



# Evaluación de la estabilidad de taludes complejos en suelo y roca por medio de software SSAP-2010: aplicaciones en Italia y México

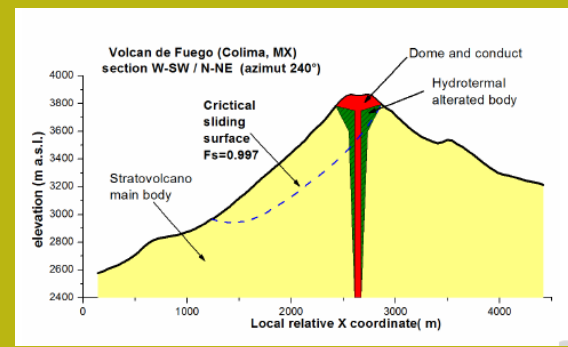


Dr. Lorenzo Borselli  
Instituto de Geología  
Fac. De Ingeniería, UASLP



[lborselli@gmail.com](mailto:lborselli@gmail.com)

[www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu)



SSAP 2010 (versione 4.7.2 - 2016)

**SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM**  
release 4.7.2 (c) (1991-2016)  
Build No. 8171 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  
GENERA / VEDI MAPPA F<sub>s</sub> LOCALE  
VEDI GRAFICI SUPERFICI

**MONITOR VERIFICA**

**MODELLO PENDIO**  
LEGGI MODELLO  
SSAP2010 rel. 4.7.2  
VEDI MODELLO  
<http://WWW.SSAP.EU>  
HELP  
ESCI dal PROGRAMMA

**MODELLO DI CALCOLO**  
MODELLO DI CALCOLO: Morgenstern - Price (1965)  
COEFFICIENTI SISMICI: ORIZZONTALE (KH): 0,0000  
VERTICALE (KV): 0,0000 (Kv assunto con segno positivo)

**PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI**  
MOTORE DI RICERCA SUPERFICI: Convex Random Search (CRS)  
ZONA DI INIZIO - Progressive - (m): da 0.10 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 ATTRATTORRE DINAMICO: *Attivato* METODO (lambda=0, F40): *A*

**RISULTATI IN TEMPO REALE**  
F<sub>s</sub> ITERATIVO: 1,471 F<sub>s</sub> Min.  
INTERVALLO F<sub>s</sub> delle 10 SUPERFICI CON MINOR F<sub>s</sub>: 1,333 - 1,386  
n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE: 3981 di 10000  
% EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA: 20,864 - 98,01

PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETATE(%): 79,81

STOP VERIFICA VEDI RISULTATI TEMPORANEI

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

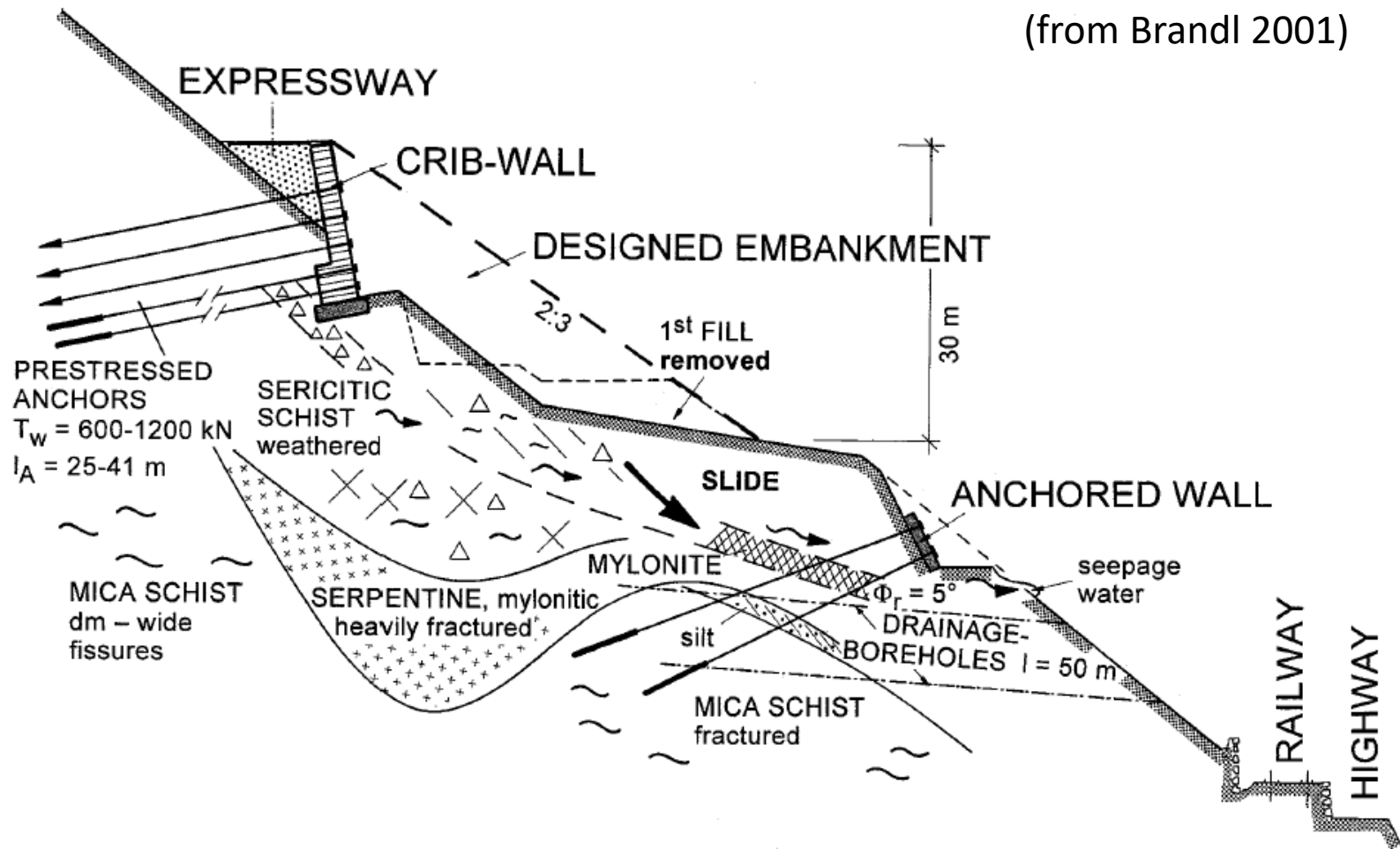
**STRUMENTI**  
GENERA REPORT VERIFICA  
GENERA FILES DXF  
ESPORTA SUPERFICI  
CAMBIA PAR. GEOTECNICI  
EDITA FILES  
MAKEFILES 4.0  
File SSAP2010.INI

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.

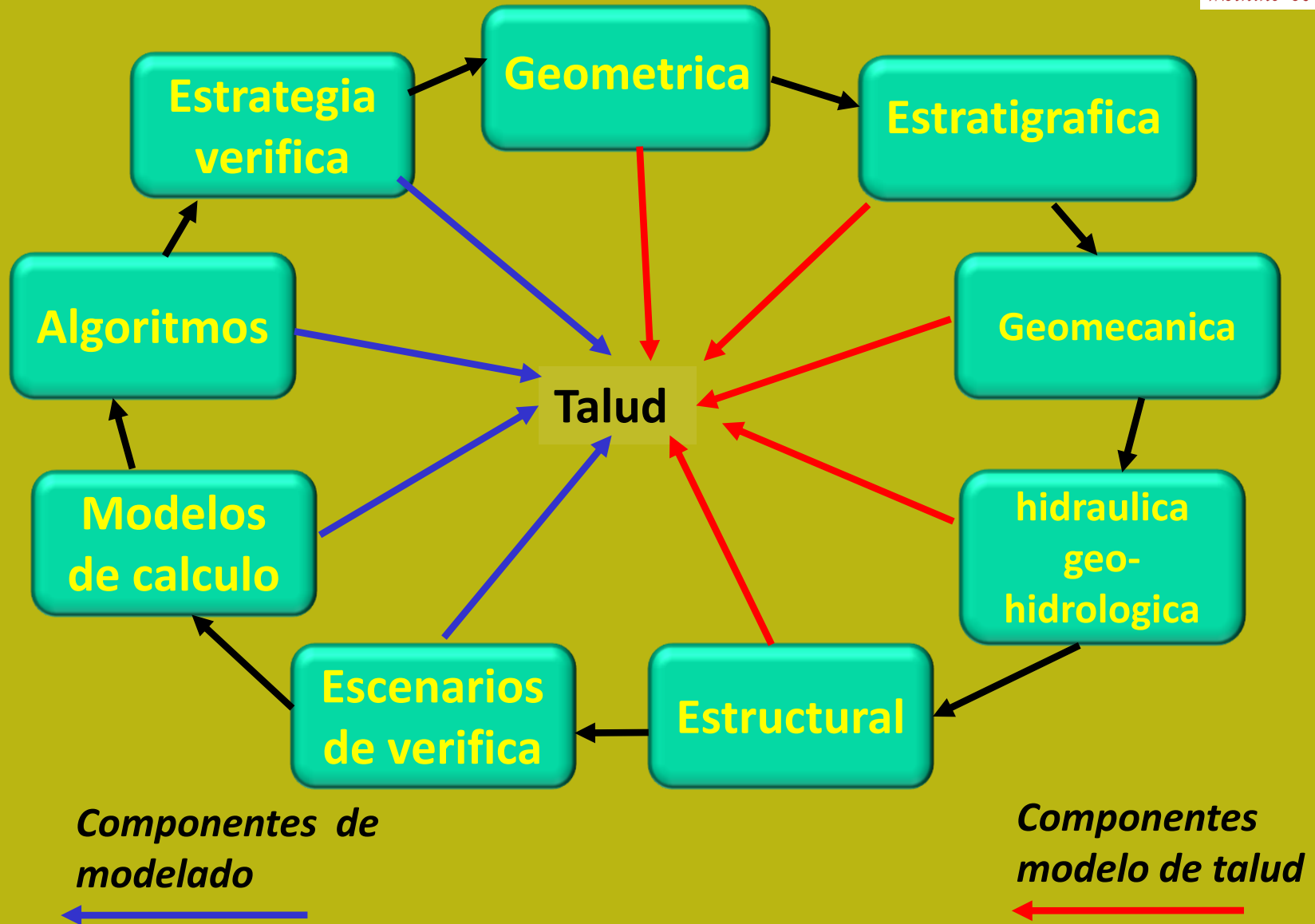


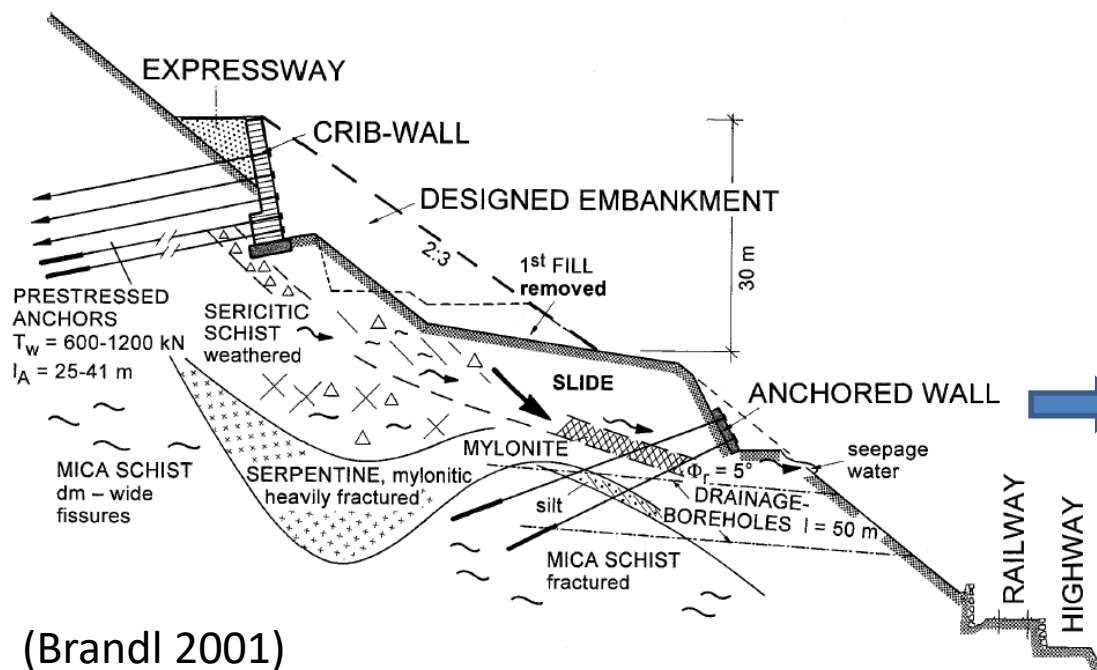
A pesar que la evaluación del nivel de estabilidad de un talud es una operación muy común como aplicación en geotecnia, las mayores dificultades en averiguar el nivel de estabilidad de un talud puede ser resumidas en la modelación y el manejo de un elevado potencial de complejidad interna...

(from Brandl 2001)

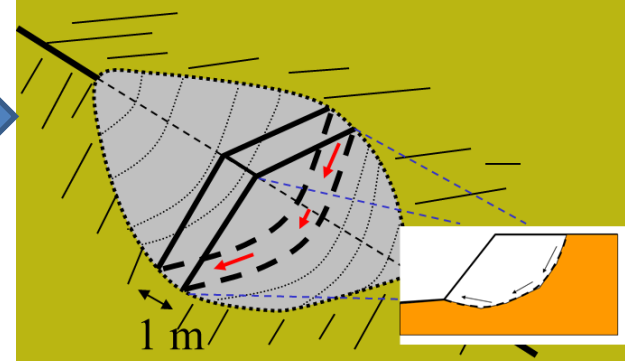


# Complejidad Análisis y verifica de estabilidad de taludes: componentes e interacciones.

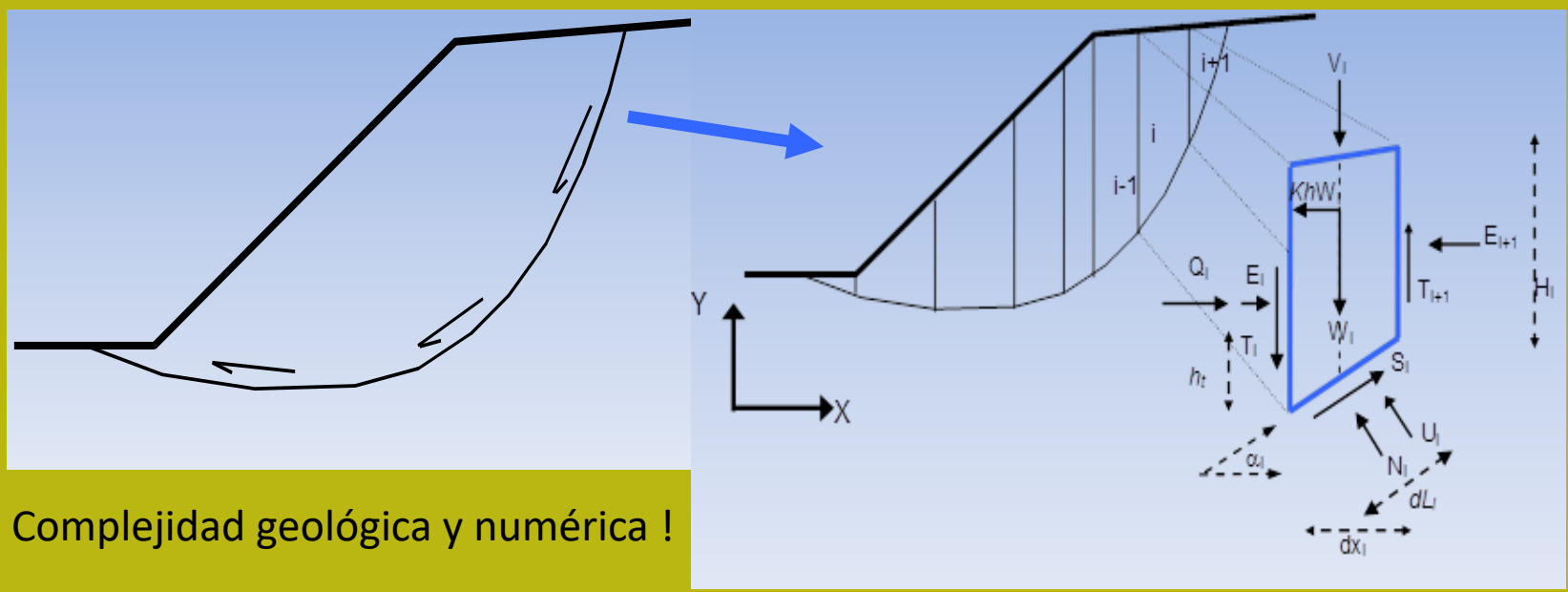




## Análisis de estabilidad by LEM



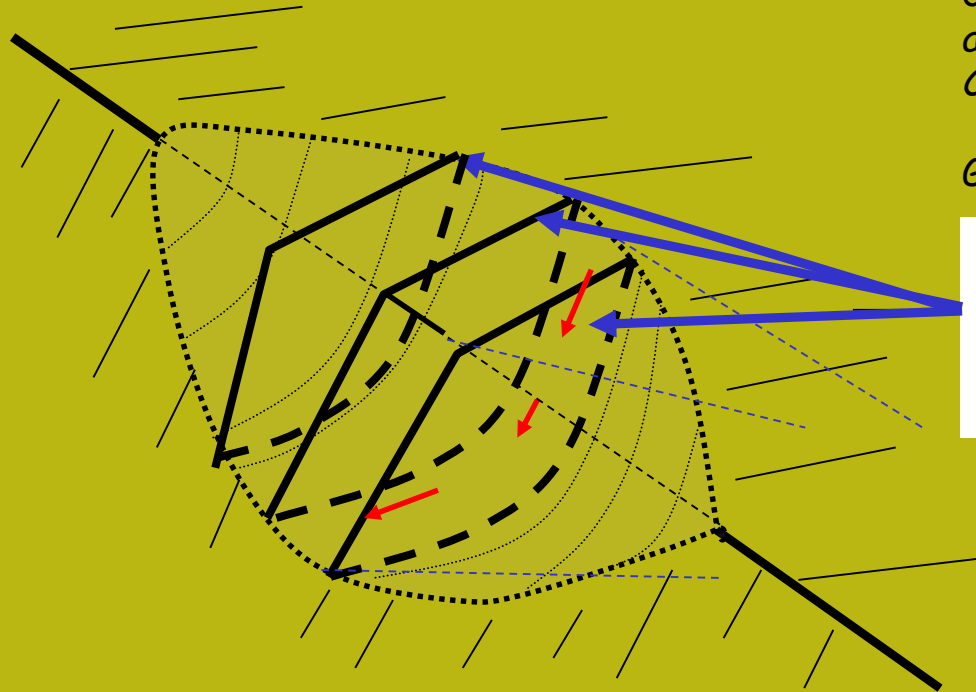
(Brandl 2001)



Complejidad geológica y numérica !

# Complejidad geométrica

Verifica de estabilidad 3D→2D



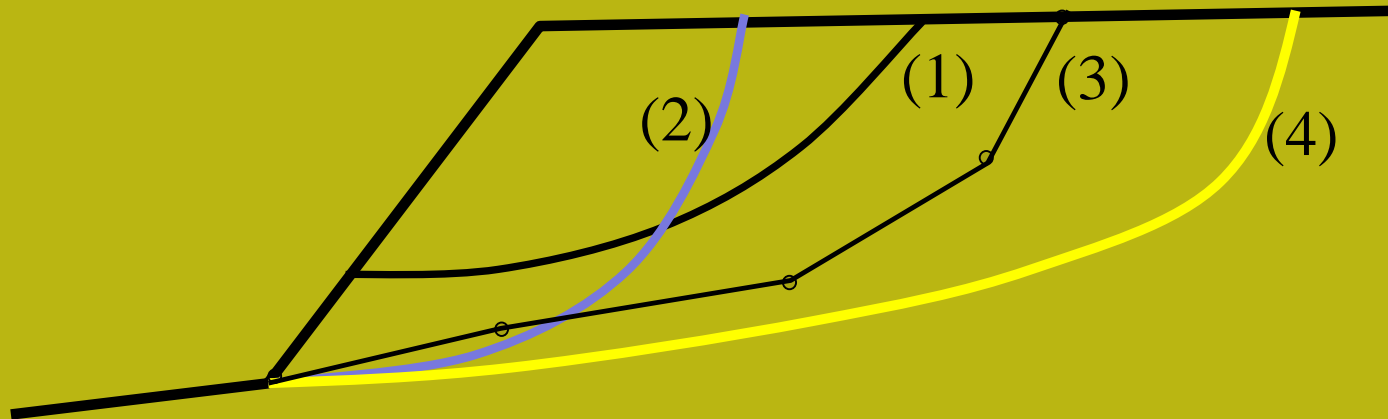
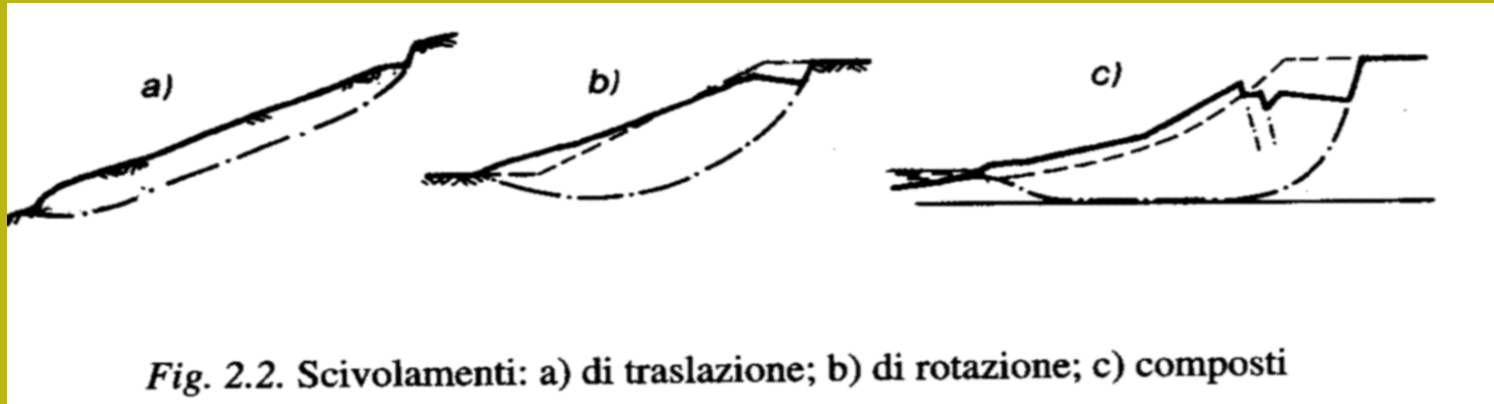
Naturalmente por medio del  
calculo de Fs de diversas  
secciones 2D

Es posible obtener el  
Fs 3D como promedio ponderado  
considerando las áreas de las  
diferentes secciones (Lambe  
and Whitman, 1969;  
Chowdhury 2010)

Generalmente  $Fs\ 3D > Fs2D$

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

Naturalmente hoy existen varios métodos completamente 3D



**Tipos de superficies generables en una sección 2D:**

- (1) **Circular** : definidas da círculo (arco de círculo: centro y rayo)
- (2) **espiral logarítmica**: eq. espiral logarítmica
- (3) **Genérica**: puntos (nodos) conectados con rectas (SSAP)
- (4) **Genéricas suavizadas**: superficie suavizada interpolante nodos (SSAP).

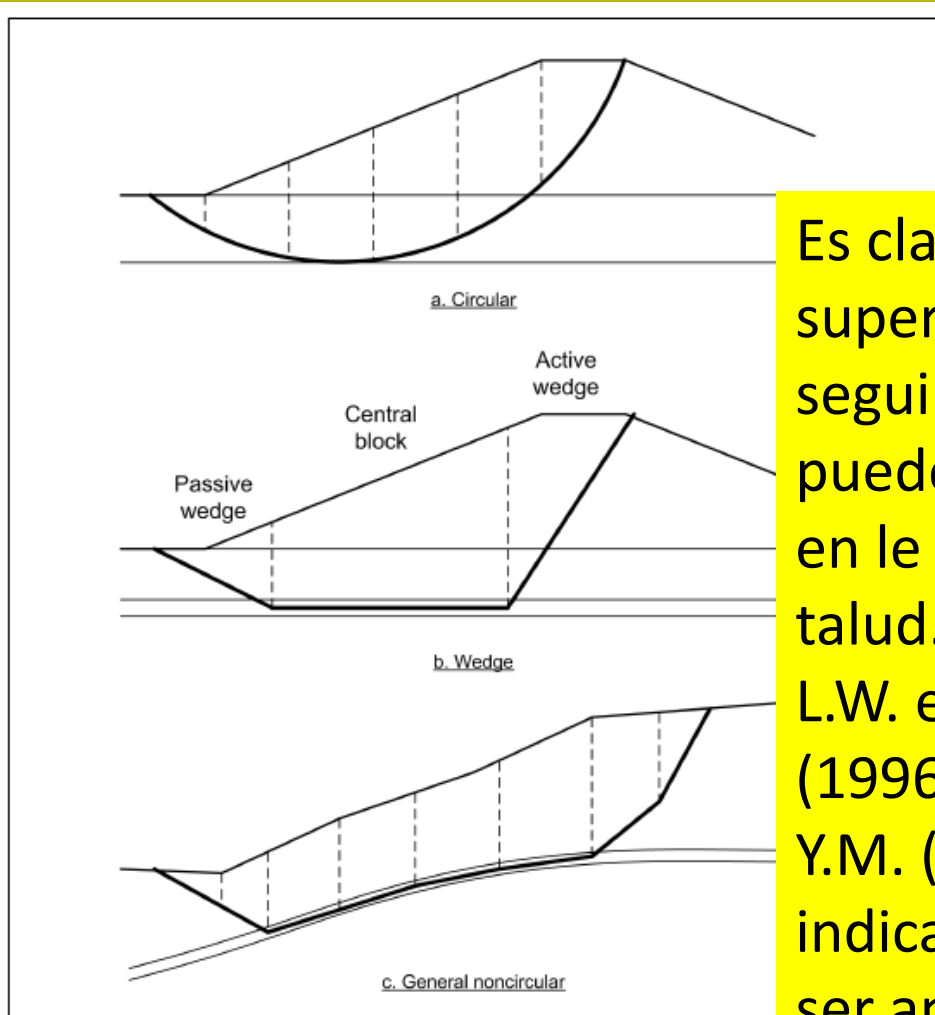
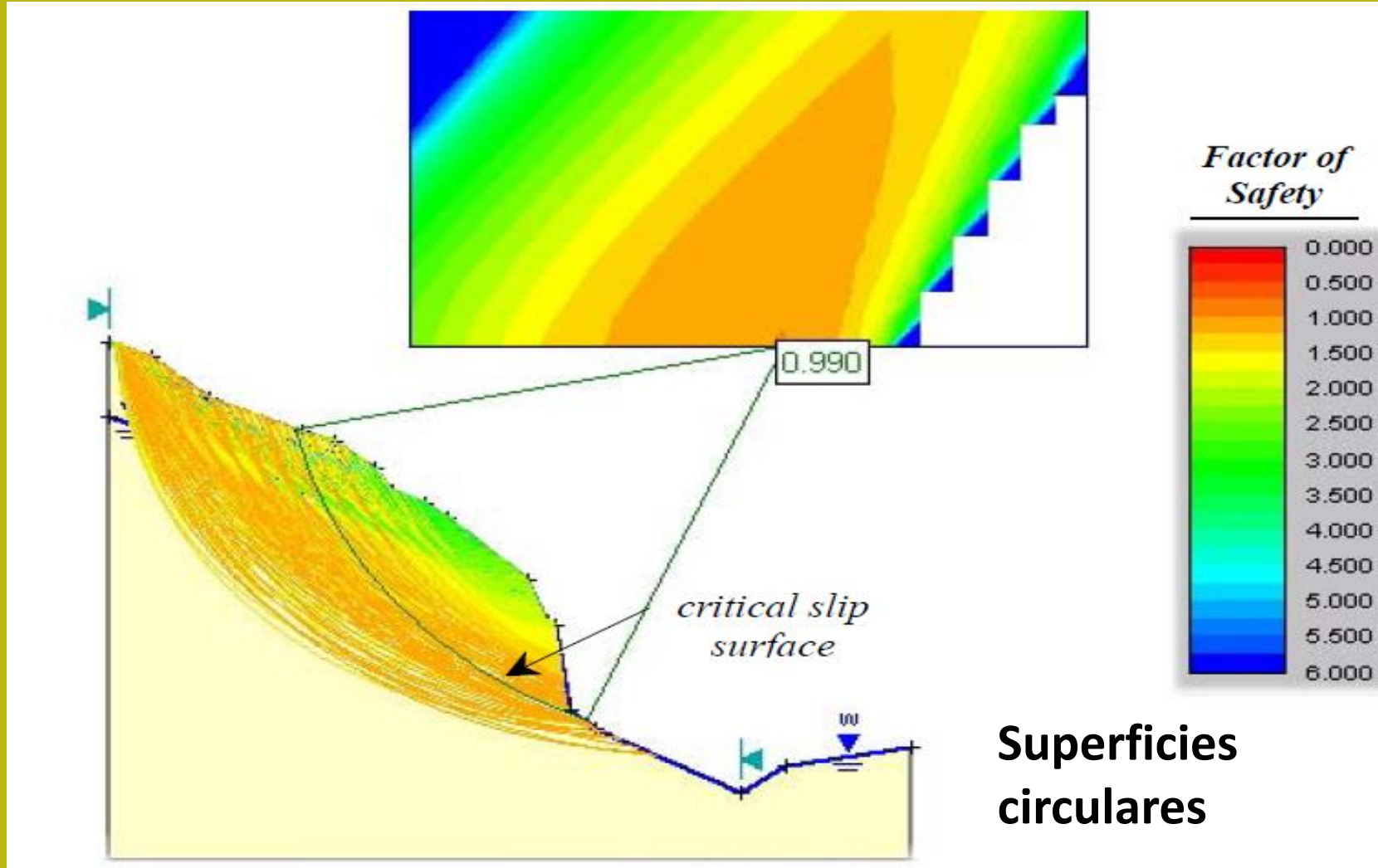
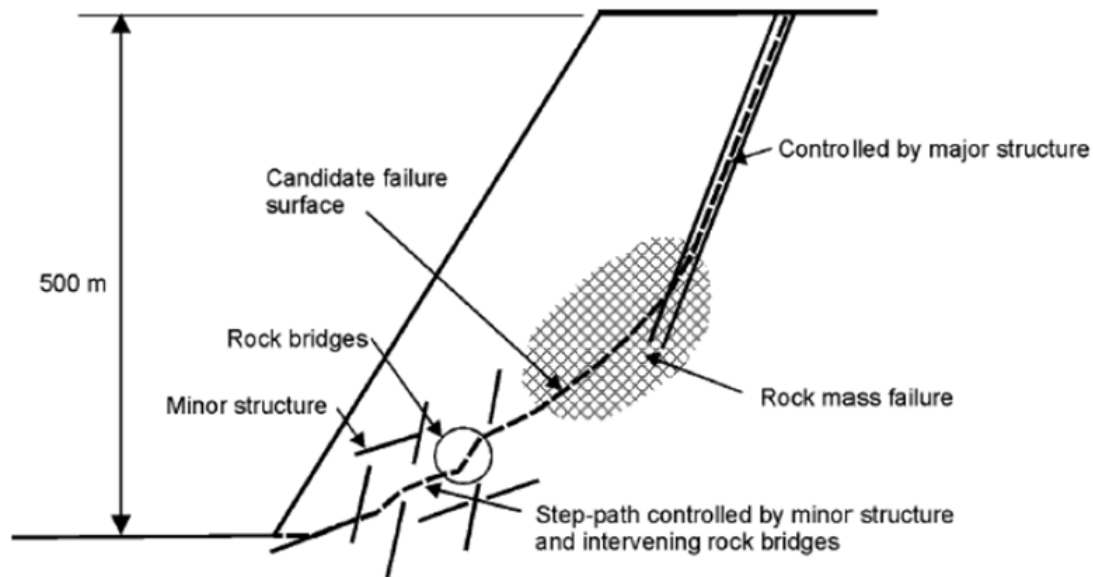
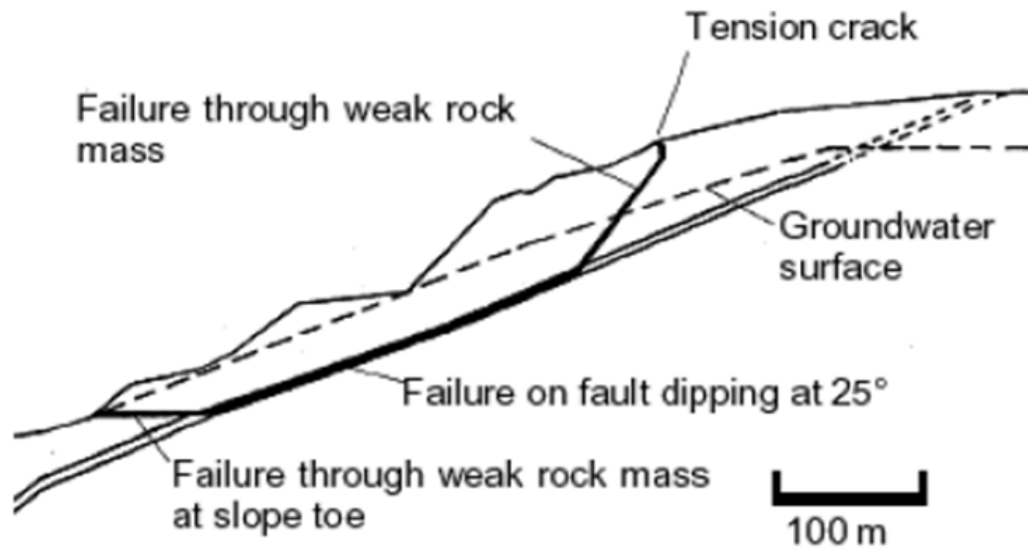


Figure C-3. Shapes for potential slip surfaces

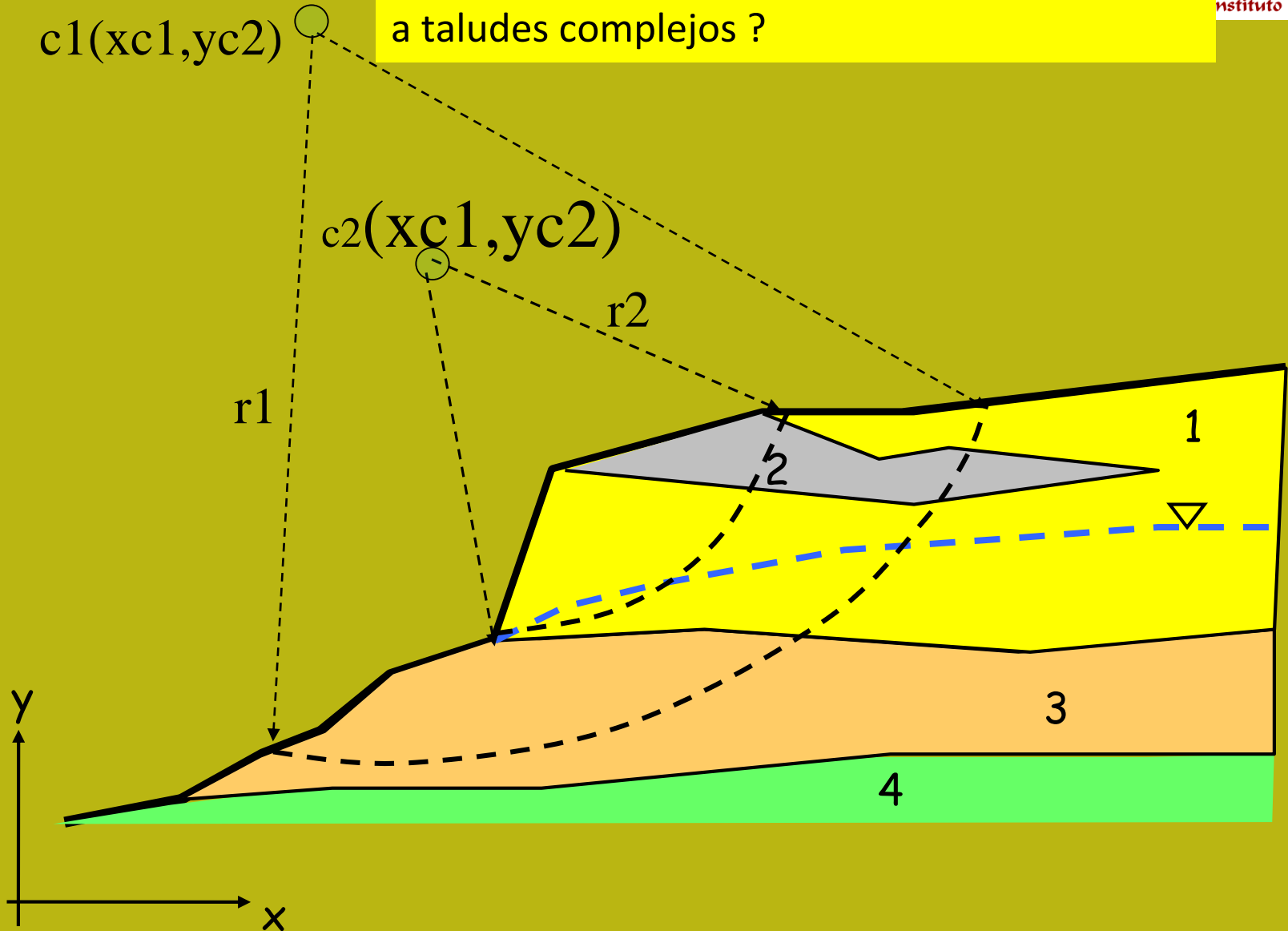
Es claro que algunos tipo de superficies circulares no pueden seguir las discontinuidades que pueden haber una fuerte influencia en le grado de estabilidad del talud. Varios autores (ABRAMSON L.W. et al. (2002); DUNCAN J.M. (1996; SARMA S.K. (1979).; CHENG Y.M. (2003); JANBU N. (1973) ) indican que el método LEM debe ser aplicado in manera diferente a pesar del grado de homogeneidad del talud y de posible discontinuidad estratigráficas y estructural.



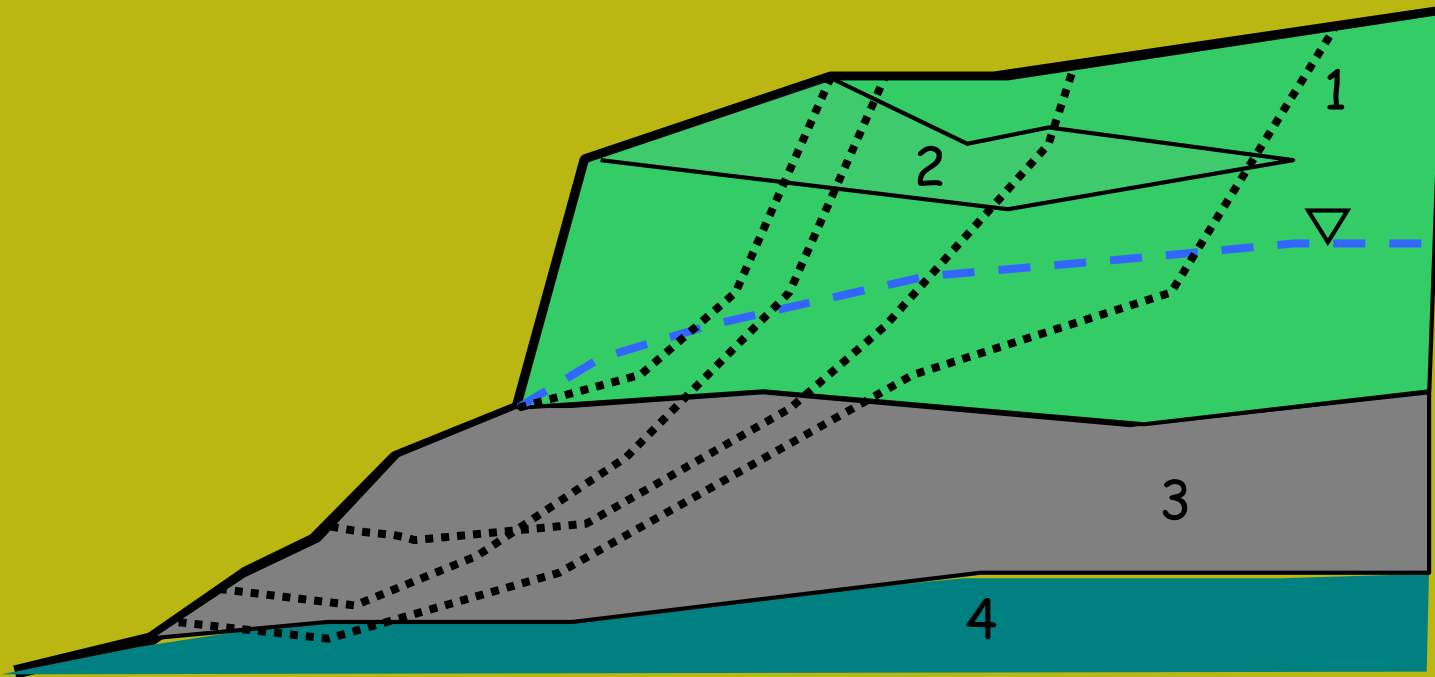




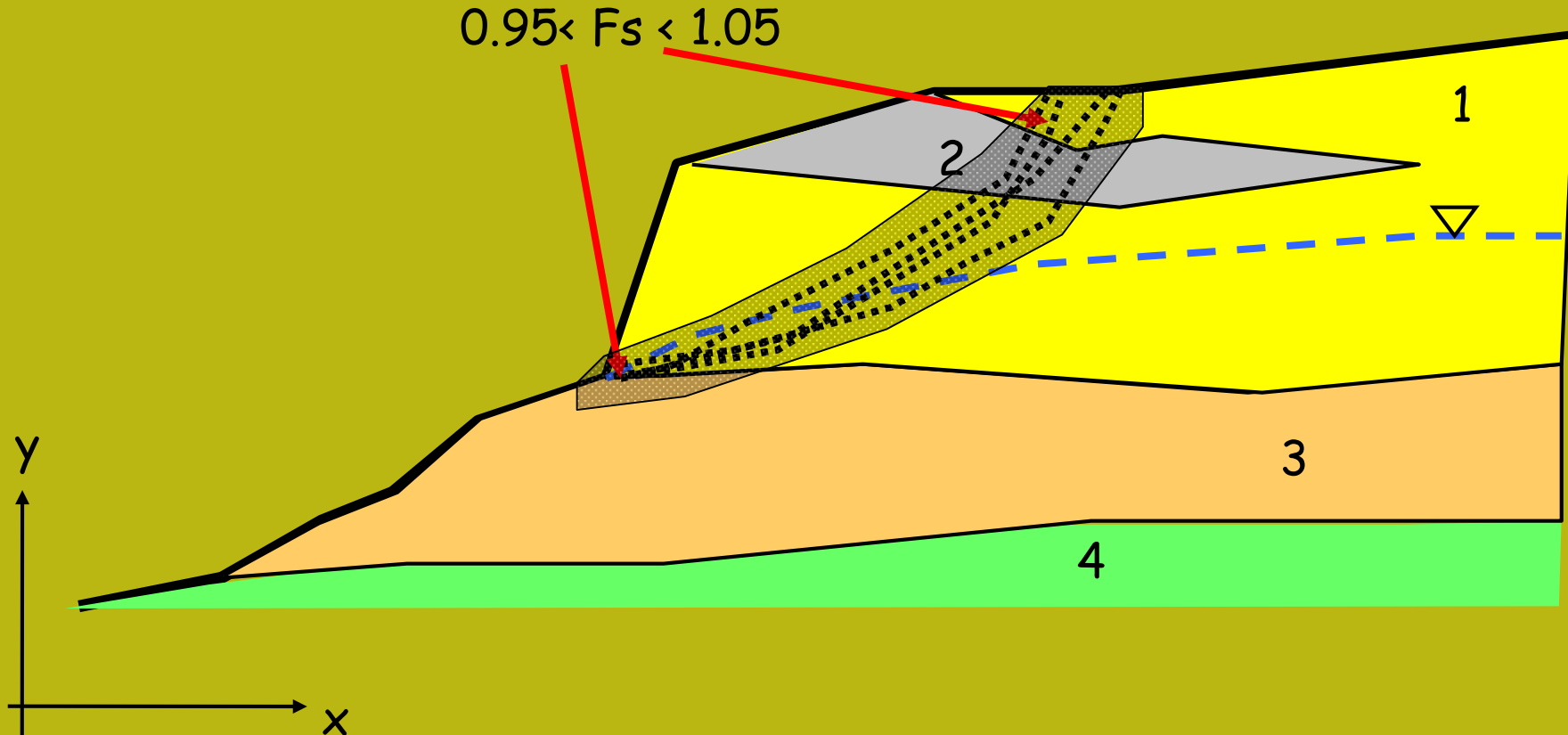
Pueden entonces  
Sistemas simplificado como este ser aplicado  
a taludes complejos ?



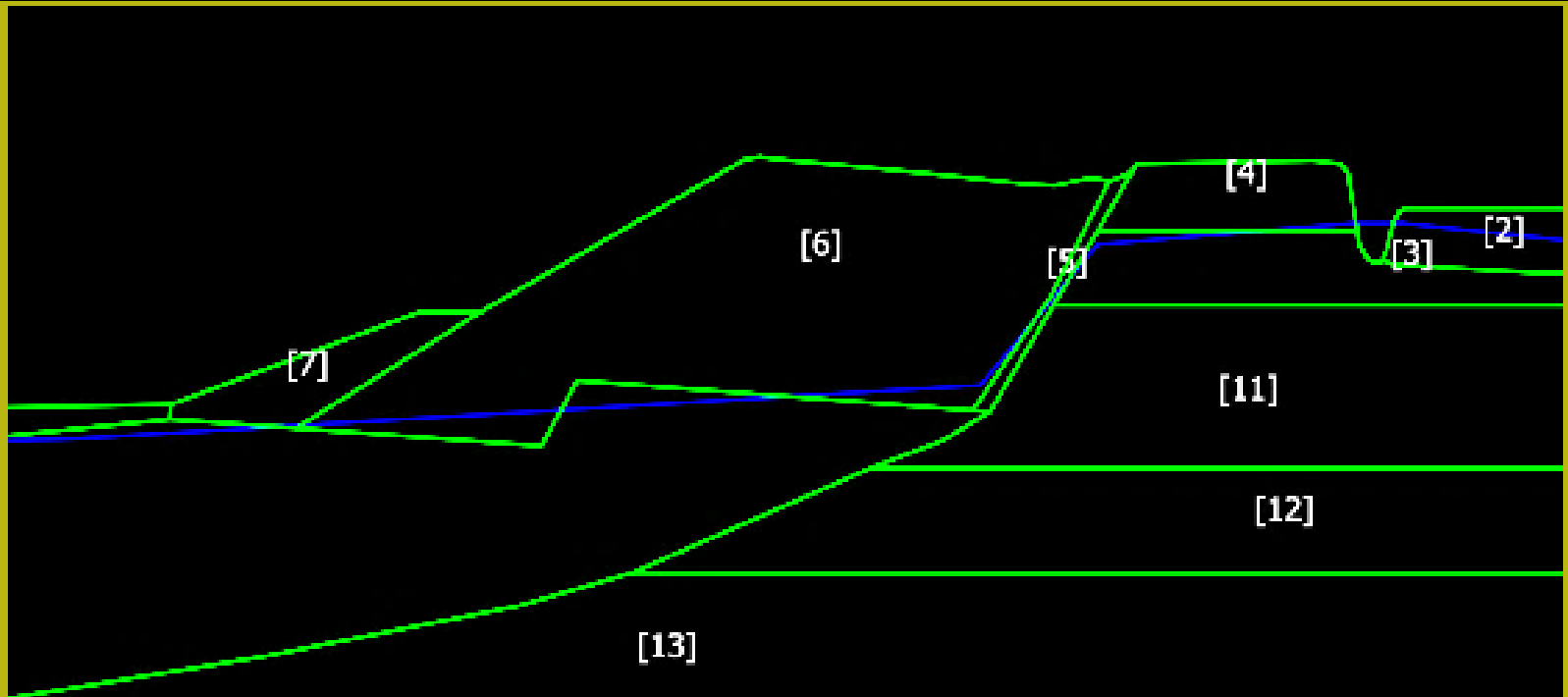
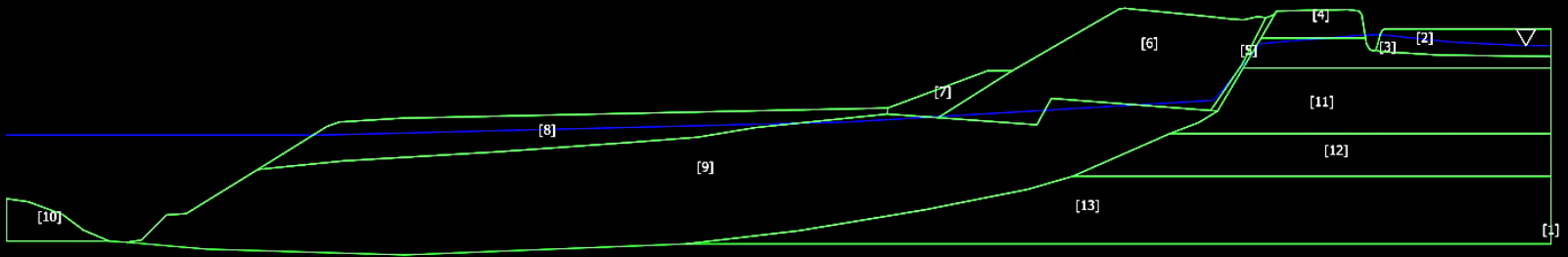
Una alternativa es la de generar superficies genéricas y mas complejas (suficientemente complejas) y en numero suficiente para explorar todas formas de deslizamiento posibles adentro el talud..



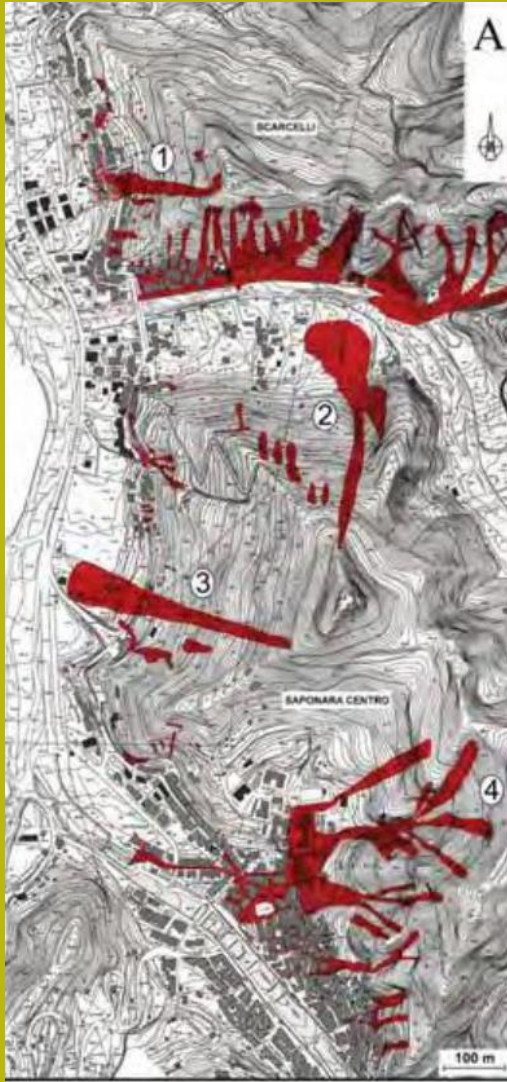
Y después la generación de una muestra significativa de superficies visualizar las con menor FS y identificar las áreas mas critica adentro el talud



# Complejidad estratigráfica



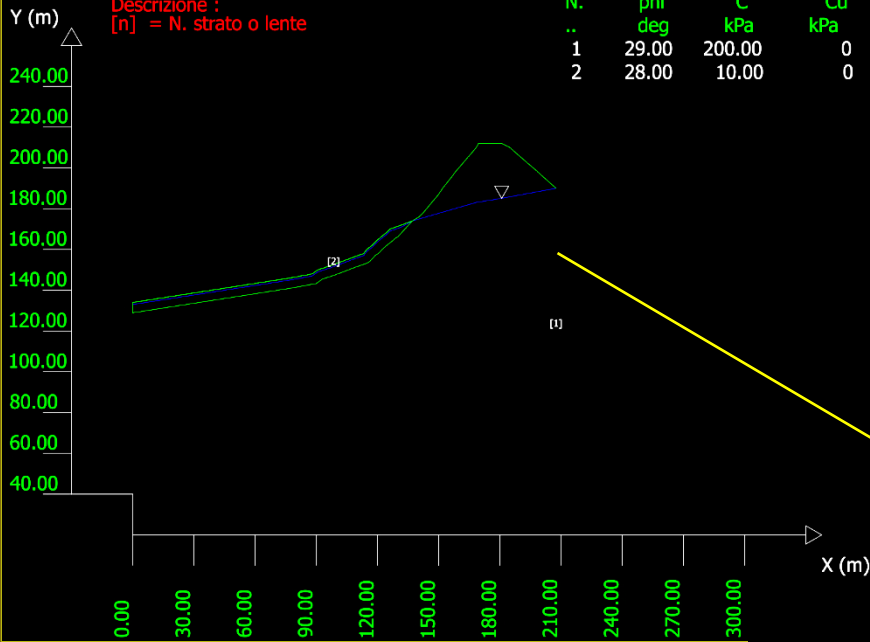
By Rasa' et al. 2011, Geologia dell'ambiente 4/11



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

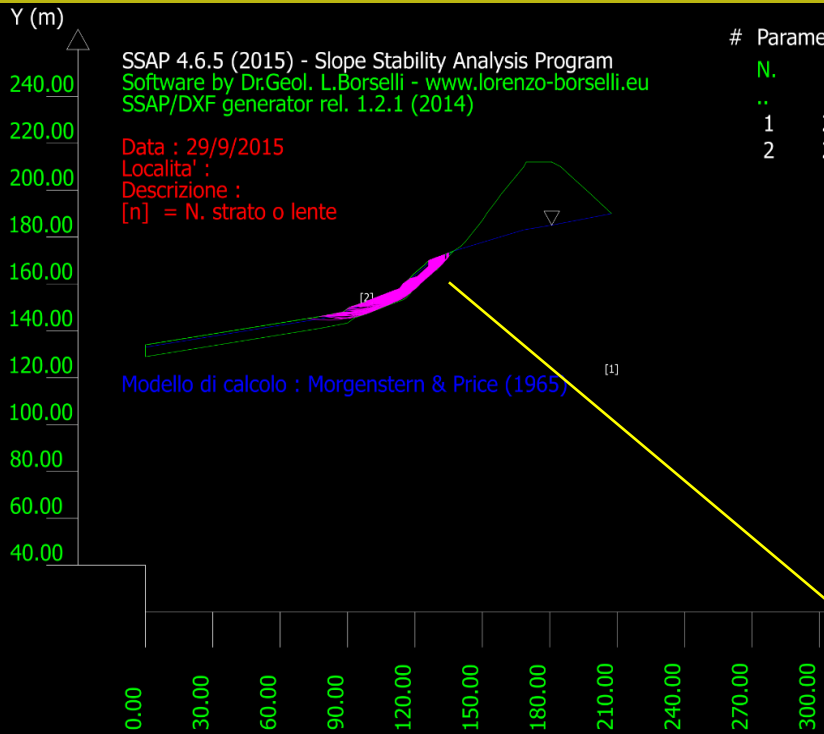
Data : 29/9/2015  
 Localita' :  
 Descripción :  
 [n] = N. strato o lente

#	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	0
2	28.00	10.00	0	16.00	19.00	0	0	0	0	0



estrato y detrítico  
 colluviale rocas  
 metamórficas y  
 calizaz





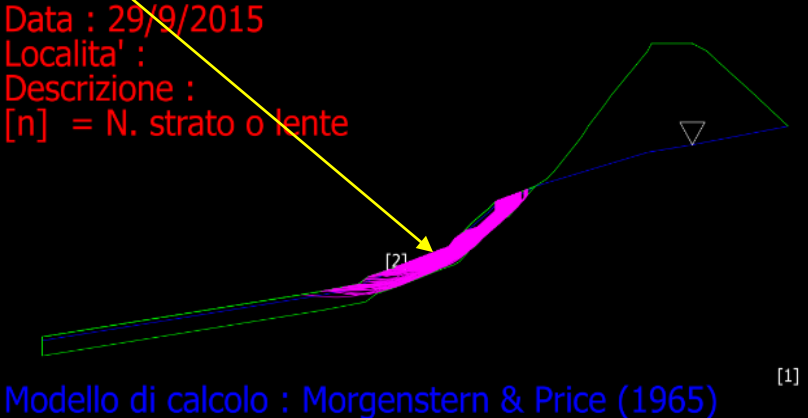
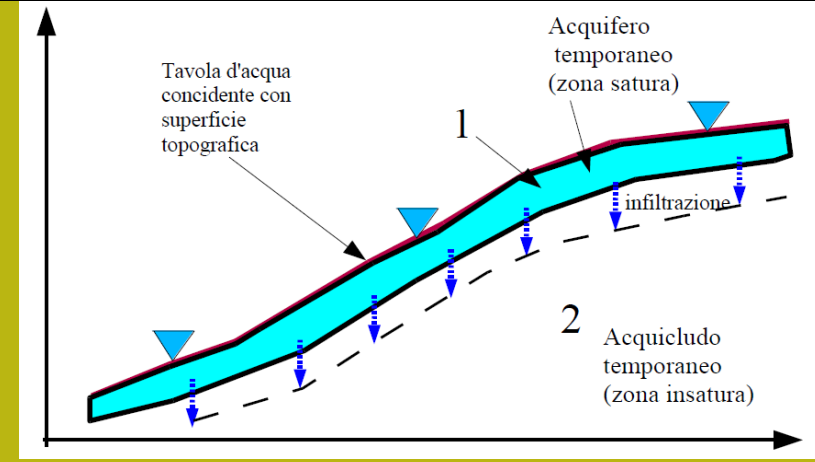
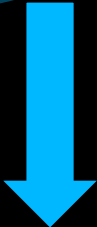
# Parametri Geotecnici degli strati #										
N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI ..	mi ..	D ..	
1	29.00	200.00	0	19.00	21.00	0	0	0	0	
2	28.00	10.00	0	16.00	19.00	0	0	0	0	

**SUPERFICI REGISTRATE CON Fs ENTRO INTERVALLO PREDEFINITO**

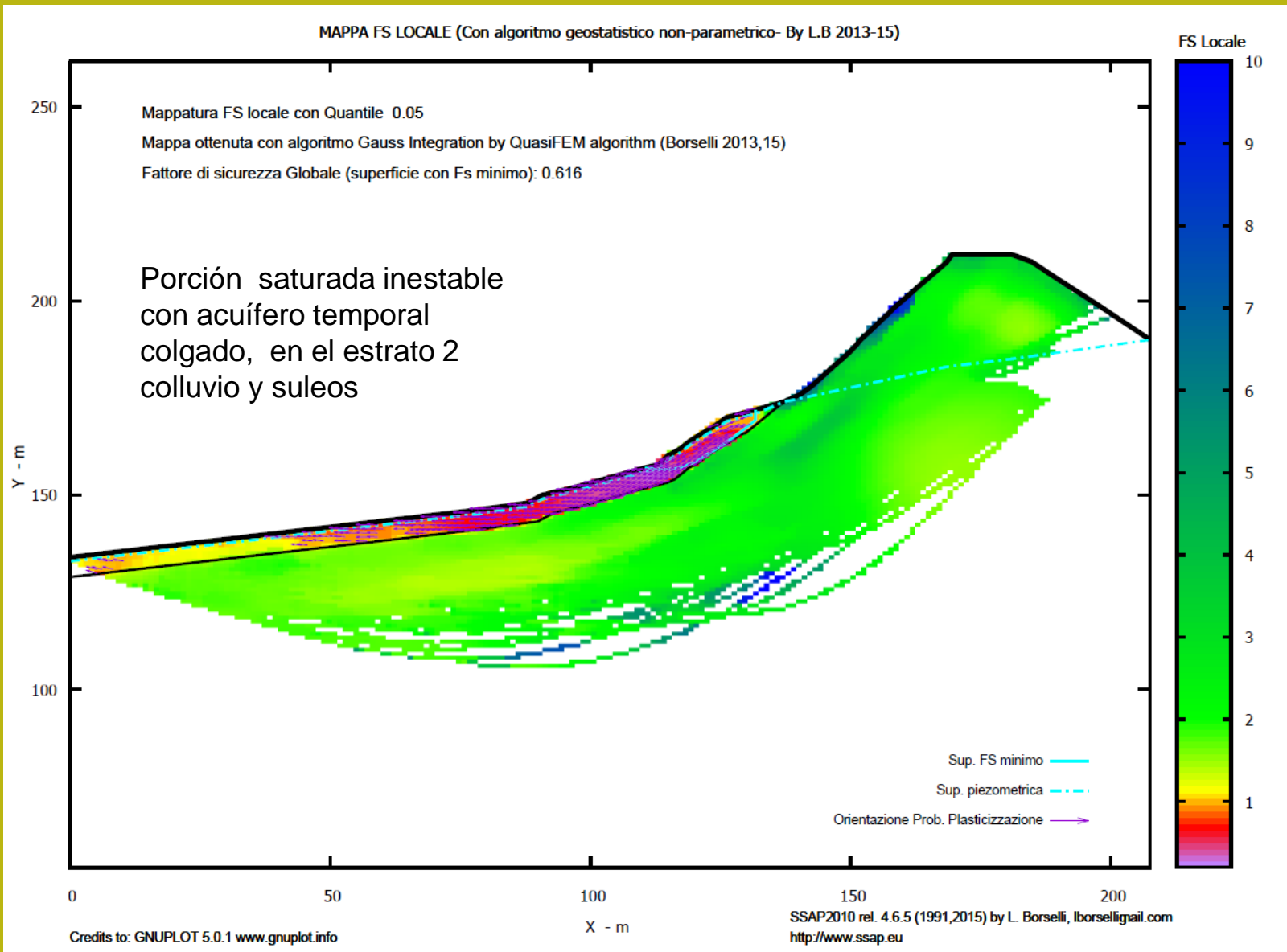
Fs minimo : 0,400  
Fs massimo : 1,000  
N.Superfici plottate : 2456  
Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.000

**GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM**

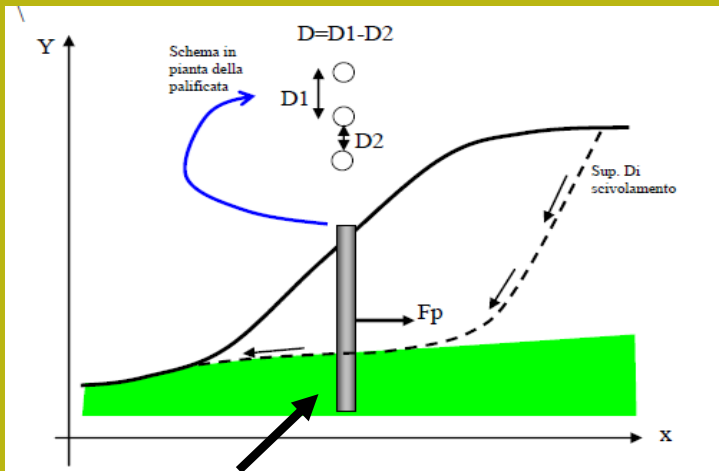
Campione Superfici - N.: 8365  
Lunghezza media segmenti (m) : 8.3  
Range X inizio generazione : 0.1 - 186.9  
Range X termine generazione : 20.9 - 203.4  
Livello Y minimo considerato : 54.2



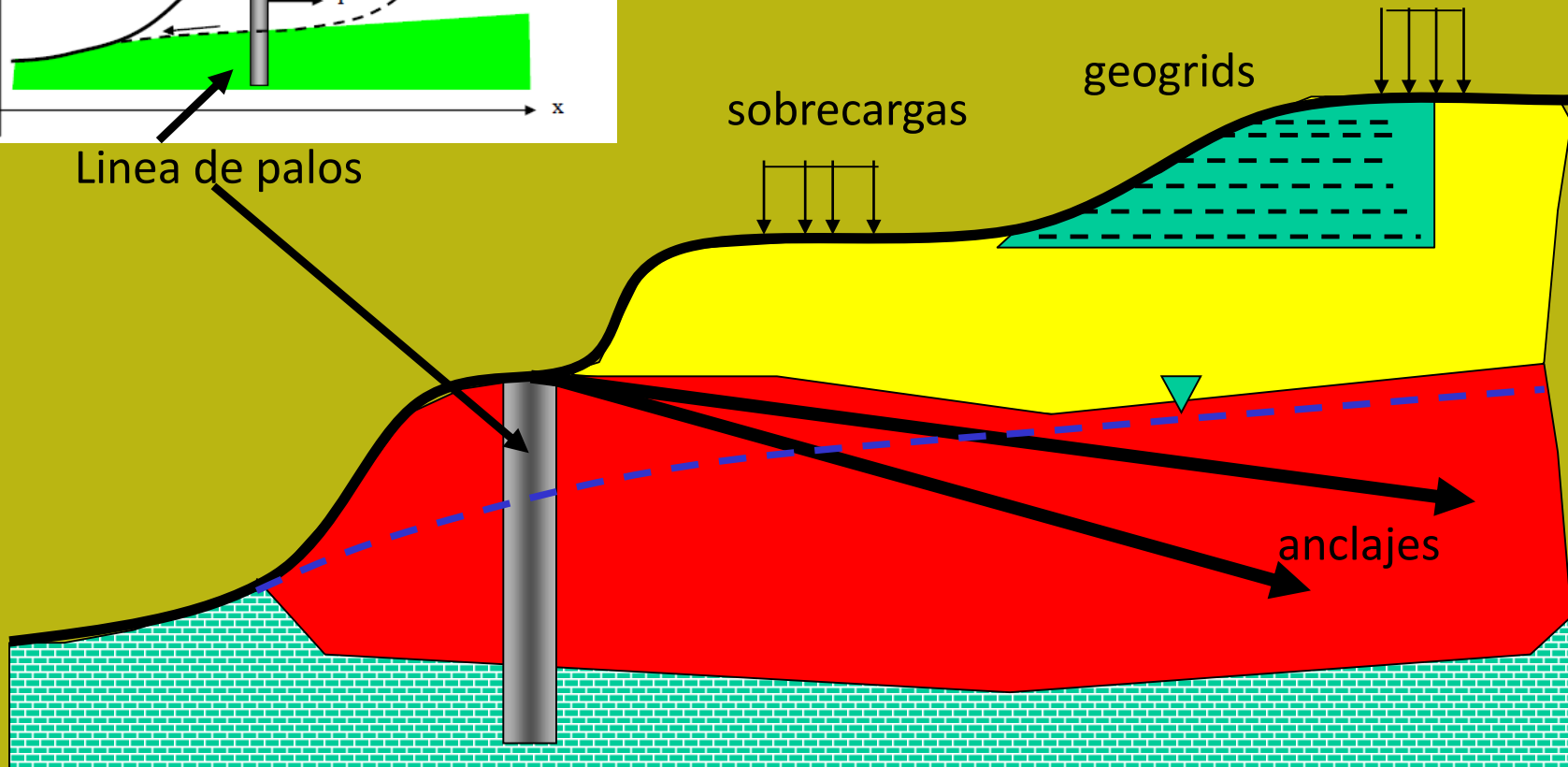




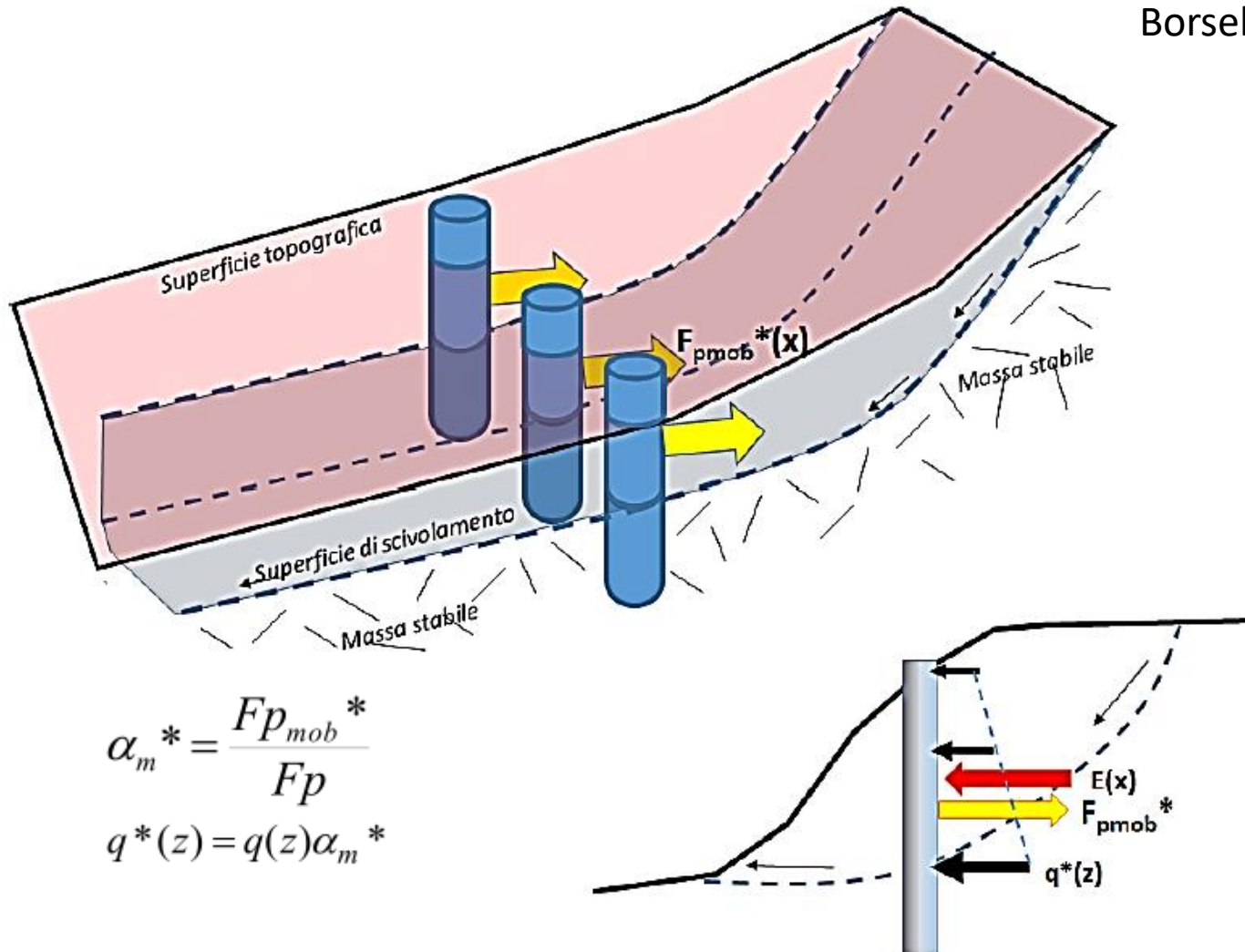
# Complejidad generada da estructuras de contención



Linea de palos



Borselli (2016)



# Recursos y herramientas para modelado y manejo complejidad:

1. Levantamiento topográfico: secciones;
2. Levantamiento geológico – geo hidrológico, geotécnico, geofísico..
3. Modelado geo-mecánico: parámetros, criterios de ruptura
4. Modelo de talud : incluye los puntos 1,2 3
5. Modelos de computo: técnicas de computo existentes (es. LEM; FEM)
6. Software (por ejemplo: SSAP) hay una galaxia de software.. Escoger con mucho cuidado ...
7. y para terminar.. el recurso mas importante : **el conocimiento , la experiencia del geólogo y ingeniero, entonces ... el uso de nuestro cerebro!**

# SSAP 2010 64bit – 4.7.8 (2016) evaluación completa de la estabilidad de taludes naturales, o con obras de refuerzo, en suelos y macizos rocoso fracturados, por medio de motores de búsqueda estocástica de las superficie críticas y métodos de calculo rigurosos de el factor de seguridad, también en presencia de sismos. [WWW.SSAP.EU](http://WWW.SSAP.EU)

SSAP 2010 (versione 4.7.8 - 2016)

**SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM**  
**release 4.7.8 (c) (1991-2016)**  
 Build No. 8863 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

**MODELLO PENDIO**  
 LEGGI MODELLO  
  
 rel. 4.7.8  
 VEDI MODELLO  
<http://WWW.SSAP.EU>  
 HELP  
 ESCI dal PROGRAMMA

**MONITOR VERIFICA**

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 : **Convex Random Search (CRS)**  
 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 : **9.1232**  
 INTERVALLO Fs delle 10 SUPERFICI CON MINOR Fs : **1.5353 - 1.6754**  
 n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE: **1449 di 10000**  
 % EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA : **37.224 -- 96.66**

**PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETATE(%)**: 14.49

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.



ssap2003.exe File Parametri Verifiche Tools Batch mode Help Free Heap: 15.235.968

2003

Da SSAP ... 2.9 a SSAP 4.7.2



About...SSAP 2003



2010 – rel. 4.0.  
FREEWARE

2013 – rel 4.2.2

2014 – rel 4.3.2

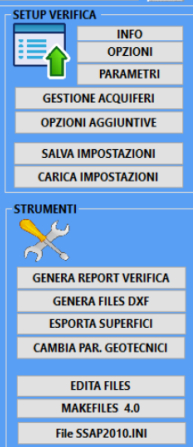
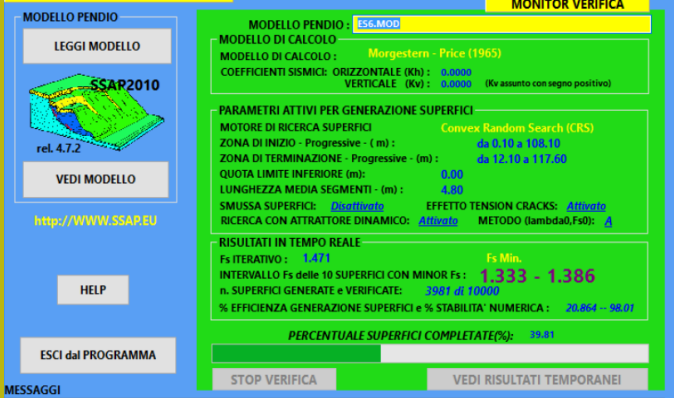
2015 – rel 4.6.0

2016 – rel 4.7.2

ALT-X = Exit



Este software se desarrollo en el curso de 25 años (1991-2016) Escribiendo da cero todas la rutinas de calculo y graficas..



Software enteramente freeware (de uso libero , pero no open source)  
Por el momento es solo en Italiano.. Con un proyecto de traducción integral  
en español y ingles ).



special credits:  
**CONACYT:**  
Proyecto Ciencia Basica CB-  
2012/184060



**SSAP2010**  
**(rel. 4.7.2)**  
versione **PORTABLE**  
(installabile su chiavi USB  
e senza bisogno di  
configurazioni)

[Perche' SSAP?](#)



[Caratteristiche  
general.](#)

## SSAP2010

*(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)*

Versione 4.7.2 (2016) - Win 32 e 64 Bit  
(9 aprile 2016)

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



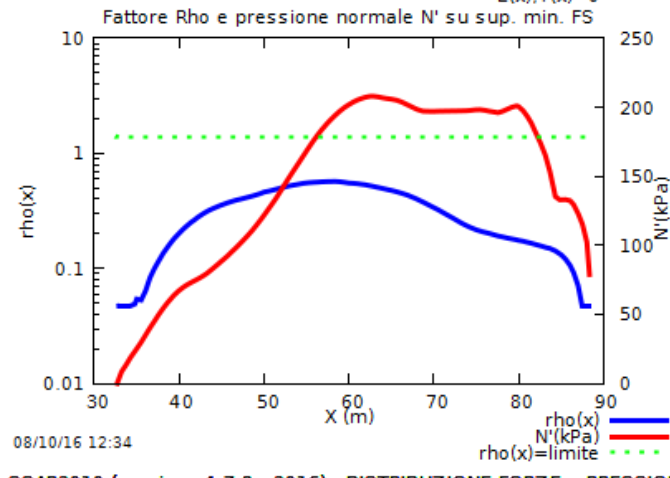
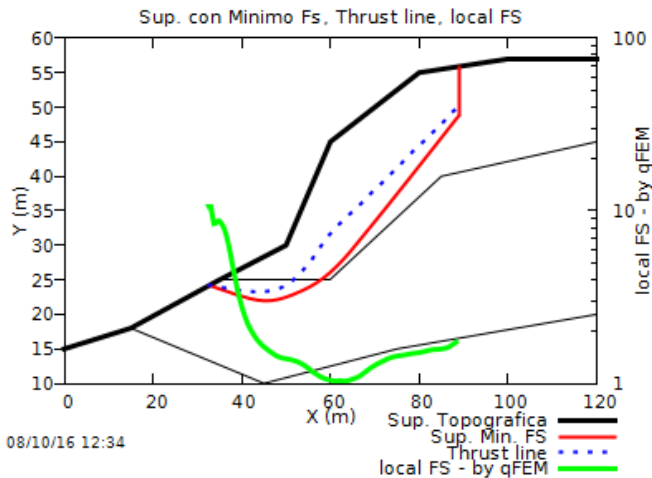
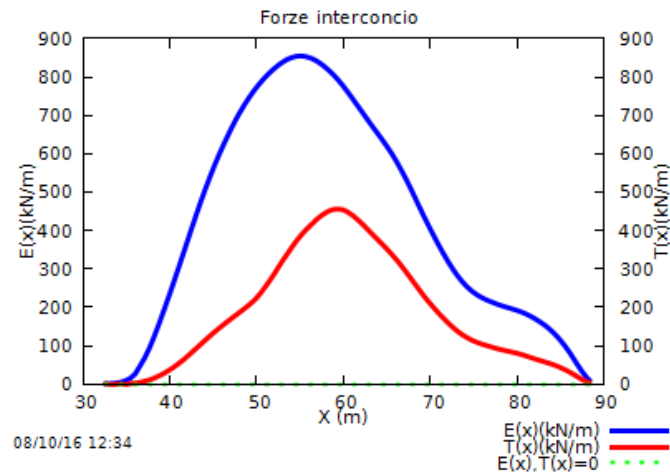
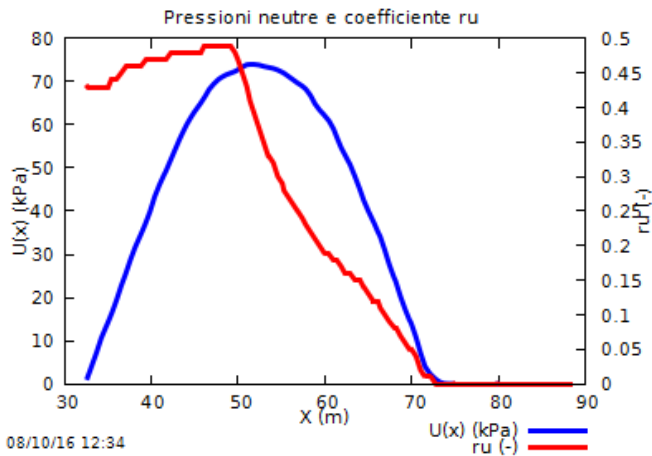
[Informazioni su Corsi SSAP](#)  
(esclusivamente organizzati da enti senza fini di lucro)  
**!! Prossimi Corsi SSAP organizzati in italia !!**

- [Corso Base SSAP](#), 26-27 Aprile 2016, Bologna - organizzato congiuntamente dal [Collegio degli Ingegneri della Provincia di Bologna](#) e dall' [Ordine dei Geologi della Emilia Romagna](#).  
Contattare direttamente le Segreterie degli Ordini : Collegio ingegneri BO ( [formazione@ordingbo.it](mailto:formazione@ordingbo.it) ) , ordine Geologi Emilia Romagna ( [apc@geologiemiariromagna.it](mailto:apc@geologiemiariromagna.it) )  
programma e scheda di iscrizione: [\(qui\)](#)

pagina web [WWW.SSAP.EU](http://WWW.SSAP.EU)







SSAP2010 (versione 4.7.8 - 2016) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

## Ejemplo de interfaz usuario

SSAP 4.7.8 - ventana gráficos múltiples de distribución de fuerzas internas y presiones

### GESTIONE ACQUIFERI

**ACQUIFERI DISATTIVABILI**

Acquifero Strato 1

Acquifero Strato 2

Acquifero Strato 3

**CARATTERISTICHE FLUIDO**

Gamma fluido (kN/m<sup>3</sup>)

Coefficiente A

Coefficiente K

Uo minima (kPa)

**GESTIONE PIEZOMETRICHE**

Esclusione sovraccarichi pendii sommersi

Esclusione sovraccarico fino alla Progressiva (m)

HELP

**Ejemplo de interfaz usuario :**

**Gestione acuíferos y parámetros de generaciones superficies random**

### PARAMETRI GEOMETRICI VERIFICHE DI STABILITA'

LUNGHEZZA MEDIA (m) SEGMENTI DELLE SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO

**DEFINIZIONE DELLA ZONA DI INIZIO**

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

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

QUOTA (Yo) ZONA PROIBITA INFERIORE (m)

**DEFINIZIONE DELLA ZONA DI TERMINAZIONE**

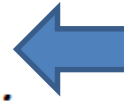
ASCISSA LIMITE SINISTRO (X1) DI TERMINAZIONE (m)

ASCISSA LIMITE DESTRO (X2) DI TERMINAZIONE (m)

NUMERO MASSIMO SUPERFICI DA GENERARE

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

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

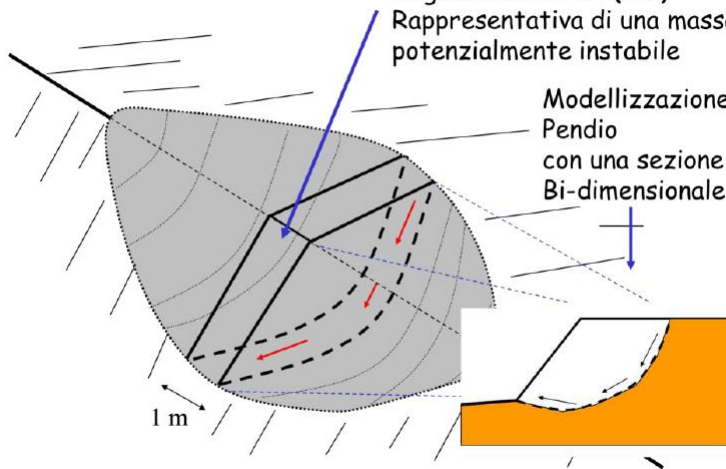


**Verifica de estabilidad con método de equilibrio limite (LEM)**  
**Exclusivamente métodos de cálculo Rigurosos:**

Verifica di stabilità 3D→2D

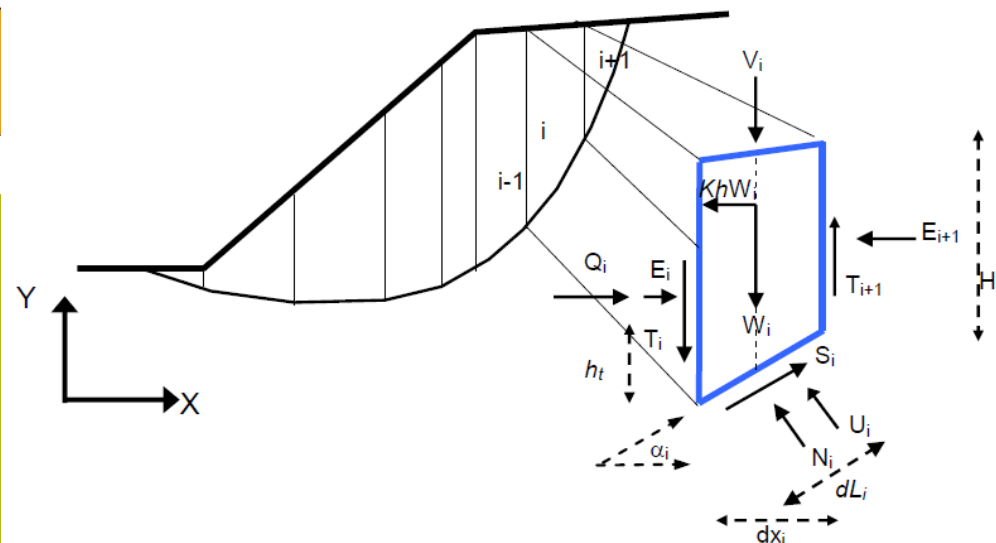
Verifica su striscia di larghezza unitaria (1 m)  
 Rappresentativa di una massa potenzialmente instabile

Modellizzazione Pendio con una sezione Bi-dimensionale

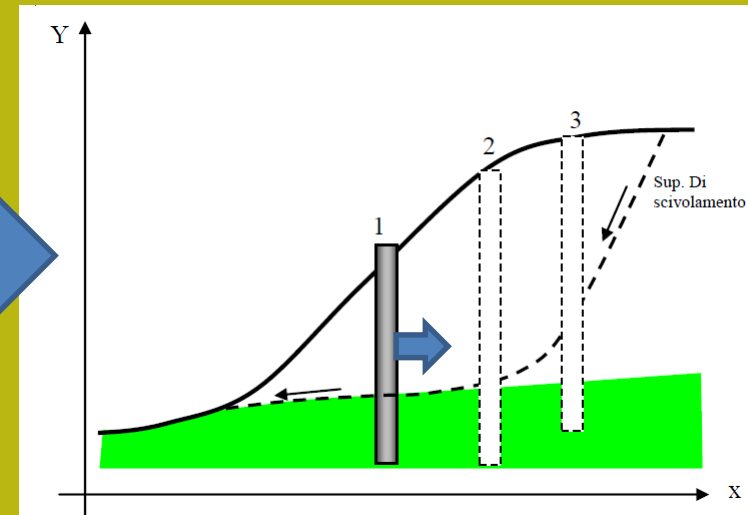
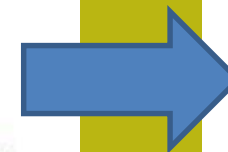
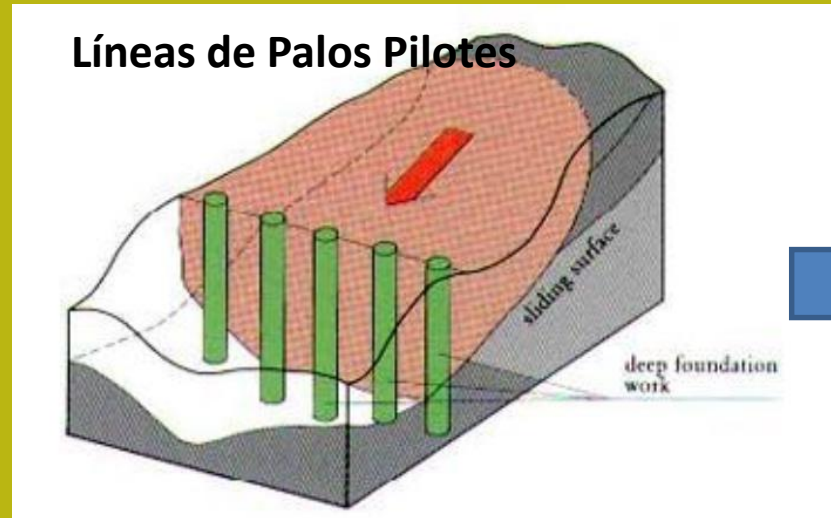
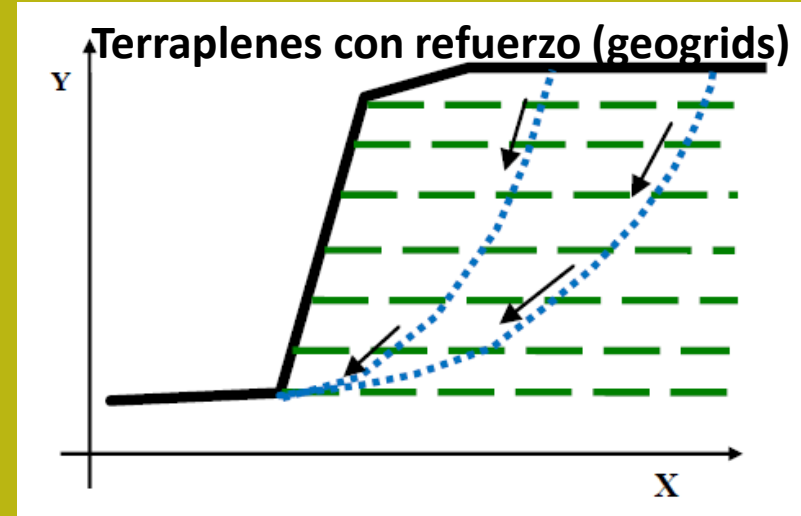
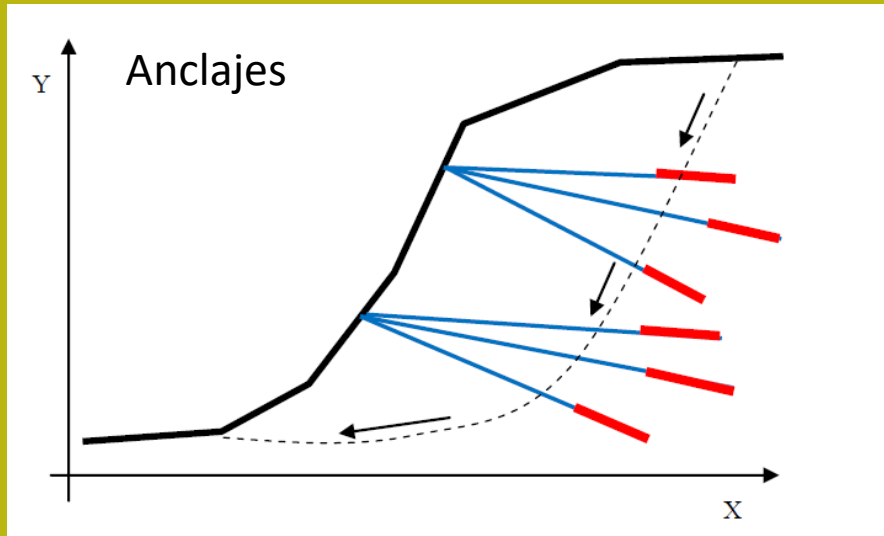


$$\left\{ \begin{aligned} F_s &= \frac{f(N_{(x)}, U_{(x)}, \alpha_{(x)}, T_{(x)}, V_{(x)}, dx_{(x)}, Q_{(x)}, F_s)}{f(\alpha_{(x)}, W_{(x)}, V_{(x)}, dx_{(x)}, T_{(x)}, \lambda)} \\ \lambda &= \frac{f(dx_{(x)}, E_{(x)}, \alpha_{(x)}, W_{(x)}, V_{(x)}, Q_{(x)})}{f(dx_{(x)}, T_{(x)}, \lambda)} \end{aligned} \right.$$

Da Borselli(2016).  
 Manual SSAP2010 rel. 4.7.8  
[www.ssap.eu/manuale\\_ssap2010.pdf](http://www.ssap.eu/manuale_ssap2010.pdf)

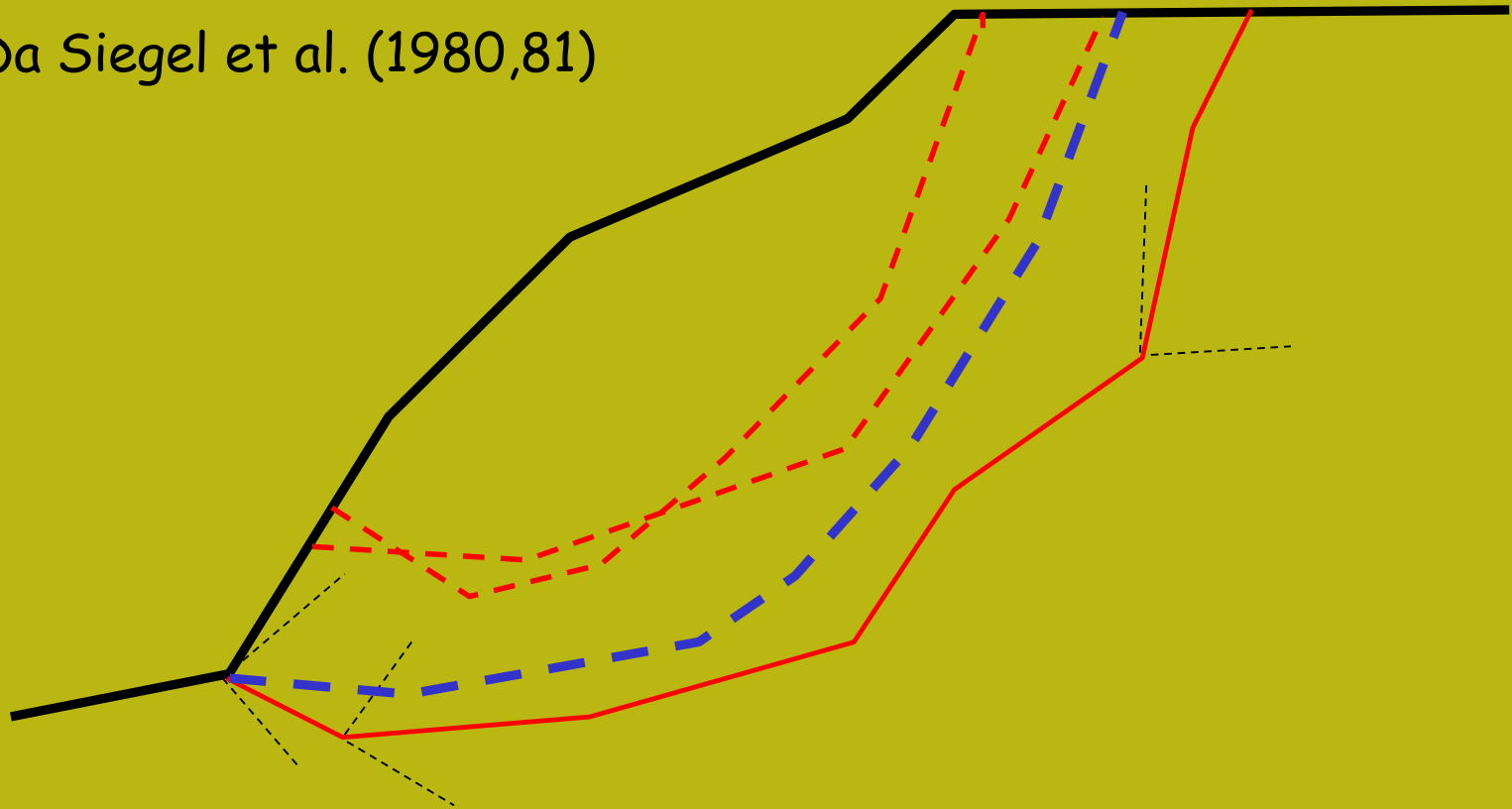


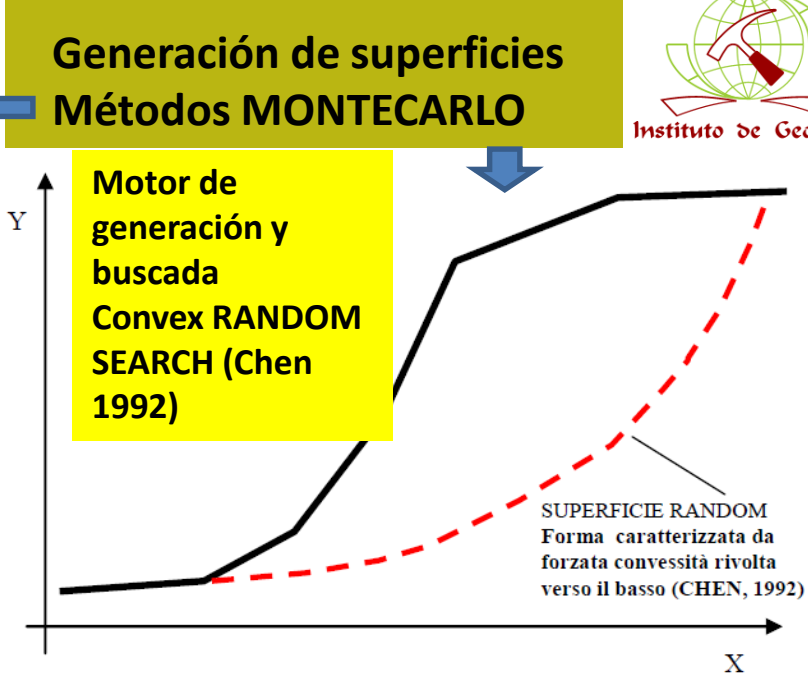
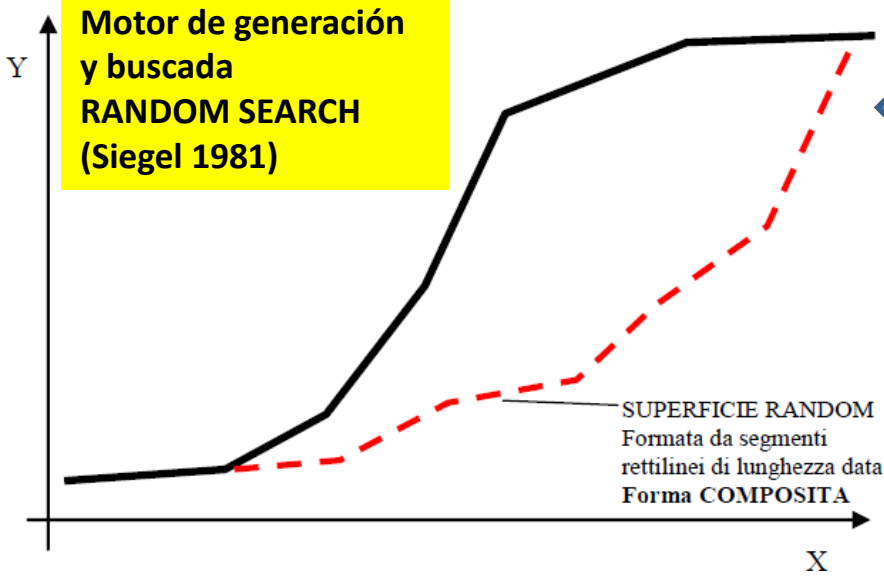
# Elementos y de refuerzo Y obras que es posible incluir en SSAP



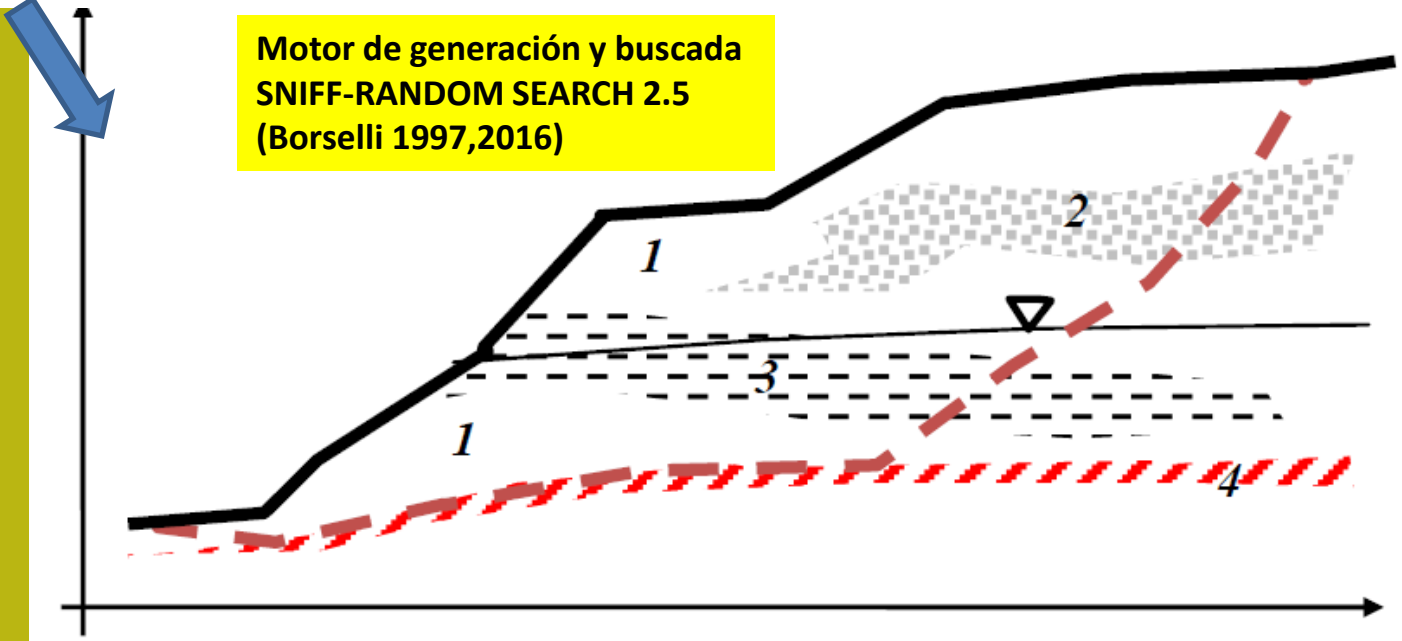
# Superficies genéricas - Generación *random Monte Carlo* que Disfruta la posibilidad de la computadora de generar secuencias infinitas de números aleatorios (*random*)

Da Siegel et al. (1980,81)





**Generación de superficies. Metodo Hibrido  
(Sistema experto + Montecarlo)**



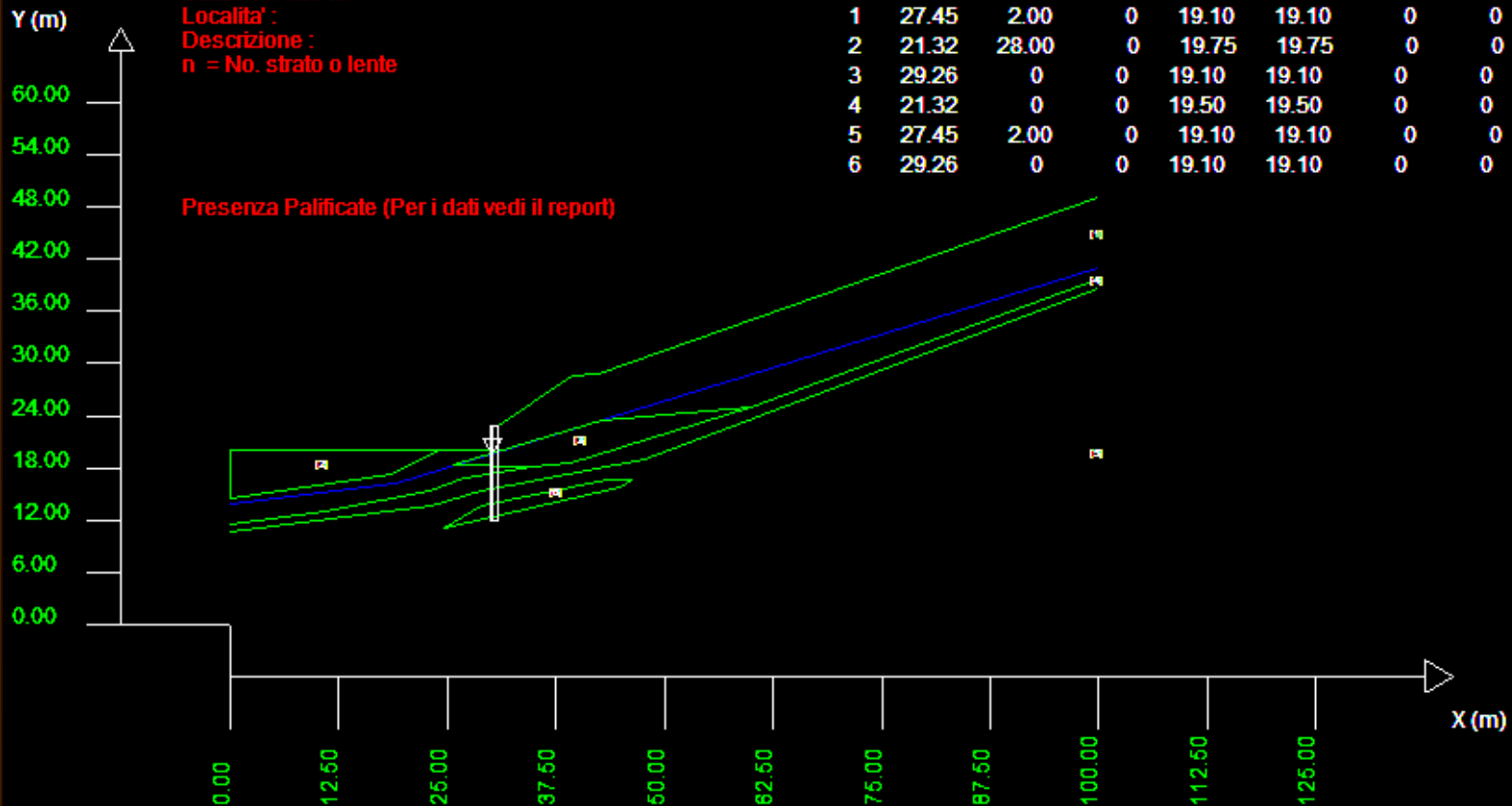
# Los diferentes motores de generación y búsqueda de SSAP (con su 9 variantes) pueden tratar caso complejos como este..

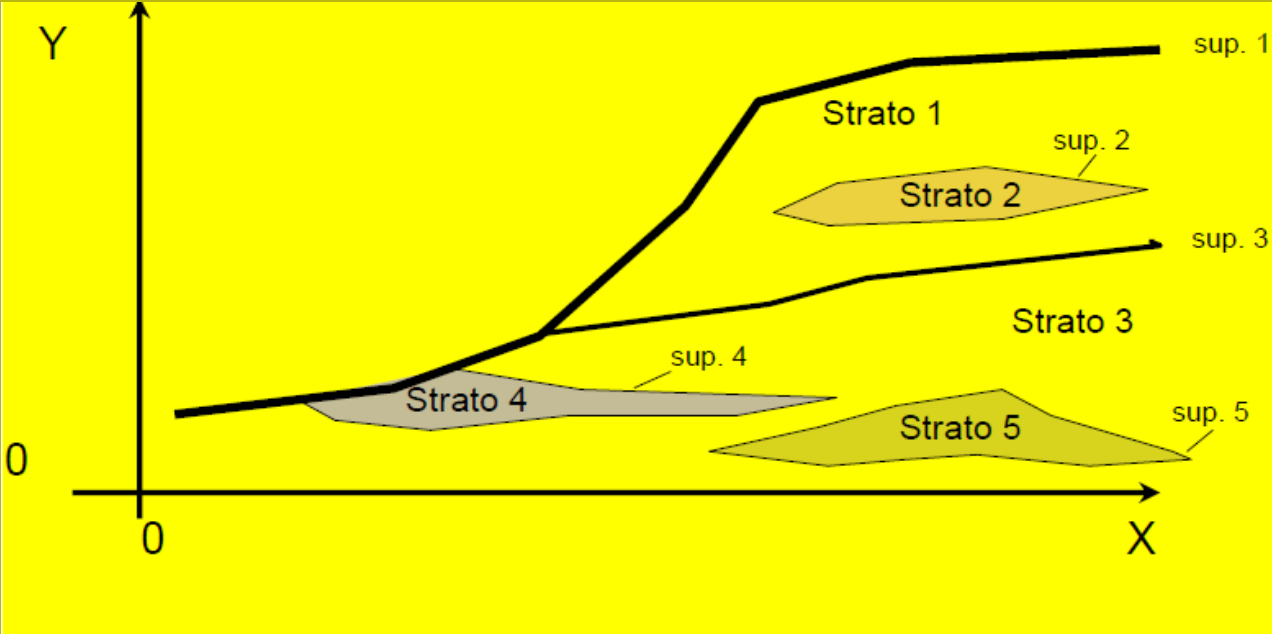
SSAP 4.2.0 (2012) - Slope Stability Analysis Program  
Software by Dr. Geol. L. Borselli - [www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu)  
SSAP/DXF generator rel. 1.1.0 (2012)

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

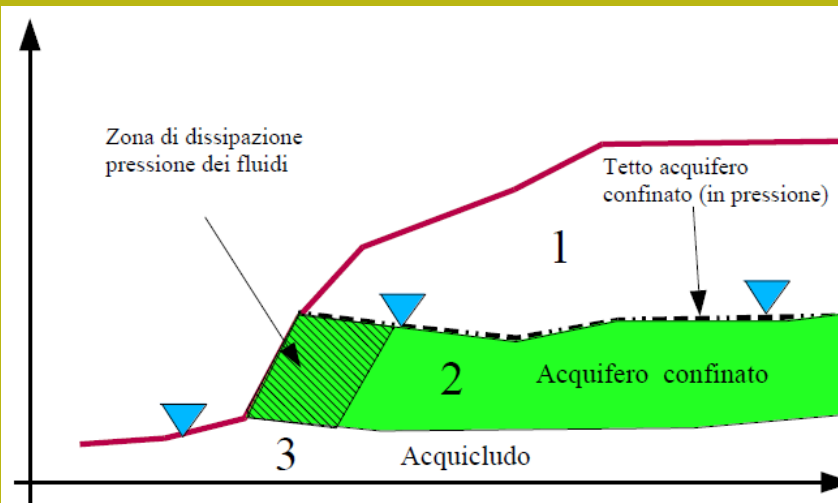
# Parametri Geotecnici degli strati #

N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	27.45	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 </tr			





**Complejidad  
estratigráfica  
Max(20 estratos)**



**Módulo Gestión acuíferos hasta in presión,  
superficiales y temporáneos colgados**

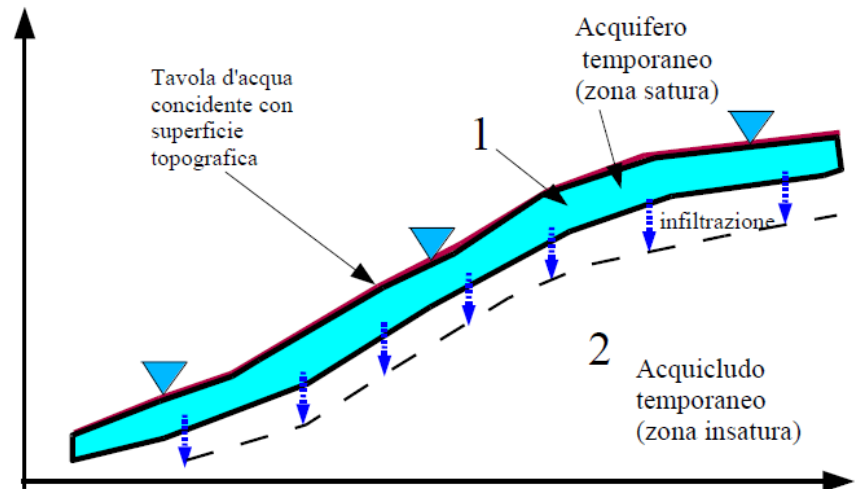
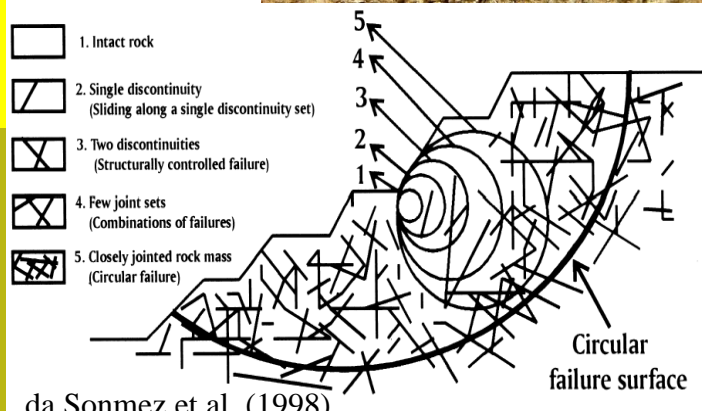
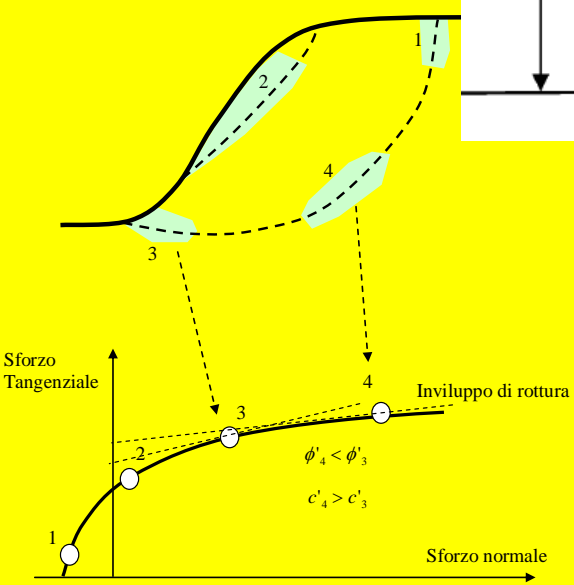
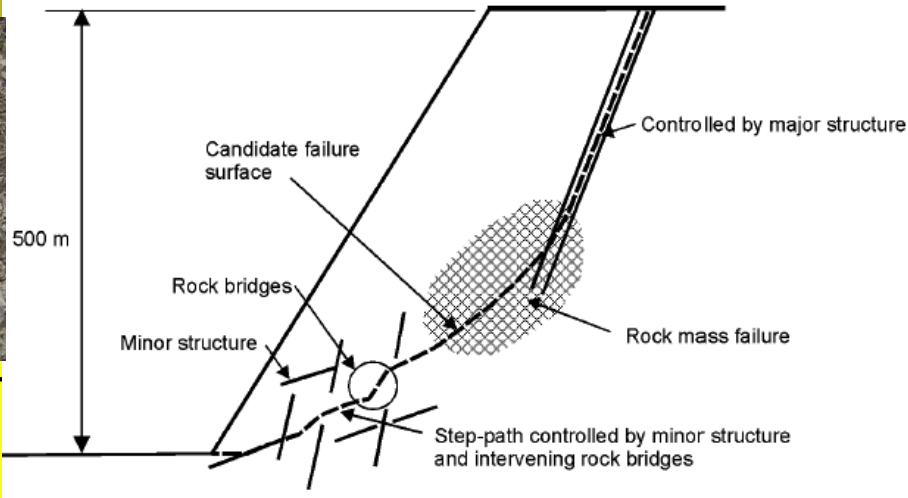


Figura E.2



# Aplicación en macizo rocosos por medio de criterio de ruptura de Hoek et al 2002-2007 y clasificación GSI del macizo rocoso fracturado



da Sonmez et al. (1998)

STRUCTURE	TYPICAL PROBLEMS
Landslides.	Complex failure along a circular or near circular failure surface involving sliding on faults and other structural features as well as failure of intact materials.
Soil or heavily jointed rock slopes.	Circular failure along a spoon-shaped surface through soil or heavily jointed rock masses.
<del></del> Jointed rock slopes.	<del>Planar or wedge sliding on one structural feature or along the line of intersection of two structural features.</del>
<del></del> Vertically jointed rock slopes.	<del>Toppling of columns separated from the rock mass by steeply dipping structural features which are parallel or nearly parallel to the slope face.</del>
<del></del> Loose boulders on rock slopes.	<del>Sliding, rolling, falling and bouncing of loose rocks and boulders on the slope.</del>

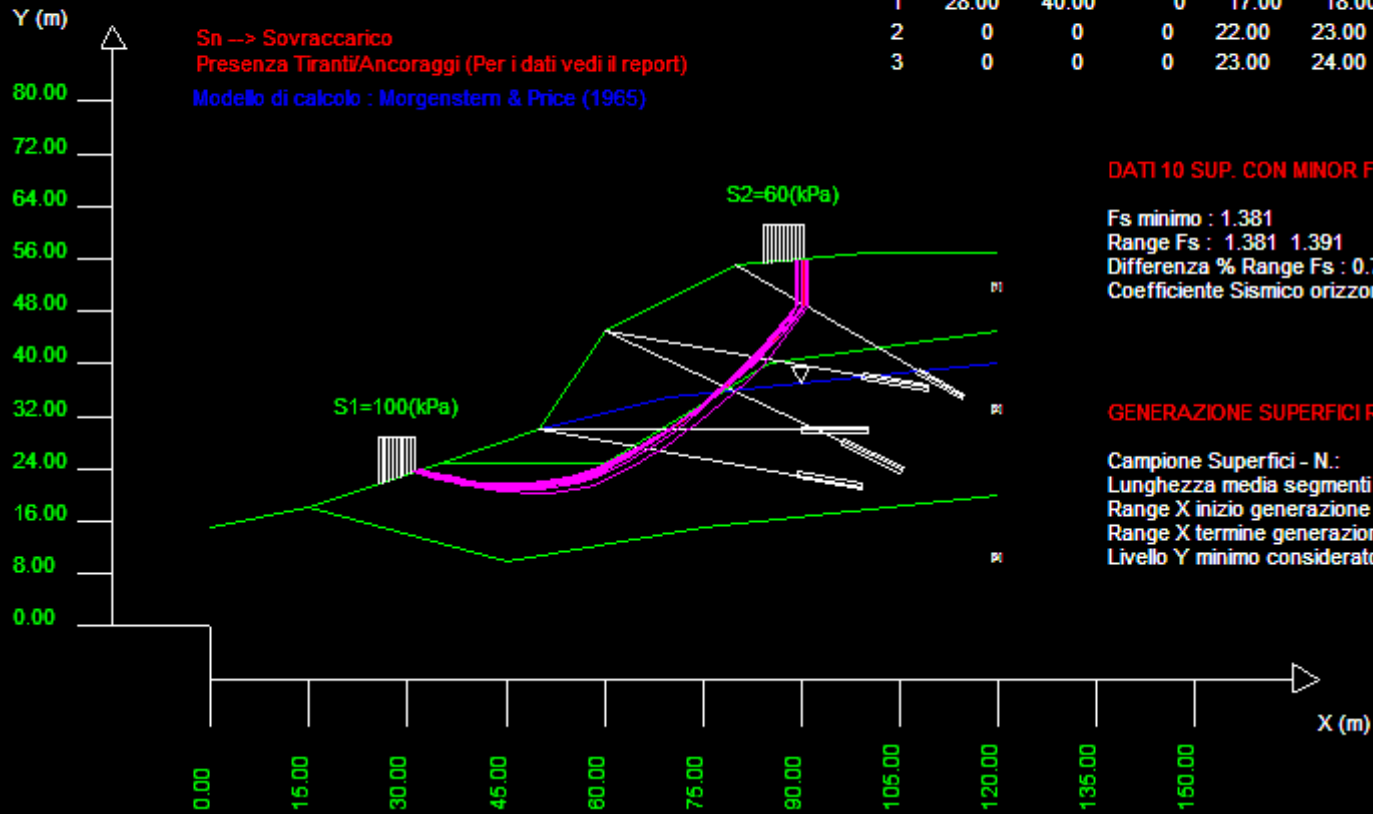
SSAP 4.2.0 (2012) - Slope Stability Analysis Program  
Software by Dr. Geol. L. Borselli - [www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu)  
SSAP/DXF generator rel. 1.1.0 (2012)

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

# Parametri Geotecnici degli strati #

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

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



DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

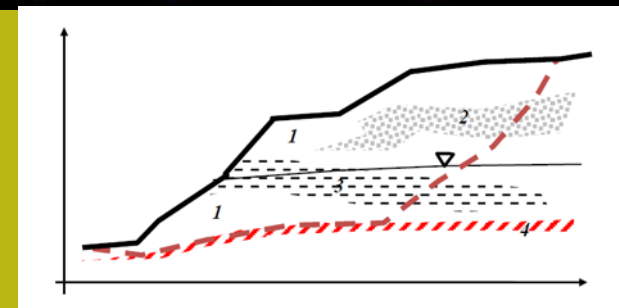
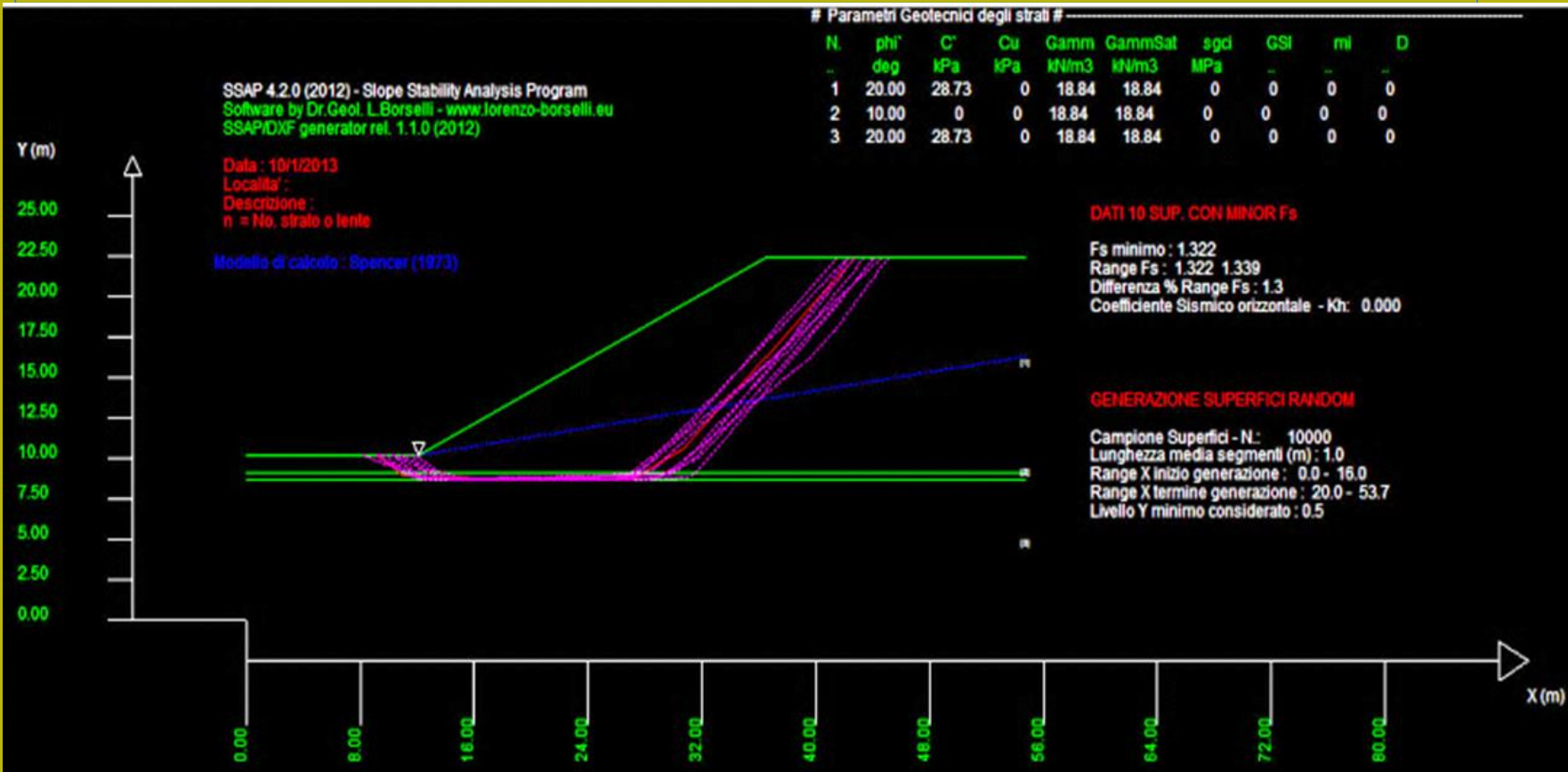
Fs minimo : 1.381  
Range Fs : 1.381 1.391  
Differenza % Range Fs : 0.7  
Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.000

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

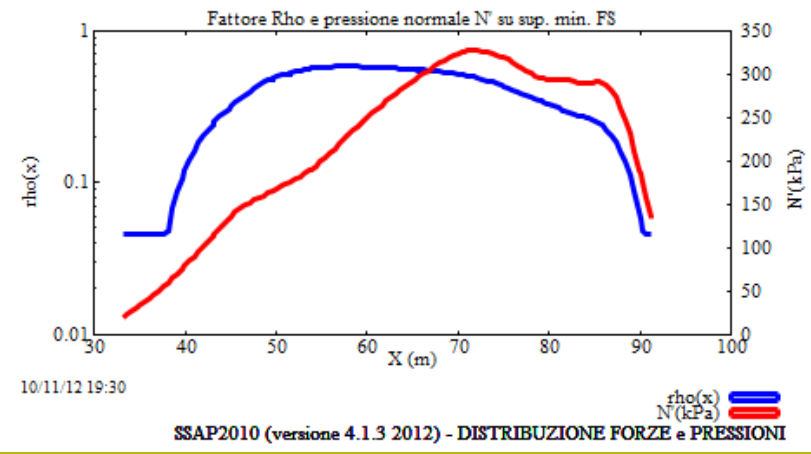
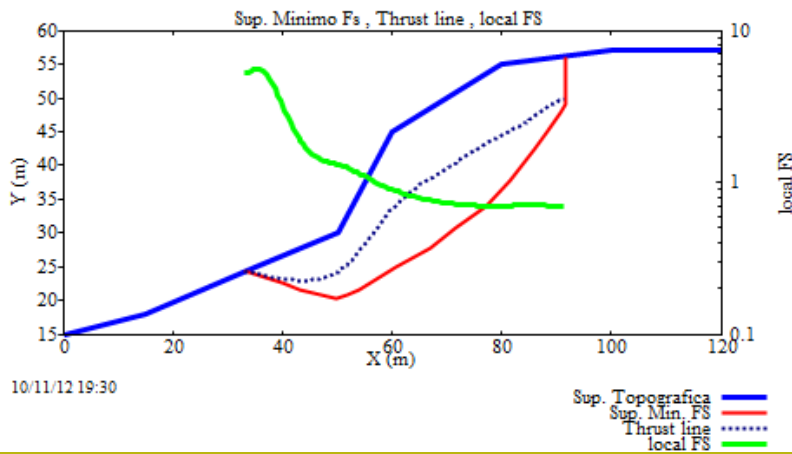
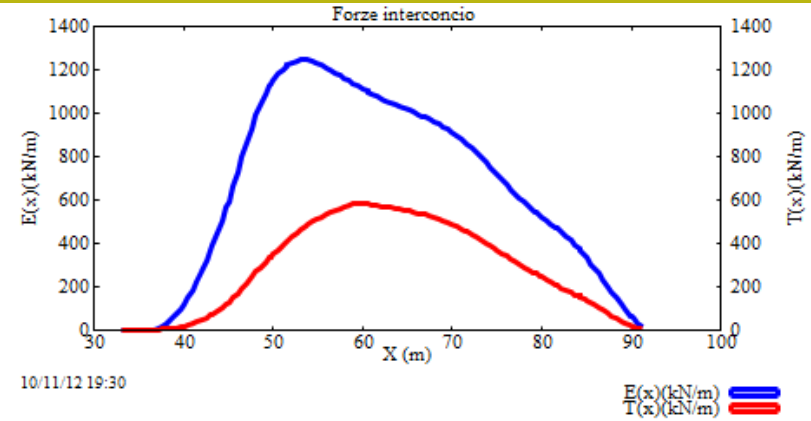
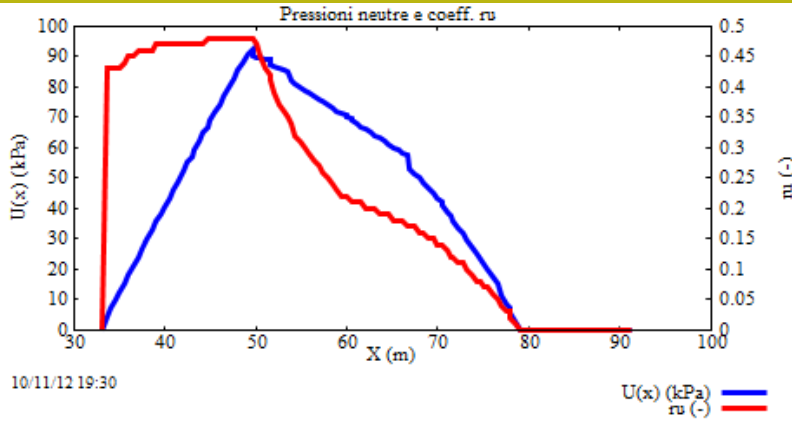
Campione Superfici - N.: 7047  
Lunghezza media segmenti (m) : 4.8  
Range X inizio generazione : 0.0 - 108.0  
Range X termine generazione : 12.0 - 117.6  
Livello Y minimo considerato : 0.0

# Aplicación de SNIFF RANDOM SEARCH 2.0

## A terrapleno con base no firme (ejemplo da Fredlund 1977)

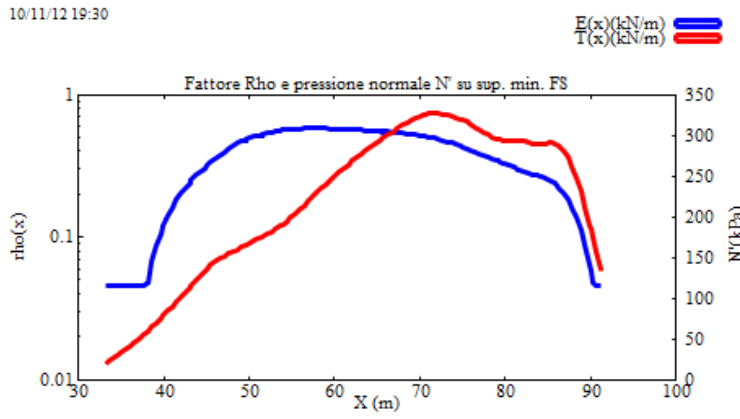
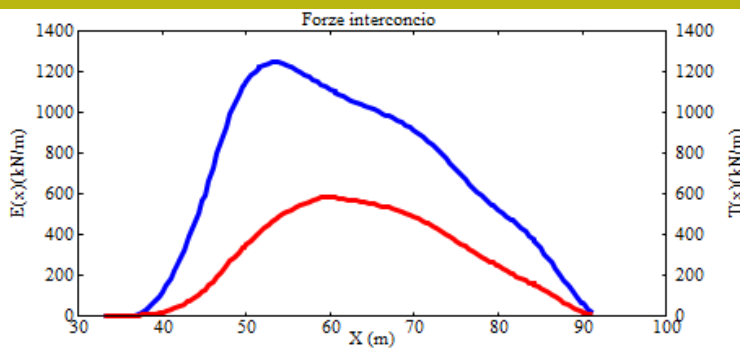


# Distribución interna de las fuerzas de interacción , presiones y distribución local de Fs, localización índice *RHO* (verifica confiabilidad de la solución numérica encontrada). *grafic rendering por medio de GNU PLOT 4.6..(www.gnuplot.info)*



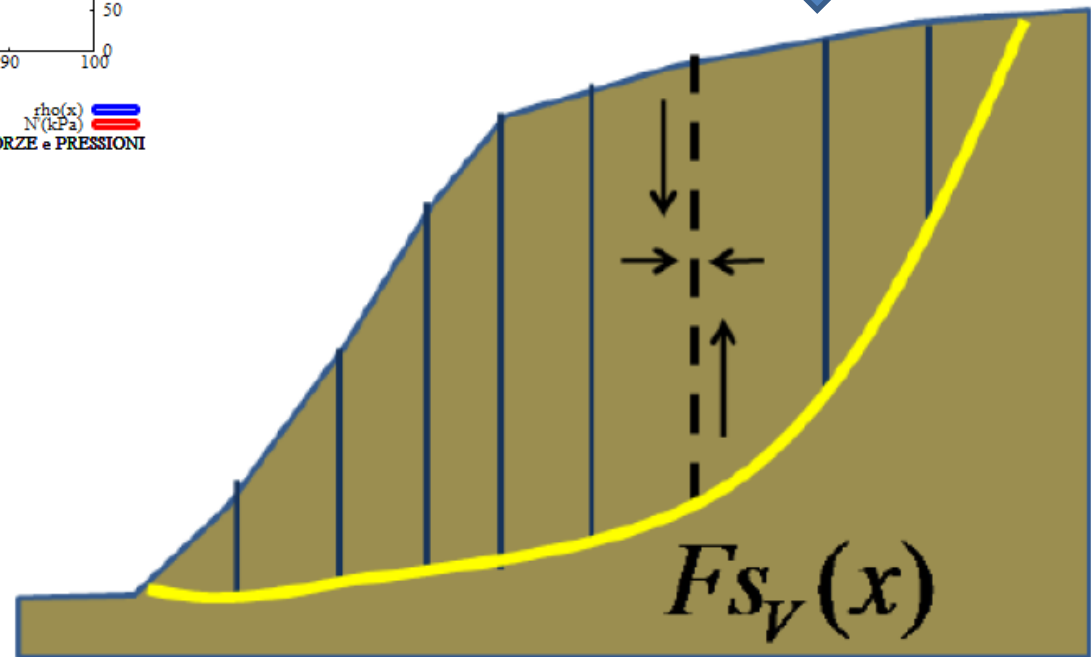
SSAP2010 (versione 4.1.3 2012) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

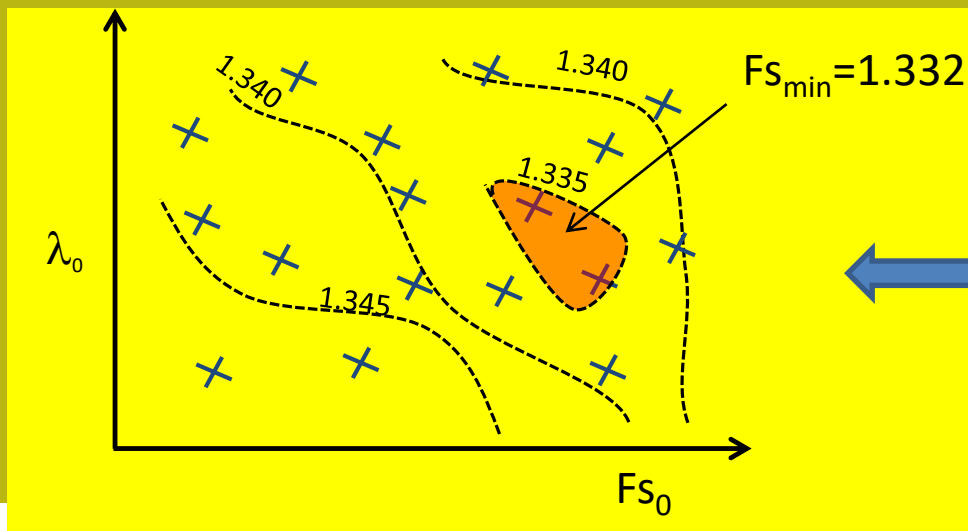
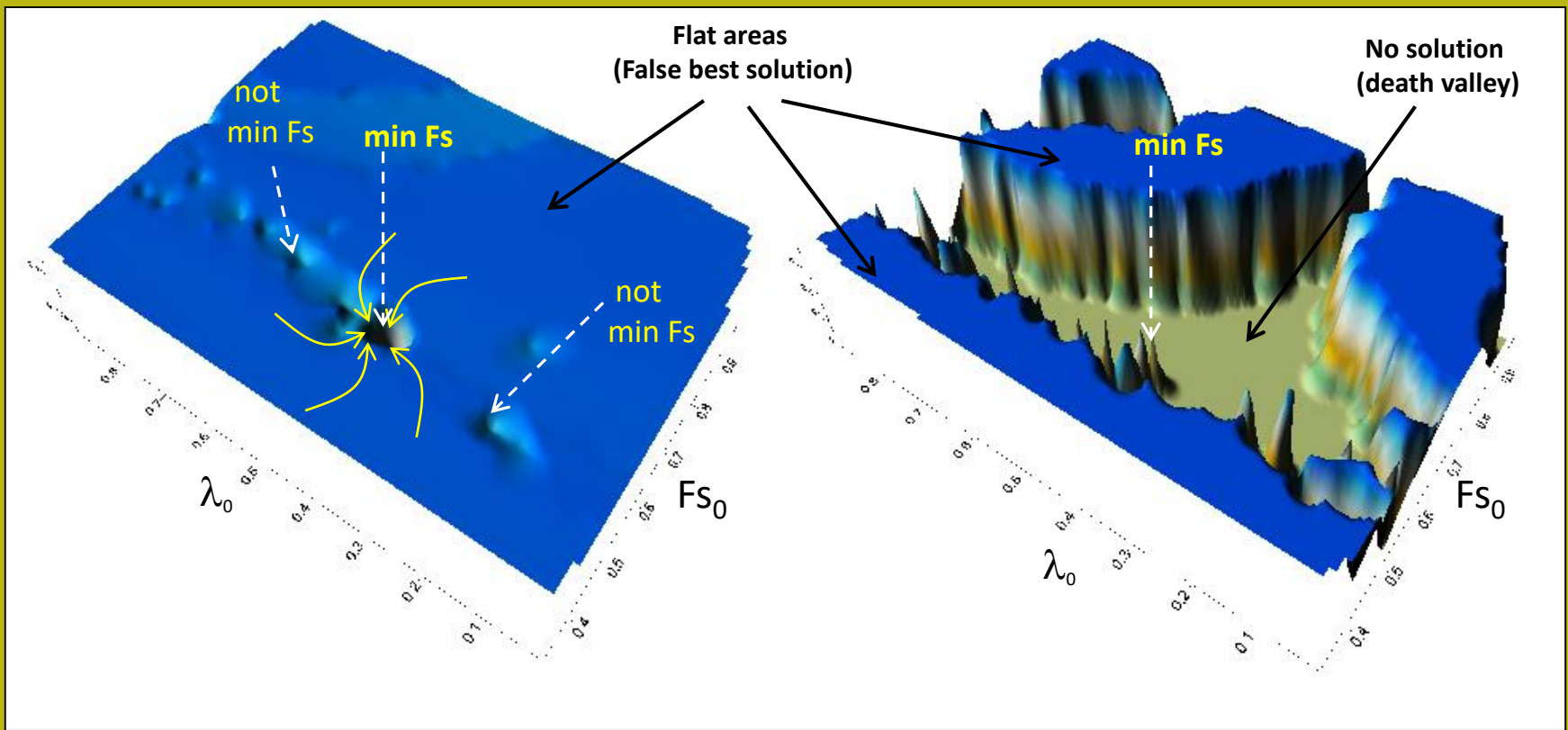
Mucho cuidado con calculo numérico y estabilidad numérica de las soluciones ...



SSAP2010 (versione 4.1.3 2012) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

$$RHO(x) = \left| \frac{F_s}{F_{s_V}(x)} \right| < \psi$$





Uno de los varios problemas numéricos son también los parámetros iniciales para la búsqueda de la solución numérica de  $Fs$ . SSAP tiene 3 métodos originales para encontrare la mejor solución por el valor real de  $Fs$  través la **exploración del espacio** ( $\lambda_0, Fs_0$ )

Unos de estos método usa una implementación lel algoritmo genético de optimización global: **Diferencial evolución** (Storne y Price 1996)



# Aplicación en Italia distrito minero de Carrara:

Talud con detritos residual de la extracción del mármol, muros de contención por terracería, con grandes bloques de mármol, substrato de macizo rocoso de buena calidad ..

SSAP 4.1.3 (2012) - Slope Stability Analysis Program  
Software by Dr.Geol. L.Borselli - [www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu)  
SSAP/DXF generator rel. 1.0.4 (2012)

Data : 11/11/2012  
Localita' :  
Descripción :  
n = No. strato o lente

Modello di calcolo : Morgenstern & Price (1965)

# Parametri Geotecnici degli strati #

N.	phi° deg	C° kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	38.00	10.00	0	21.00	22.00	0	0	0	0
2	0	0	0	24.00	25.00	100.00	50.00	10.00	0
3	0	0	0	23.50	24.00	100.00	20.00	10.00	0.50
4	0	0	0	23.50	24.00	100.00	20.00	10.00	0.50



DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 0.797  
Range Fs : 0.797 0.855  
Differenza % Range Fs : 6.8  
Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.000

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 1591  
Lunghezza media segmenti (m) : 2.0  
Range X inizio generazione : 10.0 - 55.0  
Range X termine generazione : 15.0 - 59.0  
Livello Y minimo considerato : 0.0

Evaluación de estabilidad en simulacro de formación de porción saturada en la base (en morado las 10 superficies con menor Fs encontrado) ..



# Aplicación en Italia distrito minero de Carrara:

Talud con detritos residual de la extracción del mármol, muro de contención por terracería, con grandes bloques de mármol, substrato de macizo rocoso de buena calidad ..

SSAP 4.1.3 (2012) - Slope Stability Analysis Program  
Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu  
SSAP/DXF generator rel. 1.0.4 (2012)

Data : 11/11/2012  
Localita' :  
Descrizione :  
n = No. strato o lente

Modello di calcolo : Morgenstem & Price (1965)

# Parametri Geotecnici degli strati #

N.	phi <sup>o</sup> deg	C <sup>o</sup> kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	38.00	10.00	0	21.00	22.00	0	0	0	0
2	0	0	0	24.00	25.00	100.00	50.00	10.00	0
3	0	0	0	23.50	24.00	100.00	20.00	10.00	0.50
4	0	0	0	23.50	24.00	100.00	20.00	10.00	0.50



ANALISI SUPERFICIE SINGOLA

<< Risultato analisi >>

Fs : 0.797

Coefficiente Sismico Orizzontale Kh: 0.000

Coefficiente Sismico Critico (Fs=1) : 0.00000

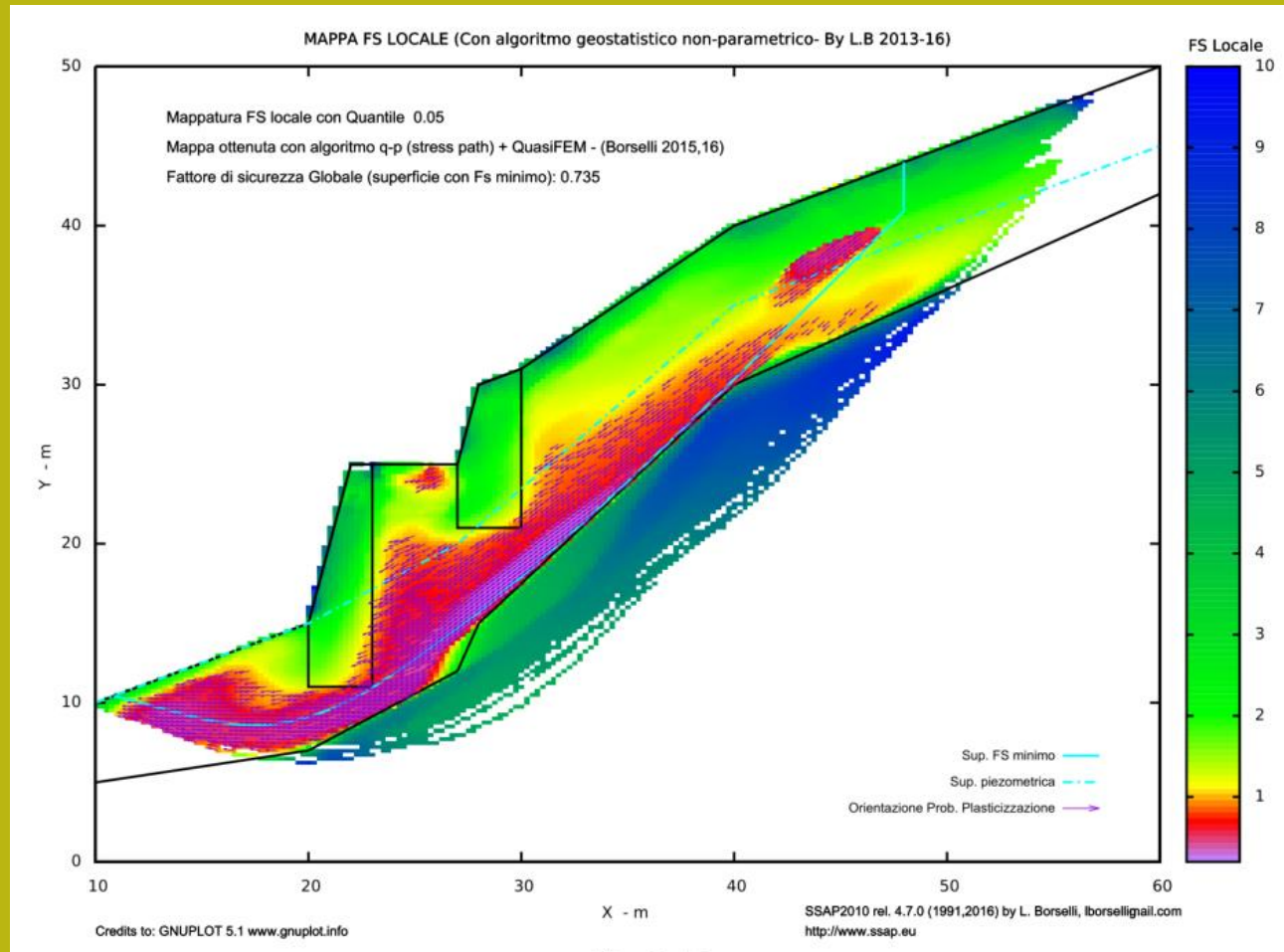
Ea (kN/m) Forza destabilizzante di testa : 0.00

Eb (kN/m) Forza stabilizzante alla base : 0.00

Evaluación de estabilidad de simulacro de formación de porción saturada en la base (en morado la superficie con menor Fs encontrado ... se nota la non circularidad de la misma superficie ...)

## Aplicación en Italia distrito minero de Carrara:

Talud con detritos residual de la extracción del mármol, muro de contención por terracería, con grandes bloques de mármol, substrato de macizo rocoso de buena calidad ..



*2D color map with distribution of average local FOS obtained by local stress distribution (Borselli, 2013,2016).*

Nueva con la version 4.2.0 y en adelante

# Aplicación en Italia :

Talud con sobrecarga de edificios y 3 líneas de palos de contención arriba tres niveles de arcillitas (olistostroma eocene) con diferente niveles de alteración ..

SSAP 4.1.3 (2012) - Slope Stability Analysis Program  
Software by Dr. Geol. L. Borselli - [www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu)  
SSAP/DXF generator rel. 1.0.4 (2012)

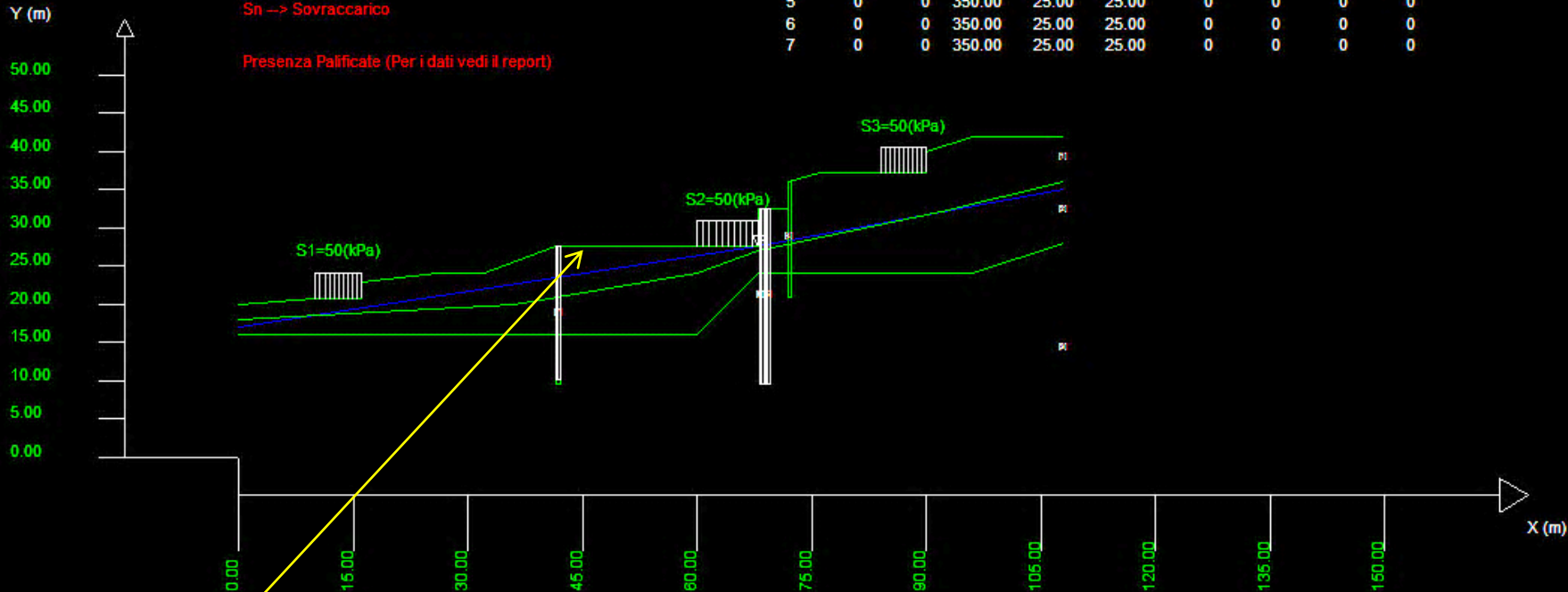
Data : 11/11/2012  
Localita' :  
Descripción :  
n = No. strato o lente

Sn -> Sovraccarico

Presenza Palificate (Per i dati vedi il report)

# Parametri Geotecnici degli strati #

N.	phi°	C°	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
...	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	...	...	...
1	16.00	2.00	0	16.50	18.00	0	0	0	0
2	21.00	5.00	0	17.50	18.50	0	0	0	0
3	26.00	10.00	0	18.50	19.00	0	0	0	0
4	0	0	1000.00	25.00	25.00	0	0	0	0
5	0	0	350.00	25.00	25.00	0	0	0	0
6	0	0	350.00	25.00	25.00	0	0	0	0
7	0	0	350.00	25.00	25.00	0	0	0	0



El estrato 1 es reconocido como un material de muy baja resistencia que constituye un cuerpo de un antiguo deslizamiento... las líneas de palos ofrecen una reacción horizontal al deslizamiento (metodo Ito e Matsui 1975-81 Hassiotis et al. 1997) y también son elementos resistente al corte (lentes con  $CU > 0$ )

# Aplicación en Italia :

Talud con sobrecarga de edificios y 3 líneas de palos de contención arriba tres niveles de arcillitas (olistostroma eocene) con diferente niveles de alteración ..

SSAP 4.1.3 (2012) - Slope Stability Analysis Program  
Software by Dr.Geol. L.Borselli - [www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu)  
SSAP/DXF generator rel. 1.0.4 (2012)

Data : 11/11/2012  
Localita' :  
Descripción :  
n = No. strato o lente

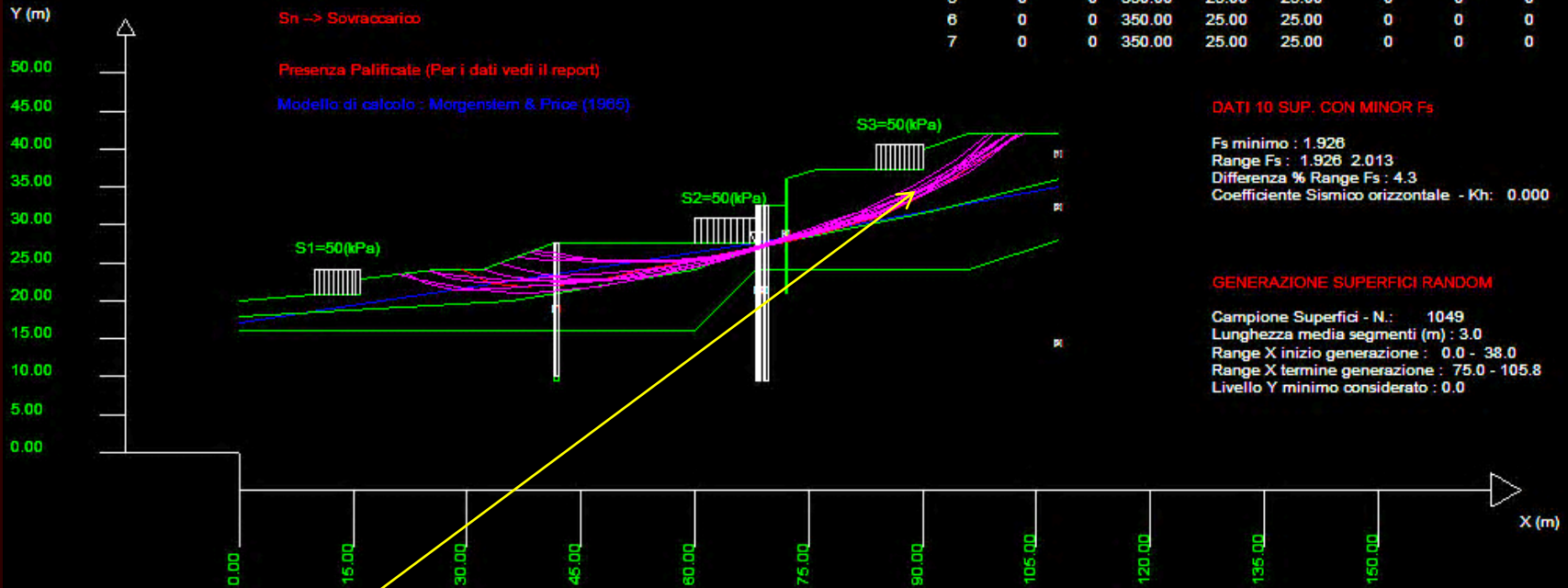
Sn -> Sovraccarico

Presenza Palificate (Per i dati vedi il report)

Modello di calcolo : Morgenstem & Price (1965)

# Parametri Geotecnici degli strati #

N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	16.00	2.00	0	16.50	18.00	0	0	0	0
2	21.00	5.00	0	17.50	18.50	0	0	0	0
3	26.00	10.00	0	18.50	19.00	0	0	0	0
4	0	0	1000.00	25.00	25.00	0	0	0	0
5	0	0	350.00	25.00	25.00	0	0	0	0
6	0	0	350.00	25.00	25.00	0	0	0	0
7	0	0	350.00	25.00	25.00	0	0	0	0



Evaluación de estabilidad con motor de generación superficies: SNIFF-RANDOM-SEARCH (en morado las 10 superficies con menor Fs encontrado) ..

# Aplicación en Italia :

Talud con sobrecarga de edificios y 3 líneas de palos de contención arriba tres niveles de arcillitas (olistostroma eocene) con diferente niveles de alteración ..

SSAP 4.1.3 (2012) - Slope Stability Analysis Program  
Software by Dr. Geol. L. Borselli - [www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu)  
SSAP/DXF generator rel. 1.0.4 (2012)

Data : 11/11/2012  
Localita' :  
Descrizione :  
n = No. strato o lente

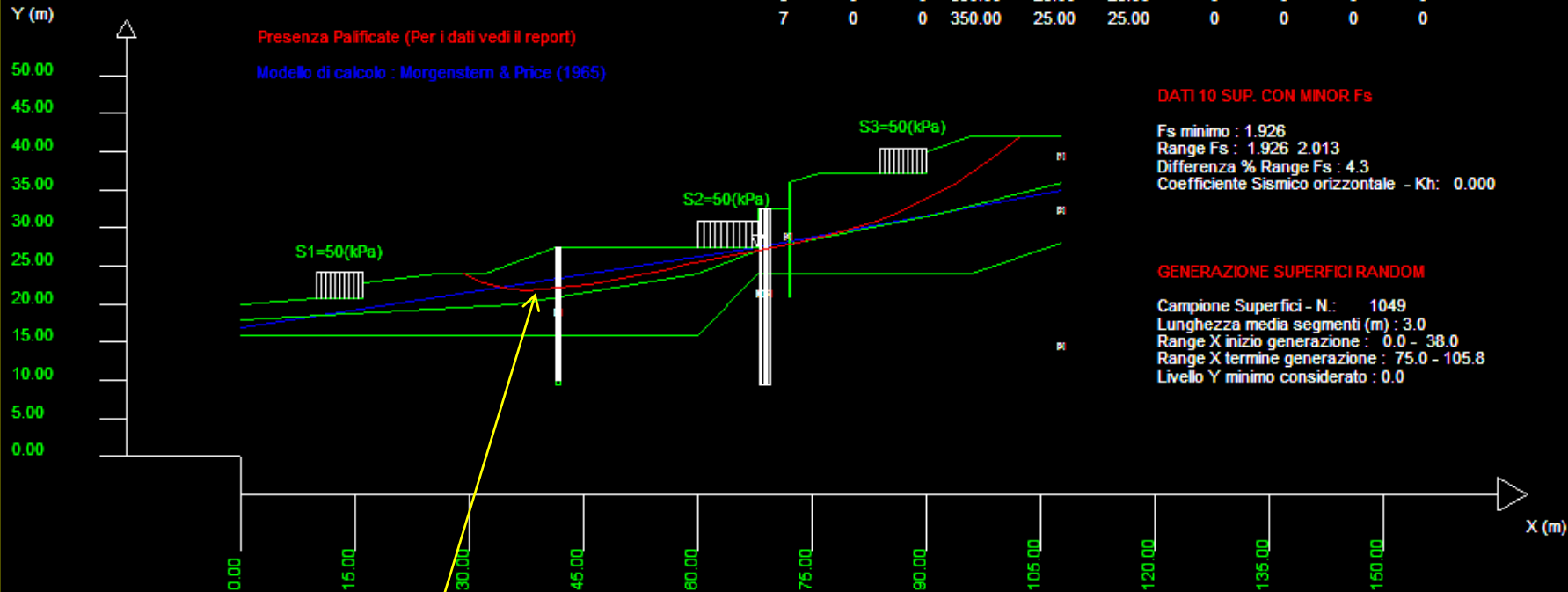
Sn -> Sovraccarico

Presenza Palificate (Per i dati vedi il report)

Modello di calcolo : Morgenstern & Price (1965)

# Parametri Geotecnici degli strati #

N.	phi <sup>i</sup> deg	C <sup>i</sup> kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	16.00	2.00	0	16.50	18.00	0	0	0	0
2	21.00	5.00	0	17.50	18.50	0	0	0	0
3	26.00	10.00	0	18.50	19.00	0	0	0	0
4	0	0	1000.00	25.00	25.00	0	0	0	0
5	0	0	350.00	25.00	25.00	0	0	0	0
6	0	0	350.00	25.00	25.00	0	0	0	0
7	0	0	350.00	25.00	25.00	0	0	0	0



Evaluación de estabilidad (en morado la superficie con menor Fs encontrado ... se nota la **non circularidad** de la misma superficie ...)

Aplicación en Italia : draft de una capitulo de libros acerca las herramienta didácticas para estabilidad de talud y deslizamientos..  
Chief editor Sassa 2013 (in press). Ejemplo usado en anteriores cursos de SSAP en el extranjero (Florencia y Perugia - jenero 2013)

## EXAMPLES: Earth dam stability check <sup>Draft</sup>

This example is related to a stability check requested by a SSAP User on a Earth dam of a small reservoir.



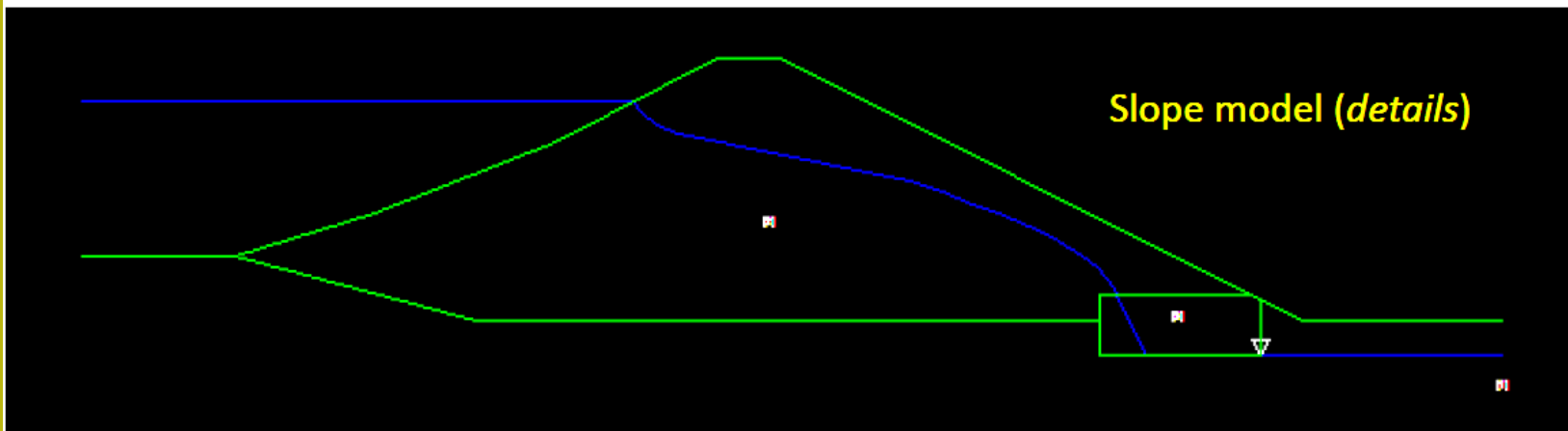
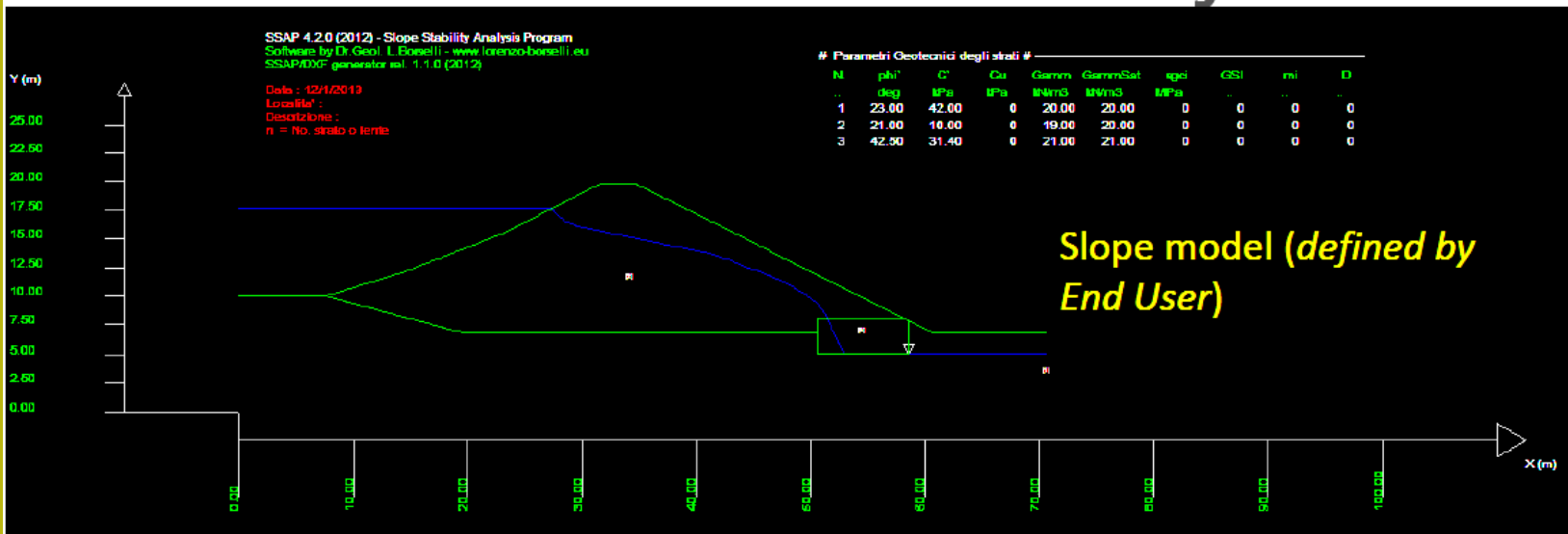
**Reservoir (anti.mod)  
verified by L Borselli (2012)**

Earth dam build at end of 50s  
Problems of settlement and  
deformation of earth fill since 2000  
Substratum marine Pliocene clays  
Central Tuscany



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

# EXAMPLES: Earth dam stability check



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

# EXAMPLES: Earth dam stability check

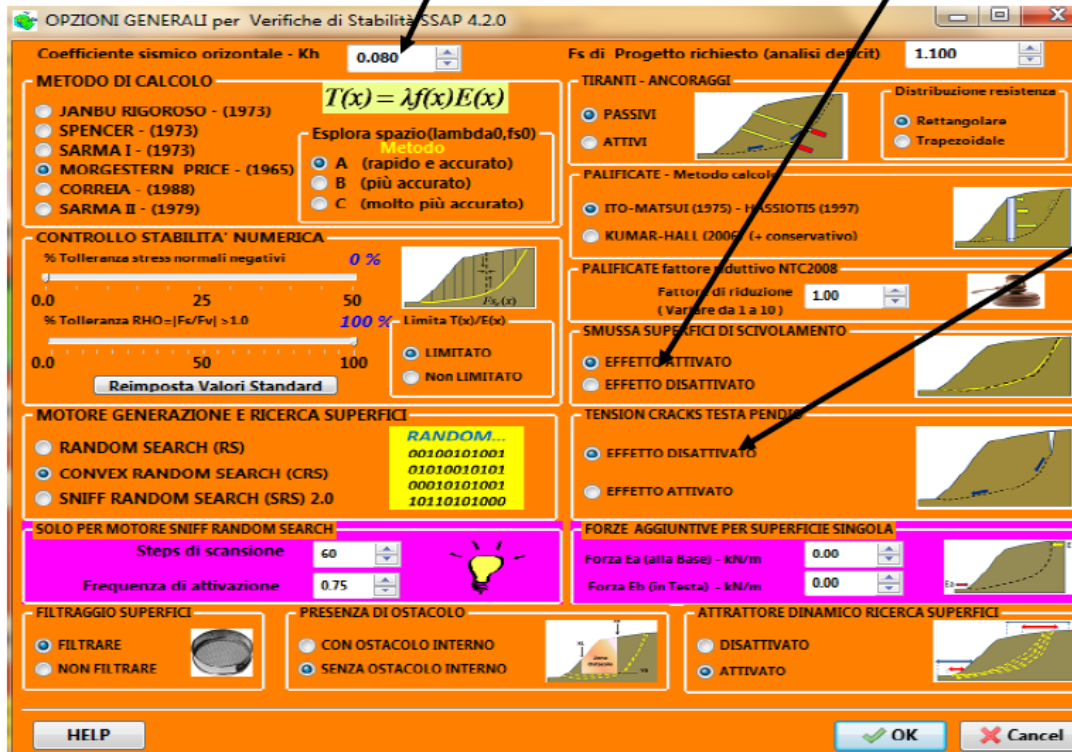
Draft

Options activated before global slope stability verification run.

Activated options in SSSAP 4.2.0

Horizontal seismic coefficient

Sliding surfaces smoothing



Tension crack Effect: deactivated (optional)



# EXAMPLES: Earth dam stability check <sup>Draft</sup>

Considered scenario Analysis in the slope stability verification.

Scenario analysis starting with maximum water level in the reservoir:

1) Long term drained conditions

- A. Without rapid drawdown
- B. With rapid drawdown (very low probability)

2) Undrained condition (short terms)

- A. No rapid drawdown
- B. With rapid drawdown

In all the case horizontal seismic pseudostatic coefficients

$K_h=0.08$ ,  $K_v=0.04$

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

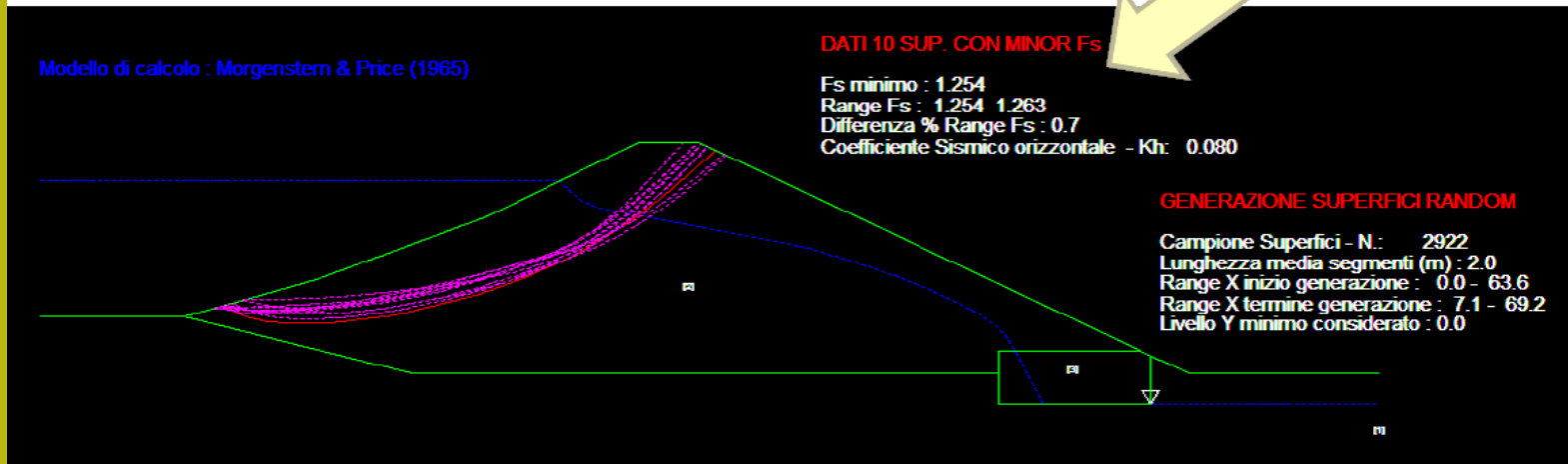
# EXAMPLES: Earth dam stability check

Results of scenario analysis

1.A Long term drained condition (max. Water level)

$K_h=0.08$

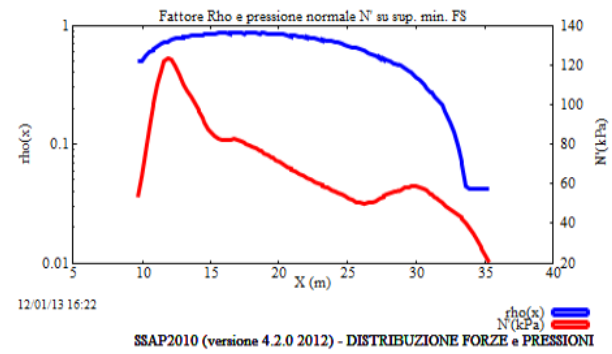
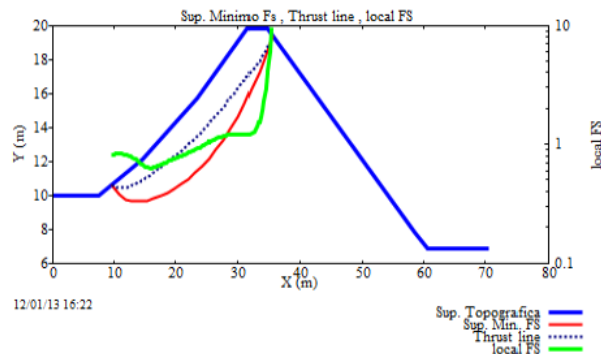
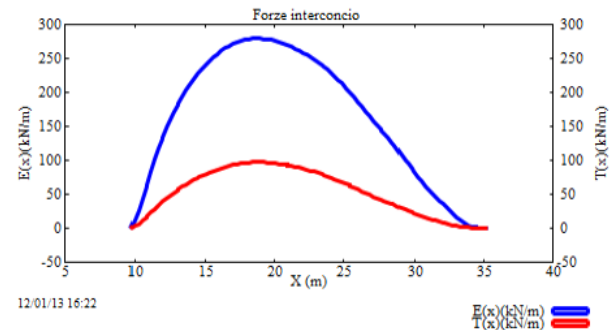
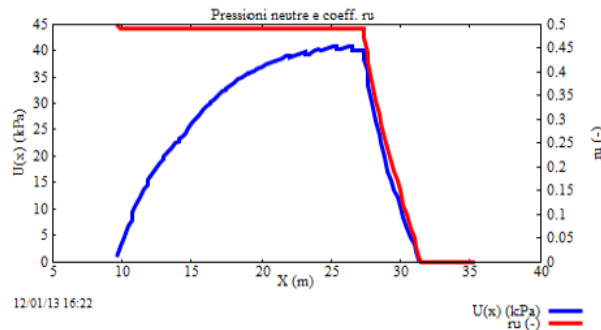
$F_s = 1.254$



# EXAMPLES: Earth dam stability check Draft

## Results of scenario analysis

### Forces and pressure diagrams related to the most critical sliding surface



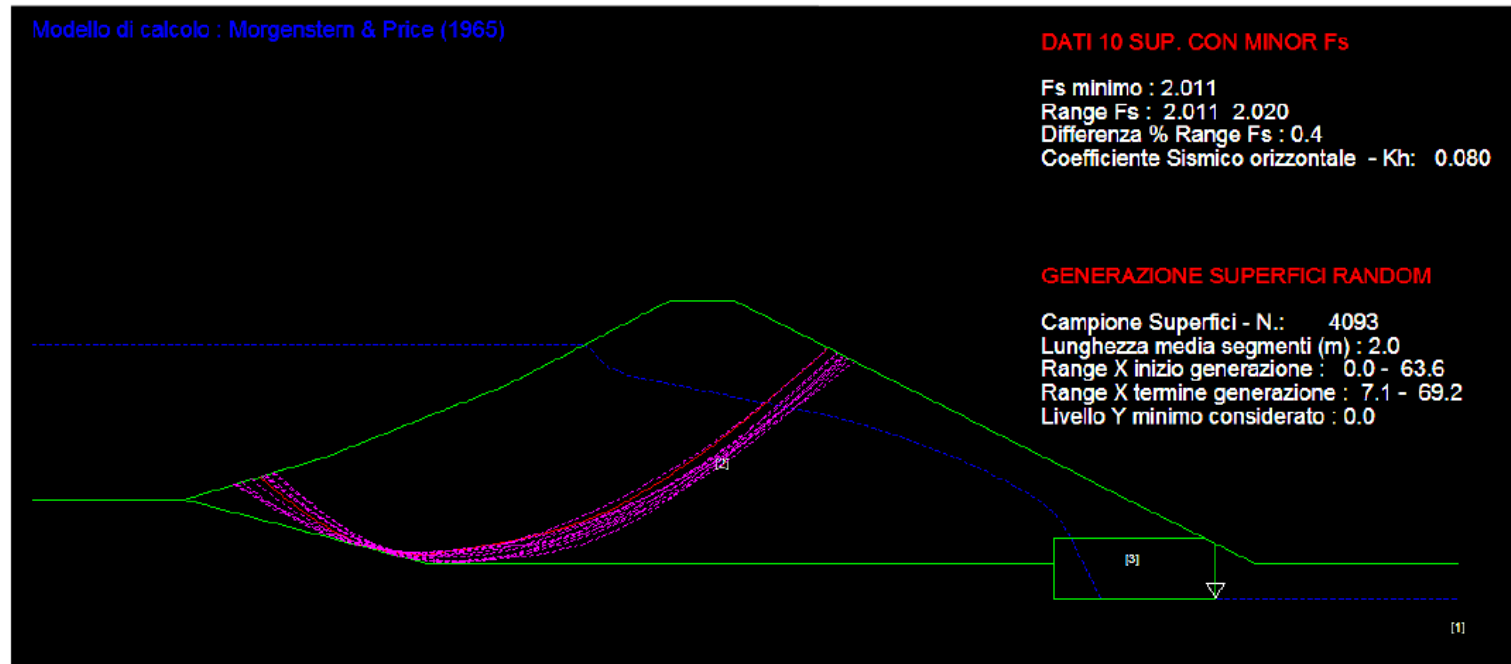
http://www.lorenzo-borselli.eu

# EXAMPLES: Earth dam stability check

## Results of scenario analysis

2.B Undrained (short term) conditions (also the most appropriate to verify seismic effects )  
Activated rapid drawdown effects (eliminating positive effect of water surcharge of submerged slope)

$$F_s = 2.011 \text{ with } kh=0.08$$



# EXAMPLES: Earth dam stability check *Draft*

## Results of scenario analysis

Long term  
drained  
conditions  
under max.  
Water level  
Fs=1.235

# Parametri Geotecnici degli strati #					
N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat 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

Short terms  
Undrained cond.  
Under rapid  
drawdown  
FS=2.0

# Parametri Geotecnici degli strati #					
N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat 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

The final result is conditioned from the very high CU values of stratum 2 compared to c' e phi' values of drained conditions

Using for stratum 2 CU= 35 kPa  
The final results became FS=1.1

# BACK ANALYSIS OF TEZIUTLAN (PUEBLA, MEXICO) LANDSLIDES, OCCURRED DURING THE 4-5<sup>TH</sup> OCTOBER 1999 EXTREME EVENT \*

L.Borselli<sup>(1)</sup> D.Sarocchi<sup>(2)</sup>

L.Capra<sup>(3)</sup> J.Lugo Hupb<sup>(3)</sup>



<sup>(1)</sup>Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (CNR-IRPI), Piazzale delle Cascine 15, 50144, Firenze, Italy, [borselli@irpi.cnr.it](mailto:borselli@irpi.cnr.it) (corresponding author).

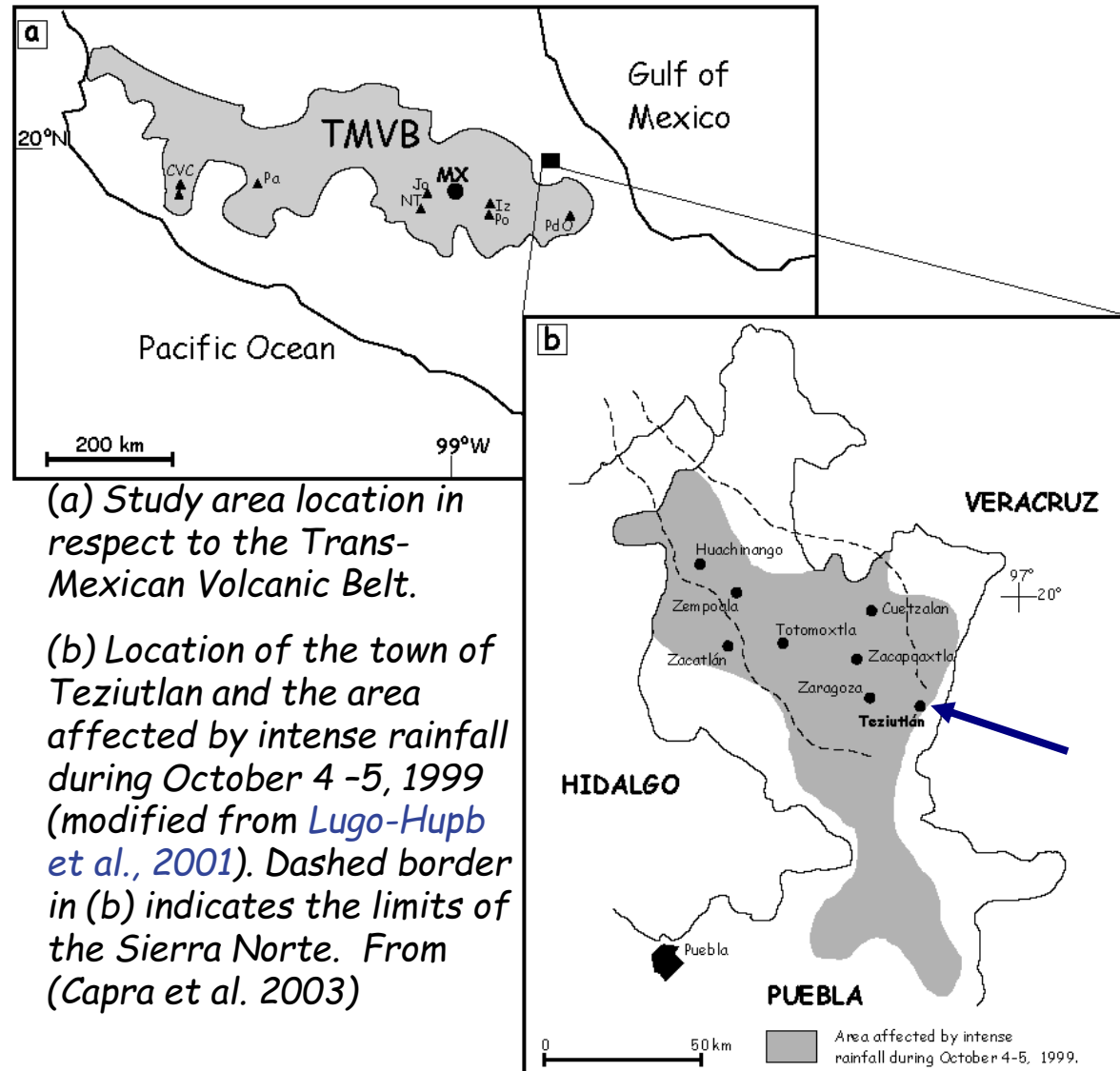
<sup>(2)</sup>Instituto de Geofisica, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Circuito Exterior; Ciudad Universitaria, Mexico City, Mexico.

<sup>(3)</sup>Instituto de Geografia, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Circuito Exterior; Ciudad Universitaria, Mexico City, Mexico.

\* research under the support of the CNR- CONACYT agreement (2002-2004)

## The Teziutlan area:

Teziutlan is located on top of a plateau at an elevation of 1900 m a.s.l. surrounded by relief that reaches up to 2800 m a.s.l.



(a) Study area location in respect to the Trans-Mexican Volcanic Belt.

(b) Location of the town of Teziutlan and the area affected by intense rainfall during October 4 -5, 1999 (modified from [Lugo-Hupb et al., 2001](#)). Dashed border in (b) indicates the limits of the Sierra Norte. From ([Capra et al. 2003](#))

## Teziutlan cemetery:

Reconstruction of the event by  
Information from direct witnesses.

Classification of the  
Landslide as a *FLOW SLIDE*.

10 A.M. of 5 oct. 1999

Two phases:

**1<sup>st</sup>: rotational landslide** at the top of the slope. Modest soil mass formed by soil and resulting material due to tombs excavation and demolitions works in the cemetery (old tombs).

The landslide accumulate temporarily along the slope and surcharge it.

**2<sup>nd</sup> : flow of a larger soil mass** + small houses. High speed and a run out of approx 100 m . Witness report a sort of nebulized water sprayed out of the soil during the event. High velocity class 6-7 -following IUGS(1995) criteria.





# Phase 1 – Rotational Landslide at top of the Hill

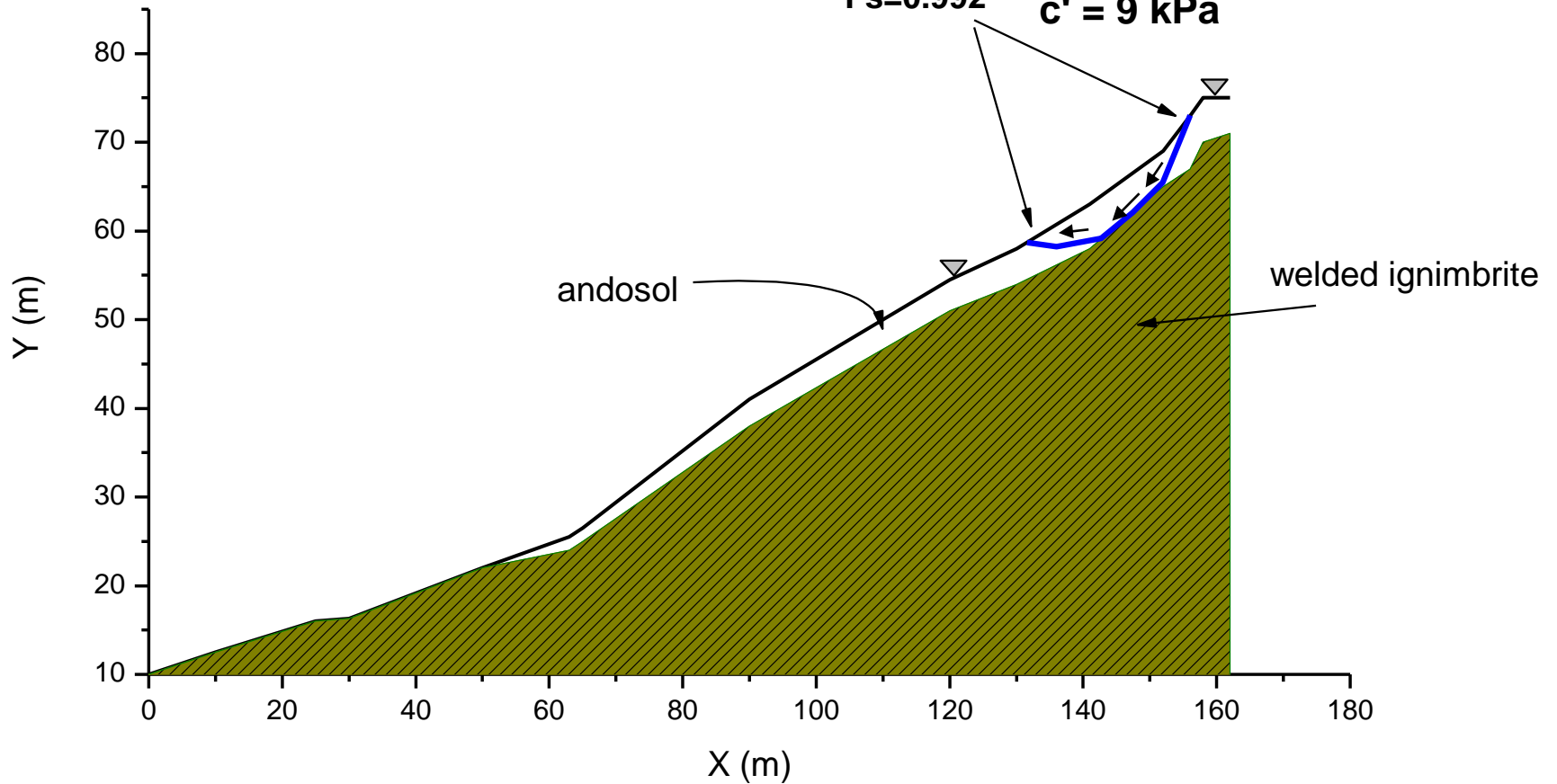
## Teziutlàn Cemetery flow slide Phase 1 - Rotational Landslide

approx. volume 1500 m<sup>3</sup>

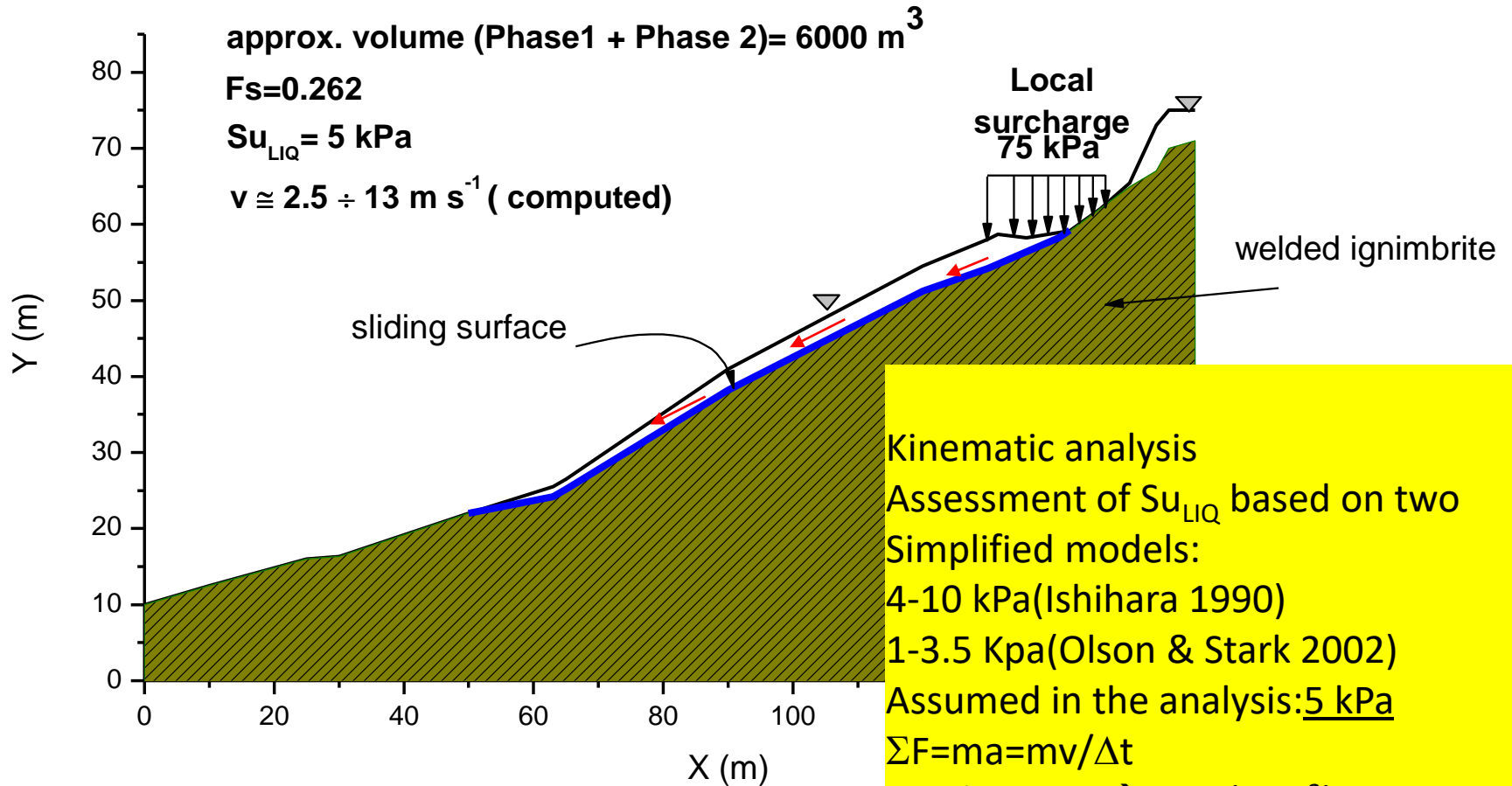
$\phi' = 34^\circ$

$c' = 9$  kPa

$F_s = 0.992$



## Teziutlàn Cemetery flow slide Phase 2 - FLOW SLIDE



Kinematic analysis  
Assessment of Su<sub>LIQ</sub> based on two  
Simplified models:  
4-10 kPa(Ishihara 1990)  
1-3.5 Kpa(Olson & Stark 2002)  
Assumed in the analysis:5 kPa  
 $\Sigma F=ma=mv/\Delta t$   
acceleration → a=3 (m s<sup>-2</sup>)

## LANDSLIDES IN TEZIUTLAN AREA

Previous studies on the 4-5 oct.1999 event:

L. Capra, J. Lugo-Hubp, L. Borselli (2003). Mass movements in tropical volcanic terrains: the case of Teziutlán (México). *Engineering Geology*. 68(3-4):359-379. "

Flores, P. y Alcántara Ayala, I. (2002) Cartografía morfogenética e identificación de procesos de ladera en Teziutlán, Puebla. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM*, 49: 7-26.

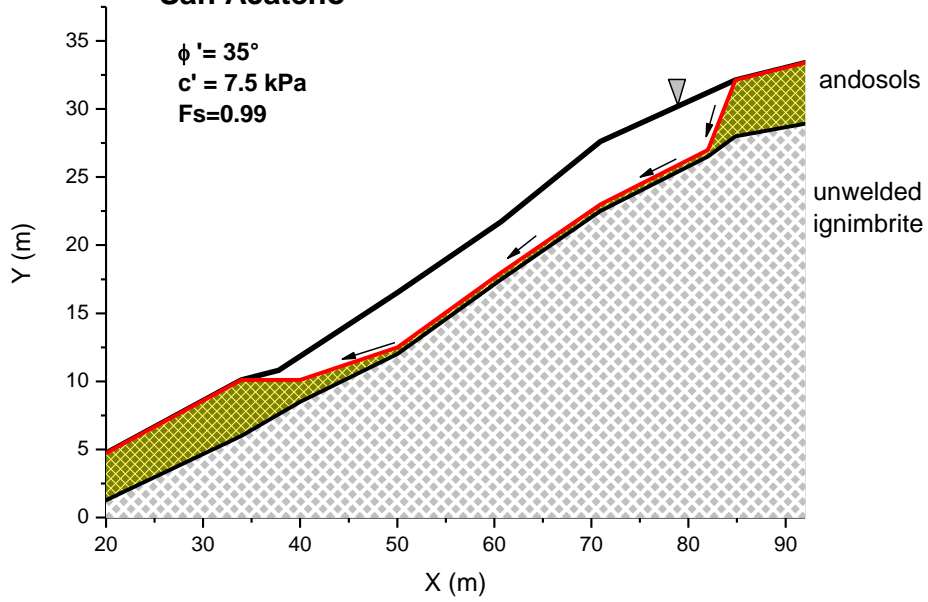
## LANDSLIDES MAPPING AND CLASSIFICATION :

Based on more than 3000 landslides in the Sierra Norte de Puebla

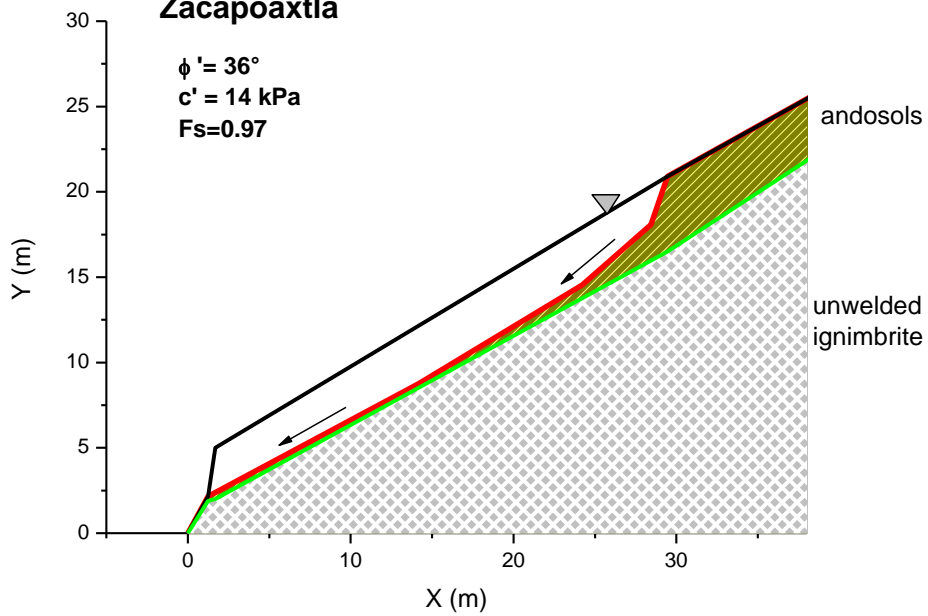
Type 1: superficial mass movements on unwelded ignimbrite sequence, forming small detrital fans at the base of steeper slopes.

Type 2: soil slide/debris flow from the remobilization of a volcanic sequence composed of paleosols interbedded with ashfall horizons. The paleosols (andosols) favored the formation of perched water tables on a hydraulic aquiclude (welded ignimbrite). Increase of positive pore-water pressures triggered the failure.

### San Acateno



### Zacapoaxtla



Ranges for strength parameters for soils of Teziutlan area. They are valid for computation of effective shear strength at saturated condition.

Mass movements:

**Type 1**

$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$	$c'$ (kPa)
16-17	36°-38°	4-11

**Type 2**

$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$	$c'$ (kPa)
18-19	34°-36°	7.5-14

**Shear Strength at liquefaction** (e.g. case Flow Slide at Teziutlan cemetery)

$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$Su_{\text{LIQ}}$ (kPa)
18	3-5



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

# Journal of Volcanology and Geothermal Research

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jvolgeores](http://www.elsevier.com/locate/jvolgeores)



## Flank collapse scenarios at Volcán de Colima, Mexico: A relative instability analysis

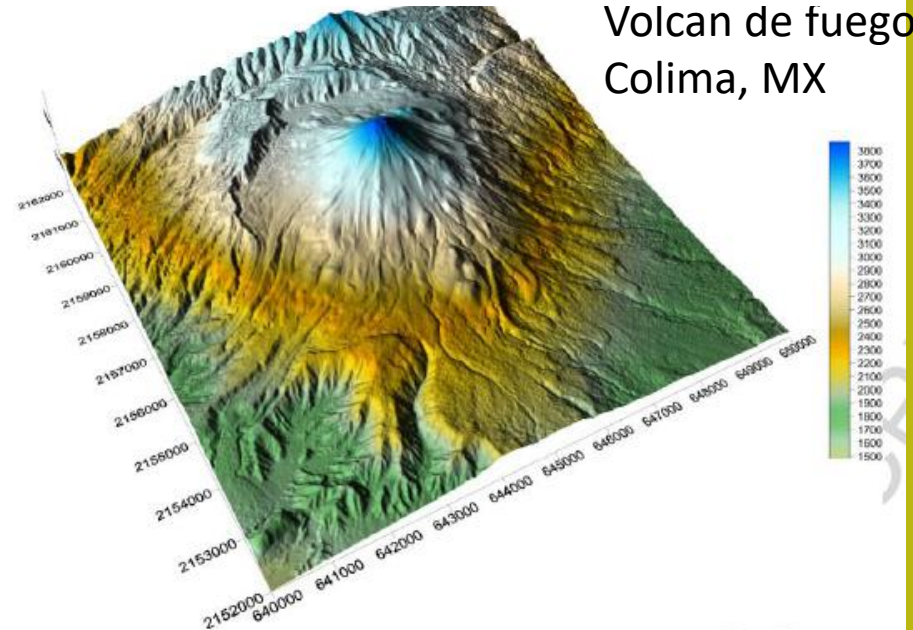
Lorenzo Borselli <sup>a,\*</sup>, Lucia Capra <sup>b</sup>, Damiano Sarocchi <sup>a</sup>, Servando De la Cruz-Reyna <sup>c</sup>

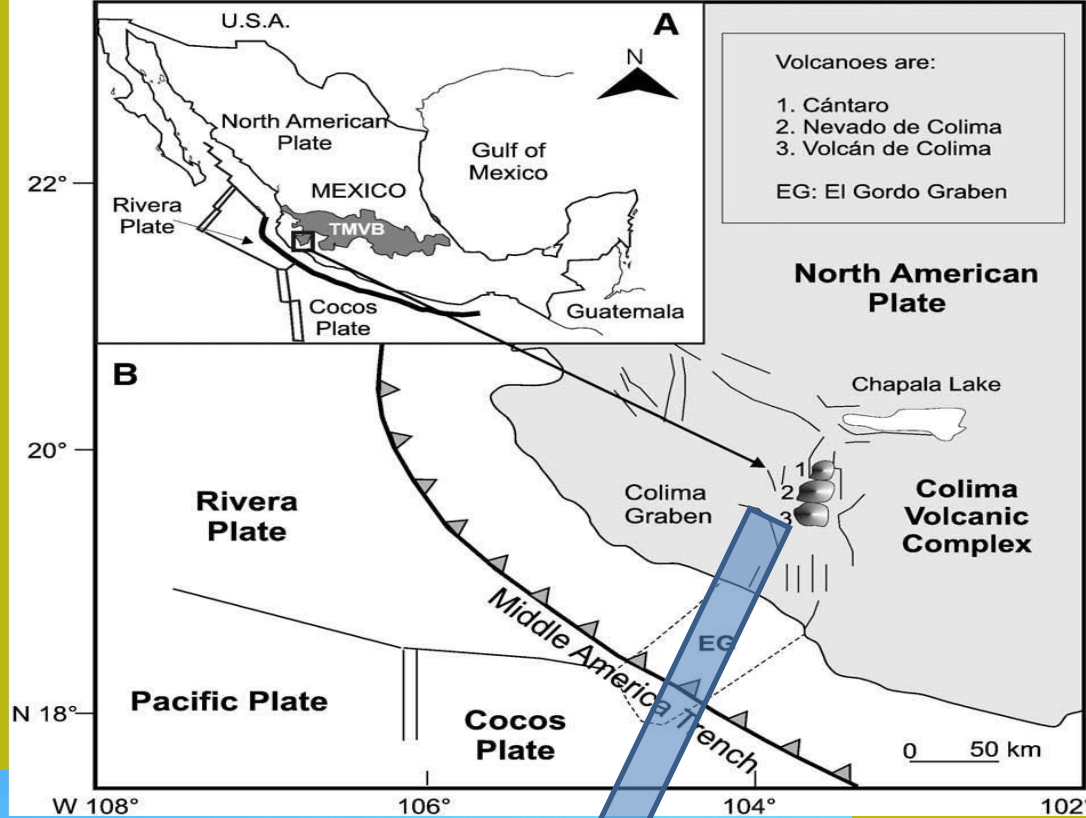
<sup>a</sup> Instituto de Geología/ Fac. de Ingeniería - Universidad Autónoma de San Luis Potosí-UASLP, Av. Dr. Manuel Nava 5, C.P. 78240 San Luis Potosí, Mexico

<sup>b</sup> Centro de Geociencias, UNAM, Campus Juriquilla, 76230 Queretaro, Mexico

<sup>c</sup> Departamento de Vulcanología, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán 04510, D.F., Mexico

**Aplicación de SSAP 2010  
En estudio de estabilidad  
de los sectores del Volcan de fuego  
Colima (2011)**



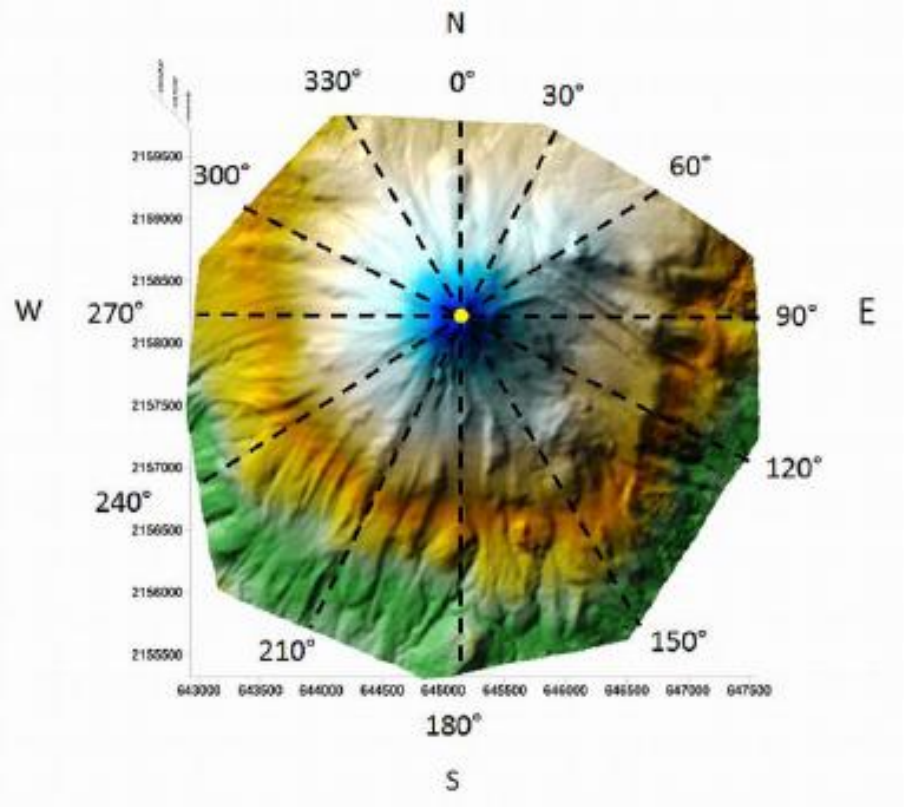
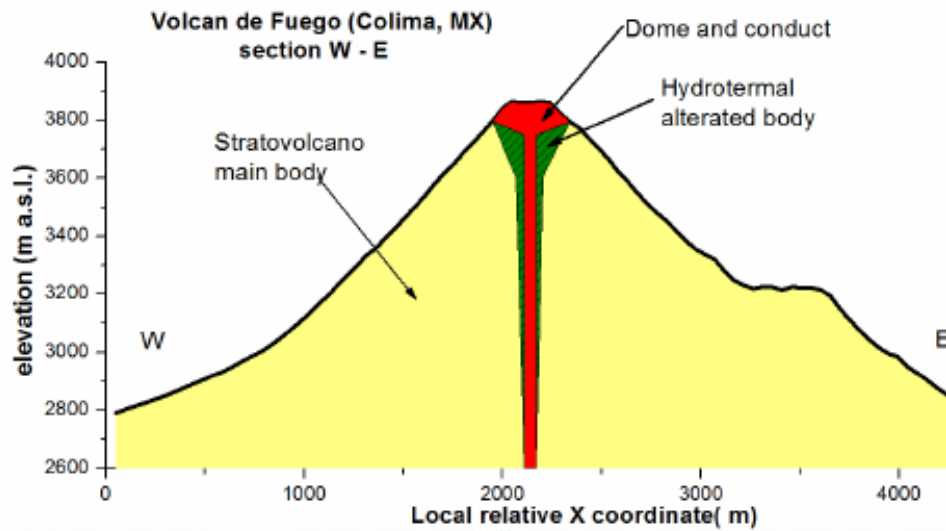


*From, Saucedo et al. 2010*

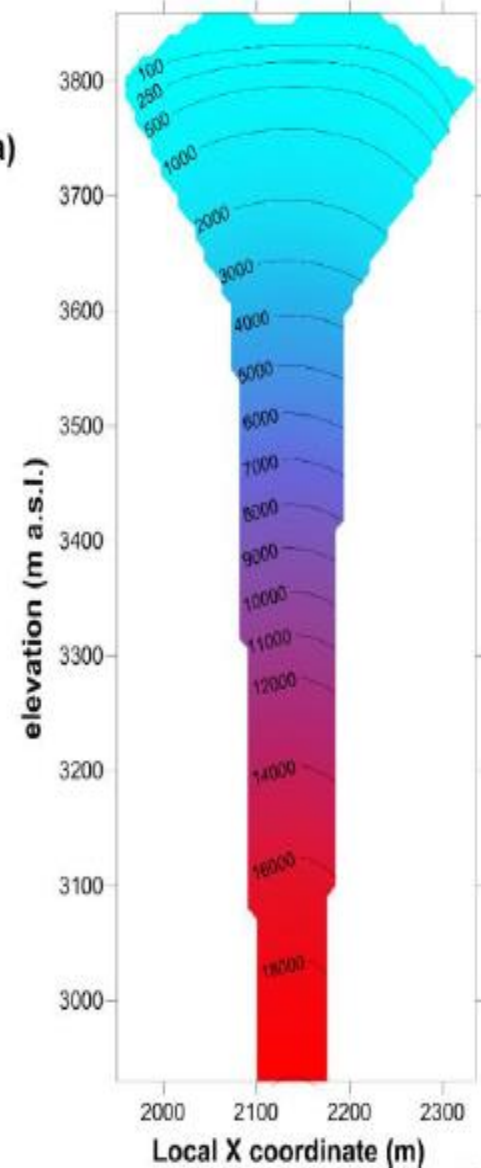
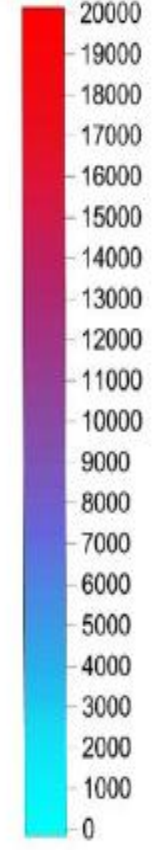
Volcan de fuego  
Colima, MX



**Aplicación de SSAP 2010  
En estudio de estabilidad  
de los sectores del  
Volcan de fuego  
Colima (2011)**

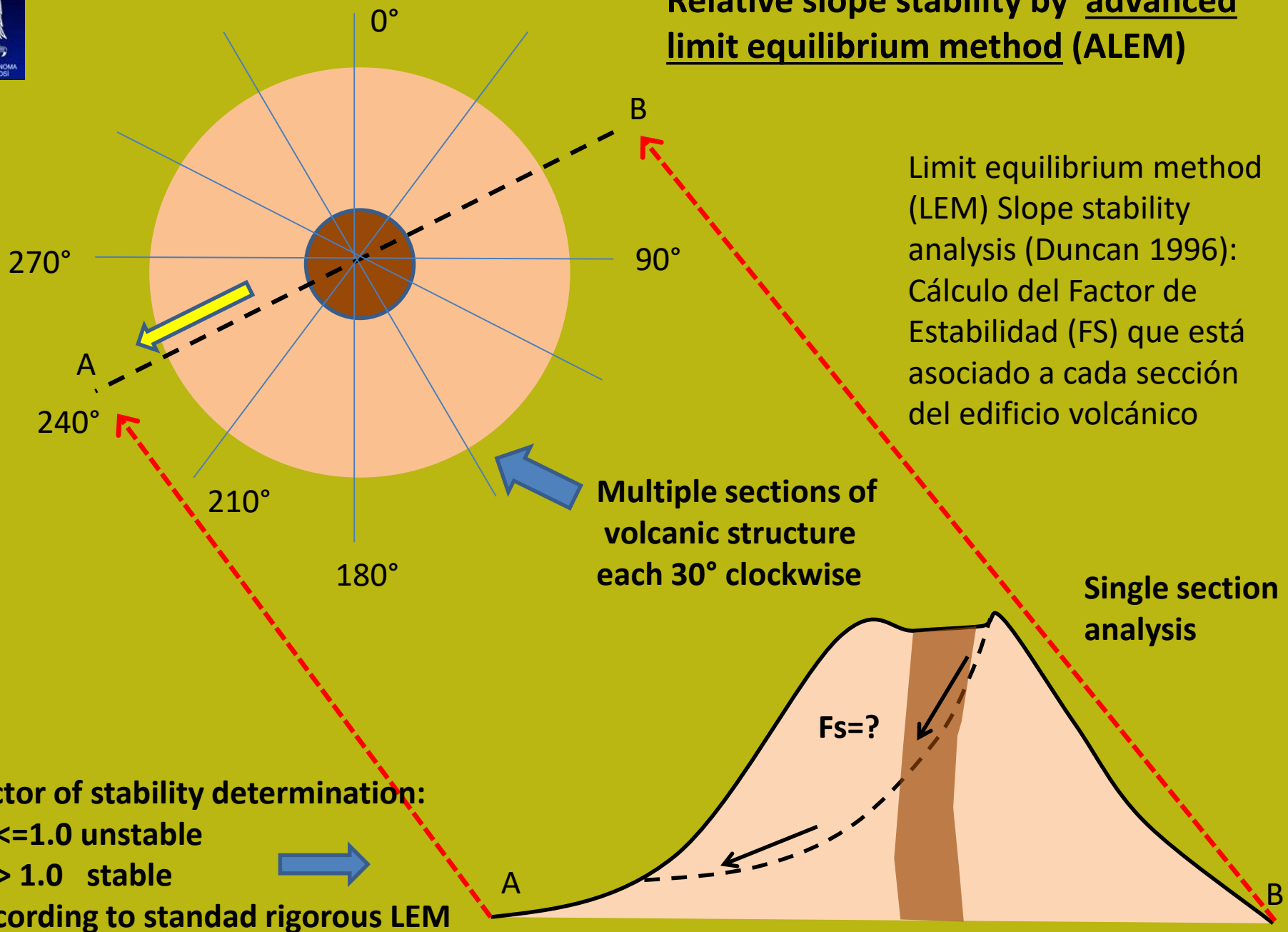


**Fluid pressure (kPa)**





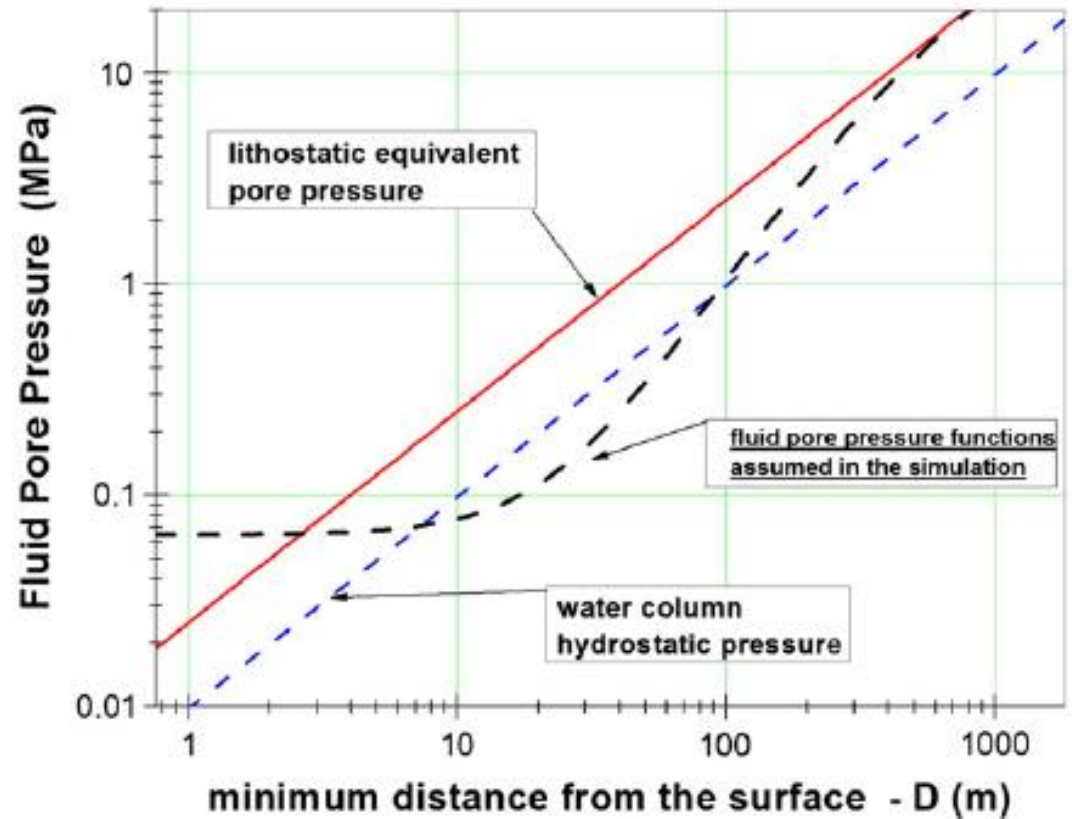
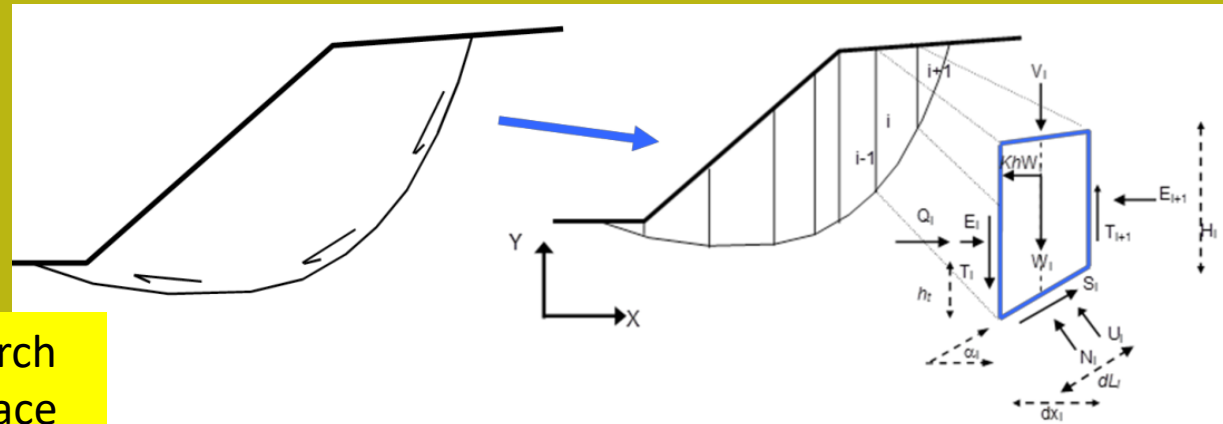
## Relative slope stability by advanced limit equilibrium method (ALEM)



- 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)

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

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

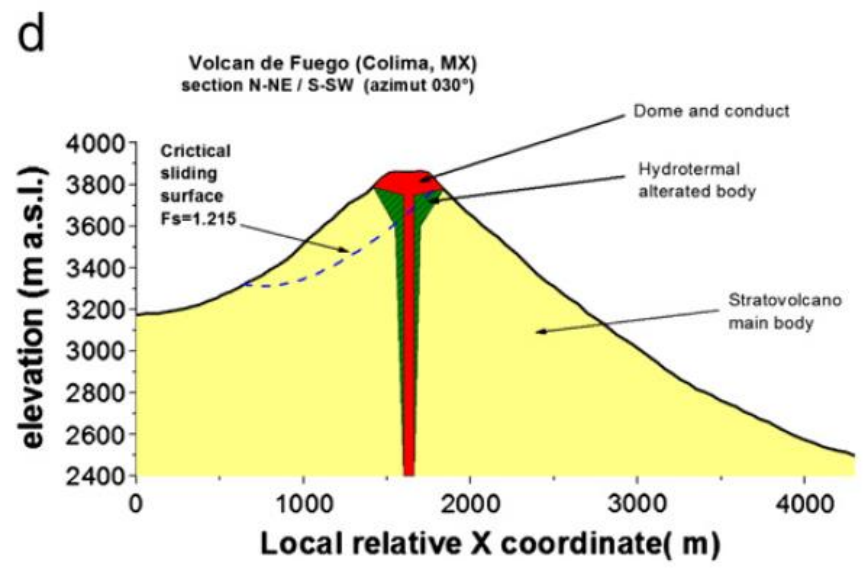
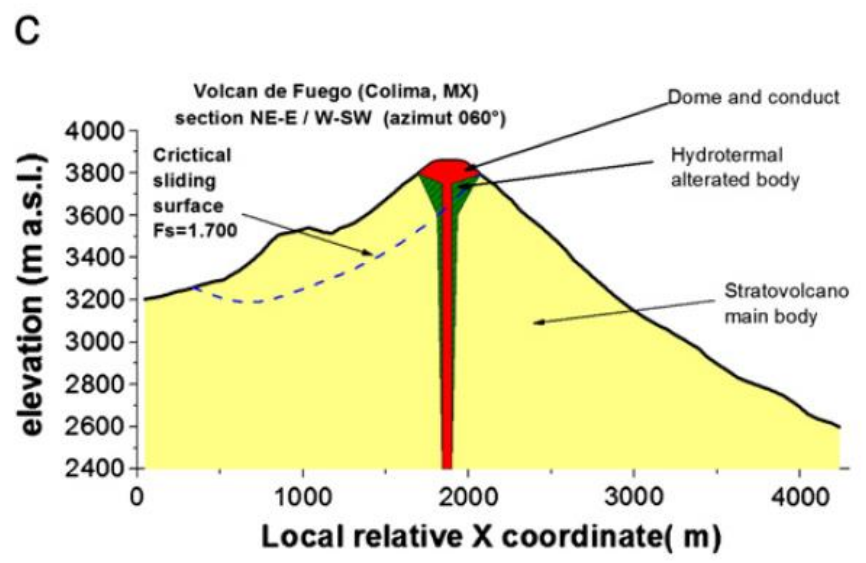
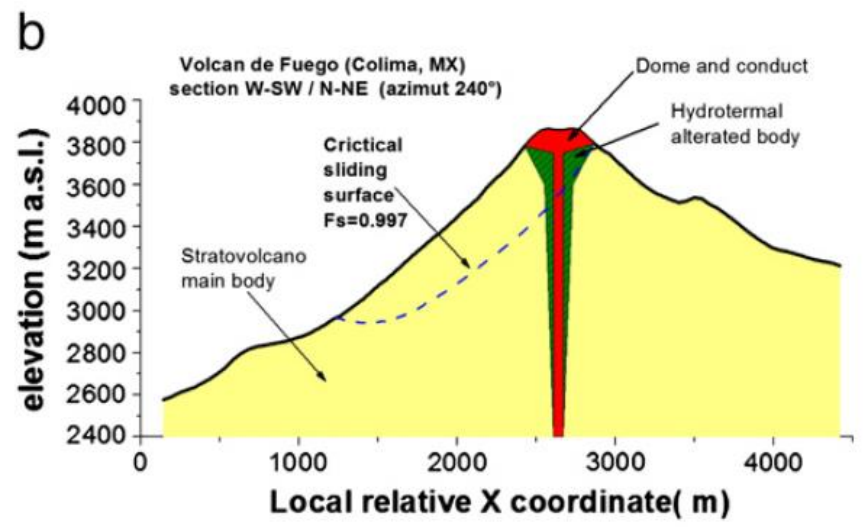
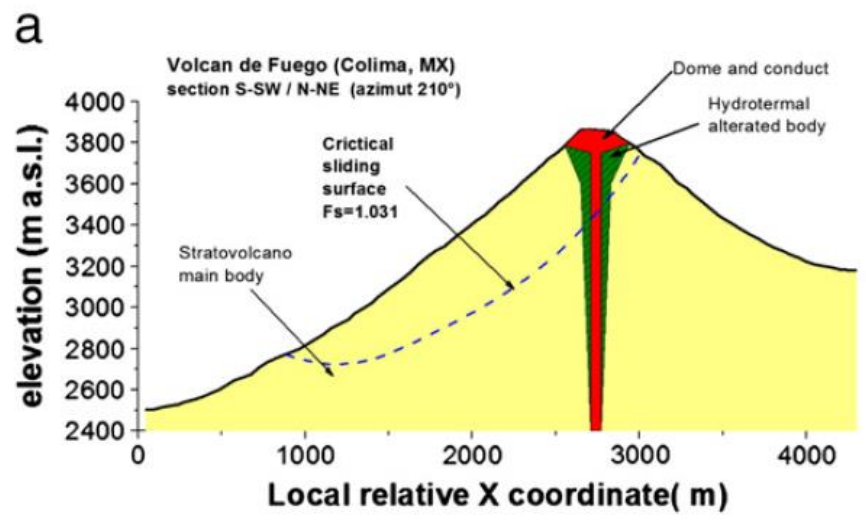


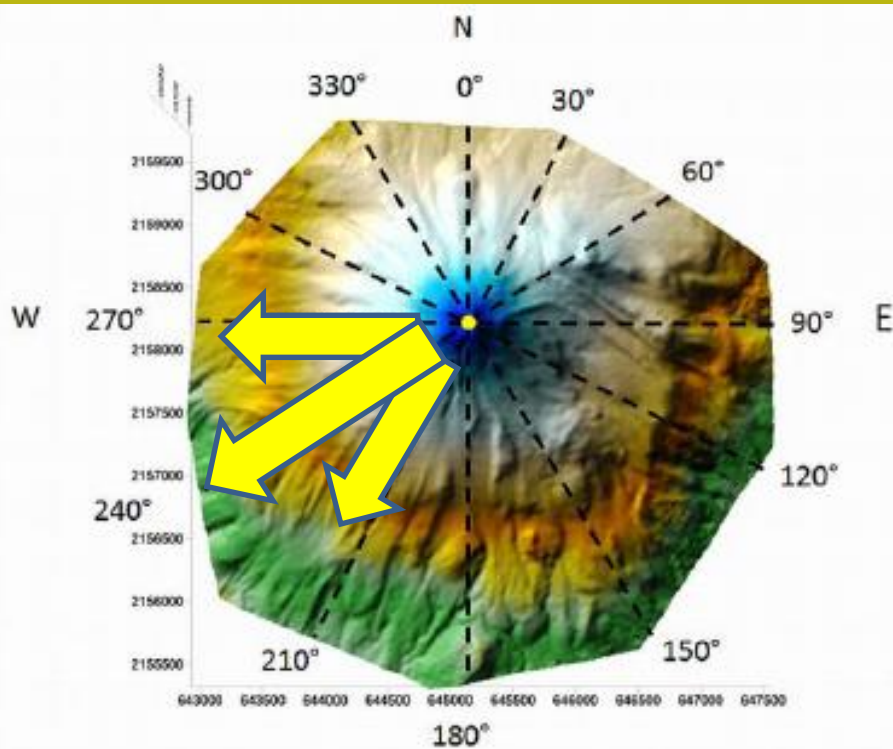


# Volcan de Colima: ensayos de resultados finales con ALEM



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





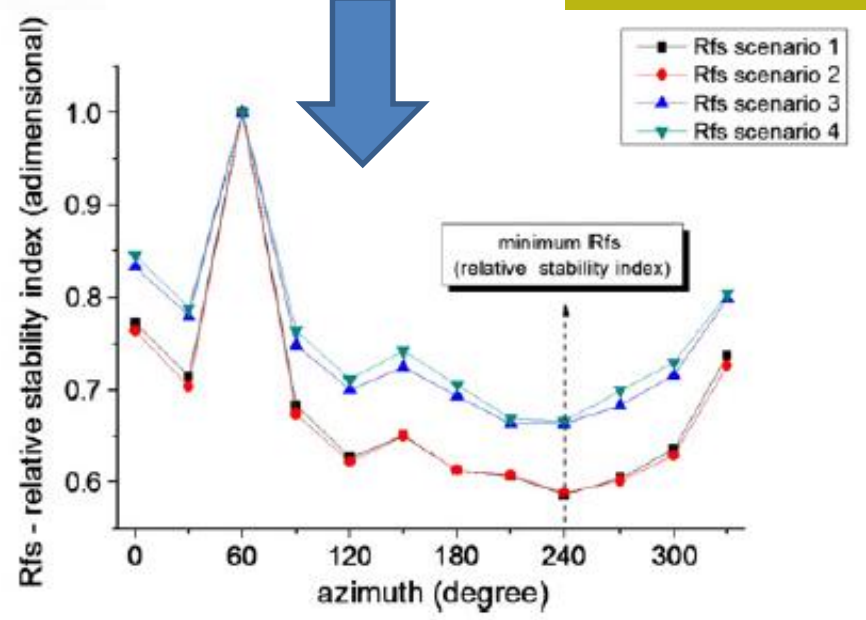
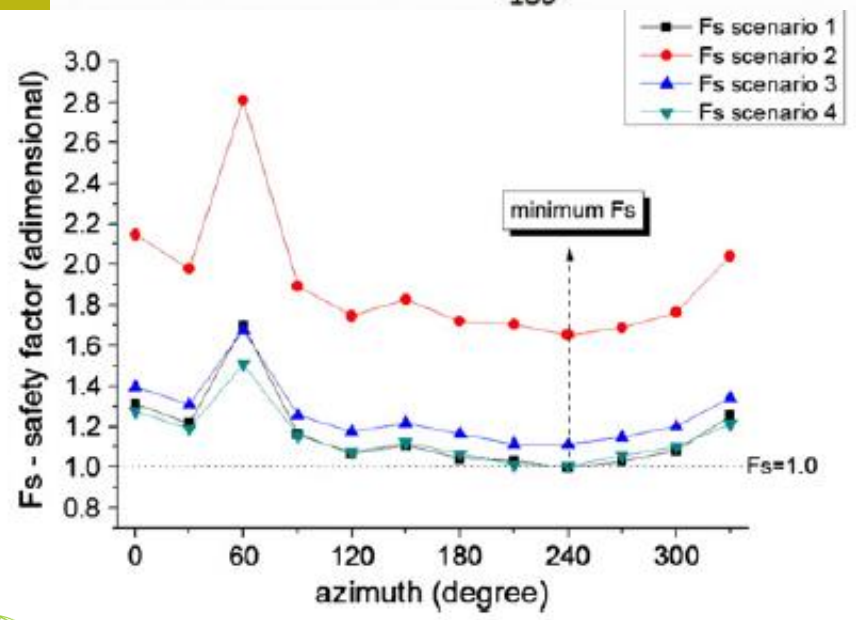
El sector con menor estabilidad relativa es el flanco W-SW (entre 270° y 210° de azimut)

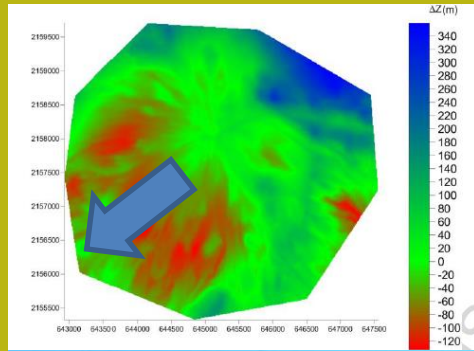
Relative stability index



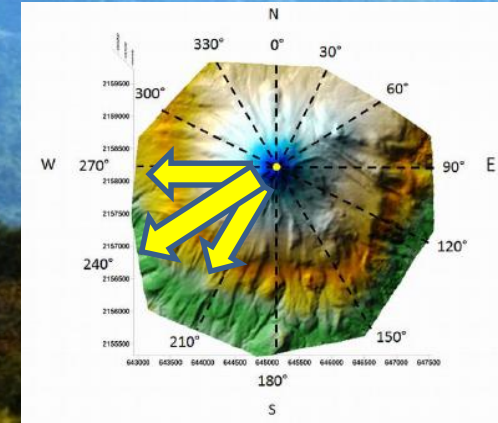
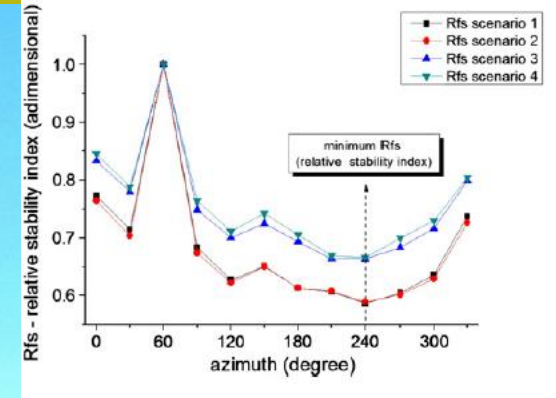
$$R_{f/s_i} = \frac{F_{s_i}}{F_{s_{max}}}$$

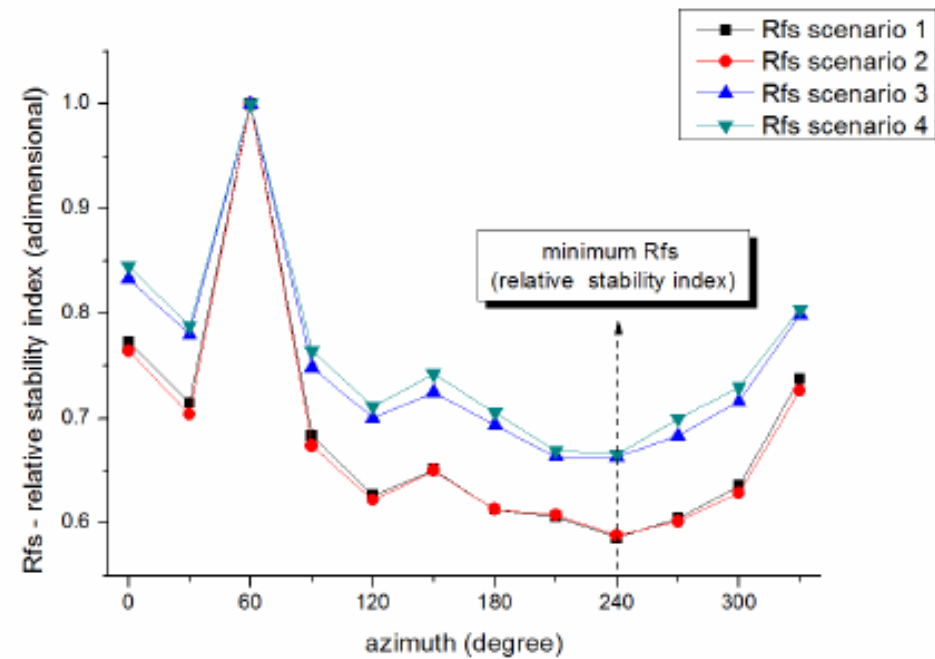
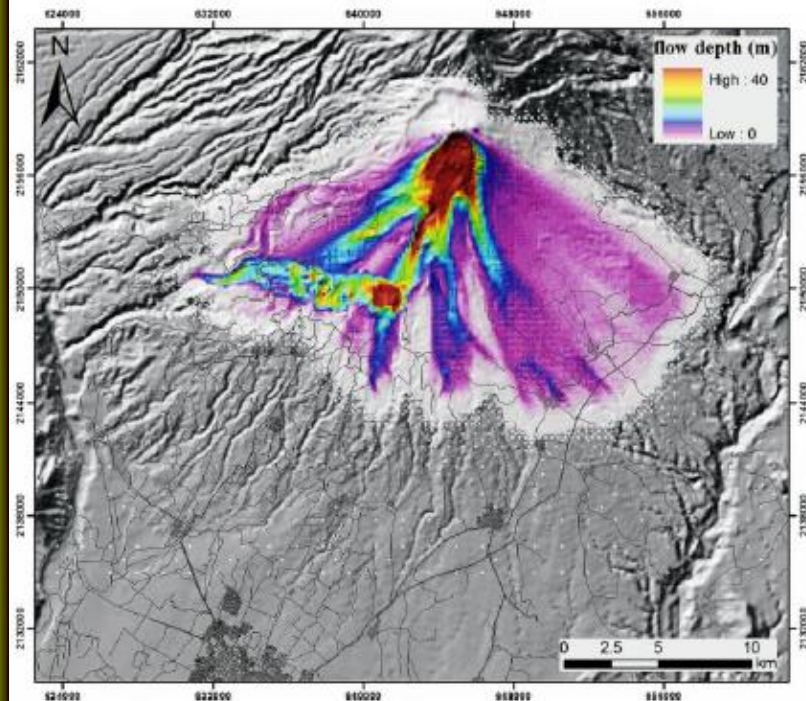
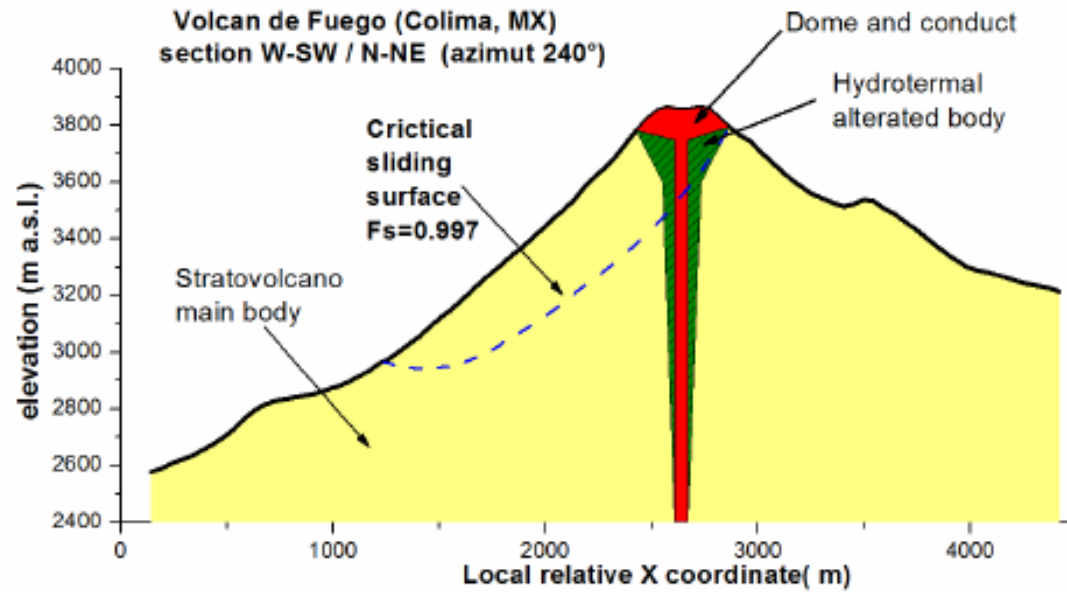
(Borselli et al. 2011)





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





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

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

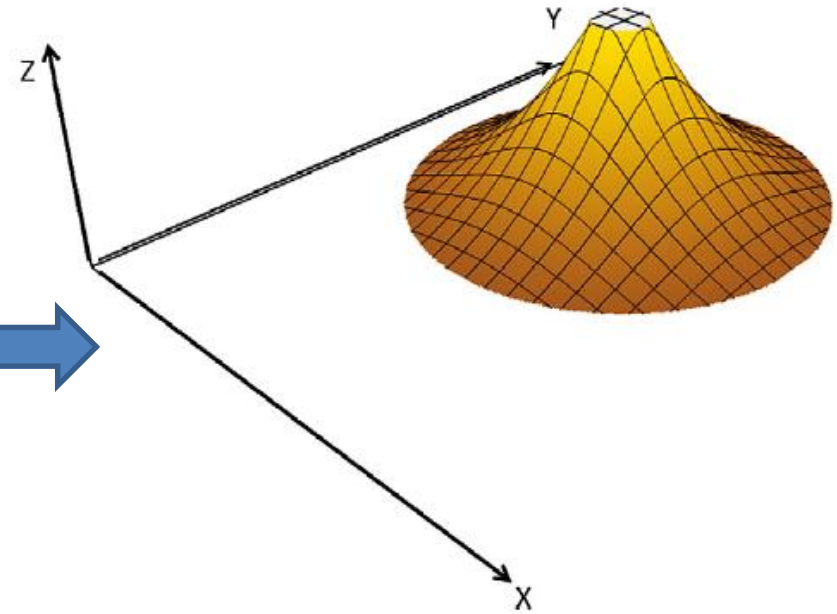


Fig. A.2. Example of volcanoid with constant negative curvature (Eq. (A.5)).

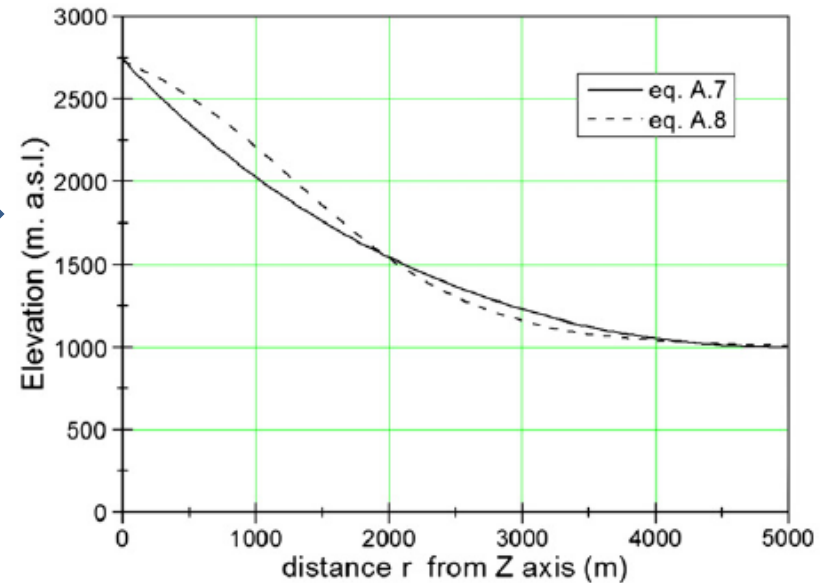
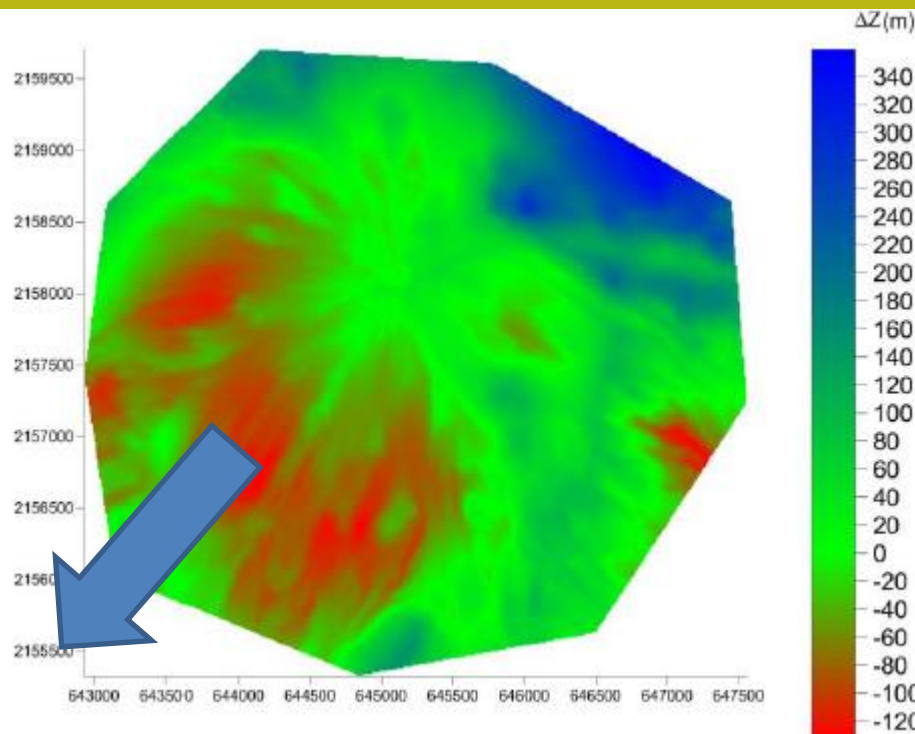
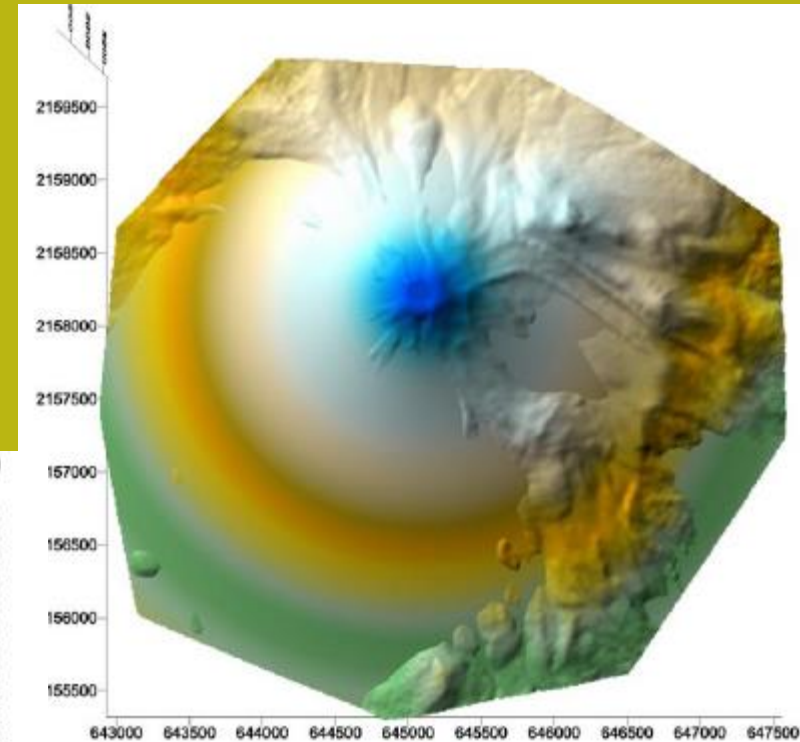
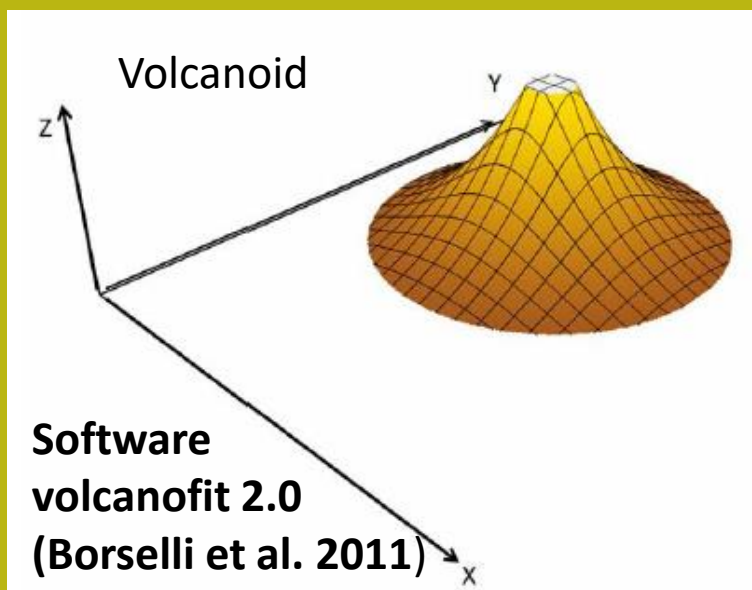


Fig. A.5. Alternative generatrix function of 3D volcanoid.

overlay de DEM y  
Volcanoid (obtenido da VOLCANOFIT  
2.0) [www.volcanofit.org](http://www.volcanofit.org)



Inestabilidad y Déficit de volumen  
(y masa) en el flanco SW.  
Borselli et al. 2011,  
Borselli & Sarocchi 2012



## 10-11 julio 2015 erupción

Journal of Volcanology and Geothermal Research 310 (2016) 39–49

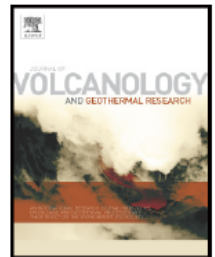


ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com)

### Journal of Volcanology and Geothermal Research

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jvolgeores](http://www.elsevier.com/locate/jvolgeores)



Short communication

### Preliminary report on the July 10–11, 2015 eruption at Volcán de Colima: Pyroclastic density currents with exceptional runouts and volume



L. Capra <sup>a,\*</sup>, J.L. Macías <sup>b</sup>, A. Cortés <sup>c</sup>, N. Dávila <sup>d</sup>, R. Saucedo <sup>e</sup>, S. Osorio-Ocampo <sup>f</sup>, J.L. Arce <sup>g</sup>, J.C. Gavilanes-Ruiz <sup>h</sup>,  
P. Corona-Chávez <sup>g</sup>, L. García-Sánchez <sup>f</sup>, G. Sosa-Ceballos <sup>b</sup>, R. Vázquez <sup>i</sup>

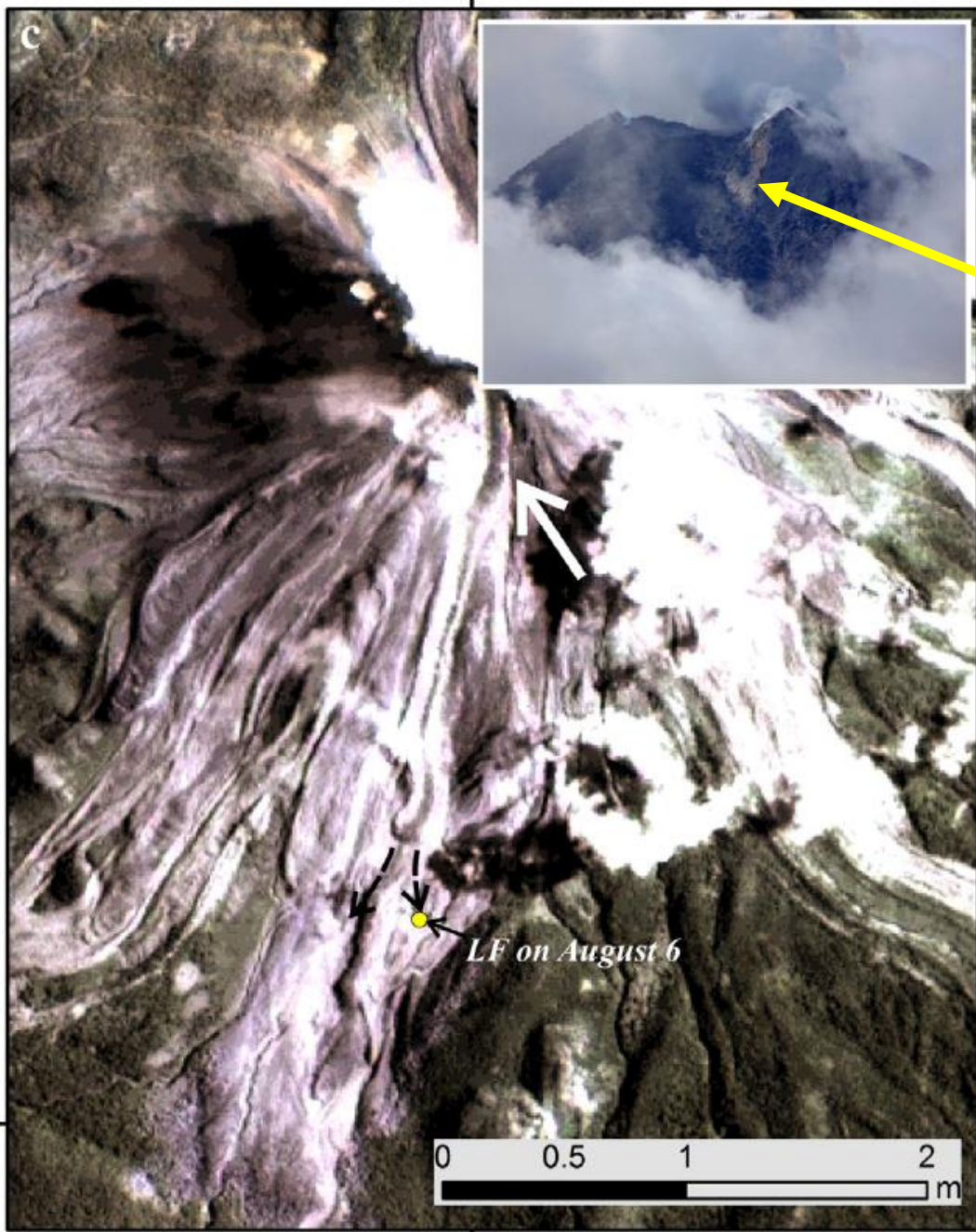
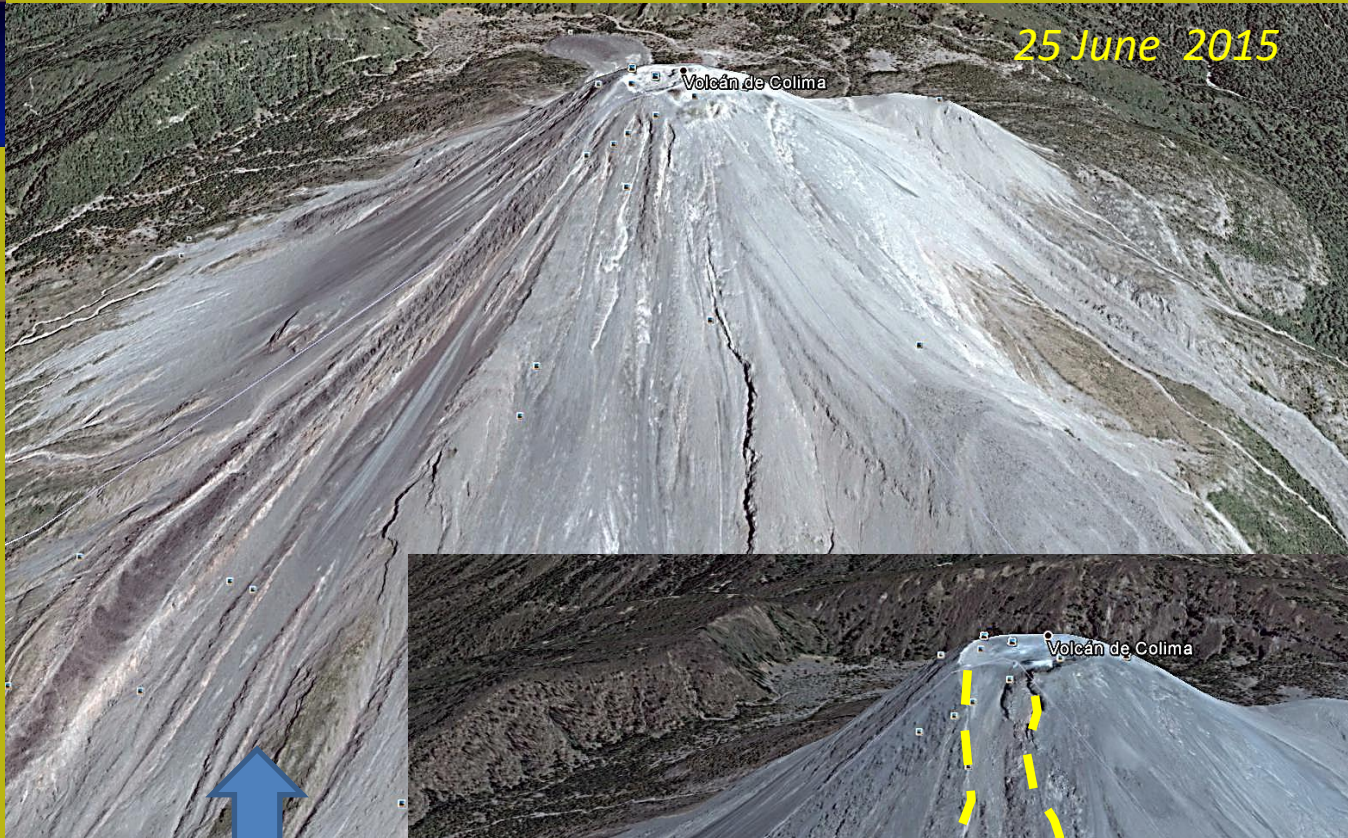


Imagen julio2015  
By Capra L.  
Porcion superior  
collapsada del edificio  
Colima Volcano

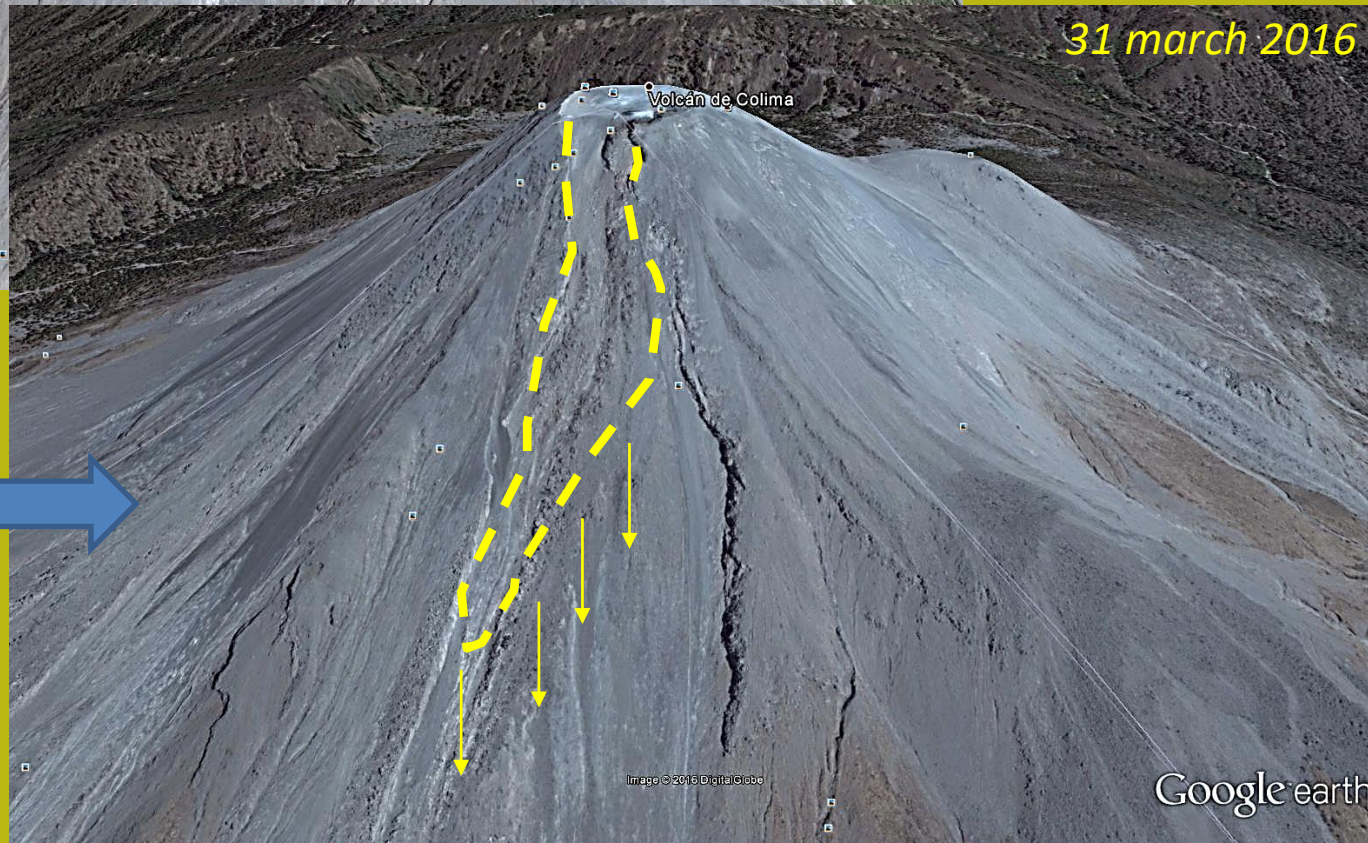
(by capra et al. 2016)

25 June 2015



Colima volcán  
de Fuego  
upper edifice

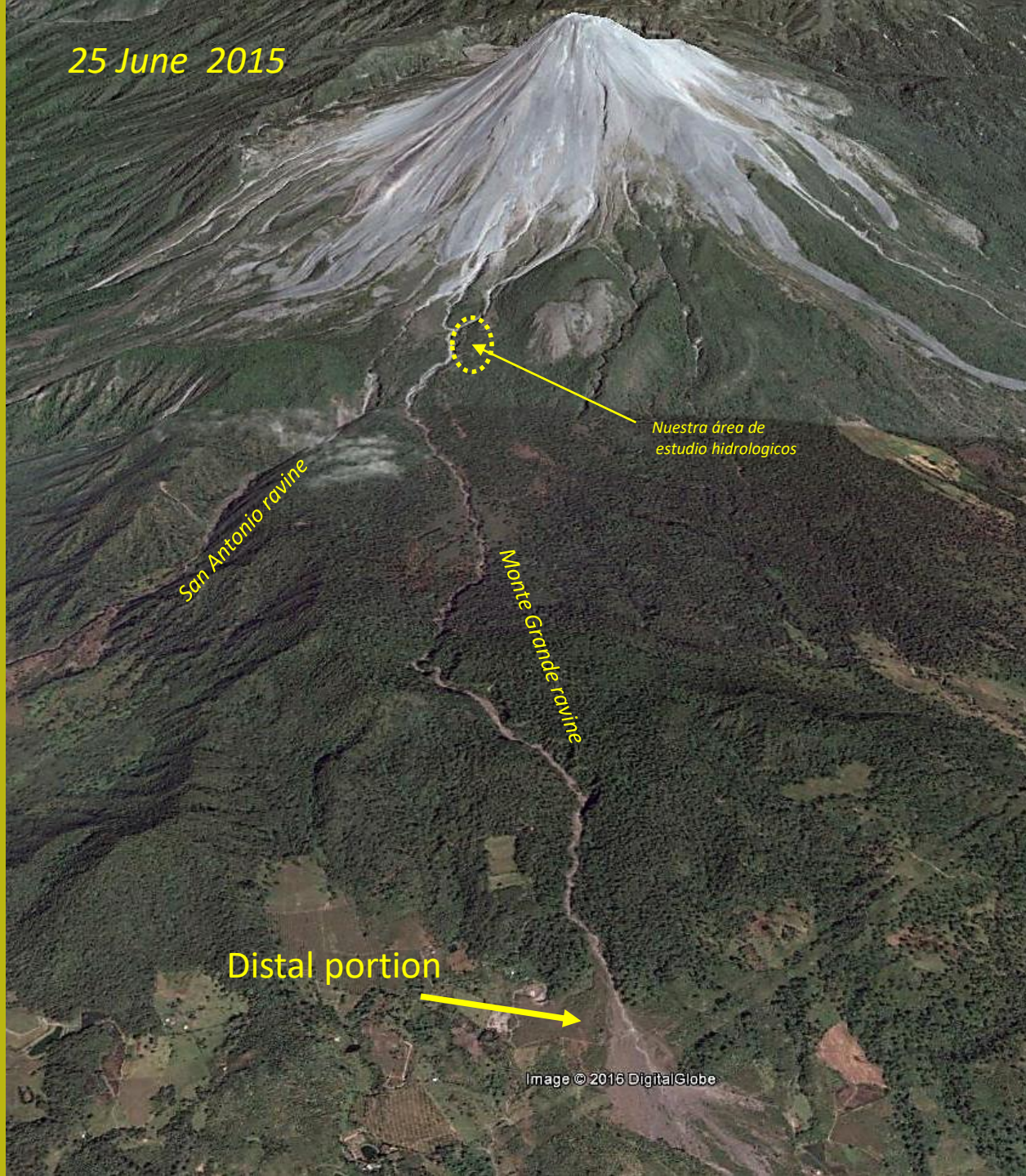
31 March 2016



Dome and side crater  
partial collapse 10 July  
2015, 10 km large  
runout and piroclastic  
flow, as block and ash  
flow SW view  
(images by Google  
Earth)

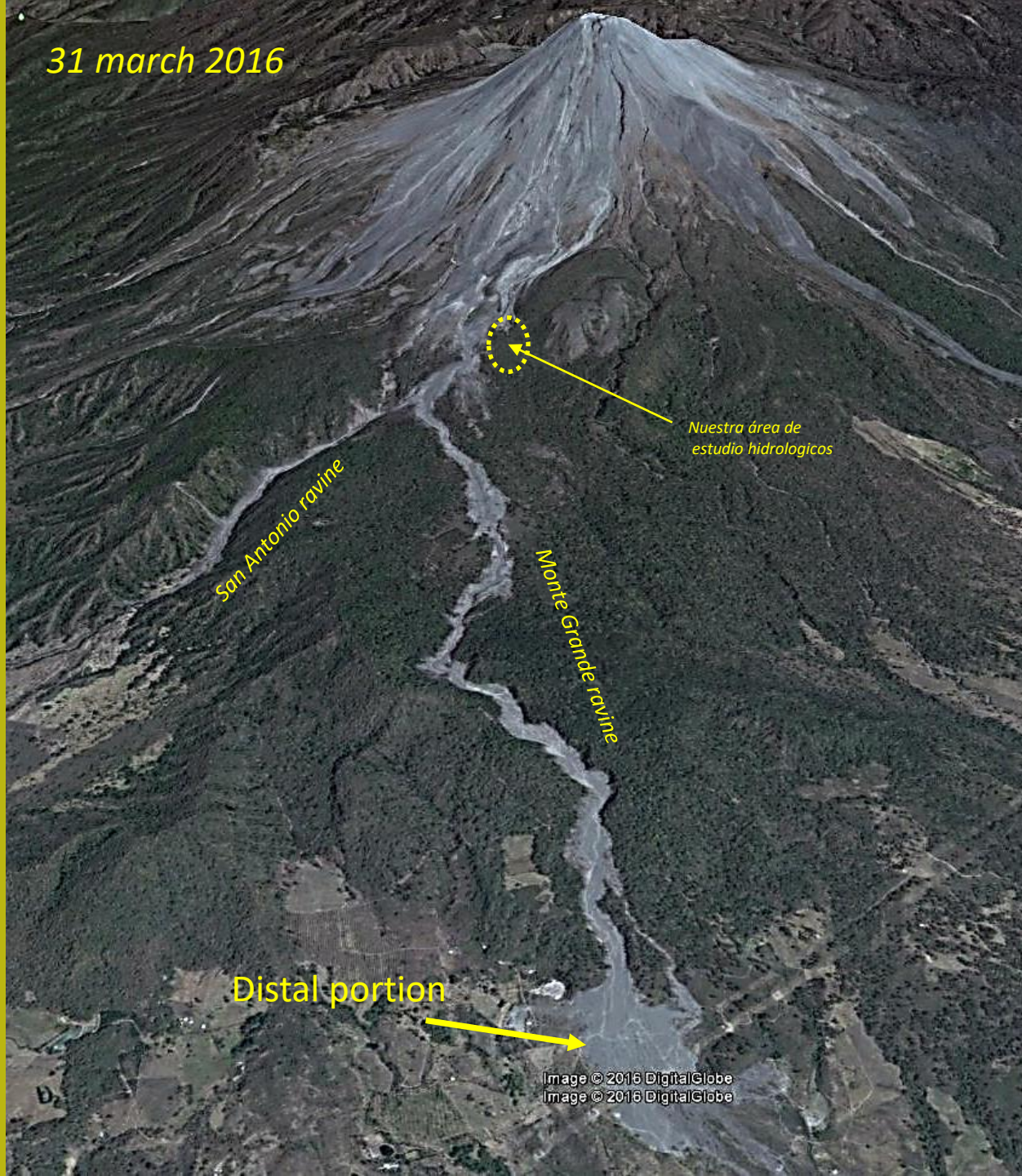
25 June 2015

Colima volcán  
de Fuego  
Full SW view  
(images by  
Google Earth)

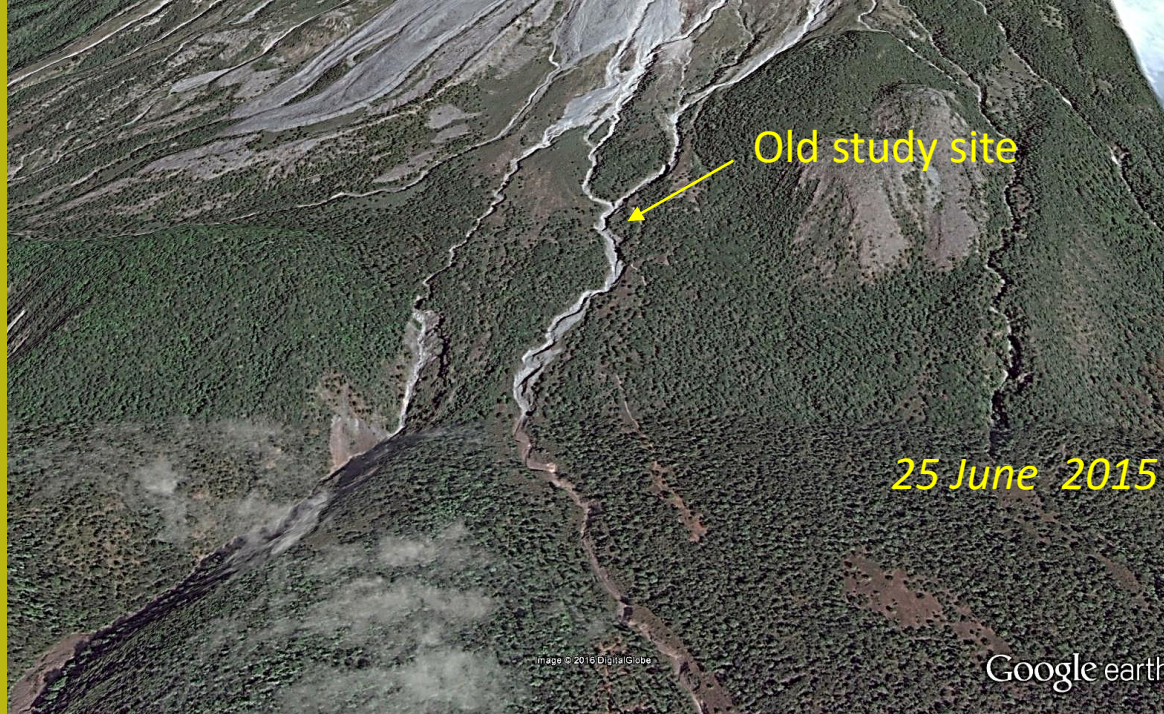


31 march 2016

Colima volcán  
de Fuego  
Full SW view  
(images by  
Google Earth)



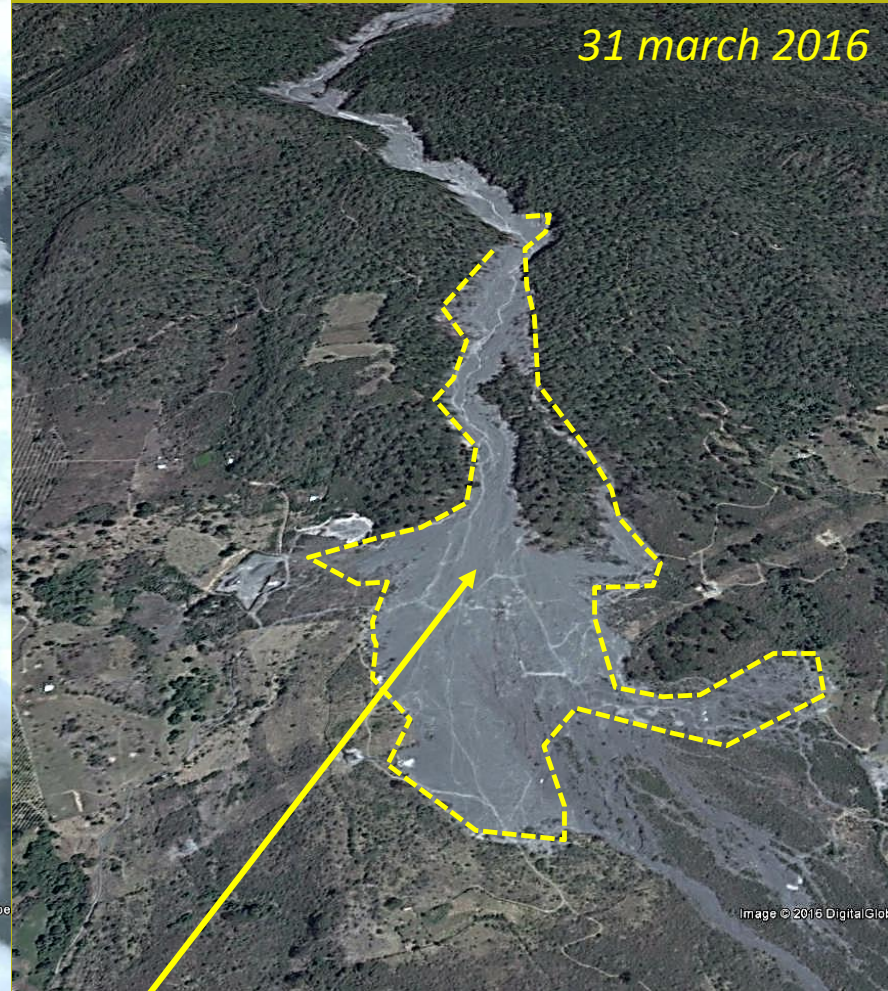
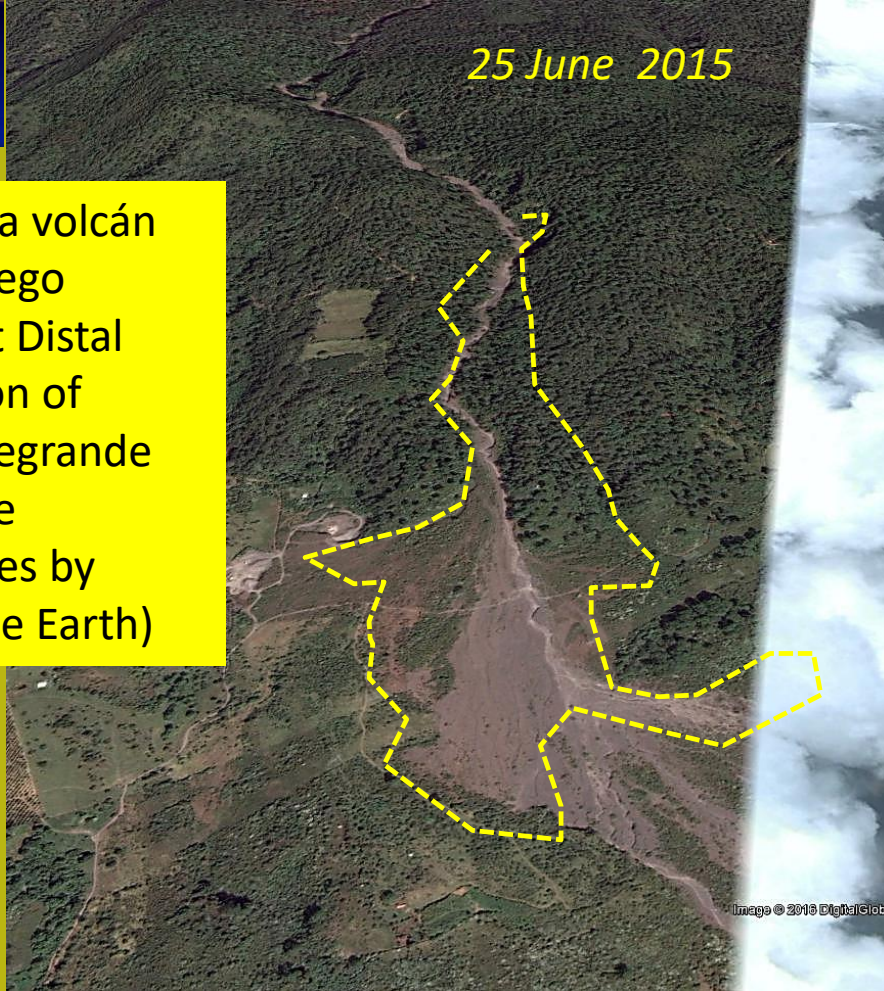
Colima volcán  
de Fuego  
Median  
portion  
Montegrande  
And san  
Antonio  
Ravine  
(images by  
Google Earth)



25 June 2015

31 March 2016

Colima volcán  
de Fuego  
Fan at Distal  
portion of  
Montegrande  
Ravine  
(images by  
Google Earth)

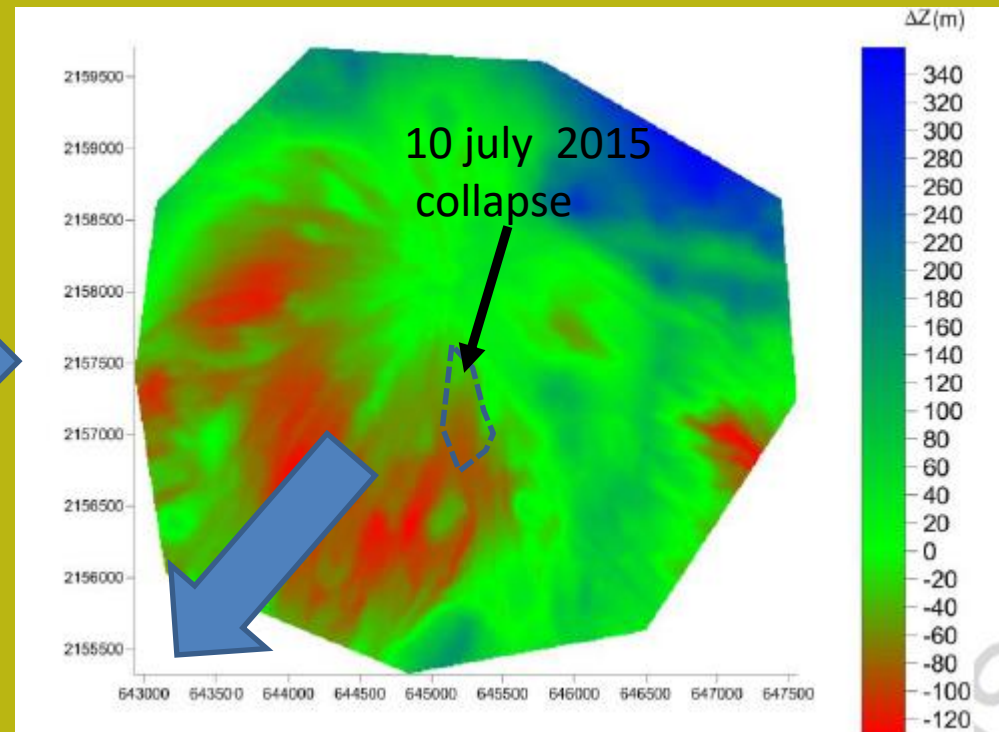


Distal Fan image  
(capra et al. 2016)

Después el avengeo del 10 julio 2015 hemos reconsiderado alguno asuntos de la estabilidad del edificio y en particular usando las nuevas herramientas que se desarrollaron después del 2013

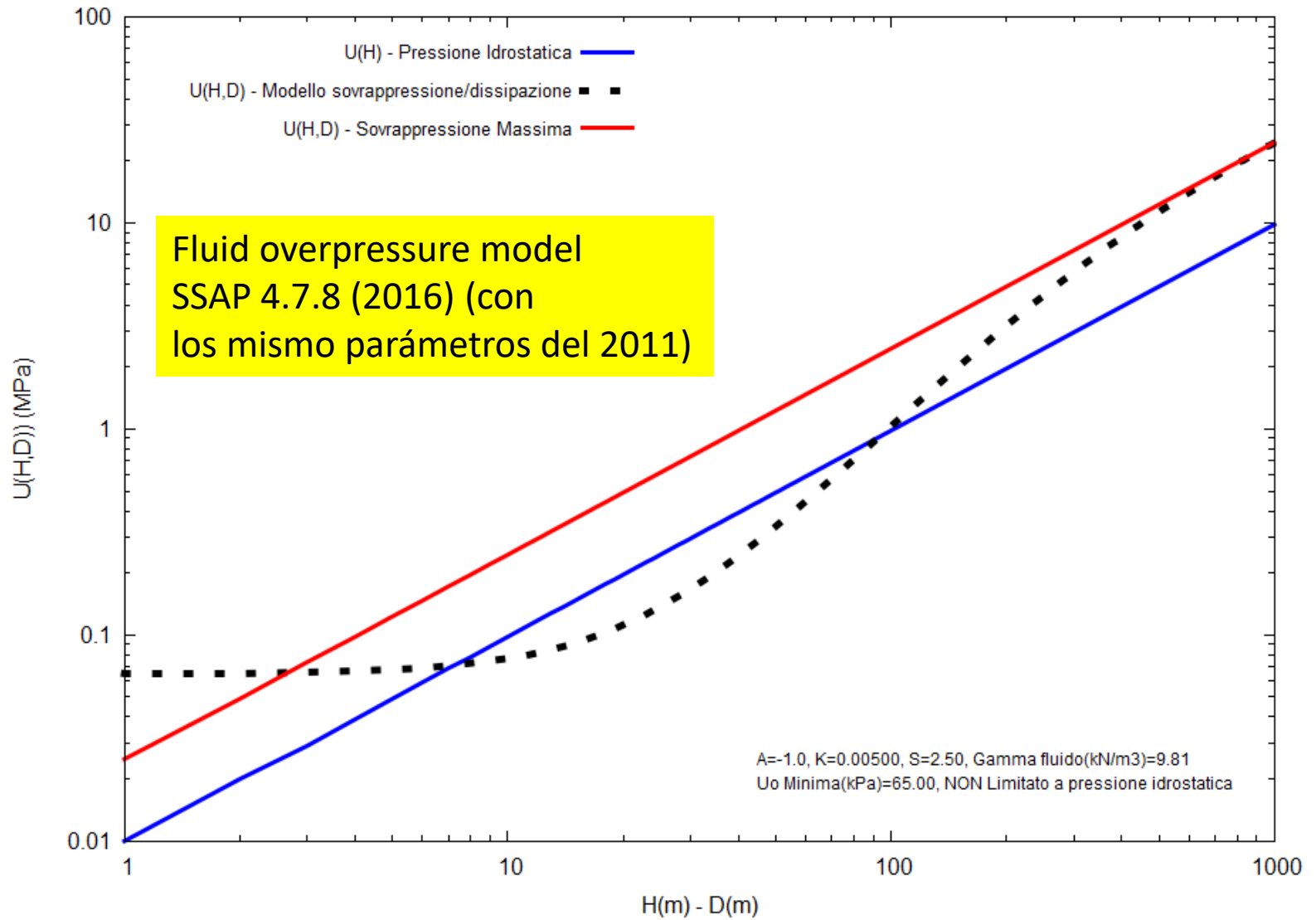
- *Mapa local FS en colores, por medio de Quasi FEM algorithm (Borselli 2013,2016)*
- *Color Mapa en colores de la presión y (overpressure) de los fluidos*
- *Mejoras en los motores Monte Carlo para la generación de las superficies y de los métodos de cálculo rigurosos advanced LEM usado a pro SSAP.*

*Original Volume deficit map  
Obtained by Volcanofit 2.1*

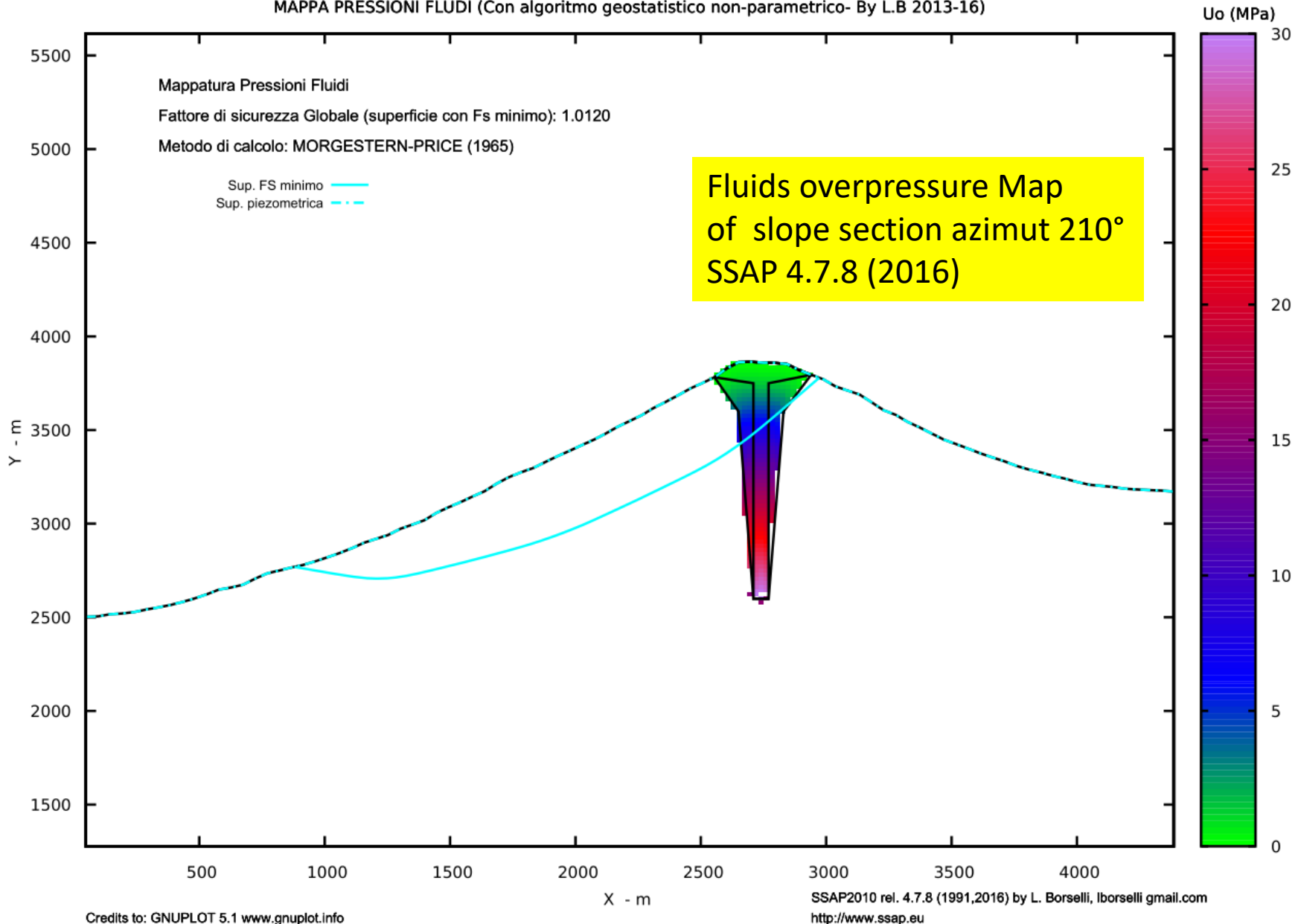




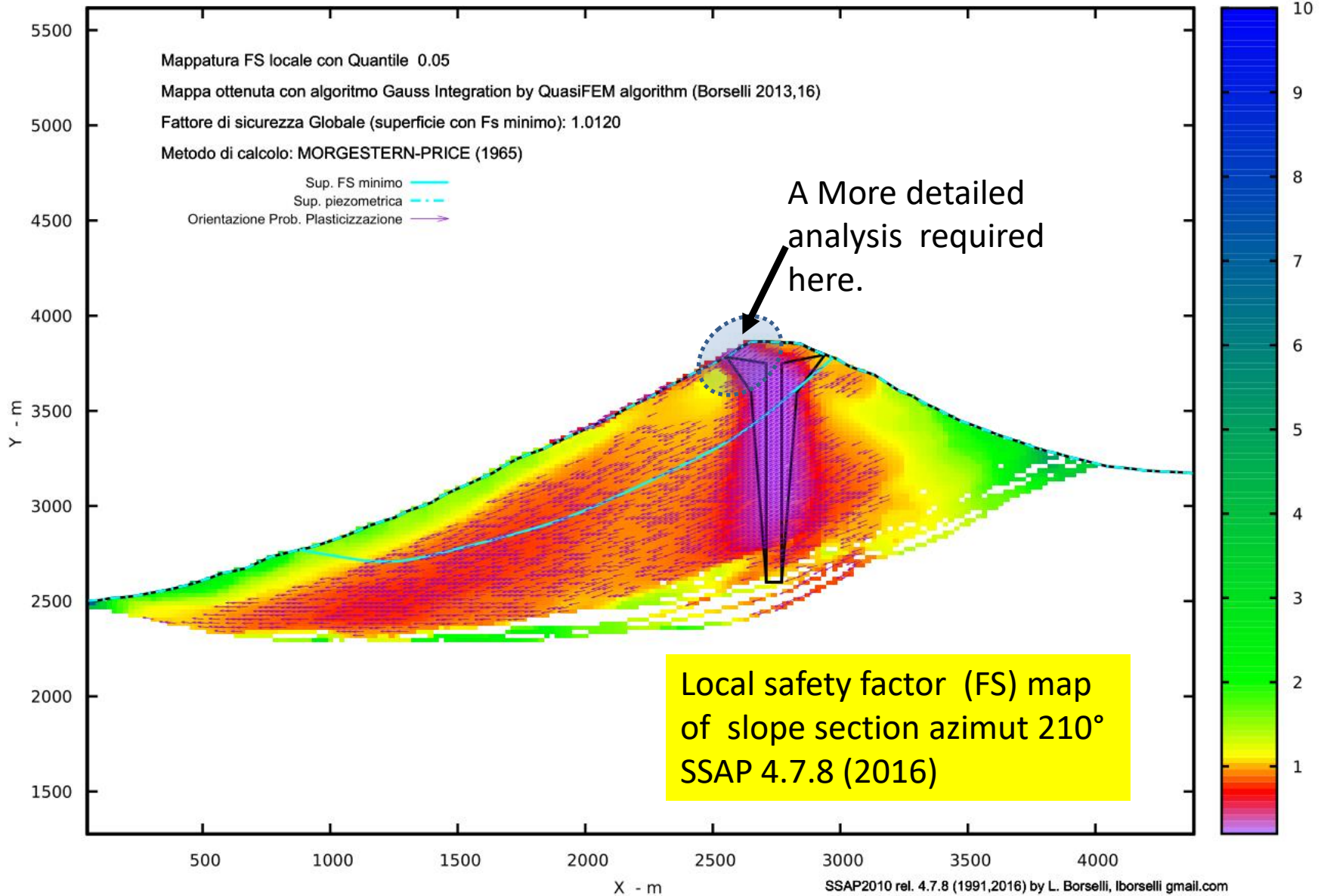
### Distribuzione Modello Sovrappressioni Fluidi



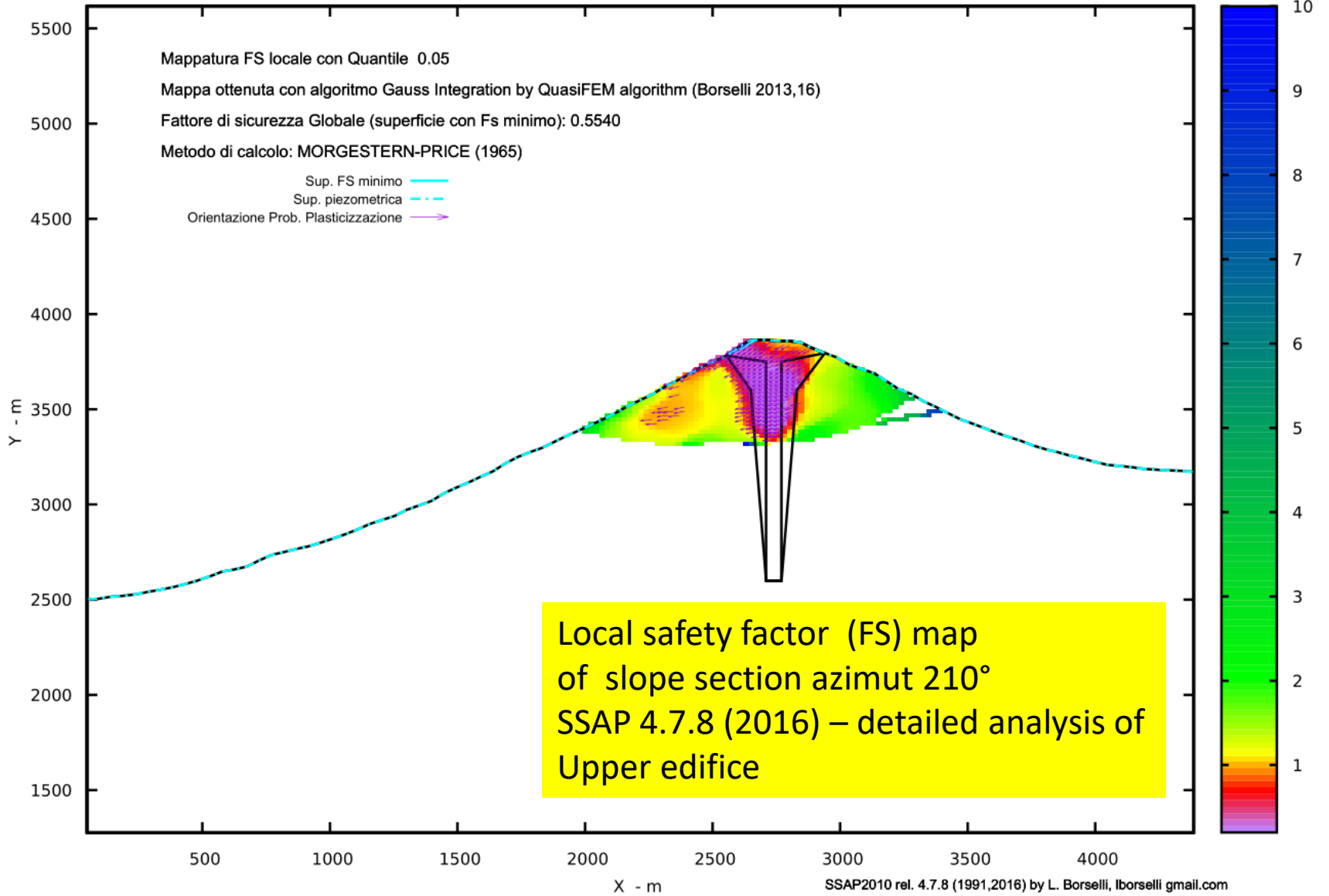
### MAPPA PRESSIONI FLUDI (Con algoritmo geostatistico non-parametrico- By L.B 2013-16)



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



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



Credits to: GNUPLOT 5.1 [www.gnuplot.info](http://www.gnuplot.info)

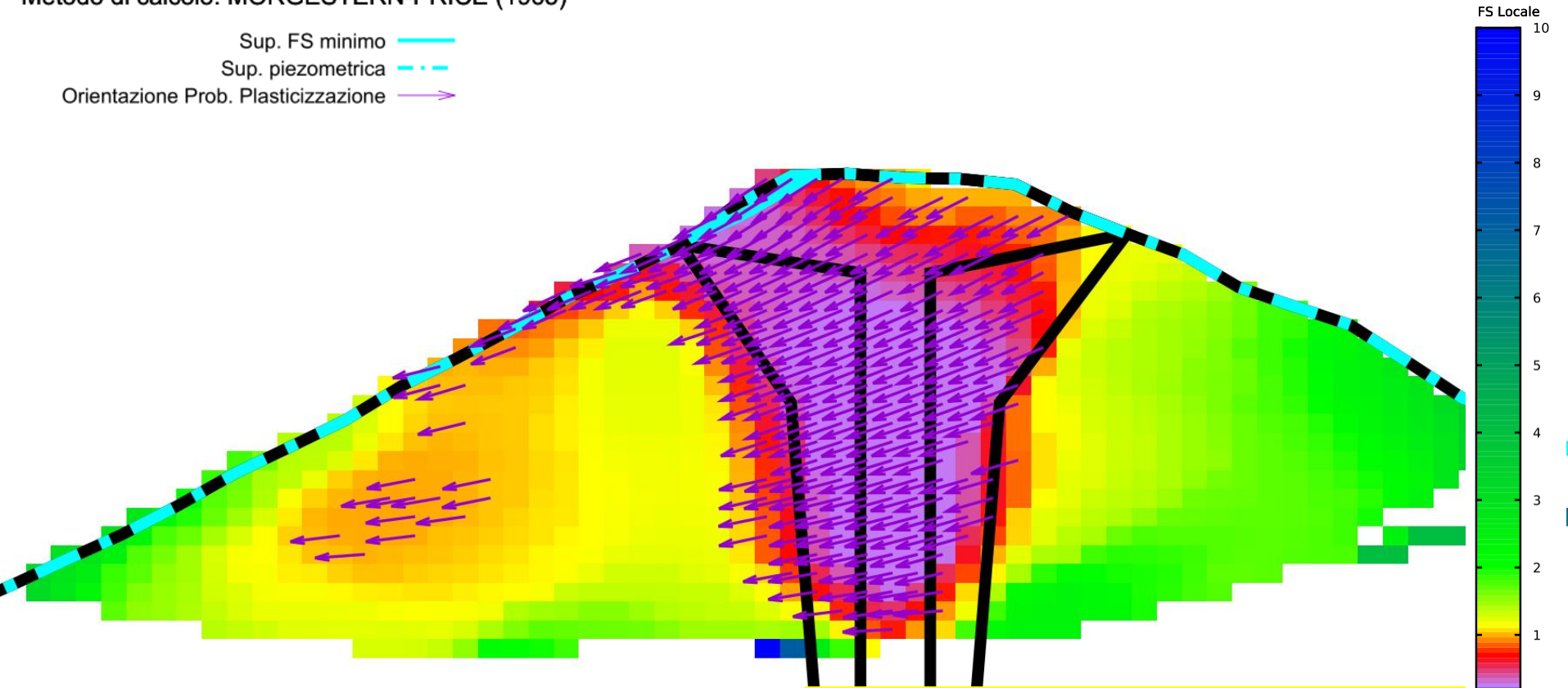
SSAP2010 rel. 4.7.8 (1991,2016) by L. Borselli, [lborselli@gmail.com](mailto:lborselli@gmail.com)  
<http://www.ssap.eu>

Mappa ottenuta con algoritmo Gauss Integration by QuasiFEM algorithm (Borselli 2013,16)

Fattore di sicurezza Globale (superficie con Fs minimo): 0.5540

Metodo di calcolo: MORGESTERN-PRICE (1965)

Sup. FS minimo ———  
Sup. piezometrica - · - -  
Orientazione Prob. Plasticizzazione —>



Local safety factor (FS) map  
of slope section azimuth 210°  
SSAP 4.7.8 (2016) – detailed analysis of  
Upper edifice

# SSAP2010 - Highlights

- Herramienta freeware de uso general que ya tiene un largo uso en Italia en profesionales, estudiantes, investigadores, empresas públicas y privadas. (aproximativamente son 1000 downloads por mes)
- 25 años de desarrollo de código original, testing, aplicaciones, y interacción frecuente con los usuarios finales ..
- Muchos algoritmos originales..(*sniff random search.. Global optimization by DE... etc.; mapa Fs local 2D color*).
- Control de estabilidad numérica, gestión acuíferos, y presión de fluidos;
- Documentación técnica completa (*por el momento en italiano – manual PDF*) y muchos ejemplos de aplicación.
- Muchas Aplicaciones in Italia y algunas en México.
- Potencialidad en el desarrollo de nuevas funciones de calculo.
- Rápida curva de aprendizaje experimentada da los usuarios (geologo y ingenieros). Experimentada con muchos usuario en Italia..
- Aplicación a muchos casos con elevada de complejidad geo-mecanicas y hidráulica.
- **Gratis ... para todos.**
- **Desde el 2013 contribución CONACYT (Proyecto Ciencia Basica No. 184060 ... Se espera en un próximo proyecto encontrar fondos para la traducción en ingles y español**

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

**Gracias por su atención !!!**

