



Introduzione al codice SSAP2010

e descrizione delle sue funzionalità

Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D

Universidad Autónoma de San Luis Potosí -UASLP

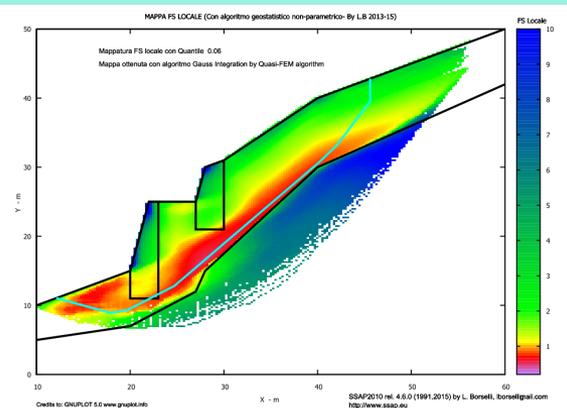
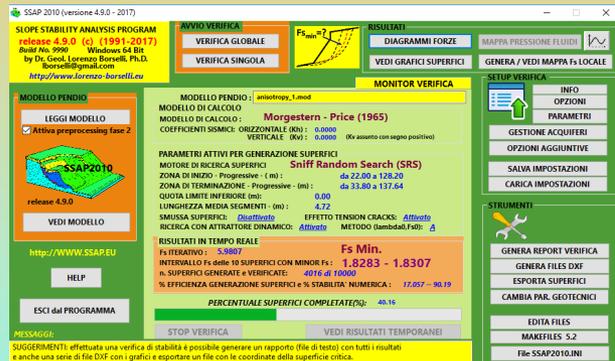
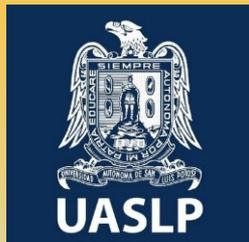
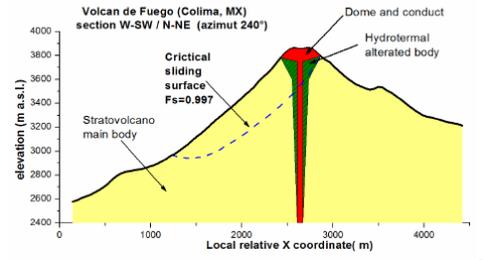
Instituto de Geología
Facultad de Ingeniería.
San Luis Potosi, MEXICO

E_mail:

lborselli@gmail.com

lorenzo.borselli@uaslp.mx

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

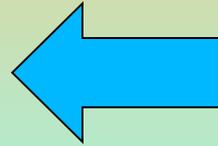


Verifica Stabilità dei pendii, Domande a cui rispondere...

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



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



3) Sono possibili metodi calcolo affidabili di FS ?



4) Quali strumenti software Sono Affidabili ?



5) Esistono software di questo tipo .. a costo Zero?

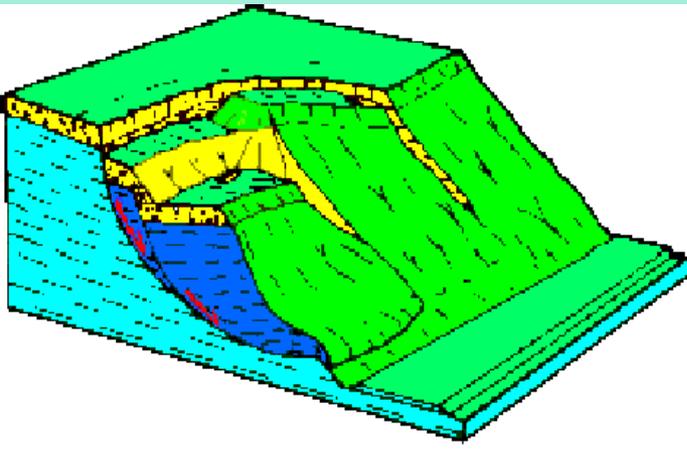
Una possibile risposta alle precedenti domande

SSAP (slope stability analysis program) è un codice di calcolo per la verifica della stabilità dei pendii, mediante il metodo dell'equilibrio limite, in modalità avanzate...

La versione attuale, **SSAP 2010**, è la **5.0.2** (aprile 2021).

SSAP2010 e' caratterizzato da un utilizzo completamente libero per tutti coloro che, per motivi di studio e lavoro, sono interessati a effettuare verifiche di stabilità dei pendii con rigorosi metodi di calcolo all'equilibrio limite su pendii naturali, artificiali e/o con opere di rinforzo quali (terre armate, palificate, tiranti gabbionate, reti in aderenza,..etc.).

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



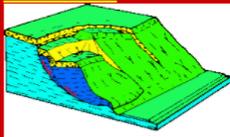
A screenshot of the SSAP 2010 software interface. The window title is "SSAP 2010 (versione 4.9.9 - 2019)". The interface is divided into several panels. On the left, there's a "MODELLO PENDIO" section with "LEGGI MODELLO" and "VEDI MODELLO" buttons. The main area shows "MODELLO DI CALCOLO" with "Morgestern - Price (1965)" selected. Below that, "PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI" are listed, including "MOTORE DI RICERCA SUPERFICI" set to "Convex Random Search (CRS)". The "RISULTATI" panel on the right shows "Fs Min. 1.6720 - 1.7812" and "PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETE(%): 26.53". At the bottom, there's a "MESSAGE" section with a suggestion to generate a report.

SSAP2010

SU

WWW.SSAP.EU

SSAP2010
Slope Stability
Analysis Program
release 5.0.2



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

[Perche' SSAP?](#)

[Caratteristiche generali](#)

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



**(DISPONIBILE LA NUOVA VERSIONE AGGIORNATA,
rel. 5.0 - 12 agosto 2020)**

**DOCUMENTO DI VALIDAZIONE
CODICE SSAP
(versione 5.0) (PDF)**

AREA DOWNLOAD

SSAP2010

(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)

Versione 5.0.2 (2021) - Win 64 Bit

(06-04-2021) -BUILD n. 11893

Software Interamente Freeware

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

SSAP2010 è un software freeware completo per la verifica della stabilità dei pendii naturali e artificiali o con elementi di rinforzo. E' uno strumento avanzato, sviluppato in circa 30 anni di lavoro. SSAP mette a disposizione degli utenti un set di strumenti originali per effettuare in modo approfondito verifiche di stabilità utilizzando soli metodi di calcolo rigorosi basati sull'Equilibrio Limite e Innovativi Motori di generazione e ricerca delle superfici con minore Fattore di Sicurezza(Fs). Una interfaccia grafica Windows WIN 10 e una serie di strumenti software per l'assemblaggio del modello del pendio, per la visualizzazione grafica e per il reporting, completano il software (vedasi il link alle [caratteristiche generali del programma](#)).

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

[Consulenza alla Progettazione Geotecnica con SSAP \(NTC2018-EC7\)](#)



Informazioni su Corsi SSAP

(esclusivamente organizzati da enti senza fini di lucro)

! Prossimi Corsi APC e Seminari/Corsi a invito su SSAP, nel 2021 in Italia !

9, 12,14 Aprile , WEB-MINAR (3+3+3=9 ore): "STABILITA' DEI PENDII CON SSAP 2010."
Organizzato da *Associazione Georisorse e Ambiente - GEAM (Torino)* . [Info corso e programma](#)

22 e 23 aprile, WEB-MINAR (3+2=5 ore): Seminario on-line – Verifiche di stabilità dei pendii nel contesto delle NTC2018 e l'impiego di SSAP (Slope Stability Analysis Program).
Organizzato da *Ordine dei Geologi del Lazio*. [Info corso e programma](#)

Lorenzo Borselli – Introduzione al codice SSAP2010(freeware) (2021)

SSAP 2010

Software Interamente Freeware
Gratuito e di utilizzo libero
per Privati, Geologi, Ingegneri, Studenti
e Pubbliche Amministrazioni
Vedasi licenza d'uso su:

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

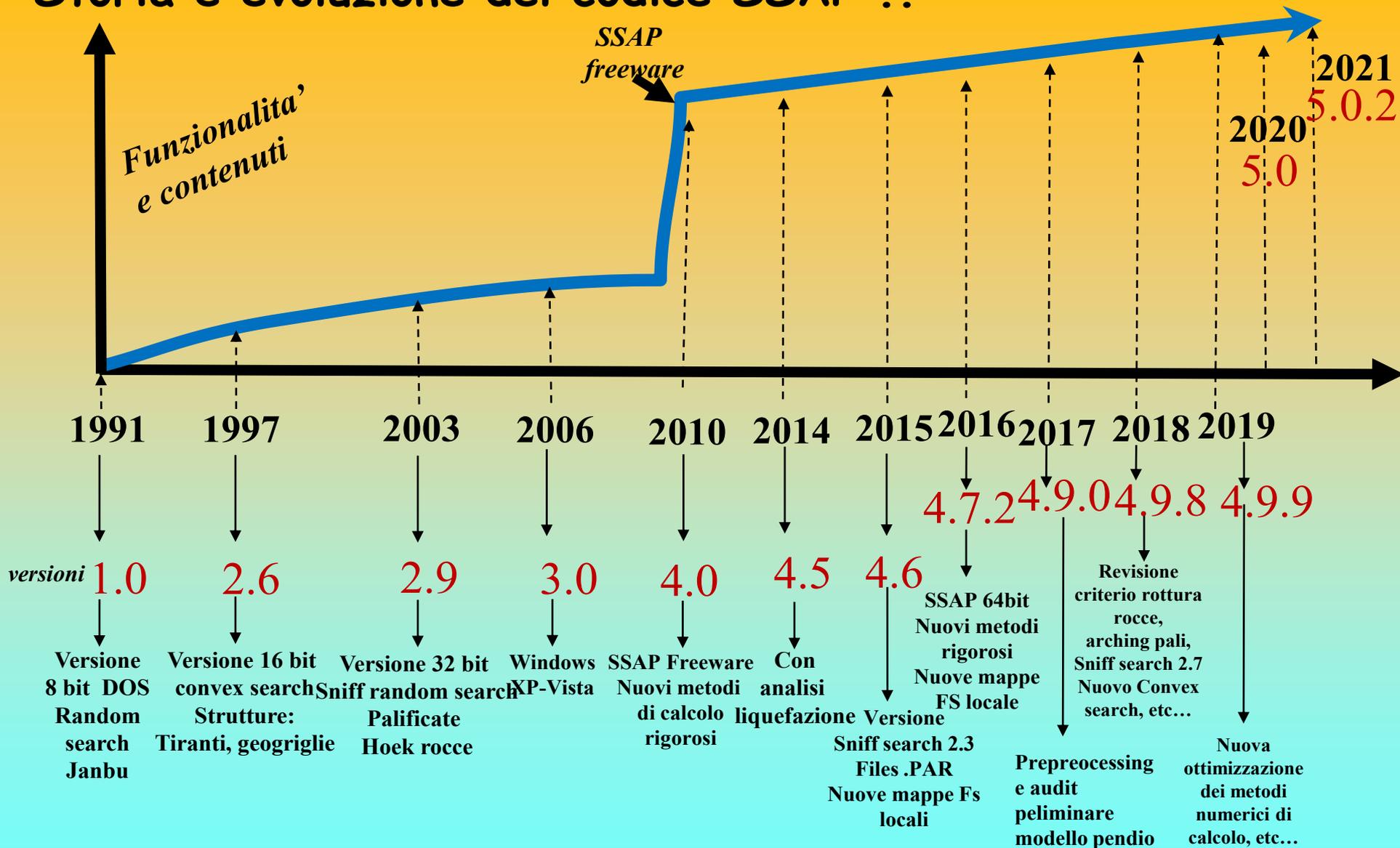
The screenshot displays the SSAP 2010 software interface, which is a complex tool for slope stability analysis. The main window is titled 'SSAP 2010 (versione 4.9.9 - 2019)'. It features several panels and sections:

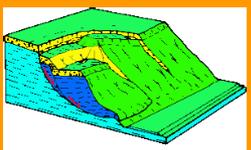
- AVVIO VERIFICA:** Includes buttons for 'VERIFICA GLOBALE' and 'VERIFICA SINGOLA'.
- RISULTATI:** Contains buttons for 'DIAGRAMMI FORZE', 'MAPPA PRESSIONE FLUIDI', 'VEDI GRAFICI SUPERFICI', and 'GENERA / VEDI MAPPA Fs LOCALE'.
- MODELLO PENDIO:** Shows the 'MODELLO DI CALCOLO' with parameters like 'Morgestern - Price (1965)', 'COEFFICIENTI SISMICI', and 'PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI'. It also displays 'RISULTATI IN TEMPO REALE' with values like 'Fs ITERATIVO: 3.4760' and 'n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE: 2653 di 10000'.
- OPZIONI GENERALI:** A detailed panel for 'Verifiche di Stabilità SSAP' with various settings for coefficients, calculation methods (e.g., Jambu Rigoroso, Spencer, Sarma), and control options.
- STRUMENTI:** A central menu with options like 'INFO', 'OPZIONI', 'PARAMETRI', 'GESTIONE ACQUIFERI', 'OPZIONI AGGIUNTIVE', 'SALVA IMPOSTAZIONI', and 'CARICA IMPOSTAZIONI'.
- MONITOR VERIFICA:** A section for monitoring the verification process.
- MESSAGGI:** A section for displaying messages and suggestions.

At the bottom of the interface, there are buttons for 'STOP VERIFICA' and 'VEDI RISULTATI TEMPORANEI'. The overall layout is organized and user-friendly, with clear labels and intuitive controls.

SSAP 2010 non è un software commerciale

Storia e evoluzione del codice SSAP ..





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

ssap2010 (rel. 4.x.x , 2010-2019). (ultimo aggiornamento 24 settembre 2019)

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

Cronologia - Novità e bug fixes.

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

• **24-09-2019:** [versione 4.9.9 SSAP2010 -PORTABLE- Aggiornamento pacchetto di installazione. \(solo per PC con architetture a 64bit \) BUILD 11171](#)

- **AGGIORNAMENTO IMPORTANTE.** Nuova versione 3.0 del motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH per la generazione delle superficie di scivolamento da verificare. La nuova versione dell' algoritmo implementa una nuova procedura che tiene conto delle caratteristiche di resistenza al taglio ridotte in coincidenza della interfaccia suolo/geosintetico, all'interno delle strutture in terra rinforzata. Adesso il motore di ricerca traccia tali interfacce deboli permettendo in questo modo la simulazione e verifica del fenomeno di *direct sliding*. Modifiche ai Motori CONVEX RANDOM SEARCH e RANDOM SEARCH per generare superfici che in presenza di terre armate simulando i processi di *direct sliding*. La considerazione del processo di *direct sliding* nel processo di verifica delle terre armate permette a SSAP di operare direttamente in una componente fondamentale della stabilita' Interna, e allo stesso tempo Globale, di queste opere. Per informazioni sul processo di *direct sliding* vedasi la documentazione integrativa provvisoria scaricabile al link indicato nel seguente punto.
- **AGGIORNAMENTO IMPORTANTE.** Modifiche e integrazioni nella procedura di calcolo della reazione e stabilita' delle terre armate. Le modifiche sono: A)nuova funzione di calcolo della resistenza allo sfilamento di un geosintetico dentro una struttura di terra armata. La funzione base utilizza solo il coefficiente di interazione *fb* (Jewell 1990,1996) fornito dai produttori di geotessile o calcolabile come descritto nella nuova documentazione fornita (vedi oltre); B) simulazione effetto *direct sliding*, o scivolamento diretto, con superfici che passano alla interfaccia suolo/geosintetico senza intersecare il geosintetico. Il coefficiente alpha (fattore di scala), nelle versioni precedenti, e' sostituito dal coefficiente riduttivo, *fds*, della resistenza al taglio frizionale del terreno di riempimento, in coincidenza della interfaccia suolo/geosintetico; C) nuova documentazione provvisoria scaricabile, [a questo link](#), in attesa della uscita del nuovo manuale della versione SSAP 5.0, attualmente in processo di redazione.
- **AGGIORNAMENTO IMPORTANTE.** L' algoritmo denominato ATTRATTORE DINAMICO che, una volta attivato, in SSAP permette una piu' rapida identificazione delle superfici con Minor FS, e' adesso fornito in due modalita': La modalita' 1, la originale, e la modalita' 2, la nuova modalita' sperimentale. La seconda modalita' consente un processo piu graduale del restringimento progressivo della area di ricerca. Questa modalita' ha mostrato diversi vantaggi rispetto alla modalita' 1, pero' va sottolineato che e' una modalita' ancora sperimentale che verra' consolidata nelle future versioni.
- Modifiche minori all'interfaccia utente del software SSAP, del software MAKEFILES.EXE (ora nella versione 5.4) e nel programma di configurazione del pacchetto: INIUPDATE.EXE.
- Revisione delle tabelle relativi ai dati delle terre armate nel file di report di verifica.
- Distribuito con QCAD 3.23 e GNU PLOT 5.2.7.

• **13-07-2019:** [versione 4.9.9 SSAP2010 -PORTABLE- Aggiornamento pacchetto di installazione. \(solo per PC con architetture a 64bit \) BUILD 11094](#)

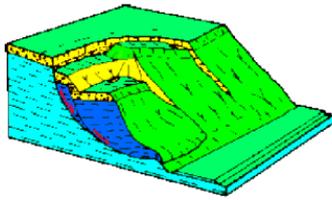
- **AGGIORNAMENTO IMPORTANTE.** Ottimizzazione dell'algoritmo basato sul metodo Monte Carlo, dei 3 motori di ricerca: RANDOM SEARCH, CONVEX RANDOM SEARCH e SNIFF RANDOM SEARCH. In questa nuova modalita' il risultato ottenuto ha una sensibilita' ridotta alla impostazione iniziale della lunghezza media dei segmenti, e una maggiore affidabilita'. Seguiranno altre ottimizzazioni in questa area.
- **AGGIORNAMENTO IMPORTANTE.** Ulteriore Correzione bug che generava, occasionalmente, un "*range checking error*" o "*invalid floating point operation*" nel lanciare la generazione delle mappe raster a colori del FS locale e della pressione dei fluidi, alla fine di una verifica di stabilita' globale.

• **11-07-2019:** [versione 4.9.9 SSAP2010 -PORTABLE- Aggiornamento pacchetto di installazione. \(solo per PC con architetture a 64bit \) BUILD 11094](#)

- **AGGIORNAMENTO IMPORTANTE.** Ottimizzazione del rendering grafico delle mappe raster a colori del FS locale e della pressione dei fluidi. In questa modalita' si riduce la possibilita' che porzioni della mappa vengono a essere sovrapposte ad altre informazioni testuali, nel medesimo spazio grafico. Ringrazio l'ing. Daniele Pagli per la segnalazione della anomalia.
- **AGGIORNAMENTO IMPORTANTE.** Correzione bug che generava, occasionalmente, un "*range checking error*" o "*invalid floating point operation*" nel lanciare la generazione delle mappe raster a colori del FS locale e della pressione dei fluidi, alla fine di una verifica di stabilita' globale.
- Nuovo documento di validazione del codice SSAP ([versione 1.4 del documento](#) aggiornata al 16/06/2019).

Cronologia evoluzione ssap da ottobre 2010 cambiamenti e correzioni

<https://www.ssap.eu/newsandbugfix.html>

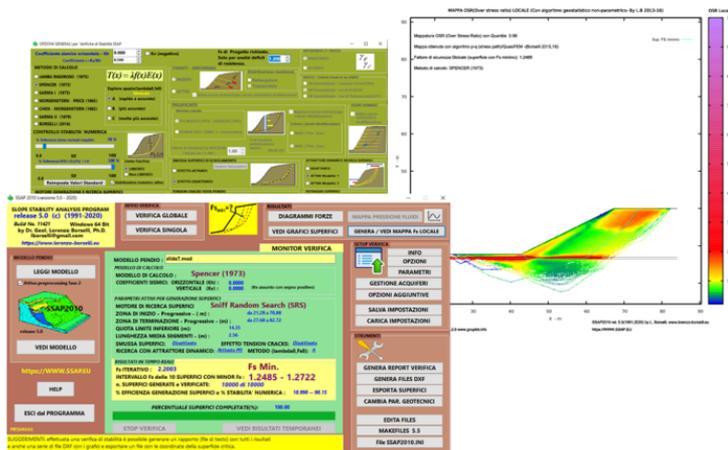


SSAP 2010

"a step away..."

(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)

<https://www.ssap.eu>



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

agosto 2020 - Versione 5.0 .

Nuovo manuale completo per la versione SSAP2010 aggiornato alla 5.0, disponibile in formato elettronico PDF (475 pagine).

Una documentazione estesa e in continua crescita..

Grazie anche ai suggerimenti di molti utenti...

Reference Manual /Manuale di Riferimento Versione 5.0 (2020)

by
Dr. Lorenzo Borselli, Geol , Ph.D.*
agosto 2020

* Full Professor of Geotechnics and Engineering Geology
Faculty of Engineering Universidad Autonoma de San Luis Potosí.
San Luis Potosí, Mexico

WEB:page and CV :<https://www.lorenzo-borselli.eu>
E-mails: lborselli@gmail.com , lorenzo.borselli@uaslp.mx

DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12436.73604>

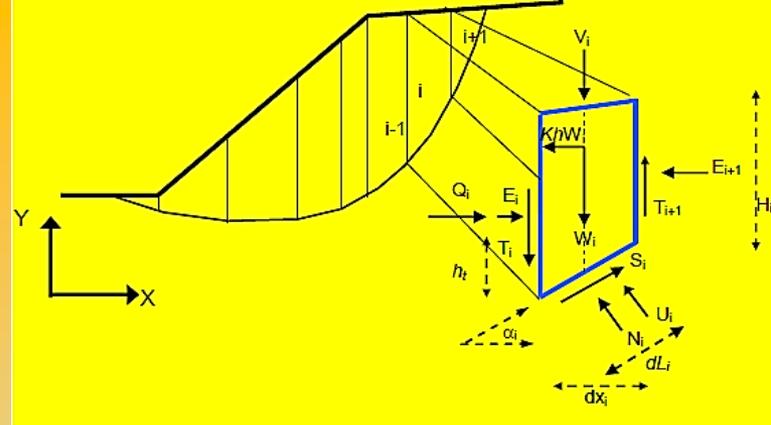


http://www.ssap.eu/manuale_ssap2010.pdf

7 Metodi LEM rigorosi

tabella 2.1: relazione funzionale che esprime $T(x)$ per i vari modelli di calcolo implementati in SSAP

Gruppo	Modello di calcolo adottato per la risoluzione di FS	Relazione funzionale che esprime $T(x)$
1	Spencer (1967,73)	$T(x) = \lambda E(x)$
1	Sarma I (1973)	$T(x) = \frac{\lambda}{F_s} \left\{ \bar{c} H(x) + \left[(E(x) - P_w(x)) \tan \bar{\varphi}' \right] \right\}$
2	Morgestern & Price (1965)	$T(x) = \lambda f(x) E(x)$
2I	Chen -Morgestern (1983)	$T(x) = [\lambda f(x) + f_0(x)] E(x)$
2	Borselli(2016) ¹	$T(x) = \lambda [f(x) + f_1(x)] E(x)$
2	Sarma II (1979)	$T(x) = \frac{\lambda}{F_s} f(x) \left\{ \bar{c} H(x) + \left[(E(x) - P_w(x)) \tan \bar{\varphi}' \right] \right\}$
3	Janbu Rigoroso (1973) ²	$T(x) = E(x) \tan \alpha_r + h_r \frac{dE(x)}{dx} - h_e \frac{dQ}{dx} + 0.5 K_c H \frac{dW}{dx}$



I 7 metodi di calcolo rigorosi presenti in SSAP

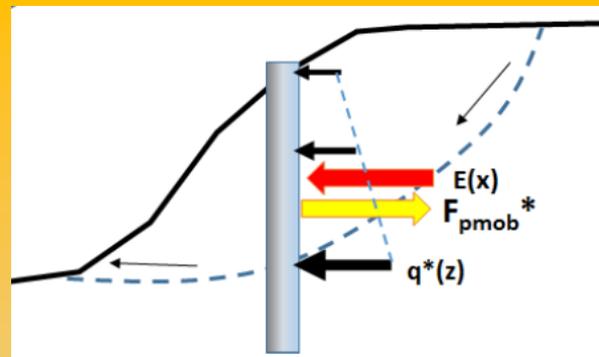


Nuovo Metodo !

Caratteristiche base di SSAP 2010

... continua

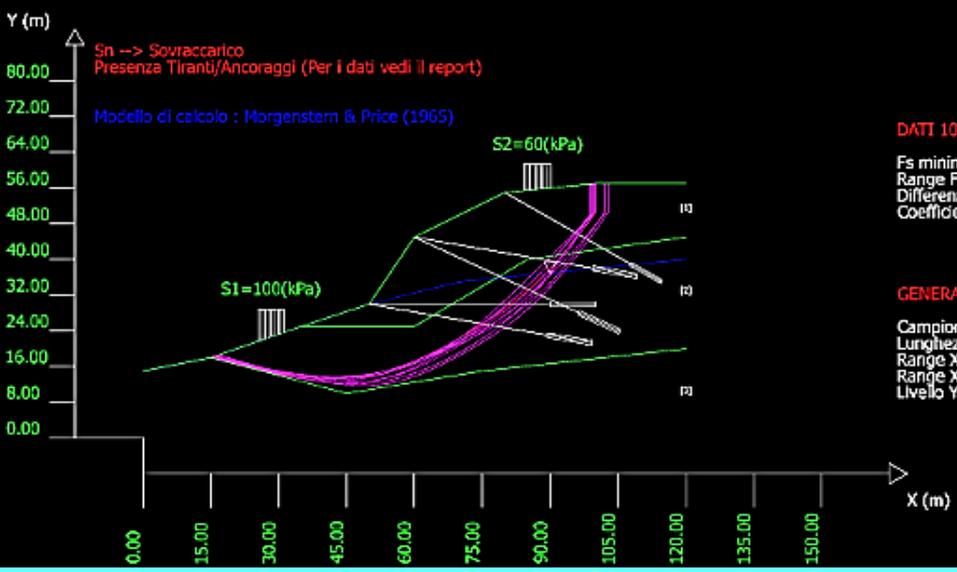
- Strutture di sostegno e rinforzo (muri - tiranti - terre rinforzate con geogriglie/geosintetici - palificate - sovraccarichi)
- Creazione DXF istantanea e visualizzazione grafica



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

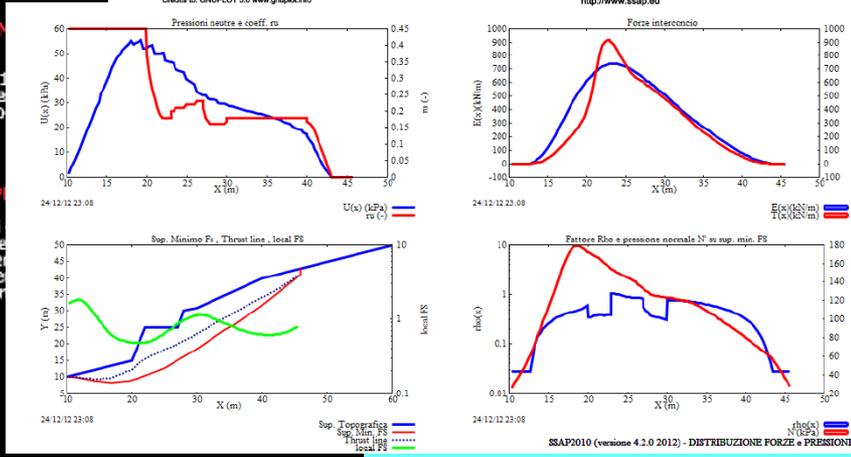
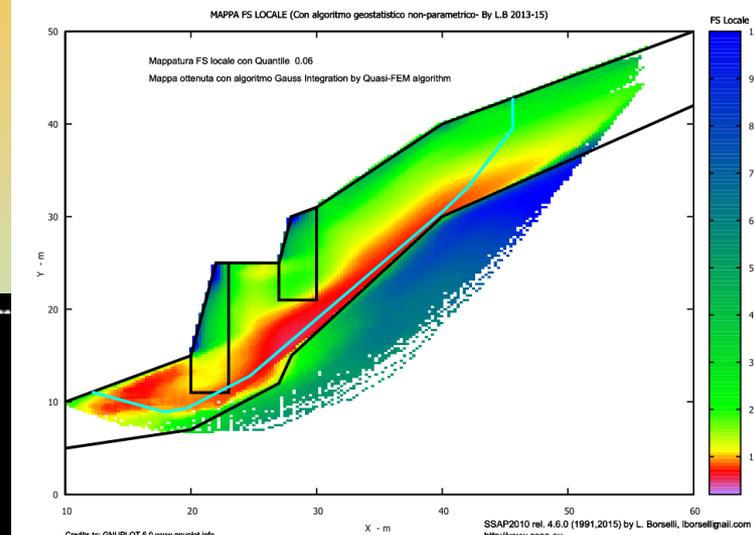
Data : 7/10/2014
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

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



DATI 10 SUR. CON
 Fs minimo : 1.274
 Range Fs : 1.274 -
 Differenza % Range
 Coefficiente Sismico

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



Caratteristiche base di SSAP 2010 ... continua

Inoltre:

- filtro di sub-verifica per eliminare le superfici di scivolamento non fisicamente possibili (Sarma 1973).
- opzione per effettuare verifica con ricerca automatica delle superfici di scivolamento con fessure di trazione in testa al pendio
- console per il controllo della stabilità numerica delle soluzioni
- compatibilità NTC 2018 e analisi in condizioni sismiche pseudostatiche e metodo degli spostamenti con approccio semiprobabilistico (Biondi et al. 2011)

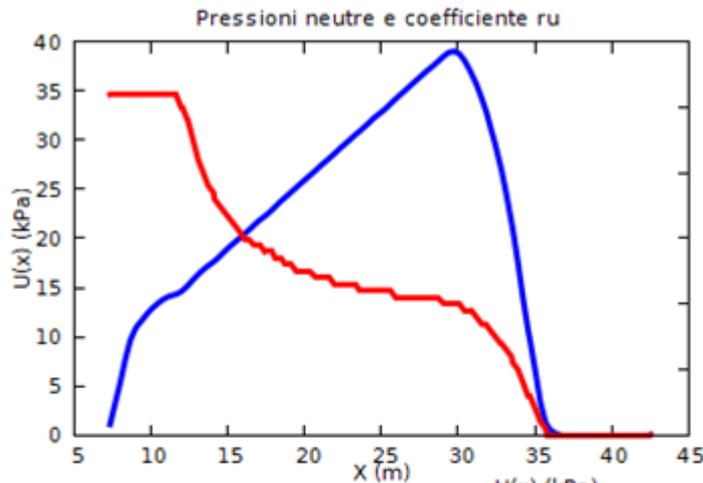
Caratteristiche base di SSAP 2010 ... continua

Inoltre:

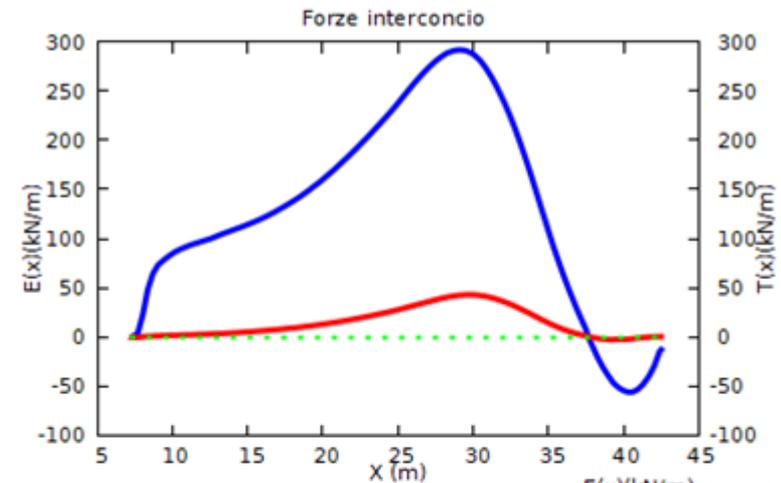
- finestra con i diagrammi delle pressioni interne, del FS locale, e delle forze interne tangenziali e orizzontali, entro la massa in scivolamento soggetta a verifica.
- Utilizzo di nuove strategie computazionali proposte anche da Zhu et al (2003) per eliminare i problemi di convergenza notoriamente esistenti nel metodo di calcolo di Janbu(1973) e negli altri metodi di calcolo rigorosi. Questi algoritmi sono stati ulteriormente sviluppati in modo originale, migliorati, testati e resi più affidabili in SSAP2010.
- Completa verifica di superfici di scivolamento singole definite dall'utente;
- Reporting in modo testo e grafico (.DXF, .BMP)

Altre funzioni importanti:

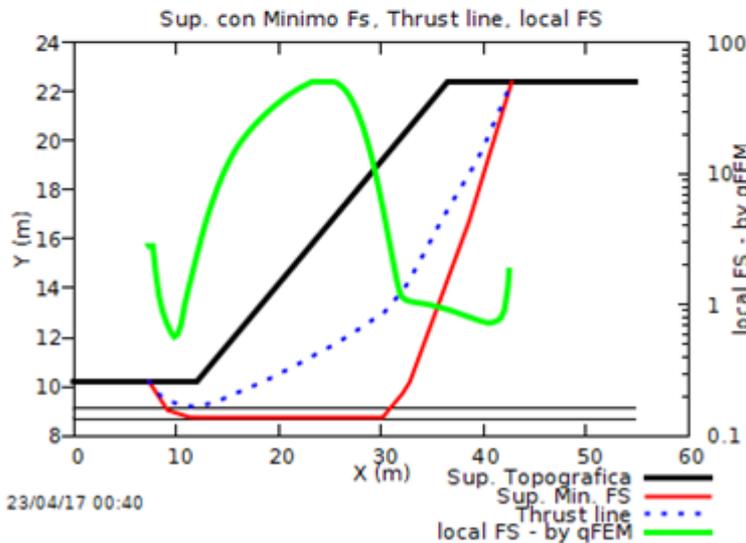
- Integrazione strutture (pali, geogriglie, tiranti..)
- Generazione files DXF (creazione file DXF) :
 - a. Plottaggio modello pendio
 - b. Fascia critica 10 sup con minor F_s
 - c. Superfici di minor F_S in assoluto
 - d. Plottaggio di superfici entro uno specifico intervallo di F_S
- Esportazione superficie con minor F_s in file .SIN coordinate superficie singola critica Con minor F_s
- Verifiche su superfici singole definite dall'utente, con ricerca K_c critico (come il metodo Sarma(1973) classico ma esteso a tutti i metodi di calcolo..)



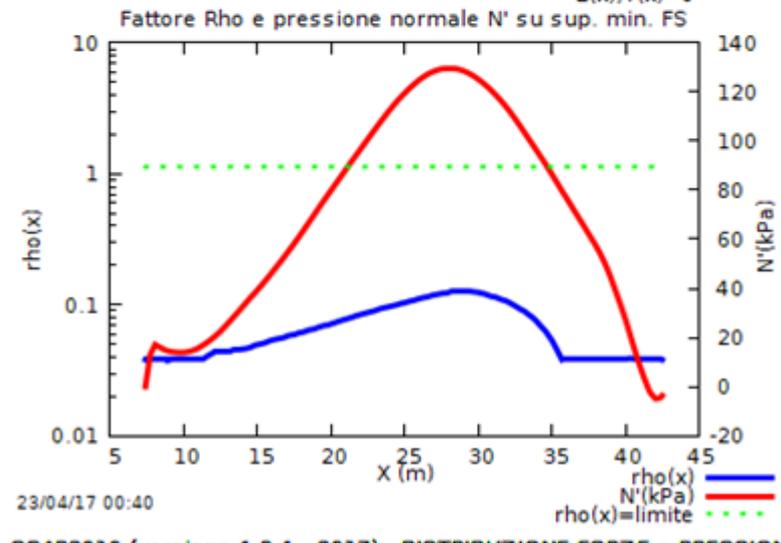
23/04/17 00:40



23/04/17 00:40



23/04/17 00:40



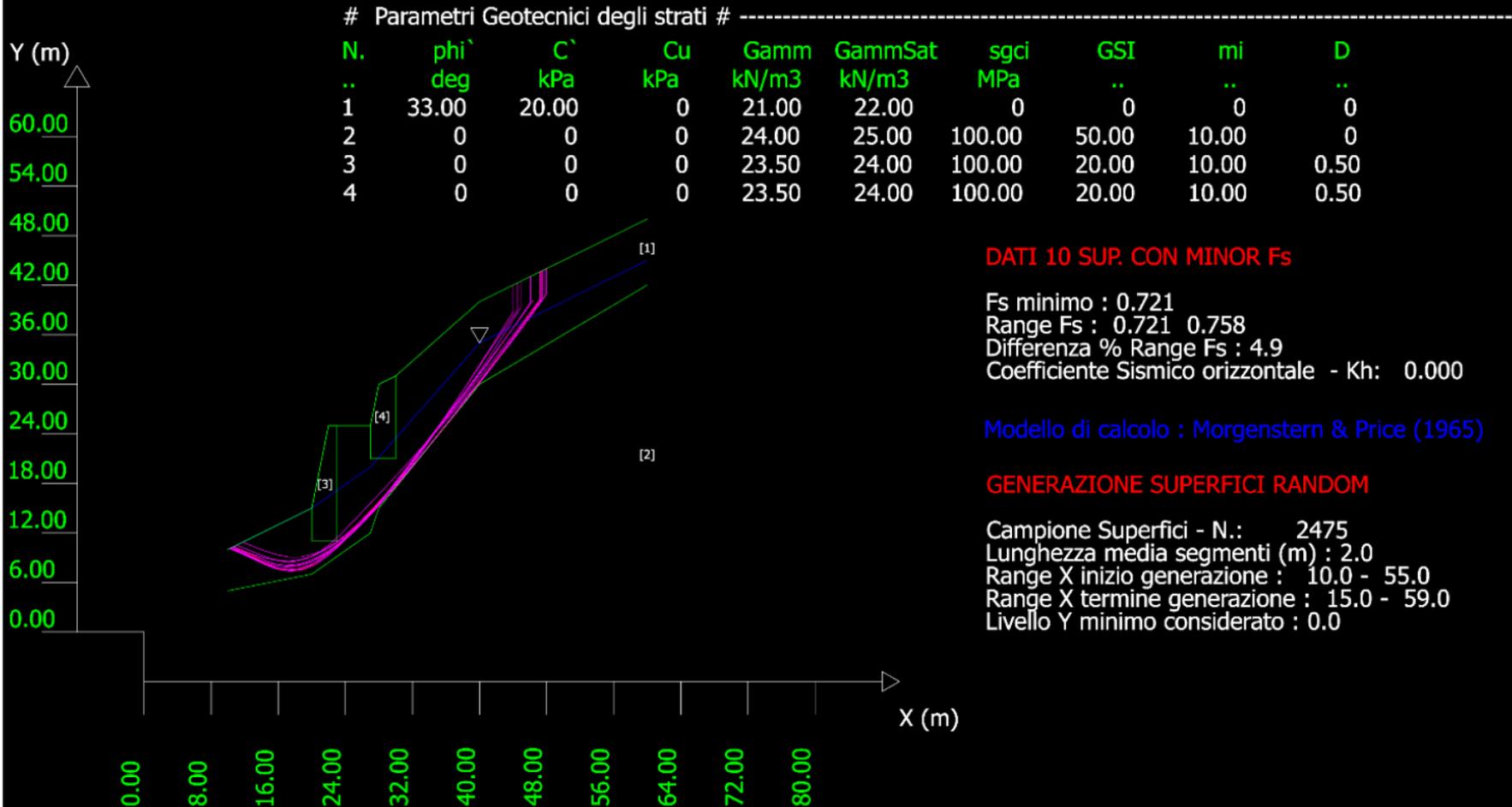
23/04/17 00:40

SSAP2010 (versione 4.8.4 - 2017) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

Diagrammi distribuzione
interna forze e pressioni

**Reporting in modo testo e grafico
(.BMP o PDF)**

Data : 20/3/2014
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente



Reporting in modo testo e grafico (.DXF)

Opzioni per verifica stabilità

OPZIONI GENERALI per Verifiche di Stabilità SSAP

Coefficiente sismico orizzontale - Kh Kv (negativo)
Coefficiente c=Kv/Kh

Fs di Progetto richiesto. Solo per analisi deficit di resistenza.

NTC2018/EC-7 - ROCCE
 DISATTIVATO $\gamma_{\phi'}$
 ATTIVATO $\gamma_{c'}$

ROCCE - Criterio Hoek et al. (2002)
 HB Generalizzato - Carranza-Torres(2004)
 HB Generalizzato - Lei et al.(2016)
 HB Generalizzato - Lee et Pietruszczak(2017)

METODO DI CALCOLO

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

Esplora spazio(λ , f_0 , f_s)
Metodo
 A (rapido)
 B (rapido e accurato)
 C (più accurato)
 D (molto più accurato)

TIRANTI - ANCORAGGI

PASSIVI
 ATTIVI Attiva nuova metodologia calcolo automatico mobilizzazione

Distribuzione resistenza
 Rettangolare
 Trapezoidale

PALIFICATE

Metodo calcolo
 ITO-MATSUI (1975) - HASSIOTIS (1997)
 KUMAR-HALL (2006) (+ conservativo)

Applicare nuova metodologia Calcolo Mobilizzazione

Criterio Calcolo Mobilizzazione
 MAX [Fp m , E(x)]
 MIN [Fp m , E(x)]

Fattore di riduzione Fp (NTC2018) (Variare da 1 a 100)
 % di massima mobilizzazione teorica

TERRE ARMATE
 Attiva calcolo automatico mobilizzazione

CONTROLLO STABILITA' NUMERICA

% Tolleranza stress normali negativi

 % Tolleranza RHO= $|F_s/F_v| > 1.0$

 Reimposta Valori Standard Stabilizzatore numerico attivo

Limita $T(x)/E(x)$
 LIMITATO
 Non LIMITATO

MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI

RANDOM SEARCH (RS)
 CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)
 SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 3.0
 NEW RANDOM SEARCH (NRS) 1.0

SOLO PER CONVEX
 Convessita' limitata
 Delta alpha

SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH
 Variante NO-CONVEX SNIFF
 Steps di scansione
 Frequenza attivazione
 ottimizza tracciato discontinuita' sottili
 No-convex oscillazione masima (grad)

SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO
 EFFETTO ATTIVATO
 EFFETTO DISATTIVATO
 Opzioni Smussatore

ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI
 DISATTIVATO
 ATTIVA Modalita' 1
 ATTIVA Modalita' 2

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

FILTRAGGIO SUPERFICI
 FILTRARE
 NON FILTRARE

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

PRESENZA DI OSTACOLO INTERNO
 CON OSTACOLO
 SENZA OSTACOLO

HELP

PARAMETRI GEOMETRICI VERIFICHE DI STABILITA'

LUNGHEZZA MEDIA (m) SEGMENTI DELLE SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO 4.80

DEFINIZIONE DELLA ZONA DI INIZIO

ASCISSA LIMITE SINISTRO (X1) ZONA DI INIZIO (m) 0.00

ASCISSA LIMITE DESTRO (X2) ZONA DI INIZIO (m) 108.00

QUOTA (Yo) ZONA PROIBITA INFERIORE (m) 0.00

DEFINIZIONE DELLA ZONA DI TERMINAZIONE

ASCISSA LIMITE SINISTRO (X1) DI TERMINAZIONE (m) 12.00

ASCISSA LIMITE DESTRO (X2) DI TERMINAZIONE (m) 117.60

NUMERO MASSIMO SUPERFICI DA GENERARE 10000

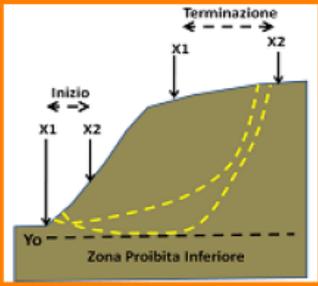
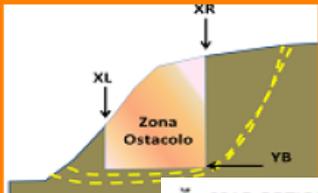
COORDINATE OSTACOLO

XL 0.00 XR 0.00 YB 0.00

Ascissa sinistra (m) Ascissa destra(m) Quota base ostacolo (m)

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

HELP OK


Opzioni aggiuntive e parametri
Modificabili per verifica stabilità



SSAP OPZIONI AGGIUNTIVE

REGISTRAZIONE SUPERFICI PER SUCCESSIVO PLOTTAGGIO

$Fs_{min} < Fs <= Fs_{max}$

Fs minimo 0.50

Visualizza entro:
Fs massimo 1.00

Numero massimo
superfici da registrare 10000

Attiva Registrazione Superfici

GENERAZIONE MAPPA Fs LOCALE o OSR (Over Stress Ratio)

Dimensione Griglia mappa FS

Nodi X 200 X Nodi Y 200

Fs Minimo 0.20 % dei dati da usare 100.0

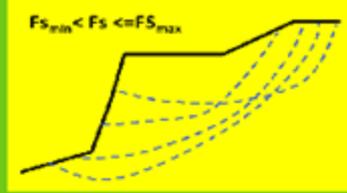
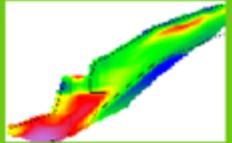
Fs Massimo 10.00 Quantile Locale Fs 0.05

Attiva Mappatura FS o OSR Locale Attiva Plot vettoriale zone plasticizzate

TIPO MAPPA

- by qFEM
- by p-qFEM
- OSR
- by LEM

HELP OK Cancel

Caratteristiche base di SSAP 2010 ... continua

Inoltre...

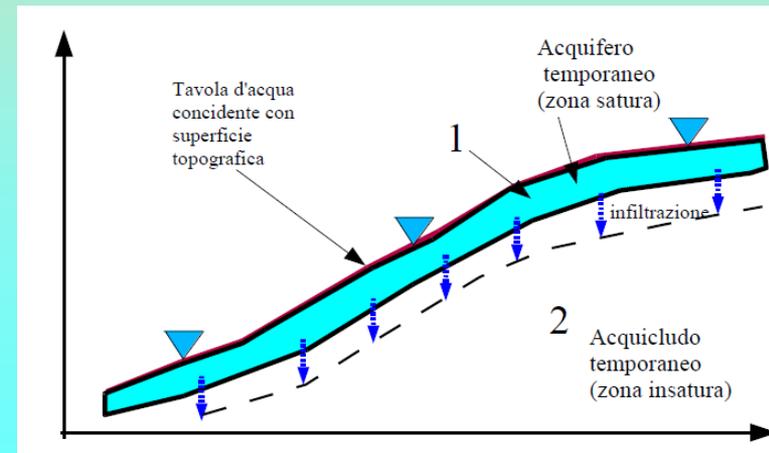
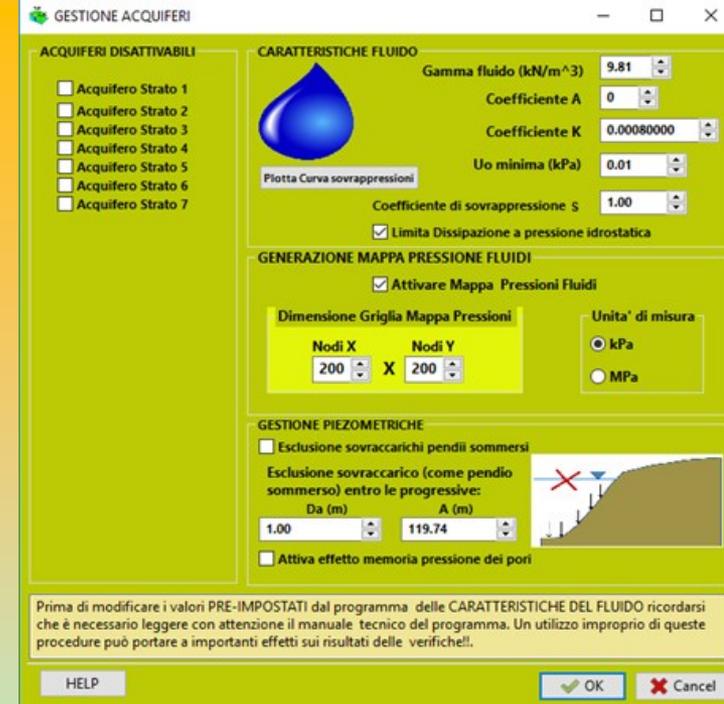
Modulo gestione acquiferi

• acquicludi; falde sospese e strati temporaneamente saturi sopra porzioni insature;

• Nel caso di falde in pressione abbiamo un algoritmo, sviluppato in modo originale dall'autore, per simulare la dissipazione progressiva della pressione di pori in prossimità della superficie;

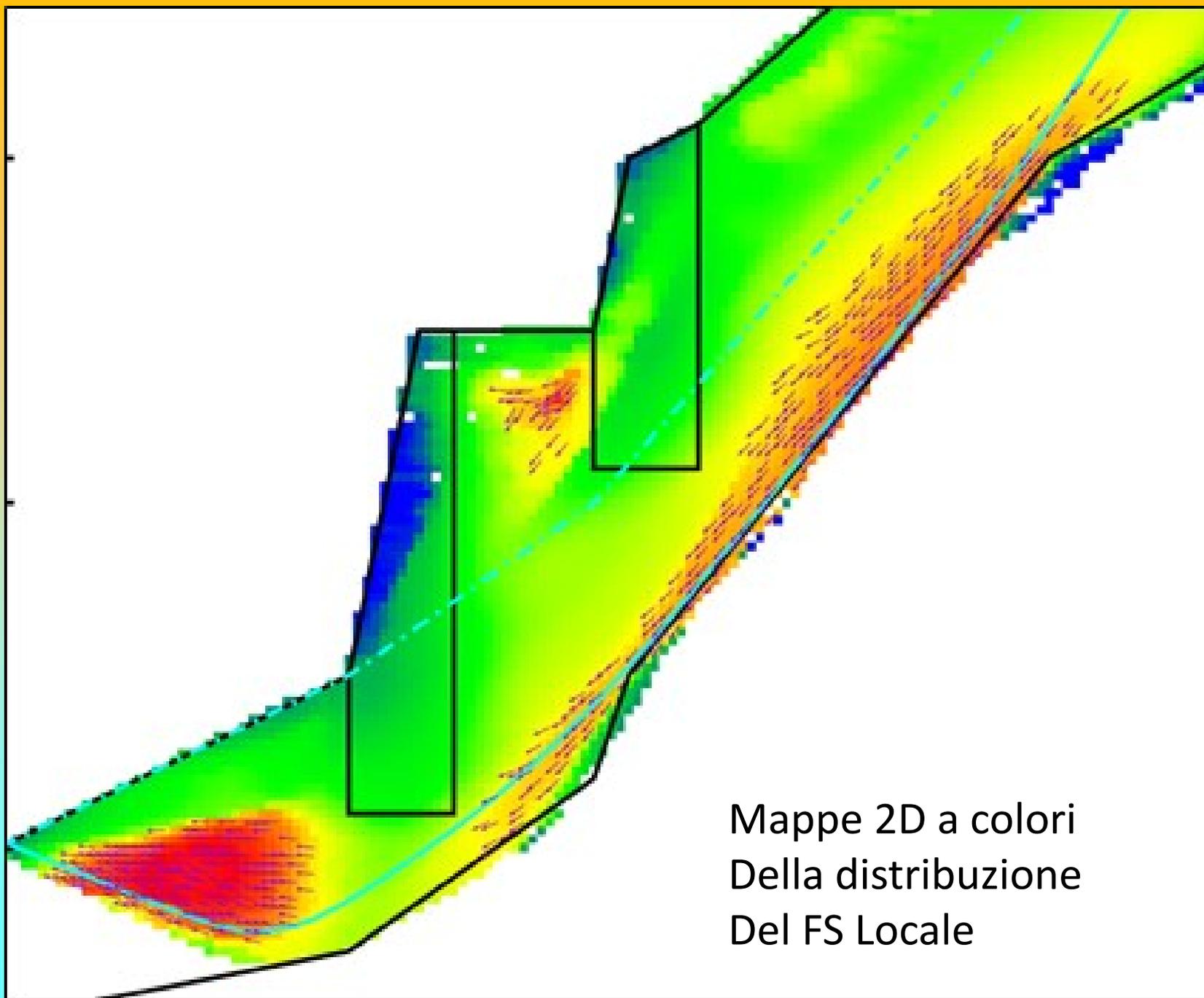
• Possiamo escludere il calcolo del sovraccarico esterno di masse d'acqua nel caso di porzioni di pendio sommerso. (simulazione di un effetto di svasso rapido in un bacino artificiale);

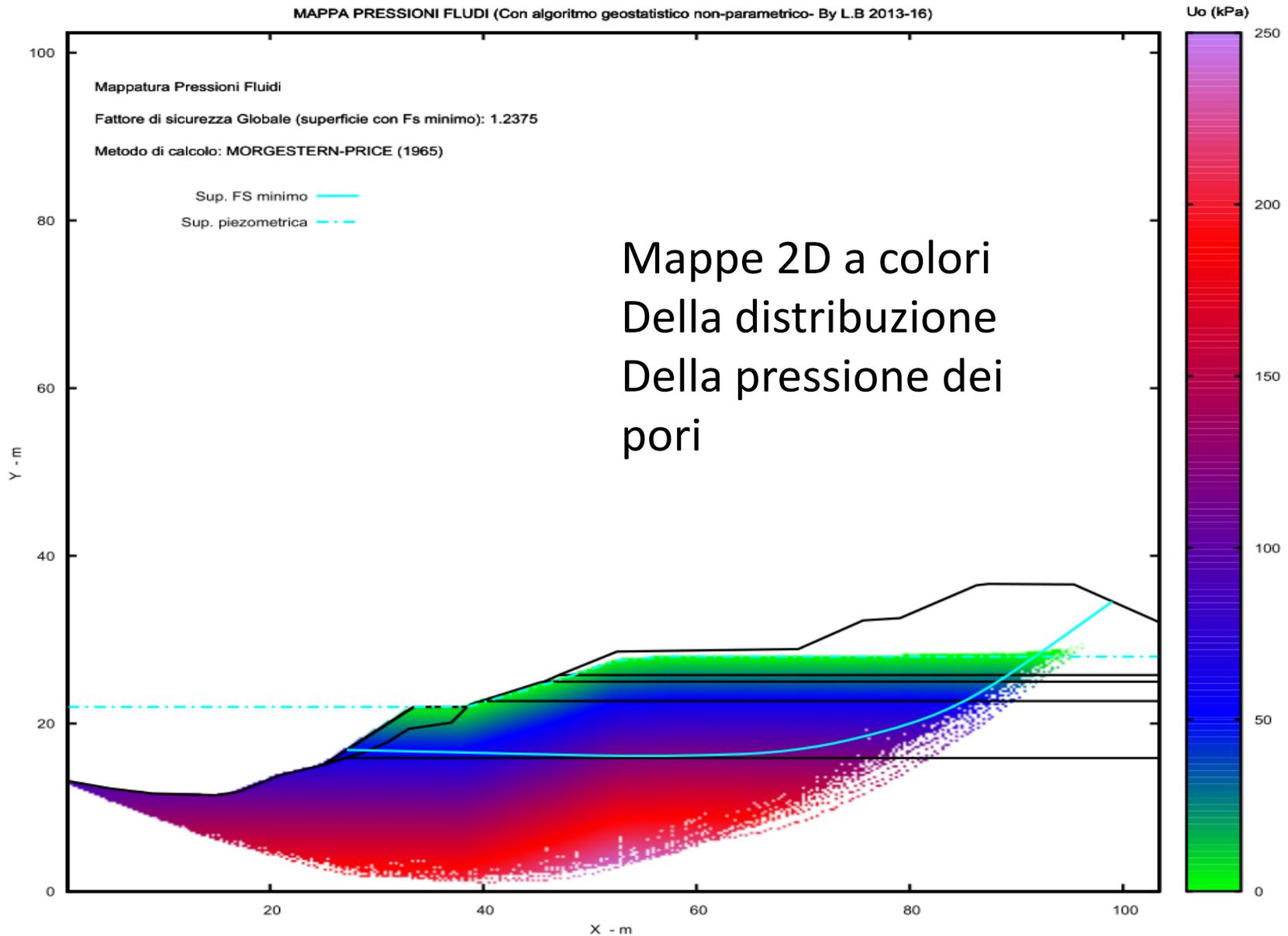
• Possibilita' di considerare le forze e pressioni in un acquifero in moto di Filtrazione



Segue funzioni importanti:

- Verifiche in condizione di liquefazione (post-sisma)
- Generazione mappe 2D (raster) FS medio locale e Over stress ratio
- Generazione mappe 2D (raster) pressione dei pori (pressione neutre).





DENTRO SSAP...

Teorie e metodi della geomeccanica

**TEORIE CLASSICHE
LEM, CRITERI DI
ROTTURA**

Teoria LEM
Spinta delle terre
Criteri rottura lineari
e non lineari. Etc.

**METODI RIGOROSI
LEM E INTERAZIONE
STRUTTURE**

Metodi Spencer, Morgestestern, Sarma
Jambu etc.
Interazione con strutture (pali, geosintetici,
Tiranti, muri etc.)

**METODI NUMERICI
AVANZATI**

Monte Carlo Random Search (Siegel 1981)
Alternative Fs, lambda Solving (Zhu 2005)

Implementazione metodi, teoria e algoritmi in SSAP

Criteri rottura GHB, Barton Bandis ,
Olson & stark (liquefazione), con varianti speciali.
Metodo sismico pseudostatico e degli
Spostamenti , Kc critico Sarma, generalizzato a tutti
i metodi.

RANDOM SEARCH con varianti speciali
SNIFF RANDOM SEARCH , NEW RANDOM
SEARCH
Attrattore Dinamico , smussatore superficie,
FS e Lambda solving con modifiche per
essere usato con tutti i metodi rigorosi LEM
Mappe raster qFEM, SRM e OSR fattore FS locale

Sviluppo di Componenti Originali in SSAP

Qualcosa in più sulla licenza d'uso di SSAP2010

SSAP2010 è un software FREeware, cioè distribuito gratuitamente solo via web (<https://WWW.SSAP.EU>).

Esiste una unica versione completa del software SSAP2010 ed è quella disponibile gratuitamente e scaricabile dal sito ufficiale.

La licenza d'uso di SSAP2010 consente agli utenti un uso illimitato del software con la possibilità di scaricare da web tutti i futuri aggiornamenti.

La ri-distribuzione non è consentita. (da altri siti web o servers)

Qualcosa in più sulla licenza d'uso di SSAP2010..

Continua....

Il software SSAP20010 non è un software commerciale. La sua distribuzione è senza fini di lucro.

Tuttavia anche se SSAP2010 è un software freeware , esso non è un software OPEN-SOURCE. Infatti il codice sorgente rimane nella esclusiva disponibilità del solo Autore.

I risultati della applicazione sono di esclusiva responsabilità dell'utilizzatore... Non si è responsabili di danni a infrastrutture informatiche e/o perdita di dati..

Alcuni risultati di SSAP2010

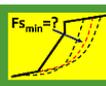
Il Progetto SSAP ha raggiunto molti dei suoi obiettivi iniziali:

- 1) Larga Diffusione a un ampio spettro di potenziali utenti: imprese private, professionisti, enti pubblici, studenti, ricercatori. (si stimano circa 3000 utilizzatori attivi in Italia)**
- 2) Sito web accessibile e documentazione aggiornata. (media di 1000 accessi al mese (con 65% di nuovi visitatori)).**
- 3) Alcuni Componenti e algoritmi totalmente originali.**
- 4) Metodi LEM rigorosi e più avanzati dello standard medio. Il SSAP è comunque competitivo con molti dei noti software commerciali.**
- 5) Formazione e divulgazione con corsi e seminari (in Italia e Messico). Progetto di divulgazione no – profit (totalmente)**
- 6) E' attualmente al mondo il primo software completo per analisi LEM rigorose, completamente freeware (cioè Gratis) senza versioni di prova a scadenza (trial) o limitate.**

Ma vi è ancora spazio per fare molto di più...

SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM
release 4.9.0 (c) (1991-2017)
Build No. 9990 Windows 64 Bit
by Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D.
lborselli@gmail.com
<http://www.lorenzo-borselli.eu>

AVVIO VERIFICA
VERIFICA GLOBALE
VERIFICA SINGOLA



RISULTATI

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

MONITOR VERIFICA

SETUP VERIFICA

INFO
OPZIONI
PARAMETRI
GESTIONE ACQUIFERI
OPZIONI AGGIUNTIVE
SALVA IMPOSTAZIONI
CARICA IMPOSTAZIONI



STRUMENTI
GENERA REPORT VERIFICA
GENERA FILES DXF
ESPORTA SUPERFICI
CAMBIA PAR. GEOTECNICI
EDITA FILES
MAKEFILES 5.2
File SSAP2010.INI

MODELLO PENDIO

MODELLO PENDIO : anisotropy_1.mod

MODELLO DI CALCOLO : **Morgestern - Price (1965)**
COEFFICIENTI SISMICI: ORIZZONTALE (Kh) : 0.0000
VERTICALE (Kv) : 0.0000 (Kv assunto con segno positivo)

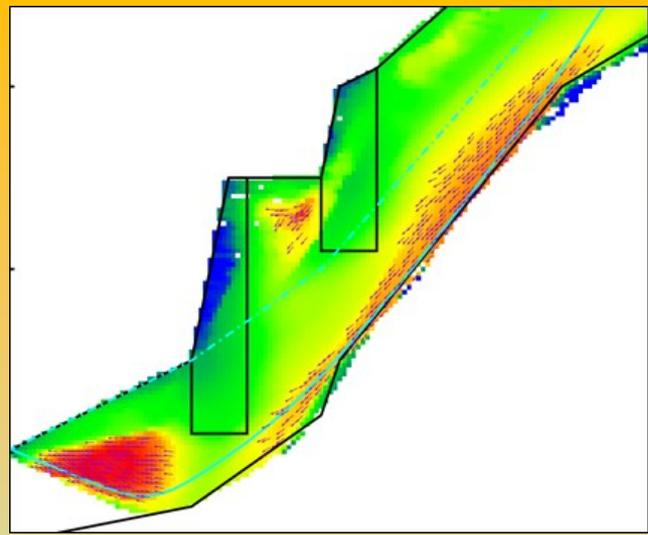
PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI
MOTORE DI RICERCA SUPERFICI : **Sniff Random Search (SRS)**
ZONA DI INIZIO - Progressiva - (m) : da 22.00 a 128.20
ZONA DI TERMINAZIONE - Progressiva - (m) : da 33.80 a 137.64
QUOTA LIMITE INFERIORE (m) : 0.00
LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI - (m) : 4.72
SMUSSA SUPERFICI : *Disattivato* EFFETTO TENSION CRACKS: *Attivato*
RICERCA CON ATTRATTORE DINAMICO: *Attivato* METODO (lambda0,Fs0) : A

RISULTATI IN TEMPO REALE
Fs ITERATIVO : 5.9807 **Fs Min. 1.8283 - 1.8307**
INTERVALLO Fs delle 10 SUPERFICI CON MINOR Fs :
n. SUPERFICI GENERATE E VERIFICATE : 4016 di 10000
% EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA : 17.057 -- 90.19

PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETE(%): 40.16

STOP VERIFICA VEDI RISULTATI TEMPORANEI

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



LEGGI MODELLO

Attiva preprocessing fase 2

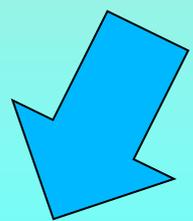
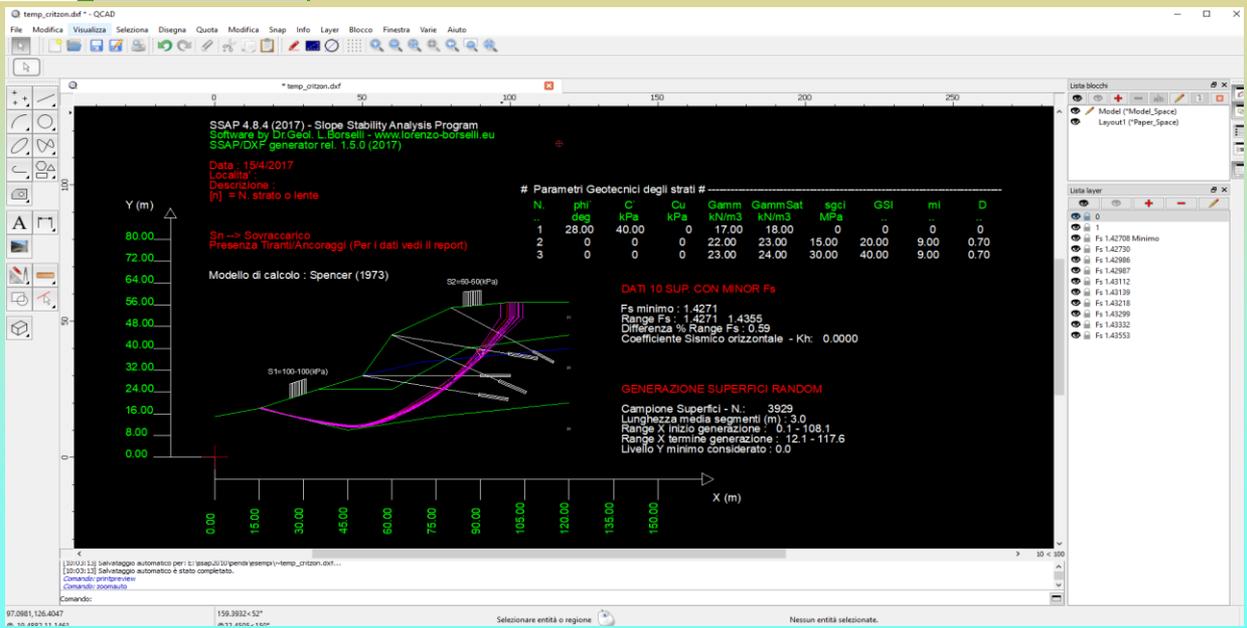


VEDI MODELLO

<http://WWW.SSAP.EU>

HELP

ESCI dal PROGRAMMA



Quali futuri sviluppi per il codice SSAP....



EVOLUZIONE futura di SSAP2010 e aree di sviluppo :

- **INTERFACCIA UTENTE** (per tenere il passo con la evoluzione Sistemi operativi)
- **METODI DI CALCOLO:** possibili miglioramenti e nuove opzioni per migliorare ancora la stabilità numerica e i filtri post-processing.
- **MOTORI DI RICERCA:** nuove opzioni e ottimizzazioni
Nuovo MOTORE DI RICERCA BASATO SU GLOBAL OPTIMIZATION E GENETIC ALGORITHMS (GIA IN USO NELLA ESPLORAZIONE DELLO SPAZIO (F_s0, λ_0) in SSAP e nel software Decolog 6.0(www.decolog.org) (autore L. Borselli)
- **Miglioramento GRAFICI E OUTPUT GRAFICO RISULTATI:** mappe F_s , e DXF e rendering in GNUPLOT in evoluzione
- **REVISIONE/ESTENSIONE REPORTING** (es. per i pali e terre armate e tiranti su suggerimento di alcuni utenti..) [FATTO !]
- **SITO WEB:** aggiornamento continuo
- **MANUALE UTENTE:** aggiornamento continuo

Altri SVILUPPI futuri..

- **Back analysis Montecarlo per sistemi multistrato (zone in frana)**
- **Analisi approfondita indici e forze di mobilitazione palificate per ausilio progettazione [FATTO !]**
- **Integrazione completa sistema di calcolo con effetti wiremesh ancorate (reti in aderenza) in pendii in roccia (nella versione 5.0) [FATTO !]**
- **VARIE E EVENTUALI SUGGERITE DAGLI UTENTI !!** (*come è sempre stato..*) : la lista e' corposa...!

Progetto no-profit per la divulgazione di SSAP2010

Informazioni su www.ssap.eu/corsi.html

Tipo di corso CORSO	Data e Luogo	ENTITA' ORGANIZZATRICE	durata (ore)	crediti APC (dal 2014 con la nuova normativa)	Download documenti PDF del corso
Corso base	10-11 dicembre 2010 (La Spezia)	Ordine dei geologi della Liguria	12	12	programmazione
Corso base	10-20 maggio 2011 (Firenze)	Fondazione dei Geologi della Toscana	14	14	programmazione
Corso Base	21-22 gennaio 2013 (Firenze)	Fondazione dei Geologi della Toscana	13	13	programmazione
Corso Avanzato	24-25 gennaio 2013 (Firenze)	Fondazione dei Geologi della Toscana	12	12	programmazione
Seminario Generale	25 gennaio 2013 (Perugia)	Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica - CNR-IRPI	8	-	programmazione presentazione PDF
Corso Base	12-13 Giugno 2013 (Bari)	Ordine degli Ingegneri della provincia di Bari	14	-	programmazione
Corso Base	14-15 Giugno 2013 (Bari)	Ordine dei Geologi della Puglia	14	14	programmazione
Seminario	21-gennaio 2014 (Bari)	Dipartimento di Ingegneria Civile, Politecnico di Bari seminario a invito organizzato dalla Prof.ssa Ing. Federica Cotecchia	3	-	presentazione PDF
Corso Base	10 Aprile 2014 (Bari)	Ordine dei Geologi della Puglia	8	8	programmazione
Corso Avanzato	11-12 Aprile 2014 (Bari)	Ordine dei Geologi della Puglia	14	14	programmazione
Corso Base	14-15 Aprile 2014 (Potenza)	Ordine dei Geologi della Basilicata	14	14	programmazione
Corso Base	23-24 Giugno 2014 (Pescara)	Ordine dei Geologi dell'Abruzzo	14	14	--
Corso Base	25-26 Giugno 2014 (Lucera (FG))	Ordine dei Geologi della Puglia	14	14	programmazione

Tabella corsi precedenti

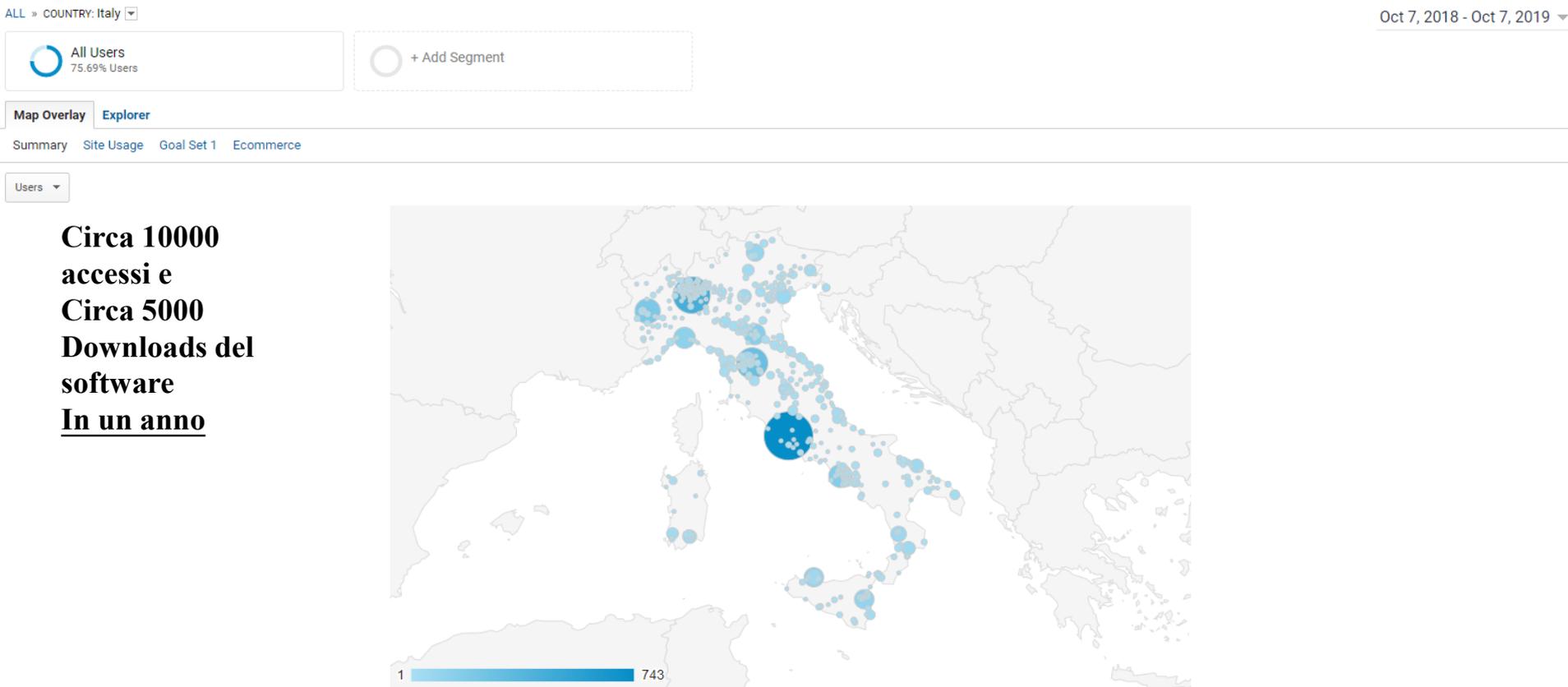


Corsi e seminari a invito in Italia dal 2010

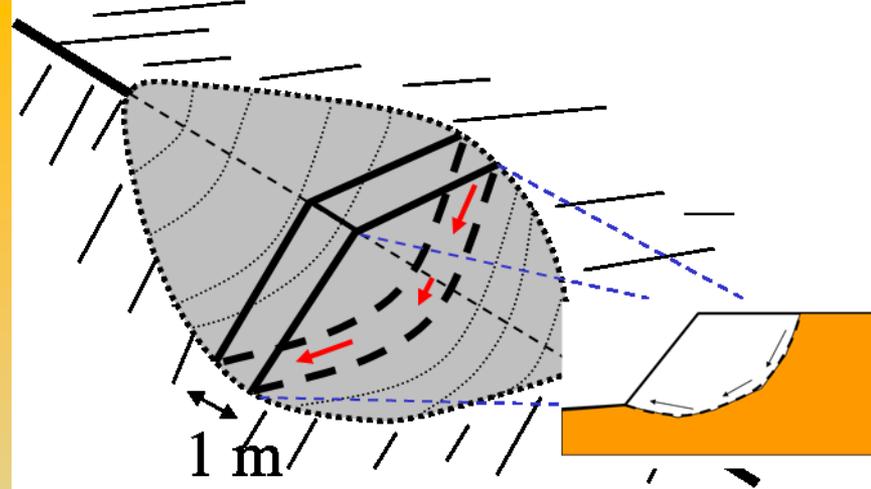
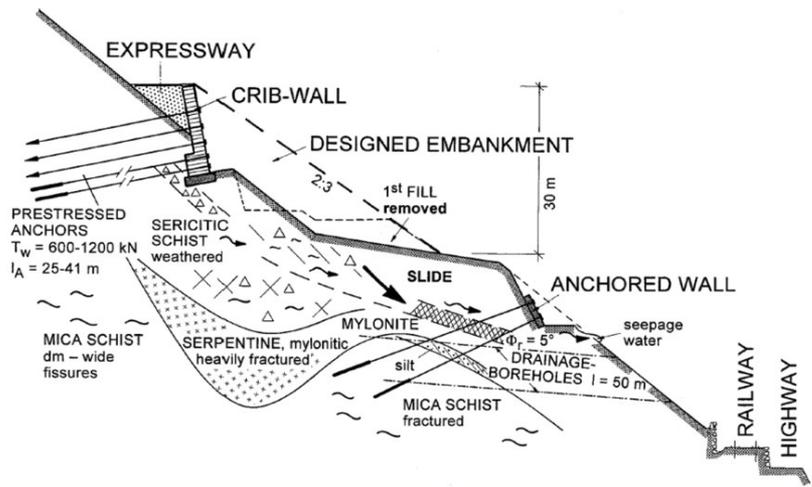


Distribuzione geografica in italia flusso di visitatori (ultimo anno)

Statistics by
Google Analytics

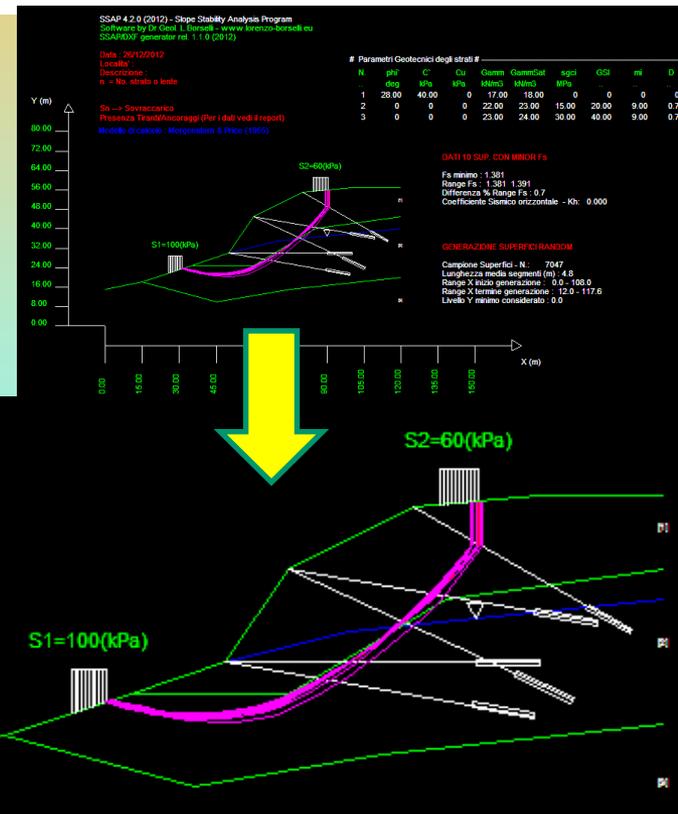


Il numero di visitatori e' associato al diámetro dei cerchi e alla intensita' di colore



Tecniche di base nella verifica della stabilità dei pendii

Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D
 Universidad Autónoma de San Luis Potosí - UASLP
 Instituto de Geología
 Facultad de Ingeniería.
 San Luis Potosí, MEXICO
 lborselli@gmail.com
 lorenzo.borselli@uaslp.mx
<http://www.lorenzo-borselli.eu>



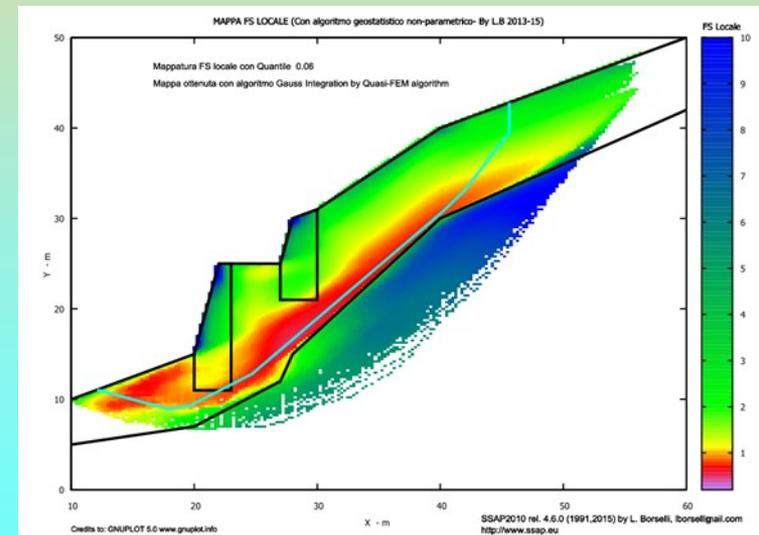
Verifica di stabilità dei pendii : cosa significa?

Una Possibile definizione:

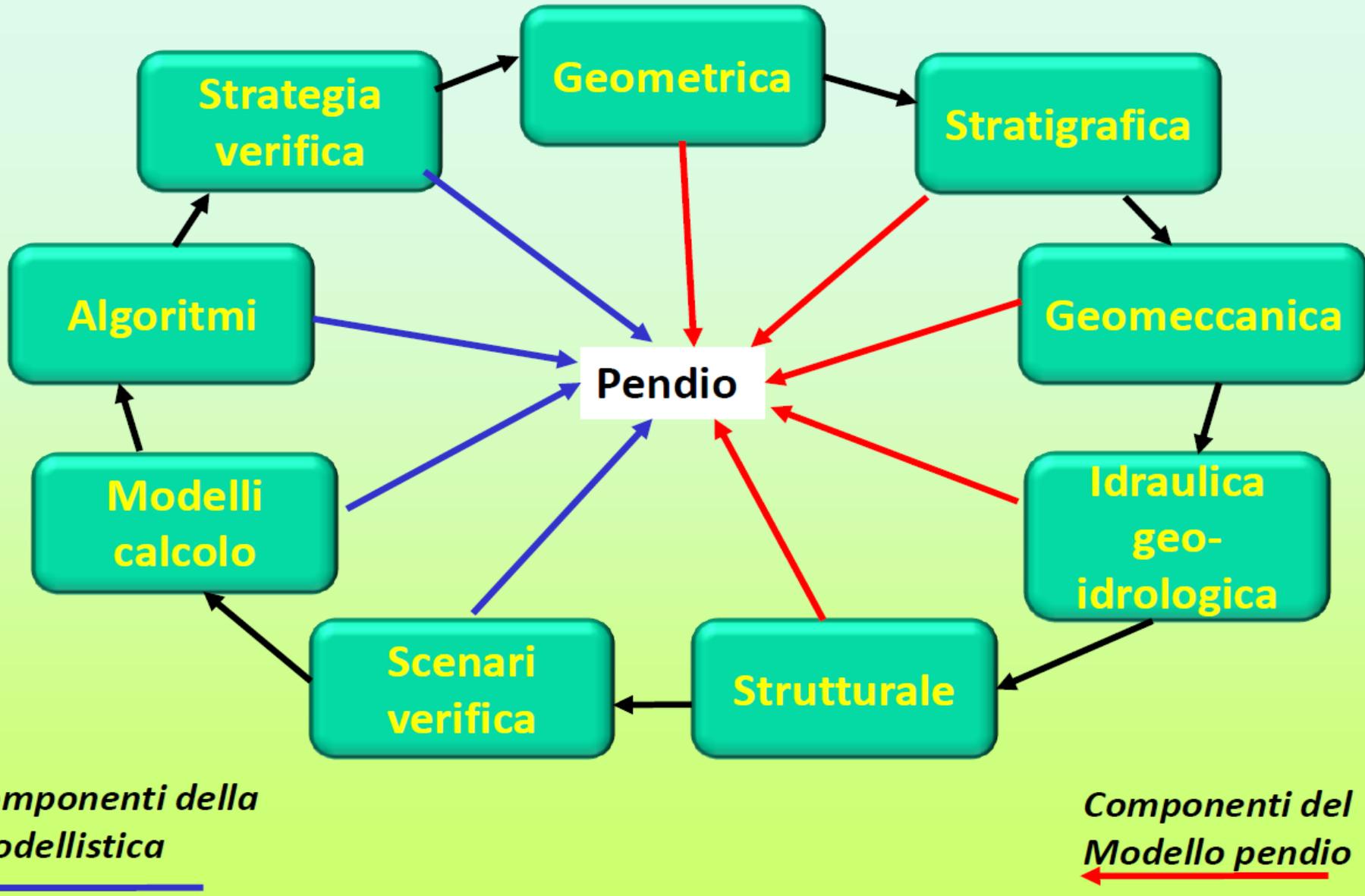
Verifica del livello di potenziale instabilità di un pendio attraverso analisi delle forze interne e esterne, oppure dei campi sforzi-deformazioni, nei confronti di un potenziale collasso-deformazione permanente o formazione una di superficie di rottura, che interessi una porzione significativa del pendio stesso.

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

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



Complessità verifica stabilità: componenti e interazioni



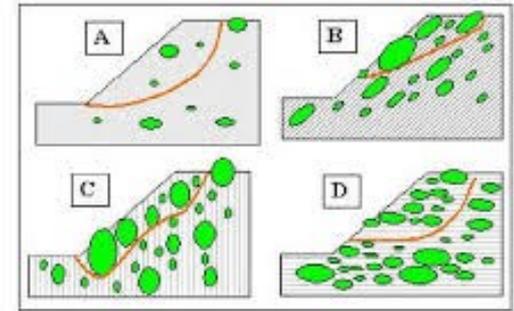
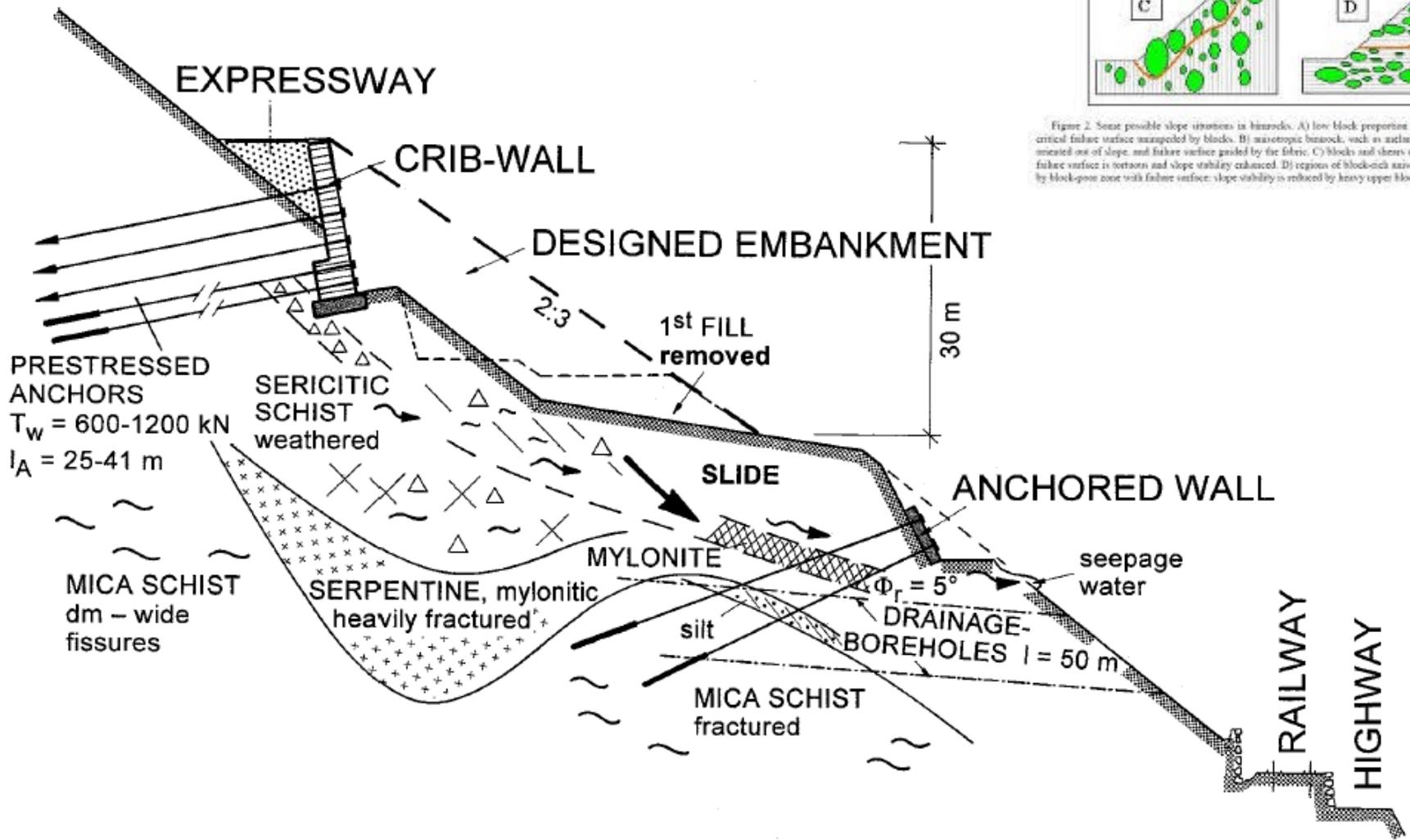
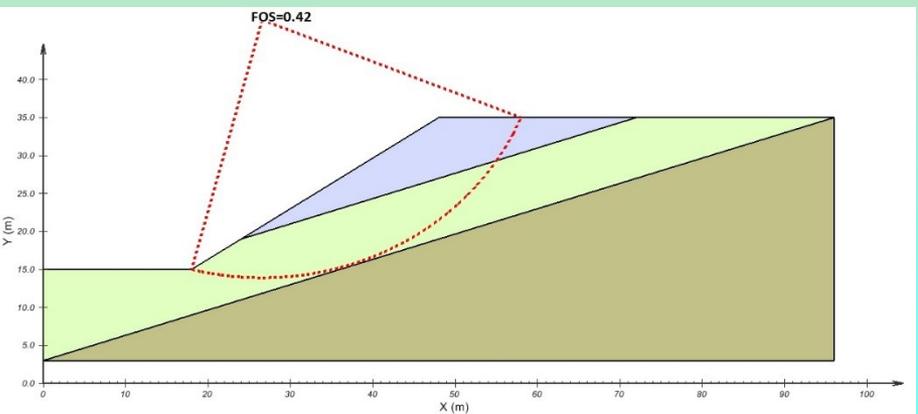
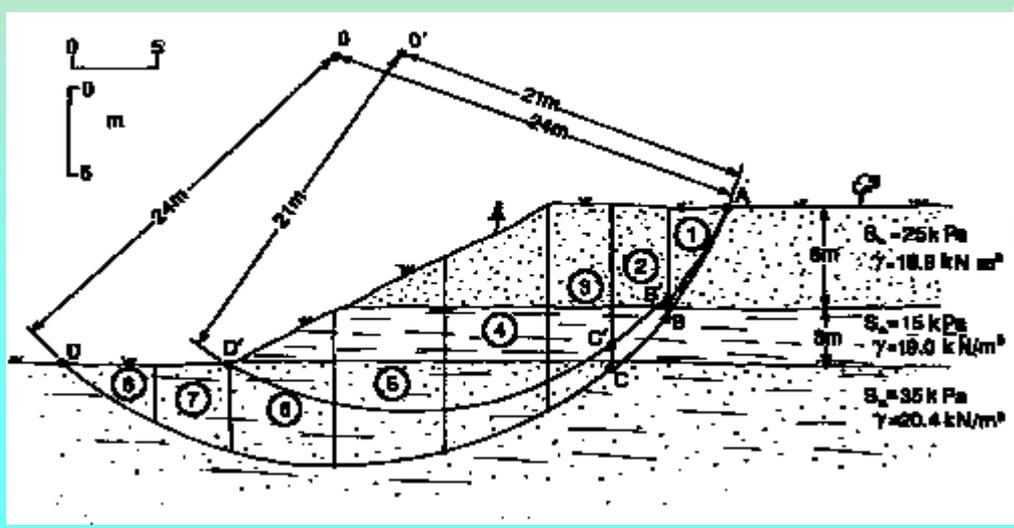
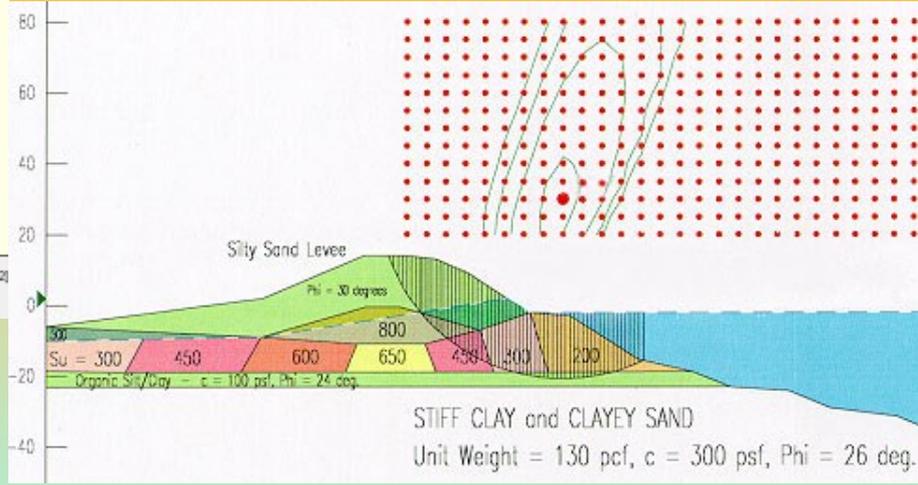
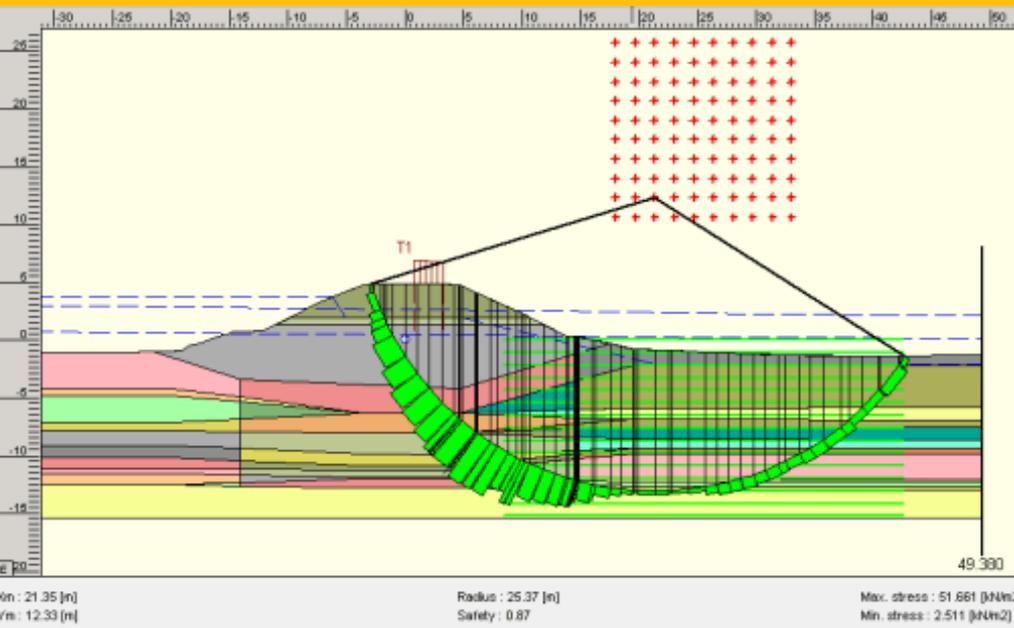


Figure 2. Some possible slope situations in biazards. A) low block proportion (block-poor) biazard with critical failure surface unimpeded by blocks. B) anisotropic biazard, such as ashling, with blocks and shear oriented out of slope, and failure surface guided by the fabric. C) blocks and shears oriented vertically such that failure surface is tortuous and slope stability enhanced. D) regions of block-rich anisotropic biazard interrupted by block-poor zone with failure surface; slope stability is reduced by knobby upper block-rich zone.

2 Esempi di complessità – reale....

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





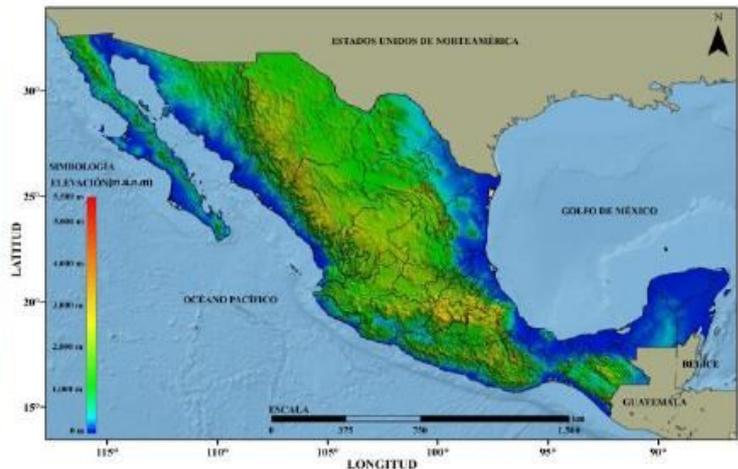
(a) Cohesión



(b) Ángulo de fricción



(c) Peso volumétrico



(d) Topografía

Figura 7. Características geotécnicas asignadas según la geología de las distintas formaciones rocosas del país (escala 1:1'000,000) y topografía del terreno integradas dentro de un SIG acorde a la tabla 2

Dal punto di vista della parametrizzazione Si possono arrivare a degli eccessi di semplificazione pericolosi....vedi . Ing. sísm no.89 México jul./dic. 2013

Evoluzione storica dei metodi di verifica di stabilità dei pendii :

Metodo dell'equilibrio limite (LEM) semplice (dal 1927 circa)

- Pendii omogenei superfici circolari
- Senza effetti strutture
- Carte di stabilità

Evoluzioni e raffinamenti del metodo (LEM) (dalla fine anni 70 a oggi)

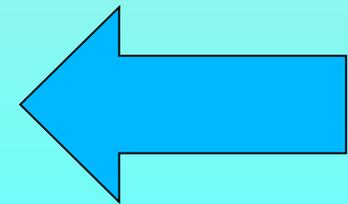
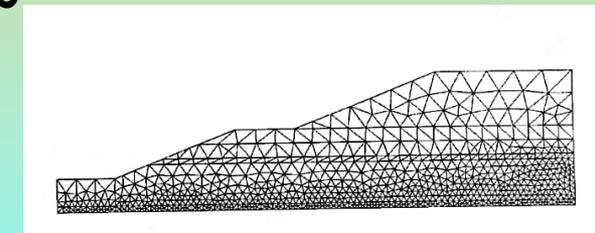
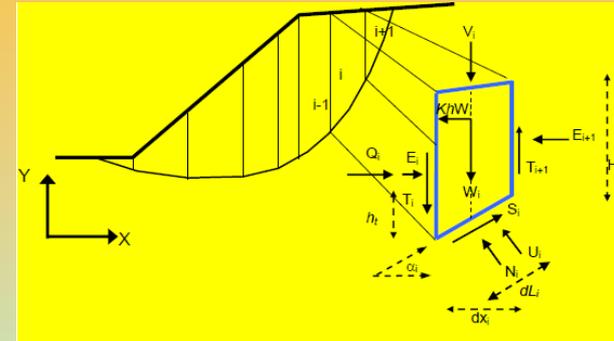
- Pendii non omogenei → superfici non circolari
- Con effetti strutture e sismici
- Automatizzazione dei calcoli con software specializzato

Modelli agli elementi finiti FEM (da anni 70 a oggi)

- Pendii omogenei - non omogenei con e senza strutture
- Software specializzato

Modelli applicati a pendii 3D (da metà anni 90 a oggi)

- Elevata complessità
- Promettenti ! Ma ancora non affermati nell'uso comune..
- Modelli LEM evoluti (oggi) (Interazione con strutture, motori di ricerca superfici avanzati, Metodi numerici ottimizzati e più affidabili) (caso di SSAP2010 e blasonati software commerciali..)

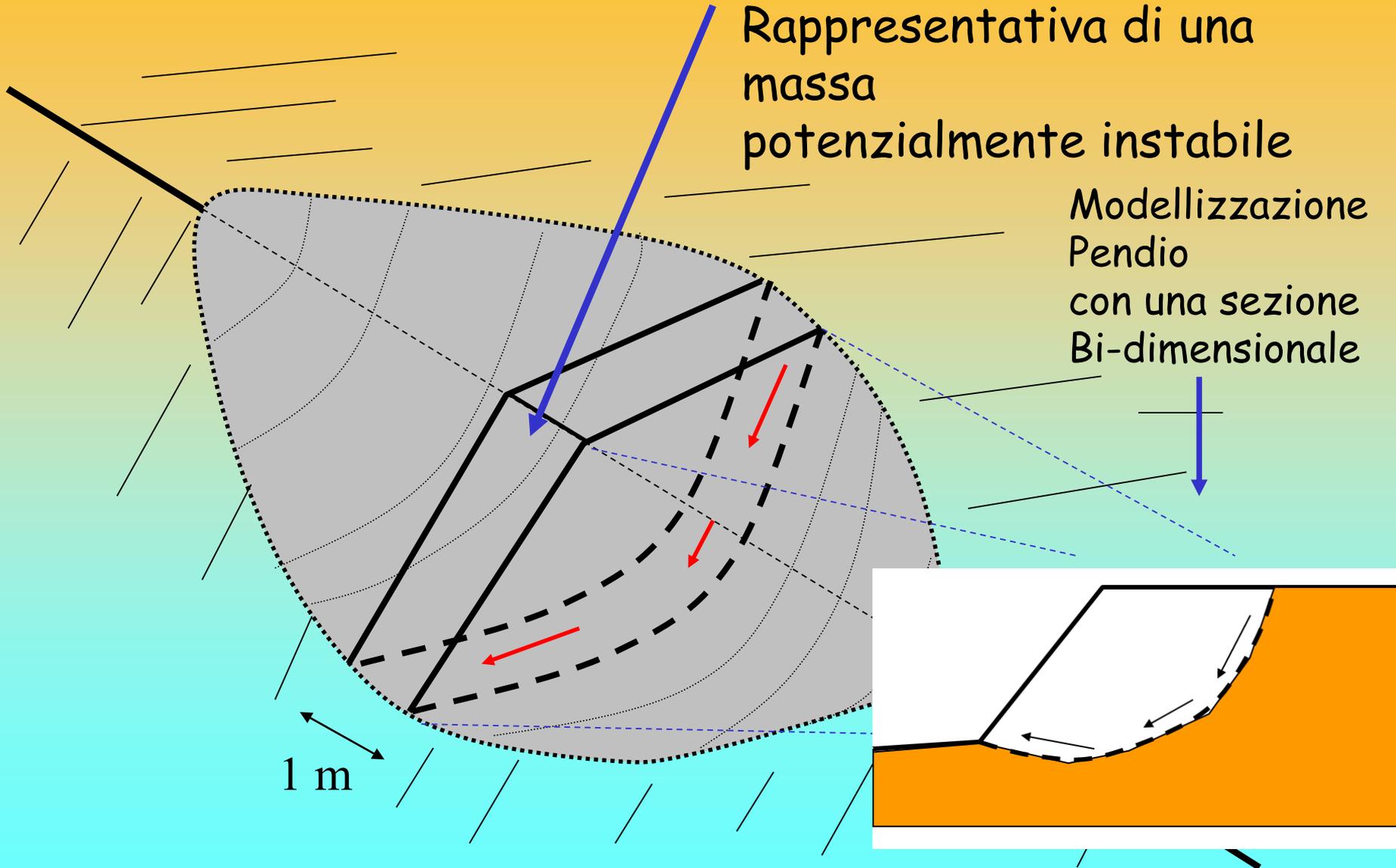


Verifica di stabilità 3D→2D

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

Modellazione
Pendio
con una sezione
Bi-dimensionale

1 m



Confronto tra metodologie

Table 2. Comparison of Factors of Safety for Example 2 by Various Methods

Method of analysis	No water table	Pore pressure by $r_u (=0.250)$	Pore pressure by water table
Bishop's simplified method ^a	1.38	1.12	1.25
Spencer's method ^a	1.37	1.12	1.25
Morgenstern and Price's method with $f(x) = \text{constant}$ ^a	1.39	1.12	1.25
Variational stability analysis ^b	1.33	1.08	1.19
Spencer's method using random search method ^c	1.34	N/A	1.21
Lower-bound analysis ^d	1.25	1.07	1.10
Upper-bound analysis ^d	1.37	1.16	1.23

^aFredlund and Krahn (1977).

^bLeshchinsky and Huang (1993).

^cPCSTABL6.

^dThis study.

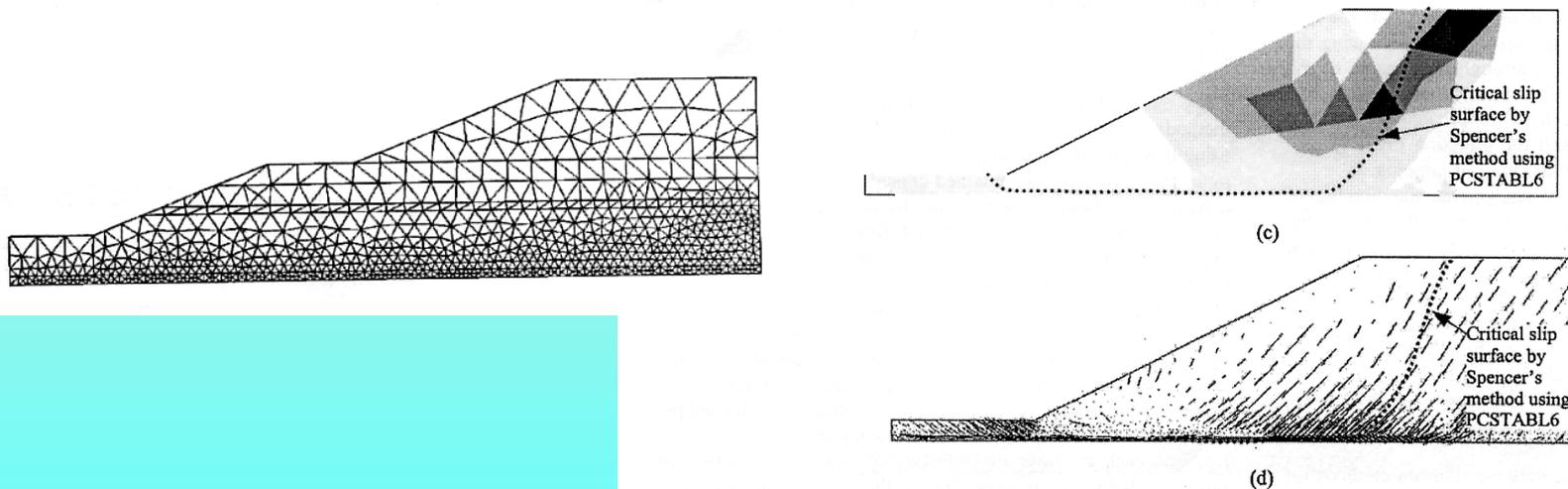


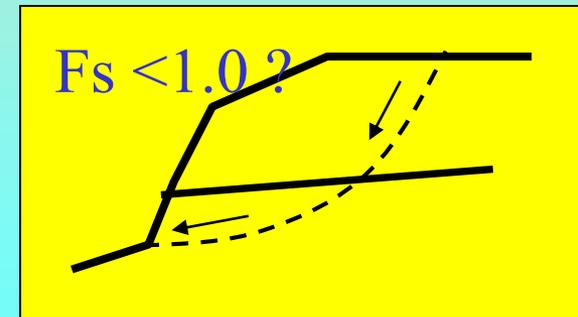
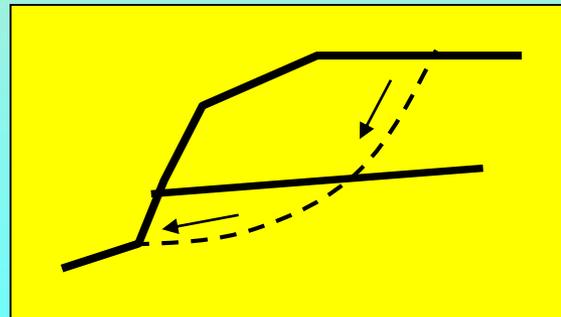
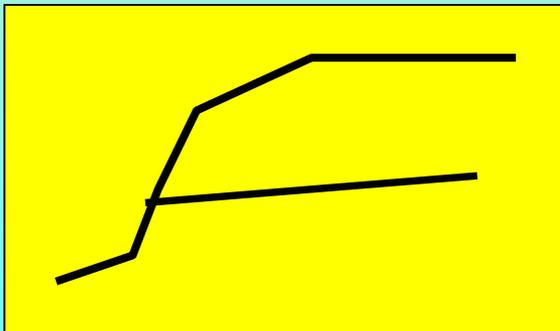
Fig. 7. Slope analyzed in example 2 [with pore-water pressure defined by water table; dotted line in (a)]: (a) slope geometry and soil profile (after Fredlund and Krahn 1977); (b) velocity field from upper-bound analysis; (c) plastic zone from upper-bound analysis; and (d) principal stress zone from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

Da Kim et al. (2002)

Verifiche di stabilità 2D mediante il metodo dell'equilibrio limite.

Fasi della analisi:

1. Definizione Modello 2D del pendio (geometria e par. geomeccanici)
2. Assunzione di una Superficie di potenziale scivolamento
3. Calcolo di Fattore di sicurezza (F_s) (o fattore di stabilità)



Definizione di Modello 2D del pendio (un problema spesso estremamente complesso):

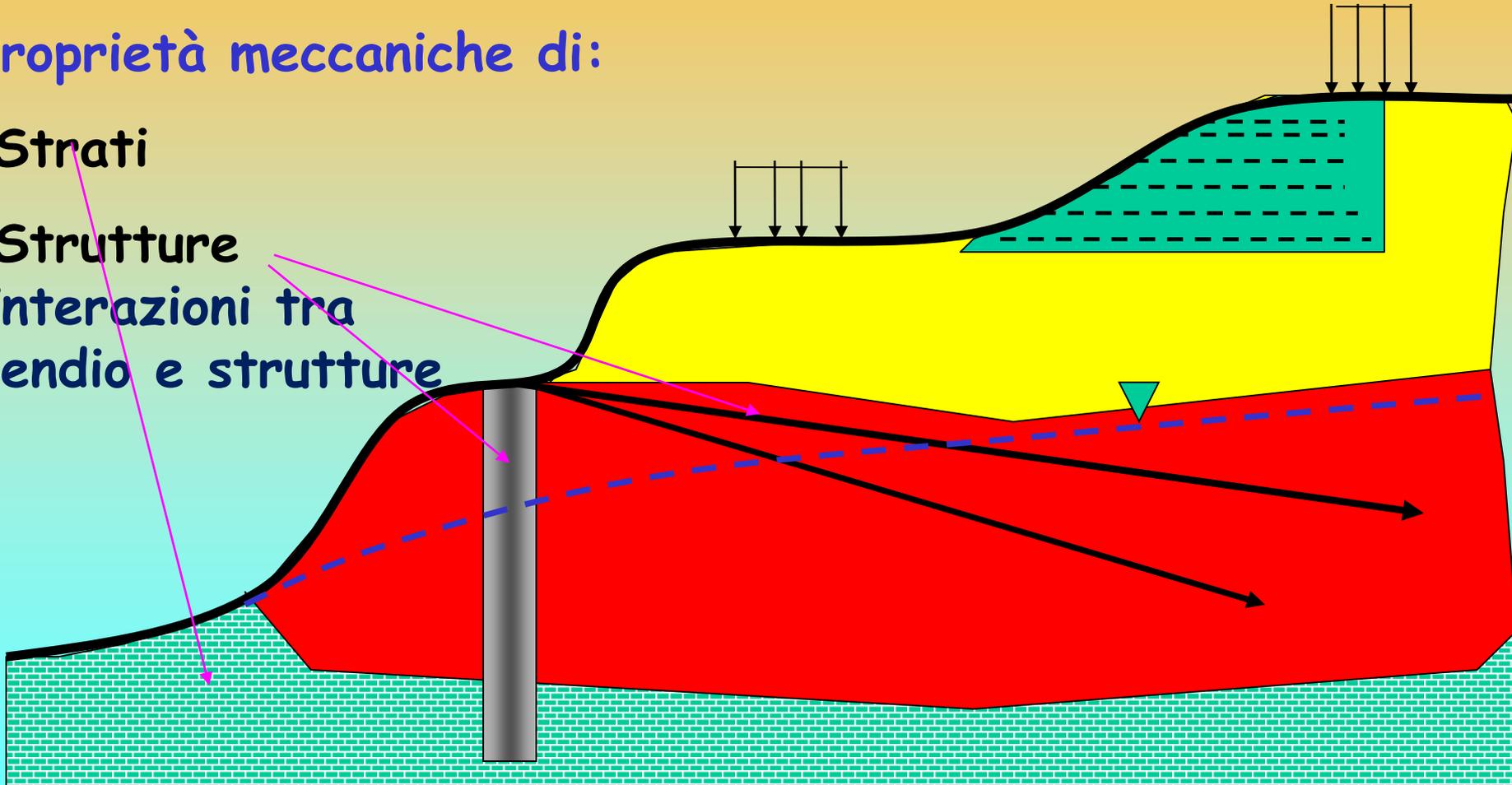
Geometria pendio, strati, falda, carichi esterni e strutture di rinforzo

Proprietà meccaniche di:

- Strati

- Strutture

Interazioni tra pendio e strutture



Superficie di potenziale scivolamento

- Nella applicazione del metodo dell'equilibrio limite la superficie di potenziale scivolamento separa la parte di pendio stabile da quella potenzialmente instabile.
- Si assume che la parte stabile inferiore rimane indeformata e non subisce rotture.
- Si suppone che la massa superiore, fino al momento della rottura, non subisca deformazioni.
- Collassi e deformazioni sono posteriori allo sviluppo di una superficie di rottura.

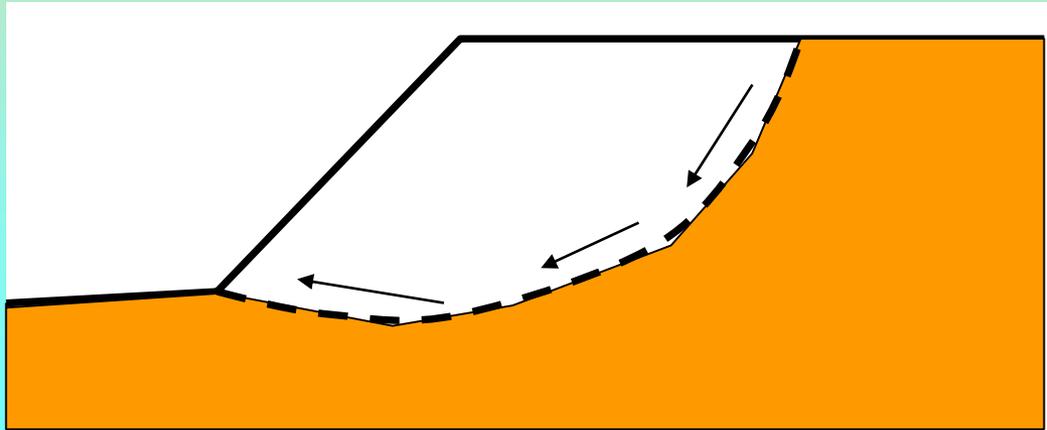
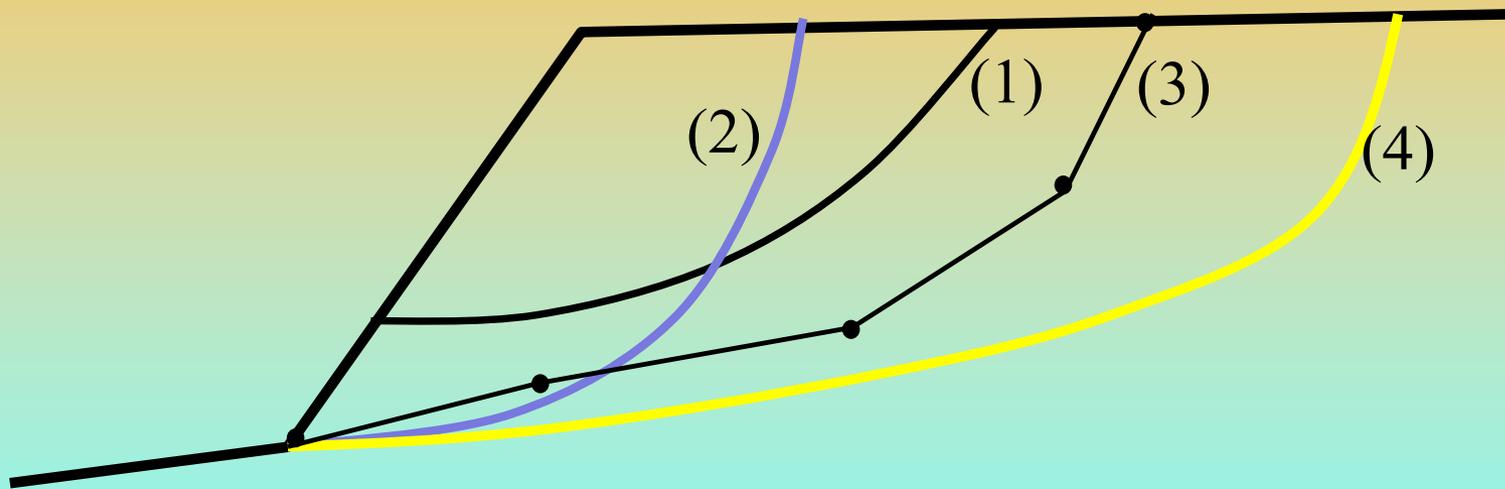




Fig. 2.2. Scivolamenti: a) di traslazione; b) di rotazione; c) composti



Tipi di superfici generabili nel piano della sezione del pendio:

- (1) **Circolari** : definite da eq. Circonfrenza (arco di cerchio: centro e raggio)
- (2) **Spirali logaritmiche**: eq. Spirale logaritmica
- (3) **Generiche**: serie di punti (nodi) collegati da tratti rettilinei (SSAP)
- (4) **Generiche smussate**: superficie smussata interpolante serie di punti (SSAP).

Fs del pendio - ovvero quello associato alla superficie con Fs minimo in assoluto :

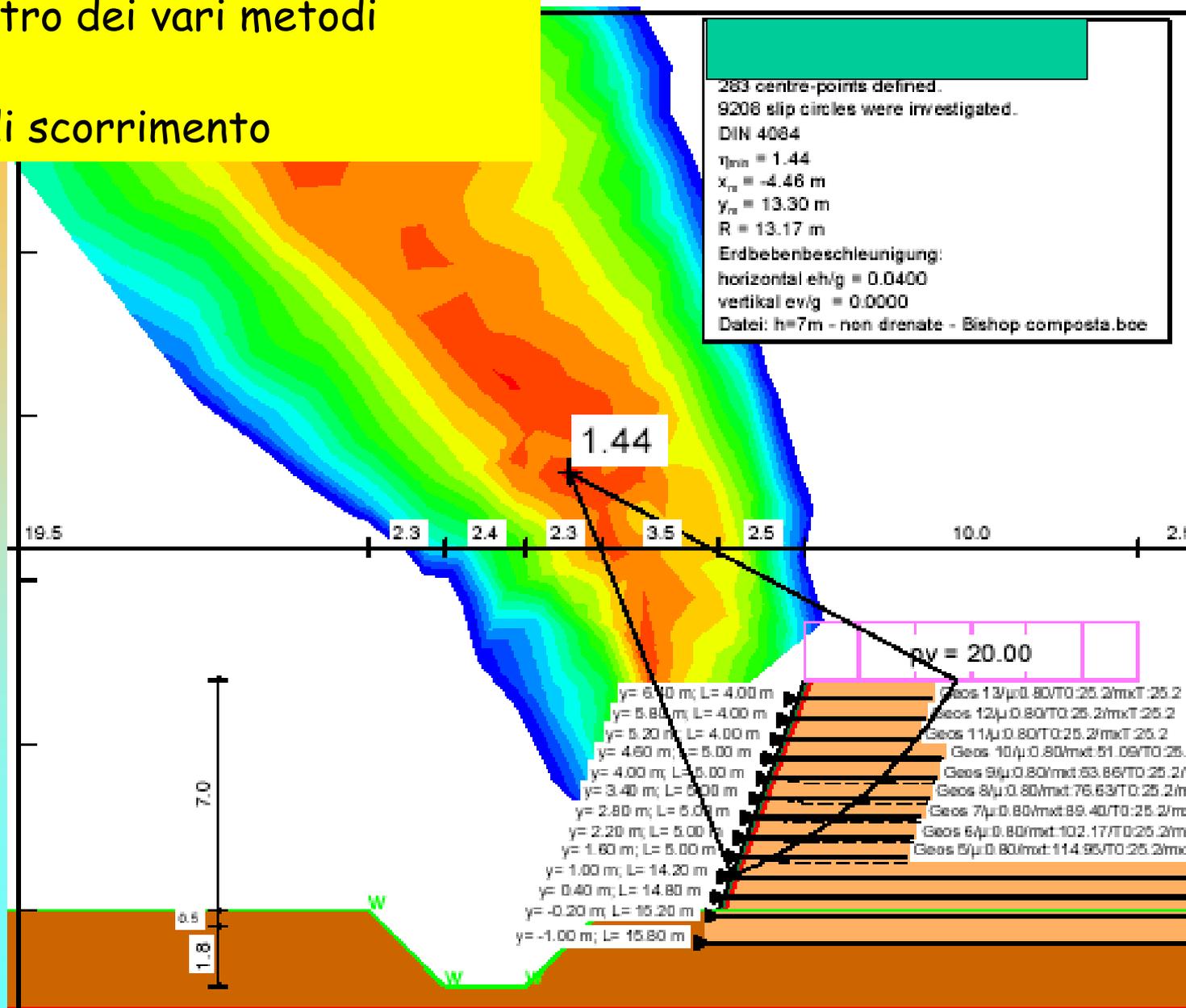
Dopo un test su un numero di superfici significativo o aver esplorato adeguatamente un campo vasto di possibili superfici, l'Fs del pendio è quello della superficie con minor Fs tra quelle calcolate.

Abbiamo bisogno di Strategia di ricerca per trovare la superficie con Fattore di sicurezza MINIMO
Motori di ricerca e generazione delle superfici:

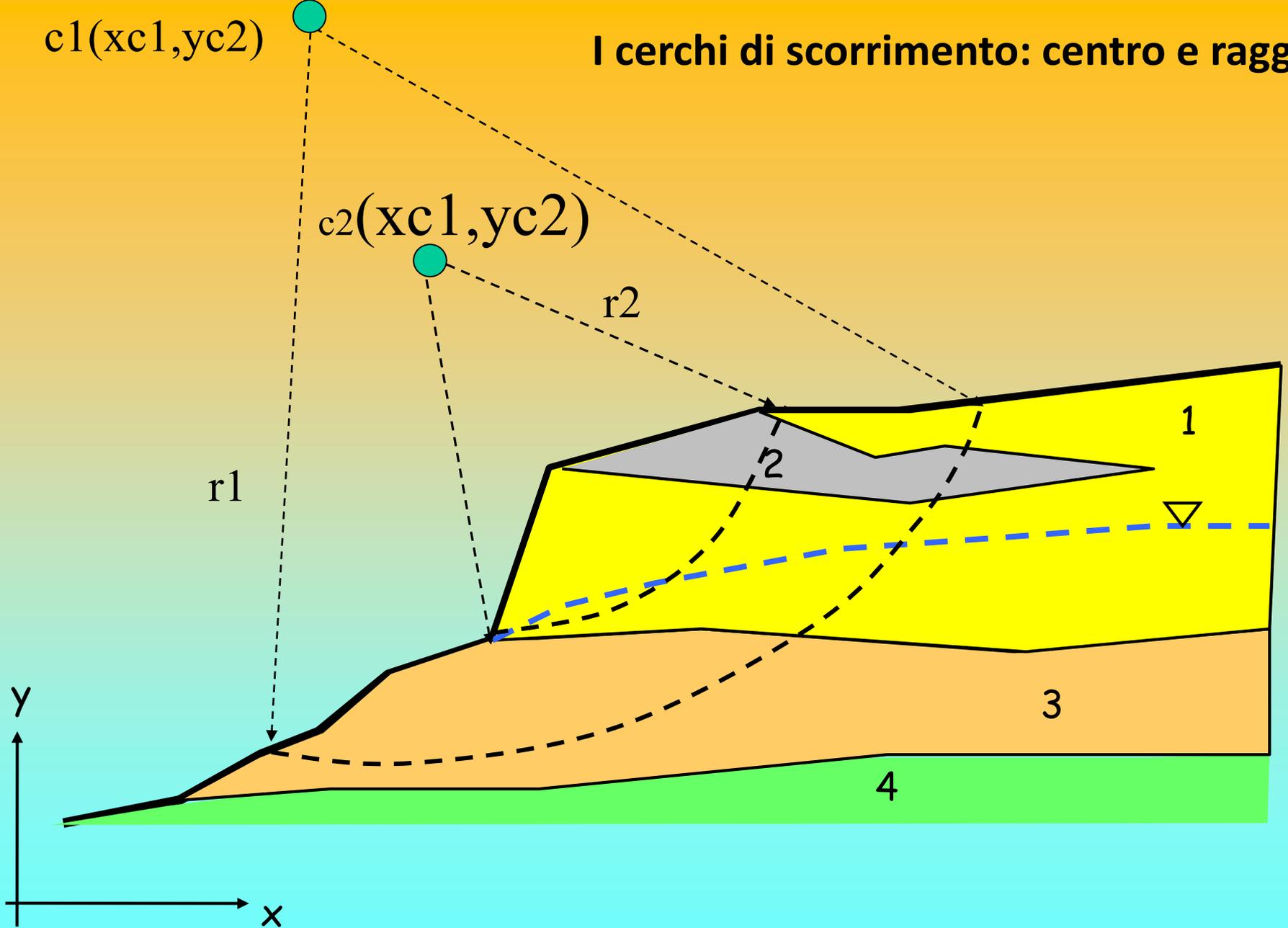
- Griglia a passo fisso (per sup. Circolari)
- Minimizzazione multidimensionale della funzione
Che definisce $F_s \rightarrow \text{MIN} [F_s]$
dove :
 $F_s = f(x_1, y_1, \dots, x_i, y_i, \dots, x_n, y_n)$ (per sup. Generiche)
- Random (monte carlo) (circolari e generiche)
- Misti

Tecniche di ricerca delle F_s minime pro e contro dei vari metodi

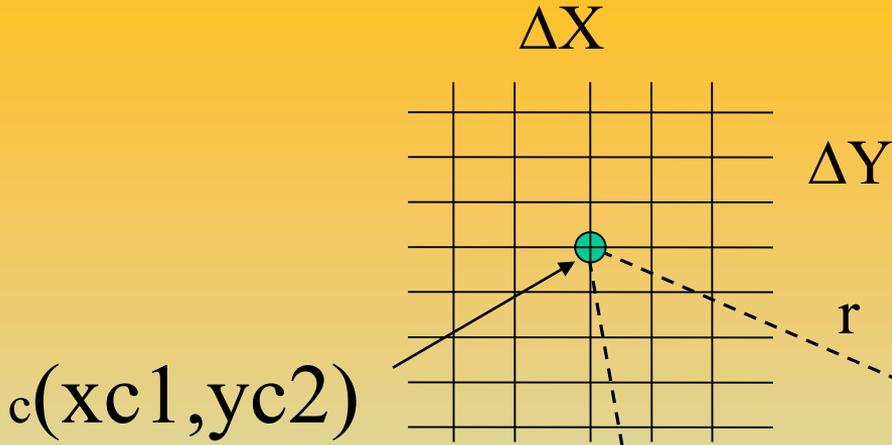
I cerchi di scorrimento



I cerchi di scorrimento: centro e raggio



Griglia di ricerca

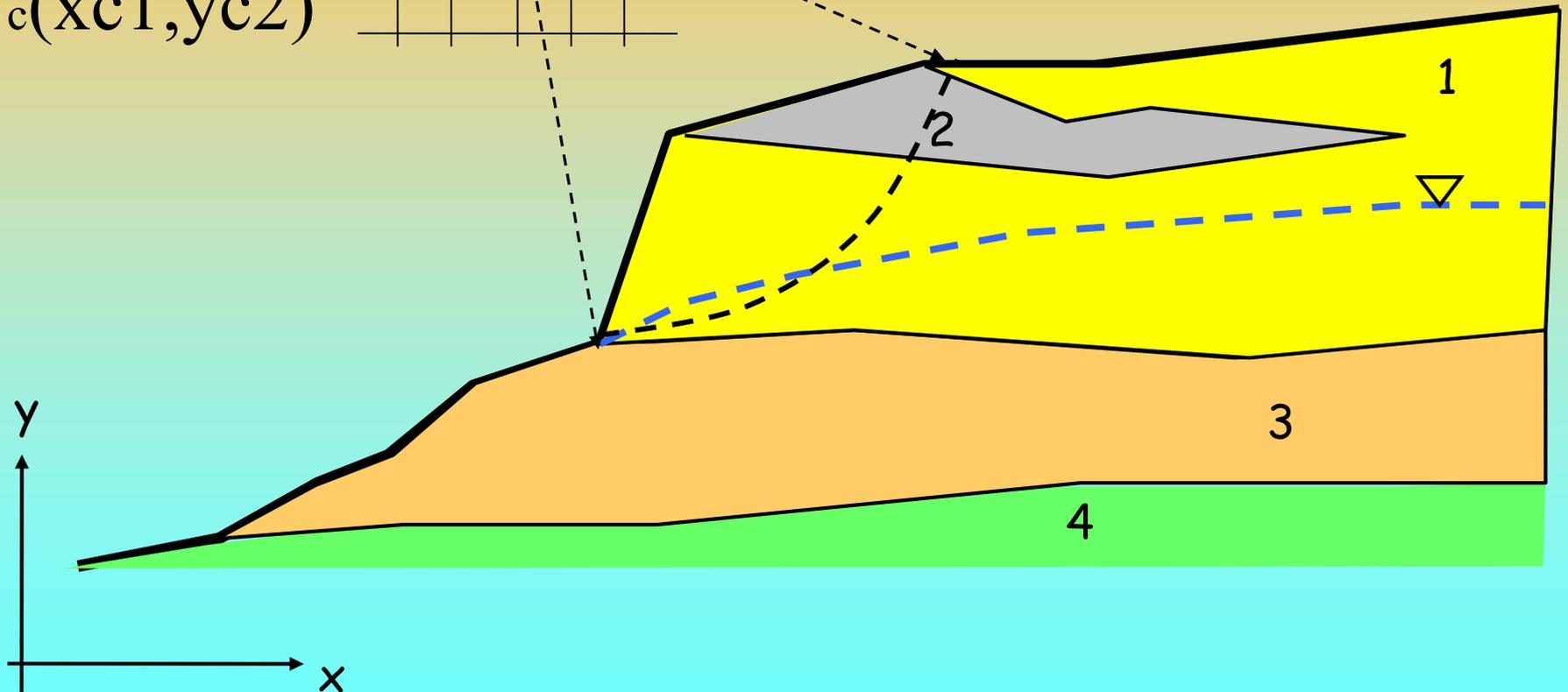


Vincolato al passo prefissato:

ΔX

ΔY

Δr



Griglia di ricerca

Vincolato al passo prefissato:

ΔX

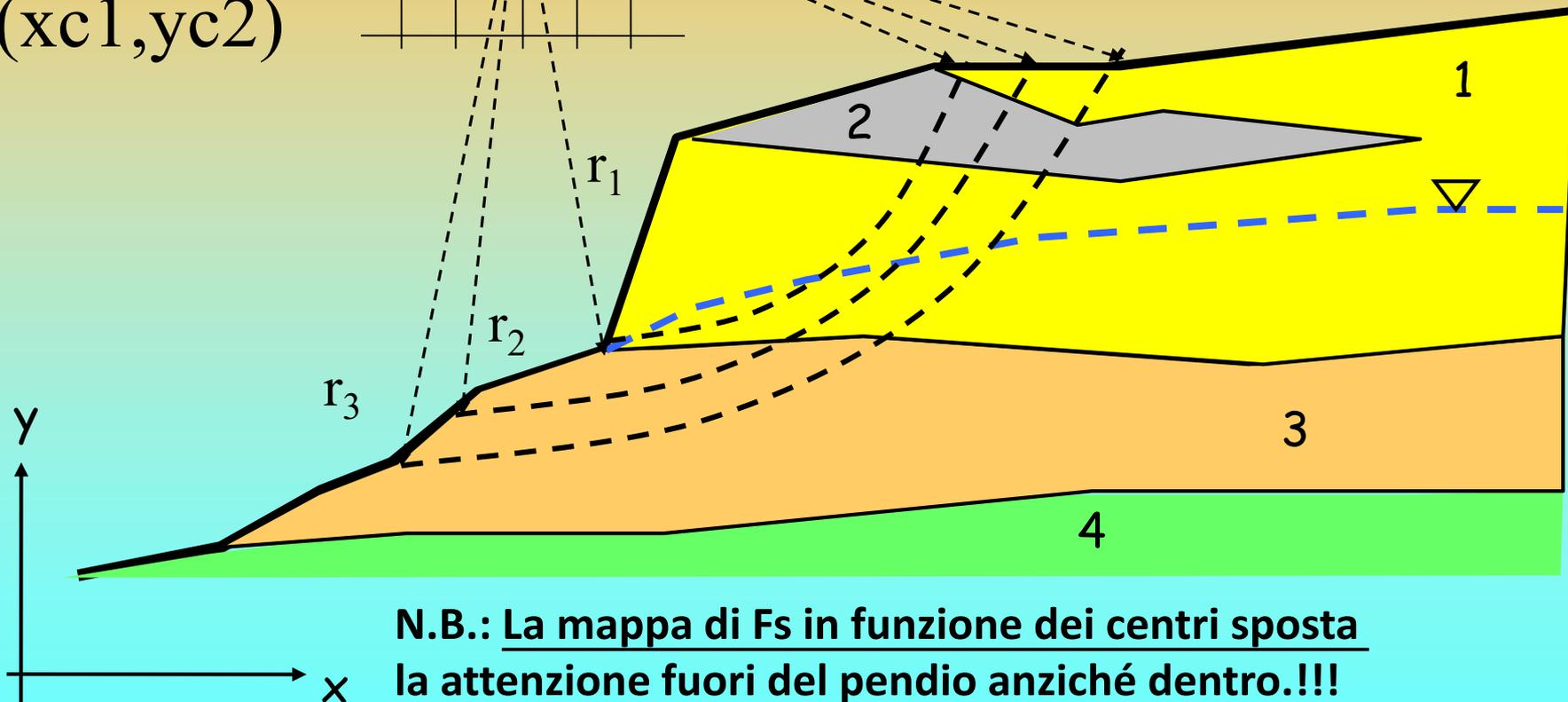
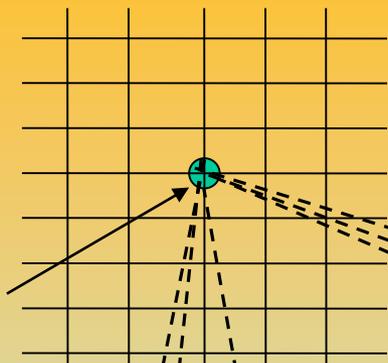
ΔY

Δr oppure r (random)

ΔX

ΔY

$c(xc1, yc2)$

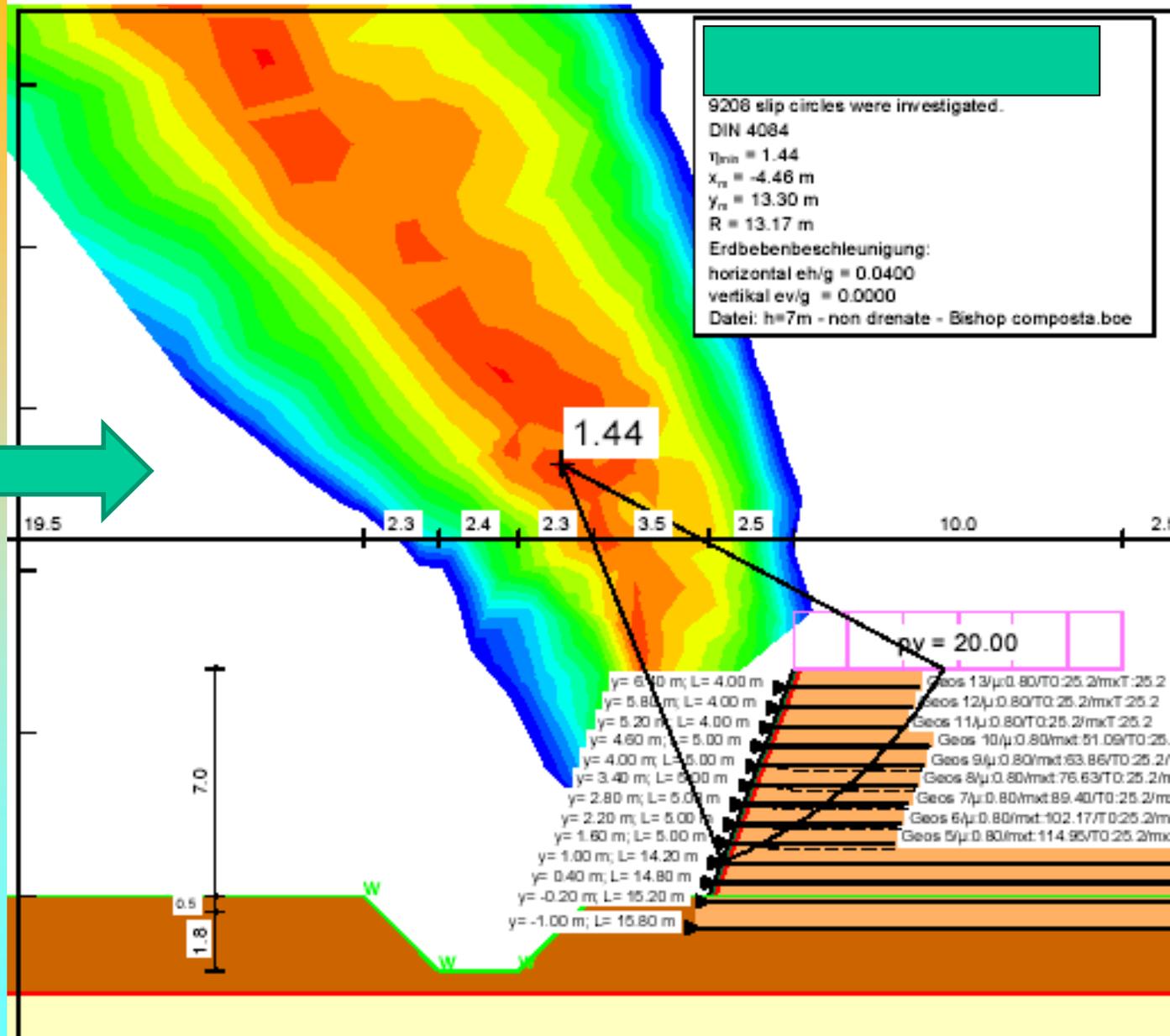
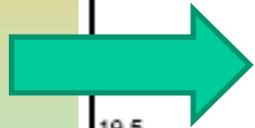


**N.B.: La mappa di Fs in funzione dei centri sposta
la attenzione fuori del pendio anziché dentro.!!!**

Le forme circolari sono solo una frazione delle forme possibili !!

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

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



Superfici di forma generica..

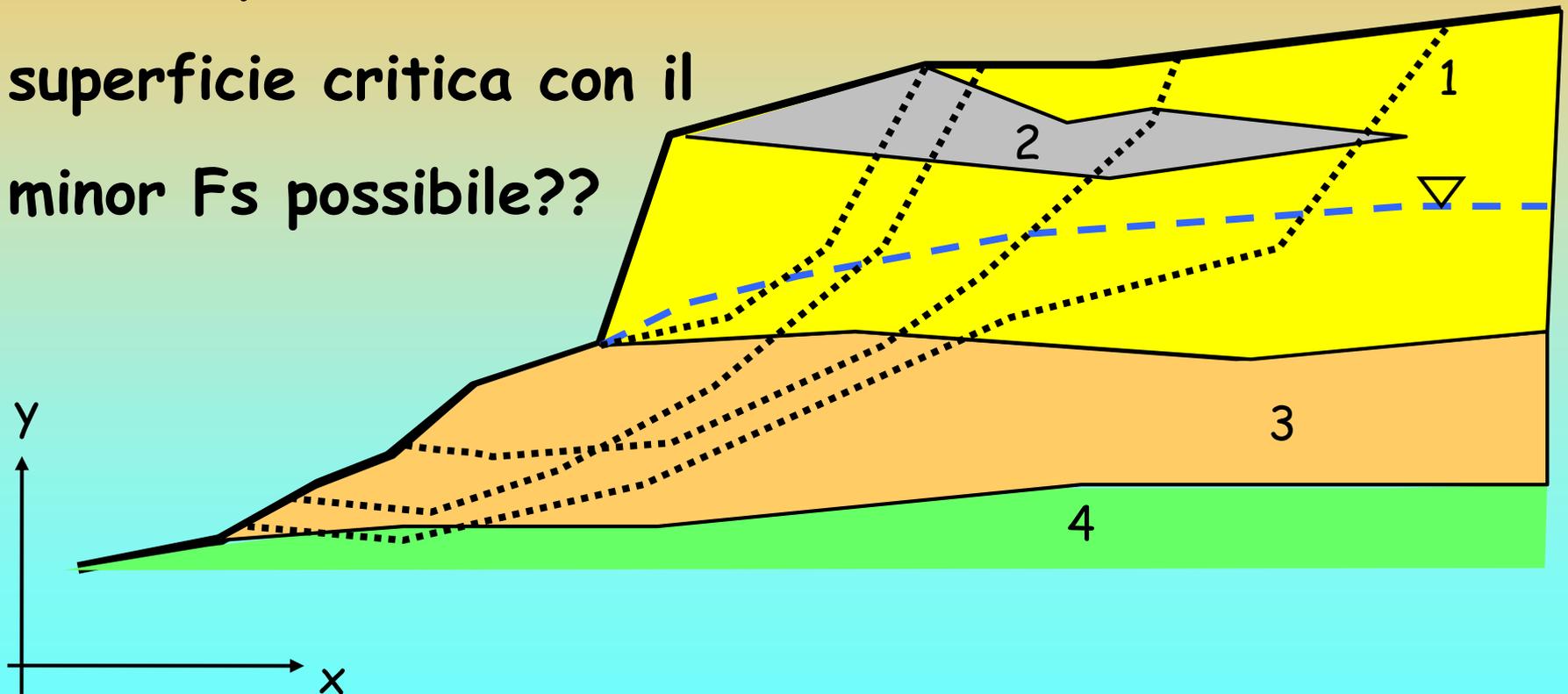
ovvero quanto si osserva nella realtà !

Infinite superfici e quasi infinite forme possibili..

Quindi qual è la reale

superficie critica con il

minor F_s possibile??



Superfici generiche - metodi di minimizzazione F_s

Obiettivo:

Determinare il vettore che definisce le coordinate dei nodi che definiscono la superficie alla quale compete il minor F_s possibile.

Uso di un algoritmo che fa variare automaticamente i nodi E calcola l' F_s per ogni superficie

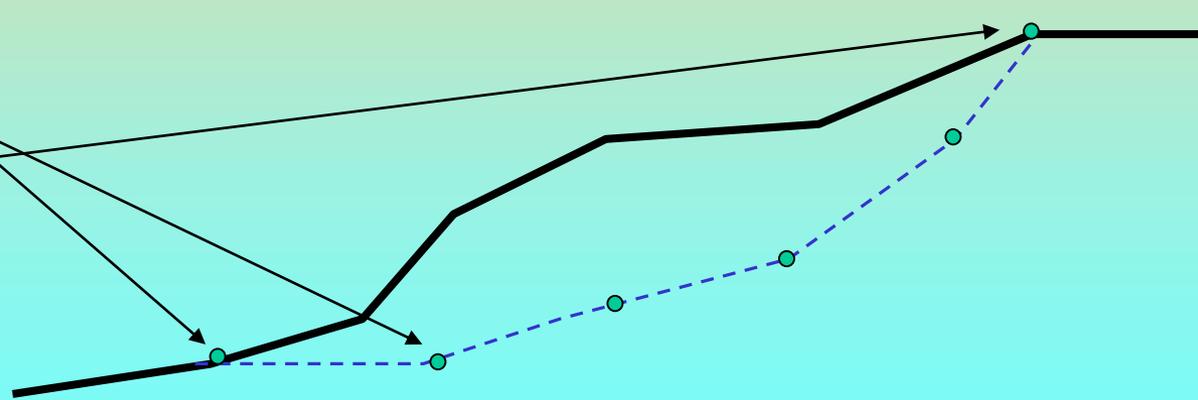
N	X	Y
---	---	---

1	22.1	34
---	------	----

2	32.0	37.5
---	------	------

...
-----	-----	-----

n	56.2	50.3
---	------	------



Superfici generiche - metodi di minimizzazione Fs

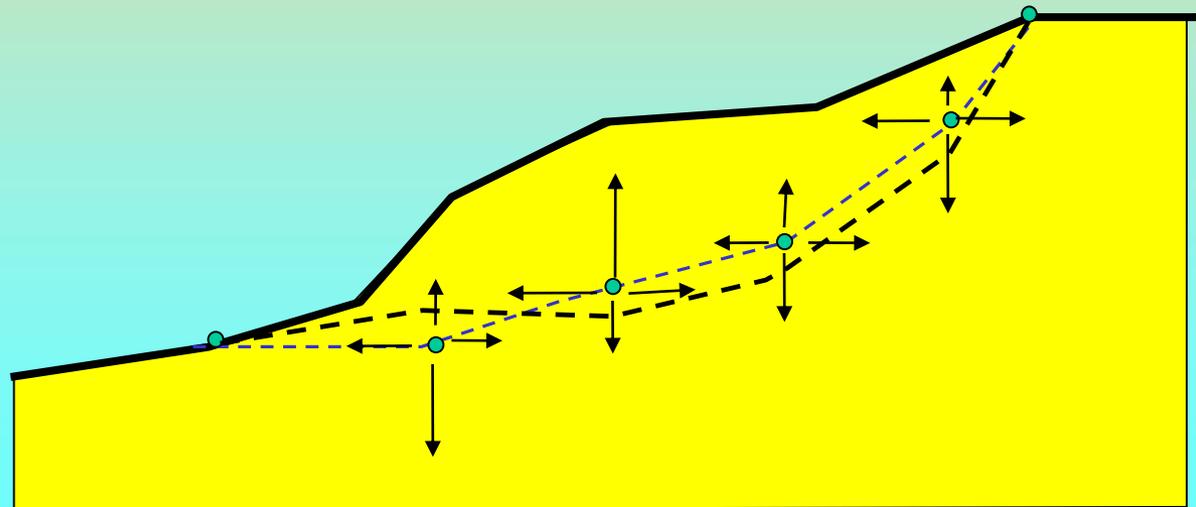
Problemi:

- Esistono infinite varianti o possibili superfici
- Deve essere prefissato in numero n di nodi
- Spesso devono essere fissate le coordinate del primo e dell'ultimo nodo
- Lo spazio di ricerca deve essere predefinito
- Numerose imposizioni durante la ricerca
- Complessità algoritmo di minimizzazione
- Problemi numerici e minimi locali

MIN [Fs] ?

dove :

$$Fs = f(x_1, y_1, \dots, x_n, y_n)$$

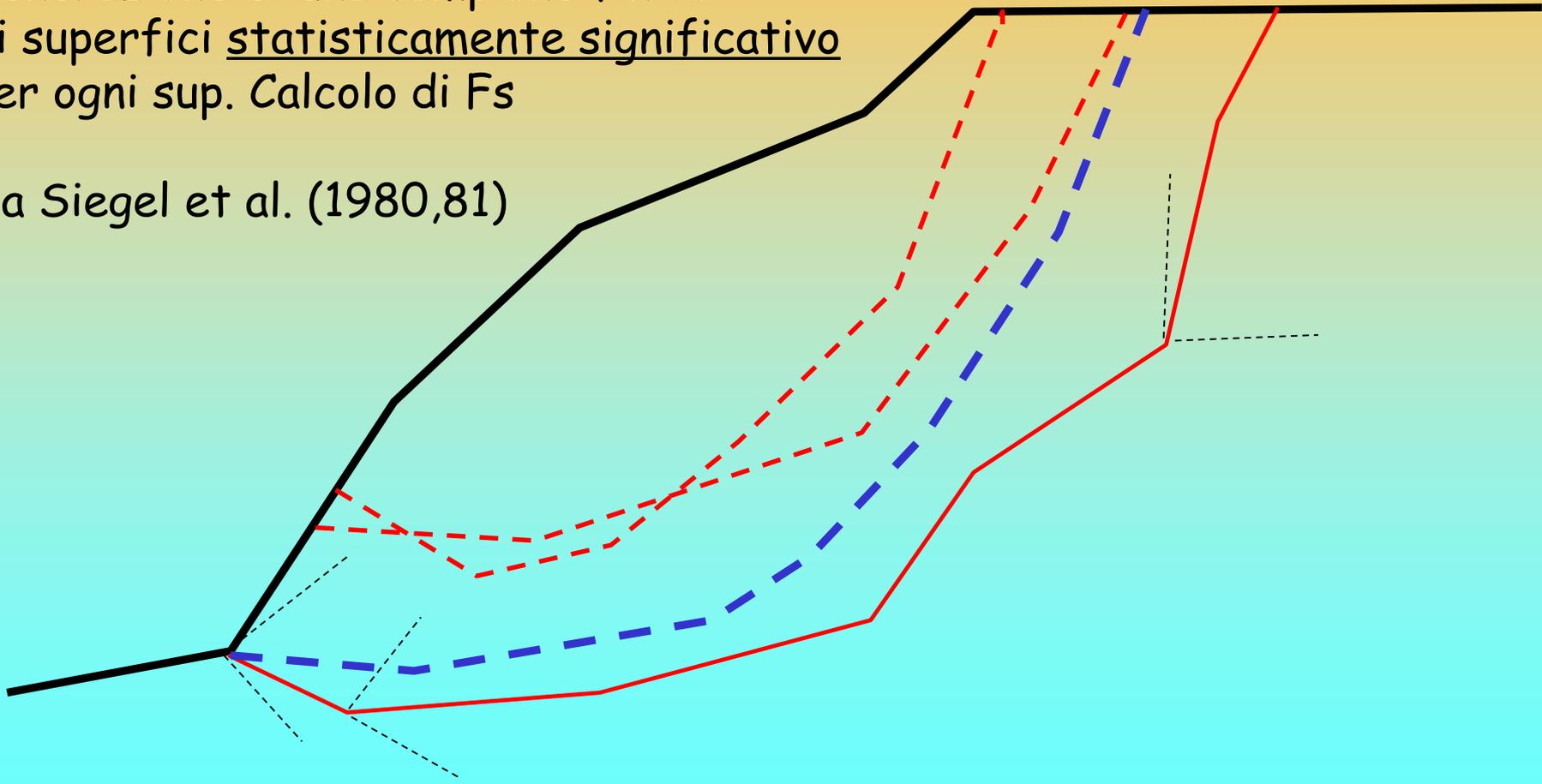


Superfici generiche - Generazione random montecarlo

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

Generazione di una campione finito
di superfici statisticamente significativo
Per ogni sup. Calcolo di F_s

Da Siegel et al. (1980,81)



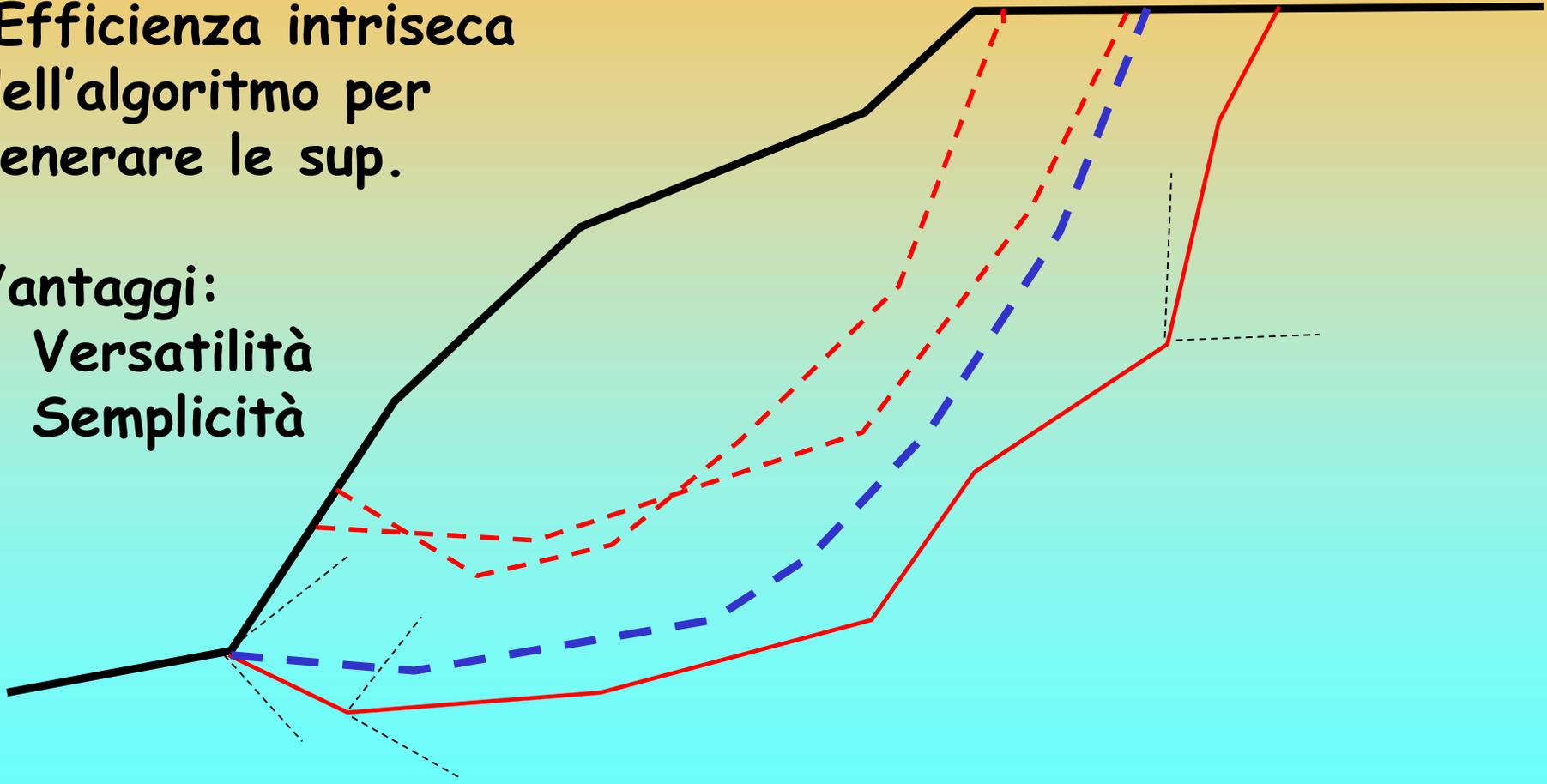
Superfici generiche - Generazione random montecarlo

Problemi:

- Definizione spazio di ricerca
- Lunghezza segmenti
- Numero di superfici(criterio di arresto)
- Efficienza intrinseca dell'algoritmo per generare le sup.

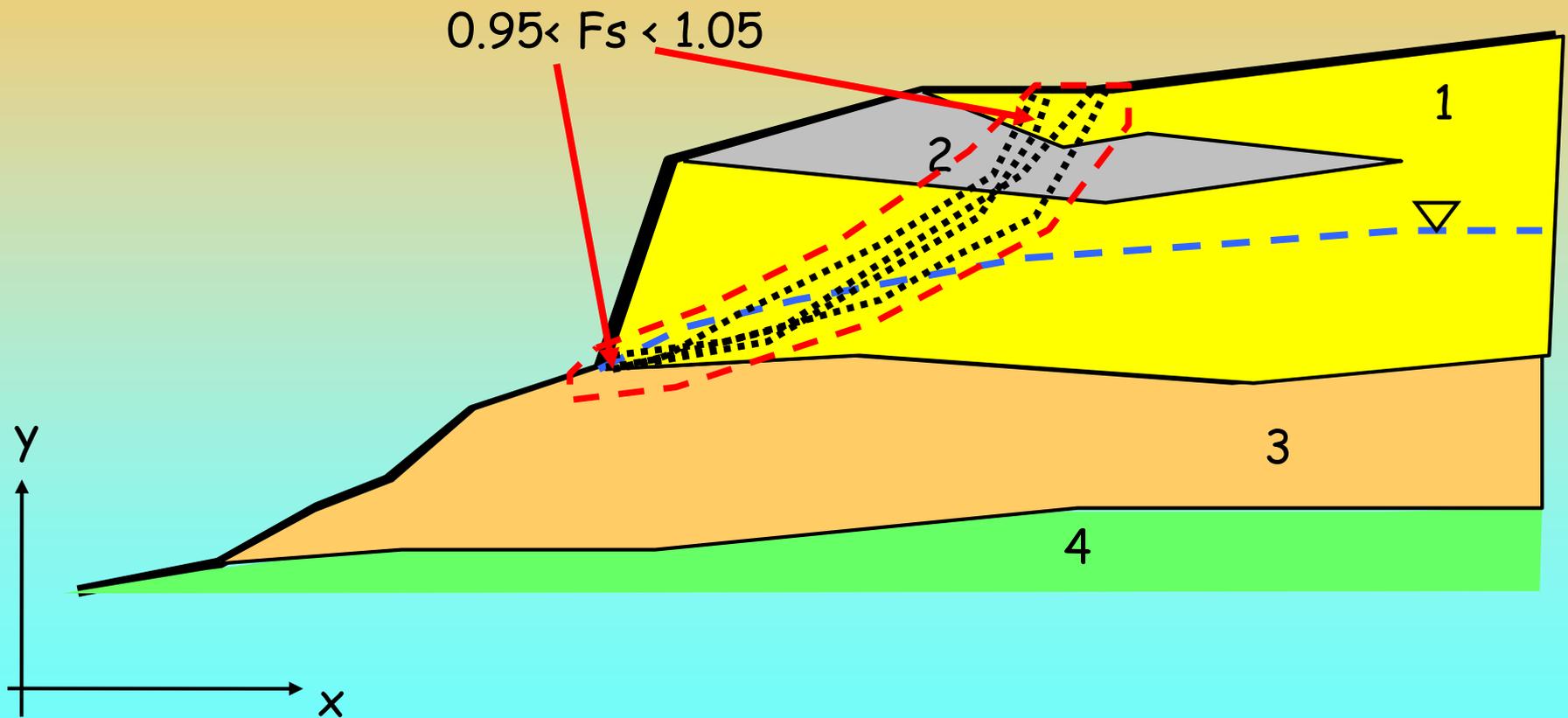
Vantaggi:

- Versatilità
- Semplicità



Dopo la generazione di un campione significativo di superfici

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



- **Superfici generiche - Metodi misti (poco usati in ambito professionale)**
 - *generazione e ricerca random*
 - *minimizzazione multidimensionale*

Oppure..

- **Superfici generiche - Metodi complessi !!**
Metodo ibrido tra generazione random e ricerca locale di aree con peggiori caratteristiche geomeccaniche :
 - *(sniff random search - SSAP Borselli (1999) e Presente in ssap2010 attualmente la versione 2.7.1 (2019)...*

Calcolo di F_s - formulazione di base metodi all'equilibrio limite

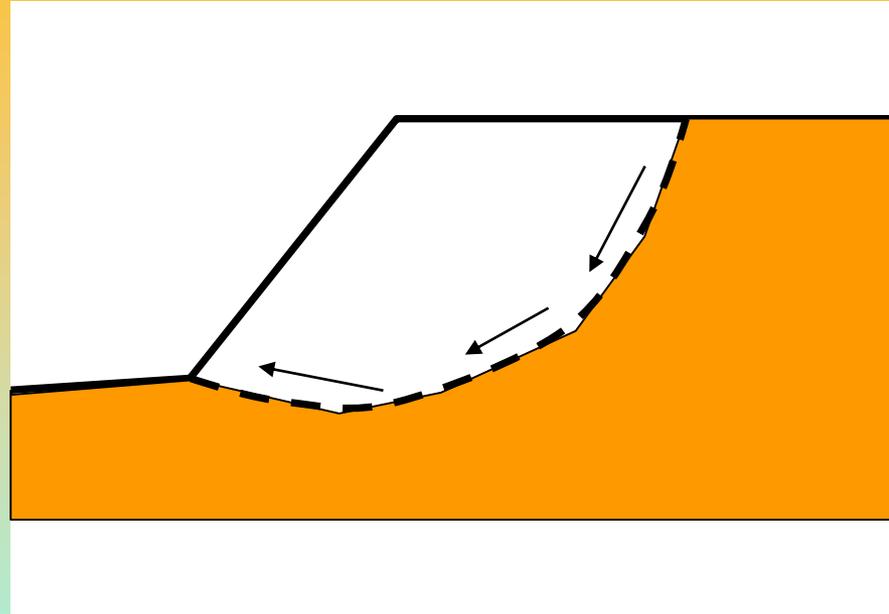
Per ogni superficie si può derivare:

Lo sforzo di taglio totale mobilitato τ_m (domanda) e

La resistenza al taglio disponibile τ_f (capacità):

è possibile definire F_s come:

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



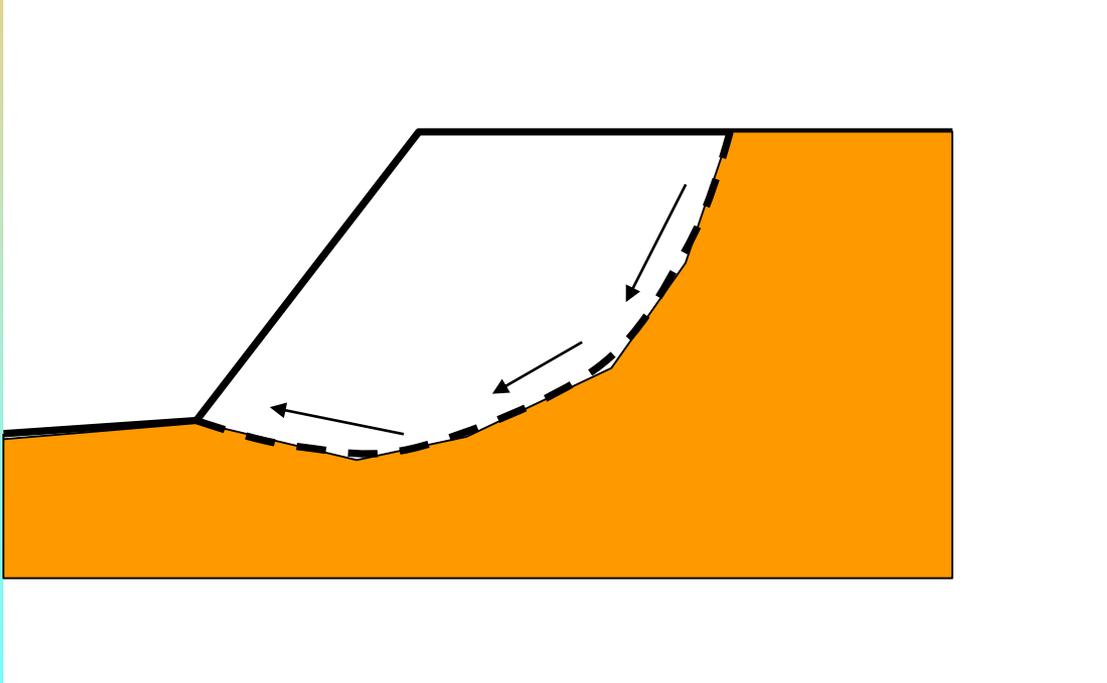
Usando un **criterio di rottura** (es **Mohr-Coulomb**) F_s è il fattore per cui occorre dividere i parametri della resistenza al Taglio del terreno per provocare la rottura del pendio lungo tutta la superficie considerata ovvero $\tau_f = \tau_m$

$$\tau_f = \frac{c'}{F_s} + \frac{\sigma' \tan \varphi'}{F_s}$$

Calcolo di F_s - formulazione di base

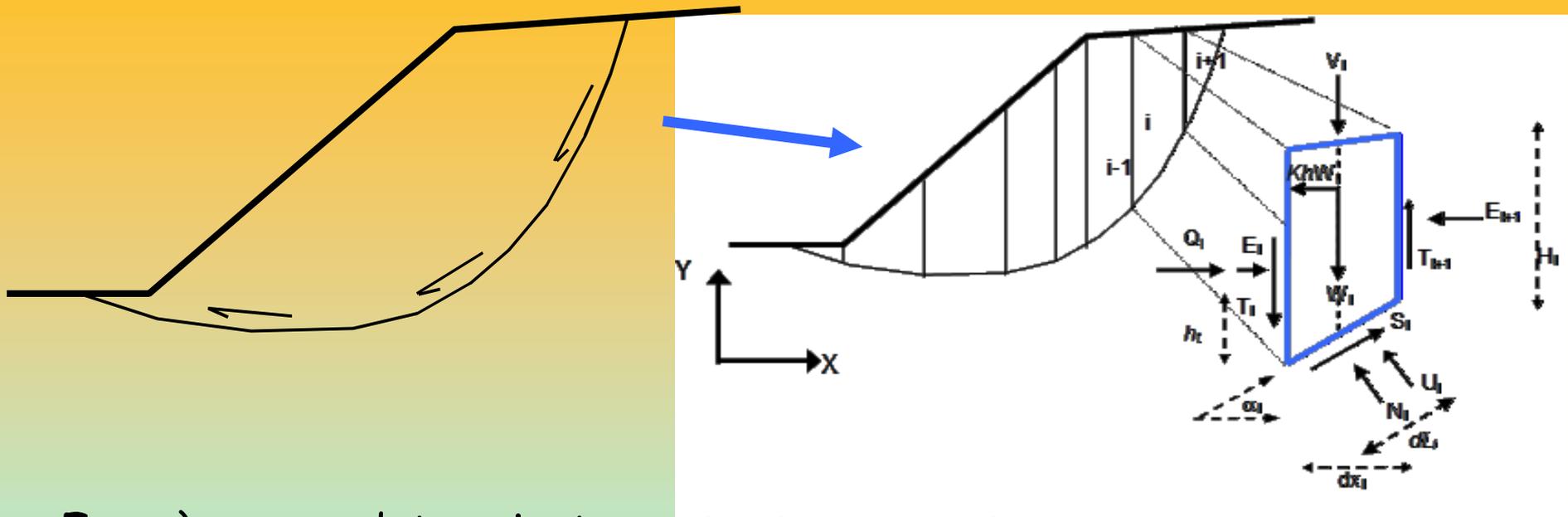
Nel caso di variabilità delle caratteristiche di resistenza al taglio lungo la superficie di scivolamento, sebbene F_s possa essere in realtà variabile, si assume che F_s sia costante.

Ovvero abbiamo dovunque la medesima frazione di resistenza al taglio mobilitata rispetto a quella massima mobilitabile



**Comportamento a rottura
rigido perfettamente
plastico: non si deforma
fino a quando non arriva
a rottura**

Metodo dell'equilibrio limite



F_s può essere determinato mediante gruppi di eq. per l'equilibrio dei corpi rigidi:

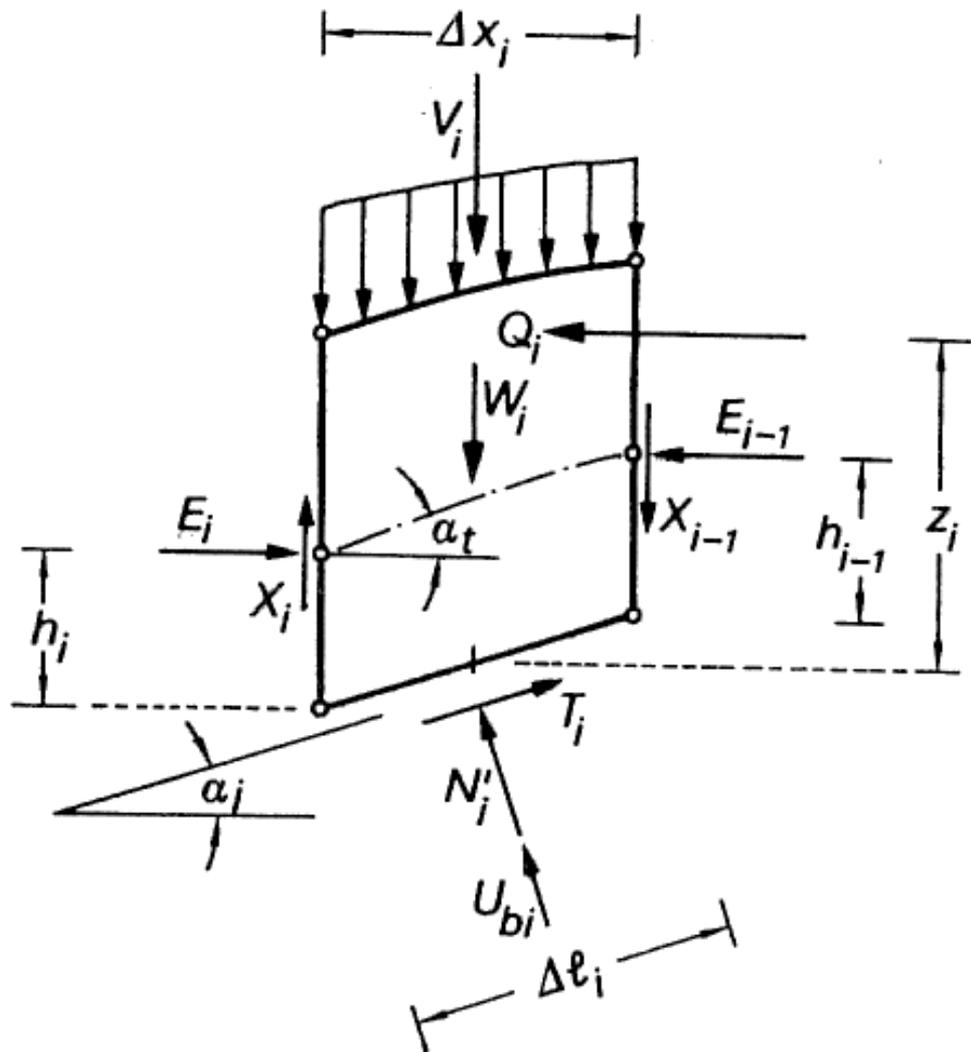
Equilibrio alla traslazione nelle direzioni verticali e orizzontali

$$\sum V_i = 0$$

$$\sum H_i = 0$$

Equilibrio alla rotazione rispetto a un punto

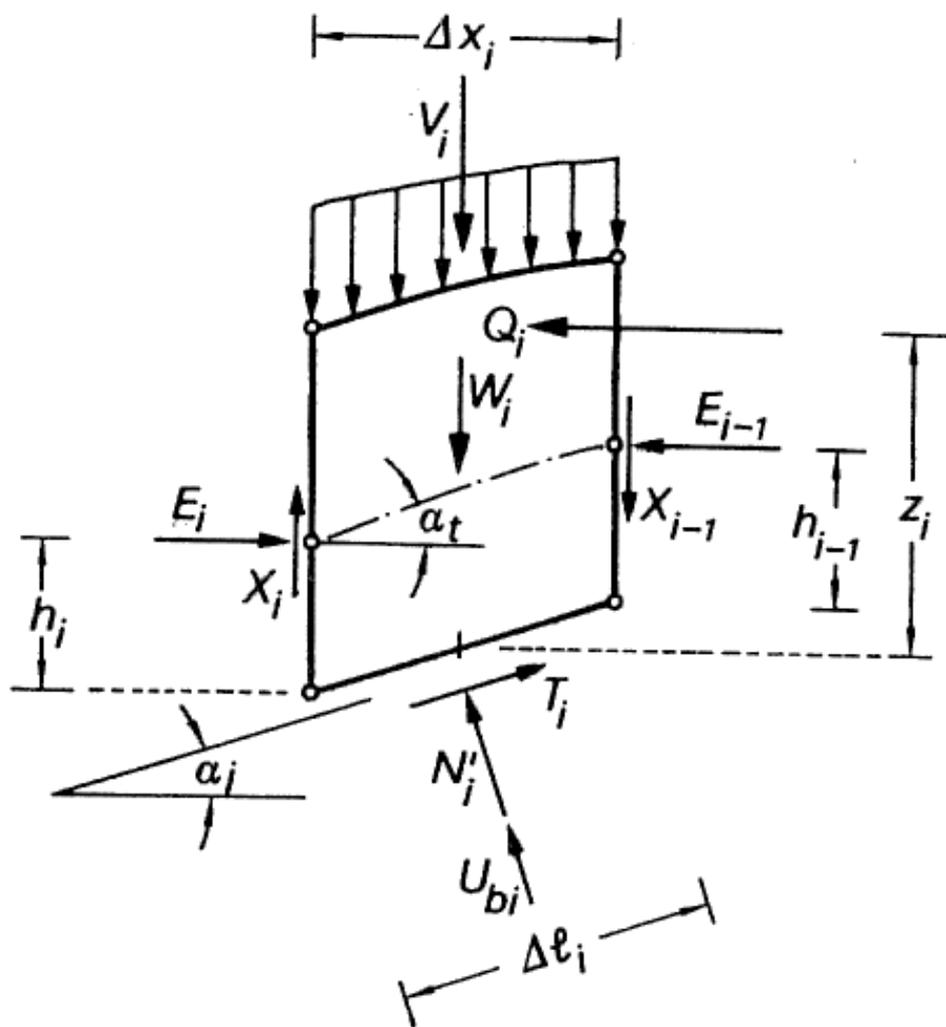
$$\sum M_i = 0$$



Janbu(1973)

$E(x)$ = interazione orizz.
Conci

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



La maggior parte
dei metodi di calcolo
Si differenziano
Per le assunzioni fatte
Per rendere il problema
staticamente determinato

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

$h_r(x)$ = posizione linea di spinta

λ = costante (variabile tra 0 e 1.25)

$f(x)$ = funzione interconco variabile tra 0 e 1

Dove:

$E(x)$ = forza interazione
orizz. (normale) Conci

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

Janbu(1973)

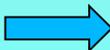
Fs → procedura di calcolo iterativa

Se si prendono in esame i soli metodi rigorosi che considerano sempre la distribuzione delle forze interne interconco E(x) e T(x) come potenzialmente non nulle e i momenti delle forze è necessario applicare speciali algoritmi di risoluzione per ottenere Fs associato a una specifica superficie.

I metodi iterativi sono i più usati ..es: Calcolo di Fs(forze)=Fs(momenti) per specifici valori di lambda (Fredlund e Krahn 1975) .

Il metodo classico ha molti fasi di iterazioni.. Ed e' molto complesso

Calcolo iterativo diretto (una sola fase di iterazioni) . (Zhu, 2005)

Fs (forze e momenti) 

Che permette di trovare anche

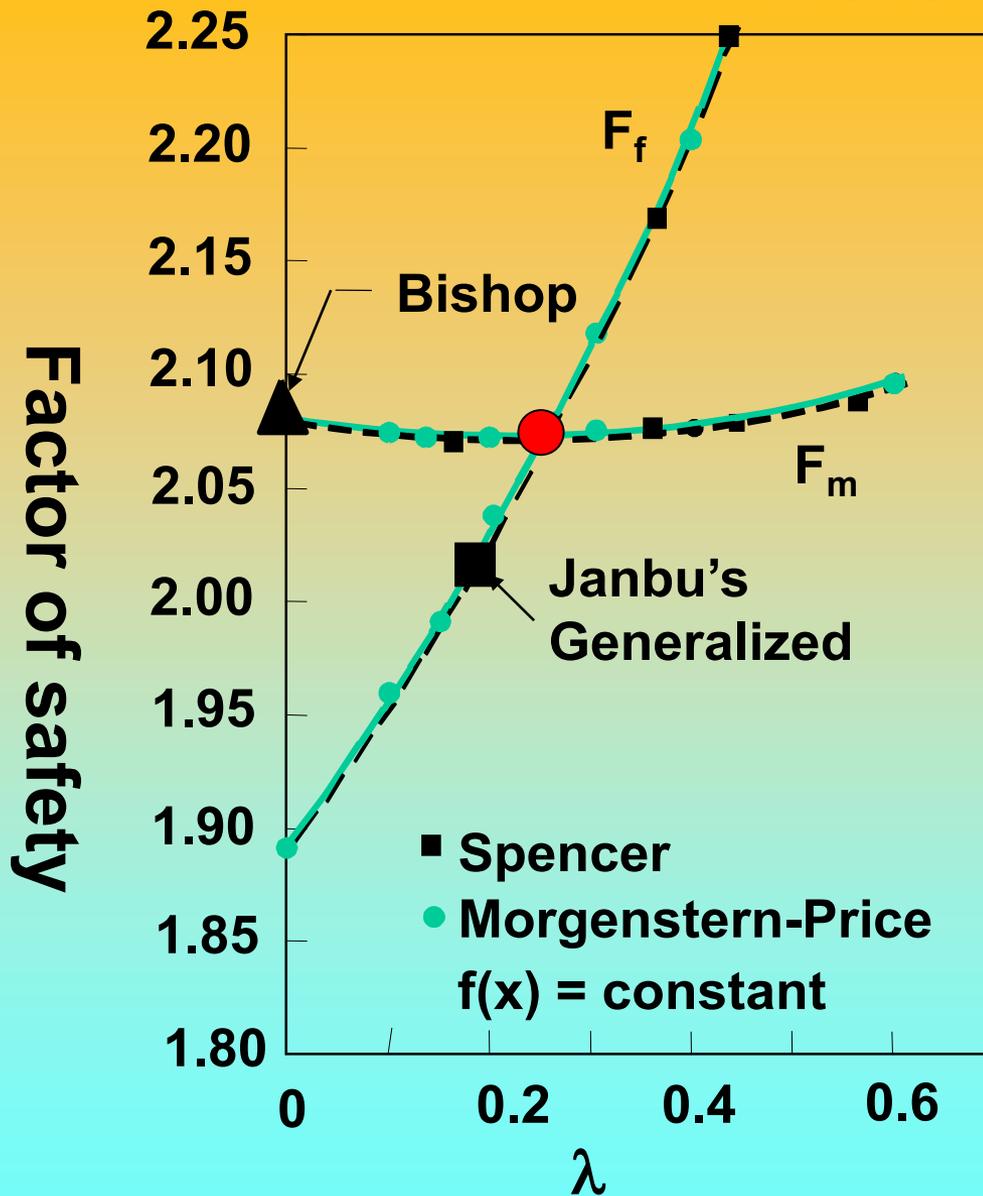
Il valore ottimale di lambda:

$h_t(x)$ = posizione linea di spinta

λ = fattore di scala (variabile tra 0 e 1.25)

$f(x)$ = funzione interconco variabile tra 0 e 1

Calcolo di Fs metodo numerico classico



Equilibrio
dei momenti
e delle forze

$$F_m = F_f$$

Per dati valori di
Lambda....

(un numero di cicli di
iterazioni elevato...)

*Da Fredlund and Krahn
(1975)*

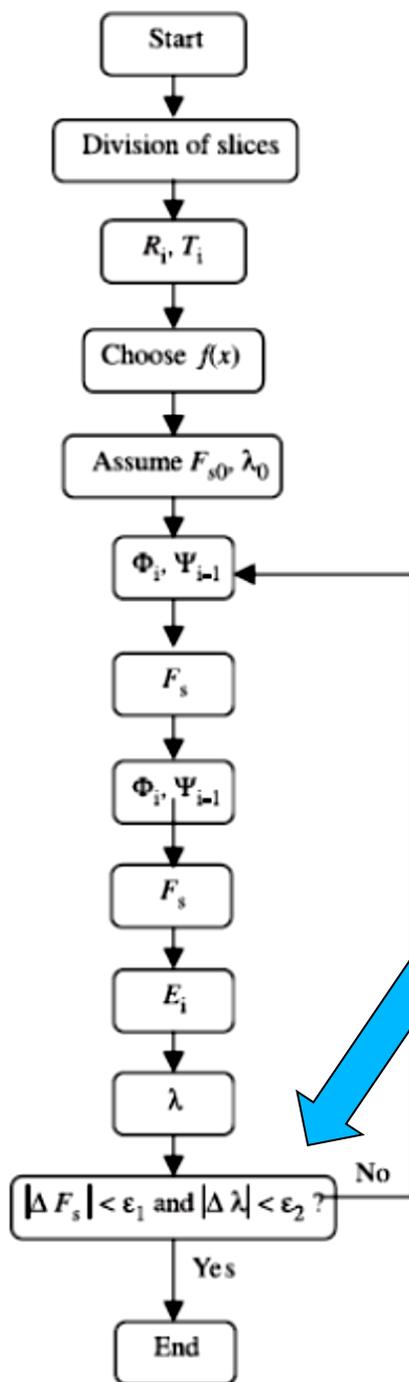
Però In SSAP 2010.. si usa un metodo molto diverso
ovvero un algoritmo di calcolo innovativo che è una evoluzione di quello proposta da Zhu (2005) per metodo di Morgestern & Price (1965).

La parte originale in SSAP è :

1) ulteriore generalizzazione del metodo di Zhu(2005)
consentendo di usare l'algoritmo anche con i vari metodi di calcolo rigorosi adottati nelle verifiche di stabilità:
(es. janbu rigoroso, spencer, sarma, morgestern, correia ..)

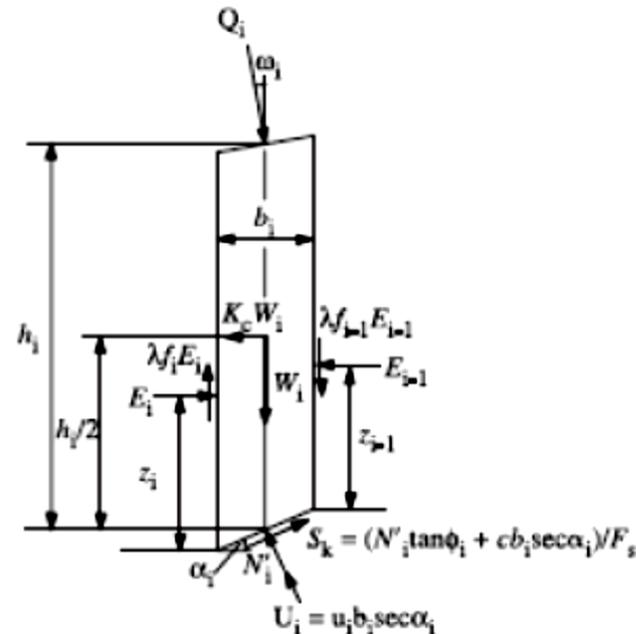
2) inclusione delle interazioni delle strutture di rinforzo
(quasi assenti nel metodo di Zhu(2005) originale)

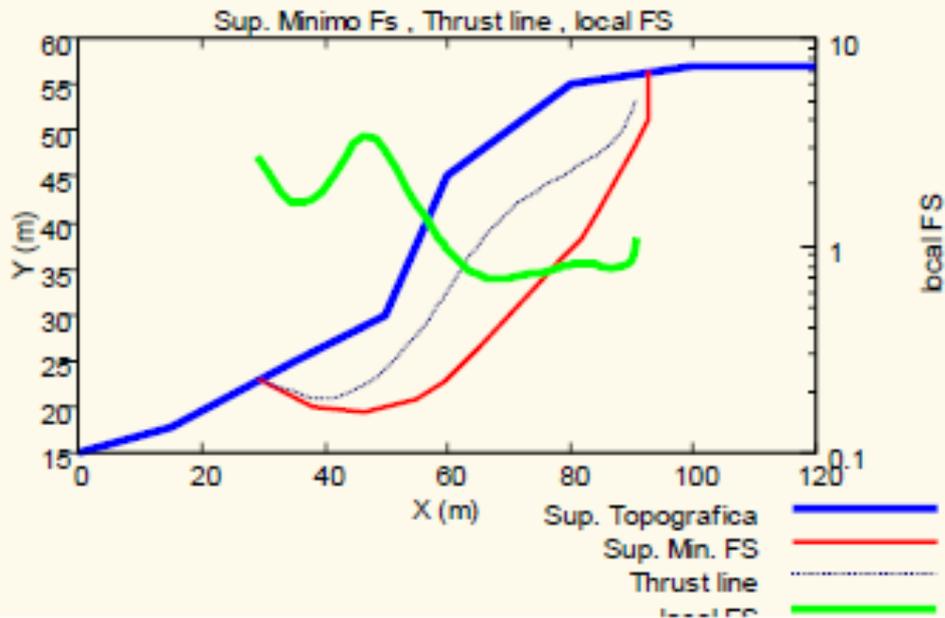
3)Fs (generale per equilibrio momenti e forze) e fattore di scala λ
sono calcolati mediante un procedimento numerico più efficiente
di quelli tradizionali che permette di controllare costantemente
La significativita' fisica delle soluzioni....



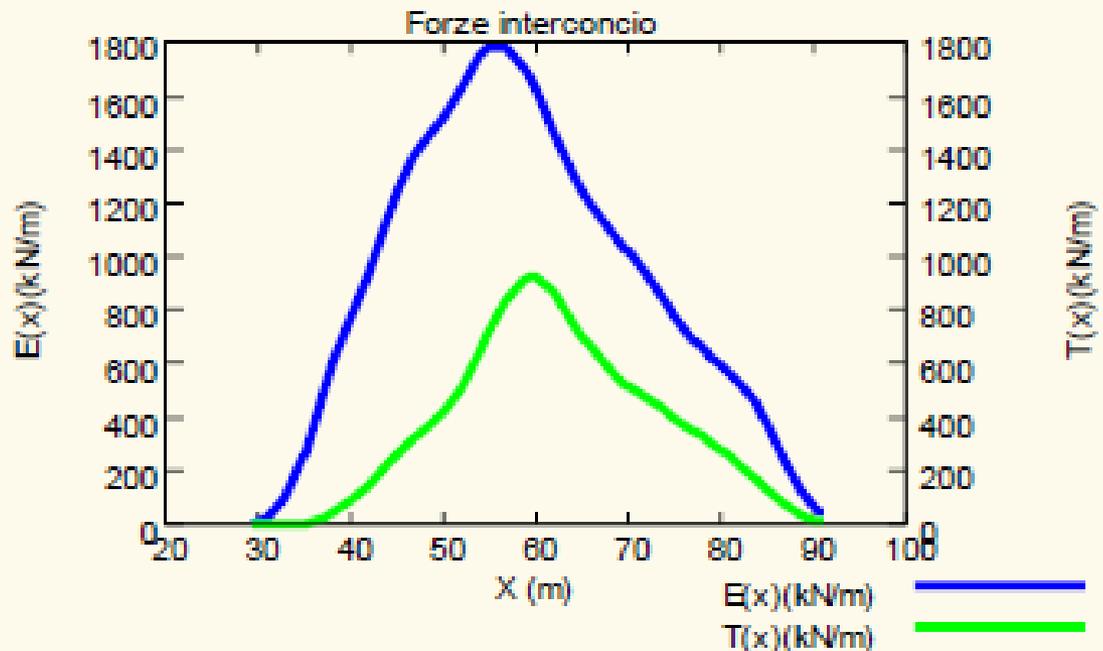
Una singola fase di iterazioni
 Per la determinazione di F_s
 e λ (da Zhu 2005),
 Adottato e generalizzato
 In SSAP2010:

Un solo ciclo di iterazioni
 Per F_s e λ + un novita' assoluta
 che si adotta per filtrare le soluzioni non
 fisicamente possibili !! (originale dal
 SSAP 4.5.0)





**Durante la ricerca della soluzione
Fs e lambda
Vengono anche ottenute
La distribuzione delle forze
E(x) e T(x)**



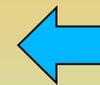
Metodi che garantiscono

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

$$\sum H_i = 0$$

tabella 2.1: relazione funzionale che esprime $T(x)$ per i vari modelli di calcolo implementati in SSAP

Gruppo	Modello di calcolo adottato per la risoluzione di FS	Relazione funzionale che esprime $T(x)$
1	Spencer (1967,73)	$T(x) = \lambda E(x)$
1	Sarma I (1973)	$T(x) = \frac{\lambda}{F_s} \left\{ \bar{c} H(x) + \left[(E(x) - P_w(x)) \tan \bar{\varphi}' \right] \right\}$
2	Morgestern & Price (1965)	$T(x) = \lambda f(x) E(x)$
2I	Chen -Morgestern (1983)	$T(x) = [\lambda f(x) + f_0(x)] E(x)$
2	Borselli(2016) ¹	$T(x) = \lambda [f(x) + f_1(x)] E(x)$
2	Sarma II (1979)	$T(x) = \frac{\lambda}{F_s} f(x) \left\{ \bar{c} H(x) + \left[(E(x) - P_w(x)) \tan \bar{\varphi}' \right] \right\}$
3	Janbu Rigoroso (1973) ²	$T(x) = E(x) \tan \alpha_i + h_i \frac{dE(x)}{dx} - h_q \frac{dQ}{dx} + 0.5 K_c H \frac{dW}{dx}$



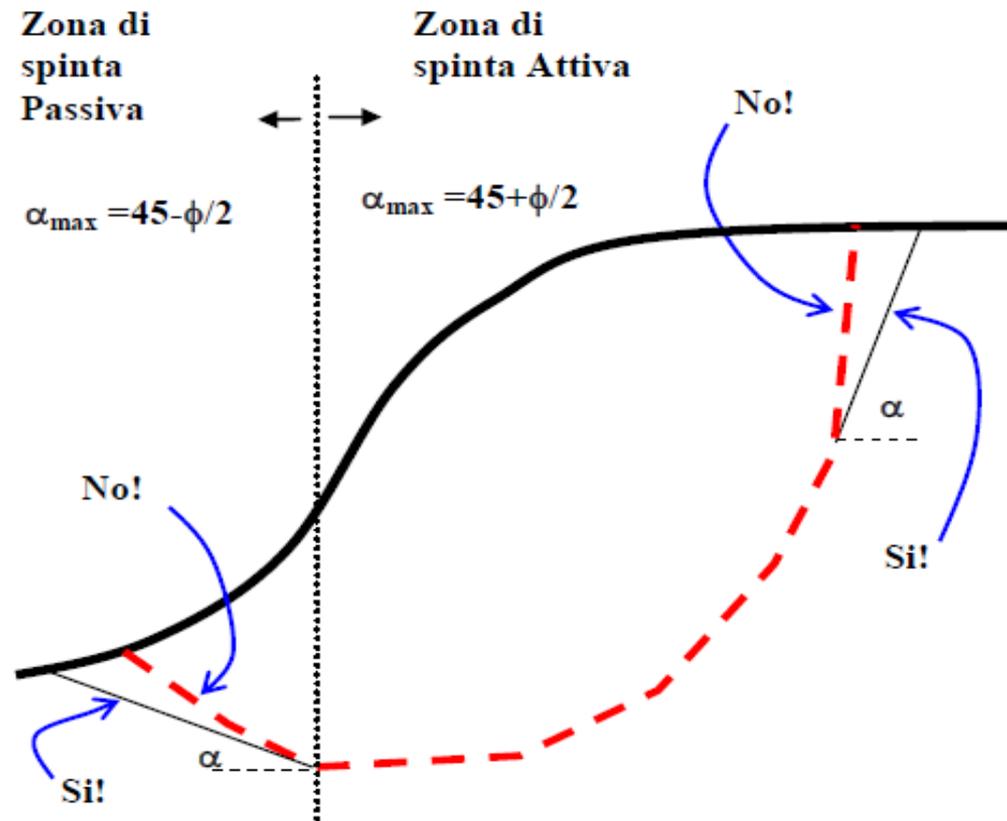
I 7 metodi di calcolo rigorosi presenti in SSAP



Nuovo !

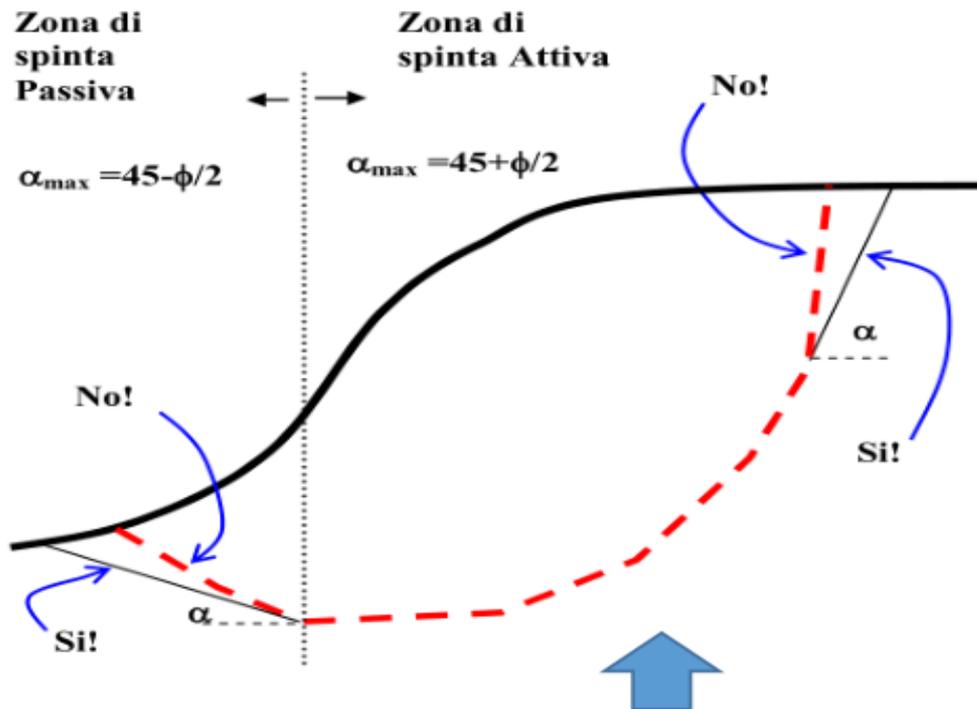
Fonte: manuale SSAP 4.9.8

Verifica della accettabilità delle superfici prima del calcolo



Limitazioni nella forma delle superfici di scivolamento

Per evitare problemi numerici con superfici non cinematicamente possibili



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

Some difficulties associated with the limit equilibrium method of slices

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

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

Received February 15, 1983

Accepted July 11, 1983

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

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

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

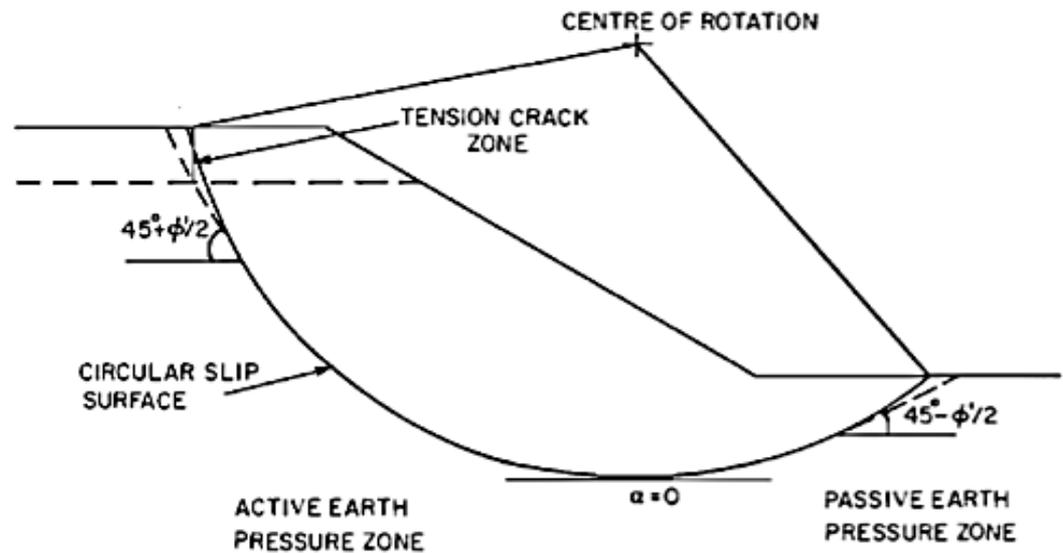


FIG. 4. Soil slope divided into active and passive earth pressure zones.

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

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

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

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

↑

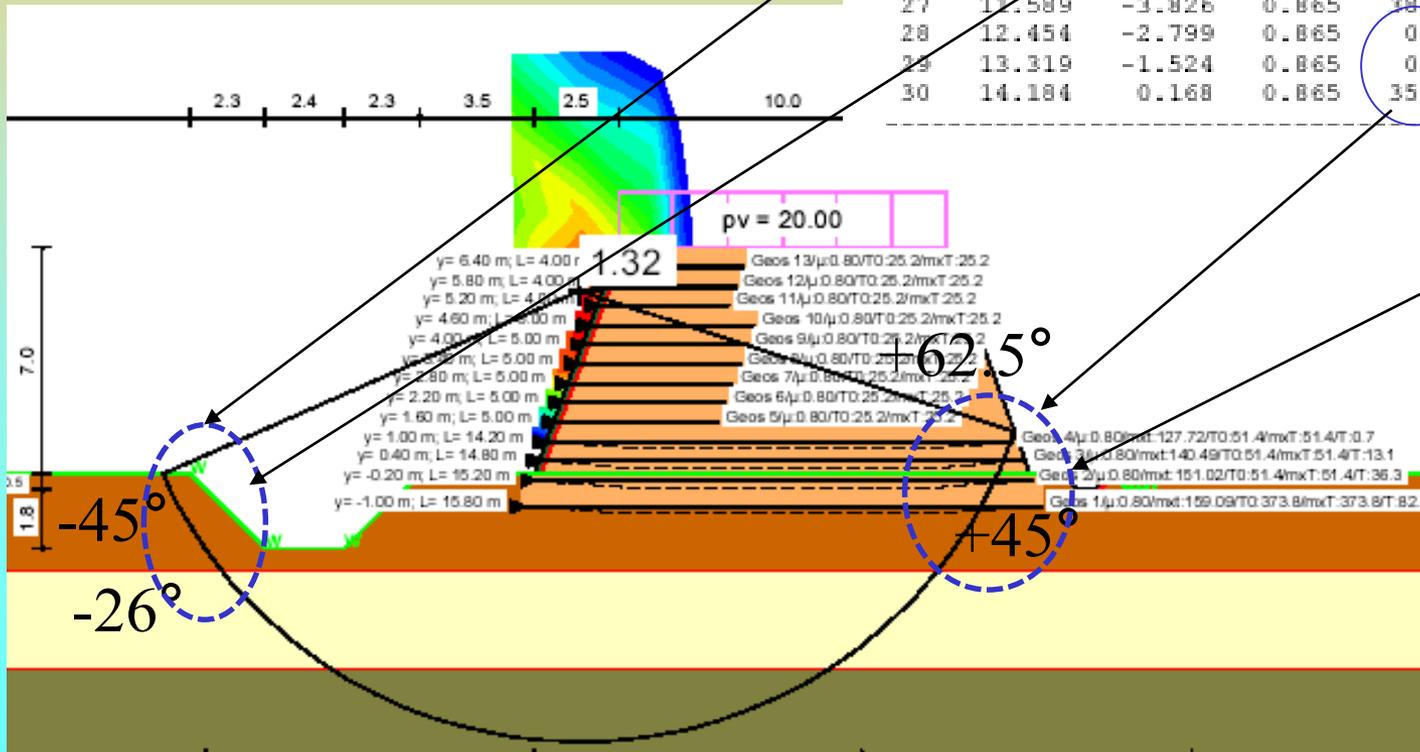
←

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

Significatività dei risultati:

Forma e inclinazione locale delle superfici

Esempio di violazione sistematica



No.	x [m]	y [m]	b [m]	phi [°]	c [kN/m ²]	FWD [-]	tet [°]
1	-10.902	-0.889	0.865	0.1	35.0	0.00	-62.0
2	-10.037	-2.305	0.865	0.1	35.0	0.00	-55.2
3	-9.172	-3.423	0.865	38.0	0.0	0.00	-49.4
4	-8.307	-4.343	0.865	38.0	0.0	0.00	-44.2
5	-7.442	-5.115	0.865	38.0	0.0	0.00	-39.4
6	-6.577	-5.771	0.865	38.0	0.0	0.00	-34.9
7	-5.712	-6.328	0.865	0.1	30.0	0.00	-30.7
8	-4.847	-6.800	0.865	0.1	30.0	0.00	-26.6
9	-3.982	-7.197	0.865	0.1	30.0	0.00	-22.7
10	-3.117	-7.526	0.865	0.1	30.0	0.00	-18.9

21	8.399	-7.342	0.865	0.1	30.0	0.00	21.1
22	7.264	-6.974	0.865	0.1	30.0	0.00	25.0
23	8.129	-6.534	0.865	0.1	30.0	0.00	29.0
24	8.994	-6.013	0.865	0.1	30.0	0.00	33.1
25	9.859	-5.400	0.865	38.0	0.0	0.00	37.5
26	10.724	-4.680	0.865	38.0	0.0	0.00	42.1
27	11.589	-3.826	0.865	38.0	0.0	0.00	47.1
28	12.454	-2.799	0.865	0.1	35.0	0.00	52.7
29	13.319	-1.524	0.865	0.1	35.0	0.00	59.0
30	14.184	0.168	0.865	35.0	0.0	0.00	66.8

su ammasso roccioso,
arenarie della serie
toscana

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

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

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

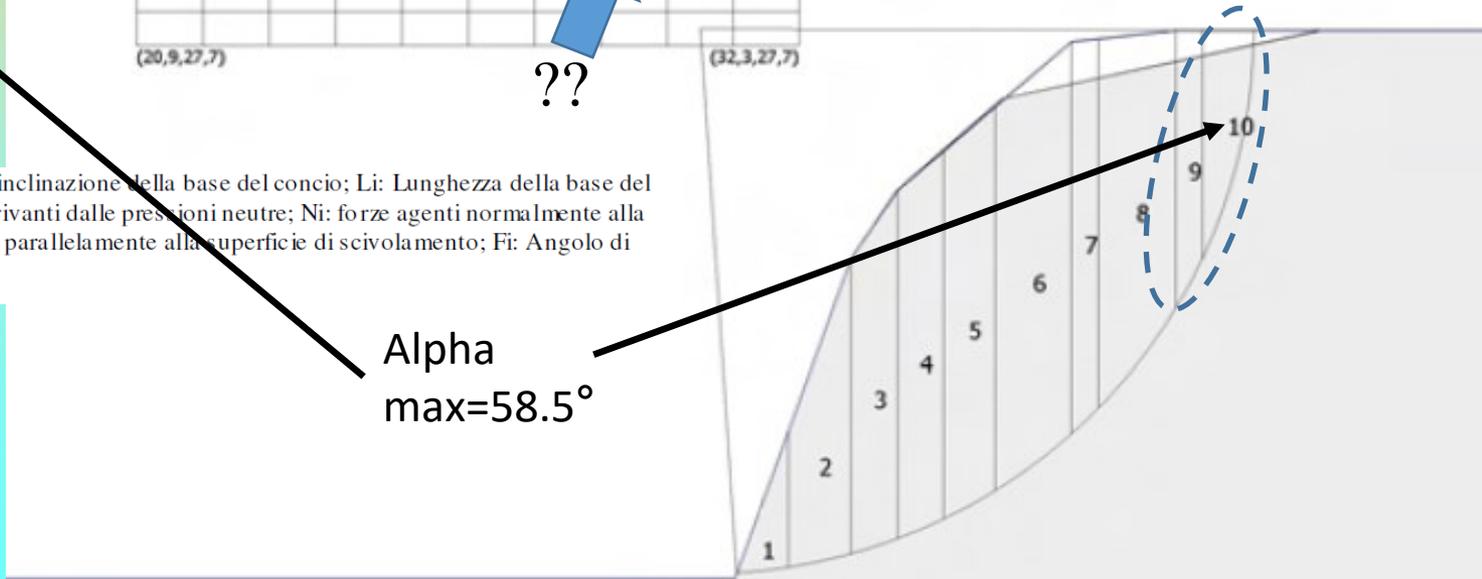
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,89	6,5	0,9	2119,81	198,41	99,21	0,8	27,5	1197,5	595,7	4077,2
2	1,07	12,5	1,1	8016,86	750,38	375,19	0,8	27,5	3783,2	2817,4	5585,9
3	0,8	18,3	0,84	8884,88	831,63	415,81	0,8	27,5	5627,6	3109,8	4552,5
4	0,8	23,5	0,87	9904,18	927,03	463,52	0,8	27,5	6269,5	3272,4	4729,5
5	0,89	29,2	1,02	11579,72	1083,86	541,93	0,8	27,5	6585,0	3506,3	5439,1
6	1,31	37,1	1,64	17577,19	1645,23	822,61	0,8	27,5	6822,7	4474,9	8419,4
7	0,47	44,1	0,66	6196,03	579,95	289,97	0,8	27,5	6654,6	1139,2	3196,9
8	1,33	52,6	2,18	14987,36	1402,82	701,41	0,8	27,5	5752,4	-243,0	9448,3
9	0,46	62,1	0,98	3991,82	373,63	186,82	0,8	27,5	4451,4	-2502,3	3542,7
10	0,89	77,5	4,1	4994,12	467,45	233,73	0,8	27,5	2848,9	-30379,3	9277,2

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



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

Alpha
max=58.5°



AMENTO PARCHEGGIO su argilliti (rocce tenere)
suolo residuale.
MICOPALI E TIRANTI..

isti
e diversi

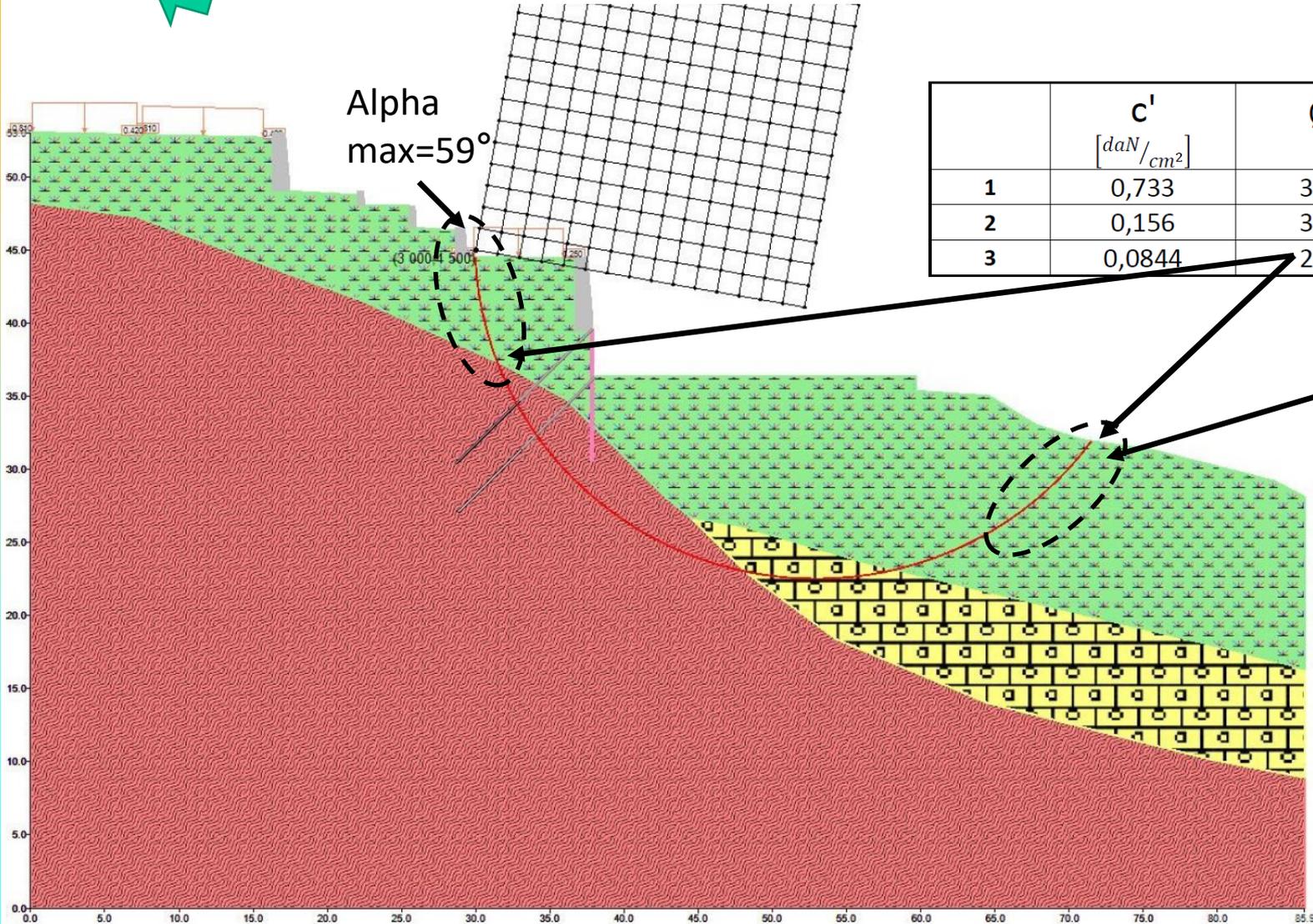
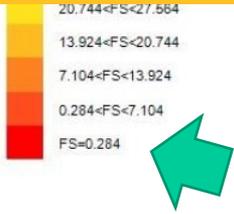
ori (secondo me...) nei software utilizzati....

Caso di AMPLIAMENTO PARCHEGGIO su argilliti (rocce tenere)
e copertura di suolo residuale.
BERLINESE DI MICOPALI E TIRANTI..

- Due progettisti
- Due Software diversi

.... ma stessi errori (*secondo me...*) nei software utilizzati....

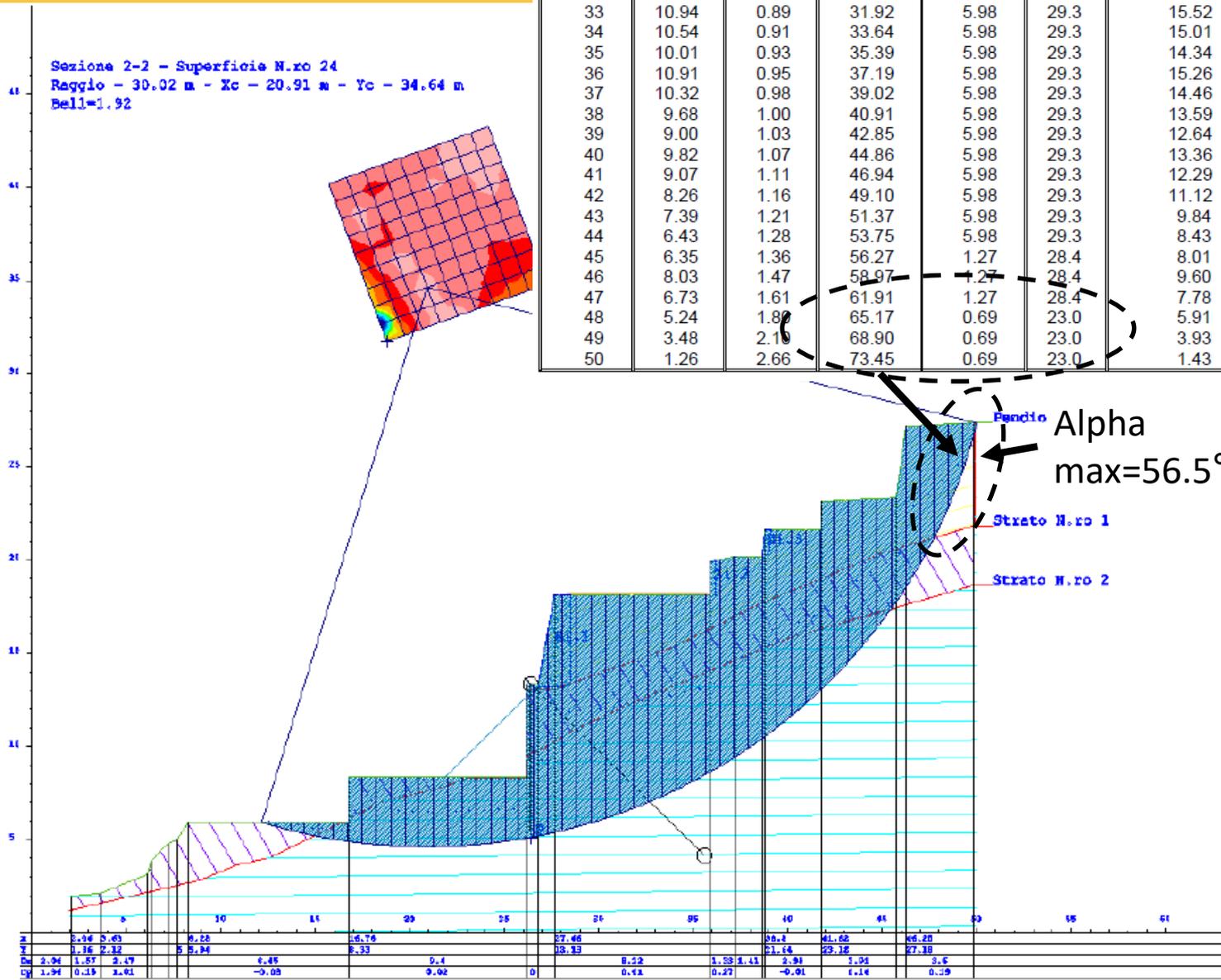
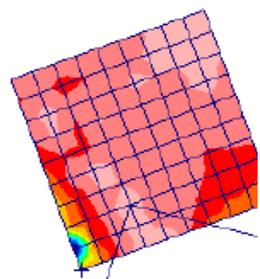
- 1- Materiale litoide da fratturato ad integro;
- 2- Stratificazioni disarticolate e sequenze disordinate di argilliti molto fessurate ed alterate in argille con giunti di rottura. In qualche caso struttura caotica;
- 3- Suoli residuali e colluviali con frammenti di rocce più o meno alterate in matrice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



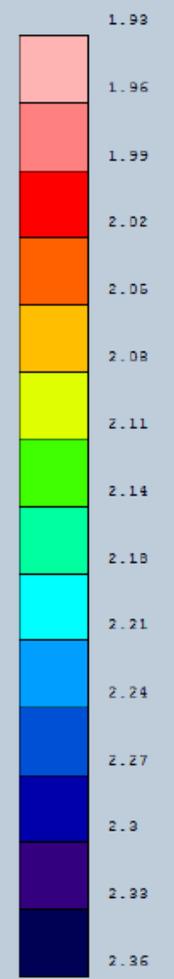
	c' [daN/cm ²]	ϕ	γ [KN/m ³]
1	0,733	35°	21
2	0,156	34°	19,1
3	0,0844	28°	14,9

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

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



COEFFICIENTI SICUREZZA
 Valori Medi



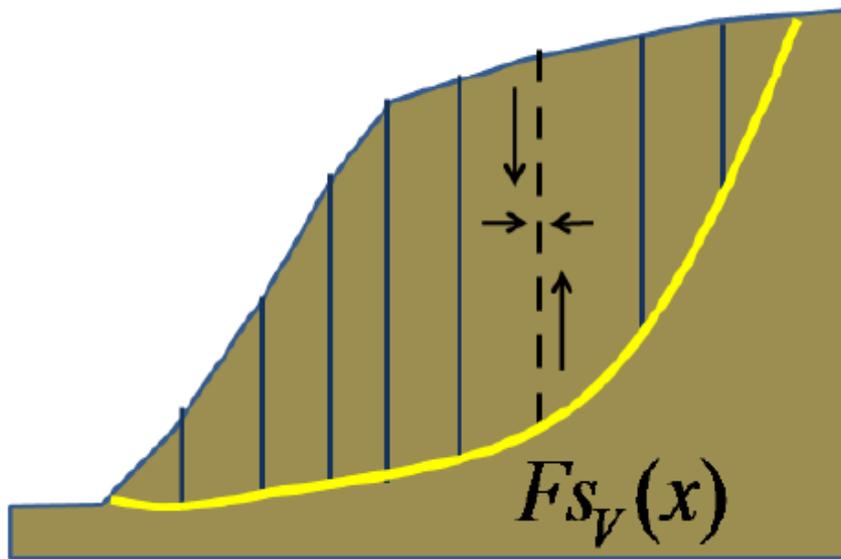
z	3.34	0.63	0.28	0.76	27.46	38.2	41.62	46.25
y	1.16	2.32	5.24	8.33	10.33	11.44	12.18	12.38
Da	2.94	1.85	2.47	4.45	6.22	7.83	9.01	9.6
Cy	1.94	0.15	2.61	-0.05	0.92	0	0.41	0.39

Per dettagli su questo tema .. Vedasi il video sul Mio canale di YOUTUBE (canale LORENZO BORSELLI) :

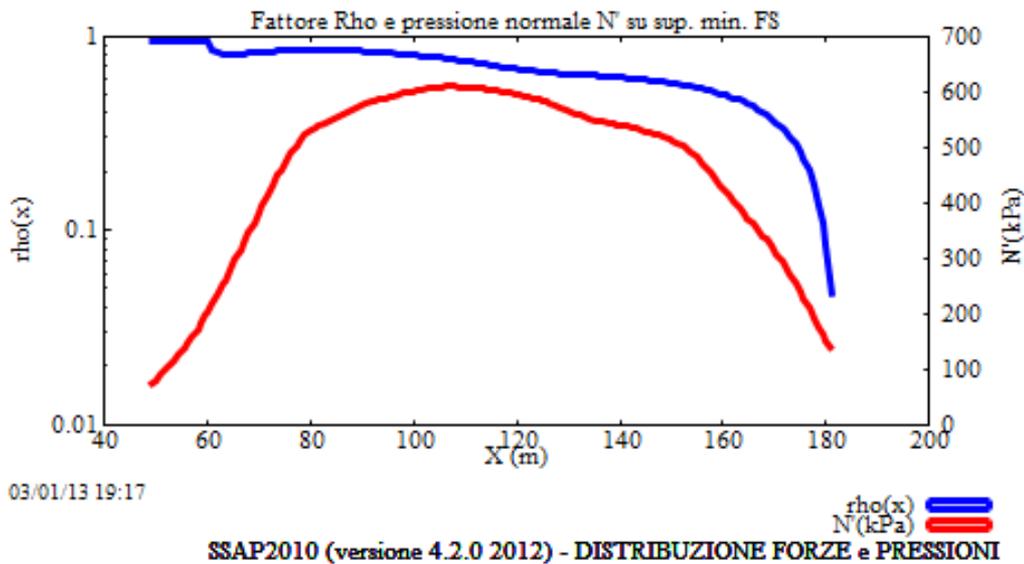
Sono sempre le sole superfici circolari quelle con minor FS ?? - Video 7 (21:22 min)

Ulteriori Problemi numerici e di convergenza

- Numero insufficiente (o eccessivo..) di conci che dividono la massa scivolante
- Funzioni dE/dx e altre derivate (metodo di Janbu)
- Sovrappressioni negative (in aree con basso peso unitario terreno, basso c' , basso W e forti spinte idrostatiche)
- Pressioni normali alla sup. di scivoolamento, negative
- Tension cracks (forze di trazione in zone sommitali dei pendii con $C', C_u > 0$)
- + molti altri... **fattore $Rho(x)$ e $Fv(x)$..**



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



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

Perché sia staticamente e cinematicamente accettabile il valore di FS calcolato, secondo diversi studi (Sarma ,1973;Sarma e Tan. 2006) è **necessario** che all'interno della massa potenzialmente scivolante sia **sempre verificato**:

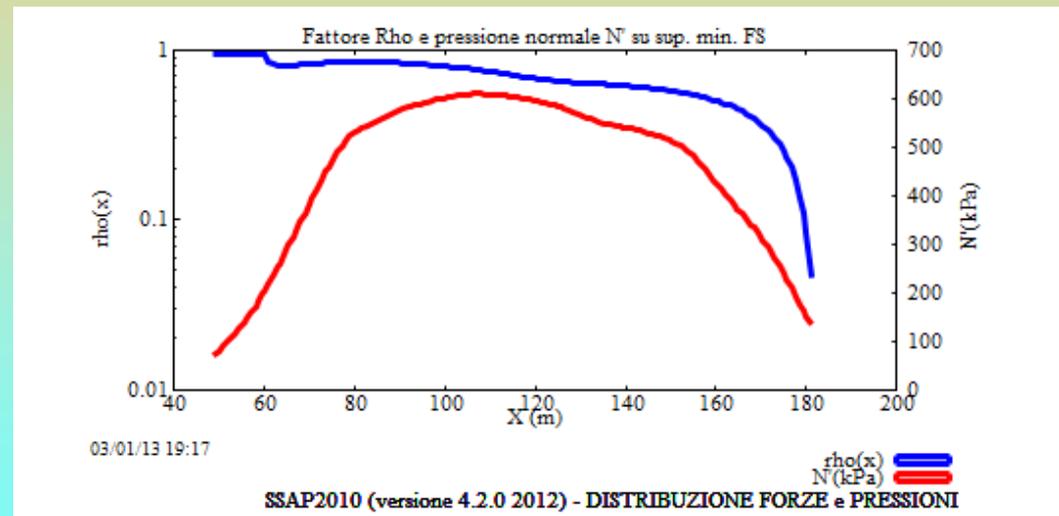
$$F_{S_v} = \frac{c' H(x) + [E(x) - U_v(x)] \tan \bar{\phi}'}{T(x)} > 1.0$$

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

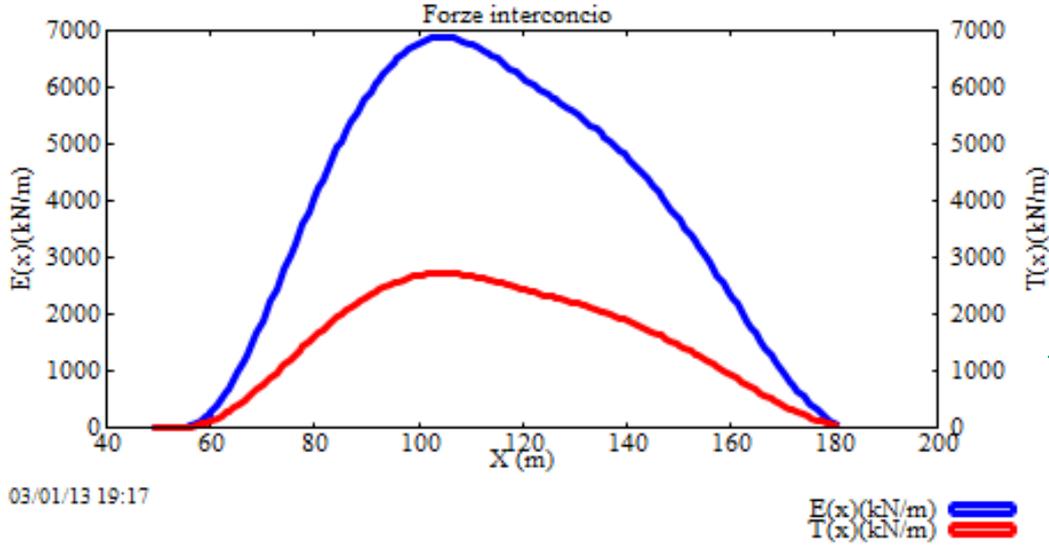
$$Rho(x) = \left| \frac{F_S}{F_{S_v}(x)} \right| < 1.0$$

ovvero

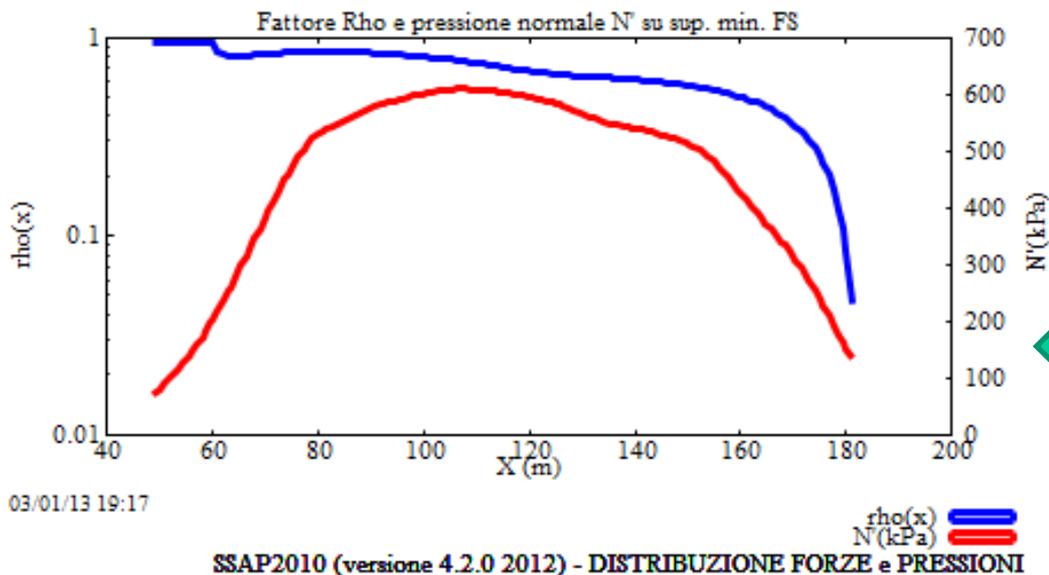
$$|F_S| < |F_{S_v}(x)|$$



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

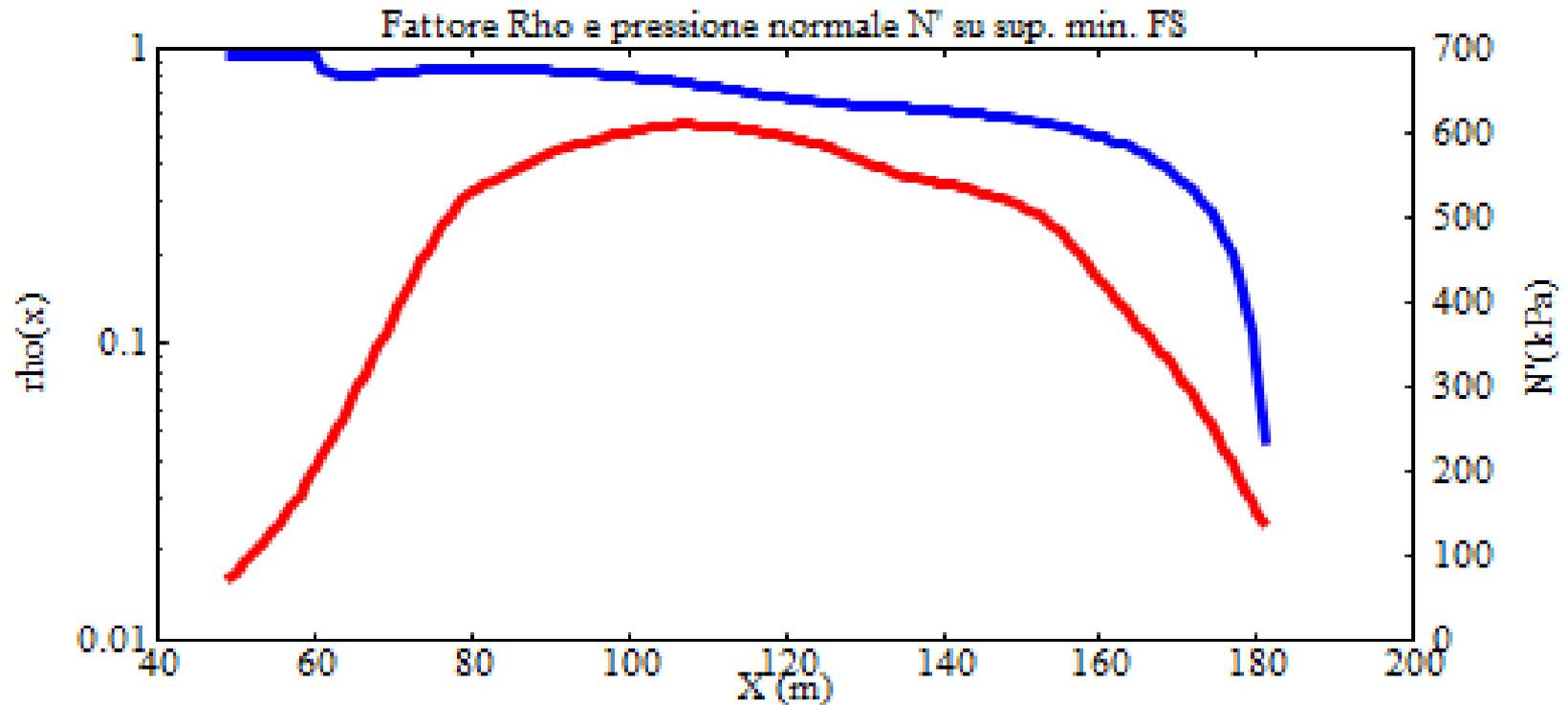


Distribuzione Funzione
forze interconcorso $E(x)$
 $T(x)$



Distribuzione $\rho(x)$ e
 $N'(x)$ (stress normale
Efficace sulla superficie di
Scivolamento)

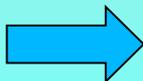
Esempio di *Sarma*
e *Tan* (2006) in SSAP 4.2.0



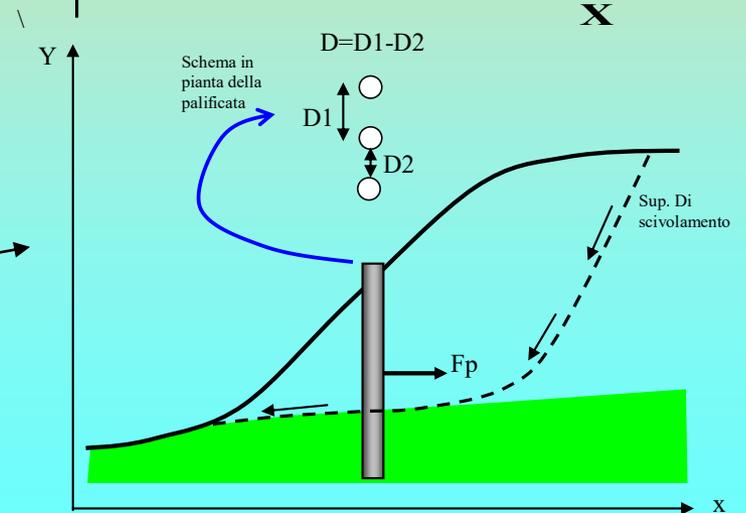
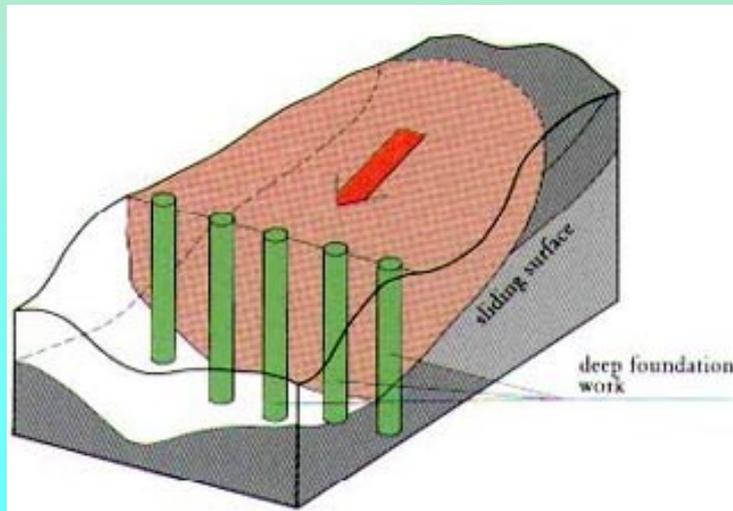
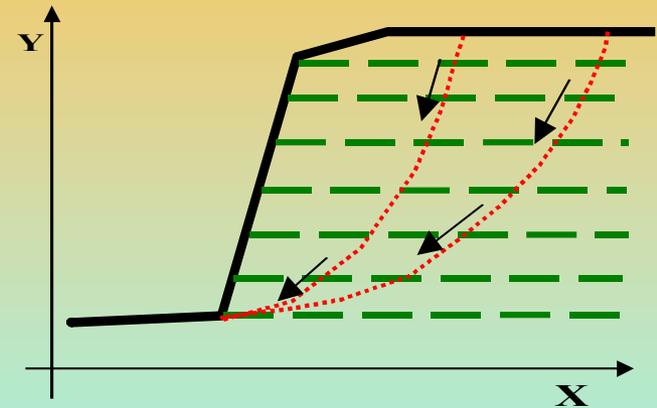
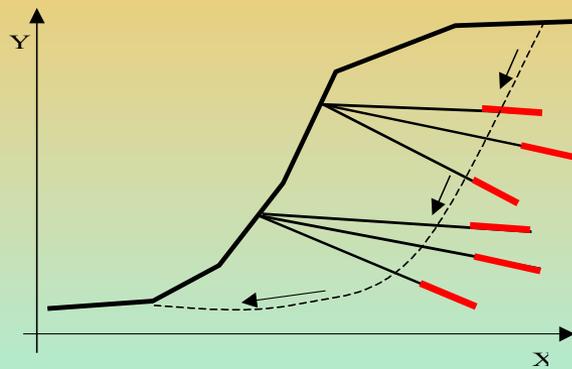
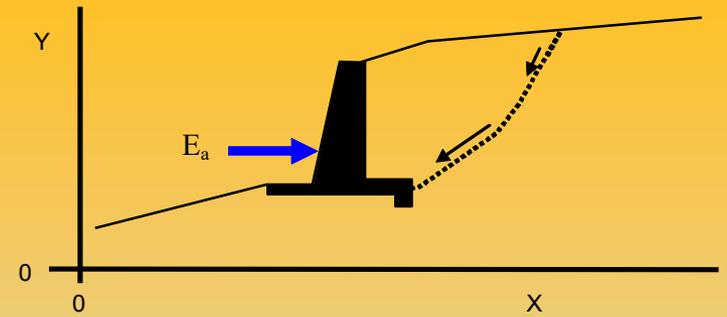
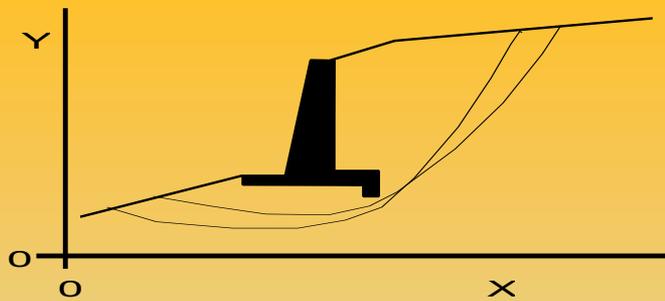
03/01/13 19:17

rho(x) 
 N'(kPa) 

SSAP2010 (versione 4.2.0 2012) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

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

Tipi strutture di rinforzo in un pendio -1



Validazione codice SSAP SSAP2010...

**Documento di Validazione
del codice SSAP**

(versione 1.4 del 16/06/2019)

Documento in formato PDF(7.2 MB)

Conclusioni- Caratteristiche di base di SSAP

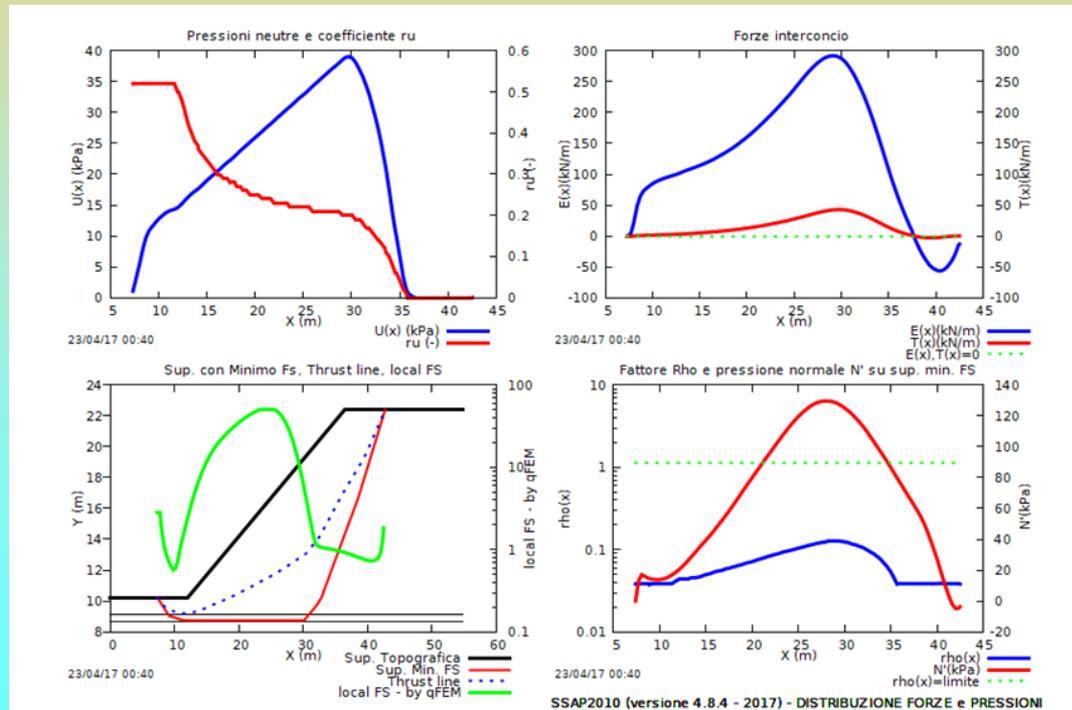
Alcune delle fasi di una verifica di stabilità dei pendii rivestono un ruolo molto più importante di quello che comunemente ci si aspetta:

1. **Modello 2D del pendio: geometria, idraulica, geomeccanica**
2. **Motore di generazione delle superfici: Tipo, forma, numero, area di ricerca**
3. **Criteri di accettazione superfici (stabilità numerica e significato geomeccanico e fisico) +(filtri di post generazione, pendenza locale) ne parleremo ancora con esempi pratici..**
4. **Interazione con strutture di rinforzo (ne parleremo più avanti)**

Per maggiori dettagli sull'uso del programma vedasi la documentazione di SSAP 2010 in formato PDF (manuale`ssap2010.pdf`) scaricabile dal sito:

<https://www.ssap.eu>

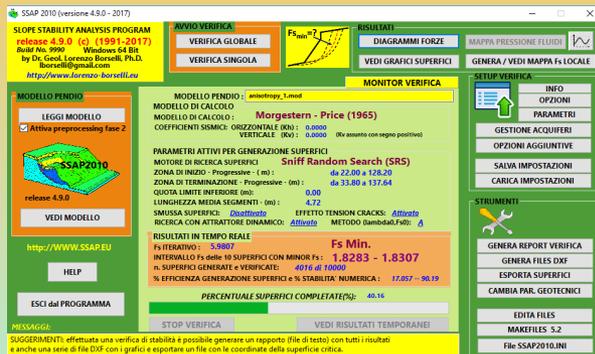
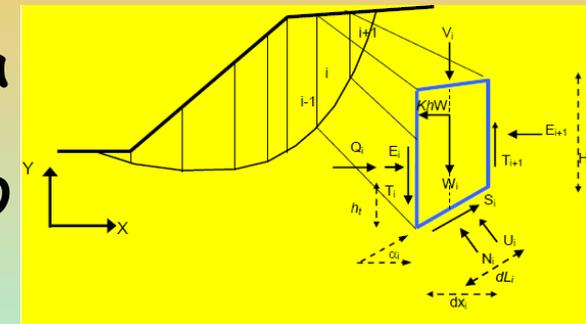
o scrivere a: lborselli@gmail.com



Descrizione più approfondita delle funzionalità di SSAP2010

Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D
Universidad Autónoma de San Luis

Potosi -UASLP
Instituto de Geología
Facultad de Ingeniería.
San Luis Potosí, MEXICO



E_mail:
lborselli@gmail.com
lorenzo.borselli@uaslp.mx

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



Lorenzo Borselli – Introduzione al codice SSAP2010(freeware) (2021)

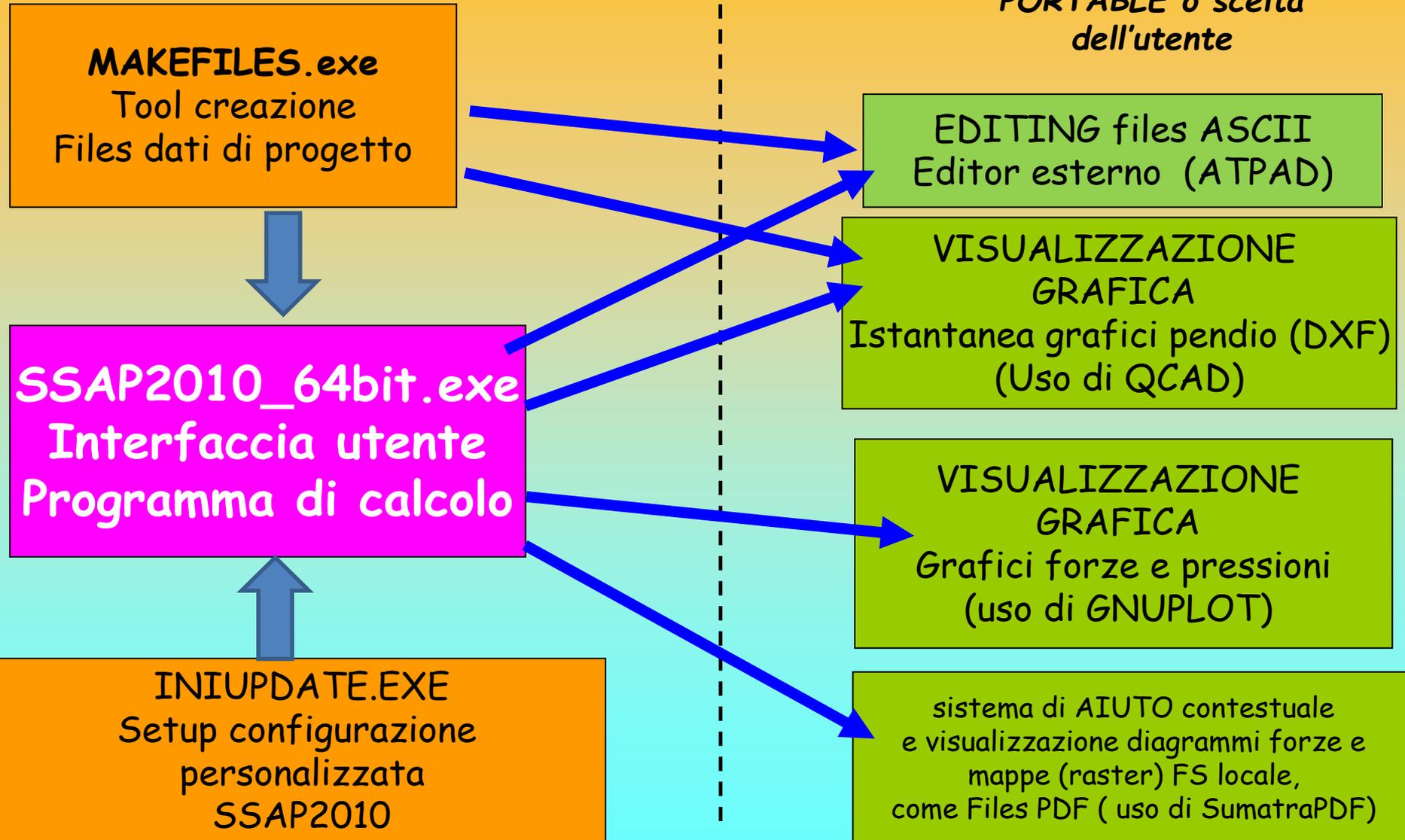


Struttura del software

SSAP 2010 (rel. 5.0.2)

software SSAP2010

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



Fasi di lavoro con SSAP 2010

1. Definizione modello del pendio (fase preliminare , la più importante).. Questa viene fatta fuori dal programma SSAP...
2. Creazione files dati e assemblaggio file .MOD (con MAKEFILE.EXE 64 bit)
3. Impostazioni Verifica di stabilità e Verifiche stabilità secondo diversi scenari (SSAP2010_64bit)
4. Visualizzazione ed analisi dei risultati (grafici DXF e grafici forze .. Programmi esterni comandati da SSAP)
5. Revisione modello del pendio (se vi è necessità) ,anche per valutare scenari diversi, e poi ripetere i passi da 2 a 4 se necessario
6. Reporting (scrittura report + file DXF pendio e superfici FS minimo, grafici forze e pressioni interne)

Domanda:

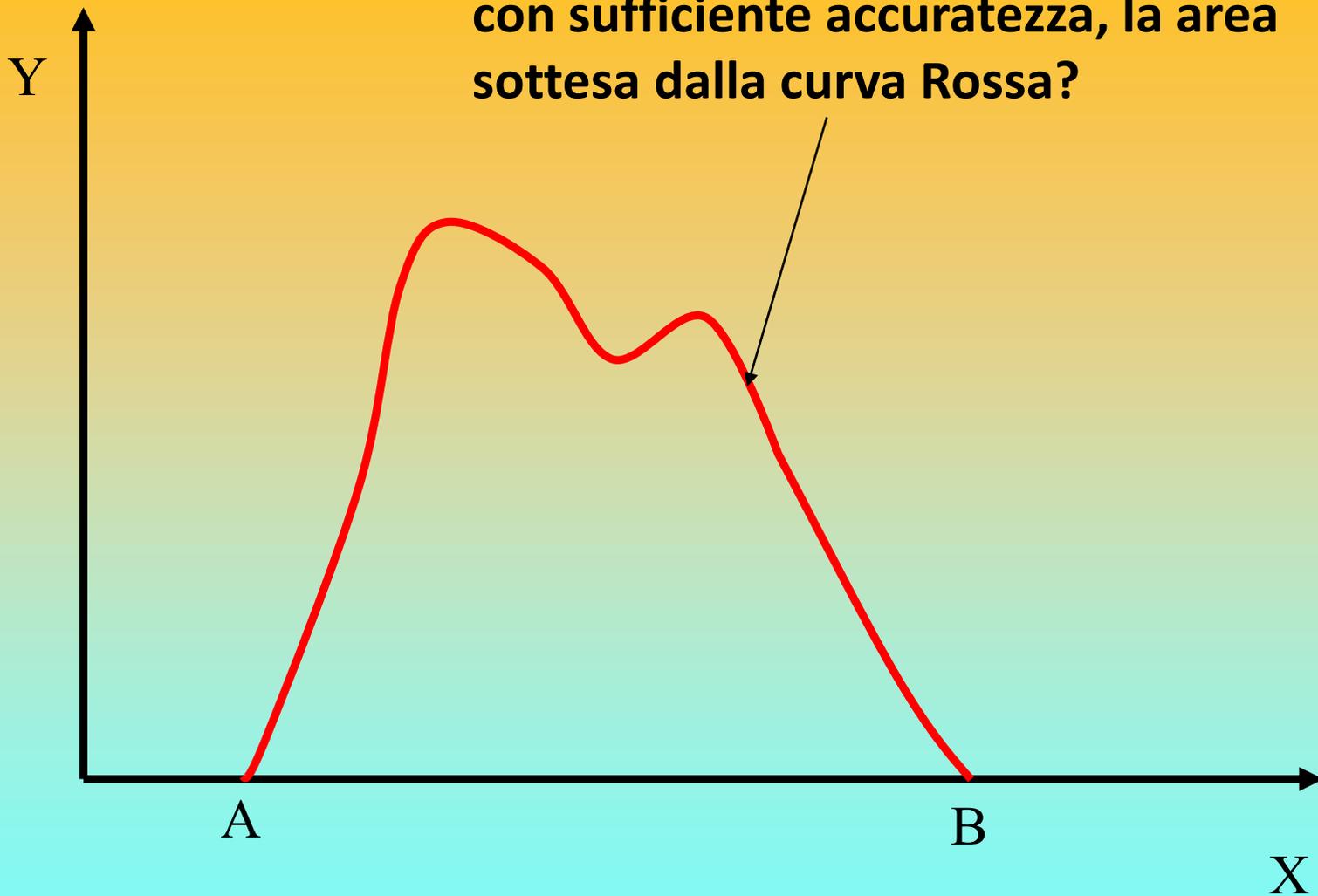
Perche' se ripeto una verifica, nella successiva, a volte non ottengo lo stesso esatto risultato?

Risposta:

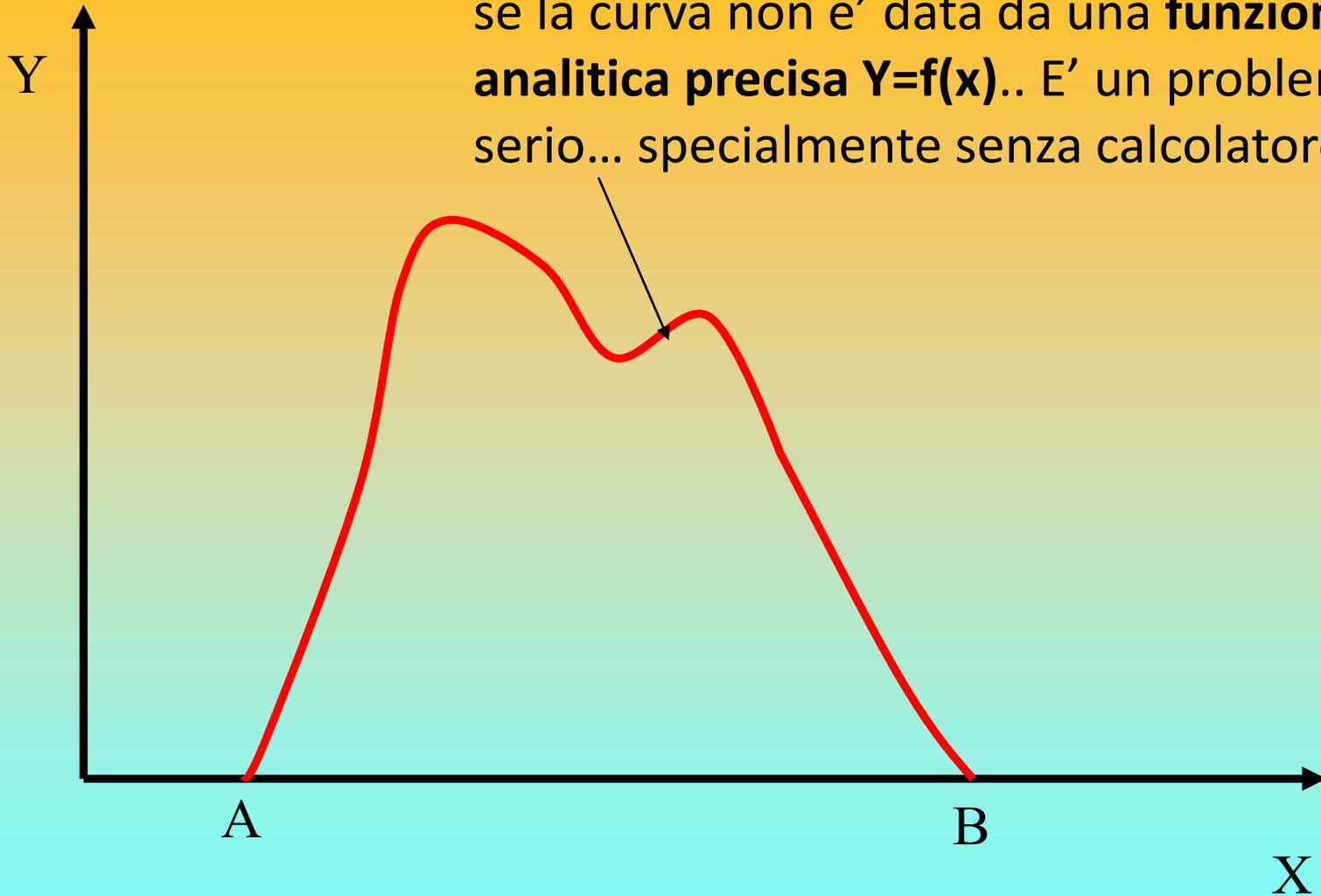
E' insito nella metodologia Monte Carlo, su cui si basa SSAP per la generazione delle superfici di potenziale scivolamento, che sia necessario un numero statisticamente significativo di superfici per avere una riproducibilità con una differenza di Fs minore di una certa percentuale (es. $<1\%$ o 0.1%) tra una sessione di verifica e la successiva, sempre che si operi nelle stesse condizioni iniziali..

Vediamo un esempio per comprendere il concetto base delle tecniche Monte Carlo, che sfruttano diverse tecniche di generazione di numeri casuali utilizzate nella simulazione di processi fisico-matematici complessi, per risolvere problemi di calcolo numerico complessi.. (Es. integrazione numerica , o analisi probabilistica..)

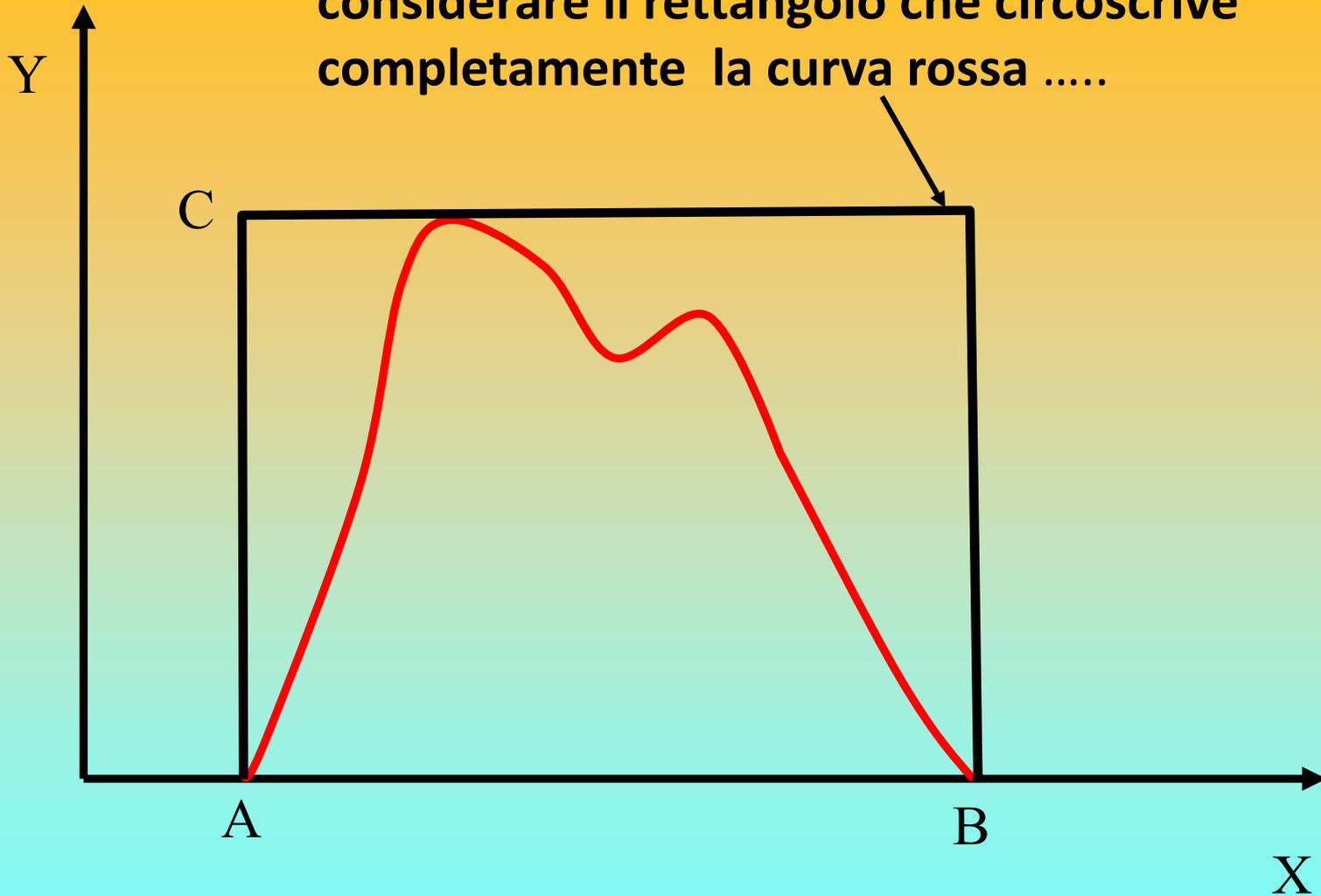
Come fare a calcolare fácilmente, e con sufficiente accuratezza, la area sottesa dalla curva Rossa?



Ci sono moltissimi metodi di integrazione ma se la curva non e' data da una **funzione analitica precisa $Y=f(x)$** .. E' un problema serio... specialmente senza calcolatore..

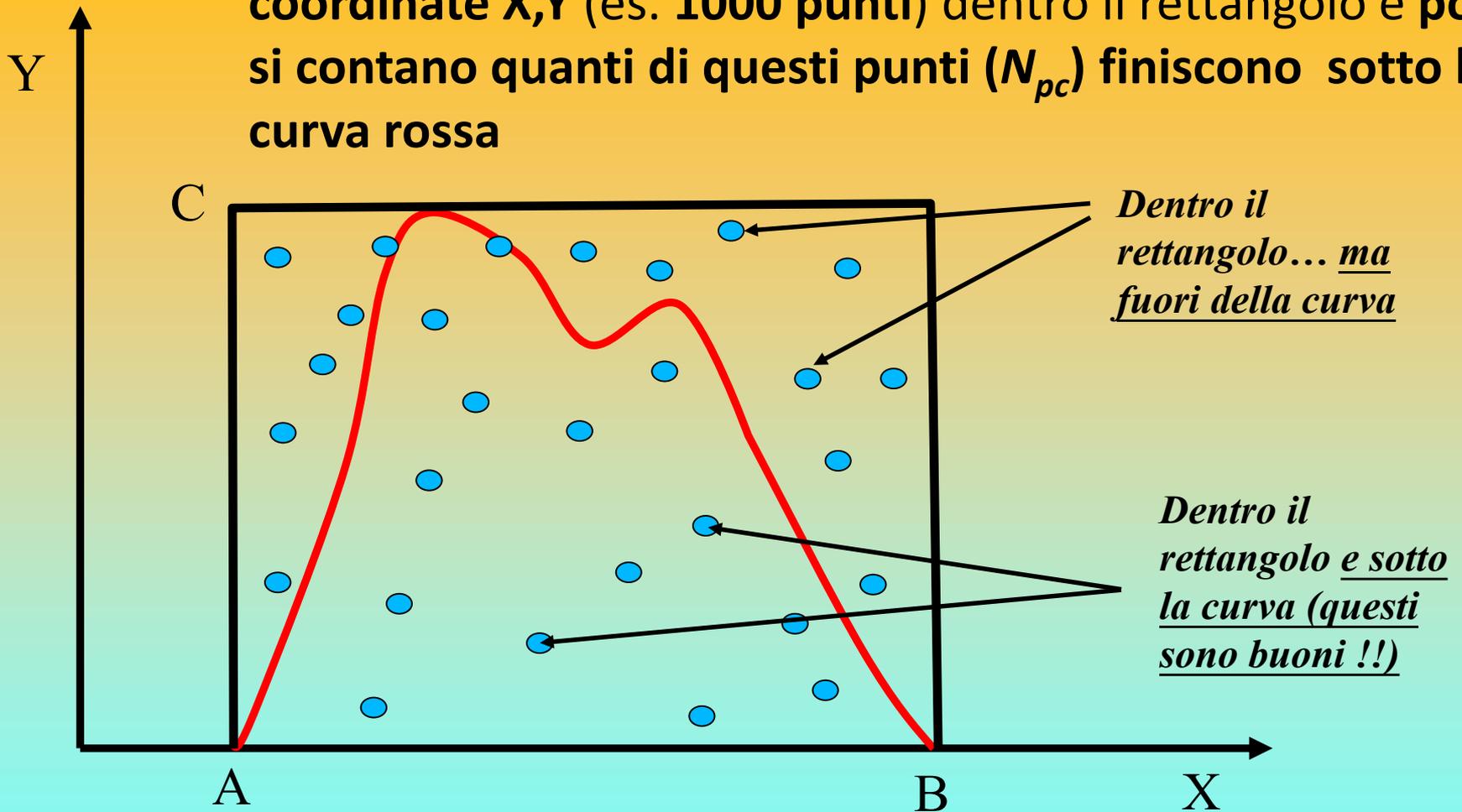


Una interessante possibilita' e' 1)
considerare il rettangolo che circoscrive
completamente la curva rossa



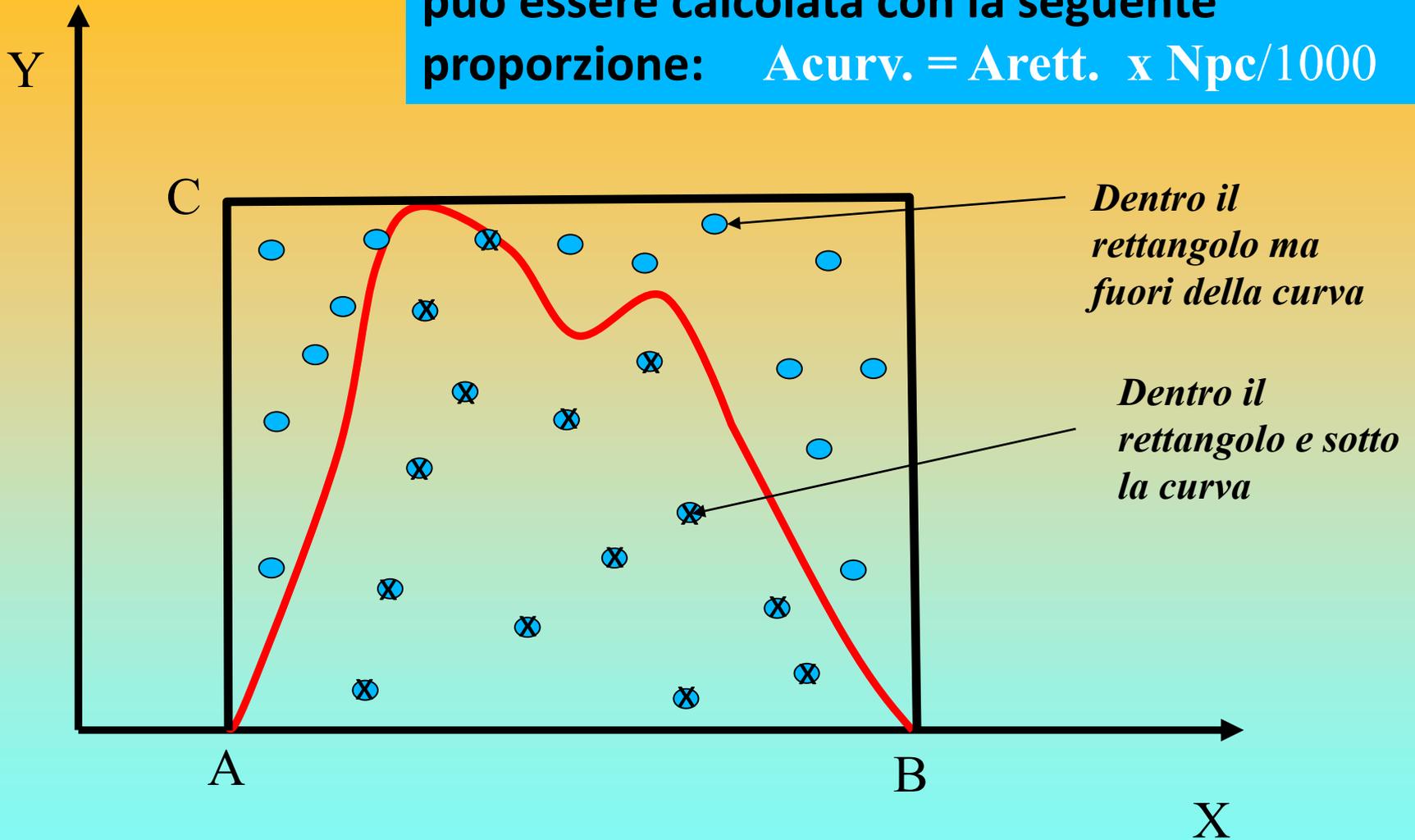
La área del rettangolo e' data da: $A_{rett.} = AB \times AC$

2) successivamente, si sparano tanti punti casuali di coordinate X,Y (es. 1000 punti) dentro il rettangolo e poi si contano quanti di questi punti (N_{pc}) finiscono sotto la curva rossa



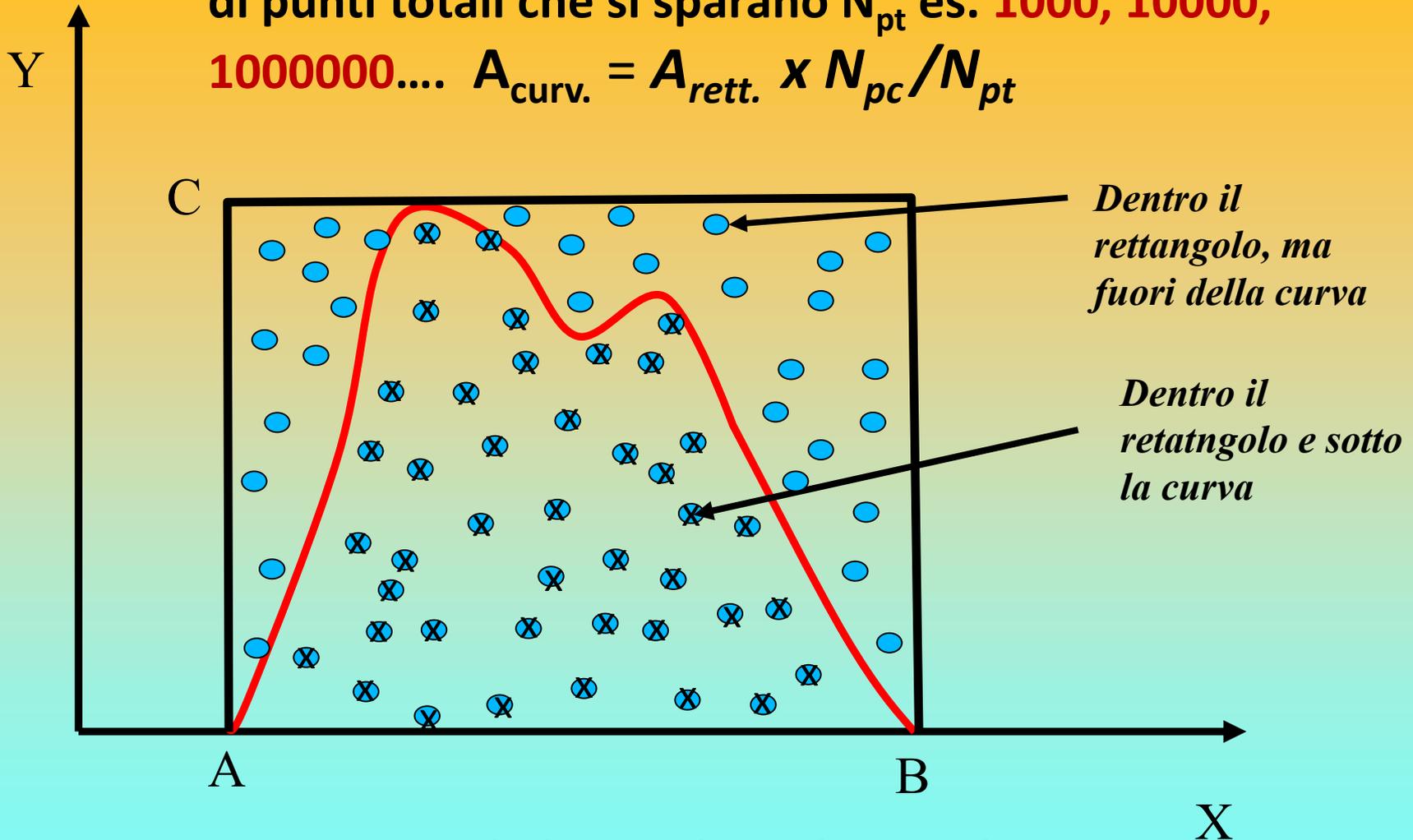
Nota storica: da Metodo Monte Carlo: Sviluppato nel Progetto Manhattan (1942-1945): progetto e costruzione dei primi ordigni nucleari durante la seconda guerra mondiale..

Quindi l'area sotto la curva ($A_{\text{curv.}}$)
puo essere calcolata con la seguente
proporzione: $A_{\text{curv.}} = A_{\text{rett.}} \times \text{Npc}/1000$



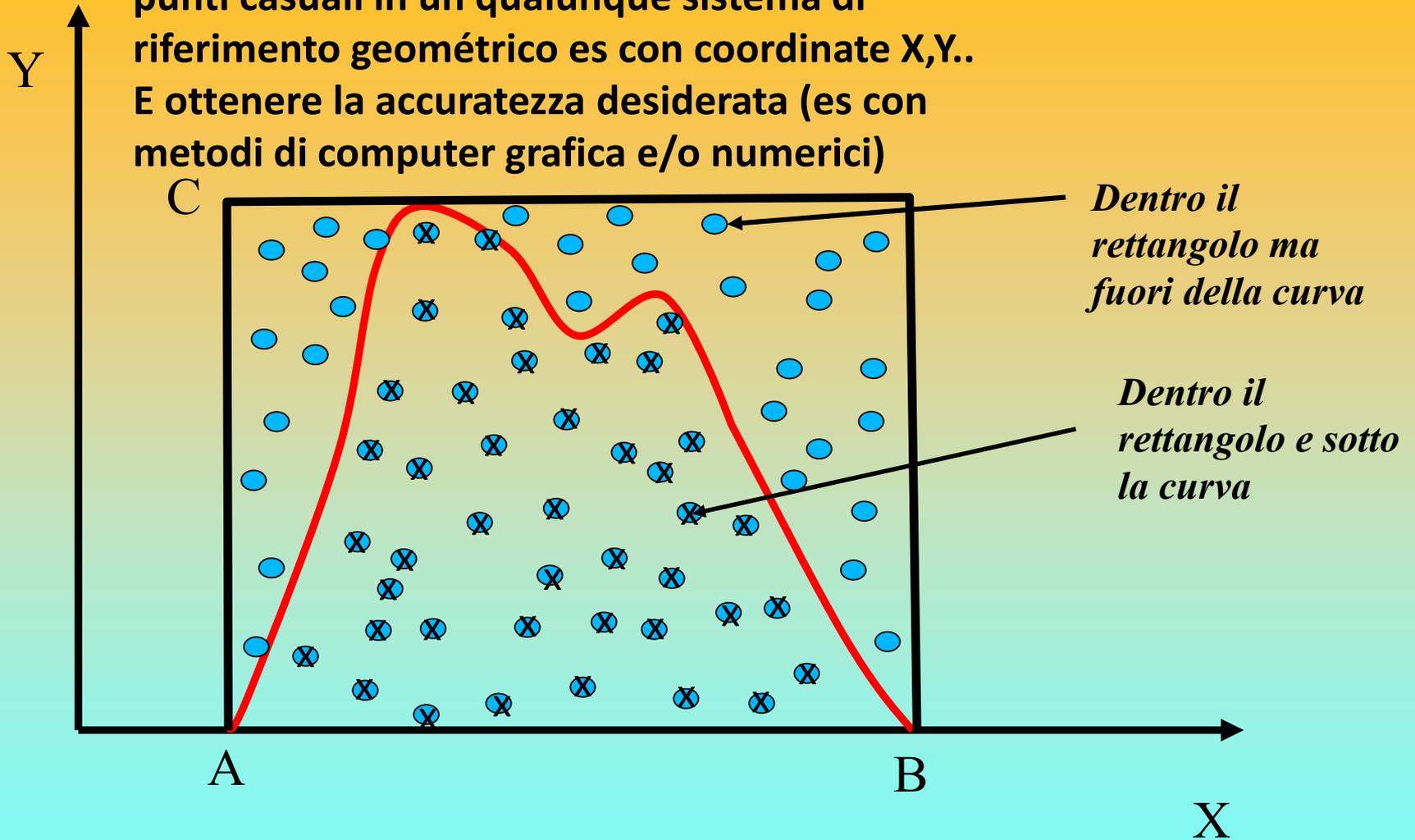
La accuratezza del procedimento dipende dal numero di punti totali che si sparano N_{pt} es. **1000, 10000, 1000000....**

$$A_{curv.} = A_{rett.} \times N_{pc} / N_{pt}$$

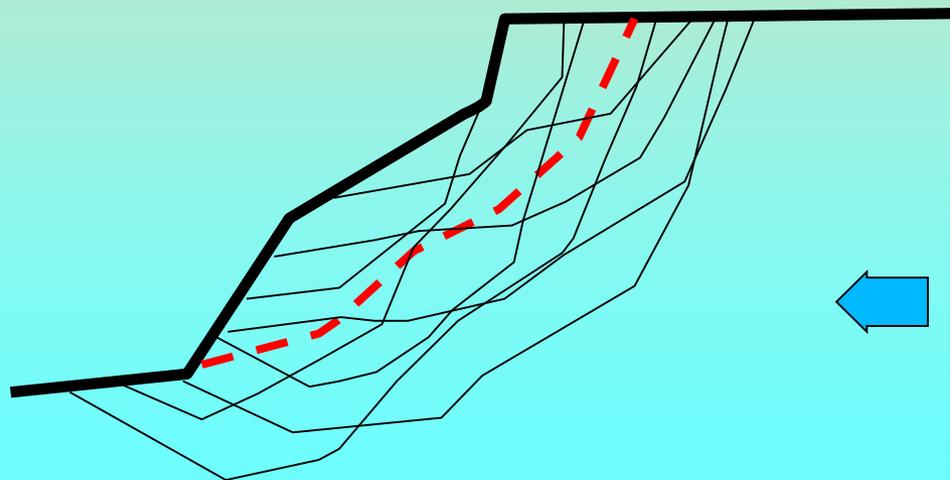
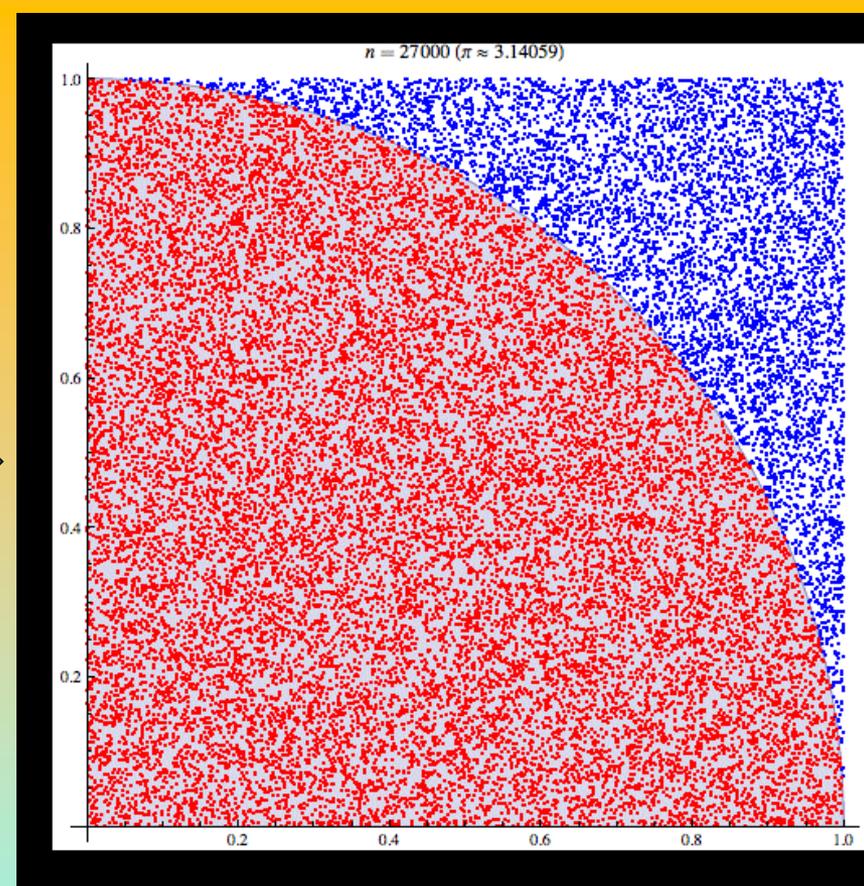


Ovvero quanti piu punti spariamo, piu affidabile sara' il valore finale dell'integrale ...

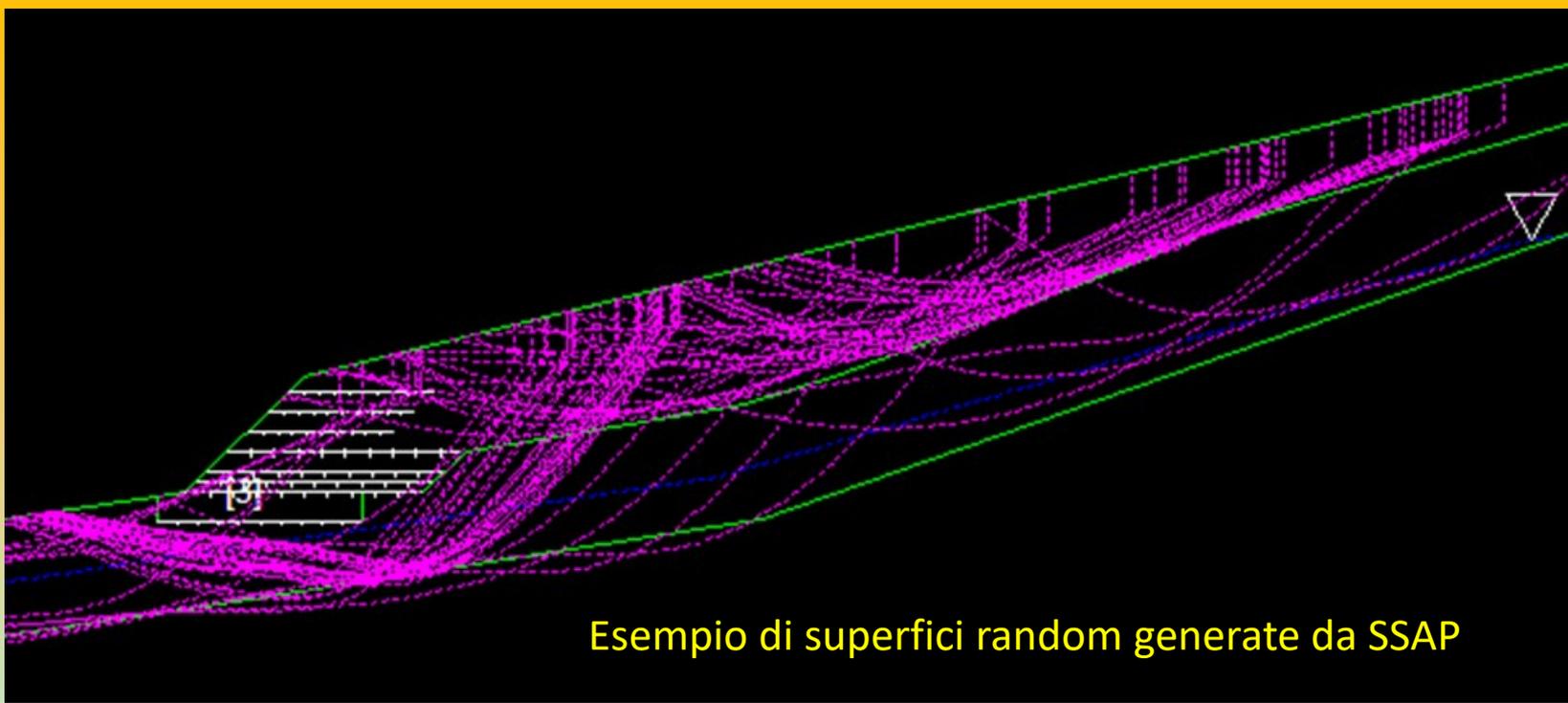
Con i software attuali e' facile generare migliaia di punti casuali in un qualunque sistema di riferimento geométrico es con coordinate X,Y..
E ottenere la accuratezza desiderata (es con metodi di computer grafica e/o numerici)



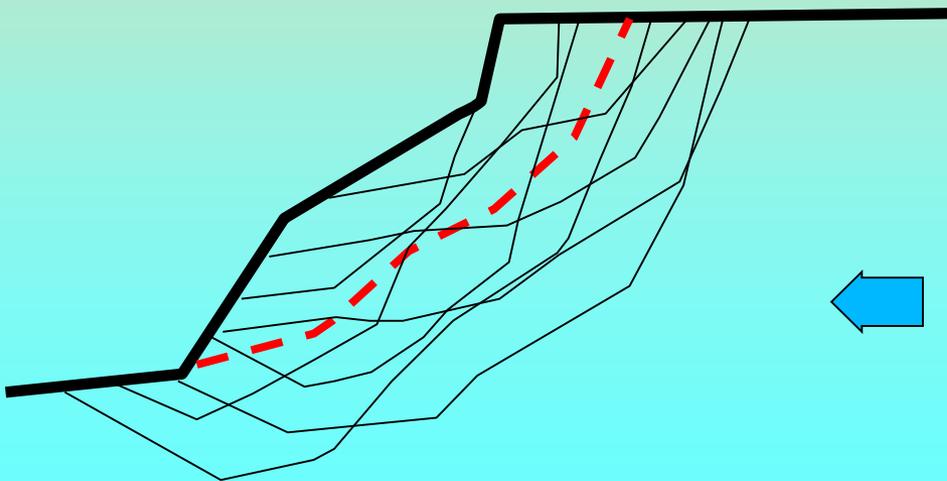
Monte Carlo method applied to approximating the value of π . After placing 30000 random points, the estimate for π is within 0.07% of the actual value. Simulazione animata su: https://en.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_method



In maniera similare si possono generare infinite superfici con tecnica Montecarlo applicata alla stabilita' dei pendii



Esempio di superfici random generate da SSAP



In maniera similare si possono generare infinite superfici con tecnica Montecarlo applicata alla stabilita' dei pendii (Siegel et al. 1981)

•3 motori di ricerca superfici random - dettagli

RANDOM SEARCH

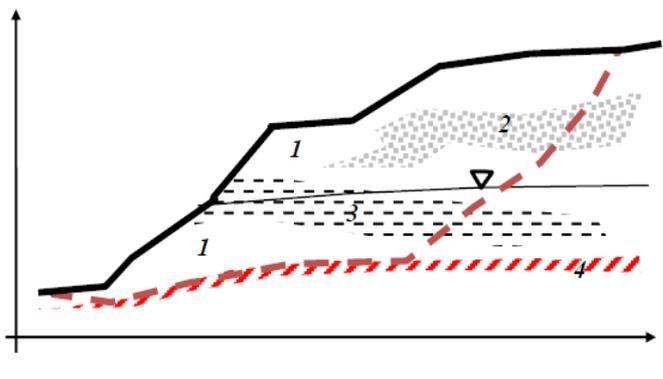
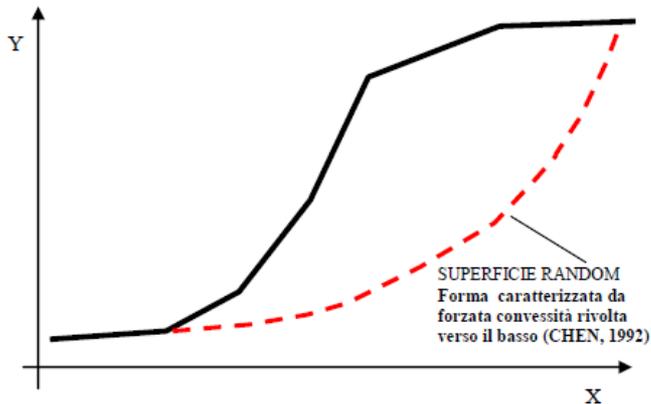
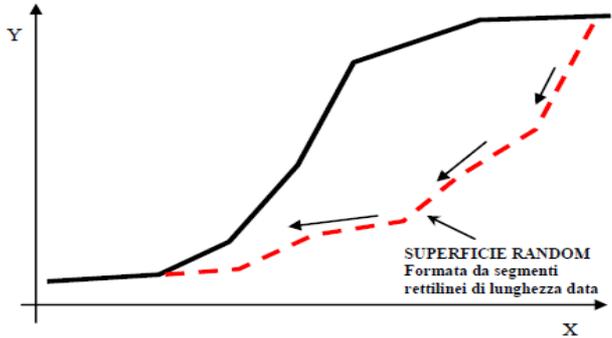
Non fa assunzioni preliminari sulla forma delle superfici di scivolamento. I modelli di generazione delle superfici si rifanno parzialmente al modello classico di SIEGEL et al. (1981) che è praticamente un modello di tipo '*Monte Carlo*' cioè basato sulla generazione di una distribuzione di numeri casuali, da utilizzarsi per produrre una serie di superfici random.

CONVEX RANDOM SEARCH

Questa tecnica segue una strategia diversa proposta da CHEN (1992) che consiste nel forzare la generazione di superfici aventi forme con convessità rivolta verso il basso. Anche questo è un modello di tipo '*Monte Carlo*' cioè basato sulla generazione di una distribuzione di numeri casuali, da utilizzarsi per produrre una serie di superfici random

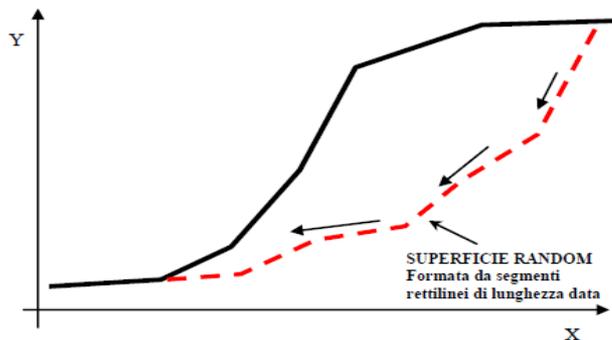
SNIFF RANDOM SEARCH – *Il método Piu' innovativo ...*

Il metodo si basa sulla strategia che tende a massimizzare, durante la generazione di superfici random, il passaggio negli strati che hanno le caratteristiche di resistenza più scadenti. Il metodo Sniff Search permette di "*sentire*" durante la generazione delle superfici quali sono i livelli o le inclusioni o gli strati più deboli incontrati, e quindi tenta, in via preferenziale, di passare in essi.



•3 motori di ricerca superfici random - criteri di scelta

RANDOM SEARCH

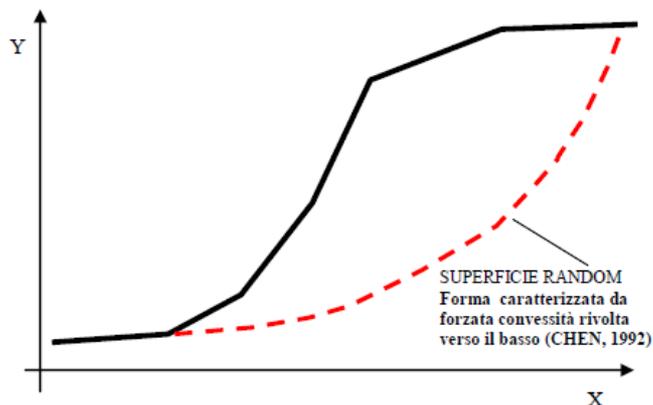


Vantaggi: rapido e buono in caso di complessità stratigrafica e stutture. Di uso generale.

Svantaggi: non sempre efficiente nella individuazione della superficie con il minimo Globale di FS

Sempre Indicato in: casi di stratigrafia con incremento marcato di Φ' con la profondità'

CONVEX RANDOM SEARCH

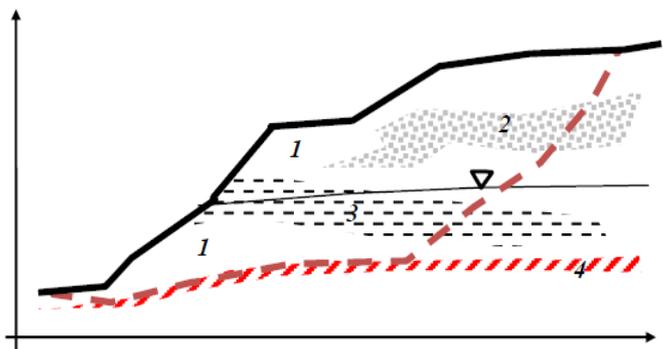


Vantaggi: rapido e di utilizzo generale anche in ammassi rocciosi

Svantaggi: casi di stratigrafia con incremento marcato di Φ' con la profondità', o miglioramento marcato qualità dell'ammasso roccioso con la profondità'.

Sempre Indicato in: pendii con maggiore isotropia stratigrafica

SNIFF RANDOM SEARCH



Vantaggi: gestione di complessità stratigrafica e stutture.

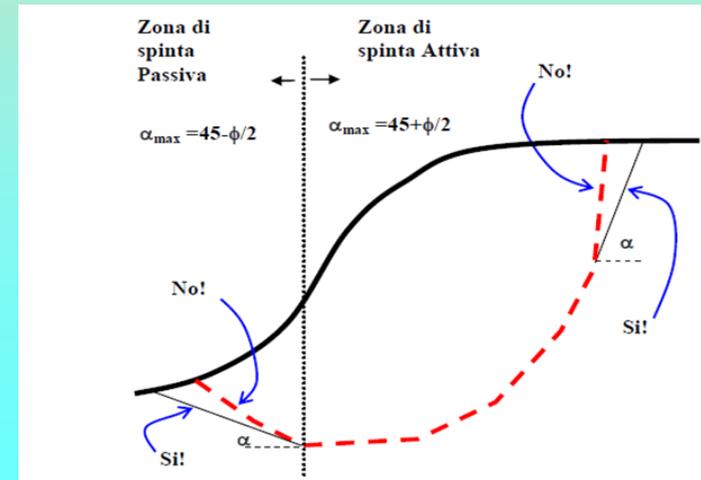
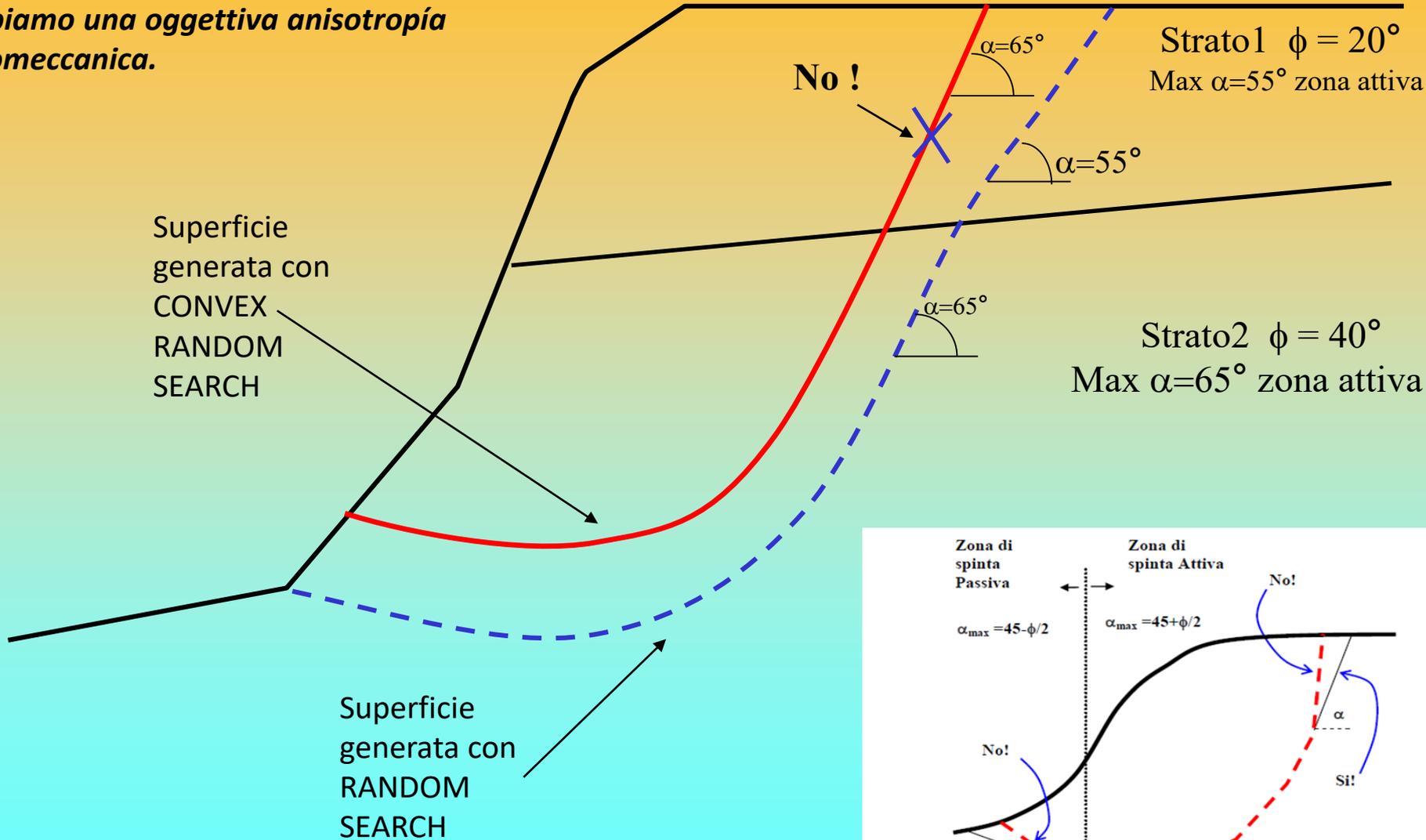
Svantaggi: richiede molte più risorse di calcolo.

Sempre Indicato in: casi di pendii in roccia e con discontinuità, casi di strati e lenti molto sottili, casi di marcata anisotropia (orizzontale e verticale) stratigrafica

NB: Può operare in modalità sia CONVEX che NO-CONVEX

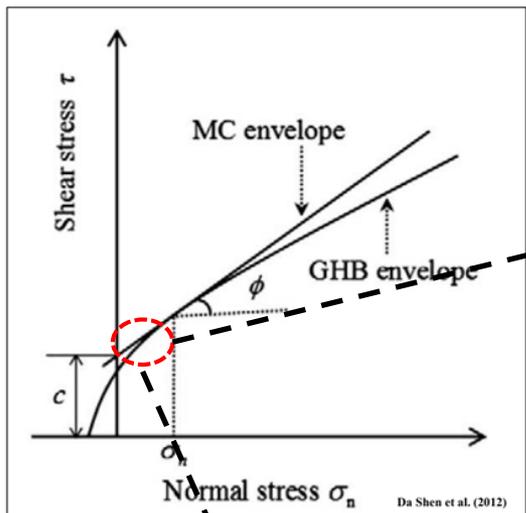
OSSERVAZIONI sui MOTORI DI RICERCA:

E' conveniente testare piu' motori di ricerca sullo stesso pendio, qualora abbiamo una oggettiva anisotropia geomeccanica.



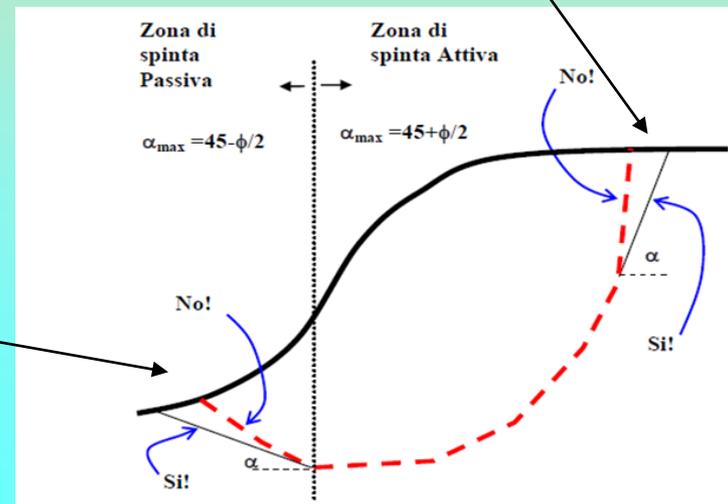
OSSERVAZIONI sui MOTORI DI RICERCA:

Caso di ammassi rocciosi e
criterio GHB



Superficie
RANDOM

Perche non possono essere considerate
superfici sempre perfettamente circolari...



Modello del pendio : 6 criteri di rottura implementati

Criterio di rottura lineare Mohr-Coulomb (terreni sciolti):

- **Tensioni efficaci** ϕ', c'
- **Tensioni Totali** - C_u (resistenza al taglio cond. non drenate)

Criterio di rottura Non Lineare generalizzato, Hoek & et al. (2002,2006)
(*ammassi rocciosi fratturati* - dominio isotropo - CONTINUO)

- **Tensioni efficaci** - ϕ', c' **equivalenti** calcolati a partire da parametri geomeccanici ammasso roccioso (GSI, UCS, m_i, D)

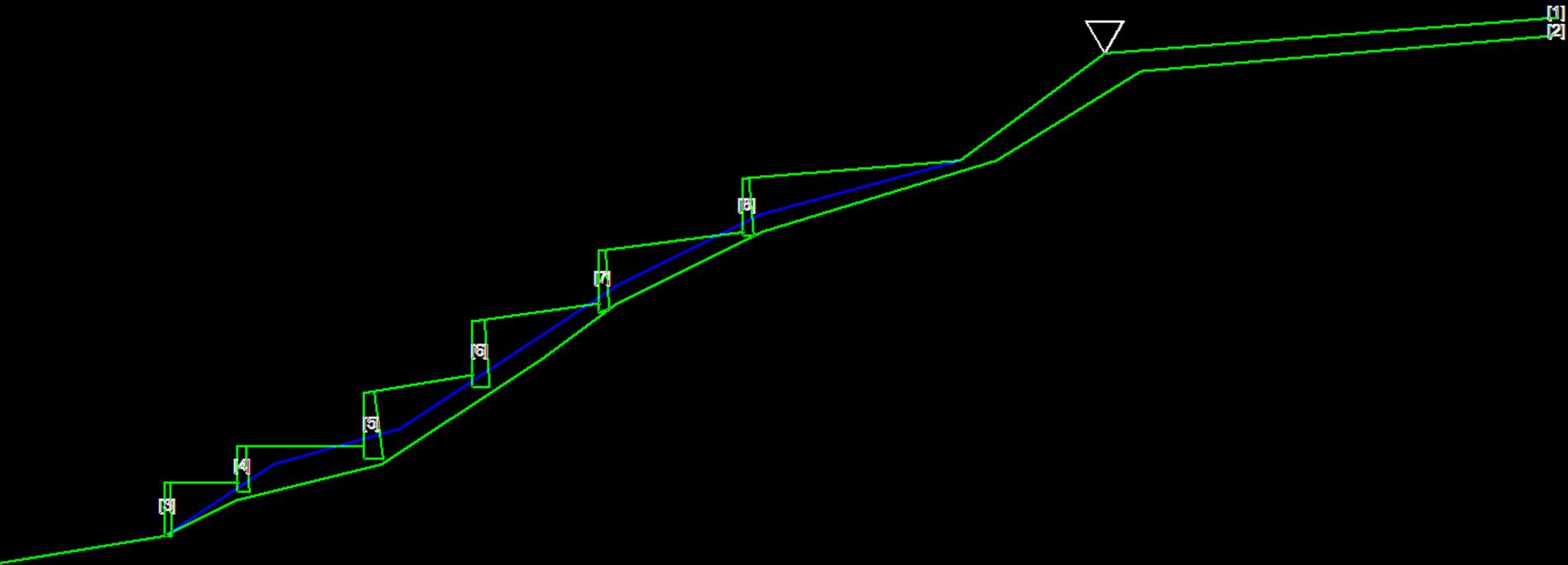
Criterio di rottura Non Lineare, Barton Bandis (1990) (discontinuita' in
ammassi rocciosi - dominio anisotropo - DISCONTINUO)

- **Tensioni efficaci** - ϕ', c' **equivalenti** sulla discontinuita' calcolati a partire da parametri geomeccanici ammasso roccioso ($J_{rc}, UCS, \beta, L \dots$ etc.)

Criterio di rottura Lineare per Liquefazione dinamica e statica , Olson e Stark (2003)

- **Tensioni Totali** - C_u (equivalenti con non drenate , res . Al taglio post-liquefazione totale)
- **Tensioni efficaci** - ϕ', c' (in caso di Liquefazione parziale, con incremento U_0)

Studio e pratica su un esempio di pendio terrazzato con muri a secco su deposito colluviale saturo (suolo residuale) su ammasso roccioso. (caso particolare dei muri a secco) :



Cartella esempi : Terraces_examples

Parametri geomeccanici - file .GEO [2]

Criterio di rottura Hoek et al. (2002).

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

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

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

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

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

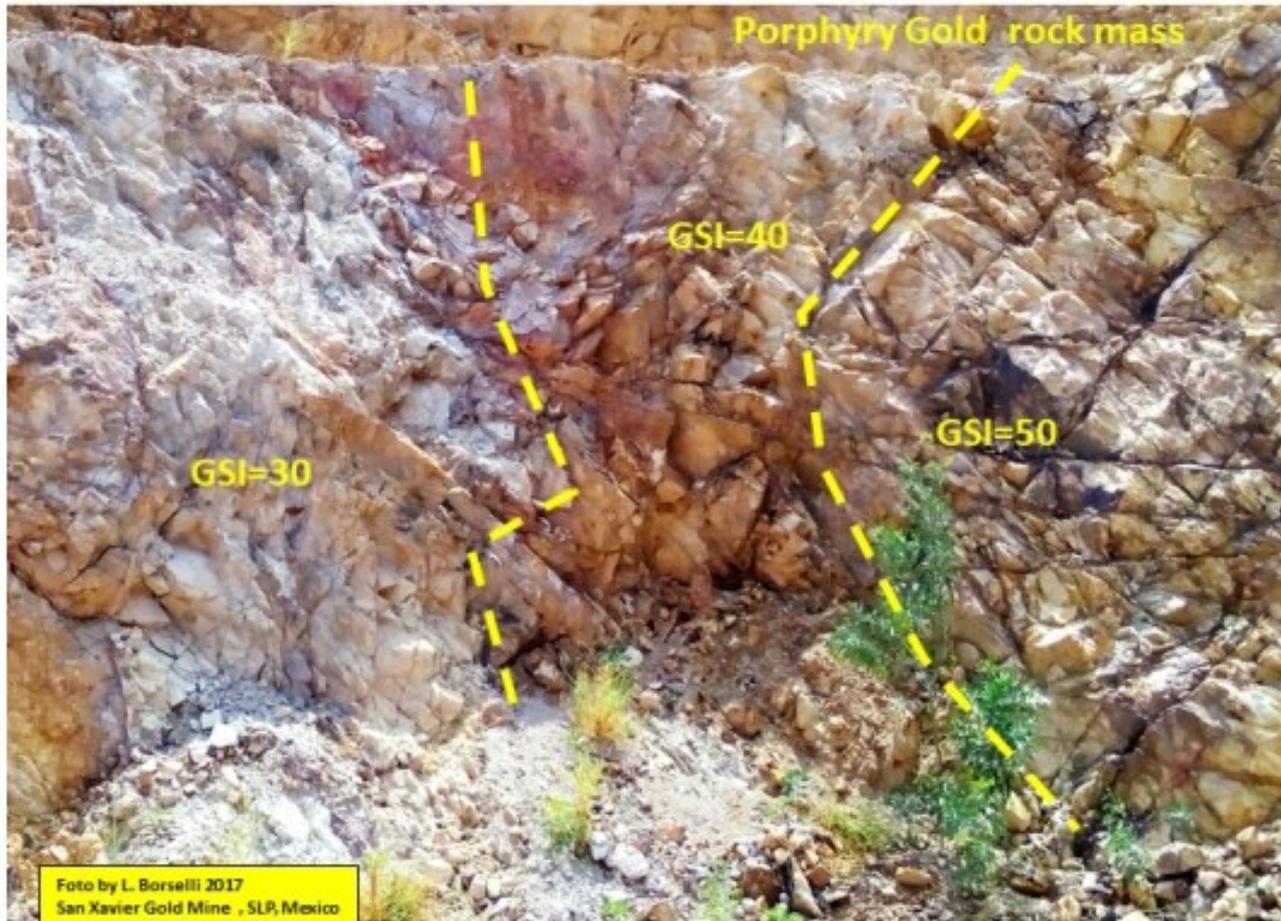
9° colonna: **D**= Fattore di disturbo ammasso(adimensionale);

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

Parametri geomeccanici - file .GEO

APPENDICE D - APPLICAZIONE DEL CRITERIO DI ROTTURA GSI, Hoek et al. (2002,2006) e Barton (JRC) NEL CODICE SSAP

By Lorenzo Borselli (Revisione 3.1)



Assemblaggio Files con utility Makefiles.EXE

MAKEFILES 5.5 - CREA o RIASSEMBLA NUOVO MODELLO PENDIO

Area Dati Attiva

D:\ssap2010\temp_pendii\pali inclinati 2021\

Seleziona/Crea area dati Edita direttamente un File Dati

Genera files	Files generati	Cambia	Files Attivi:	Vedi DXF
SUPERFICI	File Superfici <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI	cambia nome	superfici.dat	 Attiva /Disattiva <input type="checkbox"/> Falda <input type="checkbox"/> Sovraccarichi <input checked="" type="checkbox"/> Tiranti <input type="checkbox"/> Geogriglie <input checked="" type="checkbox"/> Pali <input type="checkbox"/> Wire Mesh <input type="checkbox"/> Liquefazione <input type="checkbox"/> Discontinuita'
DATI GEOMECCANICI	File dati Geomeccanici <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI	cambia nome	geomecc.geo	
FALDA	File Falda <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI			
SOVRACCARICHI	File Sovraccarichi <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI			
TIRANTI	File Tiranti <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI	cambia nome	pali inclinati.tir	
GEOGRIGLIE	File Geogriglie <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI			
PALI	File Pali <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI	cambia nome	pali verticali.pil	
WIRE MESH	File Wire Mesh <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI			
DATI LIQUEFAZIONE	File Liquefazione <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI			
DATI DISCONTINUITA'	File Discontinuita' <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI			

MKFILES 5.5
per WIN 64 BIT
by L. Borselli (2007,2020)
WWW.SSAP.EU

CARICA MODELLO **ASSEMBLA MODELLO**

Attiva preprocessing fase 2

VEDI MODELLO **HELP**

File .MOD assemblato/caricato
pmodello conpali inclinati a cavalletto.mod

ESCI

Assemblaggio Files con utility MKFILES.EXE

Crea file dati superfici Strati

INSERIMENTO COORDINATE
GENERATO NODO n.5 SUP. n.4
Coordinate nodo superficie (in m)

Coordinata X nodo

Coordinata Y nodo

Scrivi Nodo Cancella Ultimo

Nuova Superficie

MKFILES 5.5
by L. Borselli (2007,2020)

Importazione Nodi da Files (Testo o DXF)

Importazione nodi da file di testo (sup. singola)

Importa Nodi da DXF (superficie singola)

Importa Nodi da DXF (superfici multiple)

Vedi DXF



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

8	60.00	35.00
9	61.70	35.00
10	62.00	35.00
11	73.00	39.00
12	104.00	43.00
13	115.00	43.00
14	##2 -----	
15	36.00	22.00
16	60.00	26.00
17	78.00	26.00
18	115.00	30.00
19	115.00	30.00
20	##3 -----	
21	62.00	35.00
22	62.00	22.00
23	61.70	22.00
24	61.70	35.00
25	62.00	35.00
26	##4 -----	
27	61.9539	34.9600
28	67.9539	24.5677
29	67.7461	24.4477
30	61.7461	34.8400
31	61.9539	34.9600

Help Salva Scheda e ESCI Annulla Scheda e ESCI

11 Video con esempi pratici uso SSAP Su YOUTUBE.COM

Canale:

LORENZO BORSELLI

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

VIDEO SU CANALE YOUTUBE : [LORENZO BORSELLI](#)

(cliccare sui collegamenti successivi per attivare la visualizzazione su www.youtube.com direttamente dal Browser che avete attivato per la navigazione internet)

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

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

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

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

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

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

Sono sempre le sole superfici circolari quelle con minor FS ?? - [Video 7](#) (21:22 min)

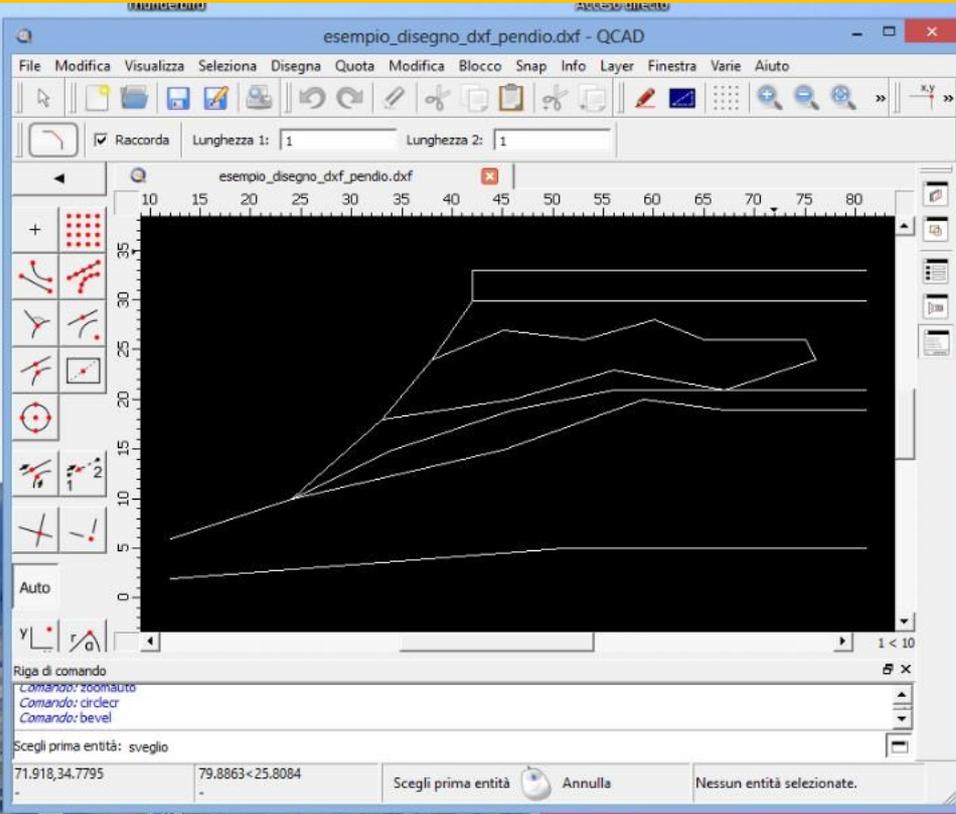
Pagina WEB di SSAP - [Video 8](#) (19:33 min)

Errori comuni in ssap e loro soluzione - [Video 9](#) (17:46 min)

Gli strumenti di sviluppo di SSAP2010 - [Video 10](#) (15:52 min)

SSAP 4.9.8 - Parte 1: introduzione - [Video 11](#) (30:06 min)

Lista completa su: <https://www.ssap.eu/videos.html>



Creazione file dati superfici Strati

INSERIMENTO COORDINATE
 GENERATO NODO a 12 SUR a 3
 Coordinate nodo superficie (in m)
 Coordinata X nodo: 0,00
 Coordinata Y nodo: 0,00

Buttons: **Scrivi Nodo** | **Cancello Ultimo**

14		81.00	30.00
15	##3		
16		24.00	10.00
17		45.00	15.00
18		59.00	20.00
19		67.00	19.00
20		81.00	19.00
21	##4		
22		12.00	2.00
23		51.00	5.00

Procedura importazione nodi Strati/Falda da DXF

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

Editare questa colonna

N. Entita'	Tipo	Inizia da X	Inizia da Y	Finisce a X	Finisce a Y	N. Nodi	Lente	N. Strato/Falda
1	Polilinea	12	6	81	33	7	NO	1
2	Polilinea	42	30	81	30	2	NO	2
3	Polilinea	24	10	81	19	5	NO	3
4	Polilinea	12	2	81	5	3	NO	4
5	Polilinea	33	18	33	18	12	SI	5
6	Polilinea	12	6	81	21	6	NO	0
7								
8								
9								
10								
11								

Decimale ammessi per esportazione Coordinate nodi: 2

SCANSIONE DXF

File DXF Analizzato: esempio_disegno_dxf_pendio.dxf
 Stato del lavoro: **CONSOLIDATO**

Buttons: **consolida assegnazione strati** | **cancello assegnazione strati**

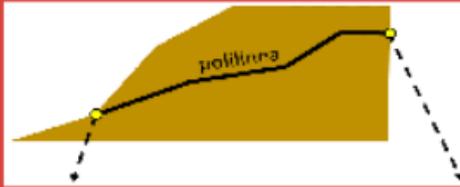
MKFILES 4.0 by L. Borselli (2007,2014) | **Vedi DXF**

Buttons: **OK** | **Annulla**

procedura per scansione e importazione superfici direttamente da file DXF

Esempio di importazione di superfici da file DXF - Video 3 (20:12 min)
 canale Youtube : **Lorenzo Borselli**

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



Editare questa
colonna



N. Entita'	Tipo	Inizia da X	Inizia da Y	Finisce a X	Finisce a Y	N. Nodi	Lente	N. Strato/Falda
1	Polilinea	12	6	81	33	7	NO	1
2	Polilinea	42	30	81	30	2	NO	2
3	Polilinea	24	10	81	19	5	NO	3
4	Polilinea	12	2	81	5	3	NO	4
5	Polilinea	33	18	33	18	12	SI	5
6	Polilinea	12	6	81	21	6	NO	0
7								
8								
9								
10								
11								

Decimali ammessi per esportazione Coordinate nodi

SCANSIONE DXF

File DXF Analizzato: esempio_disegno_dxf_pendio.dxf

Stato del lavoro: **CONSOLIDATO**



consolida assegnazione strati

cancella assegnazione strati

MKFILES 4.0
by L. Borselli (2007,2014)

Vedi DXF



OK



Annulla

procedura per scansione e importazione superfici direttamente da file DXF

Esempio di importazione di superfici da file DXF - [Video 3](#) (20:12 min)
canale Youtube : **Lorenzo Borselli**

Caratteristiche base di SSAP 2010 ... continua

Inoltre...

Modulo gestione acquiferi

- falde in pressione
- acquicludi; falde sospese e stati temporaneamente saturi sopra porzioni insature;
- Nel caso di falde in pressione algoritmo, sviluppato in modo originale dall'autore, per simulare la dissipazione progressiva della pressione di pori in prossimità della superficie;
- escludere il calcolo del sovraccarico esterno di masse d'acqua nel caso di porzioni di pendio sommerso. (simulazione di un effetto di svaso rapido in un bacino artificiale);

ACQUIFERI DISATTIVABILI

- Acquifero Strato 1
- Acquifero Strato 2
- Acquifero Strato 3
- Acquifero Strato 4
- Acquifero Strato 5
- Acquifero Strato 6
- Acquifero Strato 7

CARATTERISTICHE FLUIDO

Gamma fluido (kN/m³) 9.81

Coefficiente A 0

Coefficiente K 0.00080000

Uo minima (kPa) 0.01

Plotta Curva sovrappressioni

Coefficiente di sovrappressione s 1.00

Limita Dissipazione a pressione idrostatica

GENERAZIONE MAPPA PRESSIONE FLUIDI

Attivare Mappa Pressioni Fluidi

Dimensione Griglia Mappa Pressioni

Nodi X 200 X Nodi Y 200

Unita' di misura

kPa

MPa

GESTIONE PIEZOMETRICHE

Esclusione sovraccarichi pendii sommersi

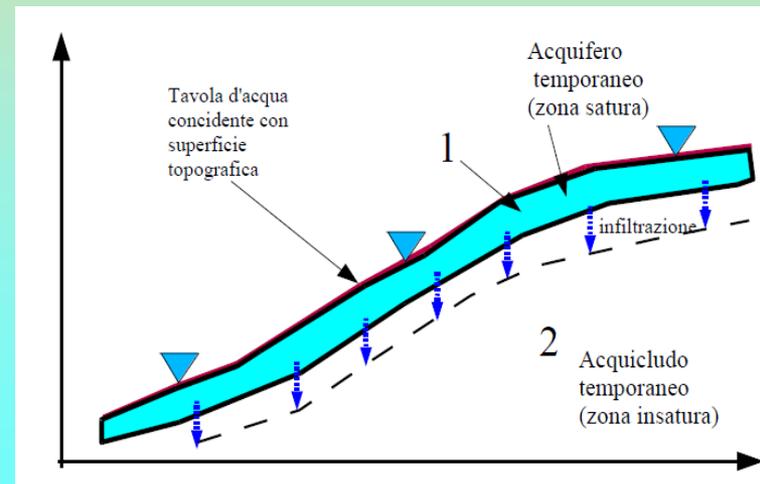
Esclusione sovraccarico (come pendio sommerso) entro le progressive:

Da (m) 1.00 A (m) 119.74

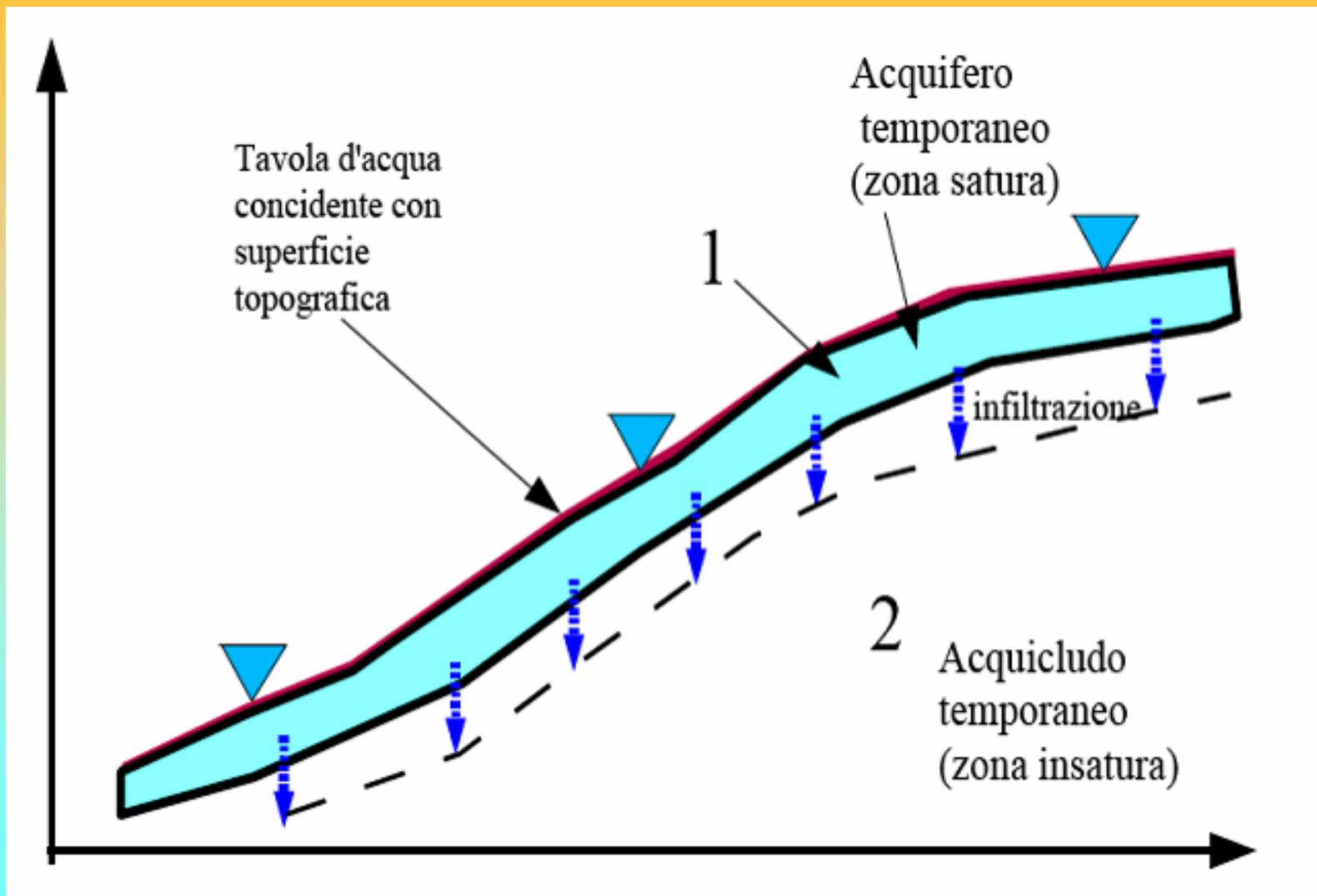
Attiva effetto memoria pressione dei pori

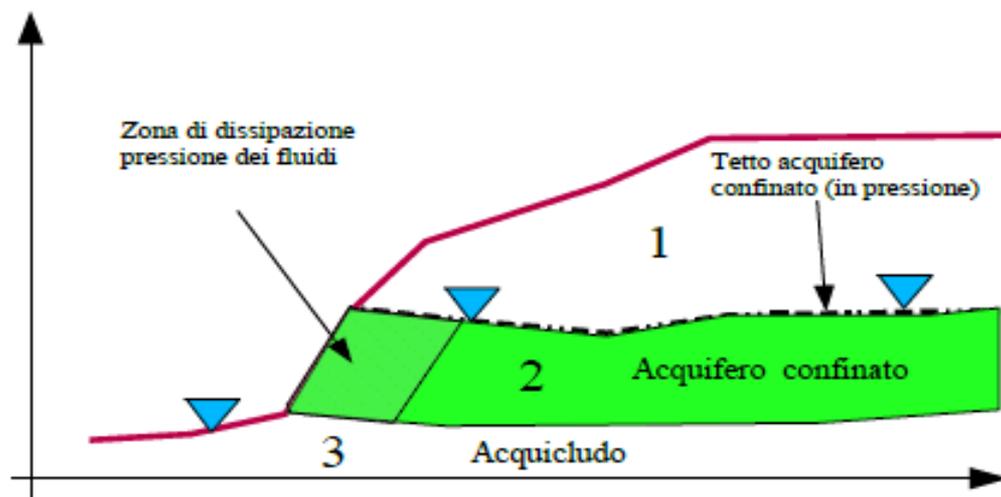
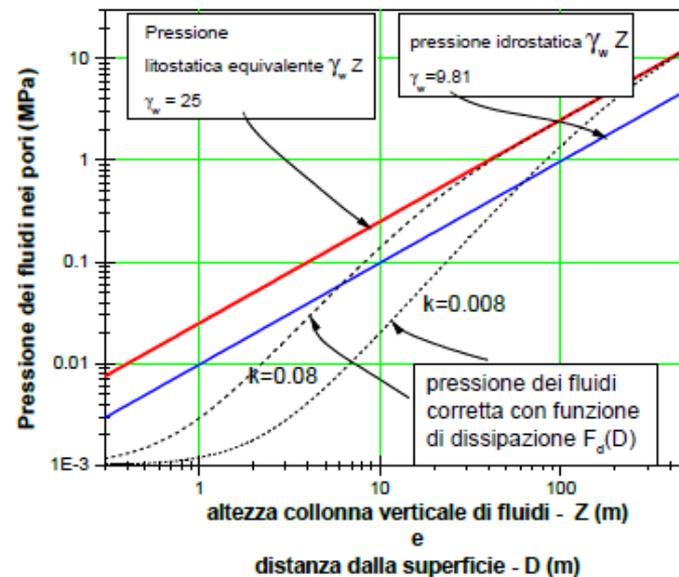
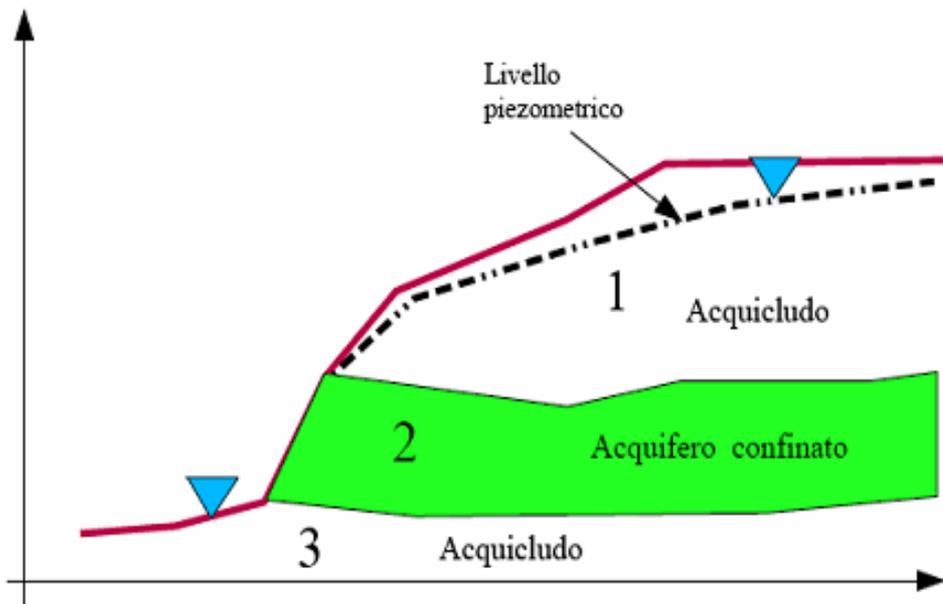
Prima di modificare i valori PRE-IMPOSTATI dal programma delle CARATTERISTICHE DEL FLUIDO ricordarsi che è necessario leggere con attenzione il manuale tecnico del programma. Un utilizzo improprio di queste procedure può portare a importanti effetti sui risultati delle verifiche!!

HELP OK Cancel

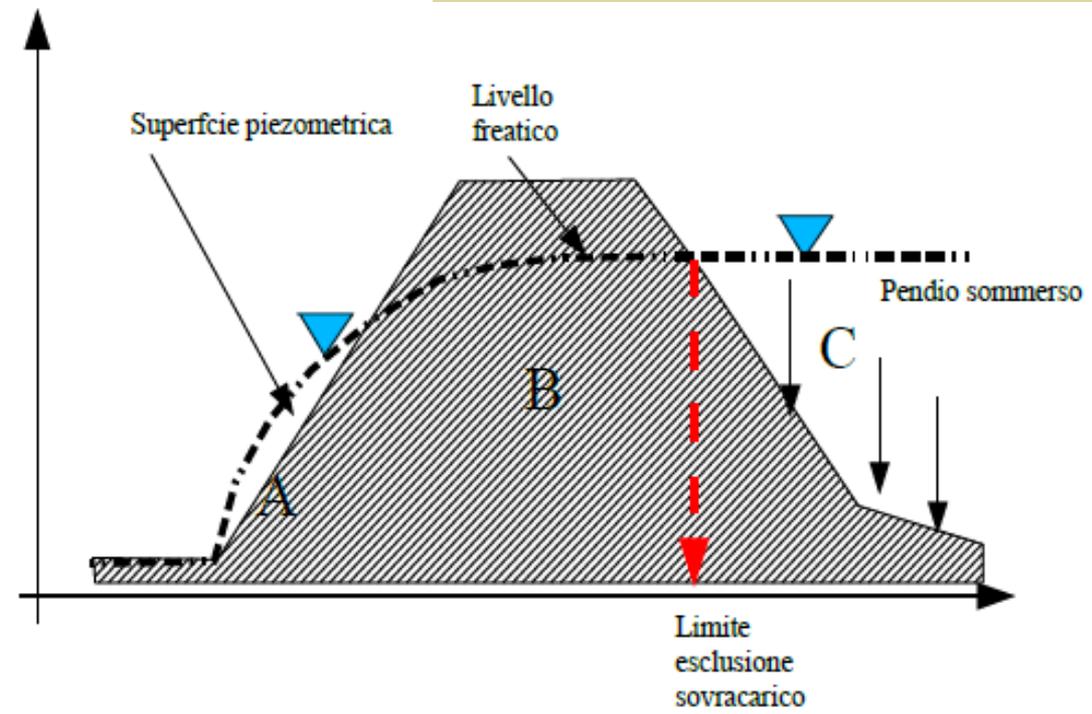
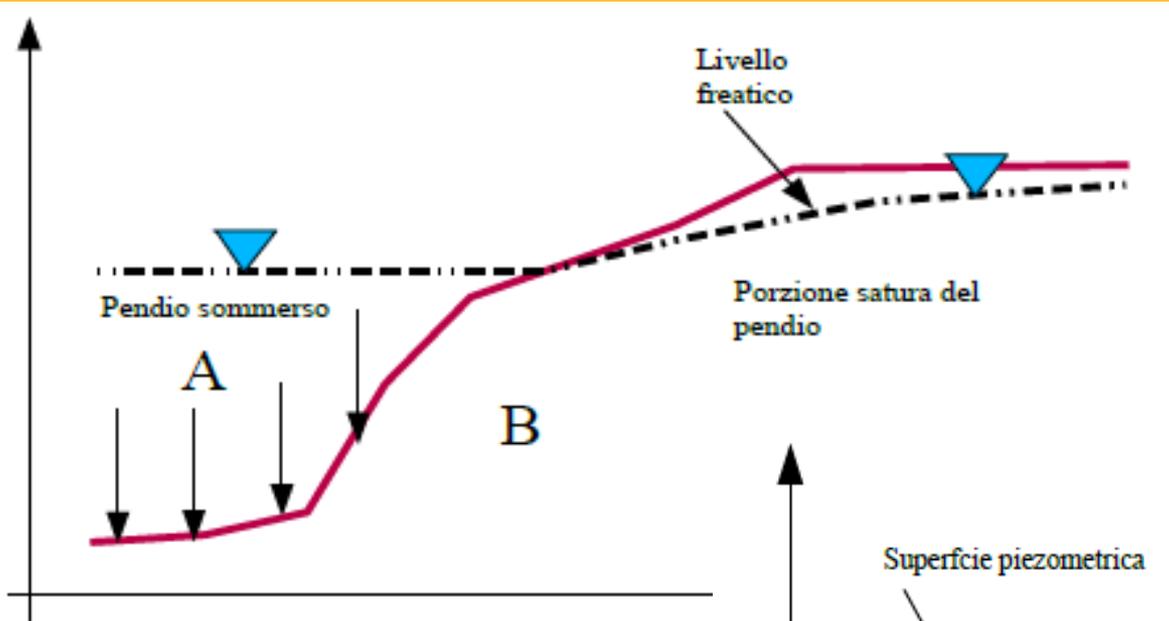


Gestione acquiferi

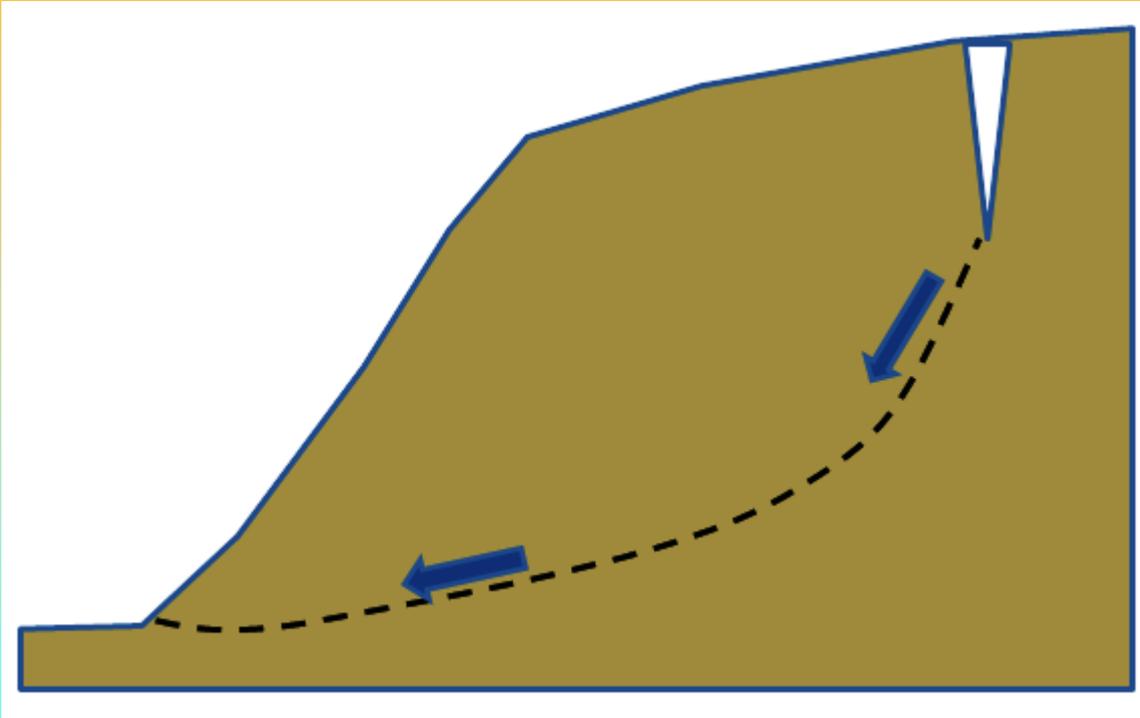




Gestione acquiferi

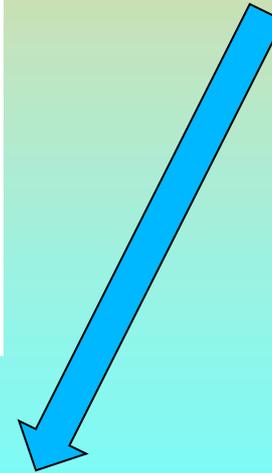


Verifiche di stabilità dei pendii (metodo dell'equilibrio limite) con tension cracks in testa al pendio



Per suoli con coesione
e attrito...

Una stima della profondità
Massima di un tension cracks
Può essere (Craig 1997):



$$H_c = \frac{\lambda c'}{\gamma_s (1 - r_u) \sqrt{\frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'}}$$

Dove: $2 < \lambda < 3.8$

11 Video con esempi pratici uso SSAP Su YOUTUBE.COM

Canale:

LORENZO BORSELLI

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

VIDEO SU CANALE YOUTUBE : [LORENZO BORSELLI](#)

(cliccare sui collegamenti successivi per attivare la visualizzazione su www.youtube.com direttamente dal Browser che avete attivato per la navigazione internet)

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

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

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

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

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

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

Sono sempre le sole superfici circolari quelle con minor FS ?? - [Video 7](#) (21:22 min)

Pagina WEB di SSAP - [Video 8](#) (19:33 min)

Errori comuni in ssap e loro soluzione - [Video 9](#) (17:46 min)

Gli strumenti di sviluppo di SSAP2010 - [Video 10](#) (15:52 min)

SSAP 4.9.8 - Parte 1: introduzione - [Video 11](#) (30:06 min)

Lista completa su: <https://www.ssap.eu/videos.html>

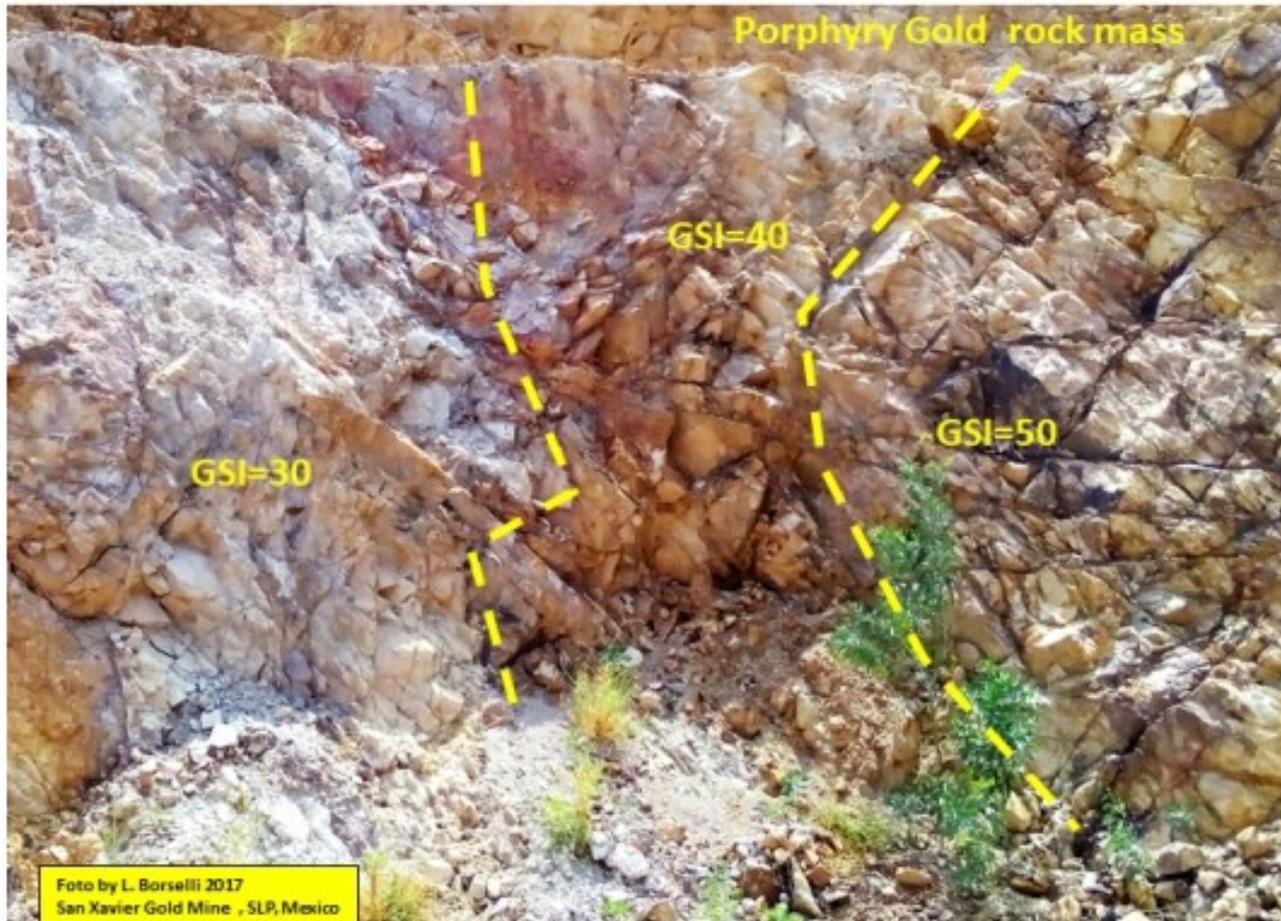
Applicazione di SSAP2010 in ammassi rocciosi fratturati e rocce tenere e uso del criterio di rottura GSI di Hoek & Brown (2002,2006) e Barton Bandis (1990) per sistemi con discontinuita'



Parametri geomeccanici - file .GEO

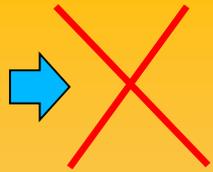
APPENDICE D - APPLICAZIONE DEL CRITERIO DI ROTTURA GSI, Hoek et al. (2002,2006) e Barton (JRC) NEL CODICE SSAP

By Lorenzo Borselli (Revisione 3.1)



Complessita' stratigrafica e geomeccanica

Influenza di eterogeneita' e discontinuita'

Con questo simbolo le casistiche che SSAP non puo' trattare 

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



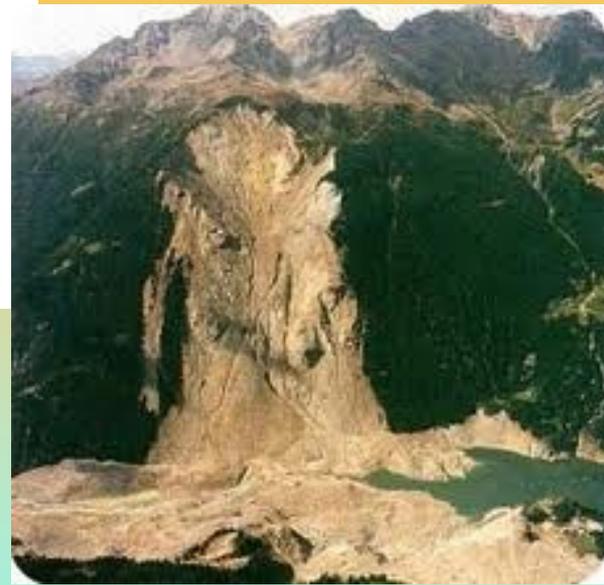
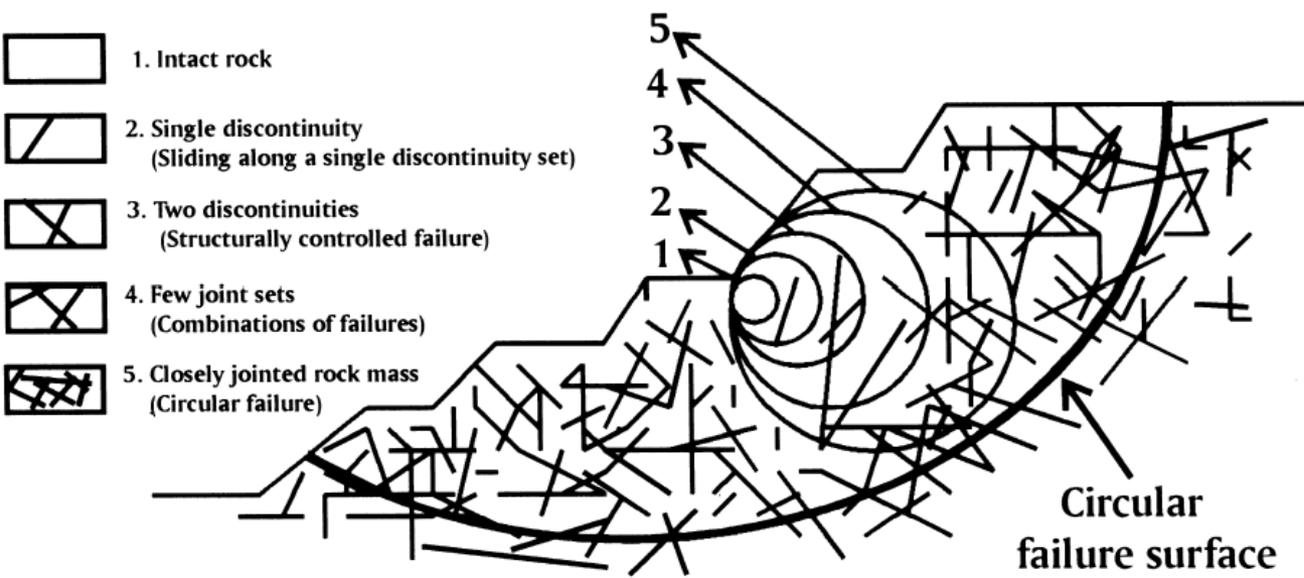
Options for assessing rock mass strength include:

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

Il campo di applicazione della metodologia è limitato ai pendii in roccia dove non sono presenti instabilità e distacchi di natura strutturale:(scivolamenti di cunei o poliedri di roccia , toppling /ribaltamenti, e caduta di massi).

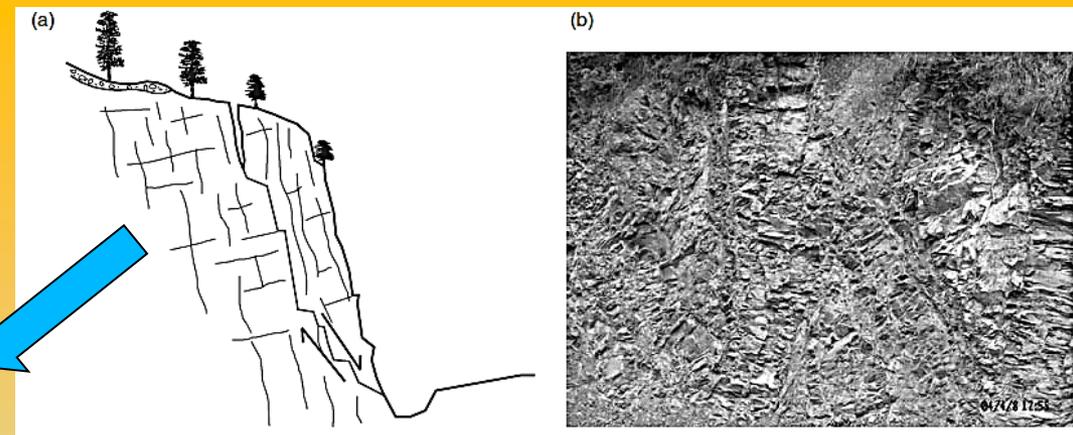
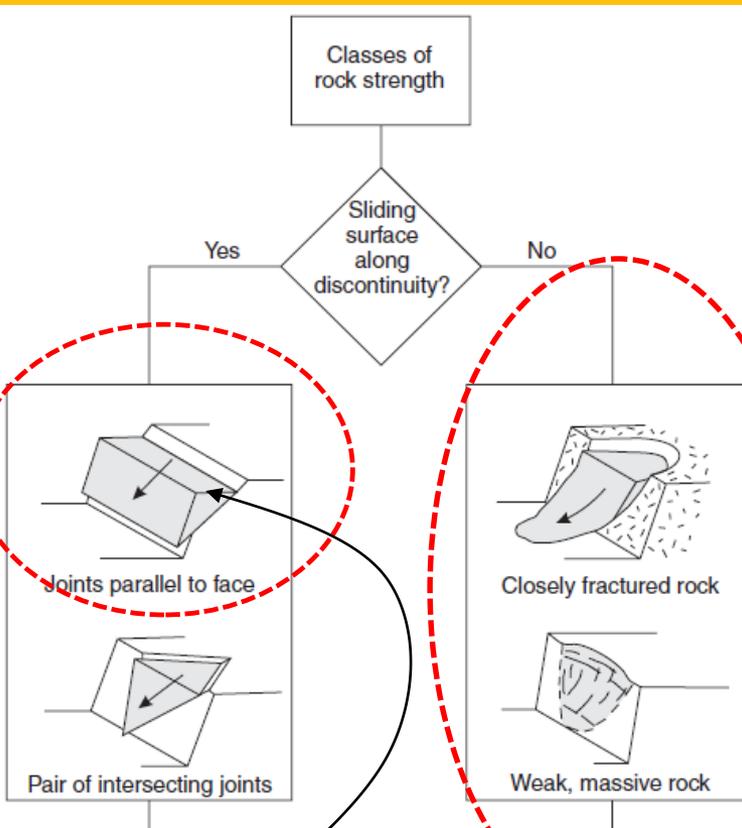
Uno dei principi base della meccanica delle rocce è che la resistenza meccanica di un ammasso roccioso nel suo insieme è generalmente più bassa rispetto a quello degli elementi di roccia intatta che lo compongono.

La resistenza meccanica complessiva è infatti funzione della resistenza meccanica degli elementi di roccia intatta e di una serie di caratteristiche dell'ammasso: presenza e distribuzione di **fessure e giunti**; **effetti di disturbo esterni** quali scavi, trivellazione e uso di esplosivi; variabilità delle caratteristiche dell'ammasso alla scala dell'affioramento, indotta da **discontinuità litologiche e strutturali**: **bande di alterazione e fasce milonitiche/cataclastiche**, **sistemi di faglie**, alternanze con litologie diverse in formazioni in **facies di flysch**.



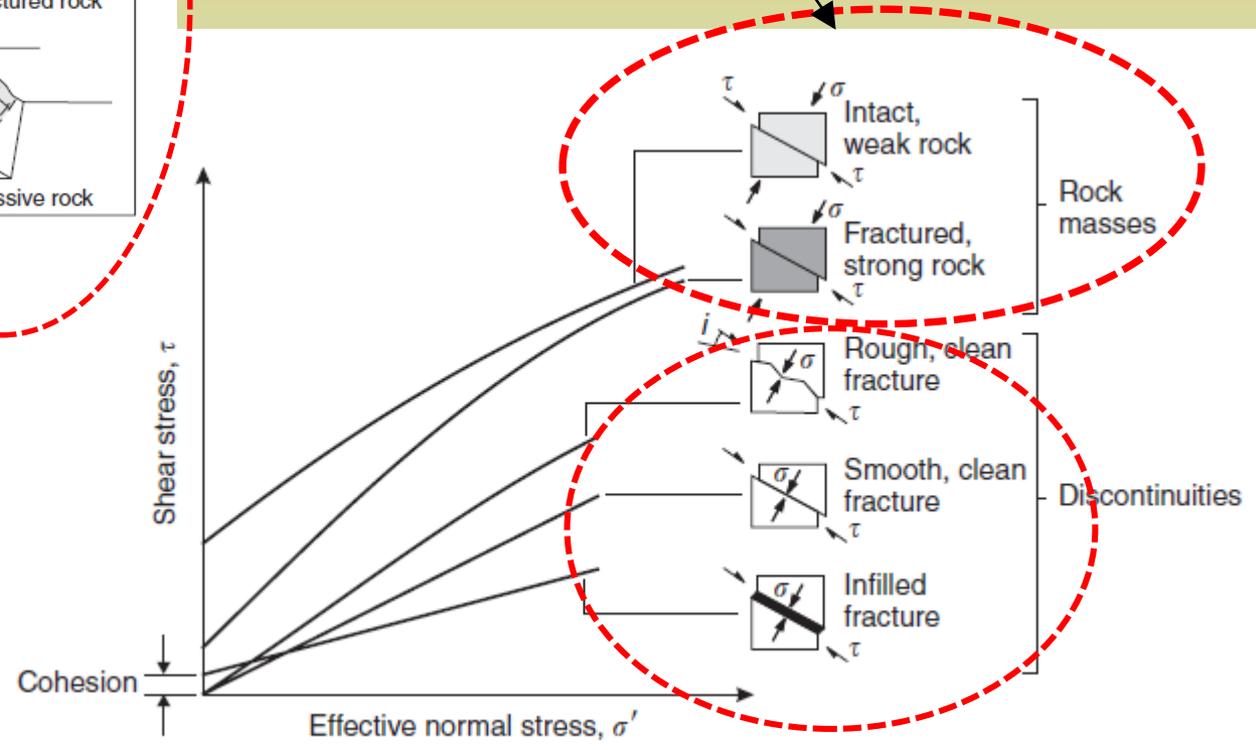
da Sonmez et al. (1998)

prendendo in esame una dimensione di ammasso preogressivamente maggiore le singole discontinuità diventano meno importanti per la stabilità locale e diventano prevalenti la loro distribuzione e densità nell'indebolire le caratteristiche meccaniche generali. In questo caso eventuali superfici di scivolamento potranno realizzarsi parzialmente, e localmente, anche in modo parallelo a discontinuità presenti ma in generale tagliando eventuali ponti di roccia

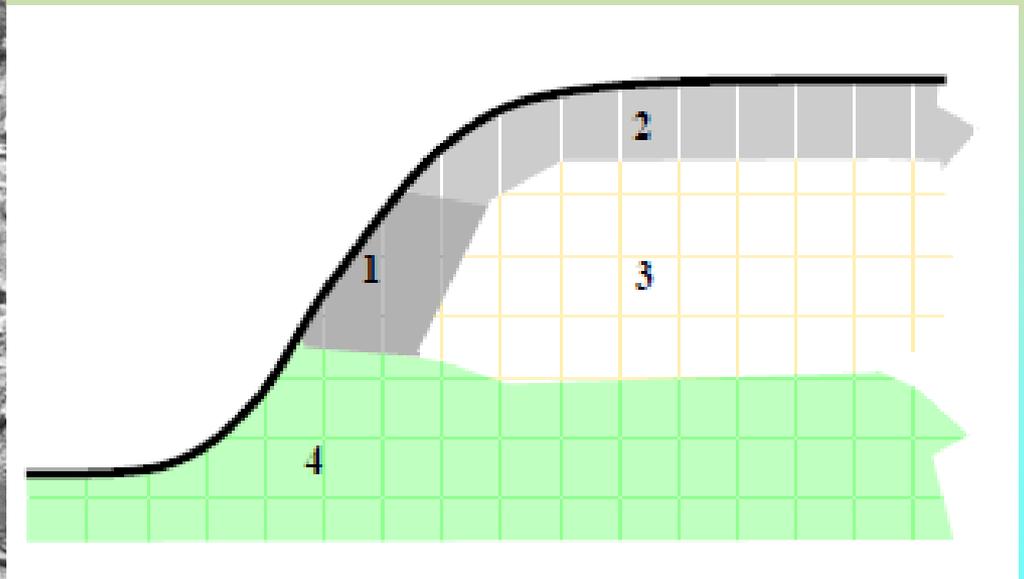


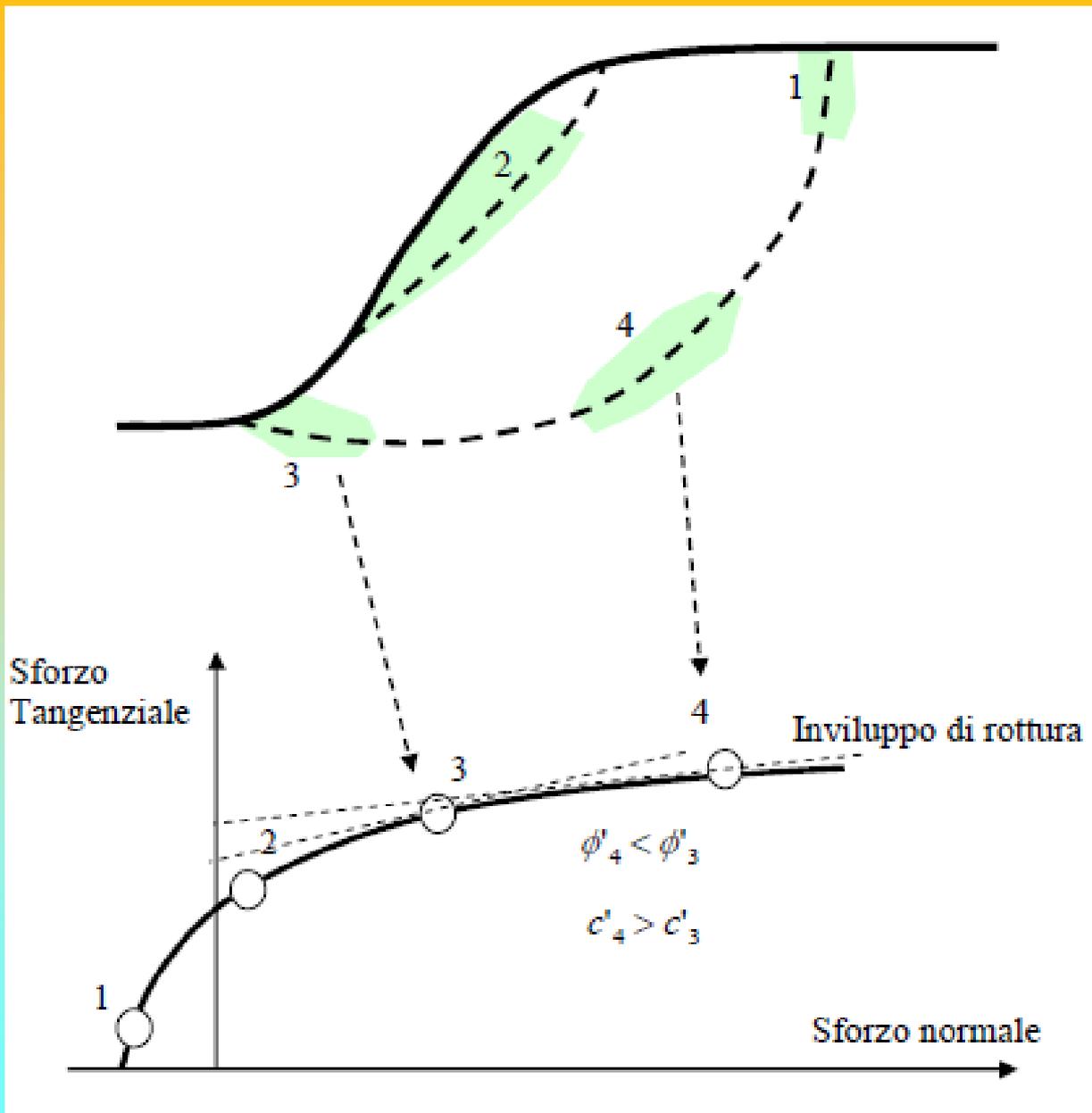
SAAP si applica anche in questo caso

Metodo GSI in SSAP: ambito di applicazione

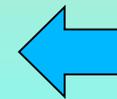


Con la caratterizzazione di un ammasso mediante il metodo di Hoek è implicito assumere che esso venga considerato un mezzo omogeneo e isotropo. Nella realtà in un ammasso, anche se omogeneo dal punto di vista della litologia, possono esistere zone con caratteristiche di alterazione o caratterizzazione delle discontinuità diverse. In questo caso il metodo va applicata dopo aver suddiviso l'ammasso stesso in unità strutturali e meccaniche diverse che vengono poi, al loro interno assunte omogenee.





Una delle caratteristiche del criterio di rottura di Hoek è che esso definisce, per l'ammasso nel suo insieme, un **inviluppo di rottura curvo** all'interno del diagramma degli sforzi normali e tangenziali



Per l'applicazione del criterio di rottura di Hoek et al (2002), anche detto "sistema/metodo GSI", è necessario determinare o stimare per l'ammasso quattro parametri di base:

1. La resistenza a compressione uniassiale σ_{ci} (Mpa) degli elementi di roccia intatta, valutata solitamente mediante prove Point Load o assimilate.
2. L'indice geologico di resistenza GSI (adimensionale) che sintetizza le caratteristiche strutturali essenziali dell'ammasso.
3. La costante litologica m_i (adimensionale) che dipende dalla litologia dell'ammasso ed è stimabile da apposite tabelle.
4. Il fattore di disturbo D (adimensionale) che variando da 0 a 1 rappresenta il grado di disturbo indotto da operazioni di scavo meccanico o esplosivi.

METODO APPROSSIMATO per la stima di c' e ϕ' equivalenti local

Per valutare la res. Anzitutto secondo il criterio Mohr-coulomb.. (Da Hoek et al. 2002)

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

Phi'

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

C'

Dove:

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

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

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

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

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

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

METODO APPROSSIMATO di hoek per la stima di c' e phi' equivalenti local
Per valutare la res. Al taglio secondo il criterio Mohr-coulomb..

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

Phi'

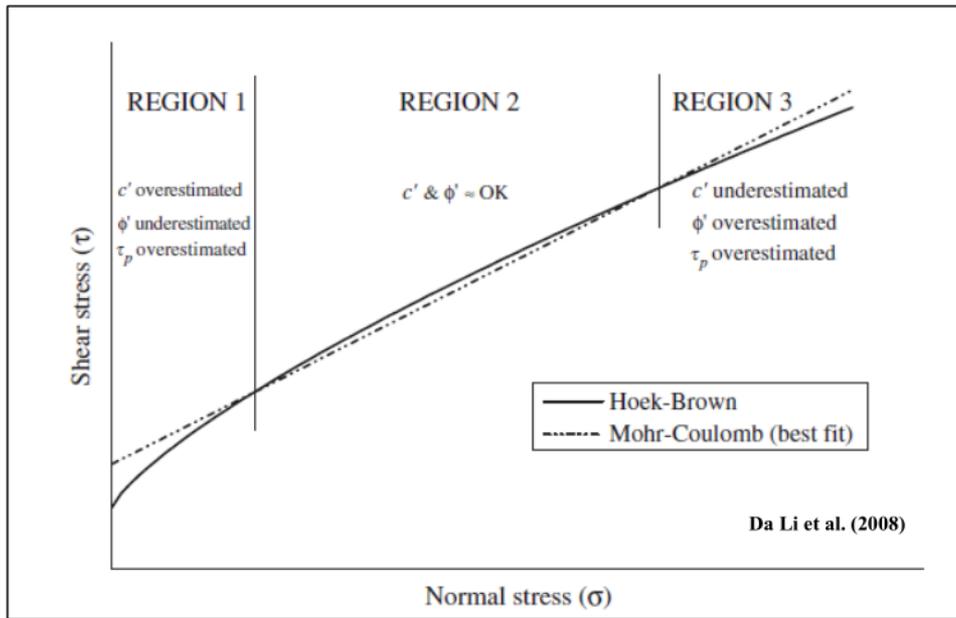
$$c' = \frac{\sigma_{ci} \left[(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n} \right] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \left(6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1} \right) / ((1+a)(2+a))}}$$

C'

Dalla primavera 2018 il metodo approssimato per la stima dei Parametri di resistenza la taglio in SSAP NON si usa più...!!

Si Usano invece metodi numerici e analitici più rigorosi ..

N.B.: in molti Software famosi, anche a elementi finiti, è invece ancora in uso il metodo approssimato...



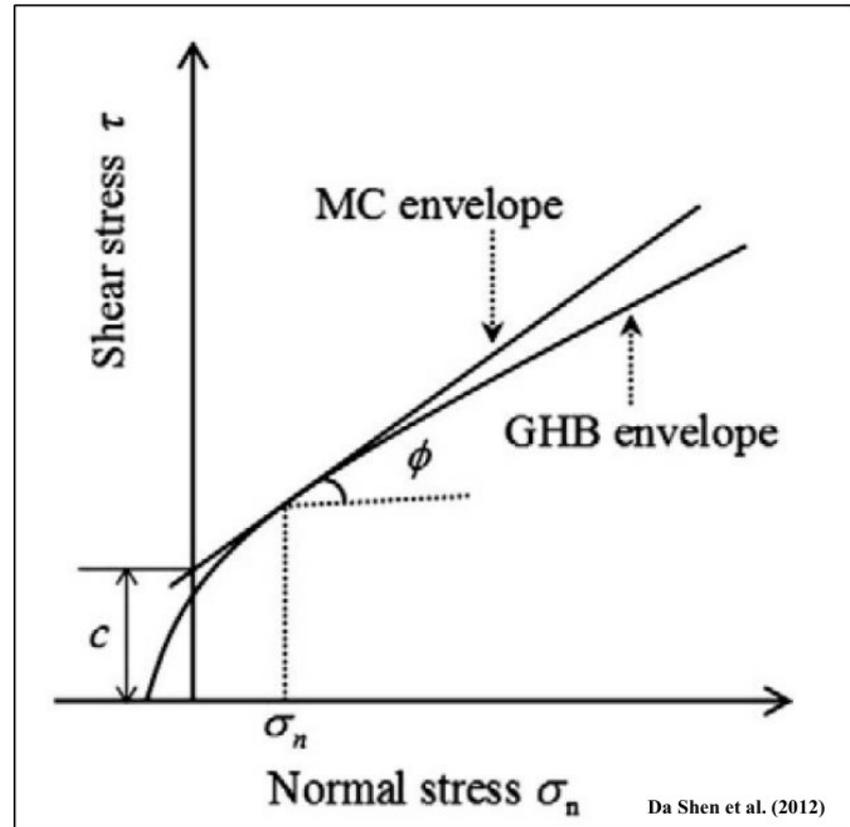
Il metodo di Hoek et al 2002 di linearizzazione locale (mediante best fit) dell'involuppo sigma /tau e' molto impreciso, secondo diversi autori: Carranza-Torres(2004), Brown (2008).

Pero' esistono valide alternative.. numeriche e semianalitiche efficienti

Dall'averzione SSAP 4.9.2 abbiamo Piu' efficienti alternative per calcolare i valori c' e phi', lungo l'involuppo di rottura curvo del criterio HB generalizzato. (GHB)

Tabella D.1

N. Metodo	Nome	Tipo di metodo	Rif. bibliografico
1	Carranza-Torres	Numerico	Carranza-Torres(2004)
2	Lei et al.	Numerico	Lei et al.(2016)
3	Lee & Petruszczak	Semi-analitico	Lee & Petruszczak (2017)



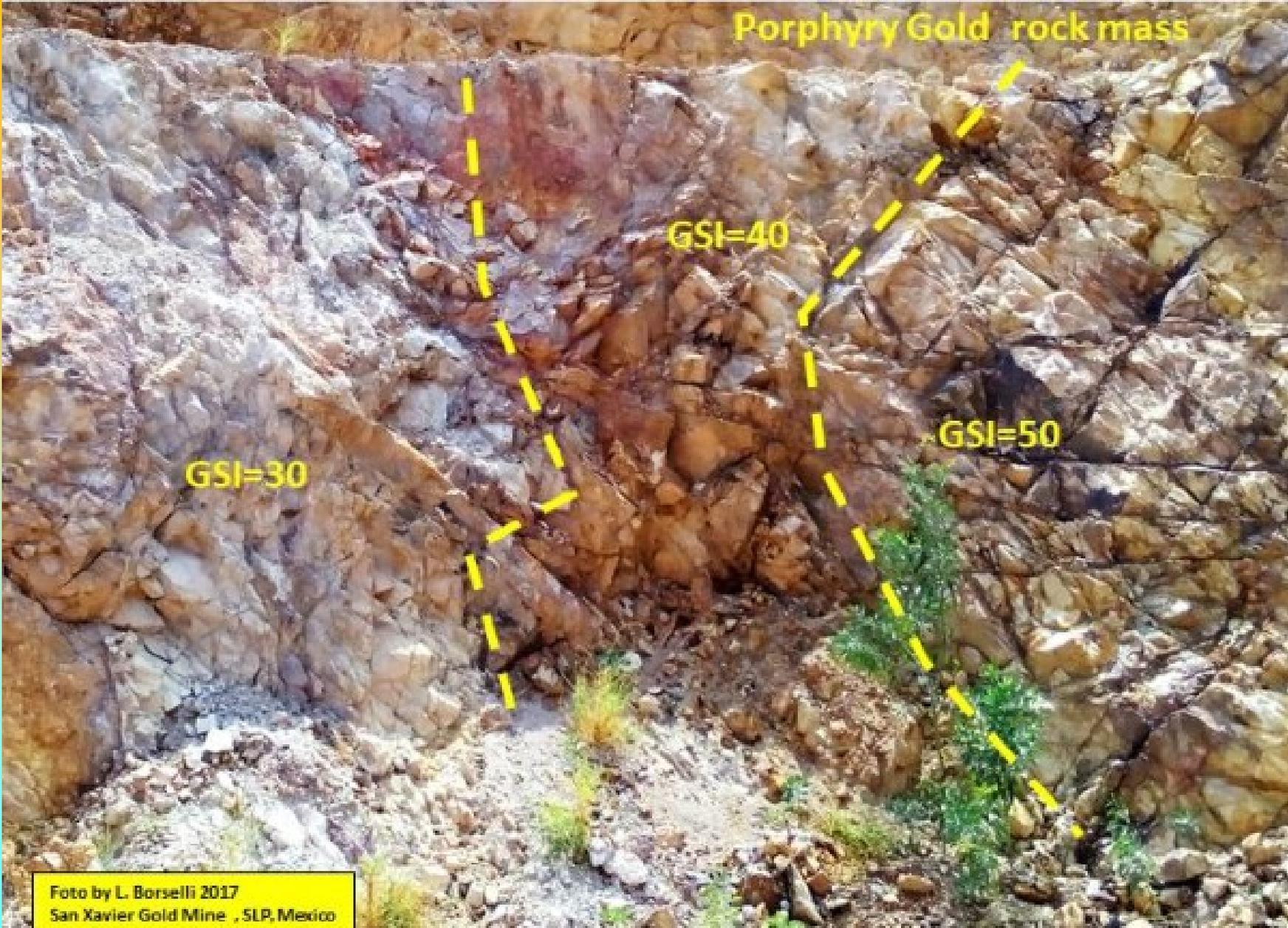
		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks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

DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES

Da software ROCKLAB

← Stima del parametro GSI

Porphyry Gold rock mass

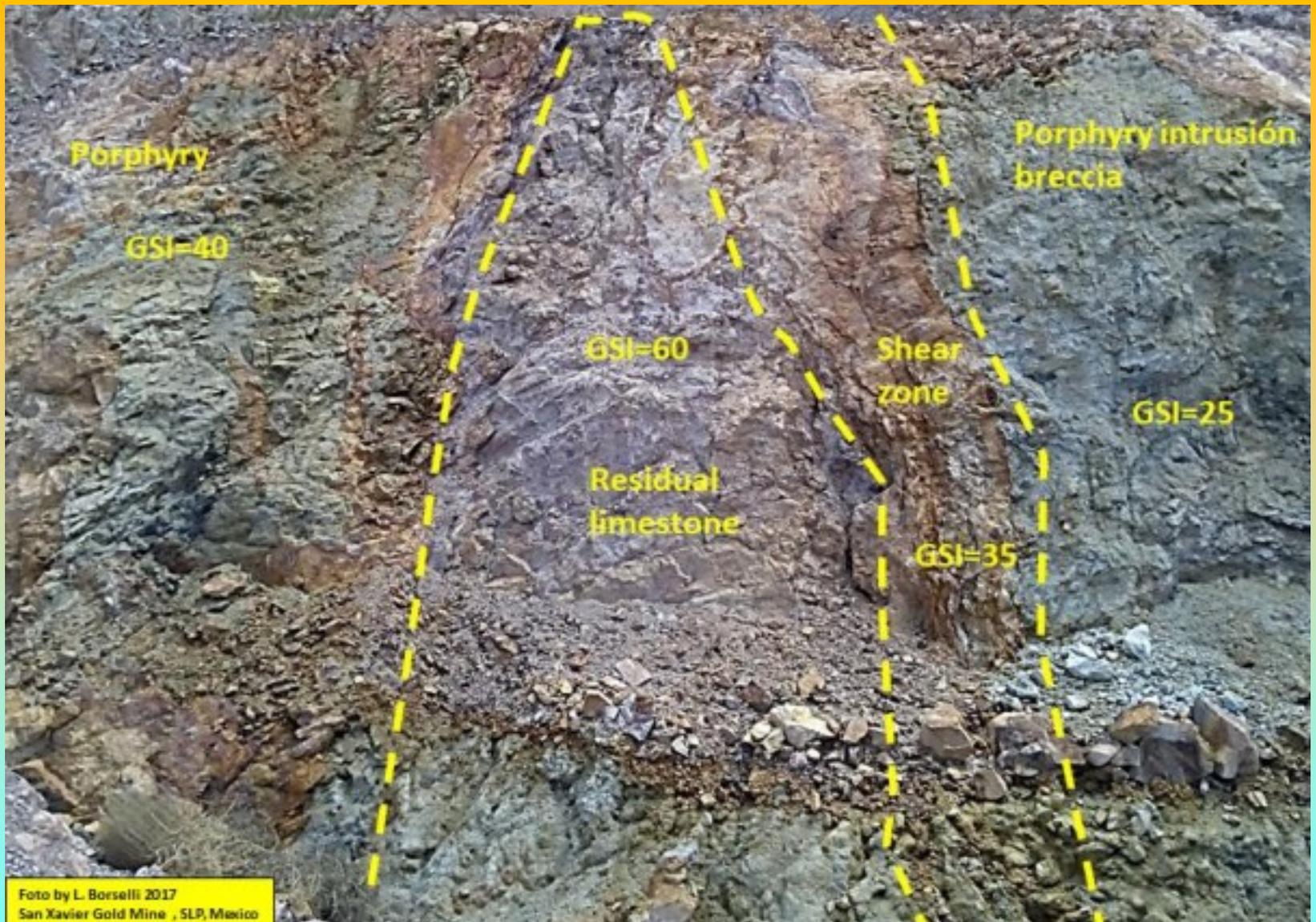


GSI=30

GSI=40

GSI=50

Foto by L. Borselli 2017
San Xavier Gold Mine , SLP, Mexico



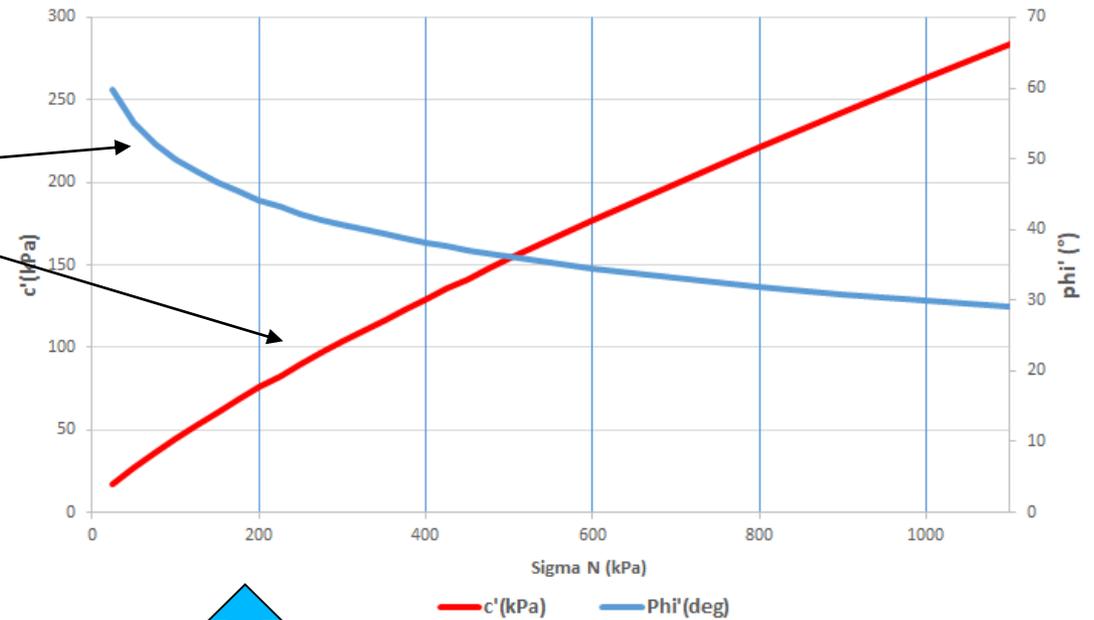
La unità *porphyry intrusion breccia* è caratterizzato da $\sigma_{ci}=15$ (MPa); GSI =25; $m_i =22$;

D=0.5.

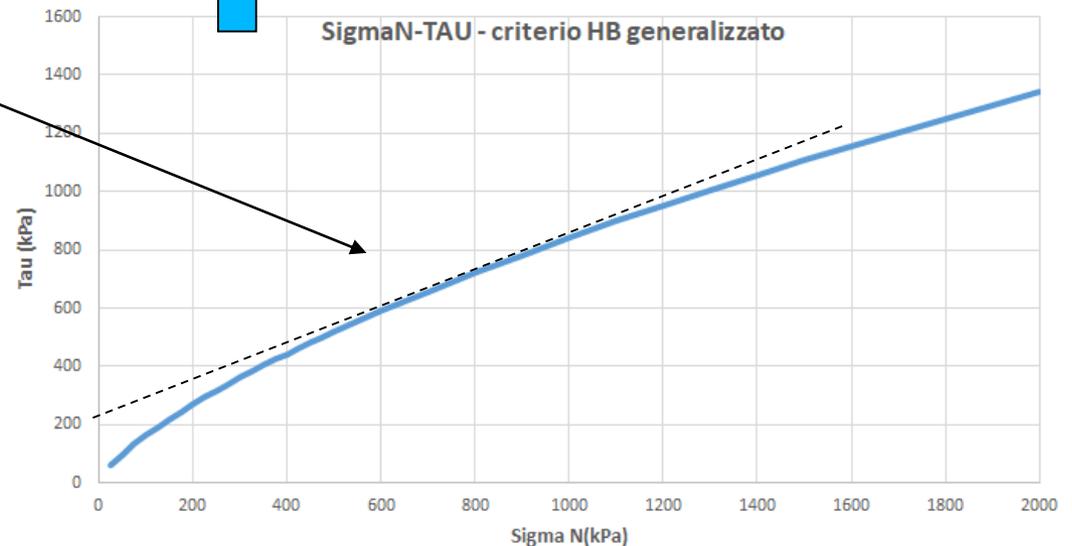
Si nota come i valori c' e ϕ' Equivalenti variano in modo rilevante in funzione dello stato tensionale che determina il valore locale di $\Sigma N'$ e del Valore della resistenza al taglio totale locale.

**Metodo numerico
Per la stima dei
parametro
In funzione dello
stato tensionale**

Criterio HB generalizzato



SigmaN-TAU - criterio HB generalizzato

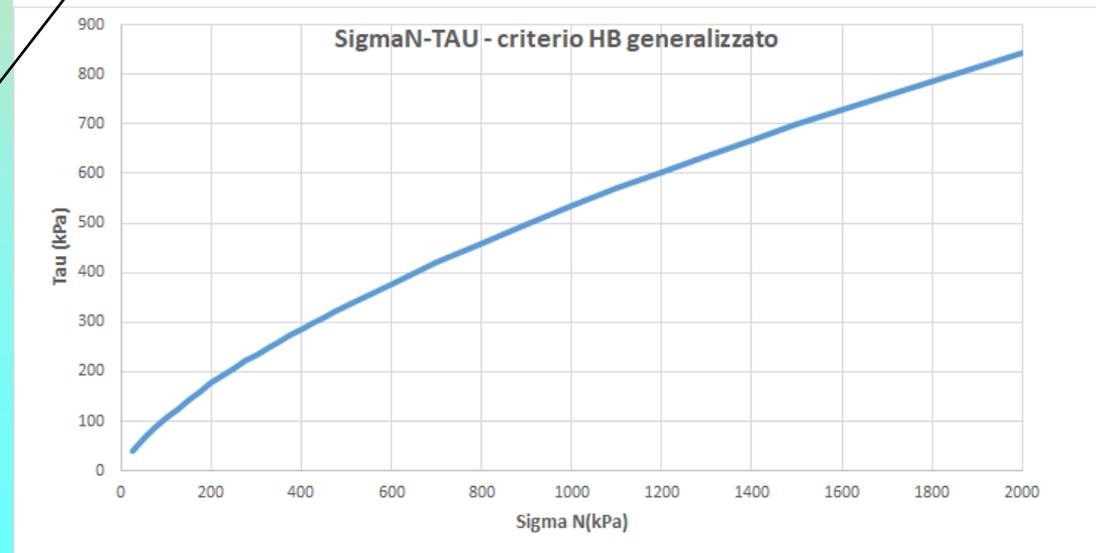
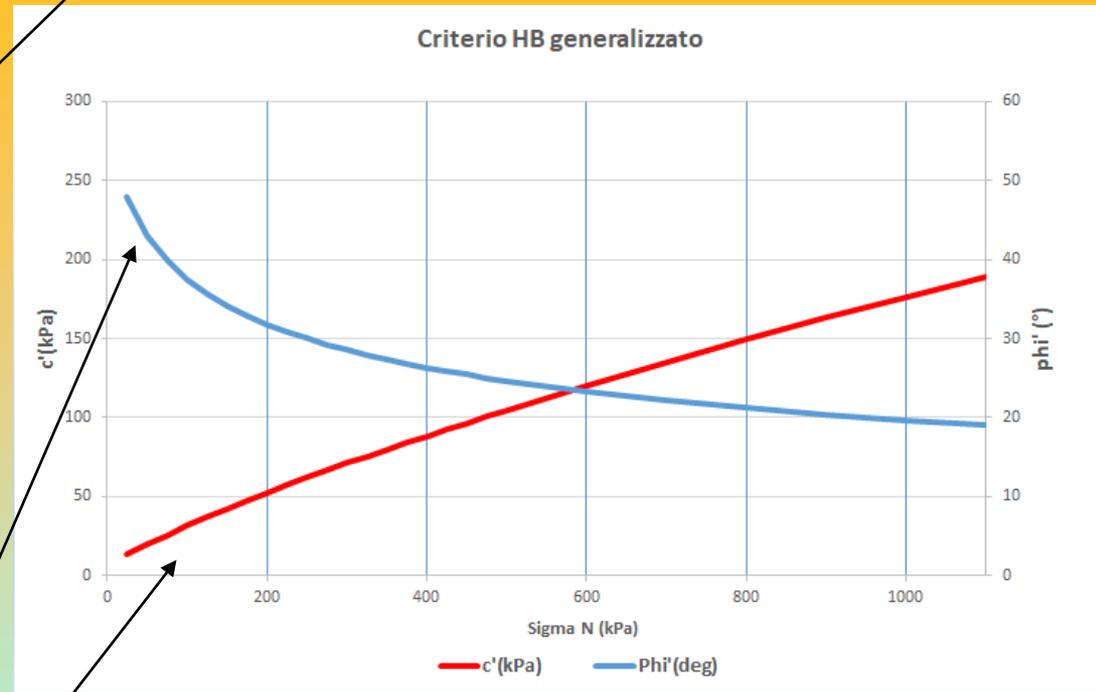


L'ammasso è caratterizzato da $\sigma_{ci}=30$ (Mpa); GSI =15; $m_i=8$; D=0.5.

Questo ammasso su flyshoidi ha un livello di disturbo piu elevato(GSI=15) ma una resistenza alla compressione uniassiale maggiore della roccia intatta

UCS=30MPa

Pero' come risultato abbiamo minori c' e ϕ'



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



TYPE I. Undisturbed, with thick to medium thickness sandstone beds with sporadic thin films of siltstone. In shallow tunnels or slopes where confinement is poor the mode of the failure has a kinematic character controlled by the bedding planes and GSI is meaningless



TYPE II. Undisturbed massive siltstone (stratification planes are imperceptible) with sporadic thin interlayers of sandstones



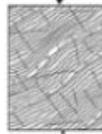
TYPE III. Moderately disturbed sandstones with thin films of interlayers of siltstone



TYPE IV. Moderately disturbed rockmass with sandstone and siltstone similar amounts



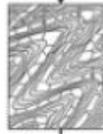
TYPE V. Moderately disturbed siltstones with sandstone interlayers



TYPE VI. Moderately disturbed siltstones with sparse sandstone interlayers



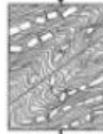
TYPE VII. Strongly disturbed, folded rockmass that retains its structure, with sandstone and siltstone in similar extend



TYPE VIII. Strongly disturbed, folded rockmass, with siltstones and sandstone interlayers. The structure is retained and deformation - shearing is not strong



TYPE IX. Desintegrated rockmass that can be found in wide zones of faults or/and of high weathering. In this type mainly brittle material is present with some disturbed siltstones between rock pieces



TYPE X. Tectonically deformed intensively folded/ faulted siltstone or clay shale with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure



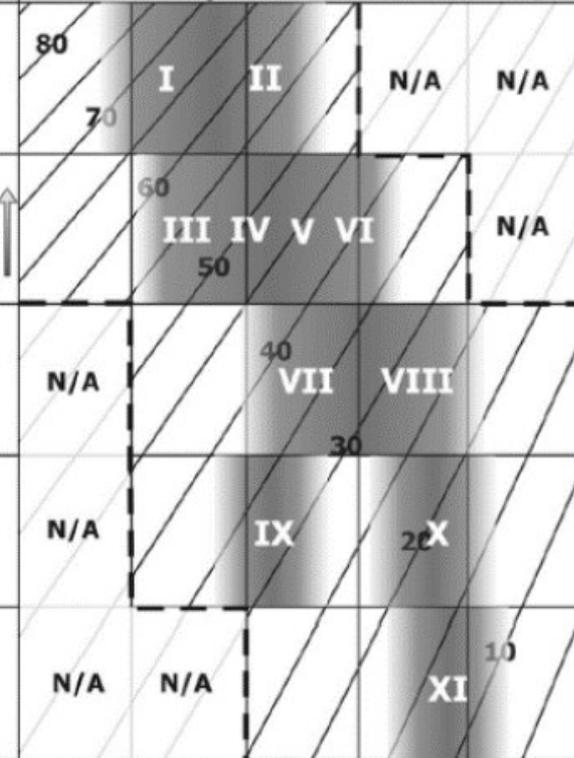
TYPE XI. Tectonically strongly sheared siltstone or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces. Ultimately the ground behavior is that of a soil

SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Predominantly bedding planes)

VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered or oxydised surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Very smooth, occasionally slickensided surfaces with compact coatings or fillings with angular fragments	VERY POOR Very smooth, slickensided or highly weathered surfaces with soft clay coating or fillings
--	---	--	---	---

DECREASE OF THE QUALITY OF DISCONTINUITIES →

↑ (WHEN THICKNESS OF SANDSTONE BEDS > 50cm)



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



Tipo VII GSI medio=40-35

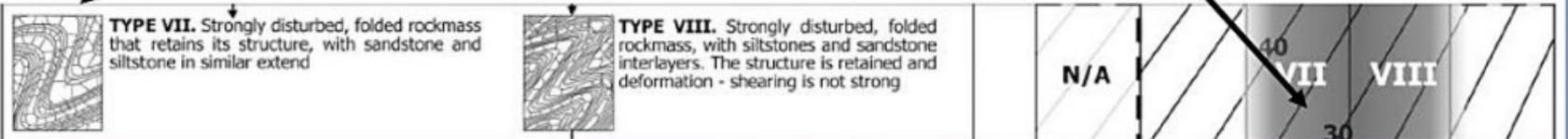


Fig. D.41

Esempio classificazione da atlante con immagini di formazioni flyshoidi in manuale SSAP 4.9.8



Stima alternativa Generalizzata ed efficiente di GSI

Vedi manuale SSAP pagine 254 e
seguenti Per stima V_b e J_c ... e
conseguentemente
di GSI. Russo (2009) 

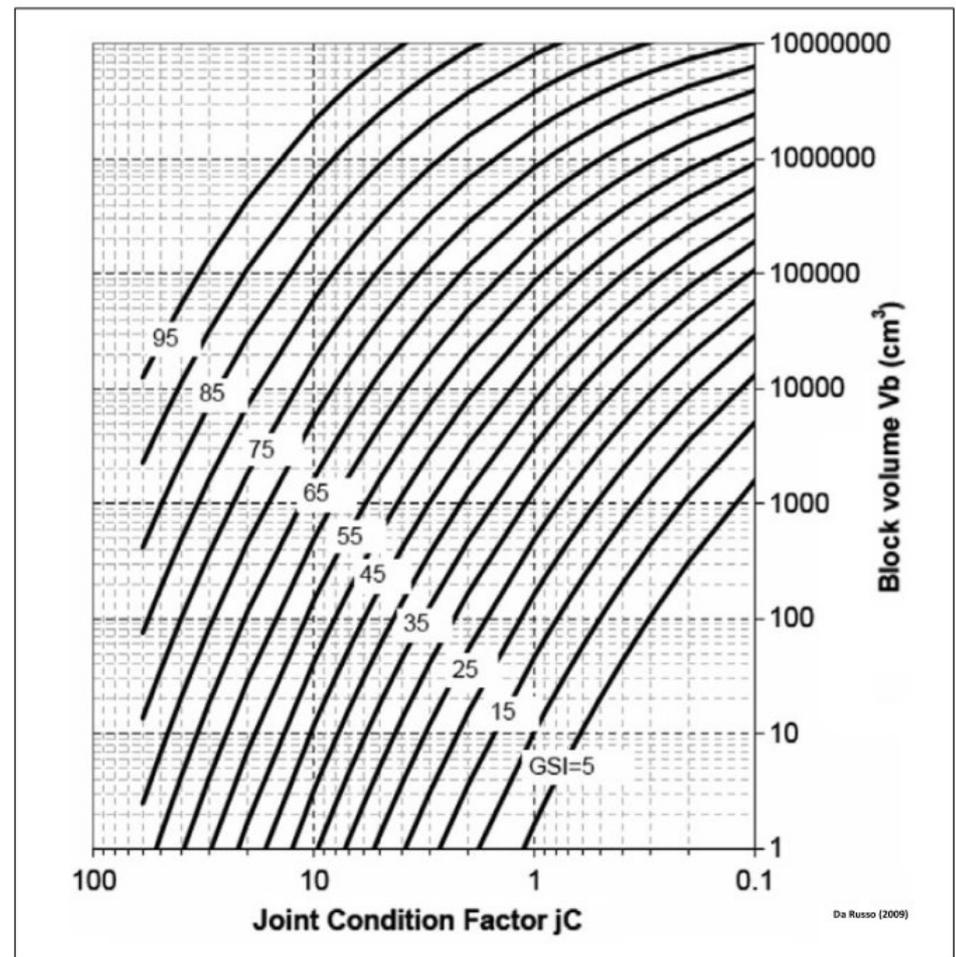


Fig. D.12

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

con :

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

dove:

Jc: joint condition factor (adimensionale)

V_b : Volume medio dei blocchi in (m^3)

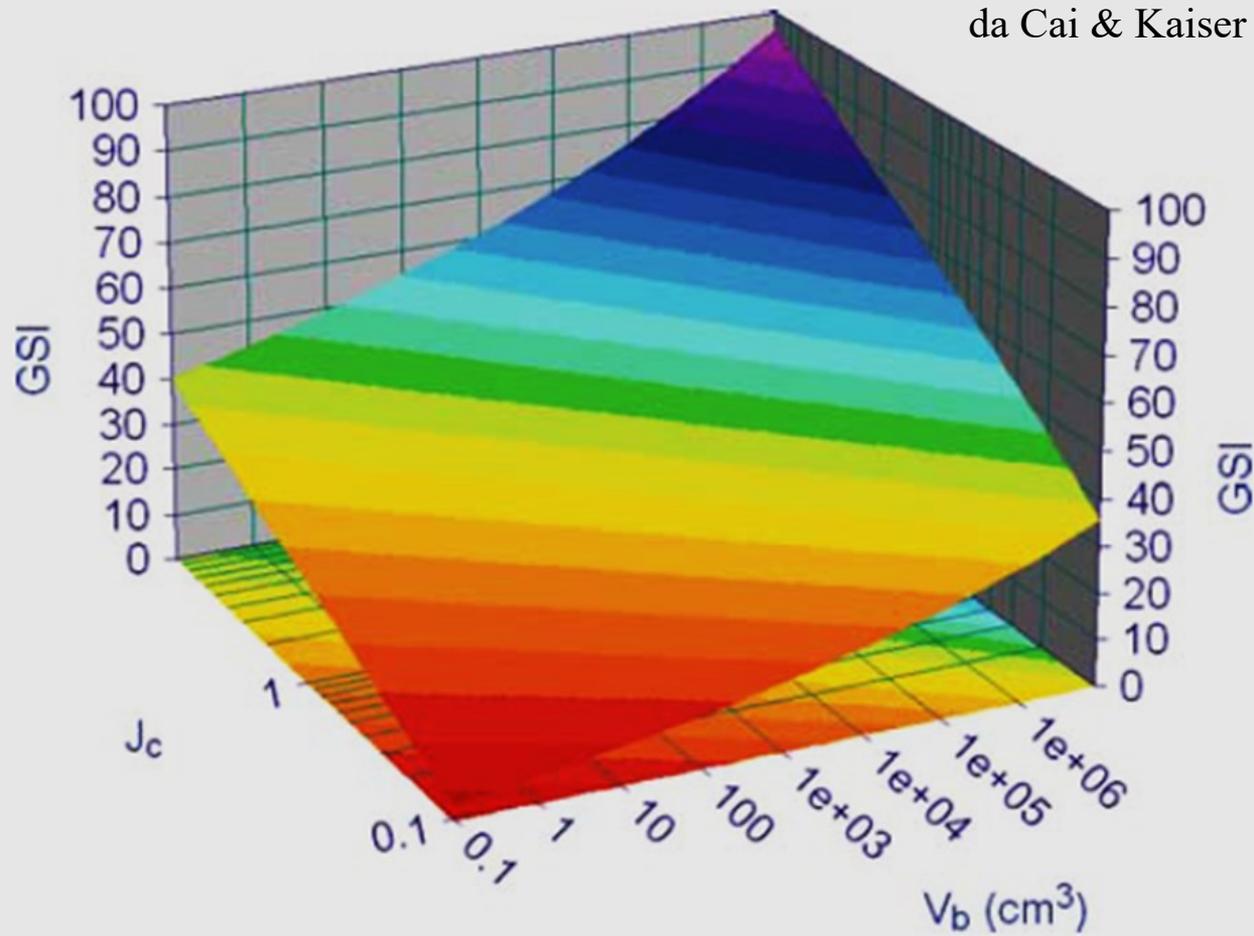


Figure 5. Two-dimensional GSI system visualization.

$$RMR_{89} > 23 \rightarrow GSI = RMR_{89} - 5$$

$RMR_{89} < 23 \rightarrow$ No se puede utilizar el RMR_{89} para la obtención del GSI

Parametro m_i



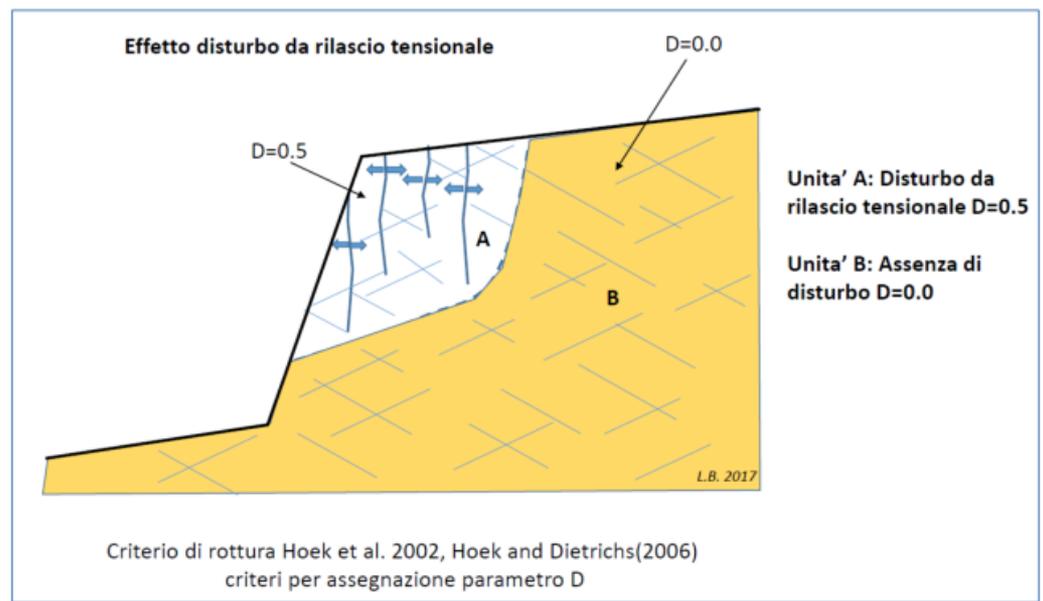
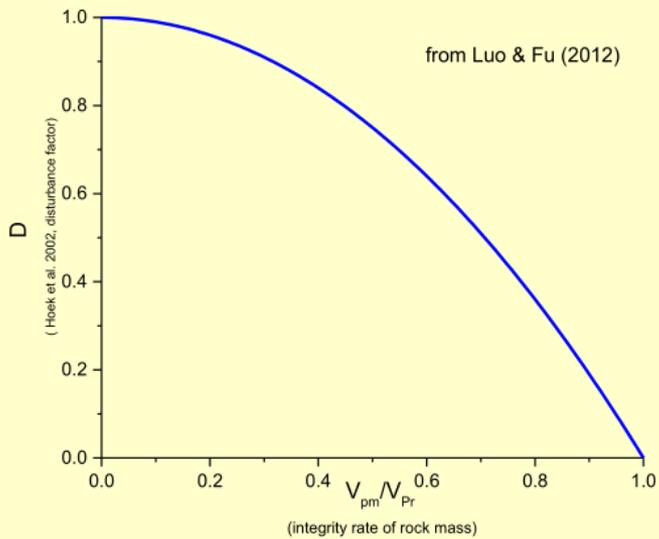
Table 2: Values of the constant m_i for intact rock, by rock group⁴. Note that values in parenthesis are estimates. The range of values quoted for each material depends upon the granularity and interlocking of the crystal structure – the higher values being associated with tightly interlocked and more frictional characteristics.

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates *	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2	Claystones 4 ± 2
			Breccias *		Greywackes (18 ± 3)	Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
	Organic				Chalk 7 ± 2	
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6	Gneiss 28 ± 5	
	Foliated**			Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3	Diorite 25 ± 5	Granodiorite (29 ± 3)	
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal		Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava	Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5		Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

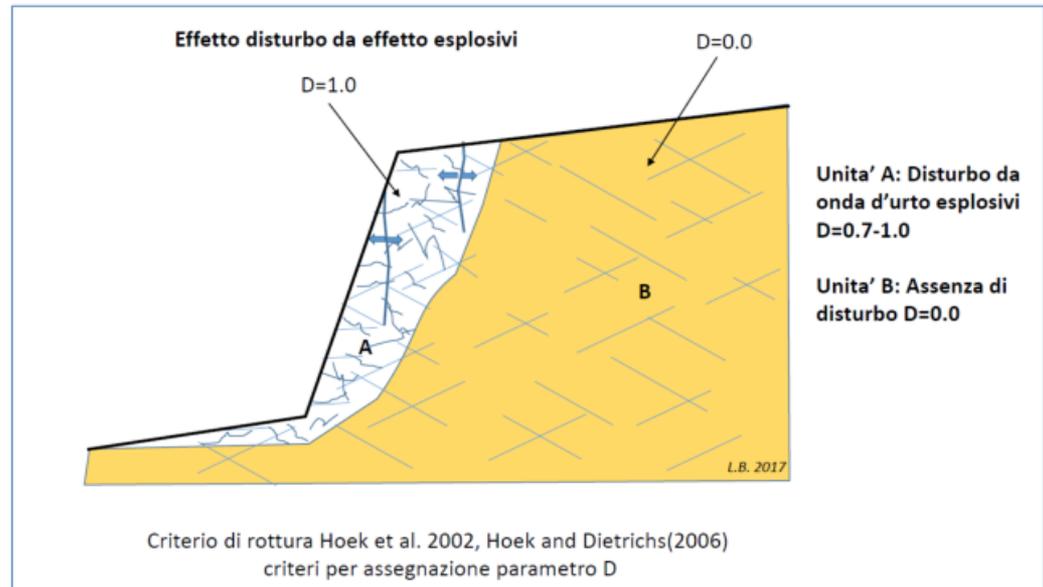
* Conglomerates and breccias may present a wide range of m_i values depending on the nature of the cementing material and the degree of cementation, so they may range from values similar to sandstone, to values used for fine grained sediments (even under 10).

** These values are for intact rock specimens tested normal to bedding or foliation. The value of m_i will be significantly different if failure occurs along a weakness plane.

⁴ Note that this table contains several changes from previously published versions, These changes have been made to reflect data that has been accumulated from laboratory tests and the experience gained from discussions with geologists and engineering geologists.

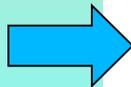


(a)



(b)

Borselli (2018)

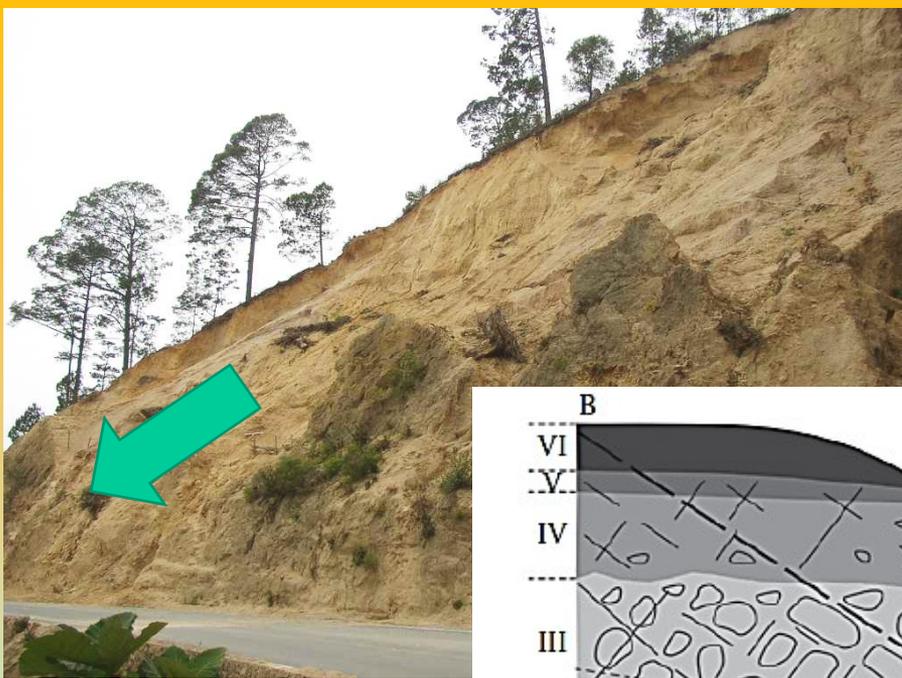


Stima Parametro D
(fattore di disturbo indotto)
in
Manuale SSAP
pagina 264 e seguenti..

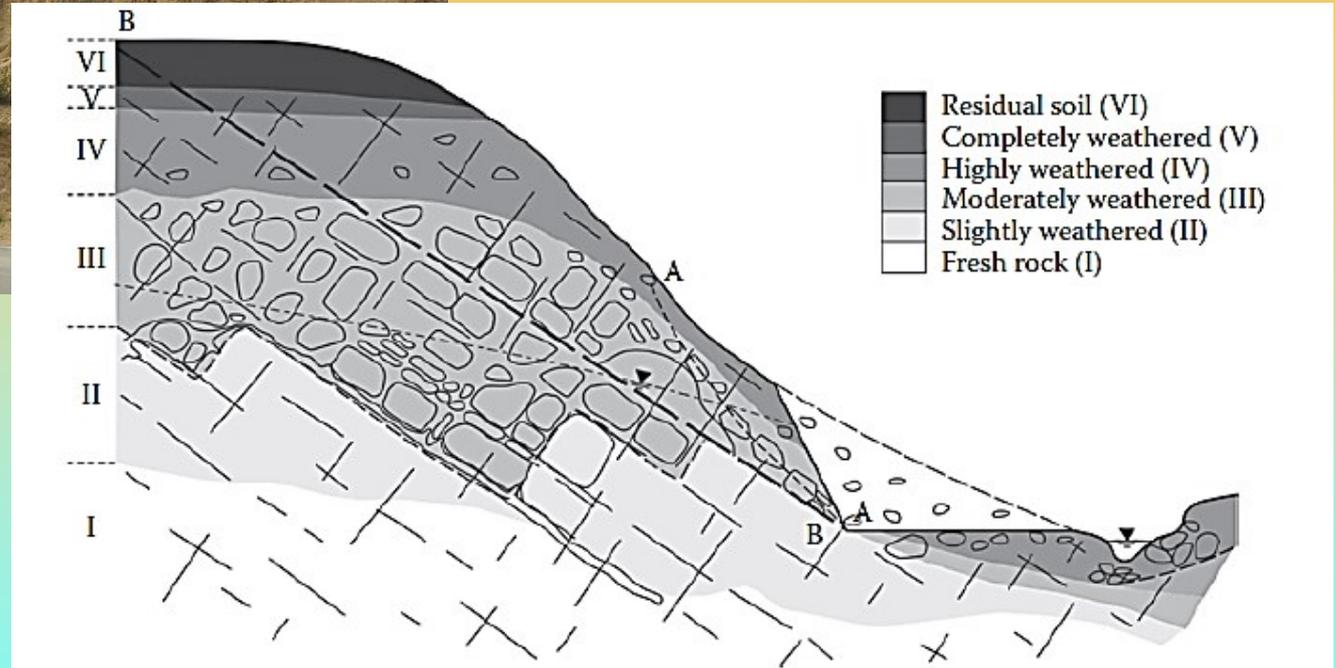


Granito rosa
molto alterato nei primi 4 metri
(*saprolite*)

Chiapas occidentale, Mexico Foto L. Borselli (2004)



Processo di alterazione superficiale e stabilita' dei pendii..

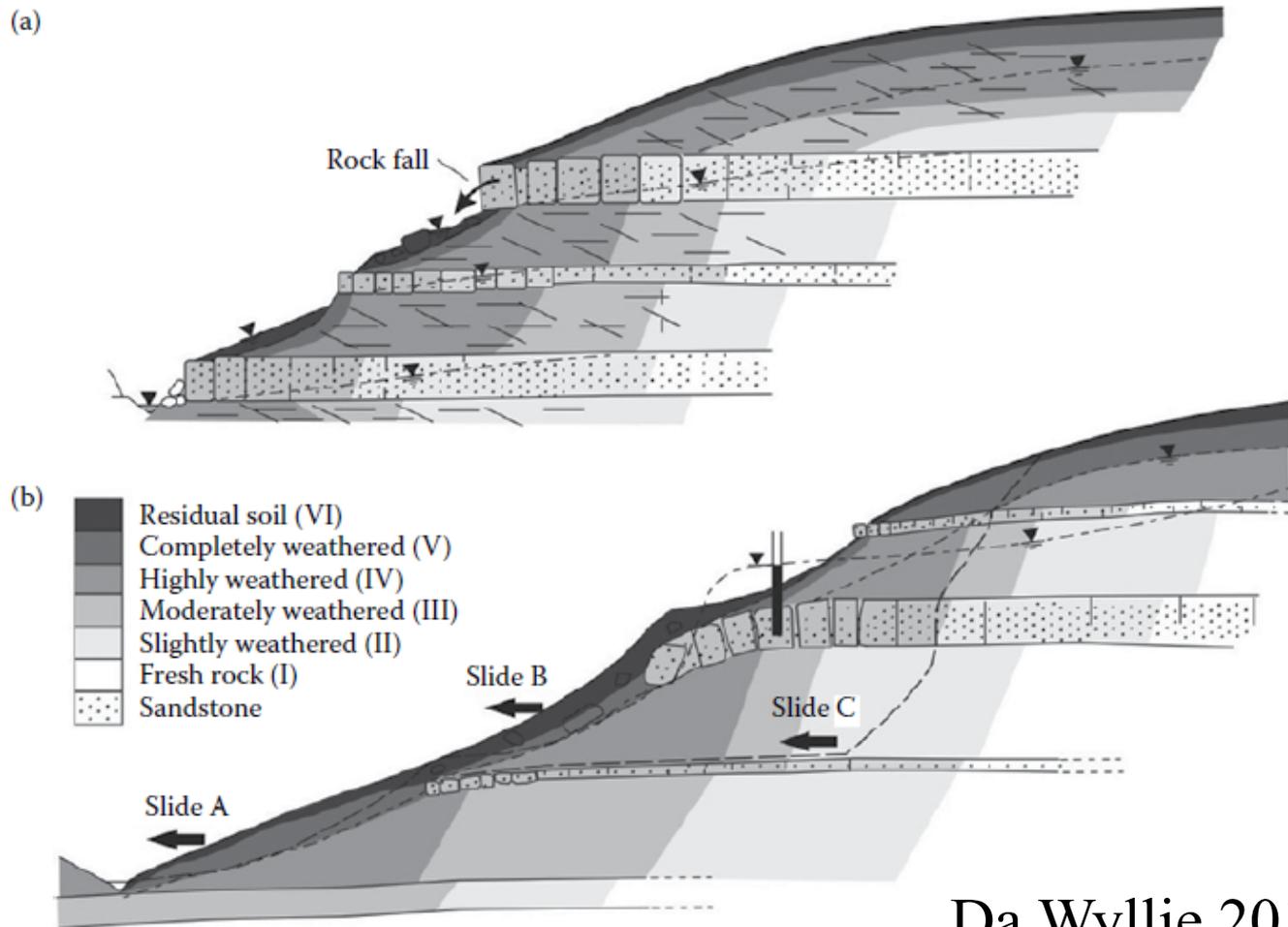


Granito rosa

molto alterato nei primi 4 metri

(*saprolite*)

Chiapas occidentale, Mexico Foto L. Borselli 2004



Da Wyllie 2018

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).

Processo di alterazione superficiale
e stabilita' dei pendii..

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

Dominio continuo



Complessita' stratigrafica e geomeccanica
Influenza di eterogeneita' e discontinuita'

Dominio discontinuo



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

Parametri geomeccanici in SSAP - file .GEO

Criterio di rottura Hoek et al. (2002).

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

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

6° colonna : **σ_{ci}** = Resistenza Compressione Uniassiale Roccia Intatta (in MPa);

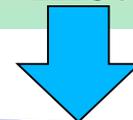
7° colonna: **GSI** = Geological Strength Index ammasso(adimensionale);

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

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

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

Parametri
método GSI



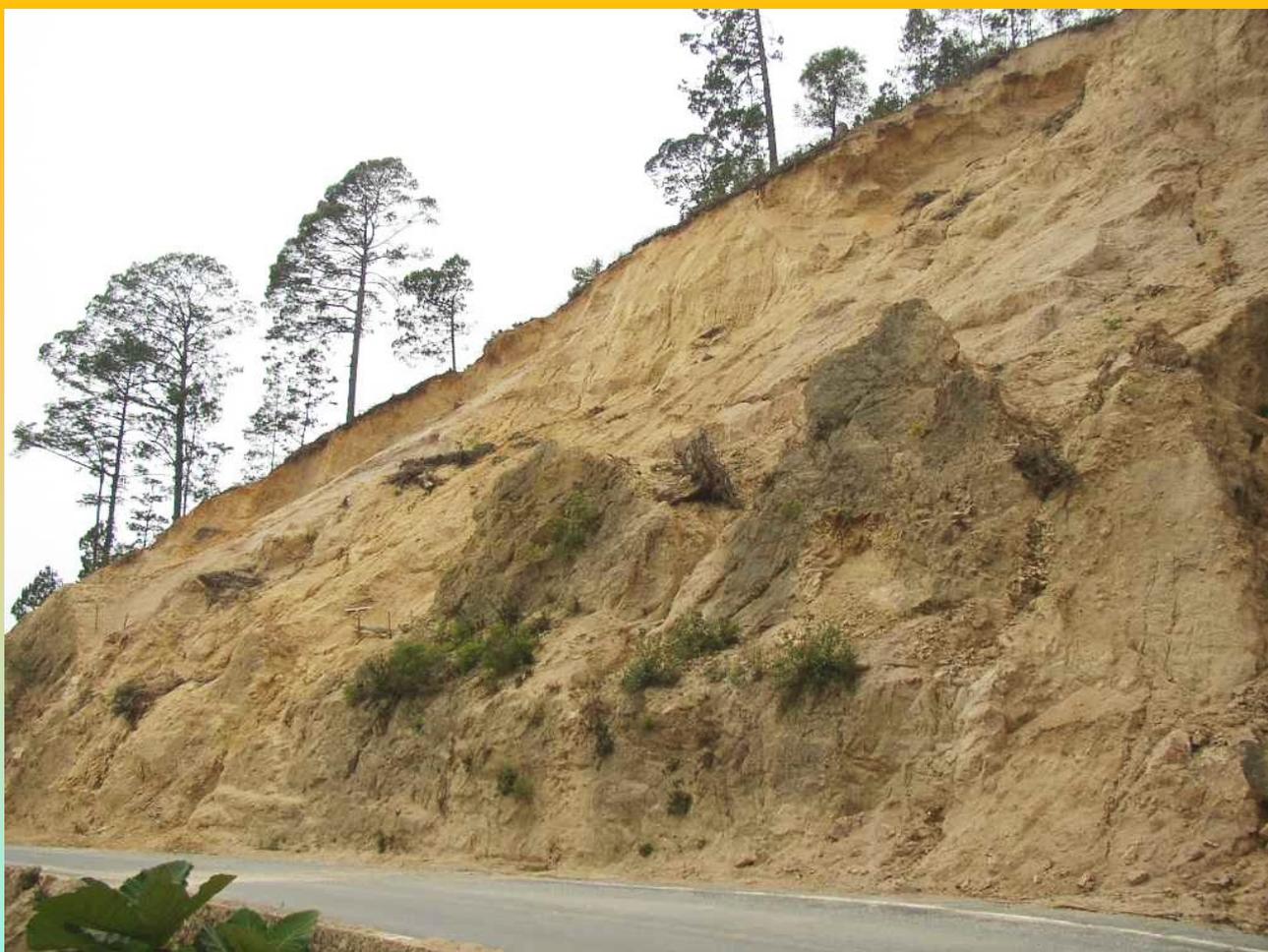
N.B.: Nel caso di uso **criterio di Barton(2013)** si fa uso dei soli valori **ϕ'** e **c'** equivalenti. Lo stesso nel caso d discontinuità strutturali e giunti (Barton 1985)

Motozintla – Chiapas Messico 2003



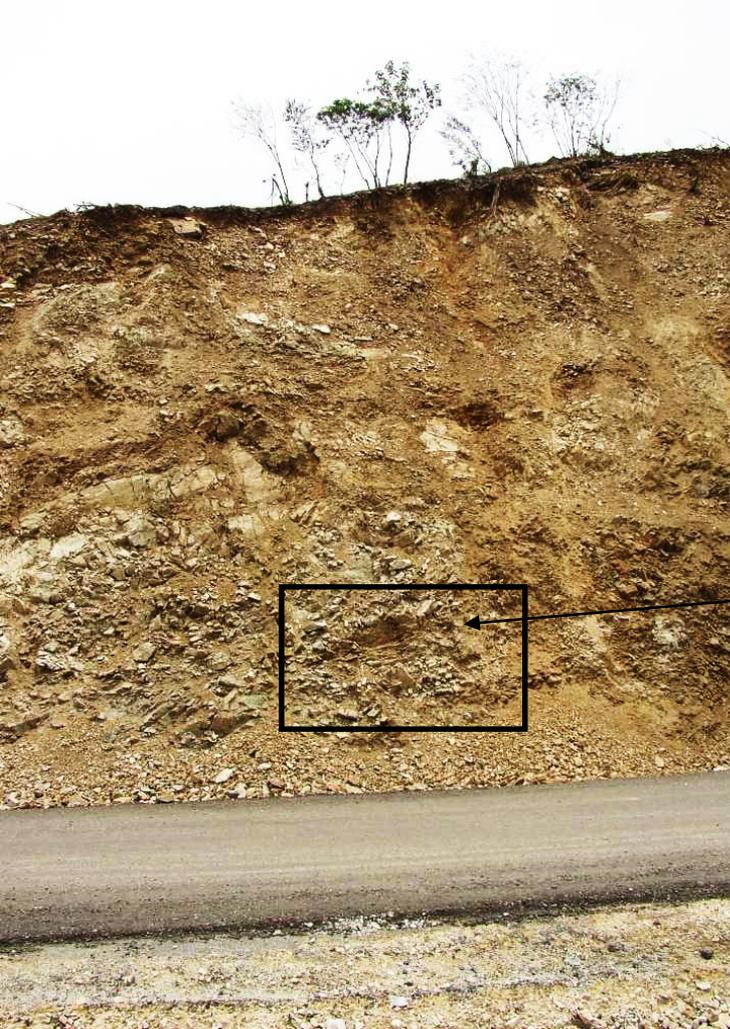
Ammasso roccioso
Costituito granodiorite
estremamente alterata

Hoek rock mass strength parameters (Hoek 1997,2002)						strength parameters at Z=4m	
sgci (MPa)	GSI	mi	D	assumed Unit weighth (kN/m ³)	effective stress at Z=4m (kPa)	c' (kPa)	φ' (degrees)
5	18	15	0.7	24	96	12.0	30.6



Granito rosa
molto alterato nei
primi 4 metri
(saprolite)

Hoek rock mass strength parameters (Hoek 1997,2002)						strength parameters at Z=4m	
sgci (MPa)	GSI	mi	D	assumed Unit weighth (kN/m ³)	effective stress at Z=4m (kPa)	c' (kPa)	ϕ' (degrees)
10	35	32	0.7	23	104	38.0	51.0



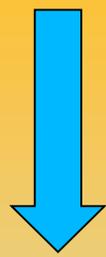
Contatto tettonico graniti /micascisti
Breccia di faglia

Hoek rock mass strenght parameters (Hoek 1997,2002)						strength parameters at Z=4m	
sgci (MPa)	GSI	mi	D	assumed Unit weighth (kN/m ³)	effective stress at Z=4m (kPa)	c' (kPa)	φ' (degrees)
35	20	10	0.7	24	104	26.1	41.5

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

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

(Barton-
Bandis 1990
Per specifiche
discontinuita')



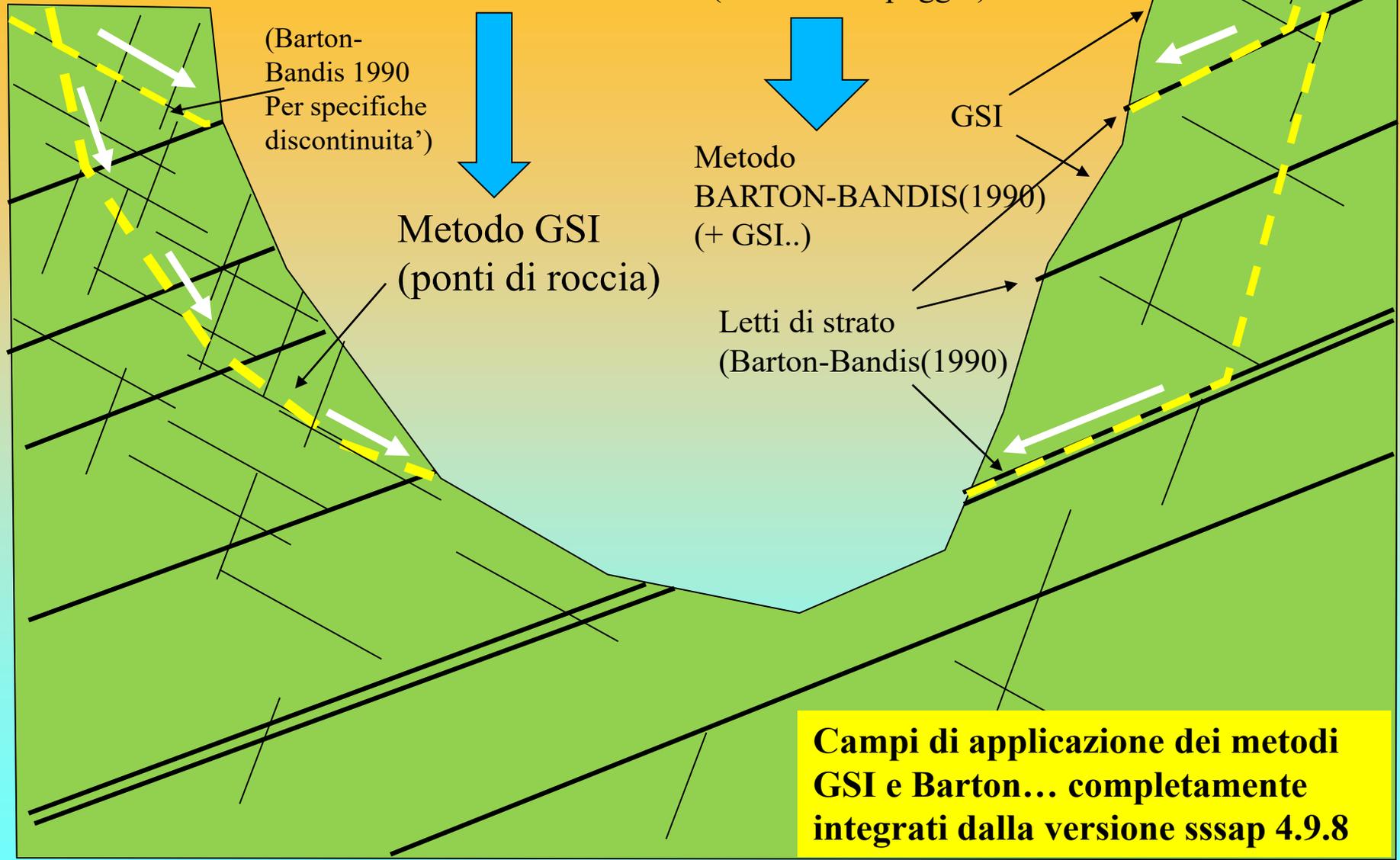
Metodo GSI
(ponti di roccia)



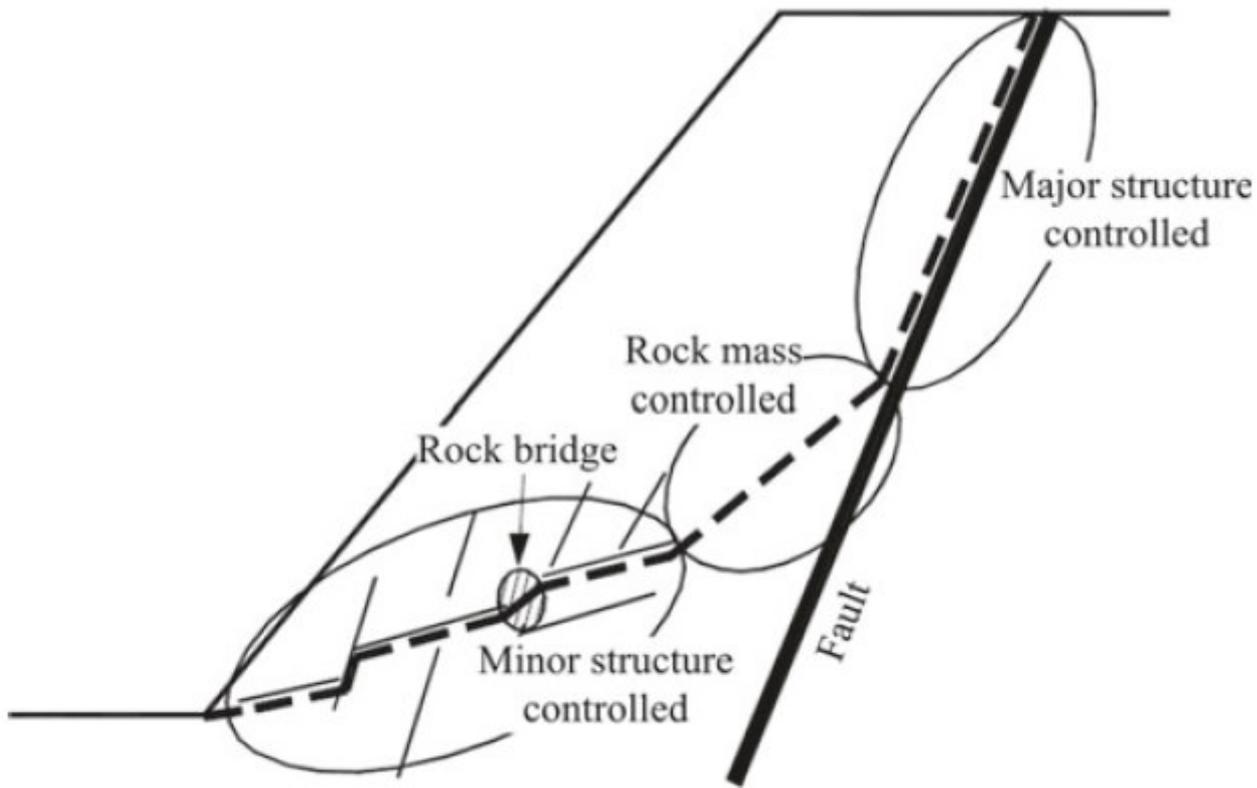
Metodo
BARTON-BANDIS(1990)
(+ GSI..)

Letti di strato
(Barton-Bandis(1990))

GSI



**Campi di applicazione dei metodi
GSI e Barton... completamente
integrati dalla versione sssap 4.9.8**



Schematic diagram of structurally-controlled instability (Baczynski 2000)

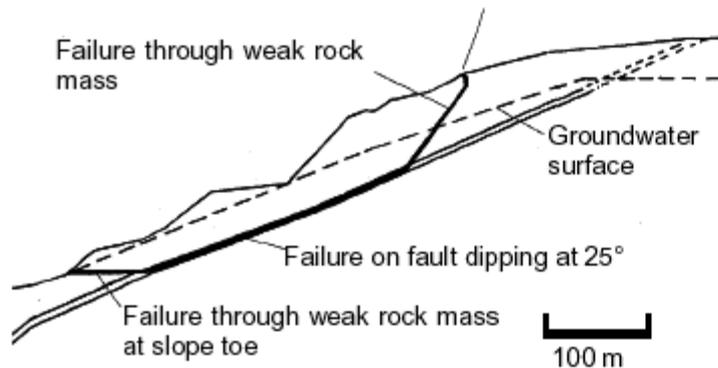
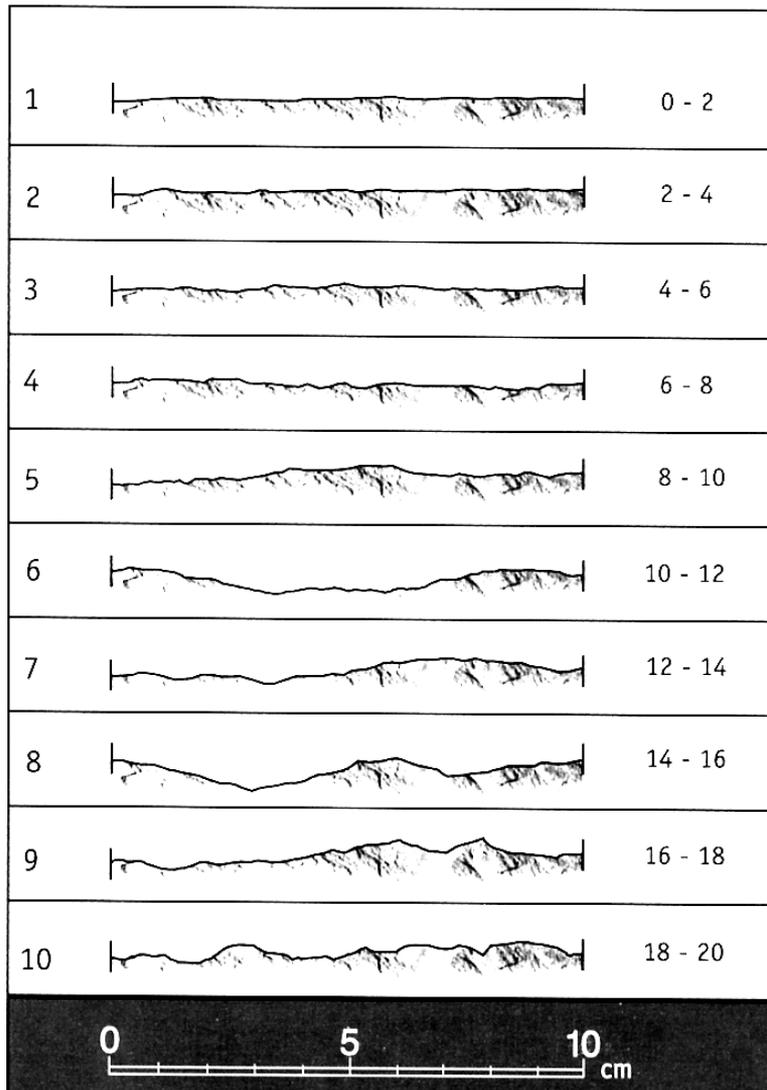


Figure 11.31: Complex slope failure controlled by an outward dipping basal fault and circular failure through the poor quality rock mass overlying the toe of the slope.

Caso di discontinuita' ben identificate

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

Tavola del JCR



JRC = coefficiente rugosita' (dimensionalmente un angolo)

JCS = resistenza compressione uniassiale sulla superficie della discontinuita' (MPa)

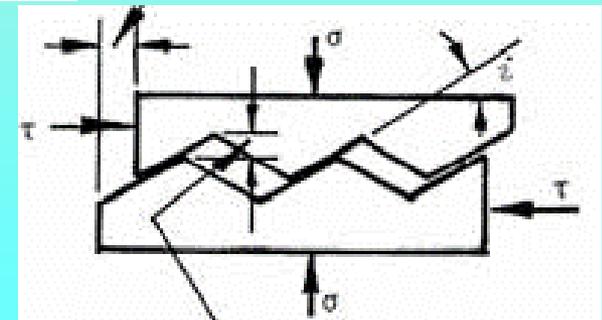
σ_n = pressione normale alla superficie della discontinuita'

ϕ_r = angolo di frizione residuale (da tilt test e prove con sclerometro) , i = angolo di dilatanza

Barton & Bandis (1990)

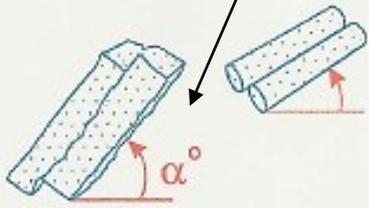
$$\tau = \sigma_n \tan \left[JRC * \text{Log}_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \phi_r \right]$$

$$\tau = \sigma_n \tan (i + \phi_r) \quad \text{Patton (1966)}$$



$$\phi_r = (\phi_b - 20^\circ) + 20 \frac{r_5}{R_5}$$

Come ottenere ϕ_r
da tilt test e prove
dirette sulla
discontinuita' con
sclerometro di Schmidt,
da Barton(2013)



TILT TEST

$$\phi_r \leq \phi_b$$

Schmidt's Hammer per la valutazione della resistenza alla compressione uniaassiale di rocce ,diretto in campo

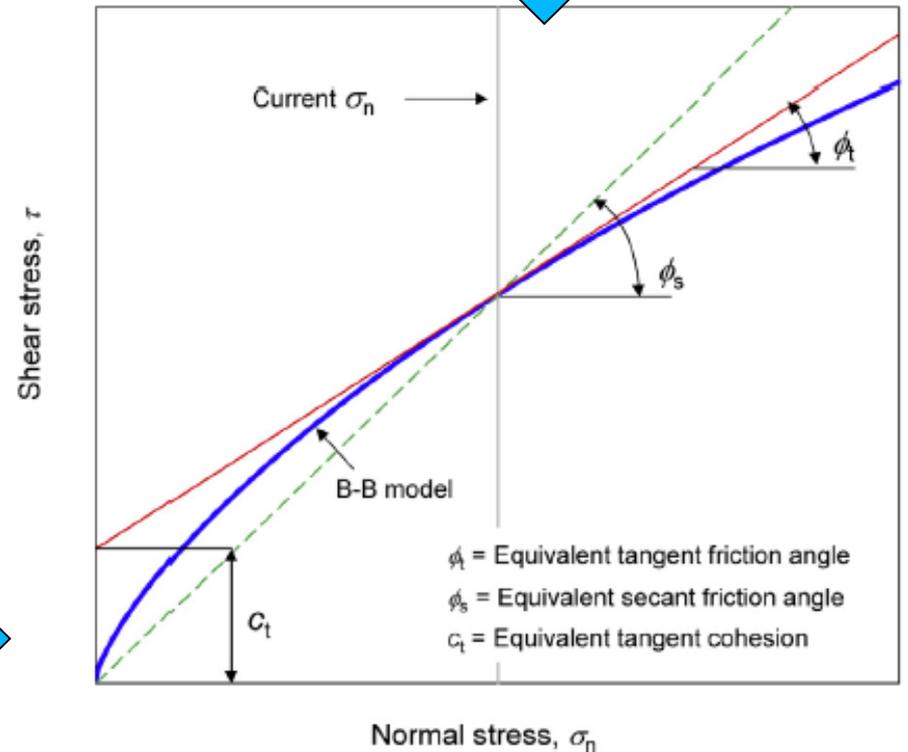
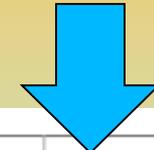
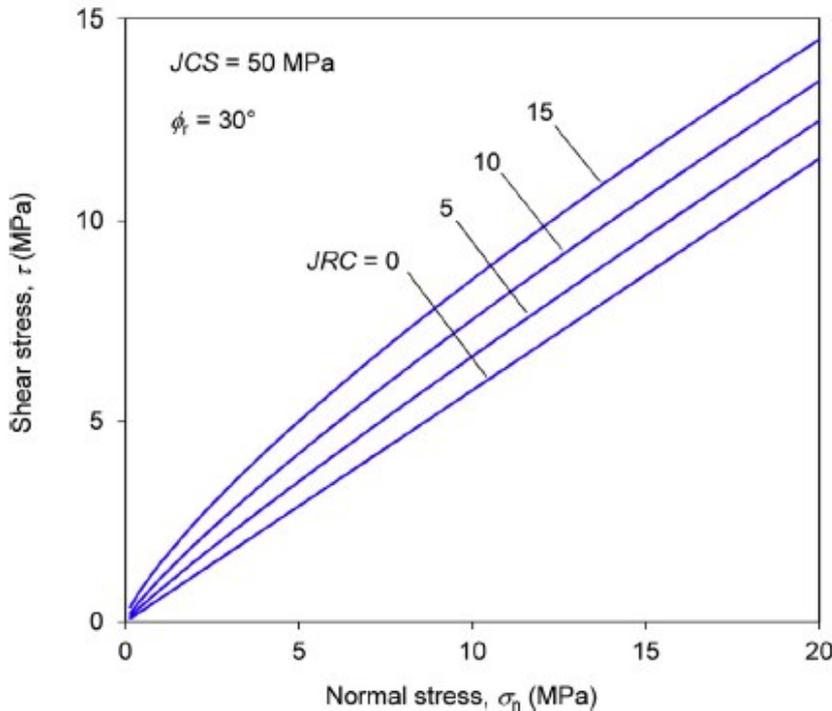
Numero rimbalzi r_5
su roccia alterata

Numero rimbalzi R_5
su roccia non
alterata



Criterio B-B non-lineare che puo'essere usato a partire dalla versione ssap 4.9.6

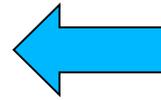
Dato che anche il criterio di rottura di Barton per le discontinuita' e' curvo anche la stima di ϕ' e c' equivalenti non puo' essere semplicemente linearizzato. (porterebbe a grosse sovrastime o sottostime)



La stima locale dei valori ϕ' e c' equivalenti in SSAP seguendo il método di Prasetyo et al. (2017)

$$JRC_n = JRC_0 \left[\frac{L_n}{L_0} \right]^{-0.02 JRC_0}$$

$$JCS_n = JCS_0 \left[\frac{L_n}{L_0} \right]^{-0.03 JRC_0}$$



Correzione per effetto
di scala dei parametri
JRC e JCS
Secondo Barton &
Bandis (1990)

Dove:

JRC_0 : indice di rugosità' dei giunti ottenuto a una specifica scala di misura (es 0.1 m) sulla discontinuità;

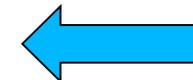
JRC_n : indice di rugosità' dei giunti normalizzato specifica scala di persistenza della discontinuità (es 3 m);

JCS_0 : resistenza alla compressione semplice (MPa) dei giunti ottenuto a una specifica scala di misura (es 0.1 m) sulla discontinuità;

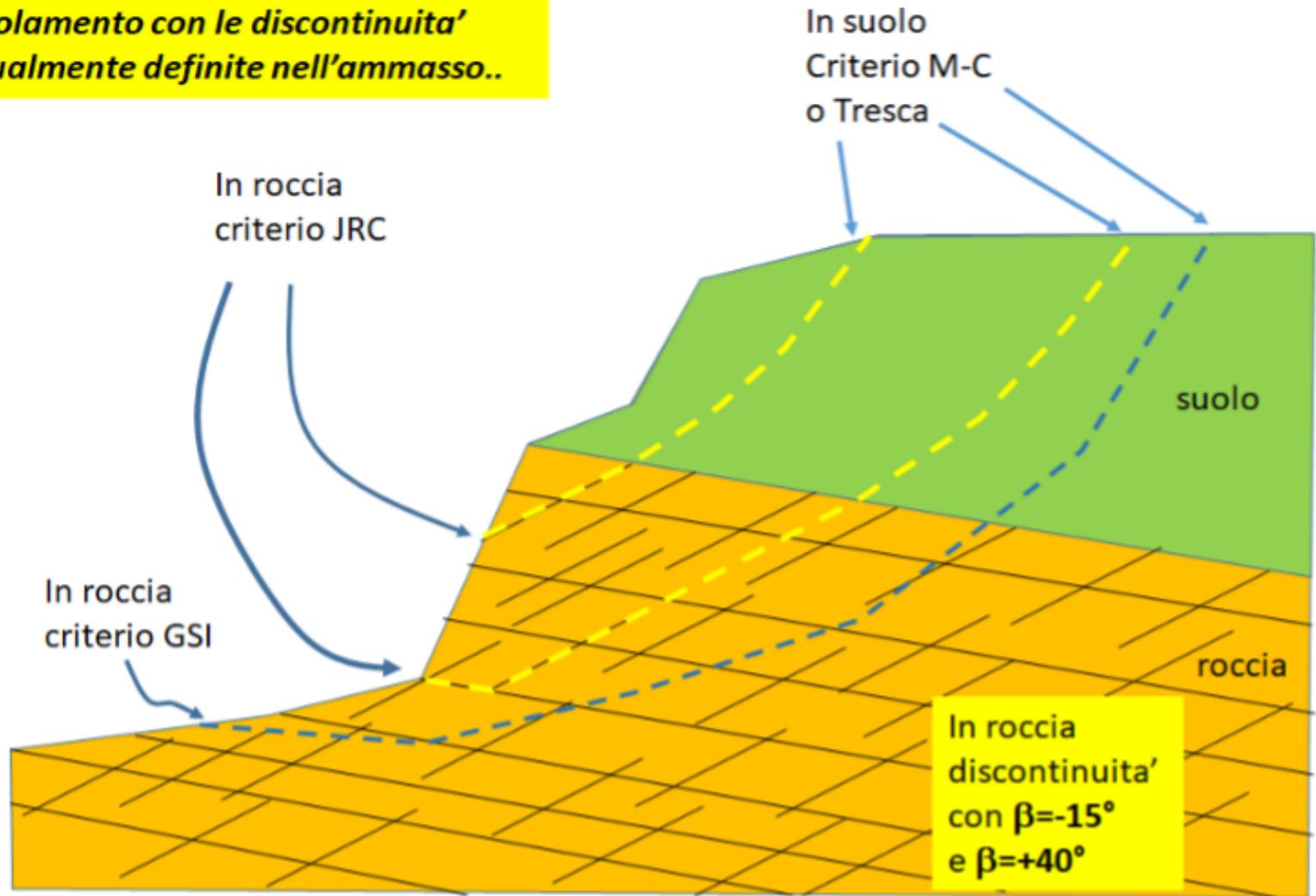
JCS_n resistenza alla compressione semplice (MPa) dei giunti normalizzato specifica scala di persistenza della discontinuità (es 3 m);

L_0 : Lunghezza (m) della zona di misura proprietà della discontinuità (es 0.1 m);

L_n : Lunghezza (m) della persistenza della discontinuità (es 3 m);

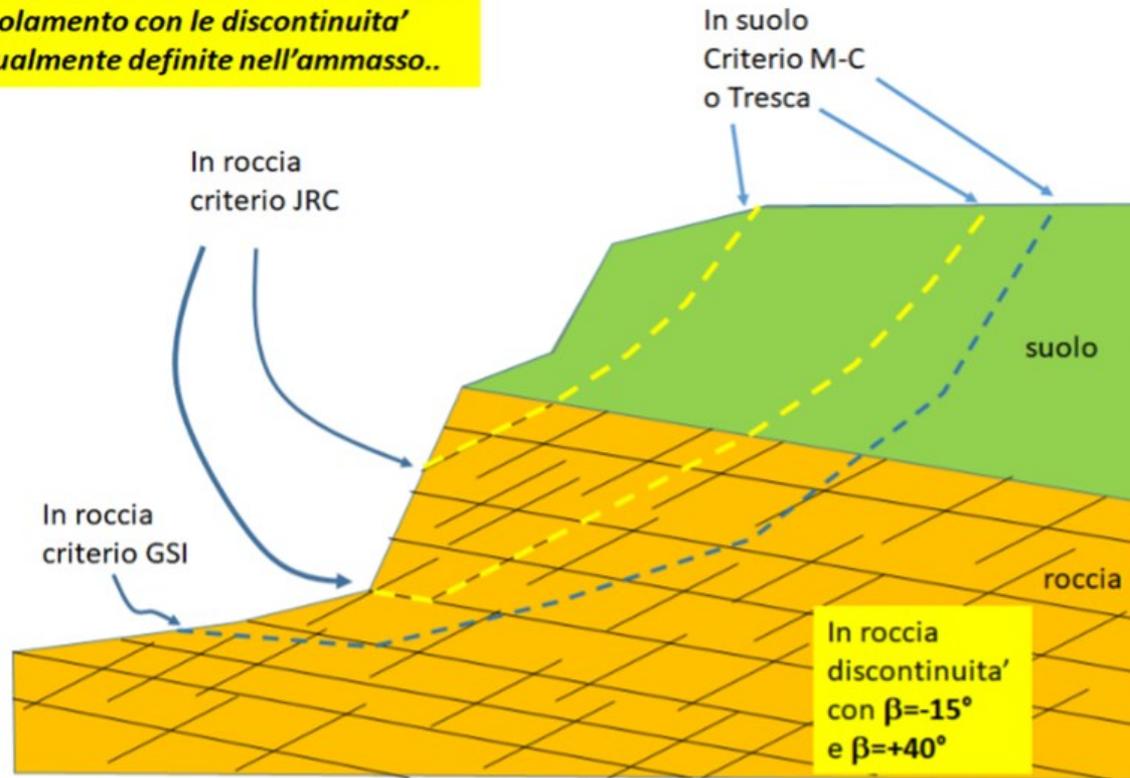


In roccia la scelta del criterio dipende dalla collinearità delle superfici di scivolamento con le discontinuità eventualmente definite nell'ammasso..

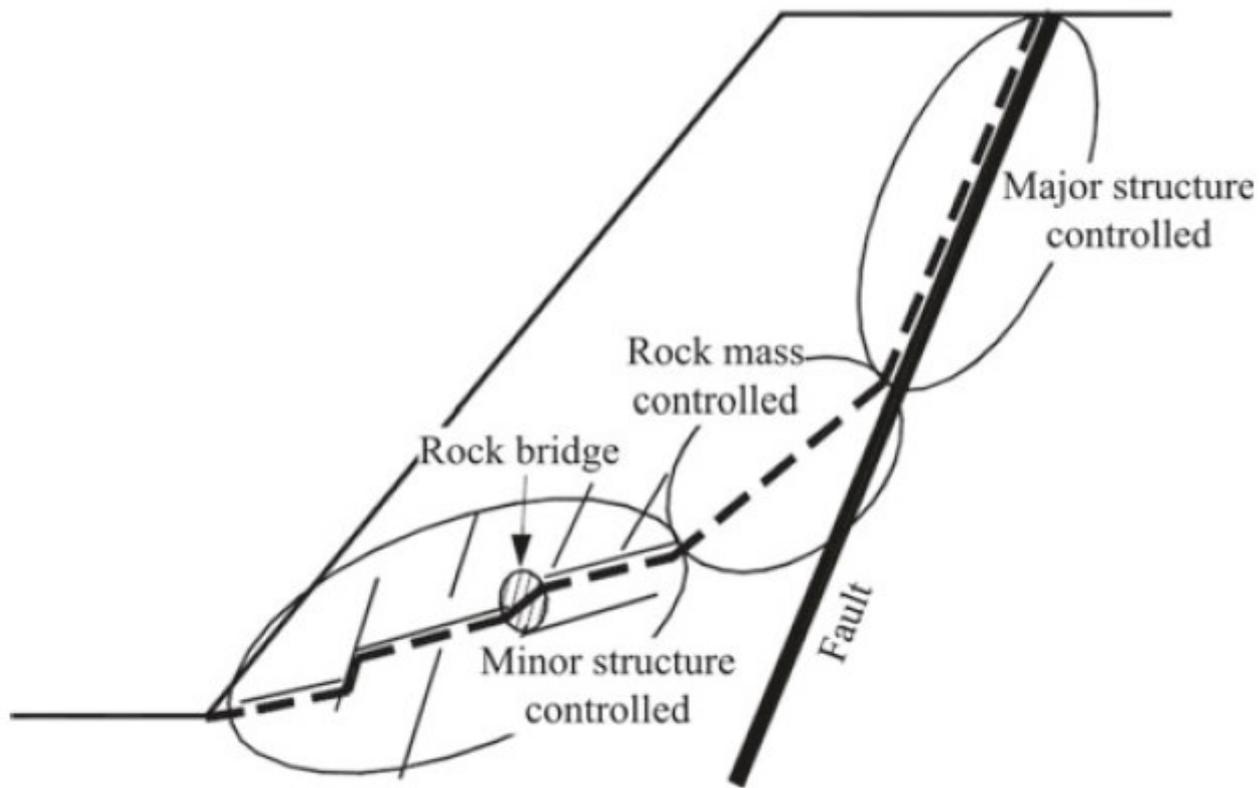


Caso di ammasso roccioso definito con entrambi i criteri GSI +JRC in presenza di famiglie di discontinuità orientate e ponti di roccia

In roccia la scelta del criterio dipende dalla collinearita' delle superfici di scivolamento con le discontinuita' eventualmente definite nell'ammasso..



Durante l'attraversamento di un ammasso roccioso da parte di una superficie di scivolamento di tentativo la scelta del criterio di rottura da utilizzare automaticamente verrà fatta dal software SSAP una volta che le caratteristiche delle famiglie di discontinuità siano indicate nell'ammasso roccioso fratturato secondo il criterio indicato in figura D.33 (criterio di collinearita'). Nel caso che la collinearita' locale, con le discontinuità indicate, non sia verificata o l'ammasso sia definito con i soli parametri del criterio GSI il criterio locale di rottura sarà quello GSI di Hoek et al./2002).



Schematic diagram of structurally-controlled instability (Baczynski 2000)

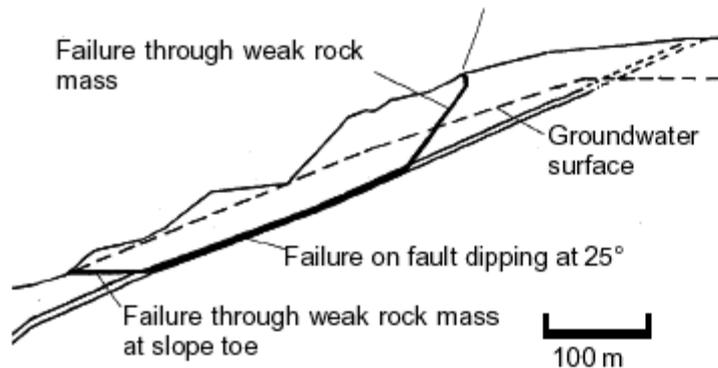
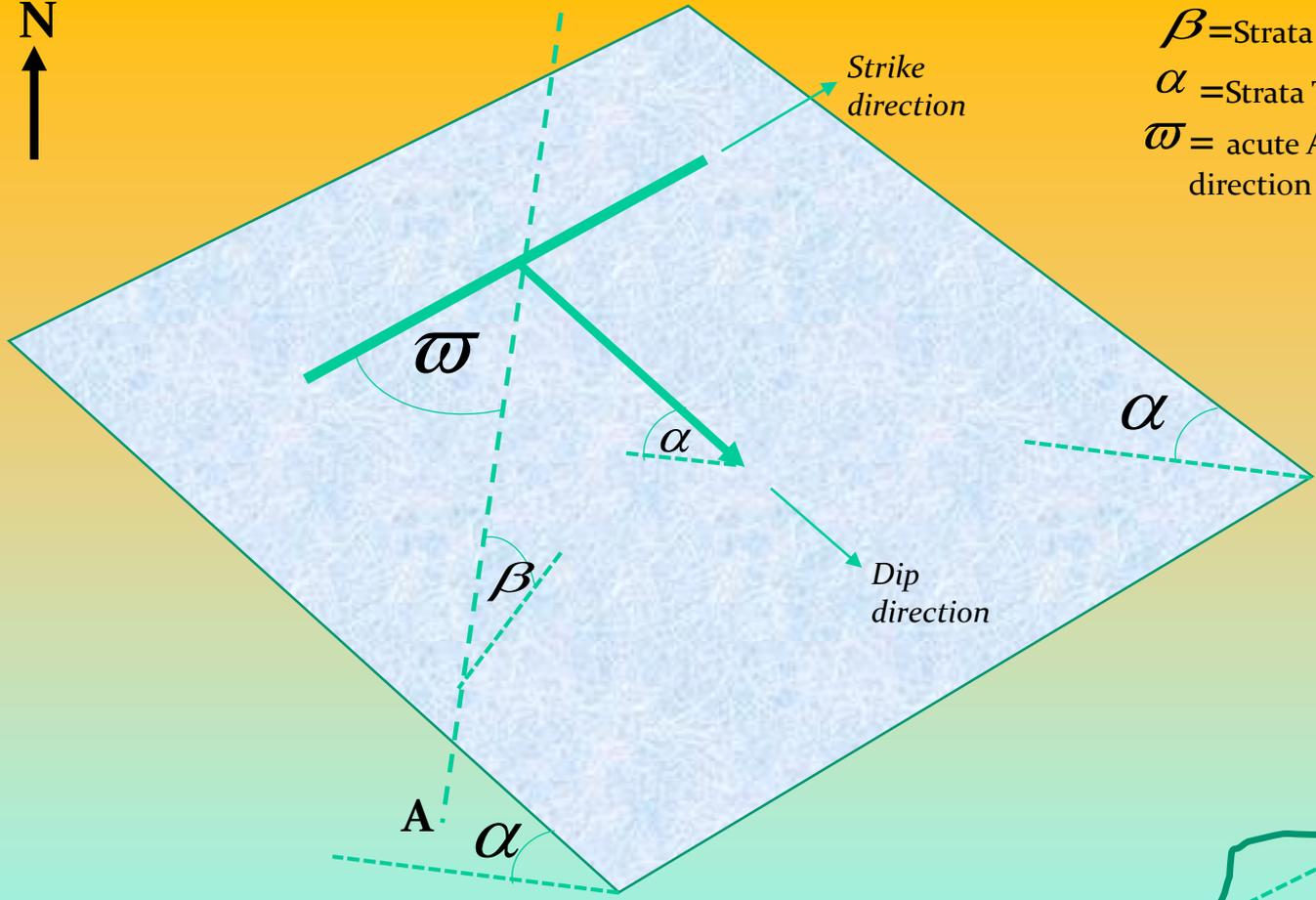
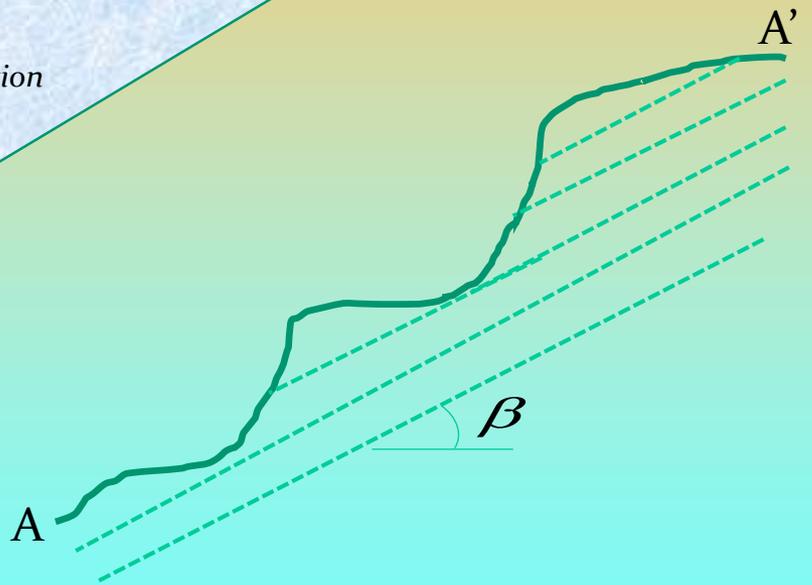


Figure 11.31: Complex slope failure controlled by an outward dipping basal fault and circular failure through the poor quality rock mass overlying the toe of the slope.



β = Strata apparent dip (°)
 α = Strata True dip (°)
 ω = acute Angle between strike direction and direction of section A-A' (°)



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

L.B. 2020

Dati discontinuita' in ammasso roccioso

Secondo criterio di Barton e Bandis(1990)

3.4.7 Il formato dei files .JRC

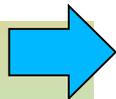
I files **.JRC** contengono i le informazioni relative alle caratteristiche geomeccaniche e geometriche delle famiglie discontinuità orientate presenti in un ammasso roccioso. Le caratteristiche si riferiscono al metodo Barton & Bandis (1990) e Barton (2013) che viene trattato in esteso nella appendice D di questo manuale .

Il formato del file **.JRC** è il formato ASCII; ovvero file di testo costituito da cifre numeriche disposte su righe e colonne. Un esempio è dato di seguito:

Esempio di file .JRC

1	10	4	35	0.3	2	-20	3
1	6	2	28	0.3	4	45	5
2	18	50	38	1.0	5	20	4
2	15	60	36	1.0	3	65	3
3	8	10	31	0.5	2	30	3
4	12	22	33	0.3	6	-10	4

N. Strato	JRC	JCS(Mpa)	Φ_r°	L_0	L(m)	β°	$\Delta\beta^\circ$
1	10	4	35	0.3	2	-20	3
1	6	2	28	0.3	4	45	5
2	18	50	38	1.0	5	20	4
2	15	60	36	1.0	3	65	3
3	8	10	31	0.5	2	30	3
4	12	22	33	0.3	6	-10	4



Nella **prima** colonna è presente un codice numerico che indica il numero di stato associato alla discontinuità presente. **Lo strato indicato deve essere comunque associato al criterio Hoek/GSI nel file .GEO e quindi presente nel file .GEO con i dati del criterio di Hoek -GSI**

Nella **seconda colonna** è indicato il valore del coefficiente di rugosità **JRC** associato alla famiglia di discontinuità.

Nella **terza colonna** è indicato il valore **JCS** della resistenza a compressione semplice (in MPa) misurato sulla superficie della discontinuità.

Nella **quarta colonna** è indicato il valore ϕ_r (in gradi) dall'angolo di frizione residuale associato alla discontinuità e misurato con diverse modalità come illustrato nella appendice D di questo manuale.

Nella **quinta colonna** è indicato il valore L_0 (in m) che indica la lunghezza su cui sono state eseguite in campo le misure di JRC e JCS, misurate con diverse modalità, come illustrato nella appendice D di questo manuale.

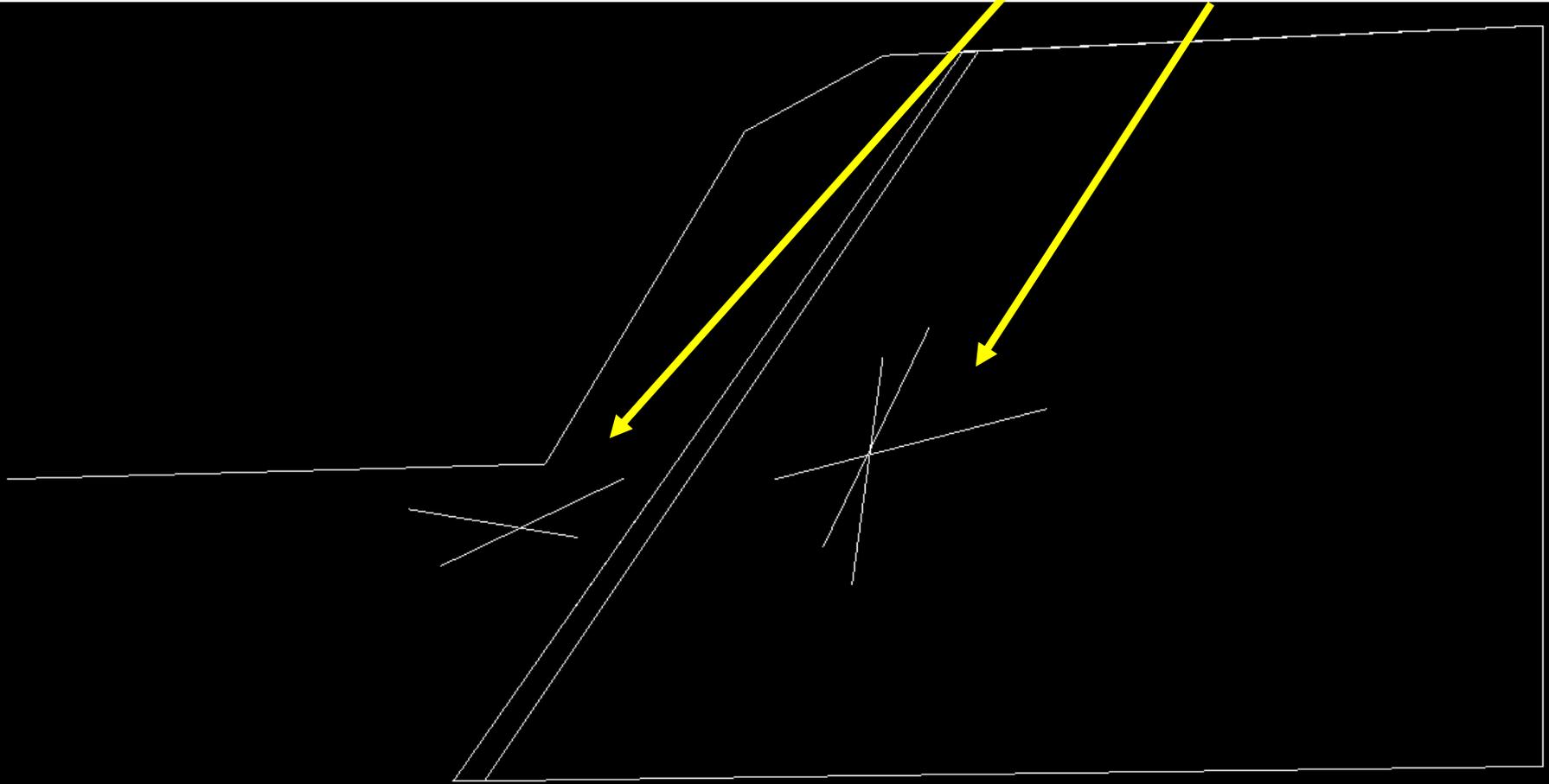
Nella **sesta colonna** è indicato il valore L (in m) che indica la lunghezza media della persistenza delle discontinuità.

Nella **settima colonna** è indicato il valore dell'orientamento medio β (in gradi) della famiglia di discontinuità, seguendo le convenzioni nella appendice D di questo manuale.

Nella **ottava colonna** è indicato il valore di dispersione $\Delta\beta$ (in gradi) intorno dell'orientamento medio della famiglia di discontinuità, seguendo le convenzioni indicate nella appendice D di questo manuale.

File JRC

N. Strato	JRC	JCS(Mpa)	Φ_r°	L_0	L(m)	β°	$\Delta\beta^\circ$
1	10.00	30.00	25.00	0.30	5.00	26.00	3.00
1	15.00	10.00	27.00	0.30	3.00	-10.00	3.00
2	5.00	10.00	25.00	0.30	5.00	15.00	3.00
2	10.00	20.00	30.00	0.30	5.00	65.00	3.00
2	5.00	15.00	34.00	0.30	3.00	82.00	2.00



Studio, e pratica, su un esempio di ammasso roccioso fratturato, con e senza tiranti, con presenza di piano di faglia con breccia cataclastica :

SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.4 (2019)

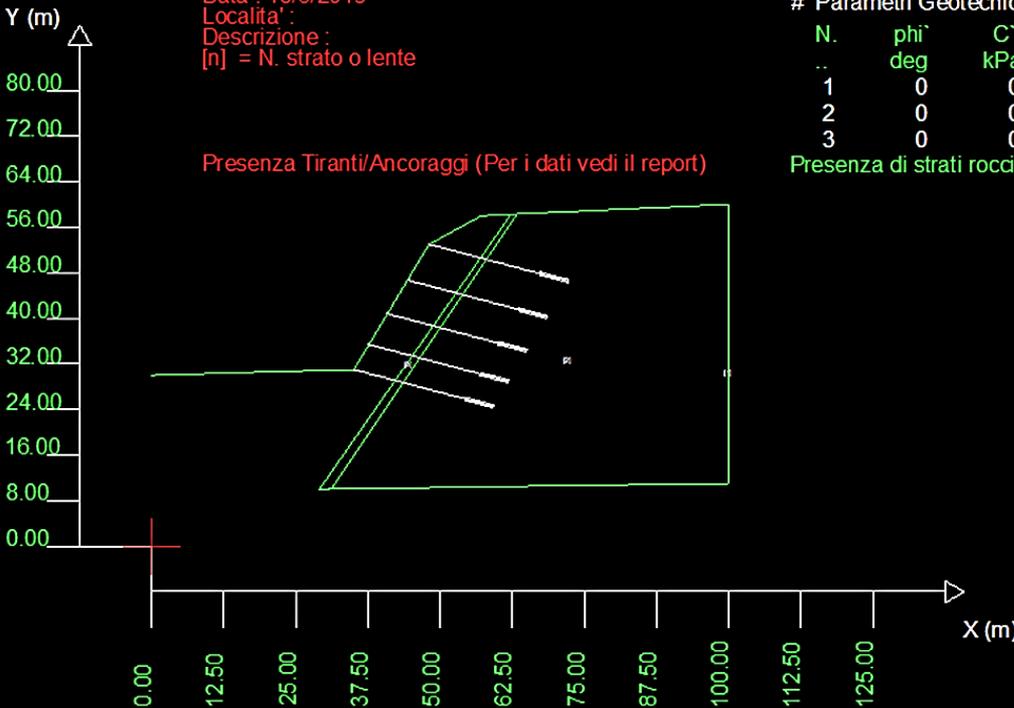
Data : 18/6/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Presenza Tiranti/Ancoraggi (Per i dati vedi il report)

Parametri Geotecnici degli strati # -----

N.	phi' deg	C' kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI ..	mi ..	D ..
1	0	0	0	26.00	26.00	25.00	45.00	12.00	0
2	0	0	0	26.00	26.00	40.00	30.00	15.00	0
3	0	0	0	24.00	24.00	10.00	15.00	10.00	0.50

Presenza di strati rocciosi con discontinuita' orientate (criterio Barton-Bandis). Vedasi File .JRC e Report per dettagli

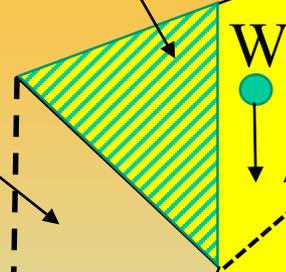


Cartella esempi corso : pendio_GSI_JRC_2018

Lorenzo Borselli – Introduzione al codice SSAP2010(freeware) (2021)

Lente di aria a resistenza e massa prossima a 0

Momento destabilizzante di questa porzione in oggetto



E' possibile considerando un cuneo reale con oggetto, e una superficie o discontinuita' planare, determinare FS rispetto a questa superficie con classico metodo del cuneo. (si considera la massa reale che include la parte in oggetto nel calcolo del W).

Putroppo sappiamo che c' e ϕ' non sono costanti su questa superficie..variando punto punto il $\sigma_{N'}$ SSAP con il metodo delle striscie invece calcola questa variazione e ne tiene conto nel calcolo di FS

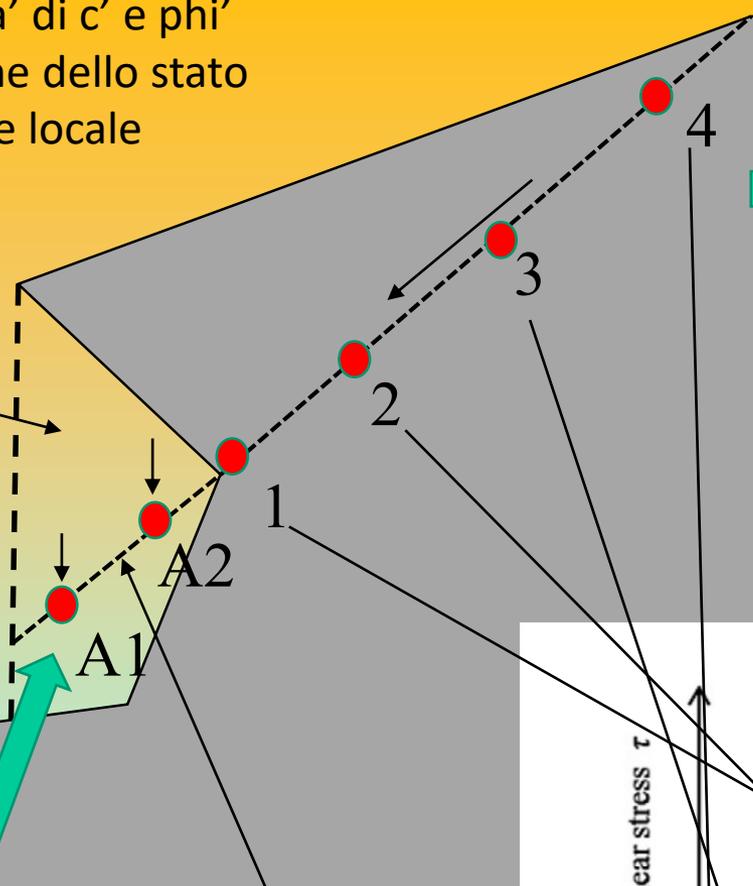
Una cosa che non e' possibile fare con il metodo el cuneo dato che c' e ϕ' in questo metdo devono essere considerati costanti.

Poi vi e' considerare l'effetto del momento destabilizzante, della parte in oggetto, che con il metodo el cuneo non puo' essere considerato..

SSAP, invece,usando un método rigoroso considera anche l'effetto del momento destabilizzante di una porzione (quindi della sua massa reale) che in questo caso appoggia (virtualmente) su una zona con resistenza la taglio prossima a 0.

Variabilita' di c' e ϕ'
in funzione dello stato
tensionale locale

Lente di aria a
resistenza e massa
prossima a 0



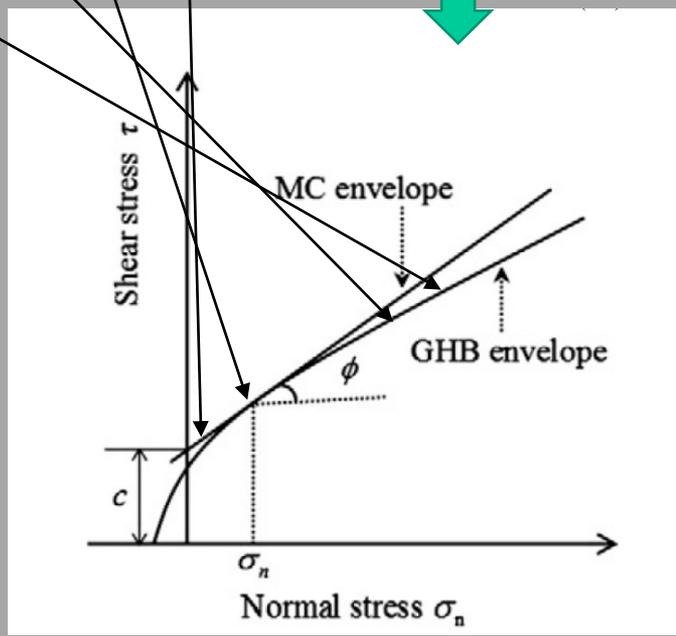
Nei punti 1,2 3,4
Agisce un diverso
Stress Normale efficace

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 ϕ'
Variano con continuita'
Punto-punto.

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

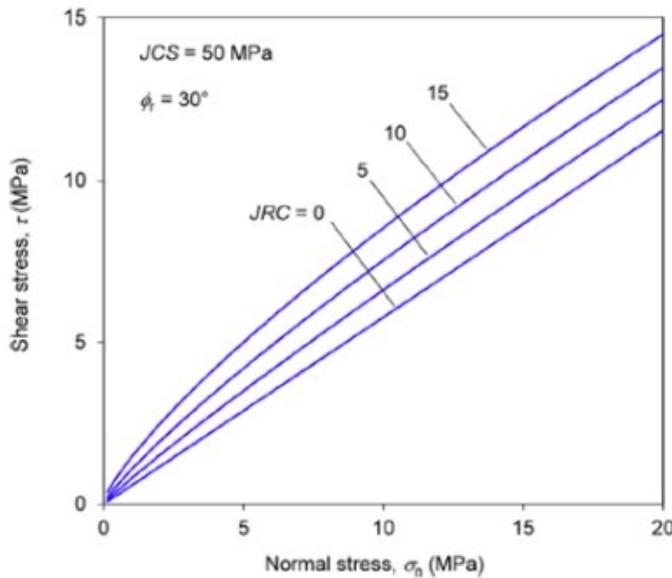
Ma dato la c' e ϕ' prossimi a 0
(es. $\phi' \lim \rightarrow 0$) sara' 0 anche la
Resistenza al taglio locale

Porzione virtuale
della sup. Di
scivolamento



Il principio del *criterio di rottura non lineare* vale anche se si usa per il tratto di superficie di scivolamento in roccia nella forma di una discontinuita' definita con il Criterio di Barton-JRC

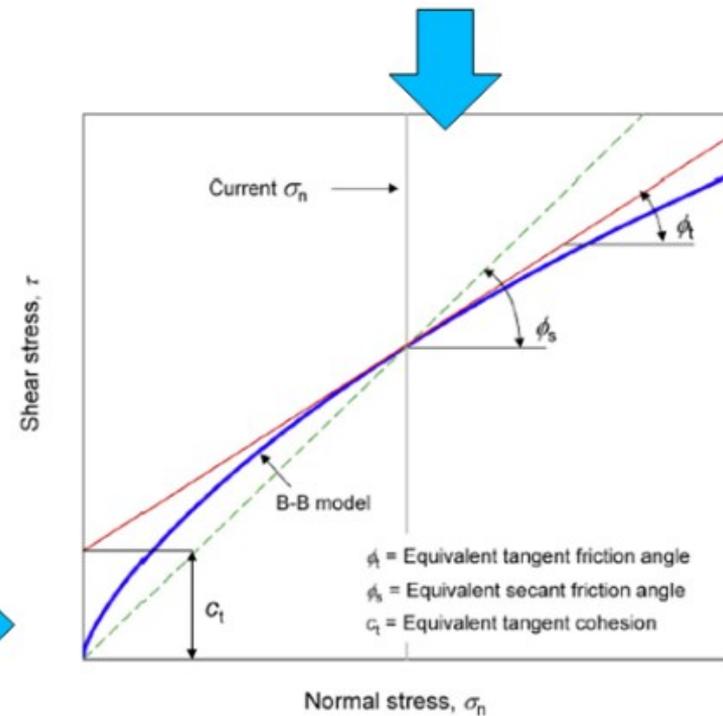
**Criterio B-B non-lineare
che puo' essere usato a partire dalla
versione ssap 4.9.6**



La stima locale dei valori phi' e c' equivalenti segue in SSAP il método di Prassetyo et al. (2017)

Immagini da Prassetyo et al. (2017)

Dato che anche il criterio di rottura di Barton per le discontinuita' e' curvo anche la stima di phi' e c' equivalenti non puo' essere semplicemente linearizzato. (porterebbe a grosse sovrastime o sottostime)



Alcune cose dovrebbero sempre essere considerate in qualunque modello di calcolo per la verifica di stabilita' in roccia, questo perche' il modello sia il piu vicino possibile alla realta'..

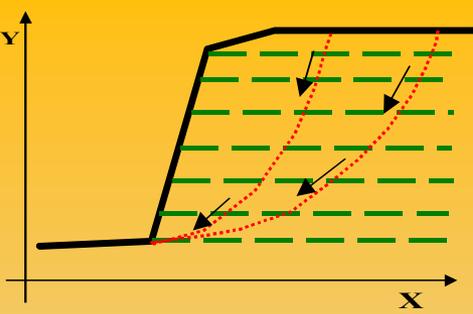
- 1) Considerare la resistenza al taglio con criteri di rottura dove esistono le condizioni che prevedano un andamento anche non-lineare.*
- 2) Considerare contemporaneamente criterio di rottura nel dominio continuo (HOEK –GSI) e nel dominio discontinuo (barton-bandis –JRC).*
- 3) Prevedere la possibilita' che le superficie possano svilupparsi come rottura di ponti di roccia o seguire tratti planari (o multi planari) lungo famiglie di discontinuita' stutturalmente definite.*
- 4) Considerare la variazione puntuale dei parametri equivalenti c' e ϕ' in funzione dello stato tensionale (vedasi appendice D del manuale SSAP per dettagli) e del criterio di rottura associato localmente .*
- 5) Poter fare verifiche su superfici aggettanti ma dove l'effetto del momento destabilizzante sia considerato correttamente, considerando sempre la massa di queste porzioni.*
- 6) Considerare tutte le componenti orizzontali e verticali , specialmente durante le condizioni sismiche.*

I primi 6 punti attualmente SSAP li fa..

Quello che non e' ancora disponibile e' il seguente:

- In caso di pareti aggettanti e lenti di aria eliminare, graficamente, le superficie dentro le lenti di aria, sia nel grafico DXF delle superficie, sia nelle mappe a colori.*

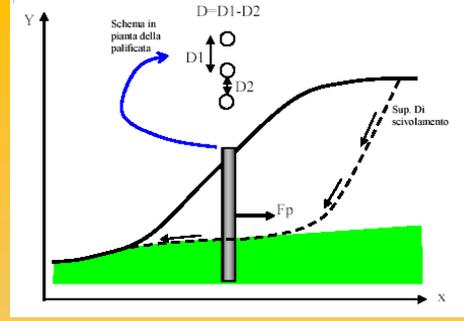
Naturalmente questo ultimo punto e' una cosa puramente grafica..pero puo' essere necessaria..



SSAP2010

Inserimento di opere di sostegno:

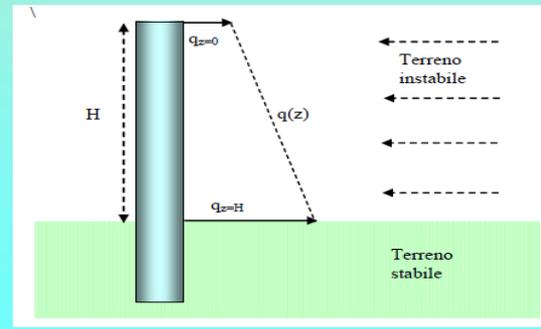
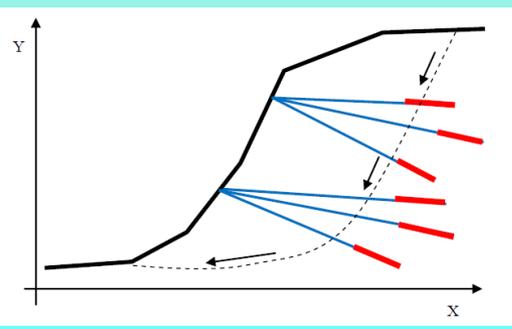
(palificate, tiranti, geogriglie, muri, gabbionate e reti in aderenza)



Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D
 Universidad Autónoma de San Luis Potosí



UASLP
 Instituto de Geología
 Facultad de Ingeniería.
 San Luis Potosí, MEXICO
 lborselli@gmail.com
 lorenzo.borselli@uaslp.mx
 http://www.lorenzo-borselli.eu



In SSAP è possibile inserire una serie di strutture di sostegno per valutare l'effetto complessivo nell'incremento del grado di stabilità.

Tiranti max 40

Geogriglie/geosintetici max 120

Palificate max 12

Muri o strutture di contenimento locale (limitate dal max numero strati)

Ogni struttura viene inserita nel modello del pendio attraverso una specifica parametrizzazione geometrica e meccanica, a seconda del modello adottato, per valutare gli effetti sulla stabilità.

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

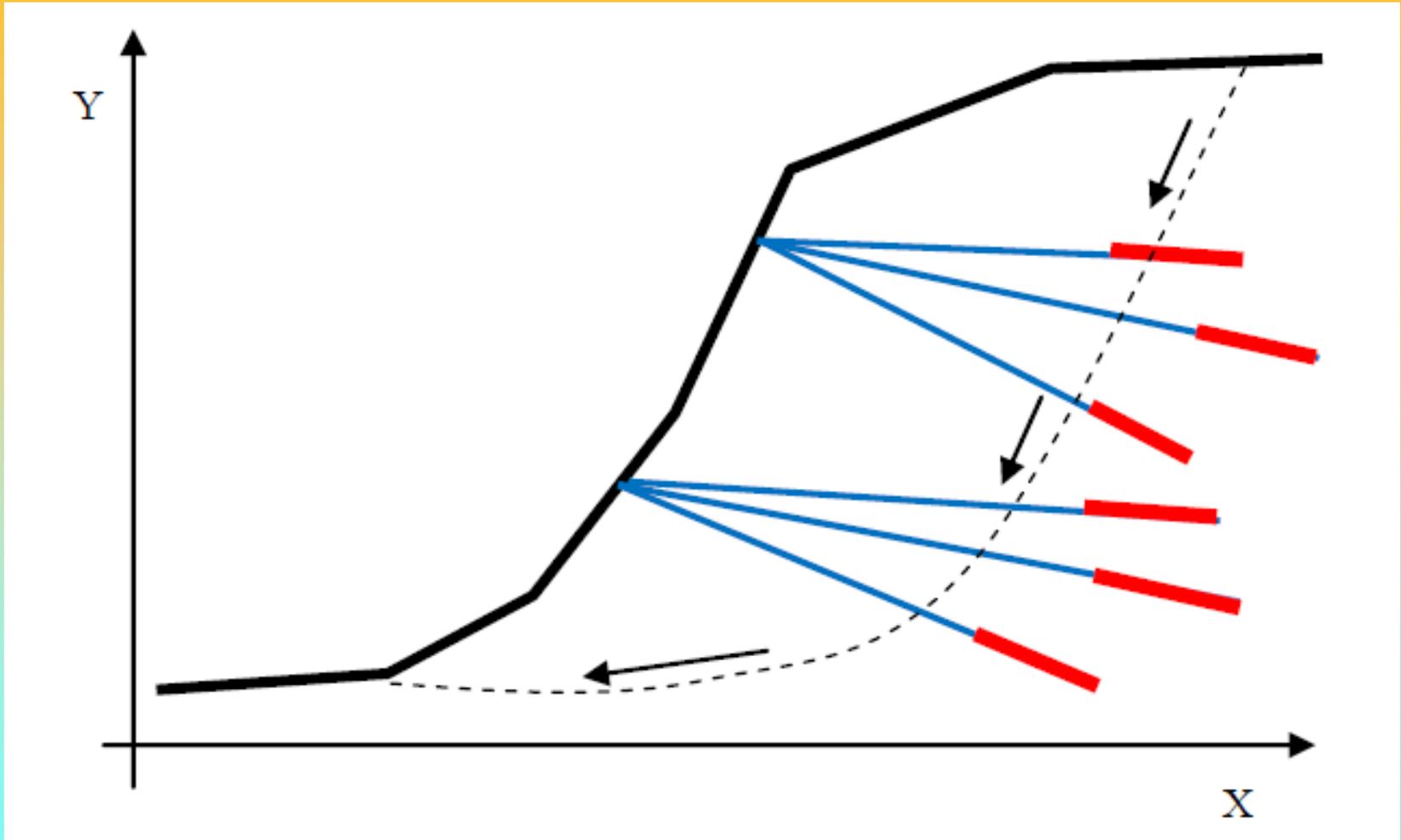
Tiranti

Secondo le RACCOMANDAZIONI ISRM (1993) il termine Tirante si riferisce "all'insieme composto da armatura, malta, dadi di bloccaggio, piastra di ripartizione, ecc , utilizzati per il rinforzo del terreno oppure come trasferimento al terreno di carichi esterni".

Tali strutture sono solitamente utilizzate per incrementare la stabilità di un pendio e per ancorare opere di sostegno a un substrato generalmente ad elevate proprietà meccaniche (es. roccia). L'azione dei tiranti , solitamente in gruppo, è in pratica una azione di tipo stabilizzante che ha influenza sul coefficiente di sicurezza complessivo del pendio ove essi sono posizionati.

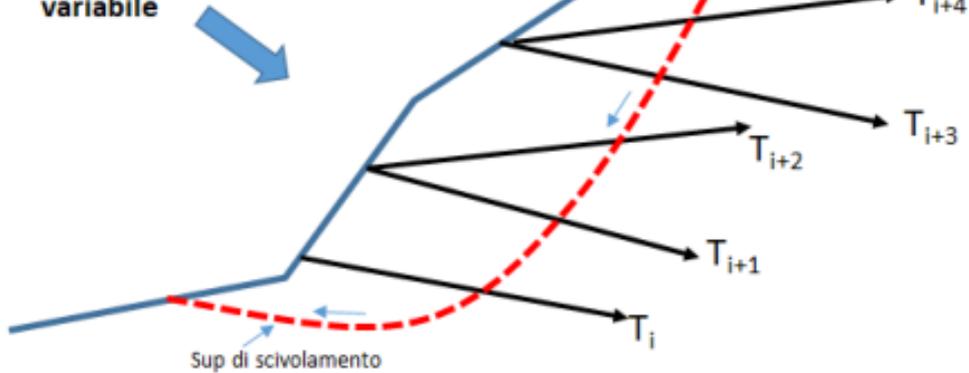
Secondo la normativa vigente per ciascuno dei tiranti è previsto una tensione o resistenza di progetto (espressa in Tonnellate o kN/m) ricavata mediante opportune prove di carico fino a rottura o sfilamento(RACCOMANDAZIONI ISRM , 1993).

Tiranti

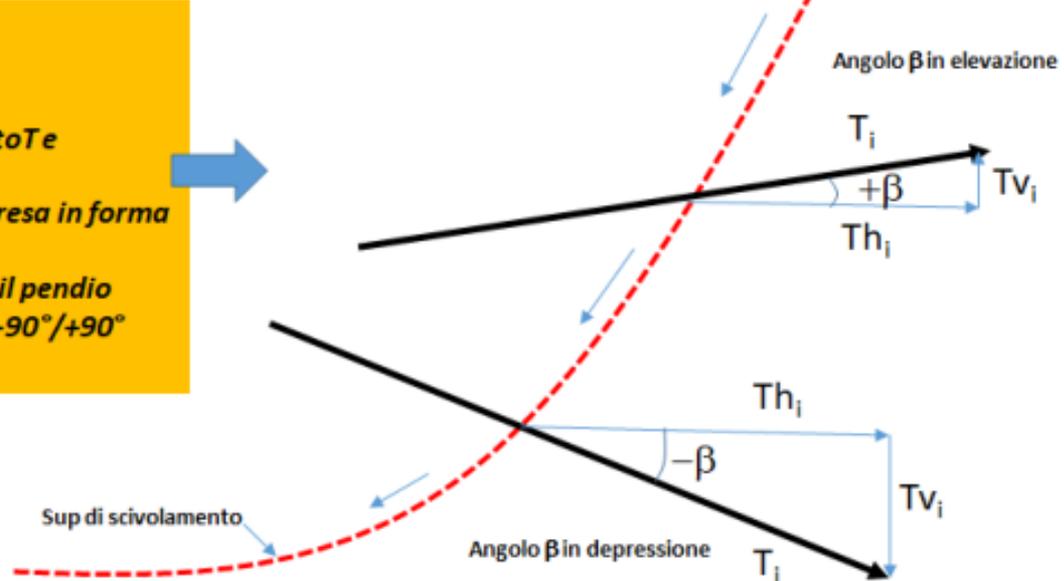
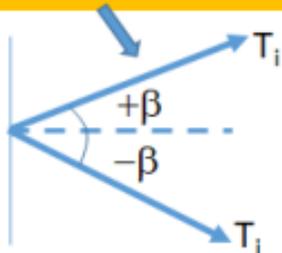


Tiranti

Pendio con tiranti/chiodi
Con direzione e forza di trazione
variabile



In SSAP ogni elemento di rinforzo espresso come chiodo o Tirante prende in considerazione la resistenza a trazione di progetto T e la sua direzione e verso. Quindi T e' una classica forza espressa in forma vettoriale. Per convenzione la direzione verso il pendio viene considerata in un intervallo $-90^\circ/+90^\circ$ mediante un angolo β



(a)

Tiranti

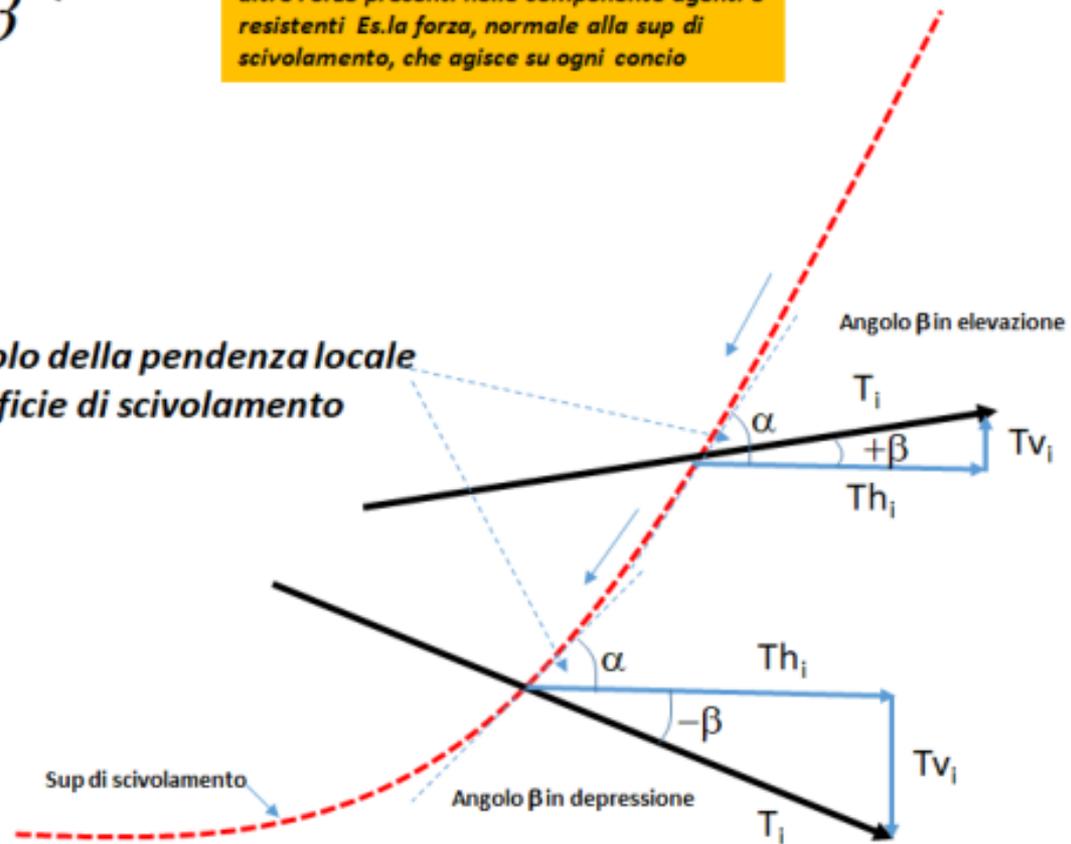
In SSAP si considerano sempre tutte le componenti orizzontali di tutte le forze interne ed esterne espresse in forma Vettoriale. Quindi le forze T vengono scomposte nelle corrispondenti componenti orizzontali e verticali:

$$Tv = -T \sin \beta$$

$$Th = T \cos \beta$$

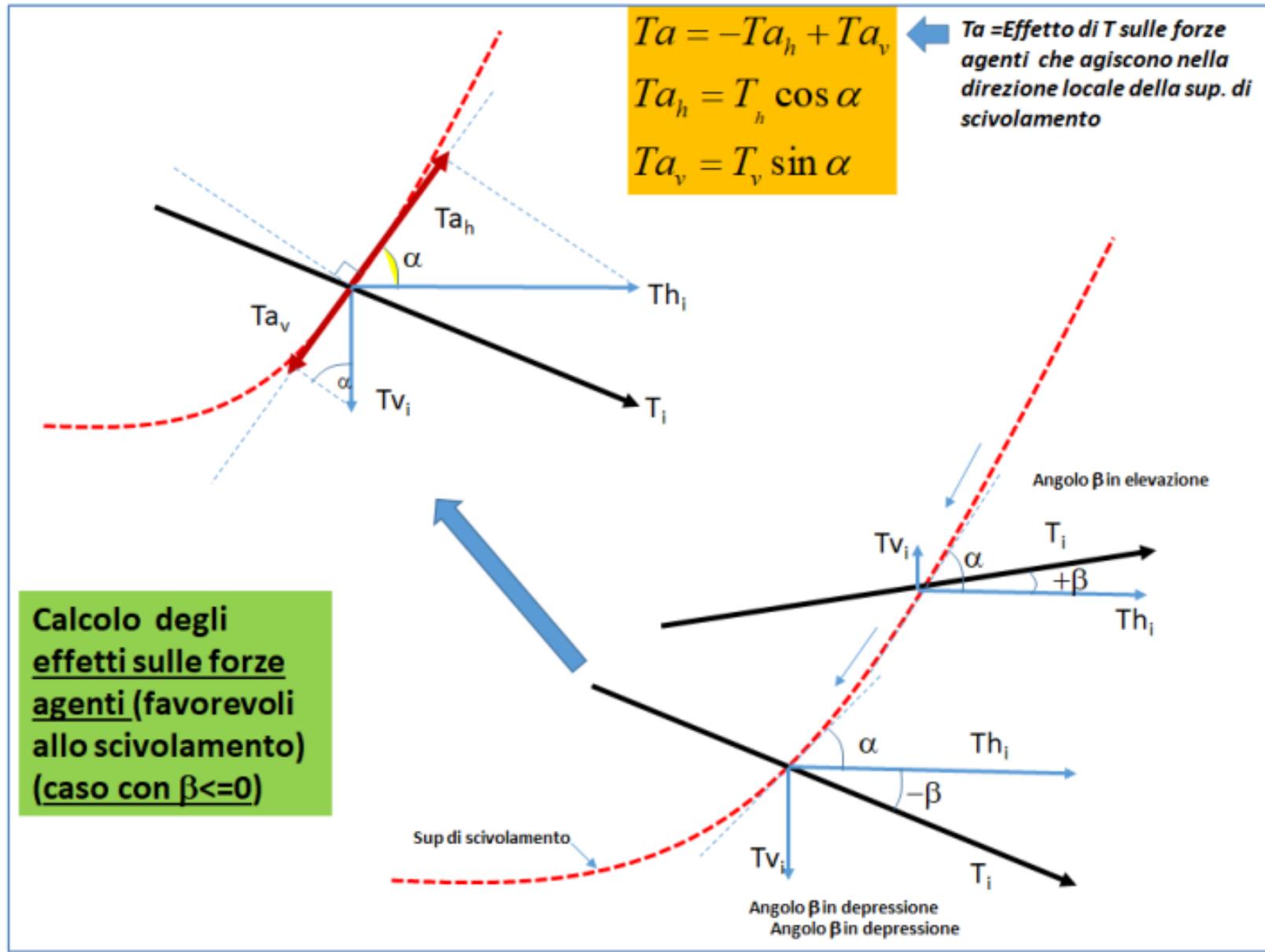
Il segno di Tv viene invertito per considerare il suo verso negli effetti di modifica delle altre Forze presenti nelle componenti agenti e resistenti. Es. la forza, normale alla sup di scivolamento, che agisce su ogni concio

α e' l'angolo della pendenza locale della superficie di scivolamento

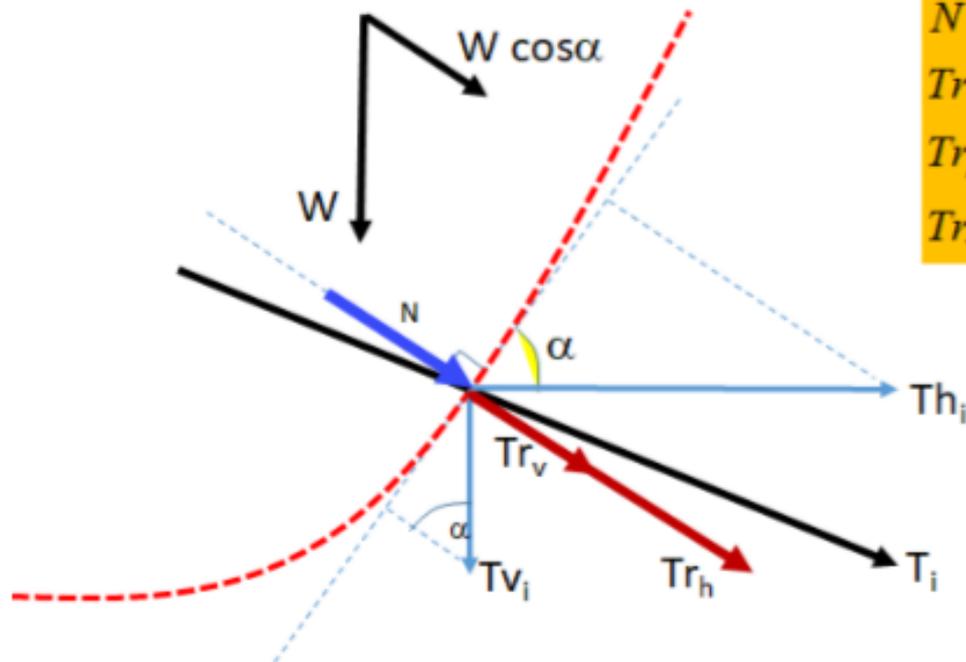


(b)

Componenti di forze che agiscono nella direzione locale della sup di scivolamento



Componenti di forze che incrementano lo stress normale efficace nella zona di intersezione con la superficie di scivolamento (solo per tiranti PRETENSIONATI)



$$N = (W \cos \alpha + Tr)$$
$$Tr = Tr_h + Tr_v$$
$$Tr_h = T_h \sin \alpha$$
$$Tr_v = T_v \cos \alpha$$

← Tr = Effetto di T sulla forza normale N che agisce sulla base del concio

Calcolo FS nel caso di Tiranti/Chiodi

(Basato su Hoek 1981 e, Giani (1992), Read & Stacey (2009))

Tiranti/Chiodi PASSIVI (non Pretensionati)

$$FS = \frac{\text{Forze Resistenti} + \sum_i Ta_i}{\text{Forze Agenti}}$$



Incremento forze resistenti

Tiranti/Chiodi ATTIVI (Pretensionati)

$$FS = \frac{\text{Forze Resistenti}^*}{\text{Forze Agenti} - \sum_i Ta_i}$$



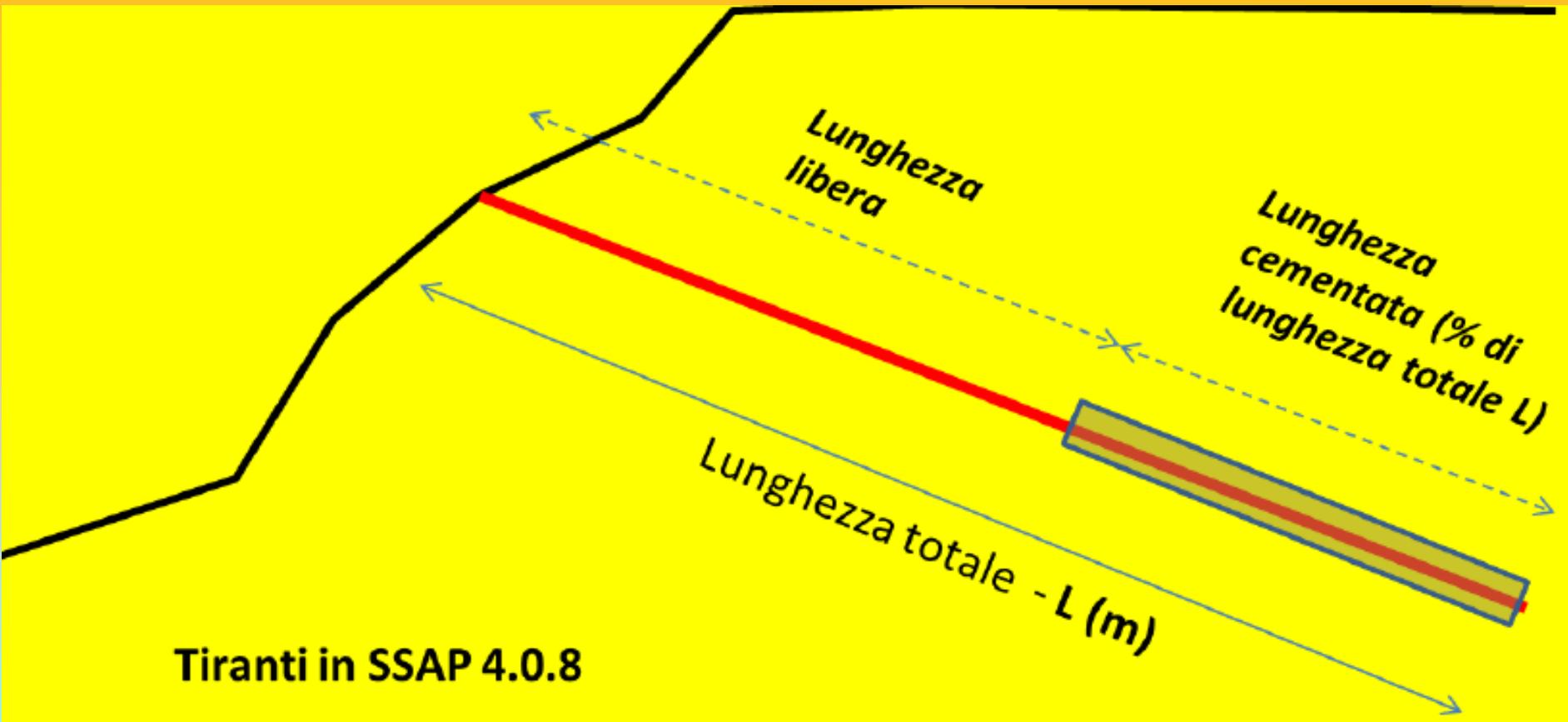
Decremento forze agenti e
Incremento N' Locale (che agisce sulle
forze resistenti)

Dove :

$\sum_i Ta_i =$ Contributo netto del tirante nella direzione locale della superficie di scivolamento

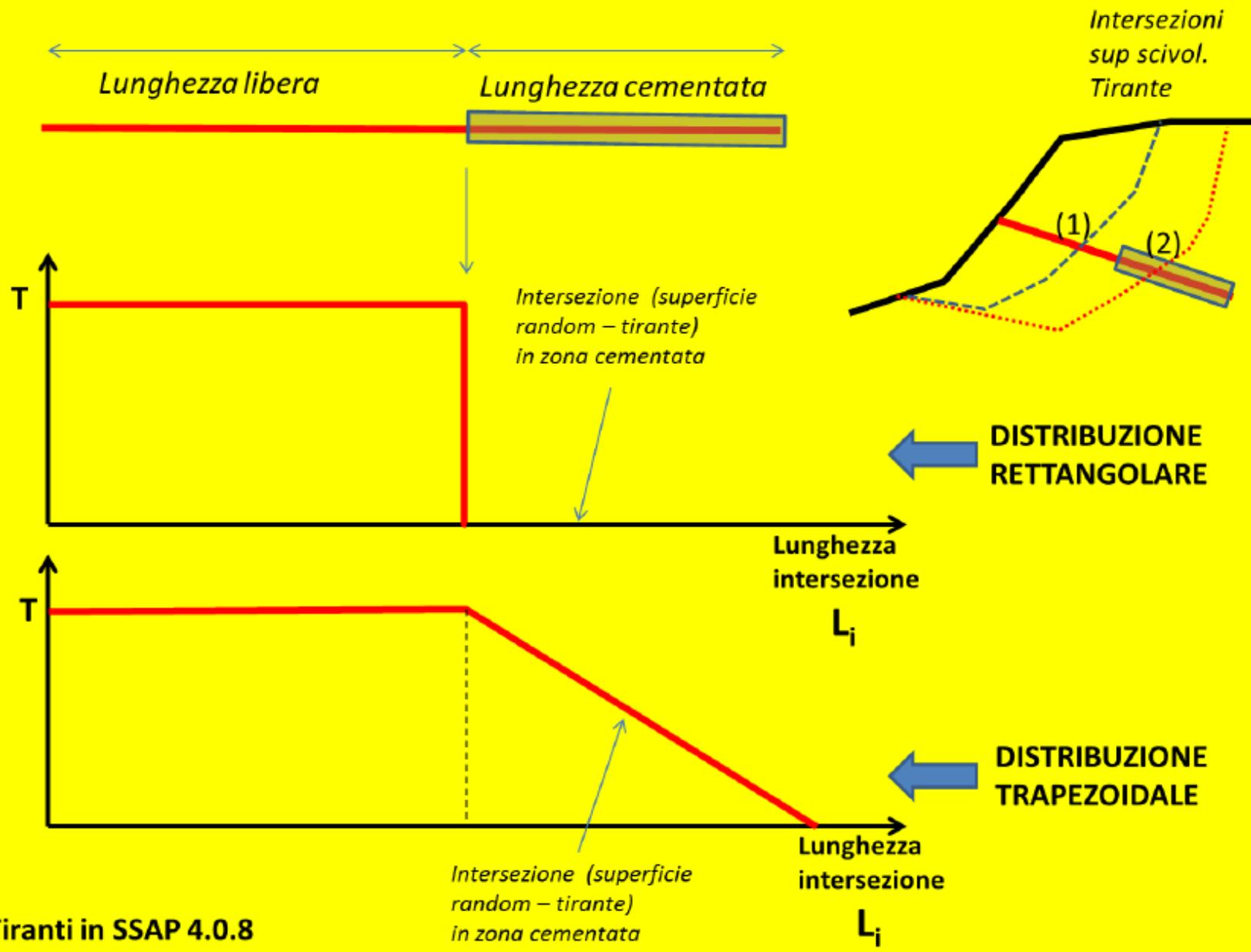
** Si considera per il Tirante ATTIVO l'incremento di N' locale prodotto dal Pretensionamento*

Tiranti



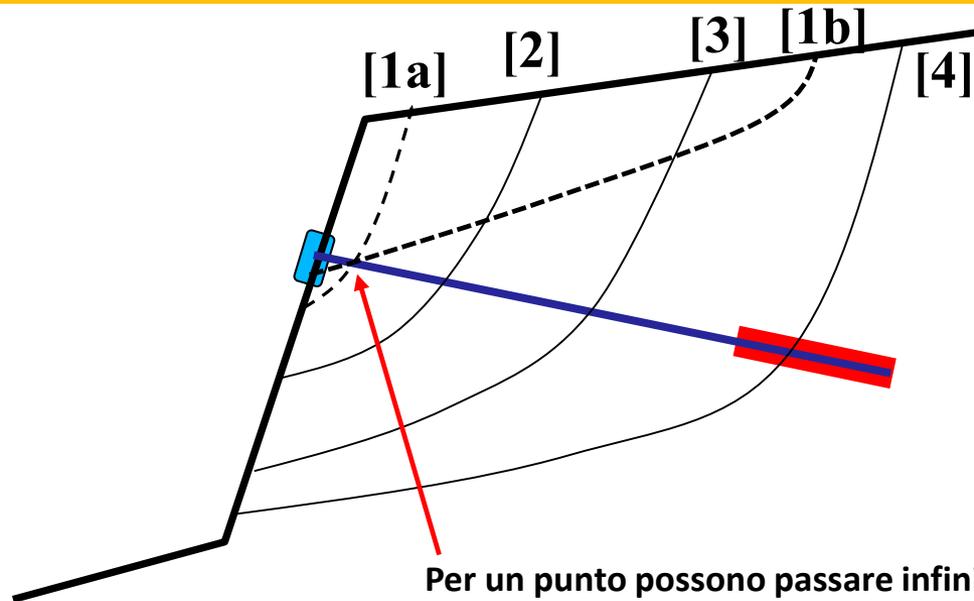
Tiranti in SSAP 4.0.8

Tiranti



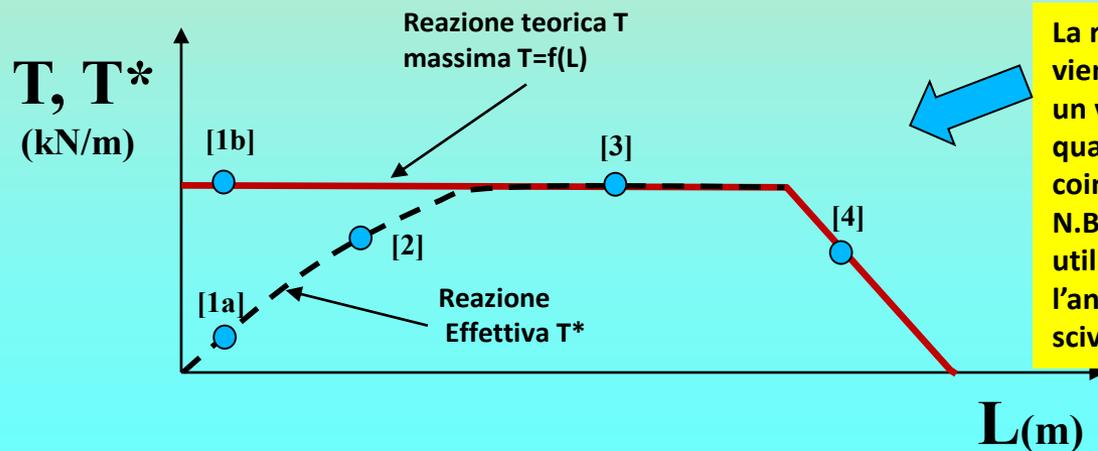
Tiranti in SSAP 4.0.8

Novita'
A partire da
SSAP 4.9.9:
Mobilizzazione
effettiva di T



Per un punto possono passare infinite superfici.
 La frazione di T mobilizzata nello stesso punto di intersezione tra Superficie e tirante Dipende da:

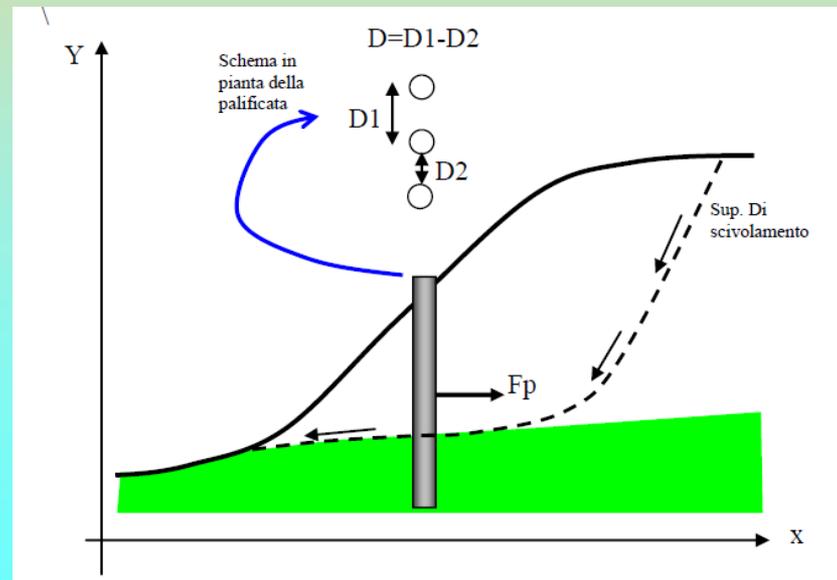
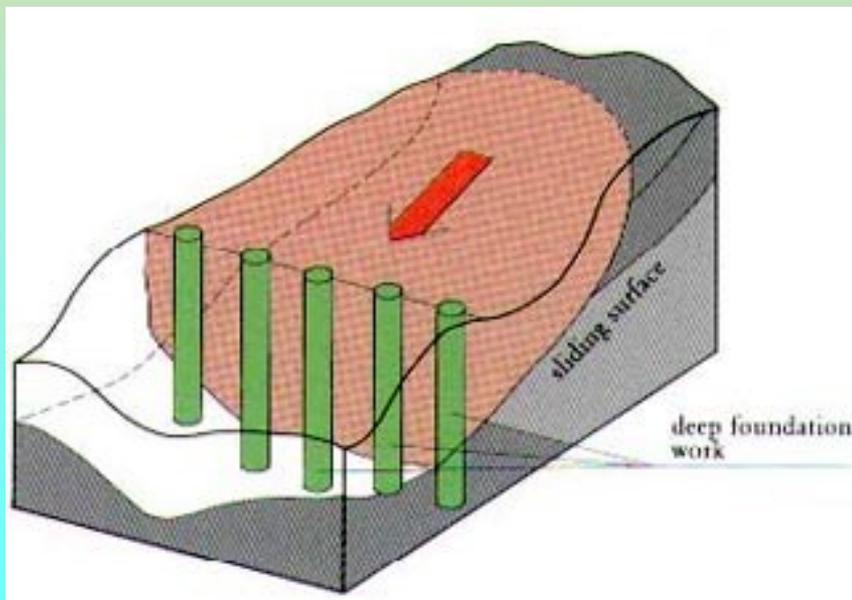
- Forma della superficie
- Volumi coinvolti
- ..etc.



La reazione teorica T massima $T=f(L)$ viene in SSAP Modificata calcolando un valore T^* corretto in funzione della quantità dipendente dal volume coinvolto
 N.B: il valore T^* deve poi essere utilizzato correttamente considerando l'angolo locale della sup di scivolamento.

palificate

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



STEPS analisi con PALI in SSAP 2006/2010

1. Determinazione della Spinta massima teorica a cui la palificata deve venire sottoposta per arrivare a deformare plasticamente il terreno all'intorno dei pali e quindi fluisce tra i pali.
2. **Uso di questa forza di spinta massima, o di una frazione di essa, come forza resistente/stabilizzante aggiunta che la palificata è in grado di mobilitare.**
3. Calcolo di un nuovo fattore di sicurezza F_s che tenga conto di questo effetto aggiuntivo.



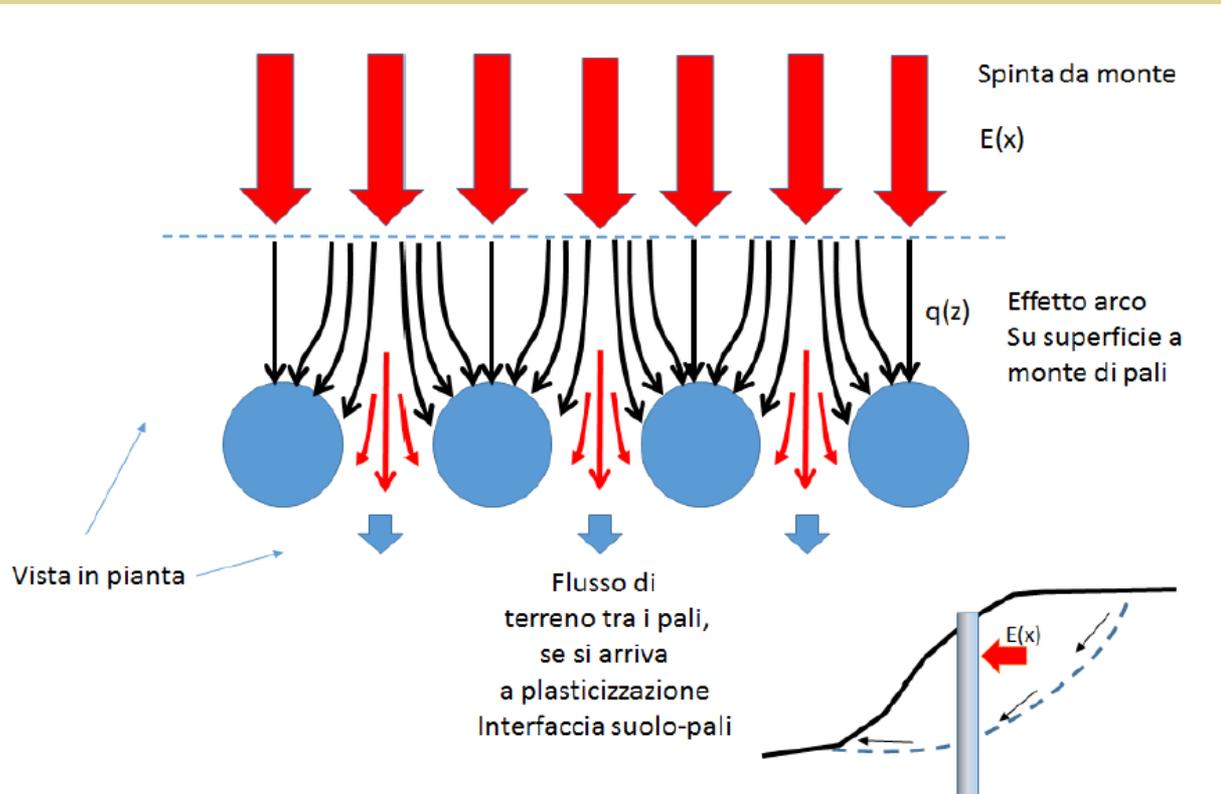
Successiva Interazione con analisi strutturale

4. Nel caso che F_s risulti adeguato si effettua successivamente una **analisi strutturale alle differenze finite della deformata del palo, dei momenti flettenti e della forza di taglio in funzione della profondità dalla superficie**. Questa analisi strutturale (distinta dalla analisi all'equilibrio limite) permette di verificare se tali grandezze sono compatibili con le caratteristiche strutturali dell'opera. In caso contrario l'analisi ai punti 1, 2 e 3 viene ripetuta con caratteristiche geometriche della palificata diverse.

Metodo

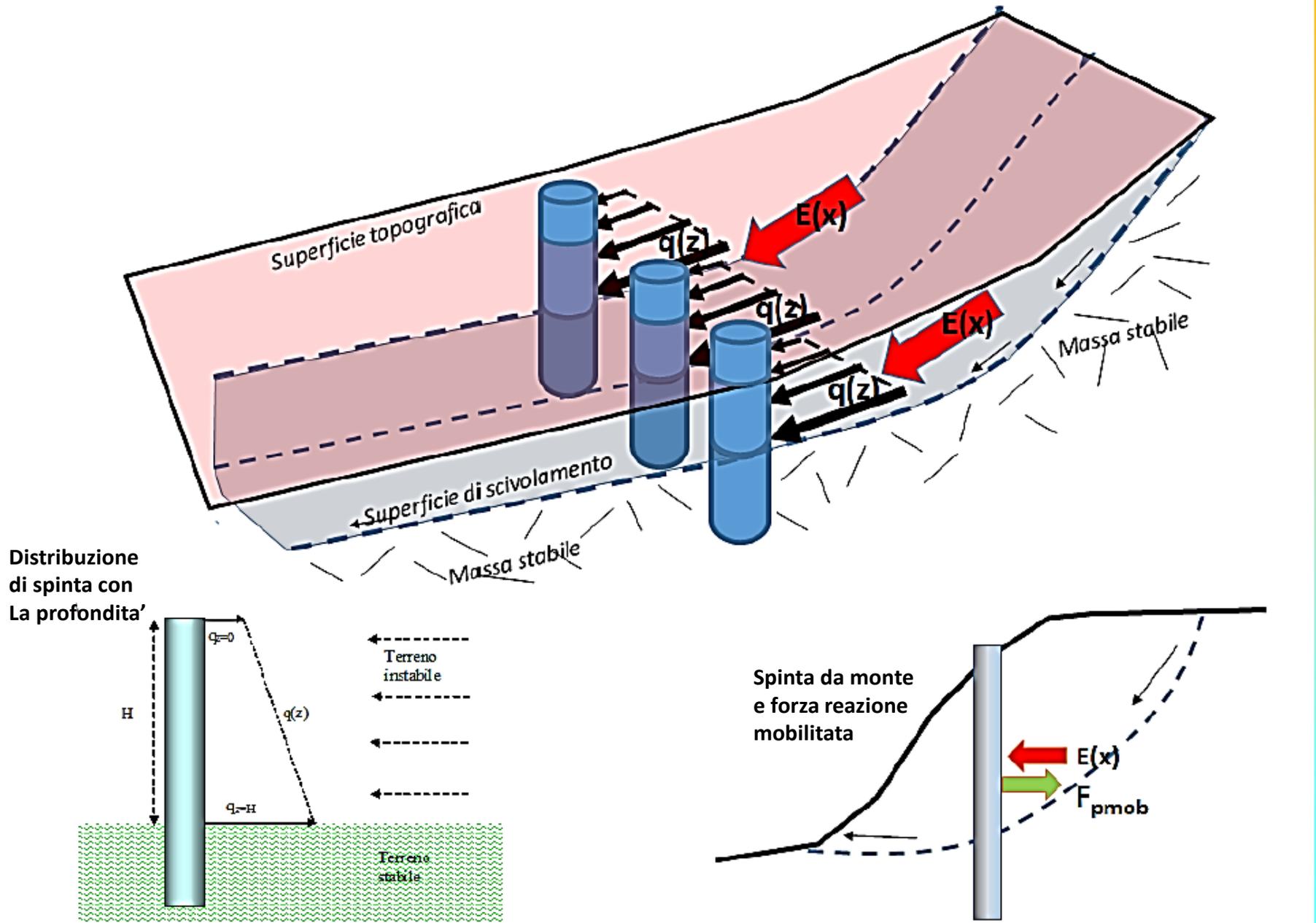
Ito Matsui (1975-1981) - Hassiotis et al. (1997) - Kumar et Hall. (2006)

- 1) al di sopra della superficie di scorrimento assunta i pali sono sottoposti a carichi noti e pari ai valori indicati al punto 1 della precedente diapositiva.
- 2) Al di sotto della superficie di scorrimento i pali sono assimilati a travi su suolo elastico. A questa ipotesi possono essere associate ipotesi aggiuntive sulla cinematica della testa dei pali: come la possibilità di avere la testa dei pali bloccata o libera alla traslazione o alla rotazione, necessaria per la analisi strutturale finale.



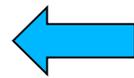
- 3) Il terreno instabile è contenuto dalla azione esercitata dai pali
- 4) Le sollecitazioni dei pali sono pari a quelle ammissibili. (salvo poi fare una verifica STRUTTURALE).

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



Per avere la forza risultante di reazione della palificata F_p (kN/m) (forza di reazione unitaria per metro di larghezza fronte scarpata) localmente profonda H (fig. 2.18), la eq. (2.16a) deve essere integrata da 0 a H e successivamente divisa per l'interasse della palificata D_1 :

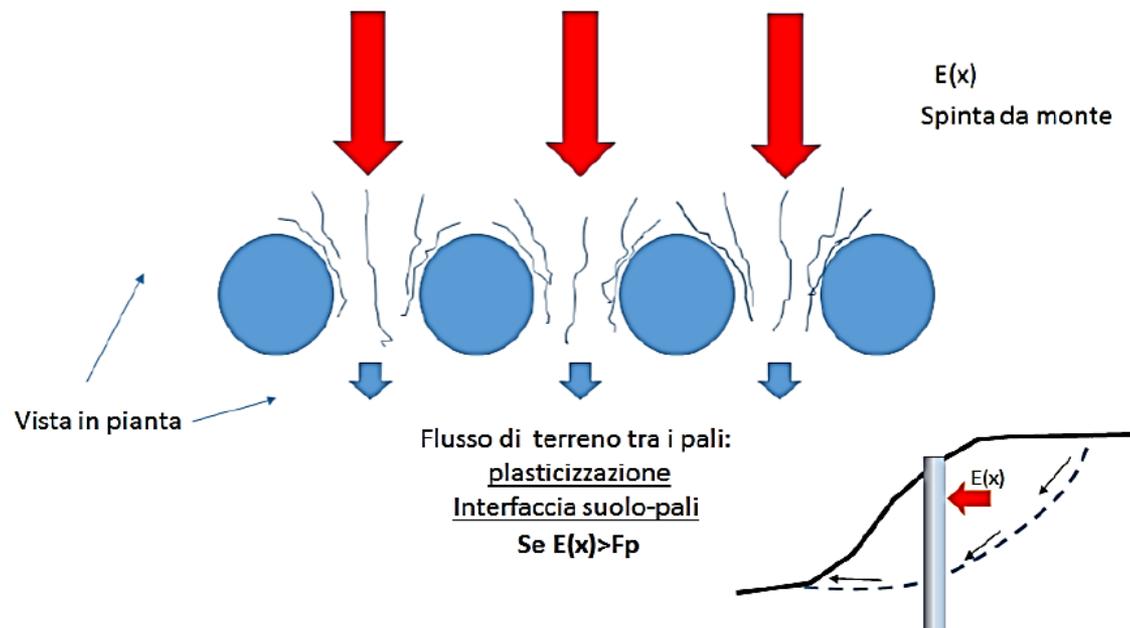
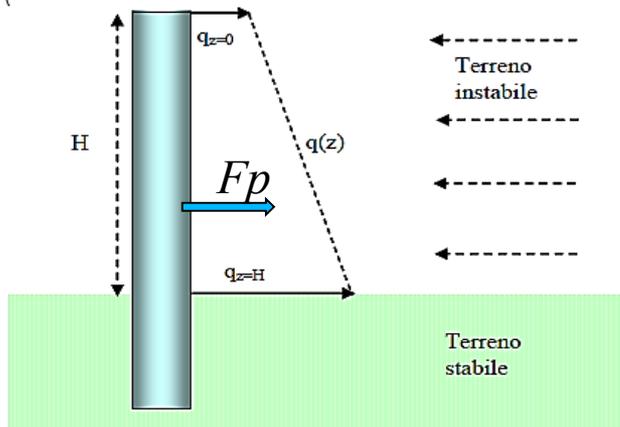
$$F_p = \frac{\int_0^H q(z) dz}{D_1}$$



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

(2.17)

Il valore di F_p andrà a incrementare il contributo delle forze orizzontali resistenti nel calcolo di F_s . Tale valore dipenderà dalla complessa interazione delle caratteristiche geometriche e meccaniche del pendio e dalle caratteristiche geometriche della palificata, nonché dal suo posizionamento all'interno del pendio (fig. 2.19).



Tuttavia è importante notare che il valore di Fp è solo il valore massimo teorico in condizioni di plasticizzazione del suolo alla interfaccia suolo-palo e che quindi il valore reale di reazione mobilitato della palificata potrebbe essere anche molto più basso del massimo teorico.

Seguendo le indicazioni di Hassiotis et al.(1997) il valore di Fp calcolato con la eq. 2.17 dovrebbe essere modificato ulteriormente per tenere conto che l'effettivo grado di mobilitazione e non è indipendente dalle condizioni complessive di stabilità globale. Gli stessi autori propongono di utilizzare come fattore di scala il valore di Fs medesimo :

$$Fp_{mob} = \frac{Fp}{Fs} \quad (2.18)$$

L'uso della eq.2.18 permette di inserire il calcolo di Fp_{mob} direttamente nel processo iterativo del calcolo di Fs e di scalarlo dello stesso livello di mobilitazione delle altre forze resistenti nel pendio. Tuttavia e' necessario considerare una forma più generale per il calcolo di Fp_{mob} . Seguendo le indicazioni di Ito e Matsui (1981) Fp_{mob} può essere espresso con la seguente equazione.

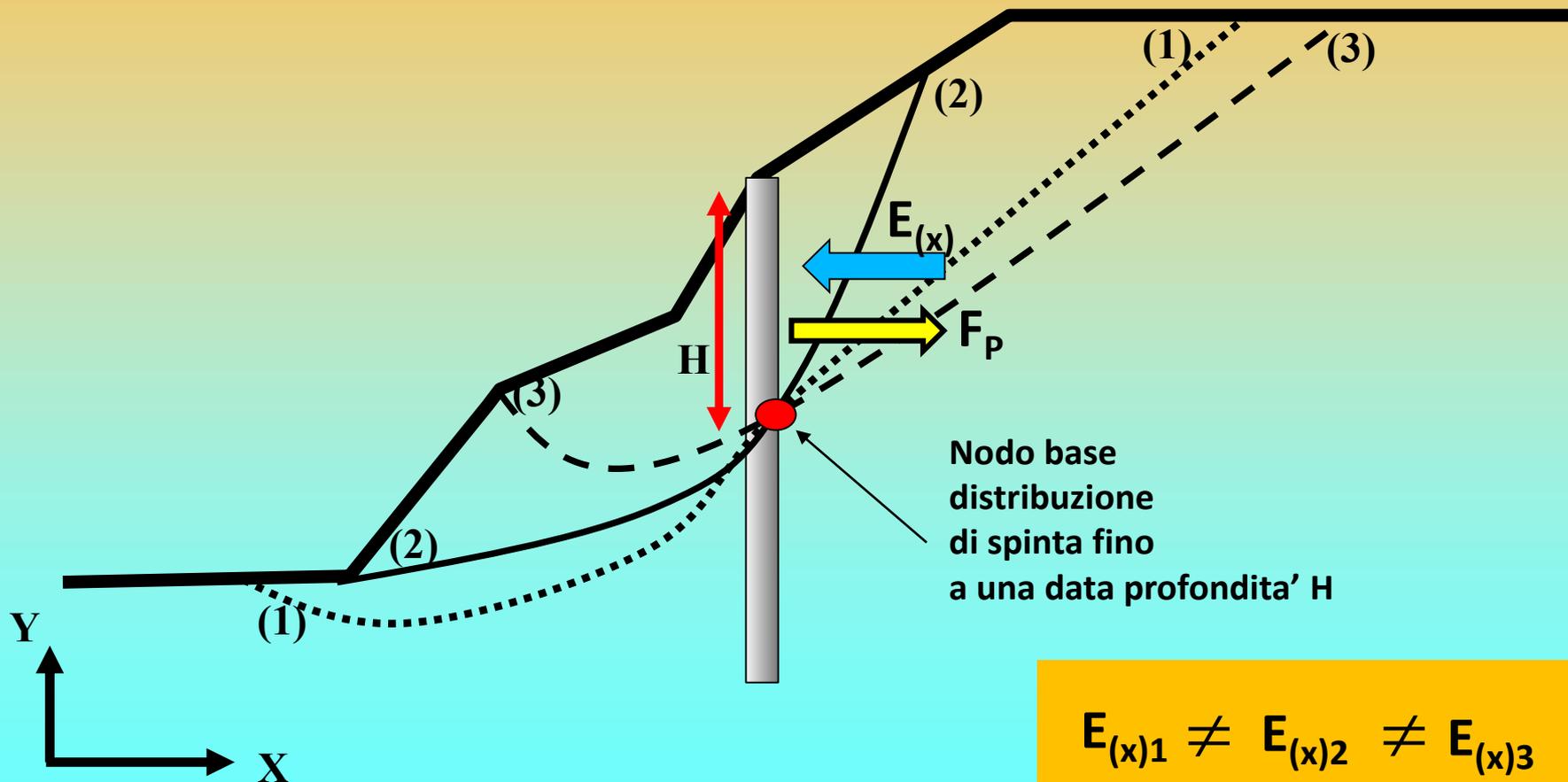
$$Fp_{mob} = Fp\alpha_m$$

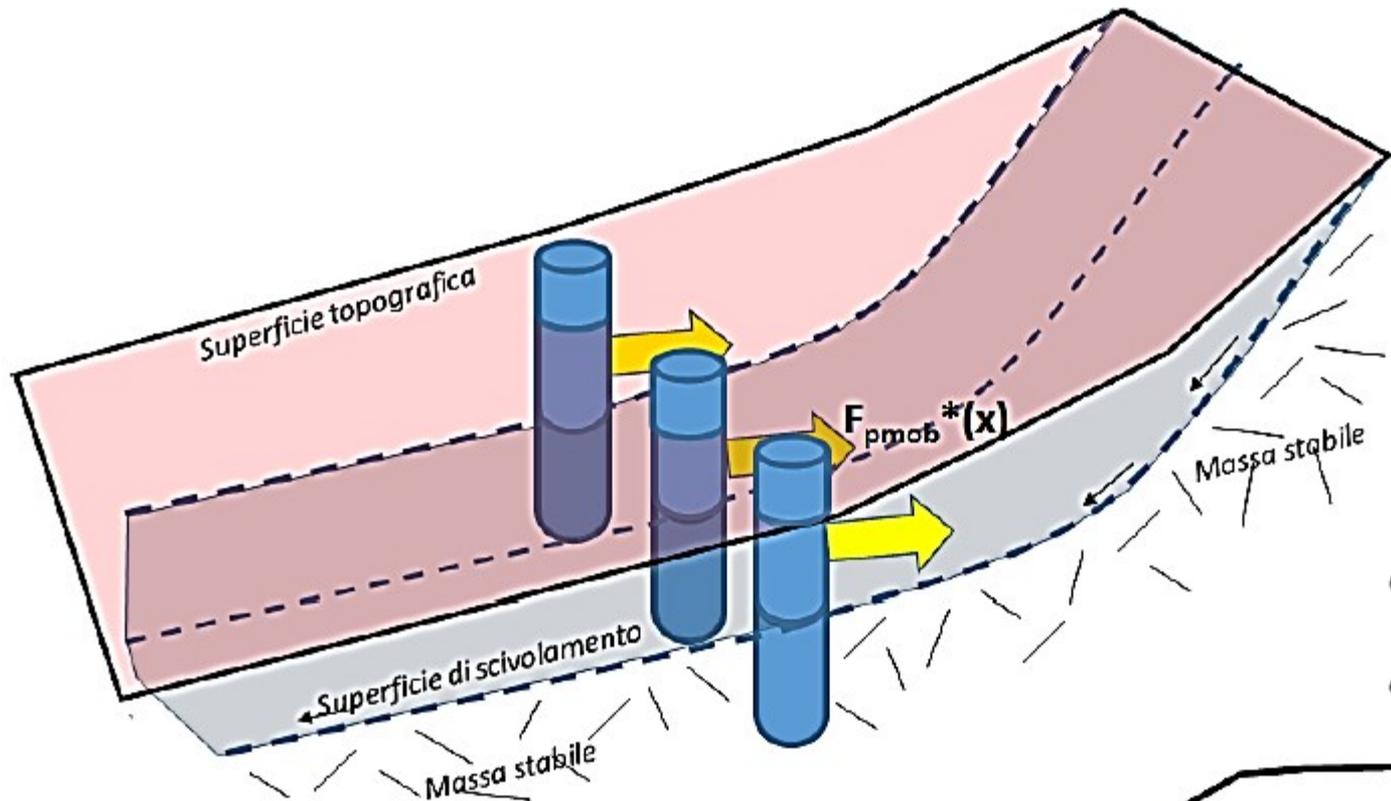
***Spinta teorica massima
per arrivare a plasticizzazione interfaccia suolo pali***

Dove:

α_m è il coefficiente di mobilitazione della forza totale di reazione massima teorica della palificata e che può assumere un valore variabile tra 0.0 e 1.0 dipendendo da una serie di condizioni come quella del livello di stabilità globale ma anche da altri fattori di seguito indicati.

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

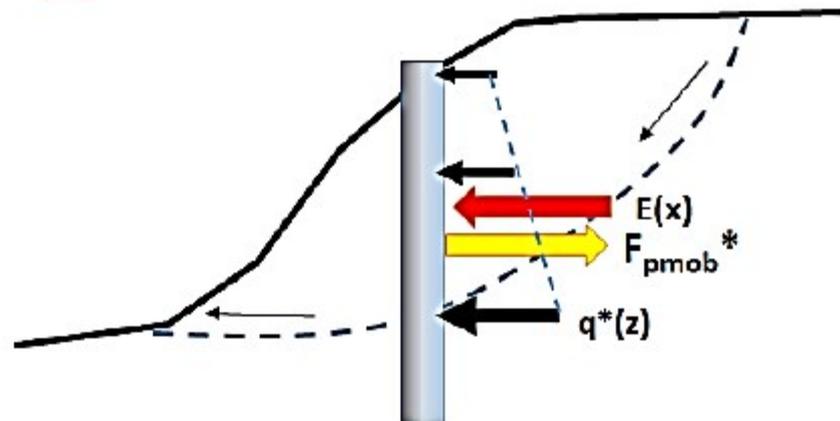




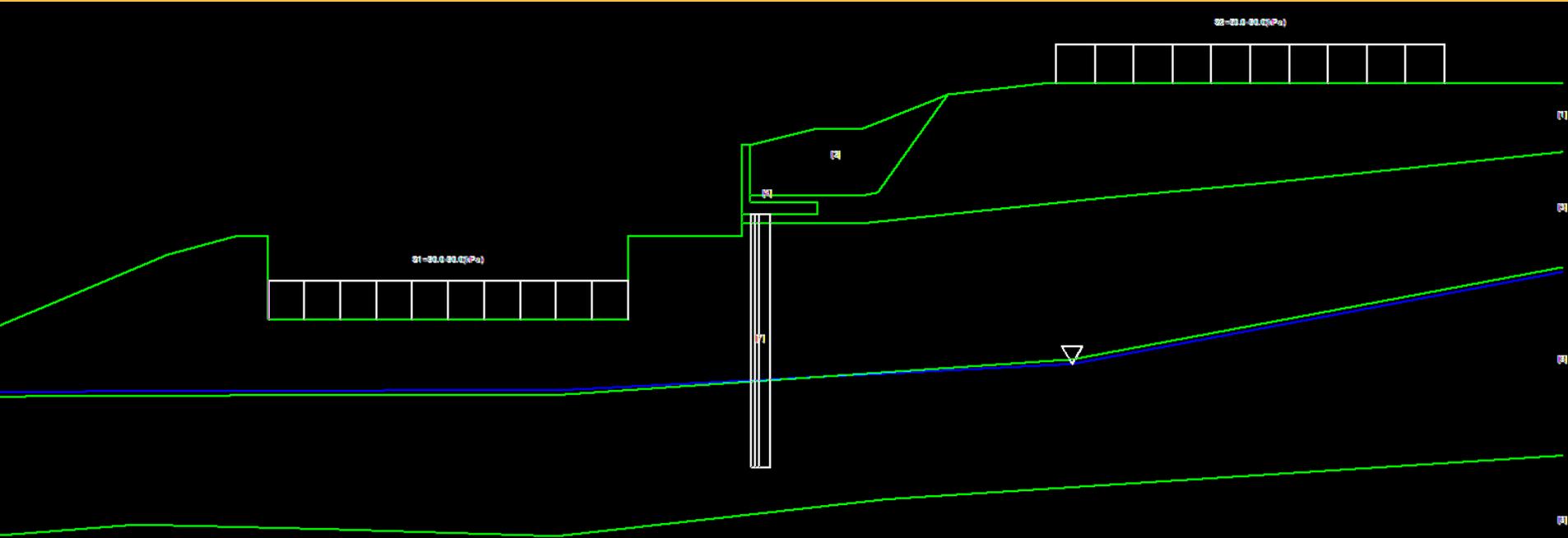
$$\alpha_m^* = \frac{F_{p_{mob}}^*}{F_p}$$

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

Reazione finale dei pali mobilizzata, $F_{pmob}^*(x)$, che entra nel complesso sistema di forze Interne alla massa potenzialmente scivolante ..., e distribuzioni delle forze sui pali $q^*(z)$,

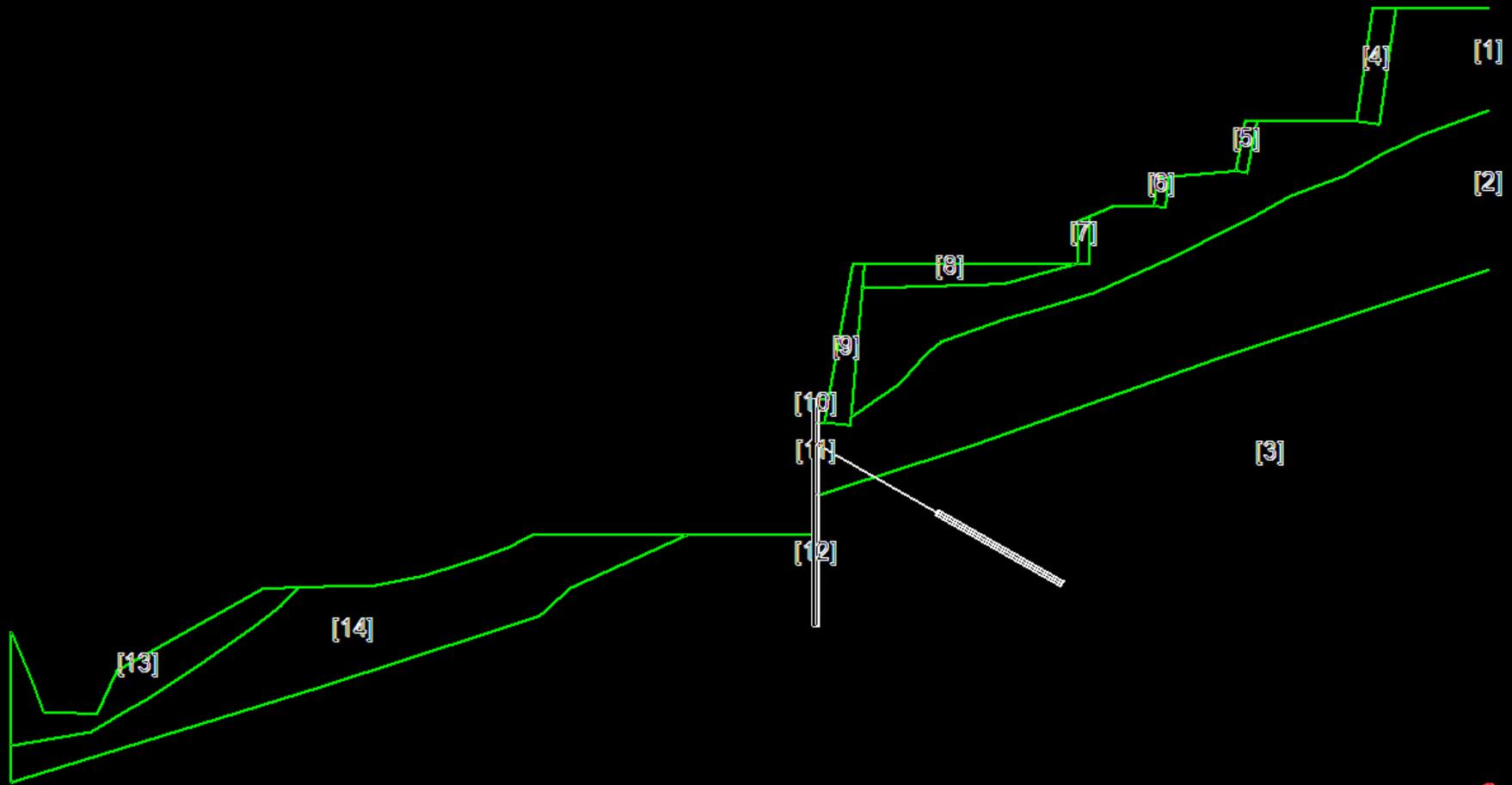


Studio e pratica su un esempio reale con palificata :



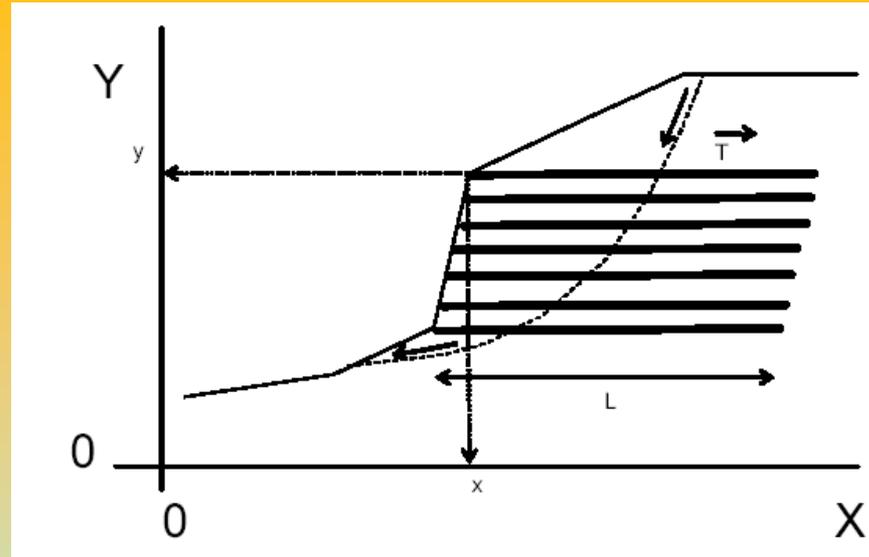
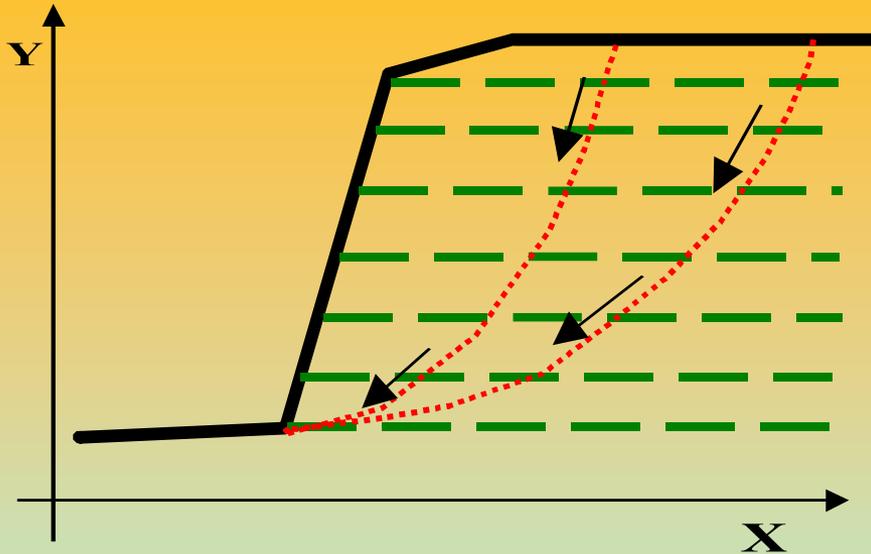
Cartella esempi corso : **zuccon**

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

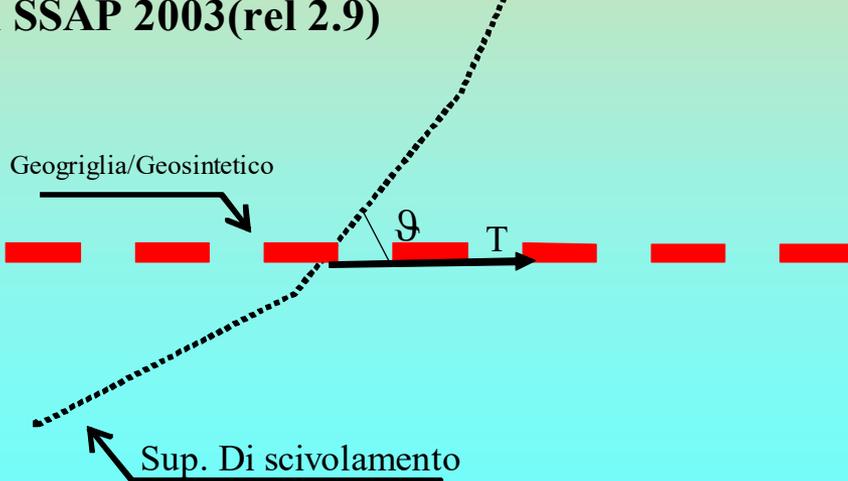


Cartella esempi corso : **gulf_star\sez-D**

geogriglie



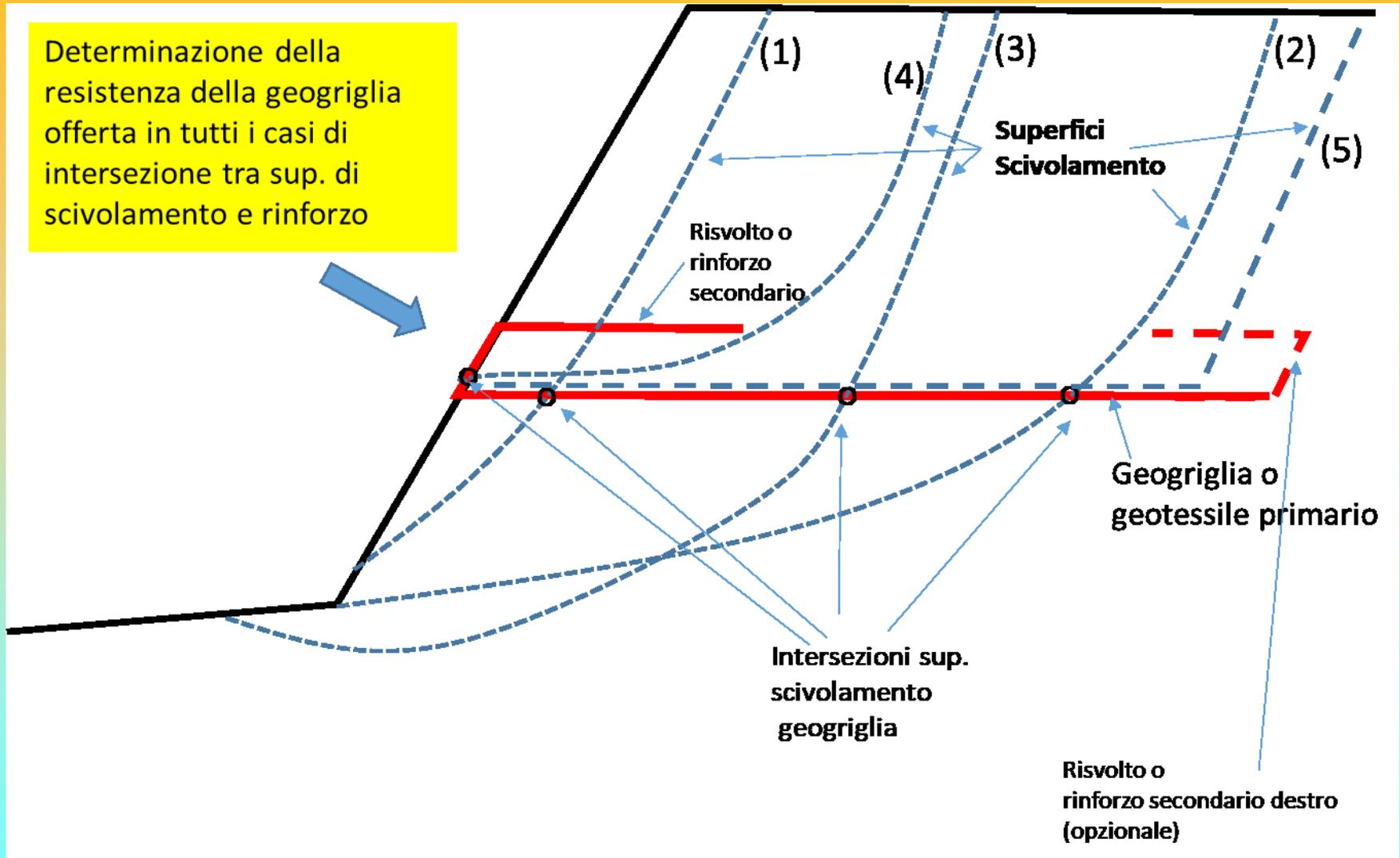
**Notazione introdotta e usata.
In SSAP 2003(rel 2.9)**



X	(in m)
y	(in m)
Lunghezza - L	(in m)
Res. Unit.	(in kN/m)
Trazione T	
Coeff. fb	(adimensionale)
Coeff α	(adimensionale)
Lunghezza risolto Lw	(in m)

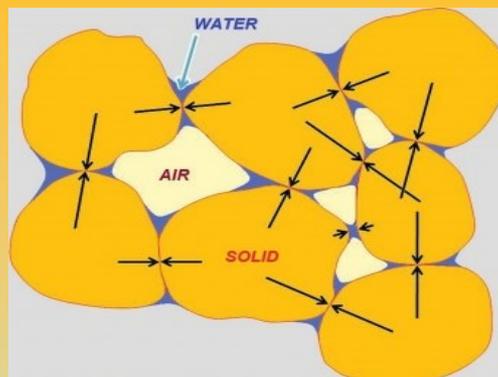
Geogriglie/Geotessili e Terre armate

Determinazione della resistenza della geogriglia offerta in tutti i casi di intersezione tra sup. di scivolamento e rinforzo



In un sistema di terre ármate, Esiste una molteplicita' di forme e di potenziali superficie di scivolamento

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



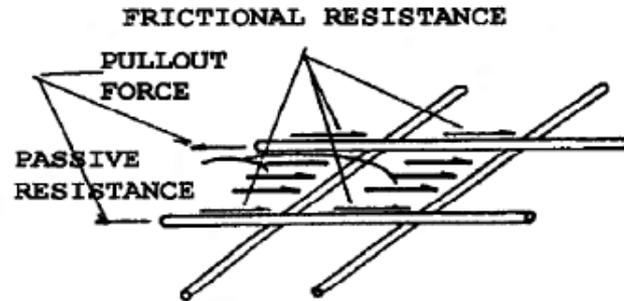
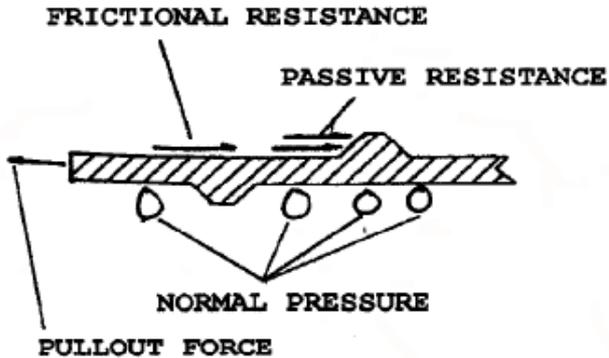
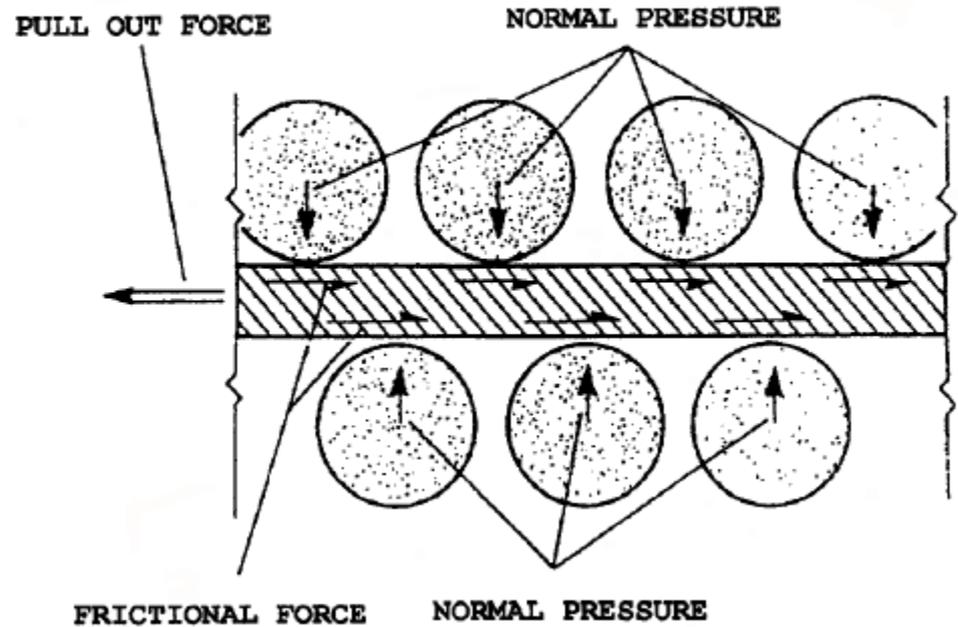
“.. Non ci si deve meravigliare che alcuni ingegneri geotecnici considerano la coesione come “l’invenzione del diavolo” (es. Un poco di coesione rende stabile anche un pendio sabbioso a forte pendenza). Affidandosi però a questo concetto sbagliato si può arrivare al disastro..“

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

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

Interazione base terreno struttura

Attrito per sviluppo di res. Passiva



B) SOIL PASSIVE (BEARING) RESISTANCE ON REINFORCEMENT SURFACES

La interazione terreno -armature e' un sistema complesso che dipende da vari fattori:

Caratteristiche terreno e stato tensionale interno opera in terra

Interazione tra geotessile e terreno

Resistenza tensionale ultima e di progetto del geotessile

Resistenza allo sfilamento del geotessile (pullout)

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

Protezione superficie esterna da erosione e progetto contenimento

Geometria opera e progetto sistema dei rinforzi e paramento

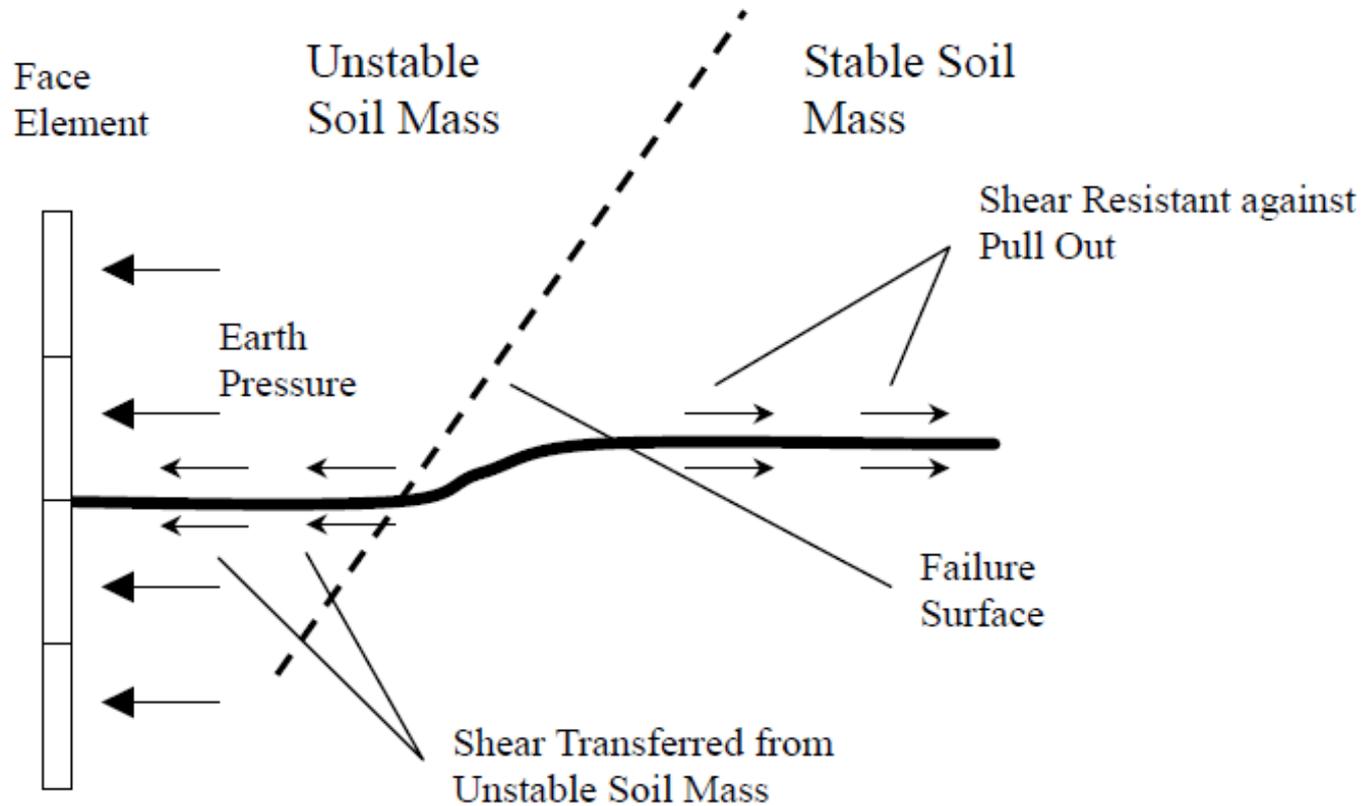
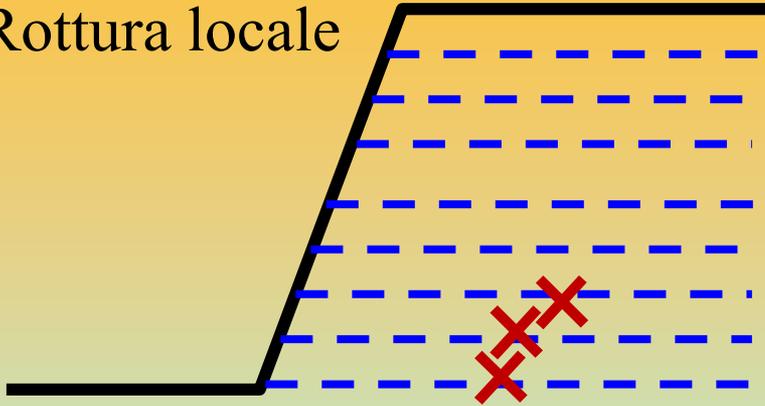


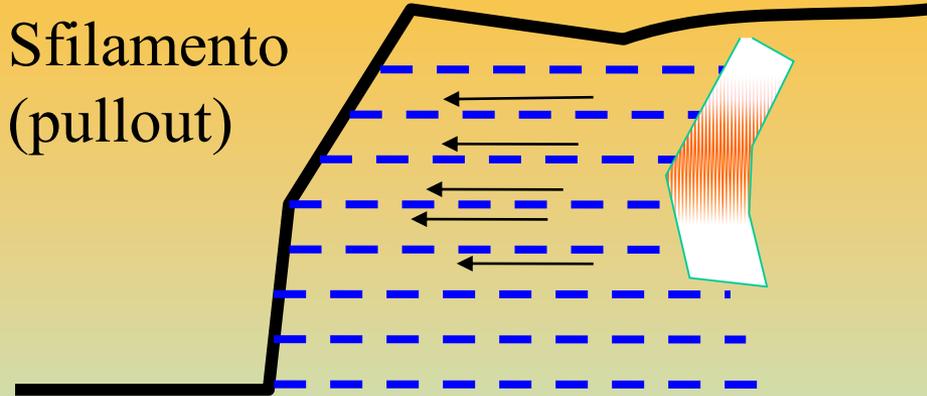
Figure 2.3.1 Reinforcing mechanism of reinforced soil retaining structures (after Huasman, 1990).

Processi di rottura e collasso in terre armate

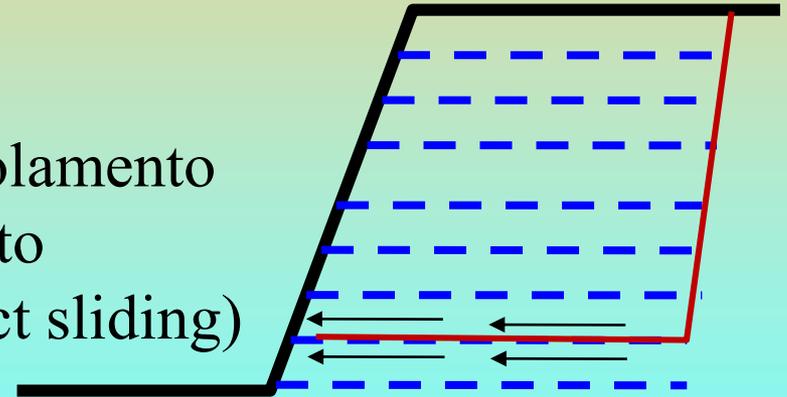
Rottura locale



Sfilamento
(pullout)



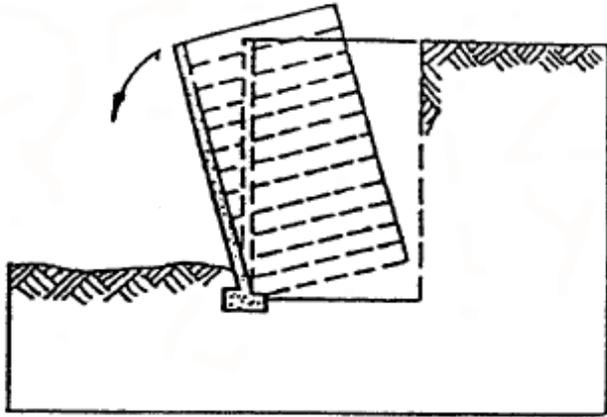
Scivolamento
Diretto
(direct sliding)



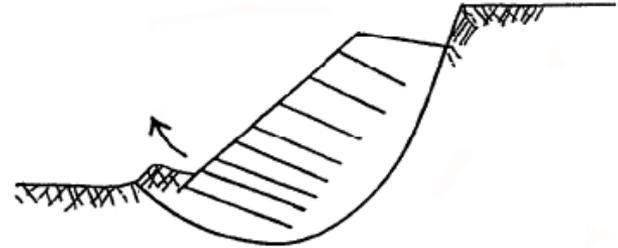
Verifiche stabilità interna

(sfilamento, rottura dei rinforzi, scivolamento diretto)

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

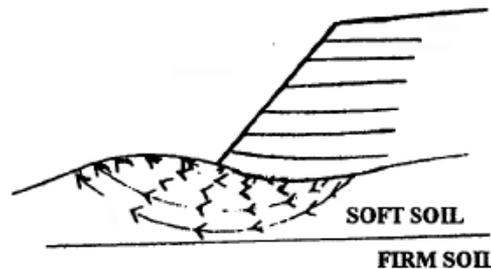


(b) Overturning (eccentricity)

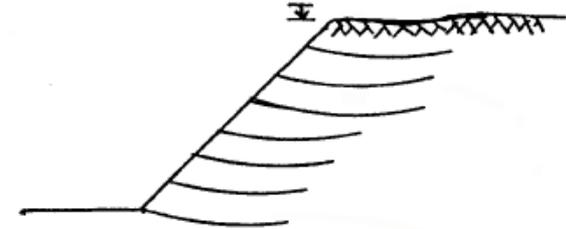


B) DEEP SEATED OVERALL INSTABILITY

**Verifiche stabilità
esterna
(capacità portante
e ribaltamento,
Scivolamento
rotazionale,
Cedimento...)**

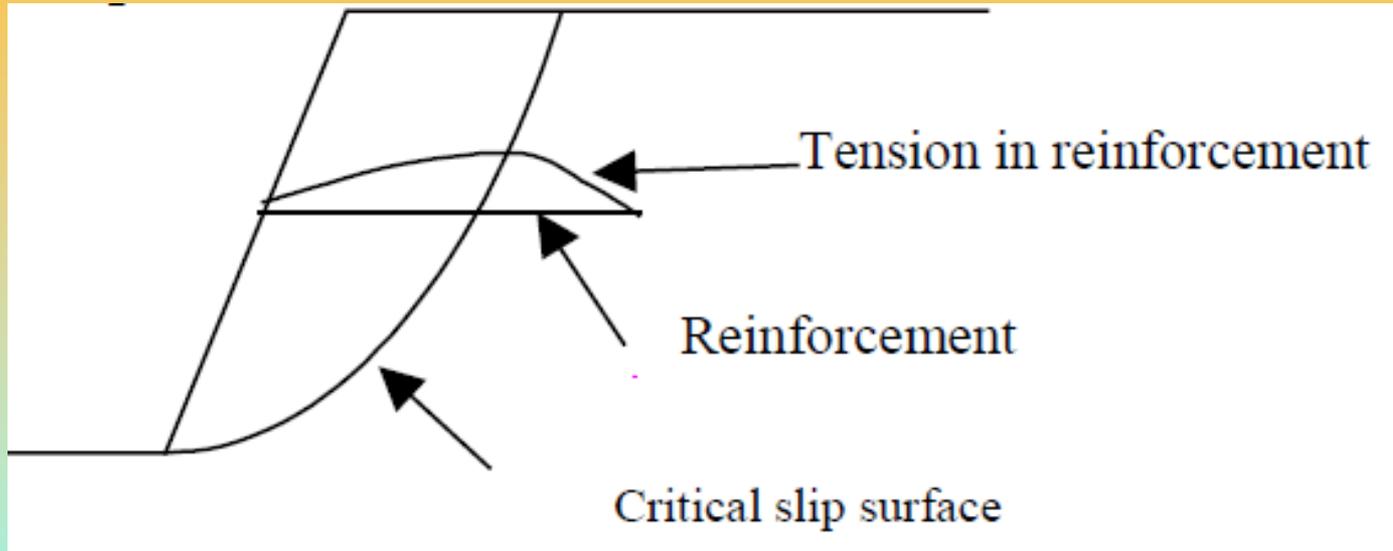


C) LOCAL BEARING CAPACITY
(LATERAL SQUEEZE) FAILURE



D) EXCESSIVE SETTLEMENT

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



Nei fatti all'interno della terra armata

La resistenza assunta per ogni armatura è sempre la minore tra quelle di progetto

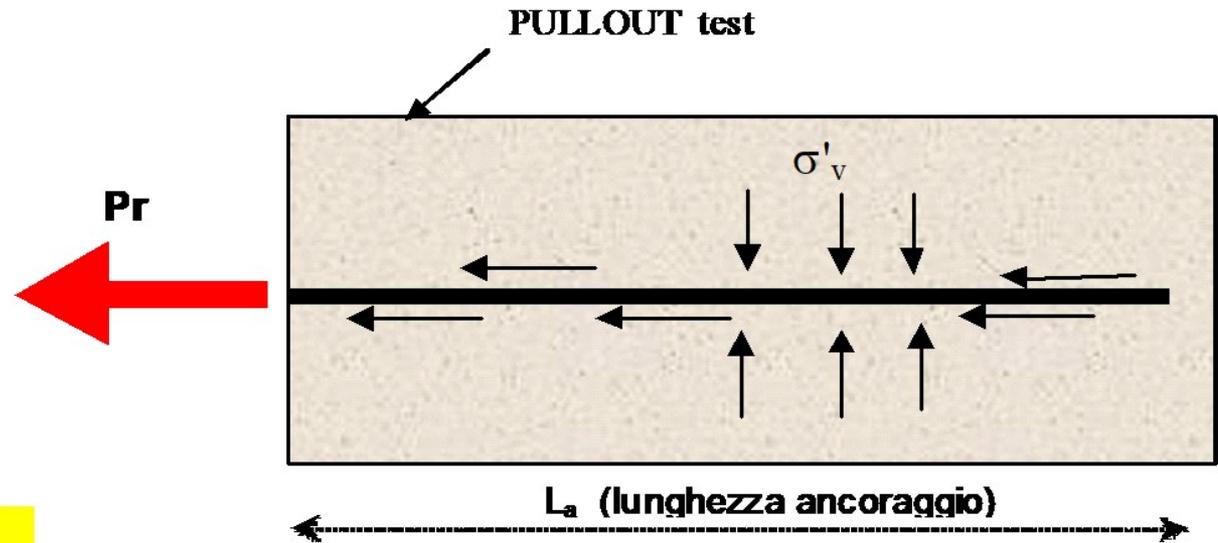
La tensione di resistenza al pullout.

A questa si aggiunge la connessione rivestimento – geosintetico (caso dei MSW)

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

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

Resistenza allo sfilamento (pullout)



$$Pr = 2 f_b \tan \phi' \sigma'_v L_a$$

f_b

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

Dovrebbe sempre essere sempre così'....

$$L_a = \min(L_s, L_d) \quad (2.14)$$

dove

L_s = lunghezza della geogriglia a sinistra della intersezione con la superficie di scivolamento

L_d = lunghezza della geogriglia a destra della intersezione con la superficie di scivolamento.

In entrambi i casi le lunghezze a sinistra e a destra includono gli eventuali risvolti nel caso la lunghezza degli stessi sia >0 per la geogriglia presa in esame.

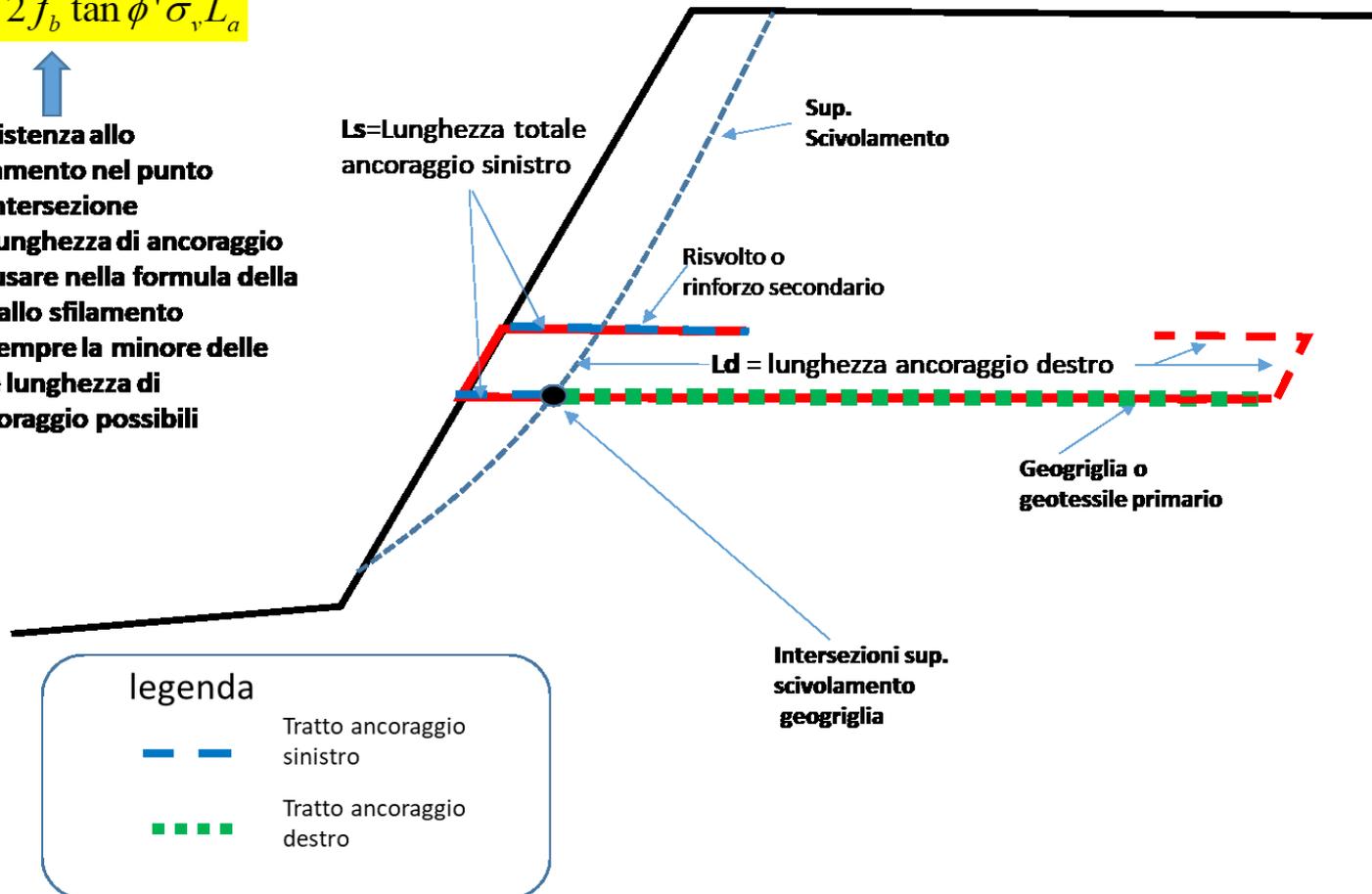
Per ogni geogriglia/geosintetico viene quindi assunto come parametro di resistenza del singolo rinforzo il valore MINIMO tra T e P_r

$$T_i = \min(T, P_r)$$

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

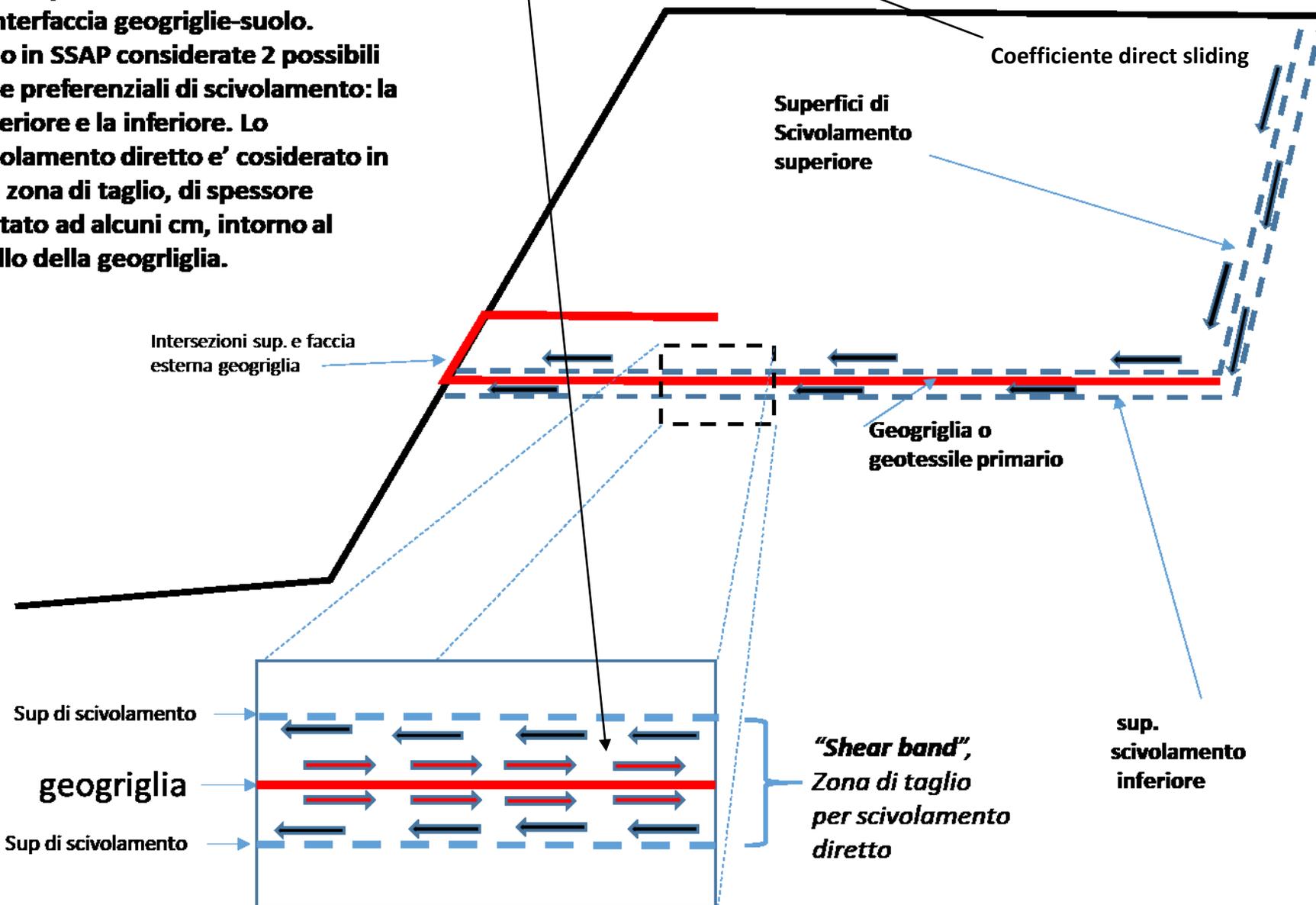
$$P_r = 2 f_b \tan \phi' \sigma_v' L_a$$

Resistenza allo sfilamento nel punto di intersezione
La lunghezza di ancoraggio da usare nella formula della res allo sfilamento e' sempre la minore delle due lunghezza di ancoraggio possibili



Scivolamento diretto, "**direct sliding**" in corrispondenza di interfaccia geogriglie-suolo. Sono in SSAP considerate 2 possibili linee preferenziali di scivolamento: la superiore e la inferiore. Lo scivolamento diretto e' considerato in una zona di taglio, di spessore limitato ad alcuni cm, intorno al livello della geogriglia.

$$\delta = \arctan(f_{ds} \tan \phi')$$



Studio e pratica su un esempio reale con geogriglie :

SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.4 (2019)

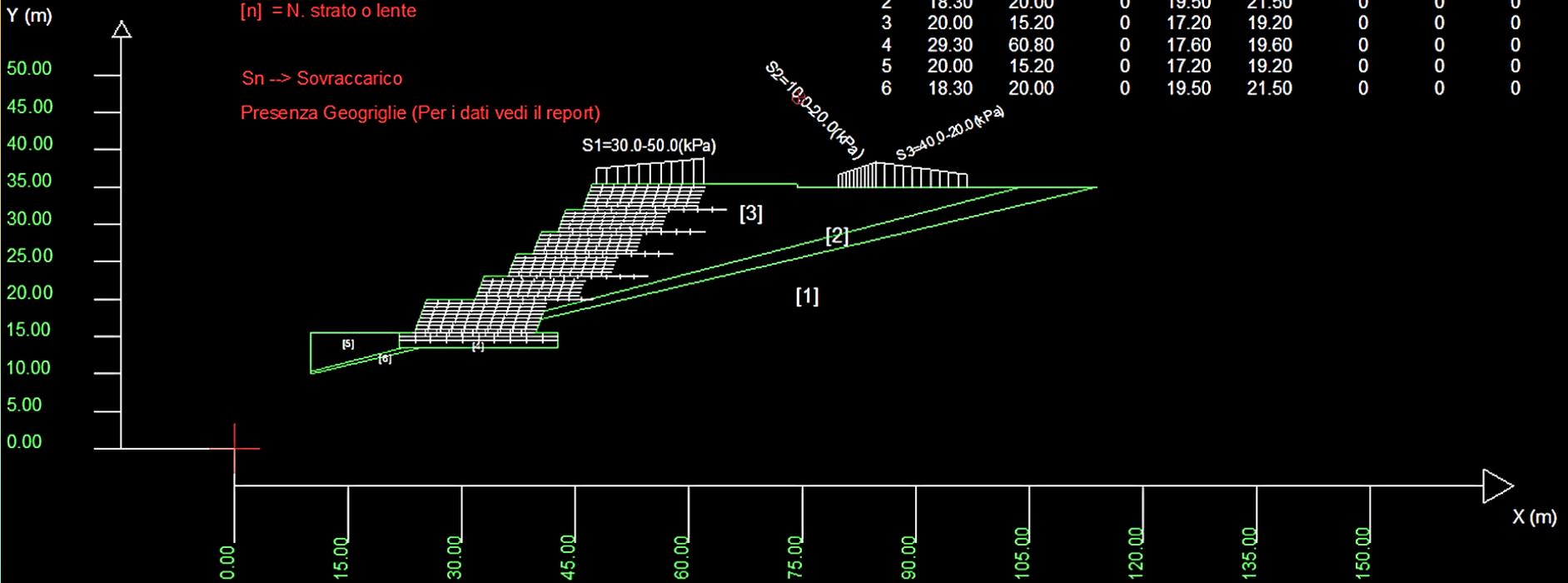
Data : 18/6/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Sn -> Sovraccarico

Presenza Geogriglie (Per i dati vedi il report)

Parametri Geotecnici degli strati

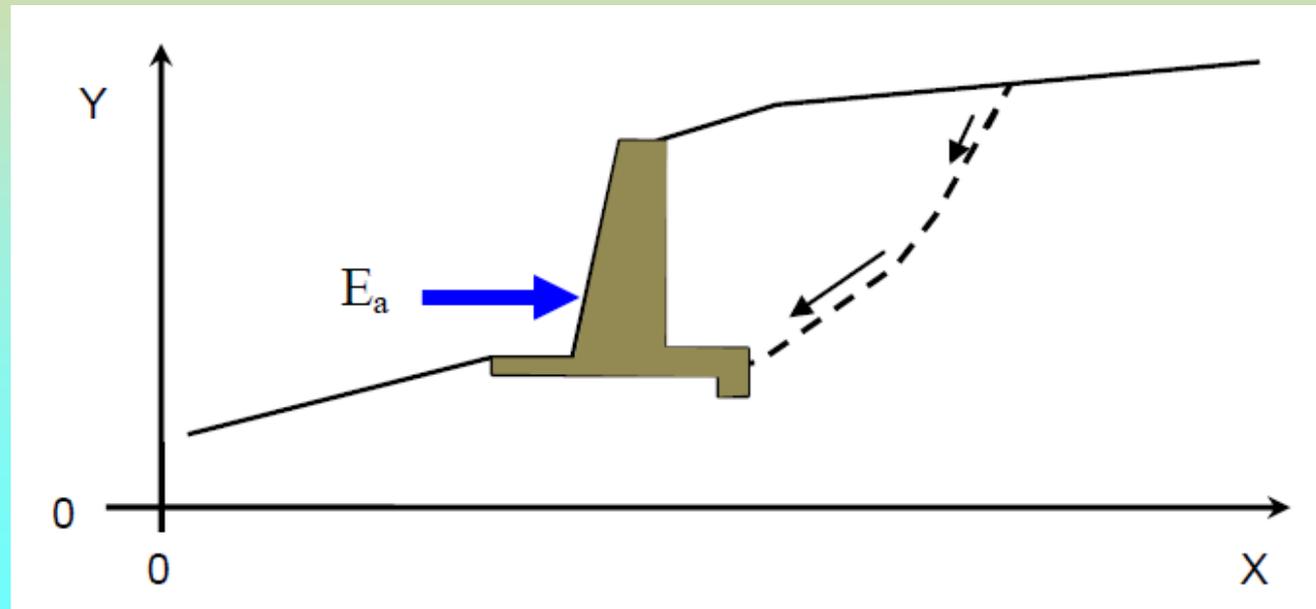
N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	18.30	40.00	0	20.00	22.00	0	0	0	0
2	18.30	20.00	0	19.50	21.50	0	0	0	0
3	20.00	15.20	0	17.20	19.20	0	0	0	0
4	29.30	60.80	0	17.60	19.60	0	0	0	0
5	20.00	15.20	0	17.20	19.20	0	0	0	0
6	18.30	20.00	0	19.50	21.50	0	0	0	0



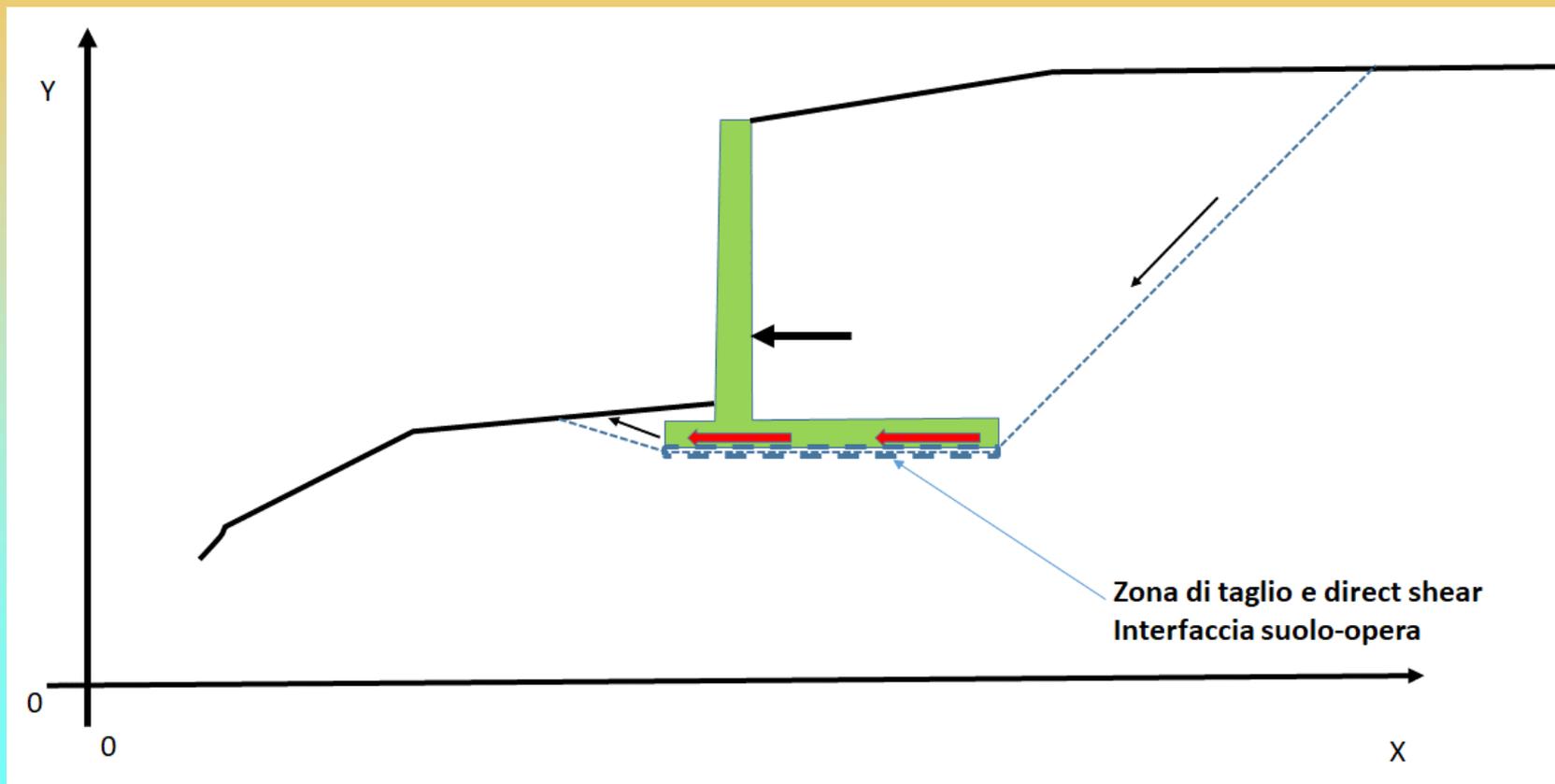
Cartella esempi corso : **geogriglie_2016**

Nel caso di muri di sostegno il programma SSAP è in grado di valutare l'entità massima del cuneo di spinta a tergo del muro. In questo caso, dopo che la superficie a cui compete la maggior spinta, è stata identificata è possibile ripetere l'analisi su tale superficie (salvata e ricaricata come superficie singola) aggiungendo però una spinta orizzontale esterna E_a pari alla reazione orizzontale offerta dal muro e valutare così l'incremento del valore di F_s dovuto all'opera

Verifica singola
Con effetto di
reazione del muro
Dovuto alla
Frizione base
muro/suolo



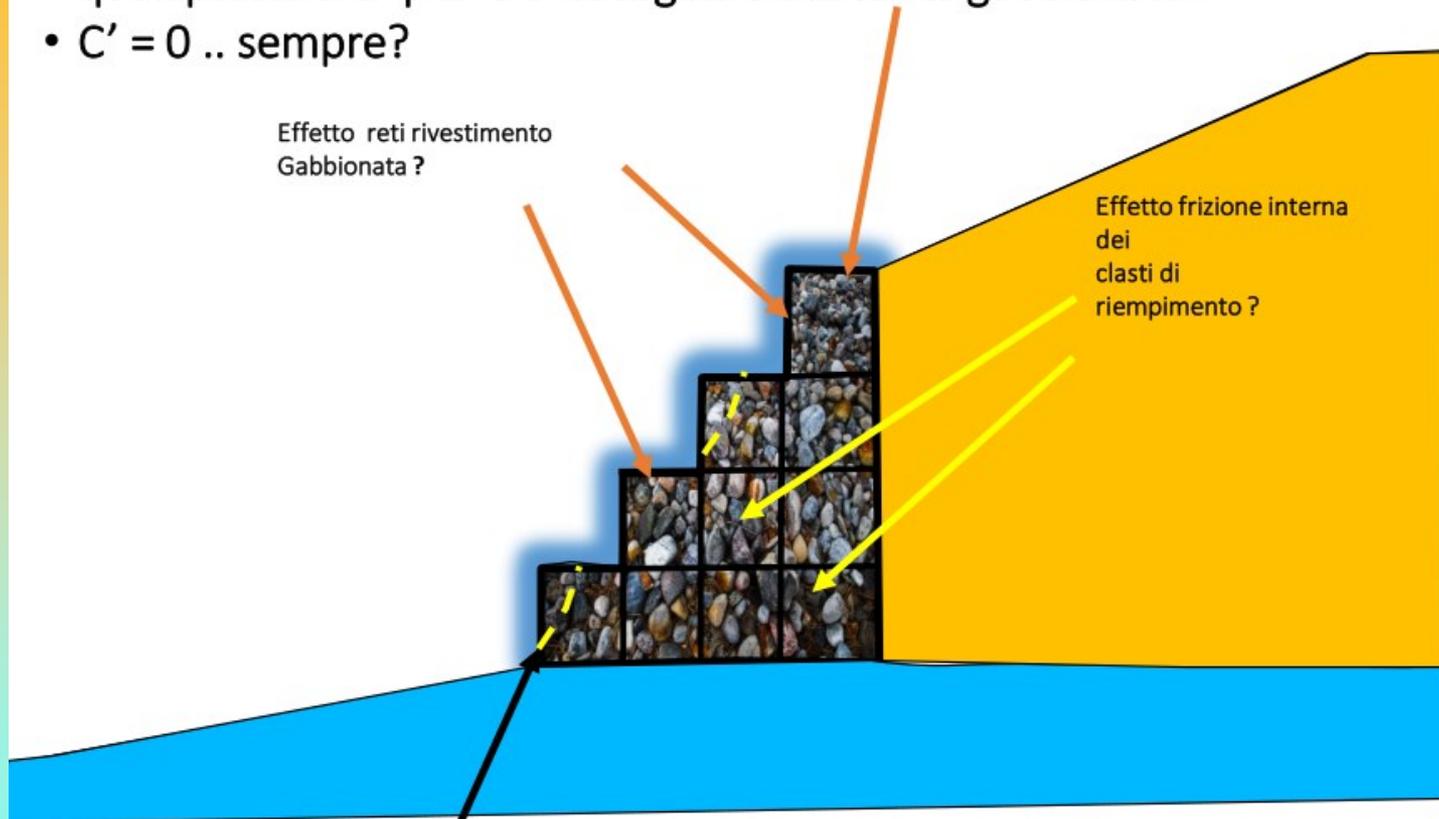
In SSAP e' possibile considerare leffetto addizionale del *direct sliding* alla interfaccia suolo struttura. (N.B. La interfaccia puo' non essere necessariamente orizzontale..) . Nella zona di interfaccia si puo' inserire una lente di spessore pochi cm, caratterizzata da una riduzione dei parametri di resistenza al taglio rispetto al terreno circostante. In questi casi e' conveniente comunque utilizzare anche lo SNIFF RANDOM SEARCH con le specifiche opzioni.



Vedasi anche manuale ssap

Caso particolare gabbionate

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

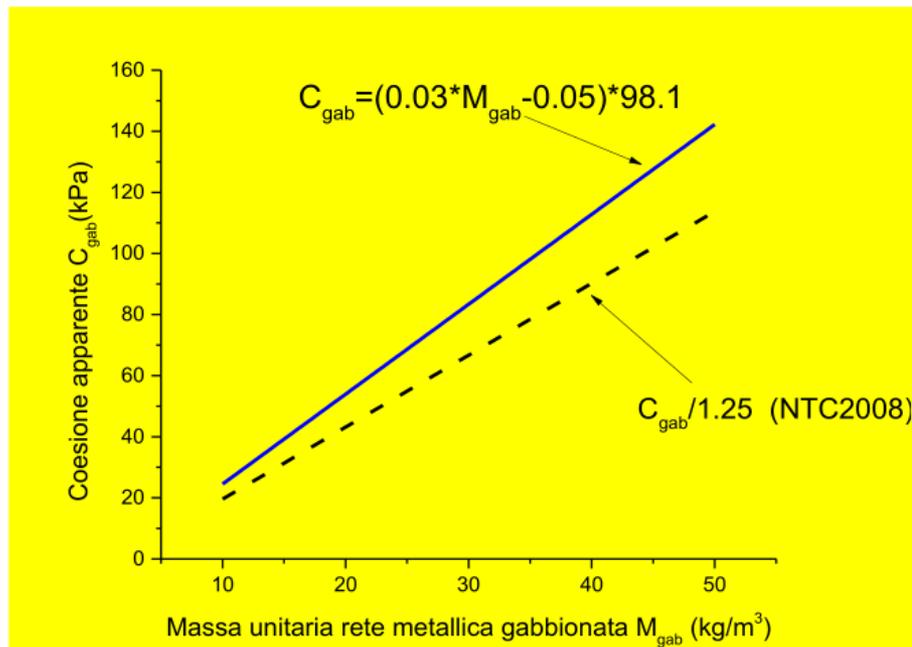


A scala di dettaglio non è possibile garantire stabilità con una gabbionata con $\phi' = 40-45$ gradi e $c' = 0$ (scala delle pareti verticali di ogni elemento) quindi è necessario che fisicamente sia sempre $C' > 0$...

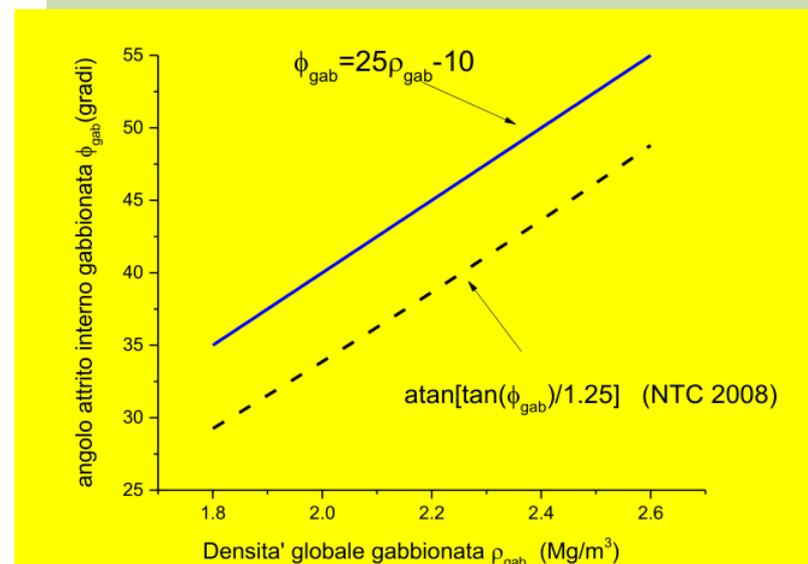
Di seguito una possibile soluzione , da Clayton et al. 2014

Caso particolare gabbionate -2

Stima dei parametri ϕ e c per gabbionate (da Clayton et al. 2014): con integrazioni by Lorenzo Borselli (www.lorenzo-borselli.eu) (aprile 2017)



Una possibile risposta...

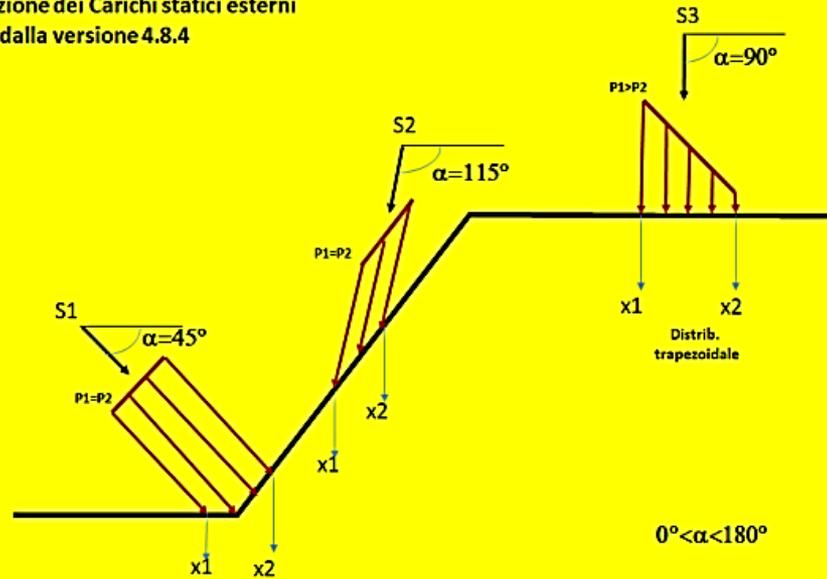


Clayton, C. R., Woods, R. I., Bond, A. J., & Milititsky, J. (2014). *Earth pressure and earth-retaining structures*. CRC Press.

In sintesi in presenza di Muri di sostegno e assimilati :

- **Inserire il muro come sua sezione e strato(lente) entro il pendio.**
 - **Assegnare al muro di sostegno, in funzione del materiale costitutivo, opportuni valori di densità e resistenza al taglio:
(es. gamma 23-25 kN/m³; Cu=300-2000 kPa).**
- Caso particolare di Gabbionate : gamma 20-25 kN/m³; C'=20 -90 kPa e phi' (35°-45°)(esiste un criterio di assegnazione di questi valori)**
- **Effettuare verifiche di stabilità globali con il metodo usuale, considerando anche superfici che passano per lo spigolo interno dell'opera**
 - **Considerare superfici singole che si originano nello spigolo esterno in basso dell'opera e aggiungere una la forza di reazione stabilizzante alla base**
 - **Considerare possibili effetti di forze destabilizzanti in testa alla superficie come tension crack riempiti di acqua**

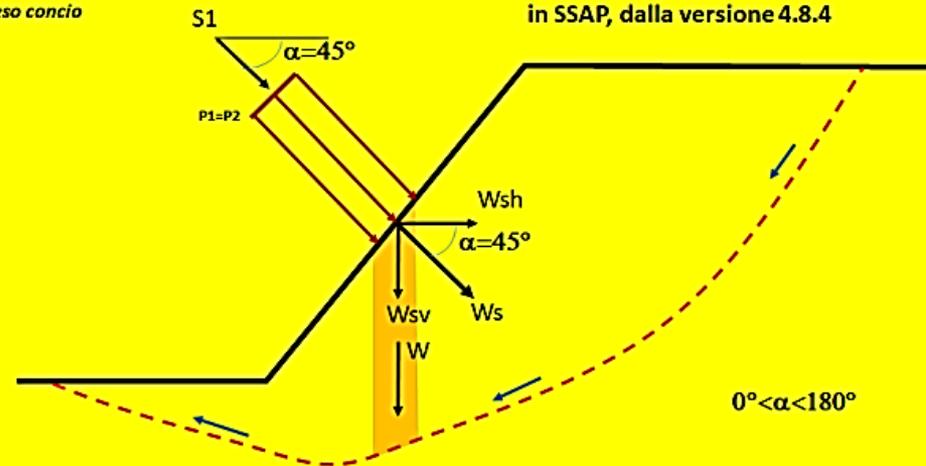
Distribuzione dei Carichi statici esterni
in SSAP, dalla versione 4.8.4



(b)

S1=carico distribuito applicato
Ws=componente orientata della forza applicata locale
Wsh=comp. Forza orizzontale
Wsv=comp. Forza verticale
W=forza peso concio

Scomposizione (e trasformazione)
carichi statici esterni in componenti
di forze verticali e orizzontali local,
in SSAP, dalla versione 4.8.4



(c)

Il nuovo metodo di progettazione e verifica è illustrato su:

Reti in aderenza : progettazione alternativa in SSAP 5.0 per verifiche stabilità globali (LEM)

(versione 4.2 – febbraio 2020)

by Lorenzo Borselli

Full Professor di Geotecnica ed Engineering Geology
Instituto di Geología / Facultad di ingeniería
Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) ,
Av. Dr. Manuel Nava 5, 78240 San Luis Potosí,
S.L.P. - MEXICO

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

Citare questo documento come:

Borselli, L. (2020). Reti in aderenza : progettazione alternativa in SSAP 5.0 per verifiche stabilità globali (LEM). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22444.82569>



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

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



Lorenzo Borselli – Introduzione al codice SSAP2010(freeware) (2021)