

# FUNDAMENTOS GEOLÓGICOS, GEOMORFOLÓGICOS Y GEOTECNICO

## EN ENSAYOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES: CASOS DE ESTUDIO EN MÉXICO Y ITALIA

Foto L.B. - Val Samoggia 2002



**Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D.**  
Instituto de Geología  
Facultad De Ingeniería, UASLP, Mexico  
*Investigador asociado CNR-IRPI, Italia*



[lborselli@gmail.com](mailto:lborselli@gmail.com)  
[lorenzo.borselli@uaslp.mx](mailto:lorenzo.borselli@uaslp.mx)  
<https://www.lorenzo-borselli.eu>



## RESUMEN

Los fenómenos de inestabilidad de taludes son uno de los problemas más frecuentes que tantos geólogos profesionales, investigadores y técnicos de las administraciones públicas tienen que afrontar en el territorio para la protección de la vida, los bienes y las infraestructuras.

En los últimos cien años hemos tenido una continua evolución de los métodos de estudio y modelización para la realización de evaluaciones del grado de estabilidad de una pendiente con respecto a diferentes escenarios y procesos que pueden producir inestabilidad.

El enfoque básico en las técnicas de ensayo de estabilidad de taludes se encontraba en sus fases iniciales, a finales de los siglos XIX y XX, basado principalmente en enfoques de ingeniería. Sin embargo, durante el siglo XX hemos tenido un florecimiento y evolución consistente de las metodologías utilizadas que han llevado a considerar con creciente peso la necesidad de integrar mejor el modelado con la relación geológica estratigráfica y estructural en el marco de un área disciplinaria naciente: la Geoingeniería.

La evolución de los métodos estratigráficos, estructurales, geofísicos y geotécnicos de estudio e investigación han permitido esta necesaria integración.

Sin embargo, en la práctica actual de los controles de estabilidad de taludes se observan con frecuencia inconsistencias evidentes entre los modelos utilizados y los modelos de taludes asumidos con los fundamentos de las disciplinas geológicas y geomorfológicas. Estas inconsistencias ocasionales pueden generar problemas importantes en la evaluación de la estabilidad de una pendiente en términos de posible falta de fiabilidad y cobertura insuficiente de posibles escenarios de riesgo. Se presentarán algunos casos de estudios en Italia y México, por medio de algunos ejemplos prácticos en caso de macizos rocosos o suelos, por medio del empleo del software freeware SSAP2010 ([www.ssap.eu](http://www.ssap.eu)), que ponen de relieve las inconsistencias descritas anteriormente.

Se proporcionará una serie de directrices para los controles de estabilidad de taludes para su aplicación consistente con el conocimiento geológico, estructural y geomorfológico y geotécnico.

**Palabras clave: estabilidad de taludes, macizos rocosos, suelos, software, geotecnia**

## ABSTRACT

*Slope instability phenomena are one of the most frequent problems that many professional geologists, researchers and public administration technicians have to face to protect life, property and infrastructure.*

*In the last hundred years we have had a continuous evolution of the study and modeling methods for carrying out evaluations of the degree of stability of a slope with respect to different scenarios and processes that can produce instability.*

*The basic approach in slope stability testing techniques was in its initial phases, at the end of the 19th and 20th centuries, based mainly on engineering approaches. However, during the 20th century we have had a flourishing and consistent evolution of the methodologies used that have led to consider with increasing weight the need to better integrate modeling with the stratigraphic and structural geological relationship within the framework of a nascent disciplinary area: the Geoengineering.*

*The evolution of the stratigraphic, structural, geophysical and geotechnical methods of study and research have allowed this necessary integration.*

*However, in the current practice of slope stability evaluation, evident inconsistencies are frequently observed between the models used and the models of slopes assumed with the foundations of the geological and geomorphological disciplines. These occasional inconsistencies can cause major problems in slope stability assessment in terms of possible unreliability and insufficient coverage of possible risk scenarios.*

*Some case studies in Italy and Mexico will be presented, by means of some practical examples in case of rock masses or soils, through the use of the freeware software SSAP2010 ([www.ssap.eu](http://www.ssap.eu)), which highlight the inconsistencies described above.*

*A series of guidelines for slope stability controls will be provided for their application consistent with geological, structural and geomorphological and geotechnical knowledge.*

**Keywords: slope stability, rock masses, soils, software, geotechnics**



# Fenómenos de inestabilidad de taludes: interacción entre geología, geomorfología y geotecnia

Derrumbe (Flow-slide)  
“*Las Colinas*” después el  
temblor 13 gennao 2001  
en El Salvador.  
En suelos de origen  
volcánicos.



<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/73/ElSalvadorslide.jpg/250px-ElSalvadorslide.jpg>

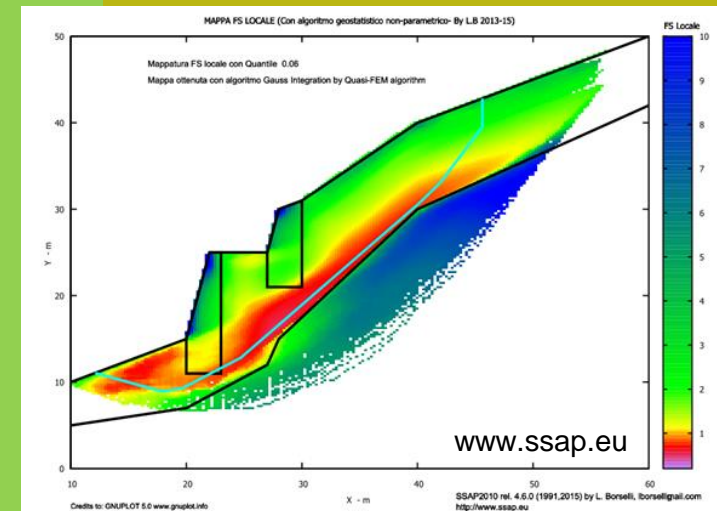
# Comprobación de estabilidad de taludes: ¿qué significa?

Una posible definición:

*Verificación del nivel de inestabilidad potencial de una pendiente mediante el análisis de las fuerzas internas y externas, o de los campos de tensión-deformación, frente a un posible colapso-deformación permanente o formación de una superficie de rotura, que afecta a una parte significativa de la propia pendiente.*

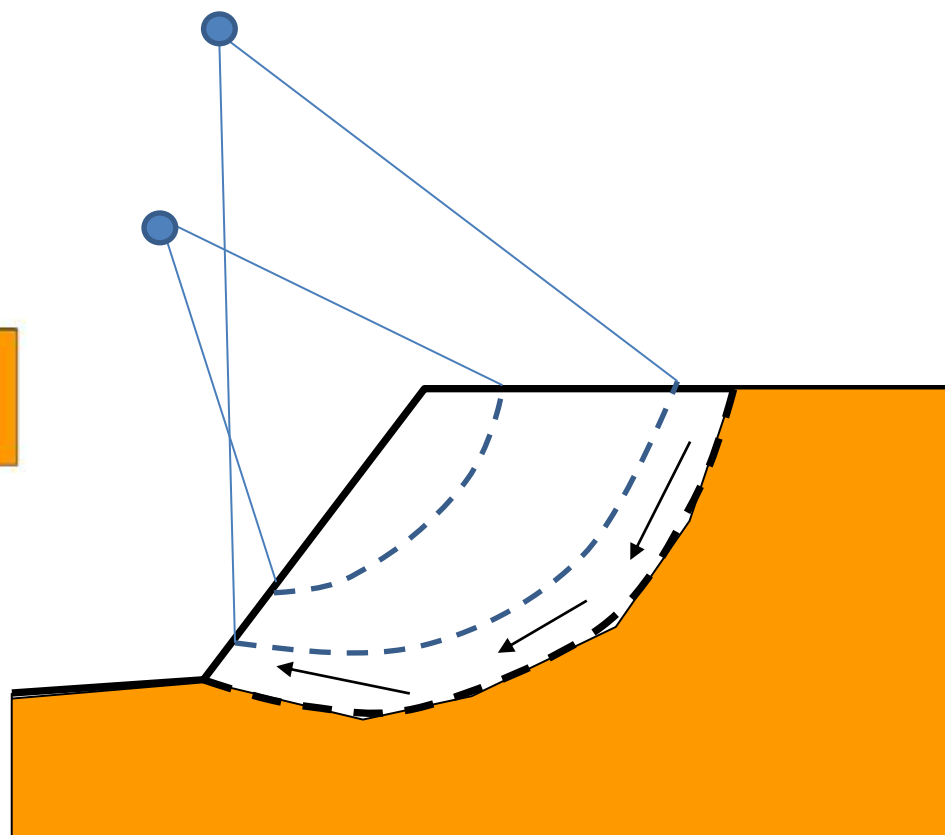
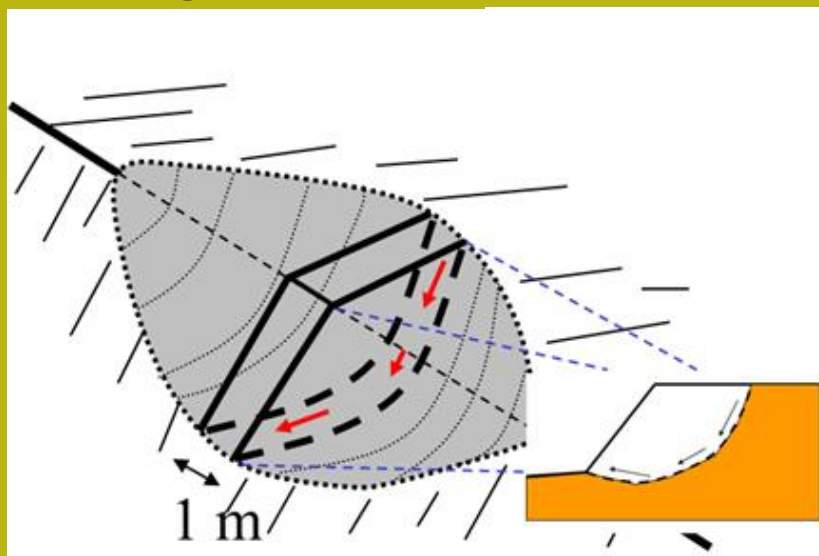
- Importancia a escala local para la verificación de estabilidad de taludes naturales o taludes con obras de ingeniería.

- Importancia en las evaluaciones de la peligrosidad de los fenómenos de movimiento de masas, a nivel territorial distribuido.





Desafortunadamente, existe, y resiste, la tentación de que es suficiente pensar que un control de estabilidad depende solo de una serie de superficies deslizantes potenciales (quizás solo circulares) dibujadas en una sección 2D y de un valor numérico de FS( que expresa su grado de estabilidad, derivado de algún modelo de referencia más o menos riguroso.



¿Pero es realmente así?

# Cálculo de Fs (factor de estabilidad - formulación básica)

Para cada superficie se puede derivar:

El esfuerzo total de corte movilizado  $\tau_m$  (demanda)

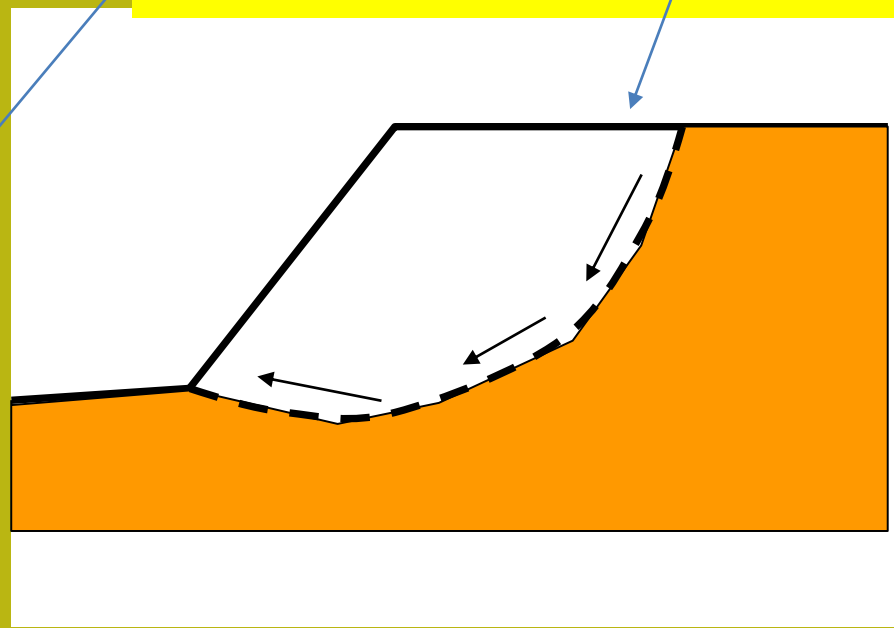
Resistencia al cizallamiento disponible  $\tau_f$  (capacidad):

Osea Se puede definir Fs como:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_m}$$

Inestable  $F_s < 1.0$   
Estable  $F_s > 1.0$

**Es un control de estabilidad Solo esto?**



**El valor de Fs se ha utilizado, con frecuencia, durante más de 100 años como un índice del grado de estabilidad de una pendiente en un escenario dado o per un conjunto de posibles condiciones (naturales o de diseño).**



# Procesos geomorfológicos y antrópicos: Una visión integral

## Inestabilidad hidrogeológica :

***La inestabilidad hidrogeológica es el conjunto de procesos hidrogeomorfológicos que tienen una acción altamente destructiva en términos de erosión e inestabilidad del suelo y macizos rocosos y, por lo tanto, hacia las zonas e infraestructuras agrícolas urbanas. Incluye todos esos procesos, desde la erosión superficial hasta los eventos más catastróficos, como deslizamientos de tierra e inundaciones.***

Definición tomada de [https://it.wikipedia.org/wiki/Dissesto\\_idrogeologico](https://it.wikipedia.org/wiki/Dissesto_idrogeologico) (pero modificada y complementada por L.B.)

**Porque una comprobación de estabilidad de una pendiente es una de las cosas más complejas que un técnico de Geingeniería (Geólogo, Ingeniero) puede tener que lidiar ??**



Imagen de  
<http://www.truciolisavonesi.it>

# La inestabilidad hidrogeológica tiene componentes y causas naturales tanto componentes y causas antropogénicas.

A veces es difícil entender bien dónde terminan los primeros y dónde comienzan los segundos.

Sin embargo, el resultado sigue siendo destructivo y trágico:

**Erosión del suelo (pérdida de suelo y fertilidad del suelo)**

**Movimientos masivos (deslizamientos de tierra y flujos de escombros)**

**Inundaciones**

**Pérdidas de Vidas**

**Daños a la infraestructura o a su funcionalidad**

**Daños agricultura, industria,**

**Paisaje y turismo**



Foto L.B. Val samoggia 2003



Imagen de <http://www.greenreport.it/>



## **Perturbación de las zonas urbanas e infraestructura**

A menudo en estos casos el factor determinante causa el fracaso y la actividad humana:

- **Falta o mala planificación espacial**
- **Errores de diseño**
- **Falta de evaluación de los factores geomorfológicos y geotécnicos, hidrologicos**

Imagen de <http://www.greenreport.it/>





**Strada Provinciale 51 , Zona 5 terre , Vernazza(SP,Italia) (evento del 2011 – 500mm in 1 dia): foto P. Petri(2011)**

- Falta o mala planificación espacial
- Errores de diseño
- Falta de evaluación de los factores geomorfológicos, geotécnicos , hidroogico

A menudo, en estos casos, el factor determinante que causa el fracaso es la actividad humana.



**suelo + vegetación + masas rocosas + procesos geomorfológicos +  
Geología + Geotecnia + Eventos hidrológicos extremos + Acciones humanas  
=  
Inestabilidad hidrogeológica ??!  
*Papel de la complejidad en las laderas...***

**Valle del Samoggia  
Appenino bolognese  
Foto L. Borselli (2002)**





# GEOLOGÍA Y ESTABILIDAD DE LOS TALUDES

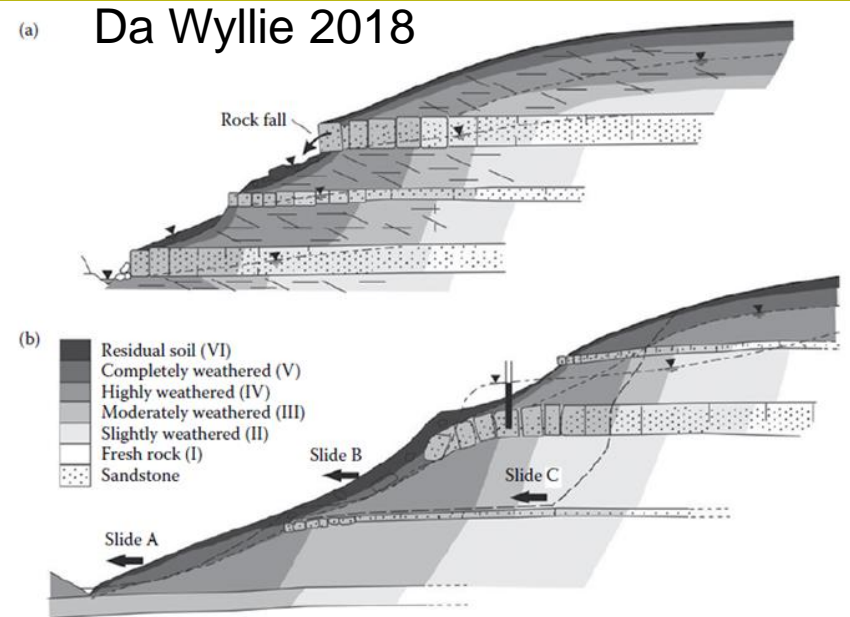
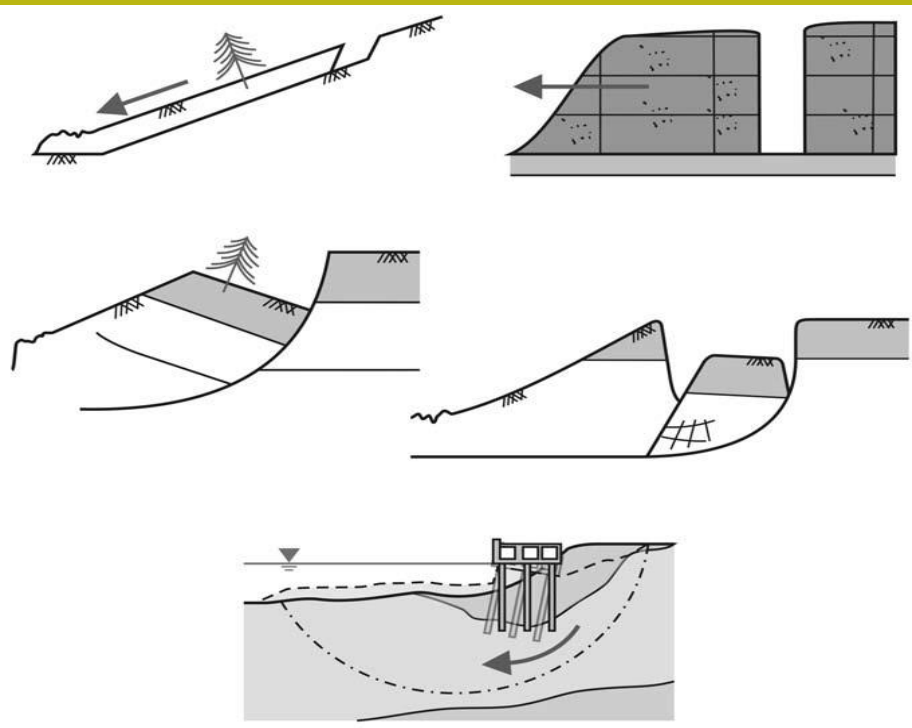


Figure 3.12 Typical slope in interbedded sandstone and shale with colluvium deposits at surface; (a) ground water flow concentrated in higher conductivity sandstone beds and (b) typical types of slope instability (Deere and Patton, 1971).

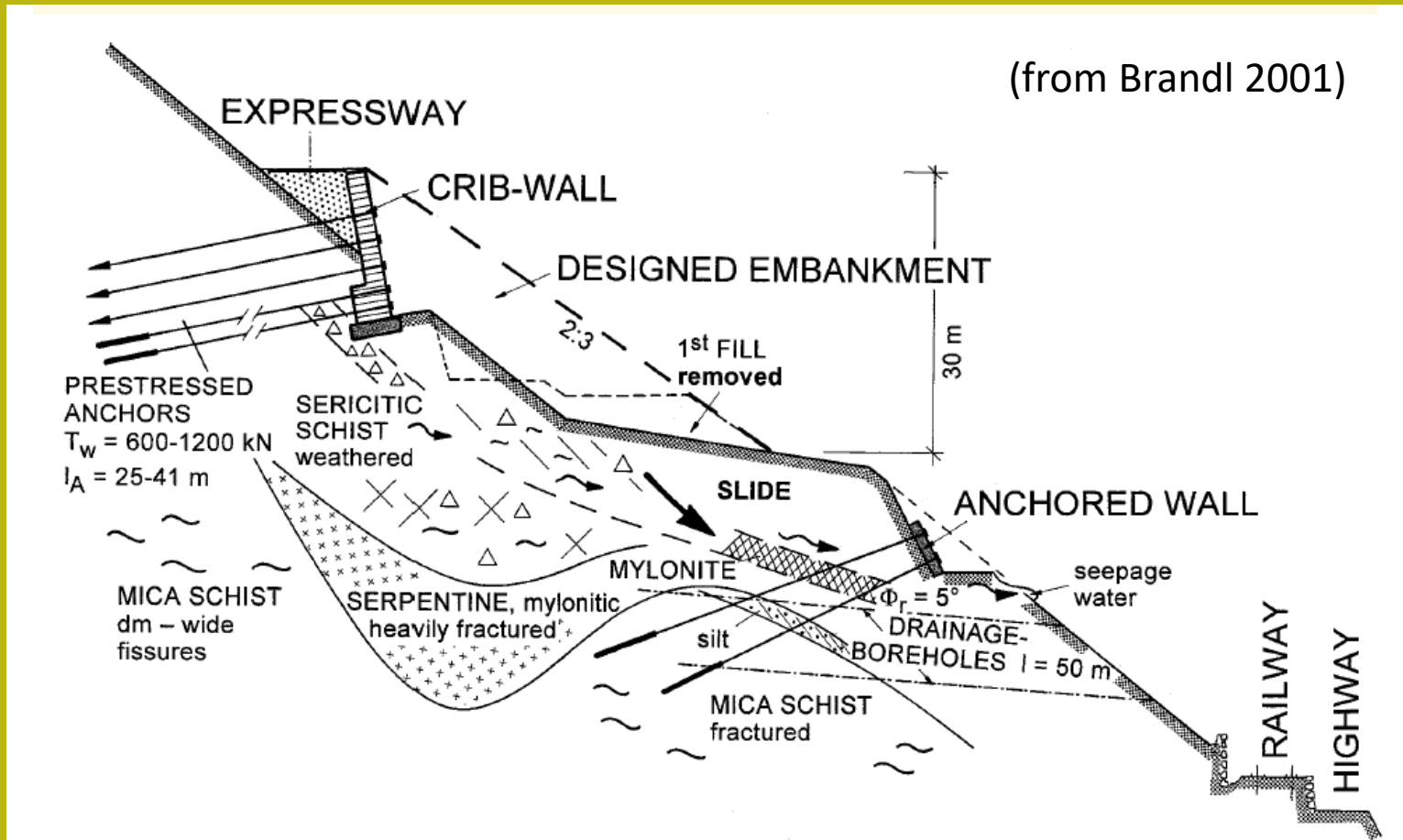


La comprobación de estabilidad de una pendiente es una de las operaciones de mayor complejidad en los campos de la Geo-ingeniería y de la geotecnia

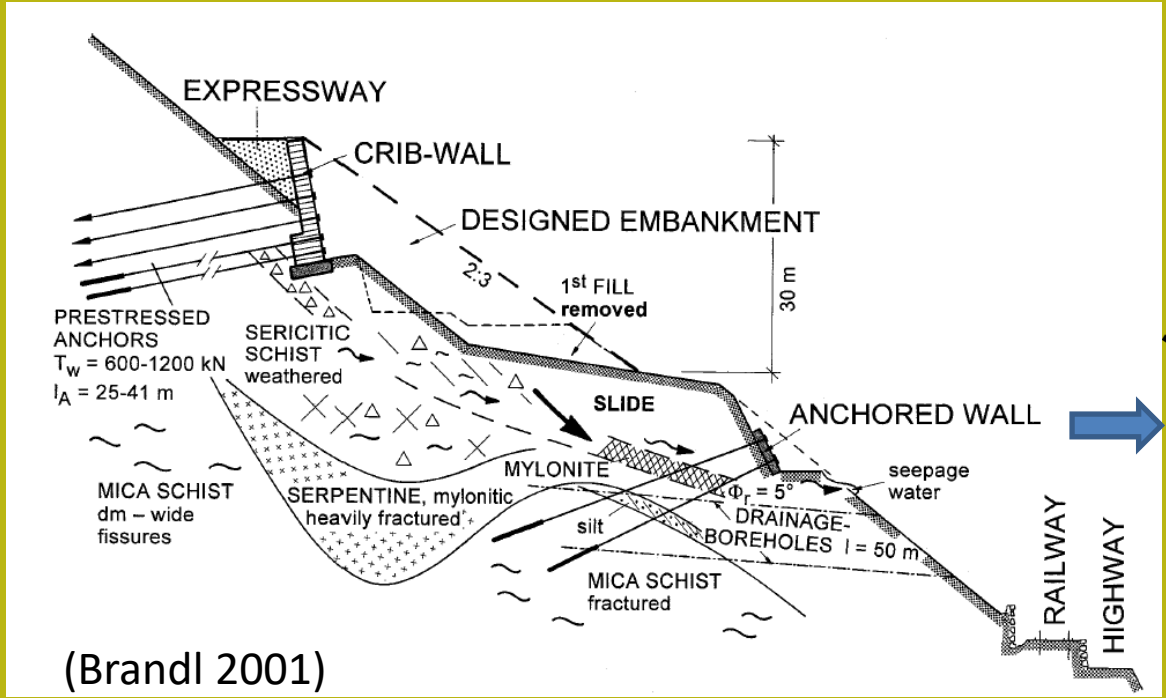
La verificación de estabilidad de una pendiente es también una de las operaciones que, debido a las incertidumbres inherentes a la modelización, presenta el mayor riesgo asociado a una inadecuada:

- *Esquematisación estratigráfica y estructural*
- *Parametrización geomecánica*
- *Esquematisación hidráulica*
- *Aplicación a un volumen/área significativa teniendo en cuenta proceso geomorfológicos anteriores*
- *Evaluación de posibles acciones sísmicas*
- *Evaluación obras de estabilización .*

***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...***

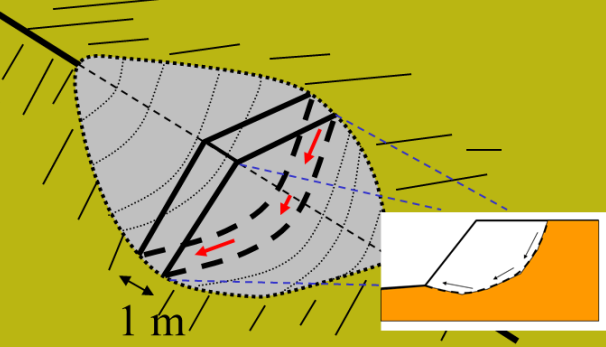


**Ejemplo de complejidad geológica, geotécnica y estructural**

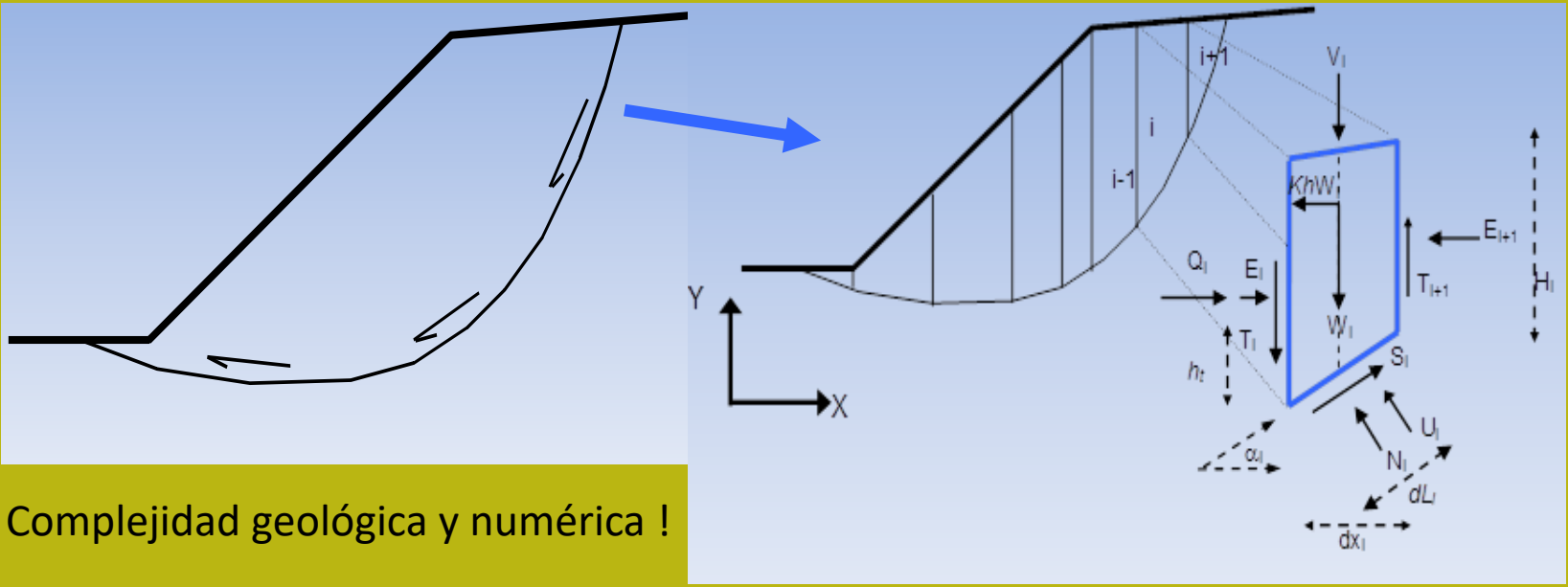


(Brandl 2001)

Análisis de estabilidad by LEM



Complejidad geológica y numérica !





# Recursos y herramientas para la representación y gestión de la complejidad:

- 1. Levantamientos topográficos: secciones detalladas;*
- 2. Investigaciones geológicas – geo-hidrológicas, geotécnicas, geofísicas*
- 3. Análisis estadístico de datos.*
- 4. Modelos geomecánicos: parametrización, criterio de ruptura*
- 5. Modelo de pendiente: definición del modelo de pendiente que incorpora los puntos 1, 2, 3*
- 6. Modelos de cálculo: modelos y procedimientos de cálculo existentes*
- 7. Software de cálculo (por ejemplo, SSAP): una galaxia de software para elegir y usar, pero con mucho cuidado...*

Y para terminar (o comenzar) los recursos más importantes:

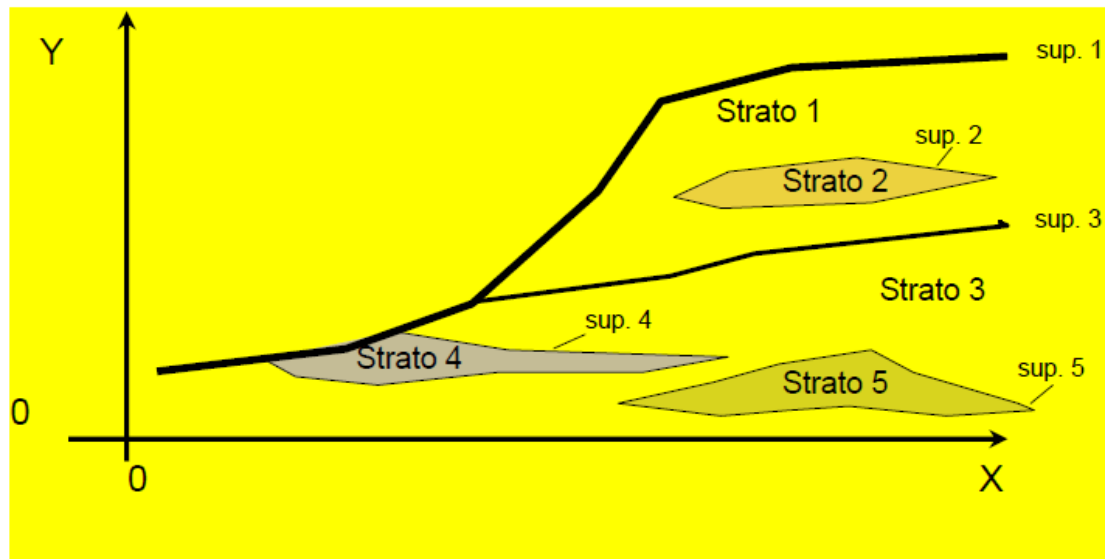
**¡El conocimiento, la experiencia del geólogo e ingeniero y el uso en primer lugar de nuestro cerebro! No pienses que todo puede ser automático... Siempre es todo lo contrario.**

# Complejidad estratigráfica

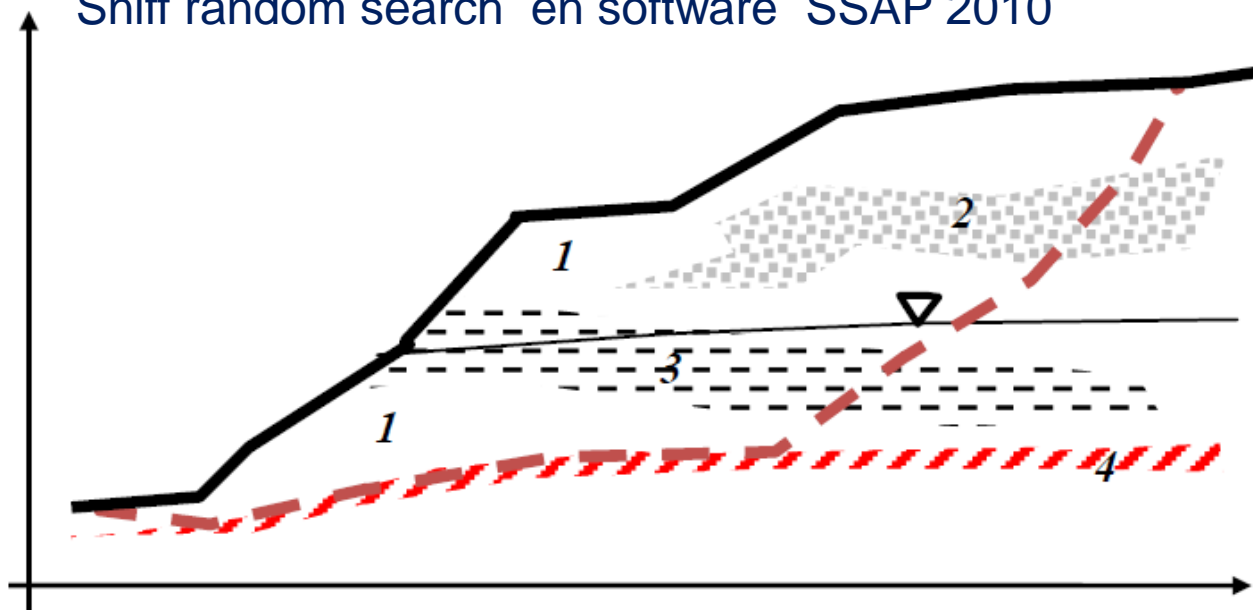
Prcticamente Todas los taludes son generalmente no homogéneo desde el punto de vista estratigráfico.

Muy a menudo incluso con características artificiales ..

El modelado LEM necesariamente debe tener en cuenta esta realidad...



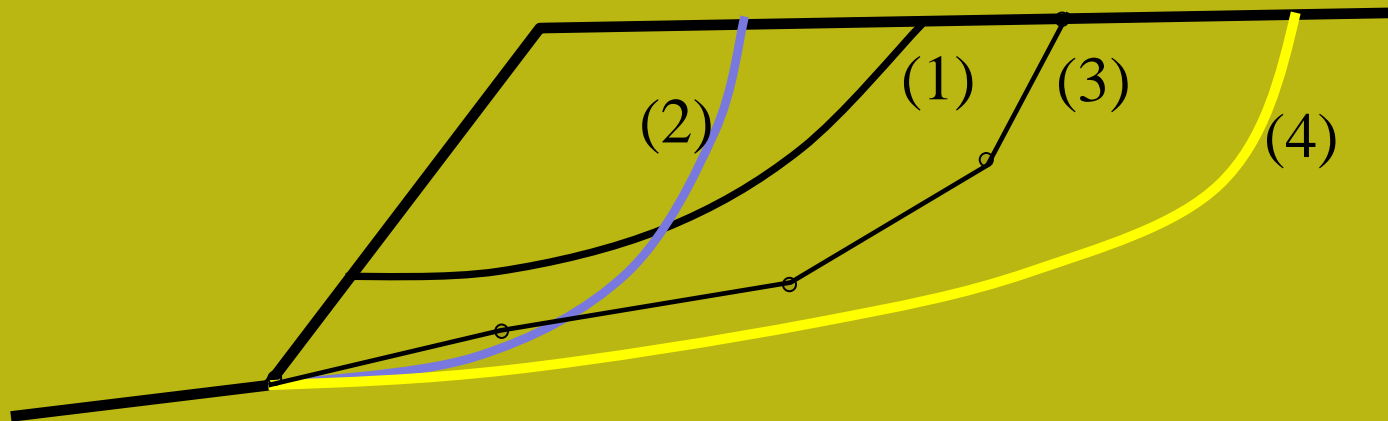
## Sniff random search en software SSAP 2010



# Complejidad geométrica



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).



## Complejidad geométrica

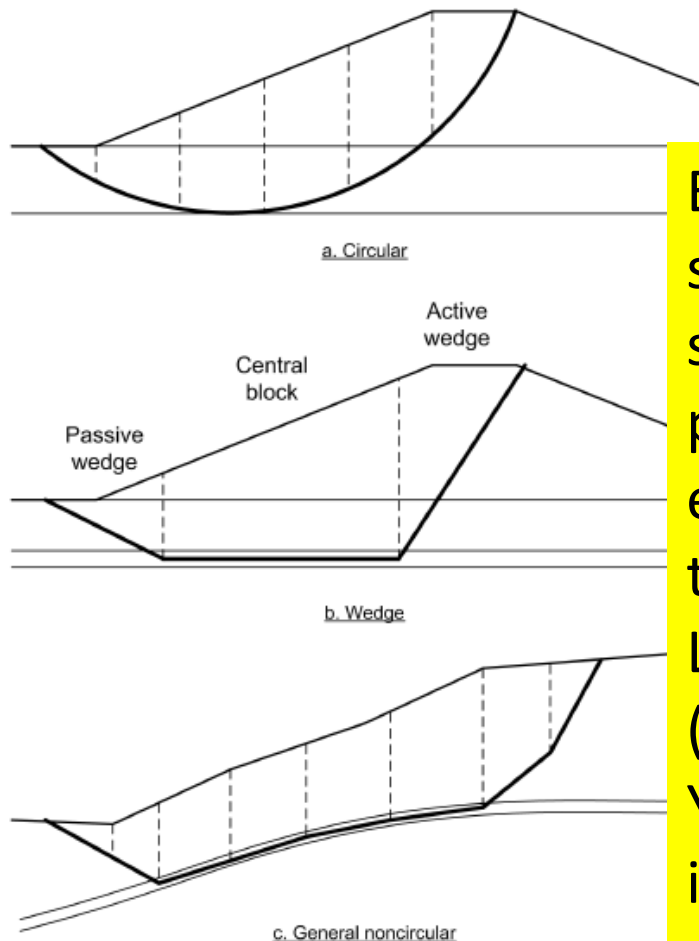
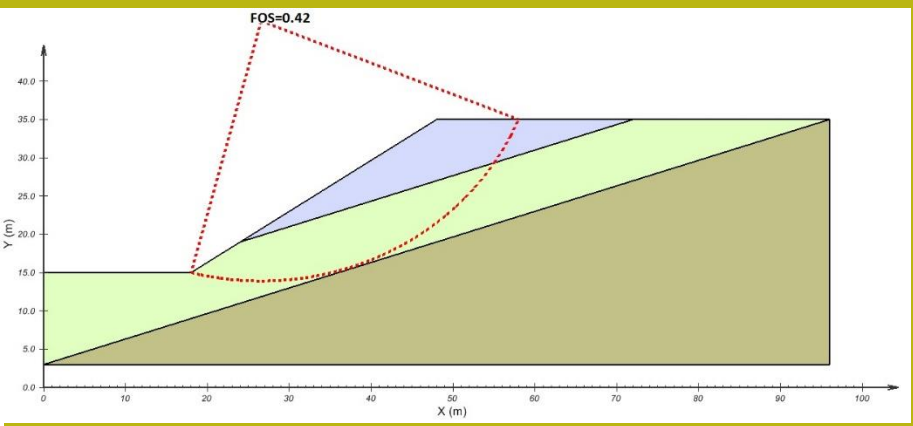
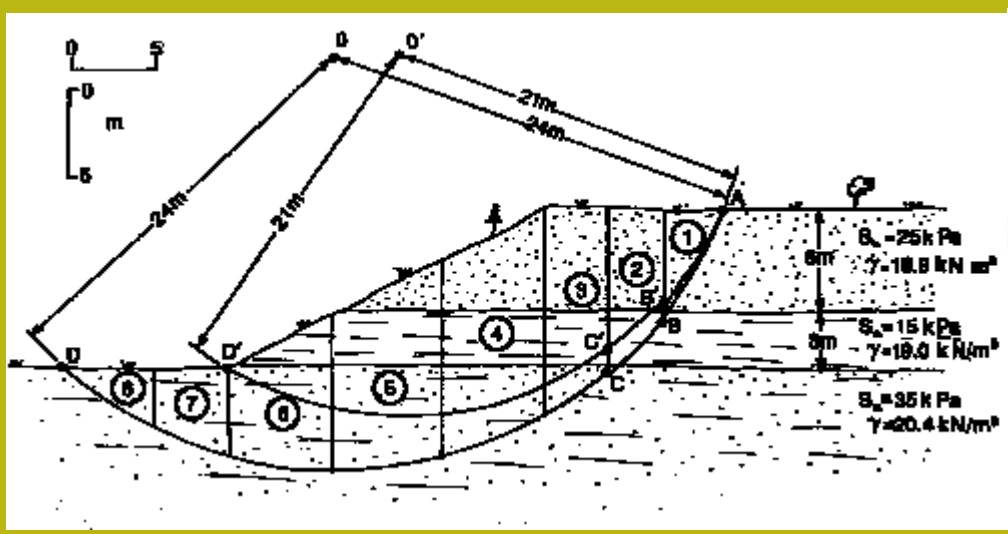
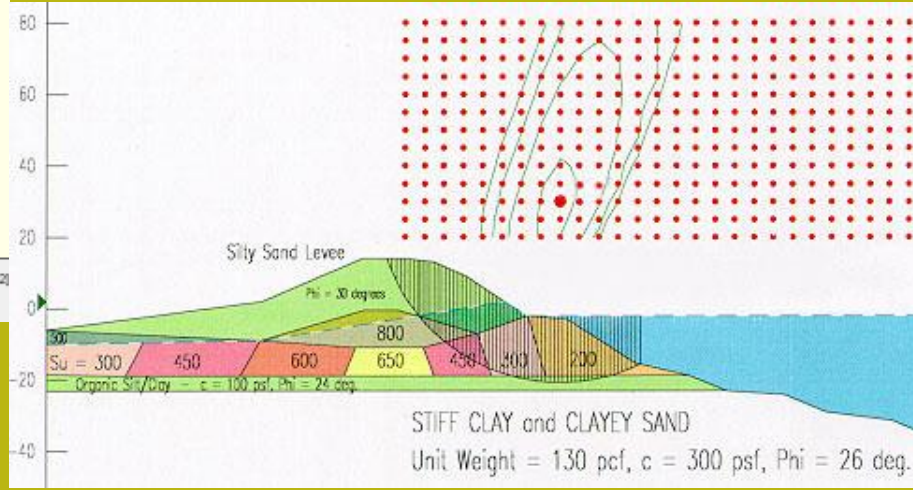
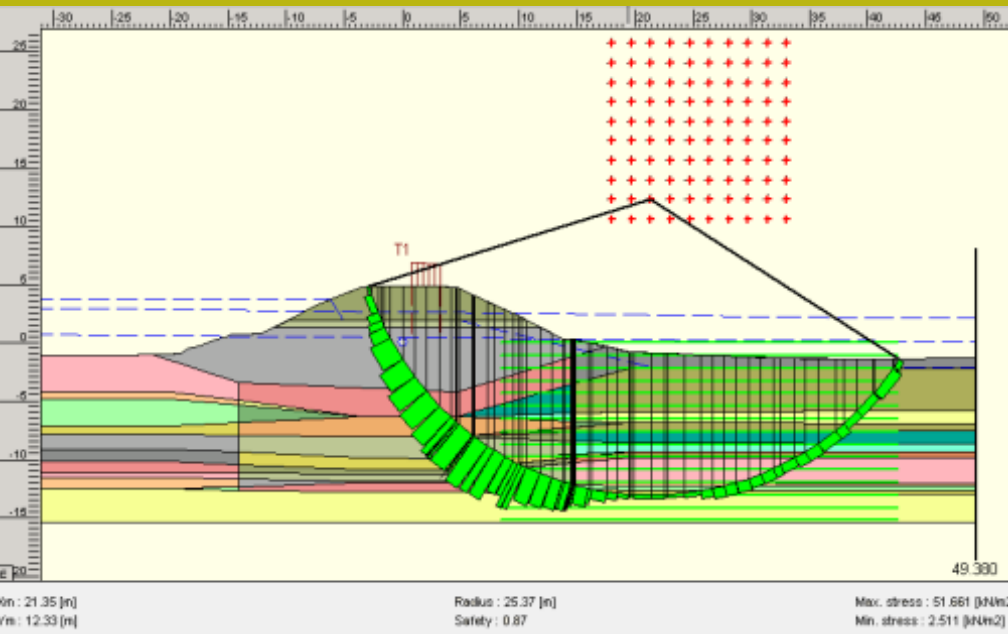


Figure C-3. Shapes for potential slip surfaces

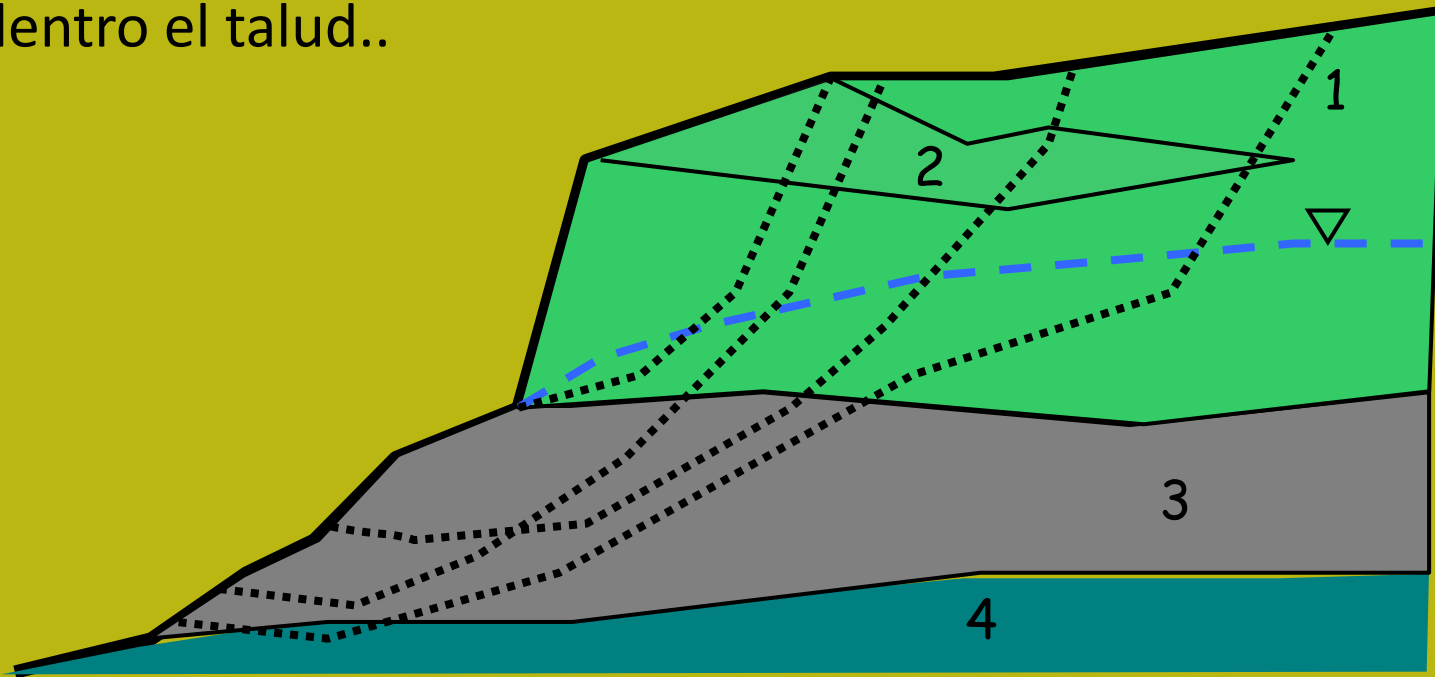
Es claro que algunos tipo de superficies circulares no pueden seguir las discontinuidades que pueden haber una fuerte influencia en le grado de estabilidad del talud. Varios autores (ABRAMSON L.W. et al. (2002); DUNCAN J.M. (1996; SARMA S.K. (1979).; CHENG Y.M. (2003); JANBU N. (1973) ) indican que el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

¿Es seguro que todo es posible con solo superficies circulares?  
 Cuando la complejidad estratigráfica por sí sola es así Dominante?



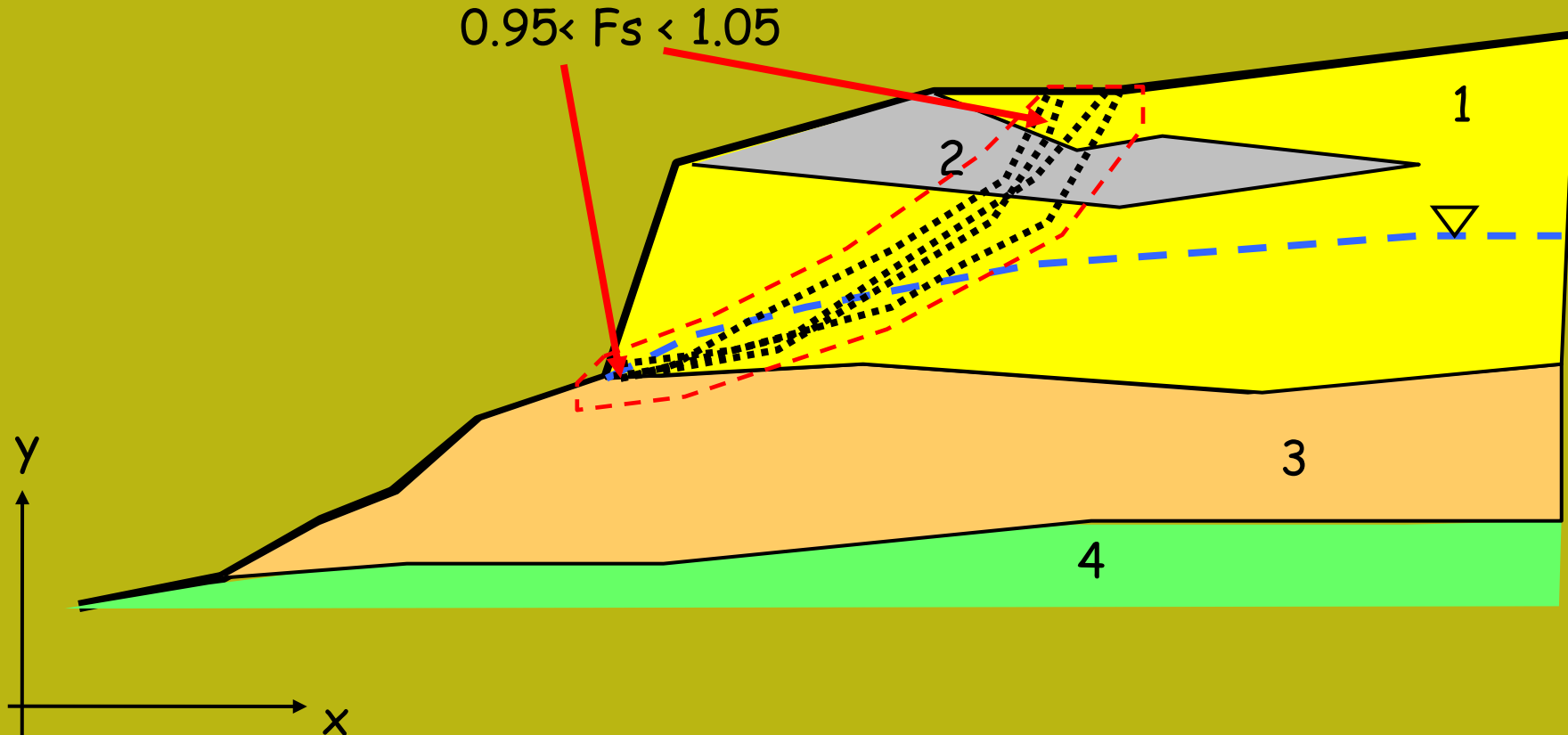
La evaluación de estabilidad de taludes (con método LEM) debe seguir una necesidad fundamental.

Una necesidad es la de generar superficies genéricas y más complejas (suficientemente complejas) y en número suficiente para explorar todas las formas de deslizamiento posibles dentro del talud..

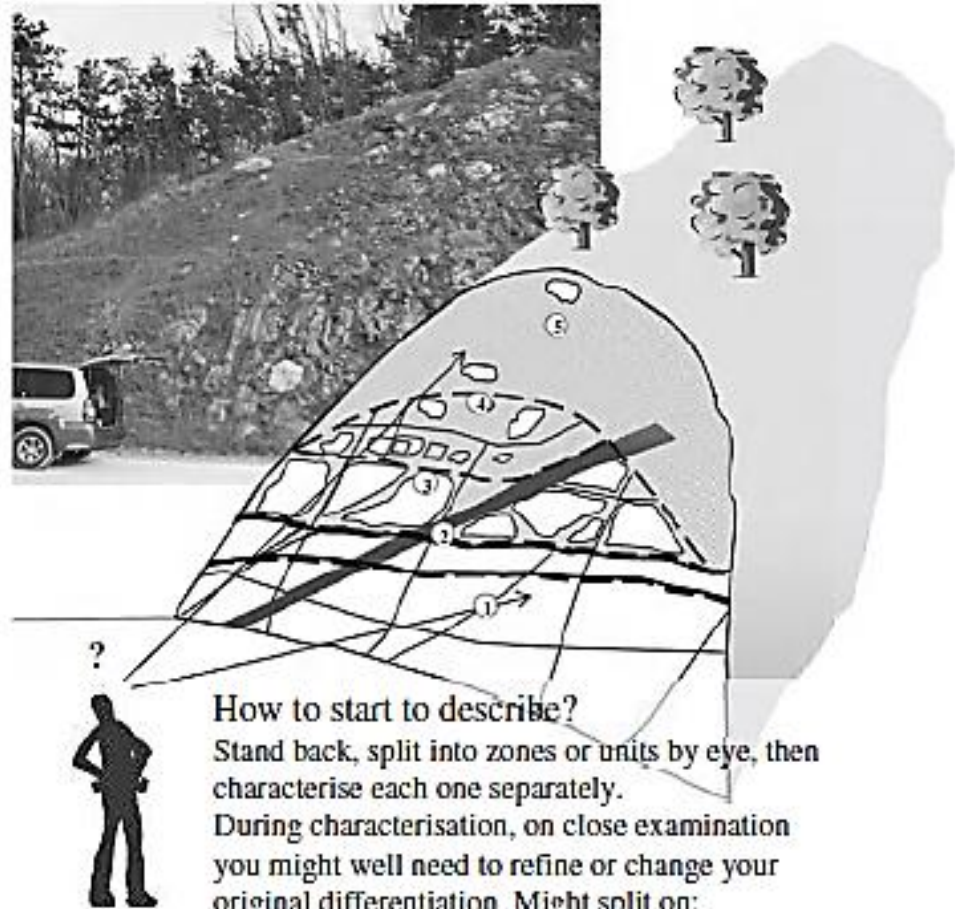




Y después la generación de una muestra significativa de superficies visualizar las con menor FS y identificar las áreas mas critica adentro el talud



# Distinción in situ de diferentes unidades geotécnicas



## How to start to describe?

Stand back, split into zones or units by eye, then characterise each one separately.

During characterisation, on close examination you might well need to refine or change your original differentiation. Might split on:

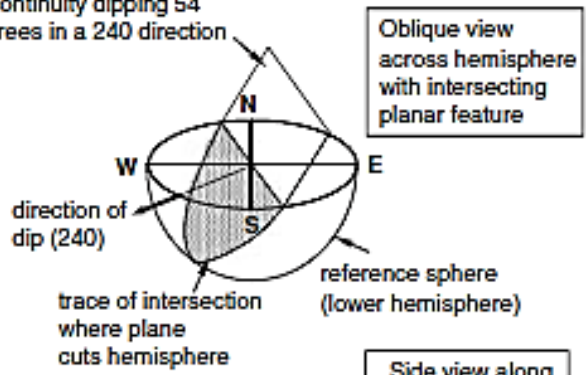
- geology (dykes/sills separately)
- colour
- degree of weathering
- percentage of included boulders
- jointing style
- perceived hazards

Da Hencher (2007)



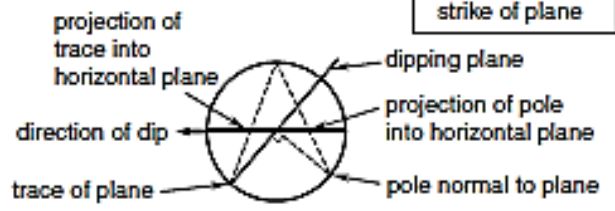
discontinuity dipping 54 degrees in a 240 direction

(a)



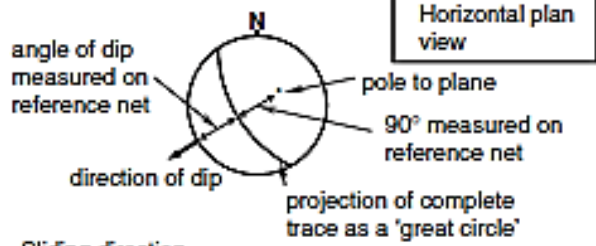
Side view along strike of plane

(b)



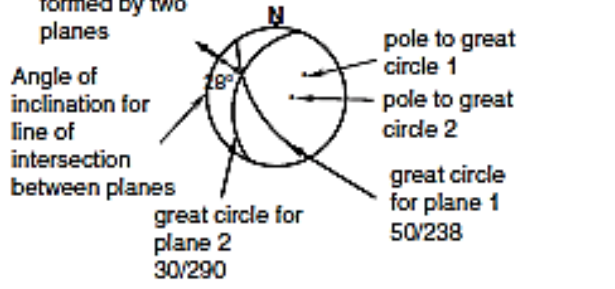
Horizontal plan view

(c)

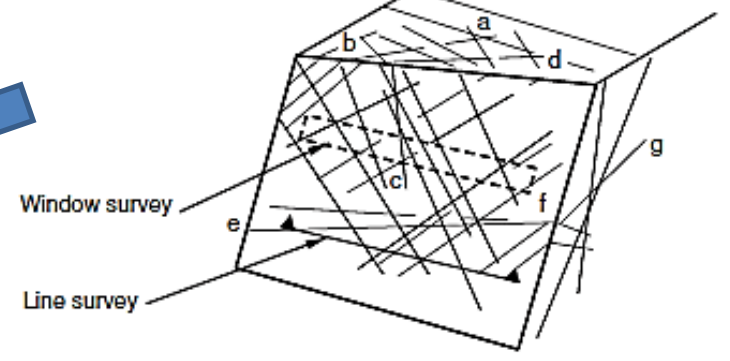


Sliding direction for a wedge formed by two planes

(d)

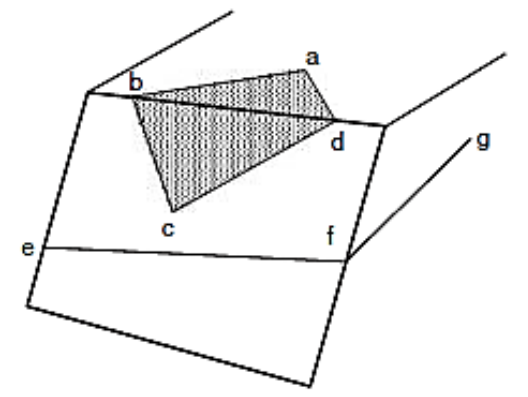


SYSTEMATIC



Data collected systematically for all discontinuities intersected along line of survey or within window

SUBJECTIVE






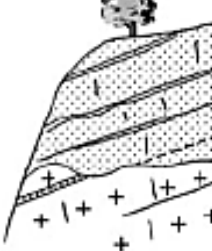
Potential for wedge and planar failures identified in field and data collected specifically for those adverse joints

Da Hencher (2007)

## Análisis estructural de un Macizo rocoso

**Complejidad estratigráfica  
y geomecánica  
Influencia de la  
heterogeneidad y la  
discontinuidad**

Figure 5.12  
Options for slope  
stability analysis.  
After Hencher &  
McNicholl, 1995.

Option	Schematic diagram	Approach for defining parameters and analysis
1. Treat as uniform (continuum)		<ul style="list-style-type: none"> <li>parameters from laboratory or <i>in situ</i> tests taken to be representative of zone</li> </ul>
2. Treat as uniform but weakened by discontinuities (continuum)		<ul style="list-style-type: none"> <li>allowance made for influence (but not control) of discontinuities on mass properties (e.g. Hoek-Brown)</li> </ul>
3. Treat as heterogeneous (continuum)		<ul style="list-style-type: none"> <li>consideration given to influence of strong inclusions with deviated failure paths</li> </ul>
4. Treat as discontinuous due to structural control		<ul style="list-style-type: none"> <li>discontinuity controlled</li> </ul>

Da Hencher (2007)

# Complejidad estratigráfica y geomecánica

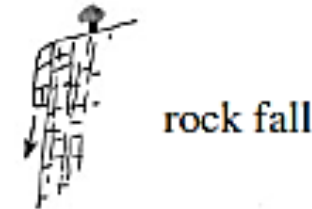
## Influencia de la heterogeneidad y la discontinuidad

### SHALLOW

May be controlled by discontinuity pattern or material deterioration. Often triggered by rainfall, vegetation jacking or vibration



Da Hencher (2007)



### STRUCTURAL

Failure geometry follows pattern of geological discontinuities



### DEEP-SEATED NON-STRUCTURAL

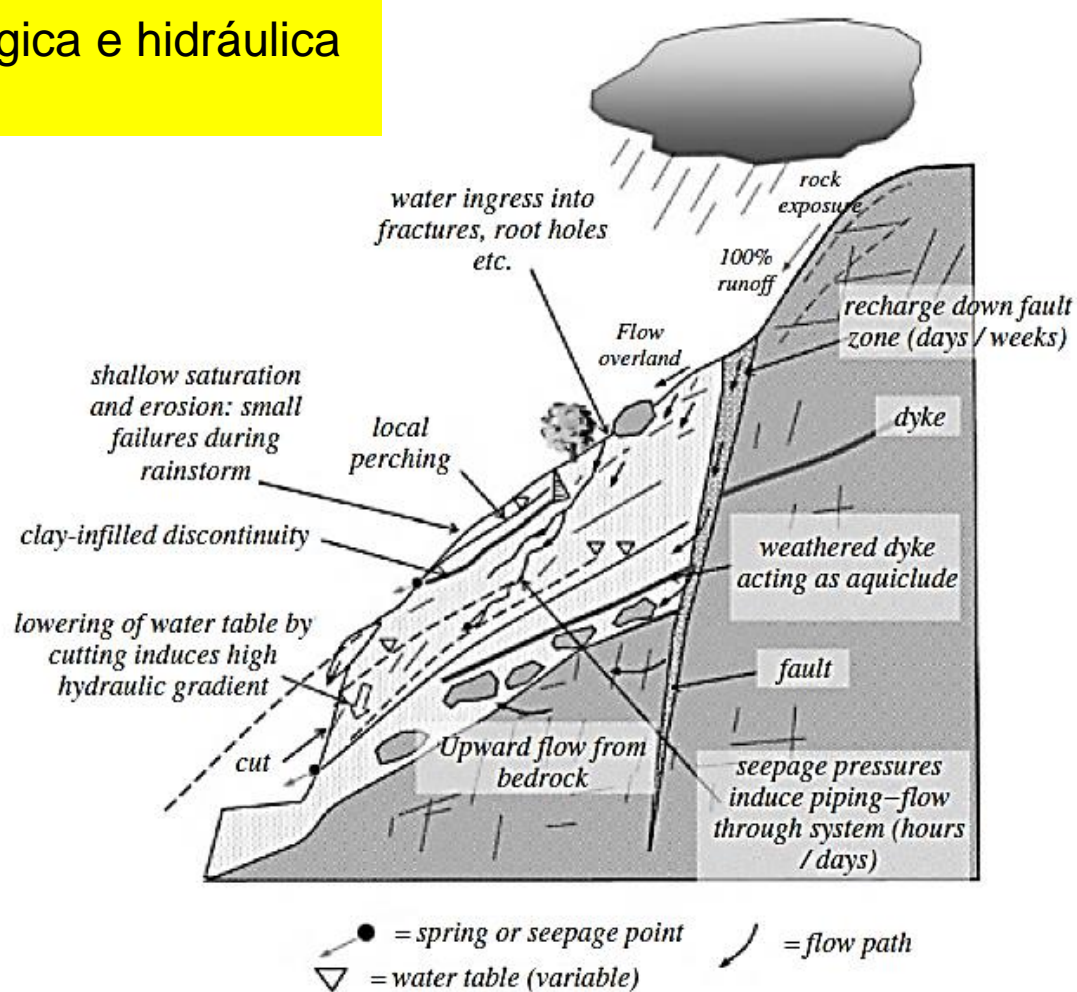
Rock mass is weakened by discontinuities even though they do not fully define the failure geometry



Options for assessing rock mass strength include:

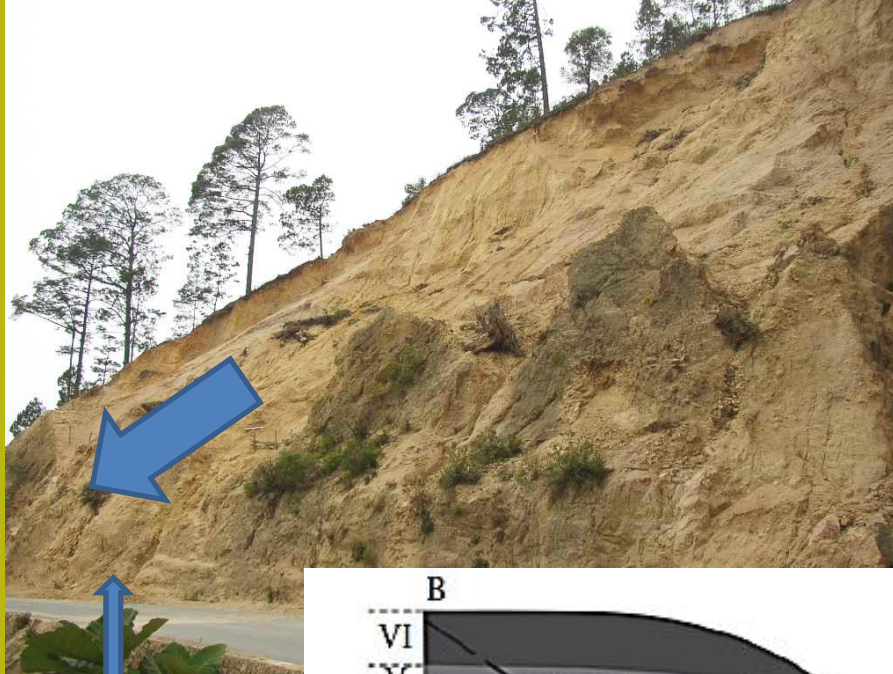
- Rock Mass Rating RMR
- GSI (Hoek-Brown)
- Hack SSPC (Hack, 1998)





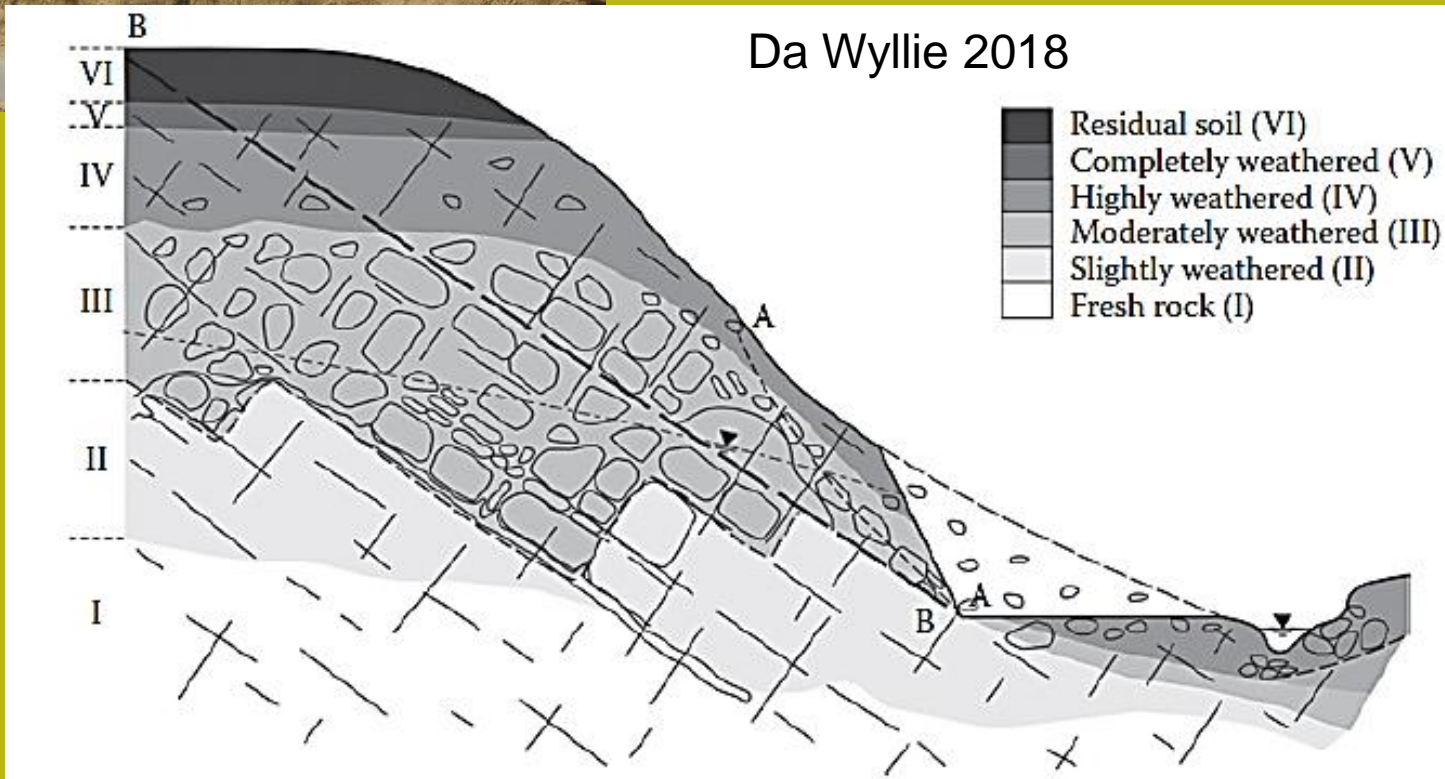
*Figure 3.56* Schematic model of water runoff, inflow and throughflow in weathered profile. Note the importance of minor geological features such as dykes, clay-infilled joints or simple permeability contrasts in the profile and the development of natural pipes. In rock, water flow will be controlled by joints and specific channels along those joints. There is often a zone of more highly fractured rock just below rockhead with preferential flow and sometimes upward flow into overlying soil profile (Hencher, 2010).

Da Hencher(2010)



Proceso de alteración superficial  
Y estabilidad de taludes.

Granito rosa  
muy alterado en los  
primeros 4 metros  
(*saprolite*)  
Chiapas occidental,  
Mexico Foto L. Borselli  
2004



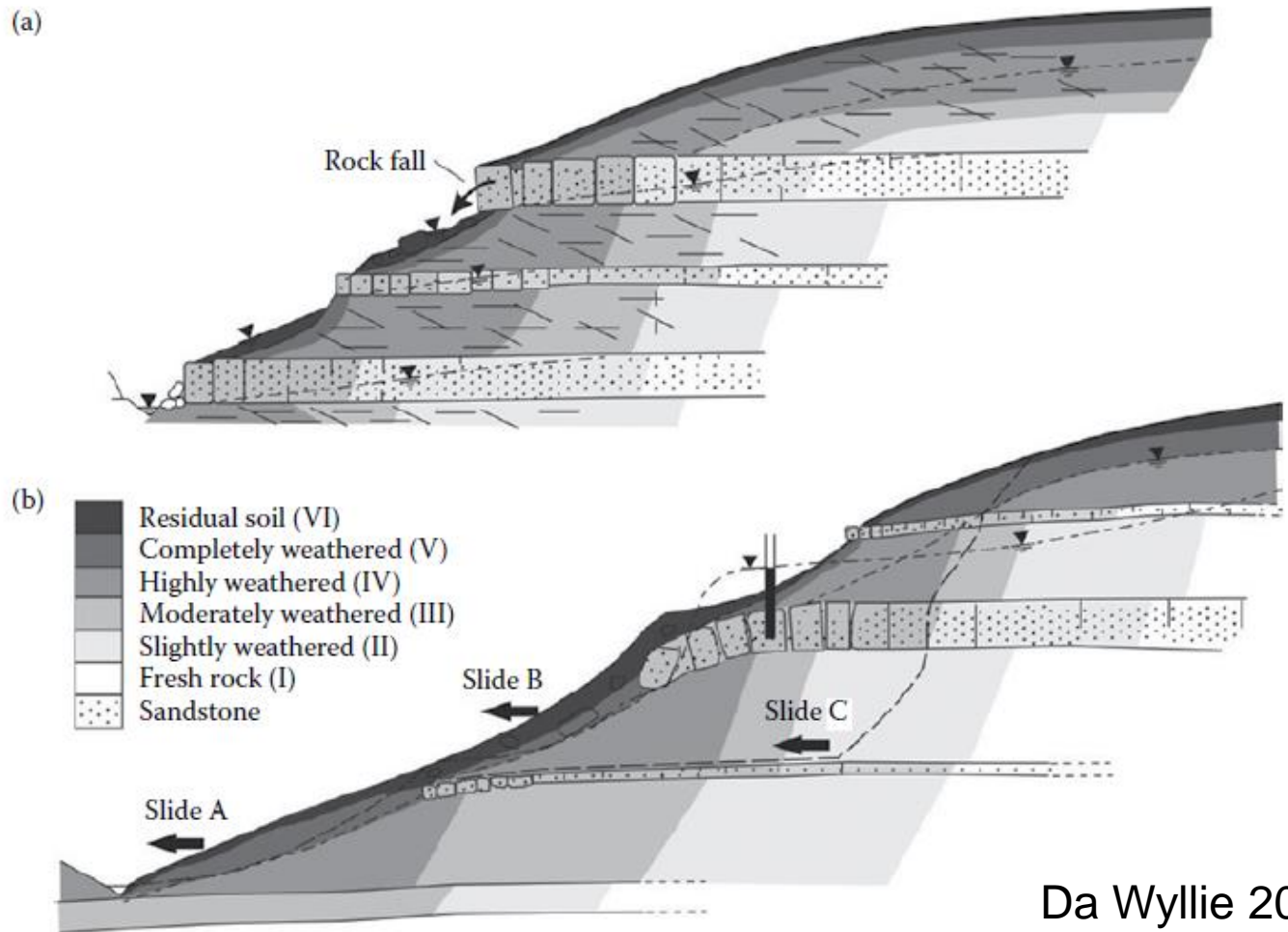


Figure 3.12 Typical slope in interbedded sandstone and shale with colluvium deposits at surface; (a) ground water flow concentrated in higher conductivity sandstone beds and (b) typical types of slope instability (Deere and Patton, 1971).

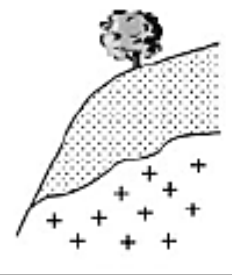
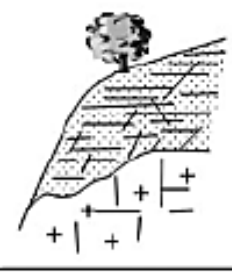
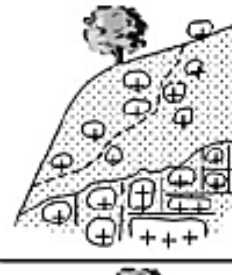
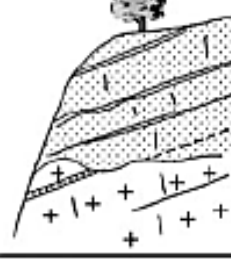
Proceso de alteración superficial  
Y estabilidad de taludes..



# Aplicaciones en masas rocosas fracturadas y rocas blandas y uso del criterio de fallo GSI por Hoek & Brown (2002,2006) +JRC Barton Bandis (1990), Barton (2013)



Figure 5.12  
Options for slope stability analysis.  
After Hencher & McNicholl, 1995.

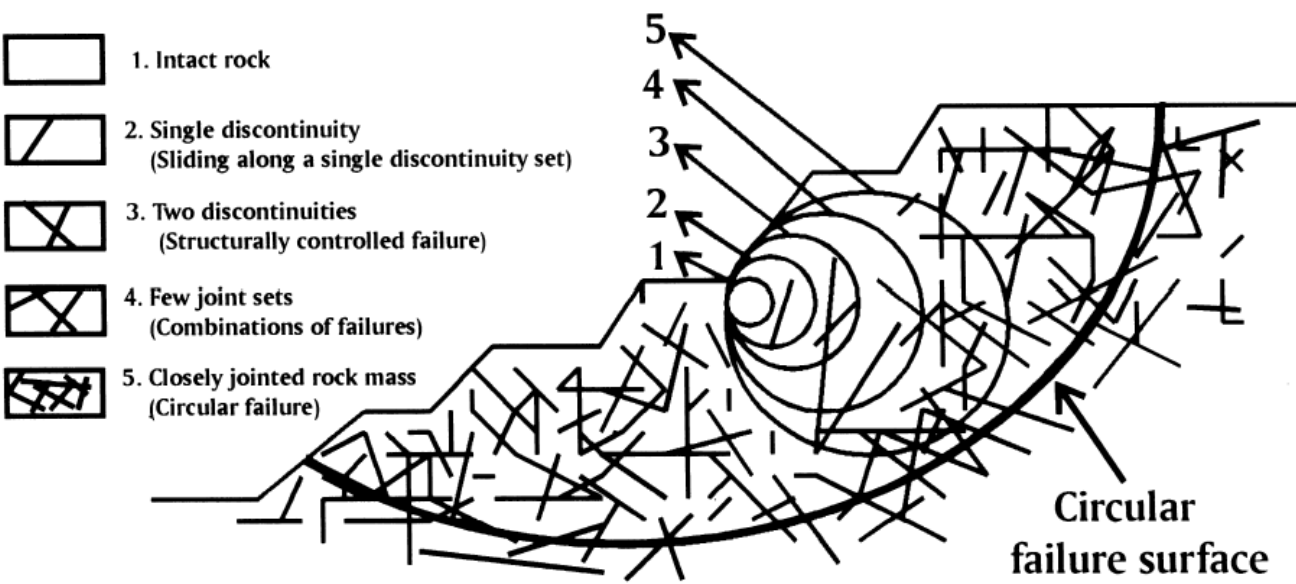
Option	Schematic diagram	Approach for defining parameters and analysis
1. Treat as uniform (continuum)		<ul style="list-style-type: none"> <li>parameters from laboratory or <i>in situ</i> tests taken to be representative of zone</li> </ul>
2. Treat as uniform but weakened by discontinuities (continuum)		<ul style="list-style-type: none"> <li>allowance made for influence (but not control) of discontinuities on mass properties (e.g. Hoek-Brown)</li> </ul>
3. Treat as heterogeneous (continuum)		<ul style="list-style-type: none"> <li>consideration given to influence of strong inclusions with deviated failure paths</li> </ul>
4. Treat as discontinuous due to structural control		<ul style="list-style-type: none"> <li>discontinuity controlled</li> </ul>

GSI →

GSI →

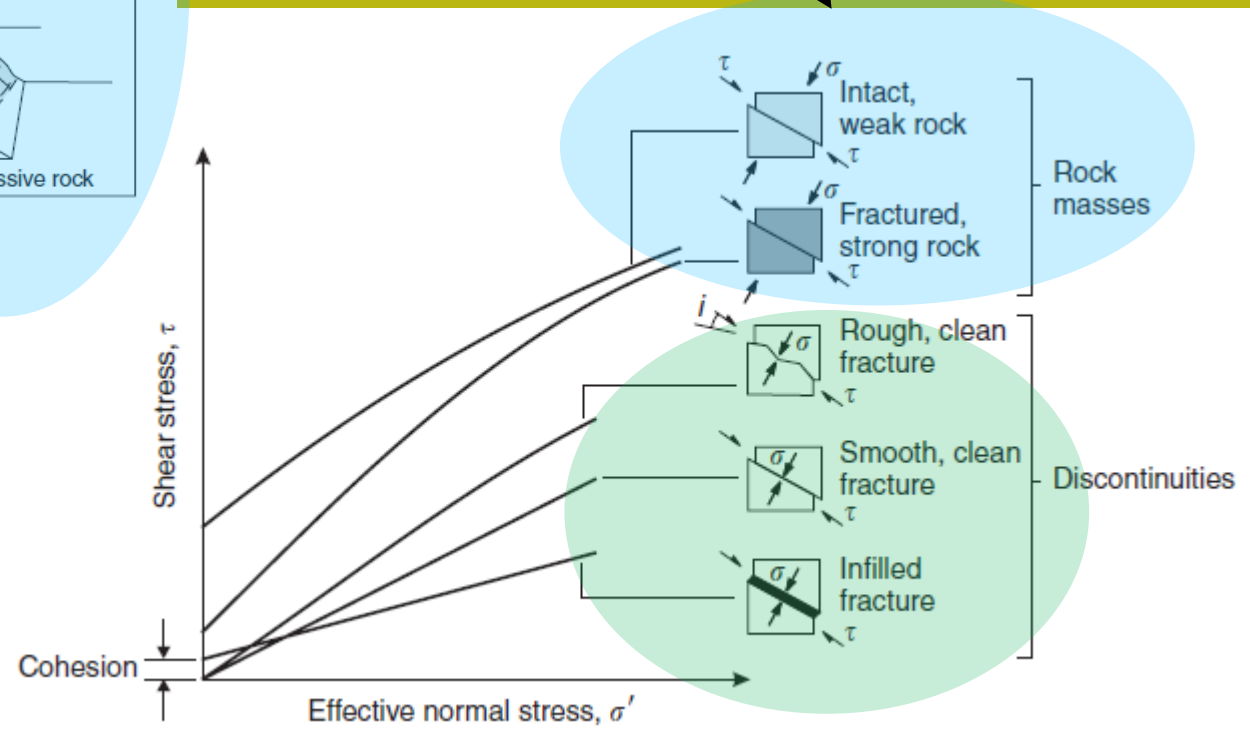
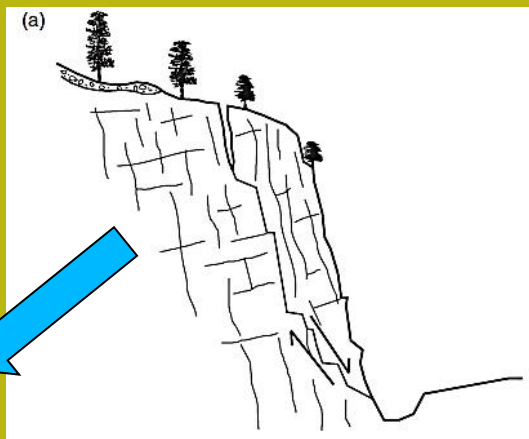
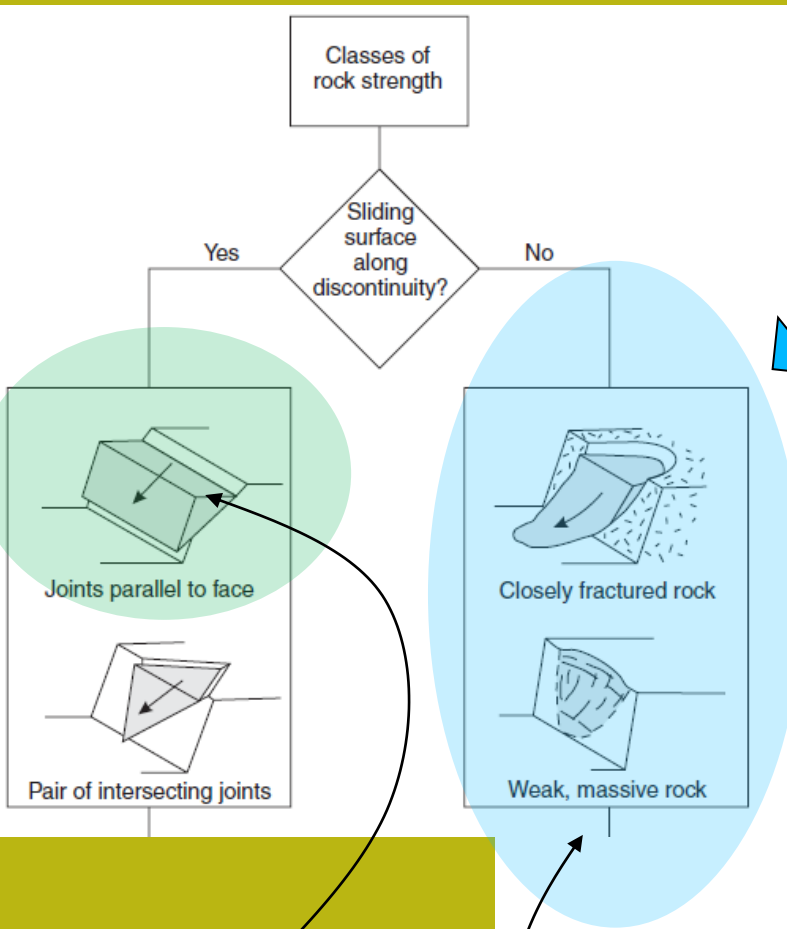
GSI+JRC →

Complejidad estratigráfica  
y geomecánica  
Influencia de la  
heterogeneidad y la  
discontinuidad



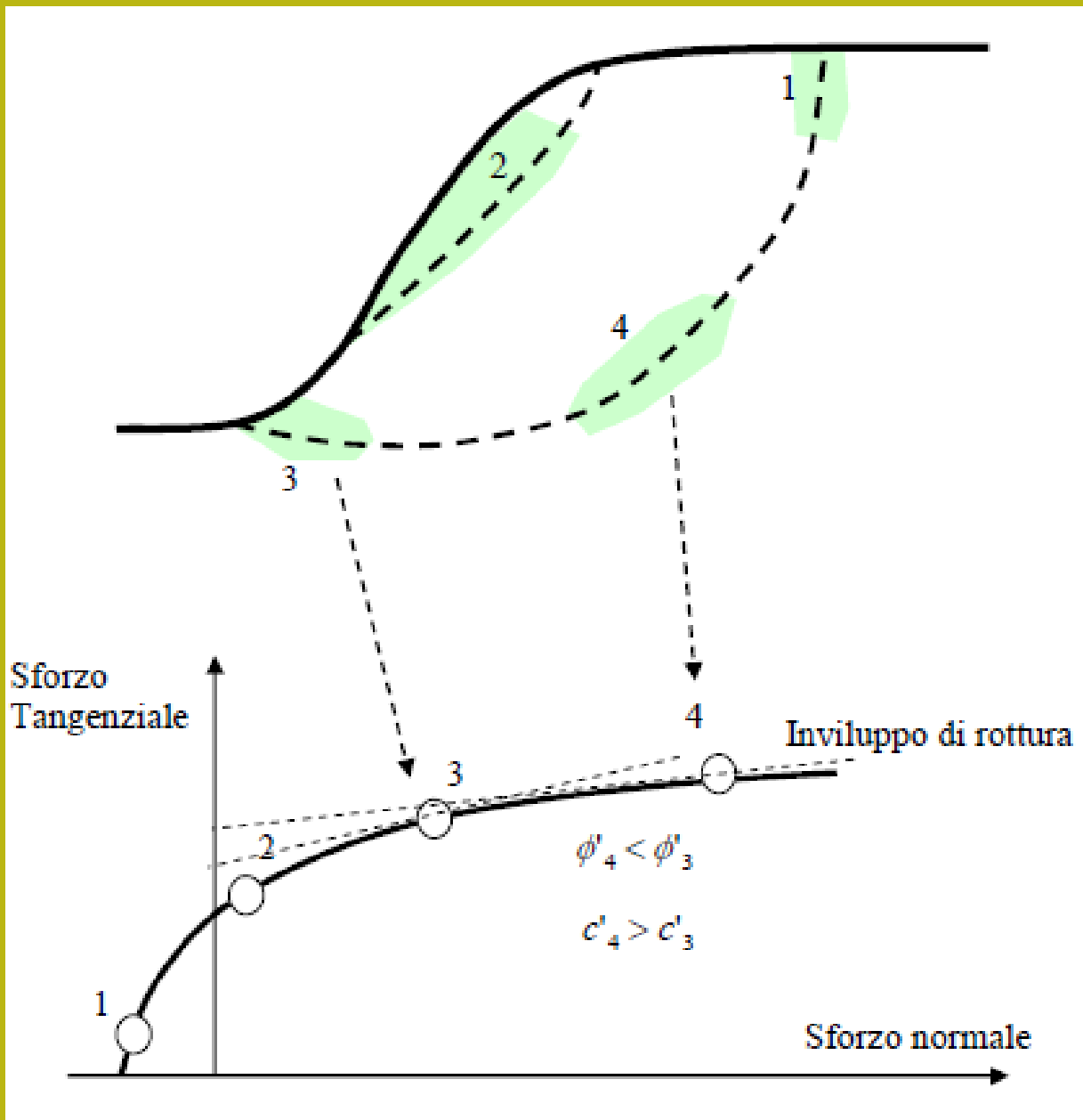
da Sonmez et al. (1998)

Teniendo en cuenta un volumen progresivamente mayor, las discontinuidades individuales se vuelven menos importantes para la estabilidad local y su distribución y densidad se vuelven frecuentes en el debilitamiento de las características mecánicas generales. En este caso, cualquier superficie deslizante se puede realizar parcial y localmente, incluso en paralelo para presentar discontinuidades, pero en general cortando cualquier puente de roca.









# Metodo GSI in SSAP: ambito di applicazione





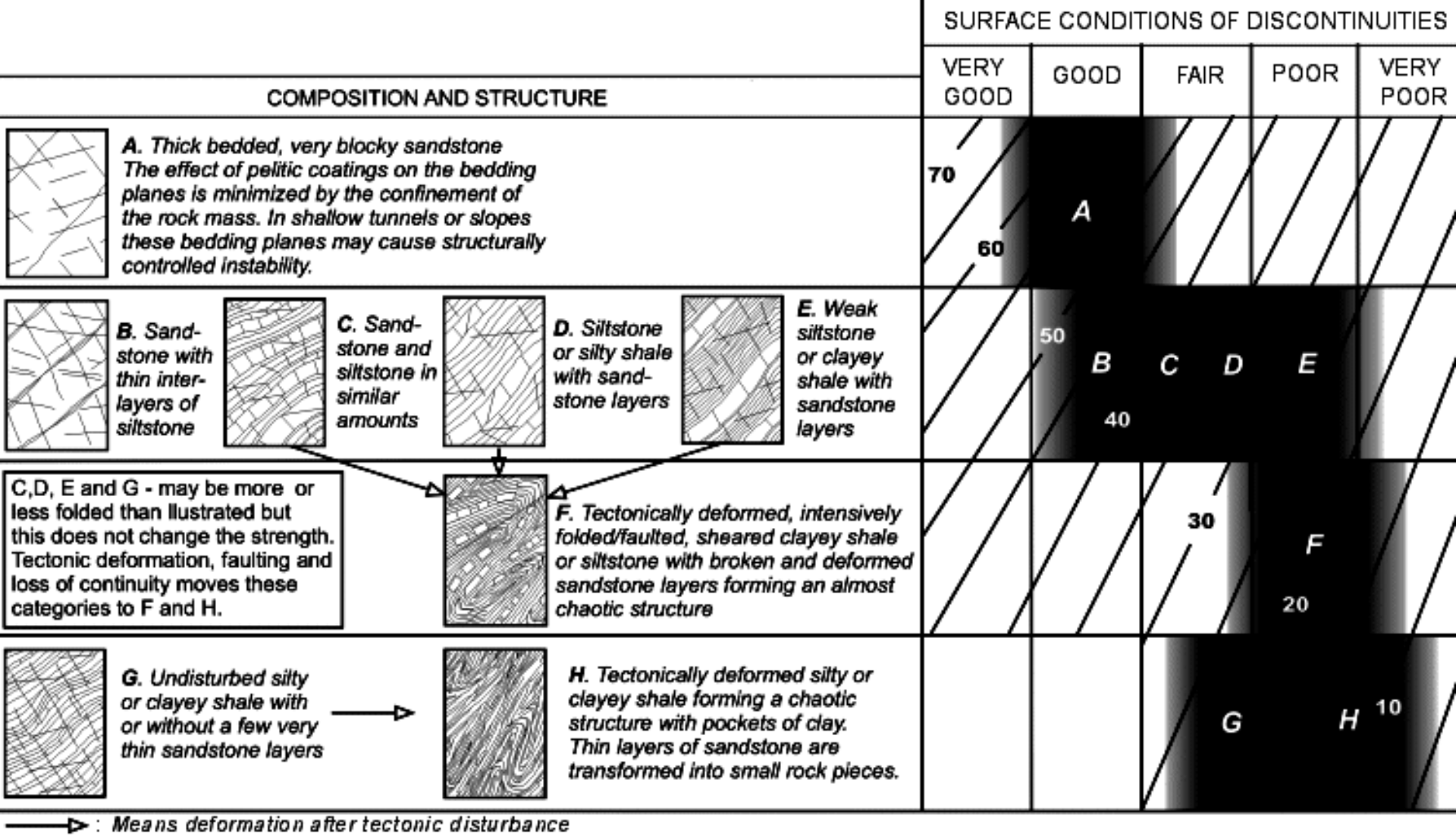
Una de las características del criterio de ruptura de Hoek et al. (2002, 2019) es que define una envolvente de ruptura curva dentro del diagrama de fuerzas normales y tangenciales.

Criterio de falla GSI  
Generalizado GHB  
Carranza-Torres, (2004)

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

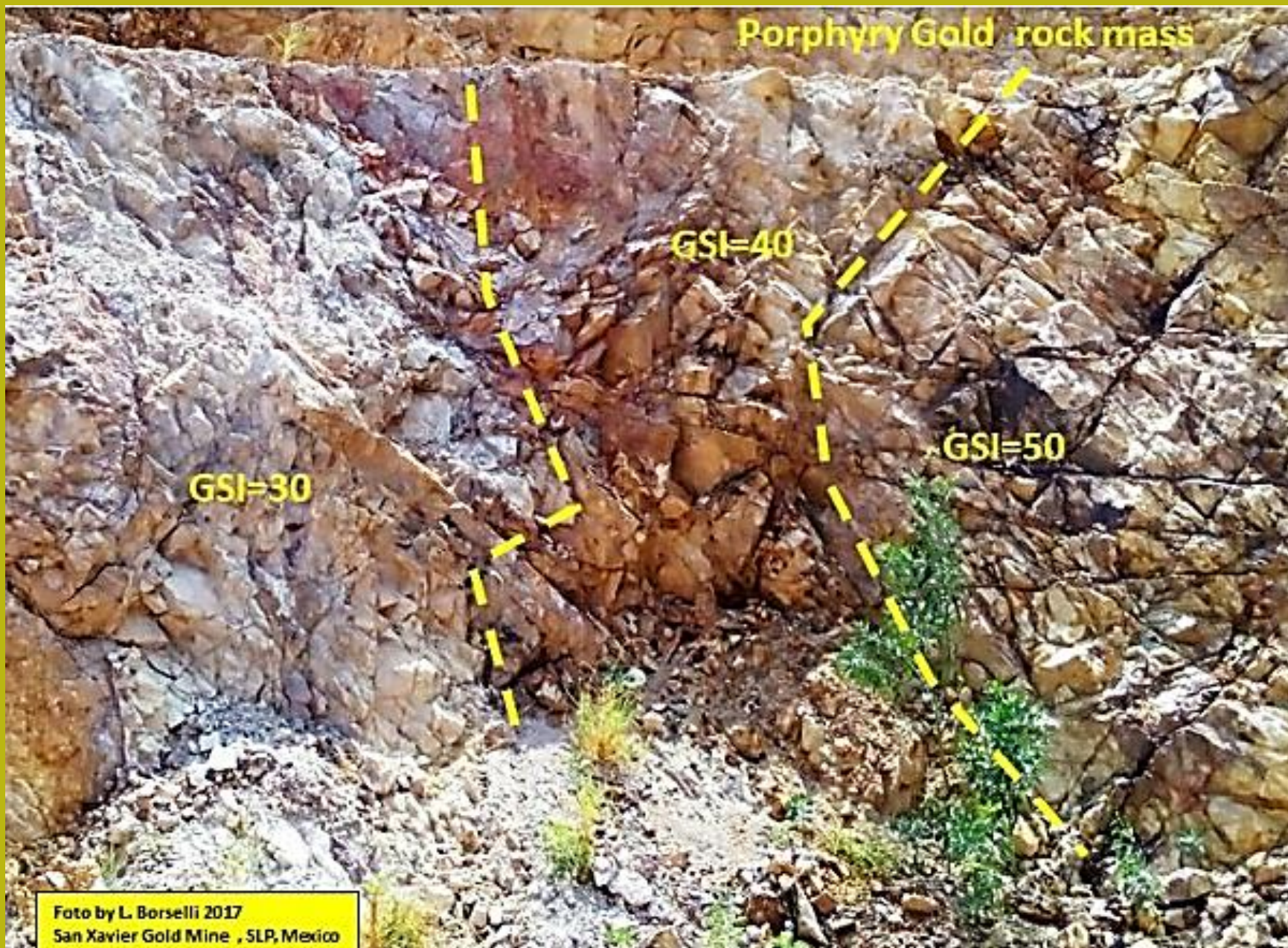
DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES

Da software ROCKLAB

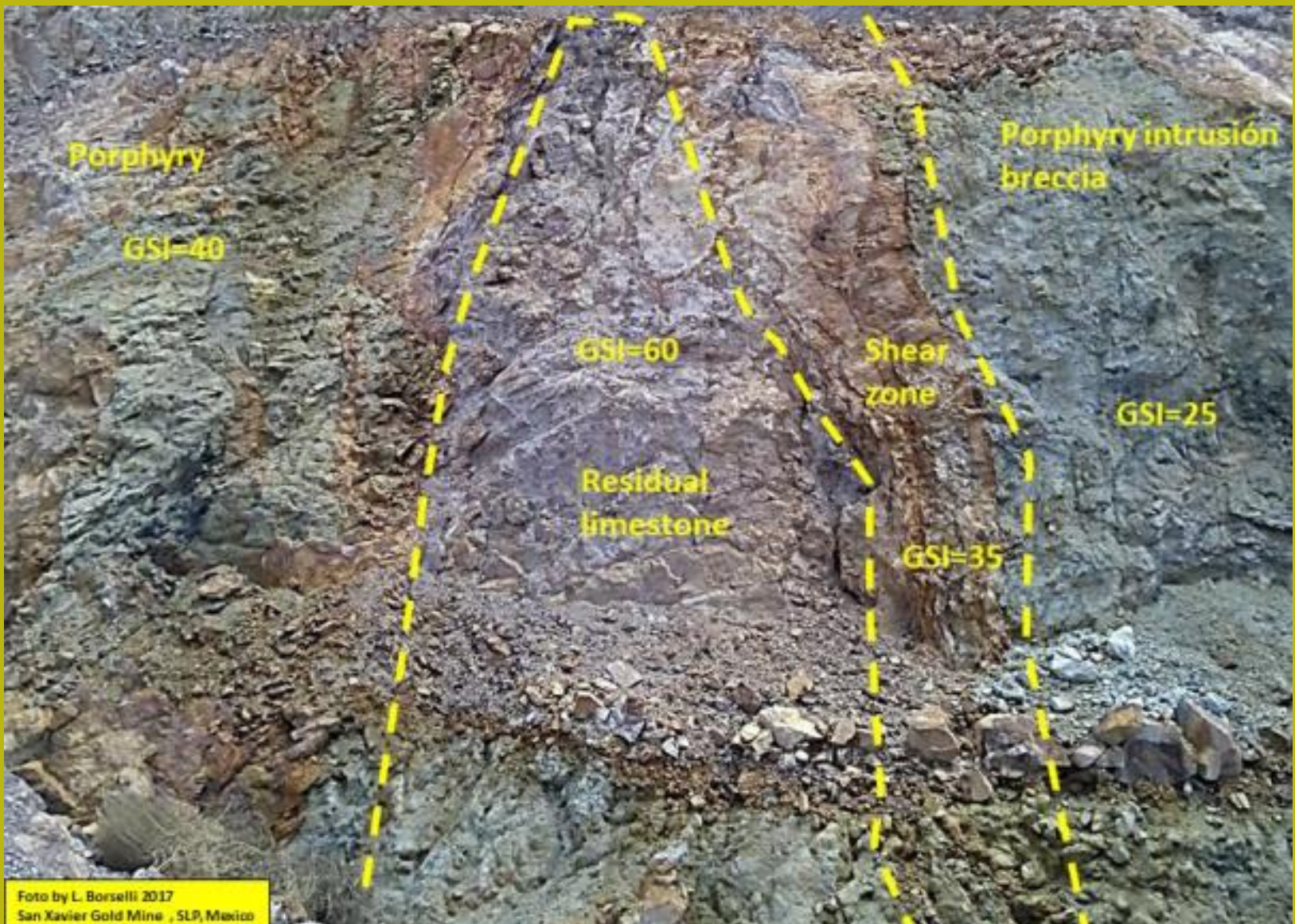


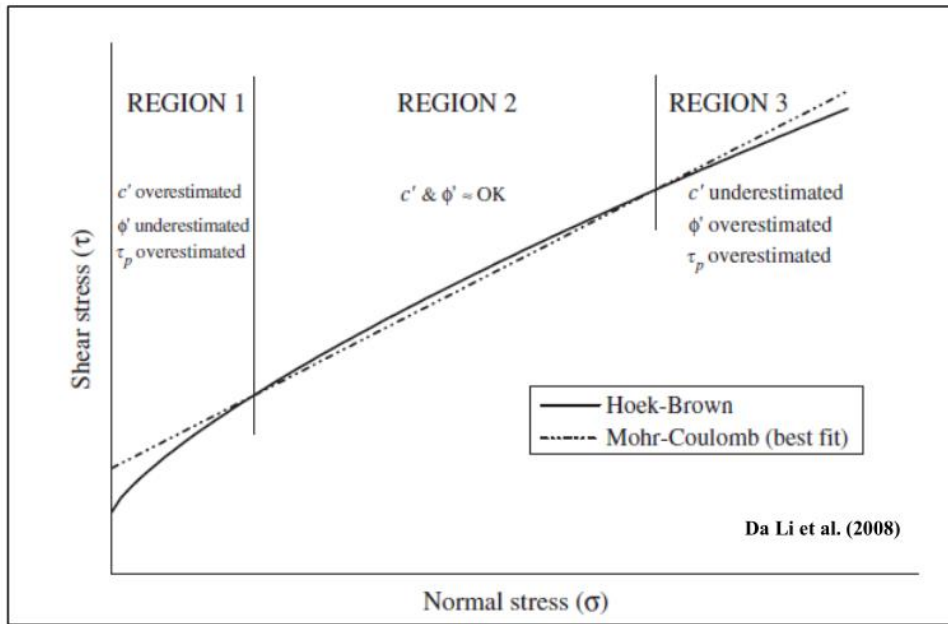
Da  
software ROCKLAB





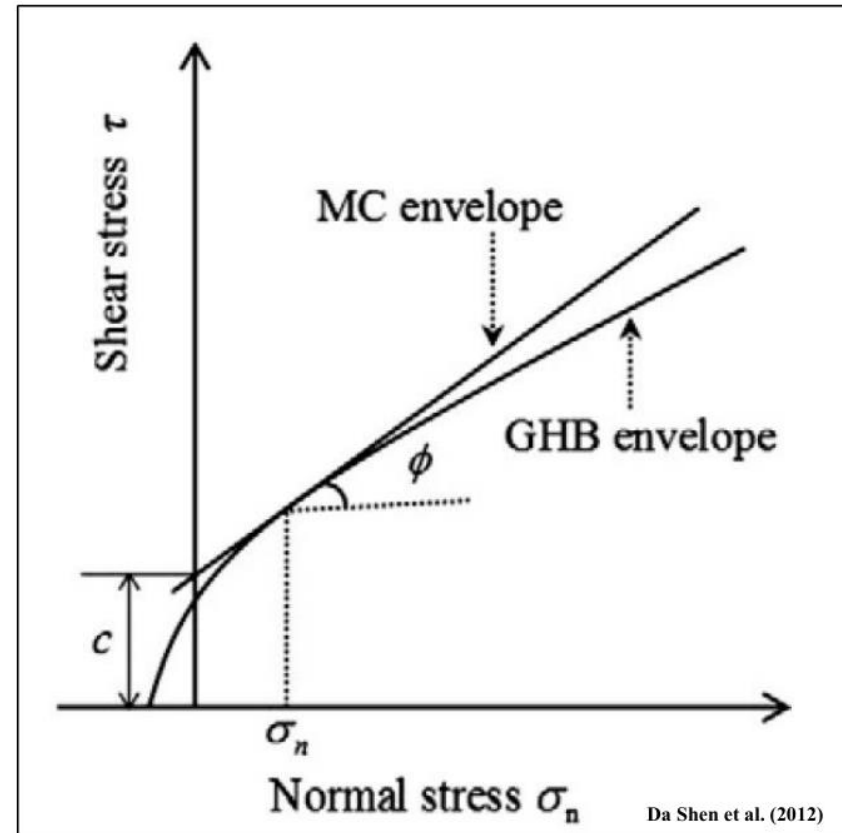






El método de Hoek et al 2002 linealización local (utilizando el mejor ajuste) del involucnte de falla sigma /tau es muy inexacto, según varios autores: Carranza-Torres (2004), Marrón (2008) Pero hay alternativas válidas Eficiente numérico y semianalítico

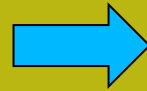
EN SSAP 5.2 podemos considerar el envolvente de falla con el criterio generalizado GHB.



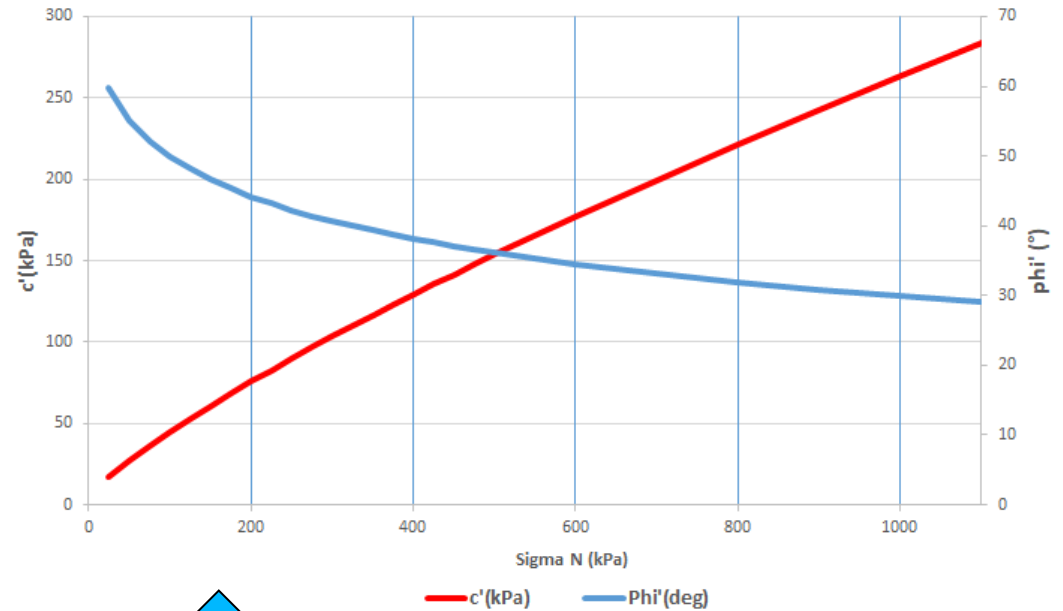
La unità *porphyry intrusion breccia* è caratterizzato da  $\sigma_{ci}=15$  (MPa); GSI =25;  $m_i =22$  ;

D=0.5.

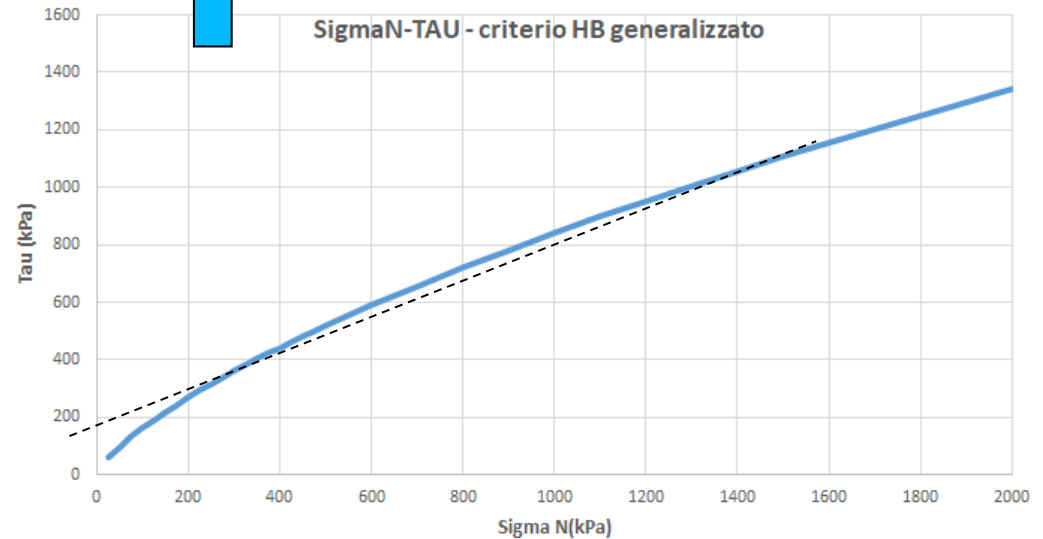
Nótese cómo los valores  $c'$  y  $\phi'$  Equivalentes varían en función del estado de tensión que determina el valor local de  $\Sigma N'$  y Valor de la resistencia total al corte local.



Criterio HB generalizzato



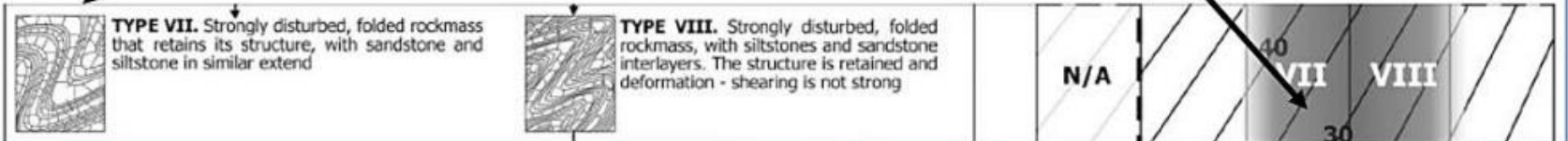
SigmaN-TAU - criterio HB generalizzato







Tipo VII GSI medio=40-35



**Fig. D.41**

**Esempio classificazione da atlante con immagini di formazioni flyshoidi in manuale SSAP 5.1**





## Estimación alternativa de GSI

Consulte el manual de SSAP 5.2 (2023) Para estimar Vb y Jc... y en consecuencia por GSI.



Russo (2009)

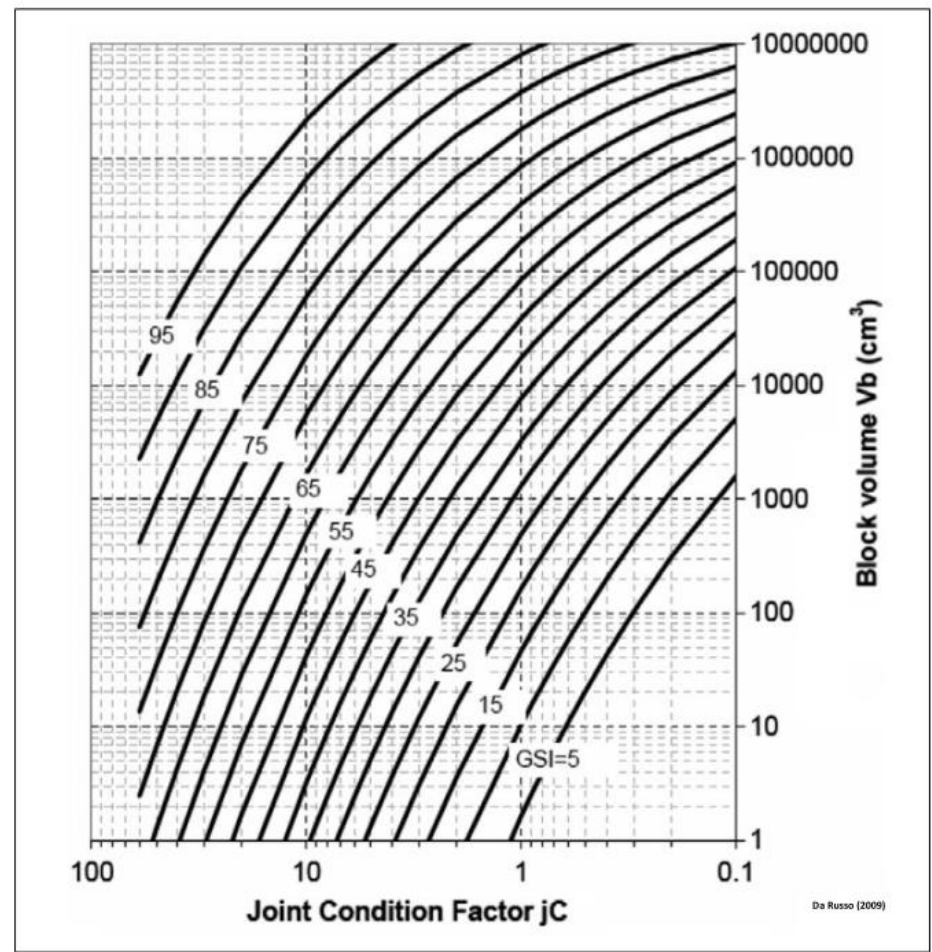


Fig. D.12

$$GSI = 153 - \frac{165}{\left[1 + (1.0526 J_c^{0.5} V_b^d)^{0.44}\right]} \quad \text{D.11}$$

con :

$$d = 0.37 J_c^{-0.2} \quad \text{D.12}$$

dove:

JC: joint condition factor (adimensionale)

$V_b$ : Volume medio dei blocchi in (m<sup>3</sup>)

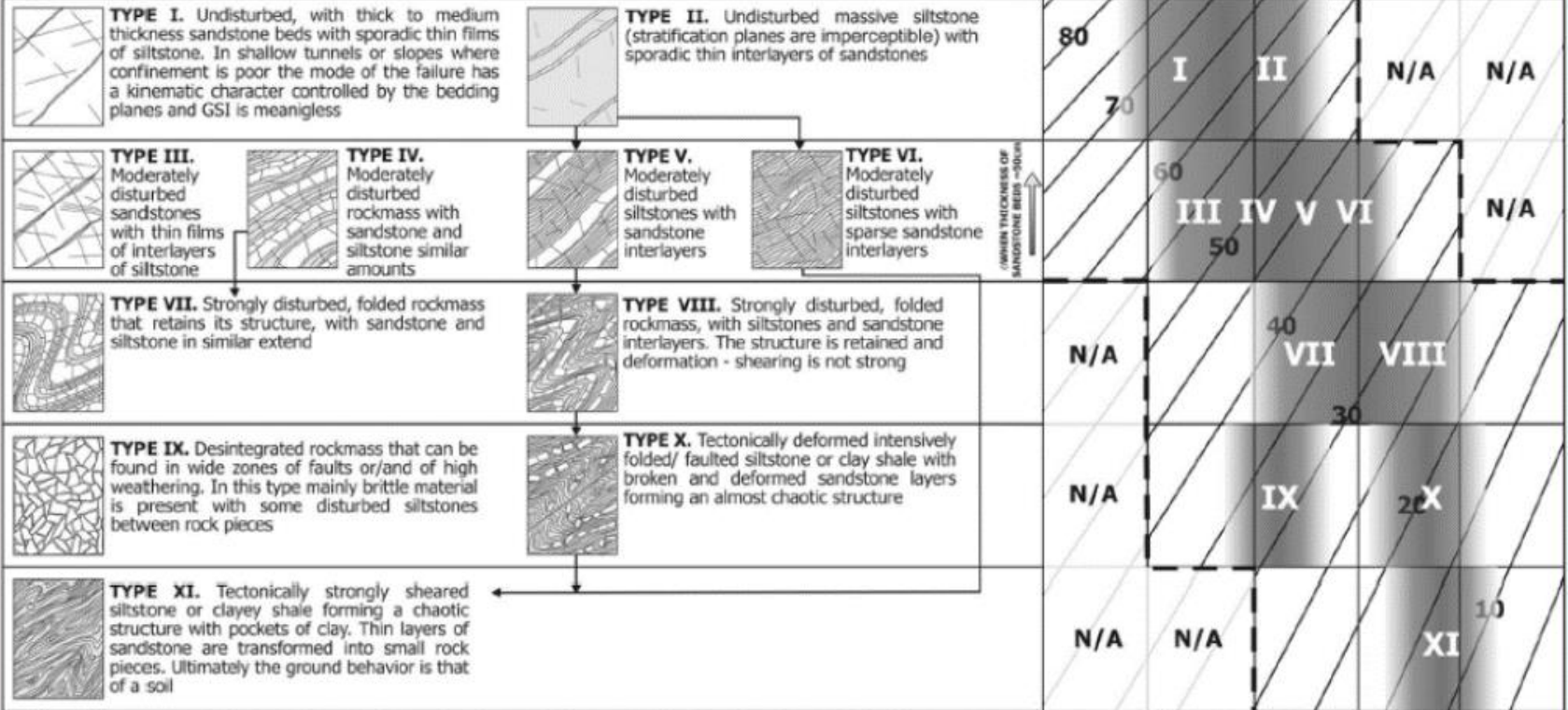


### GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH

Chart modified and extended by V. Marinos from the P. Marinos & E. Hoek (2001) original one

Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology types with significant differences in their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, these alternations are consisting of sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology, structure and surface conditions of discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. **The selection of the structure should be based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded, desintegrated, sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratification inside the siltstone layers. In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 50cm an increase of the GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are perceptible inside the siltstone mass. Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average value GSI from the contours. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between two adjacent fields. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourably oriented continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of some rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the columns for fair, poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress analysis.**

#### STRUCTURE AND COMPOSITION



N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual

→ Means deformation after tectonic disturbance

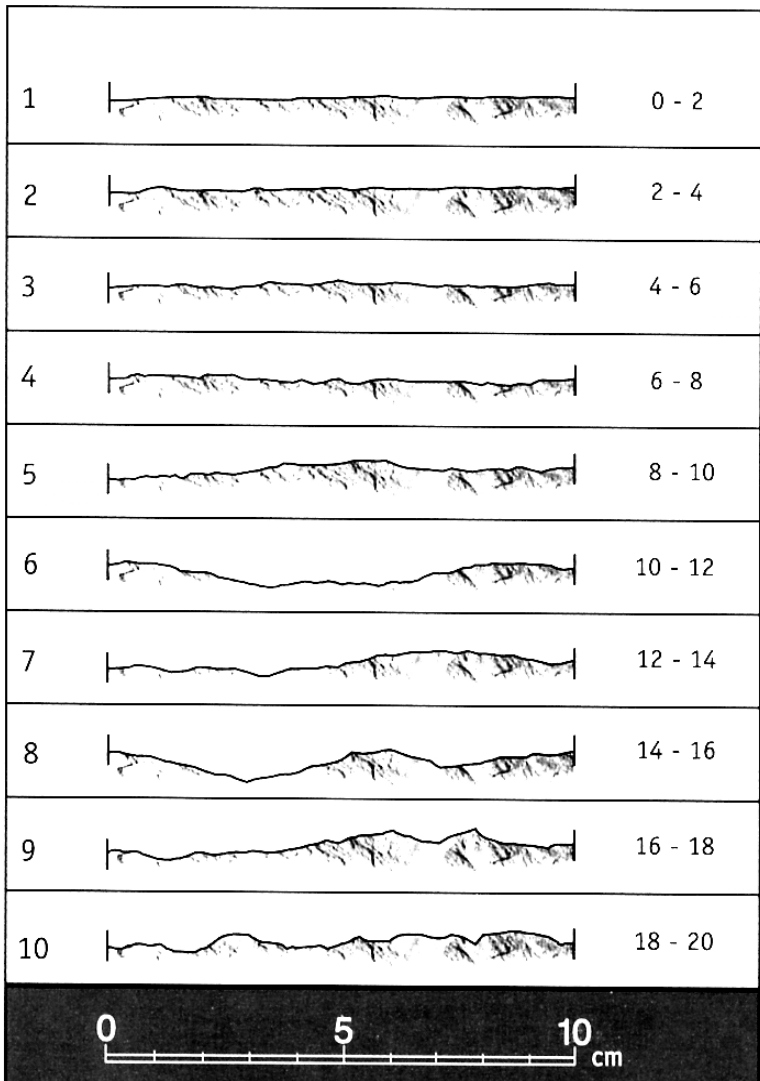
Fig. D.33 (da Marinos 2017)

Per Formazioni in facies di flysch

# Caso di discontinuita' ben identificate

# Criterio di Barton - Bandis (1990) y Patton 1966 per resistenza al taglio in discontinuita'

Tavola del JCR



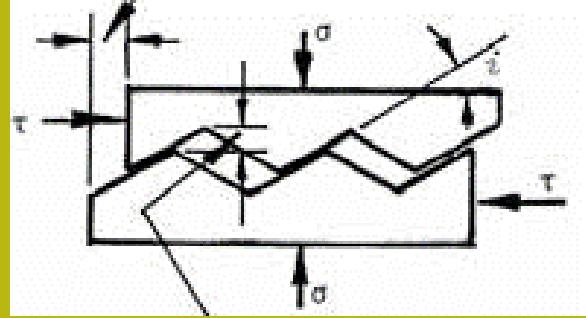
**JRC** = coefficiente di rugosita' (°)  
**JCS** = resistenza compressione uniassiale sulla superficie della discontinuita' ( MPa)  
 $\sigma_n$  = pressione normale alla superficie della discontinuita'  
 $\phi_r$  = angolo di frizione residuale (da tilt test)  
*i* = angolo di dilatanza

Barton & Bandis (1990)

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

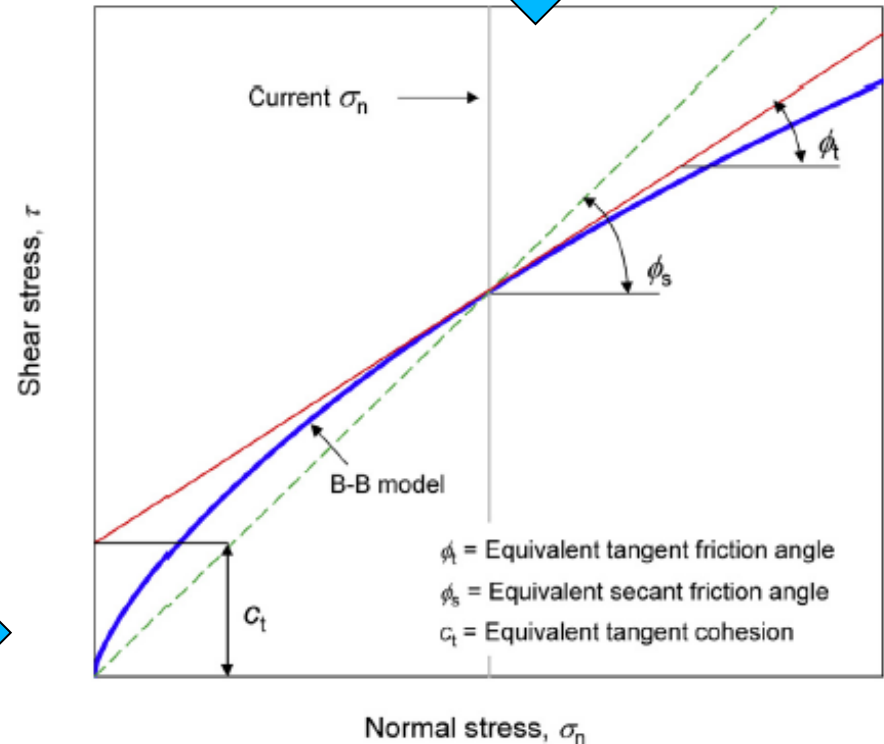
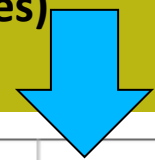
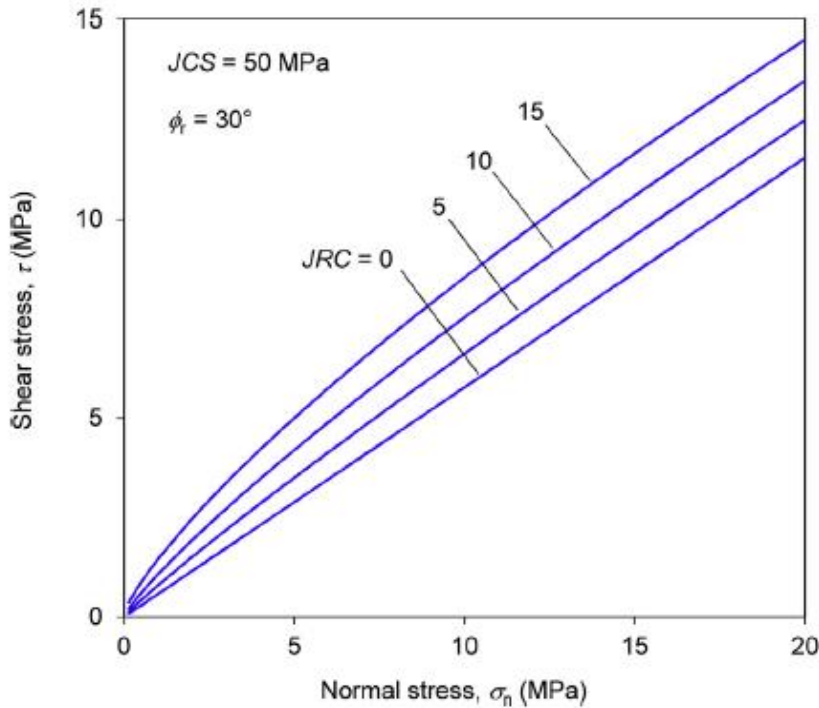
$$\tau = \sigma_n \tan (i + \phi_r)$$

Patton (1966)



**Criterio B-B, CCI no lineal que puede utilizarse a partir de SSAP versión 4.9.6**

**Dado que el criterio de ruptura de Barton para discontinuidades también es curvo, la estimación phi y sus equivalentes no pueden ser simplemente linealizados. (daría lugar a grandes sobreestimaciones o subestimaciones)**



**La estimación local de phi' y valores equivalentes sigue en SSAP el método de Prassettyo et al. (2017)**



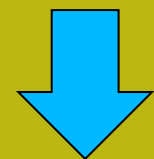
Area con Isotropia estructural  
(strati a reggipoggio piu'  
Famiglie aggiuntive di discontinuita')

(Barton 1985  
Per specifiche  
discontinuita')



Metodo GSI

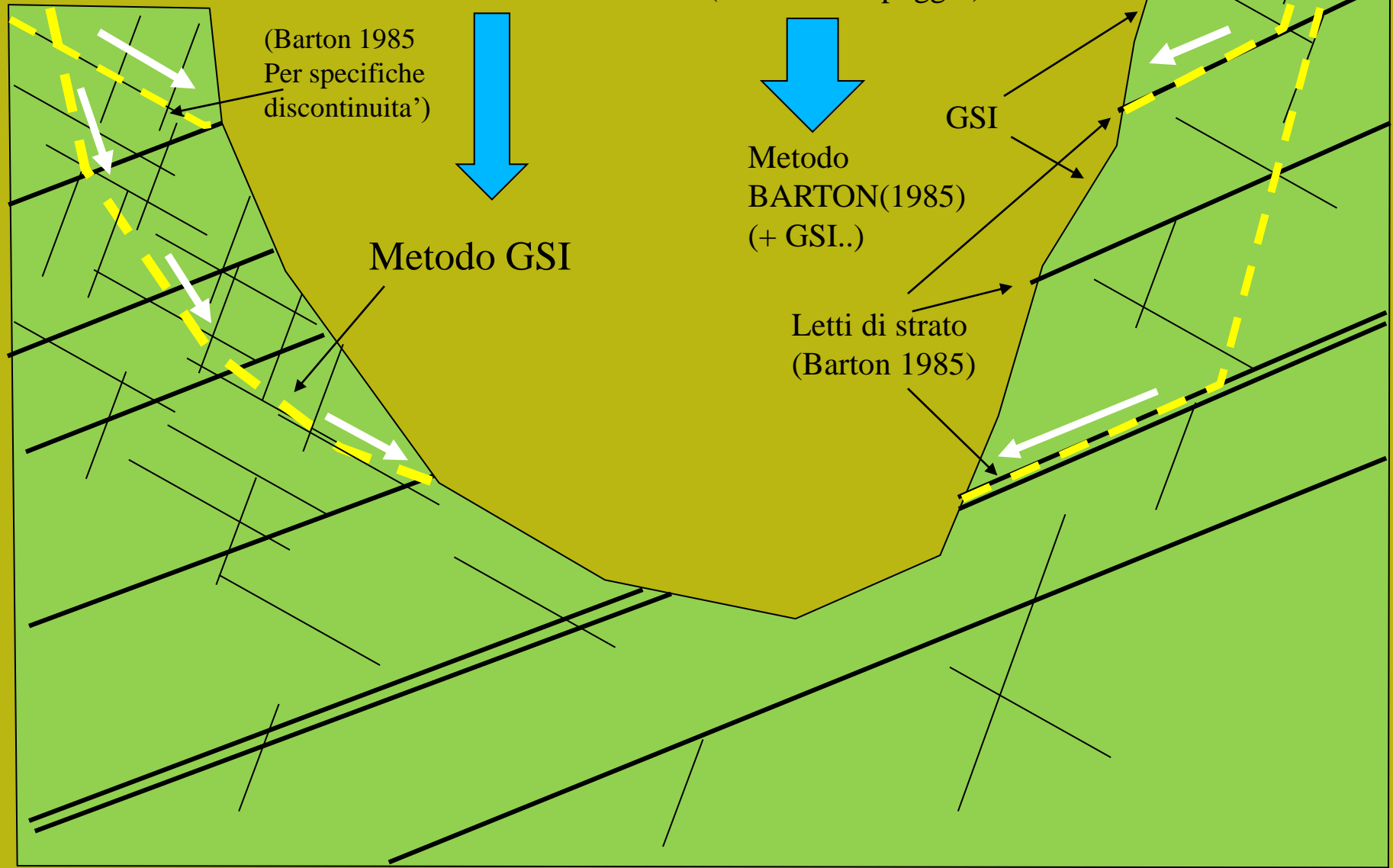
Area con discontinuita' e marcata  
Anisotropia estructural  
(strati a franapoggio)



Metodo  
BARTON(1985)  
(+ GSI..)

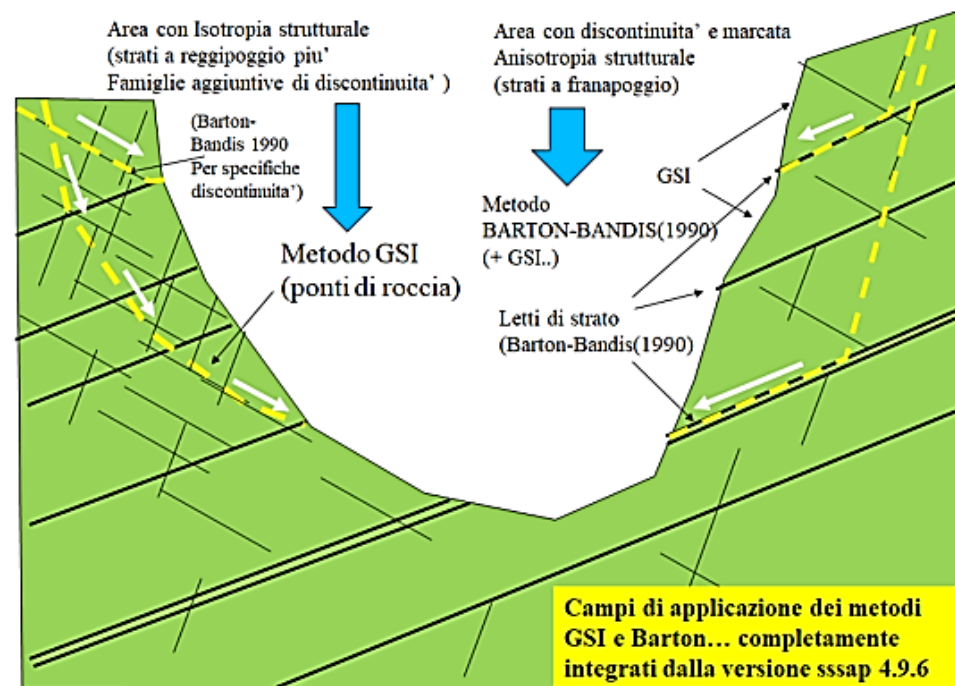
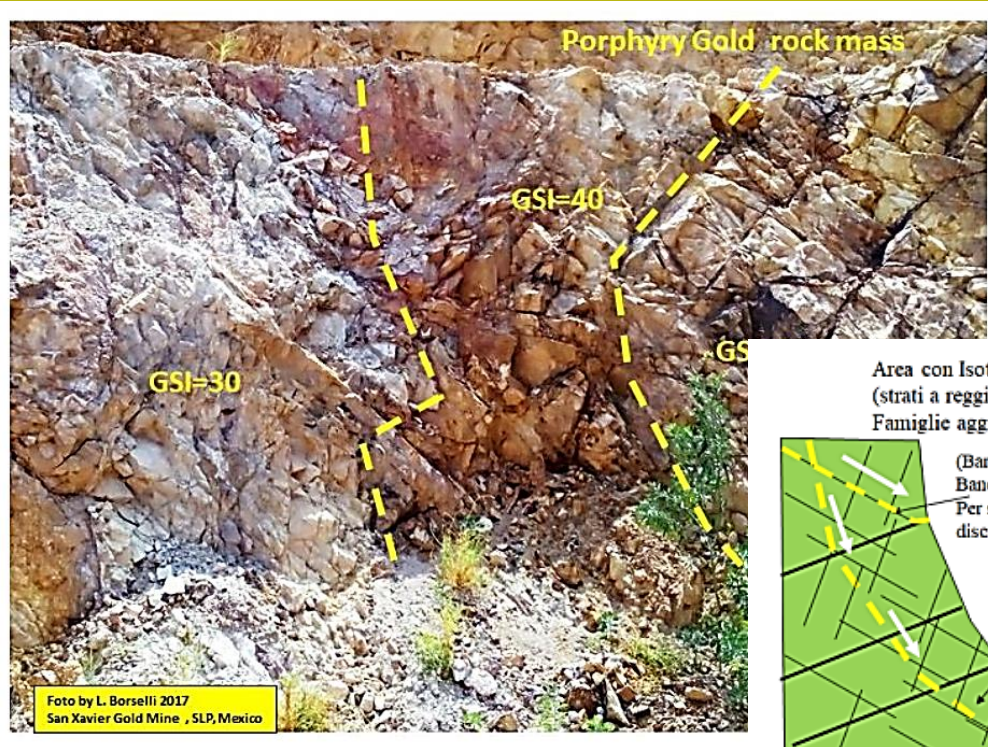
Letti di strato  
(Barton 1985)

GSI

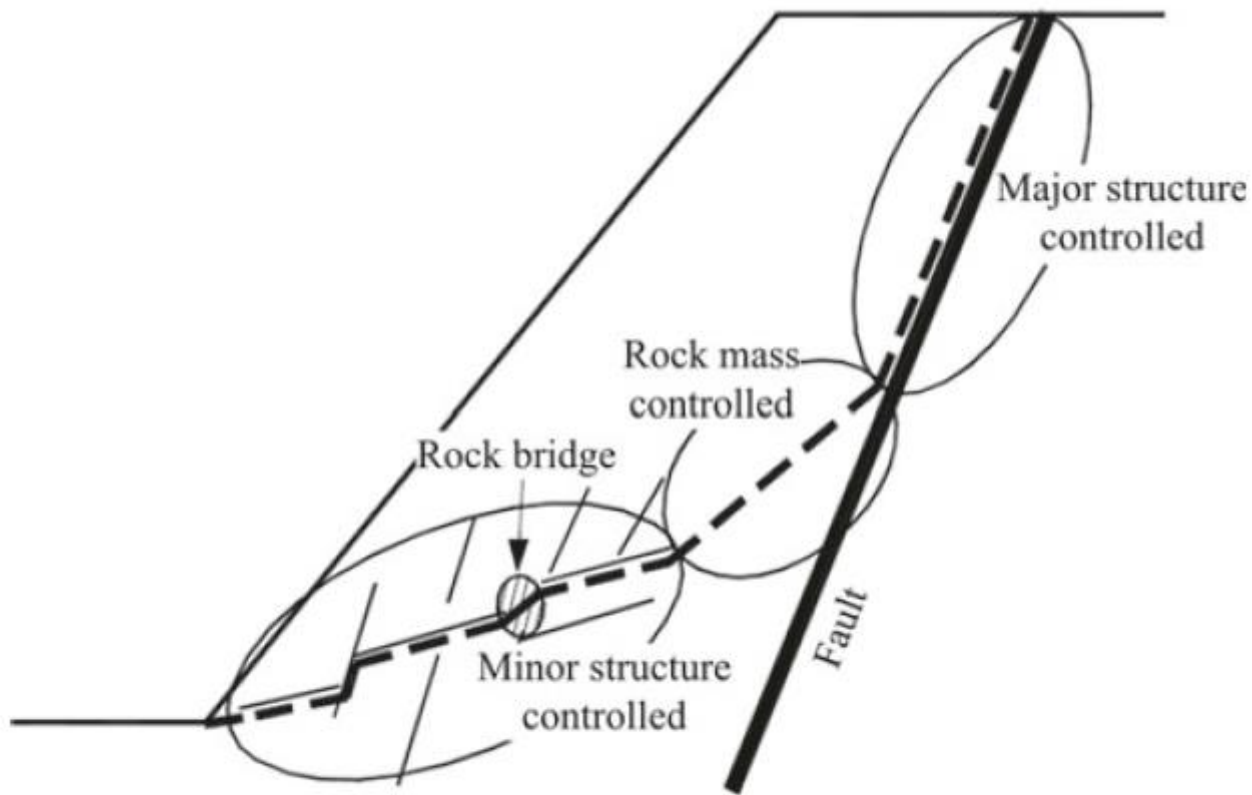


Campos de aplicación de los métodos GSI y Barton

# 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



## Campos de aplicación de los métodos GSI y Barton



Schematic diagram of structurally-controlled instability (Baczynski 2000)

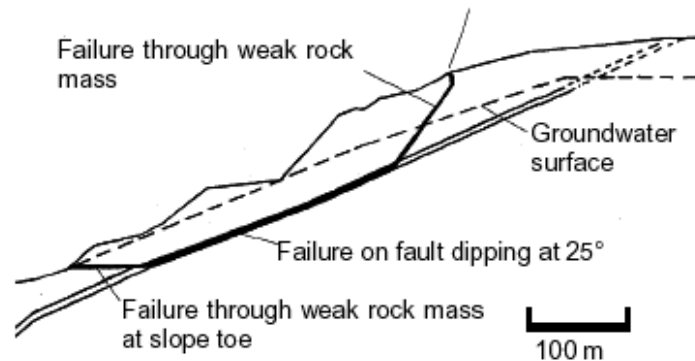
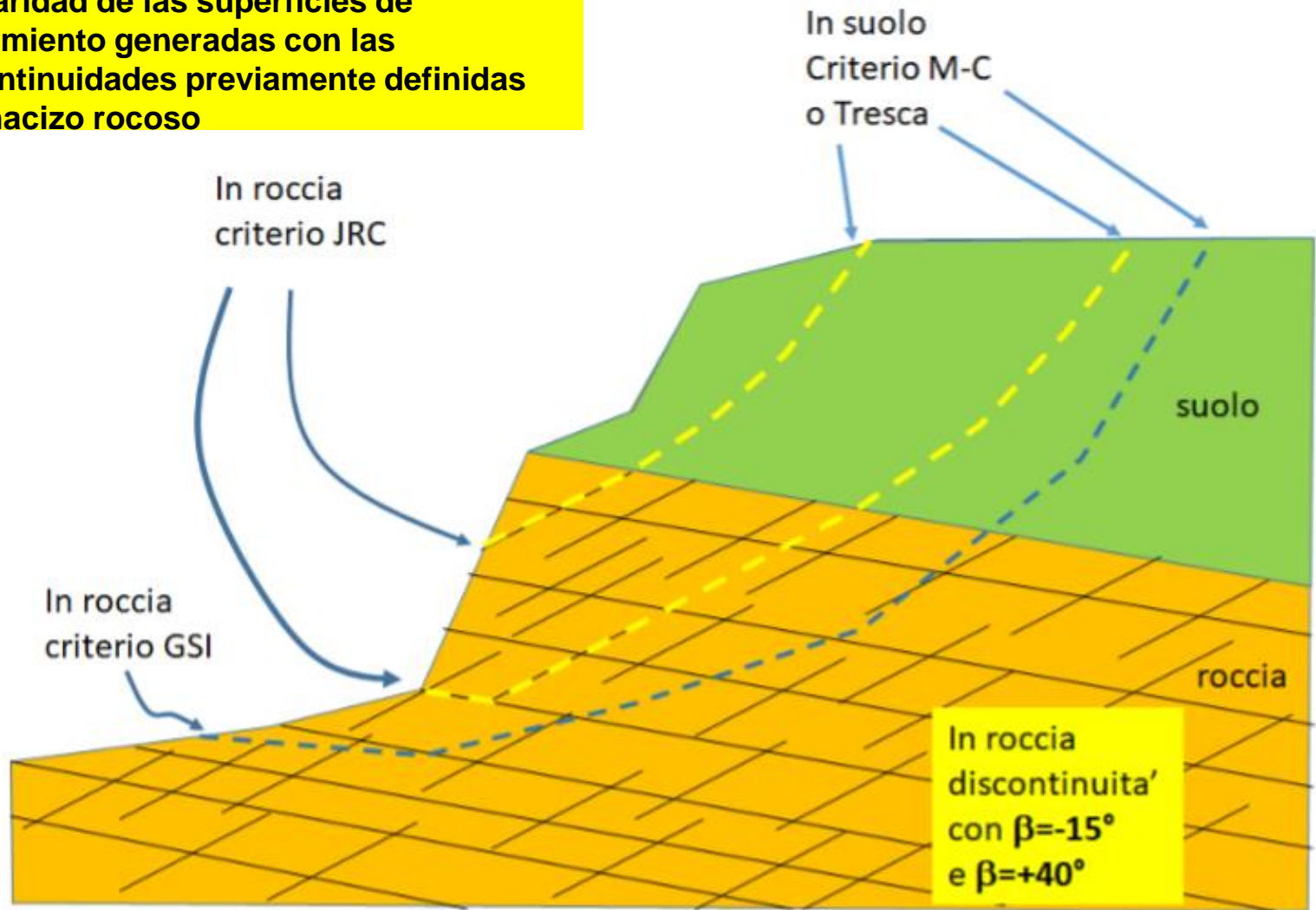


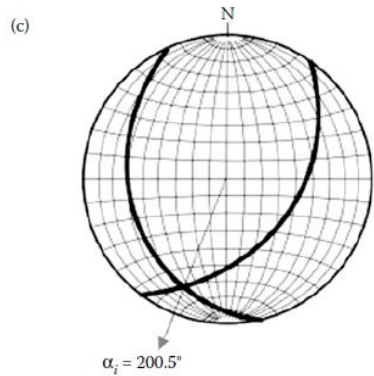
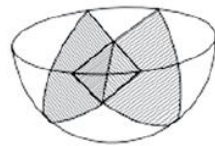
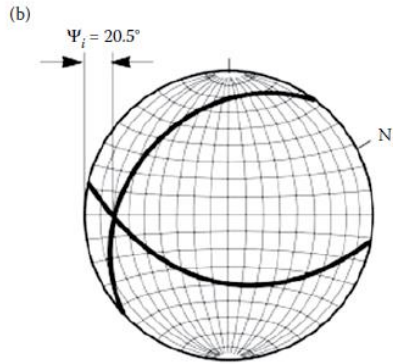
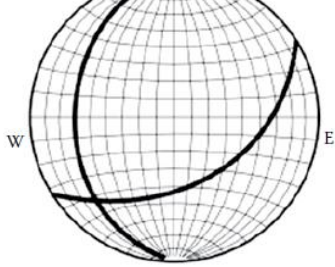
Figure 11.31: Complex slope failure controlled by an outward dipping basal fault and circular failure through the poor quality rock mass overlying the toe of the slope.

En Rocas la selección del criterio de falla GSI o JRC B-B depende da la Colinearidad de las superficies de deslizamiento generadas con las doiscontinuidades previamente definidas en el macizo rocoso



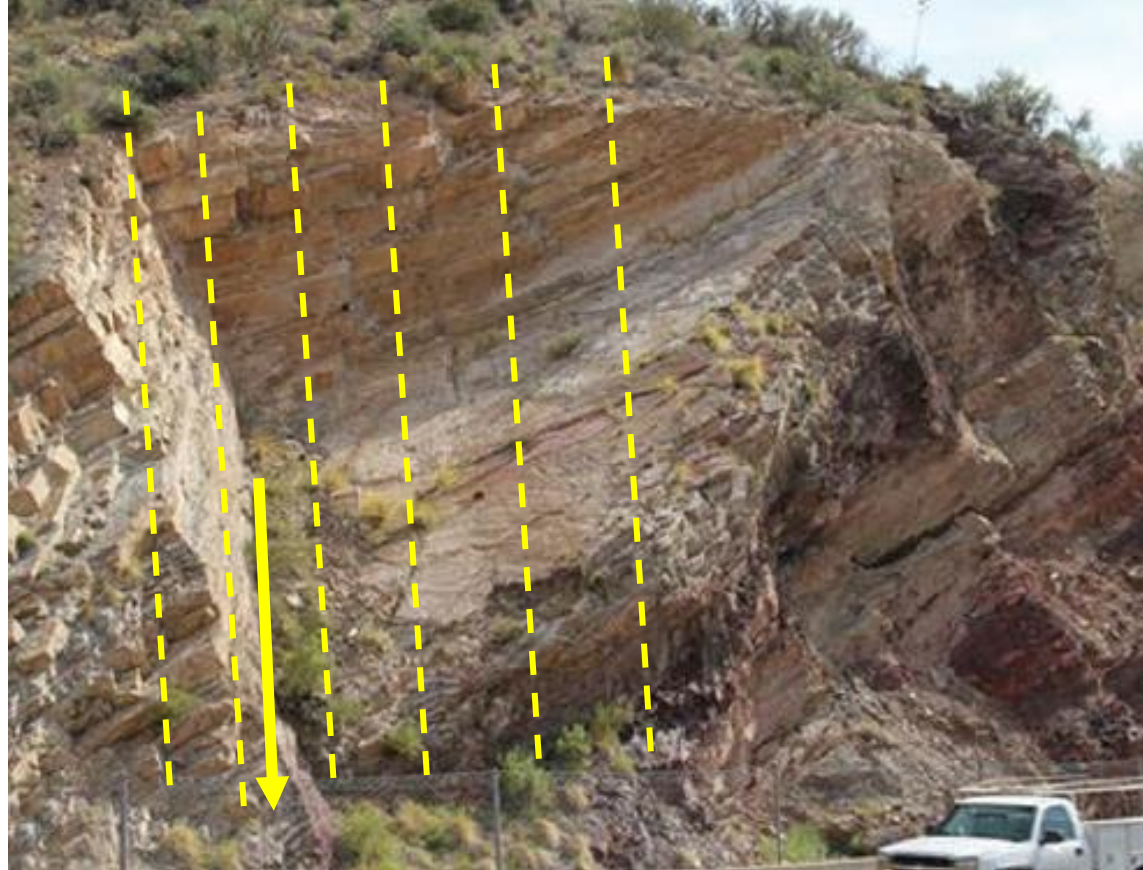
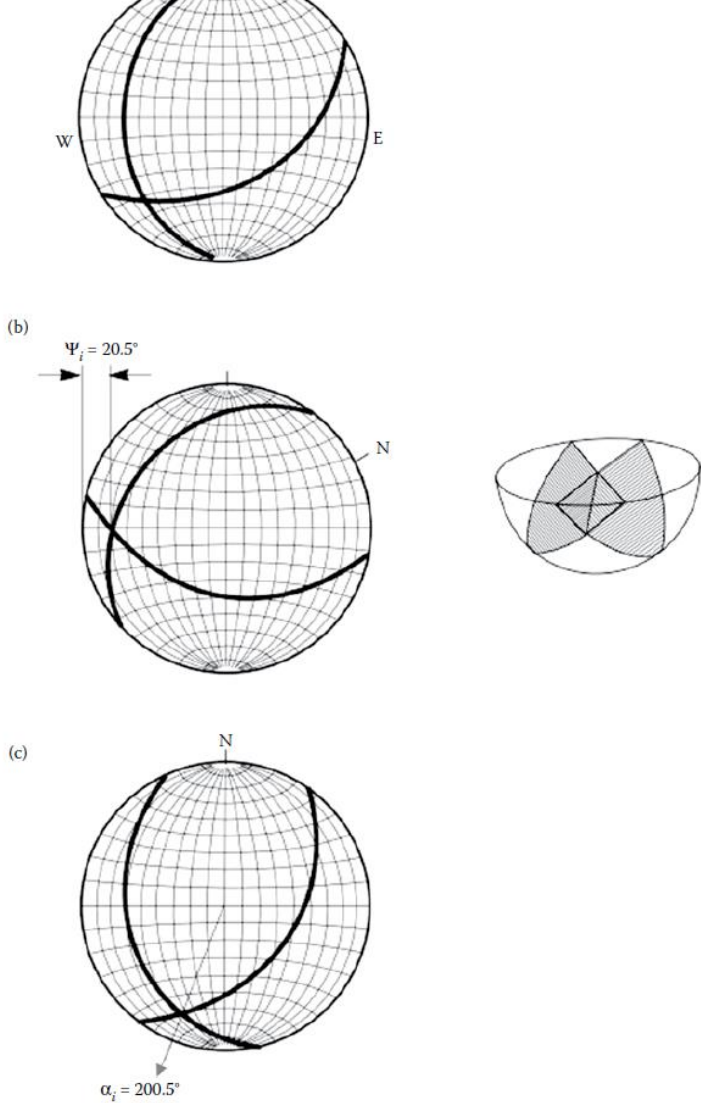
Caso de masa rocosa definido con criterios GSI-GHB + JRC y con discontinuidades orientadas (implementación en software SSAP)





Da Wyllie 2018

**Complejidad estratigráfica  
y geomecánica  
Influencia de la  
heterogeneidad y  
discontinuidad de las  
cuñas 3D**

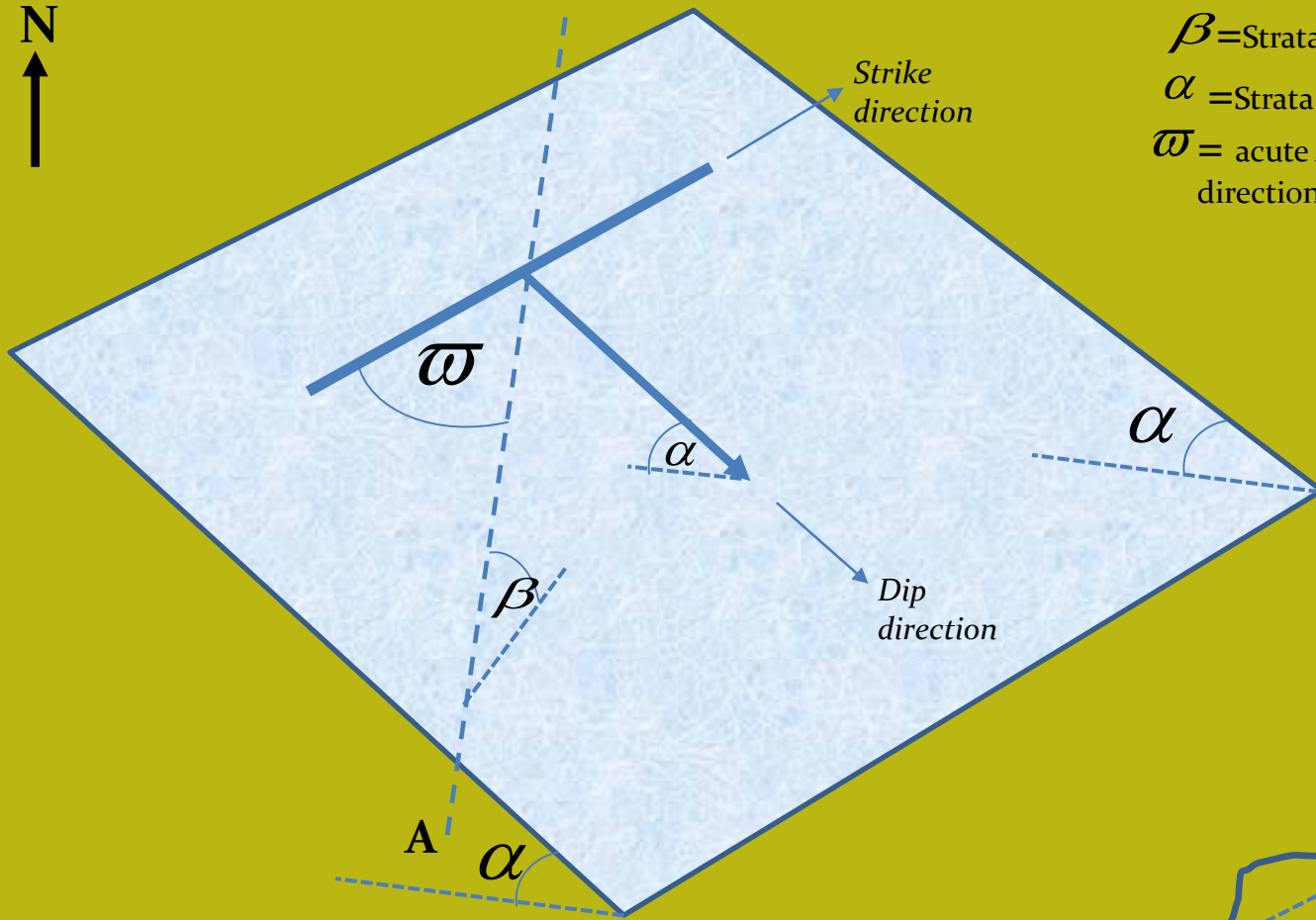


Da Wyllie 2018

Simulación de deslizamiento de cuña  
Con modelo 2D

Integraciones de secciones sub-paralelas Hungr  
(2004) como puede usarse en SSAP

**Complejidad estratigráfica y  
geomecánica  
Influencia de la heterogeneidad y  
discontinuidad de las cuñas 3D**



$\beta$  = Strata apparent dip (°)  
 $\alpha$  = Strata True dip (°)  
 $\omega$  = acute Angle between strike direction and direction of section A-A' (°)



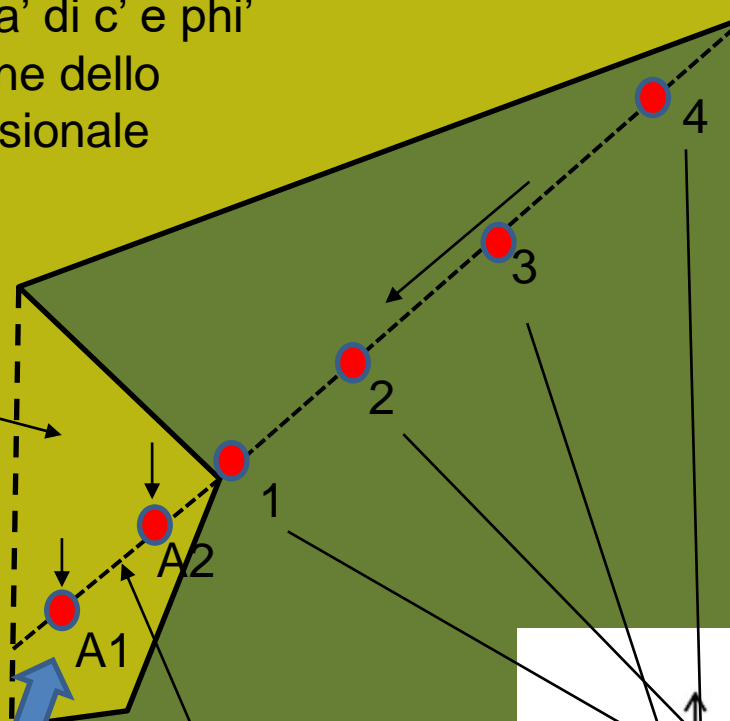
$$\beta = \arctan[\tan(\alpha) \sin(\omega)]$$

Da Borselli (2022)



Variabilità di  $c'$  e  $\phi'$  in funzione dello stato tensionale locale

Lente di aria a resistenza e massa prossima a 0



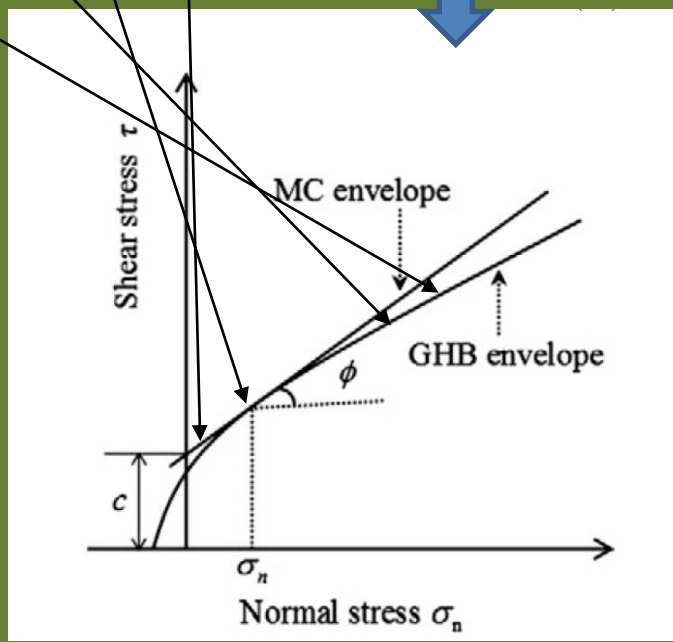
Nei punti 1,2 3,4  
 Agisce un diverso Stress Normale efficace

Questo significa che  
 Con un involuppo di rottura **non lineare**  
 La resistenza al taglio Non e' costante  
 Lungo la superficie Planare e i valori  $c'$  e  $\phi'$  Variano con continuita' Punto- punto.

Nei punti A1,A2  
 Agisce un diverso Stress Normale efficace (virtuale)

Ma dato la  $c'$  e  $\phi'$  prossimi a 0 (es.  $\phi' \lim \rightarrow 0$ ) sara' 0 anche la Resistenza al taglio locale

Porzione virtuale della sup. Di scivolamento



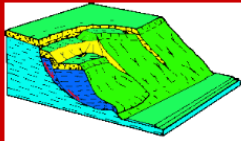
SSAP 2010. - [WWW.SSAP.EU](http://WWW.SSAP.EU)


Software enteramente freeware (de uso libero , pero non *open source*)  
Proyecto CONACYT, Ciencia Basica 286764 ).




ssap.eu/index\_es.html

**SSAP2010**  
*Slope Stability  
Analysis Program*  
**release 5.2**



  
Versione Italiana [here](#)

  
English Version [here](#)

créditos especiales :  
**CONACYT (México)**  
Proyectos Ciencia Básica:  
CB-2012/184060  
CB-2016/286764

**SSAP2010**  
*(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)*  
**Versión 5.2 (2023) - Win 64 Bit**  
(26-02-2023) - build n. 13366

Software Totalmente Freeware  
de uso totalmente Libre  
*para Particulares, Ingenieros, Geólogos, Estudiantes  
y Administraciones Públicas (ver [licenza de uso](#))*

SSAP2010 es un completo software gratuito para verificar la estabilidad de taludes naturales, artificiales o con elementos de refuerzo. Es una herramienta avanzada, desarrollada en unos 30 años de trabajo. SSAP proporciona a los usuarios un conjunto de herramientas originales para realizar comprobaciones de estabilidad en profundidad utilizando únicamente métodos de cálculo rigurosos basados en Equilibrio Límite y Motores Innovadores para generar y buscar superficies con el Factor de Seguridad (Fs) más bajo. Una interfaz gráfica de Windows WIN 11 y un conjunto de herramientas de software para el montaje de modelos de talud, visualización gráfica e informes ([se vean características generales del programa](#) ).

*Descripción sintética y Metas del proyecto SSAP ([AQUÍ](#))*

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

# SSAP 2010 64bit – 5.2 (2023) 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, en taludes naturales y con obras de ingeniería. [WWW.SSAP.EU](http://WWW.SSAP.EU)



**SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM**  
release 5.2 (c) (1991-2023)  
Build No. 13480 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 VERIFICA**  
DIAGRAMMI FORZE  
MAPPA PRESSIONE FLUIDI  
VEDI GRAFICI SUPERFICI  
GENERA / VEDI MAPPA F<sub>s</sub> LOCALE

**MODELLO PENDIO**  
LEGGI MODELLO  
Attiva preprocessing fase 2  
CARICA IMPOSTAZIONI PROGETTO  
release 5.2 SSAP2010  
"Un passo oltre..."  
WWW.SSAP.EU  
VEDI MODELLO  
HELP  
ESCI dal programma

**MODELLO PENDIO :** modello\_importato\_JRC-wiremesh.mod  
MODELLO DI CALCOLO  
MODELLO DI CALCOLO : **Morgestern - Price (1965)**  
COEFFICIENTI SISMICI: ORIZZONTALE (Kh) : 0.0000  
VERTICALE (Kv) : 0.0000 (Kv assunto con segno positivo)

**PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI**  
MOTORE DI RICERCA SUPERFICI **Random Search (RS)**  
ZONA DI INIZIO - Progressive - ( m ) : da 8.48 a 120.08  
ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - ( m ) : da 20.88 a 127.52  
QUOTA LIMITE INFERIORE (m) : 0.00  
LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI - ( m ) : 4.96  
SMUSSA SUPERFICI: *Disattivato* EFFETTO TENSION CRACKS: *Attivato*  
RICERCA CON ATTRATTORE DINAMICO: *Attivato MI* METODO (lambda0,Fs0): A

**RISULTATI IN TEMPO REALE**  
Fs ITERATIVO : **3.3119**  
INTERVALLO F<sub>s</sub> delle 10 SUPERFICI CON MINOR F<sub>s</sub> : **Fs Min. 1.6157 - 1.9762**  
n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE: **6909 di 15000**  
% EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI : 54.846 % STABILITA' NUMERICA: 99.07

**PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETE(%) :** 46.06

**STOP VERIFICA** **VEDI RISULTATI TEMPORANEI**

**OPZIONI GENERALI per Verifiche di Stabilità SSAP**  
PARAMETRI SISMICI  
Coefficiente sismico orizzontale - Kh: 0.0000  Kv (negativo)  
Coefficiente c=Kv/Kh: 0.500

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

**T(x) = λf(x)E(x)**  
Esplora spazios(lambda0,fs0)  
A (rapido)  
B (rapido e accurato)  
C (più accurato)  
D (molto più accurato)

**CONTROLLO STABILITA' NUMERICA**  
% Tolleranza stress normali negativi: 10 %  
% Tolleranza RHO=|Fs/Fv| > 1.0: 100 %  
LIMITATO / Non LIMITATO  
Reimposta Valori Standard Stabilizzatore numerico attivo

**MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI**  
RANDOM SEARCH (RS)  
CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)  
SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 3.3  
NEW RANDOM SEARCH (NRS) 1.2

**SOLO PER CONVEX**  
Convessita' limitata  
Delta alpha: 10.00

**SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH**  
Varianti NO-CONVEX SNIFF  
Steps di scansione: 60  
Frequenza attivazione: 0.75  
No-convex oscillazione massima (gradi): -10.00  
ottimizza tracciato discontinua' sottili

**TIRANTI - ANCORAGGI**  
PASSIVI  
ATTIVI  
Distribuzione resistenza: Rettangolare / Trapezoidale  
Attiva nuova metodologia calcolo mobilizzazione

**PALIFICATE**  
Metodo calcolo: ITO-MATSUI (1975) - HASSIOTIS (1997)  
KUMAR-HALL (2006) (+ conservativo)  
Applicare nuova metodologia Calcolo Mobilizzazione  
Criterio Calcolo Mobilizzazione: MAX [ F<sub>p</sub>, E(x) ] / MIN [ F<sub>p</sub>, E(x) ]

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

**TENSION CRACKS TESTA PENDIO**  
EFFETTO DISATTIVATO / EFFETTO ATTIVATO  
Riempimento Acqua: No Riempimento Acqua / Riempimento Acqua  
Opzioni Tension Cracks

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

**ATTORRE DINAMICO RICERCA SUPERFICI**  
DISATTIVATO / ATTIVA Modallita' 1 / ATTIVA Modallita' 2

**FILTRAGGIO SUPERFICI**  
FILTRARE / NON FILTRARE

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

OK Cancel

SSAP 5.2 Interfaz usuario:  
Ventana principal  
y ventanas de opciones



# SSAP2010 - Highlights

- Herramienta freeware de uso general que ya tiene un largo uso en Italia en profesionales, estudiantes, investigadores, empresas públicas y privadas.
- 30 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 en México.
- Potencialidad en el desarrollo de nuevas funciones de calculo.
- Rápida curva de aprendizaje experimentada da los usuarios (geologo y ingenieros). Experimentada con muchos usuario en Italia..
- Aplicación a muchos casos con elevada de complejidad geo-mecanicas y hidráulica.
- *Gratis ... para todos.*
- Desde el 2018-2022 contribución CONACYT (**proyecto ciencia Basica 286764**)
- **3 estudiantes (UASLP) de maestría titulados**

# Exemplos Mexico



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>

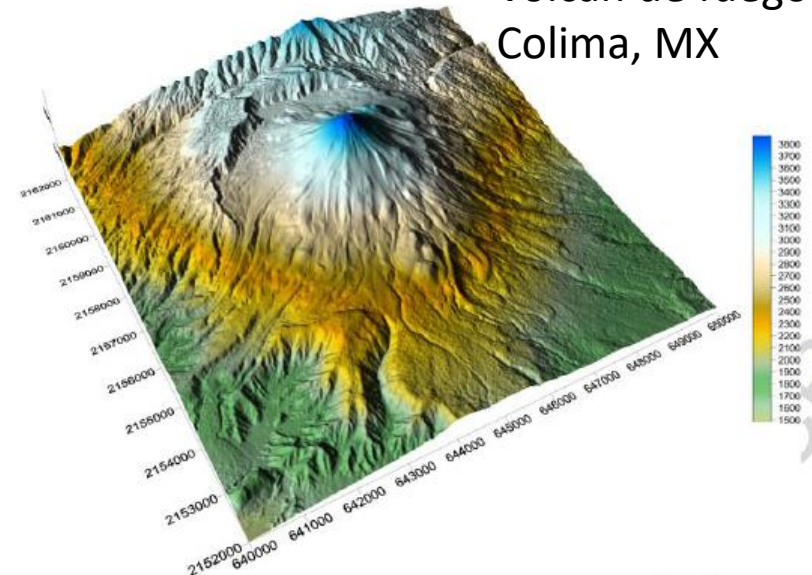
<sup>a</sup> Instituto de Geología/ Fac. de Ingeniería - Universidad Autónoma de San Luis Potosí-UASLP, Av. Dr. Manuel Nava 5, C.P. 78240 San Luis Potosí, Mexico

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

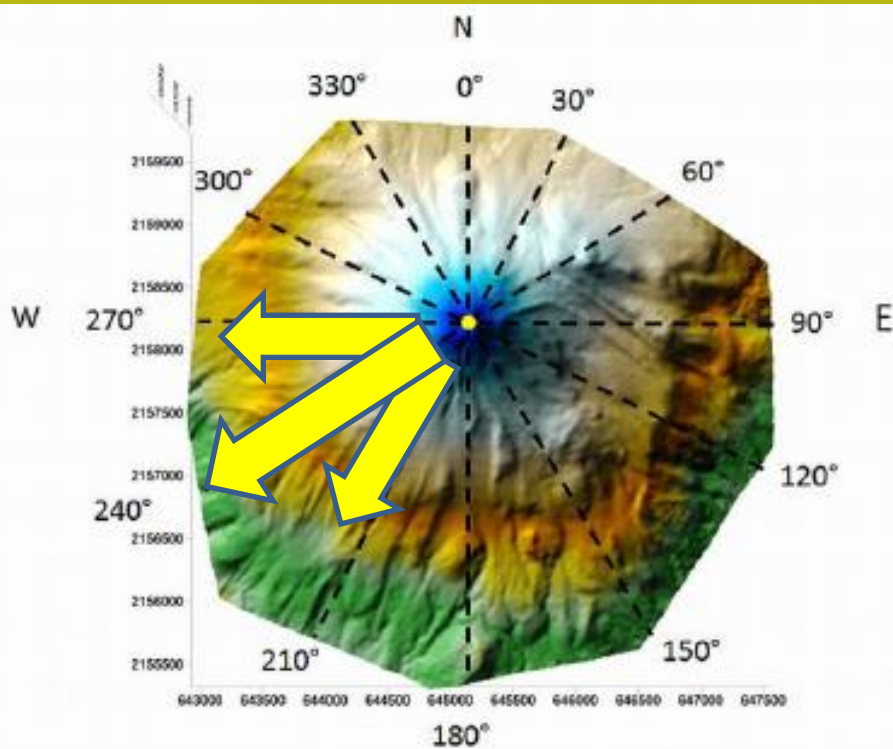
<sup>c</sup> Departamento de Vulcanología, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán 04510, D.F., Mexico

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

Volcan de fuego  
Colima, MX







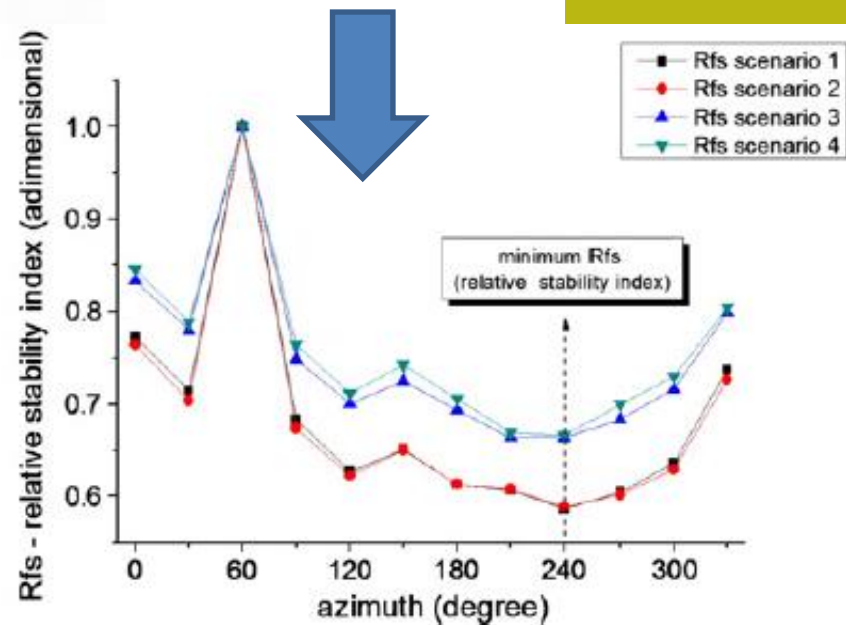
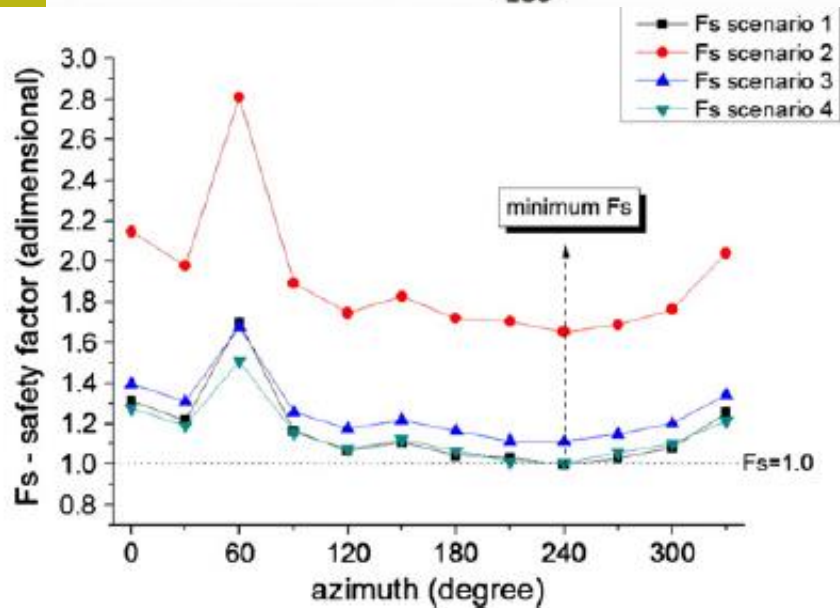
El sector con menor estabilidad relativa es el flanco W-SW (entre 270° y 210° de azimuth)

Relative stability index



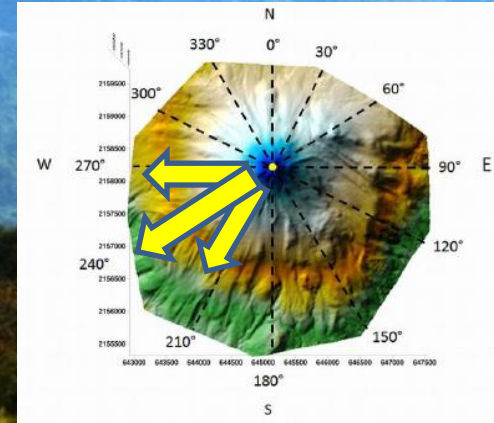
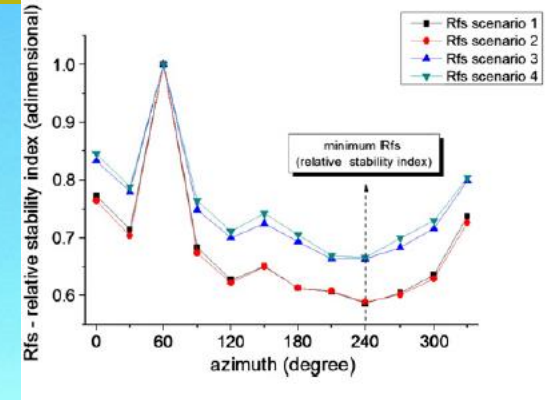
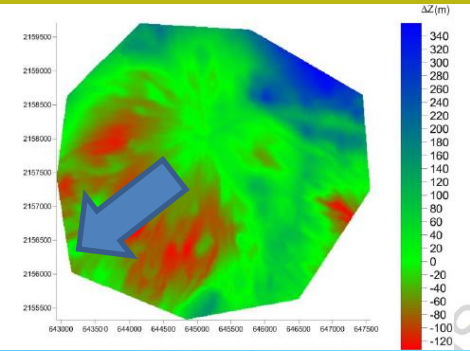
$$R_{f/s_i} = \frac{F_{s_i}}{F_{s_{max}}}$$

(Borselli et al. 2011)



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

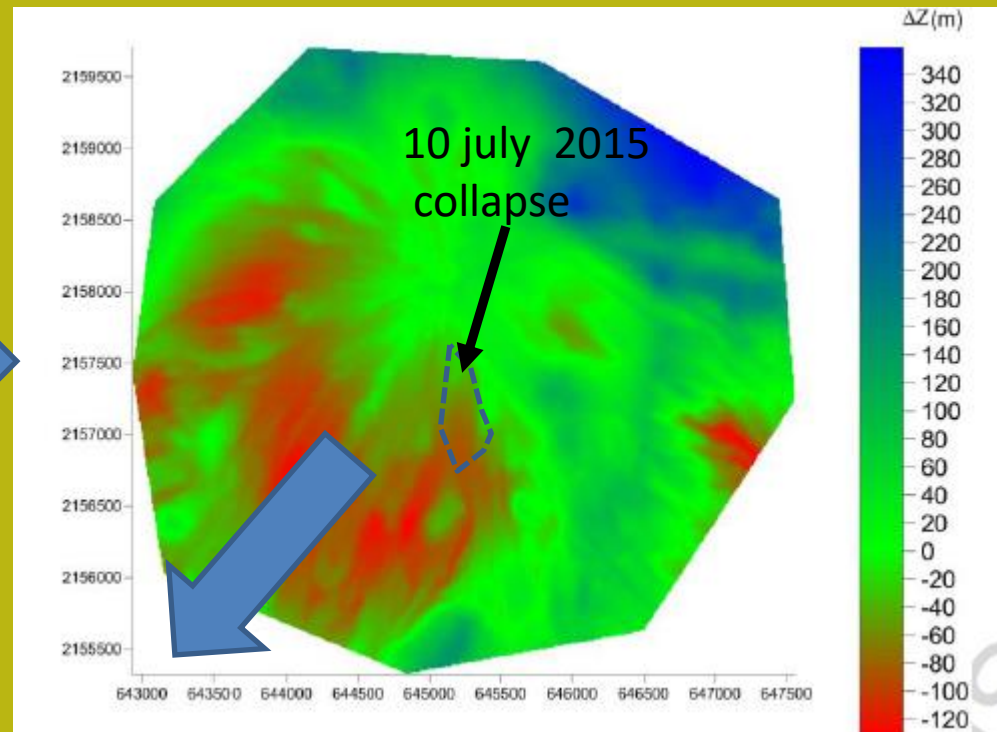
El más potencialmente inestable  
Flanco: Azimut 270°-210°



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

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

*Original Volume deficit map  
Obtained by Volcanofit 2.1  
(Borselli, 2011)*





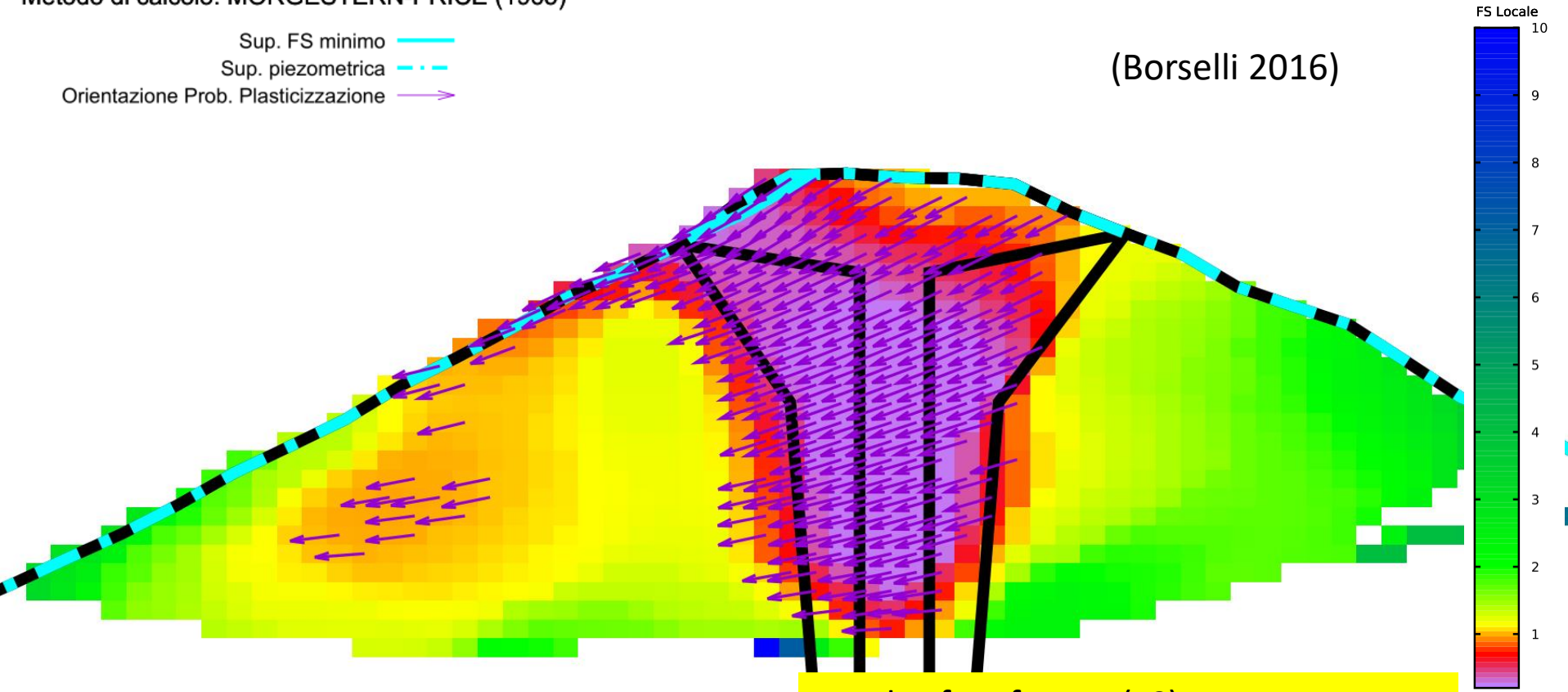
Mappa ottenuta con algoritmo Gauss Integration by QuasiFEM algorithm (Borselli 2013,16)

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

Metodo di calcolo: MORGESTERN-PRICE (1965)

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

(Borselli 2016)



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

# El caso de la mina de oro San Xavier, San Luis Potosí, México.

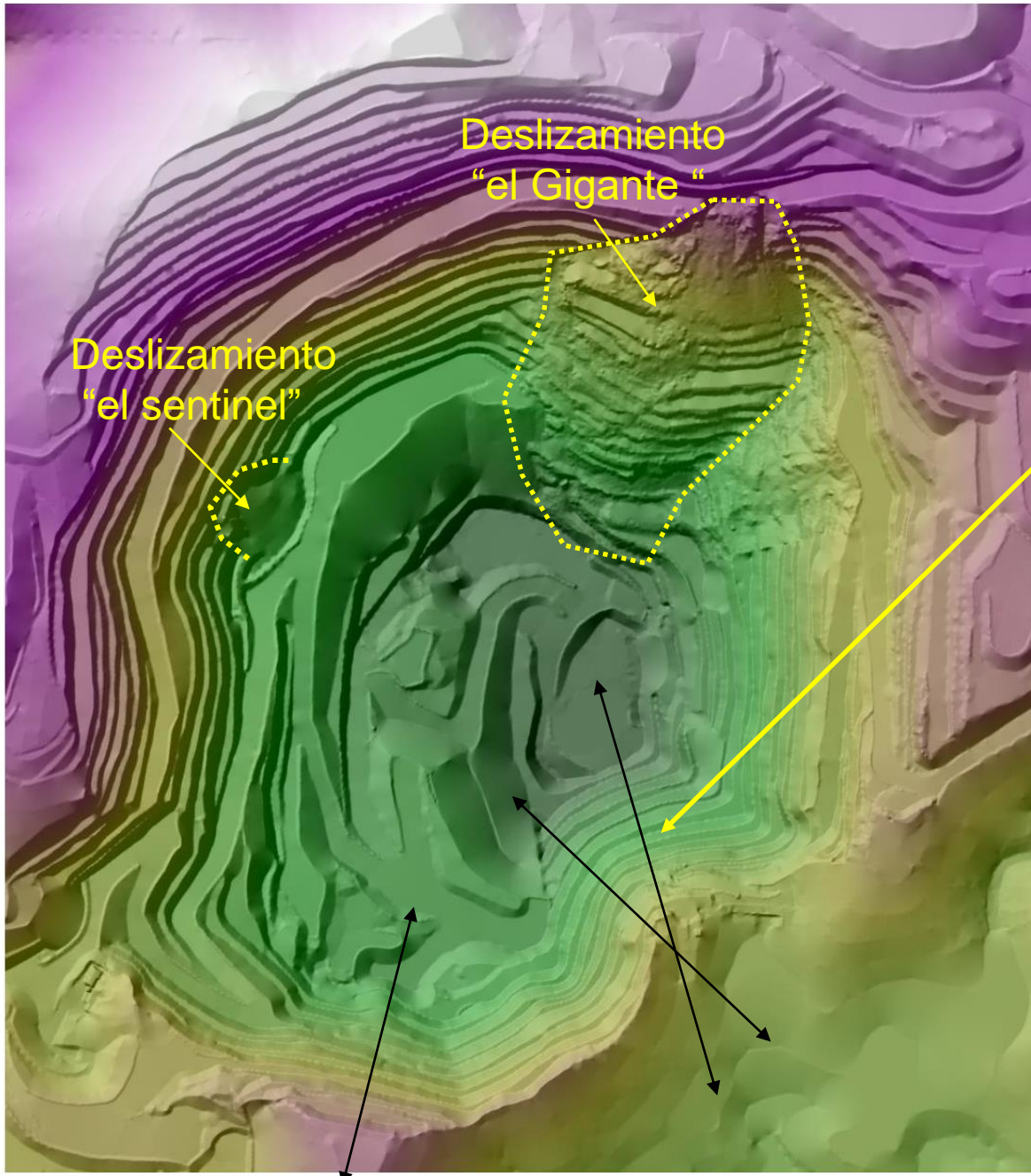




# Mina de Oro San Xavier. SLP, México. (2017) Proyecto para el estudio de procesos de inestabilidad post-extractiva Fase I. Las actividades mineras cesaron en 2016.

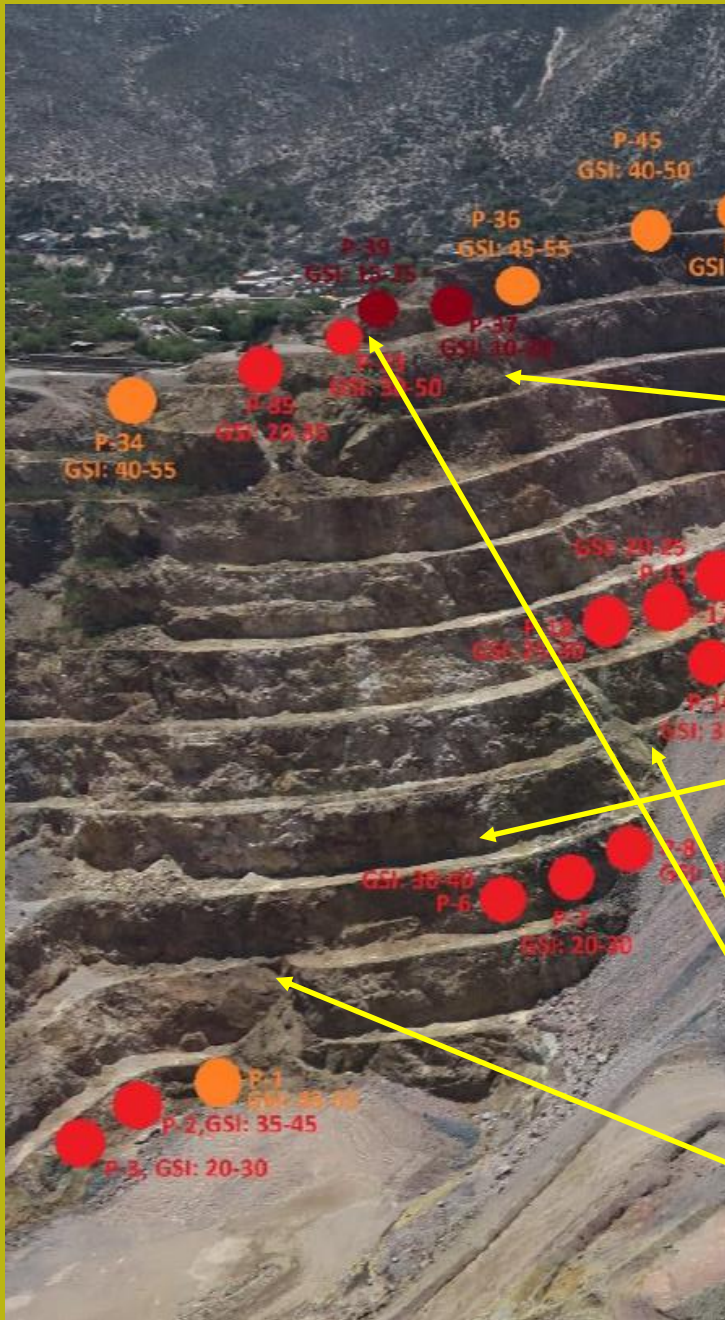






Hillshade relief  
Del open pit

E ubicacion delle  
Principali sezioni  
di studio



Detalle de la parte sur.  
Pórfido Cuarzo Monzonitico aurífero

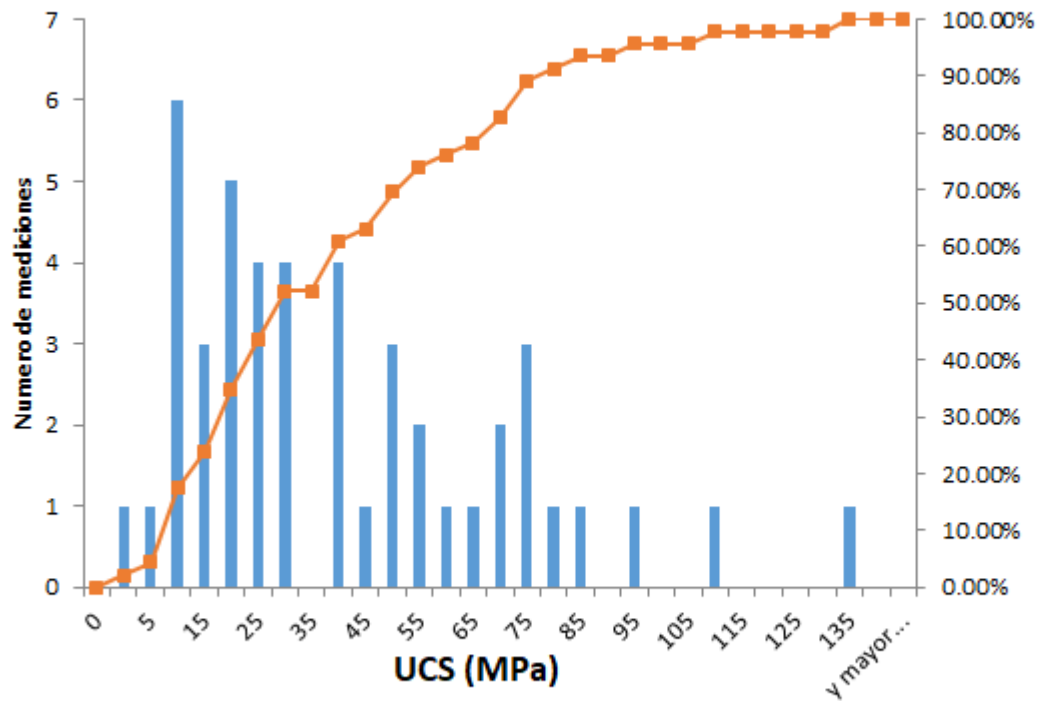
Porción con mayor  
problemas de alteración  
E formación de tensión  
cracks

Porción menos alterada

Variabilidad de los valores de GSI de  
15 a 60 en los diferentes puntos de  
muestreo

Procesos de liberación de estrés y  
deslizamiento  
de cuñas en su lugar

## UCS by Point Load Test Porfido (area Mirador)



Quantiles	UCS(MPa)
Q10	7.041
Q25	14.898
Q50	28.416
Q75	59.712
interquartile range	44.814

Pórfido más alterado

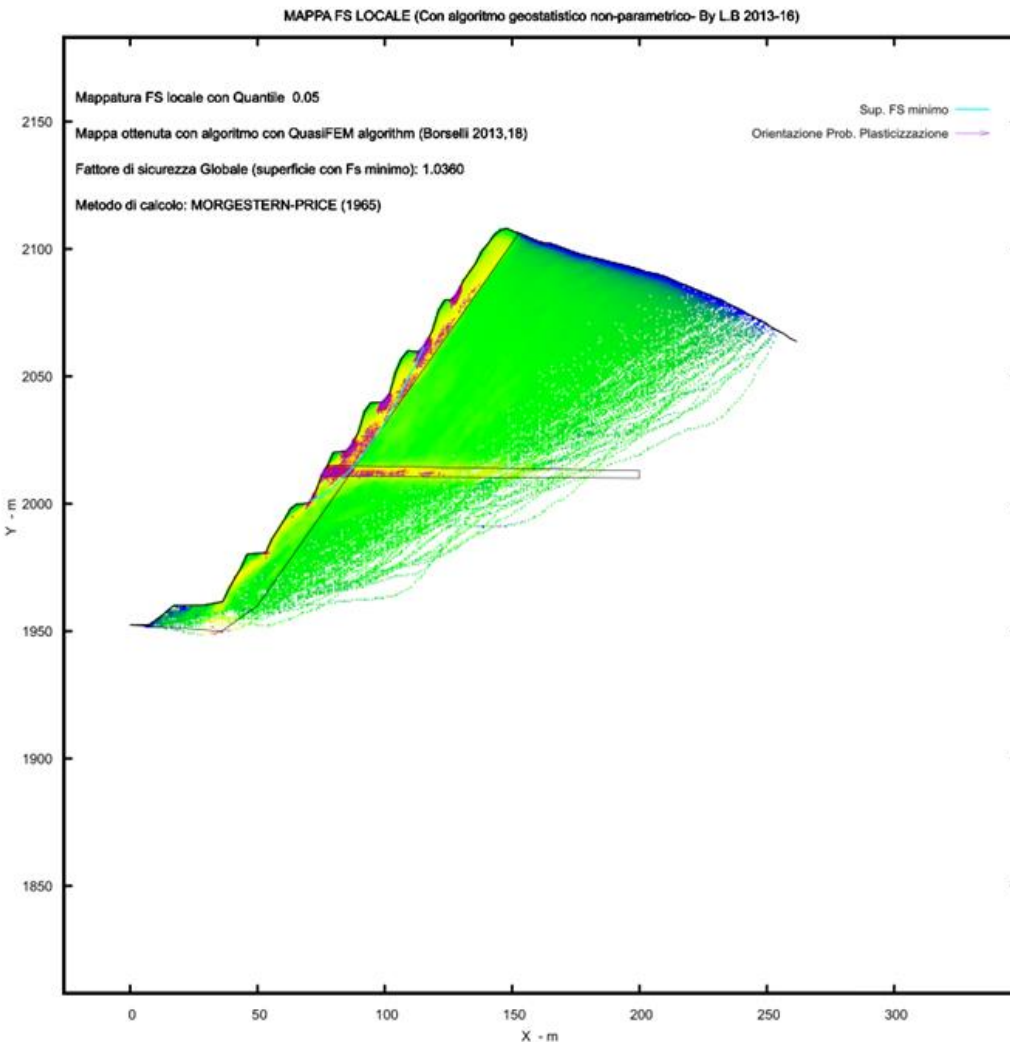
(54 mediciones en el laboratorio)





Principales secciones analizadas en la primera etapa con el objetivo de evaluar el grado de Estabilidad general y proponer intervenciones y estudios detallados para la fase II

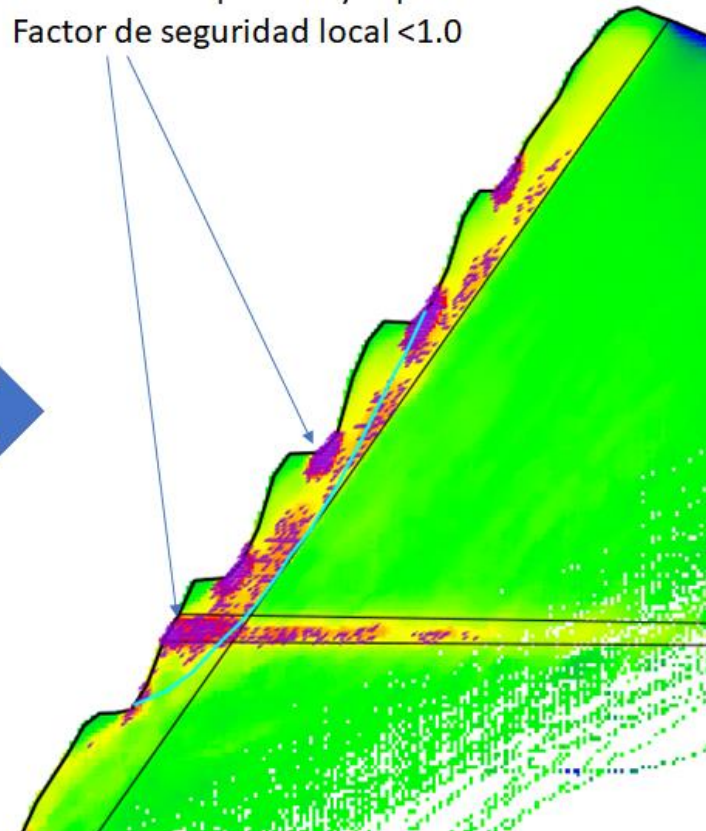
# Estabilidad de Tajo de una mina en Mexico. Proyecto 2022



FS Locale



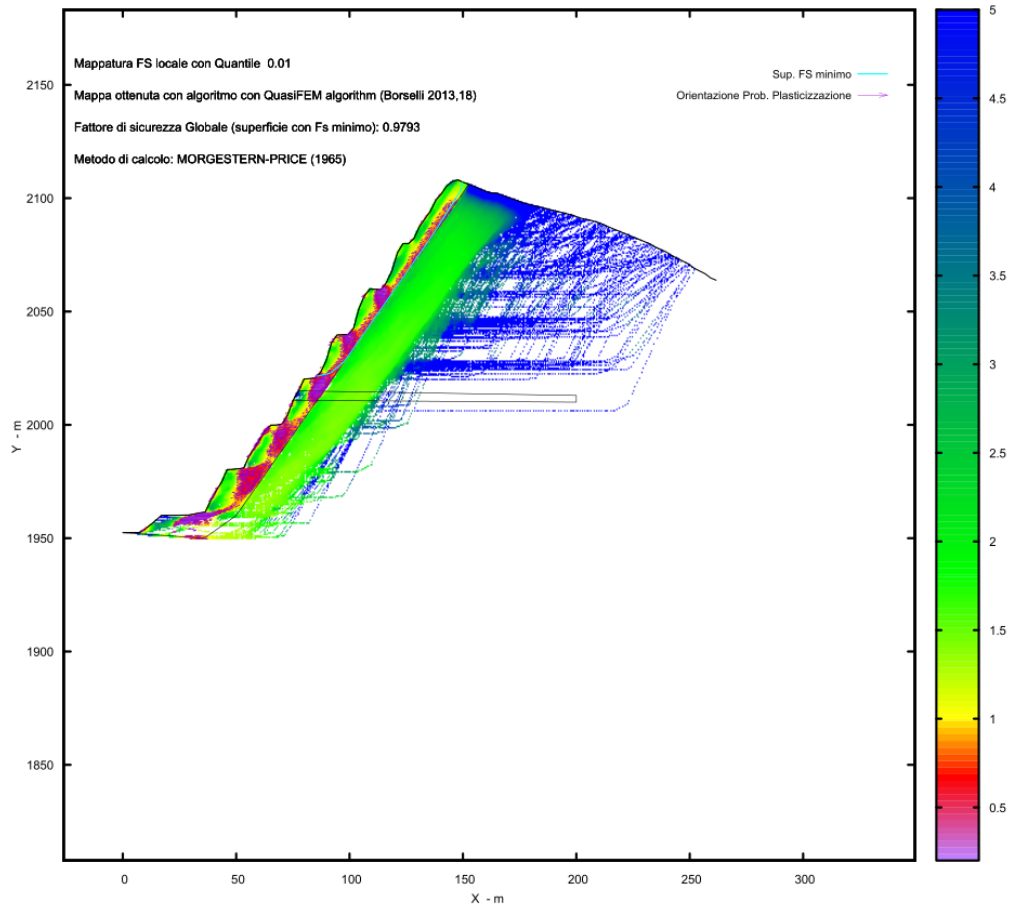
En color naranja y rojo áreas con posible Deformación plástica y ruptura. Factor de seguridad local <1.0



Credits to: GNUPLOT 5.4.3 [www.gnuplot.info](http://www.gnuplot.info)

SSAP2010 rel. 5.1 (1991,2022) by L. Borselli, [www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu)  
<https://WWW.SSAPEU>

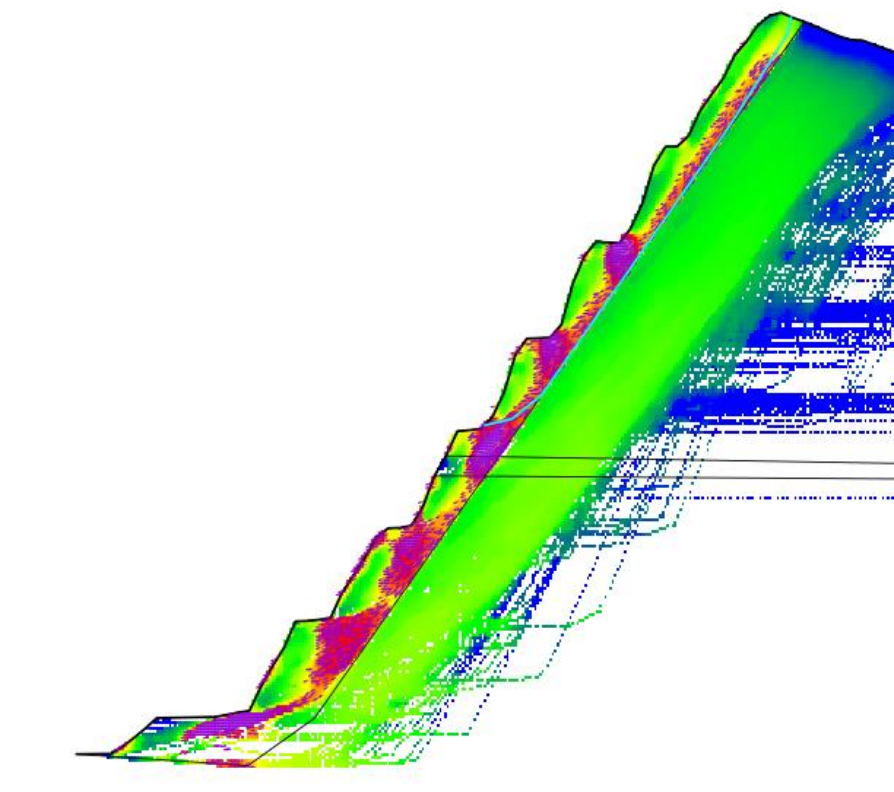




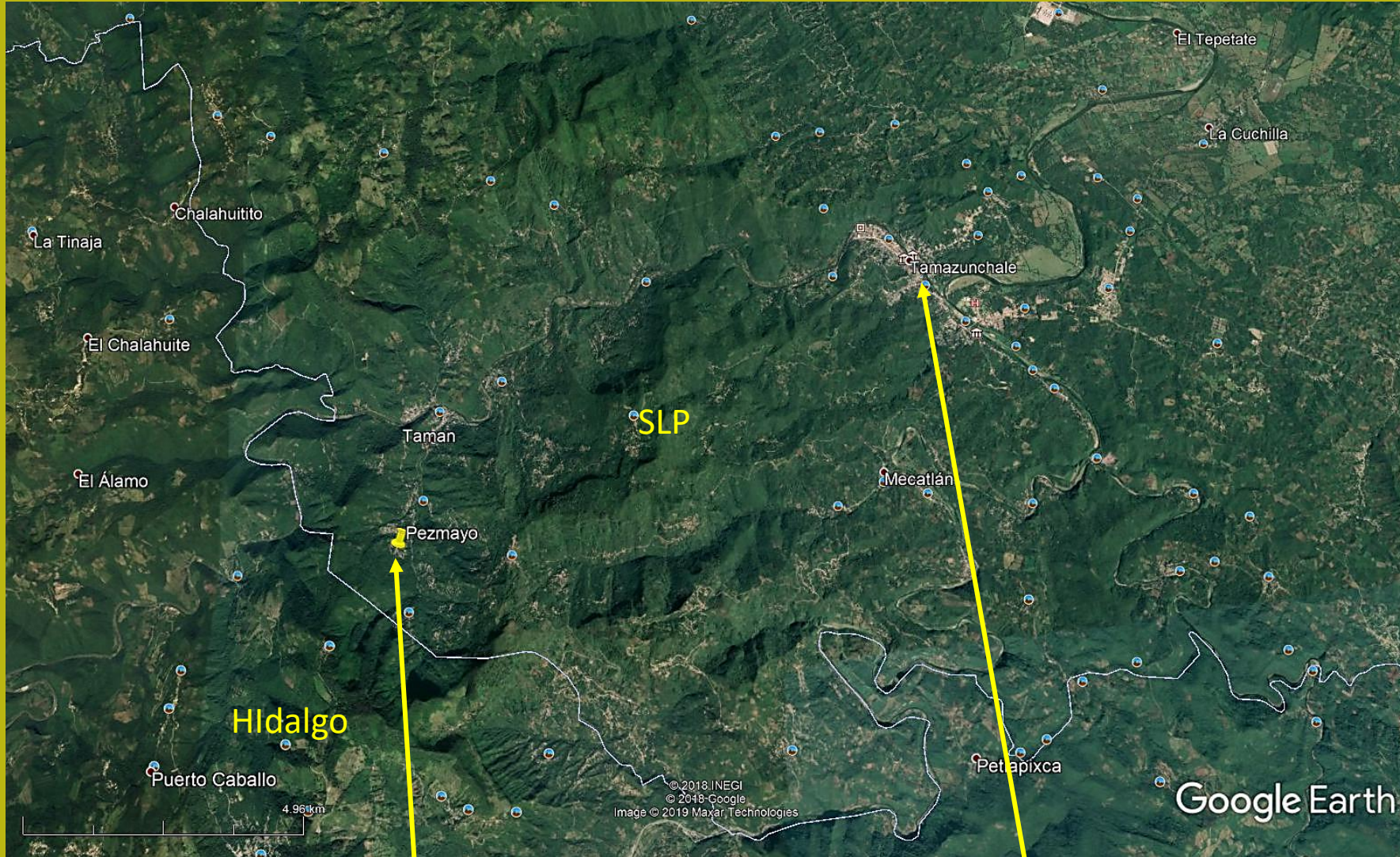
Credito to: GNUPLOT 5.4.3 [www.gnuplot.info](http://www.gnuplot.info)

SSAP2010 ref. 5.1 (1991,2022) by L. Borselli, [www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu)  
<https://WWW.SSAPEU>

Análisis con búsqueda de superficies críticas que curren preferencialmente en sistemas de fracturas y planos de estratos en la área con disturbio por voladura

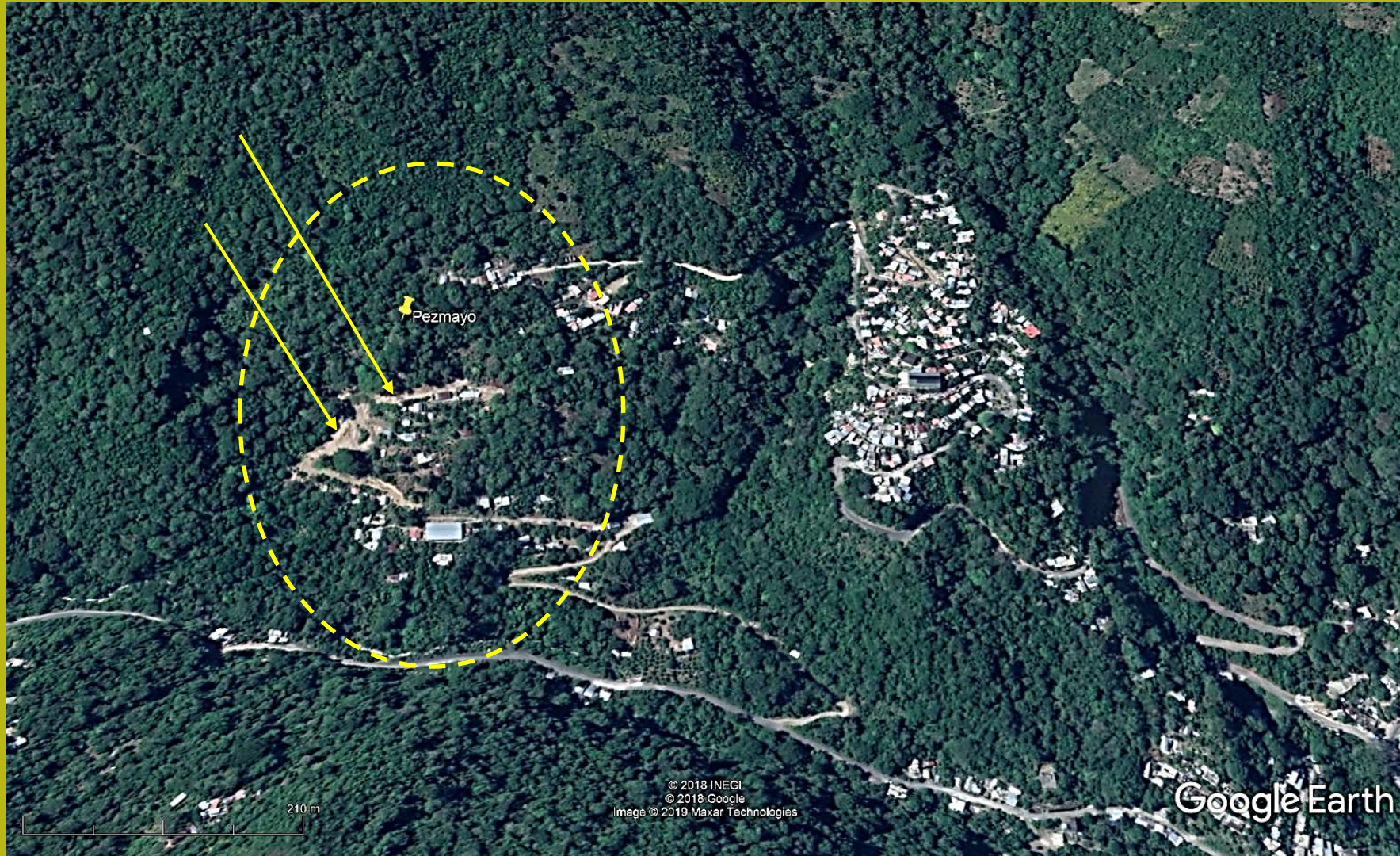






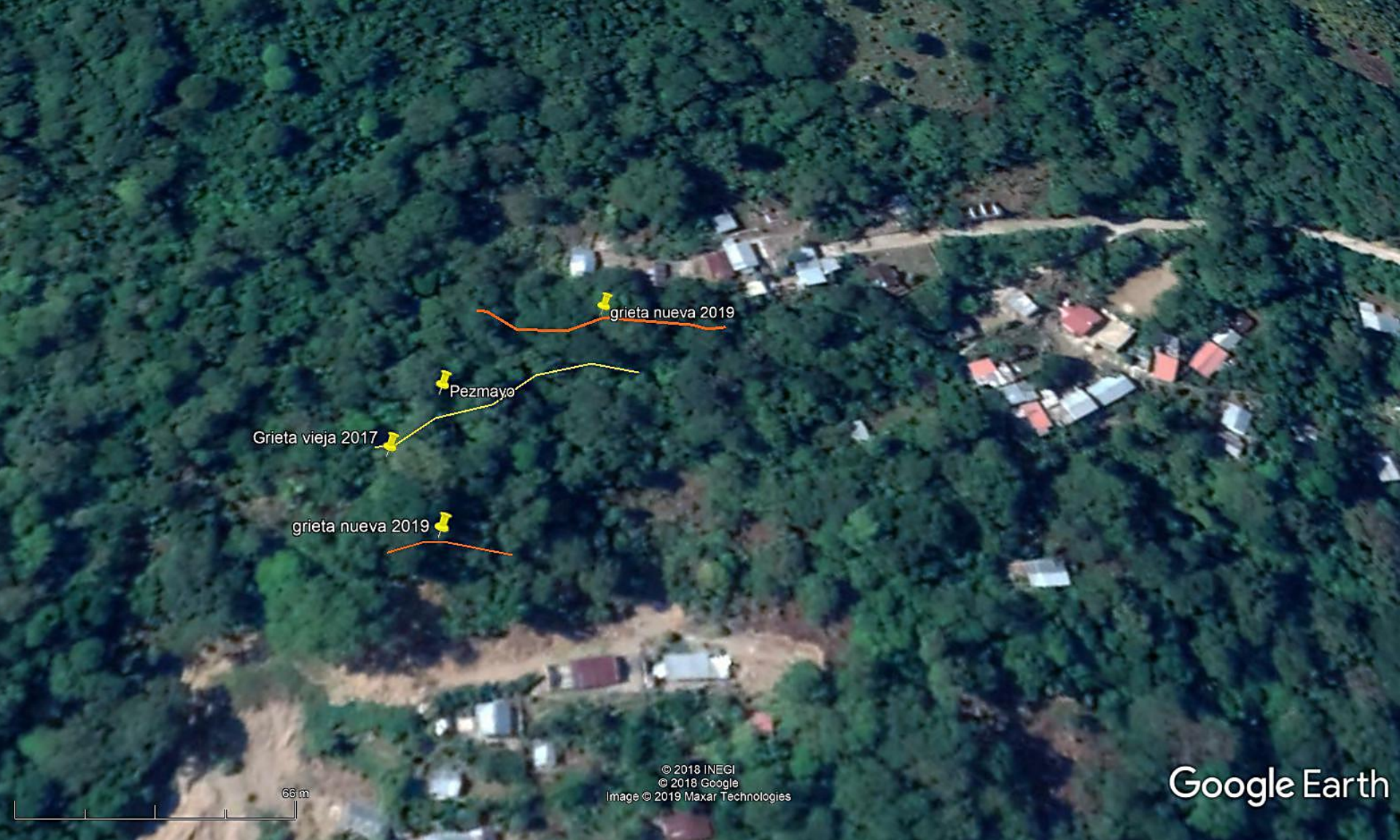
Comunidad de Pezmayo, Ayuntamiento de Tamazunchale,  
Huasteca Potosina, SLP





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



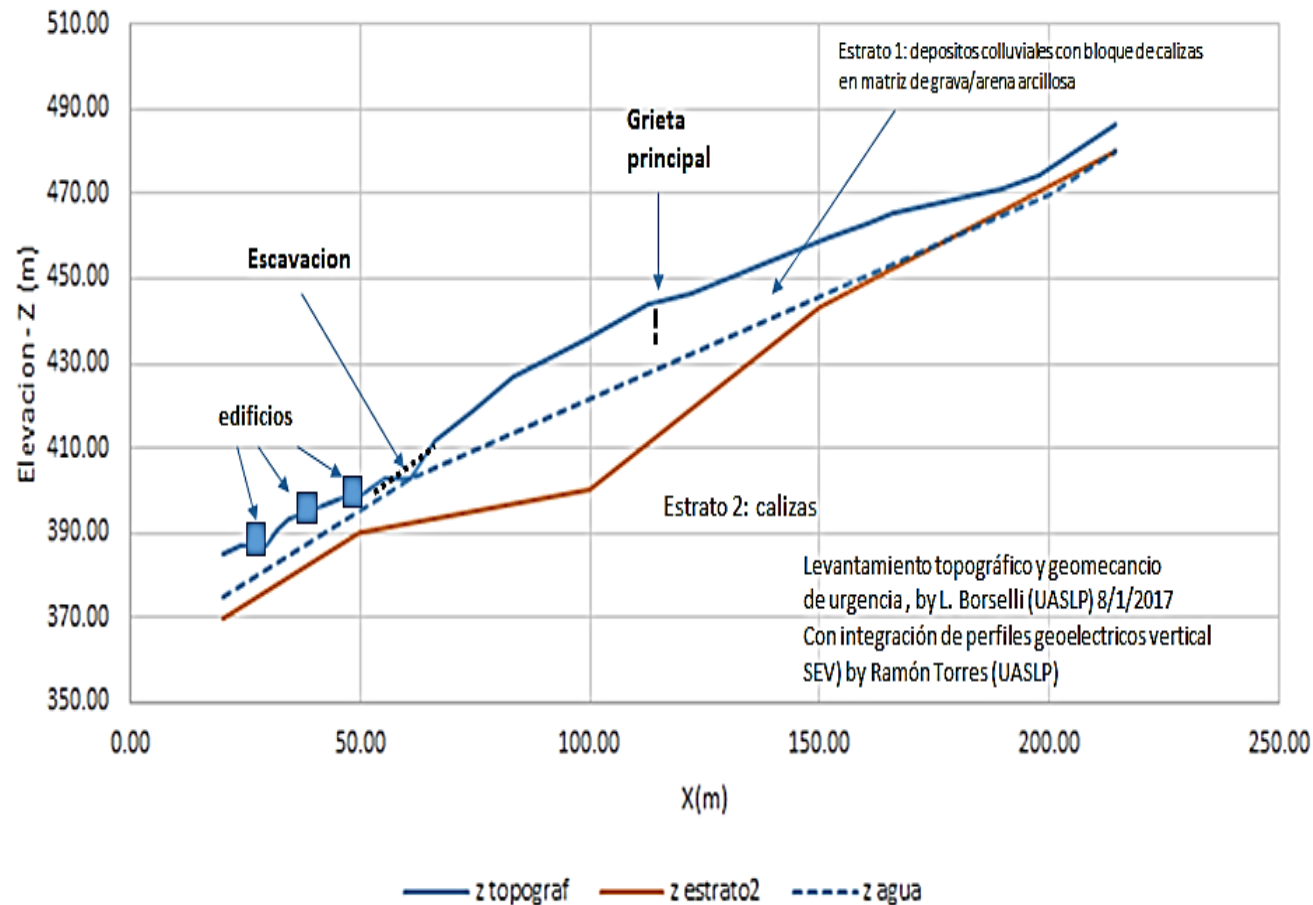
*Colluvium* con bloques de caliza en matriz de arena arcillosa.  
Espesor de 2 a 10 m

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

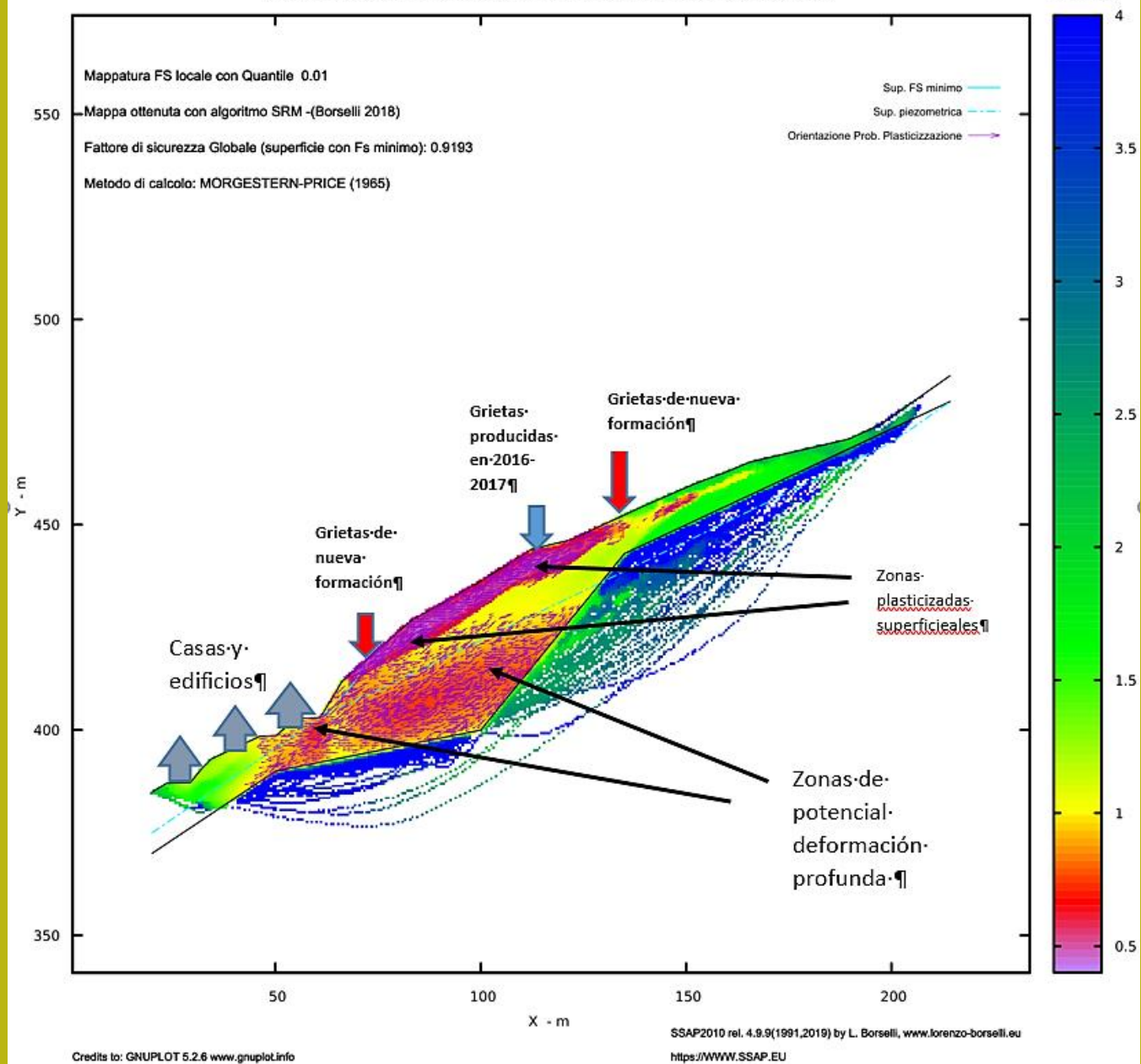
Julio 2019



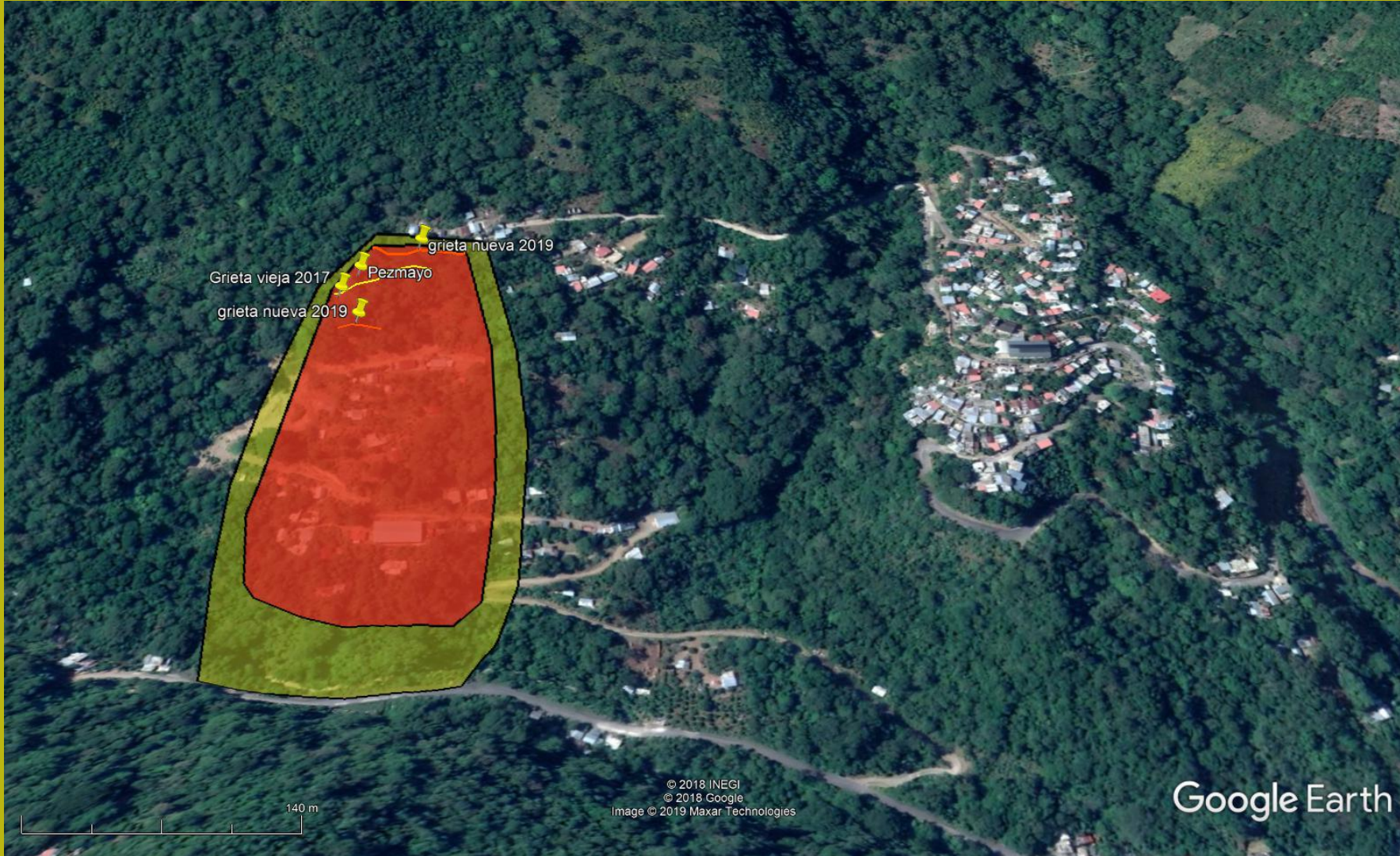
## Perfil1 - pezmayo 7-1-2017



*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*







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)

# Exemplos Italia

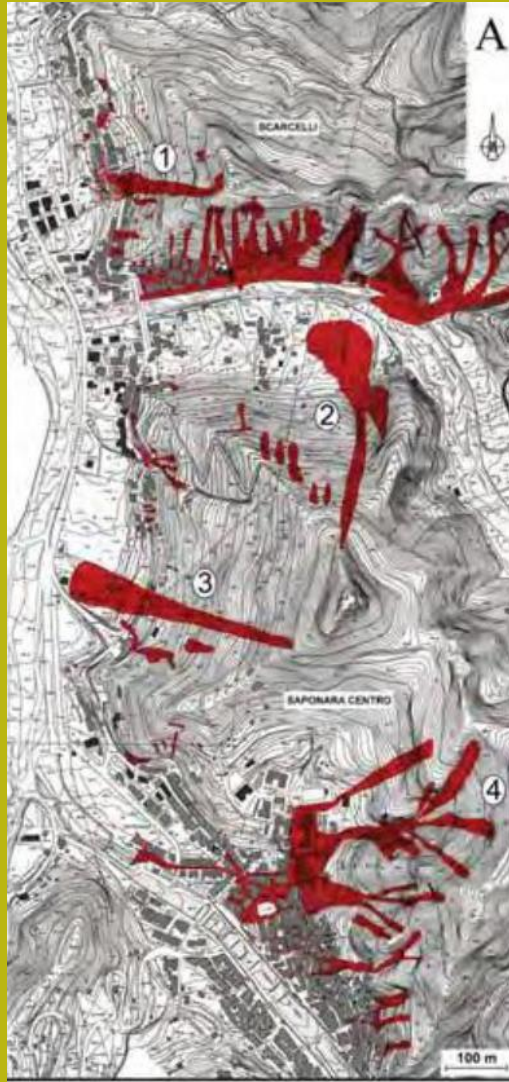


# Complessità geo-idrologica y idraulica

Depositos de suelos y  
colluviales temporales  
Sature: esempio Monti  
Peloritani, Loc. Scarcelli (MS) , Sicilia,  
Italia – Novembre 2011

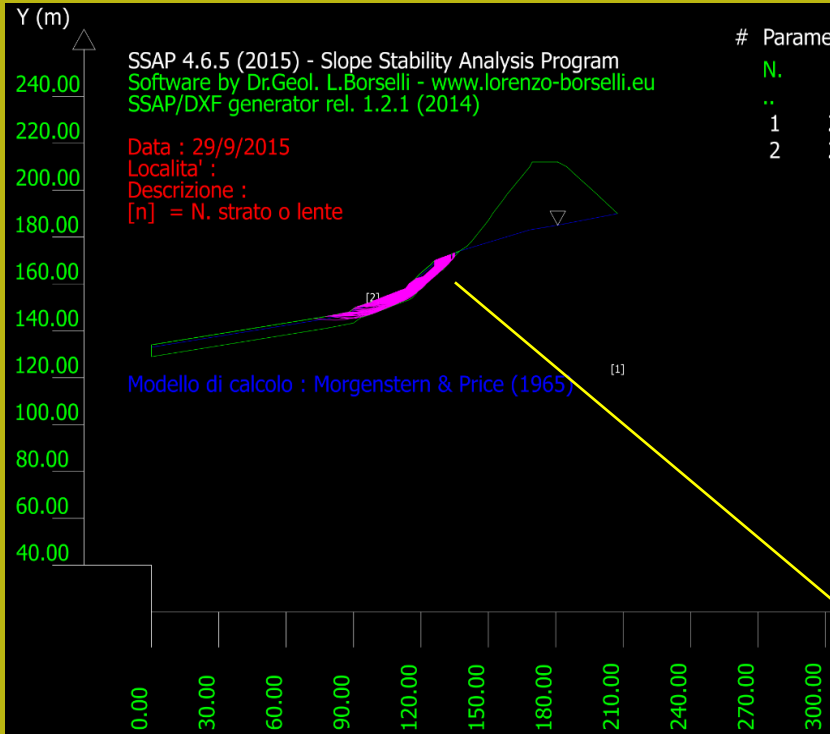


By Rasa' et al. 2011, Geologia dell'ambiente 4/11





# estrato y detrítico colluvial rocas metamórficas y calizas



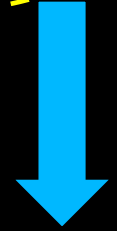
# Parametri Geotecnici degli strati #										
N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI ..	mi ..	D ..	
1	29.00	200.00	0	19.00	21.00	0	0	0	0	
2	28.00	10.00	0	16.00	19.00	0	0	0	0	

**SUPERFICI REGISTRATE CON Fs ENTRO INTERVALLO PREDEFINITO**

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

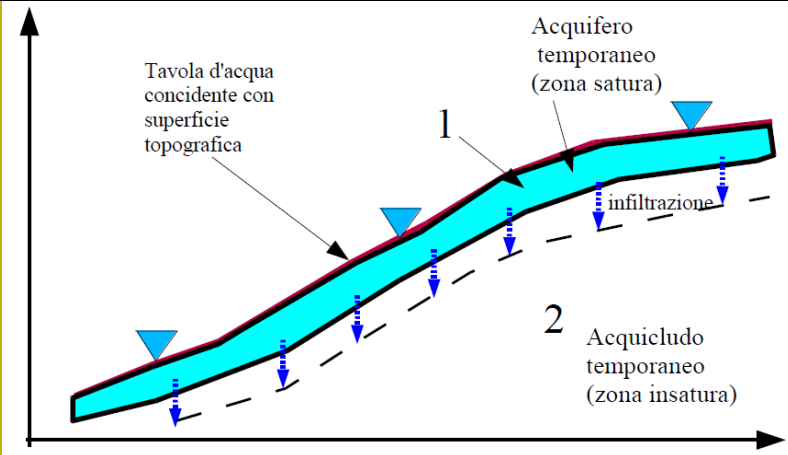
**GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM**

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

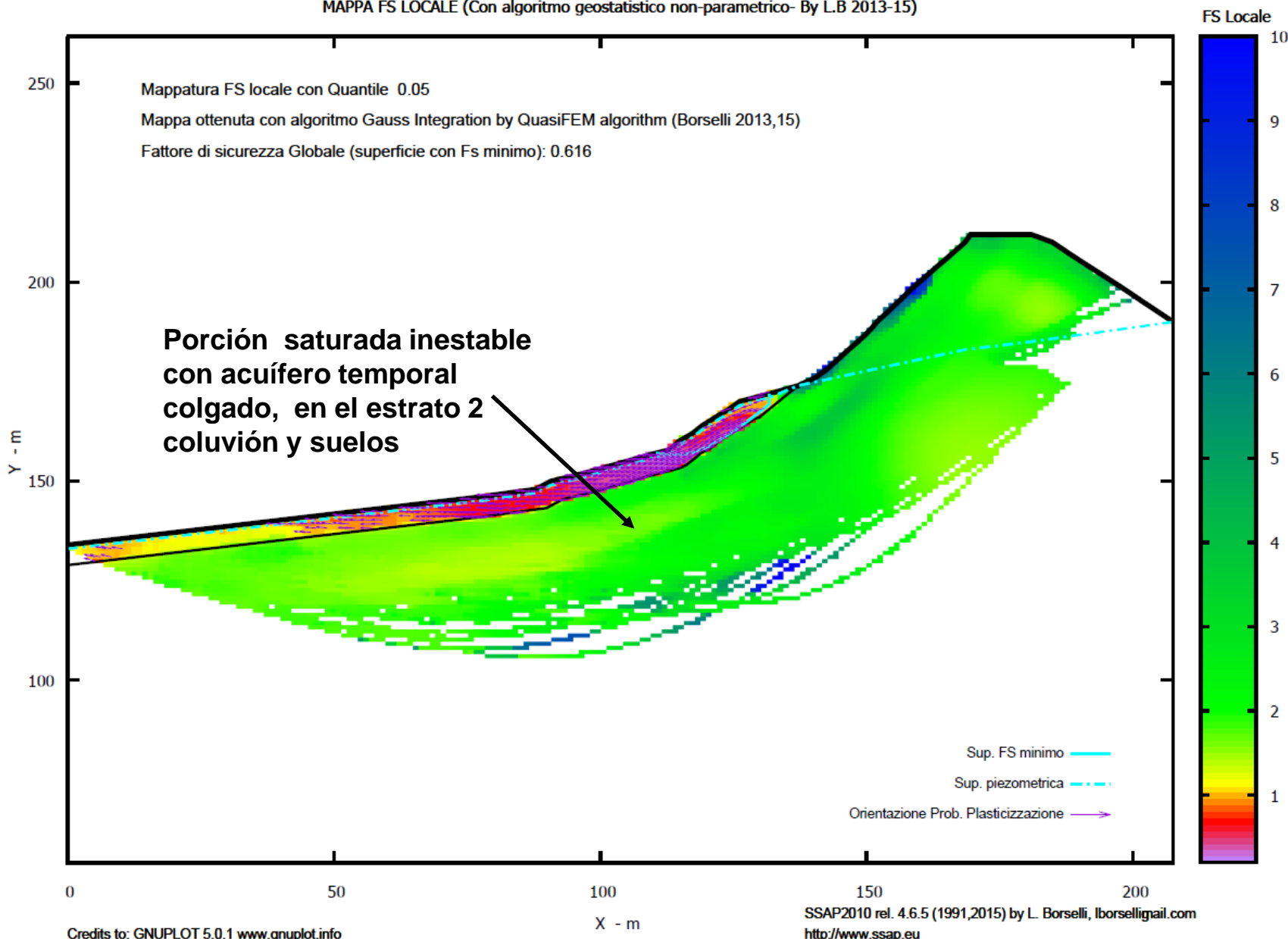


Data : 29/9/2015  
 Localita' :  
 Descrizione :  
 [n] = N. strato o lente

Modello di calcolo : Morgenstern & Price (1965)



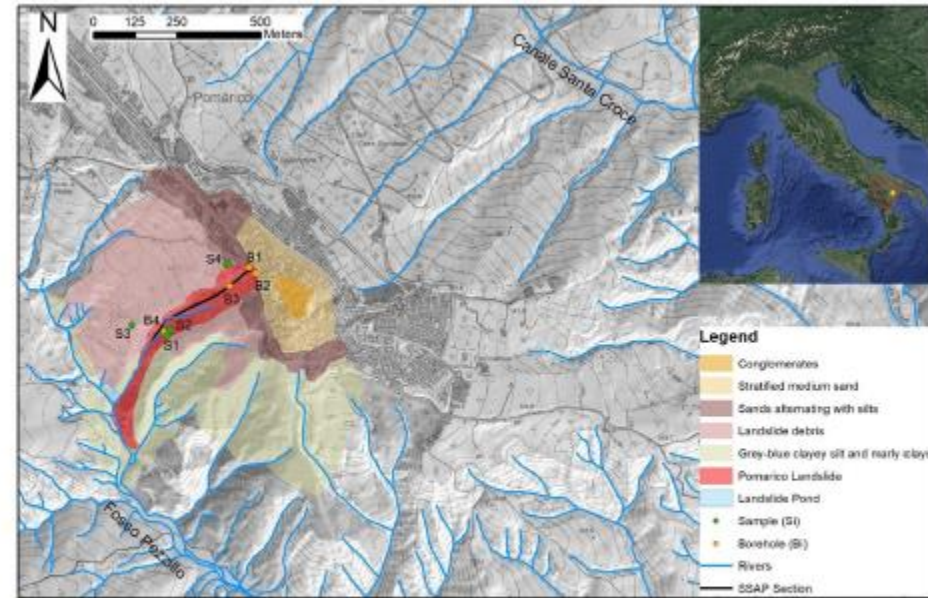
MAPPA FS LOCALE (Con algoritmo geostatistico non-parametrico- By L.B 2013-15)





## Reconstruction of the evolution phases of a landslide by using multi-layer back-analysis methods

Uso de software SSAP 5.0



**Fig. 1** Geological map of the Pomarico area (modified from Perrone et al. 2021; Doglioni et al. 2020). In red is the 2019 landslides, and the black line indicates the location of the section modelled by means of the back analysis. Green dots are the material samples, and yellow

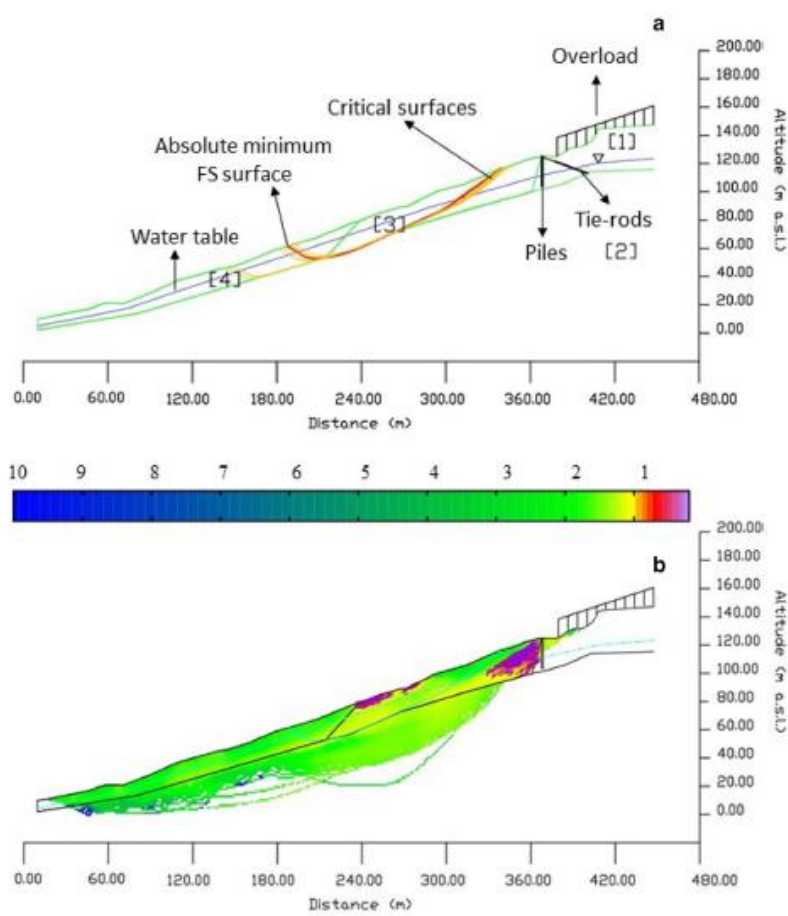
ones, the boreholes used to define and characterize the geological parameters employed in the back-analysis. In the upper right corner panel, red and yellow lines indicate the Basilicata Region and the Pomarico municipality boundaries, respectively



**Fig. 2** Photos (taken by the authors during the field surveys) of the Pomarico clay rotational-planar slides (sensu Hungr et al. 2014). **a** The January 29th, 2019 event; **b** landslide crown and the collapsed buildings and road located along Corso Vittorio Emanuele II; **c** detail of the bulkhead breakdown

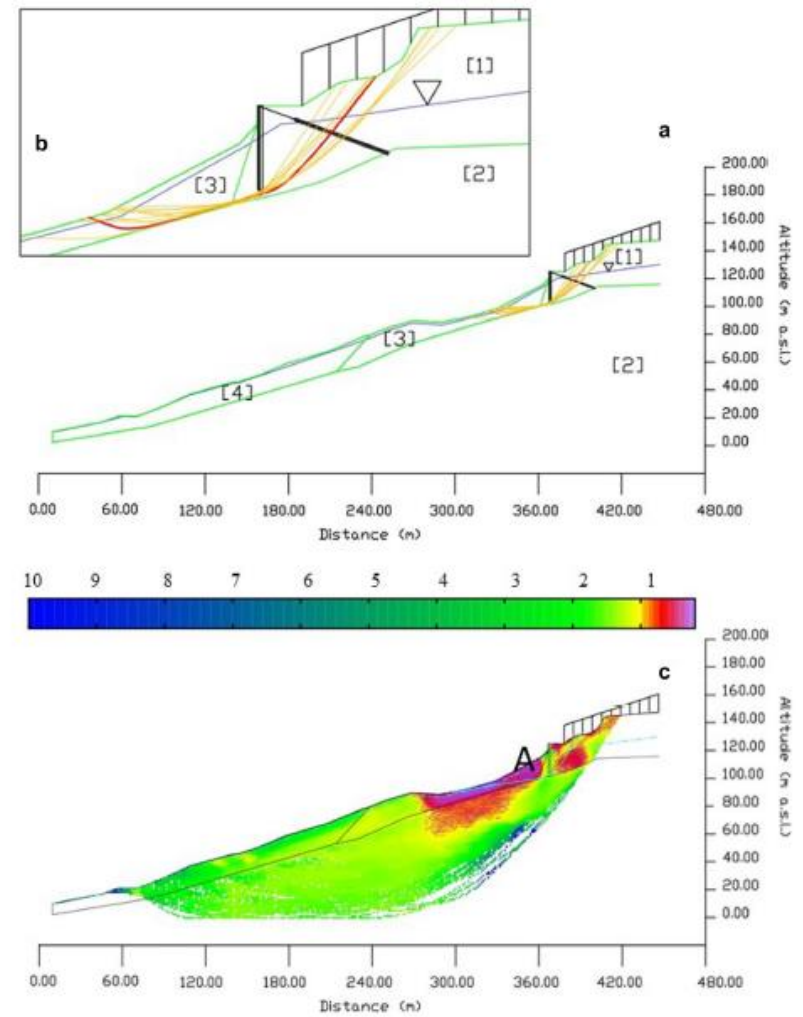
Innocenti et al.(2022)





**Fig. 4** a Results of the stability analysis. In yellow are shown the 10 critical surfaces identified by the analysis, while in red is highlighted the critical surface ([1], [2], [3], and [4] are layer 1, layer 2, layer 3, and layer 4, described in Table 4); b map of local FS (blue to green

and yellow colours show stable areas with a FS equal or higher than 1, orange to red and purple colours show unstable areas with a FS lower than 1)



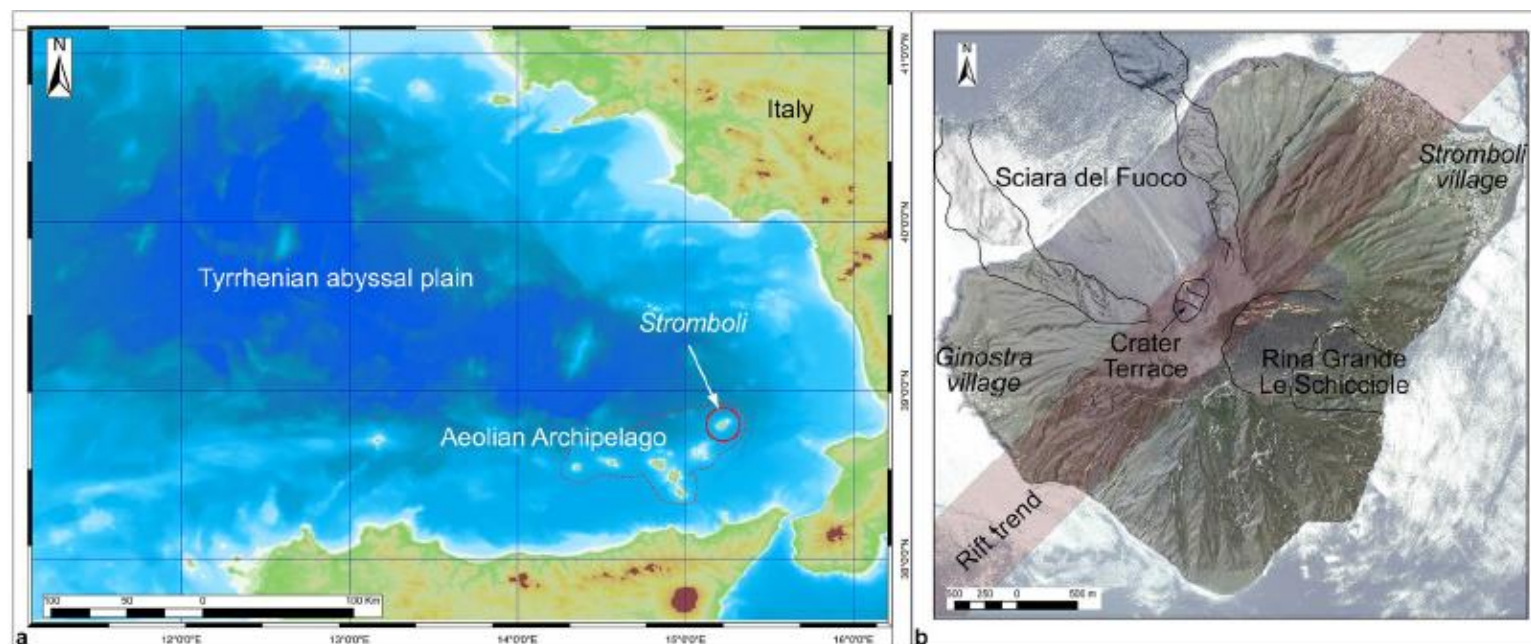
**Fig. 9** (a) Representative model results of January 25th and 29th, 2019 landslide. The 10 critical surfaces identified by the analysis are shown in yellow, while the critical surface with a global FS of 0.82 is highlighted in red; (b) zoom of the area affected by the critical surfaces; (c) map of the local FS

Innocenti et al.(2022)

Uso de software SSAP 5.0



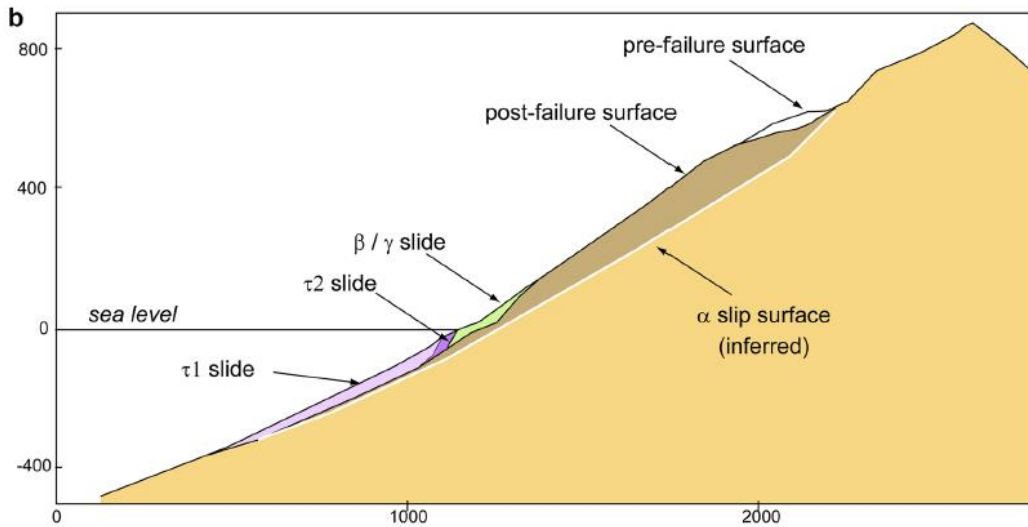
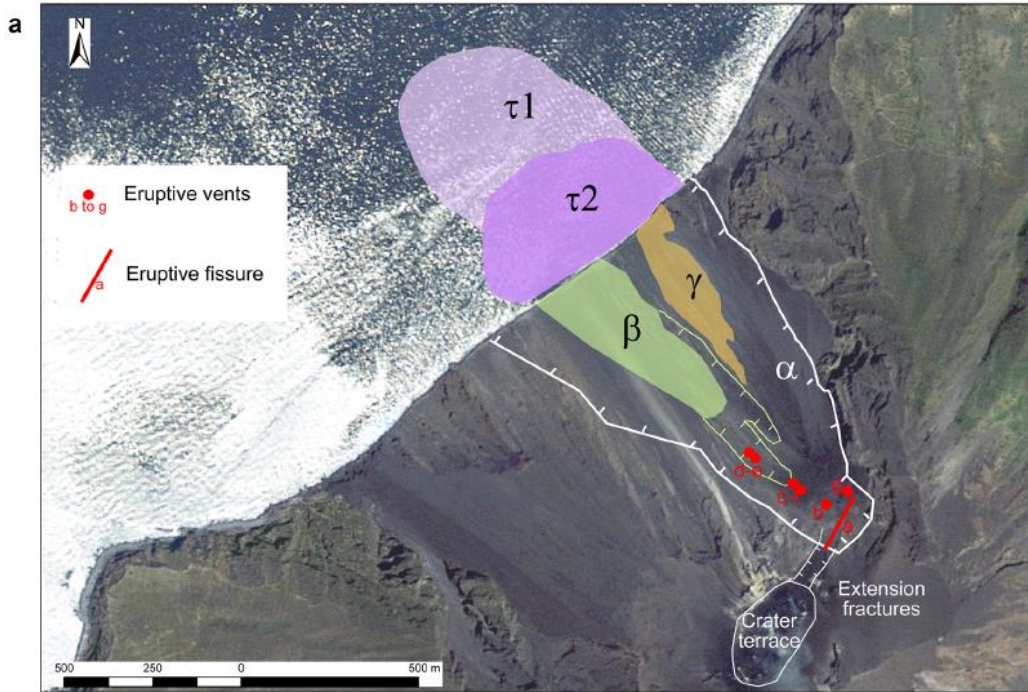
# Assessing flank instability of Stromboli volcano (Italy) by reappraising the 30 December 2002 tsunamigenic landslides



**Fig. 1** **a** Location of Stromboli volcano within the southern Tyrrhenian Sea; **b** main geological and geographical features of Stromboli, including the site of the two main villages (Stromboli and Ginostra), the position of the two unstable flanks (Sciara del Fuoco and Rina

Grande—Le Schicciolo), the direction of diking since 100 ka (modified after Tibaldi et al. 2009) and the location of the Crater Terrace, where the present-day persistent activity occurs



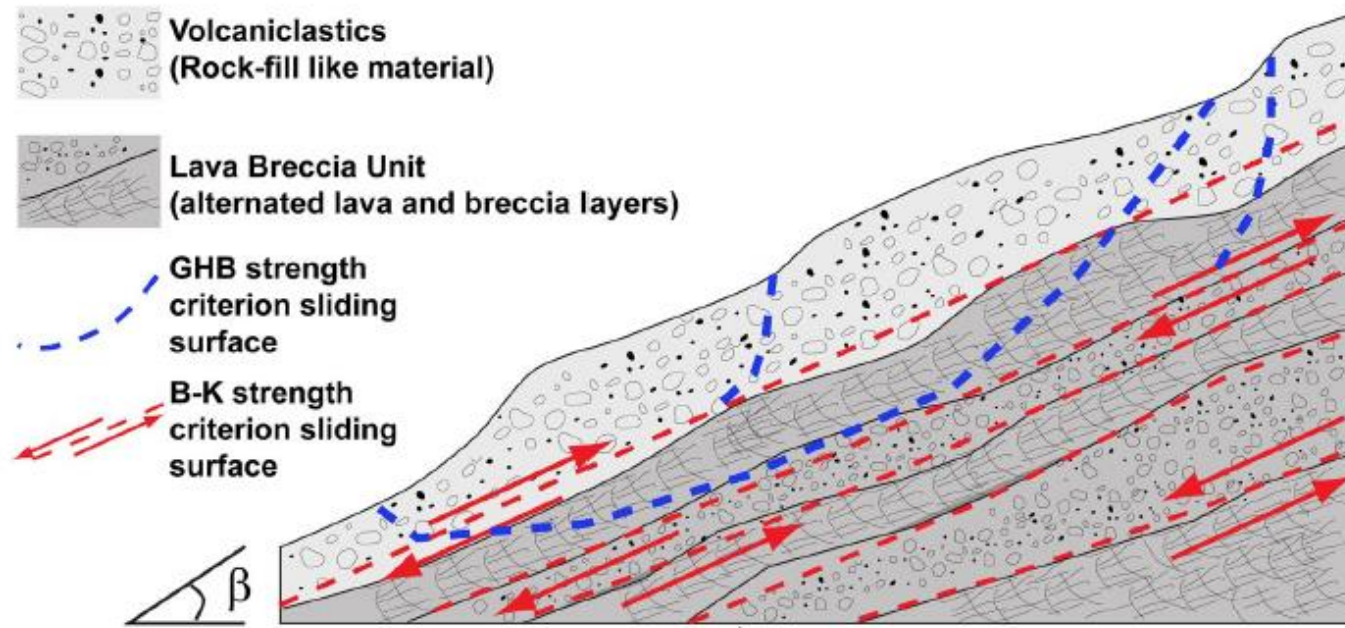


**Fig. 2** **a** The Sciara del Fuoco flank of Stromboli, with the main features of the initial phases of the 2002–2003 flank eruption, comprising the 28–30 December 2002 vents' location (subscript letters indicate the progressive order of opening of the eruptive vents; modified after Calvari et al. 2005 and Acocella et al. 2006), and the landslides

occurring on 30 December 2002 (modified after Chiocci et al. 2008 and Tommasi et al. 2008); **b** schematic section of the landslides on 30 December 2002 (modified after Chiocci et al. 2008 and Tommasi et al. 2008). The elevation of the topographic profile is expressed in metres



**Fig. 3** The Sciara del Fuoco flank of Stromboli, association of volcanoclastic (rockfill material) and lava-breccia unit (alternated by lava and breccia layers)



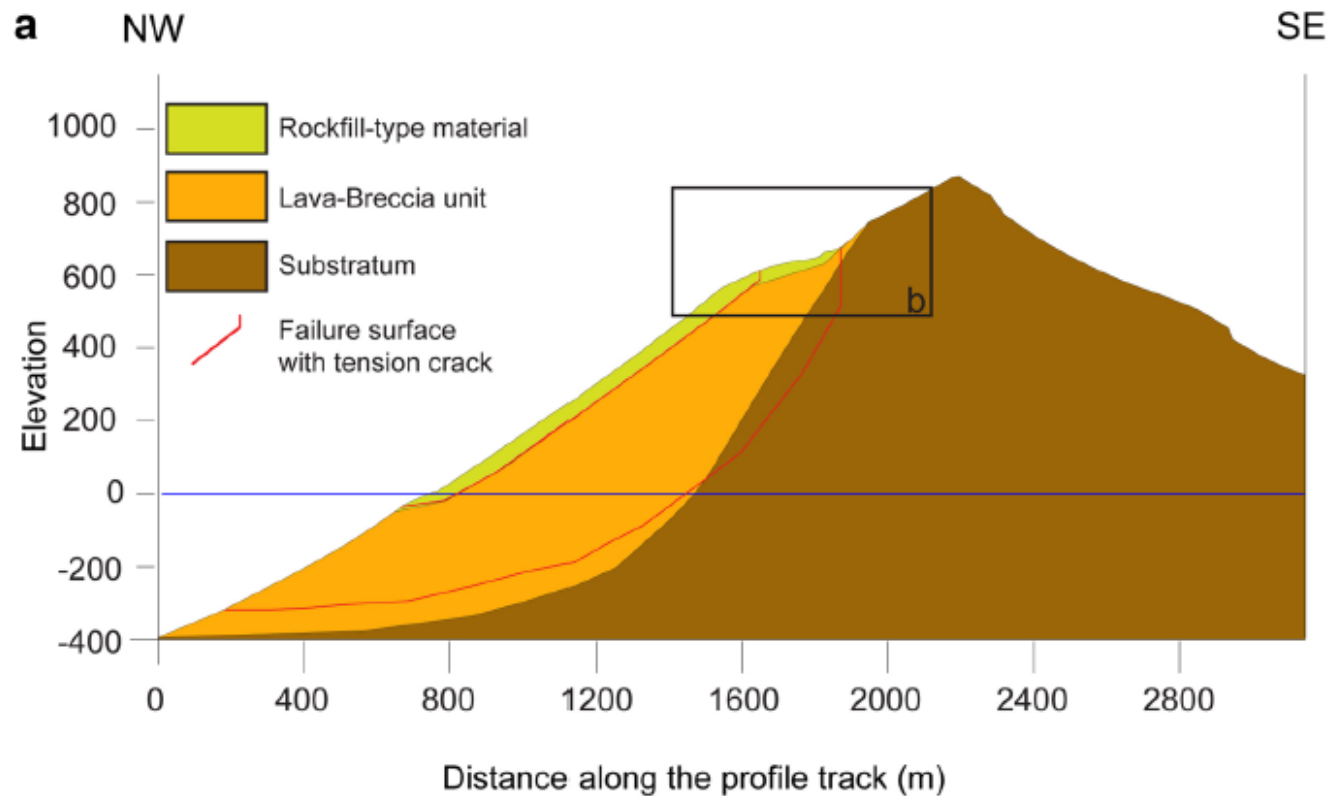
**Table 1** Parameters used for the stability analysis

Geotechnical unit	Failure criterion	Parameters						
Volcaniclastic material	GHB failure criterion	UCS (MPa)	GSI (-)	$m_i$ (-)	$D$ (-)	$\gamma_{dry}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	
		40	30	19	0	19	22	
	B-K failure criterion	JRC (°)	JCS (MPa)	$\phi_r$ (°)	$L_0$ (m)	$L$ (m)	$\beta$ (°)	$\Delta\beta$ (°)
		20	10	32.00	1.00	150.00	40.00	20.00
Lava-breccia	GHB failure criterion	UCS (MPa)	GSI (-)	$m_i$ (-)	$D$ (-)	$\gamma_{dry}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	
		40	30	19	0	19	22	
	B-K failure criterion	JRC (°)	JCS (MPa)	$\phi_r$ (°)	$L_0$ (m)	$L$ (m)	$\beta$ (°)	$\Delta\beta$ (°)
		20	20	32.00	1.00	150.00	40.00	20.00
Substratum	Mohr-Coulomb failure criterion	$\phi'$ (°)	$c'$ (kPa)	$\gamma_{dry}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	-		
		45	500	22	24			

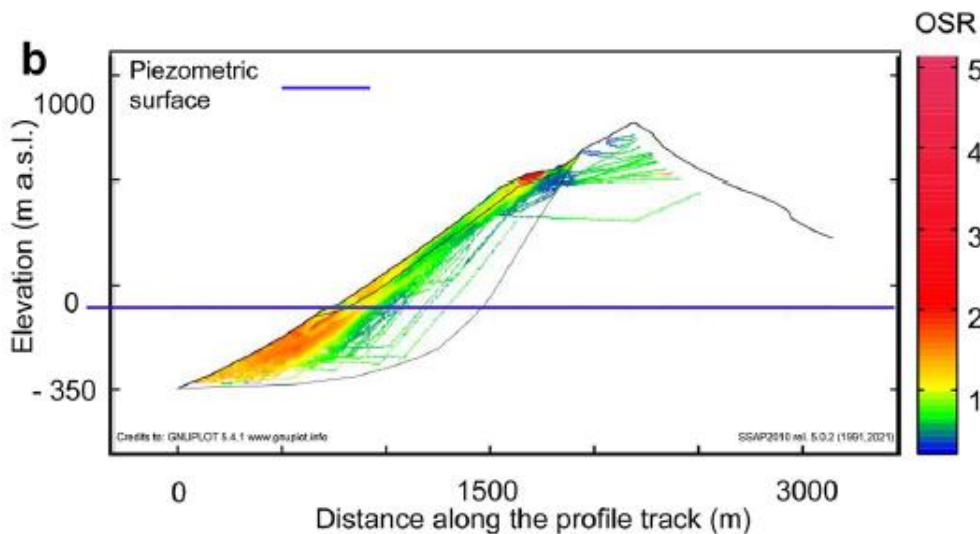
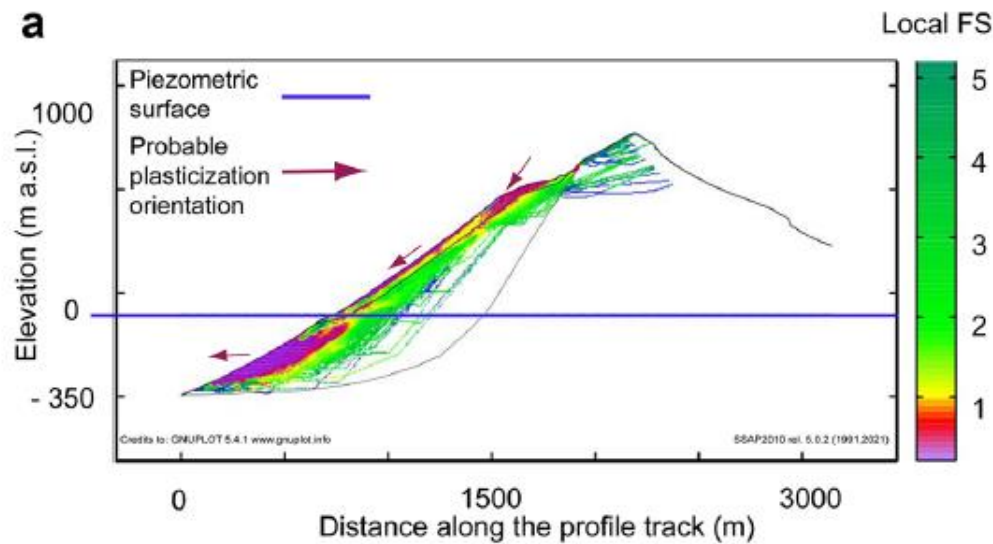
UCS uniaxial compressive strength of intact rock (MPa), GSI geological strength index (a-dimensional),  $m_i$  lithological factor (a-dimensional),  $D$  disturbance factor (a-dimensional),  $\gamma_{dry}$  dry condition unit weight (kN/m<sup>3</sup>),  $\gamma_{sat}$  saturated condition unit weight (kN/m<sup>3</sup>),  $\phi'$  effective equivalent angle of internal friction (°),  $c'$  cohesion in drained condition (kPa), JRC joint roughness coefficient (°), JCS joint compressive strength (MPa),  $\phi_r$  joint residual friction angle (°),  $L_0$  assumed scaling length of representative measurements on joint/discontinuity (m),  $L$  maximum length of surface discontinuity (m),  $\beta$  average orientation of discontinuity (°),  $\Delta\beta$  maximum dispersion around average discontinuity orientation (°)

Di Traglia et al(2023)

**Fig. 4** LEM model set-up. In **a** is shown the entire flank, with the geotechnical model that best passed the test phase (static and dynamic) to which the forces in the vertical tension crack were applied, as reported in **b**. In **b** is reproduced the lateral thrust caused by the dyke. The elevation of the topographic profile is expressed in metres



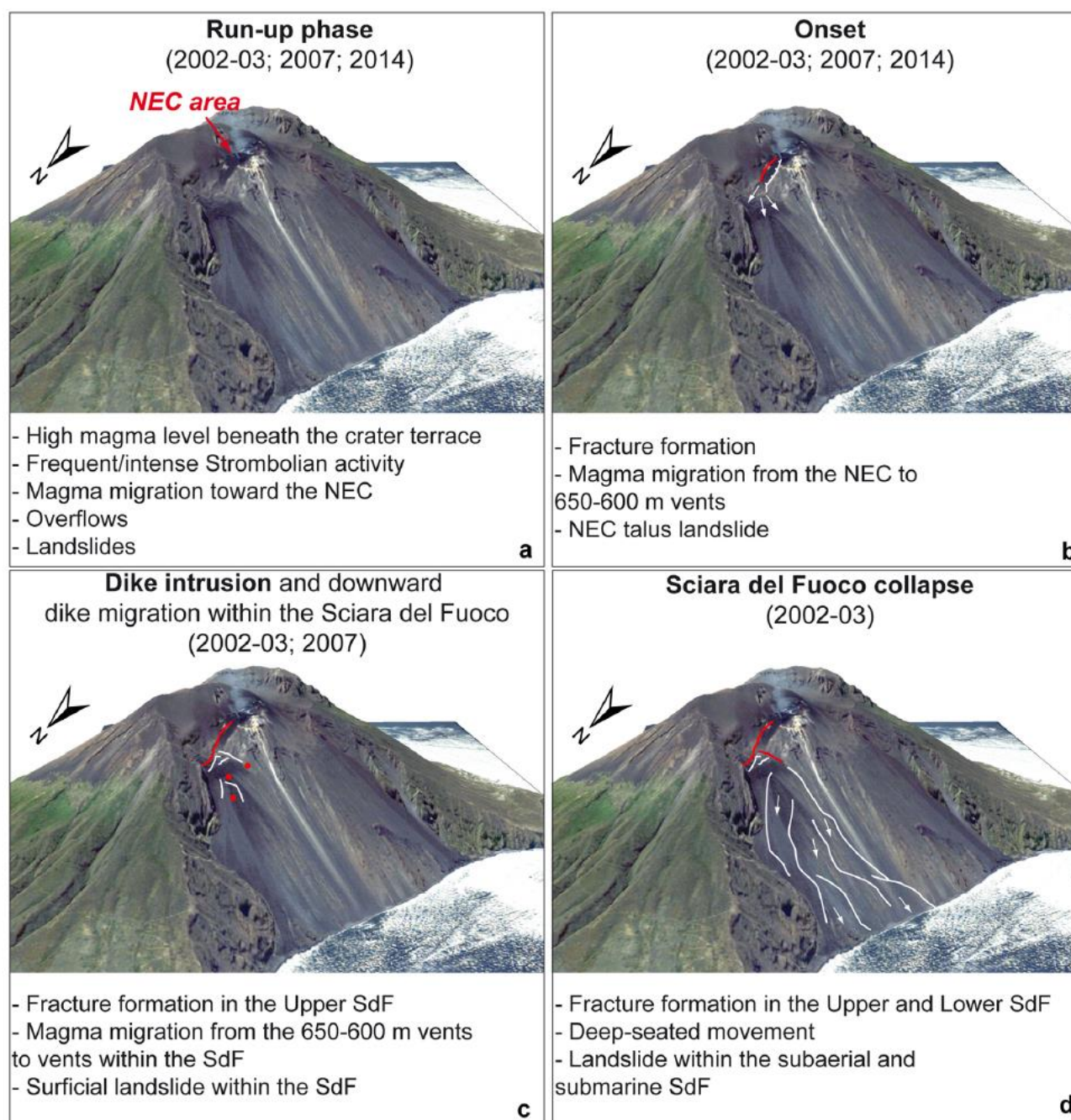
Di Traglia et al(2023)



Di Traglia et al(2023)

**Fig. 7** The figure shows the two 2D colour maps, defined as quasi-finite element analysis (qFEM) and over stress ratio (OSR) maps, considering static conditions along the entire Sciara del Fuoco slope, and thus representing the back-analysis of the 30 December 2002 landslides sequence (pre-intrusion). **a** qFEM map and **b** OSR map





**Fig. 9** Different phases of destabilization of the Sciara del Fuoco

# Bibliografía de aplicaciones de SSAP en diferente contextos nacionales y Internacionales

## Artículos sobre SSAP (o donde se utilizó SSAP para fines específicos)

- Di TRAGLIA F., CALVARI S., BORSELLI L., CASSANEGO L., GIUDICEPIETRO F., MACEDONIO G., NOLESINI T., CASAGLIN. (2023). Assessing flank instability of Stromboli volcano (Italy) by reappraising the 30 December 2002 tsunamiogenic landslides. *Landslides*. (in press). <https://doi.org/10.1007/s10346-023-02043-6>
- CONCU, G., DELIGIA, M., SASSU, M. (2023). Seismic Analysis of Historical Urban Walls: Application to the Volterra Case Study. *Infrastructures* 2023, 8, 18. <https://doi.org/10.3390/infrastructures8020018>
- INNOCENTI, A., PAZZI, V., BORSELLI, L., NOCENTINI, M., LOMBARDI, L., GIGLI, G., & FANTI, R. (2022). Reconstruction of the evolution phases of a landslide by using multi-layer back-analysis methods. *Landslides*, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s10346-022-01971-y>
- Di TRAGLIA, F., BORSELLI, L., NOLESINI, T., & CASAGLI, N. (2022). Crater-rim collapse at Stromboli volcano: understanding the mechanisms leading from the failure of hot rocks to the development of glowing avalanches. *Natural Hazards*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05626-y>
- SCOPETANI L., FRANCALANCI S., PARIS E., FAGGIOLLI L. & GUERRINI J. (2022). Decision support system for managing flooding risk induced by levee breaches. *International Journal of River Basin Management*, <https://doi.org/10.1080/15715124.2022.2114483>
- SERGEANT D., BORSELLI L. (2021). Studio di una fondazione superficiale su pendio in roccia con il metodo dell'equilibrio limite. X Incontro Annuale dei Giovani Ingegneri Geotecnici. Atti del Convegno Pisa, 3-4 Settembre 2021 – F. Ceccato, M. Rosone e S. Stacul Eds. Associazione Geotecnica Italiana, Roma, Italia, PP.193-196. ISBN 978-88-97517-16-0. [http://geotecnica.unipi.it/wp-content/uploads/2021/08/Atti\\_X\\_IAGIG\\_Pisa\\_2021.pdf](http://geotecnica.unipi.it/wp-content/uploads/2021/08/Atti_X_IAGIG_Pisa_2021.pdf)
- NENCI N., GALANTI Y., D'AMATO AVANZI G., GIANNECCHINI R., CAPILLERI P.P., Lo PRESTI D. C. (2021). Uso di una apparecchiatura innovativa per la parametrizzazione geotecnica finalizzata a verifiche di stabilità delle coperture detritiche. X Incontro Annuale dei Giovani Ingegneri Geotecnici. Atti del Convegno Pisa, 3-4 Settembre 2021 – F. Ceccato, M. Rosone e S. Stacul Eds. Associazione Geotecnica Italiana, Roma, Italia, PP.173-176. ISBN 978-88-97517-16-0. [http://geotecnica.unipi.it/wp-content/uploads/2021/08/Atti\\_X\\_IAGIG\\_Pisa\\_2021.pdf](http://geotecnica.unipi.it/wp-content/uploads/2021/08/Atti_X_IAGIG_Pisa_2021.pdf)
- PUPPIO M. L., VAGAGGINI E., GIRESENI L., SASSU M. (2021). Landslide analysis of historical Urban walls: case study of Volterra, Italy. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 35(6), 04021086. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001647](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001647)
- VAGAGGINI, E., FERRINI, M., SASSU, M., & PUPPIO, M. L. (2021, September). Modelling of Moisture Effect in Safety Evaluation of Soil-Interacting Masonry Wall Structures. In: Gervasi O. et al. (eds) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021*. ICCSA 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol 12950. Springer, Cham. ISBN:978-3-030-86960-1. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-86960-1\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-86960-1_16)
- BRUNO G., PIAQUADIO N. (2020). VALUTAZIONE DELLA STABILITÀ GEOMORFOLOGICA DI UNA PORZIONE DEL CENTRO STORICO DI PIETRAMONTECORVINO (FG) FINALIZZATA ALLA REVISIONE DEL SUO GRADO DI PERICOLOSITÀ NEL P.A.I. - PUGLIA. *GEOLOGI E TERRITORIO*, n° 1/2020 - pagg. 3-16. <http://www.geologi.puglia.it/doc/downloads/3006-scarica-file-geologi-e-territorio-12020.pdf>
- BORSELLI L., PETRI P. (2020). Muri a secco: verifiche di stabilità con software SSAP 5.0 e criterio GHB(GSD) per le strutture in roccia. Researchgate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21048.90886/1>
- BORSELLI, L. (2020). Reti in aderenza: progettazione alternativa in SSAP 5.0 per verifiche stabilità globali (LEM). Researchgate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22444.82569>
- Di NACCIO, D., KASTELIC, V., CARAFA, M. M. C., ESPOSITO, C., MILILLO, P., & Di LORENZO, C. (2019). Gravity versus Tectonics: the case of 2016 Amatrice and Norcia (central Italy) earthquakes surface coseismic fractures. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124(4), 994-1017. <https://doi.org/10.1029/2018JF004762>
- BORSELLI, L. (2019). Validazione del codice di calcolo SSAP. Researchgate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18565.09444>
- BORSELLI, L. (2019). NAGA Landslide Back-Analysis - version 0.2 - 09-01-2019. Researchgate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35412.35201> (in english)
- SCHIAVONE, F., CARRIERO, F., BIZZI, F., & ORLATI, G. (2019). Excavation of a large diameter tunnel in sliding Carpathian flysch. In: *Tunnels and Underground Cities. Engineering and Innovation Meet Archaeology, Architecture and Art*, Daniele Peila, Giulia Viggiani, Tarcisio Celestino eds. (pp. 1538-1548). CRC Press. ISBN 9780429424441
- BORSELLI L., GRECO L., PETRI P. 2018. SSAP2010 "Un passo Oltre". Software di uso libero (freeware) per le verifiche di stabilità all'equilibrio limite (LEM) nei pendii naturali e artificiali, con metodi rigorosi e avanzati. *Il GEOLOGO*, No. 106, Nov. 2018. (in italian)
- BORSELLI L. (2017). Sono sempre le sole superfici circolari quelle con minor FS ?? . Researchgate. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25141.22243>
- DONDIN, F. J., HEAP, M. J., ROBERTSON, R. E. A., DORVILLE, J. M., & CAREY, S. (2017). Flank instability assessment at Kick'em-Jenny submarine volcano (Grenada, Lesser Antilles): a multidisciplinary approach using experiments and modeling. *Bulletin of Volcanology*, 79(1), 5. <https://doi.org/10.1007/s00445-016-1090-8> (OPEN ACCESS)
- BORSELLI L., GRECO L., PETRI P. 2014. SSAP2010, IL SOFTWARE FREWARE PER LE VERIFICHE DI STABILITÀ ALL'EQUILIBRIO LIMITE (LEM) NEI PENDII NATURALI E ARTIFICIALI, CON METODI RIGOROSI E AVANZATI. *Geologi e Territorio*, n° 1/2014 - pagg. 22-32 (in italian).
- BORSELLI L., GRECO L., PETRI P. 2015. VERIFICHE DI STABILITÀ ALL'EQUILIBRIO LIMITE (LEM) NEI PENDII NATURALI E ARTIFICIALI, CON METODI RIGOROSI E AVANZATI PER MEZZO DI SSAP2010 , SOFTWARE DI USO LIBERO (FREWARE). *Informa Geologi*. vol. 3 , pag. 27-41 (scaricabile QUI) (in italian)
- BRUNETTI M.T., GUZZETTI F., CARDINALI M., FIORUCCI F., SANTANGELO M., MANCINELLI P., KOMATSU G., BORSELLI L., 2014. Analysis of a new geomorphological inventory of landslides in Valles Marineris, Mars, Earth and Planetary Science Letters, Vol. 405: 156-168, ISSN 0012-821X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2014.08.025>. (esempio applicazione SSAP su Marte..) vedasi anche [Frane Nel Sistema Solare](#) By CNR-IRPI
- BORSELLI L. 2013. Advanced 2D Slope stability Analysis by LEM by SSAP software: a full freeware tool for teaching and scientific community. IN "ICL Landslide Teaching Tools". KyojiSassa, Bin He, MauriMcSaveney, Osamu Nagai (EDS.). *International Consortium on Landslides (ICL)*. PP. 428. ISBN: 978-4-9903382-2-0.
- BORSELLI L., CAPRAL, SAROCCHI D., De la CRUZ-REYNA S. 2011. Flank collapse scenarios at Volcán de Colima, Mexico: a relative instability analysis. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 208:51-65. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2011.08.004> (esempio applicazione SSAP in stabilità' edificio vulcanico attivo).

Dettales en <https://www.ssap.eu>



# ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS Y ESTABILIDAD DE TALUDES


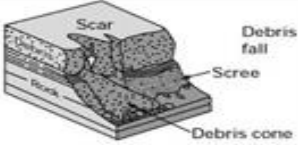



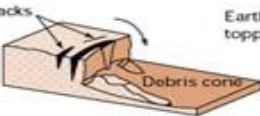

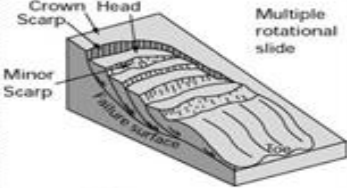



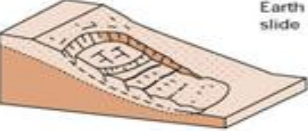
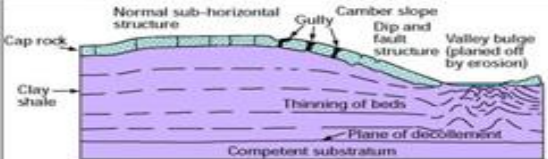

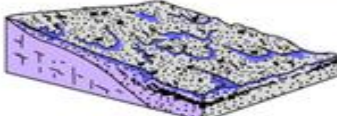



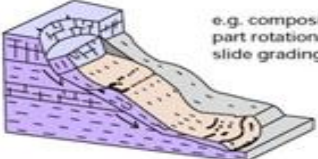




# Geomorfología e Geotecnia

Osea:

- Cada proceso de inestabilidad tiene una (o más) causa(s)
- Las propiedades de los geomateriales involucrados tienen una relación con la(s) causa(s) del proceso de inestabilidad (¡papel de la geotecnia!)
- Los mismos procesos que ocurrieron en el pasado se pueden reproducir en el futuro
- Las condiciones de peligro futuras están influenciadas por la evidencia de procesos geomorfológicos que tienen lugar en el presente y por los que ocurren en el pasado (importancia del método de análisis multitemporal de peligros ).
- A partir de estudios geomorfológicos locales es posible obtener parámetros geotécnicos de considerable importancia.

Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type				
FALLS		 Rock fall	 Debris fall Scree Debris cone	 Earth fall Colluvium Debris cone
		 Rock topple	 Debris topple Debris cone	 Earth topple Debris cone
SLIDES	Rotational	 Single rotational slide (slump) Failure surface	 Multiple rotational slide Crown Head Scarp Minor Scarp Failure surface	 Successive rotational slides
	Translational (Planar)	 Rock slide	 Debris slide	 Earth slide
SPREADS	 <p>e.g. cambering and valley bulging</p>			 Earth spread
FLOWS	 Solifluction flows (Periglacial debris flows)		 Debris flow	 Earth flow (mud flow)
COMPLEX	 e.g. Slump-earthflow with rockfall debris		 e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe	

**Clasificación de los movimientos de masa según el tipo de material y el tipo de movimiento. Esta correspondencia entre el tipo de geomaterial y la tipología de movimiento se conoce desde hace muchos años.**

[http://www.bgs.ac.uk/landslides/how\\_does\\_BGS\\_classify\\_landslides.html](http://www.bgs.ac.uk/landslides/how_does_BGS_classify_landslides.html)



Foto L.B . Val samoggia 2003



## Calanques en tierras agrícolas Boloñesa (BO) y val. D'Orcia (SI) – Italia

Terreno previamente nivelado  
para los cultivos de cereales.

Erosión superficial y  
Movimientos de masas  
estrechamente relacionados

Precipitación media 1100-600  
mm/yr

Fuentes primarias de  
sedimentos  
Deslizamientos de  
tierra, inundaciones

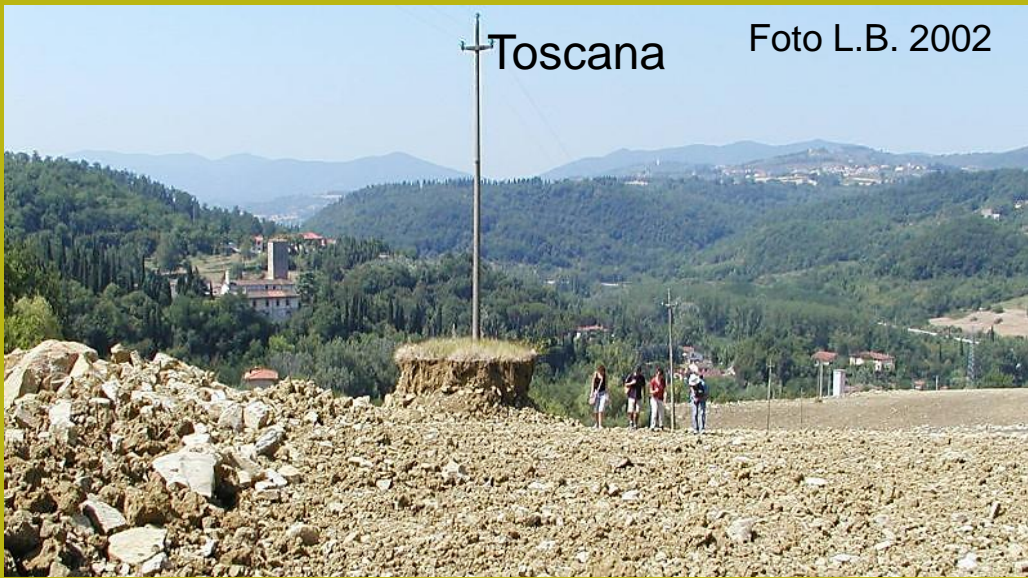


Foto L.B . Val d'orcía 2006



Toscana

Foto L.B. 2002



Veneto

Foto Bazzoffi 2007



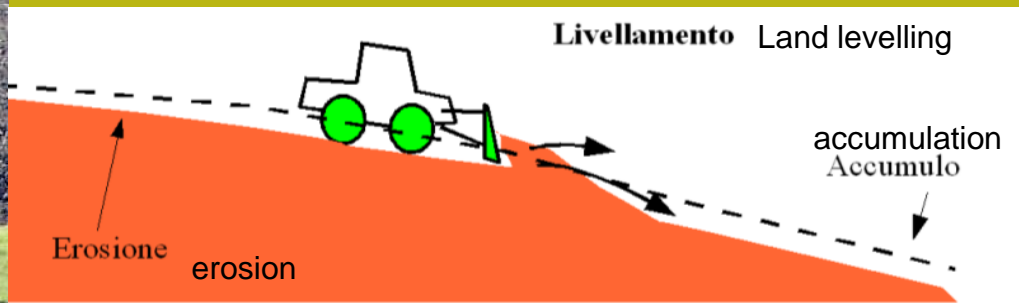
Foto L.B. 2002

Emilia Romagna



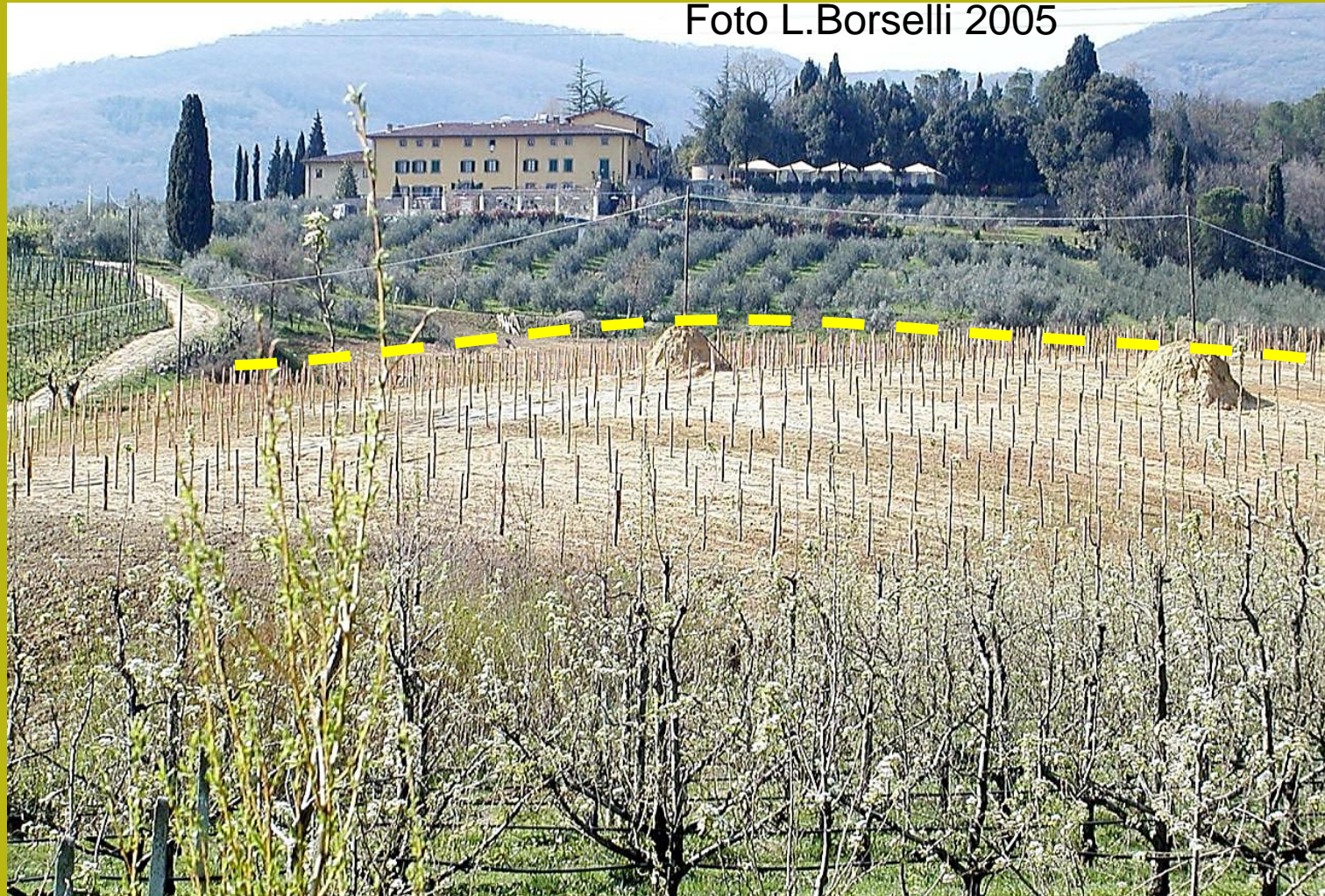
Erosión mecánica debida a Operaciones de nivelación Plantación de nuevos viñedos.

Agente hantropomorfomorfológico como factor de inestabilidad de taludes





# Nivelación – Evidencia de erosión mecánica – nuevo viñedo en suelos arenosos sobre sedimentos lacustres del Plioceno (alto valdarno, Toscana),italia





# Nivelación – Consecuencias en la estabilidad de taludes (Chianti, Toscana) en viñedo

Foto L.Borselli 2001





# Nivelación – Consecuencias en la estabilidad de taludes (Chianti, Toscana)

Foto L.Borselli 2005





Foto L.B. 2009



Nivelación de deslizamientos de tierra y producción de sedimen

**Bacino Rendina a sud di Ripacandida**

**Study site CNR-IRPI**

**Progetto DESIRE**

**EU (2007-2012)**

Deslizamientos de superficie con reactivación periódica



# Deslizamientos de superficie con reactivación periódica

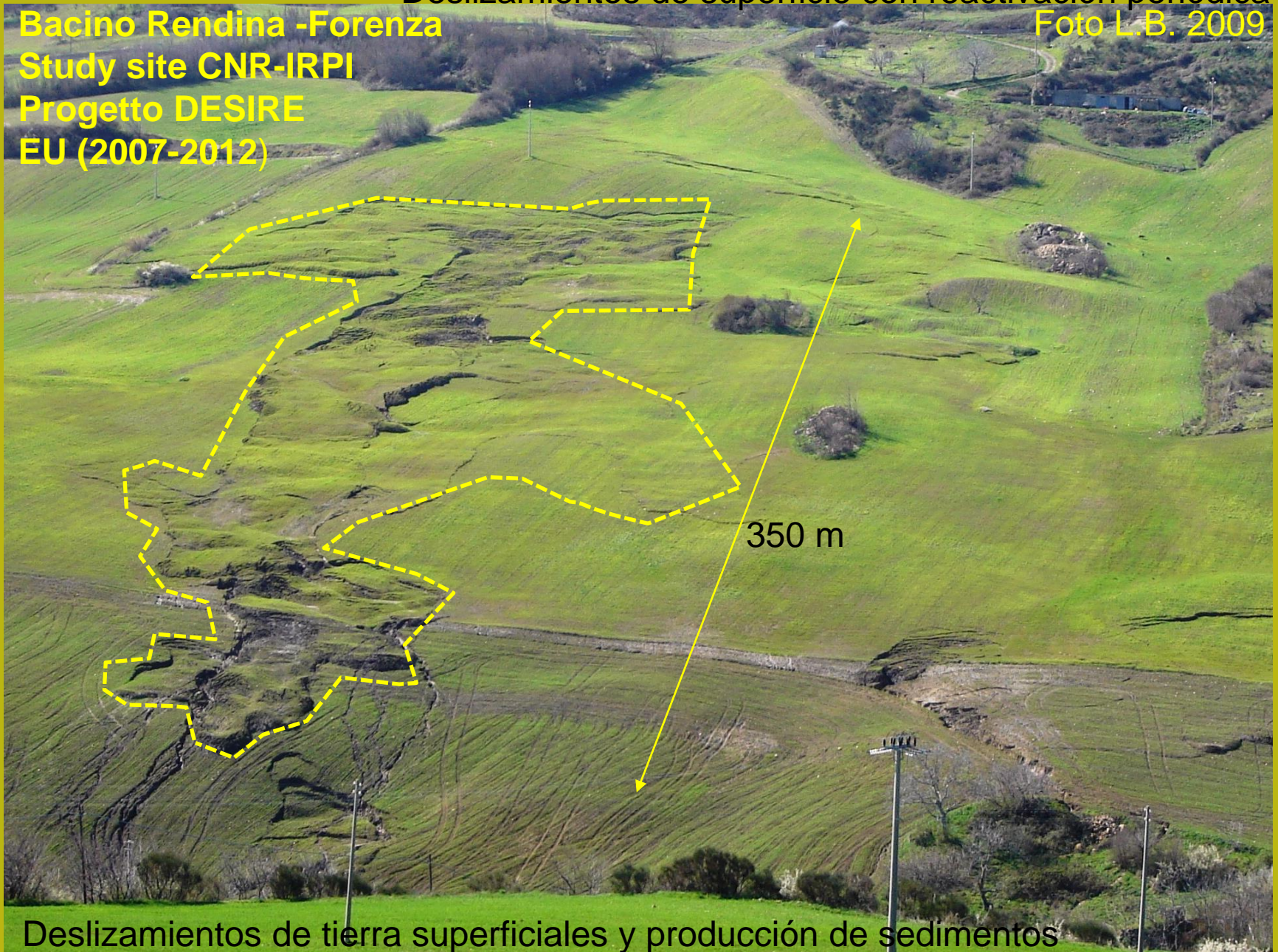
Bacino Rendina -Forenza

Foto L.B. 2009

Study site CNR-IRPI

Progetto DESIRE

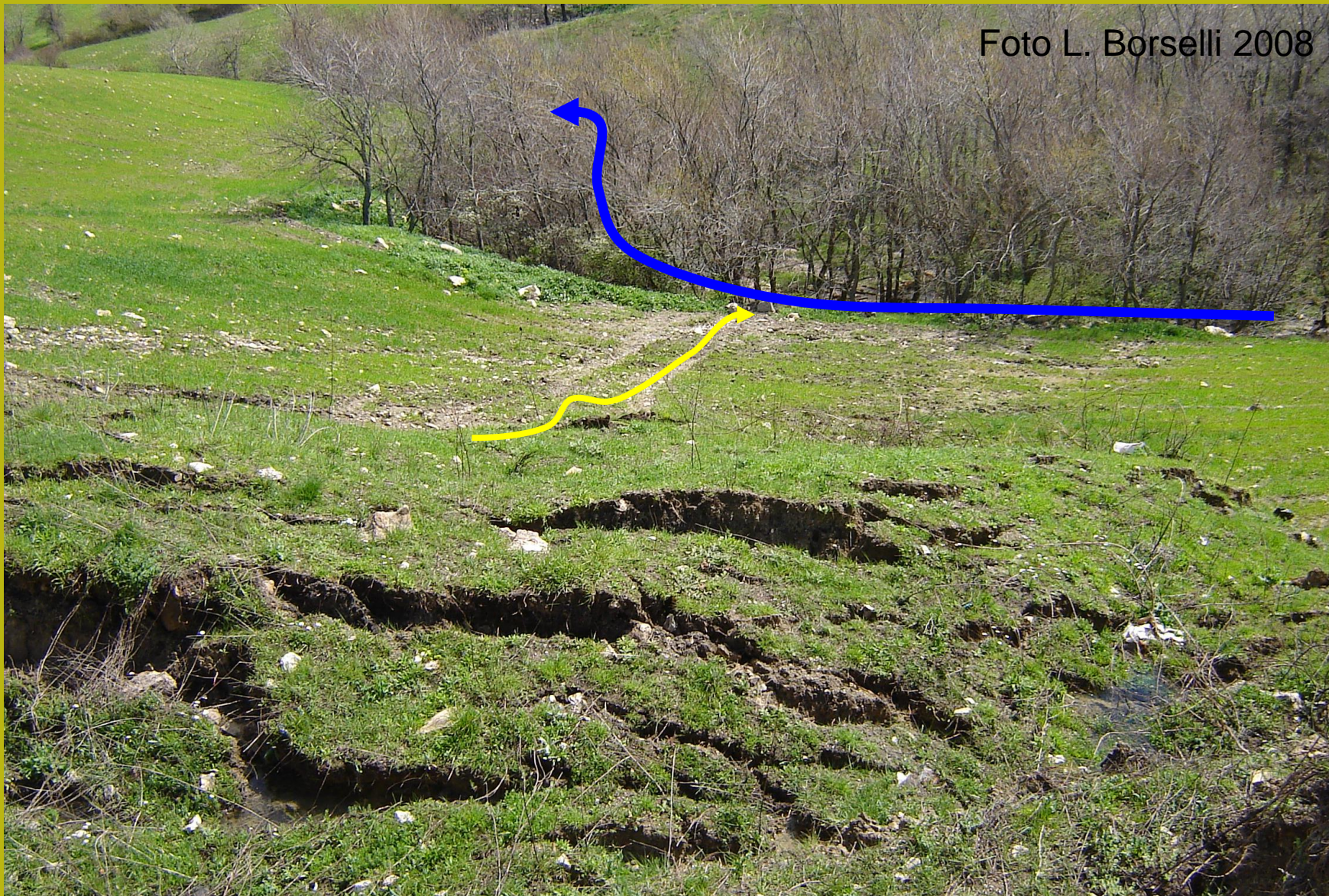
EU (2007-2012)



Deslizamientos de tierra superficiales y producción de sedimentos



Foto L. Borselli 2008



Esportazione sedimento da aree in frana – effetto della connettività dei flussi

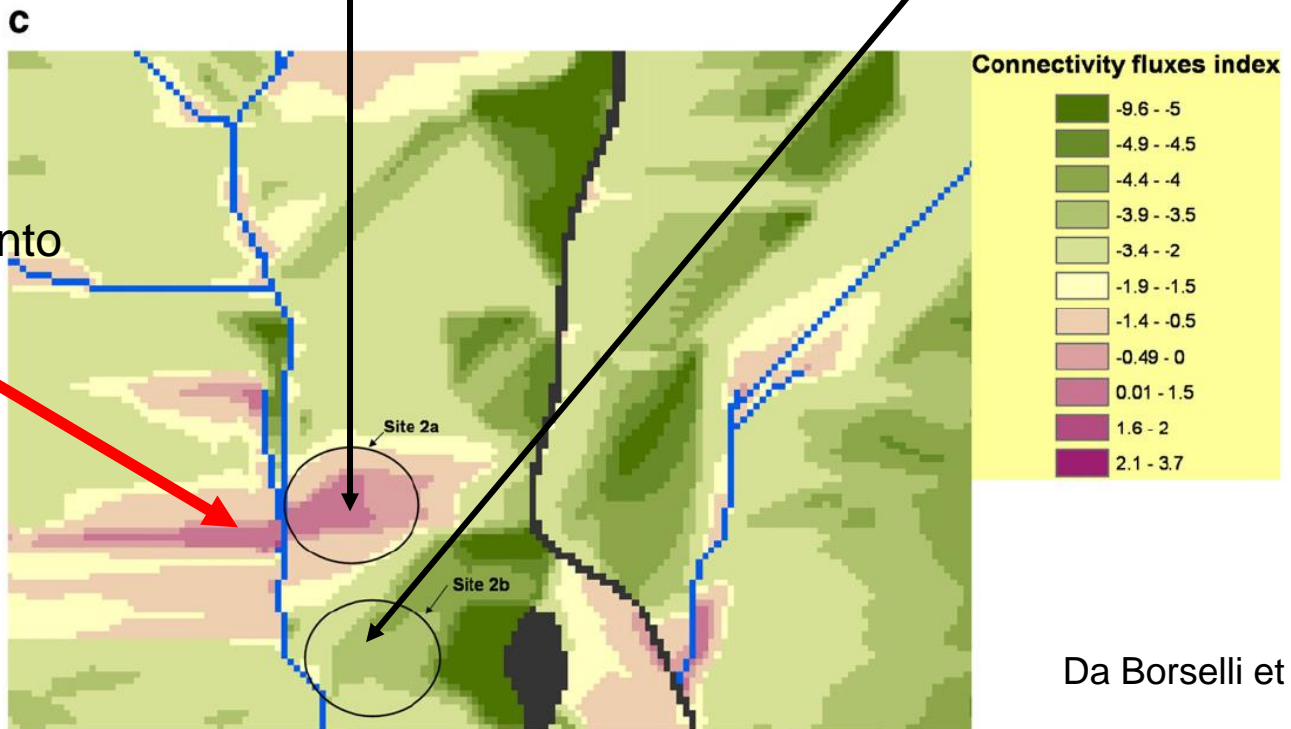


Foto L. Borselli 2001



Sestino , (AR)  
Decorticación  
Superficial (0.1-0.2m)  
y flujo de lodo...  
Después de una rápida  
descongelación.  
Conectividad y  
deslizamientos superficiales





Deslizamiento  
Activo  
De  
10000 m<sup>3</sup>

Da Borselli et al. 2008

**Extensión  
Controles de  
estabilidad en un  
área significativa...**

**«*significativa*»??**





## Movimiento de masa superficial y su rápida evolución

Foto L.B. Val Samoggia 2002

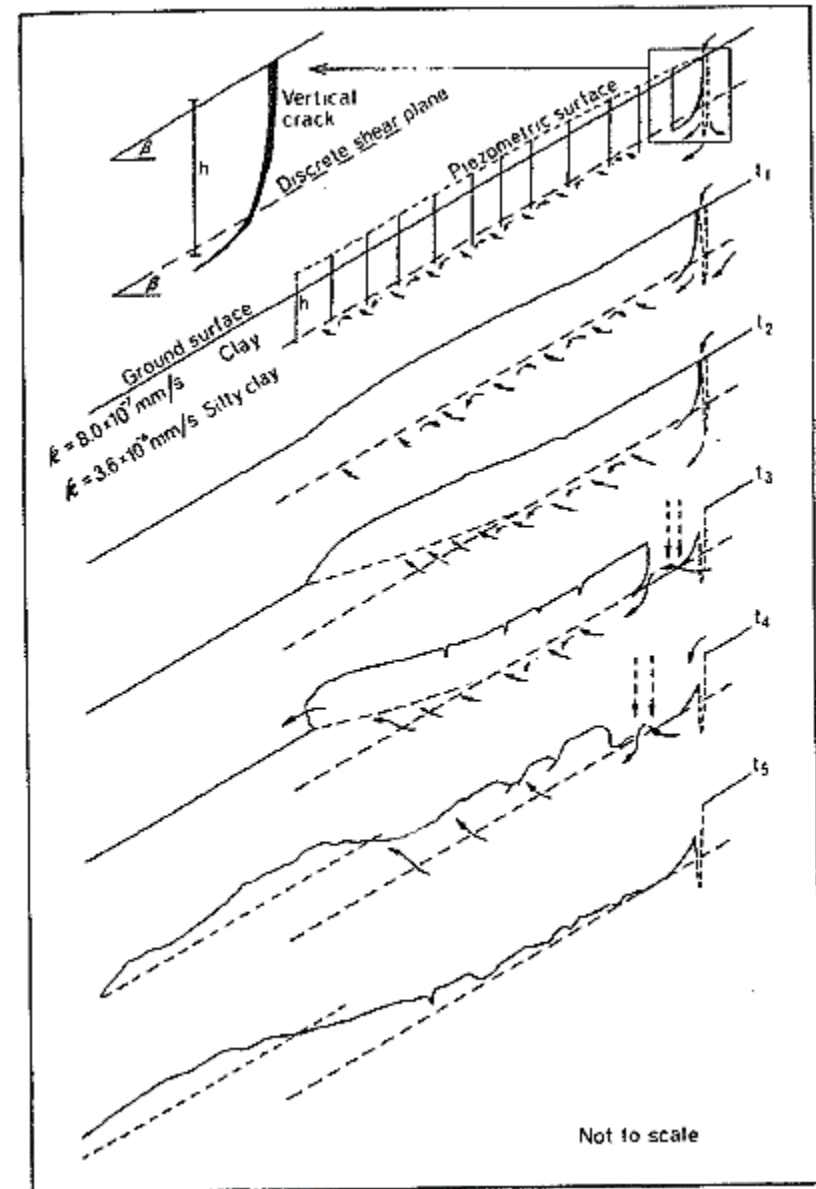
**March 2002**  
(snowmelt of  
40 cm snow)



**October 2002**  
(200 mm rainfall  
in september)





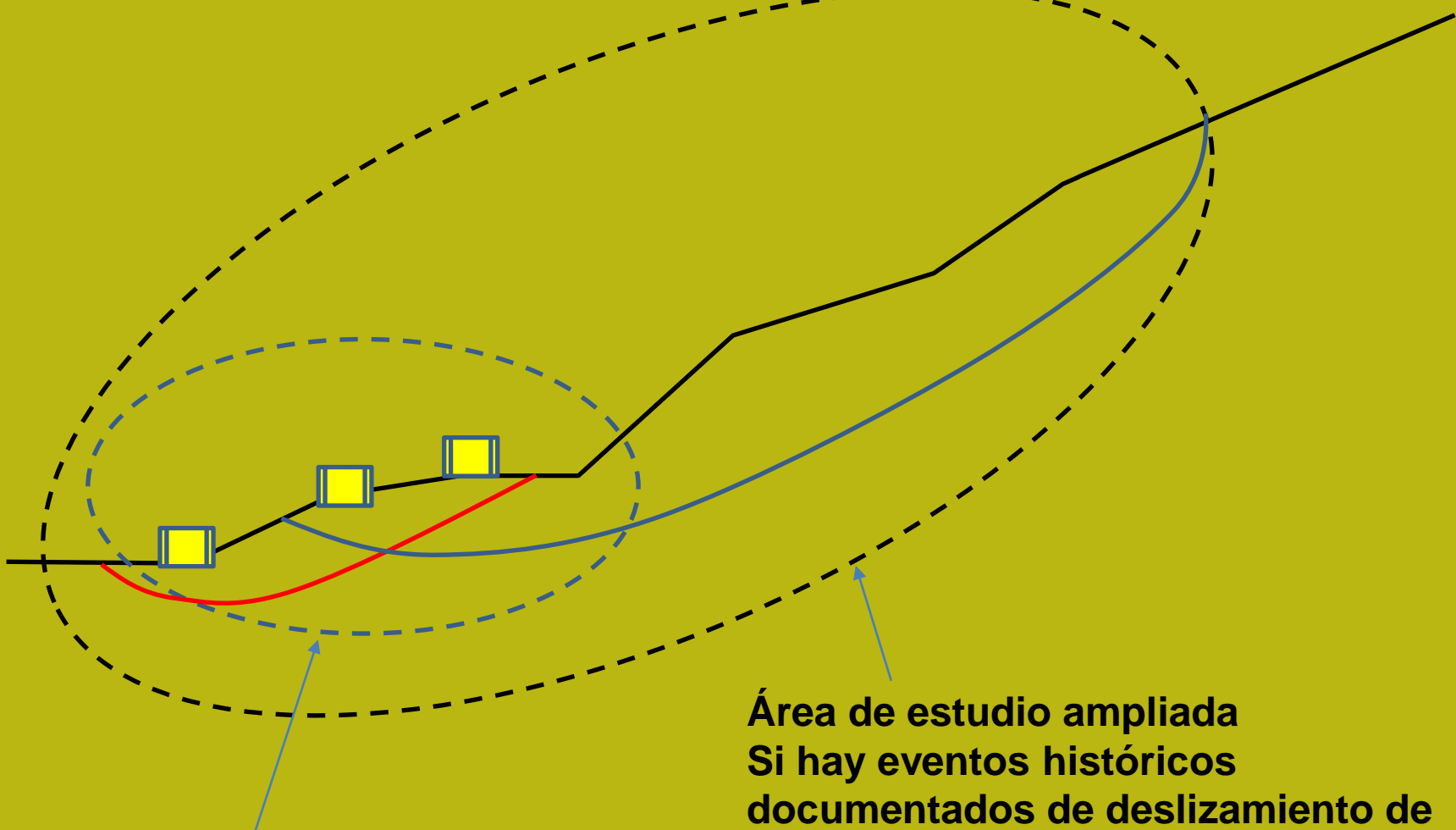


Evolución de un movimiento  
Superficie monitoreada  
En Nueva Zelanda (1980). Selby (2005)

Da Selby (2005)



# ¿Cuánto ampliar las investigaciones, y cuánto ampliar el área de análisis de verificación de estabilidad, en un contexto LEM?



**Área limitada que a menudo se adopta para Ahorre de tiempo y \$\$**

**Área de estudio ampliada Si hay eventos históricos documentados de deslizamiento de tierra.. Pero a menudo a discreción del Geólogo y/o Diseñador**

Un ejemplo concreto del problema de la evaluación de áreas significativas

## Nivelación – Consecuencias en la estabilidad de taludes (Chianti, Toscana)

Foto L.Borselli 2005







Ignimbrita consolidada

Vulcanitas estratificadas

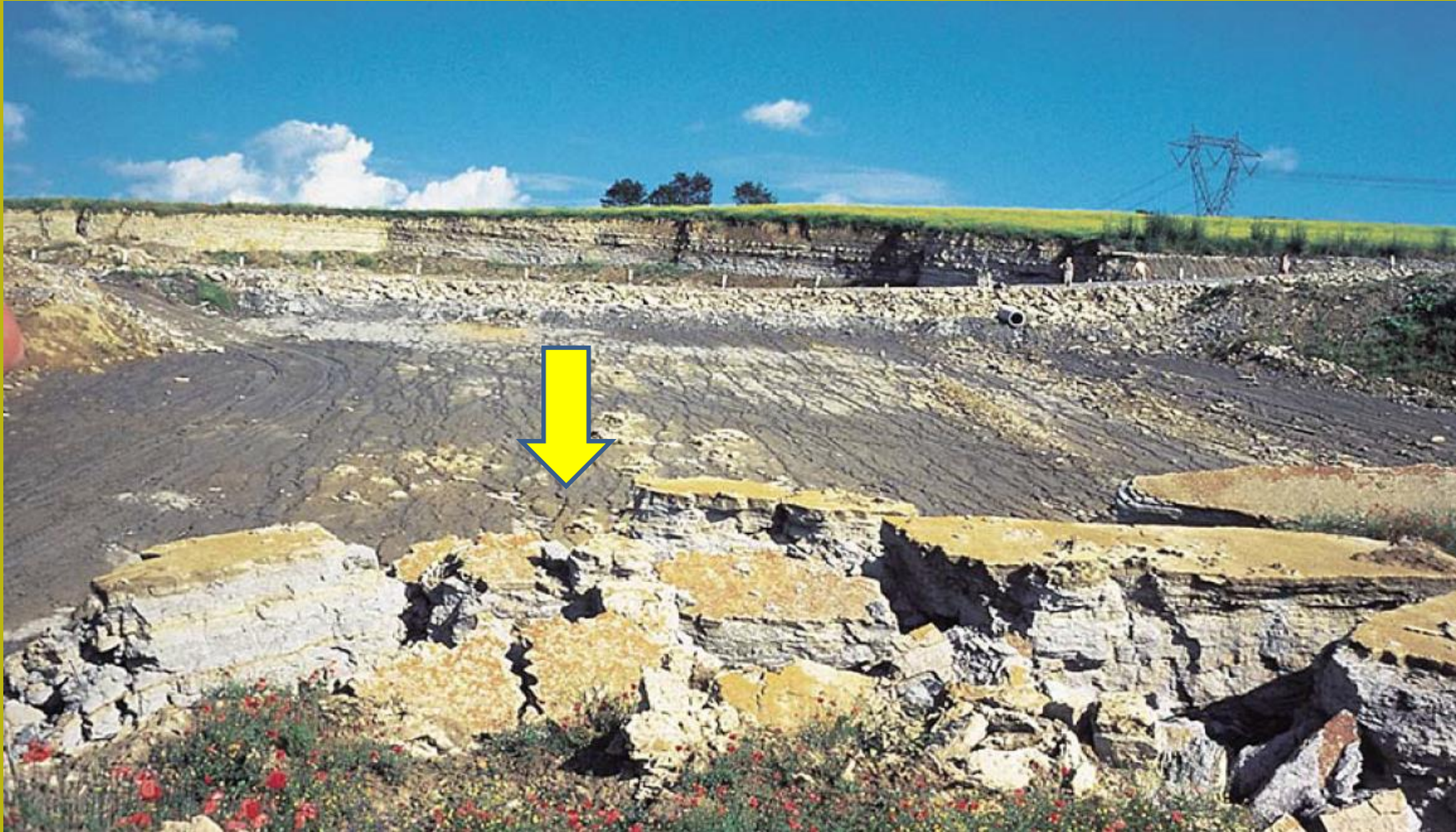
Arcillitas y Lutitas arenosas del Plioceno

Papel combinado de las propiedades geomecánicas y los procesos geomorfológicos



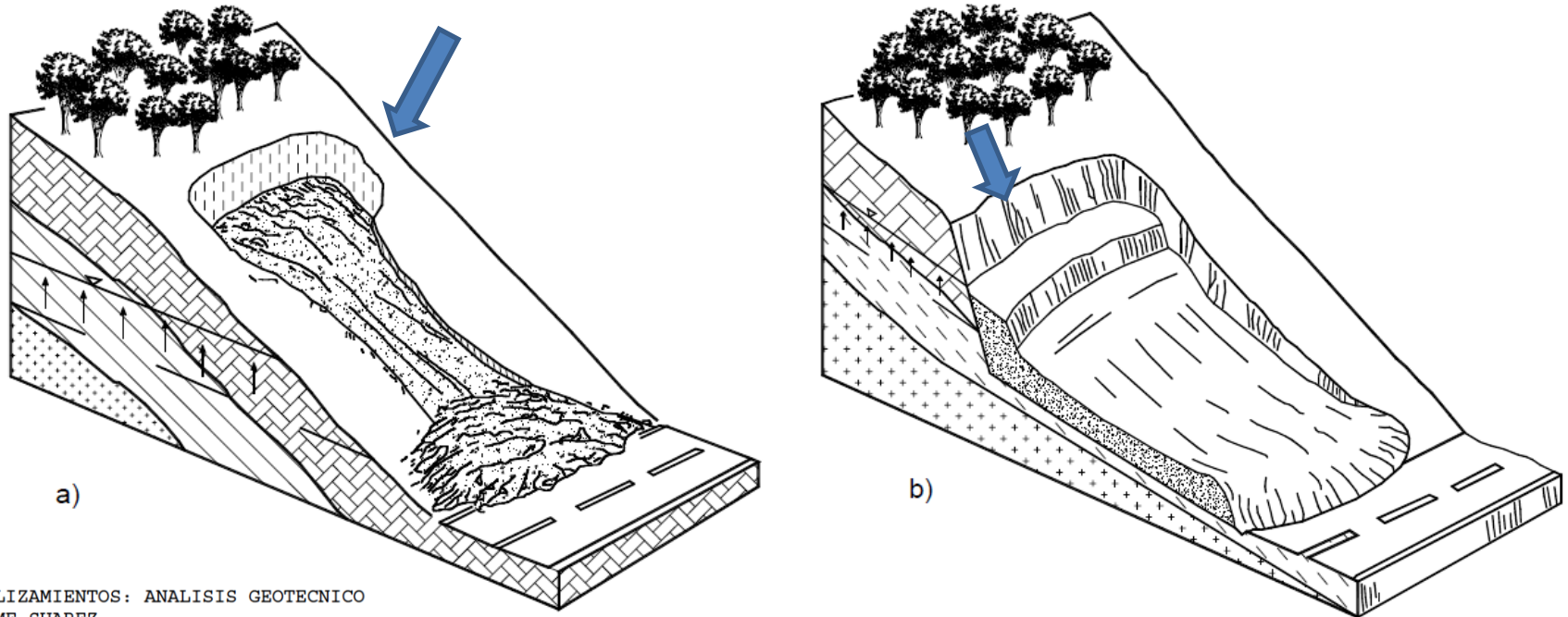
## Geología, geomorfología y estabilidad de taludes

Deslizamiento plano en bloque sobre formaciones en facies flysh Langhe monferrato - nov. 1994 - FOTO EUROLANSLIDE





# Relación geomorfológica geotécnica: fenómeno de tensión agrietadas en la parte superior de un deslizamiento de tierra.



DESGLIZAMIENTOS: ANALISIS GEOTECNICO  
JAIME SUAREZ  
www.erosion.com.co

Evaluación de ángulos de la porción de la cumbre en la cabeza (corona de deslizamiento de tierra) de la superficie de deslizamiento observable





Deslizamiento de Carretera detectado en Monte di Vernazza (SP), Italia , 2011



**Ahora podemos ver con un ejemplo  
El enfoque simple del análisis multitemporal  
Procesos de inestabilidad de taludes..**

**Método norte americano pero luego desarrollado  
por CNR-IRPI, (Italia) en el censo de áreas de deslizamiento  
y evaluación de peligros.**

**Método aplicado a una serie de sitios en Italia.  
y publicado en varios artículos  
en revistas internacionales.**

**Aplicable para la evaluación de un rango significativo  
En áreas de deslizamientos de tierra**

Da:  
**Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F., & Reichenbach, P. (2008). Comparing landslide inventory maps. Geomorphology, 94(3-4), 268-289.**

## Comparing landslide inventory maps

Mirco Galli, Francesca Ardizzone, Mauro Cardinali, Fausto Guzzetti\*, Paola Reichenbach

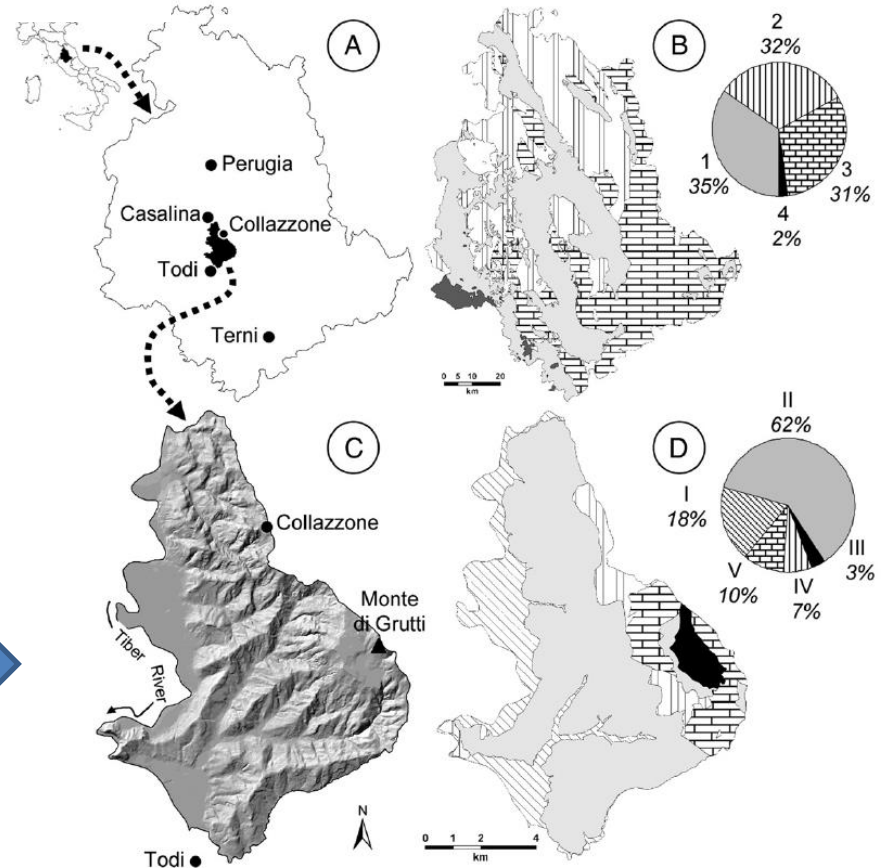
*CNR-IRPI, via della Madonna Alta 126, 06128 Perugia, Italy*

Received 15 July 2005; received in revised form 25 February 2006; accepted 9 September 2006  
Available online 14 June 2007



**Un interesante estudio comparativo  
Entre mapas inventario de deslizamientos  
Aplicación de analisis multitemporales  
Galli et al. (2008)**

Area di studio





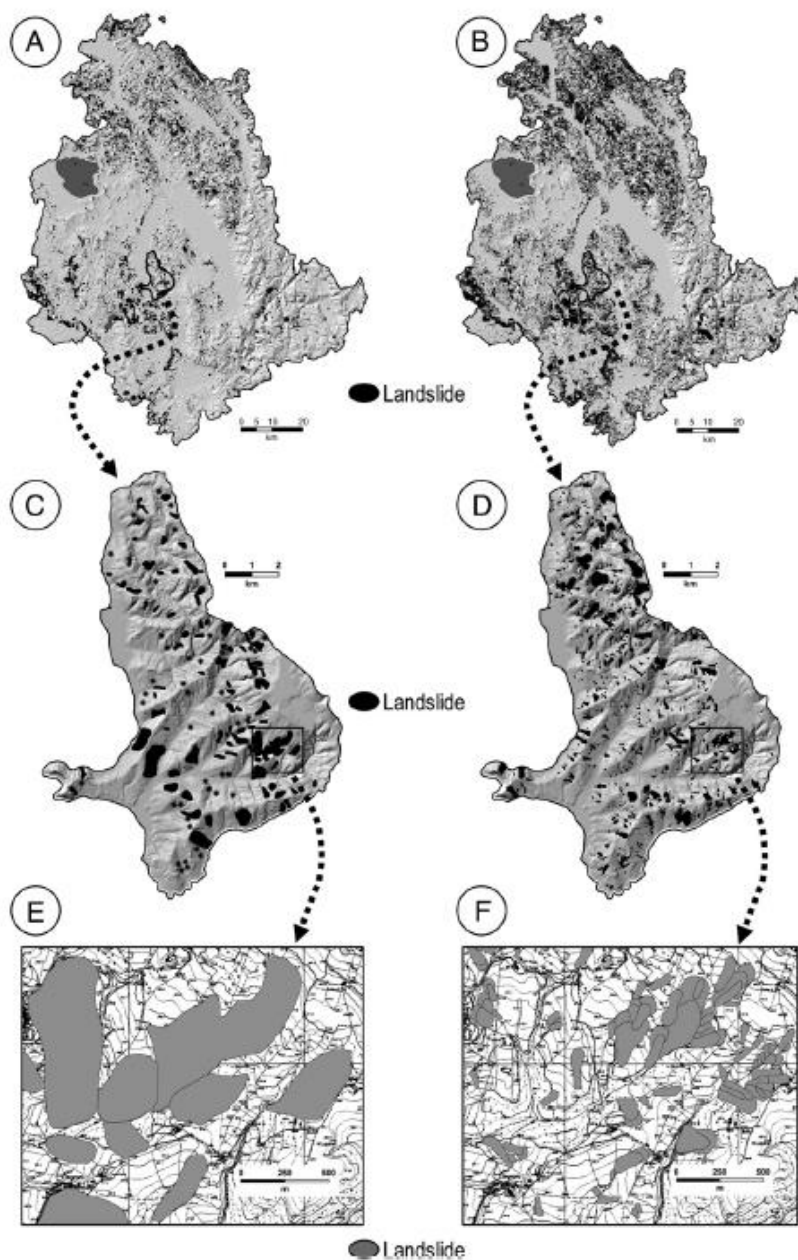


Table 1

Sets of aerial photographs used to prepare landslide inventory maps in Umbria

Year	Period	Type	Nominal Scale	Type of Inventory		
				a	b	c
1941	Summer	Panchromatic	1:18,000			●●
1954–56	Spring– Summer	Panchromatic	1:33,000	●●	●●	●●
1977	Spring– Summer	Colour	1:13,000		●	●●
1985	July	Panchromatic	1:15,000			●●
1994	Unknown	Panchromatic	1:73,000		●	
1997	April	Panchromatic	1:20,000			●●

(a) Reconnaissance landslide inventory prepared by Guzzetti and Cardinali (1989, 1990) for the entire Umbria region (Fig. 3A). (b) Geomorphological landslide inventory prepared by Antonini et al. (2002a) for the entire Umbria region (Fig. 3B). (c) Multi-temporal inventory map compiled for the Collazzone area (Fig. 4). ●●, aerial photographs used systematically to identify landslides; ●, aerial photographs used in limited areas or to attribute additional information to already mapped landslides.

Comparación del mapa de inventario de deslizamientos de tierra:

(A,C,E) análisis y levantamiento 1990;

(B,D,F) Estudio geomorfológico

Galli et al. (2008)

Fig. 3. Landslide inventory maps for the Umbria region. (A) Reconnaissance inventory map (Guzzetti and Cardinali, 1989, 1990); (B) Geomorphological inventory map (Antonini et al., 2002a); (C) Portion of the reconnaissance inventory for the Collazzone area. (D) Portion of the geomorphological inventory for the Collazzone area. (E) Enlargement of (C). (F) Enlargement of (D).

Galli et al. (2008)

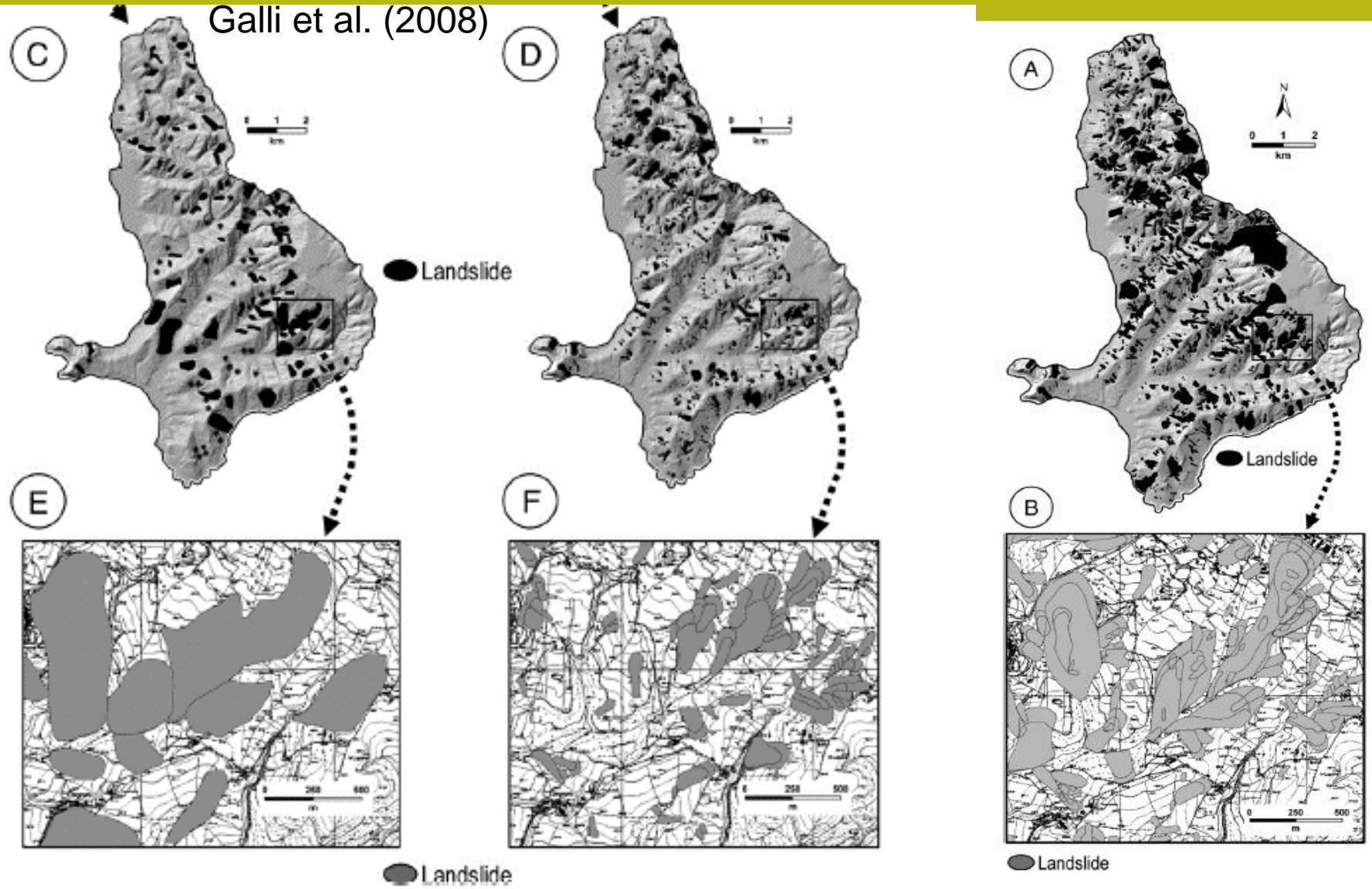


Fig. 4. Collazzone area. (A) Multi-temporal landslide inventory map prepared through the interpretation of 5 sets of aerial photographs. (B) Enlargement.

Reventamiento de campo  
+ foto aeree 1954-1956

Geomorfológico  
+ foto aeree 1954-1956,  
1977 , 1994

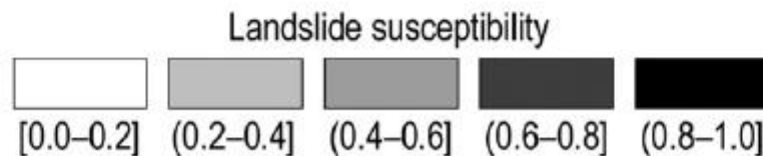
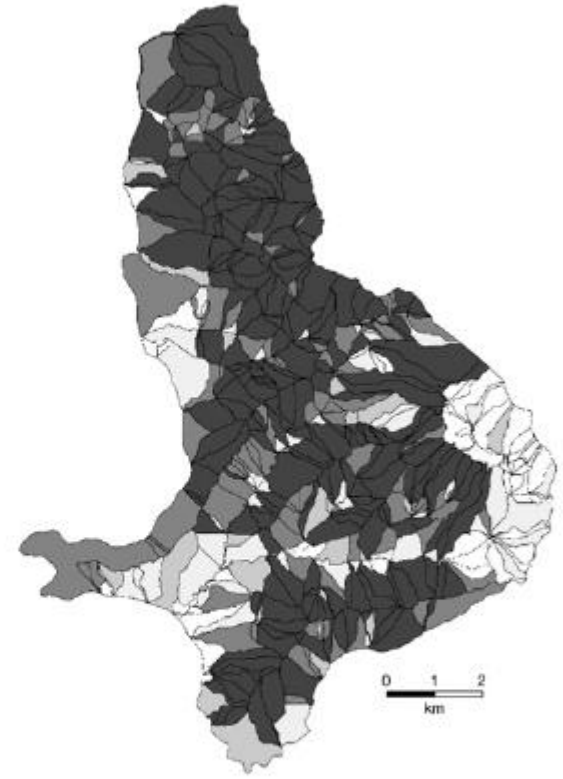
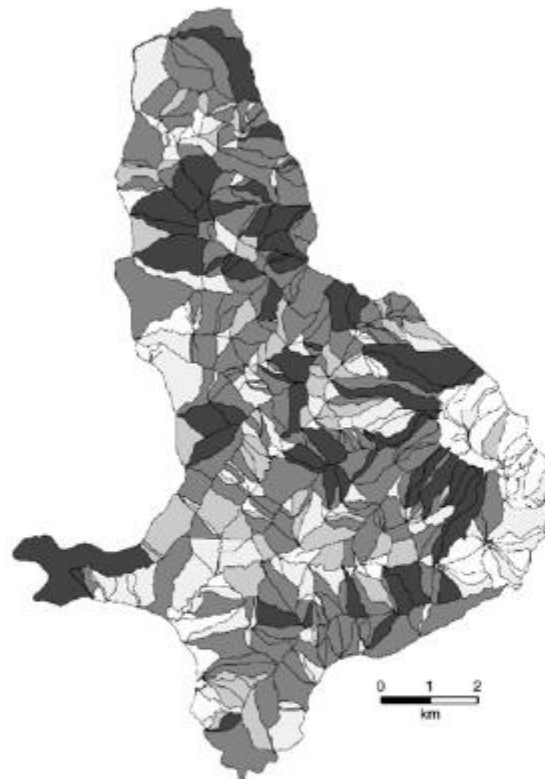
Multitemporale  
Foto aeree 1941 ->1997



$\alpha$  – Landslide susceptibility obtained from the reconnaissance inventory (Map A)

$\beta$  – Landslide susceptibility obtained from the geomorphological inventory (Map B)

$\gamma$  – Landslide density obtained from the multi-temporal inventory (Map C)



Galli et al. (2008)

Fig. 10. Landslide susceptibility models for the Collazzone area. Models prepared using the same set of independent thematic variables and three different landslide inventory maps. Square bracket indicates class limit is included, and round bracket indicates class limit is not included.

# Otra obra importante para leer:

Earth-Science Reviews 112 (2012) 42–66

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Earth-Science Reviews

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



## Landslide inventory maps: New tools for an old problem

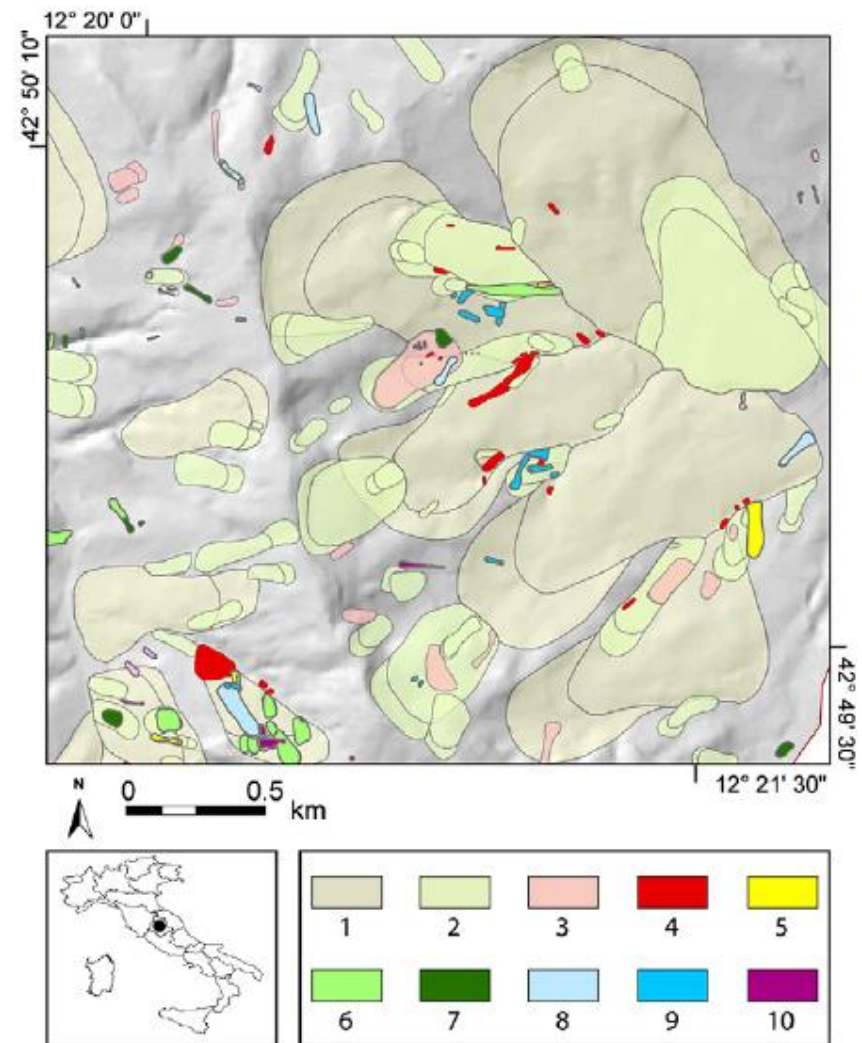
Fausto Guzzetti <sup>a,\*</sup>, Alessandro Cesare Mondini <sup>a,b</sup>, Mauro Cardinali <sup>a</sup>, Federica Fiorucci <sup>a,b</sup>, Michele Santangelo <sup>a,b</sup>, Kang-Tsung Chang <sup>c</sup>

<sup>a</sup> CNR IRPI, via Madonna Alta 126, I-06128 Perugia, Italy

<sup>b</sup> Università degli Studi di Perugia, Piazza dell'Università, I-06123 Perugia, Italy

<sup>c</sup> Kainan University, 1, Kainan Rd., Luzhu, Taoyuan 33857, Taiwan

**Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., & Chang, K. T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. Earth-Science Reviews, 112(1-2), 42-66**



**Fig. 1.** Multi-temporal landslide map for the Monte Castello di Vibio area, Umbria, Italy. The map was prepared through the visual interpretation of five sets of aerial photographs flown between 1941 and 1997 at scales ranging from 1:33,000 to 1:13,000, and field surveys in 2010. Crown areas are shown separately from the deposits. Colors show landslides of different ages: (1) relict landslides, (2) very old landslides, (3) landslides older than 1941, (4) active landslides in 1941, (5) active landslides in 1954, (6) landslides in the period 1955–1976, (7) active landslides in 1977, (8) landslides in the period 1978–1984, (9) active landslides in 1985, (10), landslides mapped in the field in winter 2010.



## Algunos puntos a tener en cuenta a la hora de comprobar la estabilidad de taludes y retos futuros:

- A) Papel del análisis geomorfológico multitemporal en la identificación de áreas sujetas o potencialmente sujetas a fenómenos de inestabilidad recurrentes, frecuentes o infrecuentes.
- B) Estudios geomorfológicos del campo que pueden dar indicaciones de parametrización geomecánica.
- C) Componente geo-estructural limitado en el modelo geotécnico y a la estrategia de verificación elegida con el software apropiado.
- D) Estrategias preliminares de análisis de estabilidad que pueden dar indicaciones de los rangos de parámetros geo-mecánicos físicamente posibles
- E) Evaluación Incertidumbre paramétrica en la elección de parámetros a asignar a nuestro modelo geotécnico de taludes
- F) Análisis de escenarios. CUIDADO, porque los análisis de escenarios prescritos no son exhaustivos y a menudo no están regulados (por ejemplo, acuíferos superficiales suspendidos)
- G) Necesidad de ampliar/consolidar la investigación en los temas aquí tratados y la difusión de los resultados de la investigación (pública) para que los profesionales puedan utilizar de manera efectiva y gratuita las nuevas herramientas de detección, análisis, modelado y monitoreo desarrolladas con fondos públicos.**

Foto L.Borselli (2002)  
Appennino Bolognese  
iITALIA



Gracias por su atención