase 3: valutazione rapporto di resistenza ciclico (CRR) considerando la correzione per la magnitudo del sisma (MSF)

Fase 4: calcolo del fattore correzione per pendenza media del pendio in funzione del grado di addensamento del deposito.

Fase 5: calcolo finale del fattore di sicurezza a liquefazione del deposito.

$$FS_{liq} = CRR / (CSR / MSF / K\alpha)$$

Liquefazione e stabilità dei pendii

determinazione preliminare del fattore di
sicurezza a liquefazione in 5 steps

Step	Equazione o grafico	Parametro	Descrizione
1	$CSR = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 r_d \left(\frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \left(\frac{a_{max}}{g} \right)$	CSR	<i>cyclic stress ratio</i> - rapporto di stress ciclico indotto dal sisma
2	$r_d = 1 - 0.012z$ (Vedasi anche fig. 2.24a)	r_d	Coefficiente di riduzione di stress in profondità
3	$CRR_{M=7.5, \sigma'_{vc}=1} = \exp \left(\frac{(N1)_{60cs}}{14.1} + \left(\frac{(N1)_{60cs}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N1)_{60cs}}{23.6} \right)^3 + \left(\frac{(N1)_{60cs}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right)$ CRR(fig.2.25a) MSF fig.2.25b)	CRR; MSF	<i>cyclic resistance ratio</i> - rapporto di resistenza ciclico del deposito e magnitudo scaling factor
4	$K\alpha$ (figura 2.25.b)	$K\alpha$	Coefficiente di correzione per Fattore di sicurezza a liquefazione per depositi in pendio
5	$FS_{liq} = CRR / (CSR / MSF / K\alpha)$	FS_{liq}	Fattore di sicurezza a liquefazione

Da Borselli (2015)

Liquefazione e stabilità dei pendii

A valori $FS_{liq} \leq 1.0$ viene associato un potenziale di liquefazione totale mentre per $FS_{liq} > 1.0$ si considera che il processo possa considerarsi parziale.

Alcuni autori considerano che FS_{liq} sia da utilizzarsi come un indicatore probabilistico del processo di liquefazione e che alla condizione al limite, con $FS_{liq} = 1.0$ sia da associare una probabilità di liquefazione del 50%.

Esempio di distribuzione del fattore di sicurezza locale a liquefazione per diversi input sismici

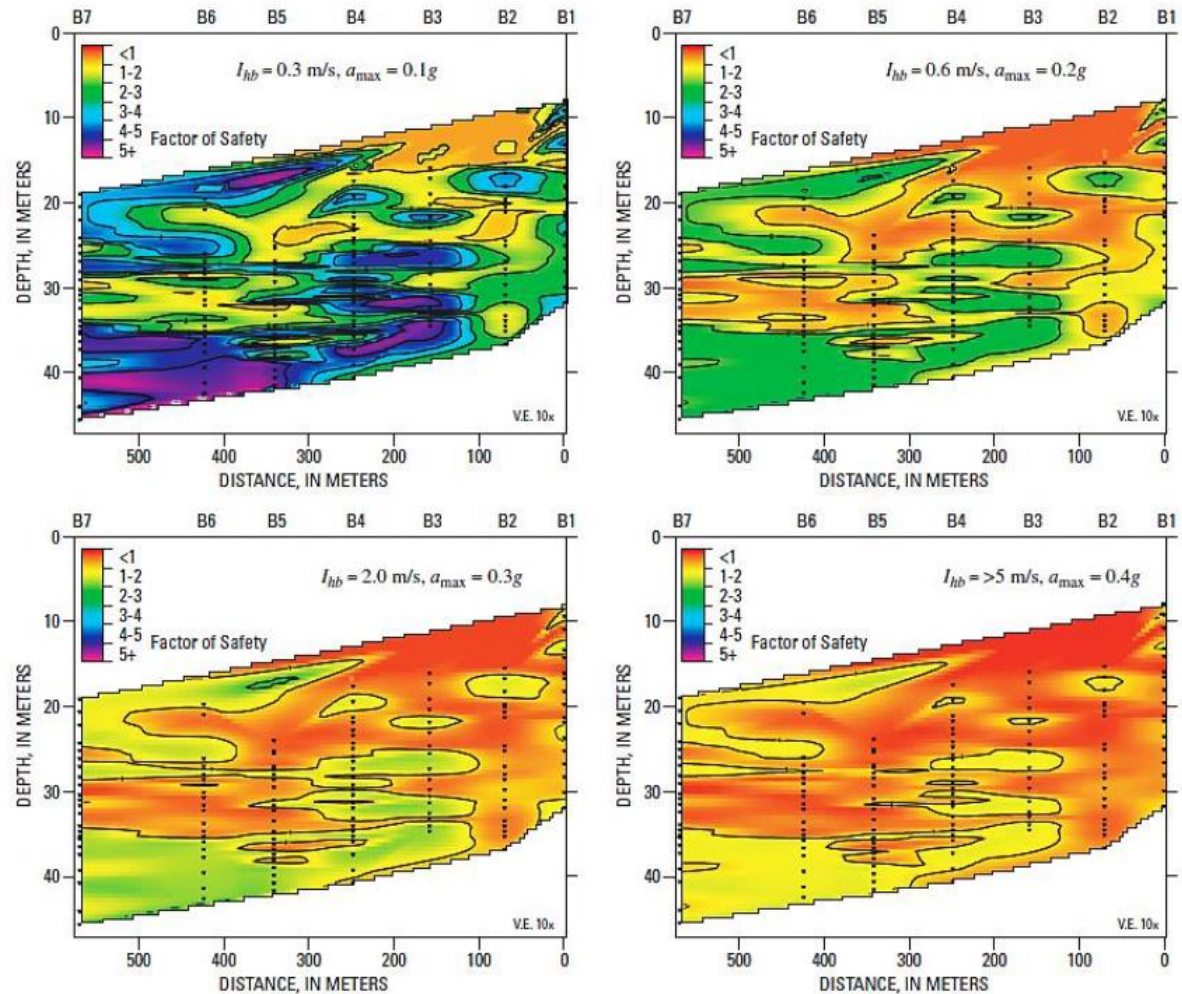


Fig. 2.26 (da Kayen & Barnhardt, 2007)

Liquefazione e stabilità dei pendii

Per condizioni $FS_{liq} > 1.0$ vari autori Marcuson et al. (1990,2007), Towhata (2008) , hanno proposto una relazione del tipo di quella mostrata in figura tra il fattore di sicurezza a liquefazione e il rapporto tra l'eccesso di pressione dei pori prodotto dal sisma rispetto allo sforzo efficace pre-sisma..

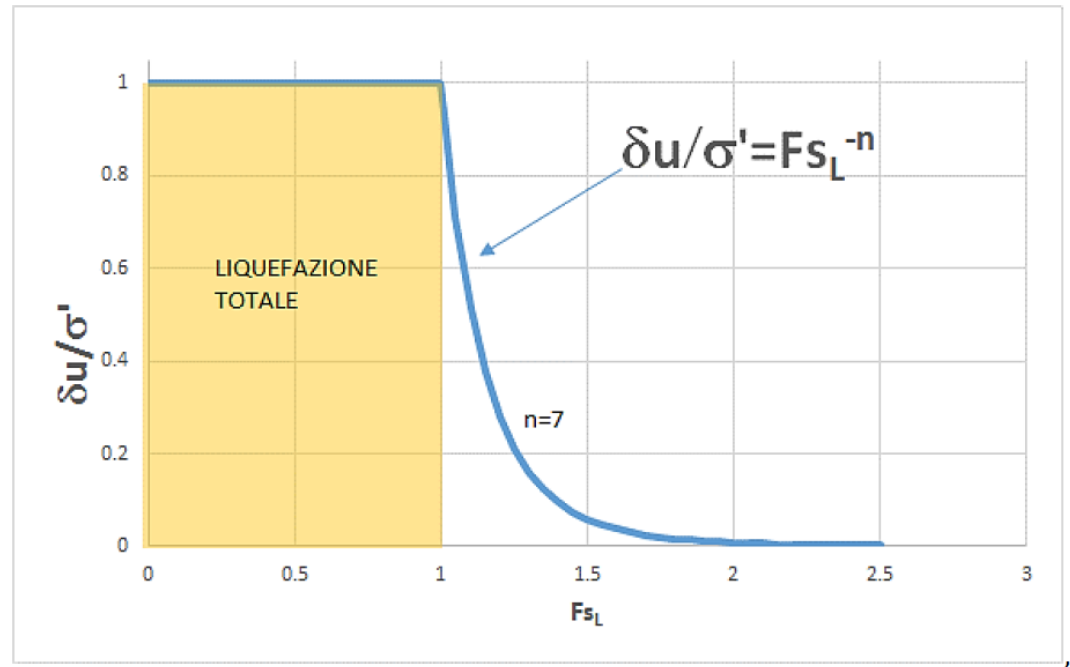
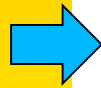
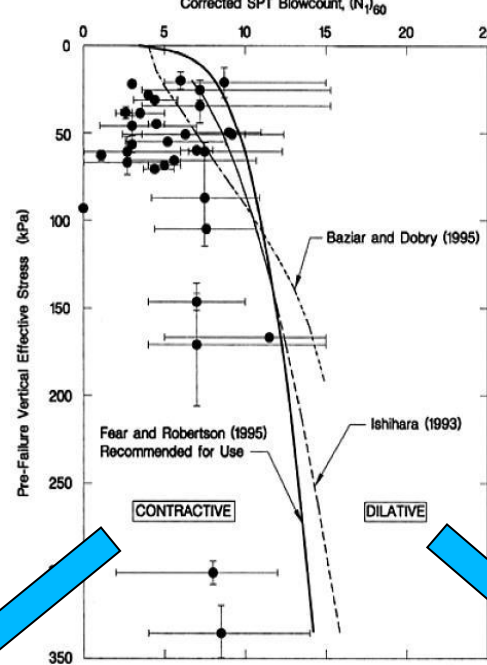


Fig. 2.27 (da Towhata , 2008, modificato)

La relazione proposta in figura e' utilizzata da SSAP per valutare l'incremento di pressione di pori associato a valori $FS_{liq} > 1.0$. Questo procedimento consente, essendo sempre noto a priori il livello dello sforzo verticale efficace pre-sisma, di calcolare la nuova pressione di pori massima e **determinare ne nuove condizioni per calcolare la resistenza al taglio in termini di pressioni efficaci** (criterio di rottura Mohr-coulomb), **in questo caso per le condizioni di liquefazione parziale.**

Liquefazione e stabilità dei pendii

(Procedura da Olson e Stark 2003)



Valutazione resistenza al taglio post liquefazione in condizioni non drenate
Per condizioni di liq. Totale: $FS_{liq} < 1.0$

Comportamento contrattivo

SPT ($N_{1,60}$) Contractive Behavior Evaluation

Comportamento dilatativo

$$\frac{s_u(LIQ)}{\sigma'_{v0}} = 0.03 + 0.0075[(N_1)_{60}] \pm 0.03 \quad \text{for } (N_1)_{60} \leq 12$$

$$\frac{s_u(yield)}{\sigma'_{v0}} = 0.205 + 0.0075[(N_1)_{60}] \pm 0.04 \quad \text{for } (N_1)_{60} \leq 12$$

Da cui si ricava la C_u equivalente In (kPa)

$$\frac{S_u(finale)}{\sigma'_{v0}} = \frac{S_u(LIQ)}{\sigma'_{v0}} + \left(\frac{S_u(yield)}{\sigma'_{v0}} - \frac{S_u(LIQ)}{\sigma'_{v0}} \right) w$$

$$w = -1 + 2FS_{liq} \quad \text{se } 0.5 < FS_{liq} < 1.0$$

$$w = 0 \quad \text{se } FS_{liq} < 0.5$$

Data : 1/11/2016
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

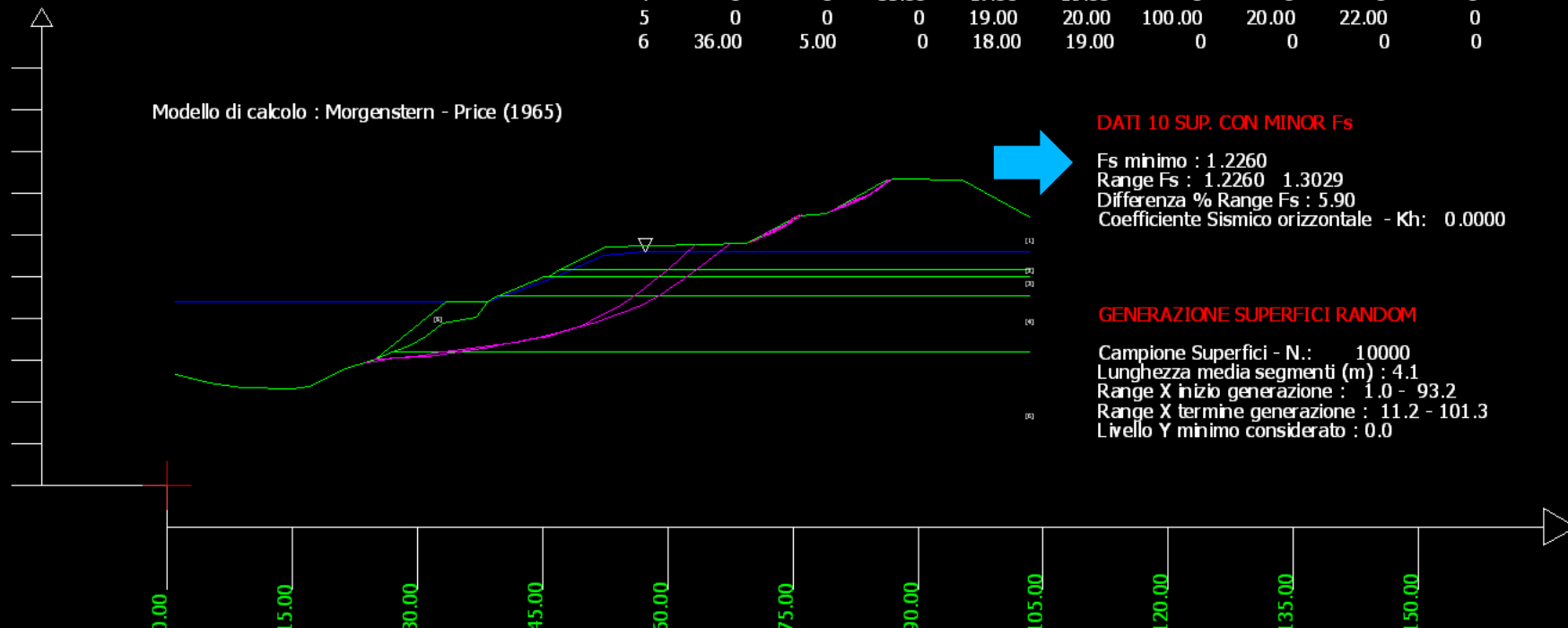
Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
..	34.00	0	0	18.30	19.00	0	0	0	0
1	0	0	40.00	18.00	19.00	0	0	0	0
2	37.00	0	0	18.00	19.30	0	0	0	0
3	0	0	35.00	17.00	19.00	0	0	0	0
4	0	0	0	19.00	20.00	100.00	20.00	22.00	0
5	0	0	0	19.00	20.00	0	0	0	0
6	36.00	5.00	0	18.00	19.00	0	0	0	0

Y (m)

50.00
45.00
40.00
35.00
30.00
25.00
20.00
15.00
10.00
5.00
0.00

Modello di calcolo : Morgenstern - Price (1965)



DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

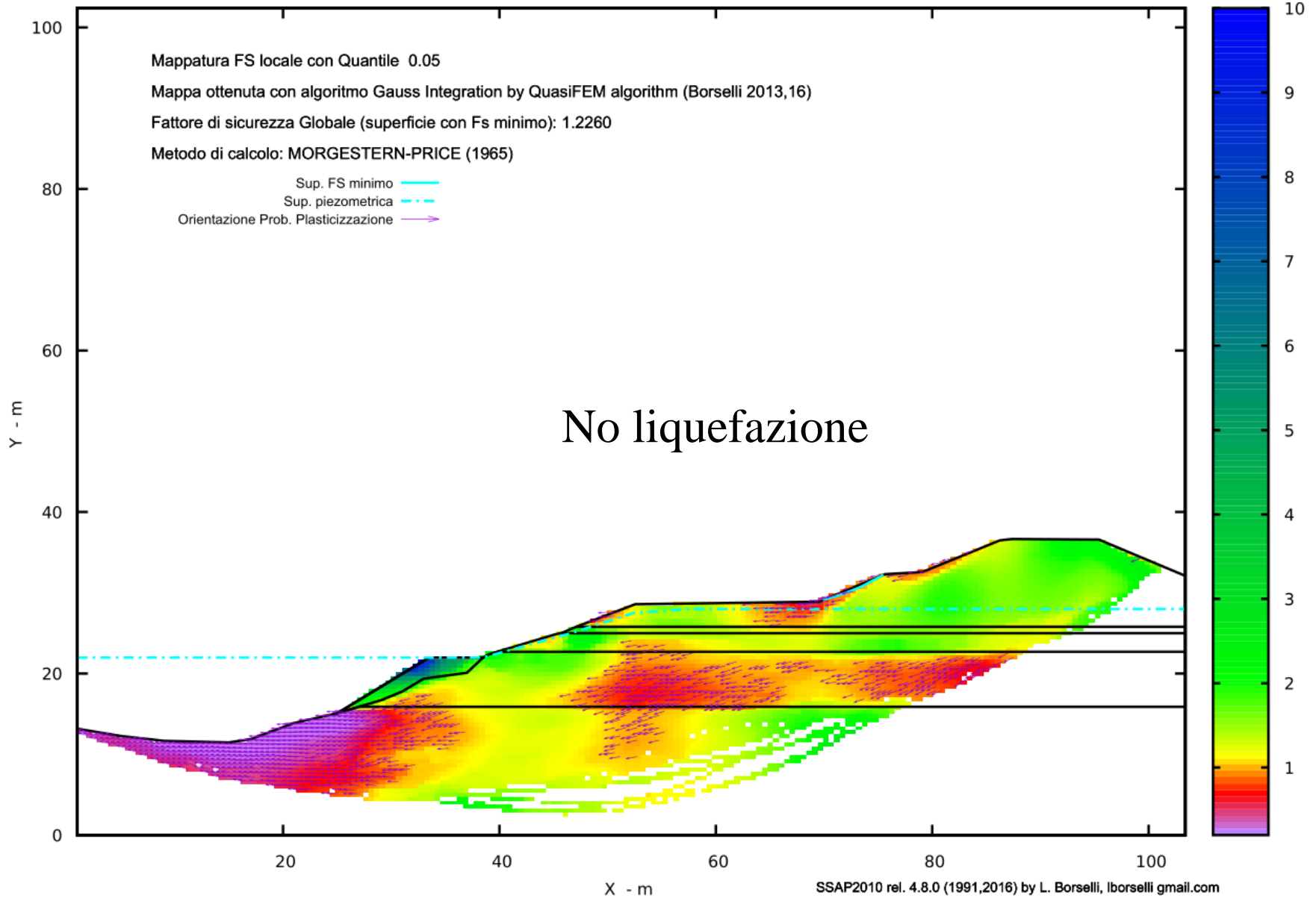
Fs minimo : 1.2260
 Range Fs : 1.2260 1.3029
 Differenza % Range Fs : 5.90
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0000

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

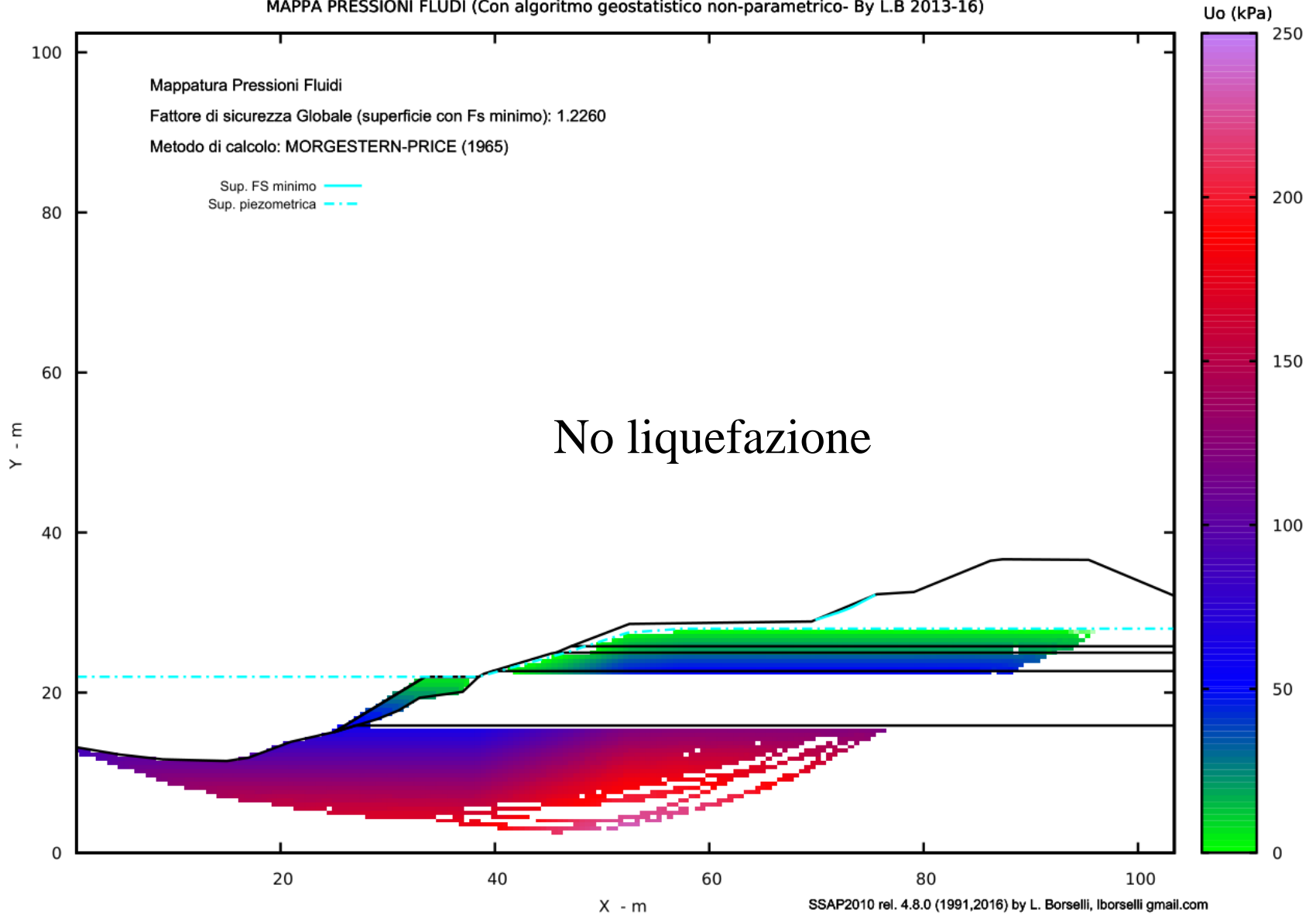
Campione Superfici - N.: 10000
 Lunghezza media segmenti (m) : 4.1
 Range X inizio generazione : 1.0 - 93.2
 Range X termine generazione : 11.2 - 101.3
 Livello Y minimo considerato : 0.0

Stabilità argine Senza effetto liquefazione e senza effetto sismico, pendio sommerso
Cartella : liquefaz/test_noliquefaz1.mod

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



MAPPA PRESSIONI FLUIDI (Con algoritmo geostatistico non-parametrico- By L.B 2013-16)

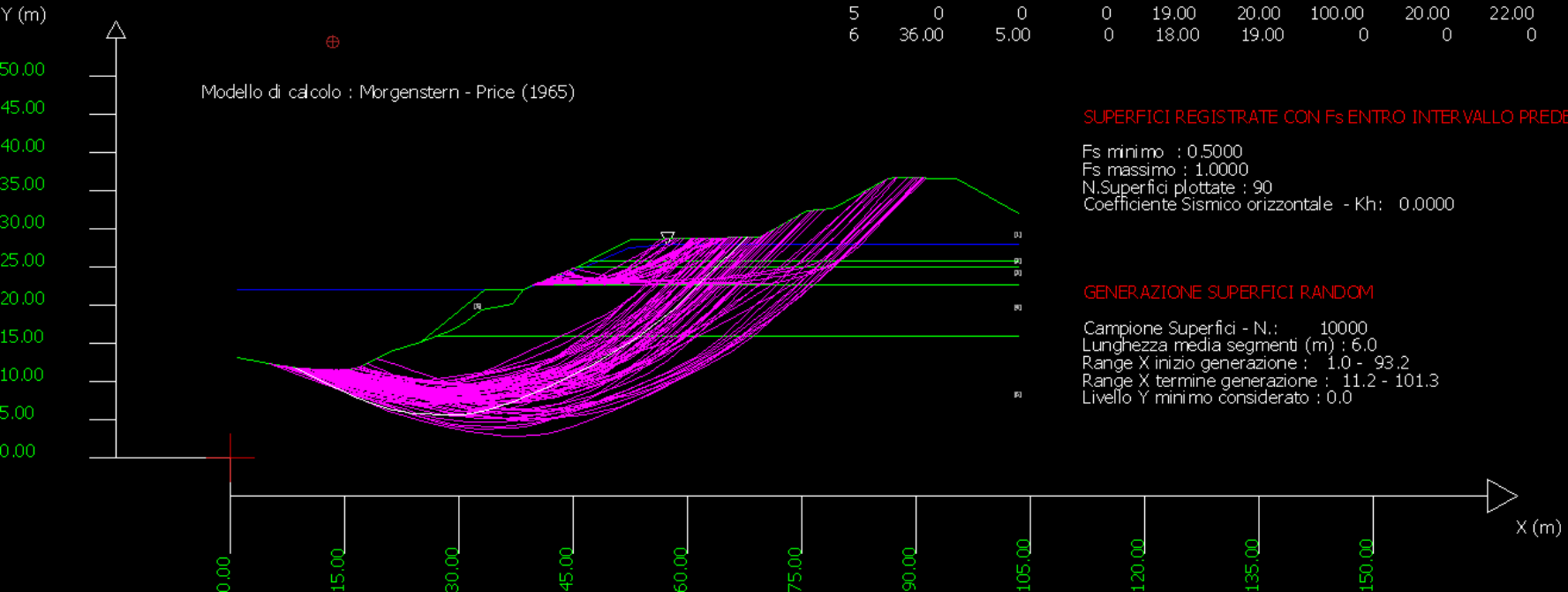


Credits to: GNUPLOT 5.1 www.gnuplot.info

Data : 1/11/2016
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente
 Analisi in cond. Liquefazione (Per dati vedi il report)

Parametri Geotecnici degli strati

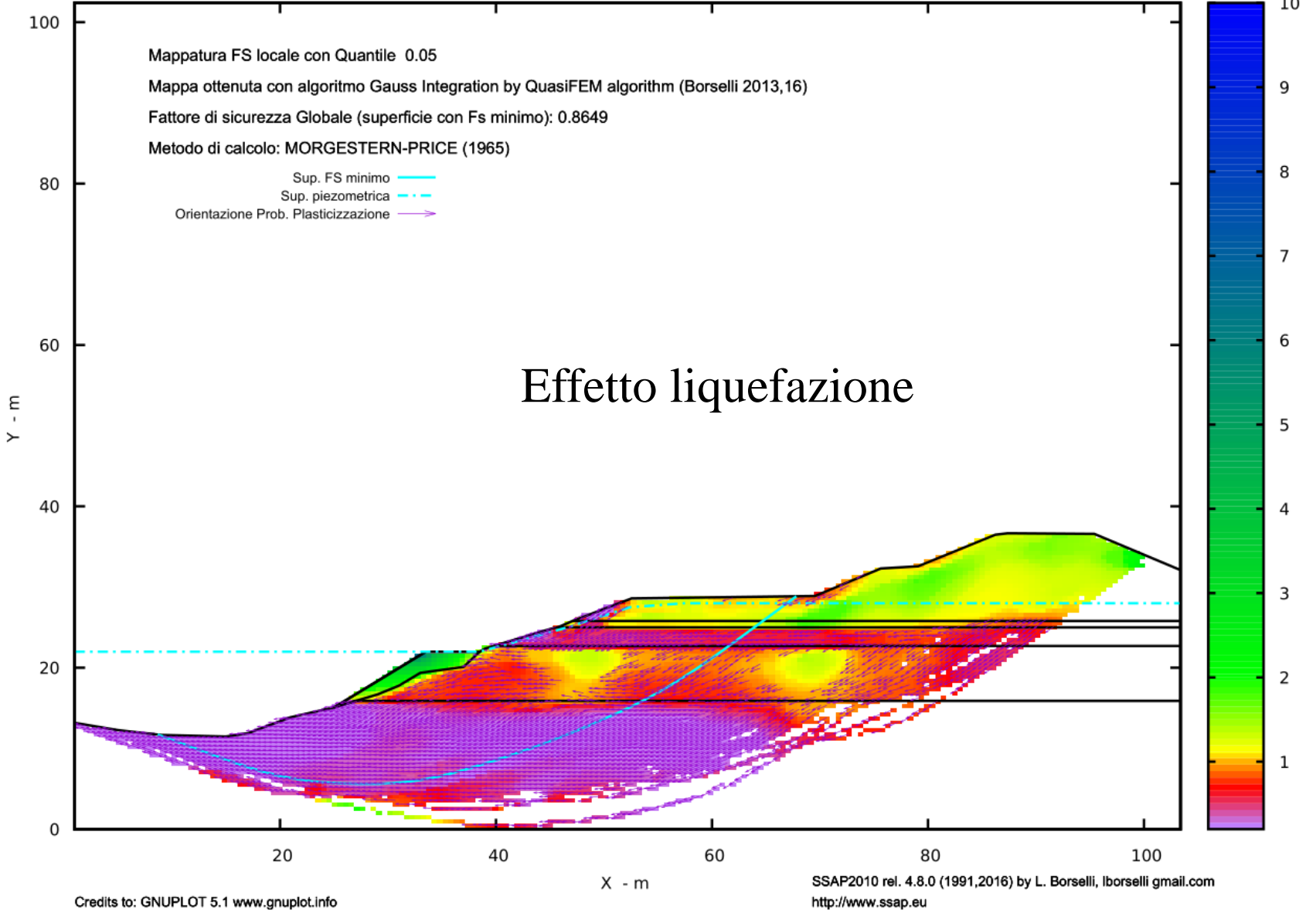
N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	34.00	0	0	18.30	19.00	0	0	0	0
2	0	0	40.00	18.00	19.00	0	0	0	0
3	37.00	0	0	18.00	19.30	0	0	0	0
4	0	0	35.00	17.00	19.00	0	0	0	0
5	0	0	0	19.00	20.00	100.00	20.00	22.00	0
6	36.00	5.00	0	18.00	19.00	0	0	0	0



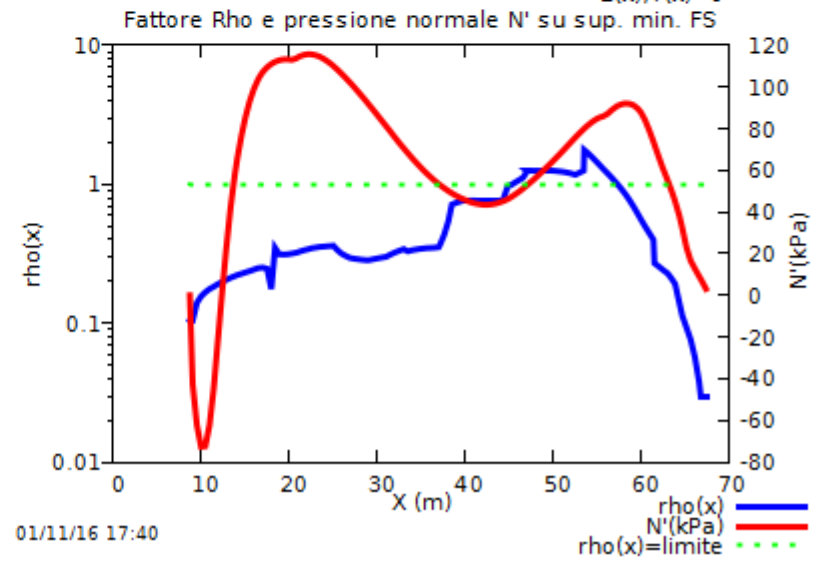
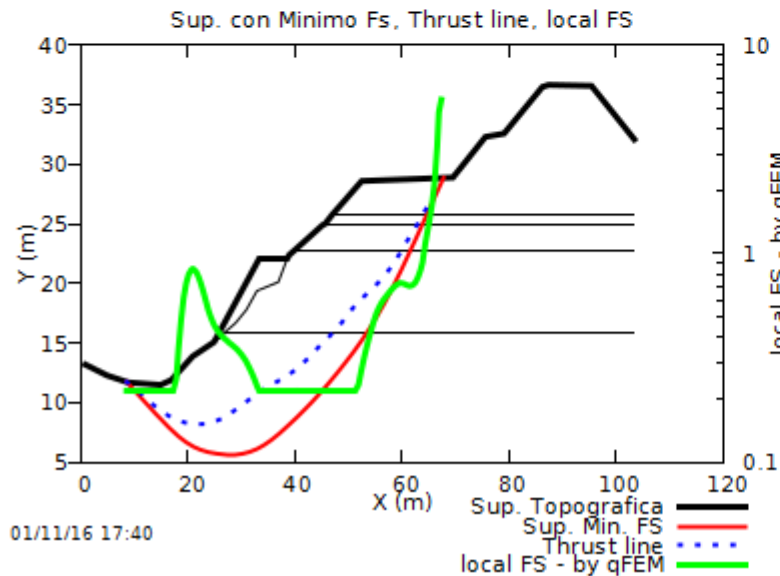
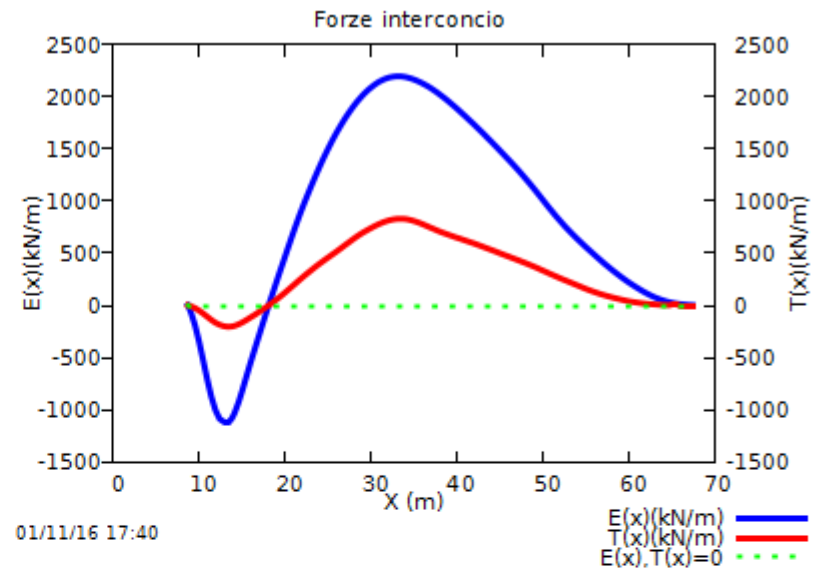
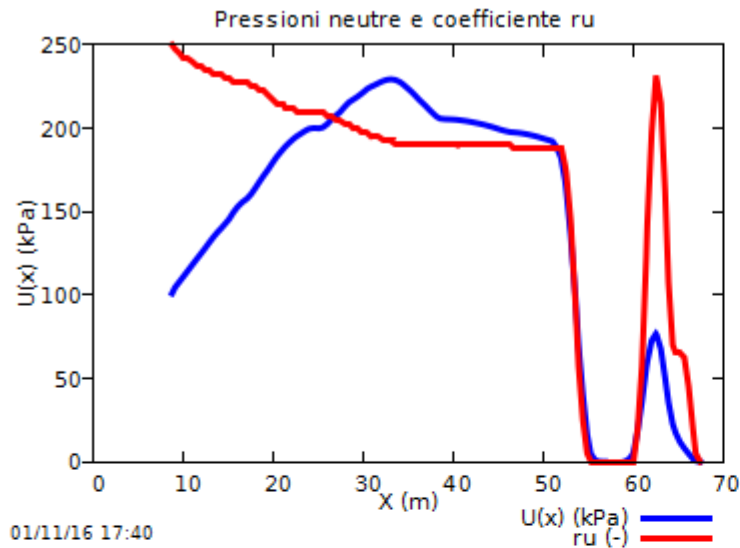
Cartella : liquefaz/test_liquefaz1.mod

- Liquefazione totale strato 3 $F_{sliq}=0.75$ e $NSPT_{corr}=8$
- Liquefazione parziale Strato 6 $F_{sliq}=1.1$ e $NSPT_{corr}=12$
- Sniff_random search +smussatore attivato
- Lunghezza media segmenti 6 m.

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



Effetto liquefazione

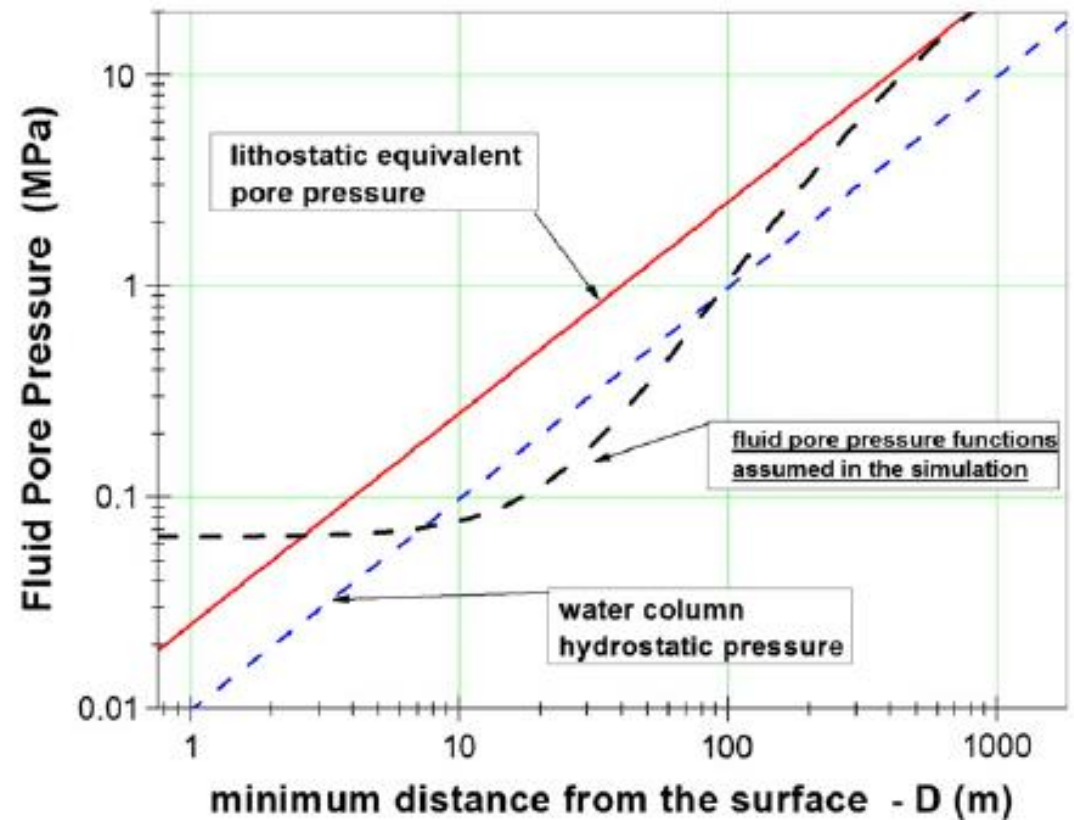
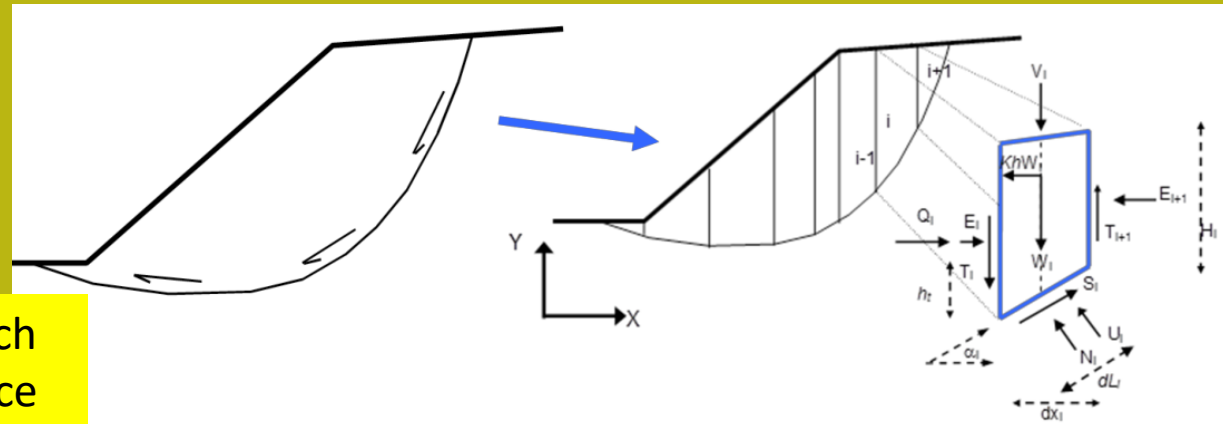


SSAP2010 (versione 4.8.0 - 2016) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

SSAP 4.7.8 is a full freeware software

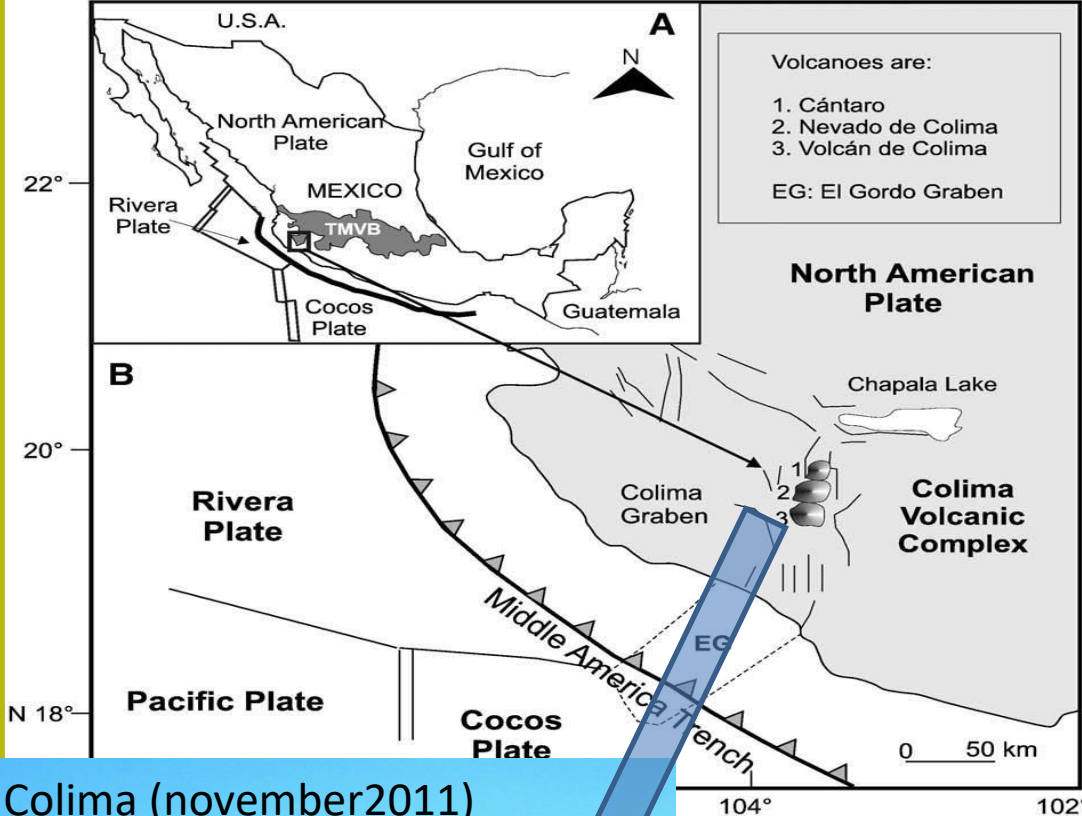
<http://WWW.SSAP.EU>
(Borselli 1991, 2016)

- Generic shape random search of minimum FS sliding surface by Monte Carlo method
- Rock mass strength criterion (Hoek et al. 2002,2006).
- Fluid pressure function (overpressure and dissipation fields Inside volcanic edifice) (Borselli et al. 2011)



$$\sigma_f = \gamma_w z F_D + U_{0_{MIN}}$$

$$F_D = 1 - Ae^{-kD}$$



*From, Saucedo
et al. 2010*

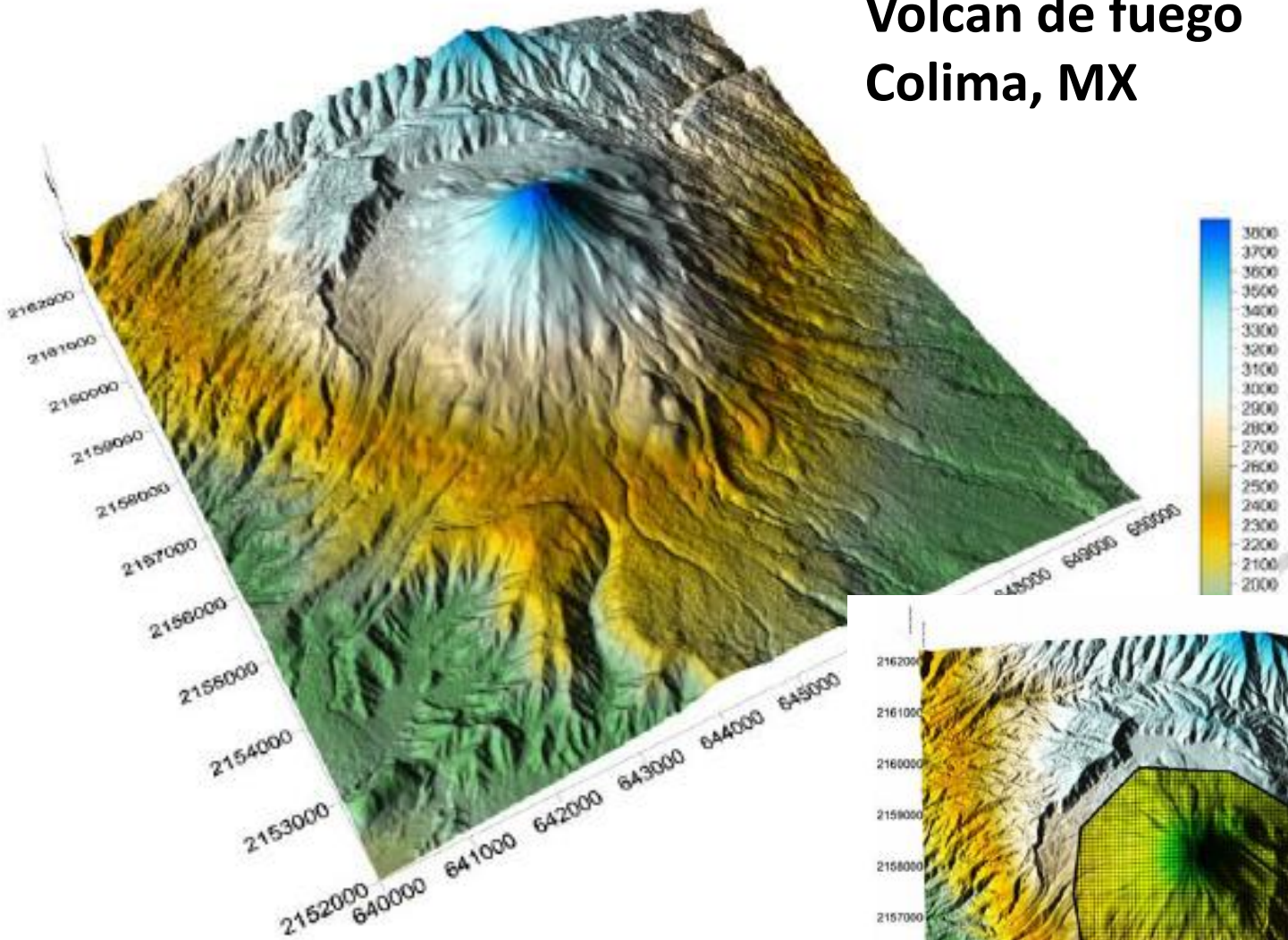


Volcan de Fuego, Colima (november 2011)
W view

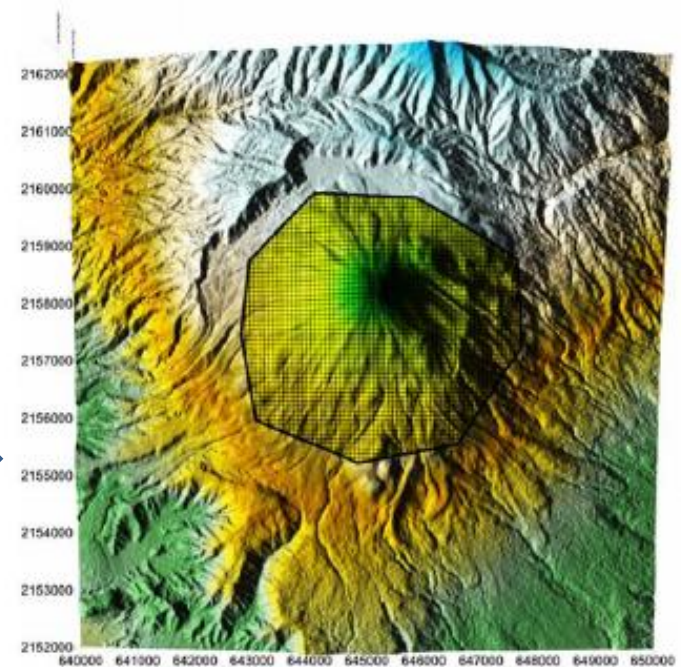


**ALEM analysis application to
Volcan de Fuego, Colima, MX
(Approx 3880 m a.s.l. In the 2011)**

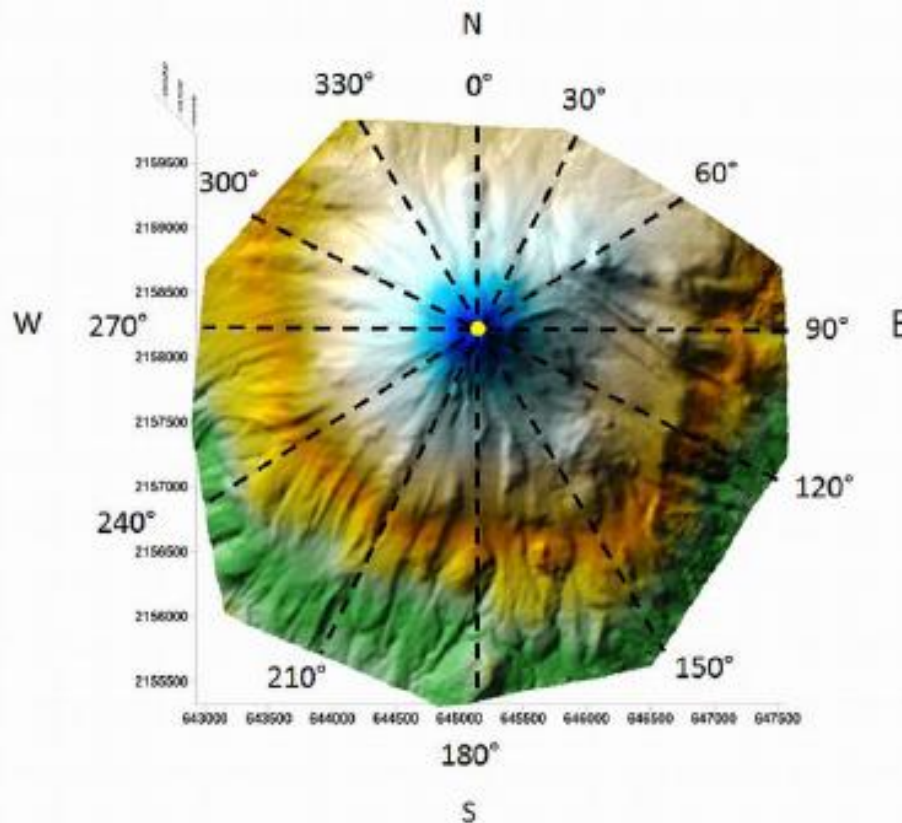
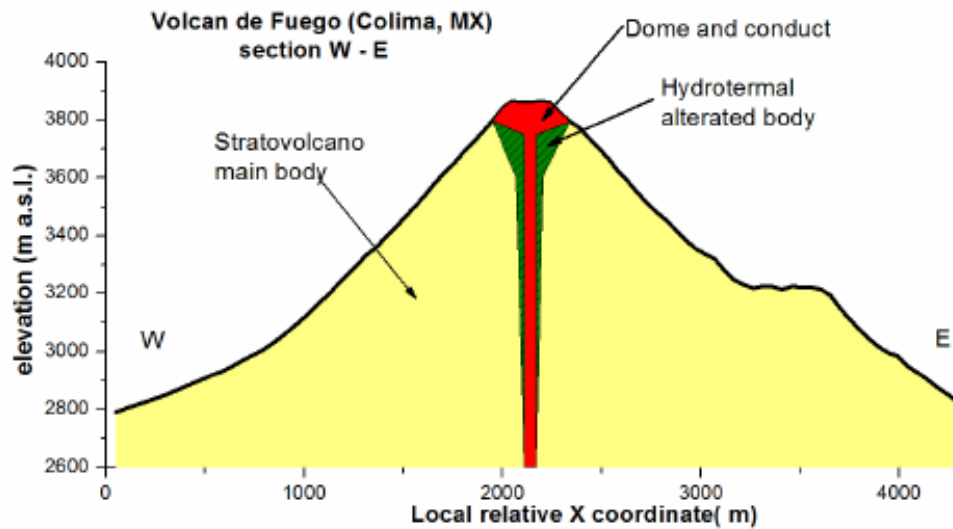
Volcan de fuego Colima, MX



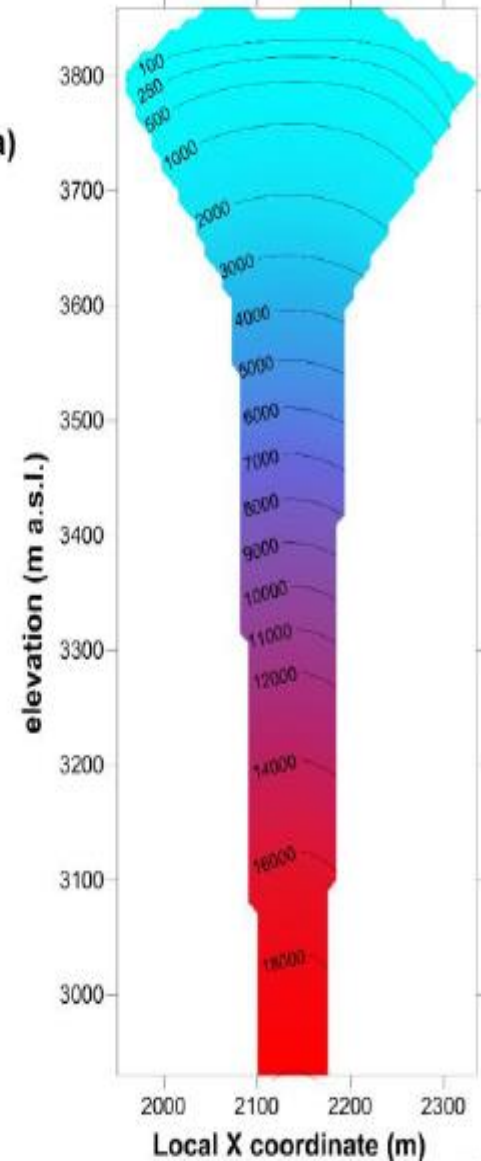
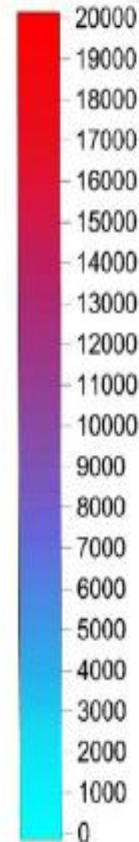
Selected area for analysis



Simulated Over pressure fluid field



Fluid pressure (kPa)



The advanced Limit equilibrium method (ALEM) and Relative instability analysis Scenarios and Geomechanical parameters (rock mass using GSI Hoek et al. 2002)



Shear strength parameterization of main bodies of the stratovolcano following the Hoek and Brown strength criterion (Hoek et al., 2002).

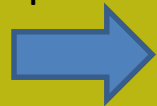
	γ unsaturated unit weight (kN/m ³)	γ_s saturated unit weight (kN/m ³)	σ_1 uniaxial compressive strength of intact rock element (MPa)	GSI geological strength index (adimensional)	m_i lithological index (adimensional)	D disturbance factor (adimensional)
Strato volcano main body	24.5	25.0	50	40, (60)*	22	1.0
Hydrothermal altered body	24.0	24.5	40	30, (45)*	22	1.0
Dome and conduct	24.0	24.5	25	20, (30)*	22	1.0

*In parentheses the GSI value for scenario analysis Nos. 2, 3 and 4 (50% increase assumed with respect to GSI of scenario no. 1).

Characteristics of scenario analysis adopted for limit equilibrium analysis.

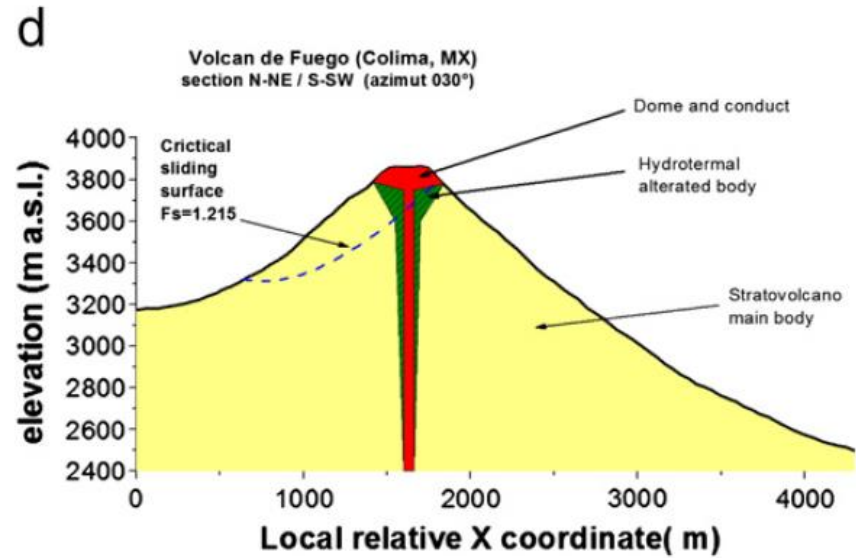
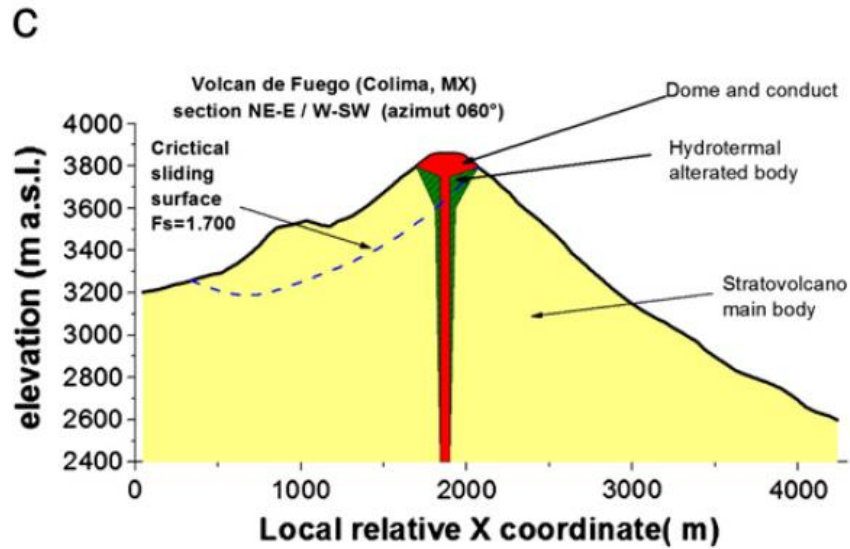
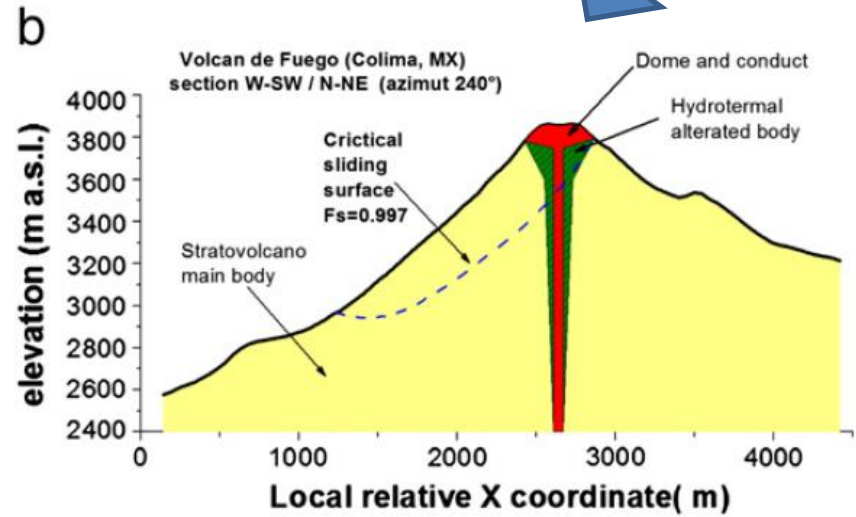
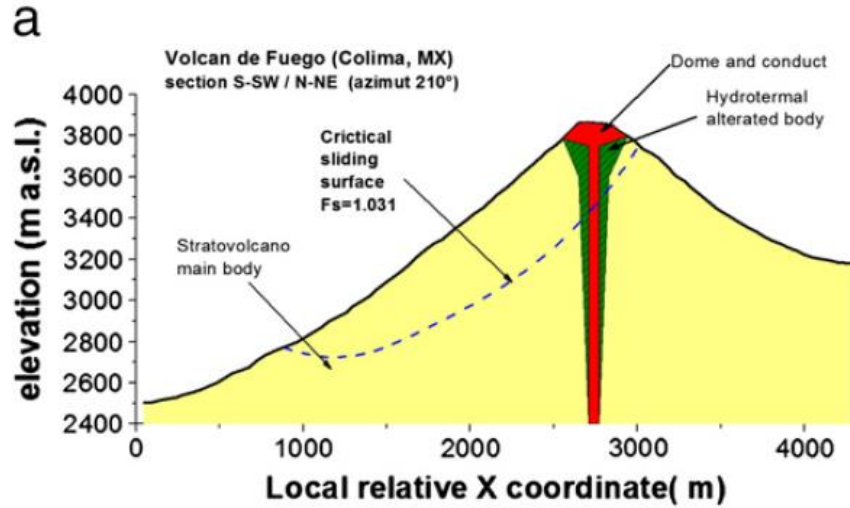
Scenario no. 1	Description	Notes
1	Geomechanical parameters as in Table 2	No seismic effect
2	Geomechanical parameters as in Table 2 with GSI increase of 50%	No seismic effect
3	The same as scenario 2, but seismic coefficients $K_h = 0.2$; $K_v = 0.1$	Seismic effect by LEM pseudostatic analysis
4	The same as scenario 2, but seismic coefficient $K_h = 0.25$; $K_v = 0.125$	Seismic effect by LEM pseudostatic analysis

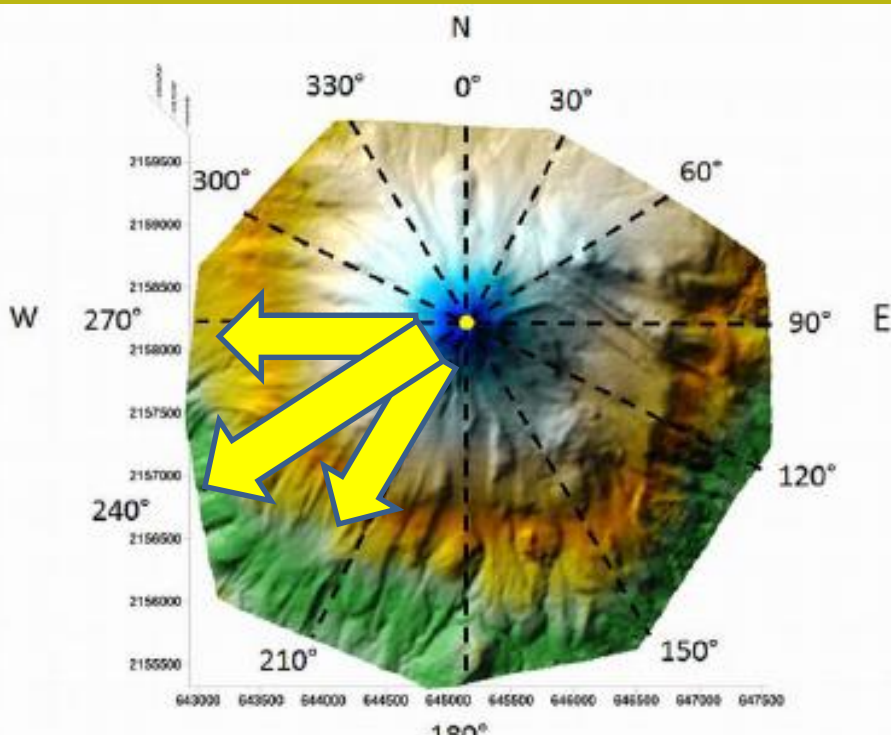
Simulation Scenarios adopted





L. Borselli et al. / Journal of Volcanology and Geothermal Research 208 (2011) 51–65





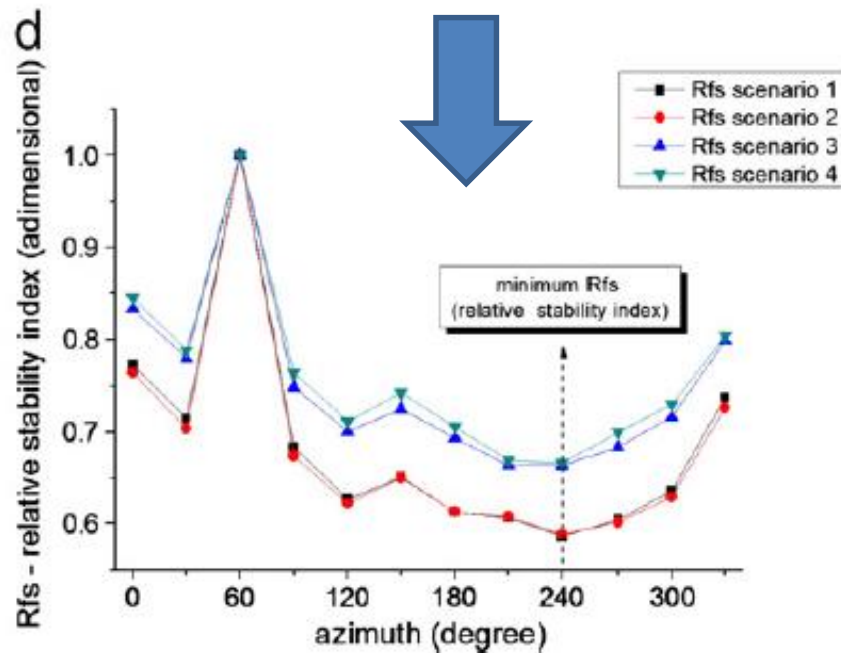
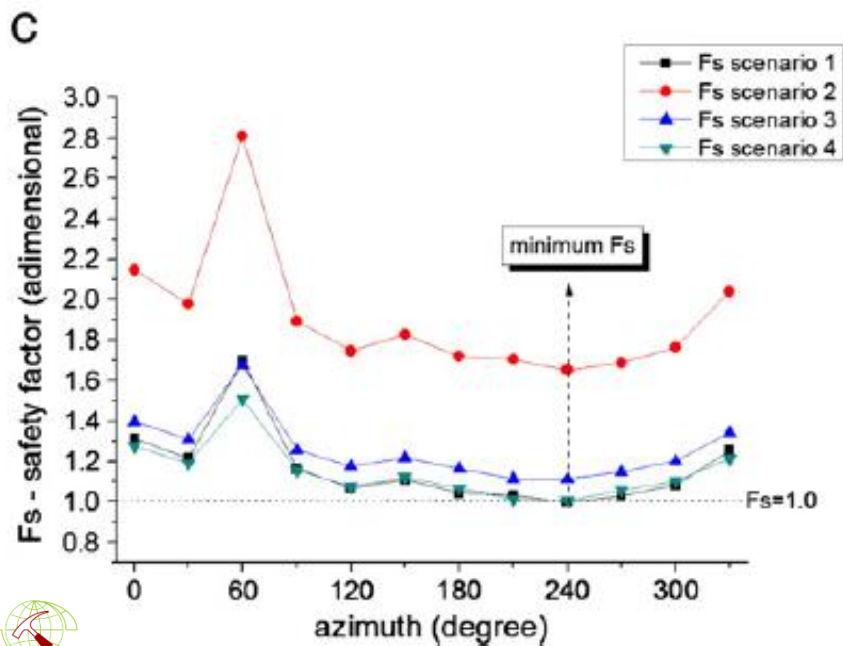
The sector with minimum relative stability is W-SW flank (between 270° and 210°)

The Relative stability index



$$R_{fs_i} = \frac{Fs_i}{Fs_{max}}$$

(Borselli et al. 2011)



$$Z = a e^{-\frac{\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}}{b}} + c \quad \text{if } Z \leq Z_1$$

VOLCANOID SURFACE OF REVOLUTION

ALTERNATIVE VOLCANOID'S GENERATRIX

$$Z = a \cosh \left(\frac{r - c}{b} \right)$$

for $\forall r < c$ and $a, b, c > 0$.

$$Z = \frac{z_1 - a}{1 + e^{\frac{r-c}{b}}}$$

with $z_1 > a$ and $z_1, a, b, c > 0$.

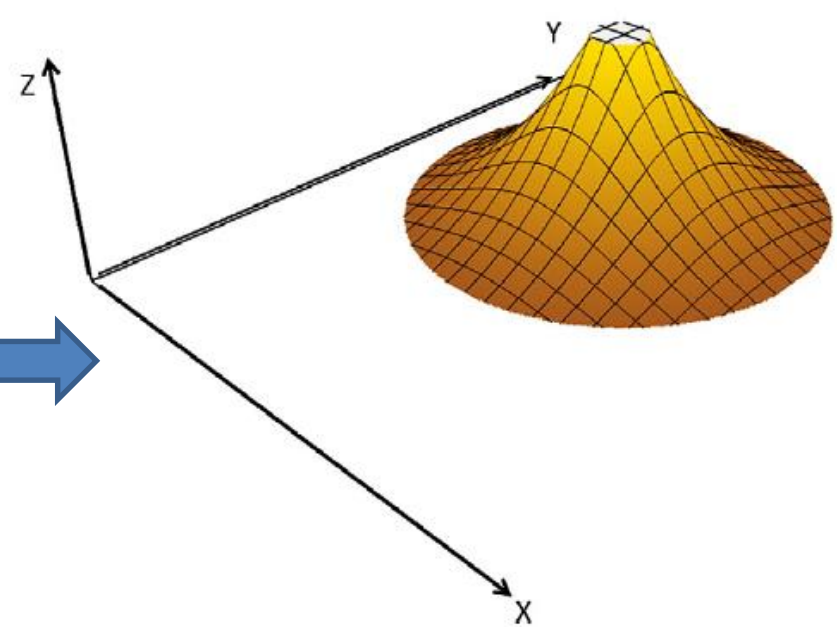


Fig. A.2. Example of volcanoid with constant negative curvature (Eq. (A.5)).

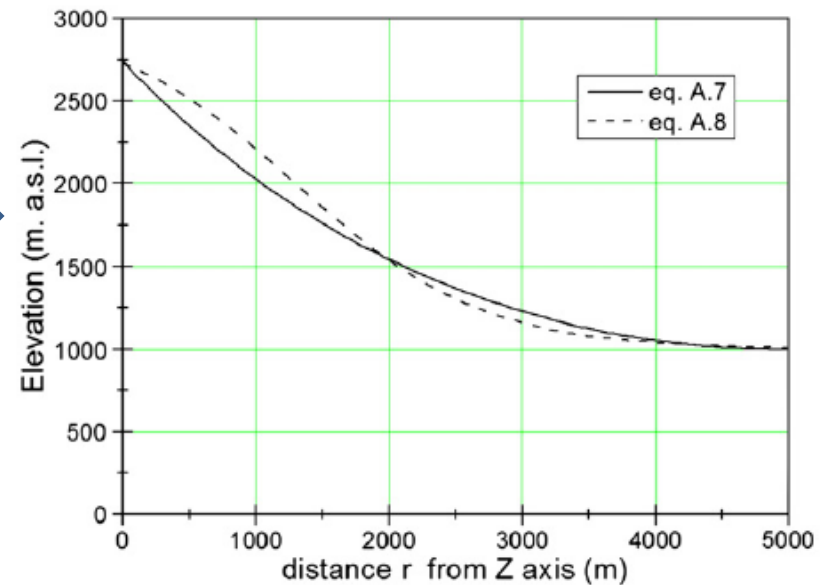


Fig. A.5. Alternative generatrix function of 3D volcanoid.

Colima
Volcanofit 2.0
Result:
Using Negative
exponential
Volcanoid's
generatrix

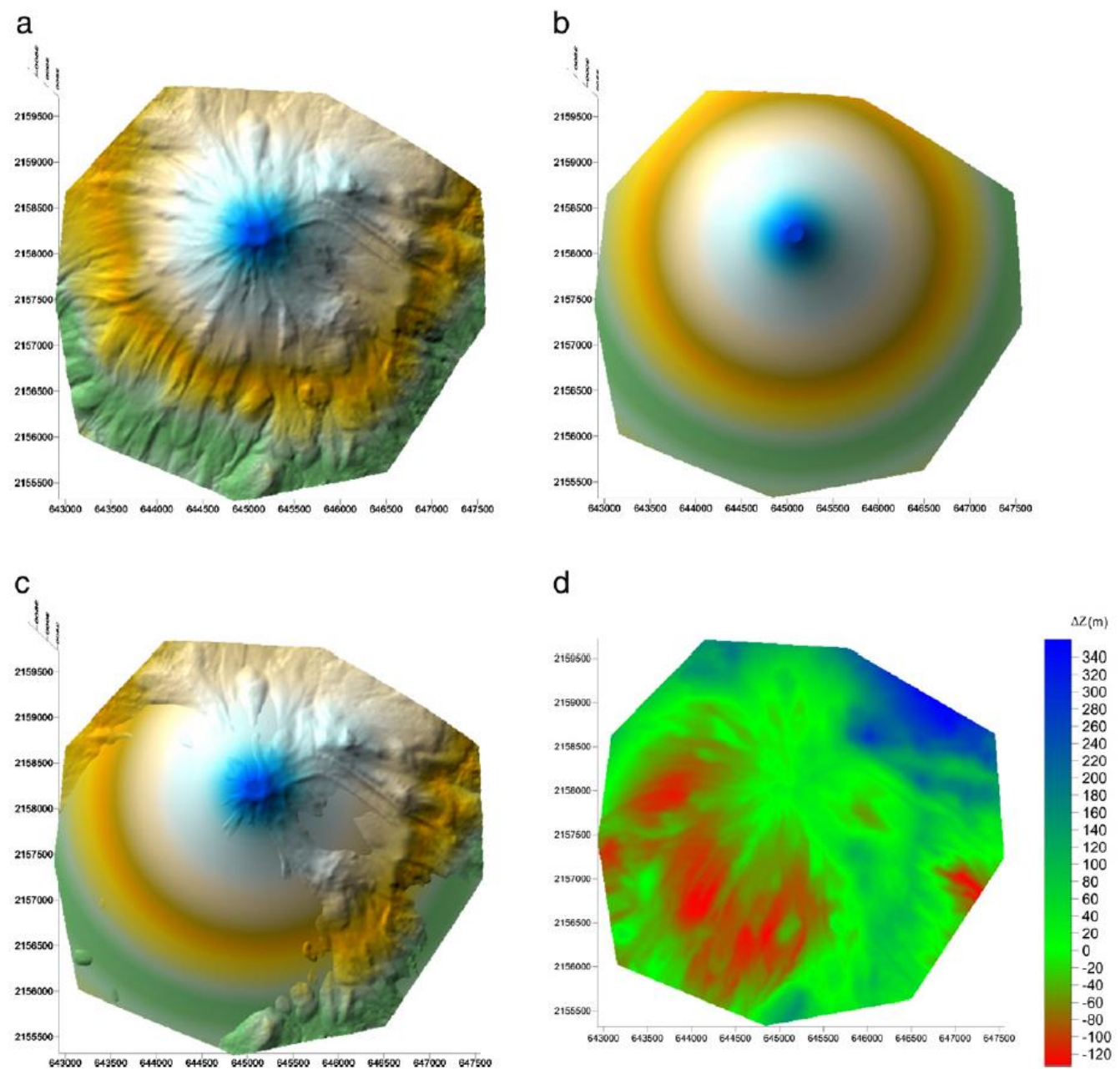
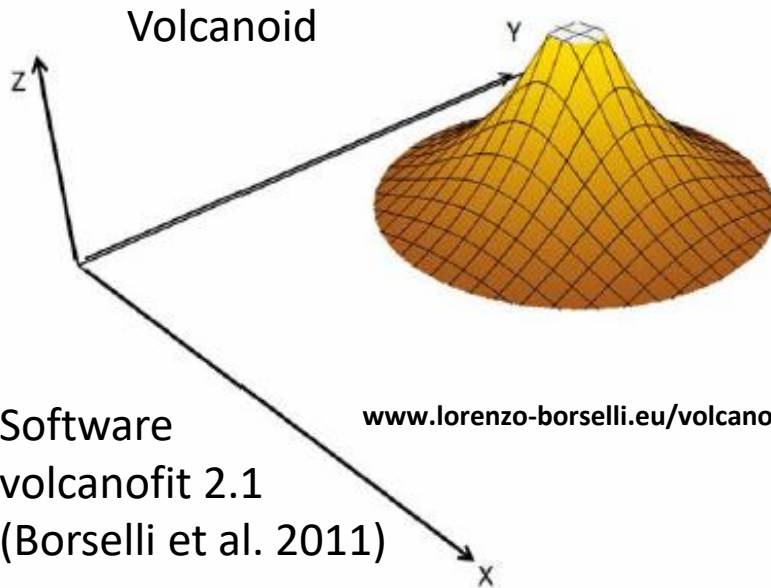
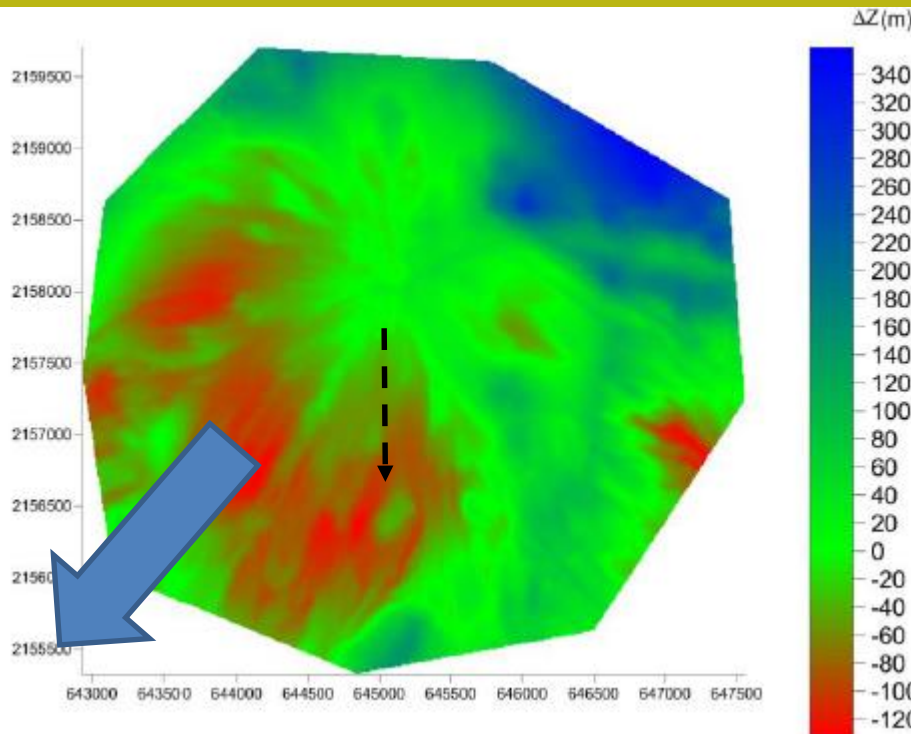
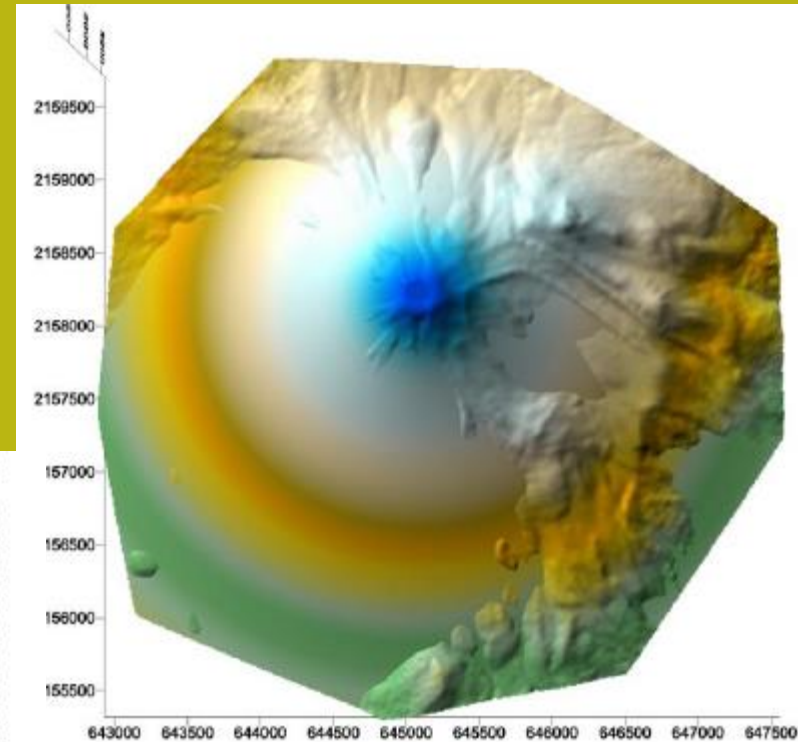


Fig. 7. a) Upper edifice of Colima volcano DEM (2005) b) fitted volcanoid 3D surface Eq. (A.5); c) Upper edifice Colima Volcan de Fuego DEM with overlaid volcanoid Eq. (A.5); d) plot of local deficit (negative values) or surplus (positive values) calculated with Eq. (A.6).

Details overlay DEM and Fitted Volcanoid by volcanofit

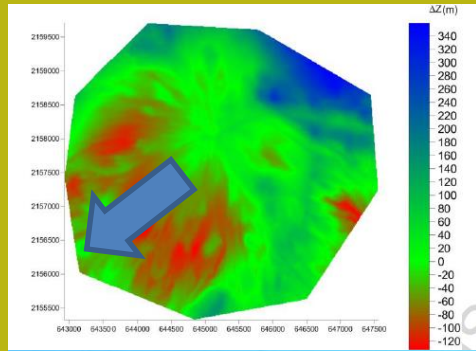


Software
volcanofit 2.1
(Borselli et al. 2011)

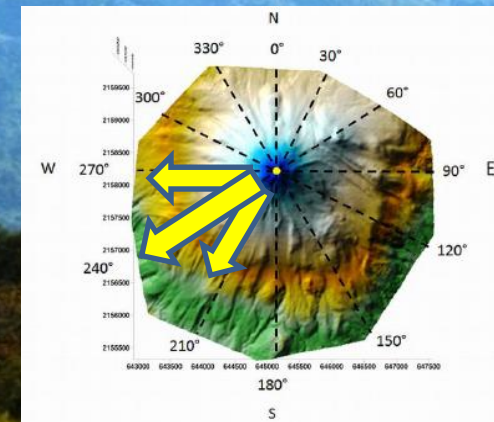
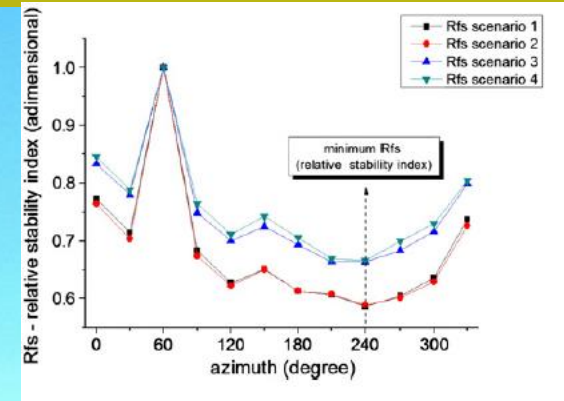


Volume (mass) Deficit
in SW flank

$$\Delta z_{x_i, y_i} = z_{x_i, y_i} - z_{fit_{x_i, y_i}}$$



The most potentially unstable
Flank: Azimuth 270°-210°



SCIENTIFIC REPORTS

OPEN

Volcano electrical tomography unveils edifice collapse hazard linked to hydrothermal system structure and dynamics

Received: 22 April 2016

Accepted: 22 June 2016

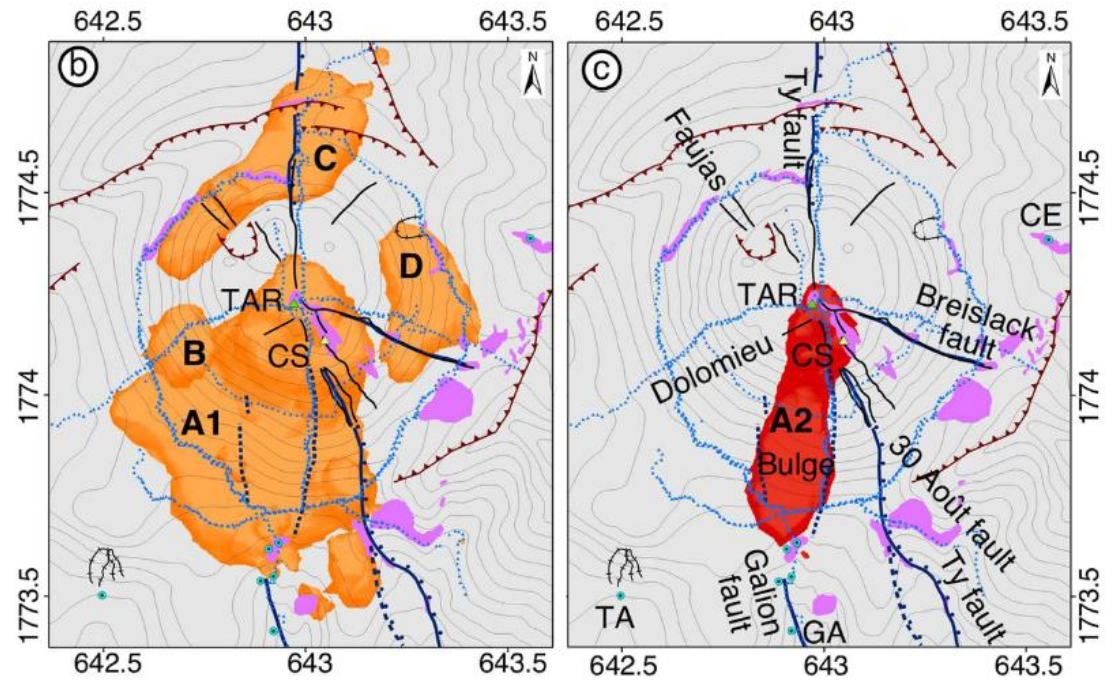
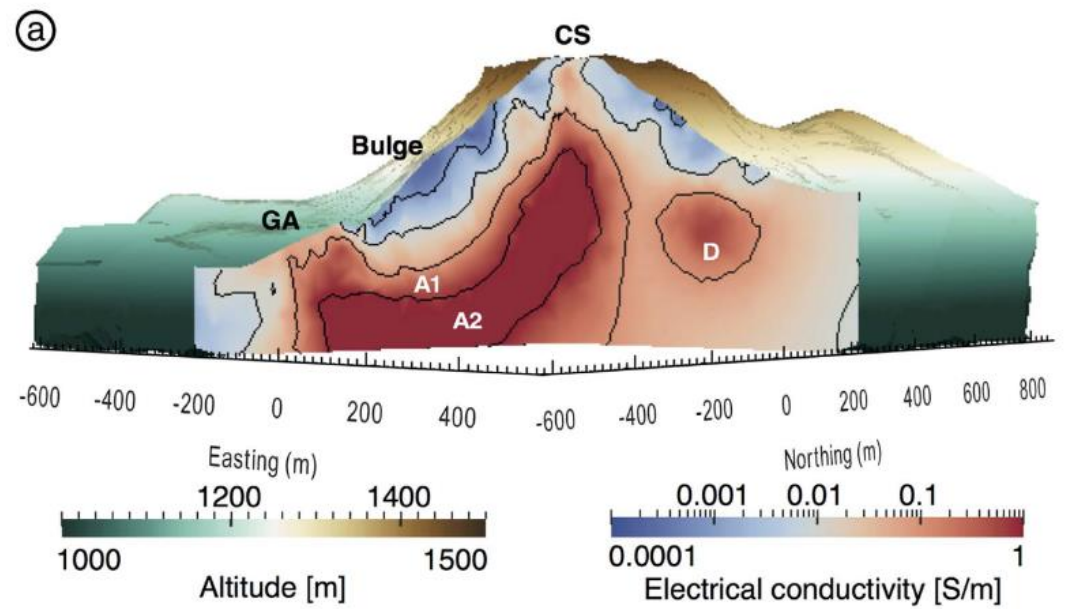
Published: 26 July 2016

Marina Rosas-Carbajal¹, Jean-Christophe Komorowski¹, Florence Nicollin² & Dominique Gibert^{1,2}

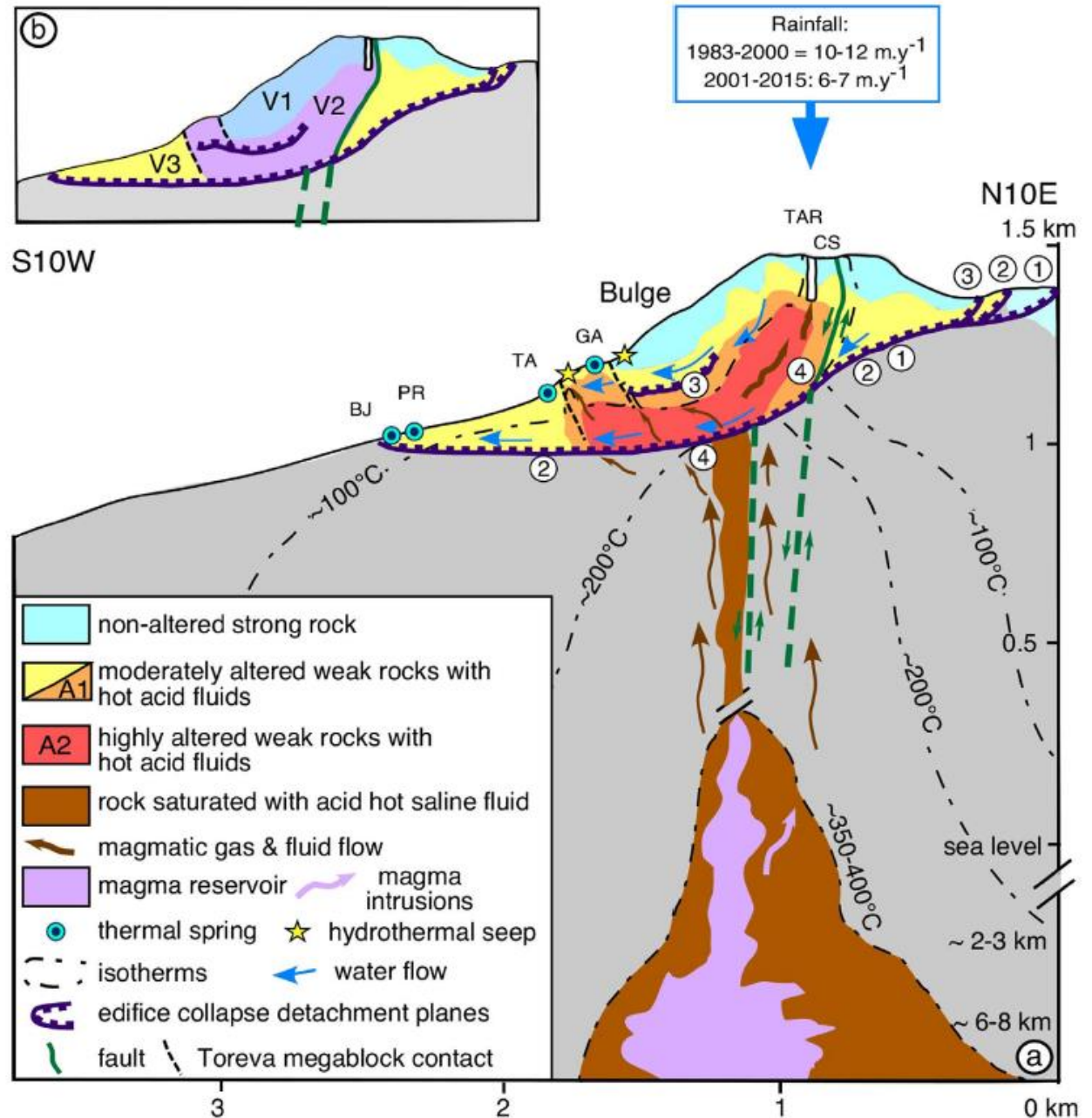
Application of SSAP
To a volcanic edifice where
Knowledge on internal structure
Are available .
Vulcano La soufriere



From
Rosas-Carabjal et al. 2016
(fig. 2)

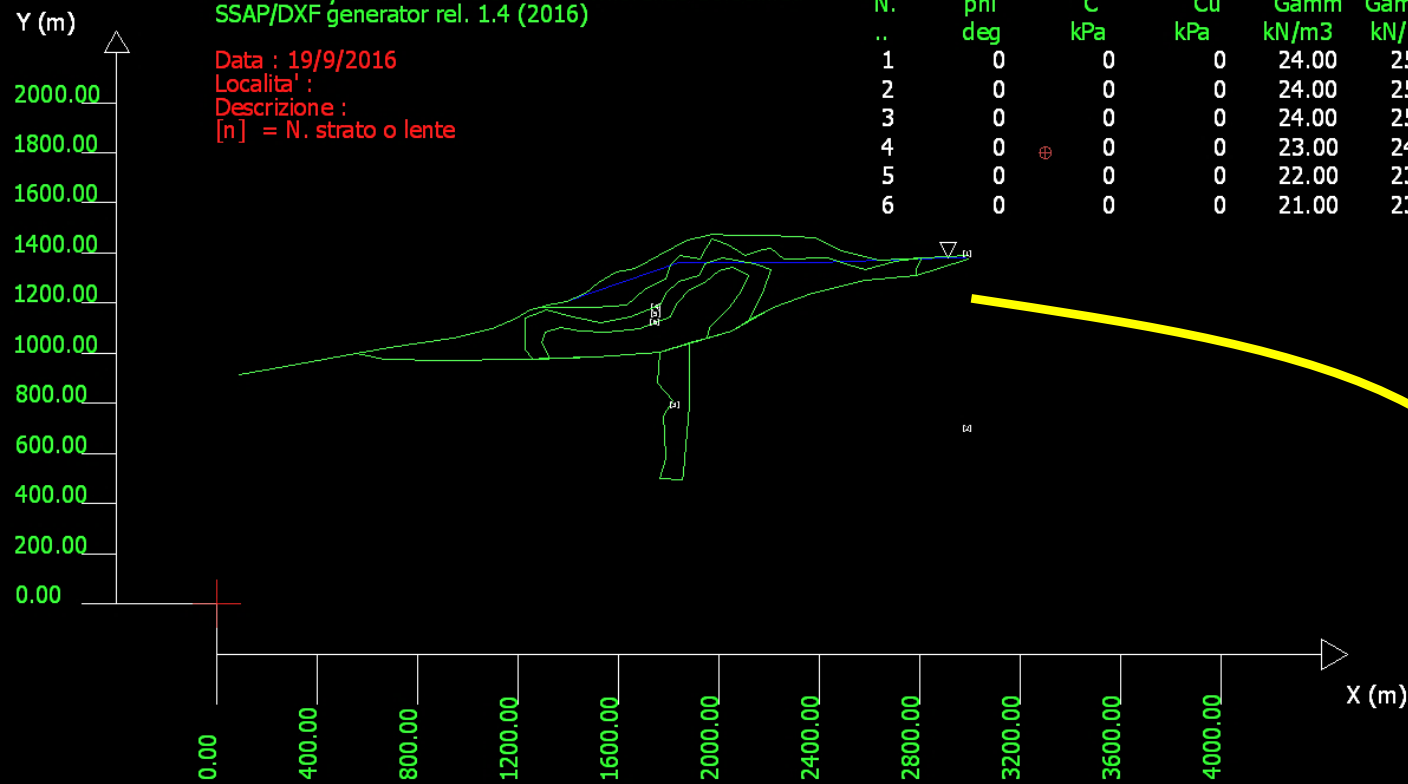


From
Rosas-Carabjal
et al.
South Flank
section 2016
(fig. 3)



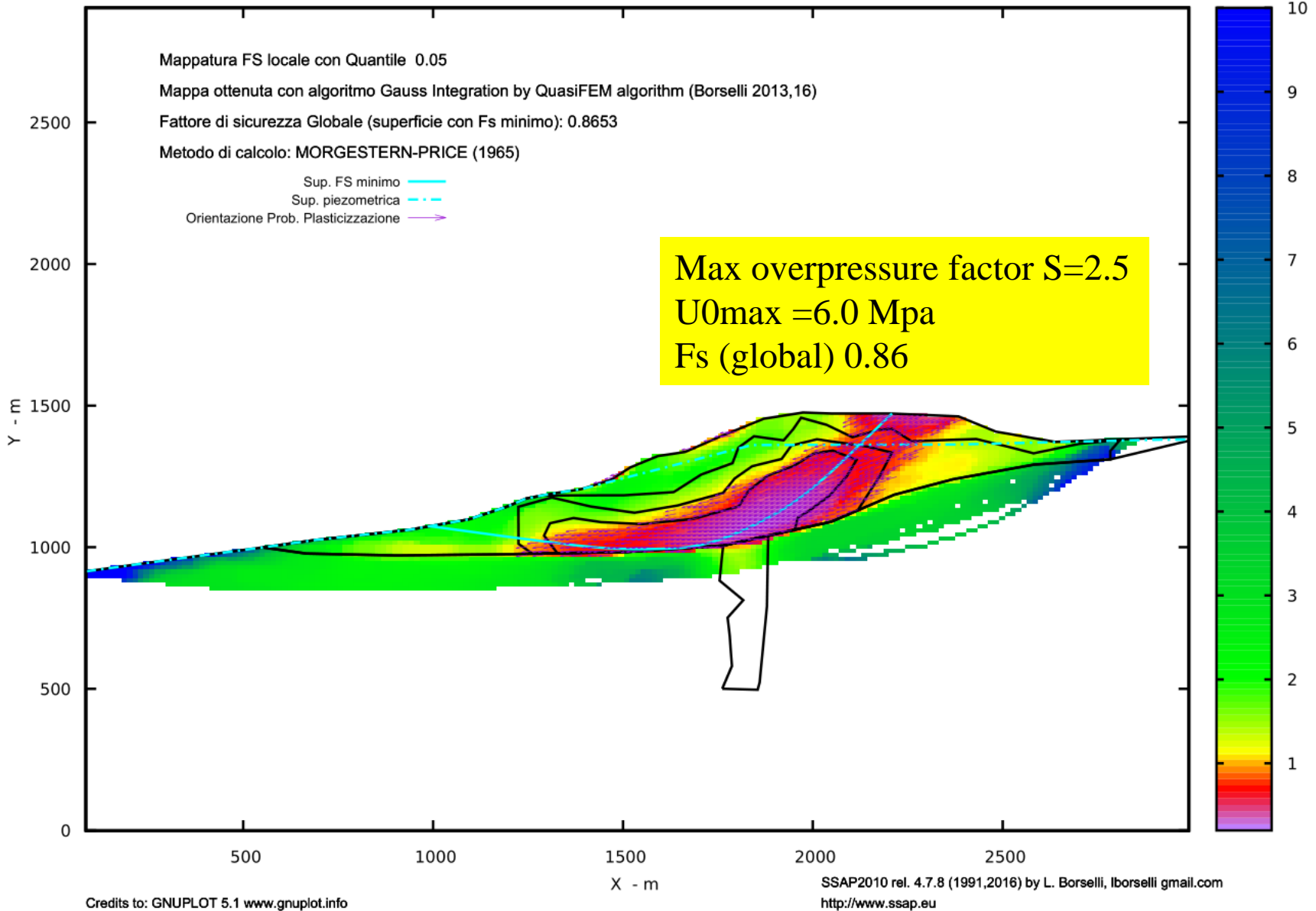
N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI ..	mi ..	D ..
1	0	0	0	24.00	25.00	25.00	35.00	25.00	0
2	0	0	0	24.00	25.00	40.00	45.00	25.00	0
3	0	0	0	24.00	25.00	20.00	25.00	25.00	0
4	0	0	0	23.00	24.00	20.00	30.00	25.00	0
5	0	0	0	22.00	23.00	15.00	20.00	25.00	0
6	0	0	0	21.00	23.00	10.00	15.00	13.00	0

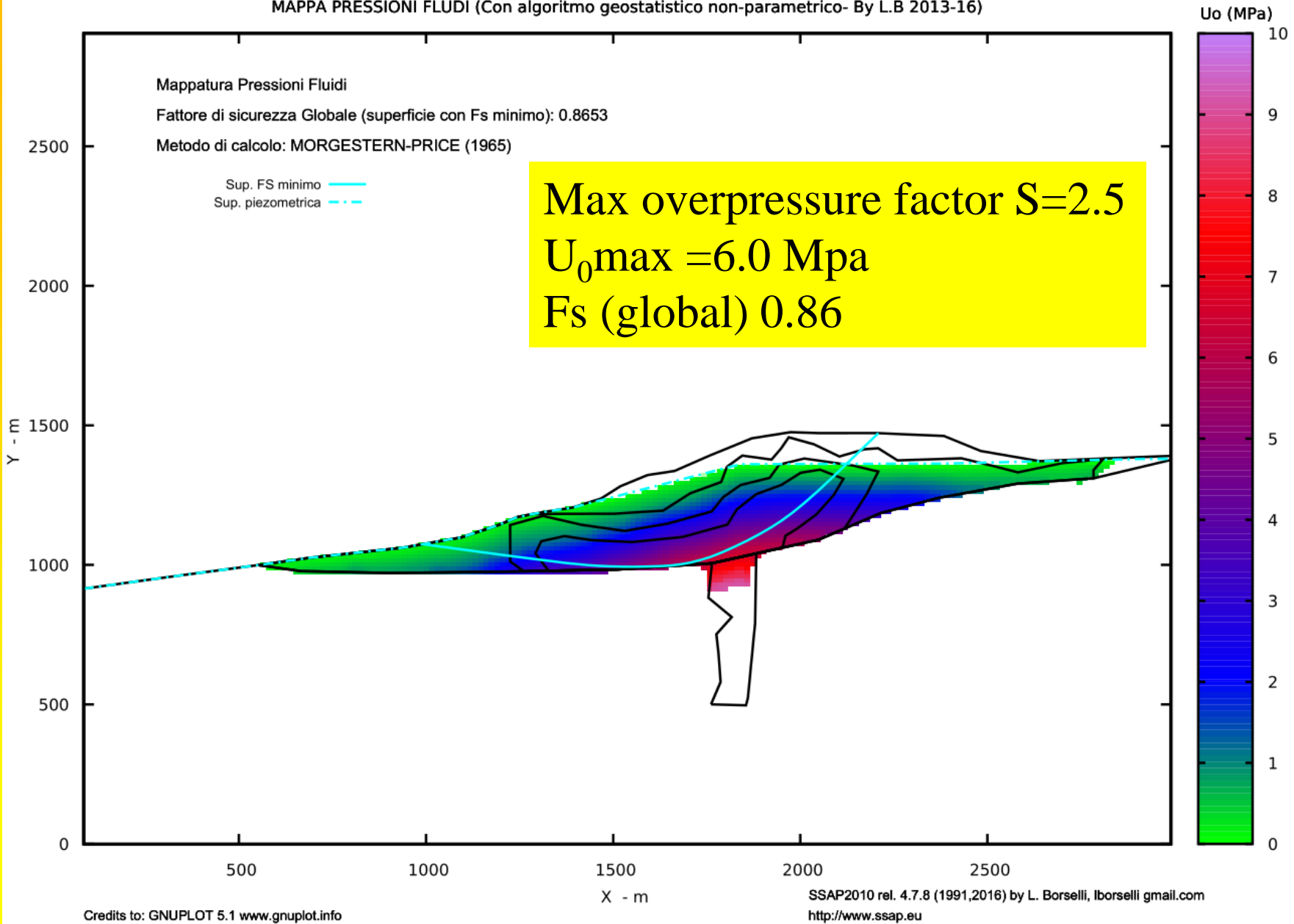
Data : 19/9/2016
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente



**SLOPE Model
 of La Soufriere
 South flank
 Loaded in SSAP
 4.7.8 (2016)**



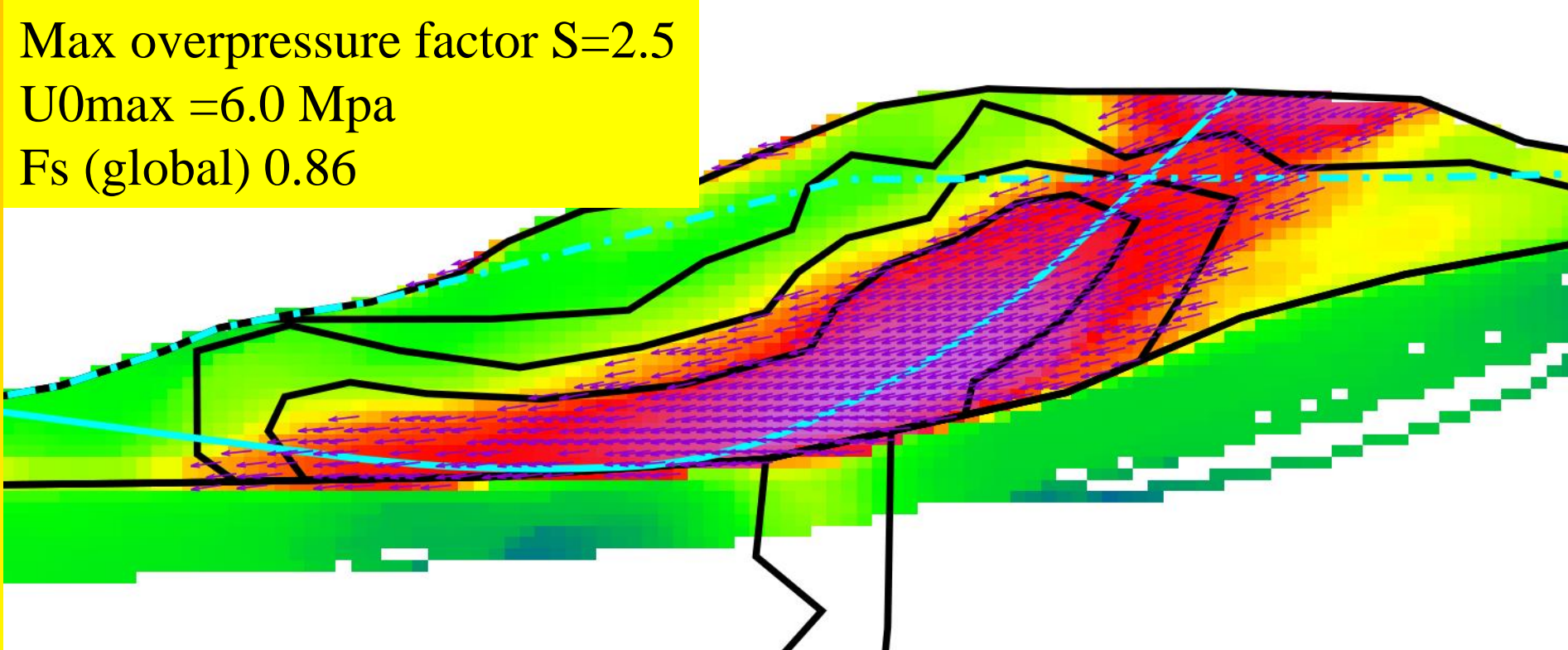




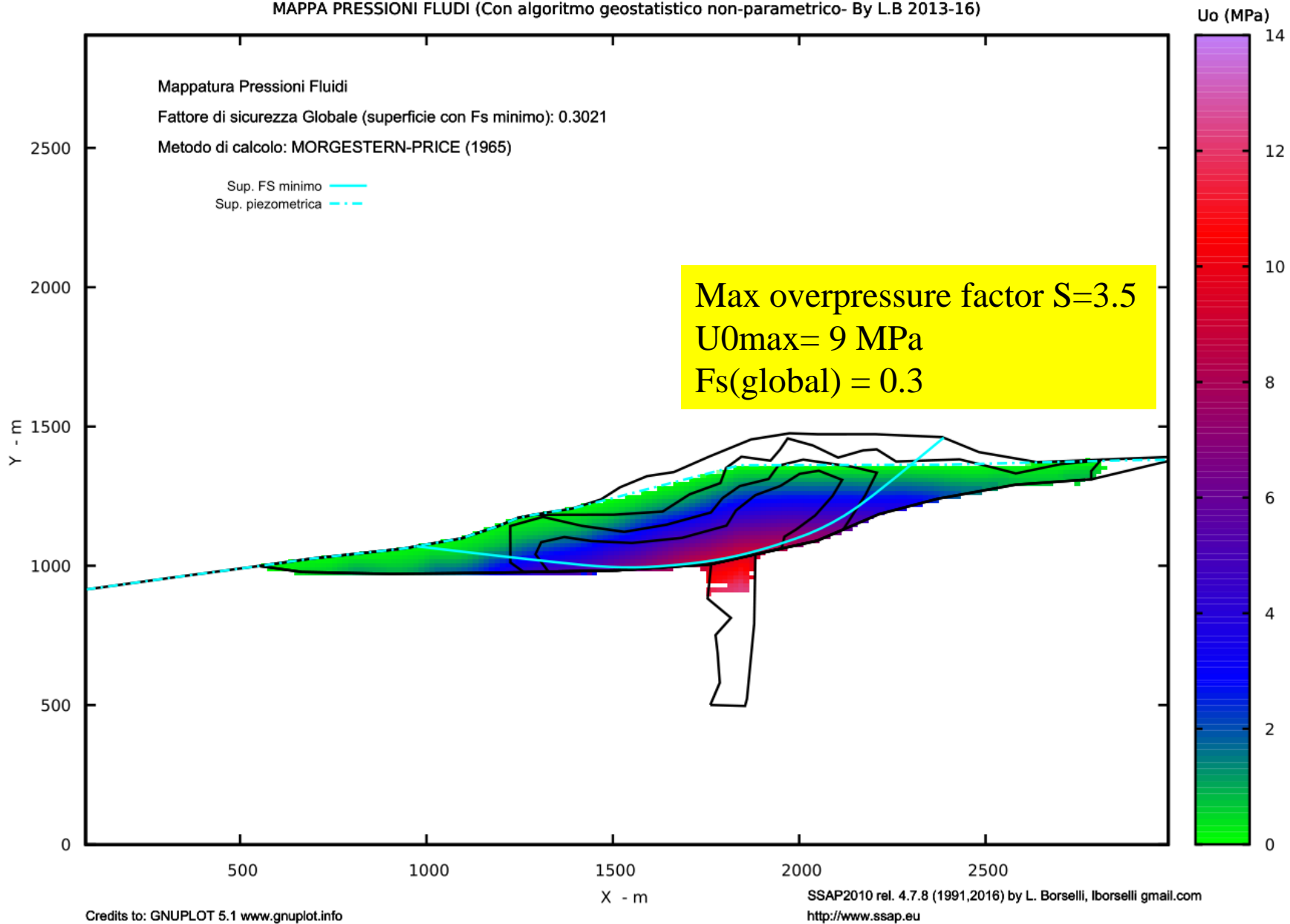
Max overpressure factor $S=2.5$

$U_{0max} = 6.0 \text{ Mpa}$

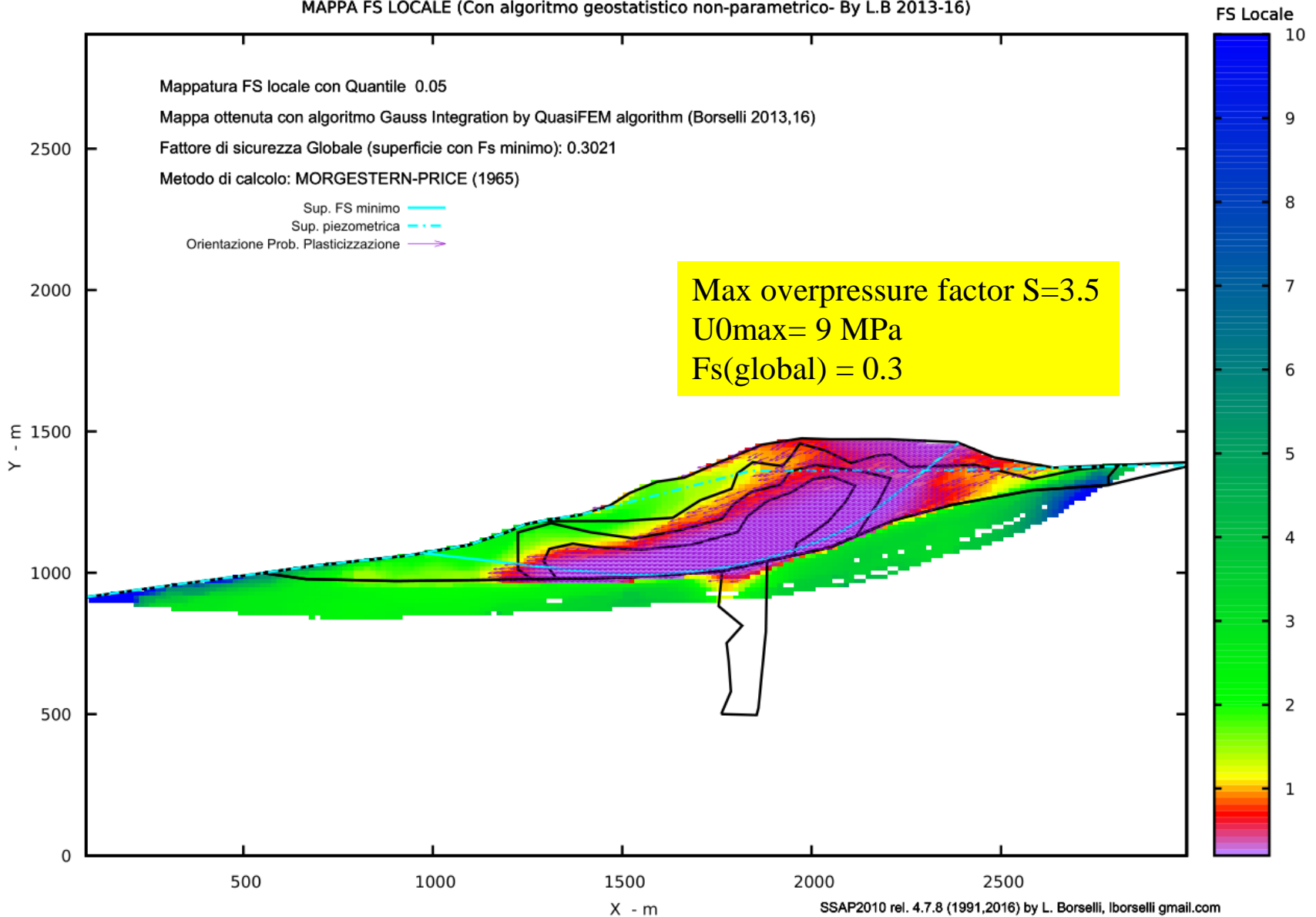
F_s (global) 0.86



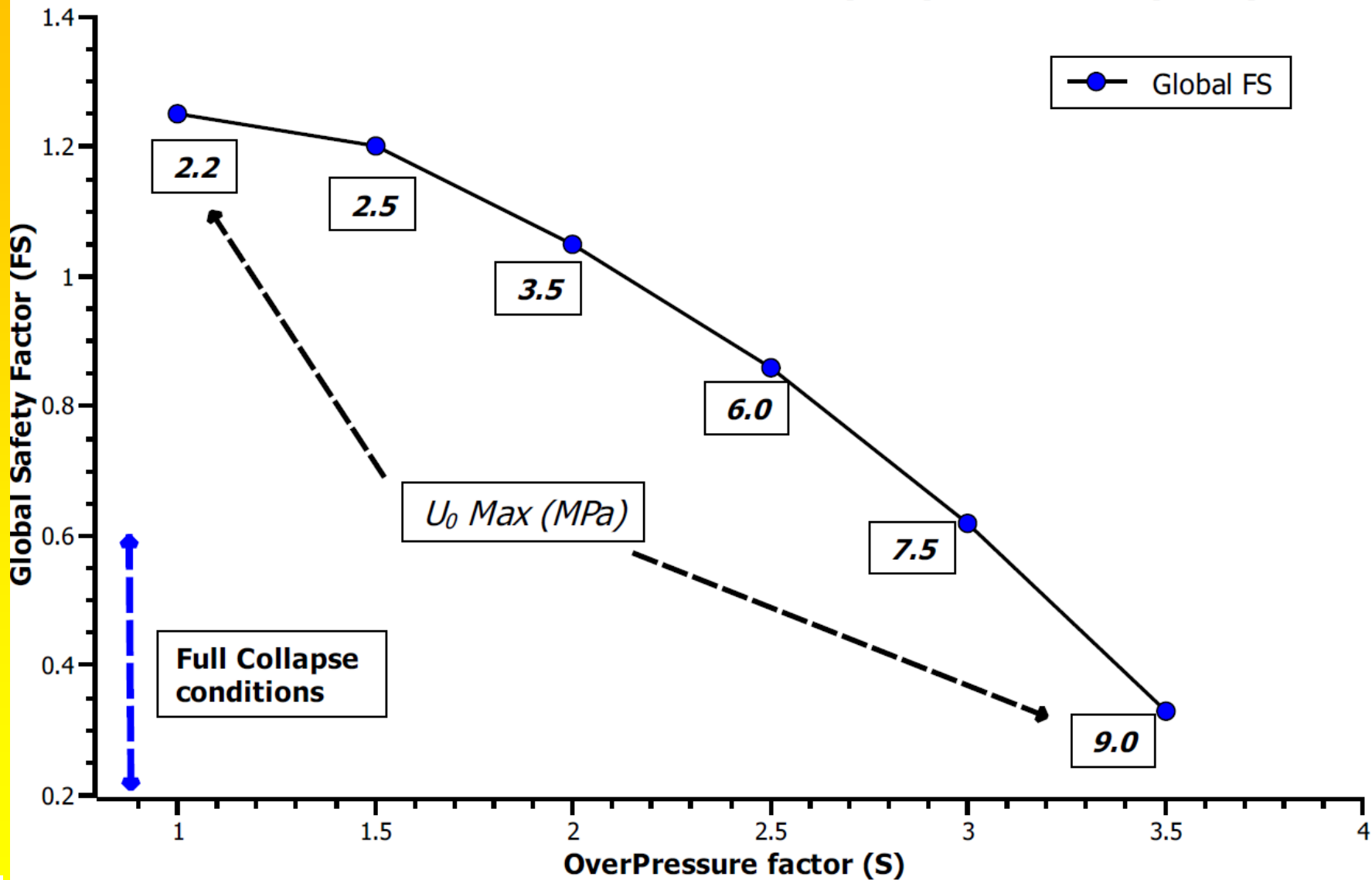
MAPPA PRESSIONI FLUIDI (Con algoritmo geostatistico non-parametrico- By L.B 2013-16)



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



La Soufriere - Effect of OverPressure Factor on Global South Flank Stability - by SSAP 4.7.8 (2016)



Problemi numerici e loro gestione in SSAP2010

Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D

Universidad Autónoma de San Luis Potosí -UASLP

Instituto de Geología

Facultad de Ingeniería.

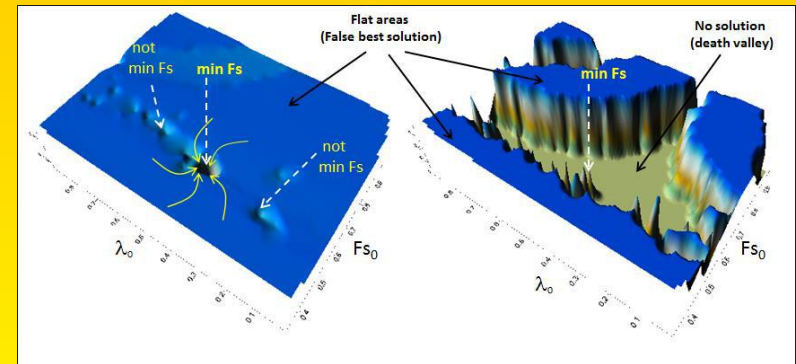
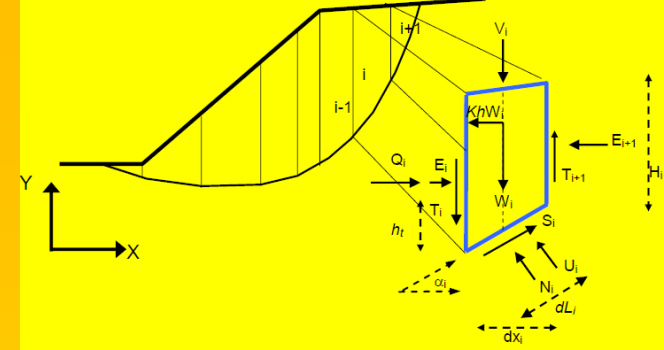
San Luis Potosí, MEXICO

E_mail:

lborselli@gmail.com

lorenzo.borselli@uaslp.mx

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



Problemi Numerici in SSAP2010

Una consistente porzione di tempo nello sviluppo del SSAP e' stata impiegata nell'affrontare numerosi problemi di calcolo che si producono nei modelli di calcolo nelle applicazioni di verifica a equilibrio limite...

Moltissimi di questi problema di calcolo sono noti da circa 40 anni pero...

- 1) Non vengono normalmente documentati in molti software commerciali
- 2) Non vengono in alcuni casi affrontati integralmente...
- 3) Rimangono in molti casi nell'interno di articoli scientifici o libri di testo...
- 4) Altri problema di calcolo si verificano ma non sono ancora noti ai piu'.. Pero ci sono e vanno considerati...

Quali i problemi principali...

- **Malcondizionamento dei parametri iniziali F_s0 e λ_0**
- **Mancata convergenza e determinazione di F_s**
- **Numero non ottimale di divisione in conci verticali della massa di pendio**
- **Eccessi di forze esterne applicate**
- **Geometria superfici di scivolamento non compatibile**
- **Geometria superfici di scivolamento non compatibile**
- **Passaggio da $E(x)$ a $T(x)$**
- **Anomalie nel rapporto $T(x)/E(x)$**
- **Metodo Janbu rigoroso (1973) e sue problematiche (derivate prime di $E(x)$)**

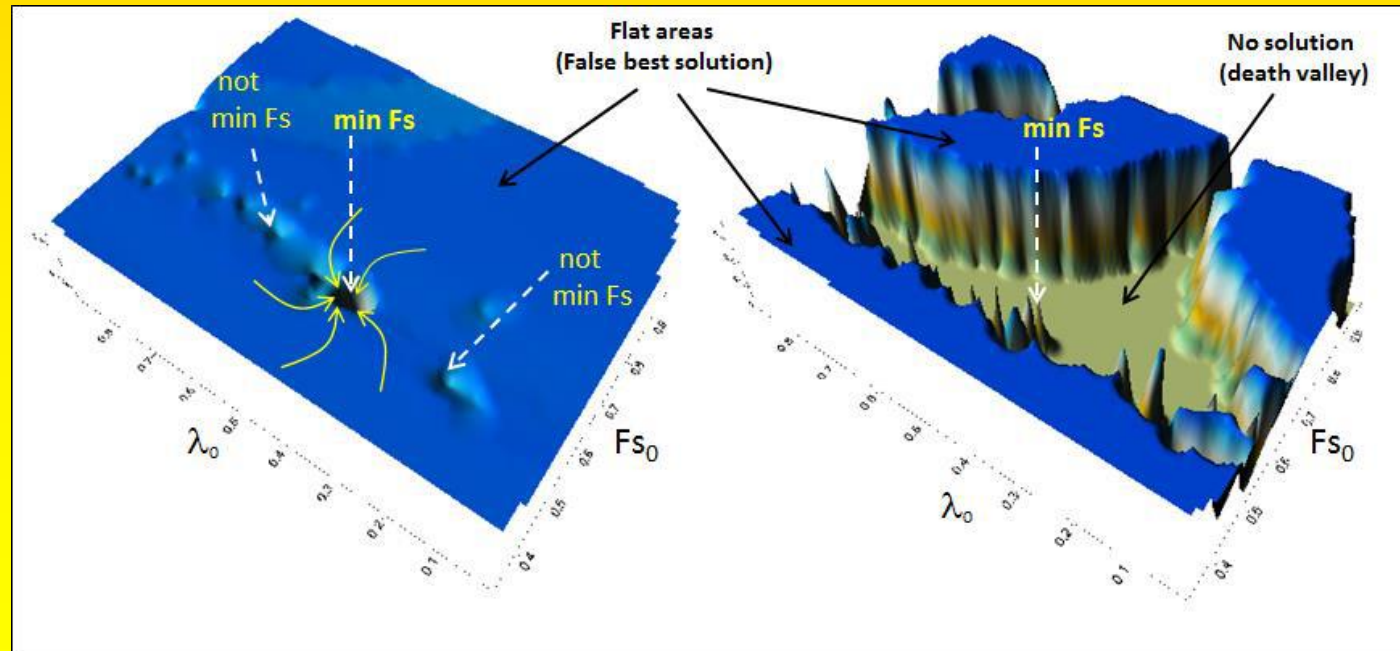
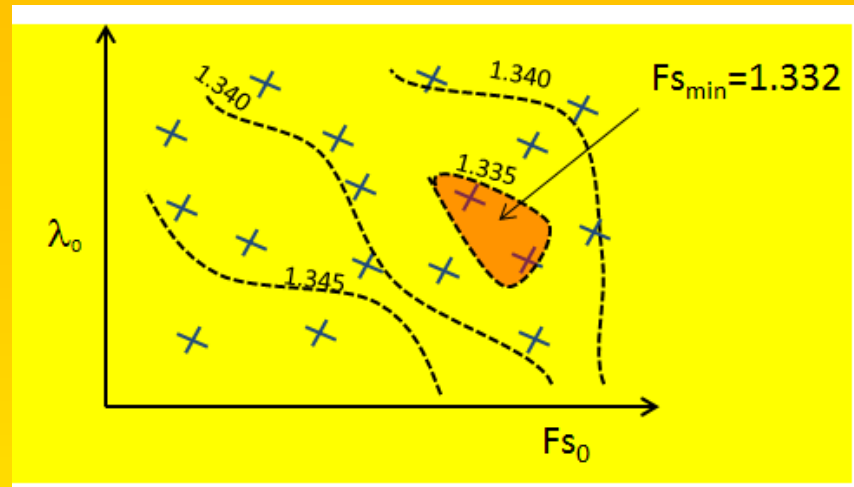
.....

Malcondizionamento dei parametri iniziali

Fs_0 e λ_0

Il Fs finale dipende dai valori iniziali selezionati di λ_0 e Fs_0

Come conseguenza... non abbiamo mai un fattore Fs unico nei metodi rigorosi ... ma spesso un Fs che puo variare fino al 5% dipendendo dai valori Fs_0 e λ_0 assunti



Malcondizionamento dei parametri iniziali: $Fs0$ e $\lambda0$

SSAP tiene conto del problema e puo adottare varie strategie per risolverlo..

Metodi di esplorazione dello spazio ($\lambda0, Fs0$)

Prima di utilizzare i valori ottimali per ottenere il valore di FS minimo

The screenshot shows the 'OPZIONI GENERALI per Verifiche di Stabilità SSAP 4.3.2' window. Key features include:

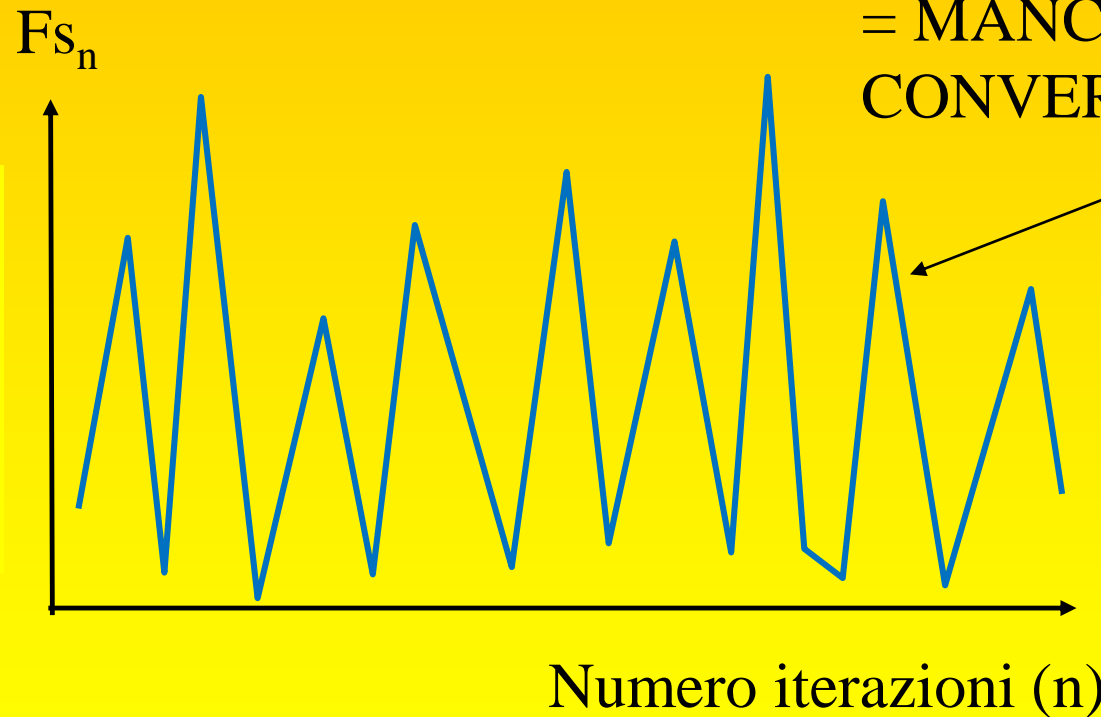
- Coefficiente sismico orizzontale - Kh:** 0.000
- Fs di Progetto richiesto (analisi deficit):** 1.100
- METODO DI CALCOLO:** Includes options like JANBU RIGOROSO, SPENCER, SARMA I, MORGESTERN PRICE, CORREIA, and SARMA II. A callout box highlights the equation $T(x) = \lambda f(x) E(x)$ and lists methods A (rapido e accurato), B (più accurato), and C (molto più accurato).
- CONTROLLO STABILITA' NUMERICA:** Sliders for '% Tolleranza stress normali negativi' (0%) and '% Tolleranza RHO=[Fs/Fv] > 1.0' (100%).
- MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI:** Includes RANDOM SEARCH (RS), CONVEX RANDOM SEARCH (CRS), and SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 2.0. A 'RANDOM...' box shows binary strings.
- SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH:** 'Steps di scansione' (60) and 'Frequenza di attivazione' (0.75).
- FILTRAGGIO SUPERFICI:** Options for 'FILTRARE' and 'NON FILTRARE'.
- PRESENZA DI OSTACOLO:** Options for 'CON OSTACOLO INTERNO' and 'SENZA OSTACOLO INTERNO'.
- ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI:** Options for 'DISATTIVATO' and 'ATTIVATO'.

Mancata convergenza e determinazione di F_s

La mancata convergenza e' frequente...

Il valore di F_s tra una iterazione e l'altra oscilla in maniera caotica
= MANCATA CONVERGENZA

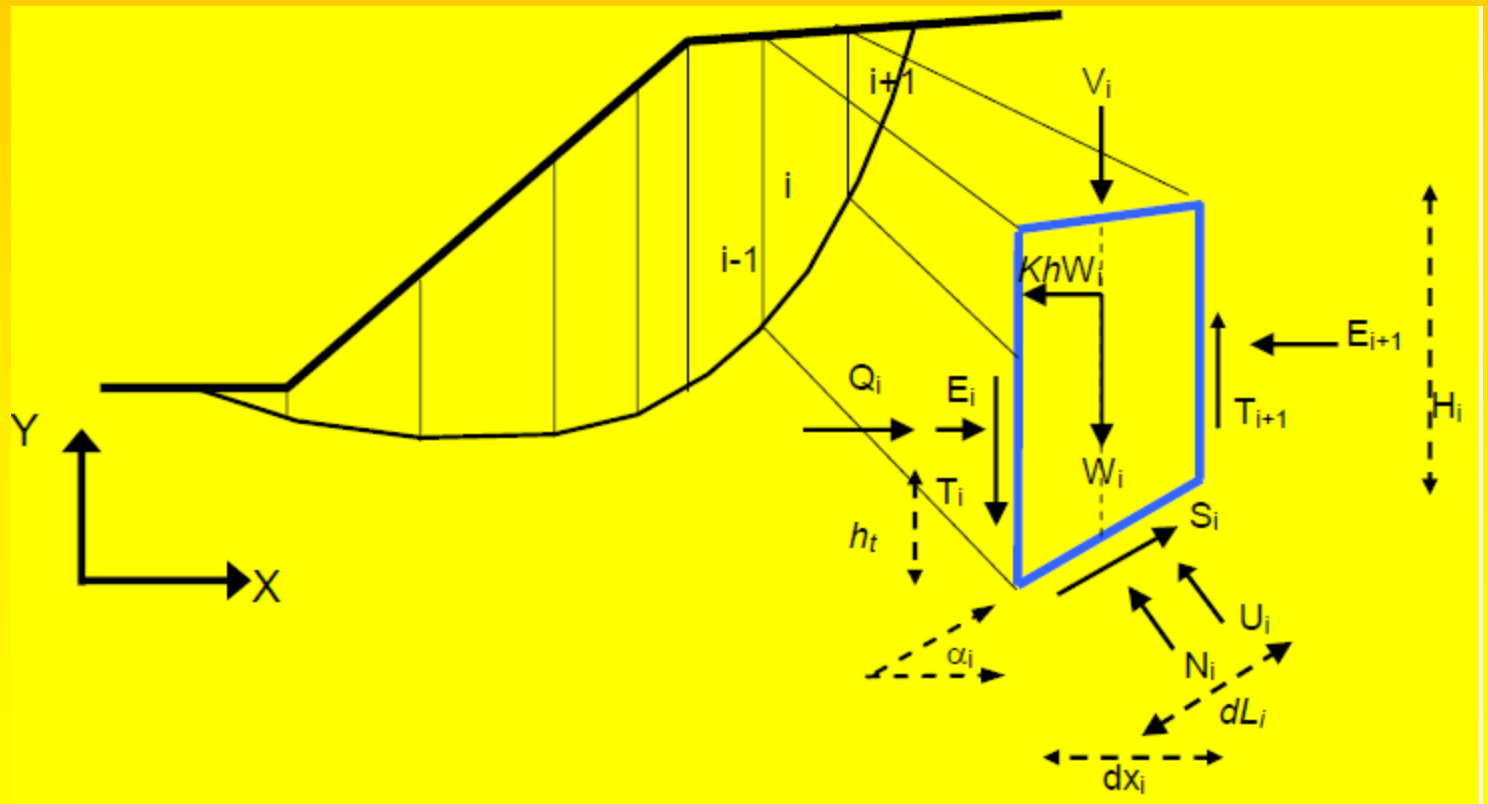
Ssap tiene conto del problema e usa un criterio di tolleranza e convergenza dinamico....



Numero non ottimale di divisione in conci verticali della massa di pendio

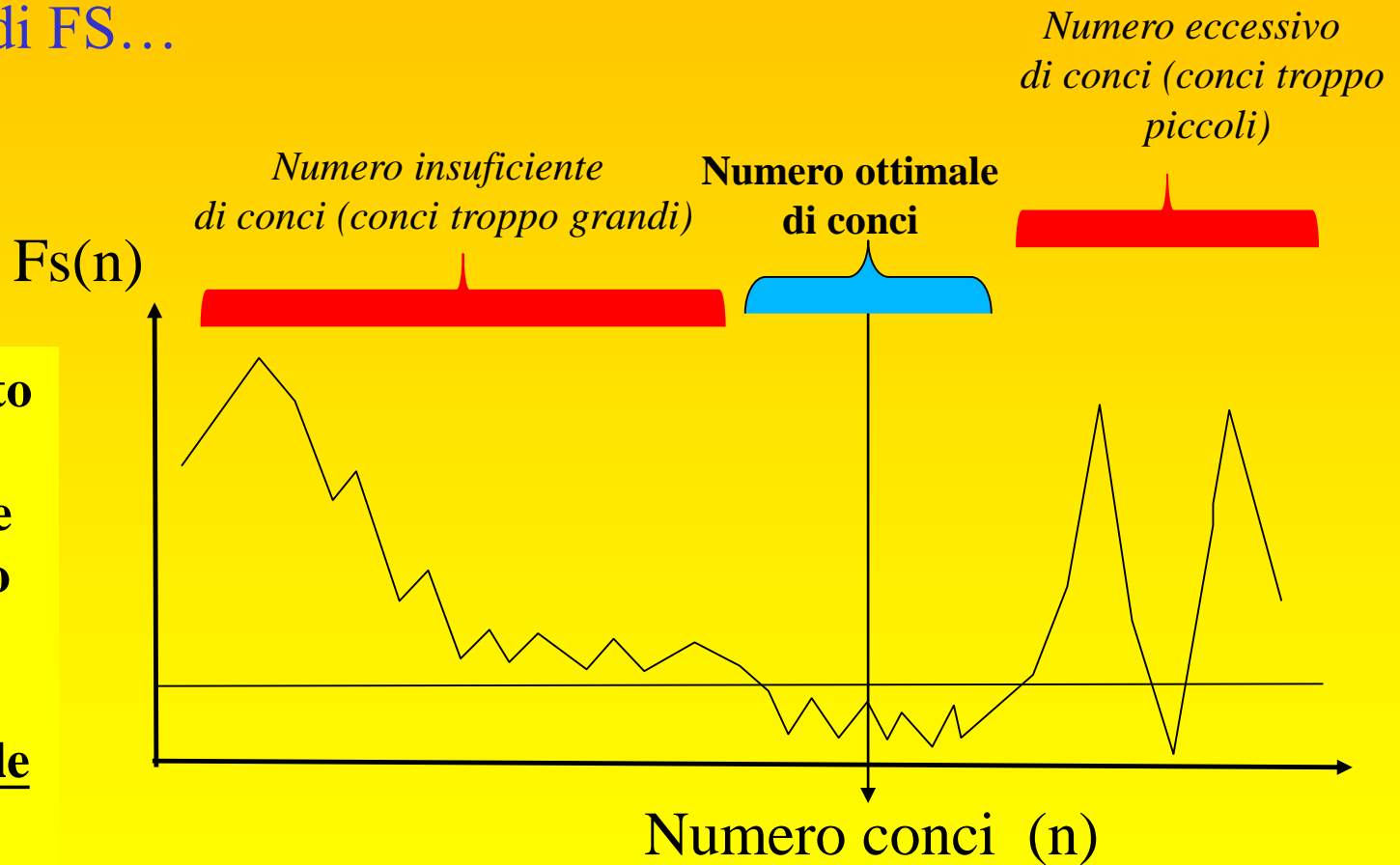
Il numero di Conci scelto influenza il risultato finale... il risultato e' una approssimazione numérica...

Quindi la suddivisione della massa influenza il risultato...



Numero non ottimale di divisione in conci verticali della massa di pendio

Il numero di Conci ottimale e' identificato da un valore stabile all'intorno di FS...



SSAP tiene conto del problema e usa uno speciale algoritmo per lo scopo:

Usare sempre
Numero ottimale
conci per
velocita' e
affidabilita' del
risultato finale

Eccessi di forze esterne applicate



SSAP tiene conto del problema e usa speciali algoritmi per lo scopo...
Es. *Procedura automática mobilizzazione reazione palificate*

Un eccesso di forze di rinforzo applicate

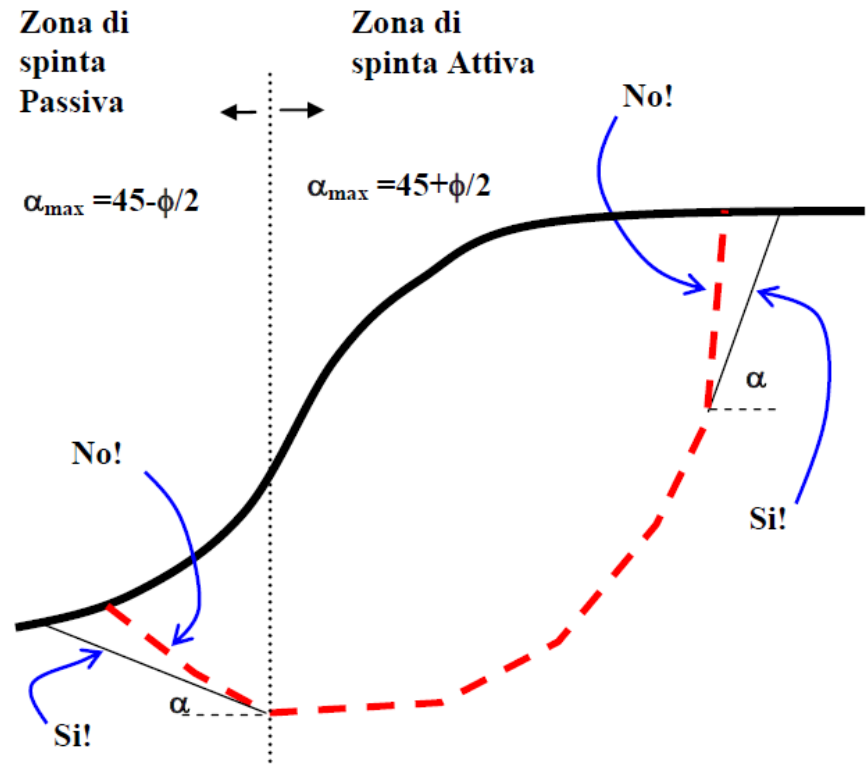
Puo generare un caso particolare di risalita del pendio E Fs negativi...fisicamente non possibile....

E' quindi necessario sempre, se possibile, attivare la procedura di Mobilizzazione automática che pone un limite físico alla controspinta di reazione mobilizzata..(gia visto nella toria dei pali)

Geometria superfici di scivolamento non compatibile

Esistono limitazioni teoriche nella forma delle superfici, dettate dalla teoria della spinta delle terre e da problemi computazionali di convergenza nel calcolo di F_s (CHING & FREDLUND 1983, CHOWDHURY & ZHANG 1990) o di produzione di valori anomali come $F_s < 0$.

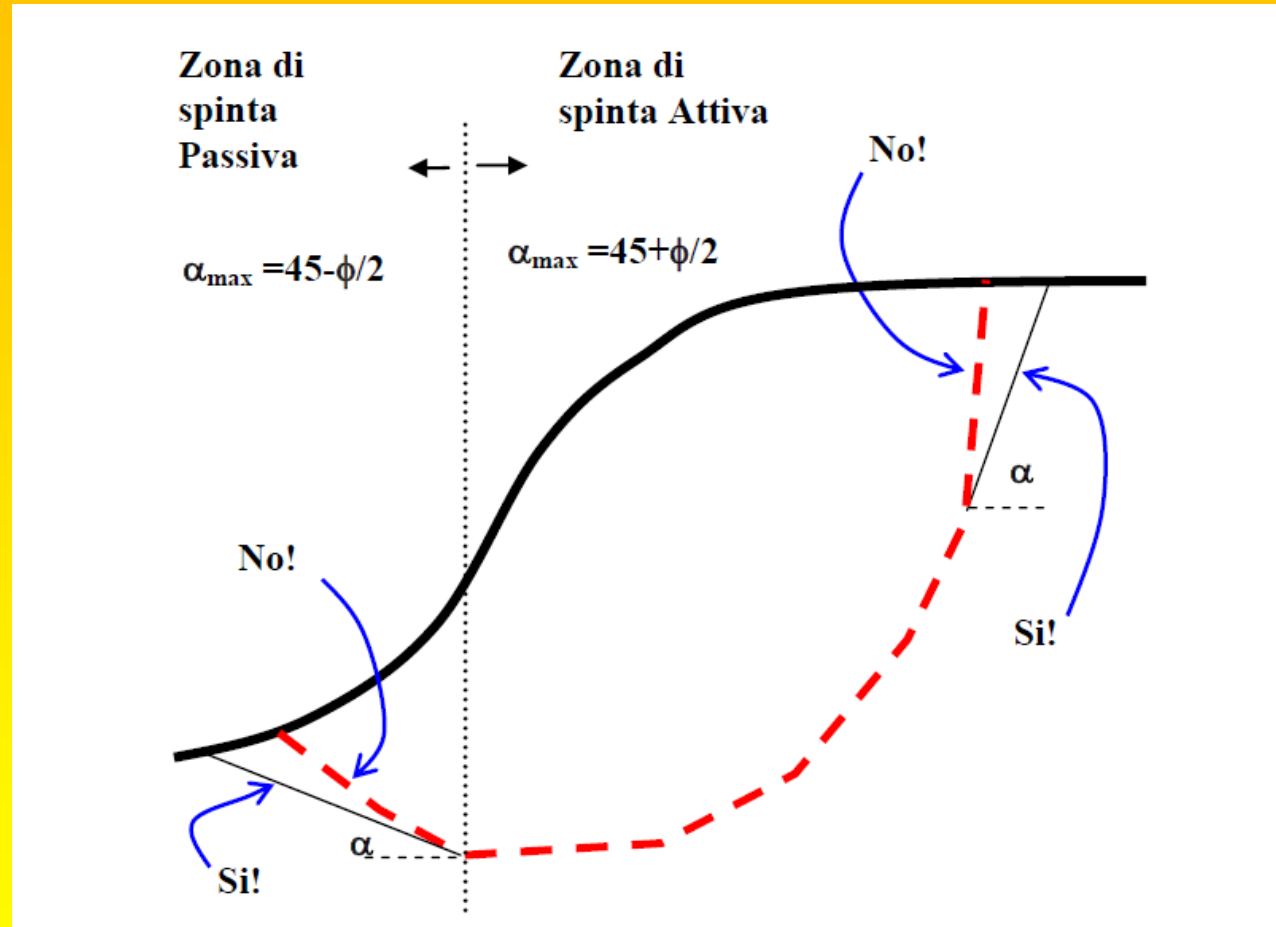
Successivamente alla generazione di una superficie, prima di effettuare il calcolo del relativo valore di F_s , è necessario effettuare una serie di controlli molto importanti. Il più importante è quello di verificare che localmente la inclinazione dei segmenti non violi il criterio di rottura Mohr-Culomb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



Geometria superfici di scivolamento non compatibile

Il programma SSAP 2010 effettua un controllo stringente su ogni superficie, prima di effettuare i calcoli, e scarta quelle superfici che, anche solo localmente, violano gli angoli di inclinazione limite. Le superfici vengono scartate perché cinematicamente non possibili. Infatti in queste superfici potremmo avere valori di F_s anormalmente bassi, generalmente non realistici, e a volte $F_s < 0$!

NEL CASO DI ANALISI SU SUPERFICI SINGOLE AVVERTE DEL PUNTO DOVE SONO UBICATE QUESTE ANOMALIE



Passaggio da E(x) a T(x).. By f(x)

Morgestern & Price
(1965)



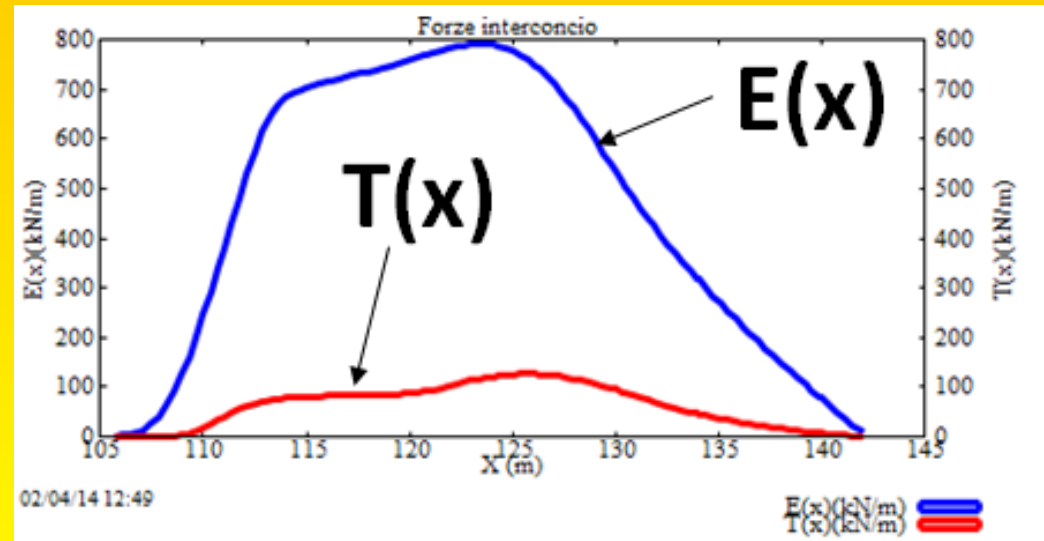
$$T(x) = \lambda f(x) E(x)$$



Ottenere la T(x) incognita da i valori della distribuzione di E(x) e' un punto critico... di ogni algoritmo LEM rigoroso

Per ottenerere questo si fa ricorso a una funzione f(x) predefinita di ripartizione $T(x) = \dots f(x) F[E(x), \dots]$..

La f(x) in SSAP e' ottenuta con un algoritmo ancora "segreto" .. invece che con impostazioni predefinite empiriche come altri software, anche commerciali



Sarma II (1979)

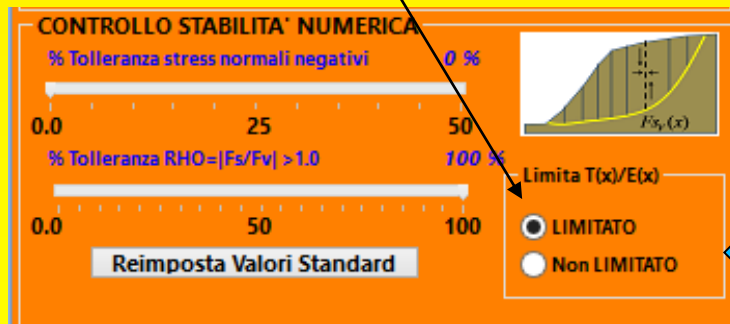
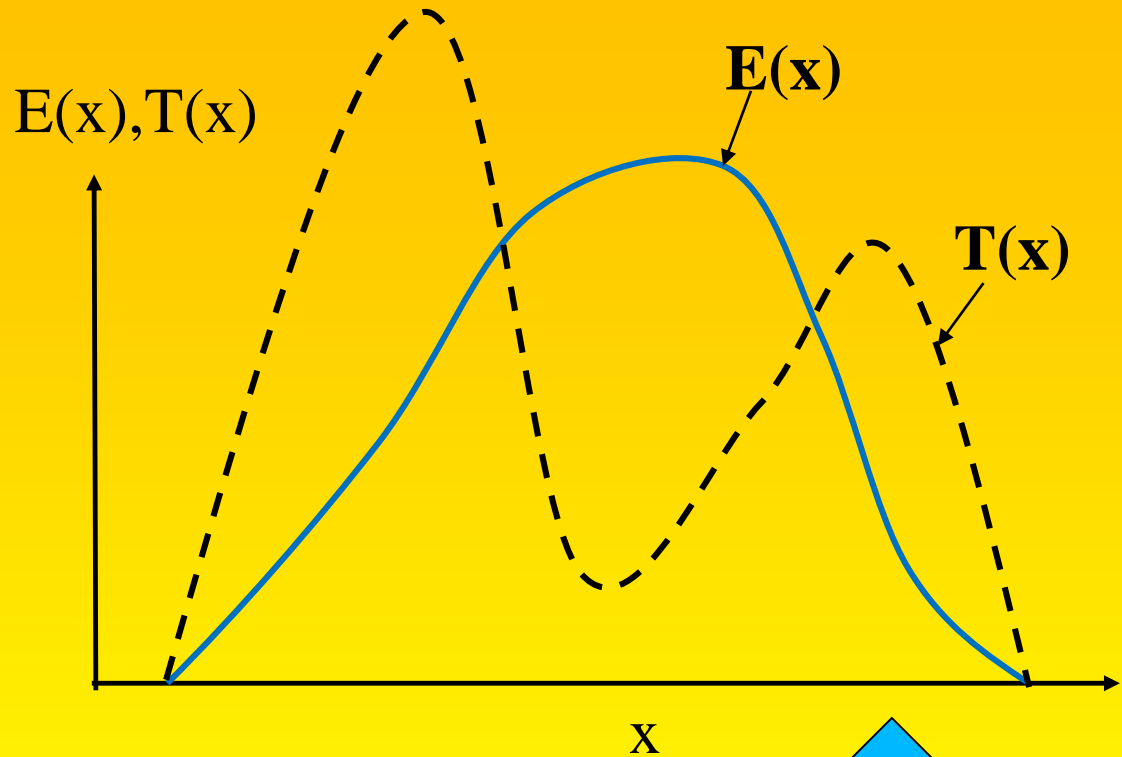


$$T(x) = \lambda f(x) \left[\bar{c}' H(x) + \left((E(x) - Pw(x)) \tan \bar{\phi}' \right) \right]$$



Anomalie nel rapporto $T(x)/E(x)$

Anomalie di calcolo che generano un rapporto $T(x)/E(x)$ creano problemi..
SSAP tenta di controllare questo permettendo attivare una strategia di filtraggio direttamente nella finestra opzioni



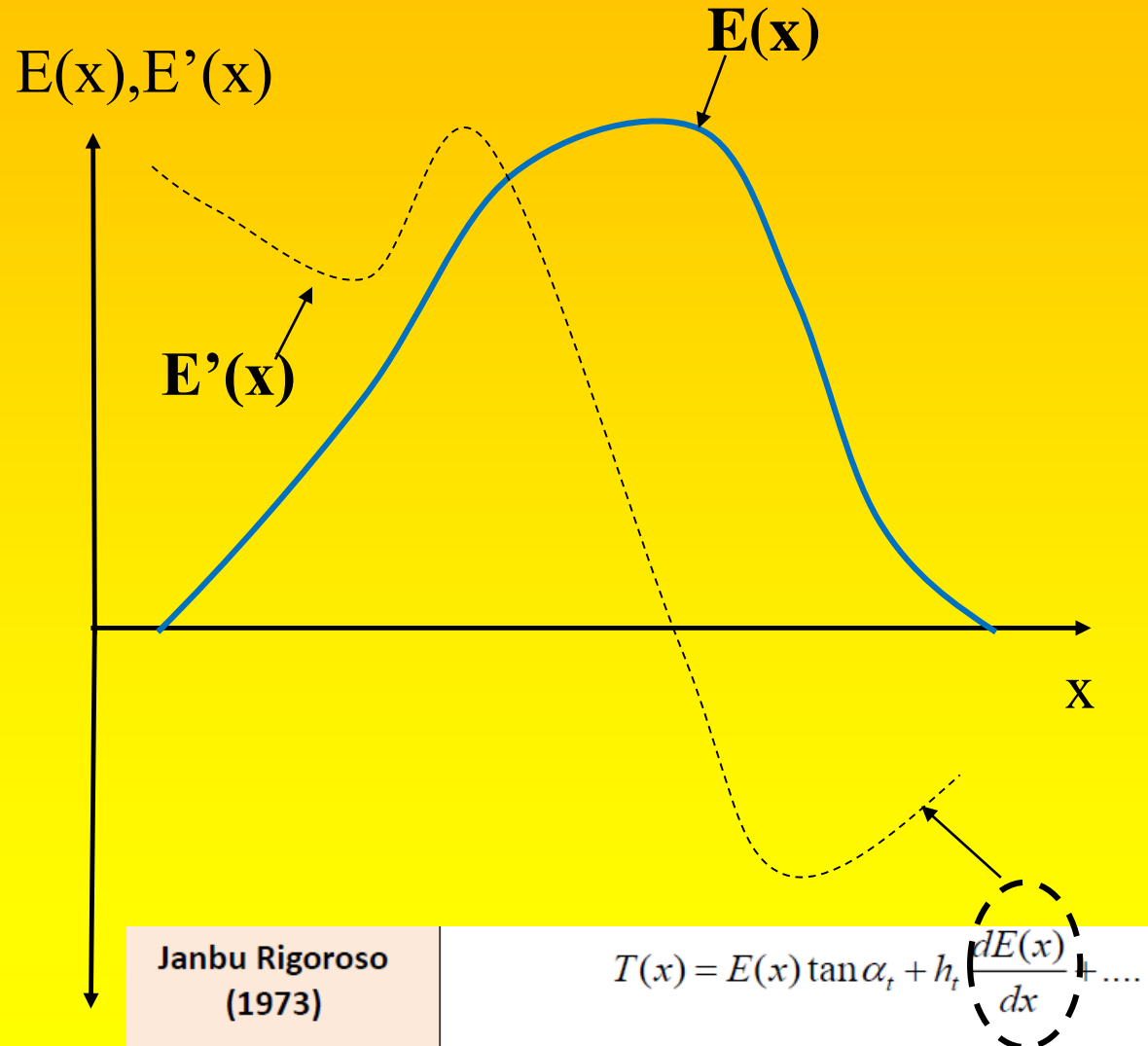
Un caso di anomalia

Filtraggio anomalie
(opzionale.. ma consigliato)

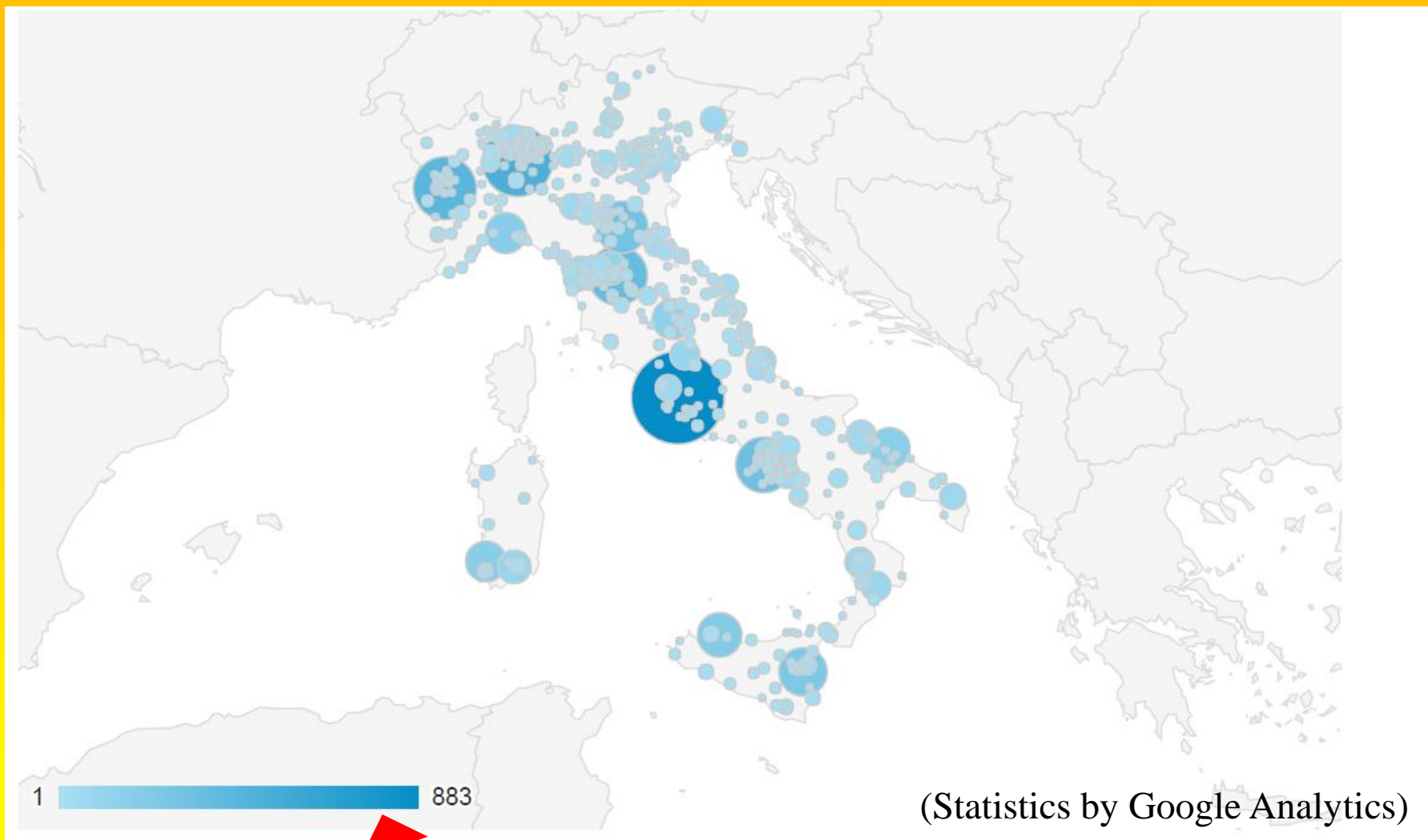
Metodo Janbu rigoroso (1973) e sue problematiche (derivate prime di $E(x)$)

Nel caso del metodo Janbu rigoroso il calcolo della derivata prima di $E(x)$ e' fondamentale. Da questo dipende il 90% della instabilita' riconosciuta nel metodo Janbu

Il calcolo per via numerica pone diverse difficolta' che in SSAP trovano alcune soluzioni originali....



Distribuzione geografica in italia flusso di visitatori (ultimo anno)



Il numero di visitatori e' associato al diámetro dei cerchi e alla intensita' di colore

Conclusioni

IL SSAP e' uno strumento collaudato e in evoluzione ..

Molti utenti collaborano con suggerimenti e segnalazioni di anomalie

Esistono molte linee di sviluppo e di ricerca originali, i contenuti sono importanti.

Dal 2013 e' stato inserito nel testo *Landslide teaching tool* edito da UNESCO (editor prof. Sassa) ed e' stato inserito nella seconda edizione 2016-2017 di prossima uscita.

E' gratis ma voi potete compararlo con altri software ben conosciuti (commerciali)

Certamente c'è ancora molto da fare insieme..

SSAP 2010 (versione 4.8.0 - 2016)

SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM
release 4.8.0 (c) (1991-2016)
 Build No. 8885 Windows 64 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
 VEDI GRAFICI SUPERFICI
 MAPPA PRESSIONE FLUIDI
 GENERA / VEDI MAPPA Fs LOCALE

MONITOR VERIFICA

MODELLO PENDIO
 LEGGI MODELLO
 VEDI MODELLO
 HELP
 ESCI dal PROGRAMMA

MODELLO PENDIO : ES6.MOD
MODELLO DI CALCOLO : Morgestern - 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 Sniff Random Search (SRS)
 ZONA DI INIZIO - Progressive - (m) : da 0.10 a 108.10
 ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - (m) : da 12.10 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 : 1.6178 **Fs Min.**
 INTERVALLO Fs delle 10 SUPERFICI CON MINOR Fs : 1.4342 - 1.5126
 n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE: 2108 di 10000
 % EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA : 16.975 -- 95.08

PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETATE(%): 21.08

STOP VERIFICA VEDI RISULTATI TEMPORANEI

SETUP VERIFICA
 INFO
 OPZIONI
 PARAMETRI
 GESTIONE ACQUIFERI
 OPZIONI AGGIUNTIVE
 SALVA IMPOSTAZIONI
 CARICA IMPOSTAZIONI

STRUMENTI
 GENERA REPORT VERIFICA
 GENERA FILES DXF
 ESPORTA SUPERFICI
 CAMBIA PAR. GEOTECNICI
 EDITA FILES
 MAKEFILES 5.0
 File SSAP2010.INI

MESSAGGI
 SUGGERIMENTI: effettuata una verifica di stabilità è possibile generare un rapporto (file di testo) con tutti i risultati e anche una serie di file DXF con i grafici e esportare un file con le coordinate della superficie critica.

Ringrazio la Università' di Firenze, La UNESCO Chair, e i colleghi: Ing. Lucia Greco e dr. Paolo Petri, che sono i coordinatori italiani del Progetto di Divulgazione scientifica di SSAP..

North Appenine
Italy - spring 2003
Photo by L.B.

www.lorenzo-borselli.eu
lborselli@gmail.com

**Grazie a Tutti per l'attenzione
e la partecipazione !**

