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

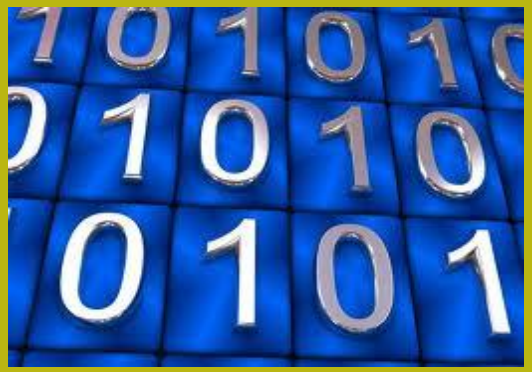
Dr. *Lorenzo Borselli*

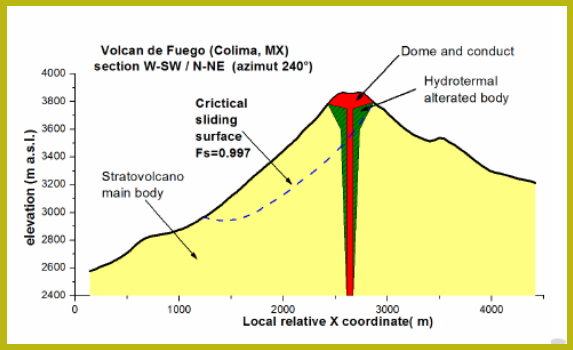
Instituto de Geología

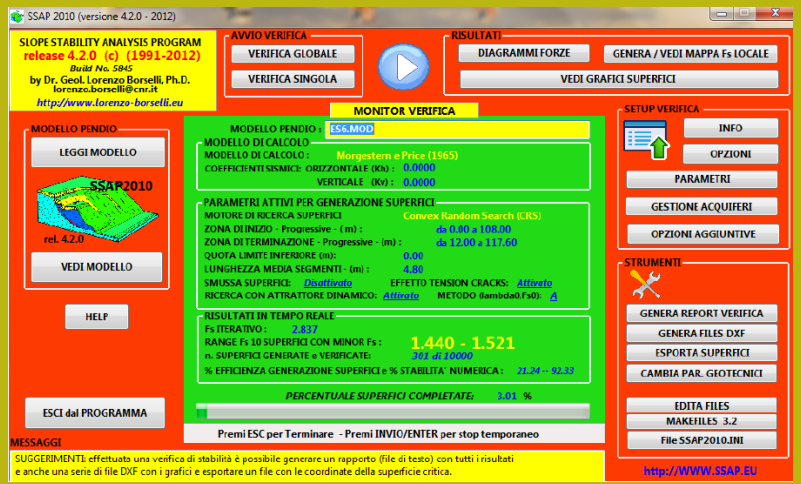
Fac. De Ingeniería, UASLP

lborselli@gmail.com

www.lorenzo-borselli.eu

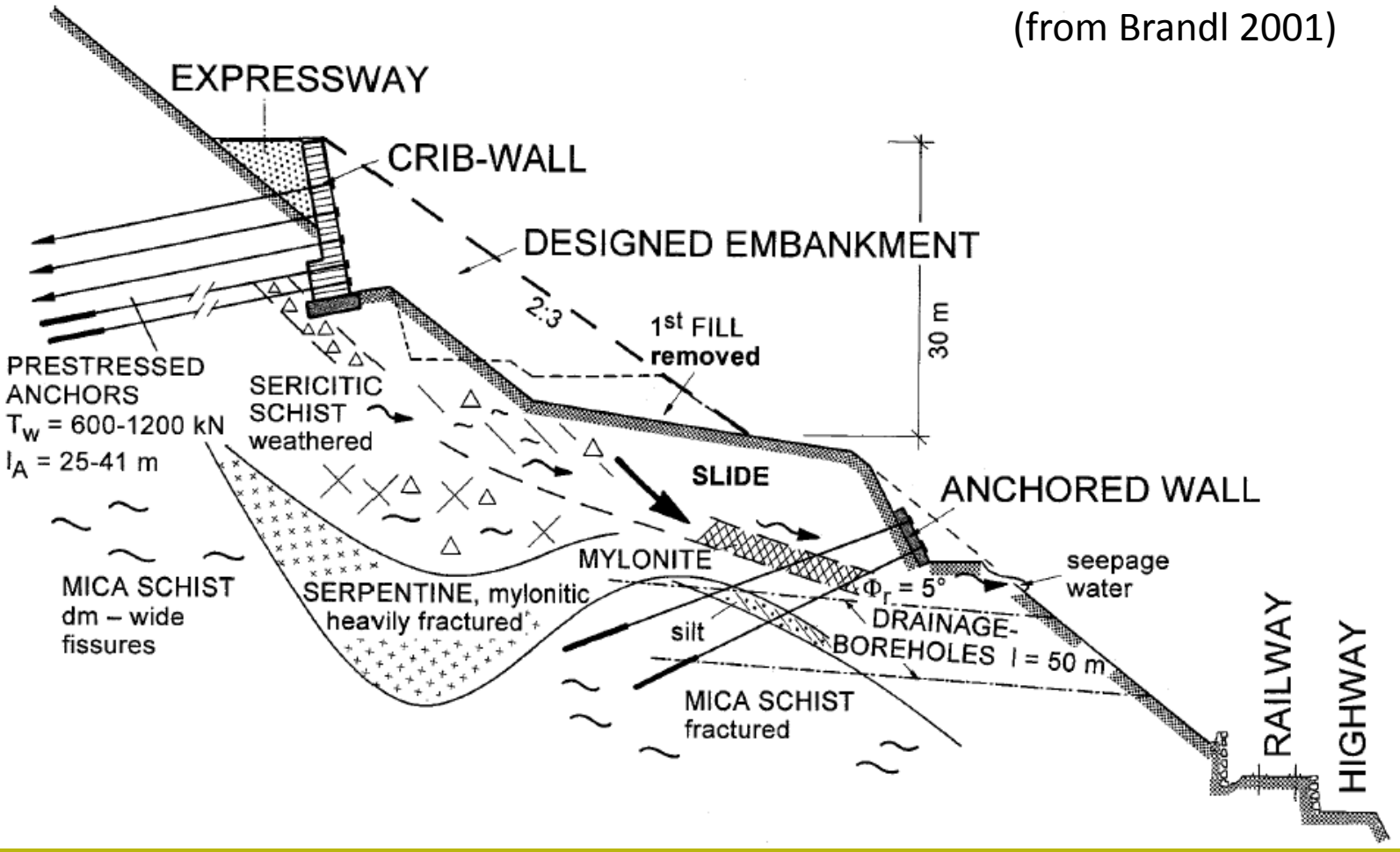




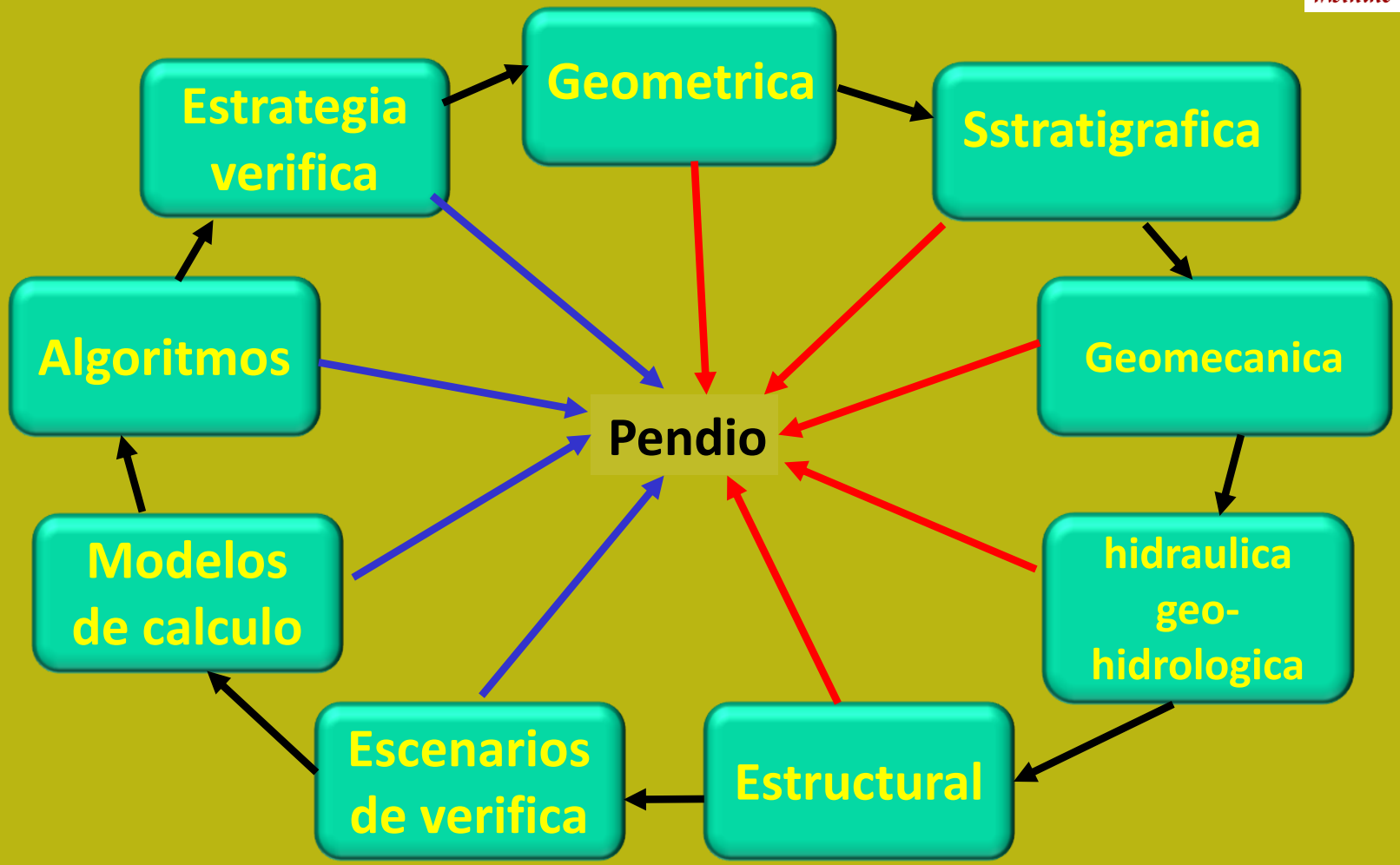


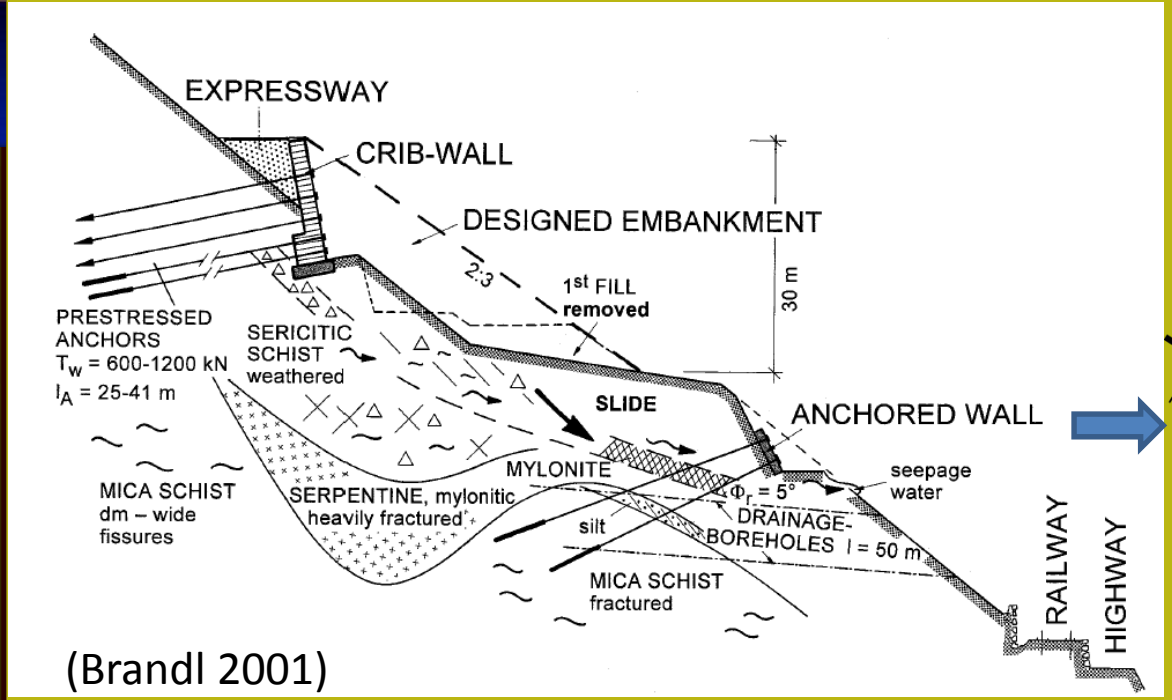
A pesar que la evaluación del nivel de estabilidad de un talud es una operación muy común como aplicación geotecnia, las mayores dificultades en averiguar el nivel de estabilidad de un talud puede ser resumidas en la modelación y el manejo del elevado potencial de complejidad interna…

(from Brandl 2001)



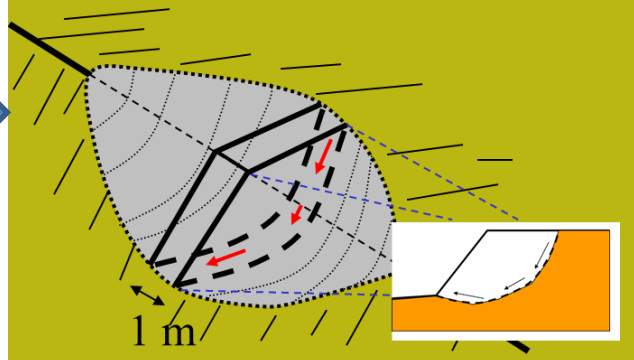
Complejidad Análisis y verifica de estabilidad de taludes: componentes y interacciones.

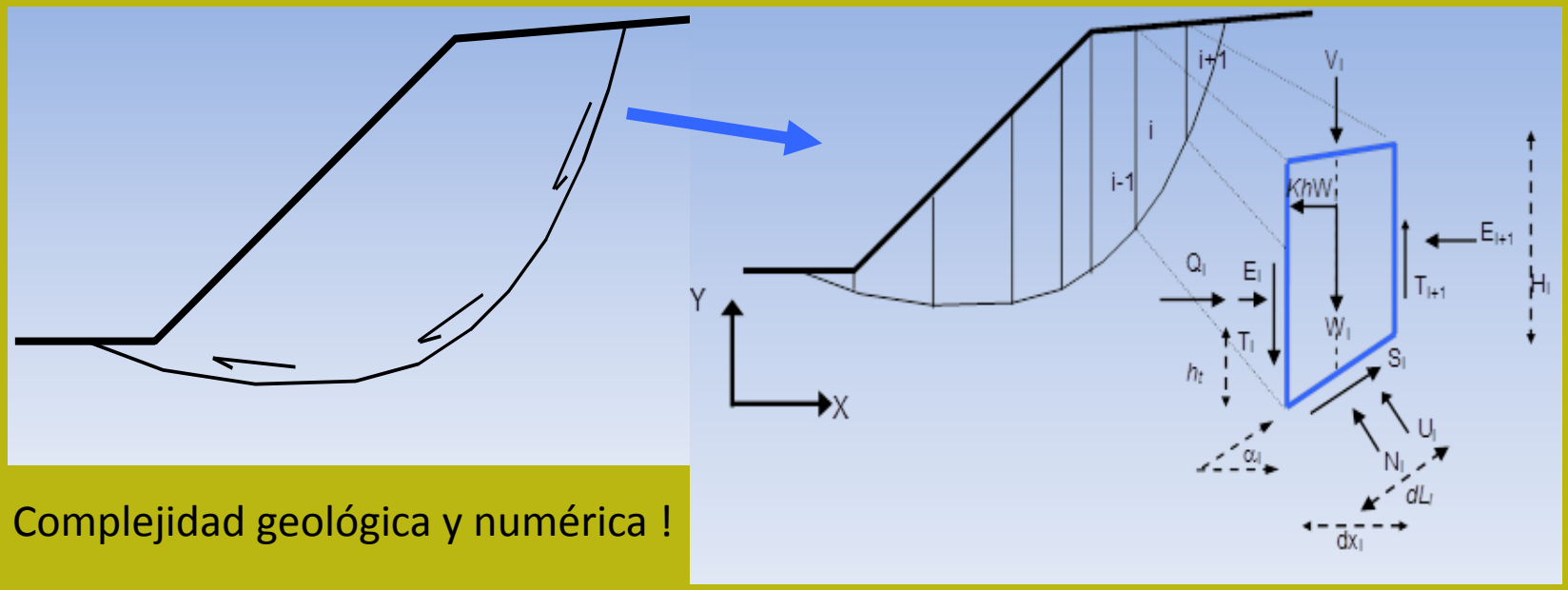




(Brandl 2001)

Análisis de estabilidad by LEM

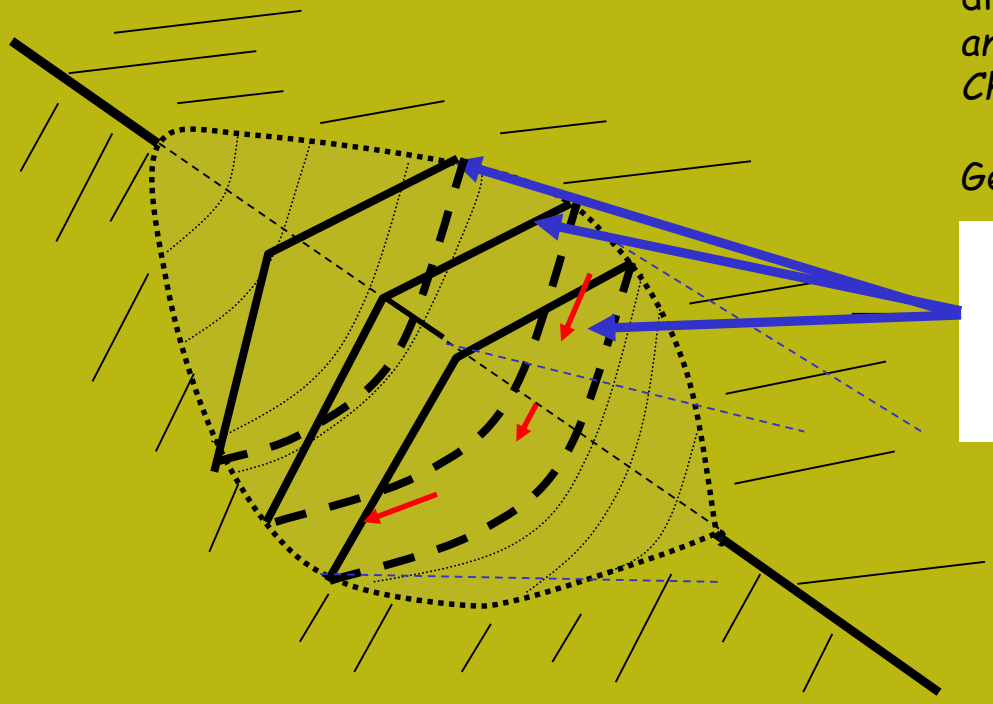




Complejidad geológica y numérica !

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

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

Naturalmente hoy existen varios métodos completamente 3D

Complejitad geometrica

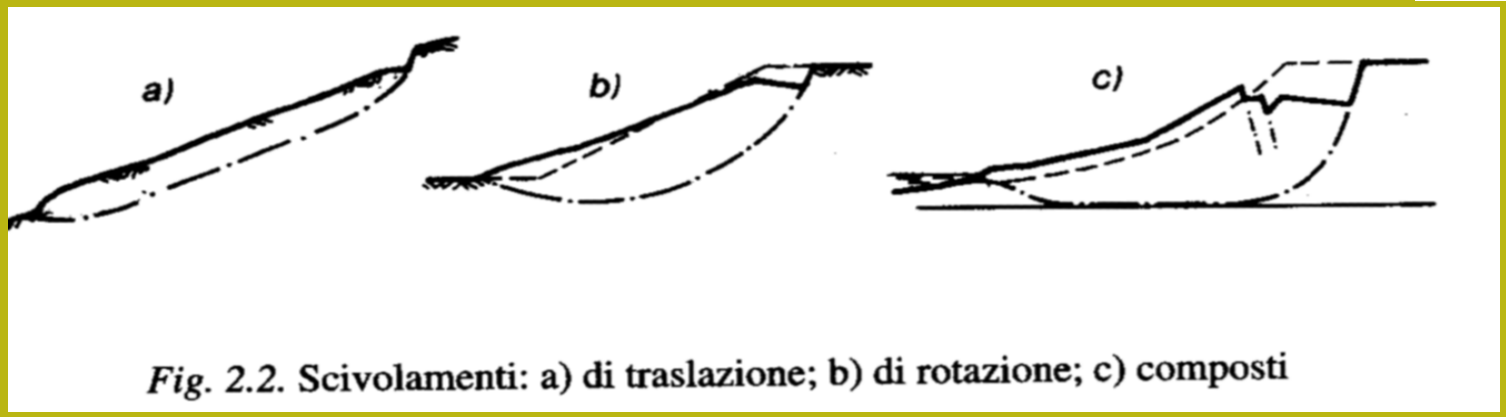
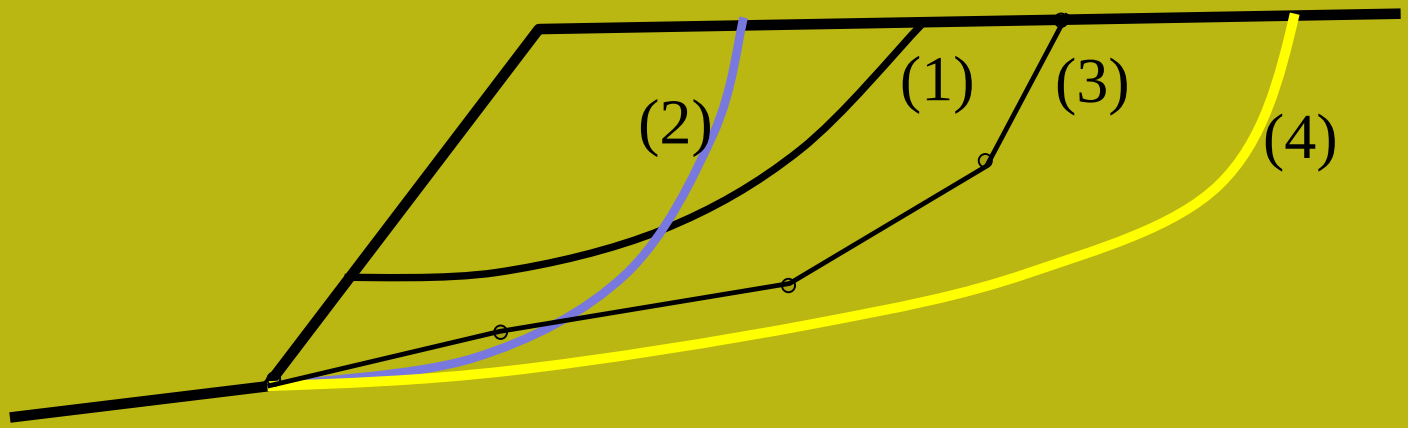


Fig. 2.2. Scivolamenti: a) di traslazione; b) di rotazione; c) composti



Tipos de superficies generables en una seccion 2D:

(1) Circular : definidas da circulo (arco de circulo: 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).

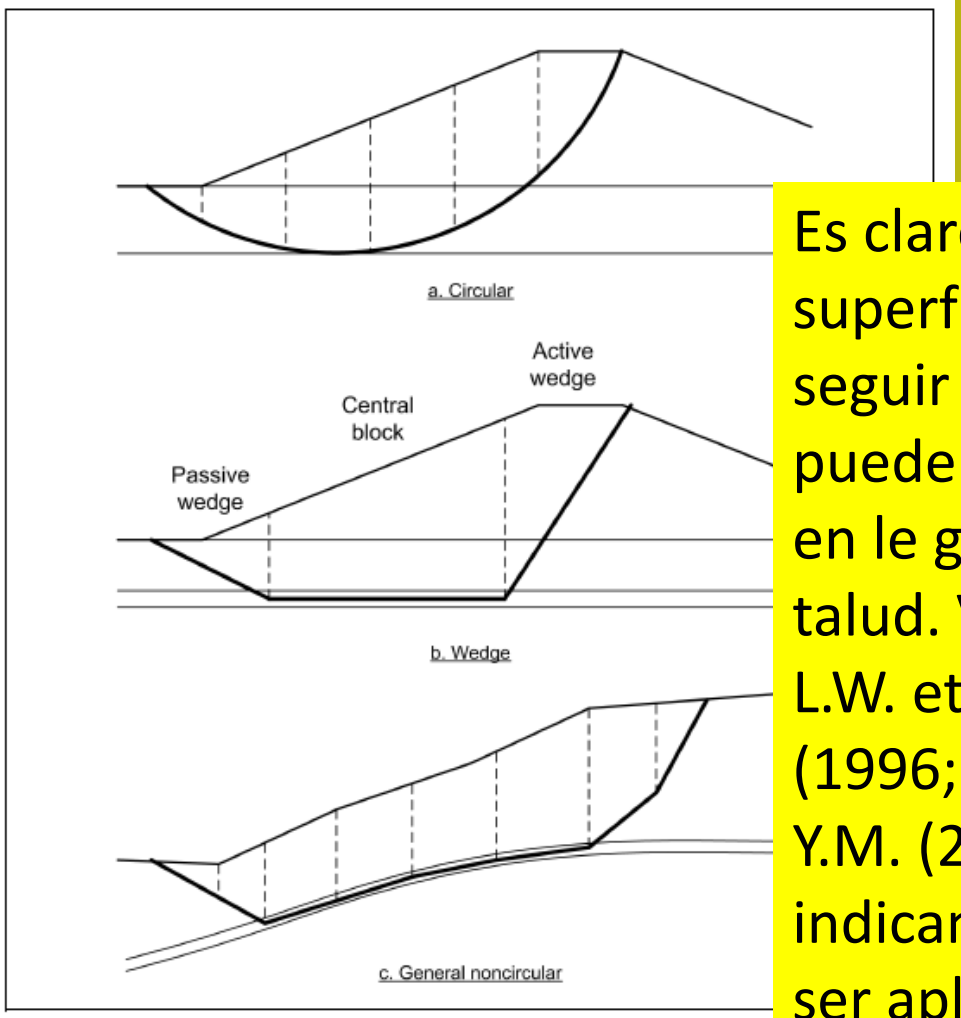
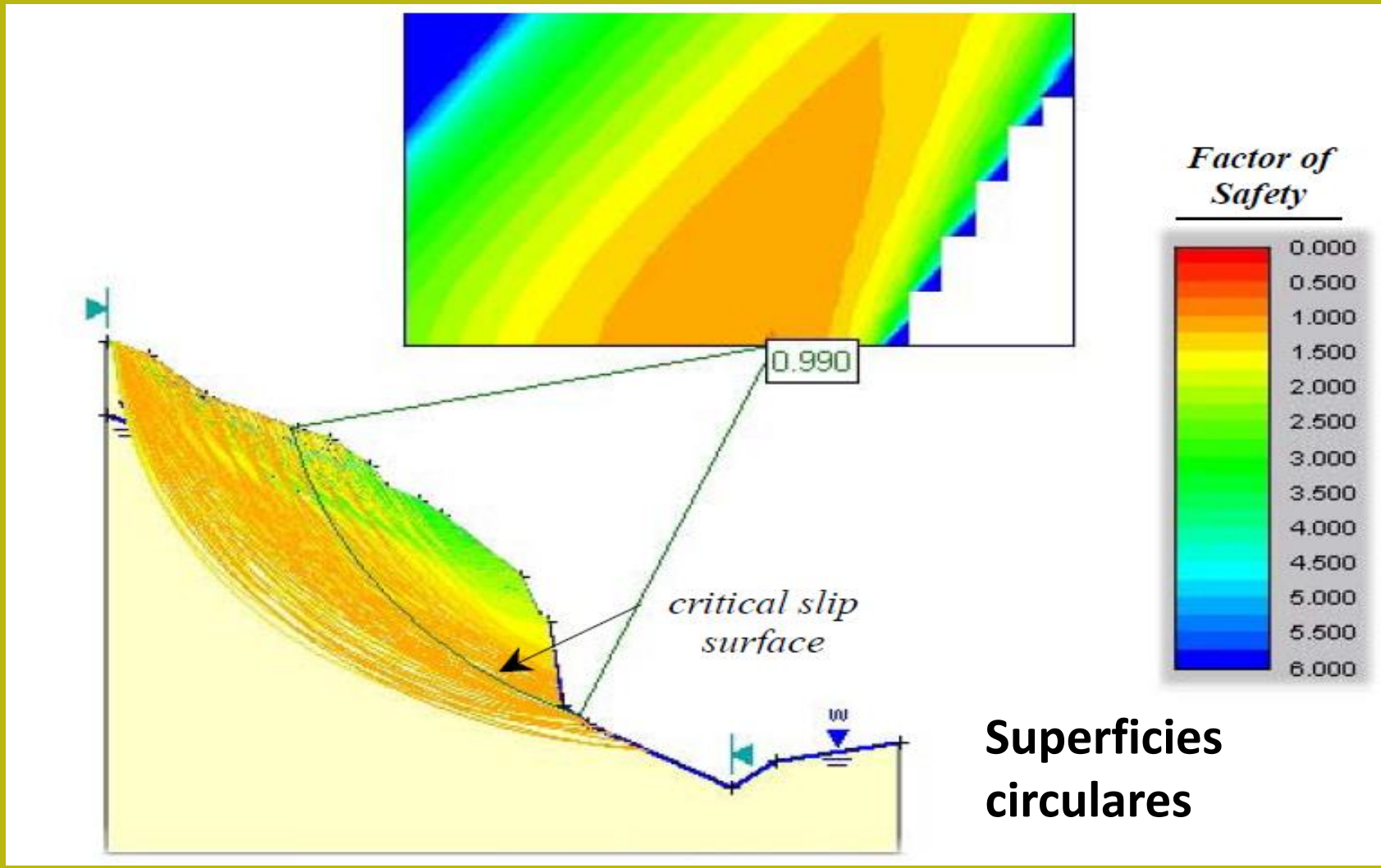
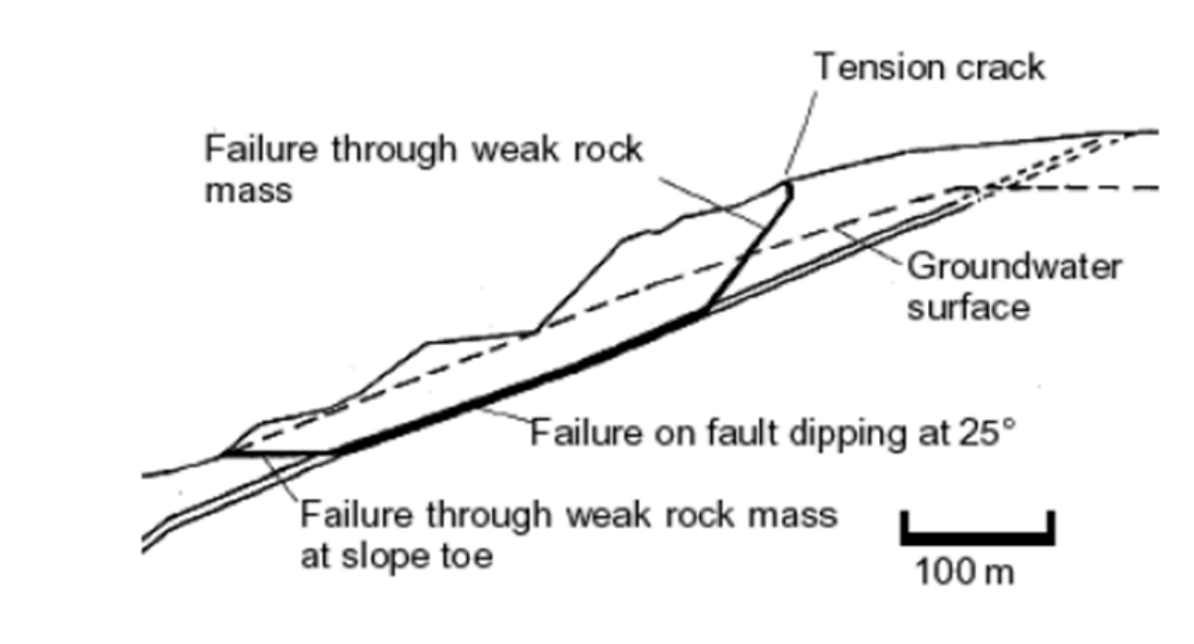


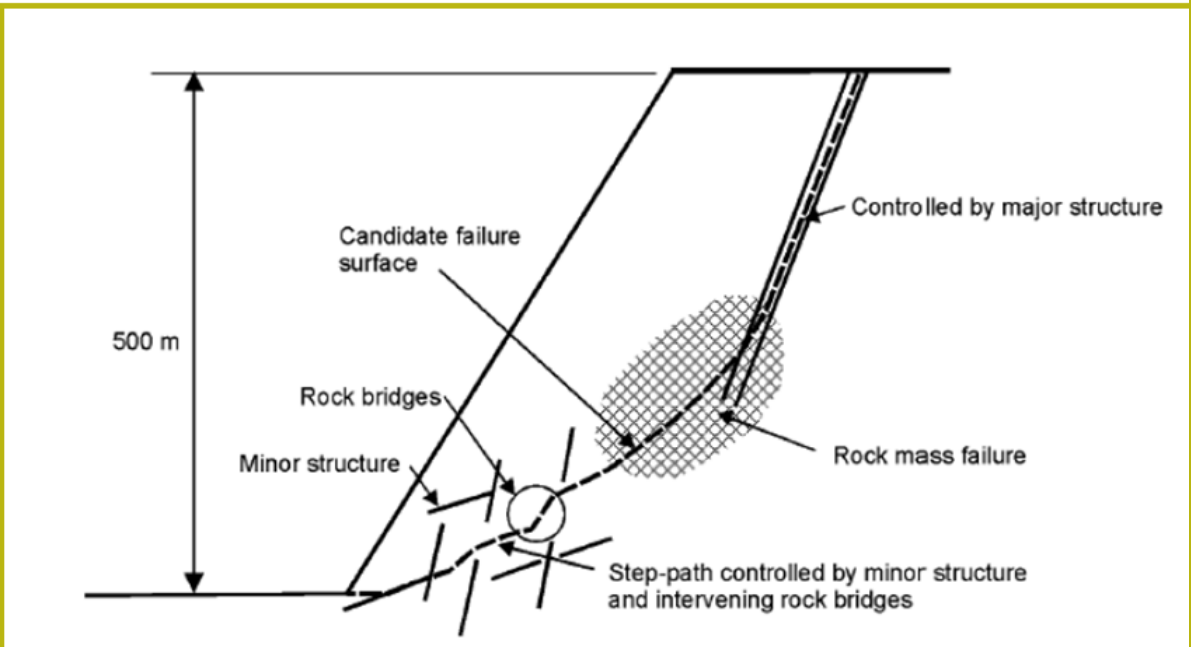
Figure C-3. Shapes for potential slip surfaces

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.

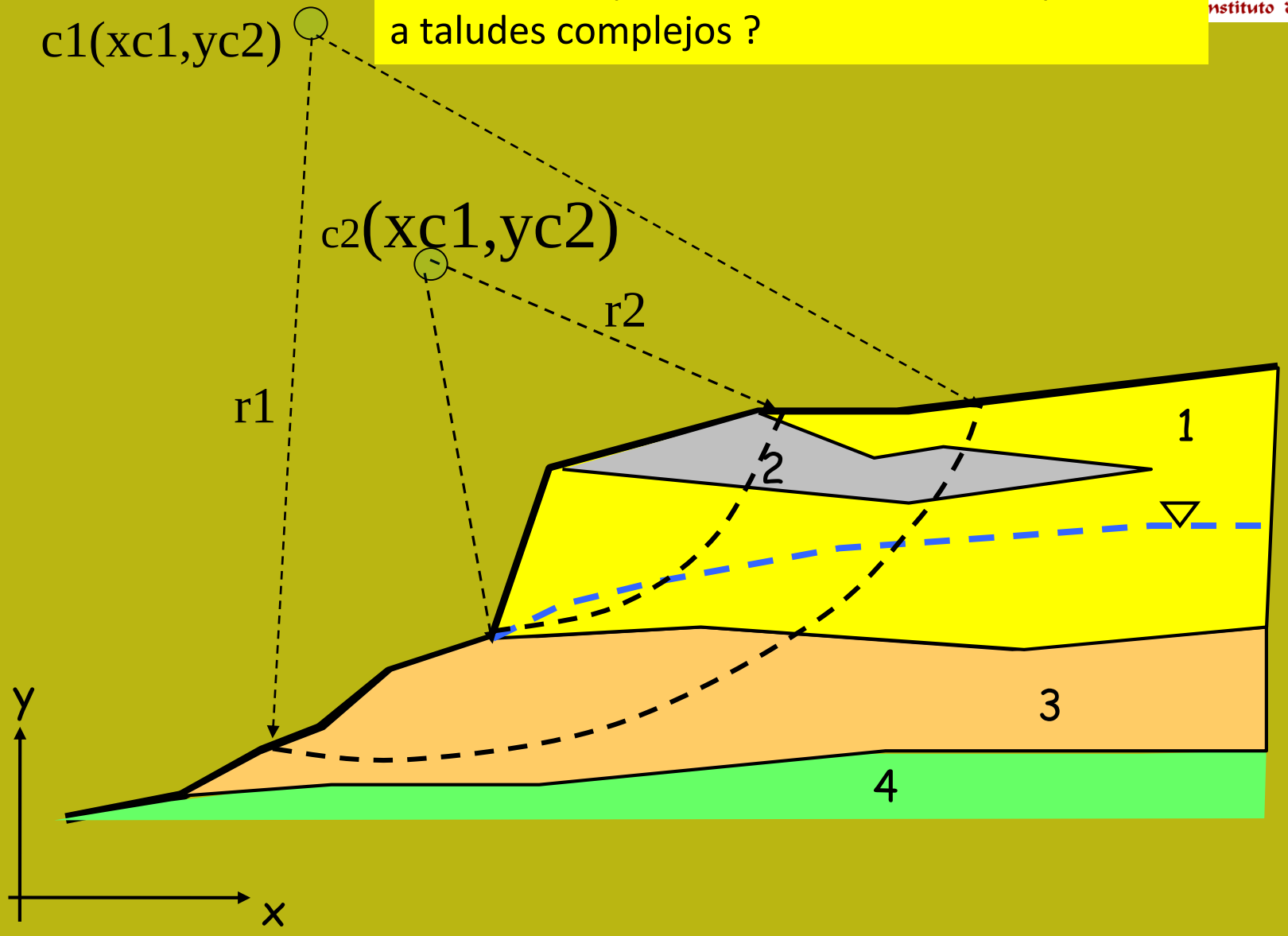


Superficies circulares

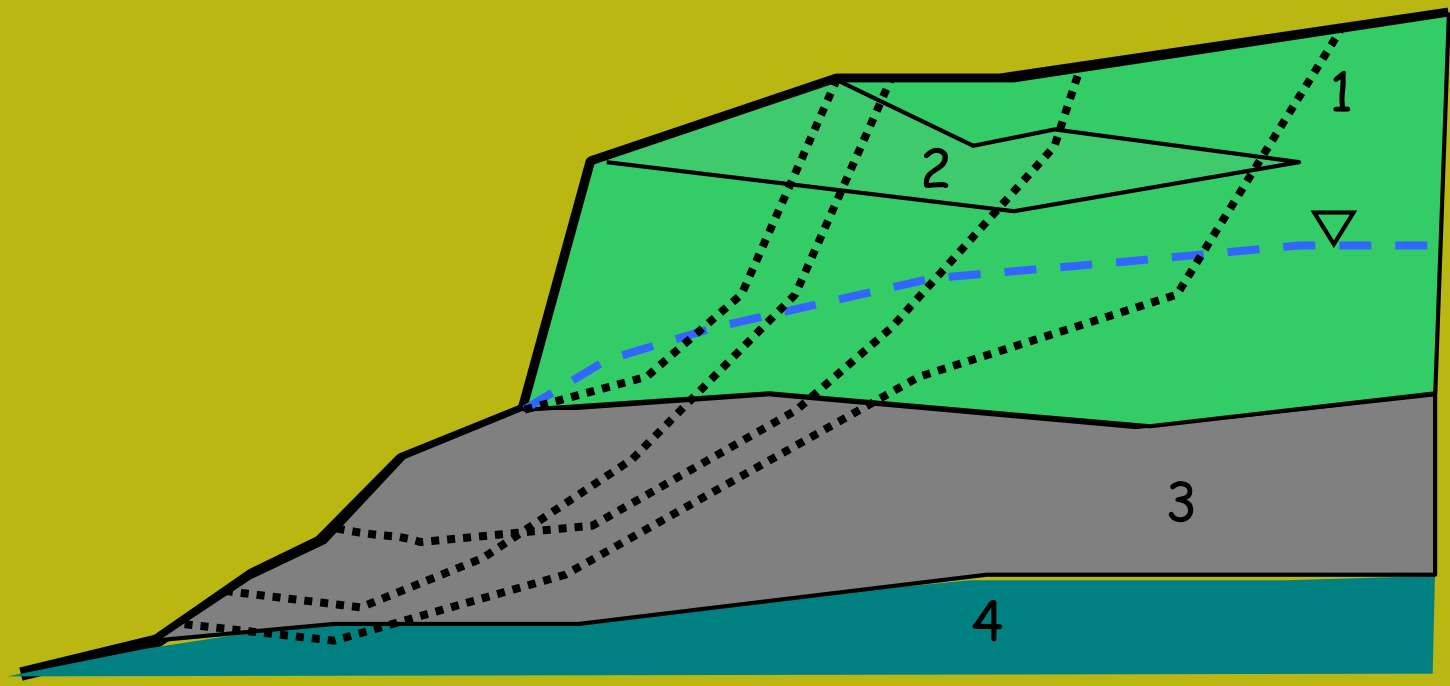

Tension crack
Failure through weak rock mass
Groundwater surface
Failure on fault dipping at 25°
Failure through weak rock mass at slope toe
100 m


Controlled by major structure
Candidate failure surface
500 m
Rock bridges
Minor structure
Rock mass failure
Step-path controlled by minor structure and intervening rock bridges

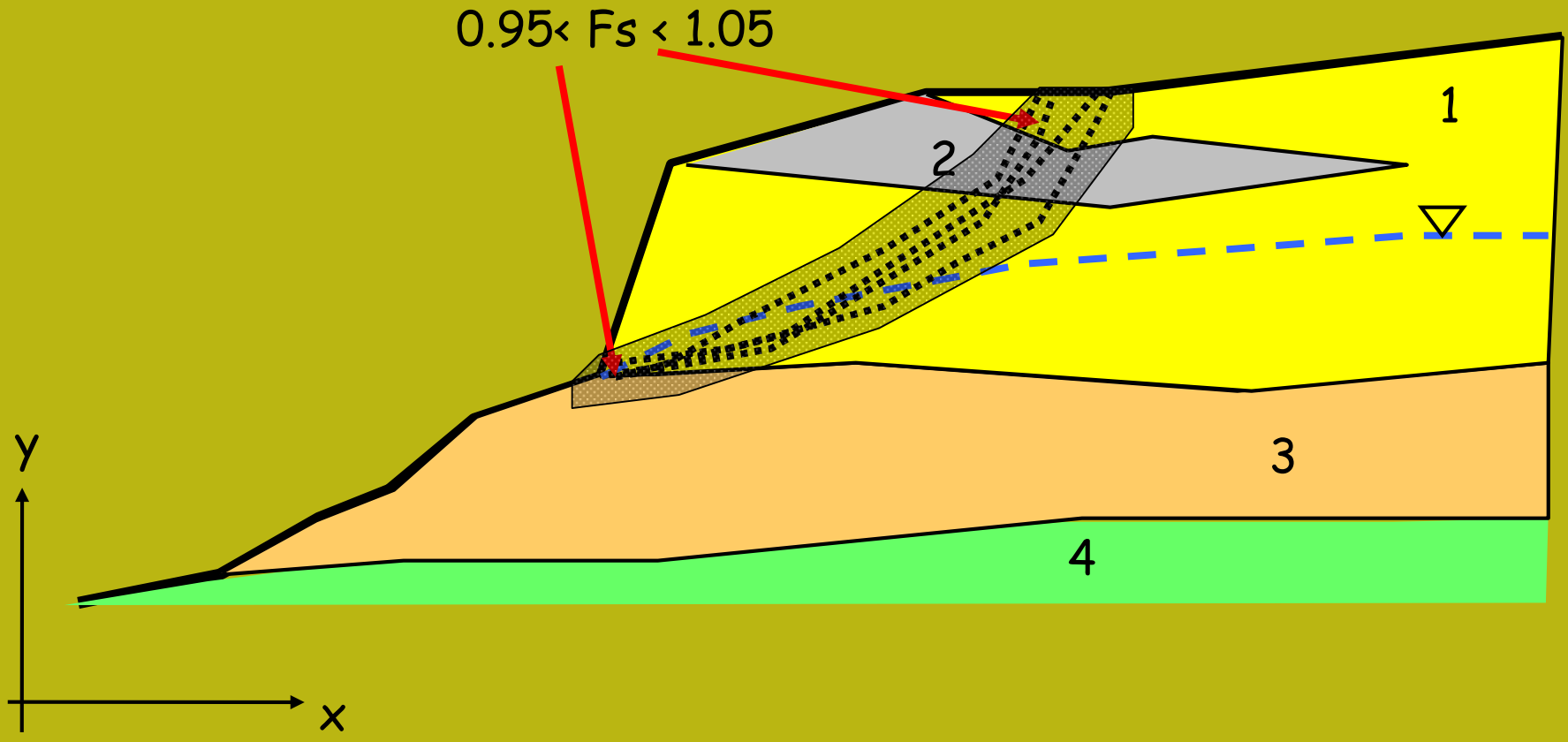
Pueden entonces
Sistemas simplificado como este ser aplicado
a taludes complejos ?



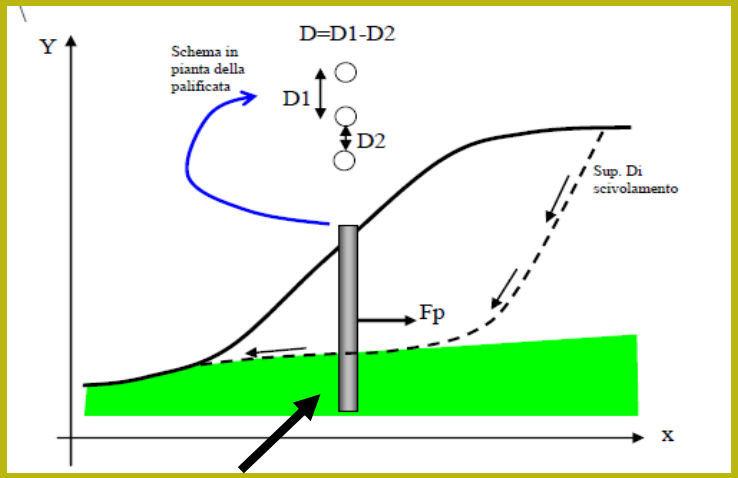
Una alternativa es la de generar superficies genéricas y mas complejas (suficientemente complejas) y en numero suficiente para explorar todas formas de deslizamiento posibles adentro el talud..



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 generada da estructuras de contención



Linea de palos

sobrecargas

geogrids

anclajes

Recursos y herramientas para modelado y manejo complejidad:

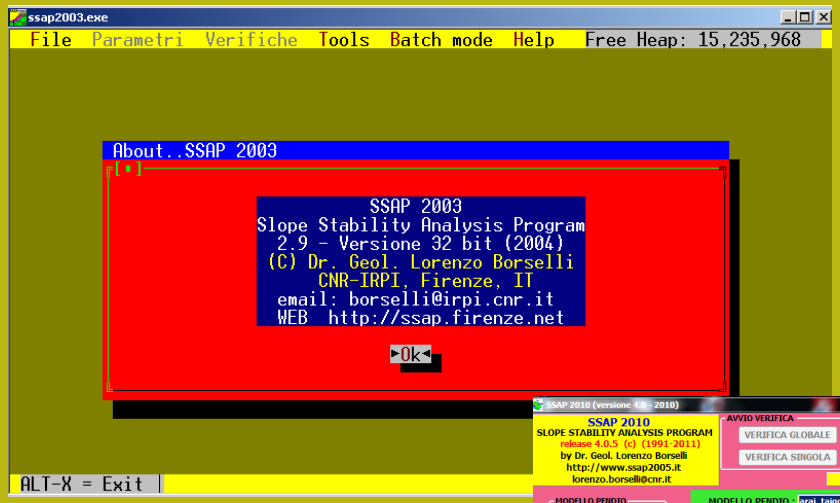
1.Levantamiento topográfico: secciones;
2.Levantamiento geológico – geo hidrológico, geotécnico, geofísico
3.Modelado geo-mecánico: parámetros, criterios de ruptura
4.Modelo de talud : incluye los puntos 1,2 3
5.Modelos de computo: técnicas de computo existentes (es. LEM; FEM)
6.Software (es. SSAP): 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 celebro**!

SSAP 2010 – 4.2.1 (2013) 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 criticas y métodos de calculo rigurosos de el factor de seguridad, también en presencia de sismos. WWW.SSAP.EU

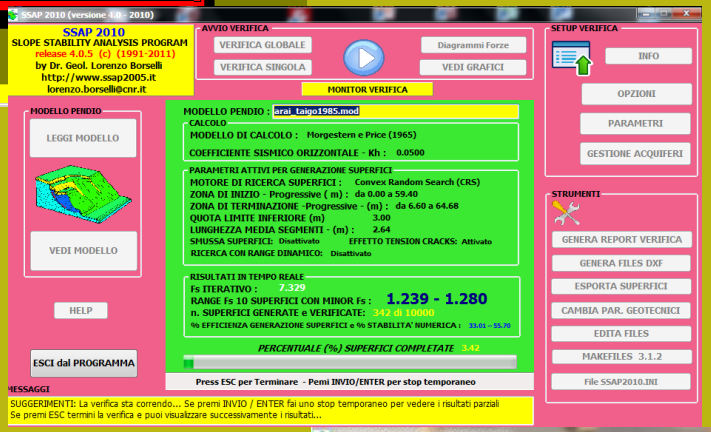
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

Instituto de Geología

2003



2010



Da SSAP 2003
A SSAP 2010 4.1.3

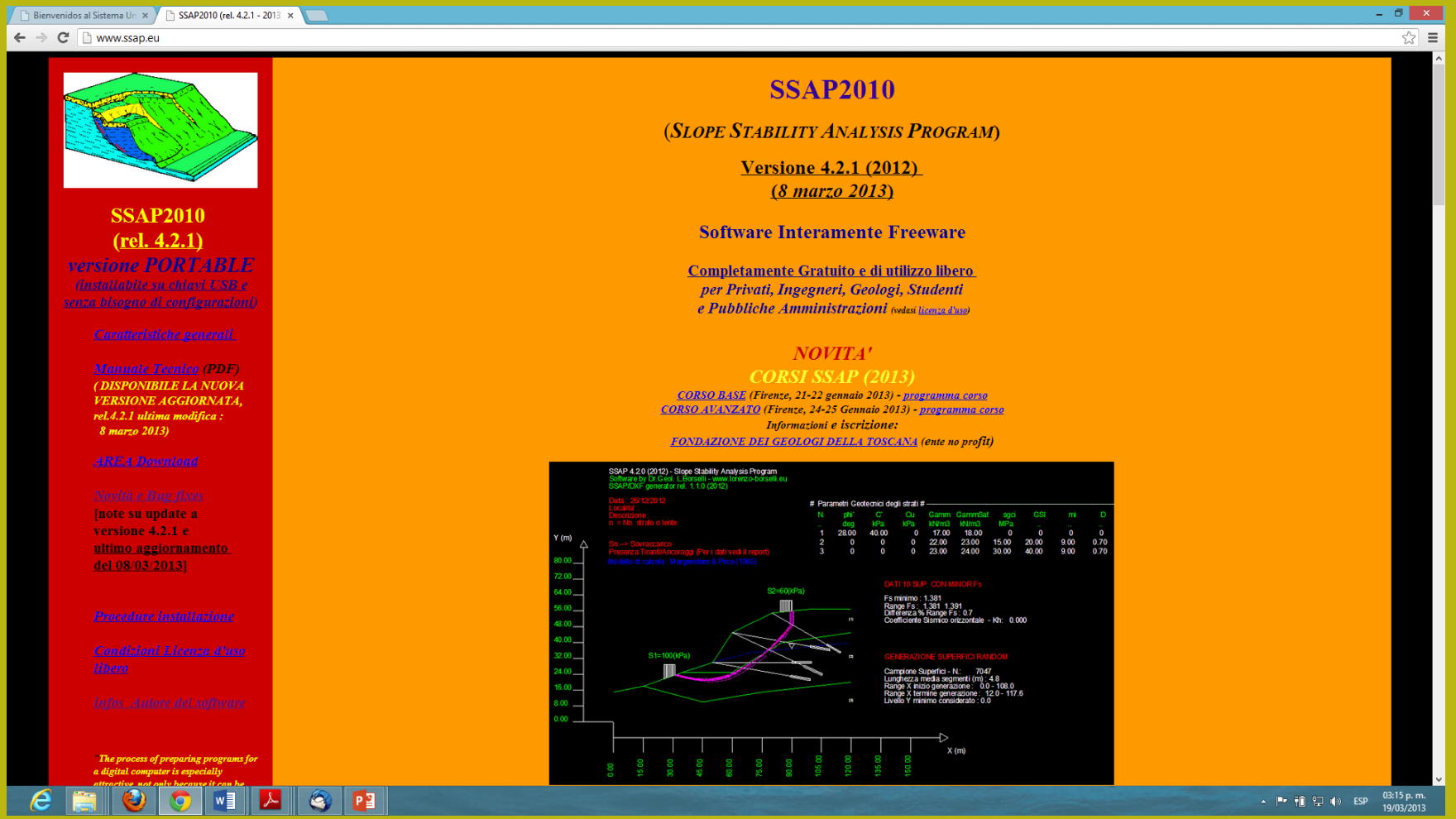
2012/2013

Este software se desarrollo en el curso de 21 años (1991-2012)
Escribiendo da cero todas la rutinas de calculo y graficas..

SSAP 2010. 4.2.1 (2013) - WWW.SSAP.EU

Software enteramente freeware (de uso libero , pero no open source)

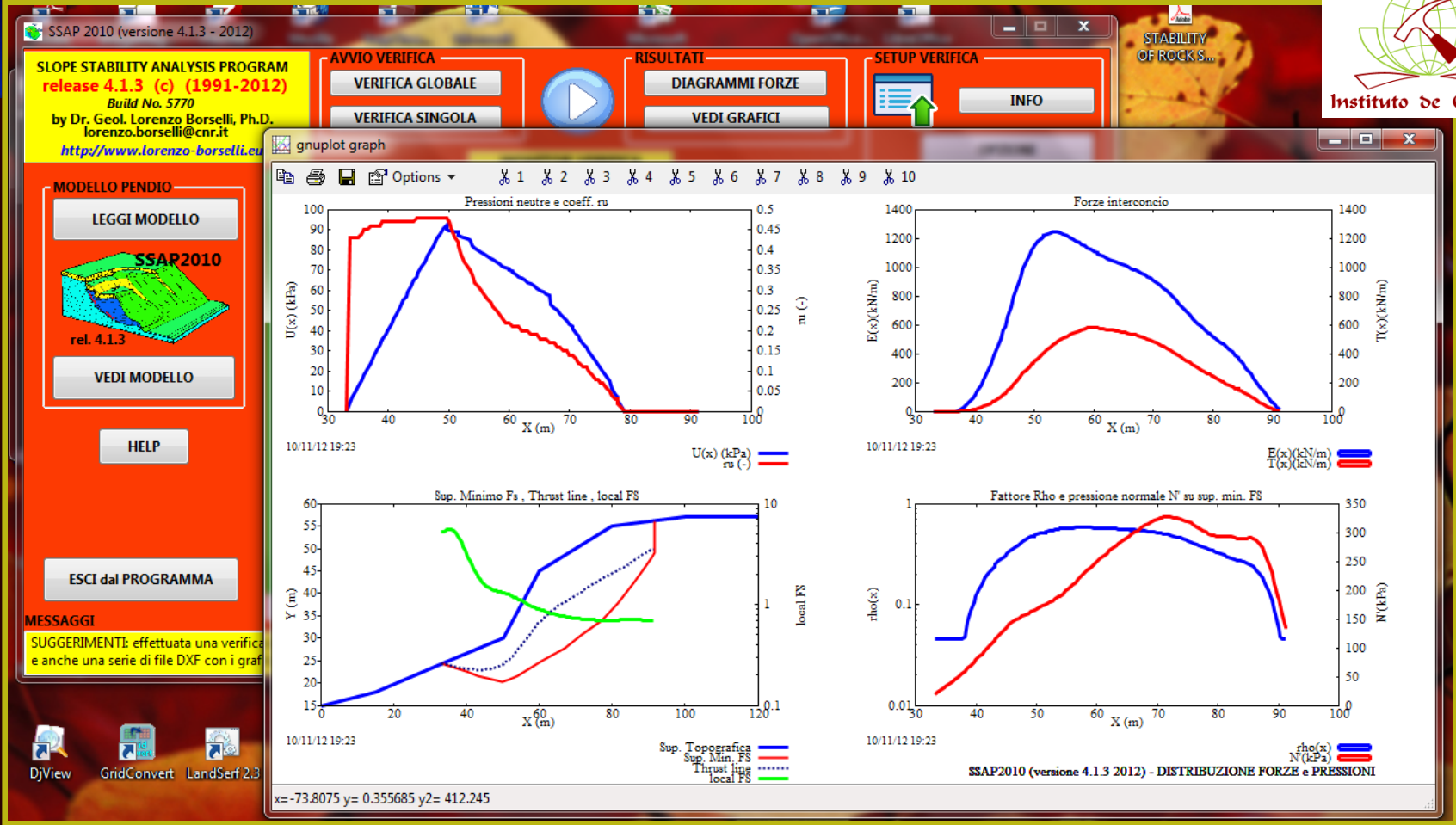
Por el momento es solo en Italiano.. Con un proyecto de traducción integral en español y ingles).



SSAP 4.2.1. – pagina web WWW.SSAP.EU

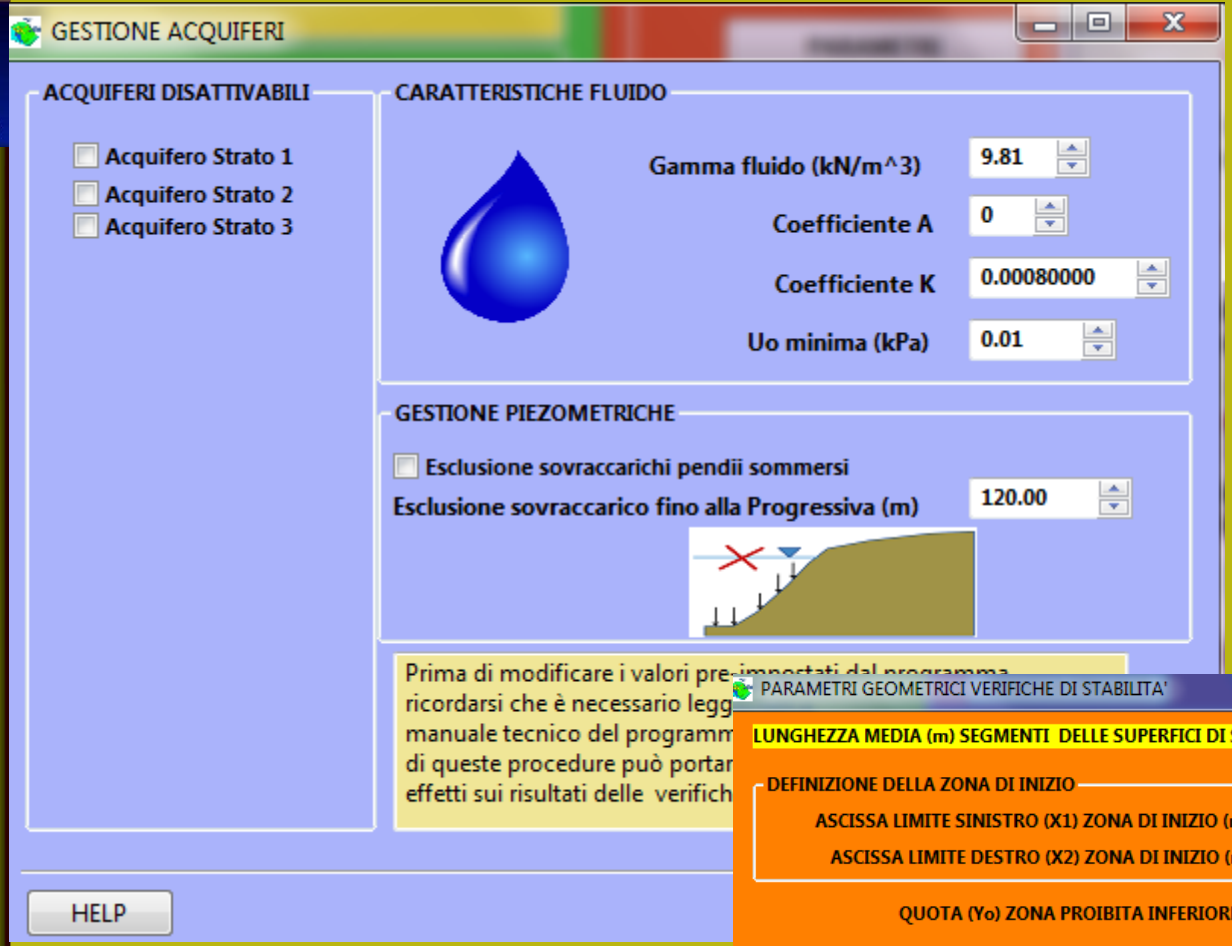
Ejemplo de interfaz usuario en Windows 7:
La versión SSAP 4.2.1 – portable (puede operar también en **Linux**
Con emulador WINE 1.2 y en Mac-OS en Wmware virtual machine **)**

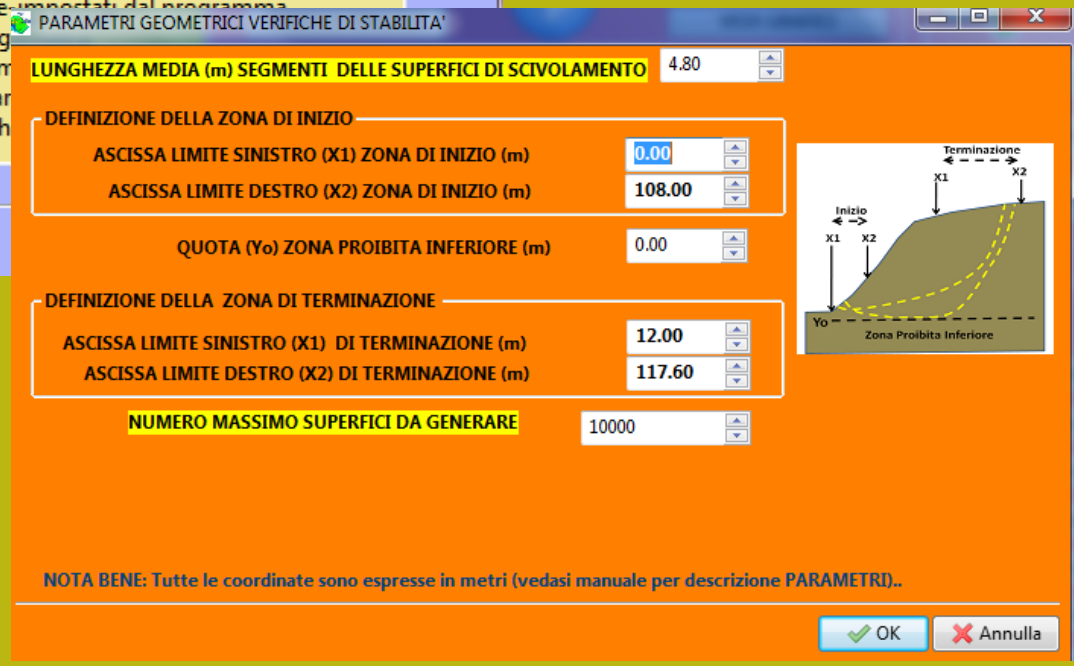
SSAP 4.1.3 -Ventana principal y ventana de opciones



Ejemplo de interfaz usuario

SSAP 4.1.3 - ventana gráficos múltiples de distribución de fuerzas internas y presiones



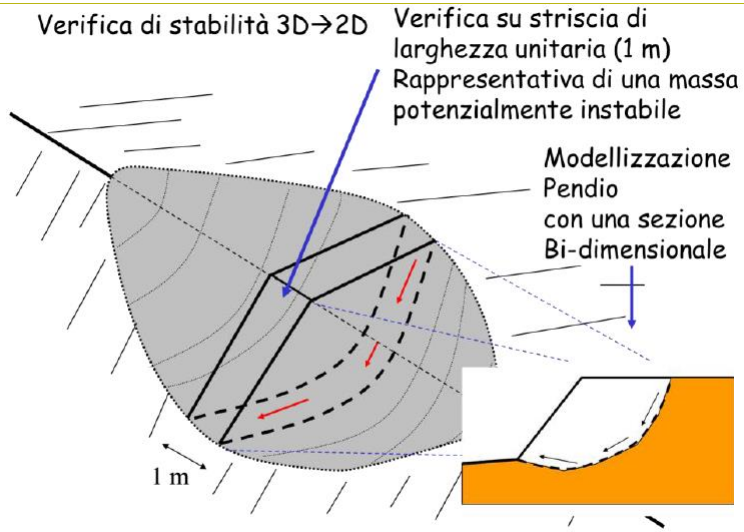


Ejemplo de interfaz usuario :

Gestione acuíferos y parámetros de generaciones superficies random

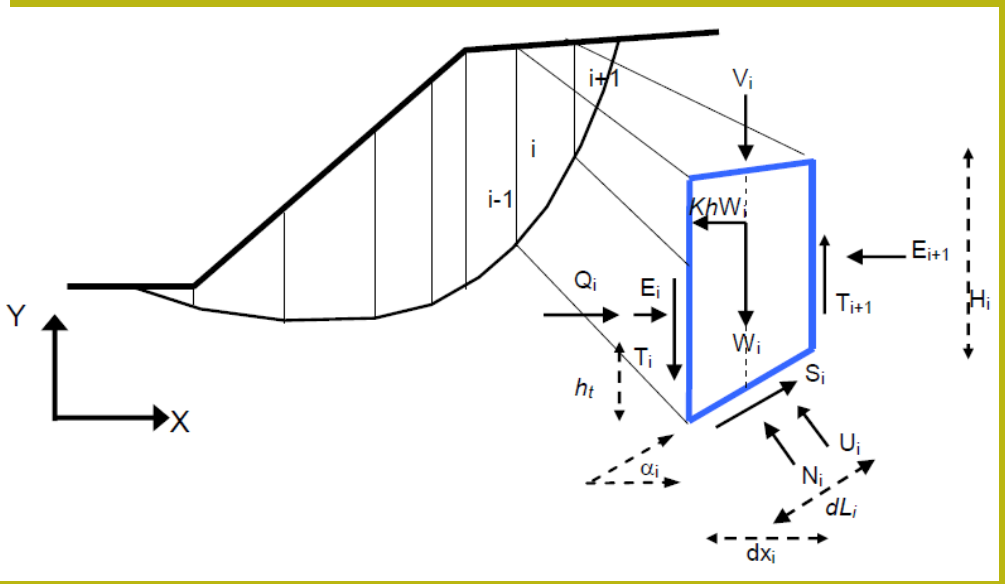
- *Janbu rigoroso(1973);*
- *Spencer (1973)*
- *Sarma I (1973);*
- *Morgenstern & Price (1965);*
- *Correia (1988)*
- *Sarma II (1979)*

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



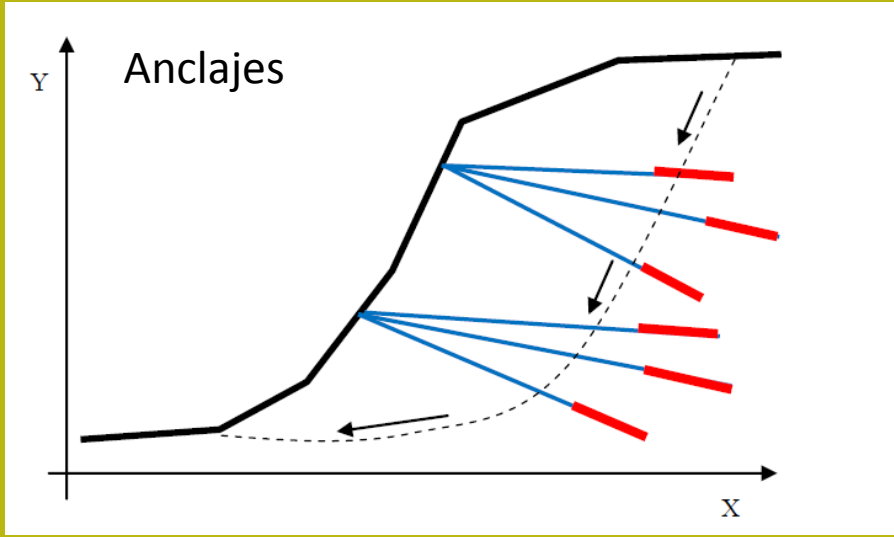
$$Fs = \frac{f(N_{(x)}, U_{(x)}, \alpha_{(x)}, T_{(x)}, V_{(X)}, dx_{(x)}, Q_{(x)}, Fs)}{f(\alpha_{(x)}, W_{(x)}, V_{(X)}, dx_{(x)}, T_{(x)}, \lambda)}$$

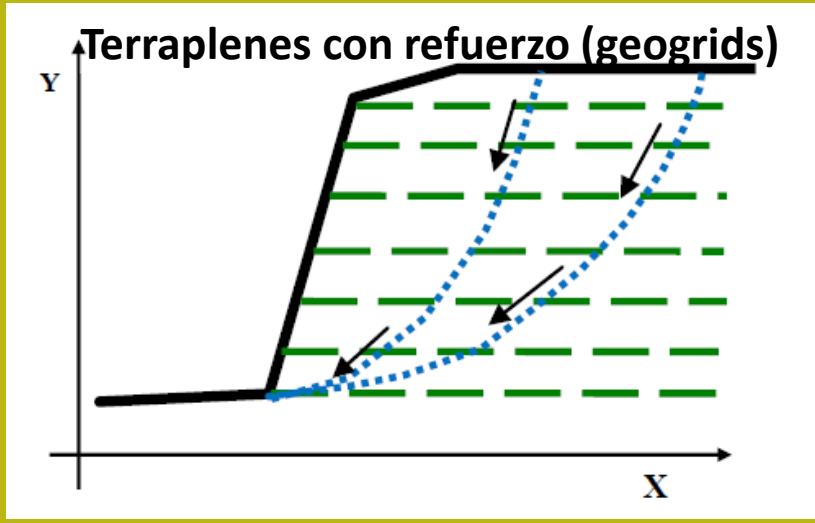
$$\lambda = \frac{f(dx_{(x)}, E_{(x)}, \alpha_{(x)}, W_{(x)}, V_{(X)}, Q_{(x)})}{f(dx_{(x)}, T_{(x)}, \lambda)}$$

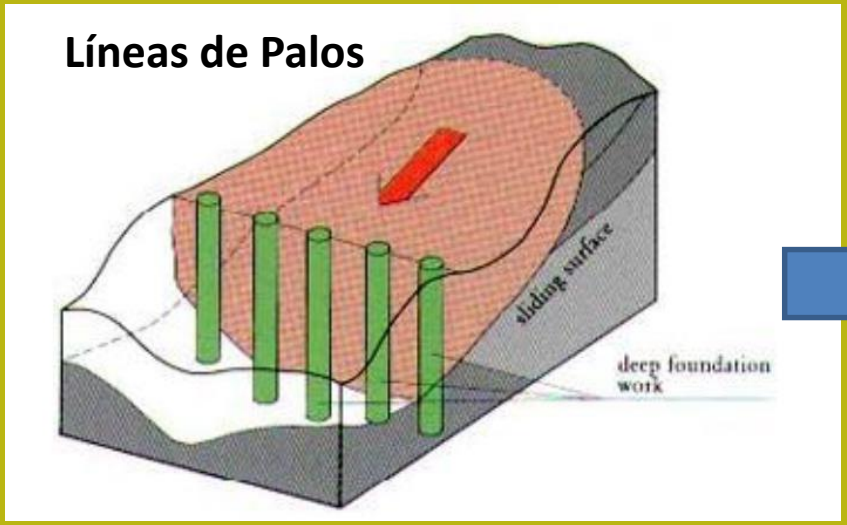


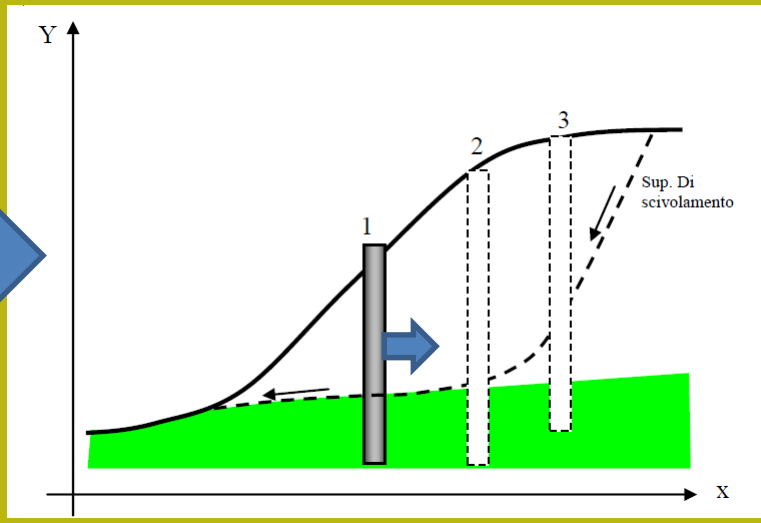
Da Borselli(2013).
Manual SSAP2010 rel. 4.2.1
www.ssap.eu/manualessap2010.pdf

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



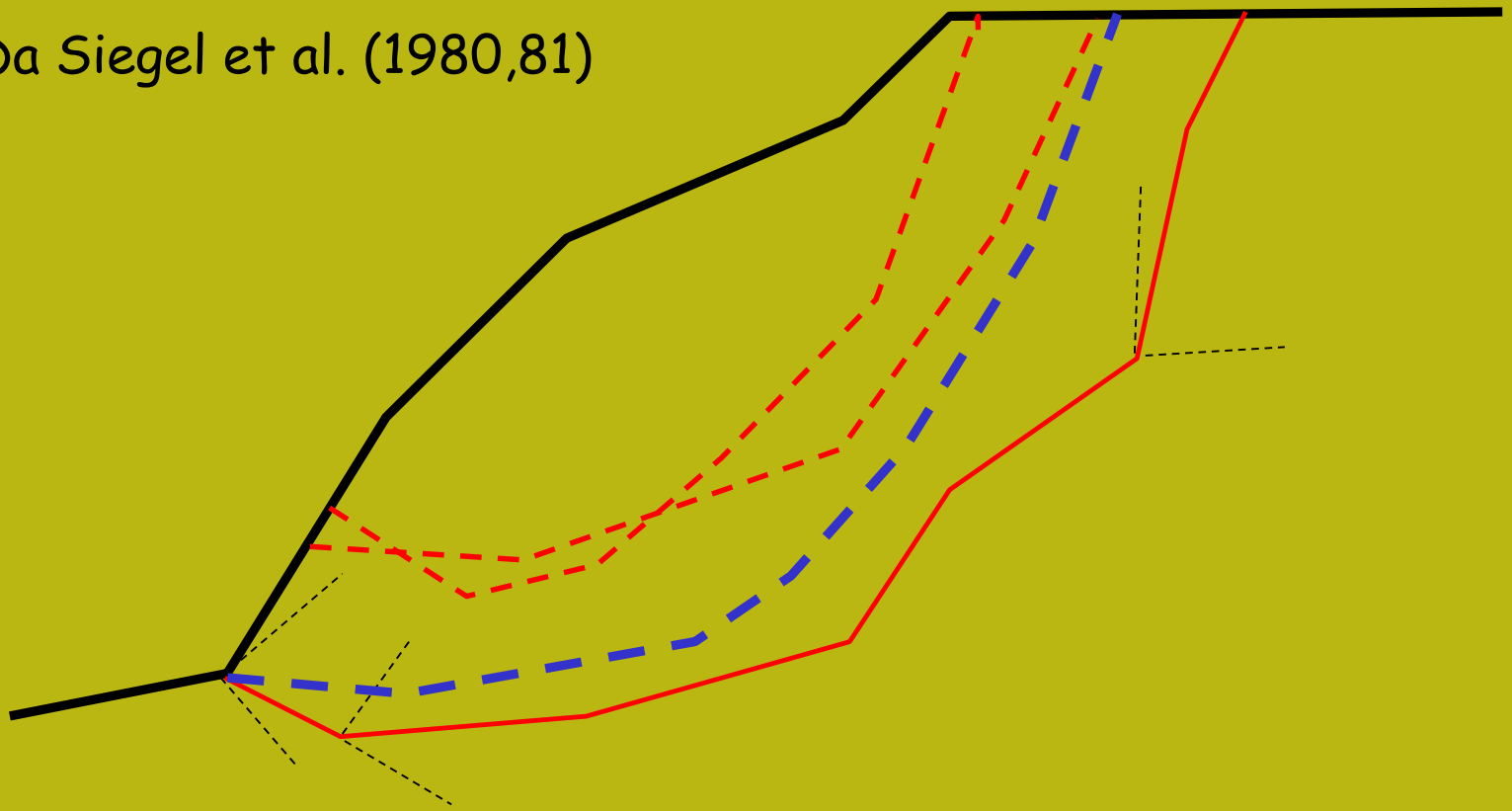




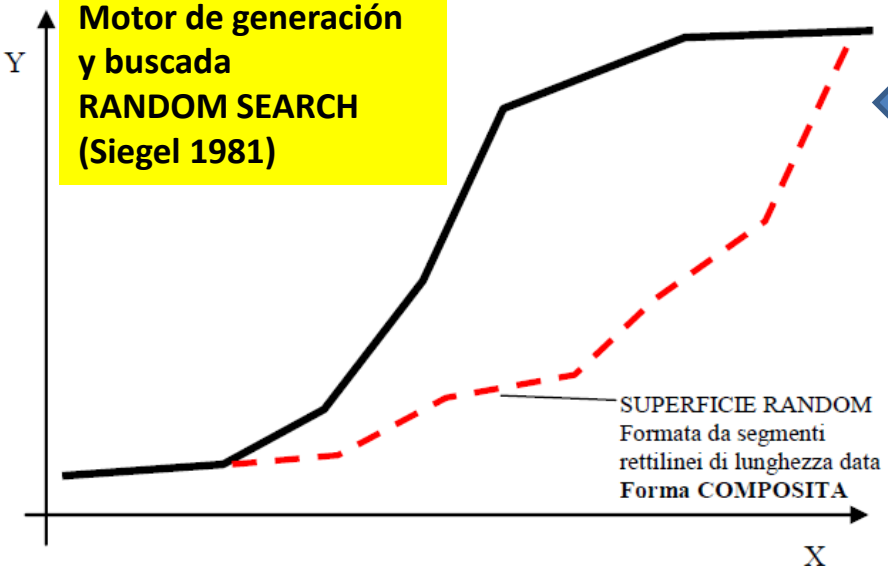


Superficies genéricas – Generación *random montecarlo*
Disfruta la posibilidad de la computadora de generar secuencias infinidas de números aleatorios (random)

Da Siegel et al. (1980,81)

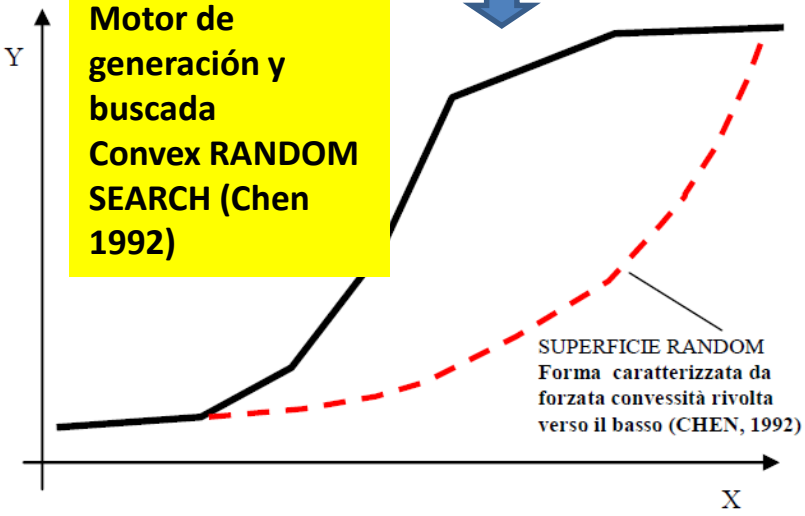


Motor de generación y buscada RANDOM SEARCH (Siegel 1981)



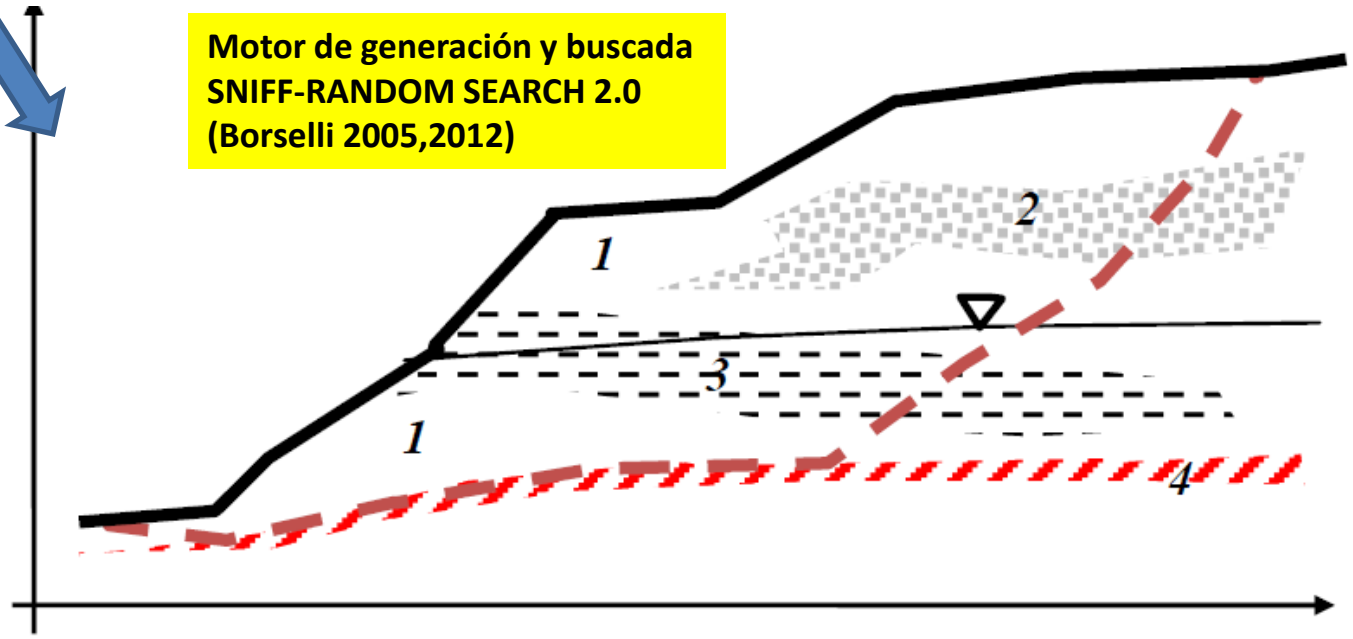
Generación de superficies Métodos MONTECARLO

Motor de generación y buscada Convex RANDOM SEARCH (Chen 1992)

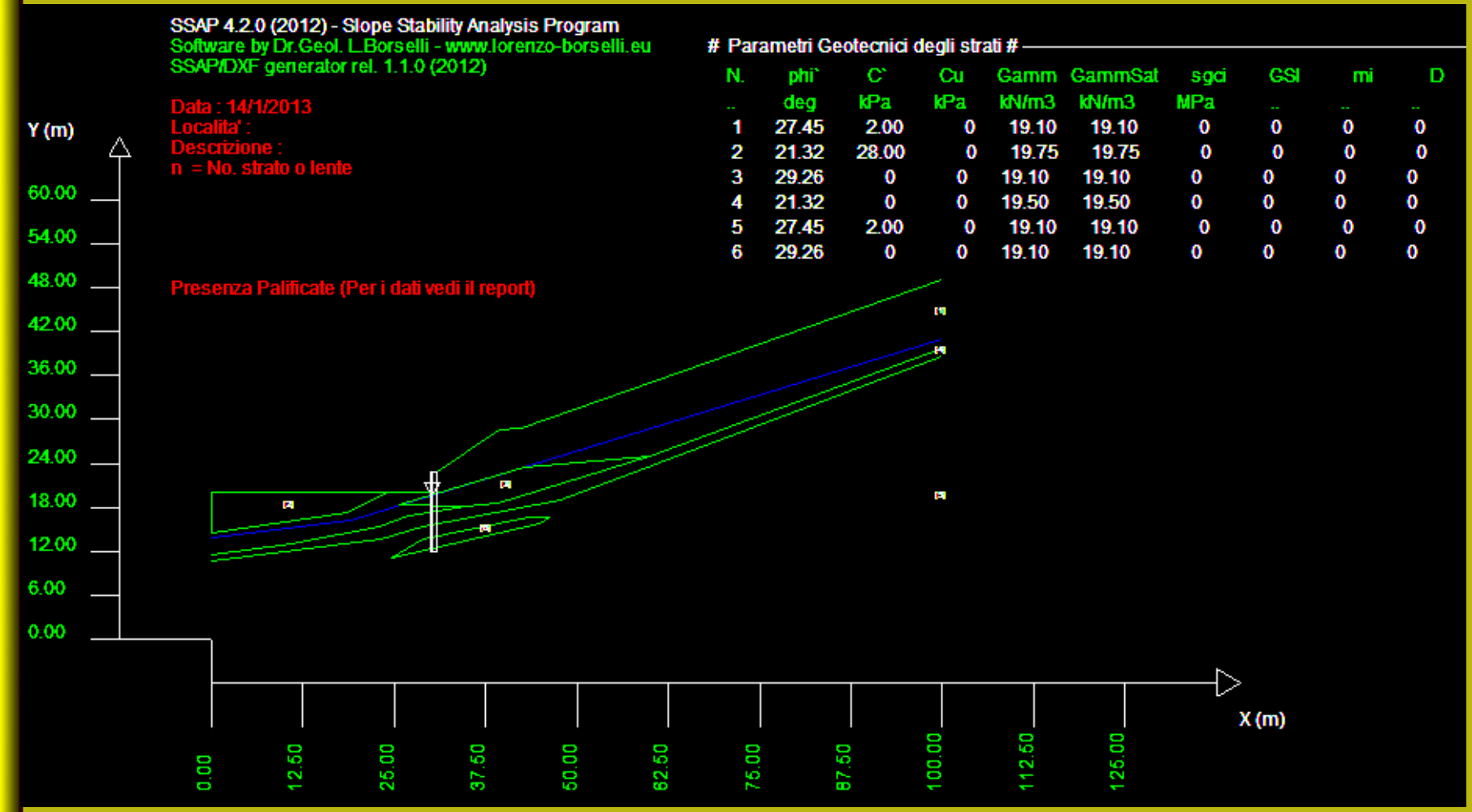


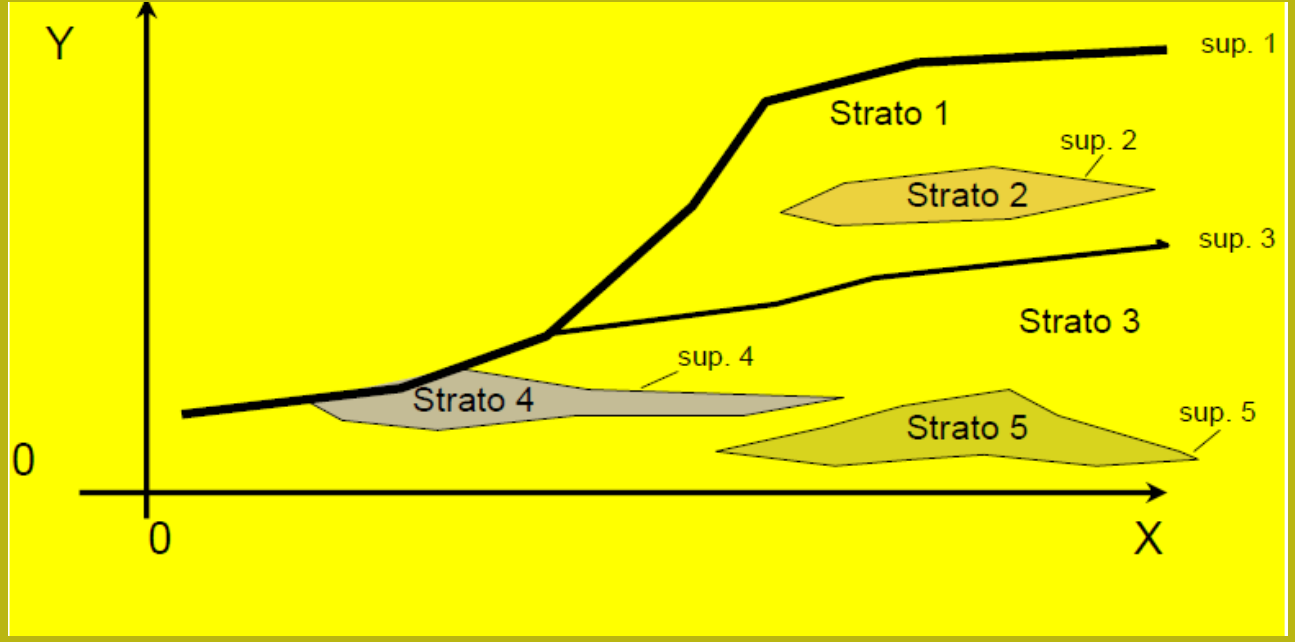
Generación de superficies. Metodo Hibrido (Sistema experto + Montecarlo)

Motor de generación y buscada SNIFF-RANDOM SEARCH 2.0 (Borselli 2005,2012)



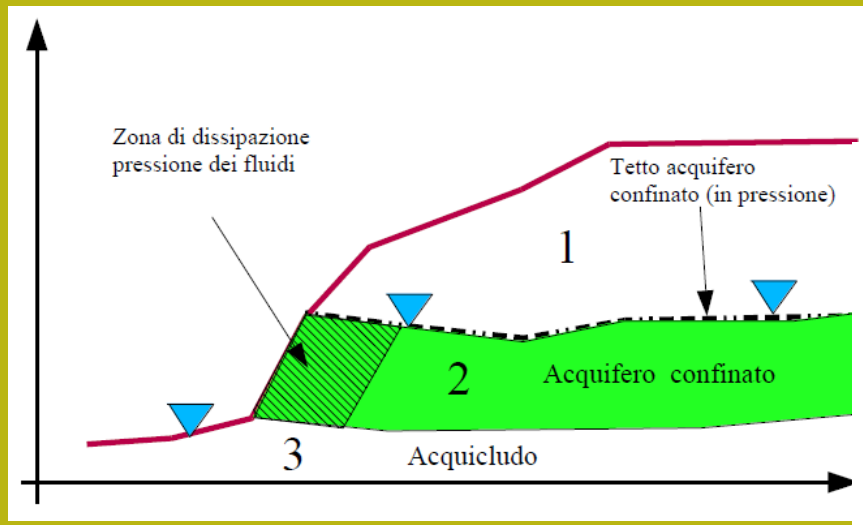
Los diferente motores de generación y búsqueda de SSAP (con su 9 variantes) pueden tratar caso complejos como este..





Complexidad estratigráfica Max(20 estratos)

Módulo Gestión acuíferos hasta in presión, superficiales y temporáneos colgados



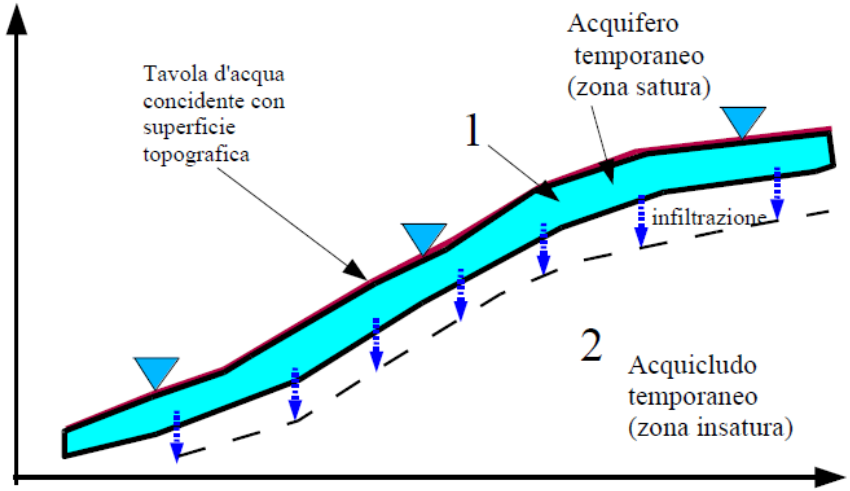
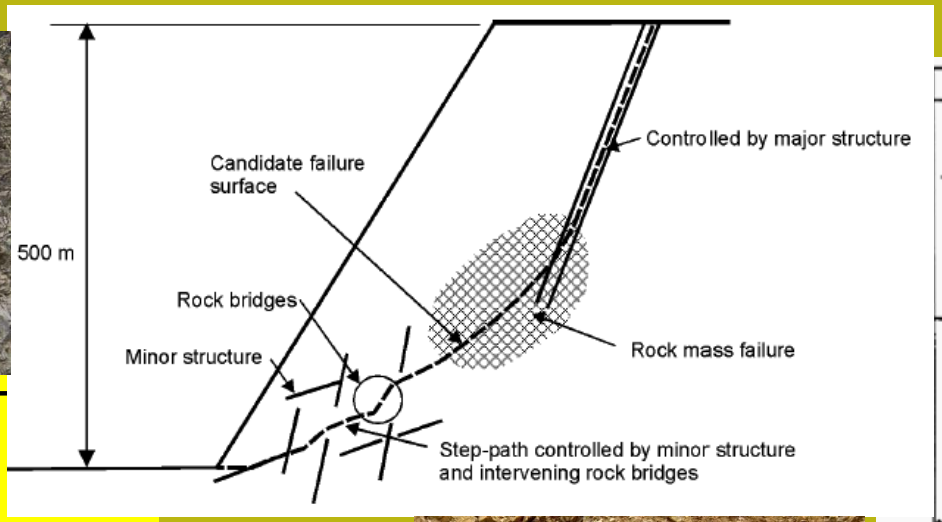
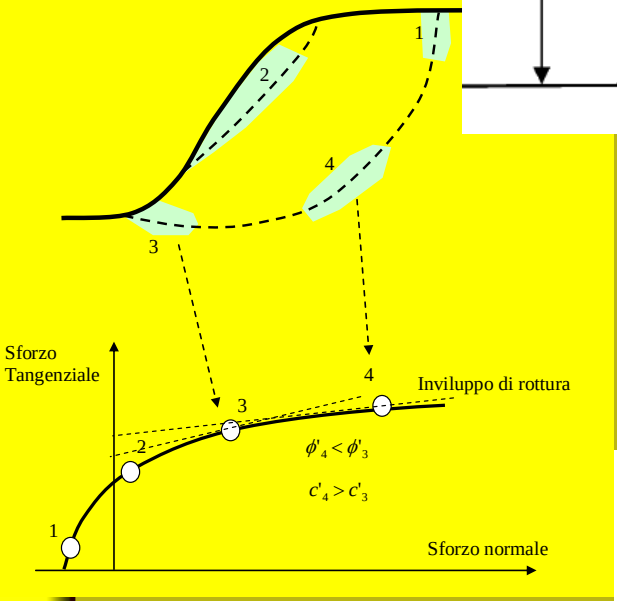


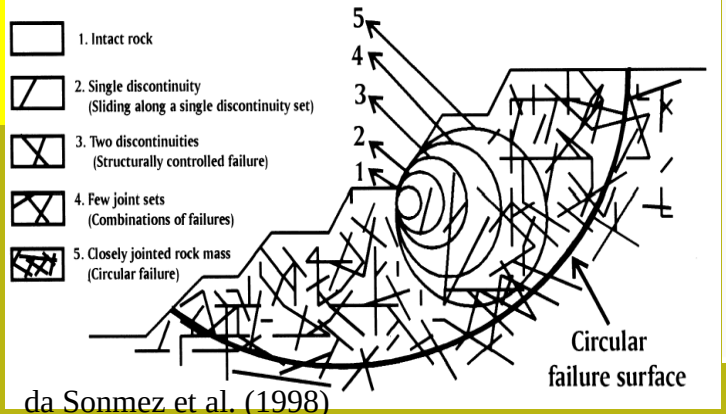
Figura E.2

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



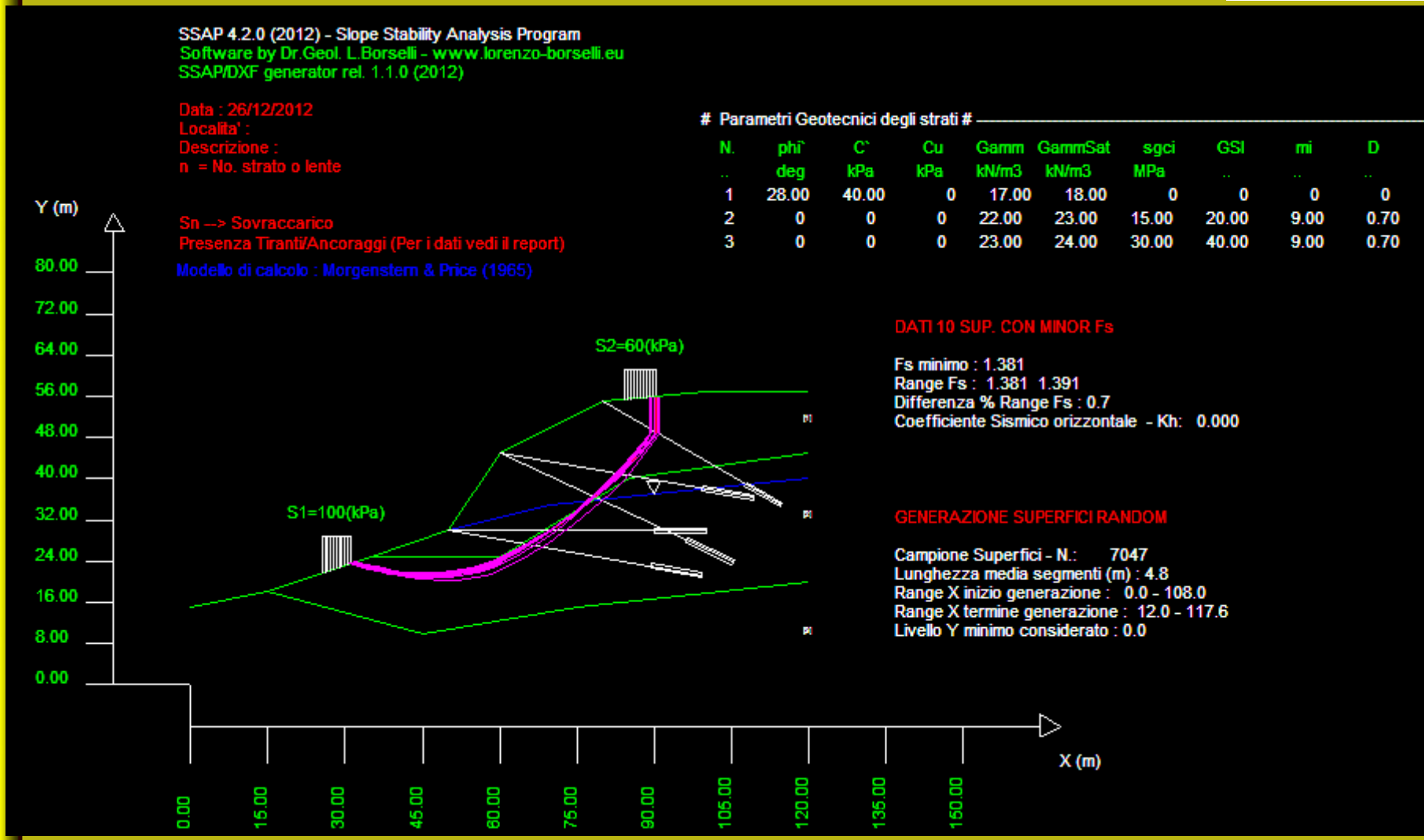
STRUCTURE	TYPICAL PROBLEMS
Landslides.	Complex failure along a circular or near circular failure surface involving sliding on faults and other structural features as well as failure of intact materials.
Soil or heavily jointed rock slopes.	Circular failure along a spoon-shaped surface through soil or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



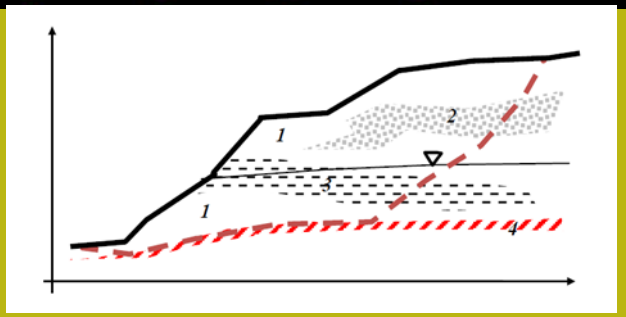


da Sonmez et al. (1998)

Graphic rendering de SSAP .. formato DXF (autocad)

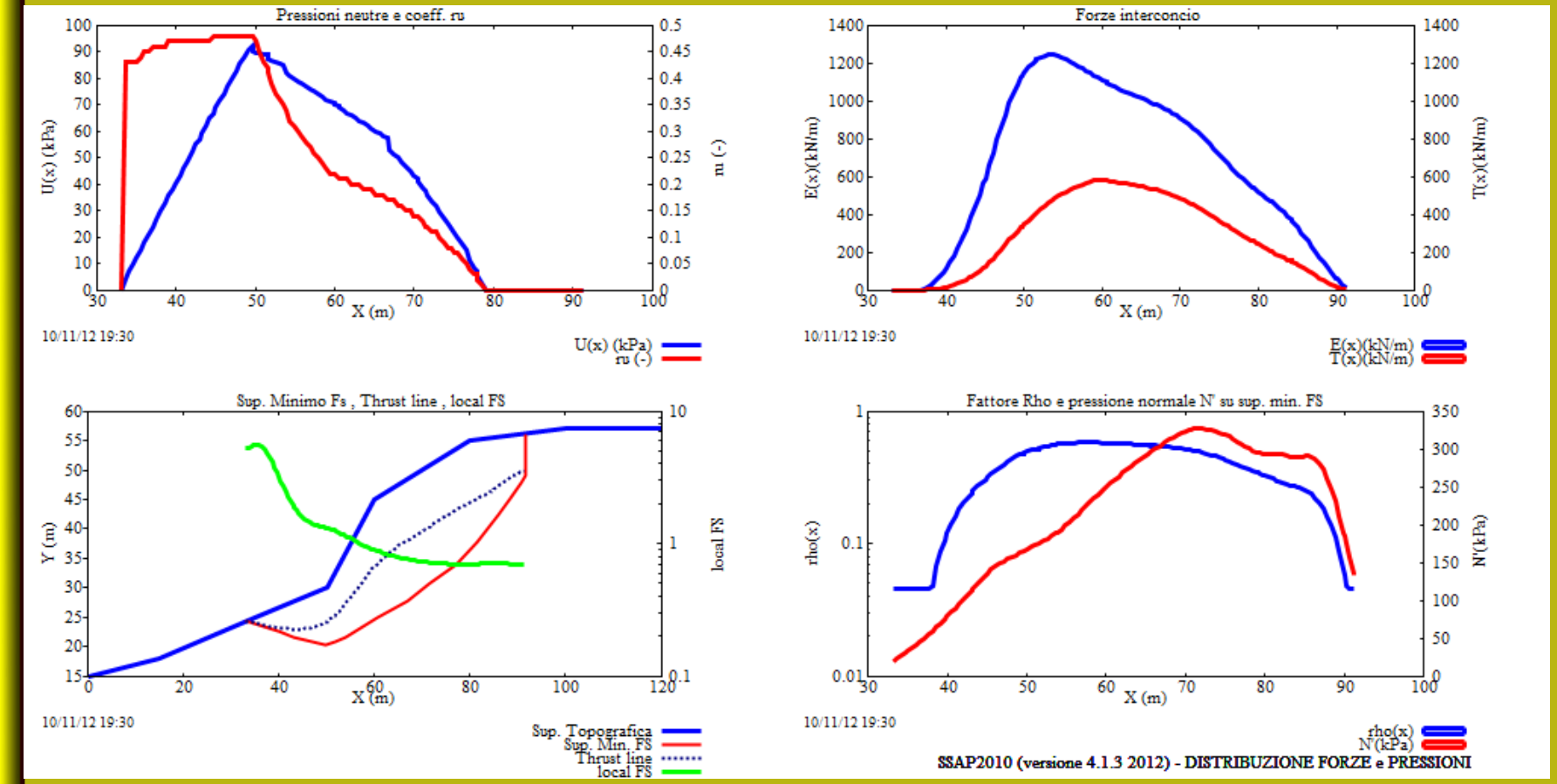


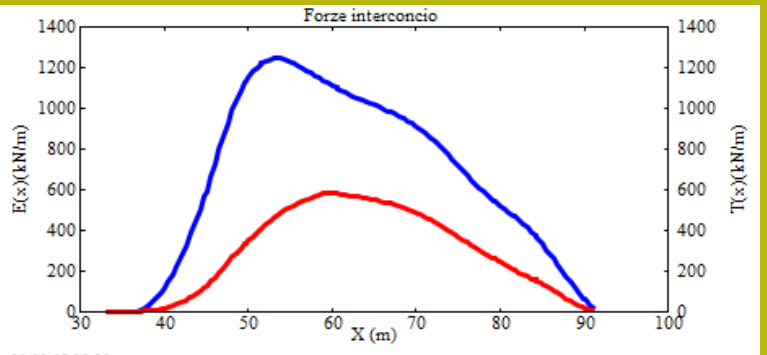
Aplicación de SNIFF RANDOM SEARCH 2.0
A terrapleno con base no firme (ejemplo da Fredlund 1977)

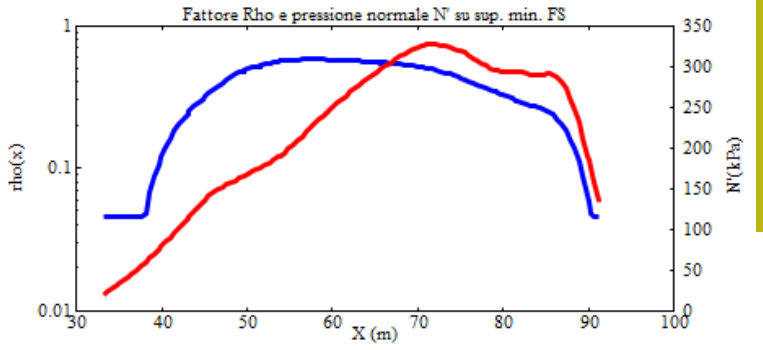


Distribución interna de las fuerzas de interacción , presiones y distribución local de Fs, localización índice *RHO* (verifica confiabilidad de la solución numérica encontrada).

grafic rendering por medio de GNUPLOT 4.6..(www.gnuplot.info)



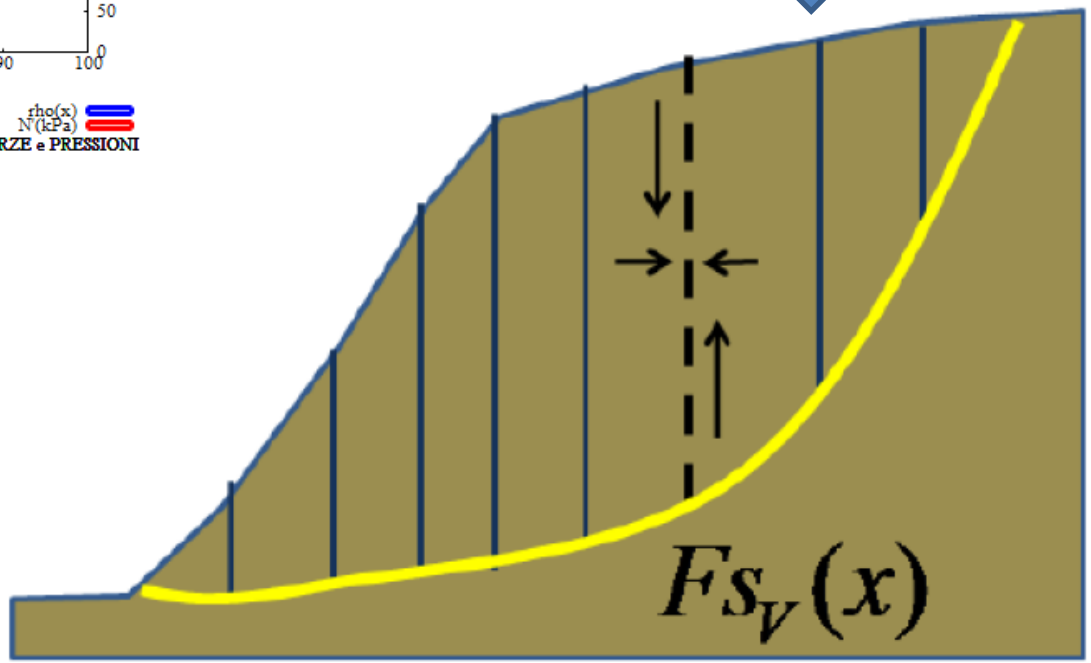


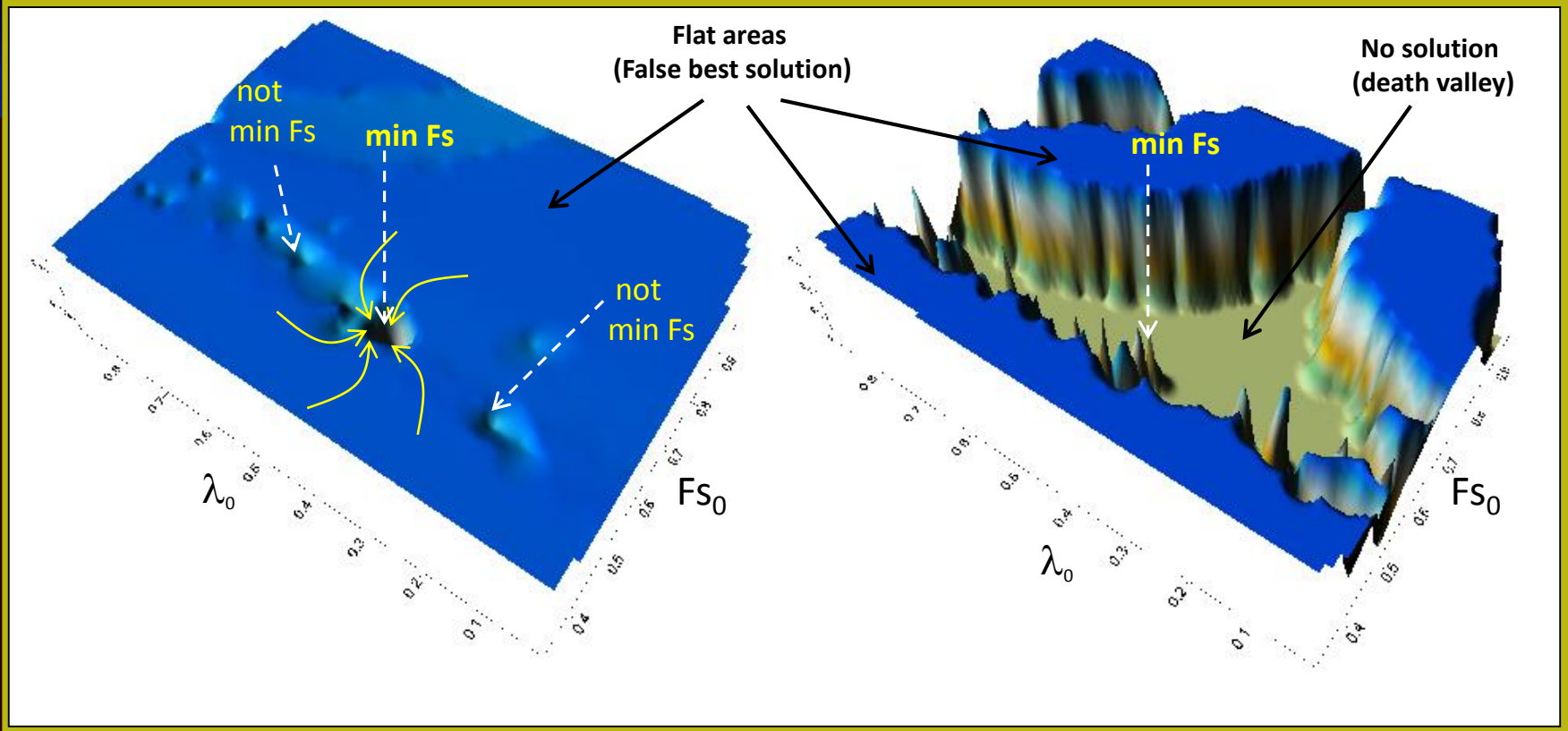


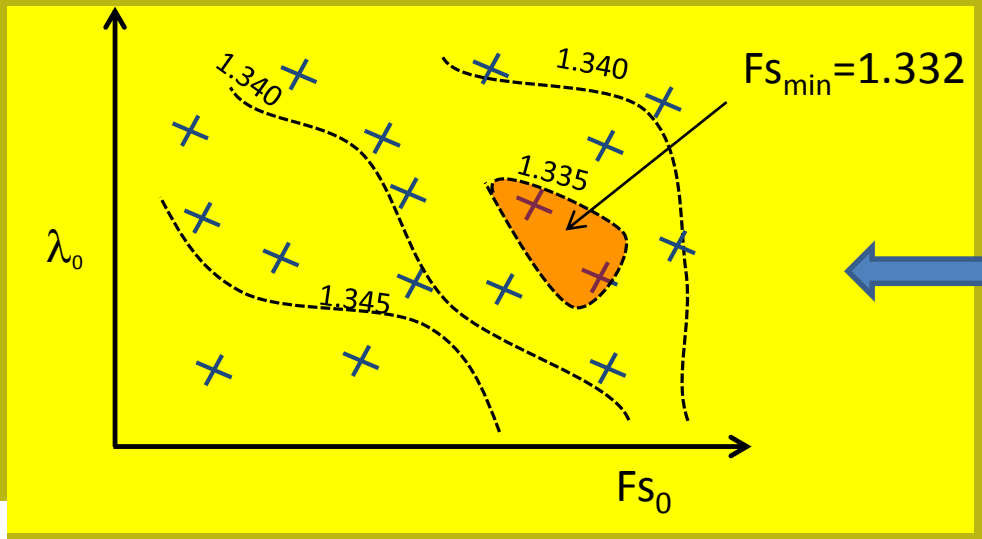
SSAP2010 (versione 4.1.3 2012) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

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

$$RHO(x) = \left| \frac{Fs}{Fs_V(x)} \right| < \psi$$





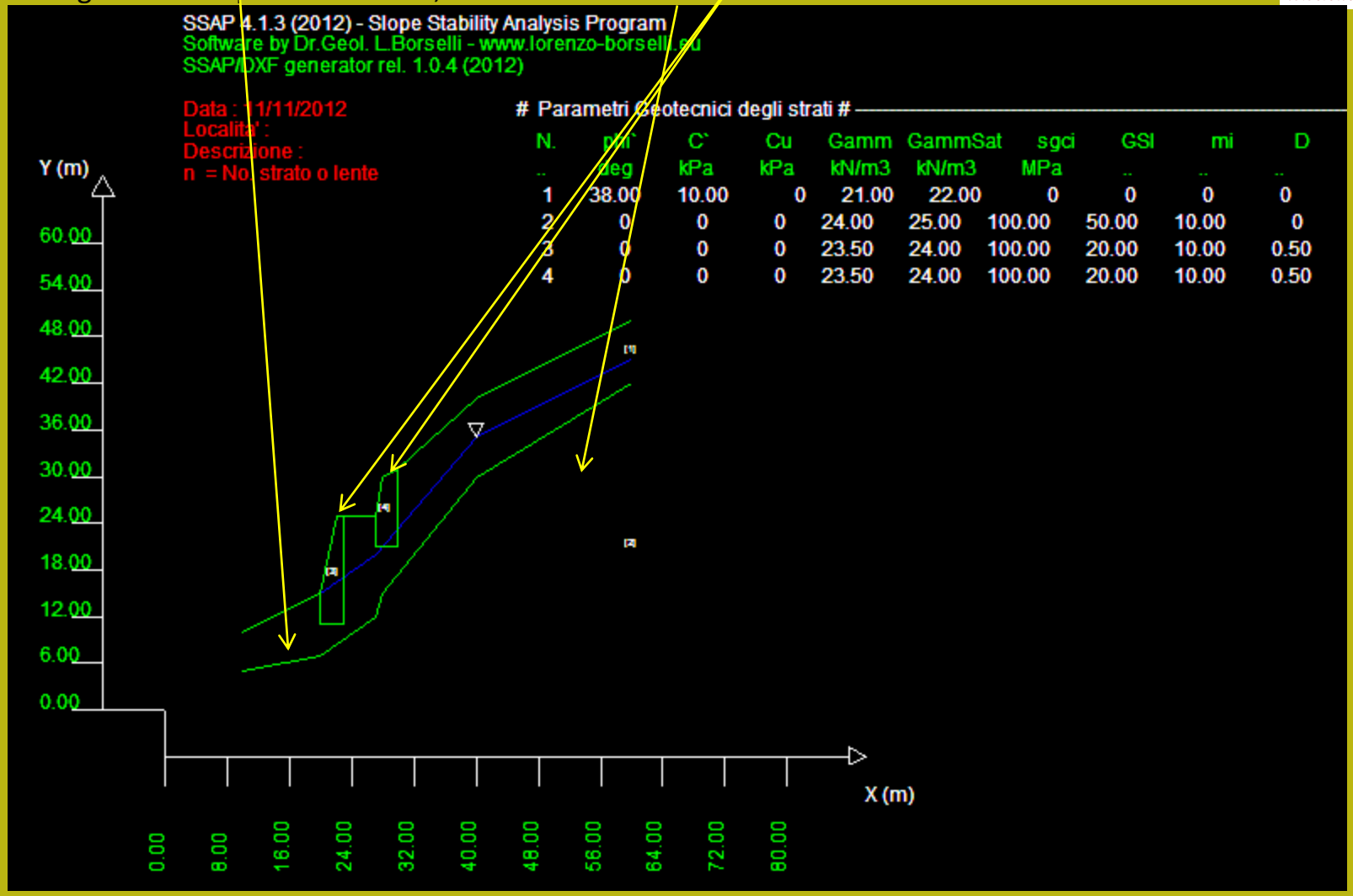


Uno de los varios problemas numéricos son también los parámetros iniciales para la búsqueda de la solución numérica de Fs. SSAP tiene 3 métodos originales para encontrare la mejor solución por el valor real de Fs través la **exploración del espacio (λ_0, Fs_0)**

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

Aplicación en Italia en distrito minero de Carrara:

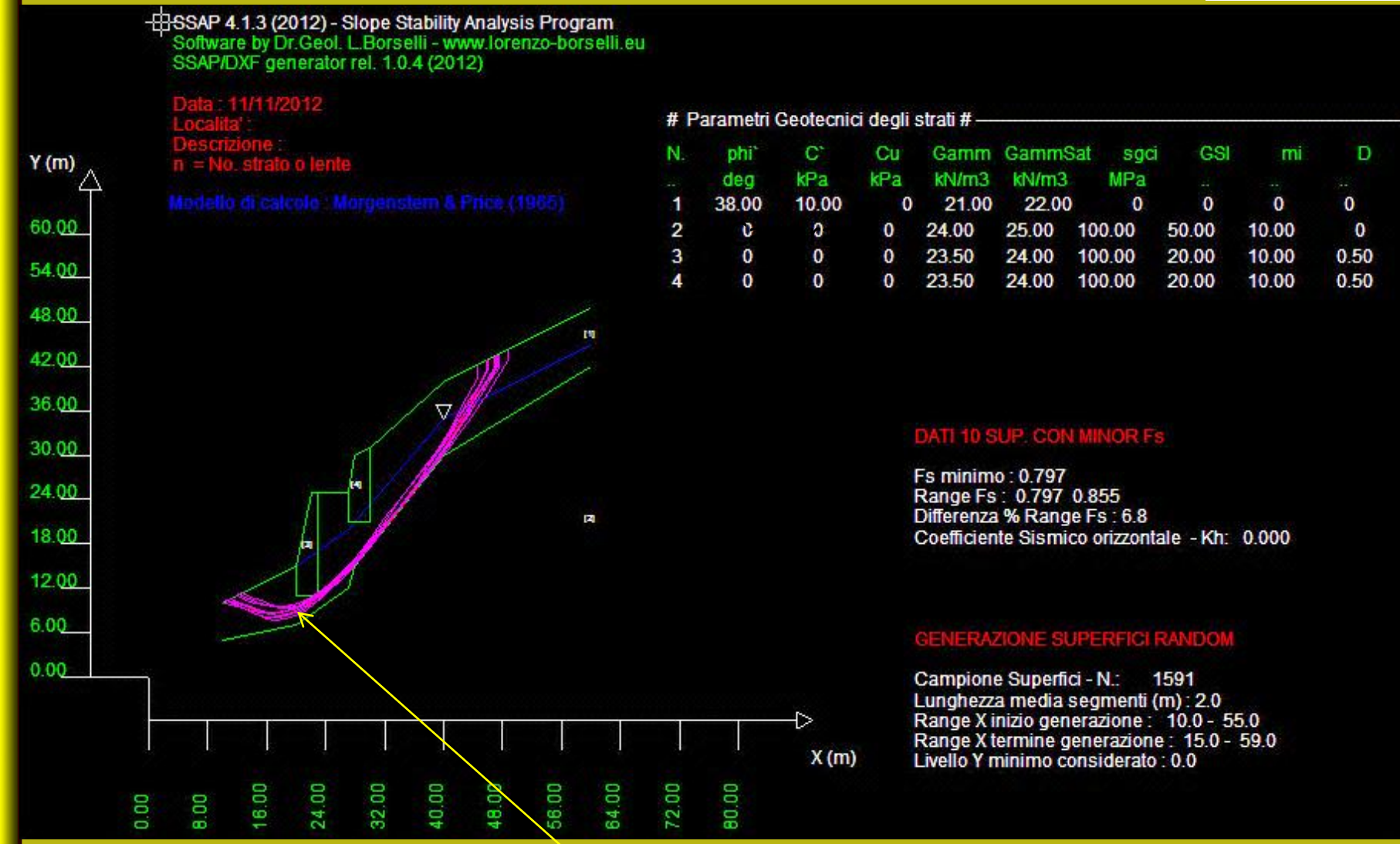
Talud con detritos residual de la extracción del mármol, muros de contención por terracería, con grandes bloques de mármol, substrato de macizo rocoso de buena calidad ..



Evaluación de estabilidad en simulacro de formación de porción satura en la base

Aplicación en Italia distrito minero de Carrara:

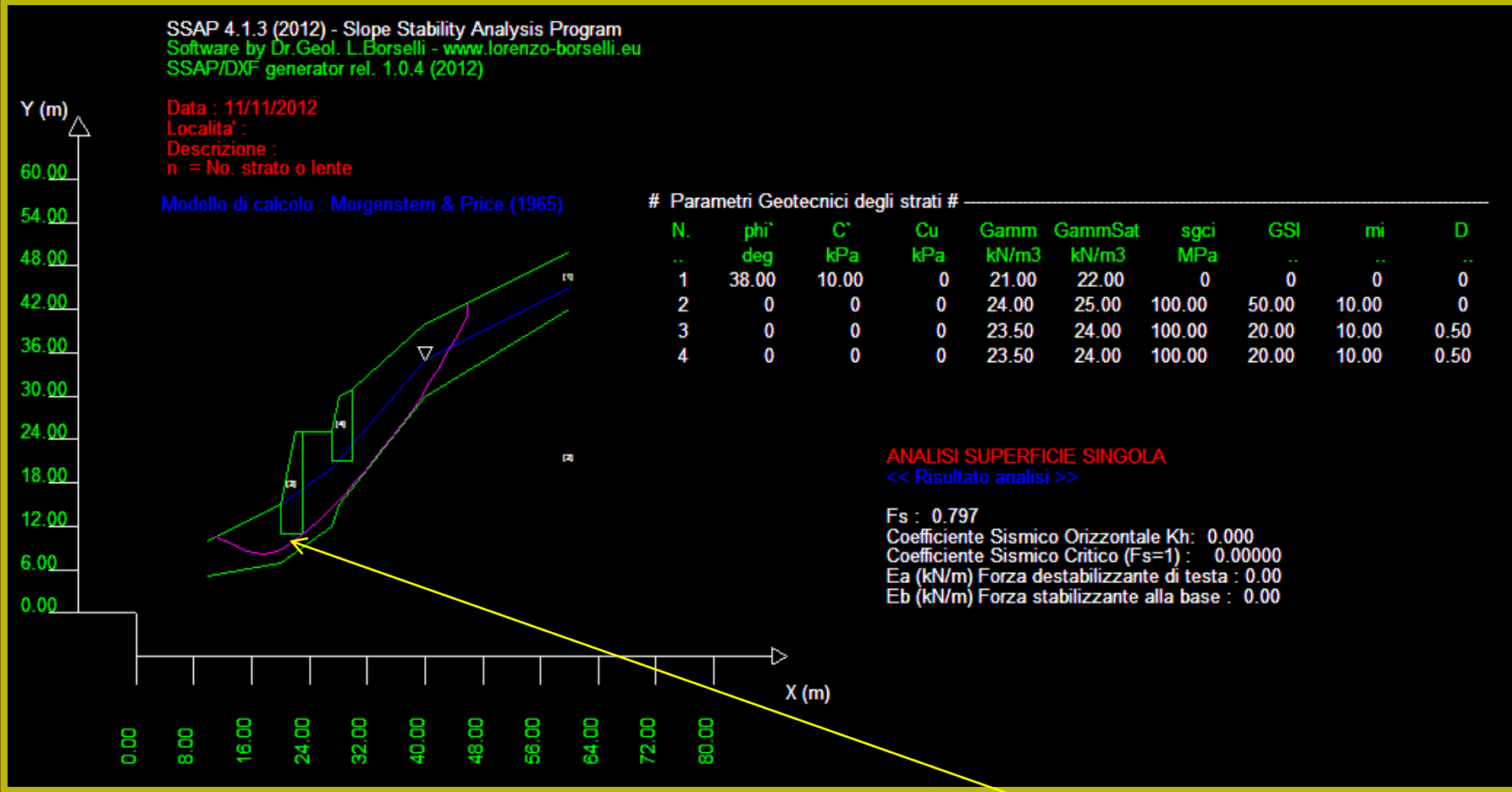
Talud con detritos residual de la extracción del mármol, muros de contención por terracería, con grandes bloques de mármol, substrato de macizo rocoso de buena calidad ..



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

Aplicación en Italia distrito minero de Carrara:

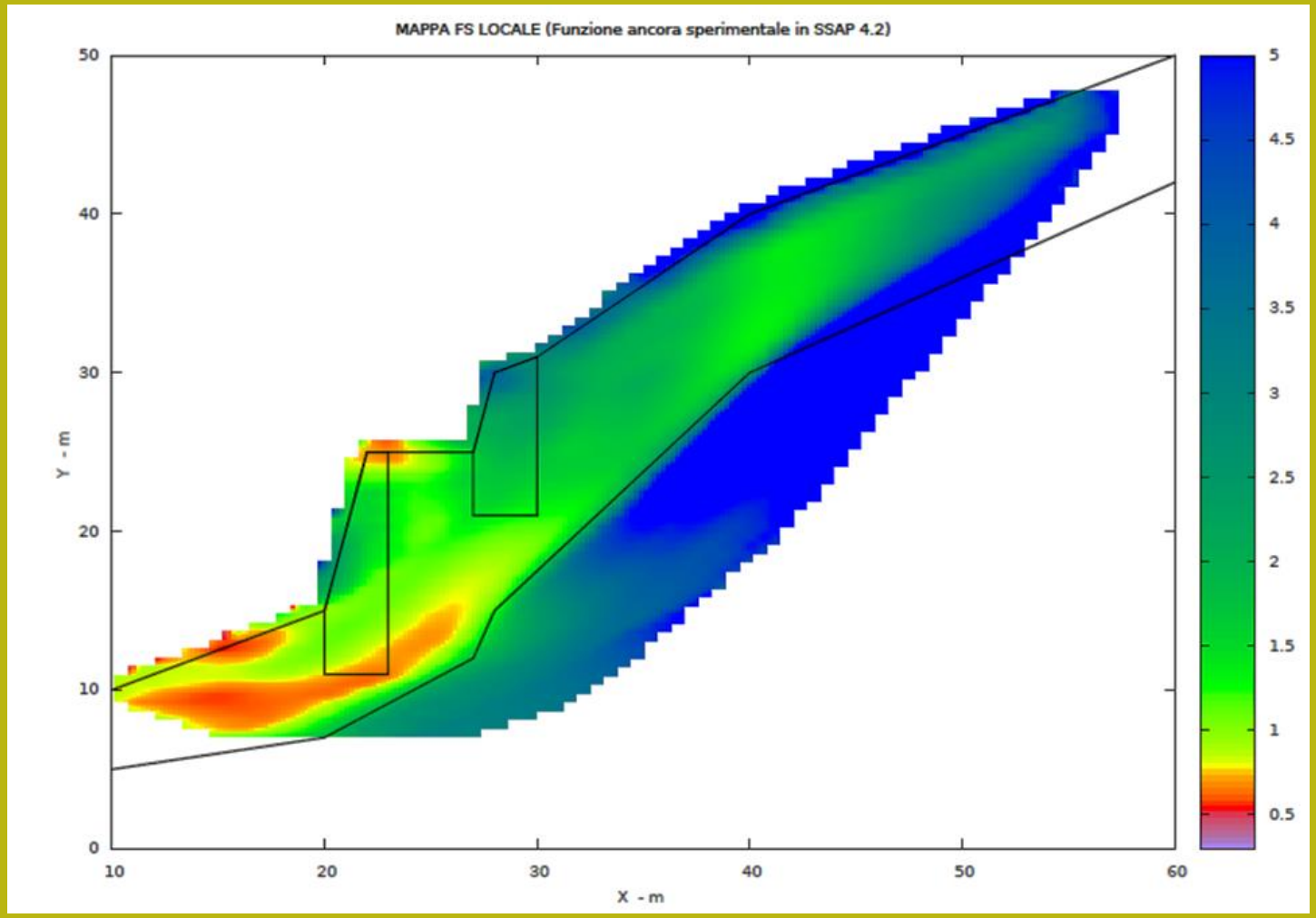
Talud con detritos residual de la extracción del mármol, muro de contención por terracería, con grandes bloques de mármol, substrato de macizo rocoso de buena calidad ..



Evaluación de estabilidad de simulacro de formación de porción satura 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 ..

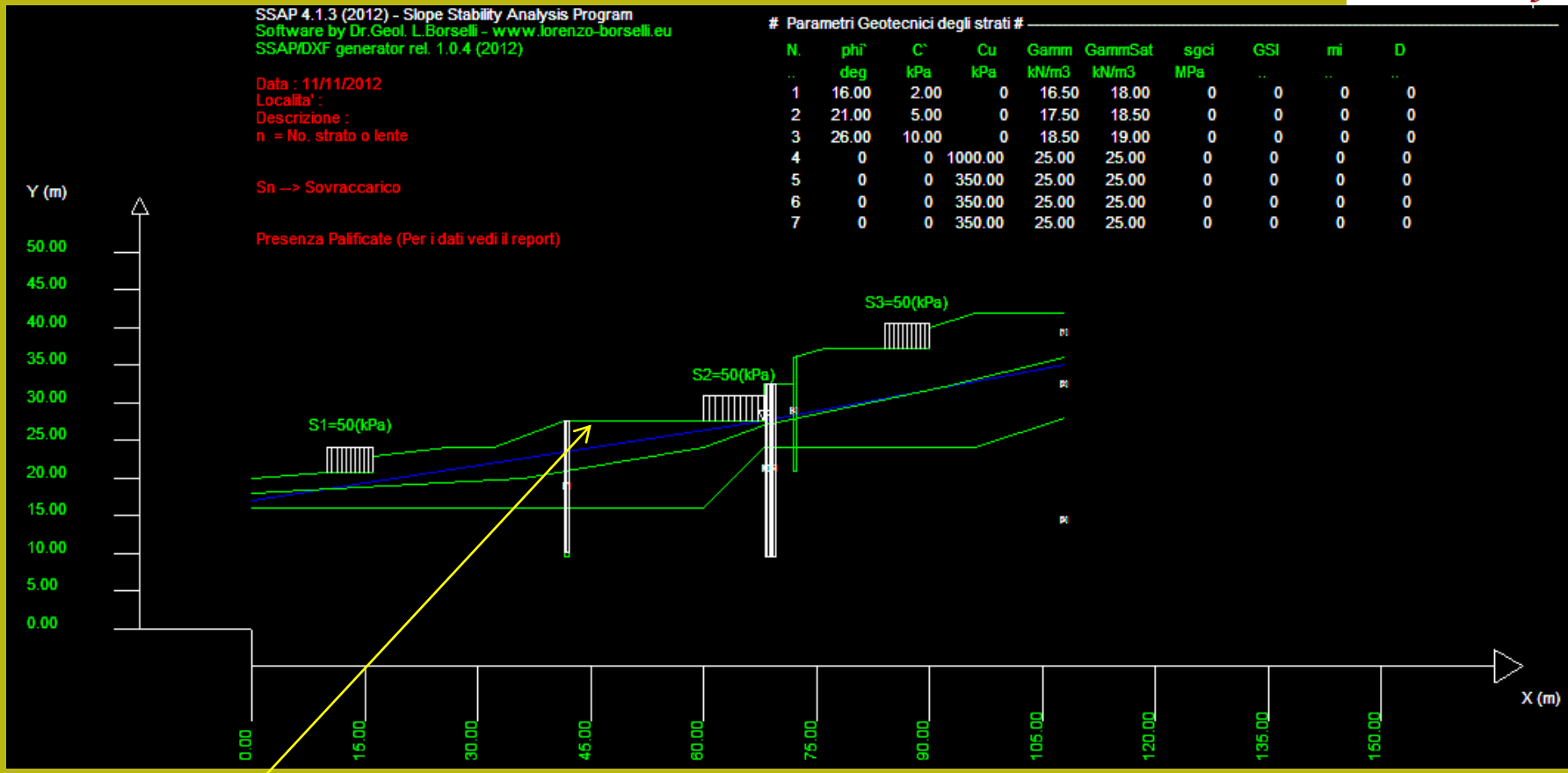


2D color map with distribution of average local FOS obtained by local stress distribution (Borselli, 2012).

Nueva con la version 4.2.0 y en adelante

Aplicación en Italia :

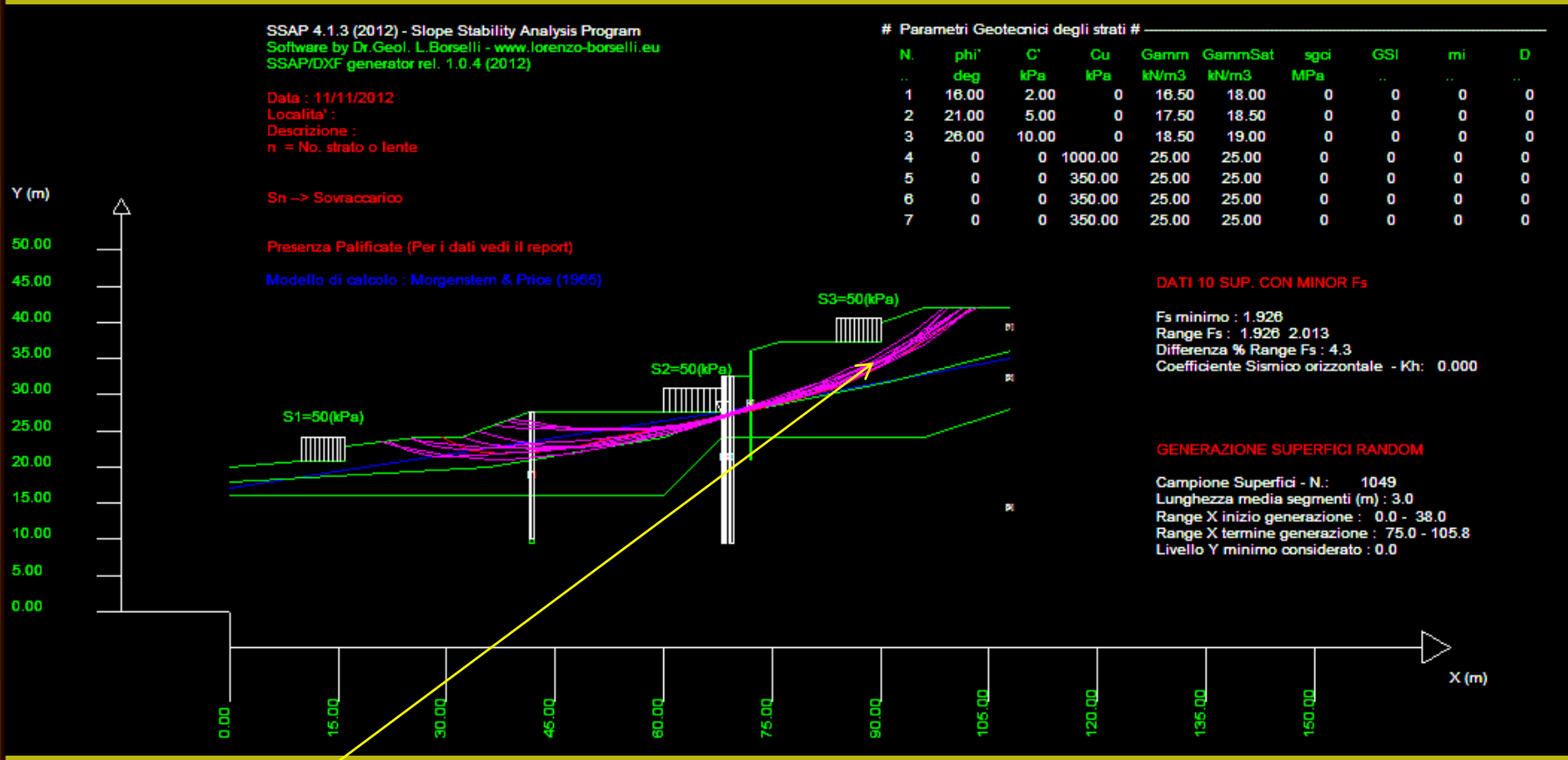
Talud con sobrecarga de edificios y 3 líneas de palos de contención arriba tres niveles de arcillitas (olistostroma eocene) con diferente niveles de alteración ..



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 :

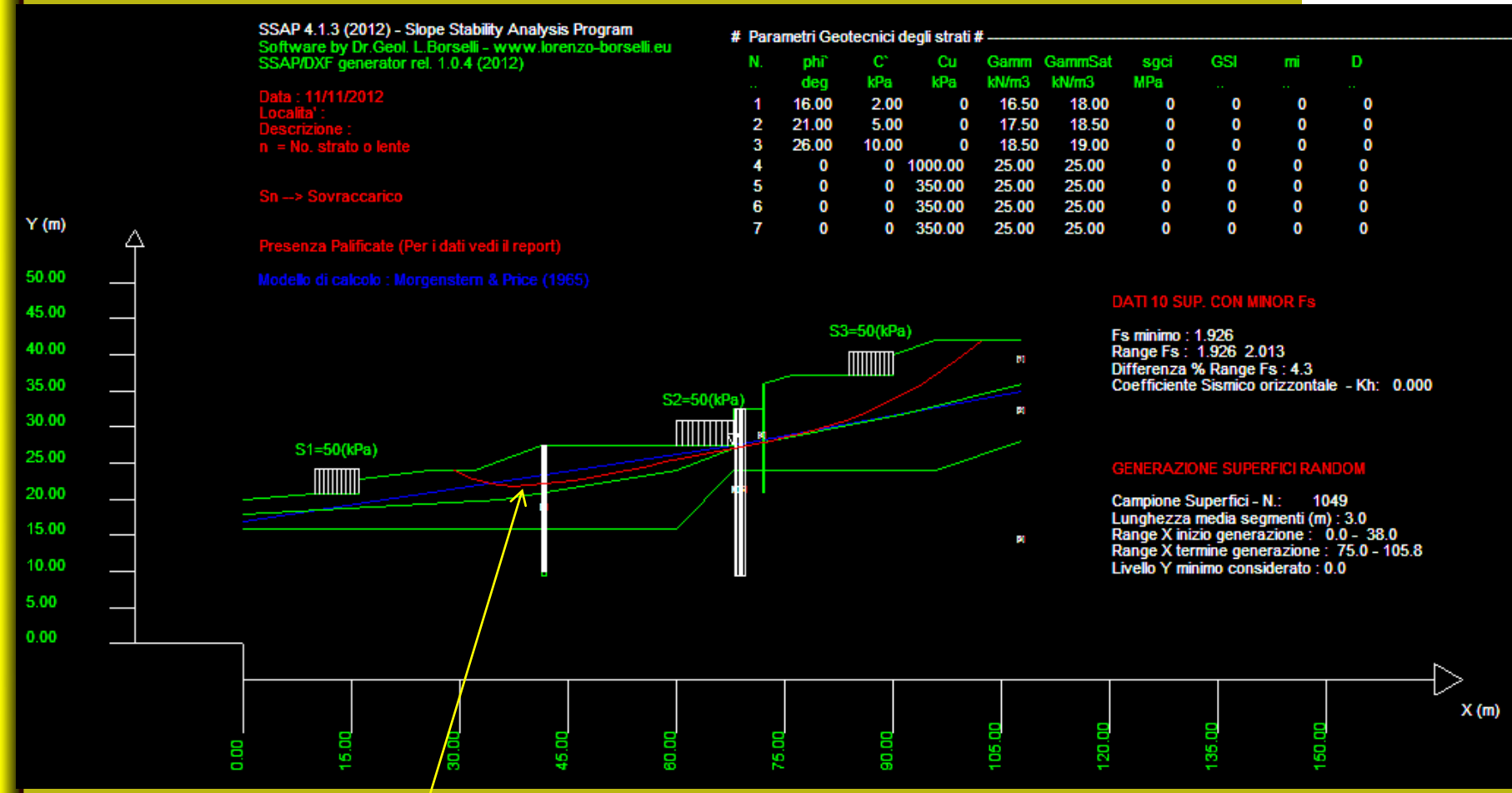
Talud con sobrecarga de edificios y 3 líneas de palos de contención arriba tres niveles de arcillitas (olistostroma eocene) con diferente niveles de alteración ..



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 ..



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

Draft

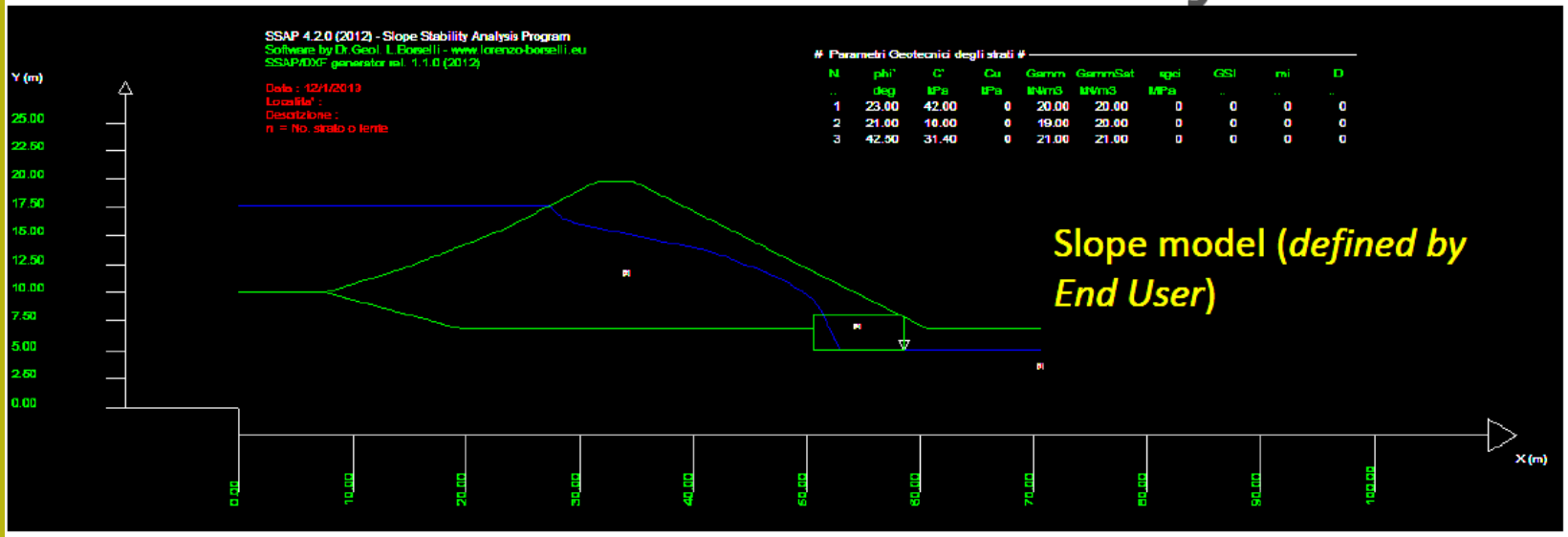
This example is related to a stability check requested by a SSAP User on a Earth dam of a small reservoir.

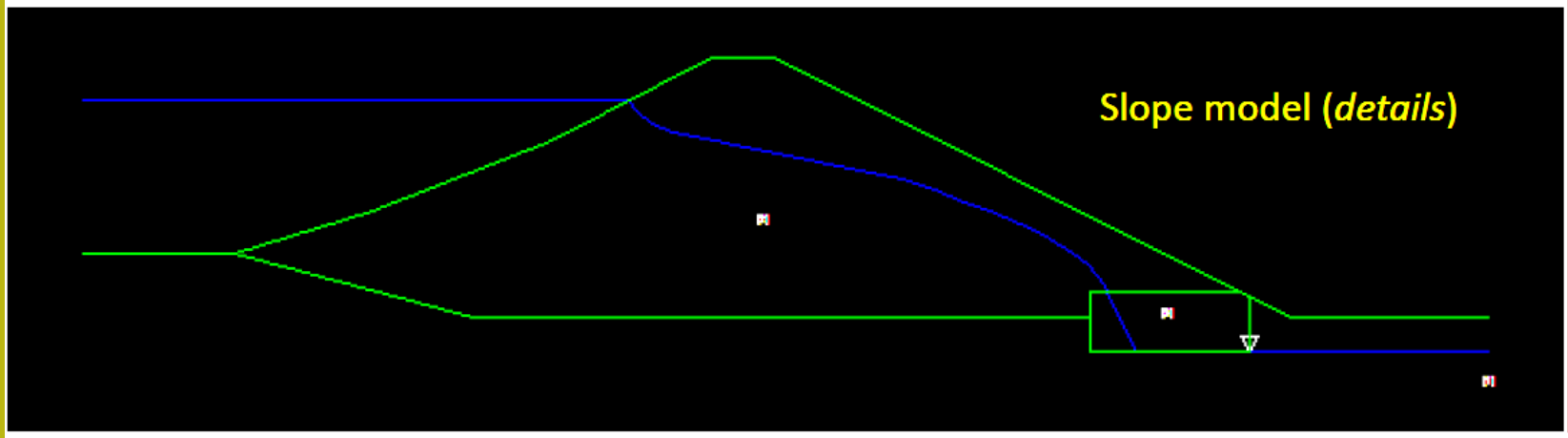
Reservoir (anti.mod) verified by L Borselli (2012)

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

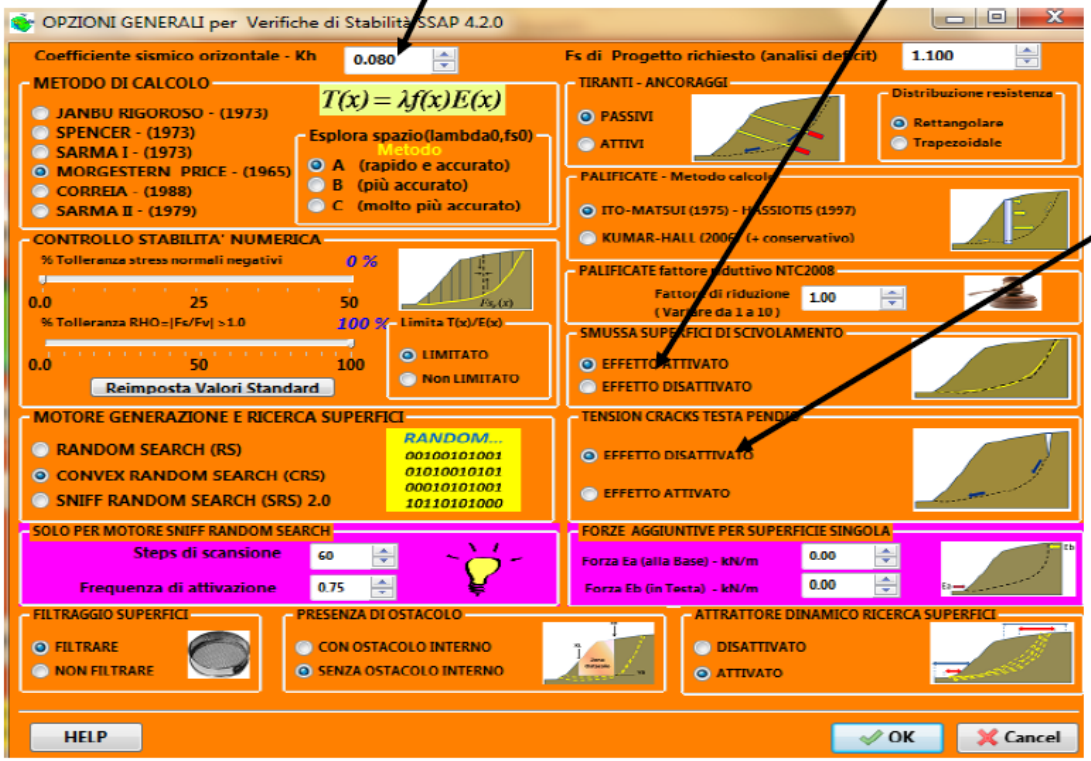
Options activated before global slope stability verification run.

Activated options in SSSAP 4.2.0

Horizontal seismic coefficient

Sliding surfaces smoothing

Tension crack Effect: deactivated (*optional*)



EXAMPLES: Earth dam stability check

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 Kh=0.08, Kv=0.04

EXAMPLES: Earth dam stability check

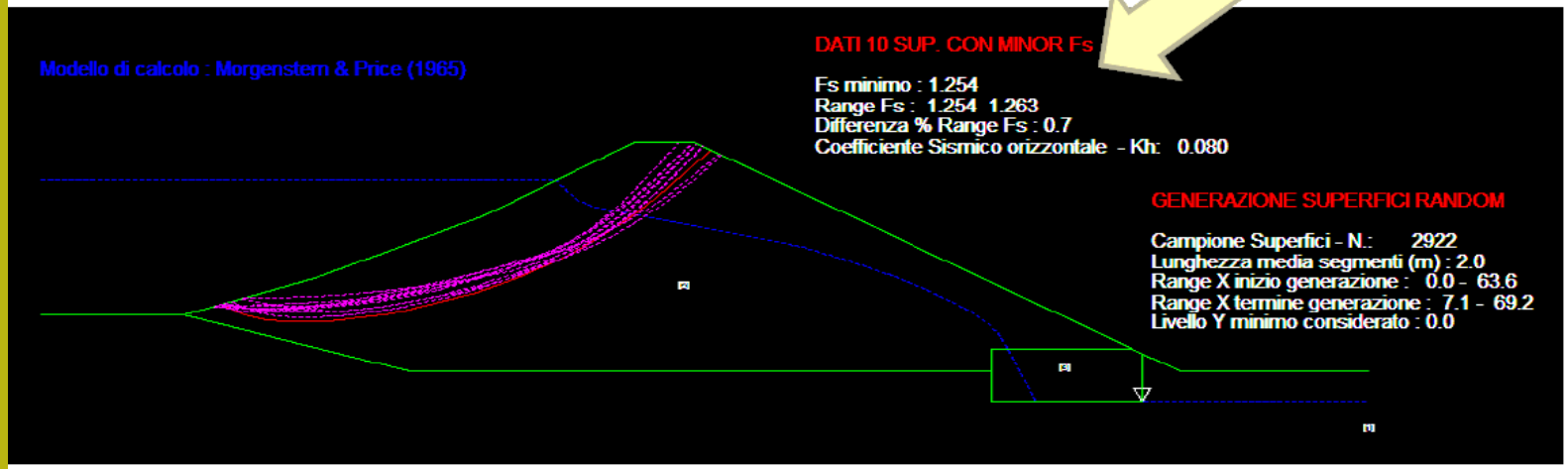
Draft

Results of scenario analysis

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

Fs = 1.254

Kh=0.08



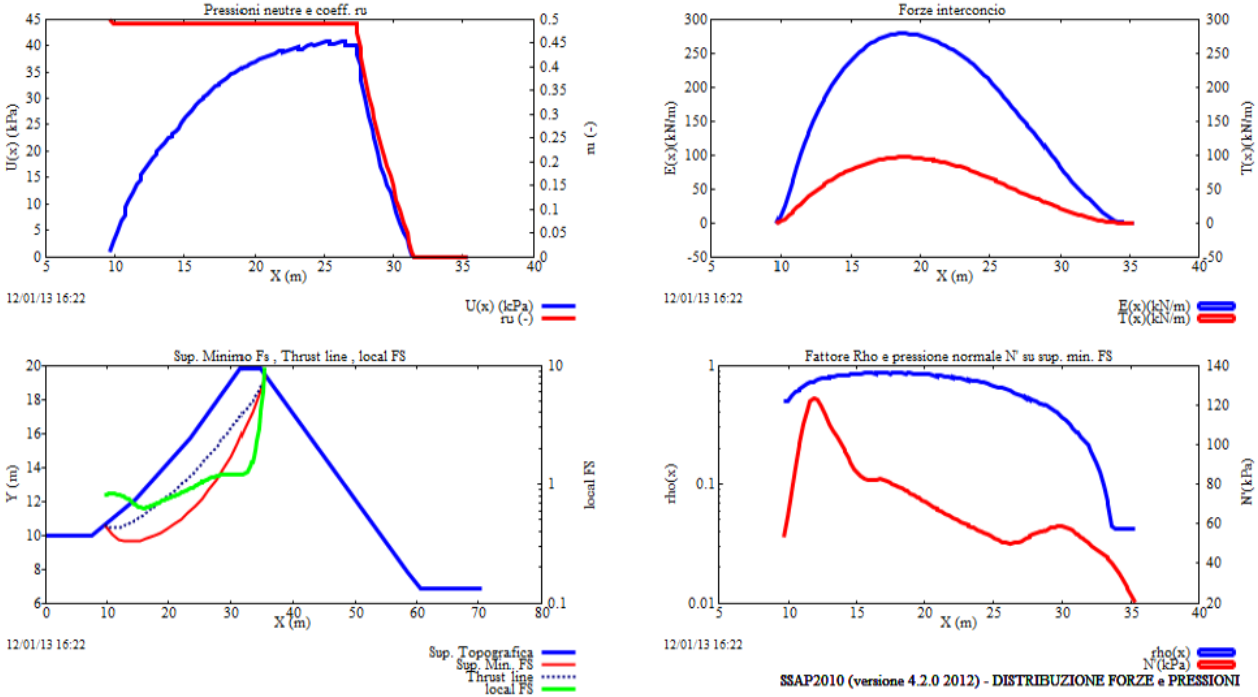
http://www.lorenzo-borselli.eu

EXAMPLES: Earth dam stability check

Draft

Results of scenario analysis

Forces and pressure diagrams related to the most critical sliding surface



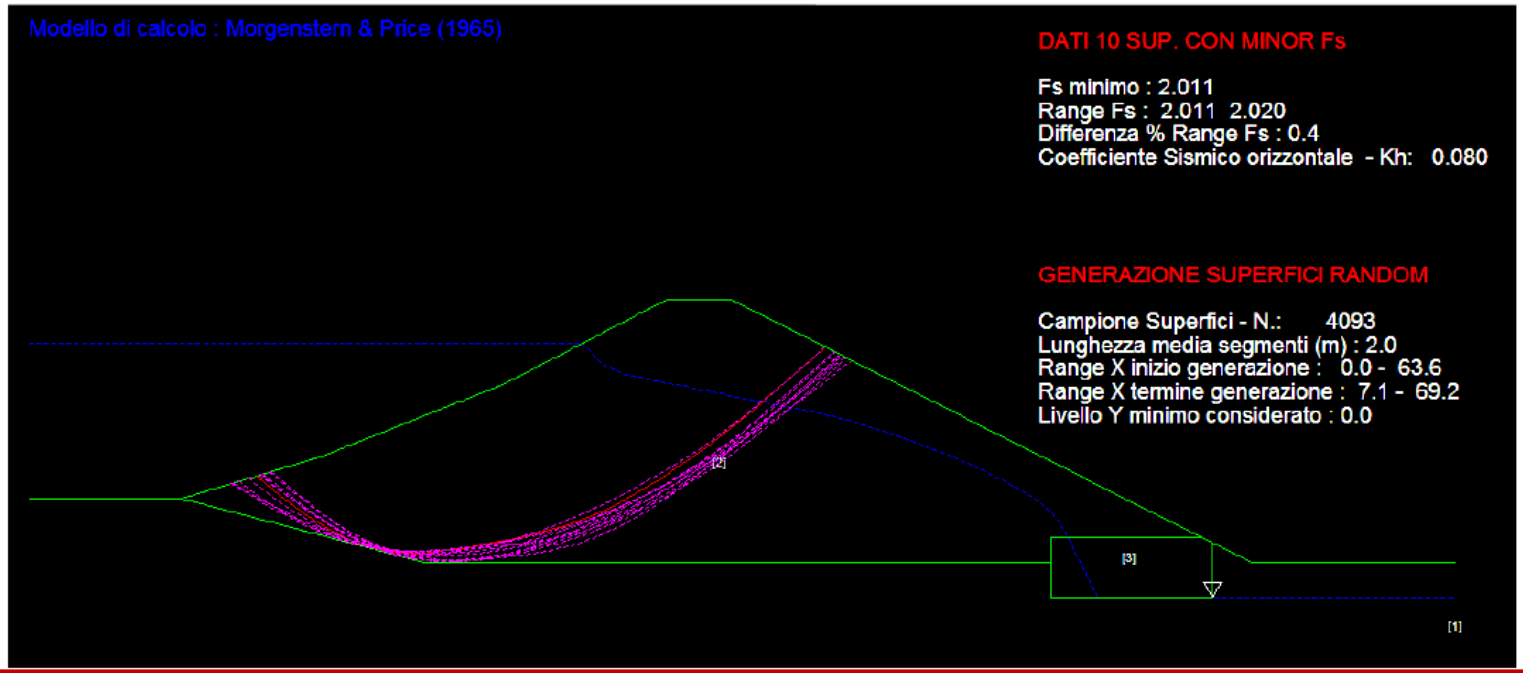
http://www.lorenzo-borselli.eu

EXAMPLES: Earth dam stability check

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)

Fs = 2.011 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`	C`	Cu	Gamm	GammSat
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3
1	23.00	42.00	0	20.00	20.00
2	21.00	10.00	0	19.00	20.00
3	42.50	31.40	0	21.00	21.00

Short terms Undrained cond. Under rapid drawdown FS=2.0

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi`	C`	Cu	Gamm	GammSat
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3
1	0	0	221.00	20.00	20.00
2	0	0	65.00	19.00	20.00
3	0	0	300.00	21.00	21.00

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

http://www.lorenzo-borselli.eu

BACK ANALYSIS OF TEZIUTLAN (PUEBLA, MEXICO) LANSLIDES, OCCURRED DURING THE 4-5TH OCTOBER 1999 EXTREME EVENT *

L.Borselli[1] D.Sarocchi[2]

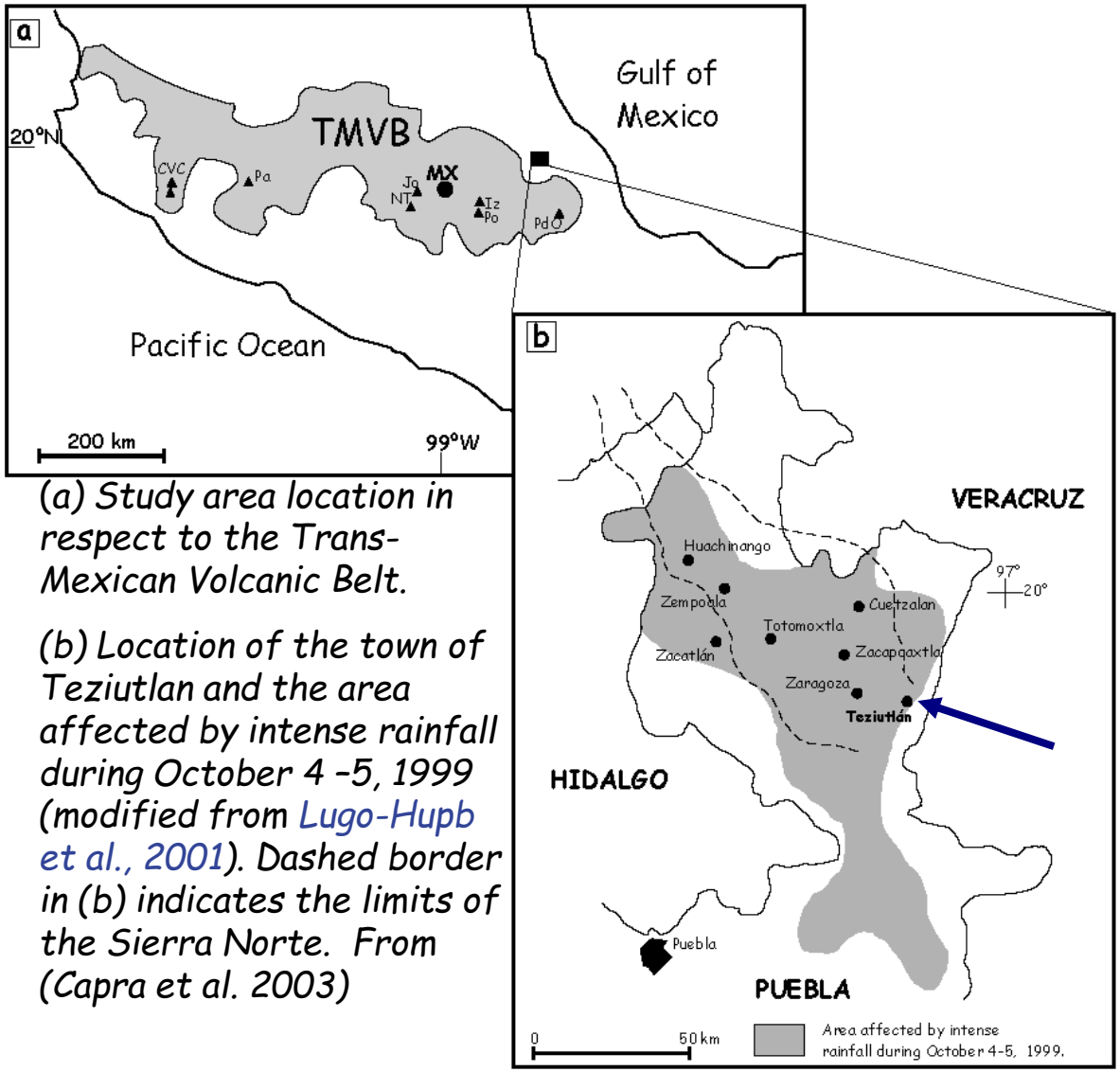
L.Capra[3] J.Lugo Hupb[3]

[1]*Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (CNR-IRPI), Piazzale delle Cascine 15, 50144, Firenze, Italy, borselli@irpi.cnr.it (corresponding author).*
[2]*Instituto de Geofisica, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Circuito Exteriór; Ciudad Universitaria, Mexico City, Mexico.*
[3]*Instituto de Geografia, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Circuito Exteriór; 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*.

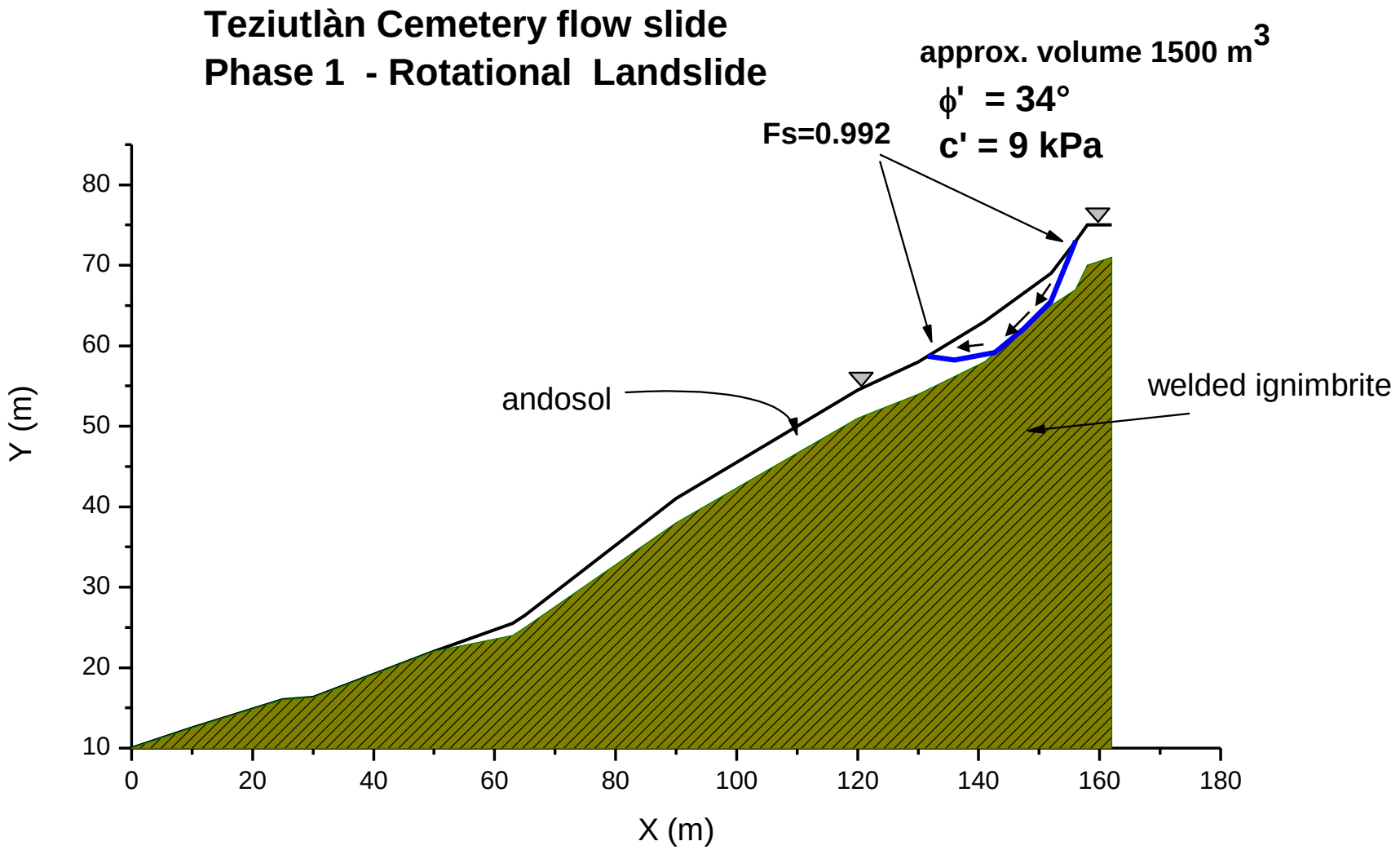
10 A.M. of 5 oct. 1999

Two phases:

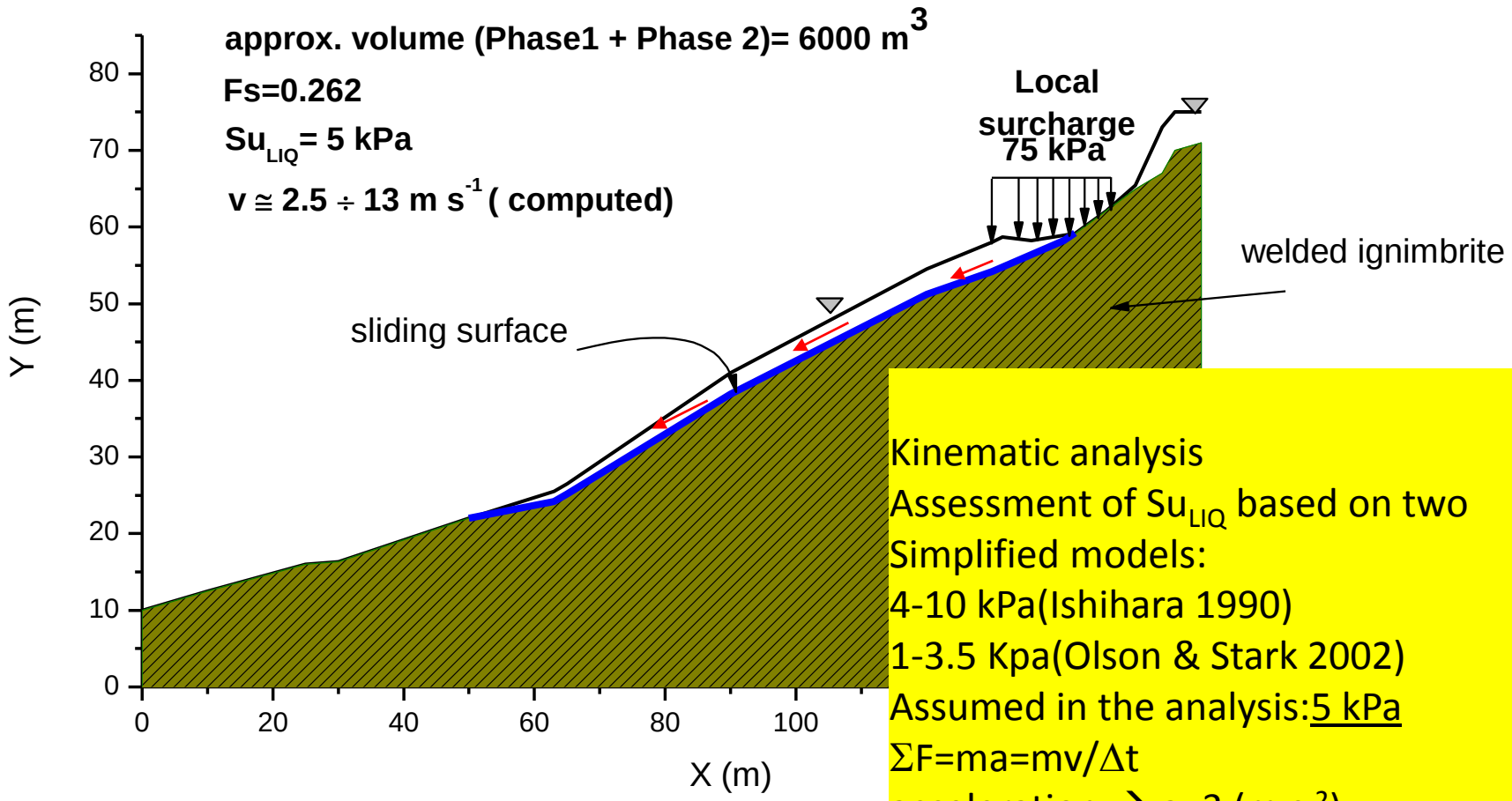
1st: rotational landslide at the top of the slope. Modest soil mass formed by soil and resulting material due to tombs excavation and demolitions works in the cemetery (old tombs).

The landslide accumulate temporarily along the slope and surcharge it.

2nd : 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.


Teziutlàn Cemetery flow slide
Phase 1 - Rotational Landslide
approx. volume 1500 m3
ϕ' = 34°
c' = 9 kPa
Fs=0.992
andosol
welded ignimbrite
Y (m)
X (m)
10
20
30
40
50
60
70
80
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180

Teziutlàn Cemetery flow slide
Phase 2 - FLOW SLIDE



Kinematic analysis
Assessment of Su_{LIQ} 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 → $a=3\ (m\ s^{-2})$

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. ”

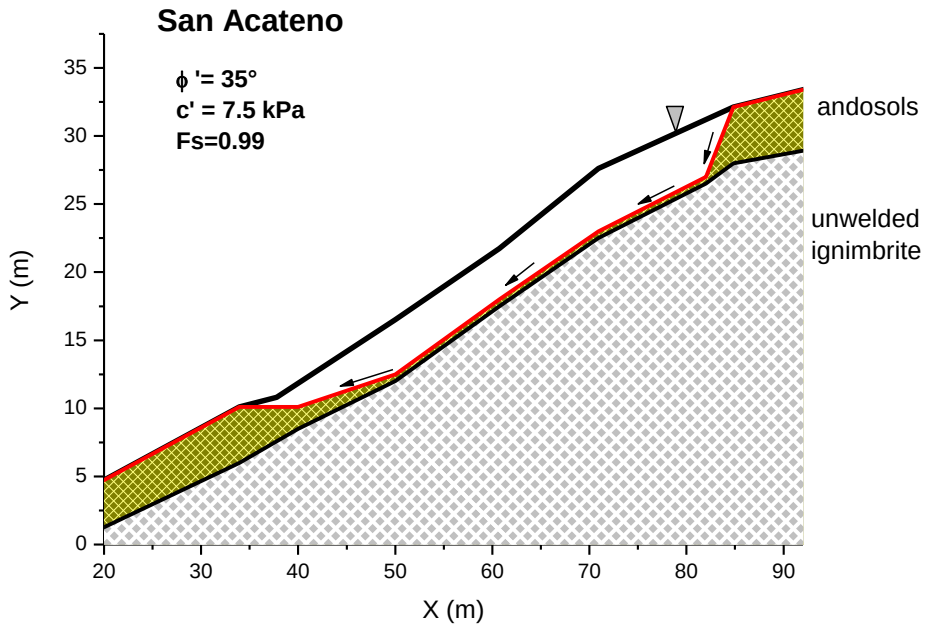
Flores, P. y Alcántara Ayala, I. (2002) Cartografía morfogenética e identificación de procesos de ladera en Teziutlán, Puebla. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM, 49: 7-26.

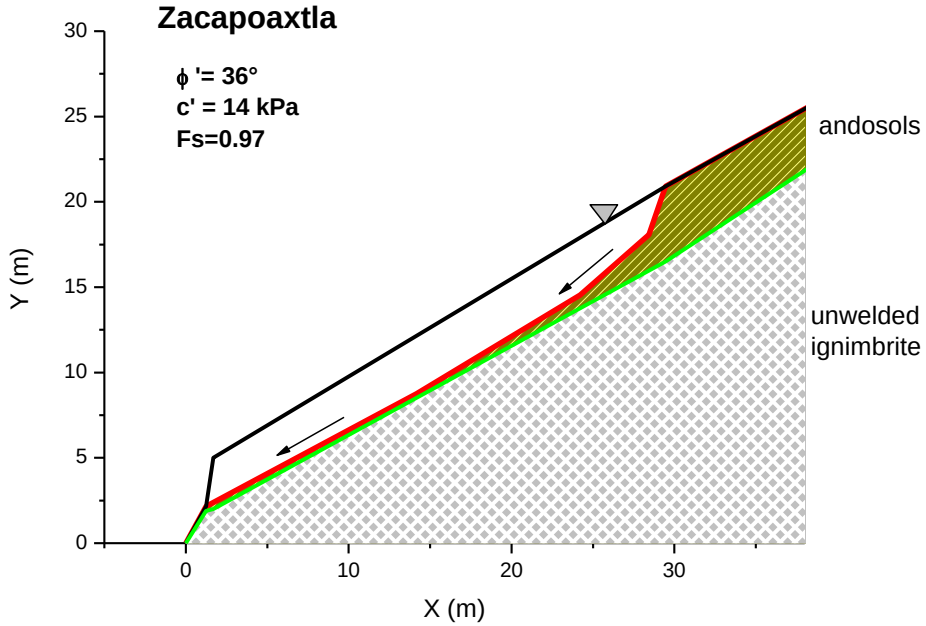
LANDSLIDES MAPPING AND CLASSIFICATION :

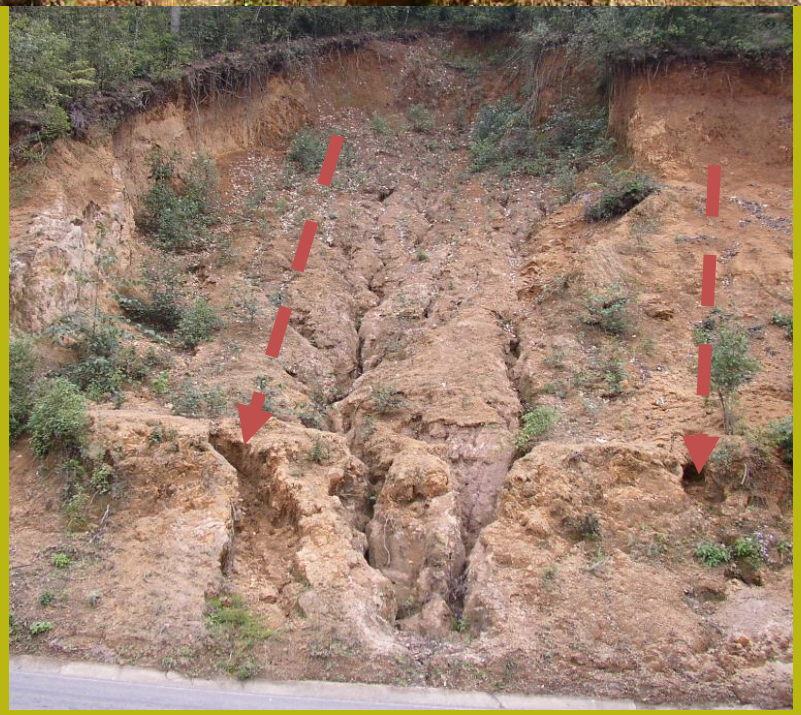
Based on more than 3000 landslides in the Sierra Norte de Puebla

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
ϕ '= 35°
c' = 7.5 kPa
Fs=0.99
andosols
unwelded
ignimbrite
Y (m)
X (m)
0
5
10
15
20
25
30
35
20
30
40
50
60
70
80
90


Zacapoaxtla
ϕ '= 36°
c' = 14 kPa
Fs=0.97
andosols
unwelded
ignimbrite
Y (m)
X (m)
0
5
10
15
20
25
30
0
10
20
30



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

γ_{sat} (kN/m^3)	ϕ'	c' (kPa)
16-17	36°-38°	4-11

Type 2

γ_{sat} (kN/m^3)	ϕ'	c' (kPa)
18-19	34°-36°	7.5-14

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

γ_{sat} (kN/m^3)	Su_{LIQ} (kPa)
18	3-5

Journal of Volcanology and Geothermal Research 208 (2011) 51–65

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Journal of Volcanology and Geothermal Research

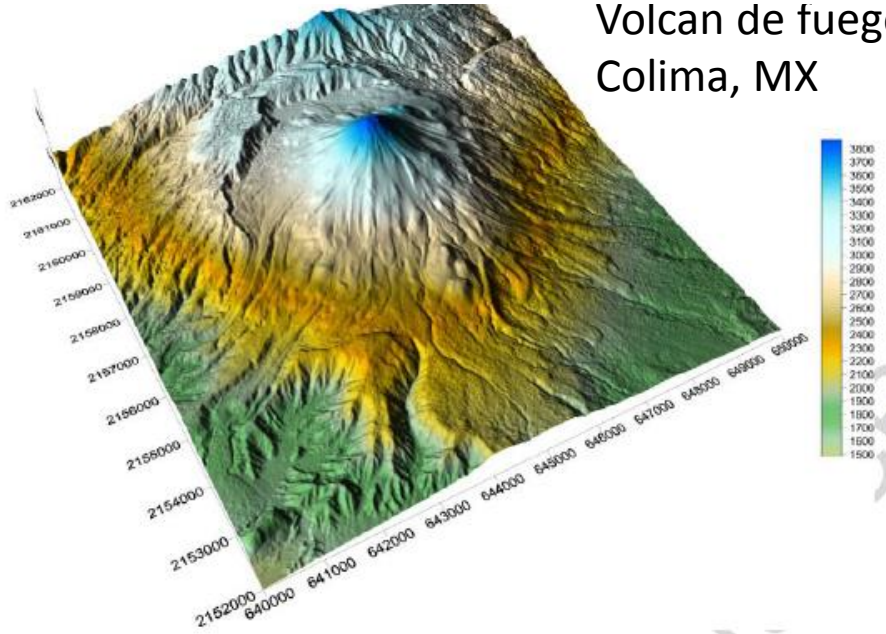
journal homepage: www.elsevier.com/locate/jvolgeores

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

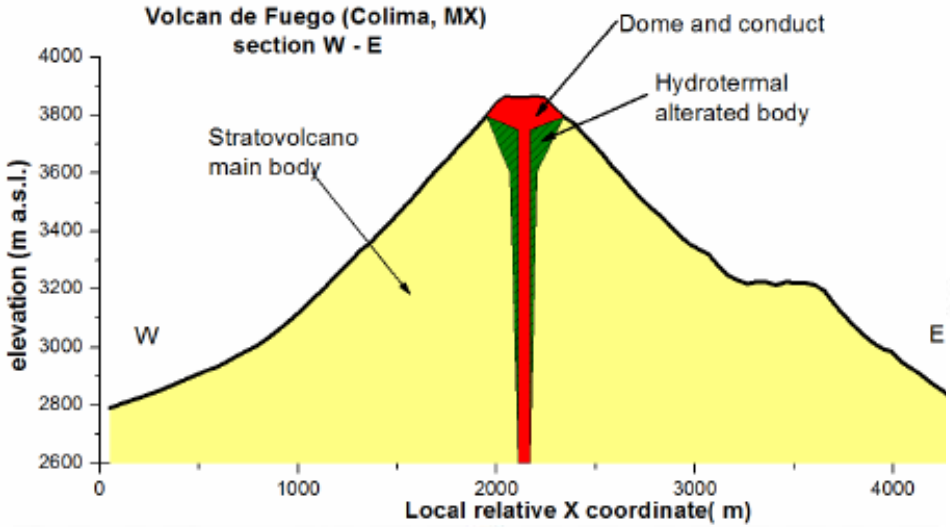
Lorenzo Borselli [a,*], Lucia Capra [b], Damiano Sarocchi [a], Servando De la Cruz-Reyna [c]

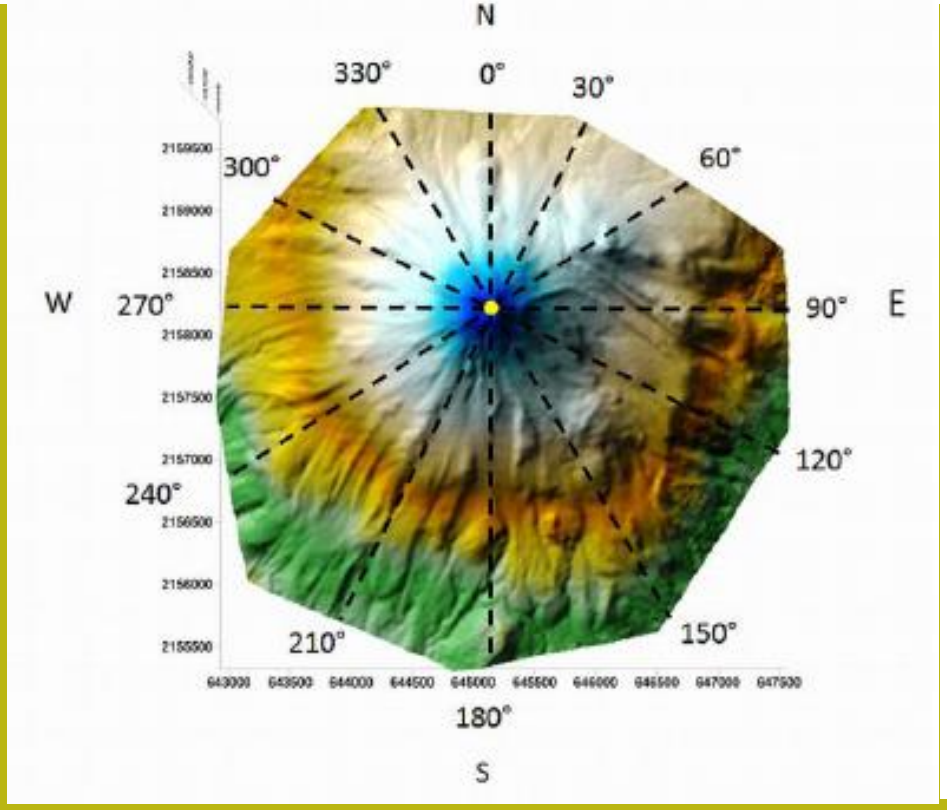
[a] Instituto de Geologia/ Fac. de Ingeniería - Universidad Autónoma de San Luis Potosí–UASLP, Av. Dr. Manuel Nava 5, C.P. 78240 San Luis Potosí, Mexico
[b] Centro de Geociencias, UNAM, Campus Juriquilla, 76230 Queretaro, Mexico
[c] Departamento de Vulcanología, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán 04510, D.F., Mexico

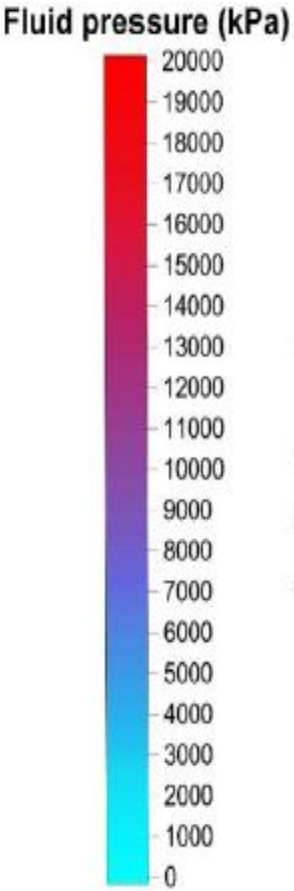
Aplicación de SSAP 2010
En estudio de estabilidad
de los sectores del Volcan de fuego
Colima (2011)

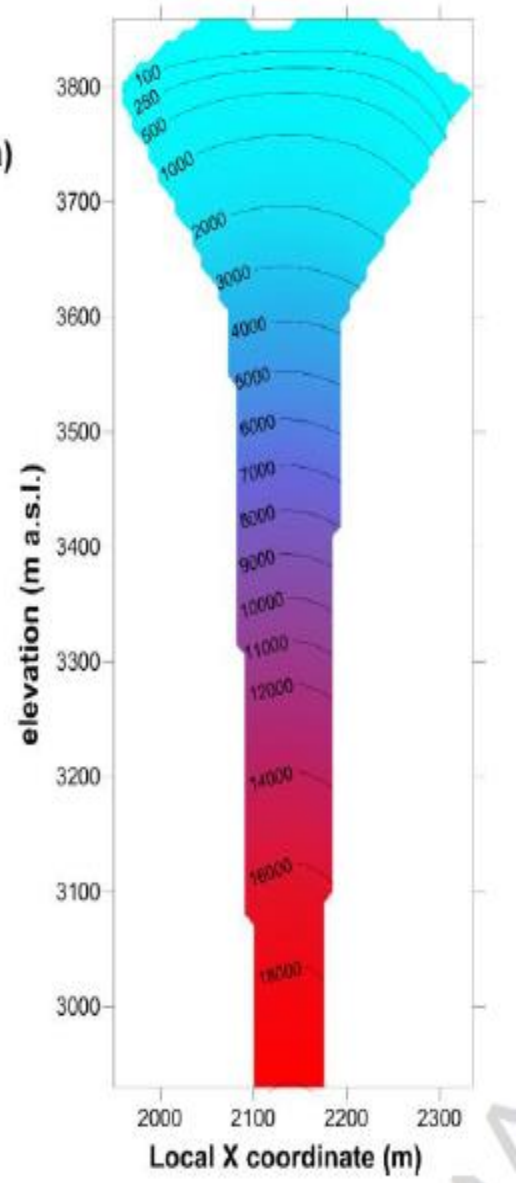


Volcan de fuego
Colima, MX

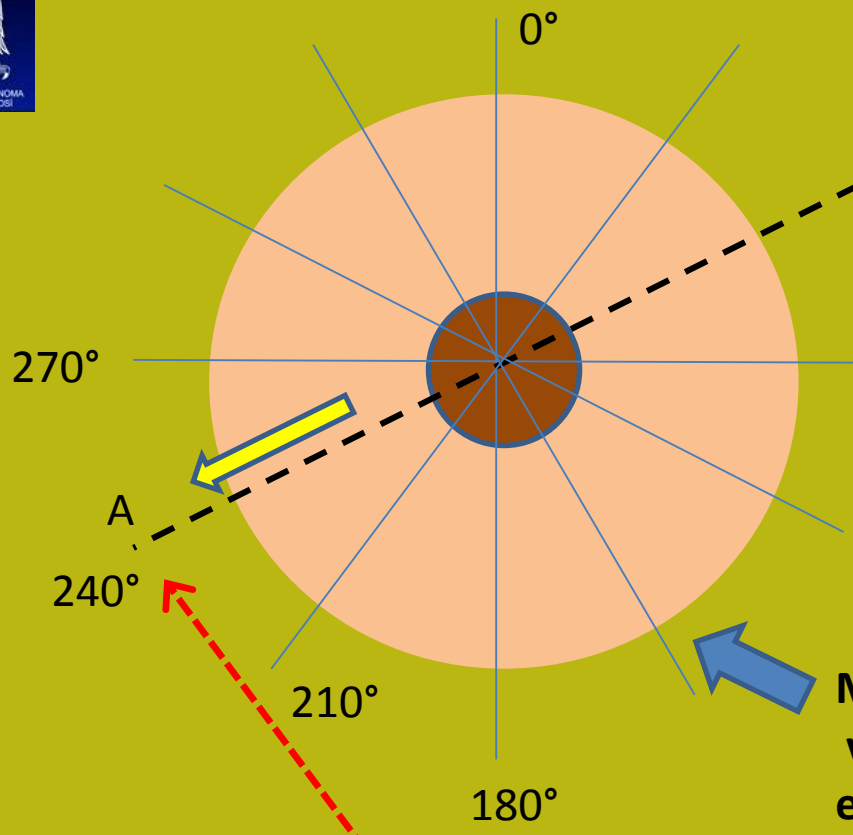

Volcan de Fuego (Colima, MX)
section W - E
Dome and conduct
Hydrotermal
alterated body
Stratovolcano
main body
W
E
elevation (m a.s.l.)
4000
3800
3600
3400
3200
3000
2800
2600
0
1000
2000
3000
4000
Local relative X coordinate(m)


N
330°
0°
30°
300°
60°
W
270°
90°
E
120°
240°
210°
150°
180°
S


Fluid pressure (kPa)
20000
19000
18000
17000
16000
15000
14000
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0


elevation (m a.s.l.)
3800
3700
3600
3500
3400
3300
3200
3100
3000
2000
2100
2200
2300
Local X coordinate (m)

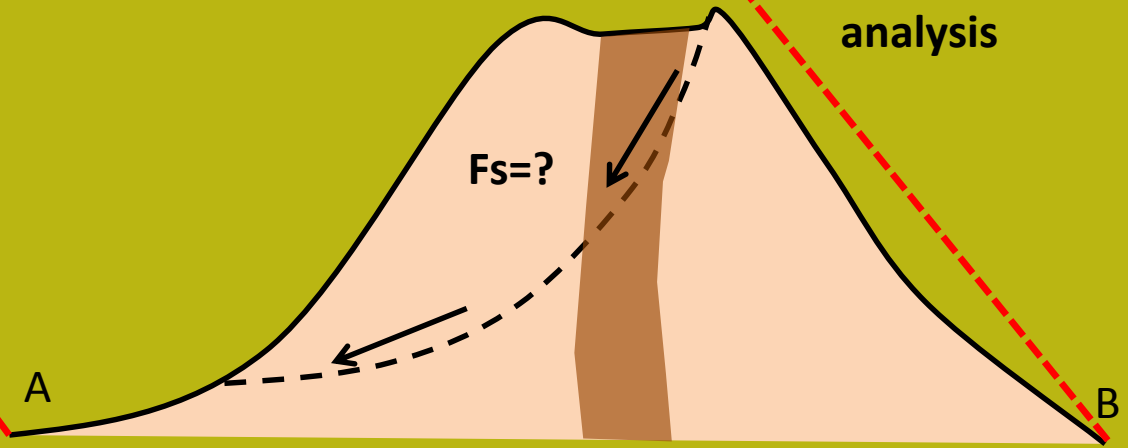
Relative slope stability by advanced limit equilibrium method (ALEM)



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

Multiple sections of volcanic structure each 30° clockwise

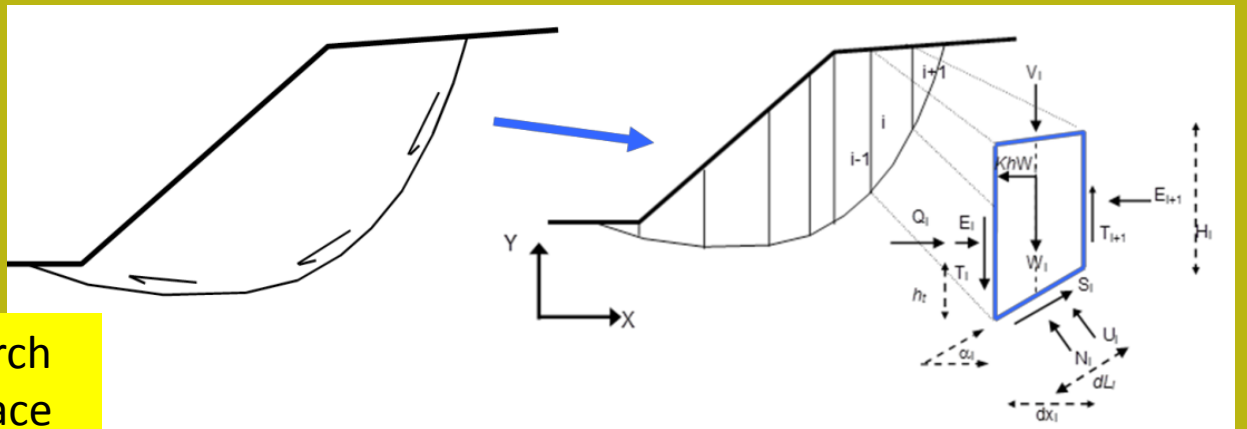
Single section analysis



Factor of stability determination:
Fs <=1.0 unstable
Fs > 1.0 stable
According to standad rigorous LEM

SSAP 4.2.1 software
Completamente
Freeware

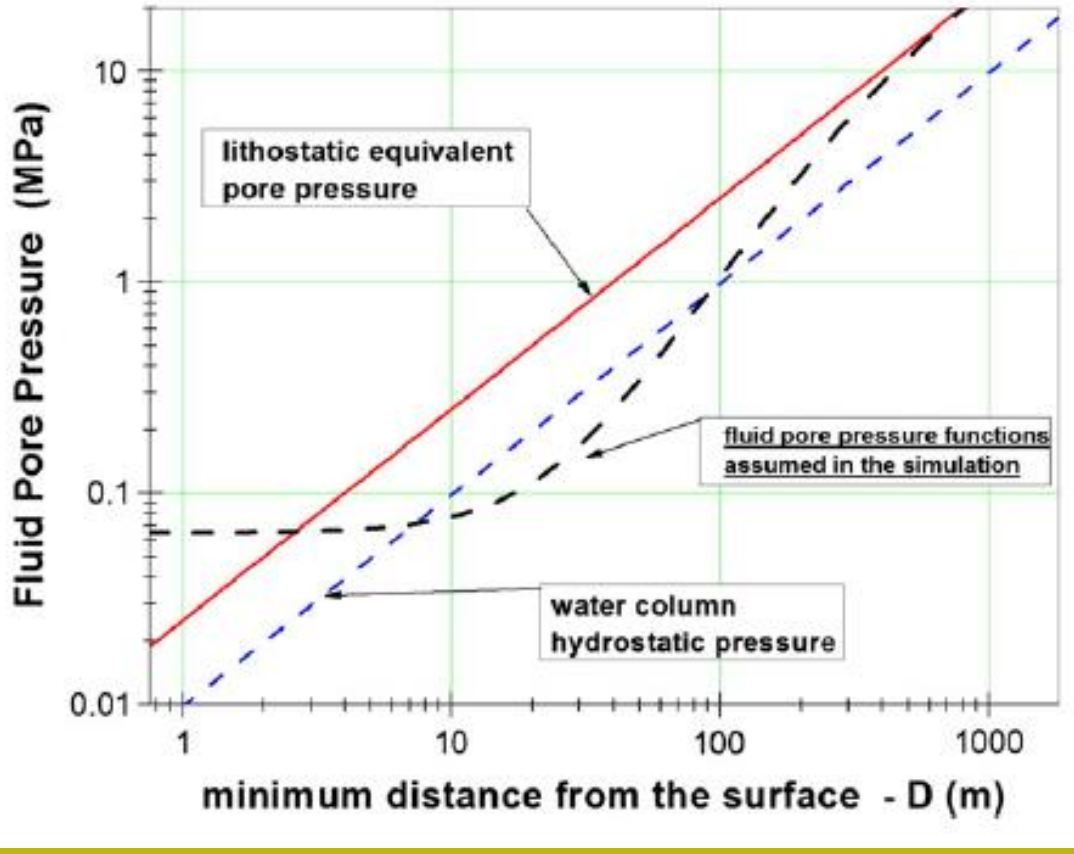
http://www.ssap.eu
(Borselli 1991, 2013)



- 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)

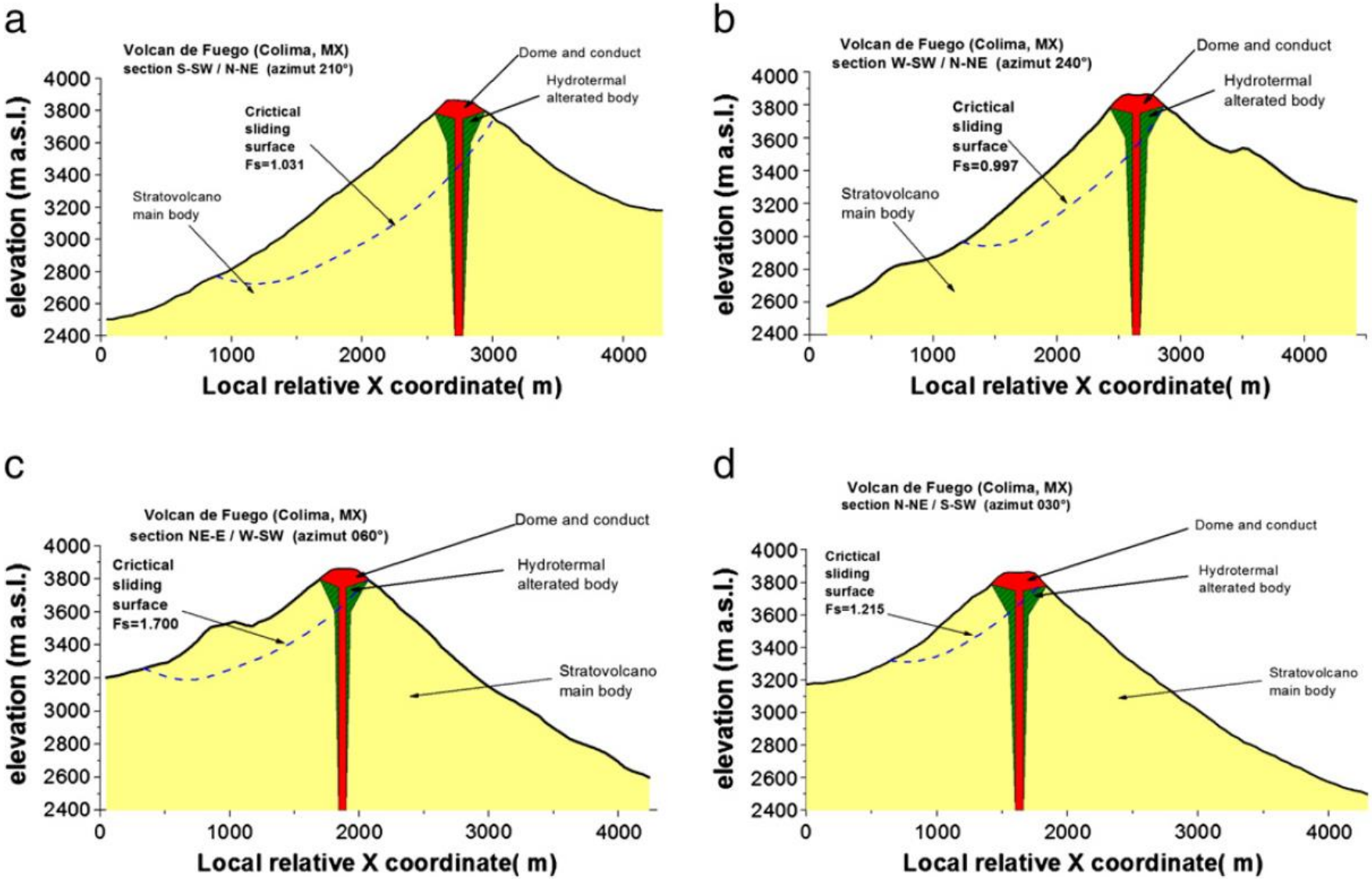
$$\sigma_f = \gamma_w z F_D + U_{0_{MIN}}$$

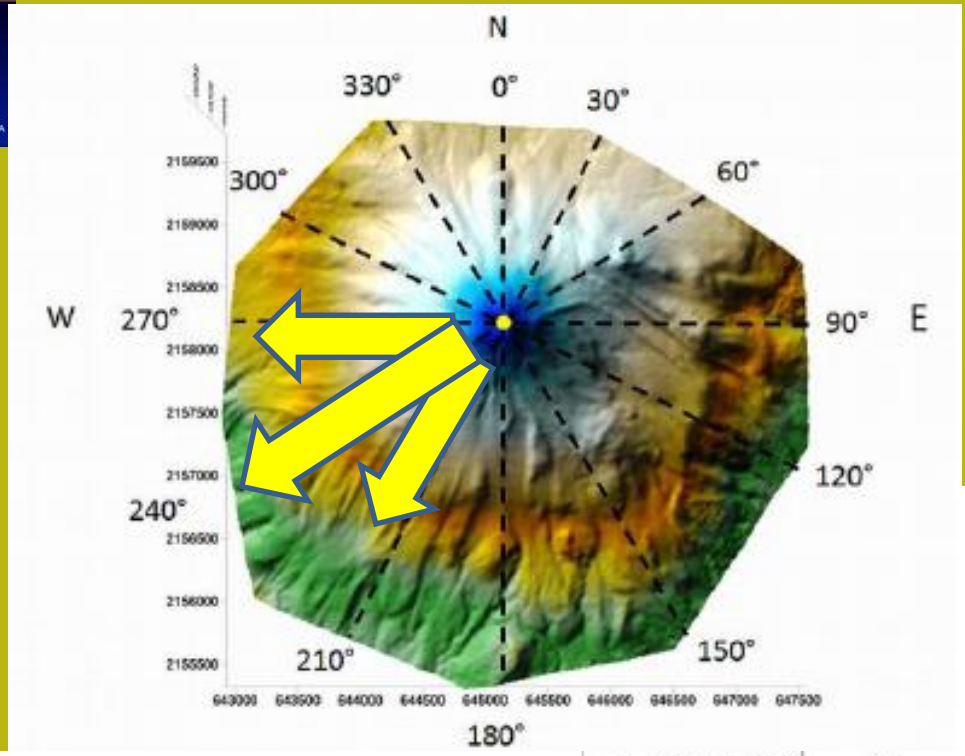
$$F_D = 1 - Ae^{-kD}$$



Volcan de Colima: ensayos de resultados finales con ALEM

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



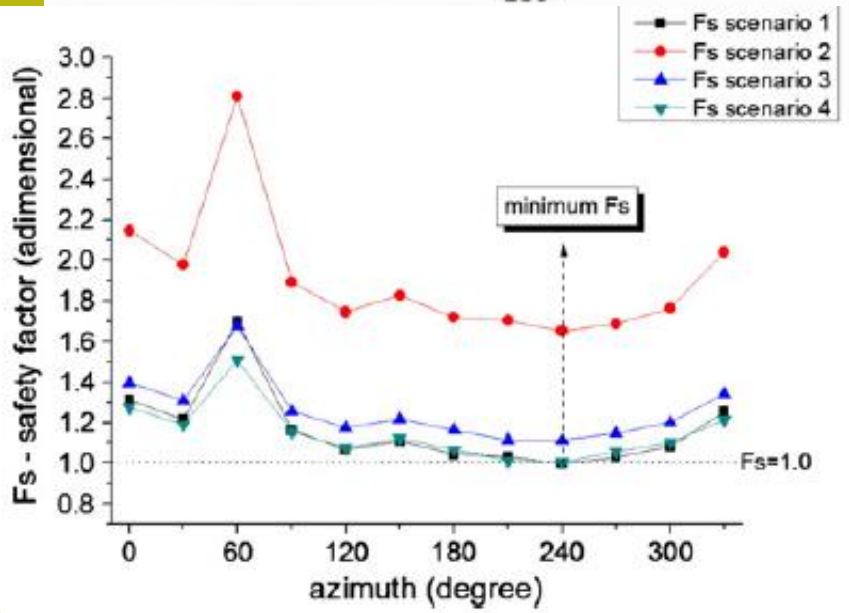


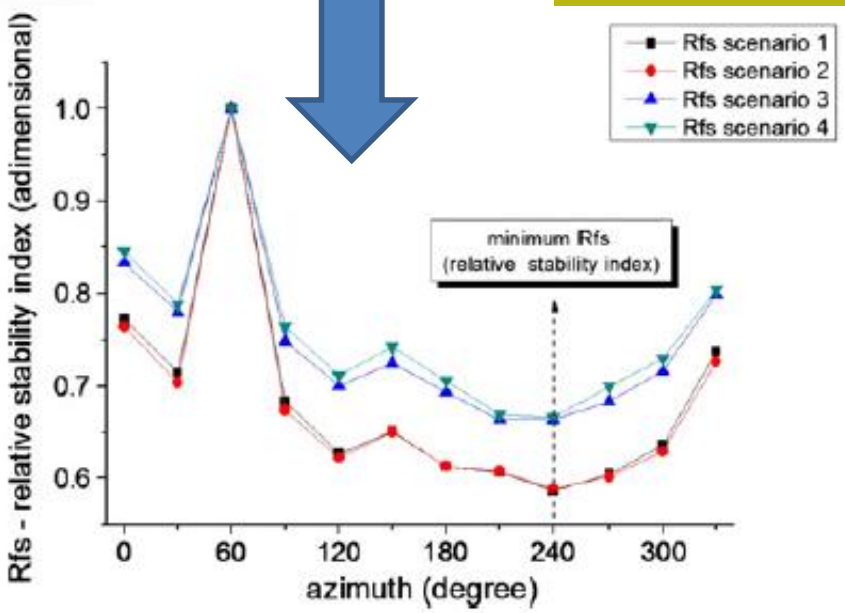
El sector con menor estabilidad relativa es el flanco W-SW (entre 270° y 210° de azimut)

Relative stability index

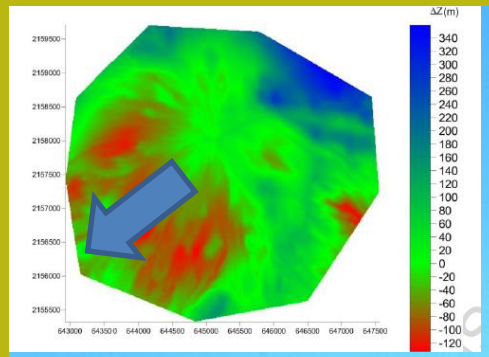
$$R_{fs_i} = \frac{Fs_i}{Fs_{max}}$$

(Borselli et al. 2011)

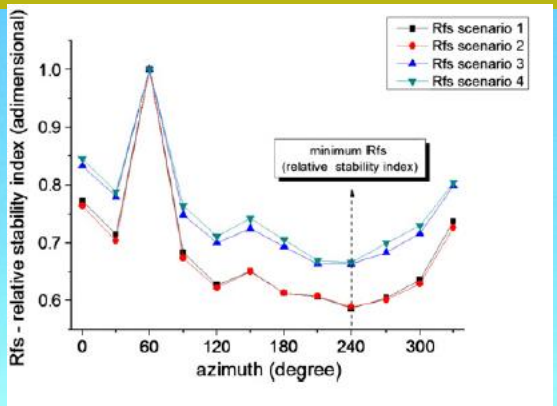


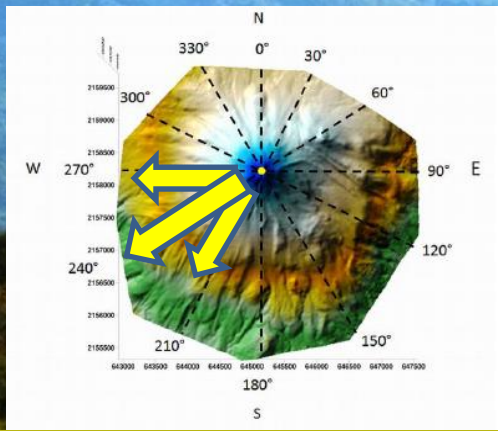


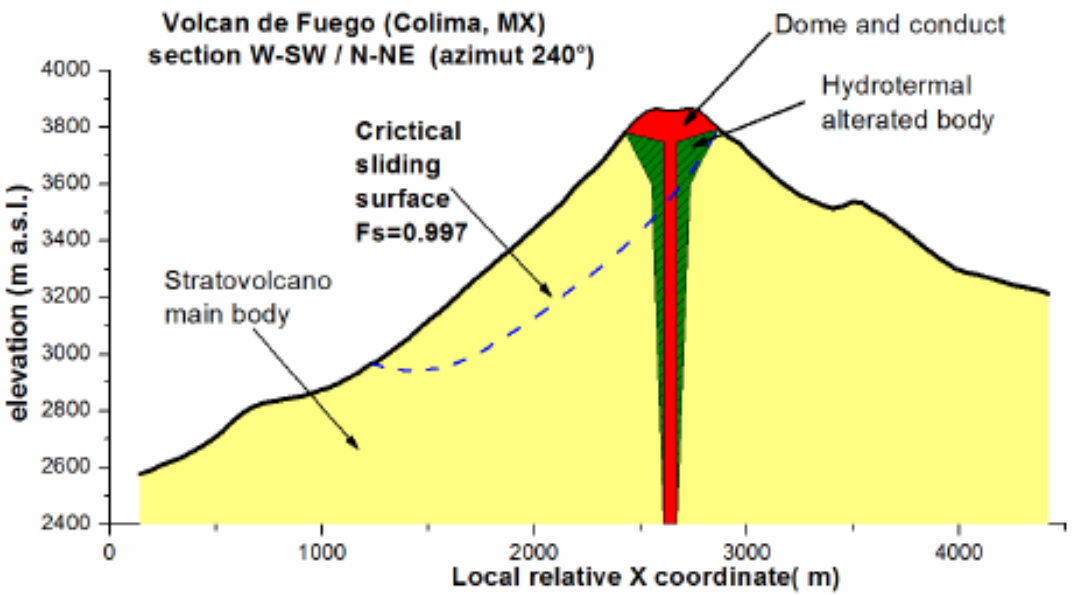
Resultado combinados de ALEM (by SSAP 4.0) and VOLCANOFIT2.0

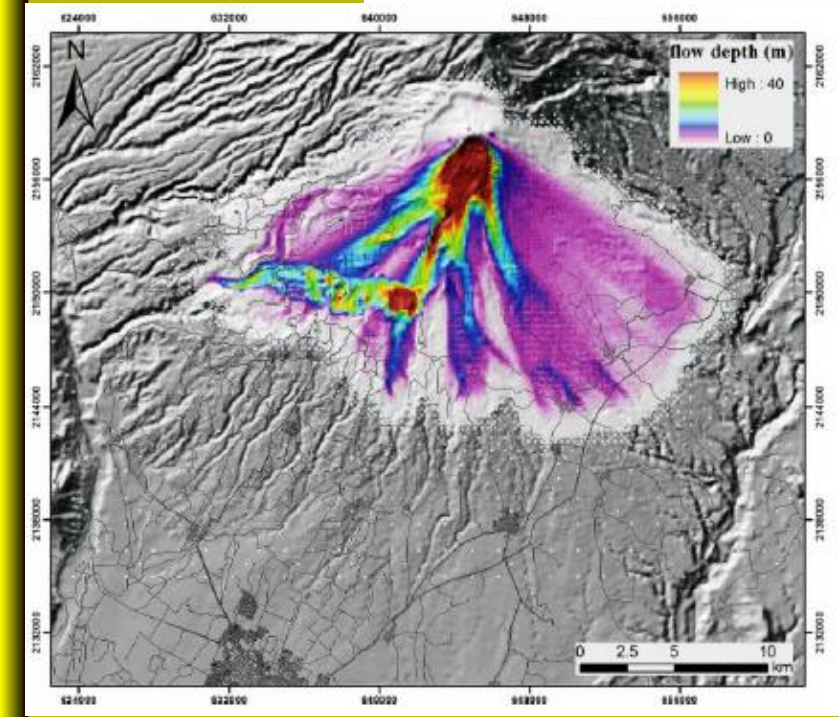


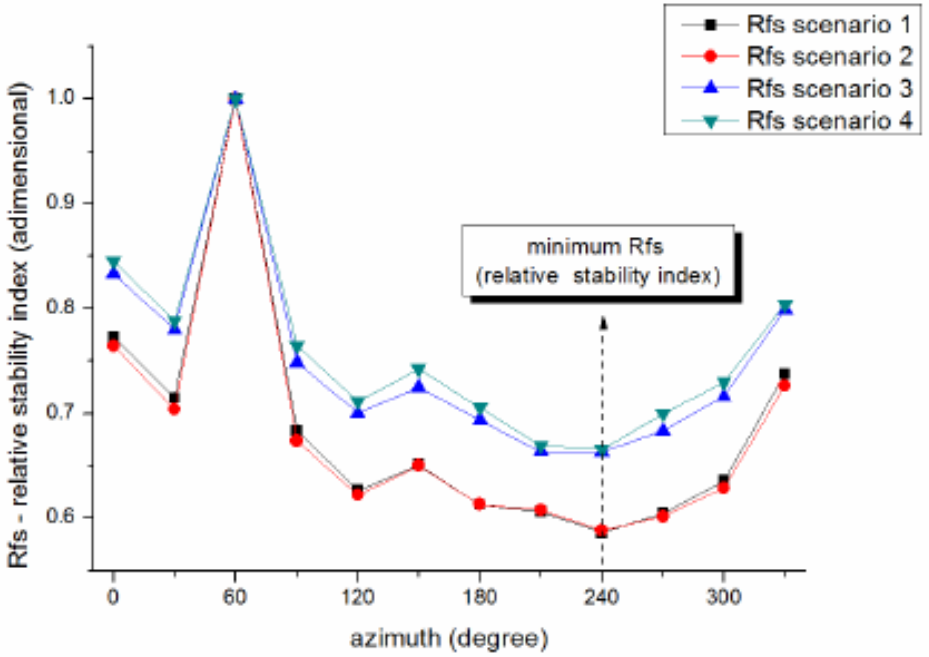
The most potentially unstable Flank: Azimuth 270°-210°






Volcan de Fuego (Colima, MX)
section W-SW / N-NE (azimut 240°)
Dome and conduct
Hydrotermal
alterated body
Crictical
sliding
surface
Fs=0.997
Stratovolcano
main body
elevation (m a.s.l.)
4000
3800
3600
3400
3200
3000
2800
2600
2400
0
1000
2000
3000
4000
Local relative X coordinate(m)


N
flow depth (m)
High : 40
Low : 0
0 2.5 5 10
km


Rfs scenario 1
Rfs scenario 2
Rfs scenario 3
Rfs scenario 4
minimum Rfs
(relative stability index)
Rfs - relative stability index (adimensional)
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0
60
120
180
240
300
azimuth (degree)

Volcanofit 2.0
WWW. VOLCANOFIT.ORG

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

VOLCANOID SURFACE OF REVOLUTION

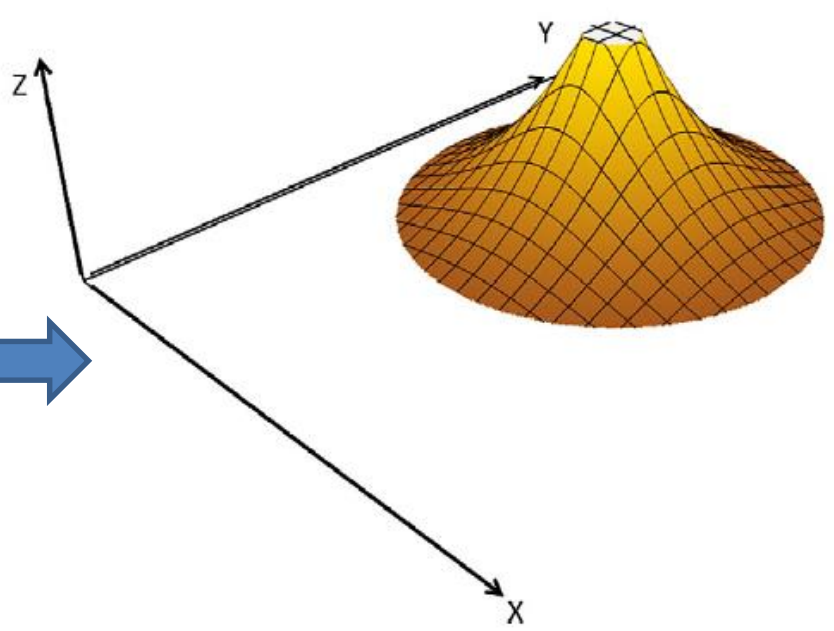


Fig. A.2. Example of volcanoid with constant negative curvature (Eq. (A.5)).

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

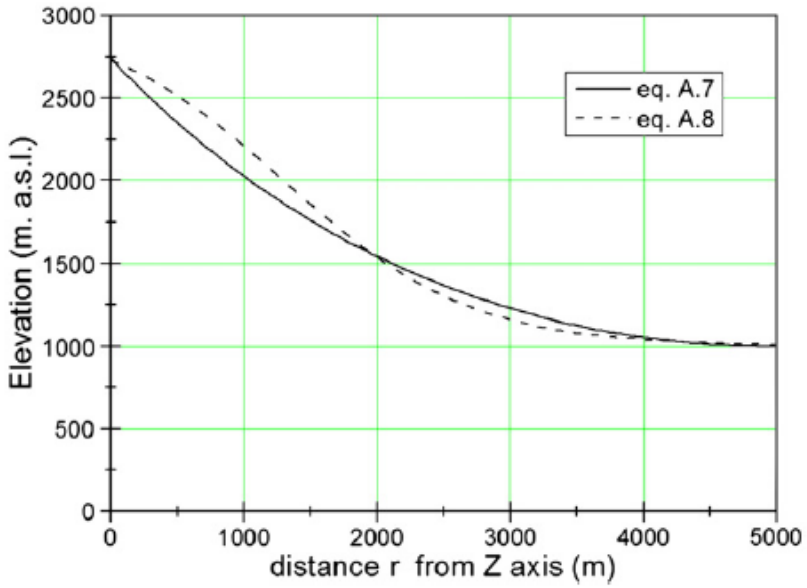
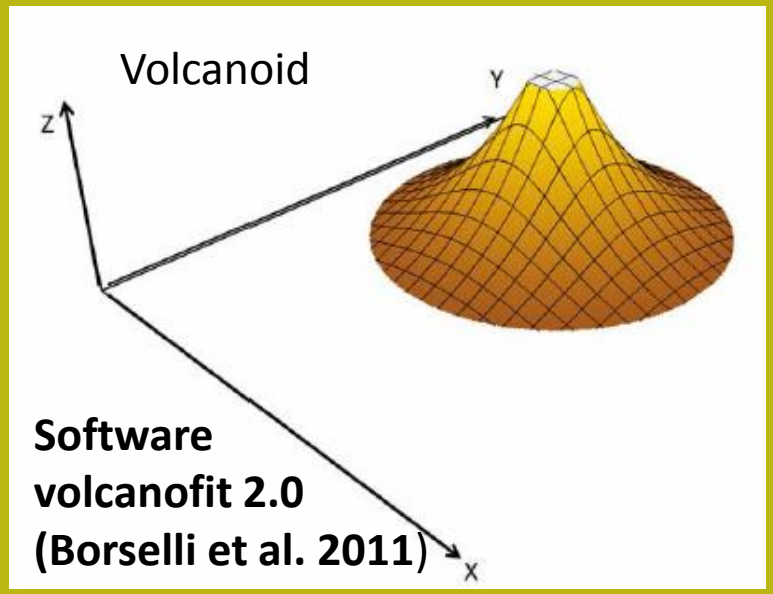
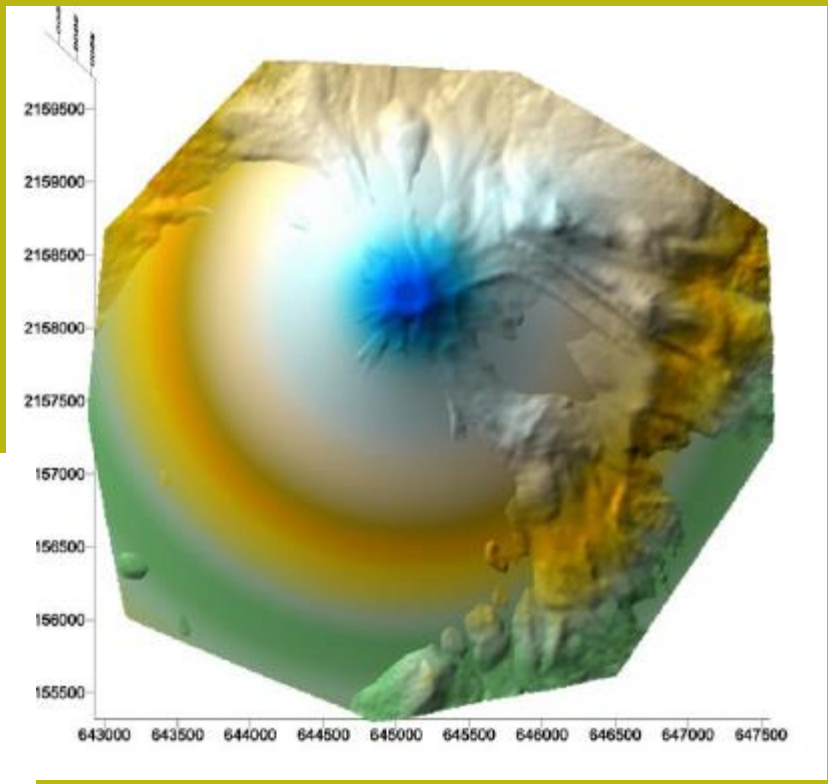


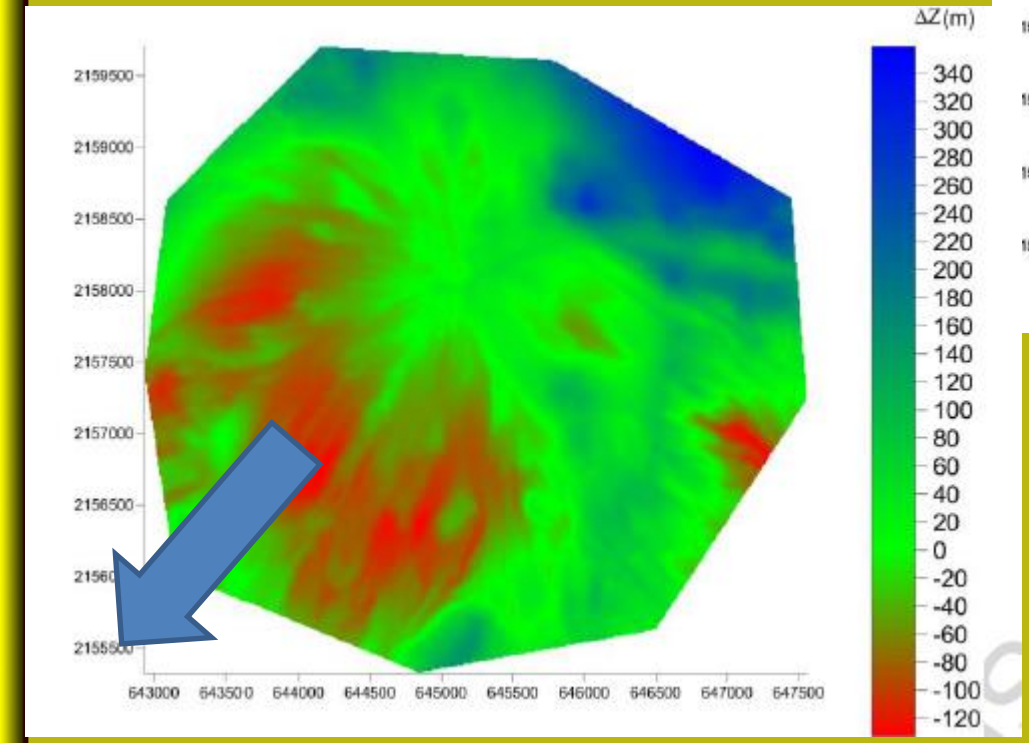
Fig. A.5. Alternative generatrix function of 3D volcanoid.



Software volcanofit 2.0 (Borselli et al. 2011)

overlay de DEM y Volcanoid (obtenido da VOLCANOFIT 2.0) www.volcanofit.org





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

SSAP2010 - Highlights

- Herramienta freeware de uso general que ya tiene un largo uso en Italia en profesionales , estudiantes, investigadores, empresas publicas y privadas. (aproximativamente son 400 downloads por mes)
- 21 anos 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 acuiferos, 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.
- *Se busca quien quiere financiar el proyecto la traducción oficial del Manual (140 paginas de texto) en español y en ingles (aproximativamente son 100,000 MXN)…*

Google Analytics

Vai a questo rapporto

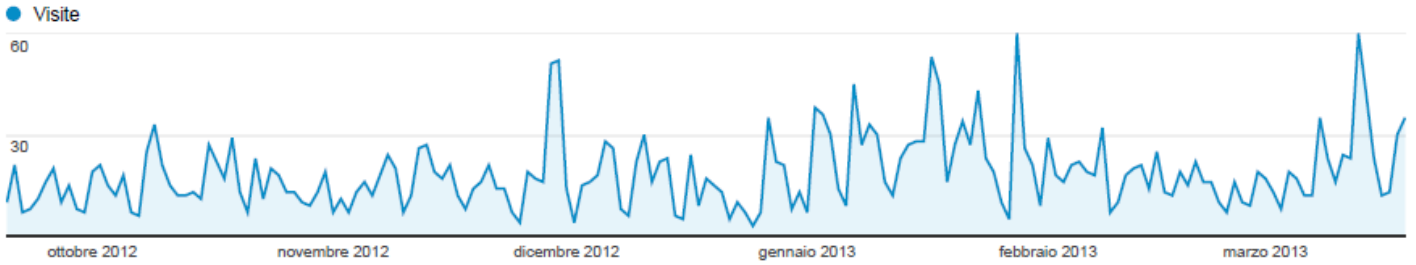
ssap.eu - http://www.ssap.eu
ssap.eu [PREDEFINITO]

Panoramica pubblico

20/set/2012 - 19/mar/2013

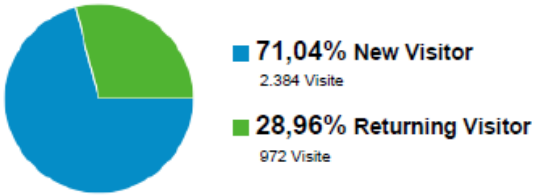
% di visite: 100,00%

Panoramica



2.387 persone hanno visitato questo sito

Visite	3.356
Visitatori unici	2.387
Visualizzazioni di pagina	10.560
Pagine/visita	3,15
Durata media visita	00:04:07
Frequenza di rimbalzo	39,63%
% nuove visite	70,89%



Estadísticas diaria y agregada de accesos al sitio WWW.SSAP.EU

Visualizzazioni di pagina	10.560
Pagine/visita	3,15
Durata media visita	00:04:07
Frequenza di rimbalzo	39,63%
% nuove visite	70,89%

71,04% New Visitor
2.384 Visite

28,96% Returning Visitor
972 Visite

	Paese/zona	Visite	% Visite
1.	Italy	3.123	93,06%
2.	Mexico	68	2,03%
3.	(not set)	19	0,57%
4.	India	17	0,51%
5.	Spain	15	0,45%
6.	Portugal	12	0,36%
7.	France	7	0,21%
8.	Brazil	6	0,18%
9.	Dominica	6	0,18%
10.	Peru	6	0,18%

Estadísticas de acceso por País

Mas que 2623 descargas en los ultimo 6 meses

(*considerando hasta la novena interacción.. Nel grafico arriba se muestra hasta la tercera*)

Instituto de Geologia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

Gracias por su atención !!!