



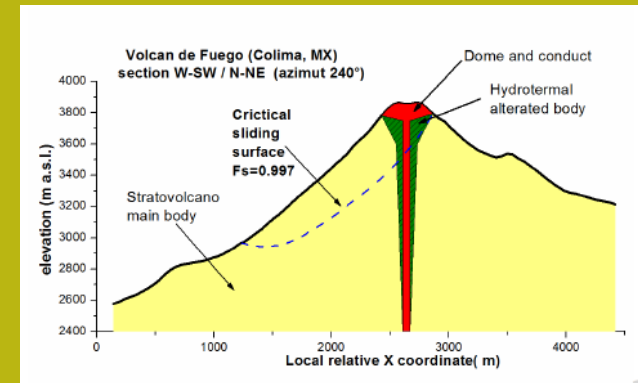
# Evaluación de Estabilidad de taludes complejos en suelos y rocas (Italia y México), por medio de software SSAP-2010



**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 4.9.9 - 2019)

**SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM**  
 release 4.9.9 (c) (1991-2019)  
 Build No. 11099 Windows 64 Bit  
 by Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D.  
 lborselli@gmail.com  
<https://www.lorenzo-borselli.eu>

**AVVIO VERIFICA**  
 VERIFICA GLOBALE  
 VERIFICA SINGOLA

**RISULTATI**  
 DIAGRAMMI FORZE  
 MAPPA PRESSIONE FLUIDI  
 VEDI GRAFICI SUPERFICI  
 GENERA / VEDI MAPPA Fs LOCALE

**MONITOR VERIFICA**

MODELLO PENDIO: **sismica.mod**

MODELLO DI CALCOLO: **Morgestern - Price (1965)**

MODELLO DI CALCOLO:  
 COEFFICIENTI SISMICI: ORIZZONTALE (K<sub>h</sub>): 0.0500  
 VERTICALE (K<sub>v</sub>): 0.0250 (K<sub>v</sub> 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 29.00  
 ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - (m): da 10.10 a 98.00  
 QUOTA LIMITE INFERIORE (m): 0.00  
 LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI - (m): 4.00

SMUSSA SUPERFICI: **Attivo**      EFFETTO TENSION CRACKS: **Attivo**  
 RICERCA CON ATTRATTORE DINAMICO: **Attivo**      METODO (lambda0, F<sub>0</sub>): **A**

**RISULTATI IN TEMPO REALE**  
 F<sub>s</sub> ITERATIVO: 1.4181  
 INTERVALLO F<sub>s</sub> delle 10 SUPERFICI CON MINOR F<sub>s</sub>: **1.3003 - 1.3436**  
 n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE: 2078 di 10000  
 % EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA: 20.415 - 98.48

PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETE(%) : 20.78

STOP VERIFICA      VEDI RISULTATI TEMPORANEI

MESSAGGI: SUGGERIMENTI: effettuata una verifica di stabilità e 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.

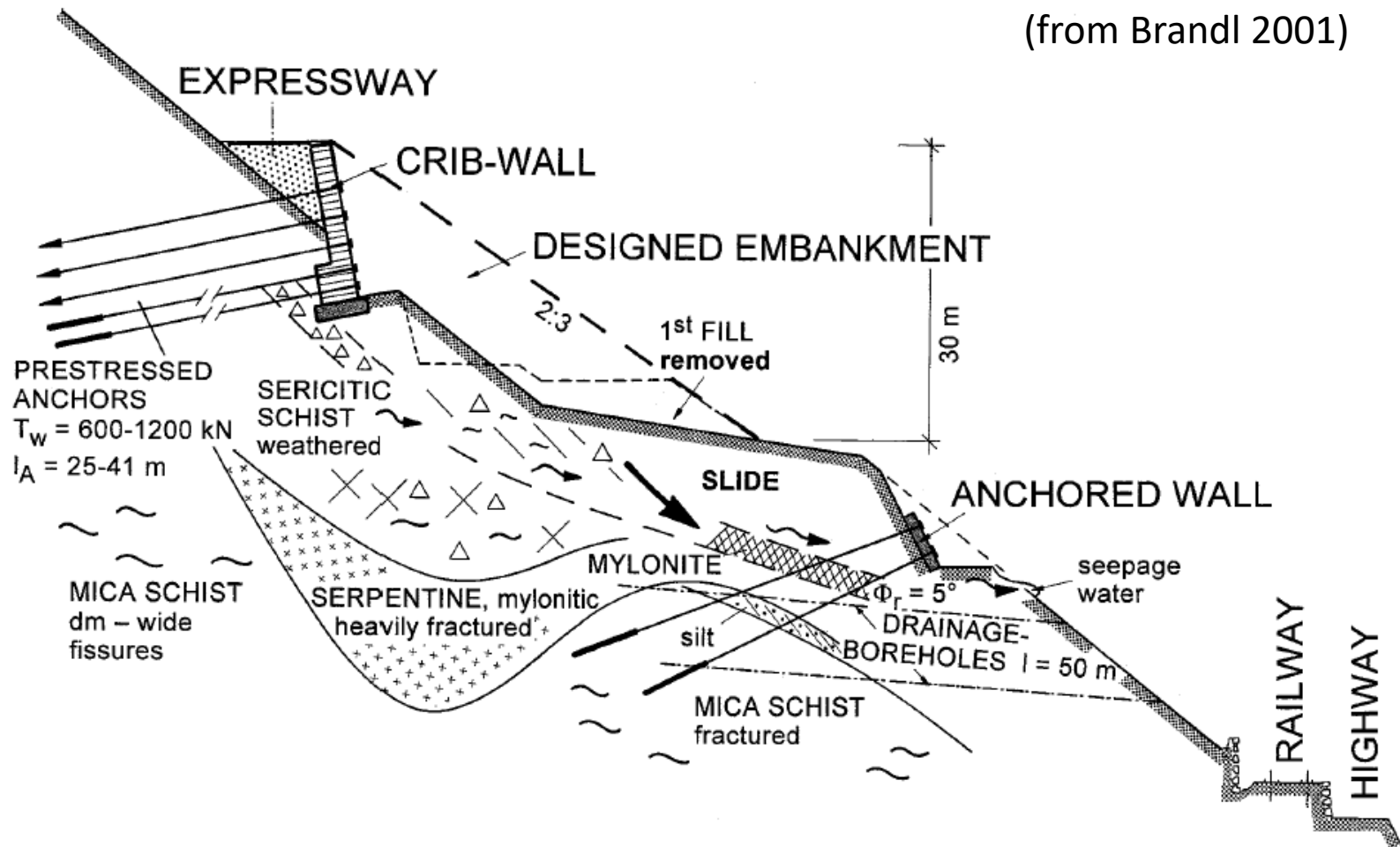
**SETUP VERIFICA**  
 INFO  
 OPZIONI  
 PARAMETRI  
 GESTIONE ACQUIFERI  
 OPZIONI AGGIUNTIVE  
 SALVA IMPOSTAZIONI  
 CARICA IMPOSTAZIONI

**STRUMENTI**  
 GENERA REPORT VERIFICA  
 GENERA FILES DXF  
 ESPORTA SUPERFICI  
 CAMBIA PAR. GEOTECNICI  
 EDITA FILES  
 MAKEFILES 5.3  
 File SSAP2010.INI

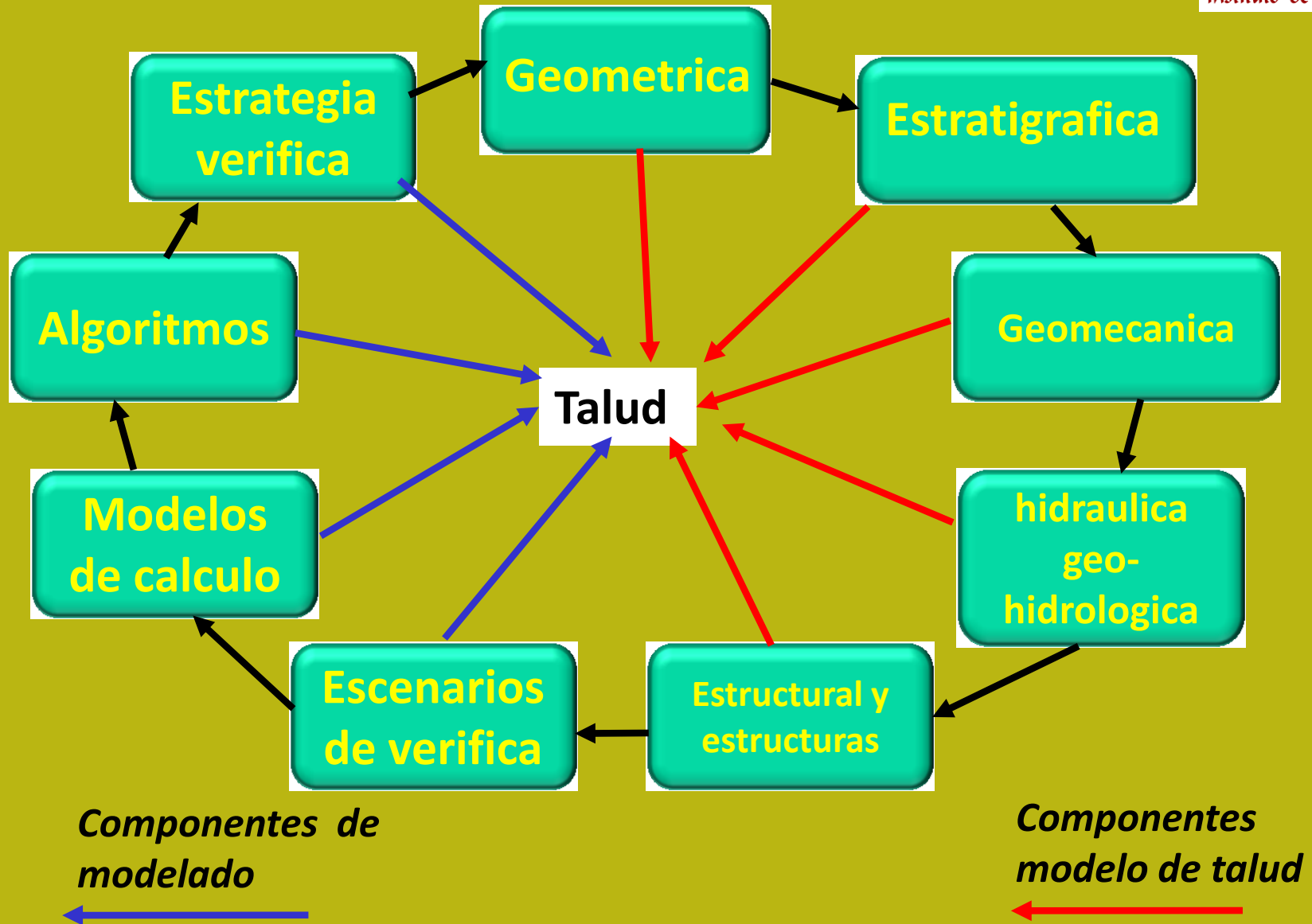


A pesar que la evaluación del nivel de estabilidad de un talud es una operación muy común como aplicación en geotecnia, las mayores dificultades en averiguar el nivel de estabilidad de un talud puede ser resumidas en la modelación y el manejo de un elevado potencial de complejidad interna...

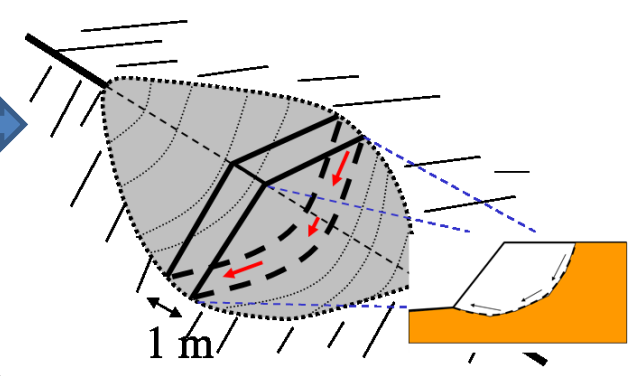
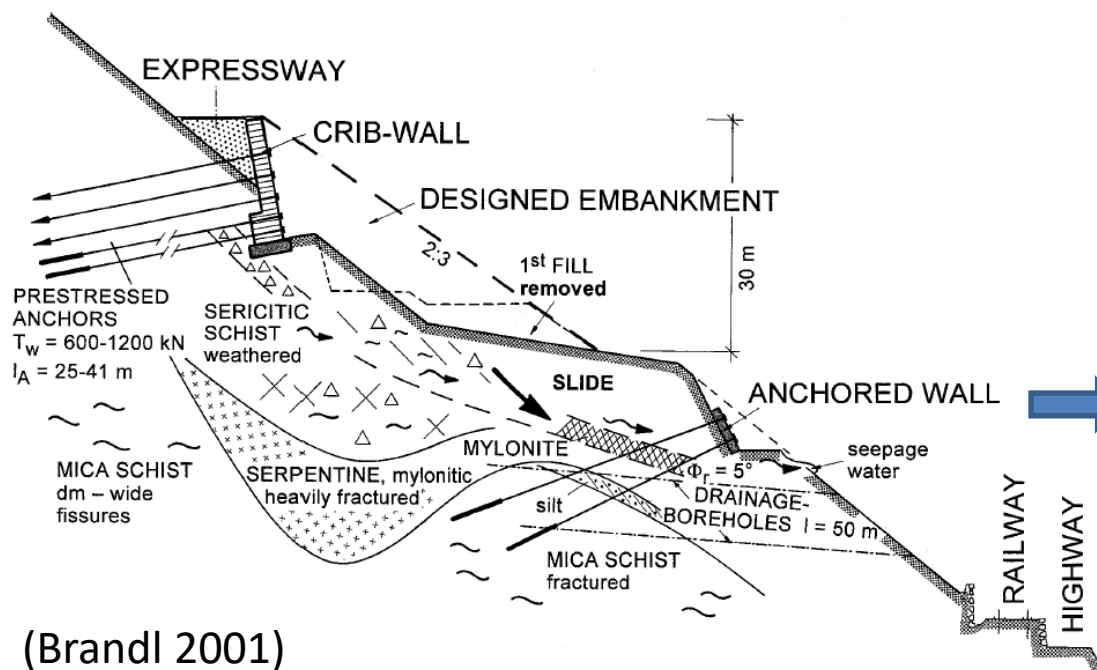
(from Brandl 2001)



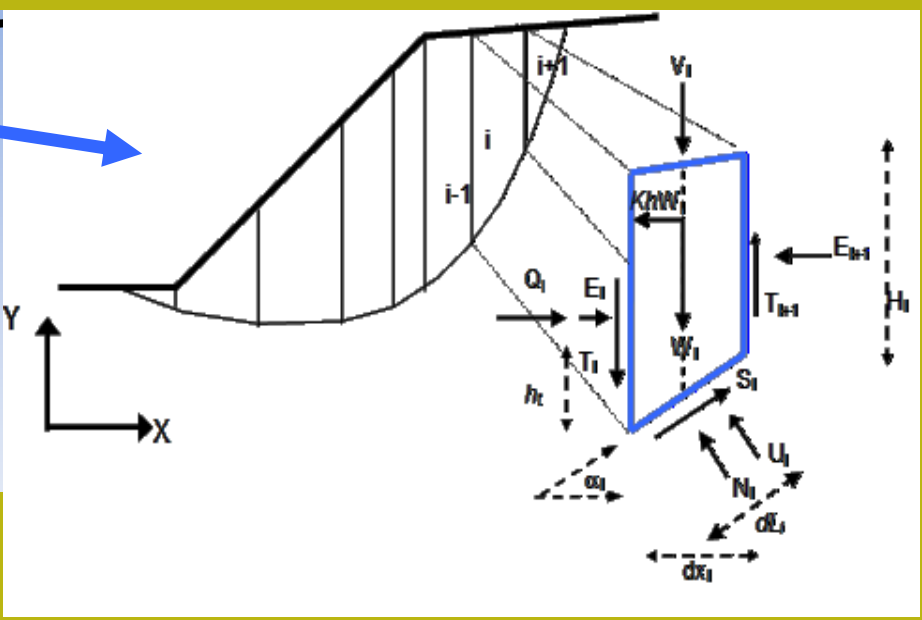
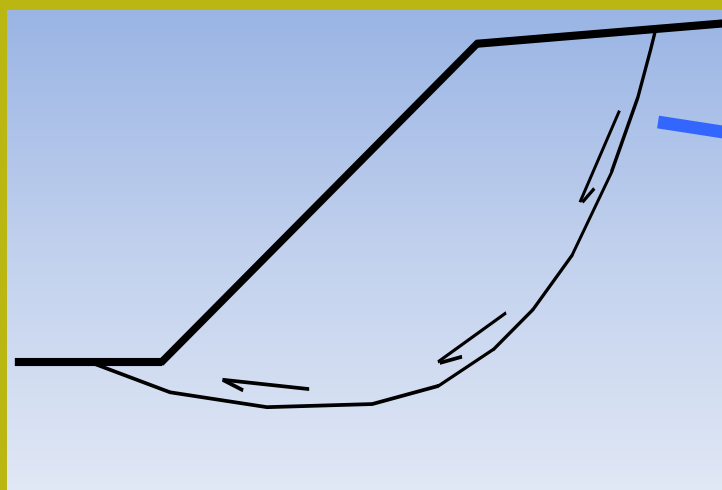
# Complejidad Análisis y verifica de estabilidad de taludes: componentes e interacciones.



# Análisis de estabilidad by LEM



(Brandl 2001)

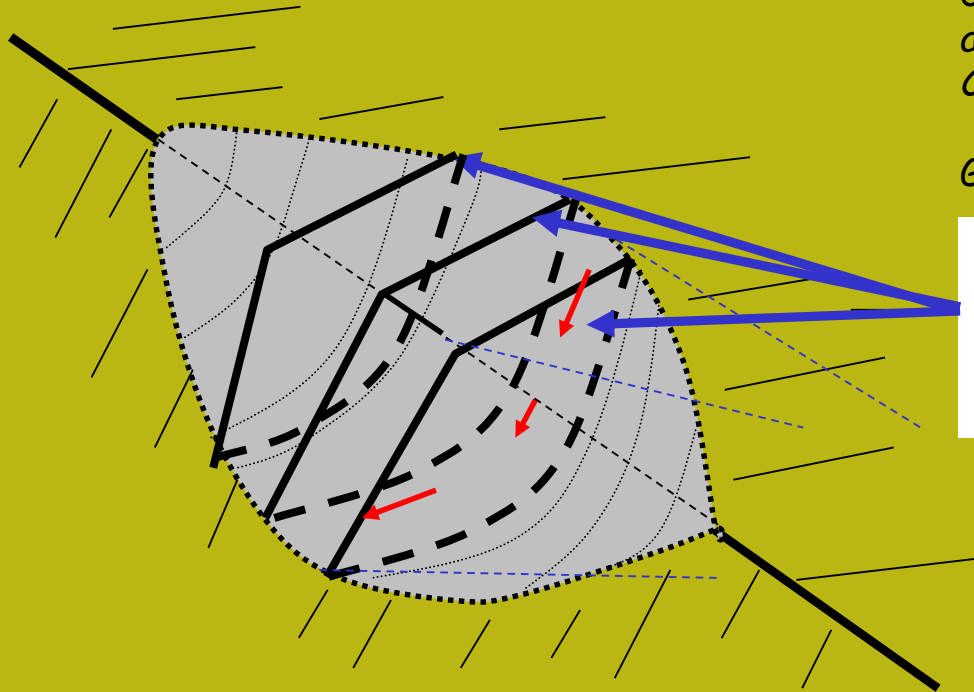


Complejidad geológica y numérica !



# Complejidad geométrica

Verifica de estabilidad 3D→2D



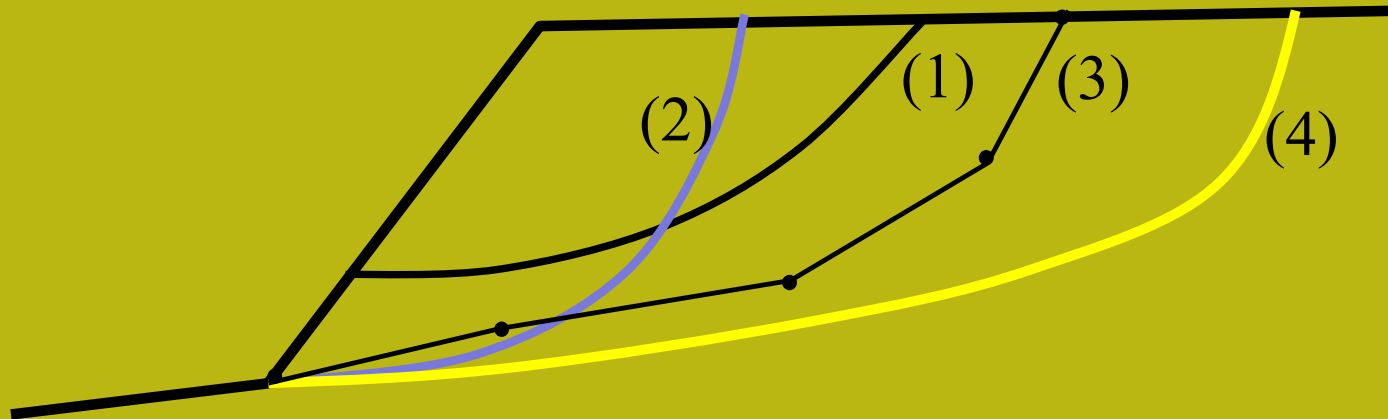
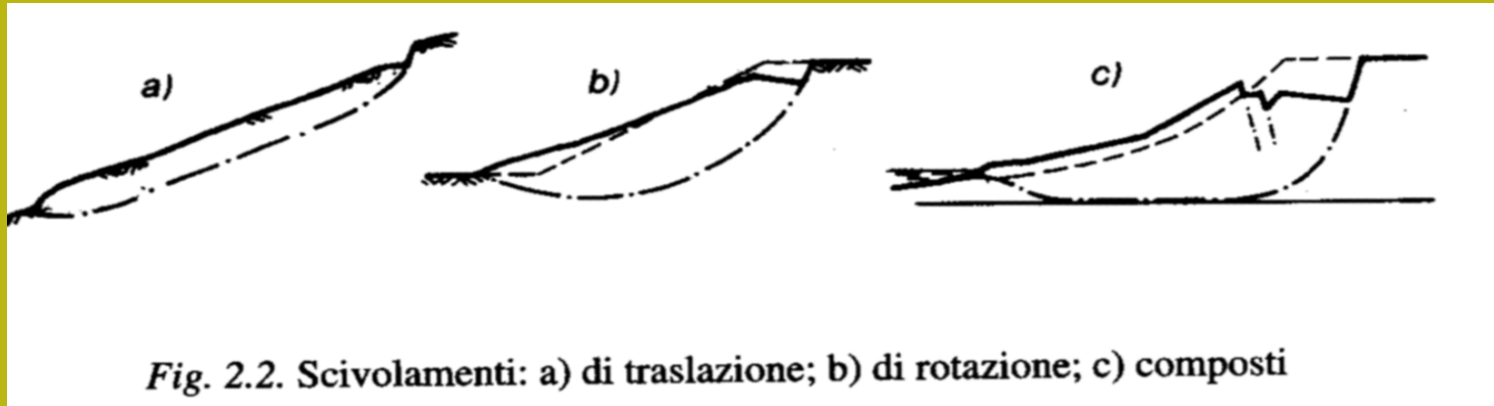
Naturalmente por medio del  
calculo de Fs de diversas  
secciones 2D

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

Generalmente  $Fs_{3D} > Fs_{2D}$

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

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).

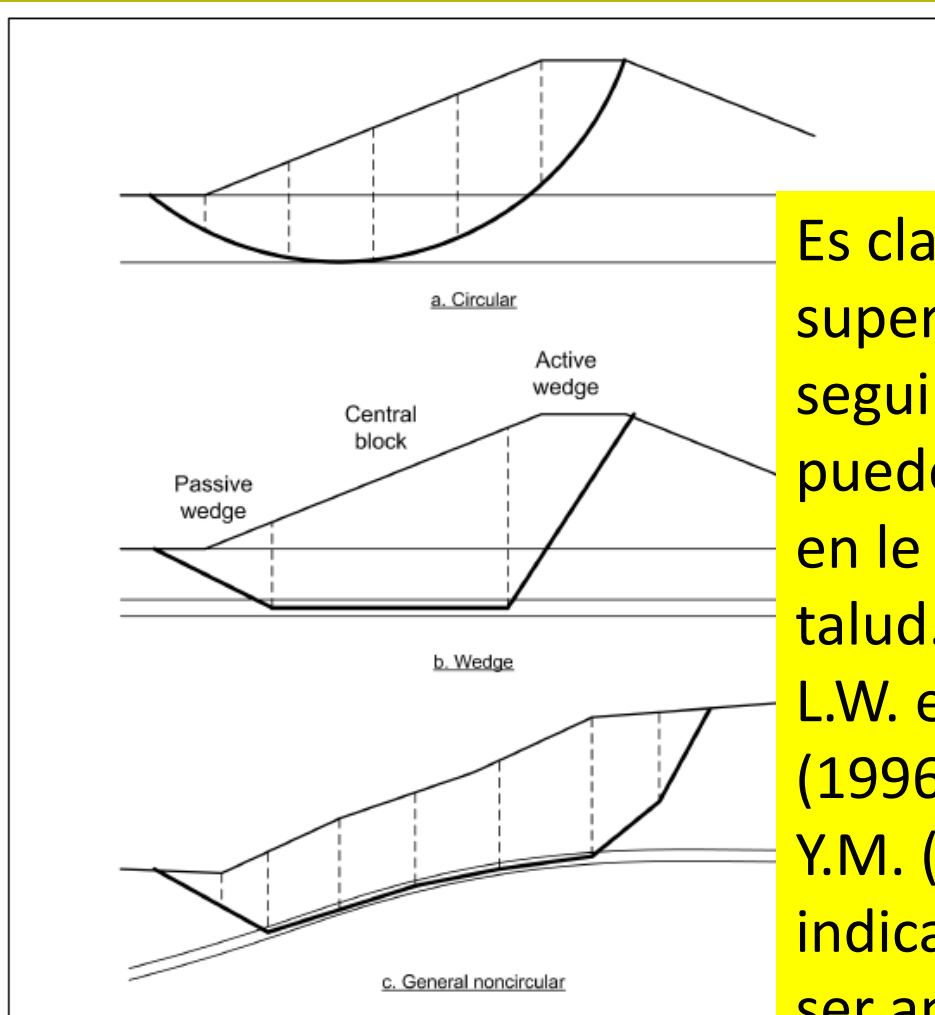
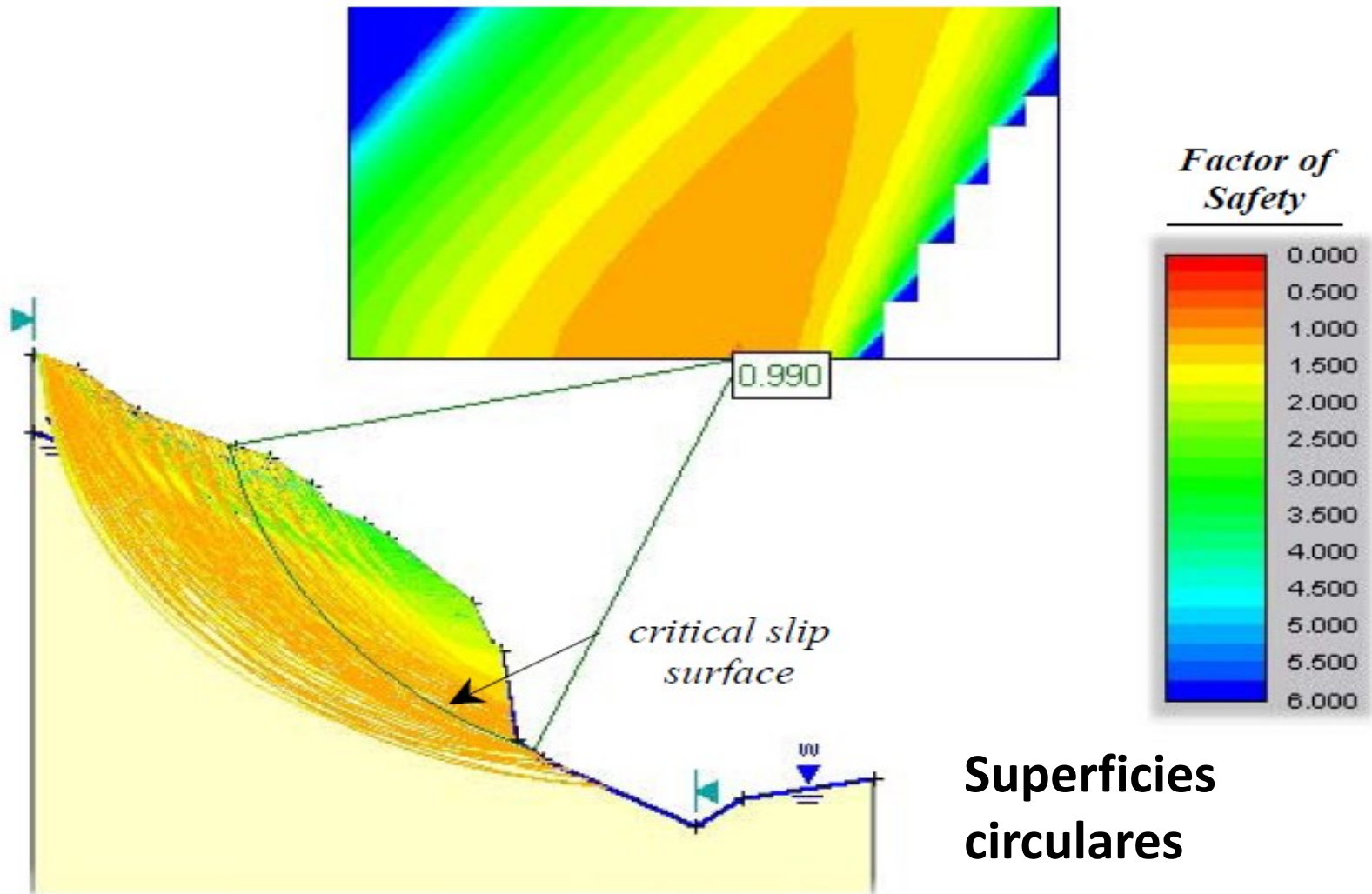
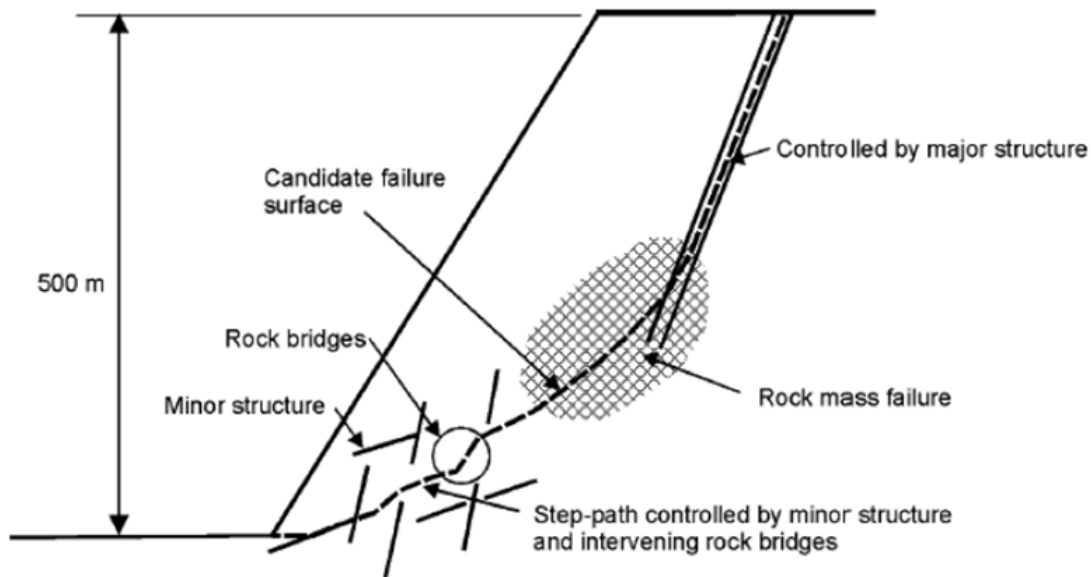
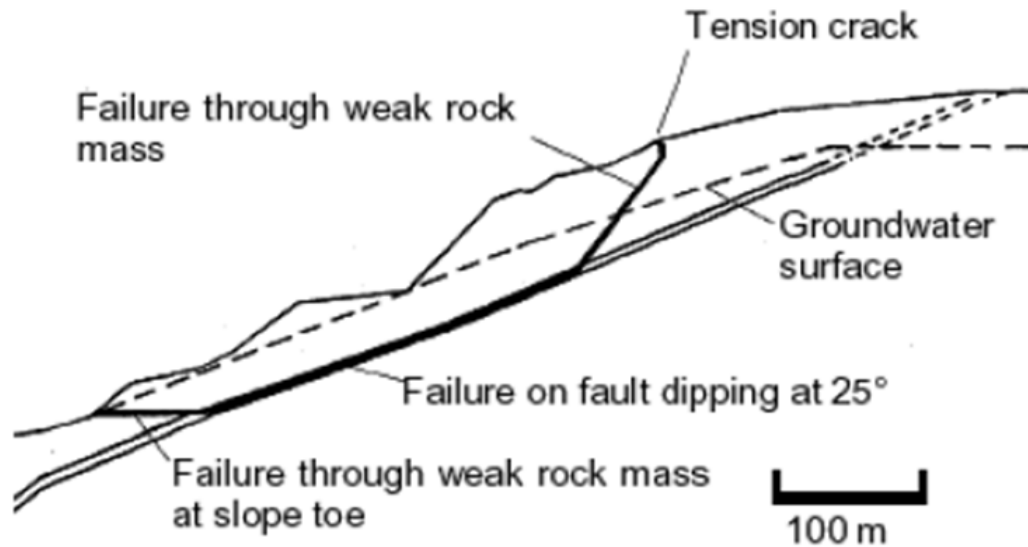


Figure C-3. Shapes for potential slip surfaces

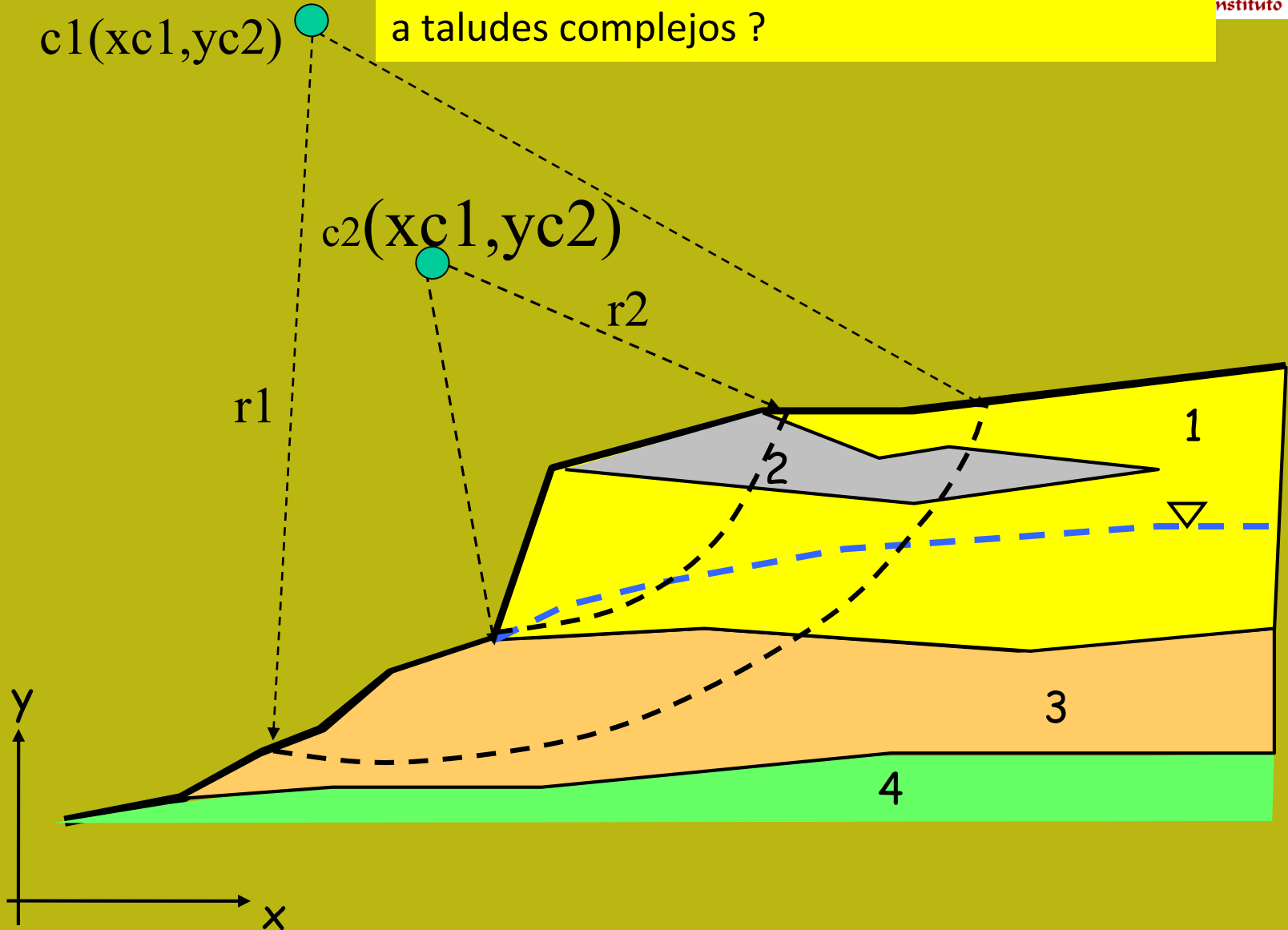
Es claro que algunos tipo de superficies circulares no pueden seguir las discontinuidades que pueden haber una fuerte influencia en le grado de estabilidad del talud. Varios autores (ABRAMSON L.W. et al. (2002); DUNCAN J.M. (1996; SARMA S.K. (1979).; CHENG Y.M. (2003); JANBU N. (1973) ) indican que el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



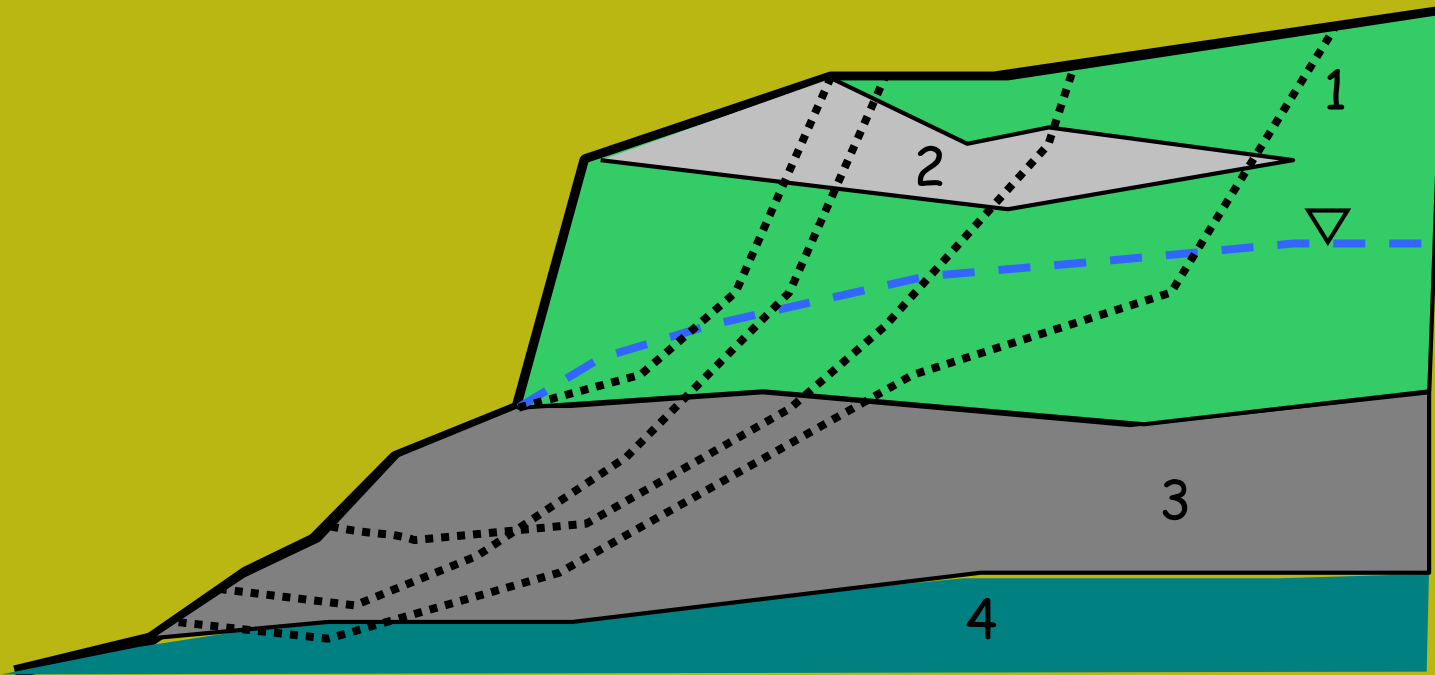




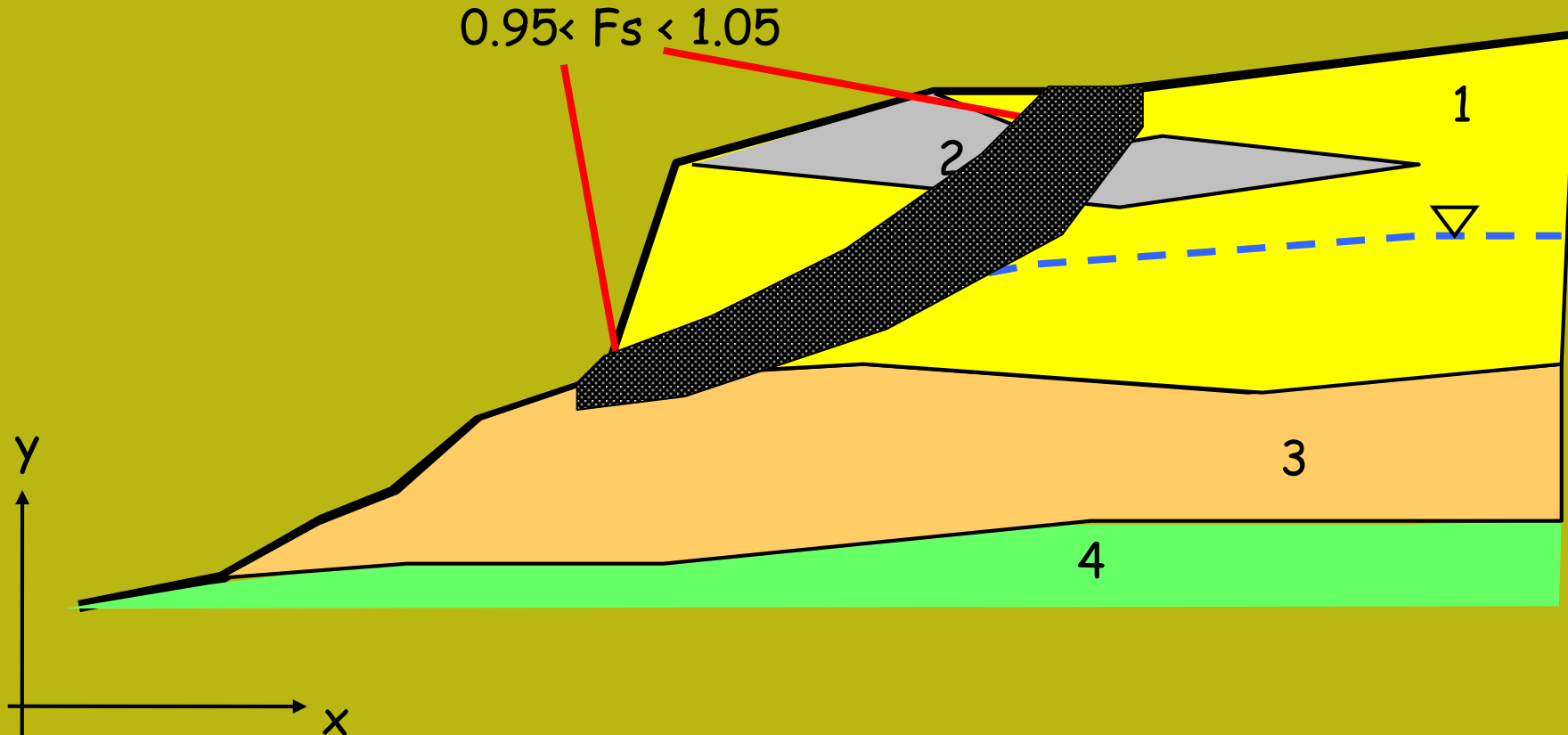
Pueden entonces  
Sistemas simplificado como este ser aplicado  
a taludes complejos ?



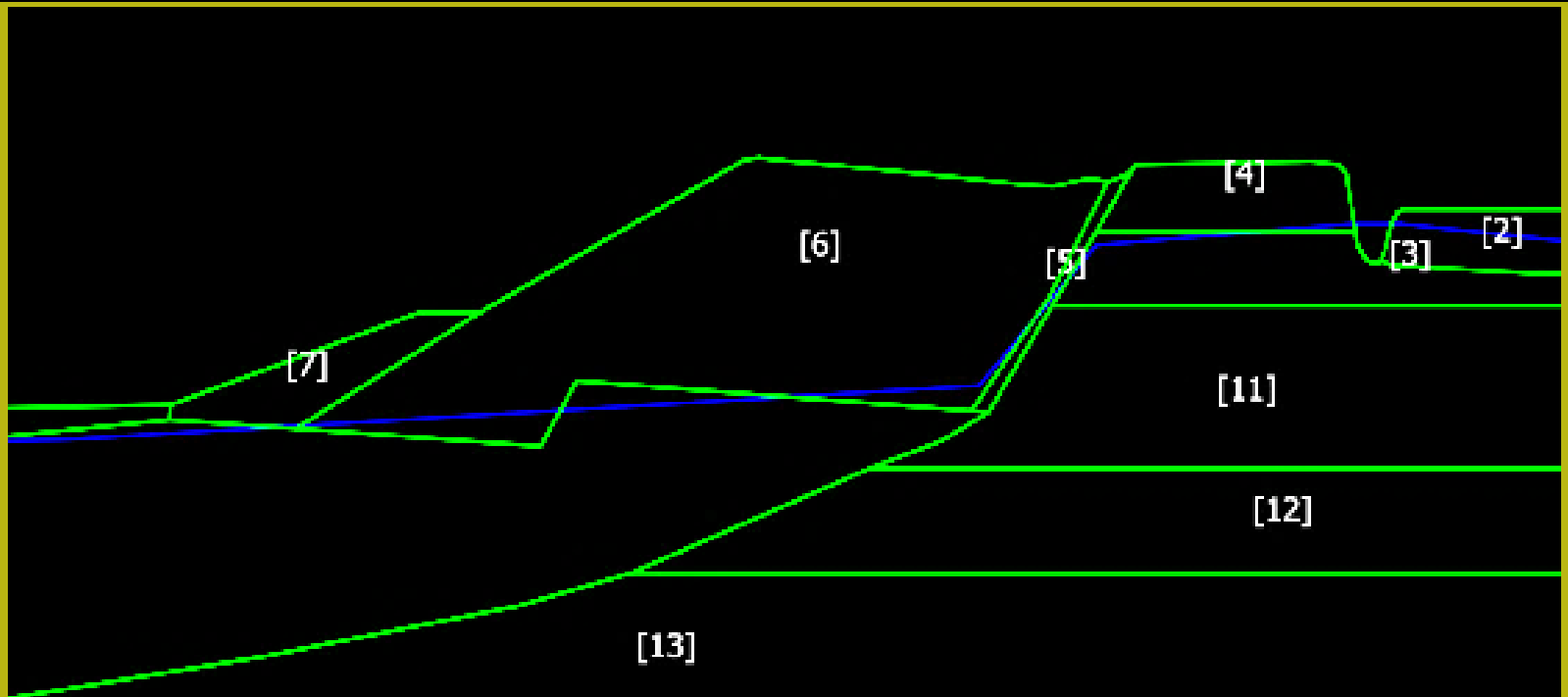
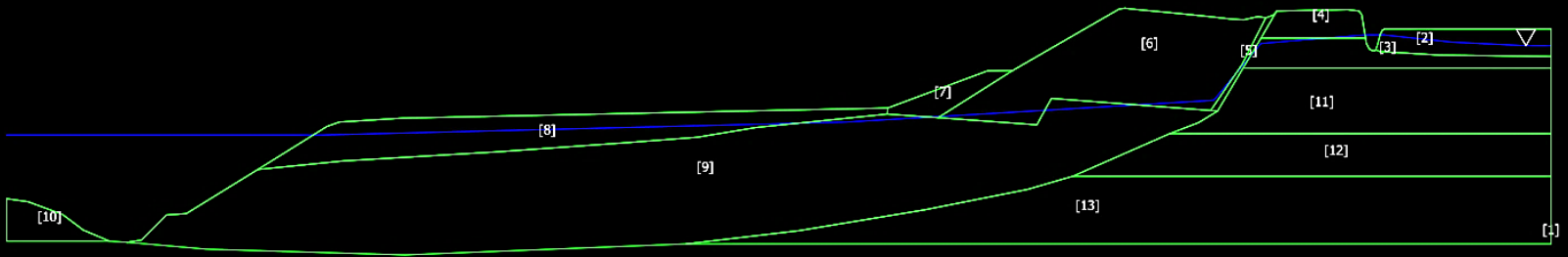
Una alternativa es la de generar superficies genéricas y mas complejas (suficientemente complejas) y en numero suficiente para explorar todas formas de deslizamiento posibles adentro el talud..



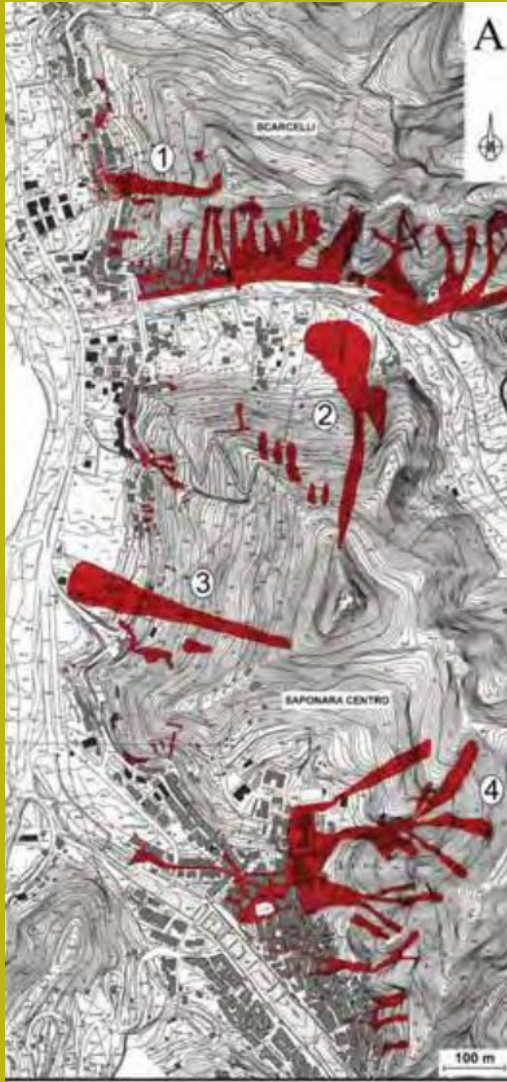
Y después la generación de una muestra significativa de superficies visualizar las con menor FS y identificar las áreas mas critica adentro el talud



# Complejidad estratigráfica



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

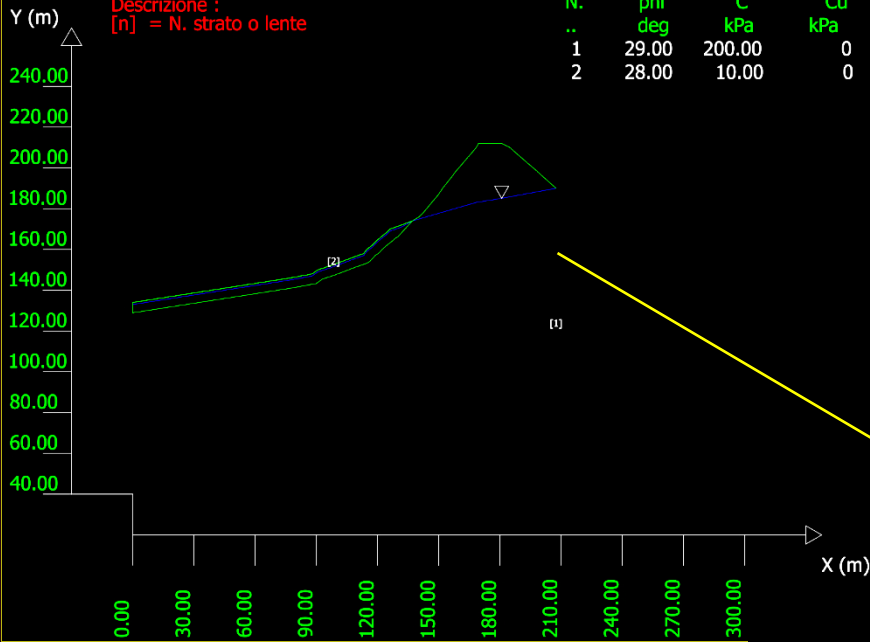




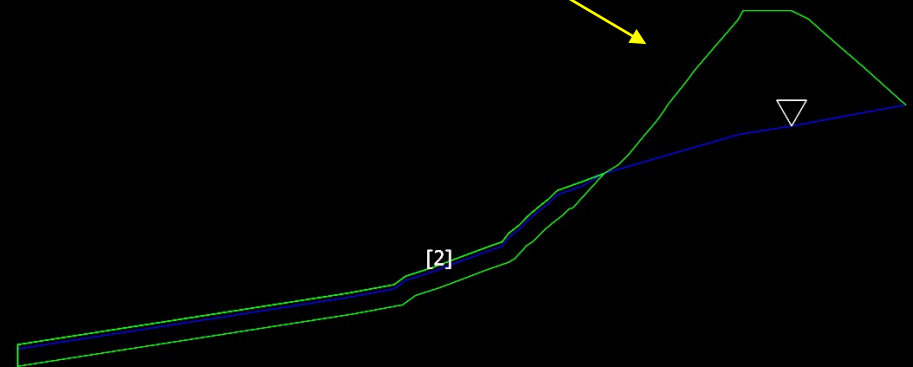
SSAP 4.6.5 (2015) - Slope Stability Analysis Program  
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - [www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu)  
 SSAP/DXF generator rel. 1.2.1 (2014)

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

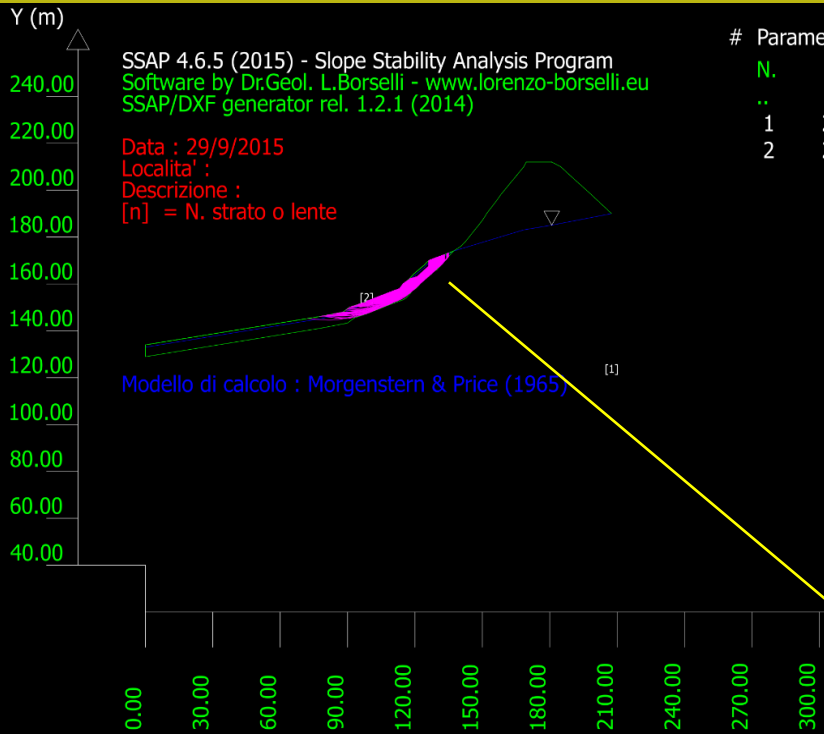
# Parametri Geotecnici degli strati #										
N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D	
1	29.00	200.00	0	19.00	21.00	0	0	0	0	0
2	28.00	10.00	0	16.00	19.00	0	0	0	0	0



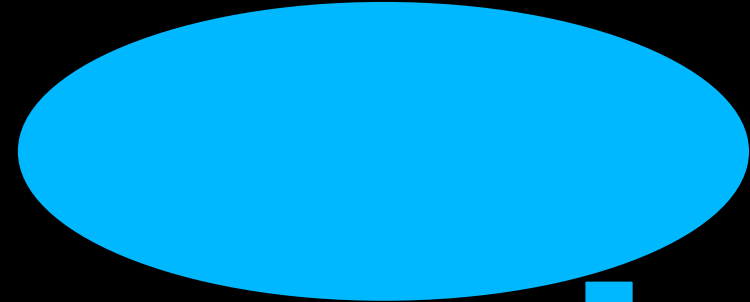
estrato y detrítico  
 colluviale rocas  
 metamórficas y  
 calizaz



[1]

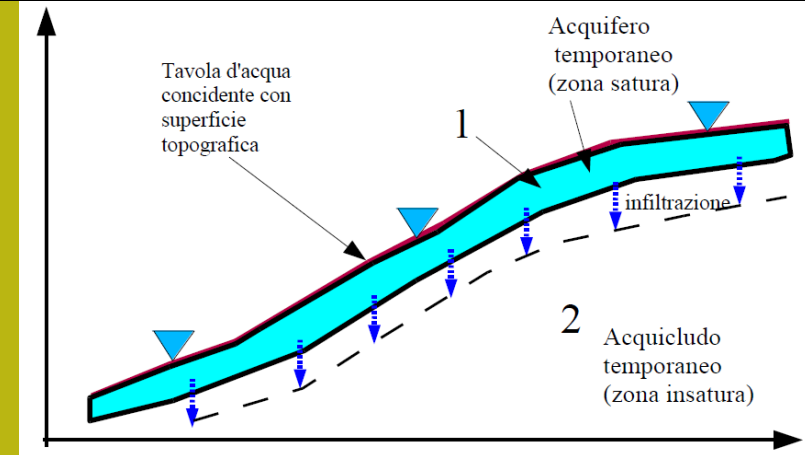
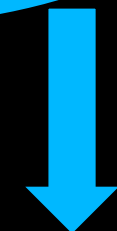


# Parametri Geotecnici degli strati #										
N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI ..	mi ..	D	
1	29.00	200.00	0	19.00	21.00	0	0	0	0	
2	28.00	10.00	0	16.00	19.00	0	0	0	0	



**GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM**

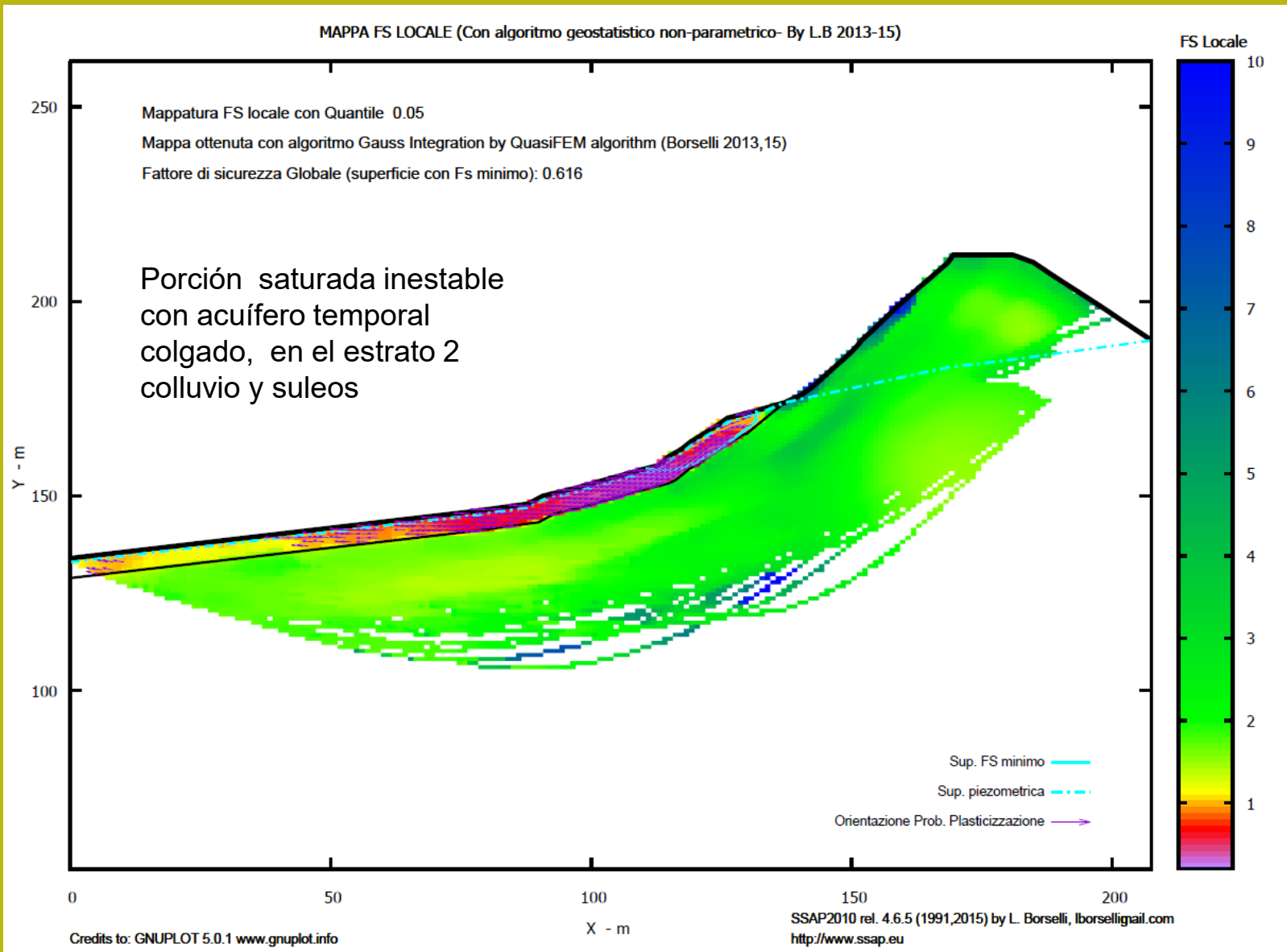
Campione Superfici - N.: 8365  
Lunghezza media segmenti (m) : 8.3  
Range X inizio generazione : 0.1 - 186.9  
Range X termine generazione : 20.9 - 203.4  
Livello Y minimo considerato : 54.2



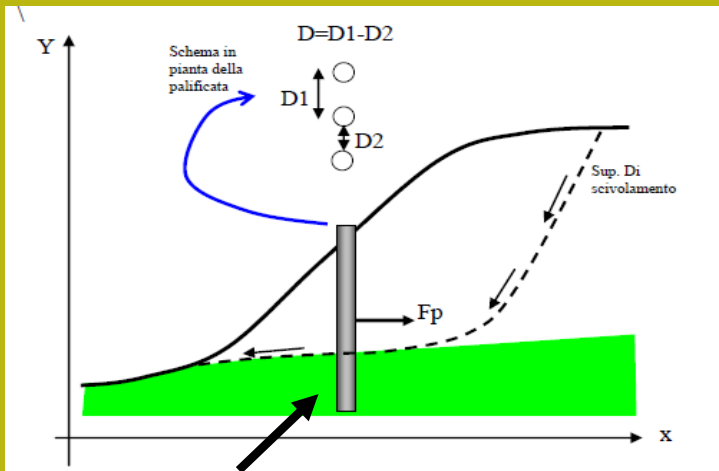
Data : 29/9/2015  
Localita' :  
Descrizione :  
[n] = N. strato o lente

Modello di calcolo : Morgenstern & Price (1965)

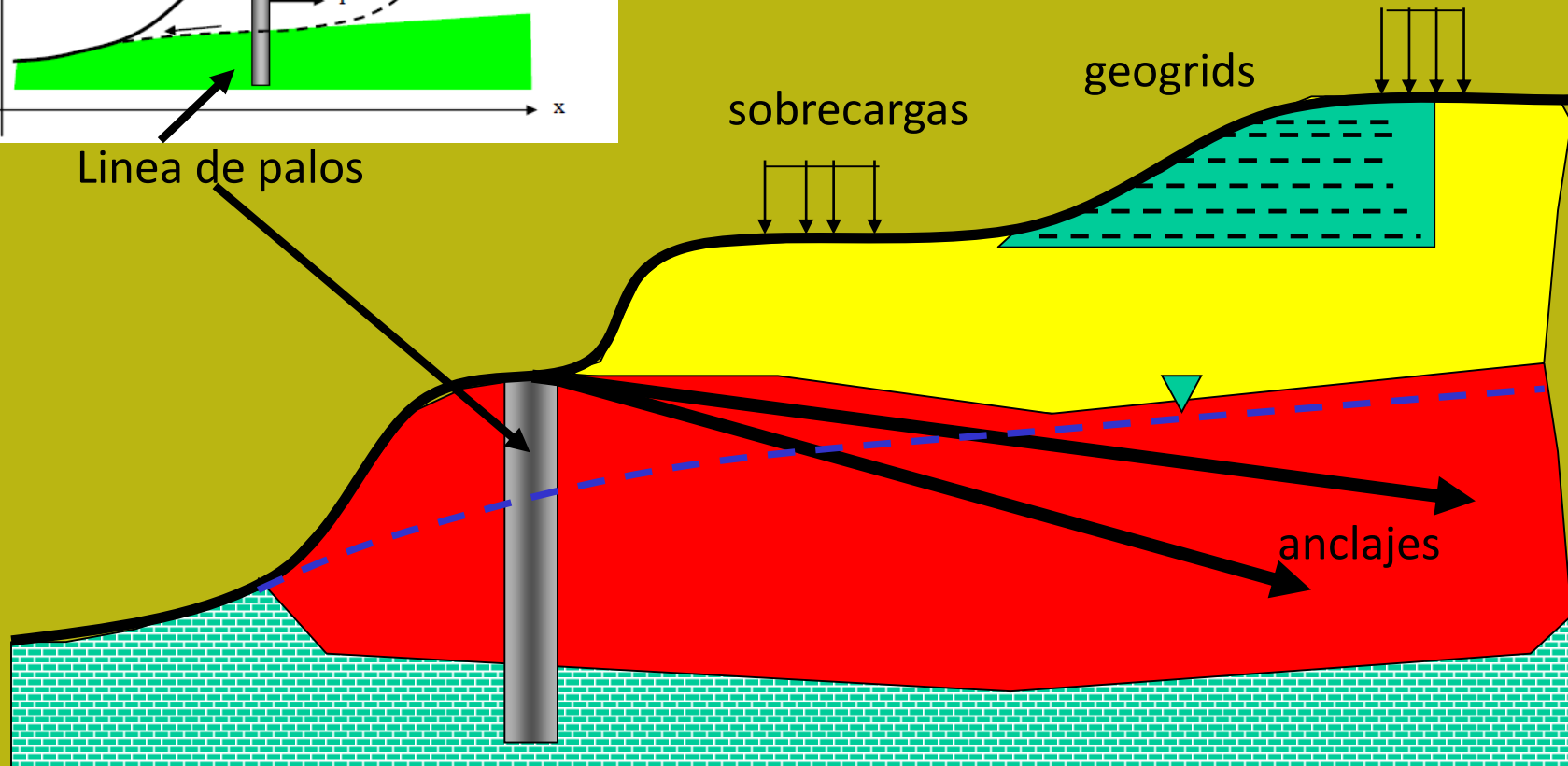
[1]



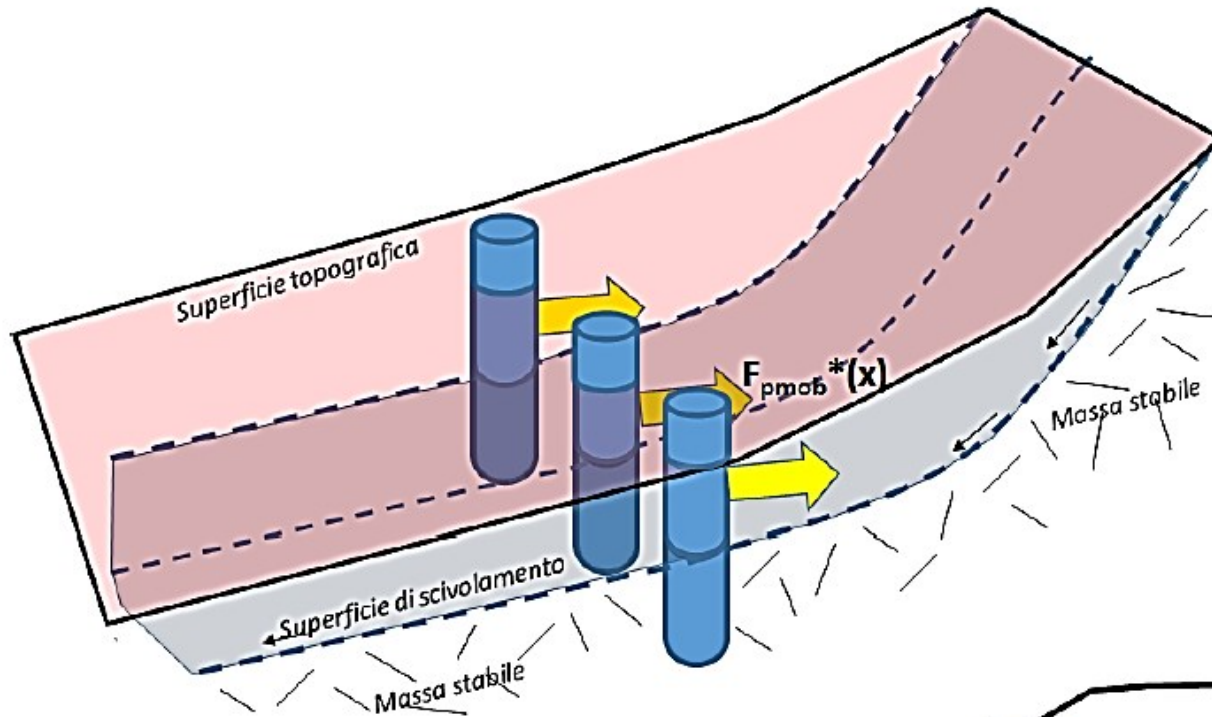
# Complejidad generada da estructuras de contención



Linea de palos

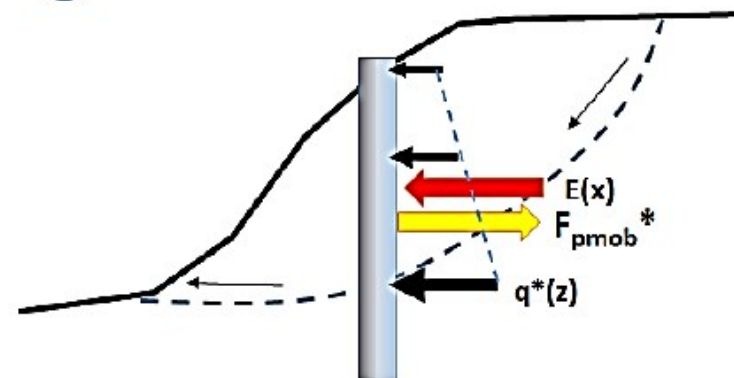


Borselli (2016)



$$\alpha_m^* = \frac{F_{p_{mob}^*}}{F_p}$$

$$q^*(z) = q(z)\alpha_m^*$$





# Recursos y herramientas para modelado y manejo Complejidad en taluedes:

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, investigador...entonces ... el uso de nuestro cerebro!**

# SSAP 2010 64bit – 4.9.9 (2019) 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 4.9.9 - 2019)

**SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM**  
release 4.9.9 (c) (1991-2019)  
Build No. 11013 Windows 64 Bit  
by Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D.  
lborselli@gmail.com  
<https://www.lorenzo-borselli.eu>

**AVVIO VERIFICA**

VERIFICA GLOBALE

VERIFICA SINGOLA

$F_{s\ min} = ?$

**RISULTATI**

DIAGRAMMI FORZE

MAPPA PRESSIONE FLUIDI

VEDI GRAFICI SUPERFICI

GENERA / VEDI MAPPA  $F_s$  LOCALE

**MONITOR VERIFICA**

MODELLO PENDIO: **cheng\_E57.mod**

MODELLO DI CALCOLO: **Spencer (1973)**

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 27.10

ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - ( m ) : da 3.10 a 29.40

QUOTA LIMITE INFERIORE (m) : 33.85

LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI - ( m ) : 4.00

SMUSSA SUPERFICI: *Disattivato*      EFFETTO TENSION CRACKS: *Disattivato*

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

**RISULTATI IN TEMPO REALE**

$F_s$  ITERATIVO : 1.7424       **$F_s$  Min.**

INTERVALLO  $F_s$  delle 10 SUPERFICI CON MINOR  $F_s$  : **1.2113 - 1.2178**

n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE: 8203 di 10000

% EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA : 0.762 -- 99.25

PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETE(%): 82.03

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 5.3

File SSAP2010.INI

MODELLO PENDIO

LEGGI MODELLO

Attiva preprocessing fase 2

SSAP2010

release 4.9.9

VEDI MODELLO

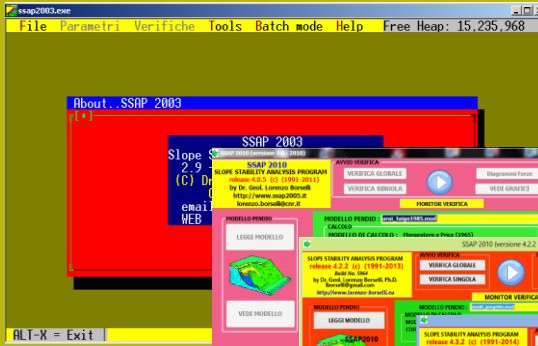
<https://WWW.SSAP.EU>

HELP

ESCI dal PROGRAMMA

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.



2003 – rel. 2.9 32 bit

Da SSAP ... 2.9 a SSAP 4.9.9

2010 – rel. 4.0. *FREEWARE*

2013 – rel 4.2.2

2014 – rel 4.3.2

2015 – rel 4.6.0

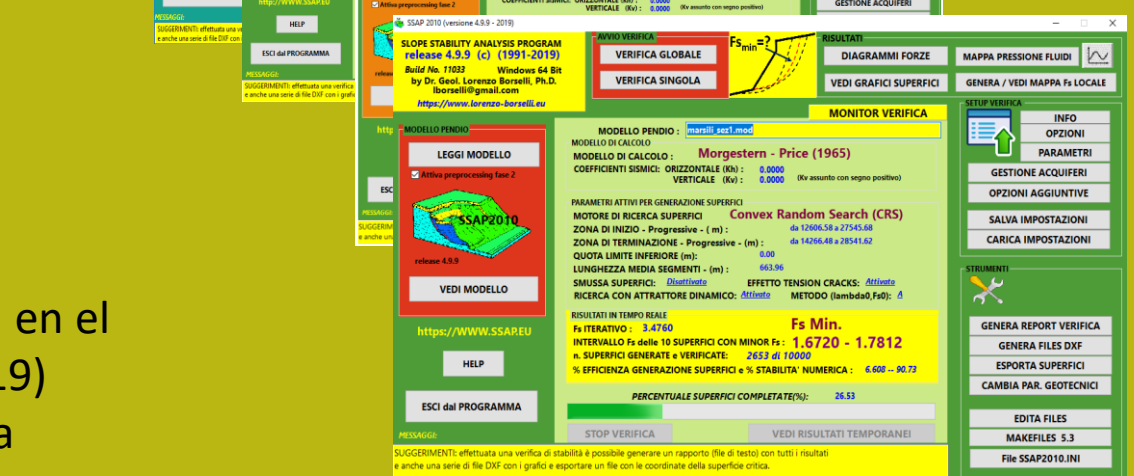
2016 – rel 4.7.2

2017 – rel 4.8.4 64 bit

2017 – rel 4.9.0

2018 – rel 4.9.6

Este software se desarrollo en el curso de 28 años (1991-2019) Escribiendo da cero todas la rutinas de calculo y graficas..



2019 – rel 4.9.9

Software enteramente freeware (de uso libero , pero no *open source*)  
Por el momento es solo en Italiano.. Con un proyecto de traducción integral en y ingles, Proyecto CONACYT Ciencia Basica 2016/286764 ).

SSAP2010 (rel. 4.9.9 - 2019) x +  
https://www.ssap.eu

special credits:  
**CONACYT (Mexico):**  
**Proyectos Ciencia Basica CB-2012/184060**  
**CB-2016/286764**



**SSAP2010**  
**(rel. 4.9.9)**  
*anche con versione PORTABLE*  
*(installabile su chiavi USB e senza bisogno di configurazioni)*

[Perche' SSAP?](#)

[Caratteristiche generali.](#)

[Manuale Tecnico \(PDF\)](#)



## SSAP2010

(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)

Versione 4.9.9 (2019) - Win 64 Bit

(11 maggio 2019)

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

SSAP2010 è un software freeware completo per la verifica della stabilità dei pendii naturali e artificiali o con elementi di rinforzo. E' uno strumento avanzato, sviluppato in circa 28 anni di lavoro. SSAP mette a disposizione degli utenti un set di strumenti originali per effettuare in modo approfondito verifiche di stabilità utilizzando soli metodi di calcolo rigorosi basati sull'Equilibrio Limite e Innovativi Motori di generazione e ricerca delle superfici con minore Fattore di Sicurezza(Fs) . Una interfaccia grafica Windows WIN 7/8/10 e una serie di strumenti software per l'assemblaggio del modello del pendio, per la visualizzazione grafica e per il reporting, completano il software (vedasi il link alle [caratteristiche generali del programma](#)).

SSAP Project Synthetic Description and Goals (in english) ([HERE](#))



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

**! Corsi APC e Seminari a invito su SSAP, che si svolgeranno nel 2019 in Italia !**

26-27 giugno, Bolzano, Corso base SSAP (16 ore) , Organizzato da Ordine degli ingegneri di Bolzano

# Ejemplo de interfaz usuario en Windows 10: La versión SSAP 4.9.9 – portable (puede operar también en Linux y en Mac-OS con emulador VirtualBOX )

**SSAP 2010 (versione 4.9.9 - 2019)**  
SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM  
release 4.9.9 (c) (1991-2019)  
Build No. 11013 Windows 64 Bit  
by Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D.  
lborselli@gmail.com  
<https://www.lorenzo-borselli.eu>

**AVVIO VERIFICA**  
VERIFICA GLOBALE  
VERIFICA SINGOLA

**RISULTATI**  
DIAGRAMMI FORZE  
MAPPA PRESSIONE FLUIDI  
VEDI GRAFICI SUPERFICI  
GENERA / VEDI MAPPA F<sub>s</sub> LOCALE

**MONITOR VERIFICA**  
MODELLO PENDIO: **cheng\_E57.mod**  
MODELLO DI CALCOLO: **Spencer (1973)**  
COEFFICIENTI SISMICI: ORIZZONTALE (K<sub>h</sub>): 0.0000  
VERTICALE (K<sub>v</sub>): 0.0000 (K<sub>v</sub> 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 27.10  
ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - (m): da 3.10 a 29.40  
QUOTA LIMITE INFERIORE (m): 33.85  
LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI - (m): 4.00  
SMUSSA SUPERFICI: **Disattivato** EFFETTO TENSION CRACKS: **Disattivato**  
RICERCA CON ATTRATTORE DINAMICO: **Attivato** METODO (lambda0, F<sub>s</sub>0): **Δ**

**RISULTATI IN TEMPO REALE**  
F<sub>s</sub> ITERATIVO: **1.7424**  
INTERVALLO F<sub>s</sub> delle 10 SUPERFICI con MINOR F<sub>s</sub>: **1.2113 - 1.2178**  
n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE: **8203 di 10000**  
% EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA: **0.762 -- 99.25**

**PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETE(%)**: 82.03

**OPZIONI GENERALI per Verifiche di Stabilità SSAP**  
Coefficiente sismico orizzontale - K<sub>h</sub>: 0.050  
Coefficiente sismico verticale - K<sub>v</sub>/K<sub>h</sub>: 0.500  
K<sub>v</sub> (negativo):

**METODO DI CALCOLO**  
JANBU RIGOROSO (1973)  
SPENCER (1973)  
SARMA I (1973)  
MORGESTERN - PRICE (1965)  
CHEN - MORGESTERN (1983)  
SARMA II (1979)  
BORSELLI (2016)

**CONTROLLO STABILITA' NUMERICA**  
% Tolleranza stress normali negativi: 100 %  
% Tolleranza RHO=(F<sub>s</sub>/F<sub>v</sub>) > 1.0: 100 %  
Limita T00/E00:  LIMITATO  Non LIMITATO

**Reimposta Valori Standard**  Stabilizzatore numerico attivo

**MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI**  
RANDOM SEARCH (RS)  SOLO PER CONVEX  
CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)  Convessita' limitata  
SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 2.7  Delta alpha: 10.00

**SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH**  
Steps di scansione: 60  
Frequenza attivazione: 0.75  
No-convex oscillazione massima (gradi): -10.00  
 ottimizza tracciatore discontinuita' sottili

**REGISTRAZIONE SUPERFICI PER SUCCESSIVO PLOTTAGGIO**  
F<sub>s</sub> minimo: 0.50  
F<sub>s</sub> massimo: 1.00  
Numero massimo superfici da registrare: 10000  
 Attiva Registrazione Superfici

**GENERAZIONE MAPPA F<sub>s</sub> LOCALE o OSR (Over Stress Ratio)**  
Dimensione Griglia mappa F<sub>s</sub>: Nodi X: 400 X Nodi Y: 400  
TIPO MAPPA:  by qFEM  by SRM  OSR  by LEM  
F<sub>s</sub> Minimo: 0.20 % dei dati da usare: 100.0  
F<sub>s</sub> Massimo: 10.00 Quantile Locale F<sub>s</sub>: 0.05  
 Attiva Mappatura F<sub>s</sub> o OSR Locale  Attiva Plot vettoriale zone plasticizzate  
Scala Fonts nella mappa: 0.50

**FS di Progetto richiesto. Solo per analisi deficit di resistenza.**  
1.100  
Distribuzione resistenza:  Rettangolare  Trapezoidale

**OPZIONI GENERALI per Verifiche di Stabilità SSAP**  
NTC2018/EC-7 - ROCCE:  DISATTIVATO  ATTIVATO  
ROCCHE - Criterio Hoek et al. (2002):  HB Generalizzato - Carranza-Torres(2004)  HB Generalizzato - Lei et al.(2016)  HB Generalizzato - Lee et Pietruszczak(2017)

**PALIFICATE**  
Metodo calcolo:  ITO MATSUJI (1975) - HASSIOTO (1997)  KUMAR-HALL (2006) (+ conservativo)  
Fattore di riduzione F<sub>p</sub> (NTC2018) (Variare da 1 a 100): 1.00  
% di massima mobilizzazione teorica: 100.00 (%)

**SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO**  
EFFETTO ATTIVATO  Opzioni Smussatore  
EFFETTO DISATTIVATO

**TENSION CRACKS TESTA PENDIO**  
EFFETTO DISATTIVATO  Opzioni Tension Cracks  
EFFETTO ATTIVATO

**FORZE AGGIUNTIVE PER SUPERFICI SINGOLA**  
Forza E<sub>a</sub> (alla Base) - kN/m: 0.00  
Forza E<sub>b</sub> (in Testa) - kN/m: 0.00

**ATTIRATORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI**  
 DISATTIVATO  ATTIVATO

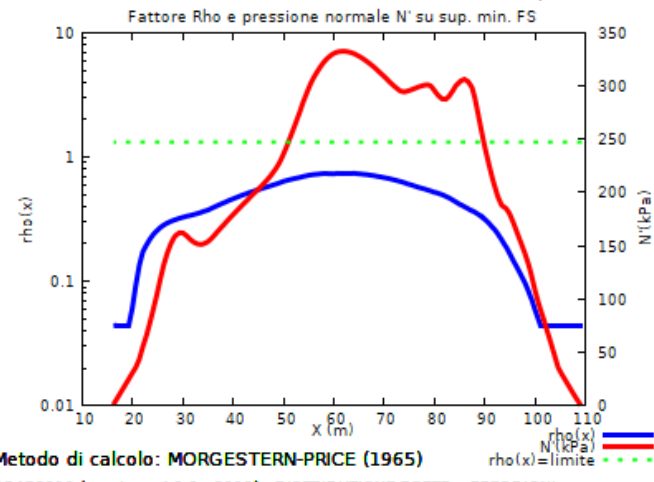
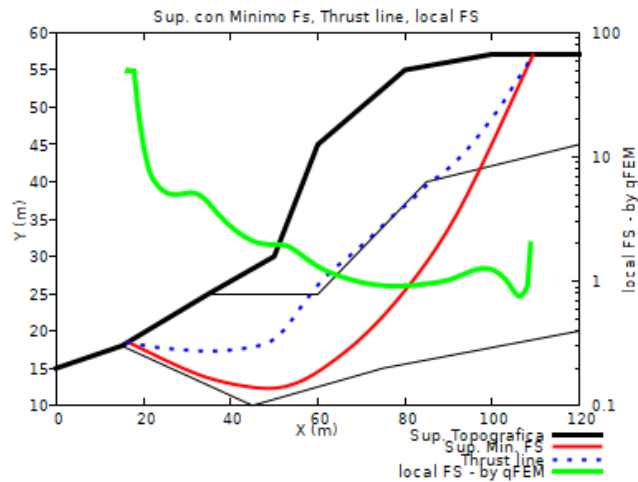
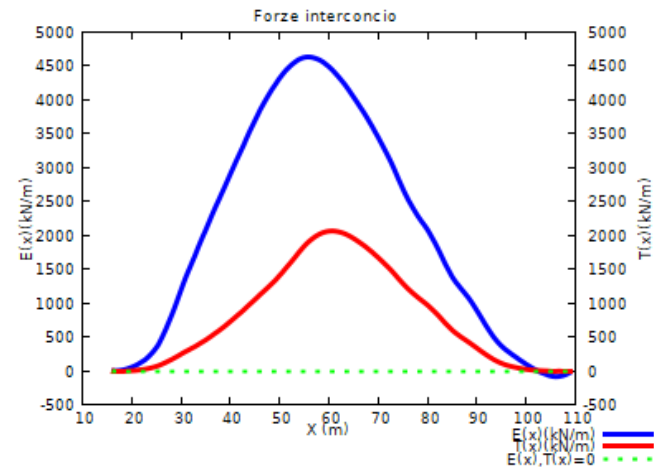
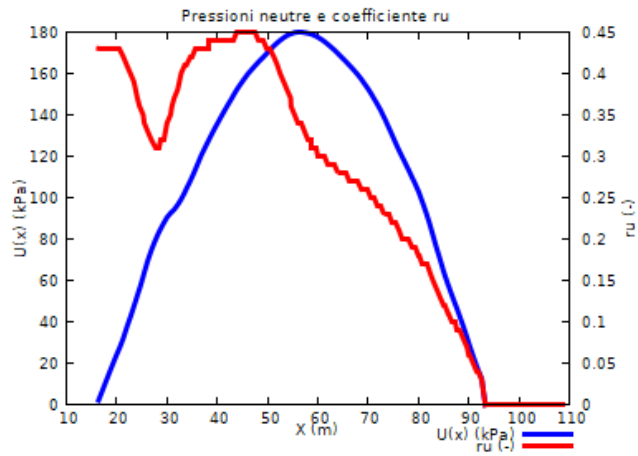
**FILTRAGGIO SUPERFICI**  
 FILTRARE  NON FILTRARE

**PRESENZA DI OSTACOLO INTERNO**  
 CON OSTACOLO  SENZA OSTACOLO

## SSAP 4.9.9 -Ventana principal y ventanas de opciones







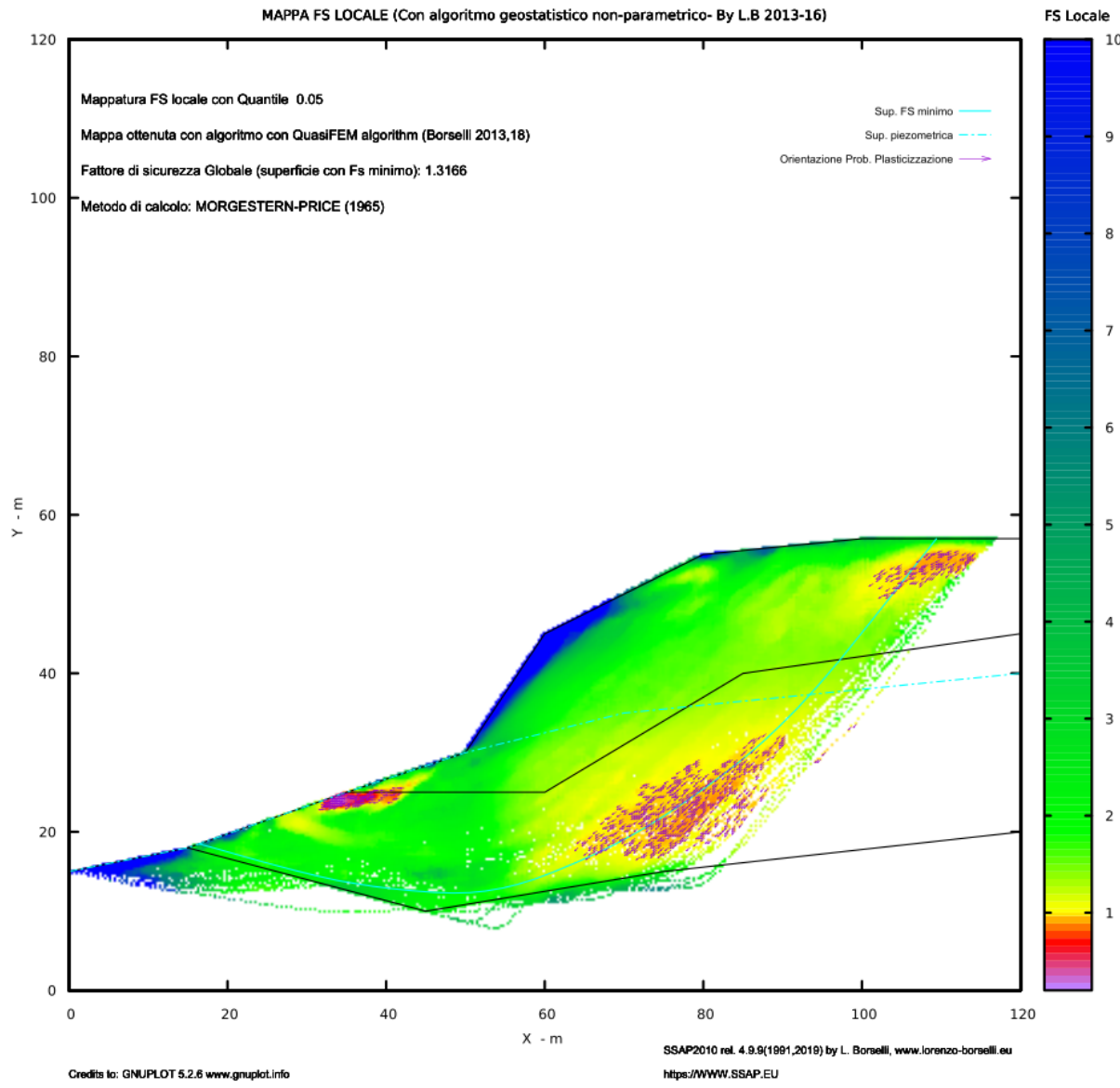
Metodo di calcolo: MORGESTERN-PRICE (1965)

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

24/04/19 20:58

## Ejemplo de interfaz usuario

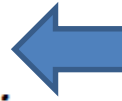
SSAP 4.9.9 - ventana gráficos múltiples de distribución de fuerzas internas y presiones



## Ejemplo de interfaz usuario

SSAP 4.9.9 – Output Mapa raster con factor de seguridad local con Metodo qFEM

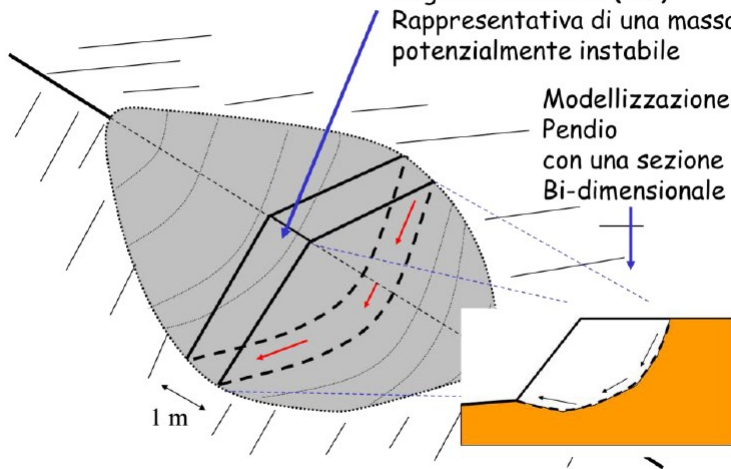
- *Janbu rigoroso*(1973);
- *Spencer* (1973)
- *Sarma I* (1973);
- *Morgenstern & Price* (1965);
- *Correia* (1988)
- *Sarma II* (1979)



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

Verifica di stabilità 3D→2D

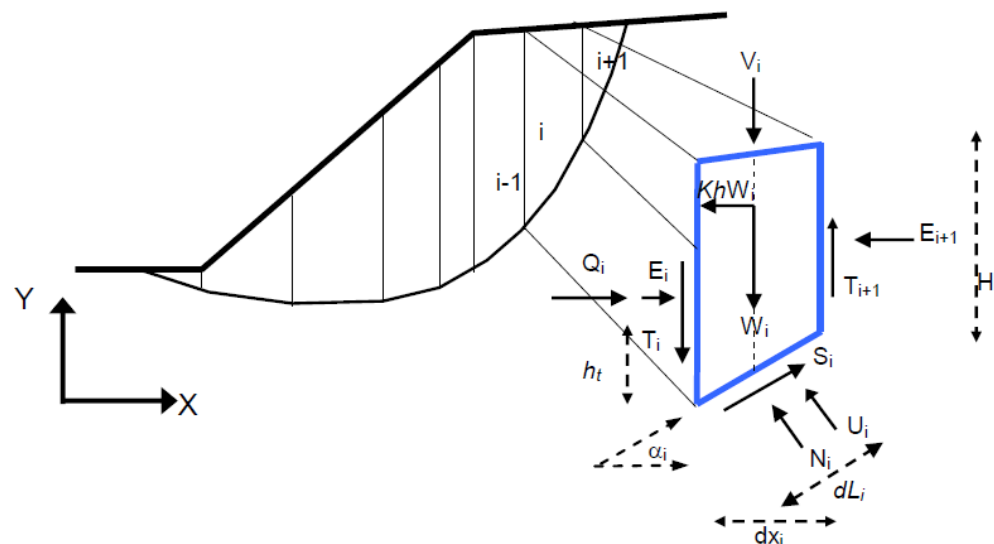
Verifica su striscia di larghezza unitaria (1 m)  
 Rappresentativa di una massa potenzialmente instabile



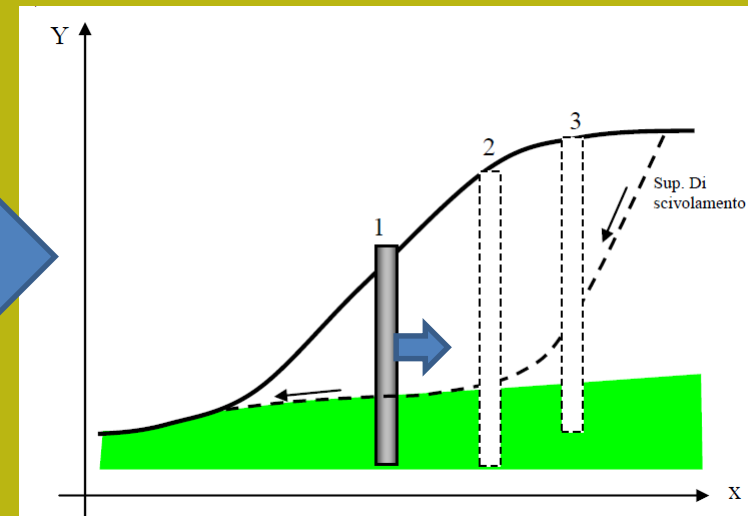
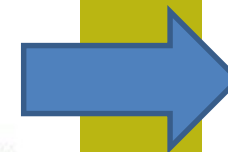
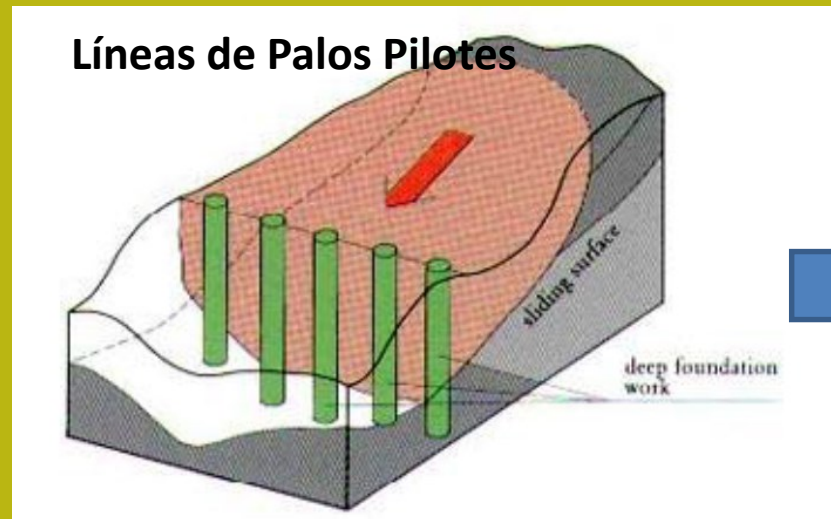
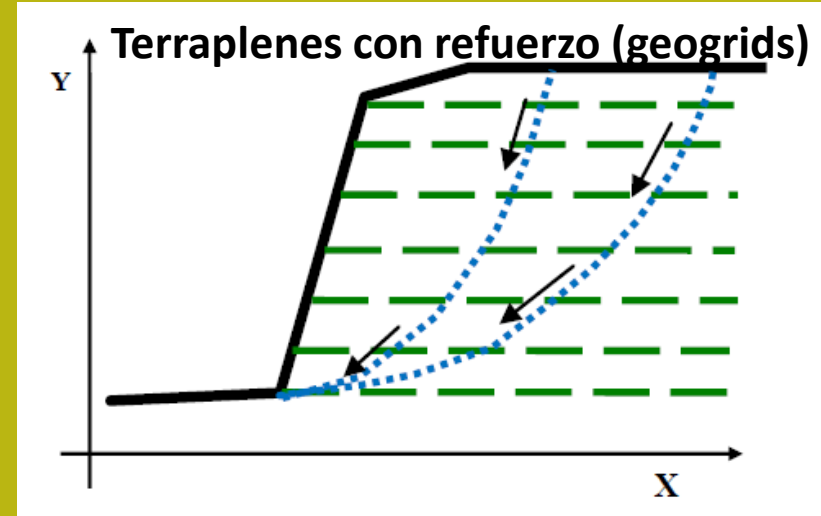
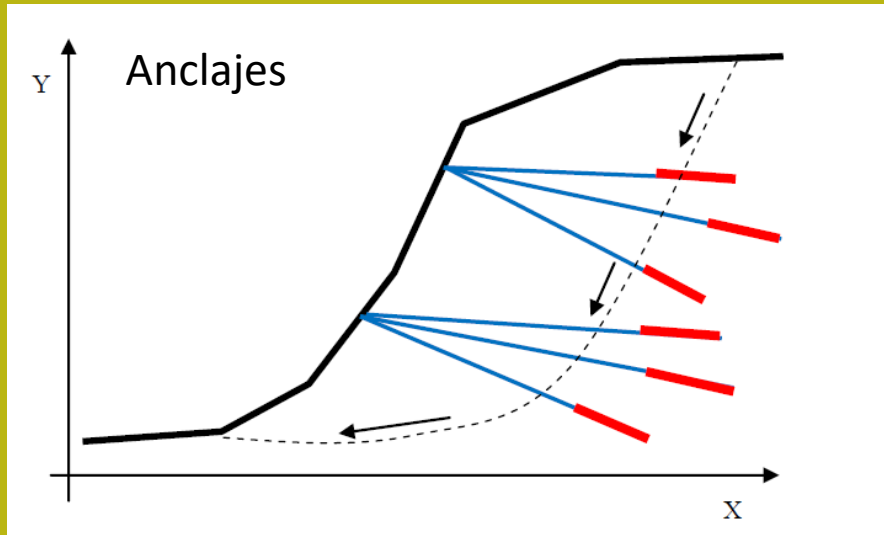
$$F_s = \frac{f(N_{(x)}, U_{(x)}, \alpha_{(x)}, T_{(x)}, V_{(x)}, dx_{(x)}, Q_{(x)}, F_s)}{f(\alpha_{(x)}, W_{(x)}, V_{(x)}, dx_{(x)}, T_{(x)}, \lambda)}$$

$$\lambda = \frac{f(dx_{(x)}, E_{(x)}, \alpha_{(x)}, W_{(x)}, V_{(x)}, Q_{(x)})}{f(dx_{(x)}, T_{(x)}, \lambda)}$$

Da Borselli(2018).  
 Manual SSAP2010 rel. 4.9.9  
[www.ssap.eu/manuale\\_ssap2010.pdf](http://www.ssap.eu/manuale_ssap2010.pdf)

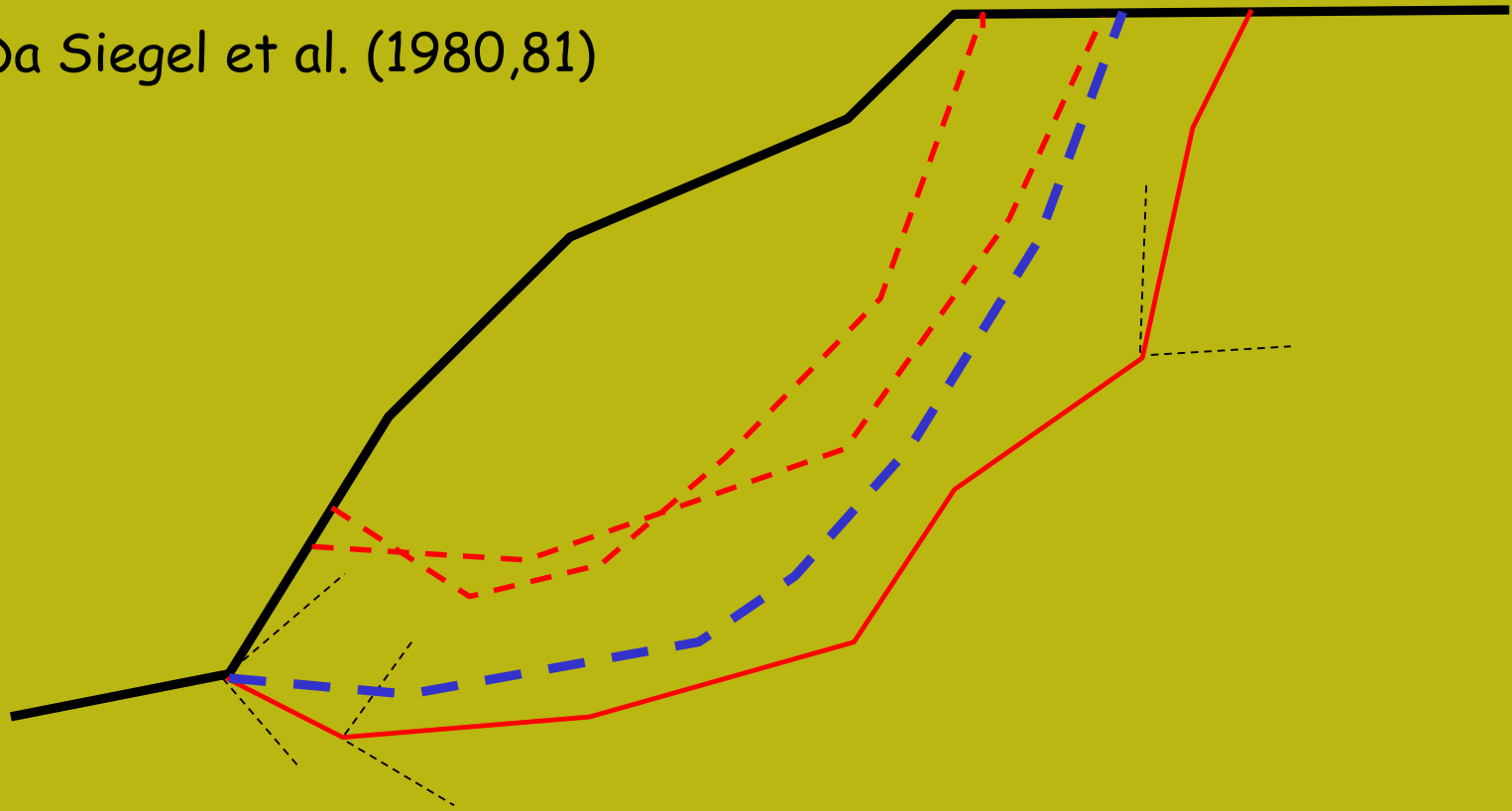


# Salgunos Elementos y de refuerzo Y obras que es posible incluir en SSAP.. Pero hay mas...

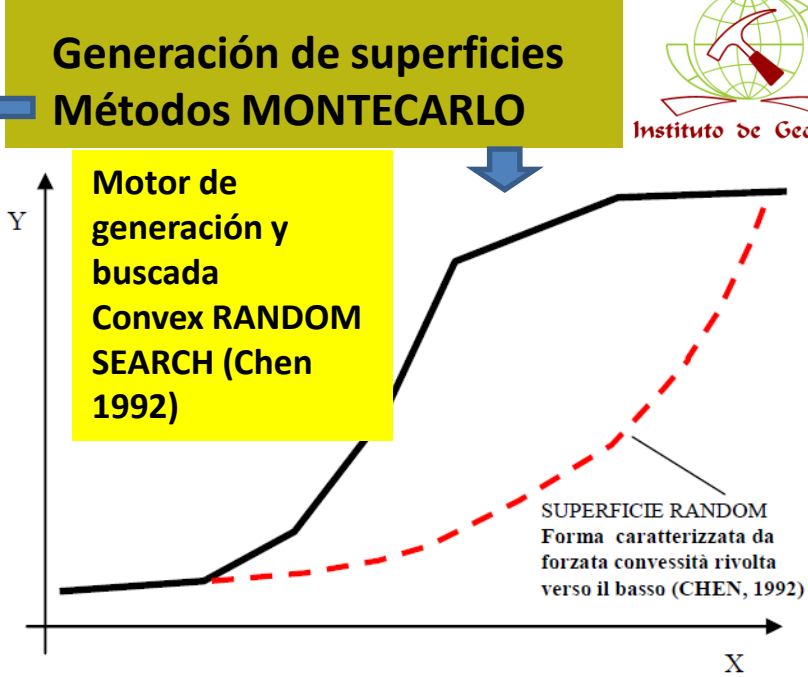
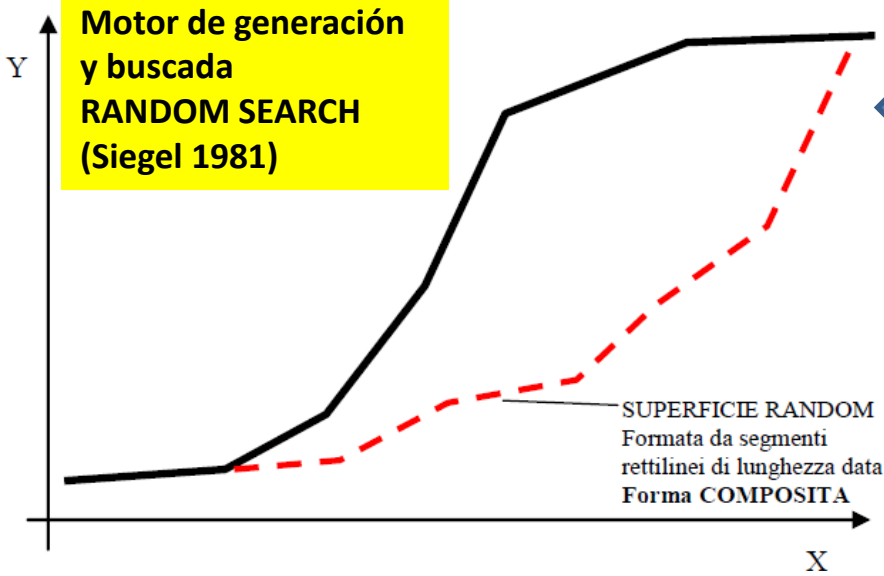


# Superficies genéricas - *Generación random Monte Carlo* que Disfruta la posibilidad de la computadora de generar secuencias infinitas de números aleatorios (random)

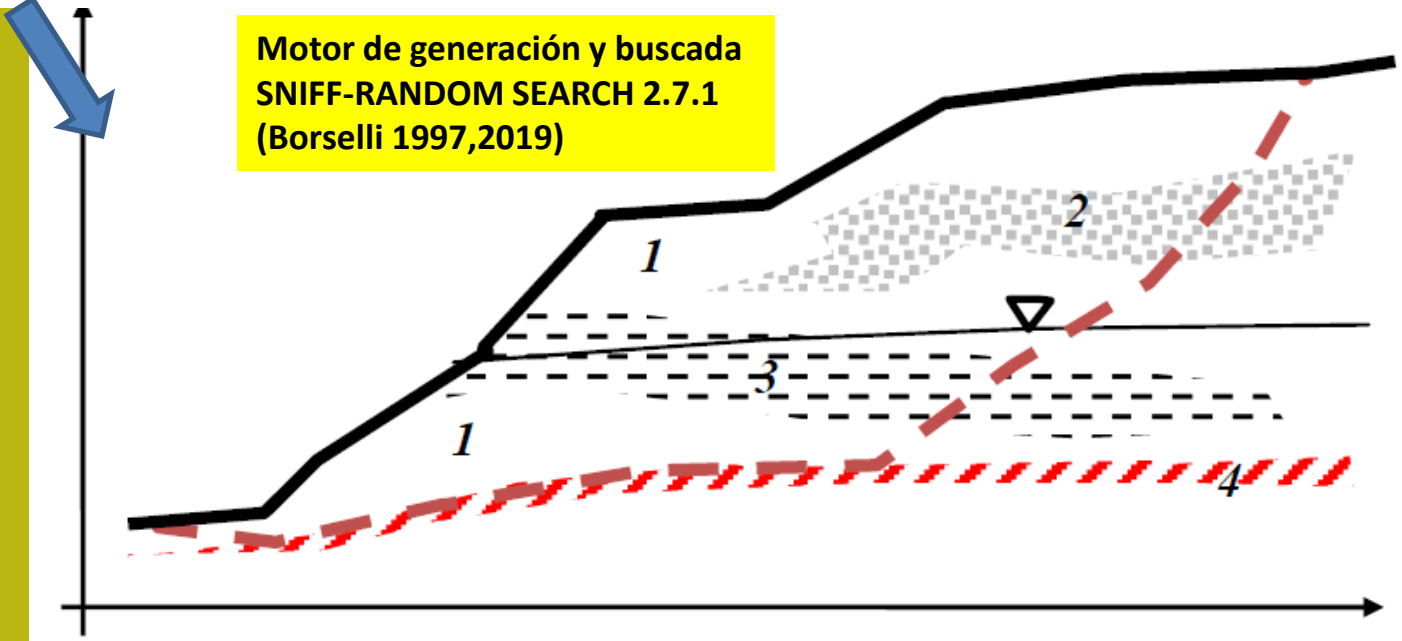
Da Siegel et al. (1980,81)







**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)

# 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

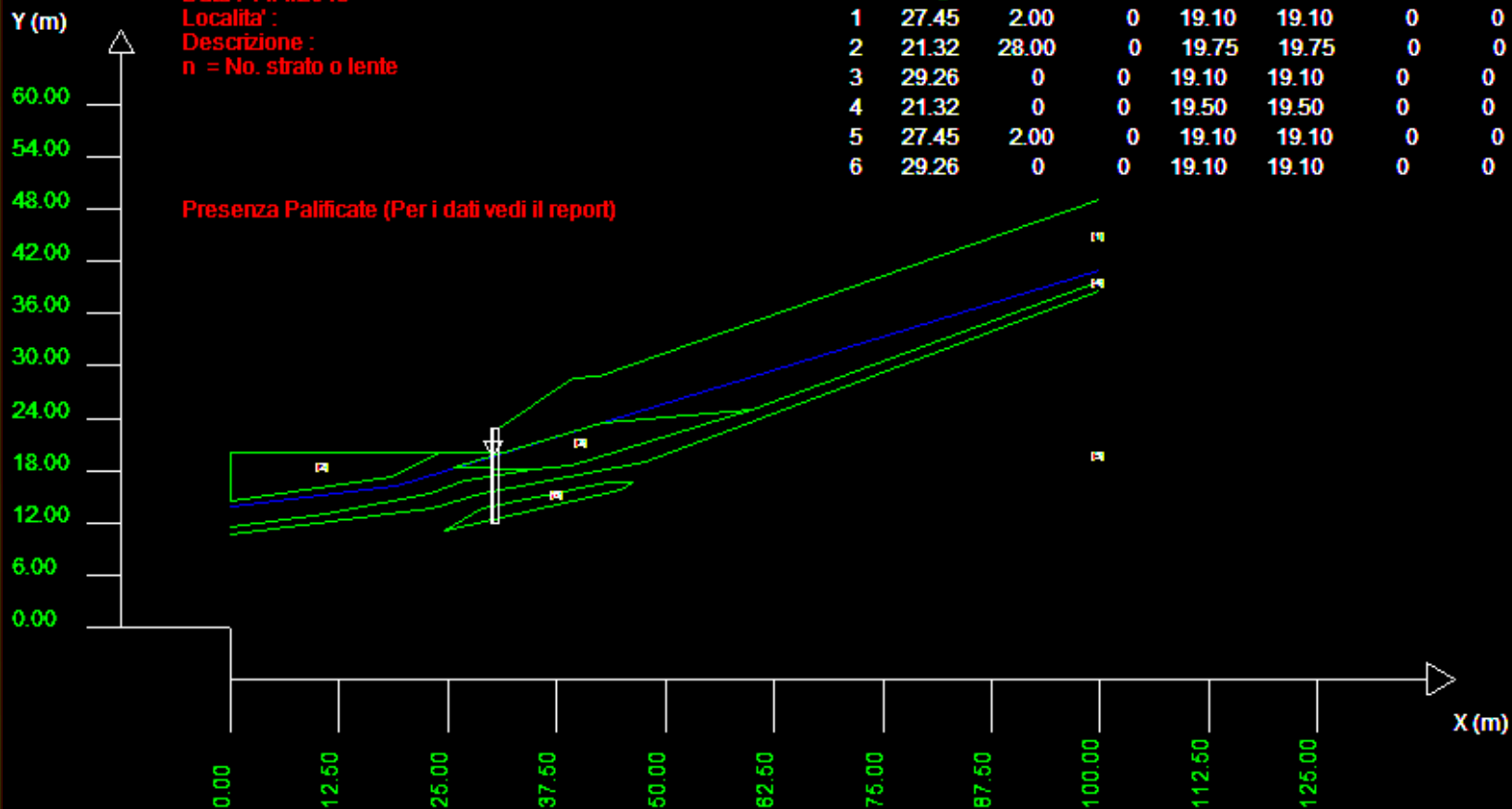
Data : 14/1/2013

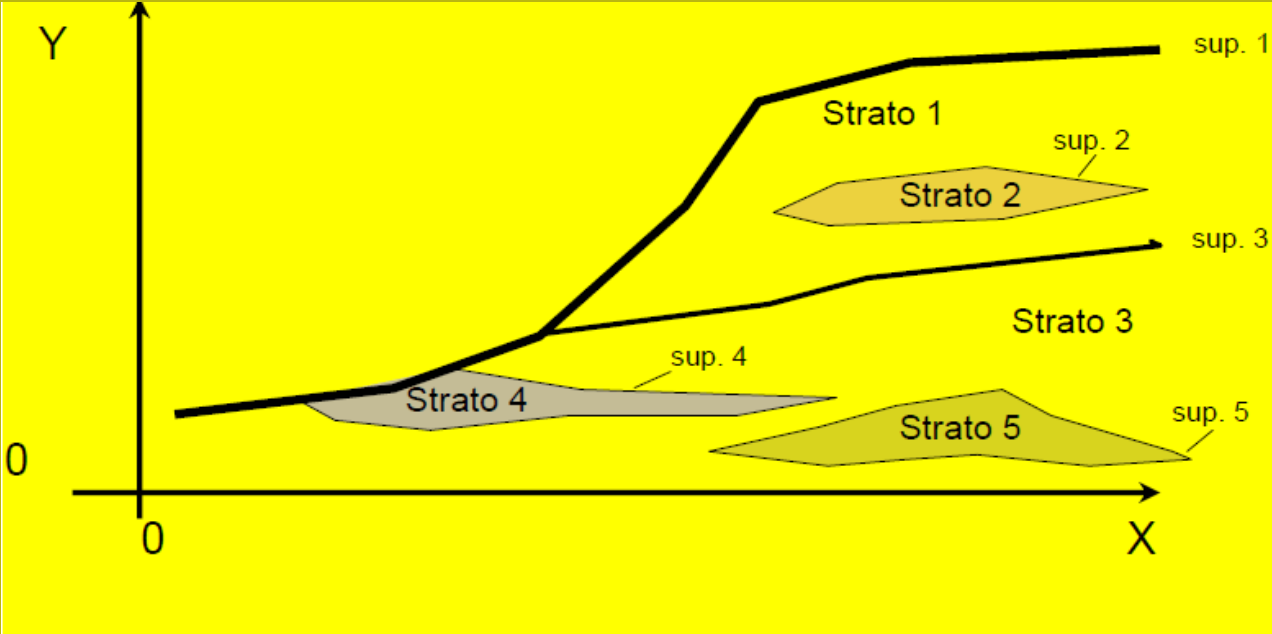
Localita' :

Descrizione :

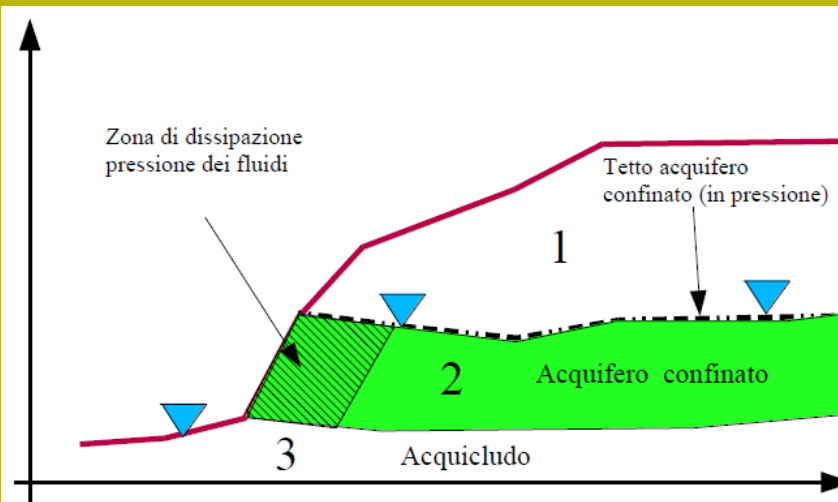
n = No. strato o lente

Presenza Palificate (Per i dati vedi il report)





**Complejidad  
estratigráfica  
Max(20 estratos)**



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

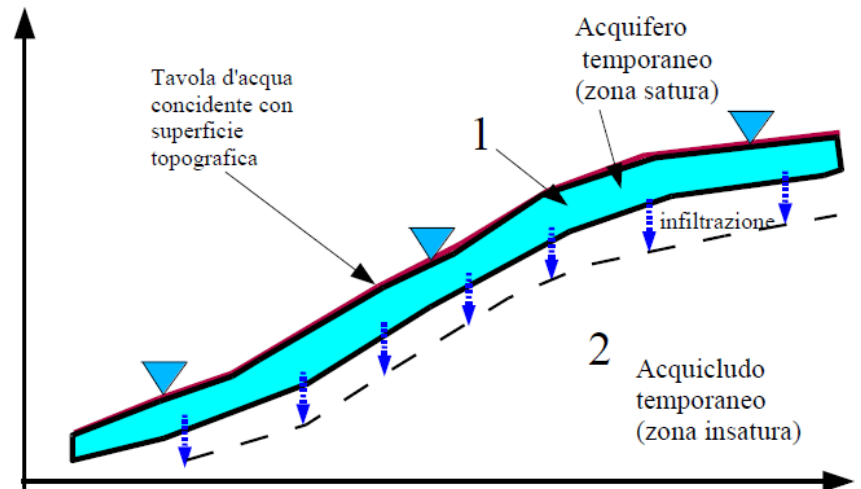
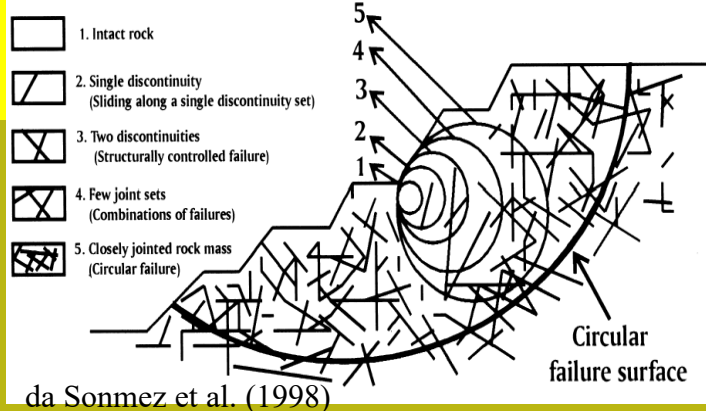
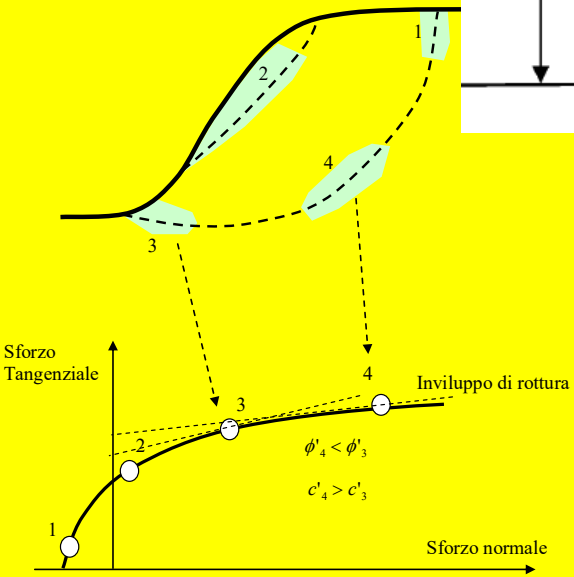
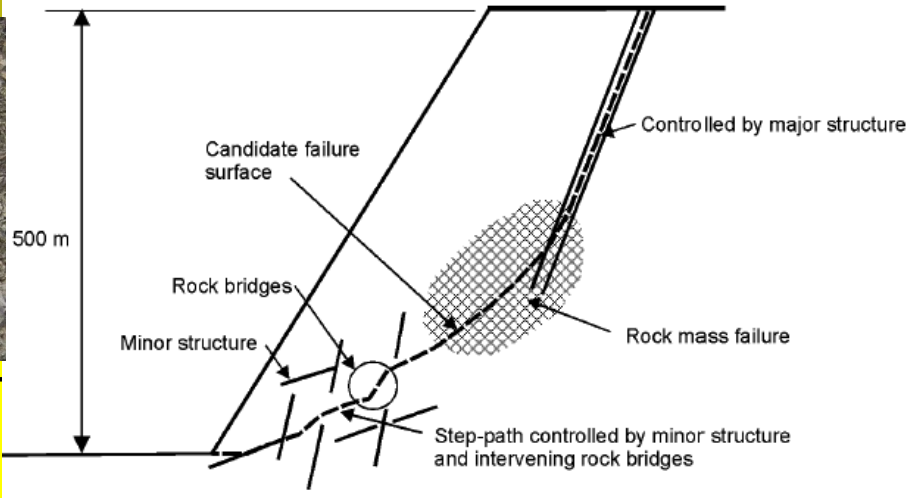


Figura E.2

# Aplicación en macizo rocosos por medio de criterio de ruptura de Hoek et al 2002-2006 y clasificación GSI del macizo rocoso fracturado



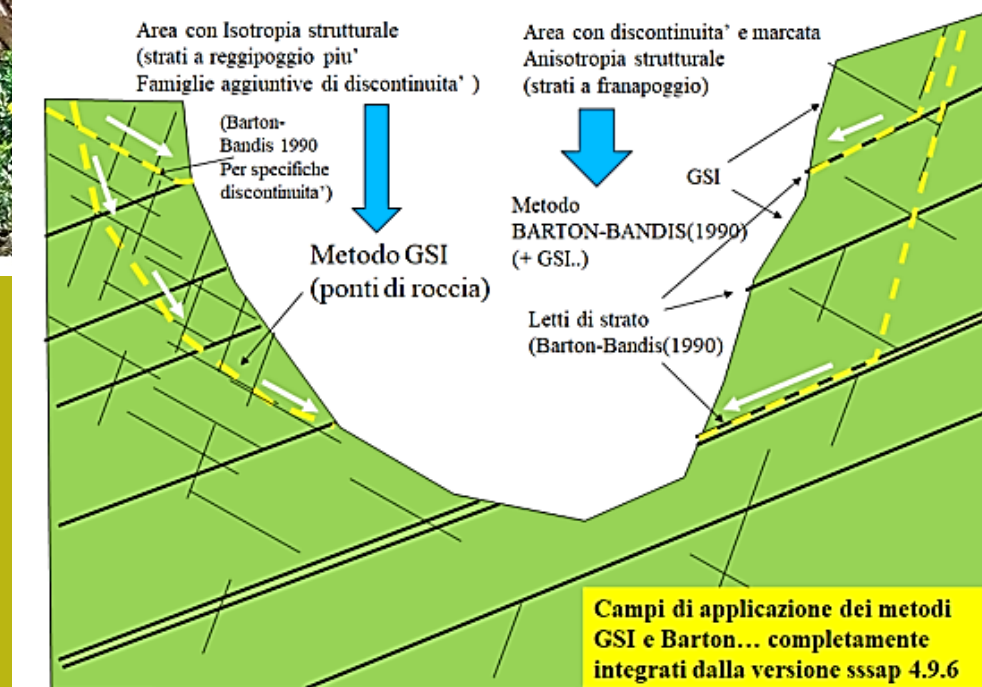
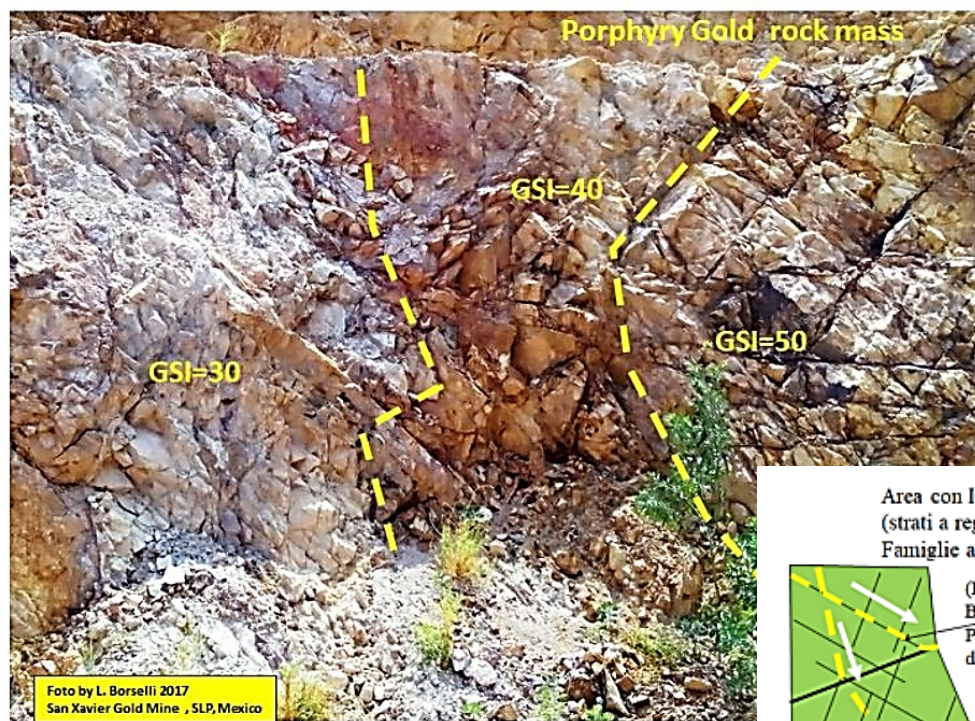
da Sonmez et al. (1998)

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>

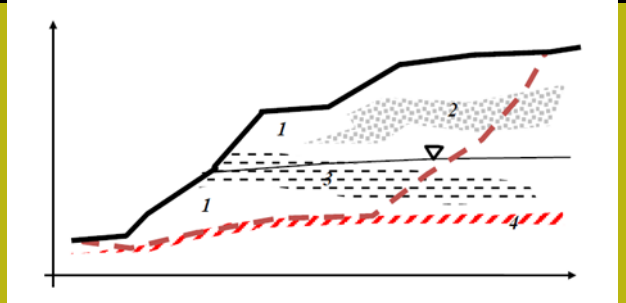
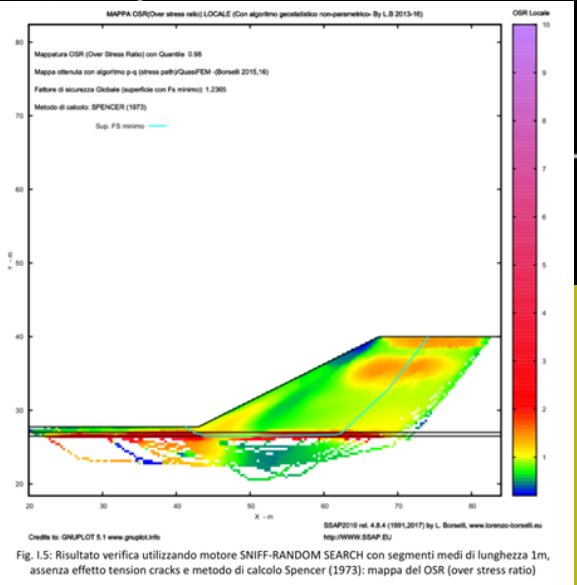
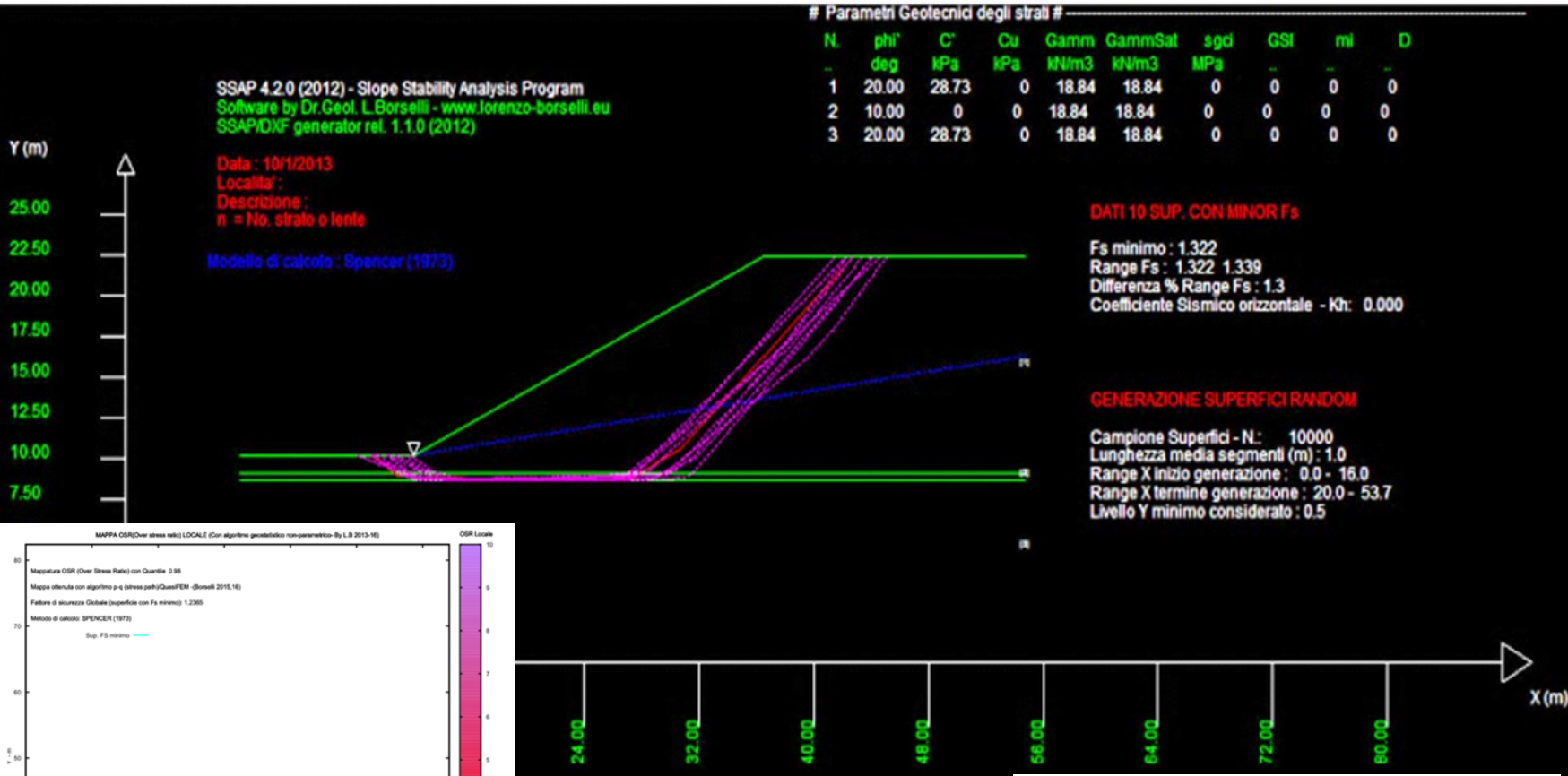


# Aplicación en macizo rocosos por medio de criterio de ruptura de Hoek et al 2002-2006 y clasificación GSI del macizo rocoso fracturado

Esta incluye también el criterio BARTON -JRC



# Aplicación de SNIFF RANDOM SEARCH 2.0 A terrapleno con base no firme (ejemplo da Fredlund 1977)

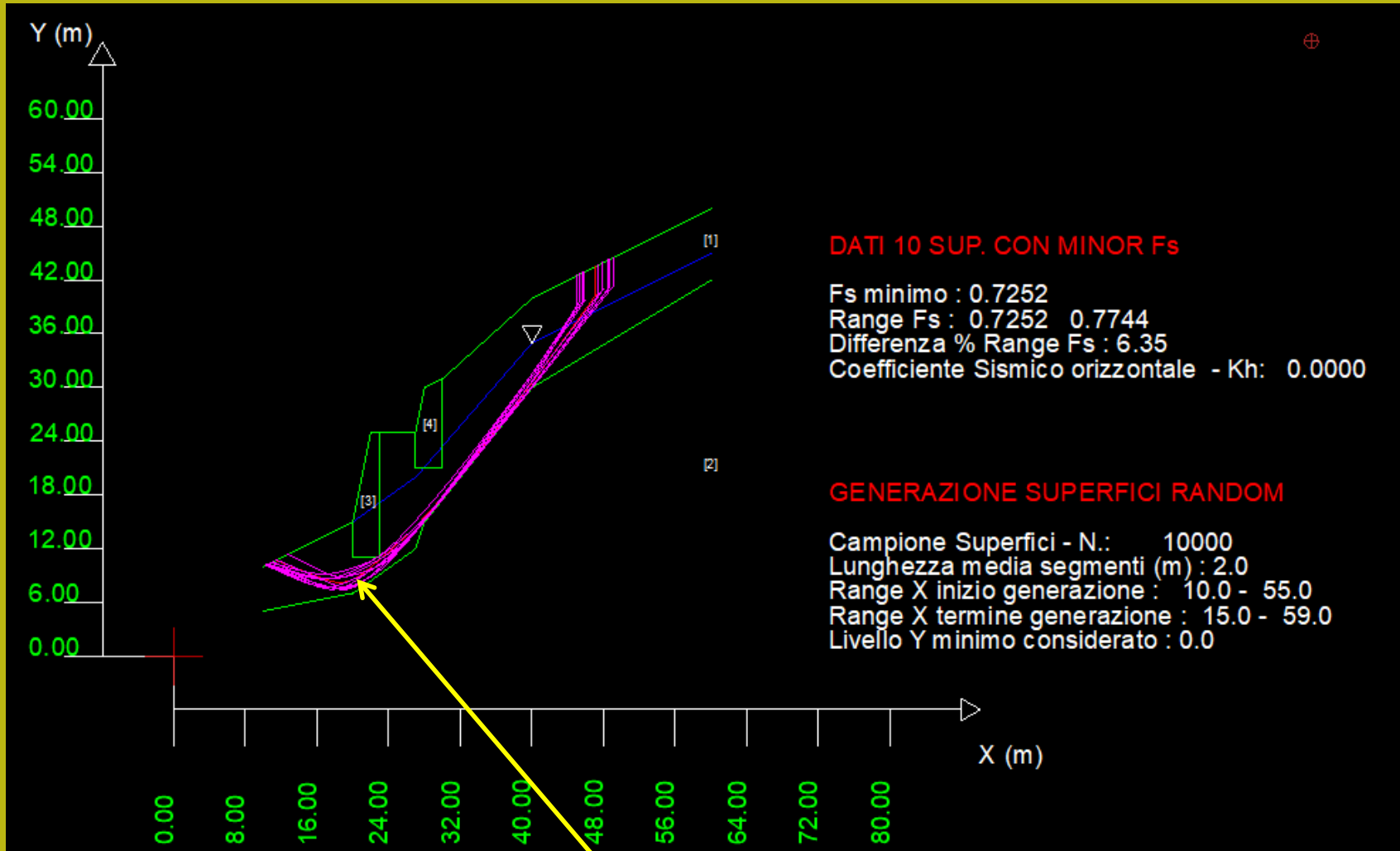






## Aplicación en Italia distrito minero de Carrara:

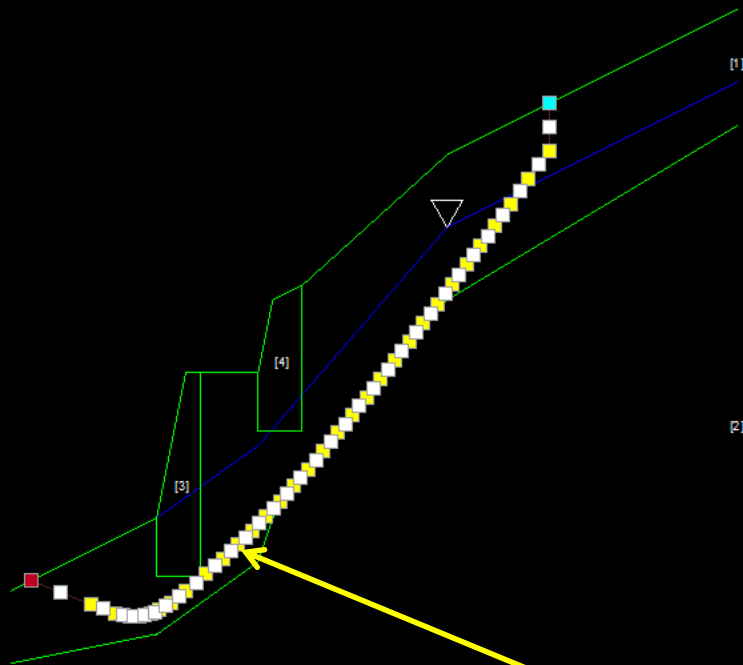
Talud con detritos residual de la extracción del mármol, muros de contención por terracería, con grandes bloques de mármol, substrato de macizo rocoso de buena calidad ..



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 ..



### DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 0.7252

Range Fs : 0.7252 0.7744

Diferenza % Range Fs : 6.35

Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.00

### GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 10000

Lunghezza media segmenti (m) : 2.0

Range X inizio generazione : 10.0 - 55.0

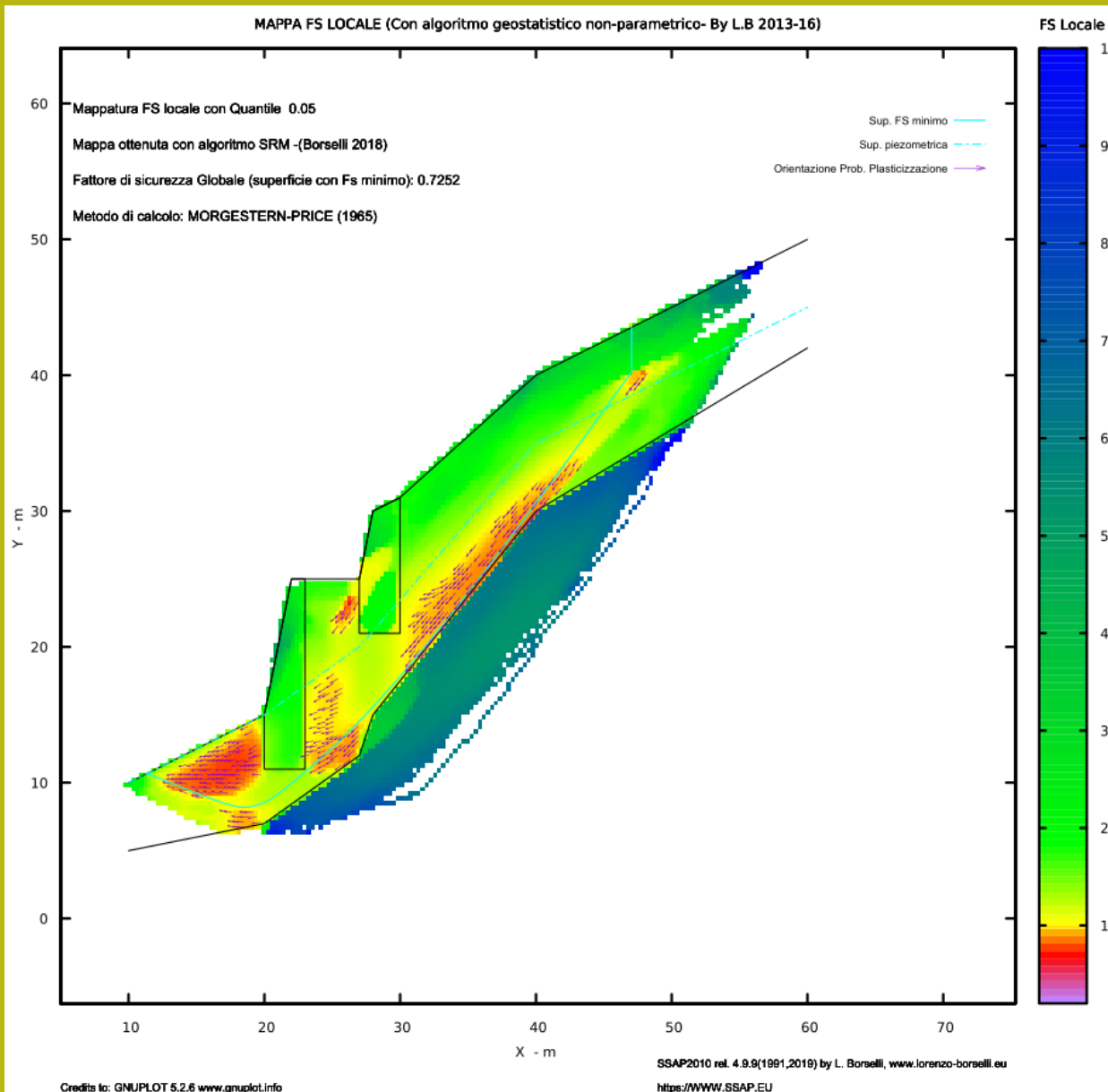
Range X termine generazione : 15.0 - 59.0

Livello Y minimo considerato : 0.0

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).*

# 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)

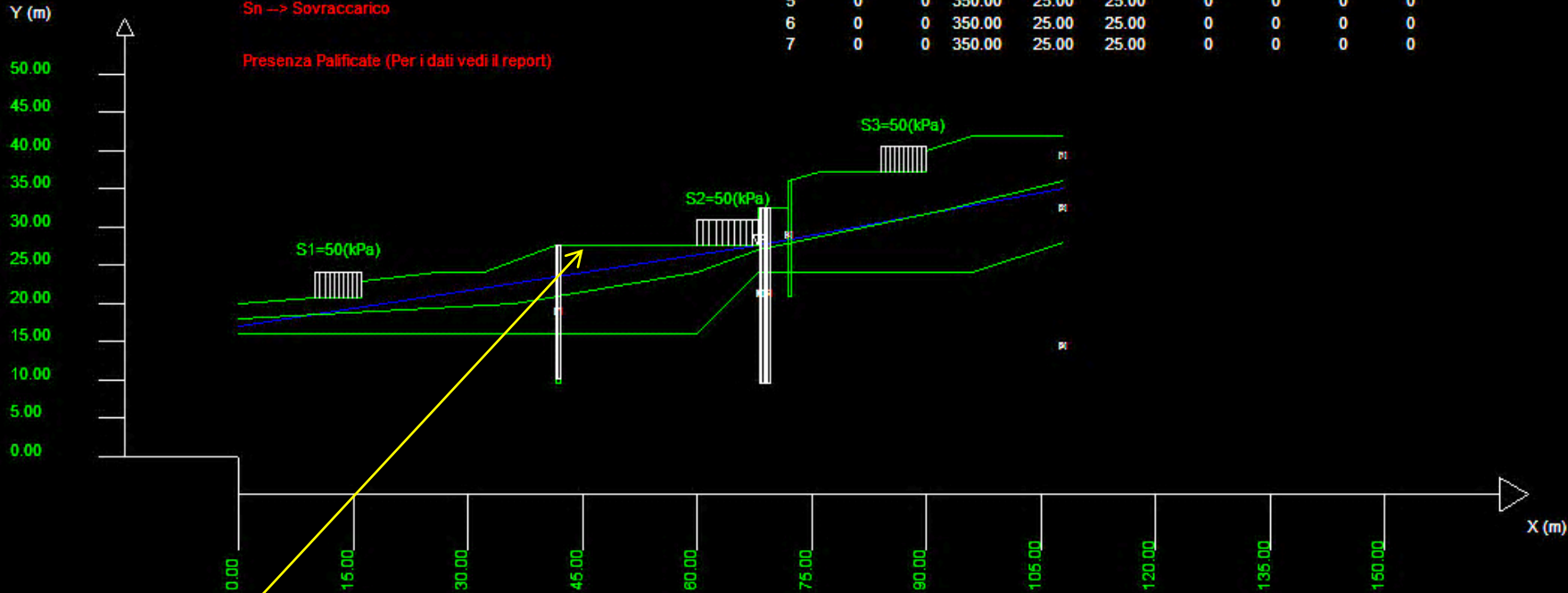
Data : 11/11/2012  
Localita' :  
Descripción :  
n = No. strato o lente

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' :  
Descrizione :  
n = No. strato o lente

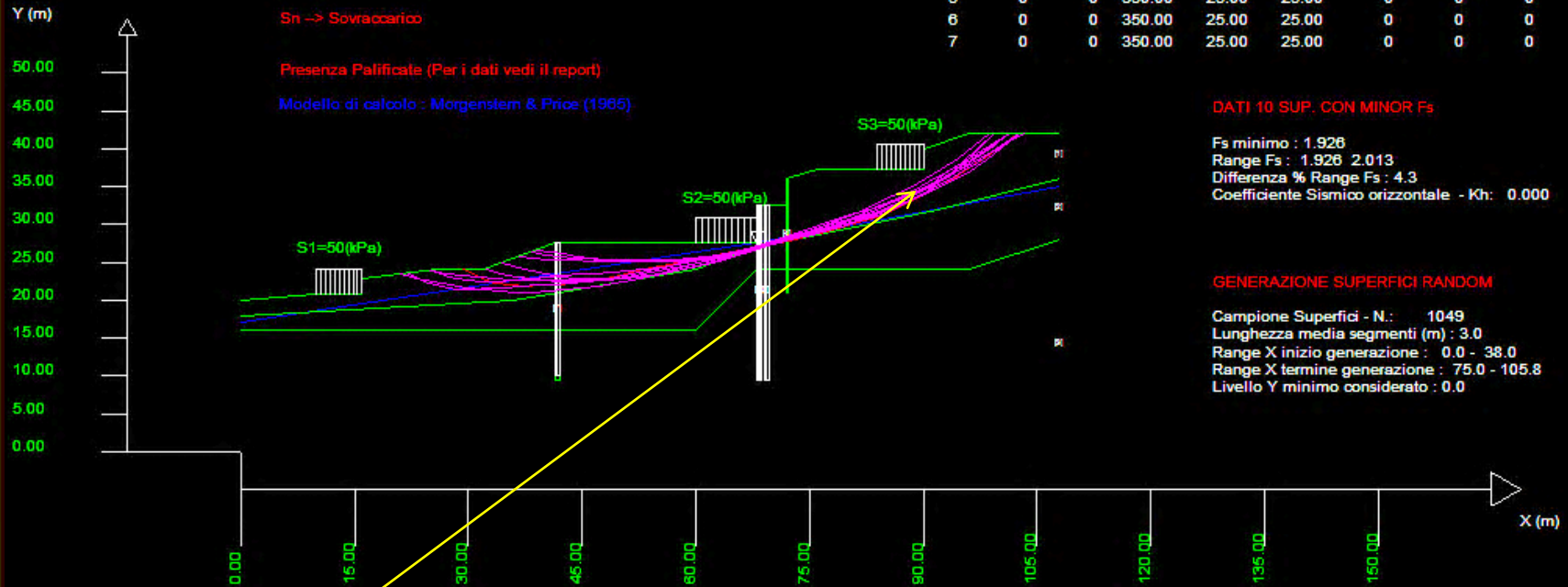
Sn -> Sovraccarico

Presenza Palificate (Per i dati vedi il report)

Modello di calcolo : Morgenstem & Price (1965)

# Parametri Geotecnici degli strati #

N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgcl	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' :  
Descripción :  
n = No. strato o lente

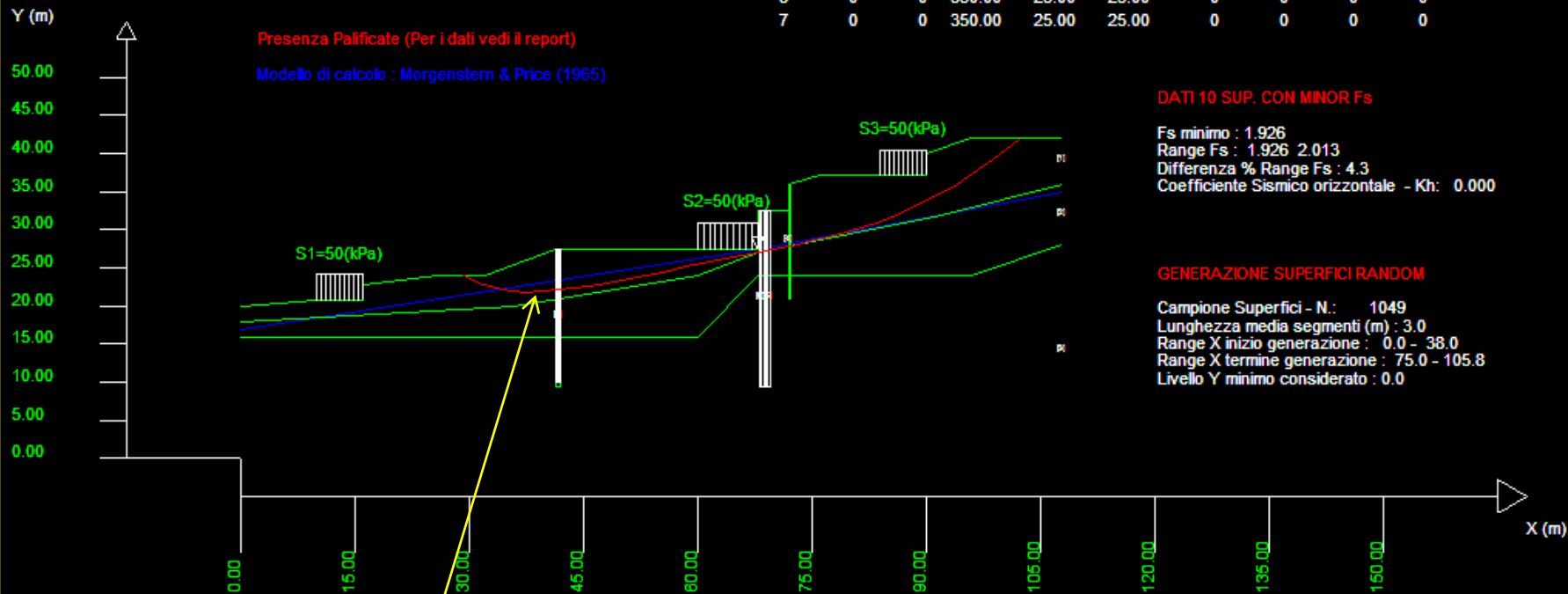
Sn -> Sovraccarico

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.



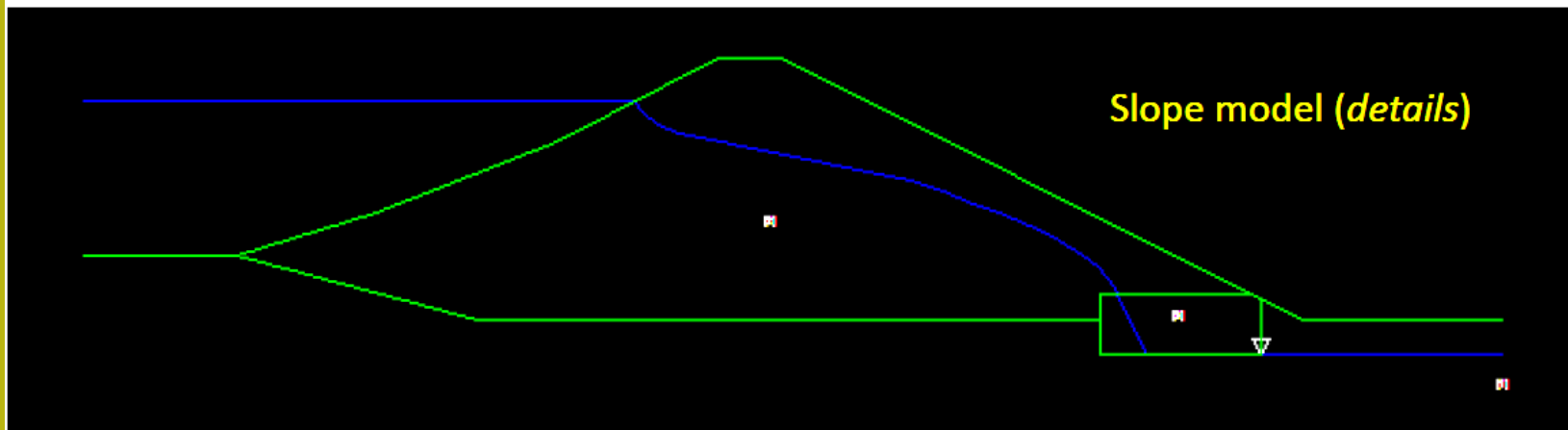
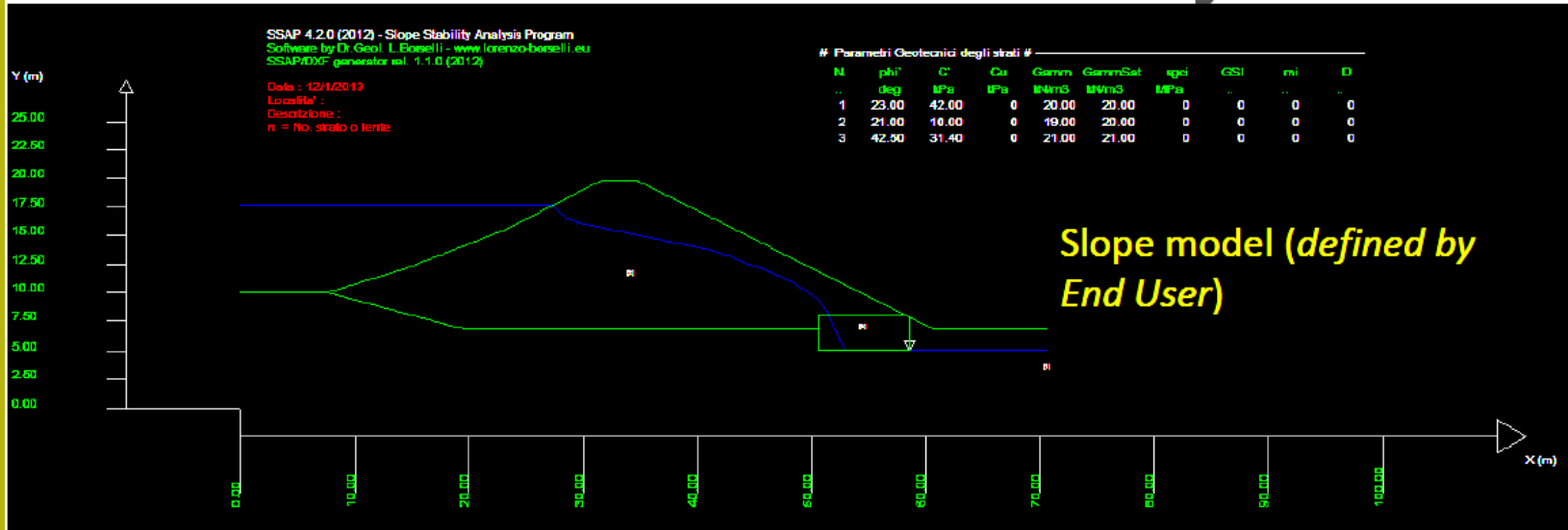
**Reservoir (anti.mod)  
verified by L Borselli (2012)**

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



# EXAMPLES: Earth dam stability check

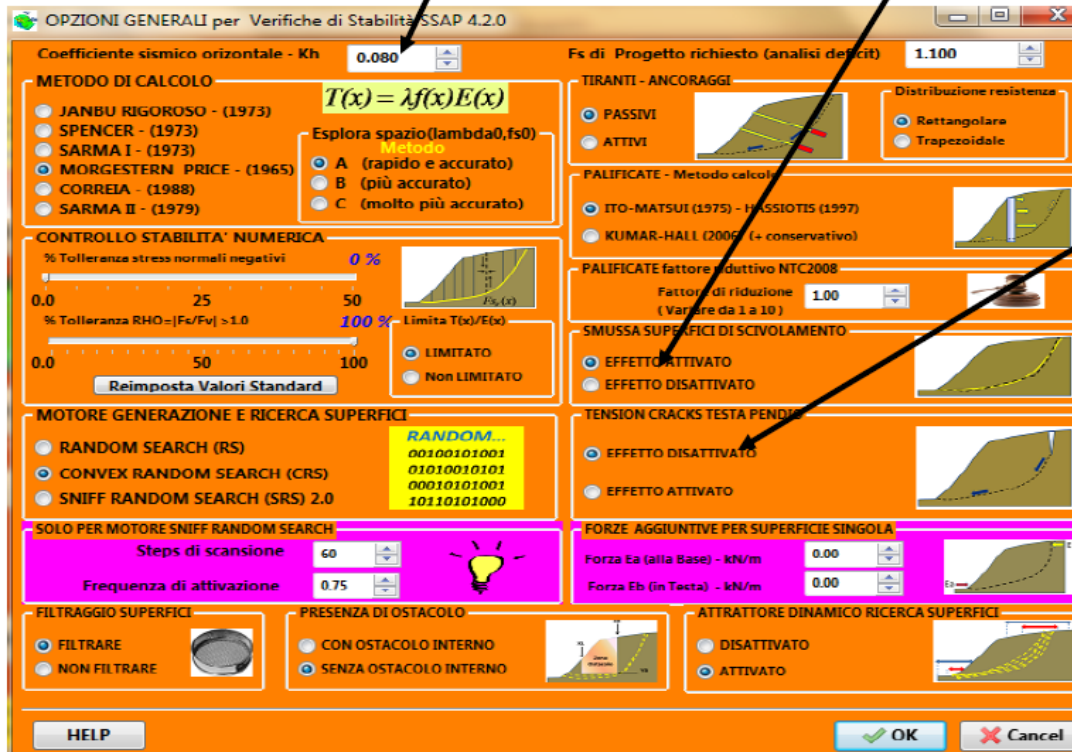
Draft

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

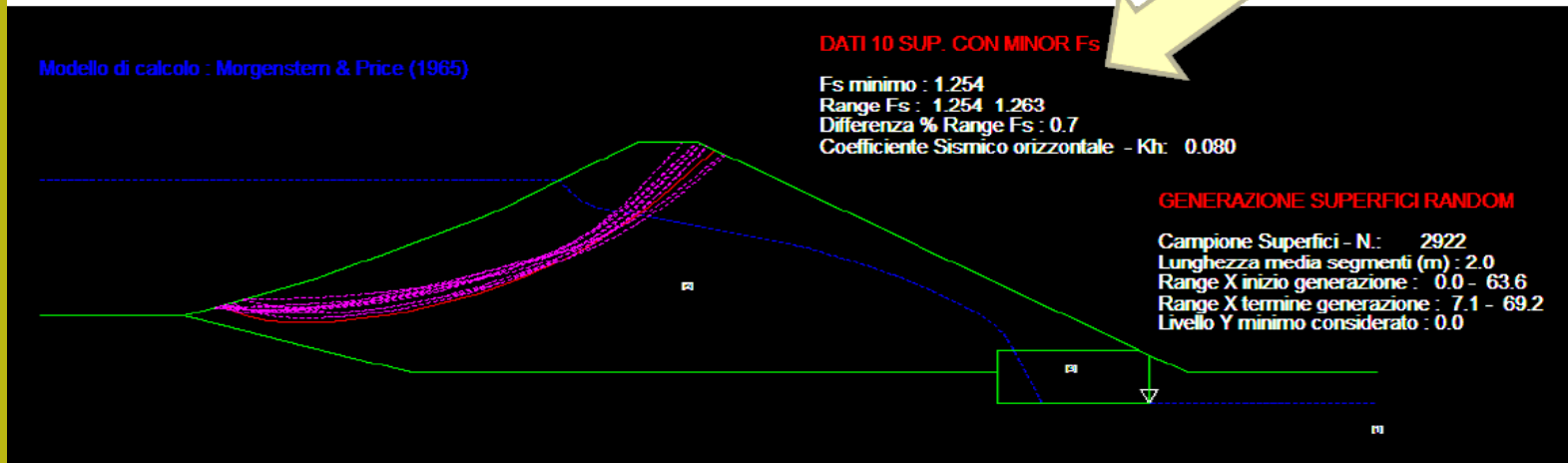
Draft

Results of scenario analysis

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

$K_h=0.08$

$F_s = 1.254$



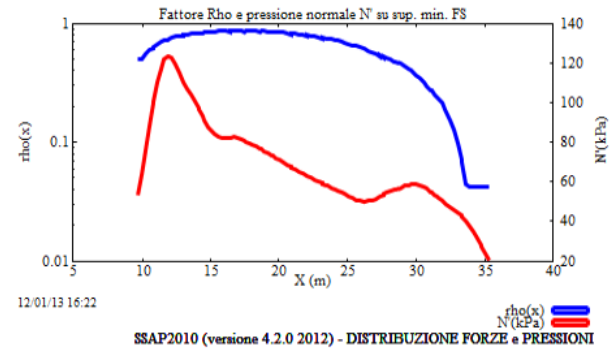
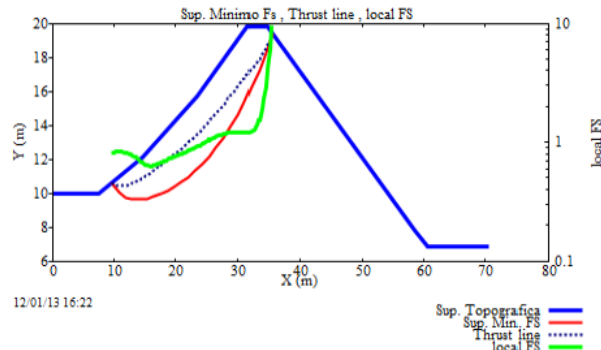
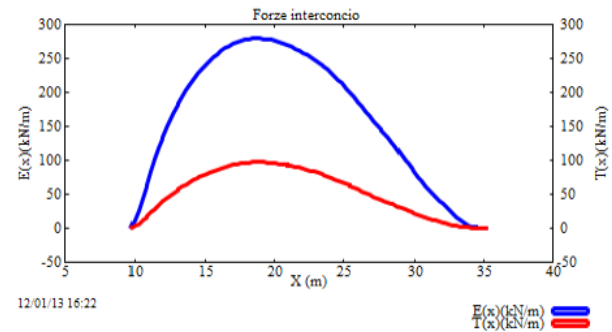
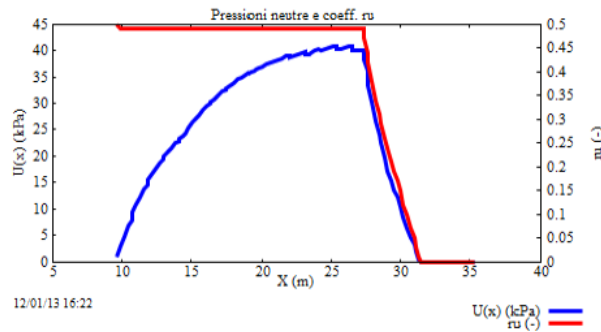
<http://www.lorenzo-borselli.eu>



# EXAMPLES: Earth dam stability check *Draft*

## Results of scenario analysis

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



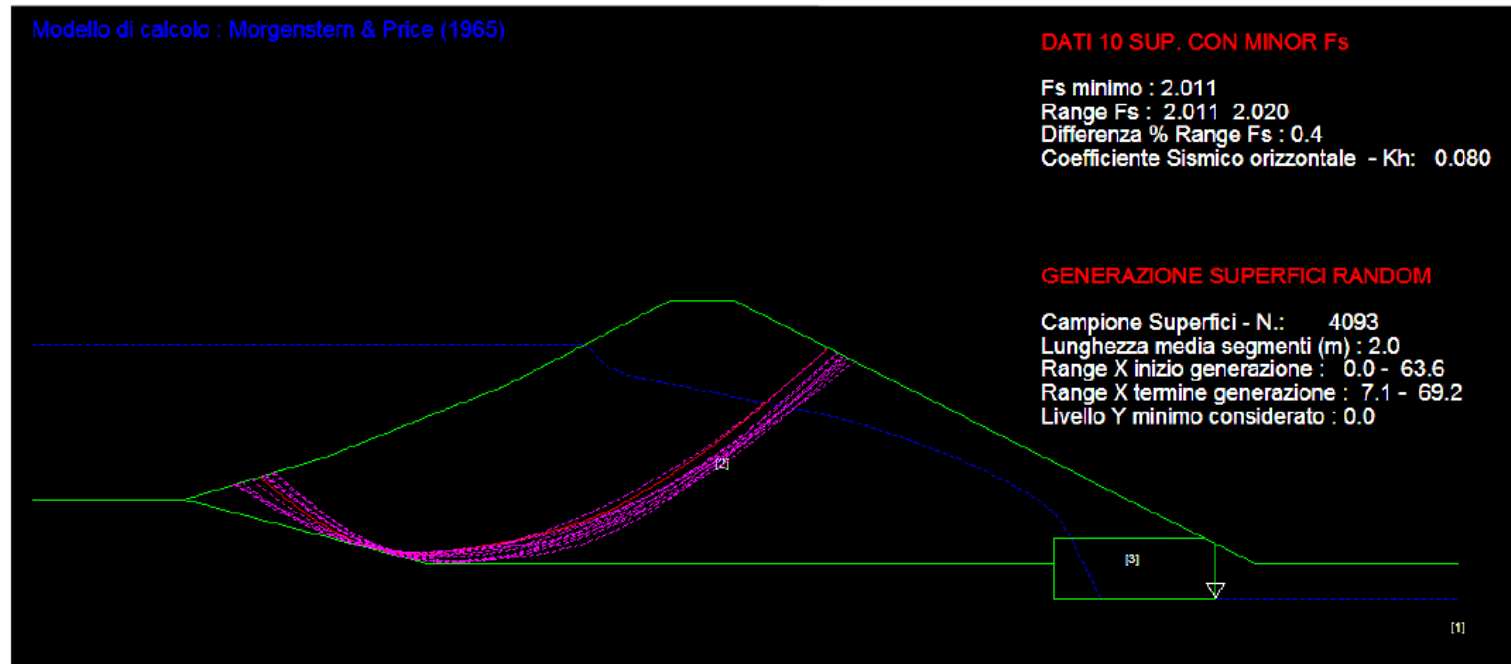
<http://www.lorenzo-borselli.eu>

# EXAMPLES: Earth dam stability check Draft

## 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>



Consiglio Nazionale delle Ricerche



<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).

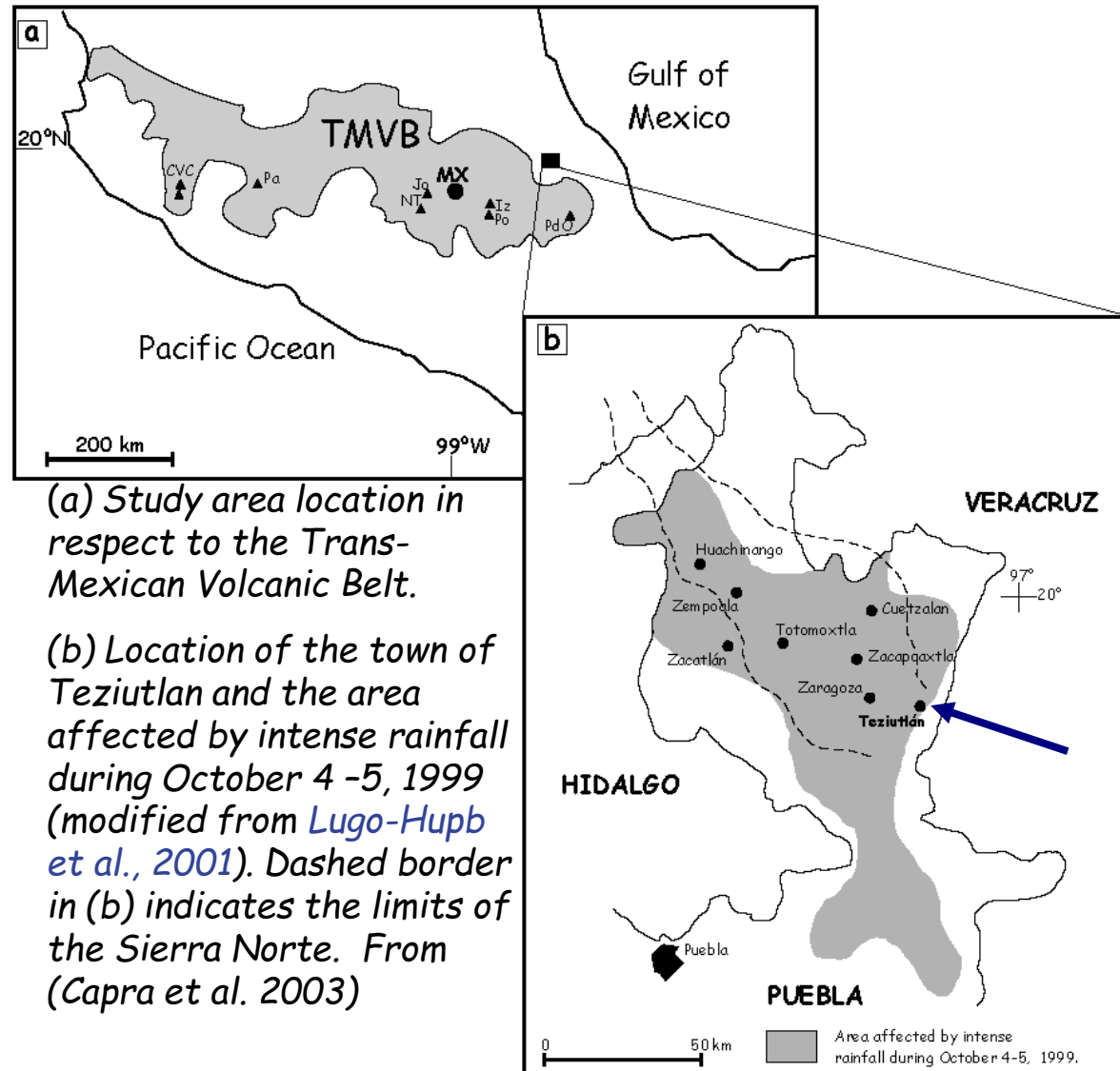
<sup>(2)</sup>Instituto de Geofisica, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Circuito Exterior; Ciudad Universitaria, Mexico City, Mexico.

<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.



## Teziutlan cemetery:

Reconstruction of the event by  
Information from direct witnesses.

Classification of the  
Landslide as a *FLOW SLIDE*.

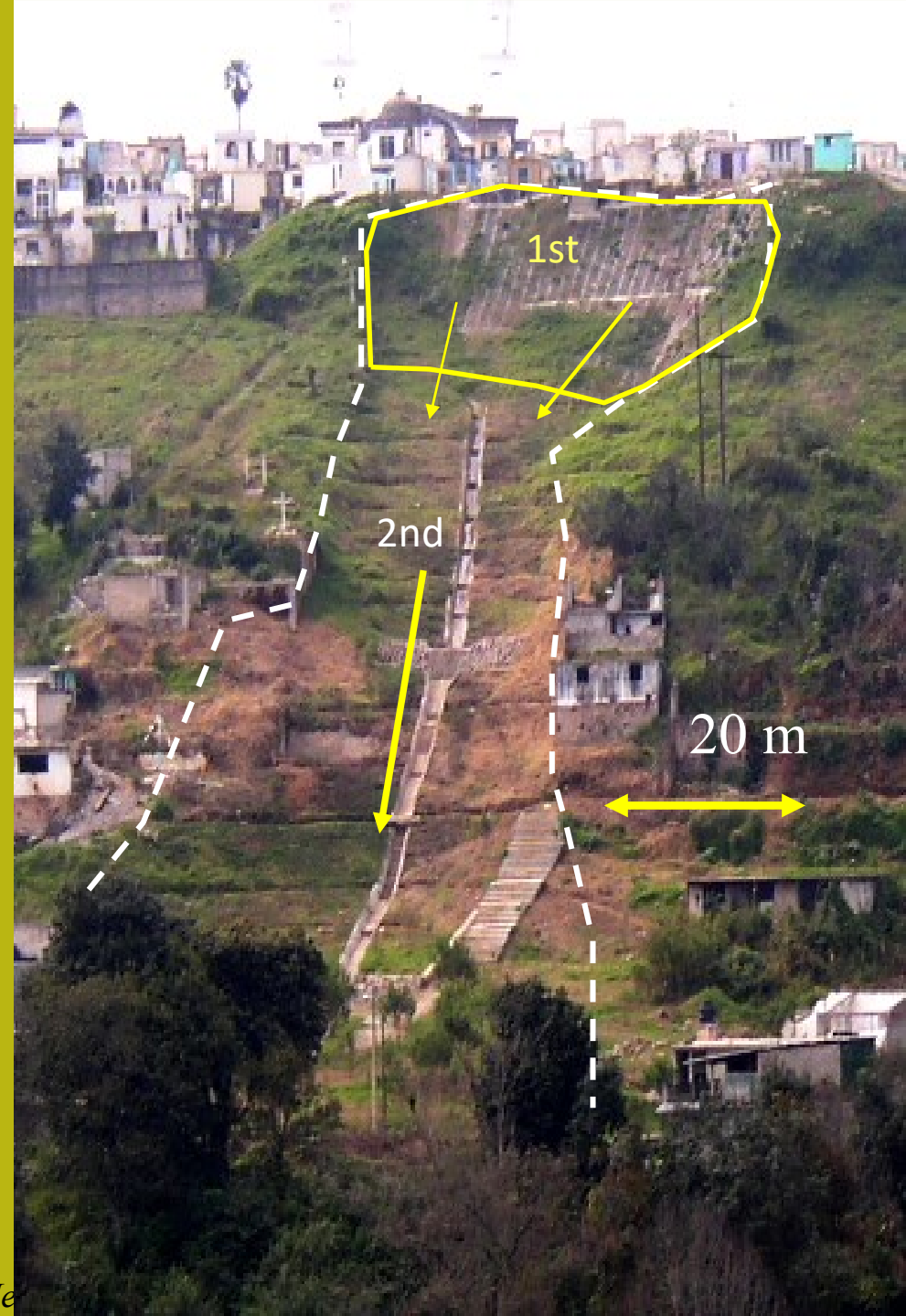
10 A.M. of 5 oct. 1999

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

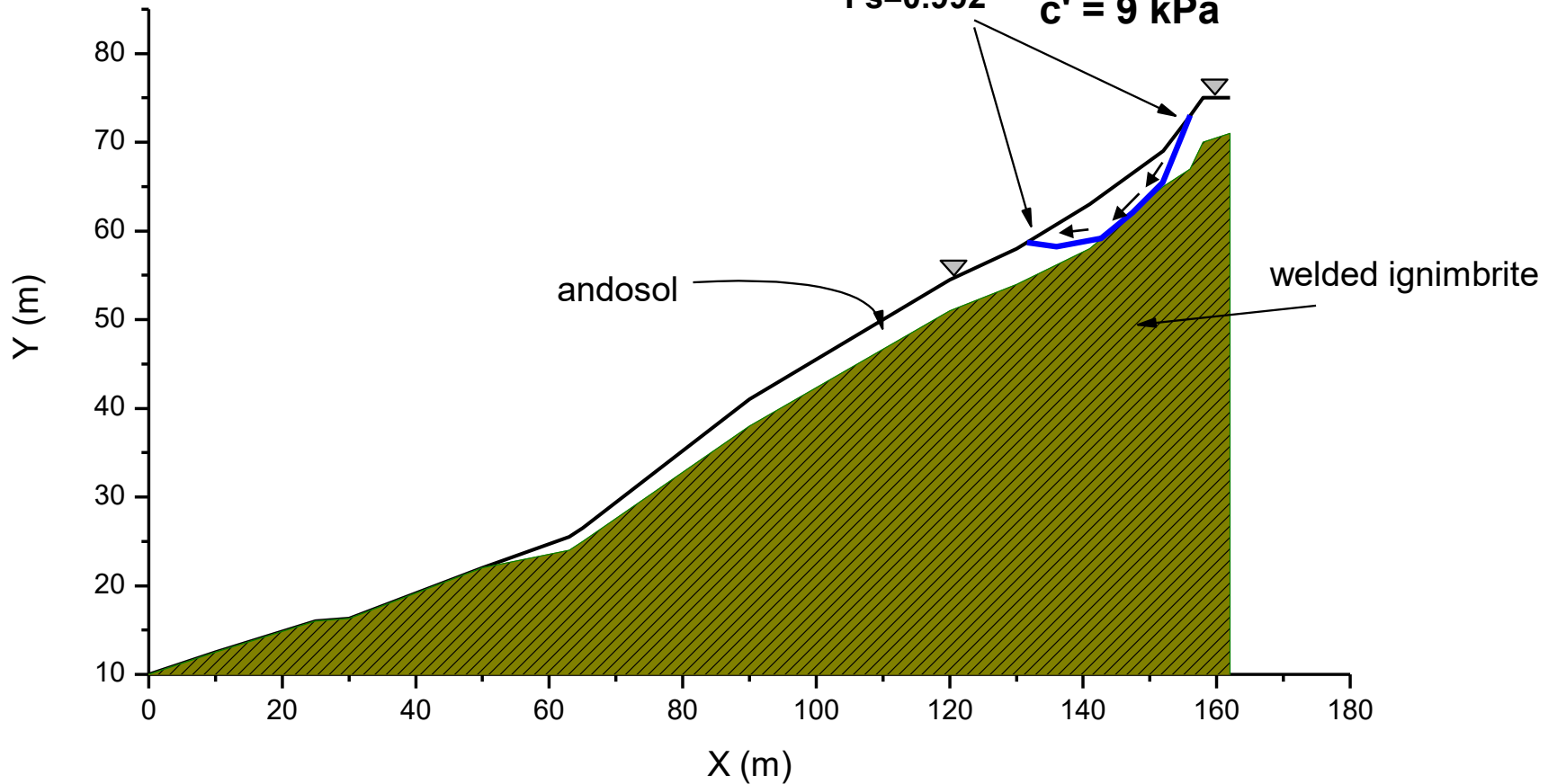
## Teziutlàn Cemetery flow slide Phase 1 - Rotational Landslide

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

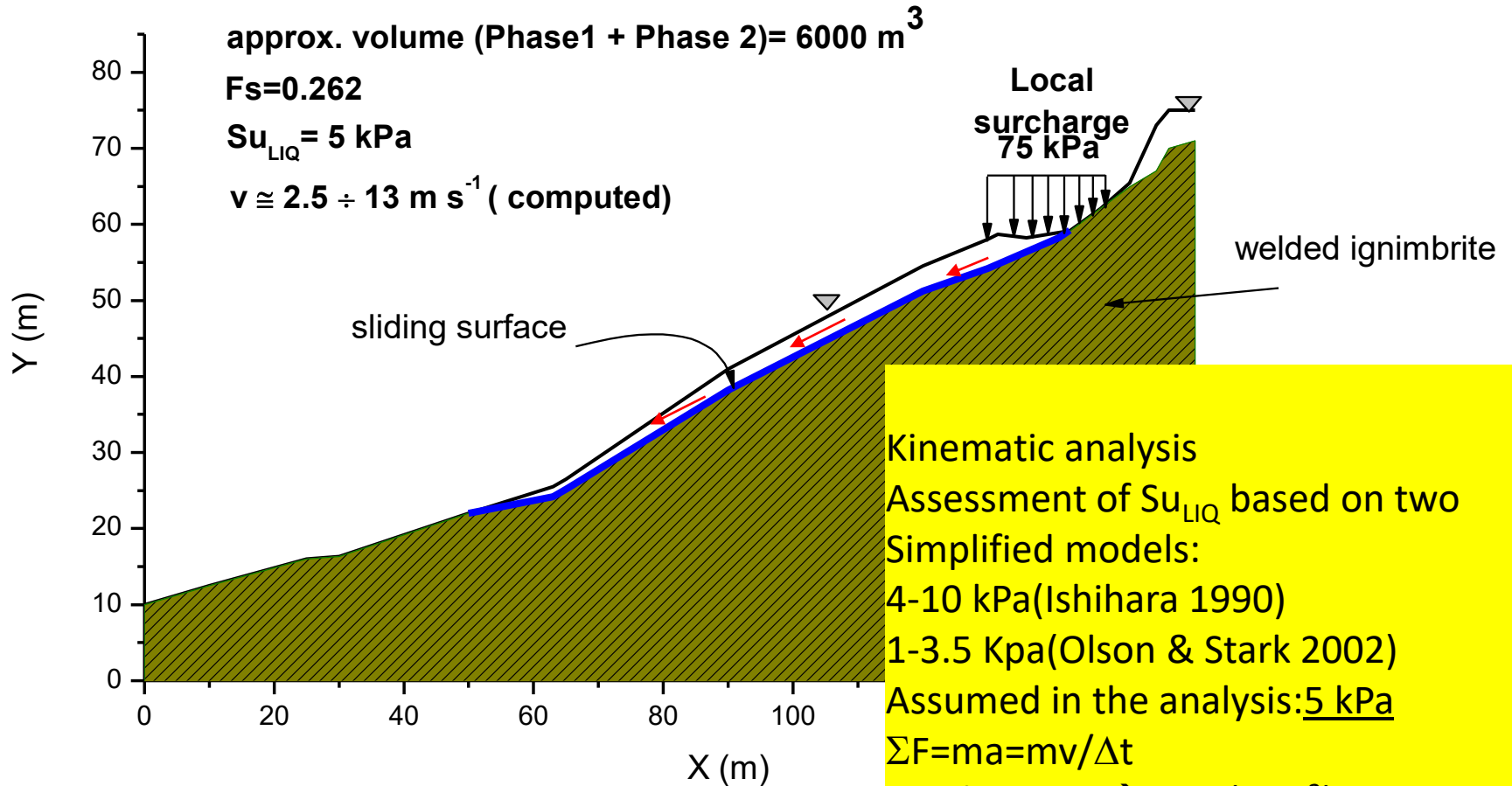
$\phi' = 34^\circ$

$c' = 9$  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  $\rightarrow a=3$  (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.

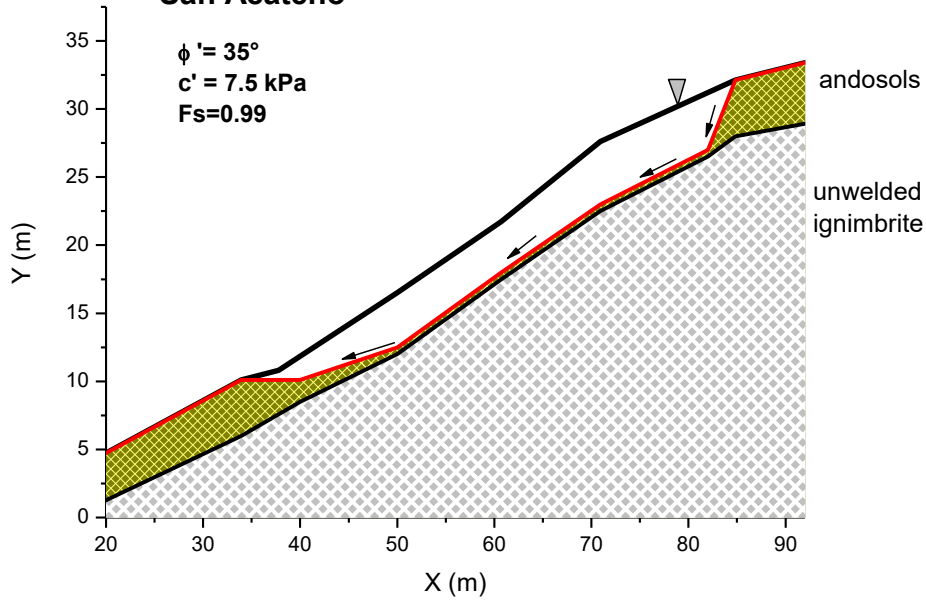
## LANDSLIDES MAPPING AND CLASSIFICATION :

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

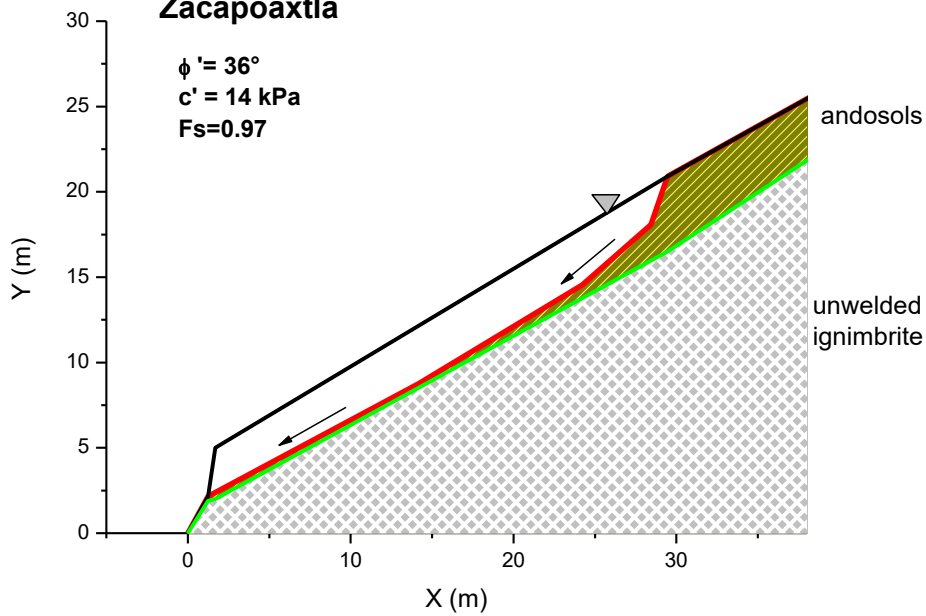
Type 1: superficial mass movements on unwelded ignimbrite sequence, forming small detrital fans at the base of steeper slopes.

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>

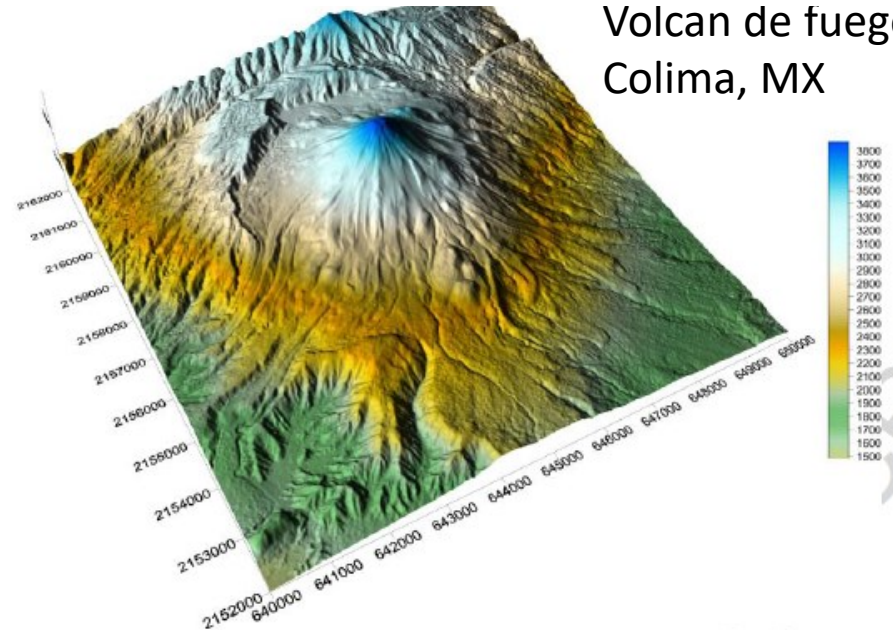
<sup>a</sup> Instituto de Geología/ Fac. de Ingeniería - Universidad Autónoma de San Luis Potosí-UASLP, Av. Dr. Manuel Nava 5, C.P. 78240 San Luis Potosí, Mexico

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

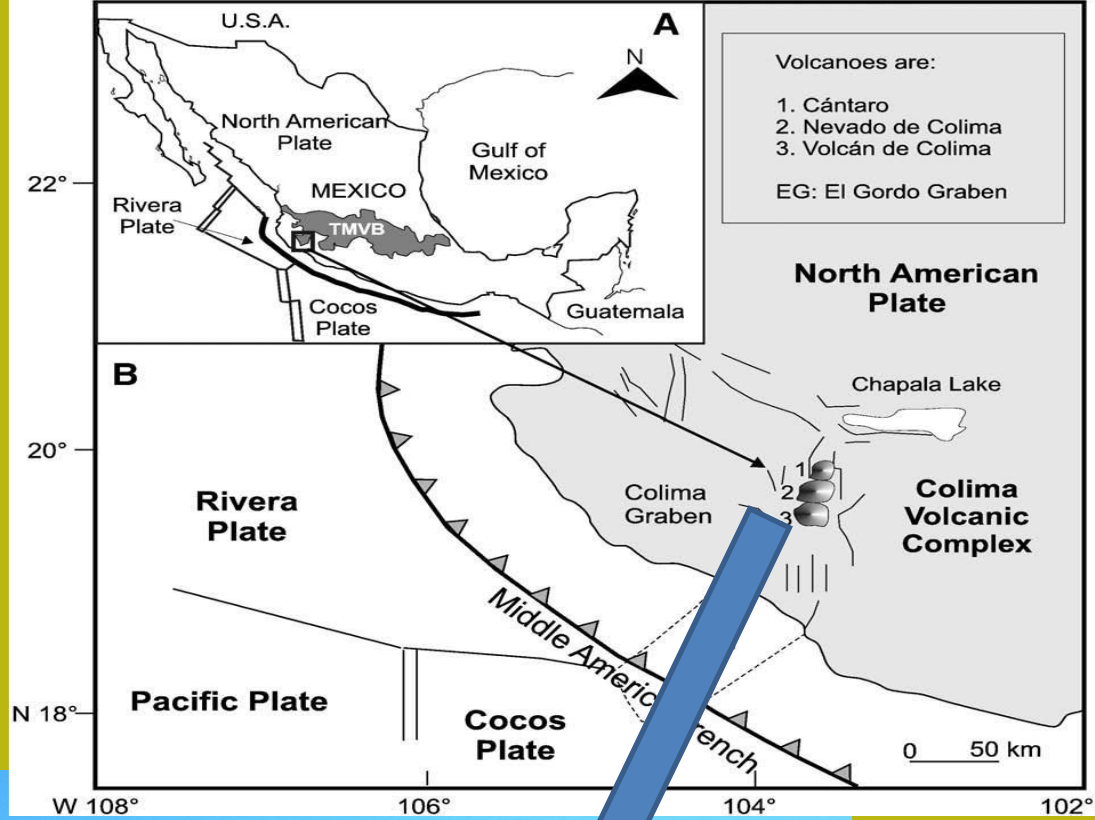
<sup>c</sup> Departamento de Vulcanología, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán 04510, D.F., Mexico

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

Volcan de fuego  
Colima, MX







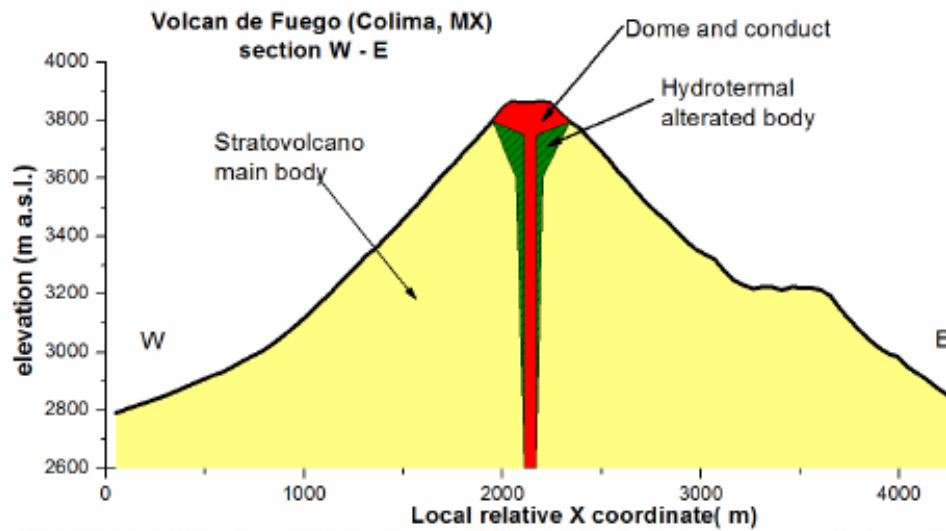
*From, Saucedo et al. 2010*



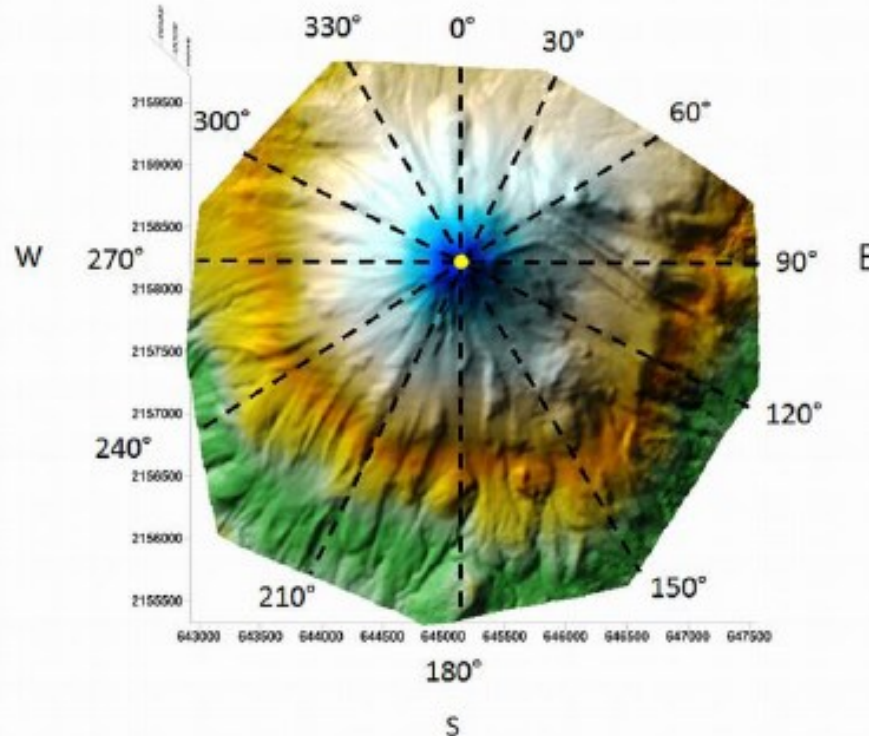
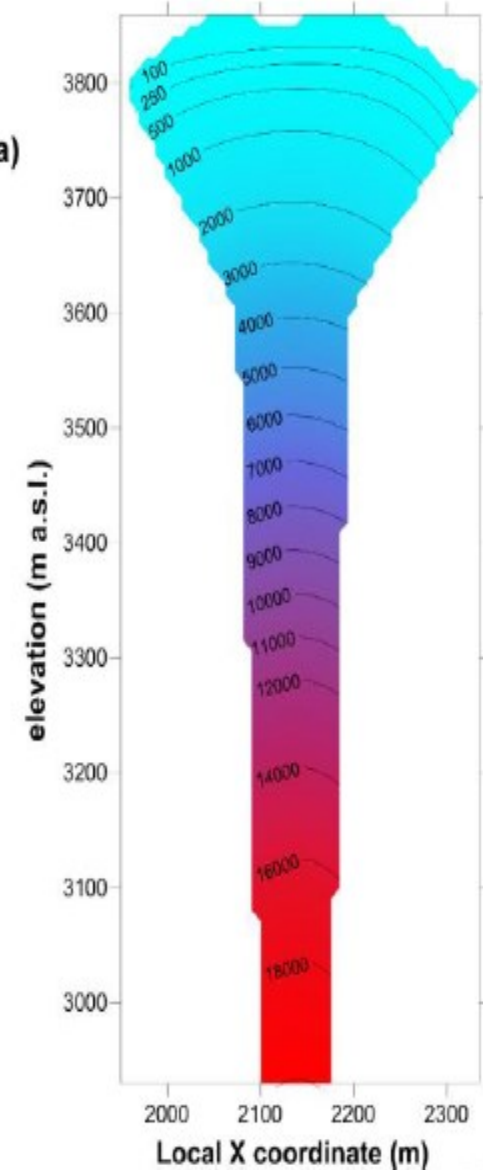
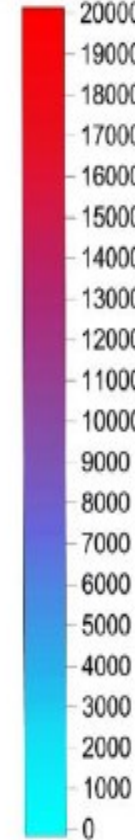
Volcan de fuego Colima, MX



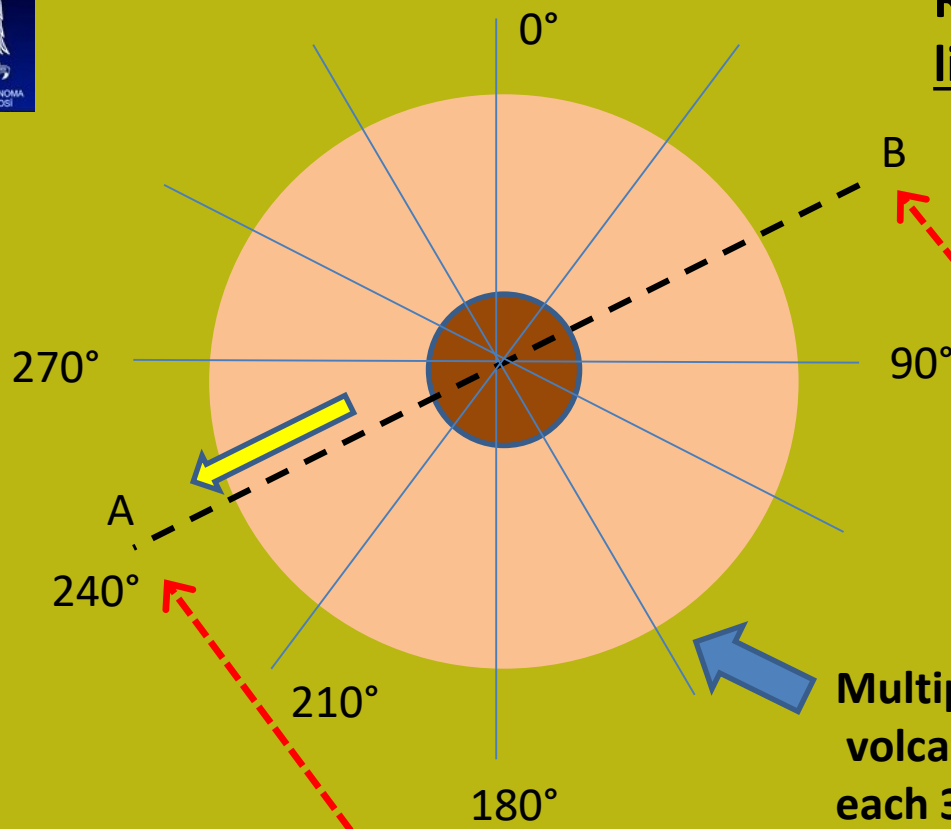
**Aplicación de SSAP 2010**  
**En estudio de estabilidad de los sectores del Volcan de fuego Colima (2011)**



**Fluid pressure (kPa)**



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

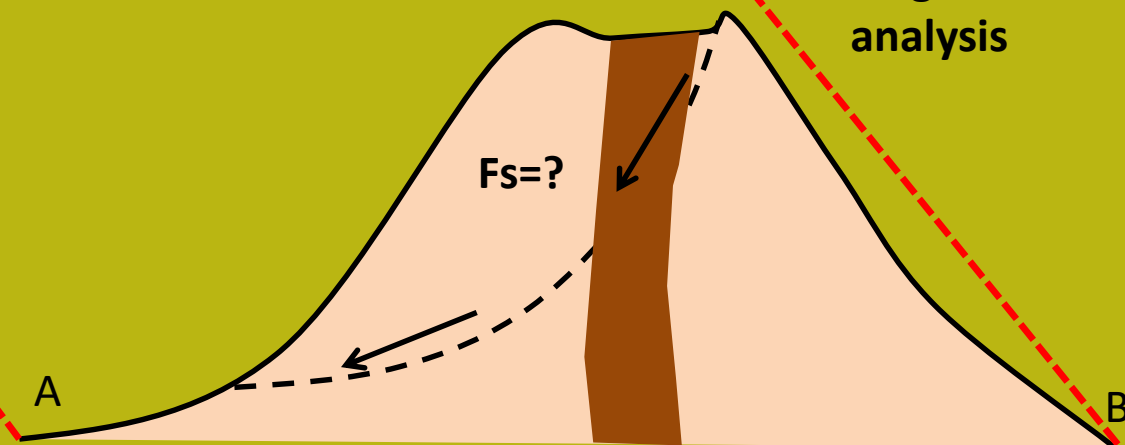


Multiple sections of volcanic structure each 30° clockwise

Limit equilibrium method (LEM) Slope stability analysis (Duncan 1996): Cálculo del Factor de Estabilidad (FS) que está asociado a cada sección del edificio volcánico

Single section analysis

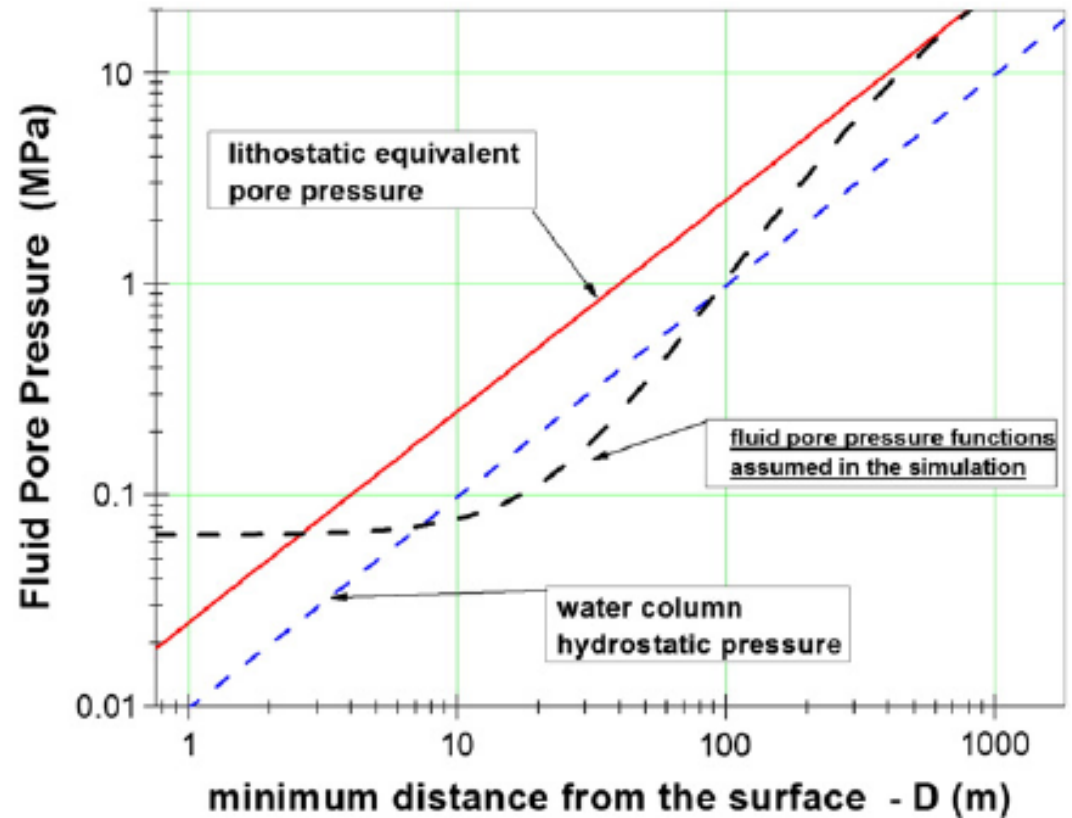
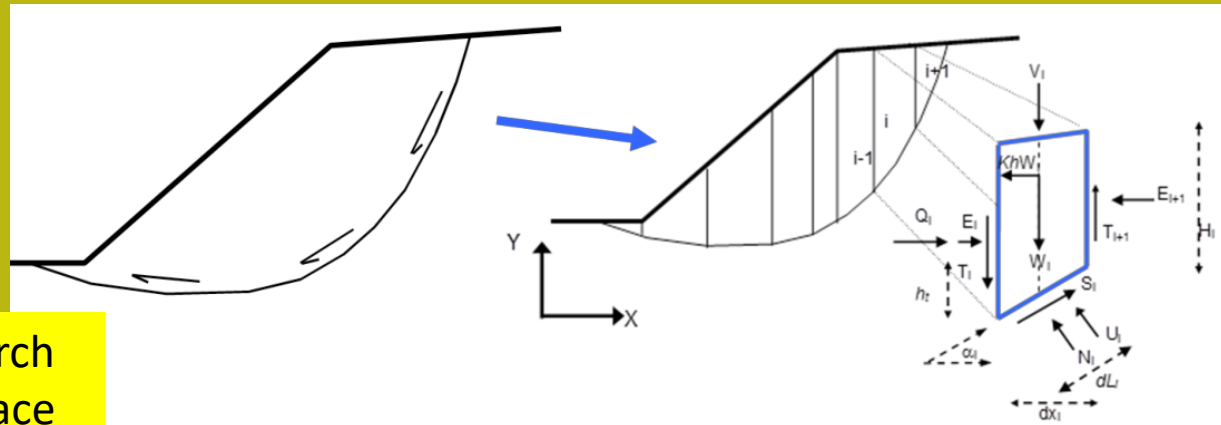
Factor of stability determination:  
 $F_s \leq 1.0$  unstable  
 $F_s > 1.0$  stable  
 According to standad rigorous LEM



- 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)

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

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



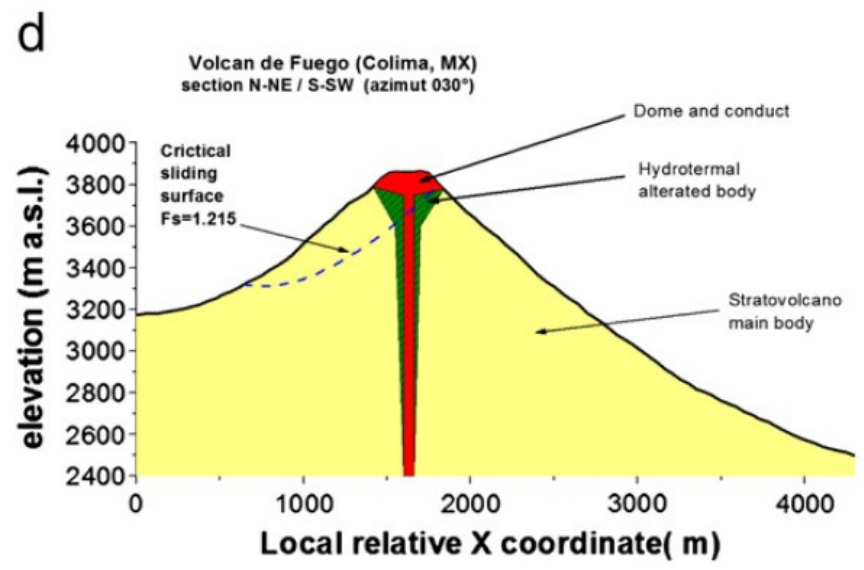
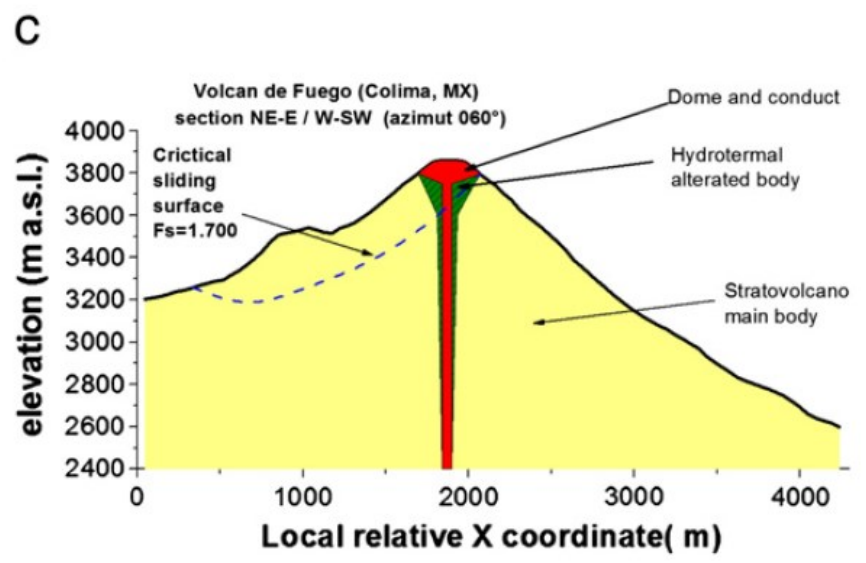
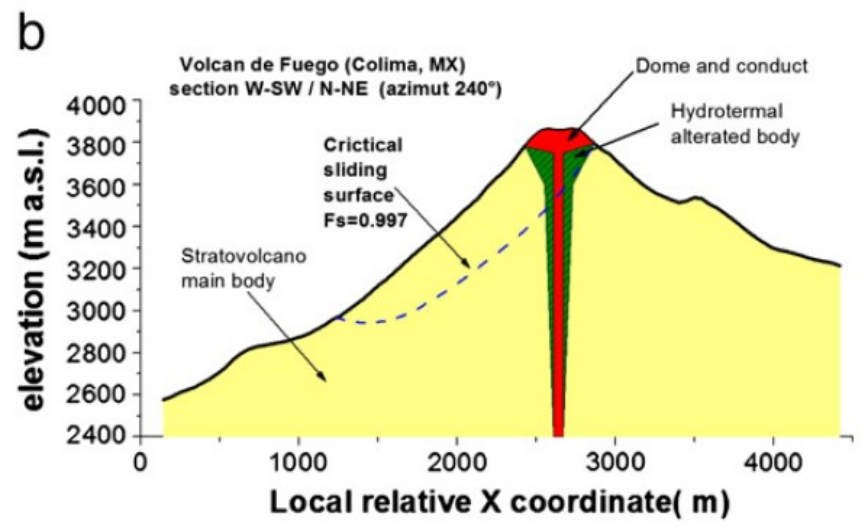
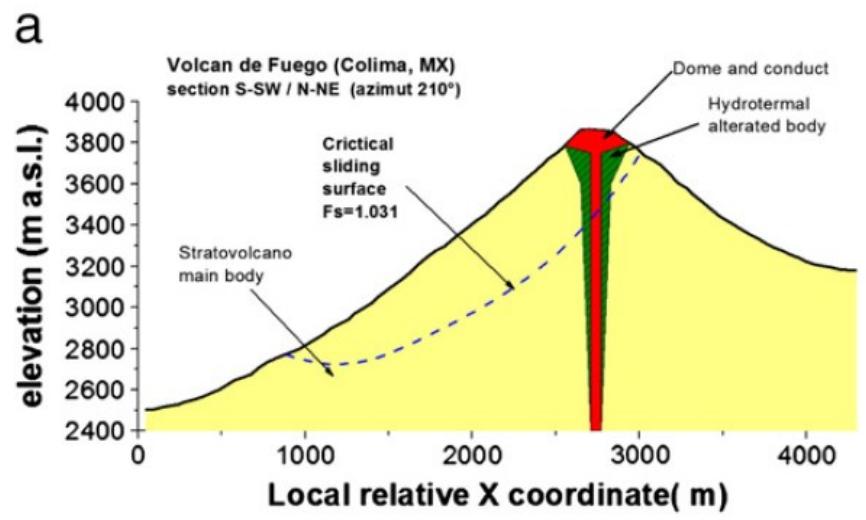


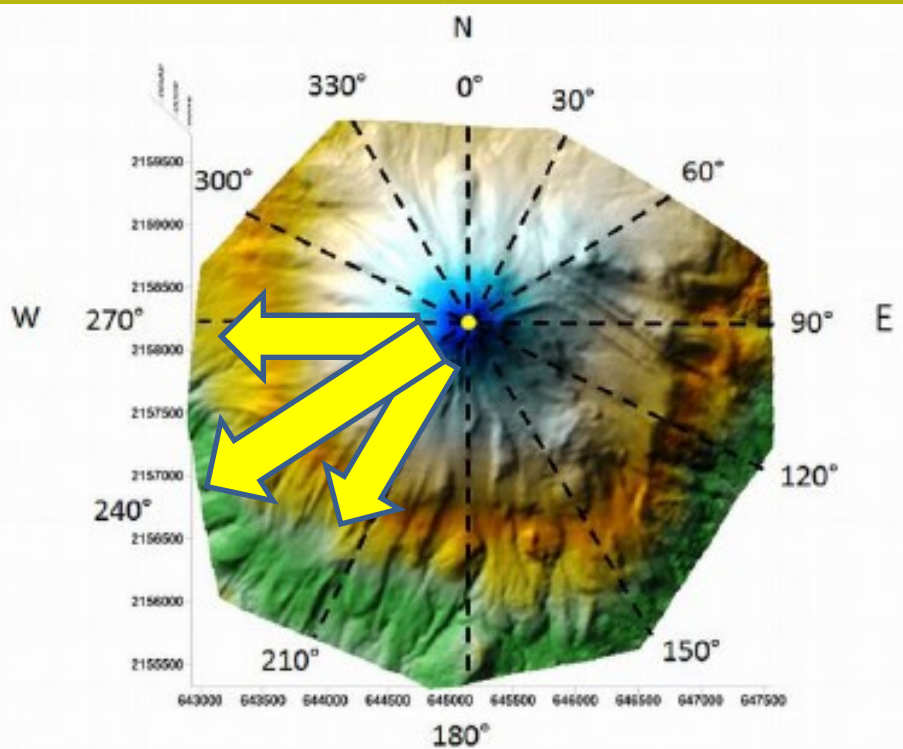


# Volcan de Colima: ensayos de resultados finales con ALEM



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



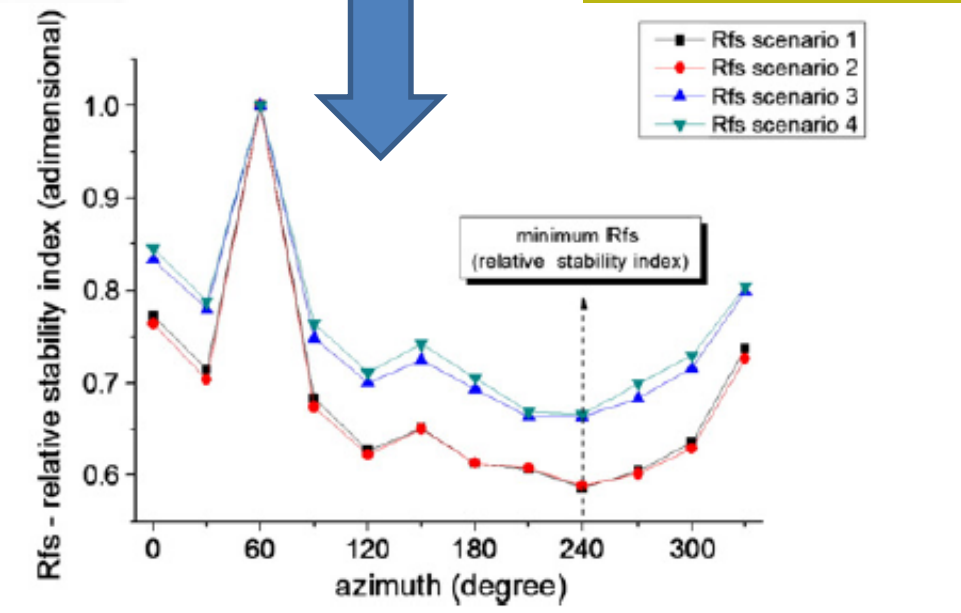
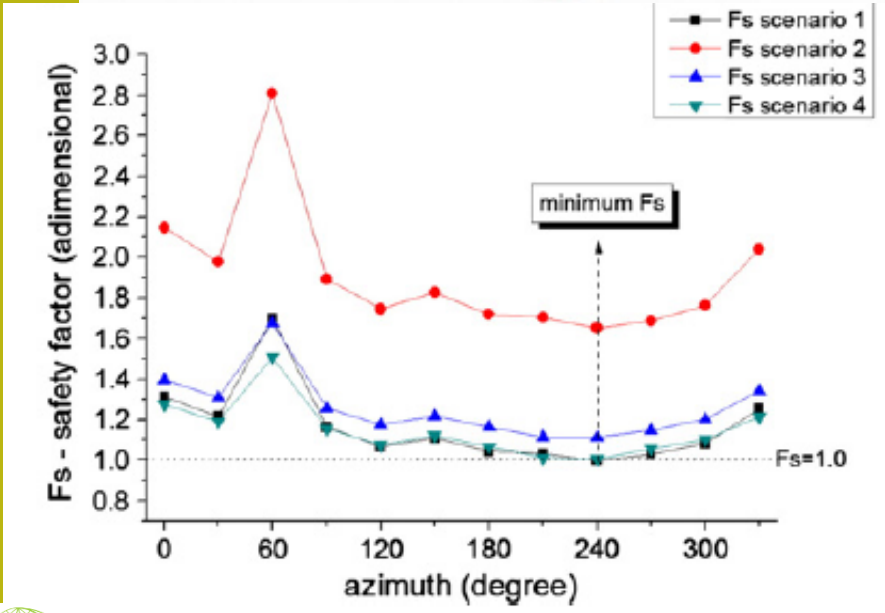


El sector con menor estabilidad relativa es el flanco W-SW (entre 270° y 210° de azimuth)

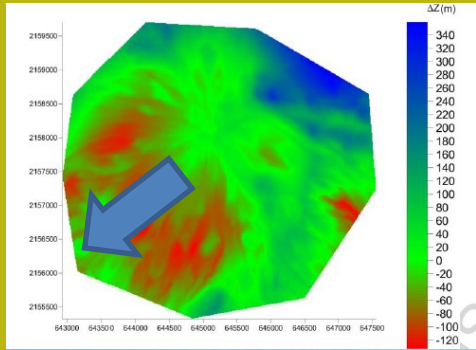
Relative stability index

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

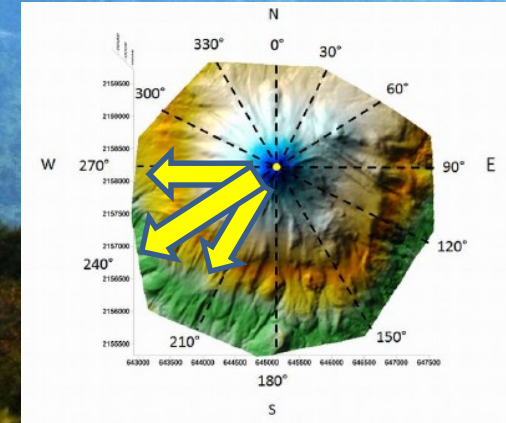
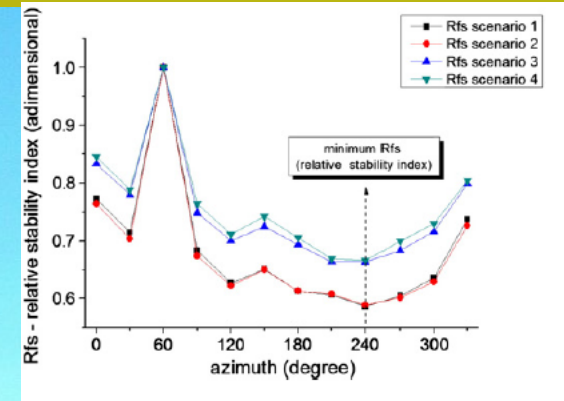
(Borselli et al. 2011)

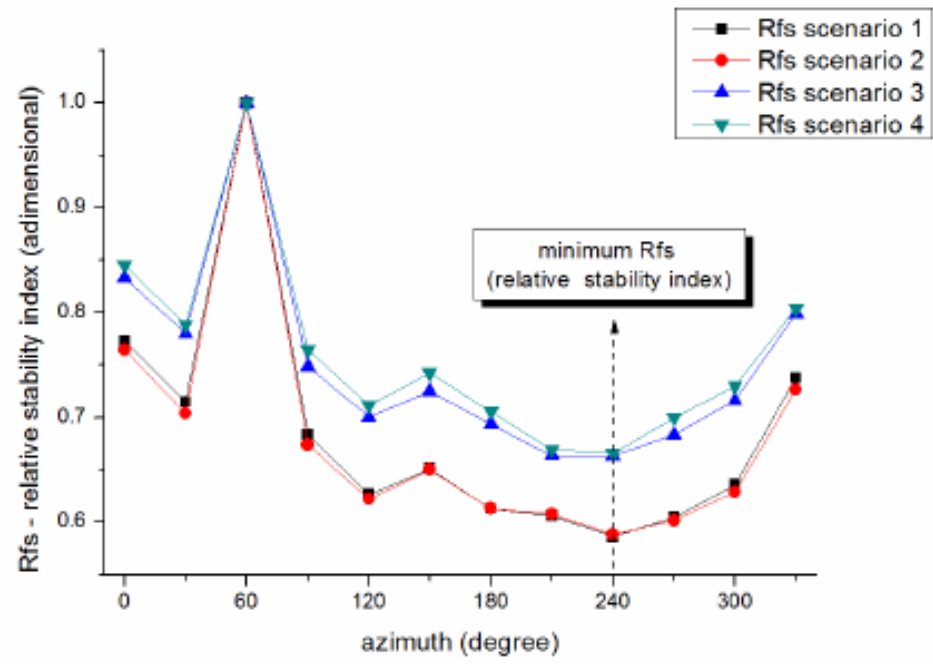
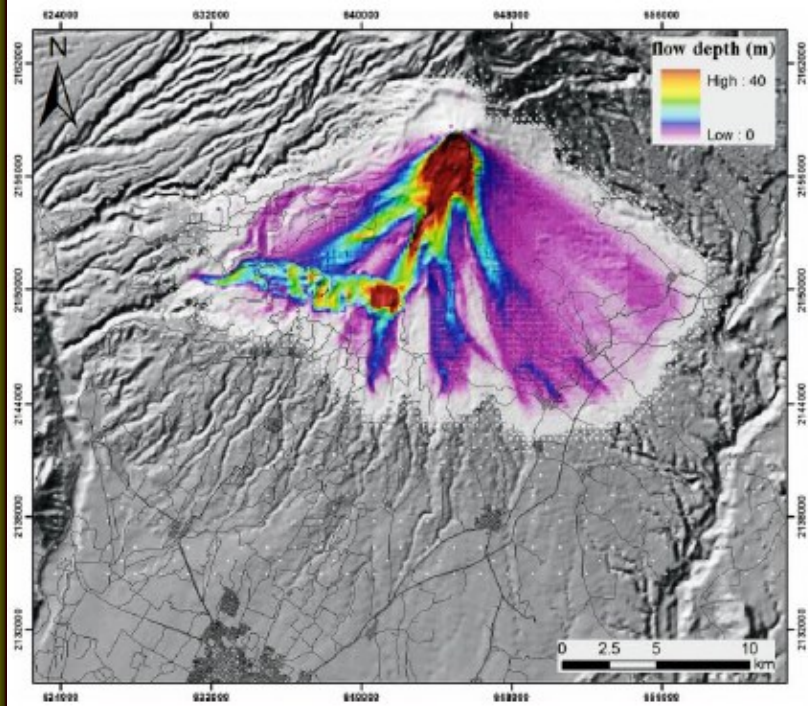
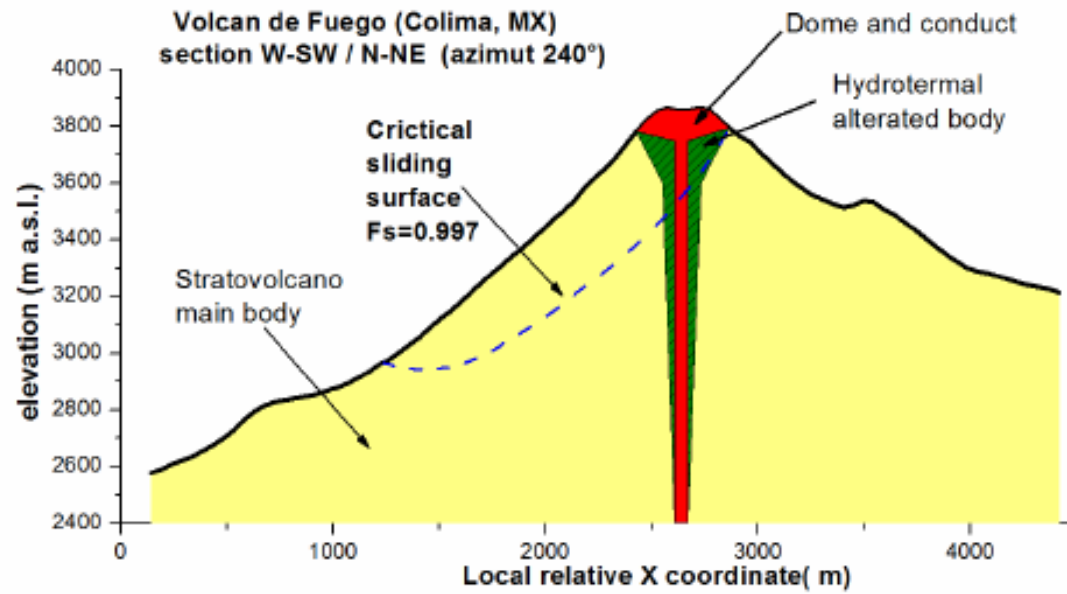






The most potentially unstable  
Flank: Azimuth 270°-210°





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

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

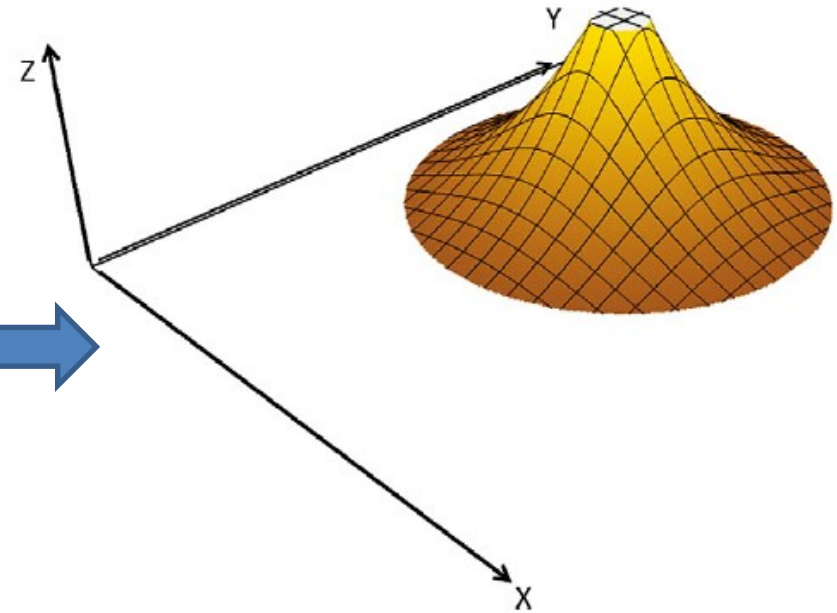


Fig. A.2. Example of volcanoid with constant negative curvature (Eq. (A.5)).

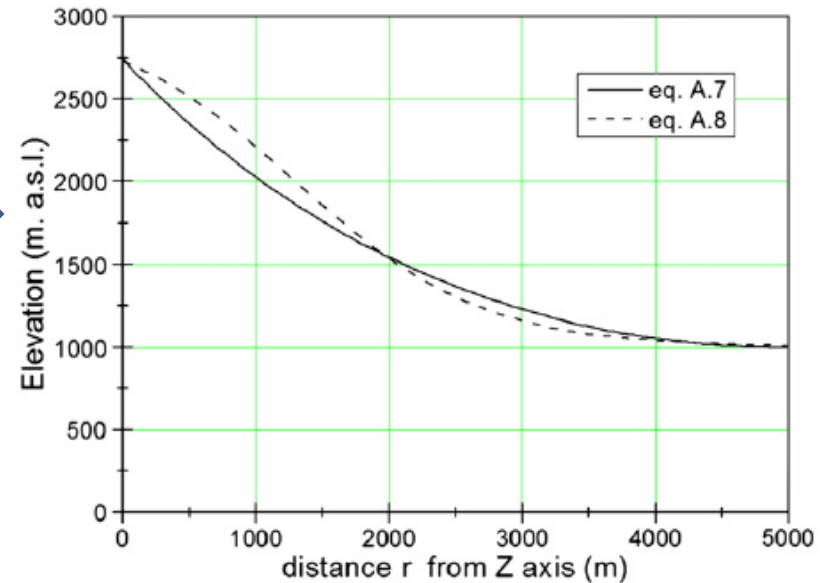
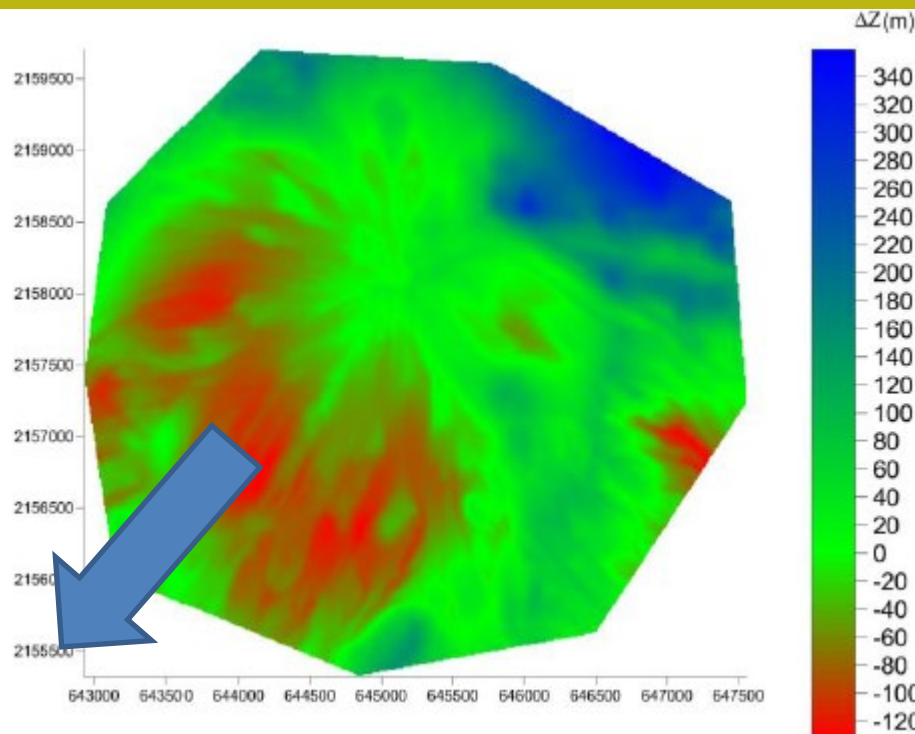
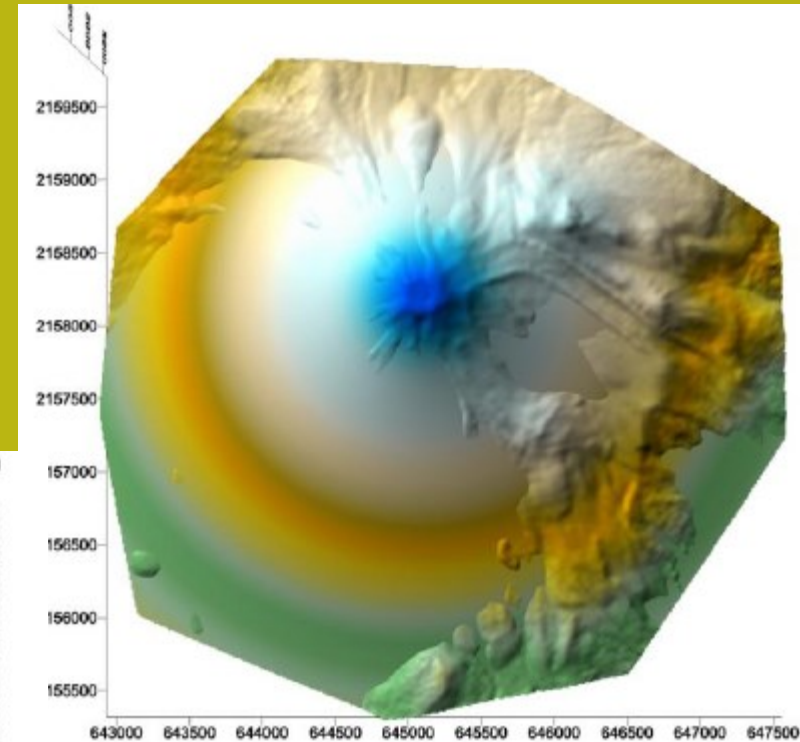
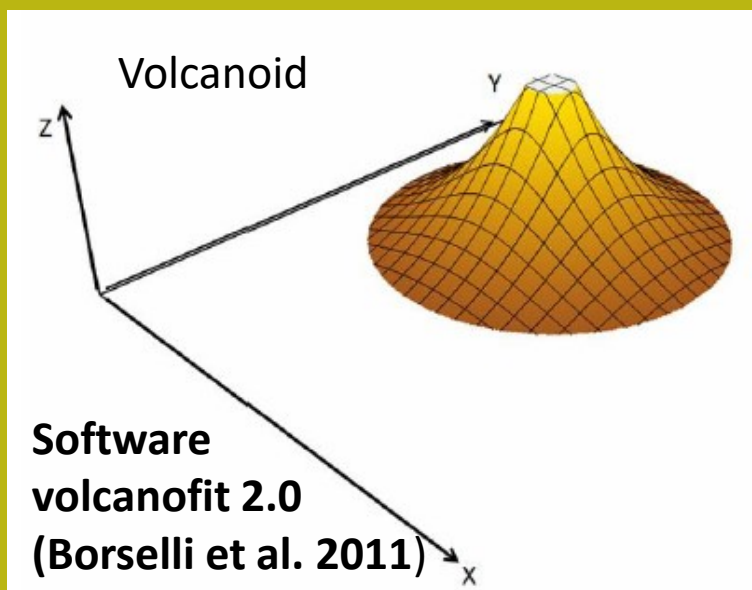


Fig. A.5. Alternative generatrix function of 3D volcanoid.



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](#)

### 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>

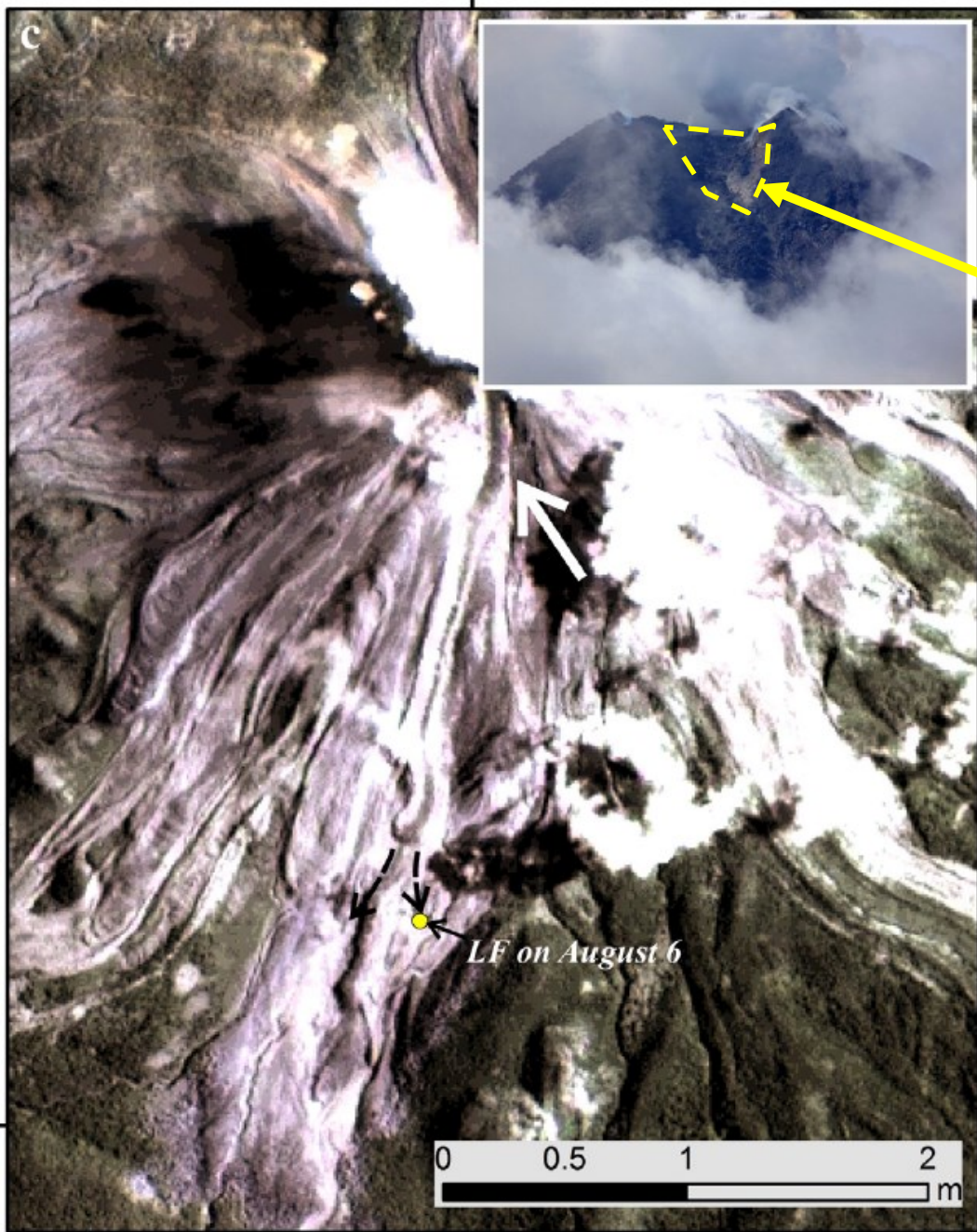
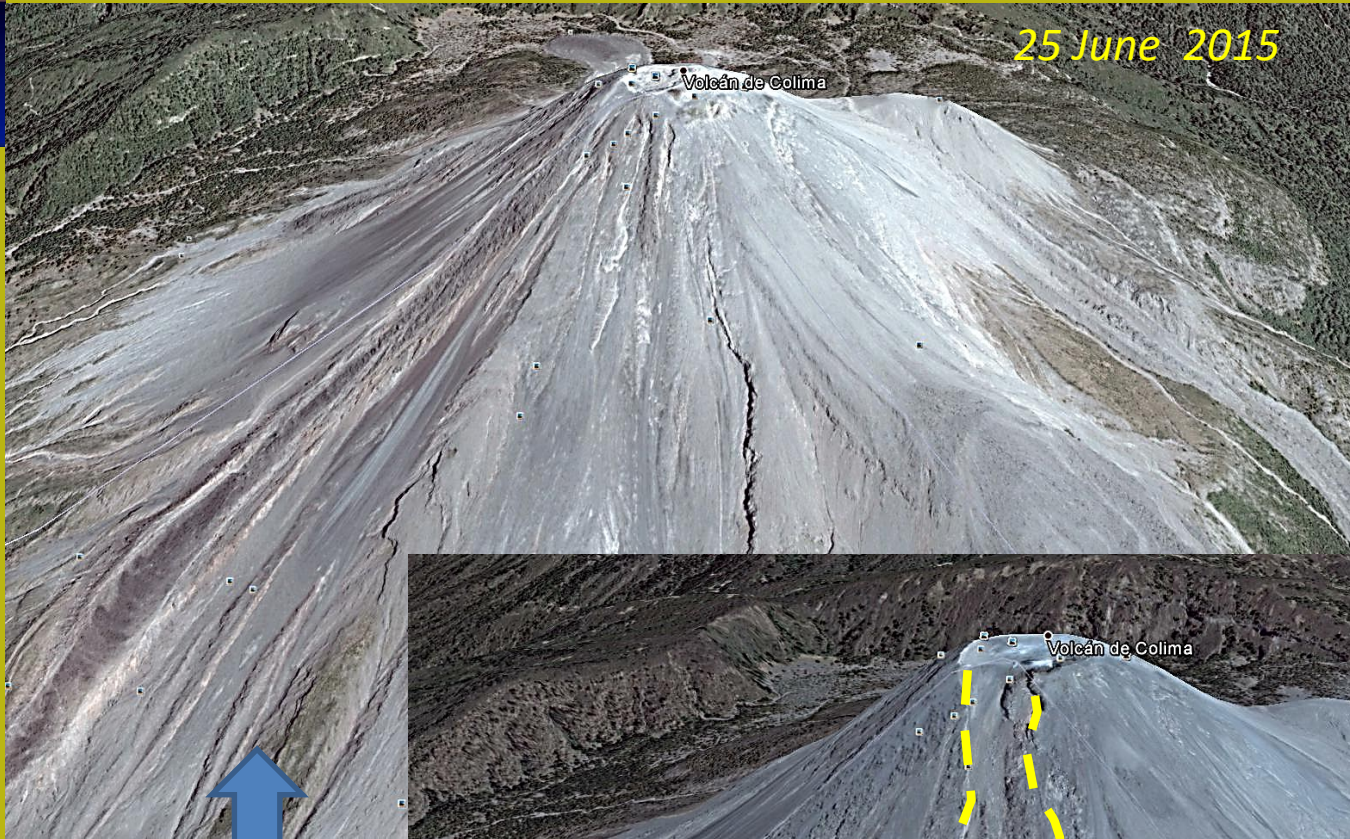


Imagen julio2015  
By Capra L.  
Porcion superior  
collapsada del edificio  
Colima Volcano

(by capra et al. 2016)

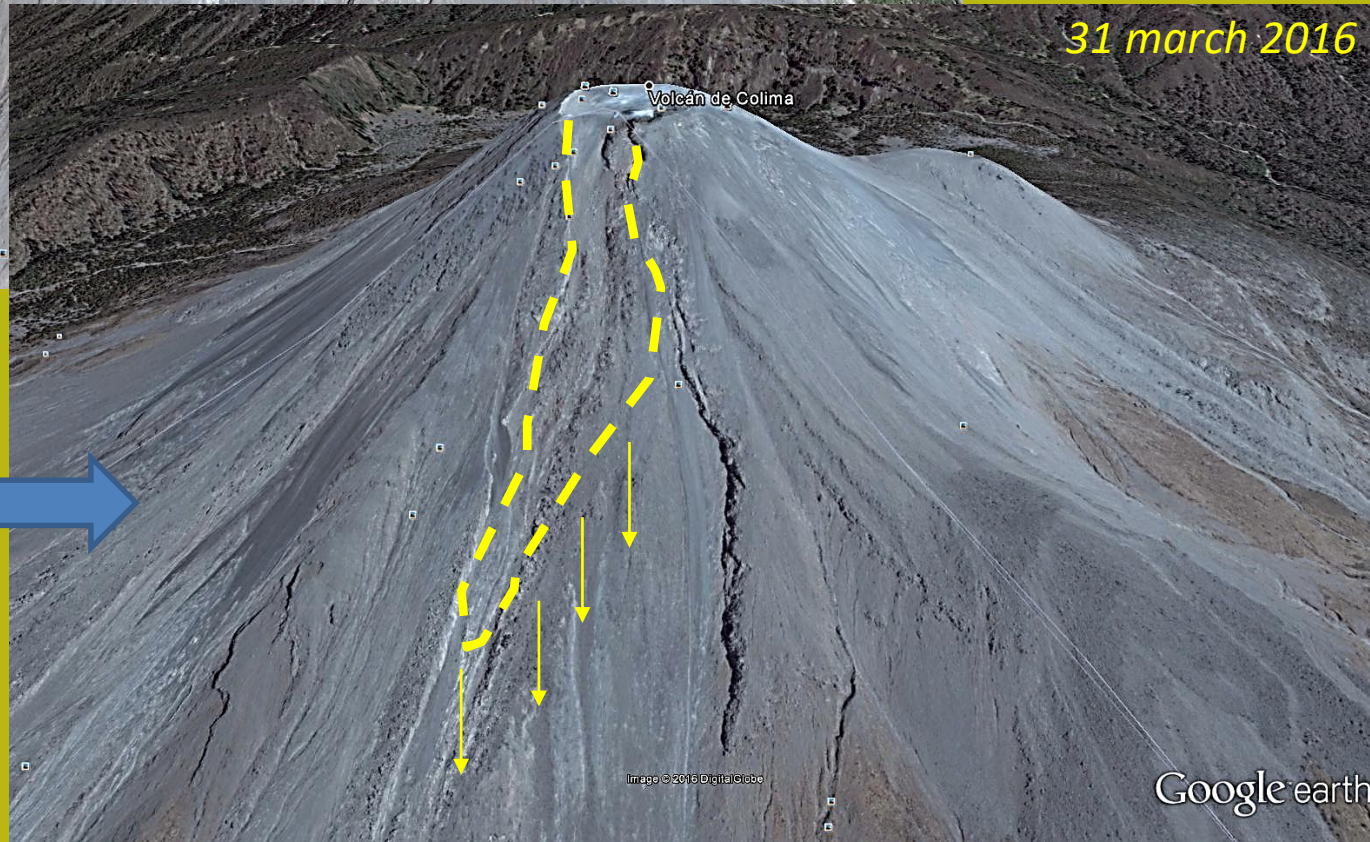


25 June 2015



Colima volcán  
de Fuego  
upper edifice

31 March 2016



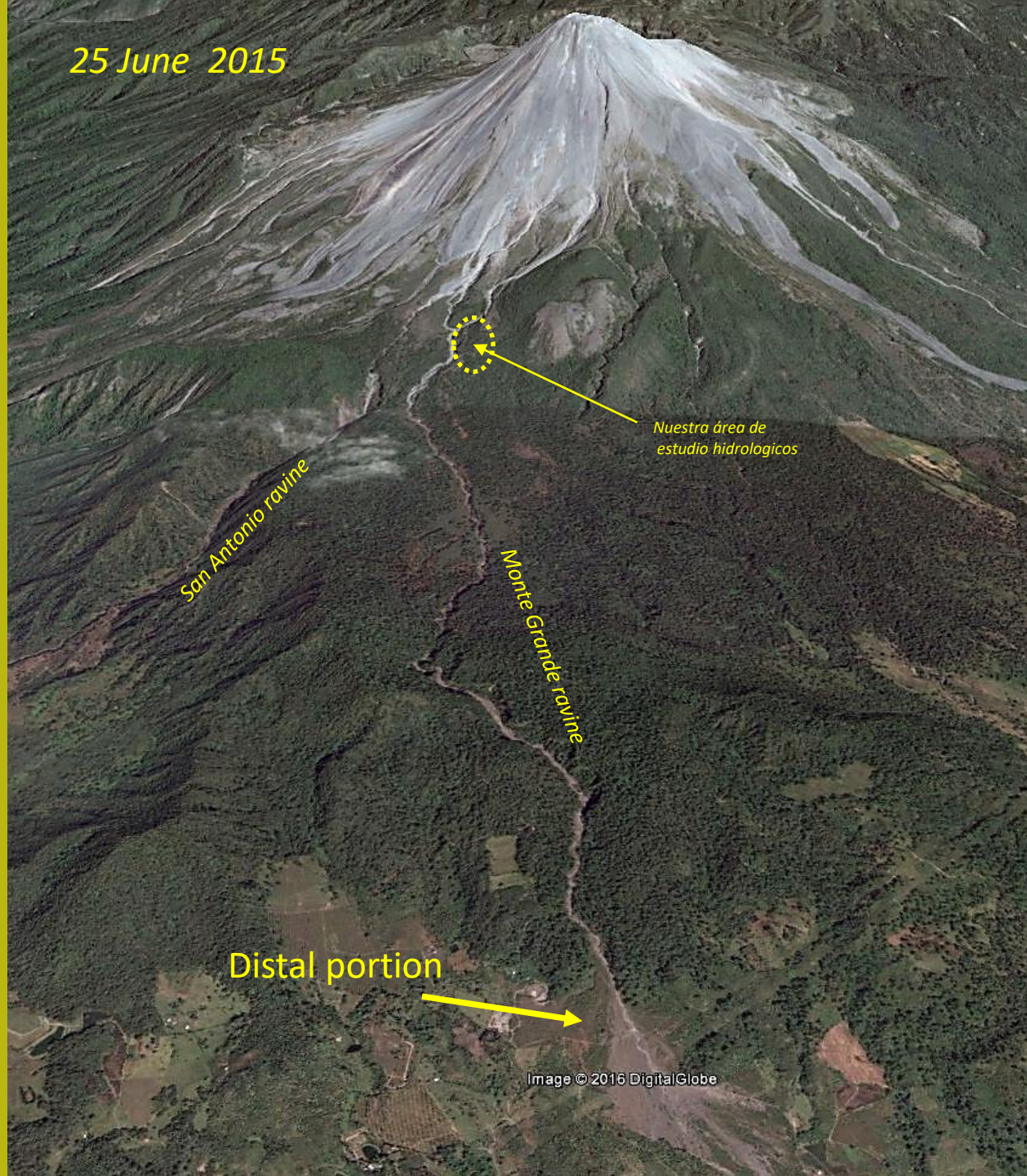
Dome and side crater  
partial collapse 10 July  
2015, 10 km large  
runout and piroclastic  
flow, as block and ash  
flow SW view  
(images by Google  
Earth)

Google earth



25 June 2015

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





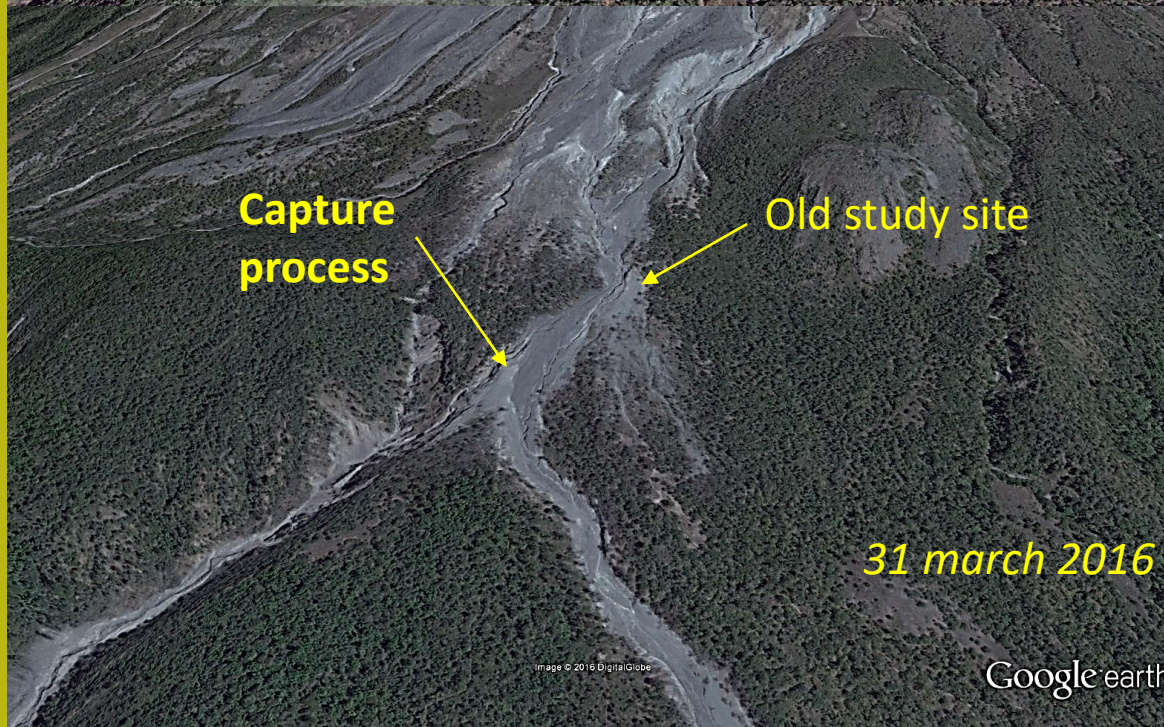
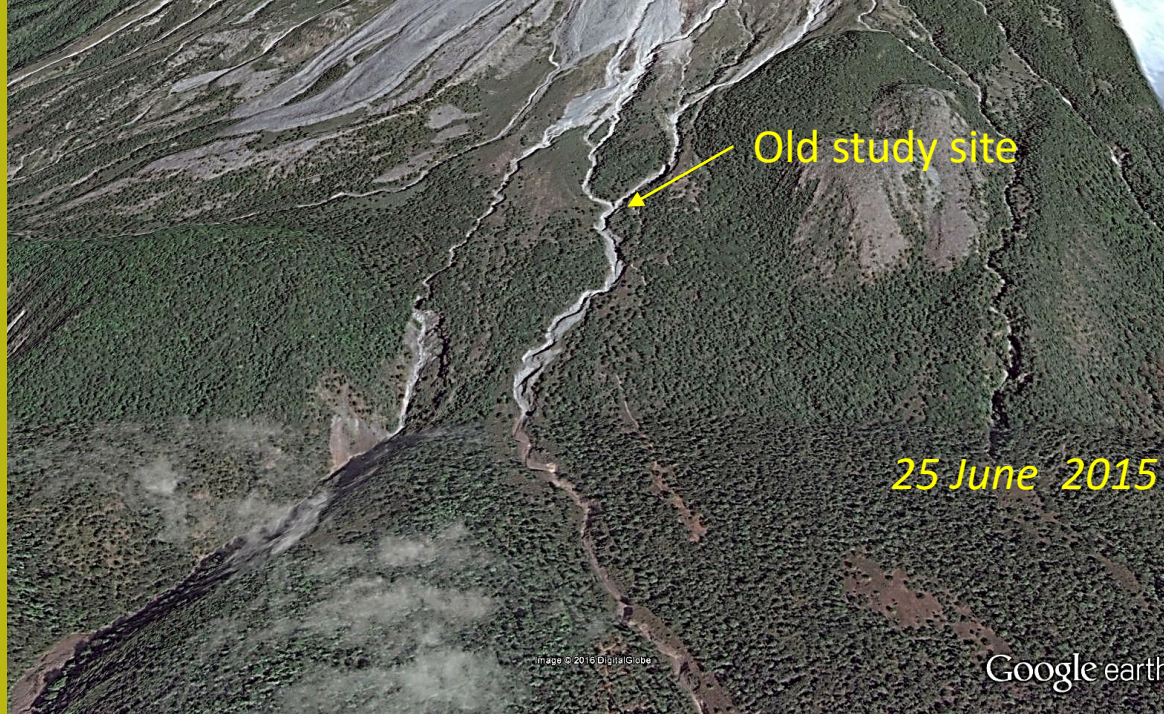
31 march 2016

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)

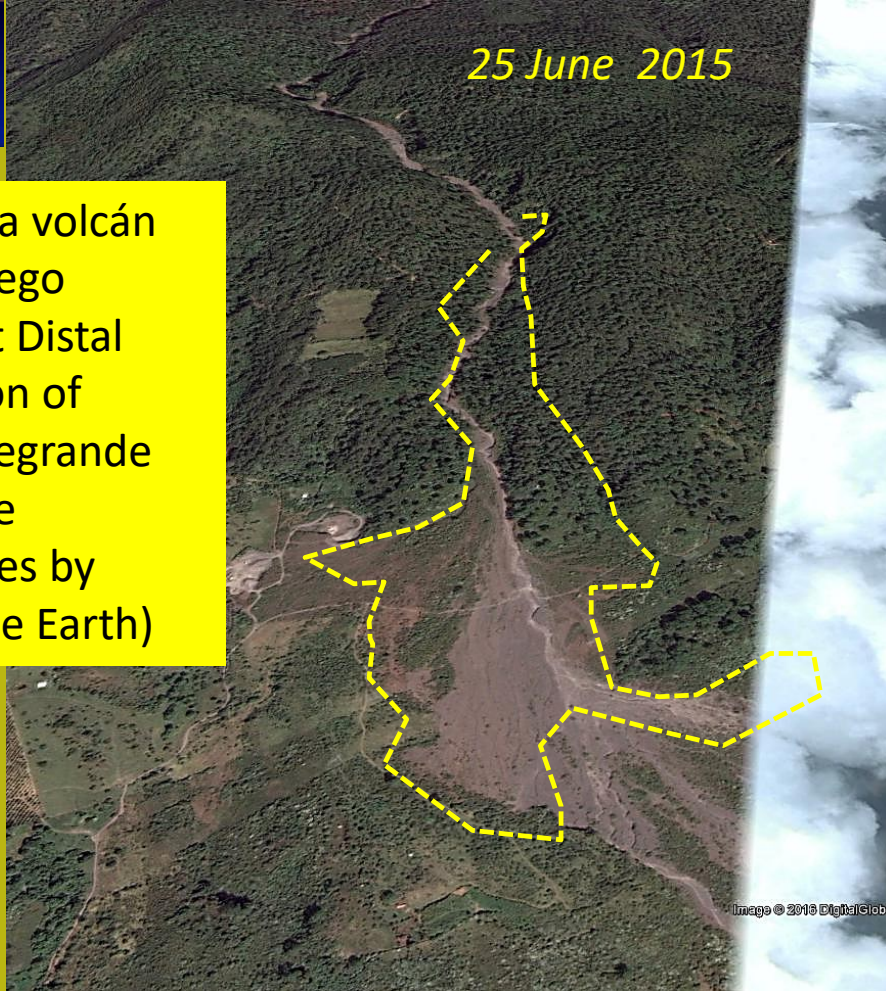




25 June 2015

31 March 2016

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



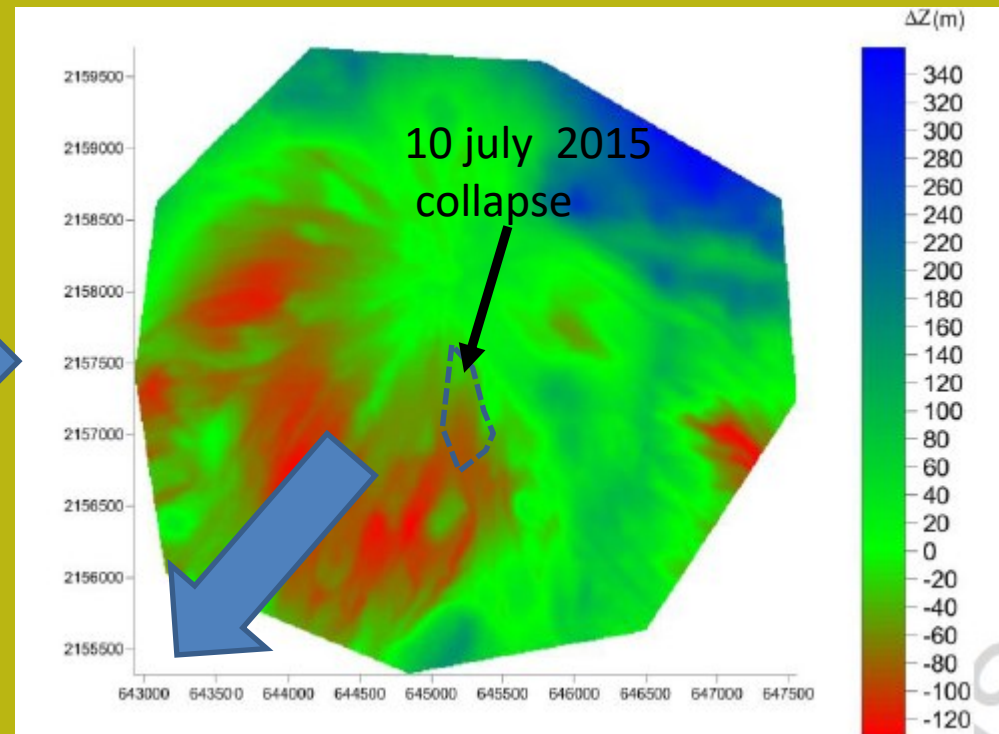
Distal Fan image  
(capra et al. 2016)



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

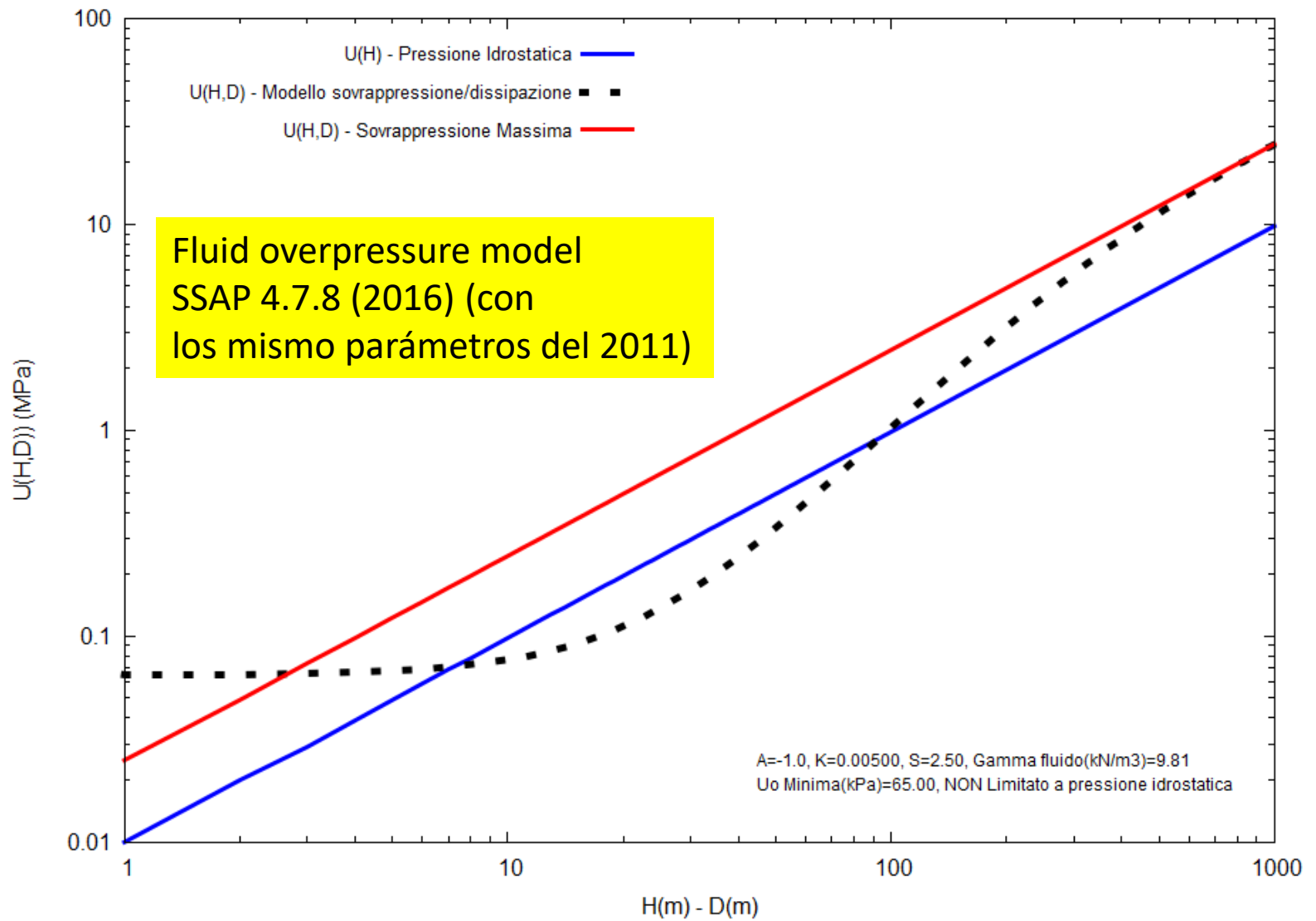
- *Mapa local FS en colores, por medio de Quasi FEM algorithm (Borselli 2013,2016)*
- *Mapa en colores de la presión y (overpressure) de los fluidos*
- *Mejoras en los motores Monte Carlo para la generación de la superficies y de lo método de calculo rigurosos advanced LEM usado da SSAP.*

*Original Volume deficit map  
Obtained by Volcanofit 2.1*





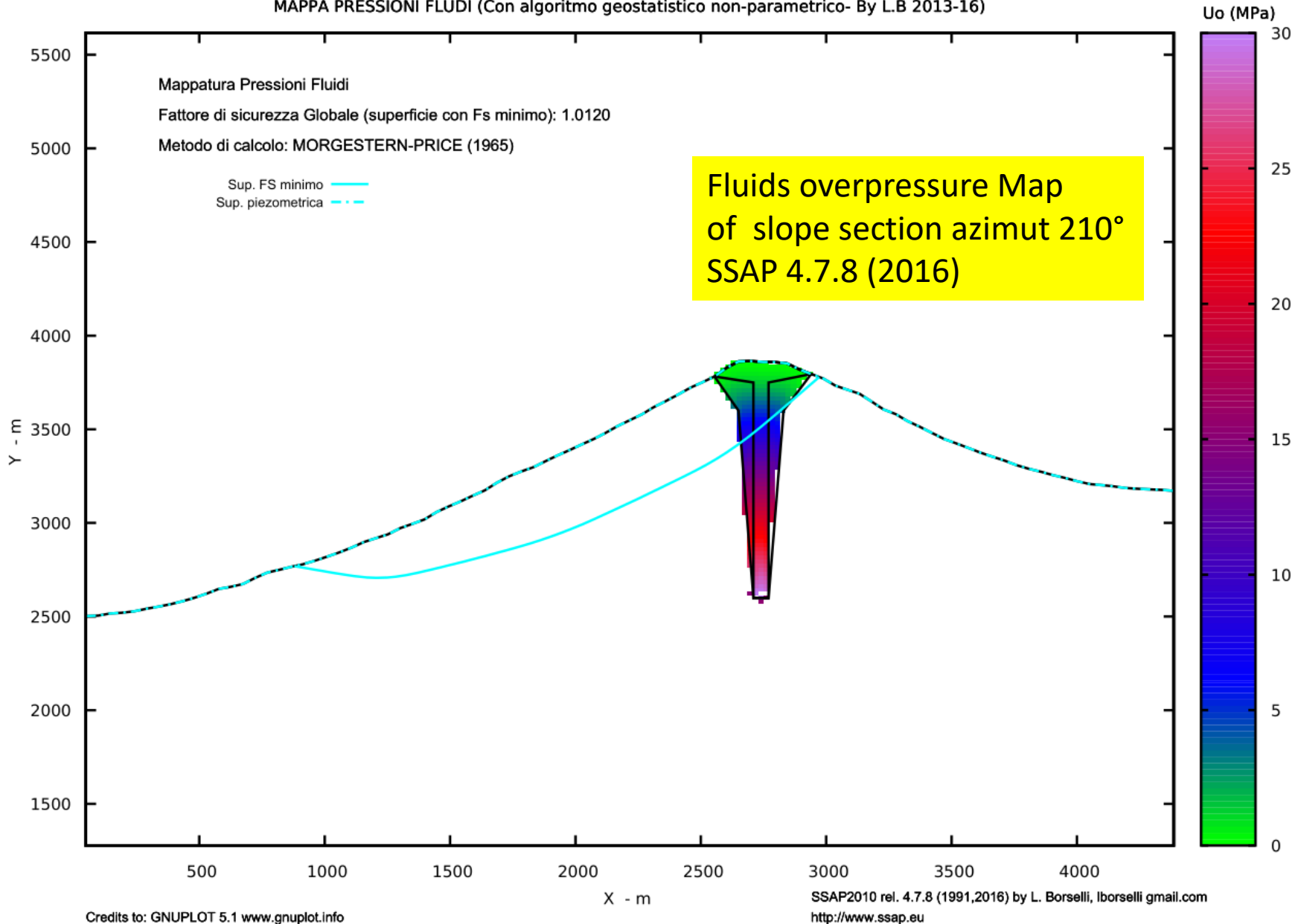
### Distribuzione Modello Sovrappressioni Fluidi



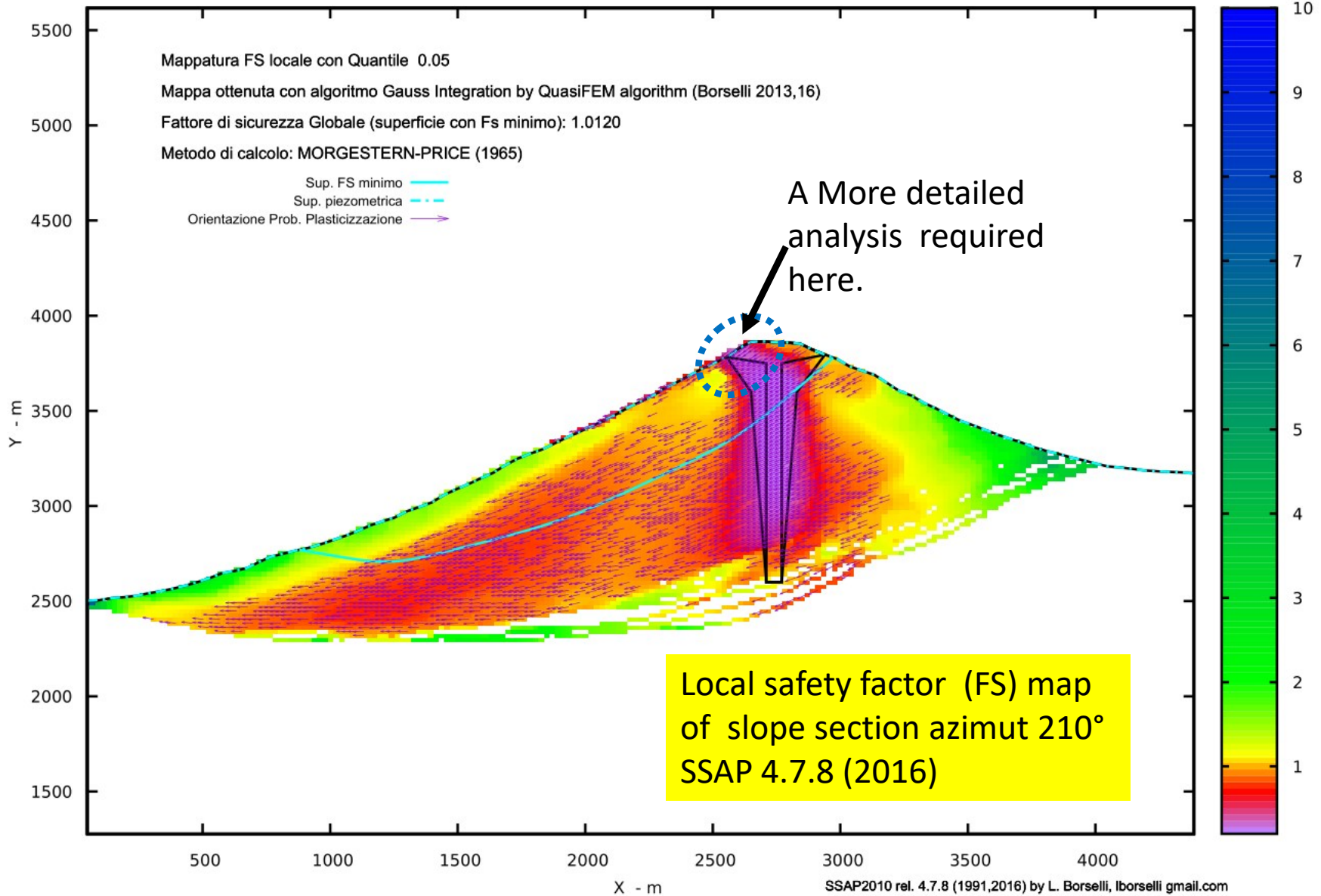
Graphi rendering, Credits to: GNUPLOT 5.1 [www.gnuplot.info](http://www.gnuplot.info)

SSAP2010 rel. 4.7.8 (1991,2016) by L. Borselli - [www.ssap.eu](http://www.ssap.eu)

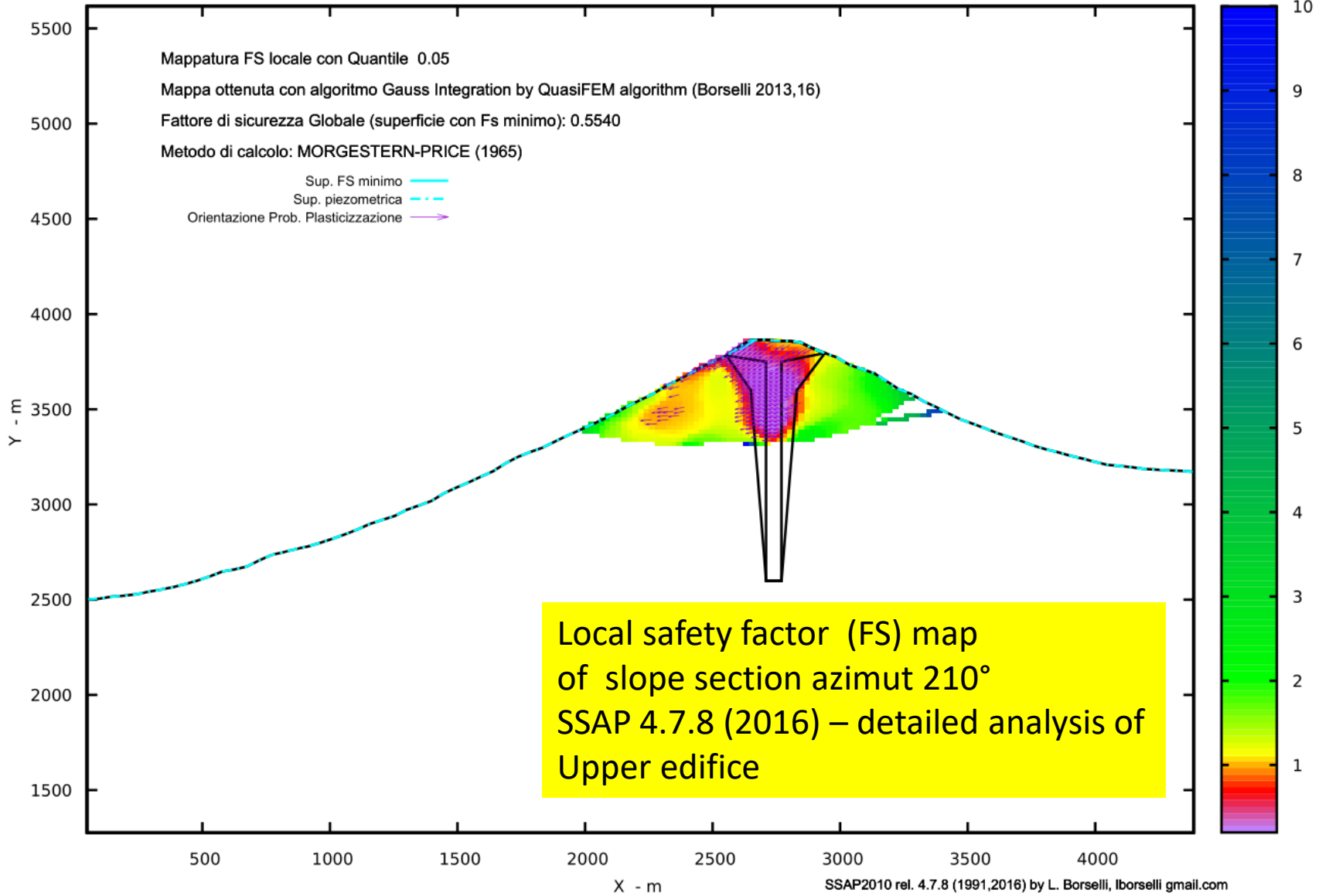
### MAPPA PRESSIONI FLUDI (Con algoritmo geostatistico non-parametrico- By L.B 2013-16)



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)

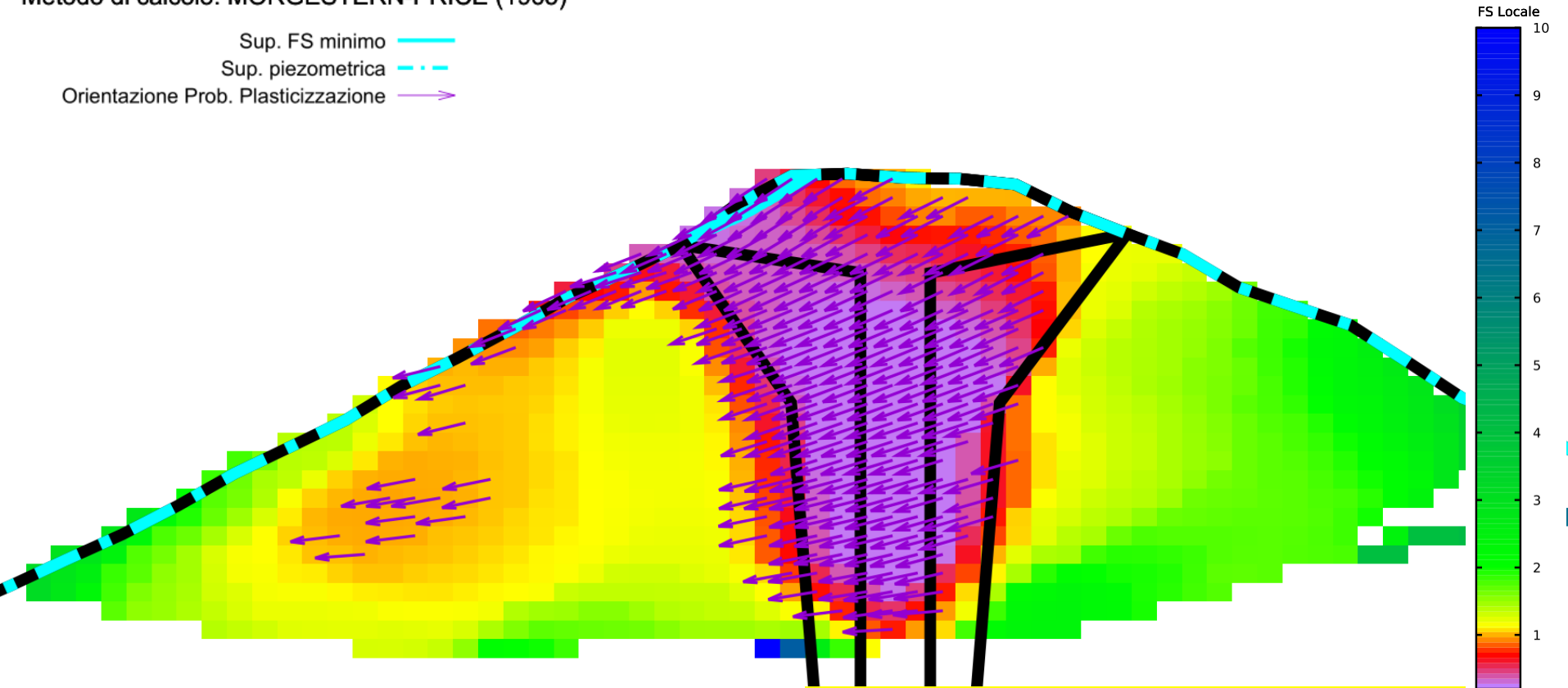
SSAP2010 rel. 4.7.8 (1991,2016) by L. Borselli, [lborselli@gmail.com](mailto:lborselli@gmail.com)  
<http://www.ssap.eu>

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

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

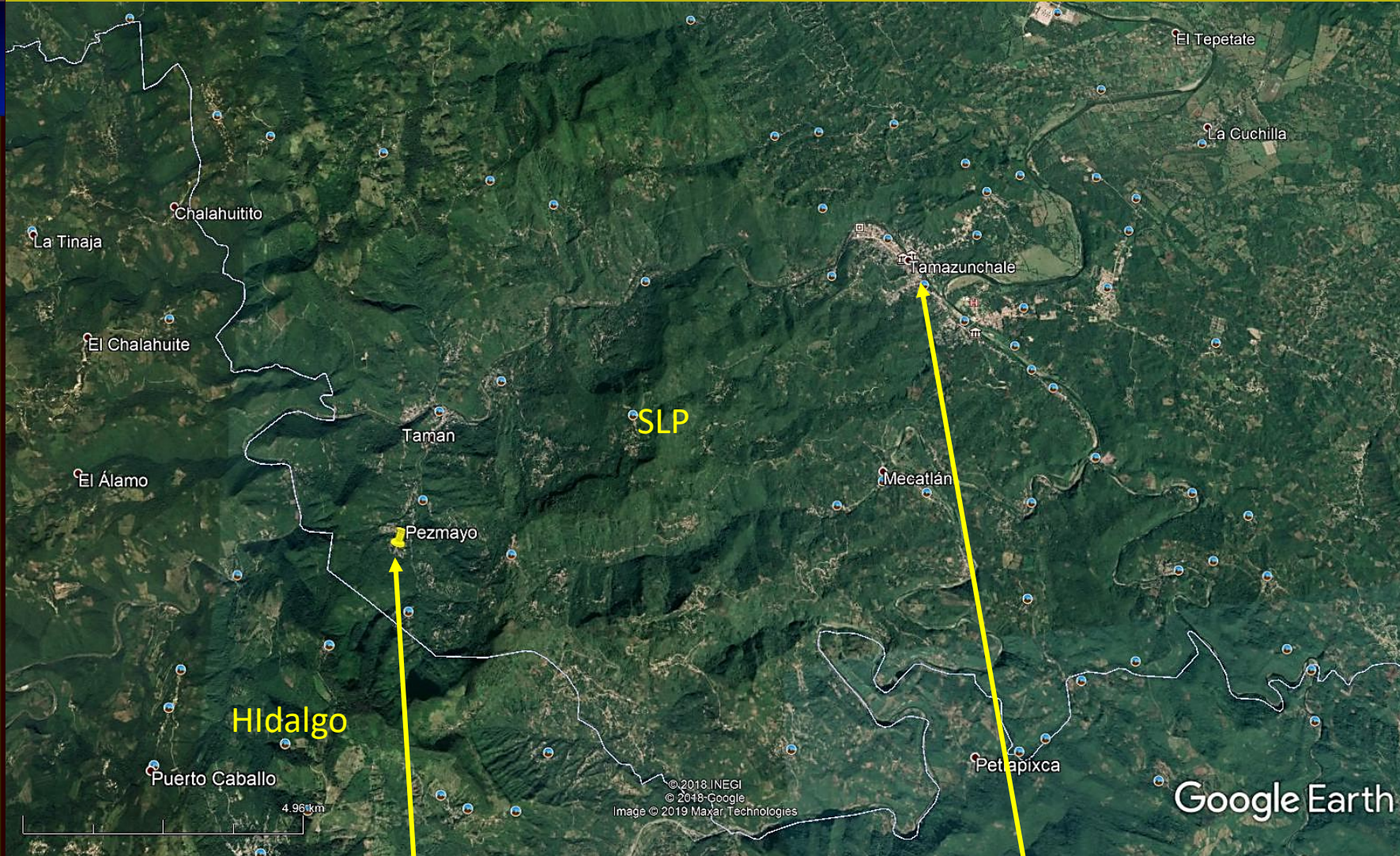
Metodo di calcolo: MORGESTERN-PRICE (1965)

Sup. FS minimo ———  
Sup. piezometrica - - -  
Orientazione Prob. Plasticizzazione →



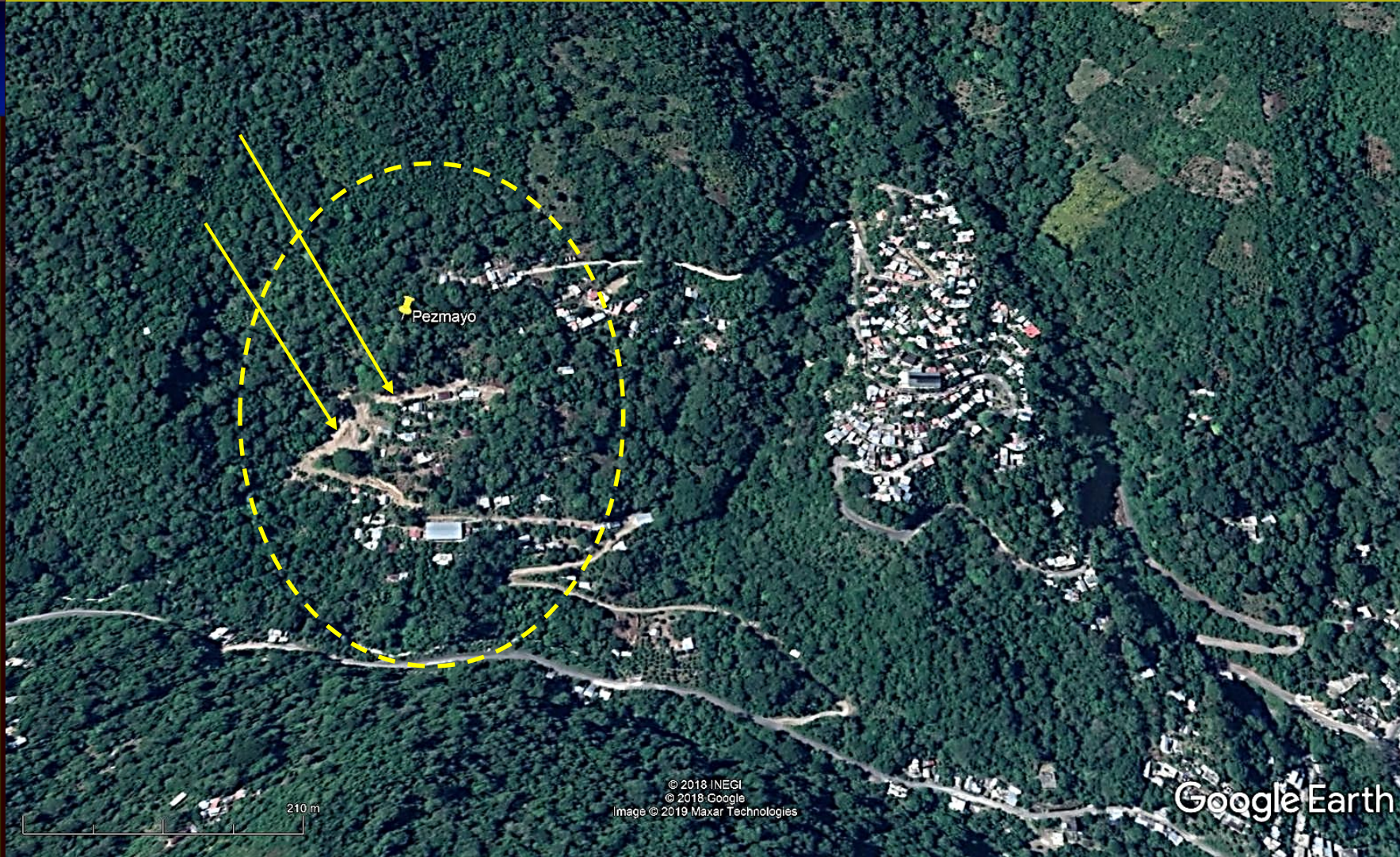
Local safety factor (FS) map  
of slope section azimuth 210°  
SSAP 4.7.8 (2016) – detailed analysis of  
Upper edifice





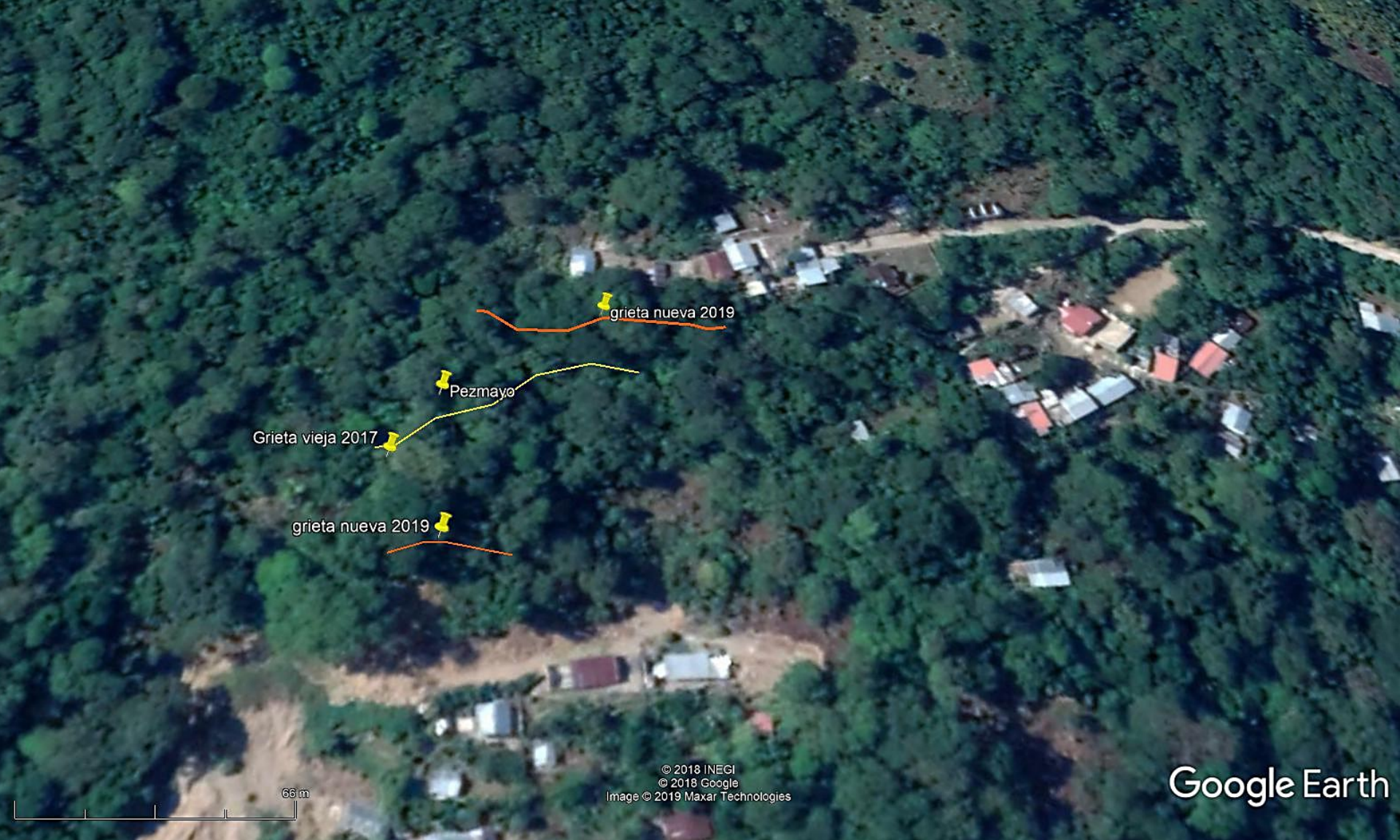
Comuinidad de Pezmayo, Ayuntamiento de Tamazunchale,  
Huasteca Potosina





Fenómeno de inestabilidad detectado en diciembre 2016  
Después obras de construcción de un nuevo camino en el poblado, con excavación  
e movimiento de tierra en talud





Levantamiento grietas en la corona y cuerpo del deslizamiento y área inestable (enero 2017 y julio 2019). Se estima una masa inestable con un volumen de  $60,000 \text{ m}^3$



enero 2017



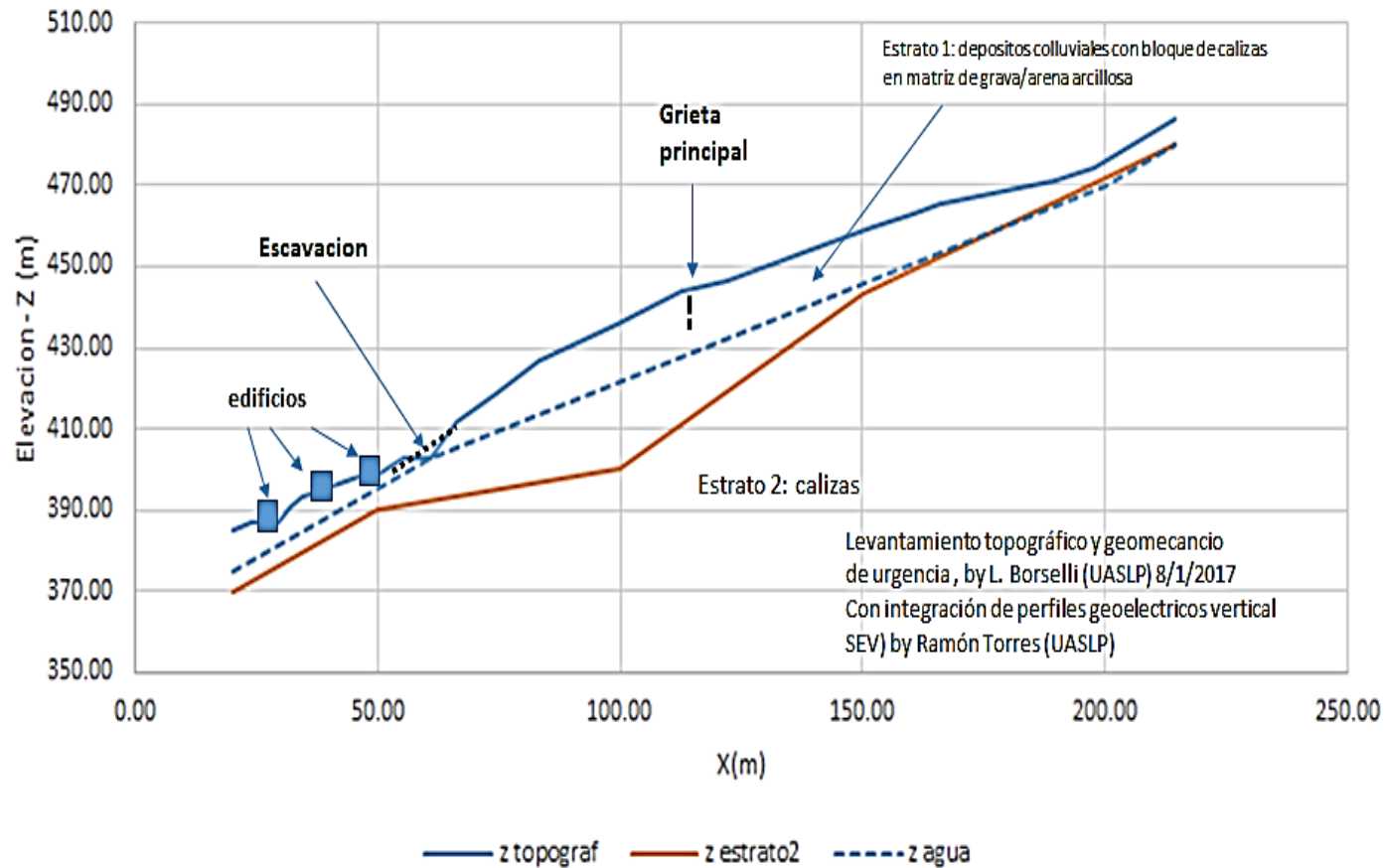
Colluvium con bloques de caliza en matriz de arena arcillosa.  
Espesor de 2 a 10 m

Comparativa de los cambios generados con el movimiento de material a lo largo del talud, excavado por la Iglesia, a) reporte generado en el año 2017, b) reporte generado en el año 2019, actualidad

Julio 2019

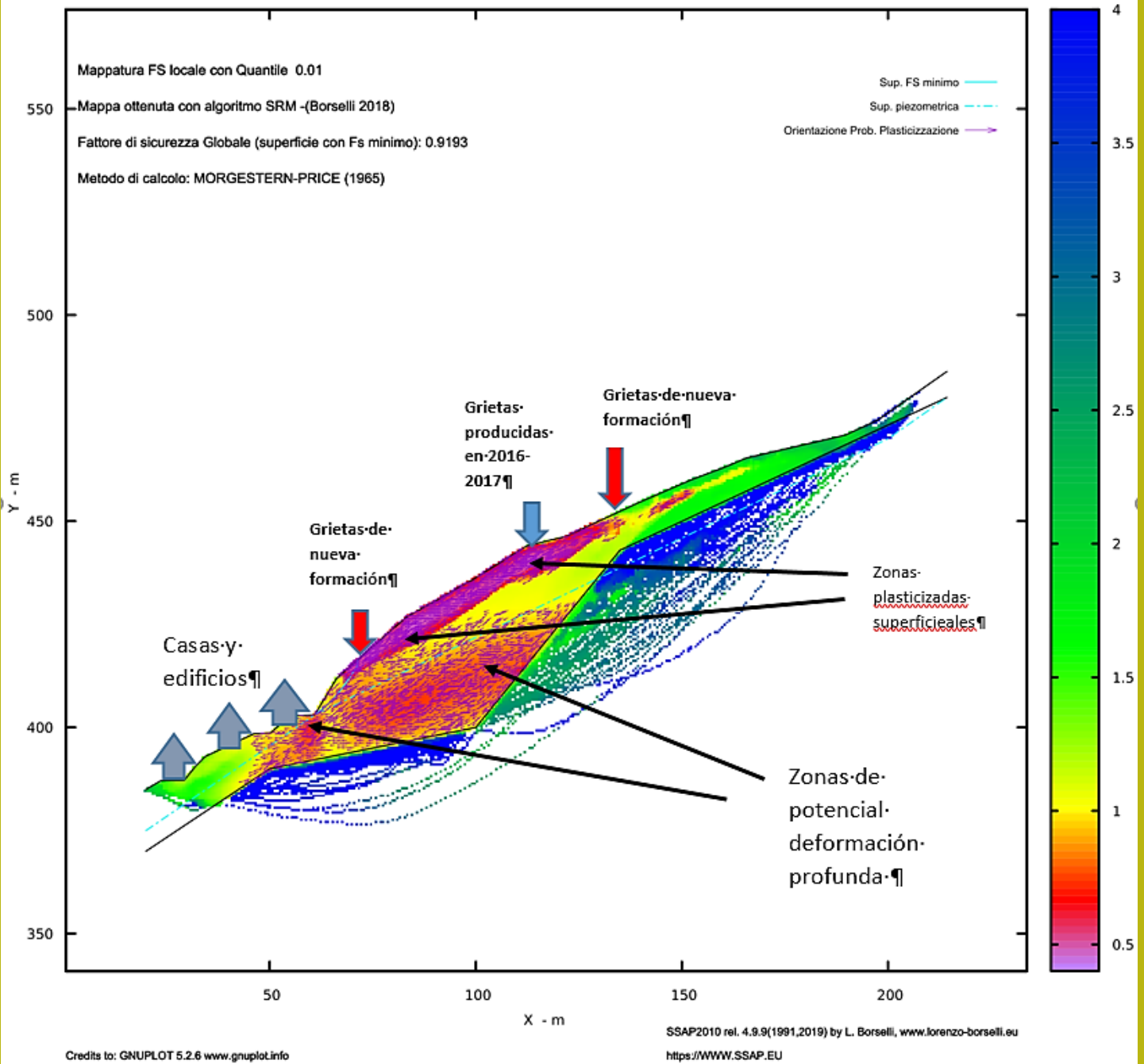


## Perfil1 - pezmayo 7-1-2017



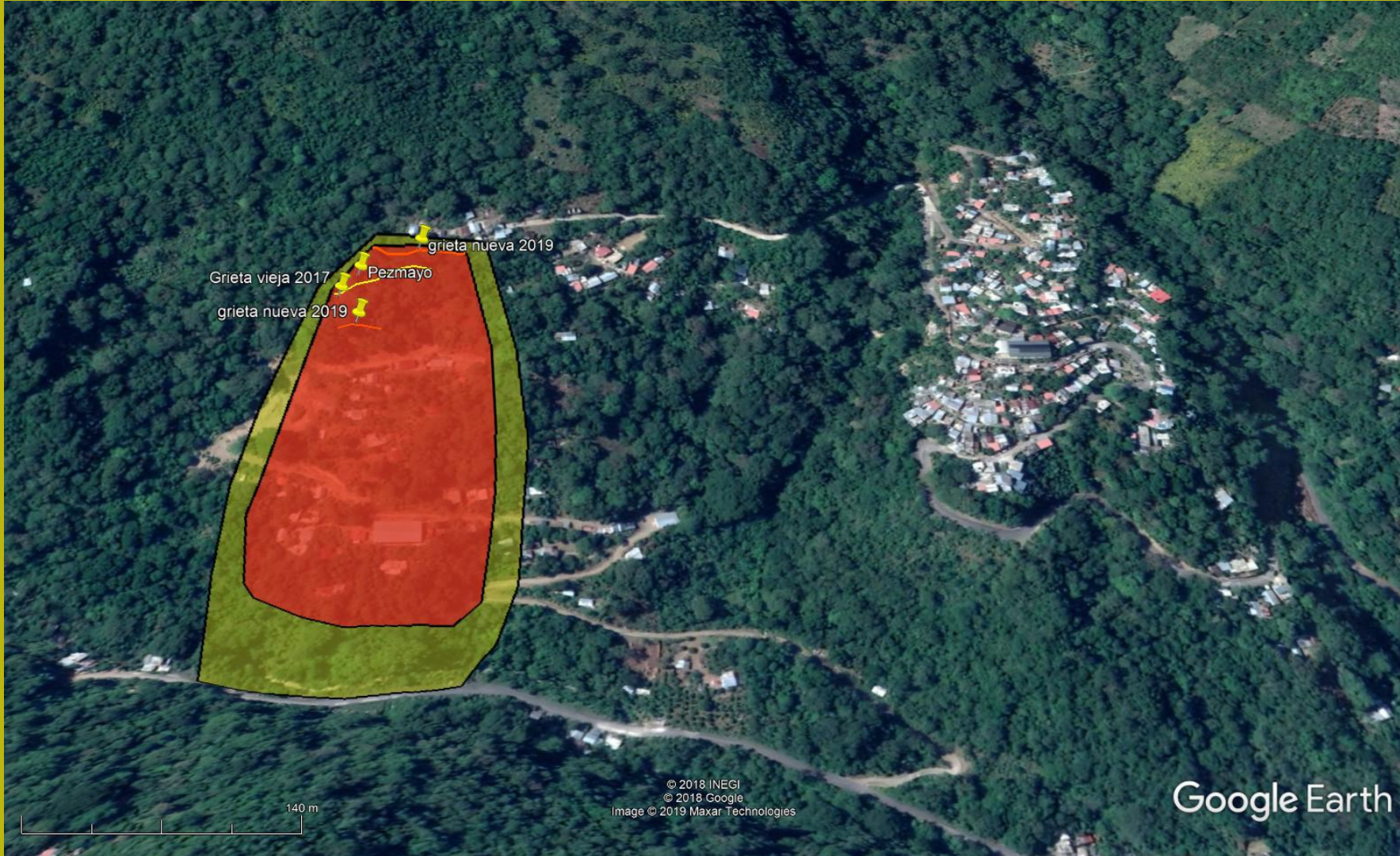
*Perfil topográfico levantado el día 07-01-2017. Sección geotécnica con indicación de la posición de las grietas vertical de tracción de primera generación levantadas en esta fecha*





Credits to: GNUPLOT 5.2.6 [www.gnuplot.info](http://www.gnuplot.info)

SSAP2010 rel. 4.9.9(1991,2019) by L. Borselli, [www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu)  
<https://WWW.SSAP.EU>



En el segundo reporte a la Protección Civil del Estado de SLP (julio 2019)  
Se recomendaron estas zonas de peligro (zona roja y zona amarilla)



# 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)
- 28 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... QFEM 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 cálculo.
- Rápida curva de aprendizaje experimentada da los usuarios (geólogo y ingenieros). Experimentada con muchos usuarios en Italia..
- Aplicación a muchos casos con elevada complejidad geo-mecánicas y hidráulica.
- **Gratis ... para todos.**
- **Desde el 2013 contribución CONACYT (Proyecto Ciencia Básica No. 184060) ... y ahora en el proyecto ciencia Básica ...2016/286764**



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

**Gracias por su atención !!!**

