

SSAP 5.1 Corso Base

Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D
Full Professor - Geotechnics and Engineering Geology
Universidad Autonoma de San Luis Potosi -UASLP
Instituto de Geología
Facultad de Ingeniería.
San Luis Potosi, MEXICO
lborselli@gmail.com
lorenzo.borselli@uaslp.mx

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



SSAP 2010 (versione 4.9.3 - 2019)

SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM
release 4.9.3 (c) (1991-2019)
Build No. 11032 Windows 64 Bit
by Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D.
lborselli@gmail.com
<https://www.lorenzo-borselli.eu>

VERIFICA GLOBALE
VERIFICA SINGOLA

MONITOR VERIFICA

MODELLO PENDIO: marsili_ses1.mod

MODELLO DI CALCOLO: Morgenstern - Price (1965)

COEFFICIENTI SISMICI: ORIZZONTALE (KH): 0.0000
VERTICALE (KV): 0.0000 (Kv assunto con segno positivo)

PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI
MOTORE DI RICERCA SUPERFICI: Convex Random Search (CRS)

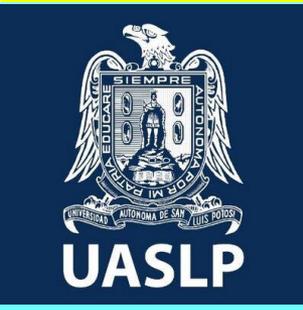
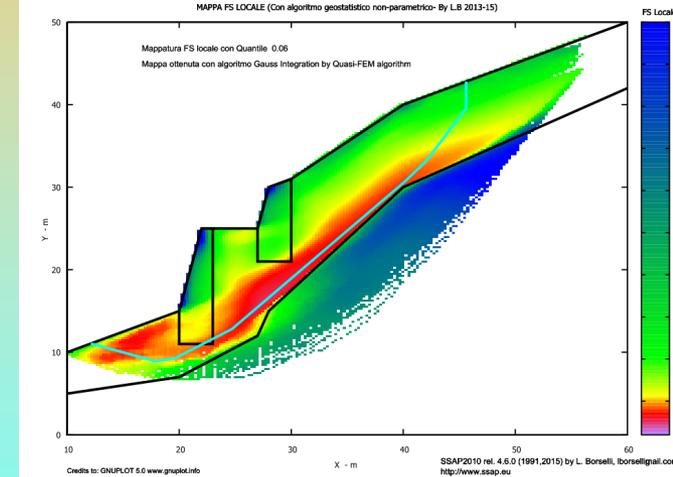
ZONA DI INIZIO - Progressive - (m): da 12606.58 a 27545.68
ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - (m): da 14266.48 a 28541.62
QUOTA LIMITE INFERIORE (m): 0.00
LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI - (m): 603.96
SILURATA SUPERFICI: Quantificata EFFETTO TENSION CRACKS: Attivata
RICERCA CON ATTRATTORE DINAMICO: Attivata METODO (lambda=0, F₀): Δ

RISULTATI IN TEMPO REALE
Fs ITERATIVO: 3.4760
INTERVALLO Fs delle 10 SUPERFICI CON MINOR Fs: 1.6720 - 1.7812
n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE: 2653 di 10000
% EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITÀ NUMERICA: 6.608 - 90.73

PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETATE(%): 26.53

STOP VERIFICA VEDI RISULTATI TEMPORANEI

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.



OBIETTIVI FORMATIVI

Illustrare le basi teoriche e pratiche delle tecniche di verifica della stabilità dei pendii mediante i Metodi dell'Equilibrio Limite Avanzati (ALEM) facendo uso del nuovo software freeware SSAP 2010 versione 5.1- 2022 (www.ssap.eu).

SSAP2010 è un software freeware completo per la verifica della stabilità dei pendii naturali e artificiali o con elementi di rinforzo. È uno strumento che mette a disposizione degli Utenti un set di strumenti originali per effettuare in modo approfondito verifiche di stabilità utilizzando metodi di calcolo rigorosi e innovativi, sviluppati in maniera originale dall'autore, nella panoramica dei software per la verifica della stabilità dei pendii, come: Motore (sniff random Search) di generazione e ricerca delle superfici (con minore Fattore di Sicurezza (F_s), caratterizzate da forma generica; modulo speciale per la gestione degli acquiferi: falde in pressione, piezometriche, falde sospese e acquicludi; mappe a colori del fattore di sicurezza locale con nuovo metodo integrato qFEM-LEM; moduli di gestione delle interazioni con strutture Palificate, tiranti, terre armate, gabbionate, ecc

Una interfaccia Windows 10x e una serie di strumenti per l'assemblaggio del modello del pendio, per la visualizzazione grafica e il reporting completano il software.

N.B: Il corso in modalità WEBMINAR non consente di generare tutte le necessarie interazioni tra corsisti e docente che possono realizzarsi in corso presenziale e con uso diretto del software in presenza del docente. Tuttavia il corso è finalizzato a dare tutti gli elementi di base per appianare la naturale curva di apprendimento

ARGOMENTI

- Tecniche e metodi di base per la verifica della stabilità dei Pendii
- Strategie innovative per la analisi della stabilità: comparazione con le strategie classiche accademiche
- Tecniche innovative di analisi e progettazione per il secolo XXI
- Installazione di SSAP2010
- Descrizione delle funzionalità del codice SSAP2010
- Esercitazioni con esempi pratici: costruzione modelli del pendio con superfici semplici e complesse e analisi verifica di stabilità dei pendii
- Applicazione di SSAP2010 in ammassi rocciosi fratturati e rocce tenere: uso del criterio di rottura Hoek et al. (2002,2006) generalizzato e Barton & Bandis (1990).
- Inserimento e verifiche di stabilità con opere di sostegno (palificate, tiranti, terre rinforzate, gabbionate, reti in aderenza)
- carichi esterni statici inclinati e con distribuzione trapezoidale
- introduzione alle verifiche di stabilità dei pendii alla luce delle NTC 2018, con applicazioni pratiche

PROGRAMMA

1ª Parte – Giorno I (3 ore)

Ore 15:00 - 15:10 – presentazione corso

Ore 15:10 – 16:40 - Introduzione generale Cenni sulle tecniche e sui metodi di base per la verifica della stabilità:

- Le problematiche della verifica di stabilità dei pendii e il superamento delle Tecniche classiche di analisi e progettazione con i nuovi paradigmi e strumenti di lavoro;
- Definizione rigorosa del modello del pendio;
- Strategie innovative per la analisi della stabilità: comparazione con le strategie classiche accademiche.

Ore 16:40 - 16:50 - Procedure di installazione di SSAP2010

Ore 16:50 – 18:00 - Descrizione delle funzionalità del codice SSAP, per mezzo di 2 esempi di applicazione pratici.

2ª Parte – Giorno II (3 ore)

Ore 15:00 – 16:30 - Esempi pratici: costruzione modelli del pendio con superfici semplici e complesse e analisi verifica di stabilità utilizzando funzionalità base di SSAP.

Ore 16:30 – 18:00 – introduzione Applicazione di SSAP2010 in ammassi rocciosi fratturati e rocce tenere: uso del criterio di rottura Hoek et al. 2002, 2007, e Barton & Bandis (1990) con esempi di applicazione.

3a Parte – Giorno III (3 ore)

Ore 15:00 – 16:30 – Introduzione Applicazione di SSAP2010 in condizioni particolari come condizione di pos-tliquefazione (parziale e totale), degradazione ciclica, liquefazione statica, rockfill, bimrocks, combinazione resistenza al taglio drenata e non drenata.

Ore 16:30 – 18:00 - introduzione alle verifiche di stabilità dei pendii alla luce delle NTC 2018, con applicazioni pratiche

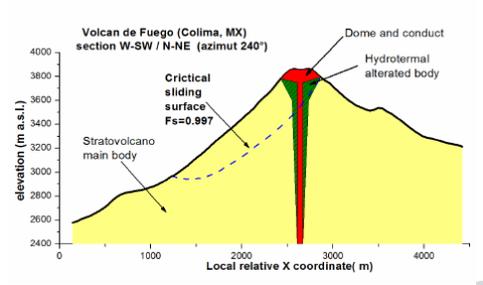
4a Parte – Giorno IV (3 ore)

Ore 15:00 – 18:00 – introduzione alle verifiche di stabilità con opere di sostegno (palificate, tiranti Terre armate, gabbionate, Muri, reti in aderenza) con esempi di applicazione

SSAP 5.1

CORSO INTRODUTTIVO

Parte I



Introduzione a SSAP 2010 e descrizione delle sue funzionalità

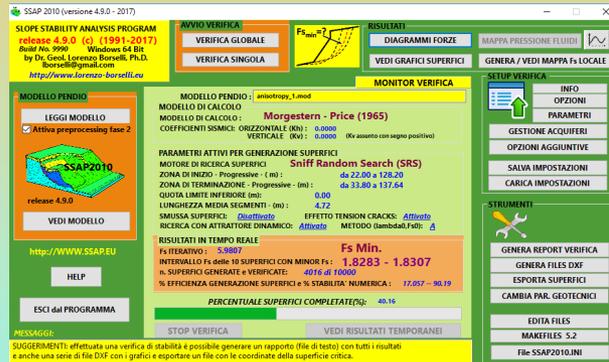
Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D

Universidad Autónoma de San Luis Potosí -UASLP

Instituto de Geología

Facultad de Ingeniería.

San Luis Potosi, MEXICO

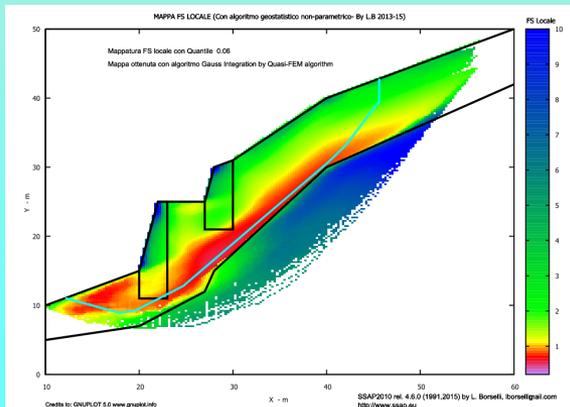


E_mail:

lborselli@gmail.com

lorenzo.borselli@uaslp.mx

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

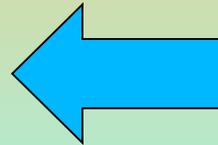


Verifica Stabilità dei pendii, Domande a cui rispondere...

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?

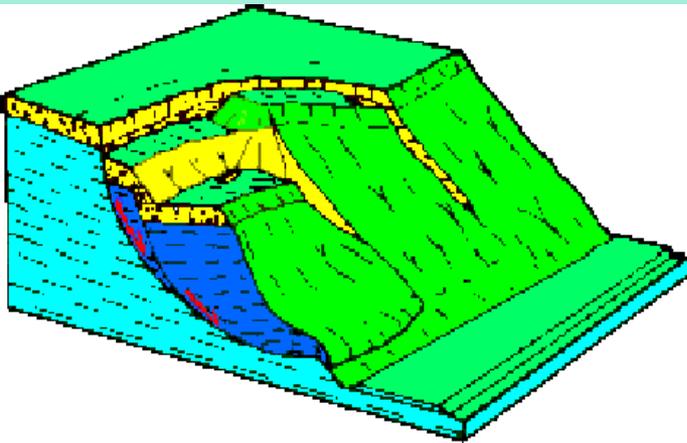
Una possibile risposta alle precedenti domande

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 5.1 (Marzo 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.).

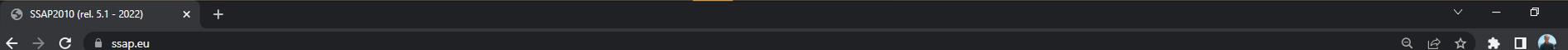
sito ufficiale SSAP: <https://www.ssap.eu>

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. The top panel shows "ANNO VERIFICA" with options for "VERIFICA GLOBALE" and "VERIFICA SINGOLA". The middle panel shows "MODELLO PENDIO" with a 3D model of a slope and a failure surface. The right panel shows "RISULTATI" with a diagram of a failure surface and a table of results. The bottom panel shows "PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI" with various parameters and their values. The results section shows "F_s ITERATIVO : 3.4760" and "F_s Min. : 1.6720 - 1.7812". The bottom right panel shows "STRUMENTI" with various tool icons and options like "GENERA REPORT VERIFICA", "GENERA FILES DXF", "ESPORTA SUPERFICI", "CAMBIA PAR. GEOTECNICI", "EDITA FILES", "MAKEFILES 5.3", and "File SSAP2010.INI".

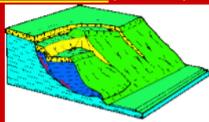
SSAP2010

SU

WWW.SSAP.EU



SSAP2010
Slope Stability
Analysis Program
release 5.1 (build n.12697)



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

[Perche' SSAP?](#)



[Caratteristiche generali](#)

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



(DISPONIBILE VERSIONE AGGIORNATA,
rel. 5.1 - 27 Marzo 2022)

[DOCUMENTO di VALIDAZIONE](#)
[CODICE SSAP](#)
[\(versione 1.4\) \(PDF\)](#)

SSAP2010

(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)

Versione 5.1(2022) - Win 64 Bit

(27-03-2022) - BUILD n. 12697

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](#))



[Informazioni su Corsi SSAP](#)

! Prossimi Corsi APC e Seminari/Corsi a invito su SSAP, nel 2022 in Italia !

31 MARZO, 7-14-21 APRILE 2022, WEB-MINAR (3+3+3=9 ore), CORSO BASE PER L'IMPIEGO DEL PROGRAMMA SSAP
Organizzato da [Ordine dei Geologi del Piemonte \(Torino\)](#) . [Info corso e programma](#)

! Corsi APC e Seminari/Corsi a invito su SSAP, tenuti 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

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>

SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM
release 5.1 (c) (1991-2022)
Build No. 12697 Windows 64 Bit
by Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D.
lborselli@gmail.com
<https://www.lorenzo-borselli.eu>

AVVIO VERIFICA
VERIFICA GLOBALE
VERIFICA SINGOLA

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

MODELLO PENDIO
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 - Progressive - (m): da 0.53 a 24.50
ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - (m): da 3.20 a 26.10
QUOTA LIMITE INFERIORE (m): 0.00
LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI - (m): 1.07

RISULTATI IN TEMPO REALE
F_s ITERATIVO: 4.0273
INTERVALLO F_s delle 10 SUPERFICI CON MINOR F_s: 1.0008 - 1.1132
n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE: 1026 di 15000
% EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA: 41.820 - 98.18

PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETE(%): 6.84

OPZIONI GENERALI per Verifiche di Stabilità SSAP
Coefficiente sismico orizzontale - Kh: 0.000
Coefficiente c=Kv/Kh: 0.500
Kv (negativo):

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

CONTROLLO STABILITA' NUMERICA
% Tolleranza stress normali negativi: 10 %
% Tolleranza RHO=(Fs/Fv) > 1.0: 100 %
Limite T(x)/E(x): LIMITATO Non LIMITATO
Reimposta Valori Standard Stabilizzatore numerico attivo

MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI
RANDOM SEARCH (RS)
CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)
SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 3.1
NEW RANDOM SEARCH (NRS) 1.1
Convessita' limitata:
Delta alpha: 10.00

SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH
Steps di scansione: 60
Frequenza attivazione: 0.75
Variante NO-CONVEX SNIFF:
No-convex oscillazione massima (gradi): -24.00
ottimizza tracciatore discontinuita' sottili:

F_s di Progetto richiesto. Solo per analisi deficit di resistenza: 1.200

TIRANTI - ANCORAGGI
PASSIVI
ATTIVI Attiva nuova metodologia calcolo automatica mobilitazione

Distribuzione resistenze
Rettangolare
Trapezoidale

PALIFICATE
Metodo calcolo: ITO-MATSUI (1975) - HASSIOTIS (1997)
KUMAR-HALL (2006) (+ conservativa)
Fattore di riduzione Fp (NTC2018) (Variare da 1 a 100): 2.00
% di massima mobilitazione teorica: 50.00 (%)

SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO
EFFETTO ATTIVO
EFFETTO DISATTIVO

TENSION CRACKS TESTA PENDIO
EFFETTO DISATTIVO
EFFETTO ATTIVO

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

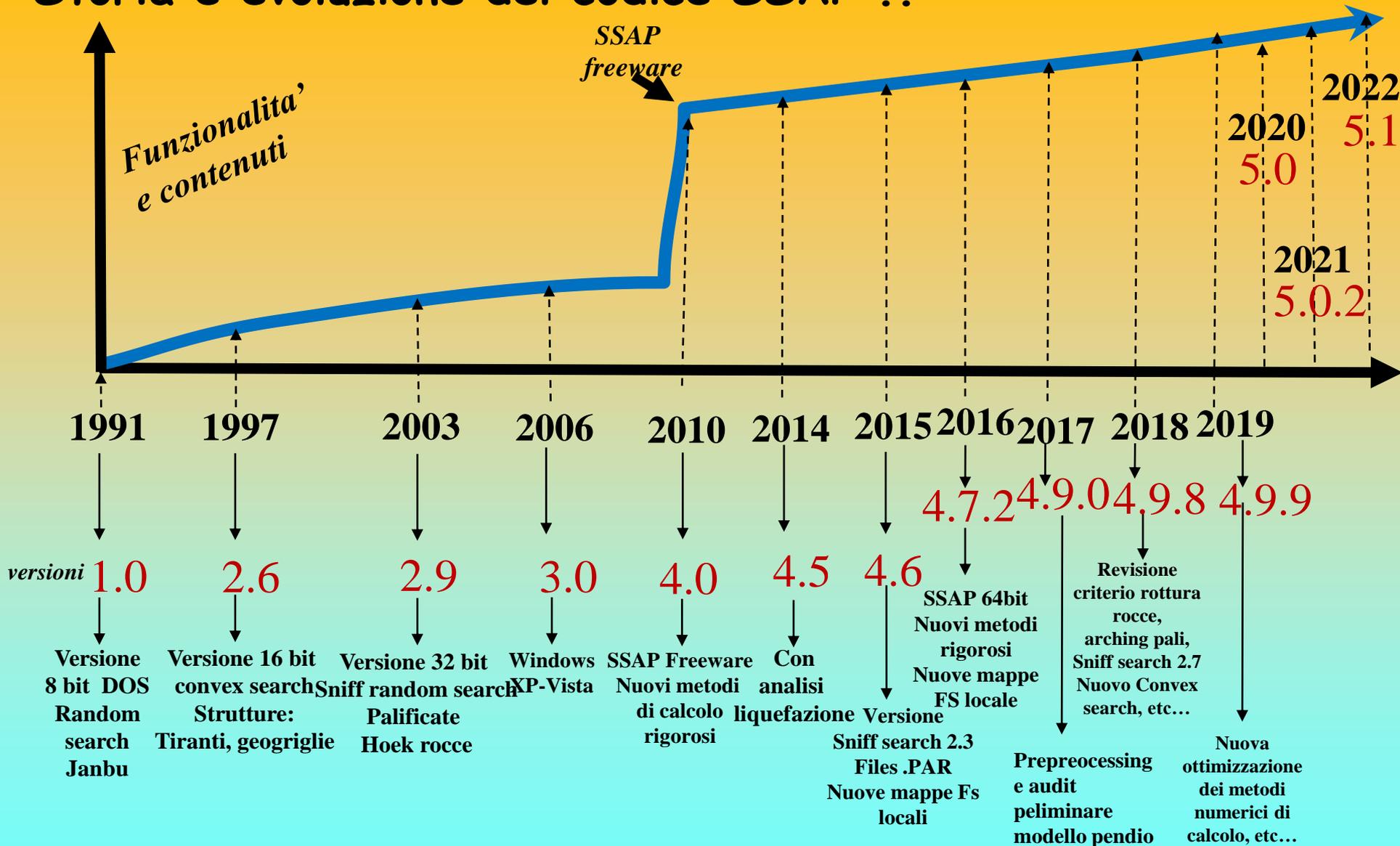
OPZIONI GENERALI per Verifiche di Stabilità SSAP
NTC2018/EC-7 - ROCCHE: DISATTIVATO ATTIVATO
ROCCHE - Criterio Haek et al. (2002)
HB Generalizzato - Carranza-Torres(2004)
HB Generalizzato - Lei et al.(2016)
HB Generalizzato - Lee et Pietruszczak(2017)

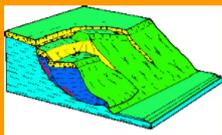
TIRRE ARMATE
Attiva calcolo con criterio di mobilitazione:
Criterio Calcolo Mobilitazione: MAX [F_pm , E(x)] MIN [F_pm , E(x)]

STRUMENTI
GENERA REPORT VERIFICA
GENERA FILES DXF
ESPORTA SUPERFICI
CAMBIA PAR. GEOTECNICI
MODIFICA MODELLO PENDIO
EDITA FILES
MAKEFILES 5.6
File SSAP2010.INI

SSAP 2010 non è un software commerciale

Storia e evoluzione del codice SSAP ..





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

ssap2010 (rel. 5.1 - 2022). (ultimo aggiornamento 27 marzo 2022)

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):

• **27-03-2022: versione 5.1 SSAP2010 - Aggiornamento pacchetto di installazione. (solo per PC con architetture a 64bit) BUILD 12697 (MAIN RELEASE)**

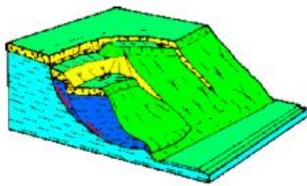
- AGGIORNAMENTO. Correzione bug nella verifica di ammassi rocciosi fratturati (e modellizzati con criterio GSI-GHB +JRC) . Il Bug era associato a situazioni con famiglie discontinuita' subverticali (beta>80°) legato all'algoritmo di tracciamento di questo tipo di discontinuita'. La anomalia e' stata segnalata dal Dr. Geol. Matteo Marini (Bolzano), che ringrazio moltissimo per il contributo offerto con questa segnalazione.
- AGGIORNAMENTO. Il motore di calcolo del fattore di sicurezza FS associato a ciascuno dei metodi di calcolo rigorosi disponibili (Janbu, Spencer, Sarma, Morgestern & Price, etc.) è stato ulteriormente ottimizzato per rendere ancora più affidabile e stabile il valore di FS Finale. Lo sviluppo ulteriore del codice di calcolo, realizzato negli ultimi 8 mesi, si e' centrato nella ottimizzazione di algoritmi originali preesistenti, nello sviluppo di nuove procedure di calcolo numerico, e in tests delle nuove procedure implementate utilizzando, come riferimento, numerosi pendii Benchmark disponibili nella letteratura scientifica sull'argomento. Le nuove procedure di calcolo implementate permettono un incremento medio della velocita' computazionale di almeno il 50% rispetto alla versione precedente (SSAP 5.0.2) ed un incremento ulteriore nella affidabilita' e stabilita' numerica dei risultati.
- AGGIORNAMENTO. Revisione algoritmo di calcolo della mobilitazione automatica di Tiranti/Chiodi e terre armate.
- AGGIORNAMENTO. Revisione algoritmo motore SNIFF RANDOM SEARCH (versione 3.1) utilizzato nella generazione delle superfici di potenziale scivolamento
- AGGIORNAMENTO. Ottimizzazione algoritmi per tutti i motori di generazione delle superfici di scivolamento.
- AGGIORNAMENTO. Ottimizzazione algoritmi per la generazione di mappe a colori del FS locale e del OSR.
- AGGIORNAMENTO. Correzione di vari bugs nella gestione della base dei dati caricati.
- AGGIORNAMENTO. Correzione di vari bugs nella gestione della interfaccia utente, e aggiunta di nuove funzionalita' come la possibilita' di una modifica diretta e integrale di un modello di pendio precedentemente caricato.
- AGGIORNAMENTO. Modifiche nella interfaccia Utente del software SSAP e del software MAKEFILES, ora nella versione 5.6.
- AGGIORNAMENTO. Aggiornamento contenuto pacchetto SSAP con GNPLOT versione 5.4.3.
- AGGIORNAMENTO. Aggiornamento contenuto pacchetto SSAP con QCAD versione 3.27.1.
- AGGIORNAMENTO. Aggiornamento contenuto pacchetto SSAP con SUMATRAPDF versione 3.3.3.
- AGGIORNAMENTO. Aggiornamento alla versione SSAP 5.1 del Manuale di riferimento del software. In particolare le modifiche maggiori riguardano i capitoli 2,3,4,6,9.
- **NOTA IMPORTANTE.** Ricordo che esiste un controllo che avverte qualora SSAP stia operando in un percorso a in una cartella della area dati che contiene nel nome caratteri speciali o con accento. Viene indicato il suggerimento di rimuovere accenti e caratteri speciali nella cartella, o nelle cartelle, del percorso. In molte installazioni di Windows la presenza di caratteri speciali rende impossibile operare al pacchetto GNPLOT 5.4.3, utilizzato da SSAP nel rendering grafico di diagrammi e mappe a colori. In questo caso non e' possibile a SSAP mostrare grafici e mappe quando richiesto.
- **NOTA IMPORTANTE.** Si notifica la necessita' di tenere aggiornato il vostro sistema operativo Windows. Sono sempre piu' frequenti gli aggiornamenti di sicurezza e di funzionalita' distribuiti automaticamente da Microsoft. In alcuni casi un non adeguato aggiornamento del sistema operativo non permette un corretto funzionamento di SSAP generando "runtime error" al caricamento di un file del modello del pendio. Si ricorda che nella pagina <https://www.ssap.eu/basicsetup.html> vengono indicate in dettaglio le istruzioni di installazione aggiornate e la spiegazione di comuni problemi segnalati e suggerimenti per una loro risoluzione. In caso di anomalie operative di SSAP fate riferimento a queste istruzioni, che peraltro sono in continuo aggiornamento
- **INFORMAZIONE IMPORTANTE.** A cura del Centro di Microzonazione Sismica (<https://www.centromicrozonazione.sismica.it>) e' stato recentemente pubblicato, da CNR Edizioni, un manuale che sara' sicuramente di estremo interesse e utilita' per tutti voi. Il testo "*Protocolli di acquisizione ed elaborazione dati relativi alle attivita di Microzonazione Sismica di livello 3 in Italia Centrale*" (2020), redatto da circa 26 tra accademici di varie universita' italiane e ricercatori CNR,OGS,INGV,ENEA,ISPRA si compone di 127 pagine, ed e' distribuito in 9 capitoli. Il Manuale offre una guida estremamente valida nella procedure di Microzonazione sismica di livello 3. Il manuale puo' essere scaricato liberamente al seguente link:https://cnr.it/sites/default/files/public/media/attivita/editoria/978-88-8080-407-9:Microzonazione_Sismica_in_Italia_Centrale.pdf . Segnalo che nel capitolo 8 che tratta della analisi preliminare della stabilita' dei pendii, e in particolare alla pagina 89 troviamo il seguente testo: "*Per ciò che concerne gli strumenti di calcolo, oltre ai numerosi software commerciali disponibili per analisi all'equilibrio limite, a puro titolo di esempio si segnala la presenza di applicazioni freeware di comprovata affidabilità, quale SSAP2010 (SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM - www.ssap.eu)*".

• **16-07-2021: versione 5.0.2 SSAP2010 - Aggiornamento pacchetto di installazione. (solo per PC con architetture a 64bit) BUILD 12007**

- AGGIORNAMENTO. Correzione di bug che affettava le condizioni di pendio di pendio con *wiremesh*(reti in aderenza) ancorate con tiranti/chiodi dove, oltre ai tiranti e chiodi di ancoraggio della rete, fossero preseneti tiranti con testa sottostante la superficie topografica di riferimento. Si tratta di una casistica rara ma possibile in alcuni casi speciali come le strutture tipo: "*Ombrello Consolidatore*", prodotti da diverse aziende specializzate. Va detto che SSAP può operare nella progettazione e verifica (locale e globale) di qualunque tipo di "*Ombrello Consolidatore*" esistente

Cronologia evoluzione ssap da ottobre 2010 cambiamenti e correzioni

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

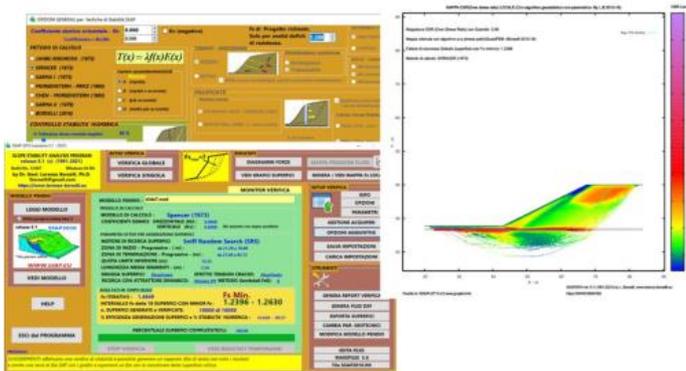


SSAP 2010

"a step away..."

(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)

<https://www.ssap.eu>



Reference Manual /Manuale di Riferimento
Versione 5.1 (2022)

by

Dr. Lorenzo Borselli, Geol, Ph.D.*

26-03-2022

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

Associate Researcher, Research Institute for Geo-Hydrological Protection (CNR-IRPI),

National Research Council (CNR), Perugia, Italy

WEB:page and CV: <https://www.lorenzo-borselli.eu>

E-mails: lborselli@gmail.com , lorenzo.borselli@uaslp.mx

DOI: <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.31522.91841>

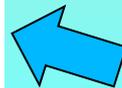
Storia e evoluzione del codice SSAP .. Continua...

MARZO 2022 - Versione 5.1 .

Nuovo manuale completo per la versione
SSAP2010 aggiornato alla 5.1, disponibile in
formato elettronico PDF (485 pagine).

Una documentazione estesa e in continua
crescita..

Grazie anche ai suggerimenti di molti utenti...



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

Caratteristiche SSAP 5.1

(in estrema sintesi)

OBIETTIVI DI SSAP

- 1. Possibilità di rappresentare adeguatamente tutte le discontinuità presenti nei pendii naturali o artificiali.*
- 2. Evitare tutte le eccessive assunzioni semplificative sulla stratigrafia, sul profilo della falda, sulle superfici di scorrimento.*
- 3. Seguire gli attuali standard di lavoro e le normative nelle verifiche di stabilità nei pendii in terreni sciolti e ammassi rocciosi fratturati;*
- 4. Implementare nel software una serie di strumenti di calcolo tra i più avanzati e originali nell'ambito dei modelli di calcolo per le verifiche all'equilibrio limite.*
- 5. Conseguire tempi di calcolo realistici anche per elaboratori anche di medie capacità.*
- 6. Facilità di uso e interfaccia amichevole, con console a pulsanti, uso del Mouse e di sistemi touch-screen, un sistema di aiuto contestuale*

Caratteristiche base di SSAP 2010

• Verifiche di stabilità dei pendii con il metodo dell'equilibrio limite (Limit Equilibrium Method -LEM)

• Pendii in terreni sciolti e/o con ammassi rocciosi fratturati, e/o condizioni di liquefazione

• Condizioni sismiche (metodo pseudo statico + metodo degli spostamenti)

7 metodi di calcolo LEM - RIGOROSI...!!

* Janbu rigoroso(1973);

* Spencer (1973)

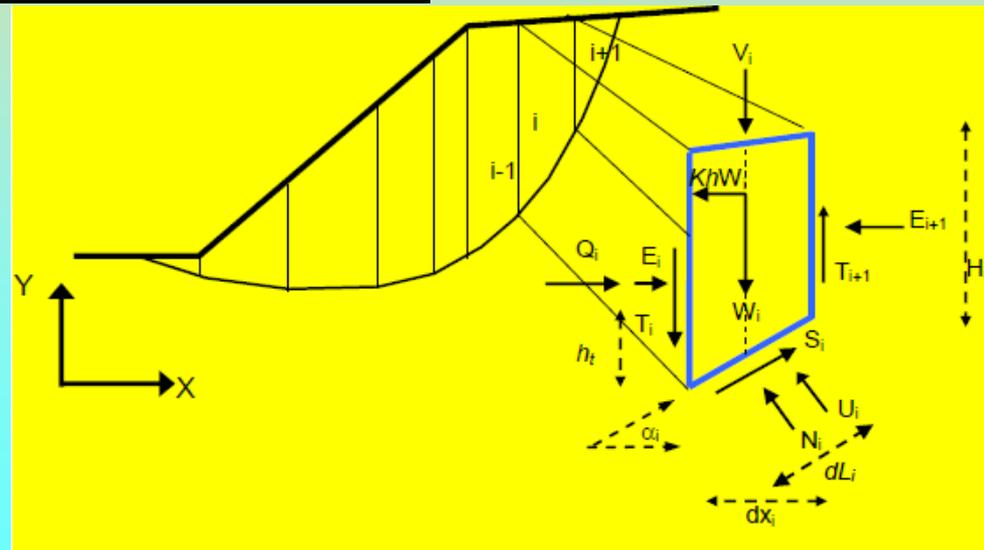
* Sarma I (1973);

* Morgenstern & Price (1965);

* Chen & Morgestern (1983)

* Sarma II (1979)

* Borselli (2016)**



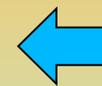
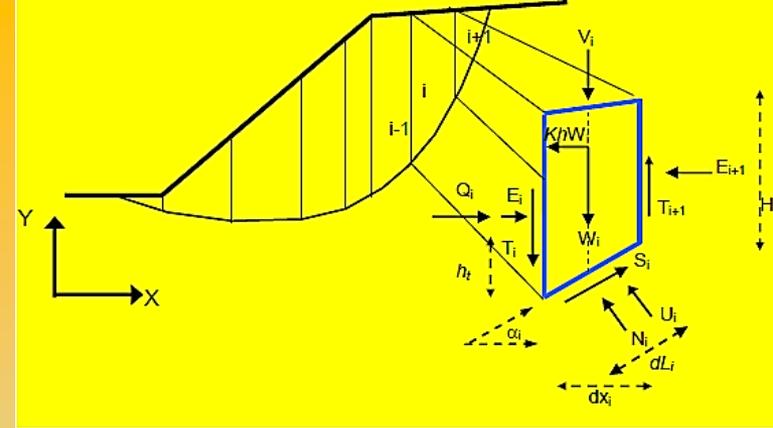
** incluso a partire dalla versione SSAP 4.7.2

Lorenzo Borselli – SEMINARIO_CORSO BASE SSAP2010(freeware)– rel.3.1 (2022)

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	$T(x) = E(x) \tan \alpha_i + h_i \frac{dE(x)}{dx} - h_e \frac{dQ}{dx} + 0.5 K_c H \frac{dW}{dx}$



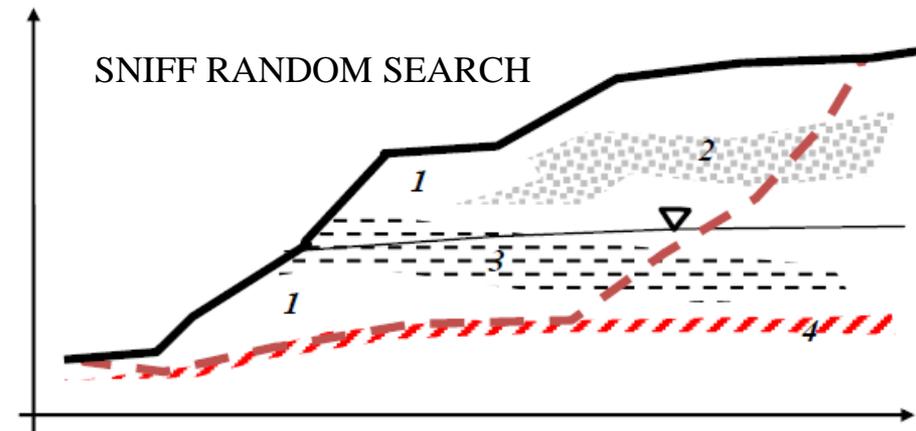
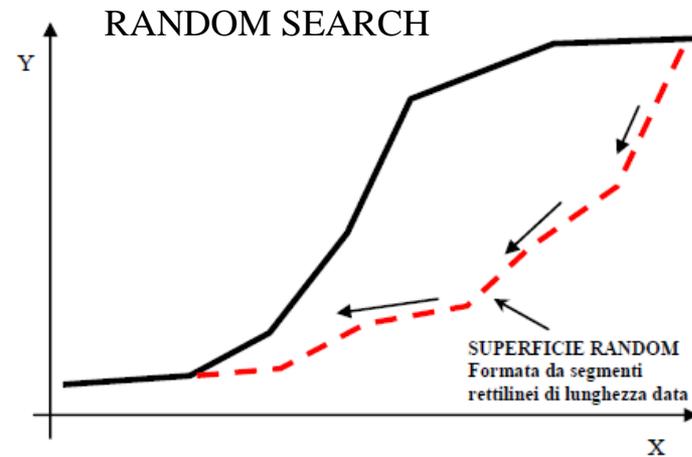
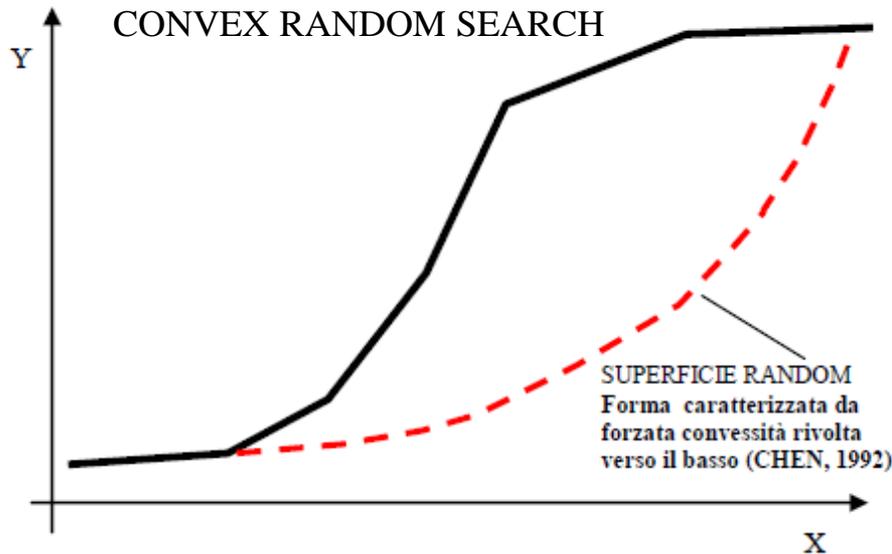
I 7 metodi di calcolo rigorosi presenti in SSAP



Nuovo Metodo !

Caratteristiche base di SSAP 2010 ... continua

- 3 motori di ricerca superfici random (per superfici con F_s minimo) e 3 varianti principali (totale 9 metodologie diverse per generare e ricercare superfici con F_s minimo)

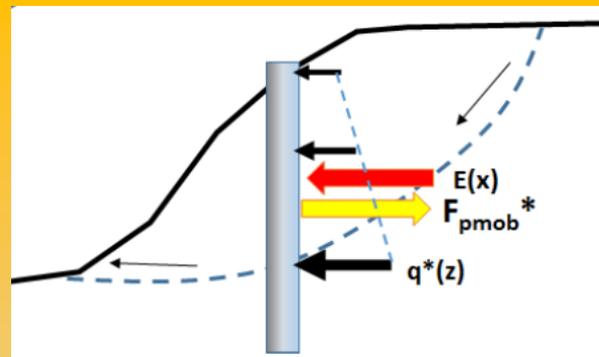


N.B.: Testati due nuovi motori di ricerca che saranno resi disponibili a partire dalla versione 5.0 di SSAP...

Caratteristiche base di SSAP 2010

... continua

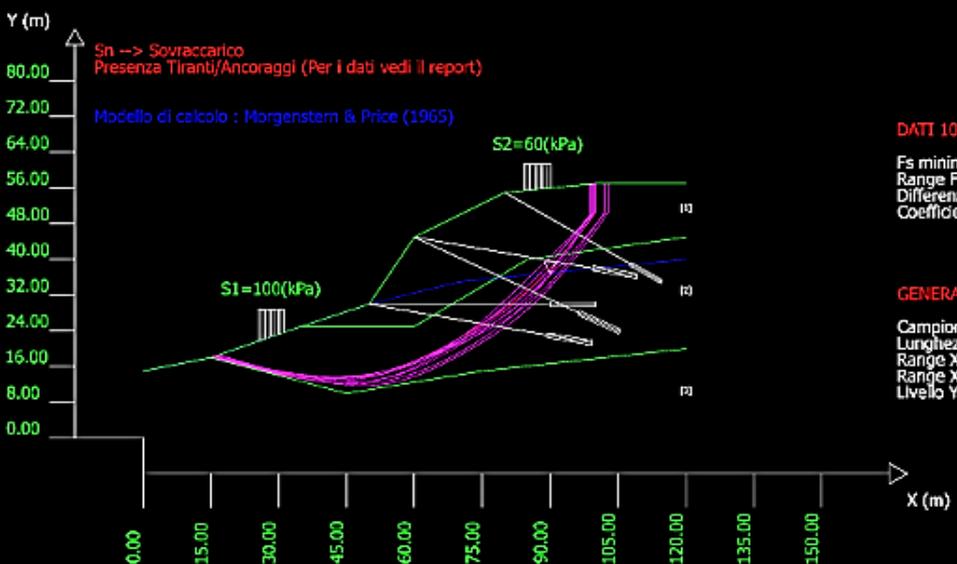
- Strutture di sostegno e rinforzo (muri - tiranti - terre rinforzate con geogriglie/geosintetici - palificate - sovraccarichi)
- Creazione DXF istantanea e visualizzazione grafica



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)

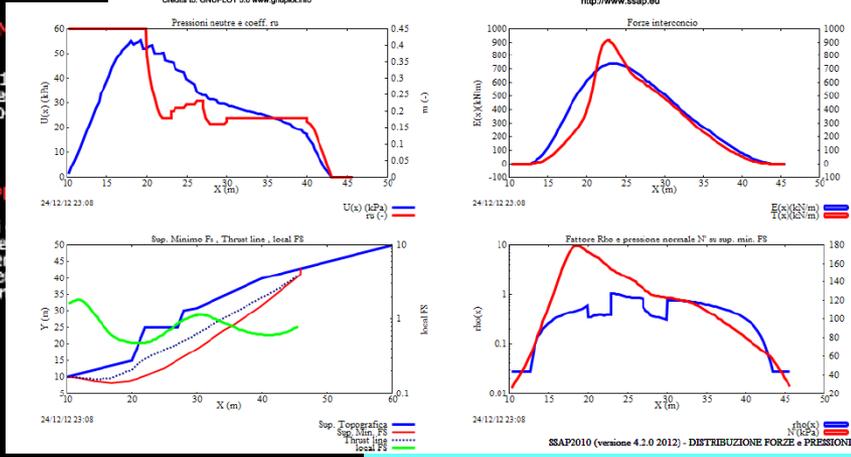
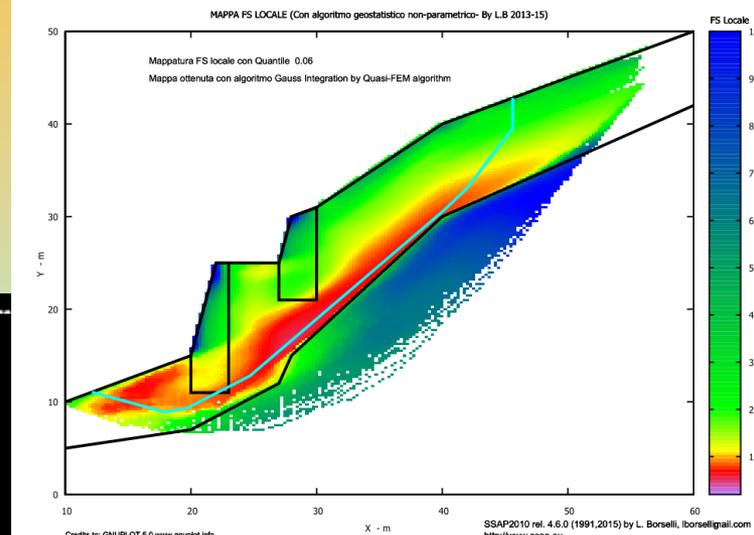
Data : 7/10/2014
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

#	Parametri Geotecnici degli strati #
N.	phi' deg C' kPa Cu kPa Gamm kN/m3 GammSat kN/m3 sgd MPa GSI ..
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



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)

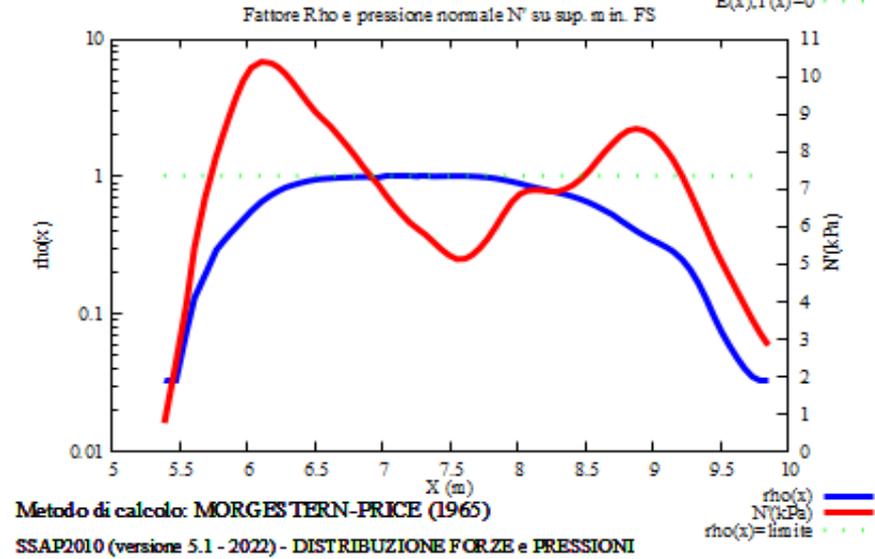
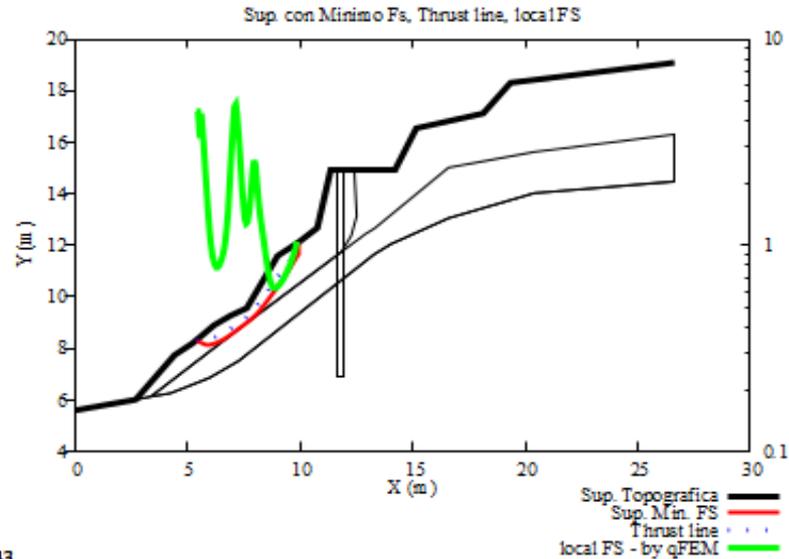
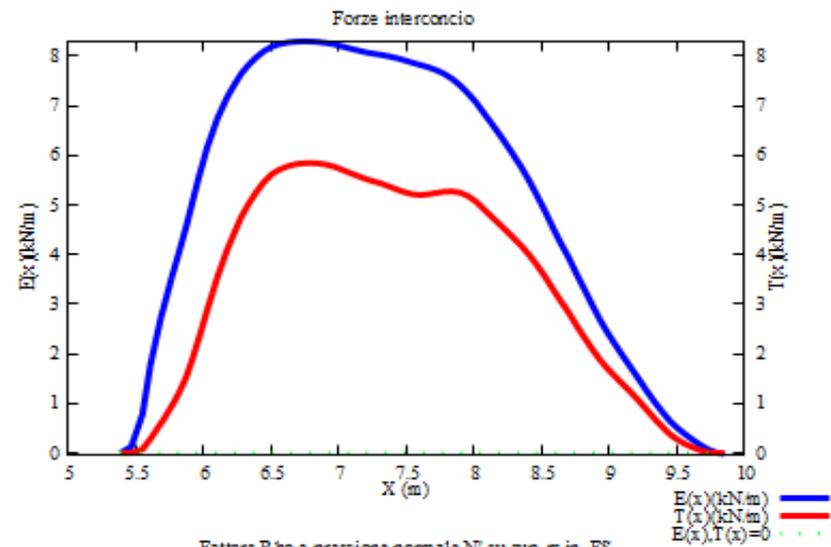
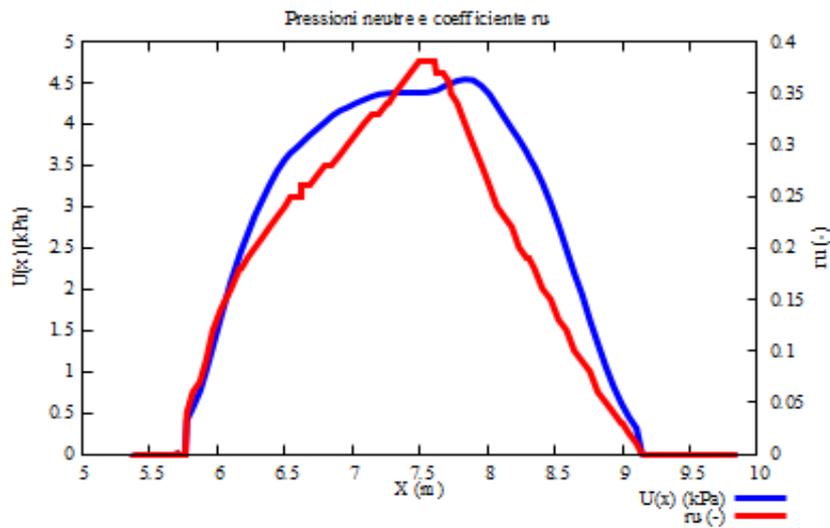
Caratteristiche base di SSAP 2010 ... continua

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 FS in assoluto
 - d. Plottaggio di superfici entro uno specifico intervallo di FS
- 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..)



Metodo di calcolo: MORGESTERN-PRICE (1965)
 SSAP2010 (versione 5.1 - 2022) - 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

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI ..	mi ..	D ..
1	33.00	20.00	0	21.00	22.00	0	0	0	0
2	0	0	0	24.00	25.00	100.00	50.00	10.00	0
3	0	0	0	23.50	24.00	100.00	20.00	10.00	0.50
4	0	0	0	23.50	24.00	100.00	20.00	10.00	0.50



DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 0.721
 Range Fs : 0.721 0.758
 Differenza % Range Fs : 4.9
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.000

Modello di calcolo : Morgenstern & Price (1965)

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 2475
 Lunghezza media segmenti (m) : 2.0
 Range X inizio generazione : 10.0 - 55.0
 Range X termine generazione : 15.0 - 59.0
 Livello Y minimo considerato : 0.0

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

METODO DI CALCOLO

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

Esplora spazio(lambda, f0)

Metodo

A (rapido)

B (rapido e accurato)

C (più accurato)

D (molto più accurato)

JANBU RIGOROSO (1973)

SPENCER (1973)

SARMA I (1973)

MORGENSTERN - PRICE (1965)

CHEN - MORGENSTERN (1983)

SARMA II (1979)

BORSELLI (2016)

CONTROLLO STABILITA' NUMERICA

% Tolleranza stress normali negativi

% Tolleranza RHO=|Fs/Fv| > 1.0

Reimposta Valori Standard Stabilizzatore numerico attivo

MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI

RANDOM SEARCH (RS)

CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)

SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 3.1

NEW RANDOM SEARCH (NRS) 1.1

SOLO PER CONVEX

Convessita' limitata

Delta alpha

SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH

Variante NO-CONVEX SNIFF

Steps di scansione

Frequenza attivazione

No-convex oscillazione massima (gradi)

ottimizza tracciante discontinuita' sottili

TIRANTI - ANCORAGGI

PASSIVI

ATTIVI Attiva nuova metodologia calcolo automatico mobilitazione

Distribuzione resistenza

Rettangolare

Trapezoidale

PALIFICATE

Metodo calcolo

ITO-MATSUI (1975) - HASSIOTIS (1997)

KUMAR-HALL (2006) (+ conservativo)

Fattore di riduzione Fp (NTC2018) (Variare da 1 a 100)

% di massima mobilitazione teorica

Applicare nuova metodologia Calcolo Mobilitazione

Criterio Calcolo Mobilitazione

MAX [Fpm , E(x)]

MIN [Fpm , E(x)]

SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO

Opzioni Smussatore

EFFETTO ATTIVATO

EFFETTO DISATTIVATO

TENSION CRACKS TESTA PENDIO

EFFETTO DISATTIVATO

EFFETTO ATTIVATO

Riempimento Acqua

No Riempimento Acqua

Riempimento Acqua

Opzioni Tension Cracks

FORZE AGGIUNTIVE PER SUPERFICIE SINGOLA

Forza Ea (alla Base) - kN/m

Forza Eb (in Testa) - kN/m

NTC2018/EC-7 - ROCCE

DISATTIVATO

ATTIVATO

ROCCE - Criterio Hoek et al (2002)

HB Generalizzato - Carranza-Torres(2004)

HB Generalizzato - Lei et al(2016)

HB Generalizzato - Lee et Pietruszczack(2017)

TERRE ARMATE

Attiva calcolo automatico mobilitazione

ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI

DISATTIVATO

ATTIVA Modalita' 1

ATTIVA Modalita' 2

FILTRAGGIO SUPERFICI

FILTRARE

NON FILTRARE

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

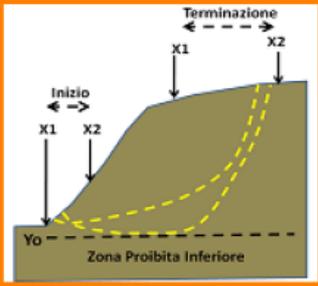
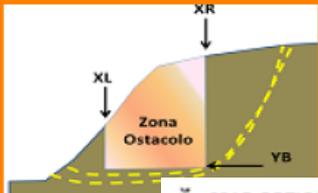
COORDINATE OSTACOLO

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

SSAP OPZIONI AGGIUNTIVE

REGISTRAZIONE SUPERFICI PER SUCCESSIVO PLOTTAGGIO

$F_{s_{min}} < F_s \leq F_{s_{max}}$

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

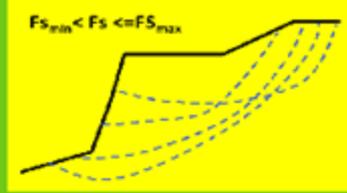
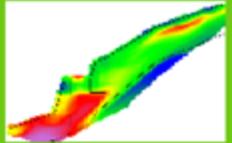
Fs Massimo 10.00 Quantile Locale Fs 0.05

Attiva Mappatura FS o OSR Locale Attiva Plot vettoriale zone plasticizzate

TIPO MAPPA

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

HELP OK Cancel

Opzioni aggiuntive e parametri Modificabili per verifica stabilità

Caratteristiche base di SSAP 2010 ... continua

Inoltre...

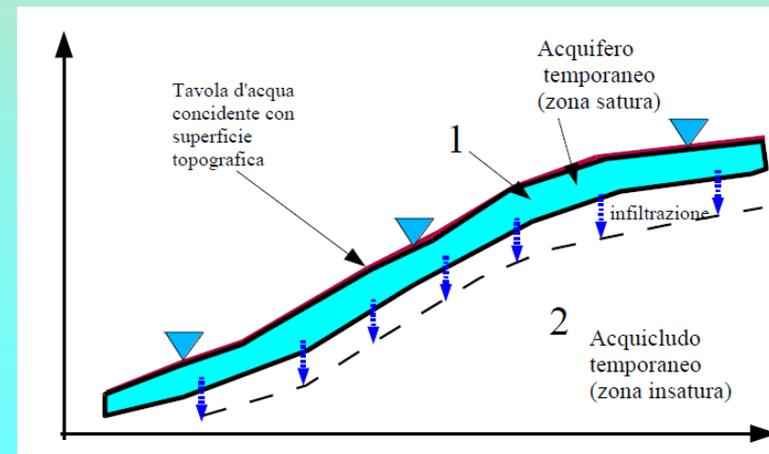
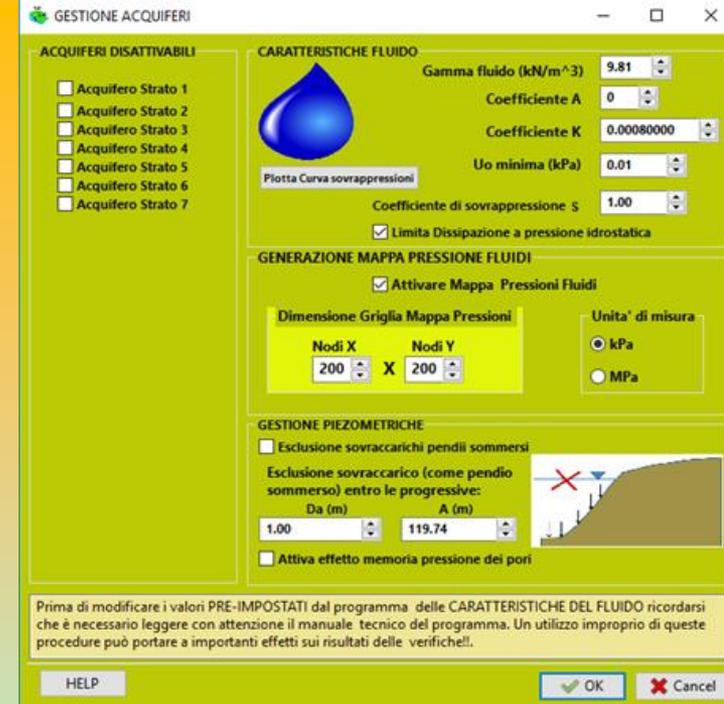
Modulo gestione acquiferi

• 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;

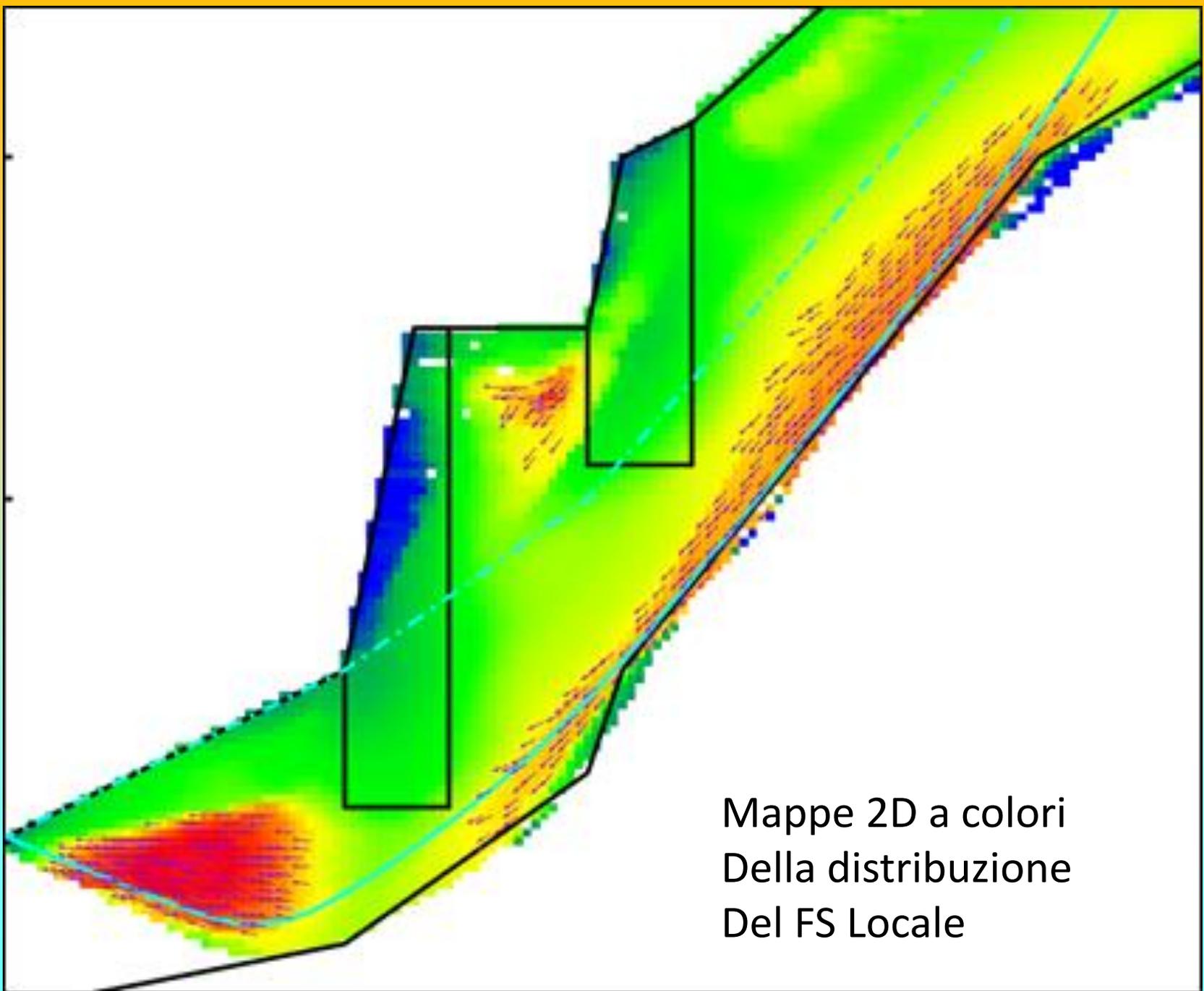
• Possiamo escludere il calcolo del sovraccarico esterno di masse d'acqua nel caso di porzioni di pendio sommerso. (simulazione di un effetto di svasso rapido in un bacino artificiale);

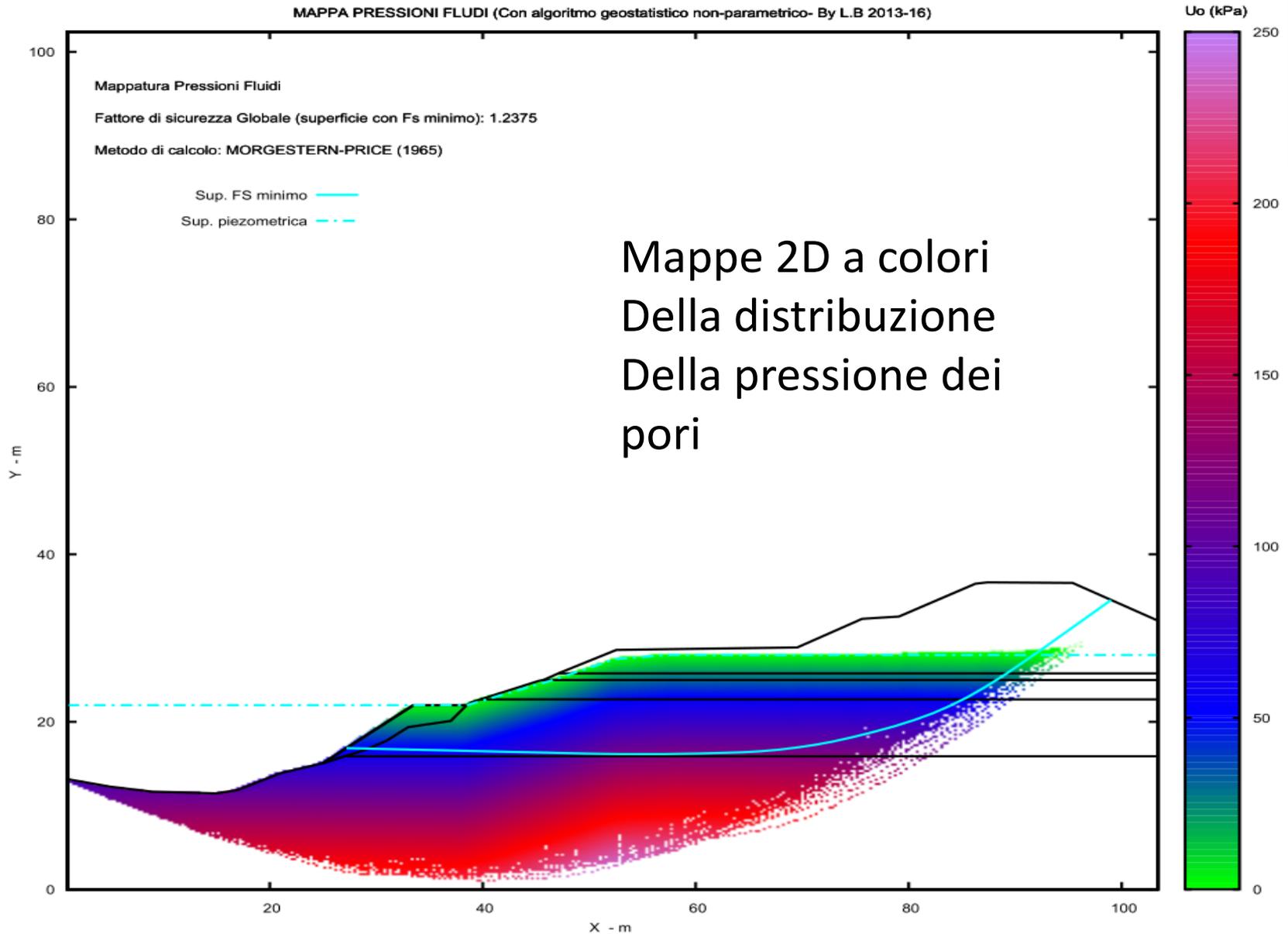
• Possibilita' di considerare le forze e pressioni in un acquifero in moto di Filtrazione



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 5.1...

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.

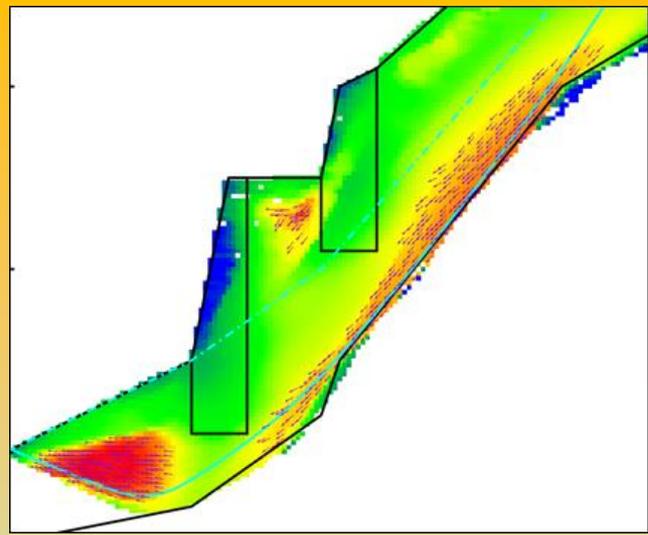
I risultati della applicazione sono di esclusiva responsabilità dell'utilizzatore... Non si è responsabili di danni a infrastrutture informatiche e/o perdita di dati..

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...



MODELLO PENDIO
LEGGI MODELLO
 Attiva preprocessing fase 2

release 4.9.0
VEDI MODELLO

MODELLO PENDIO : anisotropy_1.mod
MODELLO DI CALCOLO : Morgestern - Price (1965)
MODELLO DI CALCOLO :
COEFFICIENTI SISMICI: ORIZZONTALE (Kh) : 0.0000
VERTICALE (Kv) : 0.0000 (Kv assunto con segno positivo)

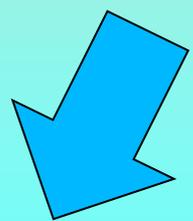
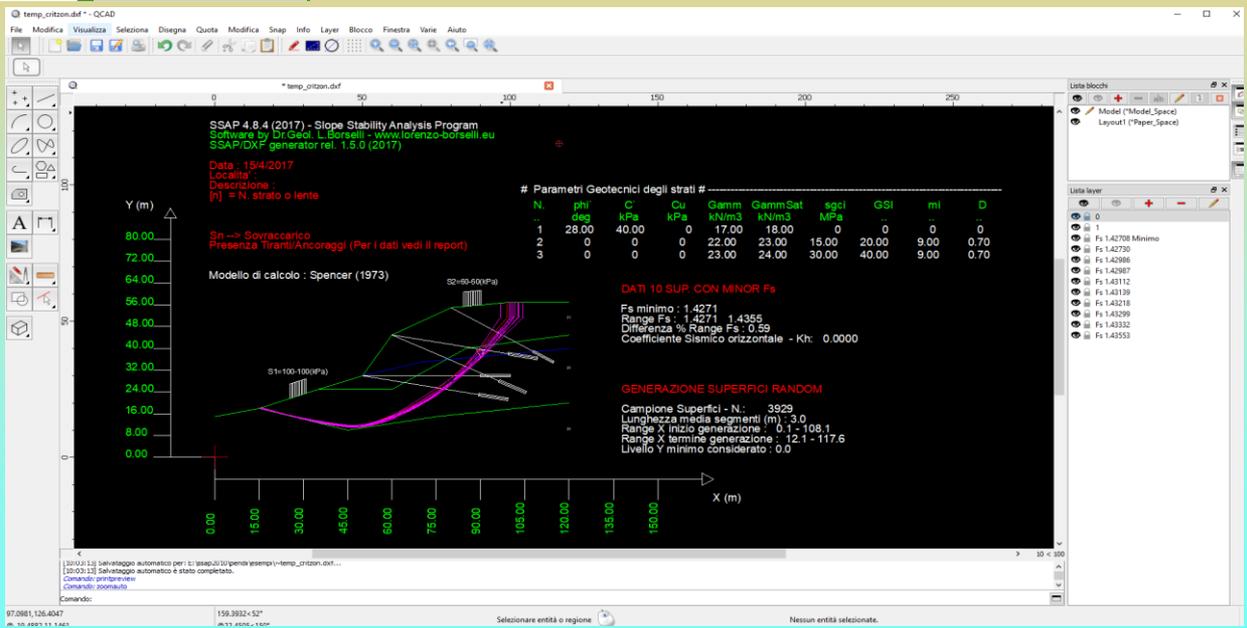
PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI
MOTORE DI RICERCA SUPERFICI : Sniff Random Search (SRS)
ZONA DI INIZIO - Progressive - (m) : da 22.00 a 128.20
ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - (m) : da 33.80 a 137.64
QUOTA LIMITE INFERIORE (m) : 0.00
LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI - (m) : 4.72
SMUSSA SUPERFICI: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

RISULTATI IN TEMPO REALE
Fs ITERATIVO : 5.9807 **Fs Min.**
INTERVALLO Fs delle 10 SUPERFICI CON MINOR Fs : **1.8283 - 1.8307**
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 stabilit  e   possibile generare un rapporto (file di testo) con tutti i risultati e anche una serie di file DXF con i grafici e esportare un file con le coordinate della superficie critica.

<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 (Fs_0, 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..)
- **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 mobilizzazione palificate per ausilio progettazione [FATTO !]**
- **Analisi approfondita indici e forze di mobilizzazione tiranti per ausilio progettazione [FATTO !]**
- **Analisi approfondita indici e forze di mobilizzazione terre armate per ausilio progettazione [FATTO !]**
- **Integrazione completa sistema di calcolo con effetti wiremesh ancorate (reti in aderenza) in pendii in roccia [FATTO !]**
- **VARIE E EVENTUALI SUGGERITE DAGLI UTENTI !! (*come è sempre stato..*) : la lista è 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

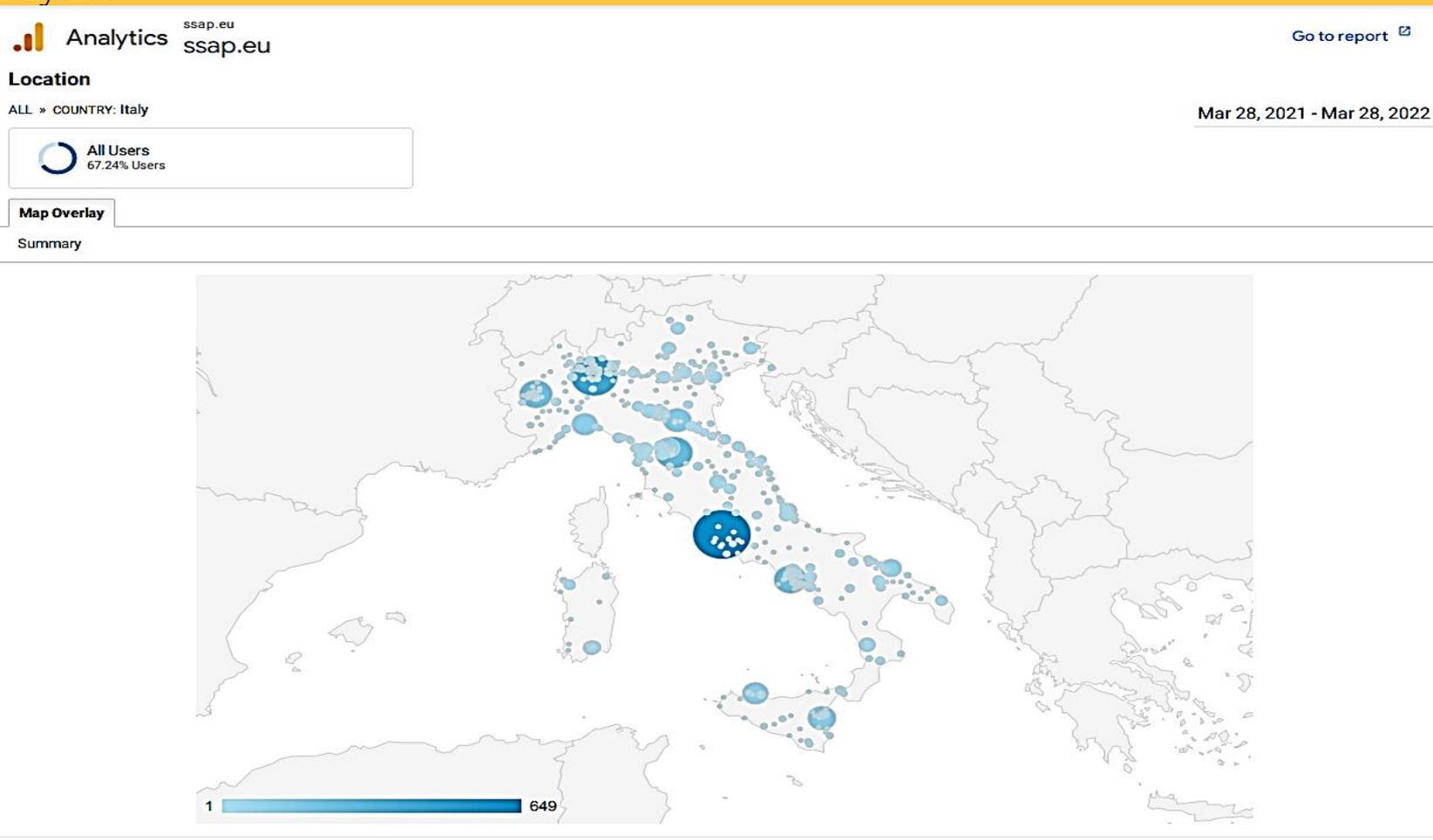


Corsi e seminari a invito in Italia dal 2010



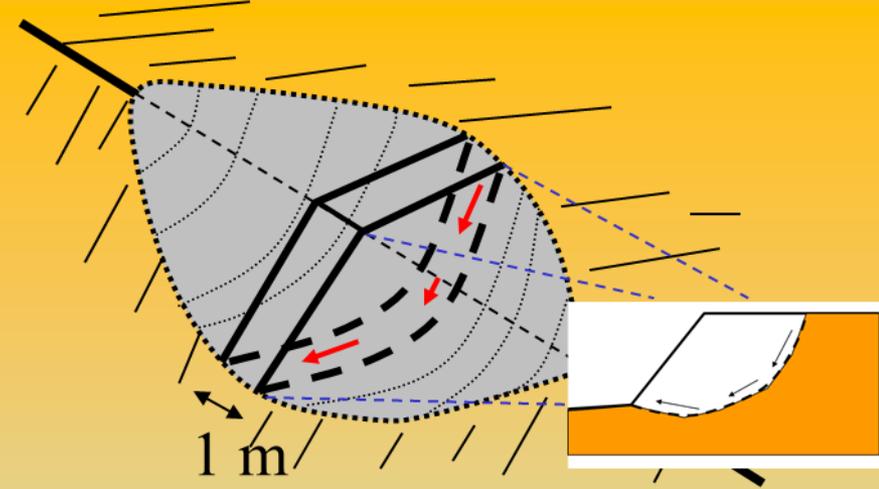
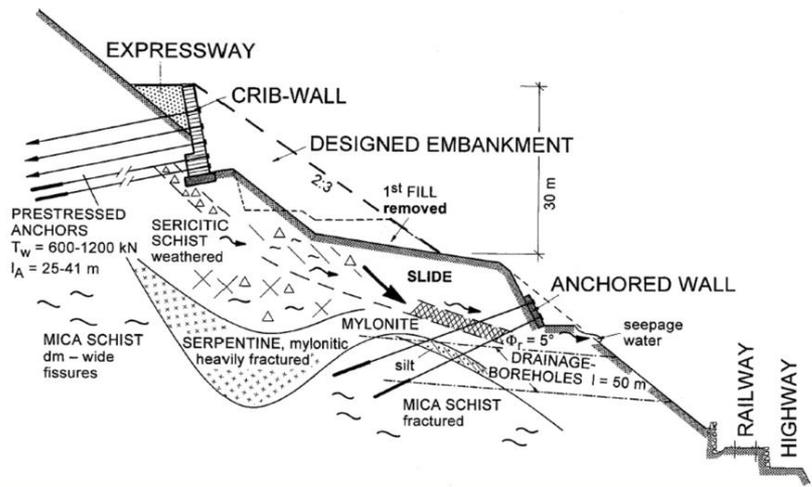
Distribuzione geografica in italia flusso di visitatori (ultimo anno)

Statistics by
Google Analytics



**Circa 10000
accessi e
Circa 5000
Downloads del
software
In un anno**

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>



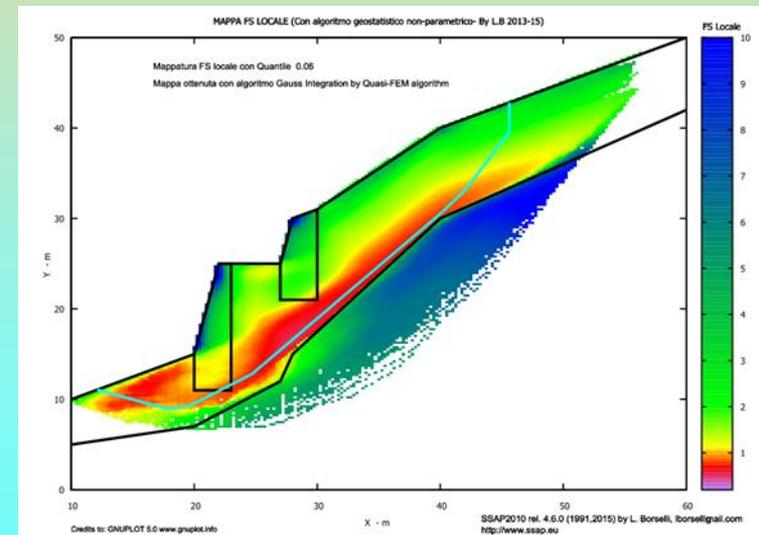
Verifica di stabilità dei pendii : cosa significa?

Una Possibile definizione:

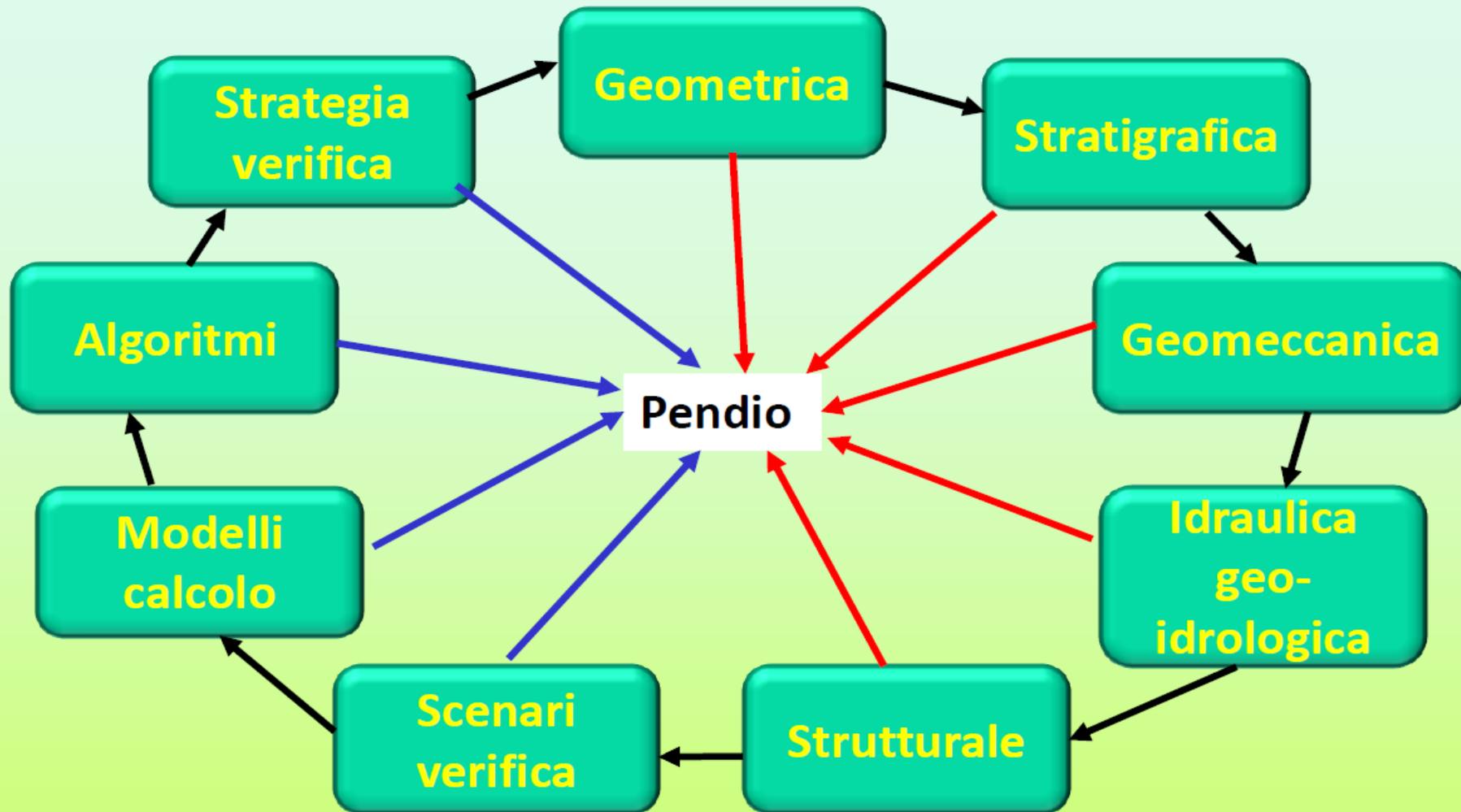
Verifica del livello di potenziale instabilità di un pendio attraverso analisi delle forze interne e esterne, oppure dei campi sforzi-deformazioni, nei confronti di un potenziale collasso-deformazione permanente o formazione una di superficie di rottura, che interessi una porzione significativa del pendio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



Componenti della modellistica

Componenti del Modello pendio

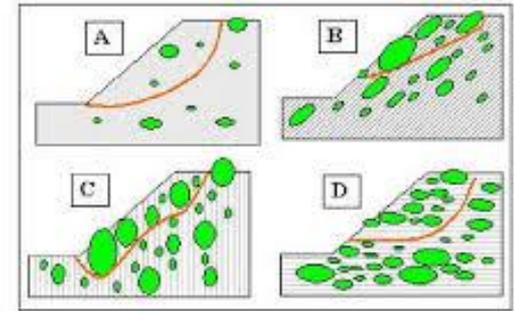
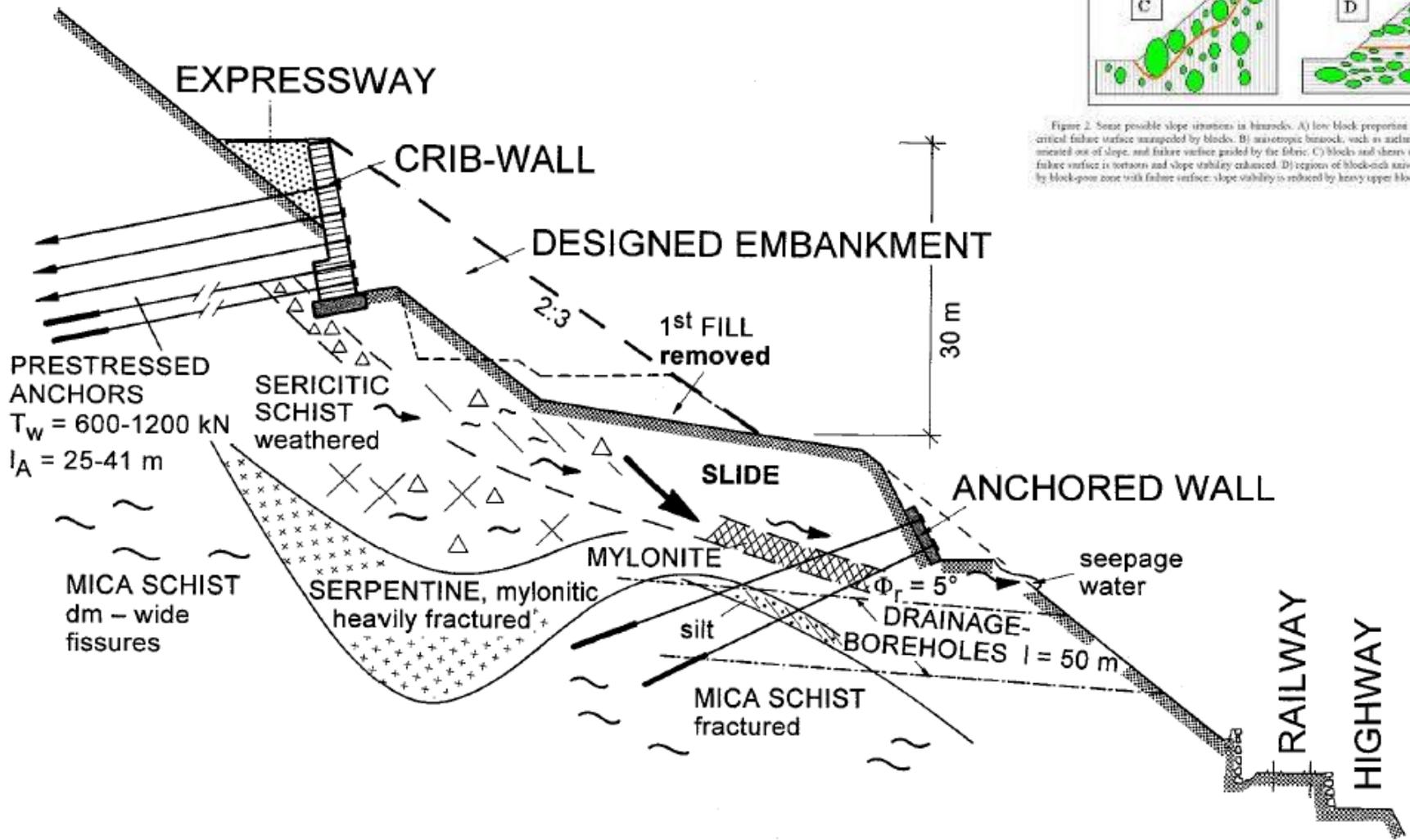
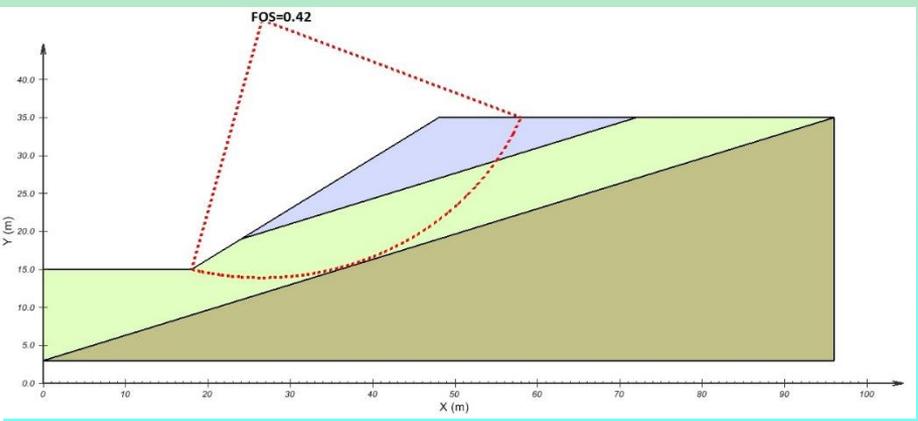
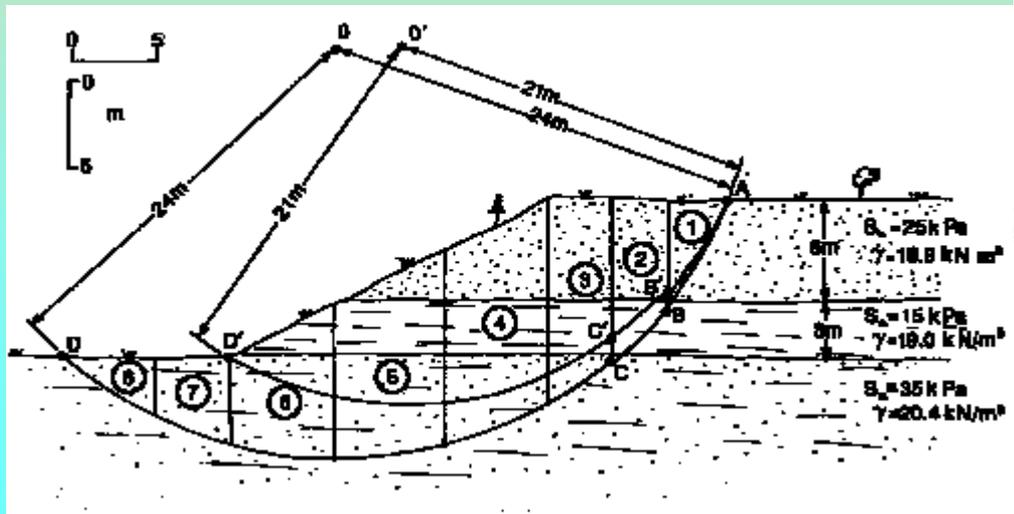
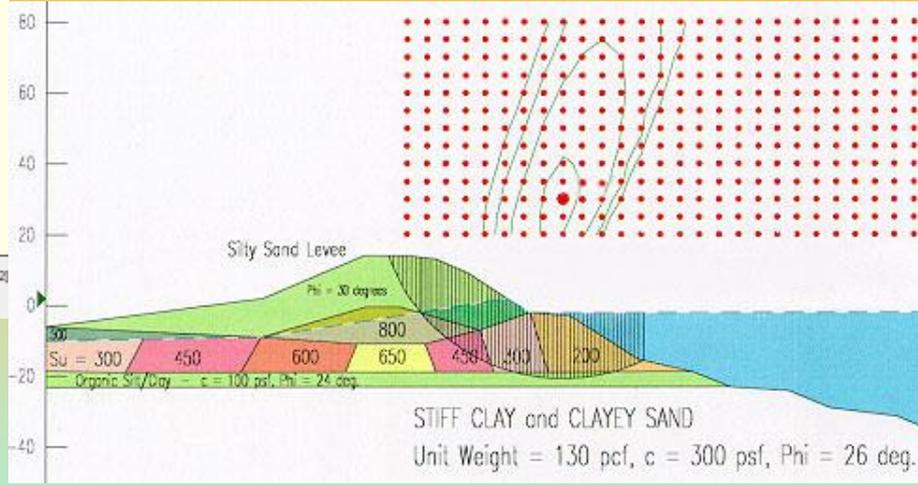
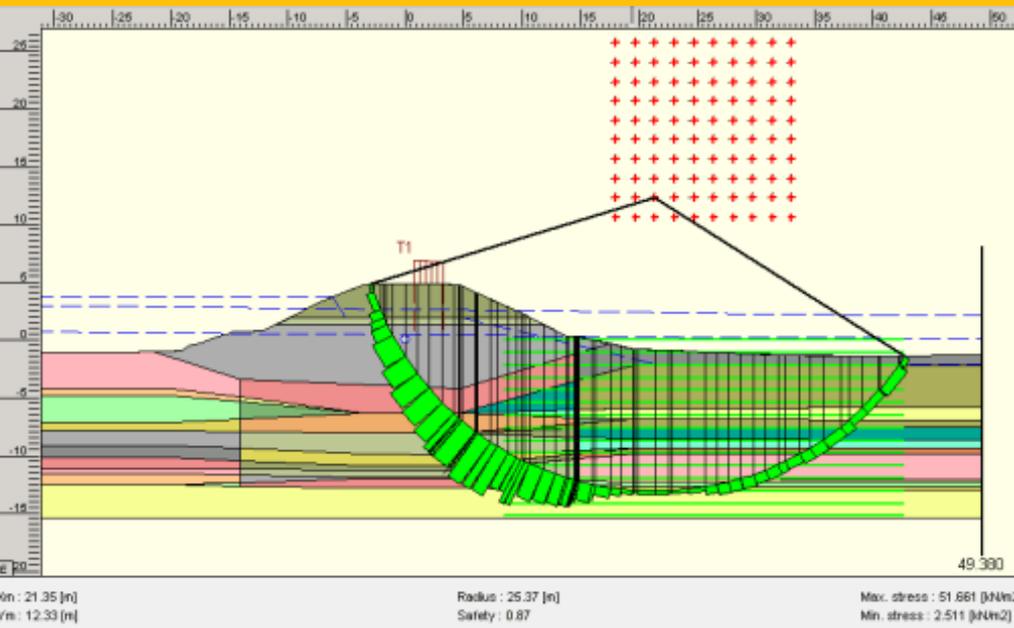
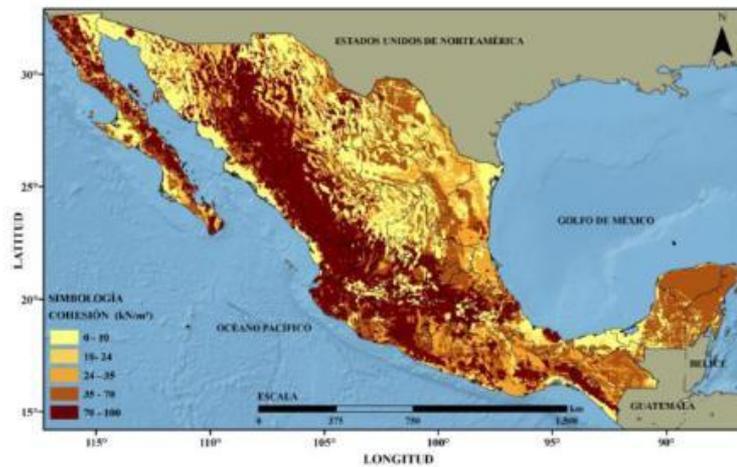


Figure 2. Some possible slope situations in binnocks. A) low block proportion (block-poor) binnock with critical failure surface unimpeded by blocks. B) anisotropic binnock, such as a bedding, with blocks and shers oriented out of slope, and failure surface guided by the fabric. C) blocks and shers oriented vertically with the failure surface is tortuous and slope stability enhanced. D) regions of block-rich anisotropic binnock interrupted by block-poor zone with failure surface; slope stability is reduced by the 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?**

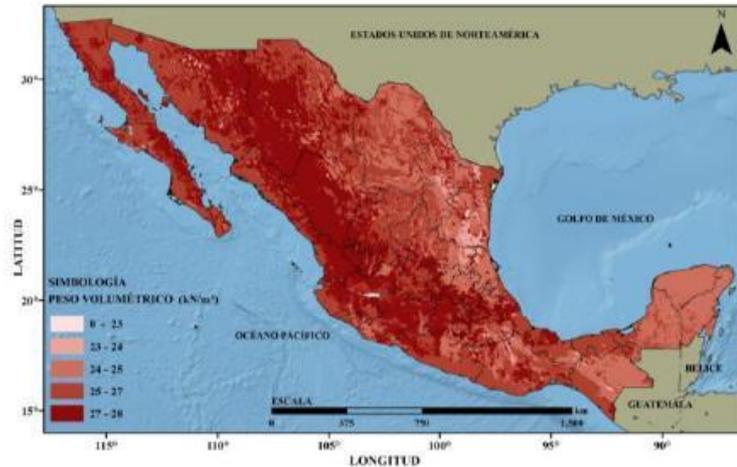




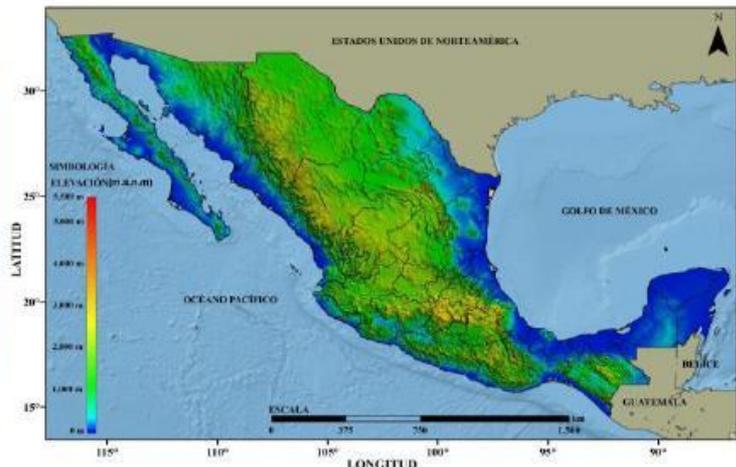
(a) Cohesión



(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)

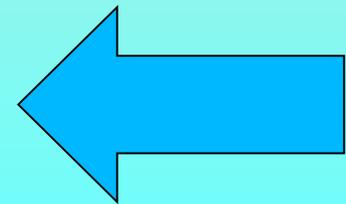
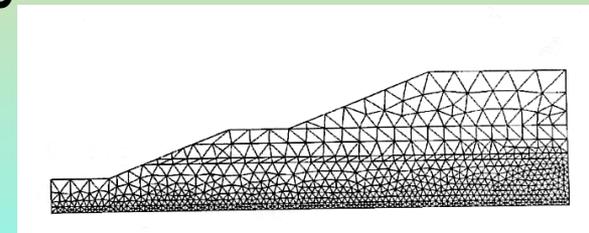
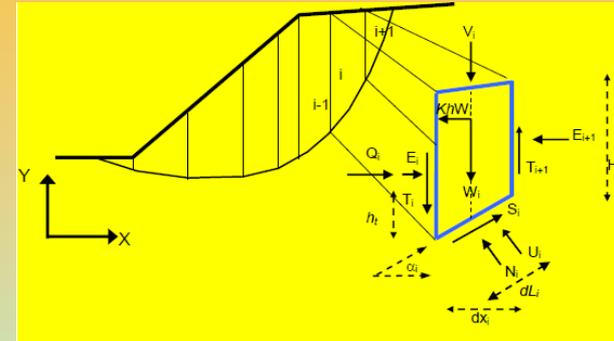
- Pendii non omogenei → superfici non circolari
- Con effetti strutture e sismici
- Automatizzazione dei calcoli con software specializzato

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..)

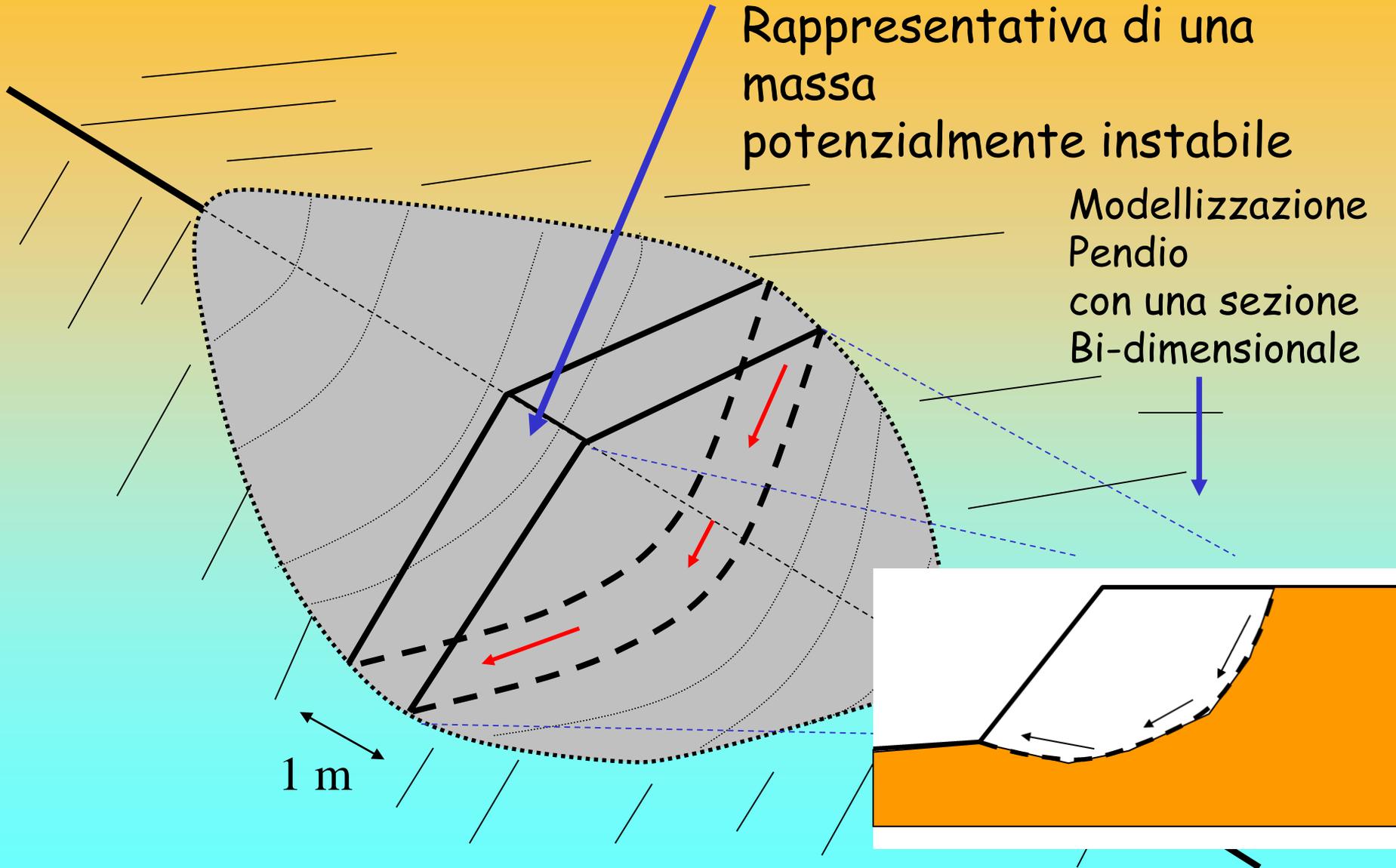


Verifica di stabilità 3D→2D

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.

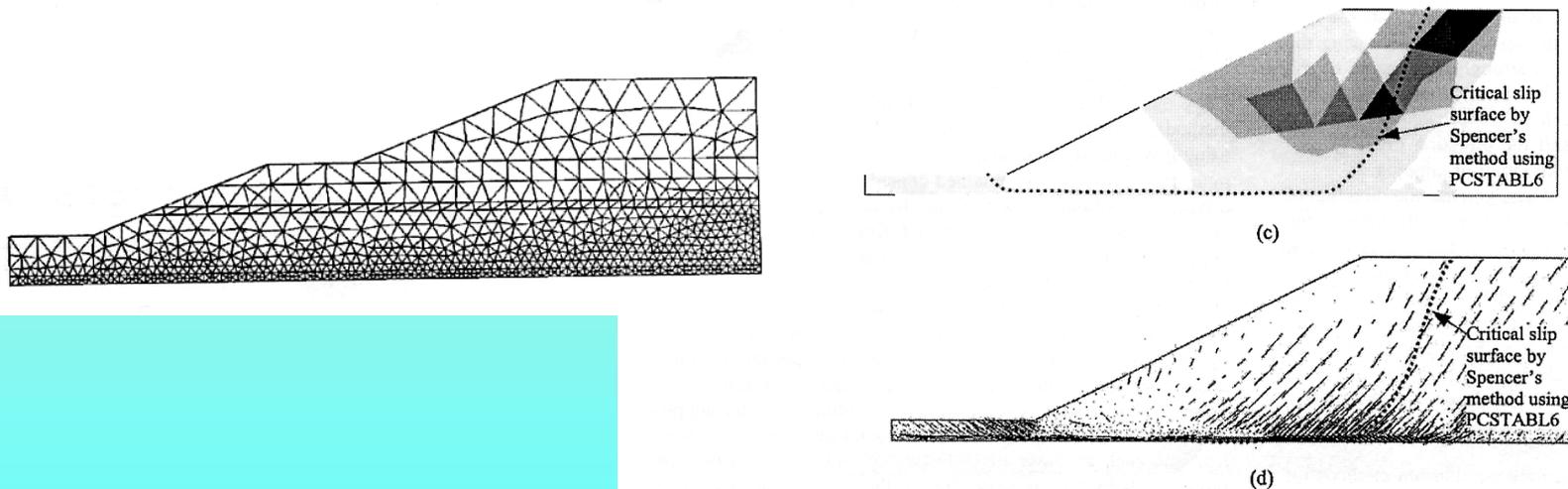


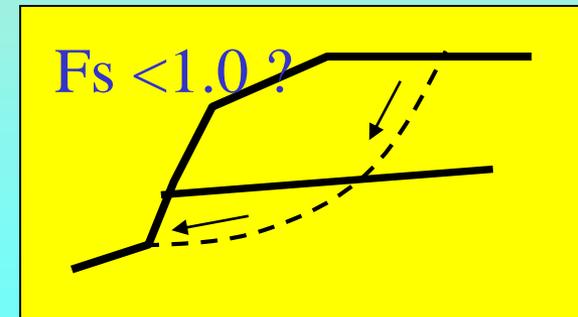
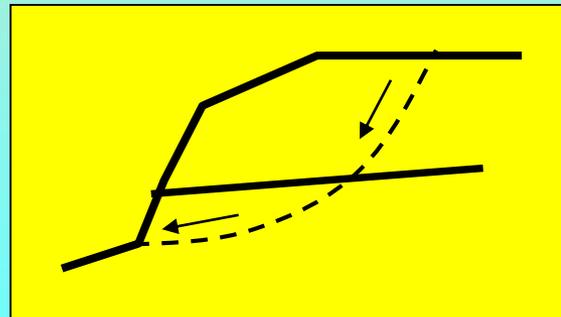
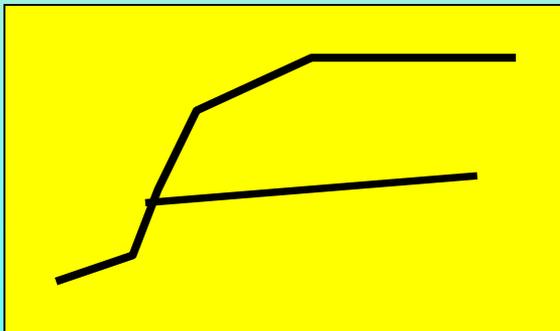
Fig. 7. Slope analyzed in example 2 [with pore-water pressure defined by water table; dotted line in (a)]: (a) slope geometry and soil profile (after Fredlund and Krahn 1977); (b) velocity field from upper-bound analysis; (c) plastic zone from upper-bound analysis; and (d) principal stress zone from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

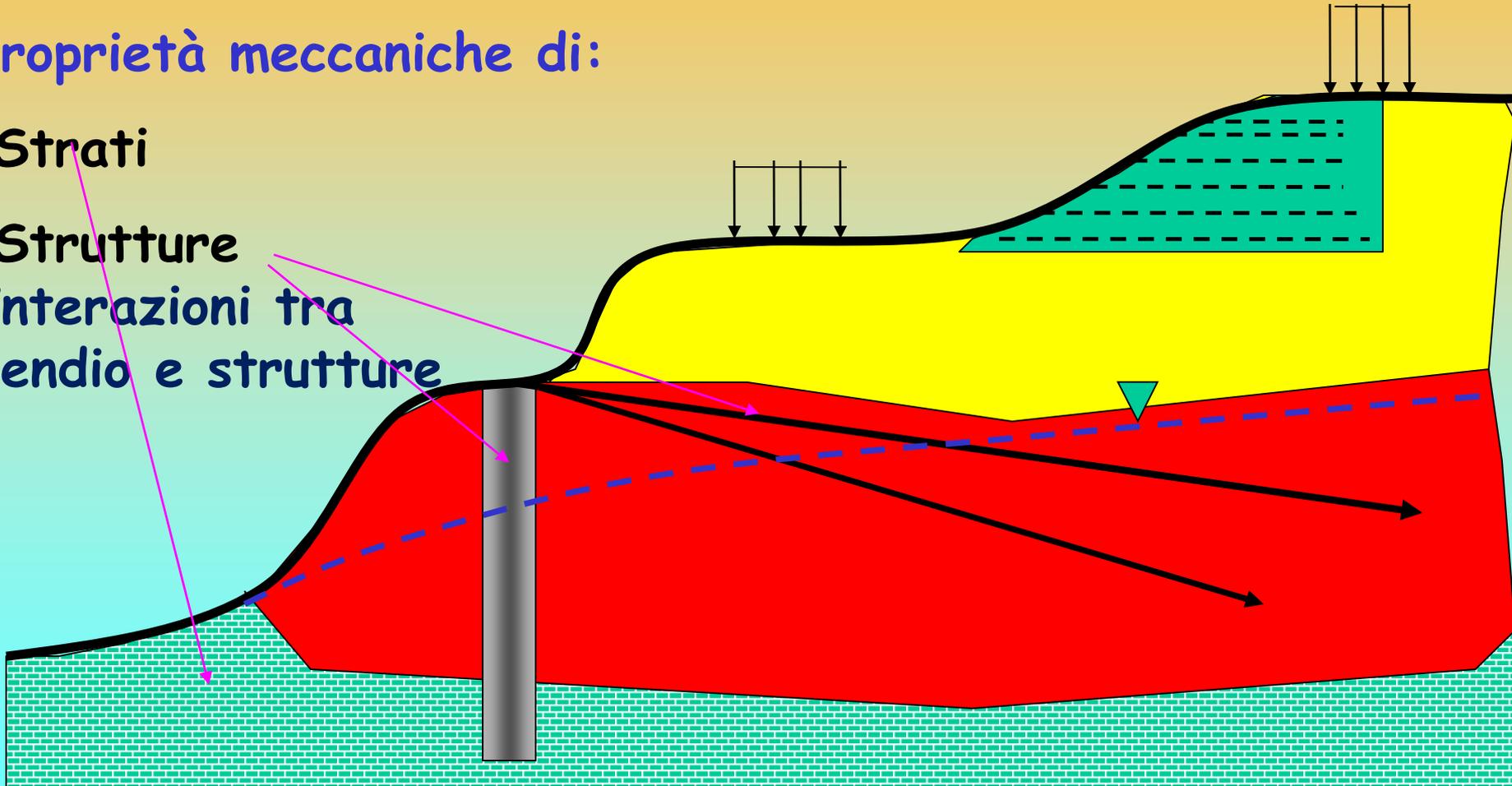
Geometria pendio, strati, falda, carichi esterni e strutture di rinforzo

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.

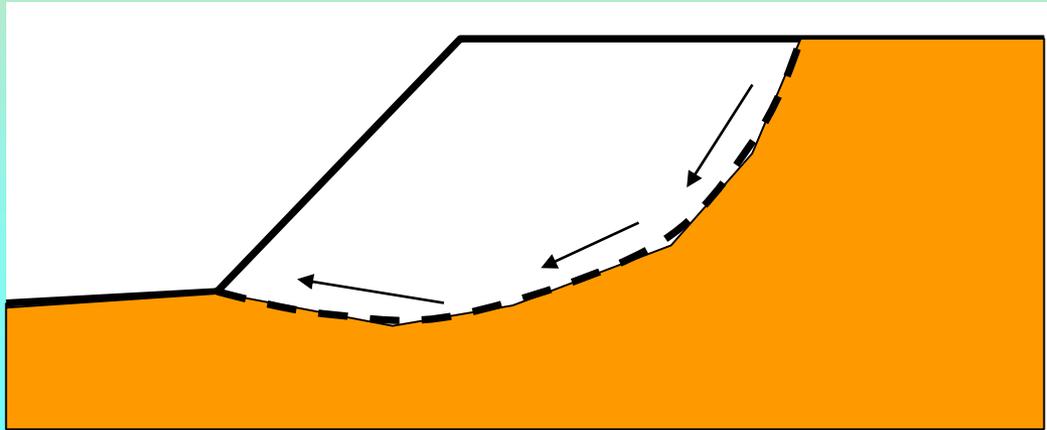
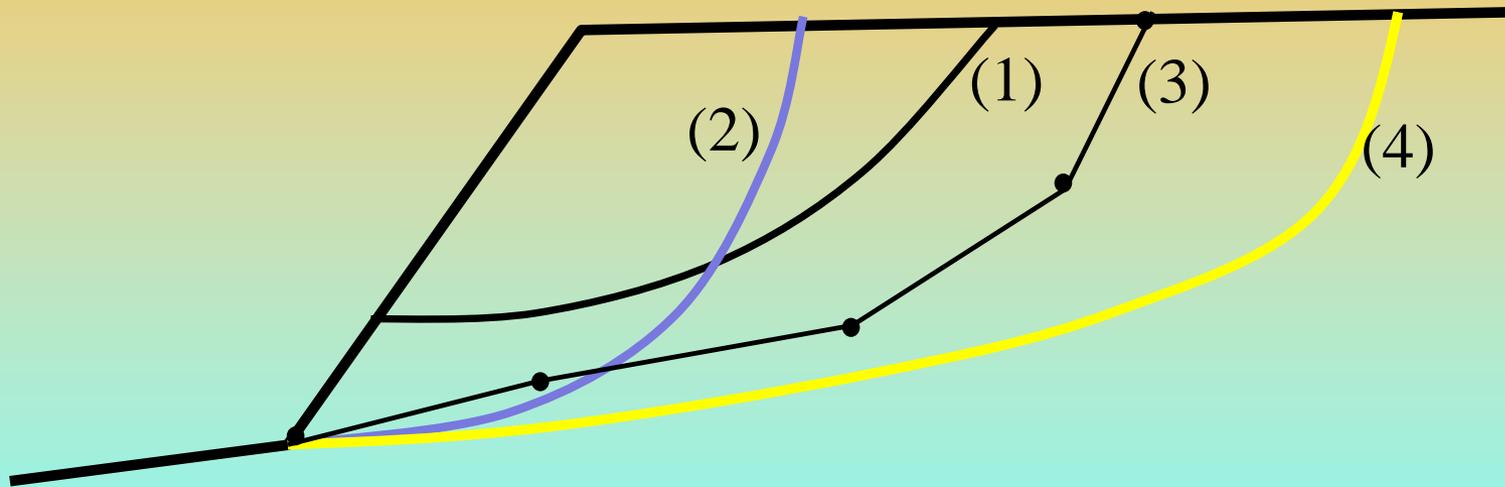




Fig. 2.2. Scivolamenti: a) di traslazione; b) di rotazione; c) composti



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 :

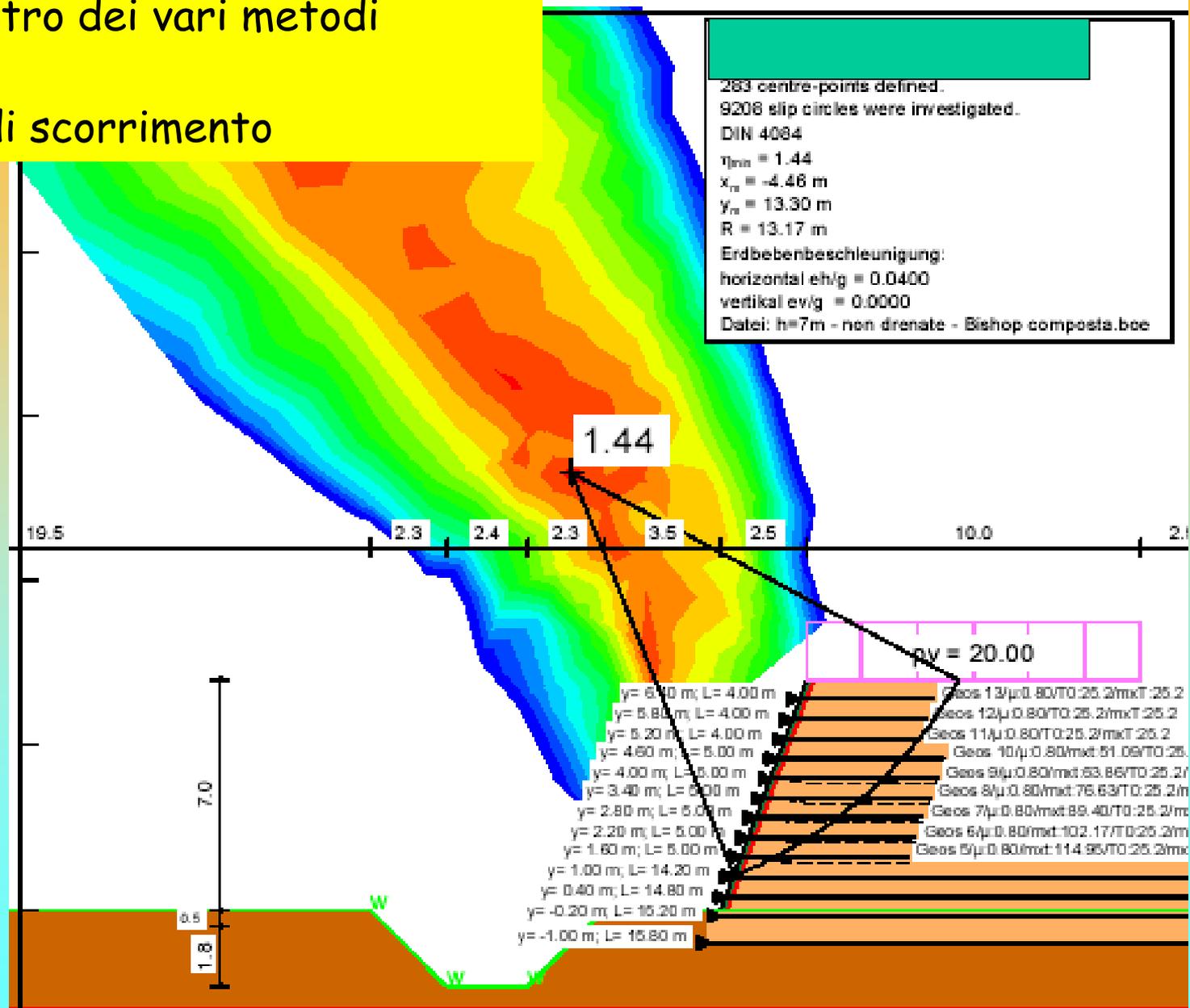
Dopo un test su un numero di superfici significativo o aver esplorato adeguatamente un campo vasto di possibili superfici, l'Fs del pendio è quello della superficie con minor Fs tra quelle calcolate.

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

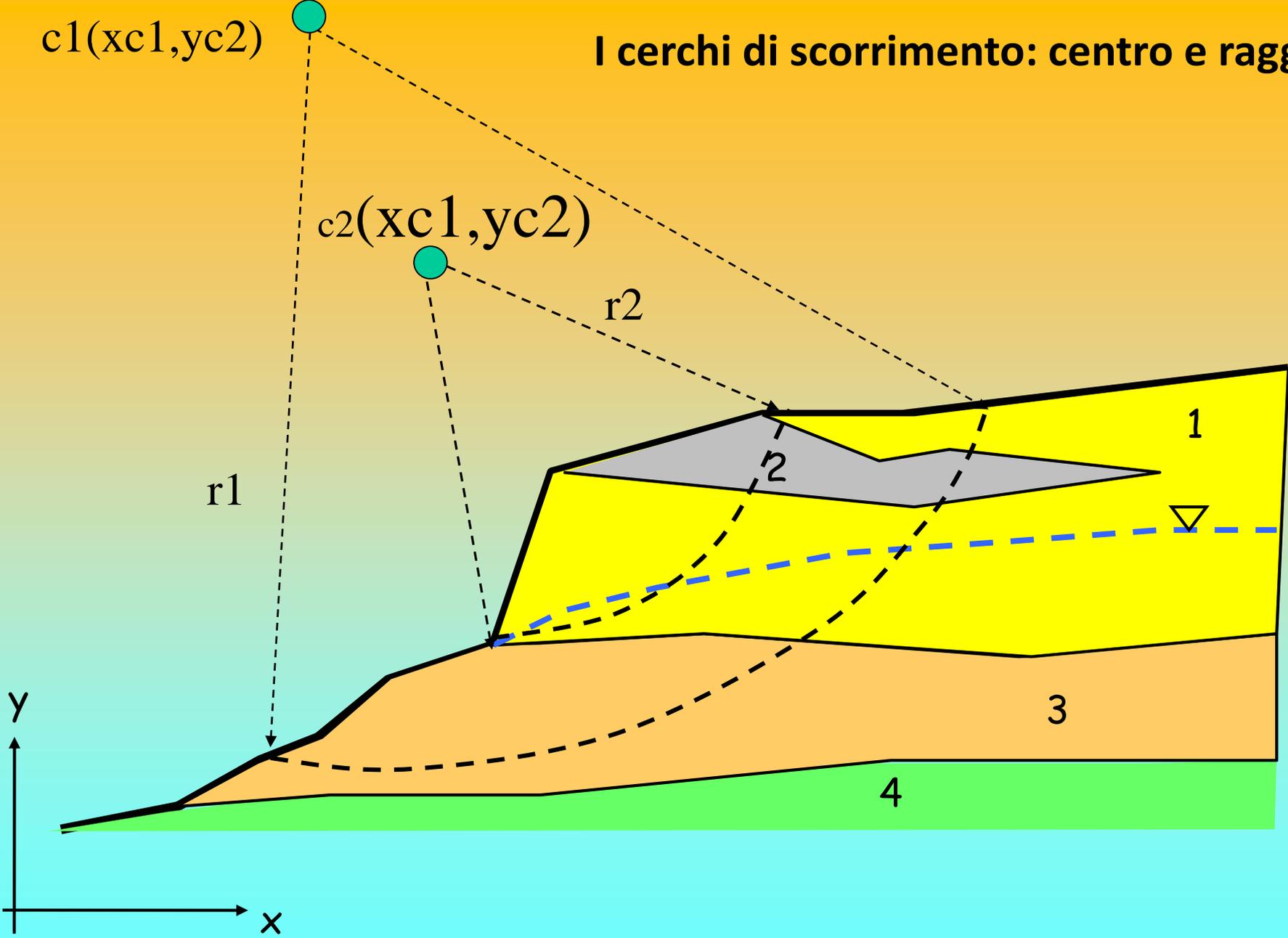
- Griglia a passo fisso (per sup. Circolari)
- Minimizzazione multidimensionale della funzione
Che definisce $F_s \rightarrow \text{MIN} [F_s]$
dove :
 $F_s = f(x_1, y_1, \dots, x_i, y_i, \dots, x_n, y_n)$ (per sup. Generiche)
- Random (monte carlo) (circolari e generiche)
- Misti

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

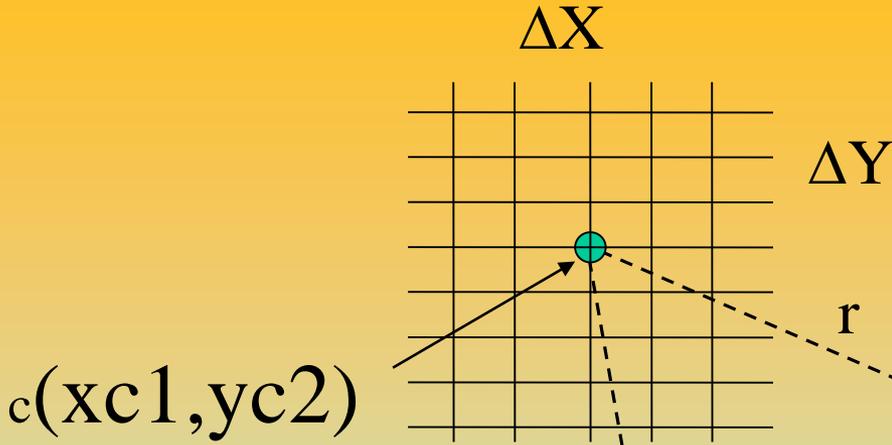
I cerchi di scorrimento



I cerchi di scorrimento: centro e raggio

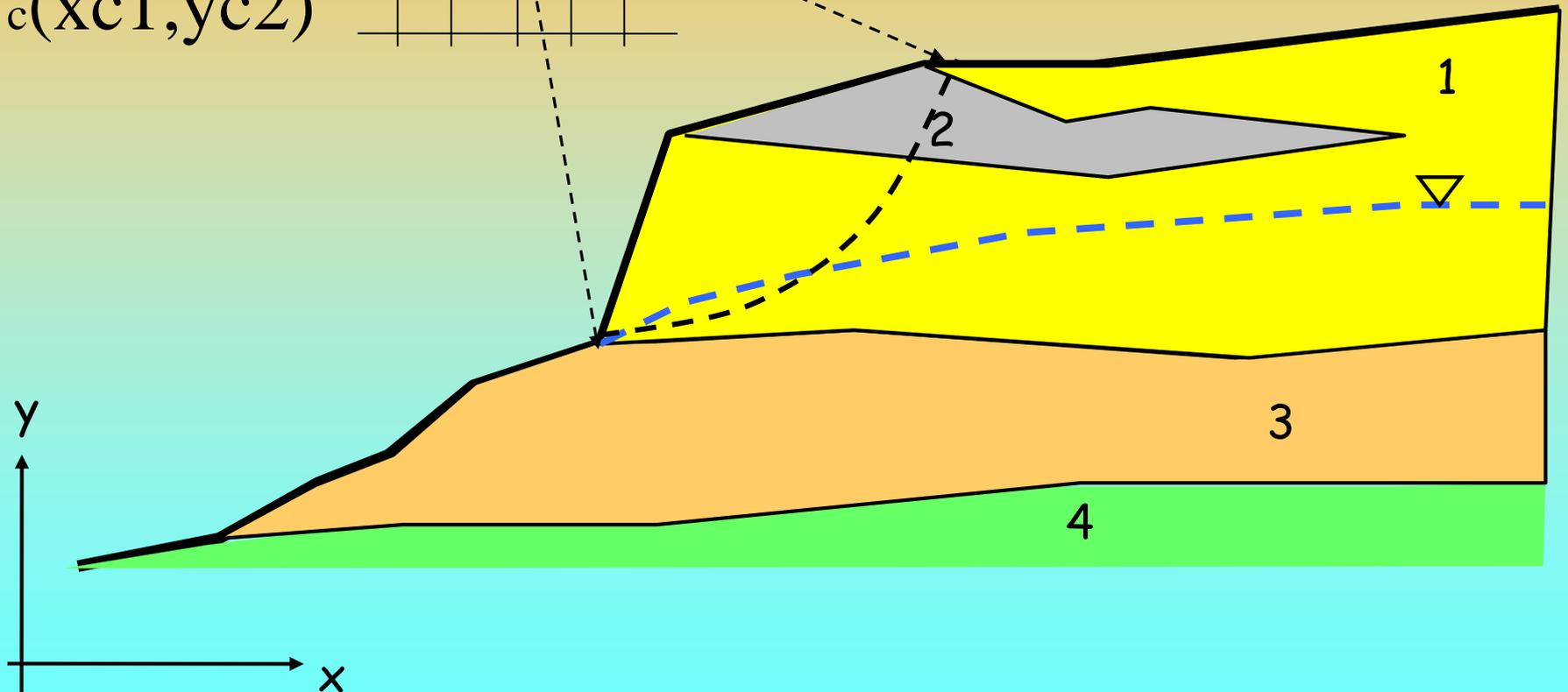


Griglia di ricerca



Vincolato al passo prefissato:

ΔX
 ΔY
 Δr



Griglia di ricerca

Vincolato al passo prefissato:

ΔX

ΔY

Δr oppure r (random)

ΔX

ΔY

$c(xc1, yc2)$

y

r_3

r_2

r_1

1

2

3

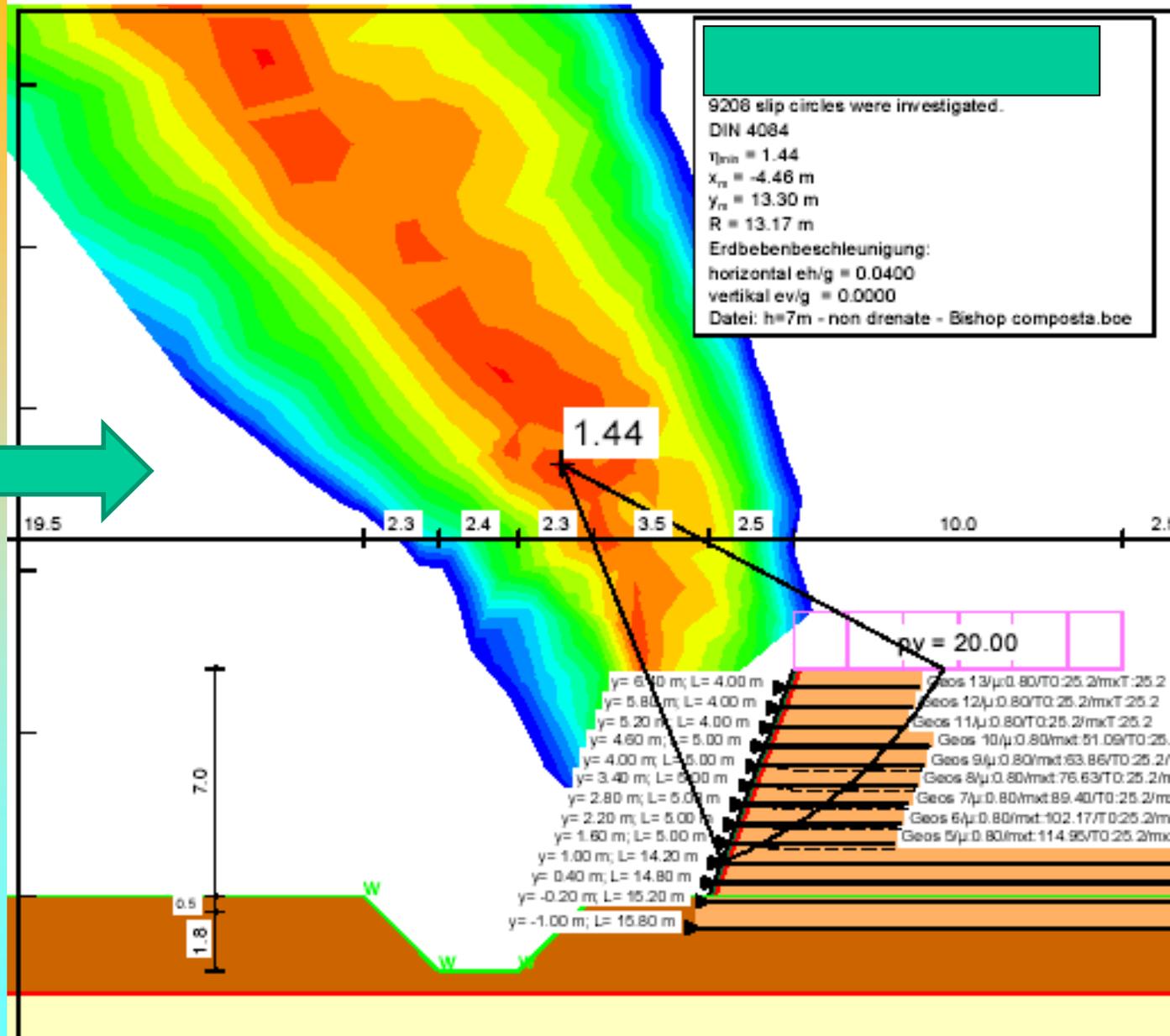
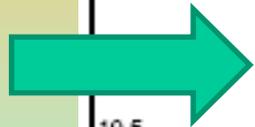
4

**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 Fs in funzione dei centri di scorrimento .. Perché ad ogni centro corrisponde un infinito numero di raggi..!!!!



Superfici di forma generica..

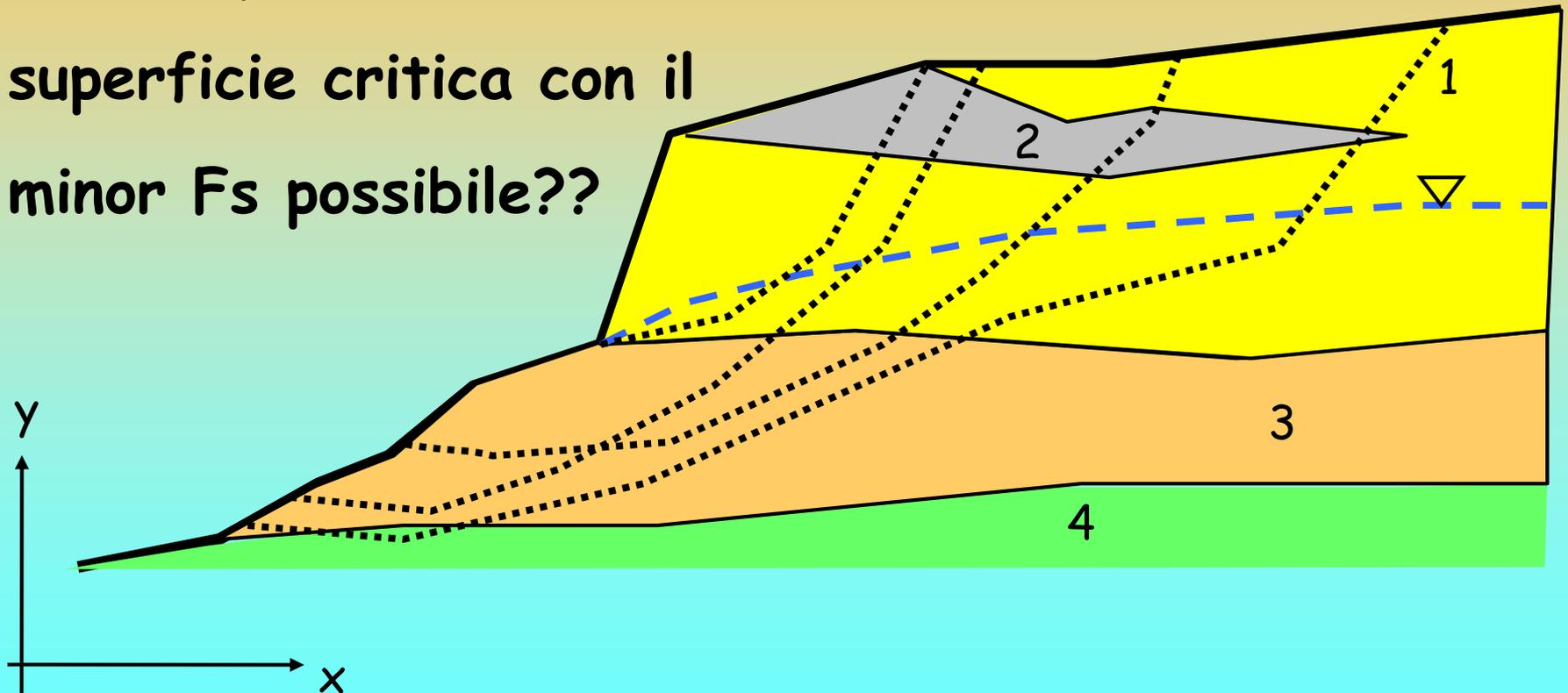
ovvero quanto si osserva nella realtà !

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

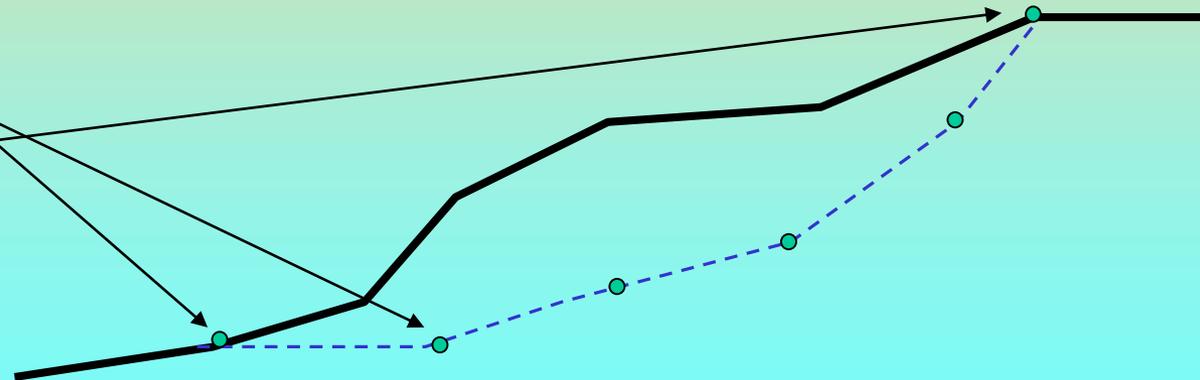
N	X	Y
---	---	---

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

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

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

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



Superfici generiche - metodi di minimizzazione Fs

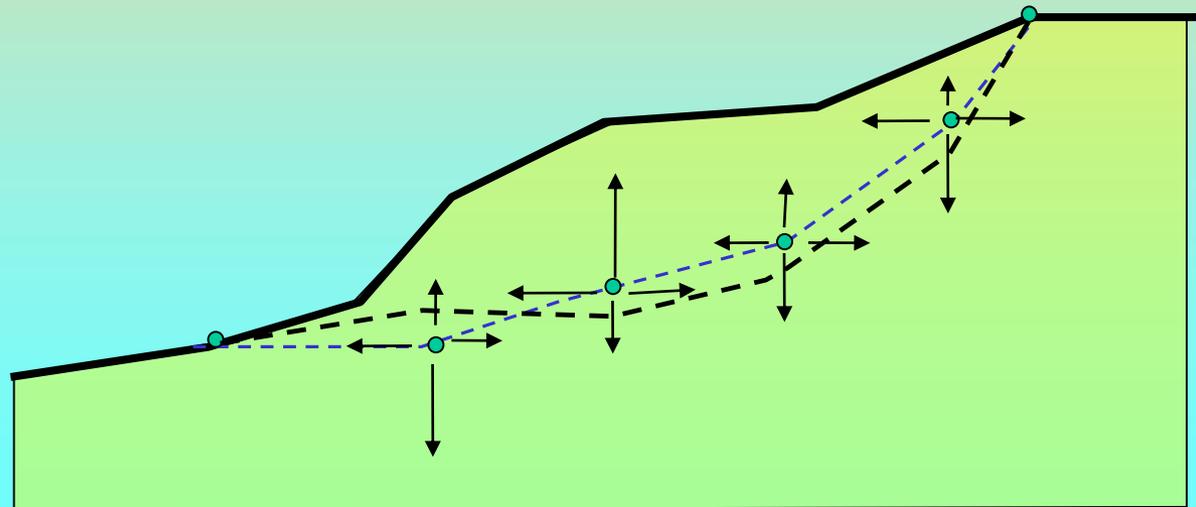
Problemi:

- 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 :

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

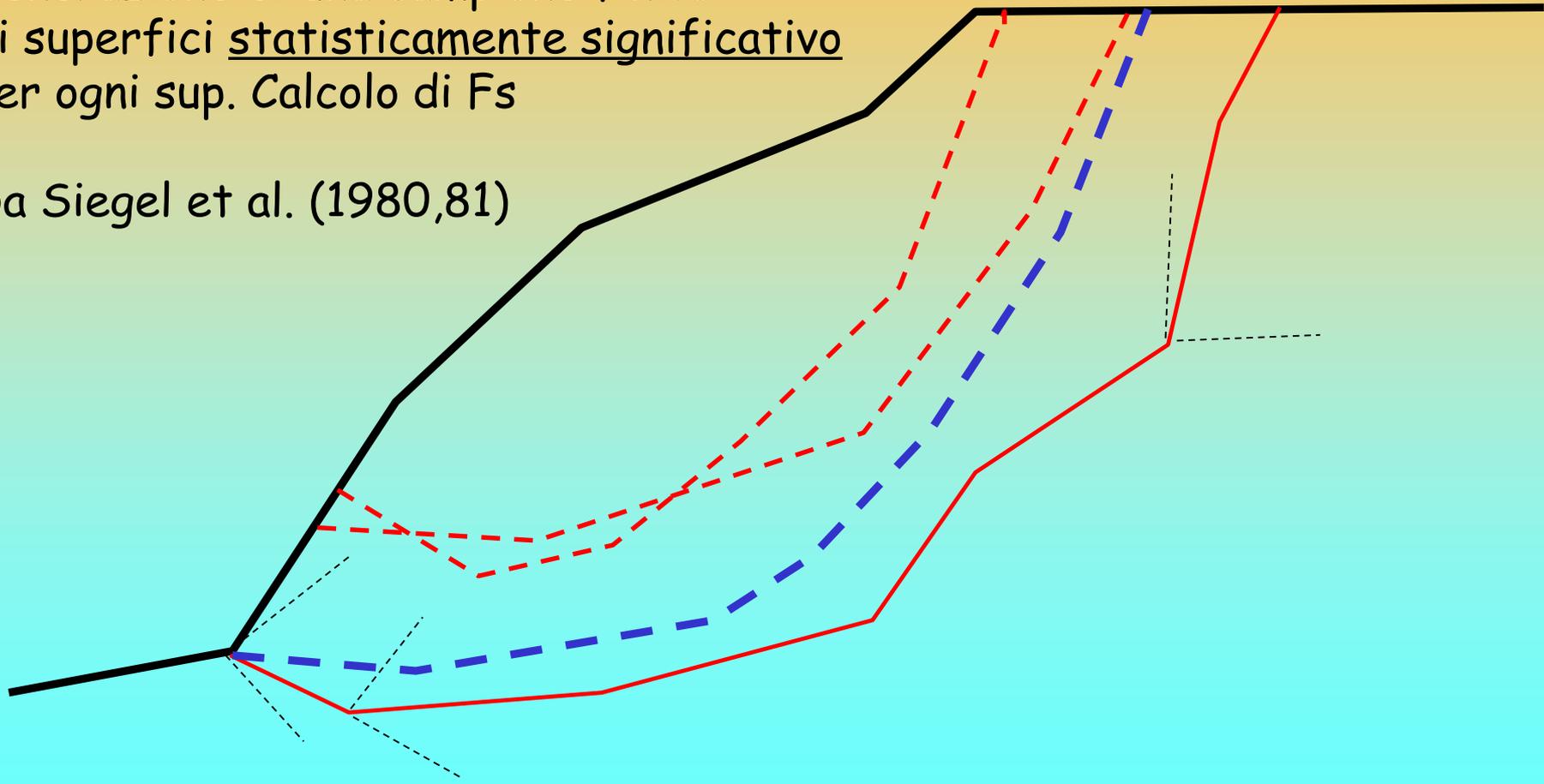


Superfici generiche - Generazione random montecarlo

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)



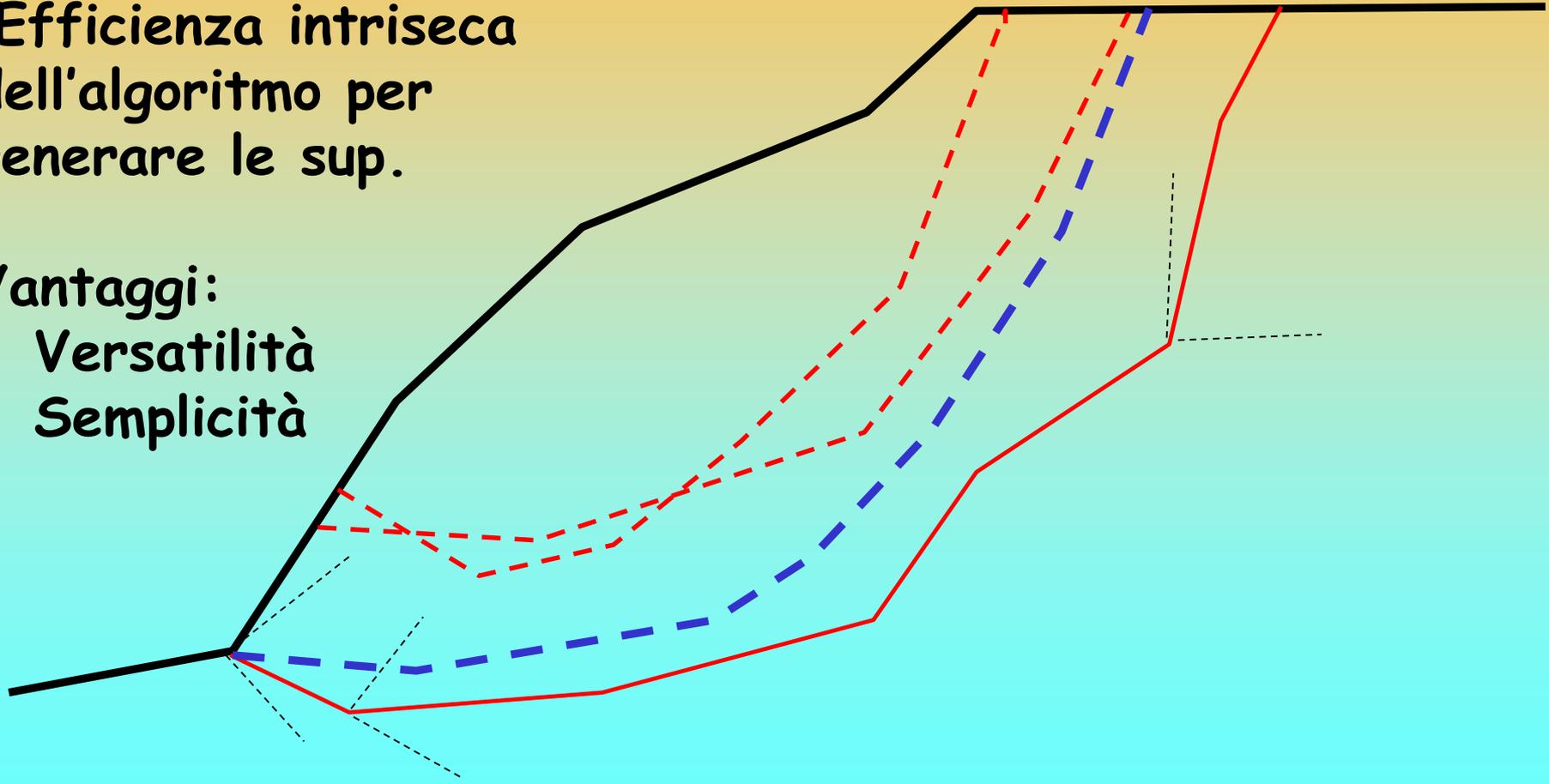
Superfici generiche - Generazione random montecarlo

Problemi:

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

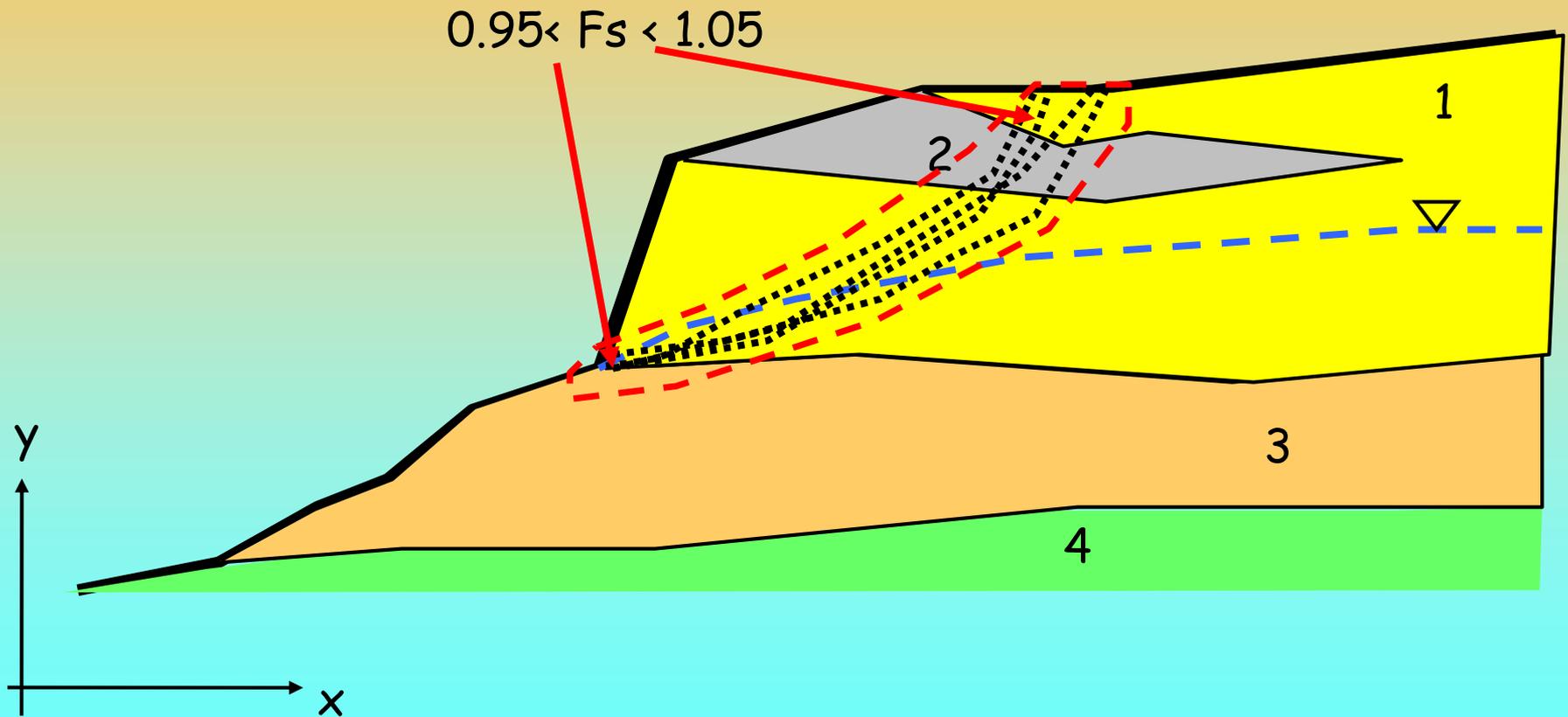
Vantaggi:

- 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

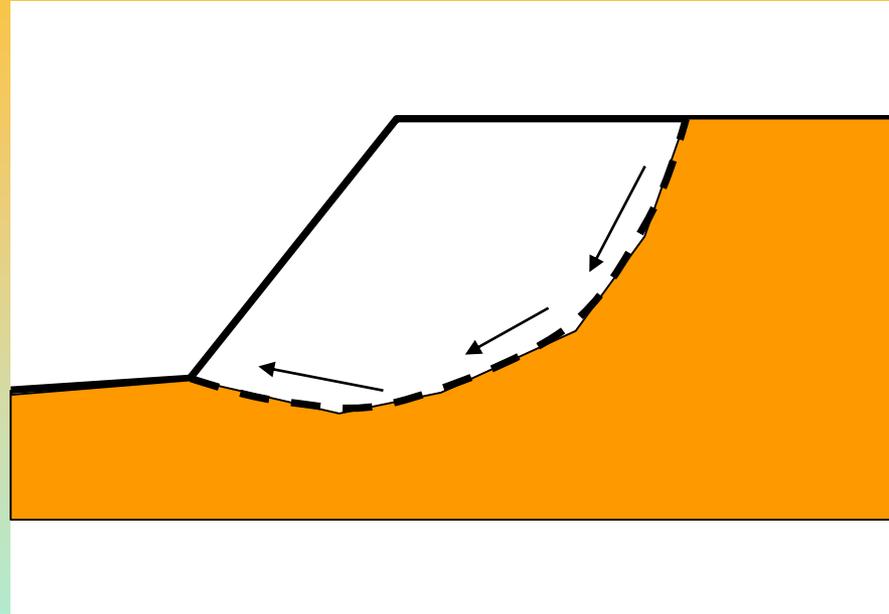
Per ogni superficie si può derivare:

Lo sforzo di taglio totale mobilitato τ_m (domanda) e

La resistenza al taglio disponibile τ_f (capacità):

è possibile definire F_s come:

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



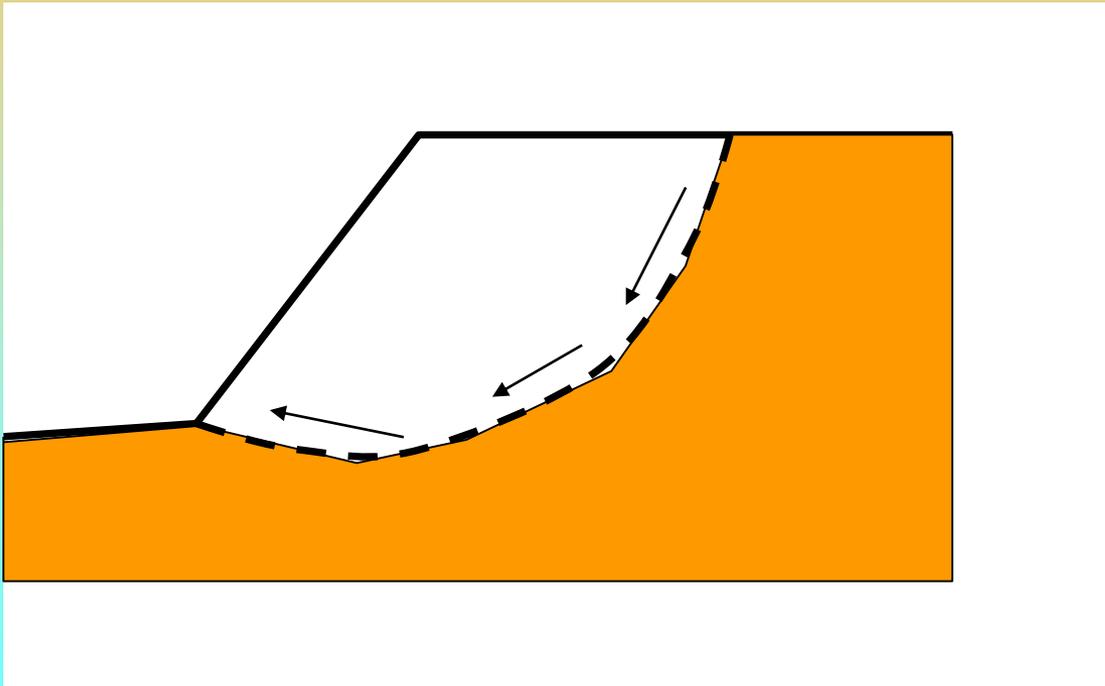
Usando un *criterio di rottura* (es *Mohr-Coulomb*) F_s è il fattore per cui occorre dividere i parametri della resistenza al Taglio del terreno per provocare la rottura del pendio lungo tutta la superficie considerata ovvero $\tau_f = \tau_m$

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

Calcolo di F_s - formulazione di base

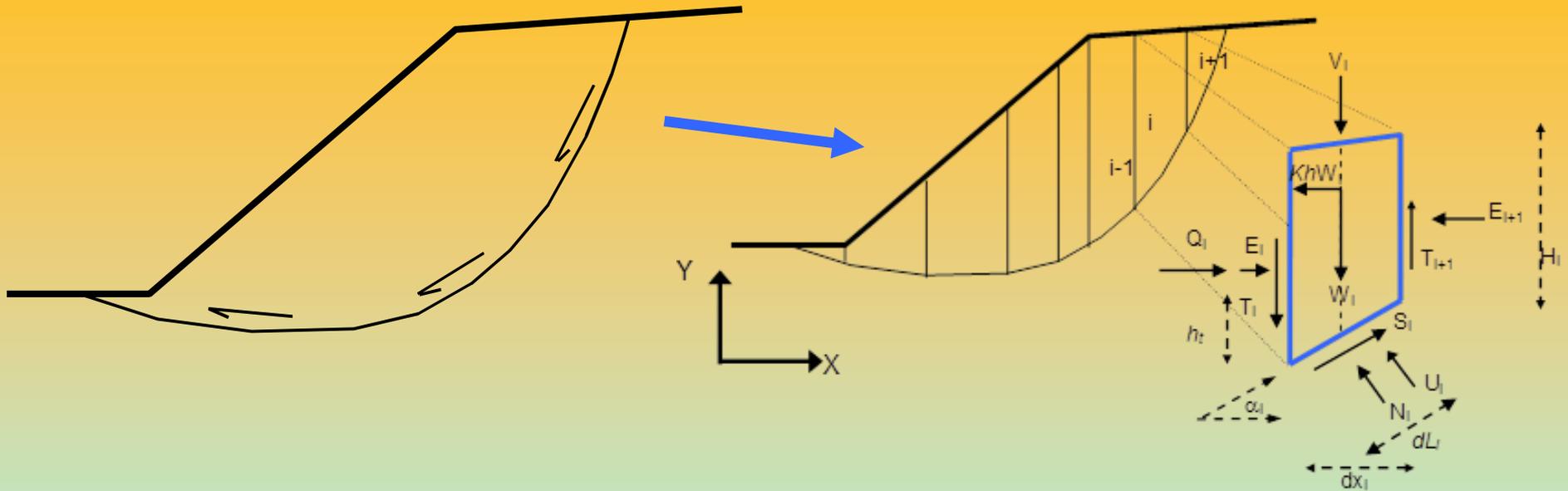
Nel caso di variabilità delle caratteristiche di resistenza al taglio lungo la superficie di scivolamento, sebbene F_s possa essere in realtà variabile, si assume che F_s sia costante.

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:

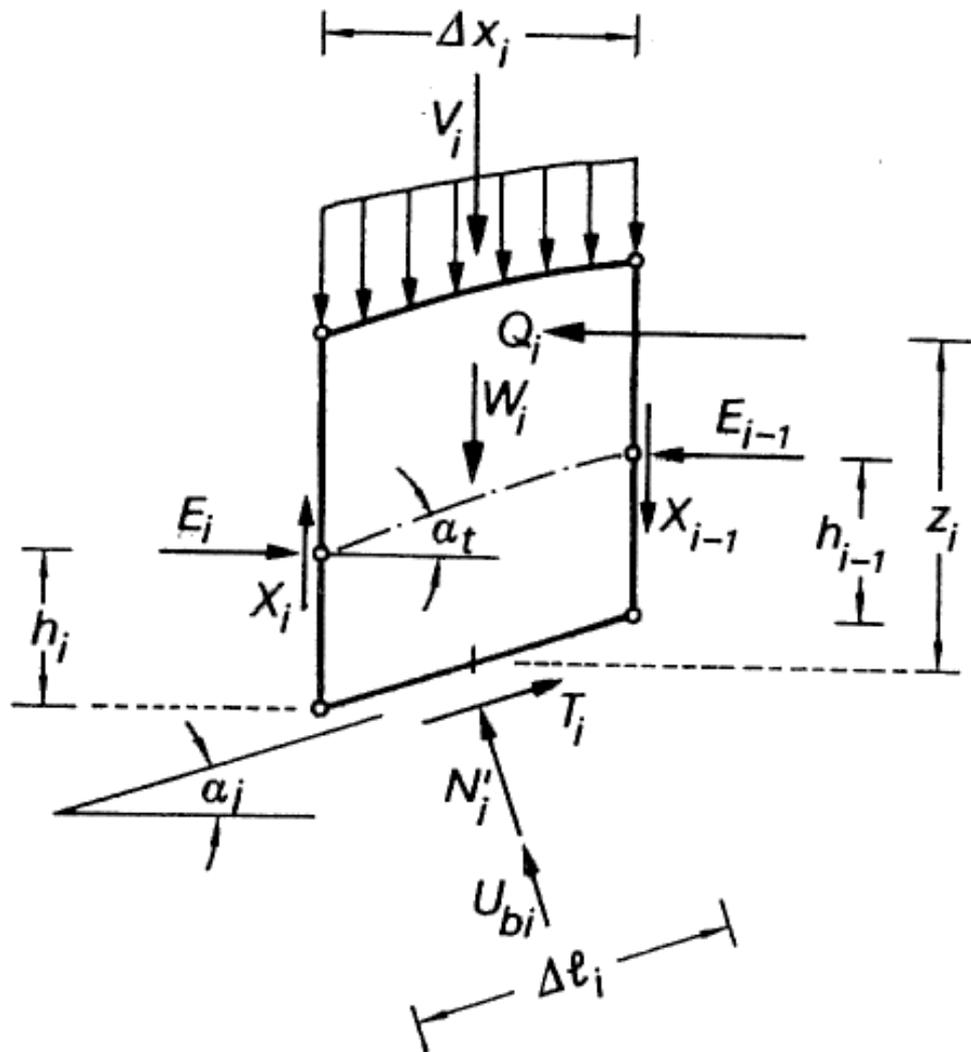
Equilibrio alla translazione nelle direzioni verticali e orizzontali

$$\sum V_i = 0$$

$$\sum H_i = 0$$

Equilibrio alla rotazione rispetto a un punto

$$\sum M_i = 0$$

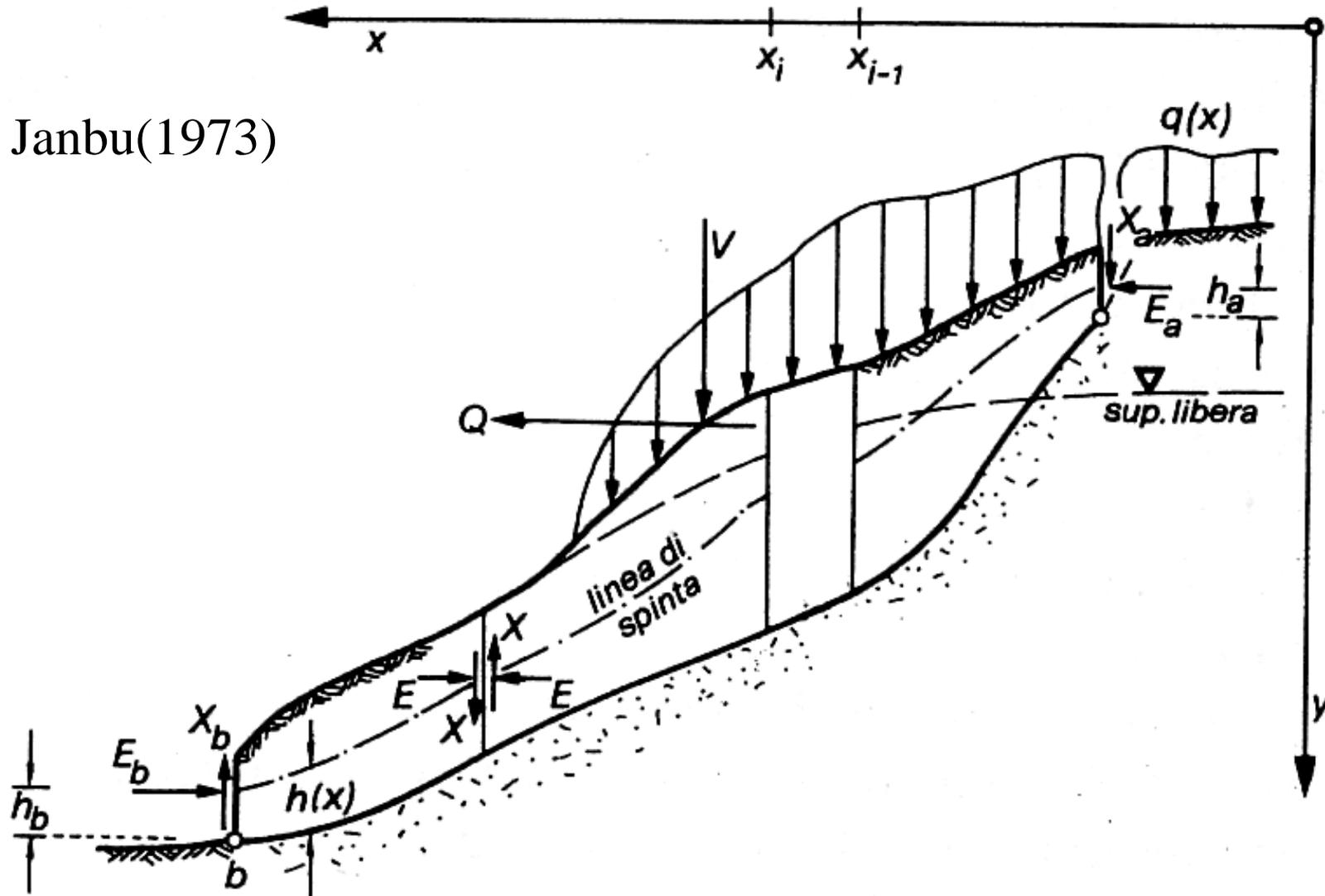


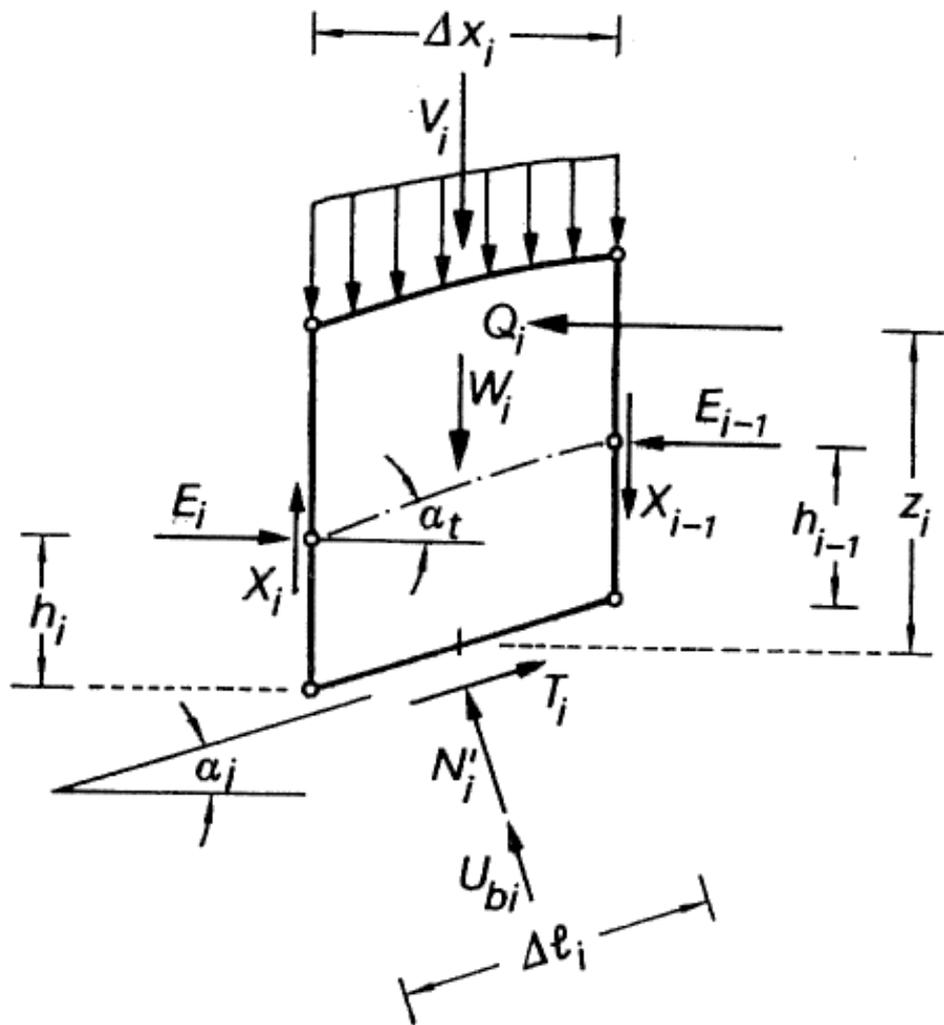
Janbu(1973)

$E(x)$ = interazione orizz.
Conci

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

Janbu(1973)





La maggior parte
dei metodi di calcolo
Si differenziano
Per le assunzioni fatte
Per rendere il problema
staticamente determinato
Es: $T(x) = \lambda f(x)E(x)$

$h_i(x)$ = 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

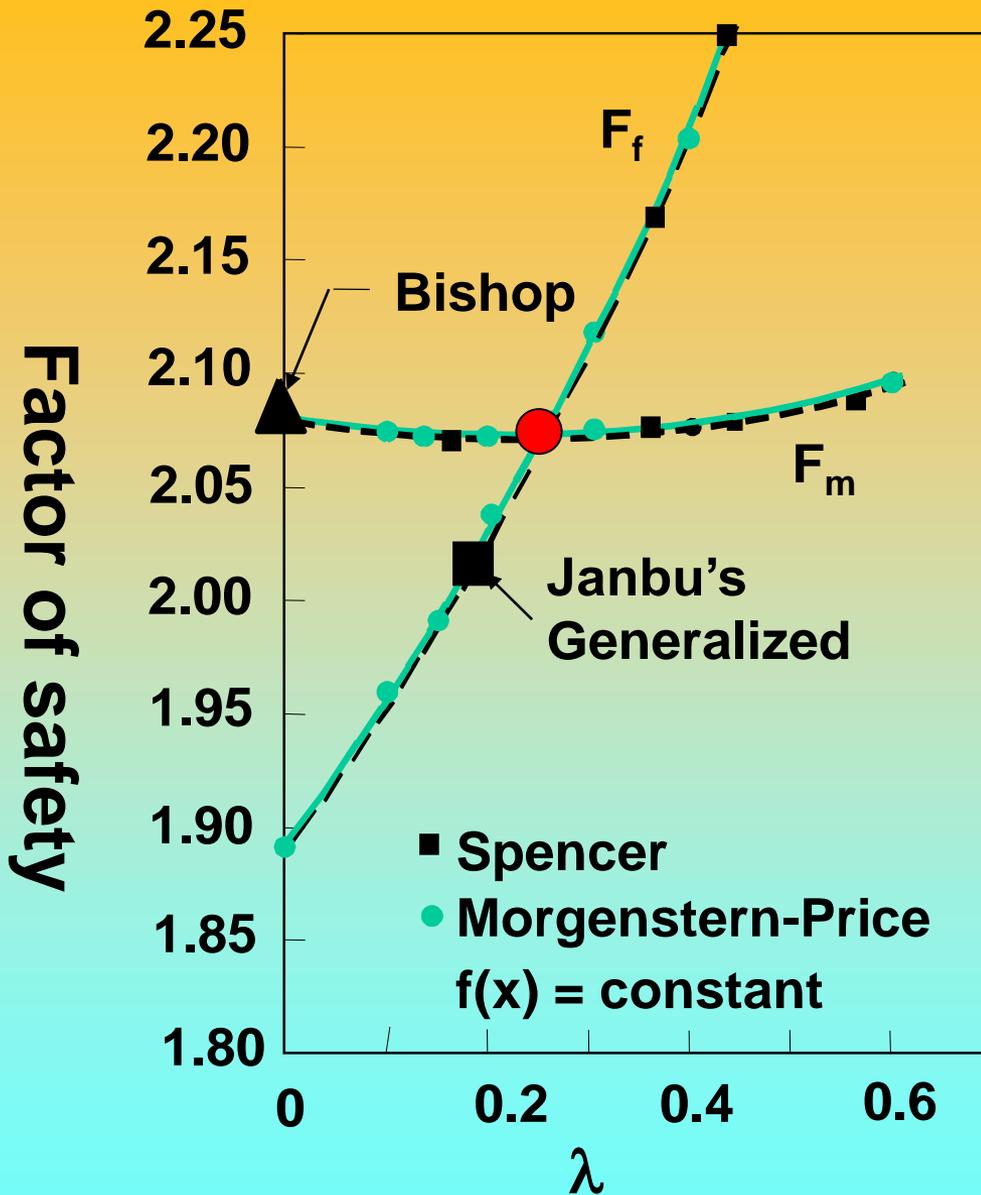
Il valore ottimale di lambda:

$h_t(x)$ = 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

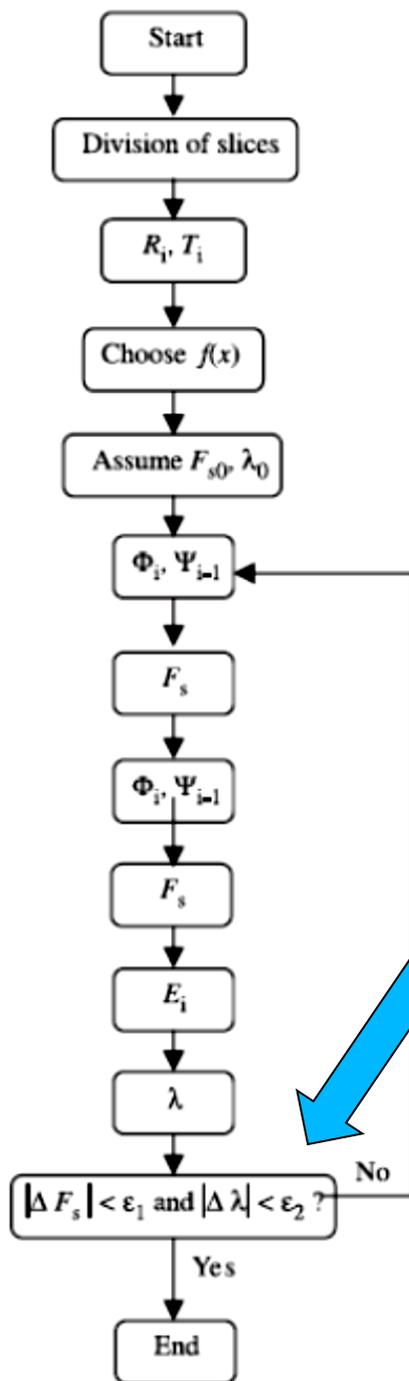
ovvero un algoritmo di calcolo innovativo che è una evoluzione di quello proposta da Zhu (2005) per metodo di Morgestern & Price (1965).

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 ..)

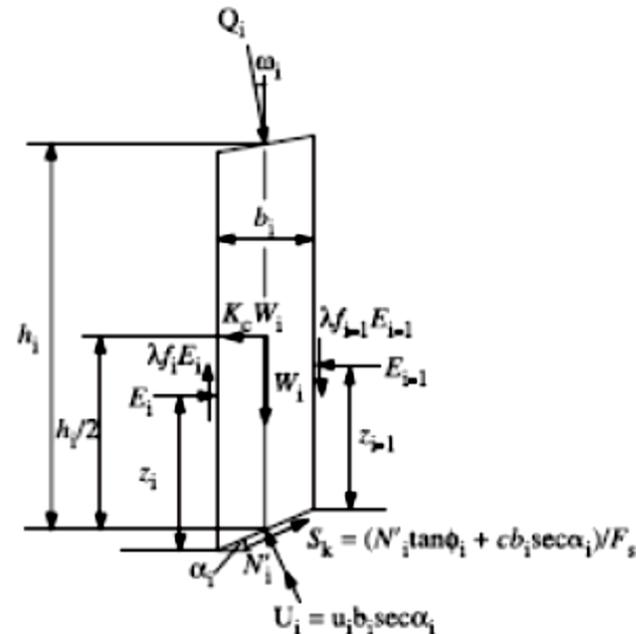
2) inclusione delle interazioni delle strutture di rinforzo
(quasi assenti nel metodo di Zhu(2005) originale)

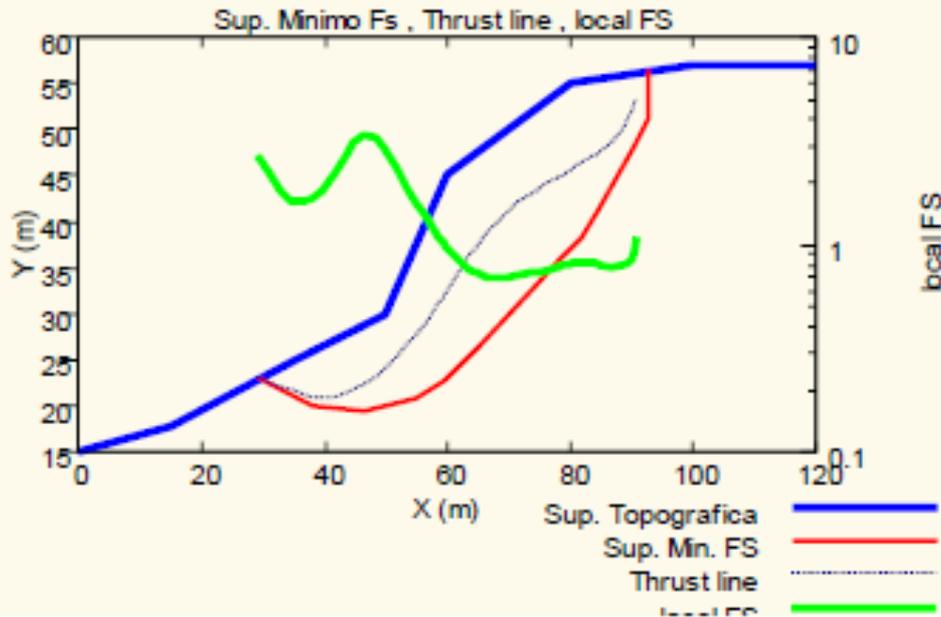
3)Fs (generale per equilibrio momenti e forze) e fattore di scala λ
sono calcolati mediante un procedimento numerico più efficiente
di quelli tradizionali che permette di controllare costantemente
La significativita' fisica delle soluzioni....



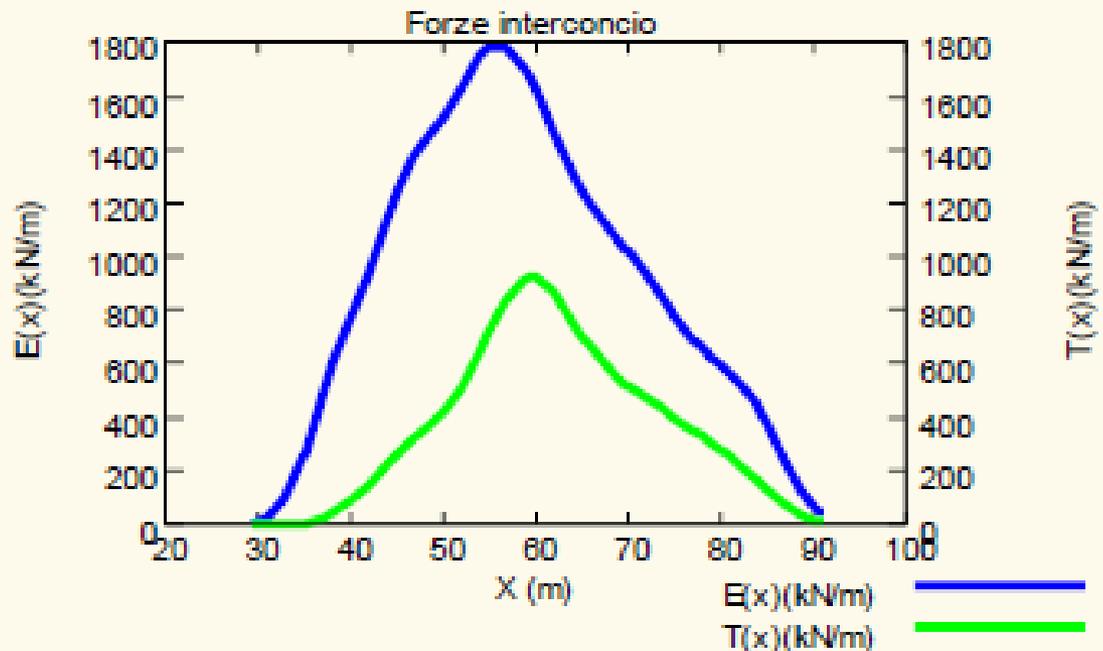
Una singola fase di iterazioni
 Per la determinazione di F_s
 e λ (da Zhu 2005),
 Adottato e generalizzato
 In SSAP2010:

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

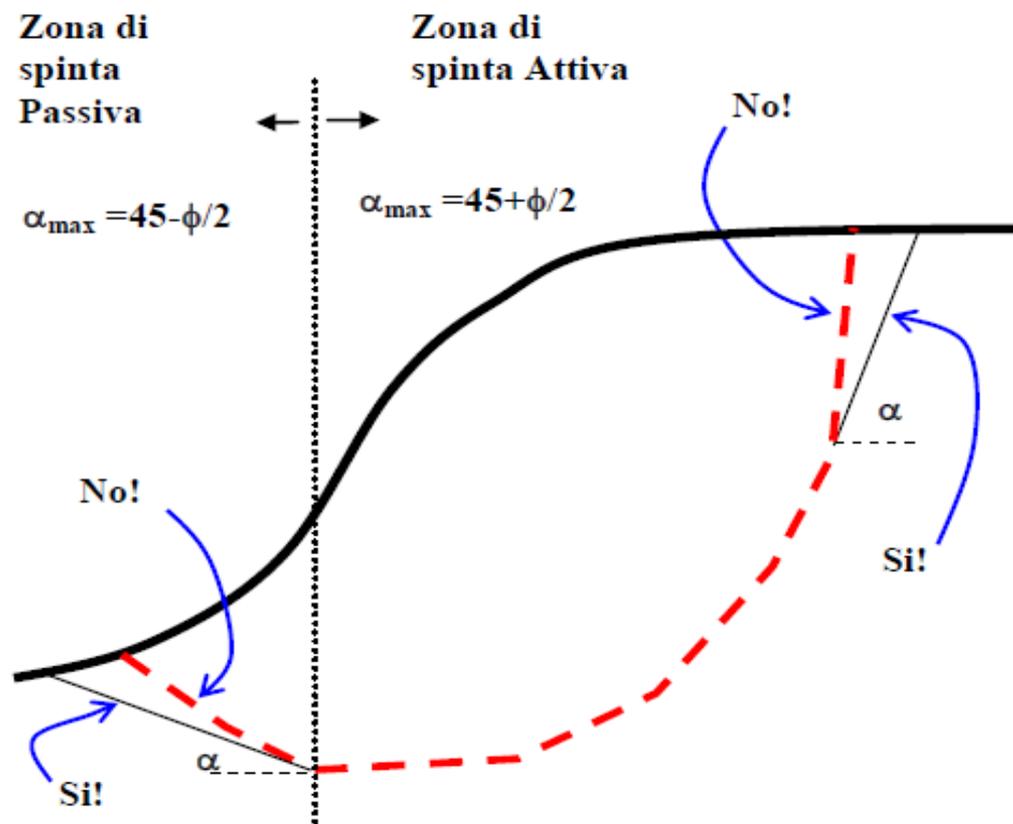
Gruppo	Modello di calcolo adottato per la risoluzione di FS	Relazione funzionale che esprime $T(x)$
1	Spencer (1967,73)	$T(x) = \lambda E(x)$
1	Sarma I (1973)	$T(x) = \frac{\lambda}{F_s} \left\{ \bar{c} H(x) + \left[(E(x) - P_w(x)) \tan \bar{\varphi}' \right] \right\}$
2	Morgestern & Price (1965)	$T(x) = \lambda f(x) E(x)$
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 !

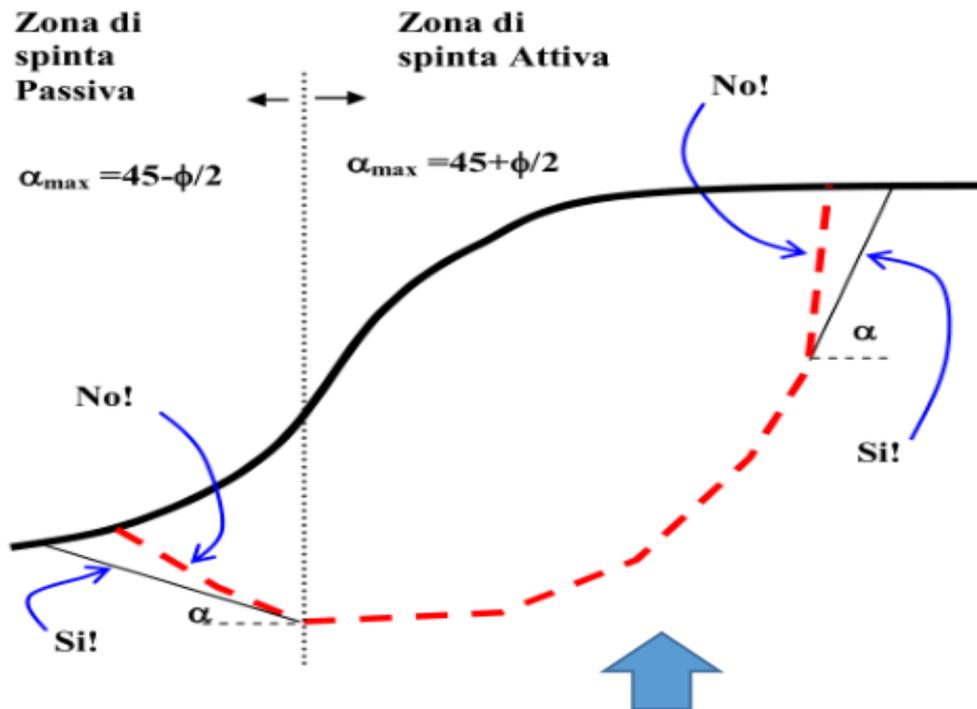
Fonte: manuale SSAP 4.9.8

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.

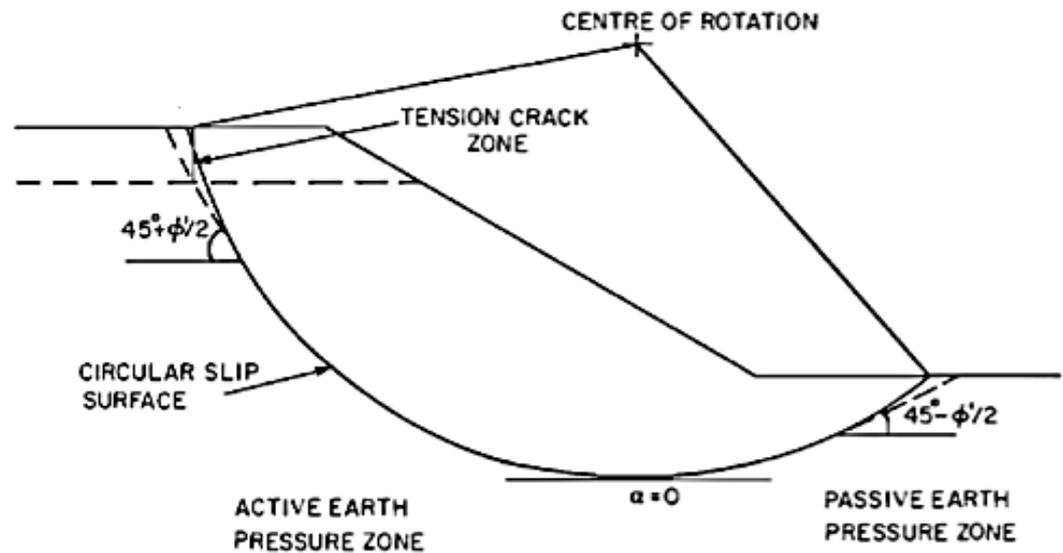


FIG. 4. Soil slope divided into active and passive earth pressure zones.

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:

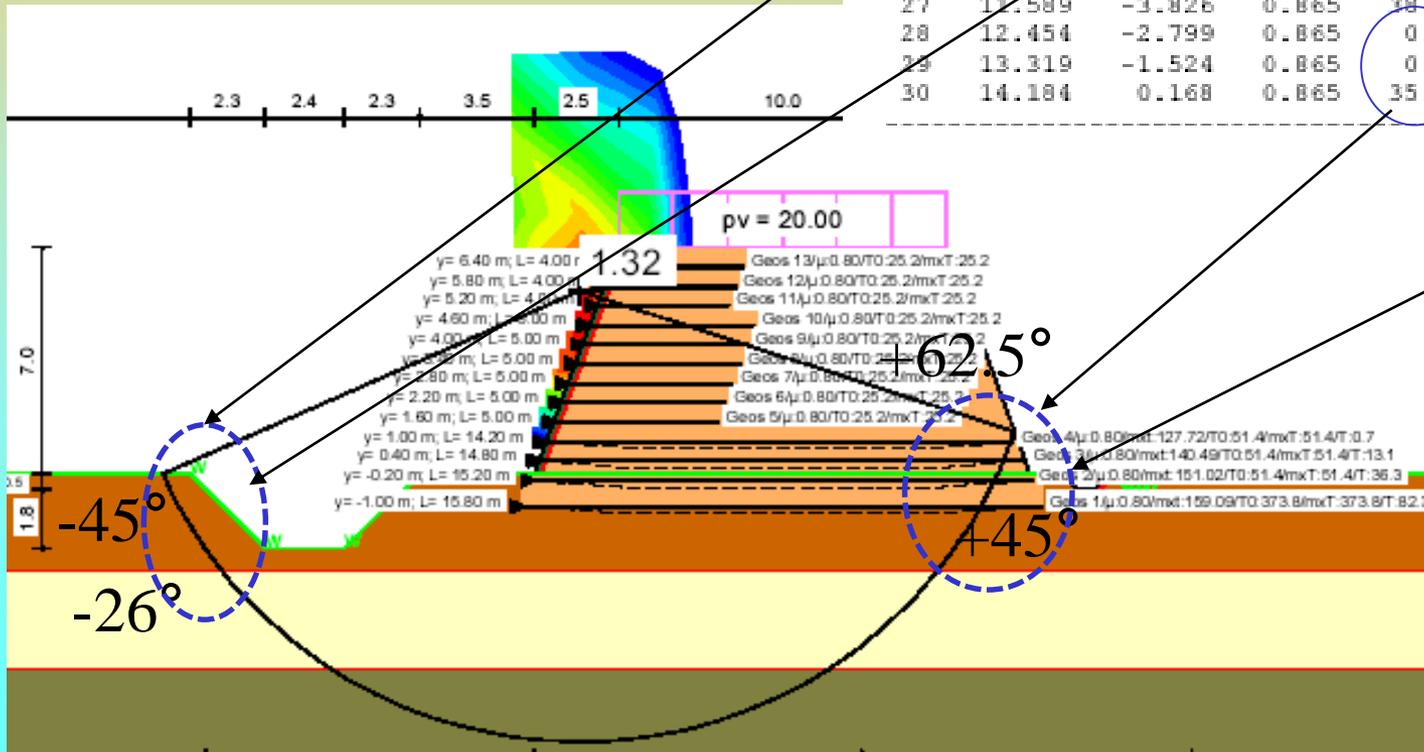
$$[10] \quad \alpha = \phi' / 2 + 45^\circ$$

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

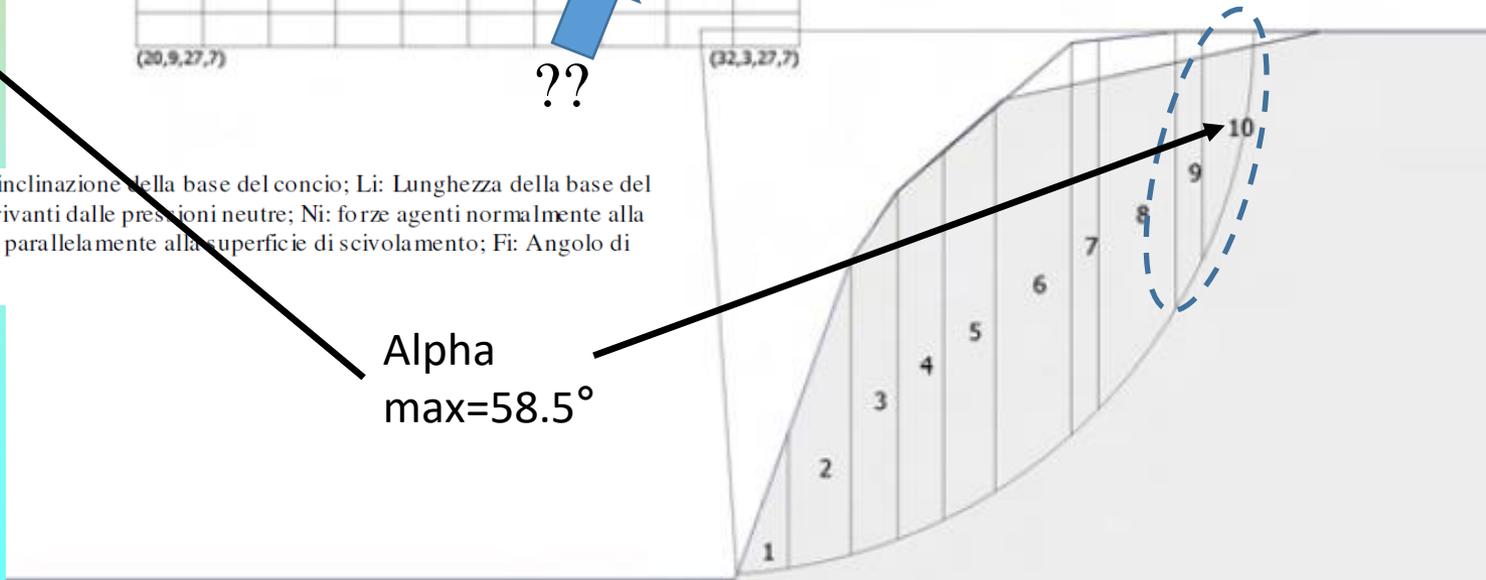
(ID=16) $x_c = 30,60$ $y_c = 28,02$ $R_c = 9,54$ $F_s = 1,67$



??

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°



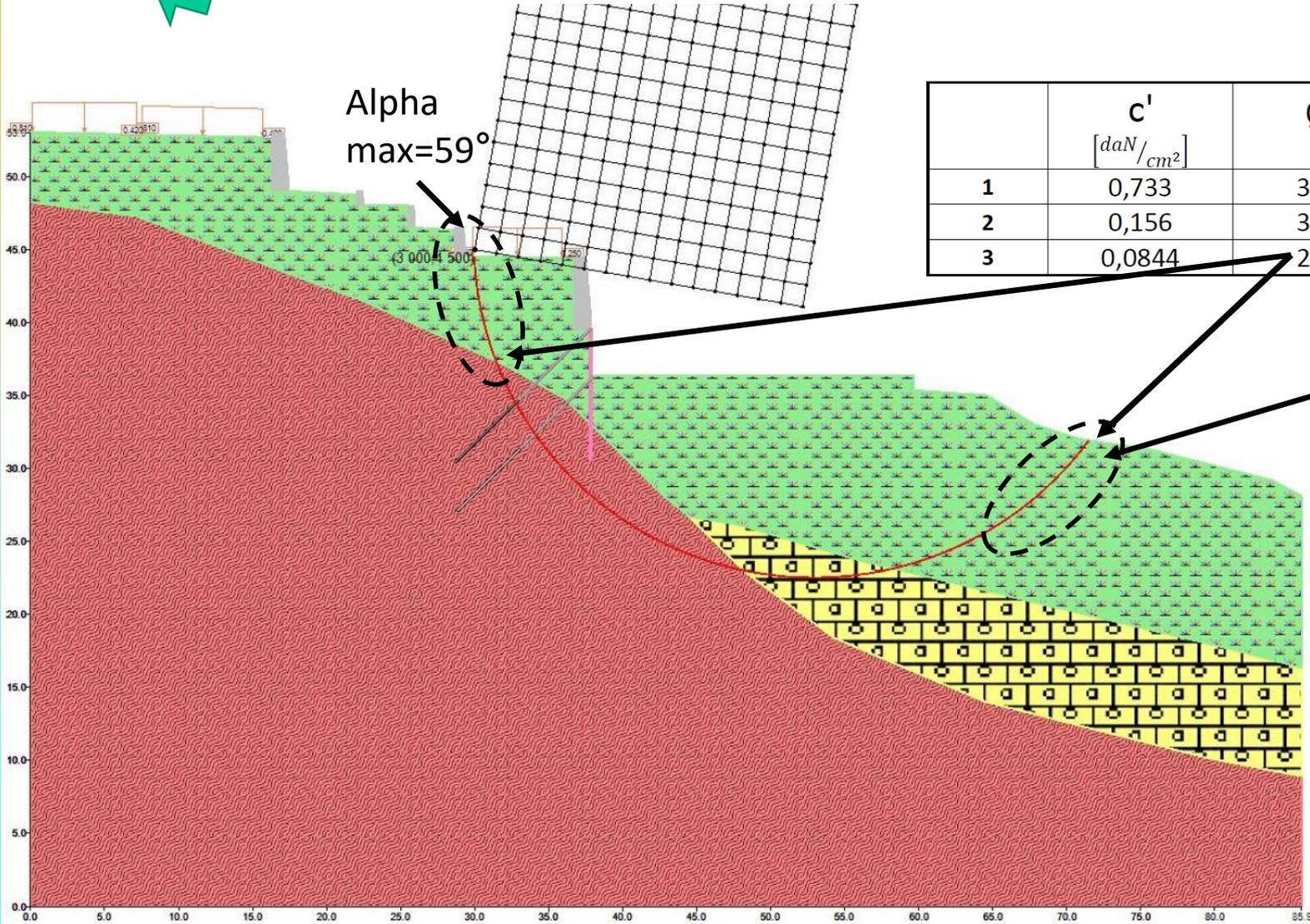
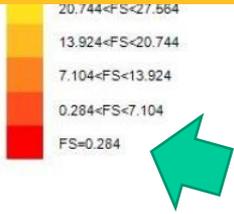
AMENTO PARCHEGGIO su argilliti (rocce tenere)
suolo residuale.
MICOPALI E TIRANTI.
isti
e diversi
rioni (secondo me...) nei software utilizzati...

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

- Due progettisti
- Due Software diversi

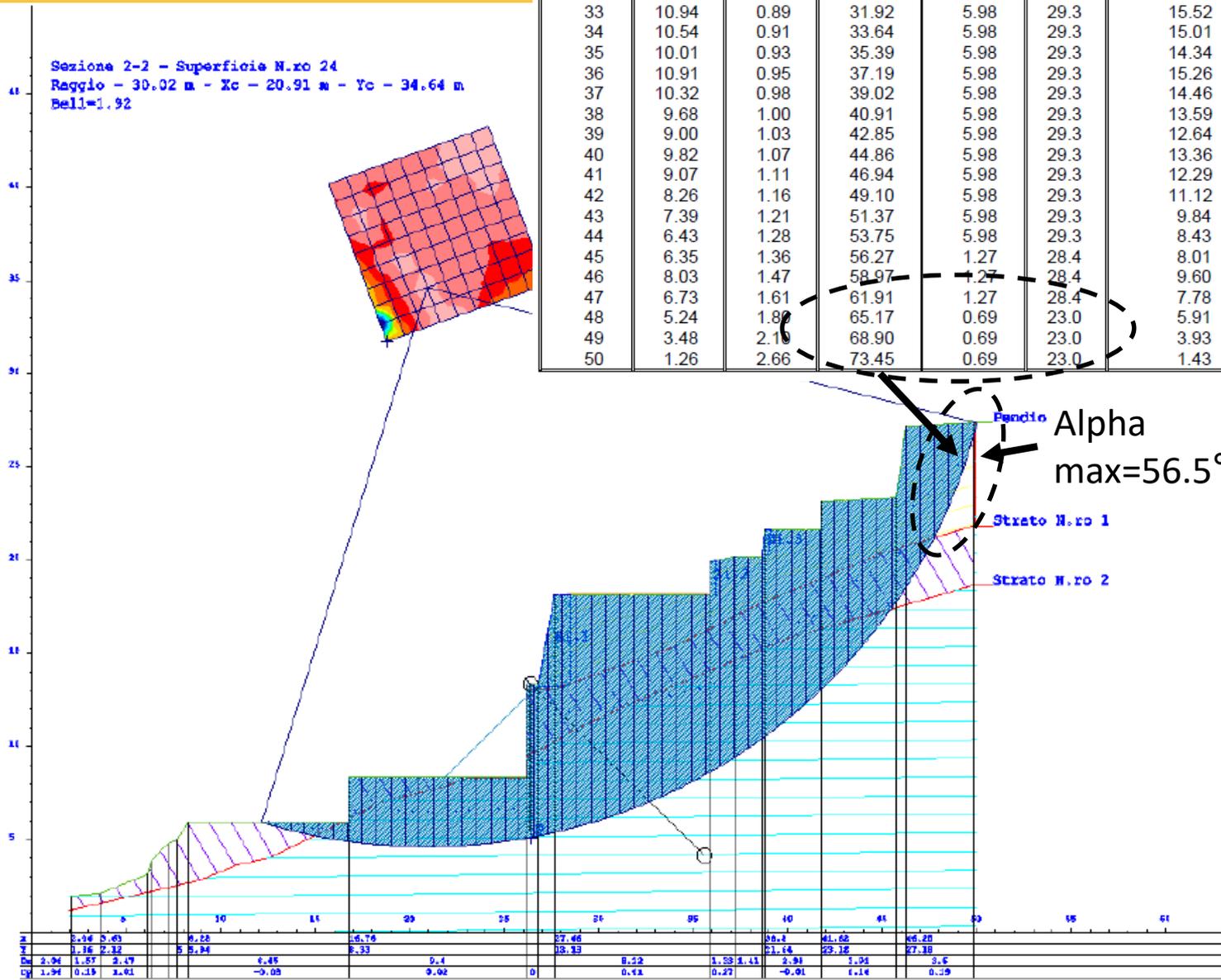
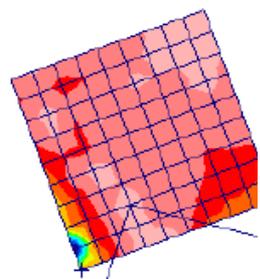
.... ma stessi errori (*secondo me...*) nei software utilizzati....

- 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.

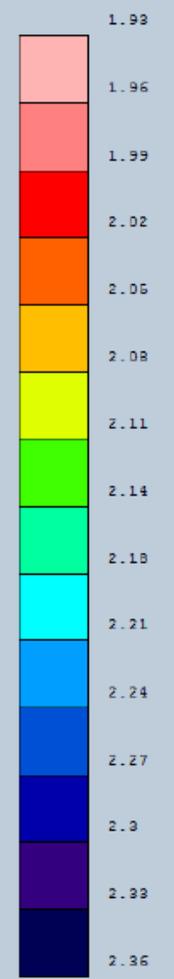


Concio N.ro	h (m)	L (m)	α (°)	c (t/mg)	ϕ (°)	W (t)
28	10.97	0.83	23.73	5.98	29.3	15.70
29	10.63	0.84	25.32	5.98	29.3	15.28
30	10.26	0.85	26.93	5.98	29.3	14.84
31	9.86	0.86	28.57	5.98	29.3	14.38
32	11.24	0.88	30.23	5.98	29.3	15.90
33	10.94	0.89	31.92	5.98	29.3	15.52
34	10.54	0.91	33.64	5.98	29.3	15.01
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



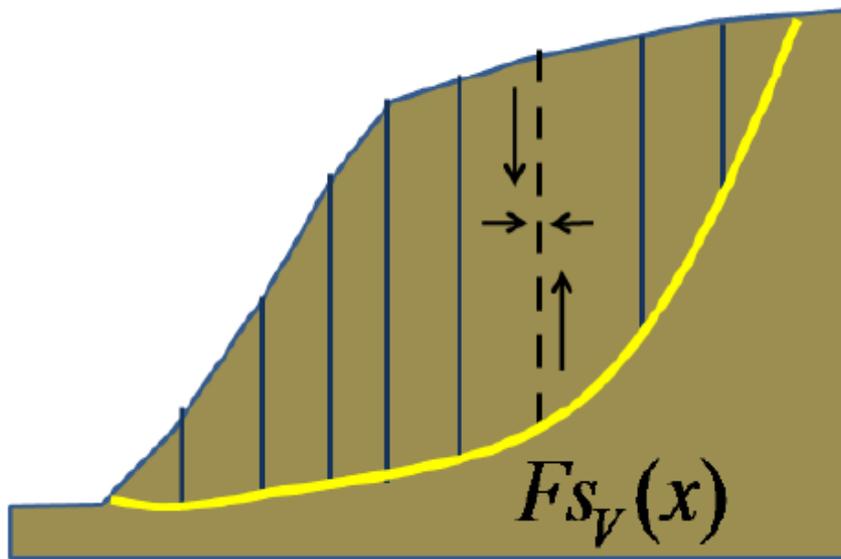
z	3.34	0.63	0.28	0.76	27.46	38.2	41.62	46.25
y	1.16	2.32	5.24	8.33	10.33	11.44	12.18	12.38
Da	2.94	1.85	2.47	4.45	6.22	7.81	9.01	9.6
Cy	1.94	0.15	2.61	-0.05	0.92	0	0.41	0.59

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

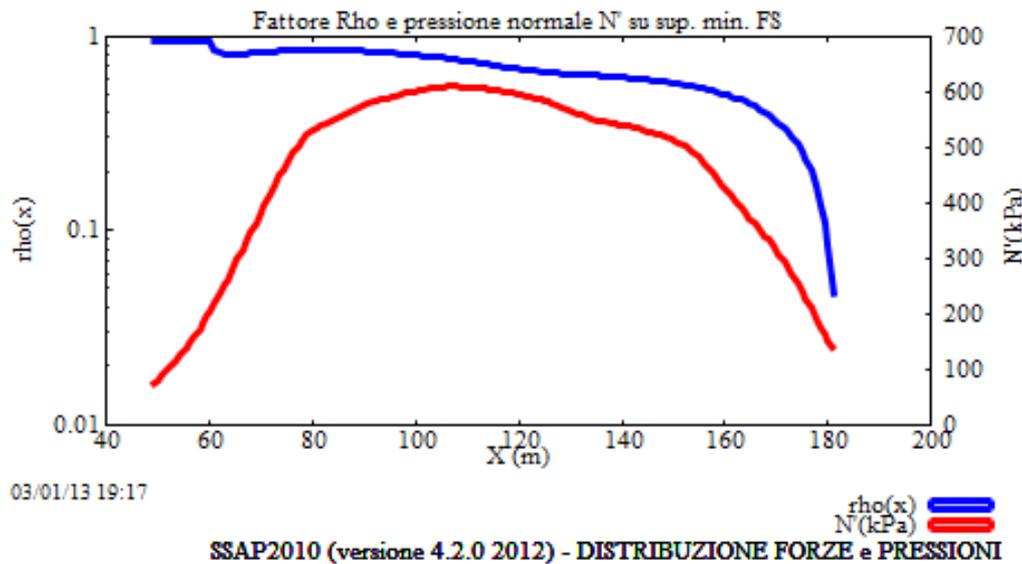
Sono sempre le sole superfici circolari quelle con minor FS ?? - Video 7 (21:22 min)

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 $Fv(x)$..**



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



$$Rho(x) = \left| \frac{F_s}{F_{S_v}(x)} \right|$$

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**:

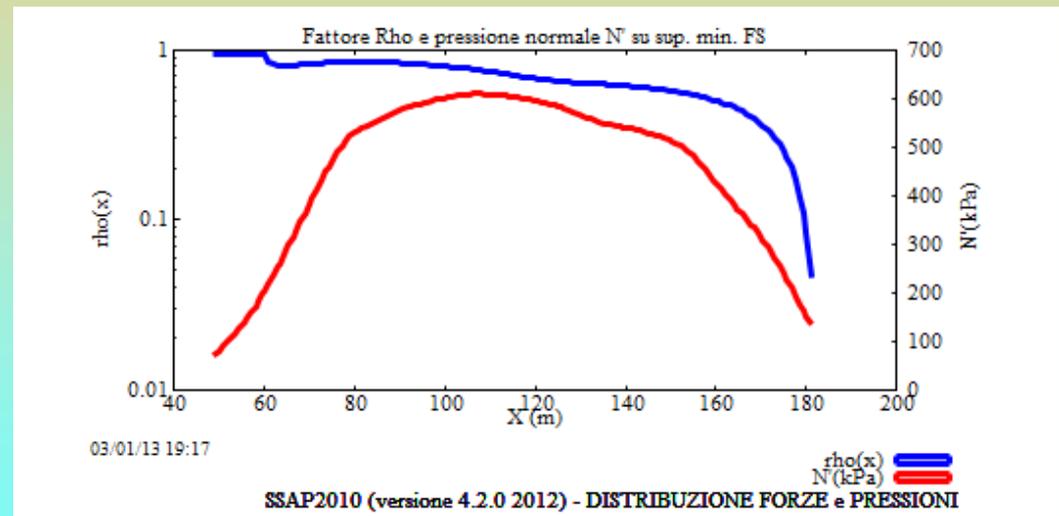
$$F_{S_v} = \frac{c'H(x) + [E(x) - U_v(x)] \tan \bar{\phi}'}{T(x)} > 1.0$$

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

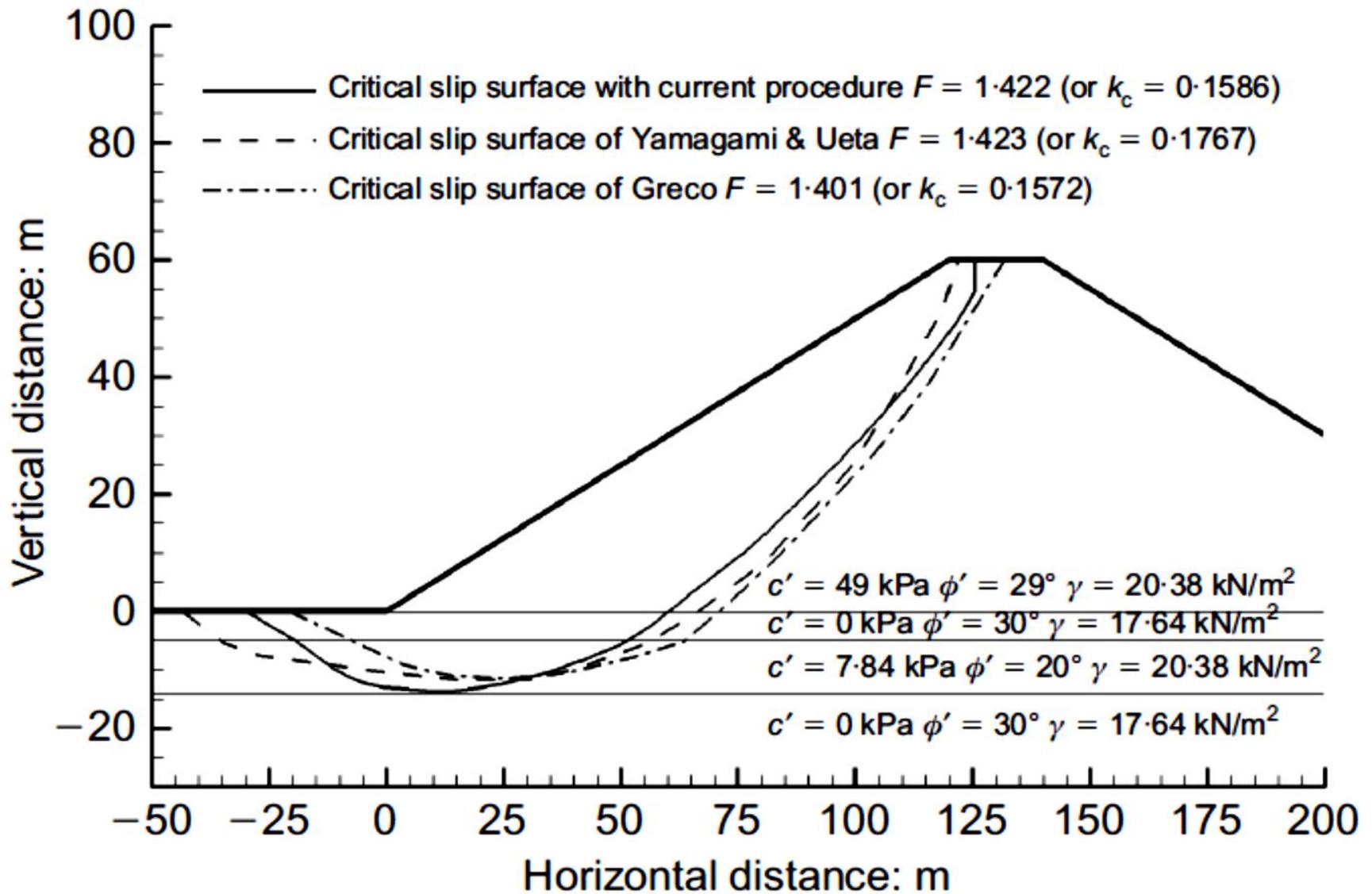
$$Rho(x) = \left| \frac{F_s}{F_{S_v}(x)} \right| < 1.0$$

ovvero

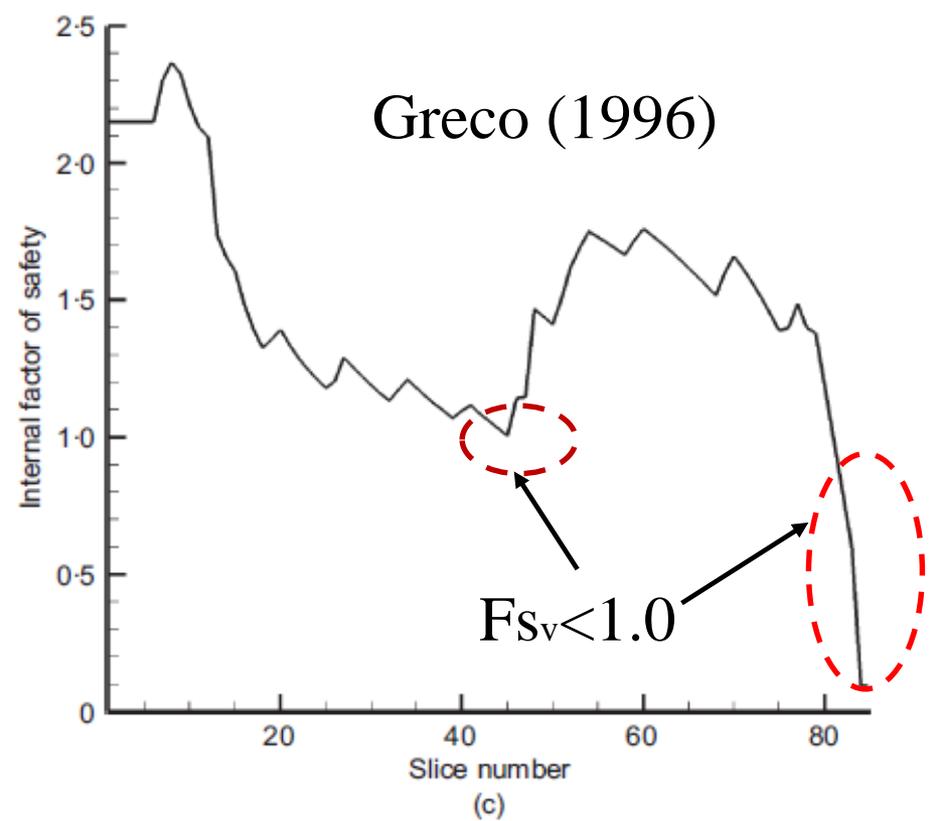
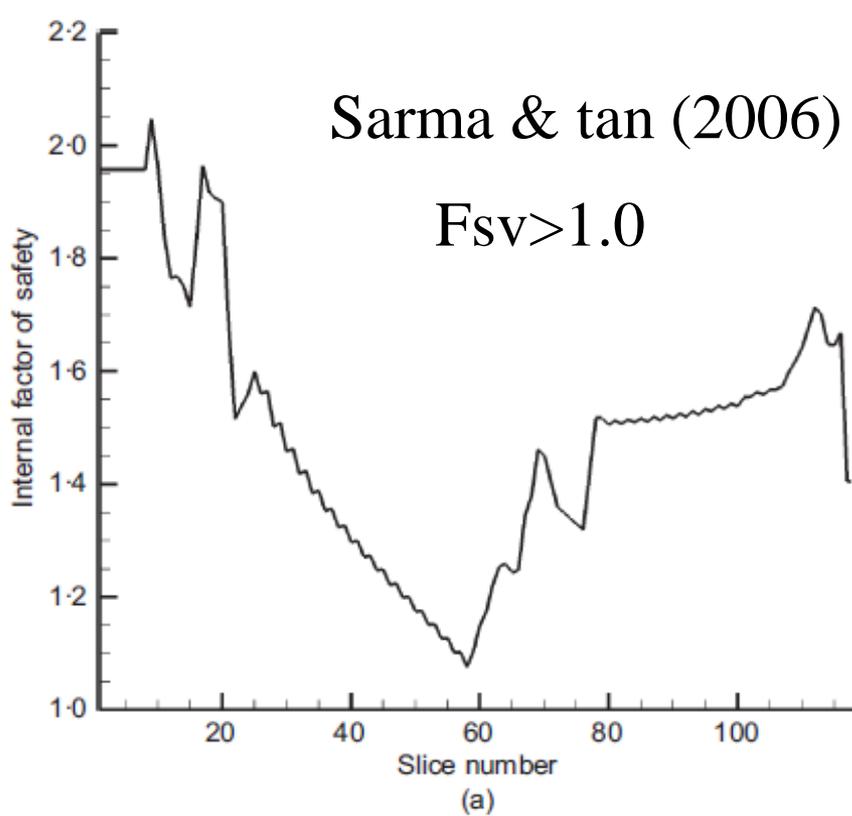
$$|F_s| < |F_{S_v}(x)|$$



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



Sarma e Tan (2006)



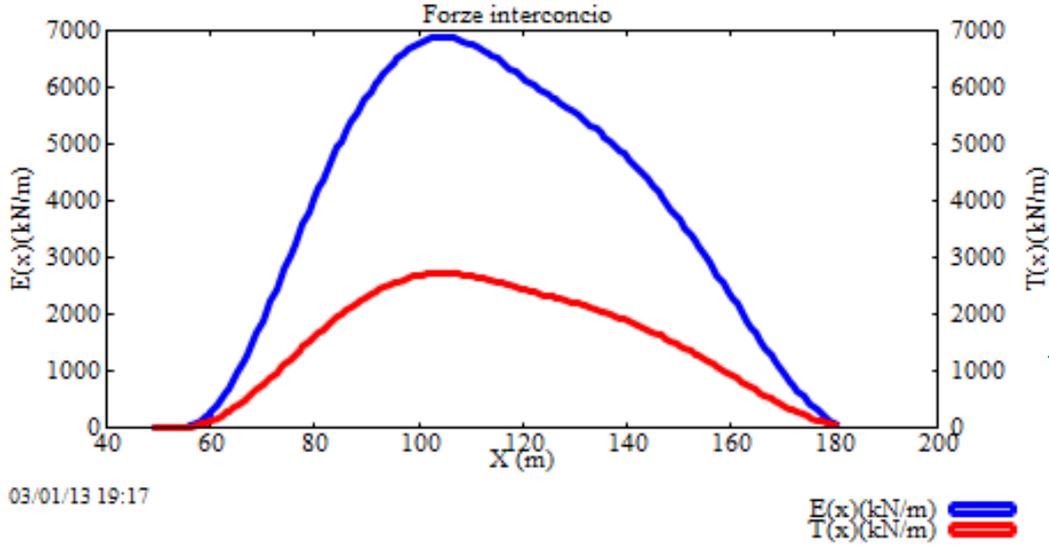
(a)

(b)

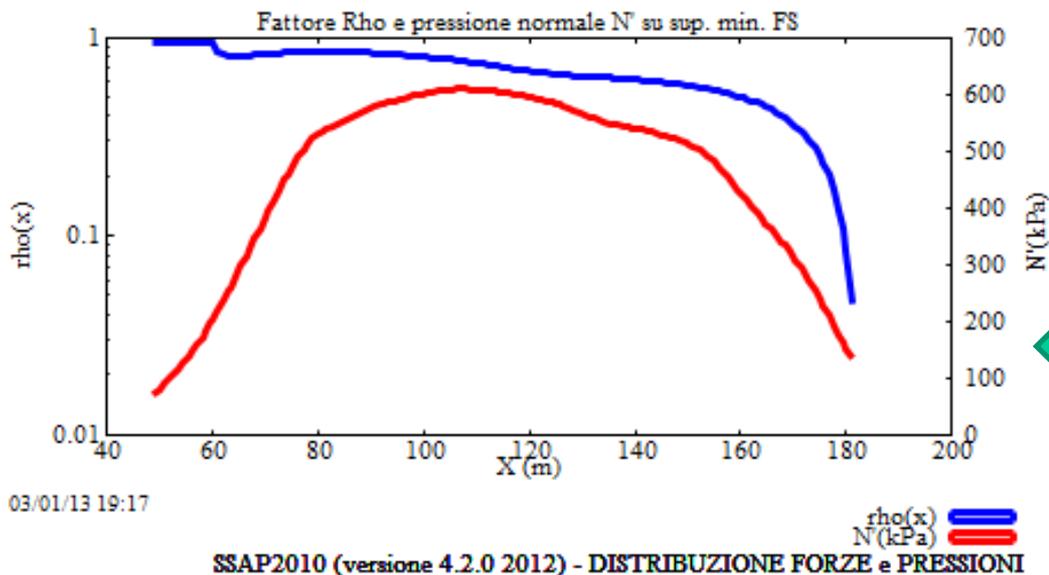
F_{sv} ricalcolato da Sarma e Tan (2006) per le due Superfici critiche corrispondenti: nella figura (b) sono indicate le violazioni del criterio di Sarma (1973):



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



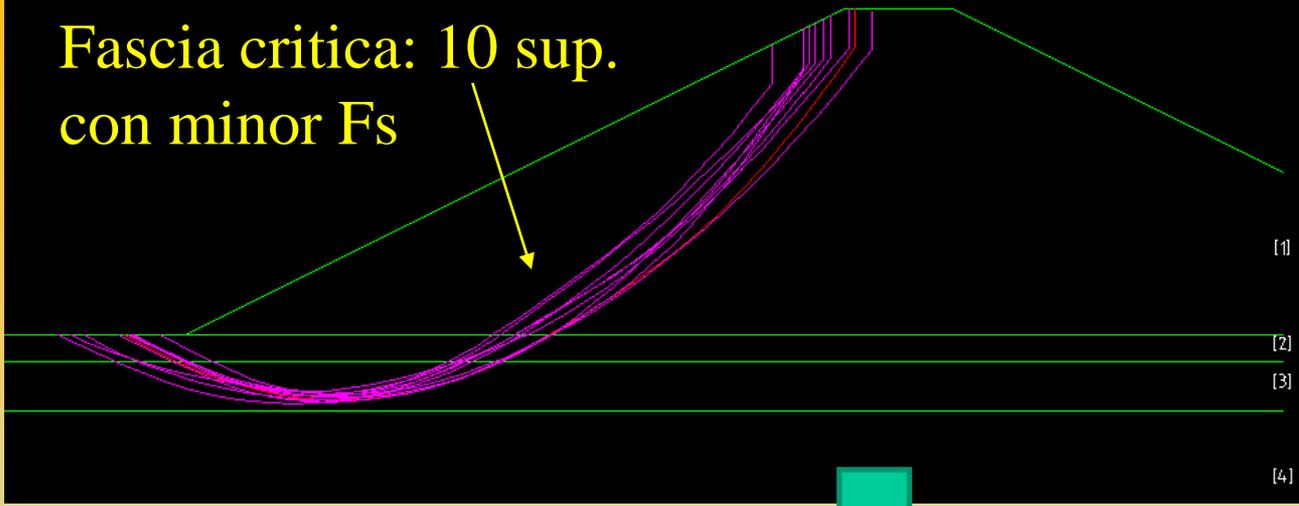
Distribuzione Funzione
forze interconcorso $E(x)$
 $T(x)$



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

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

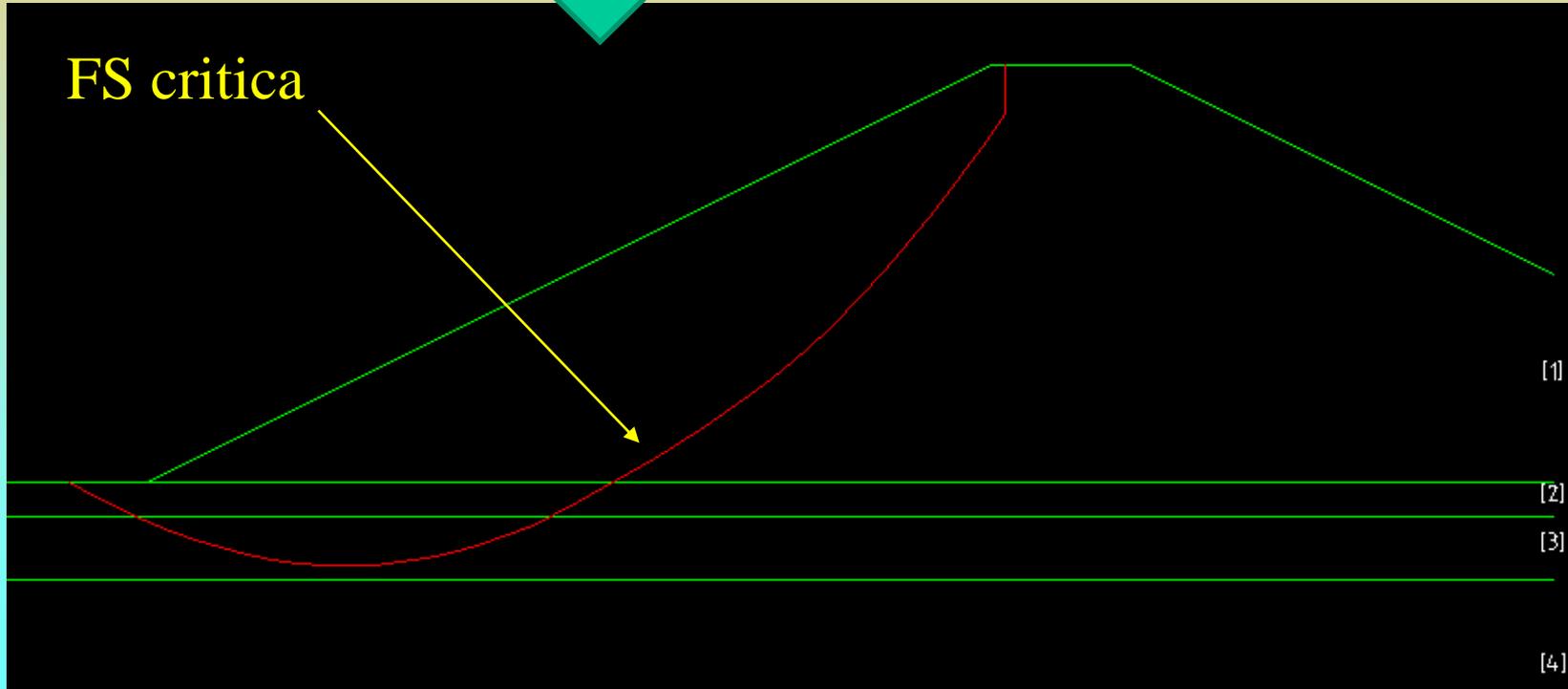
Fascia critica: 10 sup.
con minor Fs

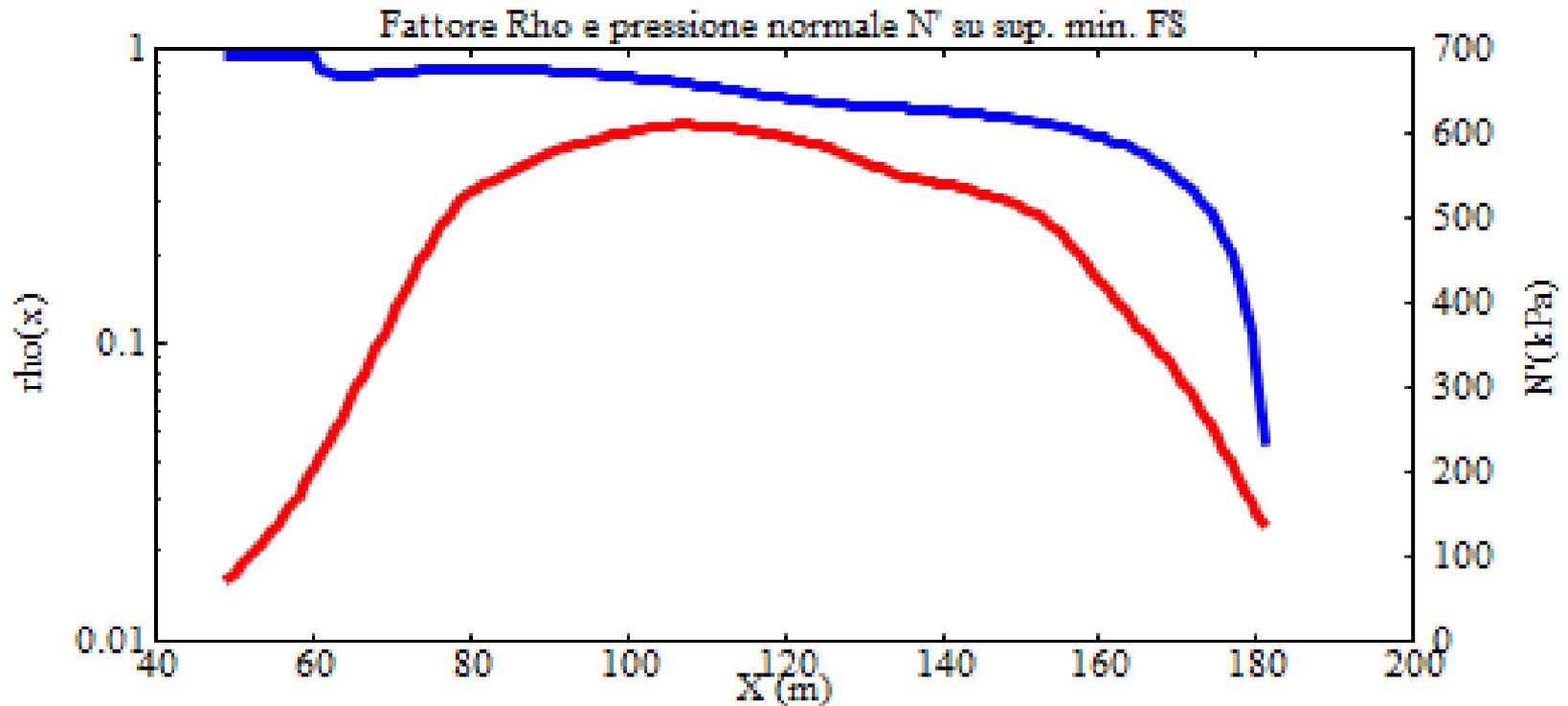


Lo stesso pendio in ssap
2010 rel 4.2.0
Fs=1.367 (metodo
spencer 1973) con
tension crack,
Motore random search
smooth... (sarà un
esempio su cui ci
eserciteremo ..)



FS critica





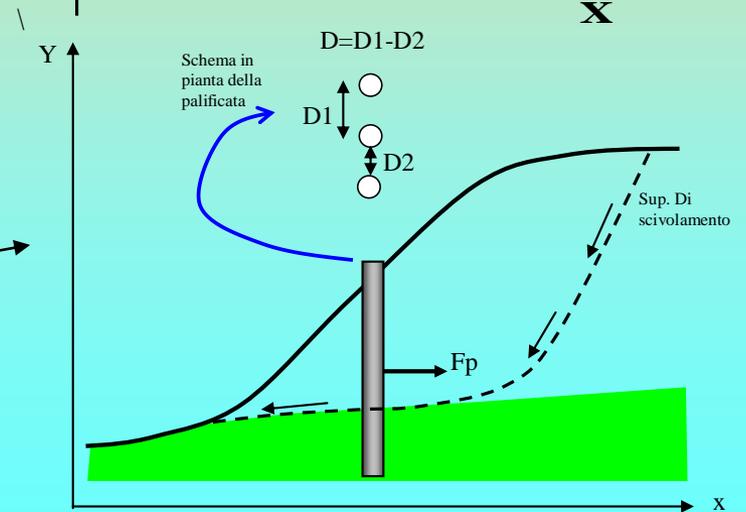
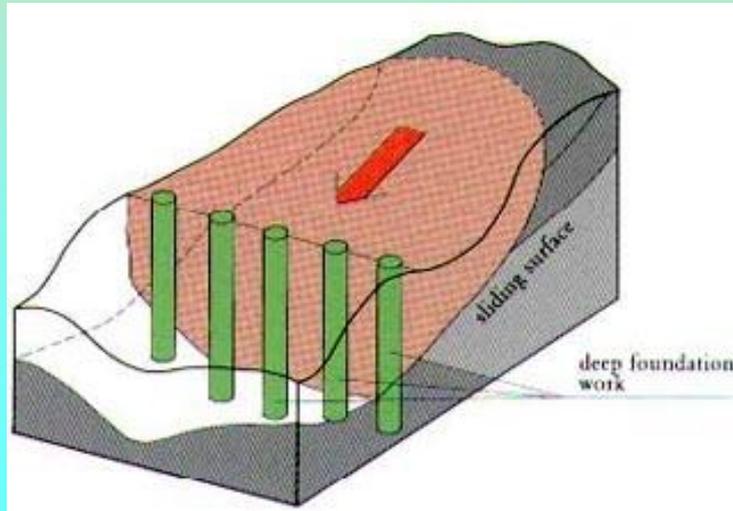
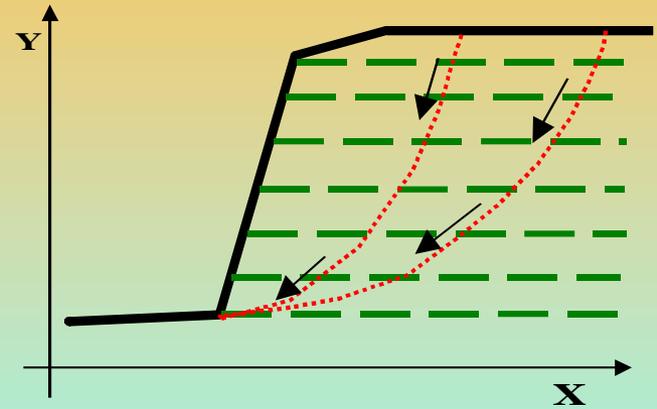
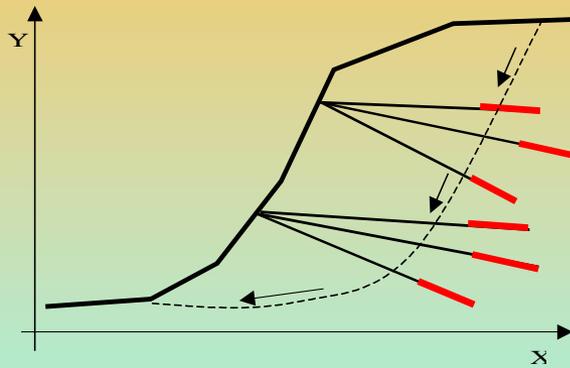
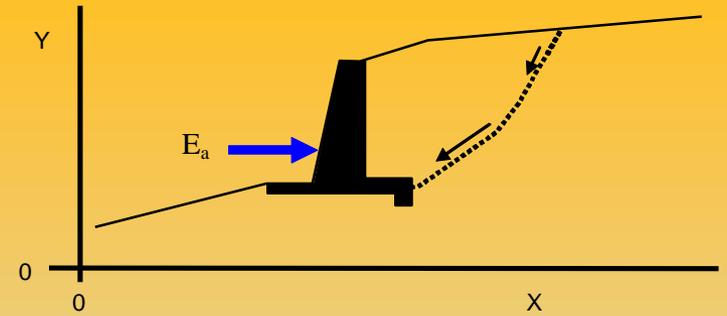
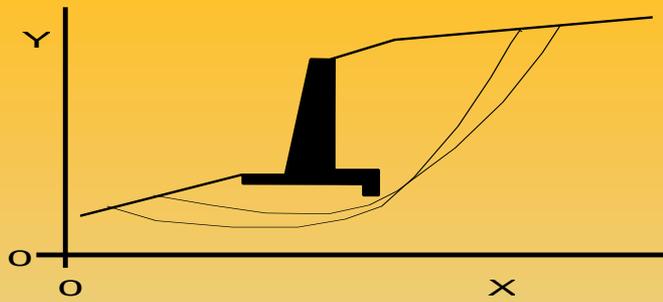
03/01/13 19:17

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



Strutture di rinforzo in un pendio -2

APPLICATION	MAIN LOAD
① RETAINING STRUCTURES 	Tension, shear
② SLOPE STABILISATIONS 	Shear, bending

Da Brandl (2001)

La interazione strutture – pendio e gli effetti su F_s verranno trattati in una sezione successiva del corso..

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)**



INSTALLAZIONE di SSAP 2010

Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D

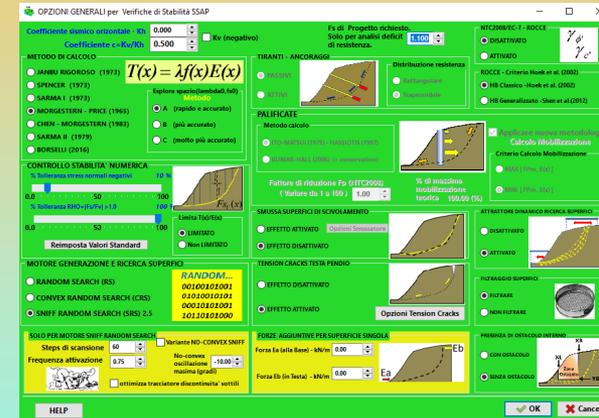
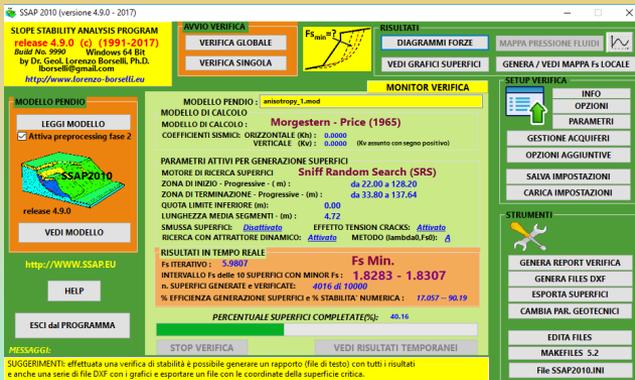
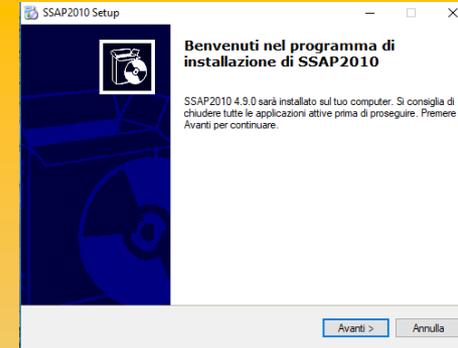
Universidad Autónoma de San Luis Potosí -
UASLP

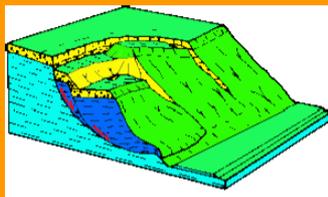
Instituto de Geología
Facultad de Ingeniería.
San Luis Potosí, MEXICO

E_mail:

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

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





SSAP2010

(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)

<https://www.ssap.eu>

Versione 5.0.2 - (6 aprile 2021) - Win 64 bit - BUILD n. 11893
(anche con versione PORTABLE in files .ZIP o .7z)

PER TUTTI I DETTAGLI SUL PROGRAMMA SSAP2010 SI PREGA DI SCARICARE IL MANUALE IN FORMATO PDF UTILIZZANDO IL COLLEGAMENTO NELLA TABELLA QUI SOTTO...

AREA DOWNLOAD FILES ..

Download SSAP 2010 *(SEMPRE nella versione più aggiornata)*

Vai prima alle istruzioni di installazione:
[ISTRUZIONI PER Installazione](#)

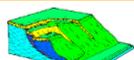
1) scaricare il pacchetto di installazione per versione 5.0.2
[SSAP2010SETUP.EXE](#)

Per scaricare il pacchetto di installazione cliccare con il pulsante destro del mouse nel link precedente e salvare il file in una destinazione di vostra scelta ..

Download del manuale completo in formato PDF *(ultimo aggiornamento documentazione: 12 agosto 2020)*

[Manuale SSAP2010 \(PDF\) _rel. 5.0](#)

per scaricare il file cliccare con il pulsante destro del mouse nel link precedente e salvare il file PDF in una destinazione di vostra scelta ..



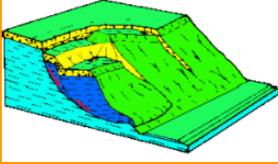
Condizioni Licenza d'uso Libero per privati e enti pubblici e/o di ricerca

ATTENZIONE
Condizioni in vigore dal 21-03-2019

[Licenza d'uso SSAP 2010 _rel. 4.9.9 e successive](#)

(per scaricare cliccare con il pulsante destro del mouse nel link precedente e salvare il file PDF in una destinazione di vostra scelta ..)

Download file di installazione :
<http://www.ssap.eu/downloads.html>



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

ssap2010 (rel. 5.0.2- 2021)

NOTE SULLA INSTALLAZIONE E CONFIGURAZIONE del SOFTWARE

(ultima modifica 06-04-2021)

1. CONFIGURAZIONI MINIME HARDWARE E SOFTWARE

configurazione minima:

- **Il software SSAP e' disponibile per i soli PC con processori a 64bit !!!**
- PC: desktop, notebook
- MINIMO SPAZIO LIBERO SU DISCO RIGIDO - 500 MB
- RAM CONVENZIONALE LIBERA: minima consigliate 4 GB, per Windows 7 , 8x, 10
- Risoluzione Minima scheda grafica e schermo : 1360x768
- SISTEMA OPERATIVO:
 - WINDOWS 7,8x,10; (per machine con windows Vista o XP non viene piu' garantita la possibilità di installazione)
 - Versione per sole architetture Windows a 64 bit;
 - Linux, installazione su macchine virtuali Windows (VirtualBOX 6.x - Oracle -freeware) ;
 - MAC OSx , installazione su macchine virtuali Windows (VirtualBOX 6.x - Oracle - freeware) ;

2.INSTALLAZIONE-ISTRUZIONI BASE

Per la corretta installazione standard pre-configurata di SSAP seguire i seguenti passi:

- 1) Copiare il file di installazione SSAP2010SETUP.EXE in una cartella temporanea del vostro PC

Pagina web dedicata alle istruzioni per la installazione
<https://www.ssap.eu/basicsetup.html>

ssap2010 (rel. 5.0x 2021). INSTALLAZIONE E CONFIGURAZIONE del SOFTWARE

APPENDICE H Manuale di riferimento SSAP 5.1



APPENDICE H – NOTE SU INSTALLAZIONE E CONFIGURAZIONE del SOFTWARE

H.1. CONFIGURAZIONI MINIME HARDWARE E SOFTWARE

configurazione minima consigliata:

- SISTEMA OPERATIVO: WINDOWS 7, WINDOWS 8 /8.1, WINDOWS 10,11 (64 bit)
- Linux, installazione su macchine virtuali Windows (VirtualBOX 6.x - Oracle - freeware) ;
- MAC OSx , installazione su macchine virtuali Windows (VirtualBOX 6.x - Oracle - freeware) ;
- SPAZIO MINIMO LIBERO SU DISCO RIGIDO – 500 MB
- RAM CONVENZIONALE libera Totale minima (consigliata): 4GB per Windows7 , 8x, 10,11
- Scheda grafica con risoluzione minima di 1360x768 .

***Nota:** diversi utenti ancora lavorano in ambienti **Windows XP, o Vista**. Dato che pero è necessario per l'autore di SSAP proiettarsi verso la maggiore compatibilità con sistemi più recenti (**Windows 7, 8 e 8.1e 10,11**), ai sistemi più vecchi oramai non viene posta attenzione. Tuttavia si consiglia quando possibile aggiornare il vostro PC e il vostro sistema operativo. Se non altro per questioni generali di sicurezza informatica, che ovviamente sono indipendenti dall'uso di SSAP. Di conseguenza per macchine con Windows Vista o XP non viene più garantita al 100% la possibilità di installazione.*

H.2. ISTRUZIONI PER LA INSTALLAZIONE

Per la corretta **installazione standard pre-configurata (PORTABLE) di SSAP** seguire i seguenti passi:

1)COPIARE IL FILE di installazione SSAP2010SETUP.EXE in una cartella temporanea del vostro PC

2)Lanciare il programma di setup che installerà i files necessari in una cartella (es. C:\SSAP2010). (è possibile indicare una cartella diversa al momento di installazione).

3) Il file eseguibile del programma SSAP2010 è il file:SSAP2010_64bit.EXE (versione a 64bit). Nella cartella finale dove si è installato il pacchetto SSAP2010 fare doppio click in corrispondenza del file eseguibile che si desidera utilizzare. Il programma viene lanciato cliccando sul file **SSAP2010_64bit.EXE, presenti nella directory **..\ssap2010**, o cliccando sulla Icona generata dal programma di installazione, nel desktop del Sistema Windows.**

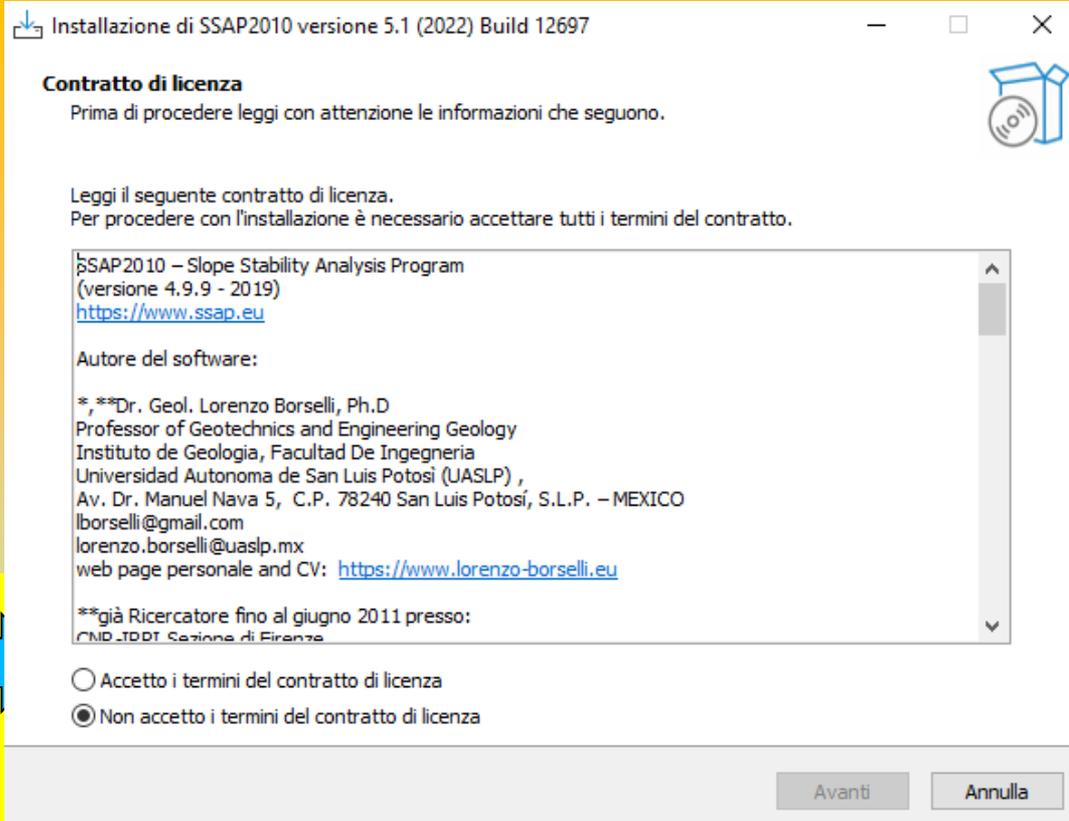
ISTRUZIONI PER LA INSTALLAZIONE ...

C) Eseguire **SSAP2010SETUP** che installerà **SSAP2010** in una directory (es. **C:\SSAP2010**). (è possibile indicare una cartella diversa di installazione)

Consiglio..usare sempre le impostazioni standard...!!! per non perdere tempo

IMPORTANTE: usare per la installazione la cartella DESKTOP dei sistemi Windows!! Si consiglia comunque di non installare SSAP in altre cartelle di Sistema. Potete usare qualunque altra cartella ordinaria, anche di nuova creazione, ad es: c:\Programmi\SSAP2010.

La cartella es: c:\SSAP2010 viene usata di default



LA VERSIONE PORTABLE:

La versione Portable garantisce una utilizzabilità immediata di SSAP dato che è già preconfigurato il protocollo di comunicazione per lanciare alcuni programmi esterni che sono usati da SSAP per:

1. visualizzazione grafici in formato DXF (QCAD)
2. visualizzazione diagrammi delle forze interne e pressioni (software GNUPLOT)
3. creazione e gestione files di dati e modello del pendio (software MAKEFILES)
4. editazione e visualizzazione files di dati (software standard: ATPAD)
5. help in linea mediante visualizzazione sincronizzata e contestuale del manuale utente in formato PDF, nelle pagine di interesse (software standard: SumatraPDF).
6. (N.B.:tutto e' gia' nel pacchetto..!!)

OPERAZIONI DI CONFIGURAZIONE PERSONALIZZATA

(successive alla installazione per utilizzo di programmi esterni alternativi) - operazione facoltativa!!

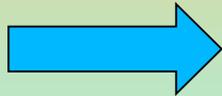
Il programma SSAP2010 e la utility MAKEFILES 5.6, programma di servizio per la creazione dei files di dati per SSAP2010, fanno uso di softwares esterni per alcune funzionalità particolari.

Se si desidera cambiare i programmi necessari a queste funzionalità è necessario quindi, prima di iniziare ad operare con SSAP, configurare il protocollo di comunicazione tra SSAP e i programmi esterni.

ATTENZIONE.. questa operazione non è necessaria se si vuole continuare a usare SSAP nella versione Portable..Si veda comunque il manuale utente (appendice H) per dettagli.

Il programma viene lanciato cliccando sui files:
SSAP2010_64bit.EXE (versione 64 bit)
presente nella cartella di installazione di SSAP ..
Ad esempio **C:\ssap2010**
o dalla icone create nel desktop

Versione
Win 64 bit



SSAP 2010 (versione 5.1 - 2022)

SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM
release 5.1 (c) (1991-2022)
Build No. 12697 Windows 64 Bit
by Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D.
lborselli@gmail.com
<https://www.lorenzo-borselli.eu>

AVVIO VERIFICA
VERIFICA GLOBALE
VERIFICA SINGOLA

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

MONITOR VERIFICA

MODELLO PENDIO
LEGGI MODELLO
 Attiva preprocessing fase 2
release 5.1 **SSAP2010**
"Un passo oltre..."
WWW.SSAP.EU
VEDI MODELLO

MODELLO PENDIO : scenario B.mod

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

PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI
MOTORE DI RICERCA SUPERFICI **Sniff Random Search (SRS)**
ZONA DI INIZIO - Progressive - (m) : da 0.53 a 24.50
ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - (m) : da 3.20 a 26.10
QUOTA LIMITE INFERIORE (m): 0.00
LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI - (m) : 1.07
SMUSSA SUPERFICI: [Attivato](#) EFFETTO TENSION CRACKS: [Attivato](#)
RICERCA CON ATTRATTORE DINAMICO: [Attivato](#) METODO (lambda0,Fs0): [A](#)

RISULTATI IN TEMPO REALE
Fs ITERATIVO : 4.0273
INTERVALLO F_s delle 10 SUPERFICI CON MINOR F_s : **1.0008 - 1.1132**
n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE: 1026 di 15000
% EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA : 41.820 -- 98.18

PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETATE(%) : 6.84

STOP VERIFICA VEDI RISULTATI TEMPORANEI

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

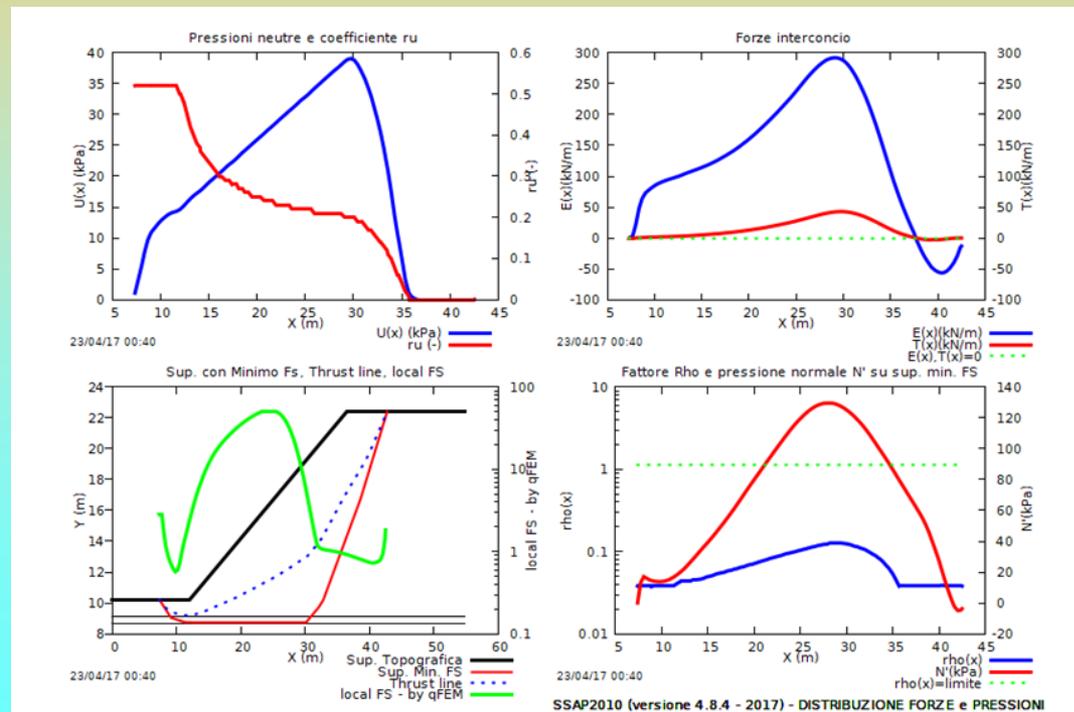
STRUMENTI
GENERA REPORT VERIFICA
GENERA FILES DXF
ESPORTA SUPERFICI
CAMBIA PAR. GEOTECNICI
MODIFICA MODELLO PENDIO
EDITA FILES
MAKEFILES 5.6
File SSAP2010.INI

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

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>

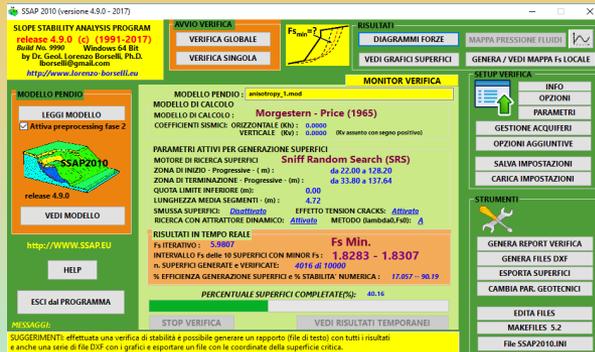
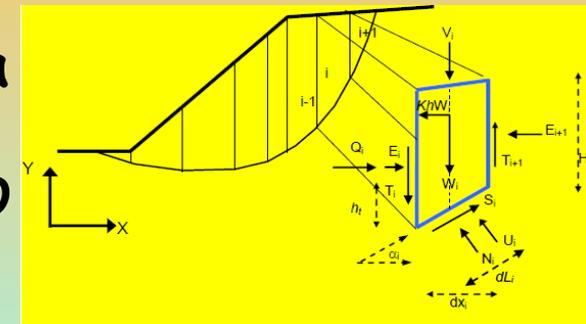
o scrivere a: lborselli@gmail.com



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 Potosi, MEXICO



E_mail:

lborselli@gmail.com

lorenzo.borselli@uaslp.mx

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



Lorenzo Borselli – SEMINARIO_CORSO BASE SSAP2010(freeware)– rel.3.1 (2022)

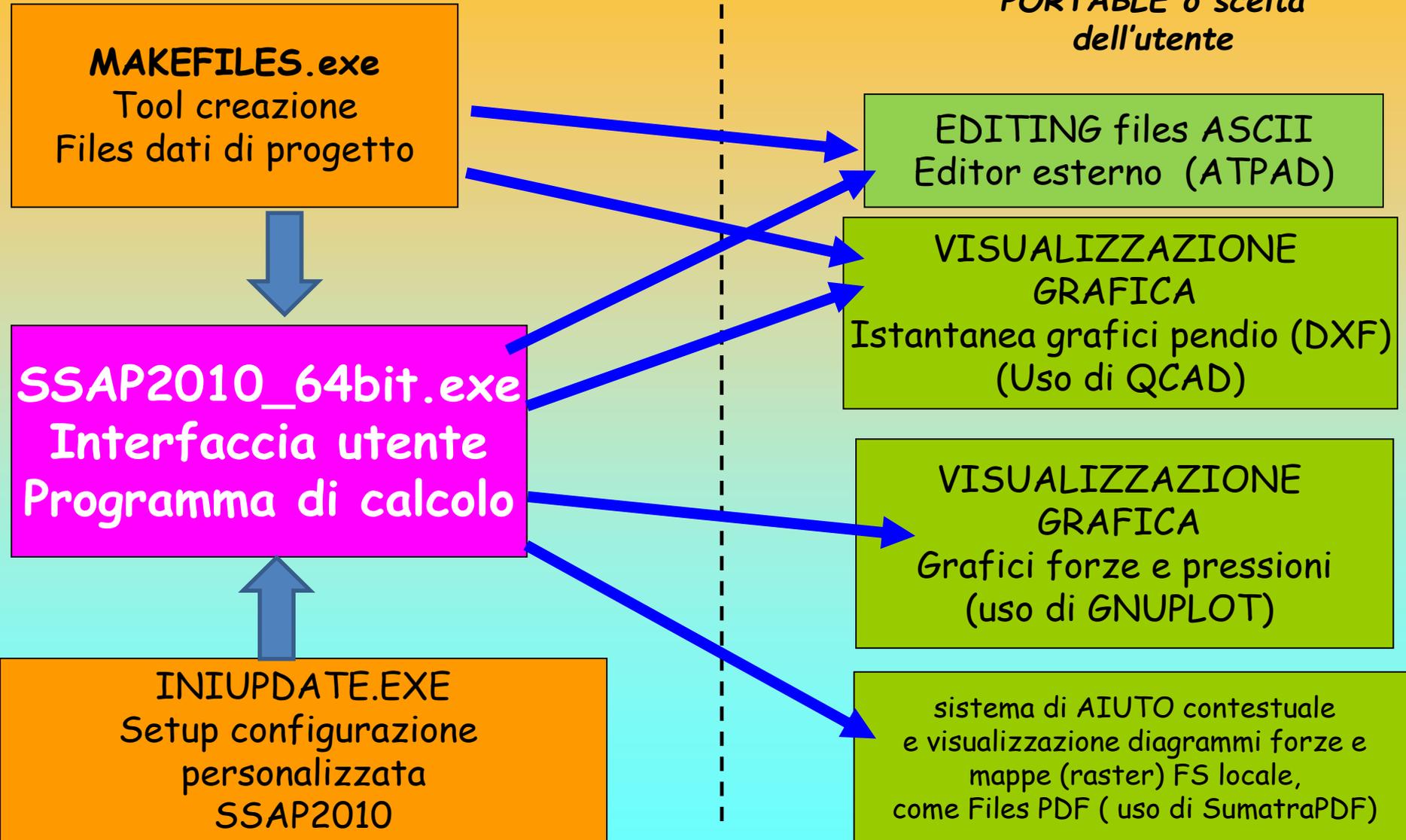


Struttura del software

SSAP 2010 (rel. 5.1)

software SSAP2010

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

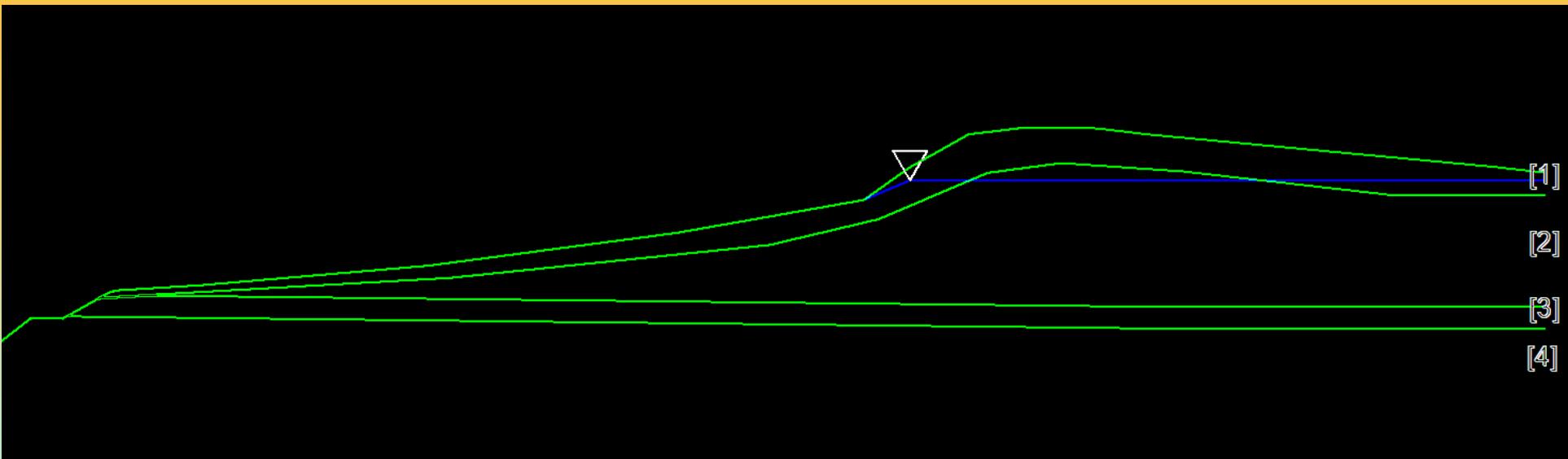


Fasi di lavoro con SSAP 2010

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)

**Adesso attivita' Pratica:
Ora alcuni esempi di lavoro
completi con SSAP2010...**

Studio e pratica su un esempio reale: cava di argilla con porzione superiore con sabbie e argille sature e acquifero sospeso:



Cartella ..\pendii\esempi corso base\ **mercur**

Domanda:

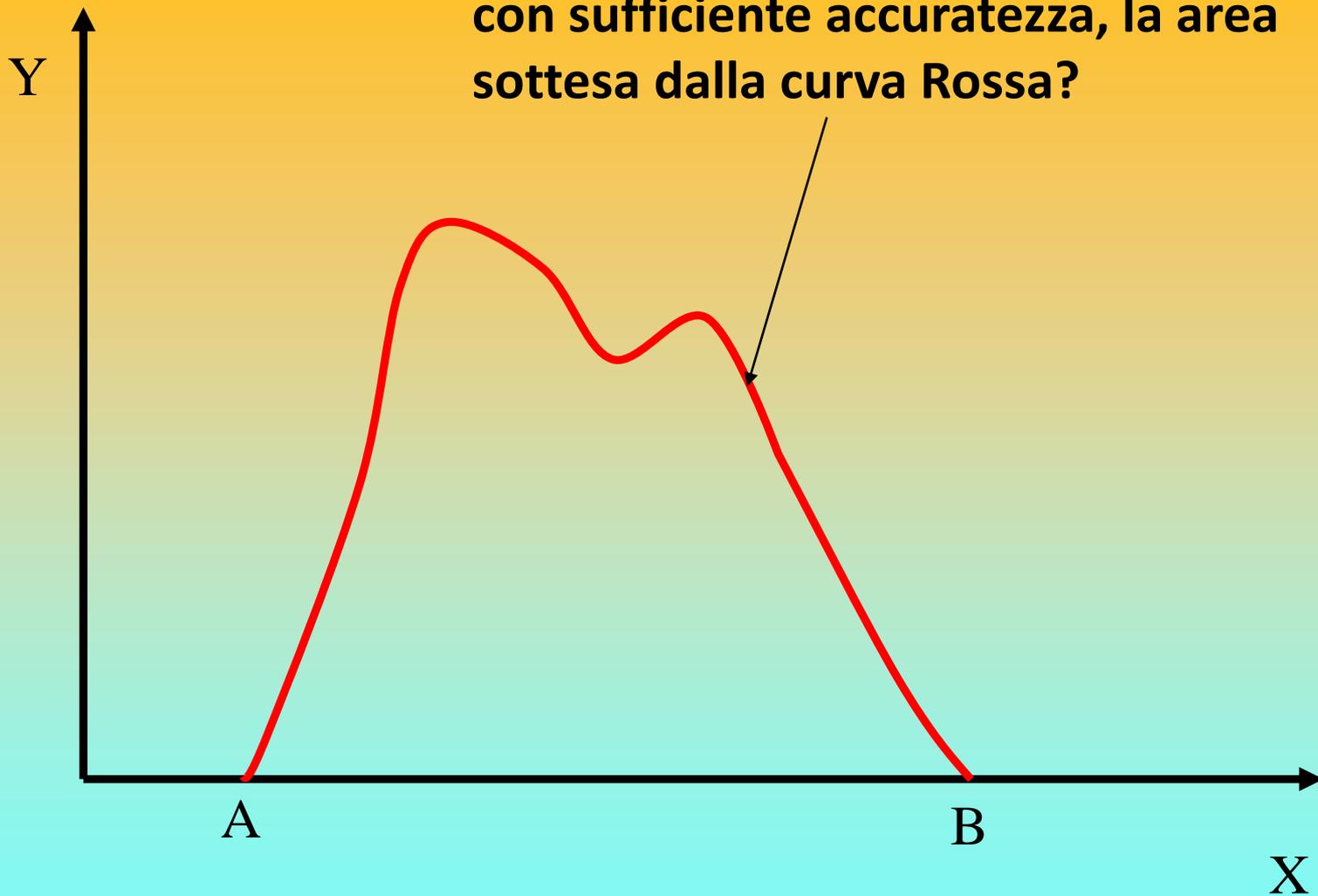
Perche' se ripeto una verifica, nella successiva, a volte non ottengo lo stesso esatto risultato?

Risposta:

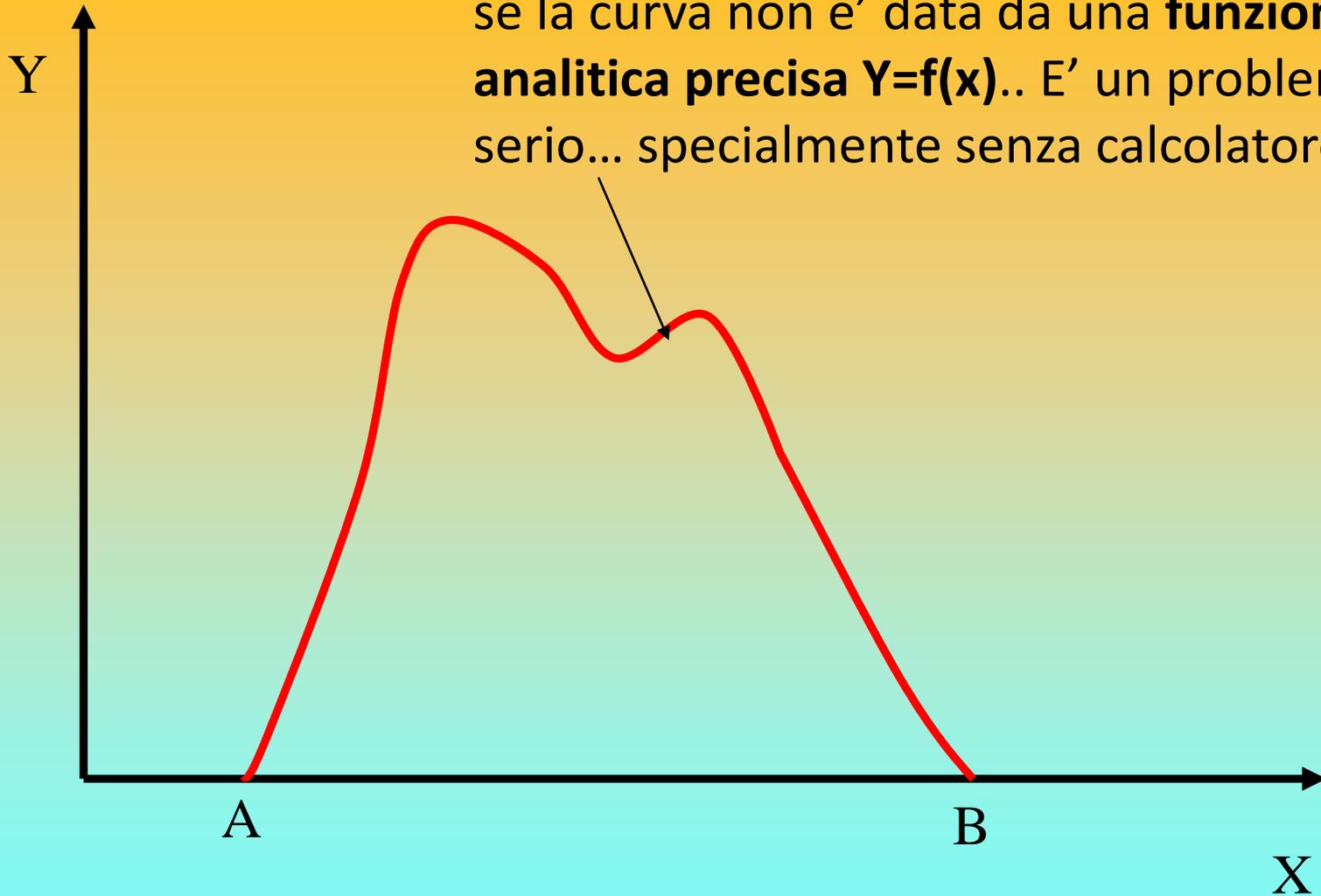
E' insito nella metodologia Monte Carlo, su cui si basa SSAP per la generazione delle superfici di potenziale scivolamento, che sia necessario un numero statisticamente significativo di superfici per avere una riproducibilità con una differenza di Fs minore di una certa percentuale (es. $<1\%$ o 0.1%)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

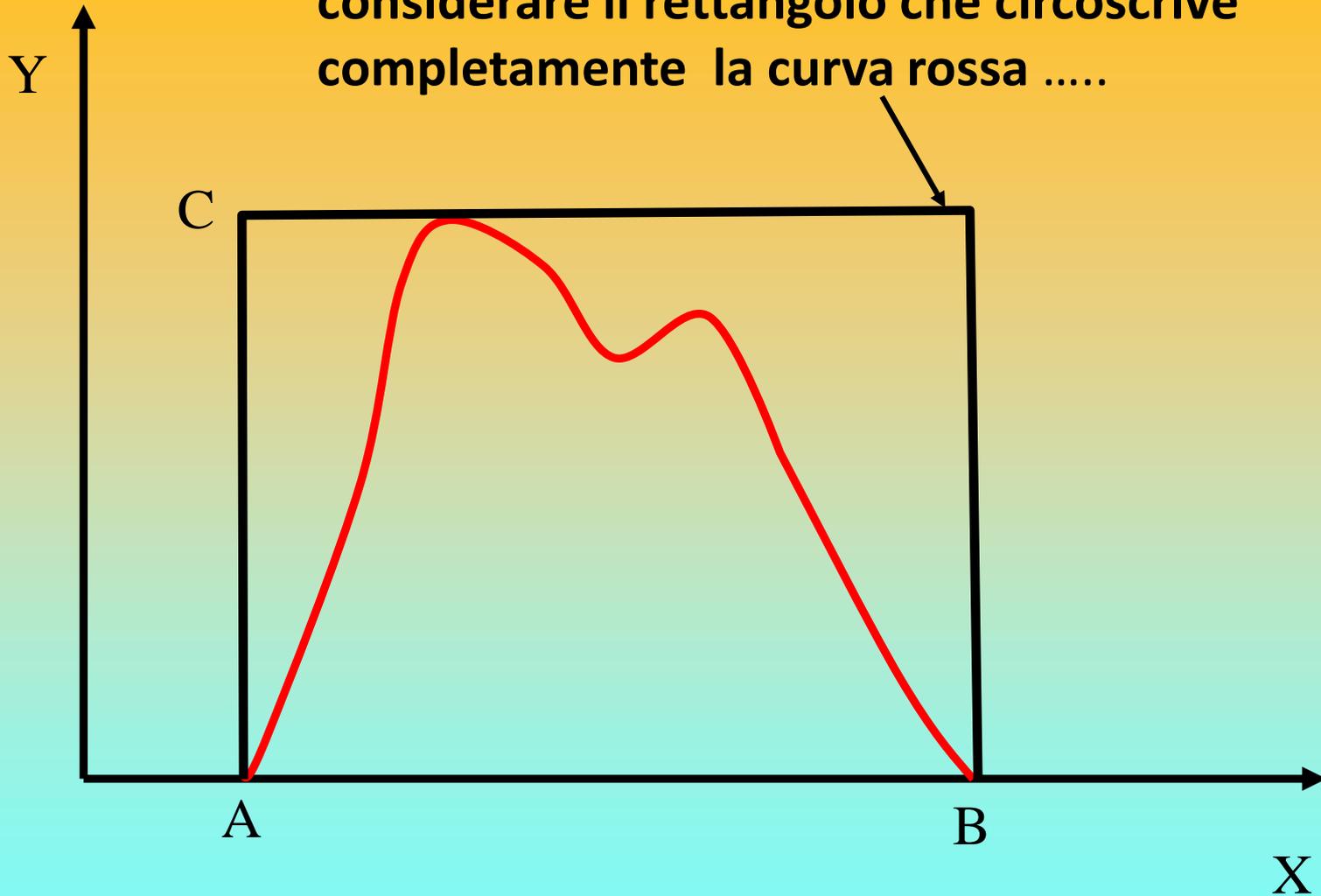
Come fare a calcolare fácilmente, e con sufficiente accuratezza, la area sottesa dalla curva Rossa?



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..

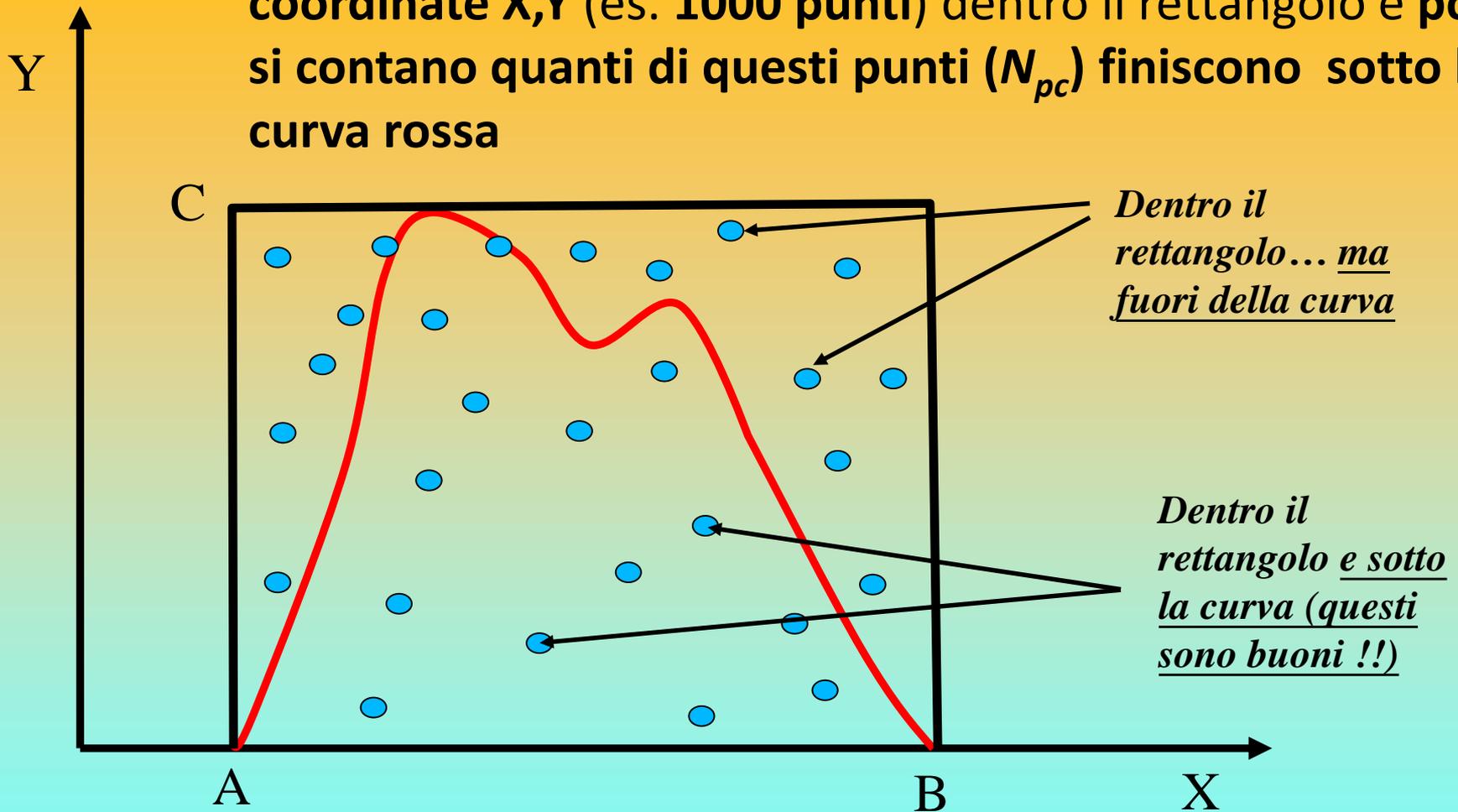


Una interessante possibilita' e' 1)
considerare il rettangolo che circoscrive
completamente la curva rossa



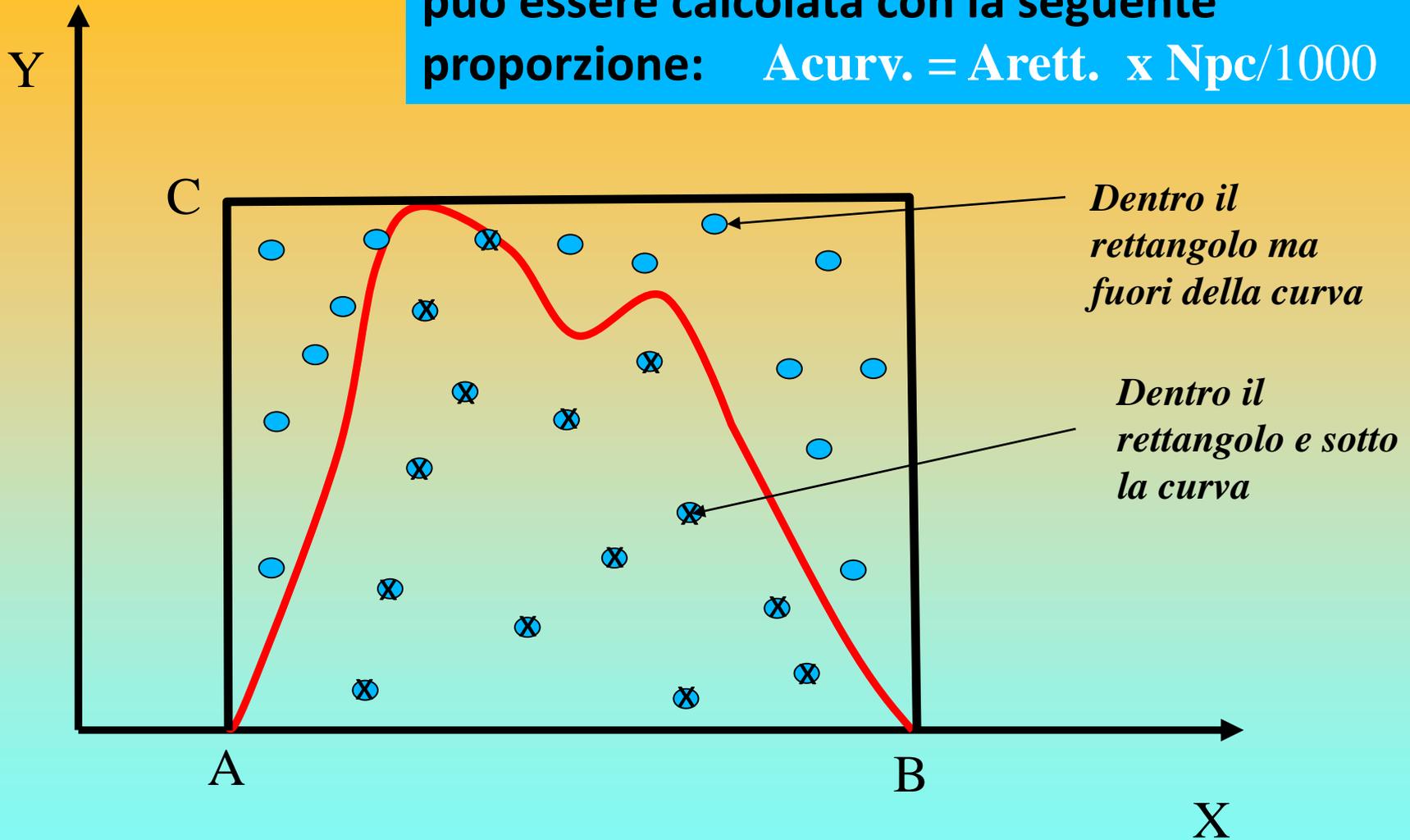
La área del rettangolo e' data da: $A_{rett.} = AB \times AC$

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

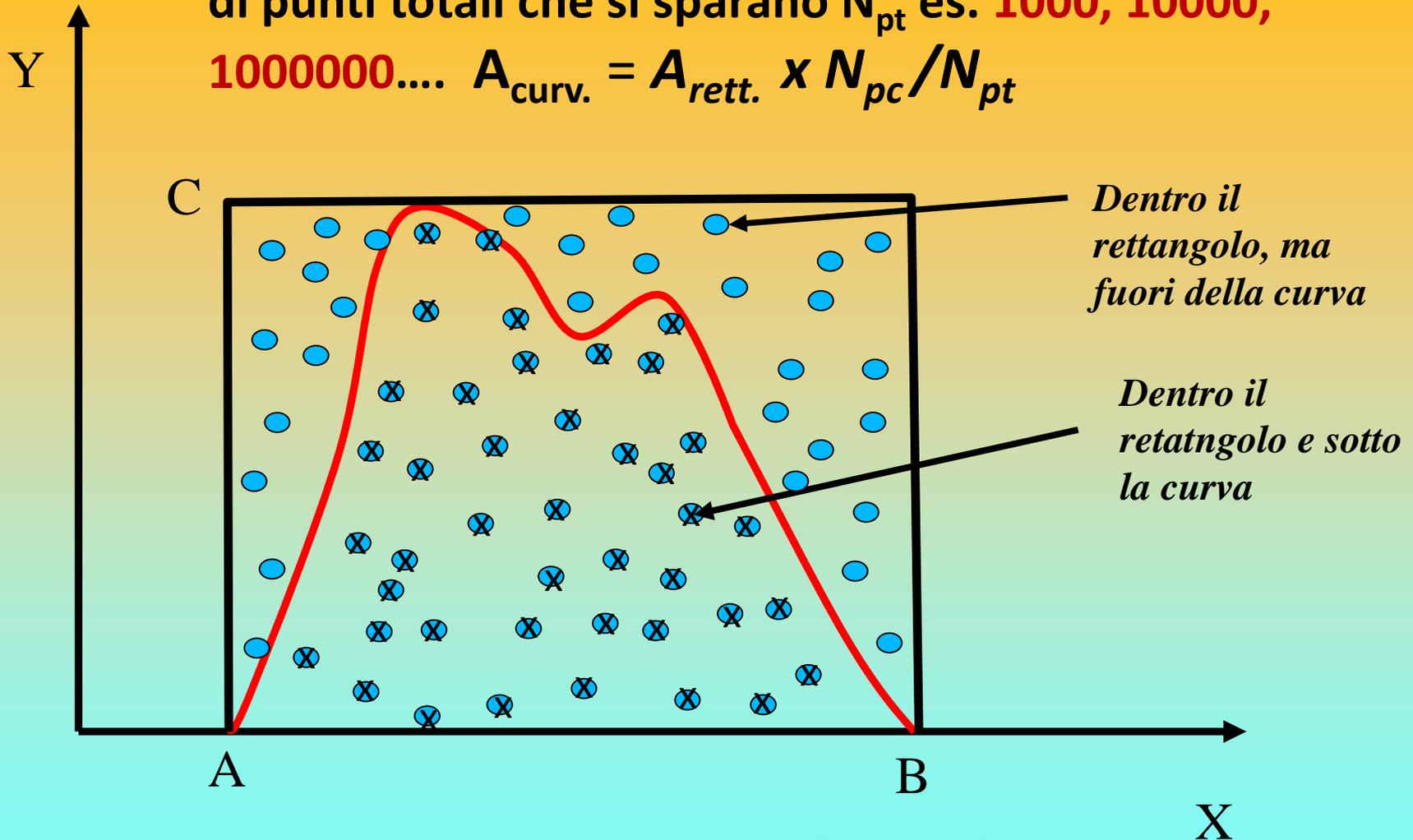


Nota storica: da Metodo Monte Carlo: Sviluppato nel Progetto Manhattan (1942-1945): progetto e costruzione dei primi ordigni nucleari durante la seconda guerra mondiale..

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

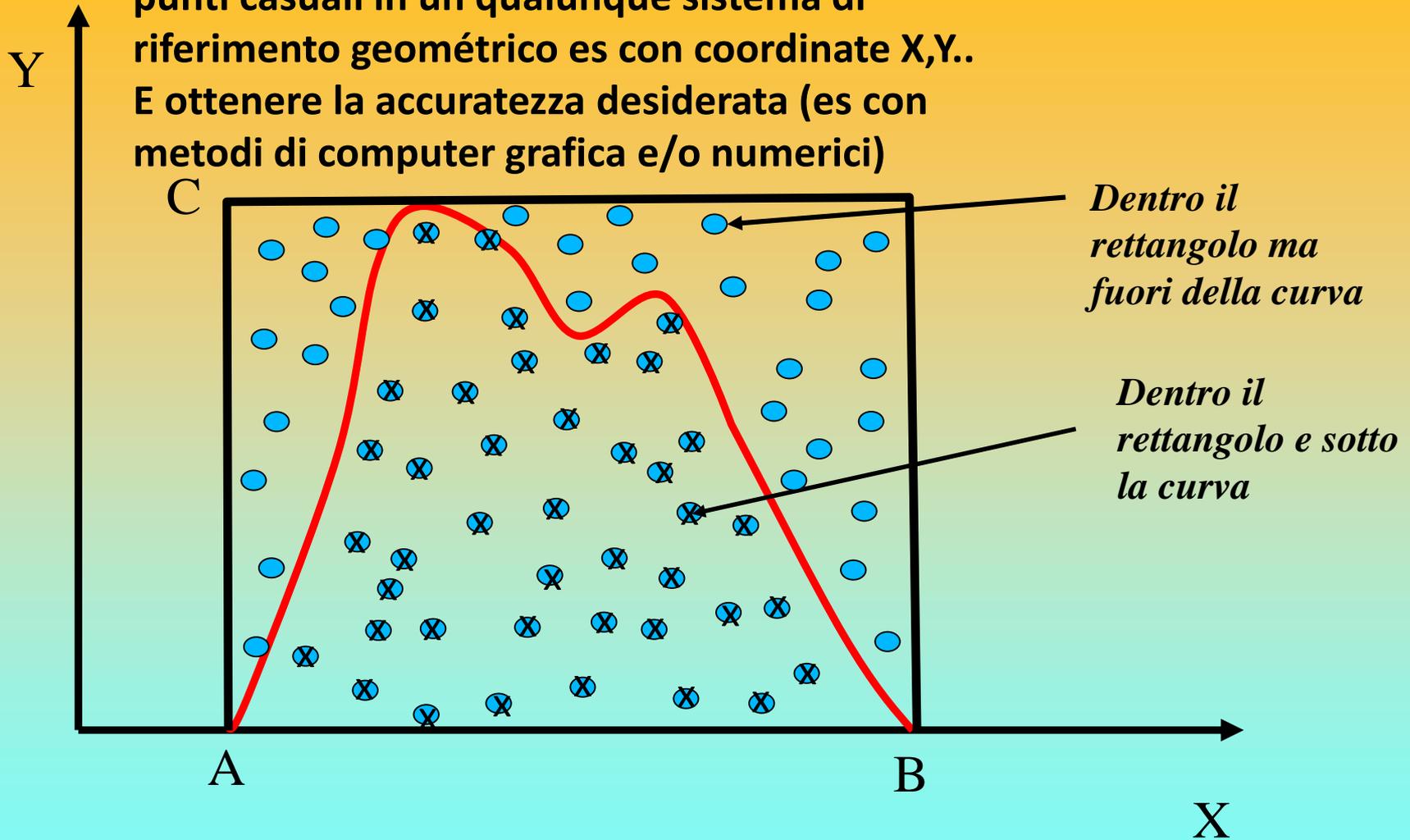


La accuratezza del procedimento dipende dal numero di punti totali che si sparano N_{pt} es. **1000, 10000, 1000000....** $A_{curv.} = A_{rett.} \times N_{pc} / N_{pt}$

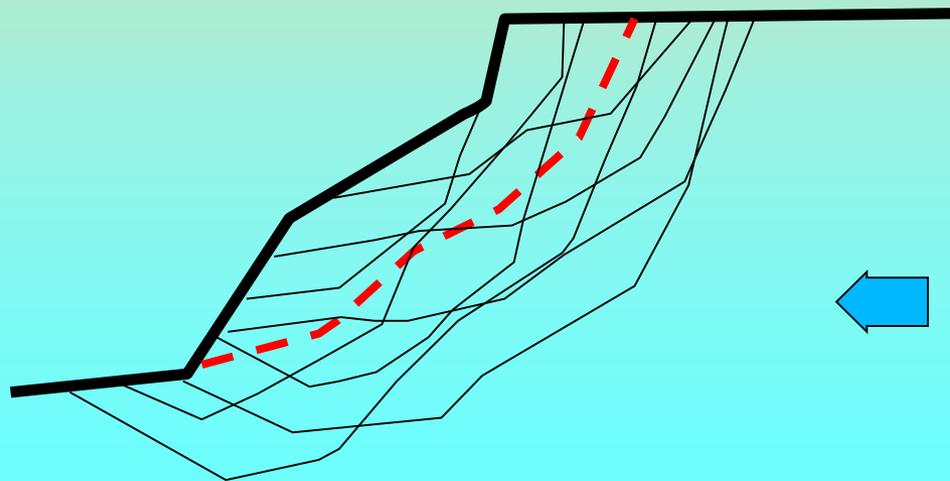
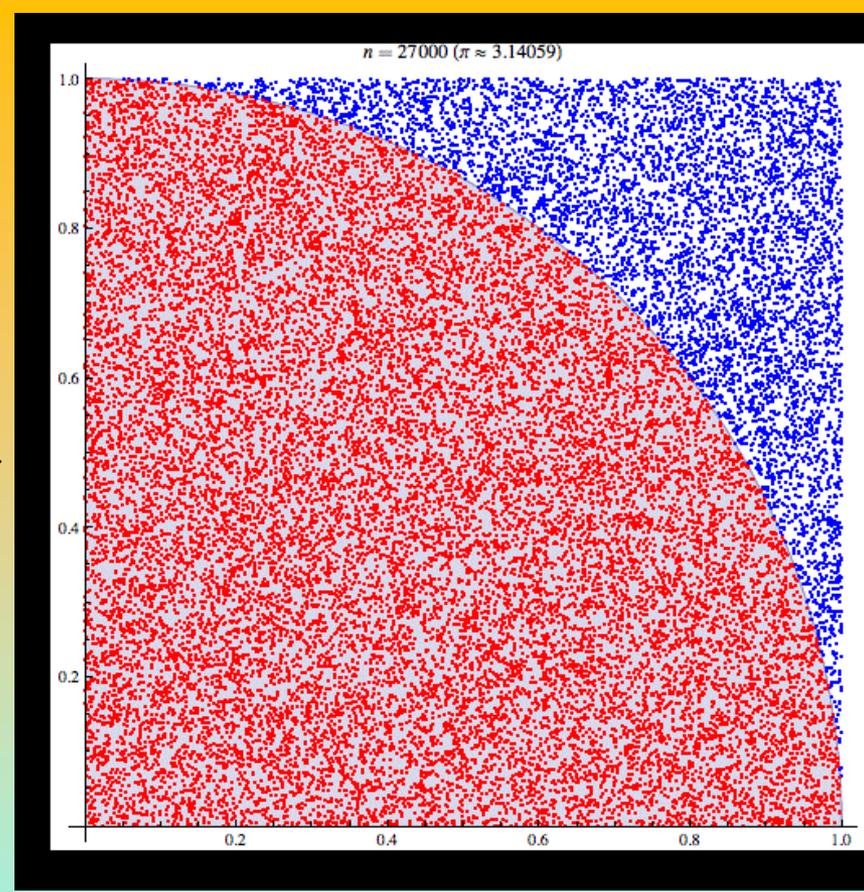


Ovvero quanti piu punti spariamo, piu affidabile sara' il valore finale dell'integrale ...

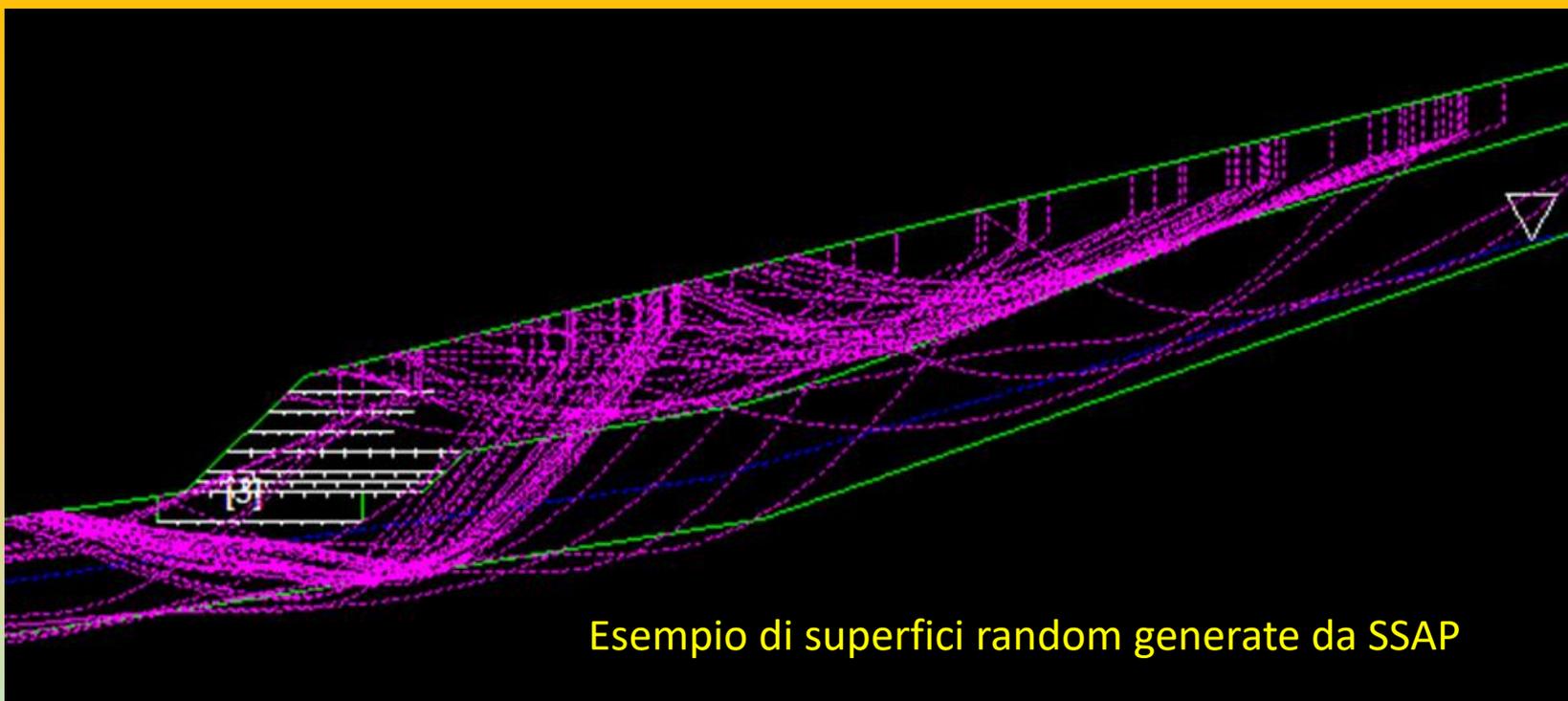
Con i software attuali e' facile generare migliaia di punti casuali in un qualunque sistema di riferimento geométrico es con coordinate X,Y..
E ottenere la accuratezza desiderata (es con metodi di computer grafica e/o numerici)



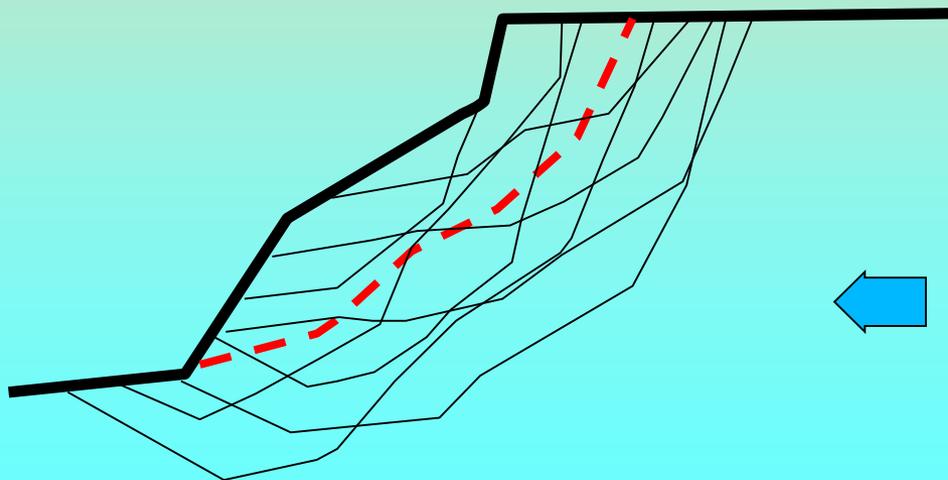
Monte Carlo method applied to approximating the value of π . After placing 30000 random points, the estimate for π is within 0.07% of the actual value. Simulazione animata su: https://en.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_method



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

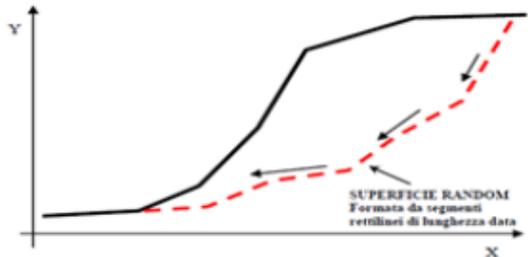


Esempio di superfici random generate da SSAP



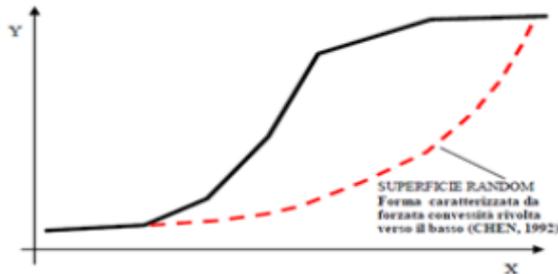
In maniera similare si possono generare infinite superfici con tecnica Montecarlo applicata alla stabilita' dei pendii (Siegel et al. 1981)

•4 motori di ricerca superfici random - dettagli



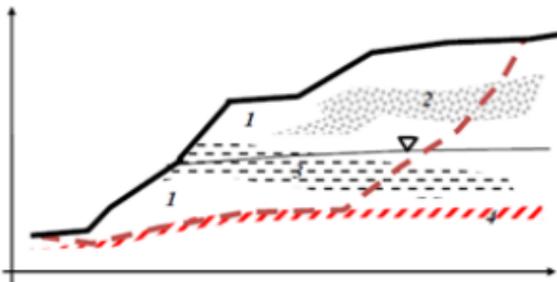
RANDOM SEARCH

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.



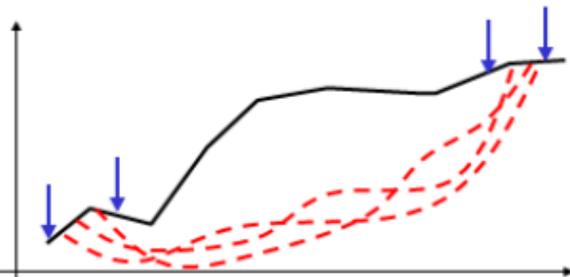
CONVEX RANDOM SEARCH

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 più potente e 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.



NEW RANDOM SEARCH – *Il método nuovo...*

Non fa assunzioni preliminari sulla forma delle superfici di scivolamento. Ma è particolarmente ottimizzato per generare superfici che hanno degli intervalli di inizio e soprattutto di terminazione molto stretti, indicati dall'utente.

•4 motori di ricerca superfici random - criteri di scelta

RANDOM SEARCH

Vantaggi: rapido e buono in caso di complessità stratigrafica e strutture. 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 rocciosi con la profondità.

Sempre Indicato in: pendii con maggiore isotropia stratigrafica

SNIFF RANDOM SEARCH

Vantaggi: gestione di complessità stratigrafica e strutture.

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

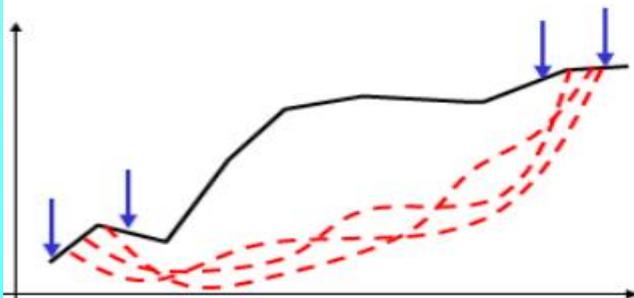
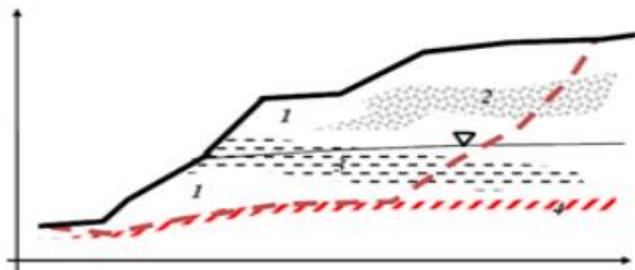
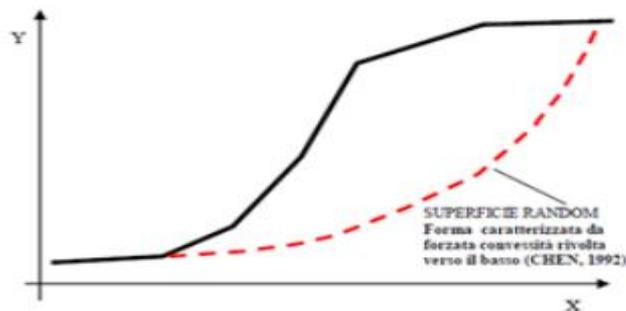
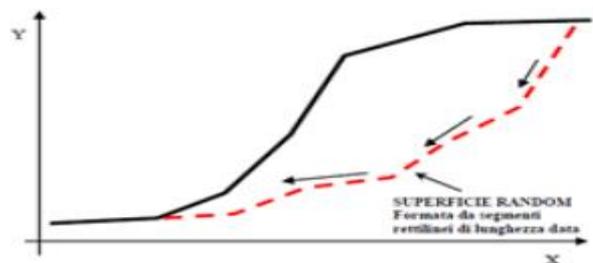
NB: Può operare in modalità sia CONVEX che NO-CONVEX

NEW RANDOM SEARCH

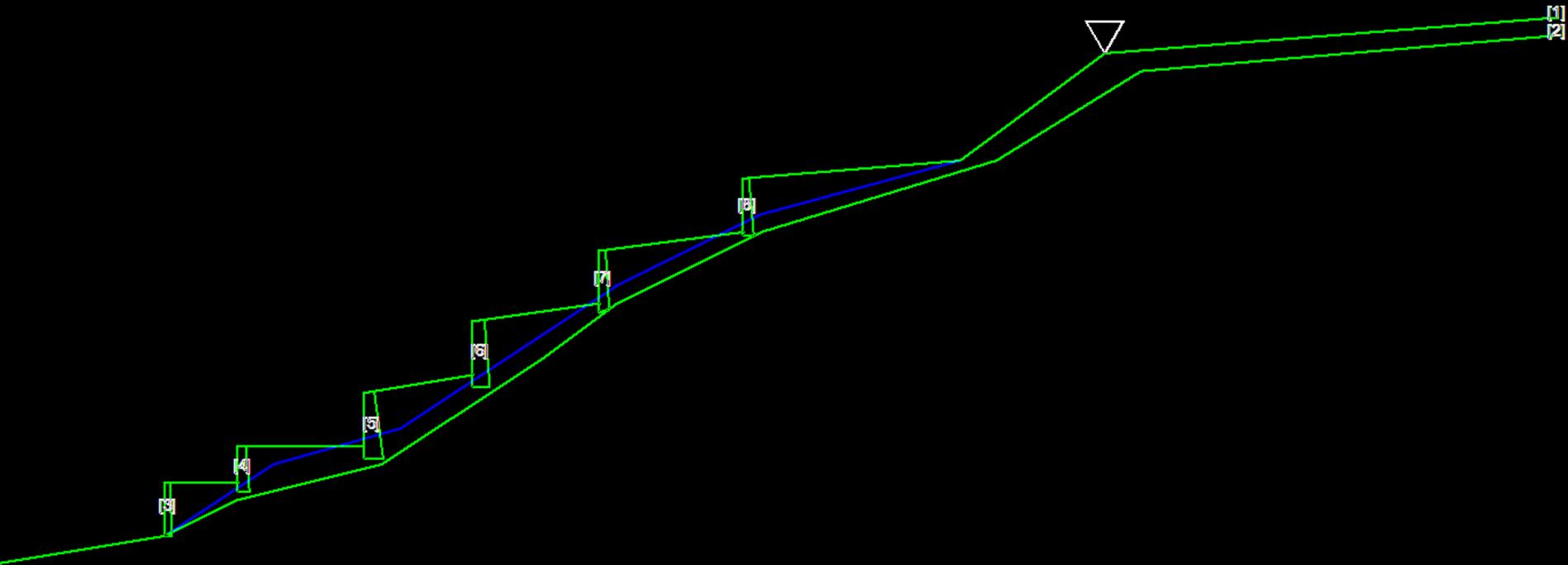
Vantaggi: rapido in caso di complessità stratigrafica e strutture. Di uso generale.

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

Sempre Indicato in: casi con necessità di effettuare ricerche con zone terminazione molto strette.

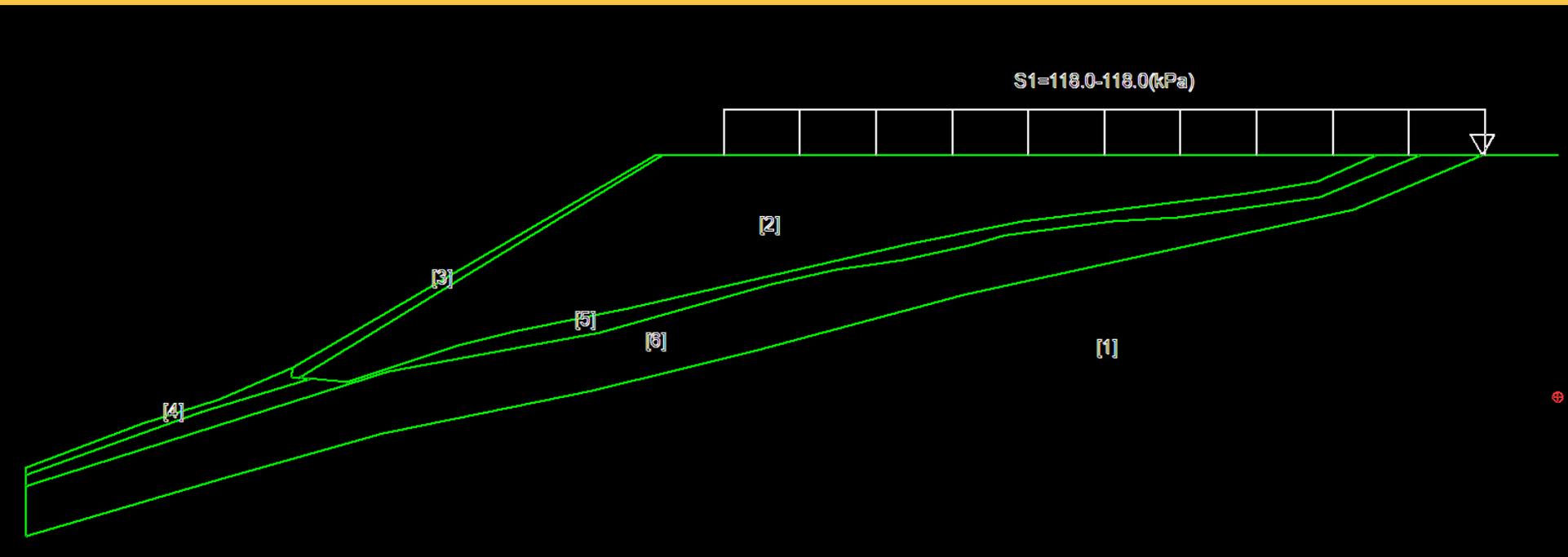


Studio e pratica su un esempio di pendio terrazzato con muri a secco su deposito colluviale saturo (suolo residuale) su ammasso roccioso. (caso particolare dei muri a secco) :



Cartella ..\pendii\esempi corso base\Terraces_examples

Studio e pratica su un esempio rilevato in pendio con sovraccarico :



Cartella ..\pendii\esempi corso base\casucc4

Appendice L del manuale di SSAP

SSAP 2010 - rel. 4.8.8 (2017) - Manuale di riferimento

APPENDICE L- ESEMPI DEGLI ERRORI PIÙ COMUNI (E DELLE LORO POSSIBILI CORREZIONI) AL MOMENTO DI CREARE MODELLI DI PENDIO PER OPERARE CON IL SOFTWARE SSAP2010

L.1 INTRODUZIONE

La creazione di un modello completo del pendio è la prima fase di lavoro di una verifica di stabilità e anche la più importante. In questa si deve sempre porre la massima attenzione nel rispettare le convenzioni generale indicate nel capitolo 3 di questo manuale per quanto riguarda la geometria dei corpi di strato, le superfici di strato, le superfici freatiche e piezometriche , la geometria delle strutture di sostegno. In questa appendice vengono riportati gli errori più frequenti che gli utenti commettono nella costruzione dei modelli del pendio, ma anche le soluzioni a tali errori. Si ritiene che questa appendice sia estremamente importante per gli utenti dato che evidenzia gli errori più frequenti in un modo grafico senza eccessivi formalismi teorici.

Modello del pendio - Convenzioni e limitazioni

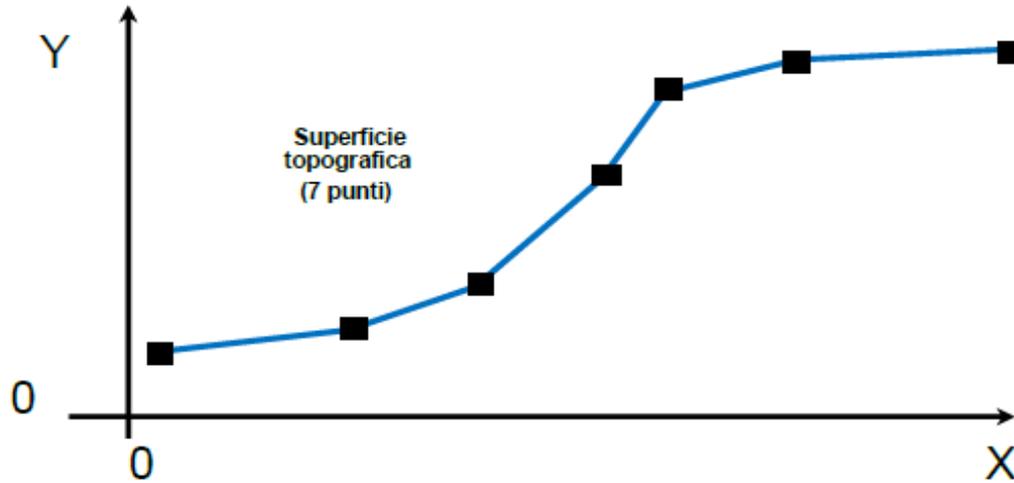
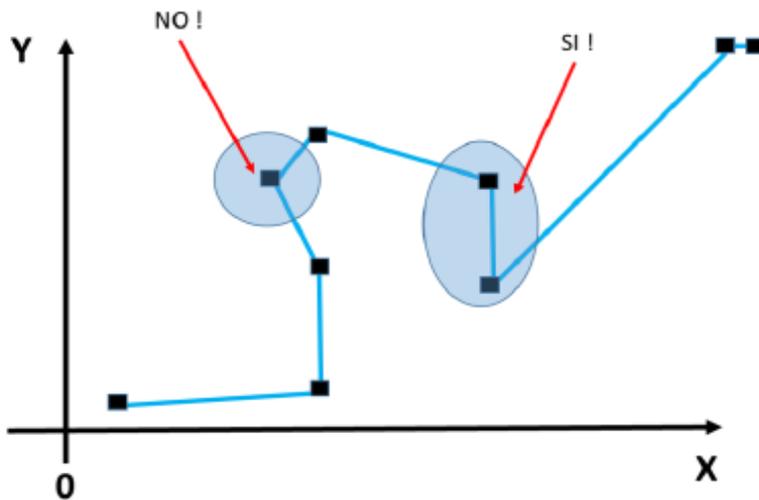


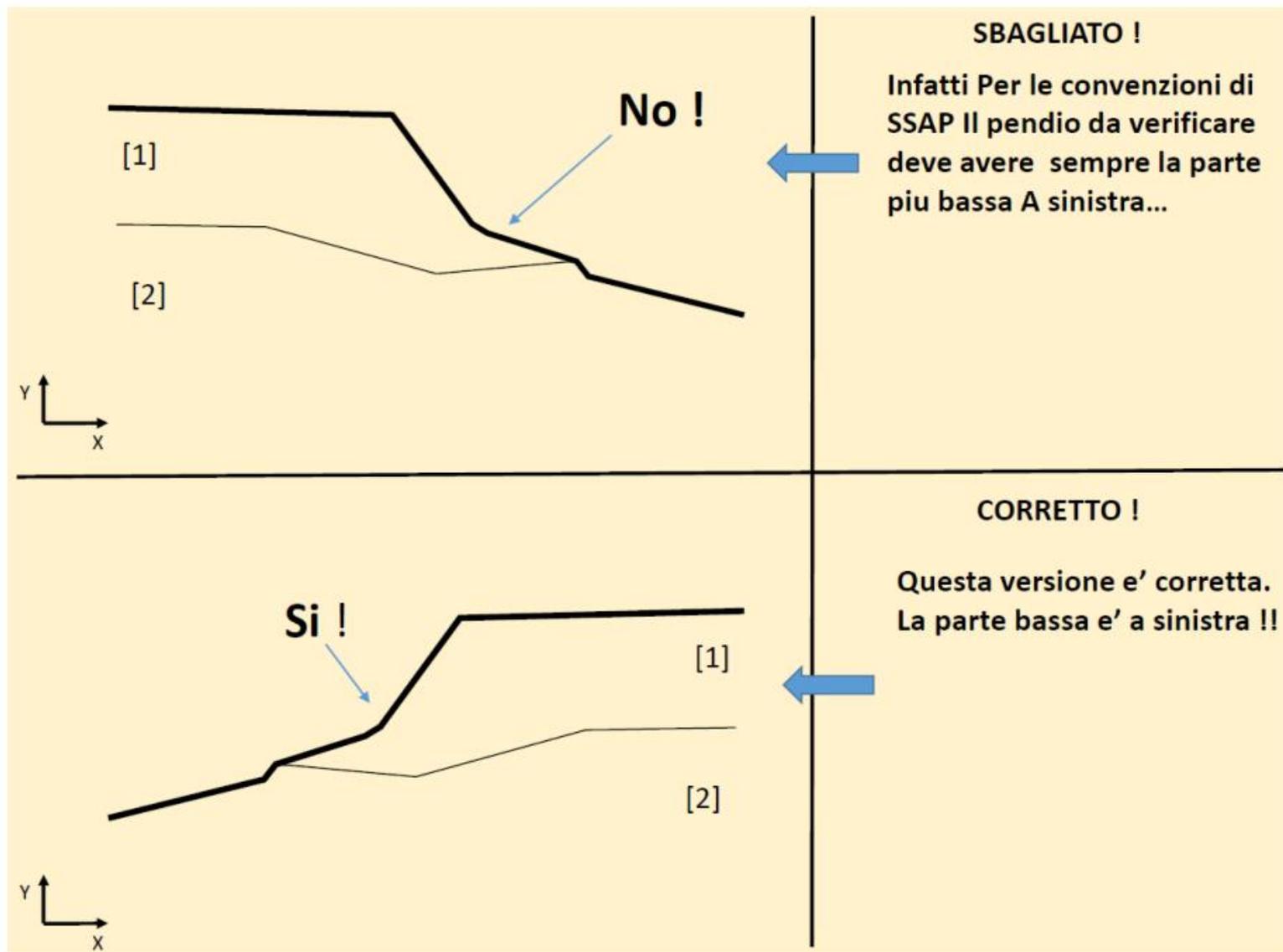
Fig. 3.3a



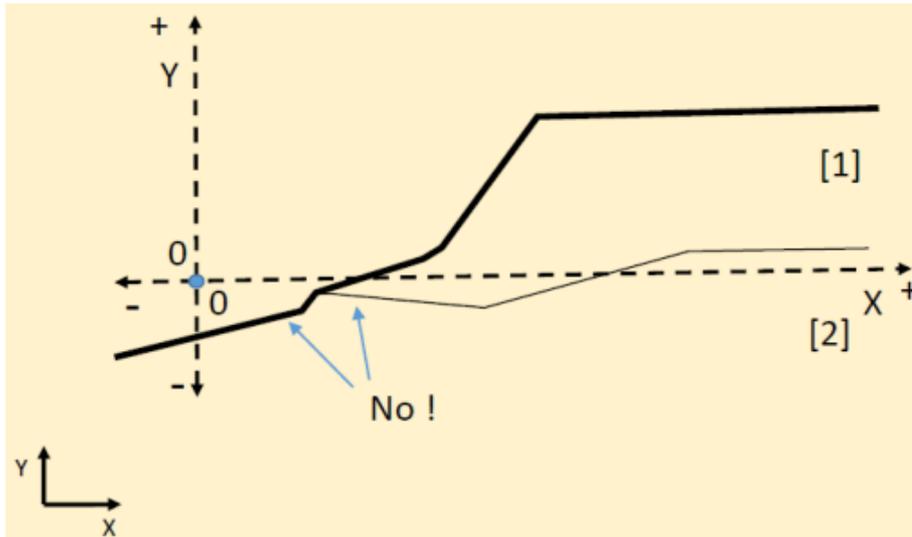
Tutti gli elementi geometrici che definiscono il modello del pendio sono superfici caratterizzate da un insieme di punti con **coordinate X,Y** rispetto all' origine del sistema di riferimento. Le superfici vengono ricostruite interpolando linearmente tra i punti e costruendo in pratica una segmentata.

Vedasi per dettagli anche il capitolo 3 del manuale di riferimento

Modello del pendio - Convenzioni e limitazioni

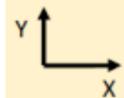


Modello del pendio - Convenzioni e limitazioni



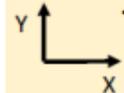
SBAGLIATO !

Questo modello è
incorretto perché
una parte del pendio ha
coordinate cartesiane X, Y
negative !!!

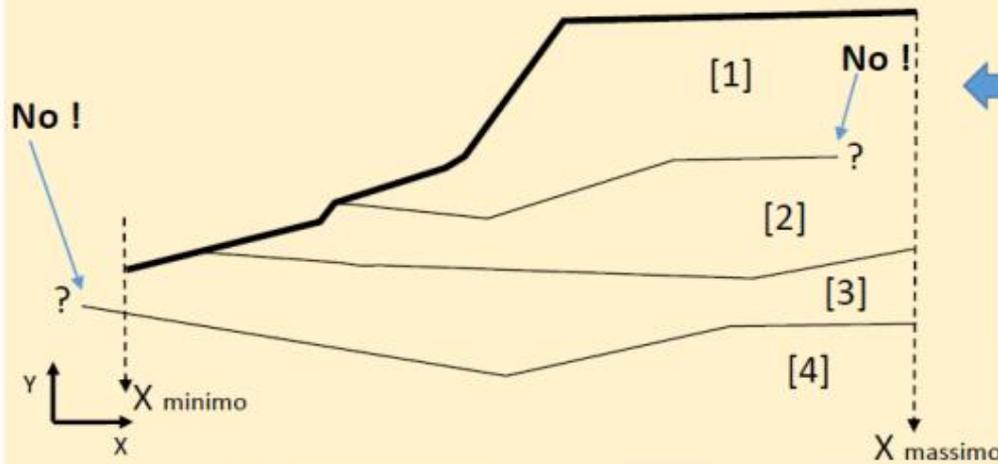


CORRETTO !

Tutte le polilinee del modello
hanno coordinate X, Y dei nodi
positive !!

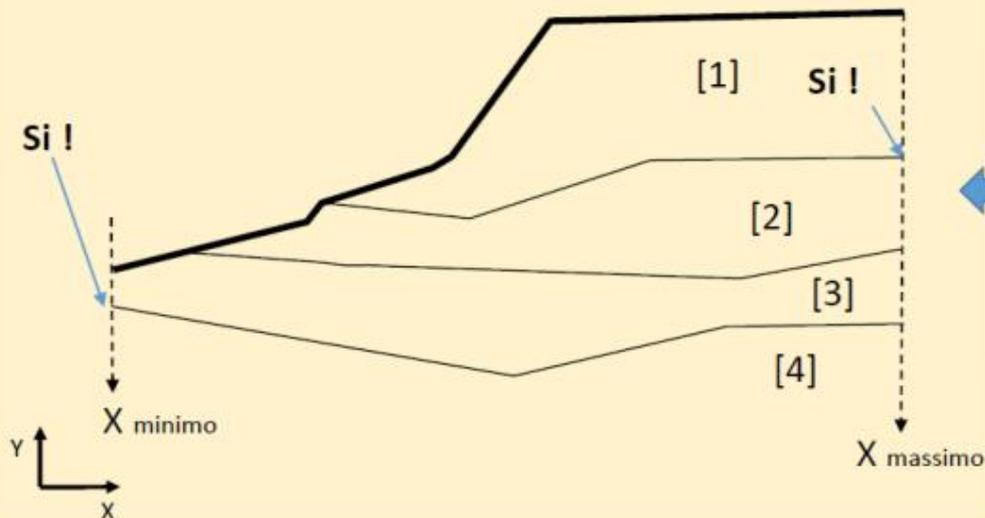


Modello del pendio - Convenzioni e limitazioni



SBAGLIATO !

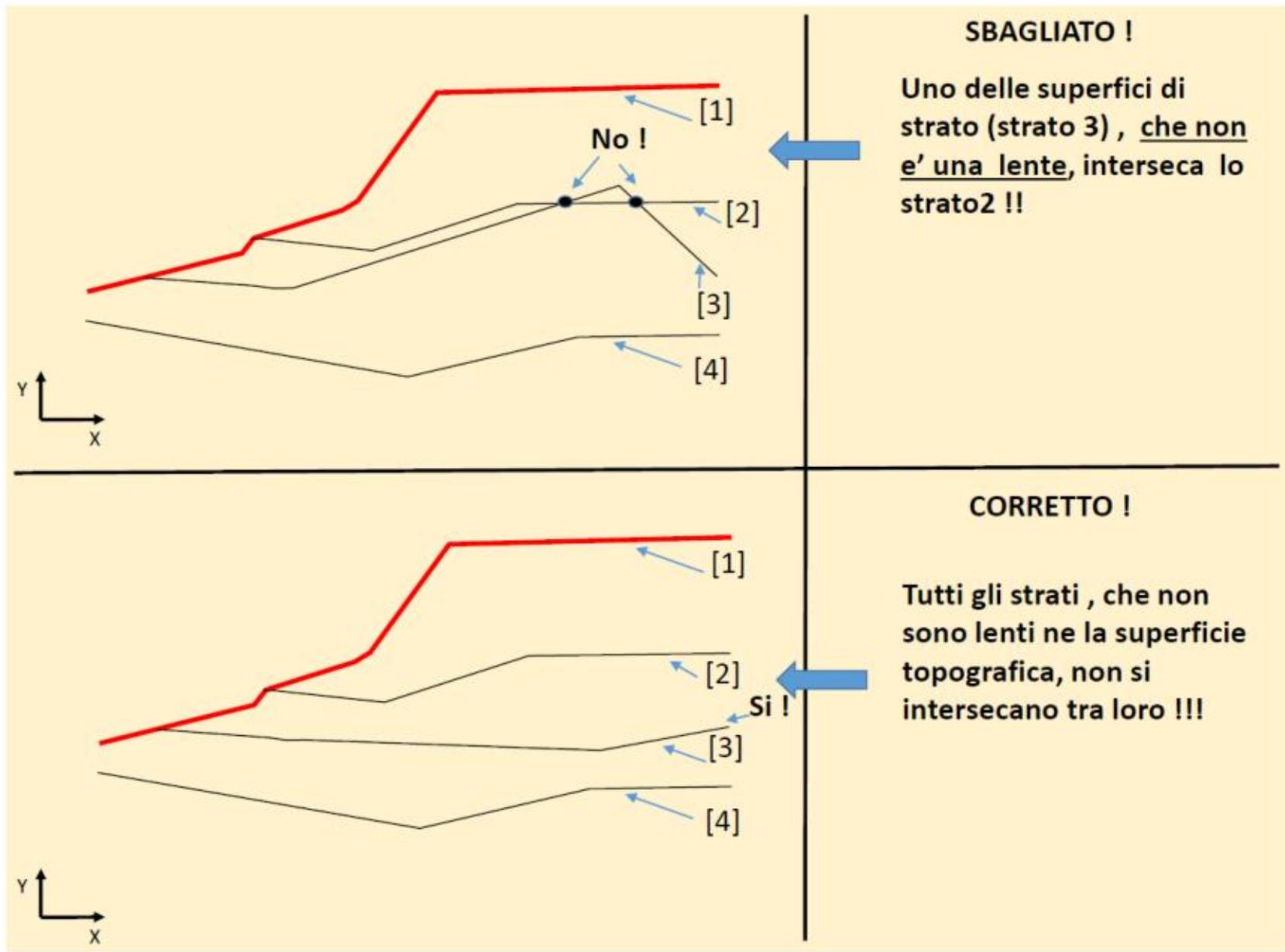
Alcune delle superfici di strato non coincidono con le progressive degli estremi della superficie topografica..!!
Es. Superfici tetto Strato 2 e Strato 4



CORRETTO !

Tutte le superfici di strato hanno le progressive degli estremi coincidenti con quelli della superficie topografica..!! (con eccezione dei nodi che intersecano direttamente la sup. Topografica).

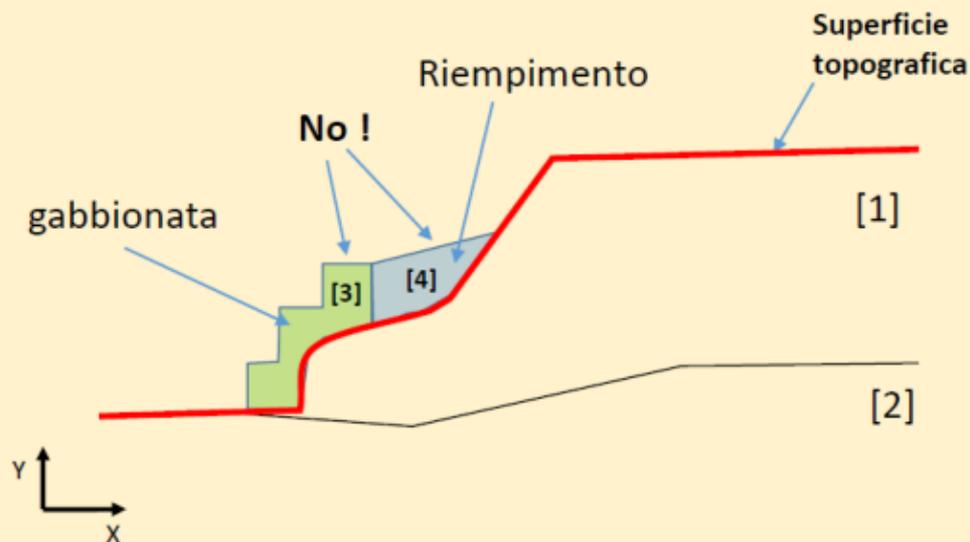
Modello del pendio - Convenzioni e limitazioni



Modello del pendio - Convenzioni e limitazioni

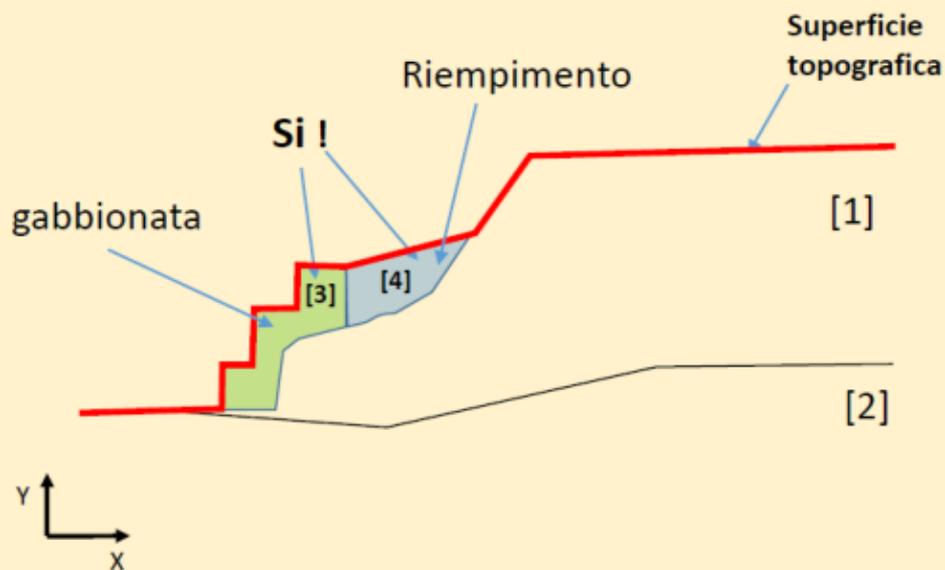
SBAGLIATO !

Le lenti 3 e 4 sono esterne alla superficie topografica !!

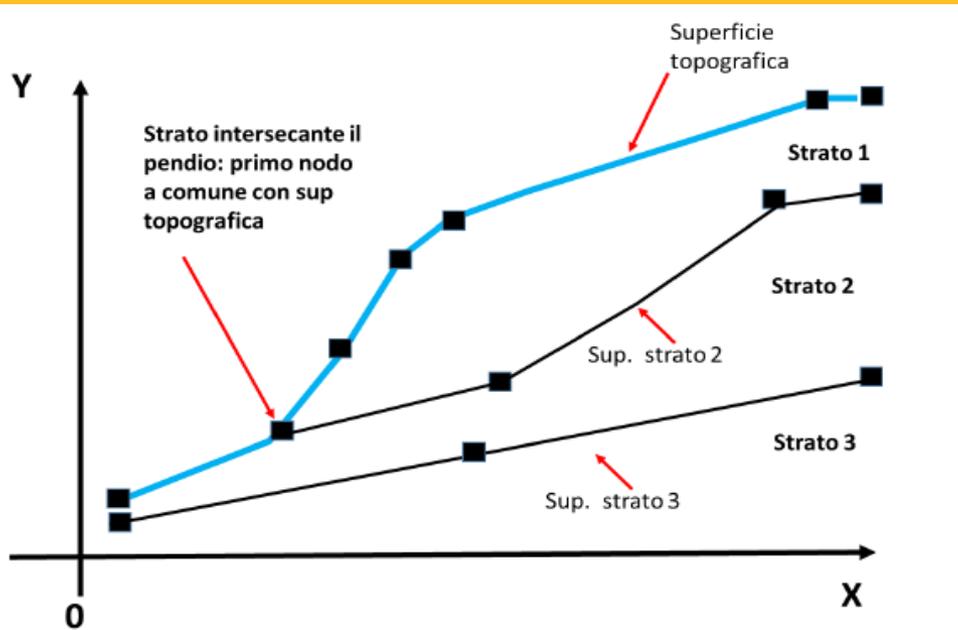


CORRETTO !

Le lenti 3 e 4 sono interne e limitate dalla superficie topografica...!
Sono anche entrambe contenute nello strato 1, rispettando così le convenzioni di SSAP



Modello del pendio - Convenzioni e limitazioni

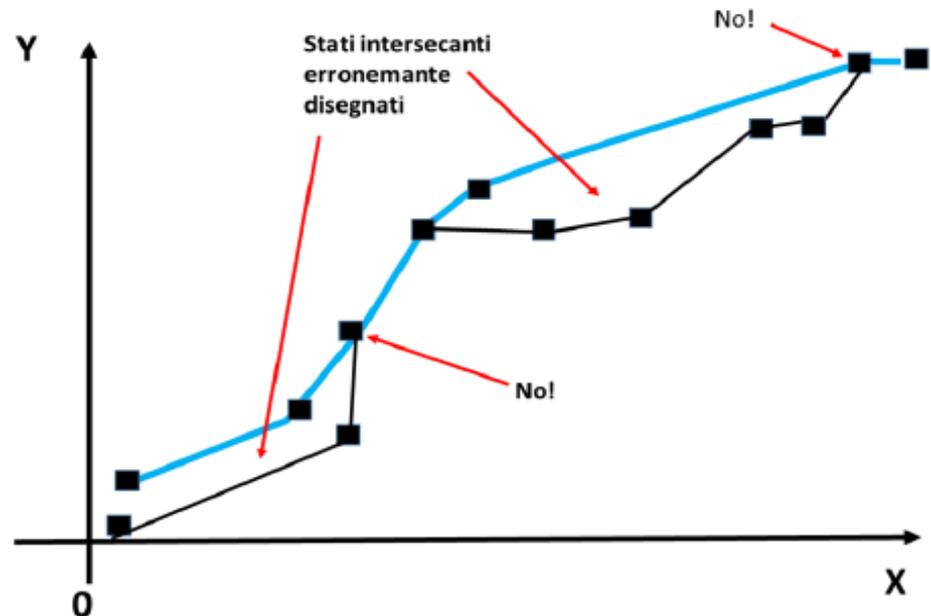


Strati intersecanti il pendio

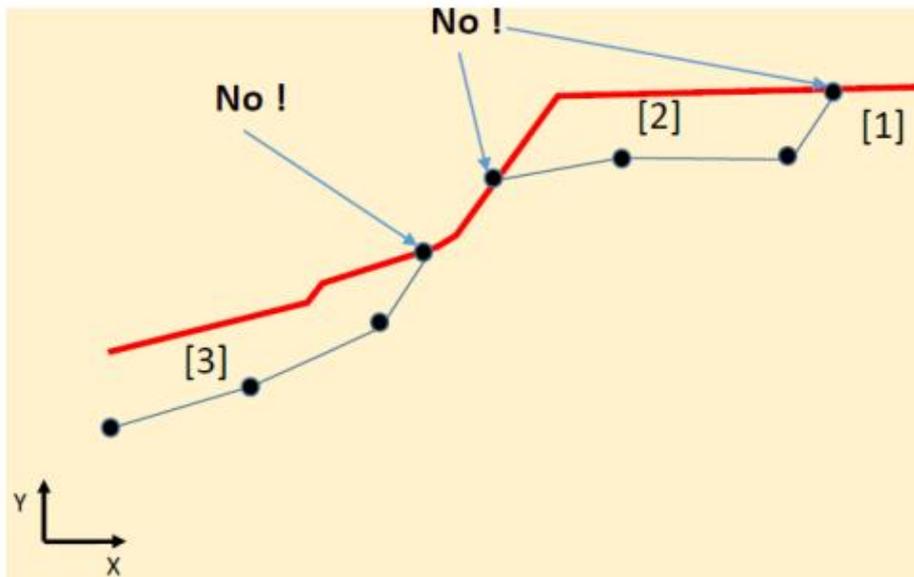


Errori frequenti....

Che si risolvono usando un'altra tipologia di strato ...La lente..

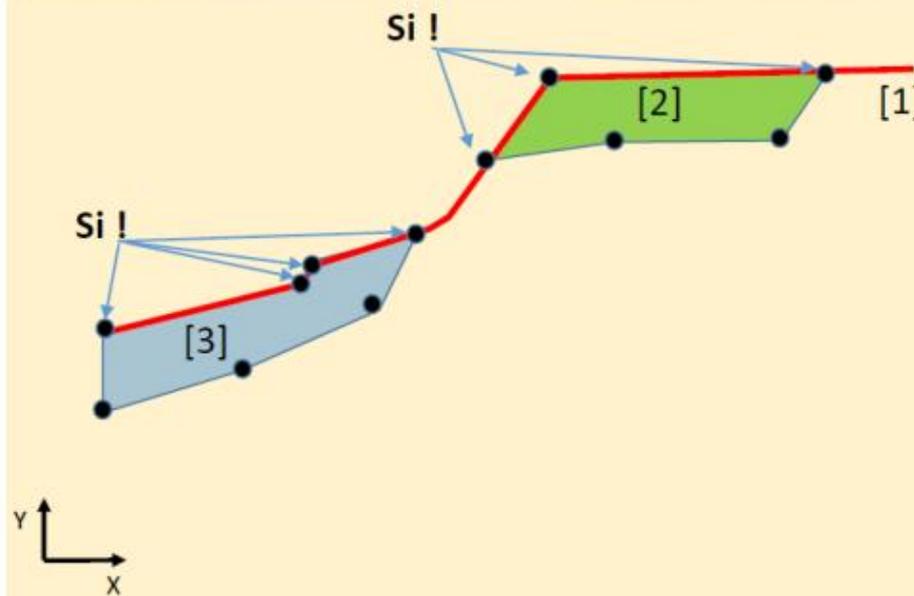


Modello del pendio - Convenzioni e limitazioni



SBAGLIATO !

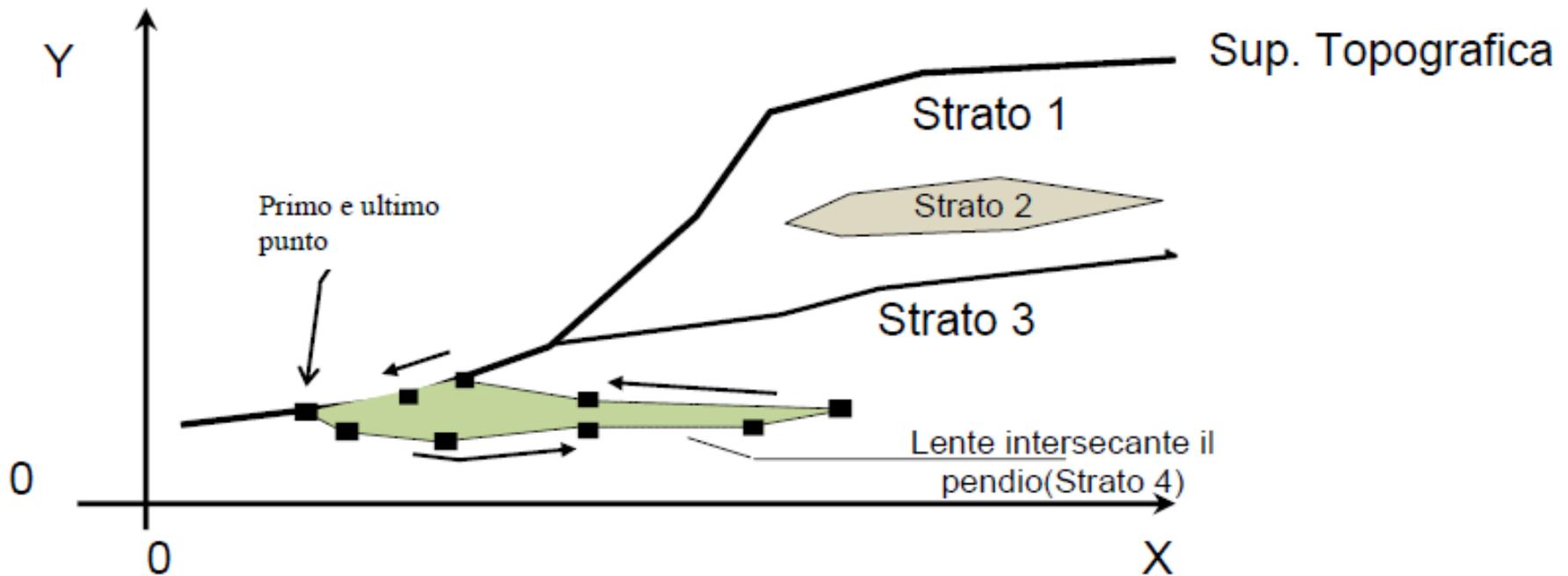
Gli stati intersecanti il pendio
Non possono intersecare la superficie topografica con la terminazione a destra (es strato 3, o con entrambe le terminazioni a sinistra e destra ,strato2) !!



CORRETTO !

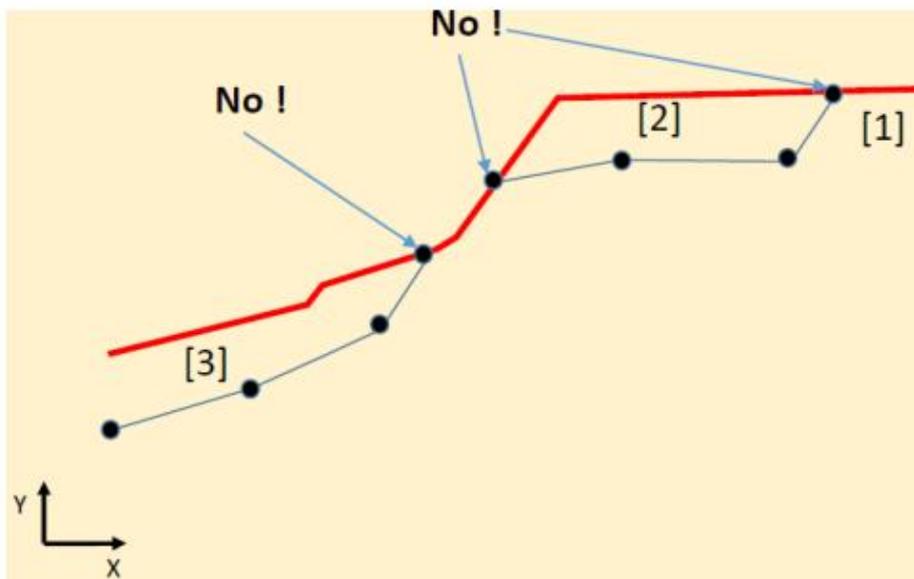
In questo caso e' conveniente considerare gli strati 3 e 2 come lenti che intersecano la superficie topografica.

Modello del pendio - Convenzioni e limitazioni



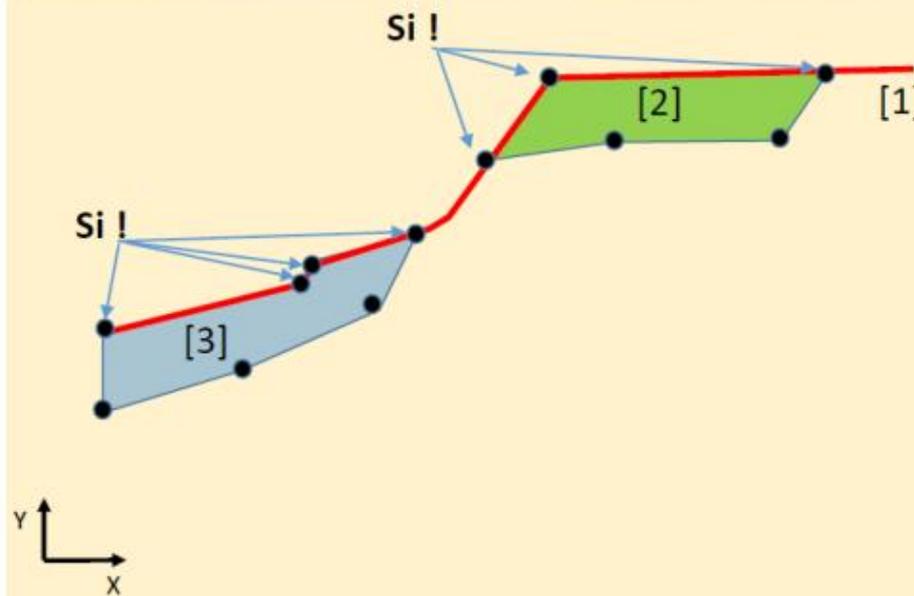
Lenti entro strato e lenti intersecanti il pendio

Modello del pendio - Convenzioni e limitazioni



SBAGLIATO !

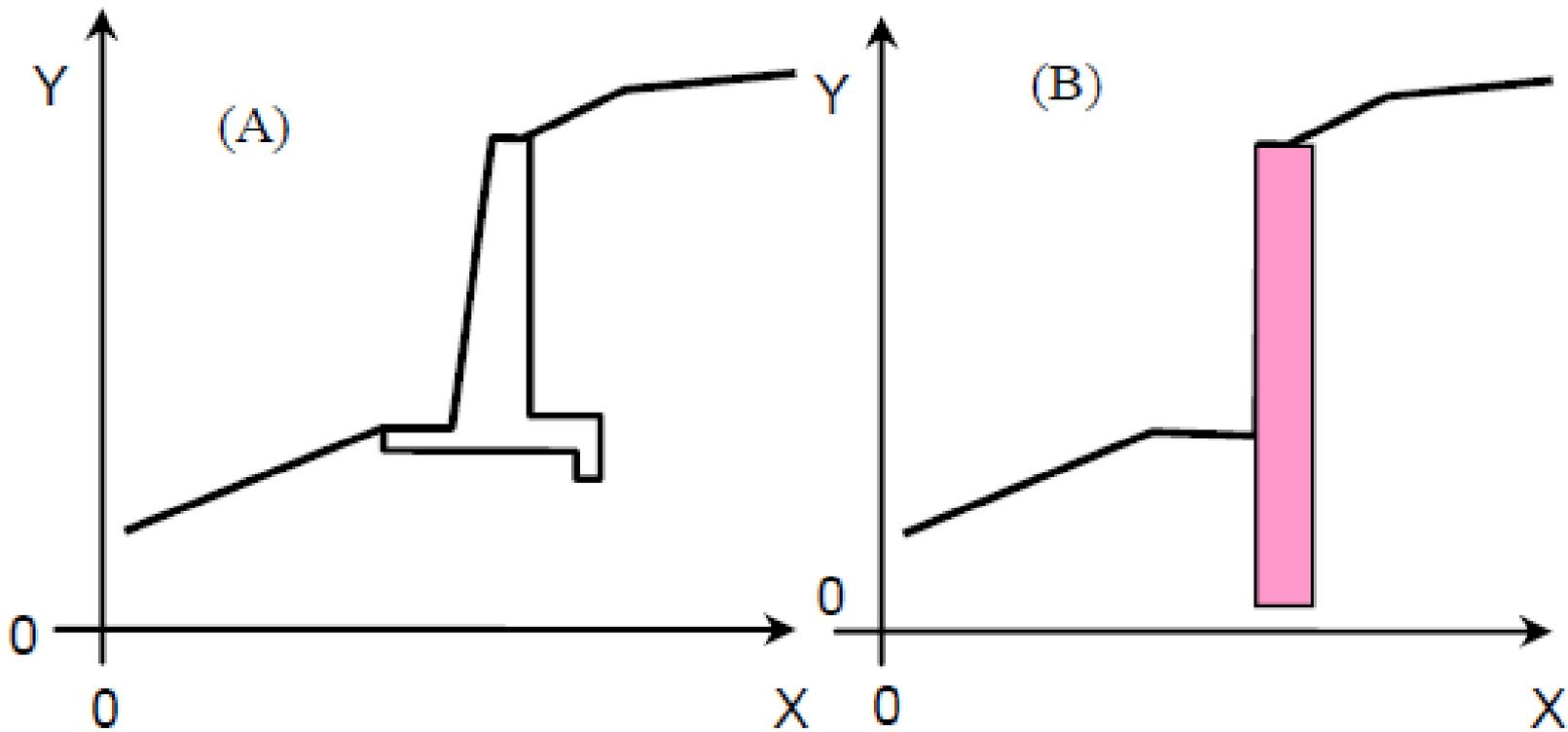
Gli stati intersecanti il pendio
Non possono intersecare la superficie topografica con la terminazione a destra (es strato 3, o con entrambe le terminazioni a sinistra e destra ,strato2) !!



CORRETTO !

In questo caso e' conveniente considerare gli strati 3 e 2 come lenti che intersecano la superficie topografica.

Modello del pendio Convenzioni e limitazioni



Inserimento elementi strutturali 3D mediante la loro sezione 2D

3.3.11 Convenzioni nella numerazione degli strati

Ricordarsi sempre quanto segue !!:

- **1) GLI STRATI INSERITI NEL PENDIO SONO NUMERATI IN SENSO CRESCENTE DALL'ALTO VERSO IL BASSO.**
- **2) LE LENTI INGLOBATE ENTRO STRATI DEVONO AVERE UN NUMERO SUPERIORE ALLO STRATO CHE LE INGLOBA.**

Un esempio della applicazione di queste regole e' mostrato in figura 3.12.

Il numero massimo di strati ammessi è 20, in aggiunta alla superficie di falda eventualmente presente.

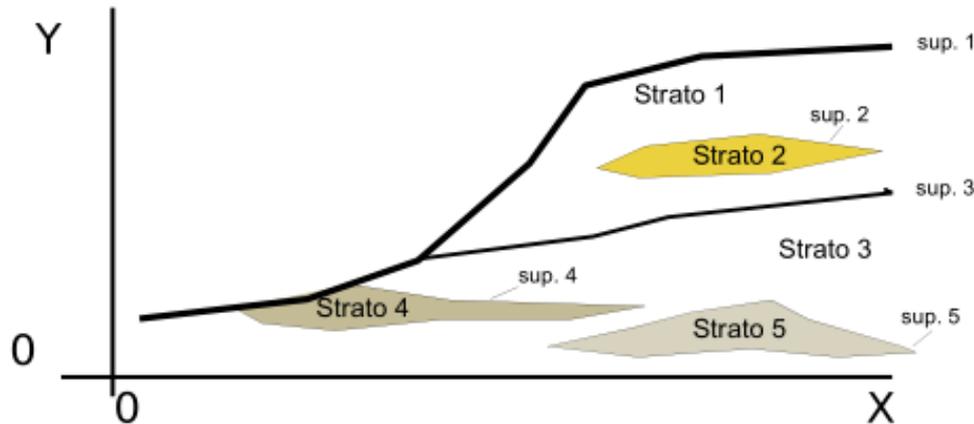
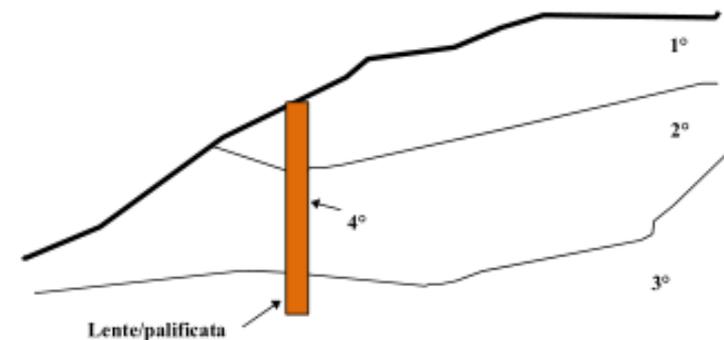


Fig. 3.12

Nel caso di lenti di materiale diverso entro il pendio o di elementi assimilabili ad esse come muri di sostegno o palificate si prenda nota di quanto segue:

- Con la attuale versione è possibile inserire lenti che intersecano uno o più strati nel pendio (es: una palificata o un muro di sostegno).
- La numerazione degli strati costituiti da questo tipo particolare di lenti deve seguire la seguente convenzione oltre a quella prima indicata:
 - **IL NUMERO DI STRATO DELLA LENTE DEVE ESSERE SEMPRE MAGGIORE DI TUTTI GLI STRATI CHE LA LENTE ATTRAVERSA!**

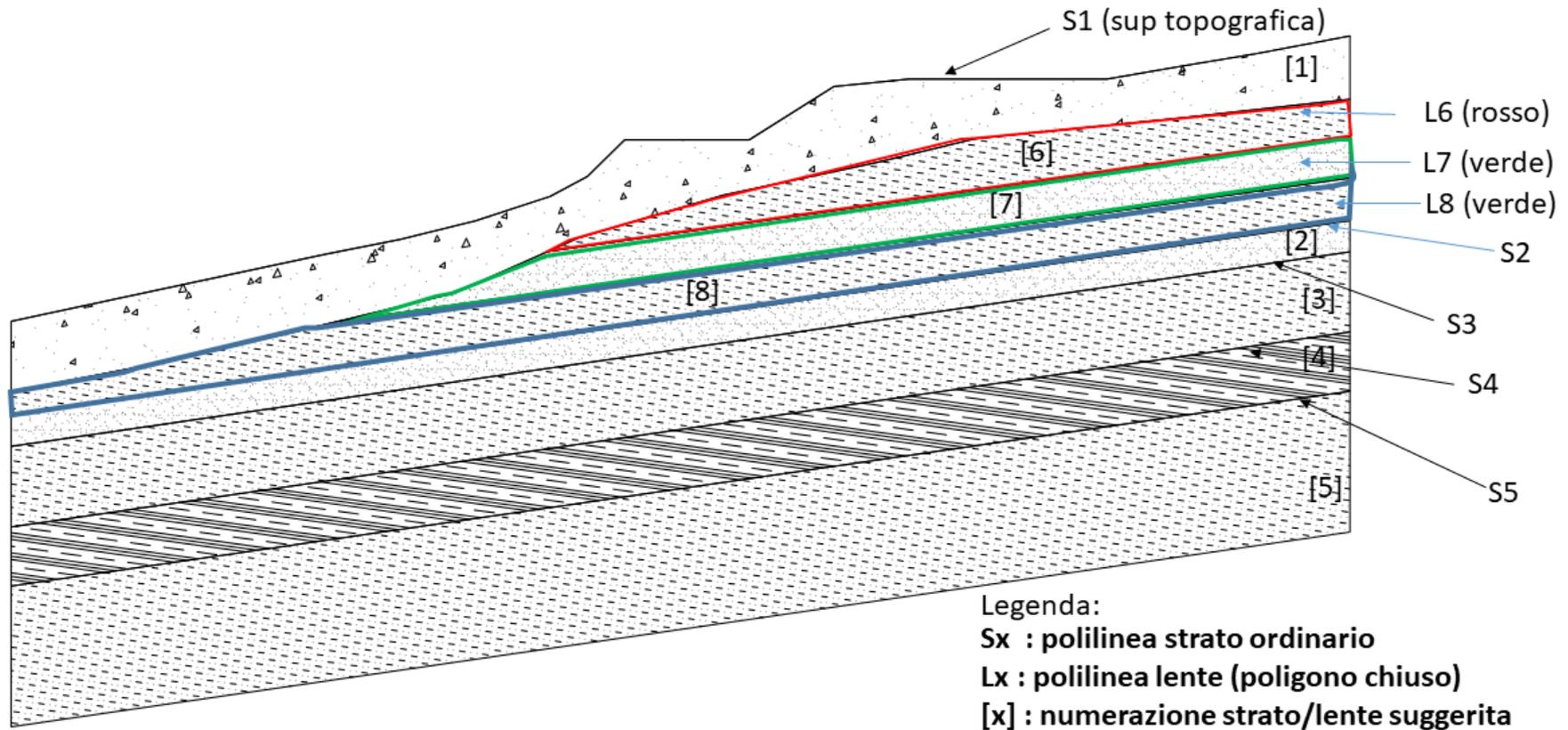
Modello
del pendio
Covenzioni
e limitazioni



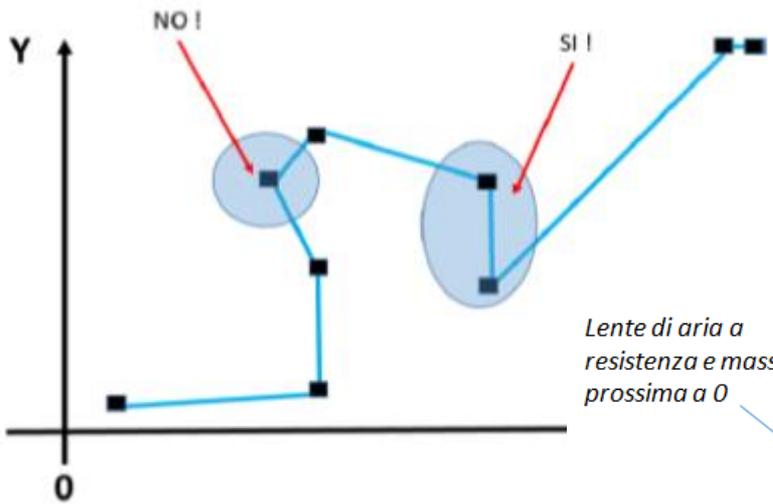
Modello del pendio Convenzioni e limitazioni

Nota Bene:

1. Con questa configurazione le lenti 6 ,7 e 8 sono incluse nello strato 1
2. I tetti degli strati 1,2,3,4, e 5 sono costituiti da una polilinea (non chiusa)
3. Alcune polilinee, e poligoni, chiusi possono avere nodi e tratti rettilinei coincidenti
4. Seguendo questa modalita' vengono rispettate le convenzioni di SSAP



Modello del pendio Convenzioni e limitazioni



Il problema delle superficie aggettanti..
Si puo' risolvere creando delle lenti di ARIA
Con massa e resistenza al taglio prossima a ZERO

Lente di aria a resistenza e massa prossima a 0

Momento destabilizzante di questa porzione in aggetto

Piu avanti
Maggiori dettagli
Nel caso di
Ammassi rocciosi...

E' possibile considerando un cuneo reale con aggetto, 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 aggetto nel calcolo del W).

Putroppo sappiamo che c' e ϕ' non sono costanti su questa superficie..variando punto punto il σ_N'

SSAP con il metodo delle strisce 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 aggetto, che con il metodo el cuneo non puo' essere considerato..

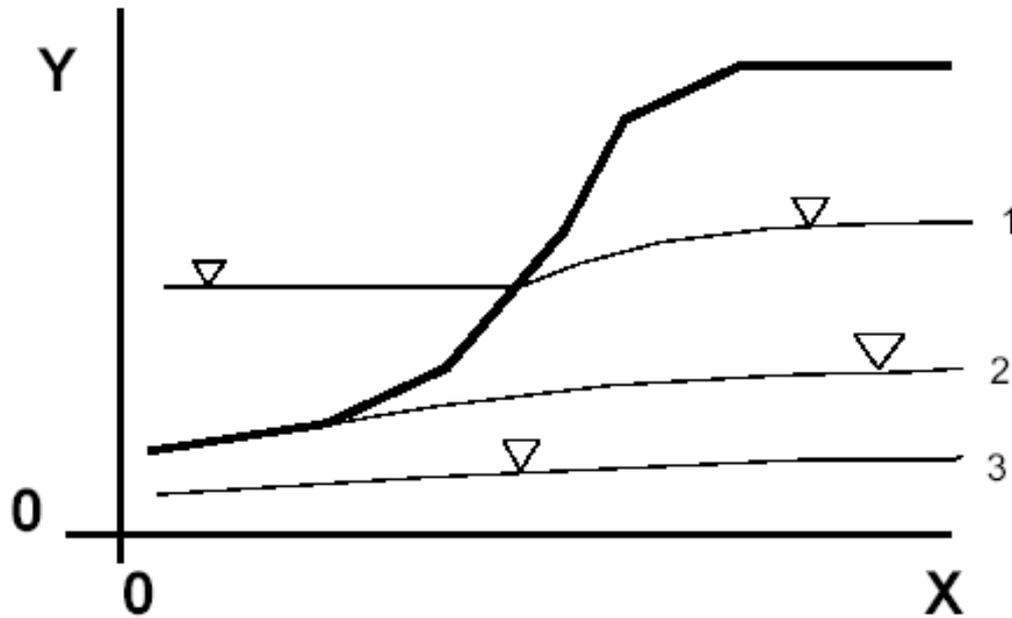
SSAP, invece, usando un metodo rigoroso considera anche l'effetto del momento destabilizzante di una porzione (quindi della sua massa reale) che in questo caso appoggia (virtualmente) su una zona con resistenza la taglio prossima a 0.

Modello del pendio - Strati, lenti file .DAT

Massimo 20 strati o lenti (includendo anche elementi strutturali che È conveniente inserire anche come lenti).

```
|  
| file : xxx.dat  
|  
## 1 -----  
    0.00   15.00  
    5.00   18.00  
   35.00   25.00  
   50.00   30.00  
   60.00   45.00  
   80.00   55.00  
  100.00   57.00  
  120.00   57.00  
  
## 2 -----  
   35.00   25.00  
   60.00   25.00  
   85.00   40.00  
  120.00   45.00  
  
## 3 -----  
   15.00   18.00  
   45.00   10.00  
   75.00   15.00  
  120.00   20.00
```

Modello del pendio - falda .FLD



Una sola piezometrica o freatica (file. FLD) che però è possibile adattare e gestire con il modulo speciale per la gestione degli acquiferi. Per generare più acquiferi

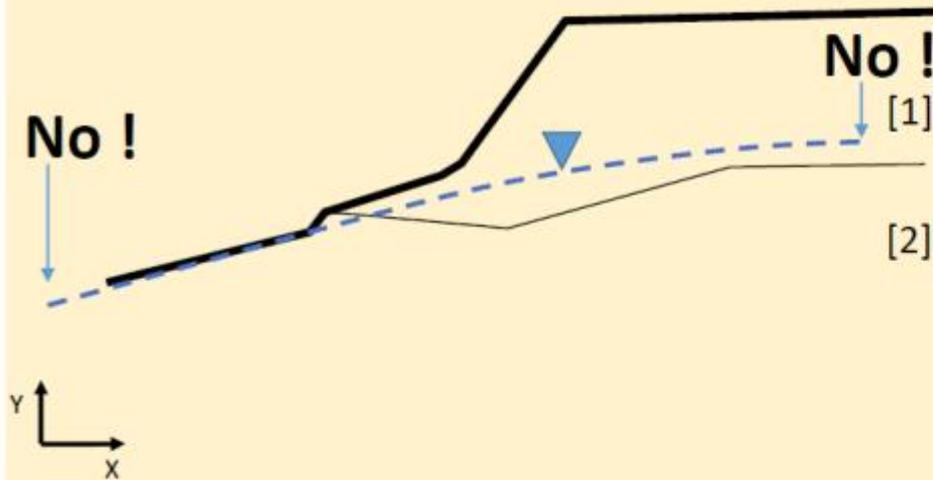
12.3	23.1
18.0	24.0
.	.
.	.
.	.
56.7	112.9

la prima colonna è quella relativa alle coordinate X (ascisse), mentre la seconda colonna è quella relativa alle coordinate Y (ordinate).

Errori nelle piezometriche / freatiche

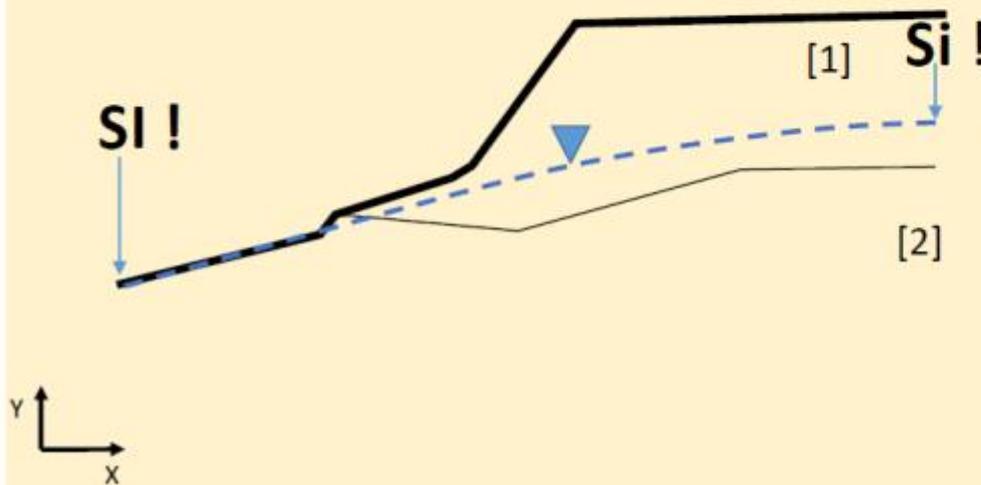
SBAGLIATO !

Gli estremi delle coordinate X della superficie piezometrica/freatica risultano NON COINCIDERE con gli estremi della superficie topografica..!



CORRETTO !

Gli estremi delle coordinate X della superficie piezometrica/freatica risultano COINCIDERE con gli estremi della superficie topografica..!



**Caricamento
Modello pendio**

**Correzione errori
segnalati.**

**Fase 1 preprocessing:
Identificazioni di errori critici che impediscono la
definizione corretta del modelo del pendio...**

**Fase 2 preprocessing:
Identificazioni di errori potenzialmente critici
nella fase di calcolo...**

**Se passiamo la FASE 2....
→ Lancio verifica**

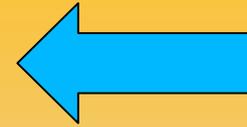
***Procedura di
Preprocessing (audit) del
modello di pendio caricato***

```
Audit (Valutazione preliminare correttezza modello pendio)

Analisi preliminare correttezza del modello del pendio caricato (AUDIT)

**Testa della geogriglia posizionata esternamente al profilo topografico!
alle coordinate X=74.86 - Y=39.9
vedasi manuale - Appendice L, figura L.15
**Testa della geogriglia posizionata esternamente al profilo topografico!
alle coordinate X=74.62 - Y=39.25
vedasi manuale - Appendice L, figura L.15
**Testa della geogriglia posizionata esternamente al profilo topografico!
alle coordinate X=74.39 - Y=38.6
vedasi manuale - Appendice L, figura L.15
**Testa della geogriglia posizionata esternamente al profilo topografico!
alle coordinate X=74.15 - Y=37.95
vedasi manuale - Appendice L, figura L.15

Fase 2 preprocessing TERMINATA CON ANOMALIE !
PER PROCEDERE CON LA VERIFICA DEVI PRIMA CORREGGERE
LE ANOMALIE SEGNALATE NEL MODELLO...
Suggerimento: salva in un file di testo il contenuto
di questa finestra (Premi il bottone SALVA RISULTATI)
```



**Segnalazione
errori**

```
Sa Audit (Valutazione preliminare correttezza modello pendio)

HELP
```

```
Audit (Valutazione preliminare correttezza modello pendio)

Analisi preliminare correttezza del modello del pendio caricato (AUDIT)

SSAP2010 - rel. 4.8.8
data: 15/8/2017
PRE-ELABORAZIONE Modello Pendio: CONFRONTOSLIDEMP.MOD
-----
Fase 1 preprocessing TERMINATA CON SUCCESSO !
SENZA ANOMALIE E SENZA ERRORI!
SI PROCEDE CON LA FASE 2 ...

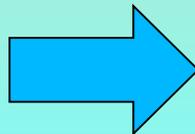
---INIZIO SCANSIONE APPROFONDITA DEL MODELLO ---

Fase 2 preprocessing TERMINATA CON SUCCESSO !
SENZA ANOMALIE E SENZA ERRORI!
PUOI PROCEDERE CON LA VERIFICA...

Salva Risultati

HELP OK
```

OK

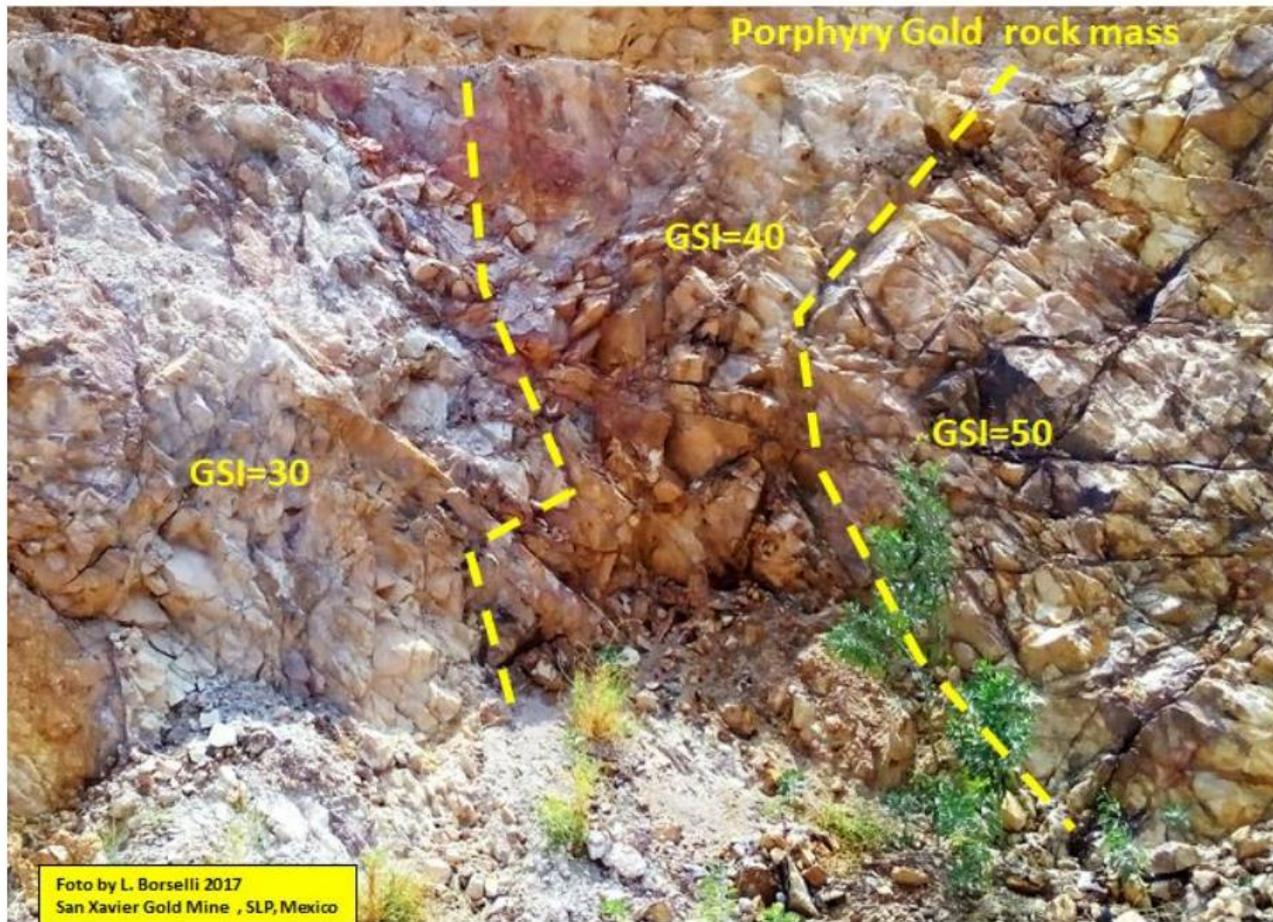


SSAP 5.1
CORSO INTRODUTTIVO
Parte II

Parametri geomeccanici - file .GEO

SSAP 2010 - rel. 4.8.8 (2017) - Manuale di riferimento

APPENDICE D - APPLICAZIONE DEL CRITERIO DI ROTTURA Hoek Et Al. (2002,2006) NEL CODICE SSAP



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, β, L ..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_o)

Parametri geomeccanici - file .GEO [1]

Critério di rottura Mohr-Coulomb

Nel caso di strati caratterizzati da resistenza al taglio definita dalla legge Mohr-Coulomb
I parametri di interesse sono 5:

- 1) angolo di attrito interno (in termini di pressioni efficaci) - ϕ' (in gradi)
- 2) coesione in termini di pressioni efficaci - C' (in kPa)
- 3) resistenza al taglio in termini di pressione totale - C_u (in kPa)
- 4) peso di volume terreno fuori falda - γ (in kN/m^3)
- 5) peso di volume terreno immerso in falda - γ_{sat} (in kN/m^3)

30.00	0.00	0.00	20.00	22.00
0.00	0.00	60.00	21.00	23.00
20.00	30.00	0.00	19.00	20.00

Il numero delle righe è pari al numero di strati (il primo strato è nella prima riga). Vi sono 5 colonne e andando da sinistra verso destra:

- la prima è quella relativa all'angolo di attrito efficace ϕ' (in gradi)
- la seconda è per la coesione efficace C' (in kPa);
- la terza è la resistenza al taglio coesione in termini di pressione totale(resistenza al taglio in condizioni non drenate) C_u (in kPa);
- la quarta il peso di volume terreno fuori falda γ (in kN/m^3);
- la quinta il peso di volume terreno immerso in falda γ_{sat} (in kN/m^3).

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 : **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 geomeccanici - file .GEO

APPENDICE M – LINEE GUIDA PER SCELTA DEL CRITERIO DI ROTTURA PER I TERRENI: CONDIZIONI NON DRENATE (Breve Termine) E CONDIZIONI DRENATE (Lungo Termine).

(versione 1.1 dicembre 2017)

By LORENZO BORSELLI*,**

* Docente di Geotecnica e Engineering Geology
Facoltà Di Ingegneria, Universidad Autonoma de San Luis Potosí.
San Luis Potosí., Mexico

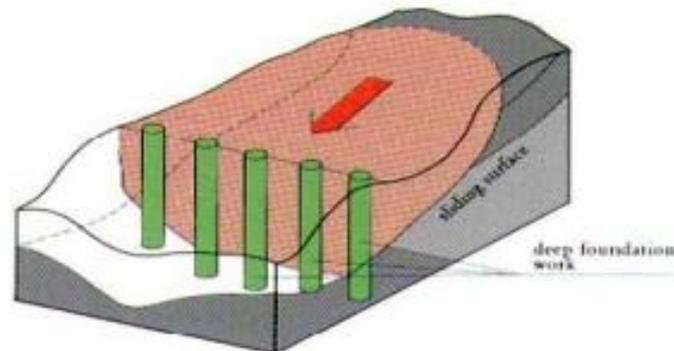
**Già Ricercatore e Responsabile di Sezione (fino al Luglio 2011)
C.N.R – IRPI, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, ITALIA

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

lborselli@gmail.com

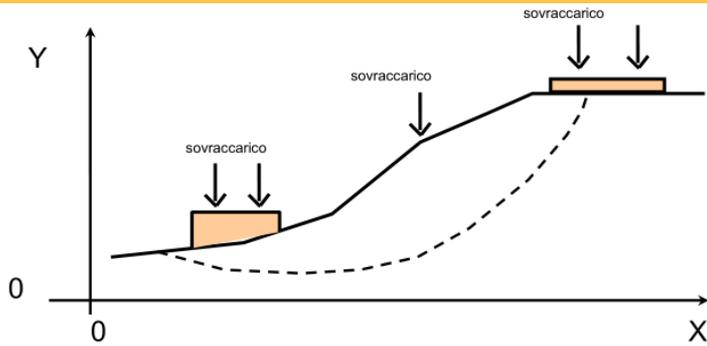
APPENDICE C -VALUTAZIONE DEI PARAMETRI GEOMECCANICI DI UNA LENTE-STRATO PALIFICATA INSERITA IN UN PENDIO

By Lorenzo Borselli (revisione 2.0 –dicembre 2017)

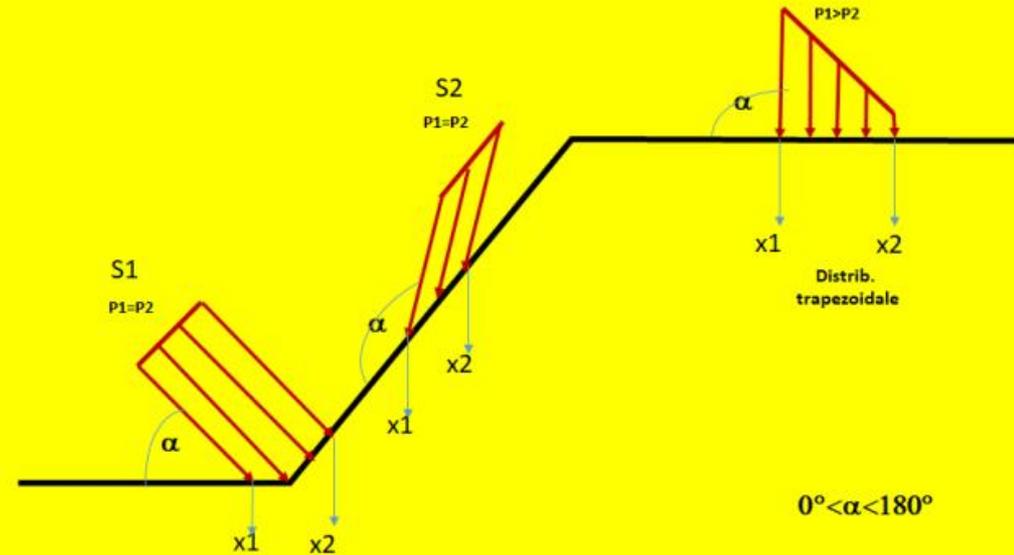


Modello del pendio

sovraccarichi file .SVR



Carichi statici in SSAP 4.8.4



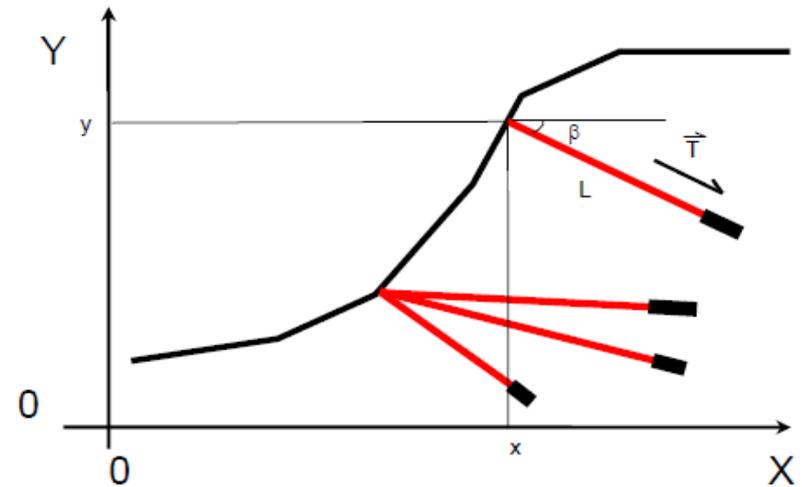
30.00	35.00	100.00	100	90
45.00	50.00	60.00	40.00	60
80.00	90.00	30.00	50	90

Il numero delle righe è pari al numero di zone con sovraccarichi; in questo caso 3 sovraccarichi. **Il numero massimo di sovraccarichi che è possibile inserire è 10.**

Nelle **colonne 1 e 2** vi sono i valori delle coordinate X_1 e X_2 (espresse in metri) degli estremi sinistro e destro della zona dove il carico è applicato. Nella **terza colonna** abbiamo il valore del sovraccarico applicato all'estremo sinistro X_1 , espresso in **kPa** o **kN/m²**. Nella **quarta colonna** abbiamo il valore del sovraccarico applicato all'estremo destro X_2 , espresso in **kPa** o **kN/m²**. nella quinta colonna abbiamo l'angolo di applicazione del carico.

Modello del pendio - tiranti files .TIR

X	(in m)
y	(in m)
Angolo - β	(in gradi)
Lunghezza totale - L	(in m)
Carico - T	(in kN/m)
% lunghezza cementata - Lc	(in %)



35	25	-20	20	500	20
50	30	-10	20	500	20
60	45	-25	40	500	30
80	55	-40	30	500	40

Nella **prima e nella seconda colonna** sono indicate rispettivamente le coordinate X ed Y della testa del tirante che devono coincidere con la superficie topografica e sono espresse in metri. Il nodo che corrisponde alla testa del tirante, di coordinate (X,Y) deve essere a comune con un nodo uguale (stesse coordinate) della superficie topografica. In alternativa il nodo può essere interno al pendio, ma non esterno. N.B.:Se il nodo è esterno non verrà preso in considerazione nel calcolo.

Nella **terza colonna** è indicato l'angolo β che il tirante forma con l'orizzontale (i valori positivi sono convenzionalmente considerati come angoli in elevazione, valori negativi in depressione) espresso in gradi.

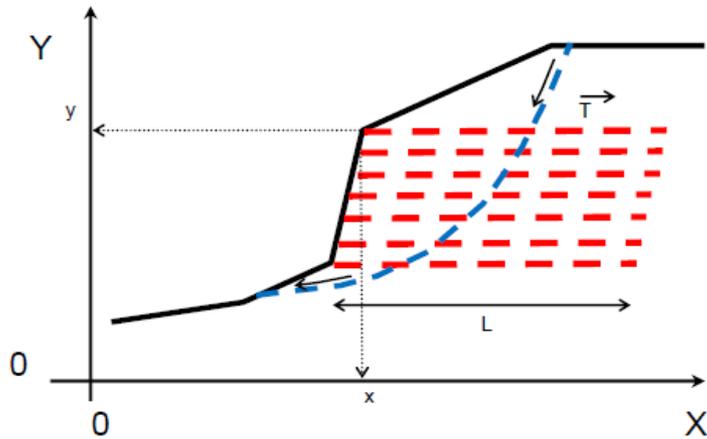
Nella **quarta colonna** è indicata la lunghezza L del tirante (parte di armatura libera + lunghezza di armatura incorporata con la cementazione) espressa in metri .

Nella **quinta colonna** è indicato il carico T di progetto o la resistenza massima di progetto del tirante espressa in kN/m (1 T/m è equivalente a circa 10 kN/m).

Nella **sesta colonna** è indicato la percentuale (%) della lunghezza totale L , indicata nella quarta colonna, che risulta cementata τ

N.B: Il numero delle righe complessive è pari al numero dei tiranti presenti (massimo 40).

Modello del pendio - Geogriglie/Geosintetici - files .GRD



X	(in m)
y	(in m)
Lunghezza - L	(in m)
Res. Unit. Trazione T	(in kN/m)
Coeff. f_b	(adimensionale)
Coeff f_{ds}	(adimensionale)
Lunghezza risolto sinistro Lws	(in m)
Lunghezza risolto destro Lwd	(in m)
Coeff η	(adimensionale)

35	25	8	50	0.8	0.8	1.5	0	0.1
36	26	5	50	0.9	0.8	1.5	0	0.1
37	27	5	50	0.9	0.8	3.0	3.0	0.1
38	28	5	50	0.9	0.8	3.0	3.0	0.1

Nella **prima e nella seconda colonna** sono indicate rispettivamente le **coordinate X ed Y** dove la geogriglia interseca la superficie topografica. Tali coordinate sono espresse in metri.

Nella **terza colonna** è indicata la **lunghezza L** della geogriglia espressa in metri .

Nella **quarta colonna** è indicata la resistenza unitaria T massima di progetto della geogriglia espressa in kN/m (1 T/m è equivalente a circa 10 kN/m).

Nella **quinta colonna** il coefficiente f_b interazione suolo-geogriglia. Parametro indicato nelle caratteristiche tecniche del rinforzo o calcolato con le equazioni o nomogrammi presentati nel capitolo 2.

Nella **sesta colonna** il fattore correttivo f_{ds} di riduzione della resistenza al taglio del terreno di riempimento nel processo di *Direct Sliding* (scivolamento diretto) alla interfaccia Geotintetico/Suolo . Parametro indicato nelle caratteristiche tecniche del rinforzo o calcolato con le equazioni o nomogrammi presentati nel capitolo 2.

Nella **settima colonna** la lunghezza Lws del risolto a sinistra (nel caso di risolto assente inserire 0.0)

Nella **ottava colonna** la lunghezza Lwd del risolto a destra (nel caso di risolto assente inserire 0.0).

Nella **nona colonna** il coefficiente η riduttivo della resistenza a trazione di progetto T per calcolare la reazione al punzonamento della faccia del risolto sinistro.(in caso non si voglia considerare questo effetto porre un valore pari a 0.0 .

Modello del pendio - palificate files .PIL

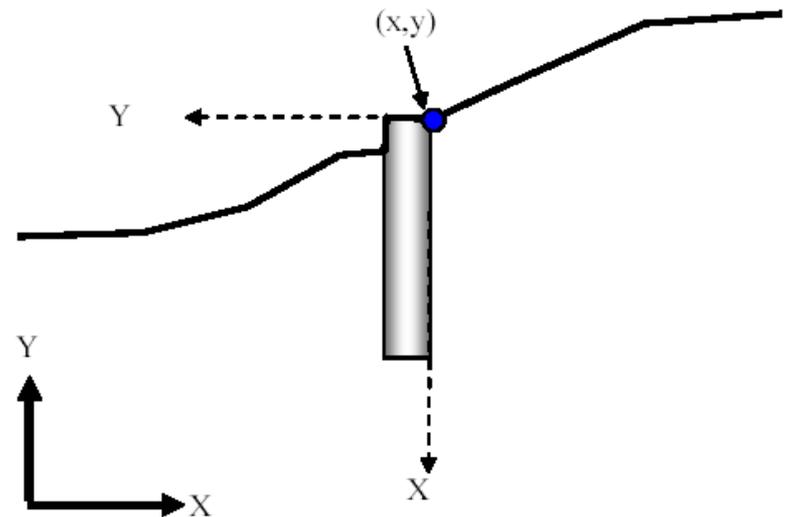
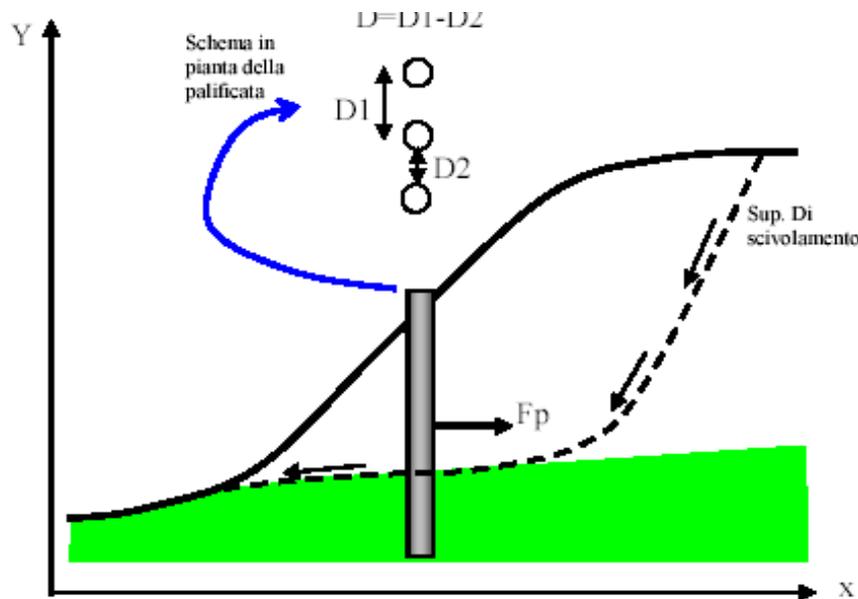
80	25	15.0	0.4	0.6
105	32	12.0	0.8	1.2
120	45	18.0	0.2	0.4

Nella prima e nella seconda colonna sono indicate rispettivamente le coordinate X ed Y dove la palificata interseca la superficie topografica. Tali coordinate sono espresse in metri.

Nella terza colonna è indicata la lunghezza L (in m) della palificata a partire dalla superficie.

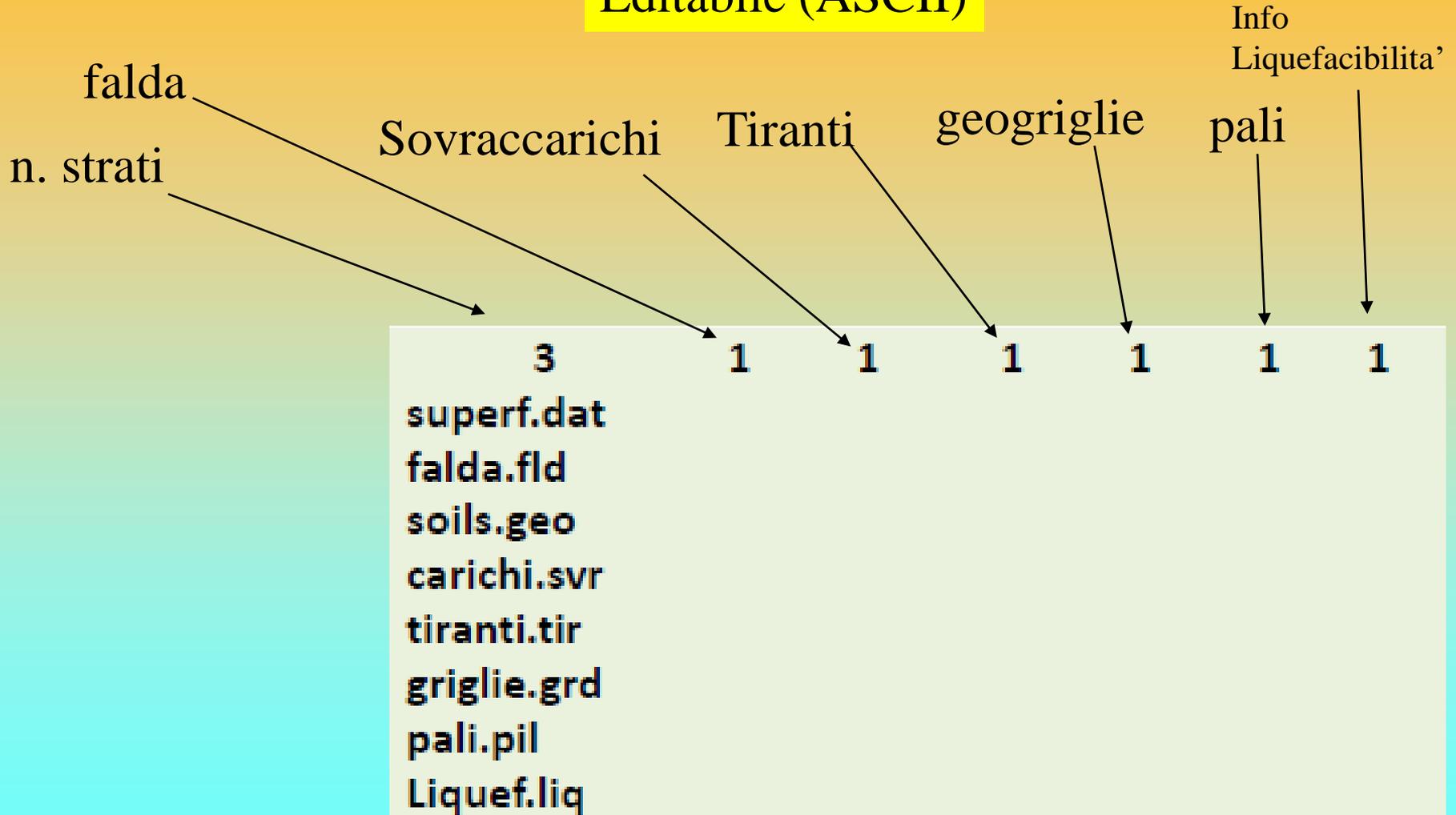
Nella quarta colonna è indicato il Diametro D (in m) dei pali che compongono la palificata.

Nella quinta colonna è indicata la distanza D2 (in m) (detta anche apertura) tra i pali (si ricordi che l'interasse tra i pali $D1=D+D2$ è calcolato automaticamente dal programma).



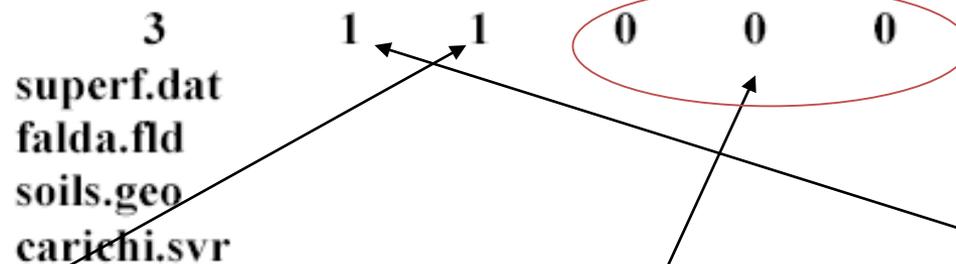
Modello del pendio File .MOD e sua struttura

È un File di testo
Editabile (ASCII)



Modello del pendio File .mod e sua struttura -2

I codici numerici 0 o 1 indicano, in sequenza , la presenza o meno degli elementi aggiuntivi



Questo esempio si riferisce ad un **pendio con 3 strati, con un livello di falda e sovraccarichi, ma senza tiranti, geogriglie e palificate** .

Assemblaggio Files con utility Makefiles.EXE

2010\pendii\liquefaz\

leziona/Crea area dati

Edita direttamente un File Da

Vedi D

Genera files	Files generati	Cambia	Files Attivi:	Attiva /Disattiva
SUPERFICI	File Superfici <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI	cambia nome	superficistientaprogetto.dat	
IGEOMMECCANICI	File dati Geomeccanici <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI	cambia nome	datimecc.geo	
FALDA	File Falda <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI	cambia nome	faldamagra.fld	<input checked="" type="checkbox"/> Falda
SOVRACCARICHI	File Sovraccarichi <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI			<input type="checkbox"/> Sovraccarichi
TIRANTI	File Tiranti <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI			<input type="checkbox"/> Tiranti
GEOGRIGLIE	File Geogriglie <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI			<input type="checkbox"/> Geogriglie
PALI	File Pali <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI			<input type="checkbox"/> Pali
DATI LIQUEFAZIONE	File Liquefazione <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> SI			<input type="checkbox"/> Liquefazione



MKFILES 5.1
Borselli (2007,2017)
WWW.SSAP.EU

CARICA MODELLO

ASSEMBLA MODELLO

File .MOD assemblato/caricato

VEDI MODELLO

test noliquef2.mod

HE

ESCI



Assemblaggio Files con utility MKFILES.EXE

Crea file dati superfici Strati

INSERIMENTO COORDINATE
GENERATO NODO n.3 SUP. n.6
Coordinate nodo superficie (in m)

Coordinata X nodo

Coordinata Y nodo

Scrivi Nodo **Cancella Ultimo**

Nuova Superficie

MKFILES 4.0
by L. Borselli (2007,2014)

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



```
1 |
2 | File Dati superfici: C:\VERIFICHE SAAP2010\st
3 |
4 | ##1 -----
5 |          1.00      13.18
6 |          5.00      12.28
7 |          9.00      11.68
8 |         15.00      11.48
9 |         17.00      11.88
10 |        21.00      13.88
11 |        25.00      15.08
12 |        33.49      22.00
13 |        38.49      22.00
14 |        39.00      22.38
15 |        39.79      22.70
16 |        45.24      24.90
17 |        45.70      25.00
18 |        47.10      25.80
19 |        52.54      28.60
20 |        69.54      28.90
21 |        75.62      32.31
22 |        79.09      32.59
23 |        86.24      36.50
24 |        87.39      36.67
25 |        95.39      36.60
```

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

Salva Scheda e ESCI Annulla Scheda e ESCI

Assemblaggio Files con utility MKFILES.EXE

Crea file dati Geomeccanici

1	34.00	0.00	0.00	18.30	19.00
2	0.00	0.00	40.00	18.00	19.00
3	37.00	0.00	0.00	18.00	19.30
4	0.00	0.00	30.00	17.00	19.00
5	40.00	0.00	0.00	15.00	16.00
6	36.00	0.00	0.00	18.00	19.00

Parametri resistenza al taglio

Phi' (°) 

c' (kPa)

Cu (kPa)

Dati peso di Volume

PVol (kN/m³)

PVolSat (kN/m³)

Dati Ammasso Roccioso (Metodo GSI)

SigCi (MPa) 

GSI

mi

D

MKFILES 4.0
by L. Borselli (2007,2014)

GENERATI DATI STRATO N. 6

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

Assemblaggio Files con utility MKFILES.EXE

Creazione File Dati Falda

INSERIMENTO COORDINATE
Coordinate Nodo Superficie (in m)

Coordinata X nodo

Coordinata Y nodo

GENERATO NODO n.7
MKFILES 4.0
by L. Borselli (2007,2014)

Importa Nodi da Files (Testo o DXF)

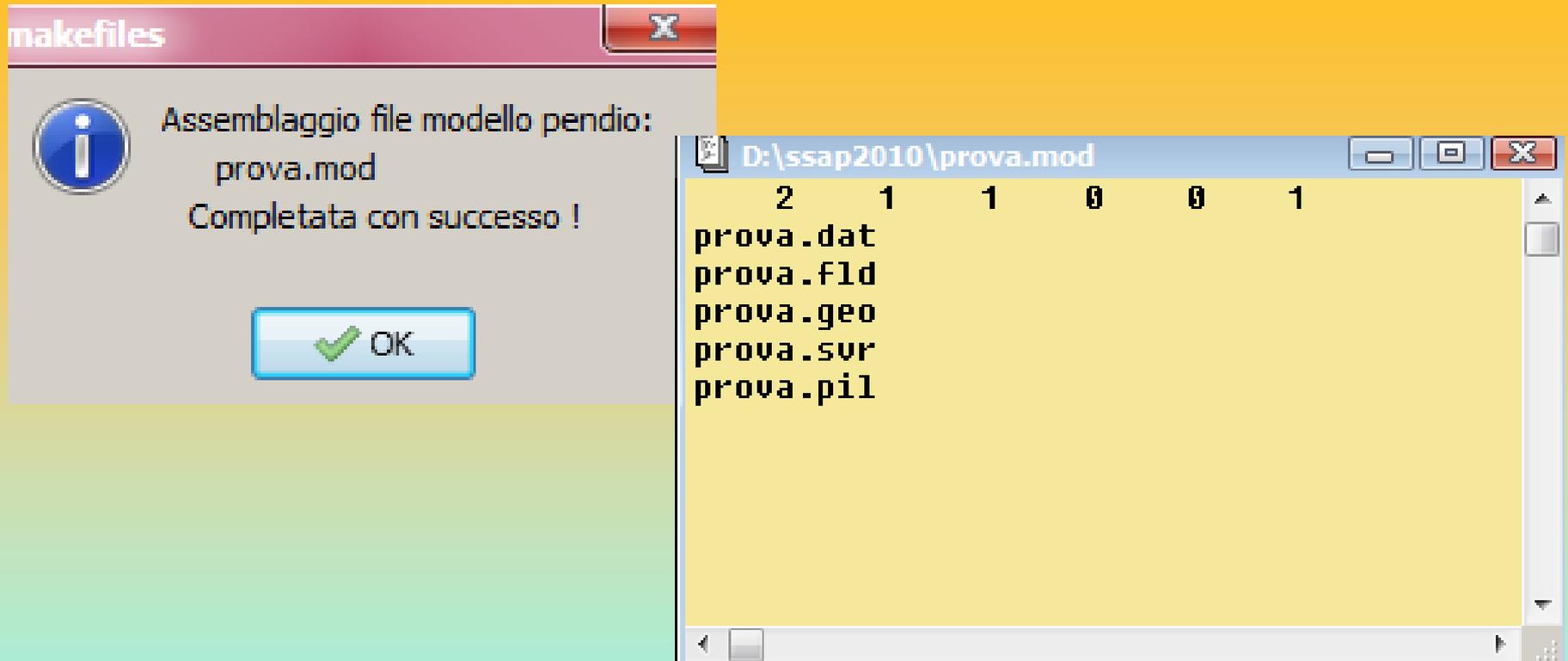


1	1.00	22.00
2	33.49	22.00
3	38.49	22.00
4	46.60	25.00
5	52.39	27.50
6	57.39	28.00
7	103.39	28.00

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

Salva Scheda e ESCI Annulla Scheda e ESCI

Assemblaggio Files con utility MKFILES.EXE



Video Didattici su assemblaggio files del modello del pendio. Alla pagina <http://www.ssap.eu/videos.html> esistono 4 video scaricabili (video . formato AVI, compressi singolarmente in files .ZIP) che mostrano, in vivo, l'uso del programma makefiles per assemblare diversi modelli del pendio.

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)

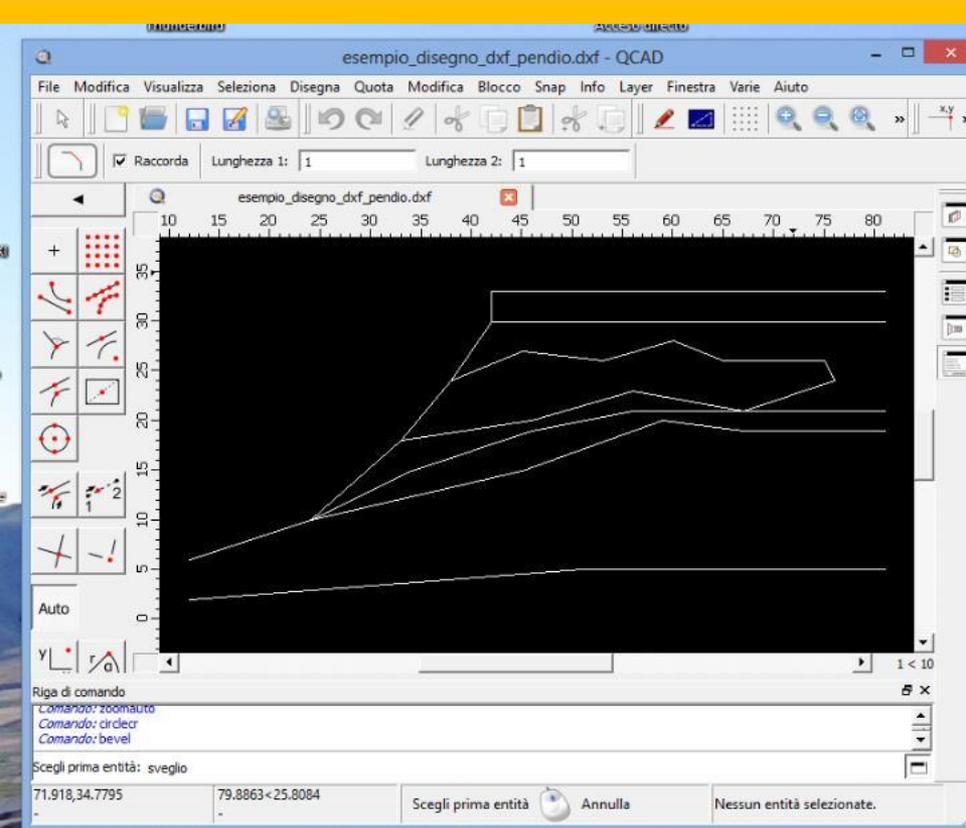
Pagina WEB di SSAP - [Video 8](#) (19:33 min)

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>



Crea file dati superfici Strati

INSERIMENTO COORDINATE
 GENERATO MODO a 12 SURF a 3

Coordinate nodo superficie (in m)

Coordinate X nodo: 0,00

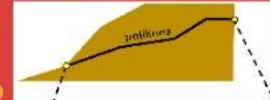
Coordinate Y nodo: 0,00

Buttons: **Scrivi Nodo** | **Cancela 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

File DXF Analizzato: esempio_disegno_dxf_pendio.dxf

Stato del lavoro: **CONSOLIDATO**

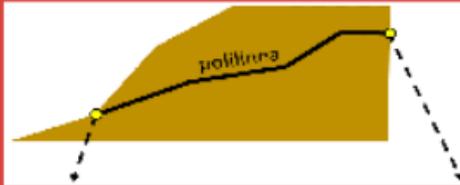
Buttons: **consolida assegnazione strati** | **cancela assegnazione strati**

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

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**

Modello del pendio

Caricamento File .MOD cliccando sul Bottone LEGGI MODELLO

The screenshot shows the SSAP 2010 (versione 4.2.0 - 2012) software interface. The main window has a red header with navigation buttons: "AVVIO VERIFICA" (containing "VERIFICA GLOBALE"), "RISULTATI" (containing "DIAGRAMMI FORZE" and "GENERA / VEDI MAPPA Fs LOCALE"), and "LEGGI MODELLO". Below the header is a yellow banner with program information: "SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM release 4.2.0 (c) (1991-2012) Build No. 5855 by Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D. lorenzo.borselli@cnr.it http://www.lorenzo-borselli.eu". The main area is divided into a left sidebar with "MODELLO PENDIO" and "MESSAGGI" sections, and a central workspace. The "MODELLO PENDIO" section contains a 3D terrain model and buttons for "LEGGI MODELLO", "VEDI MODELLO", and "HELP". The "MESSAGGI" section at the bottom contains a suggestion: "SUGGERIMENTI: effettuata una verifica di stabilita e anche una serie di file DXF con i grafici e esportare un file con le coordinate della superficie critica." A Windows Explorer window titled "Lettura Modello Pendio" is open, showing the file system path "Computer > Disco locale (D:) > ssap2010". The file list includes folders like "LibreCAD", "makefiles", "old kernel src", "pendii", "program_package", "SSAP VARIE", "strumenti free", "sumatrapdfcache", "temp_pendii" and files "esercizio1.mod", "prova.mod", and "prova0.mod". The "Nome file:" field is empty, and the file type is set to "SSAP modellopendio (*.mod)". The "Apri" button is highlighted. A black arrow points from the "LEGGI MODELLO" button in the software to the "prova.mod" file in the Explorer window.

Assemblaggio Files con utility MKFILES.EXE

Risultato:

Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
SSAP 4.2.0 (2012) - Slope Stability Analysis Program

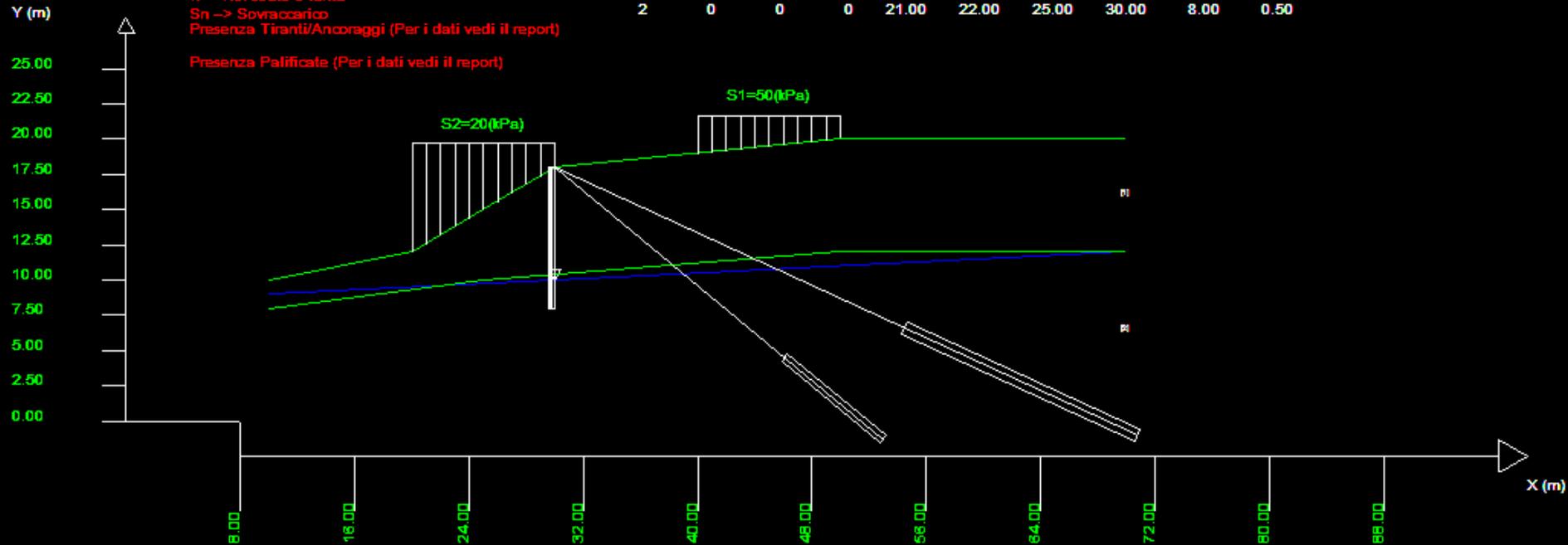
SSAP/DXF generator rel. 1.1.0 (2012)

Data : 5/1/2013
Localita' :
Descrizione :
n = No. strato o lente
Sn -> Sovraccario
Presenza Tiranti/Ancoraggi (Per i dati vedi il report)

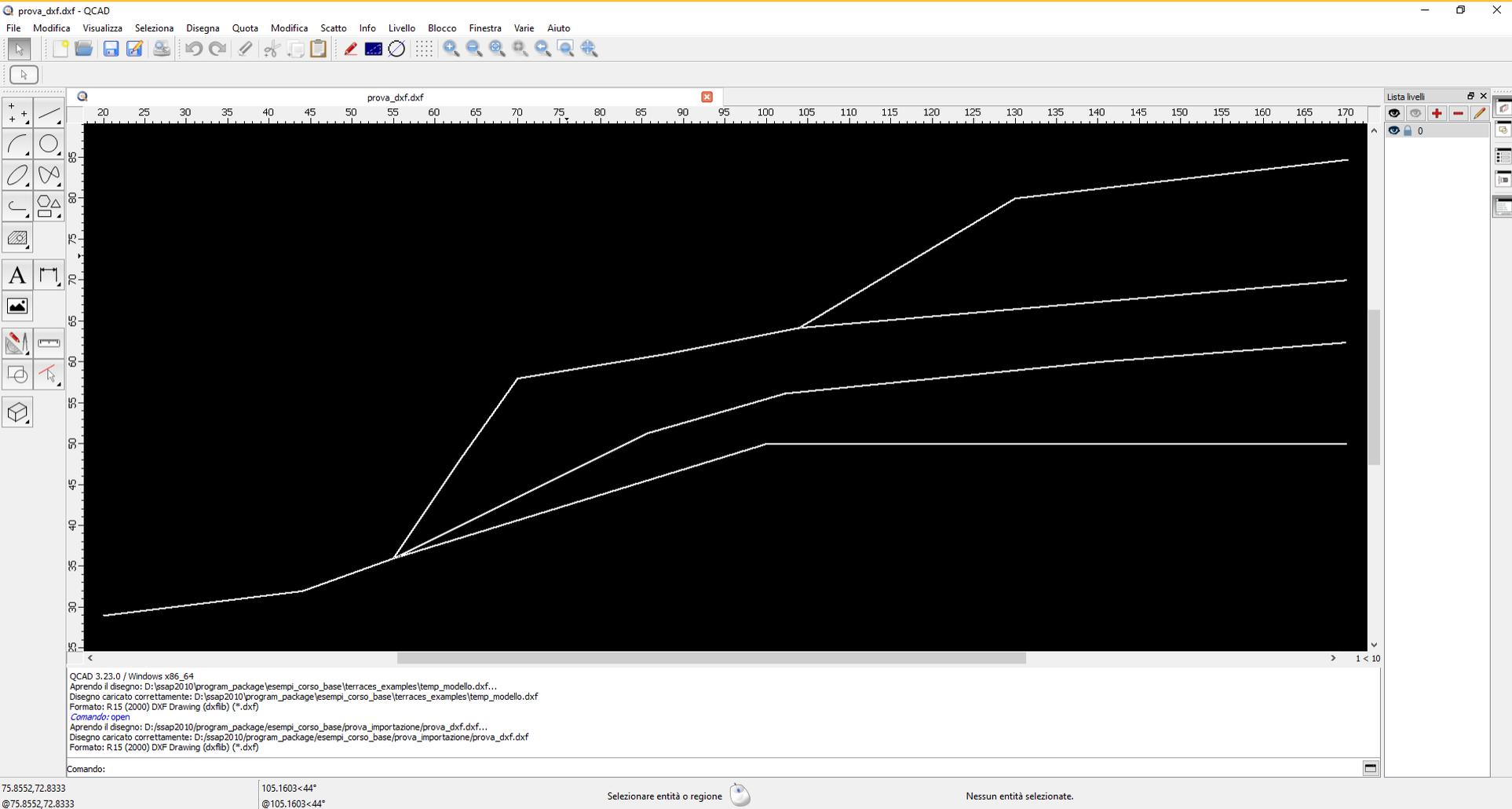
Presenza Palificate (Per i dati vedi il report)

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	30.00	10.00	0	18.00	19.50	0	0	0	0
2	0	0	0	21.00	22.00	25.00	30.00	8.00	0.50



Prova di generazione di modello completo a partire da profilo di pendio presente in file .DXF



Cartella ..\pendii\esempi corso base\Prova_importazione

Lorenzo Borselli – SEMINARIO_CORSO BASE SSAP2010(freeware)– rel.3.1 (2022)

Monitor controllo verifica

SSAP 2010 (versione 4.8.4 - 2017)

SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM
release 4.8.4 (c) (1991-2017)
Build No. 9483 Windows 64 Bit
by Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D.
lborselli@gmail.com
<http://www.lorenzo-borselli.eu>

AVVIO VERIFICA

VERIFICA GLOBALE
VERIFICA SINGOLA

RISULTATI

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

MONITOR VERIFICA

MODELLO PENDIO

LEGGI MODELLO
VEDI MODELLO

SSAP2010
rel. 4.8.4

<http://WWW.SSAP.EU>

HELP
ESCI dal PROGRAMMA

MODELLO PENDIO : ROCK1.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 - Progressive - (m) : da 10.00 a 55.00
ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - (m) : da 15.00 a 59.00
QUOTA LIMITE INFERIORE (m): 0.00
LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI - (m) : 2.00
SMUSSA SUPERFICI: Attivato **EFFETTO TENSION CRACKS:** Attivato
RICERCA CON ATTRATTORE DINAMICO: Attivato **METODO (lambda0,Fs0):** A

RISULTATI IN TEMPO REALE

F_s ITERATIVO : 1.2097 **F_s Min.**
INTERVALLO F_s delle 10 SUPERFICI CON MINOR F_s : 0.7292 - 0.7508
n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE: 10000 di 10000
% EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA : 6.499 -- 99.86

PERCENTUALE SUPERFICI COMPLETATE(%): 100.00

STOP VERIFICA VEDI RISULTATI TEMPORANEI

SETUP VERIFICA

INFO
OPZIONI
PARAMETRI
GESTIONE ACQUIFERI
OPZIONI AGGIUNTIVE
SALVA IMPOSTAZIONI
CARICA IMPOSTAZIONI

STRUMENTI

GENERA REPORT VERIFICA
GENERA FILES DXF
ESPORTA SUPERFICI
CAMBIA PAR. GEOTECNICI
EDITA FILES
MAKEFILES 5.1
File SSAP2010.INI

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

Opzioni generali per la verifica

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.

NTC2008/EC-7 - ROCCE
 DISATTIVATO
 ATTIVATO

$\gamma_{\phi'}$
 $\gamma_{c'}$

ROCCE - Criterio Hoek et al. (2002)
 HB Classico -Hoek et al. (2002)
 HB Generalizzato -Shen et al.(2012)

METODO DI CALCOLO

JANBU RIGOROSO (1973) **$T(x) = \lambda f(x) E(x)$**

SPENCER (1973)

SARMA I (1973)

MORGESTERN - PRICE (1965)

CHEN - MORGESTERN (1983)

SARMA II (1979)

BORSELLI (2016)

Esplora spazio (lambda0, fs0) Metodo
 A (rapido e accurato)
 B (più accurato)
 C (molto più accurato)

TIRANTI - ANCORAGGI

PASSIVI

ATTIVI

Distribuzione resistenza
 Rettangolare
 Trapezoidale

PALIFICATE

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

Fattore di riduzione Fp (NTC2008) (Variare da 1 a 100)

% di massima mobilizzazione teorica

Applicare nuova metodologia Calcolo Mobilizzazione

Criterio Calcolo Mobilizzazione
 MAX (Fpm, E(x))
 MIN (Fpm, E(x))

CONTROLLO STABILITA' NUMERICA

% Tolleranza stress normali negativi

% Tolleranza RHO=|Fs/Fv| > 1.0

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

Reimposta Valori Standard

MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI

RANDOM SEARCH (RS)

CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)

SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 2.5

RANDOM...
00100101001
01010010101
00010101001
10110101000

SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO

EFFETTO ATTIVATO Opzioni Smussatore

EFFETTO DISATTIVATO

TENSION CRACKS TESTA PENDIO

EFFETTO DISATTIVATO

EFFETTO ATTIVATO Opzioni Tension Cracks

ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI

DISATTIVATO

ATTIVATO

FILTRAGGIO SUPERFICI

FILTRARE

NON FILTRARE

SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH

Steps di scansione Variante NO-CONVEX SNIFF

Frequenza attivazione No-convex oscillazione masima (gradi)

ottimizza tracciatore discontinuita' sottili

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 per la generazione delle superfici

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 (Y_o) 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

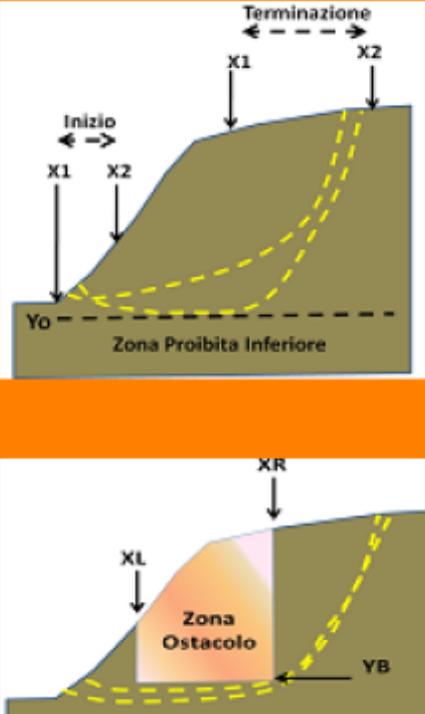
XL 0.00 Ascissa sinistra (m)

XR 0.00 Ascissa destra(m)

YB 0.00 Quota base ostacolo (m)

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

HELP OK Cancel



Il diagramma superiore illustra un profilo di terreno con una superficie di scorrimento (linea gialla tratteggiata). La zona di inizio è delimitata da X1 e X2. La zona di terminazione è delimitata da X1 e X2. La quota della zona proibita inferiore è Yo. Un ostacolo è mostrato con coordinate XL, XR e YB.

Interruzione temporanea verifica - visualizzazione risultati parziali - 10 superfici con minor Fs

SSAP 4.0 (2010) - Slope Stability Analysis Program
Software by Dr. Geol. L. Borselli - CNR IRPI (FI)
SSAPIDXF generator rel. 1.0 (2010)

Data : 6/12/2010
Localita' :
Descrizione :
n = No. strato o lente

Sn → Sovraccarico

Presenza Pallificate (Per i dati vedi il report)

Modello di calcolo : Morgenstern & Price (1965)



•3 motori di ricerca superfici random - dettagli

RANDOM SEARCH

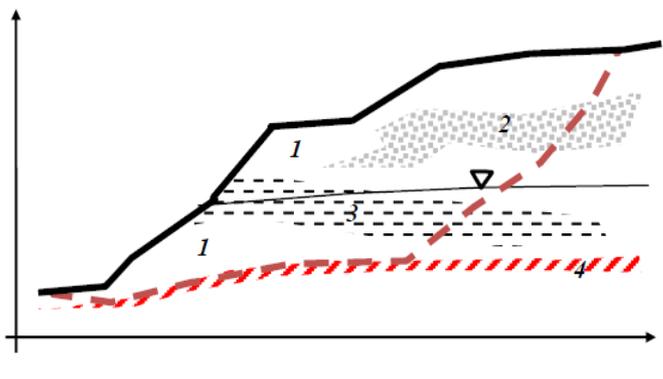
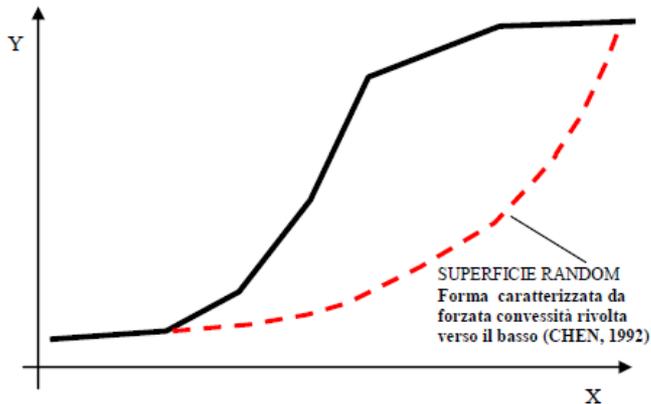
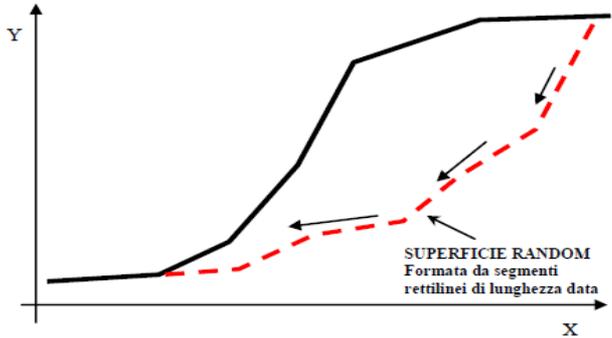
Non fa assunzioni preliminari sulla forma delle superfici di scivolamento. I modelli di generazione delle superfici si rifanno parzialmente al modello classico di SIEGEL et al. (1981) che è praticamente un modello di tipo '*Monte Carlo*' cioè basato sulla generazione di una distribuzione di numeri casuali,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

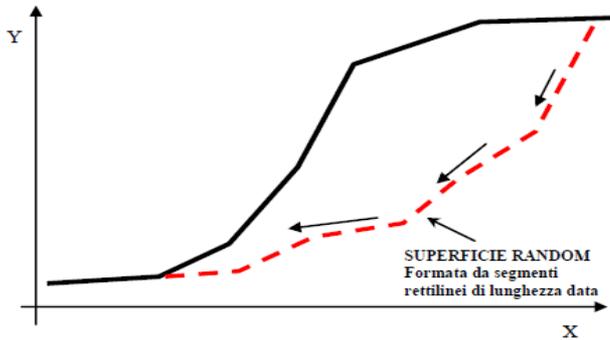
SNIFF RANDOM SEARCH – *Il método Piu' innovativo ...*

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

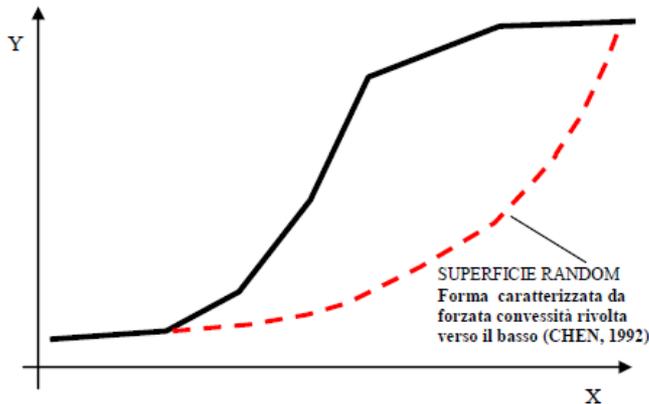


Vantaggi: rapido e buono in caso di complessita' stratigrafica e stutture. Di uso generale.

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

Sempre Indicato in: casi di stratigrafia con incremento marcato di Phi' con la profondita'

CONVEX RANDOM SEARCH

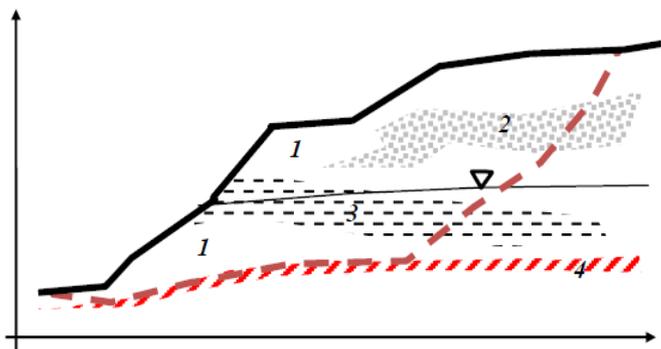


Vantaggi: rapido e di utilizzo generale anche in ammassi rocciosi

Svantaggi: casi di stratigrafia con incremento marcato di Phi' con la profondita', o miglioramento marcato qualita' dell'ammasso rocciosi con la profondita'.

Sempre Indicato in: pendii con maggiore isotropia stratigrafica

SNIFF RANDOM SEARCH



Vantaggi: gestione di complessita' stratigrafica e stutture.

Svantaggi: richiede molte piu risorse di calcolo.

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

NB: Puo' operare in modalita' sia CONVEX che NO-CONVEX

Opzioni generali per la verifica - motori di generazione e ricerca superfici

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.

NTC2008/EC-7 - ROCCE
 DISATTIVATO $\gamma_{\phi'}$
 ATTIVATO $\gamma_{c'}$

ROCCE - Criterio Hoek et al. (2002)
 HB Classico -Hoek et al. (2002)
 HB Generalizzato -Shen et al.(2012)

METODO DI CALCOLO
 JANBU RIGOROSO (1973) $T(x) = \lambda f(x) E(x)$
 SPENCER (1973)
 SARMA I (1973)
 MORGESTERN - PRICE (1965)
 CHEN - MORGESTERN (1983)
 SARMA II (1979)
 BORSELLI (2016)

Esplora spazio(λ , λ_0 , f_s) Metodo
 A (rapido e accurato)
 B (più accurato)
 C (molto più accurato)

CONTROLLO STABILITA' NUMERICA
 % Tolleranza stress normali negativi
 % Tolleranza RHO= $|F_w/F_v| > 1.0$
 Reimposta Valori Standard

TIF - ANCORAGGI
 PASSIVI
 ATTIVI
 Distribuzione resistenza
 Rettangolare
 Trapezoidale

PALIFICATE
 Metodo calcolo
 ITO - MITSUI (1975) - HASSIOTIS (1997)
 KUMAR - HALL (2006) (+ conservativo)
 Fattore di riduzione Fp (NTC2008) (Variare da 1 a 100)
 % di massima mobilizzazione teorica

SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO
 EFFETTO ATTIVATO Opzioni Smussatore
 EFFETTO DISATTIVATO

ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI
 DISATTIVATO
 ATTIVATO

MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI
 RANDOM SEARCH (RS)
 CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)
 SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 2.5
RANDOM...
 00100101001
 01010010101
 00010101001
 10110101000

TENSION CRACKS TESTA PENDIO
 EFFETTO DISATTIVATO
 EFFETTO ATTIVATO
 Opzioni Tension Cracks

FILTRAGGIO SUPERFICI
 FILTRARE
 NON FILTRARE

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

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 OK Cancel

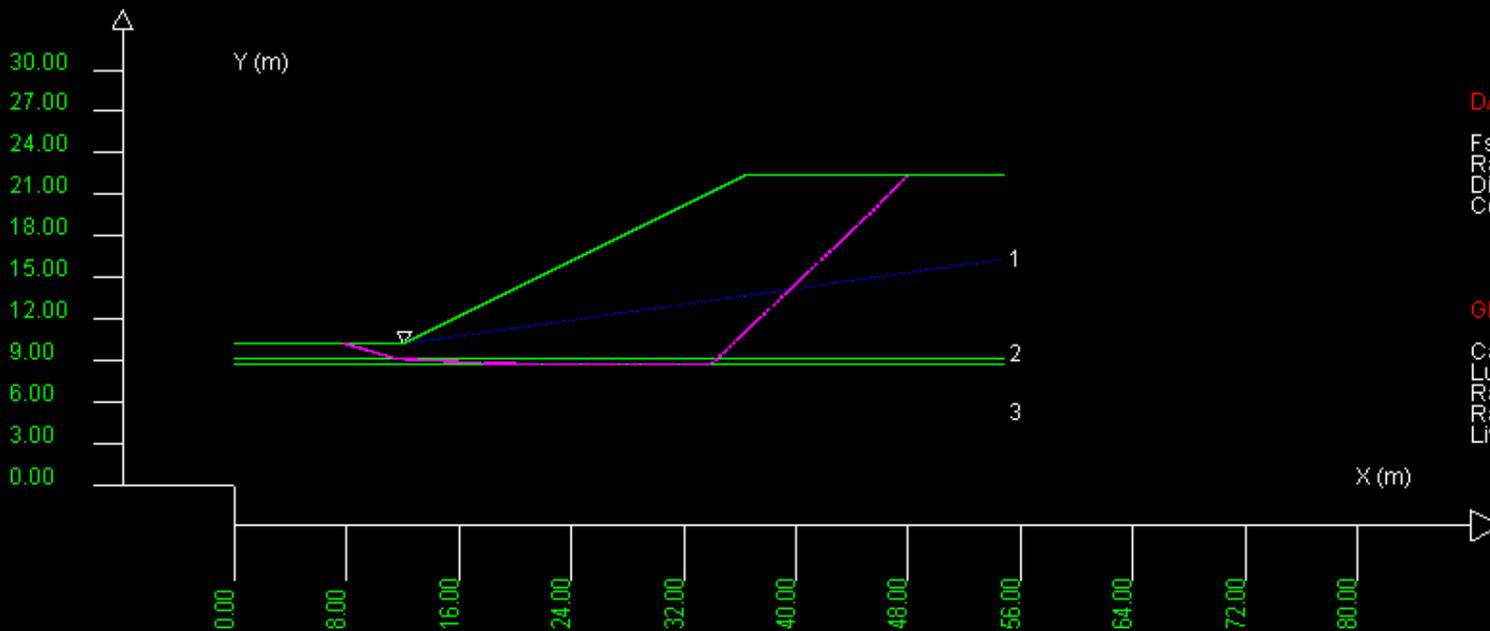
Sniff random search

Sniff Random Search

E' il **metodo più innovativo** ma anche **il più versatile e potente** tra quelli impiegati del programma. L'algoritmo, implementato in un motore di ricerca particolare, nasce dalle esperienze fatte in numerose casistiche particolari e dal tentativo di superare i problemi normalmente incontrati con i precedenti metodi.

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.**

Modello di calcolo : JANBU Rigoroso (1973)



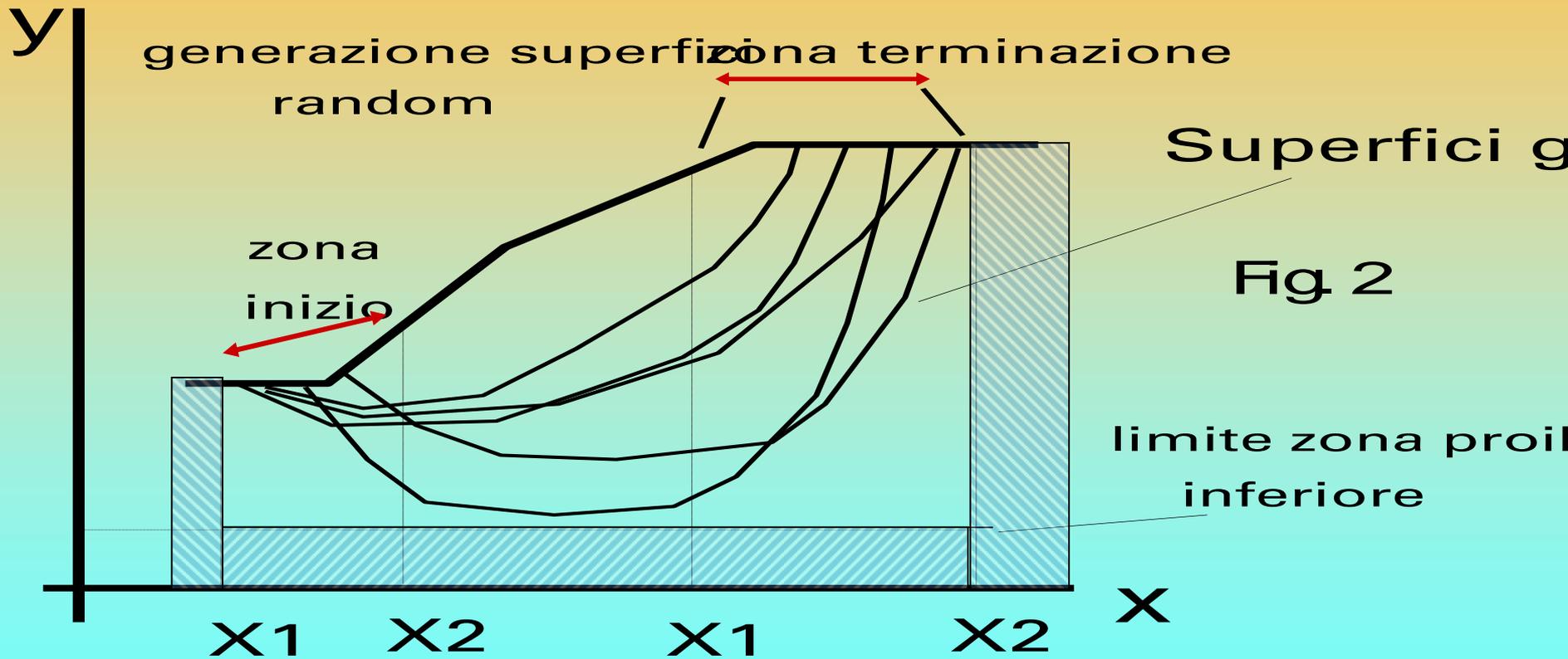
DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

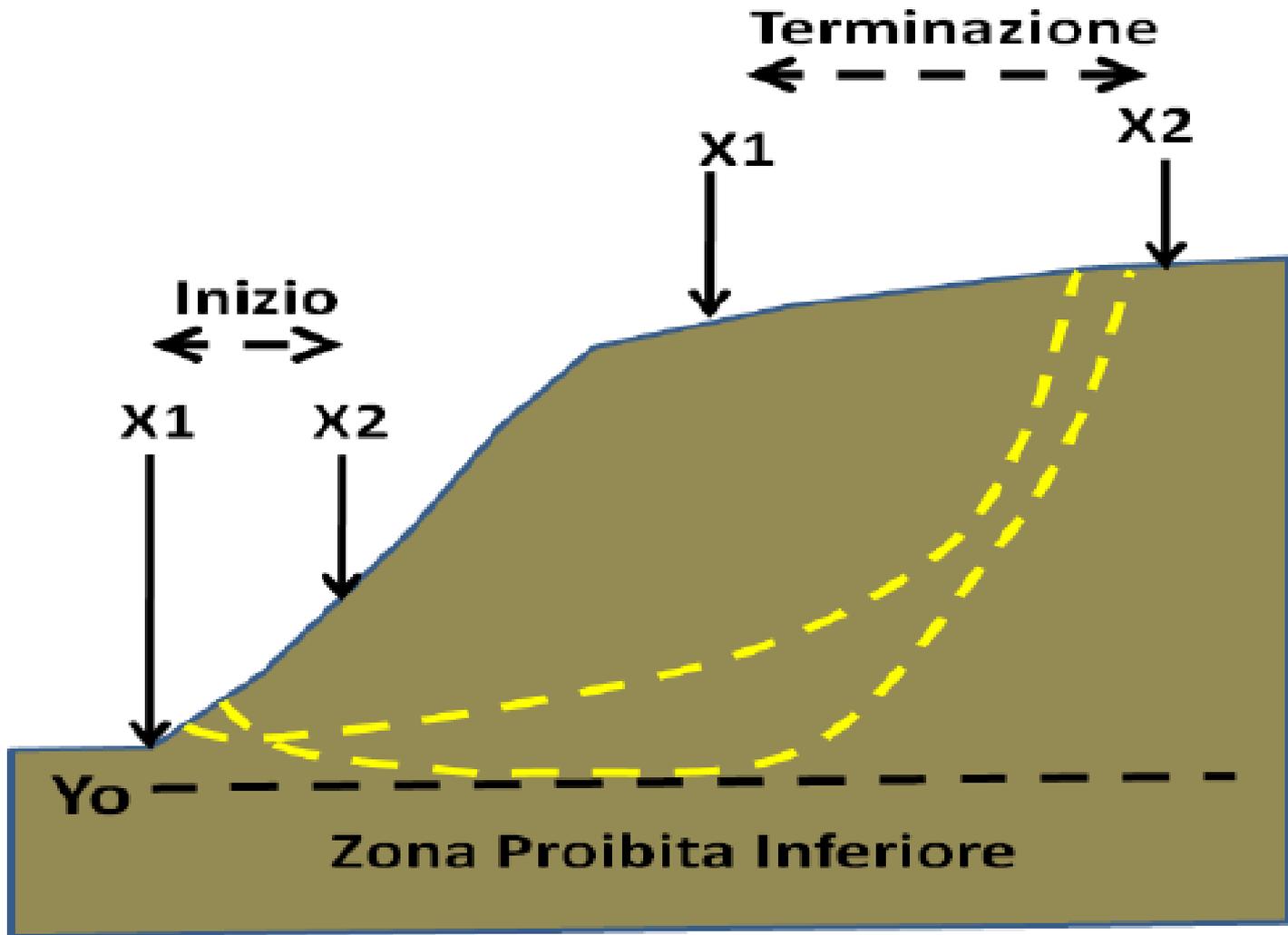
Fs minimo : 1.185
Range Fs : 1.185 - 1.271
Diff. % Range Fs : 6.7
Coeff. Sismico : 0.000

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 1433
Lunghezza media segmenti (m) : 3.0
Range X inizio generazione : 0.0 - 49.3
Range X termine generazione : 5.5 - 54.8
Livello Y minimo considerato : 0.4

Definizione dell'area di ricerca nelle tecniche random search Montecarlo





Input limiti geometrici zona di ricerca e lunghezza media segmenti

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 (Y_o) 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

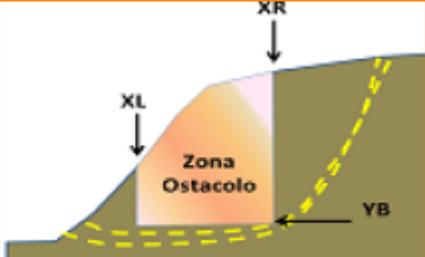
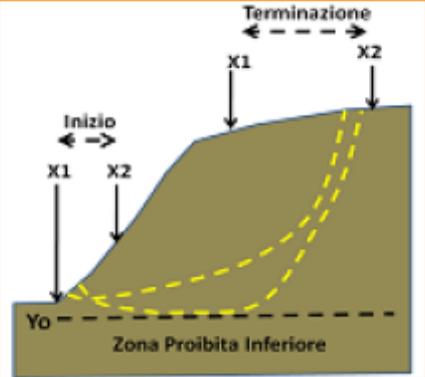
XL 0.00 Ascissa sinistra (m)

XR 0.00 Ascissa destra(m)

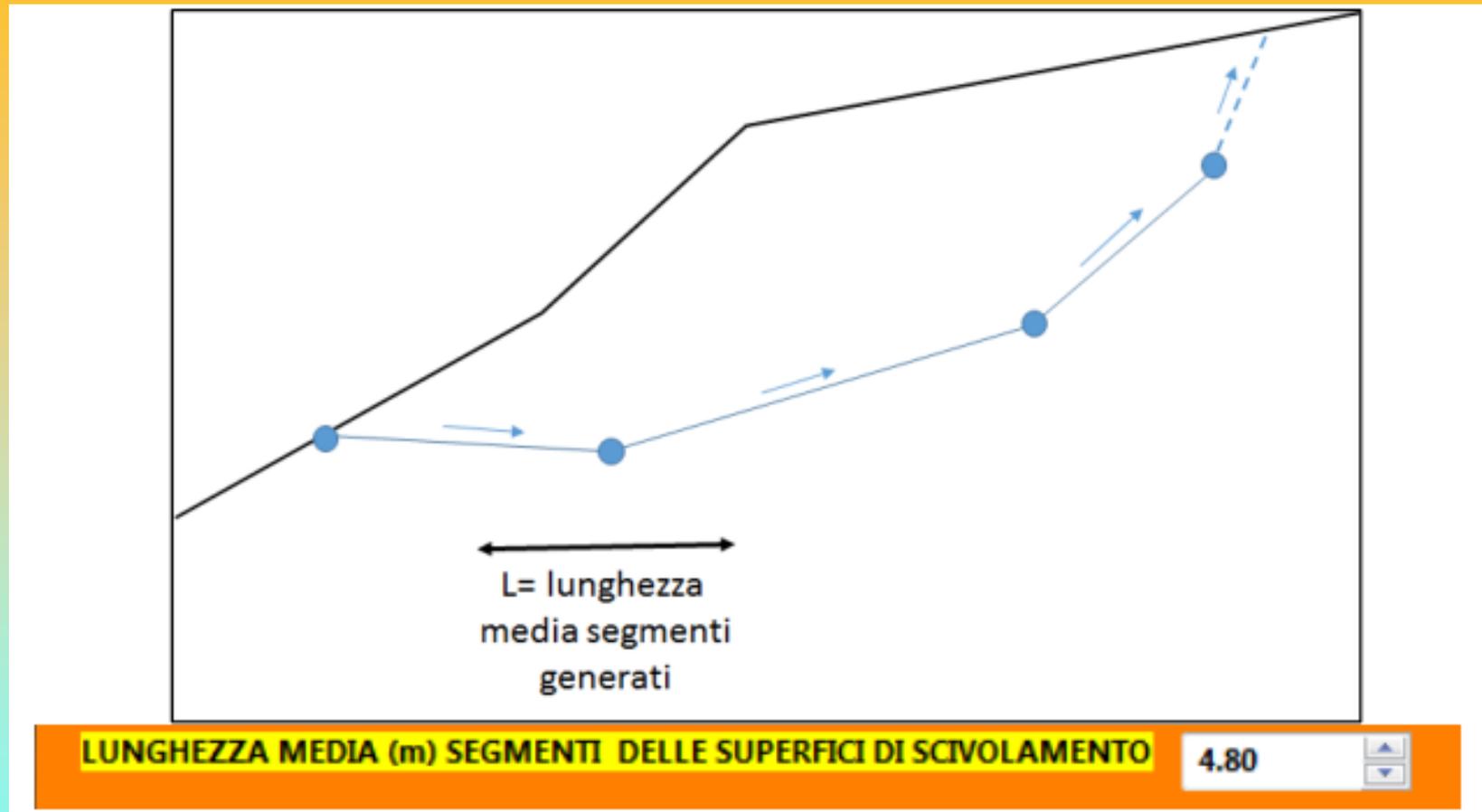
YB 0.00 Quota base ostacolo (m)

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

HELP OK Cancel



lunghezza media segmenti delle superfici



La lunghezza dei segmenti che viene indicata verrà utilizzata come lunghezza media. Infatti durante la generazione delle superfici il valore reale varierà continuamente in modo casuale tra il valore indicato +/- 50%. Questa metodologia, introdotta a partire dalla versione 2.8.2, consente di aumentare i gradi di libertà del sistema, mantenendo al tempo stesso invariati i tempi di esecuzione.

Opzioni generali per la verifica - Attrattore dinamico

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.

NTC2008/EC-7 - ROCCE
 DISATTIVATO $\gamma_{\phi'}$
 ATTIVATO $\gamma_{c'}$

ROCCE - Criterio Hoek et al. (2002)
 HB Classico -Hoek et al. (2002)
 HB Generalizzato -Shen et al.(2012)

METODO DI CALCOLO

JANBU RIGOROSO (1973) $T(x) = \lambda f(x) E(x)$
 SPENCER (1973)
 SARMA I (1973)
 MORGESTERN - PRICE (1965)
 CHEN - MORGESTERN (1983)
 SARMA II (1979)
 BORSELLI (2016)

Esplora spazio(lambda0,fs0)
 Metodo
 A (rapido e accurato)
 B (più accurato)
 C (molto più accurato)

TIRANTI - ANCORAGGI

PASSIVI
 ATTIVI

Distribuzione resistenza
 Rettangolare
 Trapezoidale

PALIFICATE

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

Fattore di riduzione Fp (NTC2008) (Variare da 1 a 100)
 % di massima mobilizzazione teorica

Applicare nuova metodologia Calcolo Mobilizzazione
 Criterio Calcolo Mobilizzazione
 MAX [FPm, E(x)]
 MIN [FPm, E(x)]

CONTROLLO STABILITA' NUMERICA

% Tolleranza stress normali negativi

 % Tolleranza RHO=|Fs/Fv| > 1.0

 Reimposta Valori Standard

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

MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI

RANDOM SEARCH (RS)
 CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)
 SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 2.5

RANDOM...
 00100101001
 01010010101
 00010101001
 10110101000

SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH

Steps di scansione
 Frequenza attivazione
 Variante NO-CONVEX SNIFF
 No-convex oscillazione masima (gradi)
 ottimizza tracciatore discontinuita' sottili

SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO

EFFETTO ATTIVATO Opzioni Smussatore
 EFFETTO DISATTIVATO

TENSION CRACKS TESTA PENDIO

EFFETTO DISATTIVATO
 EFFETTO ATTIVATO Opzioni Tension Cracks

FORZE AGGIUNTIVE PER SUPERFICIE SINGOLA

Forza Ea (alla Base) - kN/m
 Forza Eb (in Testa) - kN/m

ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI

DISATTIVATO
 ATTIVATO

FILTRAGGIO SUPERFICI

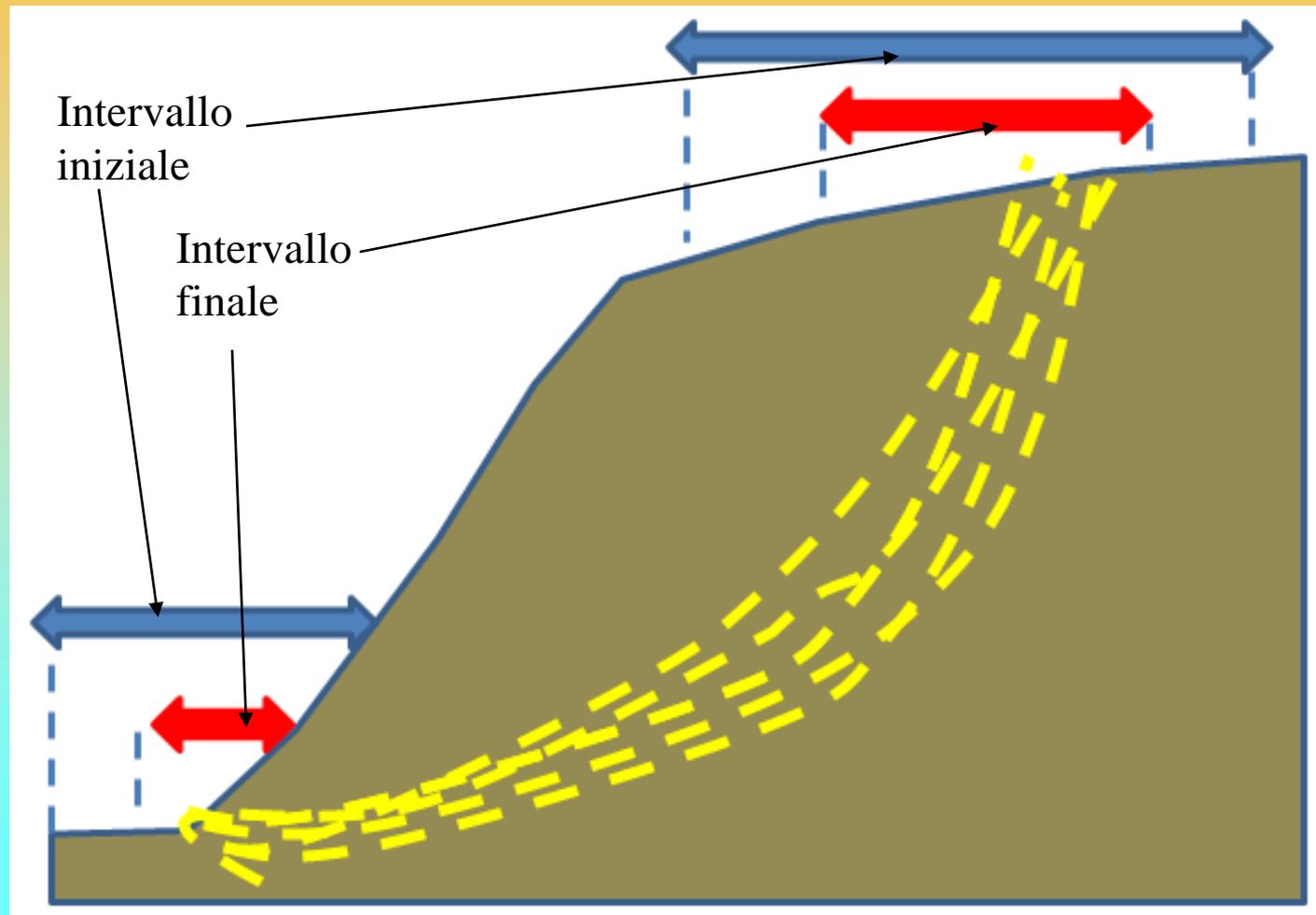
FILTRARE
 NON FILTRARE

PRESENZA DI OSTACOLO INTERNO

CON OSTACOLO
 SENZA OSTACOLO

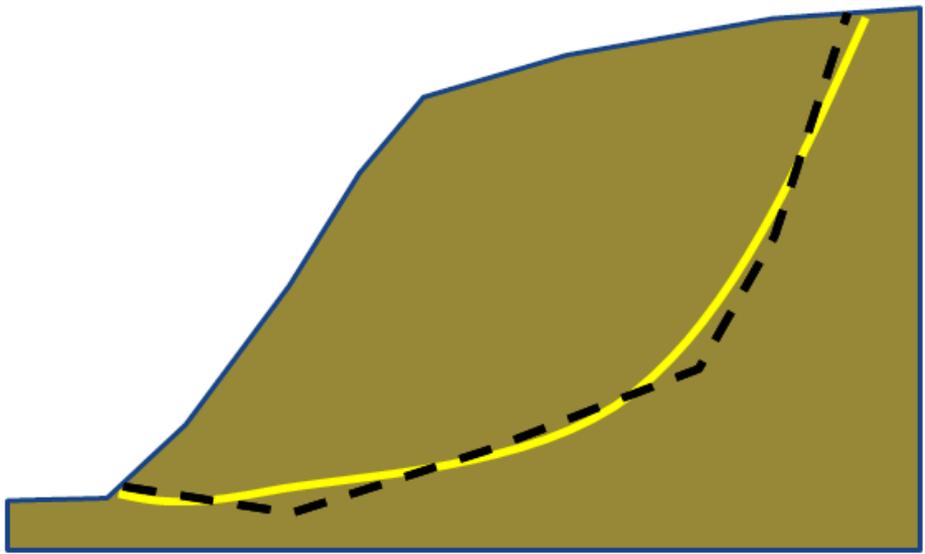
HELP

Attrattore dinamico .. Algoritmo che restringe progressivamente l'area di ricerca durante l'analisi. Questa procedura e' preimpostata, ma può essere disattivata. **Velocizza in molti casi la identificazione della superficie e della zona critica entro un pendio.**

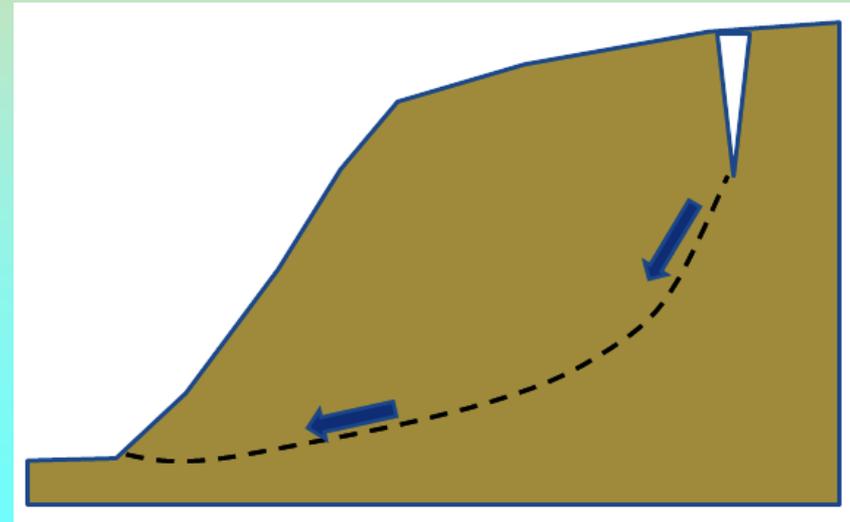


Inoltre

Generatore superficie random
Smussate...



Ricerca automatica superfici
con max profondità Tension cracks



Opzioni generali per la verifica - altre varianti generazione superficie

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.

NTC2008/EC-7 - ROCCE

DISATTIVATO $\gamma' \phi' \gamma_c'$

ATTIVATO

ROCCE - Criterio Hoek et al. (2002)

HB Classico -Hoek et al. (2002)

HB Generalizzato -Shen et al.(2012)

METODO DI CALCOLO

JANBU RIGOROSO (1973) $T(x) = \lambda f(x) E(x)$

SPENCER (1973)

SARMA I (1973)

MORGESTERN - PRICE (1965)

CHEN - MORGESTERN (1983)

SARMA II (1979)

BORSELLI (2016)

Esplora spazio (lambda0, fs0) Metodo

A (rapido e accurato)

B (più accurato)

C (molto più accurato)

TIRANTI - ANCORAGGI

PASSIVI

ATTIVI

Distribuzione resistenza

Rettangolare

Trapezoidale

PALIFICATE

Metodo calcolo

ITO - MATSUI (1975) - HASSIOTIS (1997)

KUMAR - HALL (2000) (+ conservativo)

Fattore di riduzione Fp (NTC2008) (Variare da 1 a 100)

% di massima mobilitazione (%)

Applicare nuova metodologia Calcolo Mobilitazione

Criterio Calcolo Mobilitazione

MAX (Fp, Eo)

MIN (Fp, Eo)

CONTROLLO STABILITA' NUMERICA

% Tolleranza stress normali negativi %

% Tolleranza RHO=|Fs/Fv| > 1.0 %

Limita T(x)/E(x)

LIMITATO

Non LIMITATO

Reimposta Valori Standard

SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO

EFFETTO ATTIVATO Opzioni Smussatore

EFFETTO DISATTIVATO

Opzioni Tension Cracks

TENSION CRACKS TESTA PENDIO

EFFETTO DISATTIVATO

EFFETTO ATTIVATO

Opzioni Tension Cracks

ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI

DISATTIVATO

ATTIVATO

FILTRAGGIO SUPERFICI

FILTRARE

NON FILTRARE

MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI

RANDOM SEARCH (RS)

CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)

SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 2.5

RANDOM...
00100101001
01010010101
00010101001
10110101000

SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH

Steps di scansione Variante NO-CONVEX SNIFF

Frequenza attivazione No-convex oscillazione massima (gradi)

ottimizza tracciato discontinuita' sottili

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

Numero di superfici da analizzare



Numero massimo superfici da generare

Il numero di superfici da generare deve essere compreso tra **10 e 99.000.000**. Tale numero indica il numero di superfici che verranno generate prima che il processo di verifica possa terminare automaticamente. Il processo può essere interrotto prima a discrezione dell'operatore. Il numero da indicare è a scelta dell'operatore e dipenderà sia dalla rappresentatività che si vuole ottenere, nonché dalla velocità del sistema che si dispone.

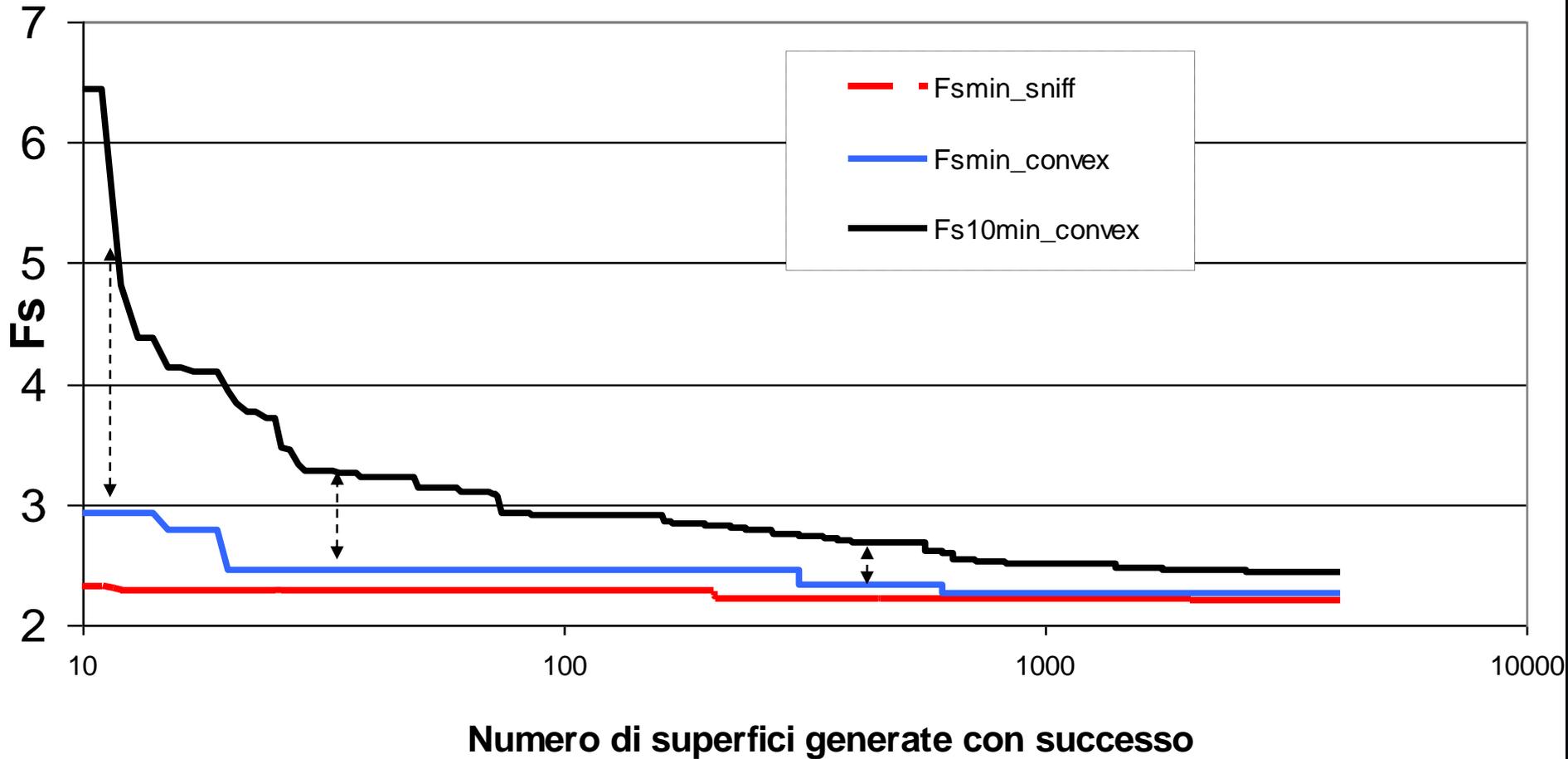
Tuttavia ...

Nella maggior parte dei casi sono sufficienti 5000- 10000 superfici per una analisi preliminare.

10000 superfici permettono già una analisi approfondita.

Con **Sniff random search** è sufficiente un minor numero di superfici !! (*quasi sempre*)

SSAP2003 (rel. 2.9)



Criterio di controllo delle superfici POST GENERAZIONE

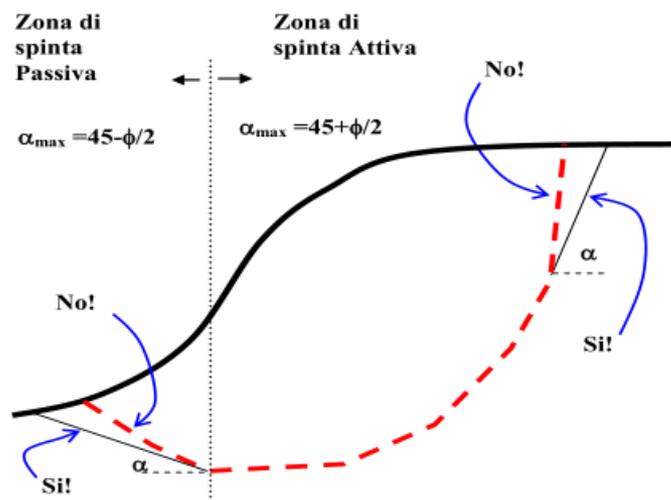


Fig. 2.37a

Il programma SSAP 2010 effettua un controllo stringente su ogni superficie, prima di effettuare i calcoli, e scarta quelle superfici che, anche solo localmente, violano gli angoli di inclinazione limite. Le superfici vengono scartate perché cinematicamente non possibili. In SSAP 2010 il controllo viene fatto automaticamente senza necessità di intervento dell'utente. Questo aspetto innovativo ha incrementato la affidabilità dei risultati.

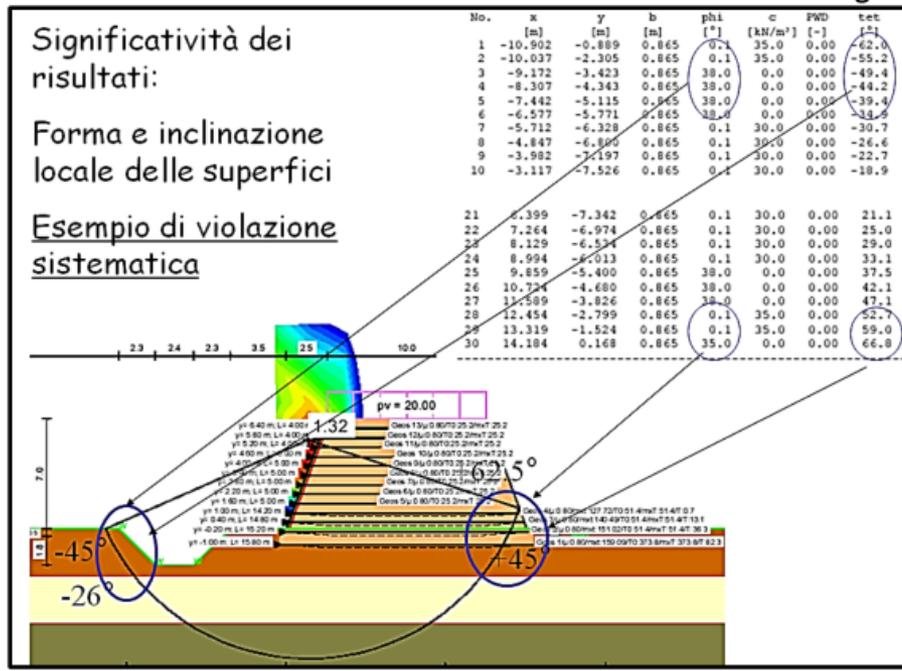


Fig. 2.37b

Un esempio di violazione sistematica della teoria della spinta e rottura delle terre è illustrata nella seguente figura (fig. 2.37b) dove si vede di una struttura in terre armate in rilevato dove si effettua una verifica di stabilità su una superficie circolare che mostra come, sia nella zona di spinta attiva che in quella di spinta passiva, risulti violate i criteri di rottura e gli angoli di pendenza limite precedentemente indicati.

Criterio di controllo delle superfici POST GENERAZIONE-2

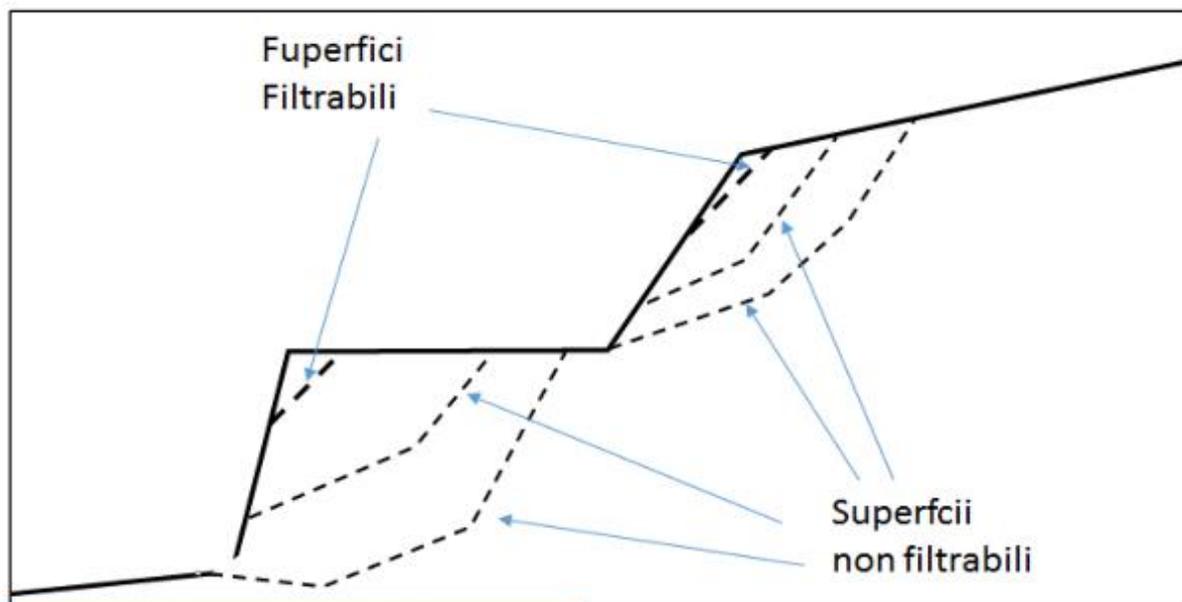
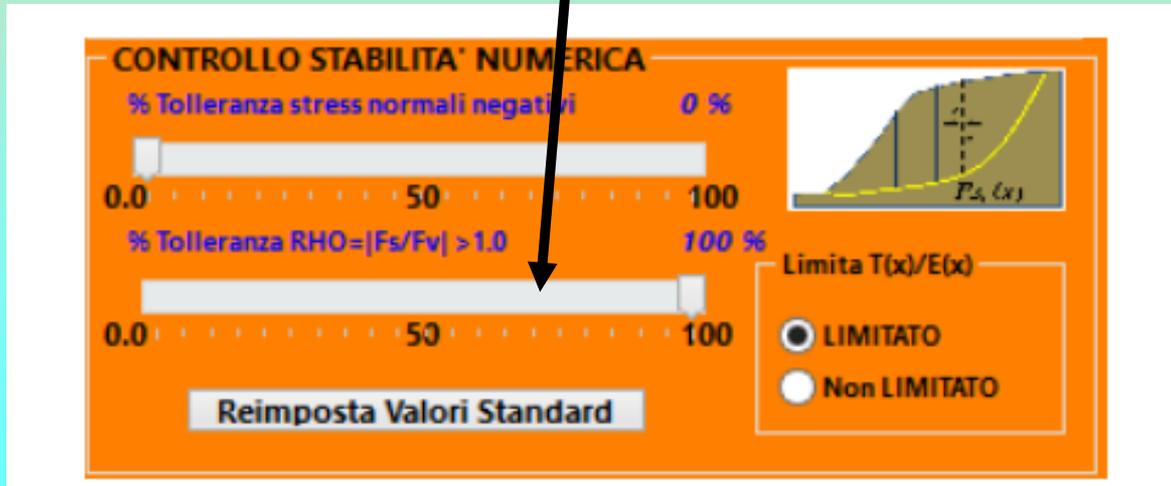
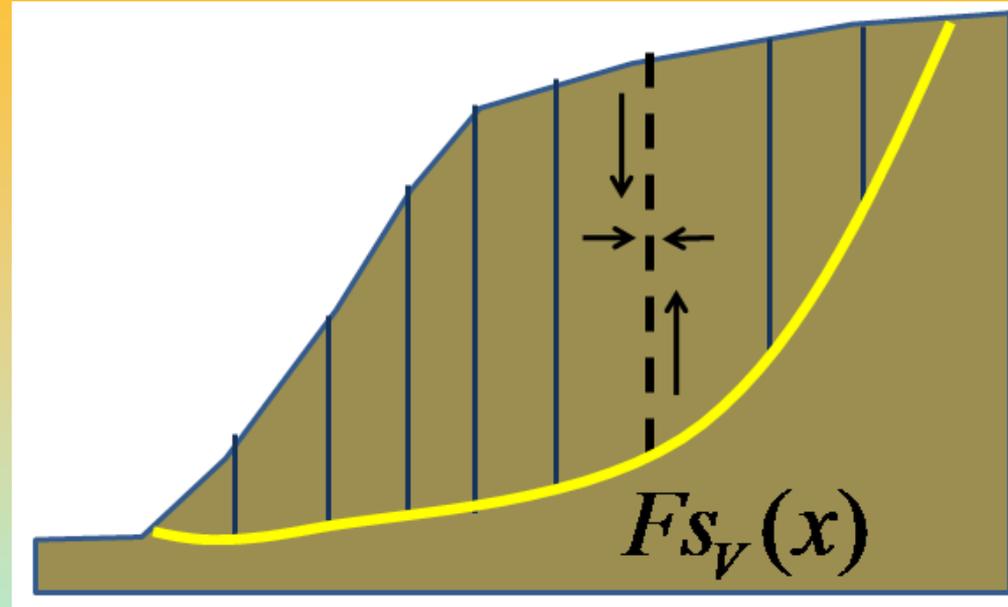


fig. 5.29

Superfici troppo corte; cioè costituite da soli 1-2 segmenti possono non essere rilevanti ai fini di una verifica di stabilità globale dato che possono interessare volumi ridotti del pendio (es. meno di $1m^3$). Normalmente all'avvio del programma questa opzione è attivata.

La scelta di effettuare il filtraggio è talvolta utile quando si hanno pendii con superfici topografiche con piccole gibbosità e irregolarità. Applicando il filtraggio vengono escluse quelle piccole superfici critiche (non significative ai fini della verifica di stabilità) che talvolta vengono identificate in corrispondenza delle piccole irregolarità della superficie topografica (fig. 5.29). A scelta dell'utente il filtraggio può essere disattivato

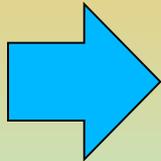
Filtro di post generazione: esclude superfici per le quali sulle superfici Verticali interconco il fattore di sicurezza locale F_{s_v} è inferiore Al fattore di sicurezza globale... (Sarma 1973, Zhu 2003) Ma In SSAP2010 è prevista una Tolleranza Massima (come % di volume) dove questo può Avvenire...



$$Rho(x) = \left| \frac{F_s}{F_{s_v}(x)} \right|$$

Metodi di calcolo di FS - confronto

I metodi di calcolo utilizzati differiscono per le assunzioni che vengono fatte per determinare le forze tangenziali T tra i conci



OPZIONI GENERALI per Verifiche di Stabilità SSAP

Coefficiente sismico orizzontale - Kh 0.000
Coefficiente c=Kv/Kh 0.500 Kv (negativo)

Fs di Progetto richiesto. Solo per analisi deficit di resistenza. 1.100

NTC2008/EC-7 - ROCCE
 DISATTIVATO $\gamma_{\phi'}$
 ATTIVATO $\gamma_{c'}$

ROCCHE - Criterio Hoek et al. (2002)
 HB Classico -Hoek et al. (2002)
 HB Generalizzato -Shen et al.(2012)

METODO DI CALCOLO

JANBU RIGOROSO (1973) $T(x) = \lambda f(x) E(x)$
 SPENCER (1973)
 SARMA I (1973)
 MORGESTERN - PRICE (1965)
 CHEN - MORGESTERN (1983)
 SARMA II (1979)
 BORSELLI (2016)

Esplora spazio (lambda0, fs0) Metodo

A (rapido e accurato)
 B (più accurato)
 C (molto più accurato)

TIRANTI - ANCORAGGI

PASSIVI
 ATTIVI

Distribuzione resistenza
 Rettangolare
 Triangolare

PALIFICATE

Metodo calcolo

TO-MATEO (1975) - HANOUTIS (1997)
 SUMAR-HALL (2000) (+ conservative)

Fattore di riduzione Fp (NTC2008) (Variare da 1 a 100) 1.00

% di massima mobilitazione teorica 100.00 (%)

Applicare nuova metodologia Calcolo Mobilitazione

Criterio Calcolo Mobilitazione
 MAX (Fpw, Fx)
 MIN (Fpw, Fx)

CONTROLLO STABILITA' NUMERICA

% Tolleranza stress normali negativi 70 %
0.0 50 100

% Tolleranza RHO=|Fs/Fv| > 1.0 70 %
0.0 50 100

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

Reimposta Valori Standard

MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI

RANDOM SEARCH (RS) **RANDOM...**
00100101001
01010010101
00010101001
10110101000

CONVEX RANDOM SEARCH (CRS)
 SNIFF RANDOM SEARCH (SRS) 2.5

SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH

Steps di scansione 60 Variante NO-CONVEX SNIFF

Frequenza attivazione 0.75

No-convex oscillazione masima (gradi) -10.00

ottimizza tracciatore discontinuita' sottili

SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO

EFFETTO ATTIVATO Opzioni Smussatore
 EFFETTO DISATTIVATO

TENSION CRACKS TESTA PENDIO

EFFETTO DISATTIVATO
 EFFETTO ATTIVATO Opzioni Tension Cracks

FORZE AGGIUNTIVE PER SUPERFICIE SINGOLA

Forza Ea (alla Base) - kN/m 0.00
Forza Eb (in Testa) - kN/m 0.00 Ea Eb

ATTRATTORE DINAMICO RICERCA SUPERFICI

DISATTIVATO
 ATTIVATO

FILTRAGGIO SUPERFICI

FILTRARE
 NON FILTRARE

PRESENZA DI OSTACOLO INTERNO

CON OSTACOLO
 SENZA OSTACOLO

OK Cancel

Metodi di calcolo di FS - confronto
 Metodi che garantiscono



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

$$\sum H_i = 0$$

$$T(x) = E(x) \tan \alpha_t - h_t \frac{dE(x)}{dx} + h_q \frac{dQ}{dx}$$

Janbu Rigoroso (1973)
di uso generale.. ...

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

Spencer (1967) .. Di uso generale..quasi uno standard

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

Morgestern & Price (1965) .. Forse il migliore

$$T(x) = \lambda \left[\bar{c}' H(x) + \left((E(x) - Pw(x)) \tan \bar{\phi}' \right) \right] \frac{1}{F_s}$$

Sarma I (1973)



Validi e stabili...



$$T(x) = \lambda f(x) \left[\bar{c}' H(x) + \left((E(x) - Pw(x)) \tan \bar{\phi}' \right) \right] \frac{1}{F_s}$$

Sarma II (1979)

Metodi di calcolo di FS - confronto
Metodi che garantiscono



$$\begin{array}{l} \sum V_i = 0 \\ \sum H_i = 0 \end{array} \quad \sum M_i = 0$$

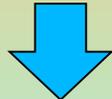
$$T(x) = \lambda f(x) E(x)$$

Morgestern & Price (1965) .. Il classico



$$T(x) = [\lambda f(x) + f_0(x)] E(x)$$

Chen & Morgestern (1983) .. Poco conosciuto, ma e' una evoluzione di Morgestern & Price(1965) .. Presente dalla versione 4.7.2



$$T(x) = \lambda [f(x) + f_1(x)] E(x)$$

Borselli (2016) .. Nuovo!! , evoluzione di di Morgestern & Price(1965) e di Chen e Morgestern (1983).. E' presente dalla versione 4.7.2 -2016)

(Trattato in dettaglio in appendice Appendice I del manuale)

Metodi di calcolo di FS - confronto Metodi che garantiscono Una Analisi Comparativa -1



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

$$\sum H_i = 0$$

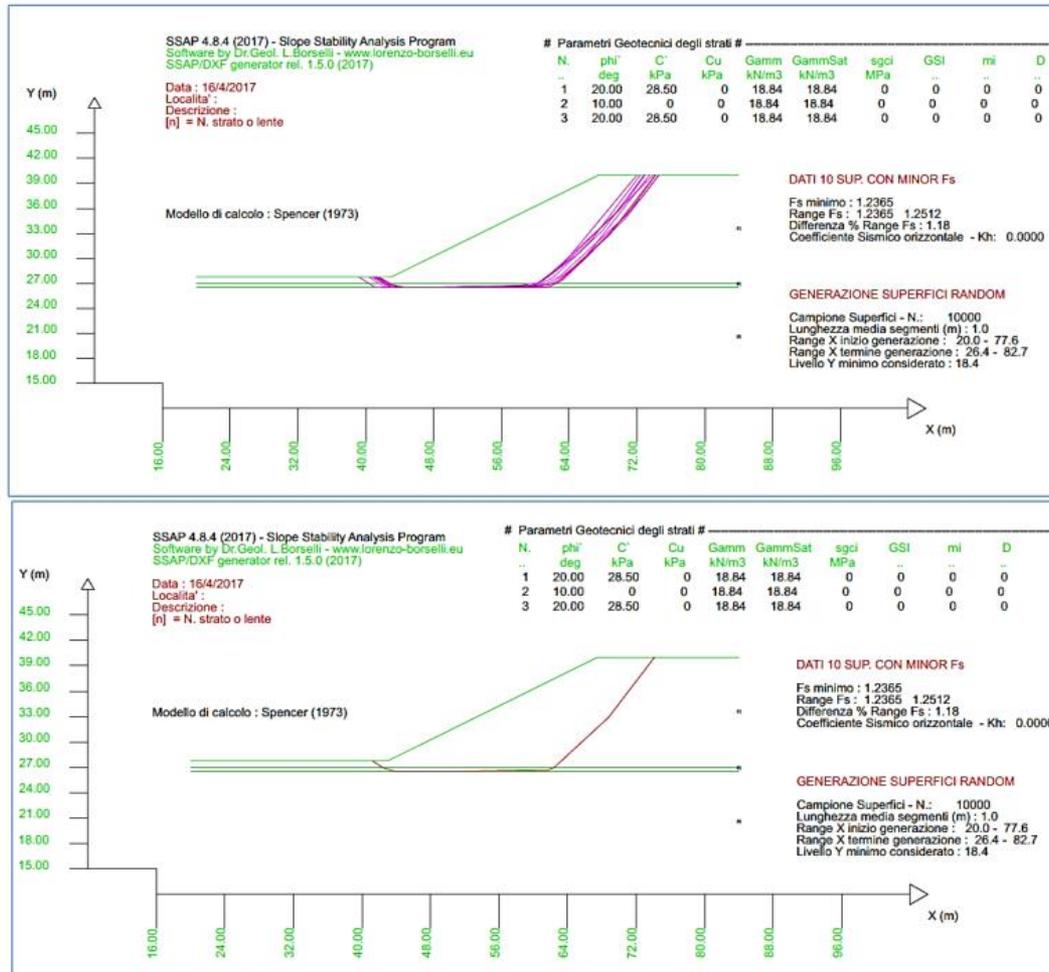


Fig. I.3: Risultato verifica utilizzando motore SNIFF-RANDOM SEARCH con segmenti medi di lunghezza 1m, assenza effetto tension cracks e metodo di calcolo Spencer (1973)

Si tratta quindi rilevato poggiate su strato a bassa resistenza. Caso critico, utilizzato nella letteratura internazionale, per testare i programmi di verifica di stabilità (Fredlund 1977). Questo tipo di pendio è normalmente usato come benchmark per i software di analisi di stabilità che non usano superfici esclusivamente circolari e per metodi ad elementi finiti.

Nello studio comparativo viene utilizzato il motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH.

Il pendio è caratterizzato da uno stato molto sottile orizzontale con una resistenza al taglio bassissima (livello torboso..). Sopra di esso un rilevato con coesione e attrito e sotto di esso uno strato molto resistente.

Metodo Spencer (1967,1973) → Fs 1.2365

Metodi di calcolo di FS - confronto Metodi che garantiscono



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

$$\sum H_i = 0$$

Una Analisi Comparativa -2

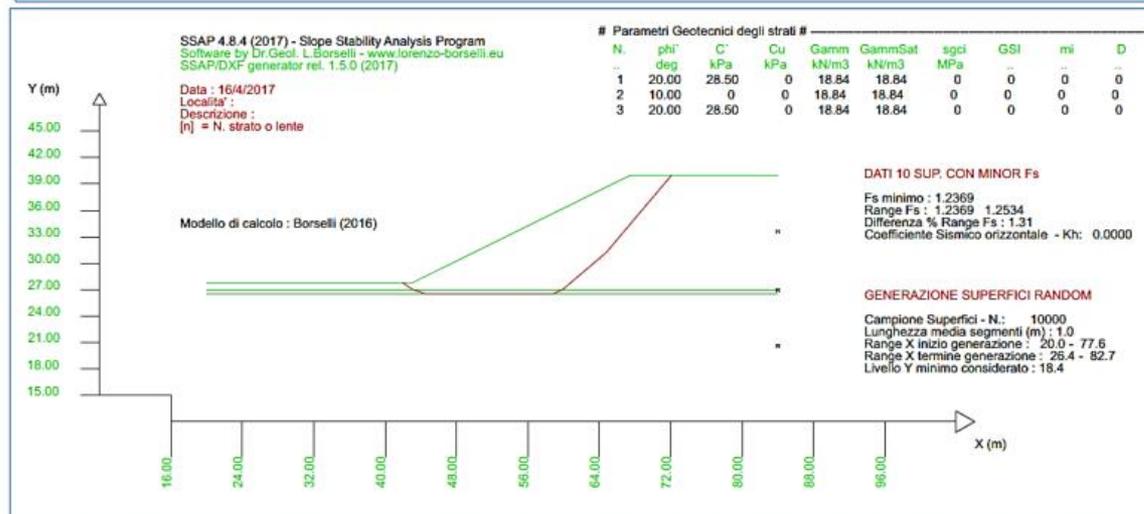
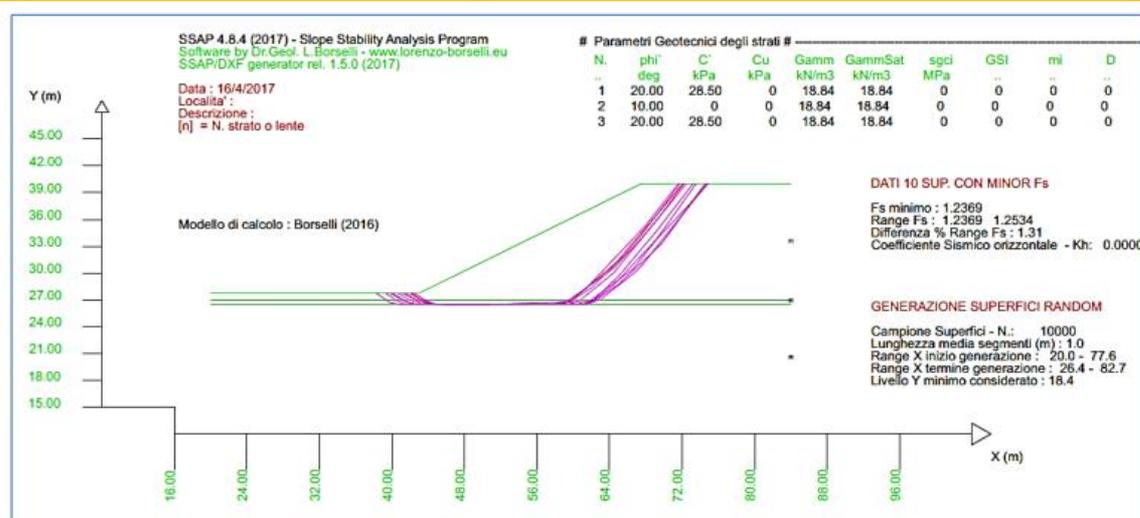


Fig. I.6: Risultato verifica utilizzando motore SNIFF-RANDOM SEARCH con segmenti medi di lunghezza 1m, assenza effetto tension cracks e metodo di calcolo Borselli (2016)

Metodo Borselli (2016) → Fs 1.2369

Metodi di calcolo di FS - confronto
 Metodi che garantiscono



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

$$\sum H_i = 0$$

Una Analisi Comparativa -3

Tabella I.2. Risultati analisi comparativa tra i vari metodi di calcolo rigorosi.

Tipo modello (gruppo)	Metodo di calcolo	FS	lambda	Differenza % Fs rispetto metodo Spencer
1	Spencer (1973)	1.2365	0.1833	-
2	Borselli (2016)	1.2357	0.1564	-0.06470
2	Morgestern –Price (1965)	1.2374	0.2369	+0.07279
2	Chen-Morgestern (1983)**	1.2373	0.186	+0.06470
1	Sarma I (1973)	1.2237	0.0471	-1.03518
2	Sarma II (1979)	1.2282	0.0446	-0.67125
3	Jambu Rigoroso (1973)*	1.2707	-	+2.7658

Note: *il metodo di Janbu rigoroso non fa uso del fattore di scala lambda per la soluzione di FS; **Il metodo di Chen- Morgestern coincide con quello Morgestern-Price nel caso che la pendenza della superficie topografica, agli estremi della superficie di scivolamento, sia uguale a 0 (come nel caso in studio)

Metodi di calcolo di FS - confronto Metodi che garantiscono Una Analisi Comparativa - 4



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

$$\sum H_i = 0$$

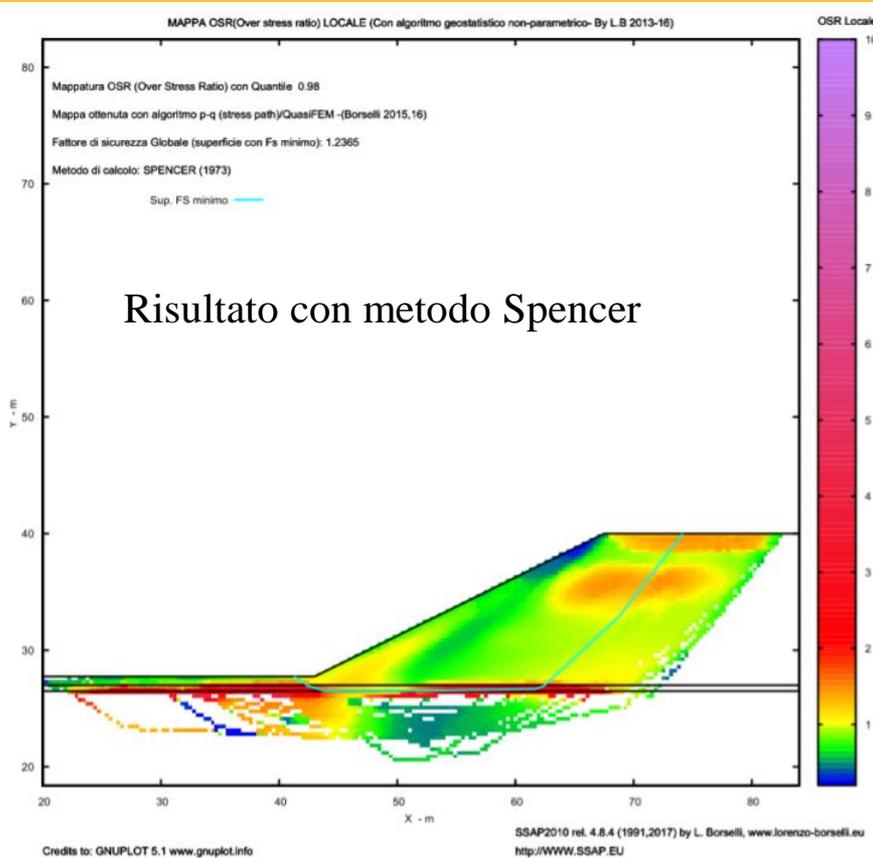


Fig. I.5: Risultato verifica utilizzando motore SNIFF-RANDOM SEARCH con segmenti medi di lunghezza 1m, assenza effetto tension cracks e metodo di calcolo Spencer (1973): mappa del OSR (over stress ratio)

Mappa Over stress ratio (per dettagli vedasi manuale SSAP 4.8.2 Appendice I)

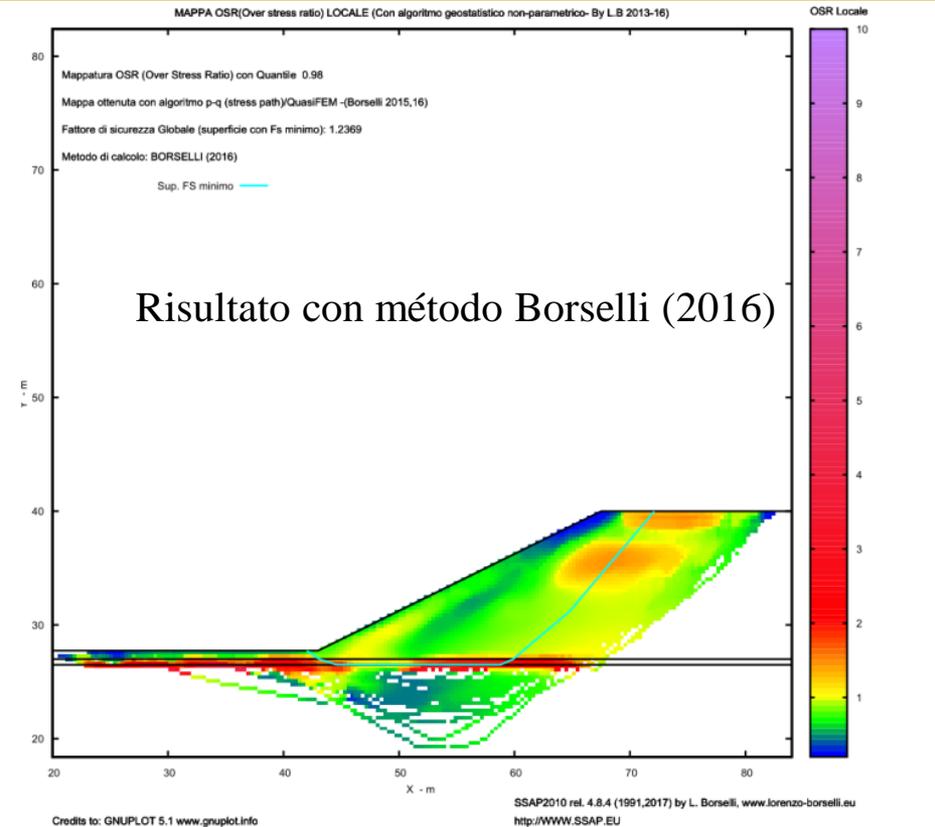
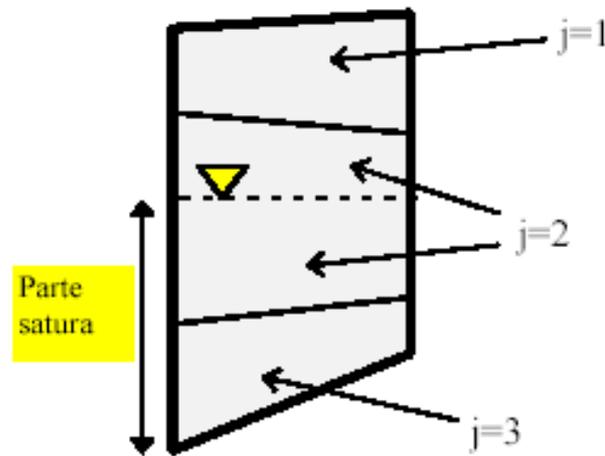


Fig. I.8: Risultato verifica utilizzando motore SNIFF-RANDOM SEARCH con segmenti medi di lunghezza 1m, assenza effetto tension cracks e metodo di calcolo Borselli (2016): mappa del OSR (over stress ratio)

Pressioni idrostatiche - pressioni dei pori - pendii sommersi

La pressione interstiziale alla base di ogni concio viene calcolata attraverso il coefficiente della pressione interstiziale alla base di ogni concio, r_{u_i} che viene determinato, nel caso generico di un concio costituito da strati di materiali diversi (fig. 2.3):

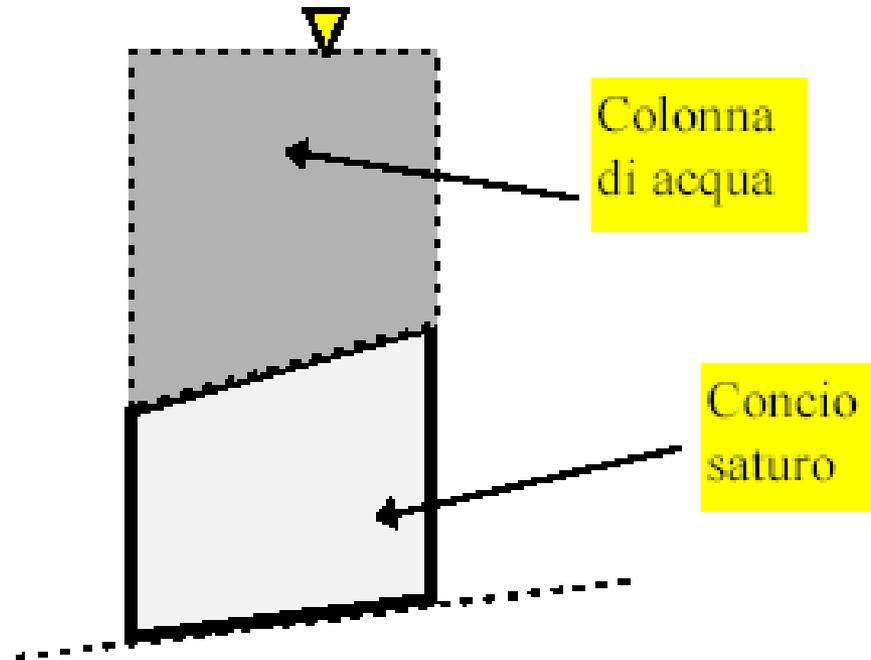


$$r_{u_i} = \frac{V_w \gamma_w}{\sum_j V_j \gamma_j} \quad (2.5)$$

dove:

- J indice dello strato che fa parte del concio i-esimo
- V_w Volume della parte di concio satura
- γ_w Peso unitario dell'acqua
- V_j Volume dello strato j che fa parte del concio i -esimo
- γ_j Peso unitario dello strato j (peso unitario sopra falda o peso unitario saturo, se in falda)

Pressioni idrostatiche - pressioni dei pori - pendii sommersi



$$S_{w_i} = V_{sw_i} \gamma_w$$

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);

GESTIONE ACQUIFERI

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

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

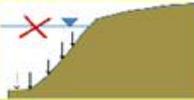
GESTIONE PIEZOMETRICHE

Esclusione sovraccarichi pendii sommersi

Esclusione sovraccarico (come pendio sommerso) entro le progressive:

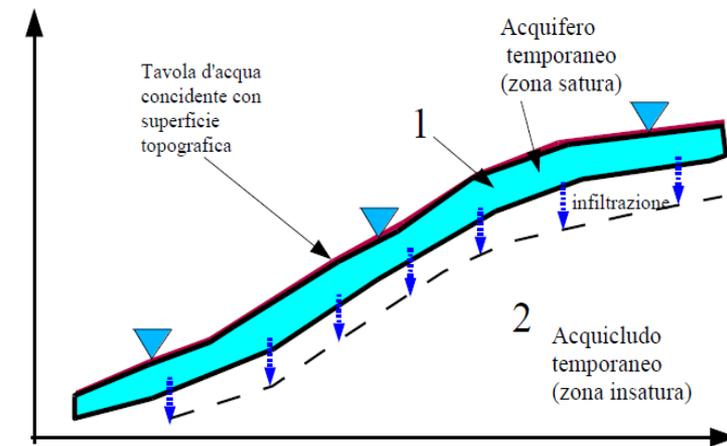
Da (m): 1.00 A (m): 119.74

Attiva effetto memoria pressione dei pori

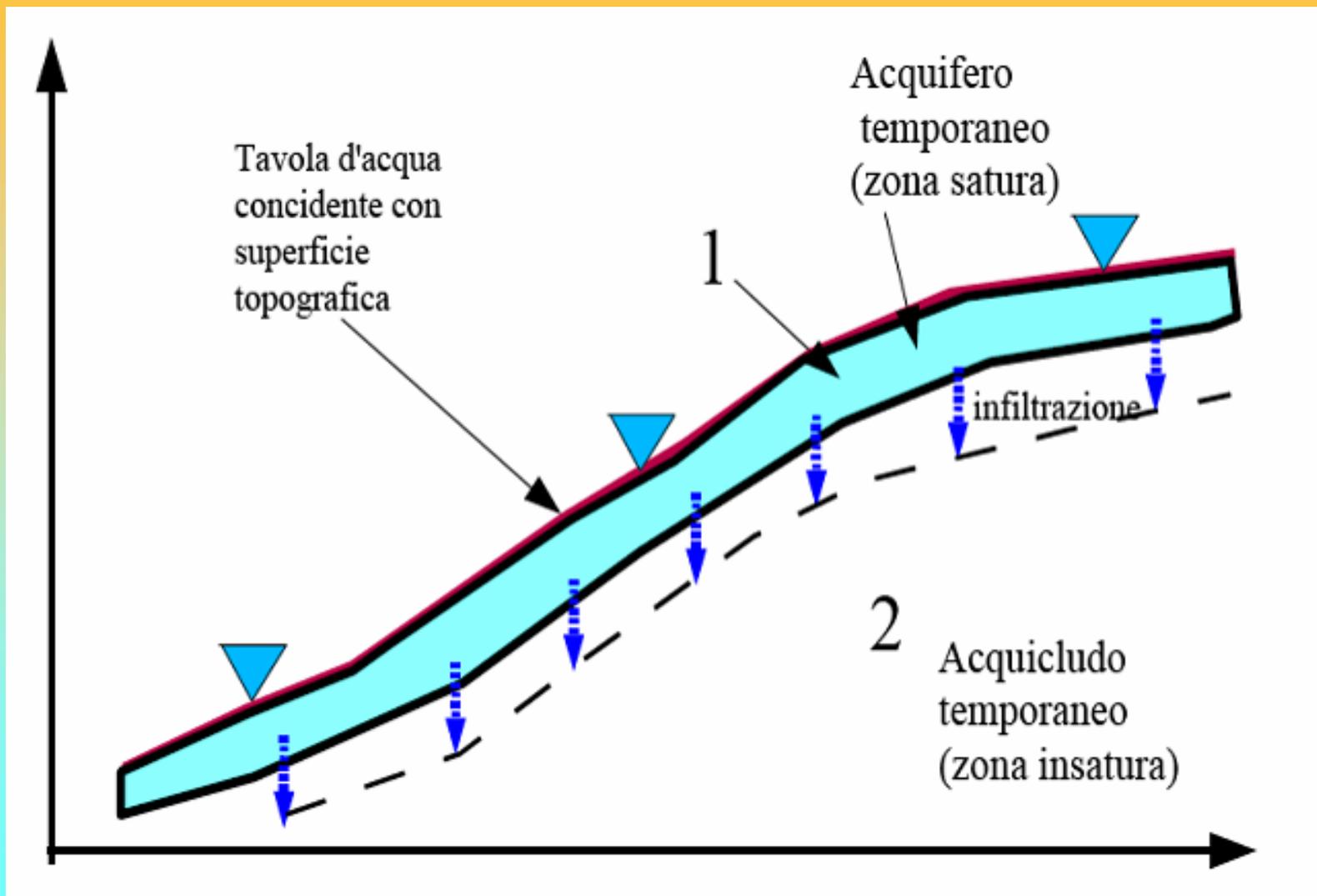


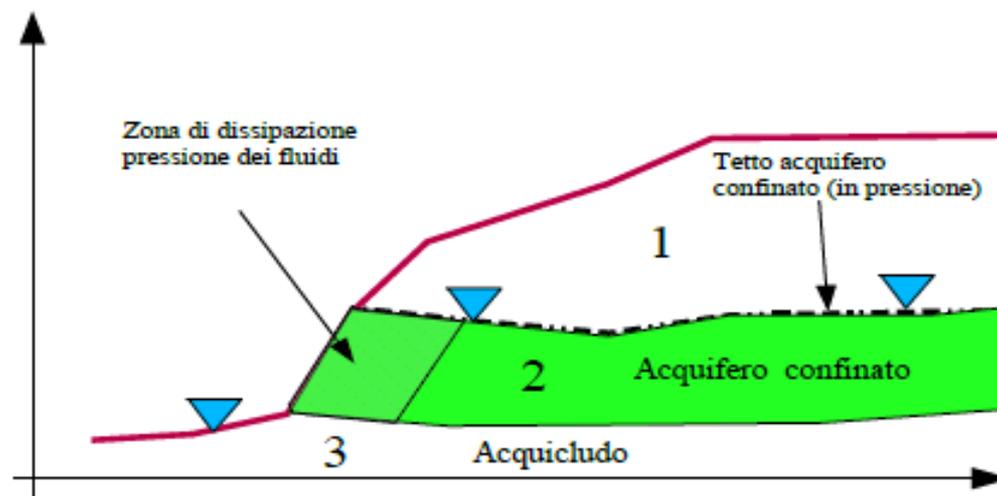
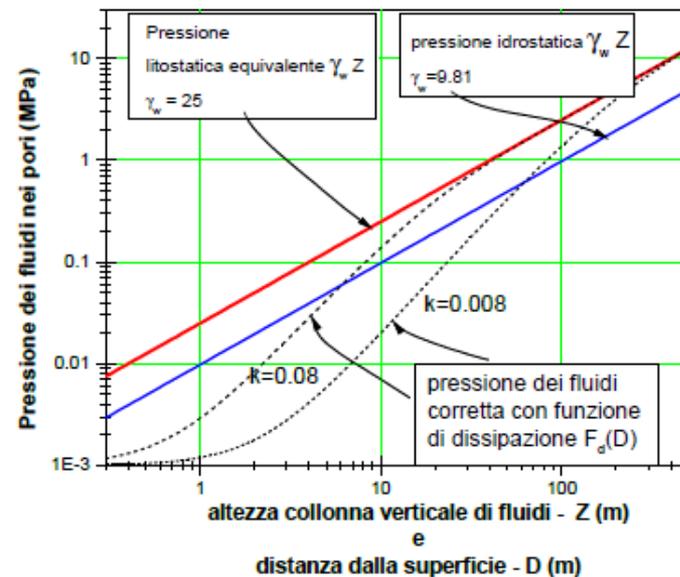
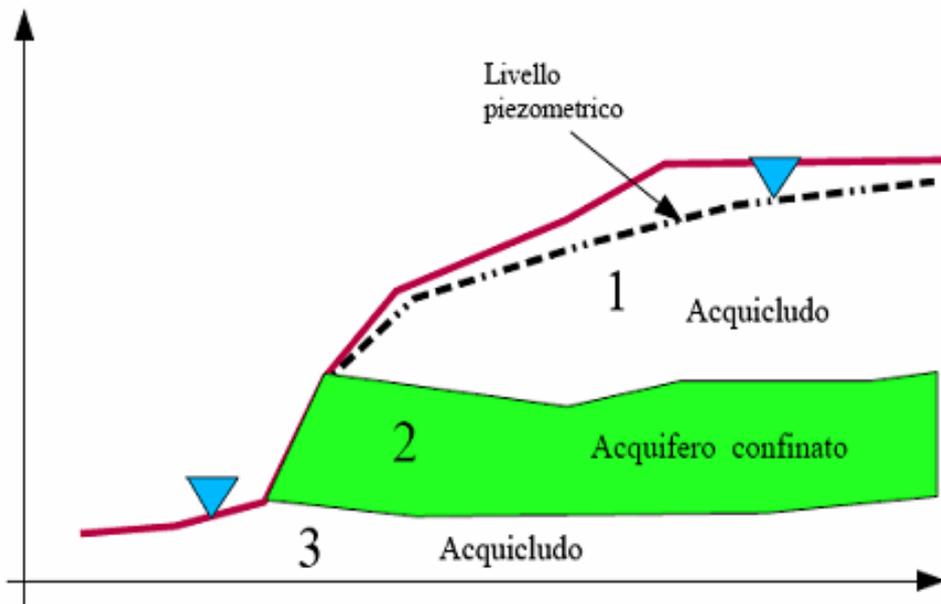
Prima di modificare i valori PRE-IMPOSTATI dal programma delle CARATTERISTICHE DEL FLUIDO ricordarsi che è necessario leggere con attenzione il manuale tecnico del programma. Un utilizzo improprio di queste procedure può portare a importanti effetti sui risultati delle verifiche!!

HELP OK Cancel

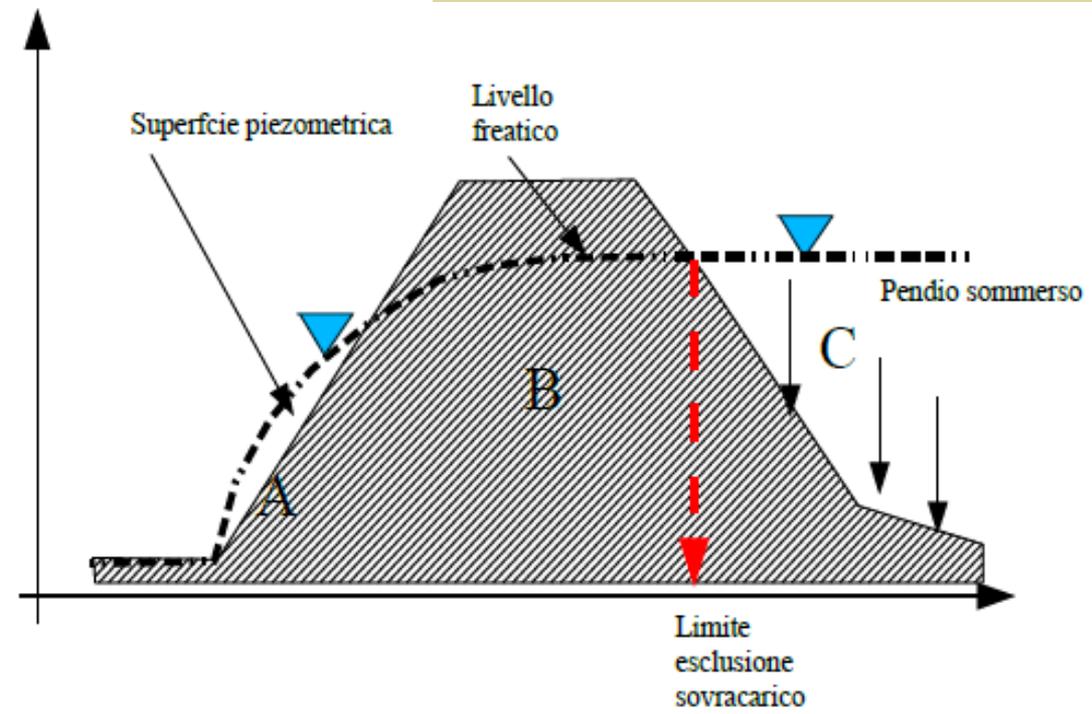
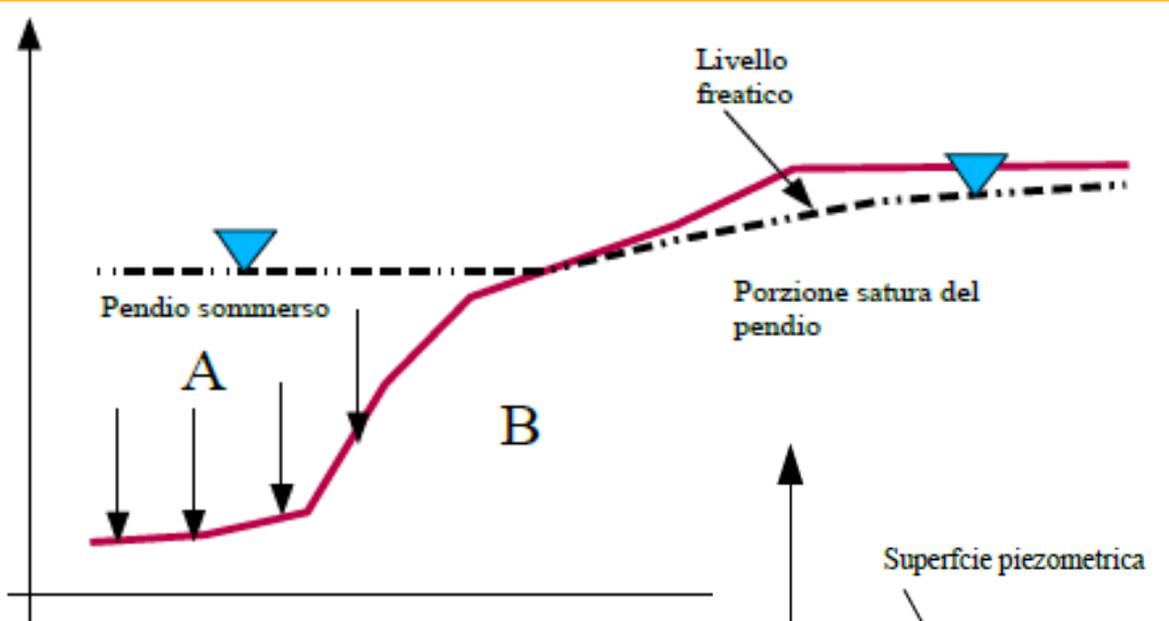


Gestione acquiferi

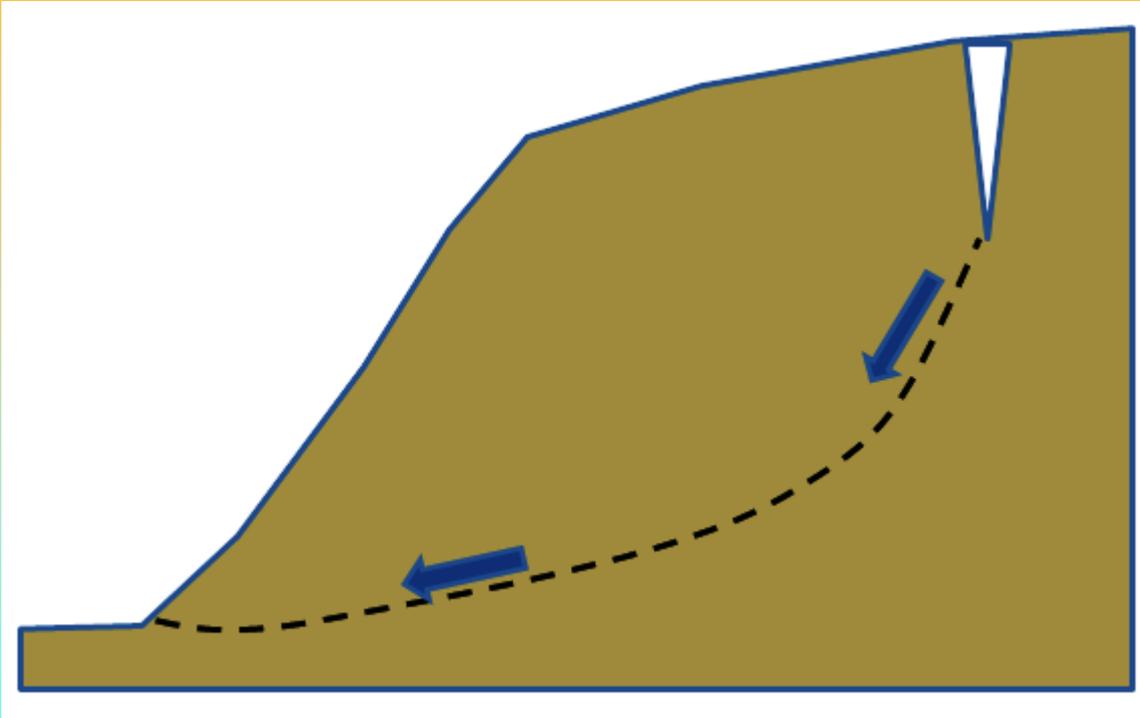




Gestione acquiferi



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):

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

Dove: $2 < \lambda < 3.8$

Reporting e analisi dei risultati – alcuni moduli presenti nel file di report

The image shows three overlapping windows of the AkelPad text editor displaying the output of the SSAP 4.5.0 program. The windows contain the following information:

Window 1 (Left): Report header and author information.

```

# Report elaborazioni #

-----
- SSAP 4.5.0 - Slope Stability Analysis Program (1991,2014)-
  BY
  Dr. Geol. LORENZO BORSELLI *,**
  *UASLP, San Luis Potosi, Mexico
  e-mail: lborselli@gmail.com
  CV e WEB page personale: www.lorenzo-borselli.com
  ** Gia' Ricercatore CNR-IRPI fino a Luglio 2013

-----

File report: E:\ssap2010\pendii\esempi\yyy.txt
Data: 24/9/2014
Localita' :
Descrizione:
-----
PARAMETRI DEL MODELLO DEL PENDIO -----
  
```

Window 2 (Top Right): Geomechanical parameters table.

PARAMETRI GEOMECCANICI										
	fi'	c'	Cu	Gamm	Gamm_sat	STR_IDX	sgci	GSI	mi	D
STRATO 1	28.00	40.00	0.00	17.00	18.00	3.985	0.00	0.00	0.00	0.00
STRATO 2	0.00	0.00	0.00	22.00	23.00	1.896	15.00	20.00	9.00	0.70
									9.00	0.70

Window 3 (Bottom): Detailed calculation results for a specific slope.

```

TIRANTE/ANCORAGGIO N.5

  Coordinata X Testa (m):      80.00
  Coordinata Y Testa (m):      55.00
  Angolo con orizzontale(Gradi): -30.00
  Lunghezza (m):                40.00
  Tensione o Forza (KN/m):      500.00
  % lunghezza cementata (%) ):   20.00

-----
INFORMAZIONI GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM -----
*** PARAMETRI PER LA GENERAZIONE DELLE SUPERFICI
METODO DI RICERCA: CONVEX RANDOM - Chen (1992)
FILTRAGGIO SUPERFICI : ATTIVATO
COORDINATE X1,X2,Y OSTACOLO :          0.00          0.00          0.00
LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI (m):          4.8 (+/-) 50%
RANGE ASCISSE RANDOM STARTING POINT (Xmin .. Xmax):          0.10          108.10
LIVELLO MINIMO CONSIDERATO (Ymin):          0.00
RANGE ASCISSE AMMESSO PER LA TERMINAZIONE (Xmin .. Xmax):    12.10          117.60

*** TOTALE SUPERFICI GENERATE :          4815

-----
INFORMAZIONI PARAMETRI DI CALCOLO -----
METODO DI CALCOLO : MORGENSTERN & PRICE (Morgenstern & Price, 1965)
COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kh : 0.000
COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kv (assunto Positivo): 0.000
FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE IN TESTA (kN/m): 0.00
FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE ALLA BASE (kN/m): 0.00

N.B. Le forze orizzontali aggiuntive in testa e alla base sono poste uguali a 0
durante le tutte le verifiche globali.
I valori >0 impostati dall'utente sono utilizzati solo in caso di verifica singola

-----
RISULTATO FINALE ELABORAZIONI -----
* DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR Fs *

Fattore di sicurezza (FS)  1.326 - Min. -  X      Y      Lambda=  0.517
                                32.54  24.14
                                42.11  21.23
                                46.58  19.87
                                51.29  19.81
                                60.04  23.61
                                66.19  26.75
                                70.65  29.04
                                74.42  31.19
  
```

Window 4 (Bottom Left): Table of slope parameters (SUP FALDA).

SUP FALDA					
X		Y		(in m)	
0.00	15.00				
15.00	18.00				
35.00	25.00				
50.00	30.00				
70.00	35.00				
90.00	37.00				
120.00	40.00				

Reporting e analisi dei risultati – alcuni moduli presenti nel file di report

yyy.txt - AkelPad

File Modifica Visualizza Opzioni Aiuto

TABELLA PARAMETRI CONCI E DIAGRAMMA DELLE FORZE DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

X	dx	alpha	W	ru	U	phi'	c'/Cu	ht	yt	yt'	E (x)	T (x)	E'	rho (x)	local_FS
(m)	(m)	(gradi)	(kN/m)	(--)	(kPa)	(gradi)	(kPa)	(m)	(m)	(--)	(kN/m)	(kN/m)	(kN)	(--)	(--)
32.538	0.532	-16.92	2.03	0.00	0.00	55.35	4.04	0.000	24.138	-0.206	0.000000000E+0000	0.000000000E+0000	0.000000000E+0000	0.044	6.262
33.069	0.532	-16.92	6.38	0.43	5.12	52.35	4.71	0.052	24.029	-0.206	1.000000000E-0006	1.076512952E-0008	9.405610816E-0007	0.044	6.262
33.601	0.532	-16.92	10.63	0.43	8.53	49.41	5.64	0.104	23.919	-0.206	1.000000000E-0006	2.173728075E-0008	7.107092458E-0005	0.044	6.389
34.133	0.532	-16.92	14.88	0.43	11.84	47.32	6.51	0.156	23.810	-0.206	7.656226381E-0005	2.583381562E-0006	2.149547693E-0003	0.044	6.545
34.664	0.336	-16.92	11.60	0.43									1.480257799E-0002	0.044	6.635
35.000	0.532	-16.92	21.77	0.43									1.470851404E-0001	0.044	6.631
35.532	0.532	-16.92	25.20	0.44									8.292967599E-0001	0.044	6.511
36.063	0.532	-16.92	28.88	0.44									4.295456583E+0000	0.044	6.255
36.595	0.532	-16.92	32.55	0.45									2.486646414E+0001	0.044	5.885
37.126	0.532	-16.92	36.22	0.45									3.313621766E+0001	0.044	5.440
37.658	0.532	-16.92	39.89	0.45									4.178226156E+0001	0.065	4.959
38.190	0.532	-16.92	43.57	0.46									5.081925397E+0001	0.085	4.477
38.721	0.532	-16.92	47.24	0.46									6.019396594E+0001	0.105	4.022
39.253	0.532	-16.92	50.91	0.46									6.978528140E+0001	0.125	3.614
39.784	0.532	-16.92	54.59	0.46									7.940419721E+0001	0.145	3.257
40.316	0.532	-16.92	58.26	0.46									8.879382310E+0001	0.165	2.935
40.848	0.532	-16.92	61.93	0.46									9.784552781E+0001	0.185	2.645
41.379	0.532	-16.92	65.60	0.46									1.067329583E+0002	0.205	2.388
41.911	0.199	-16.92	25.47	0.47									1.148582867E+0002	0.219	2.161
42.110	0.532	-16.91	70.65	0.47									1.176014714E+0002	0.232	2.084
42.641	0.532	-16.91	74.32	0.47									1.239874155E+0002	0.252	1.899
43.173	0.532	-16.91	77.99	0.47									1.288935470E+0002	0.272	1.742
43.704	0.532	-16.91	81.66	0.47									1.323843096E+0002	0.292	1.610
44.236	0.532	-16.91	85.33	0.47									1.347415758E+0002	0.312	1.499
44.767	0.233	-16.91	38.48	0.47									1.367811374E+0002	0.326	1.406
45.000	0.532	-16.91	90.61	0.47									1.379601855E+0002	0.340	1.371
45.532	0.532	-16.91	94.28	0.47									1.400556918E+0002	0.358	1.298
46.063	0.513	-16.91	94.46	0.47									1.397056983E+0002	0.374	1.234
46.576	0.532	-0.72	100.55	0.47									1.359609129E+0002	0.389	1.179
47.108	0.532	-0.72	102.33	0.47									1.283499080E+0002	0.406	1.129
47.639	0.532	-0.72	104.10	0.47									1.176838209E+0002	0.422	1.084
48.171	0.532	-0.72	105.88	0.47									1.056692080E+0002	0.436	1.044
48.703	0.532	-0.72	107.66	0.48									9.439255688E+0001	0.451	1.008
49.234	0.532	-0.72	109.44	0.48									8.226940336E+0001	0.466	0.974
49.766	0.234	-0.72	48.79	0.48									6.985683314E+0001	0.477	0.942
50.000	0.532	-0.72	114.79	0.47									6.454534629E+0001	0.490	0.929
50.532	0.532	-0.72	122.15	0.44									5.320375164E+0001	0.500	0.900
51.063	0.222	-0.72	53.23	0.43									4.304907851E+0001	0.505	0.872
51.285	0.532	23.46	131.13	0.42									3.914258395E+0001	0.516	0.860
51.817	0.532	23.46	135.59	0.40									3.036553998E+0001	0.528	0.834
52.349	0.532	23.46	140.04	0.38									2.176468590E+0001	0.540	0.809
52.880	0.532	23.46	144.50	0.37									1.231666915E+0001	0.551	0.786
53.412	0.532	23.46	148.96	0.35									2.617347439E+0000	0.560	0.764

yyy.txt - AkelPad

File Modifica Visualizza Opzioni Aiuto

CRITERIO DI ROTTURA secondo Hoek (2002,2007)

Strato 2 -- Parametri di resistenza al taglio equivalenti dell'ammasso roccioso

Fattore di riduzione NTC2008 gammaPHI=1.25e gammaC=1.25 - DISATTIVATO

Sigma' (kPa)	Phi' (deg)	c' (kPa)
20.00	45.91	7.20
40.00	41.27	10.27
60.00	38.46	12.88
80.00	36.45	15.20
100.00	34.88	17.33
120.00	33.61	19.32
140.00	32.54	21.18
160.00	31.61	22.95
180.00	30.80	24.63
200.00	30.08	26.25
220.00	29.44	27.81
240.00	28.85	29.31
260.00	28.31	30.76
280.00	27.81	32.17
300.00	27.36	33.54
320.00	26.93	34.88
340.00	26.53	36.18
360.00	26.16	37.45
380.00	25.81	38.69
400.00	25.48	39.91
420.00	25.17	41.10
440.00	24.87	42.27
460.00	24.59	43.42
480.00	24.32	44.55
500.00	24.06	45.65
600.00	22.93	50.94
700.00	22.00	55.87
800.00	21.20	60.51
900.00	20.52	64.91
1000.00	19.92	69.10
1100.00	19.38	73.11
1200.00	18.90	76.97
1300.00	18.46	80.69
1400.00	18.06	84.29
1500.00	17.70	87.77
1700.00	17.04	94.45
1900.00	16.48	100.78
2100.00	15.98	106.83
2300.00	15.53	112.61
2500.00	15.13	118.18
2700.00	14.77	123.54

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 FS in assoluto
 - d. Plottaggio di superfici entro uno specifico intervallo di FS
- 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_h critico (come il metodo Sarma(1973) classico ma esteso a tutti i metodi di calcolo..)

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).

argomenti trattati in dettaglio nella parte di corso di livello avanzato

Video con Esercizi di assemblaggio Modelli del pendio

Sul canale Lorenzo Borselli
In Youtube

<http://www.ssap.eu/videos.html>

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'

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



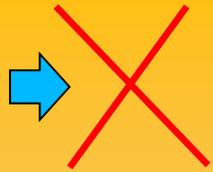
Nella versione 2.9 del codice SSAP è stato introdotto il criterio di rottura pubblicato da Hoek et al. (2002) per la caratterizzazione della resistenza al taglio degli ammassi rocciosi fratturati.

Questo criterio di rottura estende quello tradizionalmente utilizzato per i terreni sciolti (Mohr-Coulomb) e permette di utilizzare il metodo di verifica della stabilità mediante l'equilibrio limite anche in presenza di ammassi rocciosi fratturati, dove è necessario una metodologia che permetta di definire la resistenza al taglio dell'ammasso in termini dei parametri ϕ' e C' .

La metodologia di Hoek che si è evoluta in oltre 25 anni di studi di meccanica e ingegneria delle rocce (Hoek & Bray, 1997; Marinos & Hoek, 2001, Hoek et al.; 2002, 2006) permette attraverso una caratterizzazione delle qualità meccaniche e strutturali dell'ammasso una percorso non ambiguo che porta alla valutazione dei parametri necessari per effettuare una verifica di stabilità dei pendii.

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



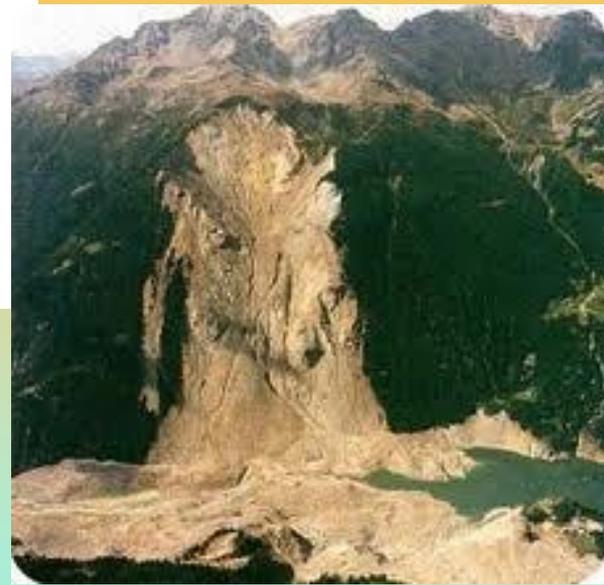
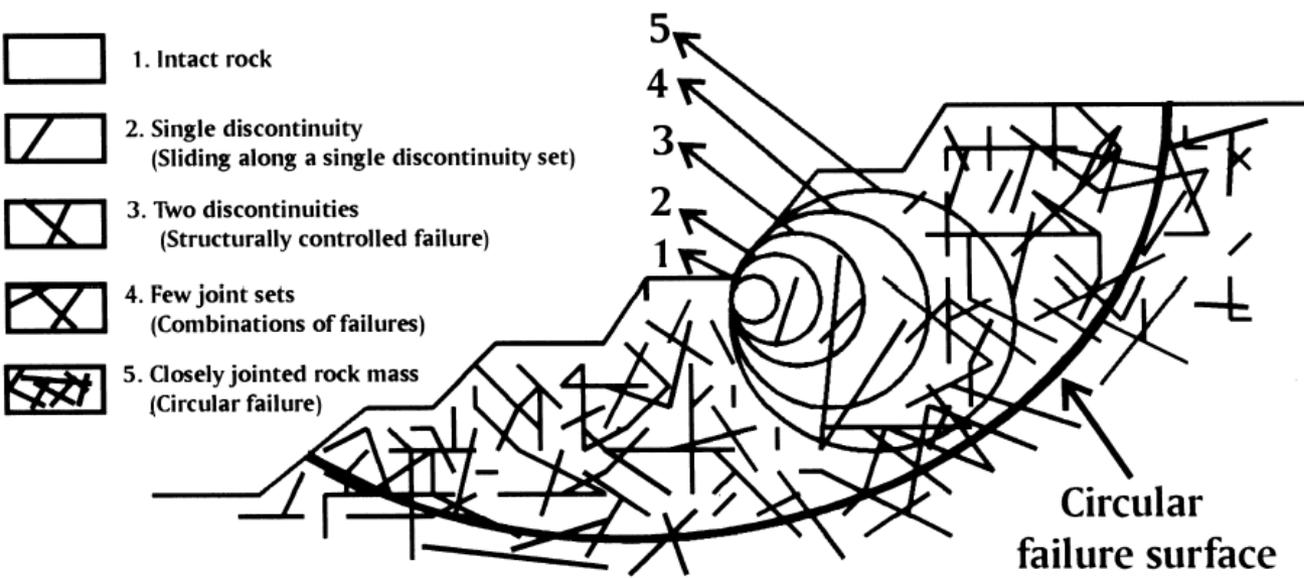
Options for assessing rock mass strength include:

- 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).

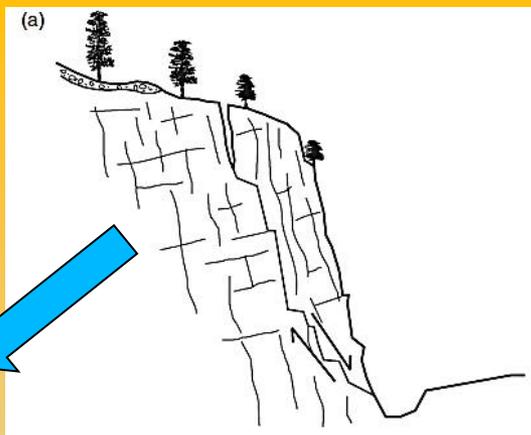
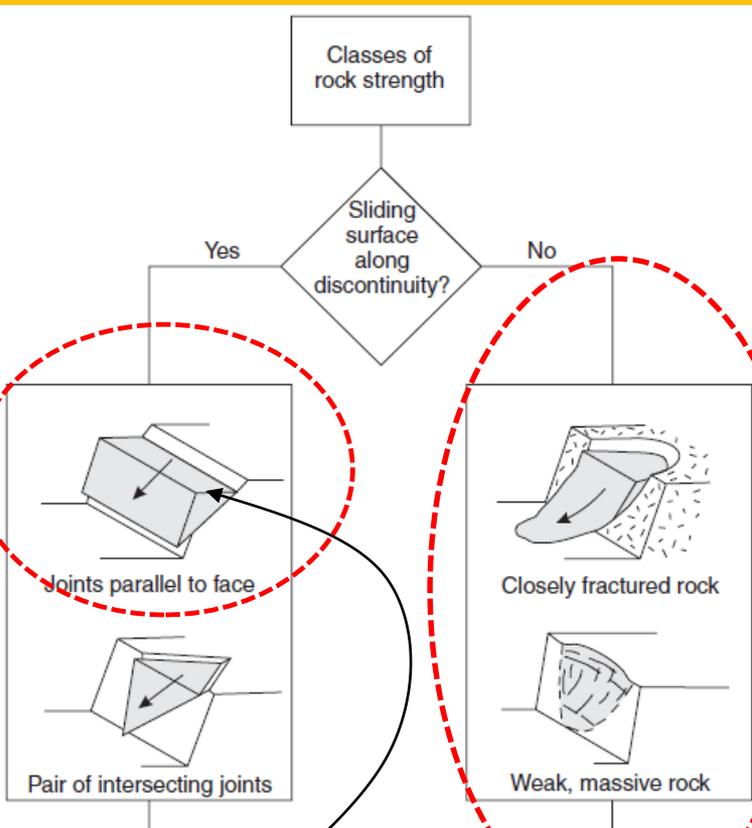
Uno dei principi base della meccanica delle rocce è che la resistenza meccanica di un ammasso roccioso nel suo insieme è generalmente più bassa rispetto a quello degli elementi di roccia intatta che lo compongono.

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**.



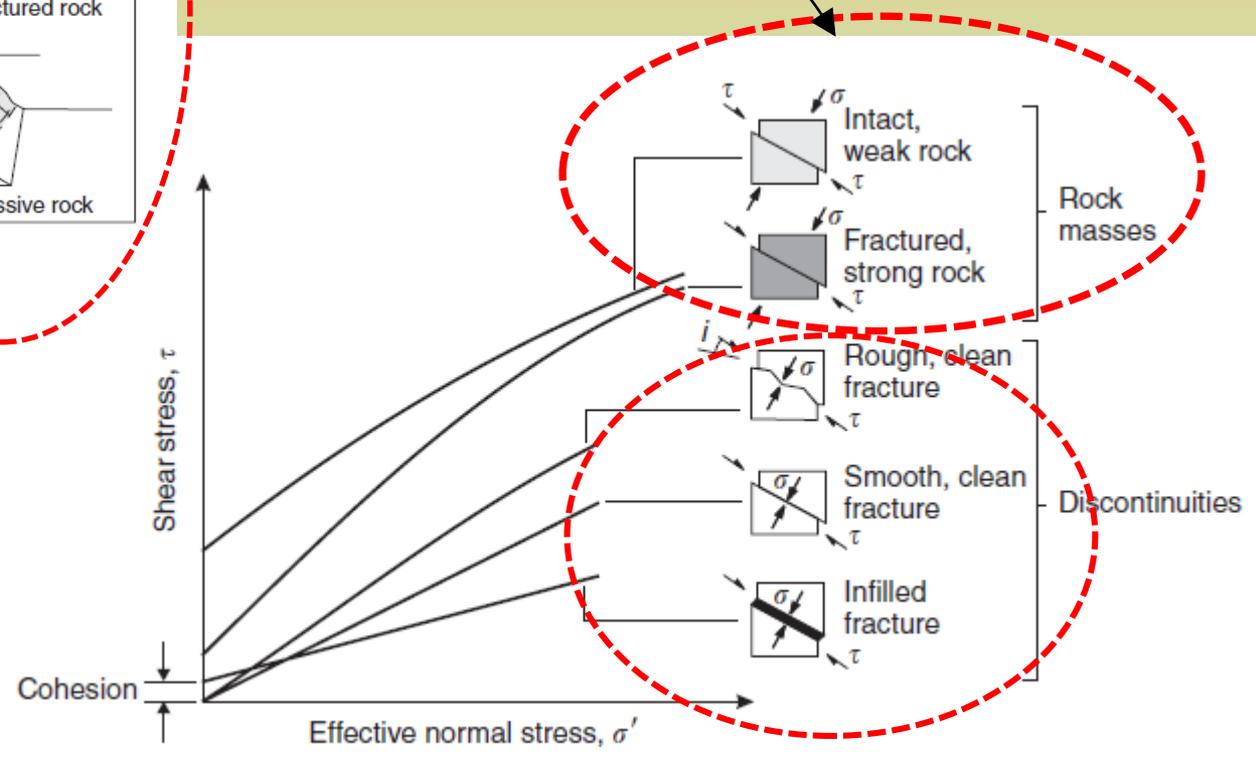
da Sonmez et al. (1998)

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



RMR (Bieniawski 1989)

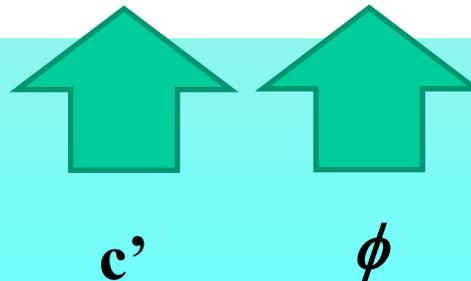
Categorías de la clasificación

R.M.R.	Descripción del macizo rocoso	Clase
Suma de los puntajes obtenidos de las tablas anteriores		
81 - 100	Muy bueno	I
61 - 80	Bueno	II
41 - 60	Medio	III
21 - 40	Malo	IV
0 - 20	Muy malo	V

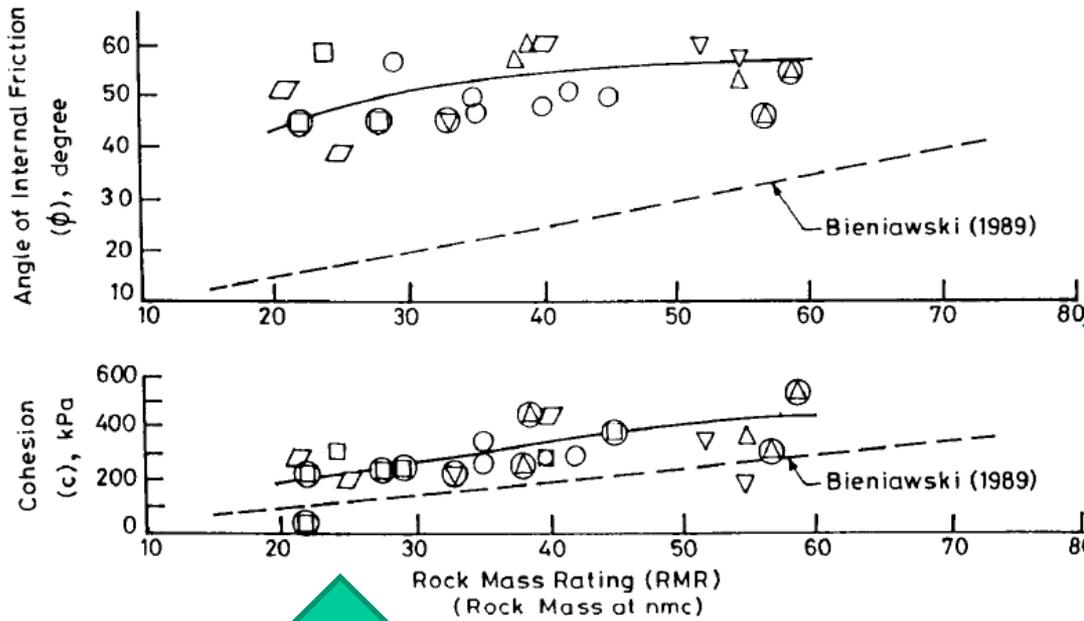
Características resistentes del macizo rocoso

Clase (R.M.R.)	c [Kpa]	ϕ °	t sin soporte
I (81 - 100)	> 400	> 45	20 años, luz de 15m
II (61 - 80)	300 - 400	35 - 45	1 año, luz de 10m
III (41 - 60)	200 - 300	25 - 35	1 semana, luz 5 m
IV (21 - 40)	100 - 200	15 - 25	10 hs., luz 2.50 m
V (0 - 20)	< 100	< 15	30 min, luz 1m

**Si puo' usare in SSAP
Ma non e' consigliabile..**



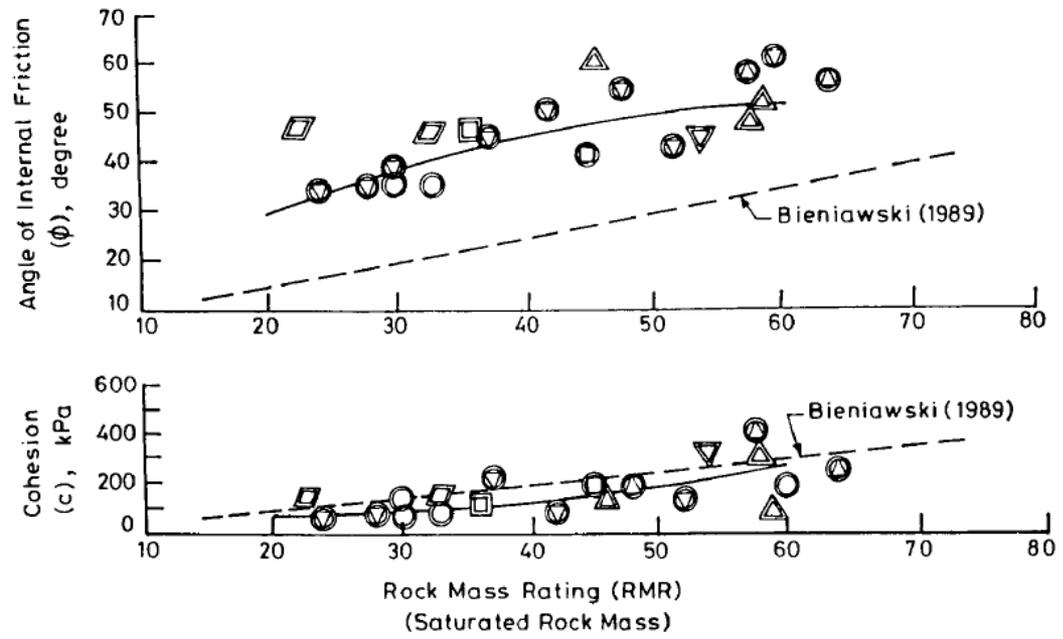
Comparazione valori tavola beniawski (RMR) e E dati sperimentali resistenza al taglio in sito



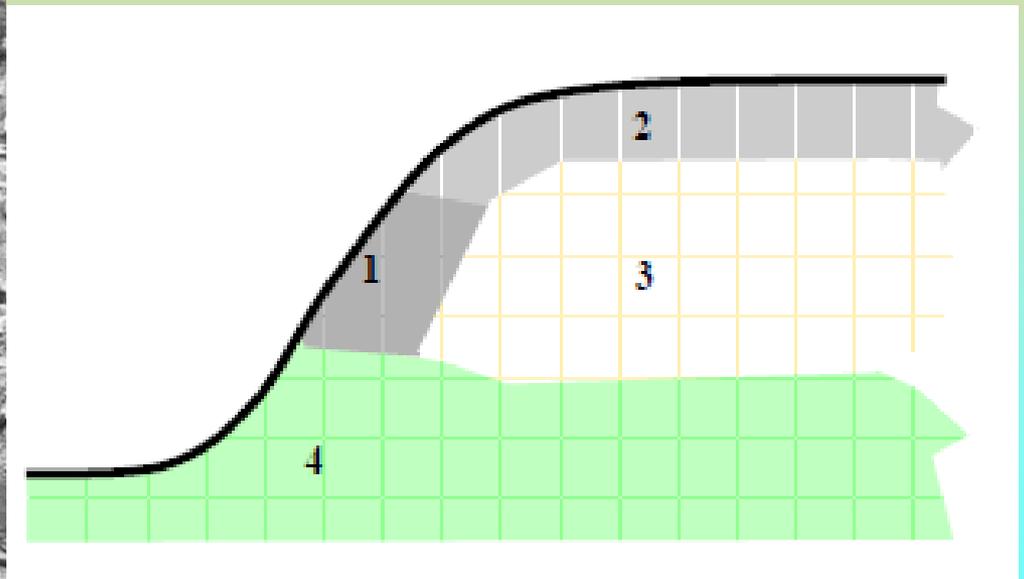
In ammasso ricciosi non saturi e saturi

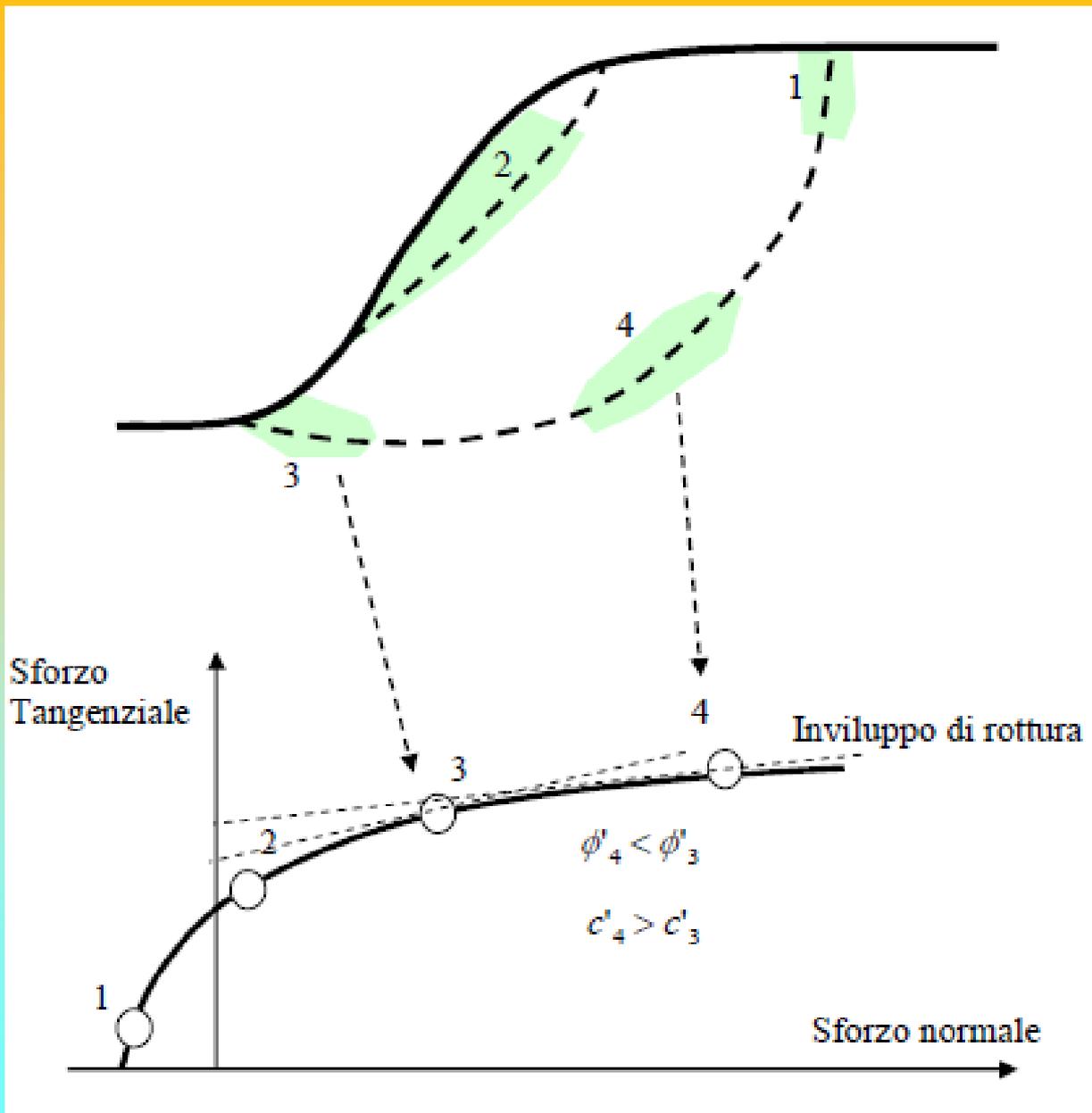
Mehrotra, 1993

I valori della tavola Beniawski (RMR) sottostimano di molto l'angolo di frizione interna E talvolta anche un poco la coesione dell'intero ammasso

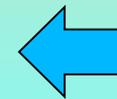


Con la caratterizzazione di un ammasso mediante il metodo di Hoek è implicito assumere che esso venga considerato un mezzo omogeneo e isotropo. Nella realtà in un ammasso, anche se omogeneo dal punto di vista della litologia, possono esistere zone con caratteristiche di alterazione o caratterizzazione 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. Añtaglio 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'

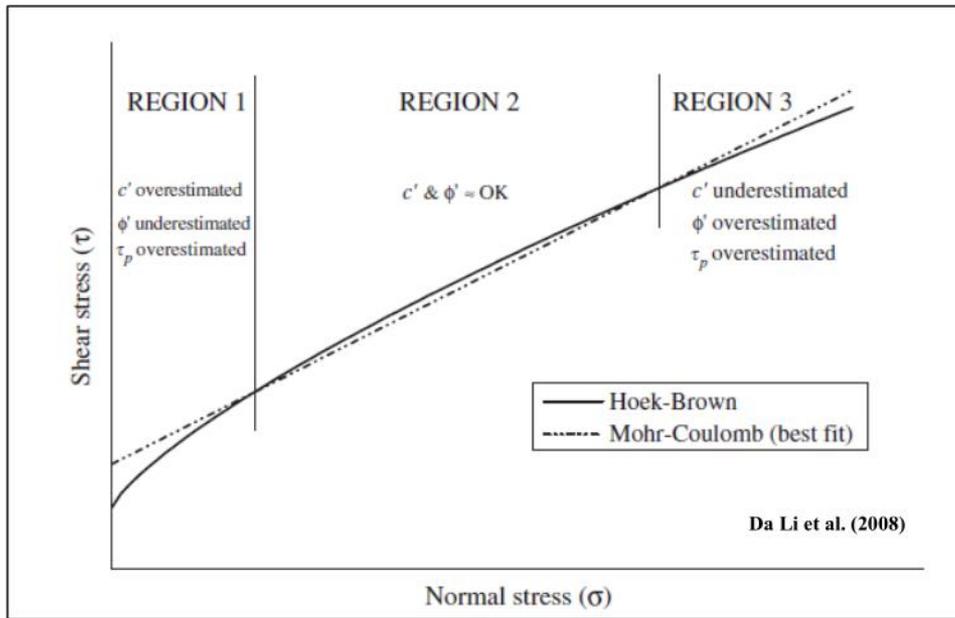
$$c' = \frac{\sigma_{ci} \left[(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n} \right] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \left(6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1} \right) / ((1+a)(2+a))}}$$

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...



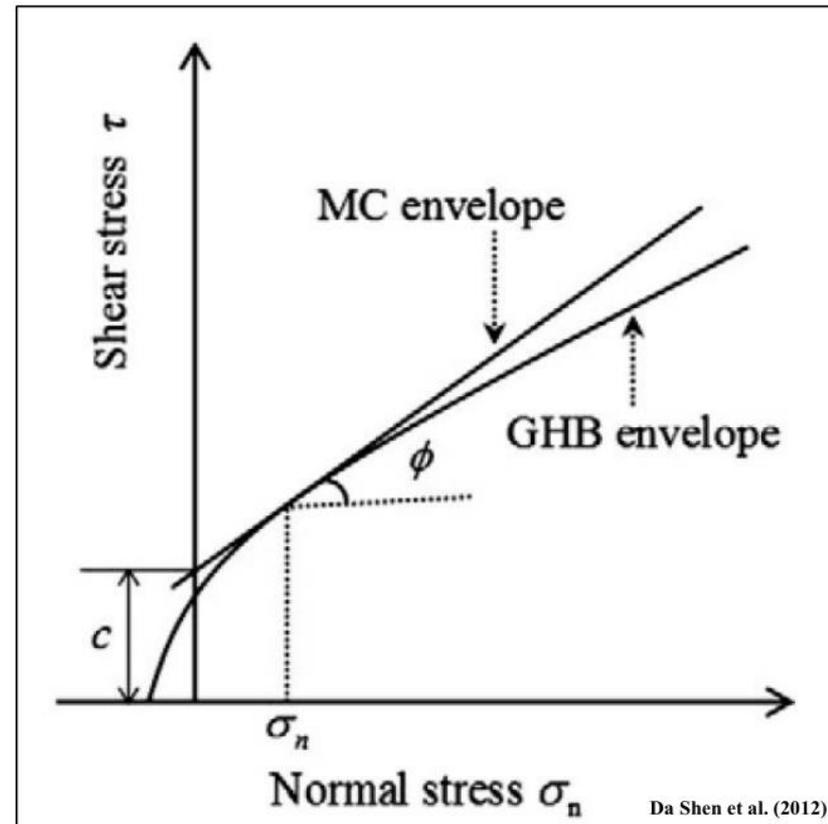
Il metodo di Hoek et al 2002 di linearizzazione locale (mediante best fit) dell'involuppo sigma /tau e' molto impreciso, secondo diversi autori: Carranza-Torres(2004), Brown (2008).

Pero' esistono valide alternative.. numeriche e semianalitiche efficienti

Dall'averzione SSAP 4.9.2 abbiamo Piu' efficienti alternative per calcolare i valori c' e ϕ' , 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

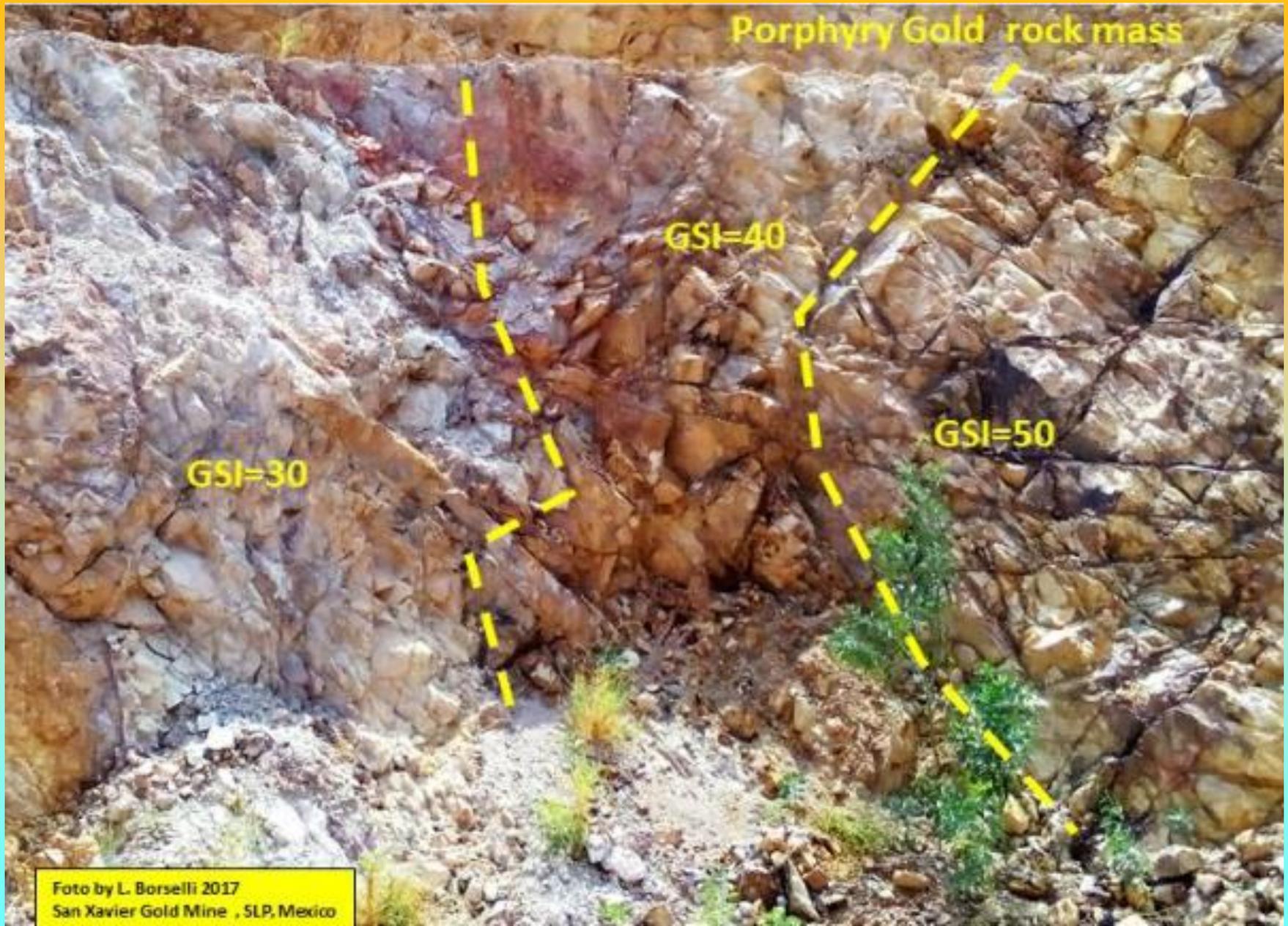
Porphyry Gold rock mass

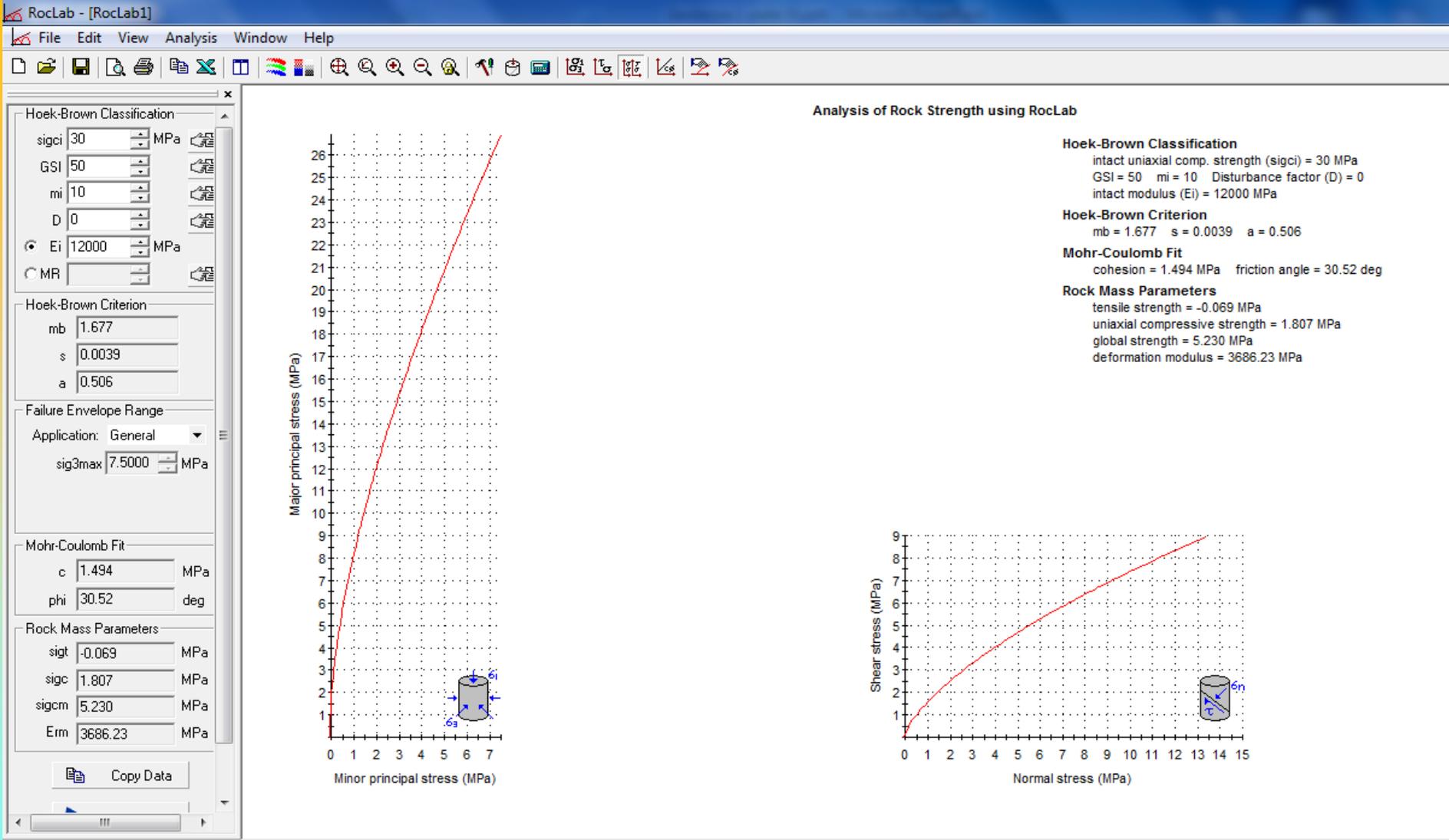
GSI=30

GSI=40

GSI=50

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





Roclab 1.0 software (ora non piu' freeware) da:
rocscience.com

www.roozbehgm.com/codes/ormas/ormas.html

ORMAS V1.0: Online Rock Mass Strength

by [Roozbeh Geraili Mikola, Ph.D., PE](#), based on Generalized Hoek-Brown Criterion

Visit [this page](#) for additional free programs and software

Unit:
Stress Unit: Magapascals (MPa)

Input Parameters:

sigci	<input type="text" value="30"/>	MPa	+	Application	Slope	▼
GSI	<input type="text" value="50"/>		+	sig3max	<input type="text" value="0.2280"/>	MPa
mi	<input type="text" value="10"/>		+	Unit Weight	<input type="text" value="0.0240"/>	MN/m ³
D	<input type="text" value="0"/>		+	Slope Depth	<input type="text" value="10"/>	m
Ei	<input type="text" value="12000"/>	MPa	+			

Hoek-Brown Criterion:

mb	<input type="text" value="1.6768"/>
s	<input type="text" value="0.0039"/>
a	<input type="text" value="0.5057"/>

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Rock Mass Parameters:

sigt	<input type="text" value="-0.0692"/>	MPa	c	<input type="text" value="0.2532"/>	MPa
sigc	<input type="text" value="1.8068"/>	MPa	phi	<input type="text" value="56.76"/>	deg
sigcm	<input type="text" value="5.2300"/>	MPa			
Erm	<input type="text" value="3686.23"/>	MPa			

Events:

Input Parameters

Intact Uni. Comp. Strength (sigci)=30 MPa
 GSI=50, mi=10, Disturbance Factor (D)=0
 Intact Elastic Modulus (Ei)=12000 MPa

Hoek-Brown Criterion

mb=1.6768, s=0.0039, a=0.5057

Mohr-Coulomb Fit

Cohesion (c)=0.2532 MPa, Friction Angle (phi)=56.76deg.

Rock Mass Parameters

Tensile strength (sigt)=-0.0692 MPa
 Uni. Comp. Strength (sigc)=1.8068 MPa
 Global Strength (sigcm)=5.2300 MPa
 Modulus of Deformation (Erm)=3686.23 MPa

Major and Minor Principal Stresses

Major Principal Stress (MPa)

Minor Principal Stress (MPa)

Shear and Normal Stresses

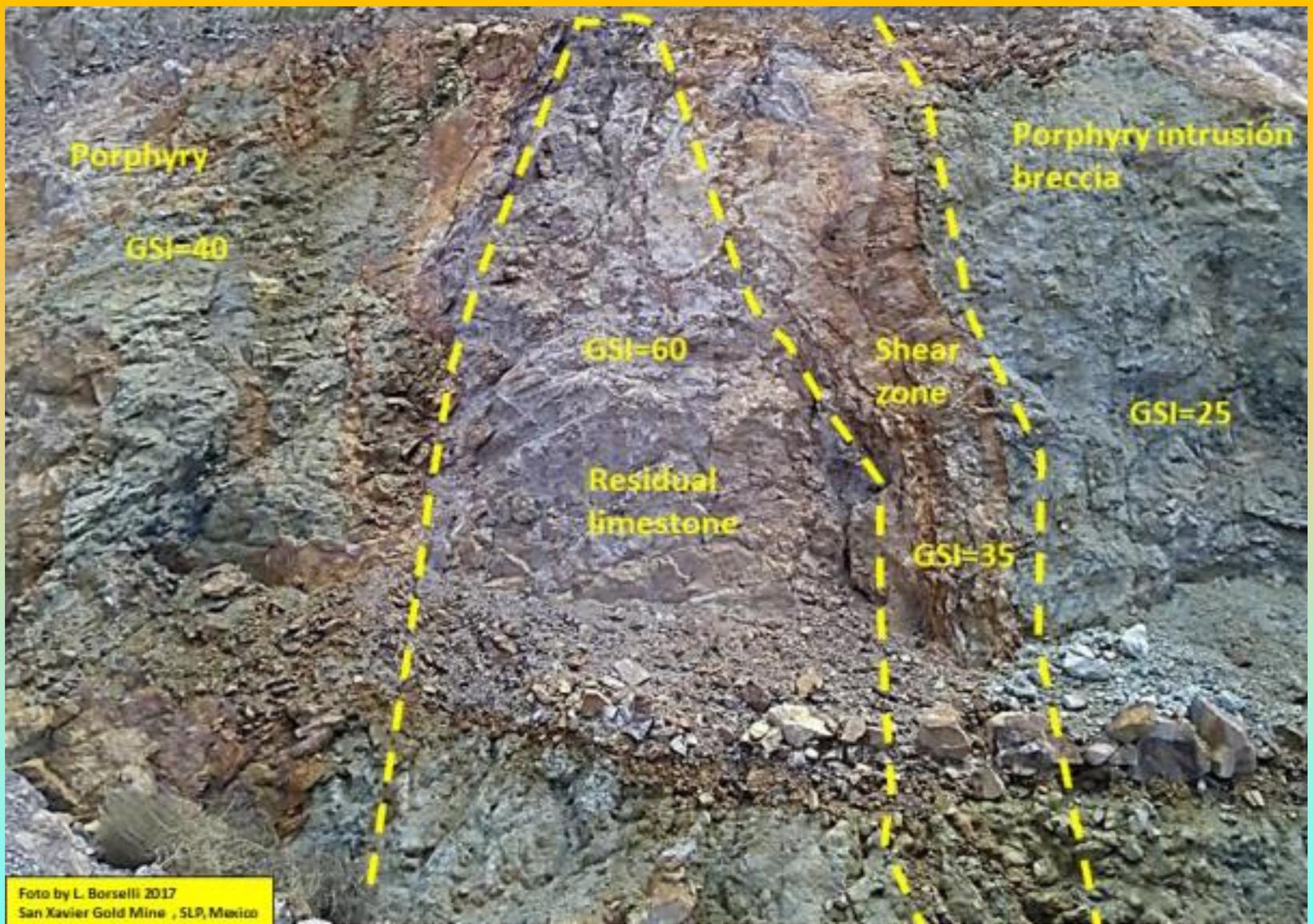
Shear Stress (MPa)

Normal Stress (MPa)

Copyright ©2014 Roozbeh Geraili Mikola. All Right reserved

Una validissima alternativa (free.. Se avete la pazienza di tollerare le pubblicita'..) ORMAS 1.0

<http://www.roozbehgm.com/codes/ormas/ormas.html>



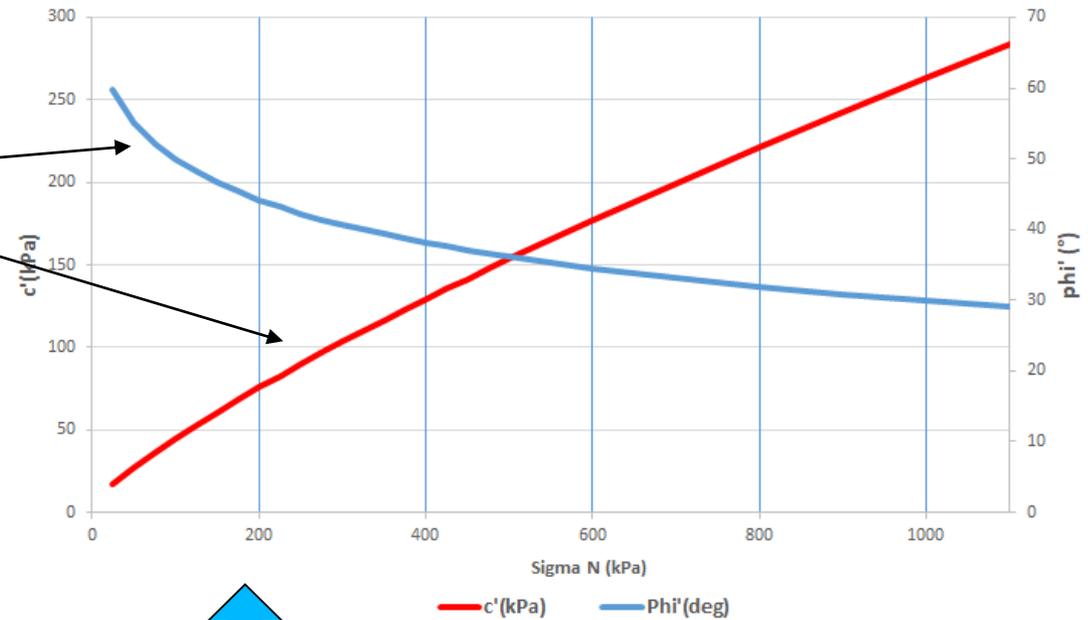
La unità *porphyry intrusion breccia* è caratterizzato da $\sigma_{ci}=15$ (MPa); GSI =25; $m_i =22$;

D=0.5.

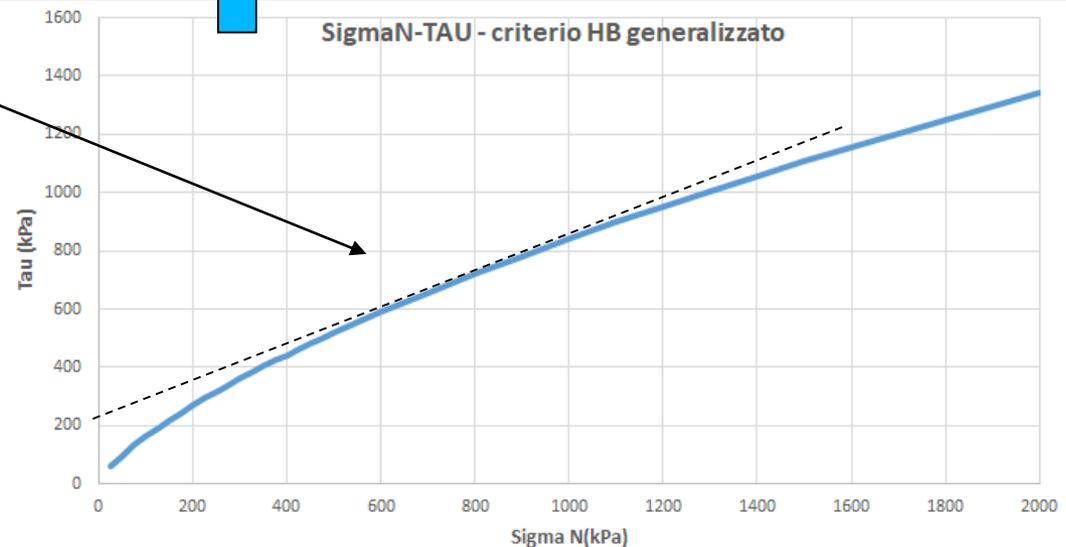
Si nota come i valori c' e ϕ' Equivalenti variano in modo rilevante in funzione dello stato tensionale che determina il valore locale di $\Sigma N'$ e del Valore della resistenza al taglio totale locale.

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

Criterio HB generalizzato



SigmaN-TAU - criterio HB generalizzato

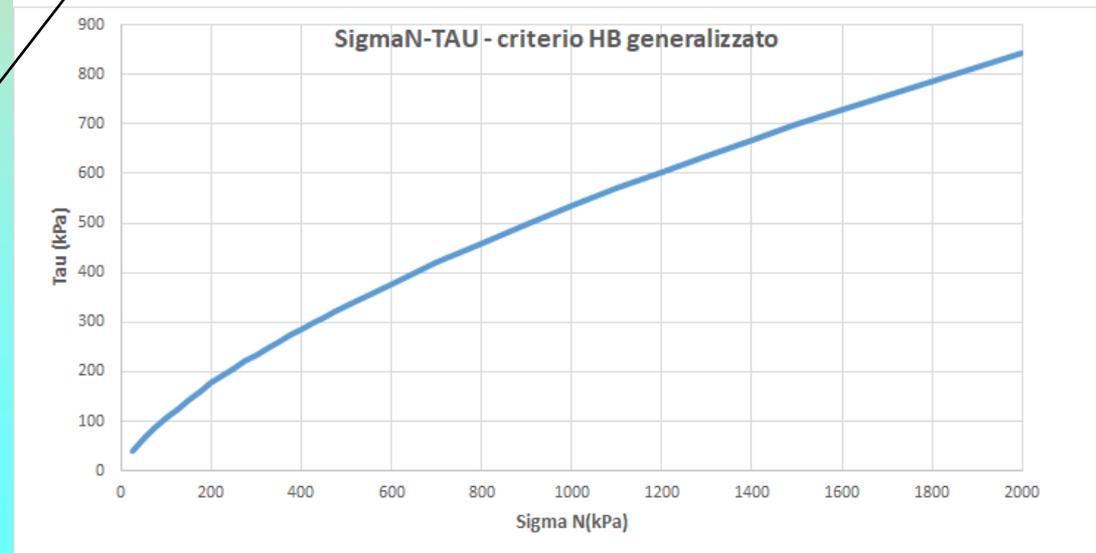
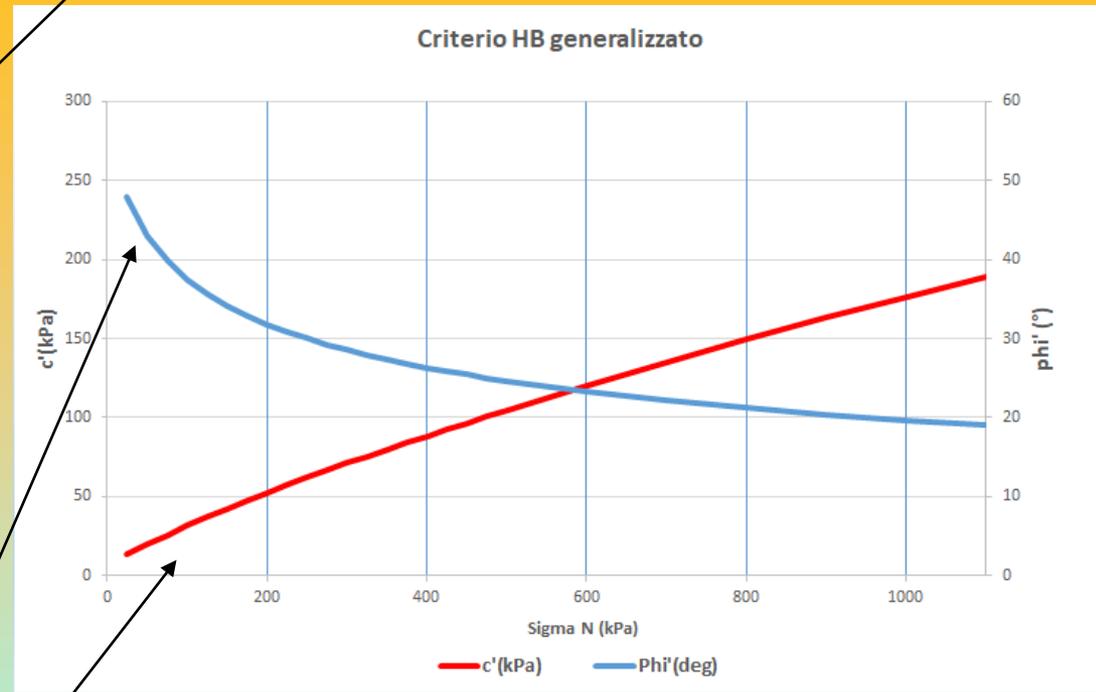


L'ammasso è caratterizzato da $\sigma_{ci}=30$ (Mpa); GSI =15; $m_i=8$; D=0.5.

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'

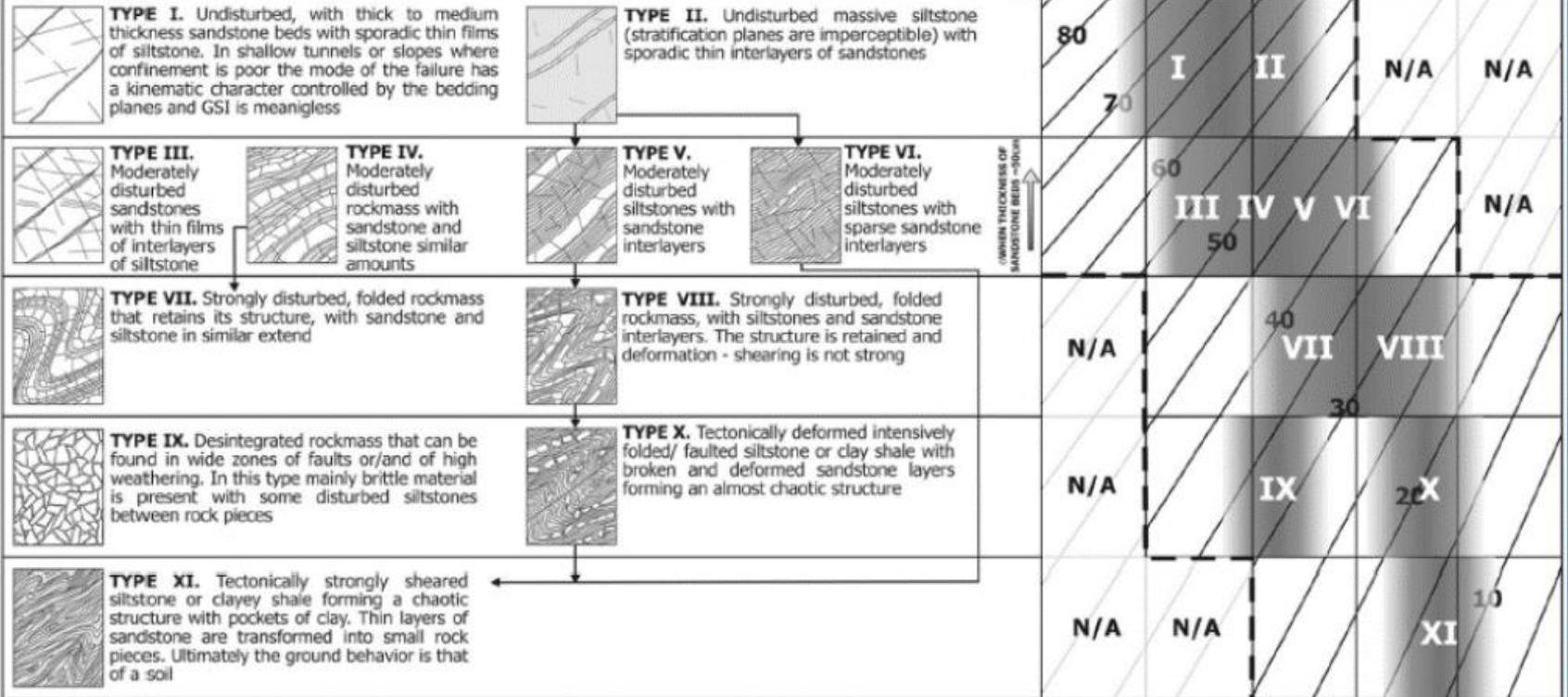


GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH

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



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

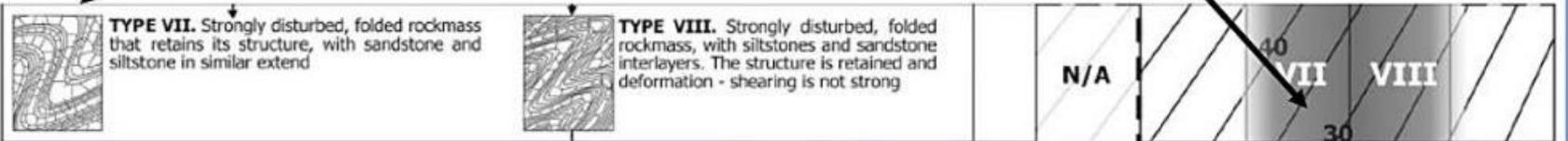
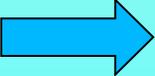


Fig. D.41

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) 

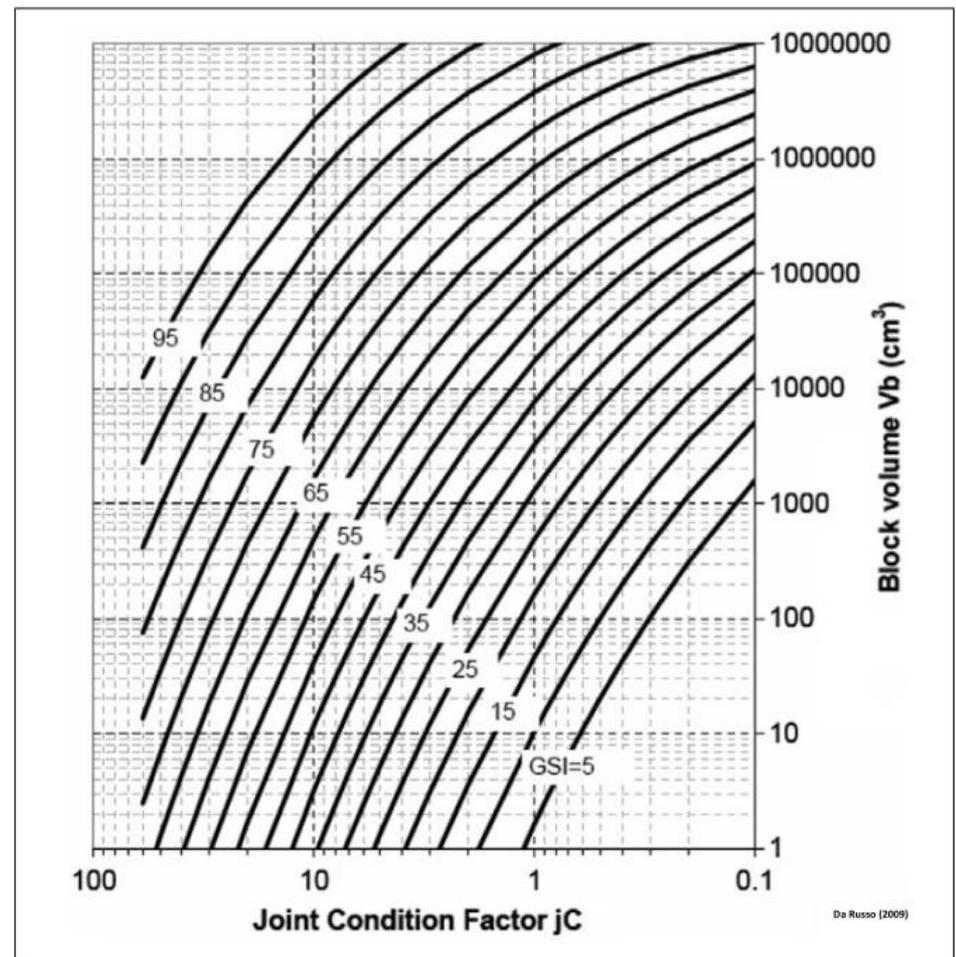


Fig. D.12

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

con :

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

dove:

JC: joint condition factor (adimensionale)

V_b : Volume medio dei blocchi in (m³)

Secondo Palmstrom (1996) il volume medio dei blocchi $V_b(\text{cm}^3)$ può essere ottenuto utilizzando una delle varie correlazioni reciproche presentate nella figura D.8. Tuttavia la funzione base per la stima di V_b e' la seguente:


$$V_b = 10^6 \beta J_v^{-3} \quad (\text{D.9})$$

Dove :

V_b : Volume medio dei blocchi in $(\text{cm}^3)^1$

J_v : frequenza delle discontinuità (Joints/m³)

β : fattore di forma dei blocchi (adimensionale).

Il valore di β dipende dalla forma prevalente dei blocchi e varia da un valore di 30 fino ad un valore di 100, con un valore mediopiù frequente di 36 (condizioni standard normali) Palmstrom(1996). Si consiglia per maggiori dettagli di consultare la ampia documentazione presente nel sito (www.rockmass.net).

Per mezzo delle tabelle (figure D.9,D.10,D11) fornite da Russo(2009) è possibile procedere alla stima del valore JC con le caratteristiche delle discontinuità dell'ammasso.

Il valore JC è dato dalla equazione D.10 (Palmstrom,1998, Russo 2009):


$$JC(\text{Palmstrom}) = JR \frac{JL}{JA} \quad (\text{D.10})$$

dove:

JC: joint condition factor (adimensionale)

JR: Joint Roughness factor (fig. D.9)

JA: joint alteration factor (fig. D.10)

JL: joint size factor (fig. D.11)

La valutazione dei parametri JR, JA e JL viene effettuata in funzione delle caratteristiche delle discontinuità e attraverso le tabelle nelle figure D.9,D.10,D.11.

Da manuale ssap Borselli (2017)

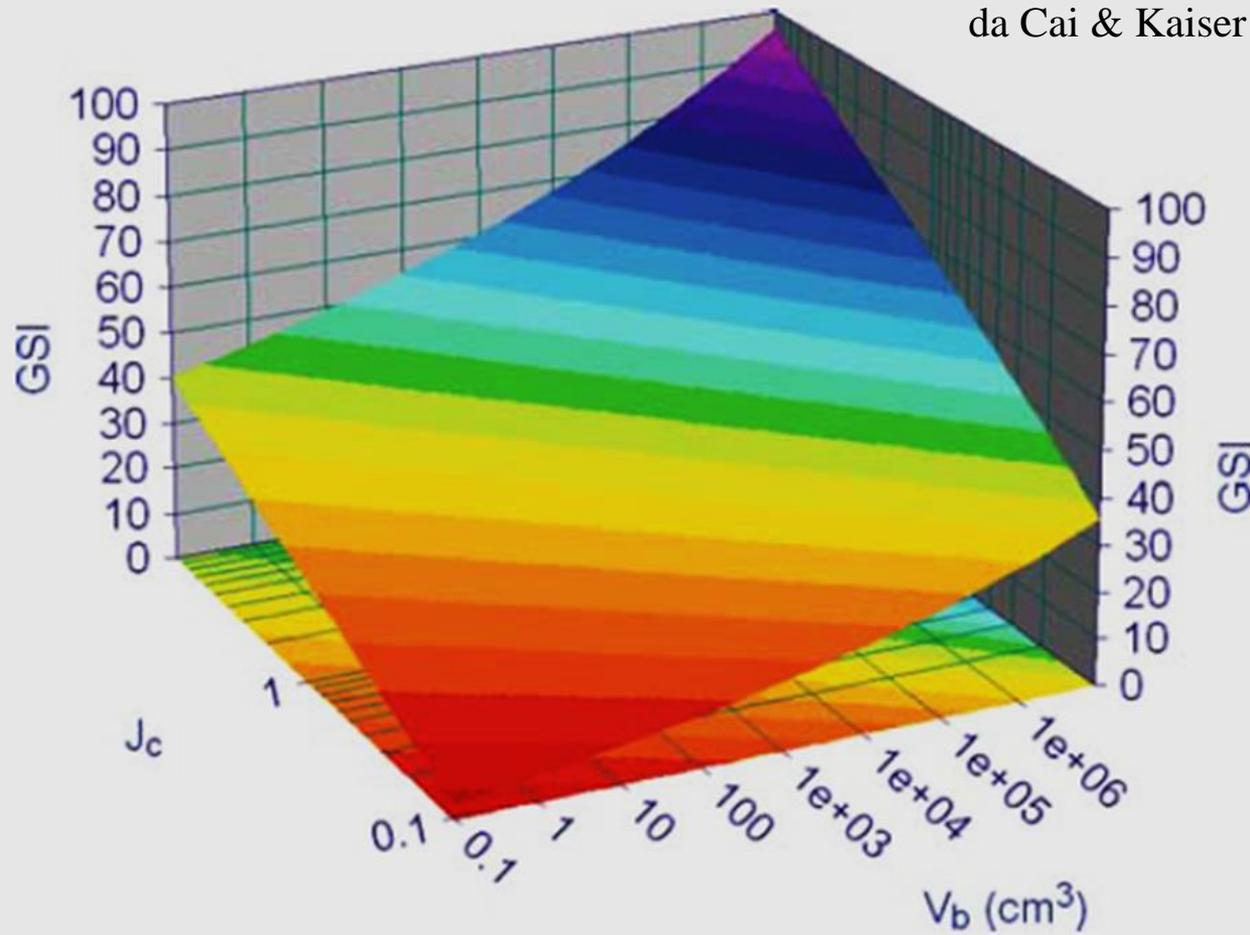


Figure 5. Two-dimensional GSI system visualization.

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

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

Parametro m_i



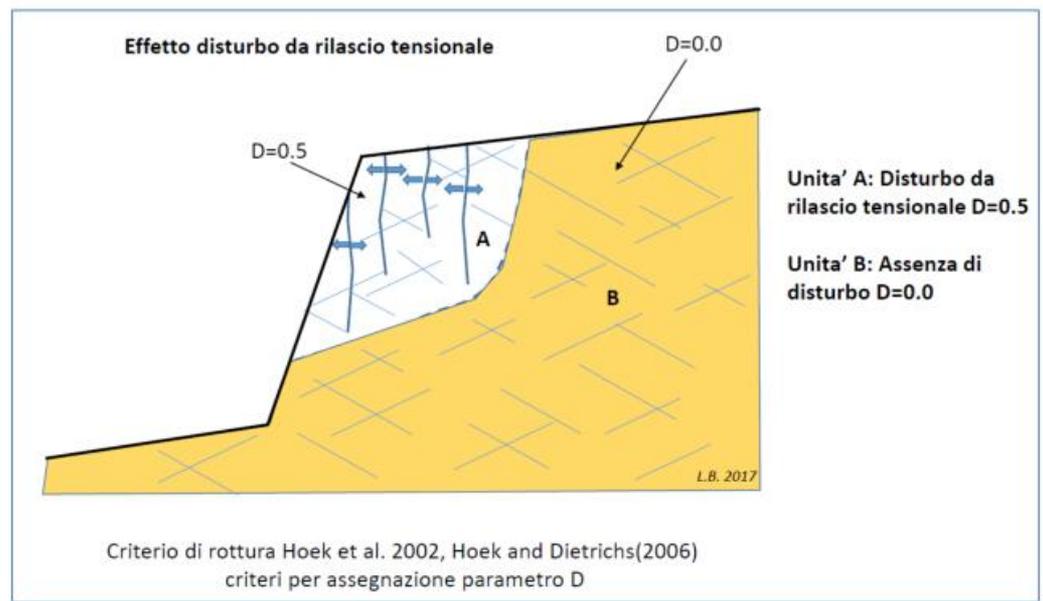
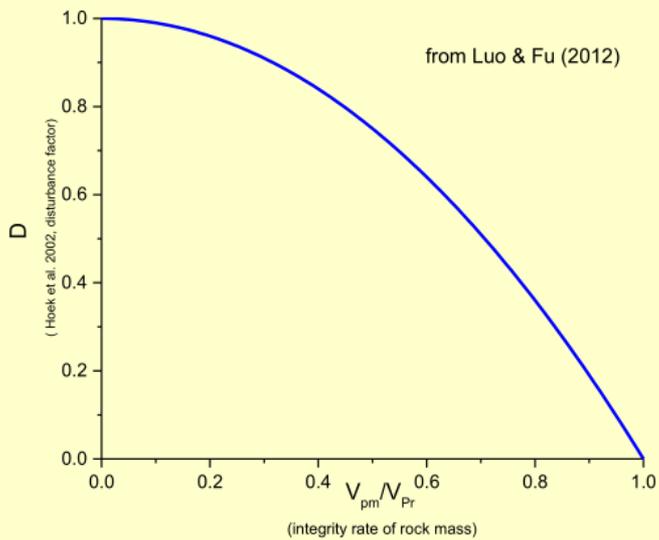
Table 2: Values of the constant m_i for intact rock, by rock group⁴. Note that values in parenthesis are estimates. The range of values quoted for each material depends upon the granularity and interlocking of the crystal structure – the higher values being associated with tightly interlocked and more 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 Granodiorite (29 ± 3)	Diorite 25 ± 5		
		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)	

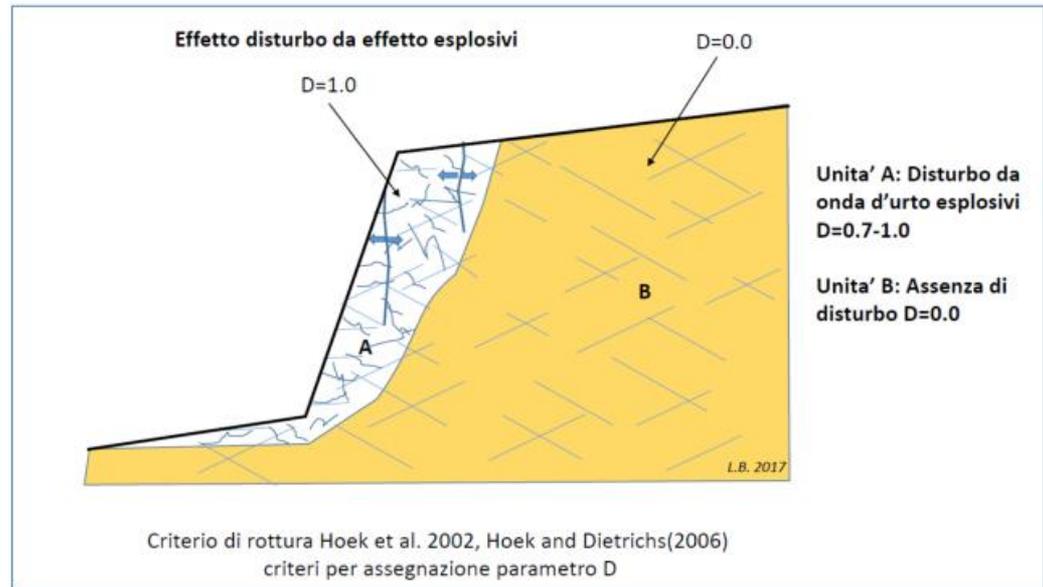
* Conglomerates and breccias may present a wide range of m_i values depending on the nature of the cementing material and the degree of cementation, so they may range from values similar to sandstone, to values used for fine grained sediments (even under 10).

** 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.

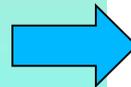


(a)

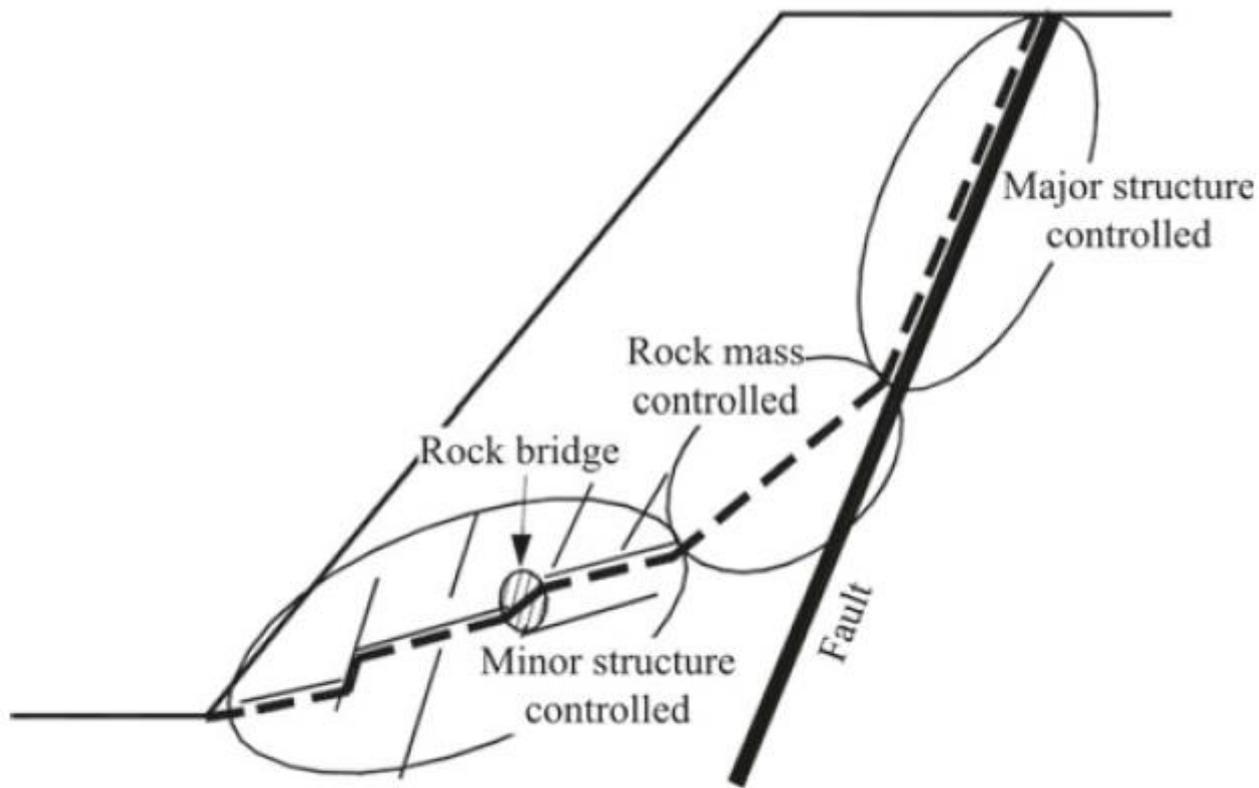


(b)

Borselli (2018)



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



Schematic diagram of structurally-controlled instability (Baczynski 2000)

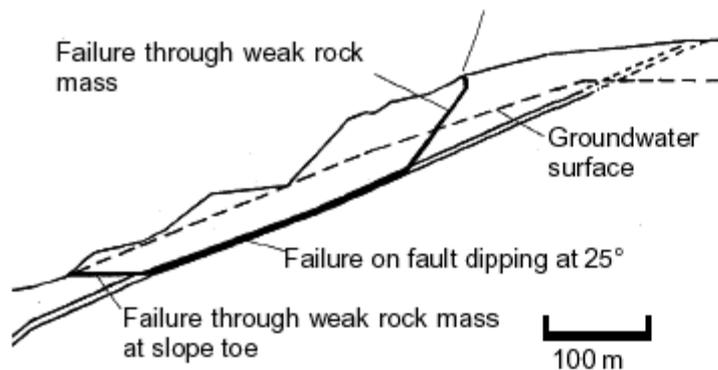
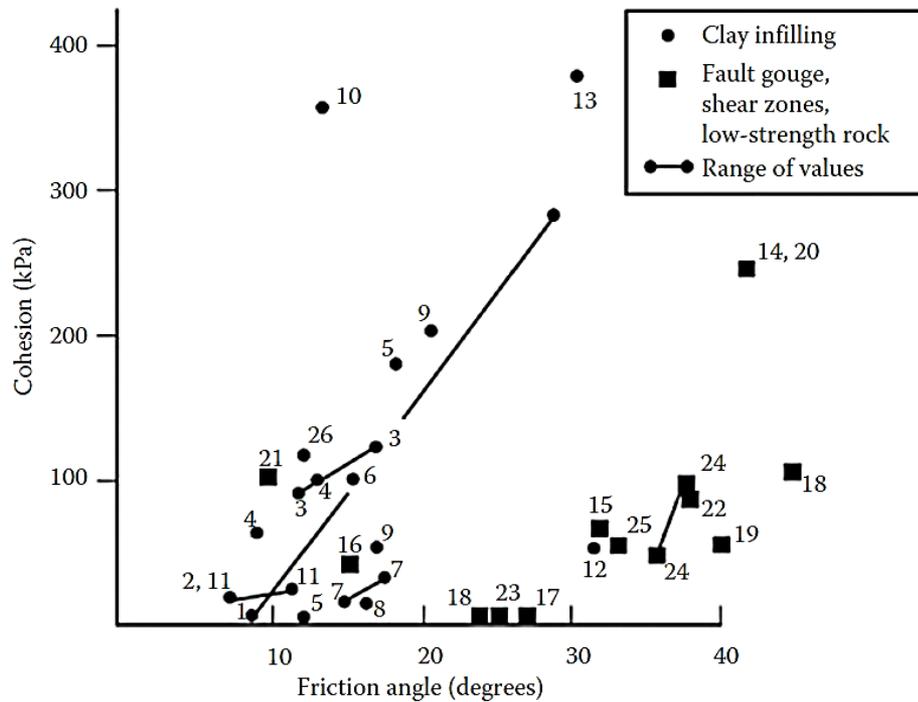


Figure 11.31: Complex slope failure controlled by an outward dipping basal fault and circular failure through the poor quality rock mass overlying the toe of the slope.



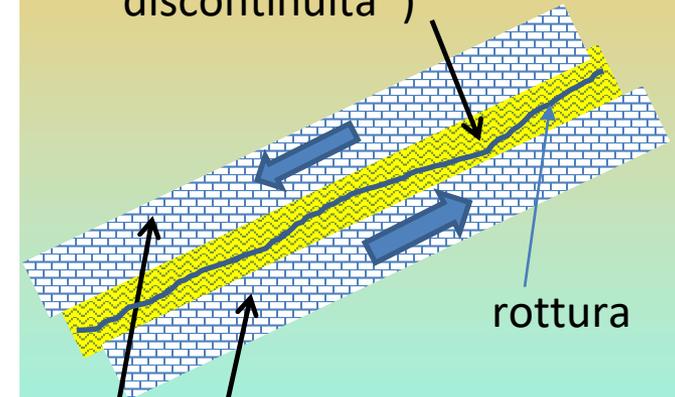
1. Bentonite shale
2. Bentonite seams in chalk
3. Bentonite; thin layers
4. Bentonite; triaxial tests
5. Clay, over consolidated
6. Limestone, 10–20 mm clay infillings
7. Lignite and underlying clay contact
8. Coal measures; clay mylonite seams
9. Limestone; <1 mm clay infillings
10. Montmorillonite clay
11. Montmorillonite; 80 mm clay seam in chalk
12. Schists/quartzites; stratification, thick clay
13. Schists/quartzites; stratification, thick clay

14. Basalt; clayey, basaltic breccia
15. Clay shale; triaxial tests
16. Dolomite, altered shale bed
17. Diorite/granodiorite; clay gouge
18. Granite; clay-filled faults
19. Granite; sandy-loam fault fillings
20. Granite; shear zone, rock and gouge
21. Lignite/marl contact
22. Limestone/marl/lignites; lignite layers
23. Limestone; marlaceous joints
24. Quartz/kaolin/pyrolusite; remolded triaxial
25. Slates; finely laminated and altered
26. Limestone; 10–20 mm clay infillings

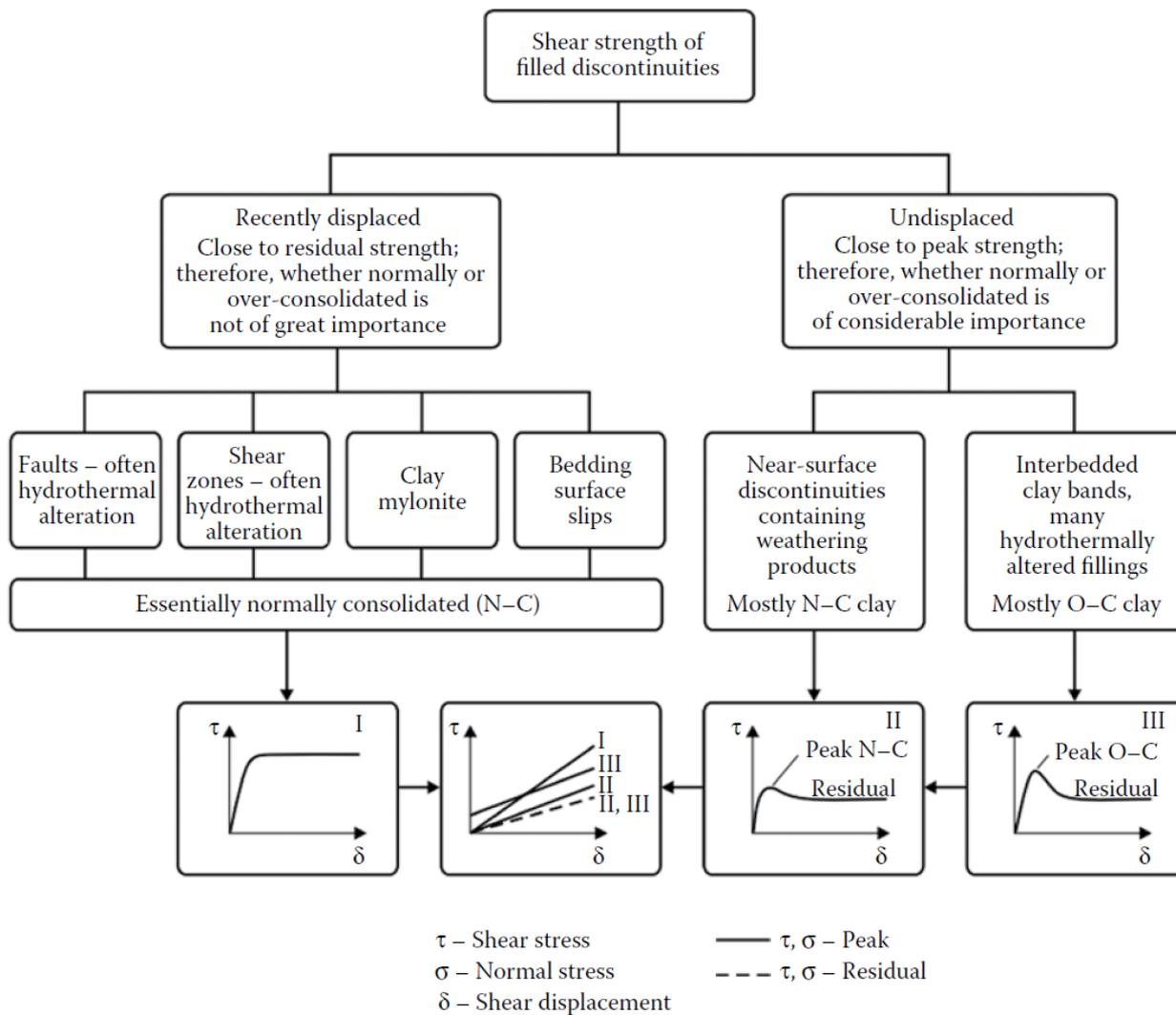
Da Barton (1974)

Resistenza al taglio riempimenti

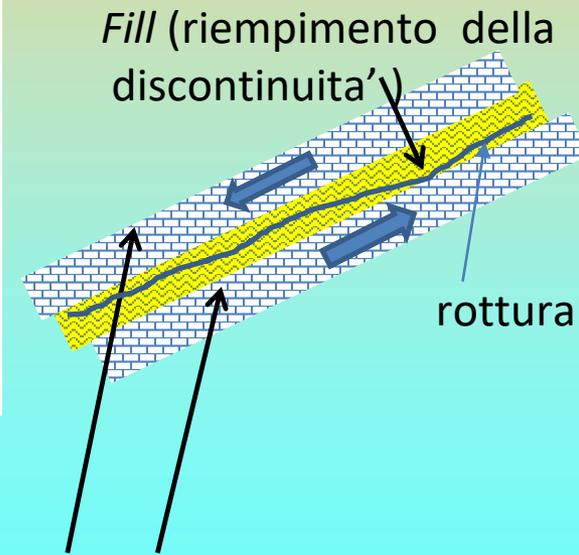
Fill (riempimento della discontinuità')



Roccia intatta



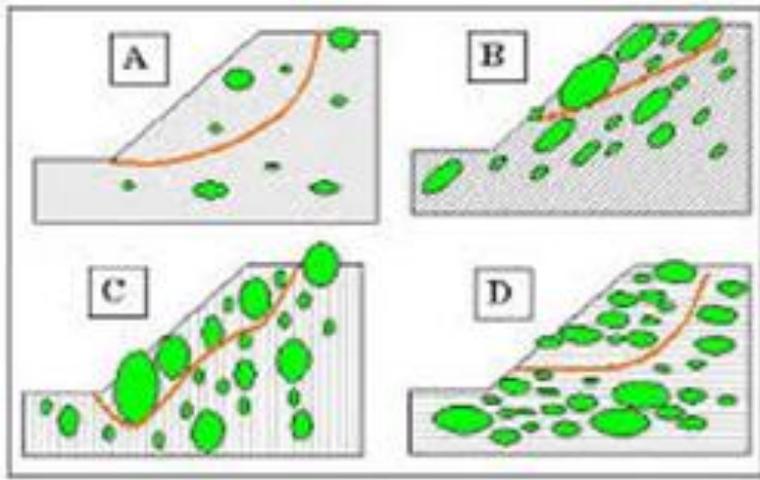
Resistenza al taglio riempimenti



Roccia intatta

Da Barton (1974)

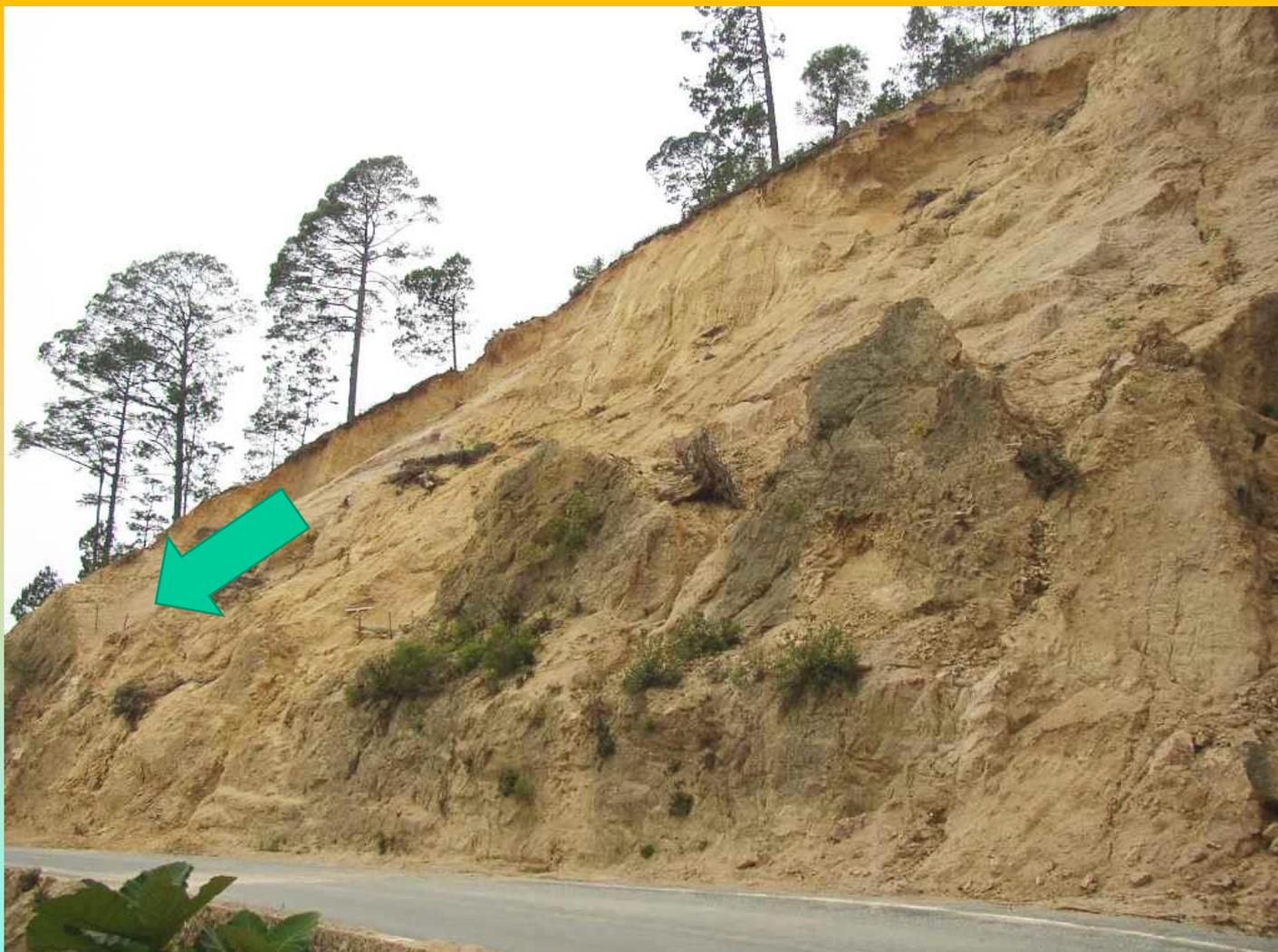
Esempio: Problemi di variabilità nelle caratteristiche meccaniche in **olistostromi** (formazione tettonicamente complesse) originatesi da accumulo di frane in ambiente sottomarino e successivamente tettonizzate nella fase orogenetica successiva.. **Densità dei blocchi e proprietà della matrice fine. Terreno ? Roccia tenera ?**



Sta adesso prevalendo la applicazione in questi casi del método GSI evoluto.. Per applicazioni a rocce tenere e tettonizzate.

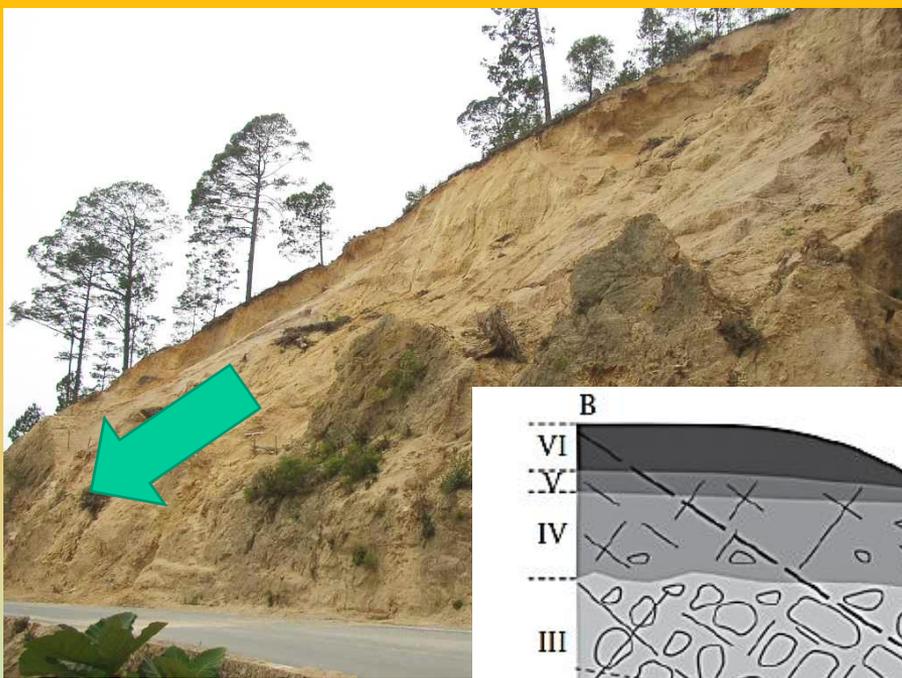
Però Vedasi anche la teoria BIMROCKS (come alternativa)



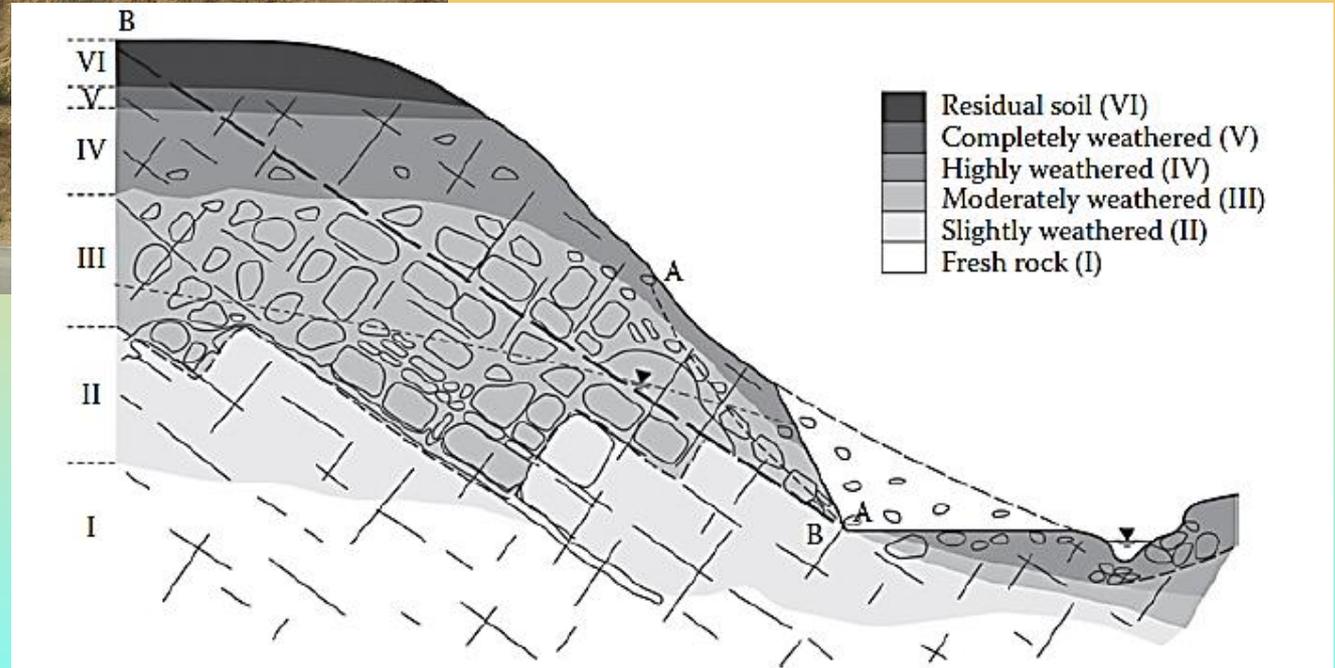


Granito rosa
molto alterato nei primi 4 metri
(*saprolite*)

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

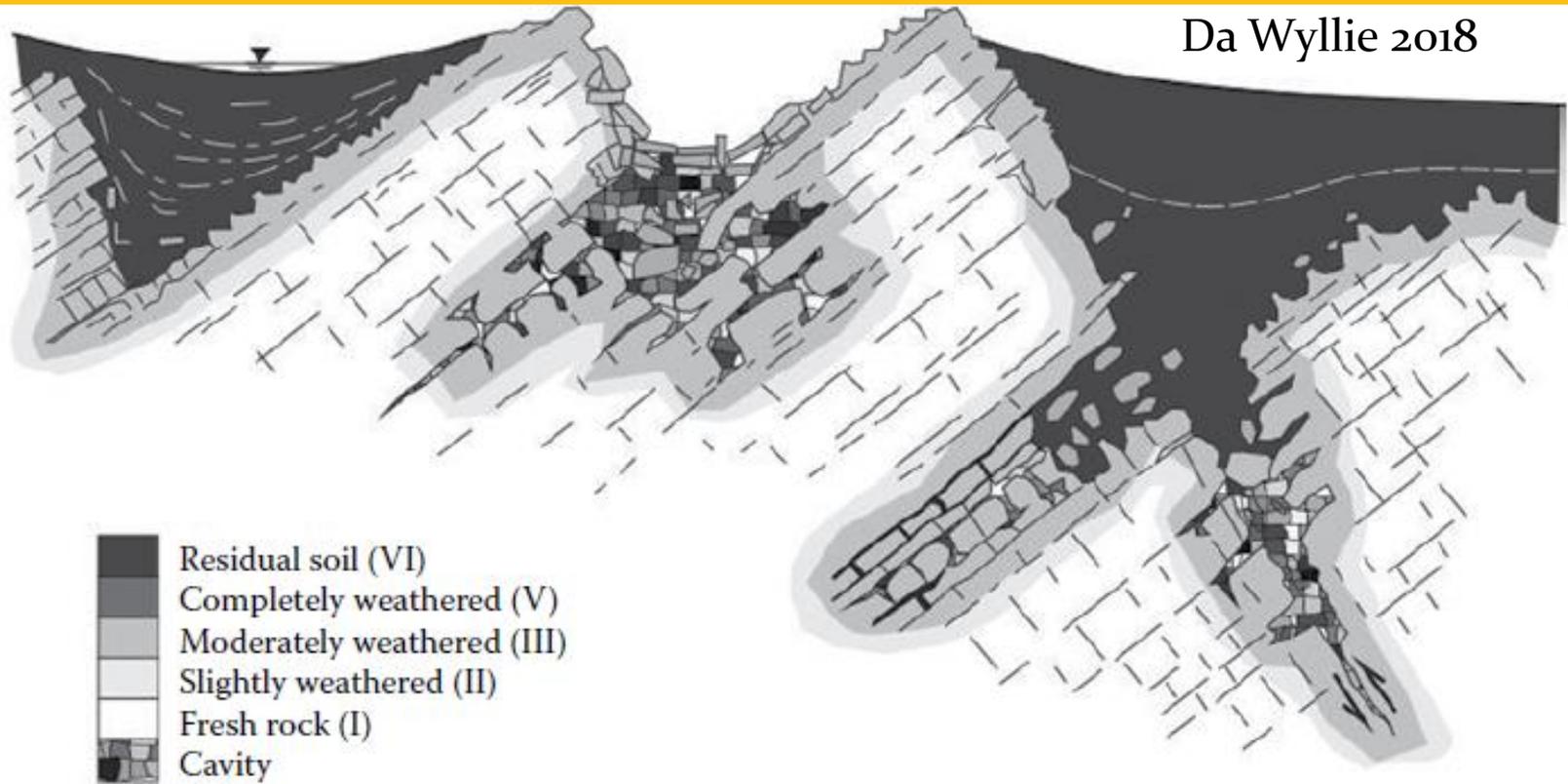
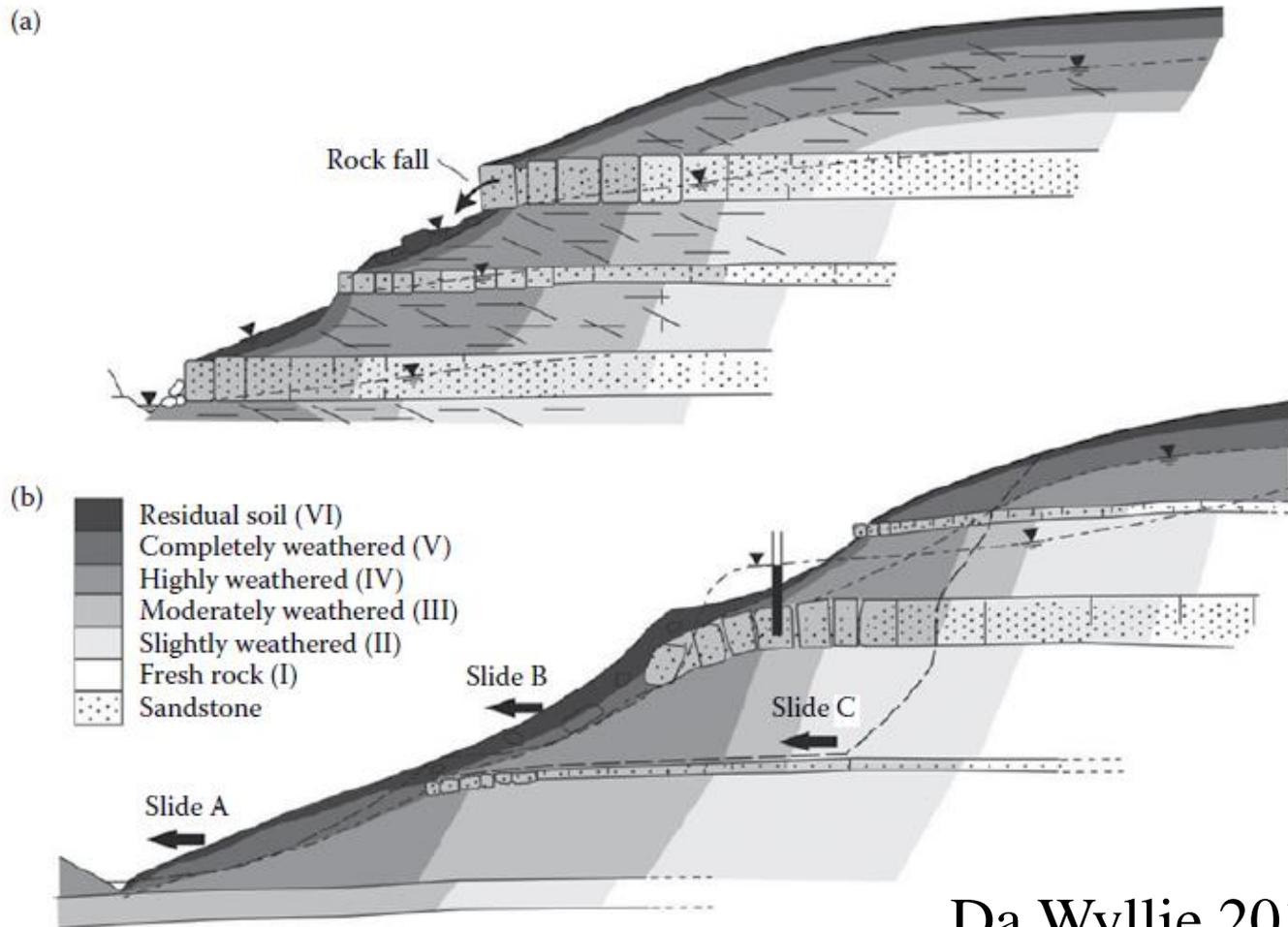


Figure 3.16 Common features of weathered carbonate rocks and residual soils (Deere and Patton, 1971).

Processo di alterazione
superficiale
E stabilita' dei pendii..



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..

Ammassi rocciosi molto alterati: casistica di movimenti di massa e valori c' e ϕ' equivalenti, ottenuti con back analysis, Da Vyllie & Mah (2005)

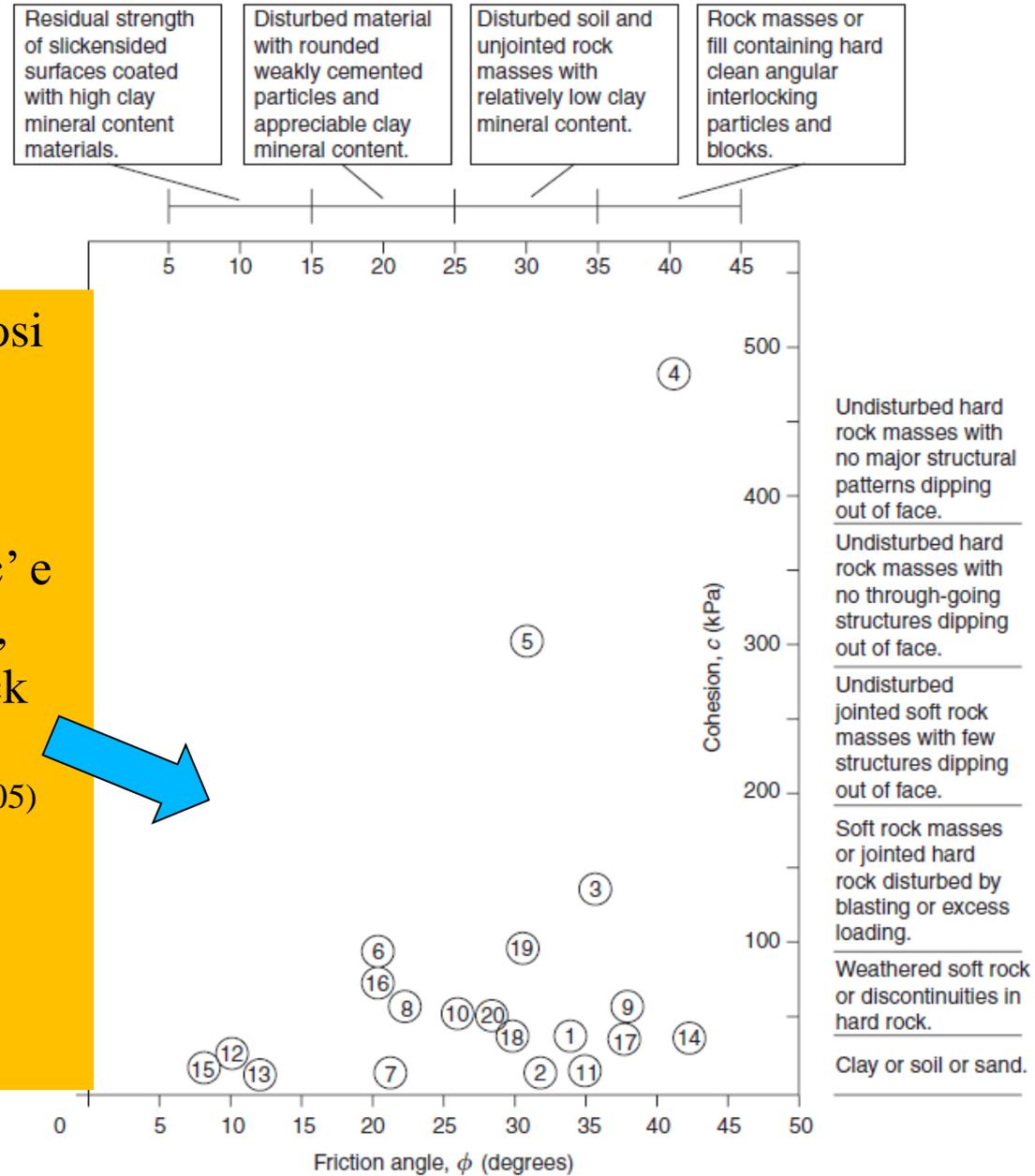


Figure 4.21 Relationship between friction angles and cohesive strength mobilized at failure for slopes analyzed in Table 4.2.

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:

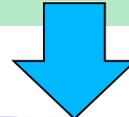
6° colonna : **sigci** = Resistenza Compressione Uniassiale Roccia Intatta (in MPa);

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

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

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

Parametri
método GSI



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

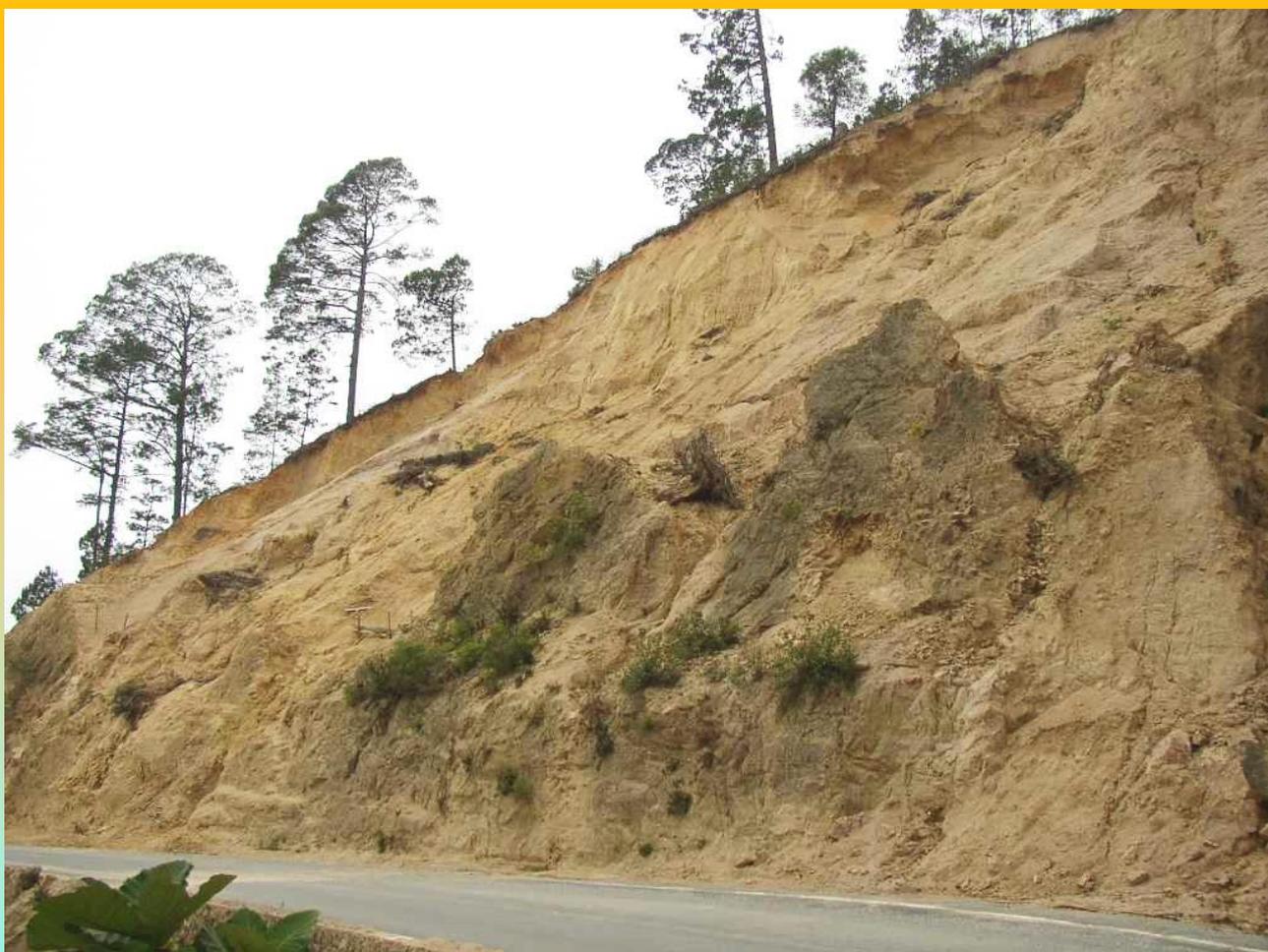
N.B.: Nel caso di uso criterio di Barton(2013) si fa uso dei soli valori ϕ' e c' equivalenti. Lo stesso nel caso d discontinuità strutturali e giunti (Barton 1985)

Motozintla – Chiapas Messico 2003



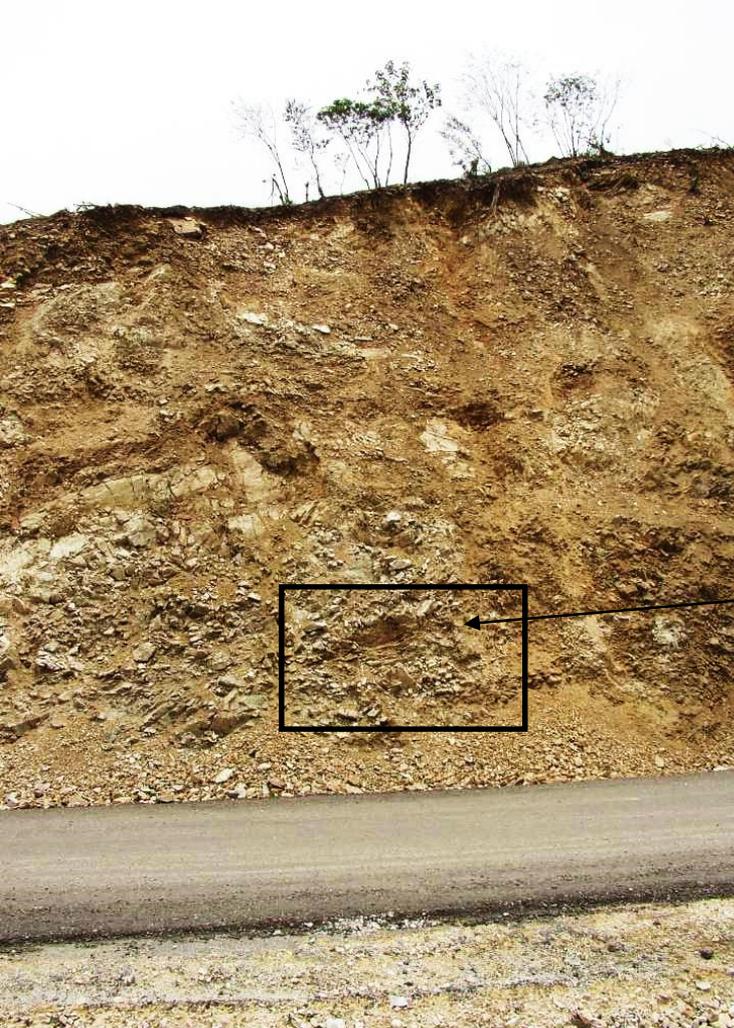
Ammasso roccioso
Costituito granodiorite
estremamente alterata

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

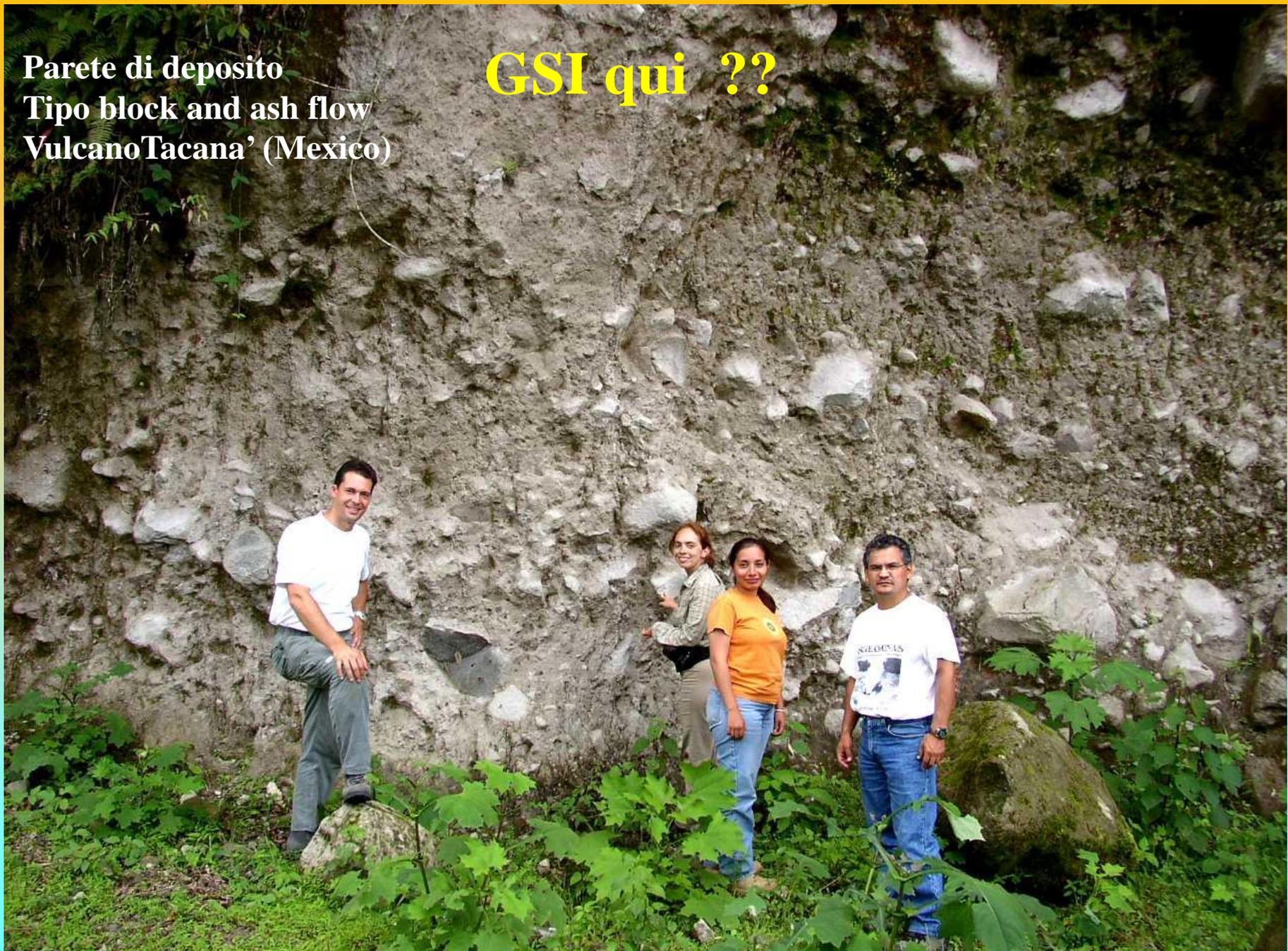
Tonalite molto resistente



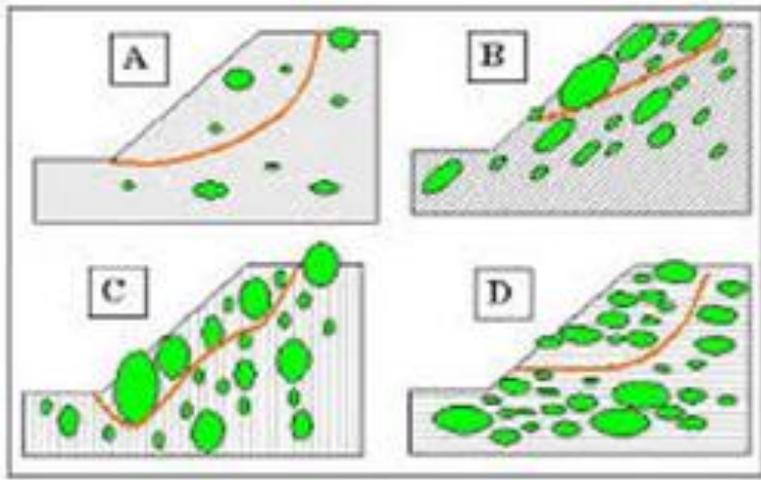
Hoek rock mass strength parameters (Hoek 1997,2002)						strength parameters at Z=4m	
sgci (MPa)	GSI	mi	D	assumed Unit weighth (kN/m ³)	effective stress at Z=4m (kPa)	c' (kPa)	ϕ' (degrees)
150	45	29	0.7	26	104	228	69

**Parete di deposito
Tipo block and ash flow
Vulcano Tacana' (Mexico)**

GSI qui ??



Esempio: Problemi di variabilita' nelle caratteristiche meccaniche in **olistostromi** (formazione tettonicamente complesse) originatesi da accumulo di frane in ambiente sottomarino e successivamente tettonizzate nella fase orogenetica successiva.. **Densita' dei blocchi e proprieta' della matrice fine. Terreno ? Roccia tenera ?**



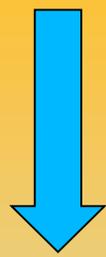
*Una alternativa da poco in uso e' quello di caratterizzare gli olistostromi come **BIMROCKS** (Blocks In Matrix Rocks). Nuovo criterio di determinare Φ' e C' come media pesata tra matrice e blocchi Criterio utilizzabile in SSAP.. Ma i parametri sono difficili da ottenere in campo..*



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')



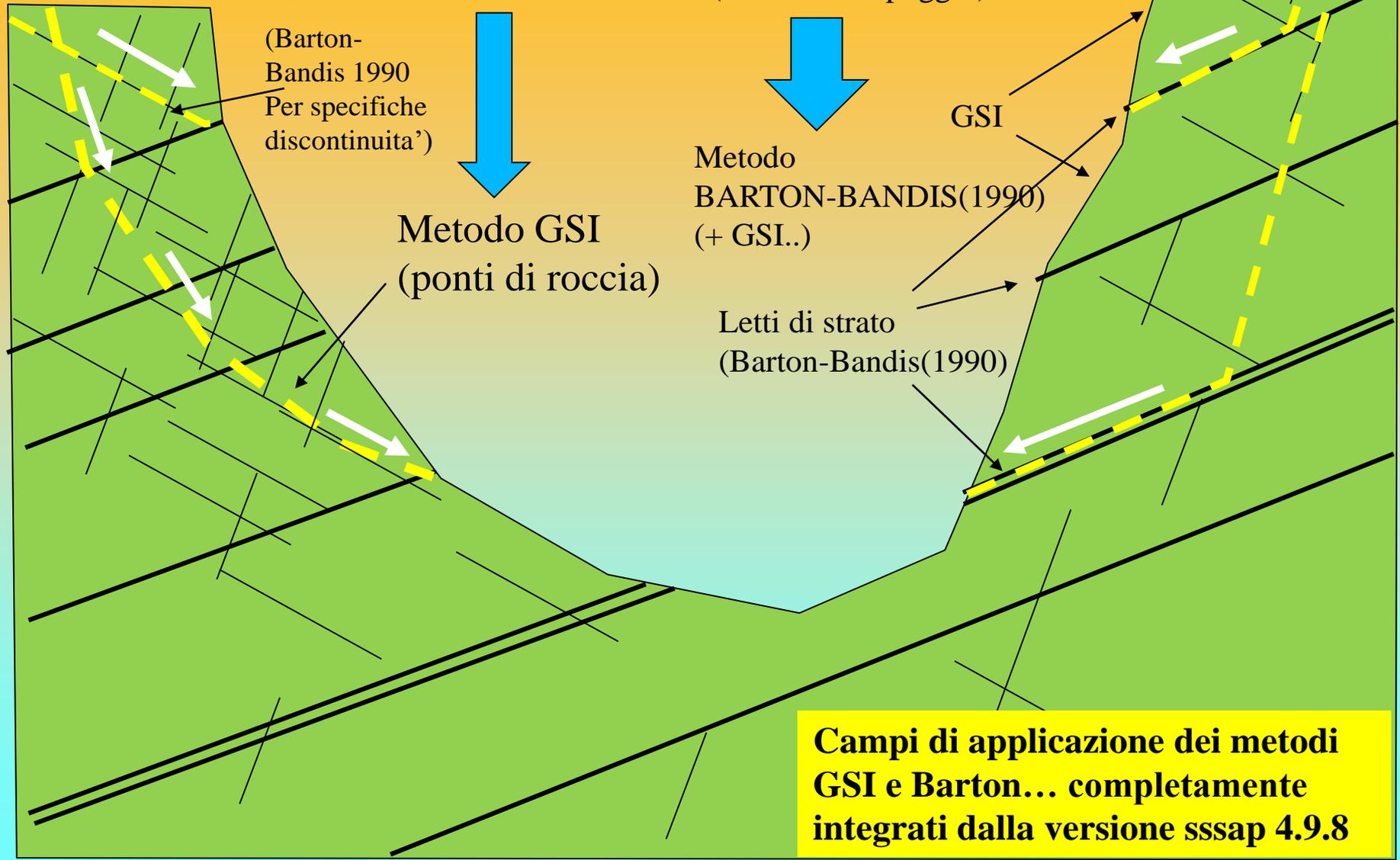
Metodo GSI
(ponti di roccia)



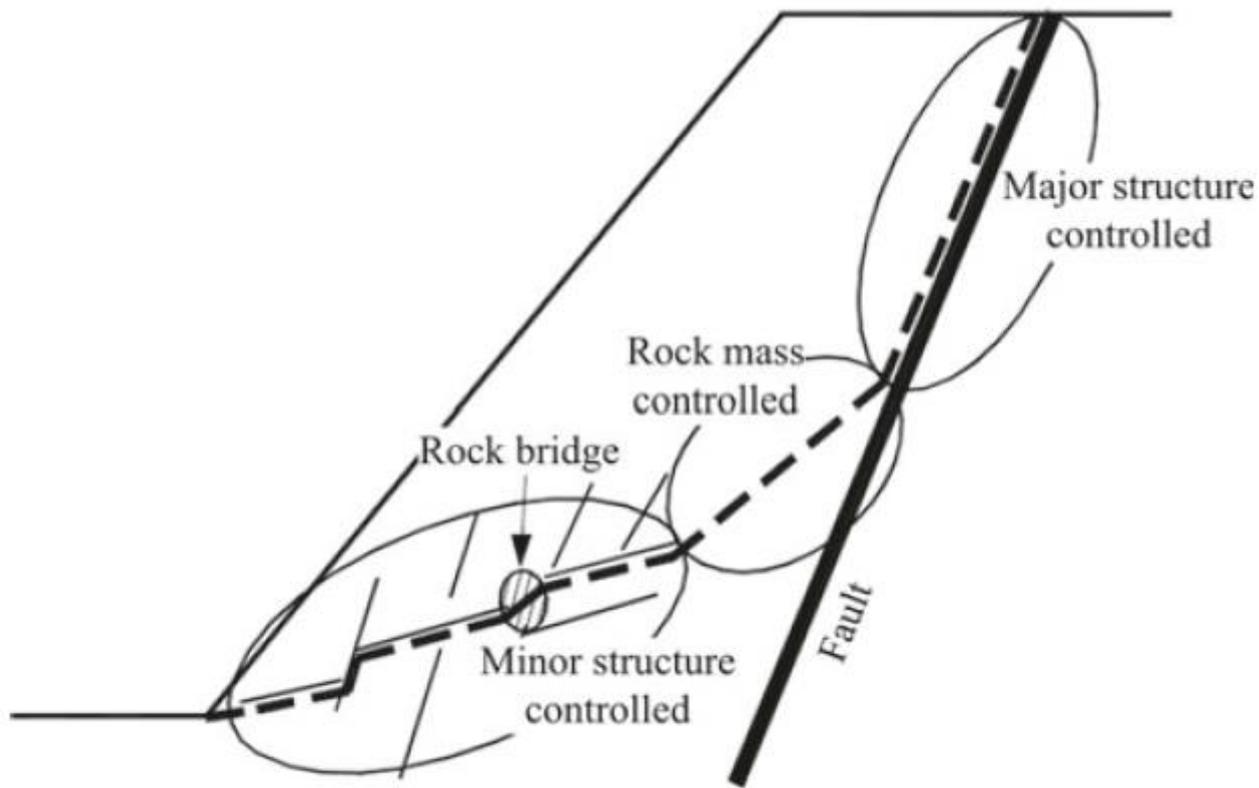
Metodo
BARTON-BANDIS(1990)
(+ GSI.)

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)

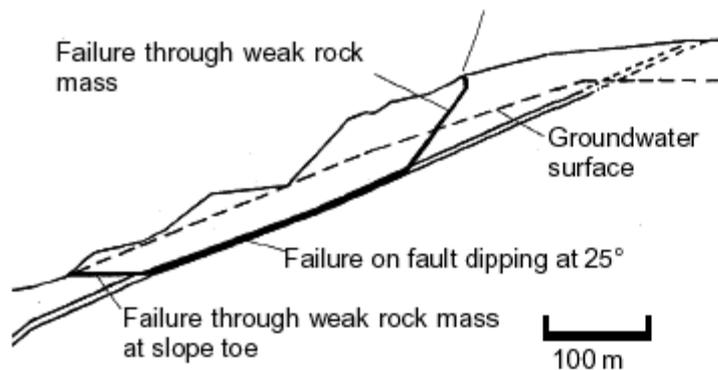
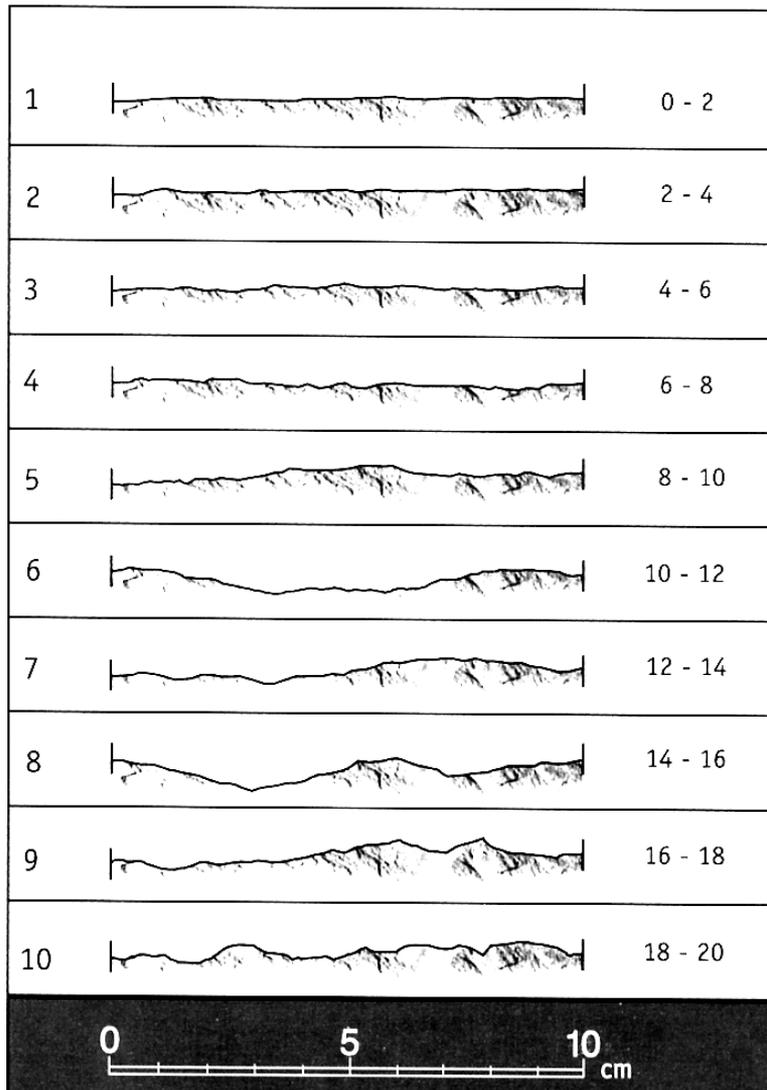


Figure 11.31: Complex slope failure controlled by an outward dipping basal fault and circular failure through the poor quality rock mass overlying the toe of the slope.

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)

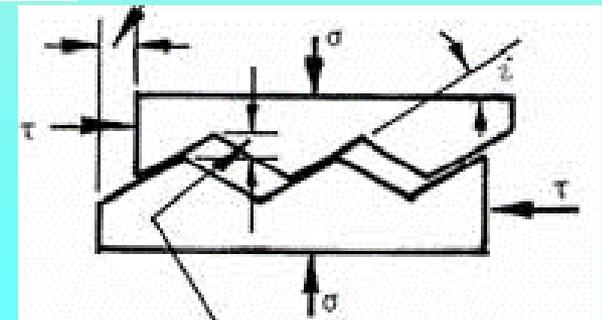
σ_n = pressione normale alla superficie della discontinuita'

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

Barton & Bandis (1990)

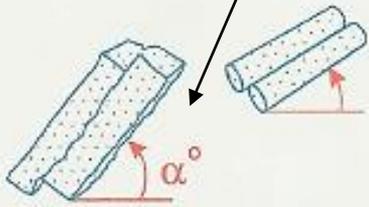
$$\tau = \sigma_n \tan \left[JRC * \text{Log}_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \phi_r \right]$$

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



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

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

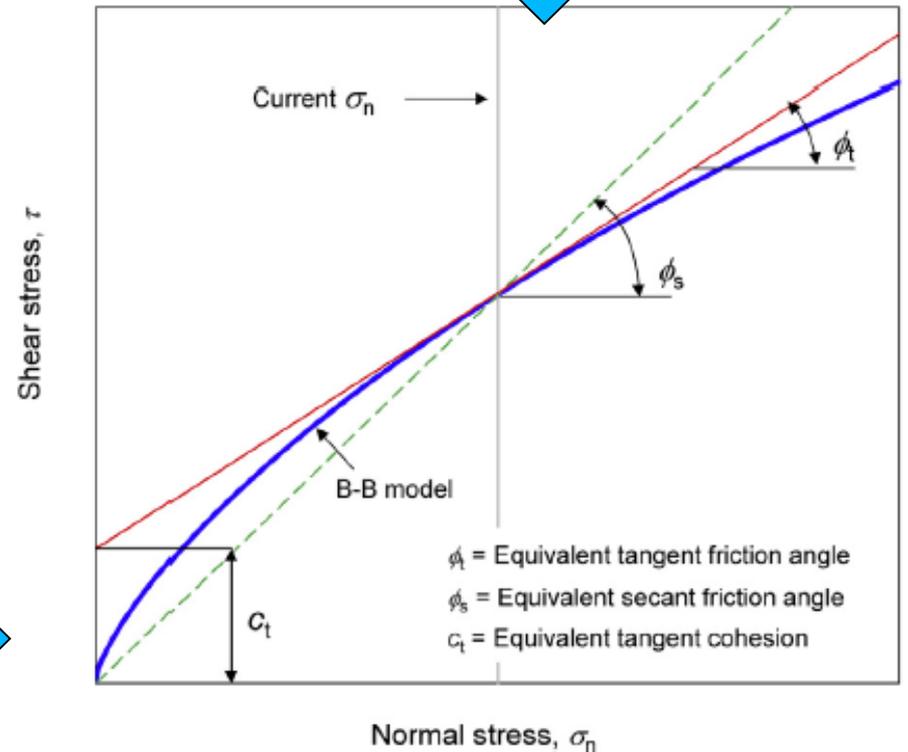
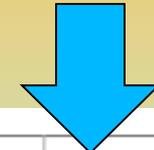
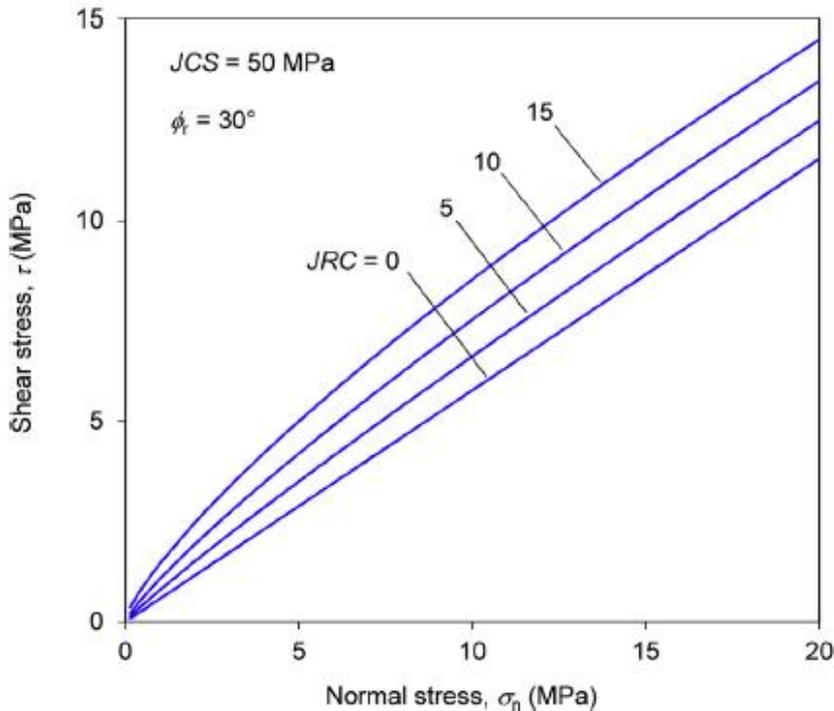
Numero rimbalzi r_5
su roccia alterata

Numero rimbalzi R_5
su roccia non
alterata

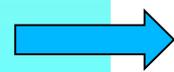


Criterio B-B non-lineare che puo'essere usato a partire dalla versione ssap 4.9.6

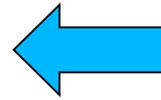
Dato che anche il criterio di rottura di Barton per le discontinuita' e' curvo anche la stima di ϕ' e c' equivalenti non puo' essere semplicemente linearizzato. (porterebbe a grosse sovrastime o sottostime)



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;

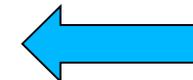
JRC_n : indice di rugosità' dei giunti normalizzato specifica scala di persistenza della discontinuità (es 3 m);

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

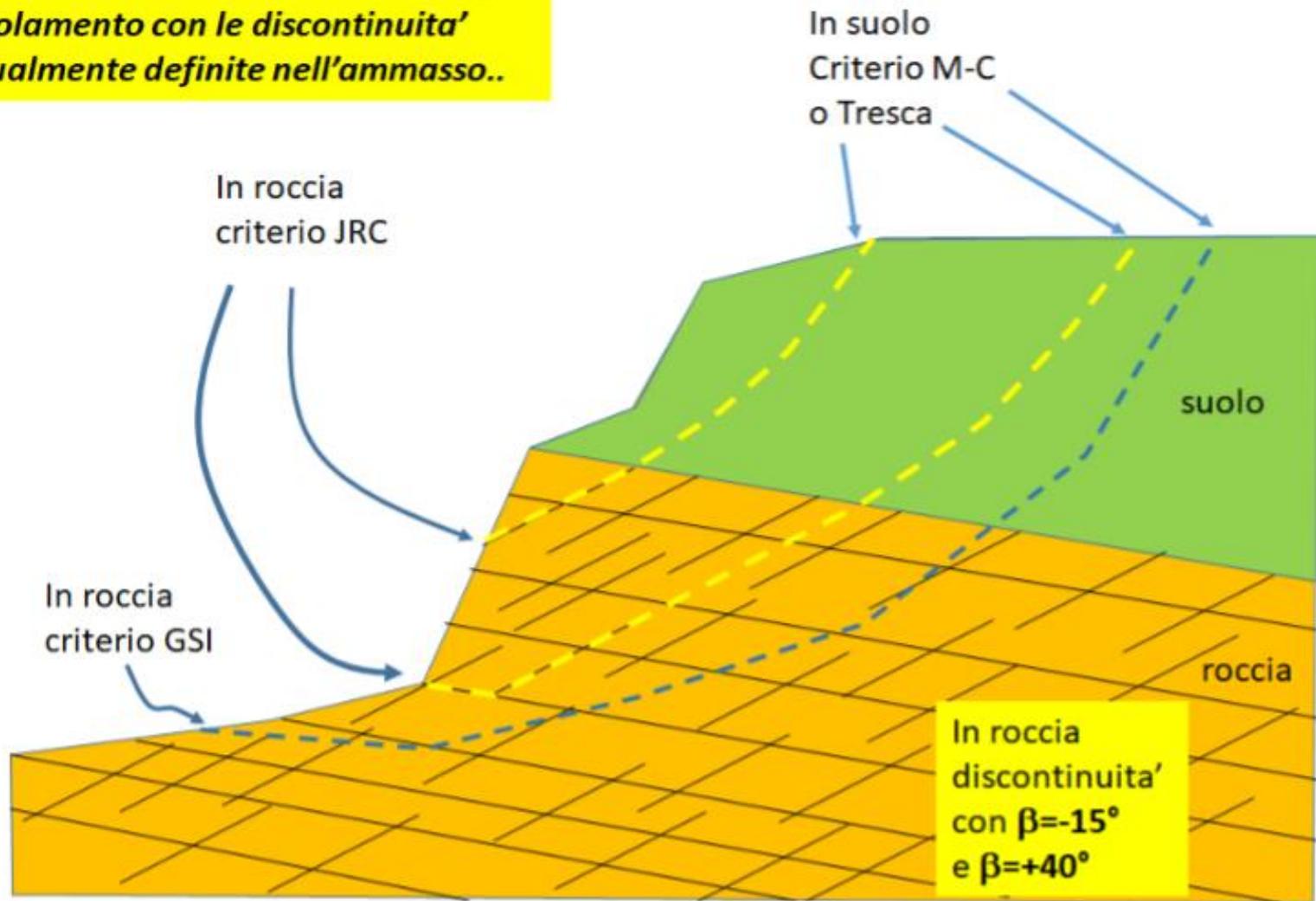
JCS_n resistenza alla compressione semplice (MPa) dei giunti normalizzato specifica scala di persistenza della discontinuità (es 3 m);

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);

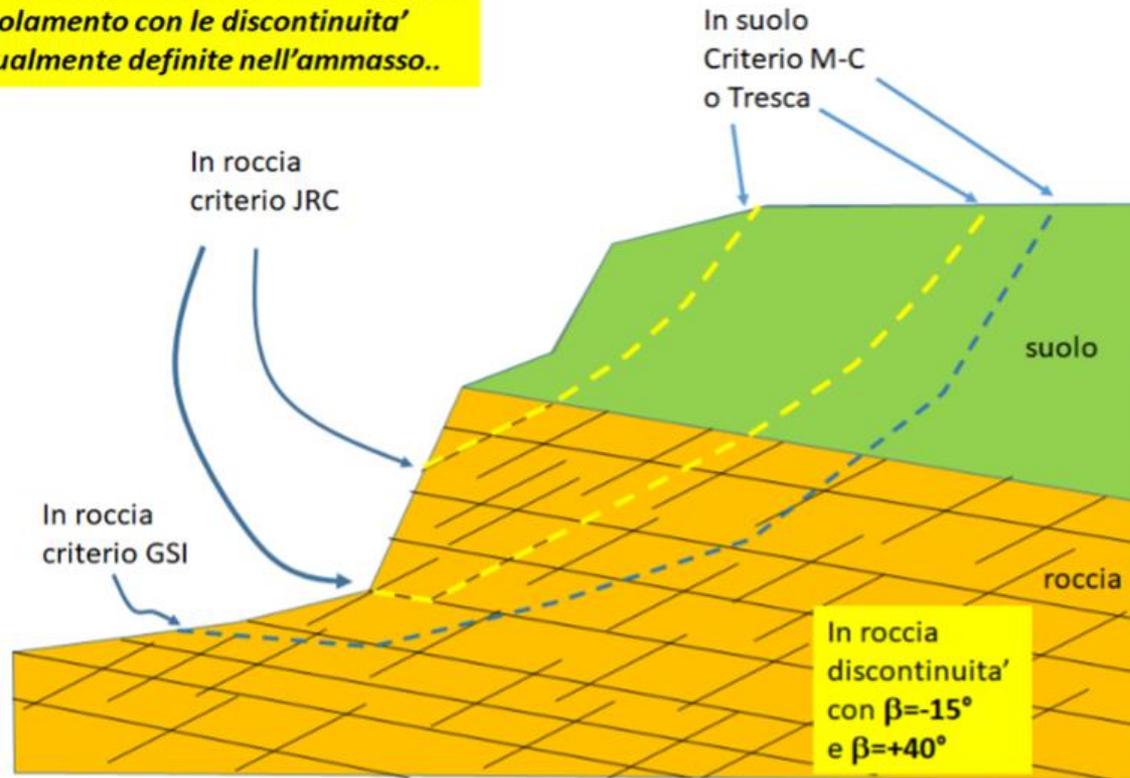


In roccia la scelta del criterio dipende dalla collinearità delle superfici di scivolamento con le discontinuità eventualmente definite nell'ammasso..

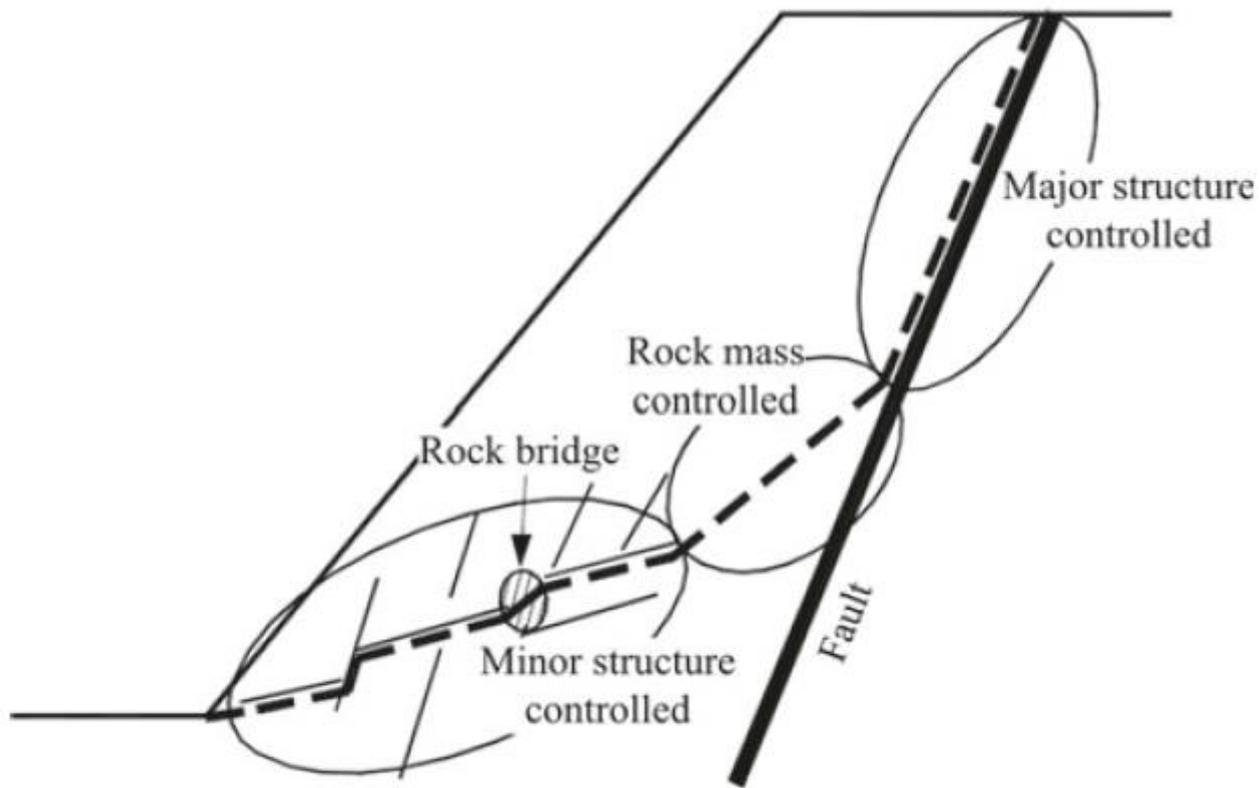


Caso di ammasso roccioso definito con entrambi i criteri GSI +JRC in presenza di famiglie di discontinuità orientate e ponti di roccia

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)

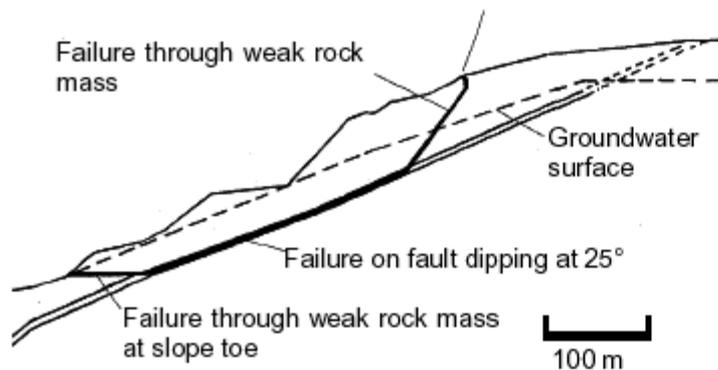
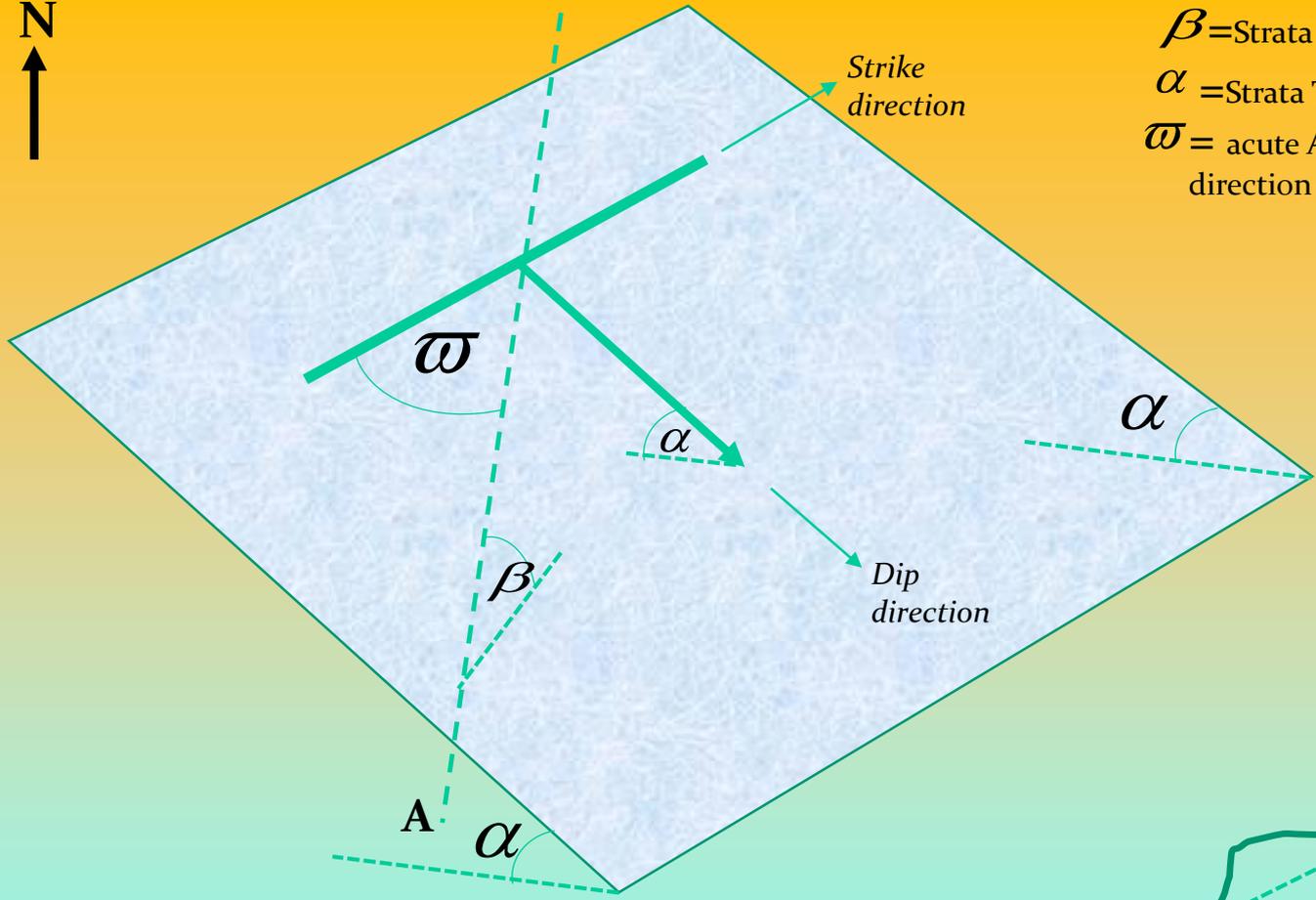
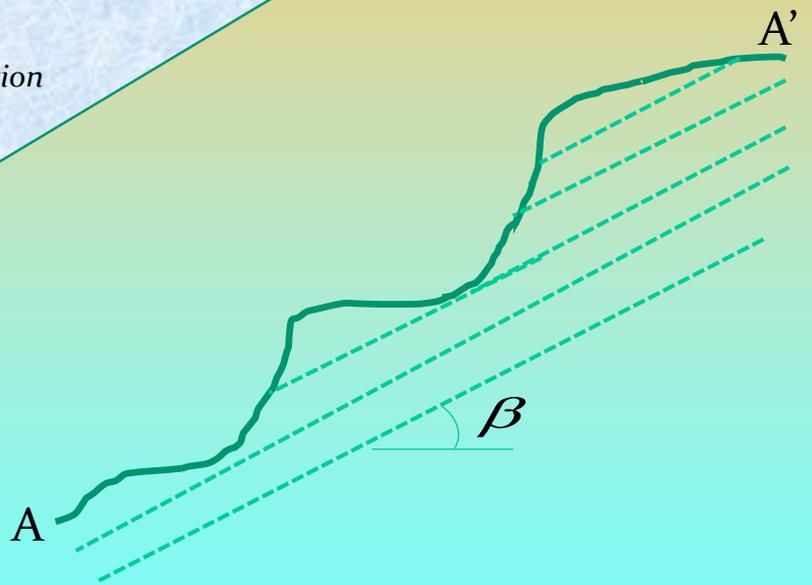


Figure 11.31: Complex slope failure controlled by an outward dipping basal fault and circular failure through the poor quality rock mass overlying the toe of the slope.



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

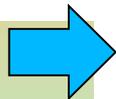
I files **.JRC** contengono i le informazioni relative alle caratteristiche geomeccaniche e geometriche delle famiglie discontinuità orientate presenti in un ammasso roccioso. Le caratteristiche si riferiscono al metodo Barton & Bandis (1990) e Barton (2013) che viene trattato in esteso nella appendice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

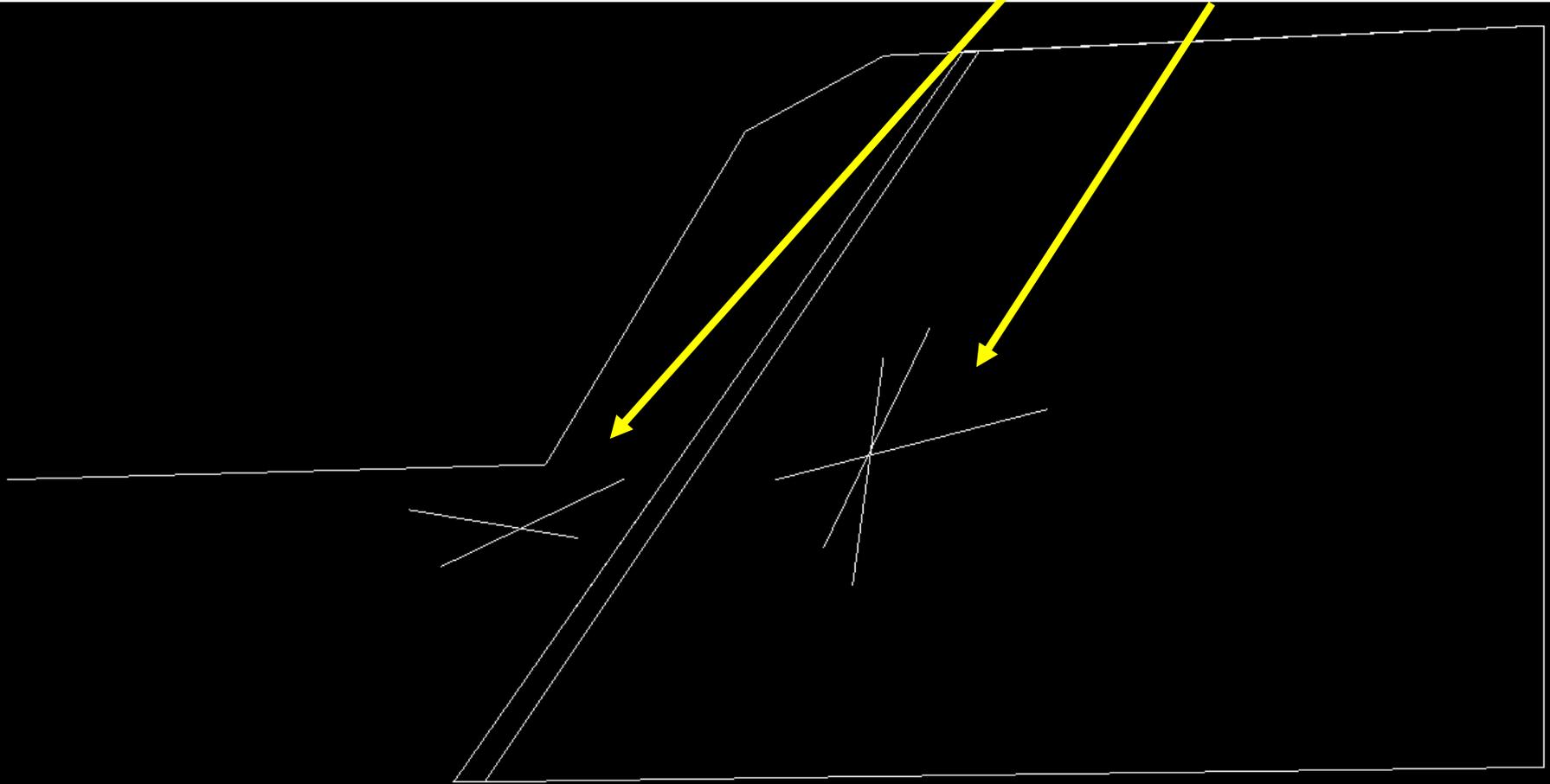
Nella **sesta colonna** è indicato il valore L (in m) che indica la lunghezza media della persistenza delle discontinuità.

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)

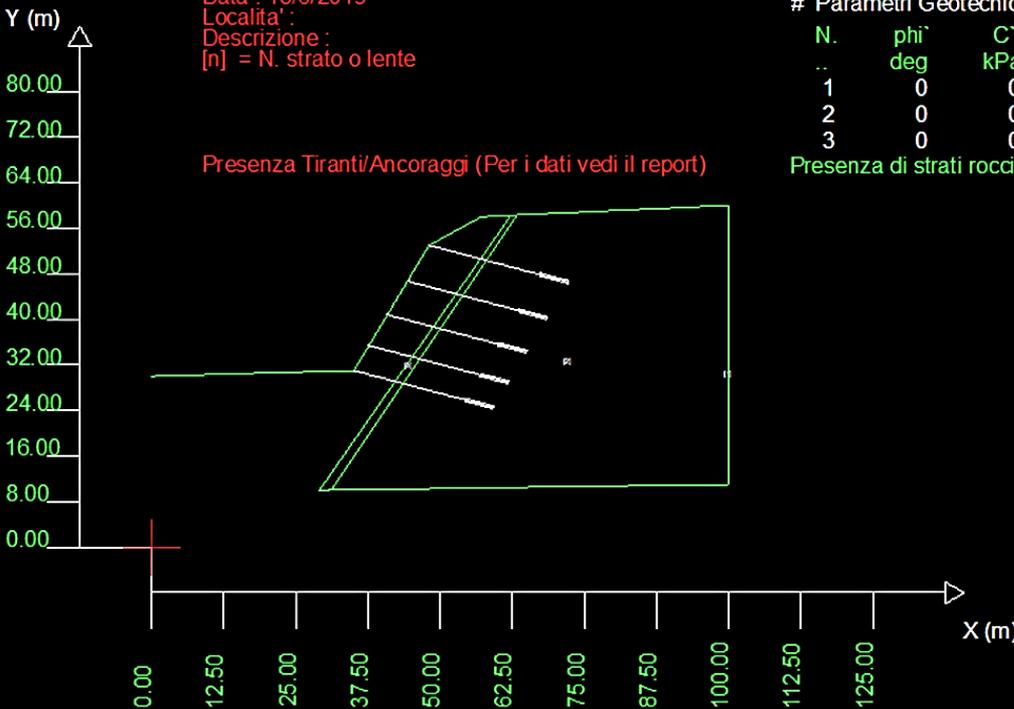
Data : 18/6/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

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

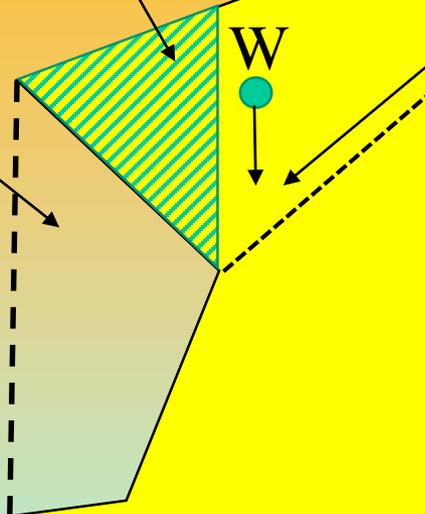
Presenza di strati rocciosi con discontinuita' orientate (criterio Barton-Bandis). Vedasi File .JRC e Report per dettagli



Cartella ..\pendii\esempi corso base\pendio_GSI_JRC_2018

Lente di aria a resistenza e massa prossima a 0

Momento destabilizzante di questa porzione in oggetto



E' possibile considerando un cuneo reale con aggetto, 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 aggetto 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 aggetto, 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

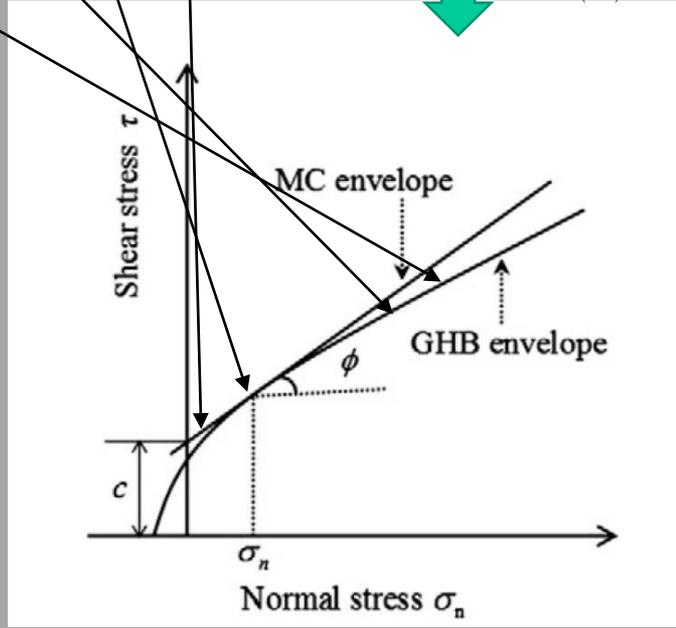
Nei punti 1,2,3,4
Agisce un diverso
Stress Normale efficace

Questo significa che
Con un involucro
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)

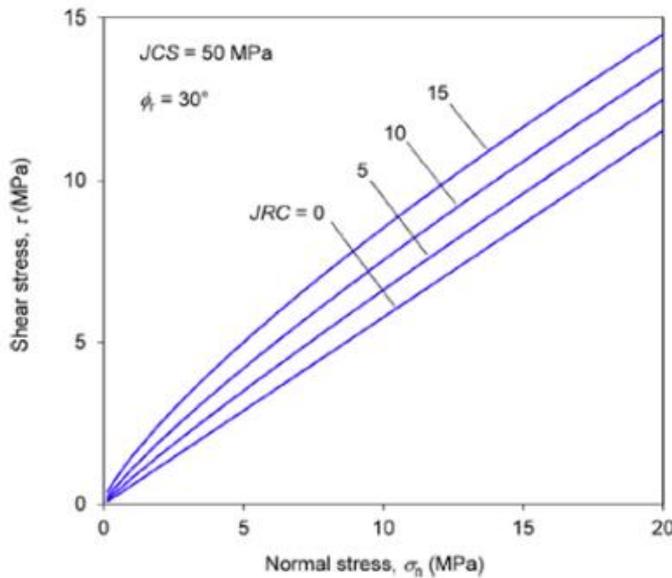
Ma dato la c' e ϕ' prossimi a 0
(es. $\phi' \lim \rightarrow 0$) sara' 0 anche la
Resistenza al taglio locale

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 discontinuità definita con il **Criterio di Barton-JRC**

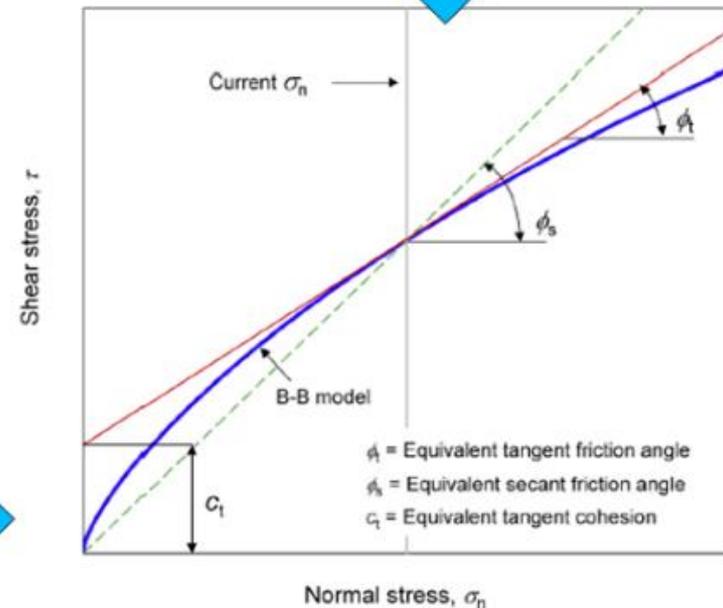
Criterio B-B non-lineare
che puo' essere usato a partire dalla
versione ssap 4.9.6



La stima locale dei valori ϕ_i' e c_i' 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 discontinuità è curvo anche la stima di ϕ_i' e c_i' equivalenti non può 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.*

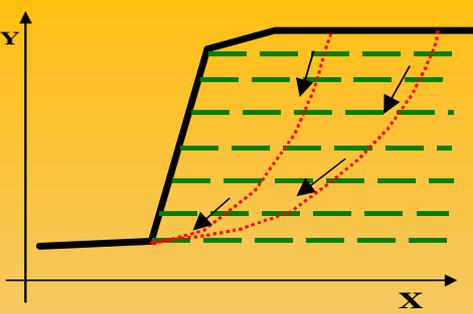
I primi 6 punti attualmente SSAP li fa..

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..

SSAP 5.1
CORSO BASE
Parte III

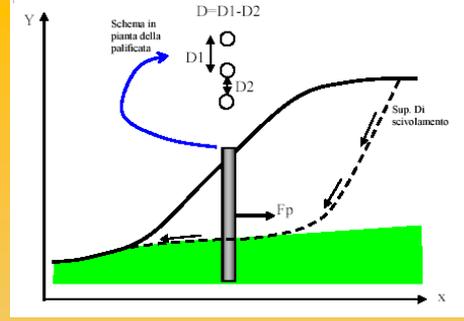


SSAP2010

Scelta e pericoli

Del criterio di rottura

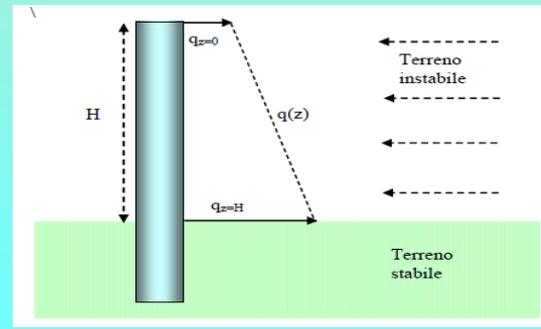
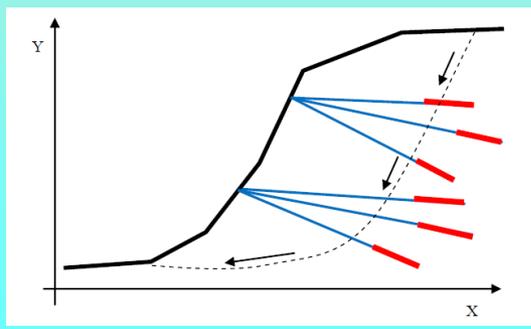
NON DRENATO



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

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

lborselli@gmail.com
 lorenzo.borselli@uaslp.mx
<http://www.lorenzo-borselli.eu>



Scelta tra condizioni DRENATE a lungo termine e condizioni NON DRENATE a breve termine per la valutazione della resistenza al taglio dei terreni

Riferimento: teoria di Duncan et al. (1991, 2014), Stark et al (2014)

Applicazione della teoría della cosolidazione attraverso il fattore T di consolidazione, ovvero il livello % di consolidazione (e dissipazione dell'eccesso di pressione neutra) . Si applica anche per la valutazione di resistenza al taglio in caso di *rapid drawdown* o svaso rápido.

VEDASI DETTAGLI APPENDICE M manuale SSAP !!!!!

In Manuale SSAP 5.1

SSAP 2010 - rel. 5.1 (2022) - Manuale di riferimento

APPENDICE M – LINEE GUIDA PER SCELTA DEL CRITERIO DI ROTTURA PER I TERRENI: CONDIZIONI NON DRENATE (Breve Termine) E CONDIZIONI DRENATE (Lungo Termine).

(versione 1.4 Novembre 2021)

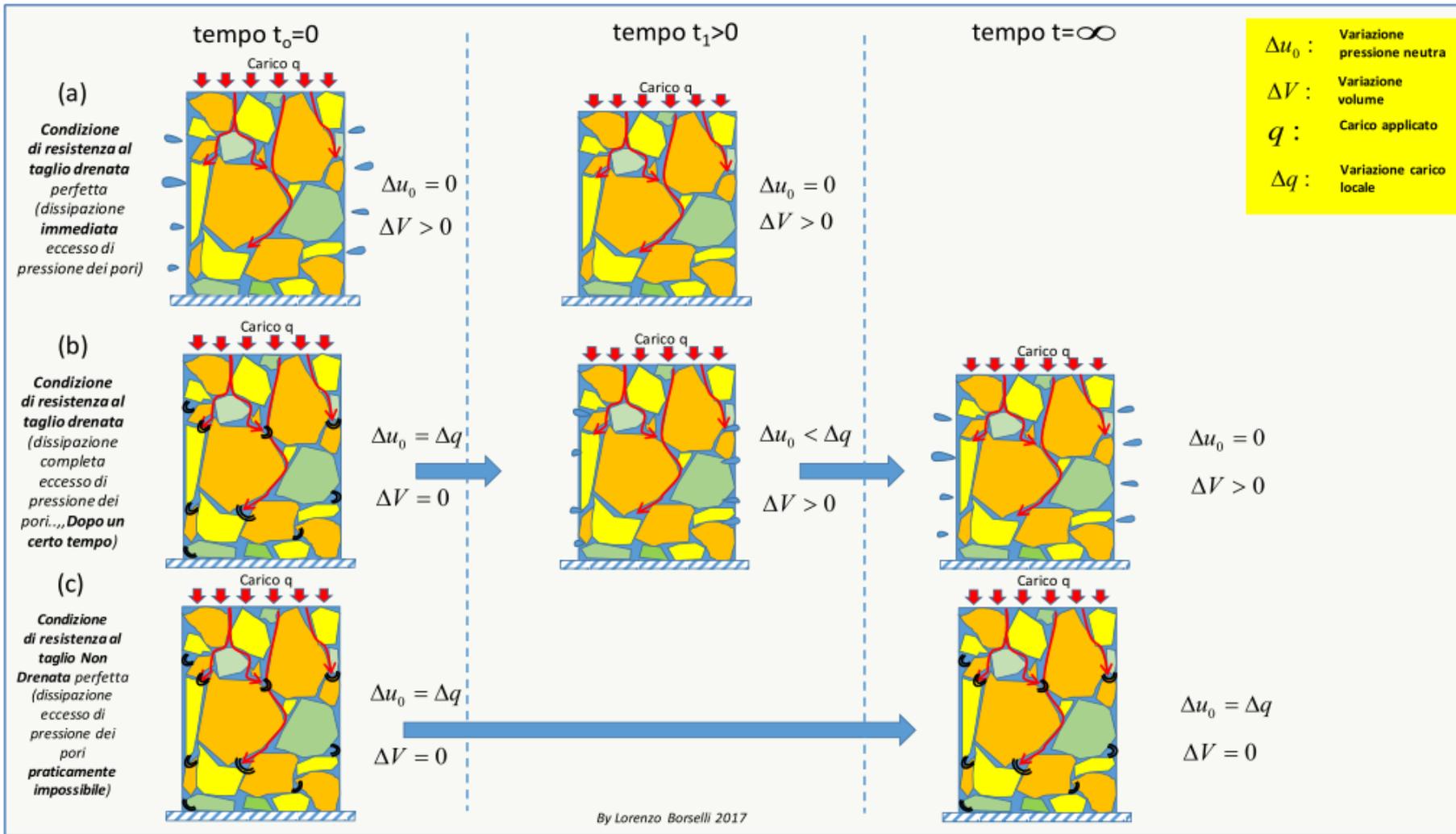
By LORENZO BORSELLI*,**

*** Docente di Geotecnica e Engineering Geology
Facoltà Di Ingegneria, Universidad Autonoma de San Luis Potosí.
San Luis Potosí., Mexico**

****Già Ricercatore e Responsabile di Sezione (fino al Luglio 2011)
C.N.R – IRPI, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, ITALIA**

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

lborselli@gmail.com, lorenzo.borselli@uaslp.mx_



Teoria della consolidazione (semplificata)

Coefficiente di consolidazione C_v che esprime la facilità o meno del processo di consolidazione per mezzo della velocità di dissipazione dell' eccesso della pressione neutra:

$$C_v = \frac{k}{m_v \gamma_w}$$

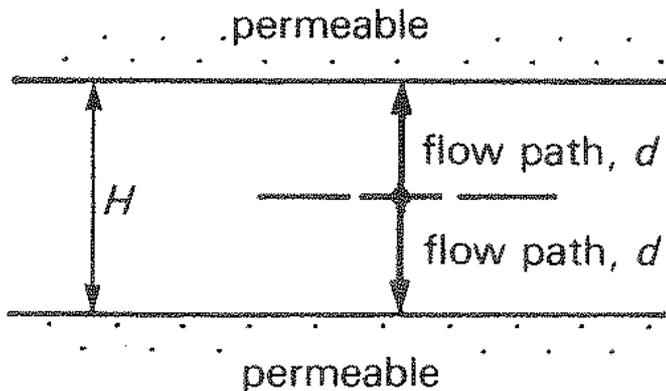
m_v e' il coefficiente di compressibilità volumetrica espresso in (m^2/kN)

k e' la permeabilità espressa in (m/s)

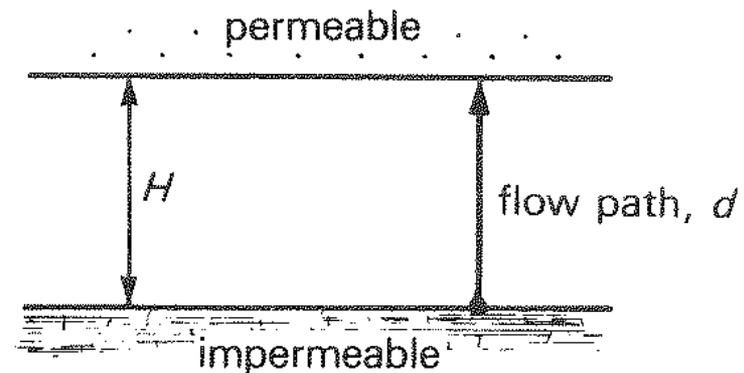
γ_w e' il peso unitario dell'acqua $9.81 (kN/m^3)$

C_v e' il coefficiente di consolidazione espresso come $[m^2/s]$

Altro parametro e' d ovvero la distanza minima da percorrere per raggiungere la dissipazione dell'eccesso di pressione neutra.



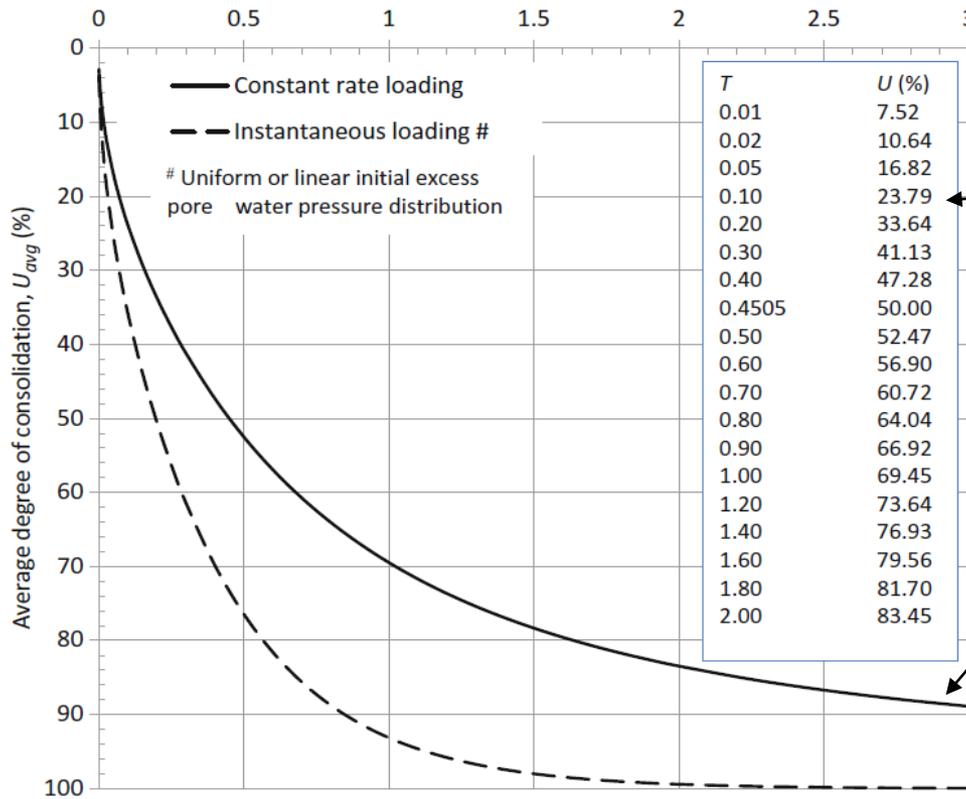
(a)



(b)

Fig. 10.17 Open and half-closed layers

(a) Open layer: $d = H/2$ (b) Half-closed layer: $d = H$



$T=f(U\%)$
per carico
progressivo

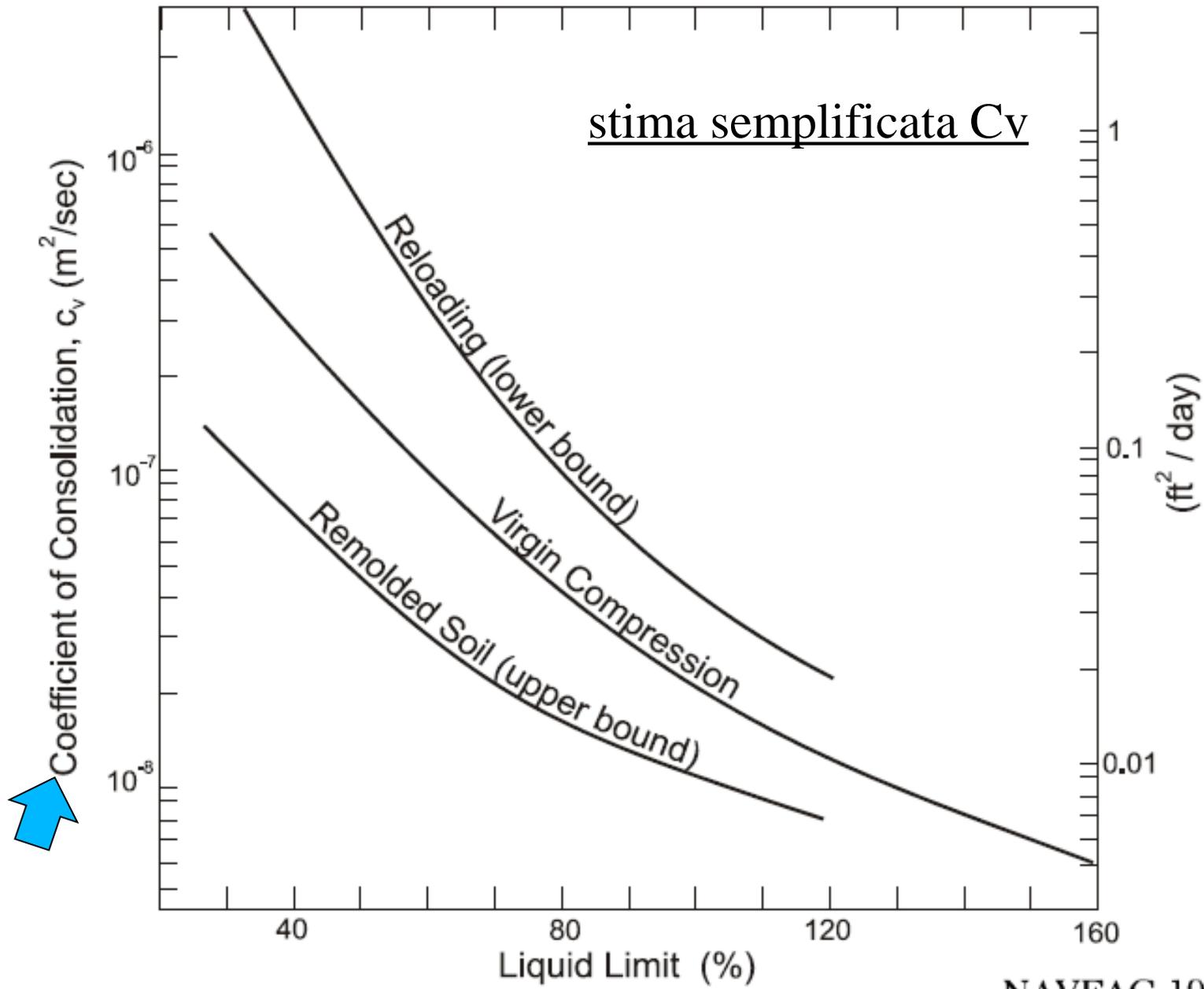
$T=f(U\%)$
per carico
istantaneo

% di consolidazione in funzione del fattore tempo T per carico istantaneo e carico con incremento progressivo (da Ameratunga et a. 2016)

$$T = \frac{c_v t}{d^2}$$

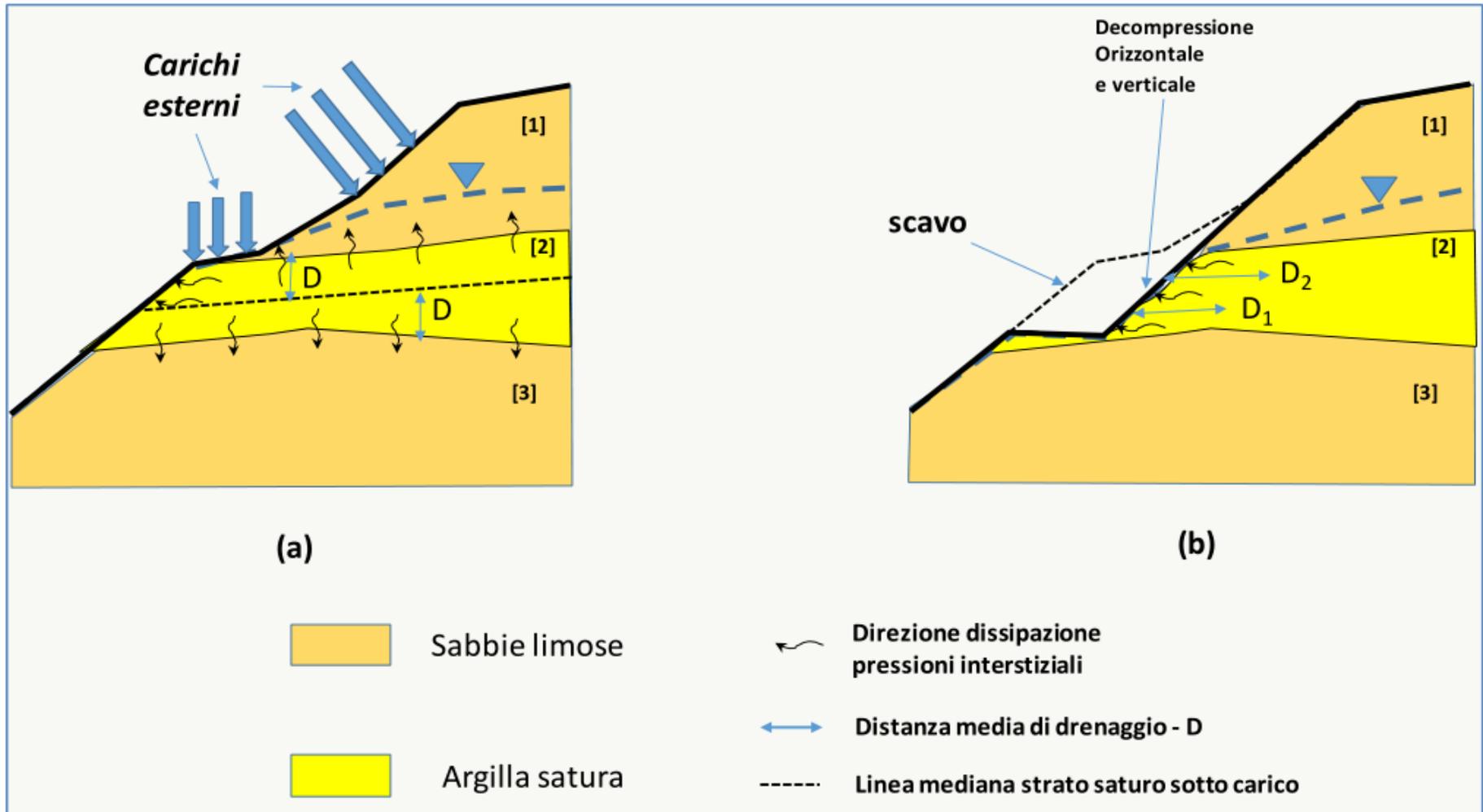
T_{50} y T_{90} sono valori caratteristici e fondamentali del calcolo della % consolidazione vs. Il Tempo.

$$t = \frac{T d^2}{c_v}$$

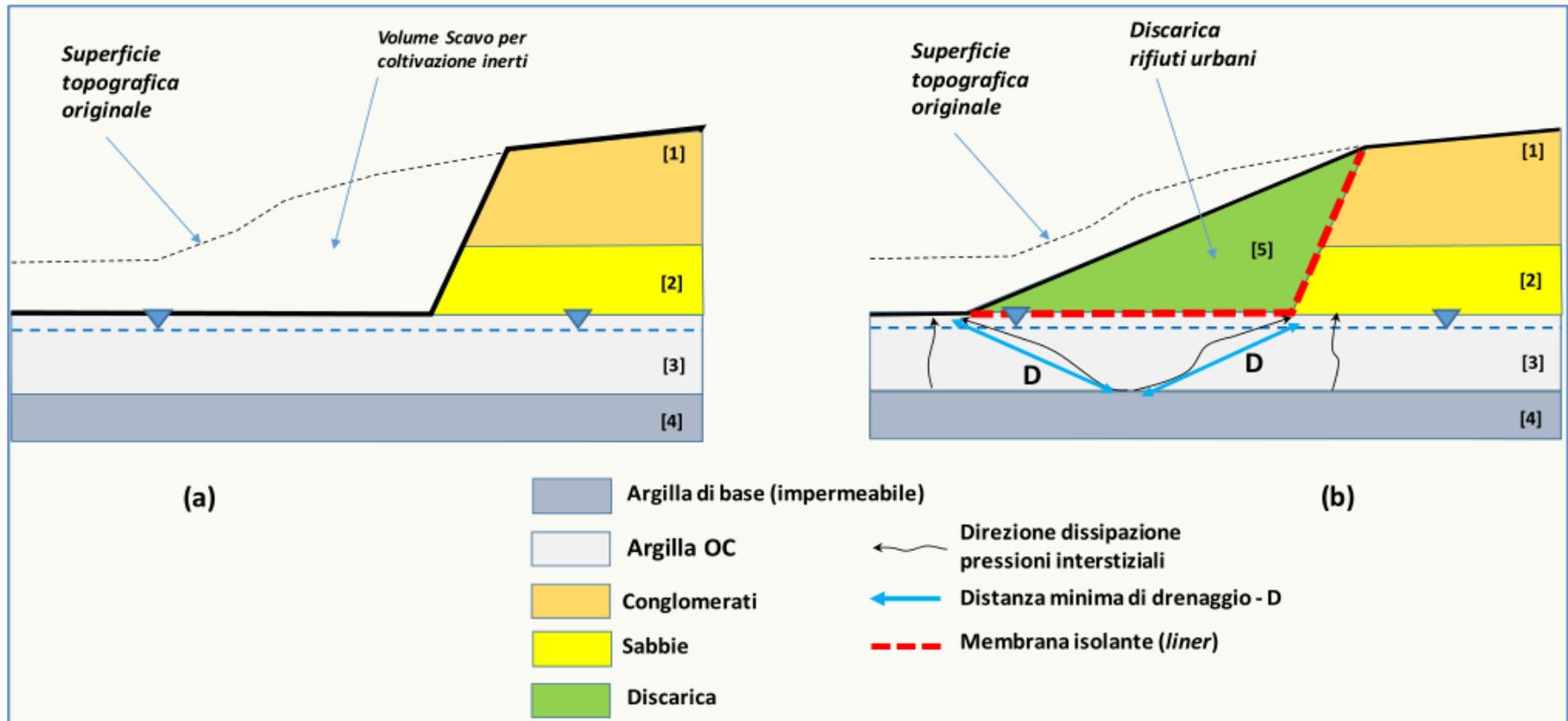


NAVFAC 1982;

Stima Parametro D



Stima Parametro D



Se si conosce C_v e d si puo' valutare quanto tempo t e'
Necessario per avere una consolidazione completa...

Overo **$T_v > 4$ (Berlingen 2007)**

Per un tempo maggiore di t necessario per avere $T > 4$
**avremo sicuramente condizioni con dissipazione totale della
pressione neutra in eccesso e quindi condizioni DRENATE**

Viceversa per tempi piu brevi avremo condizioni NON DRENATE

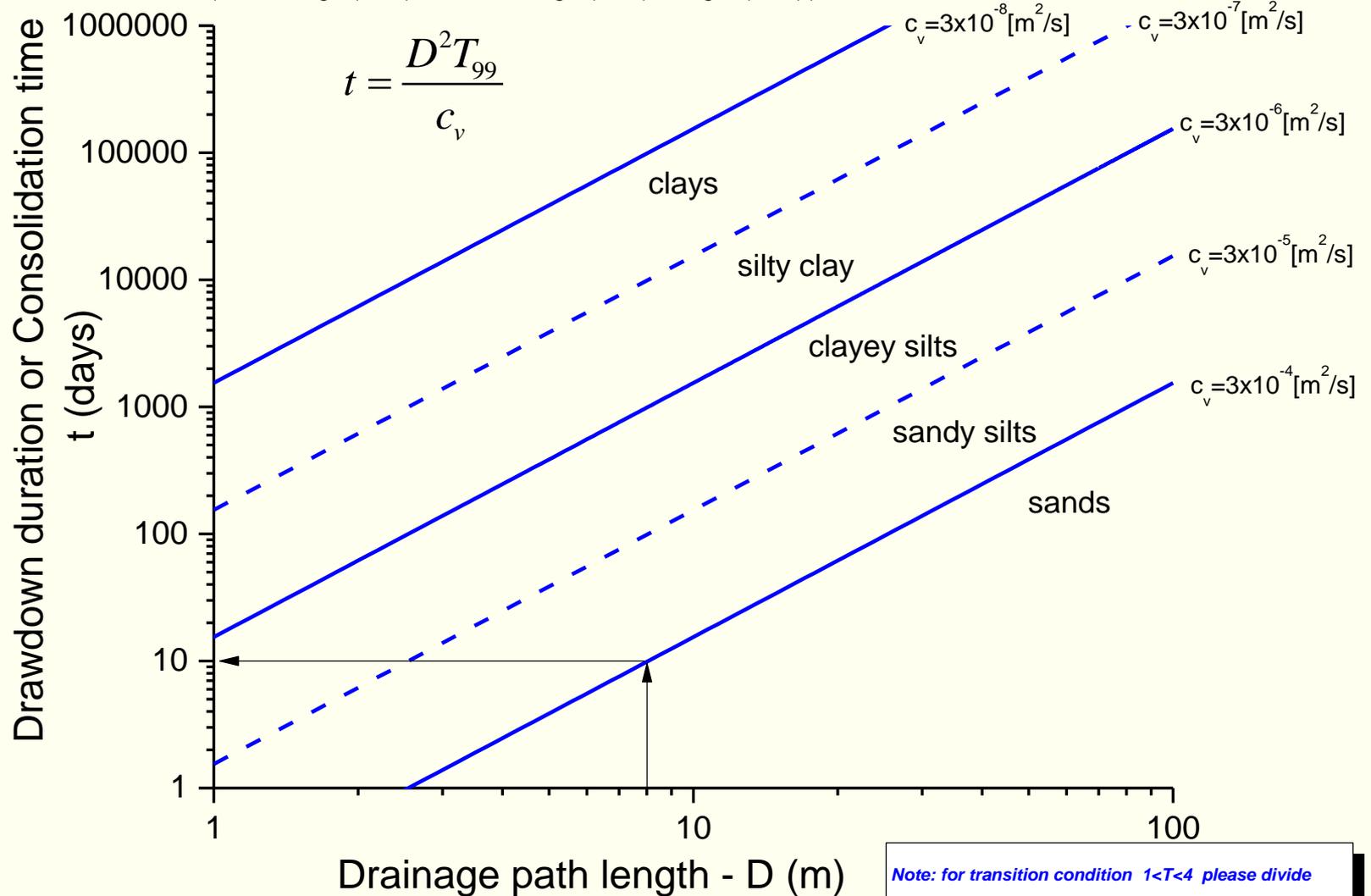
Vedasi i seguenti grafici:

- 1) Tempo (in giorni) per arrivare a condizioni completamente drenate
- 2) Combinazione distanza di drenaggio e tempo per una specifica C_v

Time to 99% of consolidation $T_{99}=4$

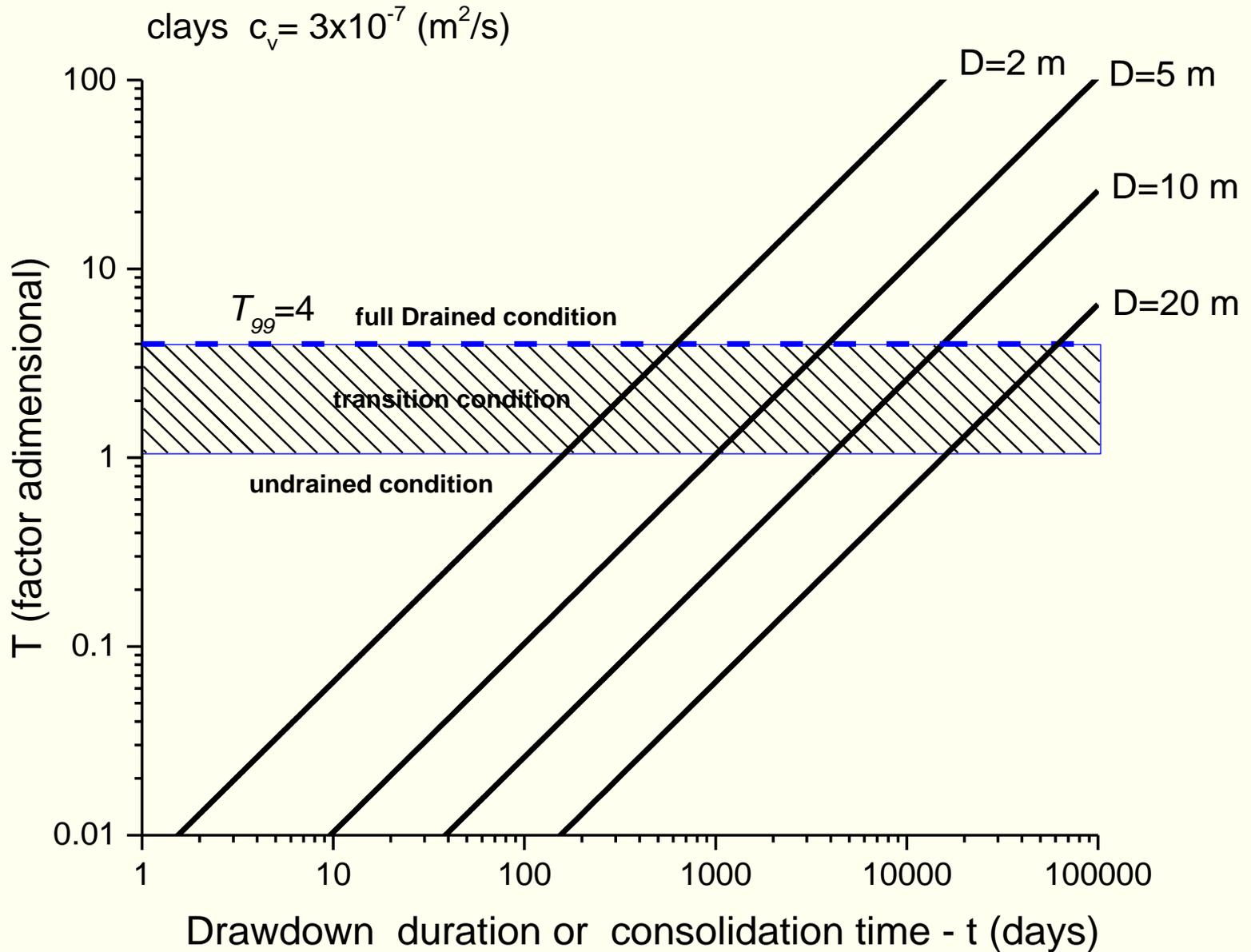
By I. Borselli (2017)

(after Terzaghi (1943), Duncan & Wrigth (1990), Berilgen (2007))

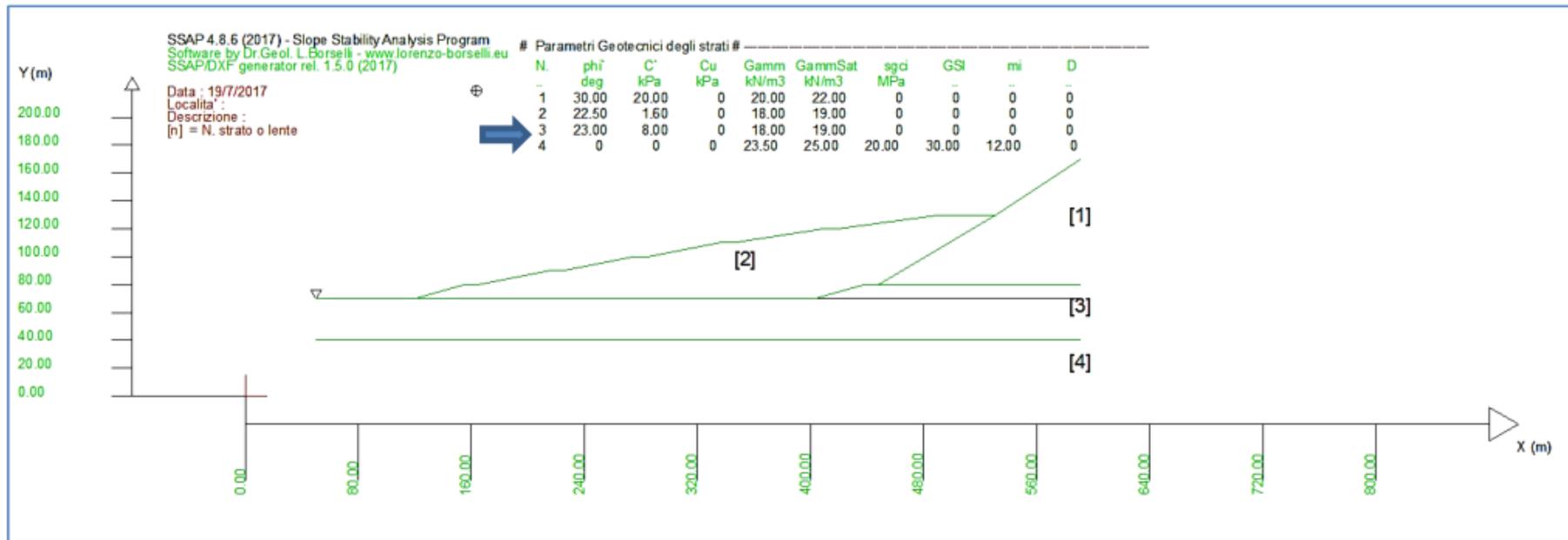


Note: for transition condition $1 < T < 4$ please divide t value by appropriate factor. e.g. for $T=1$ divide t by 4

from Duncan et al. (2014) - modified

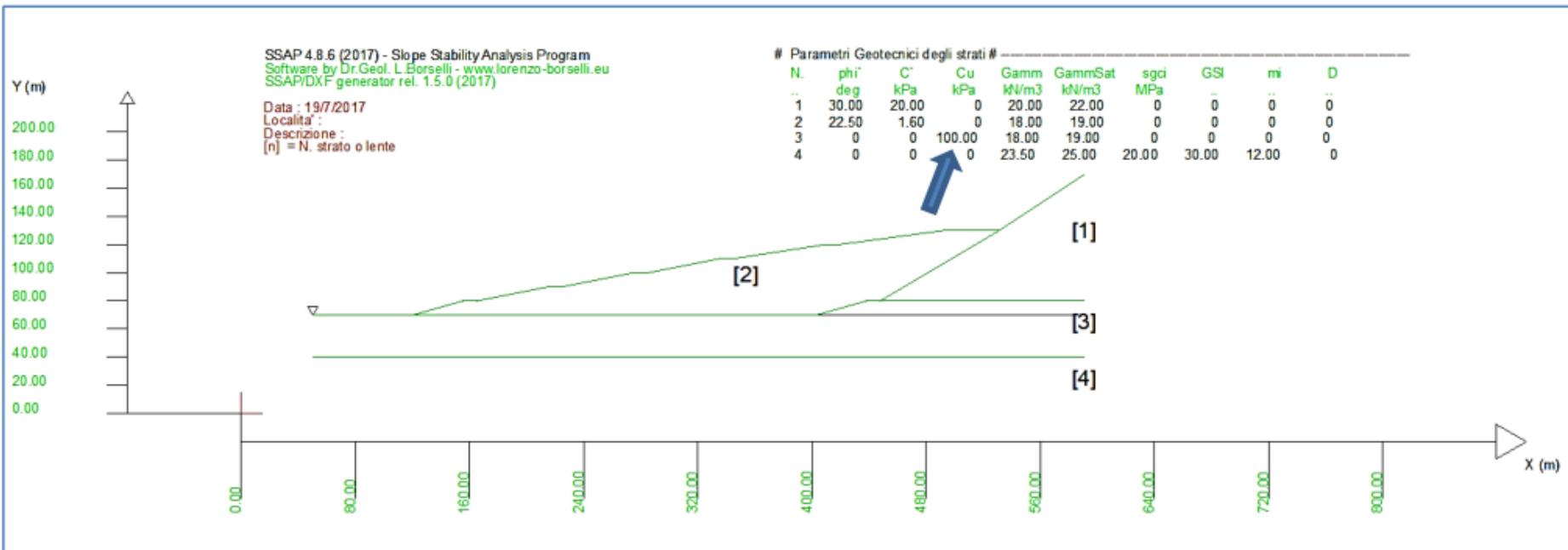


In figura M.8 abbiamo una ex cava di prestito di inerti con un deposito di sabbie cementate poggianti su uno strato compatto di argille sovraconsolidate sovrastanti una formazione di calcareniti in facies di flysh. Il deposito di argille si trova in condizione di saturazione e la ex cava di inerti si trova in uso come discarica di inerti industriali granulari di natura non contaminante. Nella sezione in figura M.8 lo strato 1 è costituito dal deposito di sabbie cementate, Lo strato 2 è il deposito di inerti, Lo strato 3 sono argille sovraconsolidate mentre lo strato 4 è costituito da calcareniti fratturate.



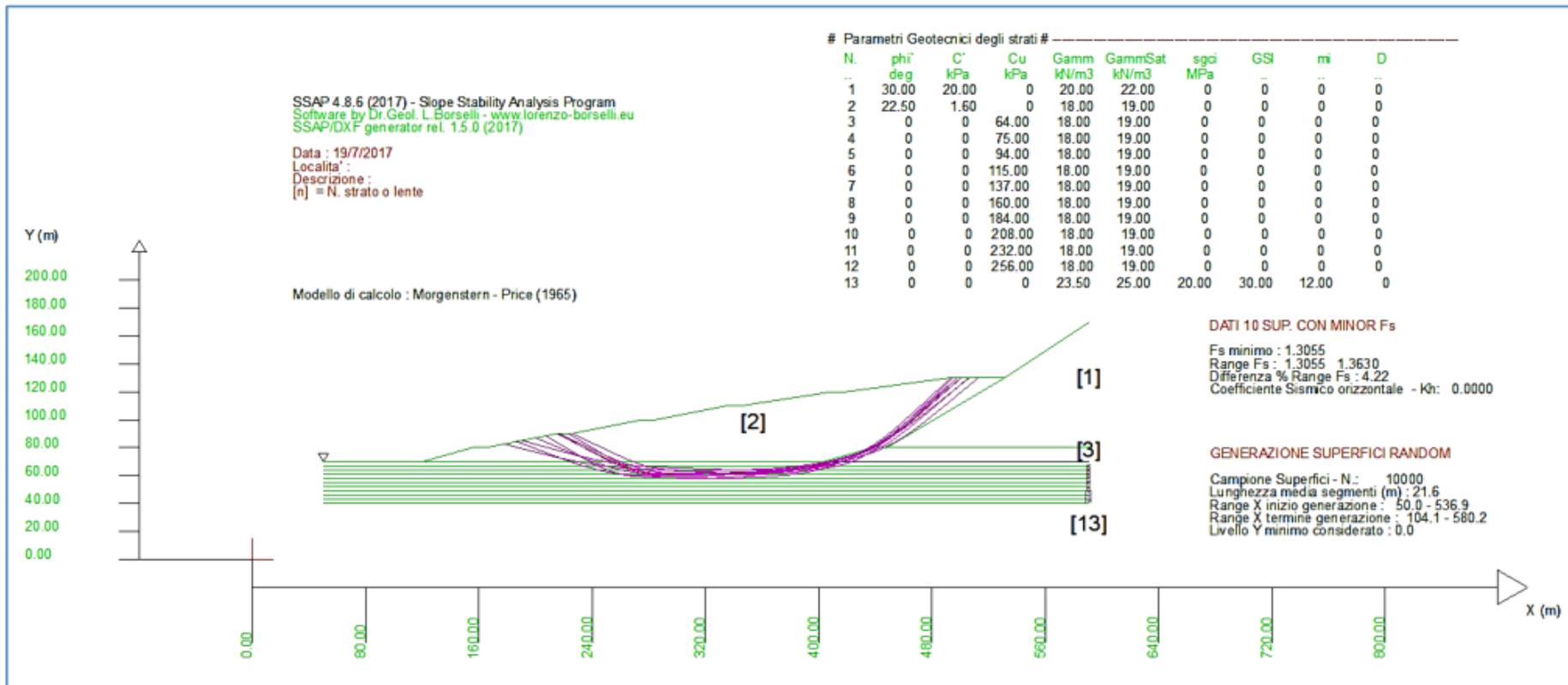
Cartella esempi corso : **discarica_esempio_ssap_4.8.6**

Scenario condizione drenate



Scenario substrato condizioni non drenate

Cartella esempi corso : **discarica_esempio_ssap_4.8.6**



Scenario substrato condizioni non drenate - modificato con modello SHANSEP

Cartella esempi corso : **discarica_esempio_ssap_4.8.6**

In particolare è necessario porre attenzione ai seguenti punti:

- 1) **Le verifiche in condizioni non drenate non offrono necessariamente sempre condizioni di maggiore stabilità di verifiche in condizioni drenate.**
- 2) È possibile associare a pendii multistrato criteri di rottura diversi per ogni strato, quando e come le situazioni di carico e di consolidazione lo richiedano (Duncan et al., 2014).
- 3) I parametri di resistenza al taglio di ogni strato devono essere ricavati secondo le metodologie correnti (prove di laboratorio e/o prove in situ) tenendo conto della storia tensionale e ovviamente dei criteri di progetto.
- 4) **I valori di resistenza al taglio in condizioni non drenate (criterio di Tresca) possono essere ampiamente sufficienti a garantire stabilità di un pendio per potenziali scivolamenti a basse e medie profondità, ma totalmente insufficienti per movimenti gravitativi a grandi profondità.**
- 5) Per terreni coesivi NC e OC è necessario, per strati di spessore maggiore di 3m, verificare la presenza di un profilo variabile di resistenza al taglio che è possibile ottenere mediante prove di laboratorio o in situ e integrato da modelli del tipo SHANSEP.
- 6) Nel caso di strati di spessore maggiore di 3m è necessario sempre suddividere lo strato in sotto-strati di almeno 3 m e associare a ciascuno di questi un proprio valore di C_u .

Drained and Undrained Stability selection criteria (from Stark et al. 2014, modified)

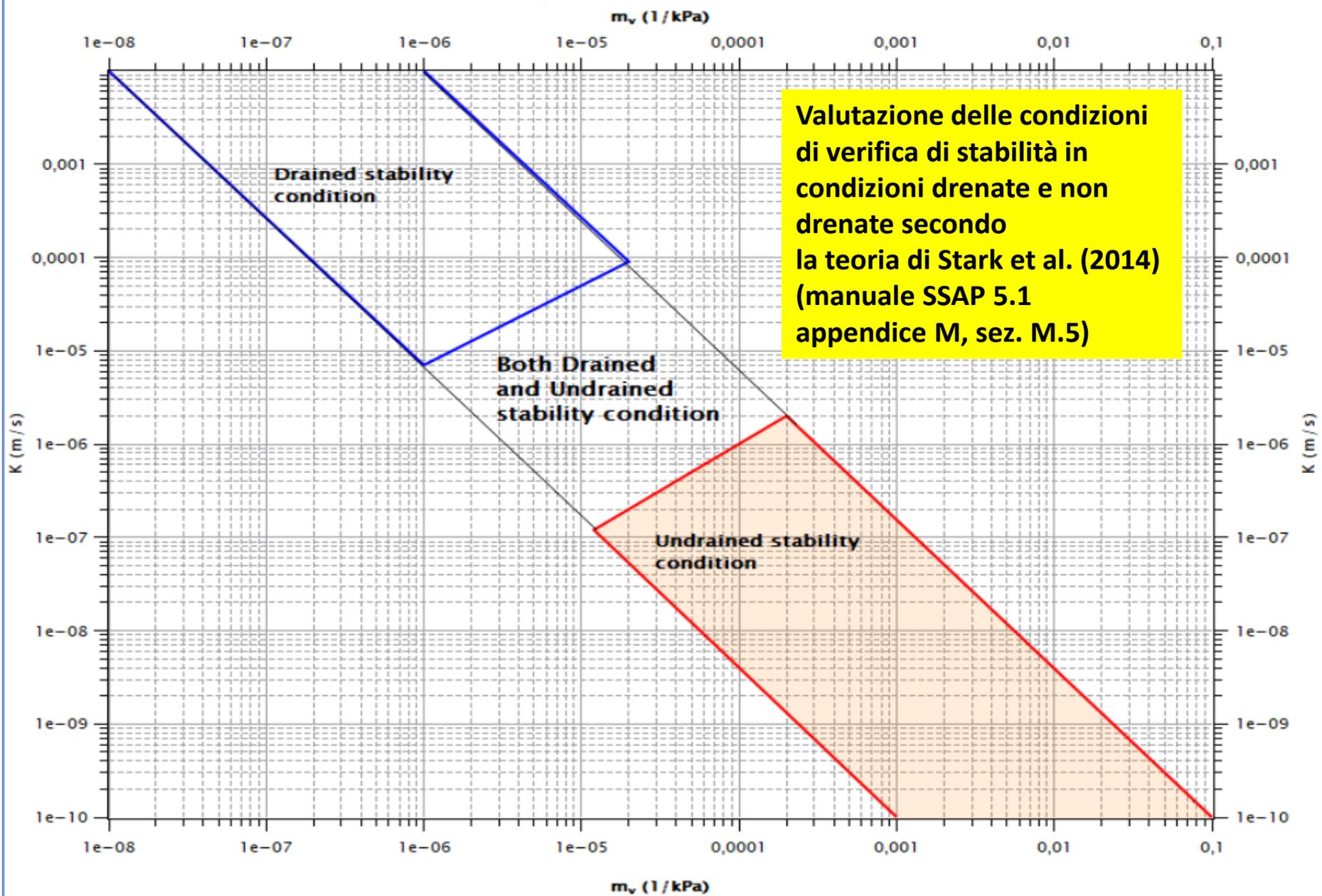


Fig. M.16

Controllo sulle Verifiche stabilità bacino (anti.mod) Eseguito da L Borselli



Bacino costruito fine anni 50
Primi anni 60 con problemi di cedimento
del corpo diga.
Substrato argille plioceniche
Toscana centrale

Data : 12/1/2013
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. strato o lente

# Parametri Geotecnici degli strati #									
N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	aggi	GSI	mi	D
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	23.00	42.00	0	20.00	20.00	0	0	0	0
2	21.00	10.00	0	19.00	20.00	0	0	0	0
3	42.50	31.40	0	21.00	21.00	0	0	0	0



Cartella ..\pendii\esempi corso base\invaso-anti

Pendio complesso: 3 strati e sovraccarico pendio sommerso.

Percorso nella cartella: esempi_corso_base:

Scenario base : **\invaso-anti\anti.mod**

Scenario svaso rapido: **\invaso-anti\anti-svaso.mod**

Motori di ricerca:

- Convex random search
- Smussatore attivato
- Con eliminazione effetto sovraccarico acqua in pendio sommerso (svaso rapido)
- Tension cracks disattivato
- Con effetto sismico $K_h=0.08$

Liquefazione e stabilita' dei pendii

In

SSAP2010

Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D

Universidad Autónoma de San Luis Potosi -UASLP

Instituto de Geología

Facultad de Ingeniería.

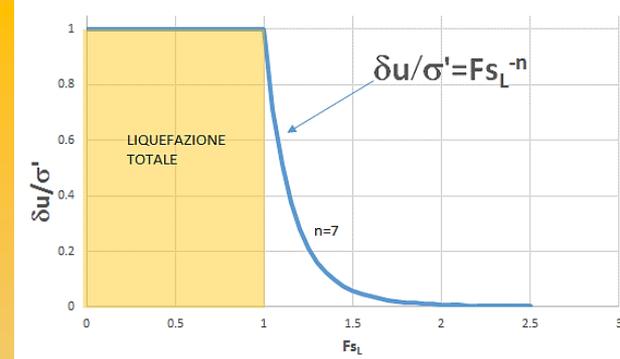
San Luis Potosi, MEXICO

E_mail:

lborselli@gmail.com

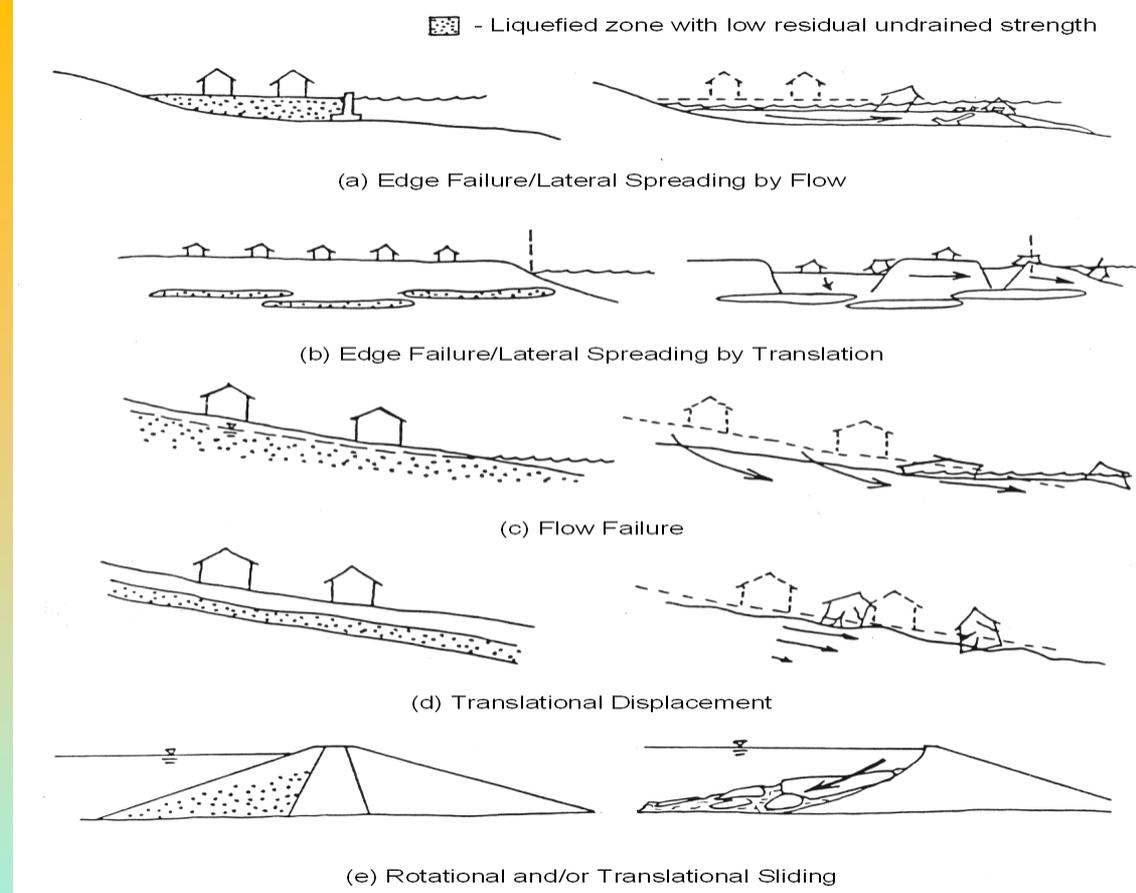
lorenzo.borselli@uaslp.mx

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



Liquefazione e stabilità dei pendii

Il processo di liquefazione del suolo è fenomeno per cui un terreno saturo perde sostanzialmente resistenza e rigidità in risposta ad uno stress applicato, usualmente uno stress ciclico, prodotto da un terremoto, che induce il terreno stesso a comportarsi come un liquido.

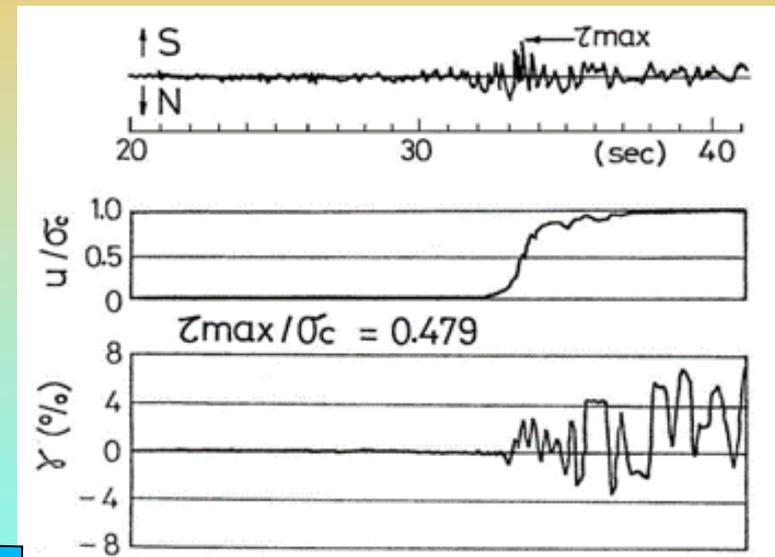


Fenomeno osservato soprattutto in terreni saturi, con basso addensamento e tipicamente caratterizzati da terreni sabbiosi o sabbioso limosi sciolti.

Liquefazione e stabilità dei pendii

Se il terreno è in condizioni sature la tendenza a comprimersi del terreno in seguito carico monotono (esempio un aumento del carico su un terrapieno) o carico ciclico (vibrazioni o scuotimento sismico) produce un incremento della pressione di poro (pressione neutra) in risposta alla compressione del suolo.

Il processo contrattivo (o dilatazione negativa) dei depositi soggetti a liquefazione, prodotto da uno stress ciclico, porta a un incremento progressivo della pressione di poro in tempi molto rapidi dato che il tempo necessario a dissipare questa pressione è generalmente molto più lungo della durata del sisma.



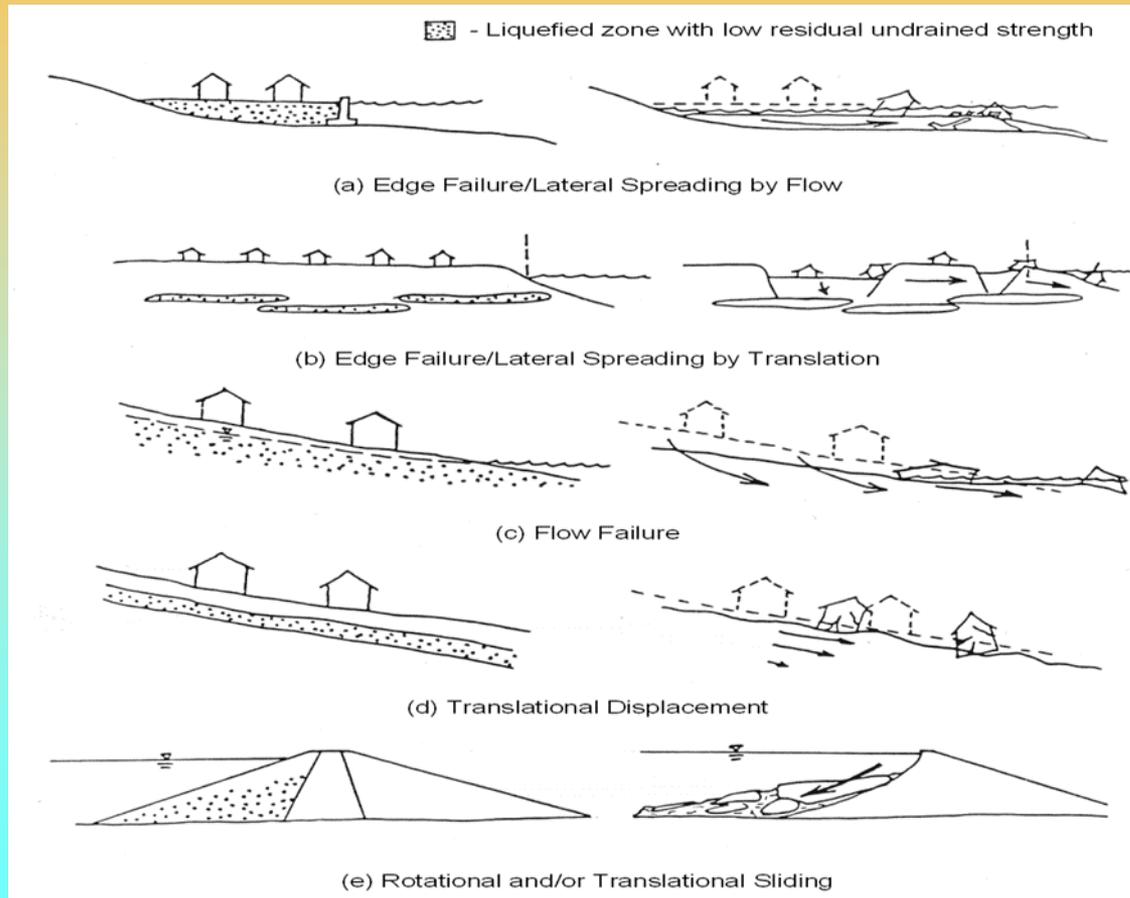
La figura mostra come in seguito a uno stress ciclico sismico abbiamo in pochi secondi una risalita della pressione di poro fino ad eguagliare la pressione di contatto dei granuli . Nella figura si osserva il progressivo incremento del coefficiente della pressione interstiziale con la progressione dello stress ciclico.

Liquefazione e stabilità dei pendii

Se l'incremento di pressione di poro raggiunge livelli equivalenti alla pressione totale si produce una pressione efficace uguale a zero e quindi il terreno comincia a comportarsi come un fluido. In sostanza lo stato di “**liquefazione**” del suolo si verifica quando la tensione effettiva di suolo è ridotta a praticamente zero, che corrisponde ad una riduzione (teorica) quasi totale di resistenza al taglio.

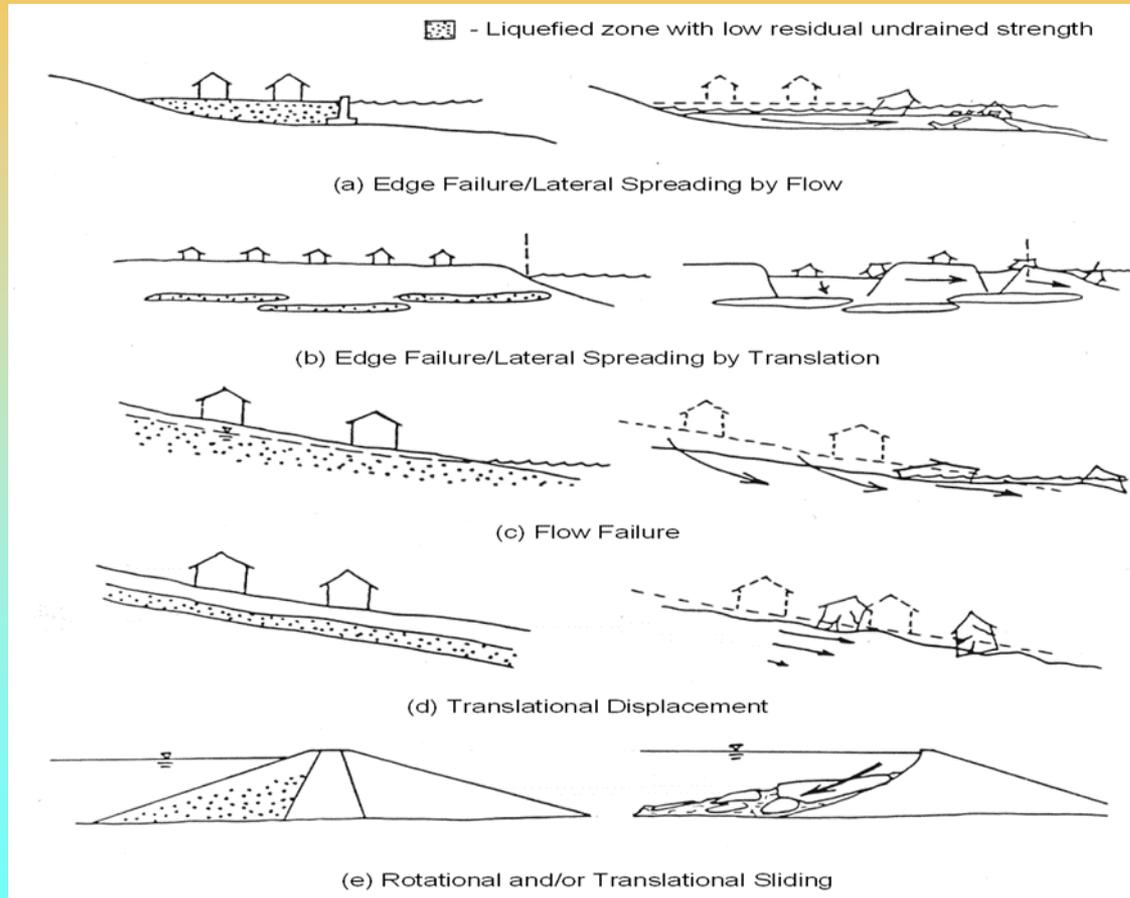
Ma la resistenza al taglio effettiva non sarà mai in realtà pari a zero..

Liquefazione e stabilità dei pendii



Dal punto di vista del SSAP facciamo in particolare riferimento al processo di liquefazione che ha luogo su pendii naturali o artificiali (figura a lato). Il processo di liquefazione in pendii o opere in terra deve essere analizzato con procedure particolari, posteriormente a una analisi preliminare di liquefacibilita' del deposito associata a una specifica sollecitazione sismica di progetto..

Liquefazione e stabilità dei pendii



Il primo passo per integrare in una verifica di stabilità l'effetto di una potenziale liquefazione totale o parziale è rispondere a una serie di quesiti:

1. Se e quali strati del nostro pendio hanno caratteristiche di potenzialmente liquefacibili.
2. Se esistono strati liquefacibili quale è il potenziale di liquefazione (Fattore di sicurezza liquefazione) rispetto a uno stress ciclico (sismico) in condizioni non drenate, che produrrà una liquefazione totale o parziale.

Liquefazione e stabilità dei pendii

La determinazione preliminare del fattore di sicurezza a liquefazione avviene attraverso varie fasi

Fase 1 e 2: calcolo del rapporto di stress ciclico considerando la correzione per la profondità (CSR)

Fase 3: valutazione rapporto di resistenza ciclico (CRR) considerando la correzione per la magnitudo del sisma (MSF)

Fase 4: calcolo del fattore correzione per pendenza media del pendio in funzione del grado di addensamento del deposito.

Fase 5: calcolo finale del fattore di sicurezza a liquefazione del deposito.

$$FS_{liq} = CRR / (CSR / MSF / K\alpha)$$

Liquefazione e stabilità dei pendii

determinazione preliminare del fattore di
sicurezza a liquefazione in 5 steps

Step	Equazione o grafico	Parametro	Descrizione
1	$CSR = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 r_d \left(\frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \left(\frac{a_{max}}{g} \right)$	CSR	<i>cyclic stress ratio</i> - rapporto di stress ciclico indotto dal indotto dal sisma
2	$r_d = 1 - 0.012z$ (Vedasi anche fig. 2.24a)	r_d	Coefficiente di riduzione di stress in profondità
3	$CRR_{M=7.5, \sigma'_{vc}=1} = \exp \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{23.6} \right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right)$ CRR(fig.2.25a) MSF fig.2.25b)	CRR; MSF	<i>cyclic resistance ratio</i> - rapporto di resistenza ciclico del deposito e magnitudo scaling factor
4	$K\alpha$ (figura 2.25.b)	$K\alpha$	Coefficiente di correzione per Fattore di sicurezza a liquefazione per depositi in pendio
5	$FS_{liq} = CRR / (CSR / MSF / K\alpha)$	FS_{liq}	Fattore di sicurezza a liquefazione

Da Borselli (2015)

Liquefazione e stabilità dei pendii

A valori $FS_{liq} \leq 1.0$ viene associato un potenziale di liquefazione totale mentre per $FS_{liq} > 1.0$ si considera che il processo possa considerarsi parziale.

Alcuni autori considerano che FS_{liq} sia da utilizzarsi come un indicatore probabilistico del processo di liquefazione e che alla condizione al limite, con $FS_{liq} = 1.0$ sia da associare una probabilità di liquefazione del 50%.

Esempio di distribuzione del fattore di sicurezza locale a liquefazione per diversi input sismici

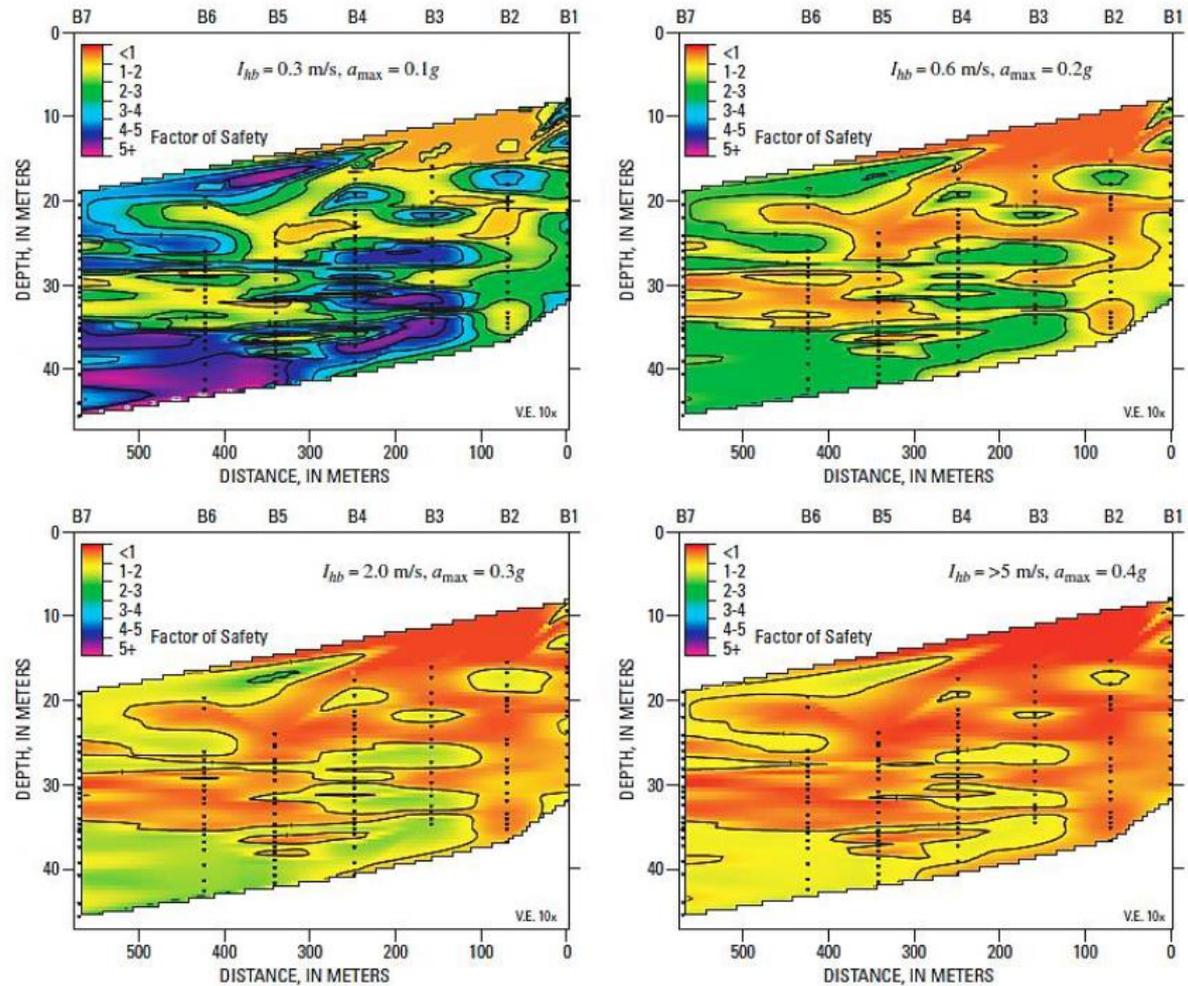


Fig. 2.26 (da Kayen & Barnhardt, 2007)

Liquefazione e stabilità dei pendii

Per condizioni $FS_{liq} > 1.0$ vari autori Marcuson et al. (1990,2007), Towhata (2008), hanno proposto una relazione del tipo di quella mostrata in figura tra il fattore di sicurezza a liquefazione e il rapporto tra l'eccesso di pressione dei pori prodotto dal sisma rispetto allo sforzo efficace pre-sisma..

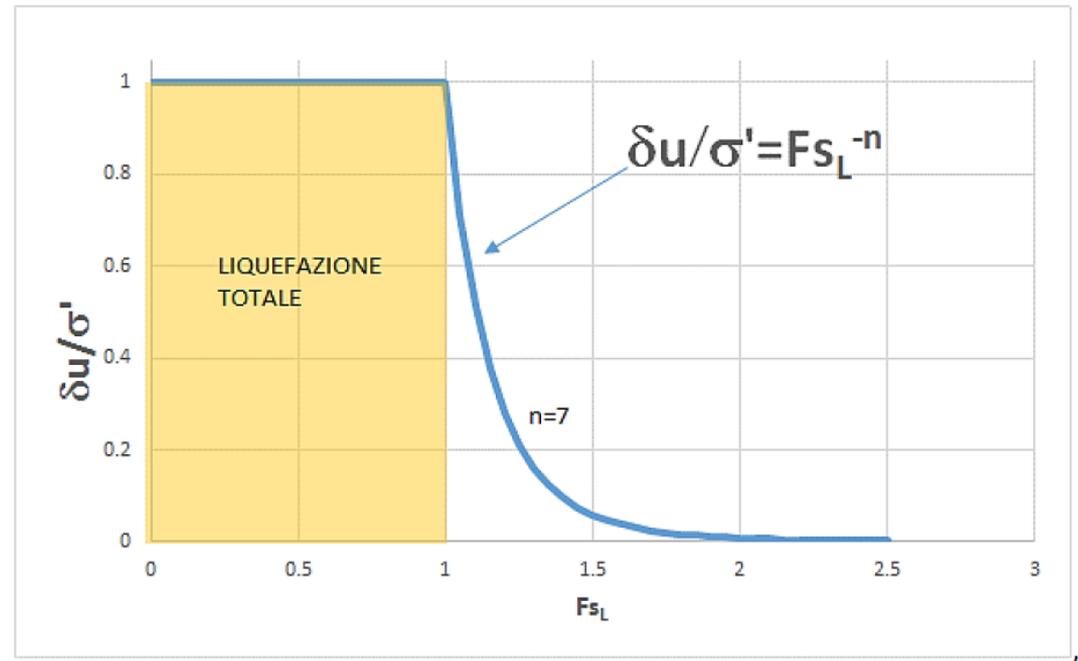
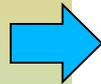


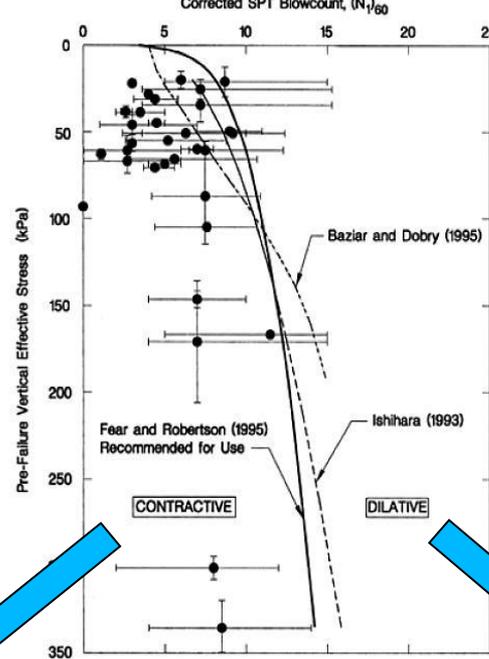
Fig. 2.27 (da Towhata, 2008, modificato)

La relazione proposta in figura è utilizzata da SSAP per valutare l'incremento di pressione di pori associato a valori $FS_{liq} > 1.0$. Questo procedimento consente, essendo sempre noto a priori il livello dello sforzo verticale efficace pre-sisma, di calcolare la nuova pressione di pori massima e **determinare ne nuove condizioni per calcolare la resistenza al taglio in termini di pressioni efficaci** (criterio di rottura Mohr-coulomb), **in questo caso per le condizioni di liquefazione parziale.**

Liquefazione e stabilità dei pendii

(Procedura da Olson e Stark 2003)

Valutazione resistenza al taglio post liquefazione in condizioni non drenate
Per condizioni di liq. Totale: $FS_{liq} < 1.0$



SPT ($N_{1,60}$) Contractive Behavior Evaluation

Comportamento contrattivo

Comportamento dilatativo

$$\frac{s_u(LIQ)}{\sigma'_{v0}} = 0.03 + 0.0075[(N_1)_{60}] \pm 0.03 \quad \text{for } (N_1)_{60} \leq 12$$

$$\frac{s_u(yield)}{\sigma'_{v0}} = 0.205 + 0.0075[(N_1)_{60}] \pm 0.04 \quad \text{for } (N_1)_{60} \leq 12$$

Da cui si ricava la C_u equivalente In (kPa)

$$\frac{S_u(finale)}{\sigma'_{v0}} = \frac{S_u(LIQ)}{\sigma'_{v0}} + \left(\frac{S_u(yield)}{\sigma'_{v0}} - \frac{S_u(LIQ)}{\sigma'_{v0}} \right) w$$

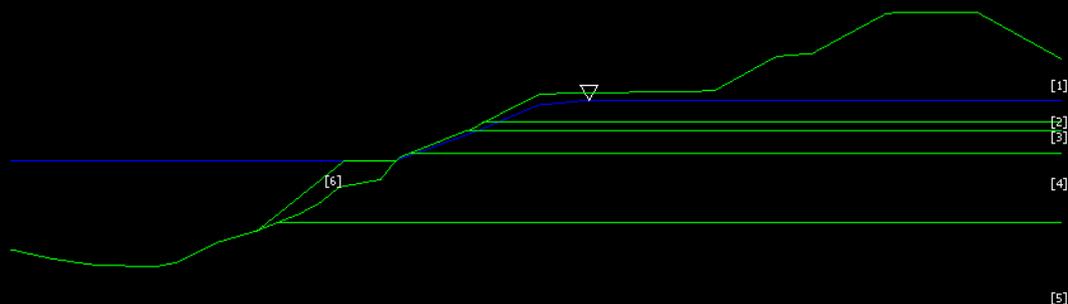
$$w = -1 + 2FS_{liq} \quad \text{se } 0.5 < FS_{liq} < 1.0$$

$$w = 0 \quad \text{se } FS_{liq} < 0.5$$

Data : 30/3/2022
Localita' :
Descrizione :
[n] = N. strato o lente

Parametri Geotecnici degli strati

N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
..						
1	34.00	0	0	18.30	19.00	0	0	0	0
2	0	0	40.00	18.00	19.00	0	0	0	0
3	37.00	0	0	18.00	19.30	0	0	0	0
4	0	0	35.00	17.00	19.00	0	0	0	0
5	36.00	0	0	18.00	19.00	0	0	0	0
6	0	0	0	18.00	19.00	100.00	20.00	22.00	0



Stabilità argine Senza effetto liquefazione(e senza effetto sismico, pendio sommerso)

Cartella ..\pendii\liquefaz\test_noliquefaz1.mod

Poi Lo stesso ma con liquefazione totale strato 3 e parziale strato 5

Cartella : liquefaz\test_liquefaz1.mod

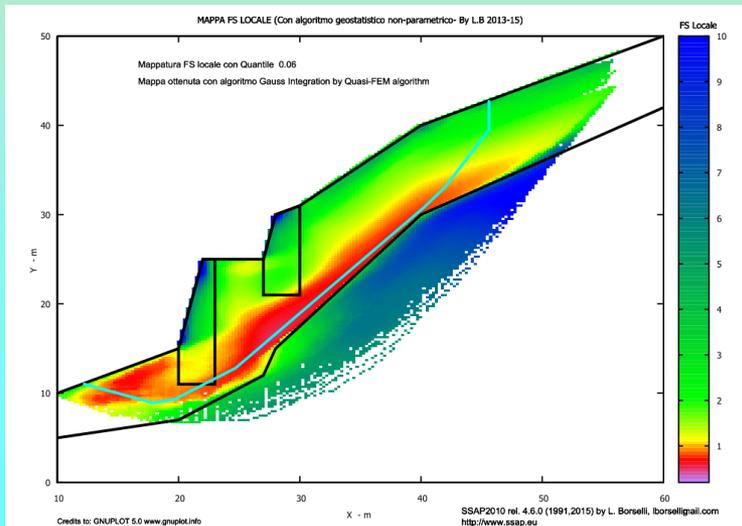
- Liquefazione totale strato 3 $F_{sliq}=0.75$ e $NSPT_{corr}=8$
- Liquefazione parziale Strato 5 $F_{sliq}=1.3$ e $NSPT_{corr}=12$
- Sniff_random search +smussatore attivato
- Lunghezza media segmenti 6 m.

Verifiche di Stabilità dei pendii nel contesto delle NTC2018: elementi base per la verifica geomeccanica e progettuale dei pendii

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>



Generalità

La verifica di stabilità di un pendio è una delle operazioni di maggior complessità in ambito geotecnico.

La verifica di stabilità di un pendio è anche una delle operazioni che a causa delle incertezze insite nella modellizzazione presenta il maggior rischio connesso con una non adeguata:

- *Schematizzazione stratigrafica e strutturale*
- *Parametrizzazione geomeccanica*
- *Schematizzazione idraulica*
- *Valutazione dei possibili input sismici*
- *Etc.*

CAPITOLO 6 delle NTC2018

Nel capitolo 6 delle NTC2018 vengono trattati gli aspetti geotecnici della progettazione, in particolare le opere di fondazione e di sostegno, gli interventi di miglioramento e rinforzo di terreni e ammassi rocciosi, le opere in materiali sciolti, la stabilità dei fronti di scavo e più in generale del sito in cui insiste l'opera nel suo complesso.

È dunque al capitolo 6 del Decreto che dobbiamo porre attenzione per i nostri obiettivi.

Naturalmente è necessario notare che nel testo delle NTC2018 vi sono continui riferimenti agli altri capitoli (2,3,7) del testo con riferimento alla progettazione finale

NTC2018 e EC-7

Le normative di riferimento in italiana (NTC2018) e quella europea (EC-7) di riferimento sono state costruite usando come pilastro il concetto di **progettazione agli stati limite**.

Il **principio di progettazione agli stati limite** considera vari livelli di rischio e severità nei criteri di progettazione.

Dal punto di vista geotecnico si fa un importante riferimento ai seguenti fatti concreti normalmente osservati e quantificati nella pratica di lavoro:

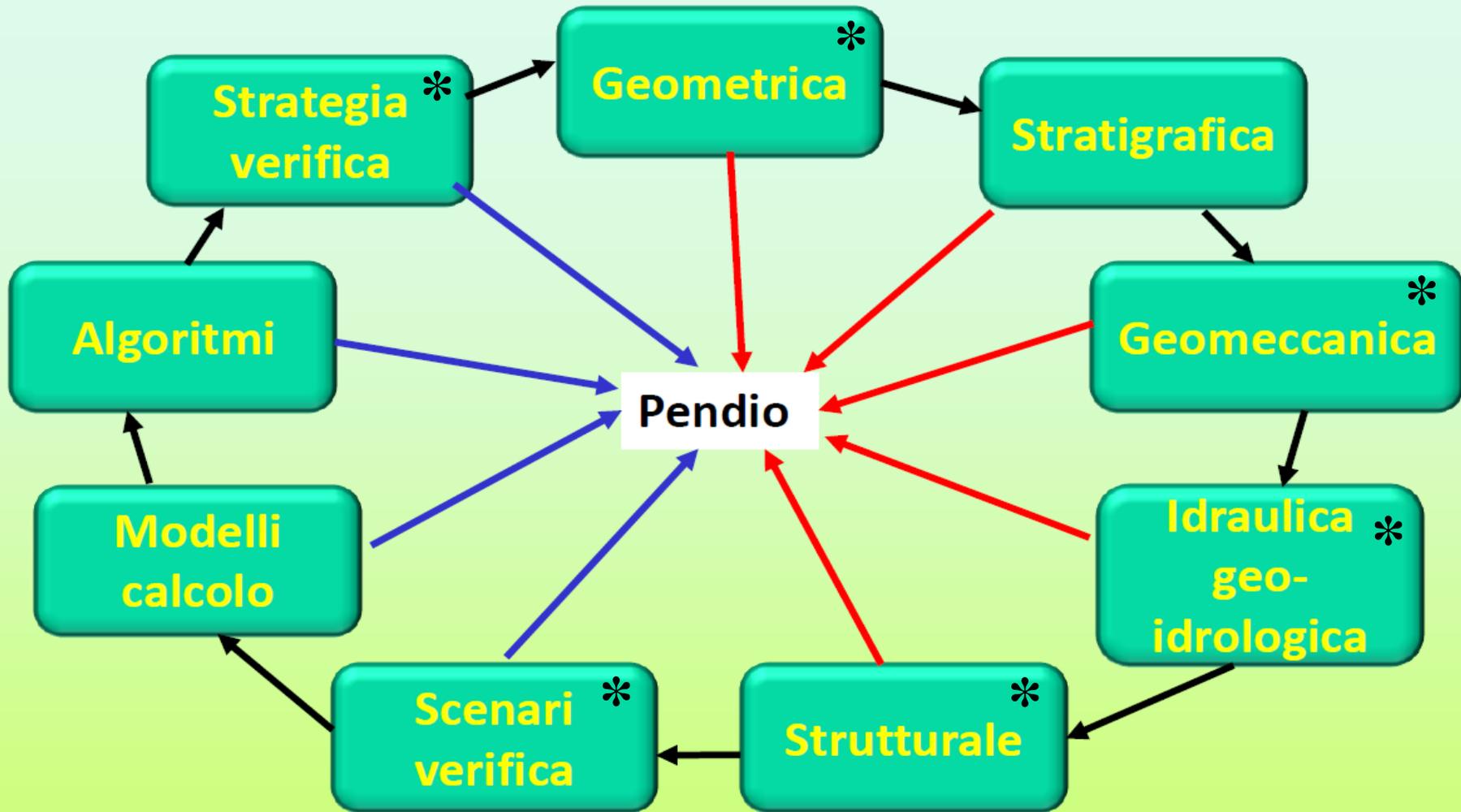
- I **Geomateriali** (*suolo, sedimenti, rocce, ammassi rocciosi e materiali ricavati da questi*) **presentano una potenziale forte variabilità nelle loro proprietà geomeccaniche.**
- **La potenziale variabilità delle proprietà geomeccaniche incrementa la incertezza nei risultati da modellazione numerica, simulazioni, analisi di scenario progettuali .**
- **L'incremento della incertezza produce un incremento nel rischio di assumere valutazioni e scelte progettuali non adeguate.**

Per ovviare e ridurre il livello di rischio connesso vengono seguiti **principi di progettazione cautelativi** . (es. **stati limite, parametri caratteristici, parametri di progetto**).

Quindi i principi della NTC2018, che vengono tratti dalla EC-7, sono in linea di principio validi... e sensati ed hanno come obiettivo una riduzione del rischio a condizioni accettabili.

Naturalmente questo tipo di strategia progettuale può anche avere delle conseguenze pesanti.....

Complessità verifica stabilità: componenti e interazioni



Componenti della modellistica

Componenti del Modello pendio

* Dove agiscono le NTC2018

Strategia di verifica:

Primo esempio di strategia di verifica, in pendio naturale:

1. *Verifica in condizioni statiche (senza falda)*
2. *Verifica in condizioni dinamiche (senza falda)*
3. *Verifica in condizioni statiche (incremento di falda e saturazione)**
4. *Verifica in condizioni dinamiche (incremento di falda e saturazione)**

*per le NTC2018 Dovrebbero essere sempre considerate condizioni gravose di falda e saturazione

N.B: ogni fase del lavoro corrisponde a uno specifico scenario previsto dalle NTC2018. In uno stesso pendio, a ogni diverso scenario possono corrispondere diverse parametrizzazioni geomeccaniche e idrauliche delle unità geotecniche che compongono il pendio

Importante:

- I risultati di ogni fase di analisi dovrebbe essere riportata nella relazione di calcolo per mezzo di tabelle e grafici esaustivi.
- Consigliabile alla fine presentare una sintesi conclusiva, con una tabella, con i risultati finali delle varie fasi e scenari di verifica.

Strategia di verifica:

secondo esempio di strategia di verifica: pendio con opere di rinforzo:

- *Verifica in condizioni pre-operam**,**
 - A. *Statiche*
 - B. *Dinamiche*
- *Verifica in condizioni di progetto post-operam***
 - A. *Statiche*
 - B. *Dinamiche*

*Questa fase risulta obbligatoria nelle NTC2018 perché' è richiesto di dimostrare il beneficio prodotto dalle opere di rinforzo

**per le NTC2018 Dovrebbero essere sempre considerate condizioni gravose di falda e saturazione.

Importante:

- I risultati di ogni fase di analisi dovrebbe essere riportata nella relazione di calcolo per mezzo di tabelle e grafici esaustivi.
- Consigliabile alla fine presentare una sintesi conclusiva, con una tabella, con i risultati finali delle varie fasi e scenari di verifica.

Progettazione agli stati limite (da EC-7)

Es. Gli Eurocodici strutturali si basano su principi di stato limite, in cui a viene fatta una **distinzione tra stato limite ultimo e stato di esercizio.**

Ovvero..

Stati limite ultimi: riguardano la sicurezza delle persone e delle strutture come la **perdita di equilibrio, eccessiva deformazione, rottura, perdita di stabilità.** (ci si deve cautelare dal possibile **collasso dell'opera**)

Stati limite di Esercizio: riguardano il funzionamento della struttura in condizioni normali di utilizzo. (ci si deve cautelare dalla perdita di funzionalità' della opera)

La progettazione allo stato limite ultimo è associata a condizioni più gravose e quindi a un livello di progettazione più cautelativa delle condizioni allo stato limite di esercizio.

La **progettazione allo stato limite** implica la **verifica che gli stati limite rilevanti NON SIANO SUPERATI** in ogni specifica situazione progettuale.

Le verifiche sono eseguita utilizzando modelli strutturali e di carico, i cui dettagli sono stabiliti da tre variabili di base:

- **Azioni,**
- **Proprietà dei materiali.**
- **Dati geometrici.**

Nel caso delle verifiche di stabilità dei pendii sono in particolare importanti:

- **Azioni destabilizzanti, e forze stabilizzanti;**
- **Proprietà geomeccaniche, dei geomateriali;**
- **Proprietà geometriche.** Ad es. Geometria della Falda (*qui la questione è dibattuta..*), spessori strati e terrapieni (per calcolare i carichi permanenti agenti), etc..

Nelle verifica di stabilità dei pendii sono importanti gli stati limite Ultimi (SLU).

I principali Stati Limite Ultimi (SLU) sono elencati nel seguito (quelli importanti nella stabilità dei pendii) (NTC2018 sez. § 2.2.1):

b) spostamenti o deformazioni eccessive(STR-GEO);

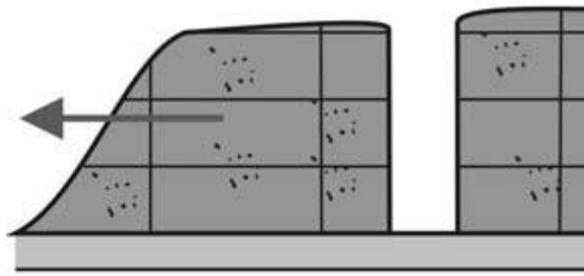
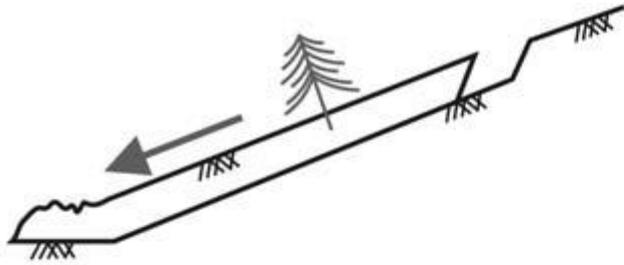
.....

e) raggiungimento di una condizione di cinematismo irreversibile (STR-GEO);

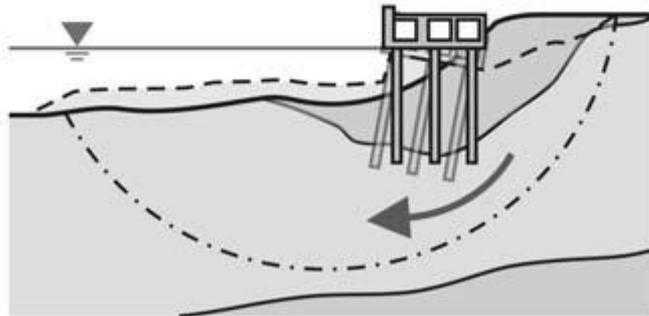
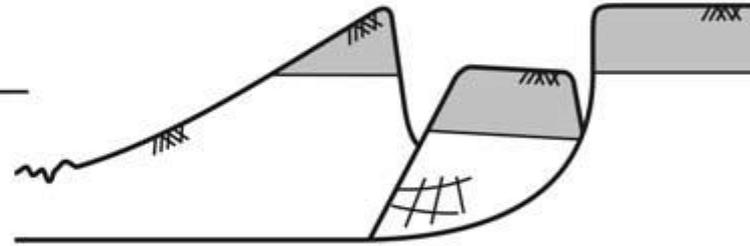
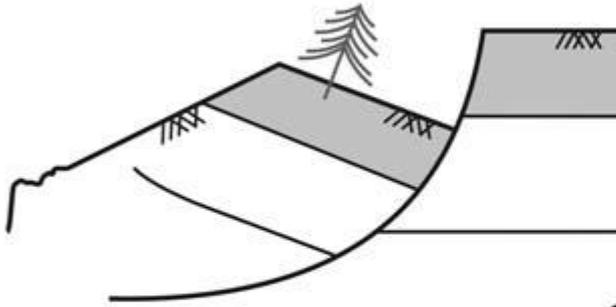
f) raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni (GEO)

.....

In presenza di azioni sismiche, gli Stati Limite Ultimi comprendono gli Stati Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e gli Stati Limite di prevenzione del Collasso (SLC), come precisato nel § 3.2.1. Ovvero questi sono relativi a azioni sismiche con diversa magnitudo e tempo di ritorno



Condizioni SLU
Nei pendii



Gli stati limite ultimi STR e GEO sono associati a rotture o eccessiva deformazione della struttura e/o del terreno, dove è la resistenza della struttura o del terreno la significativa nel fornire resistenza.

La verifica progettuale di questi stati limite è dimostrata soddisfacendo la disuguaglianza:

$$R_d \geq E_d$$

in cui E_d = **effetti progettuali delle azioni** e R_d = **resistenza progettuale**.

Ovvero la resistenza di progetto deve essere sufficientemente più elevata delle azioni destabilizzanti potenziali o attese...



Passaggi Verifica Progettuale

X_k parametri geomeccanici
(valore caratteristico)

E_k Azioni (valore
caratteristico)

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_M}$$

Coefficienti parziali

$$E_d = E_k * \gamma_F$$

X_d parametri geomeccanici
(valore di progetto) $\rightarrow R$

E_d Azioni (valore
di progetto)

$$R_d = \frac{R}{\gamma_R}$$

Resistenza

R_d Resistenze
(valore di
progetto)

$$R_d \geq E_d$$

Verifica
progettuale

La verifica progettuale deve essere effettuata, secondo le nuove norme, impiegando diverse combinazioni di gruppi di tali coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze globali (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono poi scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti, e/o alternativi.

Per le verifiche di stabilità nella pratica a noi interessa l'Approccio 1- Combinazione 2 (A2+M2+R2), con R2 = 1.1.. (per i fronti di scavo, riporti e pendii con Opere) ; (A1,M1, Rs= 1.1 o 1.2 , per le condizioni sismiche (a seconda del tipo di situazione)

Mentre per i pendii naturali la cosa è, apparentemente, più semplice, o meglio, il progettista deve assumere e giustificare i livelli di sicurezza scelti....

I coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni sono mostrati nella figura F.1 (tabella 2.6.I-NTC2018).

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU



		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Figura F.1. Coefficienti parziali per le azioni secondo tabella 2.6.I-NTC-2018

Nel capitolo 6 , sezione 6.2, per le opere geotecniche “Il valore di progetto della resistenza R_d può essere determinato:

- a) in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- b) in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- c) sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.”

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Figura F.2.1: coefficienti parziali per i parametri geotecnici – (NTC2018)

2) STATICA - A2 M2 R2						
			<i>Perm</i>	<i>Perm. n.s.</i>	<i>Acc</i>	
Amplif. Carichi agenti	(tab. 6.2.I)	A2 (GEO)	1.00	0.80/1.3	0.00/1.3	
			<i>tan φ'k</i>	<i>c'k</i>	<i>cuk</i>	<i>γ</i>
Rid. Res. Terreno	(tab. 6.2.II)	M2	1.25	1.25	1.40	1.00
			<i>base</i>	<i>lat.comp</i>	<i>lat.traz</i>	<i>trasv</i>
Rid. Res. K Pali triv.	(tab. 6.4.II 6.4.VI)	R3	1.35	1.15	1.25	1.30
			<i>temp</i>	<i>def</i>		
Rid. Res. K Tiranti	(tab. 6.6.I)	R3	1.10	1.20		
FS min pendio	(tab 6.8.I)	R2	1.10			

**Tabelle riassuntive
Coefficients parziali
Per calcolo per
Scavi riporti e pendii con
opere.**

**A cura di Ing. Emanuele
Tagliavini (Genova).
Con integrazioni di L. Borselli
(2020)**

3) SISMICA - AQPER M1 RS						
			<i>Perm</i>	<i>Perm. n.s.</i>	<i>Acc</i>	
Amplif. Carichi agenti	(tab. 2.5.I)	QPER	1.00	0.00/1.0	0.00/Ψ ₂	
			<i>tan φ'k</i>	<i>c'k</i>	<i>cuk</i>	<i>γ</i>
Rid. Res. Terreno	(Cap. 7.11.4 tab. 6.2.II)	M1	1.00	1.00	1.00	1.00
			<i>base</i>	<i>lat.comp</i>	<i>lat.traz</i>	<i>trasv</i>
Rid. Res. K Pali triv.	(tab. 6.4.II 6.4.VI)	R3	1.30	1.15	1.25	1.30
			<i>temp</i>	<i>def</i>		
Rid. Res. K Tiranti (**)	(tab. 6.6.I)	R	1.10	1.20	(**) Aumento lunghezza di ancoraggio par. 7.11.6.4	
FS min pendio	(Cap. 7.11.4)	RS	1.20	fronti di scavo- rilevati		
	(Cap.7.11.1)	RS	1.10	altri casi: pendii naturali e/o con opere di sostegno		

Pendii Naturali

Nel capitolo 6.3.4 troviamo delle NTC2018 troviamo testualmente:

“La valutazione del coefficiente di sicurezza dei pendii naturali, espresso dal rapporto tra la resistenza al taglio disponibile (τ_f) e la tensione di taglio agente (τ) lungo la superficie di scorrimento, deve essere eseguita impiegando sia i parametri geotecnici, congruenti con i caratteri del cinematismo atteso o accertato, sia le azioni presi con il loro valore caratteristico. L’adeguatezza del margine di sicurezza ritenuto accettabile dal progettista deve comunque essere giustificata sulla base del livello di conoscenze raggiunto, dell’affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica, nonché sulla base delle conseguenze di un’eventuale frana.”

Per i pendii naturali le **NTC 2018** suggeriscono solo l’uso dei parametri **caratteristici** non facendo riferimento a nessun approccio. Ovvero ***il progettista deve assumere e giustificare i livelli di sicurezza scelti***

1) STATICA - A1 M1 R1

			Perm(*)	Perm. n.s.	Acc	
Amplif. Carichi agenti	(tab. 6.2.I)	A1 (STR)	1.30/1.00	0.80/1.5	0.00/1.5	(*) da applicarsi a terreno ed acqua di falda
			$\tan \phi 'k$	$c'k$	cuk	γ
Rid. Res. Terreno	(tab. 6.2.II)	M1	1.00	1.00	1.00	1.00
			<i>base</i>	<i>lat.comp</i>	<i>lat.traz</i>	<i>trasv</i>
Rid. Res. K Pali triv.	(tab. 6.4.II 6.4.VI)	R3	1.35	1.15	1.25	1.30
			<i>temp</i>	<i>def</i>		
Rid. Res. K Tiranti	(tab. 6.6.I)	R3	1.10	1.20		
FS min pendio	(tab 6.8.I)	R2	1.10			
	(Cap 6.3.4)		pendii naturali: scelto dal progettista			

3) SISMICA - AQPER M1 RS

			Perm	Perm. n.s.	Acc	
Amplif. Carichi agenti	(tab. 2.5.I)	QPER	1.00	0.00/1.0	0.00/ Ψ_2	
			$\tan \phi 'k$	$c'k$	cuk	γ
Rid. Res. Terreno	(Cap. 7.11.4 tab. 6.2.II)	M1	1.00	1.00	1.00	1.00
			<i>base</i>	<i>lat.comp</i>	<i>lat.traz</i>	<i>trasv</i>
Rid. Res. K Pali triv.	(tab. 6.4.II 6.4.VI)	R3	1.30	1.15	1.25	1.30
			<i>temp</i>	<i>def</i>		
Rid. Res. K Tiranti (**)	(tab. 6.6.I)	R	1.10	1.20	(**) Aumento lunghezza di ancoraggio par. 7.11.6.4	
FS min pendio	(Cap. 7.11.4)	RS	1.20	fronti di scavo- rilevati		
	(Cap.7.11.1)	RS	1.10	altri casi: pendii naturali e/o con opere di sostegno		

**Table riassuntive
Coefficienti parziali
Per calcolo per
Pendii naturali.
A cura di Ing. Emanuele
Tagliavini (Genova).
Con integrazioni di L.
Borselli (2020)**

In base alle precedenti considerazioni possiamo definire che il valore di F_s ottenuto con le verifiche sviluppate con il software SSAP (o con altri software) deve risultare sempre il valore maggiore tra i valori indicati nel secondo membro della eq. F.2:

$$F_s = \frac{R_d}{E_d} > \max[1.0, \gamma_R, F_s^p] \quad \rightarrow \quad \rightarrow \quad \rightarrow \quad \rightarrow \quad \rightarrow \quad [F.2]$$

¶

Dove: ¶

¶

F_s : fattore di sicurezza ottenuto con le verifiche all'equilibrio limite, secondo gli scenari e approcci specifici indicati dalla normativa per il caso in esame. ¶

R_d : resistenze di progetto ¶

E_d : Azioni di progetto ¶

γ_R : coefficiente parziale sulle resistenze di progetto ¶

F_s^p : Fattore di sicurezza minimo ritenuto accettabile dal progettista ¶

Questo ci permette di considerare la eq. F.2 di carattere generale e considerare i risultati del fattore di sicurezza calcolato con le verifiche ottenute con i metodi all'equilibrio limite (e quindi con il SSAP) e i valori indicati nei vari casi dalle NTC e il valore di FS minimo assunto, in maniera maggiormente cautelativa, dal progettista in funzione del livello di conoscenza associato al sottosuolo o alle condizioni idrauliche e sismiche del sito.

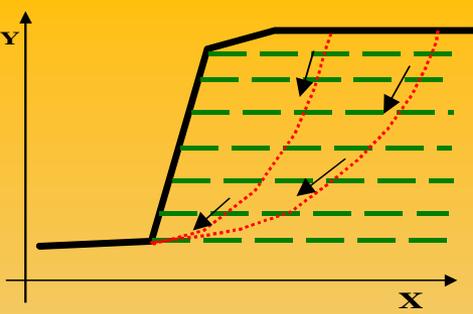
Per la dimostrazione della Eq. F.2 vedasi appendice F del manuale SSAP

Tabella di sintesi per le varie casistiche delle verifiche di stabilità globale

Casistica pendii	Cond. Statiche	Cond. Dinamiche
Pendii naturali	Parametri caratteristici $F_s(\text{minimo}) > (F_s \text{ minimo scelto dal progettista})$	Parametri caratteristici $F_s(\text{minimo}) > 1.1$
Con opere di rinforzo	Parametri progetto $F_s(\text{minimo}) > 1.1^*$	Parametri caratteristici $F_s(\text{minimo}) > 1.1$
Fronti di scavo e riporti	Parametri progetto $F_s(\text{minimo}) > 1.1$	Parametri caratteristici $F_s(\text{minimo}) > 1.2$

**Alcune tipologie di opere sono da includere verifiche di stabilità particolari che hanno diversi valori di F_s minimo (es. Muri di sostegno)*

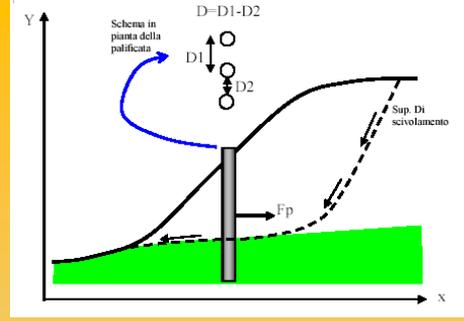
SSAP 5.1
CORSO BASE
Parte IV



SSAP2010

Inserimento di opere di sostegno:

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

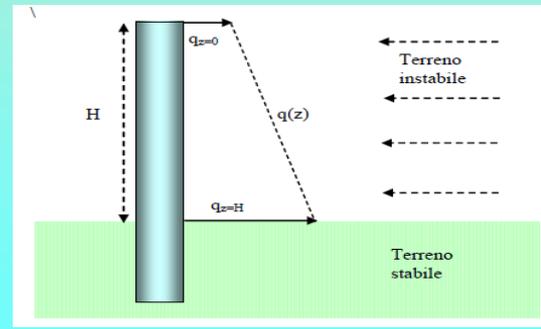
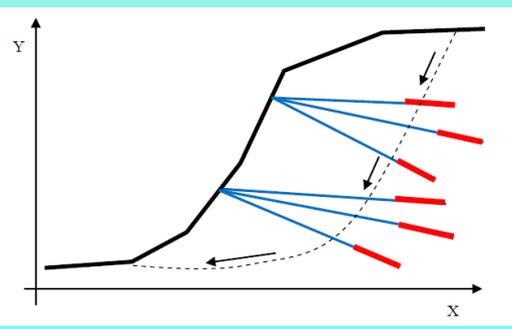


Dr. Geol. Lorenzo Borselli, Ph.D
 Universidad Autónoma de San Luis Potosí



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

lborselli@gmail.com
 lorenzo.borselli@uaslp.mx
<http://www.lorenzo-borselli.eu>



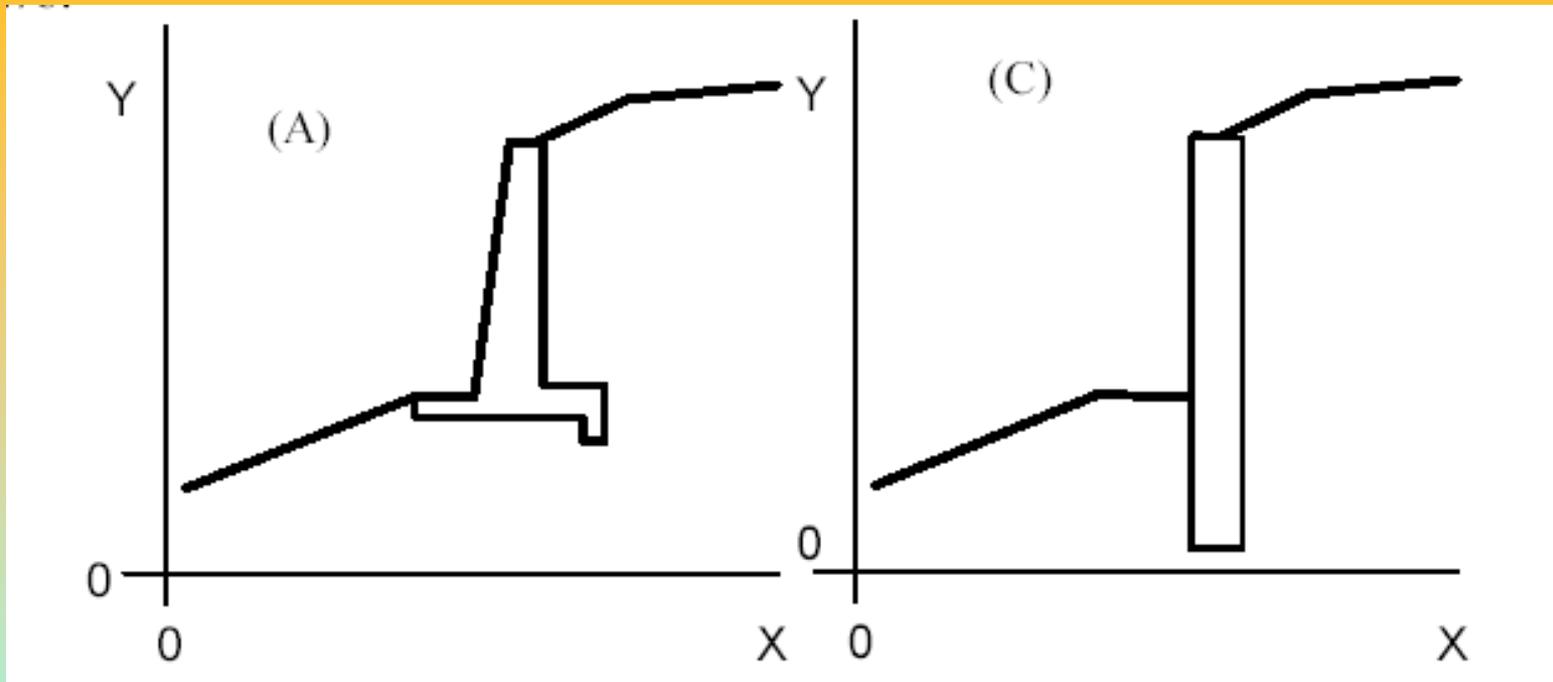
In SSAP è possibile inserire una serie di strutture di sostegno per valutare l'effetto complessivo nell'incremento del grado di stabilità.

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.

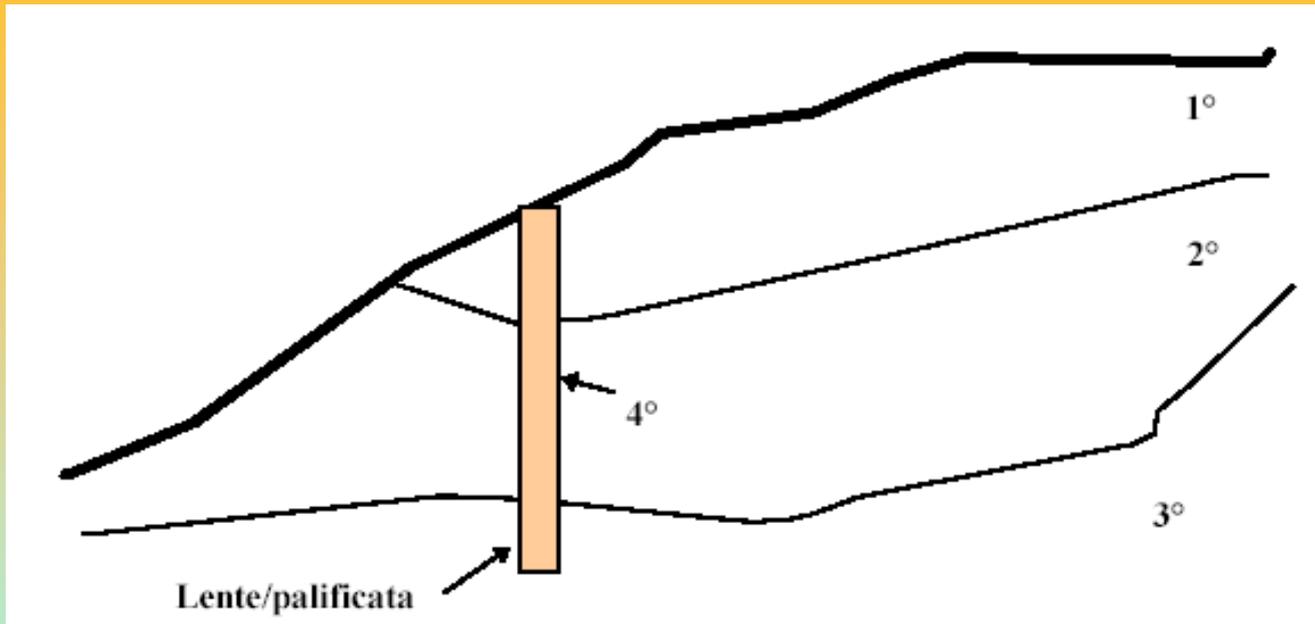
Nel caso della stabilità globale di muri di sostegno si procede invece in un modo diverso.

Elementi strutturali di contenimento e stabilizzazione



Inserimento elementi strutturali 3D
attraverso la loro sezione verticale in 2D
Ogni elemento è definito come una LENTE
entro uno strato
Per ogni elemento conviene definire
La sua resistenza al taglio equivalente (kPa)

Elementi strutturali di contenimento e stabilizzazione



Inserimento elementi strutturali 3D
attraverso la loro sezione verticale in 2D
Ogni elemento è definito come una LENTE
entro uno strato
Per ogni elemento conviene inserire
la sua resistenza al taglio equivalente (kPa)

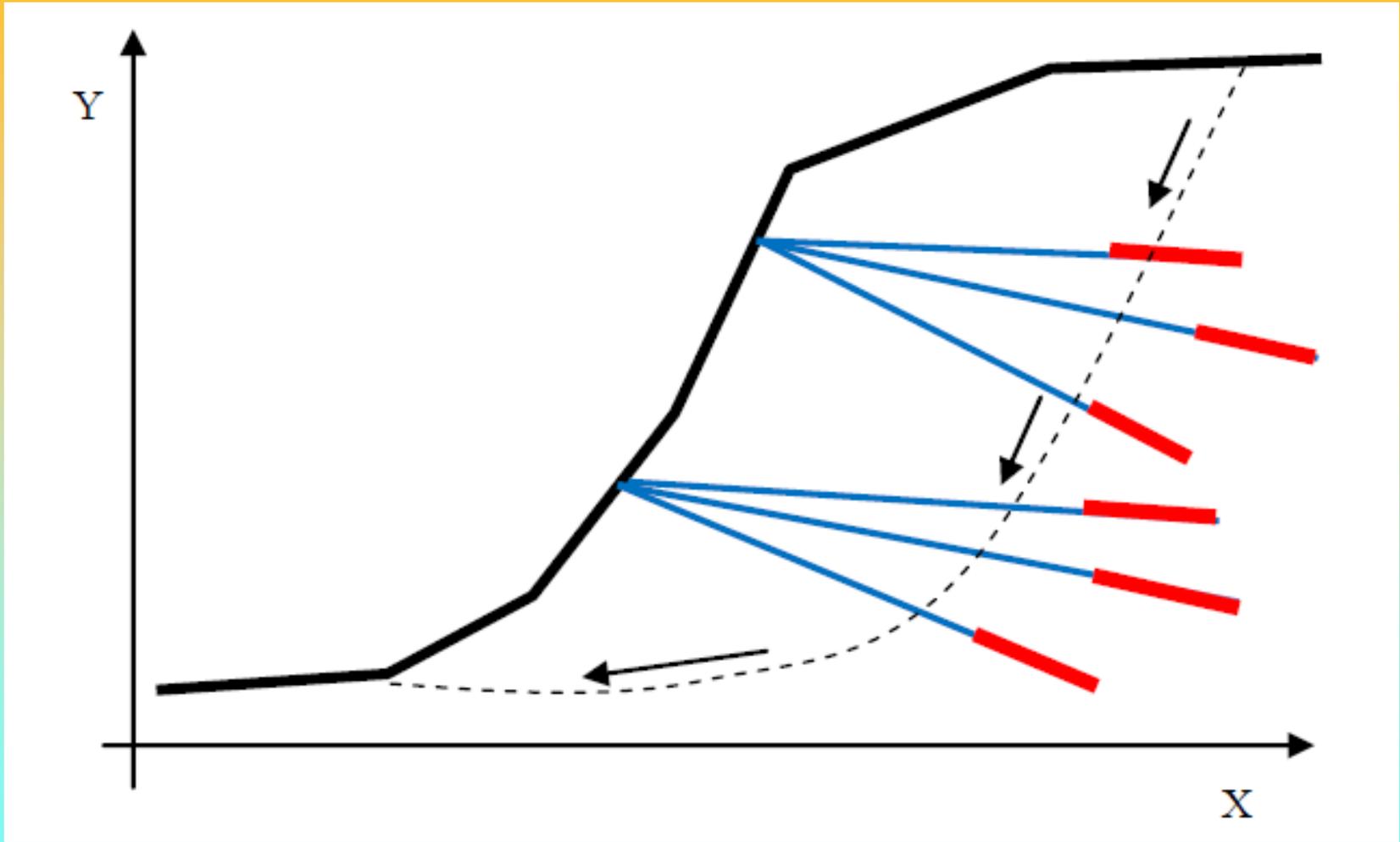
Tiranti

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.

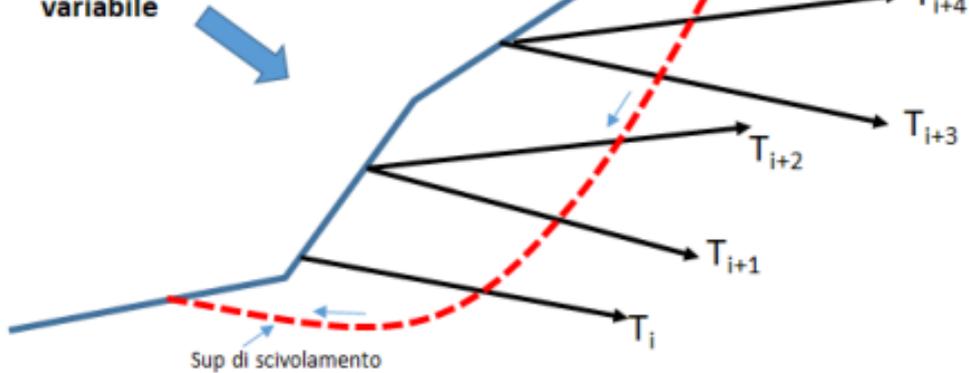
Secondo la normativa vigente per ciascuno dei tiranti è previsto una tensione o resistenza di progetto (espressa in Tonnellate o kN/m) ricavata mediante opportune prove di carico fino a rottura o sfilamento(RACCOMANDAZIONI ISRM , 1993).

Tiranti

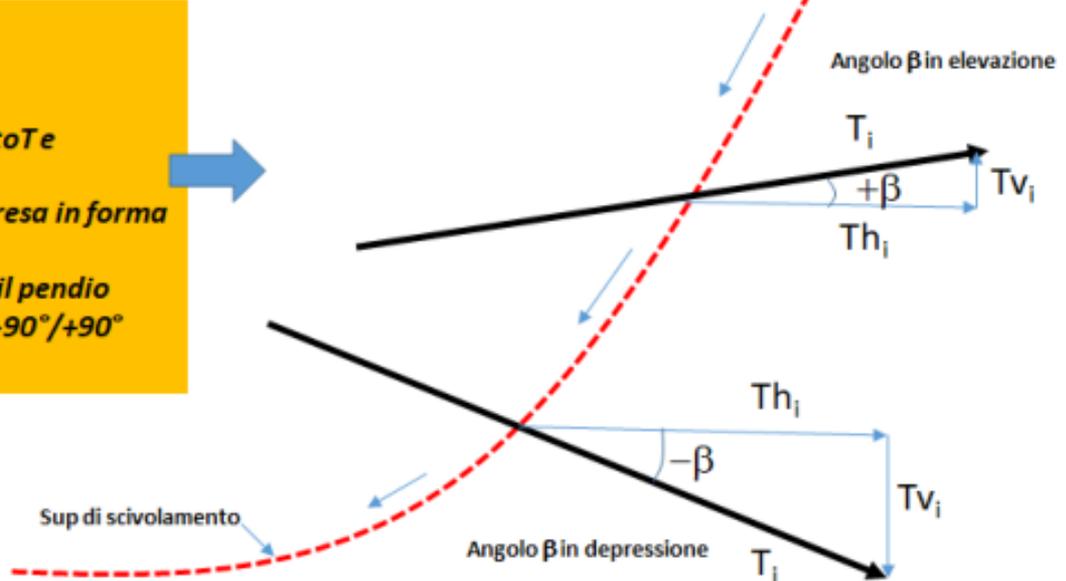
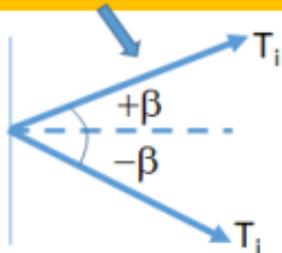


Tiranti

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

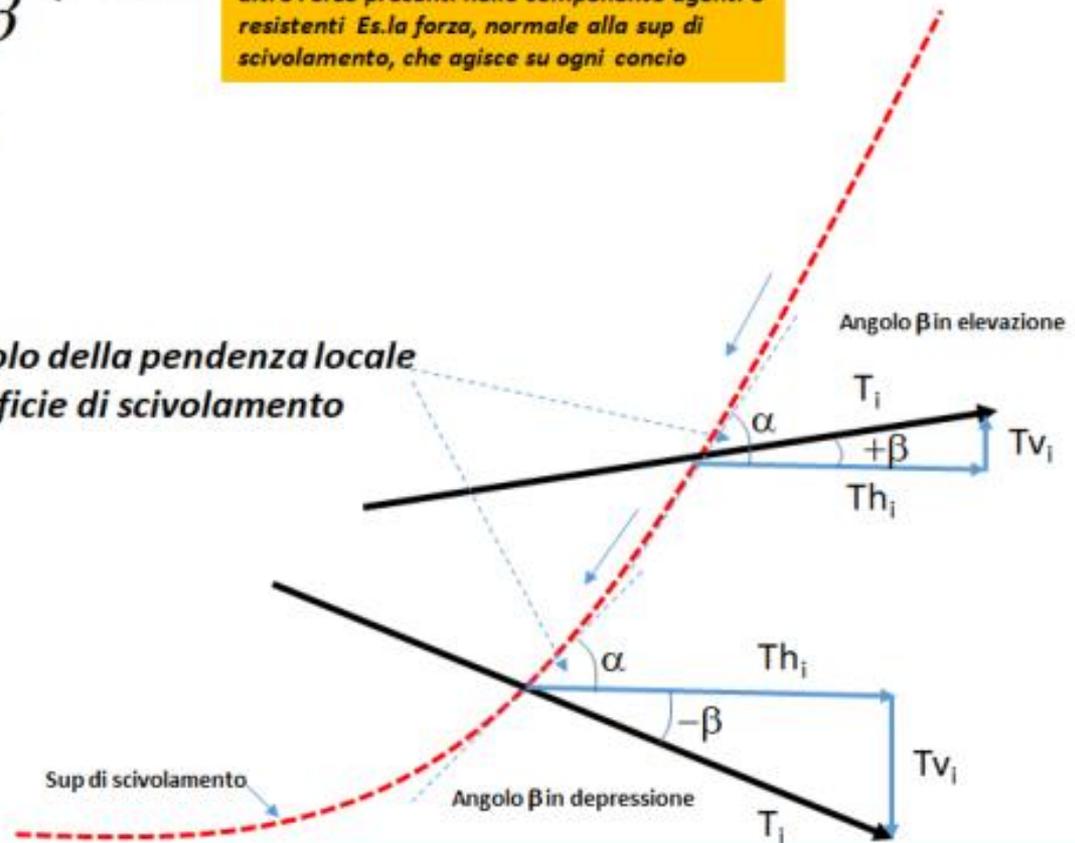
In SSAP si considerano sempre tutte le componenti orizzontali di tutte le forze interne ed esterne espresse in forma Vettoriale. Quindi le forze T vengono scomposte nelle corrispondenti componenti orizzontali e verticali:

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

$$Th = T \cos \beta$$

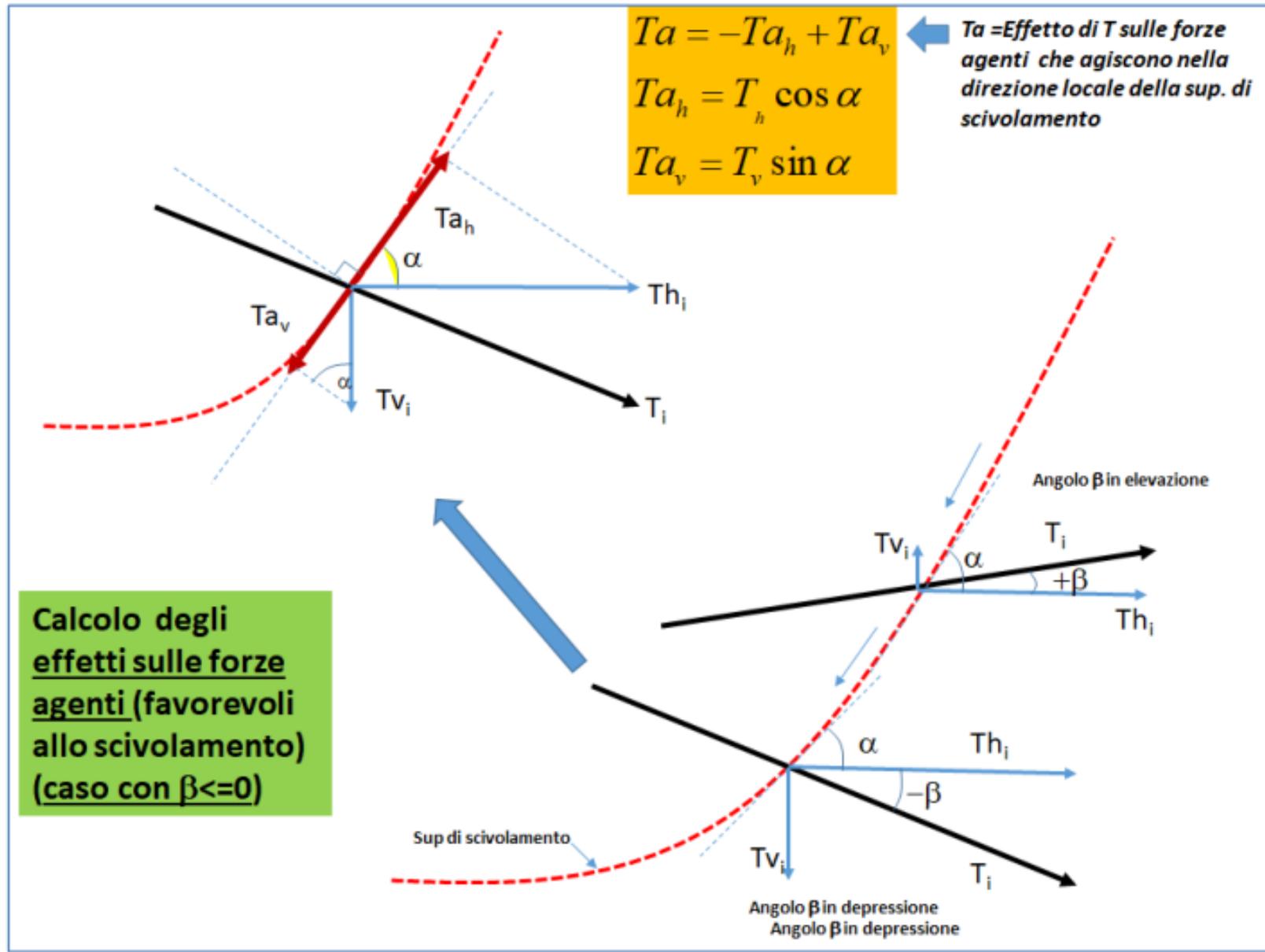
Il segno di Tv viene invertito per considerare il suo verso negli effetti di modifica delle altre Forze presenti nelle componenti agenti e resistenti. Es. la forza, normale alla sup di scivolamento, che agisce su ogni concio

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

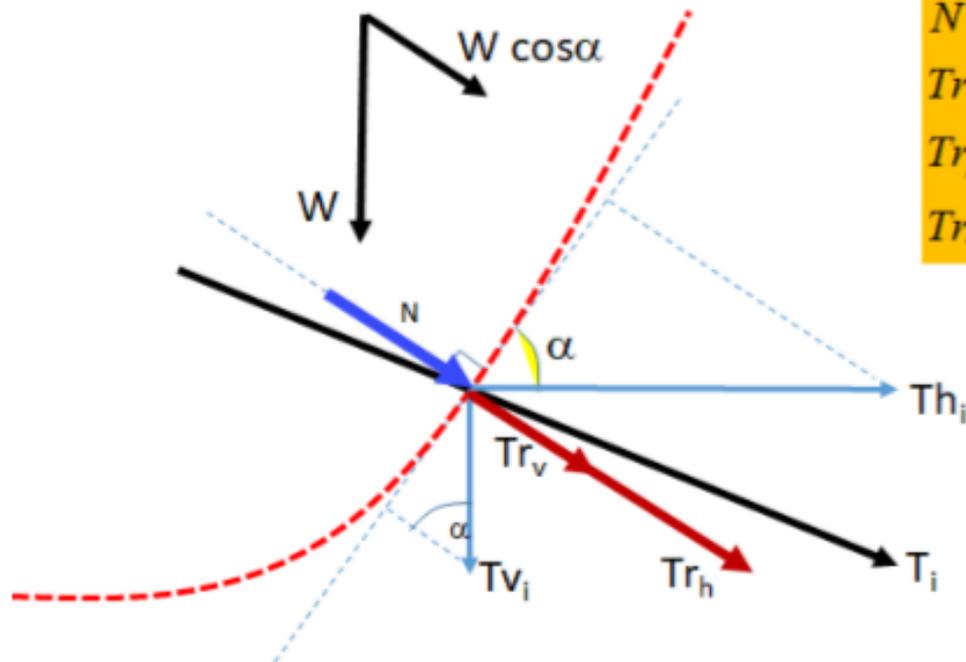


(b)

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)

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



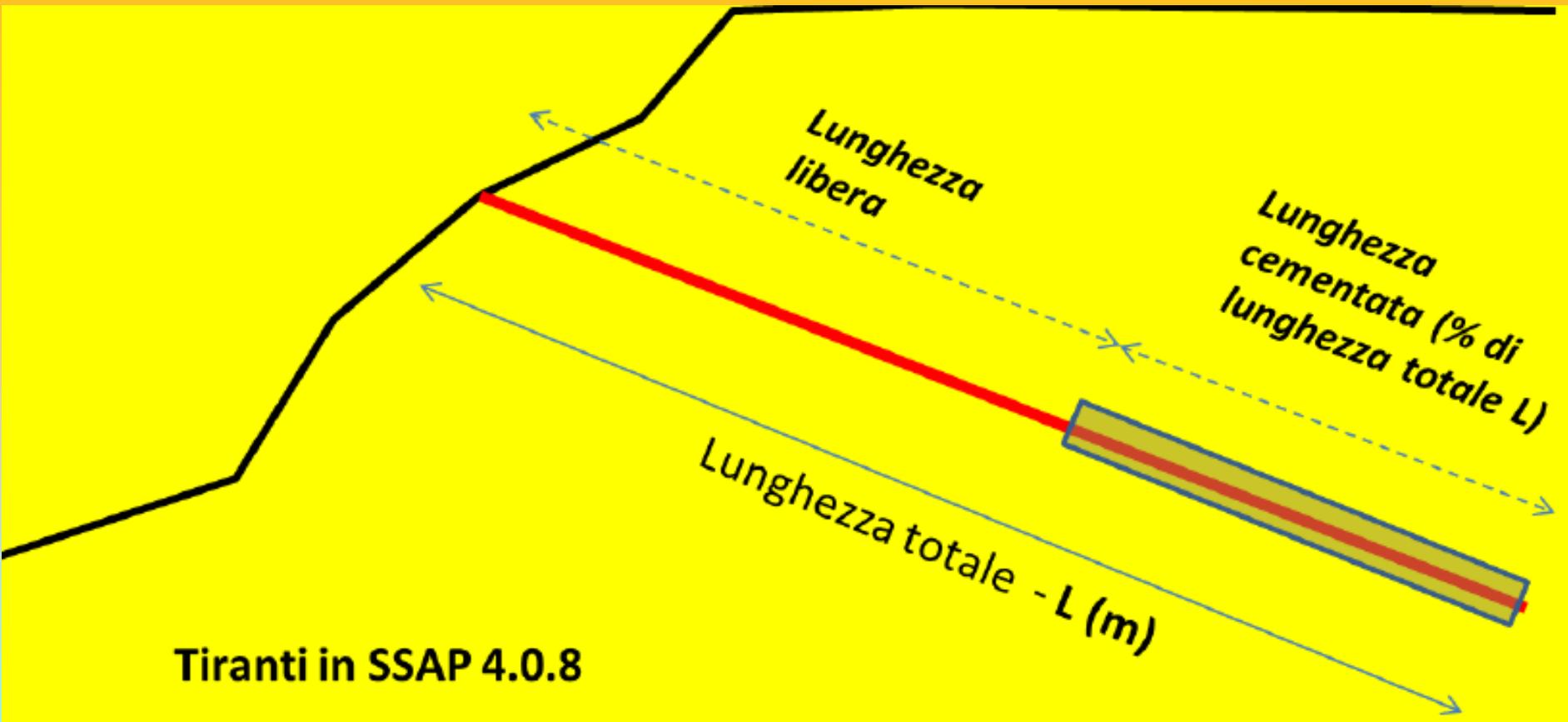
Decremento forze agenti e
Incremento N' Locale (che agisce sulle
forze resistenti)

Dove :

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

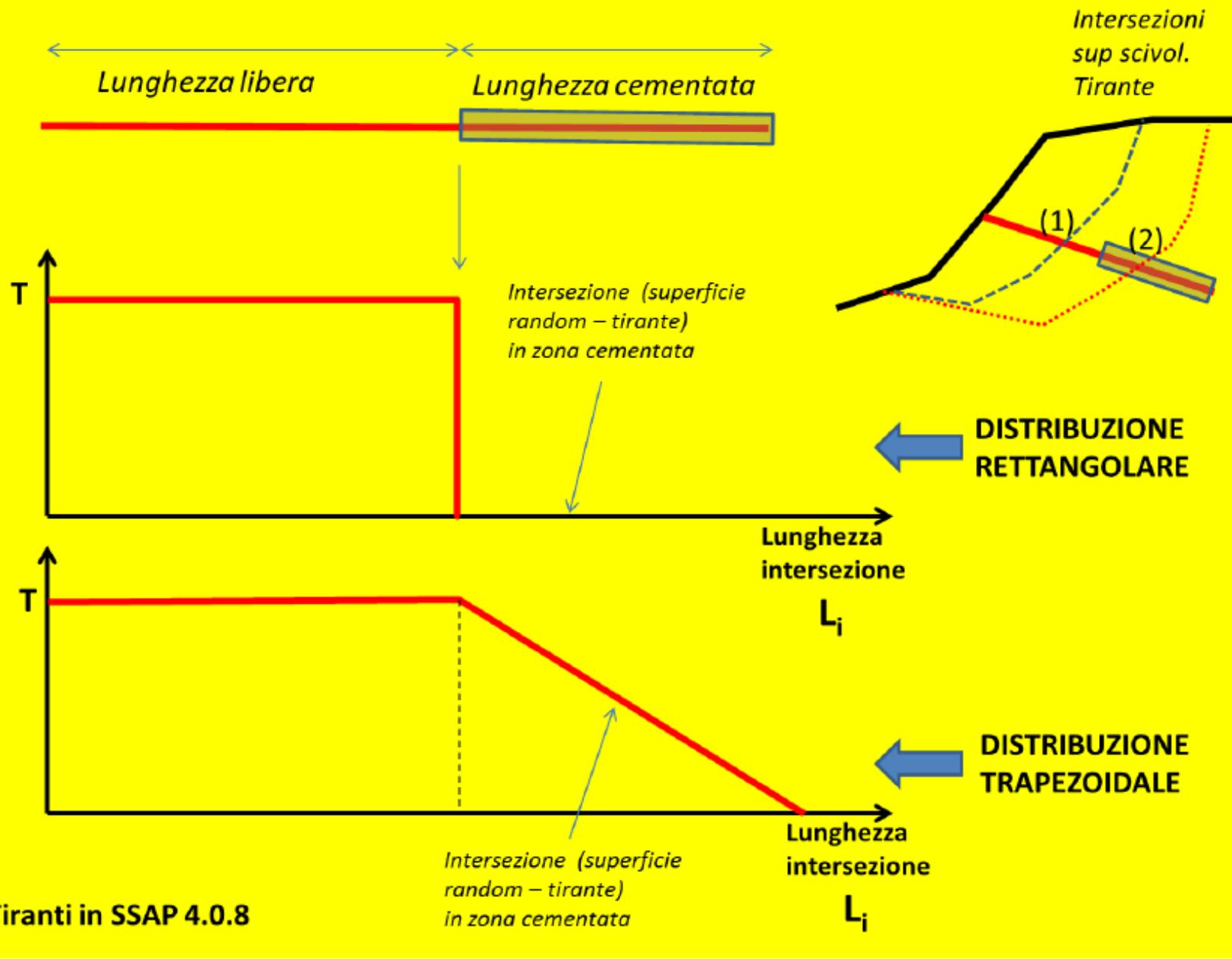
** Si considera per il Tirante ATTIVO l'incremento di N' locale prodotto dal Pretensionamento*

Tiranti

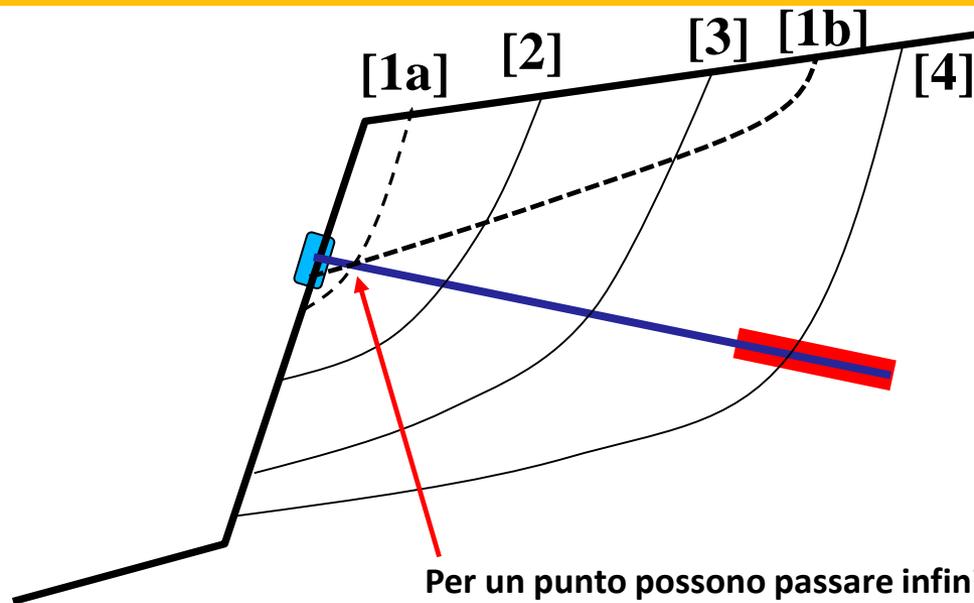


Tiranti in SSAP 4.0.8

Tiranti

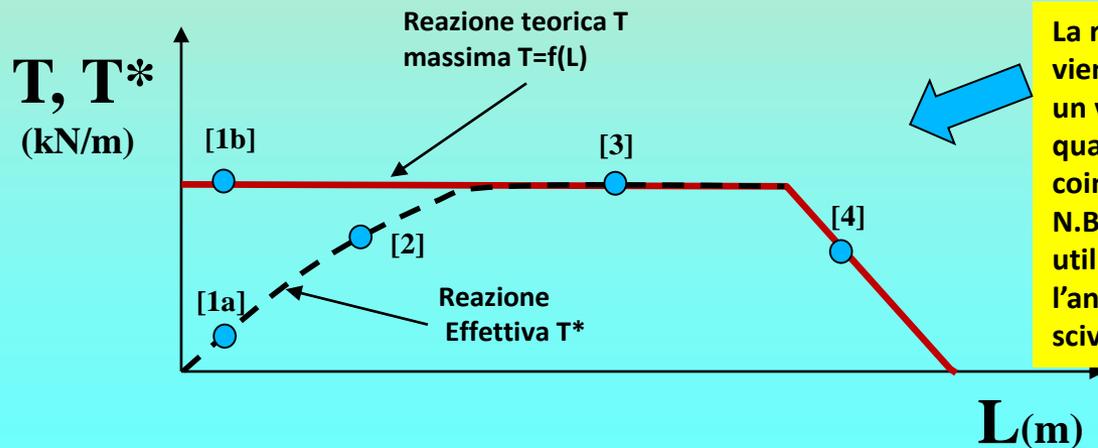


Novita'
A partire da
SSAP 4.9.9:
Mobilizzazione
effettiva di T



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

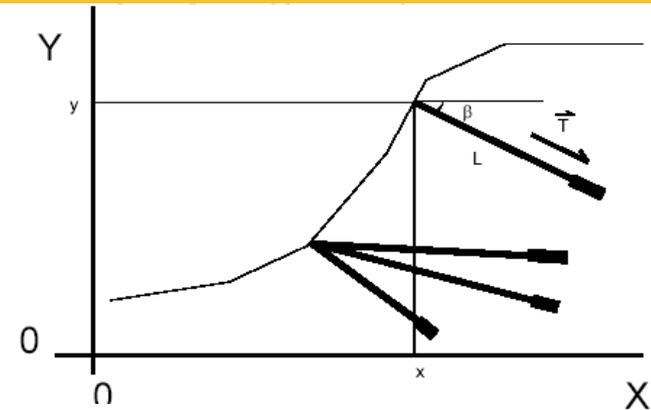
- Forma della superficie
- Volumi coinvolti
- ..etc.



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.

Modello del pendio - tiranti files .TIR

X	(in m)
Y	(in m)
Angolo - β	(in gradi)
Lunghezza totale - L	(in m)
Carico - T	(in kN/m)
% lunghezza cementata - Lc	(in %)



35	25	-20	20	500	20
50	30	-10	20	500	20
60	45	-25	40	500	30
80	55	-40	30	500	40

Nella **prima e nella seconda colonna** sono indicate rispettivamente le coordinate X ed Y della testa del tirante che devono coincidere con la superficie topografica e sono espresse in metri.

Nella **terza colonna** è indicato l'angolo β che il tirante forma con l'orizzontale (i valori positivi sono convenzionalmente considerati come angoli in elevazione, valori negativi in depressione) espresso in gradi.

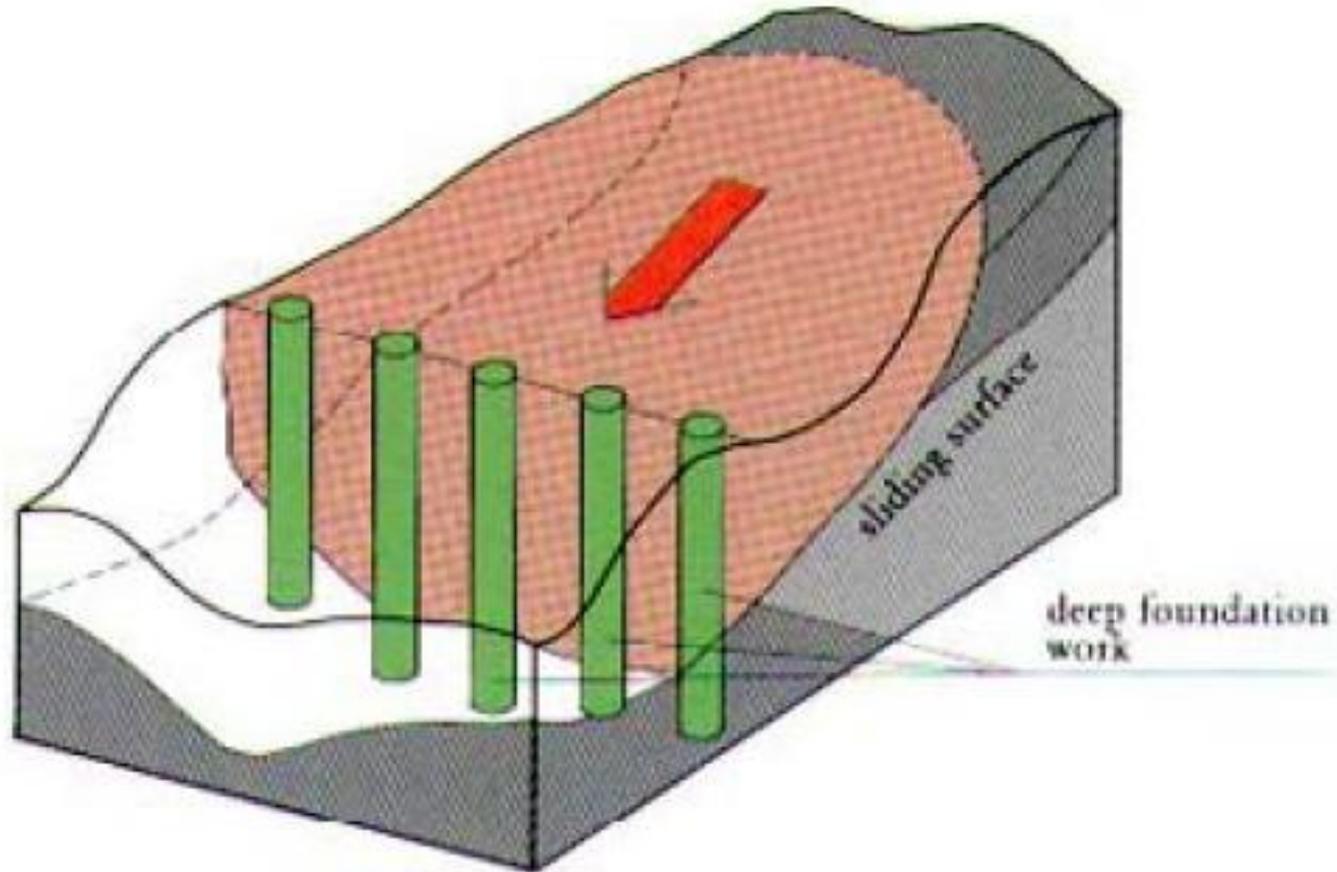
Nella **quarta colonna** è indicata la lunghezza L del tirante (parte di armatura libera + lunghezza di armatura incorporata con la cementazione) espressa in metri.

Nella **quinta colonna** è indicato il carico T di progetto o la resistenza massima di progetto del tirante espressa in kN/m (1 T/m è equivalente a circa 10 kN/m).

Nella **sesta colonna** è indicato la percentuale (%) della lunghezza totale L , indicata nella quarta colonna, che risulta cementata¹

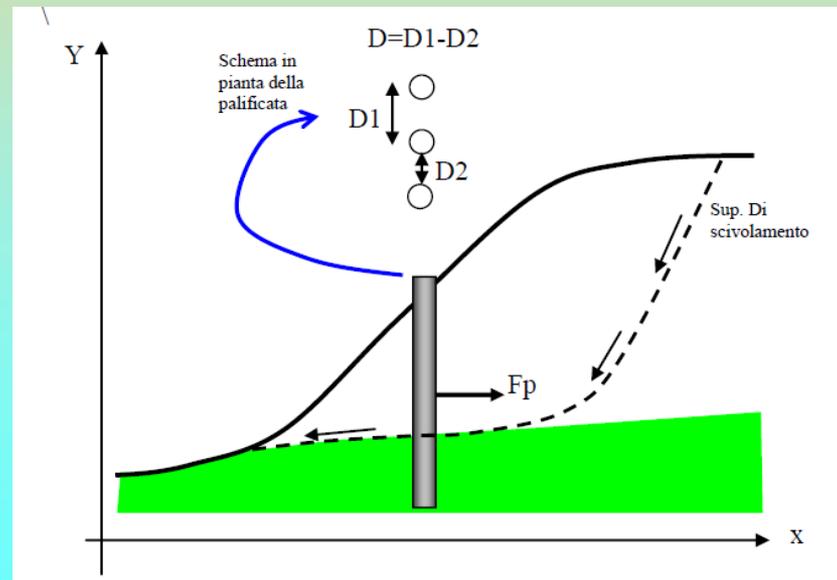
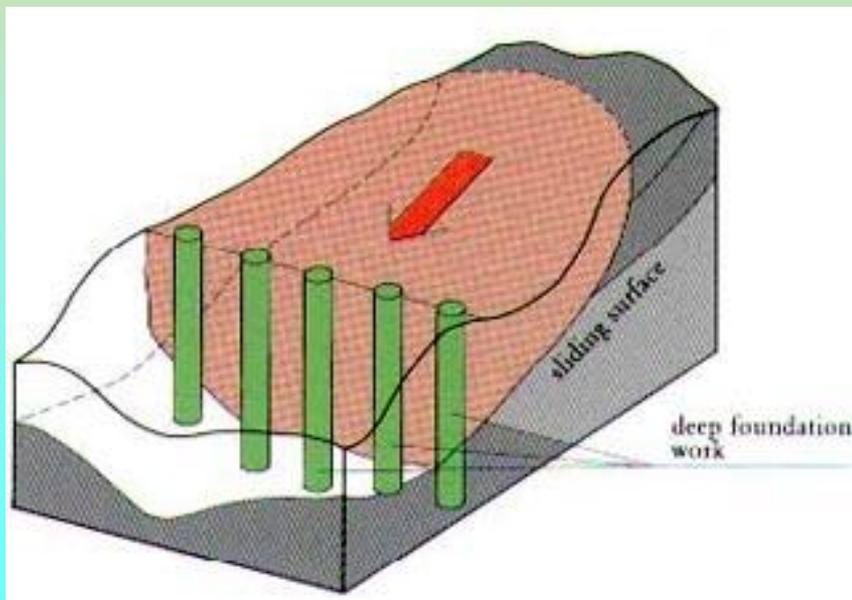
N.B: Il numero delle righe complessive è pari al numero dei tiranti presenti....

INTERAZIONE PALIFICATE PENDIO IN SSAP 2010



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.



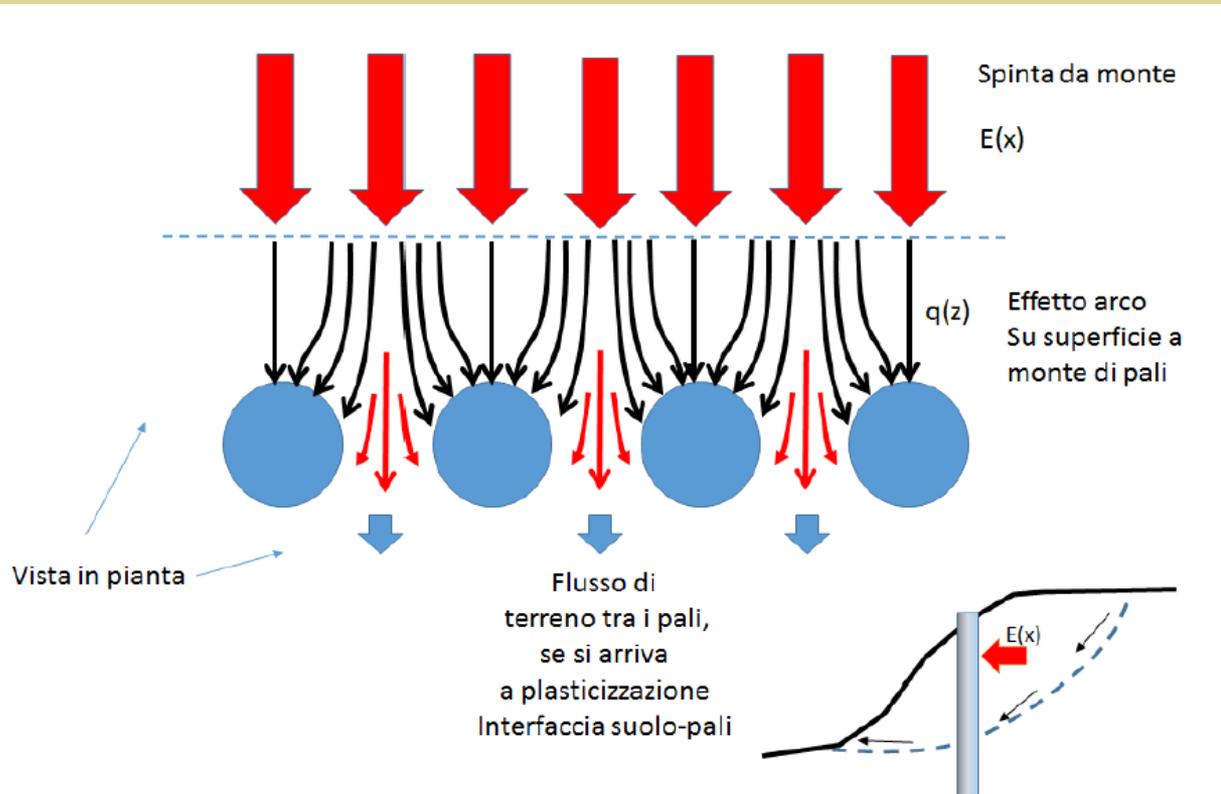
Successiva Interazione con analisi strutturale

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)

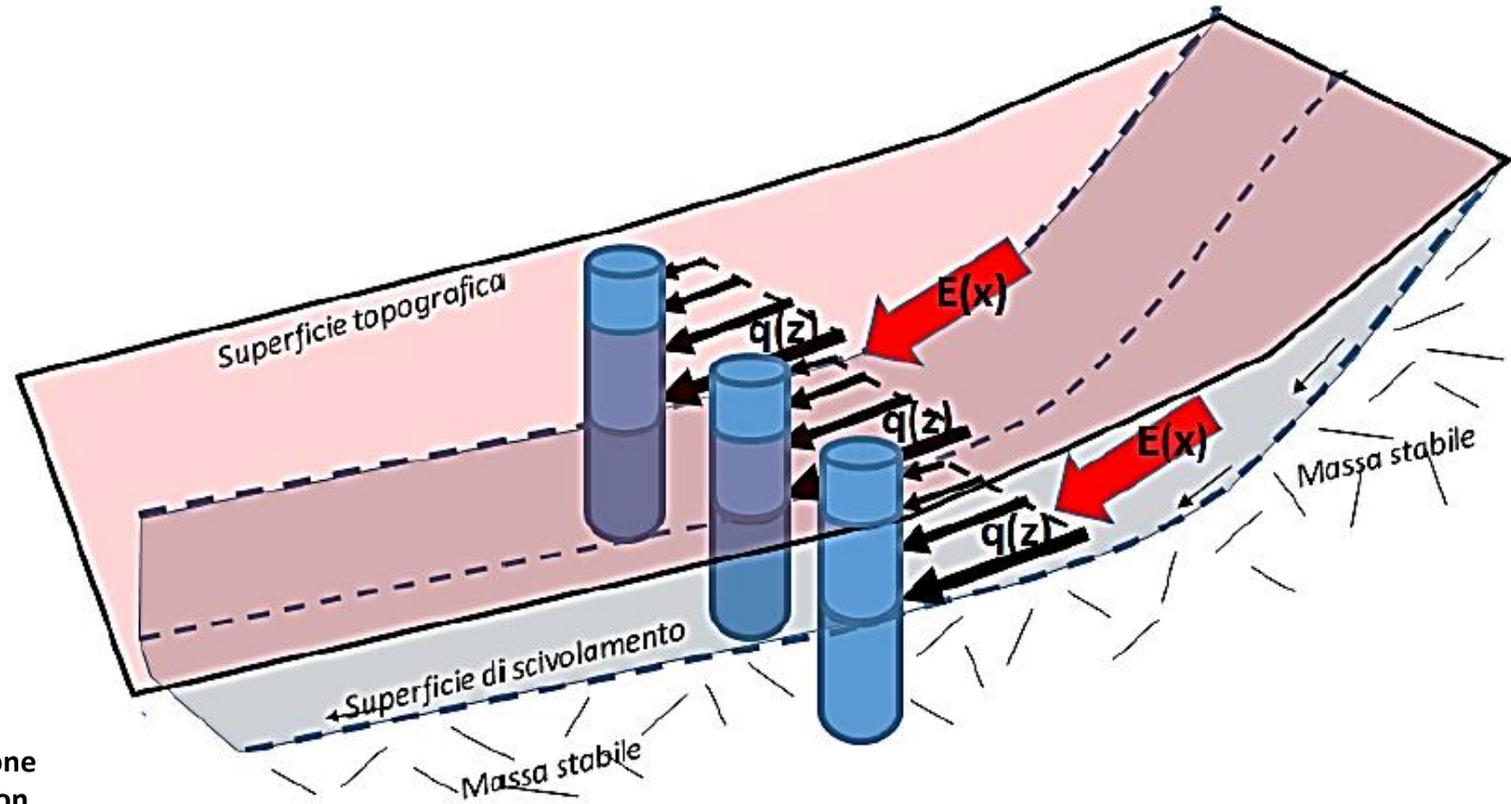
- 1) al di sopra della superficie di scorrimento assunta i pali sono sottoposti a carichi noti e pari ai valori indicati al punto 1 della precedente diapositiva.
- 2) Al di sotto della superficie di scorrimento i pali sono assimilati a travi su suolo elastico. A questa ipotesi possono essere associate 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.



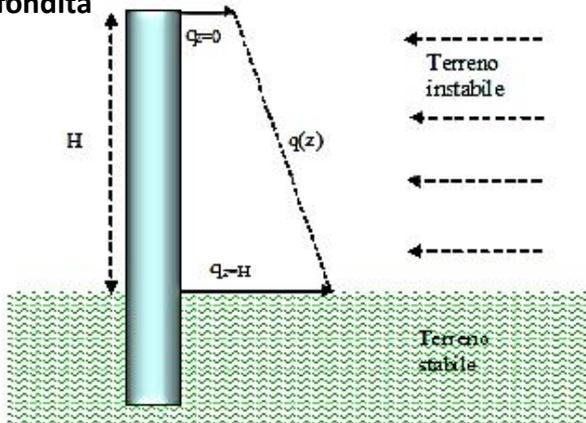
3) Il terreno instabile è contenuto dalla azione esercitata dai pali

4) Le sollecitazioni dei pali sono pari a quelle ammissibili. (salvo poi fare una verifica STRUTTURALE).

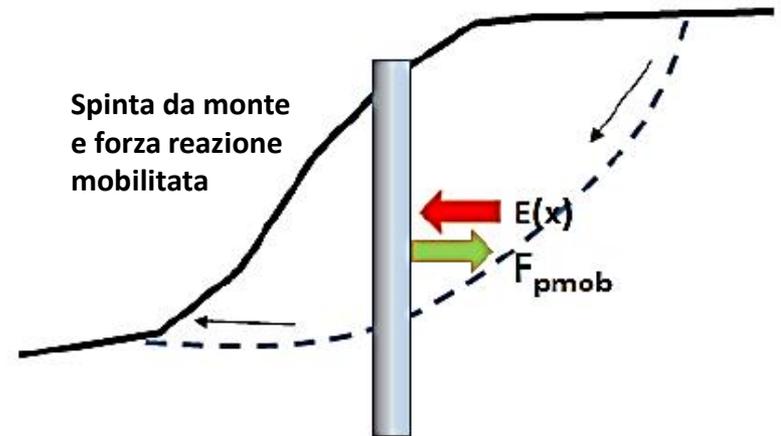
Metodo Ito Matsui (1975-1981) - Hassiotis et al. (1997) - Kumar et Hall. (2006)



Distribuzione di spinta con la profondità'



Spinta da monte e forza reazione mobilitata



Hassiotis et al. (1997)

La forza di reazione massima mobilitata offerta dalla palificata viene calcolata con la metodologia adottata da Ito e Matsui(1981) e successivamente modificata parzialmente da Hassiotis et al. (1997).

Viene prima calcolata la funzione di distribuzione con la profondità $q(z)$ della forza, per strato di spessore unitario, che agisce sulla palificata:

$$q(z) = cA \left(\frac{1}{N_s \tan \phi} \{E - 2N_s^{0.5} \tan \phi - 1\} + B \right) - c(D_1 B - 2D_2 N_s^{-0.5}) + \frac{\sigma}{N_s} (AE - D_2)$$

dove:

$$N_s = \tan^2 \left[\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right] ; \quad A = D_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{N_s^{0.5} \tan \phi + N_s - 1} ; \quad B = \frac{2 \tan \phi + 2N_s^{0.5} + N_s^{-0.5}}{N_s^{0.5} \tan \phi + N_s - 1}$$

$$E = \exp \left[\frac{D_1 - D_2}{D_2} N_s \tan \phi \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \right]$$

e dove:

D_1 = interasse tra i pali (m)

D_2 = apertura tra i pali (m)

D = diametro dei pali (m)

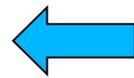
σ = pressione litostatica calcolata alla profondità z dalla superficie (kPa)

c = valore medio della coesione fino alla profondità z (kPa)

ϕ = angolo di attrito interno medio calcolato fino alla profondità z

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 :

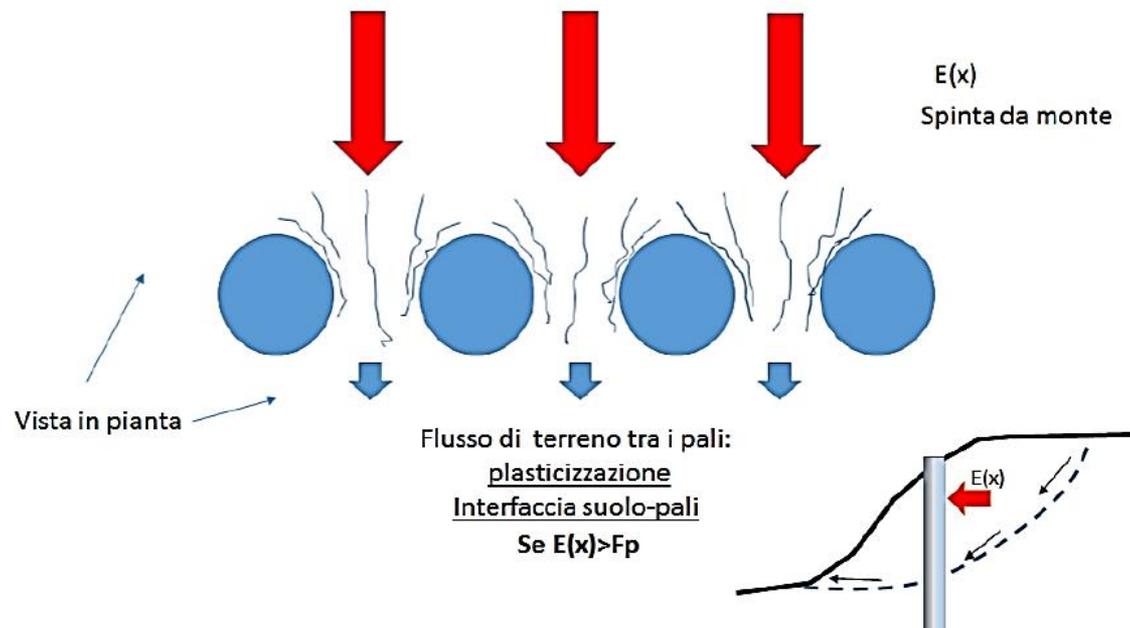
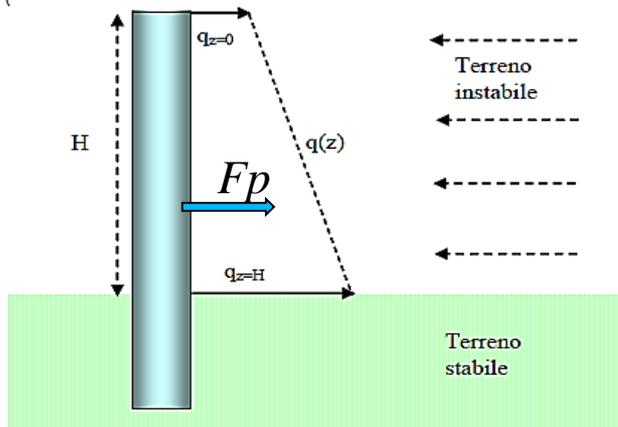
$$F_p = \frac{\int_0^H q(z) dz}{D_1}$$



**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.

In sostanza in prima approssimazione avremo che:

$$\alpha_m = \frac{1}{F_S F_{NTC}} \quad (2.20)$$

Dove:

F_S è il fattore di stabilità globale iterativo e finale;

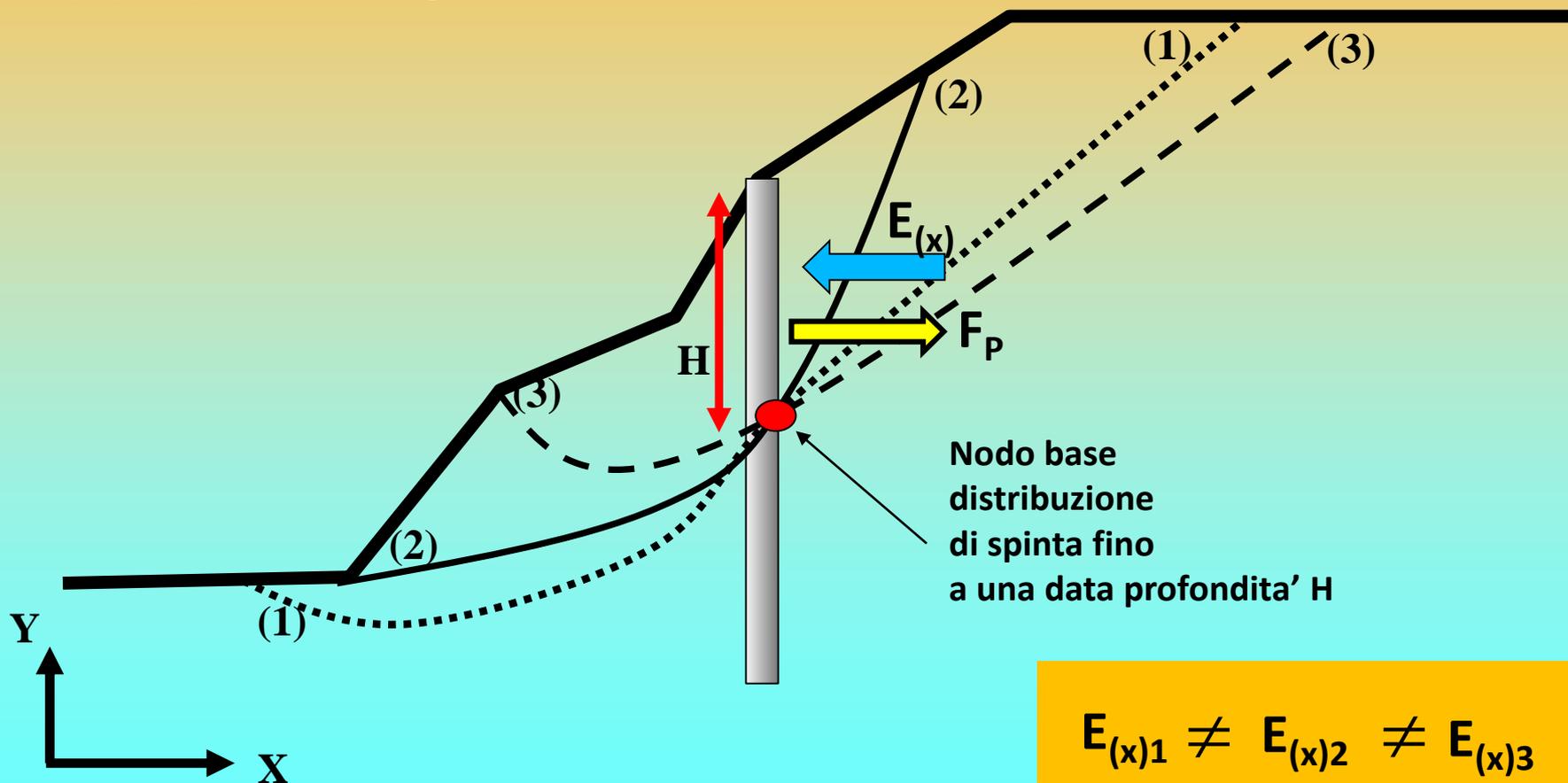
F_{NTC} è un fattore riduttivo addizionale (fattore di sicurezza addizionale con $F_{NTC} \geq 1.0$) che permette di tenere conto ulteriori riduzioni necessarie per venire incontro a normative tecniche come le NTC2008.

Con valori $F_{NTC} > 1$ è possibile ridurre progressivamente il valore di α_m . Ad esempio con $F_{NTC}=4$ abbiamo un α_m minimo equivalente a 0.25 (ovvero una mobilitazione massima del 25% della spinta teorica massima di plasticizzazione).

Comunque è possibile che si verifichi il caso che il fattore di mobilitazione α_m sia ancora eccessivamente elevato, se comparato alla effettiva spinta che la palificata riceve dalla parte di terreno a monte di essa. Questo avviene spesso quando il sistema di palificata è sovradimensionato eccessivamente rispetto alla effettiva necessità o quando la forza $F_{p_{mob}}$ non tiene effettivamente conto della entità delle masse in gioco e delle spinte effettive esistenti.

Un sovradimensionamento eccessivo porta a problemi di calcolo e una assenza di significato fisico per il problema in esame: ad esempio una spinta di reazione eccessiva potrebbe spingere verso monte il pendio, cosa che non è fisicamente possibile.

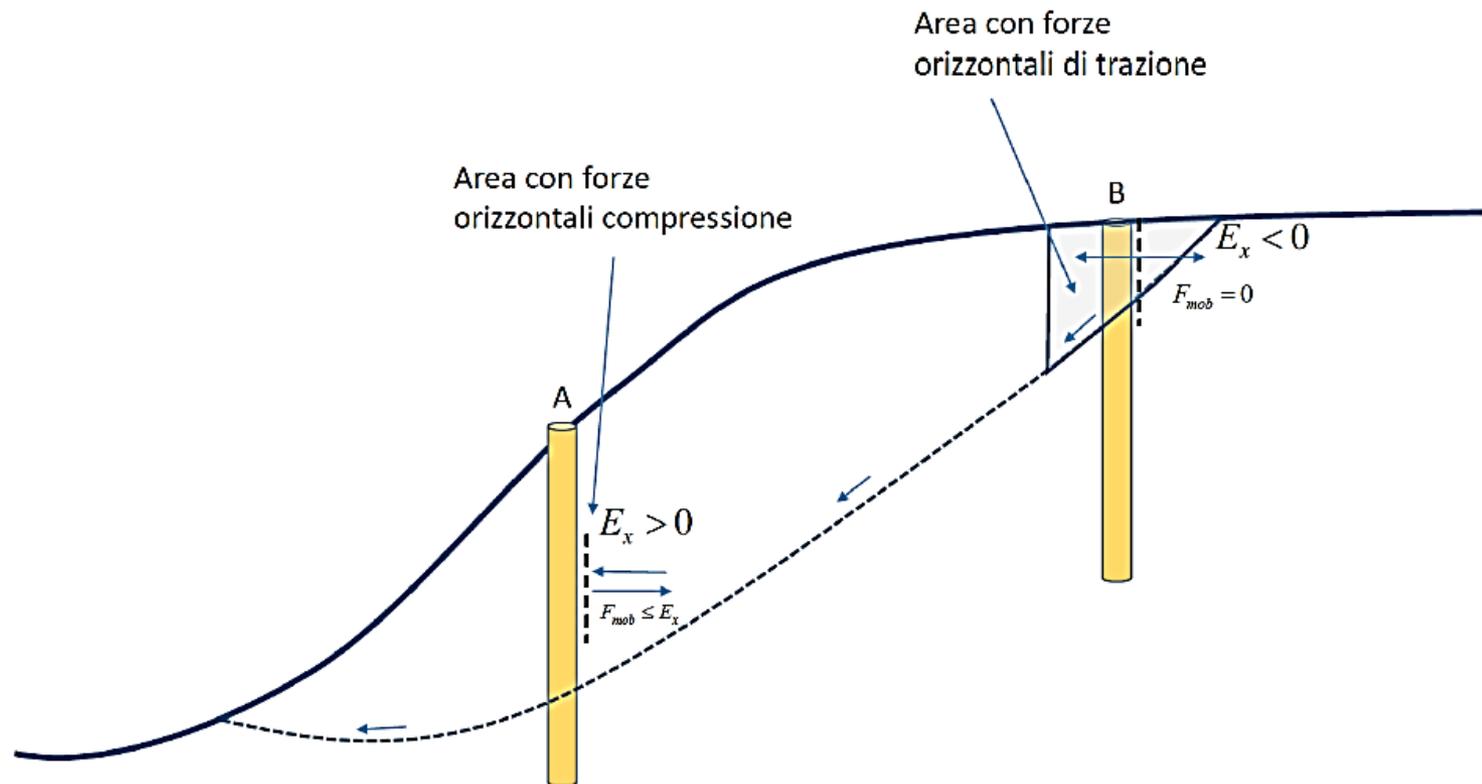
Nel nodo base della distribuzione di spinta, a profondidita' H, la spinta di reazione massima teorica F_p e' la stessa, dato che dipende da H e dal tipo di terreno, ma diverse saranno le Spinte effettive $E(x)$ che agiscono considerando le superfici (1), (2) e (3) nella figura sotto.



Da un punto di vista fisico, una volta che si assume una potenziale superfici di scorrimento che interseca la palificata a una certa profondità H e si calcola in prima approssimazione la Fp_{mob} con la eq. (2.19) può verificarsi il caso che, nella zona immediatamente a monte della palificata, il valore di Fp_{mob} sia superiore, o inferiore, al valore effettivo e iterativo di $E(x)$ locale. Ovvero abbiamo la possibilità' che si realizzino una delle due condizioni nella eq. 2.21:

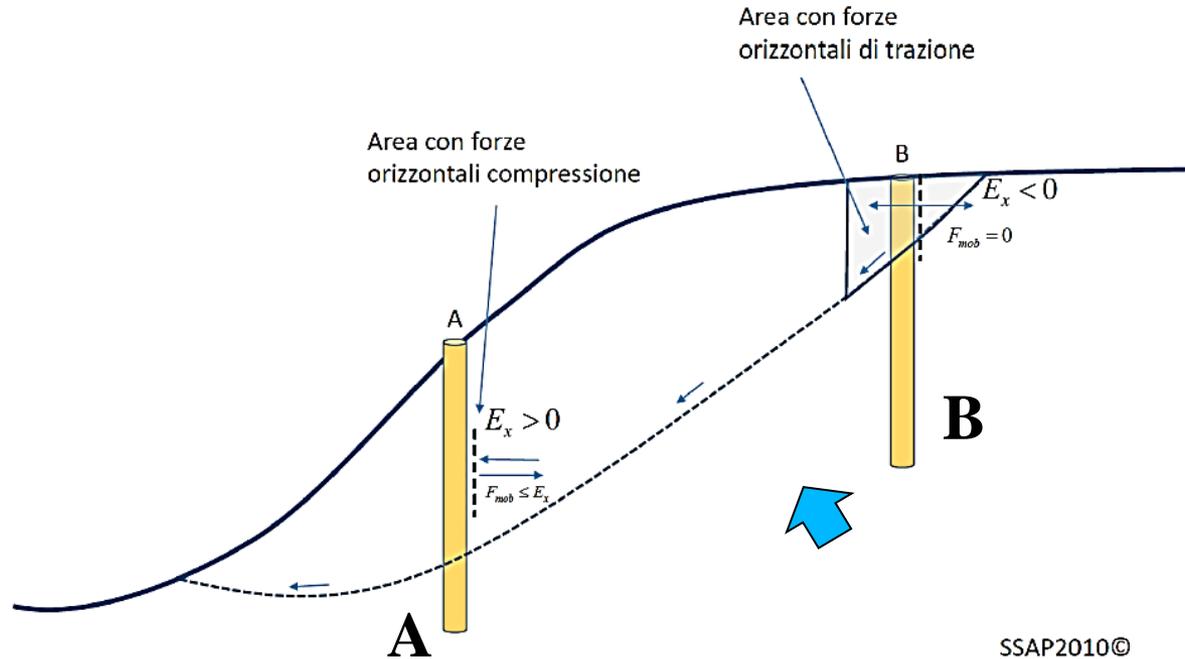
$$\left\{ \begin{array}{l} Fp_{mob} \geq E_x \end{array} \right. \quad (2.21a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Fp_{mob} < E_x \end{array} \right. \quad (2.21b)$$



SSAP2010©

**Procedura automatica
Calcolo della forza
massima mobilitata.**



SSAP2010©

In questo caso il valore di Fp_{mob} può essere modificato fino ad un valore finale Fp_{mob}^* considerando i seguenti casi:

$$\alpha_m^* = \frac{Fp_{mob}^*}{Fp}$$



Valore finale coefficiente di mobilitazione

$$Fp_{mob}^* = 0 \quad \text{se } E_X \leq 0 \quad (2.22a)$$

$$Fp_{mob}^* = \text{Min}[Fp_{mob}, E_X] \quad \text{se } E_X > 0 \quad (2.22b)$$

$$Fp_{mob}^* = \text{Max}[Fp_{mob}, E_X] \quad \text{se } E_X > 0 \quad (2.22c)$$

dove:

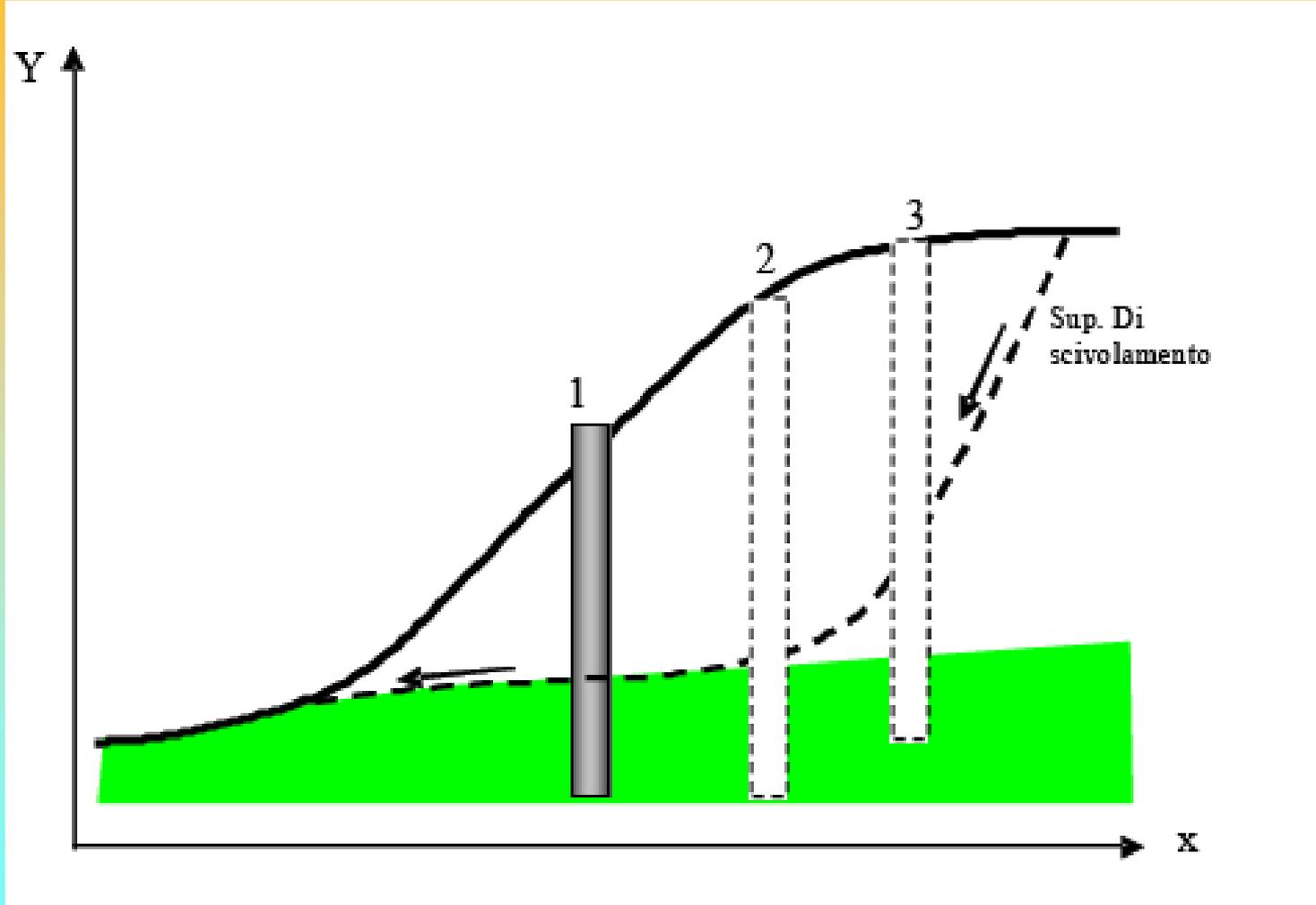
$$Fp_{mob}^* < F_p \quad \text{sempre verificato} \quad (2.22d)$$

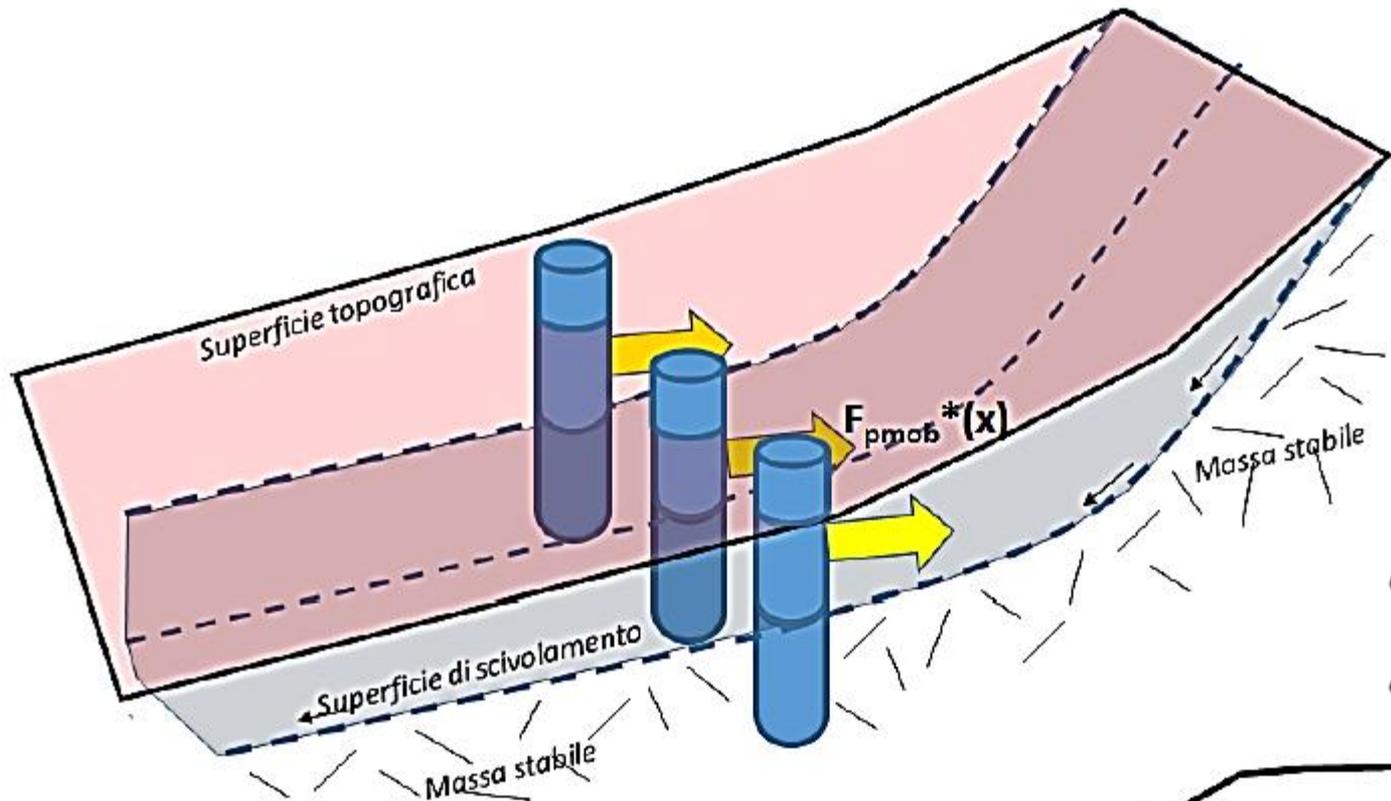
**criterio
scelto
dall'utente**



**Valore finale
Fp(mobilitato)**

Possibili posizionamenti palificate (fino a 12 linee contemporaneamente)

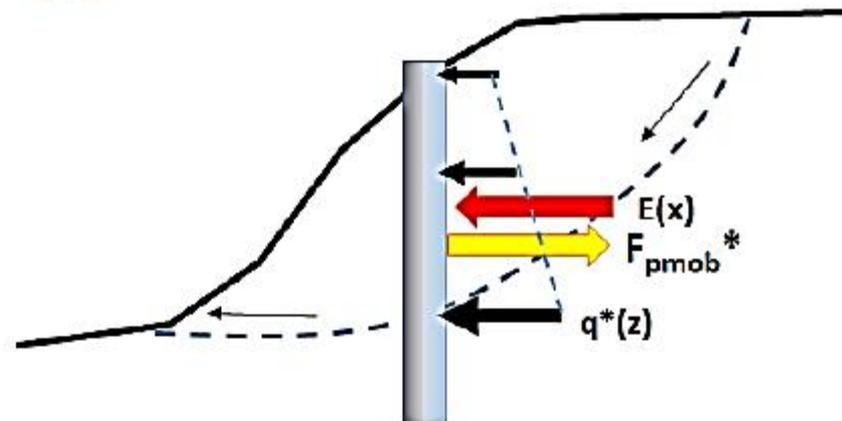




$$\alpha_m^* = \frac{F_{p_{mob}}^*}{F_p}$$

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

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 $q^*(z)$,

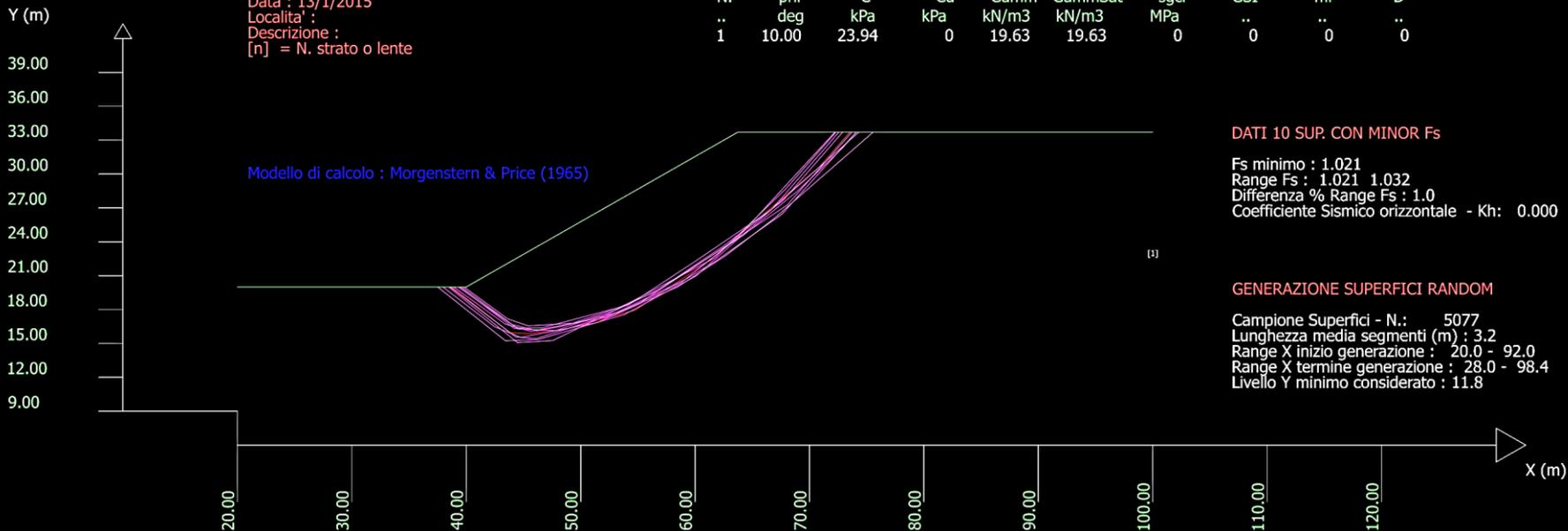


É tuttavia importante ricordare che:

1. Nel caso di palificate di lunghezza insufficiente alcune superfici profonde possono ugualmente rendere instabile un pendio.
2. La superficie critica trovata per un pendio senza pali di sostegno può non esserlo più in presenza di una palificata.
3. Esistono vari criteri di progettazione che suggeriscono le caratteristiche geometriche limite per palificate, paratie di pali e file di fondazioni a Pozzo, oltre il quale gli interventi risultano non economicamente convenienti o comunque sconsigliati.
4. E ' necessario sempre accoppiare la analisi mediante l'equilibrio limite fino qui descritta con un analisi strutturale, per verificare che gli sforzi mobilitati dalla palificata per incrementare il valore complessivo di F_s non mettano in crisi la struttura
5. É importante considerare che ogni palificata viene inserita nel pendio anche come un elemento resistente la taglio, con forma e geometria propria come un qualsiasi strato o lente (vedi slides successive)

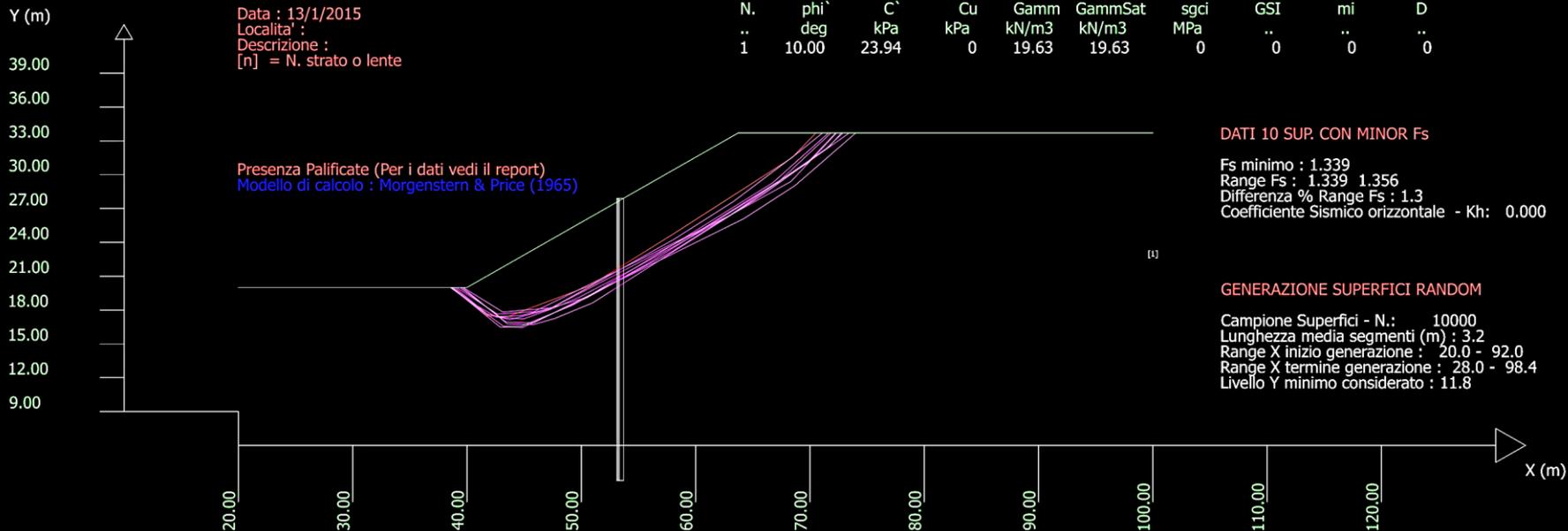
Data : 13/1/2015
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

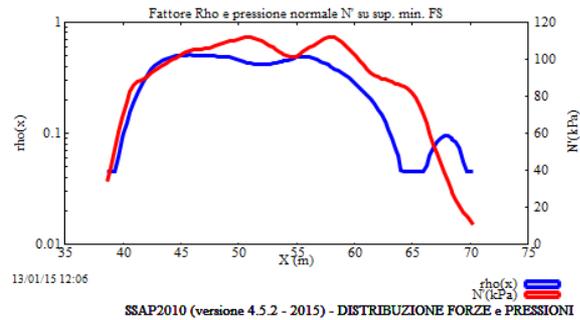
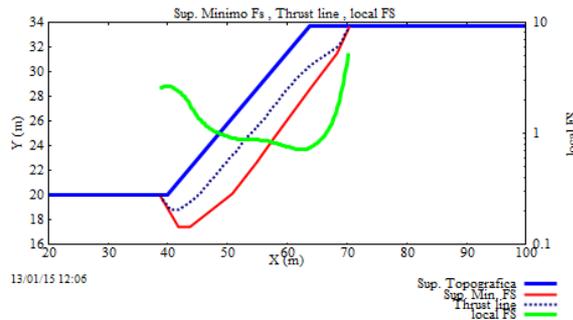
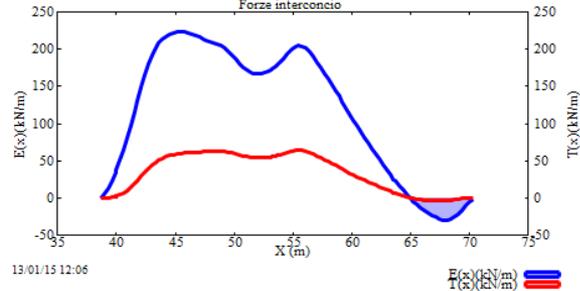
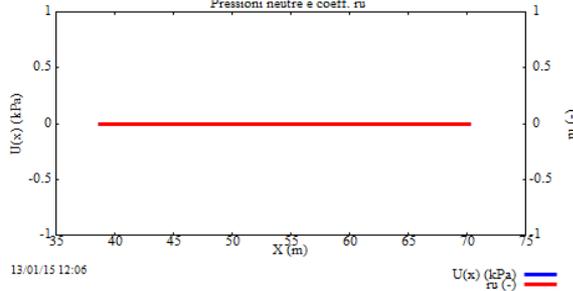
# Parametri Geotecnici degli strati #										
N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D	
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	10.00	23.94	0	19.63	19.63	0	0	0	0	



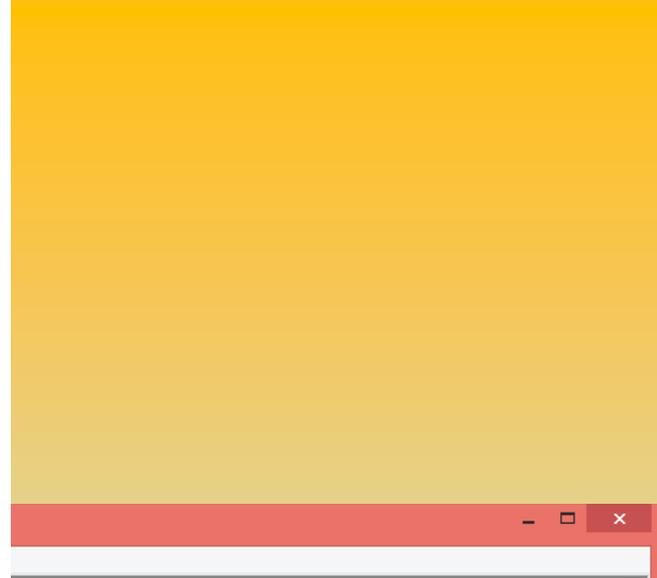
Data : 13/1/2015
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

# Parametri Geotecnici degli strati #										
N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D	
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	10.00	23.94	0	19.63	19.63	0	0	0	0	





SSAP2010 (versione 4.5.2 - 2015) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI



Nel report di SSAP sono riportate le grandezze fondamentali

```

PALIFICATA N.1-----
                        Coordinata X Testa (m):      53.70
                        Coordinata Y Testa (m):      27.90
                        Lunghezza pali L (m)* :      25.00
                        Diametro pali D(m):          0.60
                        Interasse tra pali D1(m):    1.00
                        Lunghezza apertura tra pali D2(m): 0.40
                        Fattore riduttivo resistenza palificata (NTC 2008): 2.00
Massima % mobilizzazione di resistenza teorica plasticizzazione Suolo-Palo: 50.00

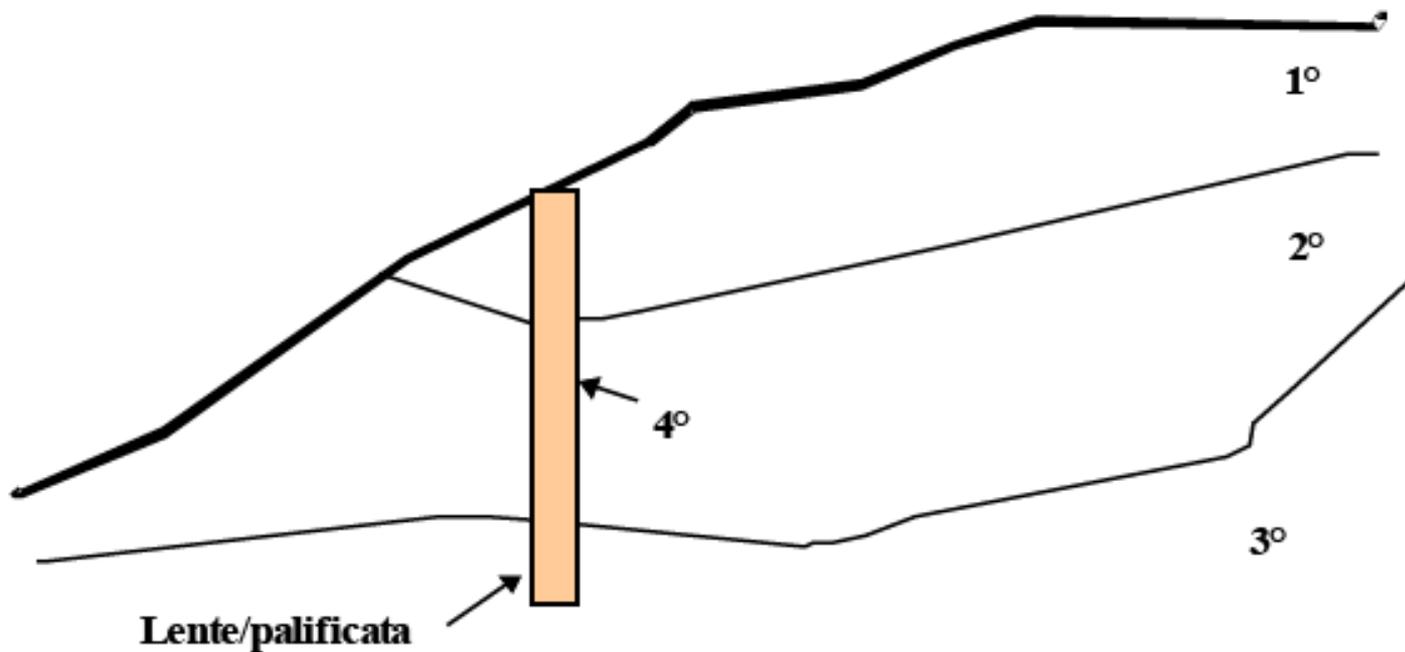
PROFONDITA' SUPERFICIE DI SCORRIMENTO H (m) :      6.02
PENDENZA LOCALE INTERSEZIONE SUP. SCORRIMENTO-PALO Aalpha (gradi) :      28.80
Procedura calcolo automatico forza mobilitata su palificata: ATTIVATA
CRITERIO DI SPINTA ASSUNTO: Minima tra mobilizzazione massima assunta e spinta E(x) reale
  
```

```

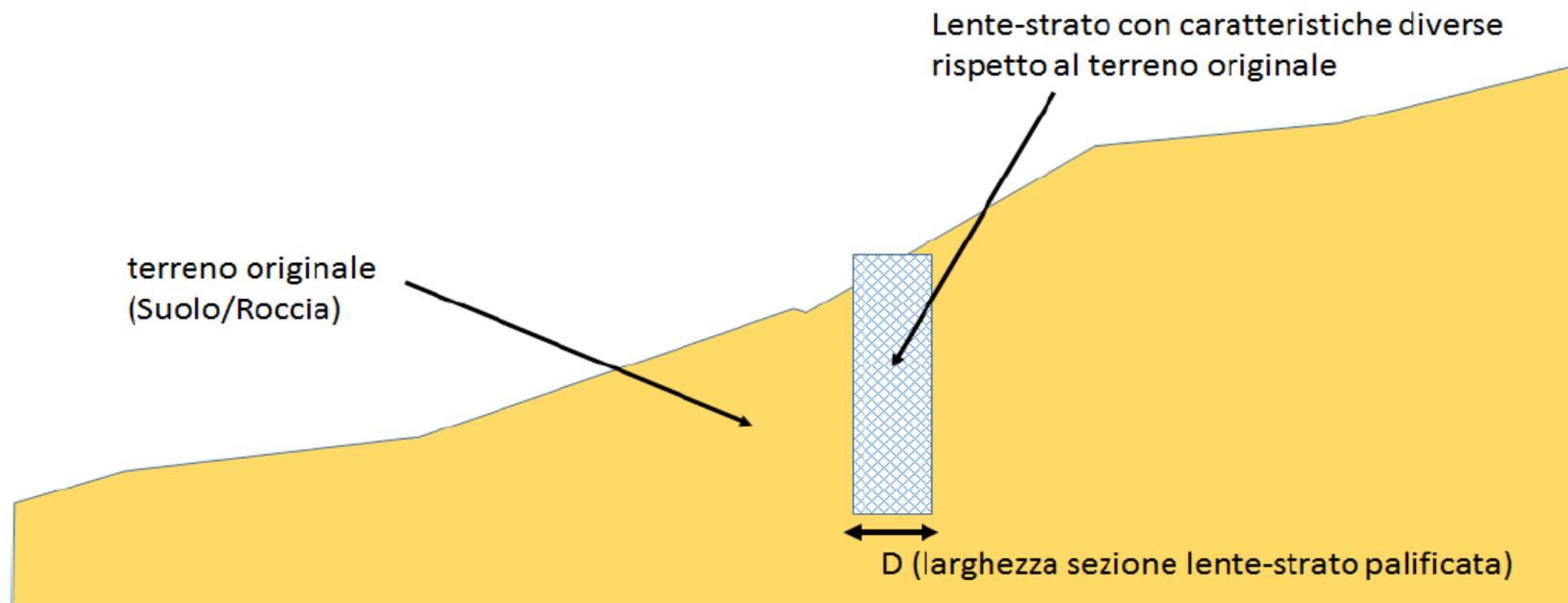
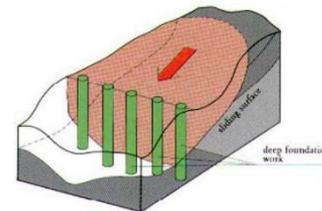
--- PARAMETRI MASSIMI TEORICI IN CONDIZIONI DI PLASTICIZZAZIONE INTERFACCIA SUOLO PALO SECONDO TEORIA PLASTICIZZAZIONE ITO E MATSUI(1981) / KUMAR E HALL(2006)
FORZA UNITARIA SU PALO (Massima teorica) LOCALIZZATA ALLA SUPERFICIE          qz0 (kN/m) :      83.24
FORZA UNITARIA su PALO (Massima teorica ) LOCALIZZATA ALLA BASE SUP. SCORRIMENTO qzmax (kN/m) :      226.75
FORZA REAZIONE TOTALE UNITARIA (massima teorica per fronte larghezza 1 m) SU PALIFICATA Fp (kN/m) :      933.35

--- PARAMETRI FORZE E SFORZI MOBILITATI CALCOLATI E APPLICATI NELLA VERIFICA ---
FORZA REAZIONE TOTALE UNITARIA (Mobilizzata per fronte larghezza 1 m) SU PALIFICATA Fpm (kN/m) :      197.25
COEFFICIENTE DI MOBILIZZAZIONE TOTALE CALCOLATO E APPLICATO alphaM (-) :      0.2113
FORZA UNITARIA SU PALO (mobilizzata) LOCALIZZATA ALLA SUPERFICIE          qz0m (kN/m) :      17.59
FORZA UNITARIA SU PALO (mobilizzata) LOCALIZZATA ALLA BASE SUP SCORRIMENTO qzmaxm (kN/m) :      47.92
SFORZO DI TAGLIO (Mmobilizzato Stimato) SU PALO LOCALIZZATO SU SUP. SCORRIMENTO TAUpm (kN/m^2) :      27.412
  
```

**Inserimento palificata come strato(tipo lente)
Con proprio peso di volume, propria geometria, e
resistenza al taglio**



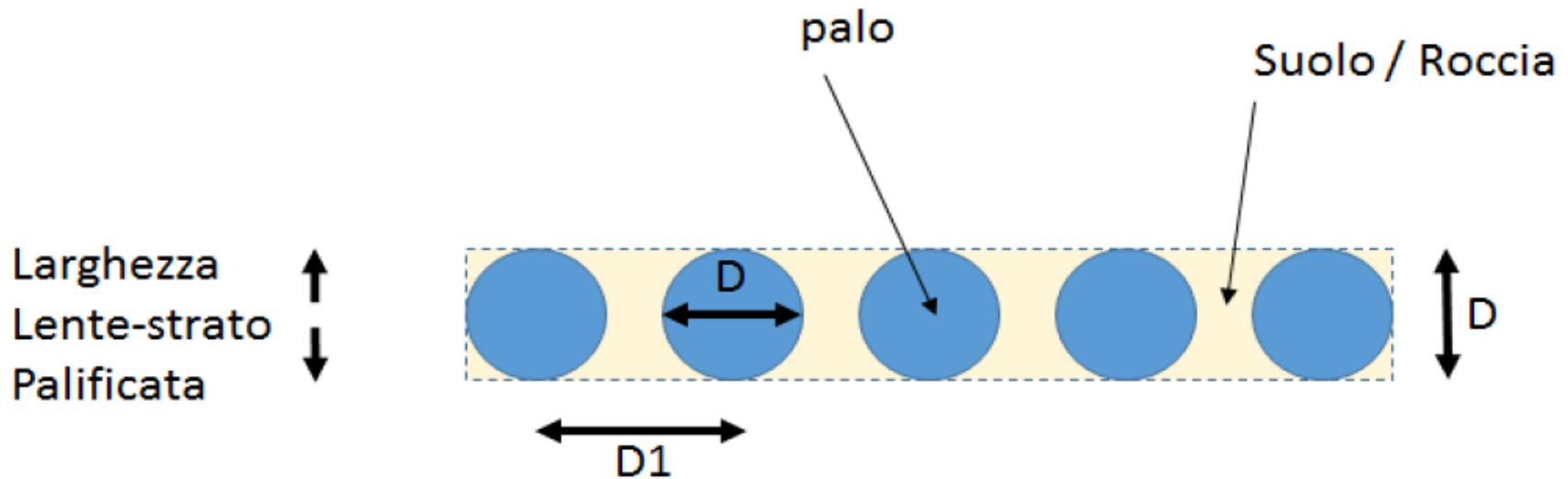
Valutazione dei parametri geomeccanici di una lente-strato palificata inserita in un pendio



Sezione modello pendio con lente-strato (palificata)

C.1 Determinazione dei parametri geomeccanici equivalenti di una lente-strato palificata

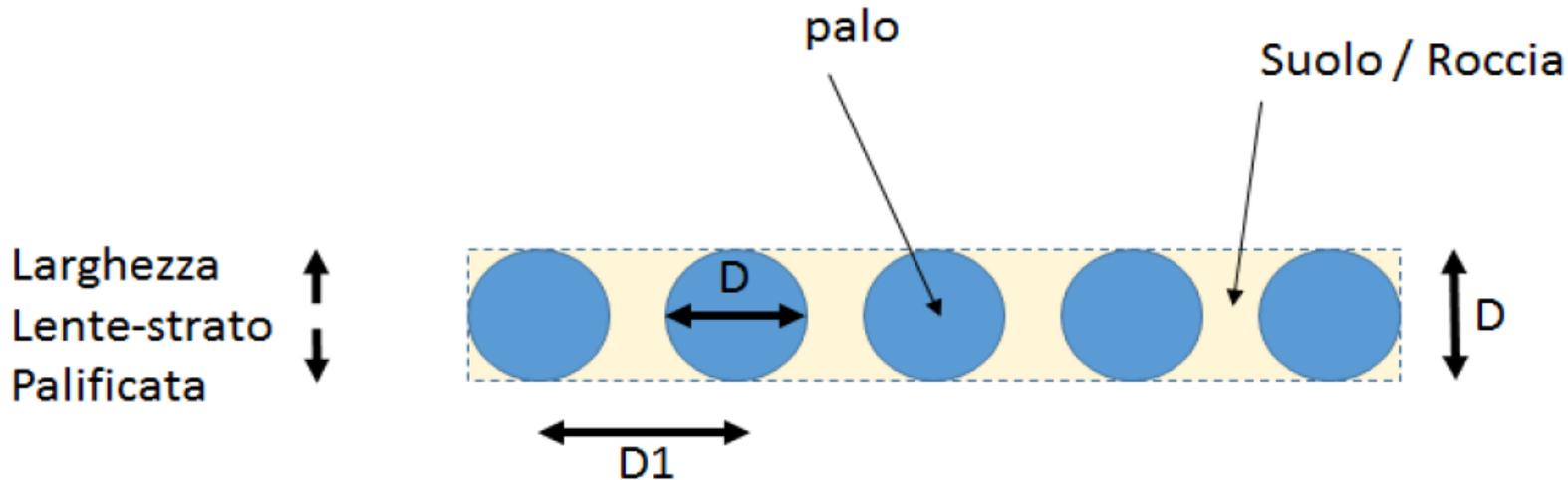
Quando una palificata è inserita in un pendio costituisce un elemento di disomogeneità rispetto alle precedenti proprietà fisico meccaniche, data la differenza, talvolta molto rilevante, di quelle costituenti la palificata rispetto a quelle del terreno/roccia originale. E' quindi auspicabile che la palificata (che ha una massa propria e che occupa un volume, sostituendosi in parte al terreno originale) sia inserita come una lente-strato con propri valori di resistenza al taglio, o di peso unitario.



La figura C.2 presenta una sezione orizzontale della palificata immersa in un terreno preesistente. Abbiamo che $D1$ = interasse minimo tra i pali (m) e D = diametro dei pali (m). D è anche equivalente alla larghezza della nuova lente strato della figura C.1.

Se Ω_{pal} è il nuovo parametro geomeccanico generico da utilizzare per la palificata, esso è calcolabile come media ponderata dei rispettivi parametri geomeccanici assegnati al palo Ω_p e del suolo/roccia originale Ω_s . Ovvero:

$$\Omega_{pal} = \varepsilon \Omega_p + (1 - \varepsilon) \Omega_s \quad C.1$$



Dove \mathcal{E} è la frazione di volume occupata dai pali entro la lente-strato. \mathcal{E} è un coefficiente adimensionale che può essere calcolato con la seguente espressione e dipende dalla geometria della palificata:

$$\mathcal{E} = \frac{\pi D}{4 D1} \quad \text{C.2}$$

dove

$D1$ = interasse tra i pali (m)

D = diametro dei pali (m)

\mathcal{E} assume sempre un valore variabile tra 0 (pali infinitamente distanti) e 0.7854 ($D=D1$ pali a contatto).

Un esempio pratico

Consideriamo il caso di una palificata con i seguenti parametri:

$$D=0.60 \text{ (m)}$$

$$D_1= 1.8 \text{ (m)}$$

Determiniamo il valore di resistenza al taglio non drenata equivalente (C_u) da applicare alla palificata inserita come lente entro il pendio secondo le convenzioni del programma SSAP considerando che:

$$C_{u_s} = 25 \text{ (kPa)} \text{ (Resistenza al taglio non drenata del suolo originale)}$$

$$C_{u_p} = 1000 \text{ (kPa)} \text{ (Resistenza al taglio assunta per il calcestruzzo armato del palo)}$$

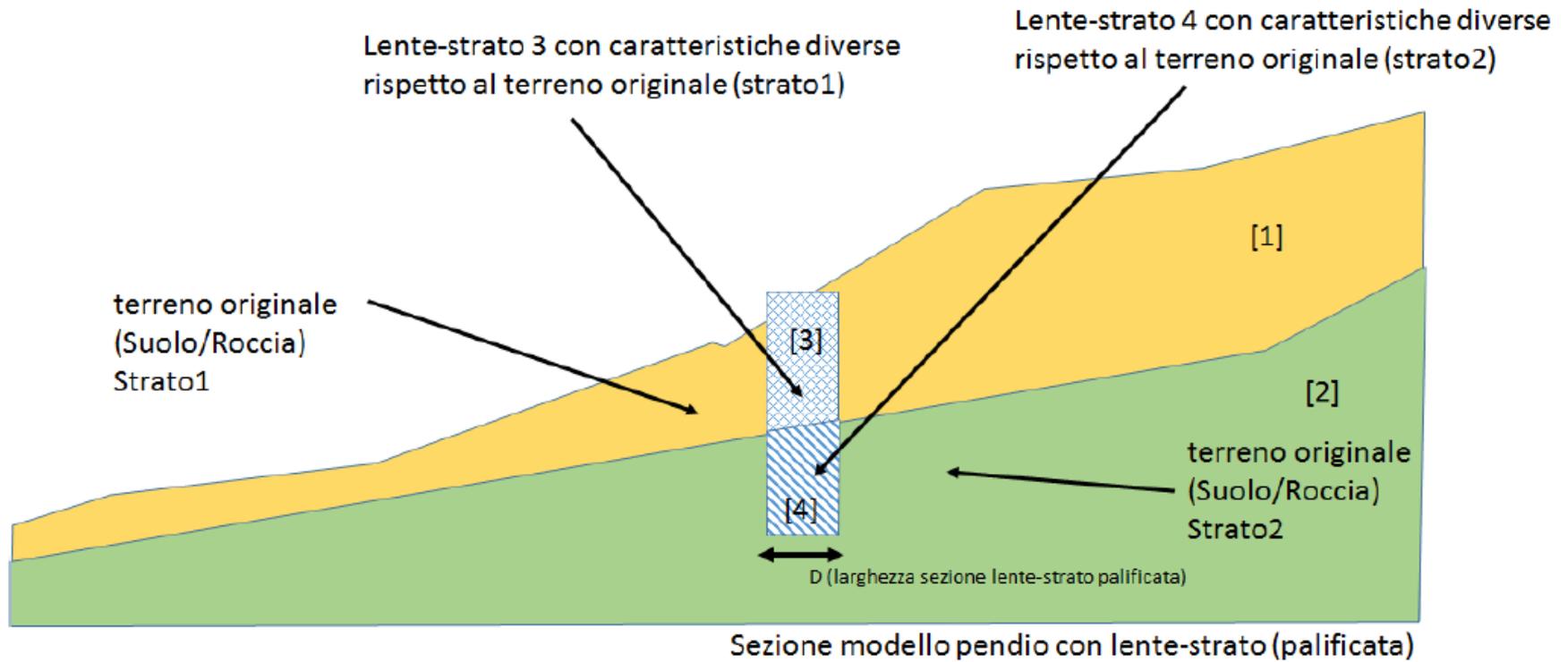
Quindi utilizzando la equazione C.2 avremo che $\mathcal{E} = 0.26$. Successivamente, utilizzando la equazione C.1, avremo che $C_{u_{pal}} = 278.5 \text{ (kPa)}$. 

Determiniamo il valore del peso unitario equivalente da applicare alla palificata inserita come lente entro il pendio secondo le convenzioni del programma SSAP considerando che:

$$\gamma_s = 19 \text{ (kN/m}^3\text{)} \text{ (peso unitario o di volume del suolo originale)}$$

$$\gamma_p = 25 \text{ (kN/m}^3\text{)} \text{ (peso unitario o di volume del calcestruzzo del palo)}$$

Utilizzando la equazione C.1, avremo che $\gamma_{pal} = 20.56 \text{ (kN/m}^3\text{)}$. 



Nota Importante: La modifica dell'interasse o del diametro dei pali modificherà i valori corrispondenti di \mathcal{E} e quindi è necessario ricalcolare opportunamente i valori dei nuovi parametri geomeccanici equivalenti della lente-strato palificata. È importante considerare il caso di palificate che attraversano più di uno strato. Un approccio rigoroso consiglia di considerare diverse lenti-strato palificate in corrispondenza di ogni strato del pendio attraversato. Nell'esempio in figura C.4 è riportato un pendio con una palificata che attraversa due strati. La porzione della palificata è attraversata da due lenti strato che avranno caratteristiche differenti in virtù della differenza di parametri geomeccanici esistenti tra gli strati 1 e 2.

Assemblaggio Files .PIL con utility MKFILES.EXE

Crea File Dati Pali

1	30.00	18.00	10.00	0.40	0.80
---	-------	-------	-------	------	------

Coordinata X Testa

Coordinata Y Testa

Lunghezza (m)

Diametro (m)

Distanza Pali (m)

GENERATI DATI PALIFICATA n. 1

MKFILES 3.1.1
by L. Borselli (2007,2010)

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

Modello del pendio - palificate files .PIL

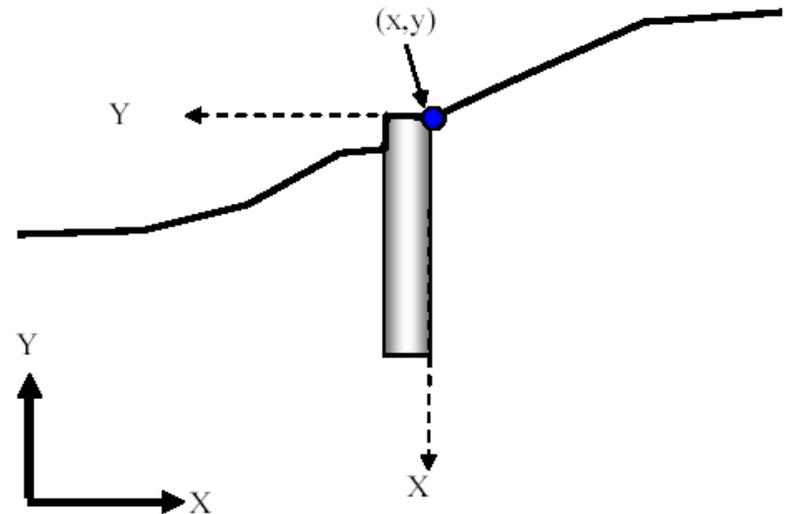
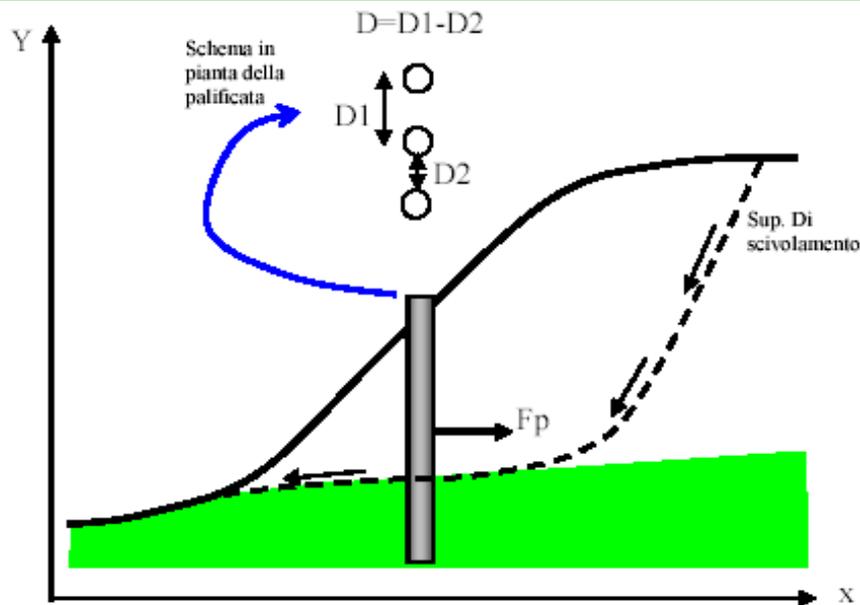
80	25	15.0	0.4	0.6
105	32	12.0	0.8	1.2
120	45	18.0	0.2	0.4

Nella prima e nella seconda colonna sono indicate rispettivamente le coordinate X ed Y dove la palificata interseca la superficie topografica. Tali coordinate sono espresse in metri.

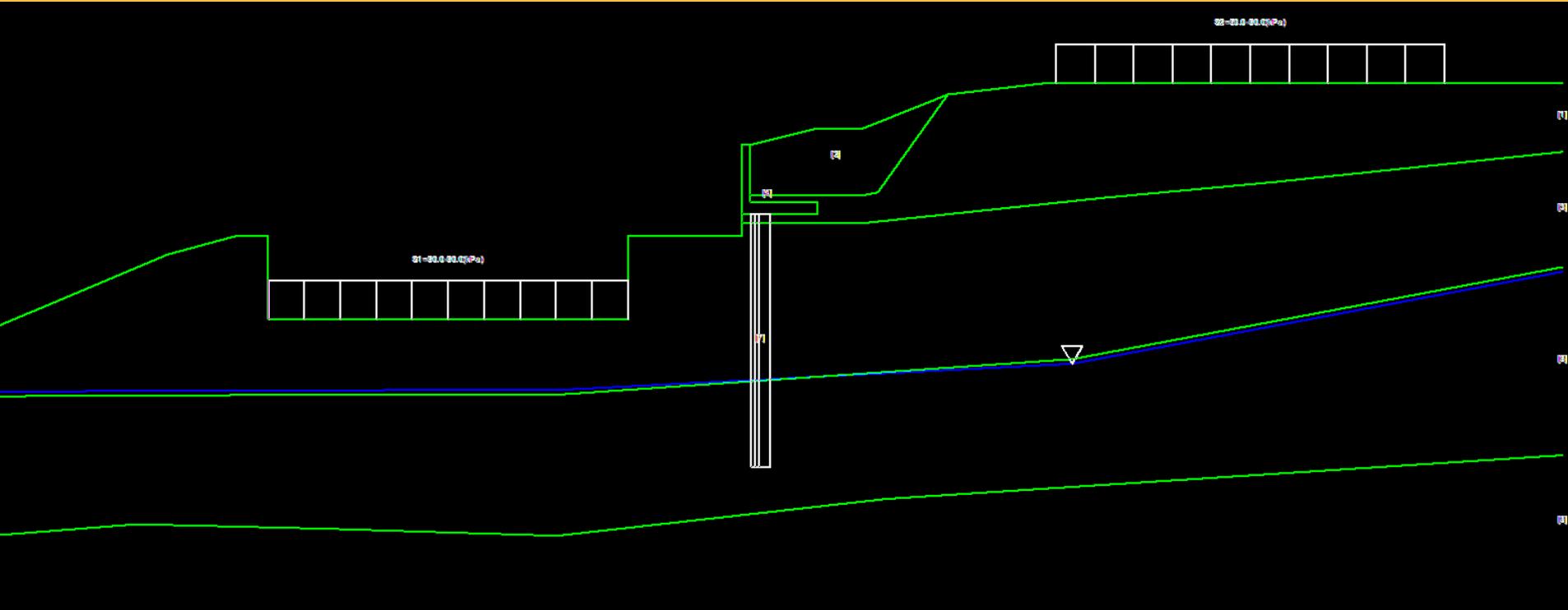
Nella terza colonna è indicata la lunghezza L (in m) della palificata a partire dalla superficie.

Nella quarta colonna è indicato il Diametro D (in m) dei pali che compongono la palificata.

Nella quinta colonna è indicata la distanza D2 (in m) (detta anche apertura) tra i pali (si ricordi che l'interasse tra i pali $D1=D+D2$ è calcolato automaticamente dal programma).

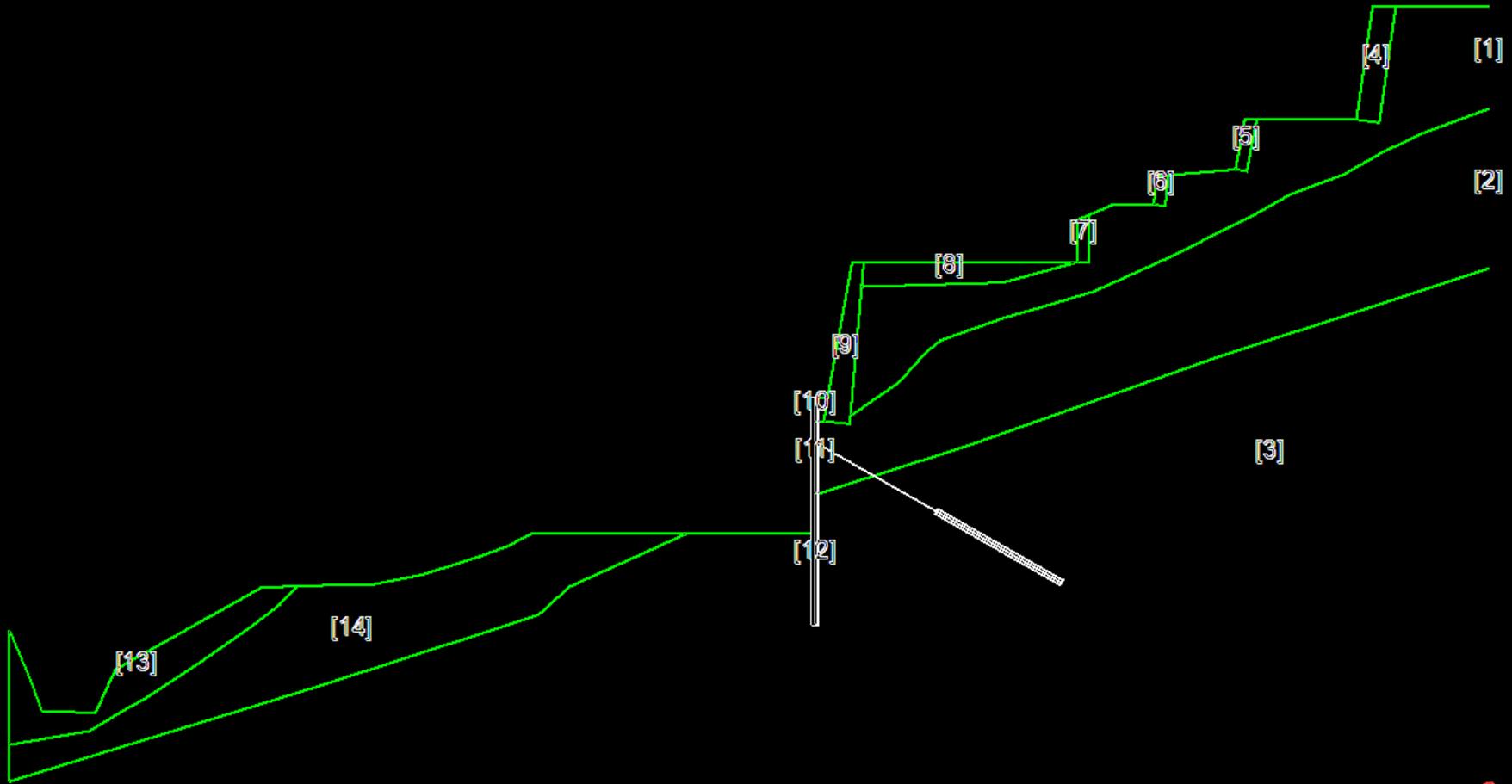


Studio e pratica su un esempio reale con palificata :



Cartella ..\pendii\esempi corso base\zuccon

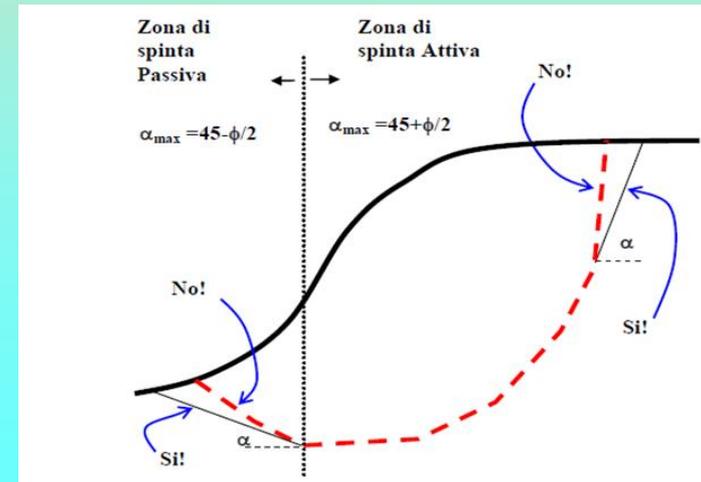
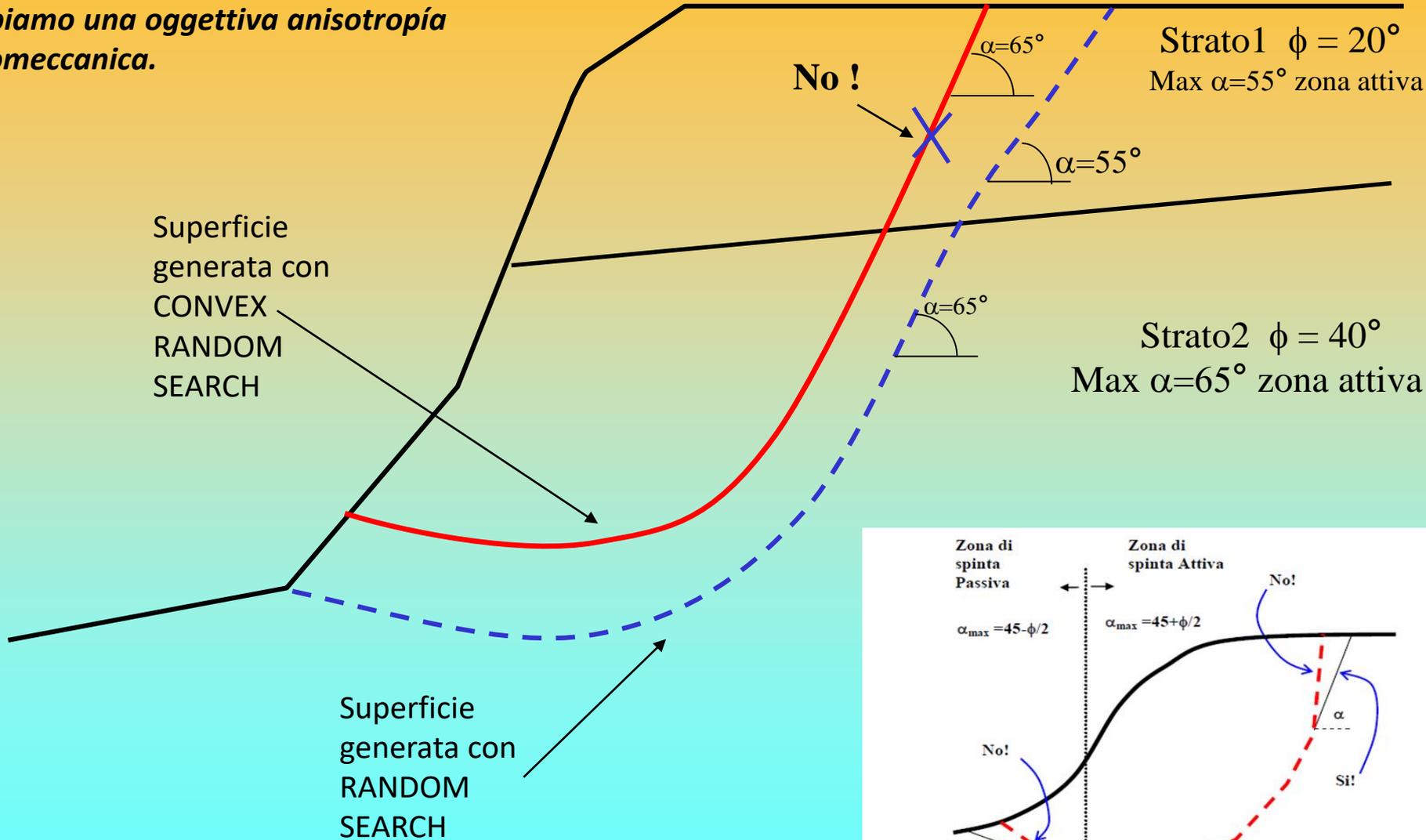
Studio e pratica su un esempio reale con tiranti e pali in rocce tenere (provincia di la spezia) :



Cartella ..\pendii\esempi corso base\ **gulf_star\sez-D**

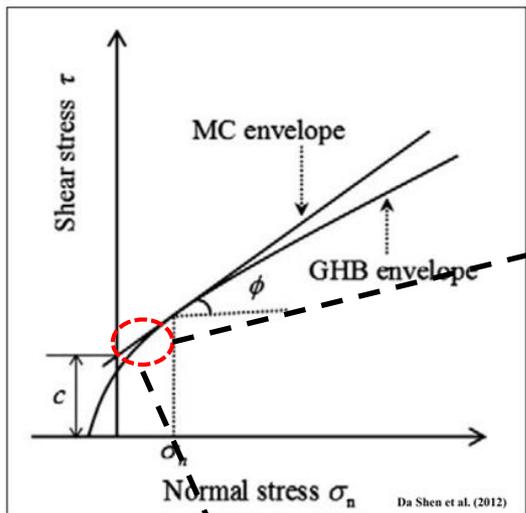
OSSERVAZIONI sui MOTORI DI RICERCA:

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



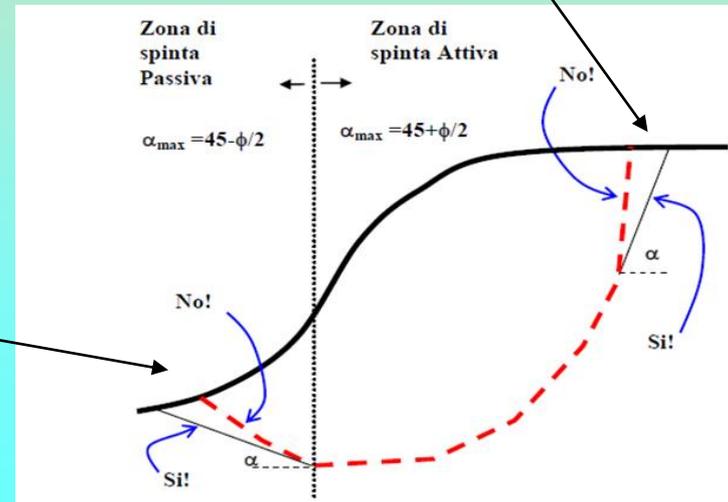
OSSERVAZIONI sui MOTORI DI RICERCA:

Caso di ammassi rocciosi e
criterio GHB



Superficie
RANDOM

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



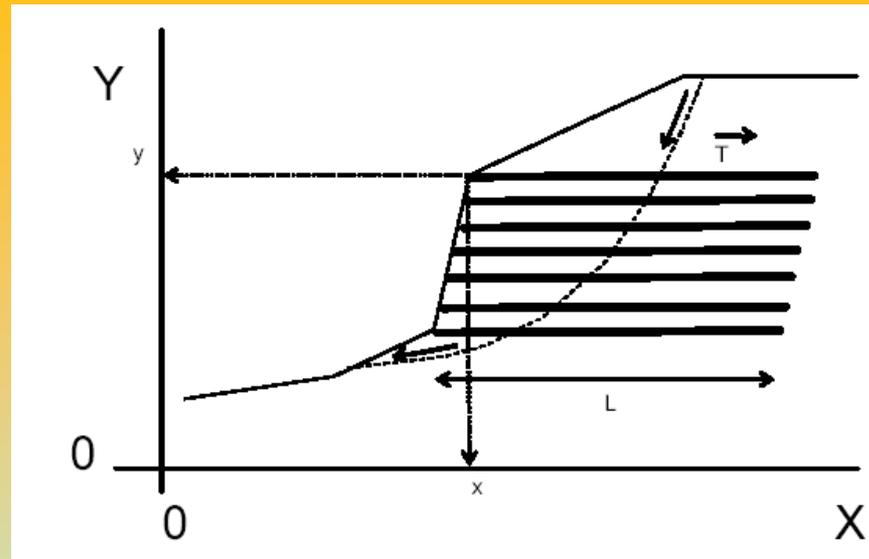
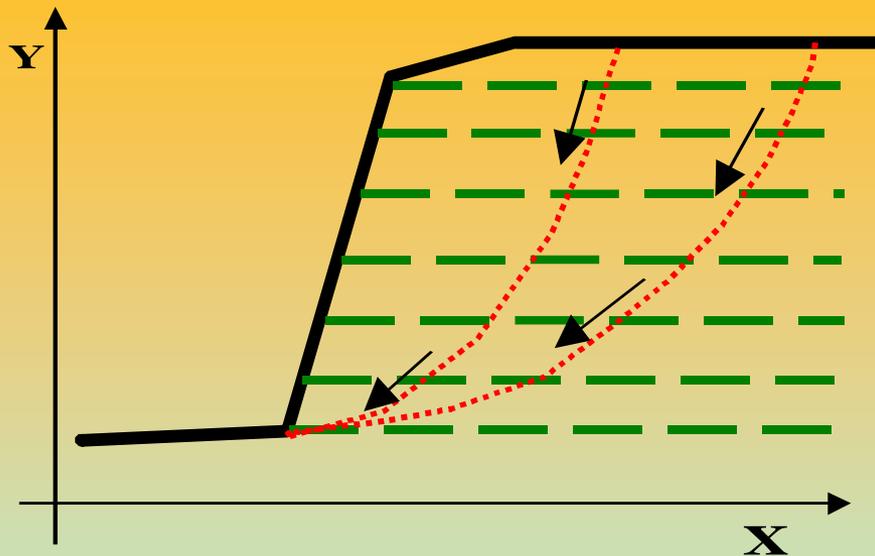
Geogriglie Geotessili E Terre armate

Le strutture in terra rinforzata sono correntemente utilizzate per la stabilizzazione di scarpate artificiali e rilevati..

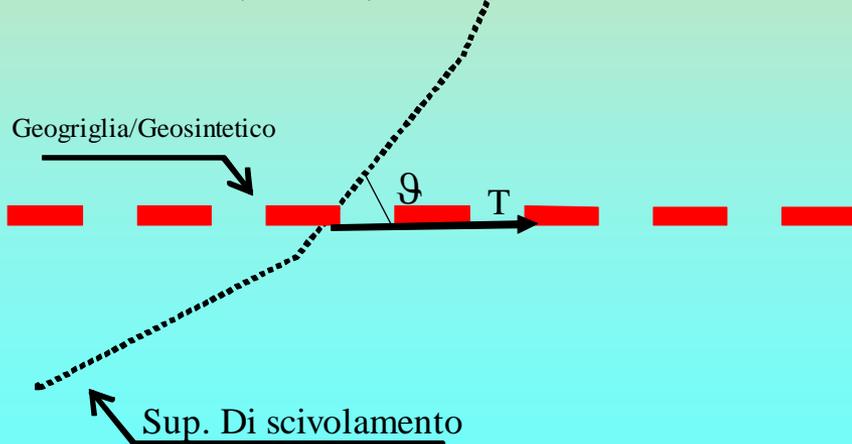
La stabilità complessiva di un pendio dove è presente un sistema di geogriglie deve essere effettuata tenendo conto della tensione o resistenza massima di progetto, della posizione, lunghezza di ciascuna delle geogriglie presenti e della interazione con le varie superfici di scivolamento possibili

La resistenza massima unitaria di progetto e la lunghezza di ogni geogriglia deve essere determinata mediante i correnti metodi di progettazione che tengono conto della stabilità interna dell'opera(collasso, superamento di resistenza delle armature, sfilamento ecc.). Vedasi a questo proposito: Jewell (1990,1991), Greenwood(1990), FHWA (1997).

geogriglie

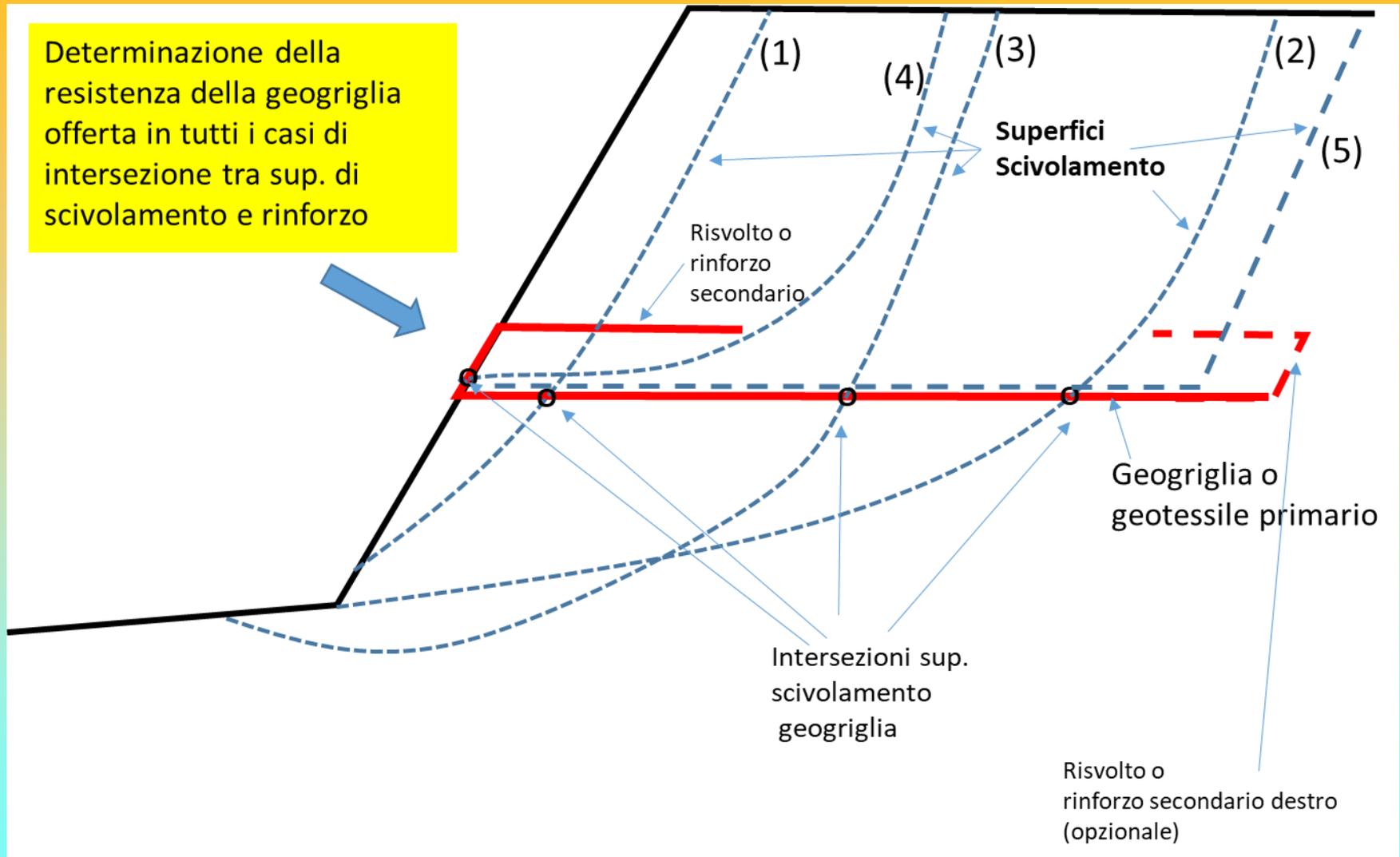


**Notazione introdotta e usata.
In SSAP 2003(rel 2.9)**



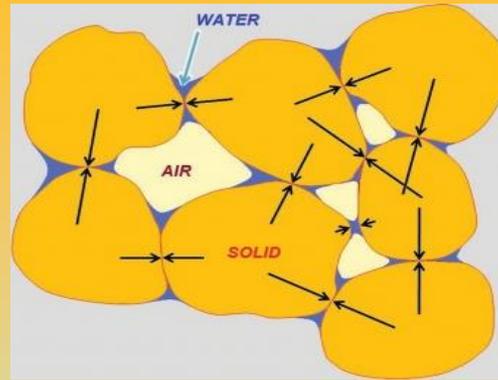
X	(in m)
y	(in m)
Lunghezza - L	(in m)
Res. Unit.	(in kN/m)
Trazione T	
Coeff. fb	(adimensionale)
Coeff α	(adimensionale)
Lunghezza risolto Lw	(in m)

Geogriglie/Geotessili e Terre armate



In un sistema di terre armate, 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)



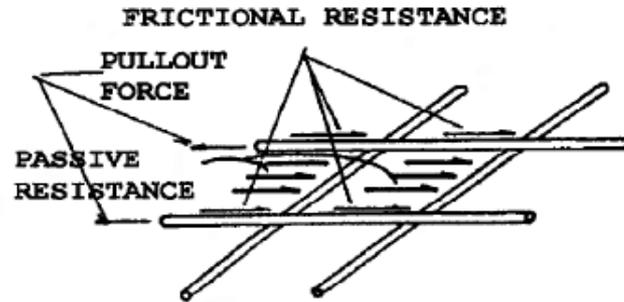
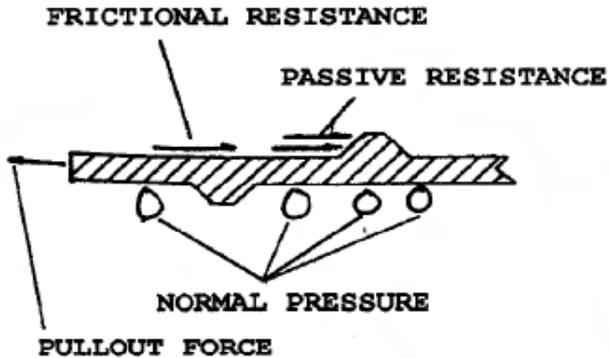
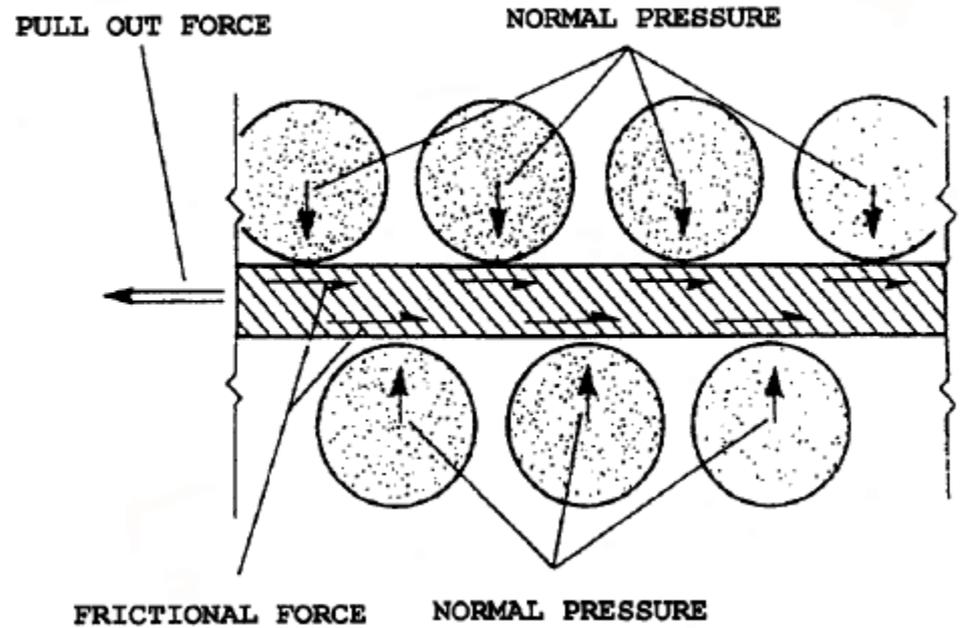
“.. Non ci si deve meravigliare che alcuni ingegneri geotecnici considerano la coesione come “l’invenzione del diavolo” (es. Un poco di coesione rende stabile anche un pendio sabbioso a forte pendenza). Affidandosi però a questo concetto sbagliato si può arrivare al disastro..“

“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

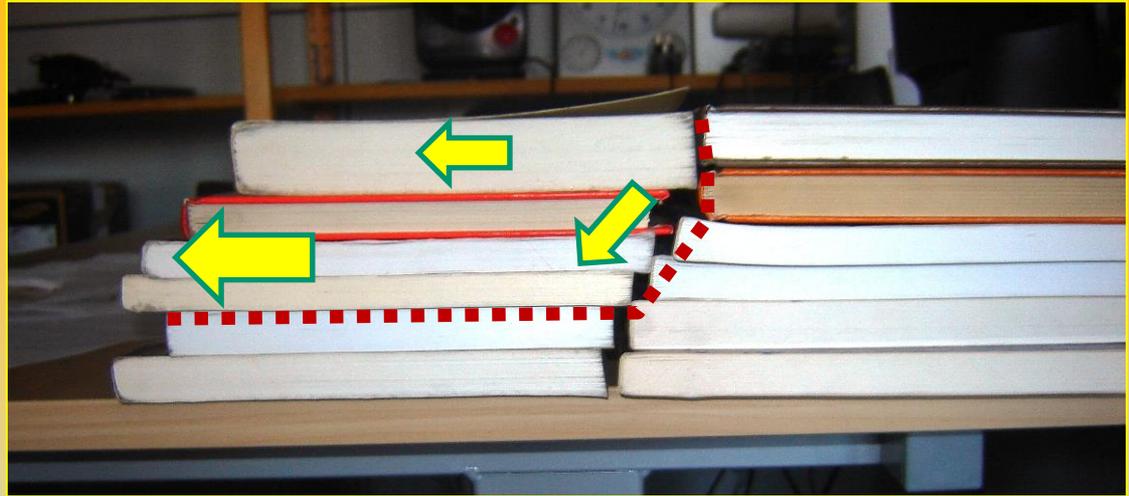
Resistenza allo sfilamento del geotessile (pullout)

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

Protezione superficie esterna da erosione e progetto contenimento

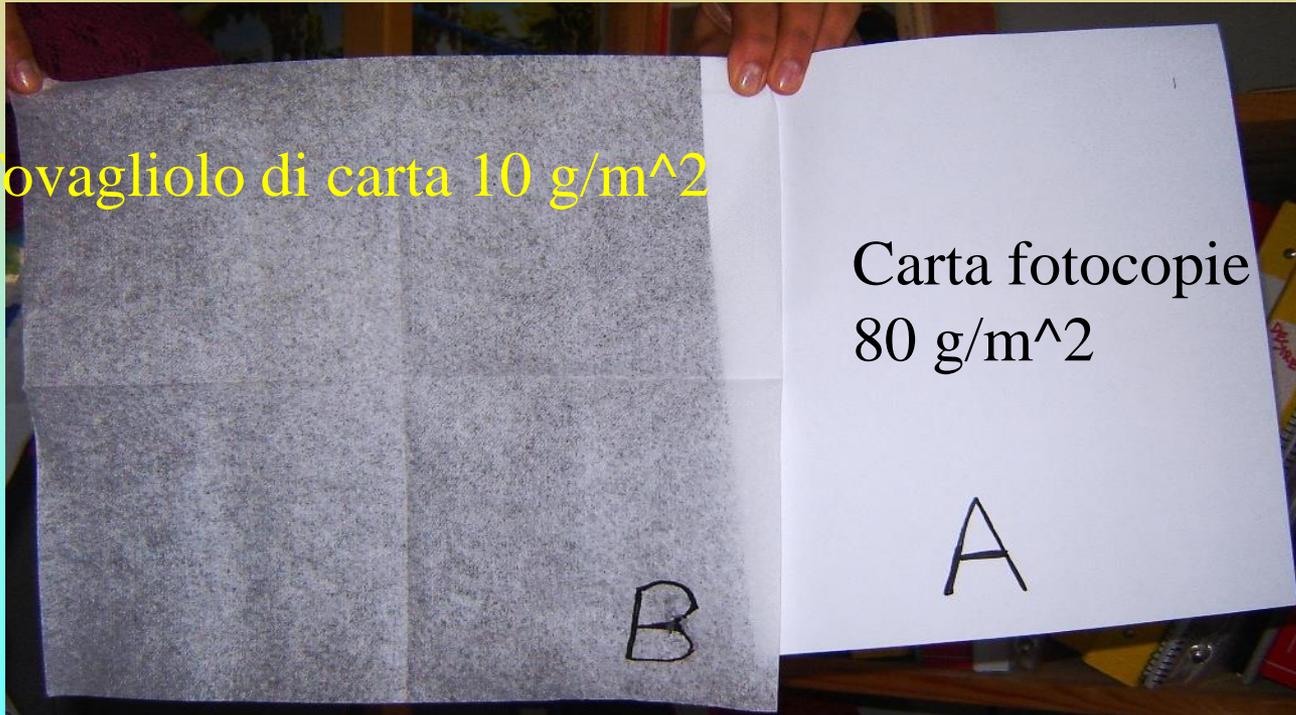
Geometria opera e progetto sistema dei rinforzi e paramento

**Cenni dei Principi fisici
di interazione tra
terreno e armature:
simulazione effetti
geotessile**



Pseudo pendio

Tovagliolo di carta 10 g/m²

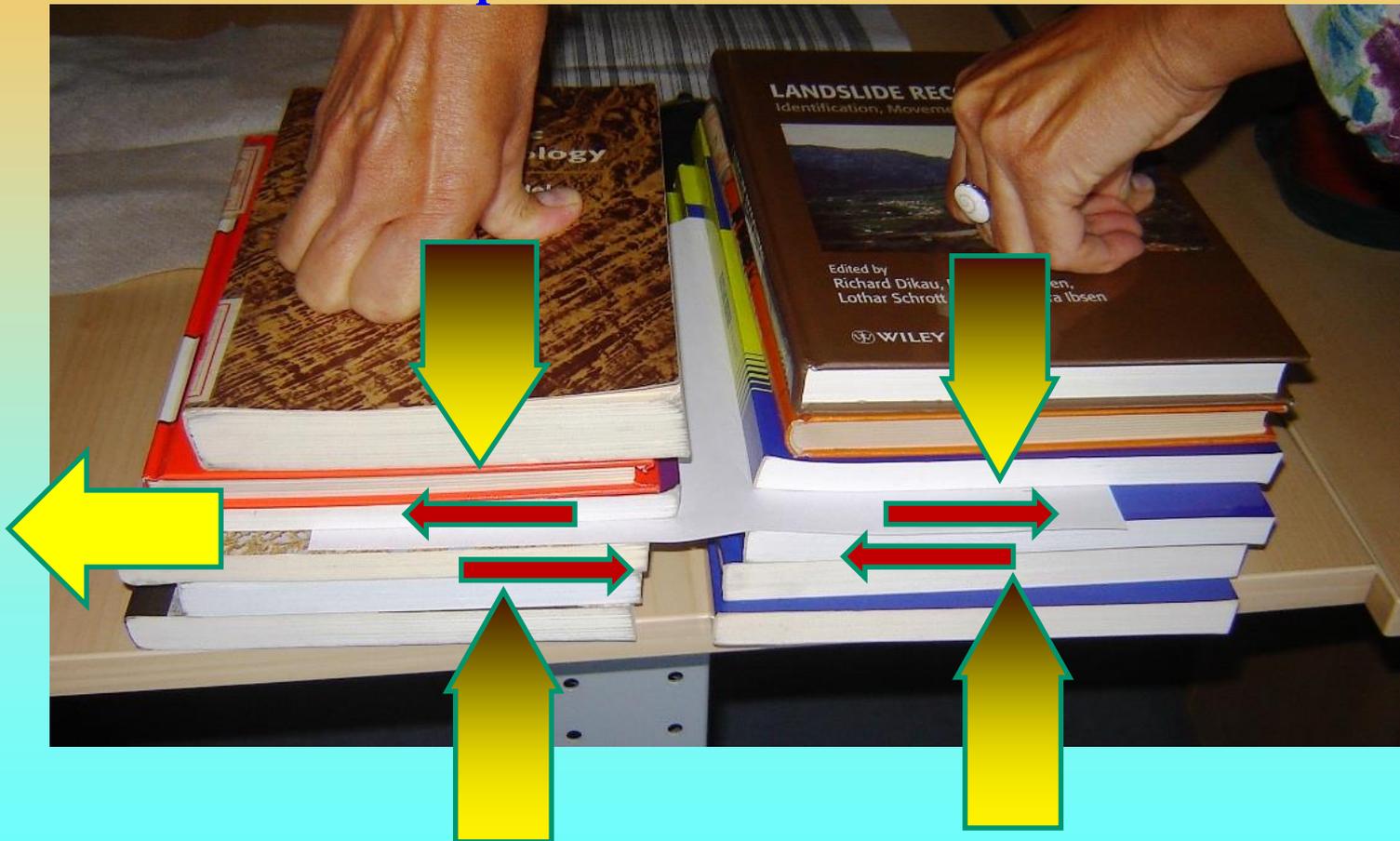


Carta fotocopie
80 g/m²

Pseudo
Geotessili

Cenni Principi fisici di interazione terreno e armature – simulazione effetti geotessile

Stato tensionale e res. al taglio terreno geotessile
Che contrastano la spinta attiva



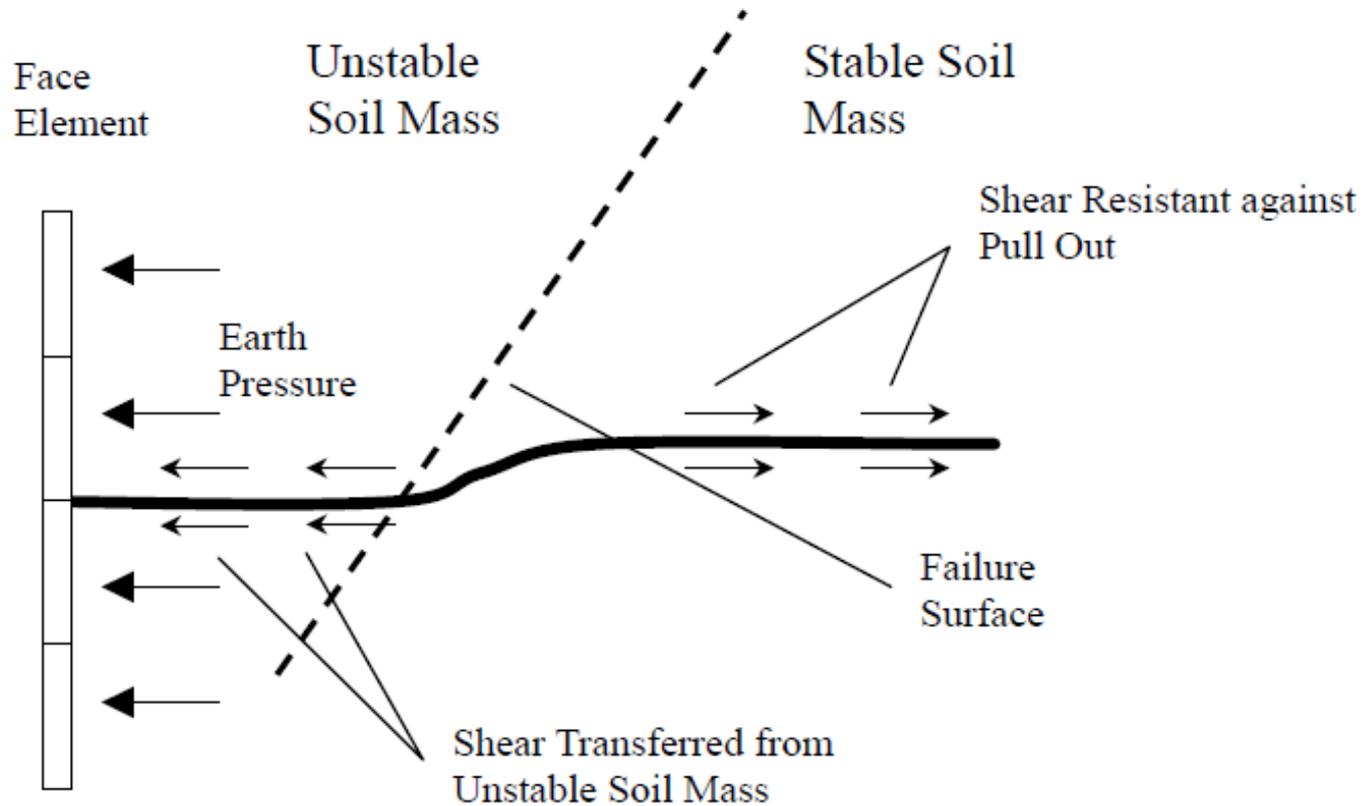
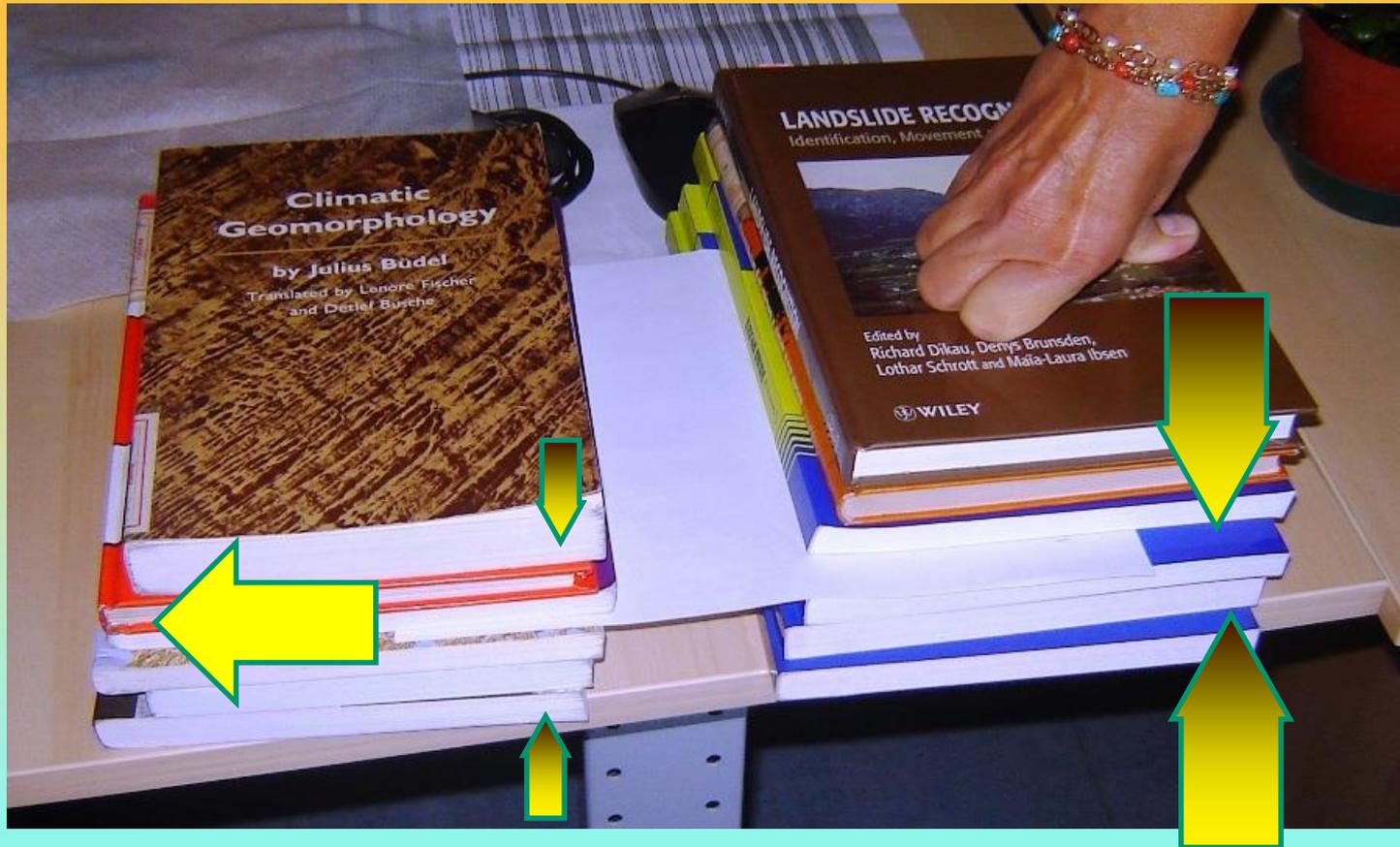


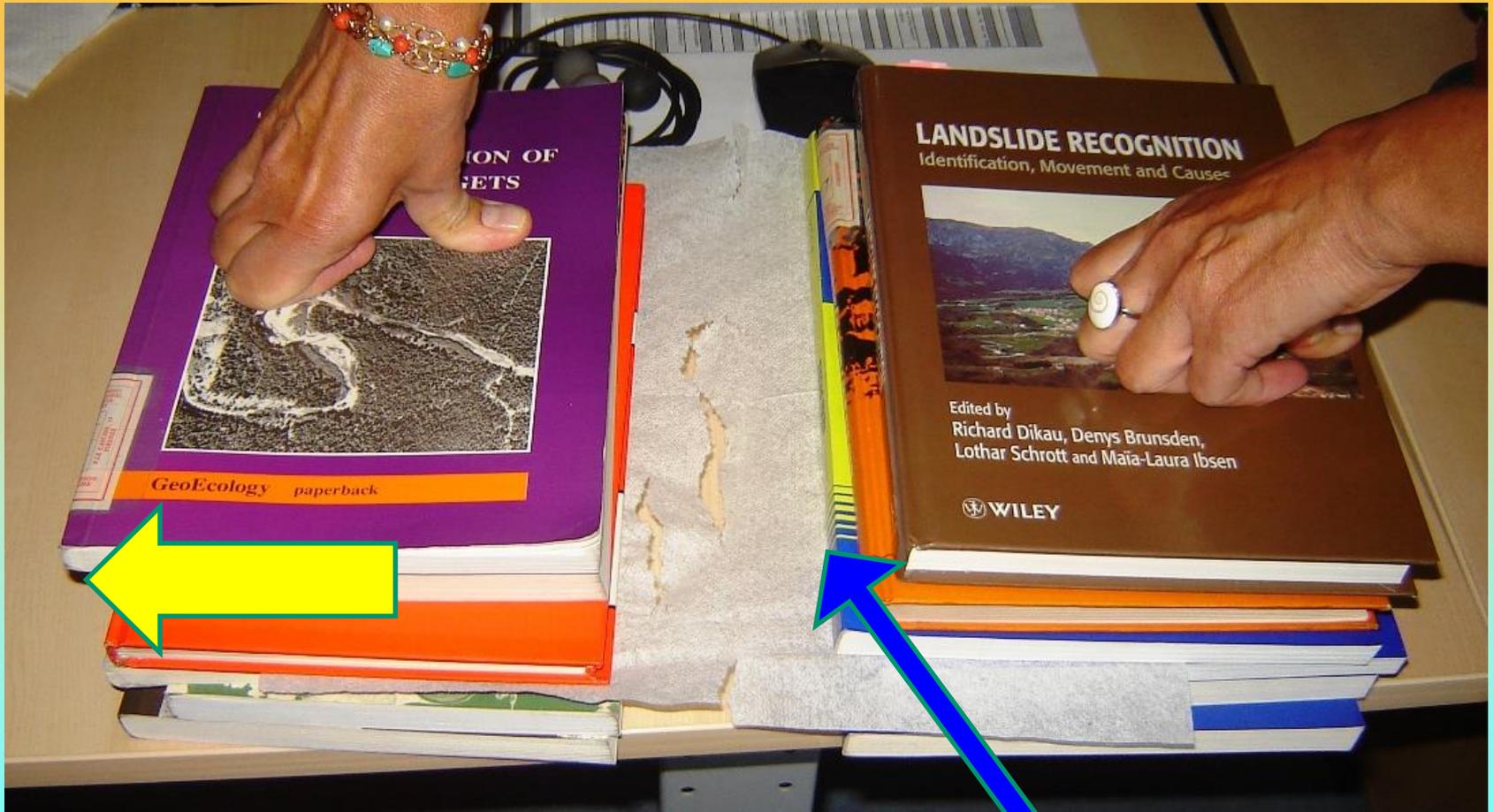
Figure 2.3.1 Reinforcing mechanism of reinforced soil retaining structures (after Huasman, 1990).

Instabilità per sfilamento (pullout)



La resistenza tensionale del geotessile è adeguata ma la resistenza allo sfilamento no..!! (scarso attrito dovuto a terreno, pressione di confinamento o tipo di geotessile .. o tutti e tre)

Rottura o deformazione eccessiva geotessile



La resistenza tensionale del geotessile NON è adeguata. È inferiore a quella richiesta anche se la resistenza allo sfilamento sarebbe sufficiente

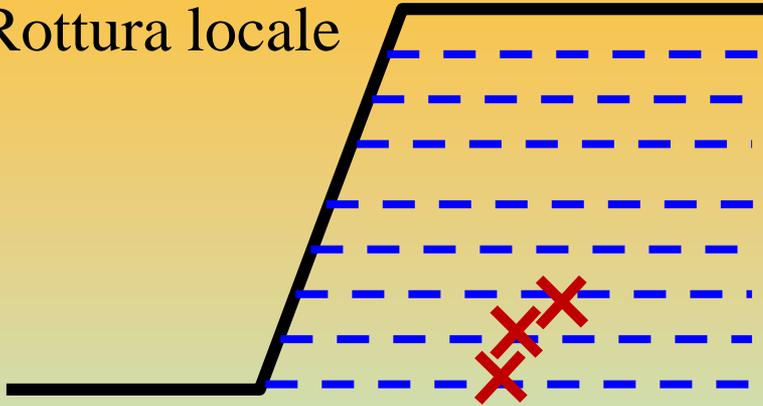
Sistema adeguato di rinforzi (spaziatura, resistenza, lunghezza , risvolti)



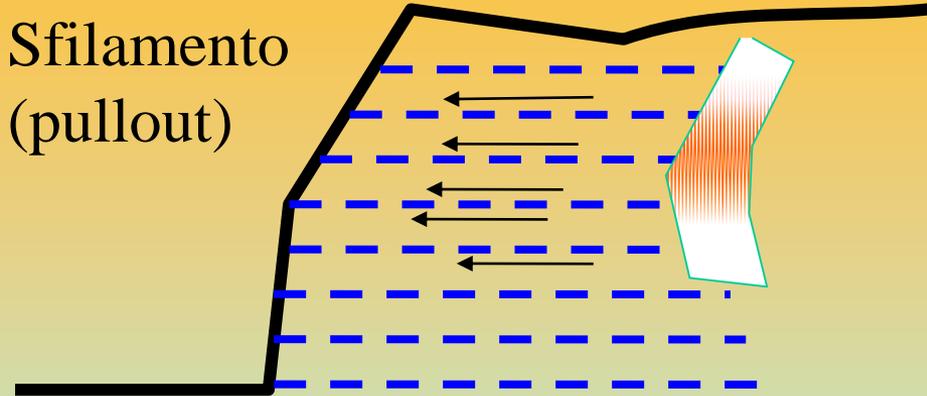
L'unione fa la forza ... ma solo se il tutto è ben progettato....

Processi di rottura e collasso in terre armate

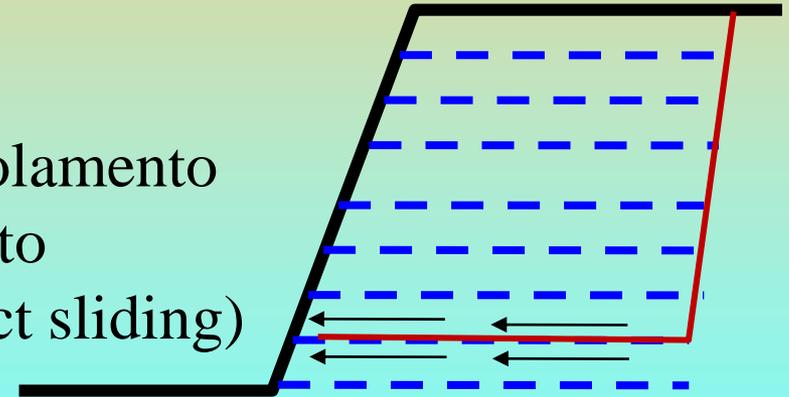
Rottura locale



Sfilamento
(pullout)



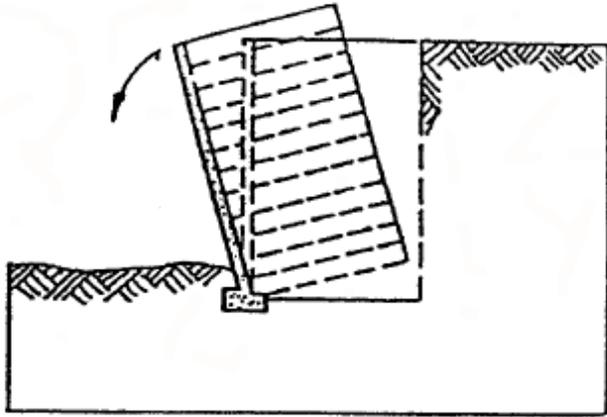
Scivolamento
Diretto
(direct sliding)



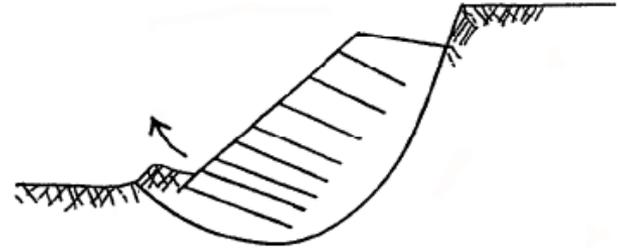
Verifiche stabilità interna

(sfilamento, rottura dei rinforzi, scivolamento diretto)

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

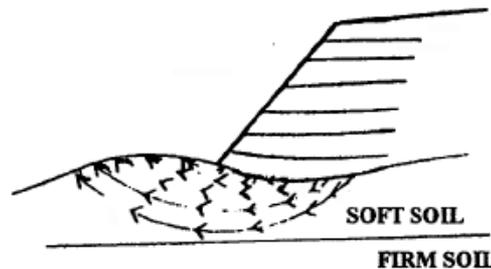


(b) Overturning (eccentricity)

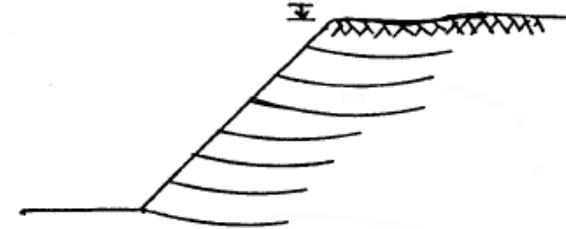


B) DEEP SEATED OVERALL INSTABILITY

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

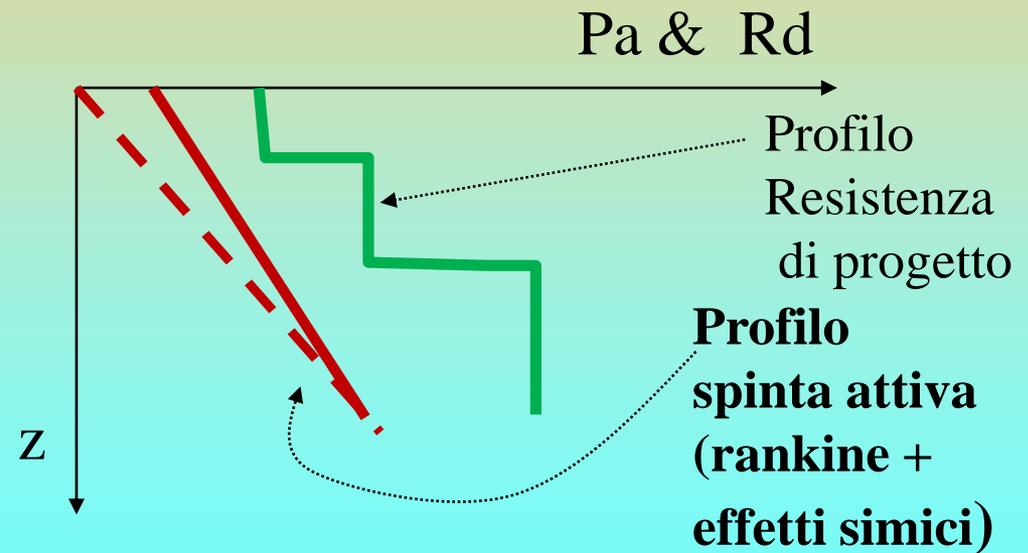
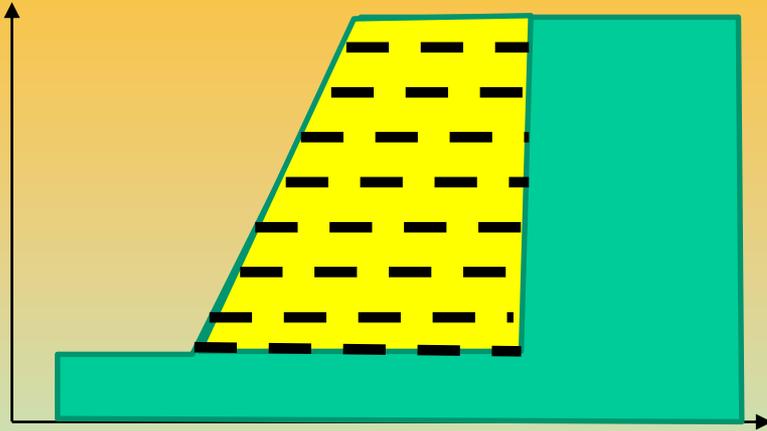


C) LOCAL BEARING CAPACITY
(LATERAL SQUEEZE) FAILURE



D) EXCESSIVE SETTLEMENT

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

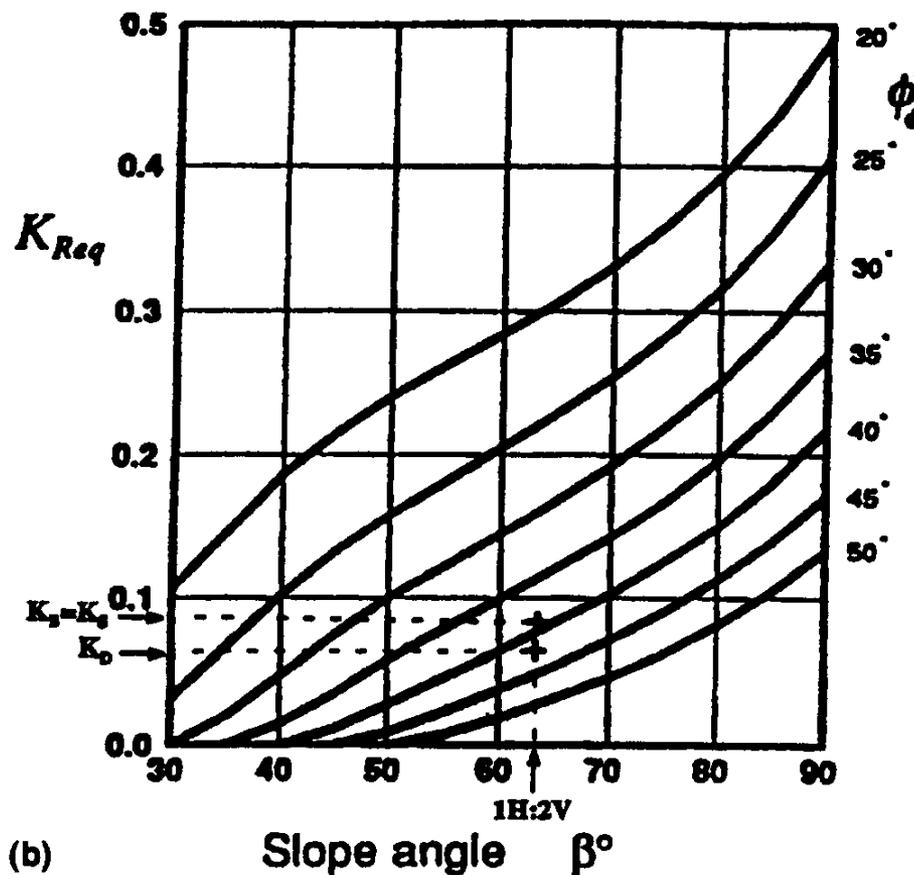


Terre armate e verifiche di stabilità globale del sistema opera-pendio: criteri e procedure di analisi, trappole frequenti e scelta software

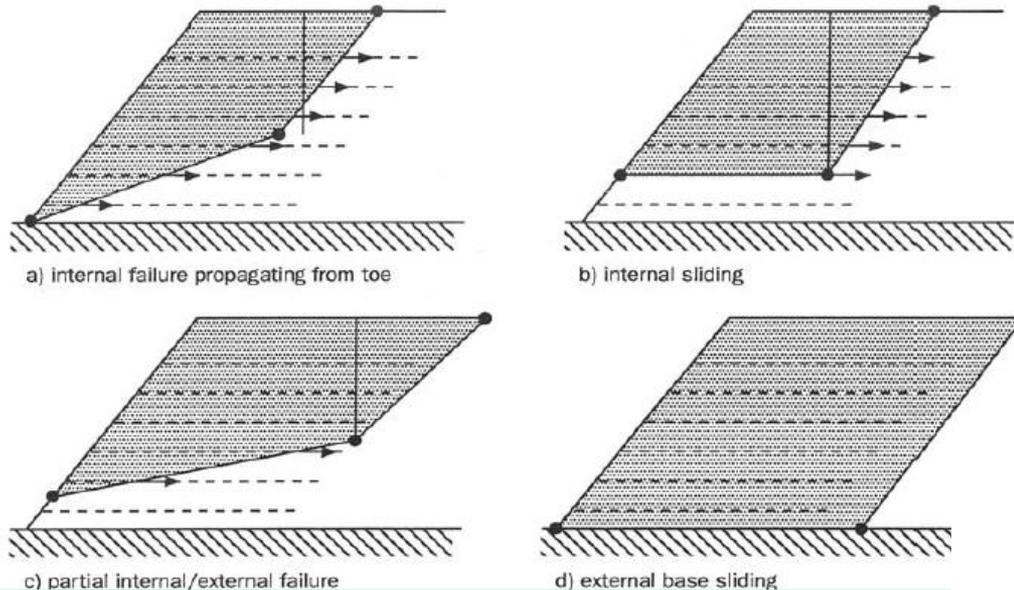
Abachi e nomogrammi
Per la progettazione
e valutazione della
resistenza di progetto
che il sistema di
rinforzi globalmente
deve offrire.

Resist. alla spinta attiva,
Resistenza allo sfilamento
Direct sliding,
Capacità portante....

È sufficiente un foglio
elettronico .. Ma ci sono programmi specifici



Terre armate e verifiche di stabilità globale del sistema opera-pendio: criteri e procedure di analisi, trappole frequenti e scelta software



**Verifiche di stabilità interna
All'equilibrio limite**

**Sist. 2 concii e
Equilibrio dei momenti**

**Vengono usati per il
dimensionamento
E verifica stabilità interna**

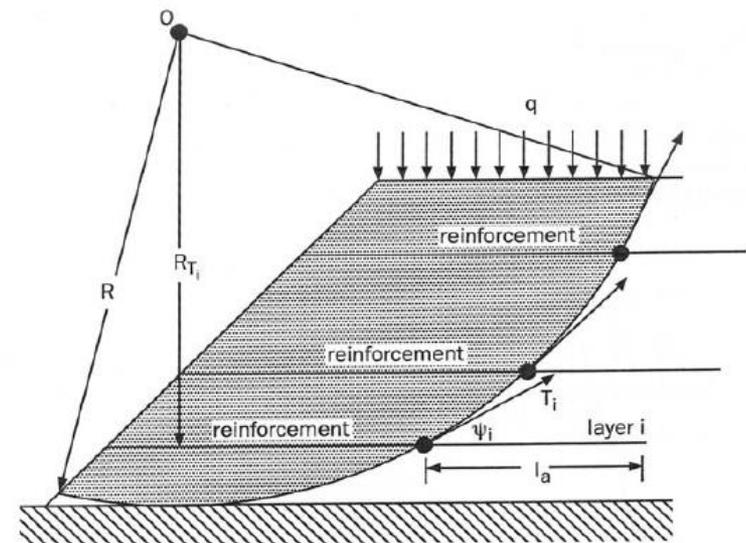
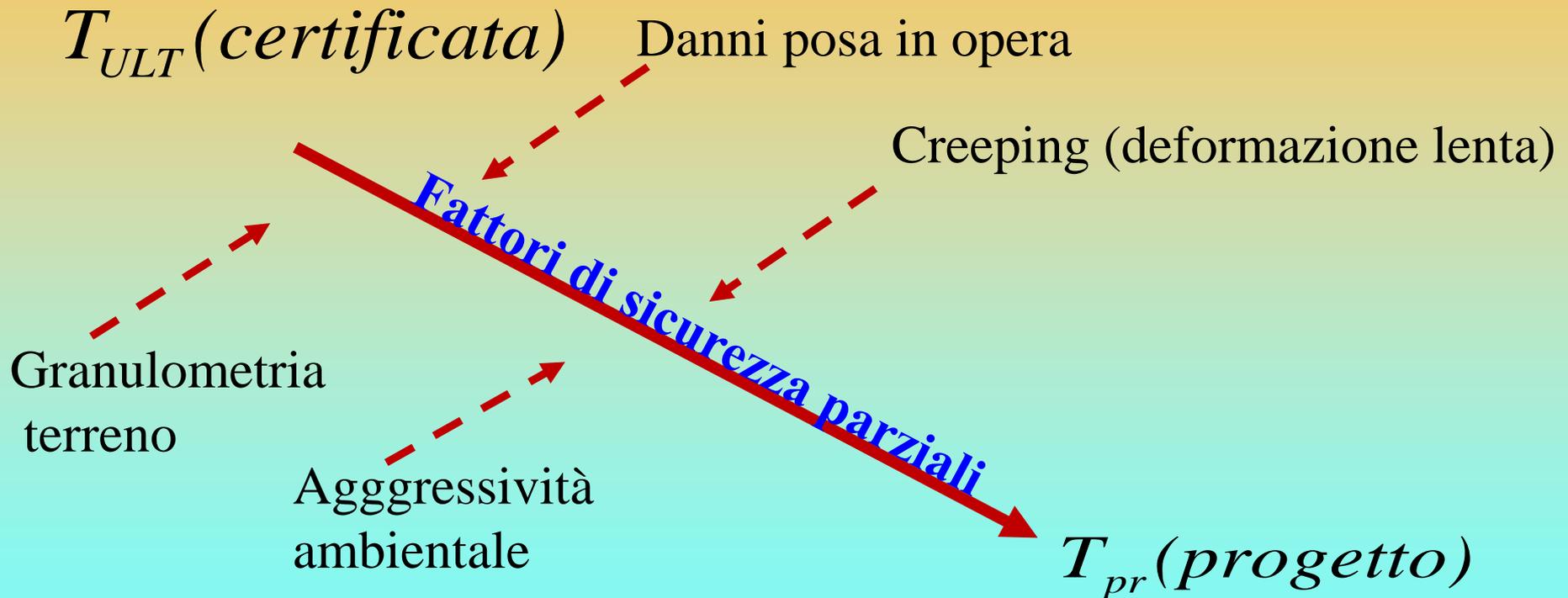


Figure 7: Circular Slip Analysis and Method of Slices for Reinforced Slope

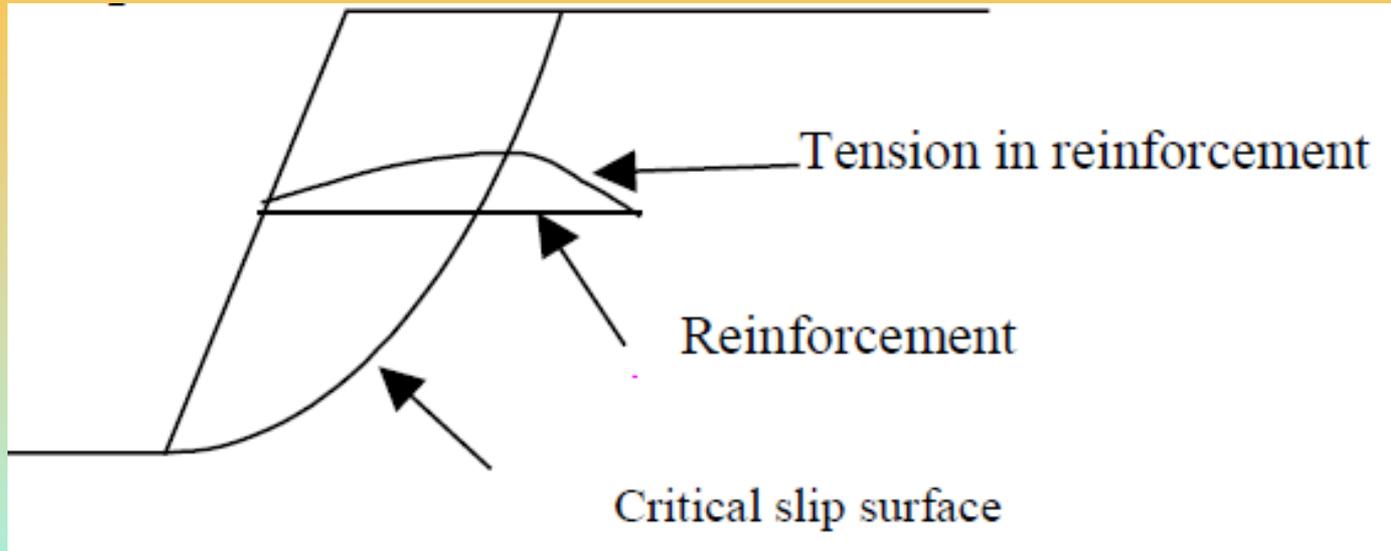
Cenni sui criteri di progettazione e verifica di stabilità interna di una TA

La Resistenza tensionale ultima T_{ult} e di progetto T_{pr} di un geotessile (in kN/m)



$$T_{ULT} \gg T_{pr}$$

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

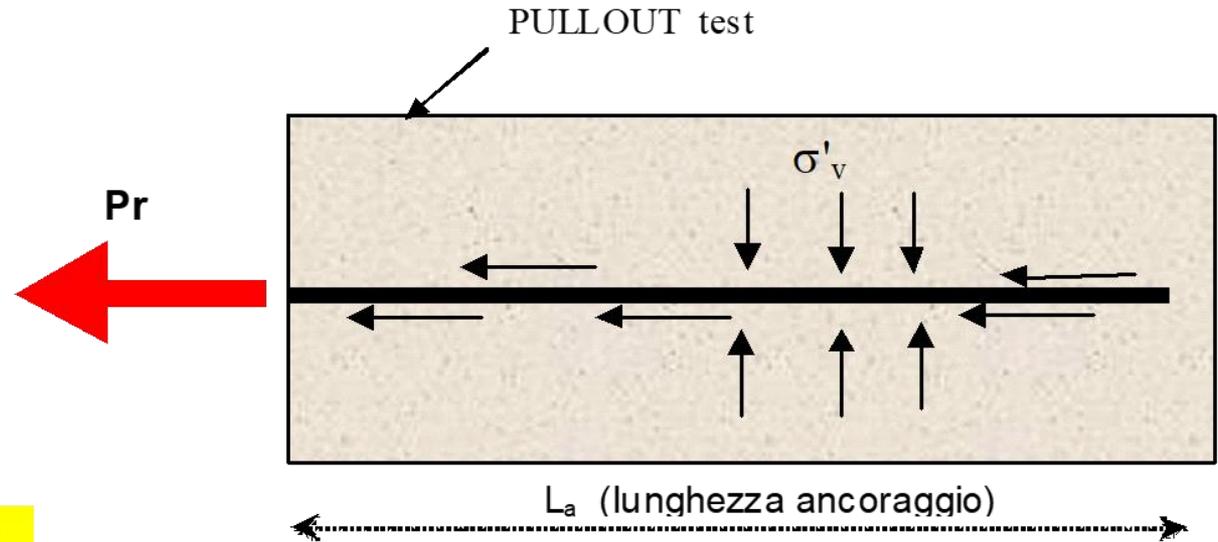
La tensione di resistenza al pullout.

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.

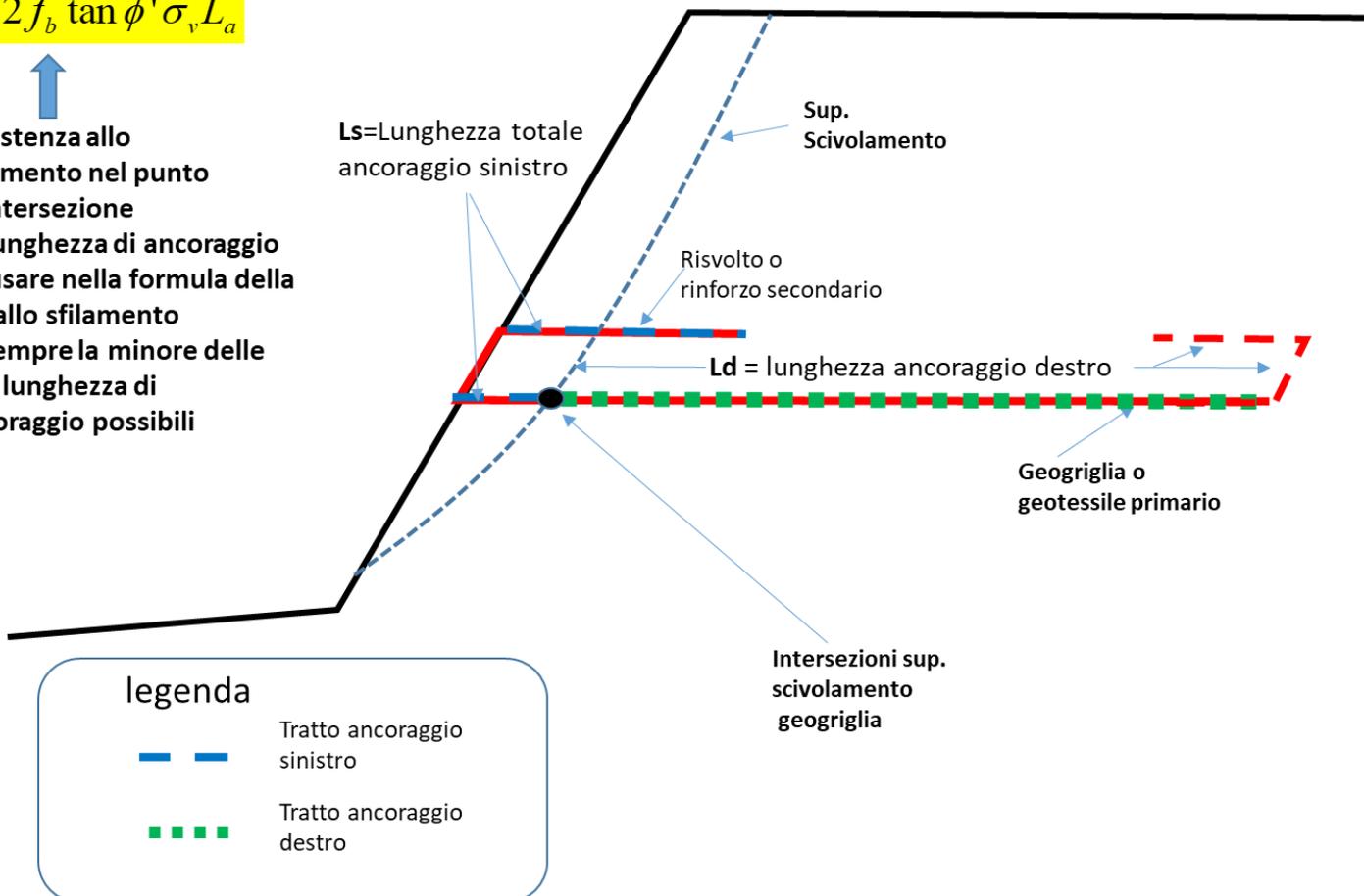
Per ogni geogriglia/geosintetico viene quindi assunto come parametro di resistenza del singolo rinforzo il valore MINIMO tra T e P_r

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

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

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

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



$$T_p = \eta T \sin(90 - \beta) \quad (2.16)$$

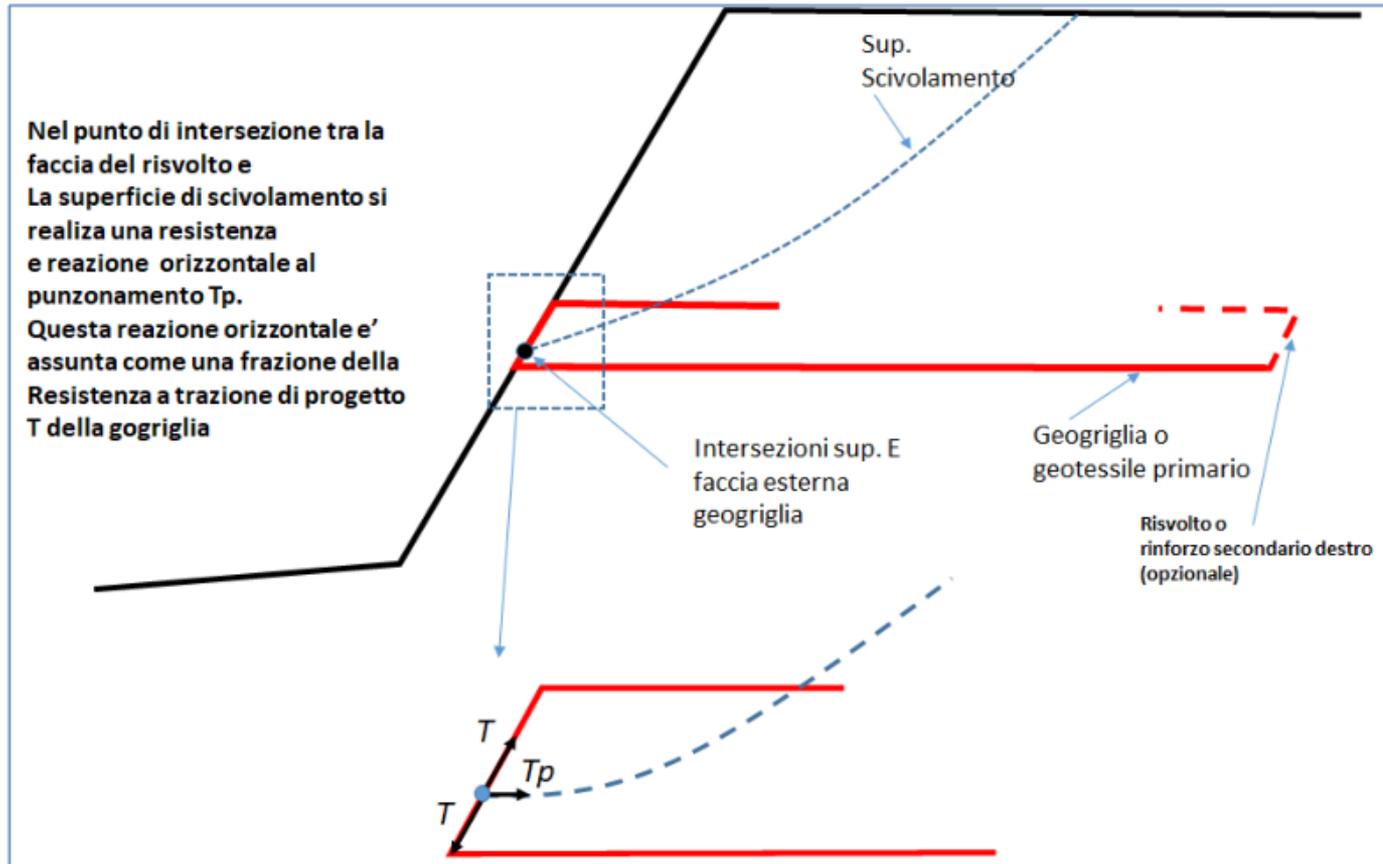
Dove:

T_p = reazione orizzontale al 'funzionamento (kN/m)

T = resistenza a trazione di progetto della geogriglia (kN/m)

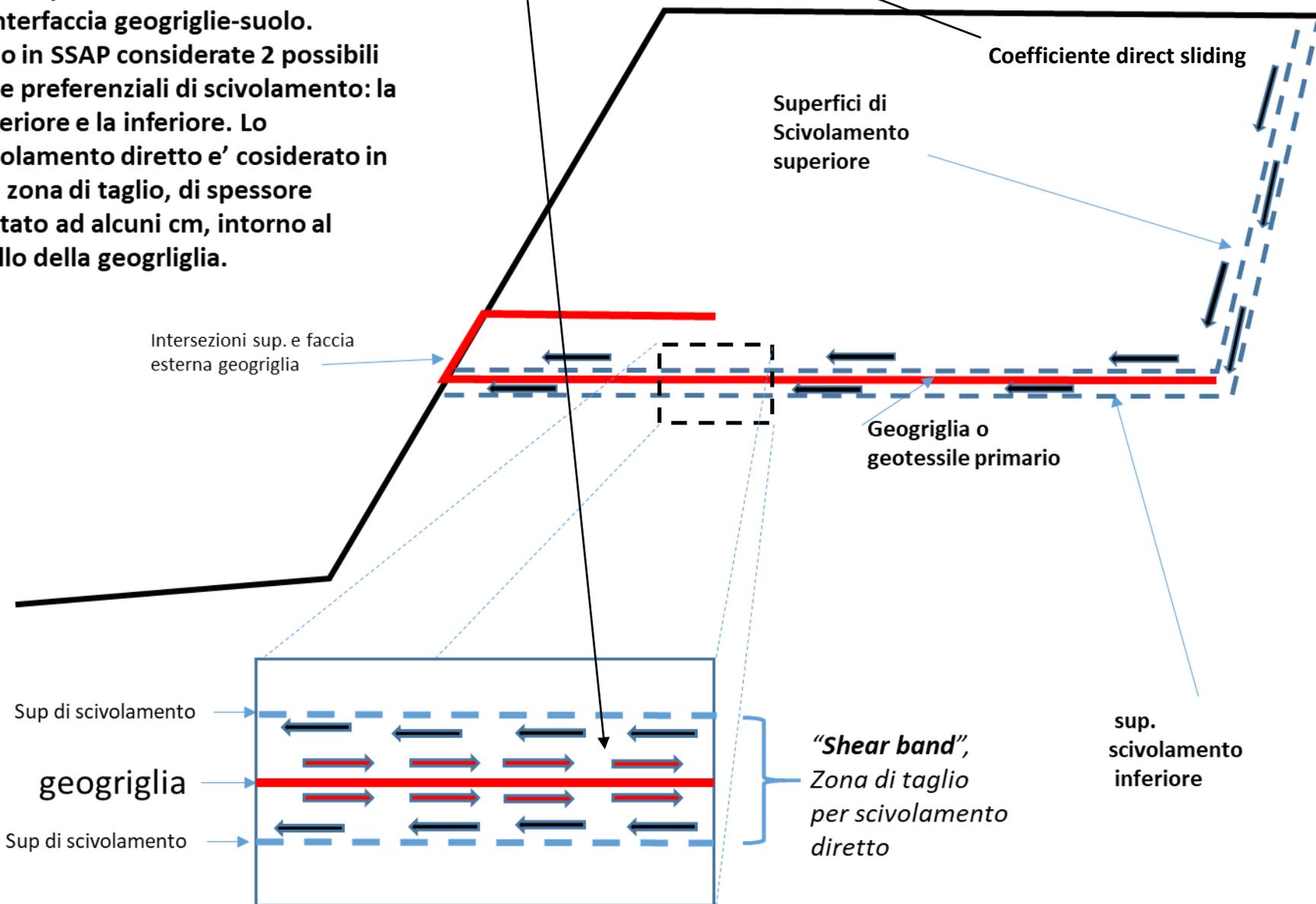
η = coefficiente riduttivo della resistenza a trazione (adimensionale). Generalmente compreso tra 0- e 0.25, pero per ragioni di sicurezza si puo considerare un valore cautelativo compreso tra 0.05 e 0.1. questo valore è uguale a 0 nel caso di assenza di risvolto sinistro.

β = angolo di pendenza della superficie esterna locale della faccia con risvolto, (in gradi)



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

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.



La stima dei parametri f_b e f_{ds} , secondo Jewell(1990,1996), puo essere fatta con le seguenti equazioni:

$$f_{ds} = \alpha_s f_{sf} + (1 - \alpha_s) \quad (2.19)$$

dove:

α_s = Porzione della superficie di scivolamento che e' sulla geogriglia. Usualmente fornita dai produttori di geosintetici. (vedi figura 2.22)

f_{sf} = coefficiente di frizione tra geogriglia e suolo (*skin friction coefficient*), usualmente assunto con un valore tra 0.6 e 0.7, ai fini della sicurezza.

La stima di f_{ds} puo' essere quindi effettuata con il nomogramma mostrato nella figura 2.23.

La stima di f_b (*bond coefficient*) viene usualmente fatta con la seguente equazione di Jewell(1990):

$$f_b = \alpha_s f_{sf} + \frac{\sigma'_b}{\sigma'_n} \alpha_b \frac{B}{2S} \frac{1}{\tan \phi'} \quad (2.20)$$

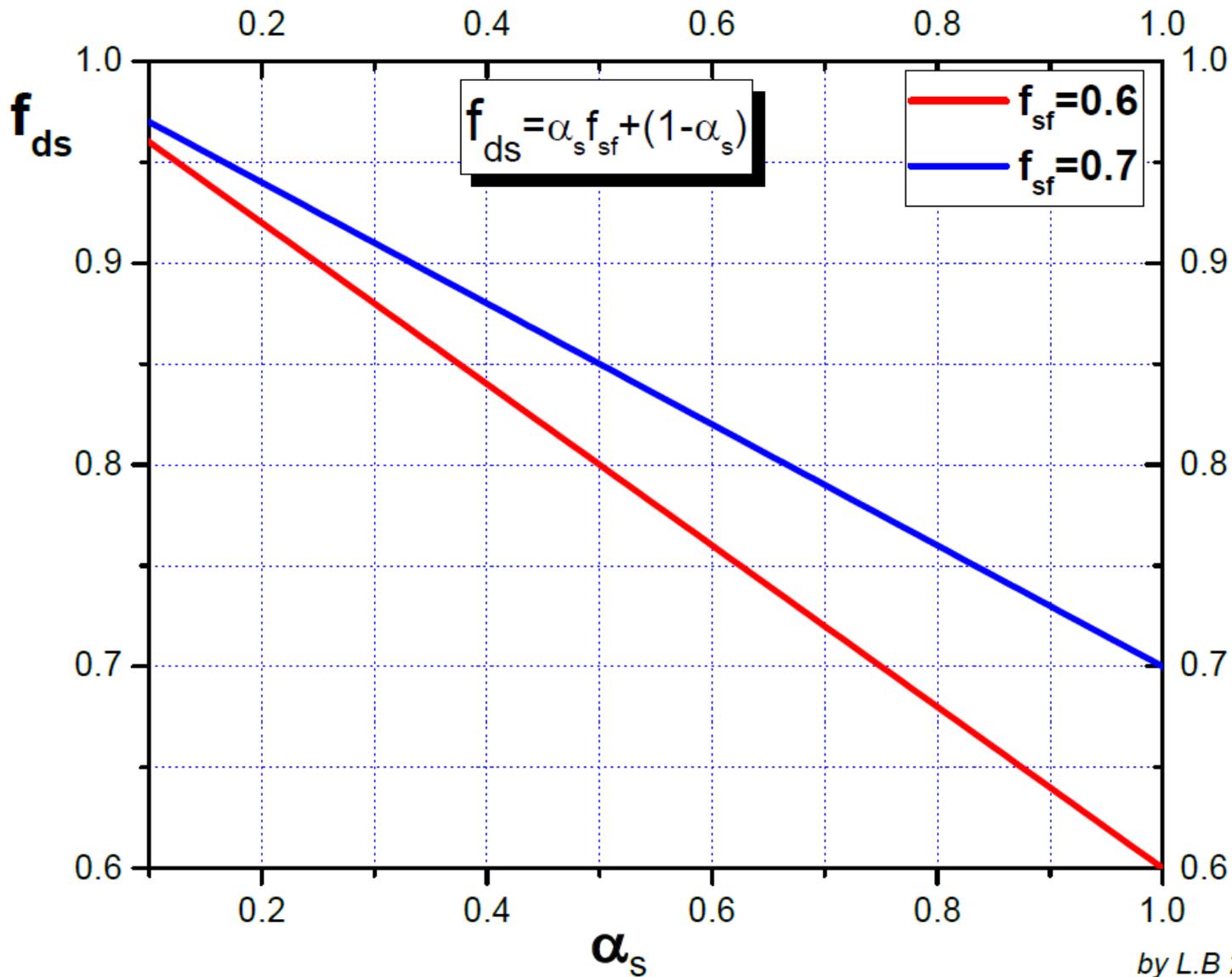
esempio di tabella di riferimento per di questi parametri, fornita da un noto produttore di geosintetico a livello internazionale, relativi a differenti tipi di prodotti. **(N.B.: si omette volontariamente il nome del produttore).**

Grade	$\alpha_s^{(1)}$	Ratio of bearing ⁽²⁾ surface to plan area $\alpha_b \times B/2S$
R 200/30-25 MPT	0.38	0.023
R 400/50-30 MPT	0.43	0.024
R 600/50-30 MPT	0.52	0.017
R 800/100-30 MPT	0.56	0.020
R 1100/100-30 MPT	0.77	0.011
R 1200/100-30 MPT	0.82	0.010
R 1400/100-30 MPT	0.88	0.007
R 1500/100-30 MPT	0.89	0.007

(1) α_s is the proportion of the plane sliding area that is solid and is required for the calculation of the bond coefficient (f_b) and the direct sliding coefficient (f_{ds}) (see sections 6.10 and 6.14).

(2) The ratio is required to calculate the bond coefficient in accordance with CIRIA SP123 : 1996 (see section 6.14):

- α_b is the proportion of the grid width available for bearing
- B is the thickness of a transverse member of a grid taking bearing
- S is the spacing between transverse members taking bearing.



by L.B 2019

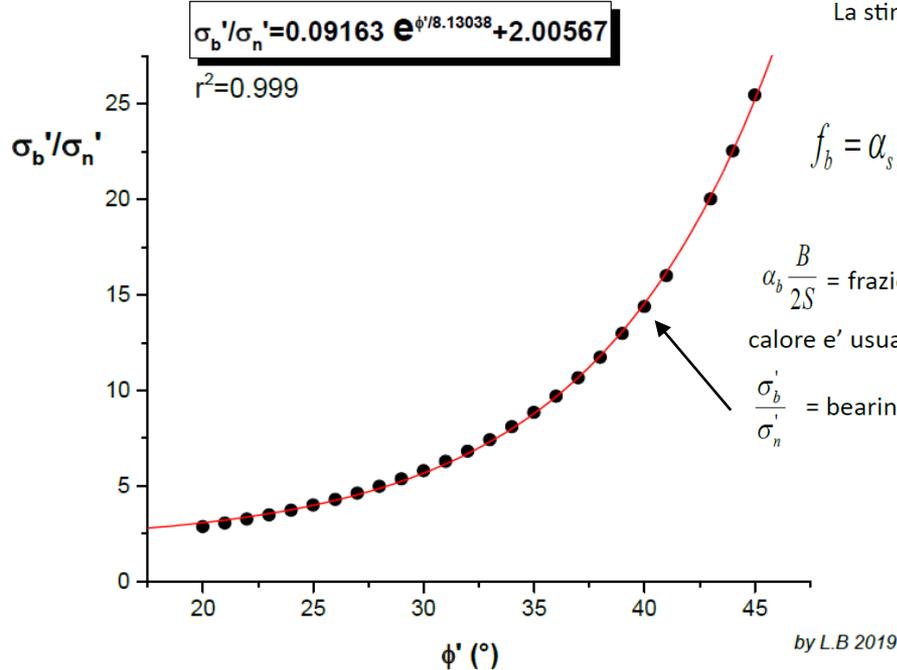
from Jewel R.A. 1996. CIRIA SP123 : Soil Reinforcement with Geotextiles.

La stima di f_b (*bond coefficient*) viene usualmente fatta con la seguente equazione di Jewell(1990):

$$f_b = \alpha_s f_{sf} + \frac{\sigma'_b}{\sigma'_n} \alpha_b \frac{B}{2S} \frac{1}{\tan \phi'} \quad (2.20)$$

$\alpha_b \frac{B}{2S}$ = frazione della superficie della griglia dove agisce la resistenza passiva allo sfilamento. Questo valore e' usualmente fornito dai produttori del Geotessile (vedi fig. 2.22)

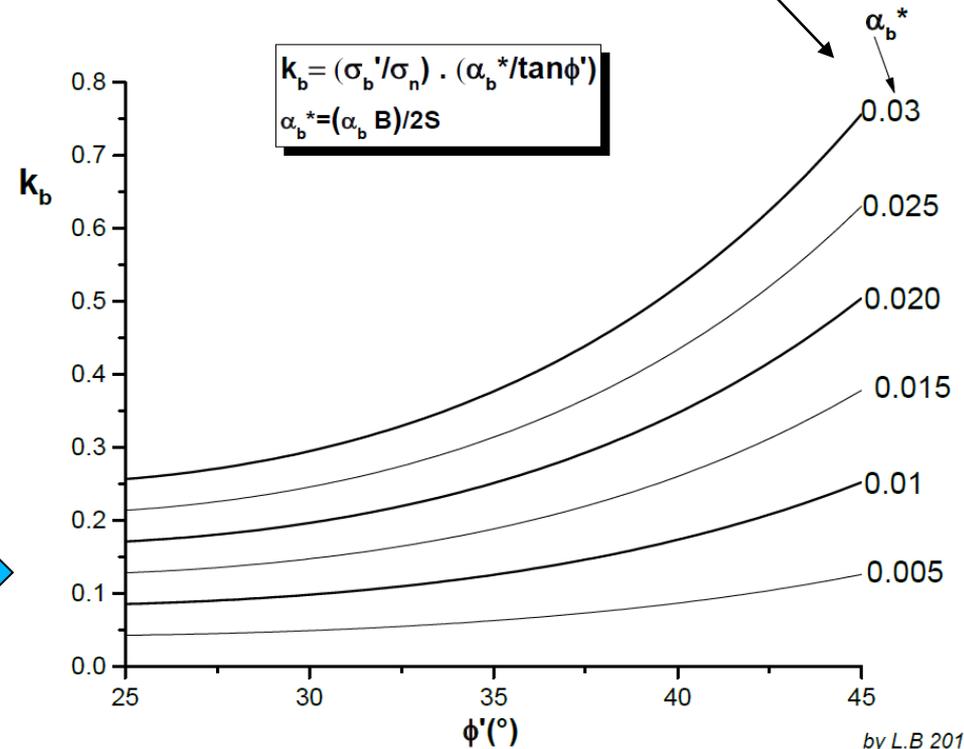
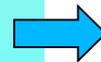
$\frac{\sigma'_b}{\sigma'_n}$ = bearing stress ratio.



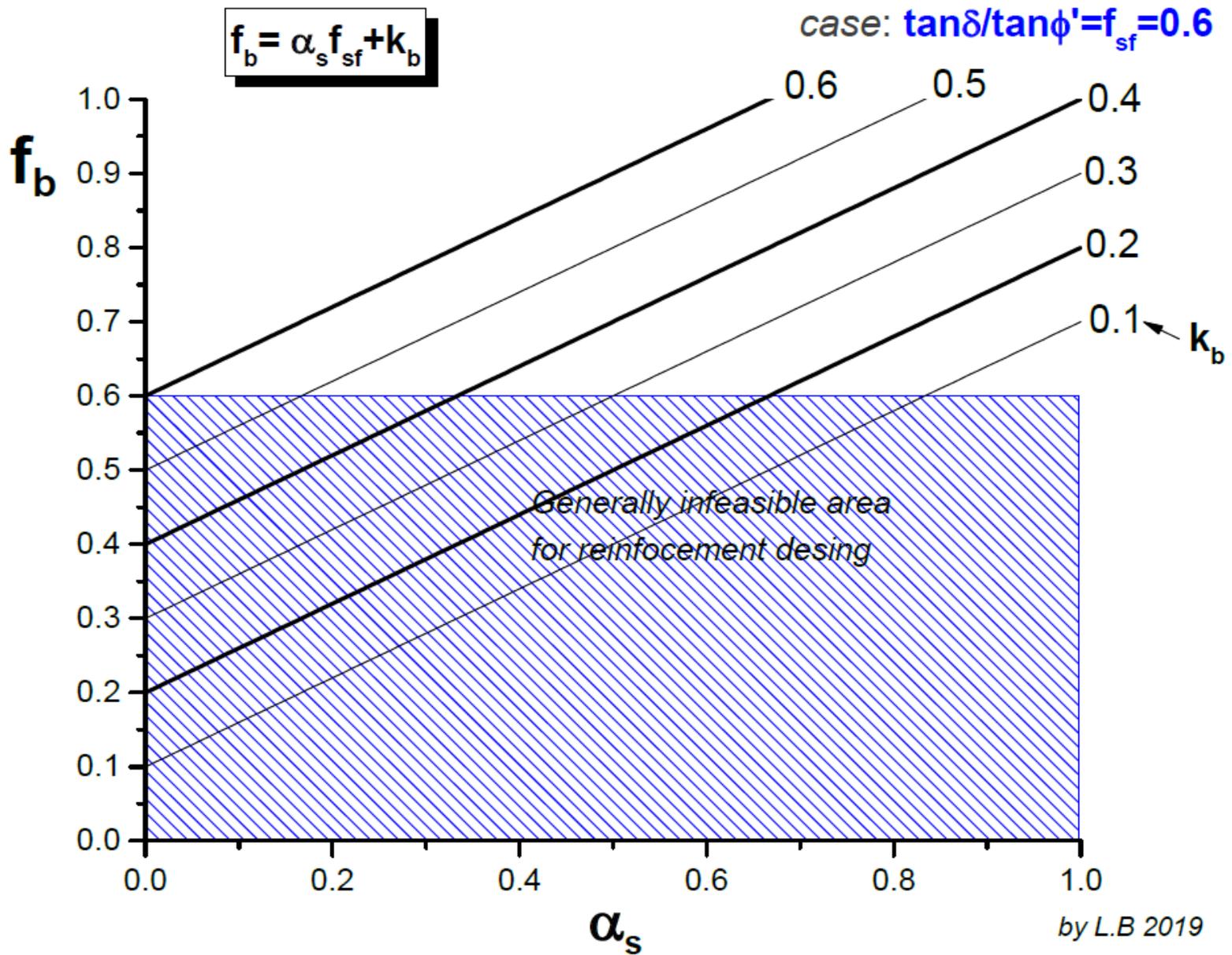
data from table 4.1 in: Jewel R.A. 1996. CIRIA SP123 : Soil Reinforcement with Geotextiles.

$$f_b = \alpha_s f_{sf} + k_b$$

$$k_b = \frac{\sigma'_b}{\sigma'_n} \alpha_b \frac{B}{2S} \frac{1}{\tan \phi'}$$



from Jewel R.A. 1996. CIRIA SP123 : Soil Reinforcement with Geotextiles.



from Jewel R.A. 1996. CIRIA SP123 : Soil Reinforcement with Geotextiles.

Campo dei valori
dei coefficienti di
intenterazione
terreno/geosintetici



Biaxial geogrid

Triaxial geogrid

Uniaxial geogrid

Geogriglie

$$f_b=0.8-1.0$$

$$f_{ds}=0.75-1.0$$

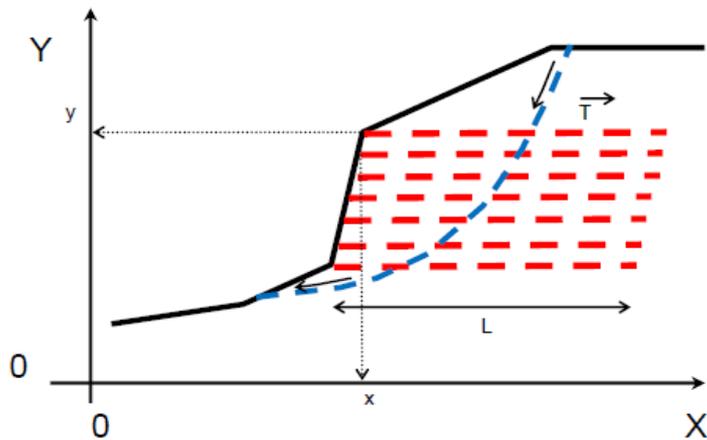


Geotessili

$$f_b=0.6-0.8$$

$$f_{ds}=0.6-0.7$$

Modello del pendio - Geogriglie/Geosintetici - files .GRD



X	(in m)
y	(in m)
Lunghezza - L	(in m)
Res. Unit. Trazione T	(in kN/m)
Coeff. f_b	(adimensionale)
Coeff f_{ds}	(adimensionale)
Lunghezza risolto sinistro Lws	(in m)
Lunghezza risolto destro Lwd	(in m)
Coeff η	(adimensionale)

35	25	8	50	0.8	0.8	1.5	0	0.1
36	26	5	50	0.9	0.8	1.5	0	0.1
37	27	5	50	0.9	0.8	3.0	3.0	0.1
38	28	5	50	0.9	0.8	3.0	3.0	0.1

Nella **prima e nella seconda colonna** sono indicate rispettivamente le **coordinate X ed Y** dove la geogriglia interseca la superficie topografica. Tali coordinate sono espresse in metri.

Nella **terza colonna** è indicata la **lunghezza L** della geogriglia espressa in metri .

Nella **quarta colonna** è indicata la resistenza unitaria T massima di progetto della geogriglia espressa in kN/m (1 T/m è equivalente a circa 10 kN/m).

Nella **quinta colonna** il coefficiente f_b interazione suolo-geogriglia. Parametro indicato nelle caratteristiche tecniche del rinforzo o calcolato con le equazioni o nomogrammi presentati nel capitolo 2.

Nella **sesta colonna** il fattore correttivo f_{ds} di riduzione della resistenza al taglio del terreno di riempimento nel processo di *Direct Sliding* (scivolamento diretto) alla interfaccia Geotintetico/Suolo . Parametro indicato nelle caratteristiche tecniche del rinforzo o calcolato con le equazioni o nomogrammi presentati nel capitolo 2.

Nella **settima colonna** la lunghezza Lws del risolto a sinistra (nel caso di risolto assente inserire 0.0)

Nella **ottava colonna** la lunghezza Lwd del risolto a destra (nel caso di risolto assente inserire 0.0).

Nella **nona colonna** il coefficiente η riduttivo della resistenza a trazione di progetto T per calcolare la reazione al punzonamento della faccia del risolto sinistro.(in caso non si voglia considerare questo effetto porre un valore pari a 0.0 .

E' necessario puntualizzare che per trarre il maggior beneficio dalle rinnovate capacita' di analisi e verifica di SSAP in presenza di strutture in terre armate e geosintetici di rinforzo al pendio si consigliano gli utenti di fare uso della molteplicita' di strumenti disponibili nel software.

In particolare si suggerisce di fare in ogni caso ricorso alla modalita' **Sniff random Search** come motore di ricerca dato che questo (nella sua versione 3.0) e' stato potenziato per rilevare la riduzione locale della resistenza alla interfaccia Suolo/geosintetico e tracciare le porzioni dove e' possibile il verificarsi di Fenomeni di Direct Sliding.

Si suggerisce comunque di effettuare sempre verifiche con smussatore delle superfici sia attivato che disattivato

Una volta stabilito il valore di resistenza da impiegare per ciascun singolo rinforzo del sistema F_s può essere calcolato con la seguente espressione derivata da Greenwood (1990), adattata per seguire la notazione di Zhou(2005):

$$F_s = \frac{\text{Forze resistenti} + \sum_i T_i}{\text{Forze agenti} - \sum_i T_i} \quad (2.17)$$

L'impostazione della eq. 2.17 è equivalente a considerare ogni geogriglia come un rinforzo passivo orizzontale (LESHCHINSKY *et al.* 2016) che nel contesto dei metodi di calcolo dell'equilibrio limite deve essere formulato come elemento che contemporaneamente riduce sia le forze agenti sia incrementa le forze resistenti (LESHCHINSKY *et al.* 2016).

Terre armate e verifiche di stabilità globale del sistema opera-pendio: criteri e procedure di analisi, trappole frequenti e scelta software

Per progettare un opera in terra armata occorre:

- Abachi , calcolatrice o foglio elettronico
- Software forniti dai produttori di geosintetici
- Software commerciali.
- soprattutto il proprio cervello

OPPURE:

Puoi farti fare il progetto completo dal produttore/fornitore del geotessile... !!!! Ma

Terre armate e verifiche di stabilità globale del sistema opera-pendio: criteri e procedure di analisi, trappole frequenti e scelta software

Software forniti dai produttori di geosintetici

PREGI: offrono una guida passo-passo nella scelta del tipo di prodotto, nel dimensionamento e progettazione (con i loro stessi prodotti), analisi dei costi e loro ottimizzazione.

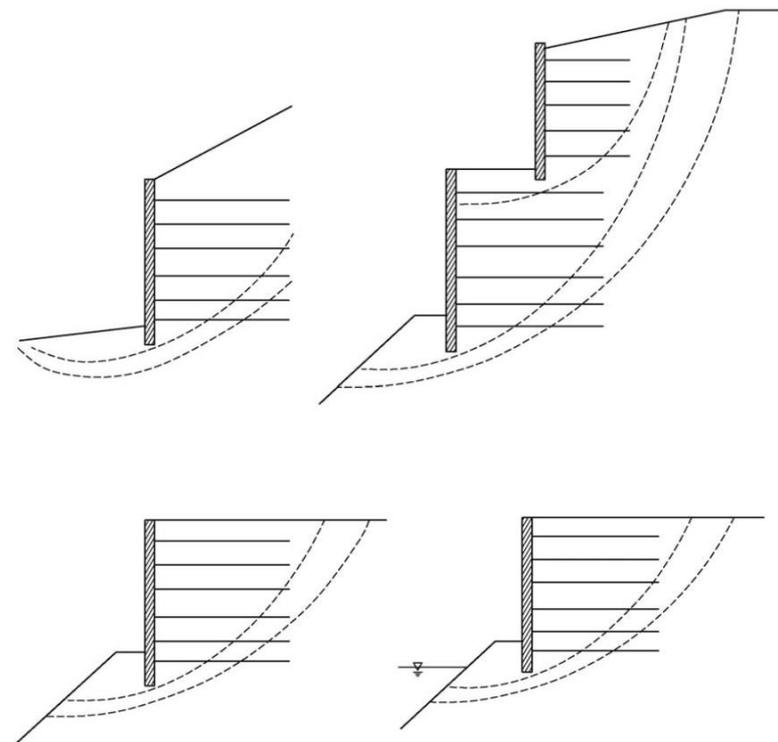
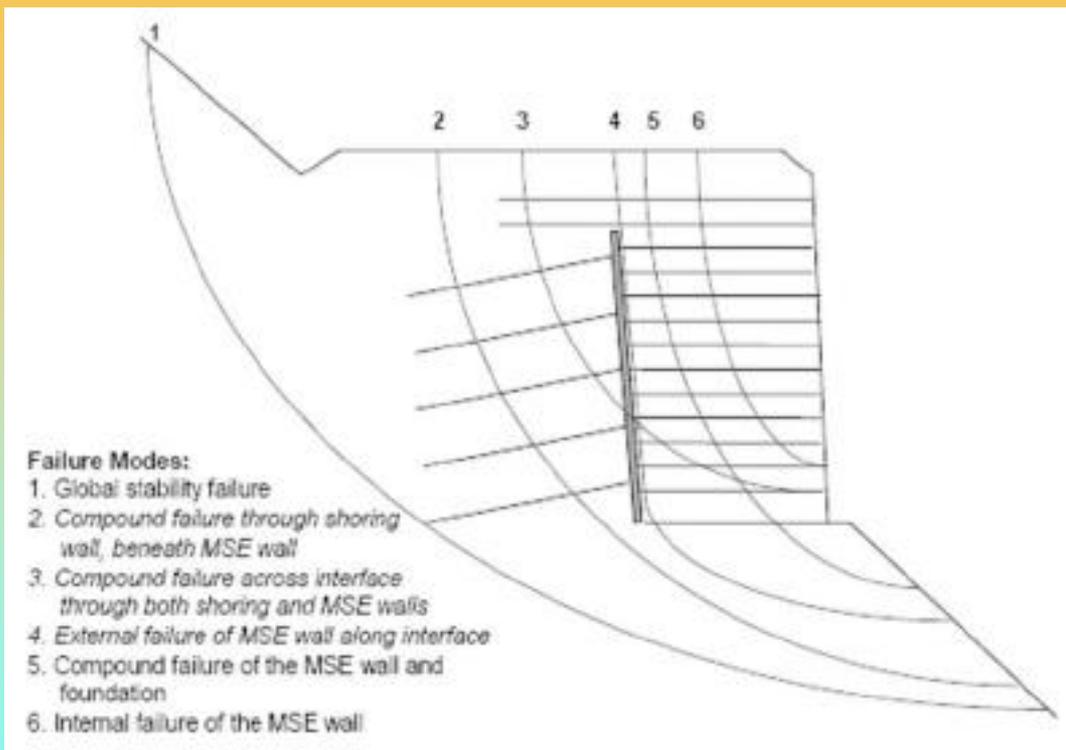
DIFETTI: limiti nella scelta dei criteri di progettazione, database prodotti limitato alla sola casa produttrice, ottimizzazione costi limitata (chiaramente orientata a vantaggio del rivenditore o produttore).

Software commerciali: non legati a specifici geotessili o tipi di strutture. Richiedono spesso maggiore esperienza e consapevolezza dei problemi e delle possibili soluzioni.

Solo pochi consentono verifiche con tecniche rigorose (es, anche verifiche a equilibrio Limite con metodi rigorosi).

Spesso permettono verifiche della stabilità interna in modo corretto ma non quella globale in modo completo e rigoroso

Verifiche stabilità globale e interazioni con terre armate e altre opere di sostegno.



Le verifiche di stabilità globale sono fondamentali per valutare l'equilibrio idrogeologico dell'area dove le TA sono Inserite

Metodi di verifica stabilità globale con metodo dell'equilibrio limite in presenza di TA

Si devono evitare:

- ❑ Metodi di calcolo non rigorosi (es. Fellenius, Bishop e Janbu semplificati)
- ❑ Usare solamente ricerca di superfici circolari...

Non si deve rinunciare MAI a :

- ❑ Corretta definizione modello geotecnico e idraulico del pendio
- ❑ Metodi di calcolo rigorosi (es. Janbu rigoroso, Morgenstern & Price, Spencer, Sarma..) che garantiscono in contemporanea equilibrio delle forze e dei momenti... sempre!
- ❑ Interazione rigorosa sup. di scivolamento con i sistemi di rinforzo presenti (TA, tiranti, palificate..sovraccarichi)
- ❑ Eliminazione delle superfici, e soluzioni che non sono fisicamente accettabili (... algoritmi di filtro e sub verifica....)
- ❑ Ricerca automatica superfici di forma generica (le sup. cerchi sono solo un caso particolare...)

Esempio verifica stabilità globale con TA su terreni sabbiosi e argilloso-limosi

SSAP 4.0 (2010) - Slope Stability Analysis Program
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - CNR IRPI (FI)
 SSAP/DXF generator rel. 1.0 (2010)

Data : 22/9/2010
 Localita' :
 Descrizione :
 n = No. strato o lente

Parametri Geotecnici degli strati

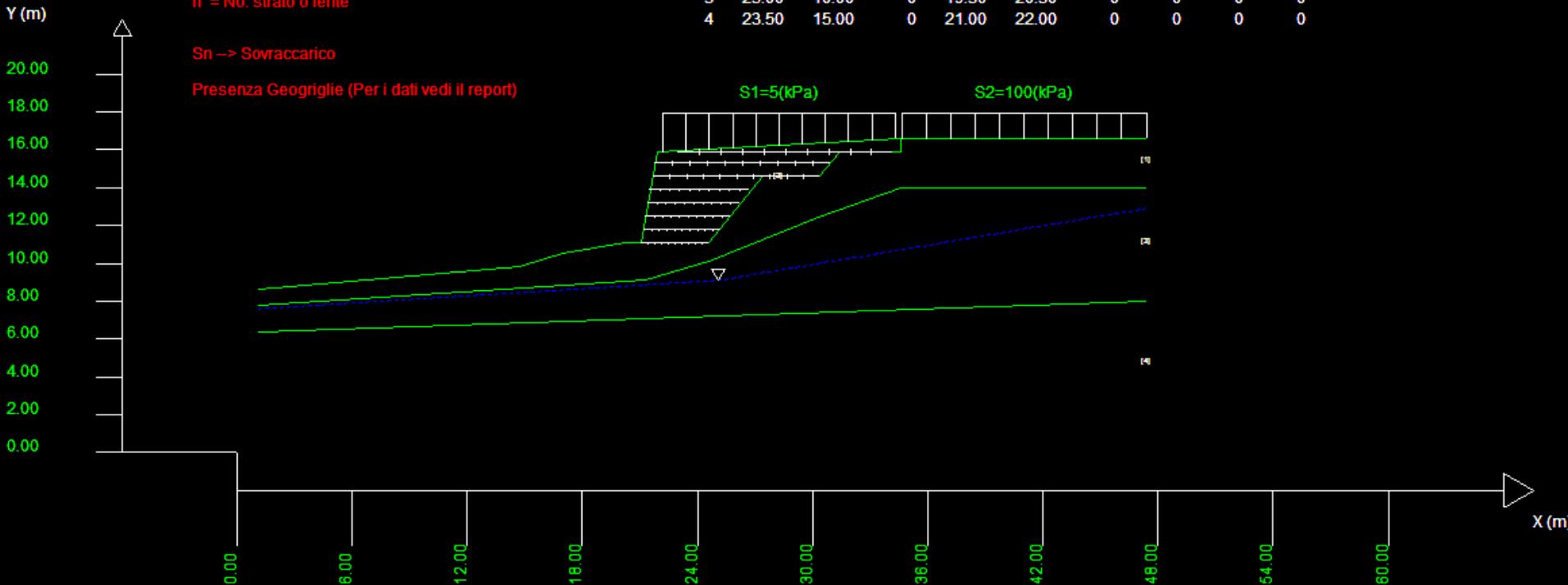
N.	phi°	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
--	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	--	--	--
1	29.00	2.00	0	20.00	21.00	0	0	0	0
2	30.00	0	0	18.00	19.00	0	0	0	0
3	25.00	10.00	0	19.30	20.30	0	0	0	0
4	23.50	15.00	0	21.00	22.00	0	0	0	0

Sn -> Sovraccarico

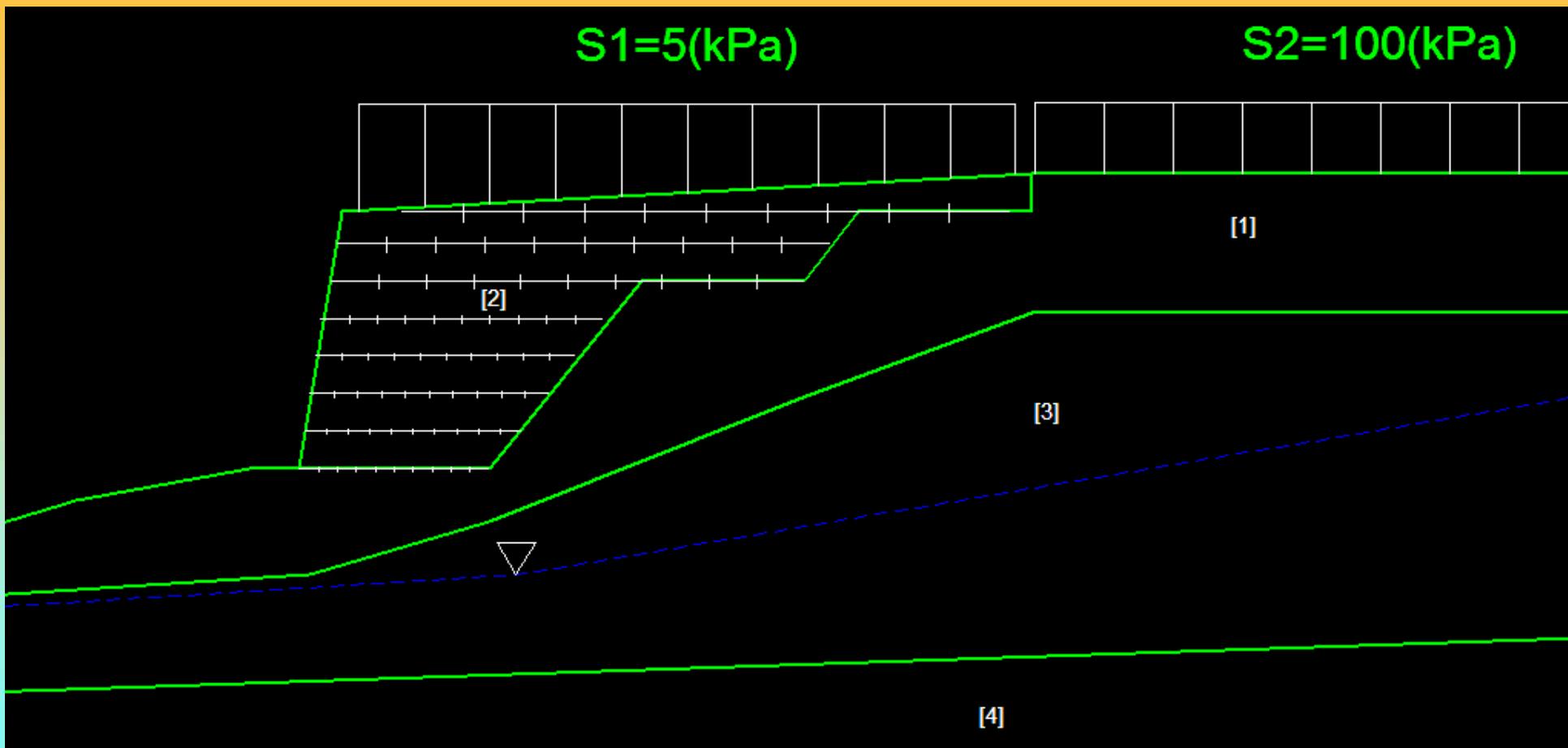
Presenza Geogriglie (Per i dati vedi il report)

S1=5(kPa)

S2=100(kPa)



Esempio verifica stabilità globale con TA su terreni sabbiosi e argilloso-limosi

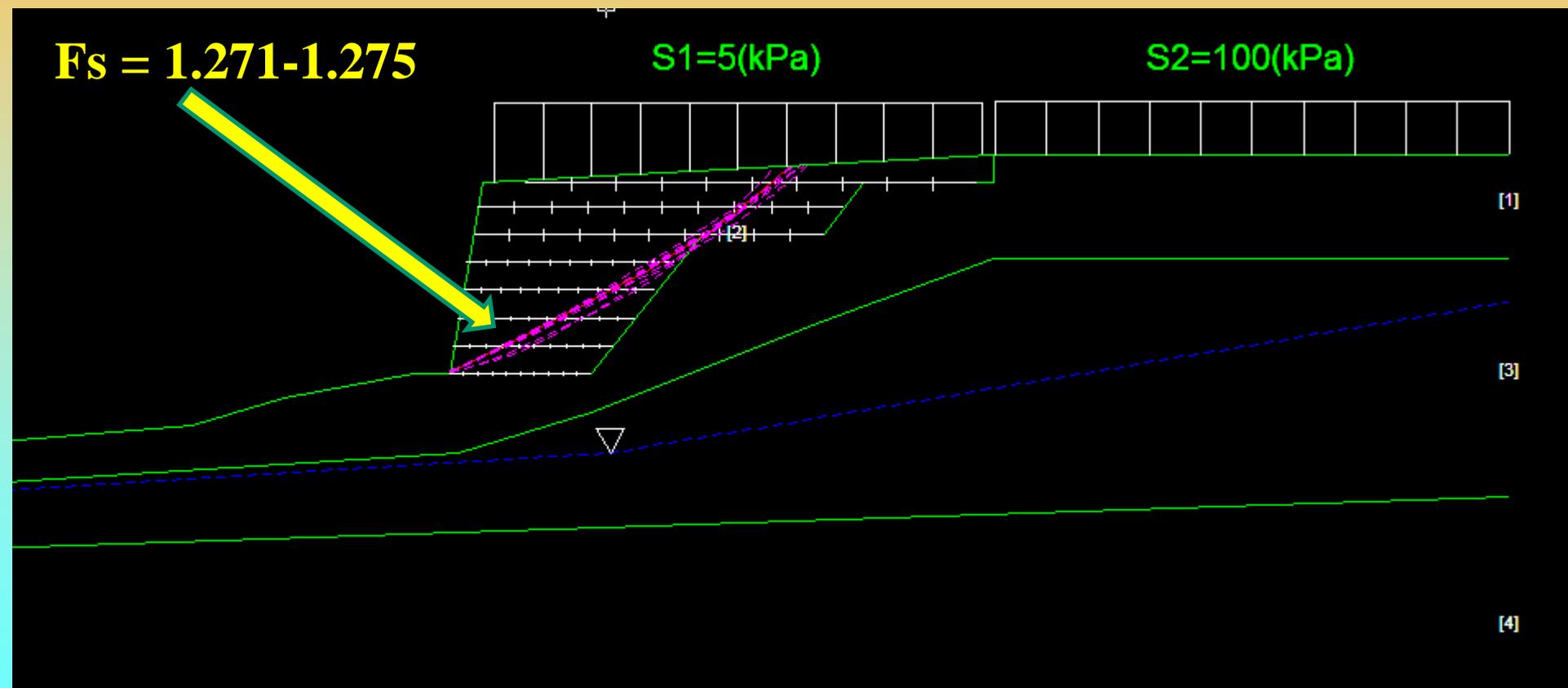


Verifica di stabilità globale (con effetto sismico $K_h=0.05$; $K_v=0.025$) .. limitata alla sola TA

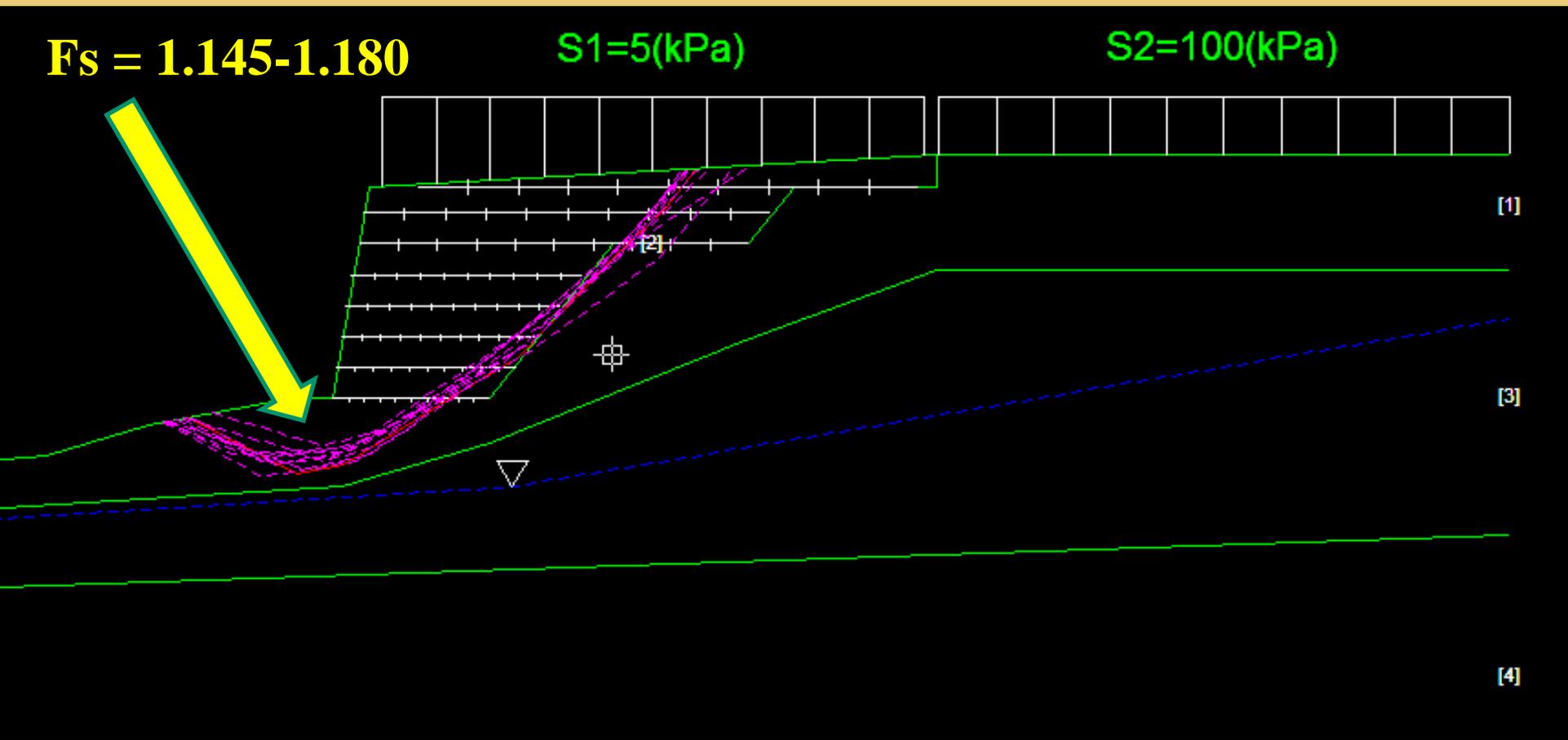
$F_s = 1.271-1.275$

$S_1=5(\text{kPa})$

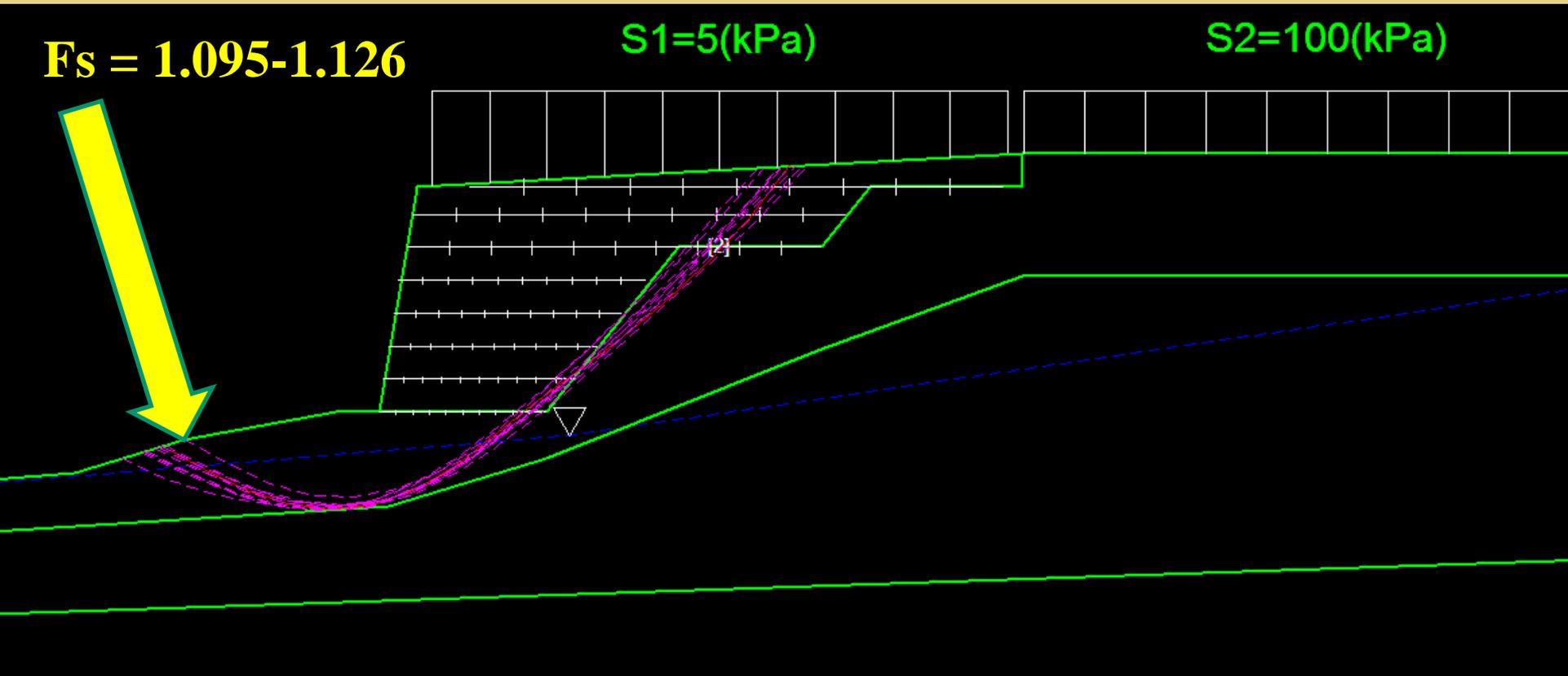
$S_2=100(\text{kPa})$



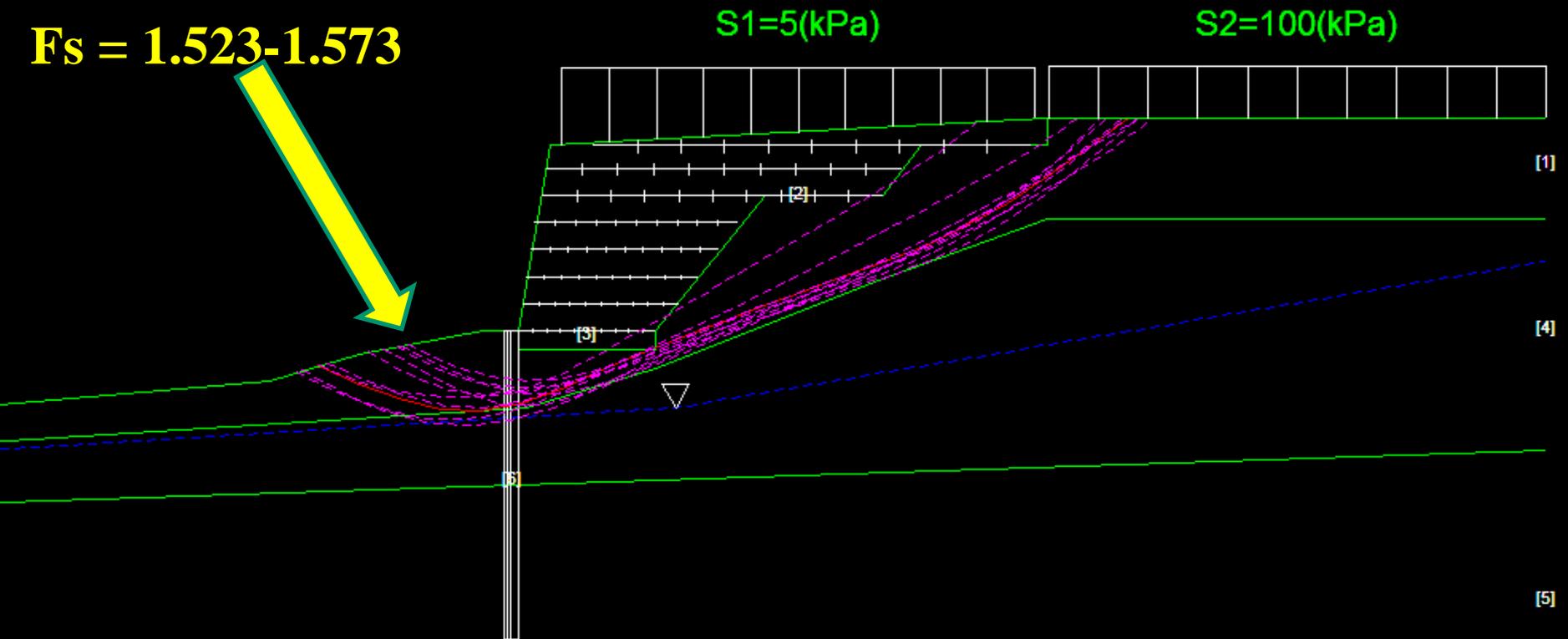
Verifica di stabilità globale (con effetto sismico $K_h=0.05$; $K_v=0.025$) .. Generale



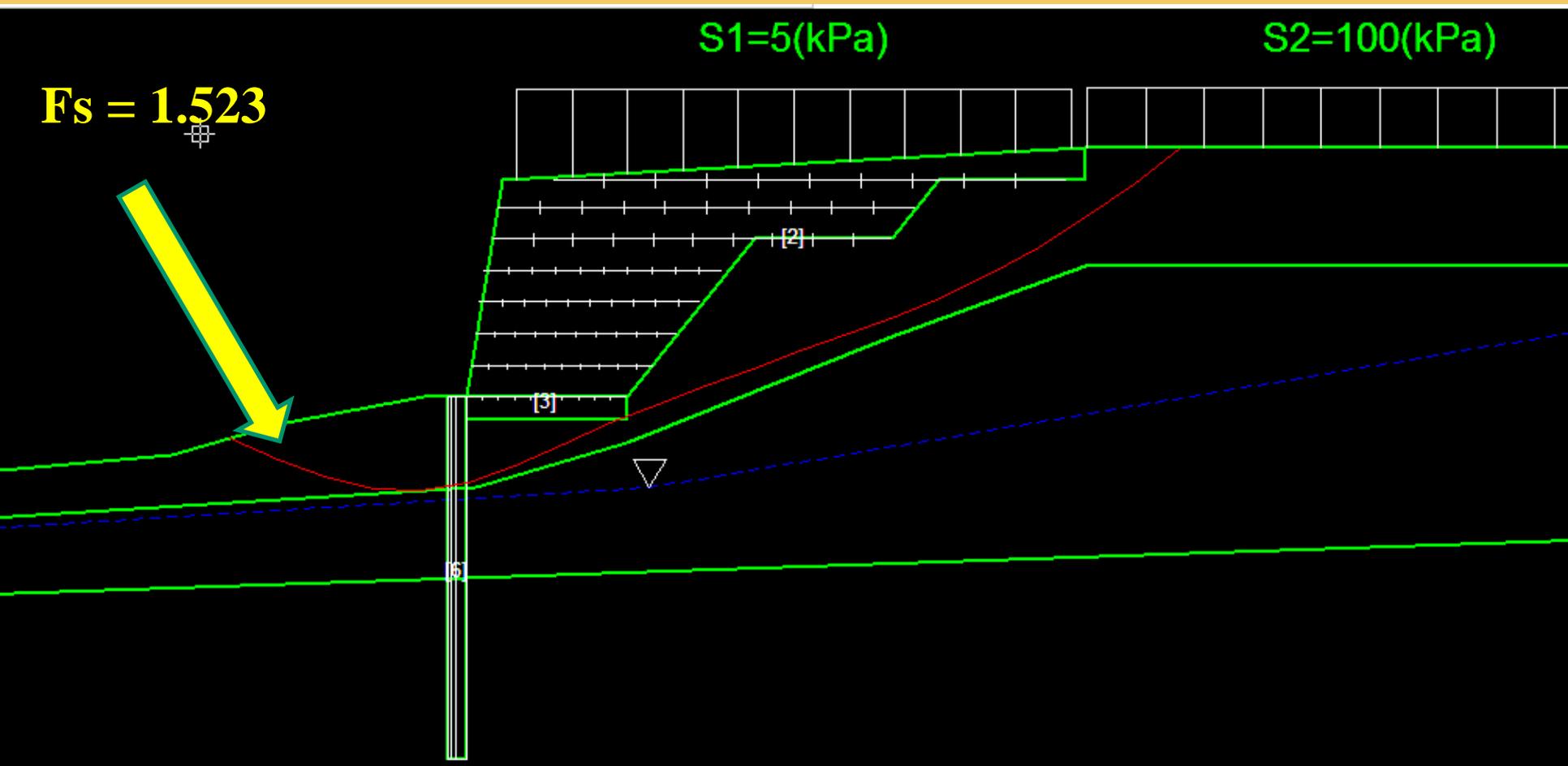
**Verifica di stabilità globale (con effetto sismico $K_h=0.05$; $K_v=0.025$)
.. Generale Simulazione risalita falda di 1.2 m**



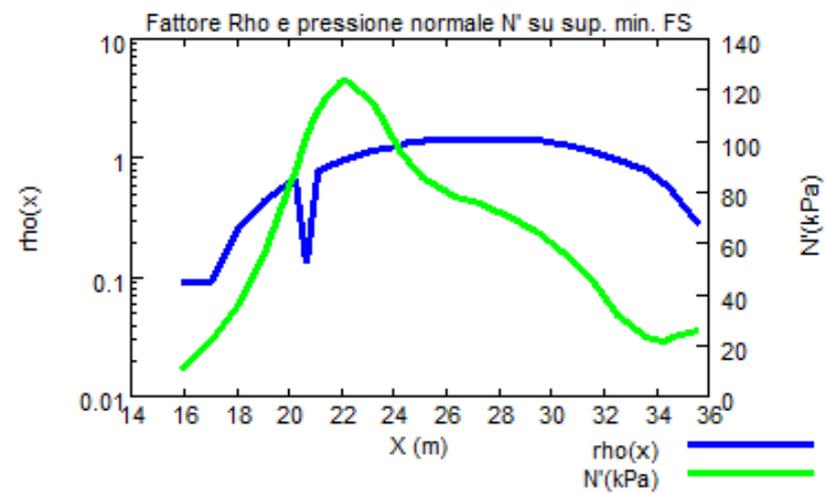
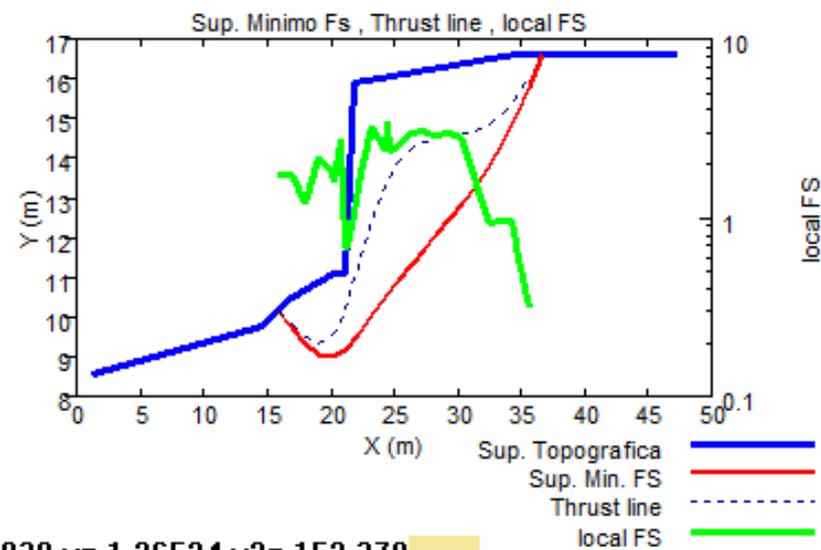
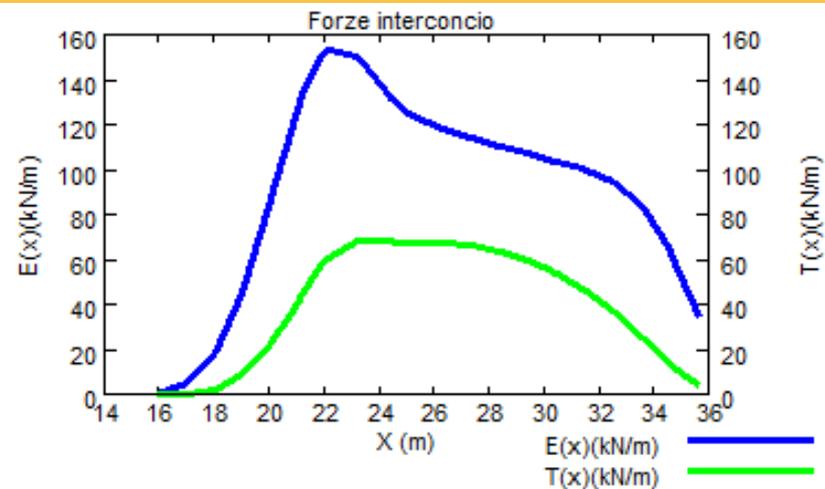
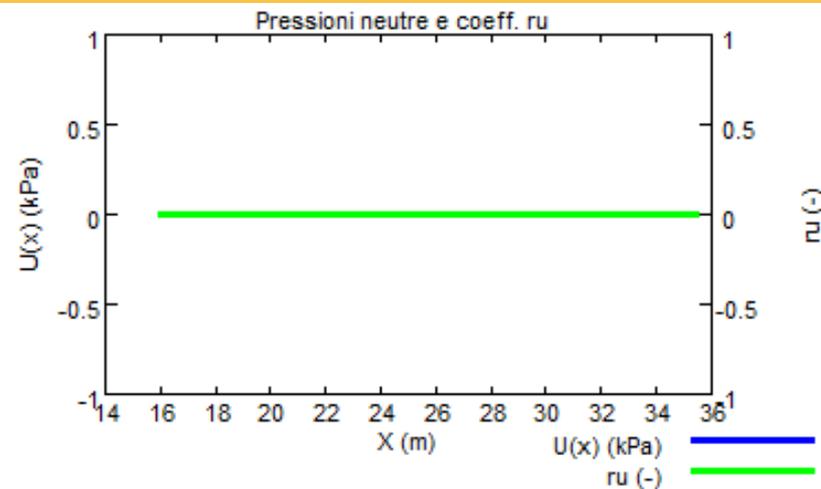
**Verifica di stabilità globale (con effetto sismico $K_h=0.05$; $K_v=0.025$)
.. inserimento di palificata alla base (d= 40 interasse 1.5 m L =8 m)
E strato drenante alla base della TA
Le 10 superfici con minor FS su 14000 calcolate...**



Verifica di stabilità globale (con effetto sismico $K_h=0.05$; $K_v=0.025$) .. Generale

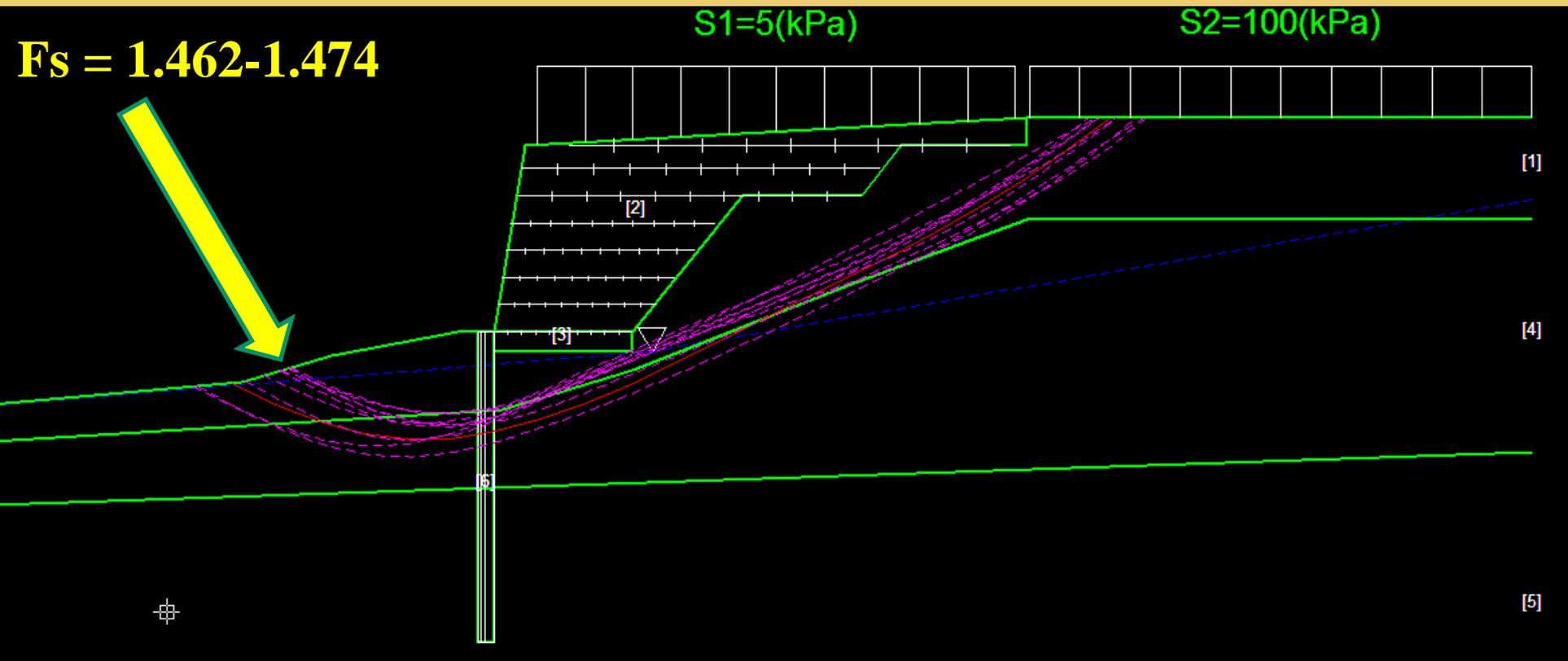


Diagrammi delle forze (orizzontali . e verticali interconco, FS locale, N', ..)

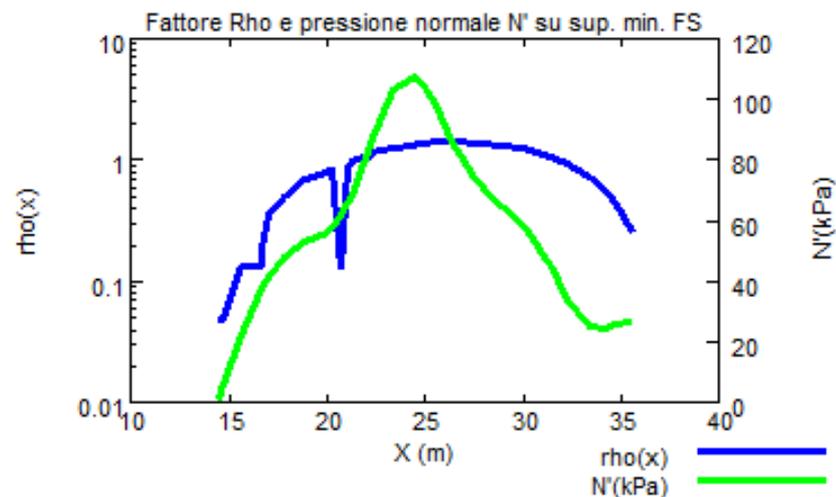
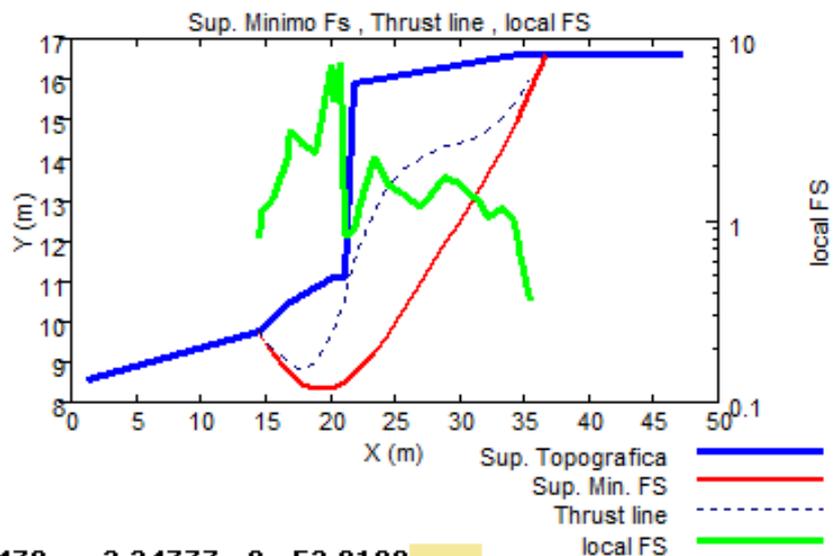
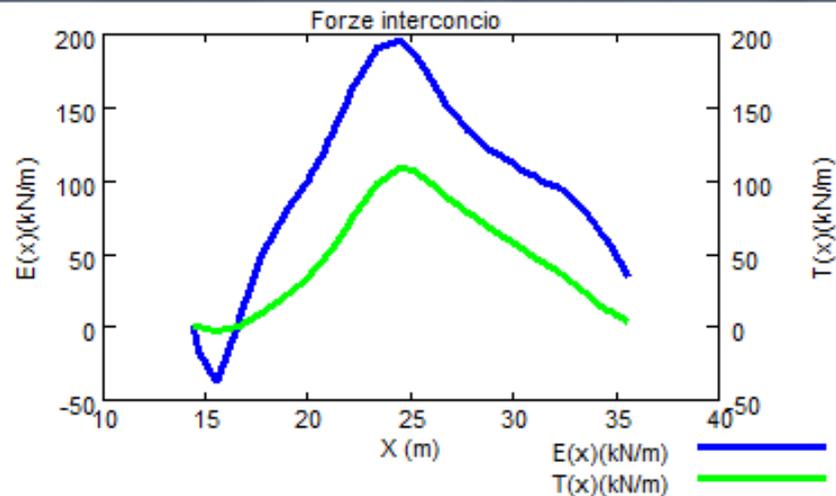
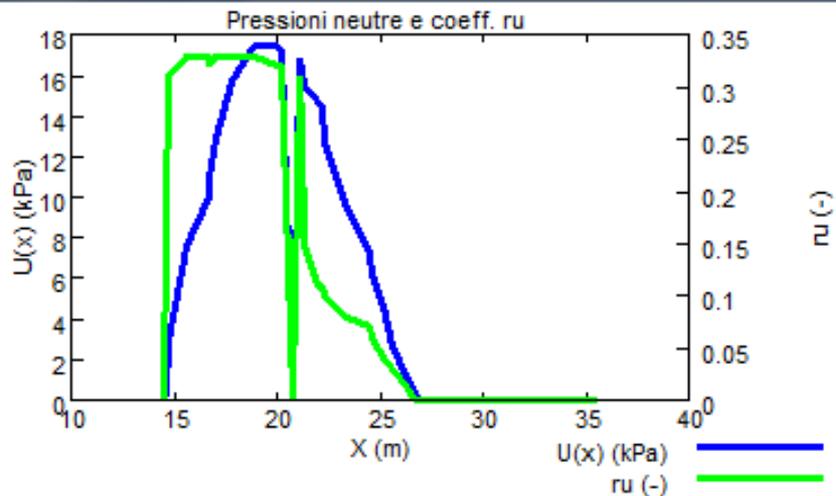


039 y= 1.26524 y2= 152.378

Verifica di stabilità globale (con effetto sismico $K_h=0.05$; $K_v=0.025$) .. Simulazione risalita falda di 1.2 m



Diagrammi delle forze (orizzontali . e verticali interconco, FS locale, FS locale, N', ..)



179 y=-3.34777 y2=-53.9108

Assemblaggio Files con utility MKFILES.EXE

File .GRD - geogrliglie

Crea File Dati Geogriglie

1	45.94	32.00	29.5	76.49	0.80	1.00	2.5	0.0
2	43.56	31.50	13.5	101.99	0.80	1.00	8.0	0.0
3	43.38	31.00	13.5	76.49	0.80	1.00	2.5	0.0
4	43.20	30.50	13.5	76.49	0.80	1.00	2.5	0.0
5								

Coordinate testa Geogriglia (in m) Lunghezza e resistenza a trazione Altri parametri

Coordinata X Testa 0.00 Lunghezza (m) 0.00 fb 0.75

Coordinata Y Testa 0.00 Forza (kN/m) 0.00 fds 0.80

MKFILES 5.4
by L. Borselli (2007,2019)

Scrivi Dati Geogriglia Cancellala Ultima

GENERATI DATI GRIGLIA n. 42

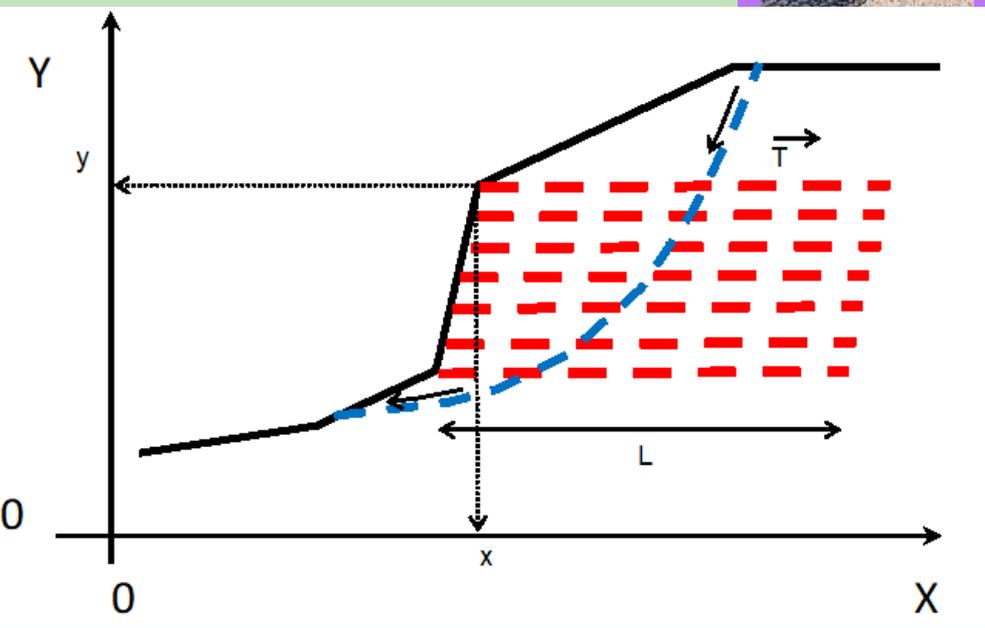
Lws (m) 0.00

Lwd (m) 0.00

Omega 0.10

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

Salva Scheda e ESCI Annulla Scheda e ESCI



Modello del pendio - Geogriglie/Geosintetici - files .GRD

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

¶

35¶	25¶	8¶	50¶	0.8¶	0.8¶	1.5¶	0¶	0.1¶
36¶	26¶	5¶	50¶	0.9¶	0.8¶	1.5¶	0¶	0.1¶
37¶	27¶	5¶	50¶	0.9¶	0.8¶	3.0¶	3.0¶	0.1¶
38¶	28¶	5¶	50¶	0.9¶	0.8¶	3.0¶	3.0¶	0.1¶

¶

Nella **prima e nella seconda colonna** sono indicate rispettivamente le coordinate X ed Y dove la geogriglia interseca la superficie topografica. Tali coordinate sono espresse in metri. ¶

Nella **terza colonna** è indicata la lunghezza L della geogriglia espressa in metri. ¶

Nella **quarta colonna** è indicata la resistenza unitaria T massima di progetto della geogriglia espressa in kN/m (1 T/m è equivalente a circa 10 kN/m). ¶

Nella **quinta colonna** il coefficiente f_b interazione suolo-geogriglia. Parametro indicato nelle caratteristiche tecniche del rinforzo o calcolato con le equazioni o nomogrammi presentati nel capitolo 2. ¶

Nella **sesta colonna** il fattore correttivo f_{ds} di riduzione della resistenza al taglio del terreno di riempimento nel processo di Direct Sliding (scivolamento diretto) alla interfaccia Geotintetico/Suolo. Parametro indicato nelle caratteristiche tecniche del rinforzo o calcolato con le equazioni o nomogrammi presentati nel capitolo 2. ¶

Nella **settima colonna** la lunghezza L_{ws} del risvolto a sinistra (nel caso di risvolto assente inserire 0.0) ¶

Nella **ottava colonna** la lunghezza L_{wd} del risvolto a destra (nel caso di risvolto assente inserire 0.0). ¶

Nella **nona colonna** il coefficiente η riduttivo della resistenza a trazione di progetto T per calcolare la reazione al punzonamento della faccia del risvolto sinistro. (in caso non si voglia considerare questo effetto porre un valore pari a 0.0). ¶

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)

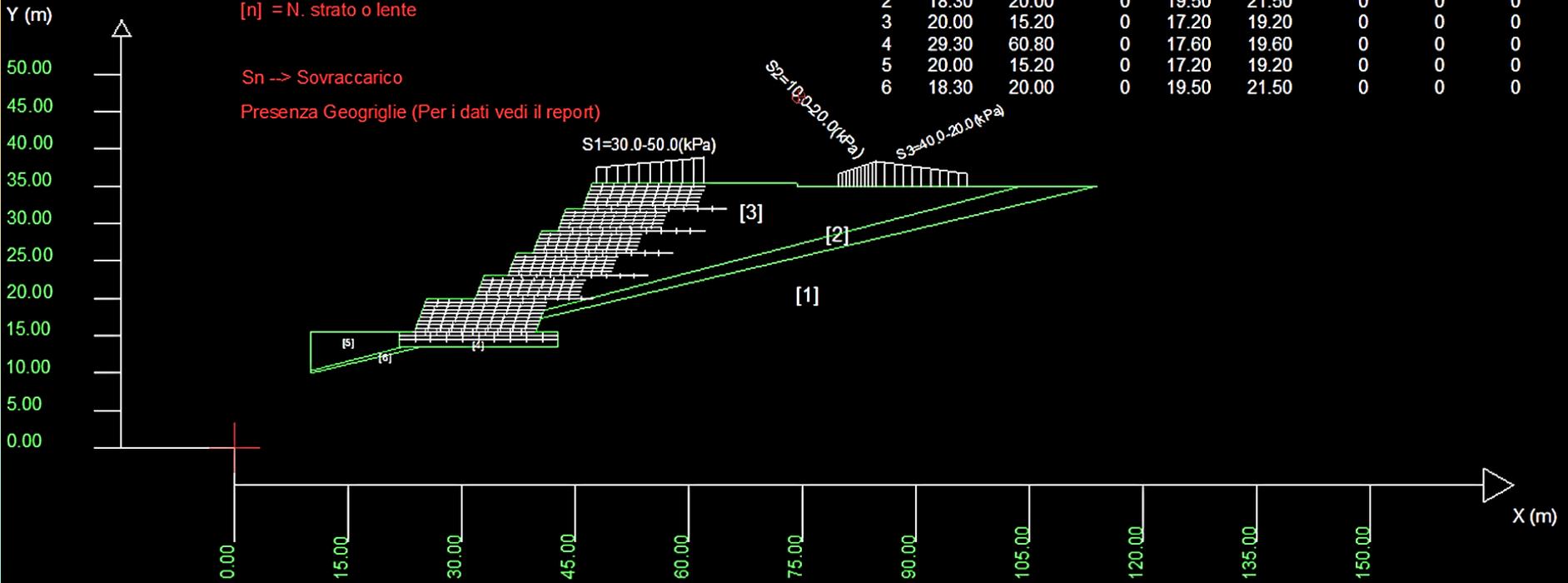
Data : 18/6/2019
 Localita' :
 Descrizione :
 [n] = N. strato o lente

Sn -> Sovraccarico

Presenza Geogriglie (Per i dati vedi il report)

Parametri Geotecnici degli strati

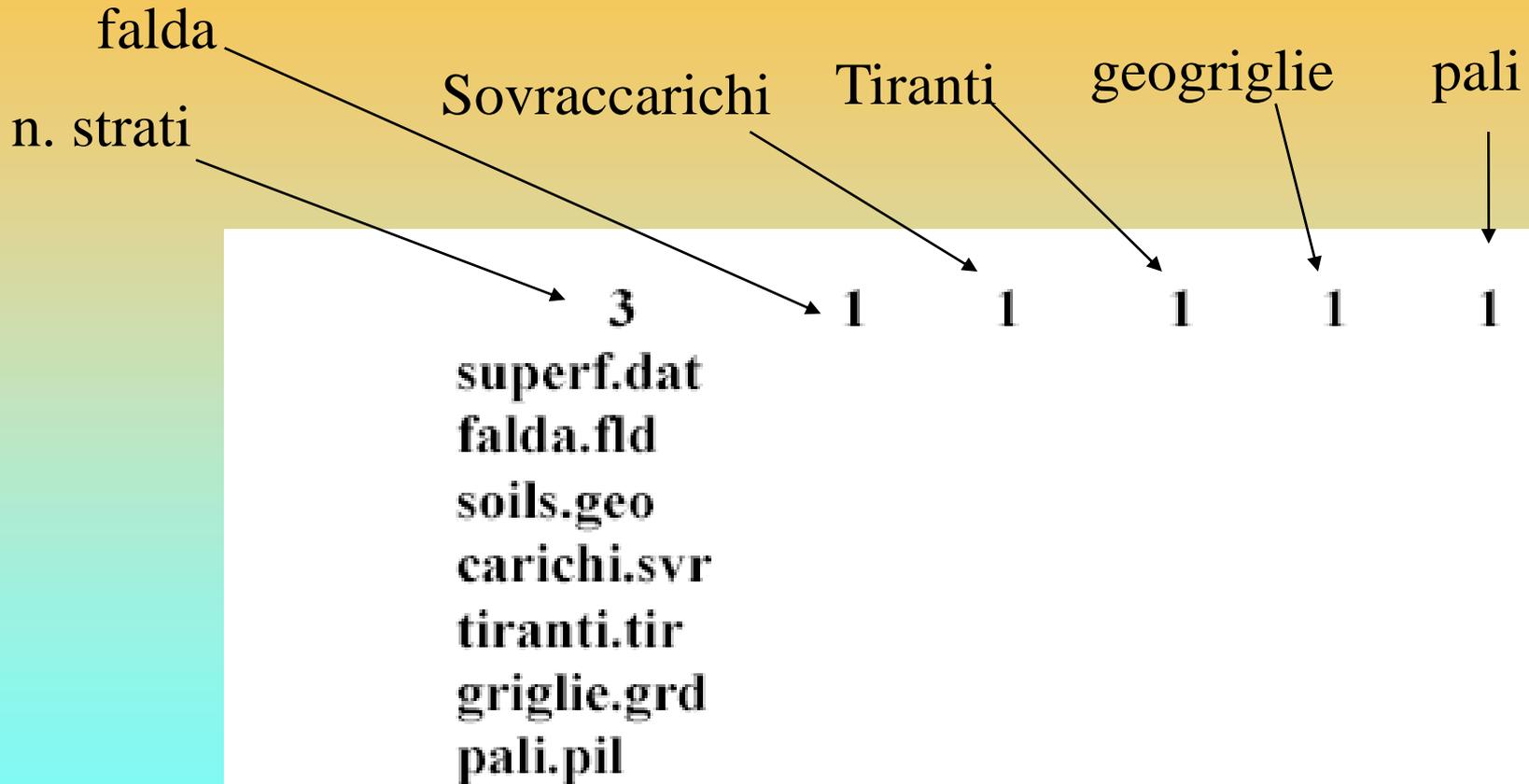
N.	phi` deg	C` kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	18.30	40.00	0	20.00	22.00	0	0	0	0
2	18.30	20.00	0	19.50	21.50	0	0	0	0
3	20.00	15.20	0	17.20	19.20	0	0	0	0
4	29.30	60.80	0	17.60	19.60	0	0	0	0
5	20.00	15.20	0	17.20	19.20	0	0	0	0
6	18.30	20.00	0	19.50	21.50	0	0	0	0



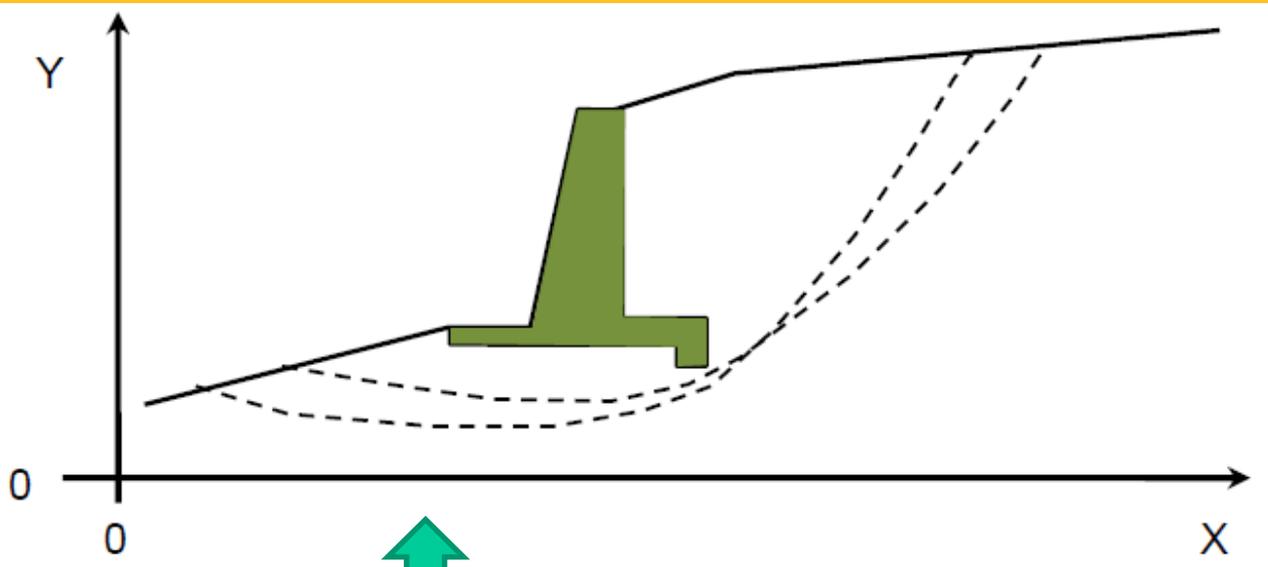
Cartella esempi corso : **geogriglie_2016**

Modello del pendio File .MOD e sua struttura

È un File di testo editabile (ASCII)

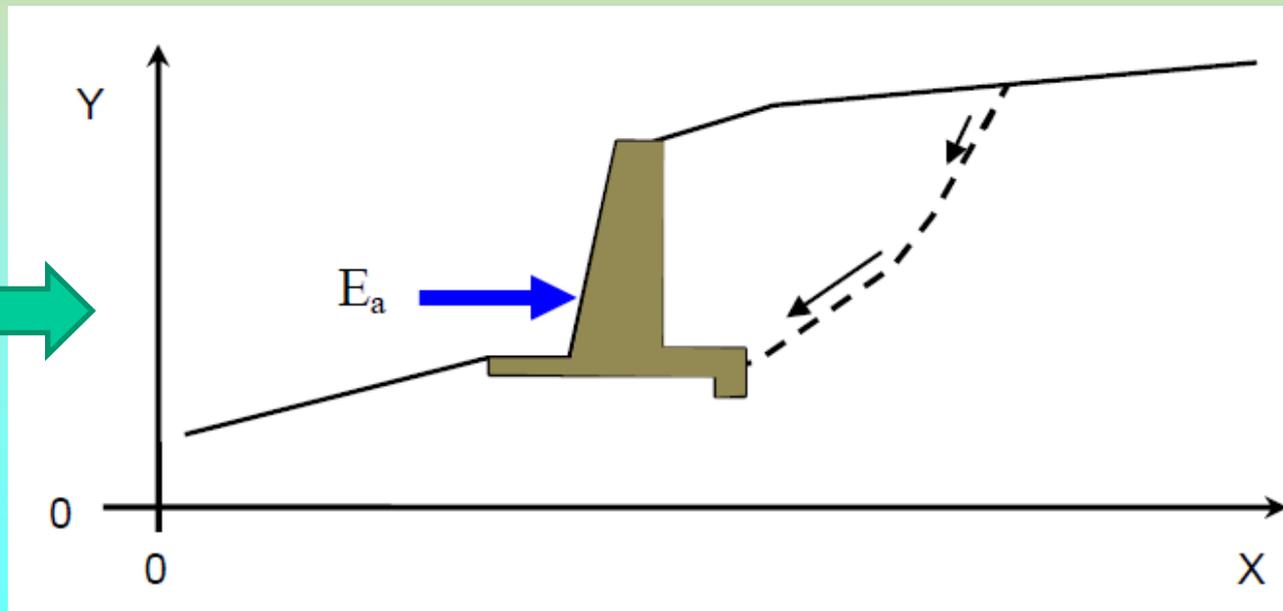


Muri



Una tipo di opera con Particolari interazioni Sono i muri di sostegno a gravità

SSAP consente le verifiche globali Includendo il muro E speciali verifiche singole Che comprendono la reazione alla base del muro (verfica locale)



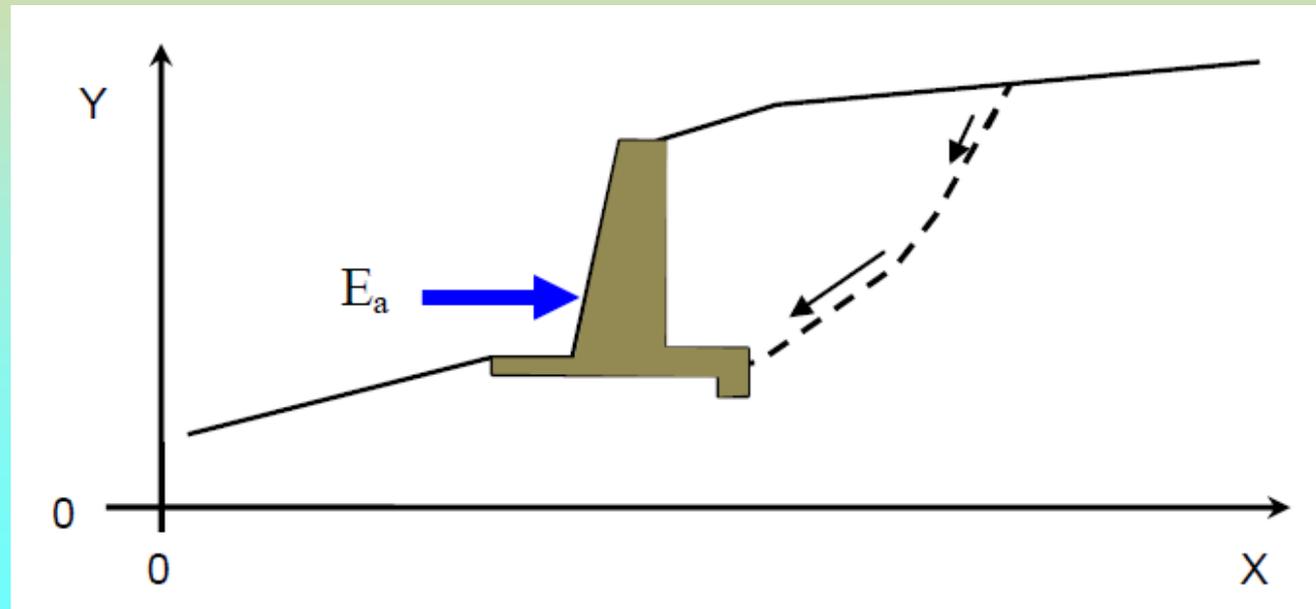
Il SSAP può quindi essere utilizzato per la verifica di stabilità globale necessaria ai fini progettuali dell'opera . La normativa italiana infatti prevede che sia effettuata una verifica di stabilità generale del complesso opera-pendio. **Le potenziali superfici di scivolamento testate dovranno considerare possibili scorrimenti superficiali e profondi (caso di muro fondato su pali).**

In generale le superfici di scivolamento dovranno passare in prossimità dello spigolo più interno, rispetto al pendio, dell'opera stessa e dovranno essere verificate anche superfici più profonde (BOWLES 1991).

Tuttavia si consideri che **i muri di sostegno offrono solo un effetto locale alla stabilità e la presenza di superfici più profonde, con minor F_s , potrebbe indicare un grado di stabilità globale ancora inadeguato.**

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



Effetti addizionali di spinta in testa alla superficie di scorrimento singola (forza E_b) Possono essere aggiunti (effetto Tension crack riempito di acqua)

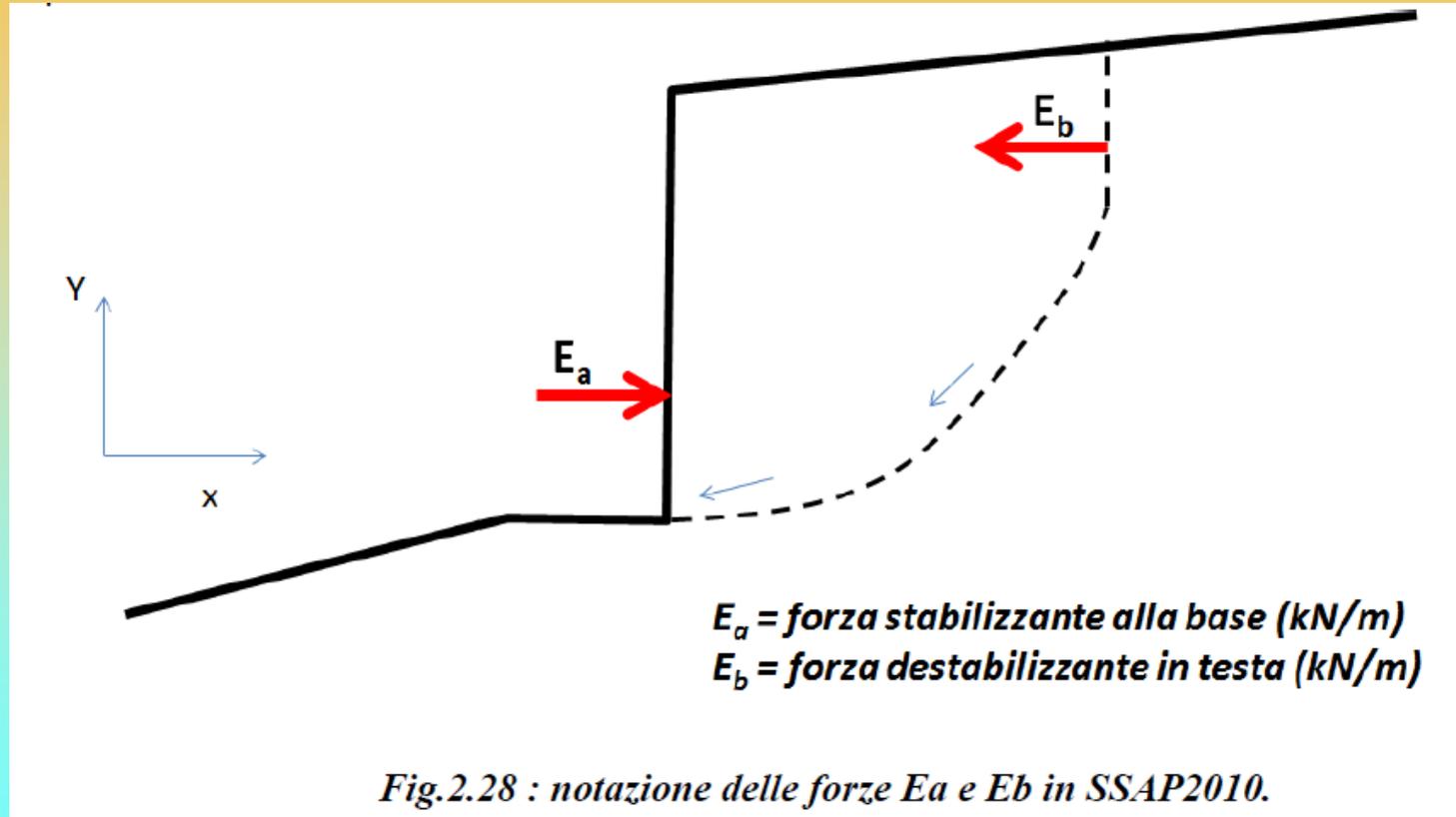
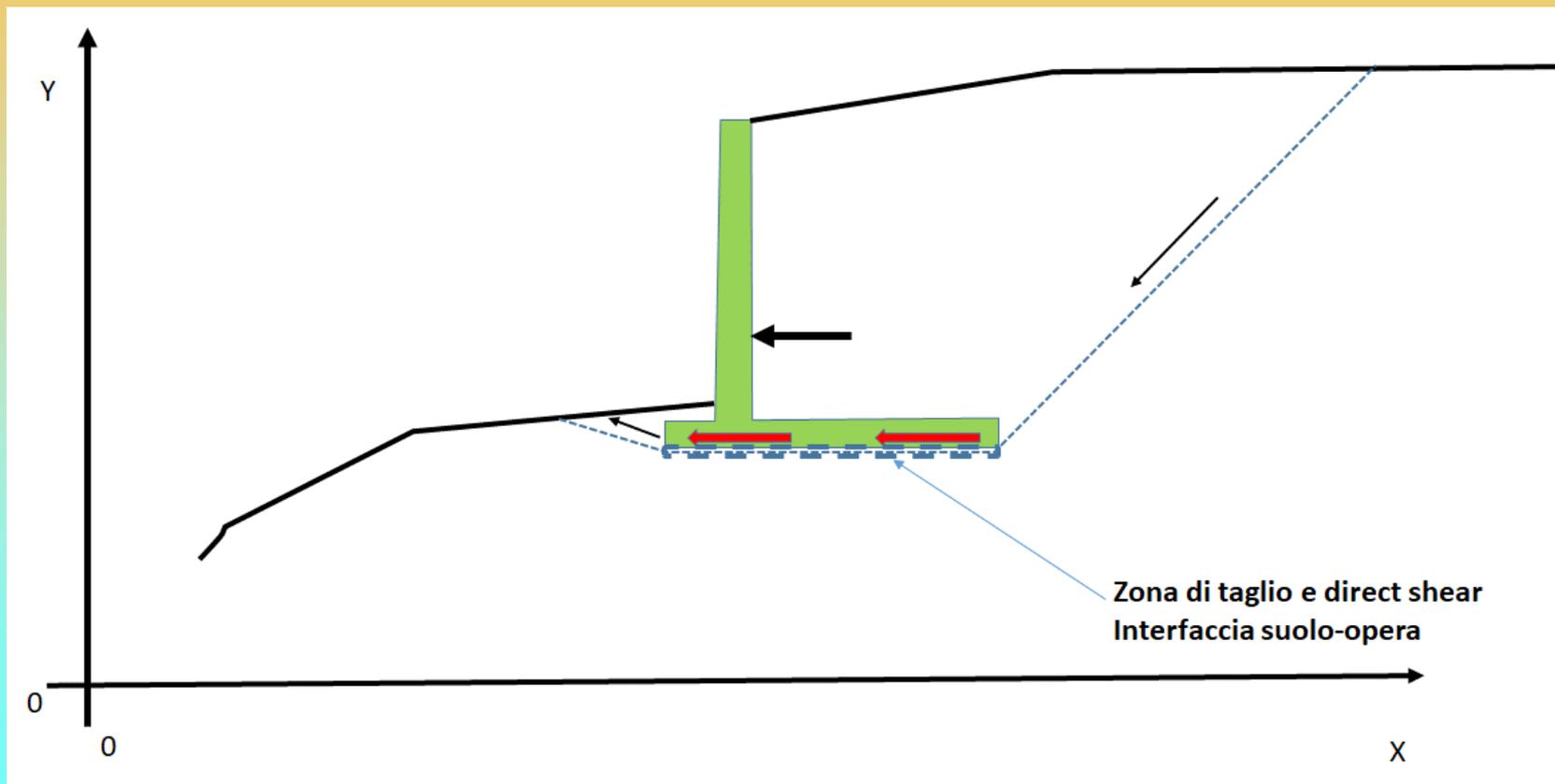


Fig.2.28 : notazione delle forze E_a e E_b in SSAP2010.

Vedasi anche manuale ssap

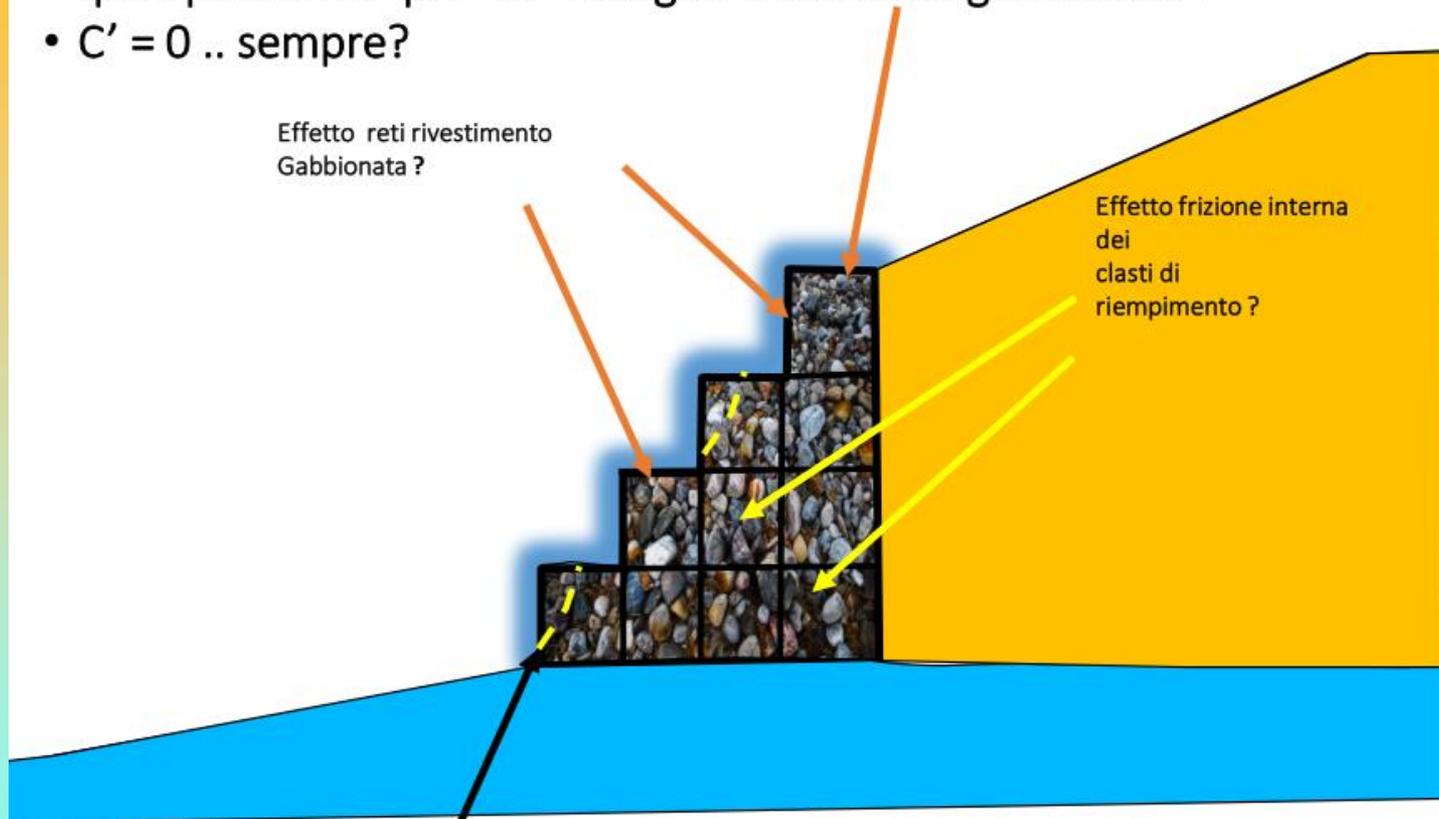
In SSAP e' possibile considerare leffetto addizionale del *direct sliding* alla interfaccia suolo struttura. (N.B. La interfaccia puo' non essere necessariamente orizzontale..) . Nella zona di interfaccia si puo' inserire una lente di spessore pochi cm, caratterizzata da una riduzione dei parametri di 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?

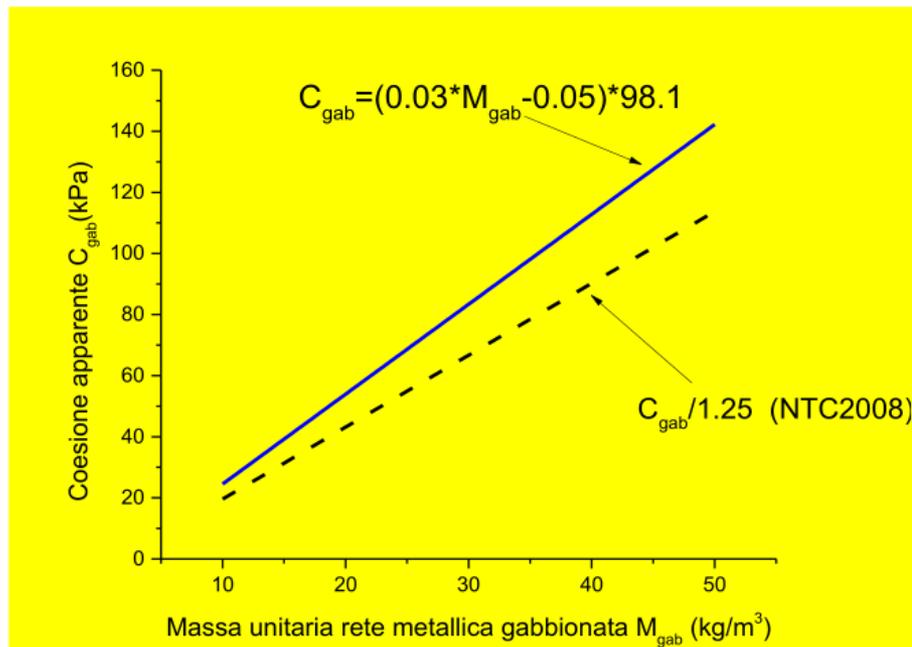


A scala di dettaglio non e' possibile garantire stabilita' con una gabbionata con $\phi' = 40-45$ gradi e $c' = 0$ (scala delle pareti verticali di ogni elemento) quindi e' necessario che fisicamente sia sempre $C' > 0$...

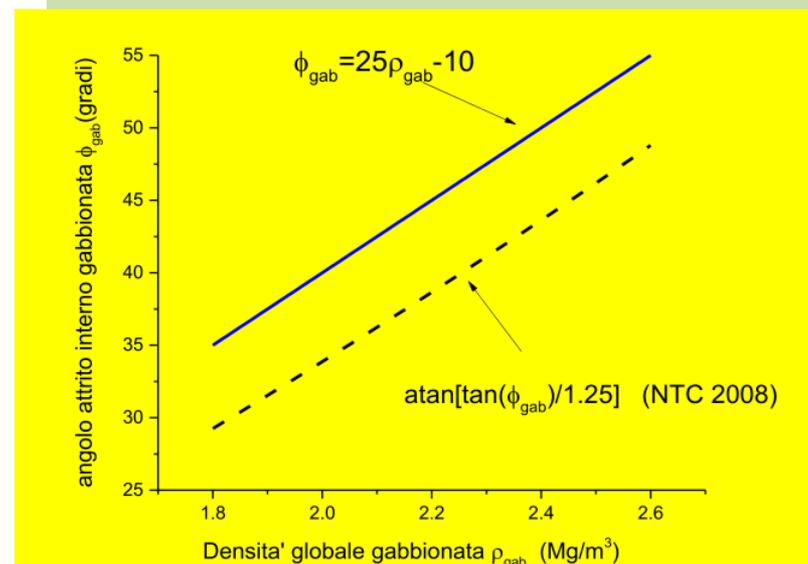
Di seguito una possibile soluzione , da Clayton et al. 2014

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...

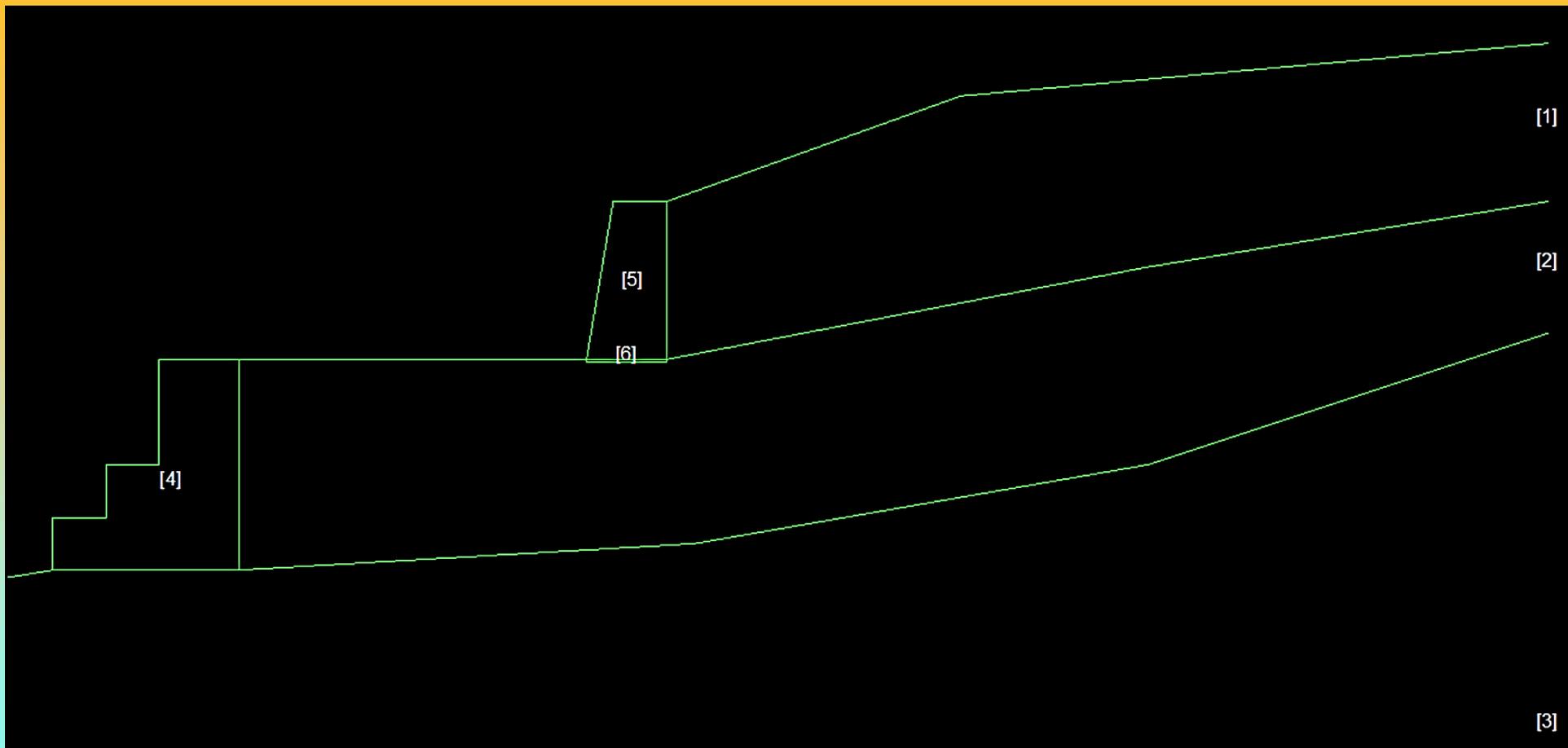


Clayton, C. R., Woods, R. I., Bond, A. J., & Milititsky, J. (2014). *Earth pressure and earth-retaining structures*. CRC Press.

In sintesi in presenza di Muri di sostegno e assimilati :

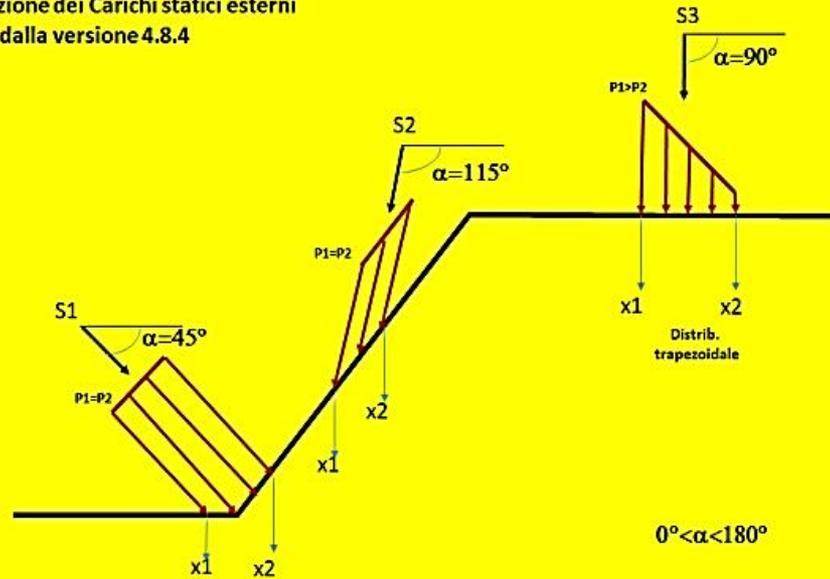
- **Inserire il muro come sua sezione e strato(lente) entro il pendio.**
- **Assegnare al muro di sostegno, in funzione del materiale costitutivo, opportuni valori di densità e resistenza al taglio:
(es. gamma 23-25 kN/m³; Cu=300-2000 kPa).**
- Caso particolare di Gabbionate : gamma 20-25 kN/m³; C'=20 -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**

Studio e pratica su un esempio didattico muro/gabbionata:



Cartella ..\pendii\esempi corso base\ **gabb_muro2016**

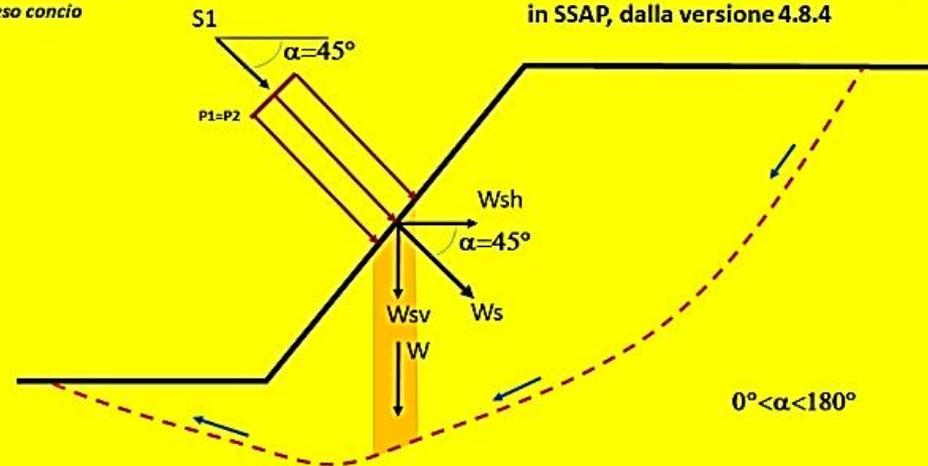
Distribuzione dei Carichi statici esterni
in SSAP, dalla versione 4.8.4



(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 de Geología / Facultad de 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>



È IMPORTANTE CONSIDERARE che ogni palificata dovrebbe venire inserita nel pendio anche come un elemento resistente al taglio, con forma e geometria propria come un qualsiasi strato o lente. A questo proposito si veda sia il capitolo 3 di questo manuale, sia l'appendice C, dove è presentato un metodo, suggerito dall'autore, per valutare i parametri di resistenza al taglio di una lente/strato palificata.

Per i dettagli nel formato del file che contiene i parametri per le palificate, si veda il capitolo 3 di questo manuale.

2.4.6 Reti in aderenza ancorate (*anchored wiremesh*)

I sistemi di reti in aderenza o *anchored wiremesh* sono un sistema integrato di rinforzi utilizzati nella stabilizzazione dei pendii in roccia, ammassi rocciosi fratturati, pendii in rocce tenere e terreni consolidati.

Le reti in aderenza, o *anchored wiremesh*, sono strutture di contenimento e rinforzo corticale flessibili costituite usualmente da rete in acciaio a doppia torsione ancorate da almeno due o più file di chiodi di rinforzo/tiranti (fig. 2.4.6.1). Queste strutture flessibili sono un importante strumento di consolidazione corticale di un pendio quando sussistono queste condizioni minime:

- Installazione su un pendio o parete costituita da roccia o sedimenti consolidati.
- Utilizzo di reti in acciaio a doppia torsione di alta resistenza.
- Collegamento alla parete da due o più file di chiodi/tiranti che garantiscano un adeguato ancoraggio della rete.
- Perfetta aderenza della rete alla superficie della roccia o del pendio.

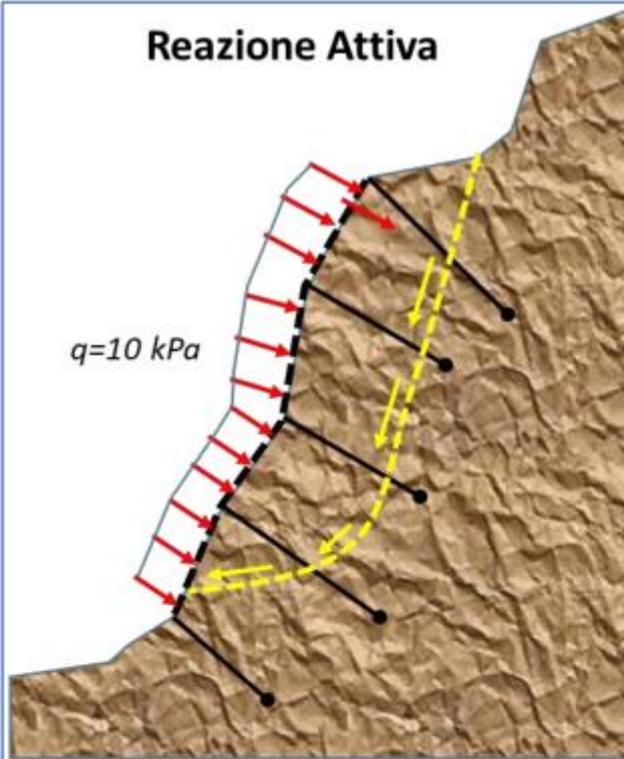


Figura 2.4.6.1 (foto: Borselli 2020)

Esistono diversi metodi di progettazione disponibili per simulare l'effetto locale di questi sistemi di rinforzo (Cala, 2012; Grimod & Giachetti, 2013; Blanco-Fernandez et al., 2011, 2013, 2016).

Il nuovo metodo di progettazione e verifica è in maniera approfondita illustrato in sezione 2.4.6 Manuale SSAP 5.1:

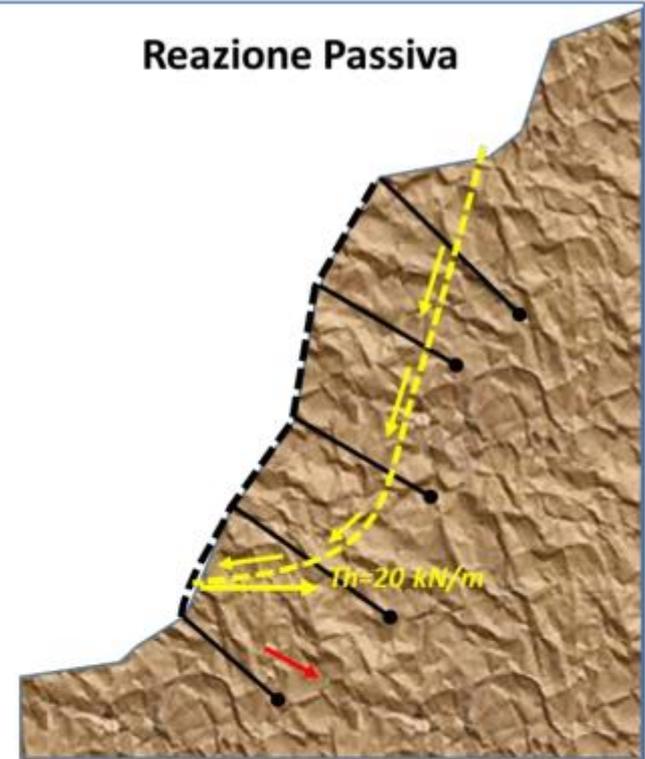
Reazione Attiva



Modello di reazione di tipo ATTIVO

La rete ancorata reagisce con una **reazione attiva** legata alla tensione di ancoraggio dei rinforzi (attivi o passivi). Esistono solo modelli approssimati per stabilire assumere la entità di questa azione di tipo attivo che può essere modellizzata come un sovraccarico, distribuito inclinato, e orientato perpendicolarmente alla superficie.

Reazione Passiva



Modello di reazione di tipo PASSIVO

La rete ancorata reagisce con una **reazione passiva** legata alla tensione di ancoraggio dei rinforzi (attivi o passivi) e alle caratteristiche di resistenza e deformabilità della rete.

Fino ad adesso esistono solo modelli semplificati per stabilire assumere la entità di questa reazione di tipo passivo che è legata alla entità delle sollecitazioni che si producono in corrispondenza della intersezione della superficie di scivolamento con la rete.

Tipologie riconosciute della reazione del sistema flessibile di rinforzo

Figura 2.4.6.4(Borselli, 2020)

Determinazione reazione passiva orizzontale della rete

Legenda simboli

- $d=d_1+d_2$ = distanza tra i rinforzi di fissaggio piu vicini (m)
- $d(1+\epsilon_r, \alpha)=dl_1+dl_2=d$, Lunghezza rete deformata (m)
- α = Coefficiente di mobilitazione T_r , di progetto [0.0,1.0]
- $\epsilon_r=[(dl_1+dl_2)-d]/d$ coeff. deformazione lineare a rottura
- T_r = Resistenza limite a trazione della wire mesh (kN/m)
- $T_{1,2}$ = Forza di ancoraggio di progetto dei rinforzi (kN/m)
- $T_{1,2}^*$ = Forza di sfilamento sul rinforzo indotta da deformazione rete (kN/m)
- T_h = Reazione orizzontale passiva wire mesh (kN/m)
- $\theta_{1,2}$ = Pendenza locale zone rinforzi (°)
- $\beta_{1,2}$ = Inclinazione ancoraggio (chiodi/tiranti)(°)
- $\omega_{1,2}$ =angolo tra rete deformata e parete (°)
- δ =angolo inclinazione reazione passive rete(°)

$$T_h = \alpha T_r \cos \delta$$

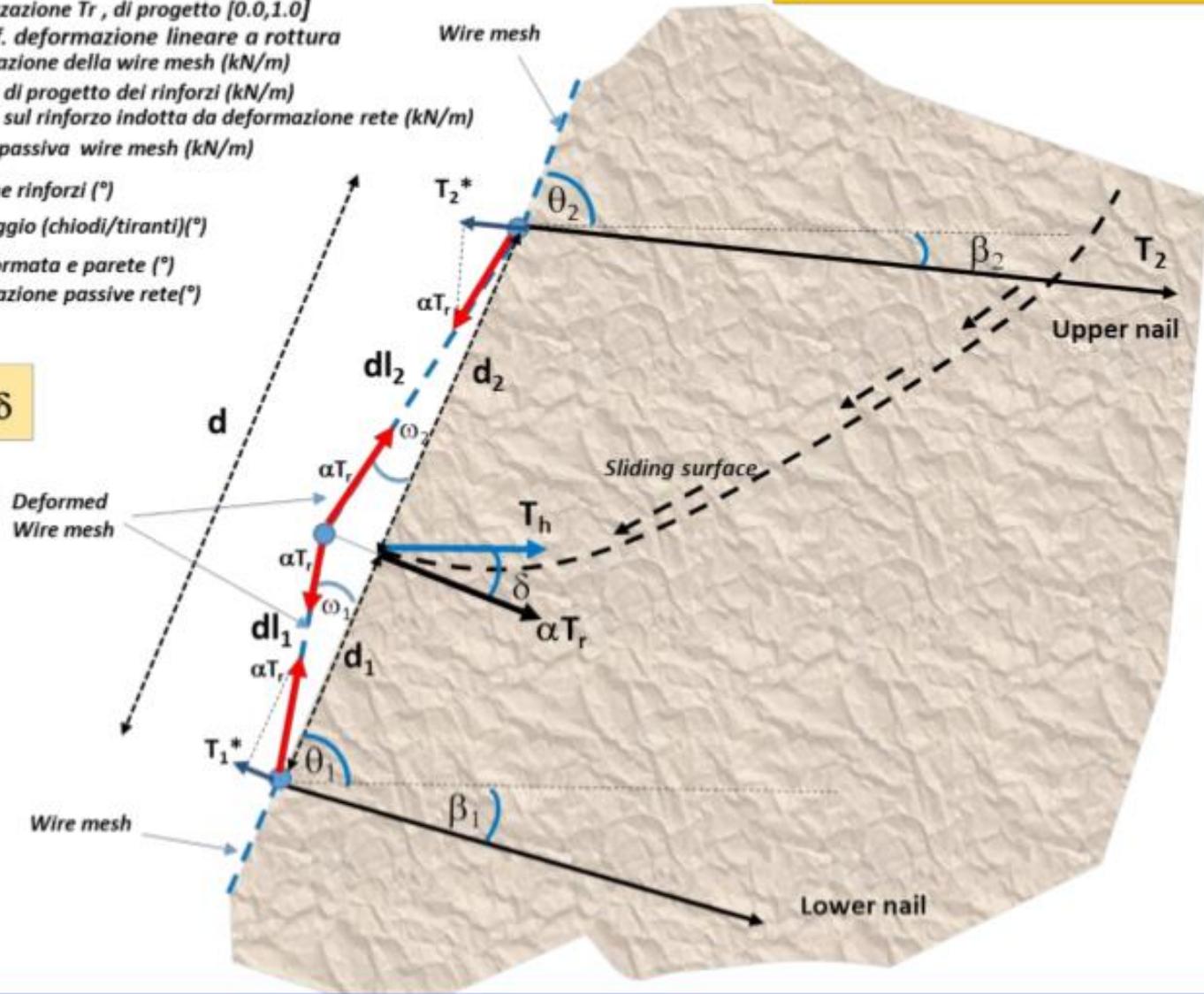


Figura 2.4.6.7(Borselli, 2020)

In un futuro Corso SSAP di Livello Avanzato verranno estesi gli argomenti fino a qui trattati e verranno trattati nuovi argomenti.

Corso Avanzato Impiego del software SSAP

(Slope Stability Analysis Program, versione 5.1 - 2022, FREEWARE)

Programma di calcolo per l'analisi della stabilità dei pendii

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

OBIETTIVI FORMATIVI

Illustrare gli aspetti avanzati delle basi teoriche e pratiche della verifica di stabilità dei pendii con metodologia dell'equilibrio limite (LEM) facendo uso del software freeware SSAP2010. Illustrare le varie problematiche derivanti dalla complessità dei pendii naturali e quelli con interazione di opere di stabilizzazione. Illustrare e discutere le informazioni addizionali provenienti dalla analisi della distribuzione interna delle forze, delle pressioni e del fattore di sicurezza locale al fine di migliorare la affidabilità e qualità dei risultati. Illustrare e analizzare i problemi di stabilità numerica che si presentano nel calcolo di F_s dei pendii e valutare possibili strategie di soluzione. Illustrare aspetti poco documentati della teoria di verifica di stabilità dei pendii basata su LEM. I temi proposti verranno affrontati con riferimento all'analisi di casi reali anche nell'ottica delle NTC2018. Prerequisito vivamente consigliato per gli utenti non esperti di SSAP è l'aver seguito in precedenza il corso di livello base.

Nel corso verrà data una panoramica completa di innovative strategie di analisi di stabilità dei pendii e di progettazione in alternativa alle tecniche classiche sviluppate e adottate nel secolo XX. Alcuni dei temi affrontati sono nuovi nel panorama geotecnico dei metodi di verifica della stabilità dei pendii. **Si fa notare che durante il corso avanzato si daranno per consolidate le nozioni di base, teoriche e pratiche, del funzionamento di SSAP e che quindi queste non verranno ripetute nel corso avanzato.**

N.B: Il corso in modalità WEBMINAR non consente di generare tutte le necessarie interazioni tra corsisti e docente che possono realizzarsi in corso presenziale e con uso diretto del software in presenza del docente. Tuttavia il corso è finalizzato a dare tutti gli elementi di base per appianare la naturale curva di apprendimento.

Argomenti Corso SSAP di Livello Avanzato:

ARGOMENTI

- Applicazione di SSAP a casi reali e confronto tra metodi di verifica di stabilità in presenza di strutture di rinforzo (pali, tiranti ,terre armate, gabbionate, reti in aderenza)
- Uso delle Mappe (metodo qFEM , SRM , OSR, LEM) del fattore di sicurezza locale
- Gestione pressioni neutre e acquiferi (con e senza sovrappressioni)
- Verifiche in condizioni sismiche e Post-Sismiche (metodo pseudo-statico, metodo degli Spostamenti, verifica in condizioni di liquefazione totale e/parziale).
- Verifiche di Stabilità nelle NTC2018: approfondimenti
- Combinazioni di criteri di rottura (Mohr-Coulomb, Tresca, Hoek, Hoek +Barton, post-liquefazione)
- Modellazione condizioni drenate e non drenate e pericoli della modellazione in condizione non drenate.
- Modello geotecnico con alternanza di condizioni drenate e non drenate
- *back analysis* e problemi applicativi della verifica secondo una superficie singola predefinita
- verifica della capacità portante di fondazioni superficiali con SSAP (in pendio) in condizioni di stratificazione e distribuzione di carichi complessa

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

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

