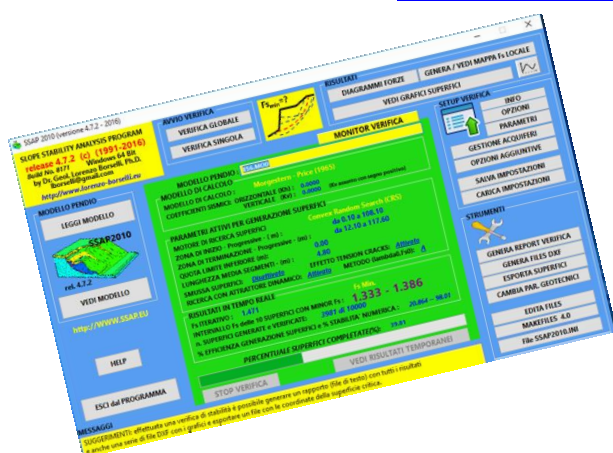


# SSAP 2010

*"un passo oltre..."*

**(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)**

<http://www.ssap.eu>



## Manuale di Riferimento Versione 4.7.2 (2016)

by

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

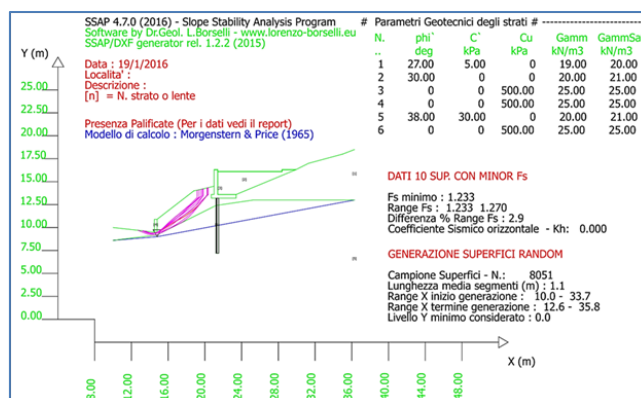
Marzo 2016

\* Docente di Geotecnica e Geologia Applicata  
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

WEB: e Curriculum Vitae: <http://www.lorenzo-borselli.eu>

E-mails: [lborselli@gmail.com](mailto:lborselli@gmail.com), [lorenzo.borselli@uaslp.mx](mailto:lorenzo.borselli@uaslp.mx)



## “Perché SSAP? “

Molti utenti di SSAP prima o poi mi domandano: ***“perché lo hai messo totalmente libero per tutti, senza farti pagare come fanno varie software houses di software geotecnico in giro per il mondo?”***

La risposta sta nel fatto che SSAP è un prodotto della ricerca Italiana, che inconsapevolmente i vari governi italiani, negli ultimi 20 anni, e coscientemente un gruppo di pochi utenti privati nella sua prima fase di sviluppo, hanno modestamente finanziato. Ci sono voluti 24 anni per ottenere il SSAP che avete da poco scaricato sul vostro PC.

Credo fermamente che i soldi della ricerca pubblica debbano ritornare, come beneficio tangibile a chi ha, con le proprie tasse, finanziato all’origine questa ricerca. Tuttavia non esiste nessun progetto di ricerca ufficiale che annota il SSAP tra gli obiettivi. Però a partire dal 1991 i vari governi italiani hanno finanziato alcune delle mie borse di studio, il mio dottorato, il mio contratto di ricercatore presso il CNR fino al luglio 2011. Il mio lavoro è quindi potuto proseguire con regolarità e continuità fino ad oggi, o meglio fino al luglio 2011. Dal 1997 al 2010 alcuni privati hanno volontariamente dato contributi una tantum, regolarmente fatturati, dichiarati, e pesantemente tassati, dando un contributo fondamentale al progetto.

Comunque siano andate le cose SSAP è qui con una versione ancora aggiornata. Questa volta il progetto è inconsapevolmente pagato dal Messico, dove vivo e lavoro dal luglio 2011. Qui, come potrete vedere dal mio sito personale [www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu), faccio il professore di geotecnica e geologia applicata e continuo a fare ricerca nei settori della meccanica del suolo e rocce, applicata alla stabilità dei pendii, alla idrologia, alla erosione del suolo, alla vulcanologia e alla prevenzione del rischio idrogeologico.

SSAP è rimasto quindi una delle mie passioni. Il fatto che rimanga un prodotto di ricerca libero disponibile per tutti gli utenti che lo desiderano testare, e utilizzare per lavoro e studio, è un omaggio che faccio al mio Paese di origine che ha pagato i miei studi, borse di studio e stipendio di ricercatore.

Gli utenti che adesso utilizzano SSAP, a quanto mi risulta, sono moltissimi. Il fatto che Studenti, professionisti, Pubbliche Amministrazioni possano utilizzare SSAP liberamente è credo estremamente positivo in questo momento di crisi, e ciò non potrà che contribuire allo sviluppo tecnologico del nostro Paese. Nel 2011 ho ricevuto una proposta di collaborare al SSAP da parte di un noto produttore di software geotecnico commerciale Cinese e noto ricercatore nel settore della stabilità dei pendii. Immaginate che cosa ho risposto. Desidero che questa tecnologia rimanga italiana, anche se è stata usata già qui in Messico per uno studio di stabilità di un edificio Vulcanico (vedasi articolo di Borselli et al, 2011 su *Journal of Volcanology and Geothermal Research*).

Ho avuto il piacere di vedere vari studenti di master in ingegneria geotecnica che hanno usato SSAP per le loro tesi. Moltissimi professionisti (ingegneri, Geologi) lo hanno usato e lo usano per le loro attività quotidiane. Varie PP.AA. lo usano per attività istituzionali. Diversi ordini dei geologi regionali (Liguria, Toscana, Puglia, Abruzzo Basilicata) hanno organizzato dal 2010 al 2014, corsi APC (12-14 crediti) e un collegio provinciale degli ingegneri (Bari 2013). Vi sono stati (nel 2013 e 2014) due seminari ad invito sull’uso del SSAP presso istituzioni di ricerca e formazione superiore in Italia (CNR-IRPI, Politecnico di Bari). Il numero degli utilizzatori di SSAP è continuamente e esponenzialmente aumentato in questi ultimi due anni (da quando il SSAP è reso disponibile liberamente per tutti) e il sito ufficiale di SSAP riceve in media circa 1000 visite al mese. Questi fatti permetteranno nel futuro un ulteriore miglioramento delle qualità di SSAP, attraverso il continuo scambio di informazioni, suggerimenti e critiche costruttive tra l’autore e gli utenti e del programma.

È importante notare che, a tutt’oggi, a livello mondiale non esiste un software equivalente al SSAP, di uso totalmente libero e disponibile per tutti, su internet.

E questa mia affermazione può essere verificata direttamente da ciascuno di Voi.

Saluti e buon lavoro  
Lorenzo Borselli

Agosto 2014  
San Luis Potosí, MESSICO

## Premessa

*Questa guida è indirizzata a tutti gli utenti del codice SSAP che desiderano avere una panoramica completa delle possibilità di impiego offerte dal programma.*

*In particolare essa è rivolta ai professionisti e tecnici che possiedono già un certo grado di conoscenza delle metodologie, e delle problematiche connesse, di verifica di stabilità dei pendii costituiti da terreni sciolti e/o ammassi rocciosi fratturati, con o senza opere di rinforzo e stabilizzazione.*

*La guida si propone di fornire un riferimento completo a tutti gli strumenti di lavoro e alle procedure di calcolo implementate nel programma SSAP, sviluppate nel corso degli ultimi 25 anni dall'Autore.*

*Una quantità di tempo considerevole è stata impiegata per la stesura di questa documentazione, essendo essa parte integrante ed essenziale per garantire una buona qualità del software.*

*Come per un qualunque programma di calcolo per scopi tecnico-scientifici, soggetto ad un continuo processo di verifica e miglioramento, anche la documentazione interna ed esterna è soggetta a revisioni ed ampliamenti. Costante cura dell'autore sarà informare gli utenti di tutte le revisioni e migliorie apportate, affinché sia disponibile uno strumento di lavoro sempre al passo con gli standard attuali.*

*La versione più aggiornata di questa guida è scaricabile, in forma di un file .PDF, dal sito ufficiale di SSAP: <http://www.ssap.eu> , che fornisce anche indicazioni sulla ultima versione ufficiale del software e sulla Licenza d'uso Freeware (ovvero gratuita) per privati e Pubbliche Amministrazioni, a partire dalla versione 4.0 (SSAP2010).*

*Nel continuo processo di sviluppo di questo software sono di insostituibile aiuto i contributi degli utilizzatori del programma attraverso suggerimenti e critiche costruttive, che nascono dall'uso quotidiano e da applicazioni sopra casistiche reali. Al fine di garantire un trend continuo nel miglioramento della qualità del software applicativo sviluppato, l'intervento degli utenti sarà sempre assai gradito.*

*Si ringraziano pertanto tutti i numerosi utilizzatori che hanno fornito da più 20 anni, con i loro suggerimenti e tests, la possibilità di migliorare in modo continuo la qualità d questo software. Senza il loro contributo ciò non sarebbe stato possibile. Ringrazio quindi in modo particolare:*

**Dr. Marco Lonzi - geaitalia s.r.l. Firenze**

**Dr. Geol. Giuliano Innocenti – Studio Innocenti, Pontassieve (FI)**

**Dr. Geol. Pellegrino Innocenti – Studio Innocenti, Pontassieve (FI)**

**Dr. Ing. Valentino Ferraro – Editecno, Vicenza**

**Dr. Geol. Paolo Petri – La Spezia.**

**Dr. Ing. Piernicola Lollino – CNR-IRPI, Bari**

**Dr. Ing. Lucia Greco- Bari.**

**Dr. Ing. Emanuele Tagliavini**

**E moltissimi altri...**

Lorenzo Borselli  
San Luis Potosí (Messico)  
gennaio 2016

## Note sulle modifiche effettuate nelle ultime versioni di SSAP2010

### ***Modifiche principali effettuate dalla Versione 4.5.2 gennaio 2015 alla versione 4.7.2– marzo 2016***

#### **Nuove procedure e/o aggiornamento algoritmi**

- **Ottimizzazione degli algoritmi delle procedure di generazione delle superfici random.**  
Una sequenza di ottimizzazioni negli algoritmi di base dei motori di generazione delle superfici consente una maggiore affidabilità e versatilità. Le diverse correzioni e ottimizzazioni permettono di generare una serie di verifiche più fluide e veloci senza rallentamenti producendo anche una più uniforme copertura del pendio in esame da parte delle superficie generate.
- **Ottimizzazione degli algoritmi per il calcolo del Fs associato a ogni superficie generata con il metodo del equilibrio limite avanzato.** Una serie di ottimizzazioni importanti hanno consentito di fare ulteriori passi nella stabilità numerica delle soluzioni e nella velocità di calcolo. Il nucleo dell'algoritmo per il calcolo di FS ha ricevuto un importante miglioramento e ottimizzazione che consente un incremento della velocità di calcolo fino al +30% e una ulteriore consistente riduzione della % delle superfici dove non si realizzava una convergenza nel calcolo numerico di FS. La efficienza generale del processo di calcolo numerico ha subito un incremento consistente. Se si somma questo risultato a quello ottenuto con la nuova versione di SSAP a 64 bit (vedi uno dei punti successivi) si può arrivare a un incremento delle prestazioni di calcolo fino al +50%, migliorando inoltre anche la affidabilità generale.
- **Due nuovi metodi di calcolo Rigorosi per la analisi all'equilibrio limite avanzata**  
Nella versione 4.7.2 di SSAP sono stati introdotti 2 nuovi metodi di calcolo rigorosi: il metodo Chen-Morgestern (1983) che sostituisce il metodo Correia (1988); Un nuovo metodo sviluppato e proposto dall'autore qui per la prima volta come evoluzione e generalizzazione del metodo Morgestern-Price (1965) e Chen-Morgestern (1983). Entrambi i nuovi metodi sono descritti in dettaglio nella appendice I di questo manuale insieme a una analisi comparativa tra i vari metodi rigorosi sopra un pendio Benchmark usato nella letteratura scientifica internazionale come test per i programmi di stabilità.
- **Algoritmo di identificazione dei tension cracks entro il pendio.**  
Prodotto un affinamento consistente dell'algoritmo cuore del sistema esperto che consente di indentificare in maniera ottimale la posizione dei tension cracks nel pendio e una correzione all'algoritmo che consente di rispettare le arre di esclusione da tension craks identificate dall'utente.
- **Nuovi algoritmi per la generazione delle Mappe a colori di FS locale.** In quest'ultimo anno si è lavorato parecchio nella sviluppo e affinazione delle procedure per la generazione delle mappe a colori del fattore di sicurezza Locale . L'algoritmo Quasi-FEM (**qFEM**) basato su una quasi Gauss integrazione è stato integrato da un algoritmo che si basa sul campo vettoriale degli stress principali e sulla metodologia dello Stress Path. Il metodo addizionale per ottenere il campo scalare finale del valore del Fs locale si chiama **p-qFEM**. Nel gennaio 2016 è stato aggiunto anche la mappa a colori dell' **Over stress Ratio (OSR)** ovvero un nuovo campo scalare che rappresenta informazioni addizionali che permettono di affinare ulteriormente le verifiche di stabilità. Cuore della tecnica della generazione delle mappe a colori è un algoritmo completamente nuovo di tipo Geostatistico Non-Parametrico, estremamente veloce, sviluppato dall'autore. Questo algoritmo innovativo



consente di ridurre di 10 volte il tempo che era necessario fino alla versione 4.5.2 per generare questo tipo di mappe.

- **Algoritmo di smussatura automatica delle distribuzioni delle pressioni di poro.**  
La distribuzione di pressione di poro può occasionalmente presentare delle leggere irregolarità che sono ora leggermente smussate da un algoritmo apposito in modo da rendere tali distribuzioni più fisicamente basate.
- **Versione SSAP2010 a 64 bit accoppiata alla classica versione 32 bit.** E' ora disponibile una doppia versione di SSAP. La prima versione è la versione classica (eseguitibile **SSAP2010.EXE**) a 32 bit che può operare su entrambe le architetture Windows a 32 o 64 bit, quindi sia su versioni obsolete del sistema operativo (da Win XP in su) sia sulle versioni più recenti (fino a Win 8.1 e 10). La seconda, e nuova versione, è la versione a 64 bit (eseguitibile **SSAP2010\_64bit.EXE**) che può operare solamente sulle versioni di Windows più recenti e specificatamente su macchine con architettura a 64 bit (sistema operativo Windows 7, 8.1 e 10). **La operatività delle due versioni è identica.** La differenza più consistente è però il notevole incremento della velocità di calcolo, dal +30% al +50%, verificata comparando le prestazioni delle due versioni su macchine a 64 bit, dove entrambe le versioni possono operare. (vedasi video sul canale di youtube – link indicato nel capitolo 8). Si ricorda che la versione di SSAP a 64bit (quella con prestazioni migliori) può operare solamente su macchine con sistema operativo Windows a 64 bit. L'utente può quindi scegliere di operare con la versione più adatta al suo sistema operativo.
- **Compatibilità completa con il Nuovo Windows 10.** Per alcuni mesi SSAP e' stato testato con successo su Windows 10. La perfetta compatibilità con le versioni Windows 8.1, 8 e, 7, è garantita. **Si informano gli utenti che la compatibilità di SSAP con l'obsoleto sistema operativo Windows XP, da oggi non è più garantita.**

#### Interfaccia utente e/o programmi esterni

- **Modifiche varie Interfaccia Utente SSAP2010:** finestra principale, finestra Opzioni, finestra opzioni generali e gestione acquiferi.
- **Aggiornamento sistema di help contestuale del programma SSAP2010 e MAKEFILES.**
- **Modifiche consistenti Interfaccia Utente programma MAKEFILES. Ora nella versione 4.0.4**
- **Utilizzo del motore di rendering grafico di GNUPLOT 5.0.3.** Una serie di ristrutturazioni di codice consentono di utilizzare la versione 5.1 di GNUPLOT ([www.gnuplot.info](http://www.gnuplot.info)) come motore di rendering per i grafici della distribuzione delle forze e pressioni interne e delle mappe a colori di FS locale e del OSR(over stress ratio).
- **Utilizzo del software Freeware QCAD 3.12 per la visualizzazione in tempo reale dei grafici dei risultati di verifica**

#### **Documentazione**

- Aggiornamento Manuale di riferimento alla versione 4.7.2, con circa 40 pagine in più, nuovi grafici a colori e parti di testo nuove. Riscrittura appendice B e Nuova appendice I.

*La cronologia completa delle modifiche effettuate sul codice SSAP, è visualizzabile alla seguente pagina del sito ufficiale: <http://www.ssap.eu/newsandbugsfix.html>*

## INDICE GENERALE

“Perché SSAP? “ .....	ii
Premessa .....	iii
Note sulle modifiche effettuate nelle ultime versioni di SSAP2010 .....	iv
Modifiche principali effettuate dalla Versione 4.5.2 gennaio 2015 alla versione 4.7.2– marzo 2016.....	iv
INDICE GENERALE .....	1
CAPITOLO1 - INFORMAZIONI GENERALI SUL PROGRAMMA SSAP .....	7
1.1 INTRODUZIONE .....	7
1.2 CARATTERISTICHE ESSENZIALI DI SSAP2010 (release 4.7.2 marzo 2016 ).....	9
1.2.1 <i>Interfaccia Utente</i> .....	10
1.2.2 <i>Metodi Di Calcolo</i> .....	11
1.2.3 <i>Motori Di Ricerca Superfici</i> .....	13
1.2.4 <i>Strategie Computazionali</i> .....	14
CAPITOLO 2 - MODELLI di CALCOLO UTILIZZATI .....	16
2.1 INTRODUZIONE.....	16
2.2 GENERALITÀ` SULLE VERIFICHE DI STABILITA` .....	16
2.3 PROCEDURE E METODI DI CALCOLO UTILIZZATI.....	19
2.3.1 <i>-Pendii in falda</i> .....	23
2.3.2 <i>Analisi in presenza di sisma (in ambito normativa NTC2008)</i> .....	24
2.4 PRESENZA DI SOVRACCARICHI, TIRANTI, OPERE DI SOSTEGNO,TERRE RINFORZATE,PALIFICATE. ....	26
2.4.1 <i>Sovraccarichi</i> .....	26
2.4.2 <i>Opere di sostegno superficiali</i> .....	27
2.4.3 <i>Tiranti</i> .....	28
2.4.4 <i>Geogriglie e Geosintetici e muri in terra meccanicamente rinforzati (MSEW)</i> .....	31
2.4.5 <i>Palificate</i> .....	36
2.5 LIQUEFAZIONE STATICA E DINAMICA IN PENDIO .....	46
2.5.1 <i>-Introduzione</i> .....	46
2.5.2 <i>–Fenomeni di liquefazione</i> .....	46
2.5.3 <i>–Liquefacibilita’ di uno strato: Valutazione preliminare del fattore di sicurezza locale <math>FS_{liq}</math> per liquefazione</i> .....	48
2.5.4 <i>–Resistenza al taglio dei depositi in condizioni di liquefazione totale o parziale</i> .....	52
2.5.5 <i>–Applicazione in un pendio</i> .....	54
2.6 GENERAZIONE DELLE SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO .....	54
2.6.1 <i>-Random Search</i> .....	56

2.6.2 -Convex Random Search .....	57
2.6.3 - Sniff Random Search (versione 2.3 – 2015,16).....	57
2.6.4 -Opzione - Ricerca con attrattore dinamico (range dinamico) .....	59
2.6.5 -Opzione – effetto tension crack .....	59
2.6.6 -Opzione – smussa superficie di scivolamento .....	60
2.6.7 –Risultati della ricerca della superfiei con Minor FS.....	61
2.6.8 - Limitazioni nella forma locale delle superfici.....	61
2.6.8 - Lunghezza dei segmenti delle superfici .....	63
2.6.9 - Effetti di forze applicate in testa e alla base del pendio .....	64
2.7 VARIABILITA` LITOLOGICA .....	65
2.8 CALCOLO DI FS .....	65
2.9 PROCEDURA DI ANALISI DEL DEFICIT DI RESISTENZA.....	66
2.10 NOTE SULLA STABILITÀ NUMERICA E PROBLEMI DI CONVERGENZA NEL CALCOLO DI FS .....	67
2.10.1 Il fattore RHO in SSAP2010 .....	69
2.10.2 Distribuzione delle tensioni normali sulla base del concio.....	71
2.10.3 Monitoraggio stabilità numerica .....	72
2.10.4 Funzionalità di esplorazione dello spazio ( $\lambda_0$ , $F_{s0}$ ).....	72
2.11 PROCEDURA DI GENERAZIONE DI MAPPE COLORI DEL FATTORE FS LOCALE .....	74
CAPITOLO 3- CONVENZIONI UTILIZZATE NEL PROGRAMMA SSAP .....	79
3.1 INTRODUZIONE .....	79
3.2 FILES DATI ED ESTENSIONI AI NOMI DEI FILES .....	79
3.3 RAPPRESENTAZIONE GEOMETRICA MODELLO DEL PENDIO .....	80
3.3.1 Generalità.....	80
3.3.2 Sistema di coordinate cartesiane XY .....	80
3.3.3 Orientazione pendio.....	81
3.3.4 Superfici.....	81
3.3.5 Superfici strati.....	83
3.3.6 Falda.....	86
3.3.7 Sovraccarichi .....	86
3.3.8 Tiranti o ancoraggi .....	87
3.3.9 Geogriglie .....	88
3.3.10 Palificate.....	89
3.3.11 Convenzioni nella numerazione degli strati .....	89
3.3.12 Formato file .DAT.....	92
3.3.13 Formato file .FLD .....	93

3.3.14 Unità di misura.....	93
3.4 RAPPRESENTAZIONE GEOMECCANICA DEL MODELLO DEL PENDIO .....	93
3.4.1 Il formato dei files .GEO.....	93
3.4.1.1 -Criterio di rottura Mohr-Coulomb .....	94
3.4.1.2 -Criterio di rottura Hoek et al. (2002). ....	95
3.4.1.3 Combinazione dei criteri di rottura nel file .GEO .....	95
3.4.1.4 Unità di misura nel file .GEO .....	95
3.4.2 Il formato dei files .SVR .....	96
3.4.3 Il formato dei files .TIR.....	96
3.4.4 Il formato dei files .GRD.....	97
3.4.5 Il formato dei files .PIL.....	97
3.4.6 Il formato dei files .LIQ .....	98
3.4.7 Il formato dei files .MOD .....	99
3.5 FILES DATI PARTICOLARI (associati a verifiche su superficie singole) .....	102
3.5.1 Il formato dei files .SIN .....	102
3.5.2 Il formato dei files .SIN.INFO.....	104
3.5.3 Il files .PAR (salvataggio delle impostazioni di verifica).....	105
CAPITOLO 4- CREAZIONE FILES DATI PER SSAP .....	106
4.1 INTRODUZIONE .....	106
4.2 PROGRAMMA MAKEFILES 4.0 PER LA CREAZIONE DEI FILES DATI .....	106
4.2.1 Video Didattici su assemblaggio files del modello del pendio.....	111
4.2.2. Procedura di importazione semiautomatica superfici da file DXF.....	111
4.3 TIPI DI FILES DATI .....	113
4.4 CONTROLLO FILES DATI.....	113
4.5 EDITING FILES DATI .....	114
4.6 FILES DATI PARTICOLARI .....	114
4.6.1 - I files *.SIN. ....	114
4.6.2 - I files *.PAR. ....	114
CAPITOLO 5 -DENTRO AL PROGRAMMA SSAP .....	115
5.1 INTRODUZIONE .....	115
5.2 STRUMENTI ATTIVABILI DALLA CONSOLE DI COMANDO PRINCIPALE .....	115
5.2.1 MODELLO PENDIO.....	116
5.2.2 HELP .....	117
5.2.3 ESCI dal PROGRAMMA .....	117
5.2.4 AVVIO VERIFICA E RISULTATI .....	118
5.2.5 SETUP VERIFICA .....	122

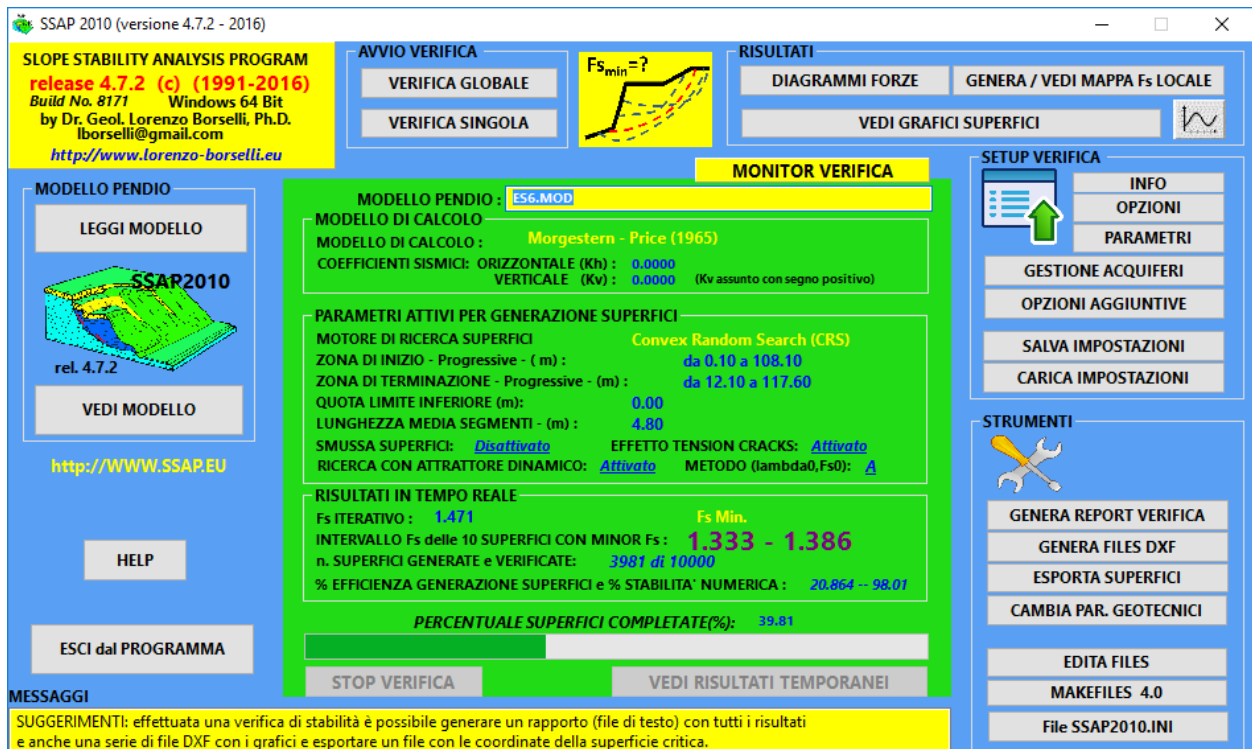
5.2.6 STRUMENTI.....	142
5.3 SEQUENZA TIPICA DELLE OPERAZIONI CON IL PROGRAMMA SSAP .....	144
5.4 STRUTTURA DEL PACCHETTO SSAP .....	144
CAPITOLO 6 - ESEMPI DI APPLICAZIONE .....	146
6.1 INTRODUZIONE .....	146
6.2 ESEMPI .....	146
6.2.1 Esempio 1 .....	146
6.2.2 Esempio 2 .....	154
6.2.3 Esempio 3 .....	167
6.2.4 Esempio 4 .....	177
CAPITOLO 7 - OUTPUT GRAFICI E STAMPA.....	187
7.1 Creazione di file DXF .....	187
7.2 VISUALIZZAZIONE DEI GRAFICI DURANTE LE VARIE FASI DI LAVORO .....	187
7.2.1 Risultati grafici delle verifiche .....	187
7.2.2 Grafici pressioni e forze interconco, a fine verifica.....	188
CAPITOLO 8 - NOTE CONCLUSIVE .....	190
8.1 WEB Links utili.....	191
CAPITOLO 9 - RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	192
9.1 ELENCO DI TESTI A CARATTERE GENERALE.....	192
9.2 ELENCO DI LAVORI A CARATTERE PIU' SPECIALISTICO.....	192
APPENDICE A - CONVERSIONE UNITA' DI MISURA .....	195
FORZA(forza peso).....	195
PRESSIONE .....	195
PESO DI VOLUME Unitario( o DENSITA' APPARENTE) .....	195
APPENDICE B –SEGNALAZIONE ANOMALIE e MESSAGGI di ERRORE .....	196
APPENDICE C -VALUTAZIONE DEI PARAMETRI GEOMECCANICI DI UNA LENTE-STRATO PALIFICATA INSERITA IN UN PENDIO .....	202
C.1 Determinazione dei parametri geomeccanici equivalenti di una lente-strato palificata .....	202
C.1.1 Esempi di applicazione.....	204
APPENDICE D - APPLICAZIONE DEL CRITERIO DI ROTTURA Hoek Et Al. (2002,2006) NEL CODICE SSAP .....	206
D.1 INTRODUZIONE .....	206
D.2 DESCRIZIONE DEL CRITERIO DI ROTTURA PER LA DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI $\phi'$ E c' EQUIVALENTI.....	208
D.2.1 Stima del parametro $m_i$ .....	211
D.2.2 Stima del parametro GSI.....	211

D.3 RESISTENZA AL TAGLIO DI RIEMPIMENTI DI SUPERFICI STRUTTURALI .....	214
D. 4 ESEMPIO DI APPLICAZIONE DEL CRITERIO DI HOEK ET AL. (2002).....	216
D.5 RIFERIMENTI CITATI .....	217
APPENDICE E - GESTIONE ACQUIFERI E FLUIDI .....	218
E.1 INTRODUZIONE.....	218
E.2 FUNZIONALITÀ MODULO PER LA GESTIONE DEGLI ACQUIFERI.....	219
E.3 FALDE SOSPESE E TEMPORANEE .....	220
E.4 ACQUIFERI CONFINATI .....	222
E.5 FLUIDI IN PRESSIONE.....	223
E.5 PENDII SOMMERSI .....	225
E.6 USO E AVVERTENZE .....	226
APPENDICE F - SSAP2010 E LE VERIFICHE DI STABILITA' SECONDO LE NTC 2008 .....	227
F.1 - Introduzione .....	227
F.2 Prescrizioni generali .....	227
F.3 Le verifiche di sicurezza .....	230
<i>F.3.1 Opere di materiali sciolti e fronti di scavo.....</i>	<i>231</i>
<i>F.3.2 Le verifiche di sicurezza per i pendii naturali.....</i>	<i>231</i>
F.4 Verifica dei Versanti Secondo L'EC7 e Verifiche di Sicurezza per i Pendii Naturali .....	231
F.5 Stabilità dei pendii in condizioni sismiche .....	232
APPENDICE G - ESEMPIO DI REPORT PRODOTTO DAL PROGRAMMA.....	236
APPENDICE H – NOTE SU INSTALLAZIONE E CONFIGURAZIONE del SOFTWARE .....	265
H.1. CONFIGURAZIONI MINIME HARDWARE E SOFTWARE .....	265
H.2. ISTRUZIONI PER LA INSTALLAZIONE .....	265
H.3. OPERAZIONI DI CONFIGURAZIONE PERSONALIZZATA – FACOLTATIVA !!! .....	266
H.4. DESCRIZIONE DEL FILE SSAP2010.INI .....	268
<i>H.4.1. Programma di editazione e visualizzazione files di testo (Editor).....</i>	<i>268</i>
<i>H.4.2 Programmi per la visualizzazione dei files DXF e Visualizzazione di grafici prodotti dal programma SSAP2010. ....</i>	<i>268</i>
<i>H.4.3 Un Esempio personalizzato di file SSAP2010.INI.....</i>	<i>269</i>
H.5-UBICAZIONE DELLE CARTELLE DI INSTALLAZIONE DI SSAP2010 .....	269
APPENDICE I- NUOVO METODO DI CALCOLO RIGOROSO PER VERIFICHE DI STABILITA' DEI PENDII ALL'EQUILIBRIO LIMITE. ....	271
I.1-INTRODUZIONE .....	271
I.2-I METODI RIGOROSI NEL QUADRO DELLA MODELLISTICA ALL'EQUILIBRIO LIMITE .....	272
I.3.- UN NUOVO METODO RIGOROSO DEL GRUPPO II.....	273
I.4. ANALISI COMPARATIVA TRA I METODI CLASSICI E IL NUOVO METODO.....	275
I.5.- CONCLUSIONI .....	283



<b>I.6-BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>283</b>
<b>RINGRAZIAMENTI .....</b>	<b>284</b>

## CAPITOLO1 - INFORMAZIONI GENERALI SUL PROGRAMMA SSAP



### 1.1 INTRODUZIONE

Nelle applicazioni Geologico-Tecniche è spesso necessario valutare il grado di stabilità di un pendio naturale in terreni sciolti o di opere in terra rispetto a potenziali movimenti gravitativi. Tali valutazioni vengono usualmente condotte tenendo conto sia delle condizioni attuali che di quelle prevedibili o probabili nel futuro. Generalmente tali verifiche vengono realizzate, una volta che siano note le caratteristiche lito-stratigrafiche, idrogeologiche, geomeccaniche del pendio, con procedure di calcolo lunghe, ripetitive e talvolta assai complesse.

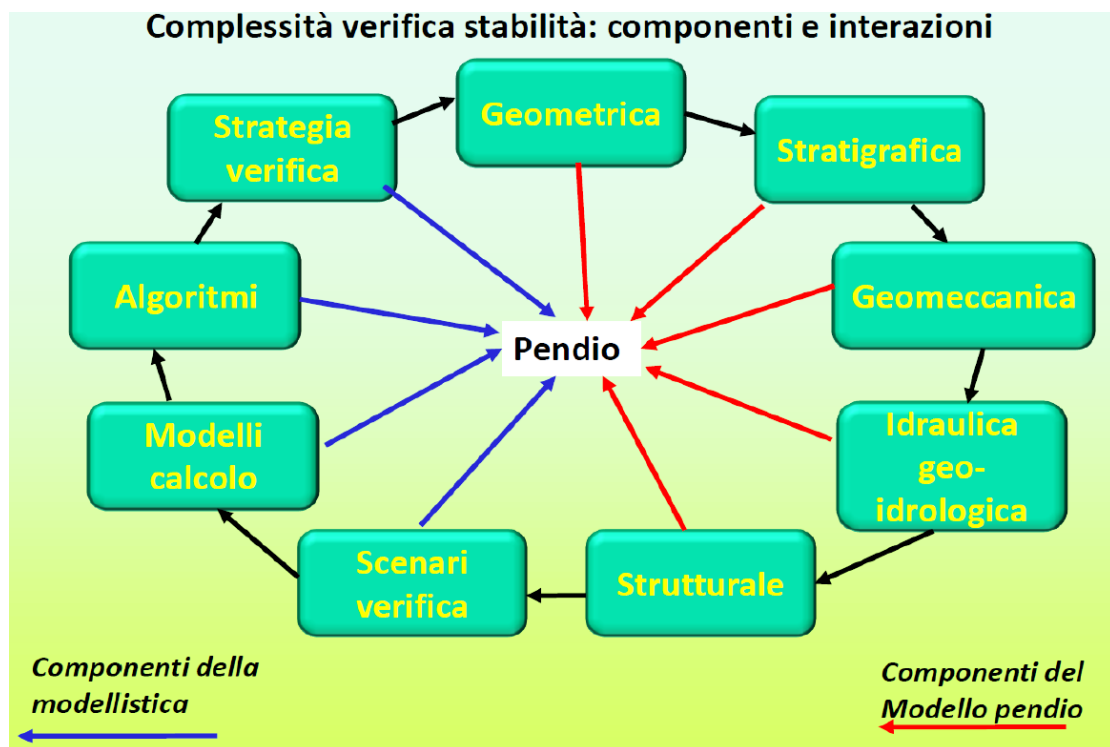
Per questo motivo da più di tre decenni trovano largo impiego in questo campo codici di calcolo automatico che consentono di ridurre tempi e costi, oltre a permettere, proprio per la loro velocità ed efficienza, di ottenere risultati più attendibili, perché basati su un numero di verifiche maggiore.

Il Programma SSAP nasce dall'attività di ricerca svolta nello sviluppo di algoritmi che consentono di ottenere una ottimale modellizzazione della configurazione geomeccanica e litostratigrafica dei pendii in terreni sciolti. Infatti, per valutare correttamente il grado di stabilità di un pendio, oltre che eseguire una corretta caratterizzazione geolitologica dell'area, è necessario tener conto delle eventuali disomogeneità presenti nella massa del pendio, soprattutto nei casi di marcata variabilità delle caratteristiche del terreno, quali ad esempio disomogeneità costituite da strati e lenti di materiali aventi diverse caratteristiche geomeccaniche, livelli di falda variabili, topografie irregolari, elementi stabilizzanti (muri, palificate, tiranti, geogriglie, geosintetici ecc.). Da un punto di vista geologico infatti tutti gli elementi di discontinuità costituiscono parte caratterizzante del pendio e come tali non possono essere trascurati a priori da operazioni di eccessiva generalizzazione del profilo stratigrafico e geomeccanico ricavato da campagne geognostiche. Talvolta invece per deficienze insite nei codici di calcolo esistenti o a causa dei tempi di calcolo,

gli elementi di discontinuità rilevati vengono trascurati o semplificati eccessivamente, con conseguenze sulla attendibilità finale del processo di verifica. In questo contesto un modello di pendio e la sua verifica di stabilità è un processo complesso ricco di componenti e interazioni (fig. 1.1)

Di conseguenza il codice SSAP è stato sviluppato mirando ai seguenti **obbiettivi primari**:

- 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**



**Fig. 1.1**

Per ovviare in parte alla complessità insita nella effettuazione di verifiche di stabilità in materiali sciolti, sono state stabilite specifiche convenzioni riguardanti le unità di misura, il formato dei files dei dati di ingresso, la rappresentazione geometrica del pendio e dei parametri

**geomeccanici dei materiali** che compongono il pendio stesso. Lo scopo è quello di definire un modello geometrico e meccanico del pendio semplice e nello stesso tempo il più realistico possibile, al fine di poter effettuare, con tempi di calcolo accettabili, verifiche di stabilità attendibili.

Nei capitoli successivi sono dettagliatamente descritte queste convenzioni e l'utente vi dovrà fare riferimento al fine di effettuare verifiche corrette.

## **1.2 CARATTERISTICHE ESSENZIALI DI SSAP2010 (release 4.7.2 marzo 2016 )**

**SSAP2010 è il risultato di lungo lavoro di sviluppo iniziato ben 25 anni fa** che ha visto la collaborazione di moltissimi utenti che hanno dato un notevole contributo attraverso critiche costruttive e suggerimenti. La presente versione è il frutto di una evoluzione continua di un codice sorgente totalmente originale, scritto interamente dall'autore nel lontano 1991, culminata con La versione 4.0 (SSAP2010) nel dicembre 2010. **La versione attuale SSAP2010 rel. 4.7.2 (2016)** costituisce un ulteriore passo avanti che spero tutti gli utenti potranno apprezzare per la loro attività di studio, ricerca, professionale e istituzionale. Questo in attesa della futura **versione 5.0 che è pianificata alla fine del 2016.**

**E' importante ricordare che SSAP2010 è un software FREEWARE, cioè distribuito gratuitamente via web: <http://WWW.SSAP.EU> . 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.**

**Esiste un'unica versione completa del software SSAP2010 ed è quella disponibile gratuitamente e scaricabile dal sito ufficiale. La ri-distribuzione non è consentita. Il software SSAP2010 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.**

La continua evoluzione del programma è stata guidata dall'obiettivo di realizzare uno strumento professionale, con un elevato livello tecnico scientifico, di facile accessibilità e utilizzo per una fascia la più ampia possibile di utenti. Il software è il risultato di un continuo lavoro di sviluppo, test e verifica degli algoritmi fondamentali e originali che costituiscono il cuore del programma. Inoltre è sempre risultato determinante il contributo continuo degli utenti mediante suggerimenti, richieste di funzionalità e segnalazioni di anomalie di funzionamento.

**SSAP2010** è caratterizzato da un codice che permette un funzionamento ottimizzato per spazio e velocità in ambiente **Windows Windows 7,8x,10** e da una interfaccia grafica intuitiva e di semplice utilizzo.

Questo lavoro di ottimizzazione è stato finalizzato alla realizzazione di un software più affidabile e veloce per garantire i migliori standard a progettisti, tecnici, ricercatori, studenti, con costo pari a Zero

La **completa ricodifica dei metodi di calcolo** è stata eseguita per aggiornare le procedure di verifica a standard più elevati in termini di rigore, affidabilità e interattività con l'utente. **SSAP2010** è caratterizzato dalla **presenza di 7 metodi di calcolo rigorosi** che operano nell'ambito della metodologia della verifica della stabilità dei pendii mediante il metodo dell'equilibrio limite. Questi **7 metodi di calcolo rigorosi** permettono un notevole salto qualitativo verso uno standard solitamente offerto da pacchetti software estremamente più costosi presenti sul mercato internazionale e nazionale, mantenendo tuttavia nel programma caratteristiche originali come i **tre motori di ricerca diversi per la ricerca delle superfici con minor  $F_s$ , l'originale "SNIFF**

**RANDOM SEARCH**” e l’**algoritmo di ricerca con “range dinamico”**, tutti sviluppati in modo originale dall'autore. Gli algoritmi alla base della ricerca delle superfici sono stati costantemente testati e ottimizzati nel corso degli anni. Alcune novità e ottimizzazioni introdotte nelle ultime versioni permettono un notevole risparmio di tempo all’utente e una maggiore affidabilità dei risultati dell’analisi numerica condotta.

In **SSAP 2010** è importante segnalare un motore di ricerca chiamato **"sniff random search"**, **esclusiva del programma SSAP**, il cui sviluppo, iniziato nel 1997, è stato continuamente migliorato e adesso è presentato nella **versione 2.3**. Questo algoritmo è nato da una idea originale dell'autore e permette di superare tutte le incertezze che caratterizzano i metodi classici di ricerca in particolari situazioni con pendii molto complessi stratigraficamente. Tutti i test condotti sopra i pendii di riferimento, utilizzati nella letteratura scientifica, indicano che il metodo, pur nella semplicità e facilità di uso che lo contraddistingue, fornisce risultati paragonabili, e in qualche caso superiori, ai più sofisticati e potenti algoritmi esistenti, come quelli di minimizzazione multidimensionale, nella ricerca delle superfici critiche. Questo algoritmo originale è stato ulteriormente aggiornato e potenziato già nella versione 4.0.8 includendo anche gli strati definiti come ammassi rocciosi (criterio di rottura Hoek..) e successivamente ottimizzato fino all’attuale versione che considera anche gli stati in condizione di liquefazione. Ora è possibile anche nel caso di strati liquefacibili e quindi nel caso di un criterio di rottura in condizioni di liquefazione statica e dinamica.

**Le caratteristiche principali della versione SSAP2010 4.7.2 sono indicate di seguito:**

### **1.2.1 Interfaccia Utente**

- L’interfaccia Windows (windows 7/8.1/10), compresi i programmi di utilità **MAKEFILES** e **INIUPDATE** distribuiti insieme al programma.
- La **visualizzazione grafica interattiva di files grafici in formato DXF generati automaticamente dal programma mediante strumenti CAD di uso libero come QCAD** ([www.qcad.org](http://www.qcad.org)) attivabili con un click del mouse e distribuiti e preinstallati nel pacchetto di installazione. (fig. 1.2)
- La visualizzazione della distribuzione delle forze interne in una finestra grafica (**rendering con motore GNUPLOT 5.1** – [www.gnuplot.info](http://www.gnuplot.info) )
- Il modulo per creare e salvare automaticamente **Files DXF** contenenti il modello del pendio, le superfici critiche e tutte le informazioni relative alla verifica di stabilità.
- I files **DXF** prodotti sono compatibili con AUTOCAD ( R14, Autocad LT , autocad 2007,2009,2010, 2012,13,14,15. ecc.);
- La **procedura di registrazione delle superfici analizzate** e la possibilità di visualizzare gruppi di superfici associate a uno specifico intervallo di FS.
- La **procedura di generazione e visualizzazione di mappe a colori di FS medio locale** e esportazione mappe in formato PDF.
- La possibilità di salvare su file i dati della superficie critica con minor FS individuata;
- Il **controllo e la correzione automatica dei più comuni errori** che sono a volte presenti nei files di input.
- La semplificazione dell'**ambiente di lavoro interattivo** e di alcune procedure.

### 1.2.2. Metodi Di Calcolo

- <sup>1</sup>Presentata per la prima volta in questo manuale. Si veda la appendice I di questo documento per la descrizione completa.



### rottura di Hoek

- Mappe a colori del Fattore FS locale e dell' OSR (Over stress Ratio). Ogni mappa di Fs locale è una mappa a colori di un campo scalare (Valori di FS o OSR) locali che possono essere generati secondo diversi algoritmi ora presenti nella Versione 4.7.0 dopo circa 3 anni di fase sperimentale.

I tre tipi di nuove mappe a colori tutte basate su un innovativo sistema quasi-FEM sono :

- mappa – **qFEM** con algoritmo quasi Gauss integration e analisi geostatistica non parametrica, basato su sistema FEM di Schofield & p. Wroth(1968) e Griffith et al. 1999 (vedasi figura 1.3)
- mappa – **p-qFEM** con algoritmo quasi Gauss integration e geostatistica non parametrica basato su sistema FEM di Farias & Naylor e 1998
- mappa – **OSR (Over stress ratio)** con algoritmo quasi Gauss integration e geostatistica non parametrica basato su sistema FEM di Farias & Naylor a 1998

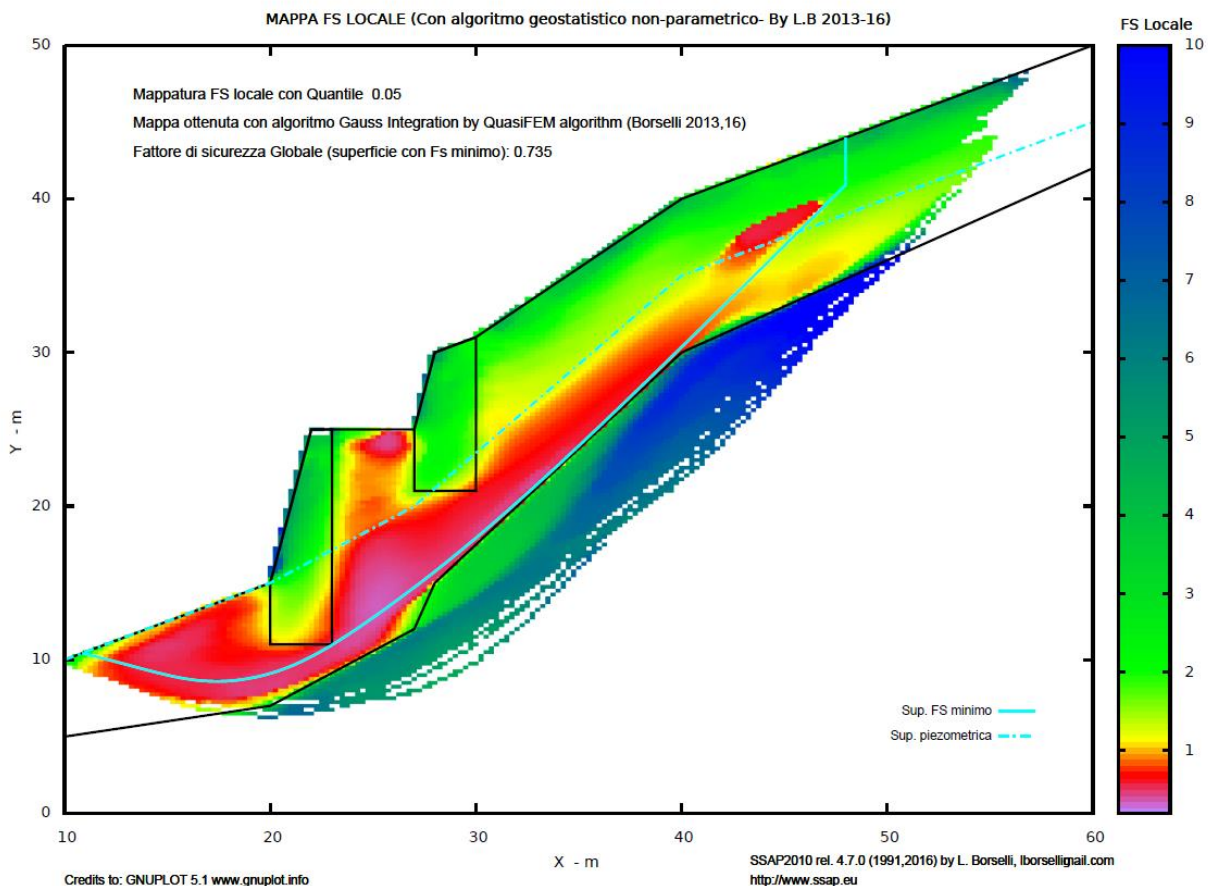


Fig. 1.3

- Possibilità di inserire direttamente strutture **di sostegno tipo palificate** e valutare l'incremento del fattore di sicurezza indotto, attraverso un modello di calcolo e progettazione derivato da quello Ito e Matsui(1981) e Hassiotis et al (1997), Kumar & Hall (2006). A questa si aggiunge una **innovativa e originale procedura per il calcolo automatico della forza di reazione effettivamente mobilizzata dalla palificata**, integrata nel metodo di calcolo per la risoluzione rigoroso del valore di Fs.(fig. 1.4)
- Metodo completo e rigoroso per considerare la **resistenza offerta da sistemi di Tiranti (attivi,Passivi) e con distribuzione di resistenza lineare o non lineare** (dalla versione 4.0.8);

- Metodo completo e rigoroso per considerare la **resistenza offerta da sistemi di geogriglie/geosintetici**, in particolare per l'effetto di **resistenza al pullout**.
- Metodo di calcolo con esplorazione dello spazio di inizializzazione di parametri ( $\lambda_0, F_{s0}$ ) per un incremento della accuratezza e stabilità numerica nella ricerca della superficie con minor  $F_s$ .
- Effettuazione di una analisi particolareggiata che comprende: **il calcolo del Coefficiente Sismico Critico**, come proposto da Sarma (1973), e la possibilità di verificare l'effetto di forze stabilizzanti alla base del pendio (muro di sostegno o palificata) o destabilizzanti in testa al pendio (tension Craks riempiti di acqua).
- Completa **verifica di superfici di scivolamento singole** definite dall'utente; e calcolo del coefficiente sismico critico (secondo il metodo proposta da sarma(1973) applicato anche a gli altri metodi di calcolo (Janbu, spencer...ecc).

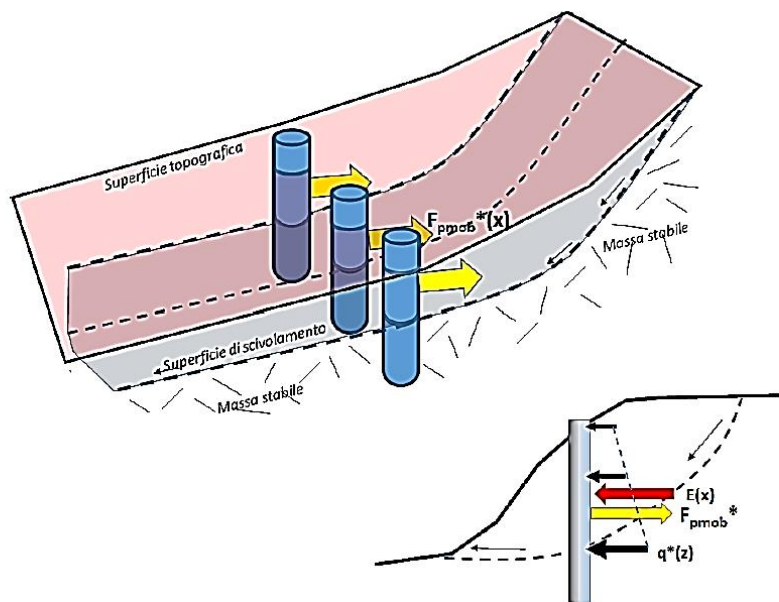


Fig. 1.4

- **Controllo stringente, effettuato in modo automatico**, affinché nessuna parte delle superfici soggette a verifica violi, in base alla propria geometria locale, il principio di rottura di Mohr-Coulomb o Hoek. Ora un messaggio indica all'utente la zona della superficie dove si verifica la anomalia nel caso di verifiche su singole superfici indicate dall'utente.

### 1.2.3 Motori Di Ricerca Superfici

- **Tre motori di ricerca diversi per la ricerca delle superfici con minor  $F_s$** , come l'originale "**SNIFF RANDOM SEARCH**", e l'algoritmo di ricerca con "range dinamico", tutti sviluppati in modo originale dall'autore, ovvero:
  - Motore **RANDOM SEARCH** ottimizzato, bastato sul lavoro di Siegel et al. (1981)
  - Motore **CONVEX RANDOM SEARCH**, derivato da CHEN (1992)
  - Motore **SNIFF NANDOM SEARCH**. E' il metodo più innovativo ma anche il più versatile e potente tra quelli impiegati del programma. Sviluppato in modo originale dall'autore, 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 (ora nella **versione 2.3**) (fig.1.5)
- **Variante ALGORITMO SMUSSATURA SUPERFICI**. Con questa variante è possibile smussare

**completamente a posteriori qualunque superficie generata con uno qualunque dei motori di generazione random utilizzato.** Gli effetti di questa variante sono talvolta notevoli. A esempio talvolta la velocità e la % di convergenza aumentano considerevolmente.

- **Variante RANGE DINAMICO.** Variante che può essere applicata a uno qualunque dei tre motori di ricerca anzi descritti. L'analisi delle superfici porta a **delimitare progressivamente una zona critica.** L'attivazione di questa **opzione permette di concentrare progressivamente tutte le risorse di calcolo dell'analisi in corso in questa zona**
- **Variante GENERATORE TENSION CRACKS.** In suoli con  $C' > 0$  o  $C_u > 0$  è tipico lo **sviluppo di forze di trazione fino a una certa profondità critica  $Z_0$ .** La presenza di coesione favorisce lo sviluppo di questi fenomeni tensionali che hanno come loro evidenza di campo lo sviluppo di fessure di trazione (tension cracks) in testa al pendio. **Con questa versione di SSAP è possibile generare superfici di scivolamento con inglobato un tratto verticale la cui profondità è funzione della  $Z_0$  locale.**

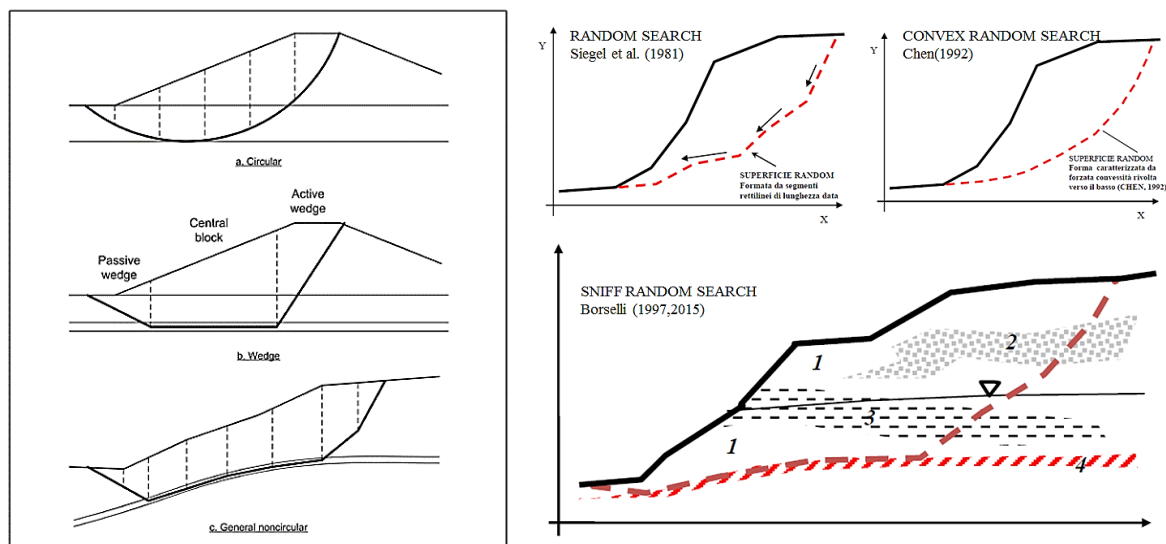


Fig. 1.5

- **Possibilità di selezionare gli strati che si desidera escludere dalla generazione o attraversamento di tension crack (es. muri di sostegno, palificate..)**

#### 1.2.4 Strategie Computazionali

- Utilizzo di varie strategie **computazionali** (es. quelle proposte da Zhu et al (2003)) per **eliminare i problemi di convergenza notoriamente esistenti in molti metodi di calcolo rigorosi** (es. il metodo di calcolo di Janbu rigoroso (Janbu, 1973)). Questi algoritmi, sviluppati in modo originale in SSAP2010, vengono continuamente migliorati, testati per renderli più affidabili. **Questo è uno di punti di maggiore innovazione rispetto ai software anche commerciali presenti attualmente sul mercato. Queste strategie computazionali sono uno dei cuori del programma SSAP**
- **Il modulo di gestione degli acquiferi:**

**Una delle più nuove e importanti caratteristiche di SSAP2010** (già sperimentata e sviluppata fino alla versione SSAP2004) è il modulo completo per la **gestione avanzata degli acquiferi** presenti in un pendio. Lo scopo è quello di rendere più versatile e più corrispondente alla realtà geologica-geotecnica la componente delle pressioni interstiziali entro i vari strati che compongono il modello del pendio. Con questo modulo aggiuntivo è possibile:

- Utilizzare la linea freatica, che usualmente definisce la tavola d'acqua

eventualmente presente in un pendio, come **livello piezometrico** utile a calcolare la pressione interstiziale locale, nel caso di **falde in pressione**

- **Escludere alcuni strati dal calcolo delle pressioni interstiziali** e considerarli come acquicludi; ciò risulta utile per **simulare la presenza di falde sospese e stati temporaneamente saturi sopra porzioni insature**; (fig.1.6)
- **Cambiare il peso unitario del fluido** (per l'acqua è  $9.81 \text{ kN m}^{-3}$ ); ciò è utile per utilizzare una modalità **alternativa di simulazione delle falde in pressione**;
- Nel caso di **falde in pressione** utilizzare un 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**. Questa opzione consente ad esempio la **simulazione di un effetto di svaso rapido in un bacino artificiale**;

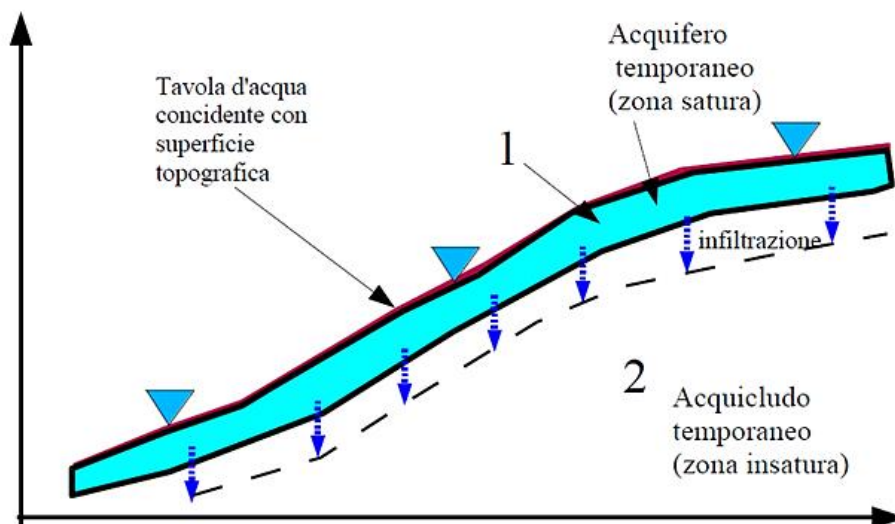


Fig. 1.6

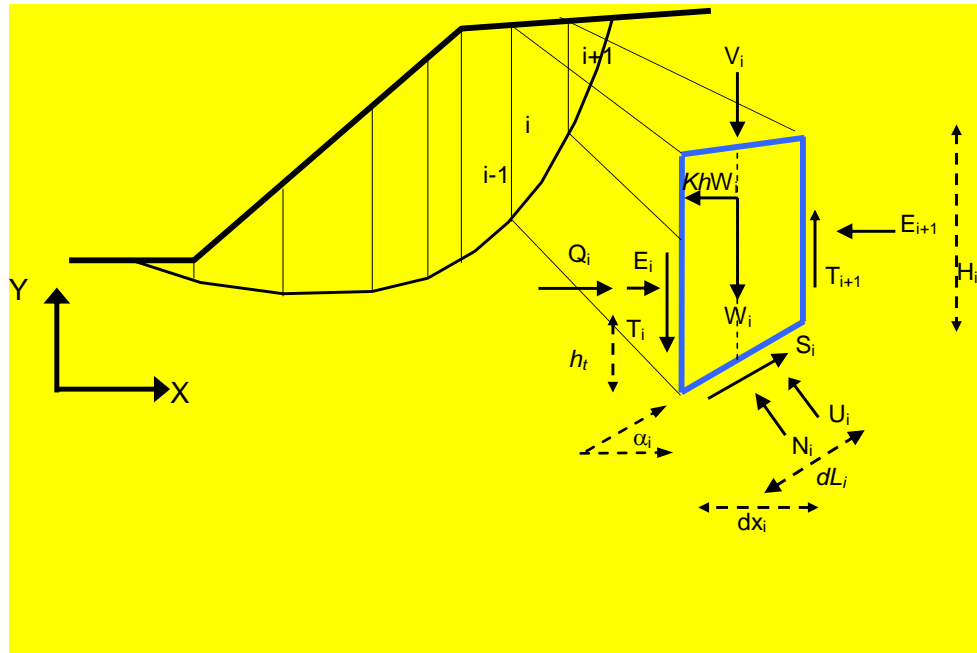
Le novità introdotte nel **modulo di gestione degli acquiferi** producono un notevole incremento delle funzionalità del codice SSAP. Tuttavia è necessario notare che l'utilizzo delle nuove funzioni è una modalità avanzata che è suggerita solo in situazioni particolari e che l'applicazione di queste funzionalità può alterare in modo rilevante la risposta in termini di stabilità globale;

#### **NOTA BENE:**

**Nel capitolo successivo sono dettagliatamente illustrate le convenzioni utilizzate per la rappresentazione geometrica del pendio, per i dati geomeccanici e la struttura dei file dati.**

**Si consiglia vivamente una attenta lettura dei successivi capitoli, nonché lo studio di alcuni degli esempi di lavoro, prima di utilizzare in modo esteso il programma SSAP.**

## CAPITOLO 2 - MODELLI di CALCOLO UTILIZZATI



### 2.1 INTRODUZIONE

In questo capitolo viene data una sintetica presentazione dei modelli utilizzati nelle verifiche di stabilità effettuate con il codice SSAP. Verrà evitata una trattazione eccessivamente specialistica, che renderebbe troppo pesante la lettura e sarebbe oltre gli scopi di questo manuale. Tuttavia il lettore potrà attingere, se lo ritiene utile, ai riferimenti bibliografici presenti nel capitolo 8. Essi sono ordinati in due gruppi: nel primo sono elencati alcuni testi e articoli in cui sono presentate le basi teoriche essenziali relative alle verifiche di stabilità, nel secondo sono elencati lavori a carattere più specialistico.

### 2.2 GENERALITÀ SULLE VERIFICHE DI STABILITÀ

Il grado di stabilità di un pendio, in condizioni statiche o dinamiche (per azioni sismiche), nei confronti di movimenti gravitativi, viene valutato attraverso la determinazione del cosiddetto "**FATTORE O COEFFICIENTE DI SICUREZZA**" indicato con il simbolo **Fs**.

I metodi di calcolo di **Fs** impiegati si basano sulle tecniche di verifica dette *LIMIT EQUILIBRIUM METHOD* (che di seguito indicheremo sempre come **LEM**), (Duncan 1996; Krahn 2003).

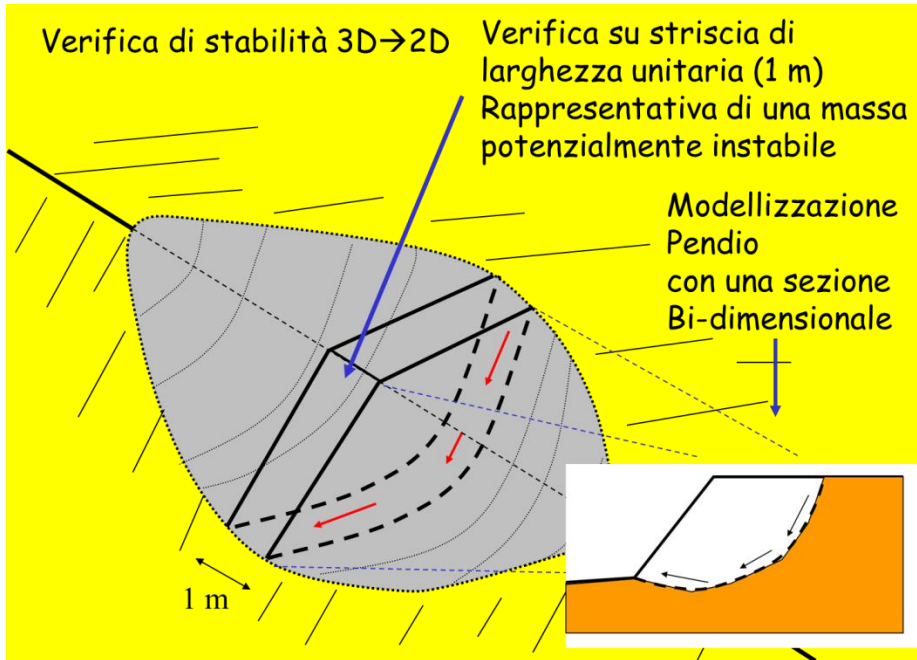


Fig. 2.1

Nei metodi LEM il calcolo di FS viene effettuato su una specifica superficie di scivolamento definita entro un pendio. Dato che le porzioni potenzialmente instabili sono definibili in un spazio 3D il calcolo viene sviluppato sopra una striscia rappresentativa di larghezza unitaria, quindi bi-dimensionale (2D) della superficie di potenziale scivolamento. (figura 2.1).

Nella applicazione del metodo dell'equilibrio limite tale superficie (fig. 2.1) separa la parte di pendio stabile da quella potenzialmente instabile. La parte stabile inferiore rimane indeformata e non subisce rotture. Si suppone che la massa superiore, fino al momento della rottura, non subisca deformazioni. Collapsi e deformazioni sono posteriori allo sviluppo di una superficie di rottura. Vieni quindi assunto un comportamento a rottura rigido perfettamente plastico: non si deforma fino a quando non arriva a rottura. Tuttavia il valore di  $F_s$  (e quindi il suo grado di stabilità o propensione al movimento) si riferisce alle condizioni precedenti al fenomeno di rottura.

Per ogni superficie di potenziale scivolamento si può quindi derivare lo sforzo di taglio totale mobilitato  $\tau_m$  (domanda) e la resistenza al taglio disponibile  $\tau_f$  (capacità) e quindi è possibile definire **FS** come:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_m} \quad (2.1)$$

Usando ad esempio il criterio di rottura *Mohr-Coulomb*: **FS** è il fattore per cui occorre dividere i parametri della resistenza al Taglio del terreno lungo i vari tratti della superficie, per provocare la rottura del pendio lungo tutta la superficie considerata e nel medesimo tempo, ovvero:

$$\tau_f = \frac{c'}{F_s} + \frac{\sigma' \tan \phi'}{F_s} \quad (2.2)$$

Che avverrà qualora sia verificata la condizione di eguaglianza tra sforzi mobilitati e disponibili, ovvero tra domanda e capacità.



Se  $F_s > 1.0$  siamo in condizioni di stabilità, mentre per  $F_s < 1.0$  siamo in condizioni instabili dovuti a un generalizzato deficit di resistenza. Un altro assunto fondamentale dei metodi LEM è che nel caso di variabilità delle caratteristiche di resistenza al taglio lungo la superficie di scivolamento, sebbene  $F_s$  possa essere in realtà localmente variabile, si assume che  $F_s$  sia costante lungo tutta la superficie di potenziale scivolamento assunta. Ovvero abbiamo dovunque la medesima frazione di resistenza al taglio mobilitata rispetto a quella massima mobilitabile.

$F_s$  deve essere valutato entro un preciso riferimento spaziale. E' perciò necessario considerare una potenziale superficie di scorrimento nella massa del pendio e valutare tutte le forze (e momenti) agenti (ovvero che inducono lo scivolamento) e resistenti (che si oppongono allo scivolamento) su detta superficie. In pratica, essendo infinite le superfici di scivolamento possibili,  $F_s$  viene valutato per ognuna delle superfici di un campione rappresentativo, generate con un certo criterio entro il volume del pendio assunto.

In tal modo il "**FATTORE DI SICUREZZA**" del pendio sarà quello che compete alla superficie di scorrimento con  $F_s$  più basso. Tale superficie è detta anche "**SUPERFICIE CRITICA**". Una superficie di scivolamento assunta divide in due parti distinte il pendio (fig.2.1). Superiormente abbiamo una massa potenzialmente instabile supposta rigida e inferiormente una massa rigida stabile. La eq.(2.1) permette di determinare la stabilità del pendio nei confronti della superficie considerata precedentemente.

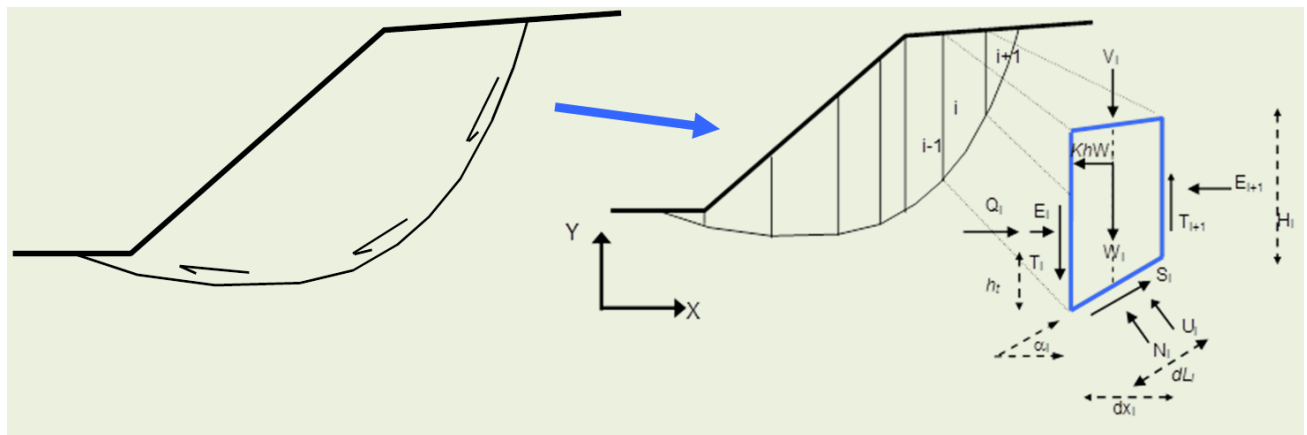


Fig. 2.2

Le forze agenti sono le componenti tangenziali del peso proprio della massa e degli eventuali sovraccarichi superficiali agenti sulla superficie di scivolamento, mentre le forze resistenti sono le resistenze al taglio mobilitate nei vari punti di detta superficie che dipendono dagli sforzi normali applicati e dalla resistenza al taglio locale del suolo. Sistemi di forze interne e esterne (es. opere di rinforzo) influiscono nella stabilità globale del pendio e devono essere considerate opportunamente; cosa che viene effettuata in tutti i metodi di calcolo rigorosi che verranno trattati più avanti.

Per procedere con il calcolo di  $F_s$  la massa potenzialmente instabile viene suddivisa in "Fette" detti Conci delimitate da superficie verticali (fig.2.2). Su ogni conco vengono valutate singolarmente le forze agenti e resistenti. L'insieme delle forze agenti sul conco singolo è presentato in figura 2.2. Queste forze sono  $W$ =Peso del conco,  $S$ =Forza di taglio mobilitata sulla base del conco,  $N$ =Forza peso normale alla base del conco,  $U$ =Forza esercitata dal carico idraulico agente sulla base,  $T$ =Forza verticale interconco,  $E$ =Forza orizzontale interconco.

$F_s$  può essere determinato mediante gruppi di equazioni per l'equilibrio dei corpi rigidi, ovvero:

l'equilibrio alla traslazione nelle direzioni verticali e orizzontali e l'equilibrio alla rotazione rispetto a un punto:

$$\begin{cases} \sum V_i = 0 \\ \sum H_i = 0 \\ \sum M_i = 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

In pratica tutto il sistema di forze verticali, orizzontali e dei momenti devono garantire una somma 0 (eq. 2.3).

Quando tutti i parametri di interesse sono noti si passa al calcolo di **Fs**. L'algoritmo di calcolo può implementare uno dei diversi metodi esistenti nell'ambito dei modelli LEM dove i procedimenti di calcolo avvengono in modo iterativo. I vari metodi, BISHOP (1955), MORGESTERN & PRICE (1965), SPENCER (1967), JANBU (1973) sono tutti riconducibili al "**General equilibrium method**" di FREDLUND et al. (1981), abbreviato con GLE. Questi metodi si diversificano per il tipo delle assunzioni e semplificazioni fatte per ridurre il numero delle incognite nel problema, tuttavia come mostrato in numerosi studi comparativi FREDLUND et al. (1981), Duncan (1996), la differenza percentuale dei valori di Fs calcolati generalmente non supera il 10%, che è perfettamente compatibile con il grado di incertezza insito in tale tipo di analisi. Lo sviluppo delle equazioni alla base della determinazione di Fs verrà illustrato con maggior dettaglio nella sezione seguente.

### 2.3 PROCEDURE E METODI DI CALCOLO UTILIZZATI

A partire dalla versione 4.0 di SSAP e nei successivi aggiornamenti è stato implementato un nuovo kernel di calcolo del fattore Fs che, come abbiamo detto è basato sull'algoritmo di Zhu (2005), ma è soprattutto un suo considerevole miglioramento e potenziamento sviluppato dall'autore di SSAP a partire dal 2009. La parte di codice di calcolo di SSAP che si basava, a partire dalla versione 2.6, sulla notazione unificata proposta da ESPINOZA et al (1994), è stata completamente sostituita con questa nuova metodologia sviluppata e introdotta per la prima volta in SSAP4.0.

Se osserviamo in dettaglio la fig. 2.3 è possibile visualizzare il sistema di forze<sup>1</sup> che agiscono in un concio *i*-esimo.

<sup>1</sup> **N.B.:** Di seguito tutte le forze tutte le forze e le grandezze indicate nella fig. 2.3, ad esempio le forze **T** ed **E** di interazione tra i conci, saranno espresse usando la seguente notazione:  $T(x)$ ,  $E(x)$  ecc. Questa notazione indicherà la espressione della Forza o della grandezza funzione della progressiva *x* rispetto al sistema di coordinate cartesiane (X,Y) assunto per il pendio.

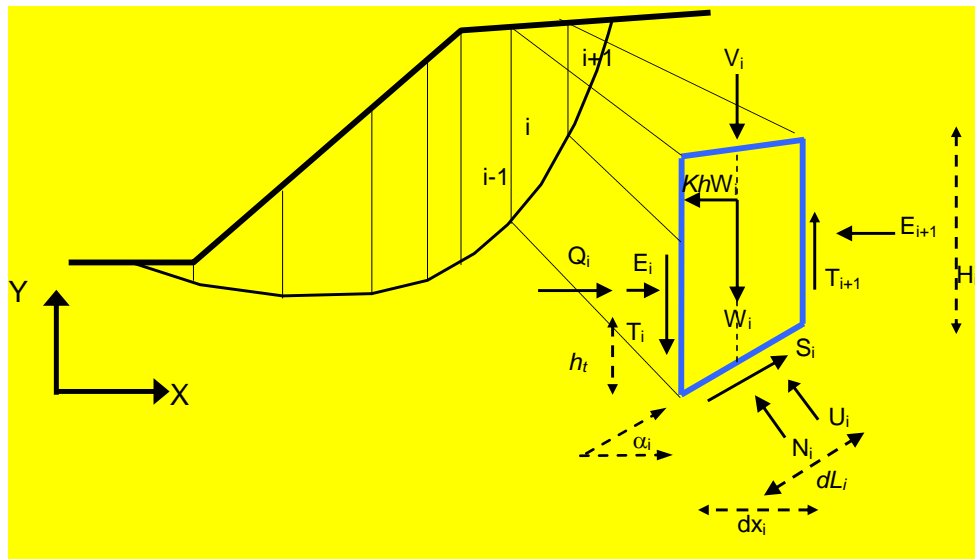


fig. 2.3

Si noti che per ogni concio sono definite le seguenti forze e grandezze:

$i$  = indice numerico del concio

$\alpha_i$  = angolo di inclinazione della base del concio

$dl$  = lunghezza della base del concio

$dx$  = larghezza del concio

$H$  = altezza verticale del concio

$h_t$  = altezza punto di applicazione delle forze interconco

$c'$  = coesione del terreno sulla base del concio

$\phi'$  = angolo di attrito del terreno sulla base del concio

$W$  = forza peso agente sulla base del concio

$K_h$  = Coefficiente sismico orizzontale

$U$  = pressione interstiziale alla base del concio

$T$  = forza tangenziale verticale interconco

$E$  = forza orizzontale interconco

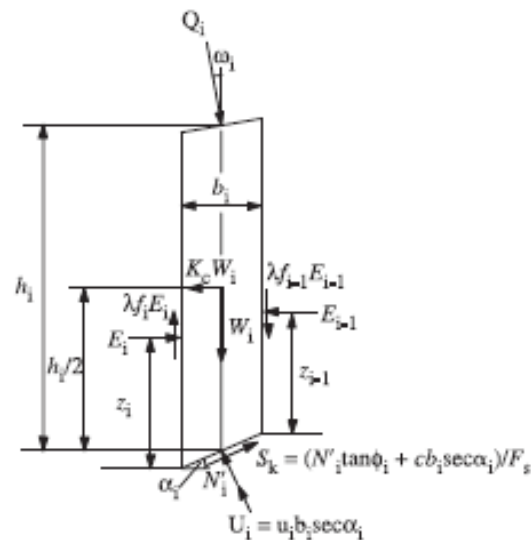
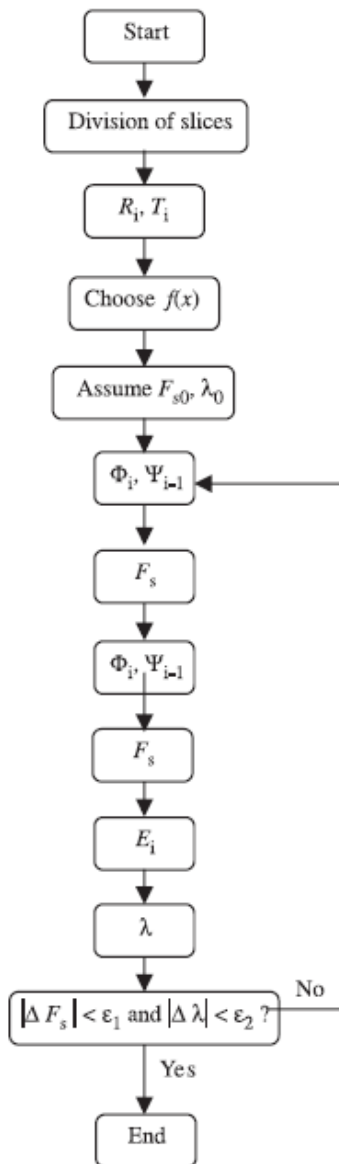
$Q$  = risultante delle forze orizzontali esterne ad ogni concio (es azioni sismiche, o opere di sostegno)

$V$  = risultante delle forze verticali esterne ad ogni concio (es azioni sismiche o sovraccarichi verticali o opere di sostegno)

Le varie procedure di calcolo nell'ambito del metodo dell'equilibrio limite si diversificano proprio per il tipo di assunzioni finalizzate ad eliminare alcune incognite nel sistema di equazioni che permette di ottenere **Fs**. Tale sistema di due equazioni non lineari (eq. 2.4) è piuttosto complesso e deve essere risolto sempre in modo iterativo, risultando le incognite (**Fs** e  $\lambda$ ) espresse in forma implicita (ovvero in entrambi i membri delle equazioni).  $\lambda$  è una variabile ausiliaria che è utilizzata nella relazione funzionale delle forze interconco  $T(x)$ ,  $E(x)$  inizialmente incognite (Zhu et al., 2005). Utilizzando la notazione dell'algoritmo di Zhu et al. (2005) (fig. 2.4) avremo che **Fs** e  $\lambda$  sono legati da:

$$\begin{cases} F_S = \frac{f(N_{(x)}, U_{(x)}, \alpha_{(x)}, T_{(x)}, V_{(X)}, dx_{(x)}, Q_{(x)}, F_S)}{f(\alpha_{(x)}, W_{(x)}, V_{(X)}, dx_{(x)}, T_{(x)}, \lambda)} \\ \lambda = \frac{f(dx_{(x)}, E_{(x)}, \alpha_{(x)}, W_{(x)}, V_{(X)}, Q_{(x)})}{f(dx_{(x)}, T_{(x)}, \lambda)} \end{cases} \quad (2.4)$$

Il sistema 2.4. viene risolto iterativamente, assumendo un valore di tentativo iniziale, sia per  $\mathbf{F_s}$  che per  $\lambda$ , nel membro di destra di ogni equazione del sistema e ripetendo i calcoli fino a convergenza quando la differenza tra i due  $\mathbf{F_s}$  e  $\lambda$  calcolati in iterazioni successive diventa minore di un certo valore assunto (generalmente 0.001). L'algoritmo proposto da Zhu et al. 2005) è illustrato nella figura 2.4.



**Fig. 2.4**

Nell'eq. 2.4 , **F<sub>s</sub>** esprime il rapporto tra forze resistenti e agenti nei confronti della potenziale direzione di scivolamento, ma al contempo la formulazione secondo Zhu et al. (2005) consente di tenere conto contemporaneamente dell'equilibrio delle forze e dei momenti in tutti i conci. Per ottenere questo nella eq. 2.4 sono inoltre espresse tutte le componenti delle forze di interazione tra i conci.

Le forze  $T(x)$  di interazione verticali interconco sono inizialmente incognite. Però nelle procedure di calcolo rigorose (quelle usate da SSAP) esse non vengono trascurate come nel caso di procedure semplificate (es.: *Fellenius, Bishop, Janbu semplificato*). Per la risoluzione della eq. (2.4) vengono quindi fatte alcune assunzioni utili alla risoluzione numerica.

I vari metodi di calcolo di **F<sub>s</sub>**, implementati nella notazione unificata della eq. (2.4), si diversificano per le assunzioni relative alle forze di interazione tra i conci e in particolare per la espressione della  $T(x)$  in funzione delle forze di interazioni orizzontali e della geometria della superficie di scivolamento o dei parametri geomeccanici e idraulici associati alle superficie verticali interconco. Vengono inoltre fatte alcune assunzioni aggiuntive sulla posizione del punto di applicazione (thrust line) e in alcuni casi sulla funzione di interazione interconco  $f(x)$  (variabile tra 0.0 e 1.25) che esprime la direzione di applicazione della risultante locale tra  $T(x)$  e  $E(x)$ .

A partire dalla versione 4.0 nel programma SSAP viene utilizzata l'algoritmo iterativo di calcolo di **F<sub>s</sub>** proposta da Zhu (2005). Tale algoritmo, originariamente sviluppato per il metodo di calcolo Morgenstern & Price (1965), è stato però ulteriormente sviluppato con una ulteriore generalizzazione del metodo consentendo di usare l'algoritmo di Zhu et al. (2005) con tutti i vari metodi di calcolo rigorosi del LEM adottati più diffusamente nelle verifiche di stabilità. Tali metodi adottati a partire dal SSAP 4.0 indicati in tabella 2.1

In tutti i casi il valore di **F<sub>s</sub>** e  $\lambda$  viene ricavato mediante un procedimento numerico iterativo mediante un algoritmo particolare ottimizzato dall'autore di SSAP.

In SSAP sono state implementate le strategie computazionali proposte da Zhu et al (2003) per eliminare i problemi di convergenza che notoriamente affliggono i vari metodi e in particolare il metodo di calcolo JANBU RIGOROSO (Janbu,1973). I problemi di convergenza numerica che affliggono talvolta i calcoli sviluppati del metodo LEM sono affrontati in una sezione successiva di questo manuale. La gestione di questi problemi è uno dei punti cardine di SSAP 4.0.

Nella tabella 2.1 vi son tre gruppi di metodi di calcolo che si diversificano per la tipologia delle assunzioni relative alla espressione della  $T(x)$  inizialmente incognita.

Il **gruppo I** (*Spencer e Sarma I*) non fa uso della funzione interconco  $f(x)$ , ma  $T(x)$  è espressione diretta della costante  $\lambda$ , di  $E(x)$  e di parametri medi di resistenza al taglio sulla verticale del conco.

Nel **gruppo II** (*Sarma II, Morgestern & Price, Chen & Morgestern, Borselli*) invece  $T(x)$  è sempre espressione sia di  $\lambda$  che di  $f(x)$  e di  $E(x)$ . I metodi Chen & Morgestern(1983) e Borselli (2016) sono generalizzazioni del metodo di Morgestern & Price(1965). Il metodo Correia (1988) che fino alla versione 4.7.0 faceva parte di questo gruppo è stato eliminato dato che aveva scarso uso e scarsa affidabilità'.

Mentre nel **gruppo III** (metodo *Janbu rigoroso*) è direttamente dipendente da  $E(x)$  e dalla sua derivata prima rispetto a  $x$ , oltre che da altri fattori. Il metodo janbu rigoroso non necessita né di  $\lambda$  né di  $f(x)$  perché nella sua formulazione originale è garantito in modo automatico

l'equilibrio di tutte le forze e di tutti i momenti.

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

<b>Gruppo</b>	<b>Modello di calcolo adottato per la risoluzione di FS</b>	<b>Relazione funzionale che esprime <math>T(x)</math></b>
I	Spencer (1967,73)	$T(x) = \lambda E(x)$
I	Sarma I (1973)	$T(x) = \lambda \left[ \bar{c}' H(x) + \left( (E(x) - Pw(x)) \tan \bar{\phi}' \right) \right]$
II	Morgestern & Price (1965)	$T(x) = \lambda f(x) E(x)$
II	Chen -Morgestern (1983)	$T(x) = [\lambda f(x) + f_0(x)] E(x)$
II	Borselli(2016) <sup>1</sup>	$T(x) = \lambda [f(x) + f_1(x)] E(x)$
II	Sarma II (1979)	$T(x) = \lambda f(x) \left[ \bar{c}' H(x) + \left( (E(x) - Pw(x)) \tan \bar{\phi}' \right) \right]$
III	Janbu Rigoroso (1973)	$T(x) = E(x) \tan \alpha_t + h_t \frac{dE(x)}{dx} + ....$

### 2.3.1 -Pendii in falda

Per ogni concio la pressione interstiziale alla base viene calcolata attraverso il coefficiente della pressione interstiziale alla base di ogni concio,  $ru_i$  che viene determinato, nel caso generico di un concio costituito da strati di materiali diversi (fig. 2.5):

<sup>1</sup> Presentata per la prima volta in questo manuale. Vedasi la Appendice I di questo documento per una descrizione completa



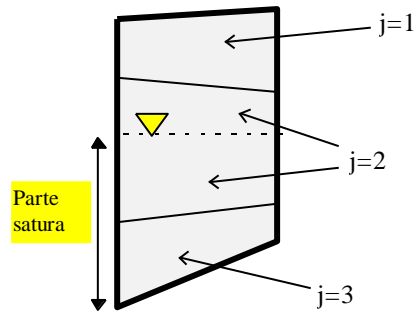


fig. 2.5

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

dove:

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

Il Sovraccarico della colonna di acqua sopra il concio i-esimo (nel caso di scarpate sommerse),  $S_{w_i}$  è invece dato dalla seguente espressione (fig.2.6):

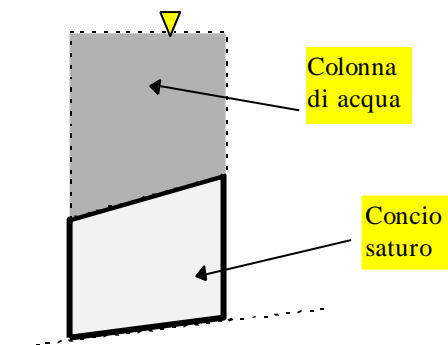


Fig. 2.6

$$S_{w_i} = V_{sw_i} \gamma_w \quad (2.6)$$

dove:

- $V_{sw_i}$     volume della colonna d'acqua sopra il concio i-esimo.

### 2.3.2 Analisi in presenza di sisma (in ambito normativa NTC2008)

L'analisi di stabilità viene fatta eventualmente anche in condizioni dinamiche (cioè in presenza di sisma) mediante il metodo pseudostatico e i coefficienti amplificatori delle azioni sismiche (coefficiente sismico). Questa modalità è conforme alle nuove normative sismiche nazionali in vigore. Secondo le Nuove norme tecniche: DECRETO 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni" (GU n. 29 del 4-2-2008- Suppl. Ordinario n.30)

In questo caso una forza sismica orizzontale viene applicata al baricentro di ogni concio e pari a  $K_h W_i$  dove  $K_h$  è il **coefficiente sismico orizzontale** che è corrispondente ad una frazione del valore della accelerazione orizzontale efficace indotta dal sisma generalmente  $K_h = f(a_g)$  che dipende dalle caratteristiche sismiche dell'area cioè dalla accelerazione massima orizzontale  $a_g$  (espressa in frazione di  $g$  ovvero in frazione di  $9.81 \text{ m/s}^2$  che è la accelerazione di gravità) assunta per ciascuna zona sismica in cui è suddiviso il territorio nazionale (si vedano la documentazione ufficiale per i valori di progetto da assumere nelle analisi di stabilità mediante il modello pseudostatico) e dai coefficienti correttivi  $S_a$  e  $S_t$  che dipendono rispettivamente dalla caratterizzazione litologica e sismica locale e dalla categoria topografica del sito nonché dal coefficiente  $\beta_a$  che dipende pure dalle caratteristiche del sito, ovvero :

$$K_h = \beta_a S_a S_t a_g \quad (2.7)$$

Una determinazione approssimata di  $K_h$  secondo la eq. 2.7 può essere visualizzata con il nomogramma in figura 2.7

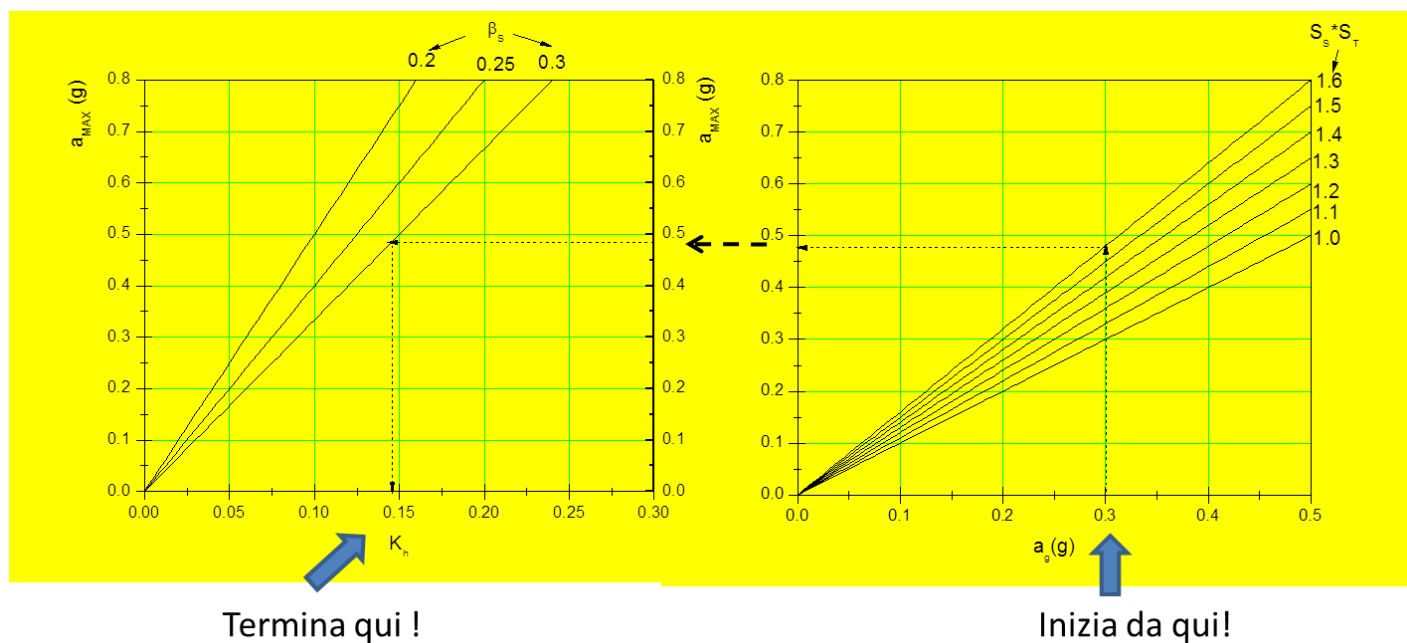


Fig. 2.7

Dal nomogramma in figura 2.7 si può vedere che in generale abbiamo che:

$$K_h = 0.2 \div 0.48 a_g \quad (2.8)$$

Il **coefficiente sismico verticale** è invece assunto conformemente alla normativa sismica vigente pari alla metà del coefficiente sismico orizzontale, ovvero:

$$K_v = \pm 0.5 K_h \quad (2.9)$$

Il coefficiente sismico verticale può assumere anche valori negativi e in generale con valori di  $K_v$  negativi si ottiene, talvolta, un  $F_s$  leggermente diverso rispetto al  $K_v$  con segno positivo. L'utente può comunque selezionare se effettuare il calcolo con valori Positivi di  $K_v$  oppure con valori negativi.

L'applicazione del coefficiente sismico, rispetto alle condizioni statiche, riduce il valore del fattore di sicurezza. **Si veda la appendice F di questo manuale per ulteriori dettagli sulla applicazione di SSAP2010, nel rispetto della normativa NTC2008.**

## **2.4 PRESENZA DI SOVRACCARICHI, TIRANTI, OPERE DI SOSTEGNO, TERRE RINFORZATE, PALIFICATE.**

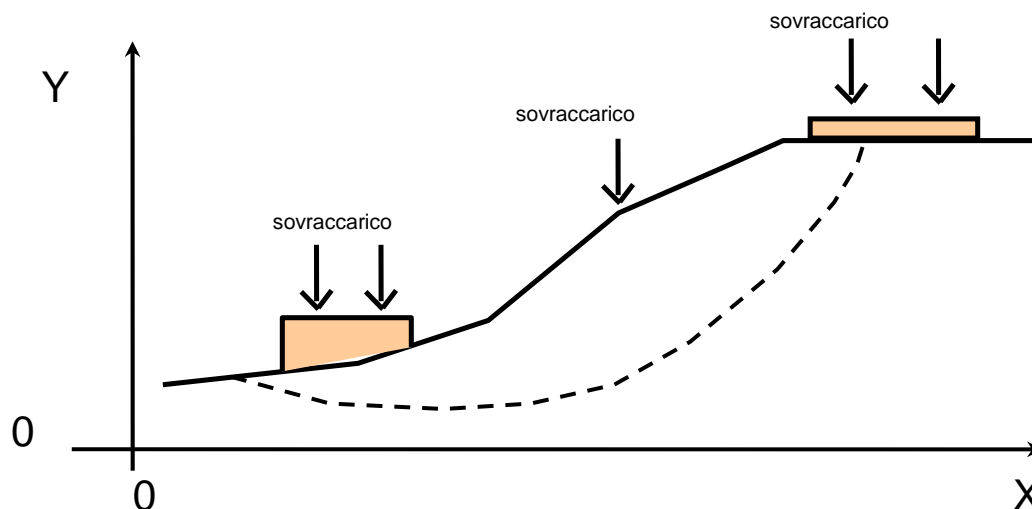
In un pendio possono essere presenti o previsti in fase progettuale sovraccarichi (Costruzioni, strade .. ) , opere di sostegno (muri, palificate .. ) oppure opere quali ancoraggi o tiranti.

Ognuna di queste opere influirà in maniera più o meno rilevante, in funzione della propria posizione e dei parametri meccanici caratteristici, sulla stabilità complessiva del pendio. Alcune opere avranno nella maggior parte dei casi una funzione stabilizzatrice, altre potranno provocare una maggior instabilità.

Nel codice di calcolo è prevista la possibilità di considerare la presenza di tali opere e di valutare il loro effetto sulla stabilità complessiva.

### ***2.4.1 Sovraccarichi***

I sovraccarichi possono essere di tipo concentrato o distribuito e posizionati in vari punti sul pendio (fig. 2.8). Il loro effetto è quello di aumentare i carichi agenti su di una potenziale superficie di scivolamento.



**fig. 2.8**

Bisogna tuttavia considerare che in alcuni casi il posizionamento di sovraccarichi alla base del pendio può, unitamente alla presenza di opere di sostegno, aumentare il coefficiente di sicurezza del pendio stesso.

### 2.4.2 Opere di sostegno superficiali

Nel codice SSAP è possibile considerare al presenza di opere di sostegno posizionate in vari punti su di un pendio. La verifica viene sviluppata considerando le opere stesse come ostacoli invalicabili per le superfici di scorrimento o come entità aventi una resistenza meccanica elevata (indicata dall'utente) e potenzialmente attraversabili da superfici di rottura.

Il codice SSAP può essere utilizzato anche 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).

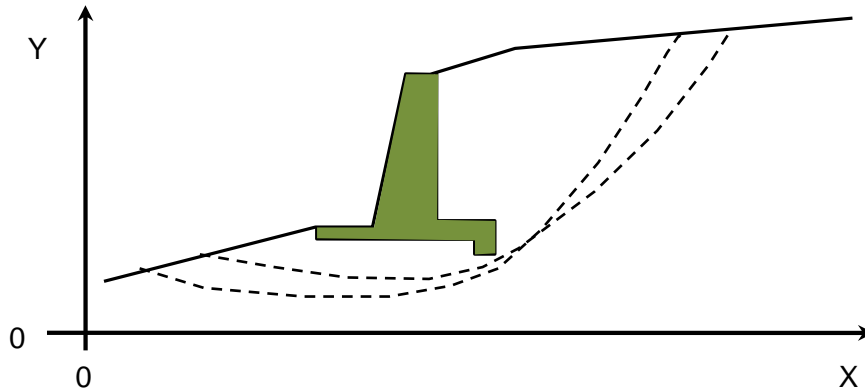


Fig. 2.9a

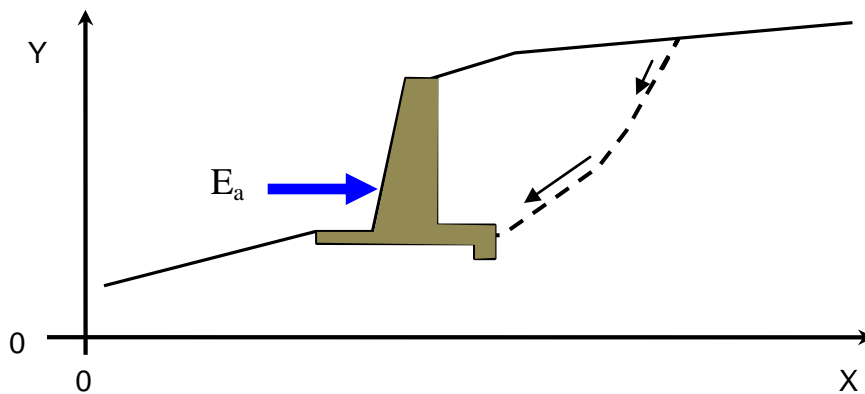


Fig. 2.9b

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).

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 aggiungendo 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 (fig. 2.9b)

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.

La normativa italiana prevede anche che il coefficiente di sicurezza globale debba essere a i fini di progetto superiore a 1.1. (Considerando anche le azioni sismiche)

### 2.4.3 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 ) ricavata mediante opportune prove di carico fino a rottura o sfilamento (RACCOMANDAZIONI ISRM , 1993).

La stabilità complessiva di un pendio dove è presente un sistema di tiranti deve essere effettuata tenendo conto della tensione o resistenza di progetto, della posizione, lunghezza e inclinazione di ciascuno dei tiranti e della interazione con le varie superfici di scivolamento possibili (fig. 2.10).

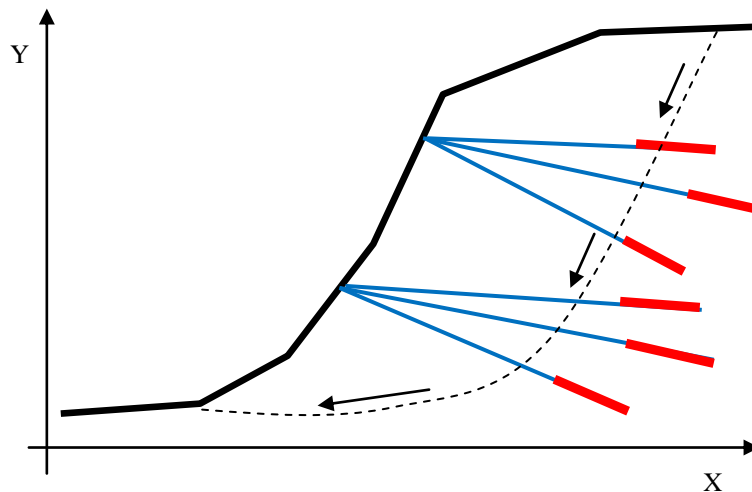


Fig. 2.10

Per ogni tirante, a cui è associata una resistenza unitaria (nel senso della larghezza del pendio) di progetto, o trazione,  $T$  (kN/m), qualora sia attraversato da una potenziale superficie di scivolamento, vengono ricavate le componenti orizzontale e verticale di  $T$  (fig. 2.11).

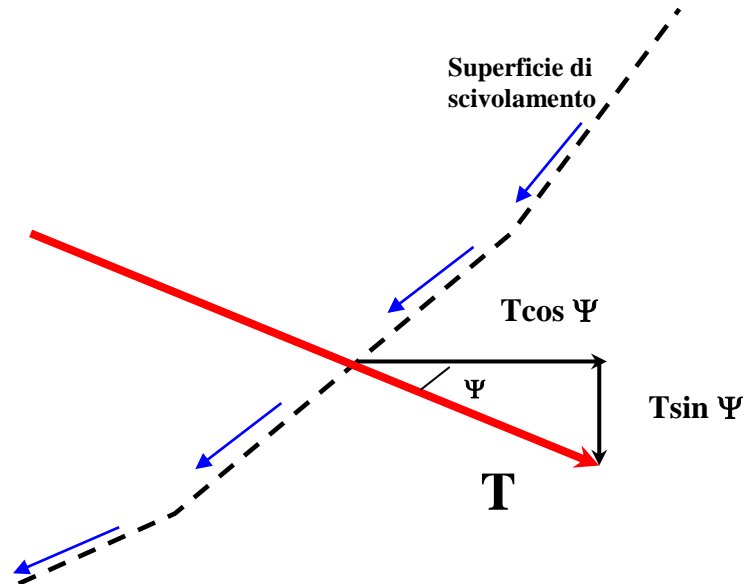


fig. 2.11

Viene fatta comunemente una distinzione tra Tiranti Passivi e Tiranti Attivi. Il primo tipo di tiranti si riferisce a tiranti posti in opera senza essere tensionati con la loro massima resistenza di progetto. Il secondo tipo viene posto in opera e tensionato alla sua resistenza massima di progetto.

Nel codice di calcolo è utilizzata la procedura indicata da Espinoza (1994) e Zhu et al. (2005) dove tutte le forze resistenti aggiuntive vengono considerate nelle loro componenti orizzontali verticali. Per il calcolo di **F<sub>s</sub>** in presenza di pendii rinforzati da tiranti in condizioni Attive e Passive sottoposti ad un Carico di progetto **T** e caratterizzati da un angolo **PSI** definito dalla direzione del tirante e dalla direzione orizzontale si usano le seguenti espressioni.

Nel caso di un **TIRANTE ATTIVO** il contributo del tirante viene calcolato come riduzione delle altre forze agenti e favorevoli allo scivolamento la seguente espressione:

$$F_s = \frac{\text{Forze resistenti}}{\text{Forze agenti} - \sum_i T \sin \psi_i} \quad (2.10)$$

*N.B.: nel caso di tiranti Attivi è necessario prestare attenzione al valore della forza T che viene utilizzata. **Valori eccessivi di T possono portare a valori F<sub>s</sub> NEGATIVI** perché appare un termine che decrementa eccessivamente le preesistenti forze agenti. In caso di tiranti Attivi è necessario analizzare il comportamento del pendio facendo analisi con incrementi progressivi di T e monitorando il comportamento con attenzione. Nel caso si ottengano F<sub>s</sub> NEGATIVI le relative superficie non verranno mai visualizzate e si otterrà un basso valore di convergenza nel calcolo di F<sub>s</sub>.*

Nel caso di un **TIRANTE PASSIVO** F<sub>s</sub> viene calcolato con la seguente espressione:

$$F_s = \frac{\text{Forze resistenti} + \sum_i T \cos \psi_i}{\text{Forze agenti}} \quad (2.11)$$

Le componenti verticali verranno aggiunte invece direttamente alla forza peso  $W$  di ogni concio. Tali componenti potranno avere valore positivo o negativo a seconda dell'angolo di inclinazione del tirante

Secondo HOEK & BRAY (1981) l'uso della equazione (2.10) è giustificato quando  $T$  è da considerarsi una forza attiva ovvero quando il tirante è posto in tensione prima che sia avvenuto un qualsiasi tipo di movimento. L'uso della equazione (2.11) è invece da utilizzarsi quando il tirante non è pretensionato e la resistenza (passiva) si svilupperà al momento in cui avverrà il movimento del pendio.

Nel caso di pendii già instabili può essere considerato di effettuare la verifica di stabilità utilizzando la equazione (2.11). In ogni caso la resistenza di progetto del tirante deve essere ricavata mediante test da effettuarsi seguendo la normativa vigente (vedasi anche RACCOMANDAZIONI ISRM, 1993).

Si ricorda che nel caso di pendii in materiali sciolti l'area di fondazione del tirante deve essere posta in materiali ad elevata resistenza meccanica (roccia, ghiaie, ecc.) al fine di ottenere un effetto stabilizzante efficace.

La componente verticale in figura 2.11 dell'effetto del tirante contribuisce alla riduzione delle risultati delle forze esterne verticali.

Si consideri sempre anche la possibilità di superfici di scivolamento profonde che non intersecano il sistema di tiranti presenti nel pendio.

#### 2.4.3.1 Distribuzione delle forze resistenti

Dalla Versione 4.0.8 di SSAP è stata inserita la possibilità di utilizzare una distribuzione non lineare della forza resistente  $T$  da considerare in corrispondenza della intersezione della superficie di scivolamento e del tirante (figura 2.11). Il nuovo schema di ripartizione della forza resistente di un tirante è illustrato nella figura 2.12a. la lunghezza totale del tirante è ripartita in una porzione libera e in una porzione cementata. La forza resistente massima  $T_{max}$  (o di progetto) è dovuta alla porzione di ancoraggio cementata e alla resistenza ultima del cavo del tirante. La resistenza  $T$  da utilizzare nel calcolo dipende quindi dal punto dove abbiamo la intersezione tra la superficie di scivolamento e l'asse del tirante.

Abbiamo quindi due tipi di distribuzioni di resistenza (figura 2.12b):

- 1) Una distribuzione di tipo RETTANGOLARE (versioni fino alla 4.0.6 inclusa) dove  $T=0$  nel caso di intersezioni nella zona cementata (ancora opzionale in 4.0.8)
- 2) Una distribuzione TRAPEZOIDALE (versione 4.0.8) dove  $0 < T < T_{max}$  per le intersezioni che avvengono nella zona cementata.

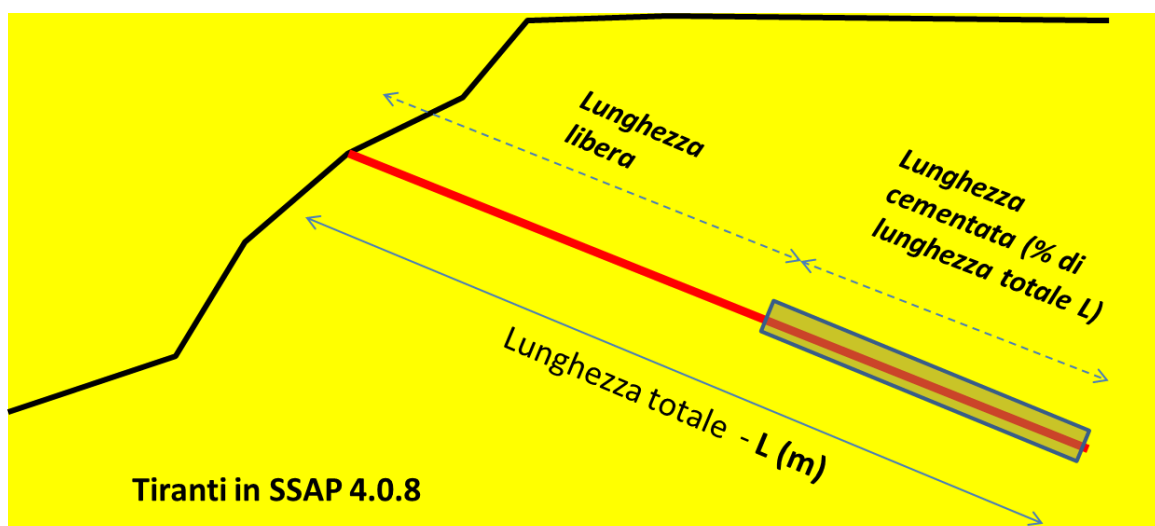




Figura 2.12a

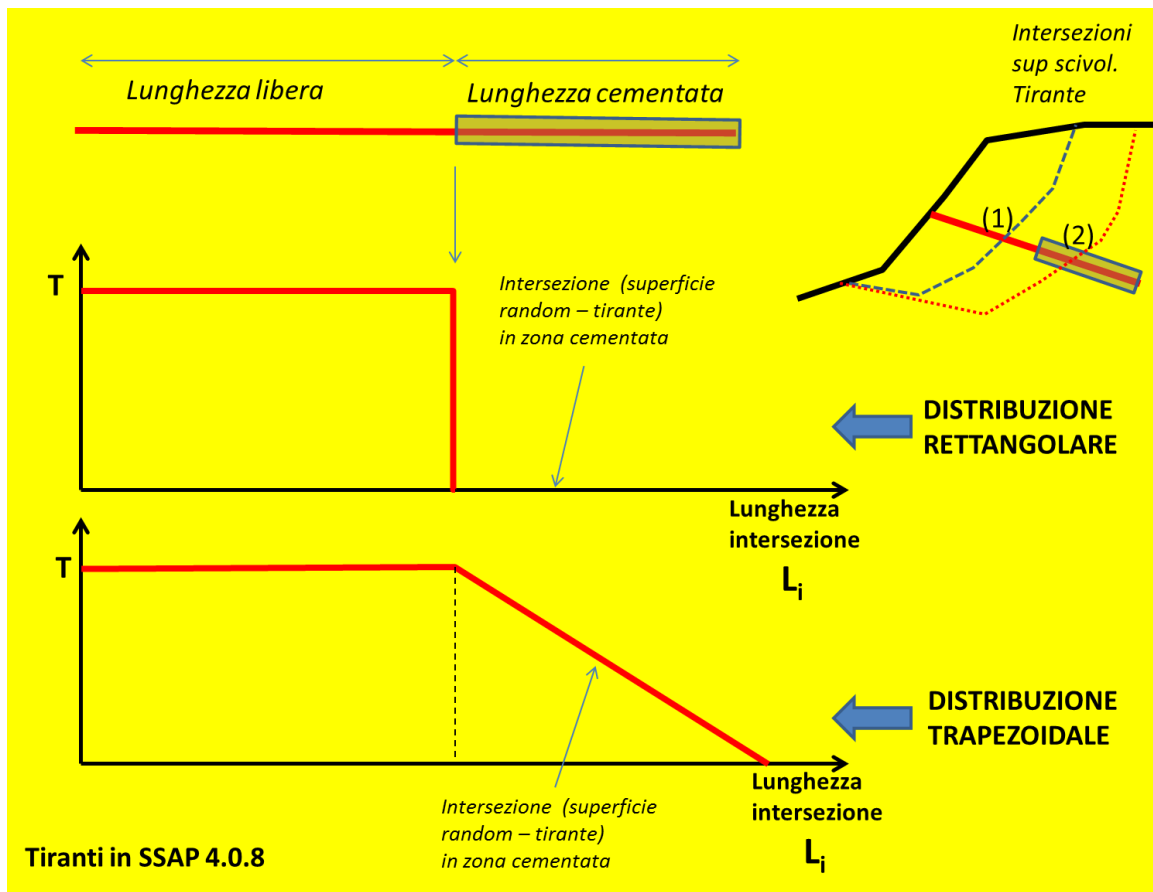


Figura 2.12b

In SSAP è ora possibile scegliere il tipo di distribuzione da utilizzare: la classica (rettangolare) o la nuova (trapezoidale che e' quella standard) selezionandola tra le opzioni base per i tiranti (vedasi capitolo 5). Nella versione 4.0.8 è stato inserito un nuovo parametro aggiuntivo: la % percentuale cementata (**Lc**) della lunghezza totale del tirante. Questo parametro permette una maggior flessibilità nella modellizzazione dell'effetto stabilizzante del tirante. E' possibile infatti con questo nuovo parametro anche simulare l'effetto stabilizzante di micropali inclinati. Per i dettagli nel nuovo formato del file per i tiranti, utilizzato a partire da SSAP 4.0.8 si veda il capitolo 3 di questo manuale.

#### 2.4.4 Geogriglie e Geosintetici e muri in terra meccanicamente rinforzati (MSEW)

Le strutture in terra rinforzata sono correntemente utilizzate per la stabilizzazione di scarpate artificiali e rilevati. L'azione delle geogriglie, solitamente in gruppo, è in pratica una azione di tipo stabilizzante che ha influenza sul coefficiente di sicurezza complessivo del pendio ove esse sono posizionate.

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, della lunghezza di ciascuna delle geogriglie presenti e della interazione con le varie superfici di scivolamento possibili (fig. 2.13).

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 (2001). A tale scopo esistono codici di calcolo e programmi specifici che aiutano in questa fase della progettazione.<sup>1</sup>

Una volta determinati i parametri ottimali per la stabilità interna è necessario condurre una verifica per controllare la compatibilità di questi con possibili movimenti di scivolamento globale, che interessano, cioè, anche porzioni dove le geogriglie non sono presenti. E' questo il caso in cui si applica il programma SSAP.

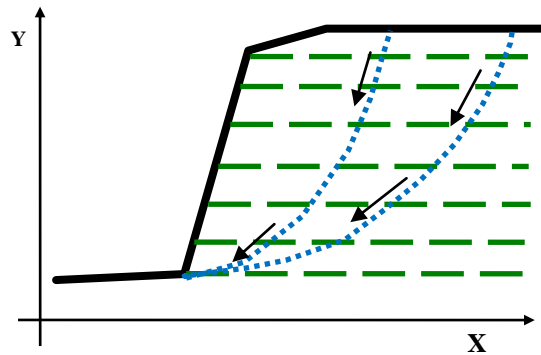


Fig. 2.13

Nella effettuazione della verifica di stabilità globale per ogni geogriglia che risulta intersecata da una potenziale superficie di scivolamento deve essere calcolata la resistenza efficace, calcolata nelle sue componenti orizzontale e verticale, rispetto all'angolo  $\theta$  compreso tra la superficie di scivolamento e la geogriglia (fig. 2.14).

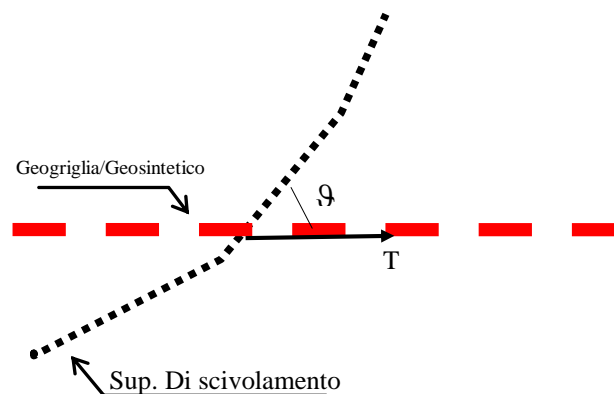


Fig. 2.14

Ciascuna delle geogriglie ha una resistenza a trazione complessiva di progetto  $T$  e una lunghezza totale  $L$ .

Si noti bene che:

$T$  = resistenza unitaria (nel senso della larghezza) a trazione della geogriglia (in kN/m);

$L$  = Lunghezza della geogriglia nel senso orizzontale (in m).

<sup>1</sup> Vedasi il seguente manuale: "Mechanically Stabilized Earth Walls And Reinforced Soil Slopes: Design & Construction Guidelines". FHWA. March 2001. <http://isddc.dot.gov/OLPFiles/FHWA/010567.pdf>

Tuttavia il valore di resistenza  $T_i$  da considerare nel calcolo per ogni geogriglia attraversata da una superficie di potenziale scivolamento deve considerare anche la resistenza allo sfilamento della geogriglia stessa.

In pratica ogni geogriglia è come un ancoraggio orizzontale che resiste allo sfilamento per azione delle sue caratteristiche geometriche (presenza di maglie, apertura ..), per le caratteristiche del terreno in cui è inglobata e per la pressione litostatica efficace sovrastante e per la lunghezza dell'ancoraggio a destra ed a sinistra della superficie di scivolamento (fig. 2.15).

La resistenza  $P_r$  (kN/m) offerta allo sfilamento viene calcolata con la seguente formula Jewell (1990,1991), Greenwood(1990), FHWA (2001):

$$P_r = 2 f_b \tan \phi' \sigma'_v \alpha L_a \quad (2.12)$$

dove:

$f_b$  = coefficiente di interazione suolo/geogriglia-geosintetico; variabile, a seconda dl tipo di geosintetico/geogriglia, tra 0.5 e 1.0. Tale parametro è indicato nelle caratteristiche tecniche della geogriglia /geosintetico. In assenza di informazioni usare un valore di 0.75;.

$\sigma'_v$  = la pressione litostatica efficace (kN/m<sup>2</sup>);

$\alpha$  = fattore di scala nella ripartizione dello sforzo lungo tutta la lunghezza dell'ancoraggio; valore sperimentale variabile tra 1.0 e 0.6. In assenza di informazioni specifiche sul tipo di geogriglie /geosintetico , utilizzare un valore pari a 0.8;

$L_a$  = la lunghezza minima dell'ancoraggio (a sinistra o destra) rispetto alla superficie di scivolamento

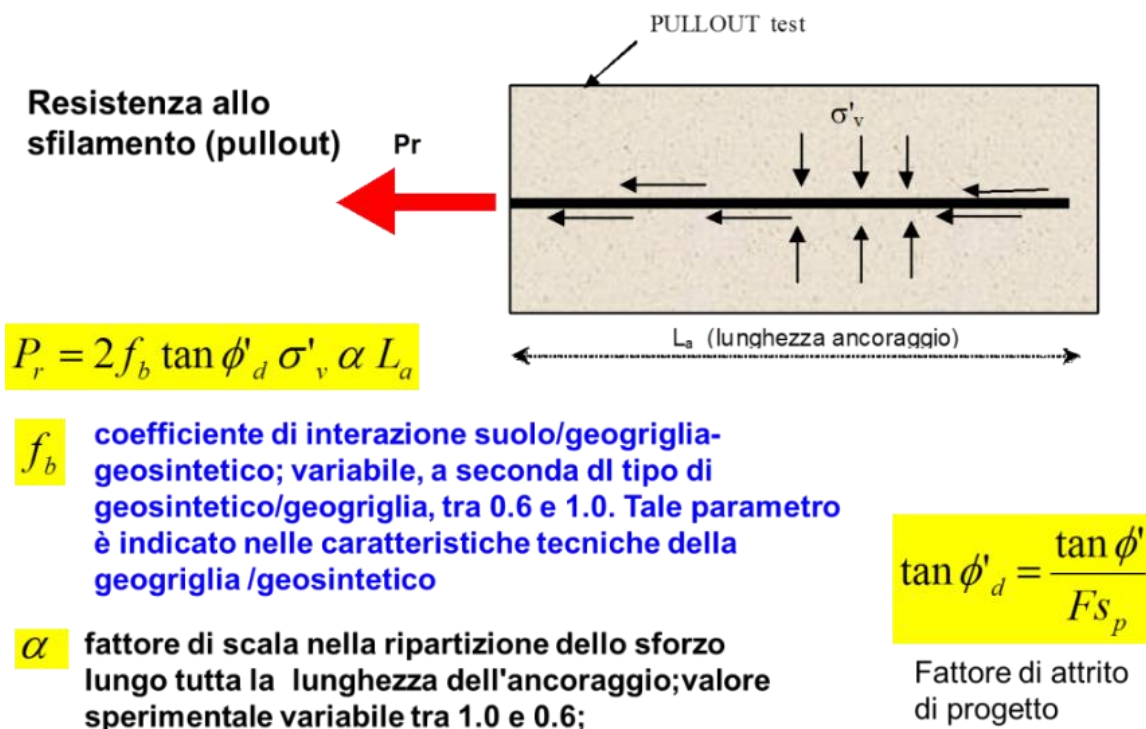


Fig. 2.15a

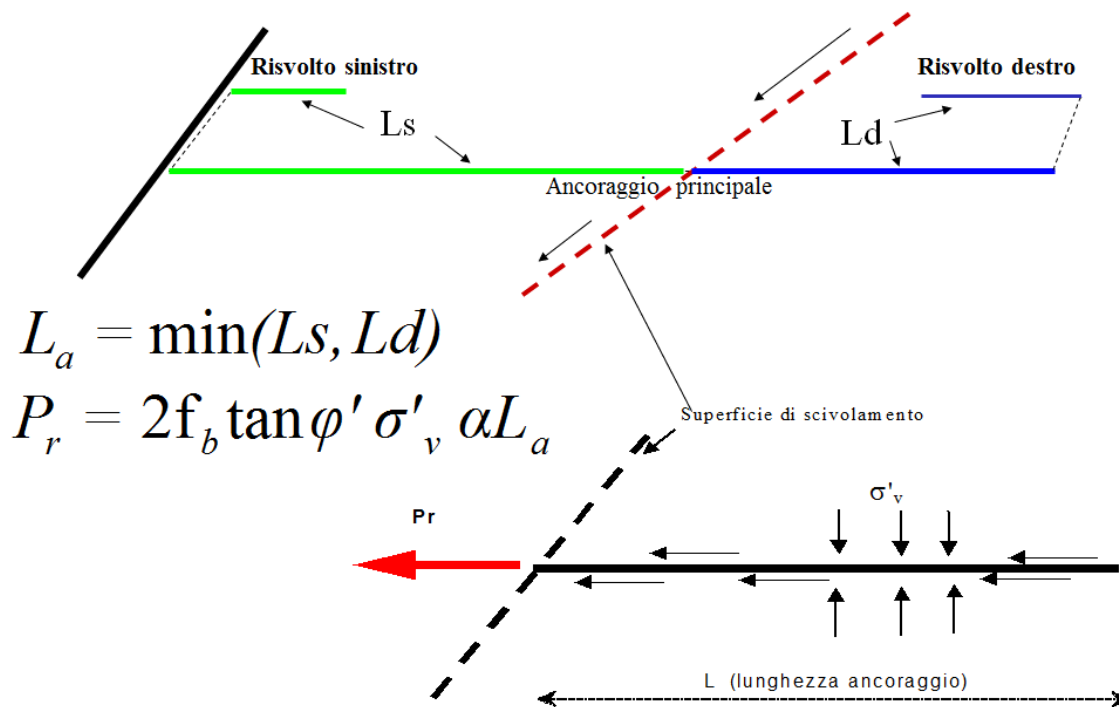


Fig. 2.15b

I parametri  $\sigma'_v$  e  $L_a$  vengono calcolati dinamicamente per ogni geogriglia e per ogni intersezione tra la superficie di scivolamento e la geogriglia. Nella determinazione di  $L_a$  viene adottato il seguente criterio:

$$L_a = \min(Ls, Ld) \quad (2.13)$$

dove

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

$Ld$  = 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 **Pr**

$$T_i = \min(T, Pr) \quad (2.14)$$

In generale il singolo valore di **Pr** può risultare in certi casi maggiore di **T**; tuttavia la resistenza meccanica a trazione di progetto assunta per la geogriglia (indicata dal progettista o fornita dalla casa costruttrice) costituisce sempre il limite superiore nella resistenza del singolo rinforzo.

Una volta stabilito il valore di resistenza da impiegare per ciascun singolo rinforzo del sistema, **Fs** può essere calcolato con la seguente espressione derivata da Greenwood (1990), adattata per seguire la notazione di Espinoza(1994):

$$F_s = \frac{\text{Forze resistenti} + \sum_i T_i}{\text{Forze agenti}} \quad (2.15)$$

L'impostazione della eq. 2.15 è equivalente a considerare ogni geogriglia come un tirante passivo orizzontale (Grenwood 1990) (si veda la sezione precedente di questo capitolo).

Secondo AASHTO (1998), Elias et al. (2001), QA SPECIFICATION R57, (2002), Leshchinsky (2004) va distinto infatti il concetto di progettazione da quello di verifica.

Per progettazione si intende il processo attraverso il quale si ottimizzano una serie di elementi strutturali di un MSEW al fine di ottenere certe condizioni di stabilità minime richieste dalla normativa o stabilite a priori dal progettista (stabilità interna, esterna globale e capacità portante fondazione). La progettazione di un MSEW passa in pratica attraverso una serie di procedure codificate per valutare la domanda di incremento di resistenza, locale e complessiva, e la valutazione di capacità effettiva di incremento di resistenza fornita dalle strutture (terre rinforzate con geogriglie e muri blocchi).

Le procedure di verifica invece rappresentano qualcosa di diverso. Si ipotizza infatti una modello strutturale completo (rivestimento esterno, elementi di rinforzo, riempimento a tergo, suolo di fondazione ecc). Successivamente mediante una procedura basata su metodi all'equilibrio limite o agli elementi finiti si verifica la stabilità locale e complessiva dell'opera (Zornberg 1998, Leshchinsky 2002, 2004).

Il programma SSAP permette di operare una verifica di questo tipo, ovvero una verifica complessiva.

Nel caso particolare dei **Muri in terra meccanicamente stabilizzati (MSEW)** ovvero muri con elementi di rivestimento con blocchi prefabbricati o elementi di gabbionate a tergo rinforzati con ancoraggi costituiti da geogriglie e geosintetici, da un esame della letteratura tecnica sull'argomento si riscontra una certa varietà dei metodi di progettazione e verifica (AASHTO 1998, Elias et al. 2001, QA SPECIFICATION R57, 2002, Leshchinsky 2004) .

Rispetto alle verifiche dei muri in terra rinforzata con sole geogriglie e geotessuti, per le strutture MSEW è necessario operare come segue:

- Il paramento esterno (blocchi o gabbionate) deve essere modellizzato come un elemento resistente per coesione e attrito analogo a una lente di suolo (Leshchinsky 2004).
- Il risvolto delle geogriglie deve essere assunto di lunghezza pari a 0, se la geogriglia è inserita, e bloccata, dalla struttura di rivestimento (a blocchi) esterna.
- Nella determinazione della tensione ammissibile **T** per ogni geogriglia deve essere considerato un fattore di riduzione della T ultima aggiuntivo rispetto a quelli tradizionali: creep, danneggiamento, azioni chimiche, incertezze generiche; ciò per tenere conto anche della connessione geogriglia/struttura esterna di rivestimento.

In questo caso gli standard australiani (QA SPECIFICATION R57, 2002) indicano una riduzione massima del 75% del valore **T** precedentemente calcolato con i fattori di riduzione classici. Il valore **T** che viene usato da SSAP deve essere indicato dall'utente per ogni geogriglia di rinforzo e nel file .GRD (vedi capitolo 3).

Si ricorda che il valore della tensione **T** che viene considerato da SSAP durante il calcolo varia con continuità, ed è sempre il valore minimo tra quello ammissibile **T**, assegnato per ogni geogriglia, e quello di tensione di pullout, valutata localmente (valore **Pf**) secondo la procedura indicata precedentemente.

### 2.4.5 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 (fig.2.16), 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  $F_p$  (fig.2.17) opposta al movimento che permette di aumentare il fattore di sicurezza globale del pendio.

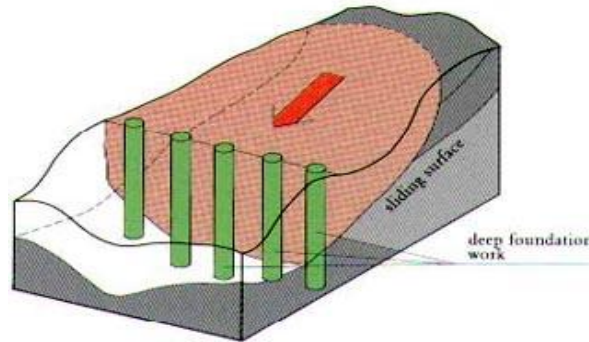


Fig. 2.16

Nel corso degli ultimi decenni numerosi studi sono stati condotti per cercare di determinare quale sia il più corretto metodo di valutazione degli effetti di una fila di pali nella stabilizzazione di un pendio in frana o più semplicemente per aumentare il valore di  $F_s$  fino al livello desiderato.

Non si è a tutt'oggi arrivati ad un criterio di progettazione unico, data la estrema complessità della interazione tra terreno e struttura. Sono noti vari approcci che si basano interamente su analisi a elementi finiti e sulla teoria dello stato limite. In questi casi un'analisi dello stato tensionale e deformativo generale del pendio e della struttura permette di simulare il comportamento dell'insieme. Tuttavia ci sono fondamentali contributi come gli approcci di Ito e Matsui (1981) e di Hassiotis et al. (1997) per arrivare a una valutazione del comportamento della palificata e del pendio attraverso l'utilizzo del **metodo dell'equilibrio limite** per valutare gli effetti dell'incremento globale di  $F_s$ . Tale analisi si basa sulla valutazione in successione di:

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.
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 dello sforzo di taglio** in funzione della profondità dalla superficie critica individuata. 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.

Le ipotesi del metodo di Ito e Matsui (1981) sono le seguenti:

- 1) Al di sopra della superficie di scorrimento assunta i pali sono sottoposti a carichi noti e pari ai valori indicati al punto 1 e 2 precedenti.
- 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.
- 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 come al punto 4 precedente).

La valutazione delle sollecitazioni massime per arrivare alla plasticizzazione cui una palificata intersecata da una potenziale superficie di scorrimento è soggetta, sono valutate in base alla lunghezza dei pali  $L$ , al diametro  $D$  e al loro interasse  $D1$ , oltre alle caratteristiche geotecniche del terreno a monte della palificata. (fig. 2.17). E' riconosciuto anche sperimentalmente da diversi autori il cosiddetto effetto arco ovvero una distribuzione della spinta su tutta la superficie nella a porzione a monte dei pali. Questo porta a una potenziale plasticizzazione o rottura alla interfaccia suolo-pali.

La forza di reazione massima mobilitata offerta dalla palificata, in condizioni di plasticizzazione della interfaccia suolo-pali, viene calcolata con la metodologia adottata da Ito e Matsui(1981) e successivamente modificata parzialmente da Hassiotis et al. (1997) e infine corretta da Kumar et Hall (2006) . In SSAP viene utilizzata sia la formulazione di Ito e Matsui (1981), nella versione corretta da Kumar et Hall (2006) per pali molto ravvicinati, sia la formulazione diretta di Kumar et Hall (2006) che è leggermente più conservativa.

Consideriamo ora la formulazione originale di Ito e Matsui (1981).

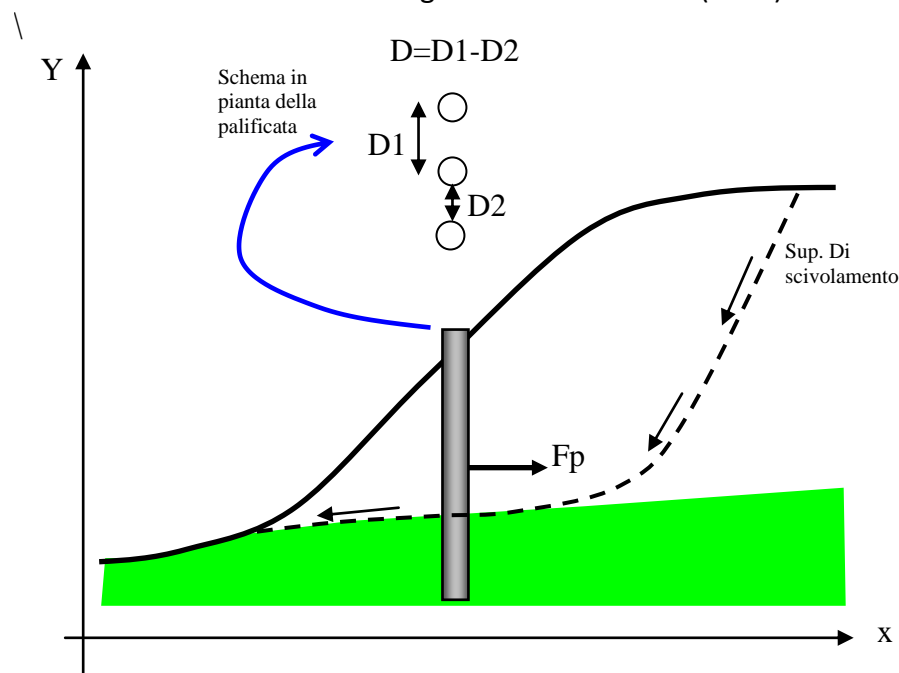


Fig. 2.17a



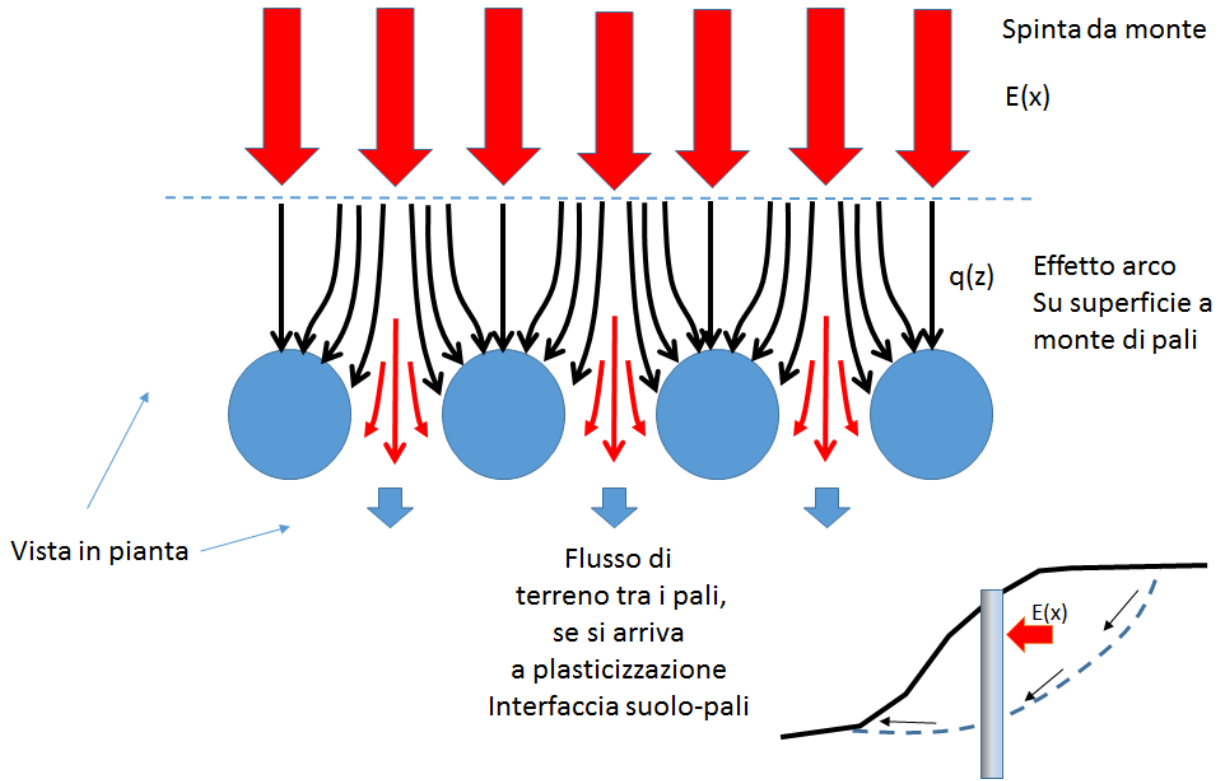


Fig. 2.17b

Il primo passo è quello di calcolare la funzione  $q(z)$  di distribuzione con la profondità della forza, per strato di spessore unitario (1 m), che agisce sulla palificata a una data profondità  $Z$ :

$$q(z) = cA \left( \frac{1}{N_\phi \tan \phi} \{E - 2N_\phi^{0.5} \tan \phi - 1\} + B \right) - c(D_1 B - 2D_2 N_\phi^{-0.5}) + \frac{\sigma}{N_\phi} (AE - D_2) \quad (2.16a)$$

dove:

$$N_\phi = \tan^2 \left[ \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right] \quad (2.16b)$$

$$A = D_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{N_\phi^{0.5} \tan \phi + N_\phi - 1} \quad (2.16c)$$

$$B = \frac{2 \tan \phi + 2N_\phi^{0.5} + N_\phi^{-0.5}}{N_\phi^{0.5} \tan \phi + N_\phi - 1} \quad (2.18d)$$

$$E = \exp \left[ \frac{D_1 - D_2}{D_2} N_\phi \tan \phi \tan \left( \frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \right] \quad (2.16e)$$

e dove:

$D_1$  = interasse tra i pali (m)

$D_2$  = apertura tra i pali (m)

$D$  = diametro dei pali (m)

$\sigma$  = pressione litostatica calcolata alla profondità  $z$  dalla superficie (kPa)

$c$  = valore medio della coesione fino alla profondità  $z$  (kPa)<sup>1</sup>

$\phi$  = angolo di attrito interno medio<sup>2</sup> calcolato fino alla profondità  $z$

La funzione  $q(z)$  ha una distribuzione in generale trapezoidale, come in figura 2.18, che degenera a rettangolare con  $q(z) = \text{costante}$ , nel caso che  $\phi$  tenda a 0.

Per avere la forza massima risultante di reazione della palificata in, in condizioni limite di plasticizzazione della interfaccia – suolo pali,  $F_p$  (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  $D1$ :

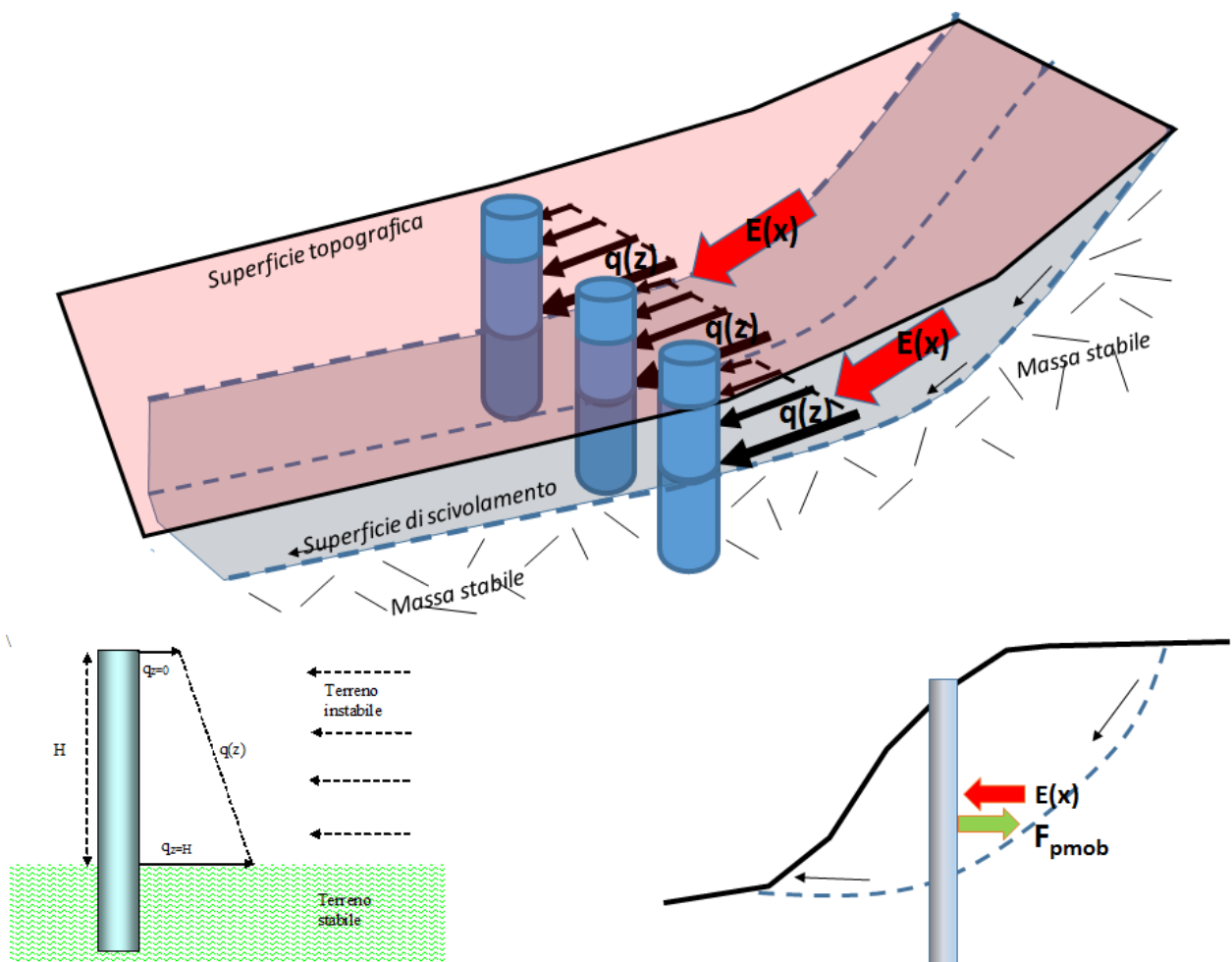


Figura 2.18

<sup>1</sup> Viene assunto sempre un valore limite superiore di 100 kPa per la coesione media calcolata, onde evitare valori anomali delle forze al limite di plasticizzazione calcolate.

<sup>2</sup> Viene assunto sempre un valore limite superiore di 45° per l'angolo di frizione medio calcolato, onde evitare valori anomali delle forze al limite di plasticizzazione calcolate

$$F_p = \frac{\int_0^H q(z) dz}{D_1} \quad (2.17)$$

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. 2.19b). Il valore di  $F_p$  è un valore teorico che in nessun caso potrà essere superato perché oltre tale valore di spinta da monte il terreno si plasticizza e fluisce tra i pali e si perde l'effetto di contenimento della palificata.

Tuttavia è importante notare che il valore di  $F_p$  è solo il valore massimo teorico in condizioni di plasticizzazione del suolo alla interfaccia suolo-palo (fig. 2.19a) e che quindi il valore reale di reazione mobilitato della palificata potrebbe essere anche molto più basso del massimo teorico.

Bisogna inoltre considerare un elemento importante spesso non considerato in molti testi e articoli che trattano l'argomento. Si può notare che nel caso in figura 2.19b (pendio omogeneo) la palificata 1 e la palificata 3 sono posizionate in punti diversi del pendio ma a monte agisce probabilmente una spinta da monte completamente diversa, anche se la profondità  $H$  della porzione potenzialmente mobile del pendio (sopra la superficie di scivolamento) è la stessa. In pratica si osserva che il valore della spinta teorica  $F_p$  non tiene conto della spinta reale che agisce a monte ma solo della profondità  $H$  e dal tipo di terreno che si trova immediatamente a monte di pali. Questo tipo di considerazione apparentemente non realistica è riconsiderata in SSAP, e in SSAP è quindi applicata una strategia di calcolo che tiene conto delle condizioni al contorno nella loro globalità.

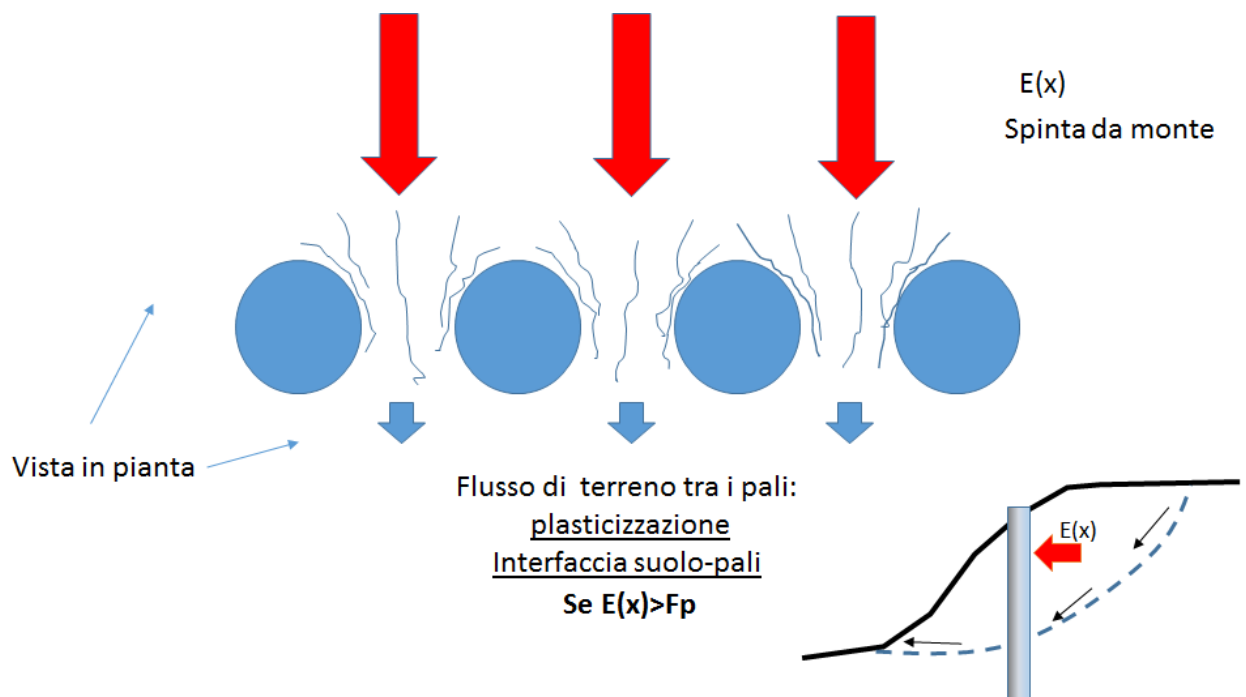


Fig. 2.19a

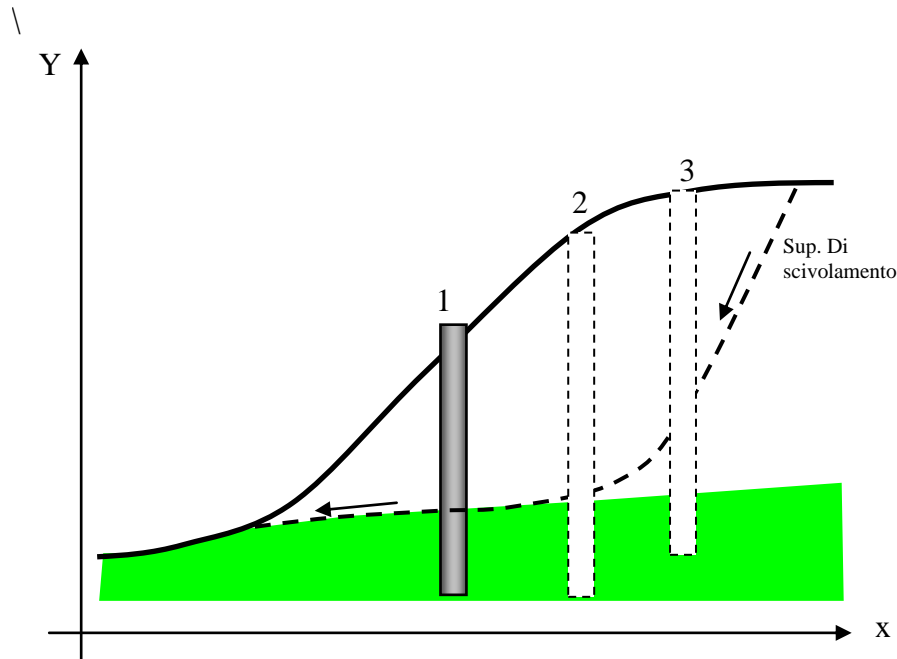


Fig. 2.19b

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 generale:

$$Fp_{mob} = Fp \alpha_m \quad (2.19)$$

Dove:

$\alpha_m$  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:

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

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  $\alpha_m$ . Ad esempio con  $F_{NTC}=4$  abbiamo un  $\alpha_m$  minimo equivalente a 0.25 (ovvero una mobilitazione massima del 25% della spinta teorica massima di plasticizzazione).

**Comunque e' possibile che si verifichi il caso che il fattore di mobilitazione  $\alpha_m$  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.

Durante il processo iterativo per il calcolo di  $F_s$  come abbiamo già detto si tiene in conto delle forze di interazioni interconco sia verticali  $T(x)$  che orizzontali  $E(x)$  che si realizzano alla interfacce verticali dei conci stessi. La distribuzione delle forze orizzontali  $E(x)$  può essere di ausilio nel valutare il grado di mobilitazione della forza di reazione effettivamente prodotta dalla palificata con effetto stabilizzante. Questo concetto permette di introdurre una nuova procedura di calcolo automatico della reazione mobilitata dalla palificata che è un contributo originale di SSAP.

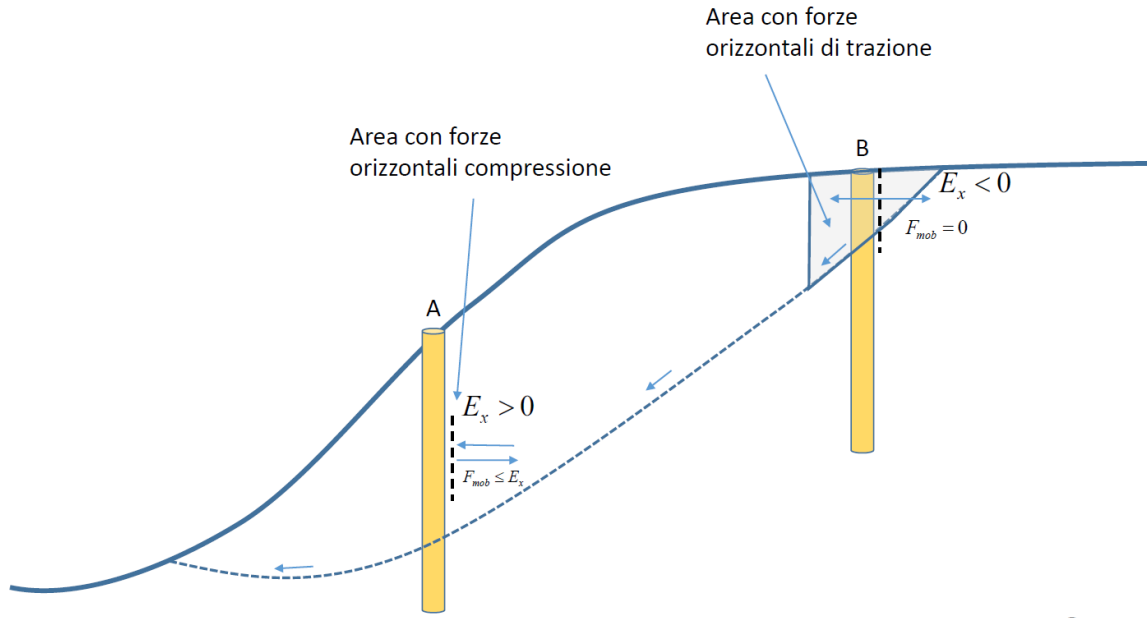
#### 2.4.5.1 procedura di calcolo automatico della reazione mobilitata dalla palificata

Una nuova procedura per il calcolo automatico del grado di mobilitazione massimo di  $F_p$  è implementata in SSAP a partire dalla versione 4.2.2.

Da un punto di vista fisico, una volta che si assume una potenziale superficie di scorrimento che interseca la palificata a una certa profondità  $H$  e si calcola in prima approssimazione la  $F_{p_{mob}}$  con la eq. (2.19) può verificarsi il caso che, nella zona immediatamente a monte della palificata, il valore di  $F_{p_{mob}}$  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:

$$\begin{cases} F_{p_{mob}} \geq E_X & (2.21a) \\ F_{p_{mob}} < E_X & (2.21b) \end{cases}$$

**In questo caso è possibile a partire dalla versione di SSAP 4.2.2 attivare un procedura per assegnare un valore limite a  $F_{p_{mob}}$  nel caso che sia verificate una delle condizione della eq. (2.21)**



SSAP2010©

Fig. 2.20a

Nella nuova procedura di calcolo automatico dell'entità massima della mobilizzazione  $Fp_{mob}$  di  $Fp$  teorica calcolata con la eq. 2.17, nell'area immediatamente a monte della palificata è necessario confrontare il valore massimo di  $Fp_{mob}$  al valore locale di  $E(x)$  (eq. 2.21). Questa operazione di confronto è operata iterativamente durante il calcolo di  $Fs$  globale, fino ad arrivare alla convergenza di un valore di  $Fs$  finale.

Nella figura 2.20a vengono mostrati due casi di palificate inserite in una pendio. La **palificata A** si trova inserita dove prevalgono forze di interconco orizzontali di tipo compressivo ( $E(x) > 0$ ), mentre la **palificata B** in una zona in testa al pendio dove prevalgono forze orizzontali interconco orizzontali in regime di trazione ( $E(x) < 0$ ) essendo la palificata B posizionata in una zona di bassa profondità e intersecata da una superficie di scivolamento a profondità inferiore della profondità critica per lo sviluppo di Tension Craks (in suolo con  $C'$  o  $C_u > 0$ ).

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

$$\left\{ \begin{array}{l} Fp_{mob}^* = 0 \quad \text{se } E_X \leq 0 \end{array} \right. \quad (2.22a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Fp_{mob}^* = \text{Min}[Fp_{mob}, E_X] \quad \text{se } E_X > 0 \end{array} \right. \quad (2.22b)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Fp_{mob}^* = \text{Max}[Fp_{mob}, E_X] \quad \text{se } E_X > 0 \end{array} \right. \quad (2.22c)$$

dove:

$$\left\{ \begin{array}{l} Fp_{mob}^* < F_p \quad \text{sempre verificato} \end{array} \right. \quad (2.22d)$$

Nel caso della palificata B, in fig. 2.20a, il regime di trazione annulla la spinta sulla palificata dato che a lato della stessa potrebbe verificarsi lo sviluppo di una frattura di trazione (condizione

eq. 2.22a). Nel caso della palificata A questa spinta della porzione a monte di pendio non è nulla ma è un valore che viene stimato mediante il processo numerico iterativo globale per il calcolo di FS. Durante il processo di calcolo iterativo a ogni step viene fatto il confronto tra il valore limite di  $Fp_{mob}$  precalcolato con la eq. 2.19, con il valore di  $E(x)$  locale.

In particolare il confronto sulla base delle condizioni 2.22b e 2.22c si applica sulla base di una scelta dell'utente.

Per in **condizioni standard si applica la condizione 2.22b** che è più conservativa dato che nella maggior parte dei casi la condizione eq.2.22b è la più frequente. Tuttavia in caso di pendii con bassi valori di  $E(x)$  dovuti a bassi valori di resistenza al taglio (terreni molto scadenti) è conveniente considerare un valore di  $Fp_{mob}^*$  come il massimo tra le forze di spinta da monte e quelle teoricamente mobilizzabili dalla palificata (condizione eq.2.22c). Va detto che in ogni caso vale sempre la condizione della eq. 2.22d come il valore massimo teorico in assoluto della reazione della palificata, dato che oltre questo valore avremo plasticizzazione del terreno alla interfaccia suolo palo, e la palificata non svolgerà più nessuna ulteriore contenimento possibile.

Dopo questa ultima fase di controllo e sul valore finale di  $Fp_{mob}^*$  è possibile calcolare sempre il coefficiente di mobilizzazione finale  $\alpha_m^*$  considerando eventualmente i nuovi valori di  $Fp_{mob}^*$  riassegnati con la eq. 2.22 o la distribuzione effettiva delle forze  $q(z)^*$  effettivamente distribuite lungo la superficie del palo (eq. 2.23b e figura 2.20b):

$$\alpha_m^* = \frac{Fp_{mob}^*}{Fp} \quad (2.23a)$$

$$q^*(z) = q(z)\alpha_m^* \quad (2.23b)$$

La forza finale  $Fp_{mob}^*$  (figura 2.20b) calcolata con le eq. 2.19 o 2.22 è aggiunta al sistema delle forze resistenti per il calcolo di  $Fs$  globale, mediante un sistema iterativo, congiuntamente alle forze d'interazione interconcorso  $E(x)$  e  $T(x)$  che ne saranno influenzate localmente e globalmente.

#### 2.4.5.2 Considerazioni generali sulla progettazione di palificate.

Con questa metodologia possono essere inserite diverse file di pali, supponendo che non vi sia interazione tra essi, e valutare l'incremento complessivo di  $Fs$  per il pendio. Nel caso si voglia considerare una interazione tra le file di pali si può interagire incrementando il fattore di sicurezza addizionale  $F_{NTC}$  che tenga conto della riduzione di effetti dei pali in gruppo nel caso che le file di pali siano ravvicinate (distanti tra loro meno di una distanza  $8D$ ). Al termine della verifica, per la superficie individuata con FS minimo o per la verifica su una superficie predefinita dall'utente, il programma SSAP produce un rapporto con i risultati delle distribuzioni delle forze e delle pressioni agenti sulla palificata di progetto: la distribuzione delle  $q(z)$ , i valori di  $Fp$ ,  $Fp_{mob}$ ,  $Fp_{mob}^*$ ,  $\alpha_m$ ,  $\alpha_m^*$ ,  $q(z)^*$  oltre che lo sforzo di taglio agente sulla sezione della palificata.

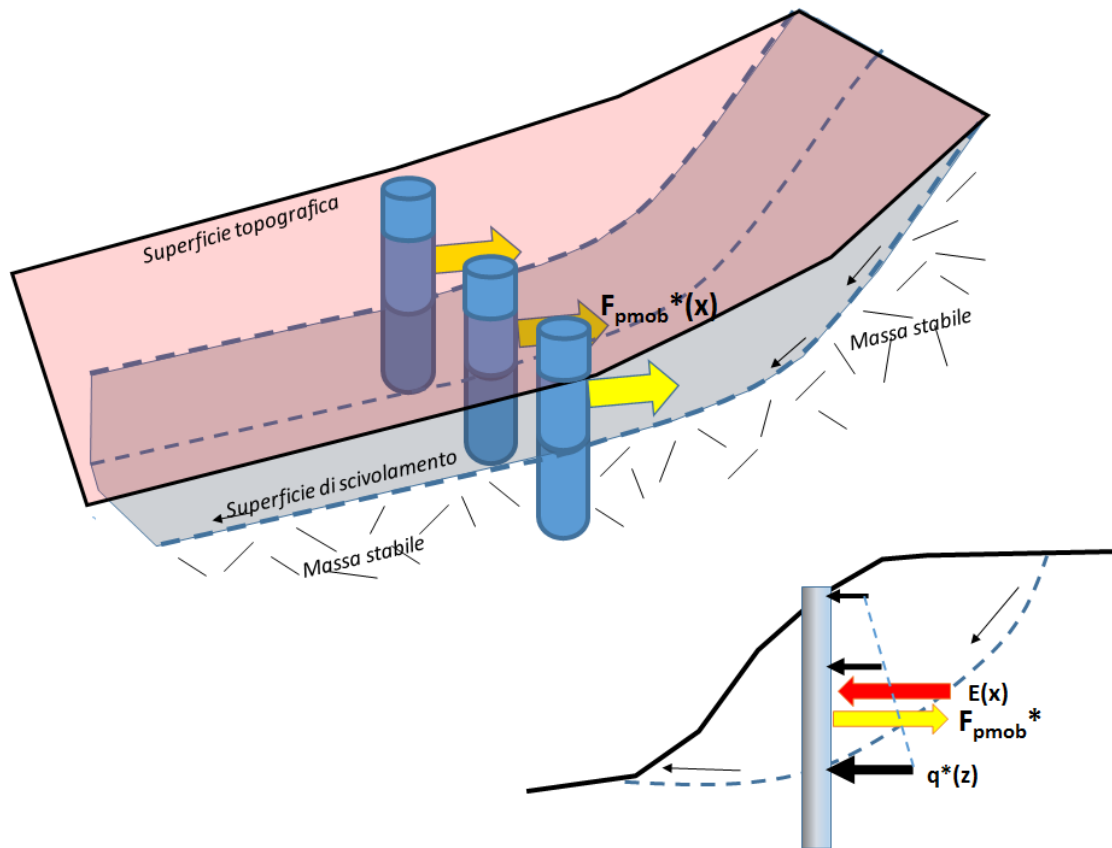


Figura 2.20b

É tuttavia importante ricordare che:

1. Nel caso di palificate di lunghezza insufficiente alcune superfici profonde possono ugualmente rendere instabile un pendio se le superfici sono distribuite in aree dove l'effetto dei pali non agisce.

2. La superficie più critica in assoluto, trovata per un pendio senza pali di sostegno, e quella maggiormente critica dopo l'inserimento di una palificata potrebbero non coincidere. Questo perché che l'azione dei pali cambia quasi sempre in maniera rilevante la distribuzione degli sforzi in un pendio.

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 e le verifiche sopra descritte 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. In questo caso è necessario che le sollecitazioni associate alla superficie di scivolamento non mettano in crisi le resistenze limite (flessionali e di taglio dei pali singoli o della palificata). Un criterio di progettazione strutturale integrato con la metodologia proposta e' presentato in modo dettagliato nella appendice del lavoro di Ito e Matsui (1981). (in inglese e scaricabile come documento PDF al seguente link:

<http://ci.nii.ac.jp/lognavi?name=nels&lang=en&type=pdf&id=ART0005363351>

(ultimo accesso 15 Marzo 2014)

**É 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.

## **2.5 LIQUEFAZIONE STATICA E DINAMICA IN PENDIO**

### ***2.5.1 -Introduzione***

A partire dalla versione 4.5.0 di SSAP è stata implementata una modalità di analisi addizionale rispetto alle normali condizioni di resistenza al taglio: la analisi in condizione di post-liquefazione o in condizione di liquefazione parziale di uno stato in seguito a eventi sismici. Questo tipo di analisi è fondamentale per estendere le capacità e gli ambiti di applicazione a casistiche reali della geotecnica contemporanea (Iriss & Boulanger 2008). Il processo di Liquefazione dei terreni riveste la massima importanza in alcuni tipi di depositi sedimentari caratterizzati da materiali granulari sciolti (sabbie, ghiaie) ma anche con un certo contenuto di fini (sabbie limose) in condizione di saturazione e a bassa e media profondità. Qualora questi depositi, una volta che siano caratterizzati come potenzialmente liquefacibili, si incontrano in un pendio è usualmente necessario estendere la analisi e integrarla in una verifica di stabilità convenzionale tipo equilibrio limite (LEM) o elementi finiti (FEM). La nuova procedura di analisi in condizione di post-liquefazione integrata in una metodologia LEM avanzata e rigorosa è il nuovo modulo disponibile in SSAP.

Di seguito verranno fornite una serie di informazioni generali sul processo di liquefazione (totale o parziale), sulla metodologia internazionale usata per la stima del potenziale di liquefazione di uno strato, sui modelli utilizzati per la valutazione delle condizioni di resistenza al taglio degli stati dove si verificano condizioni di liquefazione parziale o totale e come tali parametri vengono integrati nel calcolo del fattore di sicurezza di un pendio.

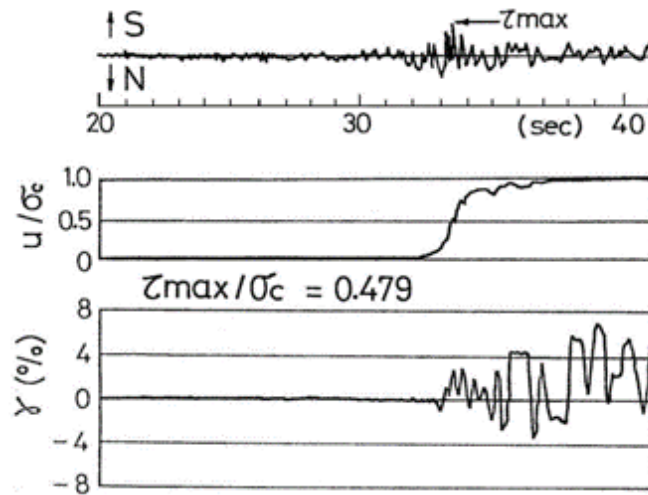
### ***2.5.2 –Fenomeni di liquefazione***

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.

Il fenomeno è stato osservato soprattutto in terreni saturi, con basso addensamento e tipicamente caratterizzati da terreni sabbiosi o sabbioso limosi sciolti. Infatti una sabbia sciolta ha la tendenza a comprimersi quando viene applicato un carico mentre sabbie dense al contrario tendono ad espandersi in volume o 'dilatano'. 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. L'eccesso di pressione di poro che si realizza può necessitare diversi minuti prima di potersi dissipare completamente e spesso il tempo necessario alla dissipazione è di diversi ordini di grandezza maggiore della durata dello scuotimento sismico, questo soprattutto se siamo a una certa profondità e se il deposito è confinato da livelli impermeabili.

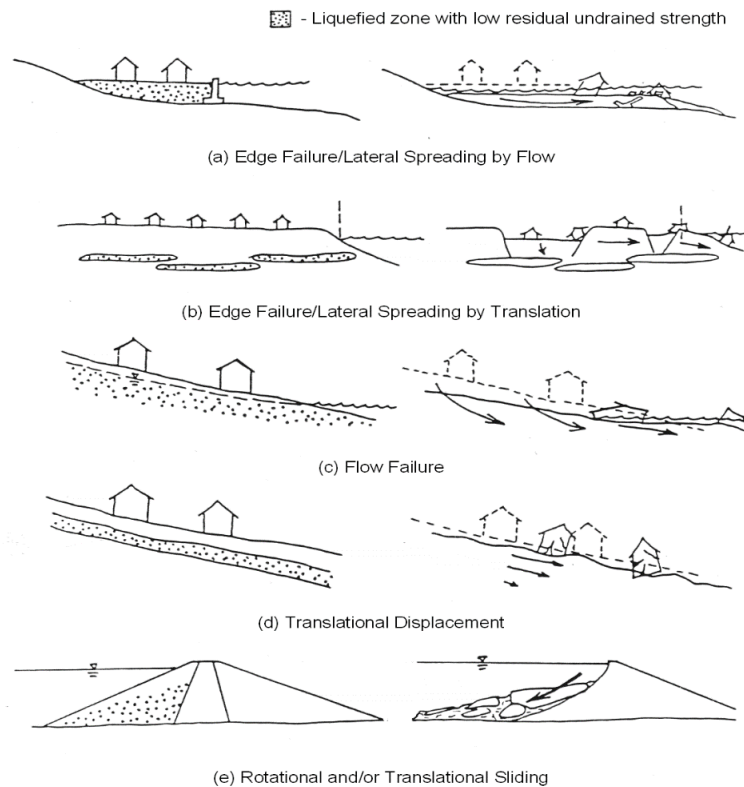
Uno scuotimento sismico è ciclico, ovvero i livelli di stress che si raggiungono nel terreno sono variabili nel tempo. Il processo contrattivo (o dilatazione negativa) dei depositi soggetti a liquefazione, prodotto da uno stress ciclico, porta a un incremento progressivo della pressione di poro in tempi molto rapidi dato che il tempo necessario a dissipare questa pressione è generalmente molto più lungo della durata del sisma.

Quello che si osserva è tipicamente riportato nella figura 2.21 dove, 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.

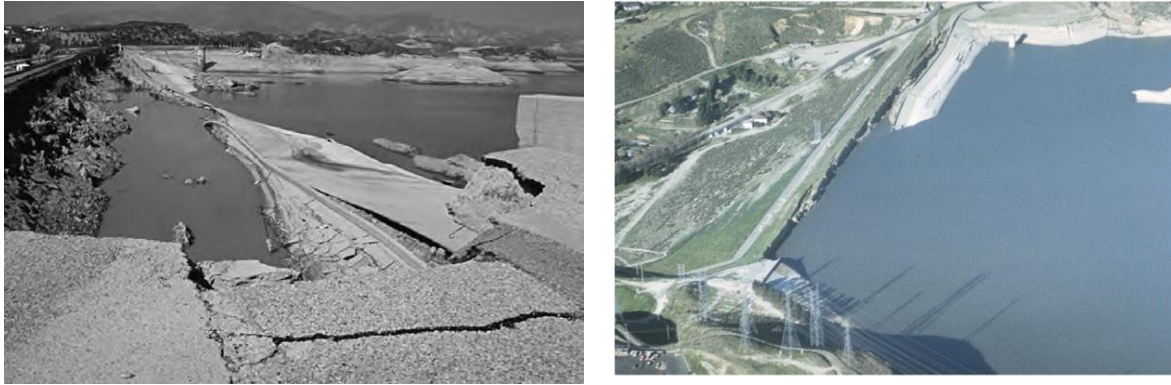


**Fig. 2.21** (da Towhata , 2008)

Se l'incremento di pressione di poro raggiunge livelli equivalenti alla pressione totale si produce una pressione efficace eguale 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.



**Fig. 2.22a** (Da Seed et al. , 2003)

**Fig. 2.22b**

(da Idriss e Boulanger 2008 e Marcuson et al. , 2007, diga di San Fernando(USA) 1971, collasso post- liquefazione, del paramento a monte)

Esiste una vasta letteratura scientifica e tecnica sulla liquefazione dei terreni, data la gravità dei processi di instabilità generalizzata che i fenomeni di liquefazione possono produrre per strutture, aree urbanizzate e con conseguenti perdite di vite umane e beni materiali. Una buona sintesi delle conoscenze è presente nel testo di Iriss & Boulanger (2008). Dal punto di vista del SSAP facciamo in particolare riferimento al processo di liquefazione che ha luogo su pendii naturali o artificiali (fig. 2.22a,b). 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. Nelle seguenti due sezioni verranno brevemente presentate le due procedure e come esse si integrano in un processo di valutazione di stabilita' dei pendii con metodi avanzati all'equilibrio limite.

### **2.5.3 –Liquefacibilita' di uno strato: Valutazione preliminare del fattore di sicurezza locale $FS_{liq}$ per liquefazione**

Il primo passo per integrare in una verifica di stabilita' 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.

Esistono differenti procedure accettate internazionalmente per ottenere e elaborare le informazioni necessarie per rispondere alle precedenti due domande. Negli ultimi decenni numerosi studi hanno permesso di affinare la metodologia di valutazione del potenziale di liquefazione. Esistono numerosissimi studi a carattere internazionale dove il problema è trattato in dettaglio. Le metodologie esistenti sono trattate in maniera completa da vari autori. In particolare segnaliamo il testi di Iriss & Boulanger (2008) e Towhata(2008) che danno un quadro esauriente della problematica e delle procedure di valutazione.

Per prima cosa occorre rispondere a precedente punto 1 se un terreno può essere soggetto o meno a una potenziale liquefacibilita'. E' ovvio escludere dalla potenziale liquefazione tutti gli ammassi rocciosi e i terreni altamente coesivi la cui resistenza al taglio è valutata in condizioni non drenate. I terreni soggetti a liquefazione sono preferenzialmente terreni ghiaioso sabbiosi, sabbiosi con medio bassa densità relativa fino a depositi sabbioso-limosi poco addensati e a

bassa plasticità. Altre condizioni perché un deposito possa essere valutato come potenzialmente liquefacibile è che deve essere saturo e a una profondità non superiore a uno specifico livello. Depositi coesivi possono essere talvolta liquefacibili, e per esserlo generalmente sono necessari tutte e tre delle seguenti condizioni:

- meno del 15% di fini inferiori a 0.005mm
- Il deposito deve avere un  $LL < 35$
- Il contenuto di umidità naturale deve essere  $w > 0.9LL$

Di fatto esistono procedure organiche che quantitativamente permettono di valutare il potenziale di liquefazione attraverso il calcolo del così detto Fattore di sicurezza a liquefazione del deposito ( $FS_{liq}$ ). Queste procedure sono presentate in modo organico in Idriss e Boulanger (2008). Il fattore di sicurezza a liquefazione  $FS_{liq}$  è quello che di fatto ci permette di valutare correttamente l'effettivo potenziale di liquefazione una volta note le caratteristiche del sisma di progetto e quelle del deposito.

La determinazione preliminare del fattore di sicurezza a liquefazione avviene attraverso varie fasi (vedasi tabella 2.2)

**Tabella 2.2.**

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 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

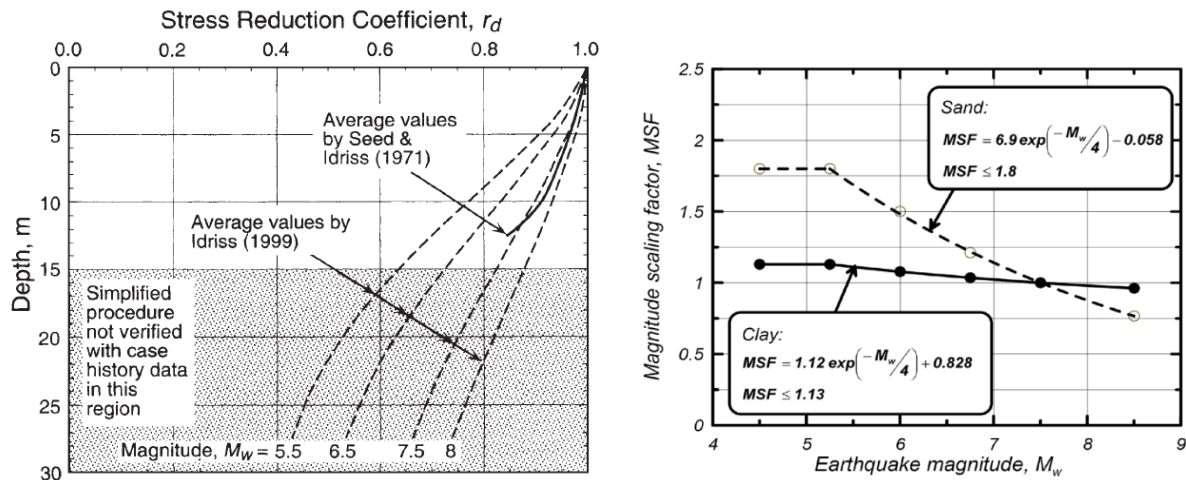


Fig. 2.24a,b (Day, 2002 and Seed 2007)

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

Fase 3: valutazione rapporto di resistenza ciclico considerando la correzione per la magnitudo del sisma

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.

E' necessario sottolineare che la procedura fino qui presentata in estrema sintesi deve essere particolarmente accurata. In particolare per la determinazione del CRR è necessario disporre di dati di prove SPT il cui numero di colpi deve essere corretto opportunamente in funzione della energia impiegata, della profondità di immissione e del con secondo procedure e gli standard internazionali. Per una trattazione più dettagliata si rimanda al testo di Idriss e Boulanger (2008). Un esempio di applicazione interessante è presentato in figura 2. 26 dove è mostrata una sezione di un pendio sottomarino nella baia di Seattle (Usa) dove attraverso una serie di sondaggi e prove SPT è stata posteriormente ricostruita una mappa del fattore di sicurezza a liquefazione per diversi scenari di input sismici. Si noti come per magnitudo superiori a 7.5 e accelerazioni sismiche orizzontali massime superiori a 0.2g si estende progressivamente la area con potenziale liquefazione locale.

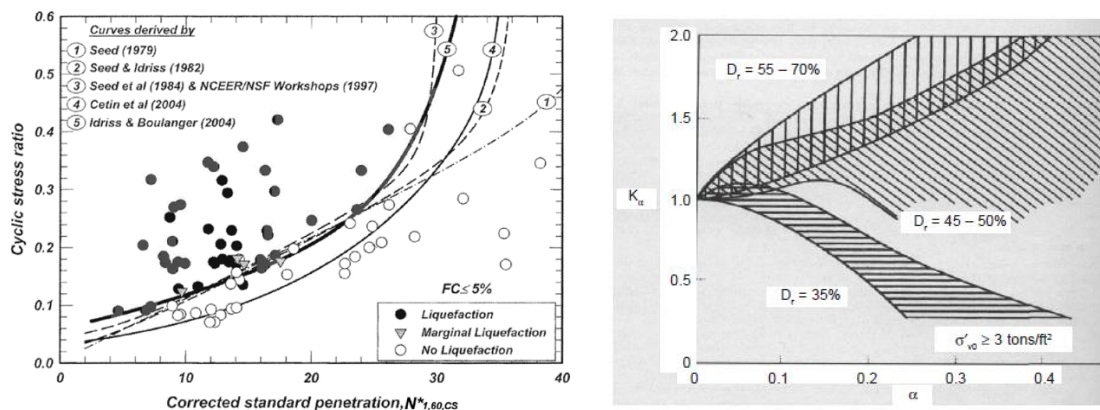


Fig. 2.25a,b (da idriss e Boulanger 2008 , Day, 2002)



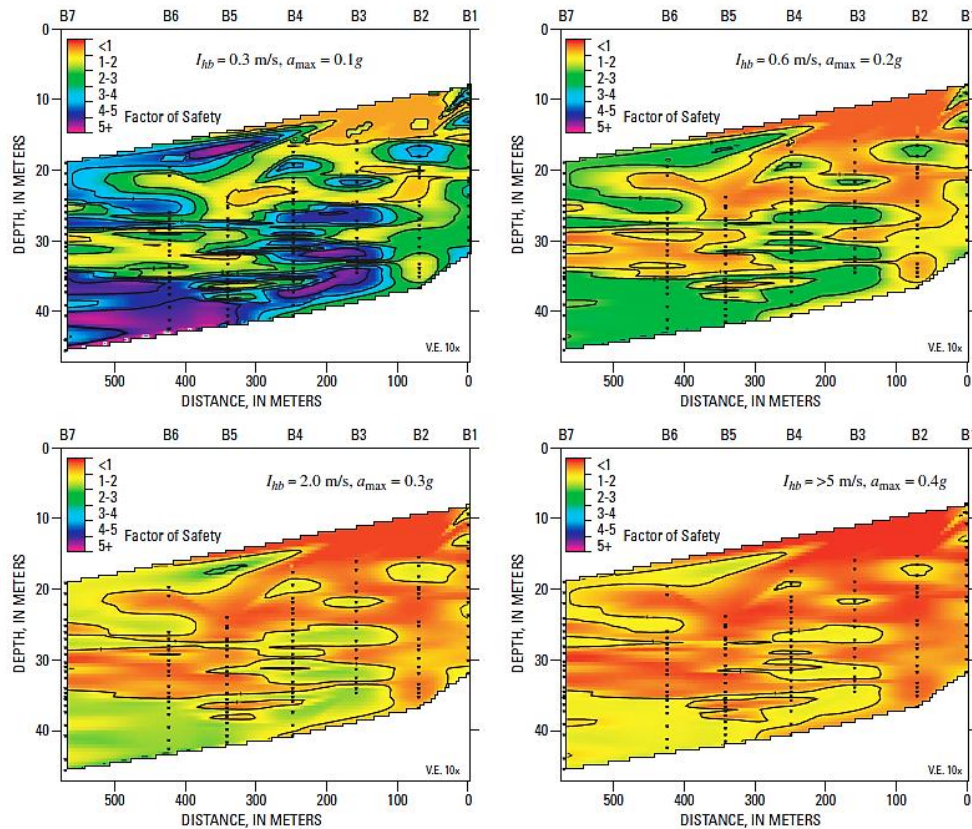


Fig. 2.26 (da Kayen & Barnhardt, 2007)

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%.

Certamente il processo di liquefazione può non essere completo e la condizione di liquefazione totale che si verifica quando l'eccesso della pressione dei pori equivale allo sforzo verticale efficace (pressione di contatto dei grani) pre-sisma, può verificarsi solo per  $FS_{liq} \leq 1.0$ .

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 2.27 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..

La relazione proposta in figura 2.27 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 le 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.

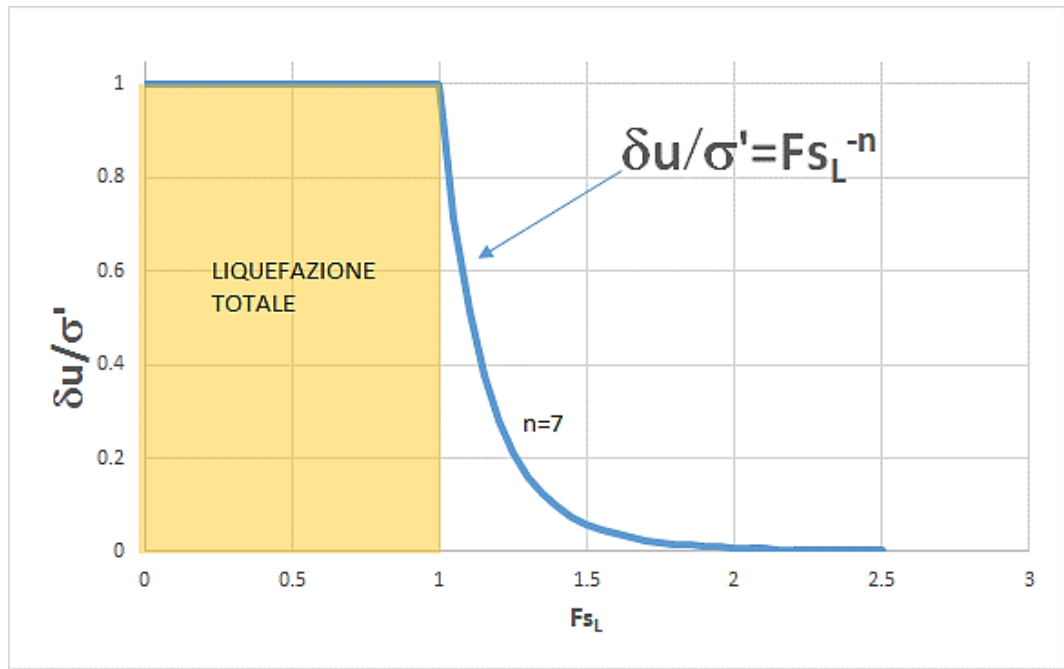


Fig. 2.27 (da Towhata , 2008, modificato)

#### 2.5.4 –Resistenza al taglio dei depositi in condizioni di liquefazione totale o parziale

In condizioni di liquefazione le evidenze sperimentali indicano che la resistenza al taglio non diventa mai assolutamente pari a zero. Pur nelle condizioni estreme esiste una residua resistenza al taglio che nelle fasi iniziali post liquefazione, quelle caratterizzate dalle condizioni più critiche (pressione dei pori equivalente allo stress efficace pre-liquefazione). Esistono varie procedure empiriche e di laboratorio per valutare questi valori di resistenza. Il metodo di Olson e Stark (Olson e Stark 2003 derivato da Olson (2001) e Olson e Stark(2002) definisce una procedura completa per valutare gli appropriati valori di resistenza al taglio, in condizioni non drenate equivalenti, dei depositi soggetti a liquefazione totale. In tabella 2.3 sono riportate le fasi della procedura che è poi adottata da SSAP una volta che si conosce la condizione di liquefacibilità del terreno (data in precedenza dal valore di  $FS_{liq}$ ).

Una volta che le condizioni di liquefazione sono stabilite come totali e che sia noto il valore corretto del numero di colpi NSPT si procede in tre fasi:

fase1: valutazione del comportamento *contrattivo* (depositi poco addensati) o *dilatativo* (depositi addensati) nel punto interno dal pendio dove verrà valutata la resistenza al taglio non drenata equivalente, secondo la procedura di Olson e Stark (2003). Questo viene realizzato mediante la equazione in tabella 2.3 e mediante il grafico in figura 2.28. La liquefazione verrà considerata localmente possibile solo nel caso di comportamento contrattivo.

Fase 2 a,b: nel caso il punto venga attribuito a un comportamento contrattivo (liquefazione locale possibile) la resistenza al taglio viene assegnata considerando il rapporto di sforzo di taglio (*shear strength ratio*) di picco (2a) e quello residuo (2b) nella seconda righe 2° e 2b della tabella 2.3.

Fase 3: il rapporto dello sforzo di taglio locale finale, nel caso di un comportamento contrattivo, che può favorire fenomeni di flow slides o lateral spreading (*flow failures*) deve tener conto anche del valore  $FS_{liq}$  del deposito e quindi il valore finale locale dipenderà dalla equazione proposta nella riga 3 della tabella (procedura proposta in SSAP come variante del modello Olson e Stark originale). Essendo  $FS_{liq}$  associato a una probabilità di liquefazione totale (più o meno alta) il

valore finale di resistenza dipenderà anche da questo ultimo valore.

La procedura si basa un rilevante numero di casistiche reali dove sono stati analizzati casi ben documentati di instabilità di pendii naturali e artificiali in seguito a fenomeni di liquefazione.

**Tabella 2.3. (Procedura da Olson e Stark 2003)**

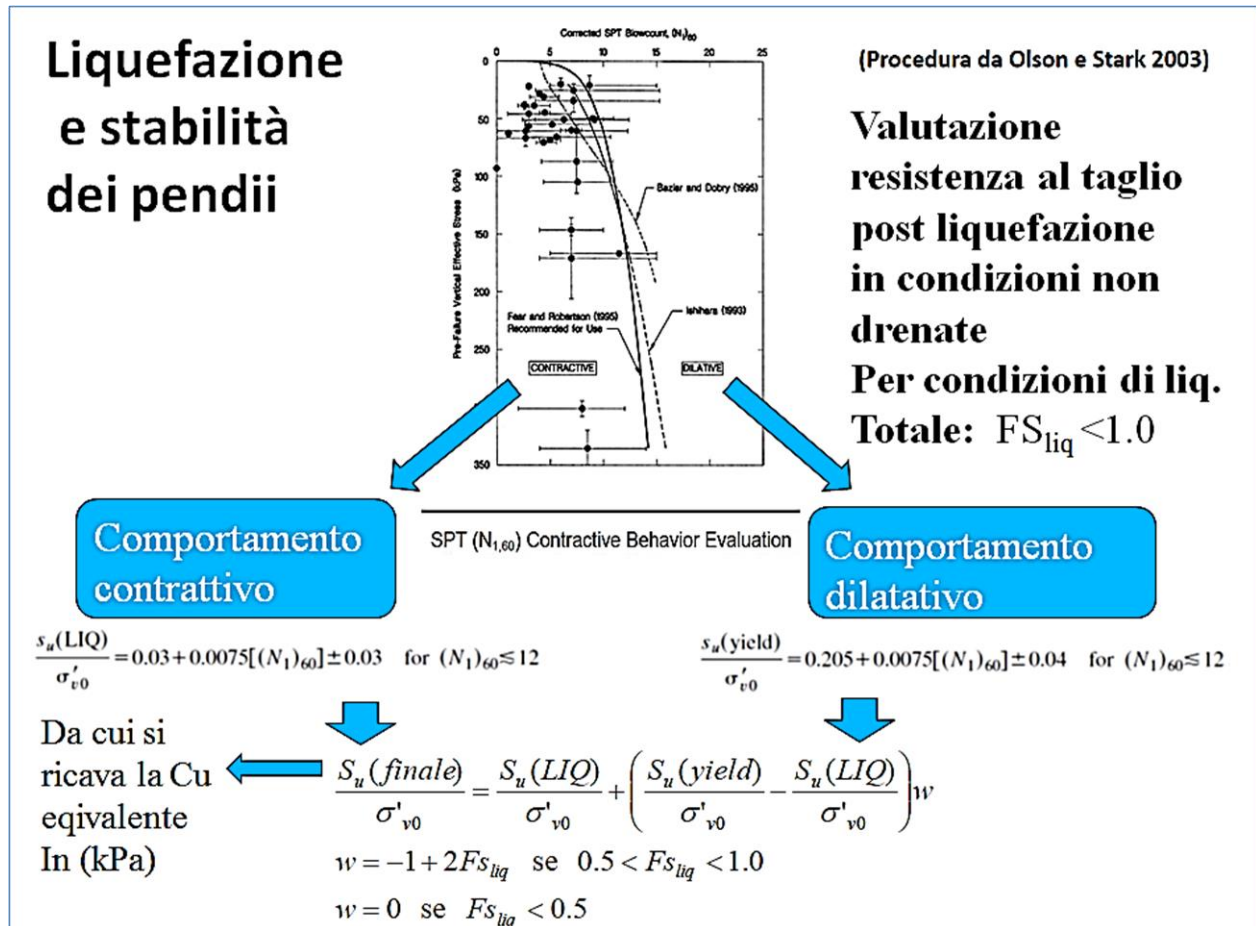
Step	Equazione	Descrizione.
<b>1</b>	$(\sigma'_{v0})_{\text{boundary}} = 9.58 \times 10^{-4} [(N_1)_{60}]^{4.79}$ <p>(figura 2.28)</p>	Boundary line per qualificare un comportamento contrattivo o dilatativo
<b>2a</b>	$\frac{s_u(\text{yield})}{\sigma'_{v0}} = 0.205 + 0.0075[(N_1)_{60}] \pm 0.04 \quad \text{for } (N_1)_{60} \leq 12$	Shear strength ratio di picco per depositi con comportamento dilatativo
<b>2b</b>	$\frac{s_u(\text{LIQ})}{\sigma'_{v0}} = 0.03 + 0.0075[(N_1)_{60}] \pm 0.03 \quad \text{for } (N_1)_{60} \leq 12$	Shear strength ratio residuo per depositi con comportamento contrattivo
<b>3</b>	$\frac{S_u(\text{finale})}{\sigma'_{v0}} = \frac{S_u(\text{LIQ})}{\sigma'_{v0}} + \left( \frac{S_u(\text{yield})}{\sigma'_{v0}} - \frac{S_u(\text{LIQ})}{\sigma'_{v0}} \right) w$ $w = -1 + 2Fs_{liq} \quad \text{se } 0.5 < Fs_{liq} < 1.0$ $w = 0 \quad \text{se } Fs_{liq} < 0.5$	Valore finale del shear strength ratio

E necessario sottolineare la importanza di una corretta valutazione del numero di colpi NSPT , effettuato tutte le dovute correzioni (per energia di infissione, profondità di infissione, contenuto % di fini etc.). Il valore di NSPT influisce molto sopra i valori che punto-punto verranno assegnati al deposito.

Nel caso di strati dove abbiamo valutato valori **FS<sub>liq</sub> > 1.0** non verificandosi condizioni di liquefazione totale la resistenza al taglio deve essere valutata in condizione non drenate però facendo riferimento a mutate condizioni di pressione di pro e sforzo efficace.

La relazione proposta in figura 2.27 e utilizzata da SSAP per valutare l'incremento di pressione di pori associato a valori **FS<sub>liq</sub> > 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 le 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





**Figura (2.28 da Olson e Stark 2003 con integrazioni by L.B 2016)**

### 2.5.5 –Applicazione in un pendio

Nel capitolo 6 di questo manuale è riportata e analizzata in modo completo un esempio di applicazione delle procedure sopra esposte (esempio n. 4).

## 2.6 GENERAZIONE DELLE SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO

Come è già stato accennato per il calcolo di  $F_s$  è necessario generare delle superfici di scivolamento di tentativo sopra le quali effettuare le operazioni di verifica. Potranno essere assunte forme tipo.

Molto note ed utilizzate sono le superfici di **forma circolare**, BISHOP (1955), TAVENAS et al. (1979), TING(1984), NGUYEN(1985), LADD(1991), meno diffuse quelle a **spirale logaritmica**, HUANG et al. (1976), PRATER (1979) e di forma generica data da una segmentata, CARTER (1971), BOUTRUP & LOVELL (1980), SIEGEL et al. (1981).

Le superfici circolari oltre ad essere tipicamente utilizzate in alcune procedure come quella di BISHOP(1955) vengono consigliate quando si hanno pendii in materiali omogenei. Le superfici a spirale logaritmica, invece sono utilizzate in alcuni codici di calcolo per particolari verifiche in condizioni dinamiche (es. azioni sismiche). Superfici di forma generica sono utilizzate in diverse procedure di calcolo e sono particolarmente indicate nei casi in cui si abbiano discontinuità stratigrafiche nel pendio.

Vari autori (ABRAMSON L.W. et al. (2002); DUNCAN J.M. (1996; SARMA S.K. (1979).; CHENG Y.M. (2003); JANBU N. (1973)) tuttavia indicano con assoluta chiarezza che il metodo

dell'equilibrio limite (nel caso di verifiche di stabilità dei pendii) deve essere applicato in una modalità differenziata in funzione del grado di omogeneità del pendio, presenza di discontinuità stratigrafiche o strutturali. Ovvero si consiglia usare superfici di ricerca di forma circolare per potenziali superfici di scivolamento solo nel caso di pendii costituiti da materiali assolutamente omogenei e privi di chiare discontinuità come sopra indicate.

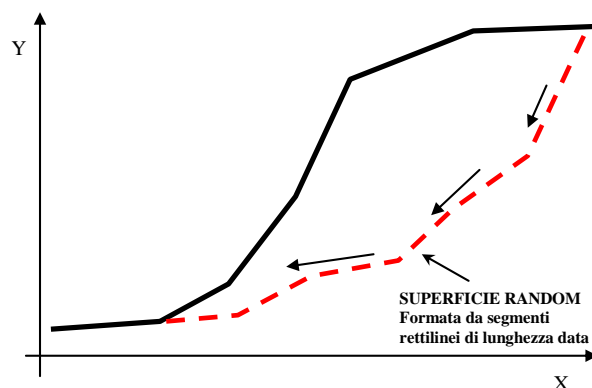
Nel caso di presenza di disomogeneità indotte dai precedenti fattori, nella tecnica di verifica e ricerca devono essere assunte preferenzialmente superfici di forma composita in modo da poter verificare anche possibili contatti e zone che non possono essere controllate con forme più semplici, dato il grado di libertà limitato dal vincolo della circolarità.

**È importante sottolineare che assumere superfici di forma esclusivamente circolare in presenza di discontinuità stratigrafiche e/o strutturali implica un forte rischio di sovrastimare il valore del fattore di sicurezza  $F_s$  e di non localizzare affatto la zona di maggiore debolezza in assoluto. In pratica si corre il rischio di vanificare completamente l'obiettivo prefissato di valutare correttamente il grado di stabilità di un pendio.**

Nel caso si effettui un'analisi di stabilità permettendo una ricerca mediante superficie di forma composita, una ricerca accurata permetterà anche di trovare superfici con minor fattore di sicurezza anche di forma circolare o sub circolare, qualora davvero ne esistano.

I migliori software per analisi geotecnica permettono, da molti anni, di fare agevolmente questo tipo di analisi.

Per il programma SSAP è stata adottata, fin dagli inizi, esclusivamente questa ultima tipologia di analisi, **eliminando cioè 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 '*Montecarlo*' cioè basato sulla generazione di una distribuzione di numeri casuali da utilizzarsi per produrre una serie di **superfici random** (fig. 2.29) condizionate a passare entro certi livelli e/o ad intersecare la superficie topografica entro intervalli scelti dall'operatore, BOUTRUP & LOVELL (1980), SIEGEL et al. (1981). Ogni superficie random è costituita da segmenti rettilinei.



**Fig. 2.29**

Oltre alla tecnica random classica, che è stata ampiamente utilizzata negli ultimi 20 anni in ben noti programmi di calcolo (SLOPE, SLOPE2, STABLE...), nel programma SSAP sono implementati altri due motori di ricerca delle superfici estremamente più potenti della precedente. Queste due tecniche, una delle quali è una per ora una **esclusiva del programma SSAP**, consentono di superare molti dei problemi che normalmente si incontrano generando superfici circolari o

mediante la tecnica random classica.

I **motori di generazione e ricerca delle superfici di scivolamento** presenti nel programma sono i seguenti:

- **Random Search** (Siegel et al. ,1981)
- **Convex Random Search** (Chen , 1992)
- **Sniff Random Search (rel. 2.3)** (Borselli, 1997; Borselli 2012,15)

I tre motori di ricerca ulteriormente ottimizzati, nella versione di SSAP 4.0 inoltre possono essere utilizzati ciascuno attivando in più una o più di queste 3 varianti che sono una sostanziale novità in SSAP 4.0 :

- **Smussatore superfici di scivolamento** (Borselli 2010)
- **Effetto *tension crack* in testa** (Borselli 2010)
- **Ricerca con Attrattore dinamico** (Borselli 2002,2012)

Avremo quindi fino a **9 combinazioni possibili nel motore di ricerca attivato** per generare un campione di superfici di potenziale scivolamento da verificare.

Si consideri che le informazioni dettagliate sui parametri necessari per impostare correttamente la ricerca con ognuno dei metodi citati sono fornite nel capitolo 5.

Si ricordi che è possibile lanciare ciascuno dei metodi di ricerca in modo automatico; possibilità che è molto utile per familiarizzarsi con i vari algoritmi del programma. Tuttavia in modalità automatica non si sfruttano appieno tutte le potenzialità e versatilità dei motori di ricerca che verranno si seguito descritti con maggior dettaglio. **Un' importante revisione dell'algoritmo per la generazione random delle superfici di potenziale scivolamento è stata realizzata e implementata a partire dalla versione 4.1.0.** Questa revisione è attiva per tutti i motori di generazione random di superfici di scivolamento presenti in SSAP: ***Random Search, Convex Random Search, Sniff Random Search***. La novità introdotta risolve, in modo originale, un dannoso problema di sotto-campionamento dei punti di inizio delle superfici random. Il nuovo metodo permette di generare in modo uniforme i punti di inizio della superficie random, in qualunque tratto di superficie topografica scelta. La nuova metodologia corregge un difetto intrinseco dei tutti i metodi di generazione delle superficie random classici, esistente fino dalle sue origini storiche (Siegel et al. 1981). Ad esempio tutti i tratti verticali, o sub verticali, vengono adesso campionati in modo corretto, automaticamente e senza necessità di intervento dell'utente

### 2.6.1 -Random Search

Questa tecnica è la più generale ed è quindi utilizzabile in tutti i casi. E' Il motore di ricerca più veloce ma che in, alcuni casi, identifica con maggiori difficoltà le superfici con minor Fs. Il metodo è sicuramente oramai superato dagli altri due, sia che si debba lavorare con pendii molto omogenei, sia che si abbiano pendii molto eterogenei o con particolari configurazioni o zone di debolezza: **zone cataclastiche, strati sottili, lenti, fasce di scorrimento preesistenti**. Il metodo è quindi inserito in SSAP per completezza, ma può essere utilizzato anche come confronto con gli altri due. Il metodo è in grado di generare campioni di **superfici composite, cioè localmente anche concave-convesse**, approssimato da segmenti rettilinei della lunghezza prefissata dall'utente o impostata automaticamente del programma (fig. 2.30). Il metodo che può essere utilizzato in tutti i casi è comunque meglio indicato per pendii disomogenei con più strati, purché non si abbiano le condizioni particolari citate precedentemente.

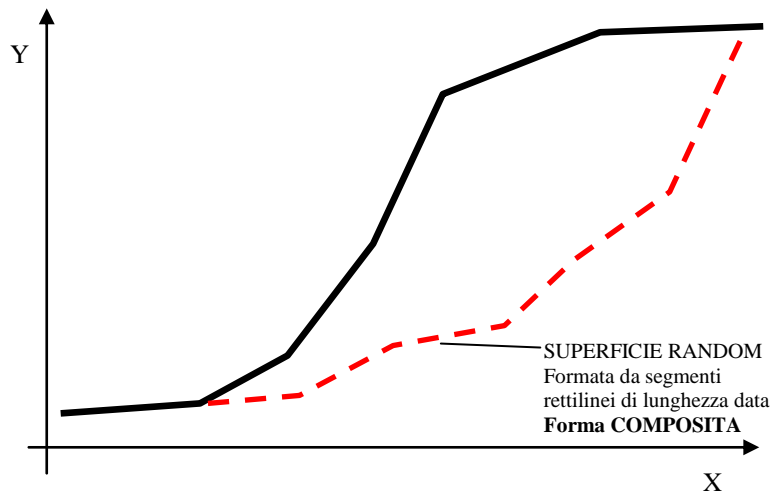


fig. 2.30

### 2.6.2 -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** (fig 2.31).

L'esperienza indica che questa tecnica dà risultati migliori in casi di pendii omogenei o fortemente inclinati, ma anche pendii con molti strati purché non siano presenti le condizioni molto particolari indicate in precedenza. Questo motore di ricerca è estremamente veloce e generalmente la superficie con minor  $F_s$  viene trovata in un tempo minore e con un campione più ridotto di superfici generate. Le superfici generate sono costrette a una forma più smussata e compatibile con lo scivolamento in pendii omogenei. Un'ampia varietà di forme è teoricamente possibile anche con questo metodo.

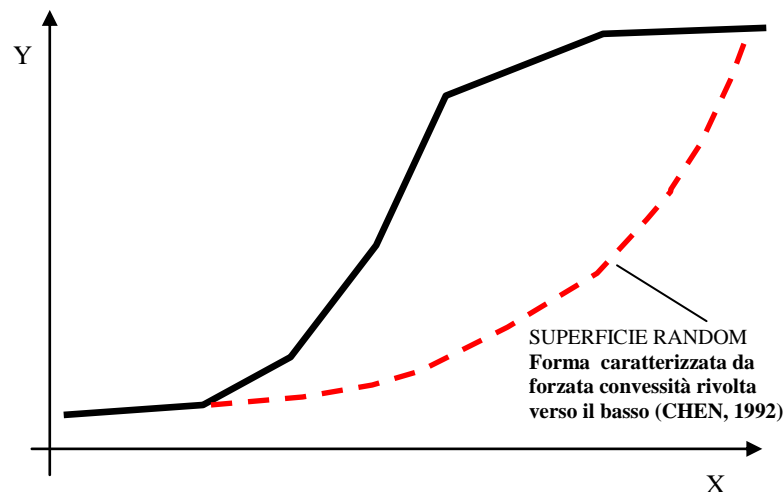


fig. 2.31

### 2.6.3 - Sniff Random Search (versione 2.3 – 2015,16)

È il **metodo più innovativo** ma anche il **più versatile e potente** tra quelli impiegati dal 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.**

Mentre con i metodi precedenti la generazione random avviene in modo pseudo-casuale o, al limite, riceve un condizionamento solo per la forma (metodo *convex random search*), 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. Quindi rispetto a i metodi classici, praticamente “ciechi” nei confronti delle caratteristiche geotecniche locali, il metodo è dotato di una “**Know-How geomeccanico**” che di fatto è un *sistema esperto*.

Nell’esempio in Fig. 2.32 l’algoritmo tenta di **massimizzare il passaggio delle superfici nel sottile livello n.4 e nella lente n.3** che in base ai parametri geotecnici sono gli strati più scadenti. La superficie di minor FS trovata può essere identificata anche con uno degli algoritmi precedenti ma con molto più tempo e in generale con minor probabilità di riuscita.

I test fatti utilizzando una serie di pendii di riferimento, pendii già noti nella letteratura scientifica sull’argomento per le difficoltà di identificare le superfici di scorrimento o per la identificazione di false superfici, hanno dato risultati che dimostrano la superiorità dell’uso del metodo in questi casi. (si vedano gli esempi presentati nel capitolo 6)

Questo motore di ricerca può venire attivato automaticamente usando i parametri predefiniti attraverso un sistema esperto interno che funziona nella maggior parte dei casi. Tuttavia l’utente può intervenire direttamente variando alcuni dei parametri di lavoro.

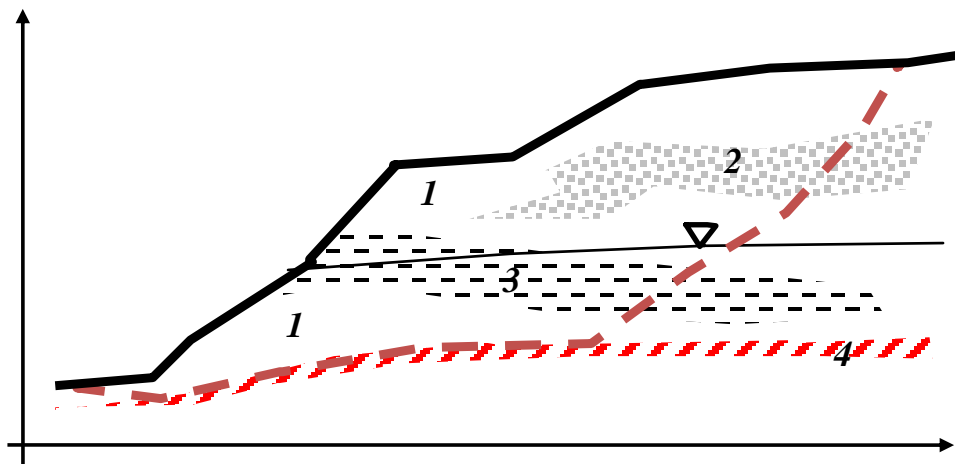


Fig.2.32

La intrinseca maggiore complessità del metodo causa tuttavia tempi di calcolo appena più elevati rispetto agli altri metodi, ma, nella maggior parte dei casi, la identificazione della superficie di minimo avviene con un numero minore di superfici. Alcune superfici particolari possono essere individuate solo con questo metodo che è, a tutti gli effetti, come risulta dai test fatti, paragonabile ai molto più complessi metodi di minimizzazione multidimensionale per la ricerca di Fs, utilizzati attualmente solo nell’ambito della Ricerca.

**A partire dalla versione 4.0.6 (luglio 2011) fu implementata, a scopo sperimentale, un versione estesa dell’algoritmo *sniff random search* per operare anche in presenza di strati dove il criterio di rottura è definito secondo il modello di Hoke (2002). Questa nuova modalità è pienamente implementata e testata a partire dalla versione 4.2.2. Essa costituisce un’ulteriore generalizzazione e potenziamento dell’algoritmo *sniff random search*, che si applica ora con entrambi i criteri di rottura e quindi per suoli e ammassi rocciosi fratturati. Attualmente è implementata **versione 2.3** dell’algoritmo, inizialmente sviluppato dall’autore oltre 15 anni fa. La**

nuova versione migliora le capacità di analisi delle discontinuità geomeccaniche presenti e il tracciamento delle aree meccanicamente più deboli con superfici di scivolamento compatibili con potenziali movimenti di massa. Indicazioni più dettagliate sull'uso dell'algoritmo verranno date al capitolo 5 del manuale.

#### 2.6.4 -Opzione - Ricerca con attrattore dinamico (range dinamico)

A partire dalla versione 2.8.4 di SSAP è stata introdotta questa importante variante che può essere applicata a uno qualunque dei tre motori di ricerca anzi descritti.

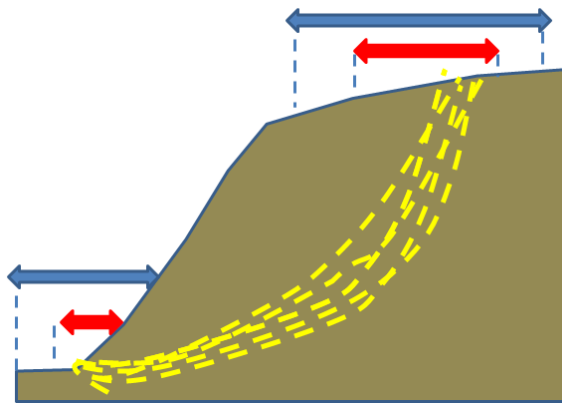


fig. 2.33

Quando l'opzione di **ricerca con attrattore dinamico** è attivata, la zona di ricerca iniziale impostata dall'utente o fornita in automatico del programma viene progressivamente ridotta in funzione delle superfici con minor  $F_s$  che via via vengono trovate (fig. 2.33). L'analisi delle superfici porta a delimitare progressivamente una zona critica. L'attivazione di questa opzione permette di concentrare progressivamente tutte le risorse di calcolo dell'analisi in corso in questa zona. Si consiglia di effettuare sempre una analisi anche con questa opzione attivata. Si ricorda che nelle condizioni standard questa opzione è attivata, ma può essere disattivata scelta dell'utente nella finestra OPZIONI.

#### 2.6.5 -Opzione – effetto tension crack

A partire dalla versione 4.0 di SSAP è stata introdotta questa importante variante che può essere applicata a uno qualunque dei tre motori di ricerca anzi descritti.

In suoli con  $C' > 0$  o  $C_u > 0$  è tipico lo sviluppo di forze di trazione fino a una certa profondità critica  $Z_0$ . La presenza di coesione favorisce lo sviluppo di questi fenomeni tensionali che hanno come loro evidenza di campo lo sviluppo di fessure di trazione (*tension cracks*) in testa al pendio (fig. 2.34a,b), che possono essere in alcuni casi profondi diversi metri. In alcuni casi di frane lo sviluppo di una superficie di scivolamento è in testa al pendio intersecato da tratti verticali che manifestano generalmente la precedente presenza di tensioni di trazione che avevano fessurato il pendio. Con questa versione di SSAP è possibile generare superfici di scivolamento con inglobato un tratto verticale la cui profondità è funzione della  $Z_0$  locale. Questa opzione è sempre inizialmente attivata, ma può essere disattivata scelta dell'utente nella finestra OPZIONI. La attivazione di questa opzione velocizza la ricerca di superfici di scivolamento critiche nel caso di pendii con strati coesivi. Inoltre permette di ridurre lo sviluppo di valori negativi nella distribuzione delle forze interconcio orizzontali  $E(x)$  in testa al pendio. Nel caso di pendii privi di coesione la attivazione di questa opzione non avrà alcun effetto.

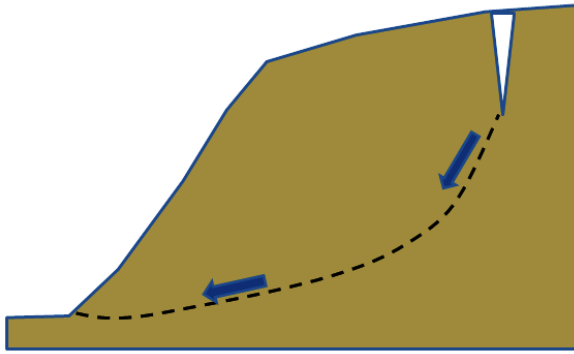


fig. 2.34a

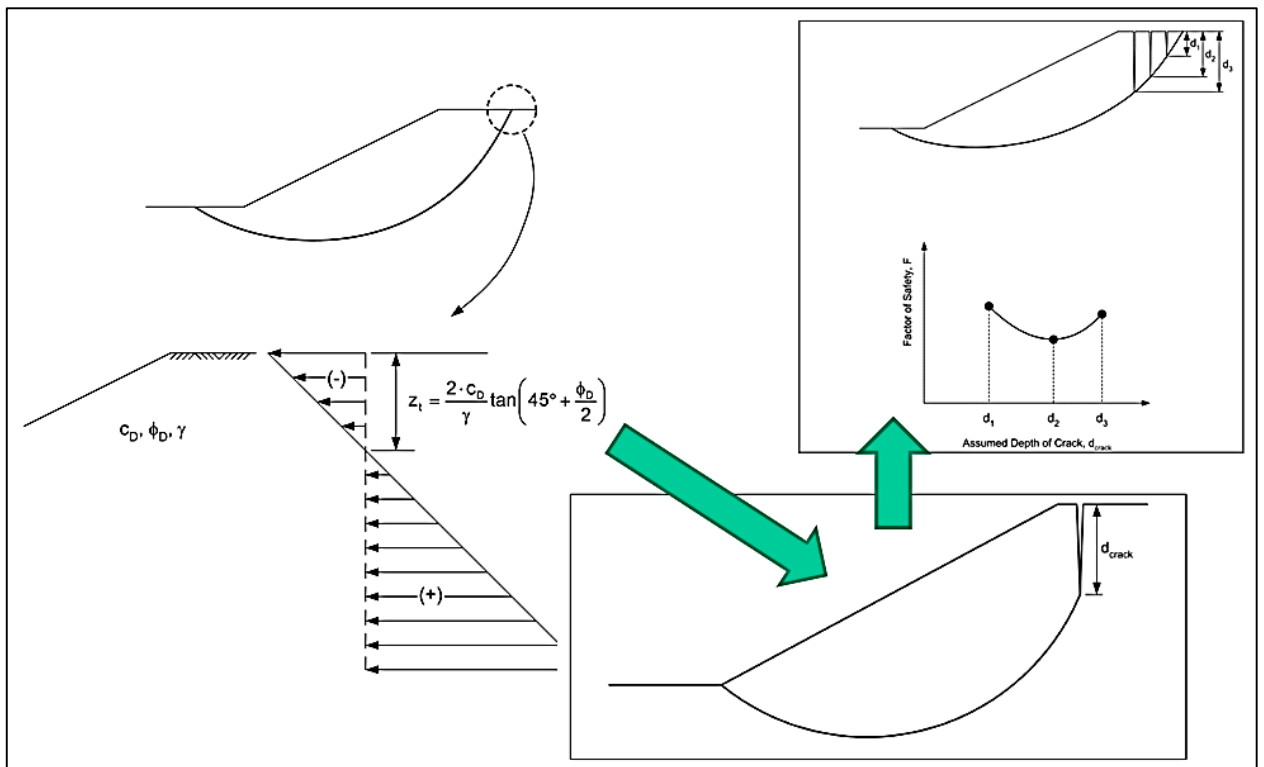


Fig. 2.34b

### 2.6.6 -Opzione – smussa superficie di scivolamento

A partire dalla versione 4.0 è stata introdotta questa importante variante che può essere applicata a uno qualunque dei tre motori di ricerca anzi descritti.

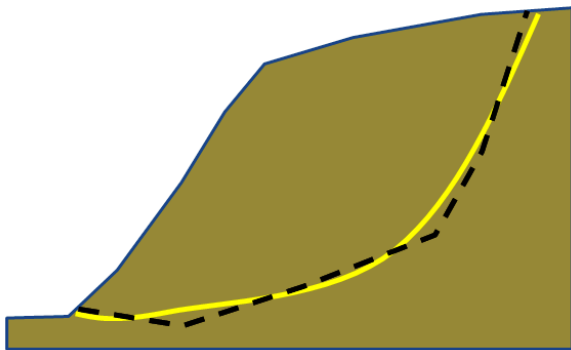


fig. 2.35

La generazione di superfici random, costituite da segmenti rettilinei, ha in se un difetto intrinseco, ovvero la possibilità di avere superfici dove il cambio di pendenza, nel passaggio tra

un segmento e il successivo, sia eccessivamente brusco. Anche se questi tipi di superfici non sono scartabili a priori, sono comunque meno probabili. Per questo motivo applicando la opzione di smussatura (si noti che inizialmente questa opzione non è attivata) è possibile smussare completamente a posteriori qualunque superficie preliminarmente generata con uno qualunque dei motori di generazione random utilizzato (fig. 2.35). Gli effetti di questa variante sono talvolta notevoli. A esempio talvolta la velocità e la % di convergenza aumentano considerevolmente pur con lievi variazioni del valore di  $F_s$ . La opzione può essere disattivata scelta dell'utente nella finestra OPZIONI. Vedasi il capitolo 5 di questo manuale.

### **2.6.7 –Risultati della ricerca della superfiei con Minor $F_s$ .**

I motori di generazione e ricerca delle superfici sopra descritte dopo aver effettuato un test su un numero di superfici significativo o aver esplorato adeguatamente un campo vasto di possibili superfici, permettono di arrivare a conoscere il valore di  $F_s$  del pendio. Secondo Il metodo standard dell'equilibrio limite, qualunque sia il motore di ricerca utilizzato, l' $F_s$  del pendio è quello della superficie con minor  $F_s$  tra quelle calcolate. Tuttavia è necessario dire che si possono avere informazioni più dettagliate se si rappresenta l'insieme di superfici generate entro un intervallo di  $F_s$  predefinito o il gruppo delle 10 superfici con minor  $F_s$  tra tutti quelle generate e verificate. (vedasi figura 2.3.6)

### **2.6.8 - Limitazioni nella forma locale delle superfici**

Esistono ovviamente alcune limitazioni teoriche nella forma delle superfici, dettate dalla teoria della spinta delle terre e da problemi computazionali di convergenza nel calcolo di  $F_s$  (CHING & FREDLUND 1983, CHOWDHURY & ZHANG 1990) o di produzione di valori anomali come  $F_s < 0$ . Tali limitazioni sono considerate con particolare cura nel programma; limitazioni non sempre considerate in altri codici di calcolo e da molti utenti.

Successivamente alla generazione di una superficie, prima di effettuare il calcolo del relativo valore di  $F_s$ , è necessario effettuare una serie di controlli molto importanti. Il più importante è quello di verificare che localmente la inclinazione dei segmenti non violi il criterio di rottura Mohr-Culomb nelle zone dove prevalgono le spinte attive e le spinte passive (fig. 2.37a).

In pratica ogni inclinazione della superficie di scivolamento deve essere compresa tra i due valori limite indicati nella fig. 2.37a. I valori limite delle inclinazioni dipendono dalle caratteristiche meccaniche del terreno/ammasso roccioso. In casi di marcata variabilità litologica/stratigrafica o in presenza di ammassi rocciosi fratturati, i valori degli angoli limite possono avere una forte variabilità entro il pendio. In questi casi fornire dei valori limite fissi agli angoli di inclinazione dei segmenti è una forte approssimazione.

Il programma **SSAP 2010** effettua quindi 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. Infatti in queste superfici potremmo avere valori di  $F_s$  anormalmente bassi, generalmente non realistici, e a volte  $F_s < 0$  !!. **In SSAP 2010 il controllo viene fatto automaticamente senza necessità di intervento dell'utente.** Questo aspetto innovativo ha incrementato la affidabilità dei risultati.



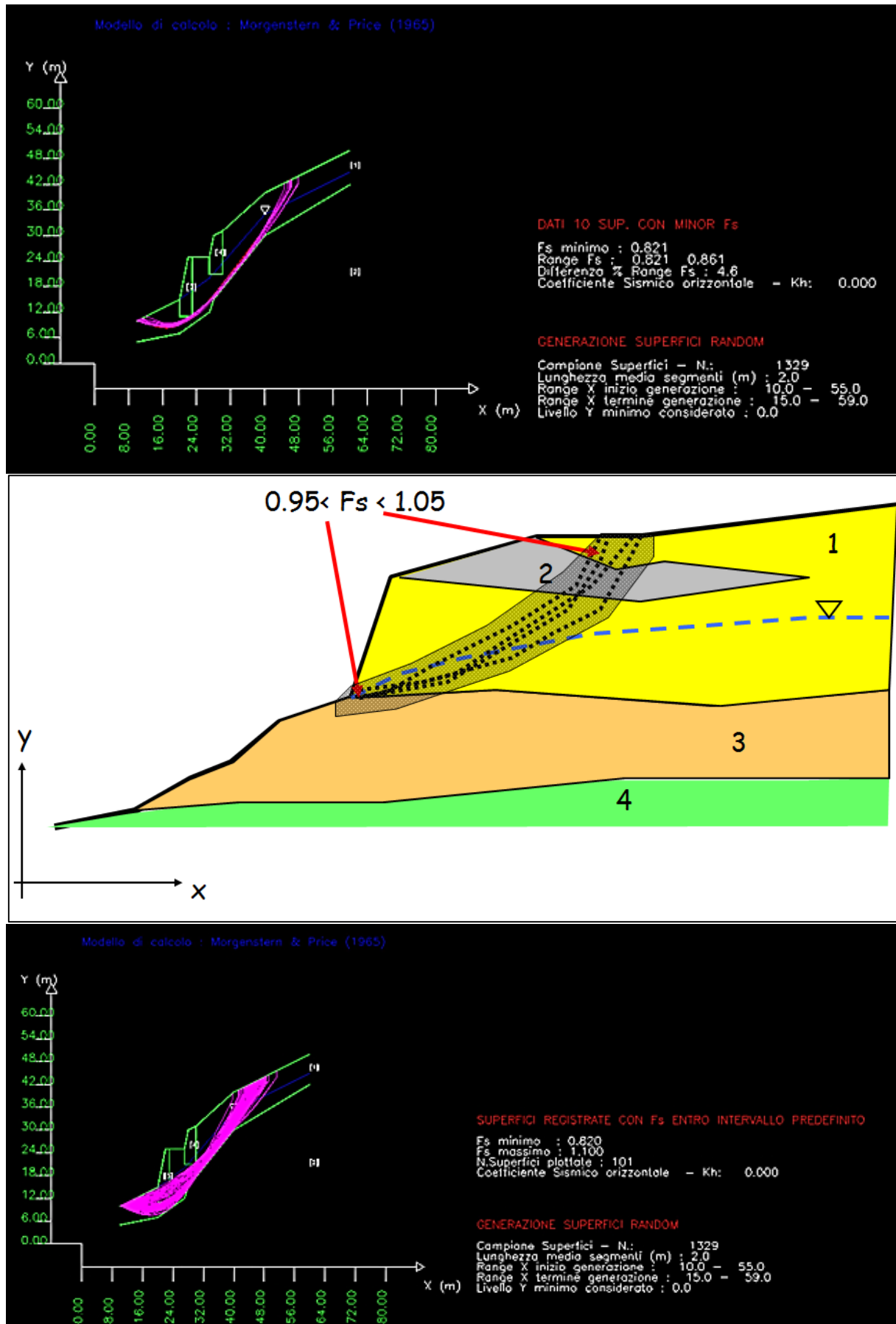


Fig. 2.36

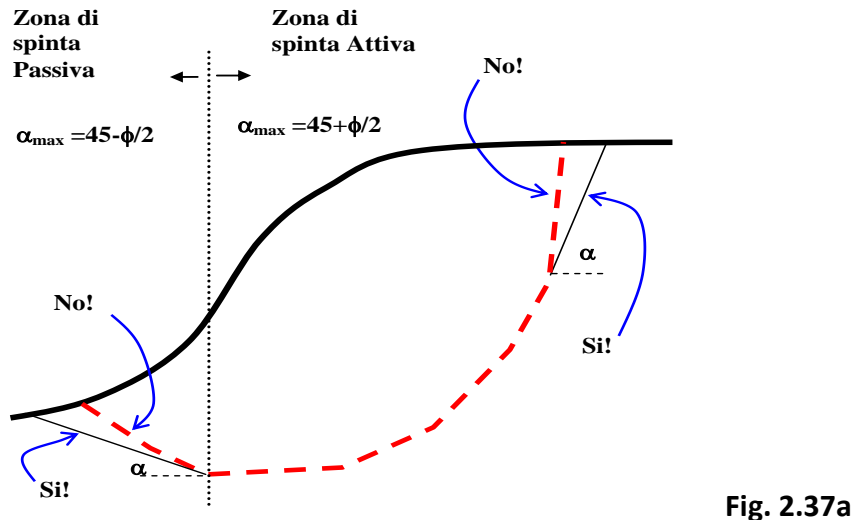


Fig. 2.37a

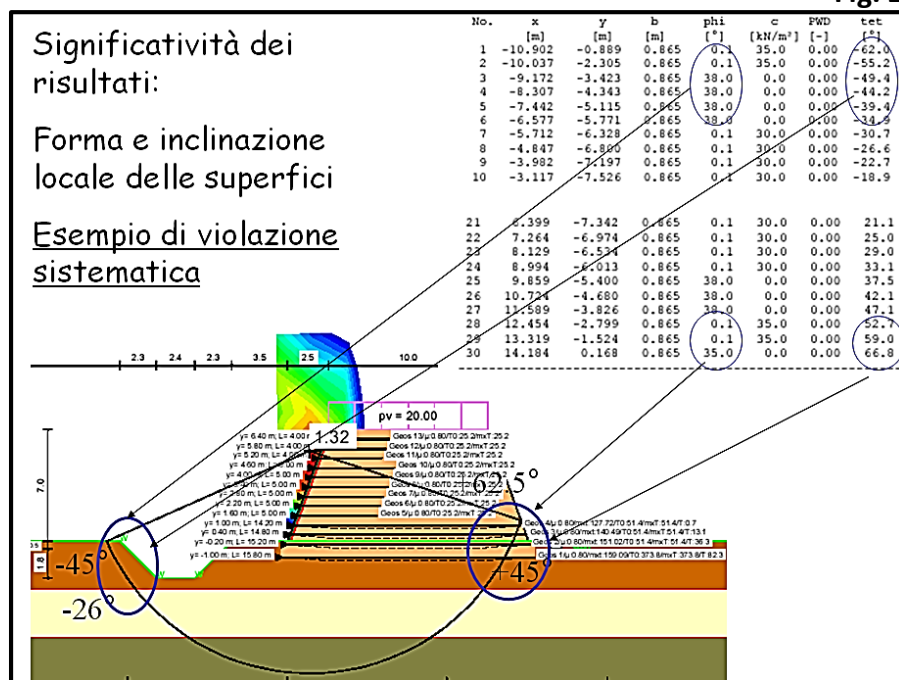


Fig. 2.37b

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, risultati violati i criteri di rottura e gli angoli di pendenza limite precedentemente indicati.

### 2.6.8 - Lunghezza dei segmenti delle superfici

Una ulteriore precisazione va fatta per quanto riguarda la scelta della lunghezza dei segmenti della superficie random da generare.

La lunghezza assunta deve essere compatibile con il modello del pendio che è stato assunto. Si RICORDI che utilizzare lunghezze eccessive o eccessivamente piccole comporta un rallentamento delle elaborazioni o il totale blocco. Purtroppo è impossibile fornire un valore a priori. Tuttavia si può consigliare di usare come primo tentativo un valore compreso tra 1/10 e 1/40 della lunghezza complessiva del pendio. Un valore di lunghezza viene comunque preimpostato in automatico dal programma ma tale valore potrà essere modificato in seguito in successive verifiche.

**La lunghezza dei segmenti che viene indicata verrà utilizzata come lunghezza media. Infatti durante la generazione delle superfici il valore reale dei segmenti varierà continuamente in modo casuale tra il valore indicato +/- 50%.**

Questa metodologia innovativa consente di aumentare i gradi di libertà del sistema, e quindi forme di superfici più generali, mantenendo al tempo stesso sostanzialmente invariati i tempi di calcolo.

Il programma automaticamente imposta la lunghezza media dei segmenti, dopo aver caricato dati relativi al modello del pendio, a 1/25 della lunghezza del pendio. Questo valore è puramente indicativo e l'utente potrà variarlo a piacimento. Tuttavia è bene tenere presente alcune indicazioni di massima:

- Segmenti più corti sono indicati per superfici con sviluppo più superficiale, mentre segmenti di maggior lunghezza sono indicati per superfici più profonde.
- In pratica la lunghezza dei segmenti condiziona parzialmente la profondità delle superfici che si produrranno, ma anche la possibilità di esplorare porzioni ristrette e strati molto sottili.
- Segmenti più corti influenzano i tempi di calcolo: ovvero segmenti **più corti = più tempo di calcolo**.
- La lunghezza dei segmenti oltre che ad influenzare i tempi di calcolo può influenzare in maniera essenziale i risultati finali.
- Nella ricerca delle superfici maggiormente instabili la scelta di una lunghezza inadeguata può portare a risultati erronei che non tengono conto di condizioni instabilità che possono essere talvolta importanti. La ragione di ciò è dovuta ad una questione di scala del problema e alla capacità che segmenti di lunghezza diversa hanno di esplorare e concentrarsi in zone più superficiali o profonde.

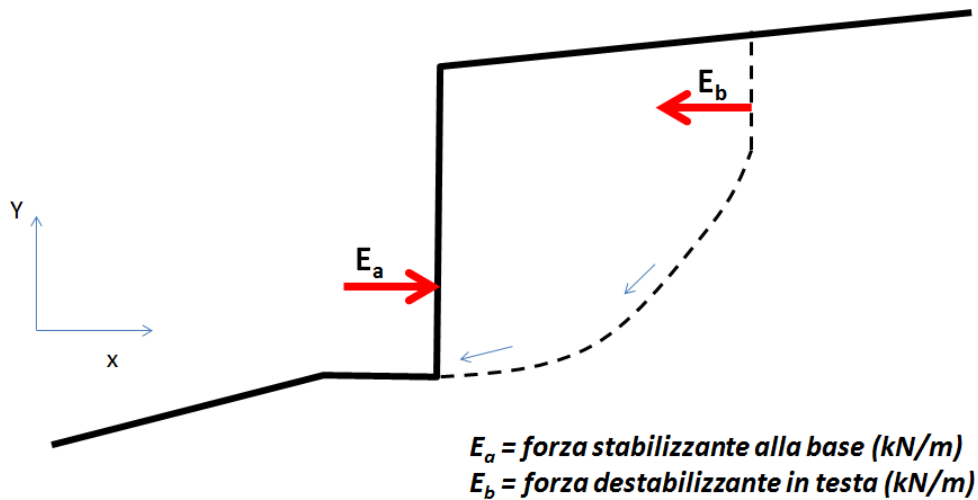
#### **2.6.9 - Effetti di forze applicate in testa e alla base del pendio**

Quando si effettua una verifica su una superficie singola è possibile considerare l'effetto addizionale di forze orizzontali destabilizzanti, in testa al pendio, e stabilizzanti alla base del pendio. Tali forze orizzontali, introdotte da Janbu 1954, 1973, sono comunemente usate per considerare l'effetto di tension cracks riempiti di acqua in testa al pendio (forza **Eb**) o la risultante della spinta di un'opera di sostegno, come un muro a gravità, alla base di un pendio (forza **Ea**) (figura 2.38). La formulazione introdotta è coerente, e conforme, alla notazione di Zhou(2005), come per l'azione di pali, geogriglie e tiranti, su cui sono basati tutti gli algoritmi portanti di SSAP2010.

**Si ricorda che la intensità di queste forze deve essere considerata con attenzione da parte dell'utente. Valori troppo eccessivi e irrealistici possono portare a anomalie numeriche consistenti e condizioni in cui il calcolo non può essere portato a termine.** A esempio valori anormalmente elevati di **Ea** possono portare a condizioni anomale in cui la massa del pendio invece che scivolare si muove verso monte!!

I valori introdotti di **Ea** e **Eb** influenzano direttamente la distribuzione delle Forze interconco interne  $E(x)$  e  $T(x)$ , e quindi il risultato come  $F_s$  finale.

La applicazione della forza **Ea** comporterà un incremento del  $F_s$  finale; mentre la applicazione della forza **Eb** produrrà un decremento del valore di  $F_s$ .

Fig.2.38 : notazione delle forze  $E_a$  e  $E_b$  in SSAP2010.

## 2.7 VARIABILITA' LITOLOGICA

Nei casi reali non è assolutamente infrequente incontrare pendii che mostrano una certa variabilità litologica. Come abbiamo già accennato il codice SSAP consente di trattare tutti questi casi fino ad **un massimo di 20** strati presenti nel pendio. Una delle caratteristiche più interessanti di questo programma è la capacità di lavorare con modelli del pendio estremamente realistici (senza eccessive semplificazioni). Gli **algoritmi per il riconoscimento automatico degli strati e delle discontinuità presenti** sono da considerarsi come il "cuore" del programma.

Tali algoritmi sono stati particolarmente ottimizzati per effettuare una sorta di **riconoscimento "intelligente" della stratificazione** presente in ogni concio in cui è suddivisa la massa scivolante del pendio. L'importanza di queste procedure è veramente notevole poiché influenza enormemente:

1. la attendibilità dei risultati;
2. la velocità di calcolo.

Si comprende quindi come una gran parte dei tempi di sviluppo e verifica del codice SSAP ha riguardato proprio questo aspetto.

Il coronamento di questo lavoro è **l'algoritmo SNIFF RANDOM SEARCH (borselli 1997,2016)**, già descritto in precedenza, che **consente di effettuare verifiche nelle condizioni più gravose che sfuggono ai metodi di ricerca usuali.**

## 2.8 CALCOLO DI FS

Successivamente alla generazione di potenziali superfici di scivolamento vengono eseguite le seguenti operazioni con algoritmi studiati in modo particolare per ottenere il massimo in termini di velocità ed accuratezza:

- a) ***suddivisione ottimale in conci della massa delimitata dalla superficie di scivolamento;***
- b) ***riconoscimento della composizione stratigrafica e disomogeneità in ognuno dei conci;***

- c) calcolo dei parametri di interesse per ognuno dei conci;*
- d) risoluzione iterativa del sistema di eq. (2.4) ;*
- e) il valore così ottenuto del coefficiente di sicurezza viene memorizzato insieme alle coordinate che definiscono la superficie di scivolamento.*

Le precedenti operazioni vengono ripetute per tutto il campione di superfici generate secondo le indicazioni dell'utente. **Le 10 superfici che hanno fornito i 10 minori coefficienti di sicurezza vengono immagazzinate in memoria e fornite come output finale.**

**Le 10 superfici identificheranno una fascia critica nel pendio**, a cui competono i minori coefficienti di sicurezza ed in cui vi sono i maggiori rischi di fenomeni di rottura. La fascia critica è definita anche da un intervallo di valori di **F<sub>s</sub>**.

Ovviamente la verifica di stabilità sarà tanto più attendibile quanto maggiore è il numero di superfici di scivolamento esaminate, cioè quanto più rappresentativo è il campione di superfici random generate dal programma.

Il tipo di hardware che si ha a disposizione (velocità della CPU) e il grado di accuratezza richiesto dall'utente sarà il fattore determinante del numero massimo di superfici sulle quali si calcolerà il fattore di sicurezza **F<sub>s</sub>**.

Dopo aver effettuato la ricerca delle 10 superfici con minor **F<sub>s</sub>** è possibile salvare su file a superficie con il minor **F<sub>s</sub>** in assoluto e effettuare alcune analisi aggiuntive che comprendono:

- **Calcolo del Coefficiente Sismico orizzontale Critico** per il quale si ottiene **FS=1.0** (metodo Sarma esteso a tutti i metodi di calcolo (es. Janbu, Spencer, Morgenstern e Price.))
- **Verifica dell'effetto di forze stabilizzanti alla base del pendio** (muro di sostegno o palificata) o **instabilizzanti in testa al pendio** (tension Cracks riempiti di acqua).

I dati della superficie singola scritti su file possono essere anche richiamati in un secondo tempo o archiviati.

## **2.9 PROCEDURA DI ANALISI DEL DEFICIT DI RESISTENZA**

La procedura di analisi del deficit di resistenza è stata introdotta per dare ulteriori informazioni. La procedura ha lo scopo di identificare se nel pendio in esame vi sia un deficit di resistenza rispetto a una condizione di sicura stabilità per il pendio stesso; ad esempio si può usare un fattore di sicurezza pari a 1.1 (NTC 2008). In presenza di un deficit di resistenza viene calcolata la forza complessiva (**con componente orizzontale**) che è necessario applicare al pendio per contrastare le forze che favoriscono lo scivolamento e arrivare a un fattore di sicurezza complessivo di progetto adeguato (es: 1.1) (NTC 2008).

Il fattore di sicurezza di progetto, viene solitamente indicato dall'utente e normalmente si utilizzano valori maggiori o uguali a 1.1.

Il deficit o il surplus di resistenza viene calcolato con la seguente formula:

$$Bilancio = F_{resistente} - F_{SP} F_{agente} \quad (2.24)$$

dove:

**Bilancio** è il deficit o il surplus di resistenza espresso in kN/m per ogni striscia di larghezza unitaria del pendio;

**F<sub>resistente</sub>** è la forza totale resistente (kN/m) calcolata per la superficie di scivolamento considerata;

**F<sub>agente</sub>** è la forza totale agente (kN/m) calcolata per la superficie di scivolamento considerata;

$F_{SP}$  è il fattore di sicurezza di progetto;

Quando **Bilancio** assume valori negativi siamo in condizioni di deficit e quindi di carenza di resistenza (condizione di rischio)

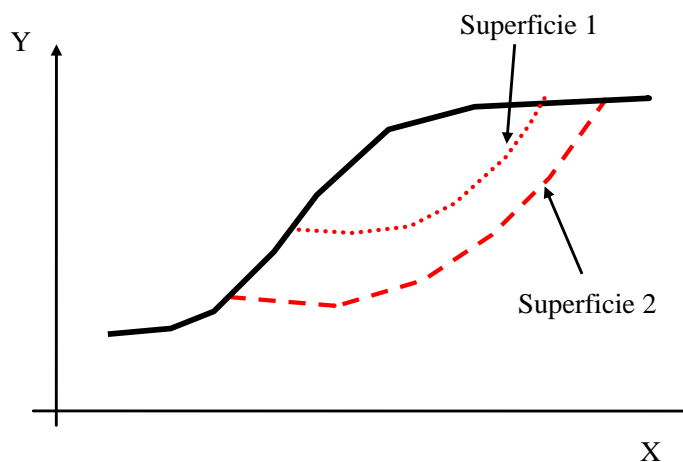
Quando **Bilancio** assume valori positivi siamo in condizioni di surplus e quindi di eccedenza di resistenza (condizione di sicurezza).

Questa analisi viene effettuata per tutte le 10 superfici di scivolamento che durante la verifica hanno fornito i 10 minori fattori di sicurezza.

Si noti che non è infrequente la possibilità che la superficie con il minor fattore di sicurezza, e quindi teoricamente con maggior probabilità di essere quella che delimita la zona più instabile, non abbia il maggior valore di Deficit di resistenza.

Infatti possono esistere superfici con fattore di sicurezza maggiore di quello minimo trovato ma con il valore di deficit più alto. Questo è dovuto al fatto che il deficit di resistenza è legato anche allo sviluppo totale delle superfici. Una superficie più profonda o più lunga metterà in gioco anche forze instabilizzanti e stabilizzanti di maggiore entità (vedi figura 2.38).

Per questo motivo si consiglia di assumere sempre come valore del deficit di resistenza il massimo tra le 10 superfici con Fattore di sicurezza minimo identificate al termine della verifica di stabilità.



**Fig. 2.38**

Nell'esempio in figura 2.38 la superficie 2 ha un fattore di sicurezza maggiore (quindi dovrebbe essere teoricamente più stabile) della superficie 1. Tuttavia la superficie 2 ha uno sviluppo complessivo maggiore e può avere un deficit di resistenza maggiore della superficie 1.

Si comprende quindi quanto sia importante la analisi del deficit di resistenza. **Questo tipo di analisi, unitamente alla verifica di stabilità classica che fornisce il fattore di sicurezza per le varie superfici, permette di avere un quadro più completo della situazione evidenziando il grado di rischio complessivo e dando utili indicazioni per il progetto delle opere di sostegno.**

## **2.10 NOTE SULLA STABILITÀ NUMERICA E PROBLEMI DI CONVERGENZA NEL CALCOLO DI FS**

La **affidabilità delle procedure di calcolo del fattore di sicurezza  $F_s$**  di un pendio è un elemento cruciale per qualunque software. Soprattutto risulta fondamentale nelle applicazioni geologico-tecniche e di ingegneria civile.

Risulta ovvio che il problema della affidabilità dei risultati coinvolge in primo luogo la definizione di un modello geotecnico del pendio e successivamente la procedura di generazione

delle superfici da verificare e in ultimo, ma non di minore importanza i modelli di calcolo utilizzati.

Il SSAP, nella sua attuale versione, è stato sviluppato seguendo i precisi standards dei metodi di calcolo rigorosi anzi descritti. Tali metodi sono stati implementati, sviluppati e affinati nel corso della storia di sviluppo di SSAP.

Uno dei punti cruciali è, come abbiamo anzi descritto, la generazione di superfici geometricamente e cinematicamente compatibili con lo scivolamento. Una serie di filtri di questo tipo sono usati da molti (*ma non tutti...*) dei software analoghi in circolazione.

Successivamente è stato necessario sviluppare una serie di procedure che consentano di tenere conto di eventuali problemi di calcolo numerico che affettano tutti gli algoritmi dei metodi LEM.

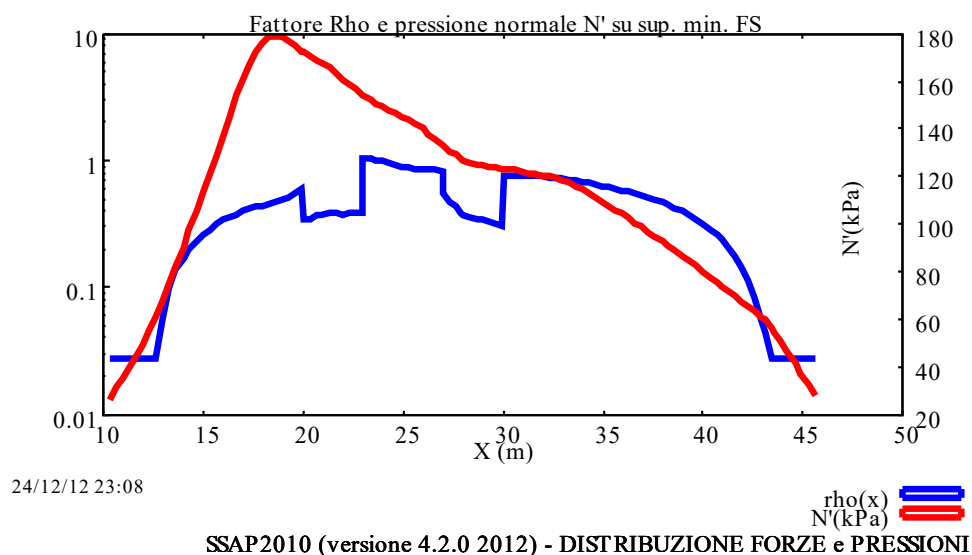
Negli ultimi 40 anni vari studiosi (Spencer 1967,1973; Sarma 1973, 1979, 2006; Chowdhury et al. 2009; Duncan 1996, Krahn 2003) hanno messo in evidenza la importanza di questi problemi di calcolo e come questi stessi problemi possono riflettersi sull' affidabilità generale dei risultati ottenuti.

Nella ultime versioni di SSAP2010 si è cercato , nella fase di sviluppo e test degli algoritmi di calcolo, di tenere conto il più possibile di questi problemi e contemporaneamente di sviluppare delle metodologie per controllarli e per ridurne l'impatto.

Verranno di seguito descritte, tra le tante implementate direttamente in SSAP, le due più importanti ovvero i problemi indotti dalla distribuzione delle pressioni normali sulla base dei concetti e dal fattore RHO, associato alle verticali interconco mediante le quali la massa potenzialmente scivolante è suddivisa.

Questa scelta è stata fatta perché l'utente può avere in SSAP una capacità di controllo diretto di queste problematiche. Infatti oltre a poter visualizzare graficamente la distribuzione interna al pendio di questi due parametri (figura 2.39), con degli strumenti messi a disposizione nella interfaccia (figura 2.40) l'utente può variare le possibilità di filtraggio delle superfici e delle soluzioni trovate controllando l'impatto delle problematiche numeriche incontrate.

Nella letteratura specialistica presentata in bibliografia viene effettuata una trattazione anche orientata ad altre problematiche minori. Il lettore vi può fare ricorso per approfondimenti (vedasi capitolo 8).



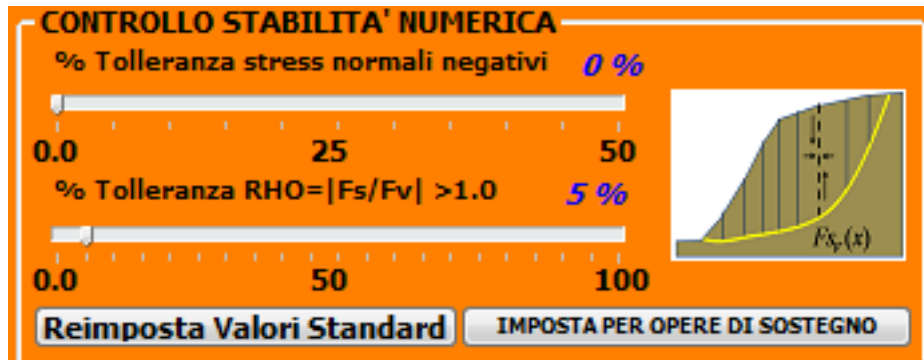


fig. 2.40

### 2.10.1 Il fattore *RHO* in SSAP2010

Il fattore Rho è un aspetto molto importante che spesso non viene utilizzato, o nominato, in molti software anche commerciali di un certo livello. L'impatto sulla stabilità e affidabilità del calcolo può essere anche rilevante.

In pratica se io divido la massa scivolante in un numero adeguato di conci e superfici verticali che li separano posso calcolare una sorta di coefficiente verticale di sicurezza  $F_{sv}(x)$  locale per ogni superficie verticale virtuale considerata (figura 2.41).

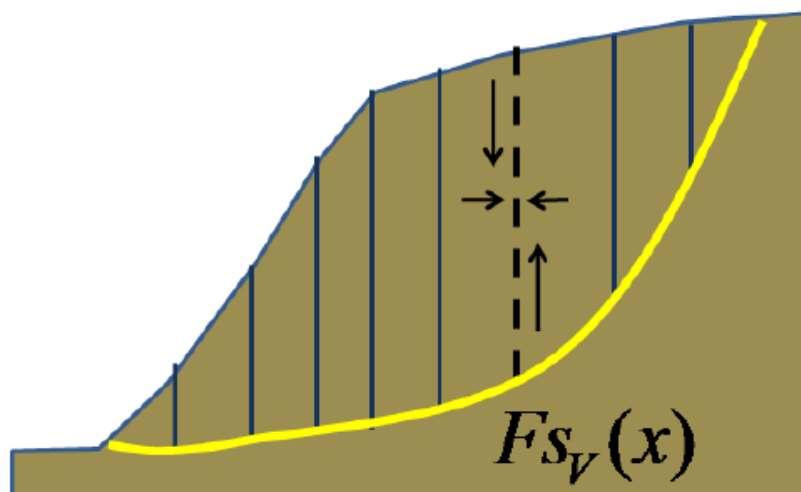


Figura 2.41

Secondo molti autori, primo tra tutti Sarma 1973, in linea teorica il metodo dell'equilibrio limite ha senso se nessuna delle superfici verticali ha localmente un fattore di sicurezza  $F_{sv}(x)$  inferiore al valore di  $F_s$  globale calcolato sulla superficie di scivolamento che testiamo. Secondo i vari autori una condizione locale di  $F_{sv}(x) < F_s$  vanifica le premesse fondamentali del metodo dell'equilibrio limite, infatti lo scorrimento potrebbe avvenire lungo la superficie verticale e non lungo la superficie di scivolamento globale di base (fig. 2.41).

Vari autori calcolano (Sarma 1973, Zhu 2003) quindi per ogni superficie verticale interconco un coefficiente adimensionale  $RHO(x)$  pari a:

$$RHO(x) = \left| \frac{F_s}{F_{sv}(x)} \right| \quad (2.25)$$

$RHO$  può quindi essere plottato in funzione delle  $X$  (progressive). Vedasi la figura 2.31 che



è il riquadro in basso a destra dei diagrammi delle forze e pressioni ricavato da SSAP per la superficie con FS minimo.

In pratica il fattore RHO dovrebbe essere sempre  $<1.0$  per coerenza con i principi base del metodo LEM. Tuttavia ci sono dei casi dove questo criterio potrebbe essere secondo alcuni Autori troppo stringente e quindi in alcuni casi potrebbe essere assunto un criterio più flessibile ad esempio quando si effettua una analisi per condizioni dinamiche con il metodo pseudostatico, oppure quando si usa il metodo Janbu rigoroso, oppure in presenza di un sistema di forze indotto da opere di rinforzo che possono alterare la distribuzione naturale del sistema di forze preesistenti.

In particolare Sarma et Tan (2006) indicano la importanza che debba essere sempre verificato che  $F_{sv}(x) > 1.0$  in corrispondenza di ogni verticale interconco. Quindi a partire dalla versione 4.0.6 di SSAP2010 viene imposta la seguente condizione generale per considerare un criterio di soglia massima  $\psi$  del fattore RHO(x) per quanto riguarda la accettabilità delle soluzioni:

$$RHO(x) = \left| \frac{F_s}{F_{sv}(x)} \right| < \psi \quad (2.26a)$$

Dove :

$$\psi = F_s \quad \text{per} \quad F_s > 1.0 \quad (2.26 b)$$

$$\psi = 1.0 \quad \text{per} \quad F_s \leq 1.0 \quad (2.26 c)$$

Il SSAP calcola e permette di stabilire una soglia % (% massimo volume della massa scivolante in cui questo RHO(x) può essere  $>\psi$  ).

Normalmente sono preimpostati da SSAP valori di soglia ammissibili per  $RHO > \psi$  fino al 100% del volume scivolante. Tuttavia dopo ogni verifica è bene controllare nei grafici come in figura 2.39, i valori di rho(x) relativi alla superficie individuata con FS minimo. Nell'esempio in figura 2.39 siamo ampiamente sotto  $\psi = 1.0$ .

Per il metodo Janbu rigoroso, per verifiche con coefficiente sismico e opere di sostegno è conveniente usare dei valori superiori; mediamente fino al 20%.

È sempre possibile porre la soglia anche al 100% salvo poi verificare sullo stesso grafico, come in figura 2.31.

È importante considerare che i valori di  $RHO > \psi$  si verificano quasi sempre in concomitanza di una, o più, delle seguenti condizioni:

- Strati con scadenti caratteristiche meccaniche (valori molto bassi di  $\Phi'$  e  $C'$  o  $C_u$ ) e forti pendenze
- Superfici di scivolamento poco profonde e quindi caratterizzate da bassi valori di  $E(x)$
- Valori molto elevati del coefficiente di pressione interstiziale  $ru$ .

Tipico ad esempio è il caso di superfici sub-planari (che per interdersi potrebbero essere analizzate con modelli a pendio indefinito) profonde meno di 3m e magari con un livello di saturazione elevato, o con falda sospesa superficiale.

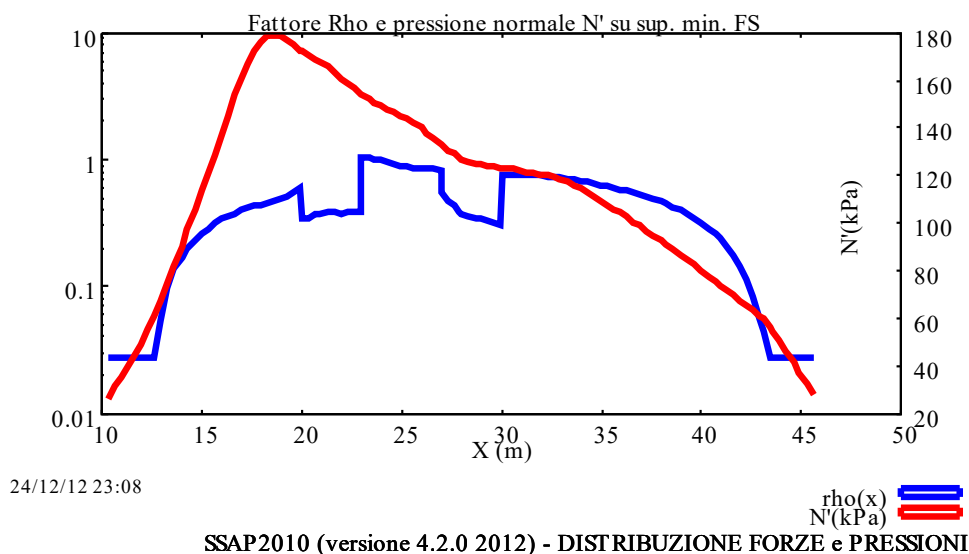
In questi casi è quasi sempre giustificato porre il limite di tolleranza di Rho a valori elevati (fino al 50%). Infatti se si verificano nel calcolo valori di  $F_s < 1.0$ , ha minore rilevanza dire quale condizione di instabilità è prevalente, tra quella lungo la superficie di scorrimento o quella lungo una o più delle superfici interconco verticali, date le condizioni di estrema instabilità e collasso

del pendio.

### 2.10.2 Distribuzione delle tensioni normali sulla base del concio

Assumendo una potenziale superficie di scorrimento entro un pendio (figura 2.42 , linea a rossa grafico a sinistra) è possibile calcolare, conoscendo tutta la distribuzione delle forze interne e esterne , la distribuzione della pressione normale a ogni punto della superficie stessa.

Questi valori possono essere talvolta anche negativi. Questo avviene nei casi noti di: eccesso di pressione neutra locale (causa fisica), o a causa di un utilizzo di conci di suddivisione del pendio eccessivamente piccoli (causa di approssimazione numerica scelta). Una pressione normale negativa dal punto di vista teorico (un spinta di galleggiamento) è incompatibile con il metodo LEM. E di conseguenza molti autori sono portati a suggerire di escludere a priori dal calcolo di  $F_s$  quelle superfici dove questo fenomeno si realizza anche localmente.



**Figura 2.42**

La causa 1) si può presentare localmente nel caso di acquiferi in pressione o saturi, mentre la causa 2) si manifesta nel caso di una non appropriata suddivisione della massa del pendio.

In SSAP le procedure di calcolo ottimizzano per quanto possibile la suddivisione del pendio con lo scopo di ridurre la occorrenza della causa 2) . La causa 1 è invece legata alla distribuzione della pressione dei pori. In SSAP viene preimpostata per ogni analisi una tolleranza dello 0% nei confronti di valori di pressione normale negativa lungo la superficie di scorrimento (vedasi in fig. 2.39 la barra di scorrimento nella finestra Opzioni ). Tuttavia in alcuni casi di superfici di scivolamento molto superficiali (corticali) e in falda, è possibile imporre condizioni più rilassate e ad esempio permettere una tolleranza limite al 50%. Un limite più blando induce nei pendii dove localmente si verificano effetti di  $N'(x) < 0$  , una percentuale di stabilità numerica maggiore (ovvero percentuali di superficie generate con successo per le quali è possibile arrivare a un calcolo di  $F_s$  completo affidabile).

### 2.10.3 Monitoraggio stabilità numerica

Durante le Verifiche è possibile visualizzare nel monitor centrale della finestra principale (fig. 2.43) la evoluzione dei risultati del calcolo (vedasi anche capitolo 5). Nella 4° riga “%Efficienza...” è possibile visualizzare in tempo reale la % di superfici generate con successo (in questo caso 3.41%), in quanto cinematicamente ammissibili e compatibili comunque con i criteri di generazione imposti dall’utente, e un valore riferibile alla “% stabilità Numerica ” (in questo caso 98.05%).

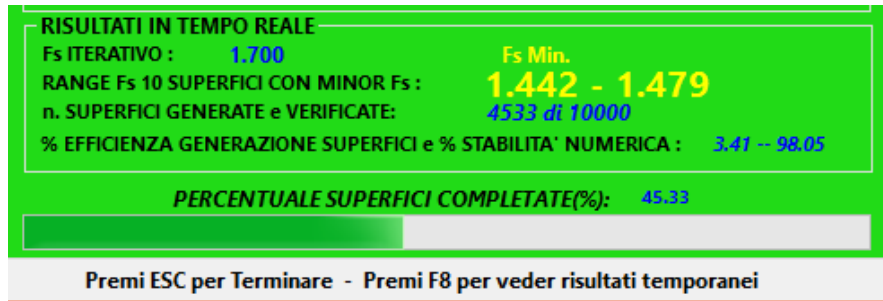


Figura 2.43

Tutte le modifiche nei criteri di generazione delle superfici, nonché nella tolleranze per  $N'$ ,  $RHO$  e nella scelta dei metodi di calcolo si rifletteranno sui valori di entrambe queste %.

Nel caso della efficienza percentuale generazione superfici non è un particolare problema se in alcuni casi si hanno valori molto bassi, fino al 1%. Questo infatti può succedere se si usano criteri geometrici molto stringenti (vedasi cap. 3 e 5). Nel caso della % di stabilità numerica è conveniente effettuare verifiche con percentuali superiori al 50%. Nel caso il valore non raggiunga un valore minimo accettabile l’analisi verrà automaticamente bloccata e apparirà una finestra un messaggio esplicativo che suggerisce possibili cause dell’anomalia e possibili rimedi..(vedasi appendice B di questo manuale).

### 2.10.4 Funzionalità di esplorazione dello spazio ( $\lambda_0$ , $F_{s0}$ )

Questa funzionalità è stata introdotta per incrementare la accuratezza dei risultati permettendo l’uso di un nuovo algoritmo che consente la **esplorazione dello spazio dei parametri ( $\lambda_0, F_{s0}$ )**, che sono i parametri di inizializzazione della procedura rigorosa del calcolo iterativo di  $F_s$ . I metodi di esplorazione sono 3:

**Metodo A)** Metodo classico molto rapido e accurato. Il metodo classico è quello presente fino alla versione 4.1.1. e si può utilizzare in tutti i casi. (è il **metodo standard**)

**Metodo B)** più accurato del metodo A ma più lento (fino a 5 volte più lento). È un metodo di esplorazione random (Monte Carlo).

**Metodo C)** il più accurato e il più lento del metodo A e B (fino a 10 volte più lento del metodo A). Questa metodologia utilizza un algoritmo genetico di ottimizzazione multidimensionale proposto da Storne & Price (1997) chiamato *Differential Evolution (DE)*. Il metodo ha l’obiettivo di identificare i valori di inizializzazione:  **$\lambda_0$**  e  **$F_{s0}$** , che determinano il valore minimo di  $F_s$  finale per la stessa superficie analizzata.

La scelta del metodo è opzionale e di fatto è consigliata solo nel caso sia disponibile un PC con processore particolarmente potente. **I nuovi metodi B e C opzionali richiedono infatti circa da 5 a 10 volte più tempo macchina** rispetto all’uso del **metodo classico standard (metodo A)**. Il metodo scelto viene attivato nella finestra opzioni all’interno del **riquadro metodo di calcolo**

(vedasi la zona indicata dalla freccia gialla in fig. 2.44). Il metodo scelto è sempre visualizzabile nella finestra principale del programma SSAP.

**Si consiglia pertanto di utilizzare i metodi B e C solo nel caso si stia usando un PC con processore abbastanza rapido.** I metodi B e C sono consigliati nei casi in cui sia necessaria un'accuratezza nei calcoli particolarmente elevata. Si può usare la procedura standard (metodo A) per una analisi esplorativa e successivamente ripetere la analisi finale con la massima accuratezza ottenibile con i nuovi metodi B o C. Una volta attivato, il metodo scelto verrà usato sia nella verifica globale che in quella singola. **Un volta caricato un modello del pendio il metodo automaticamente attivato è il metodo A (il più rapido).**

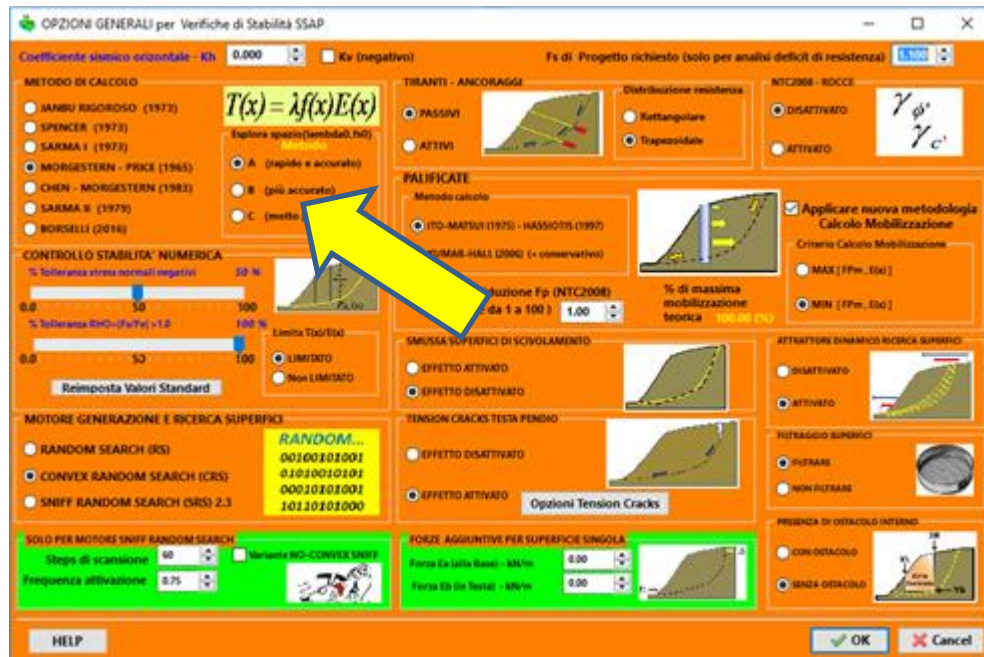


Fig. 2.44

La **differenza nel valore di  $F_s$  finale tra le tre procedure di calcolo (metodi A, B e C)** per la esplorazione dello spazio ( $\lambda_{00}, F_{S0}$ ) dovrebbe risultare sempre abbastanza limitata e non superare mai il  $\pm 5\%$ . Nella figura 2.45 è mostrato il concetto e la importanza della scelta dei valori di inizializzazione ( $\lambda_{00}, F_{S0}$ ) nel calcolo di  $F_s$  di un superficie per ottenere un valore finale di  $F_s$  più accurato. Può infatti esistere un campo abbastanza ristretto di ( $\lambda_{00}, F_{S0}$ ) che garantisce il minor  $F_s$  in assoluto, ovvero il valore di  $F_s$  cercato.

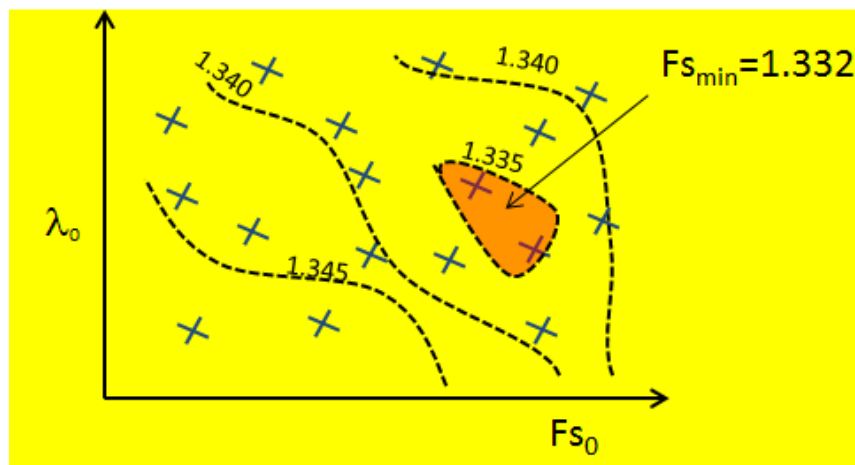


Fig. 2.45

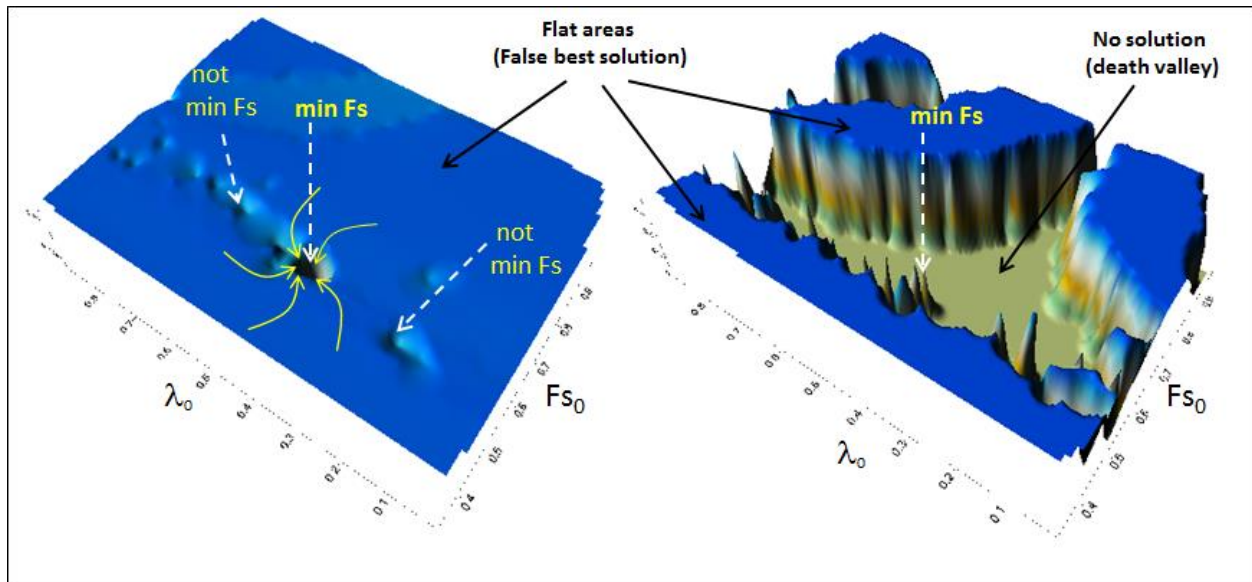


Fig. 2.46

La figura 2.46 rappresenta due casi reali di studio in cui si evidenzia la dipendenza di  $F_s$  dai valori di  $(\lambda_{00}, F_{s0})$  iniziali. Nel caso a sinistra il valore minimo di  $F_s$  si incontra in una sorta di inghiottitoio della superficie che rappresenta i valori di  $F_s$  finali in funzione di  $(\lambda_{00}, F_{s0})$  assunti. Mentre nel caso a destra il valore minore si incontra in una sorta di pinnacolo che emerge da un'area piatta caratterizzata da assenza di soluzioni. Sempre nell'area a destra vi sono aree piatte con soluzioni accettabili, ma non la soluzione migliore in assoluto.

Quando la differenza di  $F_s$  indipendentemente dai valori di  $(\lambda_{00}, F_{s0})$  usati non è superiore al 5% il risultato può essere considerato accettabile. È chiaro che la scelta del metodo di calcolo **A**, **B**, o **C** può essere determinante in casi specifici in cui si richiede una accuratezza superiore.

## 2.11 PROCEDURA DI GENERAZIONE DI MAPPE COLORI DEL FATTORE $F_s$ LOCALE

Dopo una verifica di stabilità globale, possono (opzionalmente) venire registrate una serie piuttosto grande di **informazioni relative al valore di  $F_s$  locale ricalcolato puntualmente per ogni singola superficie**. Le informazioni sugli stati tensionali fondamentali (*stress verticale, orizzontale e di taglio verticale e la orientazione locale del piano di scivolamento, e gli stress principali*) possono essere ottenuti dai risultati di una verifica LEM con metodi rigorosi. La conoscenza dello stato di stress locale e i parametri di resistenza al taglio permettono di calcolare come varia  $F_s$  lungo tutta la superficie. Le informazioni raccolte e immagazzinate per ciascuna delle superfici verificate durante una verifica globale, possono essere riproccessate successivamente mediante un innovativo algoritmo geostatistico non parametrico, sviluppato dall'autore, e produrre alla fine una **mappa 2D a colori del Fattore di  $F_s$  locale**. (fig. 2.47). L'esempio in oggetto è relativa a un pendio in detrito sciolto e matrice fine, residuo di cava, poggiante su un substrato di roccia e muri a retta costituiti da blocchi di grandi dimensioni. Il pendio ha una porzione satura (fig. 2.47). Si possono notare nella figura 2.47 le aree rosso scuro dove il fattore di sicurezza locale assume valori critici. Dello stesso esempio vengono riprodotti i risultati dell'analisi secondo varie tipologie di mappe. Ogni mappa di  $F_s$  locale è una mappa a colori di un campo scalare (Valori

di FS) locali che possono essere generati secondo diversi algoritmi ora presenti nella Versione 4.7.0 dopo circa 3 anni di fase sperimentale.

I tre tipi di nuove mappe a colori tutte basate su un innovativo sistema quasi-FEM sono :

- mappa – **qFEM** con algoritmo quasi Gauss integration e analisi geostatistica non parametrica, basato su sistema FEM di Schofield & p. Wroth(1968) e Griffith et al.1999 (vedasi figura 2.47)
- mappa – **p-qFEM** con algoritmo quasi Gauss integration e geostatistica non parametrica basato su sistema FEM di Farias & Naylor e 1998 (vedasi fig. 249, 2.50)
- mappa –**OSR (Over stress ratio)** con algoritmo quasi Gauss integration e geostatistica non parametrica basato su sistema FEM di Farias & Naylor a 1998 (fig. fig.2.51)

**Queste mappa non sostituisce il risultato ottenuto mediante i metodi all'equilibrio limite rigorosi** (fig. 2.48). Tuttavia la mappa prodotta può essere di aiuto per evidenziare la distribuzione delle aree che, entro il pendio, possono presentare una combinazione più sfavorevole degli stati di stress e che portano a un FS medio locale più basso. La interpretazione di queste mappe è simile a alcune mappe tipiche del risultato di analisi agli elementi finiti. A questo livello non si può pretendere una analisi dei livelli di deformazione (dato che i parametri di deformazione non sono inclusi nel modello), tuttavia l'autore ritiene che questo tipo di mappe possa essere molto utile per evidenziare ad esempio possibili aree dove possono innescarsi fenomeni di rottura progressiva in particolare nella mappa OSR (fig. 2.51 dove abbiamo condizioni locali in cui gli stress medi posso eccedere le condizioni locali di resistenza al taglio ( $OSR > 1$ )). Si ritiene che in future versioni del software SSAP si possa arrivare a ulteriori affinamenti della tecnica e a puntualizzare con maggiore precisione i campi di applicazione. **Per esempi commentati di mappe FS o OSR si consiglia di leggere con attenzione il capito 6 con alcuni esempi di applicazione di SSAP.**



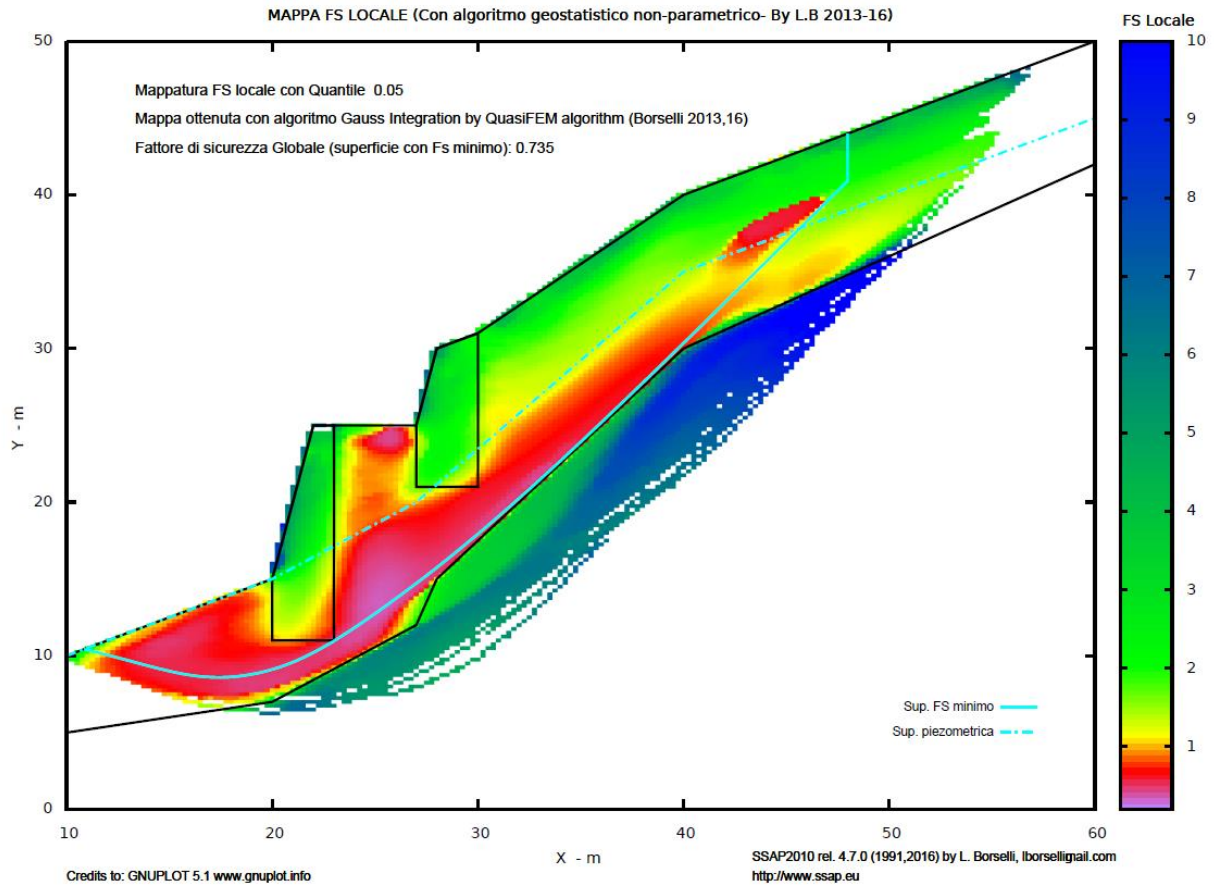
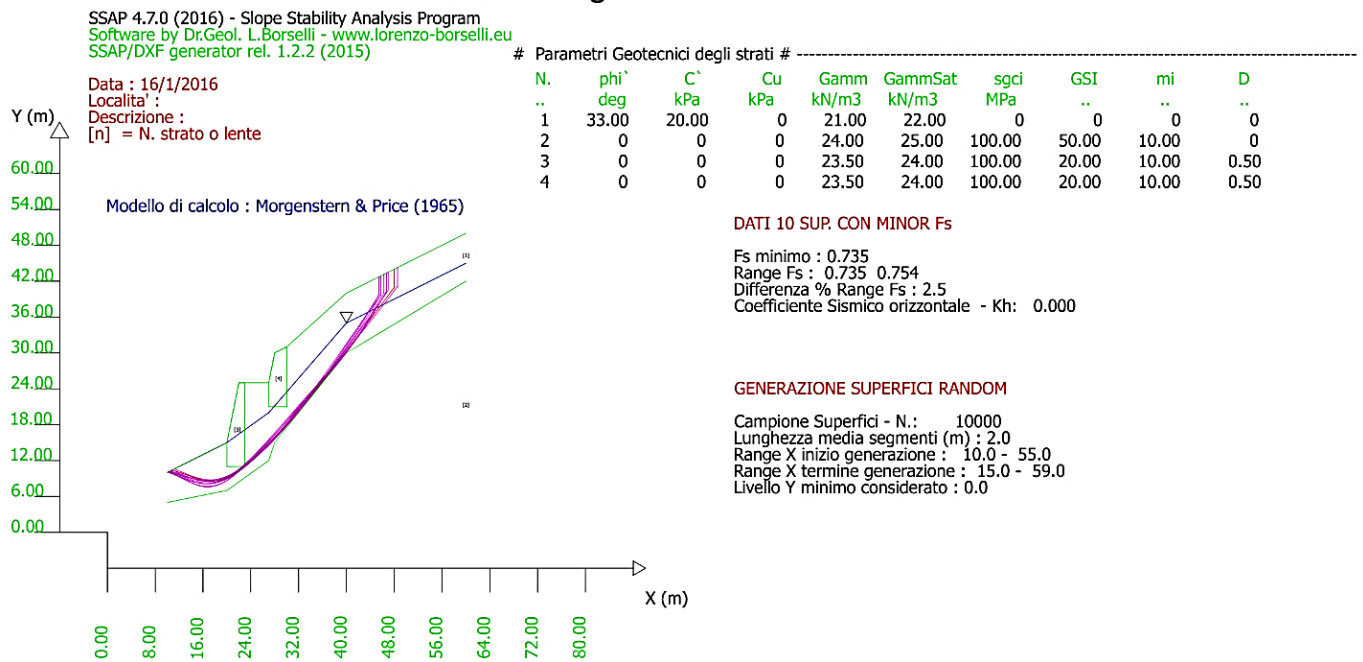


Fig. 2.47



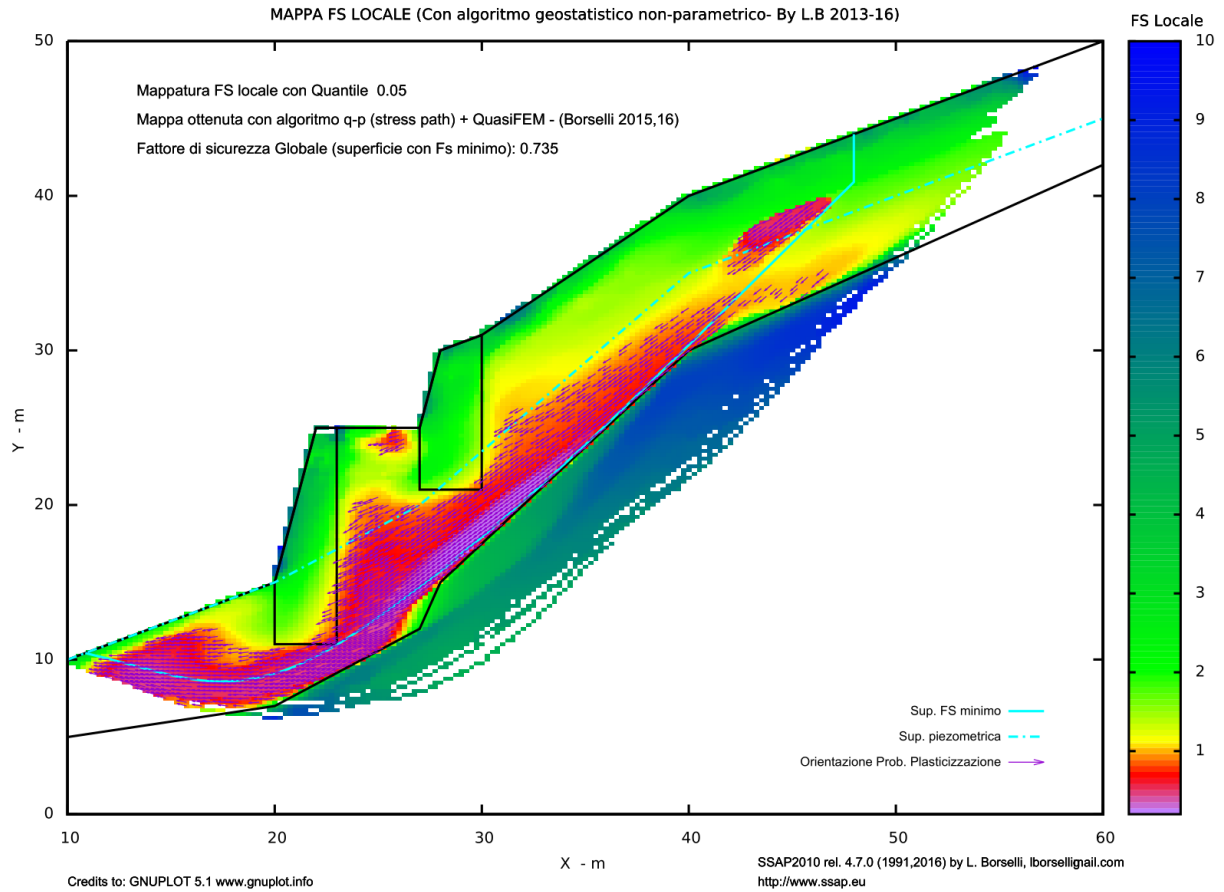


Fig. 2.49

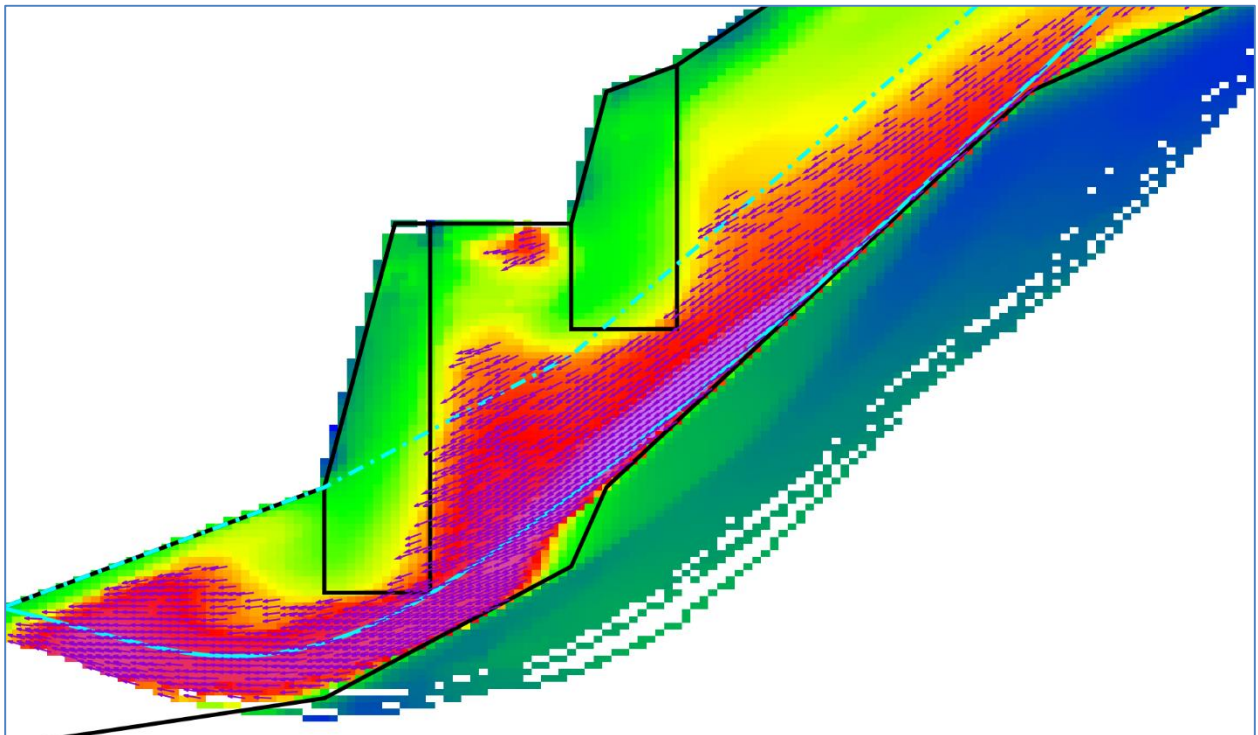
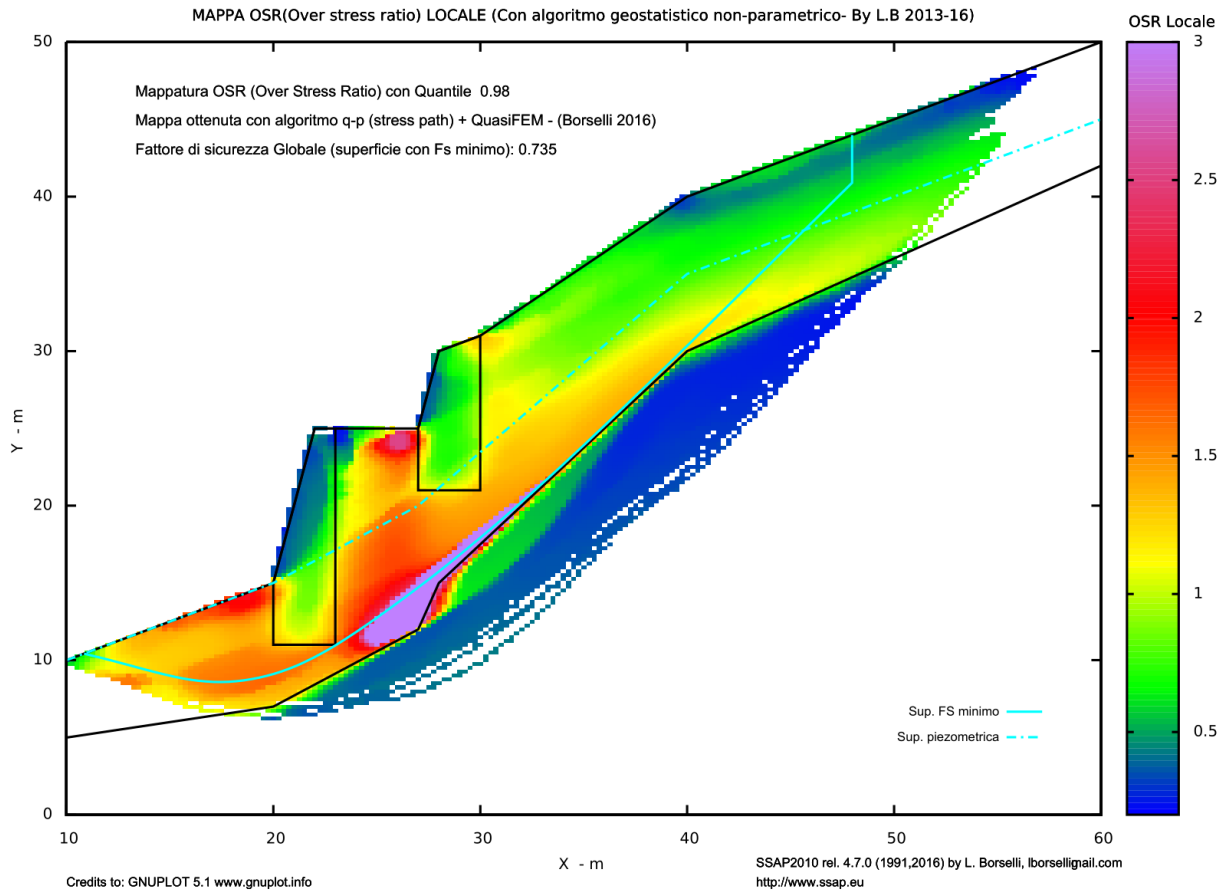
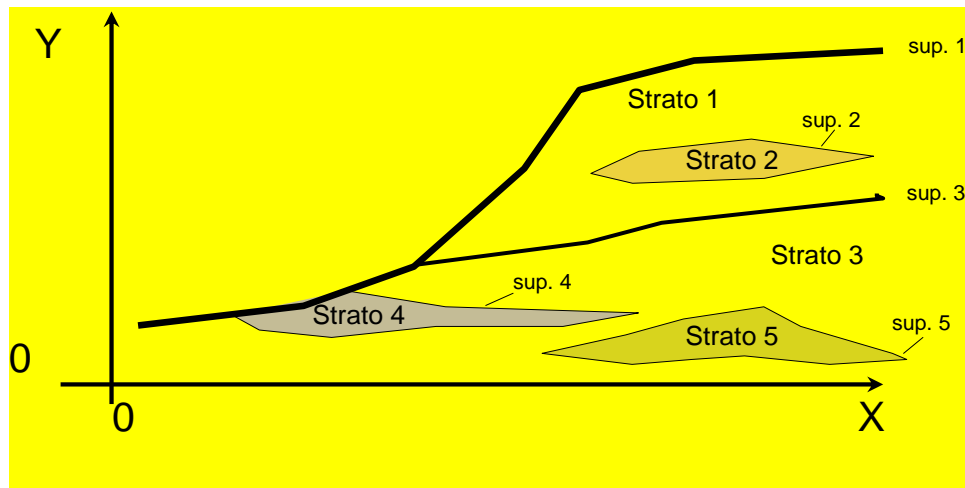


Fig. 2.50 (Zoom d della Figura 2.4.9)




**Fig. 2.51**

## CAPITOLO 3- CONVENZIONI UTILIZZATE NEL PROGRAMMA SSAP



### 3.1 INTRODUZIONE

Per operare con il codice SSAP sono state stabilite specifiche convenzioni riguardanti le unità di misura, il formato dei files dei dati di ingresso, la rappresentazione geometrica del pendio e dei parametri geomeccanici dei materiali che compongono il pendio.

Qualora queste convenzioni non venissero rispettate il programma non funzionerà in modo corretto; per questo motivo è necessario seguire attentamente le indicazioni di questa guida.

**L'autore del programma non si ritiene responsabile per danni derivanti da suo uso improprio**(vedasi condizioni della vigente licenza d'uso). **In casi di incertezza si raccomanda di contattare l'autore per ogni possibile chiarimento.**

### 3.2 FILES DATI ED ESTENSIONI AI NOMI DEI FILES

Tutti i parametri che servono a definire il modello del pendio, geometrici, geomeccanici, e idraulici sono memorizzati in appositi files in formato testo facilmente editabili. Tali files possono venire creati anche con un apposito programma di utilità **MAKEFILES.EXE** che può essere anche richiamato dal menu principale di lavoro.

Di seguito sono indicate le estensioni dei file dati che definiscono complessivamente il modello del pendio:

<b>Estensione</b>	<b>Tipo di file</b>
*.geo	dati geomeccanici strati
*.fld	coordinate profilo falda
*.dat	coordinate profilo strati
*.svr	posizione ed entità dei sovraccarichi
*.tir	posizione ed parametri di progetto tiranti
*.grd	posizione e parametri di progetto geogriglie
*.pil	posizione e caratteristiche geometriche palificate
*.liq	dati relativi a potenziale liquefacibilità degli strati
*.MOD	<b>modello pendio (ingloba con una lista i precedenti files)</b>

I files con estensione **.MOD** permettono di richiamare contemporaneamente e automaticamente tutti i files dati che definiscono il modello del pendio definito dall'utente. In

pratica i file con estensione **.MOD** sono un dettagliato elenco dei files che il programma deve caricare prima di eseguire i calcoli.

L'utilizzo di questa strategia semplifica notevolmente il lavoro una volta che i files sono stati creati e assemblati nel file **.MOD**. In questo modo dopo aver richiamato un solo file l'utente è già in grado di eseguire le verifiche di stabilità.

I files **.MOD** possono venire creati automaticamente dal programma di utilità **MAKEFILES** fornito insieme al programma SSAP; inoltre tali files possono essere successivamente editati con un qualunque programma di editazione per file di testo (ASCII), in ambiente Windows che è anche possibile richiamare direttamente dal finestra principale del programma **SSAP**.

Due altri tipi di files, relativi alle verifiche sopra superfici singole, sono presenti:

<b>Estensione</b>	<b>Tipo di file</b>
<b>*.SIN</b>	Coordinate superficie di scivolamento singola (per verifica su una superficie predefinita dall'utente)
<b>*.SIN.INFO</b>	Informazioni aggiuntive per incrementare la precisione numerica nel calcolo della superficie singola (file generato in automatico con la procedura di esportazione della superficie critica dopo una verifica globale)

Un ulteriore tipo di file è presente per immagazzinare tutte le impostazioni salvate dopo una verifica.

<b>Estensione</b>	<b>Tipo di file</b>
<b>*.PAR</b>	Impostazioni di una verifica di stabilità e informazioni sul modello del pendio (File.MOD) associato ai parametri delle impostazioni

### **3.3 RAPPRESENTAZIONE GEOMETRICA MODELLO DEL PENDIO**

#### **3.3.1 Generalità**

Un insieme di convenzioni è stato stabilito per una corretta, e per quanto possibile sintetica, rappresentazione geometrica del modello del pendio.

Per condurre correttamente tutte le operazioni di calcolo è necessario che tutti i dati geometrici degli elementi che compongono il pendio (*sup. topografica, superfici strati, sup. falda, superfici muri, pali, ostacoli, sovraccarichi, tiranti o ancoraggi, geogriglie*) siano noti e definiti a priori dall'utente. Questi dati possono essere rilevati facilmente da sezioni in scala del pendio che contengano oltre alla eventuale stratigrafia tutti gli altri elementi strutturali esistenti.

#### **3.3.2 Sistema di coordinate cartesiane XY**

Tutti gli elementi del pendio sono posizionati in un sistema di coordinate cartesiane X, Y

come il seguente (fig. 3.1):



Fig. 3.1

**N.B.: L'origine è per convenzione posta in basso a sinistra. NON DEVONO ESSERE UTILIZZATE COORDINATE XY DI SEGNO NEGATIVO.**

Per comodità l'utente può definire il livello a coordinate [0,0] posizionandolo a piacere rispetto a un punto avente coordinate topografiche e quota nota.

***N.B.: Le coordinate nel sistema di riferimento sono espresse in metri. Tutti gli elementi geometrici sono quindi posizionati utilizzando esclusivamente questo tipo di unità di misura. Generalmente una approssimazione alla seconda cifra decimale dei valori delle coordinate è da considerarsi più che sufficiente.***

### 3.3.3 Orientazione pendio

**Per convenzione si è scelto di orientare la sezione con la base del pendio verso sinistra, in basso, in direzione dell'origine del sistema di riferimento usato** (fig. 3.2). E' Necessario sottolineare che se si disegna un pendio con una orientazione opposta il programma pur accentuando il dato in input non produrrà alcun risultato utilizzabile.

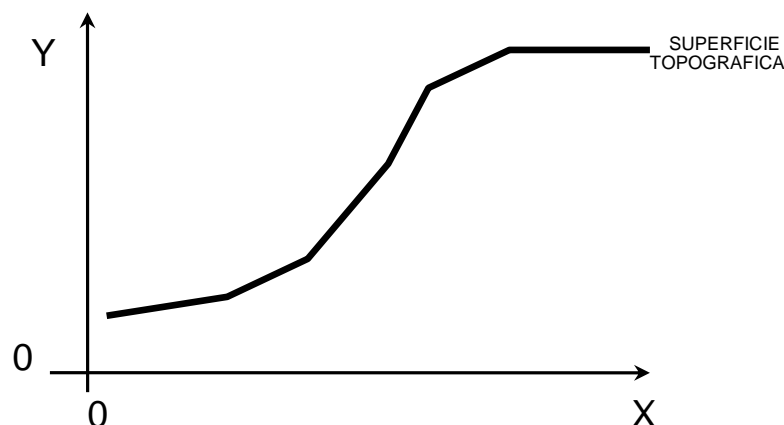


Fig. 3.2

### 3.3.4 Superfici

Tutti gli elementi 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.

In figura 3.3a è dato un esempio di tale costruzione. I punti di coordinate note fornite dall'utente sono memorizzati in un apposito file dati letto insieme agli altri files che memorizzano i dati degli altri elementi del pendio. In figura 3.3a è presentata la superficie topografica che delimita un pendio attraverso una serie di punti interpolati da segmenti lineari. Maggiore è il numero di punti, maggiore sarà la precisione nella definizione della superficie.

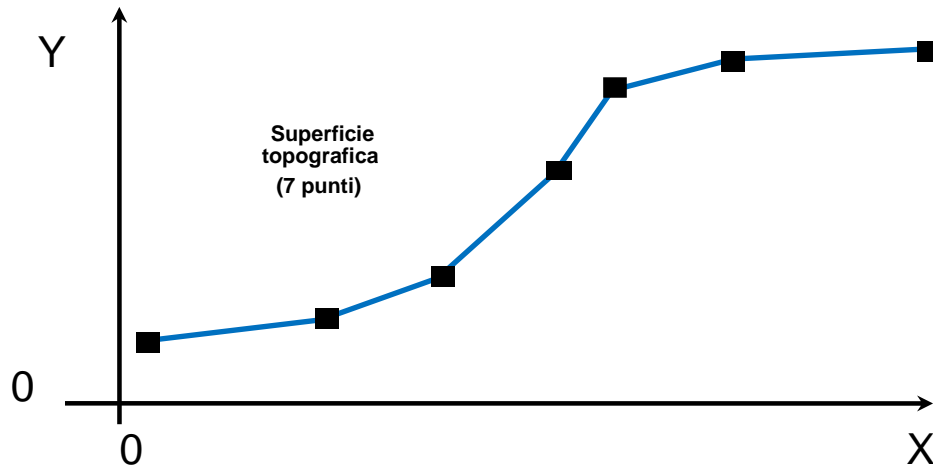


Fig. 3.3a

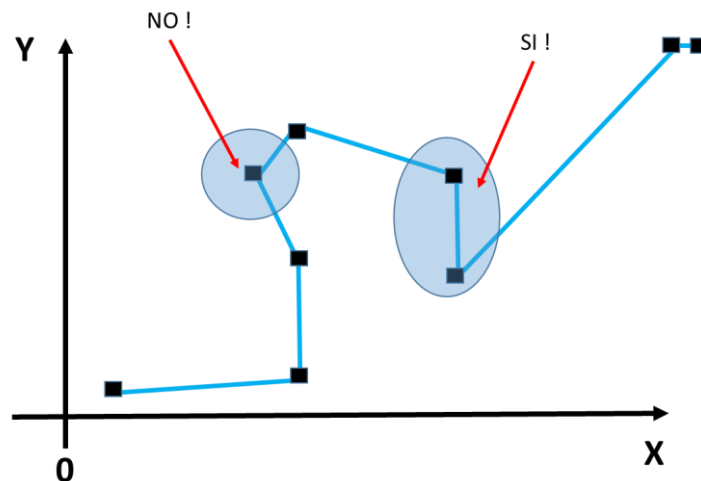


Fig. 3.3.b

Nel caso di superfici topografiche, tutte orientate con l'origine a sinistra, esse non devono avere superfici aggettanti ma solo inclinate o verticali. Le superfici topografiche possono avere delle contropendenze. La figura 3.3b presenta a scopo didattico un caso estremo indicando la porzione aggettante (non ammessa) e la porzione centrale in contropendenza (ammessa), includendo una porzione di essa che è verticale.

Per ogni superficie è stato stabilito di inserire un massimo di 100 punti con coordinate XY. L'ordine di inserimento dei punti non è casuale ma segue delle regole precise che servono ad identificare, durante i calcoli, il tipo degli elementi presenti. In pratica l'ordine di inserimento delle coordinate crea come una "firma" che identifica il tipo di strato come sarà indicato nella sezione successiva 3.3.5 .

### 3.3.5 Superfici strati

Con il termine "**STRATI**" vengono indicati tutti gli elementi geomeccanicamente omogenei all'interno di un pendio. In questa definizione possono più genericamente rientrare anche gli elementi rigidi come muri e pali per i quali è possibile indicare parametri meccanici dimensionalmente uguali a quelli del terreno.

In questo modo è possibile inserire tutti gli elementi ( di qualunque tipo) nel modello del pendio senza complicare eccessivamente le operazioni.

Le superfici degli "strati" sono di 3 tipi:

**1) Normale:** superficie definita da una segmentata con un insieme di punti di coordinate XY, i quali vengono inseriti nei file dati in ordine **CRESCENTE** delle ascisse (asse delle X); ad esempio [2,3],[6,8]....[34,56] ecc. Superfici di tipo normale sono la **superficie topografica** stessa e la superficie del **TETTO** degli strati 2 e 3 come in figura 3.4a.

**N.B: NEL CASO DI SUPERFICI DI STRATI CHE INTERSECANO IL PENDIO È NECESSARIO CHE IL PRIMO PUNTO (e unico punto) SIA COINCIDENTE CON UN PUNTO A COMUNE CON SUPERFICIE TOPOGRAFICA (vedi figura 3.4a).**

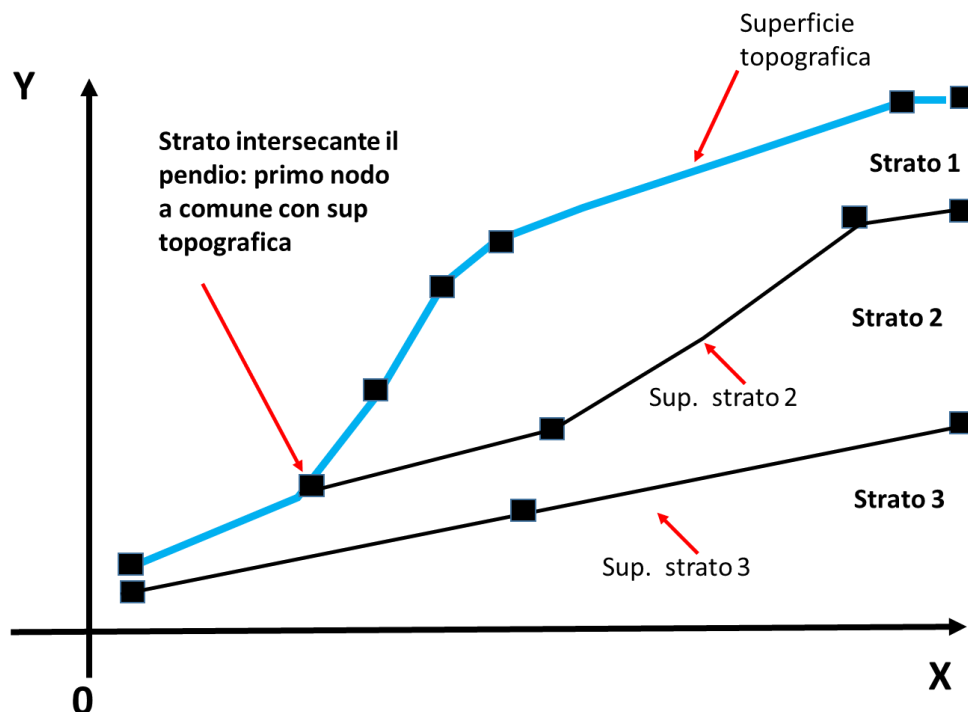


Fig. 3.4a

Nella figura 3.4.b sono **mostrate due configurazioni NON CORRETTE** per definire uno strato intersecante il pendio. Infatti al piede del pendio o abbiamo che il nodo a comune è l'ultimo della superficie del tetto dello strato. Inoltre in testa al pendio abbiamo due nodi a comune con la superficie topografica. **Queste configurazioni** dove non sia esclusivamente uno solo nodo e a

comune, e esclusivamente il nodo iniziale, **NON SONO AMMESSE**. In caso di configurazioni di questo tipo il programma in fase di calcolo avvertirà di numerose anomalie dovute al mancato rispetto delle convenzioni di SSAP.

Per definire correttamente porzioni di pendio come queste e' necessario ricorrere a disegnare stati in modalità LENTE (vedi paragrafo successivo).

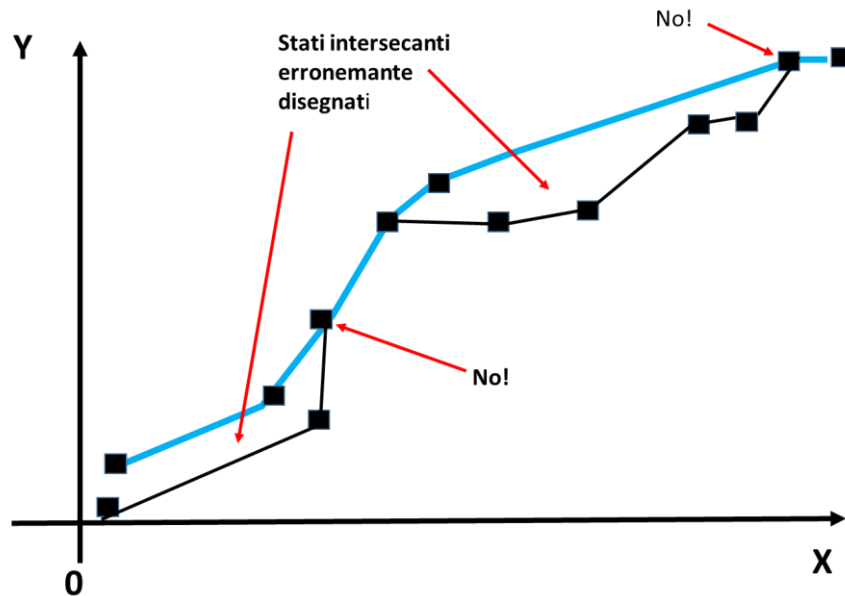


Fig. 3.4b

**2) Lente entro strato:** superficie definita da una segmentata, con un insieme di punti di coordinate XY, che racchiudono una superficie chiusa. L'ordine di inserimento deve essere in senso **ANTIORARIO**, inoltre **il primo e l'ultimo punto devono essere coincidenti** (ad esempio [3,4], [5,8] .... [12,22] ...[5,24] ... [3,4]).

La lente così definita è un elemento solitamente inglobato entro un altro strato, come in figura 3.5.

**(IMPORTANTE)** Nel caso in cui la lente intersechi il pendio, vedasi la figura 3.6, è necessario che alcuni dei punti che definiscono la superficie topografica coincidano con quelli che definiscono la lente. In particolare è necessario che tutti i nodi della superficie topografica, nella zona dove la lente interseca il pendio, siano a comune con quelli della lente stessa.

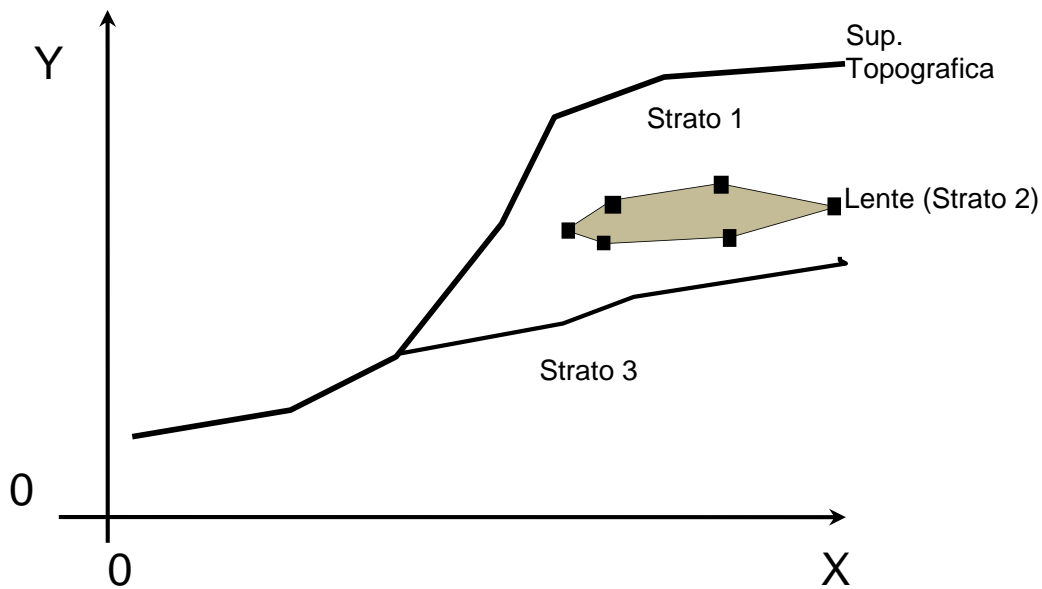


Fig. 3.5

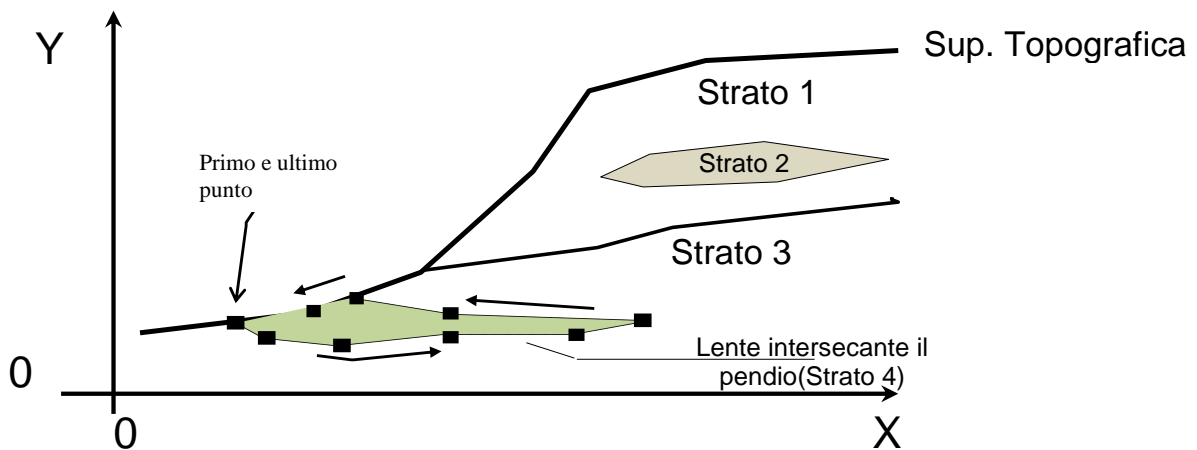


Fig. 3.6

**3) Altri elementi:** altri elementi sono muri di sostegno, elementi resistenti al taglio come palificate, ostacoli di vario genere. E' assolutamente necessario considerare come **strati del tipo 2 (LENTE)** tutti gli elementi strutturali che intersecano la superficie topografica. Ad esempio un muro di sostegno o una palificata può essere considerato come una lente entro strato che interseca il pendio (tipo 2) con parte dei suoi punti coincidenti con la superficie topografica come in figura 3.7a, e 3.7b.



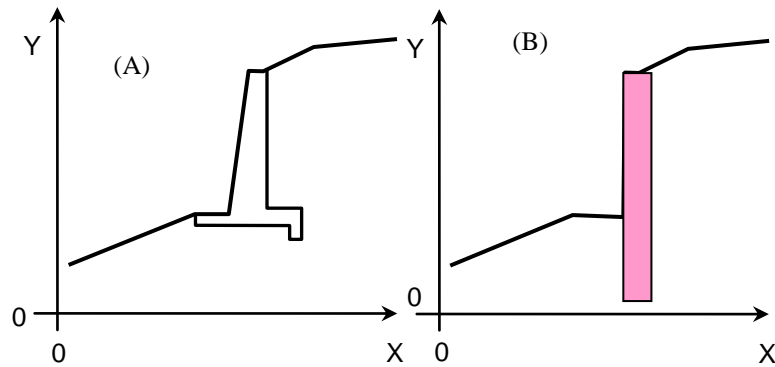


Fig. 3.7

### 3.3.6 Falda

La superficie freatica della falda, se presente, viene inserita come una superficie topografica cioè come uno strato normale. Può sovrapporsi perfettamente alla superficie topografica, intersecarla (caso 1) e intersecare il pendio oppure sovrapporsi solo in parte alla superficie topografica (caso 2) oppure non intersecare mai la superficie (caso 3). Si veda l'esempio in figura 3.8.

**(IMPORTANTE) Il profilo della falda deve essere esteso per tutta la larghezza del pendio (quindi dall'estremo sinistro della superficie topografica, all'estremo destro). In alcuni casi la superficie della falda può essere più elevata della superficie topografica come nel caso di un pendio sommerso (caso 1).**

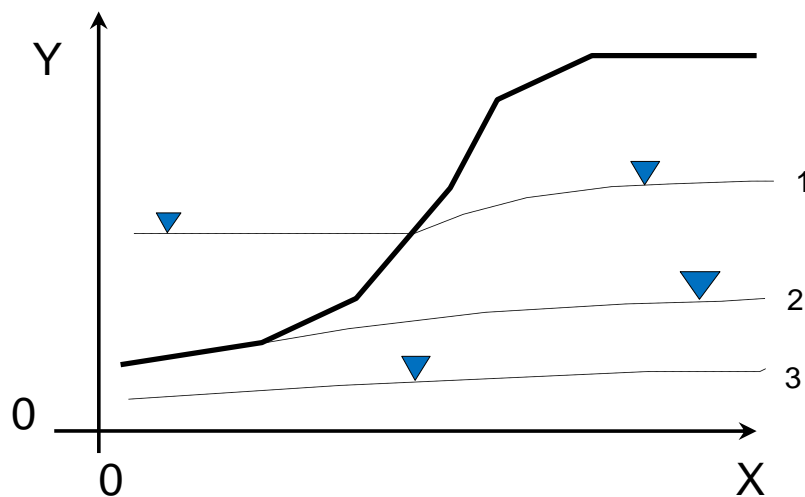


Fig. 3.8

A partire dalla versione **SSAP2004** sono state introdotte nuove **funzionalità avanzate nella gestione degli acquiferi**. Si veda in appendice l'apposita sezione che ne descrive le caratteristiche tecniche e funzionalità.

### 3.3.7 Sovraccarichi

I sovraccarichi eventualmente presenti vengono indicati mediante due valori delle coordinate X che delimitano la zona dove il sovraccarico è applicato. Vedasi la figura 3.9.

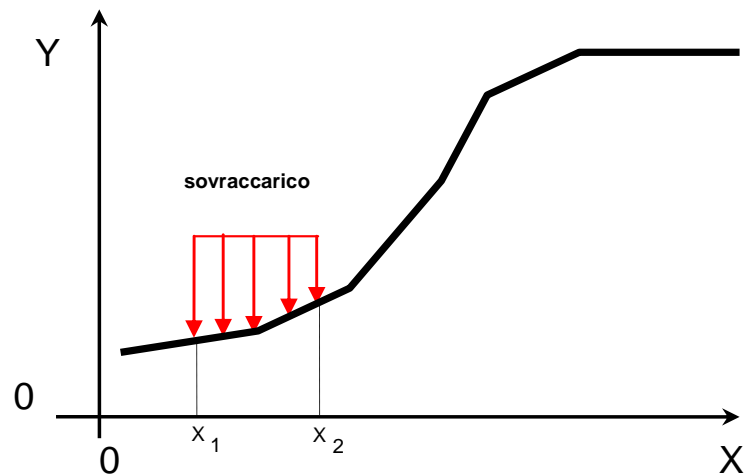


Fig. 3.9

**E' possibile considerare fino ad un massimo di 10 zone con sovraccarico;** di ognuna dovrà essere indicata posizione e entità del sovraccarico stesso. I dati relativi ai sovraccarichi superficiali eventualmente presenti sono indicati nel file con estensione **.SVR**. Per maggiori dettagli si veda la sezione 3.4.3 di questo capitolo.

### 3.3.8 Tiranti o ancoraggi

Tiranti o ancoraggi eventualmente presenti vengono rappresentati mediante una serie di parametri:<sup>1</sup>

<b>X</b>	(in m)
<b>Y</b>	(in m)
<b>Angolo - <math>\beta</math></b>	(in gradi)
<b>Lunghezza totale - L</b>	(in m)
<b>Carico - T</b>	(in kN/m)
<b>% lunghezza cementata - Lc</b>	(in %)

**X ed Y** sono le coordinate della testa del tirante che devono coincidere con la superficie topografica . **(Importante) Fare attenzione che questi punto non sia esterno o interno al pendio.!** **Questo punto deve sempre coincidere con un nodo della superficie topografica !!.**

L'**angolo  $\beta$**  è l'angolo che il tirante forma con l'orizzontale.

La **lunghezza L** è la lunghezza del tirante (viene esclusa la lunghezza della fondazione).

Il **carico T** è la il carico di progetto o la resistenza massima di progetto .

Lc è La % della lunghezza totale del tirante che risulta cementata

I precedenti parametri sono memorizzati in un apposito **file dati con estensione .TIR** . Si veda la sezione 3.4.4 del presente capitolo per maggiori dettagli.

<sup>1</sup> La lista di parametri per i tiranti è stata aumentata nella versione 4.0.8. Come parametro aggiuntivo vi è la % cementata della lunghezza totale del tirante. Nelle versioni precedenti alla 4.0.8 tale lunghezza era preimpostata al 20% della lunghezza totale, unitamente all'uso di un modello di distribuzione di resistenza di tipo rettangolare e lineare. La versione 4.0.8 è in grado di utilizzare i files del vecchio formato. In questo caso la lunghezza cementata è impostata al 20% della lunghezza totale (come per la versioni fino alla 4.0.6 inclusa).

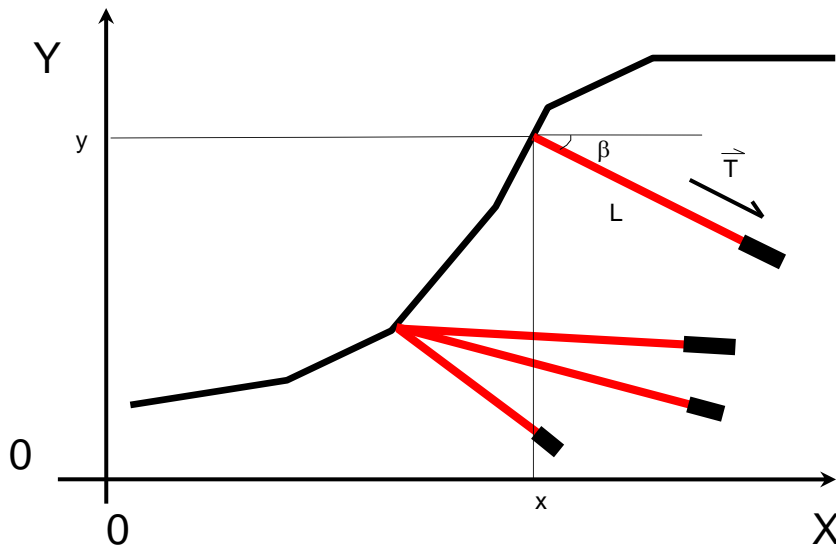


Fig. 3.10

Si ricordi che è previsto un **numero massimo di 40 tiranti** che è possibile inserire

### 3.3.9 Geogriglie

Geogriglie eventualmente presenti vengono rappresentati mediante una serie di parametri:

<b>X</b>	(in m)
<b>y</b>	(in m)
<b>Lunghezza - L</b>	(in m)
<b>Res. Unit. Trazione T</b>	(in kN/m)
<b>Coeff. fb</b>	(adimensionale)
<b>Coeff <math>\alpha</math></b>	(adimensionale)
<b>Lunghezza risolto sinistro</b>	(in m)
<b>Lws</b>	
<b>Lunghezza risolto destro</b>	(in m)
<b>Lwd</b>	

**X** ed **Y** sono le coordinate del punto di intersezione della in (geogriglia con la superficie topografica. **Importante : fare attenzione che questi punto non sia esterno al pendio..!**

La **lunghezza L** è la lunghezza della geogriglia.

La **Resistenza unitaria a trazione T** è la resistenza massima unitaria di progetto della geogriglia .

Il coefficiente **fb** è il coefficiente di interazione suolo-rinforzo. Viene indicato nelle caratteristiche tecniche del rinforzo.

Il coefficiente  $\alpha$  è il fattore di scala nella ripartizione dello sforzo nella resistenza al pullout(sfilamento). Viene indicato nelle caratteristiche tecniche del rinforzo

La lunghezza **Lws** del risolto a sinistra e la lunghezza del risolto a destra (opzionale)

I precedenti parametri sono memorizzati in un apposito file dati con estensione .GRD . Si veda la sezione 3.4.4 del presente capitolo per maggiori dettagli. Un esempio è dato nella figura 3.11.

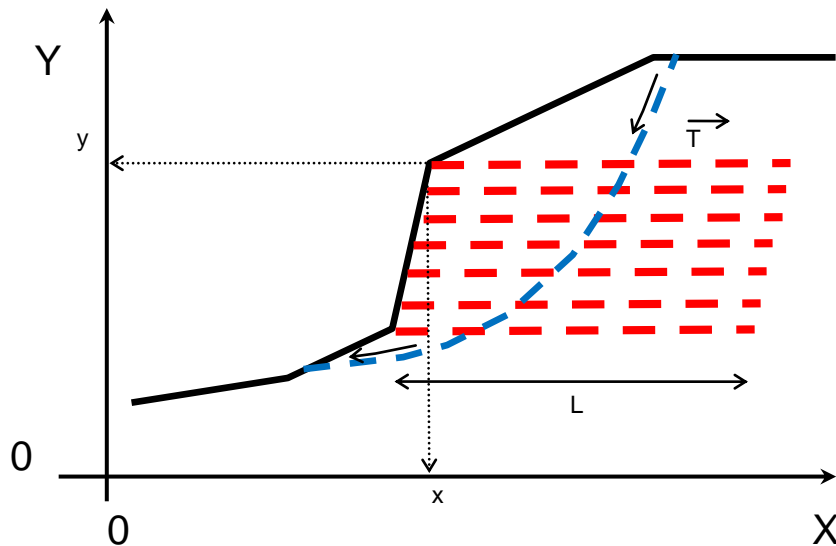


Fig. 3.11

Si ricordi che è previsto un **numero massimo di 120 geogriglie** da poter inserire

### 3.3.10 Palificate

Le palificate eventualmente presenti vengono rappresentate con una serie di parametri:

X	(m)
Y	(m)
Lunghezza - L	(m)
Diametro - D	(m)
Apertura tra i pali -D2	(m)

**X ed Y (m) sono le coordinate** dove la palificata interseca la superficie topografica.

**L** (in m) è la lunghezza/profondità totale della palificata a partire dalla superficie.

**D** (in m) è il diametro dei pali che compongono la palificata.

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

Il **numero massimo di palificate che è possibile inserire è 12**.

I precedenti parametri sono memorizzati in un apposito file dati con estensione .PIL. Si veda la sezione 3.4.5 del presente capitolo per maggiori dettagli.

### 3.3.11 Convenzioni nella numerazione degli strati

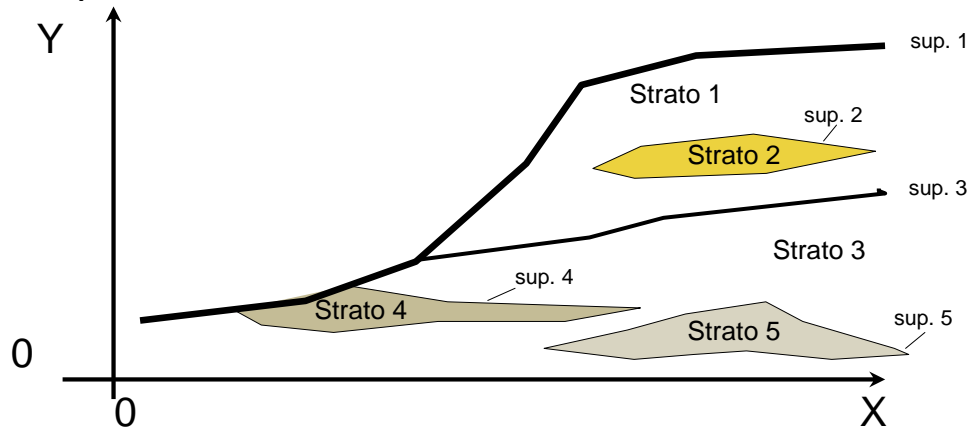
**Ricordarsi sempre quanto segue !!:**

- **GLI STRATI INSERITI NEL PENDIO SONO NUMERATI IN SENSO CRESCENTE DALL'ALTO VERSO IL BASSO.**

- **LE LENTI INGLOBATE ENTRO STRATI DEVONO AVERE UN NUMERO SUPERIORE ALLO STRATO CHE LE INGLOBA.**

Un esempio si veda in figura 3.12.

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



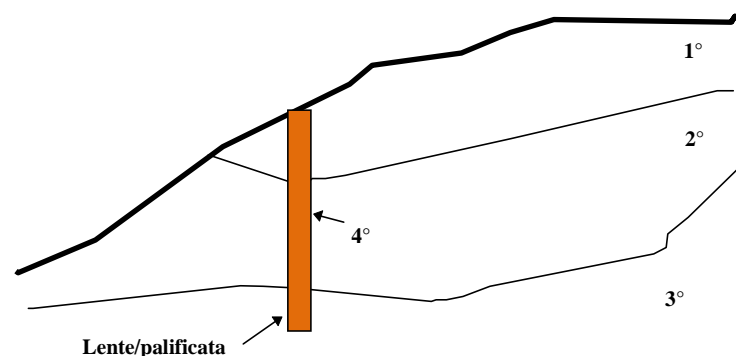
**Fig. 3.12**

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 DELLALENTE DEVE ESSERE SEMPRE MAGGIORE DI TUTTI GLI STRATI CHE LALENTE ATTRAVERSA!**

Allo scopo si veda la figura 3.13 .



**Fig. 3.13**

Nella figura 3.14 sono riportati 3 casistiche con sezioni litostratigrafiche schematiche prodotte da un Utente nella fase di realizzazione del modello del pendio (a sinistra) e il corrispondente schema di rappresentazione stratigrafica secondo le convenzioni di SSAP.

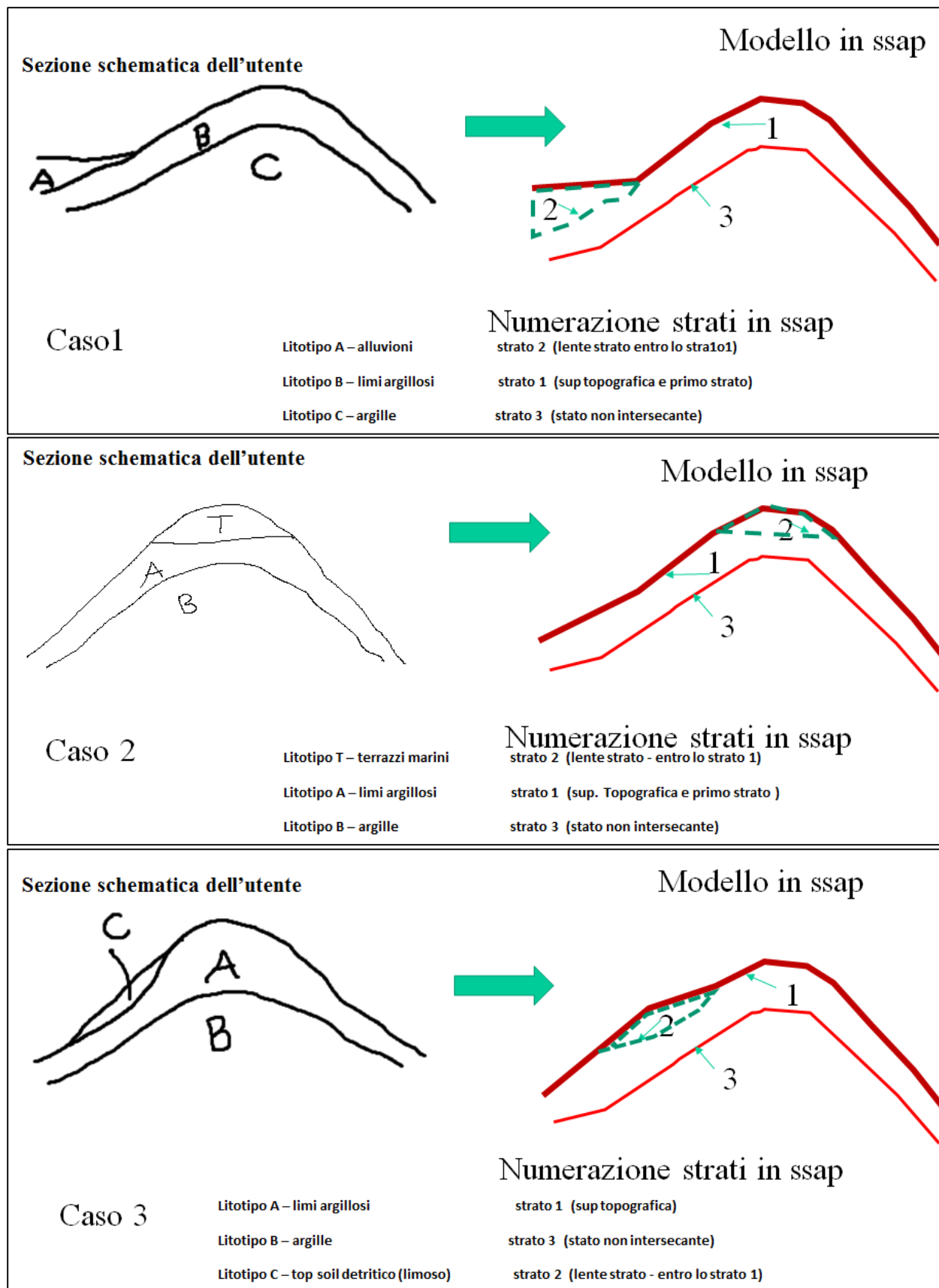


Fig. 3.14

### 3.3.12 Formato file .DAT

Nei file con estensione **.DAT** sono memorizzati i valori delle coordinate cartesiane del profilo dei vari strati presenti nel pendio.

Il formato per questo tipo di file è **ASCII**; ovvero un file di testo costituito da valori numerici e caratteri disposti in righe e colonne. Il formato dei files **.DAT** a partire dalla versione SSAP2006 è leggermente diversa dalle precedenti. Tuttavia la compatibilità completa nella lettura dei files generati e utilizzati nelle versioni precedenti è garantita. Un esempio di un file **.DAT** tipo è il seguente:

```
|
| file : xxx.dat
|
## 1 -----
      0.00   15.00
      15.00  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
```

Le prime tre righe del file sono dedicate all'inserimento di alcuni commenti (ad esempio il nome del file e altri codici di identificazione. In queste prime tre righe non deve essere presente alcun dato.

Successivamente vi sono i dati relativi alle superfici del tetto di ogni strato. Per ogni strato le coordinate del profilo sono scritte in un apposito blocco nel modo seguente:

```
## 1 -----
      0.00   15.00
      15.00  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
```

Nella prima riga del blocco è presente il **numero dello strato** successivamente al carattere **##**. Nelle righe successive sono presenti le coordinate XY di ognuno dei nodi della superficie. Ogni riga inizia con alcuni caratteri di spazio vuoto e le coordinate dei punti sono inserite su due colonne separate da almeno uno spazio colonna vuoto.

Si ricorda che per la creazione automatica dei files dati in conformità ai protocolli usati dal programma è disponibile un programma di utilità **MAKEFILES.EXE**(capitolo 4). .

### 3.3.13 Formato file .FLD

Il formato per questo tipo di file è **ASCII**; ovvero un file di testo costituito da valori numerici disposti in righe e colonne.. Le coordinate X e Y dei punti sono inserite su due colonne separate da una colonna vuota. si veda un esempio qui sotto:

<b>12.3</b>	<b>23.1</b>
<b>18.0</b>	<b>24.0</b>
...	...
...	...
...	...
<b>56.7</b>	<b>112.9</b>

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

Ogni riga inizia con alcuni caratteri di spazio vuoto e le coordinate dei punti sono inserite su due colonne separate da almeno uno spazio colonna vuoto.

Si ricorda che per la creazione automatica dei files dati in conformità ai protocolli usati dal programma è disponibile un programma di utilità **MAKEFILES.EXE**(capitolo 4).

### 3.3.14 Unità di misura

L'unità di misura di tutte le grandezze geometriche è il METRO lineare (m).

## 3.4 RAPPRESENTAZIONE GEOMECCANICA DEL MODELLO DEL PENDIO

In questa sezione vengono forniti maggiori dettagli sulla parametrizzazione geomeccanica del pendio sulla struttura interna dei files in cui sono memorizzati tali parametri.

Si ricorda che per la creazione automatica dei files dati in conformità ai protocolli usati dal programma è disponibile un programma di utilità **MAKEFILES.EXE** (capitolo 4). .

L'utente può ricorrere al suddetto programma riducendo notevolmente i tempi di lavoro. L'utente esperto può ricorrere a un qualunque editore di files di testo per la costruzione manuale dei files dati purché segua le convenzioni richieste dal programma.

### 3.4.1 Il formato dei files .GEO

Per la completa definizione del modello del pendio è necessario memorizzare sull'apposito



file con estensione **.GEO** i parametri geomeccanici di ogni "strato" presente. **Il numero massimo di strati e' 20.**

#### **3.4.1.1 -Criterio 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) -  $\phi'$  (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 -  $\gamma$  (in kN/m<sup>3</sup>)
- 5) peso di volume terreno immerso in falda -  $\gamma_{sat}$  (in kN/m<sup>3</sup>)

#### **N.B. IMPORTANTE !!:**

• **Per una ANALISI IN CONDIZIONI DRENATE (stabilità a lungo termine e per terreni incoerenti) il parametro  $\phi'$  deve essere indicato con un valore maggiore di zero e il parametro  $C'$  deve essere maggiore o uguale a 0, mentre il parametro  $C_u$  deve essere posto sempre uguale a zero!**

• **Per una ANALISI IN CONDIZIONI NON DRENATE (stabilità a breve termine e per terreni coesivi) i parametri  $\phi'$  e  $C'$  devono essere posti uguali a zero, mentre il parametro  $C_u$  deve essere posto  $> 0$ .**

• **Per Uno strato parzialmente immerso in falda i parametri  $\gamma$  e  $\gamma_{sat}$  devono essere indicati con  $\gamma_{sat} > \gamma$ .**

• **Per uno strato mai immerso in falda i parametri  $\gamma$  e  $\gamma_{sat}$  possono essere posti uguali.**

Il formato del file **.GEO** è ASCII testo costituito da valori numerici disposti in righe e colonne. Un esempio è dato di seguito:

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  $\phi'$  (in gradi)
- la seconda è per la coesione efficace  $C'$  (in kPa);
- la terza è la coesione in termini di pressione totale (resistenza al taglio in condizioni non drenate)  $C_u$  (in kPa);
- la quarta il peso di volume del terreno insaturo fuori falda  $\gamma$  (in kN/m<sup>3</sup>);
- la quinta il peso di volume del terreno saturo immerso in falda  $\gamma_{sat}$  (in kN/m<sup>3</sup>).

### **3.4.1.2 -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**, viene introdotta una variante nel file **.MOD**.

Per uno strato che si desidera caratterizzare secondo il criterio di rottura di Hoek è necessario **aumentare il numero di parametri nella riga che indica lo strato in oggetto**.

Infatti **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 Strenght Index dell'ammasso (adimensionale);

8° colonna: **m<sub>i</sub>**= Indice litologico ammasso(adimensionale);

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

**Per i dettagli tecnici e bibliografici sul criterio di rottura di Hoek si veda l'appendice D di questo manuale.**

In pratica per gli strati dove si desidera applicare il criterio di Hoek, **si pongono a uguali a 0 i classici parametri di resistenza al taglio secondo Mohr-Coulomb (nelle prime 3 colonne)**, mentre vengono **aggiunte 4 colonne con i nuovi parametri**:

Nell'esempio seguente di file **.GEO** si nota che ai **primi tre strati ( prime 3 righe) è associato il criterio di rottura Mohr-Coulomb**, mentre agli **strati 4 e 5 è associato il criterio di rottura di Hoek**.

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

### **3.4.1.3 Combinazione dei criteri di rottura nel file .GEO**

L'utente ha la possibilità di scegliere per ogni strato, in modo indipendente, il criterio di rottura da usare. In questo modo è possibile combinare per uno stesso pendio strati con diversi criteri di rottura (es. roccia con sopra deposito colluviale).

### **3.4.1.4 Unità di misura nel file .GEO**

In SSAP sono utilizzate **unità di misura secondo il Sistema Internazionale** . Per i fattori di conversione, per passare ad esempio da **kg/cm<sup>2</sup>** a **kPa**, si veda la seguente tabella:

*Tabella conversione unità di misura*

<b>1.0 kg/cm<sup>2</sup></b>	Corrisponde a	<b>98.1 kPa</b>
<b>1.0 T/m<sup>3</sup></b>	Corrisponde a	<b>9.81 kN/m<sup>3</sup></b>

Maggiori informazioni sulle unità di misura utilizzate e sulle metodologie e coefficienti di conversione possono essere trovate nella apposita appendice di questo manuale.

### 3.4.2 Il formato dei files .SVR

La posizione e la entità di sovraccarichi eventualmente presenti è indicata nel file con estensione .SVR. Possono essere indicati fino ad un **massimo di 6 zone con un sovraccarico sulla superficie del pendio**.

La posizione dei sovraccarichi è indicata con una coppia di valori relativi alle coordinate X che indicano gli estremi della zona di sovraccarico, mentre un terzo valore indicherà il valore del carico applicato espresso in **kPascal o kNewton/m<sup>2</sup>** (100 KPa sono circa 1 Kg/cm<sup>2</sup> ovvero 10 T/m<sup>2</sup>).

Il formato del file **.SVR** è ASCII; ovvero un file di testo costituito da valori numerici disposti in cifre e colonne . Un esempio è dato nelle tre righe successive:

3.00	5.00	100.00
45.00	50.00	60.00
80.00	90.00	70.00

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 (esprese in metri) degli estremi della zona dove il carico è applicato. Nella **terza colonna** abbiamo il valore del sovraccarico , espresso in **kPa o kN/m<sup>2</sup>**.

### 3.4.3 Il formato dei files .TIR

I files **.TIR** contengono i parametri relativi ai tiranti o ancoraggi presenti nel pendio. **Il numero massimo di tiranti che è possibile inserire è 40.**

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

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 esprese 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 pendi, ma non esterno. Se il nodo è esterno non verrà preso in considerazione nel calcolo.

Nella **terza colonna** è indicato l'angolo  $\beta$  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 <sup>1</sup>

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

### 3.4.4 Il formato dei files .GRD

I files **.GRD** contengono i parametri relativi al sistema di geogriglie presente nel pendio. Il numero massimo di geogriglie che è possibile inserire è **120**.

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
36	26	5	50	0.9	0.8	1.5	0
37	27	5	50	0.9	0.8	3.0	3.0
38	28	5	50	0.9	0.8	3.0	3.0

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 (indicato nelle caratteristiche tecniche del rinforzo).

Nella **sesta colonna** il fattore di scala  $\alpha$  nella ripartizione della resistenza al pullout(sfilamento) del rinforzo (indicato nelle caratteristiche tecniche del rinforzo)

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

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

*N.B.: I valori della quinta, sesta e settima colonna nelle versioni di SSAP precedenti alla 2.8.2 non erano indicati. Per mantenere la compatibilità i files di vecchio tipo possono essere letti, ma in questo caso i coefficienti **fb**, **alpha**, **Lws** verranno utilizzati con loro valori standard rispettivamente(0.75, 0.8, 1.5) mentre **Lwd** sarà posto eguale a 0*

**N.B.: Si ricordi che nel file .GRD il numero delle righe complessive è pari al numero delle geogriglie presenti.**(massimo 120)

### 3.4.5 Il formato dei files .PIL

I files **.PIL** contengono i parametri relativi al sistema di palificate presente nel pendio. Il numero massimo di palificate che è possibile inserire è **12**.

<sup>1</sup> La lista di parametri per i tiranti è stata aumentata nella versione 4.0.8. Come parametro aggiuntivo vi è la % cementata della lunghezza totale del tirante. Nelle versioni precedenti alla 4.0.8 tale lunghezza era preimpostata al 20% della lunghezza totale, unitamente all'uso di un modello di distribuzione di resistenza di tipo rettangolare e trapezoidale. La versione 4.0.8 è in grado di utilizzare anche i files del vecchio formato. In questo caso la lunghezza cementata è impostata al 20% della lunghezza totale (come per la versioni fino alla 4.0.6 inclusa). Nelle versioni precedenti alla 4.08 il file .TIR aveva solo 5 colonne di dati. E' necessario aggiornare il formato del file TIR solo nel caso si desiderino sfruttare a pieno le nuove funzionalità.

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

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.

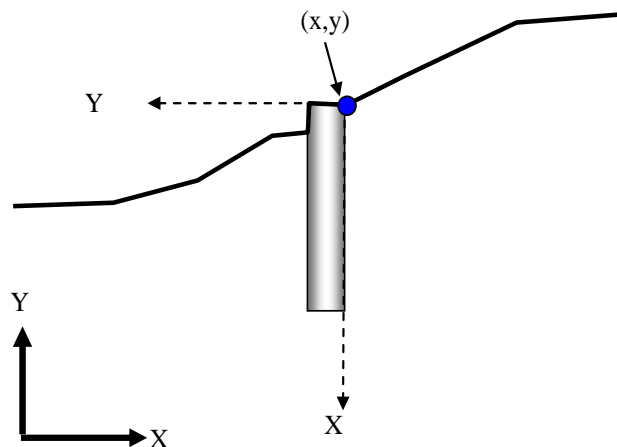
Nella **terza colonna** è indicata la lunghezza L (in m) della palificata a partire dalla superficie.

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).

**N.B.: Si ricordi che nel file .PIL il numero delle righe complessive è pari al numero delle palificate presenti.** (massimo 12)

Si noti che il **punto che ha coordinate (X,Y)** indicate nella colonna 1 e 2 è sempre posizionato nell'estremo in alto a destra della palificata vista in sezione 2D, all'interno del pendio



**Fig. 3.15**

### 3.4.6 Il formato dei files **.LIQ**

I files **.LIQ** contengono le informazioni relative alla potenziale liquefacibilità degli stati presenti. Queste informazioni sono necessarie se uno o più degli stati presenti è potenzialmente soggetto a fenomeni di liquefazione statica o dinamica secondo la teoria trattata nel capitolo 2.

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

0	0	0
1	0.9	9
0	0	0

Nella **prima** colonna è presente un codice numerico ( 0 o 1 ) che indica la possibile

liquefacibilit . **0** indica una **non potenziale liquefacibilit ** ; **1** indica una **potenziale liquefacibilit ** dello strato corrispondente.

Nella **seconda colonna**   indicato il fattore di sicurezza  **$FS_{liq}$**  calcolato relativamente alla **potenziale liquefacibilit **, valutata rispetto allo scenario di azioni sismiche di progetto.

Nella **terza colonna**   indicato Numero di colpi da penetrometria SPT ( **$N_{SPTcorr}$** ) misurati nello strato, e corretti per energia applicata, effetto della profondit  e per il contenuto % di fini, secondo le procedure internazionali codificate. (vedasi capitolo 2)

**N.B.: Si ricordi che nel file .LIQ il numero delle righe complessive   pari al numero di tutti gli strati presenti.**, indipendentemente se sono liquefacibili o non liquefacibili)

### 3.4.7 Il formato dei files .MOD

Un elenco di tutti i files dati e delle **informazioni relative al modello del pendio da esaminare**   contenuto nel file con estensione .MOD .

Il formato del file **.MOD**   ASCII; ovvero file di testo costituito da caratteri e cifre. Un esempio   dato di seguito:

<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>superf.dat</b>						
<b>falda.fld</b>						
<b>soils.geo</b>						

Questo esempio si riferisce ad un **pendio con 4 strati, con un livello di falda e senza sovraccarichi, senza tiranti ,senza geogriglie e senza palificate e senza informazioni sulla liquefacibilit  degli strati.**

Nel file **.MOD** la **prima riga** si contiene le informazioni relative al numero degli strati, alla presenza o meno della falda , alla presenza o meno di sovraccarichi, tiranti e geogriglie.

Nella **prima riga del file .MOD**, andando da sinistra verso destra, il significato dei codici numerici   il seguente:

**1  codice numerico**: numero degli strati e delle superfici presenti.

**2  codice numerico**: codice numerico che assume solo i valori 1 e 0 e che indica la presenza o meno della falda; ovvero:

- 1** (per falda presente)
- 0** (per falda assente)

**3  codice numerico** : codice numerico che assume solo i valori 1 e 0 e che indica la presenza o meno di sovraccarichi; ovvero:

- 1** (per sovraccarichi presenti)
- 0** (per sovraccarichi assenti)

**4  codice numerico** : codice numerico che assume solo i valori 1 e 0 e che indica la presenza o meno di tiranti; ovvero:

- 1** (per tiranti presenti)
- 0** (per tiranti assenti)

**5° codice numerico** : codice numerico che assume solo i valori 1 e 0 e che indica la presenza o meno di geogriglie; ovvero:

- 1** (per geogriglie presenti)
- 0** (per geogriglie assenti)

**6° codice numerico** : codice numerico che assume solo i valori 1 e 0 e che indica la presenza o meno di palificate; ovvero:

- 1** (per palificate presenti)
- 0** (per palificate assenti)

**7° codice numerico** : codice numerico che assume solo i valori 1 e 0 e che indica la presenza o meno Informazioni aggiuntive relative alla liquefacibilit  dei strati ; ovvero:

- 1** (per informazioni liquefacibilit  presenti)
- 0** (per informazioni liquefacibilit  assenti)

Seguono nelle **righe successive del file .MOD**, elencati dall'alto verso il basso:

1. il **file dati relativo alle superfici degli strati**;
2. il **file dati relativo alla superficie della falda** (*omettere nel caso di falda assente*);
3. il **file contenente i parametri geomeccanici** ;
4. il **file dati contenente i dati dei sovraccarichi** (*omettere nel caso di sovraccarichi assenti*);
5. il **file con i dati relativi ai tiranti** (*omettere nel caso di tiranti assenti*);
6. il **file con i dati relativi alle geogriglie** (*omettere nel caso di geogriglie assenti*).
7. il **file con i dati relativi alle palificate** (*omettere nel caso di palificate assenti*).
8. il **file con i dati relativi alla liquefacibilit ** (*omettere nel caso di informazione assenti*).

Il precedente ordine deve essere rispettato anche nel caso alcuni elementi non fossero presenti nel pendio. Ad esempio, nel caso di falda assente alla riga contenente il nome del file .DAT con i dati delle superfici seguir  il nome del file .GEO contenente i dati geomeccanici dei vari strati presenti .

Nel caso risultino assenti alcuni dei vari elementi aggiuntivi come sovraccarichi, tiranti o geogriglie, pali o liquefacibilit , semplicemente si dovr  omettere dalla lista il file corrispondente Per maggiore chiarezza si studino anche i successivi esempi.

Un altro esempio di file .MOD è il seguente:

<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>superf.dat</b>						
<b>falda.fld</b>						
<b>soils.geo</b>						
<b>carichi.svr</b>						

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

Nell'esempio successivo sono invece aggiunti **anche dei tiranti**:

<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>superf.dat</b>						
<b>falda.fld</b>						
<b>soils.geo</b>						
<b>carichi.svr</b>						
<b>tiranti.tir</b>						

Nell'esempio seguente sono aggiunte delle **geogriglie**:

<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>superf.dat</b>						
<b>falda.fld</b>						
<b>soils.geo</b>						
<b>carichi.svr</b>						
<b>tiranti.tir</b>						
<b>griglie.grd</b>						

Nell'esempio seguente sono aggiunte delle **palificate**:

<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>superf.dat</b>						
<b>falda.fld</b>						
<b>soils.geo</b>						
<b>carichi.svr</b>						
<b>tiranti.tir</b>						
<b>griglie.grd</b>						
<b>pali.pil</b>						



Nell'esempio finale sono aggiunte **informazioni relative alla liquefacibilit **:

<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>superf.dat</b>						
<b>falda.fld</b>						
<b>soils.geo</b>						
<b>carichi.svr</b>						
<b>tiranti.tir</b>						
<b>griglie.grd</b>						
<b>pali.pil</b>						
<b>liquef.liq</b>						

**Nel capitolo seguente l'utente trover  informazioni relative alla creazione e alla editazione dei precedenti tipi di files dati.**

### **3.5 FILES DATI PARTICOLARI (associati a verifiche su superficie singole)**

I files con estensione .SIN contengono la sequenza di coppie coordinate (X,Y) che definiscono una superficie singola che l'utente pu  verificare senza attivare alcun motore di generazione di superfici.. Normalmente queste superficie singole sono superfici che l'utente conosce gi  e ad esempio desidera verificare in maniera indipendente da quelle generate e verificate dal SSAP con i suoi algoritmi e motori di ricerca. Spesso le superfici singole sono usate per comparare risultati di calcolo di FS tra SSAP ed altri programmi di calcolo. Oppure sono superfici note sulle quali si vuole operare una back analysis. Questo tipo di procedura   particolarmente utile quando si vogliono analizzare superfici specifiche con maggior dettaglio.

Di seguito verranno descritte sia la struttura sia le modalit  di creazione per i file **.SIN**

#### **3.5.1 Il formato dei files .SIN**

I files con estensione **\*.SIN**, per convenzione, contengono le coppie coordinate (X,Y) delle superfici di scivolamento singole che l'utente desidera verificare senza utilizzare i motori di ricerca.

Ogni file \*.SIN   costituito da una parte di intestazione (che pu  anche essere omessa) e una parte che contiene le coordinate vere e proprie che verranno lette e memorizzate dal programma.

La **parte di intestazione**, che pu  essere lunga a piacere, **deve iniziare come primo carattere con il simbolo #** . La parte di intestazione   utile per scrivere annotazioni relative al contenuto del file.

La parte che contiene le **coppie di coordinate (X,Y)**   sempre successiva alla parte di intestazione.

Le coordinate che definiscono i nodi della superficie da verificare sono scritte su due colonne.

**La colonna 1 contiene i valori delle X.**

**La colonna 2 contiene i valori delle Y.**

Ogni riga contiene una coppia di coordinate (XY) di un nodo della superficie singola. Le coordinate devono essere separate da almeno uno spazio vuoto.

Di seguito un esempio di file .SIN .

```
#
# pcpX.sin
#
# x      y
0.0    1.90
3.10   0.10
5.80   1.40
10.40  6.00
```

L'utente può costruire con qualunque programma di editazione di file di testo un file .SIN. Ad esempio può essere usato **NOTEPAD.EXE** (blocco note) incluso in tutte le installazioni di Windows da XP a Windows 10..

**Per generare un file .SIN da zero** è necessario operare come segue:

- 1) lanciare il programma Blocco note (NOTEPAD.EXE) di Windows..
- 2) **scrivere 1 o più righe iniziando con il carattere cancelletto # , e in ogni riga includere una breve nota di commento (opzionale) descrivendo il contenuto del file .SIN.** Questa parte è quella che abbiamo già indicato essere la Intestazione.
- 3) **scrivere due colonne con le coppie di coordinate (X,Y) contenenti la sequenza di nodi che descrivono la superficie singola da verificare.** Generalmente è sufficiente e consigliato scrivere le coppie di coordinate con almeno 2 cifre decimali.
- 4) salvare il file con una estensione .SIN direttamente nella cartella dove abbiamo già memorizzato il nostro file .MOD e gli altri file del modello (.DAT,.FLD... etc.)

Il risultato come abbiamo già visto sarà un file di testo con le informazioni necessarie che sarà caricato da SSAP al momento di lanciare una verifica singola...

```
#
# pcpX.sin
#
# x      y
0.0    1.90
3.10   0.10
5.80   1.40
10.40  6.00
```

**Dopo aver effettuato una verifica Globale, è possibile comunque anche esportare, come file. SIN, la superficie individuata come quella con minor FS.** In questo caso verranno scritte su un file indicato dall'utente le coordinate della superficie. Il file generato con questa modalità verrà scritto automaticamente con coordinate con un **numero di 8 cifre decimali** . ( **Attenzione Questa operazione è effettuata dal programma solo nel caso della generazione Automatico del file .SIN).**

**Nel caso il file .SIN venga generato manualmente per la verifica di una specifica superficie di interesse dell'utente il numero minimo di cifre decimali richieste per le coordinate XY è di 2 cifre decimali (valore consigliato).**

La **possibilità di effettuare verifiche su singole superfici definite dall'utente** è una delle cose che SSAP ha in comune con altri software simili. Questo tipo di procedura è particolarmente utile quando si vogliono analizzare superfici specifiche con maggior dettaglio. Ricordiamo che dopo il completamento di ogni verifica globale è possibile esportare la superficie singola che è stata identificata come quella con minor  $F_s$  entro il campione di superfici generate e analizzate.

Il processo di esportazione (in automatico), o editazione manuale (immettendo valori delle coordinate), permette alla fine di avere, in accordo con le convenzioni di SSAP, un **file con la sequenza di coordinate (X,Y) che identificano una superficie singola da verificare**. Questo processo si realizza con la creazione di un file di testo con estensione. SIN.

Si ricorda che durante la procedura di esportazione e generazione automatica dei file .SIN , dopo una verifica globale, verranno mantenute alcune caratteristiche della verifica globale.

Ad esempio se la verifica globale viene eseguita con l'effetto tension crack attivato, la superficie singola esportata potrà contenere una parte terminale in testa definita da segmento verticale. In questo caso nella successiva verifica singola l'effetto tension crack verrà automaticamente introdotto e considerato incontrando detto segmento verticale terminale.

### **3.5.2 Il formato dei files .SIN.INFO**

Durante il processo di esportazione e creazione automatica dei file .SIN, dopo una verifica Globale, viene effettuata la contemporanea generazione di un file di testo con estensione **.SIN.INFO** che contiene informazioni aggiuntive sulla superficie creata e sul processo di verifica globale dal cui è stato ottenuto (fig. 3.16).

Queste informazioni integrative sono utilizzate da SSAP per migliorare la stabilità numerica nei calcoli successivi alla verifica globale, quando si attiva la procedura di verifica singola.

La presenza del file **.SIN.INFO** è tuttavia opzionale, dato che a volte il file **.SIN** è editato direttamente dagli utenti per poter effettuare verifiche di superfici che non necessariamente provengano da una analisi precedente.

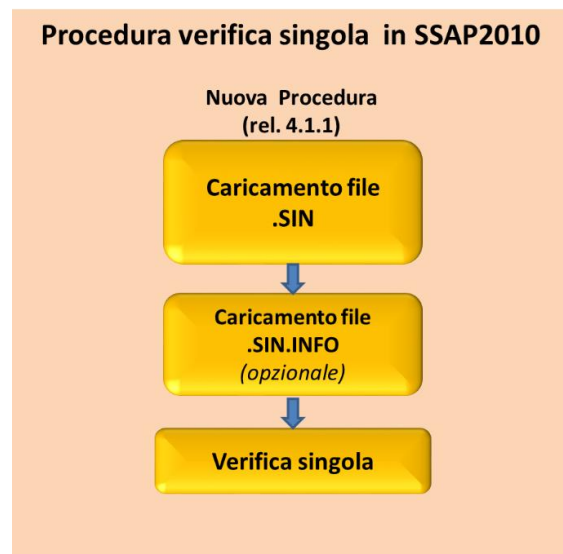
La assenza del file **.SIN.INFO** non impedisce la attivazione e la esecuzione del processo di verifica singola. Tuttavia è bene che questo file sia incluso nella stessa cartella dove è contenuto il file **.SIN**, quando quest'ultimo è generato automaticamente dopo una verifica globale.

E' bene ricordare che, se si dispone di un file **.SIN.INFO** associato a un file **.SIN**, è consigliato **non modificare direttamente questo file, dato che esso contiene dati precedentemente-calcolati** e che sono utili a mantenere la stabilità numerica e la congruenza con il risultato della verifica di stabilità globale originaria.

La **procedura di verifica singola** procede quindi come illustrato in figura 3.17. Una volta lanciata la procedura di verifica Singola viene letto il file **.SIN** e , successivamente, solo **se presente**, anche il file **.SIN.INFO**. Dopo questa fase di caricamento dei dati la verifica singola viene eseguita normalmente



**Fig.3.16 : procedura esportazione dati di superficie singola con minor Fs**



**Fig.3.17 : procedura di verifica singola in ssap2010**

### 3.5.3 Il files .PAR (salvataggio delle impostazioni di verifica)

A partire dalla versione 4.5.2 è possibile salvare dopo un verifica di stabilità tutte le impostazioni della verifica e alcune informazioni del file del modello del pendio associato alla verifica eseguita.

Queste informazioni sono salvate in un file con estensione **.PAR**. Il file .PAR può essere usato per tenere un registro delle impostazioni utilizzate, ma soprattutto ha la sua prima utilità nella possibilità di eseguire in un'unica operazione il caricamento di un modello del pendio (.MOD) e tutte le impostazioni usate durante una precedente verifica. Questa operazione permette un considerevole risparmio di tempo quando si desidera ripetere più volte una verifica e tenere un registro delle diverse varianti utilizzate esplorando le diverse possibilità offerte dal SSAP.

Il file **.PAR** è automaticamente generato dal programma quando l'utente lo richiede (vedi cap. 5) e non richiede di essere editato. Si consiglia di non editarlo. Il file .PAR è un comune file di testo e può comunque essere letto da un qualunque programma di visualizzazione e editing di file di testo.

## CAPITOLO 4- CREAZIONE FILES DATI PER SSAP



### 4.1 INTRODUZIONE

L'operazione di creazione dei files dei dati contenenti tutte le informazioni del modello del pendio da esaminare è particolarmente importante e delicata. Vi si dovrà porre la massima cura affinché siano evitati errori nell'inserimento dei dati. I dati inseriti dovranno essere conformi alle convenzioni precedentemente esposte nel capitolo 3 di questo manuale.

Per ovviare alle difficoltà che l'utente meno esperto può incontrare nella preparazione dei files che contengono i dati del modello del pendio, in modo conforme al protocollo utilizzato dal programma SSAP, è stato predisposto un programma esterno che semplifica questa operazione rendendola semiautomatica. Tale programma permette di fare vedere all'utente, in tempo reale, i files dati durante la loro creazione e scrittura. Questa ultima funzione è estremamente utile poiché consente di familiarizzarsi con il formato interno di questi files. Questo software esterno è stato progettato appositamente per semplificare le procedure di creazione ed assemblaggio dei files dati.

#### IMPORTANTE

Alla pagina <http://www.ssap.eu/videos.html> esistono links a alcuni video disponibili su un canale dedicato di [www.youtube.com](http://www.youtube.com) (canale: Lorenzo Borselli) o scaricabili direttamente (video . formato AVI, compressi singolarmente in files .ZIP) che mostrano, in vivo, le procedure descritte di seguito partendo da esempi pratici. Si consigliano comunque i lettori a far ricorso a questa nuova opportunità'.

### 4.2 PROGRAMMA MAKEFILES 4.0 PER LA CREAZIONE DEI FILES DATI

Il programma MAKEFILES 4.0 permette di creare facilmente tutti i file dati necessari al programma SSAP. Questo programma di utilità è parte integrante del pacchetto.

Il programma MAKFILES.exe va utilizzato separatamente dal programma SSAP

Questo programma può essere lanciato cliccando bottone **MAKFILES.EXE** nella finestra

### principale di SSAP2010.

All'avvio apparirà una console (fig. 4.1) con una serie di strumenti menù con diverse opzioni per la **creazione dei diversi tipi di files dati** e per il loro successivo **assemblaggio automatico nel file .MOD** secondo le convenzioni precedentemente esposte nel capitolo 3.

Inizialmente conviene indicare la **cartella dove scrivere e archiviare i files dati prodotti**. Tale cartella sarà l'area dati dove verranno salvati i files dati prodotti e assemblati. È conveniente infatti tenere separati i files del modello del pendio dalla cartella dove abbiamo i programmi.

Inizialmente l'area dati pre-impostata è quella stessa dove risiede il programma. Nella finestra principale è possibile selezionare una cartella diversa premendo il pulsante apposito sotto la casella **Seleziona/Crea area dati**.



Fig. 4.1

La cartella per i dati può essere cambiata in ogni momento, tuttavia si consiglia di farlo inizialmente o solo dopo aver completato l'assemblaggio di un file .MOD del modello del pendio. Successivamente è possibile cambiare la cartella di lavoro e effettuare un'altra sessione di assemblaggio dei dati.

Sul lato sinistro della finestra appaiono una serie di pulsanti corrispondenti ai vari tipi di files. Ognuno dei pulsanti attiva una propria scheda di creazione ed editazione.

Ad esempio cliccando sul pulsante Superfici si attiverà la scheda per la creazione dei dati della geometria degli strati secondo la struttura indicata nel capitolo 3 del manuale di SSAP.

La particolarità di MAKEFILES è che è possibile visualizzare sempre contemporaneamente la struttura del file dati mentre esso viene creato anche in modo semiautomatico. Inoltre è anche possibile editare direttamente i dati nella scheda.

Ad esempio nel caso della costruzione del file SUPERFICI (coordinate della sup. topografica e degli strati), premendo l'apposito bottone nella finestra principale, apparirà una finestra di dialogo dove viene richiesto di indicare il nome di un nuovo file da creare o dove è possibile selezionare un file dati .DAT preesistente (fig. 4.2).

A questo punto appare una nuova finestra che consente di operare direttamente per la modifica, nel caso di un file nuovo per l'inserimento dati (figura 4.3).

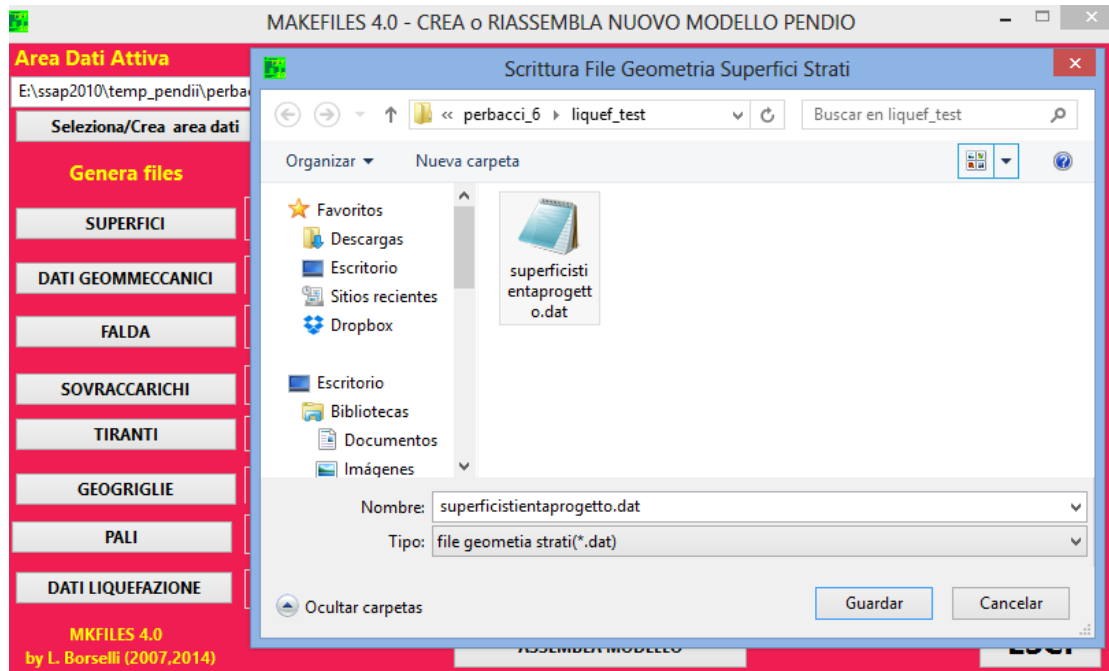


Fig. 4.2

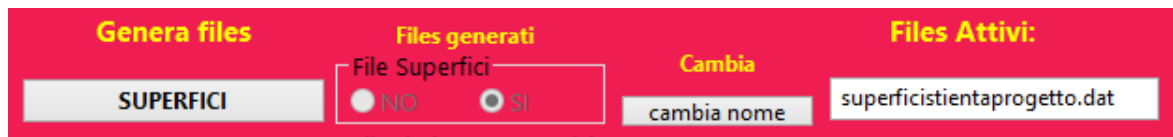
Nell'esempio illustrato in figura nel file esercizio1.dat erano già presenti due superfici (2 strati). A questo punto l'operatore può modificare le coordinate già inserite editandole nella finestra che visualizza in tempo reale il contenuto del file .DAT o aggiungere nuovi nodi allo strato 2 o aggiungere un nuovo strato successivamente i nodi corrispondenti allo strato 3.

È inoltre possibile aggiungere una intera serie di dati di coordinate XY provenienti da altri programmi. Per fare questo è sufficiente preparare un file di dati con lo stesso formato del file .FLD descritto nel capitolo 3. Ad esempio in files con due colonne di coordinate XY provenienti da una profilo topografico estratto da un file autocad..



Fig. 4.3

Completato il lavoro di editazione e inserimento si può salvare la scheda ritornando alla finestra principale, dove il file acquisito verrà indicata nella colonna dei files attivi pronti per l'assemblaggio nella lista del file .MOD (fig. 4.4).



**Fig. 4.4**

Se si desidera è possibile cambiare il nome del file attivo o salvare quello appena creato con un altro nome premendo il pulsante CAMBIA NOME.(fig. 4.4)

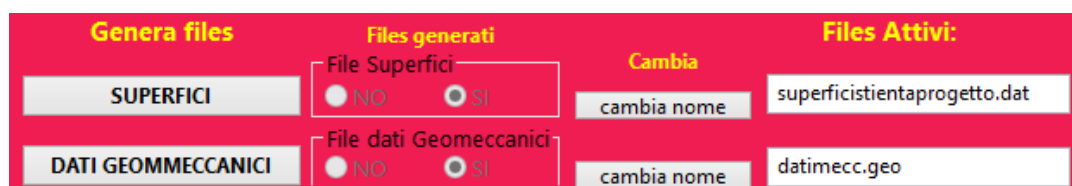
A questo punto si procede oltre ad esempio con la creazione o il caricamento del file con i parametri geotecnici (ad esempio del file (esercizio1.geo). (fig. 4.5)

Nel caso della creazione di un nuovo file l'utente deve inserire nelle apposite caselle i parametri geotecnici e premere il pulsante per aggiungere un nuovo strato.



**Fig. 4.5**

Il salvataggio della scheda produrrà un nuovo elemento nella colonna dei files attivi pronti per l'assemblaggio nella lista del file. MOD . (fig. 4.6)



**Fig. 4.6**

Per l'inserimento di un file .FLD (coordinate profilo della falda) si procede in modo analogo ai precedenti. (fig. 4.7).



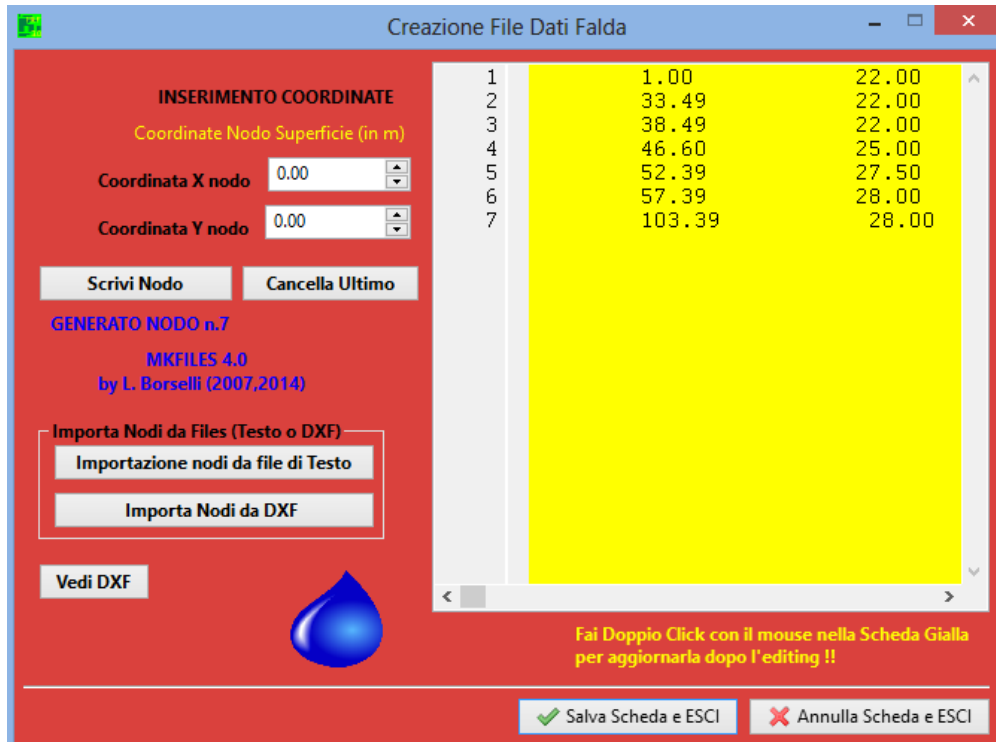


Fig. 4.7

Dopo il salvataggio della scheda è possibile visualizzare nella finestra principale l'inserimento del nuovo file tra i files dati pronti per l'assemblaggio nella lista del file .MOD. (fig. 4.8)

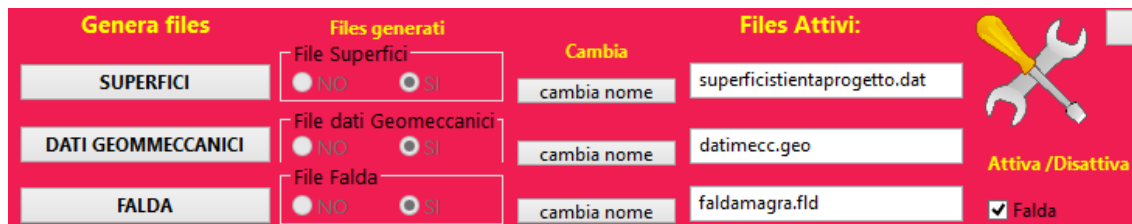


Fig. 4.8

Se necessario si può procedere in modo analogo con tutti gli altri tipi di files e alla fine avremo visibile una lista completa dei files dati pronti per essere assemblati nel file .MOD. (fig. 4.9)

A questo punto è sempre possibile cambiare ciascuno dei singoli files o cambiare il loro nome clonando il contenuto e premendo il corrispondente bottone [cambia nome]. Inoltre è possibile disattivare dalla lista dei files alcuni dei files disattivando la spuntatura a destra. (fig. 4.9).

Una volta che la lista dei files è completa premendo il pulsante **ASSEMBLA MODELLO** è possibile creare in un file .MOD (fig. 4.9) il nostro modello definitivo del pendio, che ricordiamo è una sorta di lista della spesa con indicati tutti i files dati che compongono la informazione complessiva del nostro pendio. Un apposito messaggio indicherà lo stato del file **.MOD** prodotto. Vi saranno alcune segnalazioni di errore qualora alcuni files, come i files relativi alle superfici o ai parametri geomeccanici, non siano stati creati o se il numero di superfici e il numero di strati indicati nei files dati divergono.

In questa eventualità l'utente può creare o ricreare nuovamente i files corrispondenti chiamando l'apposita voce nel menù o editare (se questi sono già presenti). I files dati possono

essere anche editati in maniera indipendente con il programma di editazione testi che può essere lanciato con l'apposito bottone nella finestra principale in alto a destra.

Fig. 4.9

L'assemblaggio automatico procederà solo se non verranno registrati errori da parte dell'operatore nell'inserimento dei dati.

#### 4.2.1 Video Didattici su assemblaggio files del modello del pendio.

Alla pagina <http://www.ssap.eu/videos.html> esistono links a alcuni video disponibili su un canale dedicato di [www.youtube.com](http://www.youtube.com) (canale: Lorenzo Borselli) o scaricabili direttamente (video . formato AVI, compressi singolarmente in files .ZIP) che mostrano, in vivo, le procedure descritte di seguito partendo da esempi pratici.

Uno di questi video include anche la nuovissima funzionalità di importazione delle superfici di stati e falda direttamente da files in formato DXF senza la necessità di digitare le coordinate di ciascuno dei nodi di queste superfici. *Si consigliano comunque i lettori a far ricorso a questa nuova opportunità'.*

#### 4.2.2. Procedura di importazione semiautomatica superfici da file DXF.

Dalla Versione SSAP 4.5.0 è ora possibile la importazione delle superfici di stati e falda direttamente da files in formato DXF, senza la necessità di digitare le coordinate di ciascuno dei nodi di queste superfici. Questo è una funzione estremamente importante che permette di ridurre in modo considerevole i tempi necessari per l'assemblaggio dei file del modello del pendio. La procedura si basa sulla possibilità di effettuare una scansione del DXF (formato AutoCAD compatibile versione 14 e superiori) generando una lista di entità (esclusivamente POLILINEE) che rappresentano le superfici potenzialmente importabili. Il sistema permette di visualizzare contemporaneamente il file DXF analizzato e da cui si importeranno le superfici.

La lista delle entità importabili è presentata in una finestra, in primo piano nella figura 4.10. Le entità che sono poligoni chiusi vengono indicati nella lista insieme a alcune caratteristiche distintive di ogni entità per facilitare la assegnazione definitiva nel file . DAT o .FLD (figura 4.11)

Uno dei nuovi video disponibili nella sezione <http://www.ssap.eu/videos.html> mostra tutta la procedura, insieme a commenti audio dell'autore. Alla fine nella scheda di

inserimento delle superfici ' possibile visualizzare il risultato ottenuto questa volta senza digitare alcun nodo ma semplicemente filtrando il contenuto di un file DXF cn la sezione grafica del pendio e dei suoi strati. (figura 4.12). La stessa procedura puo essere ripetuta per la costruzione del file .FLD (profilo della falda)

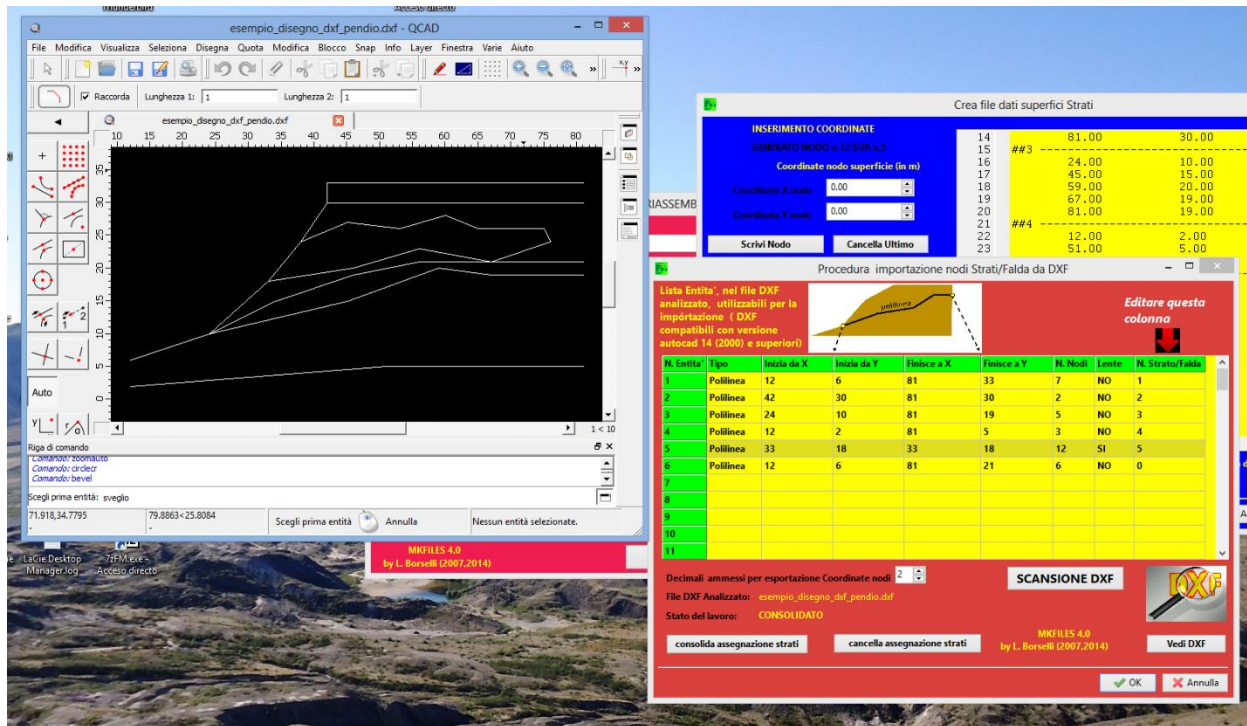


Fig. 4.10

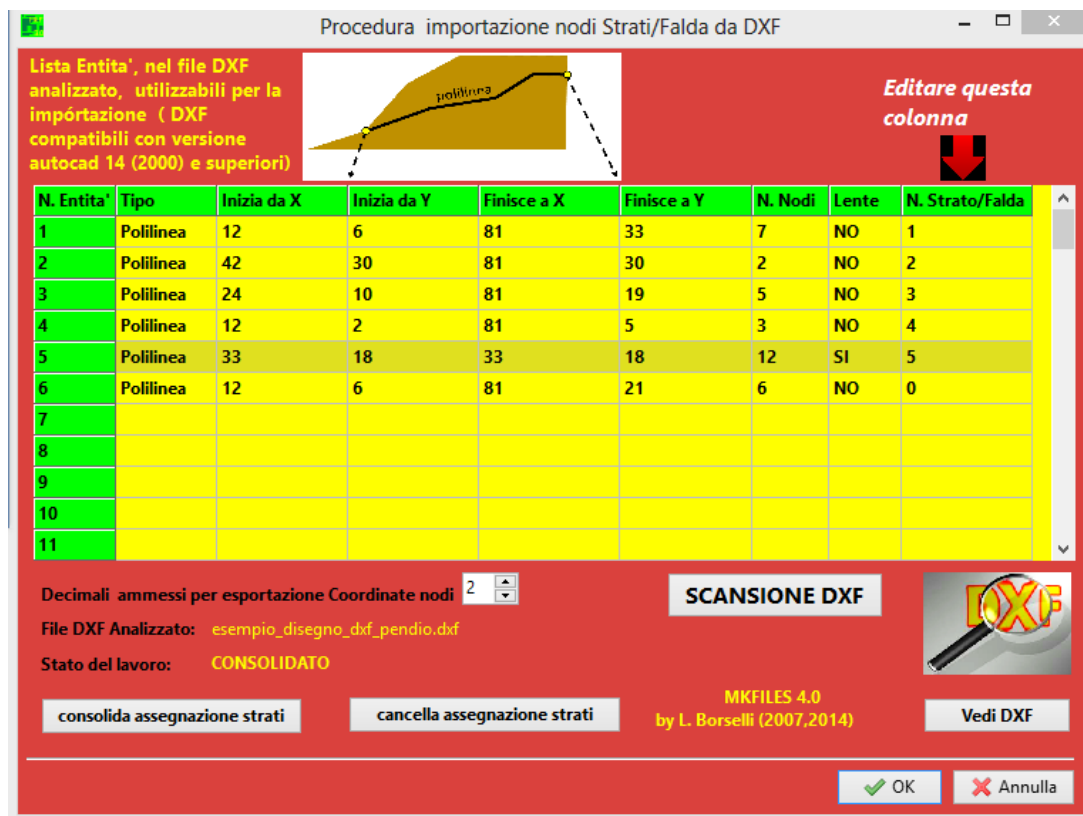


Fig. 4.11

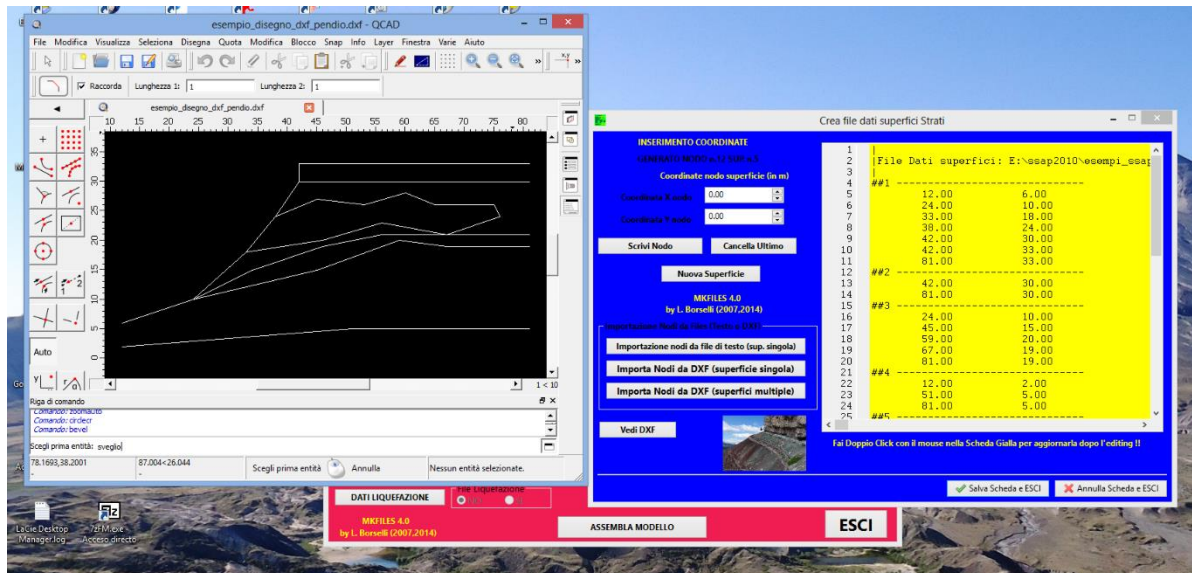


Fig. 4.12

#### 4.3 TIPI DI FILES DATI

Si ricordano di seguito le estensioni dei files per i dati caratteristici del pendio:

Estensione	Tipo di file
*.geo	dati geomeccanici strati
*.fld	coordinate profilo falda
*.dat	coordinate profilo strati
*.svr	posizione ed entità dei sovraccarichi
*.tir	posizione ed parametri di progetto tiranti
*.grd	posizione e parametri di progetto geogriglie
*.pil	Posizione e geometria palificate
.liq	dati liquefazione strati
*.mod	modello pendio (ingloba una lista dei files precedenti)

Si ricorda che i files con estensione \*.MOD permettono di richiamare contemporaneamente tutti i files dati che definiscono il modello del pendio dato dall'utente. In pratica i files .MOD sono un dettagliato elenco dei files che il programma deve caricare prima di eseguire i calcoli delle verifiche di stabilità'.

#### 4.4 CONTROLLO FILES DATI

Prima di iniziare le operazioni di calcolo della verifica di stabilità è necessario controllare che tutti i files dati necessari siano presenti su disco. Inoltre l'utente potrà controllare, se lo ritiene necessario, che i dati introdotti siano stati effettivamente scritti nei files corrispondenti e nel formato corretto e desiderato.

L'operazione di inserimento dei dati, di creazione dei files che definiscono il modello del pendio e il loro controllo successivo, costituiscono una operazione sicuramente tediosa, ma è assolutamente necessario che l'utente vi ponga la massima cura ed attenzione.

A posteriori SSAP, al momento del caricamento dei files dati per iniziare una sessione di lavoro e verifica di stabilità, effettua una serie di controlli preliminari volti a evidenziare e se possibile **correggere automaticamente alcuni errori comuni** come ad esempio:

1. Nomi dei file che contengono degli spazi vuoti (e.s. *dati pendio 5.dat*);
2. Presenza di righe vuote nei files dati;

### 3. Valori numerici decimali con la virgola come separatore decimale.

Un a volta che i files del modello del pendio sono creati su disco, insieme al file .MOD che contiene il loro elenco, è possibile utilizzare il lavoro precedentemente fatto ogni volta lo si desidera, richiamando il file .MOD dal programma di verifica di stabilità senza effettuare ulteriori controlli.

Naturalmente alcune anomalie possono verificarsi e di fatto esse vengono segnalate da messaggi particolari alla fine della verifica di stabilità. Molto spesso queste anomalie sono legate al mancato rispetto delle convezioni geometriche usate da SSAP per definire strati e falda. Vedasi pertanto le convenzioni nel cap. 3 .

## **4.5 EDITING FILES DATI**

I files di dati precedentemente creati con il programma di utilità possono successivamente essere editati con un programma di editazione per file ASCII come ad esempio **AKELPAD.EXE** (programma freeware di utilizzo libero per la editazione di files di testo – programma distribuito nel pacchetto di SSAP2010 già configurato e pienamente utilizzabile senza bisogno di configurazione ).

Nel caso si desideri utilizzare un programma di editazione diverso, nel **file di configurazione SSAP2010.INI** può essere indicato il percorso completo e il nome del programma di editazione dei file di testo alternativo che si vuole utilizzare. (Vedasi appendice G: installazione e configurazione di SSAP) per i dettagli sopra la configurazione del file SSAP2010.INI.

## **4.6 FILES DATI PARTICOLARI**

### **4.6.1 - I files \*.SIN.**

I files con estensione \*.SIN per convenzione contengono le coordinate XY delle superfici di scivolamento singole che l'utente desidera verificare senza utilizzare i motori di ricerca.

I files devono essere costruiti manualmente con un programma per editore di testi come AKELPAD che può essere richiamato direttamente dal programma SSAP dal menù utilità. Le convenzioni per i file \*.SIN sono presentate nel capitolo 3.

### **4.6.2 - I files \*.PAR.**

A partire dalla versione 4.5.2 è possibile salvare dopo un verifica di stabilità tutte le impostazioni della verifica e alcune informazioni del file del modello del pendio associato alla verifica eseguita.

Queste informazioni sono salvate in un file con estensione **.PAR**. Il file .PAR può essere usato per tenere un registro delle impostazioni utilizzate, ma soprattutto ha la sua prima utilità nella possibilità di eseguire in un'unica operazione il caricamento di un modello del pendio (.MOD) e tutte le impostazioni usate durante una precedente verifica. Questa operazione permette un considerevole risparmio di tempo quando si desidera ripetere più volte una verifica e tenere un registro delle diverse varianti utilizzate esplorando le diverse possibilità' offerte dal SSAP.

Il file **.PAR** è automaticamente generato dal programma quando l'utente lo richiede (vedi cap. 5) e non richiede di essere editato. Si consiglia di non editarlo. Il file .PAR è un comune file di testo e può comunque essere letto da un qualunque programma di visualizzazione e editazione di file di testo.



## CAPITOLO 5 -DENTRO AL PROGRAMMA SSAP



### 5.1 INTRODUZIONE

In questo capitolo verrà trattata in dettaglio l'utilizzazione pratica del programma e verrà fornita spiegazione di tutti i singoli parametri di input che l'utente deve (o può) indicare durante il lavoro.

Il programma è strutturato mediante una console di comando principale che racchiude tutti i più importanti strumenti a disposizione che permettono di attivare le varie funzioni del programma (vedasi immagine precedente).

Questo sistema semplificato di interfaccia grafica permette di avere sotto controllo in ogni momento quello che il software sta facendo e di attivare tutti le procedure di calcolo, i controlli principali (setup delle verifiche e di lanciare gli strumenti ausiliari di lavoro come quelli per visualizzare gli input/output in modo grafico grafici o di editare i files dati o di richiamare altri strumenti di lavoro esterni (es. **MAKEFILES.EXE**).

Le varie funzionalità della console principale sono attivabili facendo un click con il mouse sopra i corrispondenti bottoni. Nella parte centrale della console vi è il cosiddetto monitor di controllo che permette di visualizzare i principali parametri caricati e impostati per la verifica di stabilità, nonché di visualizzare in tempo reale il processo di verifica e i risultati parziali.

Nelle sezioni precedenti verranno illustrate in dettaglio le varie funzionalità.

### 5.2 STRUMENTI ATTIVABILI DALLA CONSOLE DI COMANDO PRINCIPALE

Le voci del menu principale sono indicate con una serie pulsanti che possono esser attivati con il mouse. Per maggiore comodità dell'utente i pulsanti sono raggruppati in gruppi funzionali che rappresentano le funzioni di base del programma: es. caricamento e visualizzazione modello del pendio; setup verifica, avvio verifica, risultati, strumenti vari (figura 5.1).

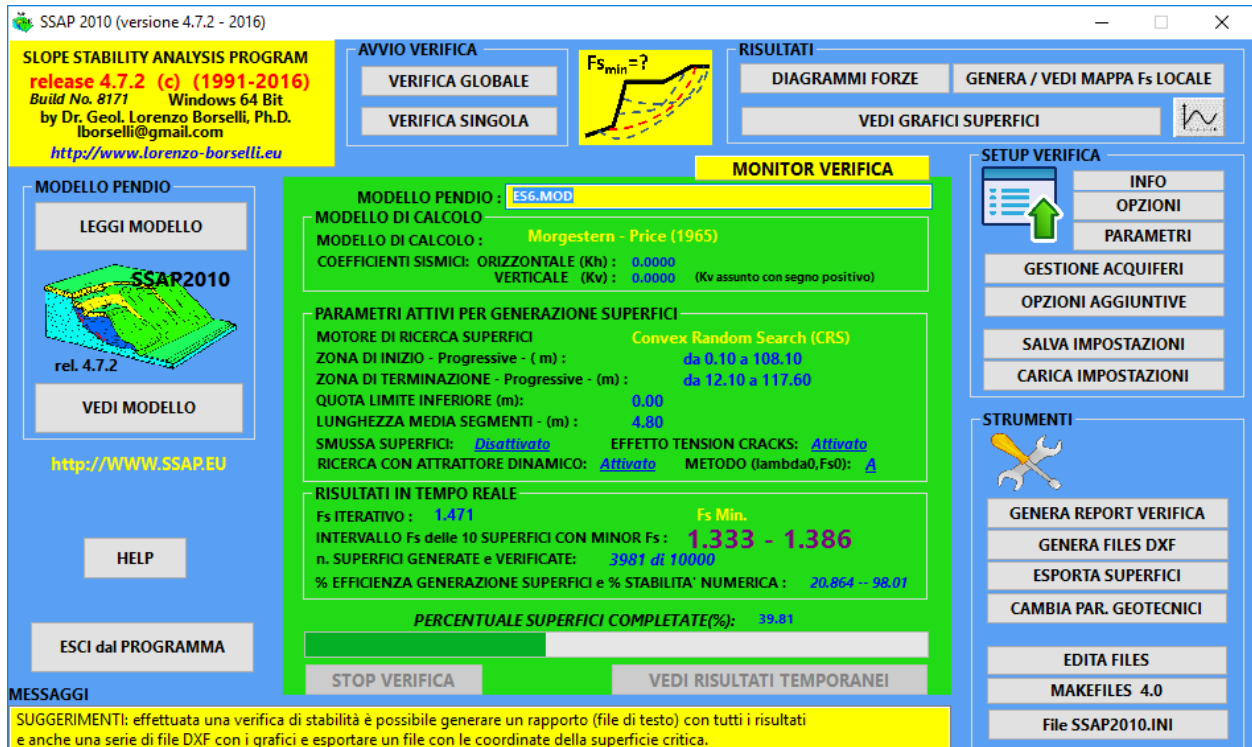


Fig. 5.1

### 5.2.1 MODELLO PENDIO

**Lettura del file dati del Modello del Pendio** e operazione di pre-processing con analisi della configurazione stratigrafica del pendio. Durante questa operazione vengono attivati una parte considerevole degli algoritmi che consentono il riconoscimento automatico della stratificazione presente propedeutica ai calcoli per le verifiche di stabilità (fig. 5.2)

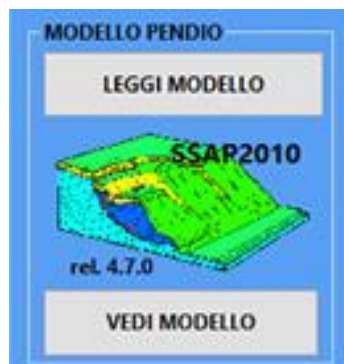


fig. 5.2

#### Leggi Modello

Selezione e lettura del file con estensione .MOD contenente i dati relativi al modello del pendio da analizzare. Dopo la lettura del file .MOD e di tutti gli altri files contenenti i dati relativi ai vari elementi che compongono il pendio viene effettuata una **pre-elaborazione del modello** del pendio con la analisi della configurazione stratigrafica. Alcuni messaggi indicheranno se questa operazione viene completata con successo.

#### Vedi Modello

Visualizzazione grafica del modello del pendio caricato in memoria dopo la lettura dei file .MOD e la analisi preliminare dello stesso. Per la visualizzazione viene utilizzato lo strumento di visualizzazione di files autocad DXF configurato come indicato nel capitolo 7.

### 5.2.2 HELP

Attivazione sistema di aiuto generale di SSAP con la visualizzazione una lista di voci dell'indice del manuale in Formato PDF. Il manuale verrà aperto automaticamente alla pagina dell'argomento desiderato. Il sistema fa uso del software freeware SUMATRAPDF (rel. 3.2). In altre finestre del programma premendo il tasto HELP si attiva un sistema analogo ma contestuale. Si aprirà cioè la pagina del manuale relativa all'argomento della finestra attiva (fig. 5.3).

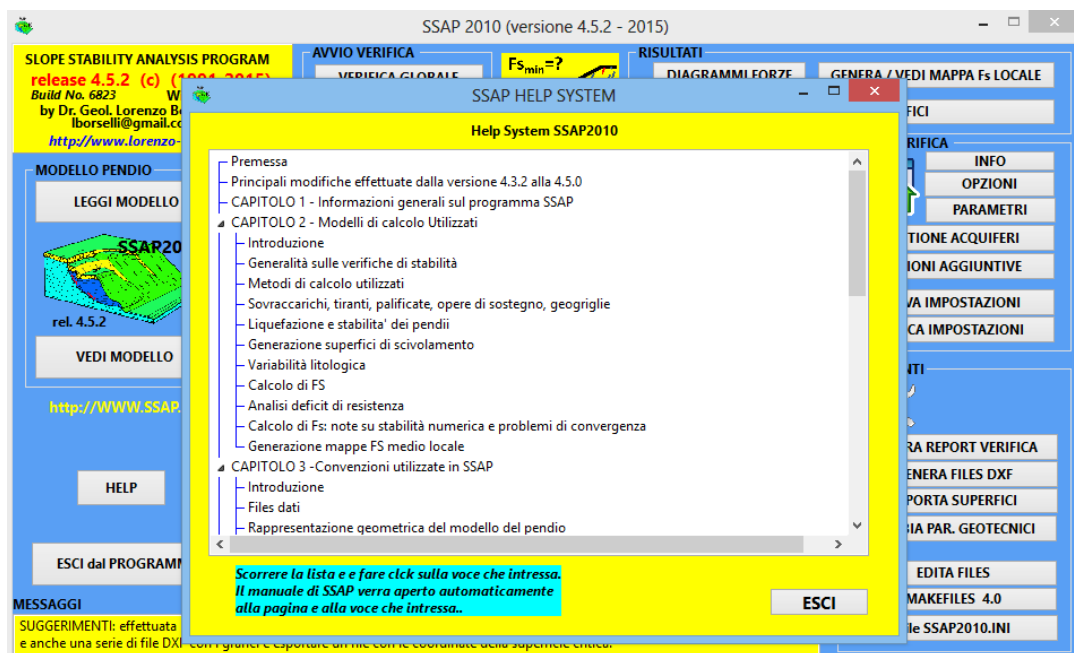


fig. 5.3

### 5.2.3 ESCI dal PROGRAMMA

Uscita incondizionata dal programma (figura 5.4).



fig. 5.4



#### 5.2.4 AVVIO VERIFICA E RISULTATI

Pulsanti per l'avvio delle verifiche di stabilità e per la visualizzazione grafica dei risultati. Questi pulsanti sono attivati solo dopo che si è letto il file con il modello del pendio (fig. 5.5)

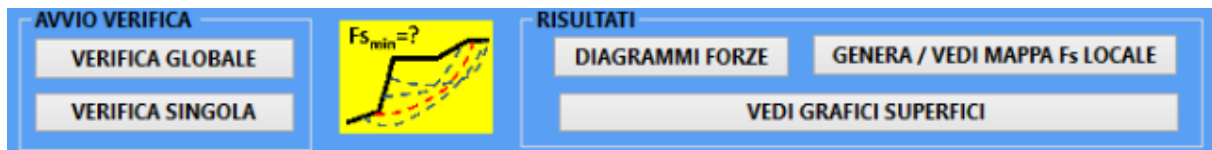


Fig. 5.5

#### Verifica globale

Attiva il PROCESSO di verifica di stabilità con i parametri correnti del modello di pendio assunto. Il processo di verifica è reso TRASPARENTE dal pannello di controllo al centro della console con la visualizzazione in tempo reale dei risultati e che può essere interrotto in ogni momento dall'utente premendo il tasto [STOP VERIFICA] per ritornare al menu principale del programma.

Premendo invece [VEDI RISULTATI TEMPORANEI] il processo ha una interruzione momentanea che permette di visualizzare e/o stampare i risultati temporanei.

La descrizione del pannello di controllo è la seguente. In una finestra dello schermo sono visualizzati tutti i parametri che monitorizzano il processo di verifica (fig. 5.6). Abbiamo infatti:

- Il numero delle superfici random generate con successo e delle quali è stato calcolato il Coefficiente di sicurezza **Fs** ;
- Il valore iterativo di **Fs**;
- L'intervallo di variazione di **Fs** delle 10 superfici random alle quali corrispondono i 10 minori valori di **Fs** calcolati, tra tutte le superfici fino a quel momento generate;
- Un parametro che esprime la percentuale di superfici random generate, conformi ai parametri forniti dall'utente, e comprese entro i limiti indicati, rispetto al totale delle superfici prodotte.
- Vi è inoltre una indicazione del motore di ricerca attualmente utilizzato e delle impostazioni aggiuntive (es. effetto *tension cracks*);

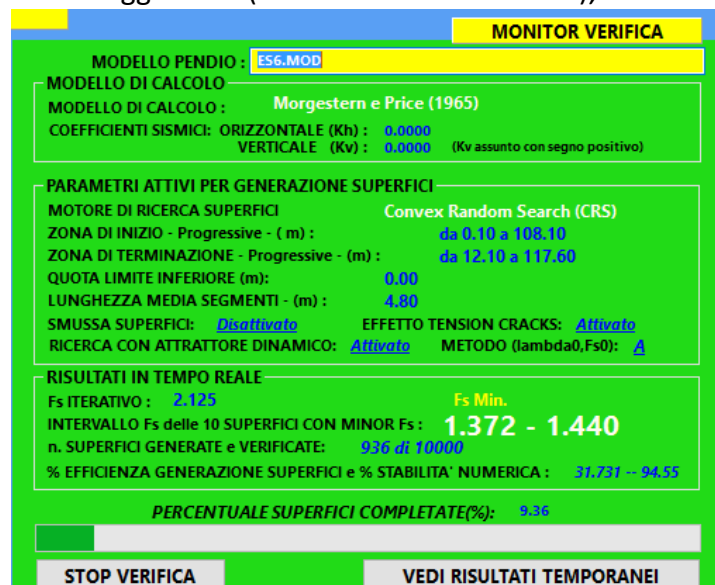


fig. 5.6

## Verifica Singola

Lancia il processo di verifica di una superficie specifica indicata dall'utente. Le coordinate della superficie sono indicate nei files **\*.SIN**. Vedasi il manuale per le convenzioni e la struttura dei files **\*.SIN**. Durante questa analisi può essere effettuata la determinazione del coefficiente sismico critico per il quale si ha, per la superficie singola indicata,  $FS=1.0$ .

## Diagrammi forze

Risulta particolarmente importante visualizzare in modo grafico, dopo aver effettuato un verifica di stabilità, la distribuzione interna delle forze e delle pressioni. Questo permette di evidenziare subito possibili anomalie e eventualmente scartare l'analisi fatta. I diagrammi sono visualizzati in modo combinato in una finestra che è possibile anche copiare, stampare e salvare in formati Bitmap e vettoriale (es. PDF) (vedasi pulsante in alto sinistra della figura 5.7) con il sistema di rendering grafico di GNUPLOT 5.1 (<http://www.gnuplot.info>) utilizzato da SSAP

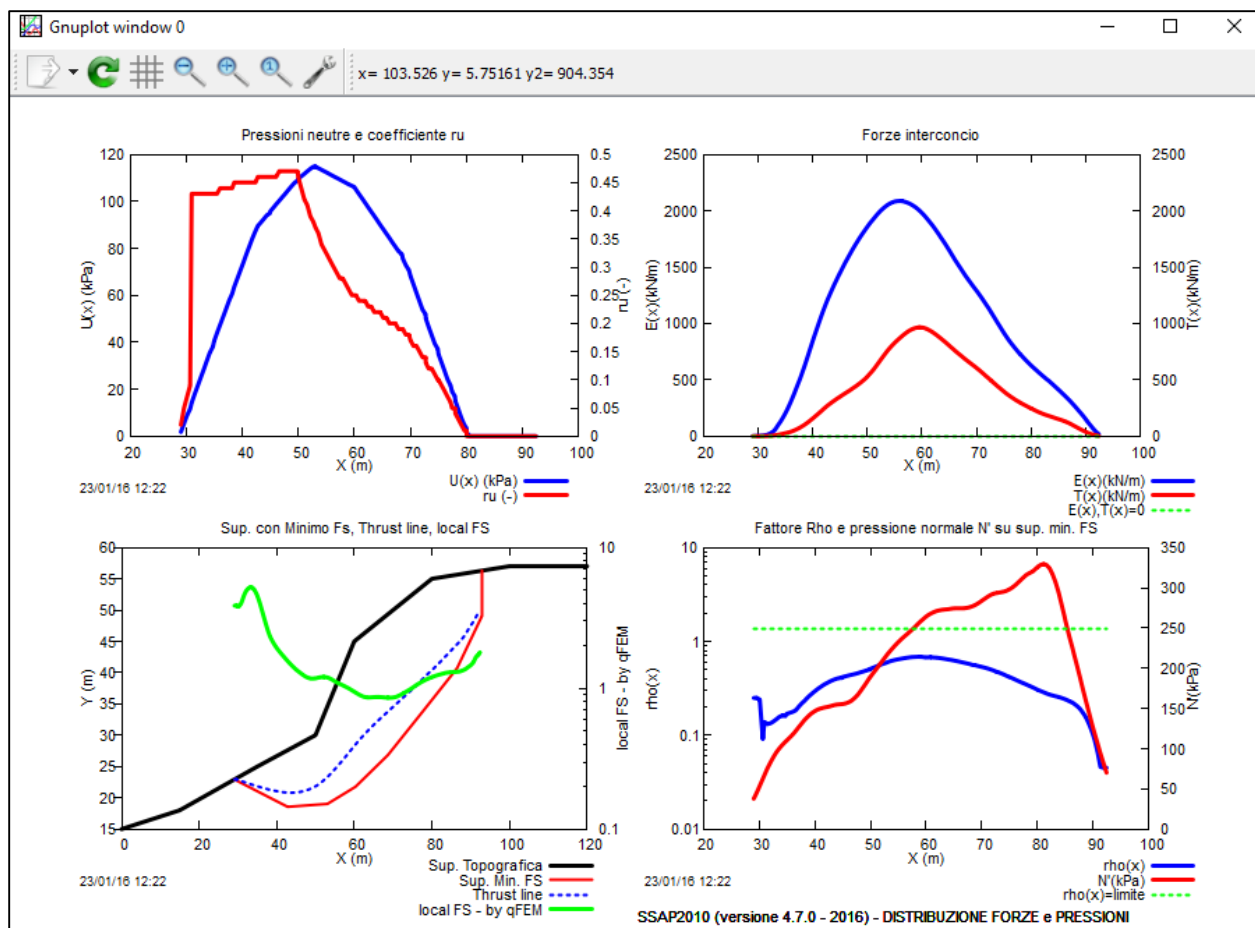


Fig. 5.7

## Vedi Grafici Superfici

Visualizzazione grafica dei risultati della elaborazione con possibilità di stampa degli stessi. Viene attivata il programma di visualizzazione di files DXF configurato come

indicato nel capitolo 7 del manuale. E' possibile visualizzare in modo grafico il modello del pendio, i risultati della verifica di stabilità e di stampare o copiare i grafici relativi.

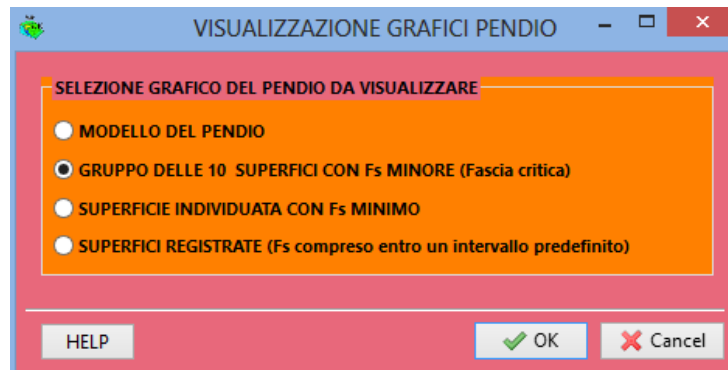


Fig. 5.8

Negli esempi in figura 5.9, 5.10, 5.11e 5.12 sono mostrati alcuni tipi di grafici. In figura 5.9e 5.10 sono mostrati i grafici delle fascia delle 10 superficie con Fs minori risultato della verifica. In figura 5.11 il grafico mostra la serie di superfici registrate con FS entro uno specifico intervallo indicato dall'utente (es. Fs tra 0.8 e 1.1). La figura 5.12 mostra la superficie con FS minimo in assoluto.

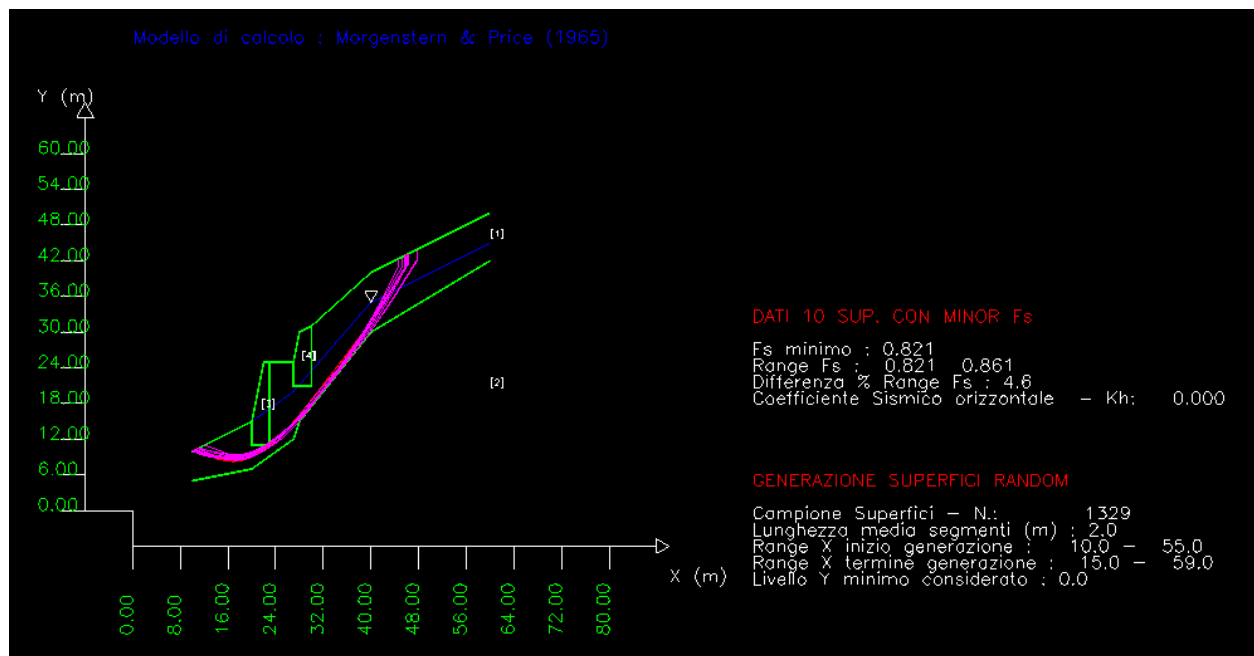


Fig. 5.9

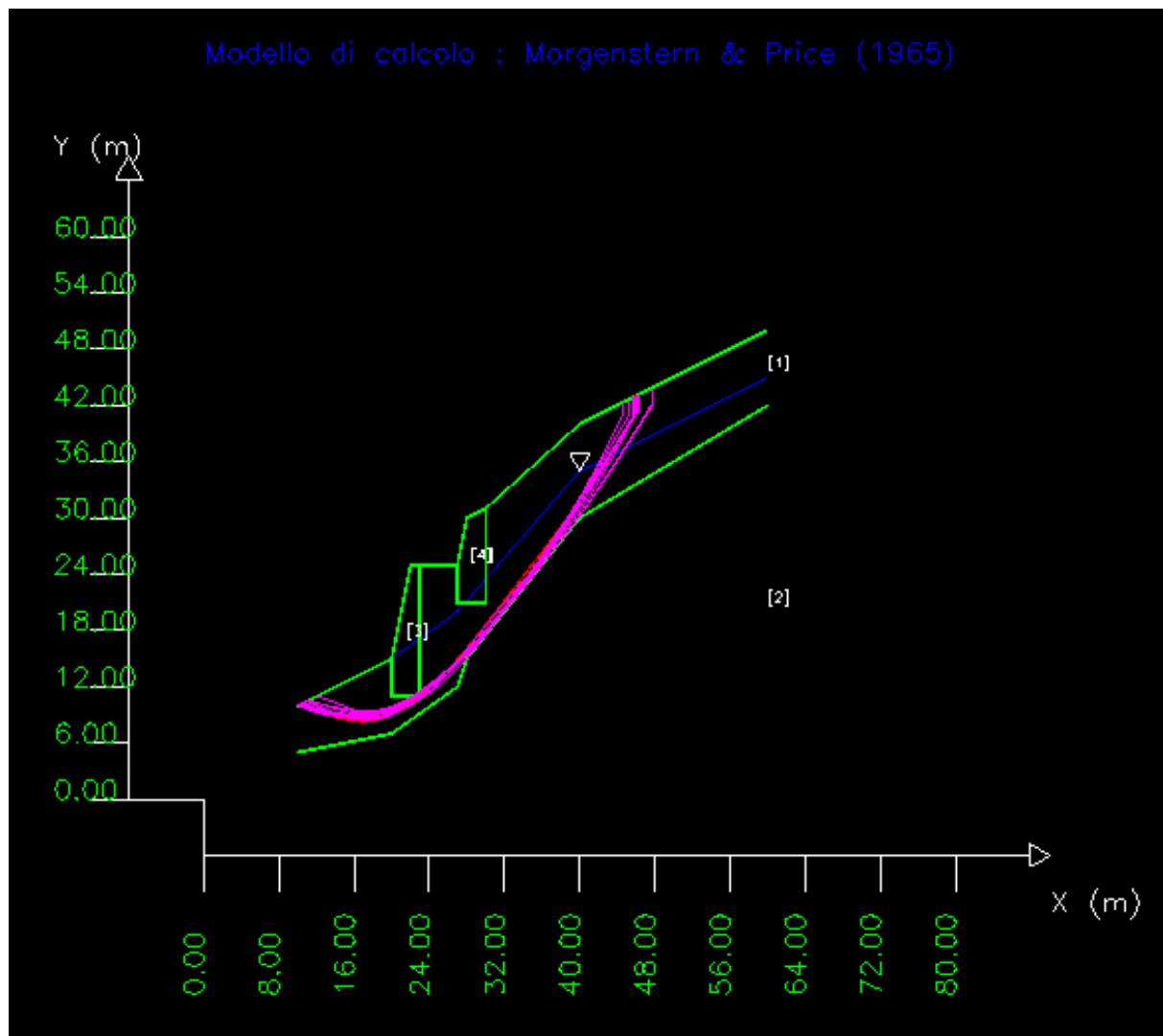


Fig. 5.10

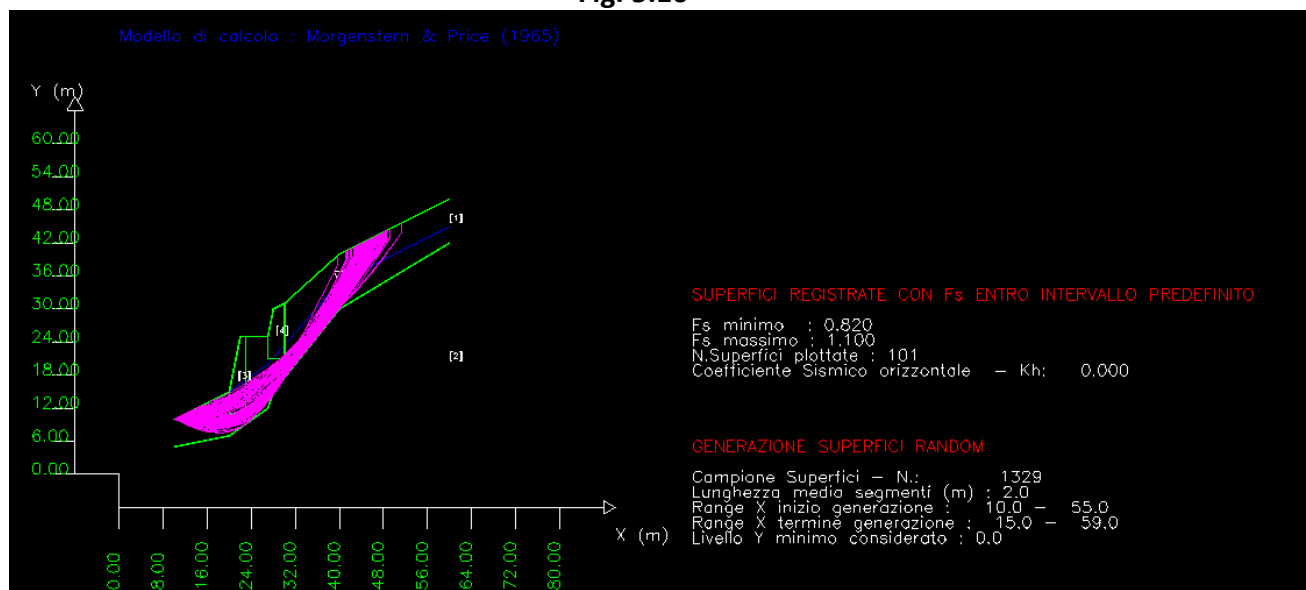


Fig. 5.11

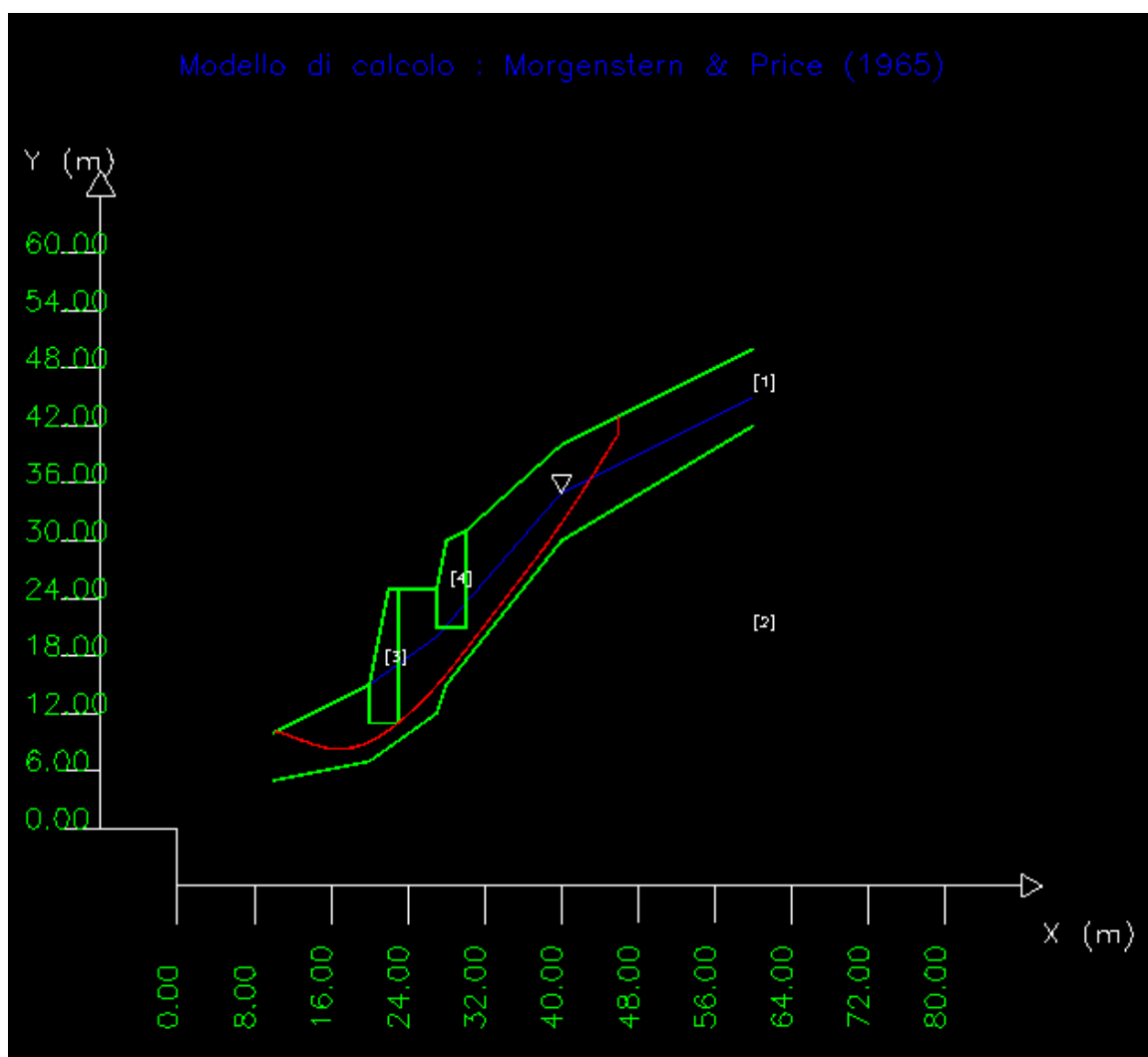


Fig. 5.12

### 5.2.5 SETUP VERIFICA

Tutti i settaggi fondamentali per personalizzare ogni verifica di stabilità sono attivabili con questo insieme di pulsanti. (fig. 5.13)



fig. 5.13

## Info

Informazioni su data e località. Nella finestra che apparirà sono presenti due campi di input. L'utente può inserirvi le informazioni relative o lasciarli vuoti (fig. 5.13).

## Opzioni

Indicazione di varie opzioni e parametri da utilizzare durante le verifiche di stabilità (fig. 5.14).

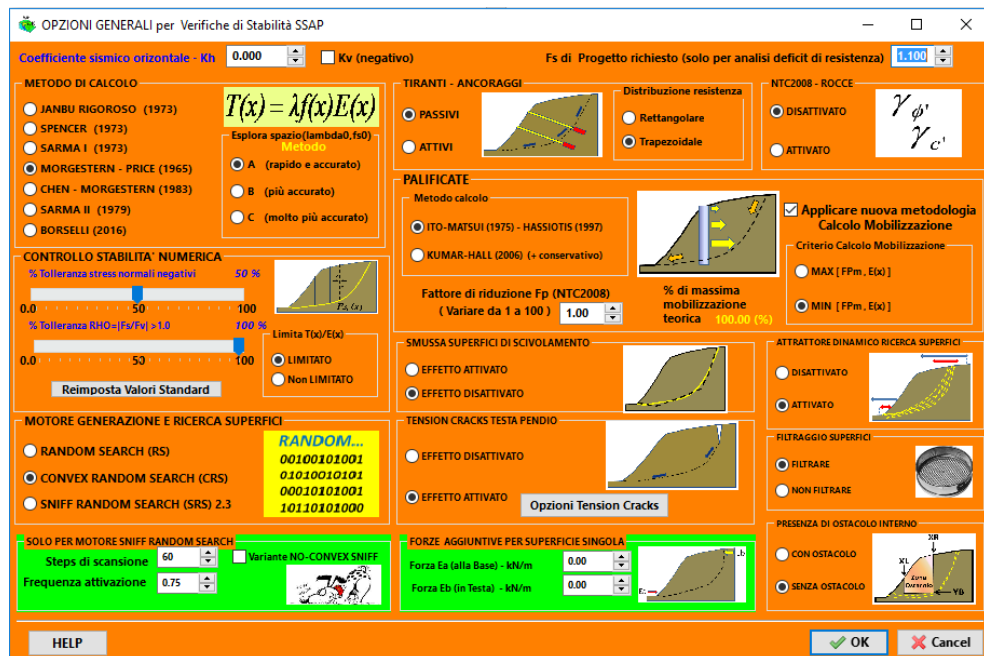


Fig. 5.14

### Coefficiente sismico

Indicare il COEFFICIENTE SISMICO o Coefficiente Moltiplicatore delle azioni sismiche. La verifica in condizioni sismiche può essere condotta con il metodo PSEUDOSTATICO utilizzando un coefficiente compreso tra 0.0 e 0.45 per le condizioni più gravose. Scegliendo 0.0 la analisi viene condotta in assenza di sisma (fig. 5.15). E' possibile attivare la verifica anche utilizzando un Coefficiente sismico Verticale (Kv) di segno negativo che, in molti casi, produce condizioni di stabilità leggermente più sfavorevoli. E' opportuno e auspicabile effettuare verifiche considerando entrambe le opzioni (vedi appendice NTC2008 di questo manuale) ovvero fare una verifica con Kv sia di segno positivo che di segno negativo selezionando ai fini di progetto quella che fornisce i valori di Fs più bassi.



fig. 5.15

### Fs di Progetto

Coefficiente di sicurezza da utilizzare per la procedura di analisi del deficit di resistenza. Il fattore convenzionale è posto uguale a 1.1, tuttavia l'utente può variarlo in funzione delle proprie esigenze di progetto. (fig. 5.16)

**Fs di Progetto richiesto (analisi deficit) 1.100****Fig. 5.16****Metodo di calcolo**

Scegliere uno dei 6 metodi di calcolo rigorosi già illustrati nel capitolo 2:

- *Janbu rigoroso(1973);*
- *Spencer (1973)*
- *Sarma I (1973);*
- *Morgenstern & Price (1965);*
- *Chen-Morgestern(1983))*
- *Sarma II (1979)*
- *Borselli (2016)*

Si tenga presente che il metodo **Morgenstern & Price** è utilizzato di default (fig. 5.17a). Per la opzione relativa ai metodi A,B,C (fig. 5.17b)**della esplorazione spazio (lambda0, Fs0)** si veda la sezione dedicata nel capitolo 2 di questo manuale.

**METODO DI CALCOLO**

☐ JANBU RIGOROSO (1973)  
☐ SPENCER (1973)  
☐ SARMA I (1973)  
☒ MORGESTERN - PRICE (1965)  
☐ CHEN - MORGESTERN (1983)  
☐ SARMA II (1979)  
☐ BORSELLI (2016)

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

**Esplora spazio(lambda0,fs0)**

**Metodo**

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

**Fig. 5.17a**

**Esplora spazio(lambda0,fs0)**

**Metodo**

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

**Fig. 5.17b****Controllo Stabilità Numerica**

Due barre di scorrimento (fig. 5.18) permettono di personalizzare i parametri di controllo e tolleranza nei confronti di anomalie che nei metodi LEM porterebbero a rigettare le superfici di scivolamento e quindi a non considerare il risultato di FS ottenuto: **1) presenza di stress normali negativi locali lungo la superficie di scivolamento assunta; 2) la presenza di un fattore RHO locale >FS**. Per gli aspetti teorici e, computazionali e di convergenza numerica si veda la apposita sezione in fondo al capitolo 2 di questo manuale.

La opzione Limita T(x)/E(x) (fig. 5.18) consente di attivare il filtraggio di una serie di possibili anomalie numeriche che si possono verificare in una o più delle seguenti condizioni:

- 1) Presenza di azioni di forze stabilizzanti eccessive indotte da opere come

tiranti e palificate (eccesso di azione stabilizzante)

- 2) Terreni fortemente coesivi nella porzione iniziale di base della superficie di scivolamento.

La condizione standard è che la filtro sia attivato e che il rapporto  $T(x)/E(x)$  sia limitato. La rimozione della limitazione in alcuni casi può avere un effetto sulla percentuale di convergenza numerica (aumentandola). Tuttavia è necessario, e consigliabile, sempre verificare il risultato finale in termini di distribuzione delle forze  $T(x)$  e  $E(x)$ , specialmente in caso di presenza strutture stabilizzanti.

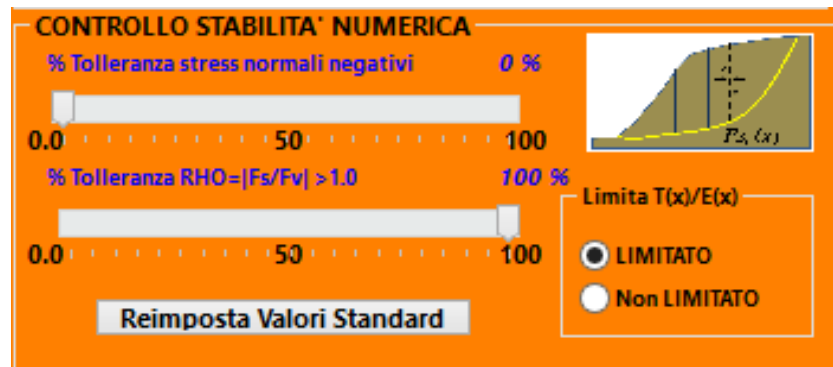


Fig. 5.18

#### Tiranti

In presenza di tiranti o ancoraggi la verifica di stabilità può essere condotta considerando un sistema di tiranti che si comportano in modo passivo (cioè non resistono per la tensione indotta ma per la resistenza massima offerta al movimento) o viceversa attivo. La scelta standard è quella passiva.

Nella versione 4.0.8 è stata introdotta la possibilità di utilizzare una distribuzione di resistenza di tipo trapezoidale (non lineare e di tipo simile a quella per altre strutture di sostegno come le geogriglie) (fig. 5.19). **La condizione standard è una distribuzione rettangolare trapezoidale.** Si consiglia di consultare il manuale per maggiori informazioni sulle analisi con tiranti o ancoraggi. Si ignori questa opzione se nessun tirante è presente (vedasi capitolo 2 per i dettagli teorici).

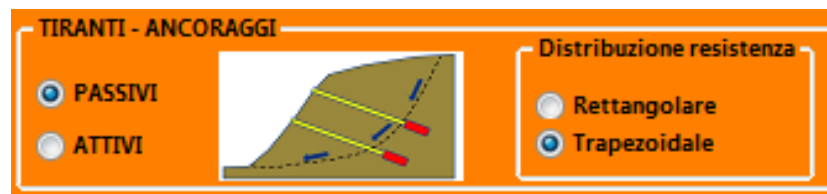


Fig. 5.19

#### Palificate- Metodo di calcolo

In presenza di palificate la verifica di stabilità può essere condotta considerando un modello di valutazione degli effetti della palificata nei confronti del fattore di sicurezza  $F_s$  del pendio. Per default è utilizzato il modello ITO-MATSUI –HASSIOTIS. Il modello KUMAR-HALL è simile ma da valori più cautelativi. (Vedasi capitolo 2 per i dettagli teorici). (fig. 5.20)



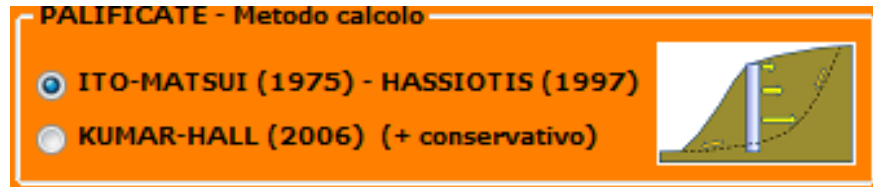


Fig. 5.20

**Palificate fattore riduttivo di  $F_p$  (NTC 2008)**

Secondo le norme NTC 2008 questo fattore riduttivo delle azioni stabilizzanti deve essere  $>1.0$  e portato fino al 1.5. Nel nostro caso è comunque possibile elevare questo fattore riduttivo fino a 100. Ciò risulta molto utile nel caso di sovradimensionamento di palificate (vedasi sezione palificate del cap.2). In casi di sovradimensionamento viene calcolato una contropinta teorica eccessiva diretta verso monte producendo un eccesso di spinta che contrasta lo scivolamento. **In questi casi una spinta di reazione spinta teorica sarebbe così eccessiva da poter provocare un ipotetico ma improbabile spostamento verso monte della massa.** Questa condizione causa a volte problemi di convergenza nei calcoli. L'utente può provare, nel caso di eccessivo rallentamento nei calcoli, in presenza di palificate, ad elevare tale fattore fino a 3, 5 o 10. Se utilizzando un fattore di riduzione elevato si verifica una accelerazione delle prestazioni e si ha un valore di  $F_s$  comunque elevato, ciò è indice di un probabile sovradimensionamento dell'opera e quindi è consigliabile cambiare i parametri di progetto o almeno mantenere un parametro di riduzione elevato. (Vedasi capitolo 2.4.5 per i dettagli teorici) (fig. 5.21).



fig. 5.21

**Palificate – Applicazione procedura calcolo automatico mobilitazione**

Una nuova procedura per il calcolo automatico del grado di mobilitazione massimo di  $F_p$  è implementata in SSAP a partire dalla versione 4.2.2. La attivazione è opzionale. Per maggiori dettagli si veda la sezione sulle palificate del capitolo 2 di questo manuale. In condizioni standard la opzione è sempre attivata. (figura 5.22)

**Palificate – Criterio calcolo mobilitazione**

Quando la opzione per il calcolo automatico della mobilitazione è attiva esiste la possibilità di selezionare il criterio da seguire nel calcolo del valore  $F_{pmob}^*$  finale. Dalla versione 4.5.2 sono possibili 2 opzioni mutuamente esclusive (fig. 5. 22). La Opzione standard e la  $MIN[F_{pm}, E(x)]$  che indica come verrà sempre in ogni caso utilizzato il valore minimo tra il massimo teorico della reazione precalcolata mobilitata della palificata e la spinta che proviene da monte. Con la seconda opzione  $MAX[F_{pm}, E(x)]$  verrà sempre usato il valore massimo tra i due valori. Per dettagli su queste due procedure si veda il manuale al capitolo 2. La procedura MIN e' quella sempre piu

conservativa (valori più bassi di FS). Tuttavia in alcuni casi progettuali particolari è conveniente utilizzare la metodologia MAX.



fig. 5.22

#### Generazione superfici

Il metodo di generazione **RANDOM SEARCH** utilizza l'algoritmo di SIEGEL et al. (1981). Questo metodo è utile per pendii molto inclinati o con marcate disomogeneità e permette di generare superfici localmente concave/convesse. Il metodo **CONVEX RANDOM SEARCH** utilizza l'algoritmo di Chen (1992). Con questo metodo superfici di tentativo verranno forzate forme con convessità rivolta verso il basso. Indicato per pendii più omogenei. Il metodo **SNIFF RANDOM SEARCH** è stato sviluppato dall'autore di questo programma! **Questo metodo velocizza la ricerca delle superfici con minor FS tentando di massimizzare il passaggio in strati con caratteristiche meccaniche più scadenti. E' ideale quando esistono sottili livelli di debolezza come superfici di scivolamento preesistenti o strati deboli molto sottili (anche alcuni cm).** (fig. 5.23).

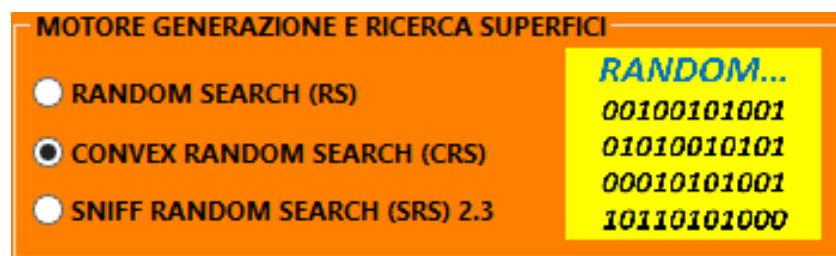


fig. 5.23

#### Solo per motore sniff Random search

Due parametri che consentono di calibrare meglio la generazione di superfici con il metodo **SNIFF RANDOM**. I parametri preimpostati sono nel 90% dei casi adeguati. Tuttavia l'utente può variarli aumentando gli steps di scansione, portandoli ad esempio a 100 e aumentando il potere di risoluzione di strati molto molto sottili, oppure riducendo o aumentando la % di attivazione dell'algoritmo **SNIFF RANDOM**. Il parametro di maggior importanza è comunque il primo ovvero il numero degli steps di scansione. Aumentando questo parametro la velocità nella generazione delle superfici di scivolamento si ridurrà ma aumenta la capacità di entrare negli strati molto sottili (anche pochi cm). Questi parametri non sono utilizzati nel caso di motori di ricerca

quali RANDOM SEARCH e CONVEX RANDOM SEARCH. (fig. 5.24)

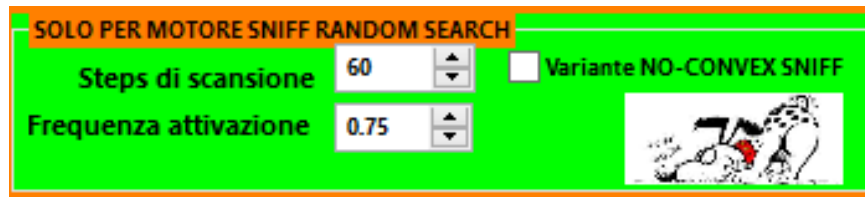


fig. 5.24

Tra le opzioni esiste anche la attivazione della VARIANTE NO-CONVEX SNIFF. Se questa opzione e' attivata si potenzia la ricerca del motore SNIFF RANDOM SEARCH in casi di estrema complessità stratigrafica: ad esempio quando si hanno stati estremamente sottili e irregolari.

#### Smussa Superfici di Scivolamento

La generazione di superfici random costituite da segmenti rettilinei ha in se un difetto intrinseco, ovvero la possibilità di avere superficie dove il cambio di pendenza nel passaggio tra un segmento e un altro sia eccessivamente brusco e quindi irrealistico. Anche se questo tipo di superfici non sono scartabili a priori sono comunque poco probabili. Per questo motivo applicando la opzione di smussatura (per default non è attivata) è possibile smussare completamente a posteriori qualunque superficie generata con uno qualunque dei motori di generazione random utilizzato. Gli effetti di questa variante sono talvolta notevoli. A esempio talvolta la velocità e la % di convergenza aumentano considerevolmente. (fig. 5.25)



fig. 5.25

#### Tension Cracks testa pendio

In suoli con  $C' > 0$  o  $C_u > 0$  è tipico lo sviluppo di forze di trazione fino a una certa profondità critica  $Z_0$ . La presenza di coesione favorisce lo sviluppo di questi fenomeni tensionali che hanno come loro evidenza di campo lo sviluppo di fessure di trazione (**tension cracks**) in testa al pendio, che possono essere in alcuni casi profondi diversi metri. In alcuni casi di frane lo sviluppo di una superficie di scivolamento è in testa al pendio intersecato da tratti verticali che manifestano generalmente la precedente presenza di tensioni di trazione che avevano fessurato il pendio. Con questa versione di SSAP è possibile generare superfici di scivolamento con inglobato un tratto verticale la cui profondità è funzione della  $Z_0$  locale. **Questa opzione è per default attivata!** La attivazione di questa opzione velocizza la ricerca di superficie di scivolamento critiche nel caso di pendii con strati coesivi. Inoltre permette di ridurre lo sviluppo di valori negativi nella distribuzione delle forze interconco orizzontali  $E(x)$ . Nel caso di pendii privi di coesione la attivazione di questa opzione non avrà alcun effetto. (fig. 5.26a,b)



fig. 5.26a

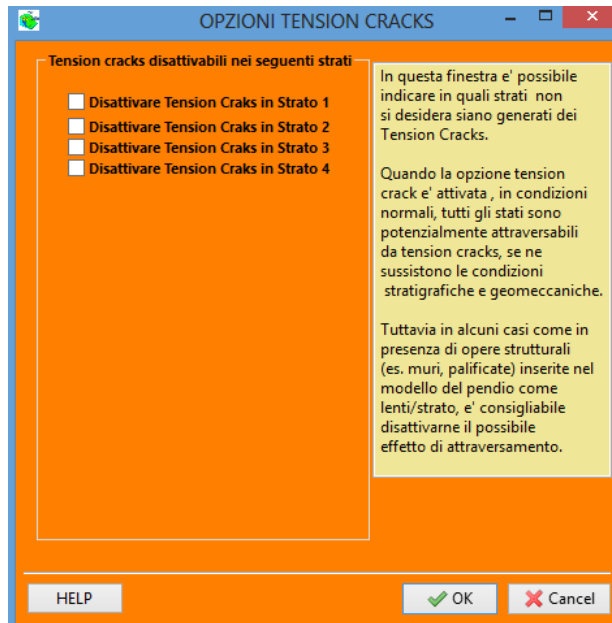


fig. 5.26b

#### Attrattore dinamico Ricerca Superfici

Nella versione 2.8.4 è stata introdotta questa importante variante che può essere applicata a uno qualunque dei tre motori di ricerca anzi descritti. Quando l'opzione del **Attrattore dinamico ricerca superfici** è attivata, la zona di ricerca iniziale impostata dall'utente o fornita in automatico del programma viene progressivamente ridotta in funzione delle superfici con minor  $F_s$  che via via vengono trovate.

L'analisi delle superficie porta a delimitare progressivamente una zona critica. L'attivazione di questa opzione permette di concentrare progressivamente tutte le risorse di calcolo dell'analisi in corso in questa zona. Si consiglia di effettuare sempre una analisi anche con questa opzione attivata. Si ricorda che nelle condizioni standard questa opzione è attivata, ma può essere disattivata attivata a scelta dell'utente nella finestra Opzioni. (fig. 5.27)



fig. 5.27

#### Analisi in presenza di ostacolo

Scegliere se effettuare analisi con presenza di **OSTACOLO entro il pendio**. Nel caso di MURI DI SOSTEGNO, PALANCOLATE, PALIFICATE ecc. entro il pendio potrebbe essere utile la definizione di una zona dove non fare passare le superfici di scivolamento (esempio non attraversare un muro di sostegno). Nel

caso si scelga di attivare questa opzione-, verranno successivamente richiesti i parametri che definiscono la zona OSTACOLO, ovvero di non attraversamento, quando si premerà il bottone [Parametri].(fig. 5.28)

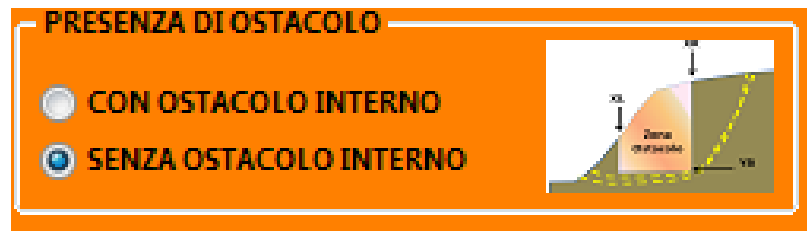


fig. 5.28

#### Filtraggio superfici

Scegliere se effettuare un **filtraggio con eliminazione delle superfici** generate con successo che hanno particolari caratteristiche. Ad esempio **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  $1\text{m}^3$ ). 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.

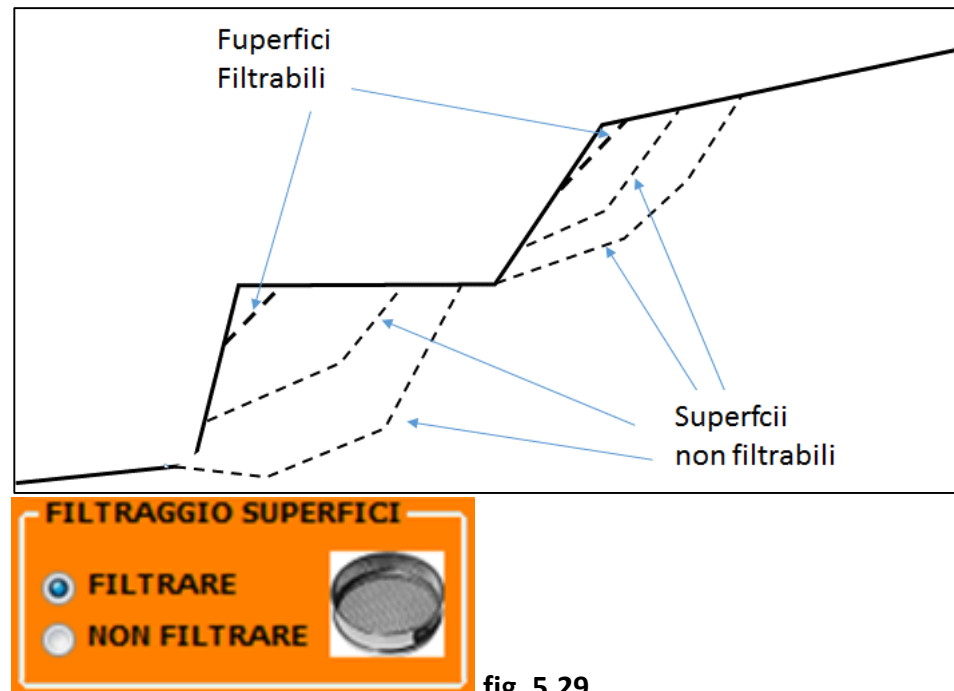


fig. 5.29

#### Forze aggiuntive per superficie singola

$E_b$  = Forza destabilizzante orizzontale applicata alla testa del pendio (in kN) che rappresenta generalmente le forze orizzontali esercitate da tension crack riempito di acqua. Si noti che queste forze vengono considerate solo nella analisi di superficie singole.

$E_a$  = Forza Stabilizzante orizzontale applicata alla base del pendio (in kN) che rappresenta la reazione esercitata da strutture di sostegno quali muri o palificate. Si noti che queste forze vengono considerate solo nella analisi di superficie singole (fig. 5.30).



fig. 5.30

#### NTC2008 ROCCE

Indicare se si desidera attivare la riduzione del 25% (coefficiente gamma=1.25 previsto per i parametri di resistenza al taglio in roccia. Nel caso di ammassi rocciosi dove i valori di  $c'$  e  $\phi'$  equivalenti sono **calcolati punto-punto**, la attivazione della procedura permetterà una riduzione automatica di questi valori, secondo le norme NTC2008 e tale informazione verrà riportata nel report delle elaborazioni finali.

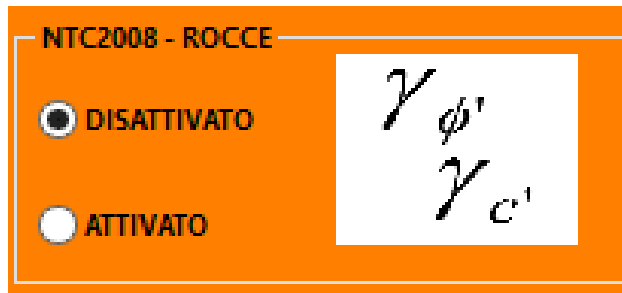


Fig. 5.31

#### Parametri

Viene attivata una finestra di input (fig. 5.32) ove l'utente deve indicare i **PARAMETRI** per la generazione del campione di superfici di scivolamento di tentativo. I parametri indicati DEVONO essere compatibili con il **MODELLO** del pendio che è stato precedentemente assunto, altrimenti si avranno risultati assolutamente privi di senso. Controllare quindi prima il modello acquisito richiamando dalla console **Vedi Modello**.

Fig. 5.32

#### Lunghezza dei segmenti da utilizzare

Indicare la lunghezza **MEDIA** dei segmenti (fig. 5.33) con i quali verranno generate le superfici random (fig. 1). La lunghezza assunta deve essere compatibile con il modello del pendio che è stato assunto. Si ricordi che utilizzare lunghezze eccessive o eccessivamente piccole comporta un rallentamento delle elaborazioni o il totale blocco. Purtroppo è impossibile fornire un valore a priori. Tuttavia si può consigliare di usare come primo tentativo un valore compreso tra 1/10 e 1/40 della lunghezza complessiva del pendio. Tale valore potrà essere modificato in seguito in successive verifiche. 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  $\pm 50\%$ . 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.

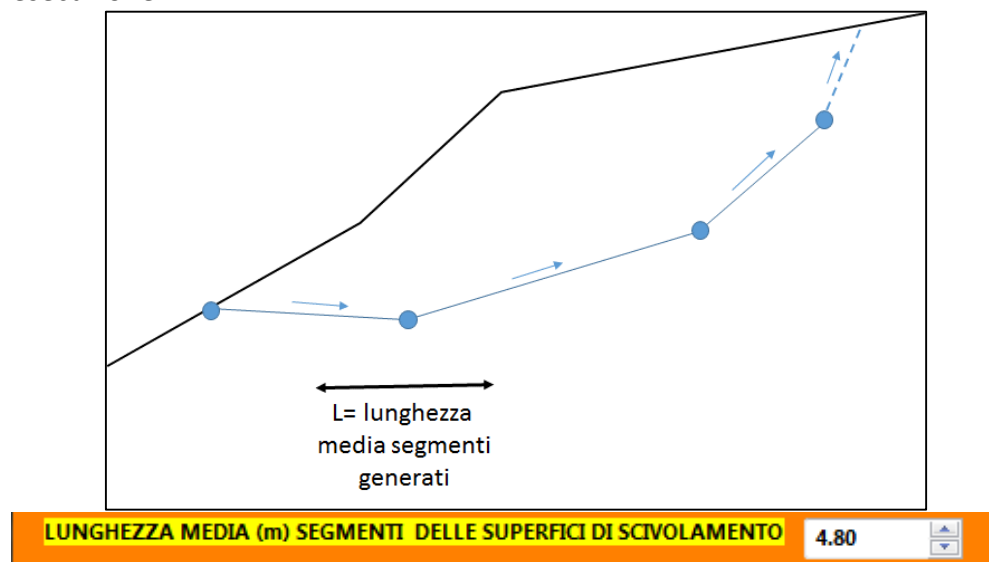


Fig. 5.33

**Ascissa X1 zona di inizio**

Indicare il valore in coordinate X dell'estremo sinistro della zona, che coincide con la superficie Topografica, dove inizierà, in modo random, la generazione delle superfici di scorrimento di tentativo. (fig. 5.34)

**Ascissa X2 zona di inizio**

Indicare il valore in coordinate X dell'estremo destro della zona, che coincide con la superficie Topografica, dove inizierà, in modo random, la generazione delle superfici di scorrimento di tentativo. (fig. 5.34)

**Ordinata zona proibita inferiore**

Indicare il valore in coordinate Y del livello minimo considerato per la generazione delle superfici di scorrimento. Se la superficie durante la generazione intersecherà tale livello la generazione stessa verrà abortita e inizierà un'altra generazione di superficie. (fig. 5.34). **Questo parametro e' estremamente importante perchè di fatto limita la profondità esplorata dalle superfici di scorrimento.** Questo valore può essere cambiato, e posto a quote maggiori.

**Ascissa limite Sinistro (X1) di terminazione**

Indicare il valore in coordinate X dell'estremo sinistro della zona, che coincide con la superficie Topografica, dove deve terminare la generazione delle superfici di scorrimento di tentativo. Nel caso la generazione termini fuori da tale intervallo non si procederà con il calcolo di Fs. (fig. 5.34)

**Ascissa limite Destro (X2) di terminazione**

Indicare il valore in coordinate X dell'estremo destro della zona, che coincide con la superficie Topografica, dove deve terminare la generazione delle superfici di scorrimento di tentativo. **Nel caso la generazione termini fuori da tale intervallo non si procederà con il calcolo di Fs.** (fig. 5.34)

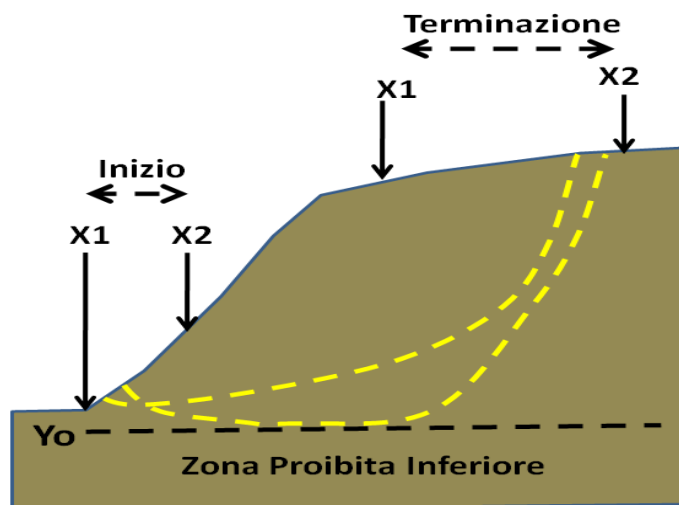


fig. 5.34

**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. (fig. 5.35)



Fig. 5.35

**XL (solo per analisi in presenza di ostacolo)**

Ascissa che delimita la zona OSTACOLO a SINISTRA. Potrebbe essere ad esempio la posizione del limite sinistro di una opera di sostegno sul pendio. es. un MURO o una PALIFICATA (fig. 5.36).

**ATTENZIONE !**

**Il limite sinistro della zona di inizio per la generazione delle superfici di scivolamento deve essere esterna alla ZONA OSTACOLO definita da XL.**

**XR (solo per analisi in presenza di ostacolo)**

Ascissa che delimita la zona OSTACOLO a DESTRA. Potrebbe essere ad esempio la posizione del limite destro di una opera di sostegno sul pendio. es. un MURO o una PALIFICATA. (fig. 5.36)

**ATTENZIONE !**

**Il limite destro della zona di terminazione per la generazione delle superfici di scivolamento deve essere esterna alla ZONA OSTACOLO definita da XR**

**YB (solo per analisi in presenza di ostacolo)**

Ordinata del limite inferiore che delimita la ZONA OSTACOLO. Potrebbe essere ad esempio il livello del basamento di una opera di sostegno sul pendio. es. un MURO o una PALIFICATA. (fig. 5.36)

**ATTENZIONE !**

**Il valore indicato deve essere maggiore (più elevato) del livello della ZONA PROIBITA INFERIORE per la generazione delle superfici di scivolamento. Altrimenti nessuna superficie verrà generata con successo.**

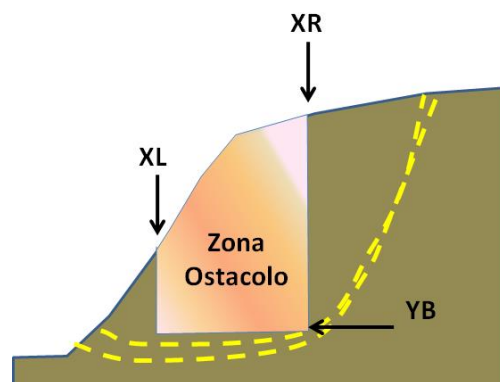


Fig. 5.36

### Gestione Acquiferi e Fluidi

Questo modulo permette una serie di gestioni avanzate degli acquiferi e delle proprietà dei fluidi (fig. 5.37), vedasi a questo proposito l'appendice E di questo manuale per i dettagli tecnici.



Fig.5.37

#### Peso unitario fluido

Densità o peso unitario del fluido che si vuole usare. per default il valore è quello dell'acqua, ovvero  $9.81 \text{ kN/m}^3$ . E' possibile utilizzare un valore diverso per casi particolari, come acquiferi o fluidi in pressione. In questo caso il valore può salire fino a 25.0! (fig. 5.38)

#### Coefficiente A

Coefficiente per funzione di dissipazione della pressione de pori. Valore  $A=0$  per non avere nessuna dissipazione. Valore di default.

Valore  $A=-1$  per avere dissipazione al diminuire della distanza dalla superficie.

Valore  $A=+1$  per avere sovrappressione al diminuire della distanza dalla superficie. (fig. 5.38)

#### Coefficiente K

Costante funzione di dissipazione. K deve assumere valori compresi tra 0.000001 e 0.1 (attenzione k non è il coeff. di permeabilità di Darcy !!). (fig. 5.38)

#### Pressione dei pori minima

Valore minimo della pressione dei pori. Usato nella funzione di dissipazione. sono consigliati valori tra 1 e 100 kPa. il valore di default è  $U_o=0.1 \text{ kPa}$ . (fig. 5.38)

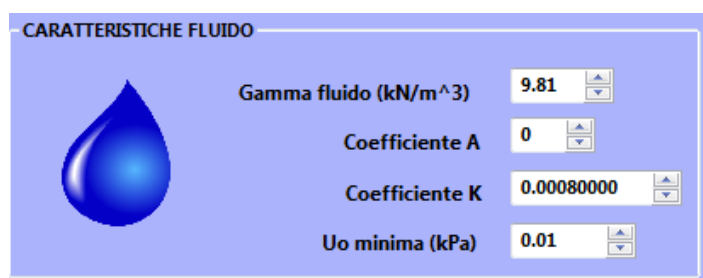


fig. 5.38

#### Selezione acquiferi da disattivare

Alcuni degli strati che compongono il pendio possono forzatamente essere esclusi dal computo della pressione dei pori. Negli strati selezionati la pressione dei pori

sarà sempre nulla, in modo analogo a un perfetto acquicludo asciutto. (fig. 5.39)

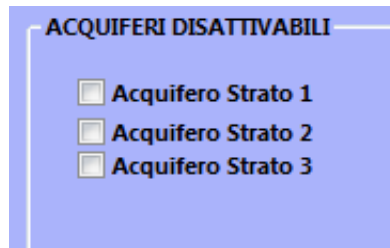


fig. 5.39

#### Escludi sovraccarico pendio sommerso

Con questa opzione si esclude la pressione dell'acqua che agisce dall'esterno su un pendio sommerso. Utile per verifiche di stabilità argini e corpo dighe in terra!. (fig.5.40)

#### Escludi zona sovraccarico fino a progressiva X(m)

L'esclusione del sovraccarico fornito dal pendio sommerso è attivata fino alla progressiva (coordinata X espressa in m) indicata. Utile per verifiche di stabilità argini e corpo dighe in terra!. (fig.5.40)

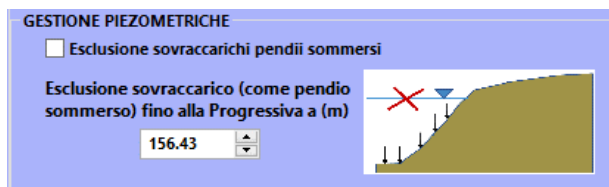


Fig. 5.40

#### Opzioni aggiuntive

Nella finestra di dialogo in figura 4.41 sono indicate le varie opzioni per attivare le seguenti nuove funzionalità: La registrazione delle superfici e la produzione delle mappe di Fs medio locale. Vediamo in dettaglio. (fig. 5.41)

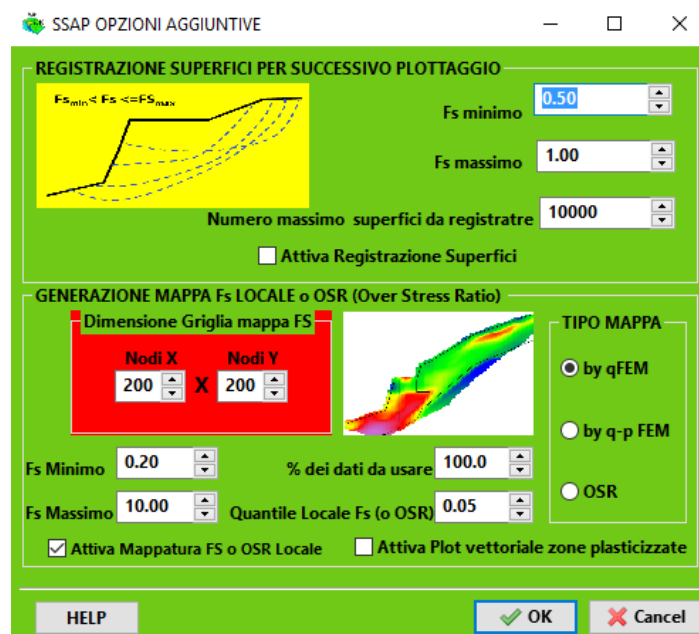


Fig. 5.41

## Registrazione superfici

**Procedura di Registrazione delle superfici durante una verifica Globale.** Questa procedura consente di salvare in un file temporaneo le informazioni delle superfici generate e calcolate con successo. I dati delle superfici calcolate, con un valore di  $F_s$  finale, entro un intervallo predefinito dall'utente, verranno archiviati. È possibile successivamente visualizzare con un click e generare un grafico DXF tutte le superfici con  $F_s$  entro un intervallo predefinito dall'utente. (fig. 5.42)



Fig. 5.42

### Fs minimo

Indicare il valore di  $f_s$  minimo delle superfici da visualizzare (fig. 5.42).

### Fs massimo

Indicare il valore di  $f_s$  massimo delle superfici da visualizzare (fig. 5.42).

### Numero massimo di superfici da registrare

Indicare il numero massimo di superfici da registrare durante la verifica globale. Tutte le superficie con  $F_s$  compreso entro i limiti indicati verranno salvate in un file temporaneo che verrà utilizzato successivamente per riprodurre graficamente le superfici (fig. 5.42).

### Attiva registrazione superfici.

Per visualizzare gruppi di superficie caratterizzate da un  $F_s$  entro uno specifico intervallo indicato è necessario attivare la procedura spuntando la opzione relativa (fig. 5.42). In questo modo durante le verifiche globali successive verrà generato un file temporaneo che verrà utilizzato successivamente per riprodurre graficamente le superfici.

## Generazione Mappa $F_s$ locale e OSR (Over Stress Ratio)

**Generazione mappe a colori di  $F_s$  locale.** Nuova procedura originale (fig. 5.43) che permette la visualizzazione della distribuzione del  $F_s$  medio locale entro la massa del pendio. Questo nuovo tipo di mappe è ottenuto mediante una analisi ibrida e intermedia tra LEM (limit equilibrium method) e FEM (Finite element method). Le mappe sono generate e visualizzate come file PDF (fig. 5.45).

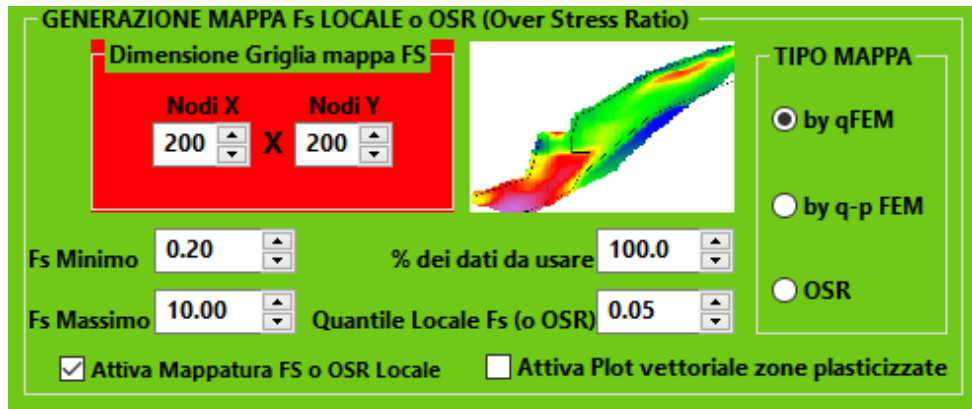


Fig. 5.43

**Dimensione Griglia mappa Fs**

Con questi parametri si definiscono le dimensioni base della griglia della mappa per la ricostruzione 2D a colori. La griglia può essere perfettamente quadrata (es. 100X100) o rettangolare (es. 100x60) dipendendo dal numero di nodi. Il risultato finale però viene riprodotto con una re-interpolazione della griglia originale (fig.5.45). Il numero massimo di nodi per la griglia è 400, mentre il numero minimo è 50. Valori compresi tra 200 e 300 sono usualmente sufficienti. (fig. 5.43).

**Fs minimo**

Indicare il valore di fs minimo per la palette di colori della mappa finale. Valori eventuali di Fs minori del valore minimo indicato saranno associati a quest'ultimo. (fig. 5.43).

**Fs massimo**

Indicare il valore di fs massimo per la palette di colori della mappa finale. Valori eventuali di Fs maggiori del valore massimo indicato saranno associati a quest'ultimo. (fig. 5.43).

**% di dati da usare**

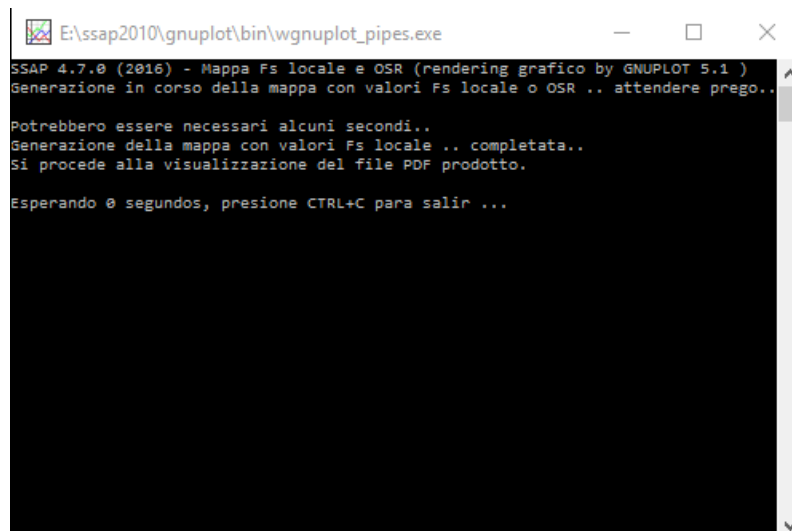
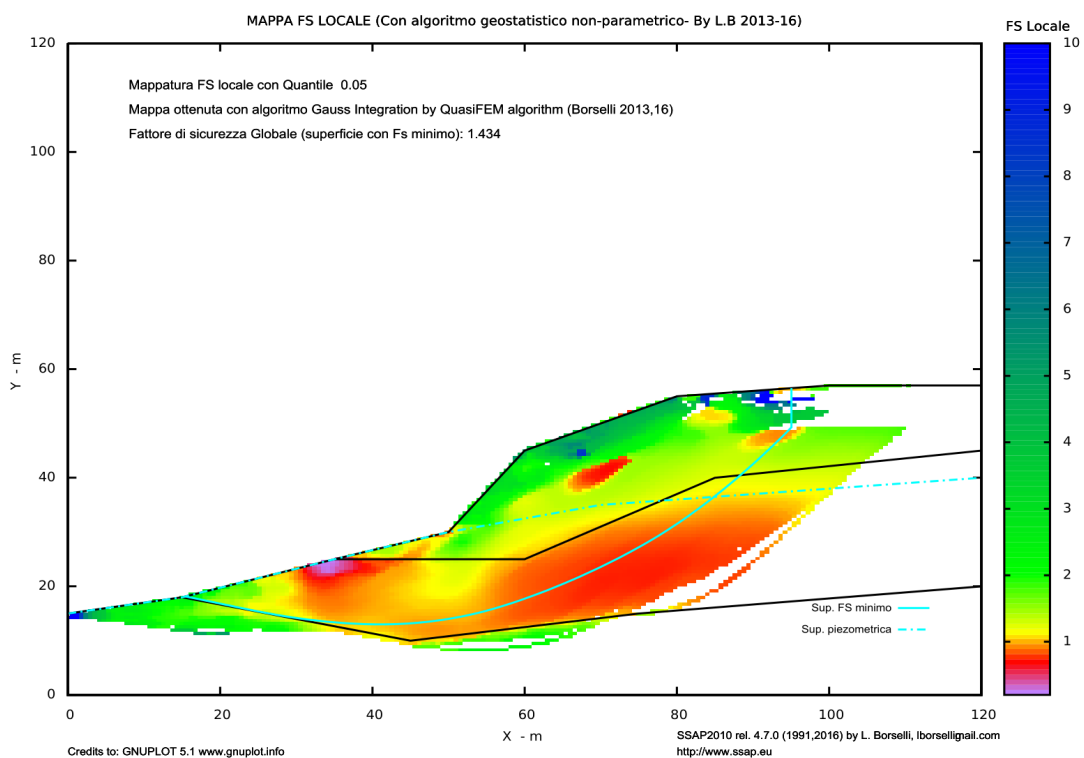
Indicare la % dei dati puntuali ottenuti durante le verifiche di stabilità globale al fine di produrre la mappa d Fs locale. Indicando un valore inferiore al 100% questi dati verranno sub campionati in modo casuale generando un campione ridotto e un tempo di elaborazione inferiore (naturalmente un risultato meno accurato). (fig. 5.43).

**Quantile locale Fs**

Indicare il valore del quantile da utilizzare per la rappresentazione della mappa a colori del valore di FS locale (fig. 5.42). Il valore del quantile, indicato nell'intervallo 0.01 – 0.99 , permette di selezionare il valore corrispondente della distribuzione di FS che corrisponde a la probabilità di avere localmente un valore inferiore a quello rappresentato nella mappa finale (figura 5.44) . Ovvero se selezioniamo un quantile di 0.05, la mappa a colori indicherà la distribuzione dei valori di FS locali con un probabilità' del 5% di avere negli stessi punti valori inferiori a quello rappresentato nella mappa. Nel caso si produzione di Mappe OSR (Over Stress Ratio) il valore del quantile immesso verrà ignorato dato che la mappa OSR per essere generato ha bisogno di un valore di quantile preimpostato e non modificabile.

**Attiva mappatura Fs locale.**

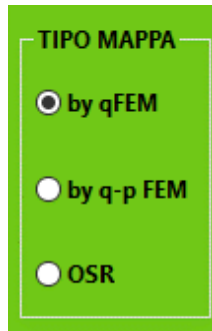
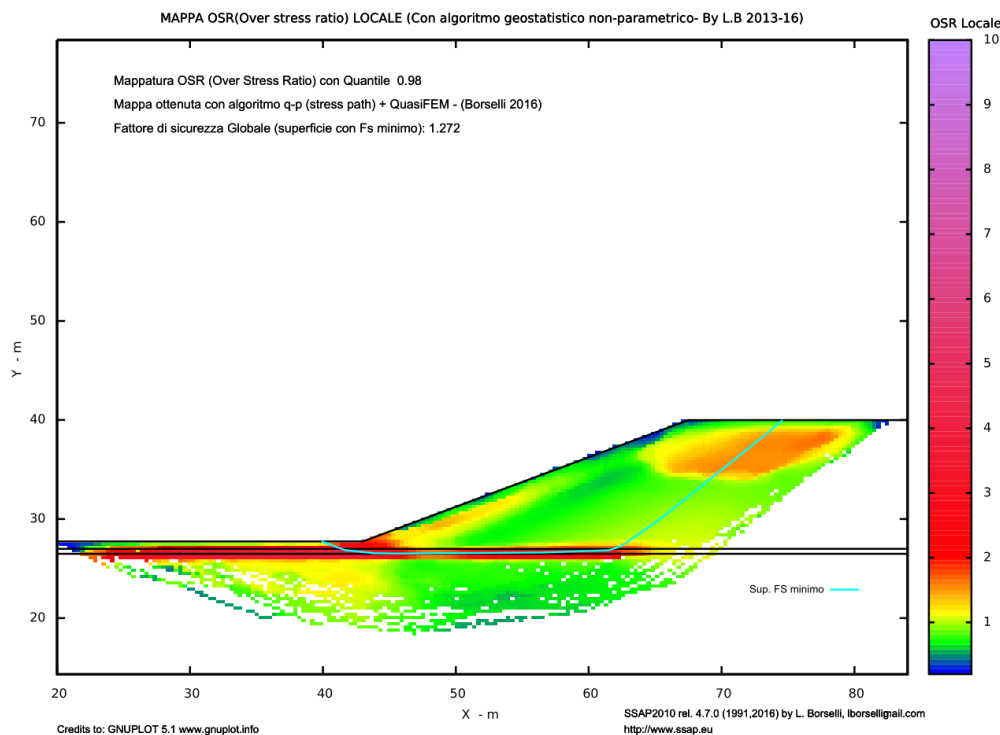
Per realizzare la mappa di Fs locale è necessario attivare la procedura spuntando la opzione relativa (fig. 5.43). In questo modo durante le verifiche globali successive verrà generato un file temporaneo con tutte le informazioni utili alla analisi successiva e produzione della mappa finale (generata premendo il pulsante nel riquadro risultati della finestra principale del programma). La procedura di generazione è monitorata mediante una console del software GNUPLOT 5.1 (fig. 5.44). Dopo che è apparsa la console in figura 5.44 è sufficiente premere un tasto qualsiasi per far apparire la mappa a colori desiderata del valore locale di FS in figura 5.45, come file PDF che verrà visualizzato dal programma SUMATRAPDF.

**Fig. 5.44****Fig. 5.45**

**Tipo Mappa.**

In SSAP è ora possibile produrre alla fine di una verifica tre tipi di mappe a colori (figura 5.46) come illustrato nel capitolo 2 di questo manuale:

- 1) Mappa del fattore di sicurezza locale secondo l'**algoritmo qFEM** (questa è la opzione standard) come fig.5.45
- 2) Mappe **algoritmo p-qFEM** ( stress path e quasi FEM ) questa e' una possibilità alternativa per le mappe di Fs locale
- 3) Mappa del **OSR (Over Stress Ratio)** (vedi fig. 5.47)

**Fig. 5.46****Fig. 5.47****Attiva Plot Vettoriale Zone Plasticizzate.**

Attivando questa opzione (fig. 5.47) nelle mappe del Fattore di sicurezza locale prodotte verranno aggregate ancora informazioni infatti in tutte le zone con fattore  $FS < 1.0$ , e quindi con probabilità di produrre fenomeni di plasticizzazione e rottura locale vengono aggiunte dei vettori che rappresentano la direzione di possibile scorrimento post plasticizzazione (fig.5.48)

☐ Attiva Plot vettoriale zone plasticizzate

Fig. 5.47

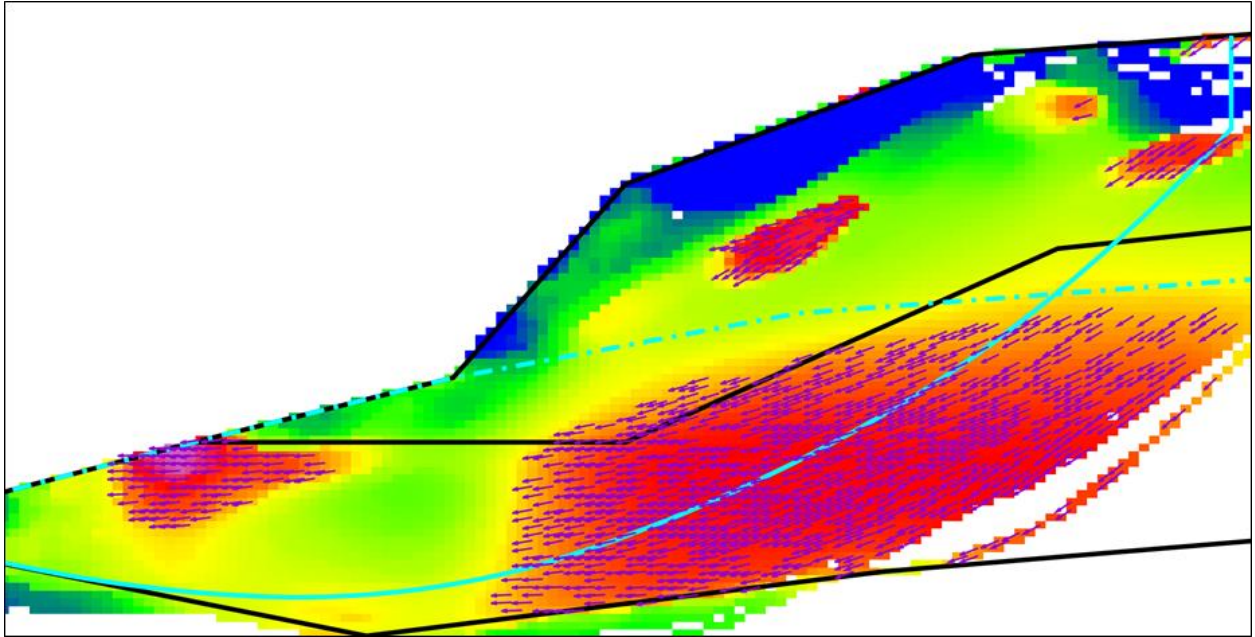


Fig. 5.48

### Salva Impostazioni

Premendo il bottone (SALVA IMPOSTAZIONI) è possibile salvare dopo una verifica di stabilità tutte le impostazioni della verifica stessa e alcune informazioni del file del modello del pendio (.MOD) associato alla verifica eseguita. (figura 5.49)

Queste informazioni sono salvate in un file con estensione .PAR. Il file .PAR può essere usato per tenere un registro delle impostazioni usate, ma soprattutto ha la sua prima utilità nella possibilità di eseguire in un'unica operazione il caricamento di un modello del pendio (.MOD) e tutte le impostazioni usate durante una precedente verifica. In questo caso una finestra di dialogo chiederà il nome del file da salvare, permettendo di salvarlo in un percorso diverso rispetto al file .MOD associato e attivo in quel momento.

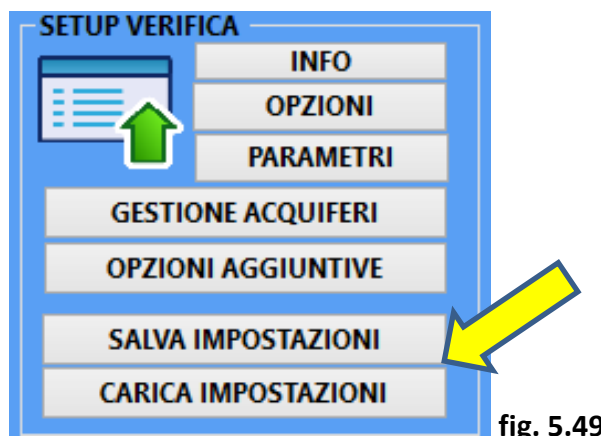


fig. 5.49



### **Carica Impostazioni**

Premendo il bottone CARICA IMPOSTAZIONI, realizziamo la possibilità di eseguire in un'unica operazione il caricamento di un modello del pendio (.MOD) e tutte le impostazioni usate durante una precedente verifica. Questa operazione permette un considerevole risparmio di tempo quando si desidera ripetere più volte una verifica e tenere un registro delle diverse varianti utilizzate esplorando le diverse possibilità offerte dal SSAP. (fig. 5.49). Il programma aprirà una finestra di dialogo per caricare il file con estensione .PAR dove le impostazioni erano state precedentemente salvate. In questo caso la procedura prosegue caricando prima il modello del pendio (file .MOD) associato alle impostazioni salvate e poi attiverà tutte le impostazioni salvate in precedenza. Normalmente il File .PAR e il file .MOD devono essere nella stessa cartella. In generale nel file .PAR è salvato il percorso completo del file .MOD attivo al momento del salvataggio delle impostazioni. Tuttavia successivamente può capitare che i files di dati vengano spostati (es su un altro PC). Di conseguenza il programma cerca e carica il file .MOD associato nella stessa cartella del file .PAR nel caso che la cartella del percorso originale salvato non esista.

### **5.2.6 STRUMENTI**

Selezionando questa voce con il puntatore del mouse o con i tasti cursore apparirà una ulteriore selezione di voci. (Fig. 5.50)



fig. 5.50

### **Cambia Parametri Geotecnici**

Permette l'editing del file contenente i soli parametri geotecnici. Al termine della operazione di editing tutti i cambiamenti effettuati saranno considerati effettivi per la successiva verifica senza che sia necessario caricare nuovamente il file .MOD. I nuovi valori sono quindi memorizzati dal programma e pronti per le verifiche successive. Questa funzione particolarmente utile nella fase esplorativa e preliminare di una analisi di stabilità. Il programma di editing utilizzato è il programma indicato nel file SSAP2010.INI.

Per dettagli relativi alla configurazione personalizzata del programma editore si vada all'appendice G. Nella **versione portable** non è necessario una configurazione personalizzata, dato che questa è opzionale.

### Edita files

Il programma di editing utilizzato è il programma indicato nel file SSAP2010.INI. Prima di lanciare il programma interno di editing viene visualizzata una finestra in cui è possibile visualizzare tutti i files e drive presenti nel vostro sistema, nonché spostarsi in drive diversi. Selezionando il file ASCII di testo puro che si desidera modificare, il programma di editazione verrà lanciato aprendo automaticamente il file scelto che successivamente potrà essere modificato o stampato. Per dettagli relativi alla configurazione del programma editore si vada all'appendice G. Nella **versione portable** non è necessaria una configurazione personalizzata, dato che questa è opzionale.

### Genera report verifica

In questa casella di input viene indicato il nome completo del file testo su cui verrà eventualmente salvato il report delle elaborazioni effettuate. Il nome è per default il medesimo del file contenente il modello del pendio, ma avrà estensione **.TXT**. L'utente può scegliere anche un nome diverso e una diversa cartella per immagazzinare i reports, digitando il percorso completo e il nome del file che desidera (**attenzione ! non verrà effettuato alcun controllo su files già presenti su disco con lo stesso nome. Eventuali files verranno sovrascritti**). I risultati di questa analisi verranno scritti alla fine del report salvato come file di testo o stampato.

### Genera files DXF

Attiva finestra di dialogo (fig. 5.51) con le opzioni per la creazione dei file DXF con le informazioni sul modello del pendio, le superfici critiche o le superfici che corrispondono a un intervallo di FS, se la opzione di registrazione era stata preliminarmente attivata. Questa voce è attiva solo al termine di una verifica di stabilità (globale o singola).

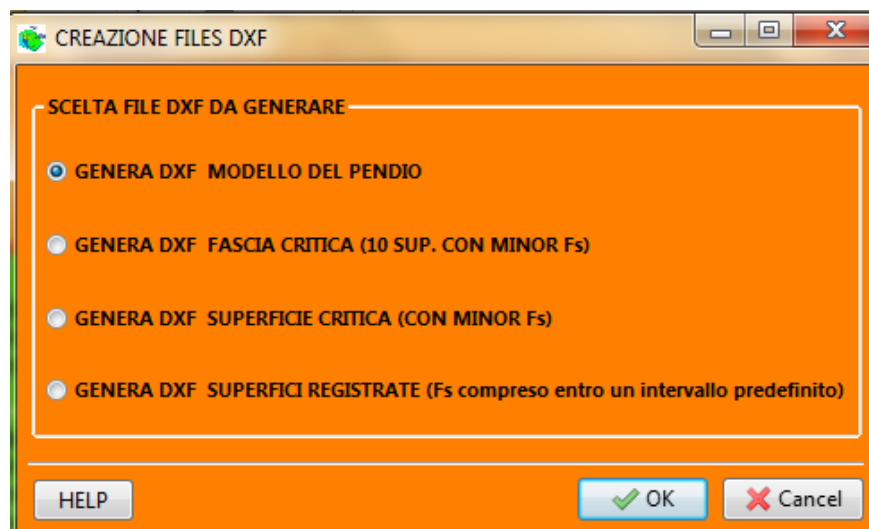


fig. 5.51

### Esporta superfici

Scrivi su file ASCII i dati relativi alla superficie singola con minor FS in assoluto determinata con la ricerca globale. La superficie viene salvata con estensione **.SIN** per default. Vedasi il manuale per le convenzioni e la struttura dei files

**.SIN.** (vedasi capitolo 3)

#### Makefiles 4.0

Lancia programma di utilità MAKEFILES.EXE (vedasi capitolo 4).

#### File SSAP2010.INI

Lancia programma di utilità INIUPDATE.EXE (vedasi appendice H.)

### 5.3 SEQUENZA TIPICA DELLE OPERAZIONI CON IL PROGRAMMA SSAP

Verrà qui fornita una sequenza tipica delle operazioni che permettono di effettuare una verifica completa di un pendio. Si assume che tutti i files dati che definiscono il modello del pendio verranno creati con le specifiche e le convenzioni indicate nel capitolo 3 di questo manuale. La sequenza delle operazioni è indicata seguendo le voci presenti nel menu principale e negli eventuali sottomenù.

#### **Fasi di lavoro con SSAP 2010:**

1. *Definizione modello del pendio (fase preliminare e la più importante).. Questa operazione viene fatta dall'utente prima di utilizzare SSAP...*
2. *Creazione files dati e assemblaggio file .MOD (con MAKEFILE.EXE)*
3. *Caricamento in memoria del file .MOD (pulsante --> **Leggi Modello**);*
4. *Visualizzazione grafica del modello del pendio inserito (Pulsante ---> **Vedi Modello**) e successivo ritorno al menù principale;*
5. *Impostazioni delle Verifica di stabilità secondo diversi scenari Es. Inserimento valori coefficiente. sismico , presenza di tension craks, modllo di calcolo (es Janbu, spencer..) etc. (Pulsante ---> **Opzioni**);*
6. *Inserimento parametri per generazione delle superfici di scivolamento ( Pulsante ---> **Parametri**) o utilizzo dei valori forniti automaticamente;*
7. *Esecuzione della verifica di stabilità con i parametri precedentemente impostati (Pulsante ---> **Verifica globale**)*
8. *Visualizzazione ed analisi dei risultati (grafici DXF e grafici forze .. Programmi esterni comandati da SSAP). Visualizzazione grafica dei risultati e stampa grafici (Pulsante ---> **Vedi Grafici**)o (Pulsante ---> **Diagrammi forze**)*
9. *Revisione modello del pendio ( se vi è necessità ) ,anche per valutare scenari diversi, e ripetere i passi da 2 a 8 se necessario*
10. *Reporting (scrittura report + file DXF pendio e superfici FS minimo, grafici forze e pressioni interne). (Pulsante ---> **Genera report verifica**)*
11. *Uscita dal programma (Pulsante ---> **Esci programma**)*

### 5.4 STRUTTURA DEL PACCHETTO SSAP

Il pacchetto SSAP non è solo costituito da cuore centrale del programma di calcolo con il codice SSAP. Ma anche da alcuni software esterni che adempiono ad alcune funzioni base (vedasi la figura 5.52). Alcuni software sono prodotti da terze parti ma disponibili pubblicamente in quanto pacchetti freeware e che **SSAP** usa per svolgere ad esempio alcune funzioni base di visualizzazione grafica (software **QCAD**, **GNUPLLOT**), o editing di dati (**AKELPAD**) o visualizzazione contestuale di Porzioni di questo manuale in formato PDF (**SUMATRAPDF**). Prodotti dall'autore sono invece i software **MAKEFILES** (strumento per la creazione dei files del modello del pendio – Vedasi capitolo 4) e Il software **INIUPDATE** (per la configurazione personalizzata del pacchetto – vedasi appendice di questo manuale).

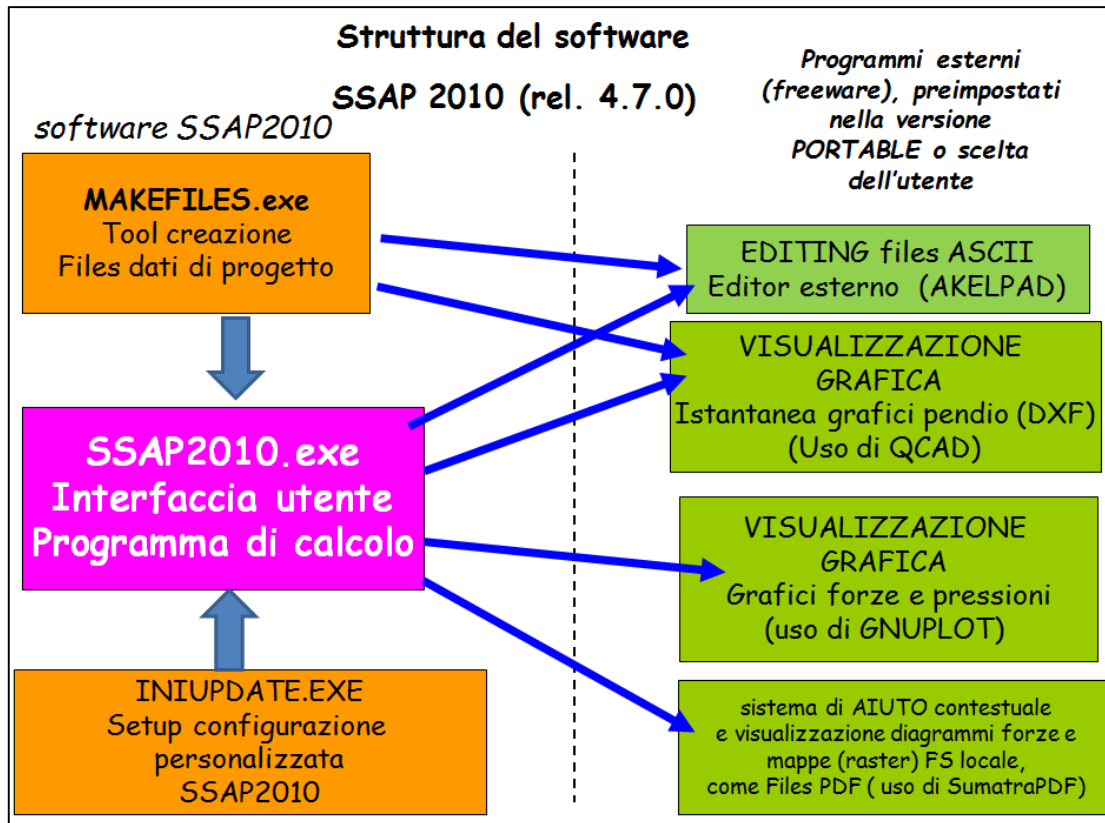


FIG. 5.52

## CAPITOLO 6 - ESEMPI DI APPLICAZIONE

### 6.1 INTRODUZIONE

Per facilitare gli utenti nel prendere confidenza con le funzionalità ed i metodi operativi del programma, sono stati creati alcuni gruppi di files dati relativi a pendii dalle diverse caratteristiche. Uno stesso pendio è mostrato con le diverse caratteristiche di stratigrafie, falda, ostacoli, sovraccarichi, muri di sostegno ecc. Attraverso questi esempi l'utente potrà verificare tutte le diverse funzionalità del codice SSAP, studiare la struttura dei file dati relativi al modello del pendio (costruiti secondo le convenzioni esposte nel capitolo 3). Nella cartella **\PENDII** dove è stato installato il programma SSAP è disponibile una lista di pendii di esempio organizzati in varie sotto-cartelle.

Un esempio completo addizionale a quelli presenti in questo capitolo è presentato nella appendice G di questo manuale. Si tratta di un esempio che viene presentato insieme al report completo della verifica di stabilità in modo testo e grafico.

### 6.2 ESEMPI

**N.B.: I grafici riportati negli esempi su questo manuale sono immagini provenienti dai files DXF originali prodotti dal programma ed esportati come file .TIF ad alta risoluzione (con sfondo bianco) mediante la procedura di esportazione come immagini (TIF,BMP...) nel programma QCAD.**

#### 6.2.1 Esempio 1

File **ES6.MOD** nella cartella: **\Pendii\Esempi**

Pendio naturale con tiranti e sovraccarichi distribuiti (ZOOMMARE le successive figure per vedere i particolari). Questo pendio è a livello globale da considerarsi stabile e con un un fattore di sicurezza in condizioni statiche di 1.434-1.438 (fig. 6.1 e 6.2) tuttavia una analisi più approfondita basta sulle studio delle mappe a colori del  $F_s$  locale (figure 6.3, 6.4, 6.5) e del Over Stress Ratio (Farias & Naylor, 1998) (figura 6.6) rivela che esistono internamente una serie di zone con condizioni localmente critiche e di probabile plasticizzazione. Ciò è dovuto alle condizioni di stress prossime o superiori allo stato critico e che potrebbero dare luogo a fenomeni di rottura progressiva. Le mappe OSR come la mappa in figura 6.6 danno una visione distribuita delle condizione medie delle condizioni di stress. Valori di  $OSR > 1.0$  indicano che lo stato di shear stress massimo locale è superiore alle condizioni medie locali di resistenza al taglio. Vanno fatte notare alcune particolarità di questo pendio. 1) gli stati 2 e 3 sono ammassi rocciosi fratturati e il criterio di rottura locale è quello del Metodo Hoek-GSI (Hoek et al. 2002), mentre lo stato 1 è un materiale sciolto con coesione e attrito. Le superfici critiche individuate non sono mai superficie circolari. A partire dalla progressiva  $x=85$  abbiamo un effetto dominante del sostegno attivo dei tiranti. Ciò è anche visibile nei valori estremi della pressione normale efficace sulla superficie di scivolamento prodotta dalla trazione dei tiranti (figura 6.7 in basso a destra)

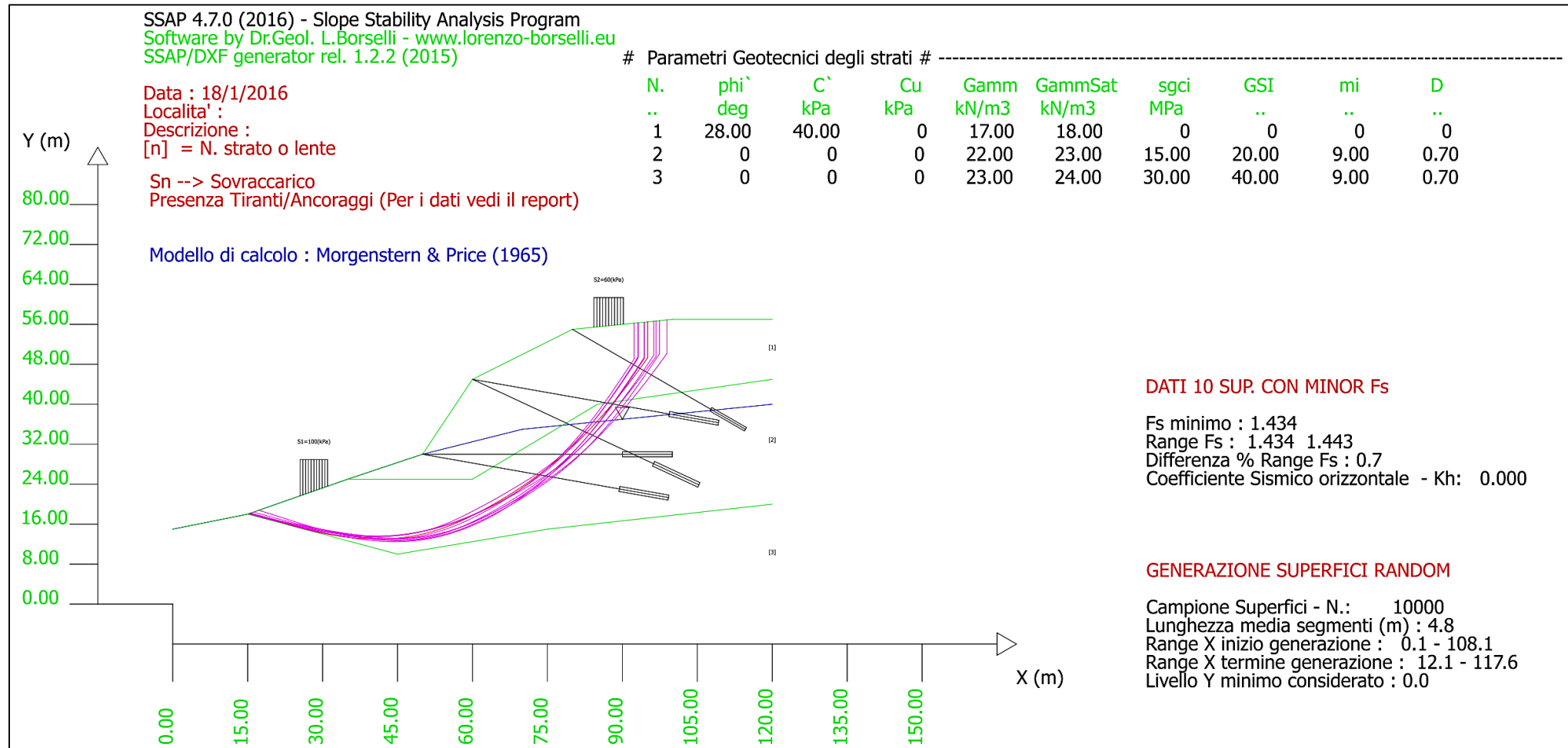


Fig. 6.1: modello pendio e Fascia critica con le dieci superfici con minor Fs. (fs: 1.434-1.443) Con motore **CONVEX RANDOM SEARCH**, smussatore superfici attivato, generazione tension crack attivata e tiranti impostati come ATTIVI. Numero superfici generate 10000, (si noti che le superfici non sono circolari..)

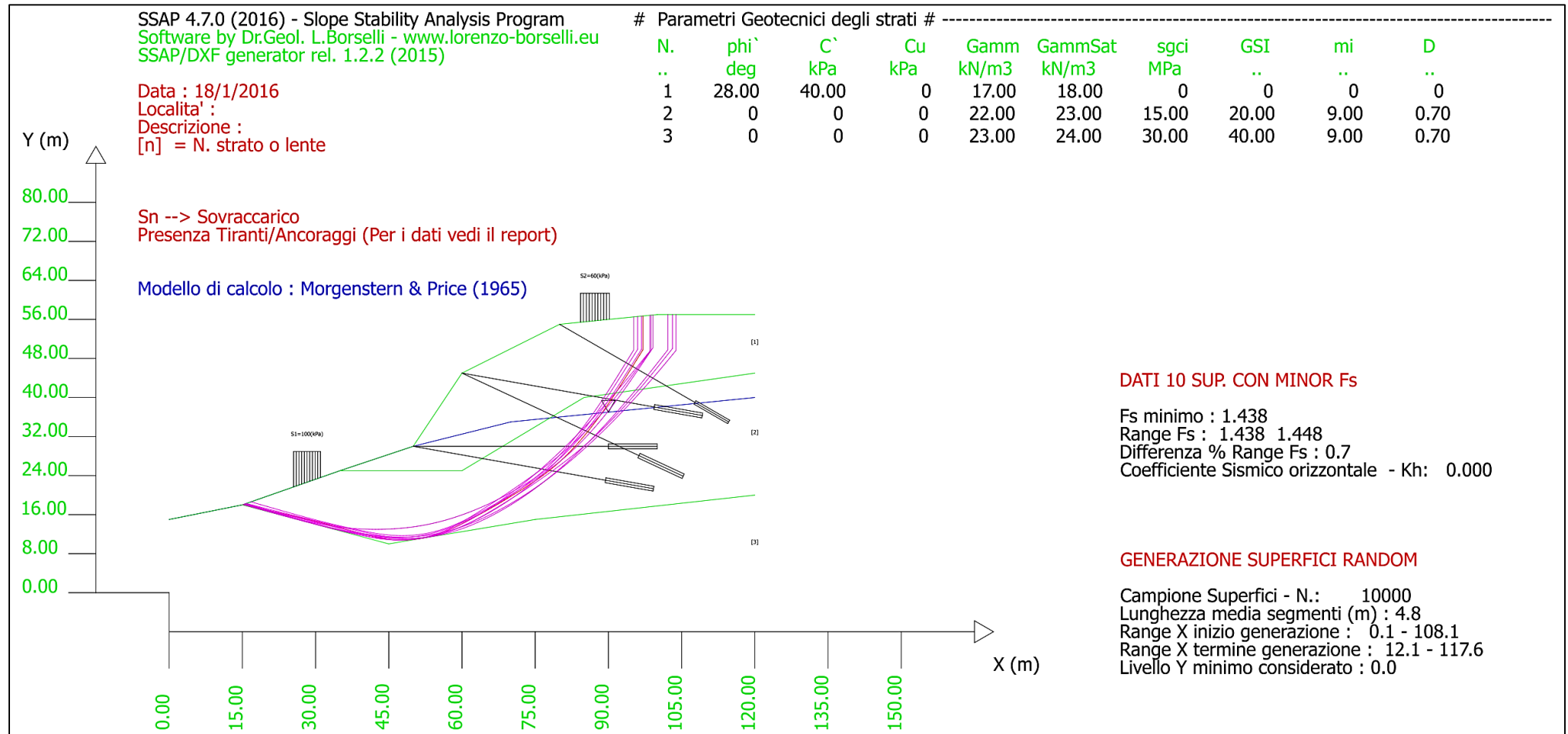
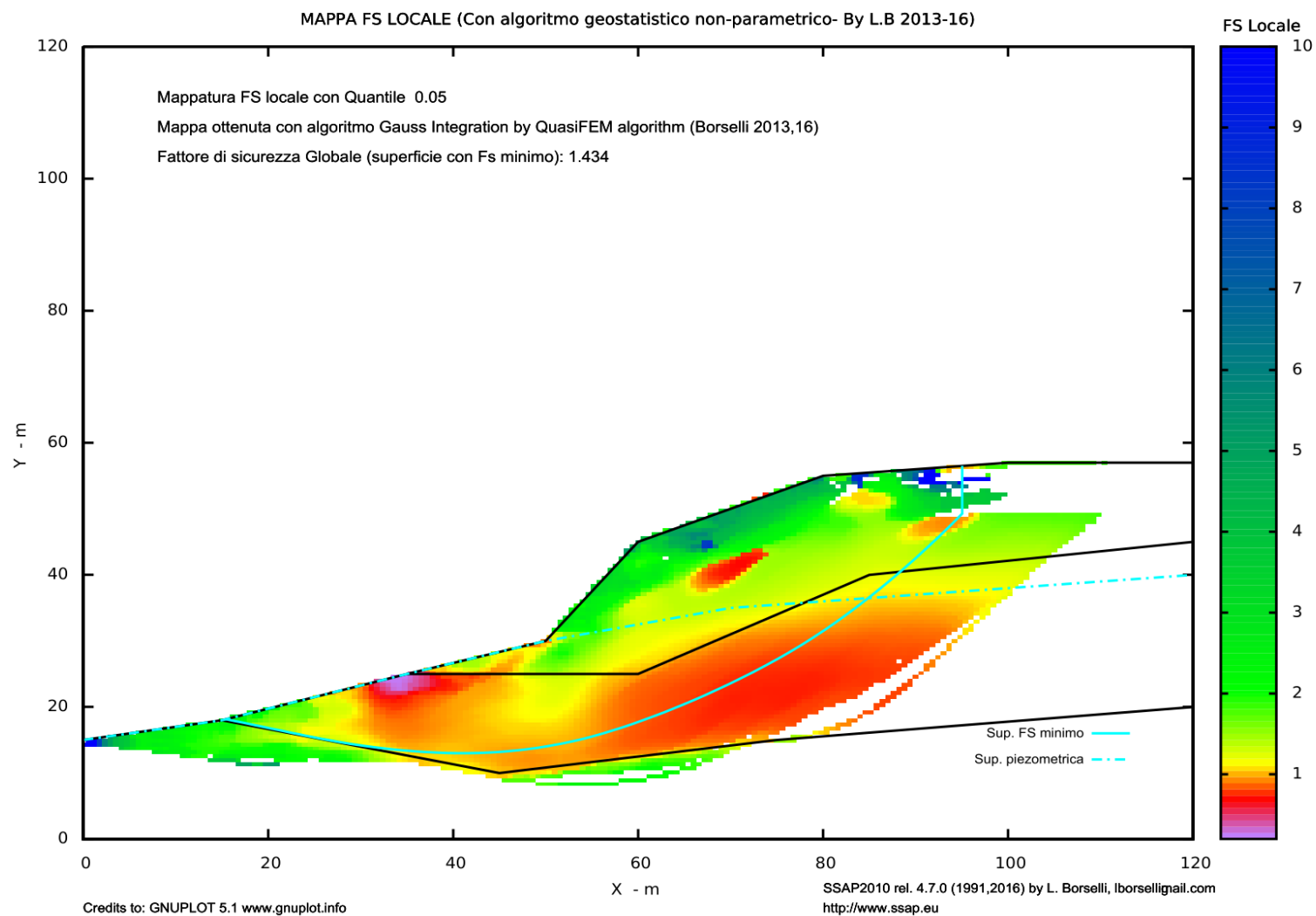
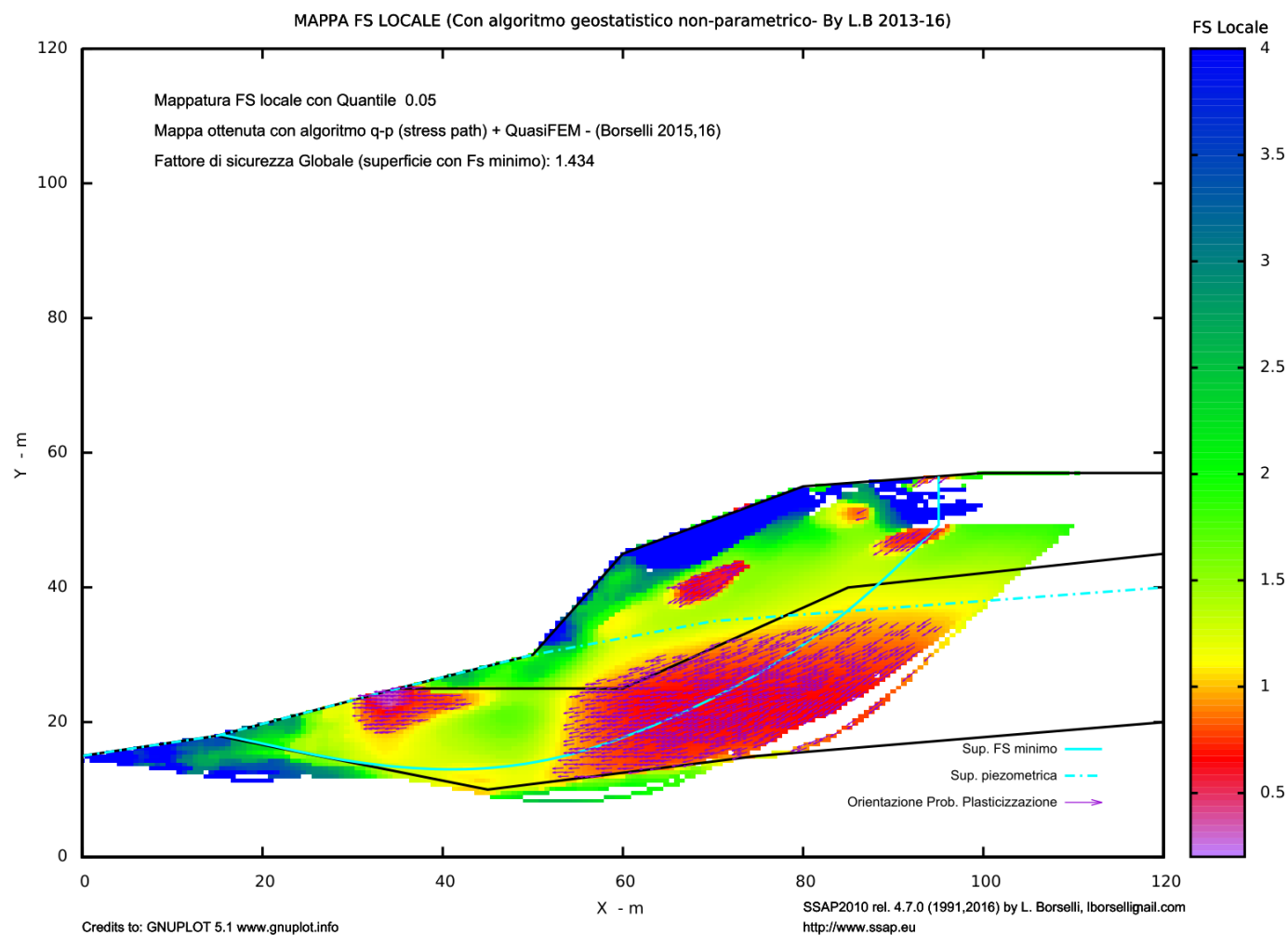


Fig. 6.2: modello pendio e Fascia critica con le dieci superfici con minor Fs. (fs: 1.438-1.448) Con motore SNIFF RANDOM SEARCH, smussatore superfici attivato, generazione tension crack attivata e tiranti impostati come ATTIVI. Numero superfici generate 10000.(si noti che le superfici non sono circolari..)



**Fig. 6.3 – Mappa del fattore di sicurezza locale con metodo qFEM. E' riprodotta la superficie critica con Fs globale pari a 1.434. si noti la distribuzione del fattore di sicurezza locale sotto la prima zona di sovraccarico (fig. 6.1) intorno alla progressiva x=36.**





**Fig. 6.4 – Mappa del fattore di sicurezza locale con metodo p-qFEM. E' riprodotta la superficie critica con Fs globale pari a 1.434. si noti la distribuzione del fattore di sicurezza locale sotto la prima zona di sovraccarico (fig. 6.1) intorno alla progressiva x=36 e i vettori delle probabili direzioni di plasticizzazione locali.**

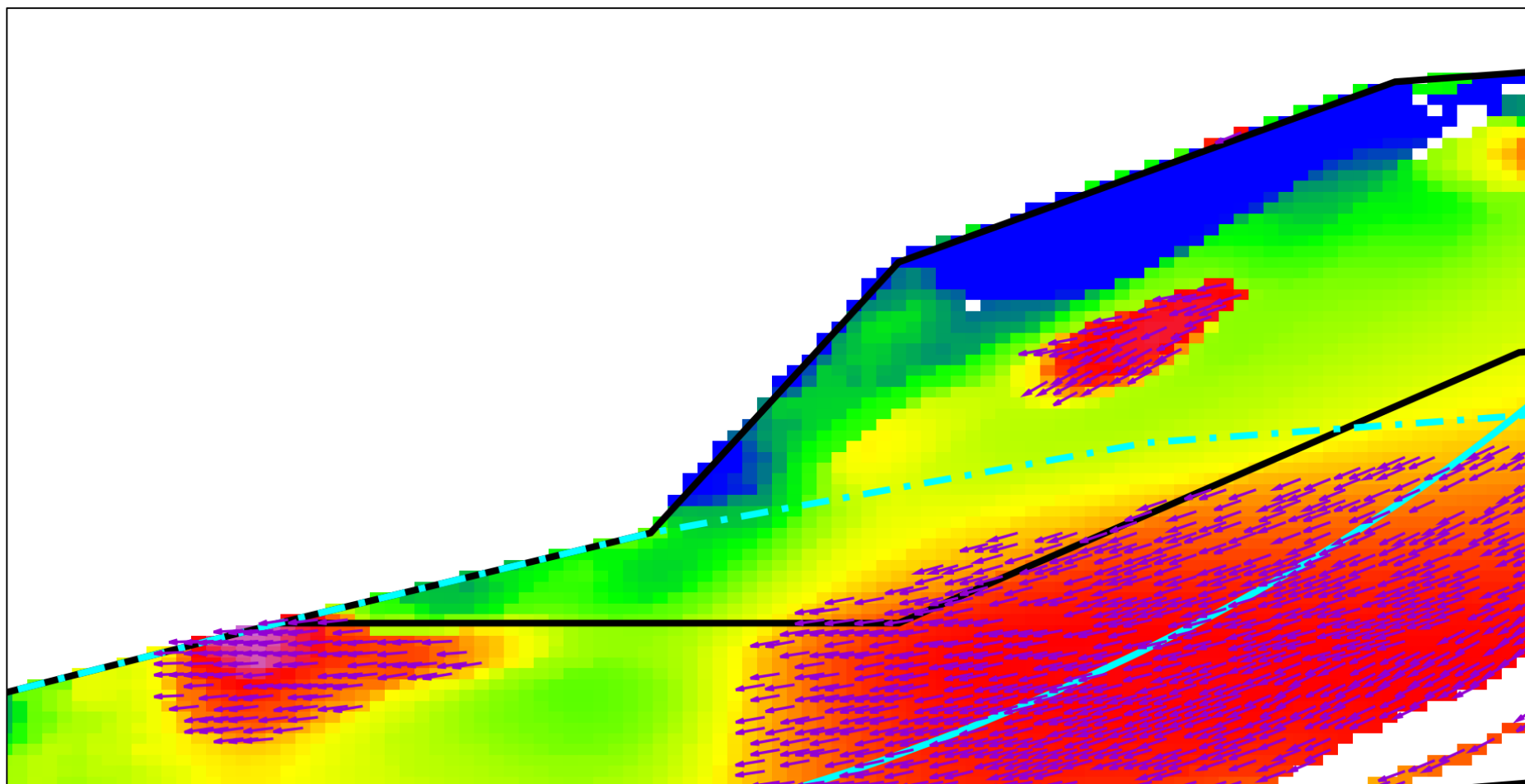
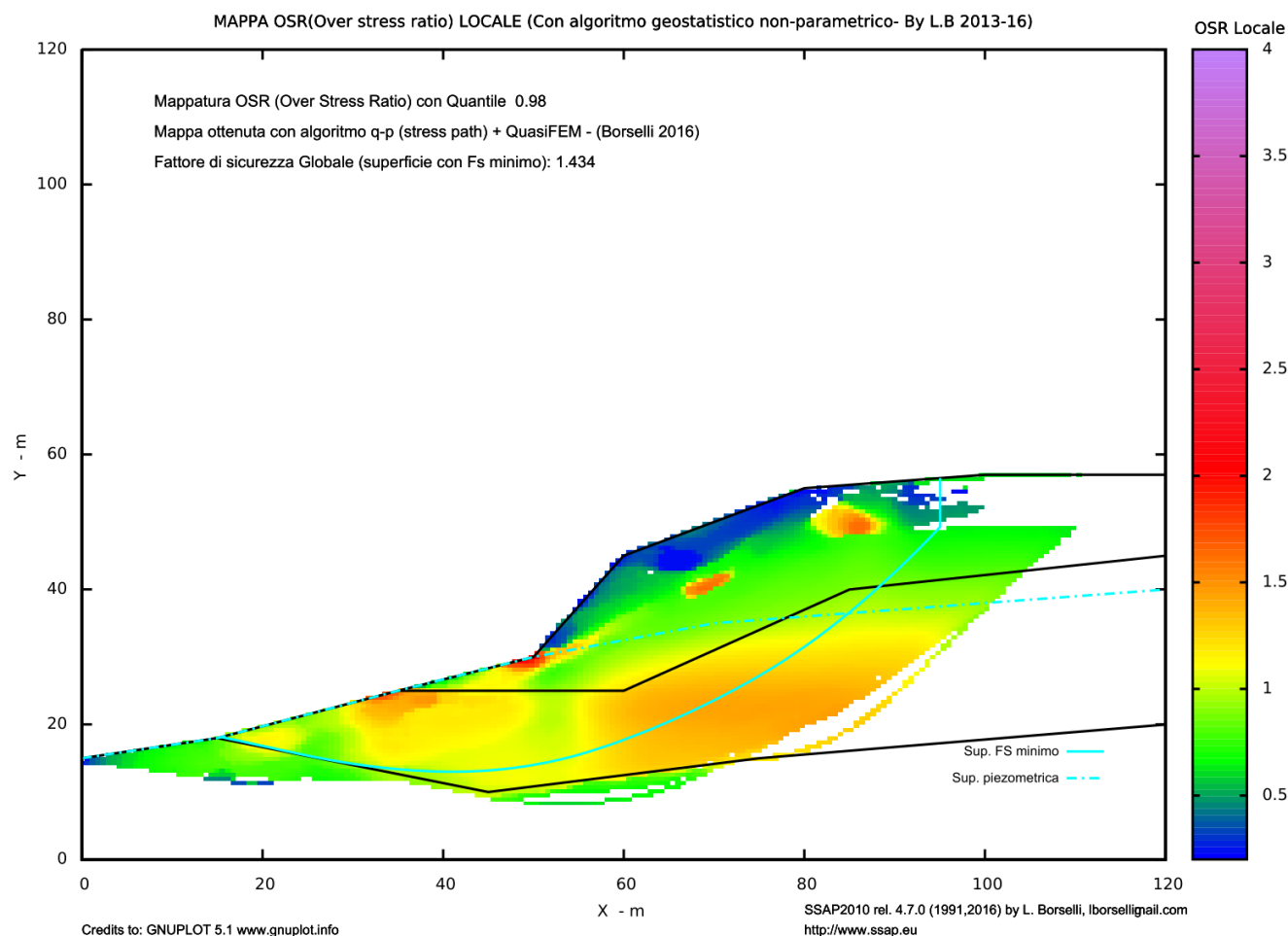


Fig. 6.5 – zoom locale della mappa in figura 6.4. Si notino i vettori delle probabili direzioni di plasticizzazione locali in corrispondenza della superficie critica con  $F_s$  minimo individuata.



**Fig. 6.6 – Mappa del OSR (over stress ratio) locale.** La mappa rappresenta in termini di stress medio locale (stress principali e stress path) le aree dove lo shear stress massimo locale è superiore alla resistenza al taglio locale. Le zone con  $OSR > 1.0$  sono le zone più probabili per una generazione di una rottura progressiva.

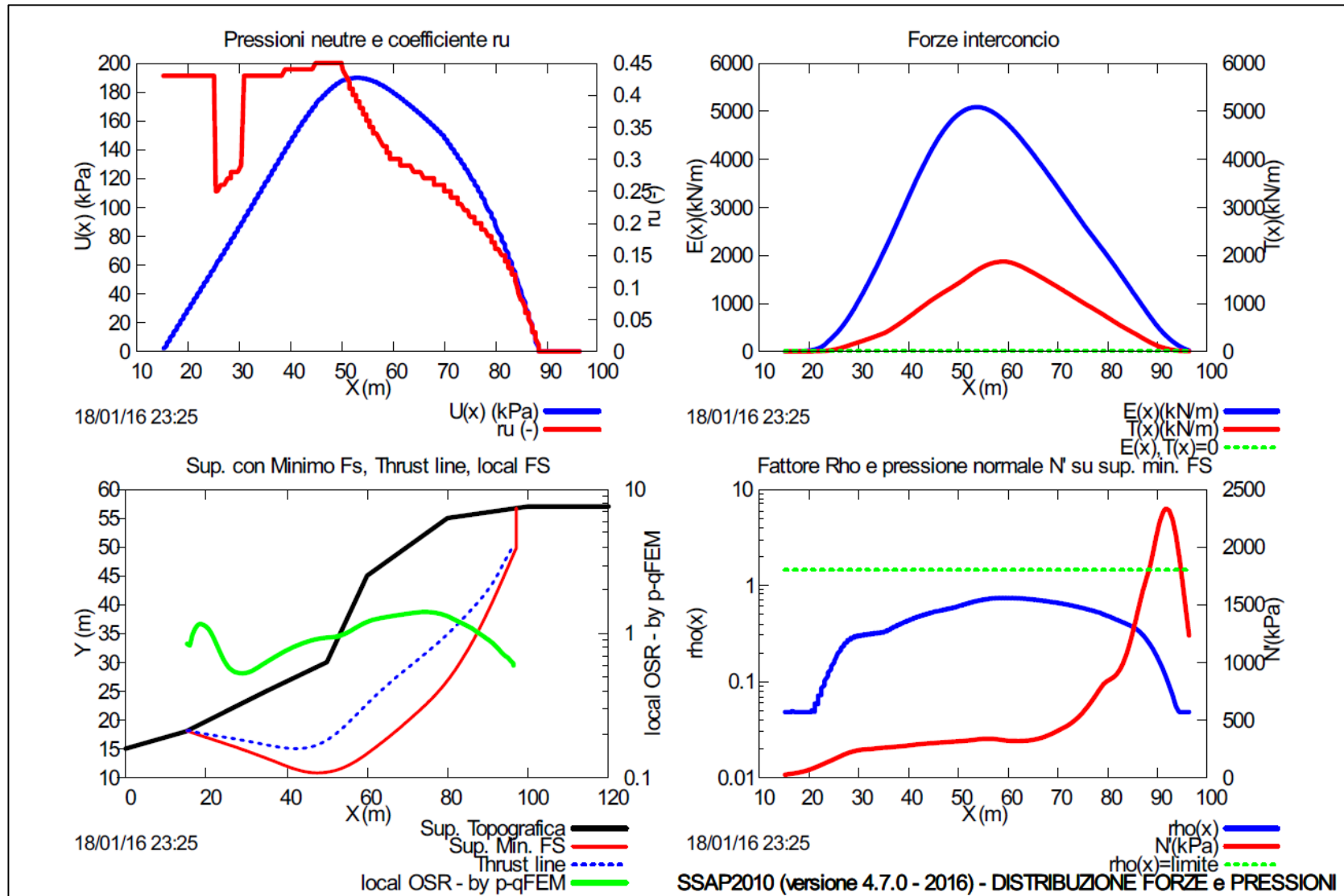


Fig. 6.7 \_ distribuzione di forze e pressioni interne relativamente alla superficie con minor  $F_s$ .

### 6.2.2 Esempio 2

File **FKCF2.MOD** nella cartella: **\pendii\benchmar**

Di seguito un esempio di verifica di stabilità di rilevato poggiante su strato a bassa resistenza. Caso critico, utilizzato nella letteratura internazionale, per testare i programmi di verifica di stabilità (Fredlund 1977). **In questo caso la adozione di motori di ricerca classici come superfici circolari o a forzata convessità non permette la corretta identificazione delle superfici più critiche a causa della presenza di un sottile strato a bassa resistenza sub-orizzontale di elevata continuità. La utilizzazione del motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH permette la identificazione corretta tracciando automaticamente lo strato orizzontale con continuità** (Zoommare le figure da 6.8 a 6.19 per i dettagli).

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

Un esempio di analisi comparativa tra modelli LEM e FEM per il pendio in esame si incontra in (Kim et al., 2002) in figura 6.8.

Da sottolineare la superiorità del motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH rispetto agli altri motori di ricerca RANOM tradizionali nella identificazione delle superfici critiche del tipo Block Slide (Fredlund 1977). La corrispondenza dei valori di  $F_s$  indentificati nella figura 6.12 con quelli riportati nella figura 6.8

Da sottolineare ancora la corrispondenza dei risultati delle figure 6.16,6.17,6.18,e 6.19 con quelli di Kim et al (2002) figura 6.8. Le mappe di  $F_s$  locale così ottenute e dello OSR (over stress ratio (Farias & Naylor, 1998) permettono di fornire utilissime indicazioni per identificare le zone di probabile plasticizzazione locale ( $F_s$  locale  $<1.0$  e OSR $>1.0$ ) e quindi di possibile origine di una rottura progressiva. In ultima analis permettono di evidenziare le zone (anche in profondità) che occorre rinforzare o drenare per incrementare il fattore di sicurezza globale e la stabilita' complessiva.

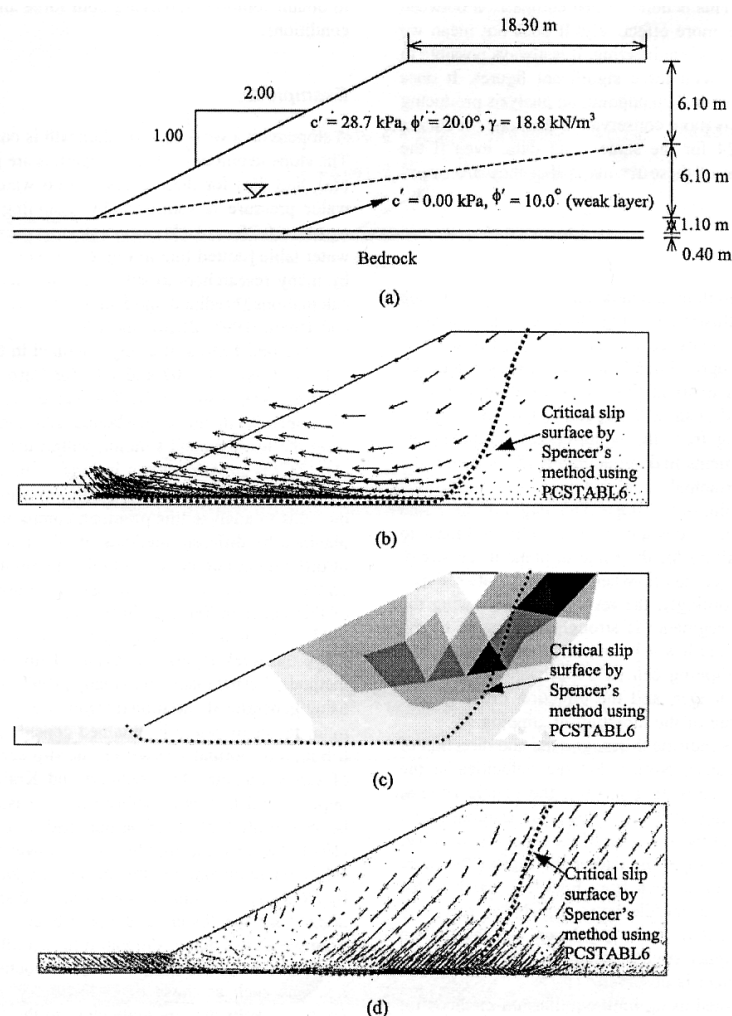


Fig. 7. Slope analyzed in example 2 [with pore-water pressure defined by water table; dotted line in (a)]: (a) slope geometry and soil profile (after Fredlund and Krahn 1977); (b) velocity field from upper-bound analysis; (c) plastic zone from upper-bound analysis; and (d) principal stress zone from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

**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 <sup>a</sup>	1.38	1.12	1.25
Spencer's method <sup>a</sup>	1.37	1.12	1.25
Morgenstern and Price's method with $f(x) = \text{constant}$ <sup>a</sup>	1.39	1.12	1.25
Variational stability analysis <sup>b</sup>	1.33	1.08	1.19
Spencer's method using random search method <sup>c</sup>	1.34	N/A	1.21
Lower-bound analysis <sup>d</sup>	1.25	1.07	1.10
Upper-bound analysis <sup>d</sup>	1.37	1.16	1.23

<sup>a</sup>Fredlund and Krahn (1977).

<sup>b</sup>Leshchinsky and Huang (1993).

<sup>c</sup>PCSTABL6.

<sup>d</sup>This study.

Fig. 6.8 da Kim et al. (2002). Esempio 2 e comparazione analisi LEM e FEM, pore pressure by water table.

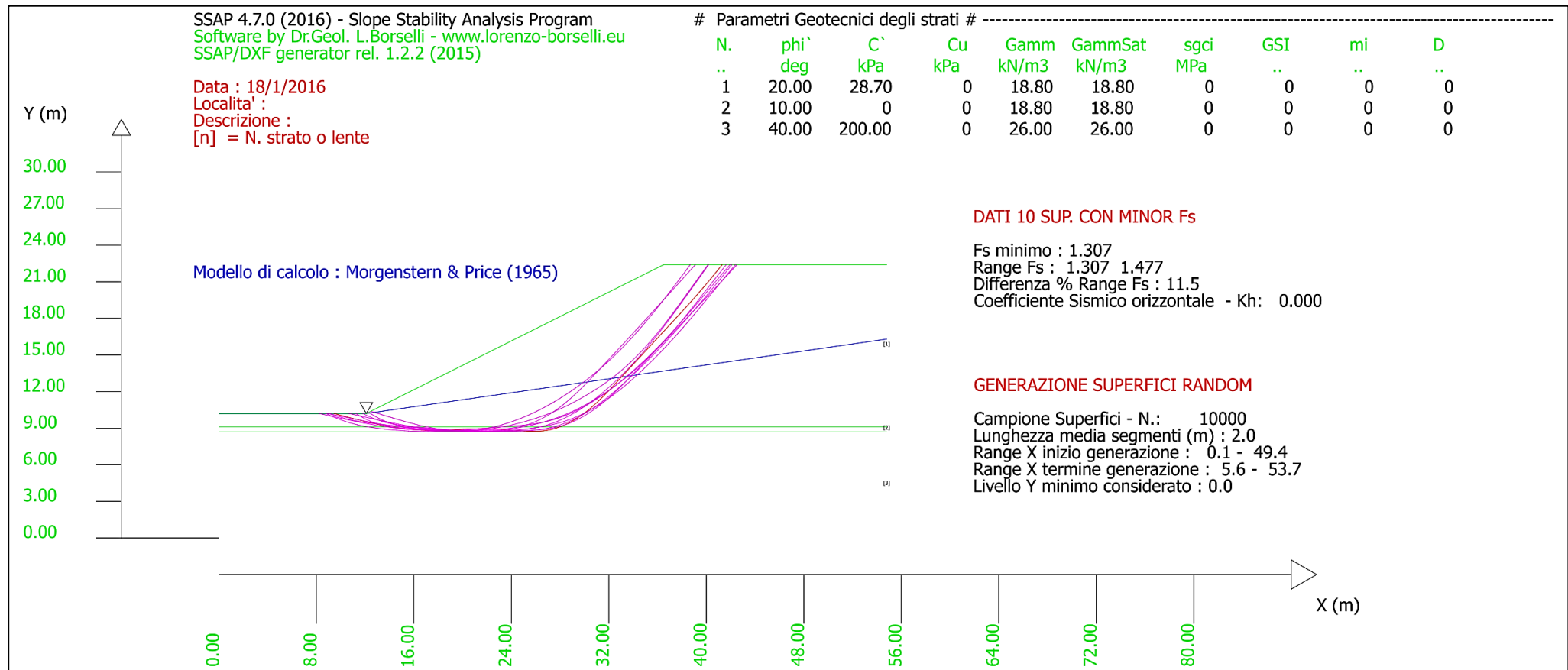


Fig. 6.9 Fascia critica; le dieci superfici con minor Fs (Fs 1.307-1.477), Utilizzando il motore di ricerca CONVEX RANDOM SEARCH con smussatore di superfici attivato

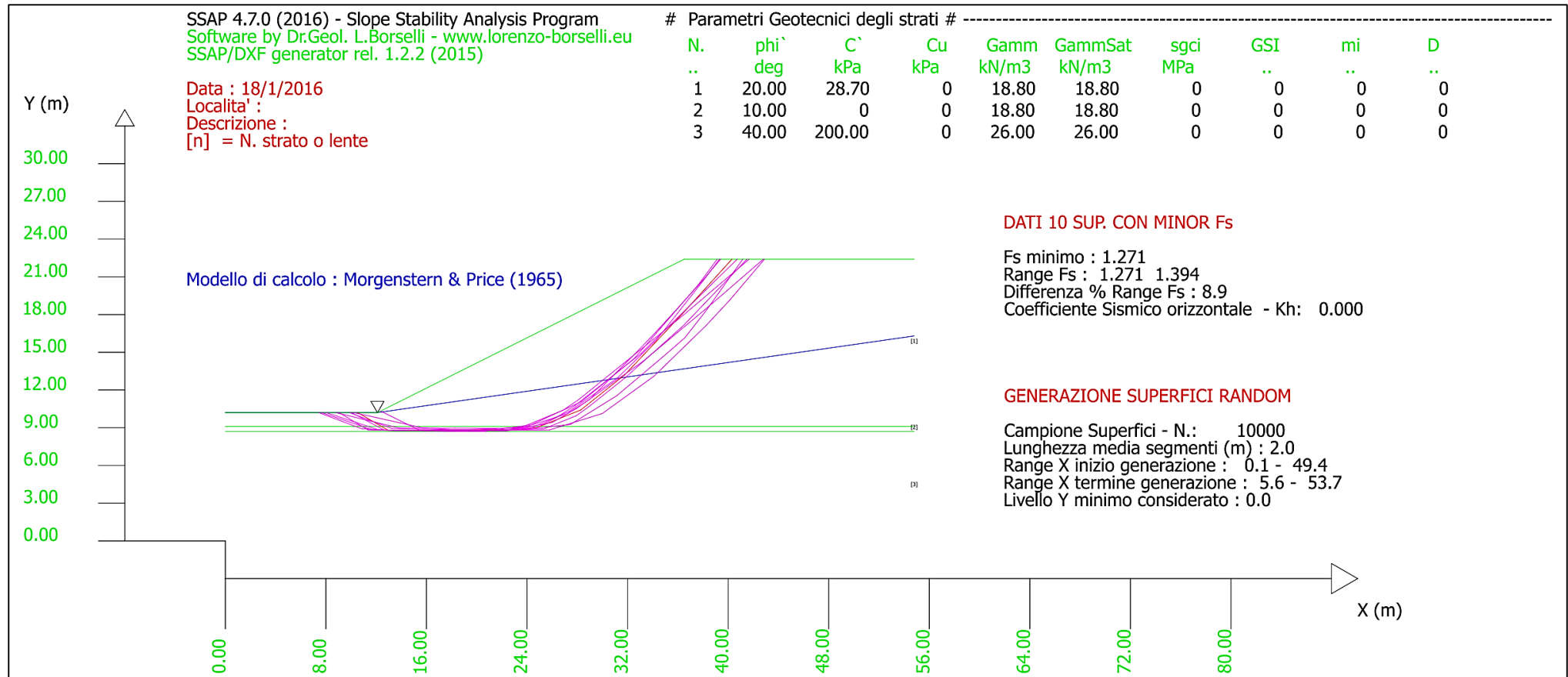
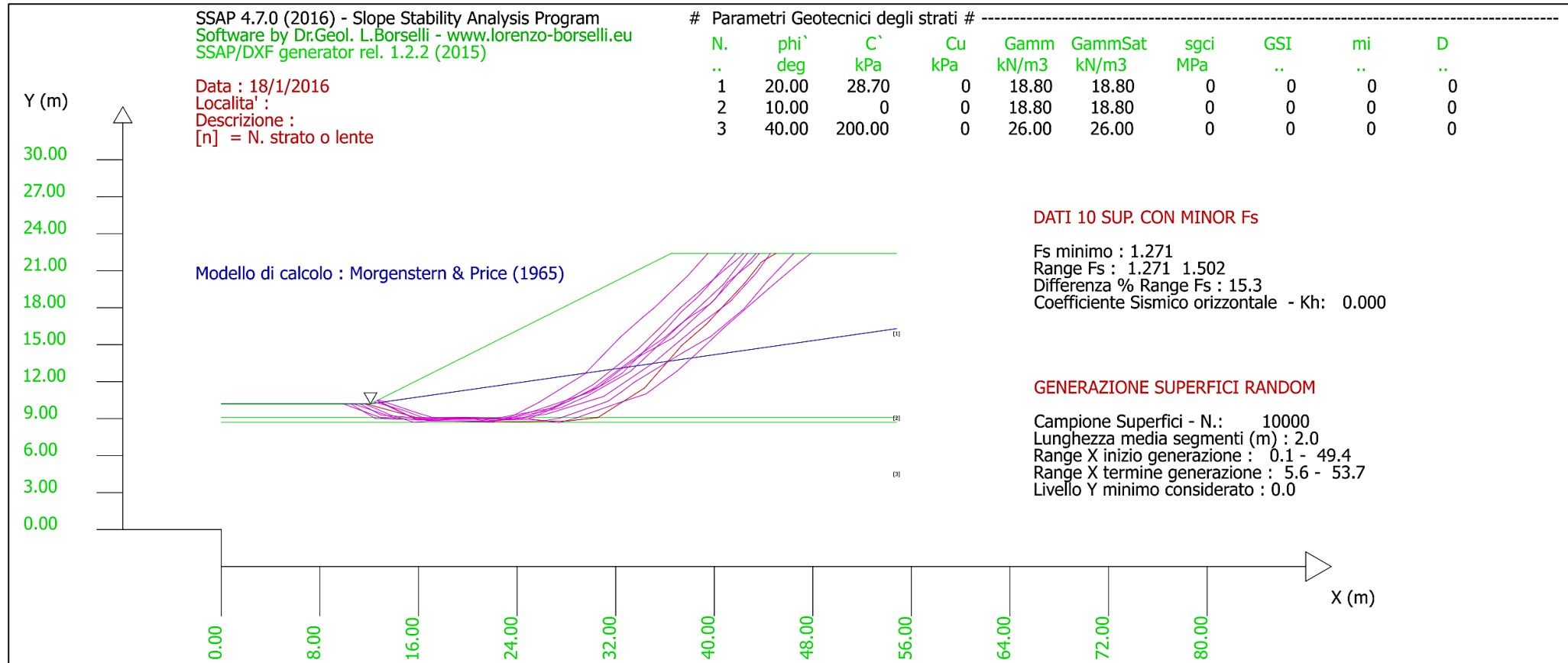
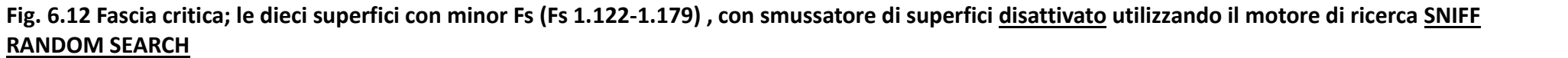


Fig. 6.10 Fascia critica; le dieci superfici con minor Fs (Fs 1.271-1.394), utilizzando il motore di ricerca CONVEX RANDOM SEARCH con smussatore di superfici Disattivato





**Fig. 6.11 Fascia critica; le dieci superfici con minor Fs (Fs 1.271-1.502), Utilizzando il motore di ricerca RANDOM SEARCH con smussatore di superfici disattivato**



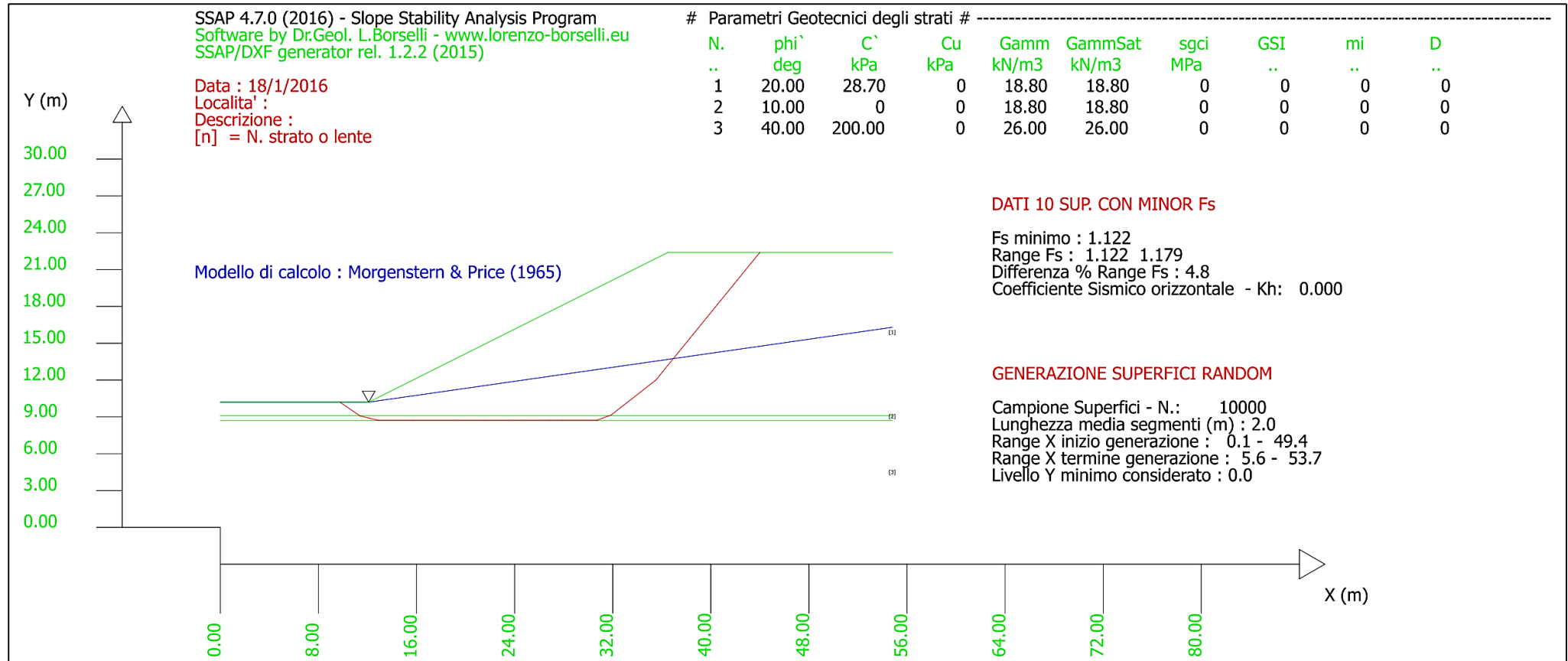


Fig. 6.13 Superficie critica assoluta (Fs 1.122) , Utilizzando il motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH , con smussatore di superfici disattivato. Questo risultato si può comparare con quello di Kim et al. 2002 (fig. 6.8) per le analisi a elementi finiti(FEM)

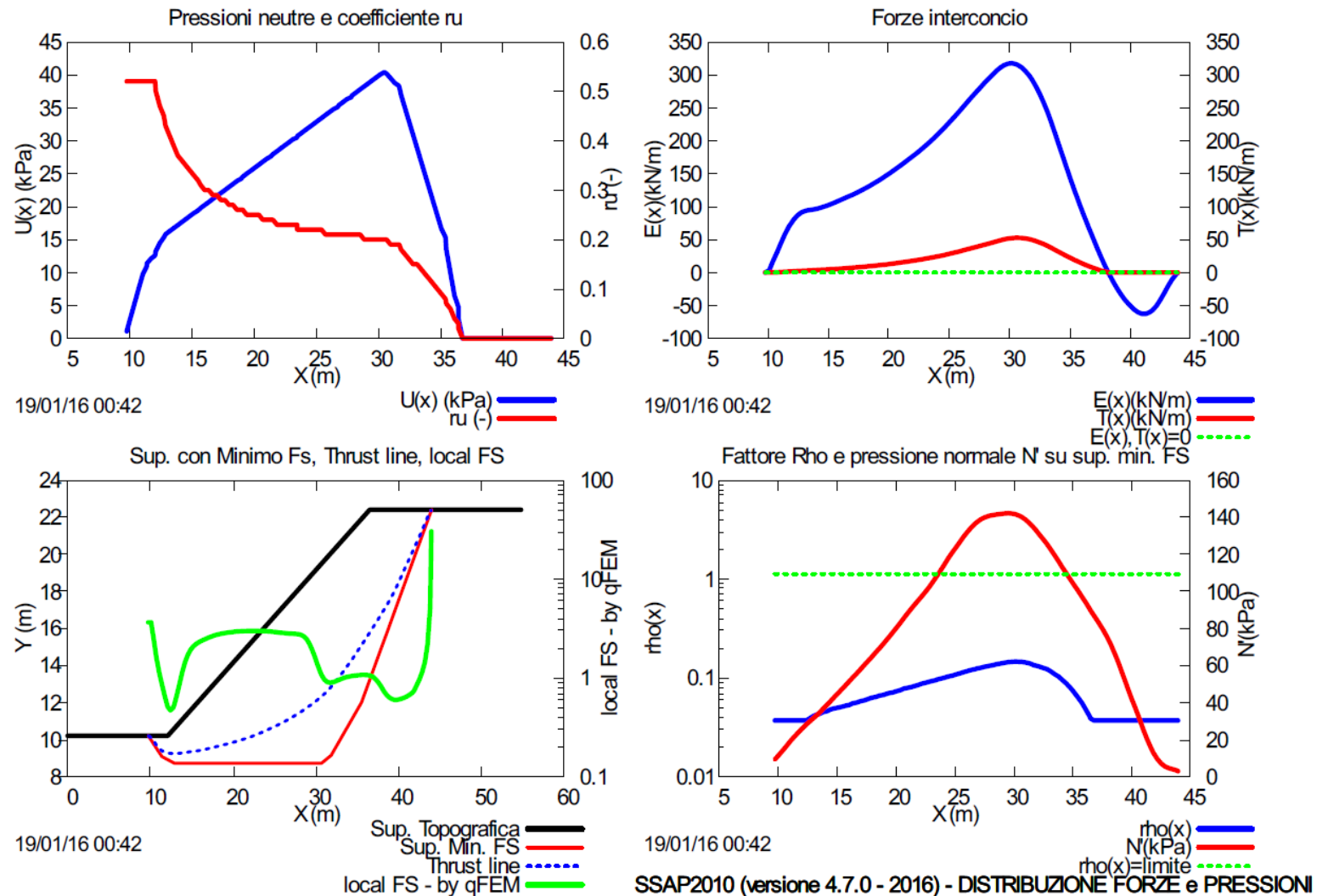


Fig. 6.14 Superficie critica assoluta (Fs 1.147) distribuzione interna forze e pressioni. Questo risultato si può comparare con quello di Kim et al. 2002 (fig. 6.8) per le analisi a elementi finiti(FEM)

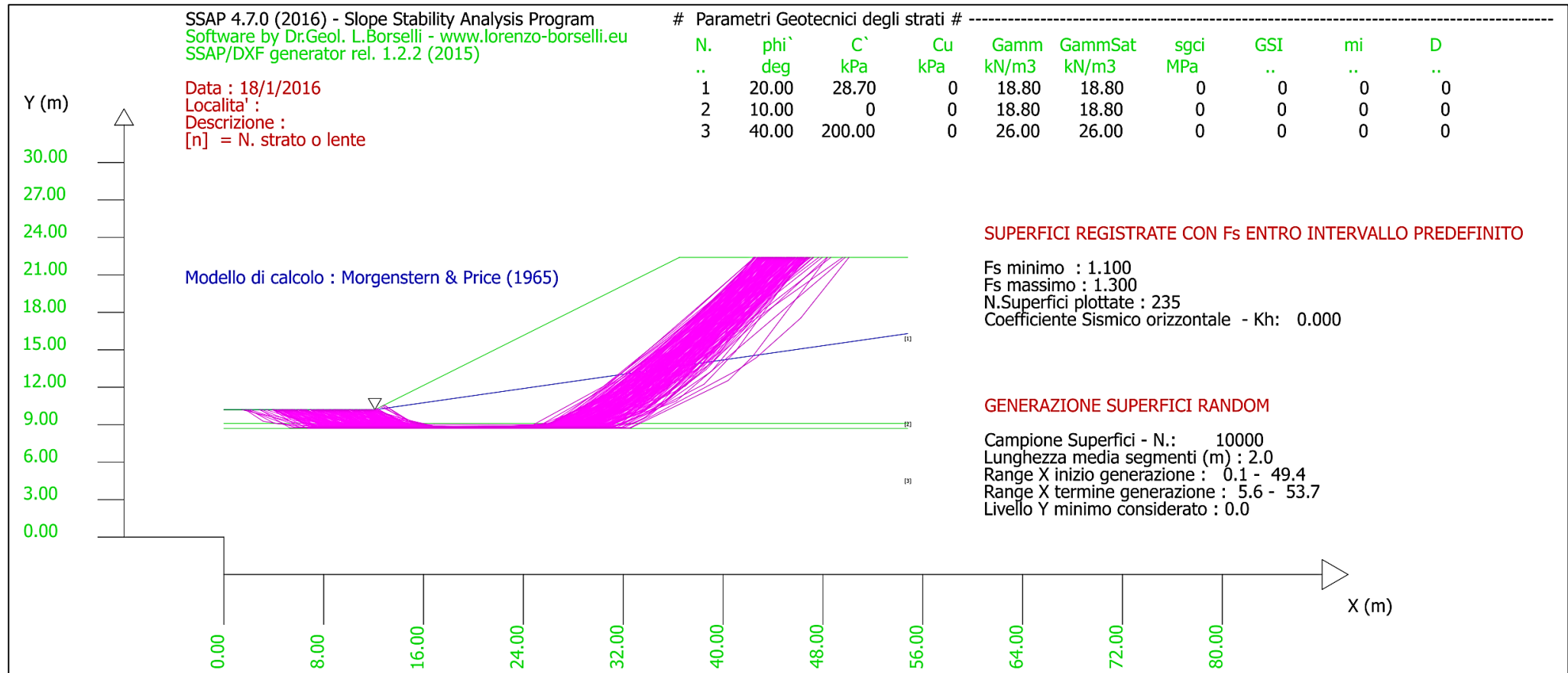
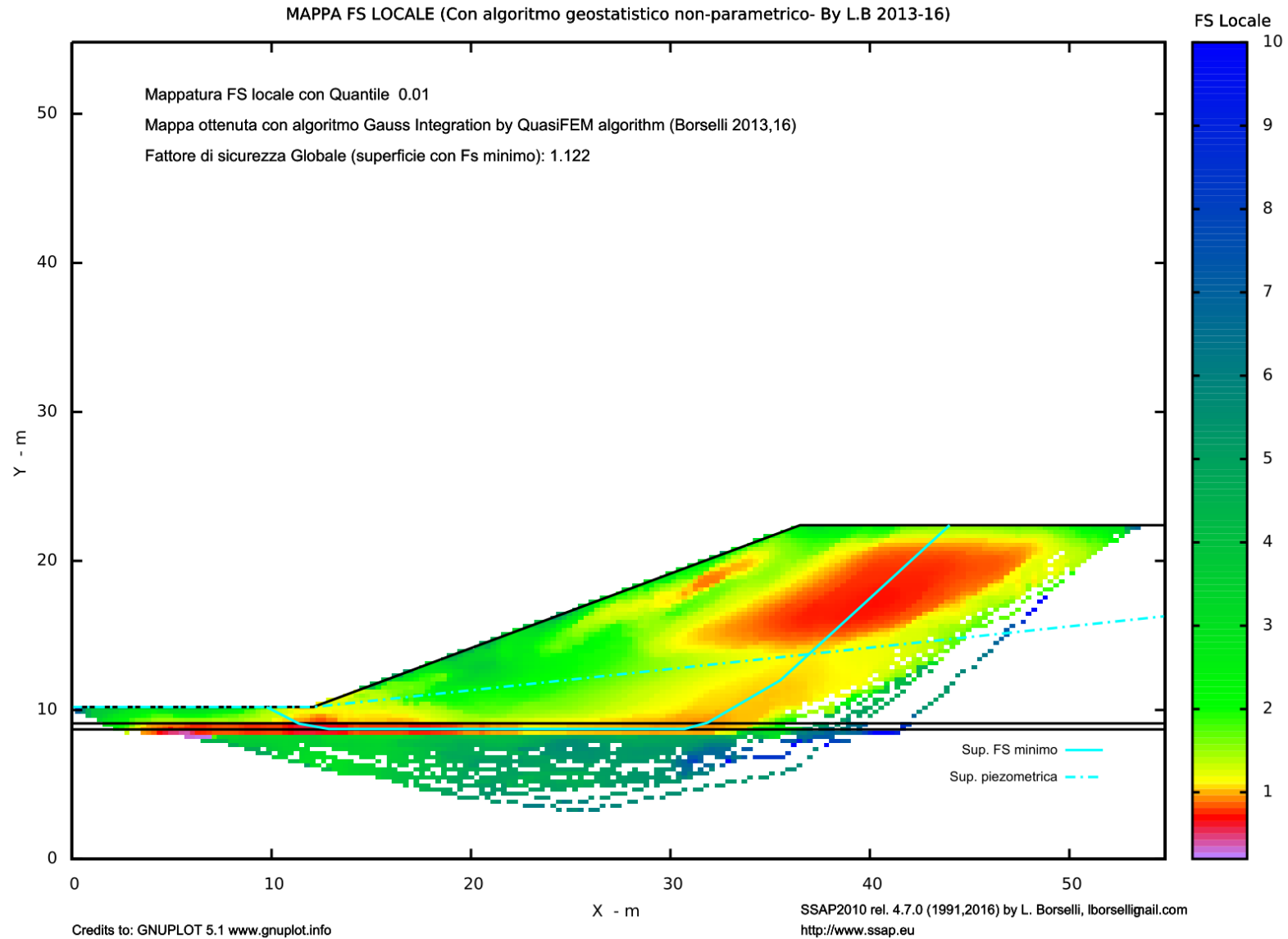
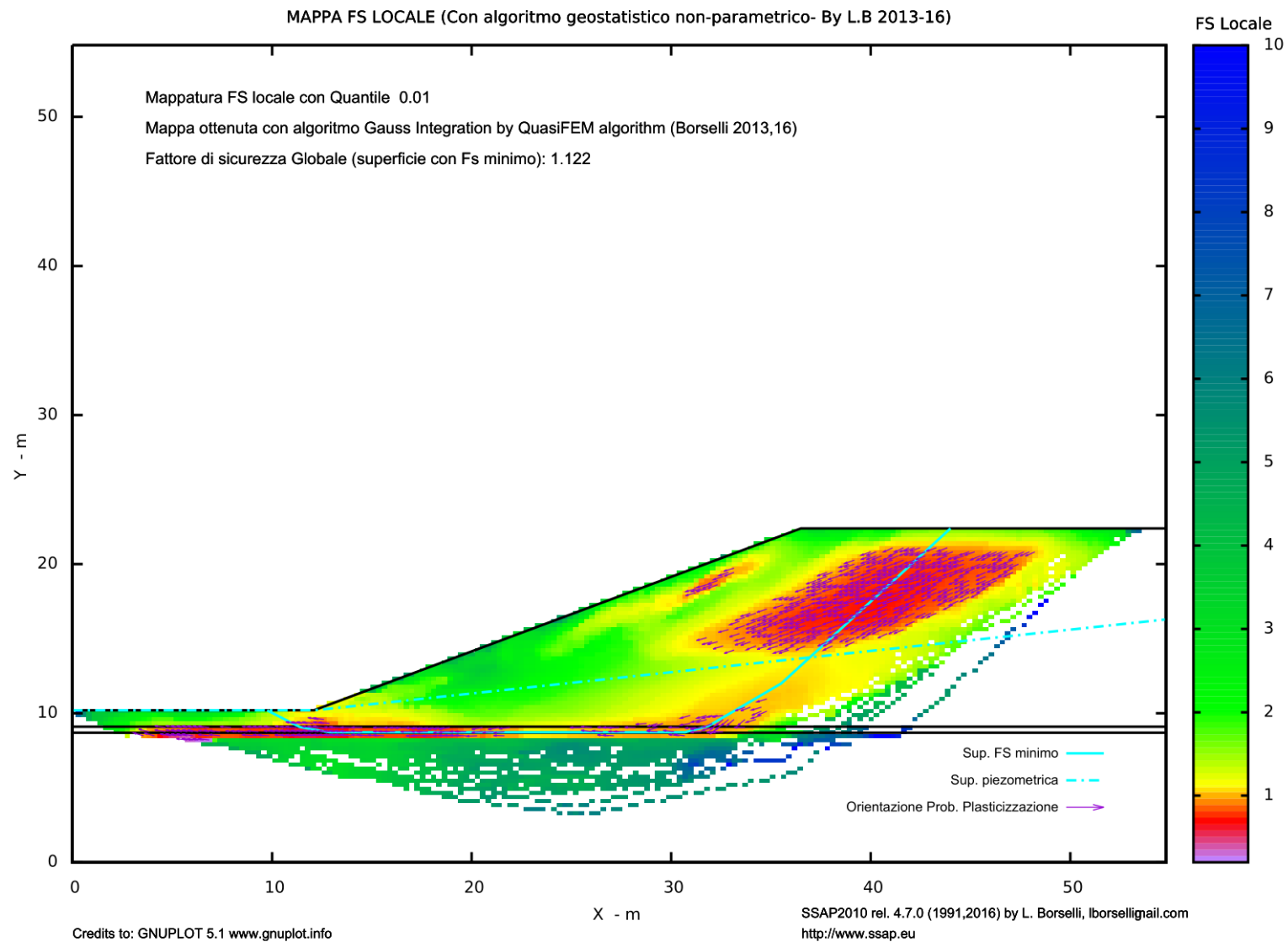


Fig. 6.15 plottaggio 235 Superfici Registrate caratterizzate da un intervallo di Fs (1.10-1.30), generate con SNIFF Random SEARCH con smussatore disattivato .



**Fig. 6.16 Mappa FS locale prodotta con algoritmo qFEM. Questo risultato si può comparare con quello di Kim et al. 2002 (fig. 6.8) per le analisi a elementi finiti(FEM)**



**Fig. 6.17 Mappa FS locale prodotta con algoritmo qFEM. Questo risultato si può comparare con quello di Kim et al. 2002 (fig. 6.8) per le analisi a elementi finiti(FEM).**

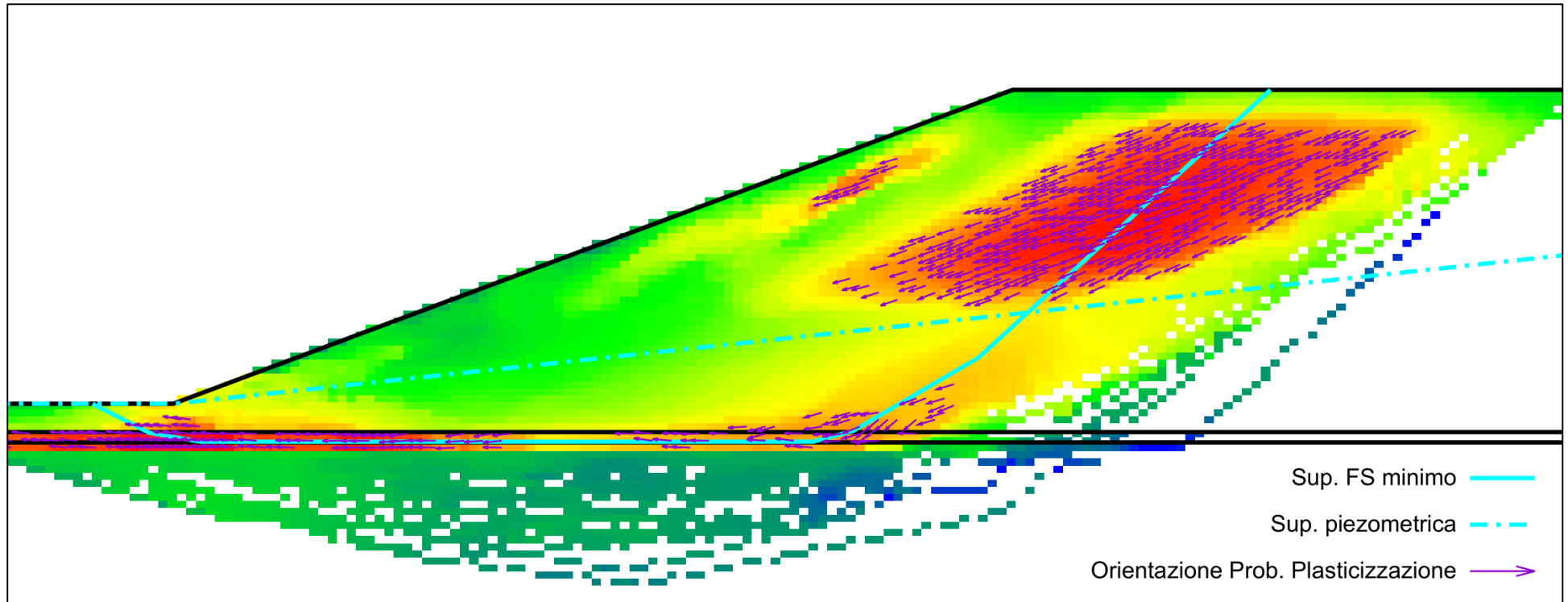
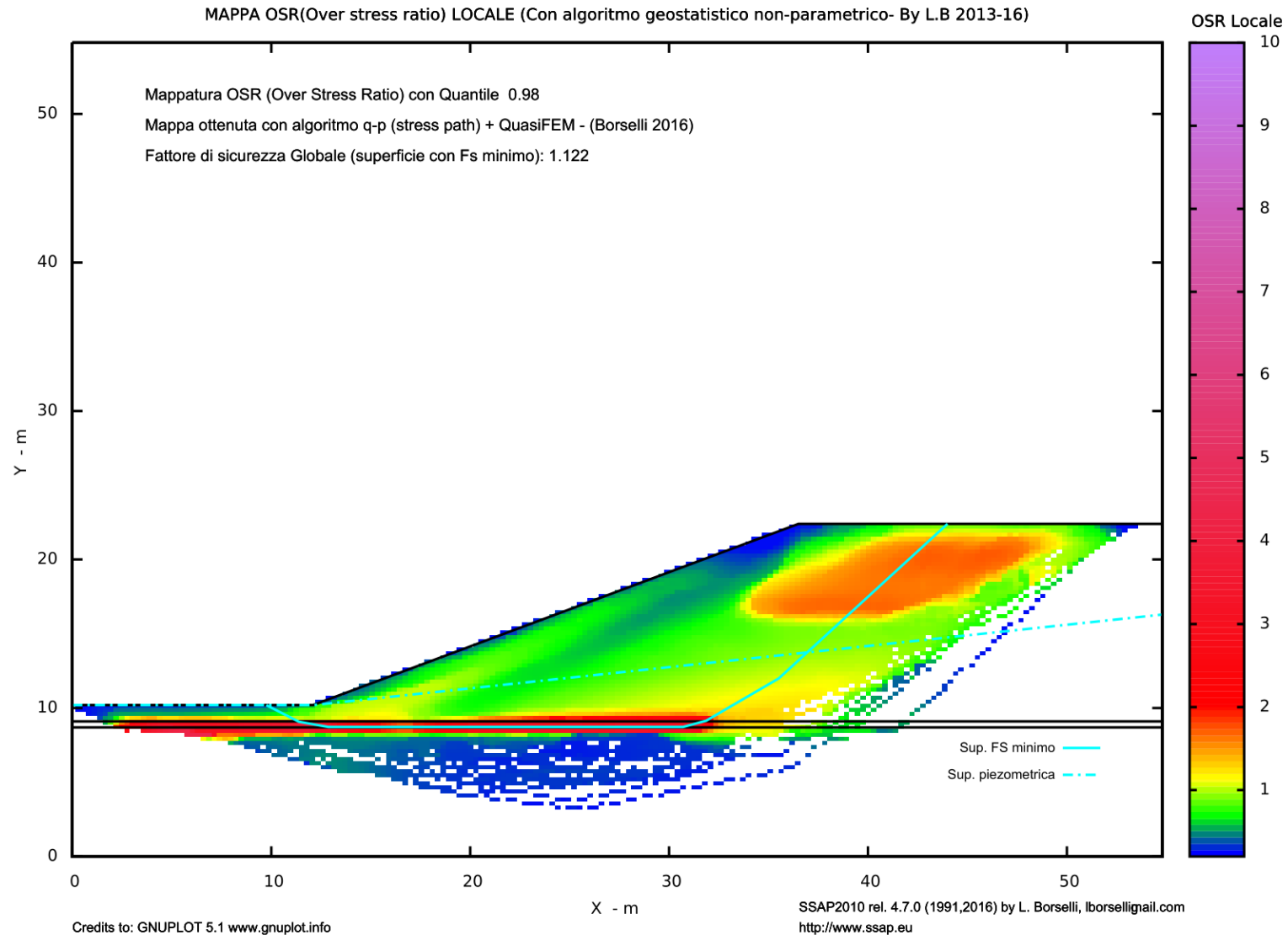


Fig. 6.18 Zoom della Mappa FS locale prodotta con algoritmo qFEM. Le frecce indicano le direzioni di probabile massima deformazione e plasticizzazione nelle zone critiche con FS locale  $< 1.0$ . Questo risultato si può comparare con quello di Kim et al. 2002 (fig. 6.8) per le analisi a elementi finiti (FEM).





**Fig. 6.19 – Mappa del OSR (over stress ratio) locale. La mappa rappresenta in termini di stress medio locale (stress principali e stress path) le aree dove lo shear stress massimo locale è superiore alla resistenza al taglio locale. Le zone con  $OSR > 1.0$  sono le zone più probabili per una generazione di una rottura progressiva.**

### 6.2.3 Esempio 3

File **s2m\_pali.MOD** nella cartella: **\pendii\s2m-07**

Di seguito un esempio di verifica di stabilità di un pendio rimodellato e con due strutture di sostegno tipo muro in calcestruzzo, uno dei quali è fondato su una palificata (diametro pali 0.3 m, interasse 1.4 m, lunghezza pali 6 m) incastrata nello strato 5 che ha caratteristiche di alta resistenza meccanica (figura 6.20). Lo strato superficiale (strato 1) ha caratteristiche di media resistenza. A monte della struttura di maggiori dimensioni vi è una porzione di riempimento con caratteristiche scadenti, ma questa è contenuta dal muro a mensola con fondazioni su pali. Questo esempio ha una elevata complessità di verifica soprattutto a causa della discontinuità molto irregolare tra lo strato 1 e lo strato 5 (fig. 6.20 e 6.21) ma anche per la presenza della palificata e della sua azione di reazione e stabilizzazione della parte di pendio a monte.

Si ricorda che la azione della palificata non avviene solo per una semplice azione di incremento della resistenza al taglio del sistema palo terreno, ma anche per una complessa azione di reazione e contropinta, modellizzata con il modello derivato di Ito e Matsui (1981), implementato in una forma moderna e originale in SSAP.

In casi come questo, l'adozione di motori di ricerca classici come superfici circolari o a forzata convessità non permette la corretta identificazione della zona di maggiore criticità del pendio. Inoltre, l'adozione di metodi di calcolo di  $F_s$  semplificati (Fellenius, Bishop, Janbu semplificato) non garantisce un valore affidabile di  $F_s$  finale. Questo perché i metodi semplificati trascurano le complesse interazioni delle forze inter-concilio e la loro distribuzione interna. Queste semplificazioni portano a un risultato intrinsecamente non affidabile soprattutto quando si ha una certa complessità stratigrafica e la azione di forze stabilizzanti prodotta da strutture (palificate, tiranti, geogriglie).

La presenza di una discontinuità stratigrafica irregolare e di strutture rendono essenziale l'impiego di una strategia di ricerca più complessa di quelle tradizionali come quella garantita dall'utilizzo del motore SNIFF RANDOM SEARCH, implementato in SSAP2010, rel. 4.7.0.

Nella figura 6.20 è presentato uno dei risultati della verifica, ovvero una fascia critica, costituita dalle 10 superfici con minore  $F_s$  in assoluto ( $F_s$  1.233-1.270), tra tutte quelle generate automaticamente e verificate. Tale fascia, con maggiore criticità nel pendio, passa sotto la struttura a valle. In questo caso nessuna delle superfici risulta assolutamente circolare. In questo caso è stato utilizzando il motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH con smussatore di superfici attivato.

Nel valutare comunque le superfici che attraversano la struttura più a monte (muro e palificata), si vede come il motore SNIFF RANDOM permette di identificare meglio le condizioni di effettiva stabilità (l'effetto di contropinta della palificata è considerato). In figura 6.21 è presentata la Fascia critica con le dieci superfici con minor  $F_s$  tra quelle che attraversano la struttura a monte ( $F_s$  3.066-3.225).

Nella figura 6.22 viene visualizzata la distribuzione delle forze e pressioni interne della superficie critica della figura ( $F_s$  3.066) e si può verificare l'effetto stabilizzante delle strutture attraverso la distribuzione delle forze inter-concilio a monte della palificata. Si noti la distribuzione delle forze, delle pressioni normali alla superficie e del fattore di sicurezza locale influenzati dalla presenza della opera di sostegno (Muro più palificata).

Nella Figura 6.23 viene visualizzata la fascia critica costituita dalle le dieci superfici con minor  $F_s$  tra quelle che attraversano la struttura a monte ( $F_s$  3.066-3.225). In questo caso utilizzando il motore di ricerca CONVEX RANDOM SEARCH con smussatore di superfici attivato. Si noti che le superfici non sono circolari, anzi seguono la discontinuità tra gli strati 1 e 5. Si noti la differenza

con la figura 6.21. Infatti il motore di ricerca CONVEX non è in grado di ottenere lo stesso risultato dello SNIFF SEARCH. Questo perché questo motore di ricerca non è progettata per valutare le differenze di resistenza al taglio che esistono tra due o più strati adiacenti, come invece fa il motore SNIFF RANDOM SEARCH.

Le figure 6.24 e 6.25 mostrano il risultato di una ricerca di superfici casuali compatibili con lo scivolamento che però attraversano entrambe le strutture presenti a valle e a monte. Anche in questo caso appare evidente che il motore SNIFF RANDOM SEARCH (Figura 6.24 , Fs 2.302-2.470) manifesta un rendimento migliore se comparato con il classico algoritmo RANDOM SEARCH , che invece realizza una ricerca puramente casuale dentro il pendio (Figura 6.25, Fs 2.415-2.773.). Si noti che il risultato in figura 6.24 è stato ottenuto generando superfici con il motore SNIFF RANDOM SEARCH, mentre il risultato in figura 6.25 è stato ottenuto generando superfici con il motore RANDOM SEARCH.

In questo caso, ancora la presenza di entrambe le strutture e la discontinuità irregolare tra strato 1 e 5, dimostrano come superfici puramente circolari non sono in grado di esplorare il nostro pendio in maniera esaustiva.

Nella figura 6.26 è mostrato il risultato di una analisi assolutamente originale presente in SSAP nel panorama dei programmi per le verifiche di stabilità all'equilibrio limite. La figura 6.26 mostra una mappa a colori del valore di FS locale. La mappa è stata generata con un campionamento casuale generando 10000 superfici con il motore RANDOM SEARCH effettuando una ricerca generale su tutto il pendio. I risultati sono immagazzinati in memoria del programma (si tratta di alcuni milioni di valori puntuali di Fs) e poi analizzati con un algoritmo geostatistico non-parametrico, e infine restituiti con una mappa raster a colori (in formato PDF).

Nella Figura 6.26 si vede come la presenza di strutture, ha localmente un effetto considerevole nel contenere comunque potenziali criticità' locali, dove l'FS locale assume valori bassi.

La possibilità di generare questo tipo di mappe in pochi secondi, rappresenta un elemento aggiuntivo e originale di SSAP, che aiuta nella valutazione delle condizioni di stabilità e nella pianificazione di interventi volti alla sicurezza. Questo tipo di mappe permette di visualizzare una quantità di informazioni molto importanti e usualmente non ottenibili nella maggior parte dei programmi, anche di quelli commerciali. Tra queste la possibilità di identificare le aree dove è possibile che si generino fenomeni di rottura progressiva.

In questo esempio risulta evidente come la parte bassa del pendio necessita di un incremento di rinforzo (ad esempio inserendo una palificata o un muro in terra rinforzata) per bloccare potenziali criticità.

E' da notare che nell'esempio non siano stati considerati l'effetto sismico e un potenziale incremento del livello di falda o la possibilità di generare una falda temporanea nello strato 1. Considerando queste condizioni aggiuntive il fattore di sicurezza globale e locale si abbasserà ancora. Per questa ragione il pendio oggetto di studio non potrà dirsi sufficientemente sicuro finché non verrà integrata una struttura di rinforzo ulteriore a valle, adeguatamente progettata per garantire la sicurezza in condizioni sismiche e idrologiche estreme

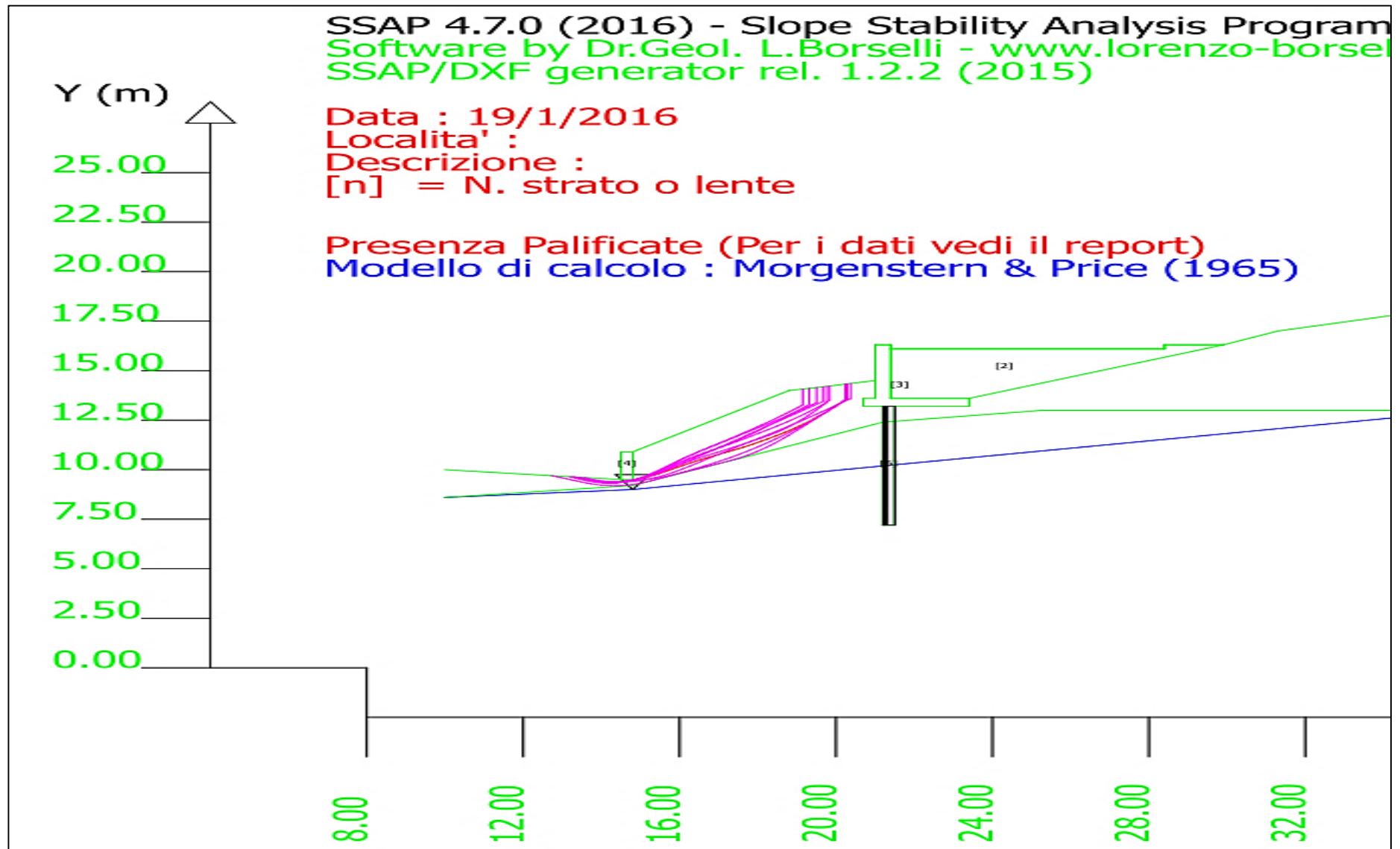


Fig. 6.20 Fascia critica; le dieci superfici con minor  $F_s$  in assoluto ( $F_s$  1.233-1.270), Utilizzando il motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH con smussatore di superfici attivato. (si noti che le superfici non sono circolari)

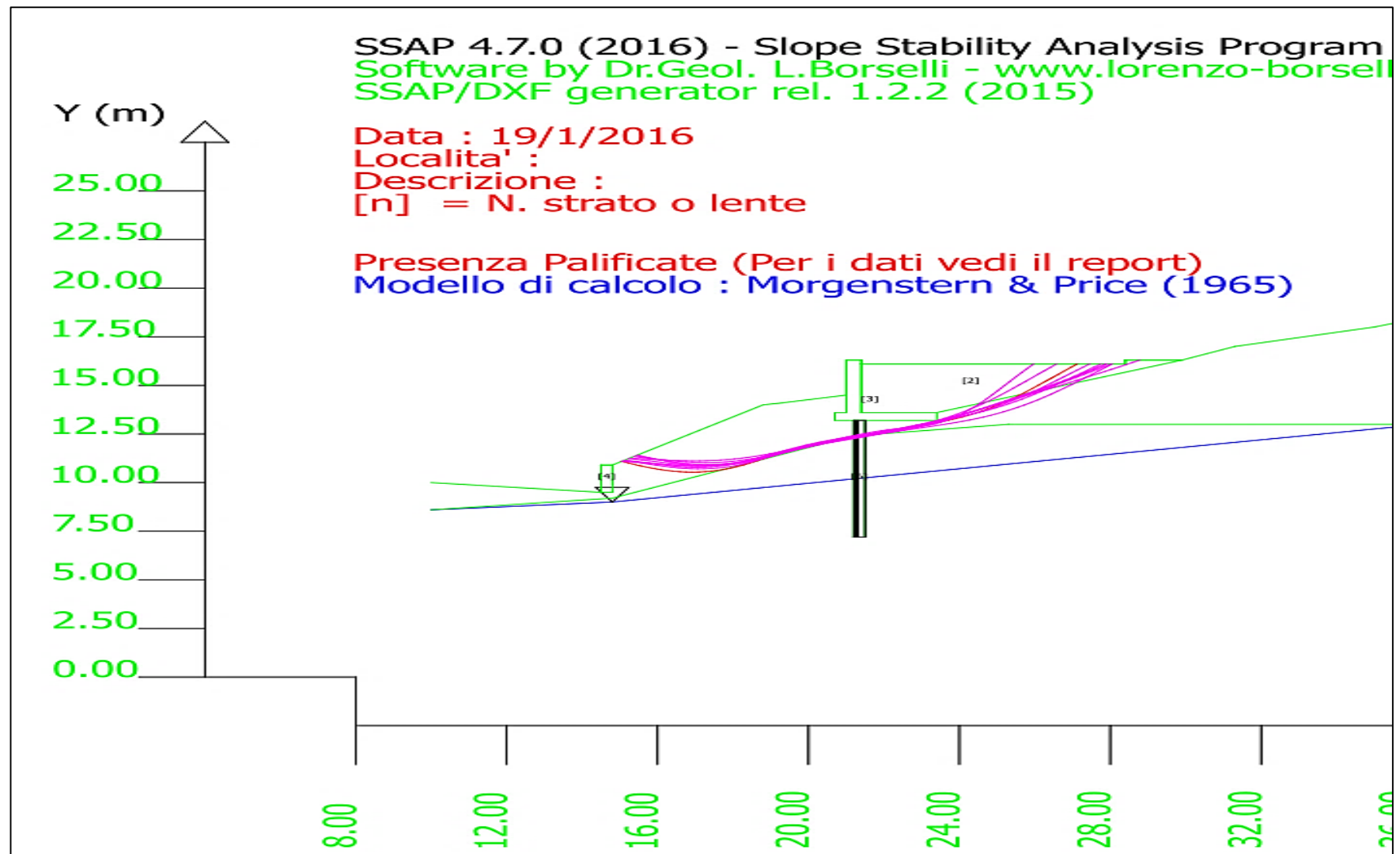
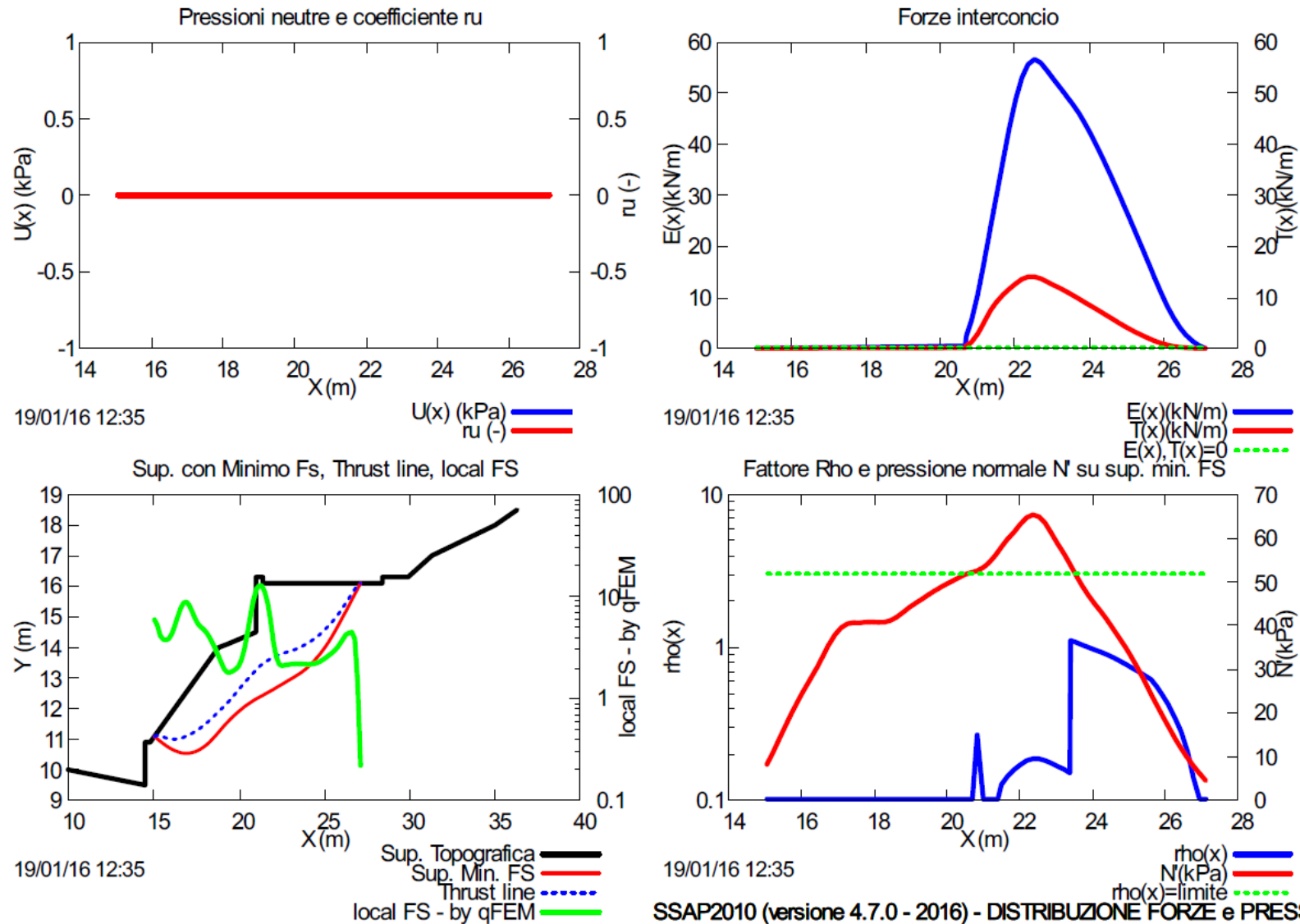


Fig. 6.21 Fascia critica; le dieci superfici con minor  $F_s$  tra quelle che attraversano la struttura a monte ( $F_s$  3.066-3.215), Utilizzando il motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH con smussatore di superfici attivato.(si noti che le superfici non sono circolari, anzi seguono la discontinuità tra strato 1 e 5 )



**Fig. 6.22** Superficie critica della figura 6.21 (Fs 3.066) distribuzione interna forze e pressioni. Si noti la distribuzione delle forze, delle pressioni normali alla superficie e del fattore di sicurezza locale influenzati dalla presenza della struttura di sostegno (Muro più palificata)

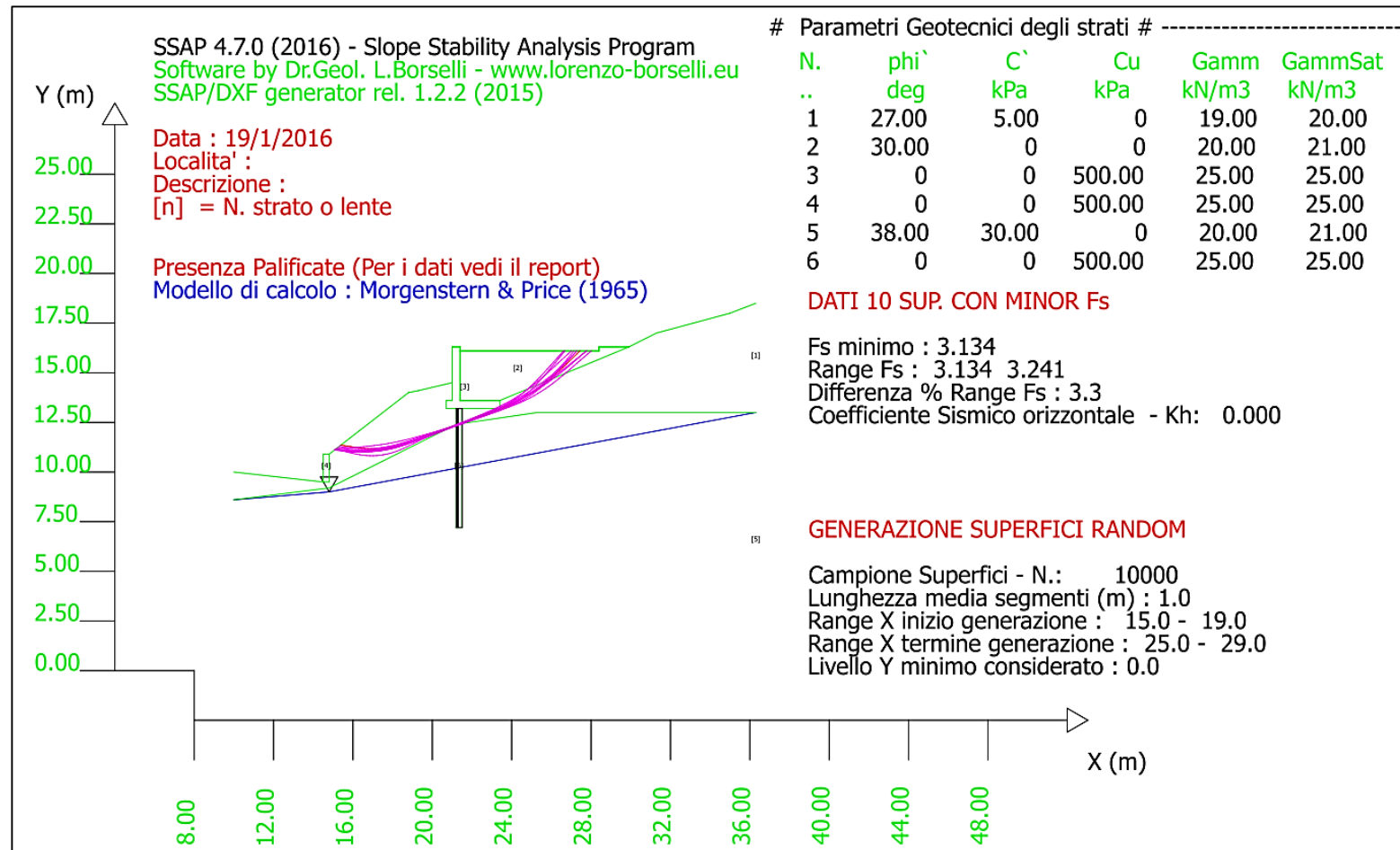


Fig. 6.23 Fascia critica; le dieci superfici con minor Fs tra quelle che attraversano la struttura a monte (Fs 3.134-3.241), Utilizzando il motore di ricerca CONVEX RANDOM SEARCH con smussatore di superfici attivato. Si noti che le superfici non sono circolari, anzi seguono la discontinuità tra strato 1 e 5. Si noti la differenza con la figura 6.21: il motore di ricerca CONVEX non e' in grado di ottenere lo stesso risultato dello SNIFF search.

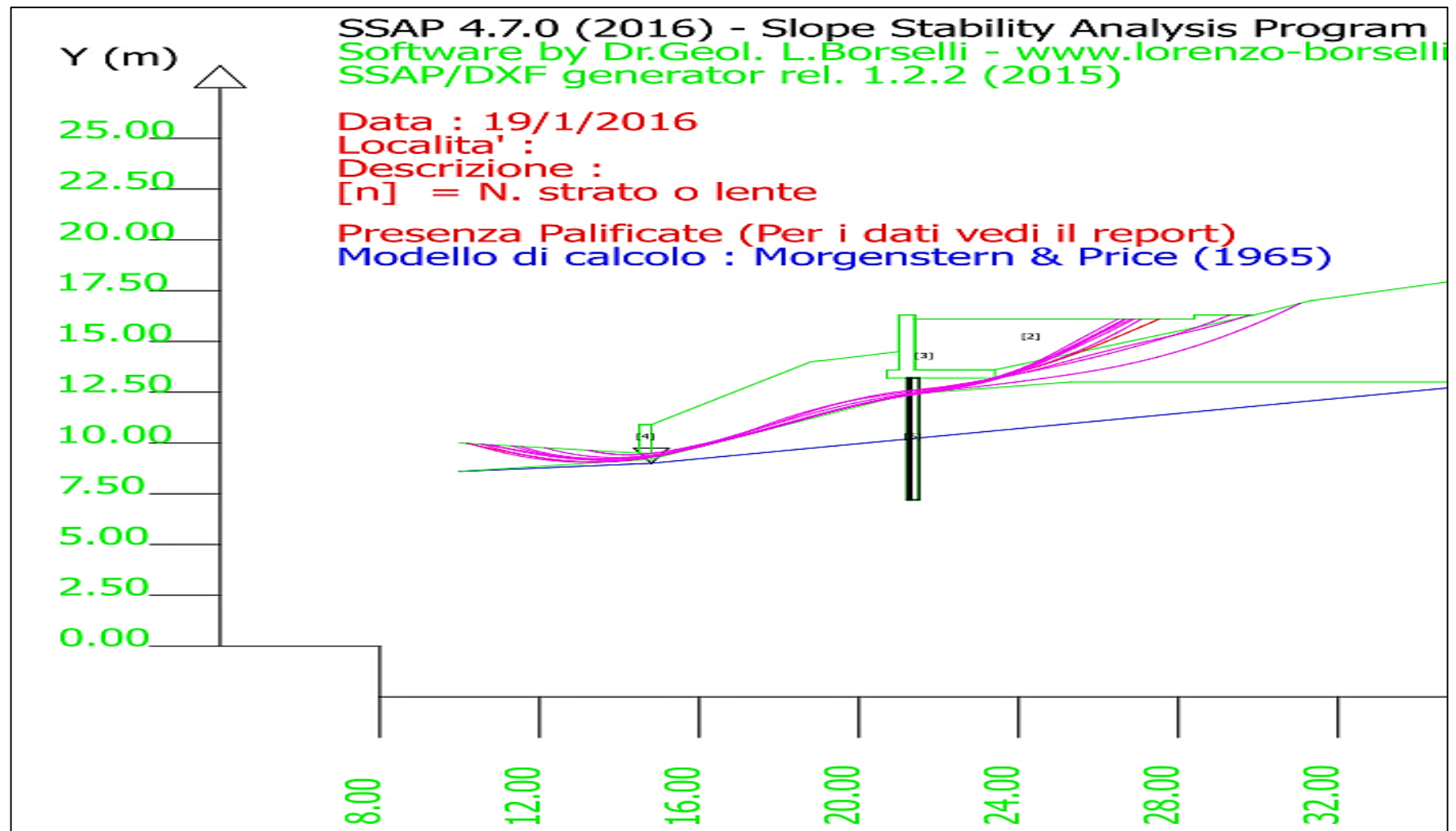


Fig. 6.24 Fascia critica; le dieci superfici con minor  $F_s$  tra quelle che attraversano entrambe le strutture ( $F_s$  2.302-2.470), Utilizzando il motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH con smussatore di superfici attivato e togliendo la limitazione sul controllo del rapporto tra le forze  $T(x)$  e  $E(X)$  (vedi capitoli 2 e 5). Si noti che le superfici non sono circolari, anzi seguono la discontinuità tra strato 1 e 5. ...



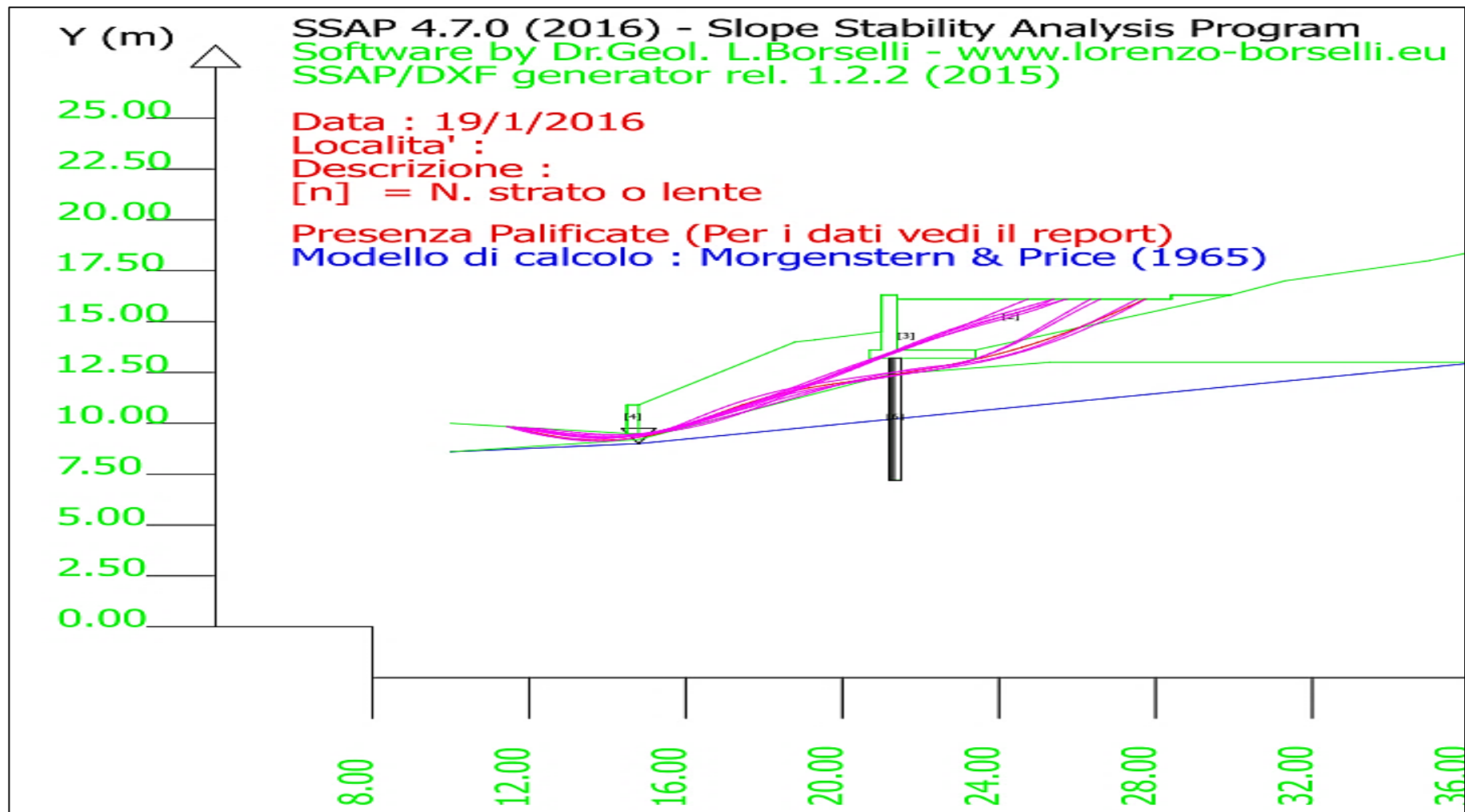
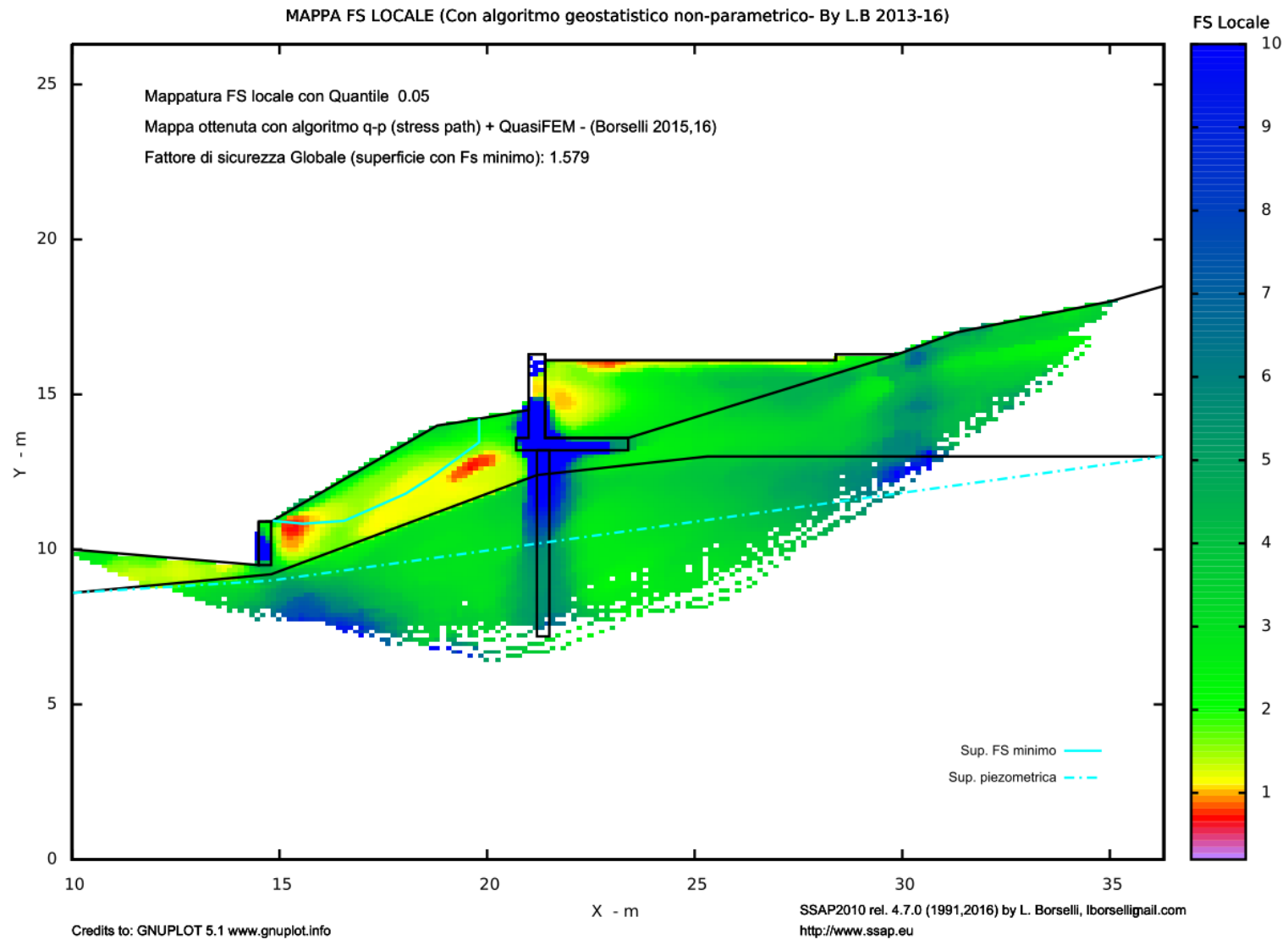
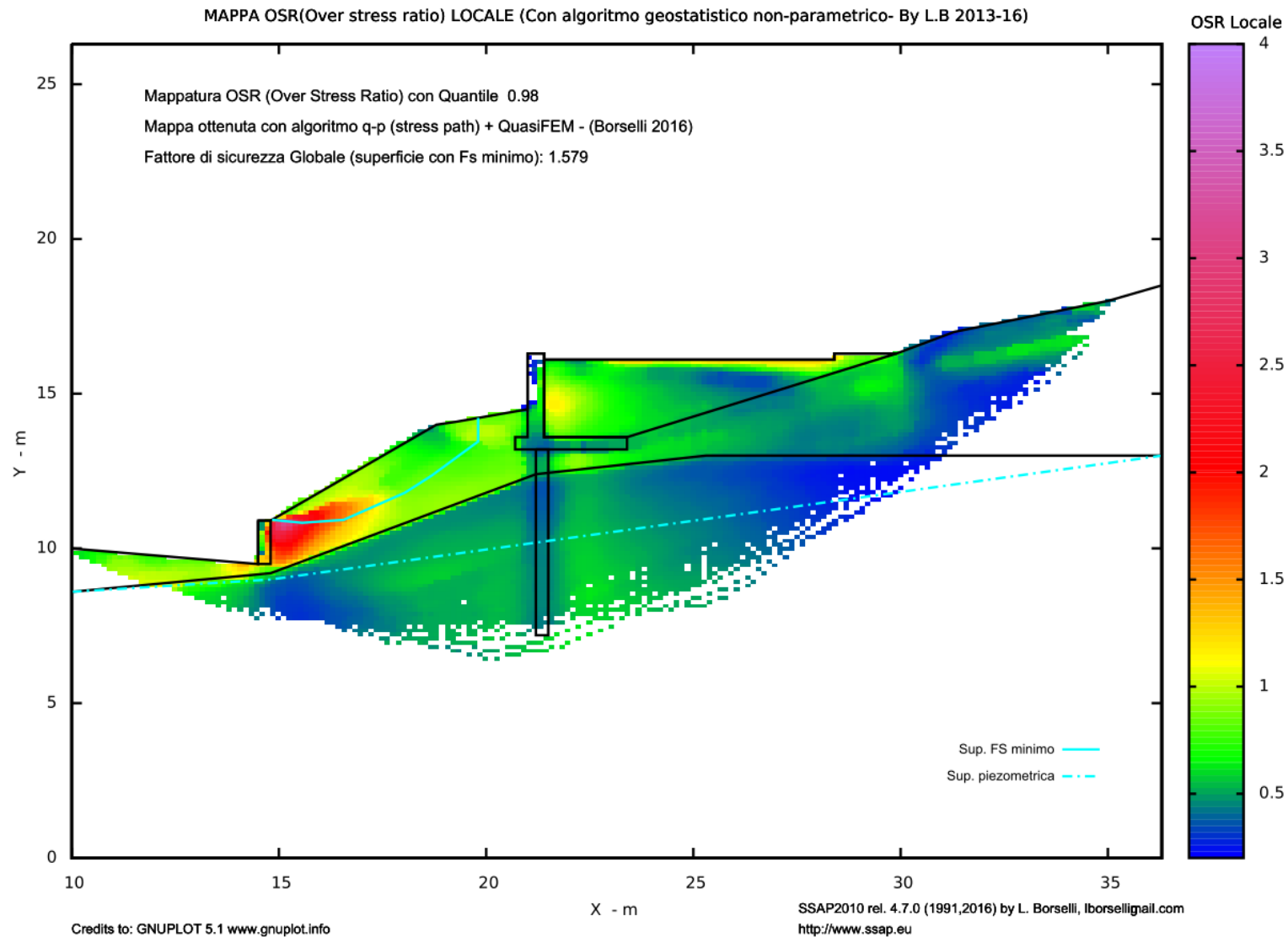


Fig. 6.25 Fascia critica; le dieci superfici con minor  $F_s$  tra quelle che attraversano entrambe le strutture ( $F_s$  2.415-2.773), Utilizzando il motore di ricerca RANDOM SEARCH classico con smussatore di superfici attivato e togliendo la limitazione sul controllo del rapporto tra le forze  $T(x)$  e  $E(X)$  (vedi capitoli 2 e 5).... Si noti che le superfici non sono circolari, anzi seguono la discontinuità tra strato 1 e 5.



**Fig. 6.26 Mappa FS locale.** La mappa è stata generata con un campionamento casuale generando 10000 superfici con il motore RANDOM SEARCH effettuando una ricerca generale su tutto il pendio.



**Fig. 6.27 Mappa dell'OSR (Over stress Ratio).** La mappa rappresenta in termini di stress medio locale (stress principali e stress path) le aree dove lo shear stress massimo locale è superiore alla resistenza al taglio locale. Le zone con  $OSR > 1.0$  sono le zone più probabili per una generazione di una rottura progressiva.

#### 6.2.4 Esempio 4

File **test\_noliquef1.MOD** e **test\_liquef1.MOD** nella cartella: **\pendii\liquefaz**

Di seguito un esempio di verifica di stabilità di un argine fluviale in condizione di magra. L'argine è caratterizzato da una alternanza di strati orizzontali di sabbie e sabbie limose e di terreno coesivo con valori di resistenza al taglio in condizioni non drenate medio alte. È inclusa una berma sommersa costituita da blocchi di roccia (strato 5). La analisi è effettuata in condizioni statiche(**test\_noliquef1.MOD**) e in condizioni di post-liquefazione (parziale o totale) (**test\_liquef1.MOD**) degli strati 3 e 6.

Le condizioni di liquefacibilità degli strati 3 e 6 sono indicate nel file .LIQ. Strato 3 : liquefacibilità totale con  $F_{S_{liq}}=0.6$  e numero di colpi NSPT(corretto) =8 ; Strato 6: liquefacibilità parziale con  $F_{S_{liq}}=1.1$  e numero di colpi NSPT(corretto)=13.

In condizioni statiche il pendio è al limite della stabilità ( $F_s=1.102$ ) con la maggior criticità concentrata nello strato 4(argille). Nel caso di una analisi post-liquefazione, post input sismico la maggior criticità si sposta nello strato 3 (sabbie)( $F_s=0.66$ ). Il risultato è visualizzabile anche nelle mappe del valore di  $F_s$  locale.

**In questo caso la adozione di motori di ricerca classici come superfici circolari o a forzata convessità non permette la corretta identificazione della zona di maggiore criticità del pendio. Le discontinuità stratigrafica sono regolari ma sono prevalentemente orizzontali e di debole spessore molto ridotto fanno sì che si rende essenziale l'utilizzo del motore SNIFF RANDOM SEARCH nella versione più aggiornata (versione 2.3) distribuita con SSAP2010 rel. 4.7.0.**

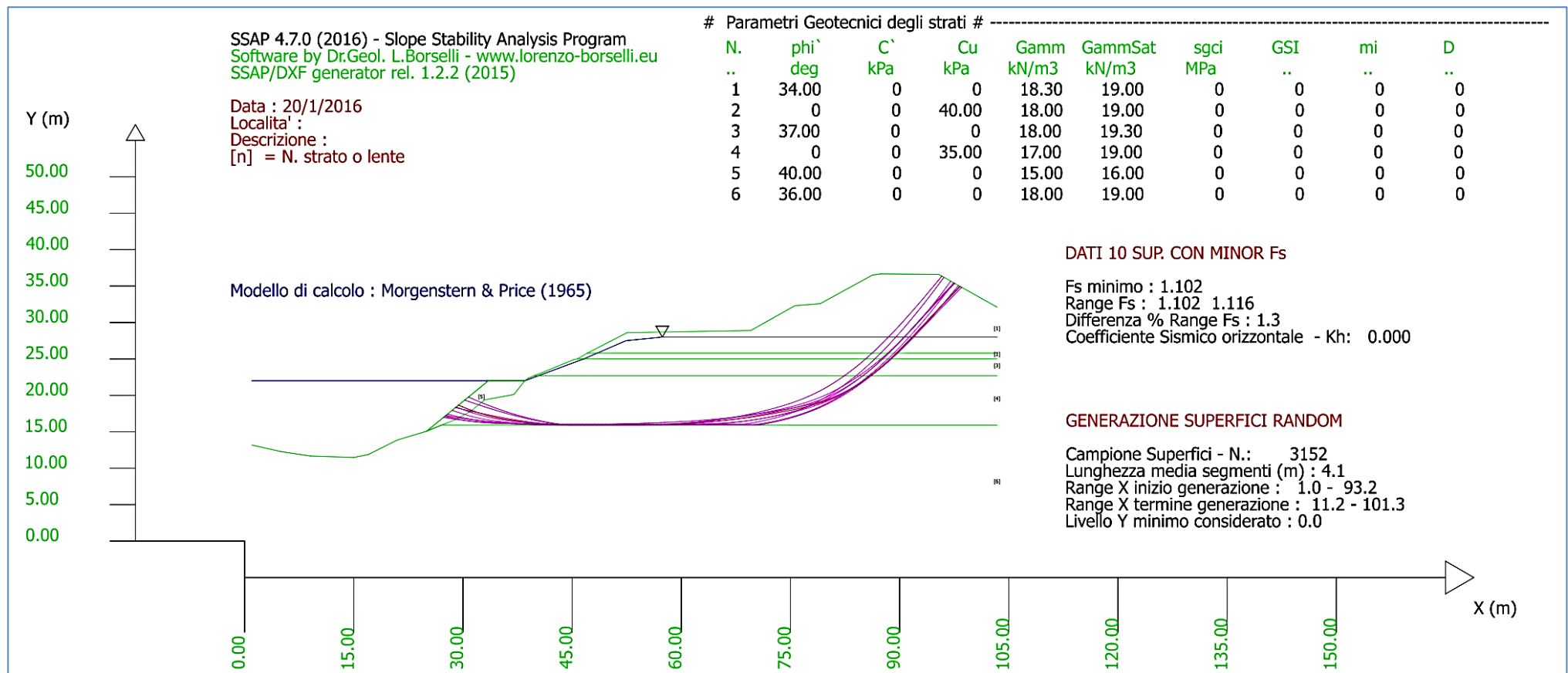


Fig. 6.28. Risultato della verifica di stabilità in condizioni statiche. Le dieci superfici con minor Fs (Fs 1.102-1.116), Utilizzando il motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH classico con smussatore di superfici attivato. Si noti che le superfici non sono circolari, anzi seguono prevalentemente lo stato 4. Si noti che questo risultato è stato ottenuto generando solo 3152 superfici

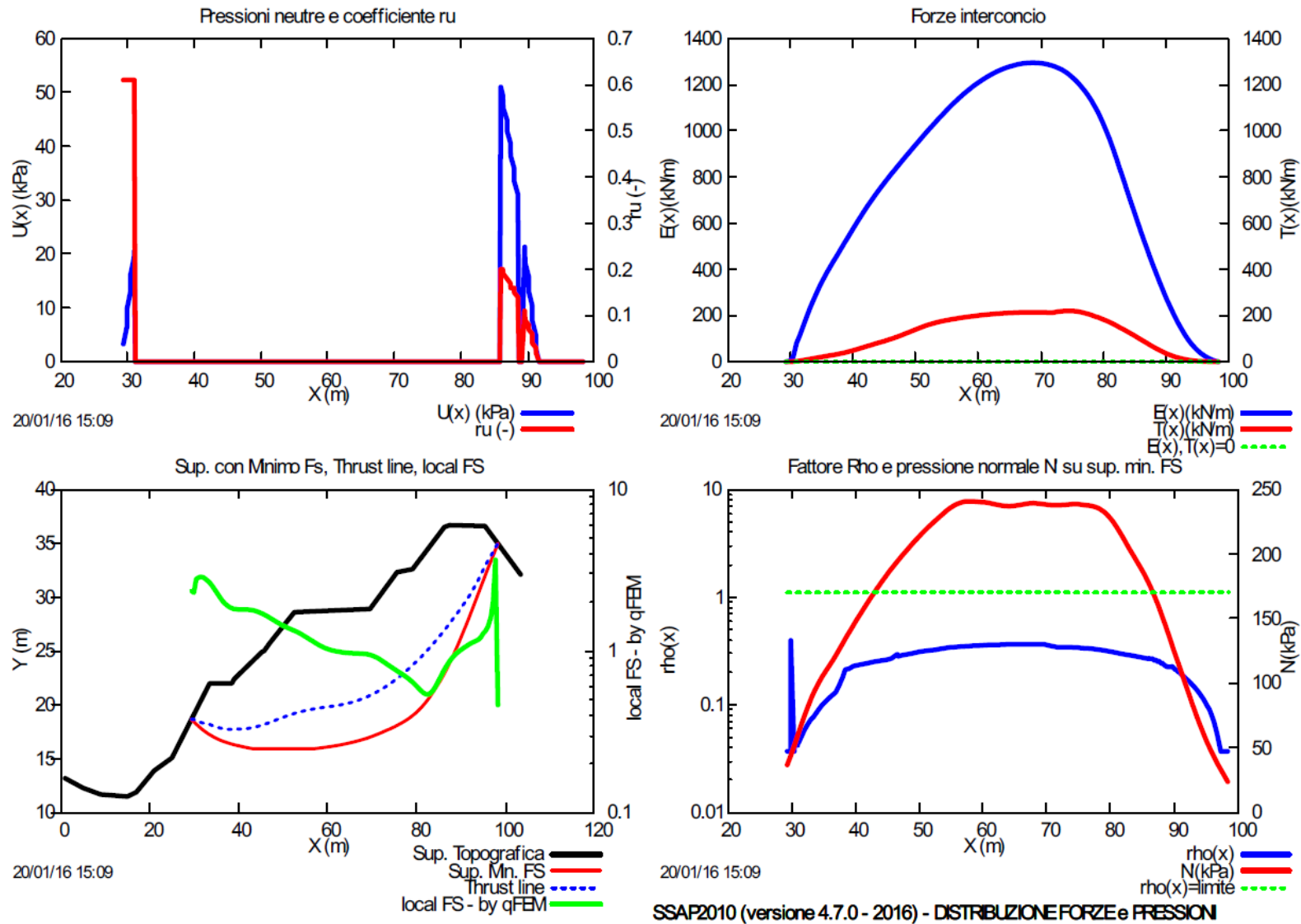
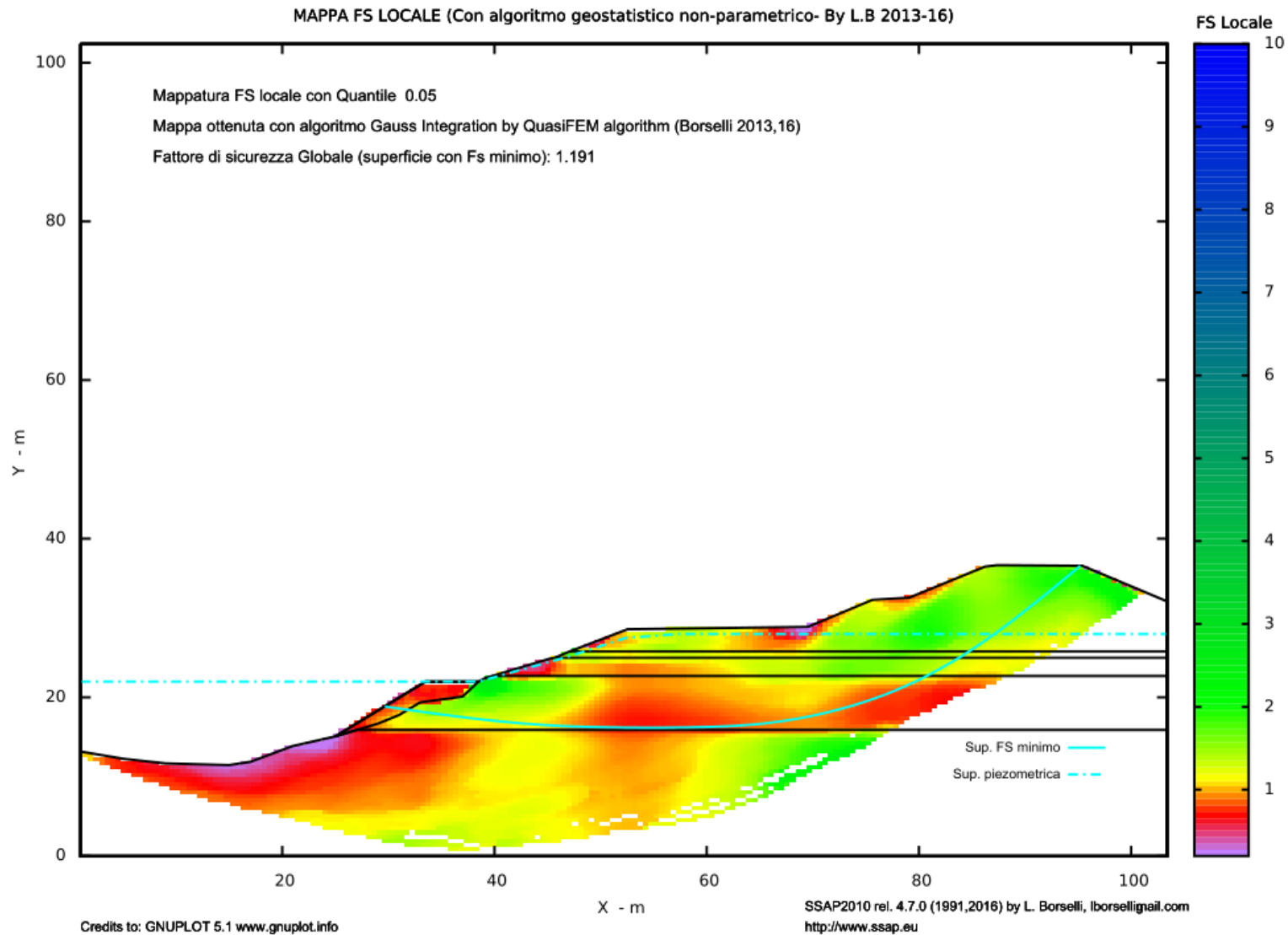
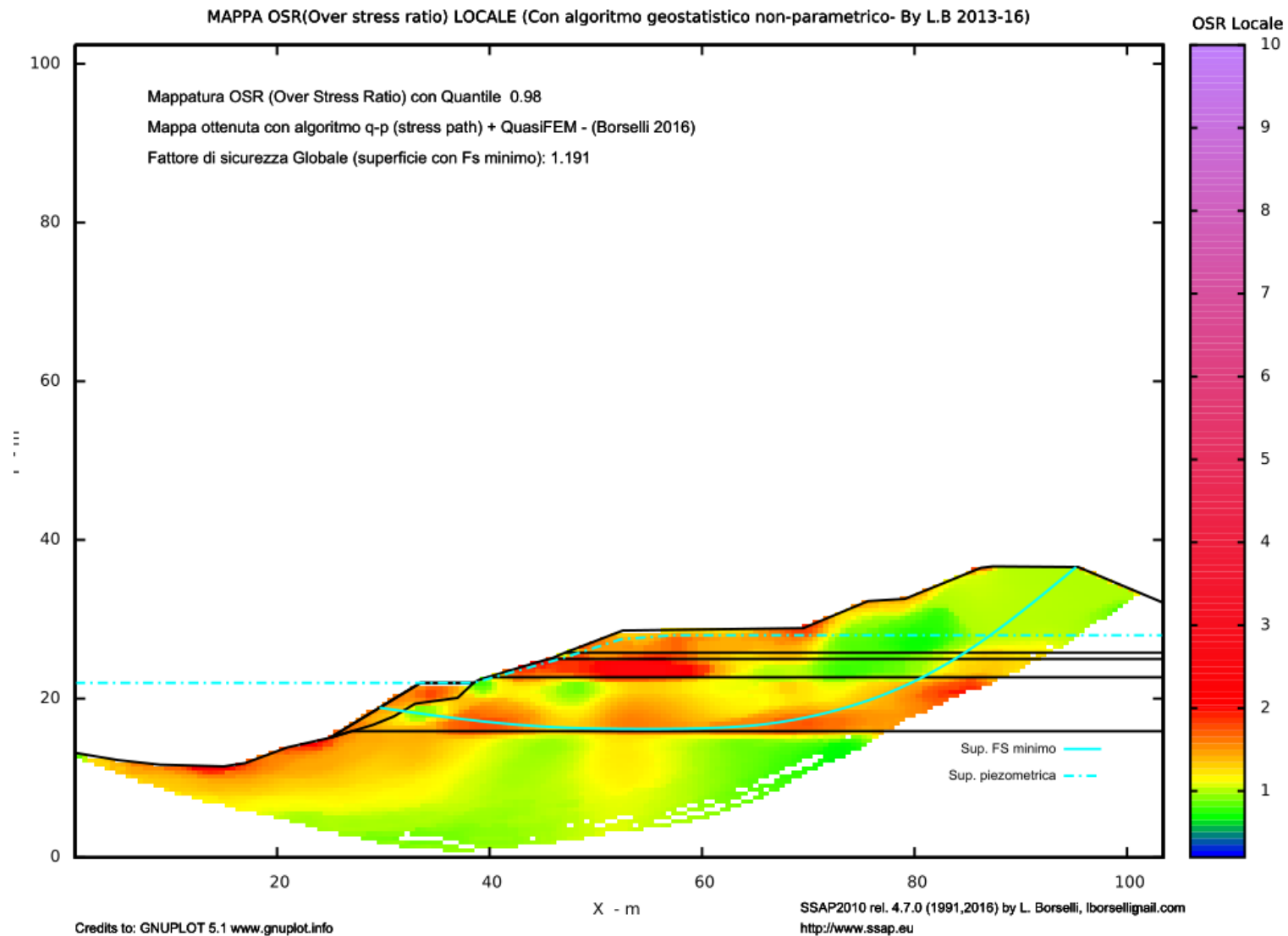


Fig. 6.29 Superficie critica della figura 6.19 (Fs 1.102) distribuzione interna forze e pressioni. Si noti la distribuzione delle forze, delle pressioni normali alla superficie e del fattore di sicurezza locale.



**Fig. 6.30 Mappa FS locale.** La mappa è stata generata con un campionamento casuale generando 10000 superfici con il motore RANDOM SEARCH effettuando una ricerca generale su tutto il pendio. si noti come nella parte interna dello strato 4 si concentra la zona con maggior criticità



**Fig. 6.31 Mappa OSR locale.** La mappa è stata generata con un campionamento casuale generando 10000 superfici con il motore RANDOM SEARCH effettuando una ricerca generale su tutto il pendio. si noti come nella parte interna dello strato 4 si concentra la zona con maggior criticità. La mappa rappresenta in termini di stress medio locale (stress principali e stress path) le aree dove lo shear stress massimo locale è superiore alla resistenza al taglio locale. Le zone con  $OSR > 1.0$  sono le zone più probabili per una generazione di una rottura progressiva.



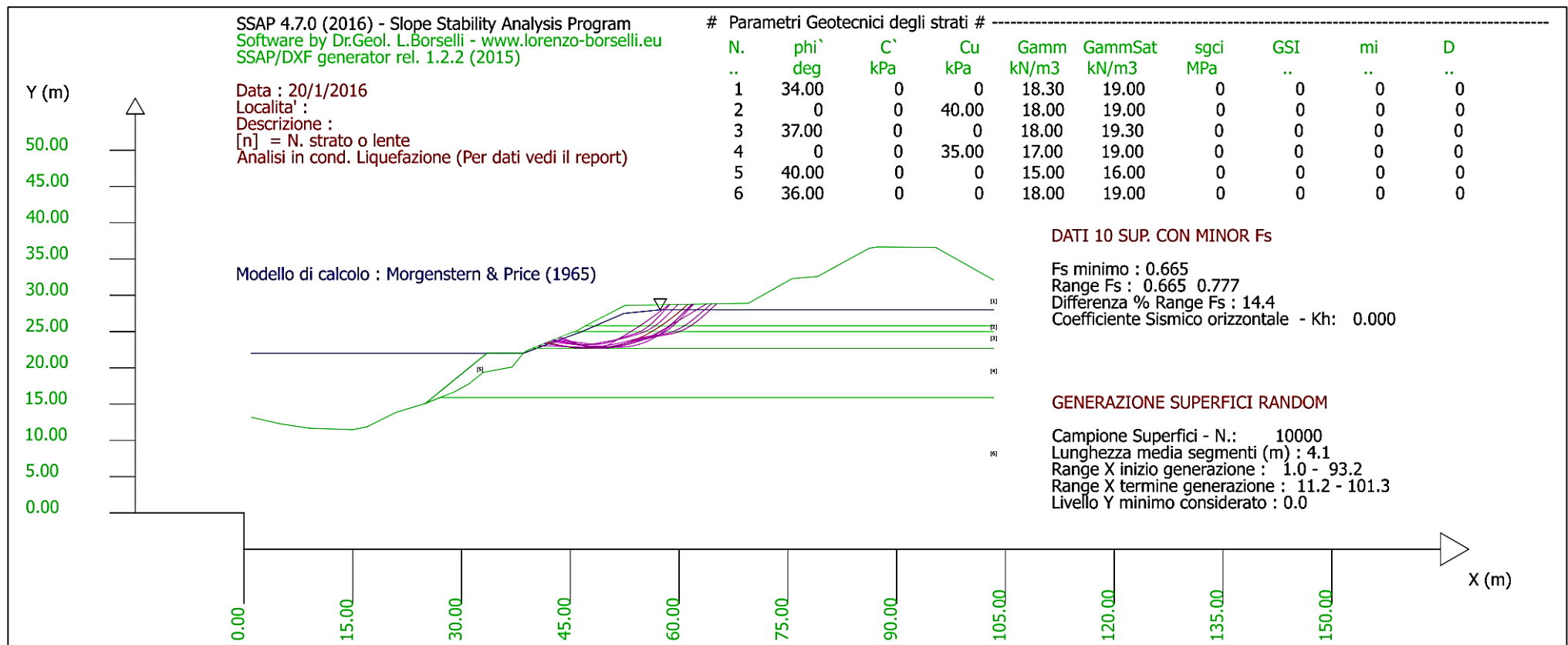
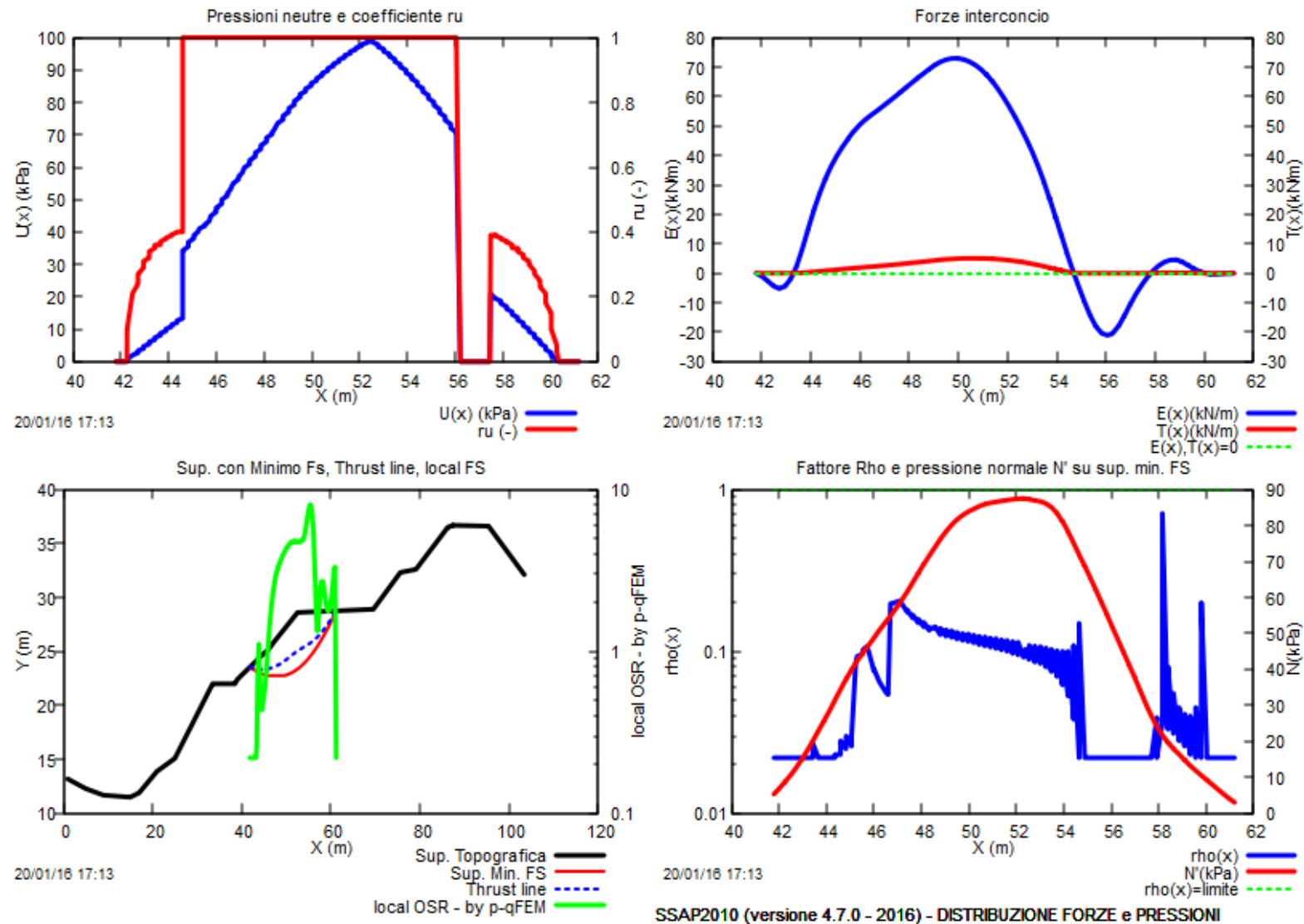
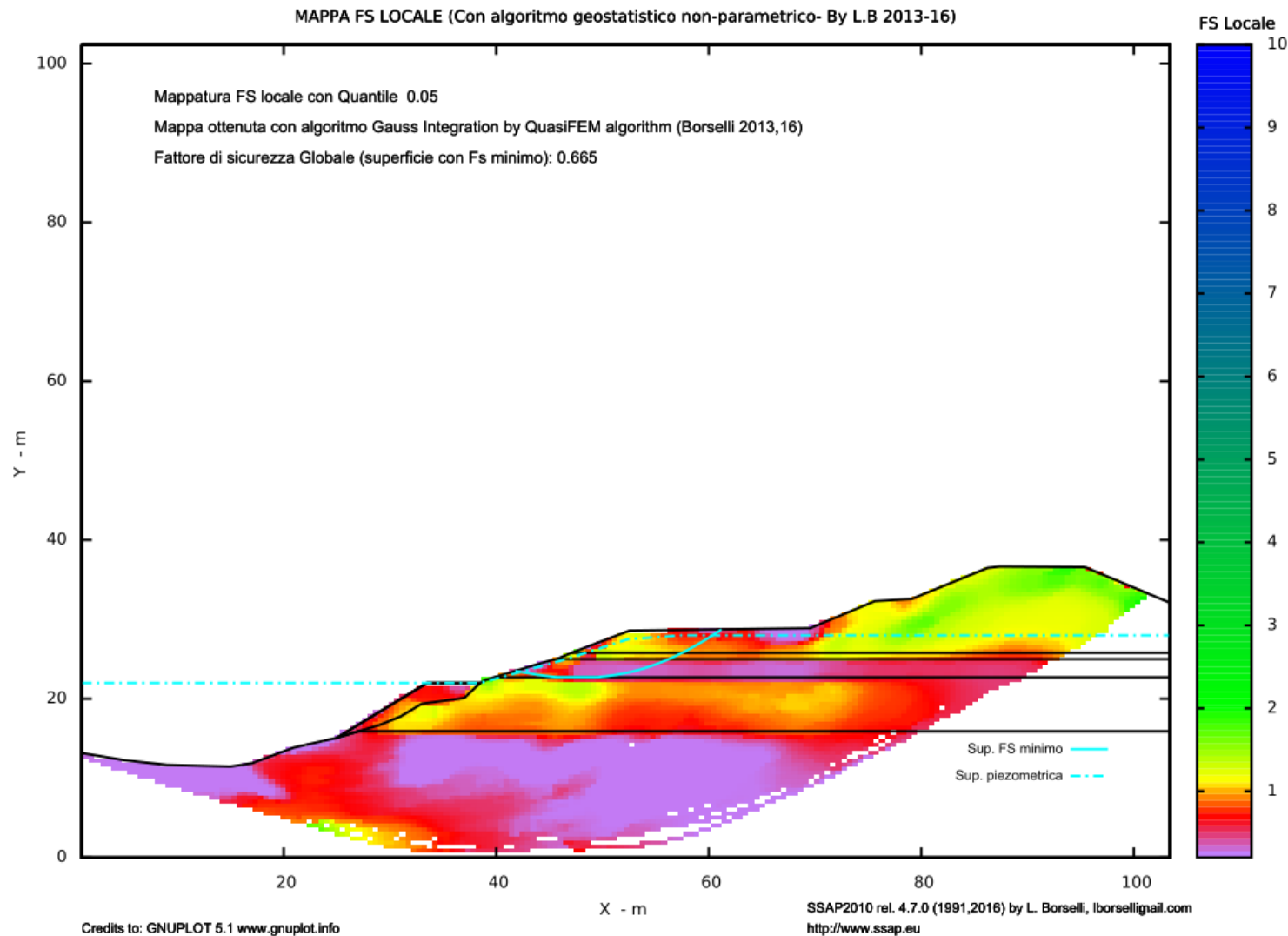


Fig. 6.32. Risultato della verifica di stabilità in condizioni post-liquefazione. Le dieci superfici con minor Fs ( $F_s$  0.665-0.777), Utilizzando il motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH classico con smussatore di superfici attivato. Si noti che le superfici non sono circolari, anzi seguono prevalentemente lo stato 3. Si noti che questo risultato è stato ottenuto generando 6000 superfici. Lo stato 3 ha condizione di liquefazione totale ( $F_{sliq}=0.6$ ) post input sismico di progetto. I valori stimati puntualmente di resistenza al taglio residua (cond. non drenate) secondo il modello Olson e Stark (2002,2003) forniscono condizioni di alta criticità.

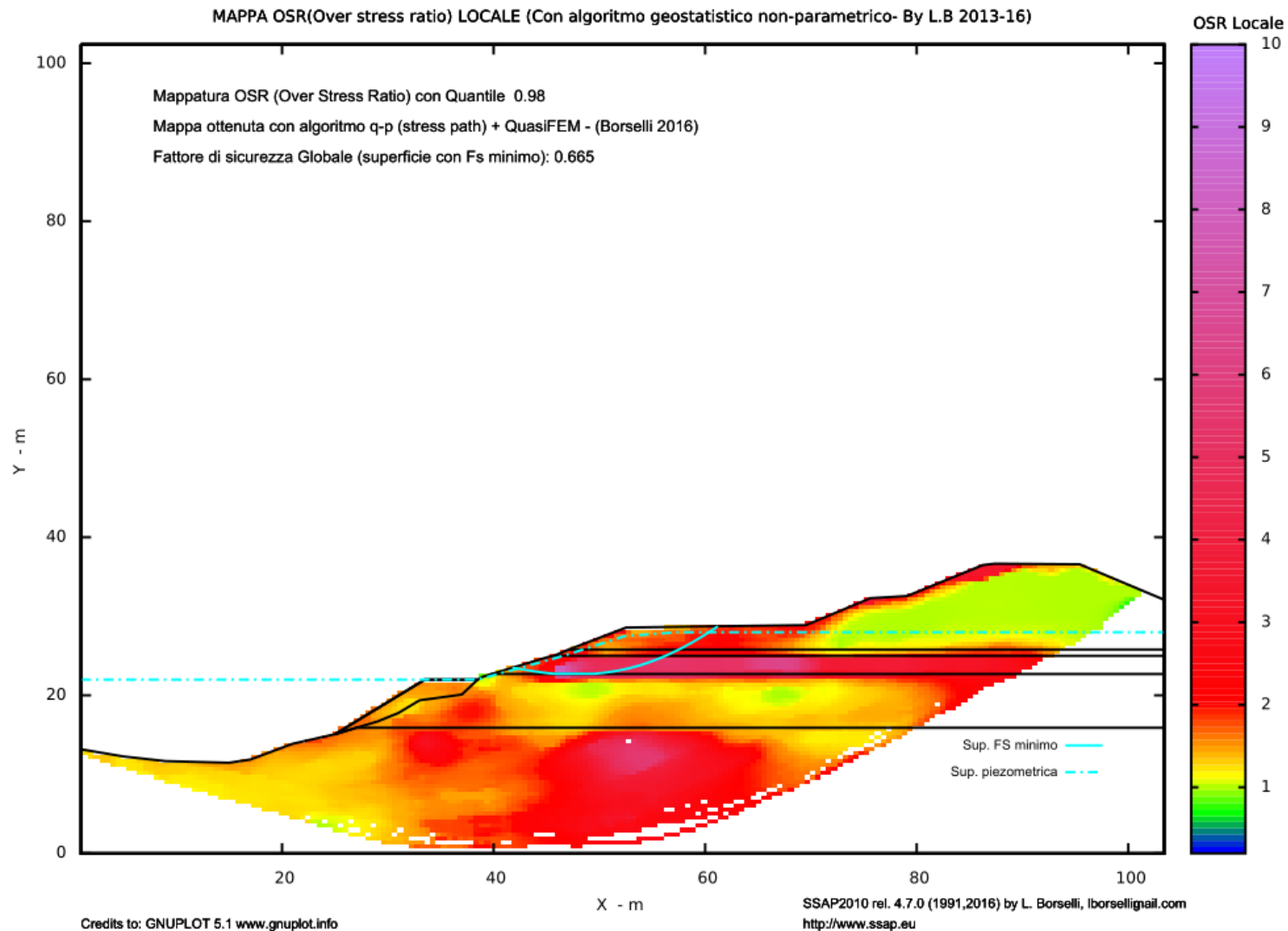


SSAP2010 (versione 4.7.0 - 2016) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

**Fig. 6.33** Superficie critica della figura 6.32 ( $F_s$  0.665) distribuzione interna forze e pressioni. Si noti la distribuzione delle forze, delle pressioni normali alla superficie e del fattore di sicurezza locale. La pressione dei pori nello stato 1 è caratterizzata da valori elevati dovuto alle condizioni di post-liquefazione (condizione di liquefazione totale  $Ru=1.0$ )



**Fig. 6.34 Mappa FS locale.** La mappa è stata generata con un campionamento casuale generando 10000 superfici con il motore SNIFF-RANDOM SEARCH effettuando una ricerca generale su tutto il pendio. Si noti come nella parte interna dello strato 3 si concentra la zona con maggior criticità dovuto al processo di liquefazione totale. Comunque nello strato 6, dovuto al processo di liquefazione parziale incremento della pressione di poro anomalo porta a una criticità. (Confrontare la figura 6.30)



**Fig. 6.35 Mappa OSR locale.** La mappa è stata generata con un campionamento casuale generando 10000 superfici con il motore SNIFF RANDOM SEARCH effettuando una ricerca generale su tutto il pendio. si noti come nella parte interna dello strato 3 si concentra la zona con maggior criticità dovuta alla liquefazione totale (confrontare la figura 6.31). La mappa rappresenta in termini di stress medio locale (stress principali e stress path) le aree dove lo shear stress massimo locale è superiore alla resistenza al taglio locale. Le zone con  $OSR > 1.0$  sono le zone più probabili per una generazione di una rottura progressiva.

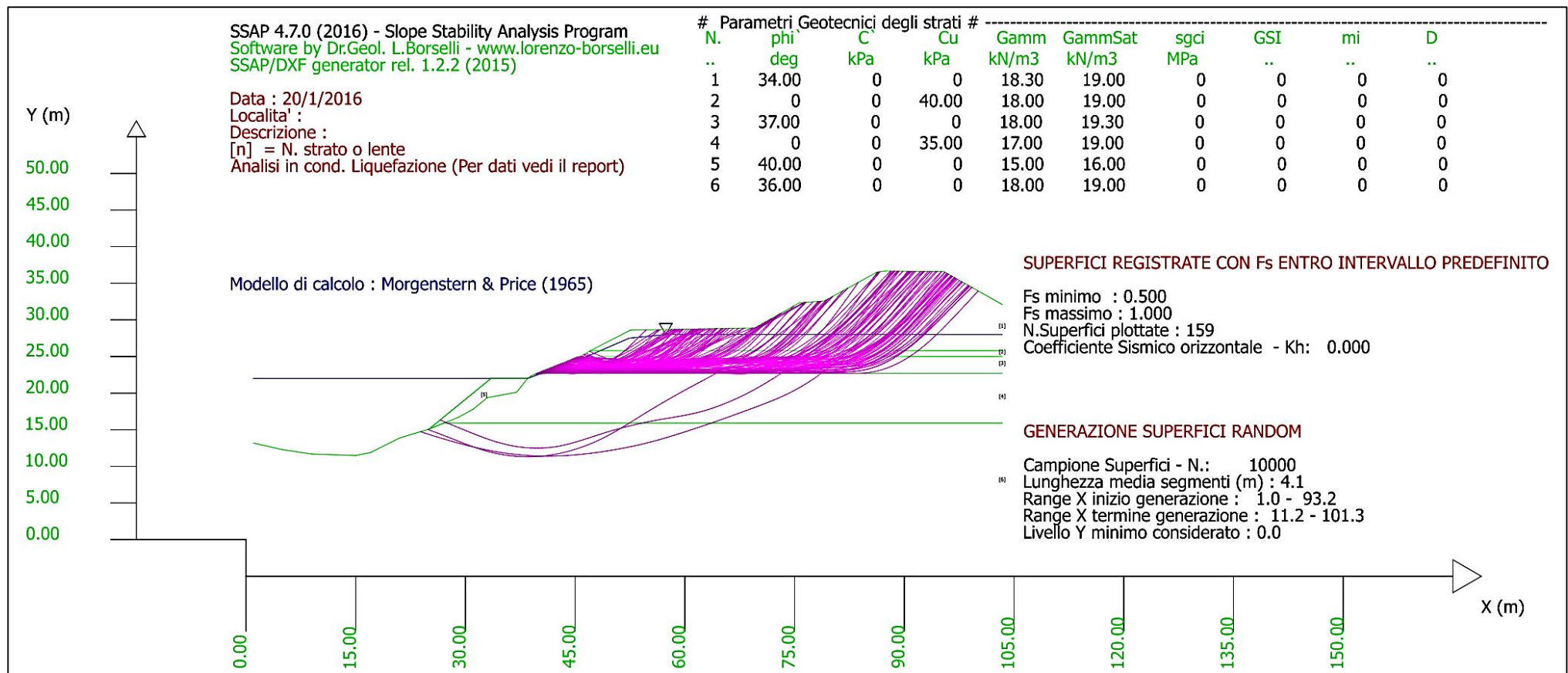


Fig. 6.36 plottaggio di tutte le superfici entro un intervallo di  $F_s=0.665-1.0$ . La verifica è stata prodotta generando 10000 superfici con il motore SNIFF-RANDOM SEARCH effettuando una ricerca generale su tutto il pendio, con attrattore dinamico disattivato. Si noti che esistono 3 famiglie di superfici critiche. A famiglia con superfici più profonde è relativa allo strato 6 ed è dovuta ai problemi di liquefazione parziale già evidenziati nella mappa della figura 6.34.

## CAPITOLO 7 - OUTPUT GRAFICI E STAMPA

### 7.1 Creazione di file DXF

A partire dalla versione SSAP2000 è possibile generare automaticamente files DXF compatibili con lo standard AUTOCAD 12 e superiori. La creazione e l'utilizzo di questi files fornisce la massima versatilità, potendo essi essere archiviati, modificati a piacere e inseriti direttamente in documenti e relazioni. I file DXF per archiviare o modificare l'output grafico del programma possono essere generati quando lo si desidera (fig. 7.1).

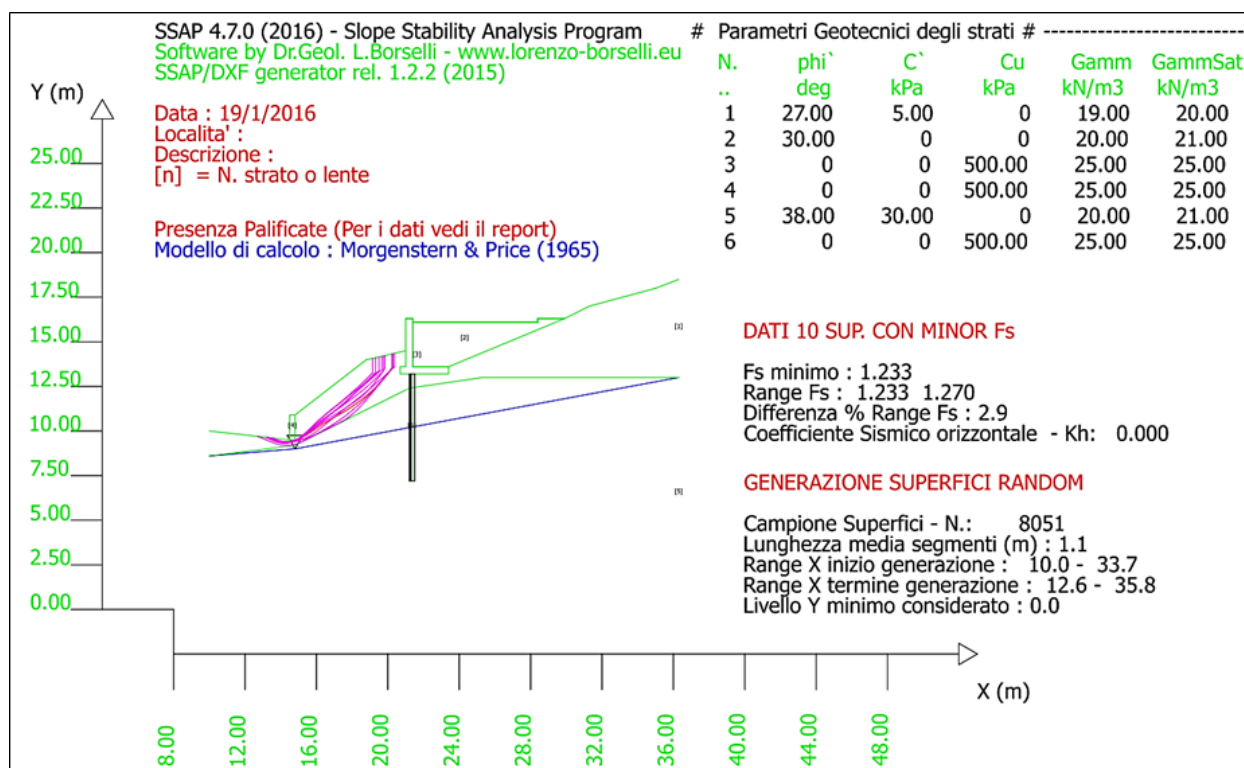


Fig. 7.1

### 7.2 VISUALIZZAZIONE DEI GRAFICI DURANTE LE VARIE FASI DI LAVORO

#### 7.2.1 Risultati grafici delle verifiche

Il formato di output grafico è esclusivamente il formato DXF. La visualizzazione e la eventuale stampa è demandata a programmi esterni di CAD che vengono attivati dal programma SSAP.

Nella versione PORTABLE di SSAP il programma esterno di visualizzazione e' già installato e predisposto. Non e' necessaria alcuna configurazione aggiuntiva. Il programma esterno per la visualizzazione e l'editing dei file DXF generati e' QCAD di [www.qcad.org](http://www.qcad.org) (R) disponibile gratuitamente su <http://www.qcad.org>, e presente nel pacchetto di installazione di SSAP2010

Se l'utente desidera usare un altro programma di CAD compatibile con SSAP è possibile configurare manualmente SSAP per poterlo utilizzare. Tuttavia questa operazione non e' consigliata perché normalmente si ritiene che il pacchetto QCAD (in italiano) sia ampiamente adeguato.

Nel caso si voglia procedere a una configurazione alternativa E' sufficiente disporre di un programma per visualizzare i file DXF e predisporre l'opportuno setup del file **SSAP2010.INI** che è ubicato nella cartella dove risiede il programma SSAP. Il programma di CAD può essere

una applicazione completa come AUTOCAD o AUTOCAD LT della Autodesk(R), o programmi gratuiti che permettono la visualizzazione rapida e la stampa e la editazione dei file DXF. Ad esempio come **LIBRECAD** disponibile gratuitamente su <http://www.librecad.org>

Alcuni di questi programmi CAD sono **freeware**, cioè di pubblico dominio, gratuiti e non richiedono licenza. Essi possono essere scaricati gratuitamente da internet e installati sul computer dell'utente senza restrizioni. Si veda nella appendice H le informazioni sulla configurazione di SSAP2010 mediante il file **SSAP2010.INI**. (**Vedasi appendice H per dettagli**).

I risultati grafici delle verifiche (modello del pendio + insieme di superfici rappresentative della stabilità del pendio) svengono automaticamente visualizzati premendo il pulsante Vedi Grafici alla fine del processo di verifica o premendo il pulsante RISULTATI TEMPORANEI nella finestra principale di SSAP:

Ogni grafico DXF Plottato dal programma ausiliare di Cad. ( QCAD in questo caso) può essere salvato anche in altri formati grafici RASTER (BMP,JPG, TIF). Per esperienza si consiglia di utilizzare la procedura di esportazione prevista da QCAD per il Formato TIF. Nel menu FILE di QCAD. Per una conveniente esportazione in formato TIF si consiglia di non superare le dimensioni in Pixel di 2500x1500 pixels. (la figura 7.1 e' un esempio di grafico DXF esportato in formato TIF e successivamente incollato nel testo di questo manuale.

### 7.2.2 Grafici pressioni e forze interconco, a fine verifica

È possibile alla fine di ogni verifica di stabilità visualizzare una serie di grafici con la distribuzione interna delle forze interne e delle pressioni della massa potenzialmente scivolante definita dalla superficie critica (con minor FS) individuata.

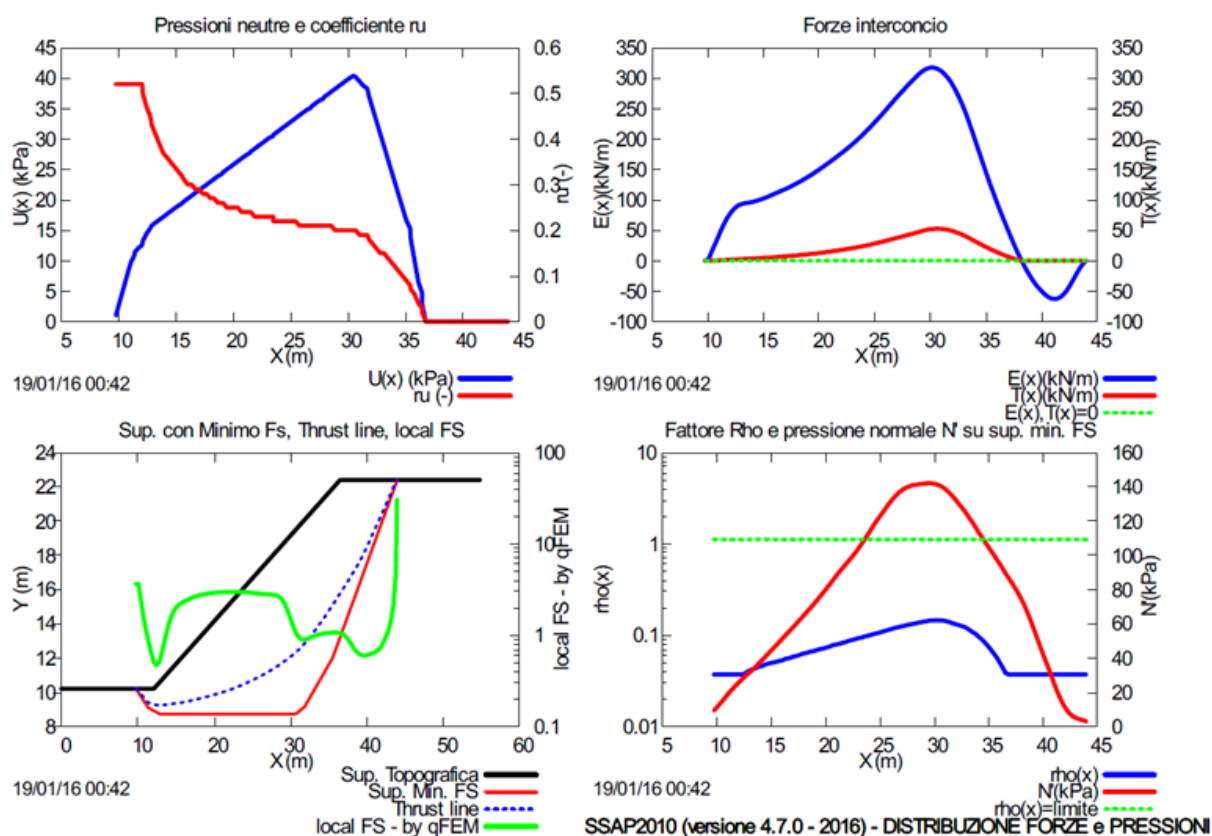


Fig. 7.2

La finestra grafica (fig. 7.2) può essere copiata in appunti (del sistema Windows) e incollata in file di **Word** o **Powerpoint** oppure salvata come file PDF o come grafico vettoriale



(formato EMF) o raster (.BMP), oppure stampato direttamente. Questa possibilità è offerta dal pacchetto **GNU PLOT** ([www.gnuplot.info](http://www.gnuplot.info)) che è interamente di uso libero e viene anch'esso incorporato nel pacchetto PORTABLE di SSAP e già preinstallato perché possa essere usato direttamente e automaticamente da SSAP senza bisogno di configurazioni aggiuntive.



## CAPITOLO 8 - NOTE CONCLUSIVE

Il software SSAP presenta molte originalità e peculiarità rispetto a numerosi softwares commerciali ed il fatto che sia uno strumento gratuito e di uso libero non è certamente la principale tra queste.

Tali peculiarità sono infatti nel cuore di calcolo del programma, ovvero nell'insieme degli algoritmi impiegati per risolvere problemi di verifiche di stabilità all'equilibrio Limite (metodi LEM) nella configurazione più complessa e rigorosa. Un cuore di calcolo che è concreto, affidabile, veloce e rigoroso.

Ricordiamo che i metodi all'equilibrio limite sono una metodologia che si è andata evolvendo negli ultimi 90 anni. Pensati in origine per svolgere calcoli semplificati e veloci, questi metodi si sono evoluti negli ultimi decenni per essere impiegati su calcolatori sempre più potenti, per svolgere verifiche su modelli di pendio sempre più complessi. Tuttavia mentre la capacità di elaborazione è cresciuta nei decenni con ritmi esponenziali, la maggior parte dei softwares, commerciali e non, è rimasta ancorata a metodologie che, anche se tecnicamente corrette, sono da considerarsi oramai obsolete, come quella di verificare superfici esclusivamente di forma circolare. I passi in avanti della ricerca su questo specifico aspetto, realizzati negli anni 80 e 90 del XX secolo, come la possibilità di generare campioni rappresentativi di superfici di forma generica per testare la stabilità globale di un pendio, sono stati implementati in alcuni softwares ben conosciuti. Tuttavia questo non ha, in pratica, fino ad oggi realizzato un rilevante mutamento nella metodologia impiegata nelle verifiche di stabilità dei pendii. Probabilmente anche perché a livello didattico, nella maggior parte delle università, ancora oggi si prediligono percorsi didattici che sono ancora ancorati a metodologie certamente ben collaudate ma ancorate a tecniche di 40 anni fa. Gli strumenti per fare un passo oltre in questa direzione ora esistono, e alcuni sono pure gratuiti.

Il SSAP vuol essere a tal proposito un passo oltre. Infatti implementa una articolata serie di strumenti molto avanzati che permettono di esplorare un pendio generando una serie di superfici di forma generica (e quindi non vincolata a forme predefinite come la circolare) fino a indentificare non solo la superficie più critica in assoluto (fattore FS più basso) ma anche fasce e zone con maggiore criticità del pendio. I motori di generazione e ricerca RANDOM di SSAP, ovvero una serie di algoritmi che sono come un secondo cuore di calcolo, sono un elemento ulteriormente innovativo. Alcuni di questi algoritmi come lo SNIFF RANDOM SEARCH sono uno strumento totalmente originale. Il calcolo del fattore di sicurezza (FS) associato a un pendio viene svolto poi non solo usando esclusivamente metodi di calcolo rigorosi riconosciuti tra i più affidabili già da 40 anni, ma implementando una serie numerosa di strategie computazionali e algoritmi che incrementano la affidabilità dei risultati eliminando o mitigando alcuni delle più conosciute problematiche nel calcolo di FS su pendii complessi, con e senza opere di rinforzo.

La interfaccia grafica amichevole di SSAP, nonché una serie di strumenti e softwares ausiliari già preinstallati e di uso libero, completano le possibilità operative del programma a cui è associato un manuale di oltre 280 pagine, con teoria, esempi di applicazione e video didattici disponibili sul un sito web dedicato.

SSAP2010 è il frutto della Ricerca italiana e può oggi essere liberamente, senza costi, utilizzato a da tutti e a beneficio della Comunità. Esso di fatto non ha un unico autore. Molti utenti negli ultimi 20 anni hanno infatti contribuito con le loro osservazioni e suggerimenti, incentivando così il suo sviluppo. Questo costante e crescente coinvolgimento ha prodotto molte idee nuove che sono state testate e alla fine impiegate. Associato a SSAP esiste da alcuni anni uno sperimentato modello di didattica e divulgazione no profit. Infatti un

risultato della ricerca non serve a niente se non coesistono iniziative per divulgarlo. Senza queste azioni sinergiche, il progresso infatti non si realizza.

Ad oggi a livello mondiale non esiste un software equivalente al SSAP, con questo grado di innovazione, di uso totalmente libero, documentato e disponibile per tutti gratuitamente.

## **8.1 WEB Links utili**

**Sito ufficiale software SSAP:** [www.ssap.eu](http://www.ssap.eu)

**Manuale SSAP2010 (formato PDF):** [www.ssap.eu/manuaelssap2010.pdf](http://www.ssap.eu/manuaelssap2010.pdf)

**Licenza d'uso freeware :** [www.ssap.eu/ssap2010licence.pdf](http://www.ssap.eu/ssap2010licence.pdf)

**Progetto No Profit per didattica e divulgazione SSAP:** [www.ssap.eu/corsi.html](http://www.ssap.eu/corsi.html)

**Esempi di applicazione (da PP.AA.) del software SSAP disponibili sul WEB**  
<http://www.ssap.eu/onweb.html>

**Canale WEB dedicato su YOUTUBE con video didattici (canale: Lorenzo Borselli)**  
[https://www.youtube.com/channel/UCcOmf\\_OHXWIDr9oXvS6X7fw](https://www.youtube.com/channel/UCcOmf_OHXWIDr9oXvS6X7fw)

**Sito personale autore SSAP:** [www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu)

## CAPITOLO 9 - RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

### 9.1 ELENCO DI TESTI A CARATTERE GENERALE

- ABRAMSON L.W. et al. (2001). *Slope stability and stabilization methods*. John Wiley and Son, New York.
- BROMHEAD E.N. (1986). *The stability of slopes*. Blakie & son Ltd.
- CHOWDHURY R.; FLENTJE P.; BHATTACHARYA G. (2009). *Geotechnical Slope Analysis*. CRC-Press ISBN: 978-0-415-46974-6, pp 762
- DUNCAN, J. M., WRIGHT, S. G., & BRANDON, T. L. (2014). *Soil strength and slope stability*. John Wiley & Sons.
- FARULLA' C. A. (2001). *Analisi di stabilità dei pendii - I metodi dell'equilibrio limite*. Helvelius Edizioni, Benevento
- HUANG Y.H. (1983). *Stability analysis of earth slopes*. Van Nonstrand Reinohold company. New York.

### 9.2 ELENCO DI LAVORI A CARATTERE PIU' SPECIALISTICO.

- AASHTO (1998). *Standard specifications for highway bridges*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
- ARAI, K., and TAGYO, K. (1985). "Determination of noncircular slip surfaces giving the minimum factor of safety in slope stability analysis," *Soils Found.* 21, 43–51.
- BAKER, R. (2003). "Sufficient conditions for existence of physically significant solutions in limiting equilibrium slope stability analysis." *Int. J. Solids Struct.*, 40:13–14, 3717–3735.
- BARDET J.P. & KAPUSKAR M.N. (1989) *A simplex analysis of slope stability*. *Computers and Geotechnics* 8 ,pp 329-348.
- BARTON.N.R..2014. *Shear strength of rock, rock joints and rock masses – Problems and some solutions*. In *Rock Engineering and Rock Mechanics: Structures in and on Rock Masses – Alejano, Peruchio, Olalla & Jiménez (Eds)* © 2014 Taylor & Francis Group, London, 978-1-138-00149-7
- BISHOP A.W. (1955) *The use of the slip circle in the stability analysis of slopes*. *Geotechnique*, 5, pp 7-17.
- BOUTRUP E. & LOVELL C.W.(1980) *Searching techniques in slope stability analysis*. *Engineering Geology* 16, pp 51-61.
- BOWLES J.E. (1991) . *Fondazioni - Progetto ed Analisi* . McGraw - Hill Libri Italia .
- CARTER R.K. (1971) *Computer oriented slope stability analysis by methods of slices*. Thesis, Purdue University, ind. 120 pp.
- CELESTINO T.B. & DUNCAN J.M. (1981) *Simplified search for non-circular slip surfaces*. *Proc. of Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundations Eng.*, Stockholm 1981.
- CHEN Z.Y. (1992) . *Random trials used in determining global minimum factors of safety of slopes*. *Can.Geotech. J.* 29 pp 225-233.
- CHEN, Z. Y., & MORGENSTERN, N. R. (1983). *Extensions to the generalized method of slices for stability analysis*. *Canadian Geotechnical Journal*, 20(1), 104-119.
- CHING R.K. & FREDLUND D.G. (1983) *Some difficulties associated with the limit equilibrium method of slices*. *Can.Geotech. J.* 20 pp 661-672.
- CHOWDHURY R.N. & ZHANG S. (1990) *Convergence aspect of limit equilibrium methods for slopes*. *Can. Geotech. J.* 27 pp 145-151.
- CORREIA, R. M. (1988). "A Limit Equilibrium Method of Slope Stability Analysis." *Proc. 5th Int. Symp. Landslides. Lausanne*, .1:595-598.
- D.M. LL.PP. 11 marzo 1988 . *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*. Pubblicato sul Suppl. Ord. alla G.U. n.127 del 1 giugno 1988.
- DUNCAN J. M.,(1996). *State of the art : Limit equilibrium and finite-element analysis of slopes*. *Journal of geotechnical engineering*. 122(7): 577-596.
- DUNCAN J.M. & WRIGHT S.G. (1980) *The accuracy of equilibrium methods of slope stability analysis*. *Engineering Geology*, vol. 16 , pp 5-17.
- ELIAS, V. , CHRISTOPHER, B.R., Berg R.R. 2001 .*Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design and Construction Guidelines*. Report FHWA-NHI-00-043. FHWA, Washington, DC, pp.394
- ESPINOZA R.D, BOURDEAU P.L., MUHUNTHAN B., (1994). *Unified formulation for analysis of slopes with general slip surface*. *J. Of Geotechnical Eng.* Vo. 120(7):1185-1204.
- FARIAS, M. M., and NAYLOR, D. J. 1998. *Safety analysis using finite elements*, *Computer and Geotechnics*, 22(2): 165-181.

- FHWA. 2001 *Mechanically Stabilized Earth Walls And Reinforced Soil Slopes: Design & Construction Guidelines*. <http://isddc.dot.gov/OLPFiles/FHWA/010567.pdf> (pubblicazione on-line - ultimo accesso 08-03-2014)
- FREDLUND D.G., KRAHN J., PUFAHL D.E. (1981) *The stability methods*. Proc. of Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundations Eng., Stockholm 1981.
- GREENWOOD J.R. (1990). *Theory of slopes: design approach for slope repairs and embankments widening*. In "Reinforced Embankments: theory and practice", D.A. Shercliff, editor. Thomas Telford, London.
- GRIFFITHS, D.V. and LANE, P.A., 1999. Slope stability analysis by finite elements. *Geotechnique*, 49(3), pp.387-403.
- HASSIOTIS S., CHAMEAU J.L., GUNARATNE M. (1997). Design method for stabilization of slopes with piles. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 123(4):314-323.
- HOEK E., BRAY J.W. (1981). *Rock slope engineering*. The Institution of Mining and Metallurgy, London. Revised third edition.
- HOEK, E., CARRANZA-TORRES, C. and CORKUM, B., 2002. Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. *Proceedings of NARMS-Tac*, 1, pp.267-273.
- HUANG Y.H. & CRAIG M.A. (1976) *Stability of slopes by logarithmic-spiral method*. *Journal of Geotech. Eng.* Vol 102, No.1 pp 41-49.
- IDRISS I. M. and BOULANGER R. W. 2008. Monograph MNO-12: Soil liquefaction during earthquakes. EERI, Oakland, California.
- IDRISS I. M. and BOULANGER R. W. 2010. SPT-based liquefaction triggering procedures. Department of Civil Construction and Environmental Engineering, University of California at Davis.
- ITO T., MATSUI T. (1981). Methods to estimate lateral force acting on stabilizing piles. *Soil and Foundation*. 21(1):21-37. (scaricabile come PDF <http://ci.nii.ac.jp/ognavi?name=nels&lang=en&type=pdf&id=ART0005363351> ultimo accesso 19 maggio 2013)
- JANBU N. (1954) *Application of composite slip surfaces for stability analysis*. Proc. of European Conf. on stability of earth slopes, Stockholm Vol.3 pp 43-49.
- JANBU N. (1973) *Slope stability computations*. The embankment dam Engineering Casagrande Volume. John Wiley e Sons pp 47-86.
- JEWELL R.A. (1990). *Theory of reinforced walls: revised design charts for steep reinforced slopes*. In "Reinforced Embankments: theory and practice", D.A. Shercliff, editor. Thomas Telford, London.
- JEWELL R.A. (1991). Application of revised design charts for steep reinforced slopes. *Geotextiles and Geomembranes*. Vol. 10(3). Pp 203-233.
- KAYEN, R.E., and BARNHARDT, W.A., 2007, *Seismic stability of the Duwamish River delta*, Seattle, Washington: U.S. Geological Survey Professional Paper 1661-E, 11 p. [<http://pubs.usgs.gov/pp/pp1661e/>]
- KRAHN, J. (2003). "The 2001 R.M. Hardy lecture; the limits of limit equilibrium analysis." *Can. Geotech. J.*, 403, 643-660.
- LADD C.C. (1991) *Stability evaluation during staged construction*. *Journal of Geotech. Eng.* Vol 117 No. 4 pp 540-615.
- LESHCHINSKY D. 2002. *Stability of Geosynthetic Reinforced Soil Structures*. ADAMA Eng. Inc. Newark, DA. USA
- LESHCHINSKY D., Han J. 2004. Geosynthetic Reinforced Multitiered Walls. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 130, No. 12, December 1, 2004.
- MARCUSON, W. F., III, HYNES, M. E., and FRANKLIN, A. G., 1990, *Seismic Design and Analysis of Embankment Dams: The State of Practice*. The Donald M. Burmister Lecture Department of Civil Engineering and Engineering Mechanics Columbia University. <http://www.civil.columbia.edu/~ling/seminar>
- MARCUSON, W. F., III, HYNES, M. E., and FRANKLIN, A. G., 1990. , *Evaluation and Use of Residual Strength in Seismic Safety Analysis of Embankments*,. *Earthquake Spectra*, Vol. 6, No. 3, pp. 529 – 572
- MORGESTERN N.R. & PRICE V.E. (1965) *The analysis of the stability of general slip surfaces*. *Geotechnique*, 15, pp 70-93.
- NGUYEN V.U. (1985) *Determination of critical slope failure surfaces*. *Journal of Geotechnical Eng.* Vol. 111 No.2 pp 238- 250.
- OLSON, S. M. (2001) *Liquefaction analysis of level and sloping ground using field case histories and penetration resistance*. PH.D: Thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign. PP. 564
- OLSON, S. M., and STARK, T. D., (2002), "Liquefied Strength Ratio from Liquefaction Flow Failure Case Histories." *Canadian Geotechnical Journal*, 39.
- OLSON, S. M., and STARK, T. D., (2003), "Yield Strength Ratio and Liquefaction Analysis of Slopes and Embankments," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE v. 129, Issue 8.
- PRATER E.G. (1979) *Yield acceleration for seismic stability of slopes*. *Journal of Geotechnical Eng.* Vol. 105 No.5 pp 682- 687.
- QA SPECIFICATION R57. 2001. Roads and Traffic Authority of New South Wales,, Australia . pp.73.
- RACCOMANDAZIONI ISRM (1993) - *Raccomandazioni per l'esecuzione di prove su tiranti in roccia*. *Rivista italiana di Geotecnica*. 1/93 pp.59-69.

- ROBERTI R. (1990). *La stabilità interna delle opere in terra rinforzata. Le Strade*. Anno XCII, n. 1264, febbraio.
- SARMA S.K. (1979). *Stability analysis of embankments and slopes. Journal of Geotech. Eng.* Vol. 105(2):1511-1524.
- SARMA, S. K. (1973). *Stability analysis of embankments and slopes. Geotechnique* 23, No. 3, 423-433
- SARMA, S. K., and Tan, D. (2006). "Determination of critical slip surface in slope analysis." *Geotechnique*, 568, 539-550.
- SCHOFIELD, A., and P. WROTH.(1968). *Critical state soil mechanics*.
- SEED, R.B., CETIN, K.O., MOSS, R.E.S., KAMMERER, A., Wu, J., PESTANA, J. and RIEMER, M., SANCIO, R.B., BRAY, J.D., KAYEN, R.E., and FARIS, A. (2003). *Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering: A Unified and Consistent Framework. EERC-2003-06, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, Calif.*
- SIEGEL R.A., KOVACS W.D.,LOVELL C.W. (1981) *Random surface generation in stability analysis. Journal of Geotech. Eng.* Vol. 107 No. 7 pp 996-1002.
- SPENCER, E. (1967). *A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces. Géotechnique*, 17(1): 11-26.
- TAVENAS F., TRAK B., LEROUEL S. (1980) *Remarks on the validity of stability analyses. Can. Geotech. J.* 17, pp 61-73.
- THOMAS H.R. & WU K.O. (1985) *Slope stability analyses on a low-cost microcomputer. Computers & Geosciences*, Vol. 11 No. 5 pp 547-552.
- TING J.M. (1984) *Geometric concerns in slope stability analyses. Journal of Geotechnical Eng.* Vol. 109 No.11 pp 1487-1491.
- ZHANG S., CHOWDHURY R.N., (1995). *Interslice shear forces in slope stability analyses - a new approach - . Soils and Foundations*. Vol. 35(1):65-74.
- ZHU D.Y., LEE C.F., QIAN Q.H., and CHEN G.R.. 2005. *A concise algorithm for computing the factor of safety using the Morgen-stern-Price method. Can. Geotech. J.* 42: 272-278
- ZHU, D. Y. , LEE , C.F. , JIANG, H.D. (2003). *Generalised framework of limit equilibrium methods for slope stability analysis. Géotechnique*. 53(4):377-395.
- ZORNBERG, J. G., SITAR, N., and MITCHELL, J. K. 1998. *Limit equilibrium as basis for design of geosynthetic-reinforced slopes. J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 124~81, 684-698.

## APPENDICE A - CONVERSIONE UNITA' DI MISURA

Le seguenti tabelle sono state preparate per facilitare il lavoro agli utenti che non sono pratici delle unità di misura del Sistema Internazionale (SI) che vengono utilizzate nel programma SSAP.

Nelle tabelle sono presentati i coefficienti moltiplicativi per la conversione dalle unità non SI.

### **FORZA(forza peso)**

	Coefficienti moltiplicativi	
UNITA' non SI		UNITA' SI
kg	9.81	N
T	9.81	kN

esempio :  $2 \text{ T} = 2 \times 9.81 = 19.62 \text{ kN}$  (kiloNewton)

### **PRESSIONE**

	Coefficienti moltiplicativi	
UNITA' non SI		UNITA' SI
kg/cm <sup>2</sup>	98.1	kPa
T/m <sup>2</sup>	9.81	kPa

esempio :  $2 \text{ kg/cm}^2 = 2 \times 98.1 = 196.2 \text{ kPa}$  (kiloPascal o kiloNewton/metro<sup>2</sup>)

### **PESO DI VOLUME Unitario( o DENSITA' APPARENTE)**

	Coefficienti moltiplicativi	
UNITA' non SI		UNITA' SI
kg/cm <sup>3</sup>	9.81	kN/m <sup>3</sup>
T/m <sup>3</sup>	9.81	kN/m <sup>3</sup>

esempio :  $2 \text{ T/m}^3 = 2 \times 9.81 = 19.62 \text{ kN/m}^3$  (kiloNewton/metro<sup>3</sup>)

## APPENDICE B –SEGNALAZIONE ANOMALIE e MESSAGGI di ERRORE

### B1-Tipologie Di Anomalie

Una serie di anomalie possono verificarsi nelle varie fasi di lavoro. Esse sono di diverse tipologie e possono verificarsi sia nella fase di lancio del programma, sia in quella di caricamento dei dati sia in quella di generazione delle superfici sia in quella di calcolo. Le varie tipologie di anomalie sono di seguito descritte:

- **ANOMALIE DI ESECUZIONE.** Al momento del lancio del programma SSAP possono verificarsi delle anomalie che sono indicative di una possibile cattiva installazione del programma. Per evitare che questo possa pregiudicare la corretta esecuzione la anomalia viene segnalata e successivamente il programma verrà interrotto..
- **ANOMALIE AL CARICAMENTO DEL MODELLO PENDIO.** Al momento di caricare un modello del pendio e tutti i files del quale si compone viene effettuata una analisi preliminare (preprocessing) del modello stesso. Se si verificano anomalie gravi nella struttura dei dati il caricamento del modello viene interrotto e la anomalia viene segnalata insieme alle sue più probabili cause. Le anomalie di questo tipo sono chiamate
- **ANOMALIE DI RUNTIME.** Durante la esecuzione del programma possono saltuariamente verificarsi degli errori che vengono segnalati con messaggi. In alcuni casi, successivamente al rilevamento di alcuni errore di tipo critico, la esecuzione del programma verrà interrotta segnalando la tipologia di cause che la possono aver determinata. Questa limitazione è stata imposta per evitare la effettuazione di ulteriori verifiche di stabilità in presenza di alcune situazioni critiche. Il blocco di sicurezza impedisce che possano venire utilizzati risultati di verifiche di stabilità non completamente affidabili. In alcuni casi con minor criticità le anomalie riscontrate sono segnalate alla fine della verifica (quindi il processo di calcolo non viene interrotto), segnalando il punto dove si sono verificate e le possibili cause.
- **ANOMALIE POST VERIFICA.** Posteriormente alla verifica possono essere segnalate eventuali anomalie prodotte dalla mancata identificazione locale della stratificazione presente. si tratta di anomalie generalmente dovute al mancato rispetto delle convenzioni di SSAP nella definizione e assemblaggio del modello del pendio.

***[NOTA BENE: nei successivi riquadri che riproducono i messaggi di anomalia il colore il colore arancione indica che la anomalia o l'errore riscontrato produrrà il blocco della applicazione, il colore giallo indica che si genererà un blocco della verifica in corso, mentre il colore marrone chiaro indica una condizione che impedirà la verifica o un livello di attenzione particolare e la necessità di modifiche nel modello del pendio per eventualmente correggere le anomalie riscontrate].***

## B2- Messaggi di errore per Tipologia di Anomalia

- **ANOMALIE DI ESECUZIONE**

### Lista dei messaggi:

#### *Al Lancio del programma SSAP*

```
Il percorso completo (o la directory) dove è installato il programma SSAP2010:
C:\programmi Vari\SSAP2010
contiene uno o piu' spazi vuoti !!
Quindi il programma NON potrà essere eseguito correttamente...
Si prega di correggere il problema
reinstallando il programma in una directory appropriata:
es. C:\SSAP2010 oppure C:\PROGRAMMI\SSAP2010
(vedasi istruzioni per la installazione nel sito www.ssap.eu)
```

- **ANOMALIE AL CARICAMENTO DEL MODELLO PENDIO**

### Lista dei messaggi:

#### *Al caricamento di un modello del pendio*

```
Il percorso o il nome del file selezionato:
File XXXXXXXXXX
contiene uno o piu' spazi vuoti !!
l'operazione non potrà essere effettuata...
Si prega di correggere il problema
rinominando il percorso o il nome del file.
```

#### *Al caricamento di un modello del pendio*

```
Pre-Elaborazione Modello Pendio Abortita!! - File .MOD non trovato!!
```

#### *Al caricamento di un modello del pendio*

```
Pre-Elaborazione Modello Pendio Abortita!!
Un File Dati indicato nel Modello del Pendio è mancante!! '
Verificare i nomi dei files presenti.
```

#### *Al caricamento di un modello del pendio: anomalie sui parametri di resistenza al taglio*

```
Elaborazione Modello Pendio Abortita!
Uno (o più) degli strati presenti è erroneamente definito con
tutti e tre i parametri: c' phi' e Cu , Maggiori di 0.
Verificare le convenzioni di SSAP, nel capitolo 3 del manuale di
riferimento, per le verifiche a breve e lungo termine,
nel caso di strati con criterio di rottura Mohr-Coulomb
```



*Al caricamento di un modello del pendio: anomalie sui parametri di resistenza al taglio***Pre-Elaborazione Modello Pendio Abortita!**

Uno (o più) degli strati presenti è erroneamente definito con alcuni dei parametri:  $c'$   $\phi'$  e  $C_u$ , Maggiori di 0.  
e contemporaneamente con parametri per ammassi rocciosi fratturati secondo il criterio di rottura di Hoek et al. (2002,2006).  
Verificare le convenzioni di SSAP nel capitolo 3 del manuale di riferimento, per le verifiche utilizzando il criterio di rottura per ammassi rocciosi fratturati (Hoek et al. 2002,2006)

*Al caricamento di un modello del pendio: anomalie sui valori di peso unitario***Pre-Elaborazione Modello Pendio Abortita!**

Uno (o più) degli strati presenti è erroneamente definito con alcuni dei parametri:  $\gamma$  o  $\gamma_{Sat}$  uguali a 0.  
o con  $\gamma > \gamma_{Sat}$   
Secondo le convenzioni di SSAP questi valori devono essere sempre  $>0$  e con  $\gamma \leq \gamma_{Sat}$   
Verificare le convenzioni di SSAP, nel capitolo 3 del manuale

*Al caricamento di un modello con dati di liquefacibilità***Pre-Elaborazione Modello Pendio Abortita!**

Il numero degli strati indicati nel file .Geo e nel file .Liq differisce. Il numero degli strati potenziamenti liquefacibili e non liquefacibili deve essere uguale al numero totale di strati del modello.  
Vedasi il file .Geo e il file .Mod  
Verificare le convenzioni di SSAP, nel capitolo 3 del manuale

- **ANOMALIE DI RUNTIME**

*Al caricamento di una superficie singola e prima della sua verifica*

----- ATTENZIONE !! -----

Pendenza locale della superficie troppo elevata rispetto ai limiti imposti del criterio di rottura Mohr-Coulomb.  
La procedura di verifica su la singola superficie verra' abortita.  
-IMPORTANTE -  
La violazione del criterio di rottura per eccesso di pendenza è individuata a destra della progressiva: X=...  
Eventuali tratti verticali non sono presi in considerazione essendo tension Cracks.'  
-SOLUZIONE-  
Per effettuare con successo la verifica e' quindi necessario modificare la pendenza dei singoli tratti a destra della progressiva indicata (NON I VERTICALI), dato che la geometria assunta per la superficie non e' compatibile con i parametri geomeccanici assegnati agli strati che la sup. attraversa.  
PER MAGGIORI DETTAGLI VAI AL CAPITOLO 2 DEL MANUALE DI RIFERIMENTO DI SSAP2010

### Al momento della verifica di una superficie singola

----- ATTENZIONE -----

#### PROBLEMI DI CONVERGENZA NEL CALCOLO $F_s$ DELLA SUPERFICIE SINGOLA

**\*\* Ciò può essere dovuto a una, o più, CAUSE:**

- 1) Attivazione, o disattivazione, tension crack in testa non idonea per questa superficie singola;
- 2) Parametro di tolleranza  $RHO > 1.0$  troppo ristretto nel caso di strati con caratteristiche geotecniche molto scadenti;
- 3) Tolleranza a stress normali negativi troppo bassa (vale per superficie poco profonde e sature);
- 4) Un ECCESSO di FORZA STABILIZZANTE indotta da palificate, tiranti, geogriglie (piuttosto frequente);
- 5) Possibili errori nel non rispetto delle convenzioni nella costruzione del modello del pendio;

**\*\* ALCUNE POSSIBILI SOLUZIONI POSSONO ESSERE :**

- 1) Provare a Disattivare o Attivare effetto tension crack in testa (finestra OPZIONI)
  - 2) Impostare una maggiore tolleranza % per il parametro  $RHO > 1.0$  (fino al 100%);
  - 3) Impostare una maggiore tolleranza % per stress normali negativi (fino al 100%);
  - 4) Ridurre la tensione di tiranti e resistenza delle geogriglie;
  - 5) Applicare un fattore riduttivo  $> 2$  alla forza stabilizzante delle palificate;
  - 6) Provare a attivare (o disattivare) effetto Tension cracks in testa al pendio;
  - 7) Controllare la geometria del modello del pendio e il rispetto convenzioni di SSAP;
- Provare a fare i cambiamenti suggeriti dopo aver cliccato su OPZIONI e/o PARAMETRI..  
Per ulteriori dettagli vedasi il manuale di riferimento di SSAP2010.

### Al momento della verifica di una superficie singola

Coefficiente Sismico Critico Per ( $F_s=1$ ) --> NON calcolabile!

$F_s$  a in condizioni statiche eccessivo:  $F_s \geq 50$ !

### Al momento della verifica di una superficie singola

Coefficiente Sismico Critico Per ( $F_s=1$ ) --> NON individuato!

Condizioni di convergenza non incontrate - provare altro metodo di Calcolo!

### Al momento della Verifica Globale durante la generazione delle superfici

```

-- ATTENZIONE --

PROBLEMI nella GENERAZIONE di SUPERFICI

** Ciò può essere dovuto a una, o più, serie di CAUSE tra cui:

1) Impostazione parametri geometrici di ricerca superficie troppo stretti
   (intervalli di ricerca, presenza ostacolo interno come zona di esclusione);
2) Impostazione della lunghezza dei segmenti (segmenti troppo lunghi o troppo corti);
3) Impostazione di un numero massimo di superfici da generare troppo basso es. inferiore a
   1000;

** ALCUNE POSSIBILI SOLUZIONI POSSONO ESSERE:

1) Impostare parametri geometrici più ampi per la ricerca delle superfici e/o eliminare
   la presenza di ostacoli interni;'+#13#10+
2) Impostare un a diversa lunghezza dei segmenti (più lunghi o più corti);
3) Impostazione impostare un numero maggiore di superfici da generare;
4) Controllare la geometria del modello del pendio e il rispetto delle convenzioni di SSAP;
Provare a fare i cambiamenti suggeriti dopo aver cliccato su OPZIONI e/o PARAMETRI..
Per ulteriori dettagli vedasi il manuale di riferimento di SSAP2010').

```

### Al momento della Verifica Globale durante la generazione delle superfici

```

-- ATTENZIONE -- '+#13#10+

PROBLEMI di ECCESSIVO RALLENTAMENTO nella GENERAZIONE di SUPERFICI

** Ciò può essere dovuto a una, o più, serie di CAUSE tra cui:

1) Impostazione parametri geometrici di ricerca superficie troppo stretti (intervalli,
   di ricerca, presenza ostacolo interno come zona di esclusione, ecc.);
2) Impostazione della lunghezza dei segmenti (segmenti troppo lunghi o troppo corti);
3) Possibili errori nel non rispetto delle convenzioni nella costruzione del modello del
   pendio.

** ALCUNE POSSIBILI SOLUZIONI POSSONO ESSERE: '+#13#10+

1) Impostare parametri geometrici più ampi per la ricerca delle superfici e/o eliminare
   ....la presenza di ostacoli interni;
2) Impostare un a diversa lunghezza dei segmenti (più lunghi o più corti);
3) Cambiare motore do generazione superfici;
4) Controllare la geometria del modello del pendio e il rispetto delle convenzioni di SSAP;

Provare a fare i cambiamenti suggeriti dopo aver cliccato su OPZIONI e/o PARAMETRI..
Per ulteriori dettagli vedasi il manuale di riferimento di SSAP2010.

```

## Al momento della Verifica Globale durante la verifica delle superfici

-- ATTENZIONE --

PROBLEMI di SCARSA CONVERGENZA NEL CALCOLO DEL FATTORE DI SICUREZZA  $F_s$

\*\* Ciò può essere dovuto a una, o più, serie di CAUSE tra cui:

- 1) Un parametro di tolleranza  $RHO > 1.0$  troppo ristretto nel caso di strati con caratteristiche geotecniche molto scadenti;
- 2) Tolleranza a stress normali negativi troppo bassa (vale per superficie poco profonde e sature);
- 3) Un ECCESSO di FORZA STABILIZZANTE indotta da palificate, tiranti, geogriglie (piuttosto frequente);
- 4) Possibili errori nel non rispetto delle convenzioni nella costruzione del modello del pendio.
- 5) Attivazione o disattivazione effetto tension crack in testa non idoneo per il tipo di modello del pendio;

\*\* ALCUNE POSSIBILI SOLUZIONI POSSONO ESSERE:

- 1) Impostare una maggiore tolleranza % per il parametro  $RHO > 1.0$  (si può arrivare fino al 100%);
  - 2) Impostare una maggiore tolleranza % per stress normali negativi (si può arrivare fino al 50%);
  - 3) Ridurre la tensione di tiranti e resistenza delle geogriglie;
  - 4) Applicare un fattore riduttivo  $> 2$  alla forza stabilizzante delle palificate;
  - 5) Provare a attivare (o disattivare) effetto Tension cracks in testa al pendio;
  - 6) Controllare la geometria del modello del pendio e il rispetto delle convenzioni di SSAP;
- Provare a fare i cambiamenti suggeriti dopo aver cliccato su OPZIONI e/o PARAMETRI..
- Per ulteriori dettagli vedasi il manuale di riferimento di SSAP2010.

### • ANOMALIE POST VERIFICA.

#### Dopo la verifica globale

N. 10 anomalie incontrate.

Premere OK per aprire il file ANOMALY.LOG nella directory contenente il modello del pendio , per visualizzare tutti i dettagli..

#### Dopo la verifica globale

SSAP 4.7.2 (2016) -----

ANOMALIE DI CALCOLO RISCONTRATE DURANTE LA VERIFICA:

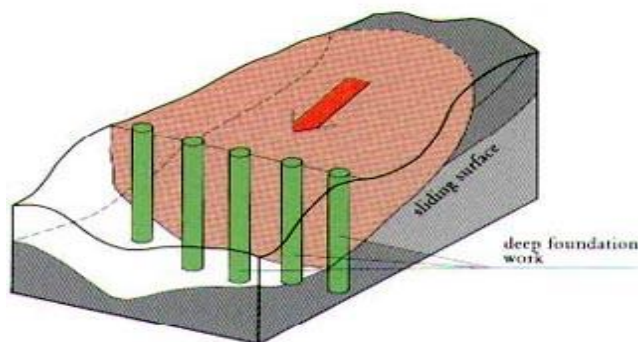
Attenzione questa lista di anomalie si riferisce a superfici che non sono state utilizzate per calcolare  $F_s$  durante la verifica di stabilità. La presenza di queste anomalie non ha permesso di completare il calcolo di  $F_s$  per le superfici dove si è verificata la anomalia.

Queste informazioni vengono riportate perché le anomalie il più delle volte sono prodotte da errori localizzati nella geometria delle superfici che definiscono il modello del pendio. Eliminando queste anomalie è possibile migliorare la attendibilità generale della verifica di stabilità complessiva.

N.B: 1) Il numero di anomalie indicate è pari al numero di superfici effettive per le quali il valore di  $F_s$  non è stato calcolato.

- 2) Un numero di anomalie ridotto è comunque spesso associato al processo di smussatura delle superfici (con opzione smussatura superfici attivata) se la smussatura delle superfici risultava attivata... non deve preoccupare

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



**AVVERTENZA!!** Il contenuto di questo documento si riferisce ad un uso esclusivo nell'ambito del codice SSAP e non costituisce in alcun modo un supporto tecnico certificato ma solo una opinione personale dell'autore e un suggerimento per operare nell'ambito del programma SSAP. L'autore non si assume alcuna responsabilità derivante dall'uso delle indicazioni contenute in questo documento.

### 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 antecedenti 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.

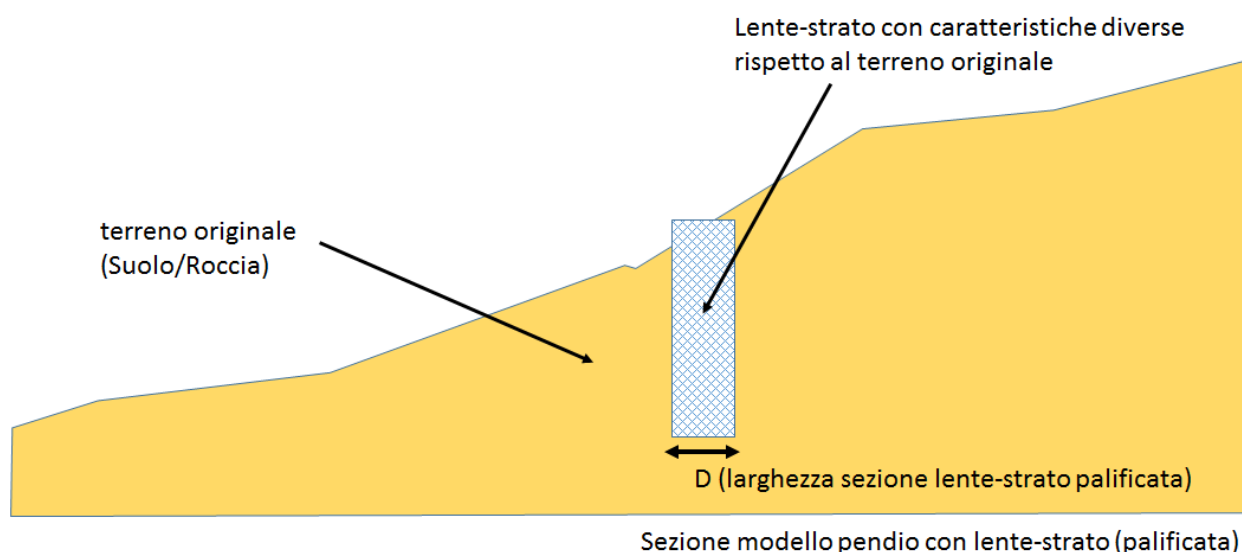


Fig. C.1

In figura C1 è presentata una sezione 2D di pendio con l'inserimento di una lente-strato nella posizione di una palificata in sezione. La nuova lente strato avrà caratteristiche geomeccaniche

diverse dal terreno originale. La determinazione corretta dei parametri geomeccanici della nuova lente-strato dipende dalle caratteristiche geometriche di base della palificata e dai rispettivi valori geomeccanici del materiale costituente il palo e del terreno originale.

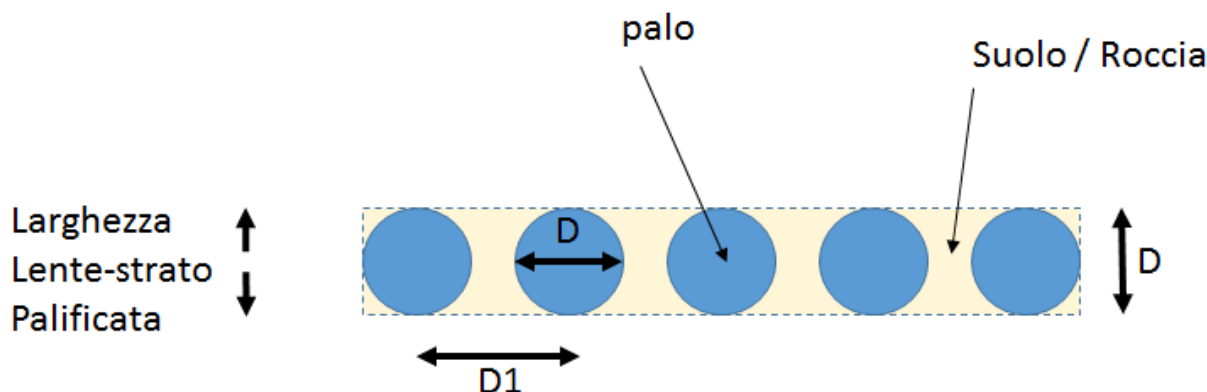


Fig. C.2

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  $\Omega_{pal}$  è il nuovo parametro geomeccanico generico da utilizzare per la palificata, esso è calcolabile come media ponderata dei rispettivi parametri geomeccanici assegnati al palo

$\Omega_p$  e del suolo/roccia originale  $\Omega_s$ . Ovvero:

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

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

$$\varepsilon = \frac{\pi D}{4 D1} \quad C.2$$

dove

$D1$  = interasse tra i pali (m)

$D$  = diametro dei pali (m)

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

Esiste il caso di palificate disposte in file parallele e a contatto, ma sfalsate (come in figura C.3). In questo caso a scopo cautelativo si consiglia di calcolare  $\varepsilon$  con la formula C.2 per la singola palificata e assumere, successivamente, una larghezza in sezione della nuova lente strato superiore a quella  $D$  della palificata singola (vedasi fig. C.3).

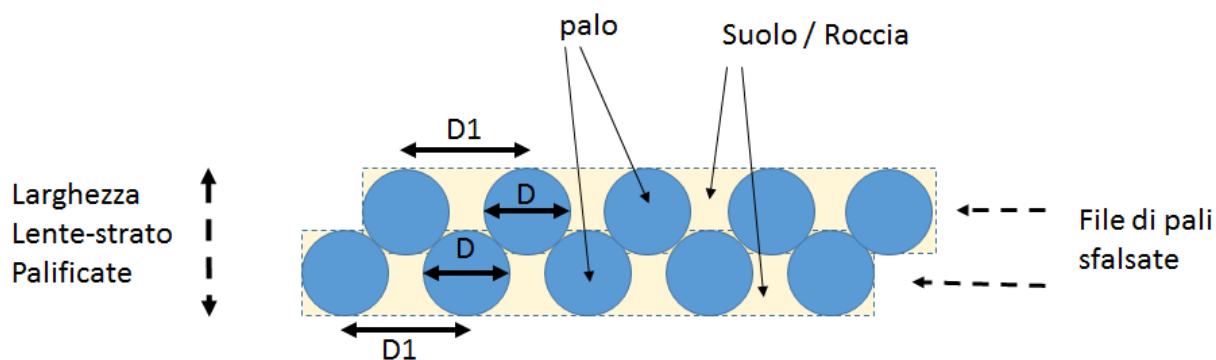


Fig. C.3

### C.1.1 Esempi di applicazione

Consideriamo il caso di una palificata con i seguenti parametri:

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

$$D1= 1.8 \text{ (m)}$$

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  $\varepsilon = 0.26$ . 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  $\varepsilon$  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 delle differenze di parametri geomeccanici esistenti tra gli strati 1 e 2.

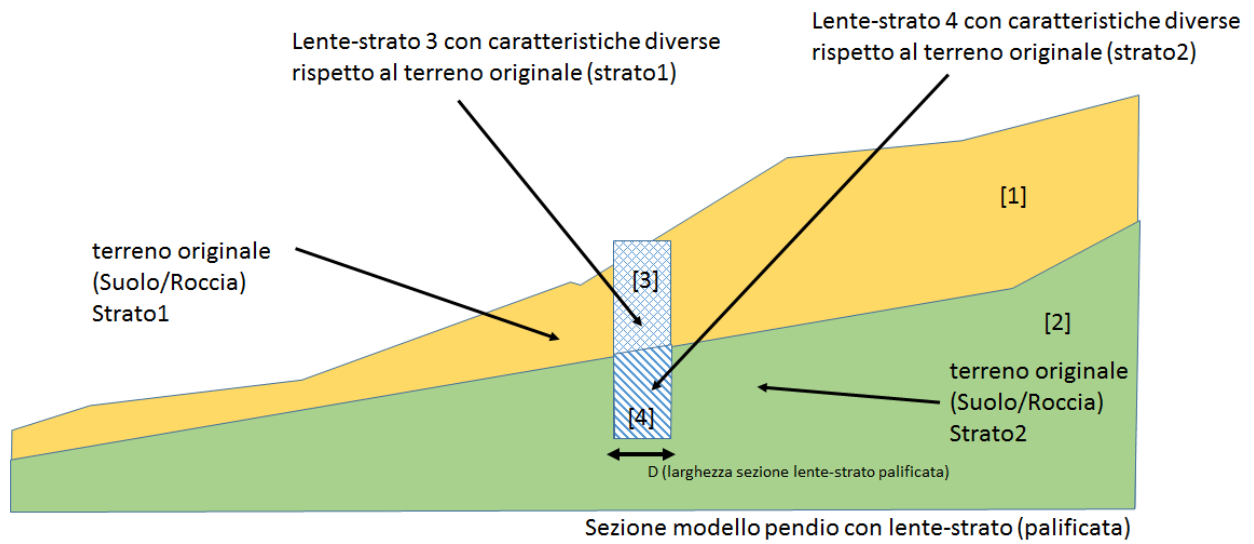


Fig. C.4



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

### D.1 INTRODUZIONE

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  $\phi'$  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) permette attraverso una caratterizzazione delle qualità meccaniche e strutturali dell'ammasso un percorso non ambiguo che porta alla valutazione dei parametri necessari per effettuare una verifica di stabilità dei pendii.

Il campo di applicazione della metodologia è limitato ai pendii in roccia dove non sono presenti instabilità e distacchi di natura strutturale (fig. D.1): (cunei o poliedri di roccia, toppling/ribaltamenti, e caduta di massi). Tuttavia il metodo presenta una capacità di generalizzazione molto ampia, potendo spaziare dagli ammassi rocciosi in rocce consistenti, alle rocce deboli fino alle rocce tenere e agli ammassi in formazioni in facies di flysch (Marinos & Hoek; 2001).

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.

In figura D.2, tratta da Sonmez et al. (1998), è rappresentato il concetto di scala, necessario per la definizione della applicabilità dei parametri di resistenza meccanica derivati dalla metodo di Hoek.





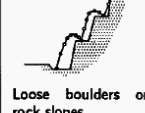
STRUCTURE	TYPICAL PROBLEMS	CRITICAL PARAMETERS	ANALYSIS METHODS	ACCEPTABILITY CRITERIA
 Landslides.	Complex failure along a circular or near circular failure surface involving sliding on faults and other structural features as well as failure of intact materials.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presence of regional faults.</li> <li>• Shear strength of materials along failure surface.</li> <li>• Groundwater distribution in slope, particularly in response to rainfall or to submergence of slope toe.</li> <li>• Potential earthquake loading.</li> </ul>	Limit equilibrium methods which allow for non-circular failure surfaces can be used to estimate changes in factor of safety as a result of drainage or slope profile changes. Numerical methods such as finite element or discrete element analysis can be used to investigate failure mechanisms and history of slope displacement.	Absolute value of factor of safety has little meaning but rate of change of factor of safety can be used to judge effectiveness of remedial measures. Long term monitoring of surface and subsurface displacements in slope is the only practical means of evaluating slope behaviour and effectiveness of remedial action.
 Soil or heavily jointed rock slopes.	Circular failure along a spoon-shaped surface through soil or heavily jointed rock masses.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Height and angle of slope face.</li> <li>• Shear strength of materials along failure surface.</li> <li>• Groundwater distribution in slope.</li> <li>• Potential surcharge or earthquake loading.</li> </ul>	Two-dimensional limit equilibrium methods which include automatic searching for the critical failure surface are used for parametric studies of factor of safety. Probability analyses, three-dimensional limit equilibrium analyses or numerical stress analyses are occasionally used to investigate unusual slope problems.	Factor of safety > 1.3 for "temporary" slopes with minimal risk of damage. Factor of safety > 1.5 for "permanent" slopes with significant risk of damage. Where displacements are critical, numerical analyses of slope deformation may be required and higher factors of safety will generally apply in these cases.
 Jointed rock slopes.	Planar or wedge sliding on one structural feature or along the line of intersection of two structural features.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Slope height, angle and orientation.</li> <li>• Dip and strike of structural features.</li> <li>• Groundwater distribution in slope.</li> <li>• Potential earthquake loading.</li> <li>• Sequence of excavation and support installation.</li> </ul>	Limit equilibrium analyses which determine three-dimensional sliding modes are used for parametric studies on factor of safety. Failure probability analyses, based upon distribution of structural orientations and shear strengths, are useful for some applications.	Factor of safety > 1.3 for "temporary" slopes with minimal risk of damage. Factor of safety > 1.5 for "permanent" slopes with significant risk of damage. Probability of failure of 10 to 15% may be acceptable for open pit mine slopes where cost of clean up is less than cost of stabilization.
 Vertically jointed rock slopes.	Toppling of columns separated from the rock mass by steeply dipping structural features which are parallel or nearly parallel to the slope face.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Slope height, angle and orientation.</li> <li>• Dip and strike of structural features.</li> <li>• Groundwater distribution in slope.</li> <li>• Potential earthquake loading.</li> </ul>	Crude limit equilibrium analyses of simplified block models are useful for estimating potential for toppling and sliding. Discrete element models of simplified slope geometry can be used for exploring toppling failure mechanisms.	No generally acceptable criterion for toppling failure is available although potential for toppling is usually obvious. Monitoring of slope displacements is the only practical means of determining slope behaviour and effectiveness of remedial measures.
 Loose boulders on rock slopes.	Sliding, rolling, falling and bouncing of loose rocks and boulders on the slope.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometry of slope.</li> <li>• Presence of loose boulders.</li> <li>• Coefficients of restitution of materials forming slope.</li> <li>• Presence of structures to arrest falling and bouncing rocks.</li> </ul>	Calculation of trajectories of falling or bouncing rocks based upon velocity changes at each impact is generally adequate. Monte Carlo analyses of many trajectories based upon variation of slope geometry and surface properties give useful information on distribution of fallen rocks.	Location of fallen rock or distribution of a large number of fallen rocks will give an indication of the magnitude of the potential rockfall problem and of the effectiveness of remedial measures such as draped mesh, catch fences and ditches at the toe of the slope.

Fig. D1

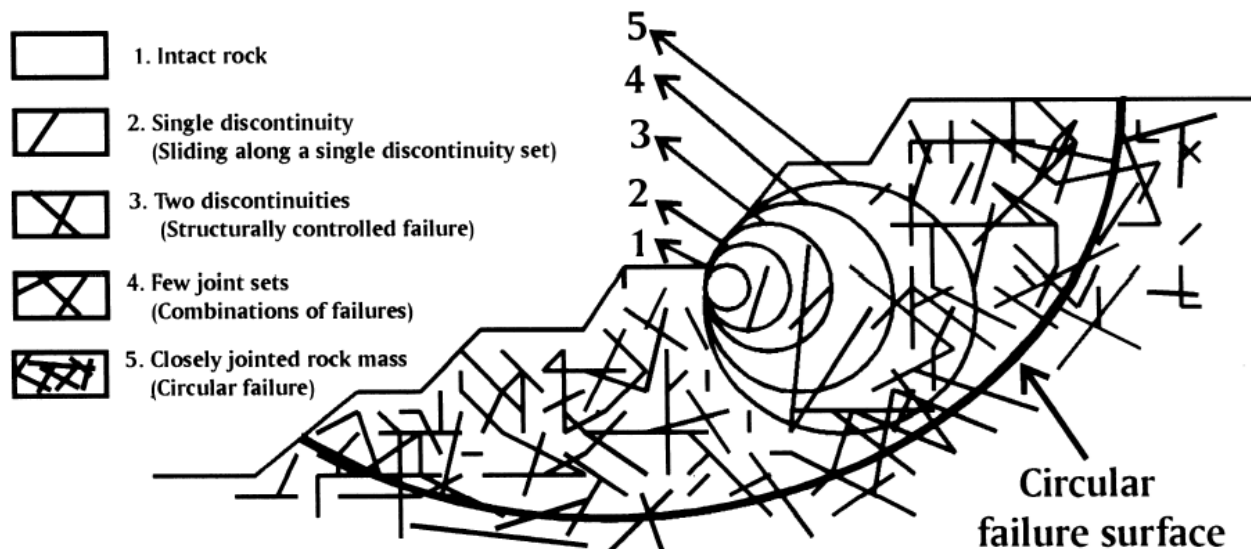
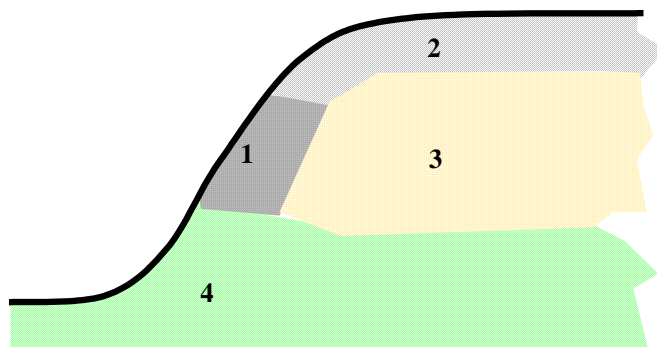


Fig. D2

Riferendoci alla figura D.2, si osserva come nei casi 2 e 3 siano possibili essenzialmente solo distacchi e superfici di scivolamento con una dominante strutturale. Nei casi 4 e 5 si passa progressivamente a potenziali superfici di instabilità per scivolamento rotazionale di forma circolare o più in generale sub-circolare. Infatti prendendo in esame una dimensione di ammasso maggiore le singole discontinuità diventano progressivamente 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.



**Fig. D.3**

Con la caratterizzazione di un ammasso mediante il metodo di Hoek è implicito assumere che tale ammasso venga considerato un mezzo omogeneo e isotropo. Nella realtà in un ammasso, anche se è 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 applicato dopo aver suddiviso l'ammasso stesso in unità strutturali e meccaniche diverse che vengono poi, al loro interno assunte omogenee (Fig. D.3)

Una delle caratteristiche del criterio di rottura di Hoek è che esso definisce per l'ammasso nel suo insieme un involucro di rottura curvo all'interno del diagramma degli sforzi normali e tangenziali (fig. D.4).

In tal modo la definizione dei parametri  $\phi'$  e  $c'$  equivalenti per l'ammasso passa attraverso la valutazione locale dello stato tensionale e successivamente definisce i parametri  $\phi'$  e  $c'$  equivalenti attraverso la retta tangente l'involucro nel punto considerato.

In figura D.4 sono rappresentati i diversi livelli tensionali, entro un pendio in roccia, e la loro relativa localizzazione. La conseguenza più importante di questo modello è che all'interno del pendio avremo diversi valori di  $\phi'$  e  $c'$  equivalenti al variare della posizione e profondità. In generale avremo alti valori di  $\phi'$  e bassi  $c'$  equivalenti, per bassi livelli tensionali, mentre avremo bassi valori di  $\phi'$  e alti  $c'$ , per alti livelli di tensione normale. Questo aspetto risulta di fondamentale importanza nelle applicazioni per la stabilità dei pendii.

## **D.2 DESCRIZIONE DEL CRITERIO DI ROTTURA PER LA DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI $\phi'$ E $c'$ EQUIVALENTI**

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  $\sigma_{ci}$  (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 e 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.

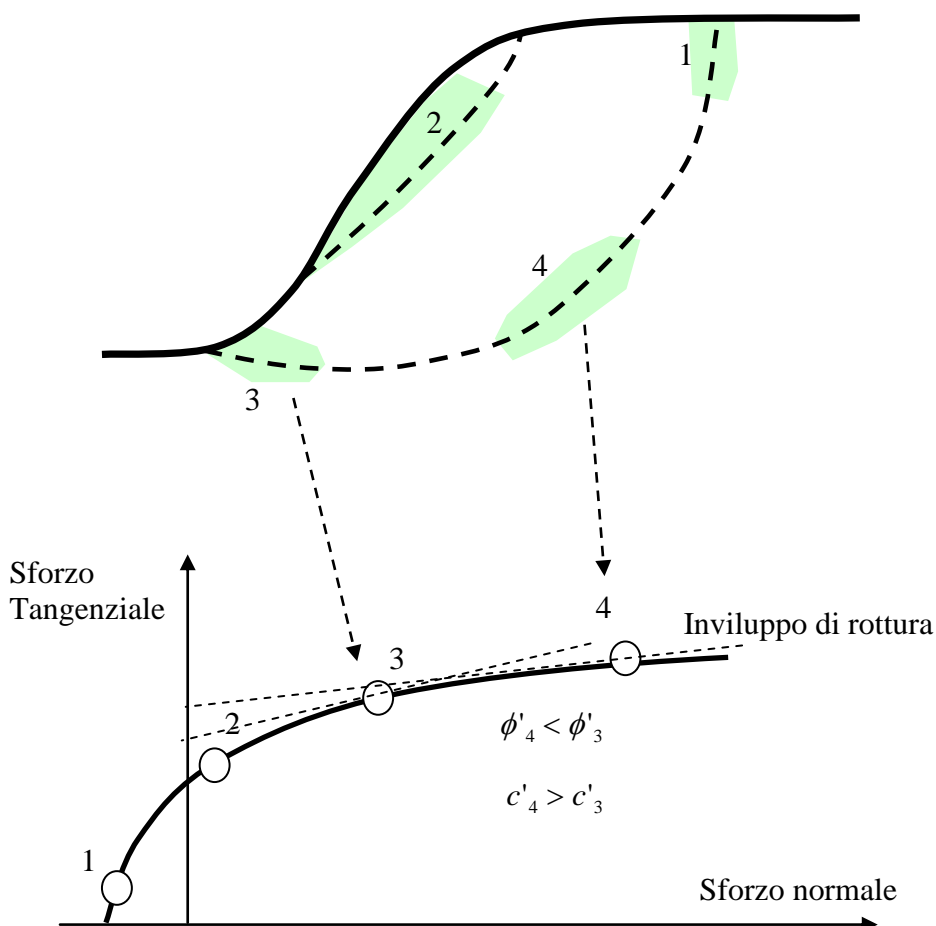


Fig. D.4

Tutti questi parametri possono essere stimati con l'ausilio di grafici o tabelle, oltre che misurati direttamente come la resistenza alla compressione uniassiale. Un importante ausilio è il software ROCKLAB ( [www.rockscience.com](http://www.rockscience.com)) che è possibile scaricare gratuitamente da internet. Tale programma è un importante strumento per la stima dei parametri del metodo partendo da informazioni di campagna e di laboratorio.

Noti i quattro parametri indicati precedentemente si calcolano le seguenti costanti ausiliarie:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) \quad (D.1)$$

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

(D.2)

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

(D.3)

Successivamente si determinano i parametri  $\phi'$  e  $c'$  equivalenti con le seguenti espressioni:

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

(D.4)

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

(D.5)

Dove:

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

(D.6)

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

(D.7)

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

(D.8)

Il parametro  $\sigma'_{cm}$  rappresenta la resistenza alla compressione uniassiale equivalente alla scala dell'ammasso (più bassa quindi di quella degli elementi di roccia intatta).

Da notare che nella eq. D.7 compare nel secondo membro il fattore  $\gamma H$  rappresenta la pressione litostatica verticale, che si assume per determinare i parametri  $\phi'$  e  $c'$  equivalenti locali. Si noti che i termini che hanno una dimensione di una pressione sono espressi in tutte le formule in MPa; è quindi necessario operare le necessarie conversioni se richiesto anche nei valori in output come  $c'$ .

### D.2.1 Stima del parametro $m_i$

La stima della costante litologica può essere fatta mediante la seguente tabella. Implementata nel software ROCKLAB già citato.

Table 2: Values of the constant  $m_i$  for intact rock, by rock group<sup>4</sup>. 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 * Breccias *	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2 Greywackes (18 ± 3)	Claystones 4 ± 2 Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)	
			Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones ( 10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)
	Evaporites	Gypsum 8 ± 2		Anhydrite 12 ± 2			
	Organic	Chalk 7 ± 2					
	METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4 ) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
Slightly foliated				Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6	Gneiss 28 ± 5	
Foliated**				Schists 12 ± 3		Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3 Diorite 25 ± 5 Granodiorite (29 ± 3)				
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)			
	Hypabyssal		Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)	
	Volcanic	Lava	Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5		Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)		
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)		

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

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

<sup>4</sup> 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.

Fig. D.5

### D.2.2 Stima del parametro GSI

Il parametro GSI deve essere stimato tramite i seguenti diagrammi che rappresentano la

più recente evoluzione del metodo di Hoek. Le figure D.6 e D.7 tratte dal software RockLab già citato permettono una stima rapida.

La figura D.7 si applica alle formazioni in facies di flysch, ed una delle più recenti estensioni del metodo,

		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	80	70	60	50
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets					
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets					
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity					
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces					
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					

Fig. D.6

		SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES				
COMPOSITION AND STRUCTURE		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
	A. Thick bedded, very blocky sandstone The effect of pelitic coatings on the bedding planes is minimized by the confinement of the rock mass. In shallow tunnels or slopes these bedding planes may cause structurally controlled instability.	70	60	50	40	30
	B. Sandstone with thin inter-layers of siltstone					
	C. Sandstone and siltstone in similar amounts					
	D. Siltstone or silty shale with sandstone layers					
	E. Weak siltstone or clayey shale with sandstone layers					
C,D, E and G - may be more or less folded than illustrated but this does not change the strength. Tectonic deformation, faulting and loss of continuity moves these categories to F and H.						
	F. Tectonically deformed, intensively folded/faulted, sheared clayey shale or siltstone with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure					
	G. Undisturbed silty or clayey shale with or without a few very thin sandstone layers					
	H. Tectonically deformed silty or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces.					

→ : Means deformation after tectonic disturbance

Fig. D.7

Come estensione del diagramma in figura D.6 in fig. D.8 è presentata la integrazione di Cai et al. (2003) che permette una stima più precisa in funzione della spaziatura media dei giunti e delle dimensioni medie dei blocchi. In figura Fig. D.9, tratta da Sonmez et al. (2003),

un criterio strutturale più preciso per la spaziatura dei giunti e per le caratteristiche del riempimento è applicato.

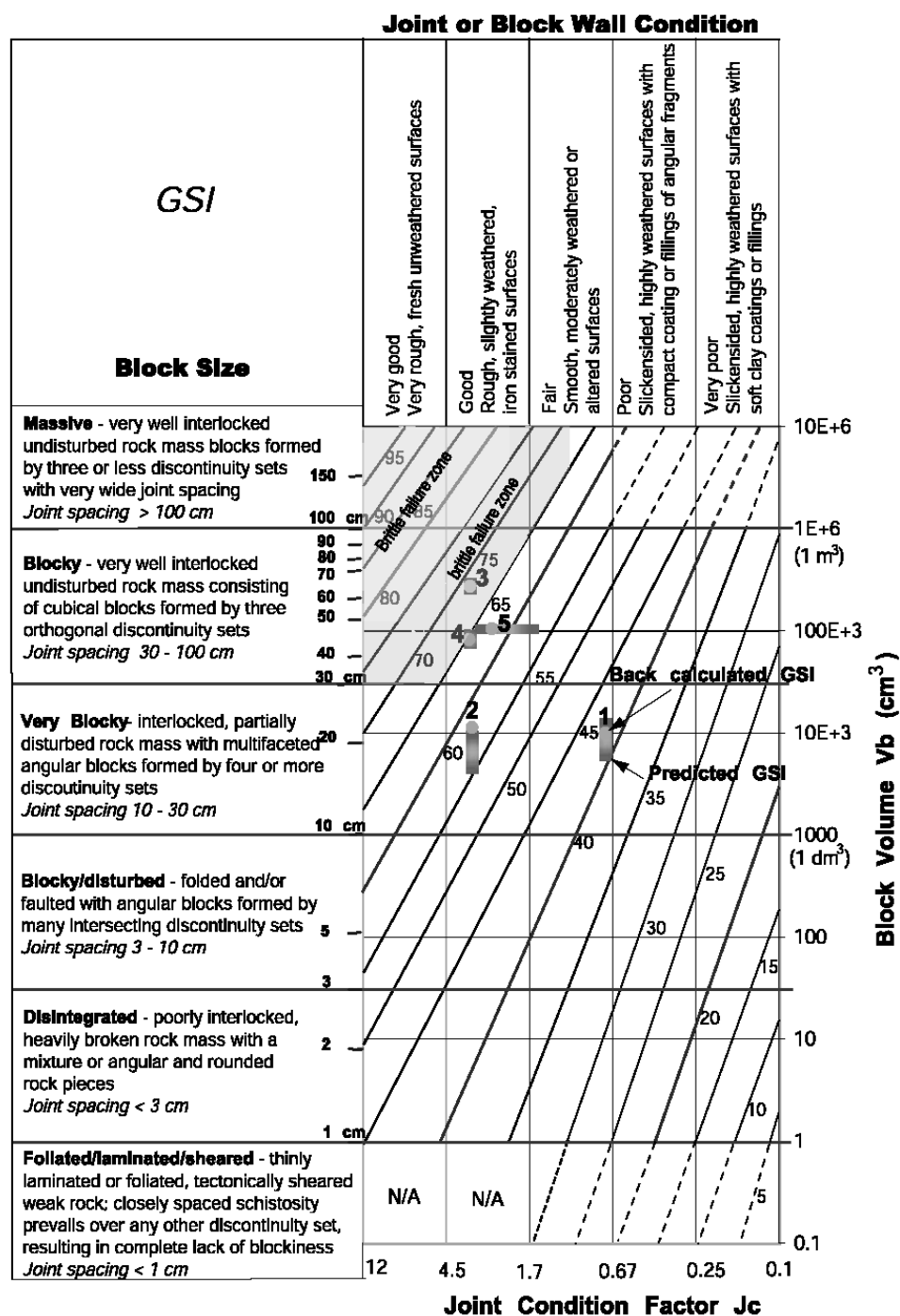


Fig. D.8



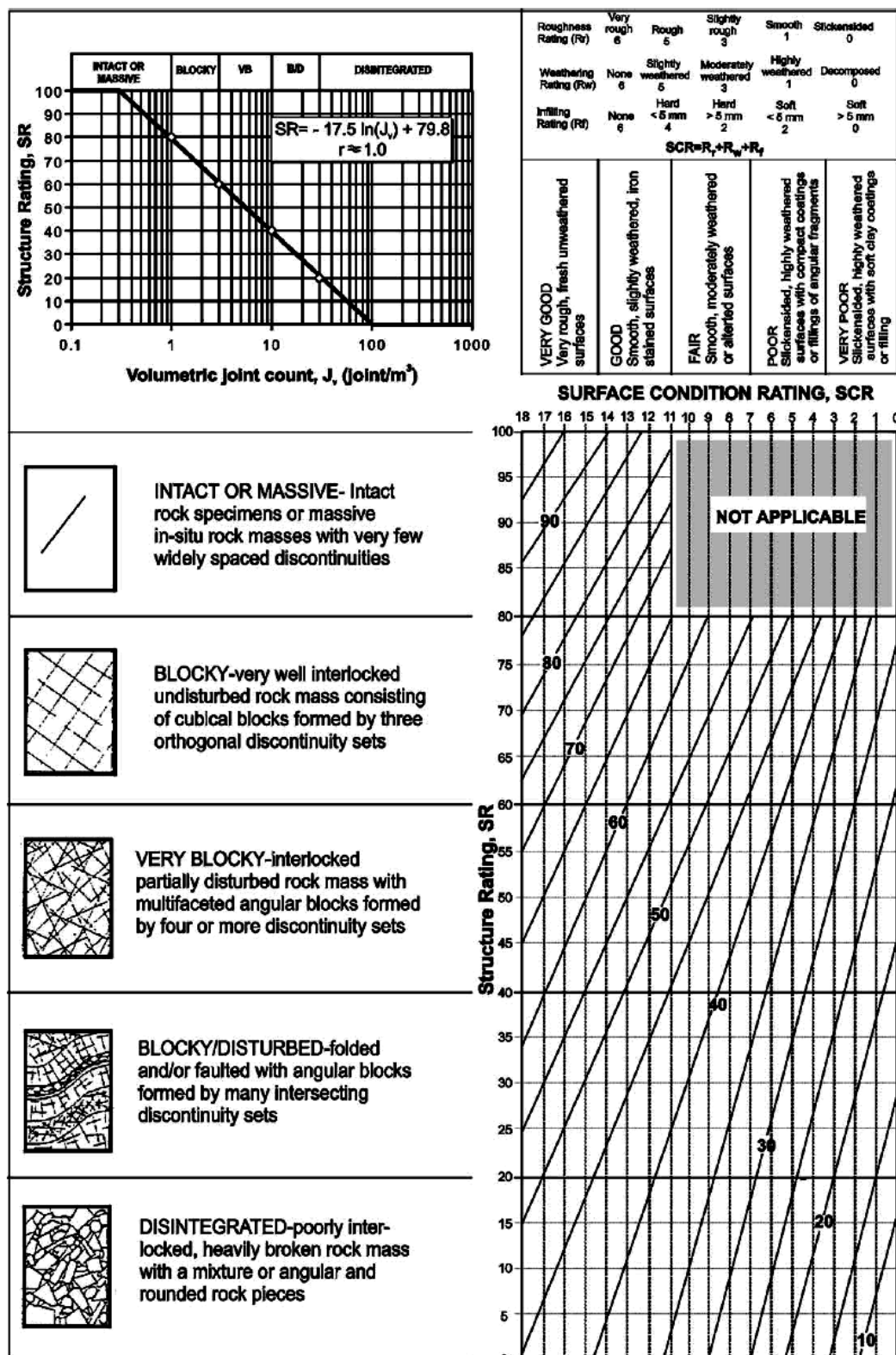


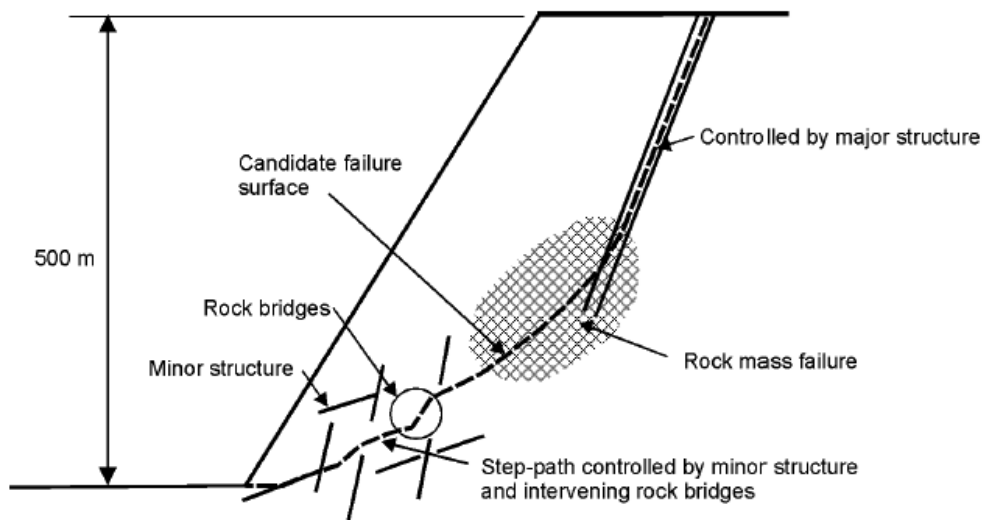
Fig. D.9

### D.3 RESISTENZA AL TAGLIO DI RIEMPIMENTI DI SUPERFICI STRUTTURALI

In alcuni ammassi rocciosi esistono superfici strutturali riempite di materiale che hanno caratteristiche di resistenza al taglio diverse da quelle del materiale circostante. Tali superfici possono avere una influenza importante nella verifica di stabilità (fig. D.10 e D.11).

Tali superfici strutturali riempite possono essere inserite in SSAP come lenti, con una

appropriata caratterizzazione usando sia il criterio Mohr-Culomb, sia quello di Hoek.



**Fig. D.10**

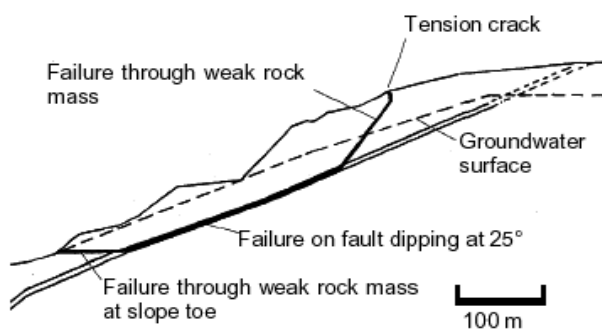


Figure 11.31: Complex slope failure controlled by an outward dipping basal fault and circular failure through the poor quality rock mass overlying the toe of the slope.

**Fig. D.11**

Rock	Description	Peak $c'$ (MPa)	Peak $\phi^a$	Residual $c'$ (MPa)	Residual $\phi^a$
Basalt	Clayey basaltic breccia, wide variation from clay to basalt content	0.24	42		
Bentonite	Bentonite seam in chalk	0.015	7.5		
	Thin layers	0.09-0.12	12-17		
	Triaxial tests	0.06-0.1	9-13		
Bentonitic shale	Triaxial tests	0-0.27	8.5-29		
	Direct shear tests			0.03	8.5
Clays	Over-consolidated, slips, joints and minor shears	0-0.18	12-18.5	0-0.003	10.5-16
Clay shale	Triaxial tests	0.06	32		
	Stratification surfaces			0	19-25
Coal measure rocks	Clay mylonite seams, 10 to 25 mm	0.012	16	0	11-11.5
Dolomite	Altered shale bed, $\pm$ 150 mm thick	0.04	14.5	0.02	17
Diorite, granodiorite and porphyry	Clay gouge (2% clay, $P_1 = 17\%$ )	0	26.5		
Granite	Clay filled faults	0-0.1	24-45		
	Sandy loam fault filling	0.05	40		
	Tectonic shear zone, schistose and broken granites, disintegrated rock and gouge	0.24	42		
Greywacke	1-2 mm clay in bedding planes			0	21
Limestone	6 mm clay layer			0	13
	10-20 mm clay fillings	0.1	13-14		
	<1 mm clay filling	0.05-0.2	17-21		
Limestone, marl and lignites	Interbedded lignite layers	0.08	38		
	Lignite/marl contact	0.1	10		
Limestone	Marlaceous joints, 20 mm thick	0	25	0	15-24
Lignite	Layer between lignite and clay	0.014-0.03	15-17.5		
Montmorillonite Bentonite clay	80 mm seams of bentonite (montmorillonite) clay in chalk	0.36	14	0.08	11
		0.016-0.02	7.5-11.5		
Schists, quartzites and siliceous schists	100-15- mm thick clay filling	0.03-0.08	32		
	Stratification with thin clay	0.61-0.74	41		
	Stratification with thick clay	0.38	31		
Slates	Finely laminated and altered	0.05	33		
Quartz / kaolin / pyrolusite	Remoulded triaxial tests	0.042-0.09	36-38		

Fig. D.12

A titolo di riferimento viene presentata in figura D. 12 una tabella con dei valori di riferimento per i parametri di resistenza al taglio per i materiali di riempimento di superfici strutturali.

#### D. 4 ESEMPIO DI APPLICAZIONE DEL CRITERIO DI HOEK ET AL. (2002)

Viene di seguito dato un esempio di calcolo dei parametri  $\phi'$  e  $c'$  equivalenti per un ammasso secondo il sistema GSI (Hoek et al., 2002).

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

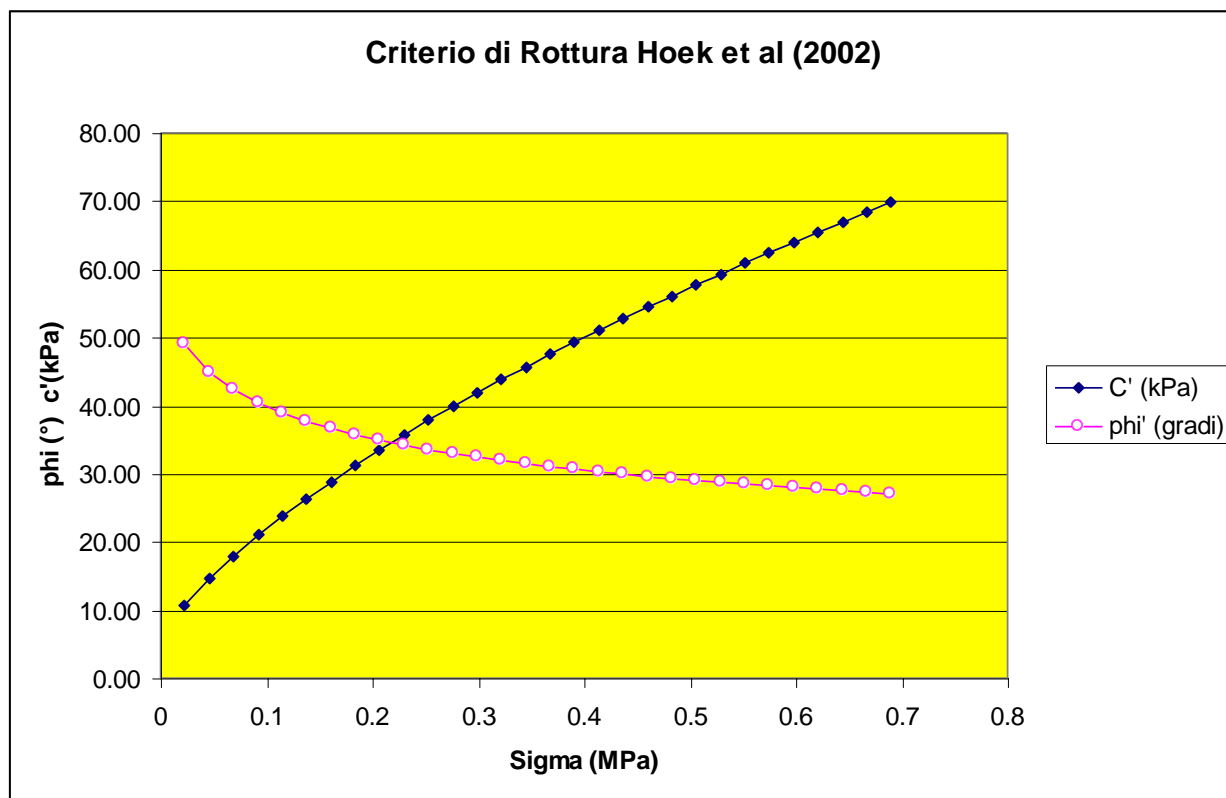


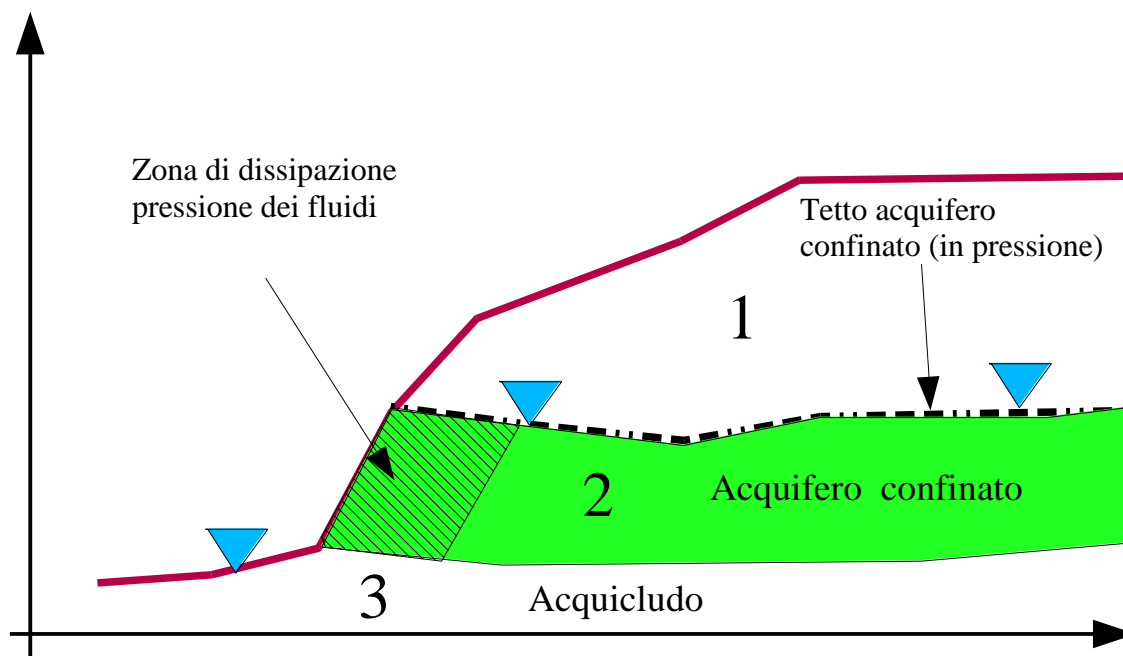
Fig. D.13

Si noti nella figura D.13 la variazione dei parametri  $\phi'$  e  $c'$  equivalenti all'aumentare della pressione litostatica verticale.

## D.5 RIFERIMENTI CITATI

- Cai M., Kaiser P.K., Uno H., Tasaka Y., Minami M. (2003) .Estimation of rock mass deformation modulus and strength of jointed hard rock masses using the GSI system. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* (in stampa)
- Hoek, E. and Brown, E.T. 1997. Practical estimates of rock mass strength. *Intl. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts*. **34**(8), 1165-1186.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C.T., and Corkum, B. (2002), Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition. *Proc. North American Rock Mechanics Society meeting in Toronto in July 2002*.
- Marinos. P, and Hoek, E. (2001) - Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch, *Bull. Engg. Geol. Env.* 60, 85-92.
- Sonmez H., Gokceoglu C., Ulusay R. (2003). An application of fuzzy sets to the Geological Strength Index (GSI) system used in rock engineering. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16:251–269
- Sonmez, H., and Ulusay, R. 1999. Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to the stability of slopes. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, **36** (6), 743-760.
- Sonmez, H., Ulusay, R., Gokceoglu, C., 1998. A practical procedure for back analysis of slope failures in closely jointed rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 35 (2), 219–233.

## APPENDICE E - GESTIONE ACQUIFERI E FLUIDI



### E.1 INTRODUZIONE

A partire dalla versione di SSAP2004 è stato aggiunto un nuovo modulo per la **gestione avanzata degli acquiferi e dei fluidi** presenti in un pendio. Ciò è dettato dalla necessità di rendere più versatile, e più corrispondente alla realtà geologica-geotecnica, la possibilità di modellizzare la componente delle pressioni interstiziali entro i vari strati che compongono un pendio.

Con il nuovo modulo aggiuntivo è possibile:

- Utilizzare la linea freatica, che usualmente definisce la tavola d'acqua, anche come **livello piezometrico**; utile a calcolare la pressione interstiziale locale nel caso di **falde in pressione**;
- **Escludere alcuni strati dal calcolo delle pressioni interstiziali** e considerarli come acquicludi; ciò risulta utile per **simulare la presenza di falde sospese e stati temporaneamente saturi sopra porzioni insature**;
- **Cambiare il peso unitario del fluido** (che per l'acqua è normalmente assunto pari a  $9.81 \text{ kN m}^{-3}$ ); ciò è utile per utilizzare una modalità **alternativa di simulazione delle falde in pressione**;
- Utilizzare, nel caso di **falde in pressione**, un 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**. Questa opzione consente ad esempio la **simulazione di un effetto di svaso rapido in un bacino artificiale o di usare carichi piezometrici esterni al pendio**.

Nonostante con questo modulo le funzionalità del codice SSAP risultino notevolmente incrementate, è tuttavia necessario far presente due aspetti:

- L'utilizzo delle nuove funzioni è una **modalità avanzata che è suggerita solo in situazioni particolari** e che **l'applicazione di queste funzionalità può alterare in modo**

rilevante la risposta in termini di stabilità globale;

- Il non utilizzo delle nuove funzionalità non altera in alcun modo la risposta, in termini di stabilità, attesa dalle tecniche classiche di verifica.

## E.2 FUNZIONALITÀ MODULO PER LA GESTIONE DEGLI ACQUIFERI

Una volta caricato il modello di pendio attraverso la voce del menu principale **Parametri | Acquiferi e Fluidi**, apparirà una finestra come in figura E.1.

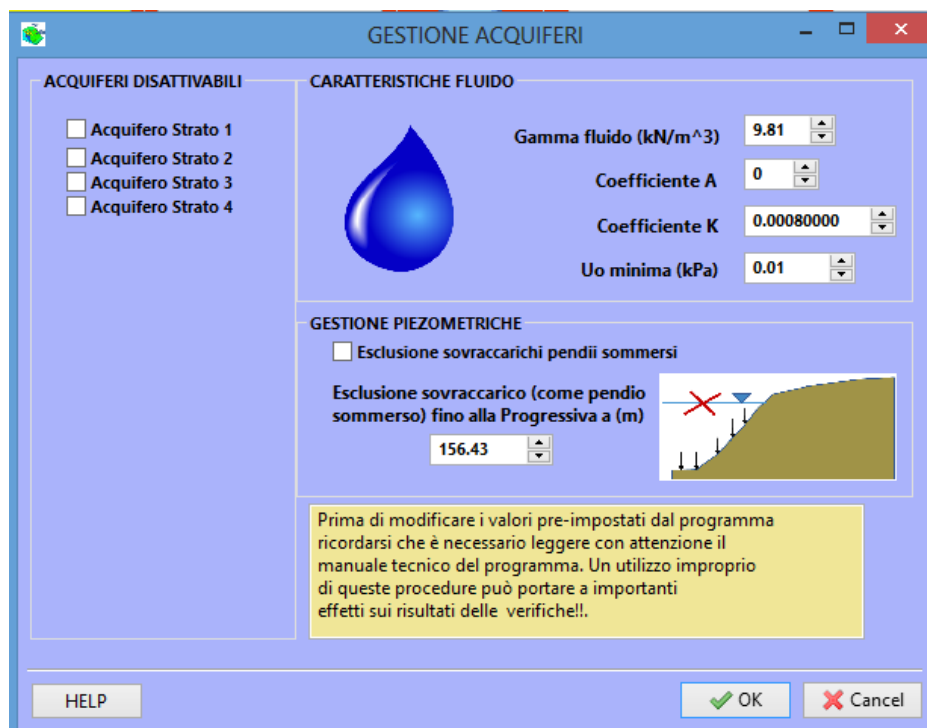


Figura E.1

Nella finestra in figura E.1 sono attivabili tutte le opzioni del modulo di gestione degli acquiferi.

### Selezione acquiferi da disattivare

Alcuni degli strati che compongono il pendio possono **forzatamente essere esclusi dal computo della pressione dei pori**. Negli strati selezionati la pressione dei pori sarà sempre nulla, in modo analogo a un prefetto acquicludo asciutto. Il numero degli acquiferi disattivabili sarà sempre pari al numero degli stati definiti nel modello del pendio caricato in memoria.

### Escludi sovraccarico pendio sommerso

Con questa opzione si esclude la pressione dell'acqua che agisce, dall'esterno, su un pendio sommerso.

### Escludi zona sovraccarico fino a progressiva X(m)

L'esclusione del sovraccarico fornito dal pendio sommerso è attivata fino alla progressiva (coordinata X espressa in m) indicata. Utile per verifiche di stabilità argini e corpo dighe in terra!.

### Peso unitario fluido

Densità o peso unitario del fluido che si vuole usare. Normalmente il valore è quello dell'acqua, ovvero  $9.81 \text{ kN m}^{-3}$ . E' possibile utilizzare un valore diverso

per casi particolari, come acquiferi o fluidi in pressione. In questo caso il valore può salire fino a  $25.0 \text{ kN m}^{-3}$

### **Coefficienti della funzione di dissipazione**

#### **Coefficiente A**

Coefficiente per funzione di dissipazione della pressione de pori.

- $A=0$  per non avere nessuna dissipazione. Valore di default.
- $A=-1$  per avere una dissipazione al diminuire della distanza dalla superficie.
- $A=+1$  per avere una sovrappressione al diminuire della distanza dalla superficie.(adimensionale)

#### **Coefficiente K**

Costante funzione di dissipazione. K deve assumere valori compresi tra 0.000001 e 0.1 (adimensionale)

#### **Pressione dei pori minima**

Valore minimo della pressione dei pori. Usato nella funzione di dissipazione. sono consigliati valori tra 1 e 100 kPa. il valore di default è  $U_0=0.1 \text{ kPa}$ .

## **E.3 FALDE SOSPESE E TEMPORANEE**

La possibilità di avere una falda sospesa entro un pendio non è una rarità. Una falda sospesa è definita da una superficie freatica (o tavola d'acqua ) e un acquicludo alla base della zona saturata.

Utilizzando in modo classico la superficie freatica, definita attraverso le serie di coordinate XY in un file .FLD, veniamo a definire entro un pendio una porzione satura inferiore e una porzione insatura superiore. **Nel caso di falde sospese la porzione satura è però delimitata anche inferiormente.** Attraverso la opzione di disattivazione degli acquiferi è possibile imporre che alcuni strati siano degli acquicludi e che in essi la pressione neutra sia assunta sempre pari a 0.

Un altro caso che costituisce un particolare tipo di falda sospesa è la formazione di un fronte saturo temporaneo entro un pendio(figura E.2). In seguito a forti piogge è possibile che si formi un fronte saturo che progressivamente avanza entro un pendio in funzione della velocità di infiltrazione e degli afflussi meteorici. Questa fascia satura può essere, anche in un pendio omogeneo, delimitata inferiormente da una porzione insatura con pressioni neutre 0. In questo caso è possibile sfruttare le nuove funzionalità per modellizzare il pendio in questa situazione.

Nell'esempio in figura E.2 il pendio è suddiviso in due strati e con la superficie freatica coincidente con la superficie topografica. Facendo coincidere con il tetto della strato 2 la base della zona temporaneamente saturata e **disattivando il calcolo della pressione neutra nello strato 2 (escludendo lo strato2 nel modulo di gestione acquiferi)**, avremo la possibilità di simulare le condizioni sopra descritte. Inoltre è possibile simulare l'avanzamento nel tempo del fronte saturo, causato dalla infiltrazione, spostando progressivamente più in basso la superficie dello strato 2.

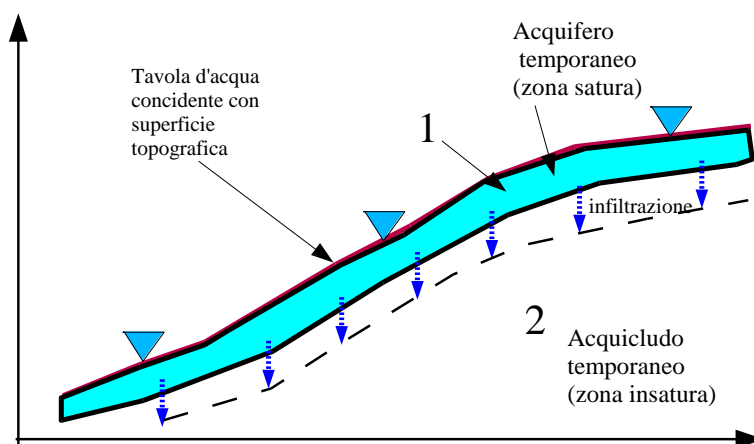
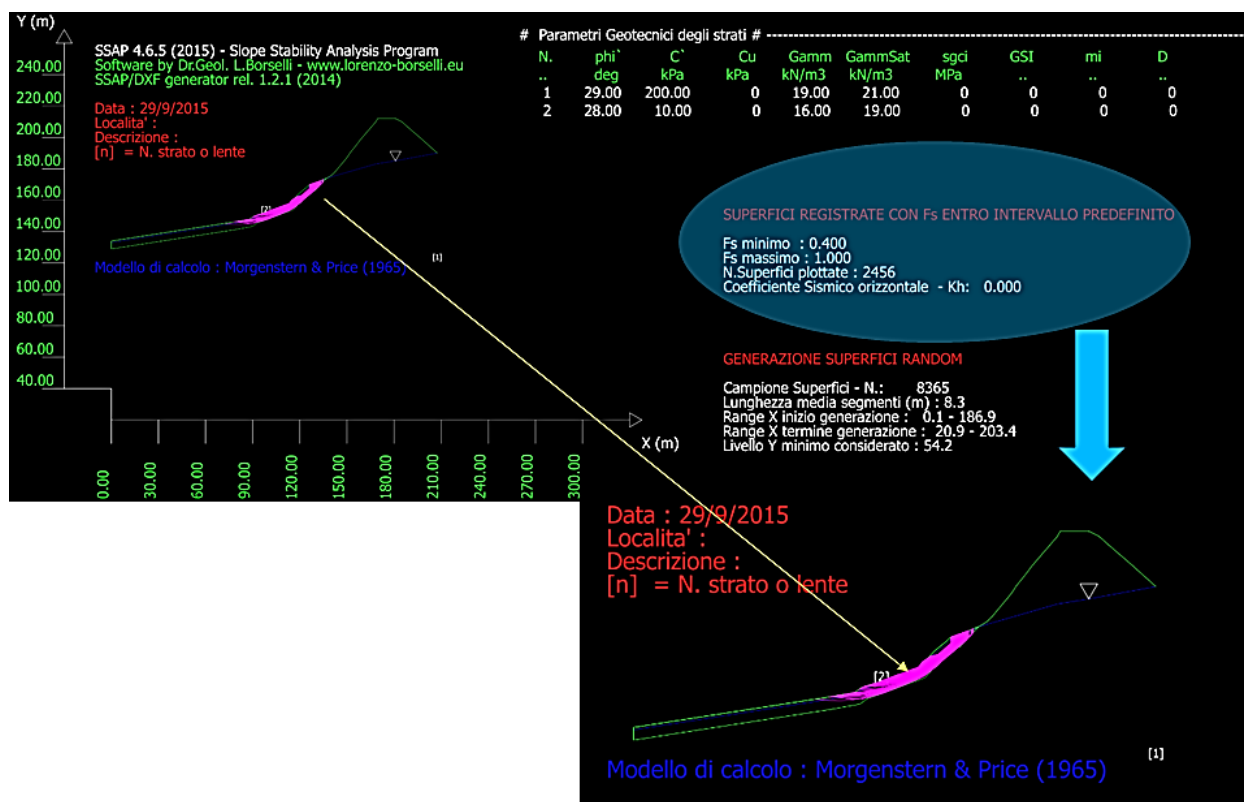


Figura E.2

Un esempio di questo tipo di risultati è fornito dalla Fig. E3 dove abbiamo un pendio con un substrato roccioso parzialmente coperto da un livello colluviale (strato2). Generandosi una falda sospesa in questo strato abbiamo una serie di superfici con  $FS < 1$  che si concentrano tutte nella parte mediana del pendio. La analisi è confermata anche dalla mappa a colori del fattore FS locale.





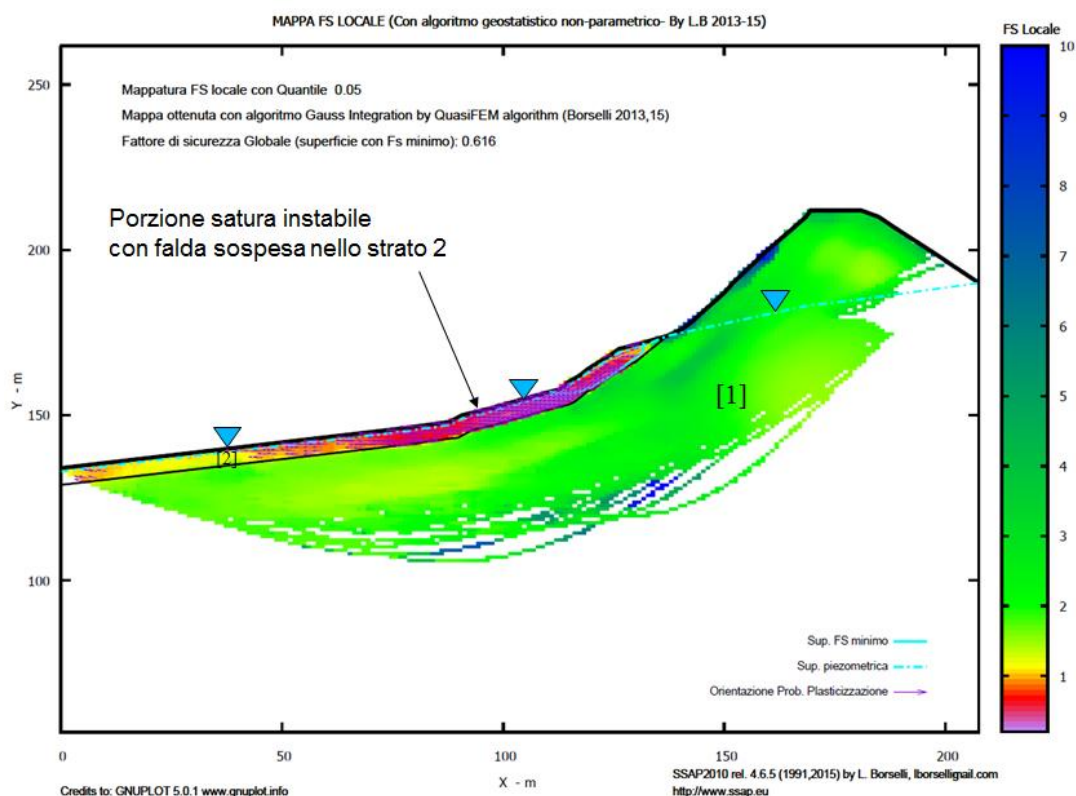


Fig. E3

#### E.4 ACQUIFERI CONFINATI

In un acquifero confinato la pressione neutra è solitamente maggiore della pressione data dalla colonna d'acqua equivalente allo spessore locale dell'acquifero. Solitamente il posizionamento di una serie di piezometri rivela che il livello dell'acqua negli stessi si stabilizza a una quota più elevata del tetto dell'acquifero. L'acquifero confinato è solitamente compreso tra due acquicludi e ha una zona di ricarica che è spesso anche lontana dal pendio in esame. Normalmente in idrogeologia un acquifero confinato è solitamente considerato quando non vi è contatto con la superficie. Tuttavia evidenze di campagna indicano che esistono anche acquiferi confinati che possono intersecare la superficie topografica come in figura E.4.

In presenza di acquiferi confinati si assume che la superficie della falda definita nei files .FLD rappresenti un livello piezometrico e che escludendo gli acquicludi dal calcolo della pressione neutra, attraverso il livello piezometrico si può calcolare in ogni punto la pressione dell'acquifero in pressione. In figura E.4 è rappresentato questo caso. Nell'esempio la superficie piezometrica segue per un tratto la superficie e successivamente risale entro lo strato 1 (acquicludo di tetto). La definizione della superficie piezometrica nel file .FLD, e la esclusione dal calcolo della pressione neutra degli strati 1 e 3 è sufficiente a definire il problema.

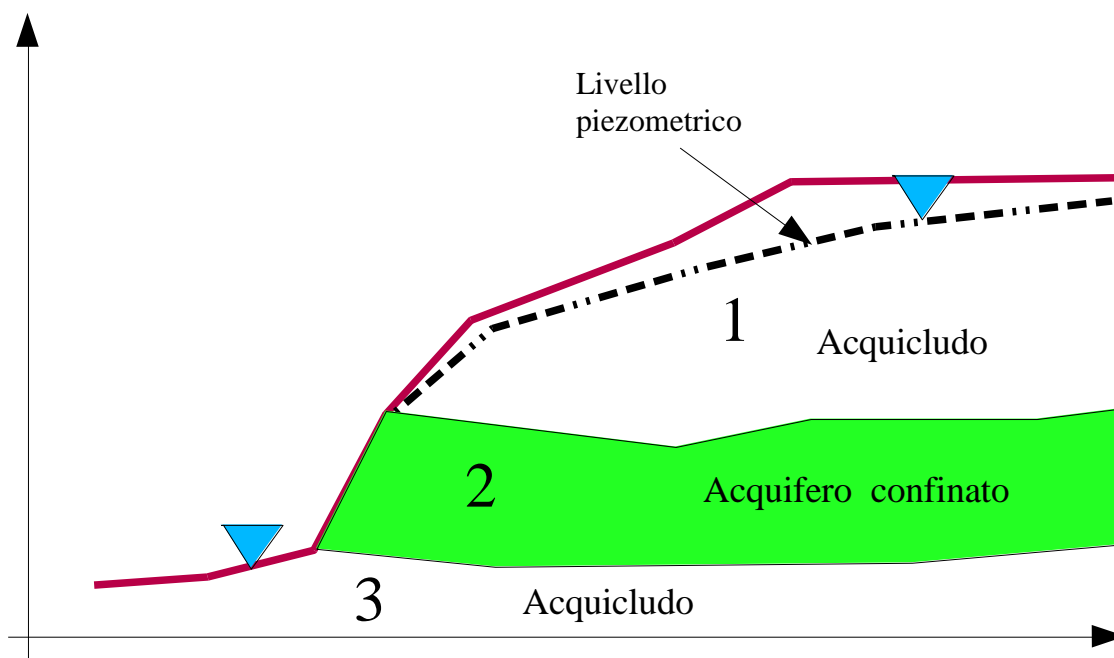


Figura E.4

### E.5 FLUIDI IN PRESSIONE

Esistono condizioni particolari per le quali la pressione dei fluidi in un acquifero confinato si dissipa progressivamente in prossimità della superficie. Più correttamente dovremmo parlare, invece che di acquiferi confinati di campi di pressione di fluidi. Condizione tipica sono i campi di pressione dei fluidi associati a edifici vulcanici e sorgenti idrotermali. Tali campi di pressione anomali pervadono ammassi rocciosi e la componente gassosa non è irrilevante. In taluni casi una perturbazione del campo di pressione può essere generato da un nuovo afflusso di magma dalla profondità o semplicemente da una migrazione di fluidi dovuta a nuovi campi di fratture.

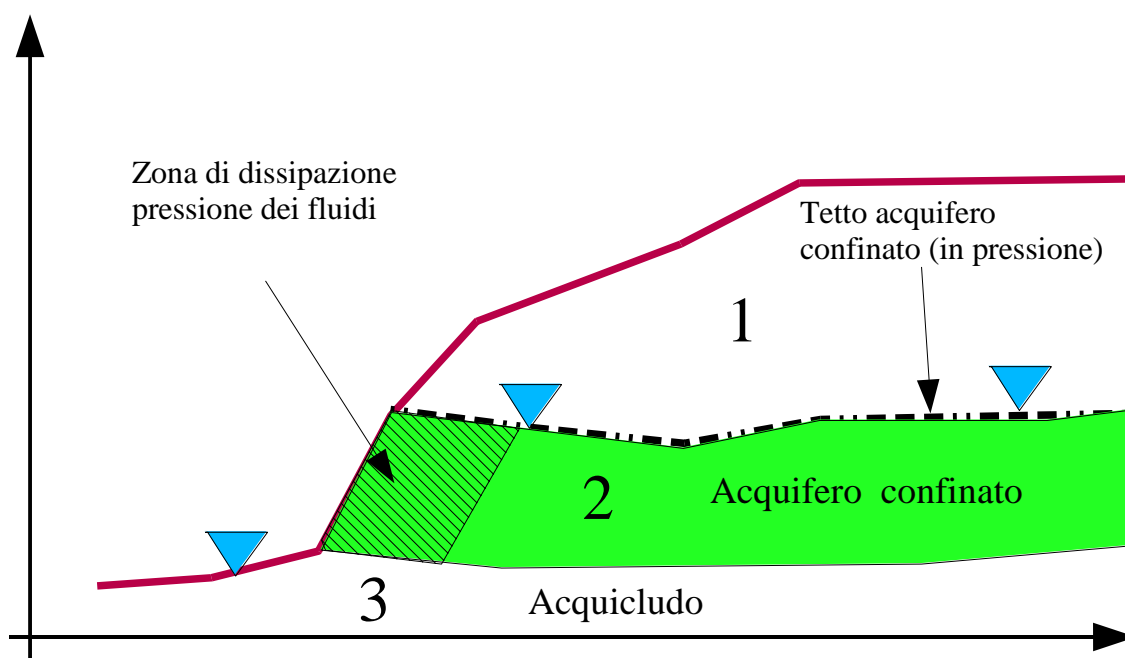


Figura E.5

Il Programma SSAP è stato, a scopo sperimentale, utilizzato nel 2006 per simulare le condizioni di instabilità del Volcan de Fuego (Stato di Colima, Messico). Ciò è stato realizzato con la collaborazione dell'istituto di Geofisica della UNAM (Città del Messico, Messico), del centro di Geociencias della UNAM (Queretaro, Messico) e della Università Autonoma di San Luis Potosì UASLP. (San Luis Potosì, Messico) e con la introduzione di alcune nuove funzionalità nel programma. In particolare con la introduzione di una funzione di dissipazione (o incremento) della pressione dei fluidi. Dopo la fase sperimentale si è arrivati a una applicazione finale che è culminato con un lavoro di ricerca completo i cui risultati sono stati pubblicati nel 2011 nel *Journal of Volcanology an geothermal research*<sup>1</sup>.

Il campi di pressione anomali oltre che con gli strumenti prima descritti (esclusione di strati dal calcolo delle pressioni neutre, posizionamento del profilo piezometrico, variazione peso unitario del fluido) possono venire alterati dalla seguente funzione:

$$F_D = 1 + Ae^{-kD} \quad [E.1]$$

dove:

**A** è il coefficiente per funzione di dissipazione della pressione de pori che può assumere i seguenti valori:

- **A=0** per non avere **nessuna dissipazione**. Valore di default.
- **A=-1** per avere una **dissipazione al diminuire della distanza dalla superficie**.
- **A=+1** per avere una **sovrappressione al diminuire della distanza dalla superficie**.(adimensionale)

**k** è la costante funzione di dissipazione che deve assumere valori compresi tra 0.000001 e 0.1 (adimensionale)

Con la applicazione della funzione di dissipazione (eq. E1) è possibile alterare il calcolo della pressione neutra nel modo seguente

$$\sigma_w = \gamma_w z F_D + U_0 \quad [E.2]$$

dove **U<sub>0</sub>** è il valore minimo della pressione dei pori che assume valori tra 1 e 100 kPa. Il valore di default è U<sub>0</sub>=1 kPa.

Con l'uso delle funzioni E1 e E2 è possibile dissipare (o incrementare) progressivamente la pressione dei pori via via che ci si avvicina alla superficie. Se si usa un valore A=0 non avremo alcun cambiamento nel modo usuale di calcolare la pressione neutra. Nella figura E.6 è mostrato il grafico in tratteggiato della funzione E1 calcolata per un valore di peso unitario del fluido pari a 25.

Si nota come al diminuire di **k** la efficienza della dissipazione delle pressioni aumenta con l'avvicinarsi alla superficie.

L'uso della funzione di dissipazione è suggerito nel caso si vogliano simulare condizioni anomale di fluidi in ammassi rocciosi fratturati pervasi da fasi gassose ad alta pressione. In

<sup>1</sup> BORSELLI L., CAPRA L., SAROCCHI D., De La CRUZ-REYNA S. 2011. Flank collapse scenarios at Volcán de Colima, Mexico: a relative instability analysis. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 208:51–65. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2011.08.004

questi ambienti può essere conveniente abbinare l'uso della funzione di dissipazione a un valore del peso unitario del fluido maggiore di quello dell'acqua, che è normalmente 9.81.

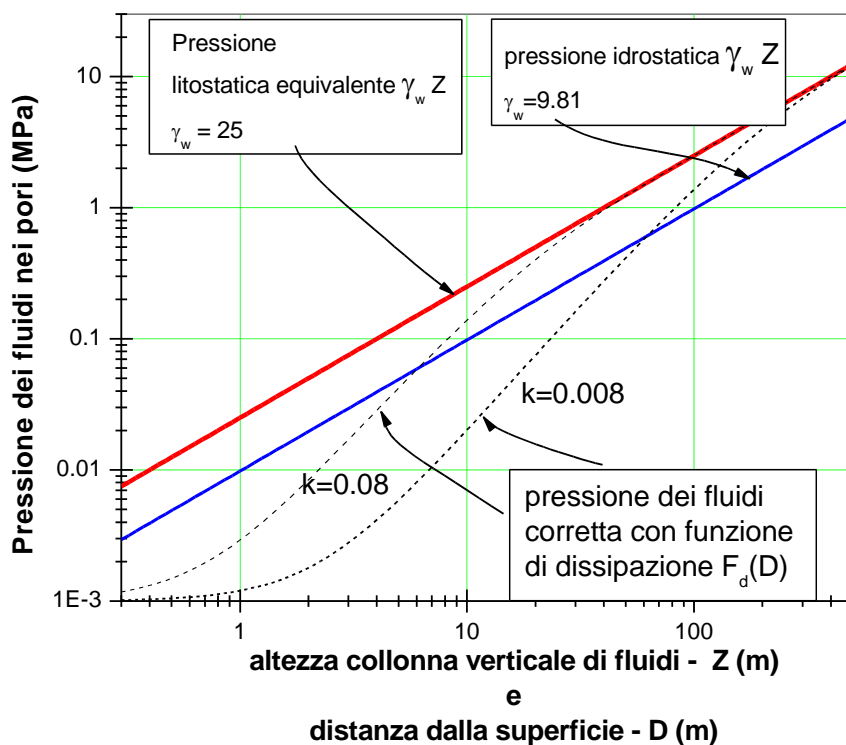


Figura E.6

In particolari condizioni l'uso della funzione di dissipazione può risultare utile anche nel caso si abbia bisogno di simulare zone di emergenza alla superficie di acquiferi confinati come in figura E.4.

### E.5 PENDII SOMMERSI

Nel caso di pendii sommersi risulta utile effettuare simulazioni anche considerando il possibile svasso rapido (caso previsto per gli invasi artificiali). In queste condizioni la parte sommersa del pendio continua ad avere per un breve periodo di tempo una pressione neutra vicina a quella delle condizioni di pendio sommerso, ma contemporaneamente abbiamo anche l'assenza del sovraccarico fornito dalla massa d'acqua esterna al pendio. In pratica si tratta di simulare le condizioni più gravose in assoluto. Per poter fare ciò in modo più efficiente è stata prevista la possibilità di escludere dal calcolo il sovraccarico esterno di un eventuale pendio sommerso figura E.7. Questa opzione è attivabile selezionandola dalla finestra in figura E.1.

La opzione può risultare utile anche nel caso si voglia ad esempio simulare la pressione neutra del paramento a valle di una diga in terra. In questo caso il profilo della falda è in realtà un profilo piezometrico che nella parte a valle è usualmente a quota più elevata del profilo del paramento di valle (figura E.7). La esclusione del sovraccarico esterno permette quindi in questo caso di simulare correttamente le pressioni nel corpo diga anche usufruendo di un altro parametro aggiuntivo che permette di attivare la esclusione del sovraccarico, fino a una certa progressiva.

In questo modo è possibile mantenere il sovraccarico del pendio sommerso nella porzione del

corpo diga nella direzione dell'invaso, e sommerso. Questo permette di simulare una serie di condizioni operative dell'argine o corpo diga (figura E.7). In questo modo avremo tre porzioni di pendio con un diverso regime di pressioni neutre: (A) carico piezometrico (per simulare pressioni aggiuntive di filtrazione), (B) porzione satura con superficie freatica, (C) pendio sommerso con sovraccarico esterno dell'invaso (figura E.8).

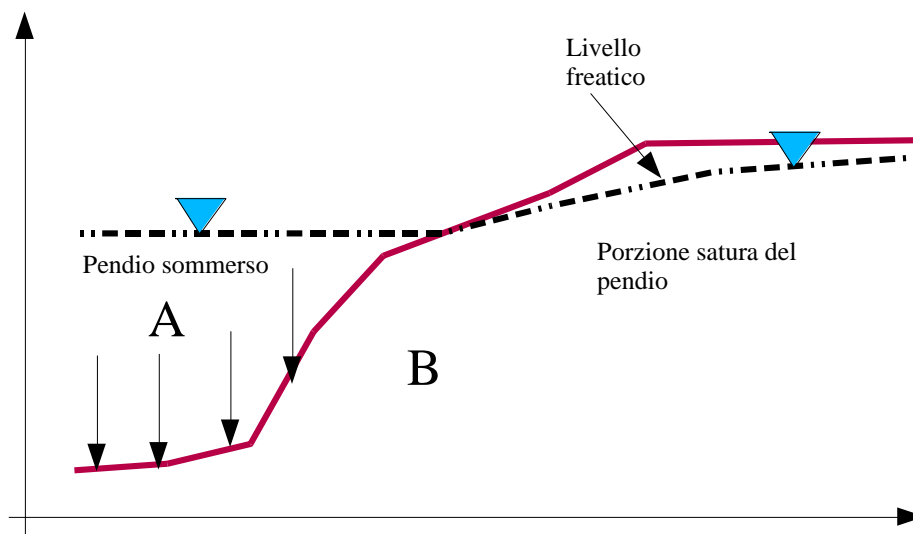


Figura E.7

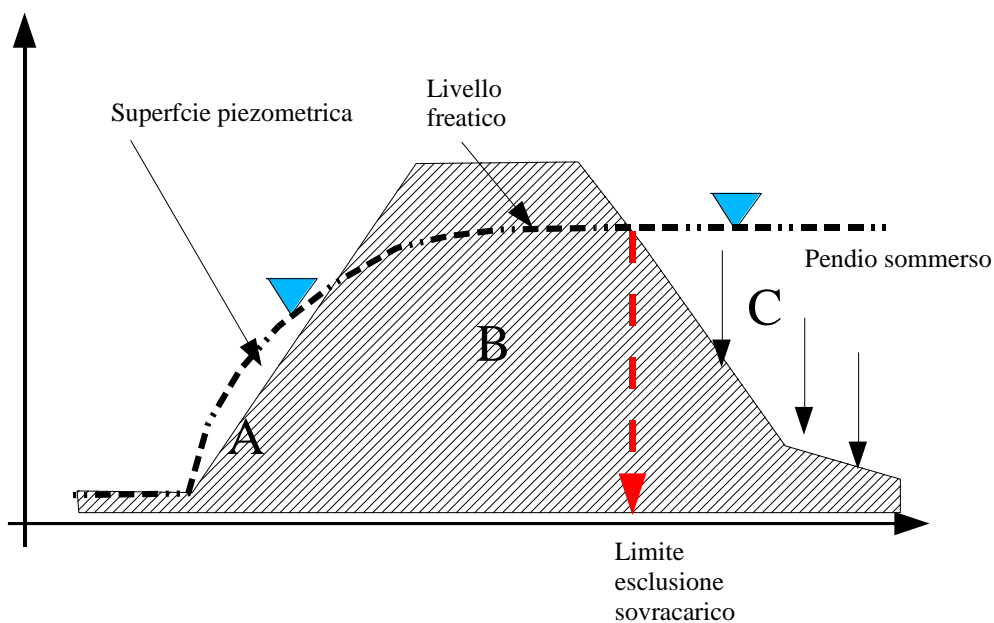


Figura E.8

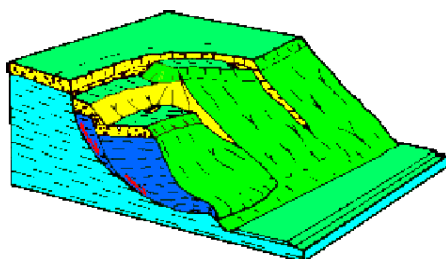
## E.6 USO E AVVERTENZE

Il Nuovo modulo per la gestione degli acquiferi e dei fluidi aggiunge una serie di caratteristiche avanzate al codice SSAP. L'uso di queste nuove funzionalità deve essere oculato perché esse introducono la possibilità di simulare in modo più realistico i campi di pressione neutra entro un pendio. Tuttavia è importante avvertire l'utente sulle conseguenze che un uso non appropriato può comportare.

**Nel dubbio contattare l'autore del programma che è sempre disponibile a ogni chiarimento, ad ascoltare e trarre profitto da critiche e suggerimenti.**

## APPENDICE F - SSAP2010 E LE VERIFICHE DI STABILITA' SECONDO LE NTC 2008

*A cura di Ing. LUCIA GRECO, Bari*  
*Responsabile Italiana progetto no-Profit di divulgazione SSAP*  
[lugreco10@gmail.com](mailto:lugreco10@gmail.com)



**SSAP2010**

### F.1 - Introduzione

Obiettivo di questa appendice è fornire un breve richiamo relativamente all'utilizzo delle NTC2008 per le verifiche di stabilità dei versanti. **Quello che è però il modello del pendio assunto e la parametrizzazione è una prima fase assolutamente imprescindibile che dipende esclusivamente dall'utente.**

Vedremo che le NTC prevedono che le verifiche siano eseguite con differenti combinazioni di fattori di riduzione di parametri geotecnici e/o amplificazione e riduzione di forze destabilizzanti o instabilizzanti in funzione dei diversi scenari di verifica da simulare.

Il software non esegue tali combinazioni e modellizzazioni che dipendono dal livello di conoscenze, dall'affidabilità dei dati disponibili, nonché dal grado di sicurezza ritenuto accettabile dal progettista.

**Lo scenario di verifica è pertanto completamente definito dall'utente e ciò deve essere conforme a quanto richiesto dalle NTC.**

La conformità del software alle stesse è data dal fatto che esso esegue le verifiche mediante una sofisticata forma dell'equilibrio limite con il metodo pseudostatico (mediante l'uso di coefficienti sismici secondo il metodo pseudostatico).

### F.2 Prescrizioni generali

Dopo un lungo periodo d'incertezza normativa, il 1 luglio 2009 è entrato definitivamente in vigore il DM 14 gennaio 2008 sulle norme tecniche per le costruzioni. Nel capitolo 6 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.

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

La valutazione della sicurezza viene effettuata confrontando la **resistenza di progetto  $R_d$** , valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e alle grandezze geometriche interessate, e il **valore di progetto  $E_d$  delle azioni**, valutato in base ai valori di progetto delle azioni. La condizione da verificare e' :

$$R_d \geq E_d \quad [F.1]$$

In questo caso sia ai parametri caratteristici dei parametri fisico meccanici, che a quelli delle azioni, vengono applicati dei **coefficienti parziali di sicurezza** calcolati in relazione

- al tipo di azione
- alla vita nominale della struttura (1)
- alla sua classe d'uso (2)

La verifica della suddetta eq. F.1 deve essere effettuata, secondo le nuove norme, impiegando diverse combinazioni di gruppi di tali coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni ( $A_1$  e  $A_2$ ), per i parametri geotecnici ( $M_1$  e  $M_2$ ) e per le resistenze ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ).

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

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono previste due diverse combinazioni di coefficienti:

**Nell'approccio progettuale 1** la prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

**Nell'approccio progettuale 2** è invece prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali che nelle verifiche geotecniche.

*Per le verifiche di stabilità vedremo che a noi interessa l'Approccio 1- Combinazione 2 ( $A_2+M_2+R_2$ ), con  $R_2 = 1.1$ . E' importante considerare che:*

*(1) La **vita nominale** di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.*

*(2) In **presenza di azioni sismiche**, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in **4 classi d'uso**. (Gazzetta Ufficiale 04/02/2008 n. 29)*

*(3) Secondo l'Eurocodice 7 il valore caratteristico di un parametro di un terreno o di una roccia deve essere scelto in base ad una valutazione cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite.*

I **coefficienti parziali per le azioni** o per l'effetto delle azioni sono mostrati nella figura F.1 :

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_F$	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti (strutturali)	Favorevole	$\gamma_{G1}$	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,3	1,0
Permanenti portati <sup>(1)</sup> (non strutturali)	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3

Figura F.1. Coefficienti parziali per le azioni

Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad esempio i carichi permanenti portati) siano completamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

I **coefficienti parziali per i parametri geotecnici** del terreno sono invece mostrati nella figura F.2.

Parametro al quale applicare il CP	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1,0 <sup>16</sup>	1,0

coefficiente	R2
$\gamma_R$	1,1

Figura F.2 : coefficienti parziali per i parametri geotecnici

Per le rocce, al valore caratteristico della resistenza a compressione uniassiale deve essere applicato un coefficiente parziale  $\gamma_{qu}=1,6$ .



**Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali.**

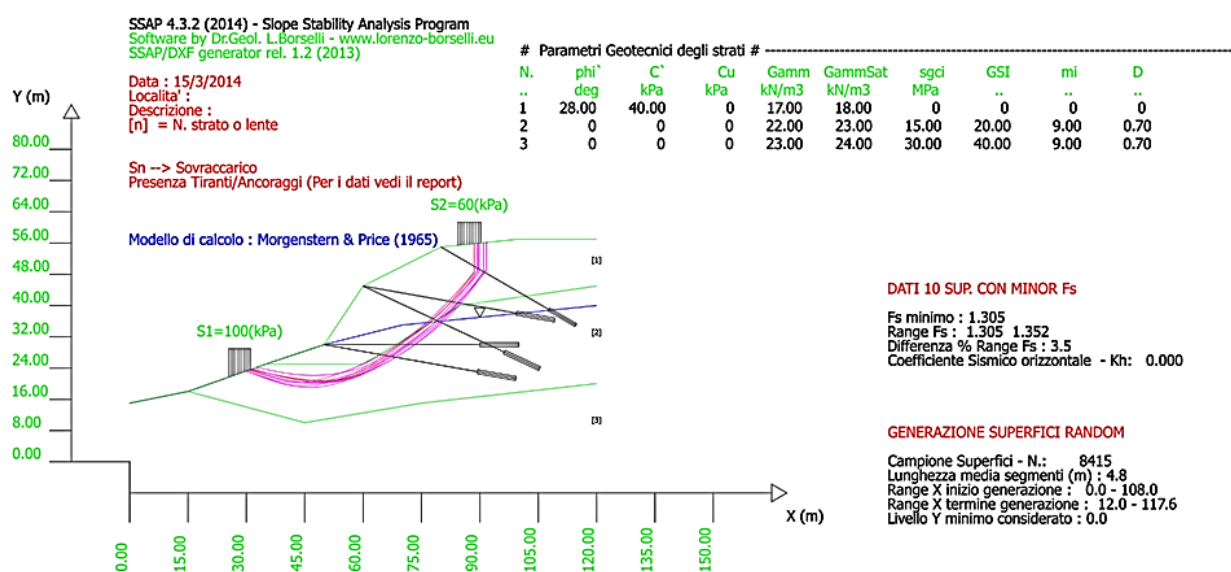
### F.3 Le verifiche di sicurezza

Secondo le NTC 2008 le verifiche di sicurezza devono essere effettuate con metodi che tengano conto della forma e posizione della superficie di scorrimento, dell'assetto strutturale, dei parametri geotecnici e del regime delle pressioni interstiziali.

**Nel caso di pendii in frana le verifiche di sicurezza devono essere eseguite lungo le superfici di scorrimento che meglio approssimano quella/e riconosciuta/e con le indagini.**

In questo caso quindi la prima verifica da effettuare è quella della superficie singola che meglio approssima quella di rottura...superficie che andrà pertanto ricostruita e verificata...

**Negli altri casi, la normativa impone che la verifica di sicurezza deve essere eseguita lungo superfici di scorrimento cinematicamente possibili, in numero sufficiente per ricercare la superficie critica alla quale corrisponde il grado di sicurezza più basso.(fig. F.3 e F.4.)**



**Fig. F.3: verifica di un numero sufficiente di superficie cinematicamente possibili. Esempio di risultato di ricerca e verifica effettuato dal SSAP2010**

Quando sussistano condizioni tali da non consentire un'agevole valutazione delle pressioni interstiziali, le verifiche di sicurezza devono essere eseguite assumendo le condizioni più sfavorevoli che ragionevolmente si possono prevedere.

**Il grado di sicurezza ritenuto accettabile dal progettista** deve essere giustificato 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.

**Il progettista ha dunque un compito fondamentale. Definire qual è il grado di sicurezza accettabile. Anche in base al modello di calcolo adottato.**

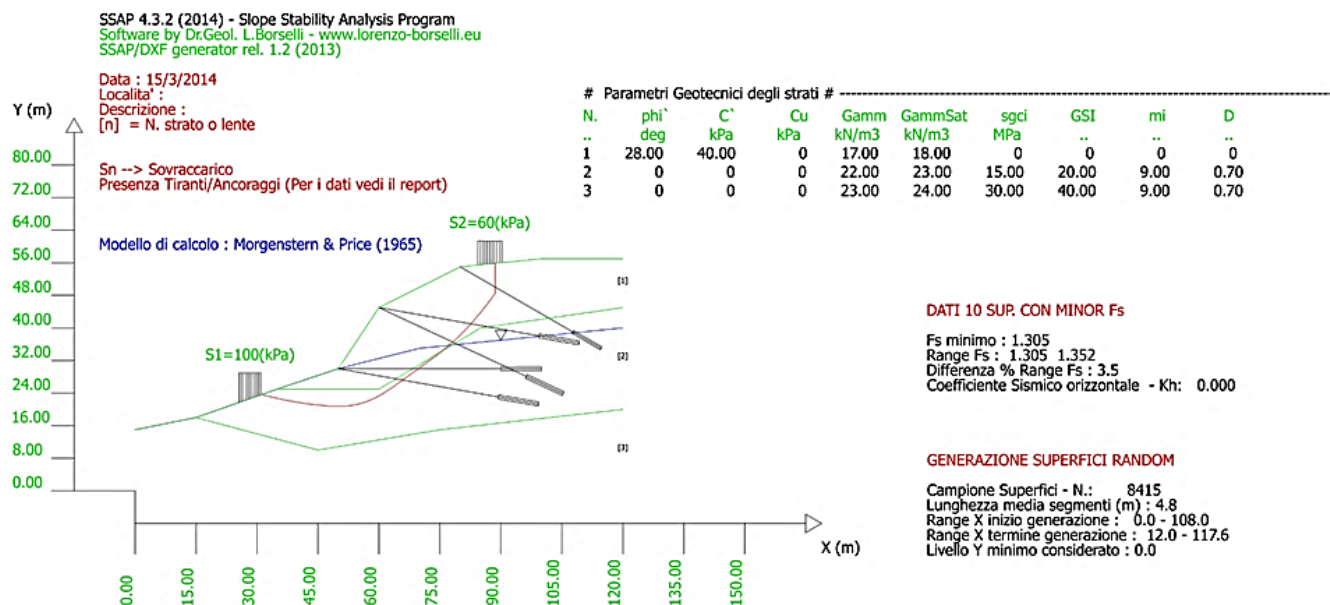


Fig. F.4: verifica di un numero sufficiente di superficie cinematicamente possibili. Esempio di risultato di ricerca e verifica effettuato dal SSAP2010. Superficie con Fs minimo assoluto

### F.3.1 Opere di materiali sciolti e fronti di scavo

In questo caso deve risultare rispettata la condizione:

$$R_d \geq E_d$$

[F.1bis]

Verificando che non si raggiunga una condizione di STATO LIMITE ULTIMO (SLU) con i valori di progetto delle azioni e dei parametri geotecnici. Lo è quello che evita crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero di comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera.

**Le verifiche devono essere effettuate secondo l'approccio 1: Combinazione 2:(A2+M2+R2) tenendo conto dei valori dei CP riportati nelle tabelle a pag 2 e 3**

**Fare attenzione!! Questo vuol dire che nel caso di materiali sciolti e fronti di scavo occorrerà sempre amplificare, ovvero moltiplicare per 1.3 i carichi permanenti portati, non strutturali, e quelli variabili, quando questi abbiano un effetto sfavorevole, sempre ridurre c'k e tanΦ'k di 1.25 e considerare per le resistenze un coefficiente pari a 1.1.**

### F.3.2 Le verifiche di sicurezza per i pendii naturali

**Per i pendii naturali le NTC 2008 suggeriscono solo l'uso dei parametri caratteristici non facendo riferimento a nessun approccio.**

## F.4 Verifica dei Versanti Secondo L'EC7 e Verifiche di Sicurezza per i Pendii Naturali

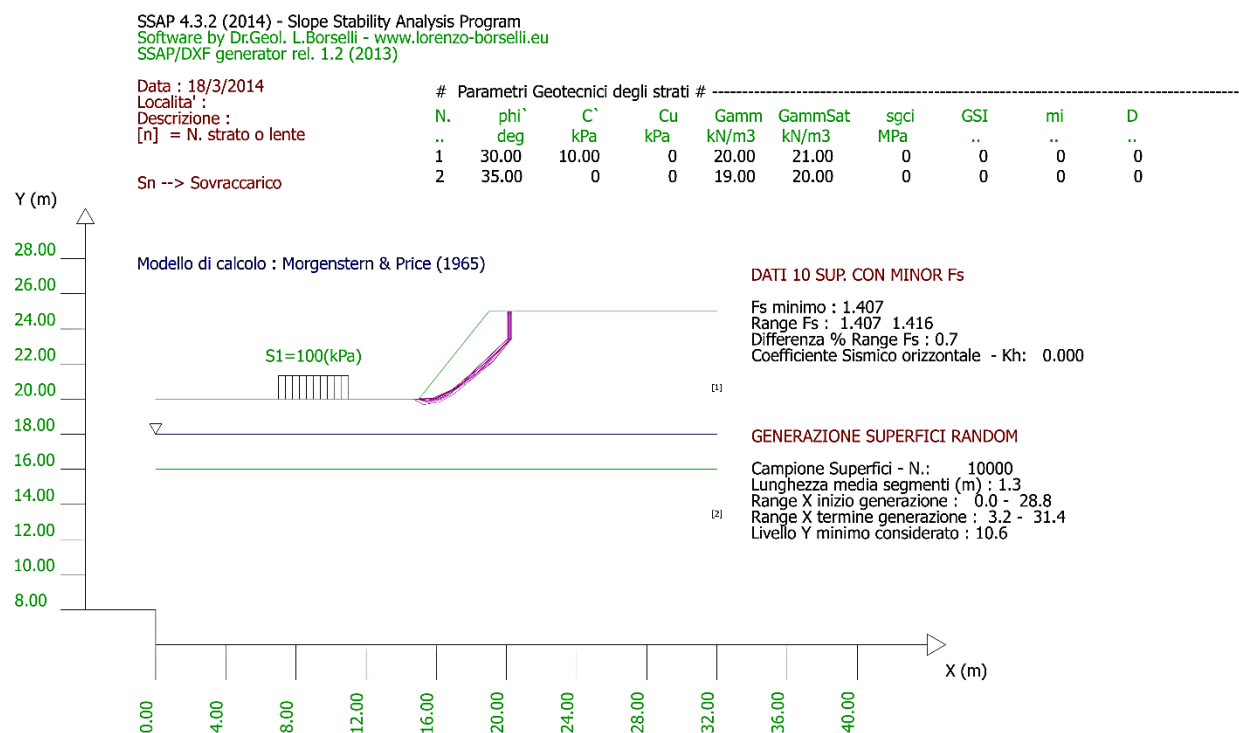
Nella verifica dei versanti si assume, secondo l'EC7 l'Approccio 1: Combinazione 2: (A2+M2+R2) con R2 = 1.1 (coefficiente per le resistenze), ovvero quanto stabilito dalle NTC 2008 solo per i materiali sciolti e i fronti di scavo.

**Alla luce di ciò e dello stato dell'arte in Europa è perciò possibile utilizzare, per maggior cautela, anche per i pendii naturali l'Approccio 1: Combinazione 2:(A2+M2+R2)**

Applicando quanto detto per i fronti di scavo si vede come il risultato cambia. Per il pendio in figura F.3 in condizioni statiche avremo che:

- **Fs=1.407 senza applicazione dei coefficienti parziali (fig. F.5)**
- **Fs=1.092 con l'applicazione dei coefficienti parziali (fig. F.6)**

La zona critica rimane pressoché la medesima ma il valore di Fs cambia considerevolmente.



**Fig. F.5: pendio in condizioni statiche senza coefficienti parziali applicati a riduzione dei parametri geomeccanici.**

## F.5 Stabilità dei pendii in condizioni sismiche

Anche nelle verifiche pseudostatiche si assume l'Approccio 1- Combinazione 2 (A2+M2+R2), con R2 = 1.1 (coefficiente per le resistenze).

Nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLU dinamico ossia SLV) le componenti orizzontale Fh e verticale Fv dell'azione sismica si ricavano dalla relazione:

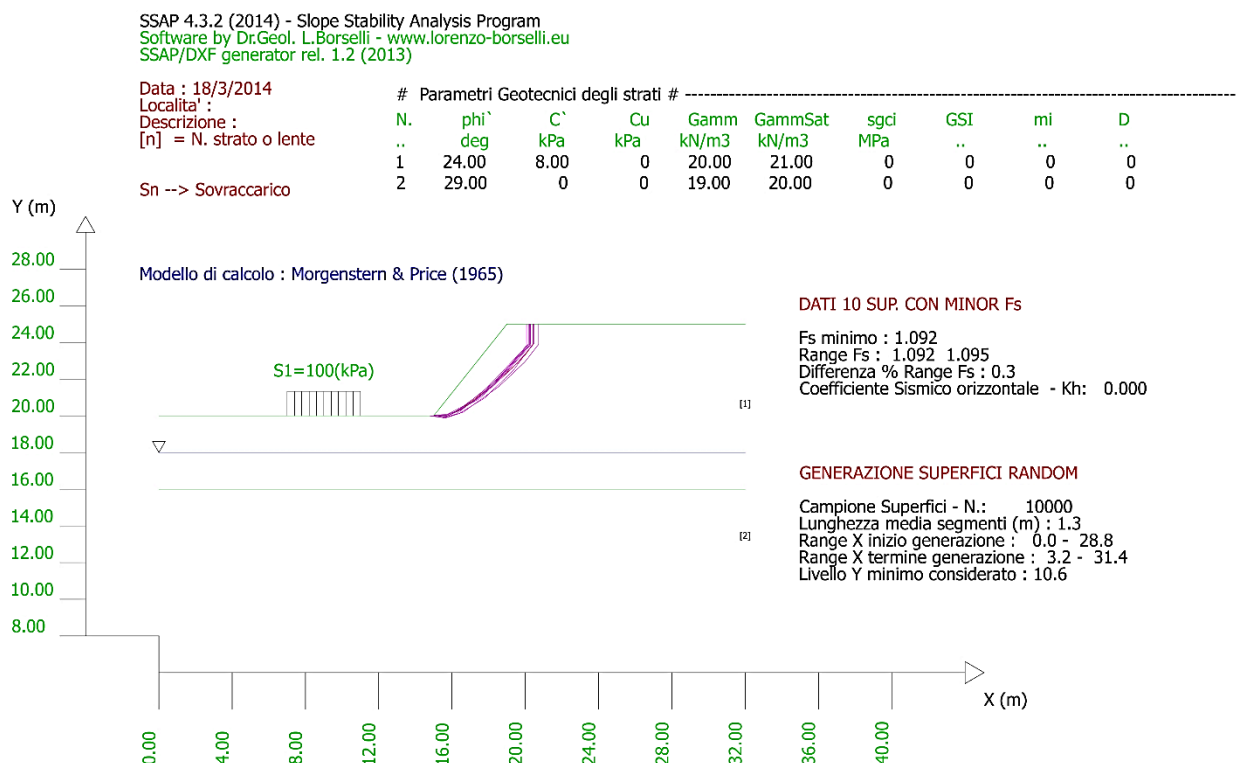
$$F_h = k_h W \quad [F.2a]$$

$$F_v = k_v W \quad [F.2b]$$

dove:

$$k_h = \beta_s \frac{a_{\max}}{g} \quad [F.3a]$$

$$k_v = \pm 0.5k_h$$

**[F.3b]**

**Fig. F.6: pendio in condizioni statiche con coefficienti parziali applicati a riduzione dei parametri geomeccanici.**

essendo:

w=la forza peso di ogni elemento predefinito del pendio (es. un concio verticale)

$k_h$ = il coefficiente sismico orizzontale

$k_v$ = il coefficiente sismico verticale

$\beta_s$  = il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa in sito;

$a_{max}$ = l'accelerazione massima attesa in sito;

$g$  = l'accelerazione di gravità.

L'accelerazione massima attesa in sito (in condizioni di campo libero) può essere valutata con la relazione:

$$a_{max} = S a_g = S_s S_T a_g \quad \text{[F.4]}$$

Dove

$S_s$  = Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo

$S_t$  = Coefficiente di amplificazione topografica

Mentre  $\beta_s$  dipende dalla categoria di sottosuolo e dall'accelerazione al suolo come in figura F.7.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Fig. F.7. il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa in sito

**Vediamo ora un esempio con la combinazione: A2+M2+R2**

Supponiamo di associare al pendio in figura F.4 le seguenti caratteristiche:

- Categoria sottosuolo B
- Accelerazione al suolo  $a_g = 3.434 [m/s^2]$
- Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo ( $S_s$ )=1.06
- Coefficiente di amplificazione topografica ( $S_t$ )=1.00
- Coefficiente riduzione ( $\beta_s$ )=0.28
- Coefficiente di intensità sismica orizzontale  $k_h=(a_g/g * \beta_s * S_t * S_s) = 0.10$
- Coefficiente di intensità sismica verticale  $k_v=+0.05$
- **Coefficiente di sicurezza richiesto 1.10**

Il Coefficiente di sicurezza calcolato sarà **0.919** (figura F.8). La verifica non è dunque soddisfatta.

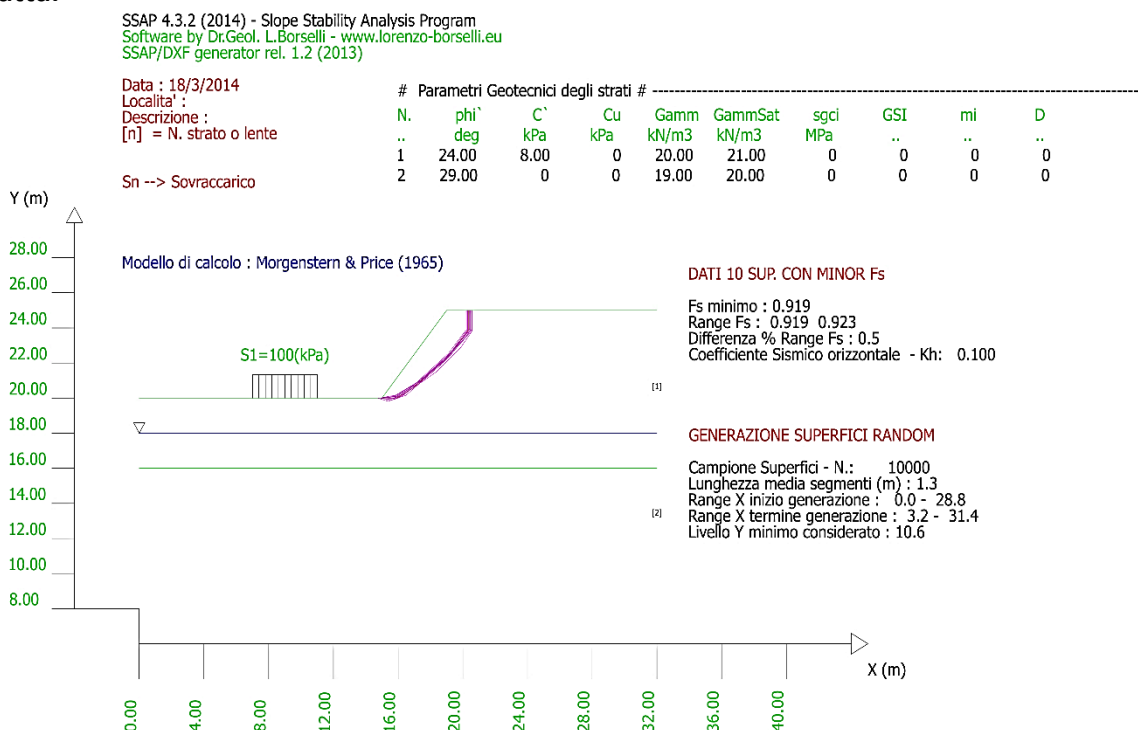
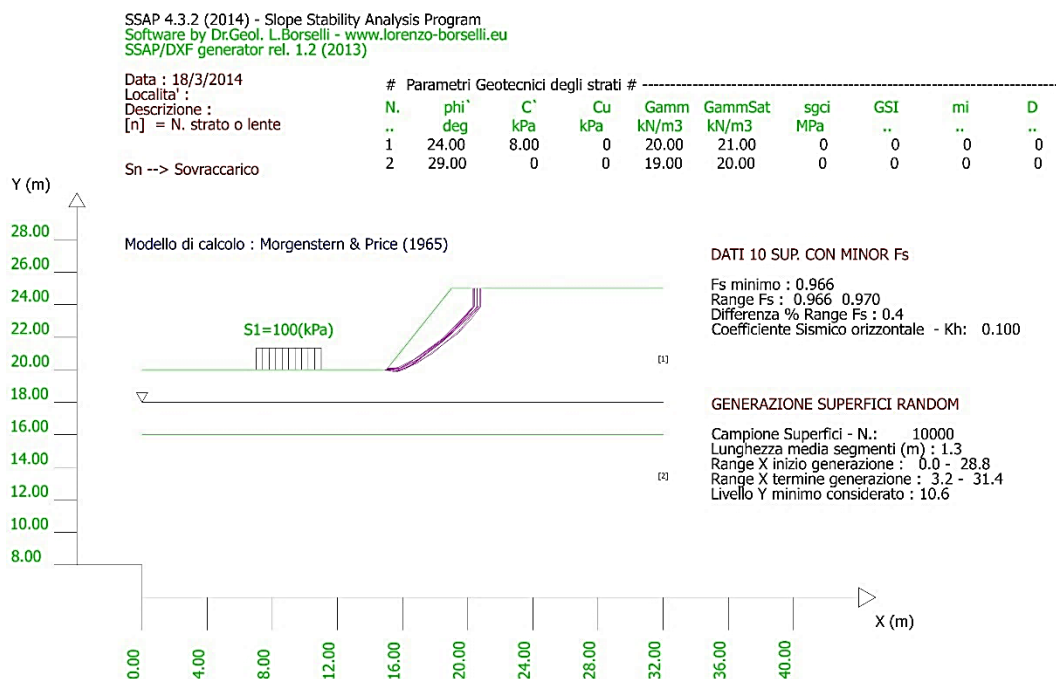


Fig. F.8: pendio in condizioni dinamiche con coefficienti parziali applicati a riduzione dei parametri geomeccanici e coefficienti sismici applicati ( $k_h=0.1$ ;  $k_v=+0.05$ )

Ricordiamo che è possibile attivare la verifica anche utilizzando un **coefficiente sismico verticale ( $K_v$ ) di segno negativo** che, in molti casi, produce condizioni di stabilità leggermente differenti, e che è opportuno, e auspicabile effettuare le verifiche considerando entrambe le opzioni: una **verifica con  $K_v$  di segno positivo e una di segno negativo**. Conviene selezionare, ai fini di progetto, quella che fornisce i valori di  $F_s$  più bassi. Lo stesso esempio di figura F.5 con

kv di segno negativo riporta  $F_s=0.966$  (figura F.6), in questo caso leggermente superiore a quello con Kv di segno positivo.



**Fig. F.9: pendio in condizioni dinamiche con coefficienti parziali applicati a riduzione dei parametri geomeccanici e coefficienti sismici applicati ( $kh=0.1$ ;  $kv=-0.05$ )**

## APPENDICE G - ESEMPIO DI REPORT PRODOTTO DAL PROGRAMMA

**Avvertenza importante:** per riprodurre correttamente la formattazione delle tabelle del rapporto prodotto da SSAP, dopo l'inserimento (copia-incolla) in documenti formato Microsoft Word, è **necessario usare il font CURIER NEW**. Inoltre per la corretta visualizzazione **può essere necessario utilizzare caratteri di dimensioni diverse per le varie tabelle e parti di testo**. Un esempio è fornito nelle pagine di questa appendice. Le immagini riprodotte in questo esempio di report sono state incollate nel file di word direttamente dopo aver convertito i grafici dal formato DXF al formato TIF. Mentre le immagini che rappresentano le mappa a colori sono state facendo copia e incolla come BITMAP in appunti, dalle immagini in formato PDF che il programma SUMATRA PDF o acrobat permette di visualizzare

In questa sezione viene riportato il rapporto completo della verifica di un pendio su suolo e roccia, rinforzato da un sistema di 3 palificate tirantate in testa da tiranti passivi. Inoltre è presente un muro di sostegno a mensola e una area con un sovraccarico. (vedasi fig. G.1 , G.2,G3,G4,G5 e G6)

Note sulla verifica del pendio e del quale viene riprodotto un Rapporto di verifica completo.

- Pendio con 4 strati i dei quali 1 terreno sciolto con coesione e attrito, 1 lente struttura di sostegno in C.A., 2 strati in ammasso roccioso fratturato parametrizzato secondo il criterio die Hoek et al. 2002.
- Presenza di tre file di pali con diametro 0.8m e interasse 1.4m
- Presenza di 4 file di tiranti passivi con resistenza a trazione massima di progetto di 150kN/m
- Coefficiente sismico orizz: 0.05
- Verifica condotta con motore SNIFF RANDOM SEARCH.

Nelle figure (G7 e G8) sono riportati i risultati di una analoga verifica di stabilità ma sul pendio privo di opere di stabilizzazione.

# Report elaborazioni #

```
-----
SSAP 4.7.0 - Slope Stability Analysis Program (1991,2016)
      Build No. 8027
      BY
      Dr. Geol. LORENZO BORSELLI *,**
      *UASLP, San Luis Potosi, Mexico
      e-mail: lborselli@gmail.com
      CV e WEB page personale: www.lorenzo-borselli.eu
      ** Gia' Ricercatore CNR-IRPI fino a Luglio 2011
-----
Ultima Revisione struttura tabelle del report: 2 ottobre 2015
-----
```

```
File report: E:\ssap2010\temp_pendii\mantov_pali\immagini_manuale\report_verifica.txt
Data: 22/1/2016
Localita' :
Descrizione:
Modello pendio: m1.mod
```

## ----- PARAMETRI DEL MODELLO DEL PENDIO -----

## \_\_\_ PARAMETRI GEOMETRICI - Coordinate X Y (in m) \_\_\_

SUP T.		SUP 2		SUP 3		SUP 4	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
20.00	35.00	114.58	64.16	20.00	25.00	20.00	20.00
32.00	41.00	114.33	64.16	32.00	31.00	35.00	26.00
39.37	41.50	114.33	57.56	43.35	34.00	43.35	29.00
43.35	44.00	113.38	57.56	81.54	45.50	81.54	40.50
64.20	50.29	113.38	56.01	123.23	56.50	123.23	51.50
64.20	50.53	115.93	56.01	135.61	61.50	135.61	56.50
65.00	50.53	116.14	57.01	156.43	66.50	156.43	61.50
86.47	57.02	118.23	57.01	-	-	-	-
86.47	57.26	118.23	57.31	-	-	-	-
87.27	57.26	115.23	57.71	-	-	-	-
113.38	57.26	114.58	64.16	-	-	-	-
113.38	57.56	-	-	-	-	-	-
114.33	57.56	-	-	-	-	-	-
114.33	64.16	-	-	-	-	-	-
114.58	64.16	-	-	-	-	-	-
135.61	71.50	-	-	-	-	-	-
156.43	76.50	-	-	-	-	-	-

SUP 5		SUP 6		SUP 7		SUP 8	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
64.20	50.53	86.47	57.26	114.33	56.01	-	-
64.20	50.29	86.47	57.02	114.33	44.01	-	-
64.20	30.53	86.47	36.26	115.13	44.01	-	-
65.00	30.53	87.27	36.26	115.13	56.01	-	-
65.00	50.53	87.27	57.26	114.33	56.01	-	-
64.20	50.53	86.47	57.26	-	-	-	-

## ---- SUP FALDA -----

X	Y (in m)
20.00	25.00
32.00	31.00
43.35	34.00
81.54	45.50
123.23	56.50
135.61	61.50
156.43	66.50

## ----- GESTIONE ACQUIFERI -----

Strati esclusi da acquifero:

Esclusione sovraccarico pendio sommerso: NON ATTIVATA

Peso unitario fluido (kN/m<sup>3</sup>): 9.81

Parametri funzione dissipazione superficiale pressione dei fluidi:

Coefficiente A	0
Coefficiente K	0.000800
Pressione minima fluidi Uo_Min (kPa)	0.01



## ----- PARAMETRI GEOMECCANICI -----

	fi`	C`	Cu	Gamm	Gamm_sat	STR_IDX	sgci	GSI	mi	D
STRATO 1	18.40	4.00	0.00	18.00	18.00	1.032	0.00	0.00	0.00	0.00
STRATO 2	9.00	500.00	0.00	25.00	25.00	1000.000	0.00	0.00	0.00	0.00
STRATO 3	0.00	0.00	0.00	21.00	21.00	1.744	11.00	15.00	3.00	0.00
STRATO 4	0.00	0.00	0.00	22.00	22.00	5.953	21.90	30.00	6.00	0.00
STRATO 5	9.00	300.00	0.00	25.00	25.00	1000.000	0.00	0.00	0.00	0.00
STRATO 6	9.00	300.00	0.00	25.00	25.00	1000.000	0.00	0.00	0.00	0.00
STRATO 7	9.00	300.00	0.00	25.00	25.00	1000.000	0.00	0.00	0.00	0.00

Note: fi` \_\_\_\_\_ Angolo di attrito interno efficace(in gradi)

C` \_\_\_\_\_ Coesione efficace (in Kpa)

Cu \_\_\_\_\_ Resistenza al taglio Non drenata (in Kpa)

Gamm \_\_\_\_\_ Peso di volume terreno fuori falda (in KN/m^3)

Gamm\_sat \_\_\_\_\_ Peso di volume terreno immerso (in KN/m^3)

STR\_IDX \_\_\_\_\_ Indice di resistenza (usato in solo in 'SNIFF SEARCH') (adimensionale)

---- SOLO Per AMMASSI ROCCIOSI FRATTURATI - Parametri Criterio di Rottura di Hoek (2002)-

sigci \_\_\_\_\_ Resistenza Compressione Uniassiale Roccia Intatta (in MPa)

GSI \_\_\_\_\_ Geological Strenght Index ammasso(adimensionale)

mi \_\_\_\_\_ Indice litologico ammasso(adimensionale)

D \_\_\_\_\_ Fattore di disturbo ammasso(adimensionale)

Fattore di riduzione NTC2008 gammaPHI=1.25 e gammaC=1.25 - DISATTIVATO (solo per ROCCE)

## ----- SOVRACCARICHI PRESENTI -----

## SOVRACCARICO N.1

carico (Kpa): 40.00  
 posizione da m.: 87.27  
 a m.: 114.33

## ----- TIRANTI/ANCORAGGI PRESENTI -----

TIPO TIRANTE : Passivo

DISTRIBUZIONE FORZA RESISTENTE TIPO : Trapezoidale

## TIRANTE/ANCORAGGIO N.1

Coordinata X Testa (m): 115.13  
 Coordinata Y Testa (m): 56.01  
 Angolo con orizzontale(Gradi): -20.00  
 Lunghezza (m): 21.00  
 Tensione o Forza (KN/m): 150.00  
 % lunghezza cementata (%) ): 20.00

## TIRANTE/ANCORAGGIO N.2

Coordinata X Testa (m): 87.27  
 Coordinata Y Testa (m): 57.26  
 Angolo con orizzontale(Gradi): -30.00  
 Lunghezza (m): 31.00  
 Tensione o Forza (KN/m): 150.00  
 % lunghezza cementata (%) ): 20.00

## TIRANTE/ANCORAGGIO N.3

Coordinata X Testa (m): 65.00  
 Coordinata Y Testa (m): 50.53  
 Angolo con orizzontale(Gradi): -45.00  
 Lunghezza (m): 27.00  
 Tensione o Forza (KN/m): 150.00

% lunghezza cementata (%) ): 20.00

## TIRANTE/ANCORAGGIO N.4

Coordinata X Testa (m): 114.33  
 Coordinata Y Testa (m): 64.16  
 Angolo con orizzontale(Gradi): -20.00  
 Lunghezza (m): 32.50  
 Tensione o Forza (KN/m): 150.00  
 % lunghezza cementata (%) ): 20.00

----- PALIFICATE PRESENTI -----

Metodo di calcolo adottato: ITO-MATSUI(1975) - HASSIOTIS (1997)

## PALIFICATA N.1

Coordinata X Testa (m): 115.13  
 Coordinata Y Testa (m): 56.01  
 Lunghezza pali L (m)\* : 12.00  
 Diametro pali D(m): 0.80  
 Interasse tra pali D1(m): 1.40  
 Lunghezza apertura tra pali D2(m): 0.60  
 Fattore riduttivo resistenza palificata (NTC 2008): 3.00

Procedura calcolo automatico forza mobilitata su palificata: Attivata

\*NOTA IMPORTANTE: Per le superfici che intersecano la palificata sotto il 20% finale della lunghezza,  
 ai fini della sicurezza, non viene considerato l'effetto  
 stabilizzante per mancanza di sufficiente ancoraggio (incastro).

## PALIFICATA N.2

Coordinata X Testa (m): 87.27  
 Coordinata Y Testa (m): 57.26  
 Lunghezza pali L (m)\* : 21.00  
 Diametro pali D(m): 0.80  
 Interasse tra pali D1(m): 1.40  
 Lunghezza apertura tra pali D2(m): 0.60  
 Fattore riduttivo resistenza palificata (NTC 2008): 3.00

Procedura calcolo automatico forza mobilitata su palificata: Attivata

\*NOTA IMPORTANTE: Per le superfici che intersecano la palificata sotto il 20% finale della lunghezza,  
 ai fini della sicurezza, non viene considerato l'effetto  
 stabilizzante per mancanza di sufficiente ancoraggio (incastro).

## PALIFICATA N.3

Coordinata X Testa (m): 65.00  
 Coordinata Y Testa (m): 50.53  
 Lunghezza pali L (m)\* : 20.00  
 Diametro pali D(m): 0.80  
 Interasse tra pali D1(m): 1.40  
 Lunghezza apertura tra pali D2(m): 0.60  
 Fattore riduttivo resistenza palificata (NTC 2008): 3.00

Procedura calcolo automatico forza mobilitata su palificata: Attivata

\*NOTA IMPORTANTE: Per le superfici che intersecano la palificata sotto il 20% finale della lunghezza,  
 ai fini della sicurezza, non viene considerato l'effetto  
 stabilizzante per mancanza di sufficiente ancoraggio (incastro).

----- INFORMAZIONI GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM -----

## \*\*\* PARAMETRI PER LA GENERAZIONE DELLE SUPERFICI

METODO DI RICERCA: SNIFF RANDOM SEARCH - Borselli (1997)

FILTRAGGIO SUPERFICI : ATTIVATO

COORDINATE X1,X2,Y OSTACOLO : 0.00 0.00 0.00

LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI (m): 5.5 (+/-) 50%

RANGE ASCISSE RANDOM STARTING POINT (Xmin .. Xmax): 20.00 142.79

LIVELLO MINIMO CONSIDERATO (Ymin): 0.00

RANGE ASCISSE AMMESSO PER LA TERMINAZIONE (Xmin .. Xmax): 33.64 153.70

\*\*\* TOTALE SUPERFICI GENERATE : 3555

----- INFORMAZIONI PARAMETRI DI CALCOLO -----

METODO DI CALCOLO : MORGENSTERN & PRICE (Morgenstern & Price, 1965)

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO  $K_h$  : 0.050

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO  $K_v$  (assunto Positivo): 0.025

FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE IN TESTA (kN/m): 0.00

FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE ALLA BASE (kN/m): 0.00

N.B. Le forze orizzontali addizionali 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

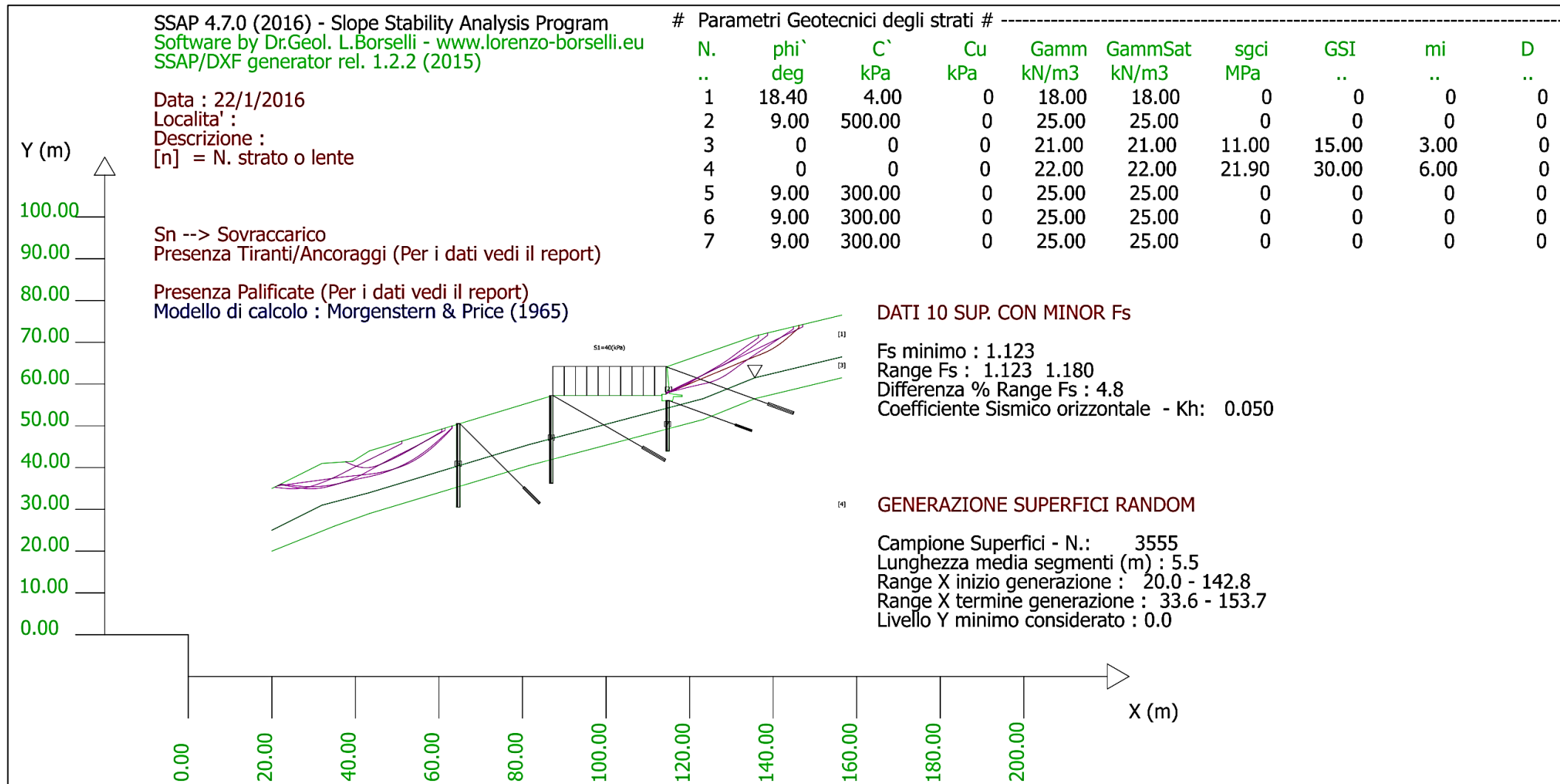


Figura G.1 modello del pendio e risultato verifica di stabilità- 10 superfici critiche. Si nota la presenza di 3 famiglie di superfici critiche

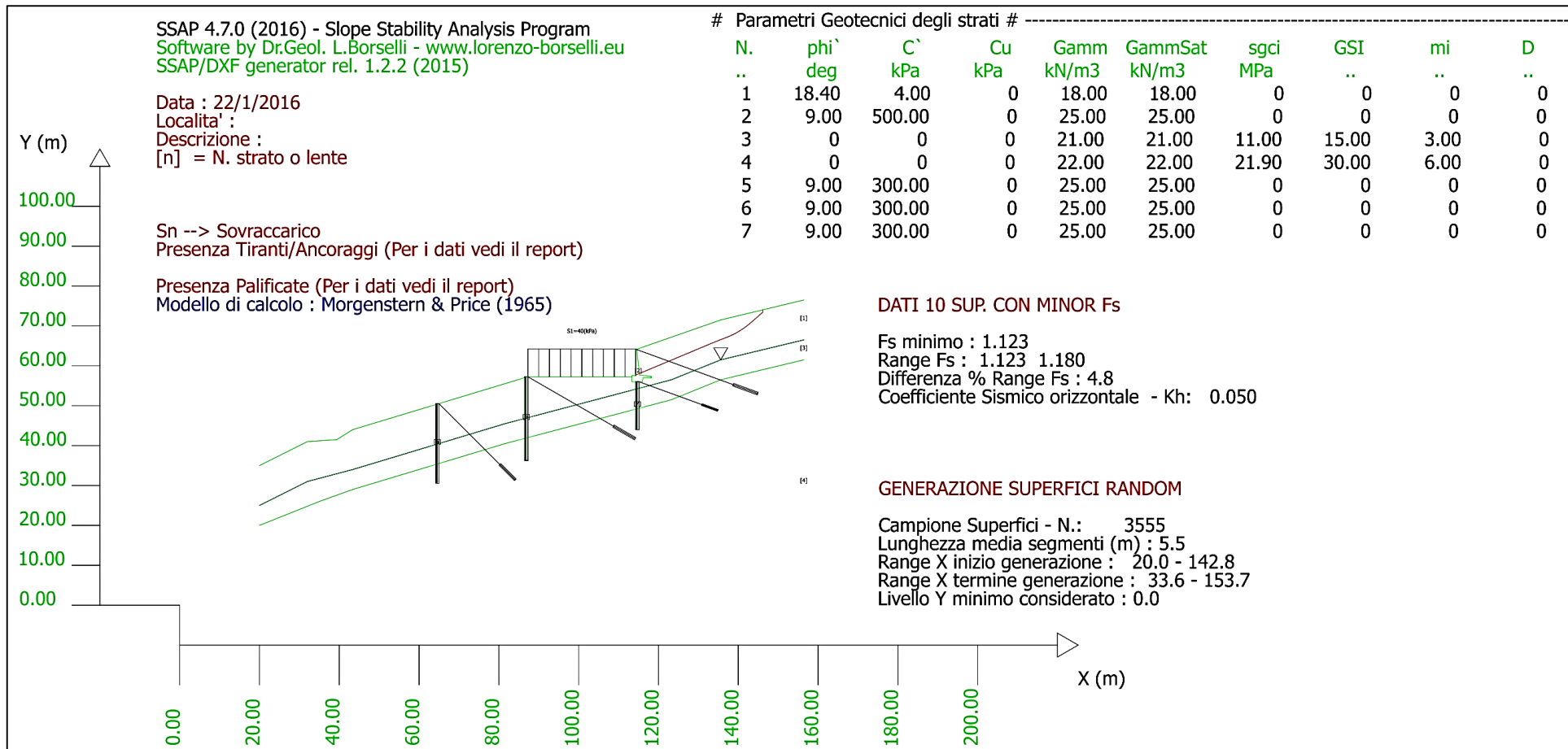


Figura G.2 superfici critica con minor FS, a monte opera di sostegno Progressiva x=115 .. Fs=1.123.

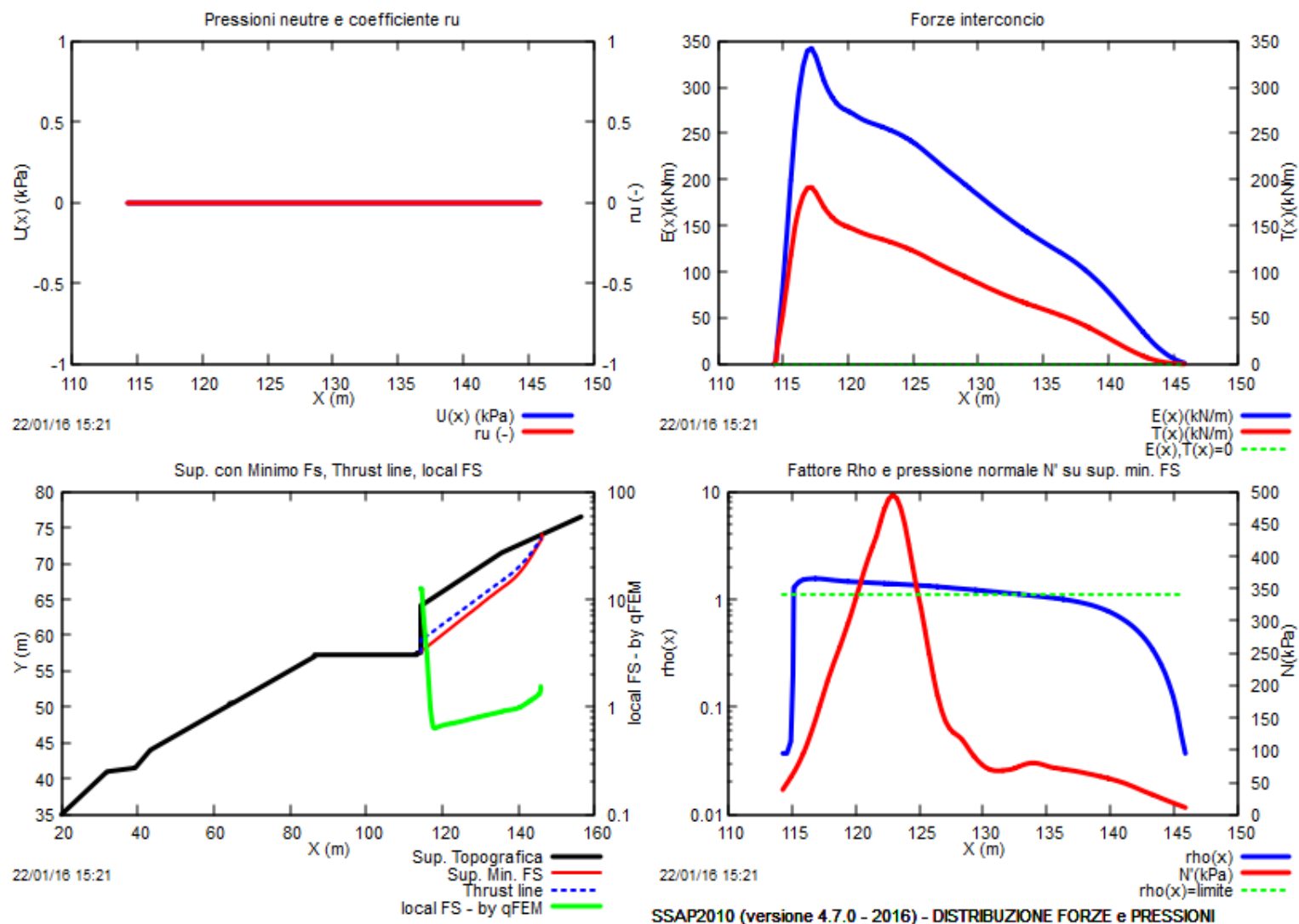
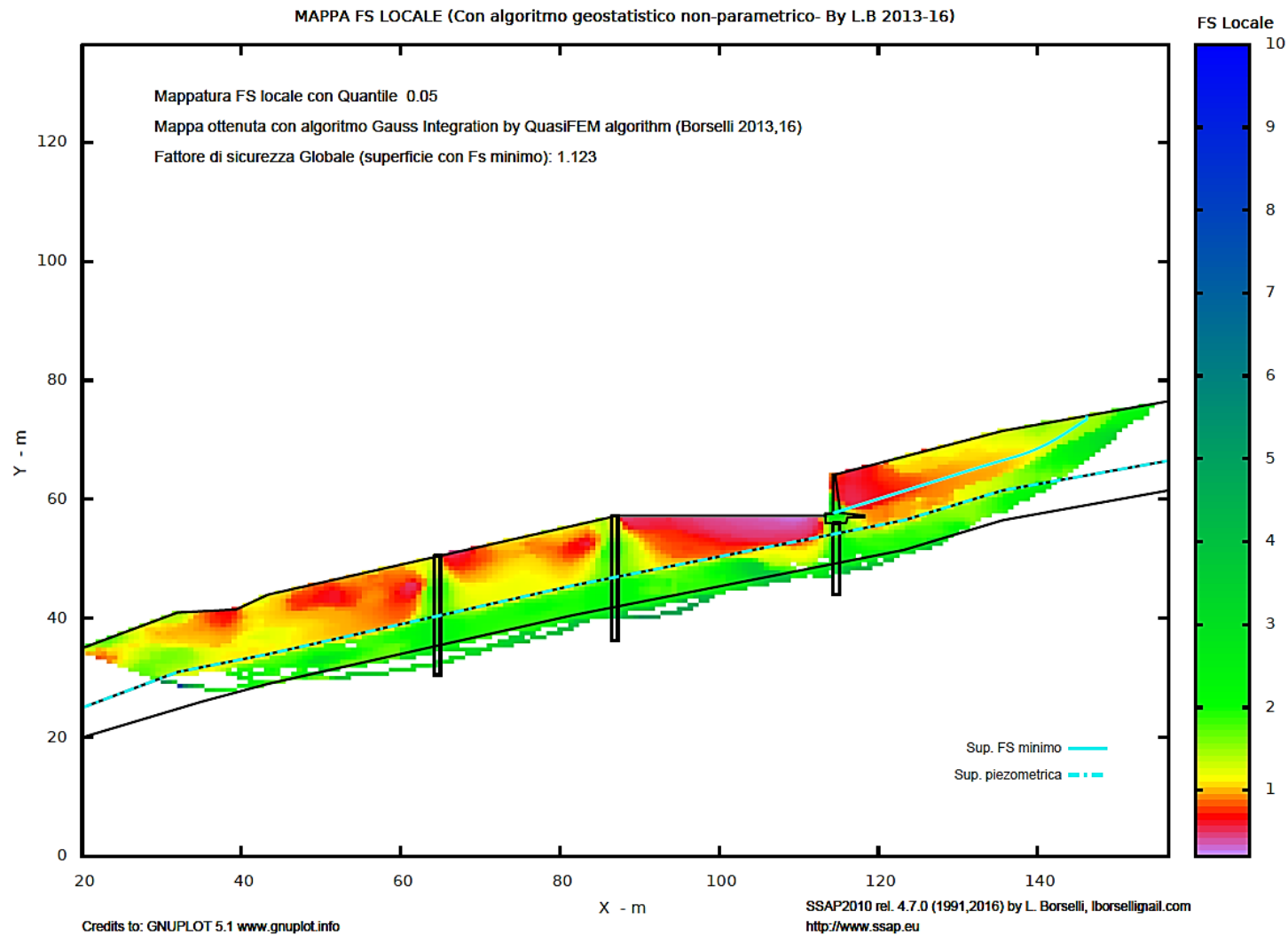


Figura G.3.: distribuzione interna di forze e pressioni (relativamente alla superficie con minor FS individuata). Si noti l'effetto del tirante nell'incremento della pressione normale  $\Sigma N'$  prodotto dalla presenza dell'effetto del tirante



**Figura G.4** mappa del fattore di sicurezza locale. Si noti l'effetto del sovraccarico superficiale (zona con  $F_s < 1.0$ ) sopra lo stato 1 che ha scarse caratteristiche meccaniche

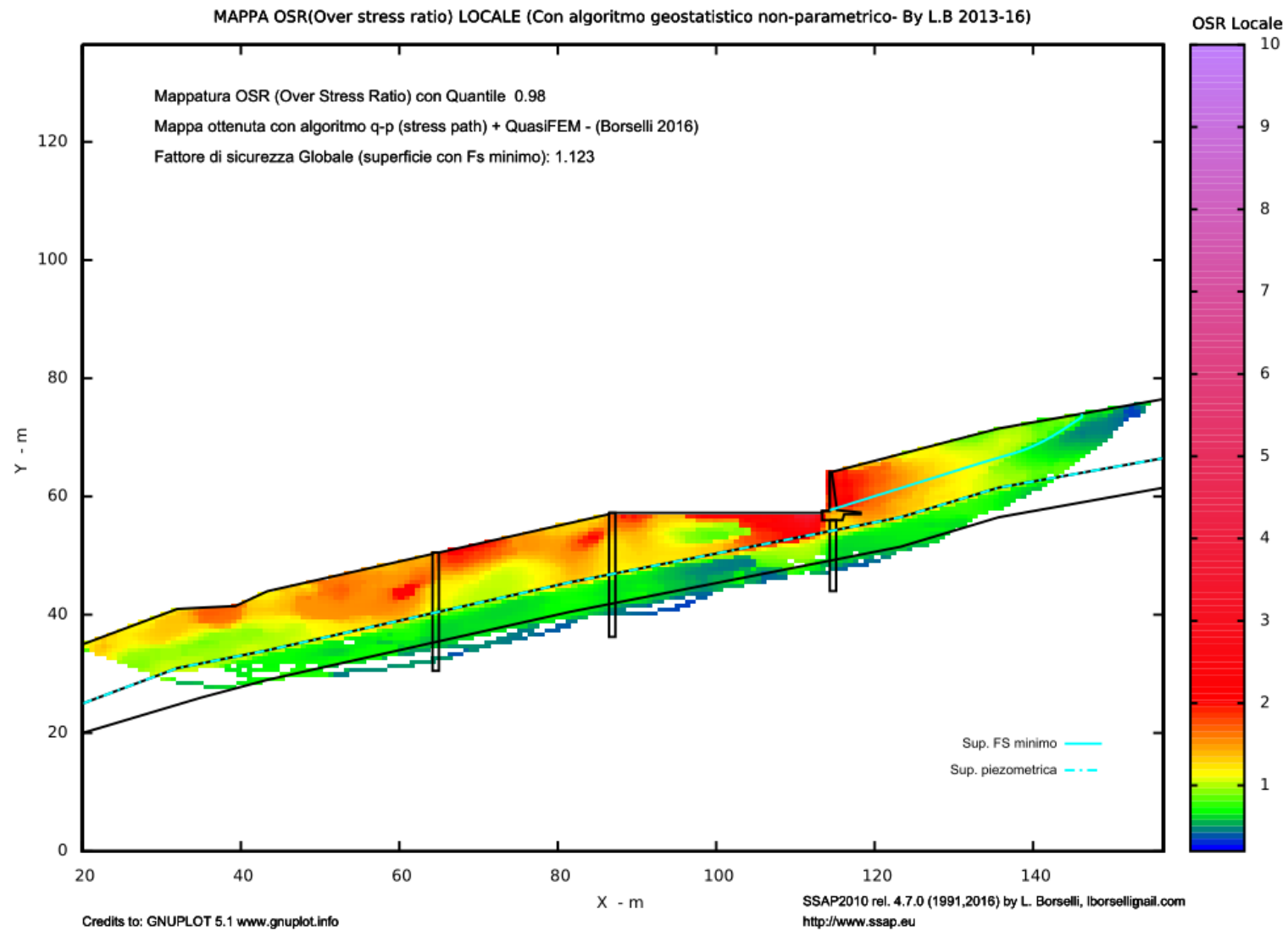


Figura G.5 mappa del OSR (Over stress ratio) locale



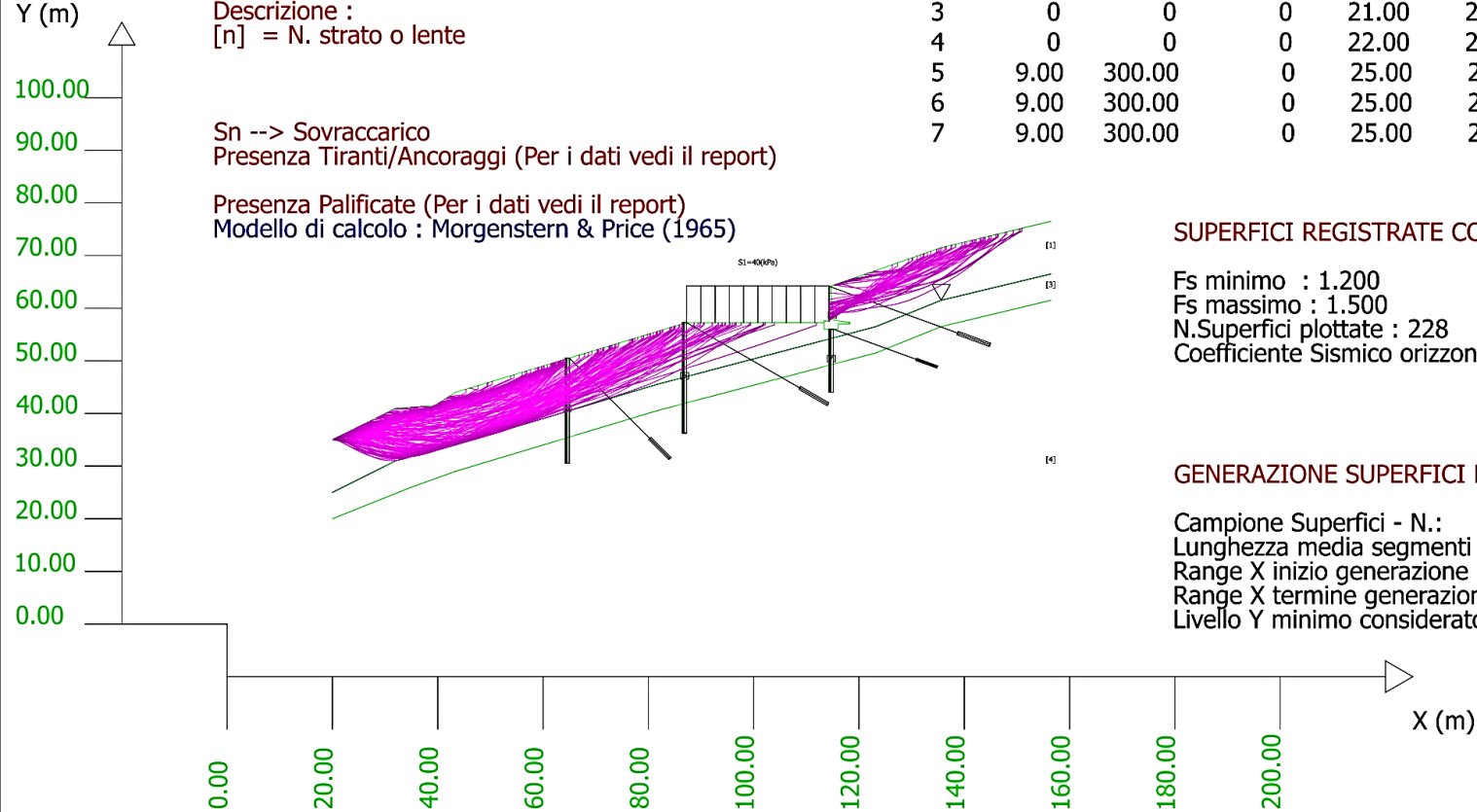


Figura G.6 superfici registrate con  $1.2 < F_s < 1.5$ . confrontare con risultato delle figure G4e G5

## ----- RISULTATO FINALE ELABORAZIONI -----

\* DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR Fs \*

Fattore di sicurezza (FS)	1.123	- Min.	-	X	Y	Lambda=	0.808
				114.33	57.70		
				114.65	57.83		
				114.97	57.97		
				115.28	58.10		
				115.60	58.23		
				115.92	58.37		
				116.24	58.50		
				116.56	58.63		
				116.88	58.77		
				117.19	58.90		
				117.51	59.03		
				117.83	59.16		
				118.15	59.30		
				118.47	59.43		
				118.79	59.56		
				119.10	59.70		
				119.42	59.83		
				119.74	59.96		
				120.06	60.10		
				120.38	60.23		
				120.70	60.36		
				121.01	60.49		
				121.33	60.63		
				121.65	60.76		
				121.97	60.89		
				122.29	61.03		
				122.60	61.16		
				122.92	61.29		
				123.24	61.43		
				123.56	61.56		
				123.88	61.69		
				124.20	61.83		
				124.51	61.96		
				124.83	62.09		
				125.15	62.23		
				125.47	62.36		
				125.79	62.49		
				126.11	62.63		
				126.42	62.76		
				126.74	62.89		
				127.06	63.02		
				127.38	63.15		
				127.70	63.29		
				128.02	63.42		
				128.33	63.55		
				128.65	63.69		
				128.97	63.82		
				129.29	63.95		
				129.61	64.09		
				129.93	64.22		
				130.24	64.36		
				130.56	64.49		
				130.88	64.63		
				131.20	64.76		
				131.52	64.90		
				131.83	65.03		
				132.15	65.17		
				132.47	65.30		
				132.79	65.43		
				133.11	65.56		
				133.43	65.69		
				133.74	65.82		
				134.06	65.95		
				134.38	66.08		
				134.70	66.20		
				135.02	66.33		
				135.34	66.45		
				135.65	66.58		
				135.97	66.70		
				136.29	66.82		
				136.61	66.95		
				136.93	67.07		
				137.25	67.20		
				137.56	67.33		
				137.88	67.46		
				138.20	67.61		
				138.52	67.75		
				138.84	67.91		
				139.15	68.07		
				139.47	68.24		
				139.79	68.42		
				140.11	68.61		
				140.43	68.81		
				140.75	69.01		
				141.06	69.23		
				141.38	69.45		
				141.70	69.67		
				142.02	69.91		
				142.34	70.16		
				142.66	70.41		
				142.97	70.67		
				143.29	70.94		
				143.61	71.21		
				143.93	71.48		
				144.25	71.76		
				144.57	72.04		
				144.88	72.33		
				145.20	72.61		
				145.52	72.89		
				145.84	73.17		
				146.15	73.44		
				146.15	74.03		

Fattore di sicurezza (FS)	1.134	- N.2 --	X	Y	Lambda=	0.409
			21.82	35.91		
			22.19	35.86		
			22.57	35.80		
			22.94	35.74		
			23.32	35.69		
			23.69	35.62		
			24.07	35.56		
			24.44	35.50		
			24.82	35.43		
			25.19	35.37		
			25.57	35.30		
			25.94	35.24		
			26.32	35.18		
			26.69	35.13		
			27.07	35.08		
			27.44	35.04		
			27.82	35.00		
			28.20	34.97		
			28.57	34.95		
			28.95	34.94		
			29.32	34.94		
			29.70	34.94		
			30.07	34.96		
			30.45	34.98		
			30.82	35.00		
			31.20	35.04		
			31.57	35.09		
			31.95	35.14		
			32.32	35.20		
			32.70	35.28		
			33.07	35.36		
			33.45	35.44		
			33.82	35.54		
			34.20	35.64		
			34.57	35.74		
			34.95	35.84		
			35.32	35.95		
			35.70	36.06		
			36.07	36.16		
			36.45	36.27		
			36.82	36.37		
			37.20	36.47		
			37.58	36.57		
			37.95	36.66		
			38.33	36.75		
			38.70	36.84		
			39.08	36.93		
			39.45	37.02		
			39.83	37.10		
			40.20	37.19		
			40.58	37.27		
			40.95	37.35		
			41.33	37.43		
			41.70	37.51		
			42.08	37.58		
			42.45	37.66		
			42.83	37.74		
			43.20	37.82		
			43.58	37.90		
			43.95	37.99		
			44.33	38.07		
			44.70	38.17		
			45.08	38.26		
			45.45	38.37		
			45.83	38.47		
			46.21	38.59		
			46.58	38.71		
			46.96	38.83		
			47.33	38.96		
			47.71	39.09		
			48.08	39.23		
			48.46	39.37		
			48.83	39.51		
			49.21	39.66		
			49.58	39.82		
			49.96	39.97		
			50.33	40.14		
			50.71	40.31		
			51.08	40.48		
			51.46	40.66		
			51.83	40.85		
			52.21	41.04		
			52.58	41.24		
			52.96	41.45		
			53.33	41.66		
			53.71	41.88		
			54.08	42.11		
			54.46	42.34		
			54.84	42.58		
			55.21	42.83		
			55.59	43.09		
			55.96	43.35		
			56.34	43.62		
			56.71	43.90		
			57.09	44.19		
			57.46	44.48		
			57.84	44.78		
			58.21	45.09		
			58.59	45.40		
			58.96	45.72		
			59.34	46.04		
			59.71	46.37		
			60.09	46.71		
			60.46	47.05		
			60.84	47.39		
			61.21	47.73		

61.59	48.08
61.96	48.42
62.34	48.77
62.71	49.12
63.09	49.47
63.09	49.95

Fattore di sicurezza (FS)	1.147	- N.3 --	X	Y	Lambda=	1.030
			114.33	57.66		
			114.60	57.80		
			114.88	57.94		
			115.15	58.08		
			115.42	58.22		
			115.70	58.36		
			115.97	58.49		
			116.24	58.63		
			116.52	58.77		
			116.79	58.91		
			117.06	59.05		
			117.34	59.19		
			117.61	59.33		
			117.88	59.46		
			118.16	59.60		
			118.43	59.74		
			118.70	59.88		
			118.98	60.02		
			119.25	60.16		
			119.52	60.30		
			119.80	60.43		
			120.07	60.57		
			120.34	60.71		
			120.62	60.85		
			120.89	60.99		
			121.16	61.13		
			121.44	61.27		
			121.71	61.41		
			121.98	61.55		
			122.26	61.69		
			122.53	61.83		
			122.80	61.97		
			123.08	62.11		
			123.35	62.25		
			123.62	62.38		
			123.90	62.52		
			124.17	62.66		
			124.45	62.79		
			124.72	62.93		
			124.99	63.06		
			125.27	63.20		
			125.54	63.33		
			125.81	63.46		
			126.09	63.60		
			126.36	63.73		
			126.63	63.86		
			126.91	63.99		
			127.18	64.13		
			127.45	64.26		
			127.73	64.40		
			128.00	64.54		
			128.27	64.68		
			128.55	64.82		
			128.82	64.97		
			129.09	65.12		
			129.37	65.27		
			129.64	65.43		
			129.91	65.58		
			130.19	65.74		
			130.46	65.91		
			130.73	66.07		
			131.01	66.24		
			131.28	66.41		
			131.55	66.58		
			131.83	66.75		
			132.10	66.93		
			132.37	67.11		
			132.65	67.29		
			132.92	67.48		
			133.19	67.66		
			133.47	67.85		
			133.74	68.03		
			134.01	68.22		
			134.29	68.42		
			134.56	68.61		
			134.83	68.80		
			135.11	69.00		
			135.38	69.20		
			135.65	69.39		
			135.93	69.60		
			136.20	69.80		
			136.47	70.00		
			136.75	70.21		
			137.02	70.41		
			137.29	70.62		
			137.57	70.83		
			137.84	71.04		
			138.11	71.25		
			138.39	71.46		
			138.66	71.66		
			138.66	72.23		

Fattore di sicurezza (FS)	1.155	- N.4 --	X	Y	Lambda=	0.535
			20.65	35.33		
			20.97	35.28		
			21.29	35.23		
			21.62	35.19		
			21.94	35.15		

22.26	35.11
22.58	35.08
22.90	35.05
23.22	35.02
23.54	35.00
23.86	34.97
24.18	34.96
24.50	34.95
24.82	34.94
25.14	34.94
25.46	34.95
25.79	34.96
26.11	34.98
26.43	35.00
26.75	35.04
27.07	35.07
27.39	35.12
27.71	35.17
28.03	35.22
28.35	35.29
28.67	35.36
28.99	35.43
29.31	35.51
29.63	35.60
29.96	35.69
30.28	35.79
30.60	35.90
30.92	36.01
31.24	36.12
31.56	36.24
31.88	36.36
32.20	36.48
32.52	36.61
32.84	36.74
33.16	36.87
33.48	37.01
33.81	37.15
34.13	37.29
34.45	37.43
34.77	37.58
35.09	37.72
35.41	37.88
35.73	38.03
36.05	38.19
36.37	38.35
36.69	38.51
37.01	38.67
37.33	38.83
37.65	39.00
37.98	39.16
38.30	39.33
38.62	39.50
38.94	39.66
39.26	39.83
39.58	40.00
39.90	40.16
40.22	40.33
40.54	40.49
40.86	40.66
41.18	40.82
41.50	40.99
41.83	41.15
42.15	41.31
42.47	41.47
42.79	41.63
43.11	41.79
43.43	41.95
43.75	42.11
44.07	42.27
44.39	42.43
44.71	42.59
45.03	42.74
45.35	42.90
45.67	43.06
46.00	43.22
46.32	43.38
46.64	43.54
46.96	43.70
47.28	43.86
47.60	44.02
47.92	44.18
48.24	44.34
48.56	44.50
48.88	44.66
49.20	44.82
49.52	44.98
49.85	45.14
50.17	45.30
50.49	45.46
50.81	45.62
51.13	45.78
51.13	46.35

Fattore di sicurezza (FS)	1.166	- N.5 --	X	Y	Lambda=	0.966
			114.33	57.90		
			114.66	58.06		
			114.99	58.22		
			115.32	58.38		
			115.65	58.54		
			115.98	58.70		
			116.31	58.86		
			116.65	59.02		
			116.98	59.18		
			117.31	59.34		
			117.64	59.50		
			117.97	59.66		
			118.30	59.82		

118.63	59.98
118.96	60.13
119.29	60.29
119.62	60.45
119.95	60.61
120.28	60.77
120.61	60.93
120.95	61.09
121.28	61.25
121.61	61.41
121.94	61.57
122.27	61.73
122.60	61.89
122.93	62.05
123.26	62.21
123.59	62.37
123.92	62.53
124.25	62.69
124.58	62.85
124.91	63.01
125.25	63.17
125.58	63.32
125.91	63.48
126.24	63.64
126.57	63.80
126.90	63.96
127.23	64.12
127.56	64.28
127.89	64.44
128.22	64.60
128.55	64.76
128.88	64.92
129.21	65.08
129.55	65.24
129.88	65.40
130.21	65.56
130.54	65.72
130.87	65.88
131.20	66.04
131.53	66.20
131.86	66.36
132.19	66.52
132.52	66.67
132.85	66.83
133.18	66.99
133.51	67.15
133.85	67.31
134.18	67.47
134.51	67.63
134.84	67.79
135.17	67.95
135.50	68.11
135.83	68.27
136.16	68.43
136.49	68.59
136.82	68.75
137.15	68.91
137.48	69.07
137.81	69.23
138.15	69.39
138.48	69.55
138.81	69.71
139.14	69.86
139.47	70.02
139.80	70.18
140.13	70.34
140.46	70.50
140.79	70.66
141.12	70.82
141.45	70.98
141.78	71.14
142.11	71.30
142.45	71.46
142.78	71.62
143.11	71.78
143.44	71.94
143.77	72.10
144.10	72.26
144.43	72.42
144.76	72.58
145.09	72.74
145.42	72.90
145.75	73.06
146.08	73.21
146.41	73.37
146.75	73.53
147.08	73.69
147.08	74.25

Fattore di sicurezza (FS)	1.167	- N.6 --	X	Y	Lambda=	0.674
			114.33	57.84		
			114.64	57.92		
			114.95	58.00		
			115.26	58.08		
			115.58	58.16		
			115.89	58.24		
			116.20	58.32		
			116.51	58.40		
			116.82	58.48		
			117.13	58.57		
			117.44	58.65		
			117.76	58.73		
			118.07	58.81		
			118.38	58.89		
			118.69	58.97		
			119.00	59.05		
			119.31	59.13		

119.62	59.20
119.94	59.28
120.25	59.35
120.56	59.43
120.87	59.50
121.18	59.58
121.49	59.65
121.80	59.72
122.12	59.79
122.43	59.85
122.74	59.92
123.05	59.99
123.36	60.05
123.67	60.12
123.98	60.20
124.30	60.27
124.61	60.35
124.92	60.44
125.23	60.54
125.54	60.64
125.85	60.76
126.16	60.88
126.48	61.01
126.79	61.15
127.10	61.30
127.41	61.45
127.72	61.61
128.03	61.78
128.34	61.96
128.66	62.15
128.97	62.35
129.28	62.56
129.59	62.77
129.90	62.99
130.21	63.21
130.52	63.44
130.84	63.67
131.15	63.90
131.46	64.13
131.77	64.36
132.08	64.58
132.39	64.81
132.70	65.03
133.02	65.25
133.33	65.47
133.64	65.69
133.95	65.91
134.26	66.12
134.57	66.34
134.88	66.55
135.20	66.76
135.51	66.97
135.82	67.18
136.13	67.38
136.44	67.59
136.75	67.79
137.06	68.00
137.38	68.20
137.69	68.40
138.00	68.61
138.31	68.81
138.62	69.02
138.93	69.23
139.24	69.43
139.56	69.64
139.87	69.85
140.18	70.06
140.49	70.27
140.80	70.48
141.11	70.68
141.42	70.89
141.74	71.10
142.05	71.31
142.36	71.52
142.67	71.73
142.98	71.93
143.29	72.14
143.60	72.35
143.92	72.56
144.23	72.77
144.54	72.98
144.85	73.18
144.85	73.72

Fattore di sicurezza (FS)	1.173	- N.7 --	X	Y	Lambda=	1.051
---------------------------	-------	----------	---	---	---------	-------

114.33	57.62
114.59	57.74
114.85	57.85
115.11	57.97
115.37	58.09
115.63	58.20
115.89	58.32
116.15	58.43
116.42	58.54
116.68	58.66
116.94	58.78
117.20	58.89
117.46	59.01
117.72	59.13
117.98	59.26
118.24	59.39
118.50	59.52
118.76	59.65
119.02	59.78
119.28	59.92
119.54	60.06
119.80	60.20

120.06	60.35
120.33	60.49
120.59	60.65
120.85	60.80
121.11	60.95
121.37	61.11
121.63	61.27
121.89	61.42
122.15	61.58
122.41	61.74
122.67	61.89
122.93	62.05
123.19	62.20
123.45	62.35
123.71	62.50
123.97	62.66
124.23	62.81
124.50	62.96
124.76	63.11
125.02	63.25
125.28	63.40
125.54	63.55
125.80	63.70
126.06	63.85
126.32	63.99
126.58	64.15
126.84	64.30
127.10	64.46
127.36	64.62
127.62	64.78
127.88	64.94
128.14	65.11
128.41	65.28
128.67	65.46
128.93	65.63
129.19	65.81
129.45	66.00
129.71	66.19
129.97	66.37
130.23	66.57
130.49	66.76
130.75	66.95
131.01	67.15
131.27	67.35
131.53	67.54
131.79	67.73
132.05	67.93
132.32	68.12
132.58	68.31
132.84	68.50
133.10	68.68
133.36	68.87
133.62	69.06
133.88	69.24
134.14	69.42
134.40	69.61
134.66	69.79
134.92	69.97
135.18	70.15
135.44	70.34
135.70	70.52
135.96	70.71
136.23	70.91
136.48	71.11
136.48	71.71

Fattore di sicurezza (FS)	1.180	- N.8 --	X	Y	Lambda=	0.454
			22.04	36.02		
			22.41	35.99		
			22.78	35.95		
			23.15	35.92		
			23.52	35.88		
			23.89	35.84		
			24.25	35.80		
			24.62	35.76		
			24.99	35.73		
			25.36	35.69		
			25.73	35.65		
			26.10	35.61		
			26.47	35.58		
			26.83	35.55		
			27.20	35.52		
			27.57	35.49		
			27.94	35.47		
			28.31	35.46		
			28.68	35.44		
			29.04	35.44		
			29.41	35.43		
			29.78	35.44		
			30.15	35.44		
			30.52	35.46		
			30.89	35.47		
			31.26	35.49		
			31.62	35.52		
			31.99	35.55		
			32.36	35.58		
			32.73	35.62		
			33.10	35.67		
			33.47	35.71		
			33.83	35.77		
			34.20	35.83		
			34.57	35.89		
			34.94	35.96		
			35.31	36.04		
			35.68	36.12		
			36.04	36.21		
			36.41	36.31		



36.78	36.41
37.15	36.52
37.52	36.63
37.89	36.75
38.26	36.88
38.62	37.02
38.99	37.16
39.36	37.31
39.73	37.46
40.10	37.62
40.47	37.79
40.83	37.97
41.20	38.15
41.57	38.34
41.94	38.53
42.31	38.73
42.68	38.93
43.05	39.13
43.41	39.34
43.78	39.55
44.15	39.75
44.52	39.96
44.89	40.17
45.26	40.37
45.62	40.57
45.99	40.77
46.36	40.97
46.73	41.17
47.10	41.37
47.47	41.56
47.84	41.76
48.20	41.95
48.57	42.14
48.94	42.33
49.31	42.52
49.68	42.71
50.05	42.89
50.41	43.08
50.78	43.26
51.15	43.44
51.52	43.62
51.89	43.81
52.26	43.99
52.62	44.18
52.99	44.36
53.36	44.55
53.73	44.74
54.10	44.93
54.47	45.12
54.84	45.31
55.20	45.51
55.57	45.70
55.94	45.90
56.31	46.10
56.68	46.29
57.05	46.49
57.41	46.69
57.78	46.89
58.15	47.09
58.52	47.29
58.89	47.49
59.26	47.69
59.63	47.90
59.99	48.10
60.36	48.31
60.73	48.52
61.10	48.73
61.47	48.94
61.47	49.47

Fattore di sicurezza (FS)	1.180	- N.9 --	X	Y	Lambda=	0.436
---------------------------	-------	----------	---	---	---------	-------

21.26	35.63
21.63	35.68
22.01	35.73
22.39	35.78
22.76	35.83
23.14	35.88
23.52	35.93
23.90	35.98
24.27	36.03
24.65	36.08
25.03	36.13
25.41	36.18
25.78	36.23
26.16	36.28
26.54	36.33
26.92	36.38
27.29	36.43
27.67	36.48
28.05	36.53
28.43	36.58
28.80	36.63
29.18	36.68
29.56	36.73
29.94	36.78
30.31	36.83
30.69	36.88
31.07	36.94
31.45	36.99
31.82	37.04
32.20	37.09
32.58	37.15
32.96	37.20
33.33	37.26
33.71	37.31
34.09	37.36
34.47	37.42

34.84	37.47
35.22	37.52
35.60	37.57
35.98	37.62
36.35	37.67
36.73	37.72
37.11	37.76
37.49	37.81
37.86	37.85
38.24	37.89
38.62	37.93
39.00	37.97
39.37	38.01
39.75	38.05
40.13	38.09
40.51	38.13
40.88	38.17
41.26	38.21
41.64	38.24
42.02	38.28
42.39	38.32
42.77	38.37
43.15	38.41
43.53	38.46
43.90	38.51
44.28	38.56
44.66	38.62
45.03	38.68
45.41	38.74
45.79	38.81
46.17	38.89
46.54	38.97
46.92	39.05
47.30	39.14
47.68	39.24
48.05	39.34
48.43	39.44
48.81	39.54
49.19	39.66
49.56	39.77
49.94	39.89
50.32	40.02
50.70	40.16
51.07	40.30
51.45	40.44
51.83	40.60
52.21	40.76
52.58	40.93
52.96	41.12
53.34	41.31
53.72	41.51
54.09	41.72
54.47	41.94
54.85	42.17
55.23	42.41
55.60	42.65
55.98	42.91
56.36	43.18
56.74	43.45
57.11	43.74
57.49	44.04
57.87	44.34
58.25	44.66
58.62	44.98
59.00	45.31
59.38	45.65
59.76	46.00
60.13	46.36
60.51	46.72
60.89	47.09
61.27	47.46
61.64	47.84
62.02	48.22
62.40	48.61
62.78	49.00
63.15	49.40
63.15	49.97

Fattore di sicurezza (FS)	1.180	- N.10	--	X	Y	Lambda=	0.466
				37.66	41.38		
				37.93	41.25		
				38.20	41.13		
				38.47	41.01		
				38.74	40.89		
				39.01	40.78		
				39.28	40.67		
				39.56	40.57		
				39.83	40.47		
				40.10	40.38		
				40.37	40.30		
				40.64	40.22		
				40.91	40.16		
				41.18	40.10		
				41.45	40.06		
				41.72	40.02		
				41.99	40.00		
				42.26	39.98		
				42.54	39.98		
				42.81	39.98		
				43.08	40.00		
				43.35	40.02		
				43.62	40.06		
				43.89	40.11		
				44.16	40.16		
				44.43	40.23		
				44.70	40.31		
				44.97	40.39		

45.24	40.49
45.51	40.58
45.79	40.69
46.06	40.80
46.33	40.91
46.60	41.02
46.87	41.14
47.14	41.25
47.41	41.37
47.68	41.49
47.95	41.61
48.22	41.74
48.49	41.87
48.77	41.99
49.04	42.12
49.31	42.25
49.58	42.39
49.85	42.52
50.12	42.66
50.39	42.79
50.66	42.93
50.93	43.07
51.20	43.22
51.47	43.36
51.74	43.50
52.02	43.65
52.29	43.80
52.56	43.95
52.83	44.10
53.10	44.25
53.37	44.41
53.64	44.56
53.91	44.71
54.18	44.87
54.45	45.02
54.72	45.18
54.99	45.34
55.27	45.49
55.54	45.65
55.81	45.81
56.08	45.97
56.35	46.12
56.62	46.28
56.89	46.44
57.16	46.60
57.43	46.76
57.70	46.91
57.97	47.07
58.25	47.23
58.52	47.39
58.79	47.54
59.06	47.70
59.33	47.86
59.60	48.01
59.87	48.17
60.14	48.32
60.41	48.48
60.68	48.64
60.68	49.23

----- ANALISI DEFICIT DI RESISTENZA -----  
 # DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICIE GENERATE CON MINOR FS \*  
 # Analisi Deficit in riferimento a FS(progetto) = 1.100

Sup N.	FS	FTR (kN/m)	FTA (kN/m)	Bilancio (kN/m)	ESITO
1	1.123	1471.8	1310.1	30.7	Surplus
2	1.134	1284.4	1132.1	39.0	Surplus
3	1.147	1141.6	995.6	46.4	Surplus
4	1.155	567.5	491.5	26.9	Surplus
5	1.166	1287.3	1104.2	72.7	Surplus
6	1.167	1535.7	1316.4	87.6	Surplus
7	1.173	1086.9	926.3	67.9	Surplus
8	1.180	963.6	816.7	65.2	Surplus
9	1.180	1153.6	977.7	78.1	Surplus
10	1.180	461.5	391.1	31.3	Surplus

Esito analisi: SURPLUS di RESISTENZA!

Valore minimo di SURPLUS di RESISTENZA (kN/m): 26.9

Note: FTR --> Forza totale Resistente rispetto alla superficie  
 di scivolamento (componente Orizzontale)  
 FTA --> Forza totale Agente rispetto alla superficie  
 di scivolamento (componente Orizzontale)

IMPORTANTE! : Il Deficit o il Surplus di resistenza viene espresso in kN  
 per metro di LARGHEZZA rispetto al fronte della scarpata

TABELLA PARAMETRI CONCI DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

X (m)	dx (m)	alpha (gradi)	W (kN/m)	ru (-)	U (kPa)	phi ' (gradi)	c'/Cu (kPa)
114.330	0.125	22.68	20.60	0.00	0.00	9.00	500.00
114.455	0.125	22.68	20.44	0.00	0.00	9.00	500.00
114.580	0.068	22.68	11.11	0.00	0.00	9.00	500.00
114.648	0.317	22.68	46.14	0.00	0.00	9.00	500.00
114.965	0.002	22.68	0.22	0.00	0.00	9.00	500.00
114.967	0.163	22.68	20.84	0.00	0.00	9.00	500.00
115.130	0.064	22.68	7.66	0.00	0.00	9.00	500.00
115.194	0.036	22.68	4.14	0.00	0.00	18.40	4.00
115.230	0.055	22.68	6.38	0.00	0.00	18.40	4.00
115.285	0.317	22.68	36.77	0.00	0.00	18.40	4.00
115.601	0.002	22.68	0.19	0.00	0.00	18.40	4.00
115.603	0.317	22.68	36.64	0.00	0.00	18.40	4.00
115.920	0.002	22.68	0.19	0.00	0.00	18.40	4.00

115.921	0.009	22.68	1.00	0.00	0.00	18.40	4.00
115.930	0.210	22.68	24.23	0.00	0.00	18.40	4.00
116.140	0.100	22.68	11.47	0.00	0.00	18.40	4.00
116.240	0.317	22.68	36.39	0.00	0.00	18.40	4.00
116.556	0.002	22.68	0.19	0.00	0.00	18.40	4.00
116.558	0.317	22.68	36.26	0.00	0.00	18.40	4.00
116.874	0.002	22.68	0.19	0.00	0.00	18.40	4.00
116.876	0.317	22.68	36.13	0.00	0.00	18.40	4.00
117.193	0.002	22.68	0.19	0.00	0.00	18.40	4.00
117.194	0.317	22.68	36.00	0.00	0.00	18.40	4.00
117.511	0.002	22.68	0.19	0.00	0.00	18.40	4.00
117.513	0.317	22.68	35.87	0.00	0.00	18.40	4.00
117.829	0.002	22.68	0.19	0.00	0.00	18.40	4.00
117.831	0.317	22.68	35.75	0.00	0.00	18.40	4.00
118.148	0.002	22.68	0.19	0.00	0.00	18.40	4.00
118.149	0.081	22.68	9.10	0.00	0.00	18.40	4.00
118.230	0.237	22.68	26.70	0.00	0.00	18.40	4.00
118.467	0.317	22.68	35.49	0.00	0.00	18.40	4.00
118.784	0.002	22.68	0.18	0.00	0.00	18.40	4.00
118.786	0.317	22.68	35.36	0.00	0.00	18.40	4.00
119.102	0.002	22.68	0.18	0.00	0.00	18.40	4.00
119.104	0.317	22.68	35.23	0.00	0.00	18.40	4.00
119.421	0.002	22.68	0.18	0.00	0.00	18.40	4.00
119.422	0.317	22.68	35.10	0.00	0.00	18.40	4.00
119.739	0.002	22.68	0.18	0.00	0.00	18.40	4.00
119.741	0.317	22.68	34.98	0.00	0.00	18.40	4.00
120.057	0.002	22.68	0.18	0.00	0.00	18.40	4.00
120.059	0.317	22.68	34.85	0.00	0.00	18.40	4.00
120.375	0.002	22.68	0.18	0.00	0.00	18.40	4.00
120.377	0.317	22.68	34.72	0.00	0.00	18.40	4.00
120.694	0.002	22.68	0.18	0.00	0.00	18.40	4.00
120.695	0.317	22.68	34.59	0.00	0.00	18.40	4.00
121.012	0.002	22.68	0.18	0.00	0.00	18.40	4.00
121.014	0.317	22.68	34.46	0.00	0.00	18.40	4.00
121.330	0.002	22.68	0.18	0.00	0.00	18.40	4.00
121.332	0.317	22.69	34.34	0.00	0.00	18.40	4.00
121.648	0.002	22.69	0.18	0.00	0.00	18.40	4.00
121.650	0.317	22.70	34.21	0.00	0.00	18.40	4.00
121.967	0.002	22.70	0.18	0.00	0.00	18.40	4.00
121.968	0.317	22.71	34.08	0.00	0.00	18.40	4.00
122.285	0.002	22.71	0.18	0.00	0.00	18.40	4.00
122.287	0.303	22.72	32.46	0.00	0.00	18.40	4.00
122.589	0.014	22.72	1.49	0.00	0.00	18.40	4.00
122.603	0.002	22.72	0.18	0.00	0.00	18.40	4.00
122.605	0.317	22.73	33.82	0.00	0.00	18.40	4.00
122.922	0.002	22.73	0.18	0.00	0.00	18.40	4.00
122.923	0.307	22.74	32.65	0.00	0.00	18.40	4.00
123.230	0.011	22.74	1.21	0.00	0.00	18.40	4.00
123.241	0.317	22.75	33.56	0.00	0.00	18.40	4.00
123.558	0.002	22.75	0.17	0.00	0.00	18.40	4.00
123.560	0.317	22.75	33.43	0.00	0.00	18.40	4.00
123.876	0.002	22.75	0.17	0.00	0.00	18.40	4.00
123.878	0.317	22.74	33.30	0.00	0.00	18.40	4.00
124.195	0.002	22.74	0.17	0.00	0.00	18.40	4.00
124.196	0.317	22.73	33.17	0.00	0.00	18.40	4.00
124.513	0.002	22.73	0.17	0.00	0.00	18.40	4.00
124.514	0.317	22.72	33.04	0.00	0.00	18.40	4.00
124.831	0.002	22.72	0.17	0.00	0.00	18.40	4.00
124.833	0.317	22.70	32.91	0.00	0.00	18.40	4.00
125.149	0.002	22.70	0.17	0.00	0.00	18.40	4.00
125.151	0.317	22.68	32.78	0.00	0.00	18.40	4.00
125.468	0.002	22.68	0.17	0.00	0.00	18.40	4.00
125.469	0.317	22.66	32.65	0.00	0.00	18.40	4.00
125.786	0.002	22.66	0.17	0.00	0.00	18.40	4.00
125.788	0.317	22.63	32.53	0.00	0.00	18.40	4.00
126.104	0.002	22.63	0.17	0.00	0.00	18.40	4.00
126.106	0.317	22.61	32.40	0.00	0.00	18.40	4.00
126.422	0.002	22.61	0.17	0.00	0.00	18.40	4.00
126.424	0.317	22.58	32.28	0.00	0.00	18.40	4.00
126.741	0.002	22.58	0.17	0.00	0.00	18.40	4.00
126.742	0.317	22.56	32.15	0.00	0.00	18.40	4.00
127.059	0.002	22.56	0.17	0.00	0.00	18.40	4.00
127.061	0.317	22.54	32.03	0.00	0.00	18.40	4.00
127.377	0.002	22.54	0.17	0.00	0.00	18.40	4.00
127.379	0.317	22.54	31.91	0.00	0.00	18.40	4.00
127.695	0.002	22.54	0.17	0.00	0.00	18.40	4.00
127.697	0.317	22.57	31.78	0.00	0.00	18.40	4.00
128.014	0.002	22.57	0.17	0.00	0.00	18.40	4.00
128.015	0.317	22.63	31.66	0.00	0.00	18.40	4.00
128.332	0.002	22.63	0.16	0.00	0.00	18.40	4.00
128.334	0.317	22.72	31.53	0.00	0.00	18.40	4.00
128.650	0.002	22.72	0.16	0.00	0.00	18.40	4.00
128.652	0.317	22.81	31.40	0.00	0.00	18.40	4.00
128.969	0.002	22.81	0.16	0.00	0.00	18.40	4.00
128.970	0.317	22.89	31.26	0.00	0.00	18.40	4.00
129.287	0.002	22.89	0.16	0.00	0.00	18.40	4.00
129.288	0.132	22.97	12.95	0.00	0.00	18.40	4.00
129.420	0.187	22.97	18.34	0.00	0.00	18.40	4.00
129.607	0.317	23.03	30.99	0.00	0.00	18.40	4.00
129.923	0.002	23.03	0.16	0.00	0.00	18.40	4.00
129.925	0.317	23.06	30.84	0.00	0.00	18.40	4.00
130.242	0.002	23.06	0.16	0.00	0.00	18.40	4.00
130.243	0.317	23.06	30.70	0.00	0.00	18.40	4.00
130.560	0.002	23.06	0.16	0.00	0.00	18.40	4.00
130.562	0.317	23.04	30.56	0.00	0.00	18.40	4.00
130.878	0.002	23.04	0.16	0.00	0.00	18.40	4.00
130.880	0.317	22.98	30.42	0.00	0.00	18.40	4.00
131.196	0.002	22.98	0.16	0.00	0.00	18.40	4.00
131.198	0.317	22.90	30.28	0.00	0.00	18.40	4.00
131.515	0.002	22.90	0.16	0.00	0.00	18.40	4.00
131.516	0.317	22.79	30.15	0.00	0.00	18.40	4.00
131.833	0.002	22.79	0.16	0.00	0.00	18.40	4.00
131.835	0.317	22.67	30.02	0.00	0.00	18.40	4.00
132.151	0.002	22.67	0.16	0.00	0.00	18.40	4.00
132.153	0.317	22.53	29.89	0.00	0.00	18.40	4.00
132.469	0.002	22.53	0.16	0.00	0.00	18.40	4.00
132.471	0.317	22.39	29.77	0.00	0.00	18.40	4.00
132.788	0.002	22.39	0.15	0.00	0.00	18.40	4.00

132.789	0.317	22.26	29.66	0.00	0.00	18.40	4.00
133.106	0.002	22.26	0.15	0.00	0.00	18.40	4.00
133.108	0.317	22.15	29.55	0.00	0.00	18.40	4.00
133.424	0.002	22.15	0.15	0.00	0.00	18.40	4.00
133.426	0.317	22.07	29.44	0.00	0.00	18.40	4.00
133.743	0.002	22.07	0.15	0.00	0.00	18.40	4.00
133.744	0.317	22.04	29.34	0.00	0.00	18.40	4.00
134.061	0.002	22.04	0.15	0.00	0.00	18.40	4.00
134.062	0.317	22.02	29.23	0.00	0.00	18.40	4.00
134.379	0.002	22.02	0.15	0.00	0.00	18.40	4.00
134.381	0.317	21.88	29.13	0.00	0.00	18.40	4.00
134.697	0.002	21.88	0.15	0.00	0.00	18.40	4.00
134.699	0.317	21.66	29.04	0.00	0.00	18.40	4.00
135.016	0.002	21.66	0.15	0.00	0.00	18.40	4.00
135.017	0.317	21.43	28.95	0.00	0.00	18.40	4.00
135.334	0.002	21.43	0.15	0.00	0.00	18.40	4.00
135.336	0.274	21.22	25.04	0.00	0.00	18.40	4.00
135.610	0.044	21.22	3.99	0.00	0.00	18.40	4.00
135.654	0.317	21.08	28.68	0.00	0.00	18.40	4.00
135.970	0.002	21.08	0.15	0.00	0.00	18.40	4.00
135.972	0.317	21.04	28.41	0.00	0.00	18.40	4.00
136.289	0.002	21.04	0.15	0.00	0.00	18.40	4.00
136.290	0.317	21.13	28.14	0.00	0.00	18.40	4.00
136.607	0.002	21.13	0.15	0.00	0.00	18.40	4.00
136.609	0.317	21.37	27.86	0.00	0.00	18.40	4.00
136.925	0.002	21.37	0.14	0.00	0.00	18.40	4.00
136.927	0.317	21.77	27.57	0.00	0.00	18.40	4.00
137.243	0.002	21.77	0.14	0.00	0.00	18.40	4.00
137.245	0.317	22.33	27.27	0.00	0.00	18.40	4.00
137.562	0.002	22.33	0.14	0.00	0.00	18.40	4.00
137.563	0.317	23.05	26.94	0.00	0.00	18.40	4.00
137.880	0.002	23.05	0.14	0.00	0.00	18.40	4.00
137.882	0.317	23.92	26.57	0.00	0.00	18.40	4.00
138.198	0.002	23.92	0.14	0.00	0.00	18.40	4.00
138.200	0.317	24.92	26.18	0.00	0.00	18.40	4.00
138.517	0.002	24.92	0.14	0.00	0.00	18.40	4.00
138.518	0.317	26.01	25.74	0.00	0.00	18.40	4.00
138.835	0.002	26.01	0.13	0.00	0.00	18.40	4.00
138.836	0.317	27.18	25.25	0.00	0.00	18.40	4.00
139.153	0.002	27.18	0.13	0.00	0.00	18.40	4.00
139.155	0.317	28.38	24.72	0.00	0.00	18.40	4.00
139.471	0.002	28.38	0.13	0.00	0.00	18.40	4.00
139.473	0.317	29.57	24.14	0.00	0.00	18.40	4.00
139.790	0.002	29.57	0.12	0.00	0.00	18.40	4.00
139.791	0.317	30.71	23.50	0.00	0.00	18.40	4.00
140.108	0.002	30.71	0.12	0.00	0.00	18.40	4.00
140.109	0.317	31.75	22.82	0.00	0.00	18.40	4.00
140.426	0.002	31.75	0.12	0.00	0.00	18.40	4.00
140.428	0.317	32.67	22.10	0.00	0.00	18.40	4.00
140.744	0.002	32.67	0.11	0.00	0.00	18.40	4.00
140.746	0.317	33.59	21.33	0.00	0.00	18.40	4.00
141.063	0.002	33.59	0.11	0.00	0.00	18.40	4.00
141.064	0.317	34.59	20.52	0.00	0.00	18.40	4.00
141.381	0.002	34.59	0.10	0.00	0.00	18.40	4.00
141.383	0.317	35.63	19.66	0.00	0.00	18.40	4.00
141.699	0.002	35.63	0.10	0.00	0.00	18.40	4.00
141.701	0.317	36.65	18.75	0.00	0.00	18.40	4.00
142.017	0.002	36.65	0.10	0.00	0.00	18.40	4.00
142.019	0.317	37.62	17.79	0.00	0.00	18.40	4.00
142.336	0.002	37.62	0.09	0.00	0.00	18.40	4.00
142.337	0.317	38.51	16.78	0.00	0.00	18.40	4.00
142.654	0.002	38.51	0.08	0.00	0.00	18.40	4.00
142.656	0.317	39.30	15.72	0.00	0.00	18.40	4.00
142.972	0.002	39.30	0.08	0.00	0.00	18.40	4.00
142.974	0.317	39.97	14.63	0.00	0.00	18.40	4.00
143.290	0.002	39.97	0.07	0.00	0.00	18.40	4.00
143.292	0.317	40.53	13.50	0.00	0.00	18.40	4.00
143.609	0.002	40.53	0.07	0.00	0.00	18.40	4.00
143.610	0.317	40.96	12.35	0.00	0.00	18.40	4.00
143.927	0.002	40.96	0.06	0.00	0.00	18.40	4.00
143.929	0.317	41.27	11.17	0.00	0.00	18.40	4.00
144.245	0.002	41.27	0.06	0.00	0.00	18.40	4.00
144.247	0.317	41.46	9.98	0.00	0.00	18.40	4.00
144.564	0.002	41.46	0.05	0.00	0.00	18.40	4.00
144.565	0.317	41.53	8.78	0.00	0.00	18.40	4.00
144.882	0.002	41.53	0.04	0.00	0.00	18.40	4.00
144.883	0.317	41.51	7.58	0.00	0.00	18.40	4.00
145.200	0.002	41.51	0.04	0.00	0.00	18.40	4.00
145.202	0.317	41.40	6.39	0.00	0.00	18.40	4.00
145.518	0.002	41.40	0.03	0.00	0.00	18.40	4.00
145.520	0.317	41.22	5.20	0.00	0.00	18.40	4.00
145.837	0.002	41.22	0.02	0.00	0.00	18.40	4.00
145.838	0.317	41.00	4.02	0.00	0.00	18.40	4.00

-----  
LEGENDA SIMBOLI

X(m) : Ascissa sinistra concio  
dx(m) : Larghezza concio  
alpha(gradi) : Angolo pendenza base concio  
W(kN/m) : Forza peso concio  
ru(-) : Coefficiente locale pressione interstiziale  
U(kPa) : Pressione totale dei pori base concio  
phi'(gradi) : Angolo di attrito efficace base concio  
c'/Cu (kPa) : Coesione efficace / Resistenza al taglio in condizioni non drenate

TABELLA DIAGRAMMA DELLE FORZE DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

pFEM	X	ht	yt	yt'	E(x)	T(x)	E'	rho(x)	local_FS_FEM	local_FS_q-
(m)	(m)	(m)	(--)	(kN/m)	(kN/m)	(kN)	(--)	(--)	(--)	(--)
114.330	0.000	57.702	8.619	0.0000000000E+000	0.0000000000E+000	0.0000000000E+000	0.037	12.632	22.577	
114.455	2.122	59.876	8.619	3.9327131696E+000	3.1729010316E+000	1.0132663685E+002	0.037	12.632	22.577	
114.580	2.050	59.856	-0.105	2.5331659213E+001	1.9750204099E+001	1.1720308256E+002	0.037	12.223	21.530	
114.648	2.021	59.855	-0.304	3.3657990044E+001	2.5924848096E+001	1.2677133300E+002	0.037	12.196	21.456	
114.965	2.722	59.739	-0.365	8.0632718005E+001	5.2682986516E+001	1.6825823353E+002	0.048	7.771	12.429	
114.967	1.772	59.739	0.030	8.0910716958E+001	5.2838668295E+001	1.6843906177E+002	0.049	7.760	12.407	
115.130	1.708	59.744	0.076	1.0975019443E+002	6.8772287894E+001	1.8337465341E+002	0.198	6.589	10.184	
115.194	1.694	59.757	0.181	1.2170403060E+002	7.5192906288E+001	1.8744077106E+002	1.285	6.092	9.273	
115.230	1.685	59.762	0.186	1.2840152878E+002	7.8892088389E+001	1.8919731899E+002	1.304	5.885	8.896	
115.285	1.673	59.773	0.214	1.3882759233E+002	8.4682730350E+001	1.9119962152E+002	1.332	5.574	8.339	
115.601	1.609	59.842	0.216	1.9923380851E+002	1.1818800271E+002	1.8546757413E+002	1.452	4.173	5.927	
115.603	1.609	59.842	0.266	1.9953989913E+002	1.1835793320E+002	1.8536181335E+002	1.453	4.168	5.918	
115.920	1.560	59.926	0.266	2.5369593291E+002	1.4810106106E+002	1.5310194293E+002	1.520	3.196	4.363	
115.921	1.560	59.927	0.329	2.5394857375E+002	1.4823929274E+002	1.5288299587E+002	1.521	3.190	4.353	
115.930	1.560	59.930	0.311	2.5526957555E+002	1.4895680746E+002	1.5172688187E+002	1.522	3.161	4.304	
116.140	1.537	59.995	0.307	2.8402839661E+002	1.6338498827E+002	1.2171704099E+002	1.536	2.450	3.132	
116.240	1.525	60.025	0.343	2.9543063792E+002	1.6892189663E+002	1.0736908517E+002	1.540	2.183	2.711	
116.556	1.506	60.138	0.356	3.2330939716E+002	1.8278978668E+002	7.0816903644E+001	1.551	1.440	1.613	
116.558	1.505	60.138	0.354	3.2342618166E+002	1.8284467119E+002	7.0626125686E+001	1.551	1.437	1.610	
116.874	1.485	60.250	0.354	3.3936708397E+002	1.9070065861E+002	2.8953832094E+001	1.556	0.990	1.013	
116.876	1.485	60.251	0.368	3.3941470917E+002	1.9072377253E+002	2.8727261381E+001	1.556	0.989	1.012	
117.193	1.469	60.367	0.368	3.4195164091E+002	1.9147257328E+002	-1.1167330984E+001	1.554	0.780	0.771	
117.194	1.469	60.368	0.376	3.4193305215E+002	1.9145802371E+002	-1.1346311729E+001	1.554	0.780	0.771	
117.511	1.456	60.487	0.376	3.3766334408E+002	1.8619062311E+002	-3.7336423780E+001	1.542	0.659	0.641	
117.513	1.456	60.487	0.381	3.3370460675E+002	1.8615200499E+002	-3.7424700706E+001	1.542	0.659	0.641	
117.829	1.444	60.608	0.381	3.2016545151E+002	1.7797858395E+002	-4.5104422039E+001	1.526	0.635	0.617	
117.831	1.444	60.609	0.385	3.2009097360E+002	1.7793381762E+002	-4.5099150169E+001	1.526	0.635	0.617	
118.148	1.434	60.731	0.385	3.0668419901E+002	1.6990059242E+002	-3.7783439063E+001	1.509	0.636	0.620	
118.149	1.434	60.731	0.400	3.0662185682E+002	1.6986252951E+002	-3.7722042289E+001	1.509	0.636	0.620	
118.230	1.432	60.764	0.389	3.0369798308E+002	1.6808380974E+002	-3.4608694779E+001	1.505	0.638	0.622	
118.467	1.425	60.855	0.402	2.9652496301E+002	1.6368063874E+002	-2.6406896797E+001	1.495	0.643	0.628	
118.784	1.424	60.987	0.415	2.8881097509E+002	1.5883584503E+002	-2.2466542022E+001	1.483	0.650	0.636	
118.786	1.424	60.987	0.406	2.8877389723E+002	1.5881195532E+002	-2.2440153179E+001	1.483	0.650	0.636	
119.102	1.420	61.116	0.406	2.8259882952E+002	1.5484187831E+002	-1.6333177116E+001	1.472	0.657	0.645	
119.104	1.420	61.116	0.408	2.8257188607E+002	1.5482369236E+002	-1.6299291915E+001	1.472	0.657	0.645	
119.421	1.417	61.246	0.408	2.7838321797E+002	1.5196316373E+002	-1.0437423371E+001	1.463	0.663	0.652	
119.422	1.417	61.246	0.416	2.7836600325E+002	1.5195039447E+002	-1.0412121038E+001	1.463	0.663	0.652	
119.739	1.416	61.378	0.416	2.7568438718E+002	1.4992654763E+002	-7.0369558866E+000	1.456	0.669	0.659	
119.741	1.416	61.379	0.411	2.7567277464E+002	1.4991689267E+002	-7.0275396766E+000	1.456	0.669	0.659	
120.057	1.414	61.509	0.411	2.7357320413E+002	1.4825622128E+002	-6.6980314389E+000	1.449	0.674	0.664	
120.059	1.414	61.510	0.400	2.7356213936E+002	1.4824725964E+002	-6.7030286393E+000	1.449	0.674	0.664	
120.375	1.409	61.637	0.400	2.7120947579E+002	1.4644383999E+002	-8.2954884848E+000	1.443	0.678	0.669	
120.377	1.409	61.637	0.401	2.7119576964E+002	1.4643323662E+002	-8.3046504123E+000	1.443	0.678	0.669	
120.694	1.403	61.764	0.401	2.6838026892E+002	1.4438237937E+002	-9.0127471593E+000	1.435	0.682	0.673	
120.695	1.403	61.765	0.385	2.6836539060E+002	1.4437120507E+002	-9.0070515853E+000	1.435	0.682	0.673	
121.012	1.393	61.887	0.385	2.6571793641E+002	1.4241198205E+002	-7.6521845968E+000	1.428	0.686	0.677	
121.014	1.393	61.887	0.387	2.6570530656E+002	1.4240182694E+002	-7.6444058883E+000	1.428	0.686	0.677	
121.330	1.383	62.010	0.387	2.6351702044E+002	1.4067087233E+002	-6.2117661898E+000	1.421	0.690	0.681	
121.332	1.383	62.010	0.385	2.6350676835E+002	1.4066215243E+002	-6.2050077772E+000	1.421	0.690	0.681	
121.648	1.372	62.132	0.385	2.6172181821E+002	1.3917289608E+002	-5.1603863981E+000	1.414	0.694	0.685	
121.650	1.372	62.133	0.384	2.6171329997E+002	1.3916524632E+002	-5.1564422897E+000	1.414	0.694	0.685	
121.967	1.361	62.254	0.384	2.6016637984E+002	1.3782884555E+002	-4.7219891248E+000	1.409	0.698	0.688	
121.968	1.361	62.255	0.382	2.6015858279E+002	1.3782170870E+002	-4.7213825970E+000	1.409	0.698	0.688	
122.285	1.350	62.376	0.382	2.5865245538E+002	1.3652954031E+002	-4.8756064061E+000	1.403	0.701	0.691	
122.287	1.350	62.377	0.381	2.5864440251E+002	1.3652239064E+002	-4.8775900036E+000	1.403	0.701	0.691	
122.589	1.338	62.492	0.381	2.5710179491E+002	1.3525531142E+002	-5.3336617975E+000	1.397	0.704	0.694	
122.603	1.337	62.497	0.379	2.5702744168E+002	1.3519256987E+002	-5.3553584119E+000	1.397	0.704	0.694	
122.605	1.337	62.498	0.381	2.5701859612E+002	1.3518511293E+002	-5.3579139475E+000	1.397	0.704	0.694	
122.922	1.325	62.618	0.381	2.5526100515E+002	1.3378574291E+002	-5.6897600215E+000	1.391	0.707	0.697	
122.923	1.325	62.619	0.373	2.5525160851E+002	1.3377793608E+002	-5.6909393750E+000	1.391	0.707	0.697	
123.230	1.311	62.733	0.373	2.5346971059E+002	1.3237203103E+002	-5.9342209329E+000	1.385	0.711	0.701	
123.241	1.310	62.738	0.383	2.5340182684E+002	1.3231606971E+002	-5.9447793361E+000	1.385	0.711	0.701	
123.558	1.299	62.859	0.383	2.5146635829E+002	1.3080125167E+002	-6.3044512786E+000	1.379	0.715	0.704	
123.560	1.299	62.859	0.385	2.5145594570E+002	1.3079279066E+002	-6.3067109589E+000	1.379	0.715	0.704	
123.876	1.288	62.981	0.385	2.4938191030E+002	1.2919572623E+002	-6.8220770929E+000	1.372	0.719	0.709	
123.878	1.288	62.982	0.386	2.4937064224E+002	1.2918676629E+002	-6.8251958850E+000	1.372	0.719	0.709	
124.195	1.278	63.104	0.386	2.4710681200E+002	1.2748206630E+002	-7.4992286312E+000	1.364	0.723	0.713	
124.196	1.278	63.105	0.388	2.4709442511E+002	1.2747247904E+002	-7.5031037604E+000	1.364	0.723	0.713	
124.513	1.268	63.228	0.388	2.4459584355E+002	1.2568916705E+002	-8.2934200986E+000	1.357	0.728	0.718	
124.514	1.268	63.229	0.397	2.4458214485E+002	1.2567920800E+002	-8.2977122349E+000	1.357	0.728	0.718	
124.831	1.261	63.354	0.397	2.4182456206E+002	1.2377987230E+002	-9.1165737042E+000	1.350	0.732	0.723	
124.833	1.261	63.355	0.391	2.4180950419E+002	1.2376929105E+002	-9.1207069623E+000	1.350	0.732	0.723	
125.149	1.252	63.479	0.391	2.3879502940E+002	1.2175424591E+002	-9.9562745000E+000	1.342	0.737	0.729	
125.151	1.252	63.479	0.393	2.3877858423E+002	1.2174304029E+002	-9.9612328371E+000	1.342	0.737	0.729	
125.468	1.244	63.604	0.393	2.3547120296E+002	1.1959236496E+002	-1.0925760243E+001	1.334	0.741	0.735	
125.469	1.244	63.604	0.394	2.3545315697E+002	1.1958043470E+002	-1.0930568356E+001	1.334	0.741	0.735	
125.786	1.237	63.729	0.394	2.3185925405E+002	1.1730079484E+002	-1.1723109665E+001	1.325	0.746	0.741	
125.788	1.237	63.730	0.396	2.3183989263E+002	1.1728829448E+002	-1.1726407789E+001	1.325	0.746	0.741	
126.104	1.230	63.855	0.396	2.2804757014E+002	1.1492576851E+002	-1.2162818280E+001	1.316	0.751	0.748	
126.106	1.230	63.856	0.398	2.2802748432E+002	1.1491300258E+002	-1.2164045334E+001	1.316	0.751	0.748	
126.422	1.224	63.982	0.398	2.2415908265E+002	1.1252991087E+002	-1.2213314105E+001	1.307	0.756	0.754	
126.424	1.224	63.983	0.400	2.2413891495E+002	1.1251720295E+002	-1.2212707691E+001	1.307	0.756	0.754	
126.741	1.219	64.109	0.400	2.2030227556E+002	1.1016731447E+002	-1.1996957659E+001	1.298	0.761	0.761	
126.742	1.219	64.110	0.402	2.2028246580E+002	1.1015487944E+002	-1.1995554059E+001	1.298	0.761		

131.515	1.097	65.995	0.393	1.6618428823E+002	7.7962989222E+001	-1.0806005143E+001	1.153	0.838	0.870
131.516	1.097	65.996	0.392	1.6616644445E+002	7.7952588053E+001	-1.0805316156E+001	1.153	0.838	0.870
131.833	1.088	66.120	0.392	1.6276633159E+002	7.6028896929E+001	-1.0670923784E+001	1.143	0.843	0.877
131.835	1.088	66.121	0.391	1.6274871101E+002	7.6018735073E+001	-1.0670181898E+001	1.143	0.843	0.877
132.151	1.079	66.245	0.391	1.5939451939E+002	7.4140309448E+001	-1.0511895630E+001	1.133	0.848	0.884
132.153	1.079	66.245	0.390	1.5937716157E+002	7.4130406411E+001	-1.0510972354E+001	1.133	0.848	0.884
132.469	1.071	66.368	0.390	1.5607950851E+002	7.2301937379E+001	-1.0312712878E+001	1.123	0.853	0.891
132.471	1.071	66.369	0.388	1.5606247978E+002	7.2292320252E+001	-1.0311568978E+001	1.123	0.853	0.891
132.788	1.063	66.492	0.388	1.5283437672E+002	7.0518787672E+001	-1.0074370185E+001	1.113	0.858	0.898
132.789	1.063	66.493	0.386	1.5281774171E+002	7.0509478792E+001	-1.0073055679E+001	1.113	0.858	0.898
133.106	1.056	66.615	0.386	1.4966914776E+002	6.8793867595E+001	-9.8150646616E+000	1.103	0.863	0.904
133.108	1.056	66.615	0.384	1.4965294098E+002	6.8784873787E+001	-9.8137188268E+000	1.103	0.863	0.904
133.424	1.049	66.737	0.384	1.4658531640E+002	6.7126148627E+001	-9.5701958795E+000	1.094	0.868	0.911
133.426	1.049	66.738	0.382	1.4656951382E+002	6.7117450766E+001	-9.5690470085E+000	1.094	0.868	0.911
133.743	1.041	66.859	0.382	1.4357378236E+002	6.5510148775E+001	-9.3574341863E+000	1.084	0.873	0.917
133.744	1.041	66.859	0.381	1.4355833104E+002	6.5501718412E+001	-9.3563775529E+000	1.084	0.873	0.917
134.061	1.034	66.980	0.381	1.4062699879E+002	6.3938993109E+001	-9.1637982756E+000	1.075	0.878	0.923
134.062	1.034	66.980	0.372	1.4061186713E+002	6.3930793083E+001	-9.1628493164E+000	1.075	0.878	0.923
134.379	1.023	67.098	0.372	1.3773832541E+002	6.2408858818E+001	-8.9930068721E+000	1.065	0.883	0.929
134.381	1.023	67.099	0.377	1.3772347568E+002	6.2400799664E+001	-8.9921886748E+000	1.065	0.883	0.929
134.697	1.015	67.218	0.377	1.3489970699E+002	6.0900198429E+001	-8.8502331256E+000	1.056	0.889	0.935
134.699	1.015	67.219	0.377	1.3488509289E+002	6.0892184697E+001	-8.8495763237E+000	1.056	0.889	0.935
135.016	1.009	67.338	0.377	1.3210121038E+002	5.9394397795E+001	-8.7421045061E+000	1.046	0.895	0.942
135.017	1.009	67.339	0.377	1.3208677468E+002	5.9386330929E+001	-8.7416472788E+000	1.046	0.895	0.942
135.334	1.004	67.458	0.377	1.2933056176E+002	5.7871925369E+001	-8.6767028031E+000	1.035	0.901	0.949
135.336	1.004	67.459	0.378	1.2931623385E+002	5.7863699298E+001	-8.6764908756E+000	1.035	0.901	0.949
135.610	1.001	67.563	0.378	1.2693769293E+002	5.6526546738E+001	-8.6578063377E+000	1.025	0.906	0.955
135.654	1.001	67.579	0.380	1.2655879005E+002	5.6300863527E+001	-8.6524293245E+000	1.023	0.907	0.956
135.700	0.999	67.700	0.381	1.2382867441E+002	5.4702390985E+001	-8.5938418732E+000	1.012	0.913	0.963
135.972	0.999	67.700	0.384	1.2381448334E+002	5.4693649621E+001	-8.5936168186E+000	1.012	0.913	0.963
136.289	0.999	67.822	0.384	1.2109450881E+002	5.3057678076E+001	-8.6111679717E+000	0.999	0.919	0.970
136.290	0.999	67.823	0.388	1.2108028854E+002	5.3048707828E+001	-8.6116647180E+000	0.999	0.919	0.970
136.607	1.000	67.946	0.388	1.1832824226E+002	5.1367018222E+001	-8.8067678927E+000	0.986	0.924	0.977
136.609	1.000	67.946	0.394	1.1831369810E+002	5.1357778572E+001	-8.8083342165E+000	0.986	0.924	0.977
136.925	1.001	68.071	0.394	1.1546614521E+002	4.9611964424E+001	-9.2129364234E+000	0.971	0.929	0.984
136.927	1.001	68.072	0.402	1.1545092947E+002	4.9602259941E+001	-9.2155577931E+000	0.971	0.929	0.984
137.243	1.001	68.199	0.402	1.1244532185E+002	4.7774255247E+001	-9.7921396356E+000	0.955	0.933	0.990
137.245	1.001	68.199	0.410	1.1242914909E+002	4.7764060446E+001	-9.7954392114E+000	0.955	0.933	0.990
137.562	1.001	68.329	0.410	1.0922593414E+002	4.5850680604E+001	-1.0437014886E+001	0.938	0.937	0.996
137.563	1.001	68.330	0.421	1.0920869653E+002	4.5839963564E+001	-1.0440253520E+001	0.938	0.937	0.996
137.880	1.001	68.463	0.421	1.0580982017E+002	4.3827822116E+001	-1.1024774759E+001	0.920	0.940	1.001
137.882	1.000	68.464	0.432	1.0579161214E+002	4.3816620414E+001	-1.1027809561E+001	0.920	0.940	1.001
138.198	0.996	68.601	0.432	1.0220690515E+002	4.1715555129E+001	-1.1619803513E+001	0.900	0.944	1.007
138.200	0.996	68.602	0.445	1.0218771444E+002	4.1703861773E+001	-1.1622950473E+001	0.900	0.944	1.007
138.517	0.990	68.742	0.445	9.8410902057E+001	3.9512744781E+001	-1.2238612663E+001	0.879	0.947	1.012
138.518	0.990	68.743	0.459	9.8390689378E+001	3.9500558228E+001	-1.2241885970E+001	0.879	0.947	1.012
138.835	0.981	68.889	0.459	9.4414314786E+001	3.7220870013E+001	-1.2879140433E+001	0.856	0.952	1.019
138.836	0.981	68.889	0.474	9.4393044300E+001	3.7208208949E+001	-1.2882504244E+001	0.855	0.952	1.019
139.153	0.968	69.039	0.474	9.0211837888E+001	3.4845649115E+001	-1.3529681734E+001	0.831	0.958	1.027
139.155	0.968	69.040	0.490	9.0189493161E+001	3.4832559090E+001	-1.3533050168E+001	0.830	0.958	1.027
139.471	0.953	69.196	0.490	8.5803425933E+001	3.2398102741E+001	-1.4168888161E+001	0.804	0.965	1.036
139.473	0.952	69.196	0.507	8.5780025775E+001	3.2384659672E+001	-1.4172125304E+001	0.804	0.965	1.036
139.790	0.933	69.357	0.507	8.1197362432E+001	2.9895035692E+001	-1.4765767992E+001	0.775	0.974	1.046
139.791	0.933	69.358	0.524	8.1172976890E+001	2.9881346603E+001	-1.4768688878E+001	0.775	0.974	1.047
140.108	0.911	69.524	0.525	7.6407940766E+001	2.7357103080E+001	-1.5328833636E+001	0.744	0.984	1.059
140.109	0.911	69.525	0.540	7.6382625480E+001	2.7343276288E+001	-1.5331679527E+001	0.744	0.984	1.059
140.426	0.886	69.696	0.540	7.1445851025E+001	2.4804399576E+001	-1.5838494269E+001	0.712	0.996	1.073
140.428	0.886	69.697	0.560	7.1419694500E+001	2.4790581222E+001	-1.5840882253E+001	0.711	0.997	1.073
140.744	0.861	69.874	0.560	6.6338432663E+001	2.2262783160E+001	-1.6234253176E+001	0.677	1.010	1.089
140.746	0.860	69.875	0.578	6.6311623189E+001	2.2249081448E+001	-1.6235939439E+001	0.677	1.010	1.089
141.063	0.833	70.058	0.578	6.1127986175E+001	1.9761945006E+001	-1.6482591538E+001	0.640	1.025	1.107
141.064	0.833	70.059	0.597	6.1100767277E+001	1.9748547078E+001	-1.6483472523E+001	0.640	1.025	1.107
141.381	0.804	70.248	0.596	5.5863186596E+001	1.7331763367E+001	-1.6576969861E+001	0.602	1.042	1.127
141.383	0.803	70.249	0.571	5.5835812484E+001	1.7318826189E+001	-1.6577081991E+001	0.602	1.042	1.127
141.699	0.757	70.430	0.571	5.0590497011E+001	1.4999430642E+001	-1.6537827702E+001	0.562	1.059	1.147
141.701	0.757	70.431	0.594	5.0563188025E+001	1.4987090505E+001	-1.6537347382E+001	0.562	1.059	1.148
142.017	0.710	70.619	0.594	4.5345095115E+001	1.2786966968E+001	-1.6425681957E+001	0.520	1.077	1.170
142.019	0.709	70.620	0.617	4.5317971245E+001	1.2775322282E+001	-1.6425292640E+001	0.520	1.077	1.170
142.336	0.661	70.815	0.617	4.0127156486E+001	1.0705429570E+001	-1.6358514295E+001	0.477	1.096	1.194
142.337	0.660	70.816	0.639	4.0100143670E+001	1.0694522996E+001	-1.6357954927E+001	0.477	1.096	1.194
142.654	0.611	71.018	0.639	3.4949506742E+001	8.7691764933E+000	-1.6134073568E+001	0.433	1.115	1.219
142.656	0.610	71.019	0.661	3.4922865678E+001	8.7591364135E+000	-1.6132149374E+001	0.433	1.115	1.219
142.972	0.561	71.229	0.661	2.9892553180E+001	7.0072496879E+000	-1.5581537273E+001	0.387	1.134	1.245
142.974	0.560	71.230	0.682	2.9866826766E+001	6.9982462712E+000	-1.5577673611E+001	0.387	1.135	1.246
143.290	0.511	71.446	0.682	2.5072052960E+001	5.4499972707E+000	-1.4649602917E+001	0.341	1.154	1.274
143.292	0.511	71.447	0.703	2.5047866409E+001	5.4421720013E+000	-1.4643845277E+001	0.340	1.154	1.274
143.609	0.463	71.669	0.703	2.0601067728E+001	4.1175393415E+000	-1.3406488010E+001	0.294	1.175	1.305
143.610	0.462	71.670	0.721	2.0578934983E+001	4.1109552782E+000	-1.3399502017E+001	0.294	1.175	1.305
143.927	0.416	71.899	0.721	1.6551930847E+001	3.0123942553E+000	-1.2039930073E+001	0.250	1.196	1.338
143.929	0.416	71.900	0.737	1.6532054692E+001	3.0070096666E+000	-1.2033001482E+001	0.249	1.197	1.338
144.245	0.371	72.134	0.737	1.2925390169E+001	2.1177943960E+000	-1.0750711284E+001	0.206	1.219	1.374
144.247	0.371	72.135	0.751	1.2907642818E+001	2.1134892876E+000	-1.0743925068E+001	0.206	1.219	1.374
144.564	0.329	72.373	0.751	9.7146304326E+000	1.4136521774E+000	-9.4190879330E+000	0.164	1.242	1.411
144.565	0.329	72.374	0.763	9.6990822050E+000	1.4103318438E+000	-9.4120891750E+000	0.164	1.242	1.411
144.882	0.290	72.615	0.763	6.9322012238E+000	8.8106014168E-001	-8.0650671928E+000	0.125	1.267	1.451
144.883	0.290	72.617	0.779	6.9188889501					

114.648	0.317	0.343	22.680	58.045	19.918
114.965	0.002	0.002	22.680	53.261	0.095
114.967	0.163	0.177	22.680	50.779	8.997
115.130	0.064	0.070	22.680	47.354	3.307
115.194	0.036	0.039	22.680	46.376	1.787
115.230	0.055	0.059	22.680	46.353	2.753
115.285	0.317	0.343	22.680	46.259	15.874
115.601	0.002	0.002	22.680	46.179	0.083
115.603	0.317	0.343	22.680	46.098	15.819
115.920	0.002	0.002	22.680	46.018	0.082
115.921	0.009	0.009	22.680	46.015	0.433
115.930	0.210	0.228	22.680	45.960	10.460
116.140	0.100	0.108	22.680	45.881	4.952
116.240	0.317	0.343	22.680	45.776	15.708
116.556	0.002	0.002	22.680	45.696	0.082
116.558	0.317	0.343	22.680	45.615	15.653
116.874	0.002	0.002	22.680	45.535	0.081
116.876	0.317	0.343	22.680	45.454	15.597
117.193	0.002	0.002	22.680	45.373	0.081
117.194	0.317	0.343	22.680	45.293	15.542
117.511	0.002	0.002	22.680	45.212	0.081
117.513	0.317	0.343	22.680	45.132	15.487
117.829	0.002	0.002	22.680	45.051	0.081
117.831	0.317	0.343	22.680	44.971	15.432
118.148	0.002	0.002	22.680	44.890	0.080
118.149	0.081	0.088	22.680	44.869	3.930
118.230	0.237	0.257	22.680	44.789	11.526
118.467	0.317	0.343	22.680	44.649	15.321
118.784	0.002	0.002	22.680	44.568	0.080
118.786	0.317	0.343	22.680	44.488	15.266
119.102	0.002	0.002	22.680	44.407	0.079
119.104	0.317	0.343	22.680	44.326	15.211
119.421	0.002	0.002	22.680	44.246	0.079
119.422	0.317	0.343	22.680	44.165	15.155
119.739	0.002	0.002	22.680	44.085	0.079
119.741	0.317	0.343	22.680	44.004	15.100
120.057	0.002	0.002	22.680	43.924	0.079
120.059	0.317	0.343	22.680	43.843	15.045
120.375	0.002	0.002	22.680	43.763	0.078
120.377	0.317	0.343	22.680	43.682	14.989
120.694	0.002	0.002	22.680	43.602	0.078
120.695	0.317	0.343	22.680	43.521	14.934
121.012	0.002	0.002	22.680	43.441	0.078
121.014	0.317	0.343	22.683	43.363	14.880
121.330	0.002	0.002	22.683	43.283	0.077
121.332	0.317	0.343	22.690	43.211	14.829
121.648	0.002	0.002	22.690	43.131	0.077
121.650	0.317	0.343	22.701	43.063	14.779
121.967	0.002	0.002	22.701	42.982	0.077
121.968	0.317	0.343	22.713	42.915	14.730
122.285	0.002	0.002	22.713	42.834	0.077
122.287	0.303	0.328	22.724	42.770	14.036
122.589	0.014	0.015	22.724	42.689	0.644
122.603	0.002	0.002	22.724	42.685	0.076
122.605	0.317	0.343	22.734	42.615	14.629
122.922	0.002	0.002	22.734	42.533	0.076
122.923	0.307	0.333	22.741	42.463	14.127
123.230	0.011	0.012	22.741	42.381	0.525
123.241	0.317	0.343	22.745	42.301	14.522
123.558	0.002	0.002	22.745	42.218	0.076
123.560	0.317	0.343	22.745	42.136	14.466
123.876	0.002	0.002	22.745	42.054	0.075
123.878	0.317	0.343	22.741	41.966	14.407
124.195	0.002	0.002	22.741	41.884	0.075
124.196	0.317	0.343	22.732	41.791	14.346
124.513	0.002	0.002	22.732	41.709	0.075
124.514	0.317	0.343	22.718	41.611	14.283
124.831	0.002	0.002	22.718	41.529	0.074
124.833	0.317	0.343	22.700	41.427	14.218
125.149	0.002	0.002	22.700	41.346	0.074
125.151	0.317	0.343	22.679	41.240	14.151
125.468	0.002	0.002	22.679	41.160	0.074
125.469	0.317	0.343	22.656	41.051	14.084
125.786	0.002	0.002	22.656	40.971	0.073
125.788	0.317	0.343	22.631	40.862	14.017
126.104	0.002	0.002	22.631	40.782	0.073
126.106	0.317	0.343	22.605	40.673	13.949
126.422	0.002	0.002	22.605	40.595	0.073
126.424	0.317	0.343	22.581	40.488	13.883
126.741	0.002	0.002	22.581	40.410	0.072
126.742	0.317	0.343	22.560	40.308	13.819
127.059	0.002	0.002	22.560	40.230	0.072
127.061	0.317	0.343	22.544	40.134	13.758
127.377	0.002	0.002	22.544	40.057	0.072
127.379	0.317	0.343	22.539	39.975	13.703
127.695	0.002	0.002	22.539	39.898	0.071
127.697	0.317	0.343	22.569	39.856	13.665
128.014	0.002	0.002	22.569	39.778	0.071
128.015	0.317	0.343	22.633	39.773	13.643
128.332	0.002	0.002	22.633	39.694	0.071
128.334	0.317	0.343	22.716	39.709	13.630
128.650	0.002	0.002	22.716	39.628	0.071
128.652	0.317	0.343	22.807	39.648	13.618
128.969	0.002	0.002	22.807	39.565	0.071
128.970	0.317	0.344	22.894	39.578	13.603
129.287	0.002	0.002	22.894	39.492	0.071
129.288	0.132	0.143	22.969	39.540	5.649
129.420	0.187	0.203	22.969	39.452	8.002
129.607	0.317	0.344	23.025	39.374	13.546
129.923	0.002	0.002	23.025	39.285	0.070
129.925	0.317	0.344	23.057	39.230	13.499
130.242	0.002	0.002	23.057	39.139	0.070
130.243	0.317	0.344	23.062	39.053	13.439
130.560	0.002	0.002	23.062	38.963	0.070
130.562	0.317	0.344	23.037	38.845	13.365
130.878	0.002	0.002	23.037	38.755	0.070
130.880	0.317	0.344	22.982	38.606	13.277
131.196	0.002	0.002	22.982	38.518	0.069



131.198	0.317	0.344	22.901	38.341	13.178
131.515	0.002	0.002	22.901	38.254	0.069
131.516	0.317	0.343	22.794	38.054	13.069
131.833	0.002	0.002	22.794	37.970	0.068
131.835	0.317	0.343	22.669	37.752	12.954
132.151	0.002	0.002	22.669	37.672	0.067
132.153	0.317	0.343	22.533	37.444	12.835
132.469	0.002	0.002	22.533	37.367	0.067
132.471	0.317	0.342	22.393	37.139	12.718
132.788	0.002	0.002	22.393	37.066	0.066
132.789	0.317	0.342	22.260	36.850	12.607
133.106	0.002	0.002	22.260	36.780	0.066
133.108	0.317	0.342	22.148	36.589	12.508
133.424	0.002	0.002	22.148	36.522	0.065
133.426	0.317	0.342	22.071	36.372	12.426
133.743	0.002	0.002	22.071	36.307	0.065
133.744	0.317	0.342	22.044	36.213	12.370
134.061	0.002	0.002	22.044	36.148	0.064
134.062	0.317	0.342	22.017	36.056	12.314
134.379	0.002	0.002	22.017	35.992	0.064
134.381	0.317	0.341	21.878	35.779	12.207
134.697	0.002	0.002	21.878	35.719	0.064
134.699	0.317	0.341	21.664	35.428	12.069
135.016	0.002	0.002	21.664	35.373	0.063
135.017	0.317	0.340	21.429	35.063	11.926
135.334	0.002	0.002	21.429	35.014	0.062
135.336	0.274	0.294	21.221	34.743	10.230
135.610	0.044	0.047	21.221	34.682	1.629
135.654	0.317	0.339	21.080	34.340	11.652
135.970	0.002	0.002	21.080	34.178	0.060
135.972	0.317	0.339	21.041	33.974	11.525
136.289	0.002	0.002	21.041	33.813	0.060
136.290	0.317	0.339	21.130	33.749	11.456
136.607	0.002	0.002	21.130	33.586	0.059
136.609	0.317	0.340	21.369	33.675	11.449
136.925	0.002	0.002	21.369	33.505	0.059
136.927	0.317	0.341	21.767	33.748	11.505
137.243	0.002	0.002	21.767	33.567	0.060
137.245	0.317	0.342	22.330	33.950	11.621
137.562	0.002	0.002	22.330	33.753	0.060
137.563	0.317	0.344	23.052	34.253	11.786
137.880	0.002	0.002	23.052	34.034	0.061
137.882	0.317	0.346	23.921	34.616	11.990
138.198	0.002	0.002	23.921	34.369	0.062
138.200	0.317	0.349	24.917	34.990	12.215
138.517	0.002	0.002	24.917	34.711	0.063
138.518	0.317	0.352	26.014	35.324	12.445
138.835	0.002	0.002	26.014	35.008	0.064
138.836	0.317	0.356	27.180	35.567	12.659
139.153	0.002	0.002	27.180	35.209	0.065
139.155	0.317	0.360	28.378	35.672	12.837
139.471	0.002	0.002	28.378	35.270	0.066
139.473	0.317	0.364	29.569	35.604	12.961
139.790	0.002	0.002	29.569	35.155	0.067
139.791	0.317	0.368	30.708	35.338	13.013
140.108	0.002	0.002	30.708	34.844	0.067
140.109	0.317	0.372	31.752	34.864	12.981
140.426	0.002	0.002	31.752	34.326	0.067
140.428	0.317	0.376	32.668	34.188	12.859
140.744	0.002	0.002	32.668	33.612	0.066
140.746	0.317	0.380	33.588	33.388	12.690
141.063	0.002	0.002	33.588	32.771	0.065
141.064	0.317	0.385	34.593	32.487	12.495
141.381	0.002	0.002	34.593	31.826	0.064
141.383	0.317	0.390	35.629	31.452	12.251
141.699	0.002	0.002	35.629	30.743	0.062
141.701	0.317	0.395	36.650	30.265	11.943
142.017	0.002	0.002	36.650	29.509	0.061
142.019	0.317	0.400	37.619	28.925	11.562
142.336	0.002	0.002	37.619	28.123	0.059
142.337	0.317	0.405	38.508	27.441	11.103
142.654	0.002	0.002	38.508	26.596	0.056
142.656	0.317	0.409	39.298	25.828	10.567
142.972	0.002	0.002	39.298	24.945	0.053
142.974	0.317	0.413	39.975	24.107	9.960
143.290	0.002	0.002	39.975	23.190	0.050
143.292	0.317	0.417	40.530	22.297	9.288
143.609	0.002	0.002	40.530	21.353	0.046
143.610	0.317	0.419	40.962	20.418	8.561
143.927	0.002	0.002	40.962	19.453	0.043
143.929	0.317	0.421	41.269	18.489	7.788
144.245	0.002	0.002	41.269	17.509	0.038
144.247	0.317	0.422	41.457	16.527	6.982
144.564	0.002	0.002	41.457	15.537	0.034
144.565	0.317	0.423	41.533	14.546	6.152
144.882	0.002	0.002	41.533	13.552	0.030
144.883	0.317	0.423	41.509	12.558	5.310
145.200	0.002	0.002	41.509	11.566	0.026
145.202	0.317	0.422	41.398	10.575	4.464
145.518	0.002	0.002	41.398	9.588	0.021
145.520	0.317	0.421	41.220	8.605	3.622
145.837	0.002	0.002	41.220	7.627	0.017
145.838	0.317	0.420	41.000	6.655	2.792

## LEGENDA SIMBOLI

X(m)	: Ascissa sinistra concio
dx(m)	: Larghezza concio
dl(m)	: lunghezza base concio
alpha(gradi)	: Angolo pendenza base concio
TauStress(kPa)	: Sforzo di taglio su base concio
TauF(kN/m)	: Forza di taglio su base concio

## FORZE APPLICATE/RESISTENTI SU PALIFICATE\*,\*\*

Metodo di calcolo adottato: ITO-MATSUI(1975,79,81,82) - HASSIOTIS (1997)

\*NOTA IMPORTANTE: Per le superfici che intersecano la palificata sotto il 20% finale della lunghezza,

ai fini della sicurezza, non viene considerato l'effetto  
stabilizzante per mancanza di sufficiente ancoraggio (incastro).

-----  
PALIFICATA N.1 --> NESSUNA INTERSEZIONE VALIDA CON LA SUPERFICIE di FS minimo

PALIFICATA N.2 --> NESSUNA INTERSEZIONE VALIDA CON LA SUPERFICIE di FS minimo

PALIFICATA N.3 --> NESSUNA INTERSEZIONE VALIDA CON LA SUPERFICIE di FS minimo  
-----

CRITERIO DI ROTTURA secondo Hoek (2002,2007)

Strato 3 -- 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	42.32	11.39
40.00	38.48	13.36
60.00	36.05	15.22
80.00	34.27	16.95
100.00	32.87	18.59
120.00	31.72	20.14
140.00	30.75	21.62
160.00	29.90	23.04
180.00	29.16	24.41
200.00	28.50	25.73
220.00	27.91	27.00
240.00	27.37	28.24
260.00	26.88	29.44
280.00	26.42	30.61
300.00	26.00	31.76
320.00	25.61	32.87
340.00	25.24	33.96
360.00	24.89	35.03
380.00	24.57	36.08
400.00	24.26	37.11
420.00	23.97	38.11
440.00	23.70	39.11
460.00	23.44	40.08
480.00	23.19	41.04
500.00	22.95	41.98
600.00	21.90	46.50
700.00	21.03	50.74
800.00	20.30	54.74
900.00	19.66	58.55
1000.00	19.10	62.19
1100.00	18.60	65.68
1200.00	18.15	69.05
1300.00	17.74	72.30
1400.00	17.37	75.45
1500.00	17.03	78.51
1700.00	16.42	84.38
1900.00	15.89	89.96
2100.00	15.42	95.30
2300.00	15.01	100.43
2500.00	14.63	105.36
2700.00	14.29	110.13
2900.00	13.98	114.75
3100.00	13.70	119.23
3300.00	13.44	123.58
3500.00	13.19	127.82
3700.00	12.96	131.96
3900.00	12.75	135.99
4100.00	12.55	139.94

CRITERIO DI ROTTURA secondo Hoek (2002,2007)

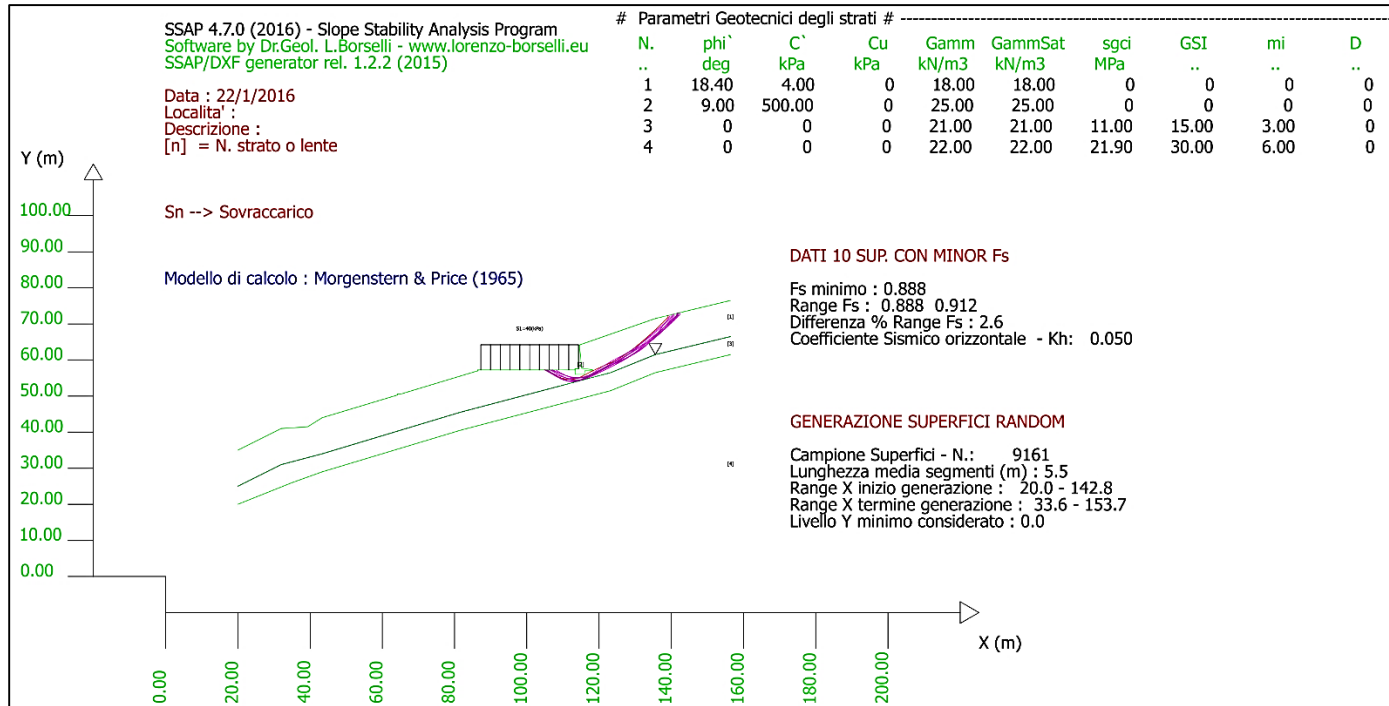
Strato 4 -- Parametri di resistenza al taglio equivalenti dell'ammasso roccioso

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

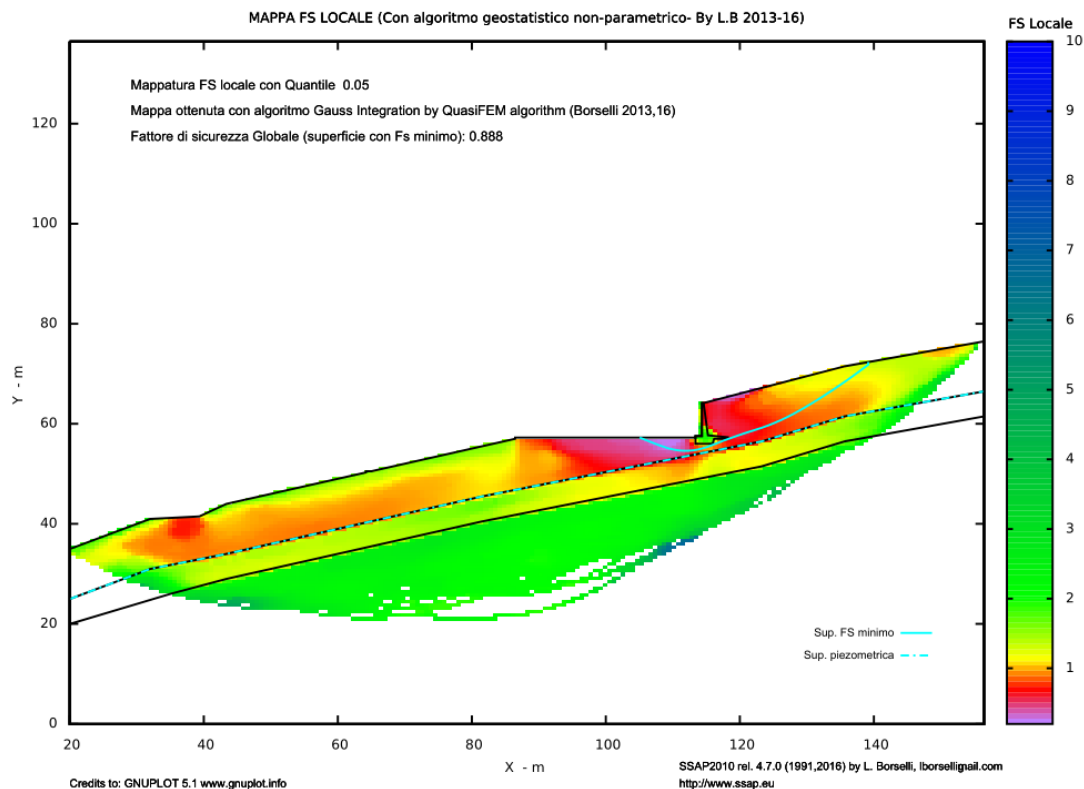
Sigma' (kPa)	Phi' (deg)	c' (kPa)
20.00	58.32	50.08
40.00	55.69	53.78
60.00	53.80	57.69
80.00	52.30	61.58
100.00	51.06	65.39
120.00	49.99	69.10
140.00	49.06	72.71
160.00	48.24	76.23
180.00	47.49	79.66
200.00	46.81	83.01
220.00	46.19	86.29
240.00	45.61	89.49
260.00	45.08	92.63
280.00	44.57	95.70
300.00	44.10	98.72
320.00	43.66	101.68
340.00	43.24	104.59
360.00	42.85	107.45
380.00	42.47	110.26
400.00	42.11	113.04
420.00	41.77	115.77
440.00	41.44	118.46
460.00	41.12	121.11
480.00	40.82	123.73
500.00	40.53	126.32
600.00	39.22	138.79
700.00	38.11	150.58
800.00	37.15	161.83
900.00	36.29	172.59
1000.00	35.52	182.94
1100.00	34.83	192.92
1200.00	34.20	202.58
1300.00	33.62	211.95
1400.00	33.08	221.05
1500.00	32.58	229.91
1700.00	31.68	246.98

1900.00	30.88	263.30
2100.00	30.17	278.96
2300.00	29.52	294.05
2500.00	28.94	308.62
2700.00	28.40	322.73
2900.00	27.90	336.43
3100.00	27.44	349.74
3300.00	27.00	362.71
3500.00	26.60	375.36
3700.00	26.22	387.71
3900.00	25.87	399.78
4100.00	25.53	411.60

**Seguono risultati Grafici dei analisi dello stesso pendio però senza opere di sostegno.  $F_s=0.888$**



**Figura G7**



**Figura G8**

## 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 (32/64 bit)**
- **SPAZIO LIBERO SU DISCO RIGIDO – 300 Mbyte**
- **RAM CONVENZIONALE libera Totale 4GB per Windows7 , 8, 10**
- **Scheda grafica con risoluzione minima di 1024x768 (importante specialmente per i netbook)**

*Nota: diversi utenti ancora usano normalmente SSAP in ambienti Windows XP, o Vista. Dato che però e' necessario per l'autore di SSAP proiettarsi verso la maggiore compatibilità con sistemi più recenti (windows 7, 8 e 8.1e 10) , ai sistemi più vecchi viene posta oramai minor 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.....*

### 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 copierà i files necessari in una cartella (es. C:\SSAP2010).** (è possibile indicare una cartella diversa al momento di installazione) ma attenzione **per operare correttamente** è necessario che il nome della cartella di installazione deve essere in un **percorso di cartelle dove non ci sono spazi vuoti nei nomi**. Ad esempio nel caso della cartella di installazione del SSAP:

**C: \programmi vari\ssap2010** (è sbagliato !)

**C:\programmi\ssap2010** (è corretto)

**n.b.:** in caso di installazione in una struttura di cartelle non corretta la attuale versione di SSAP non verrà eseguita. Un messaggio di errore avvertirà del problema e darà istruzioni su come risolverlo: (installare SSAP in una struttura di cartelle che non contenga spazi vuoti (ovvero un percorso completo che non contenga nomi con spazi vuoti : ad esempio come:

**C:\programmi\ssap2010 .)**

3) Il file eseguibile del programma **SSAP2010** è il file **ssap2010.exe** (per la versione 32bit) mentre è **SSAP2010\_64bit.EXE** (per la 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.

4) La versione installata in modo standard seguendo i punti precedenti 1, 2, e 3 è la versione **PORTABLE**. La versione Portable non necessita di ulteriori configurazioni e può essere eseguita con piena funzionalità immediatamente. Ciò facilita enormemente la applicazione del programma in mobilità. La versione Portable può essere trasferita anche su altri PC, dischi esterni o chiavi USB semplicemente anche copiandovi la cartella di installazione di SSAP di un altro PC..

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

1. Visualizzazione grafici in formato DXF (software standard: QCAD portable)
2. Visualizzazione diagrammi delle forze interne e pressioni (GNUPLLOT)
3. Creazione e gestione files di dati e modello del pendio mediante il software MAKEFILES
4. Editazione e visualizzazione files di dati (software standard: AKELPAD)
5. Help in linea mediante visualizzazione sincronizzata e contestuale del manuale utente in formato PDF, nelle pagine di interesse (software standard: SumatraPDF).

Tali software sono stati selezionati e testati con SSAP. La caratteristica comune di questi software esterni utilizzati per alcune funzionalità di visualizzazione da SSAP è che sono software freeware (di uso libero) e ridistribuiti per applicazioni non commerciali come il SSAP.

Tuttavia i software precedentemente indicati ai punti 1 e 4 possono essere sostituiti con altre applicazioni alternative che devono però essere preinstallate sul vostro Pc. Nel sito web di ssap (<http://www.ssap.eu/download.html>) è data una lista di applicazioni alternative testate per ssap. A queste si può aggiungere anche **AutocadLT** (AUTODESK). Nel caso si desideri una personalizzazione della installazione di questo tipo seguire le istruzioni nella sezione seguente.

### **H.3. OPERAZIONI DI CONFIGURAZIONE PERSONALIZZATA – FACOLTATIVA !!!**

**(Successiva alla installazione base di SSAP per utilizzo di programmi esterni alternativi. NOTA BENE: Queste informazioni vengo fornite per completezza ma per il 95% degli utenti di SSAP non servono più, risultando sufficientemente adeguata la configurazione automatica della Versione PORTABLE...!!)**

Il programma **SSAP2010** e la utility **MAKEFILES 4.0**, programma di servizio per la creazione dei files di dati per SSAP2010, fanno uso di software esterno per alcune funzionalità particolari già indicate alla sezione punto H.2.

Ad esempio per la **visualizzazione dei grafici contenenti il modello del pendio e/o le superfici di scivolamento** identificate si fa uso di programmi prodotti da terze parti per la **visualizzazione dei files DXF** prodotti automaticamente da SSAP2010. Oppure si fa ricorso a un programma esterno di editazione o visualizzazione di files dati (tutti in formato file di testo ASCII). L'utente può a propria scelta fare uso degli strumenti alternativi che sono già presenti nel suo sistema operativo (es. **Notepad.exe** per la editazione dei dati ) oppure indicare al programma di fare uso di strumenti esterni (come altri i programmi di editing dati o per la visualizzazione di files DXF).

**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.**

Nel pacchetto di SSAP2010 è presente un programma di utilità chiamato **INIUPDATE.EXE** che permette di leggere e aggiornare le configurazioni di base del file **SSAP2010.INI**. Questo programma permette di effettuare una configurazione personalizzata abbandonando la configurazione PORTABLE standard.

Con la configurazione personalizzata le opzioni e le scelte dei vari programmi esterni verranno poi salvate nel file **SSAP2010.INI** in modo automatico senza dover aprire e editare il file direttamente. Questo programma di utilità può essere richiamato anche direttamente dall'interno della interfaccia utente di SSAP2010 cliccando sull'apposito pulsante **SSAP2010.INI** (in basso a destra nella console di comando)

Configurazione Automatica (PORTABLE ovvero può stare tutto su una chiave USB)

☐ ATTIVATA Non richiede configurazione e funziona tutto anche in una chiave USB

☒ DISATTIVATA Richiede configurazione specifica (vedi sotto)

Configurazione personalizzata

Programma per visualizzazione files DXF modello pendio e superfici FS minimo

C:\Program Files\Autodesk\DWG TrueView 2016 - English\dwgviewr.exe Seleziona programma

Programma per editazione e visualizzazione files di testo e dati modello pendio

E:\ssap2010\AkelPad\AkelPad.exe Seleziona Programma

**iniUPDATE 1.3.3**

ESCI Programma di utilità per aggiornamento file SSAP2010.INI Per versioni 4.6 x (2015) portable e superiori Scrivi SSAP2010.INI

**Figura H.1. Schermata INIUPDATE.EXE (rel. 1.3.3).** Nella finestra è attivata la configurazione standard PORTABLE. Per attivare la configurazione personalizzata è necessario disattivarla, poi procedere con la configurazione e successivamente rigenerare il file SSAP2010.INI premendo il pulsante [*scrivi SSAP2010.INI*].

#### H.4. DESCRIZIONE DEL FILE SSAP2010.INI

La indicazione di quali strumenti utilizzare viene data al programma nel file SSAP2010.INI che contiene queste basilari informazioni che verranno lette ogni volta che il programma SSAP2010 o MAKEFILES vengono lanciati.

##### H.4.1. Programma di editazione e visualizzazione files di testo (Editor).

Si possono utilizzare molti programmi scegliendo tra programmi già presenti su tutti i sistemi operativi Windows (es. il famoso NOTEPAD) oppure programmi di pubblico dominio e gratuiti scaricabili su internet o , se preferite , prodotti commerciali..

L'autore del programma consiglia la prima delle prime due opzioni:

- NOTEPAD installato ogni sistema Windows XP-Win10 .. Semplice programma editazione di files di testo. Solitamente su Windows il percorso completo del programma è:

**C:\windows\system32\notepad.exe**

##### H.4.2 Programmi per la visualizzazione dei files DXF e Visualizzazione di grafici prodotti dal programma SSAP2010.

Per la visualizzazione del modello del pendio selezionato per il lavoro e per la visualizzazione dei grafici dei risultati della analisi (superficie di scivolamento) SSAP2010 fa uso di programmi per la visualizzazione di files DXF. Esistono molti programmi che permettono di visualizzare il formato DXF. I più famosi sono AUTOCAD LT della Autodesk .. tuttavia è possibile anche utilizzare programmi più semplici e agili che permettono le medesime funzioni di visualizzazione, editazione e stampa (ad esempio LIBRECAD – [www.librecad.org](http://www.librecad.org)). L'autore di SSAP2010 suggerisce però di utilizzare alcune valide alternative gratuite e senza necessità di licenza commerciale come o LIBRECAD 2.0.

- Il **programma LIBRECAD**, programma Gratuito per la visualizzazione e l'editazione di files DXF e DWG scaricabile presso il sito <http://www.librecad.org> dove è presente anche una versione con maggiori funzionalità, in questo caso a pagamento. Questa versione freeware è tuttavia molto buona per le funzioni di visualizzazione, stampa (con tutte le opzioni di stampa per stampare in scala), ed editazione degli stessi files DXF prodotti dal programma SSAP2010.

Ad esempio Il programma **Librecad** viene solitamente installato sui sistemi windows (in italiano) al seguente percorso :

**C:\Programmi\librecad\librecad.exe**

#### **H.4.3 Un Esempio personalizzato di file SSAP2010.INI**

Alla fine, Secondo le scelte fatte come esempio, il nostro File SSAP2010.INI finale sarà, per l'uso di **LIBRECAD** e del programma editore di testo **NOTEPAD** :

```
-----
[cad]
filename= C:\Programmi\librecad\librecad.exe
carattere_speciale=

[editor]
filename= C:\windows\system32\notepad.exe

[portable]
Portable_config=no
-----
```

NB: Il file SSAP2010.INI può anche essere editato con un qualsiasi editore di files di Testo come quello presente su tutti i sistemi Windows , ovvero il programma NOTEPAD di Windows. Le modifiche posso essere eseguite manualmente prima di salvare il file e lanciare nuovamente SSAP2010 o MakeFiles. Comunque si consigliano gli utenti di farlo fare automaticamente al programma INIUPDATE.EXE

#### **H.5-UBICAZIONE DELLE CARTELLE DI INSTALLAZIONE DI SSAP2010**

*(DEI PROGRAMMI DI VISUALIZZAZIONE GRAFICI ED EDITING, E DELLE AREE DATI DOVE RISIEDONO I FILES CON IL MODELLOD EL PENDIO)*

**Per visualizzare correttamente i grafici** è necessario che sia SSAP2010, sia l'area dati dove sono contenuti i modelli del pendio **devono essere in un percorso di cartelle dove non ci sono spazi vuoti nei nomi**.

Ad esempio il caso della seguente cartella di installazione del SSAP:

**C: \programmi vari\ssap2010** (è sbagliato !)

Mentre il caso seguente:

**C:\programmi\ssap2010** (è corretto)



Mentre nel caso seguente della **cartella dove risiedono i file del modello**:

**C:\Documents and Settings\Utente\Desktop\prova** (è sbagliato)

Mentre il caso seguente:

**C:\pendii\prova** (è corretto)

**IMPORTANTE !! il solo posizionamento della area dati nella cartella del desktop di Windows (es. files copiati sul desktop) non permette MAI di lanciare correttamente SSAP o programmi accessori di visualizzazione o editing.**

**Quindi non installate MAI ne il pacchetto ne i dati di modelli di pendio nel Desktop, o in sottocartelle di questo!!!**

(es. **C:\Documents and Settings\Utente\Desktop\ssap2010** (contiene come si vede uno più di uno spazio vuoto !! e quindi e' possibile che in alcune versioni di windows non funzioni!!)).

**Nel caso che l'area dati sia posizionata su un percorso dal nome non corretto** il programma ssap visualizzerà un **messaggio di errore indicando di cambiare nome all'area dati, ovvero di rimuovere gli spazi vuoti dal nome del percorso**. In questo caso si può procedere ad esempio sostituendo gli spazi vuoti con i caratteri \_ oppure - .

es: **c:\area dati ssap2010** (non corretta)

può essere rinominata con:

**c:\area\_dati\_ssap2010** (corretta)

## APPENDICE I- NUOVO METODO DI CALCOLO RIGOROSO PER VERIFICHE DI STABILITA' DEI PENDII ALL'EQUILIBRIO LIMITE.

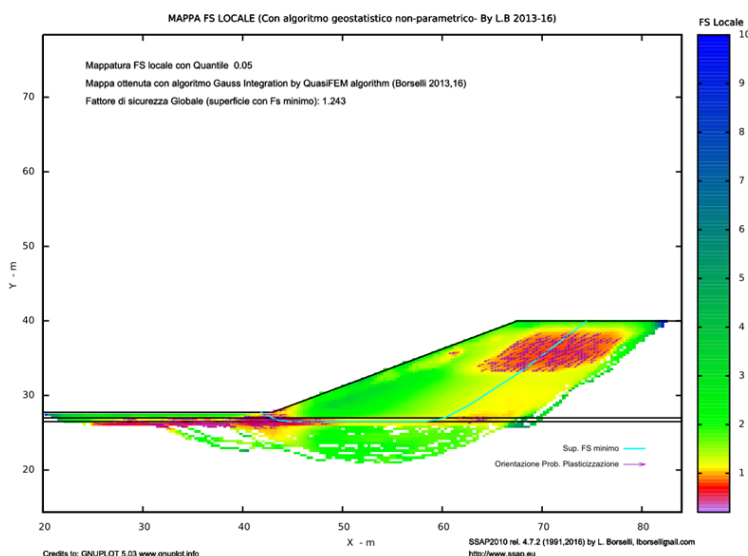
LORENZO BORSELLI\*,\*\*

\* Docente di Geotecnica e Geologia Applicata  
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](mailto:lborselli@gmail.com)



### I.1-INTRODUZIONE

I metodi di calcolo rigorosi all'equilibrio limite (LEM) che sono utilizzati in SSAP attualmente sono stati selezionati dopo una scelta tra quelli disponibili e più affidabili secondo la letteratura internazionale. I 7 metodi ora disponibili per SSAP sono costituiti da 6 metodi già da decenni utilizzati in moltissime delle applicazioni di calcolo della verifica di stabilità secondo l'equilibrio limite (*Janbu rigoroso, Sarma I; Sarma II, Spencer, Morgestern-Price, Chen-Morgestern*) e un nuovo metodo qui proposto e descritto per la prima volta.

La necessità di implementare le metodologie rigorose già descritte sono state giustificate nel capitolo 2. Tuttavia esiste ulteriore spazio nello sviluppo e test di nuovi metodi di calcolo rigorosi.

In questo contesto Il nuovo metodo di calcolo è stato sviluppato come una evoluzione e generalizzazione del metodo di calcolo di *Chen-Morgestern* (1983) , che a sua volta fu una evoluzione e generalizzazione di quello ben noto di *Morgestern –Price* (1965), secondo

Duncan et al. (2014).

Il nuovo metodo è quindi descritto e proposto come uno strumento di comparazione con gli altri metodi più conosciuti. Ai futuri utilizzatori di SSAP (ricercatori, professionisti, tecnici, studenti) viene data questa opportunità di testare e comparare i risultati di FS ottenuti con i metodi classici con quelli ottenuti con il nuovo metodo qui proposto. In una delle sezioni di questa appendici viene fatto uno studio comparativo di questo tipo su uno dei pendii già analizzato nel capitolo 6.

**Tabella I.1 relazione funzionale che esprime  $T(x)$  per i vari modelli di calcolo implementati in SSAP**

<b>Gruppo</b>	<b>Modello di calcolo adottato per la risoluzione di FS</b>	<b>Relazione funzionale che esprime <math>T(x)</math></b>
I	Spencer (1967,73)	$T(x) = \lambda E(x)$
I	Sarma I (1973)	$T(x) = \lambda \left[ \bar{c}' H(x) + \left( (E(x) - Pw(x)) \tan \bar{\phi}' \right) \right]$
II	Morgestern & Price (1965)	$T(x) = \lambda f(x) E(x)$
II	Chen -Morgestern (1983)	$T(x) = [\lambda f(x) + f_0(x)] E(x)$
II	Borselli(2016) <sup>10</sup>	$T(x) = \lambda [f(x) + f_1(x)] E(x)$
II	Sarma II (1979)	$T(x) = \lambda f(x) \left[ \bar{c}' H(x) + \left( (E(x) - Pw(x)) \tan \bar{\phi}' \right) \right]$
III	Janbu Rigoroso (1973)	$T(x) = E(x) \tan \alpha_t + h_t \frac{dE(x)}{dx} + \dots$

## I.2-I METODI RIGOROSI NEL QUADRO DELLA MODELLISTICA ALL'EQUILIBRIO LIMITE

Nella tabella I.1 sono presente le relazioni esistenti tra la distribuzione delle forze

<sup>10</sup> Presentata per la prima volta in questo manuale.

tangenziali interconco e le forze normali che diversificano i vari metodi conosciuti. Le assunzioni utilizzate per ottenere  $T(X)$  da i valori di  $E(X)$  e da altri parametri determinati durante la procedura numerica di soluzione (già descritti nel capitolo 2 di questo manuale) sono quelle che determinano le differenze tra i vari metodi e le differenze di FS. Il nuovo metodo, qui indicato come Borselli (2016), è di fatto una evoluzione e generalizzazione del metodo di calcolo di *Chen-Morgestern* (1983).

La descrizione dei due metodi è presente nella successiva sezione

### I.3.- UN NUOVO METODO RIGOROSO DEL GRUPPO II

Secondo Chen e Morgestern (1983) la assunzione proposta da Morgestern e Price (1965) ha il difetto che la funzione  $f(x)$  assume agli estremi della superficie di scivolamento (al piede e in testa sempre valori uguali a 0 essendo tale funzione compresa tra [0.0 e 1.0] , spesso definita da una funzione  $\sin(x)$ . Questi valori poco realistici possono essere eliminati aggiungendo un termine alla funzione che lega  $T(X)$  a  $E(X)$  ovvero:

$$T(x) = [\lambda f(x) + f_0(x)]E(x) \quad \text{I.1}$$

dove:

$f_0(x)$  e' una funzione di interpolazioni lineare della gradiente di pendenza locale  $\tan \beta(x_1), \tan \beta(x_2)$ , agli estremi di coordinate  $(x_1, y_1)$  e  $(x_2, y_2)$  della superfice di scivolamento assunta come in figura I.1.

La nuova funzione  $f_0(x)$  è quindi una interpolazione lineare tra due valore costanti che dipende dalla geometria della sola superficie topografica e dalla porzione di pendio preso in esame.

La nuova funzione non prende in considerazione la forma della superficie di scivolamento (es. curvatura. Irregolarità, posizione del centro di massa), anche se il pregio del metodo di Chen e Morgestern è quello di tentare il superamento della limitazione fisica dell'approccio di Morgestern e Price.

La formulazione della eq. I.1 mostra che è possibile una ulteriore generalizzazione del metodo portando a considerare contemporaneamente tutti i valori di pendenza della superficie topografica compresi tra  $(x_1, y_1)$  e  $(x_2, y_2)$  e anche la geometria della superficie di scivolamento .

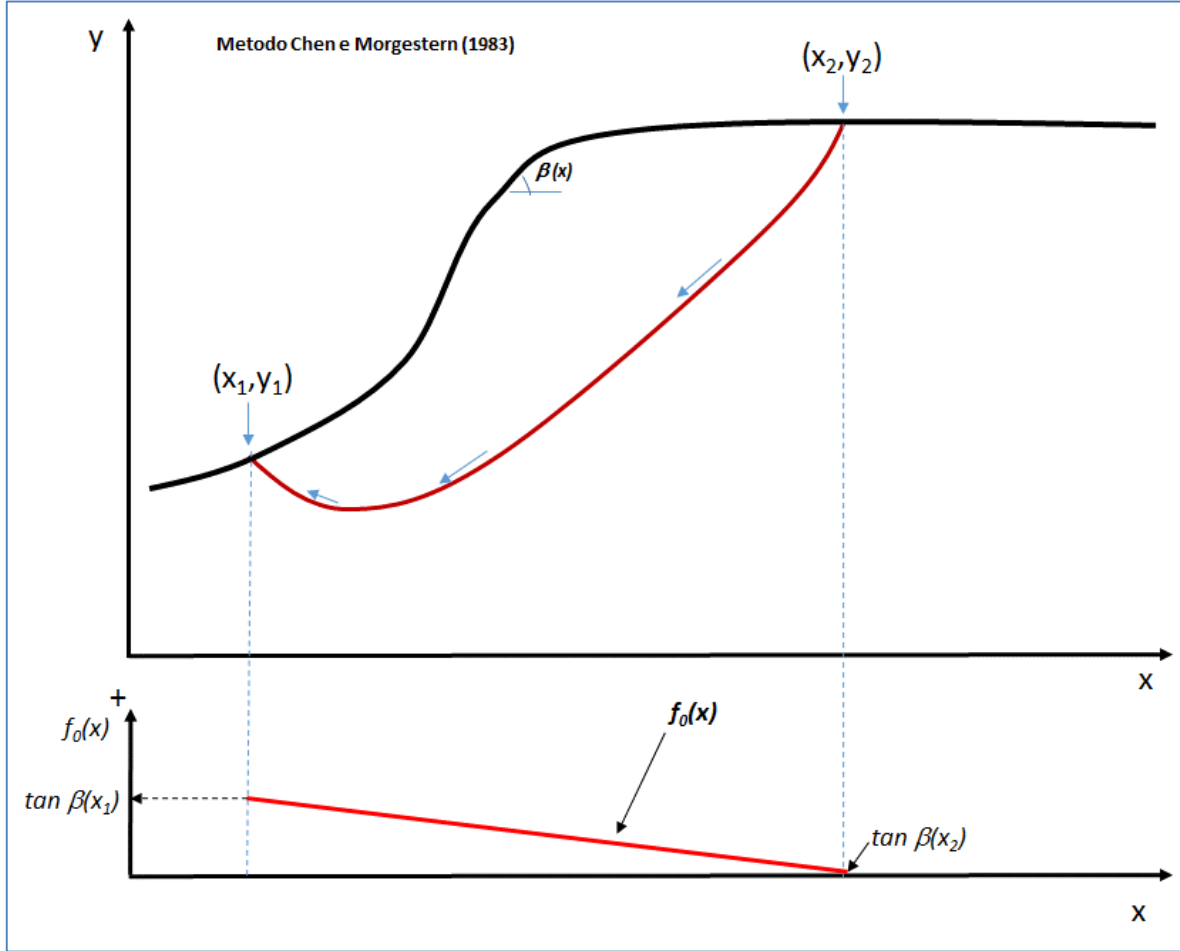


Fig. I.1- schema grafico struttura del modello di calcolo Chen-Morgestern(1983)

Il nuovo metodo proposto è definito dalla eq. I.2:

$$T(x) = \lambda[f(x) + f_1(x)]E(x) \quad \text{I.2}$$

dove

$$f_1(x) = \frac{\tan \beta(x) + \tan \theta(x)}{2} \quad \text{I.3}$$

e dove, come mostrato nella Figura I.2,  $\tan \beta(x)$  è la funzione del gradiente locale della superficie topografica tra gli estremi  $(x_1, y_1)$  e  $(x_2, y_2)$  e  $\tan \theta(x)$  è il gradiente locale della *thrust line* o luogo geometrico dei punti di applicazione delle forze interconco  $T(x)$  e  $E(x)$ .

La funzione I.3 viene inoltre calcolata con la limitazione seguente:

$$0 \leq f_1(x) \leq \tan \beta^*$$

I.4

dove  $\beta^*$  è l'angolo sotteso tra i due estremi di coordinate  $(x_1, y_1)$  e  $(x_2, y_2)$  che sottendono la superfici di scivolamento considerata. (figura I.2)

La eq. I.2 del nuovo metodo ha una importante differenza aggiuntiva rispetto alla eq. I.1. Infatti il coefficiente di scala  $\lambda$  moltiplica la somma di entrambi i termini delle funzioni  $f(x)$  e  $f_1(x)$ , quindi agisce correttamente come un fattore di scala globale come per il metodo di Morgenstern e Price e quello di Spencer. Questo tipo di interazione non è invece presente nella eq. I.1.

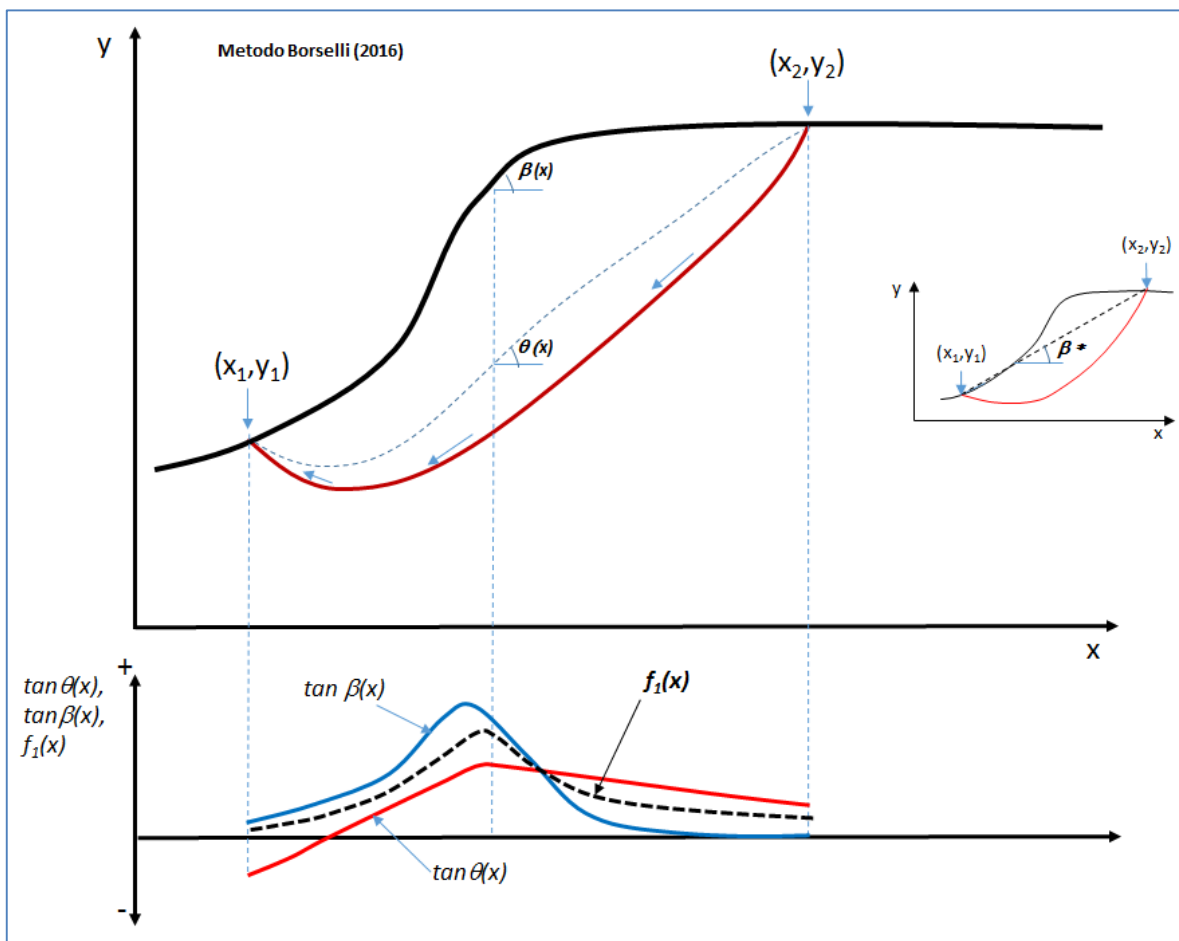


Fig. I.2: schema grafico struttura del modello di calcolo Borselli (2016)

#### I.4. ANALISI COMPARATIVA TRA I METODI CLASSICI E IL NUOVO METODO

In questa sezione viene presentata una veloce analisi comparativa dei risultati ottenuti

con il nuovo metodo di calcolo e i metodi classici indicati nella tabella I.1.

Il pendio sul quale viene testato il modello è analogo all'esempio 6.2 (capitolo 6) però senza l'effetto di una piezometrica interna, quindi in assenza di pressione di poro.

Si tratta quindi rilevato poggianti su strato a bassa resistenza. Caso critico, utilizzato nella letteratura internazionale, per testare i programmi di verifica di stabilità (Fredlund 1977). 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 uno rilevato con coesione e attrito e sotto di esso uno strato molto resistente. 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.

Una prima analisi di ricerca globale porta a comparare i risultati tra il metodo Spencer e il nuovo metodo di calcolo qui proposto. La ricerca globale è stata eseguita con le medesime condizioni: motore SNIFF-RANDOM SEARCH, lunghezza media segmenti 1 m, nessun *tension Cracks*, 10000 superfici. In figura I.3 e I.6 I risultati mostrano che abbiamo una pressoché completa sovrapposizione delle zone critiche individuate e un pressoché identico FS.

La analisi delle Figure I.4,I.5, I.7 e I.8 mostra la elevata riproducibilità delle mappe di Fs locale e dello OSR (over stress ratio (Farias & Naylor (1998), mappe che come abbiamo già commentato nel capitolo 6 di questo manuale permettono di fornire utilissime indicazioni per identificare le zone di probabile plasticizzazione locale (Fs locale <1.0 e OSR>1.0).

**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
I	Spencer (1973)	1.241	0.1660	-
II	<b>Borselli (2016)</b>	<b>1.243</b>	<b>0.1564</b>	<b>+0.16</b>
II	Morgestern –Price (1965)	1.246	0.2313	+0.402
II	Chen-Morgestern (1983)**	1.246	0.2313	+0.402
I	Sarma I (1973)	1.234	0.1107	-0.56
II	Sarma II (1979)	1.238	0.1444	-0.242
III	Jambu Rigoroso (1973)*	1.262	-	+1.692

*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)*

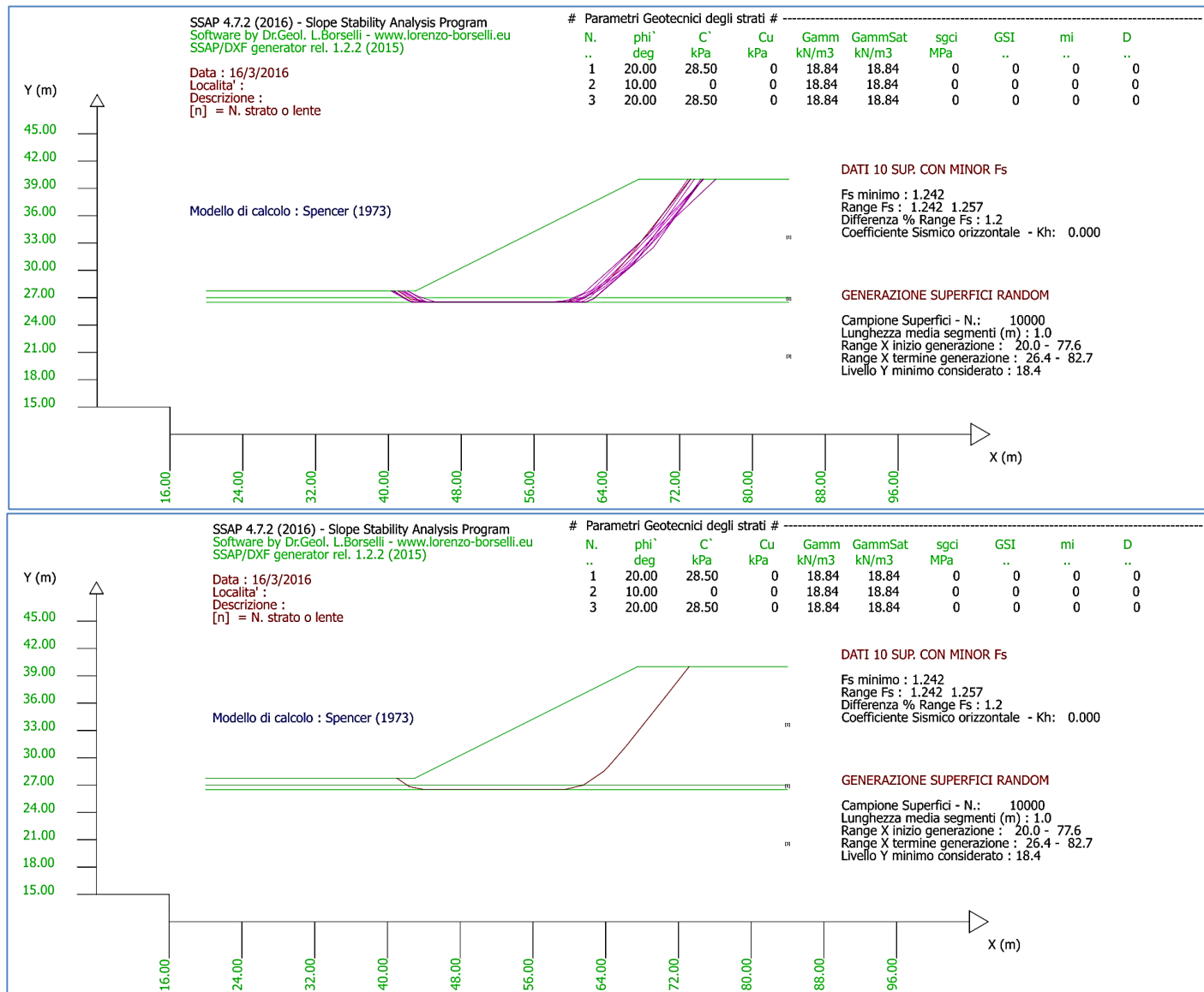


Fig. I.3: Risultato verifica utilizzando motore SNIFF-RANDOM SEARCH con segmenti medi di lunghezza 1m, assenza effetto tension cracks e metodo di calcolo Spencer (1973)



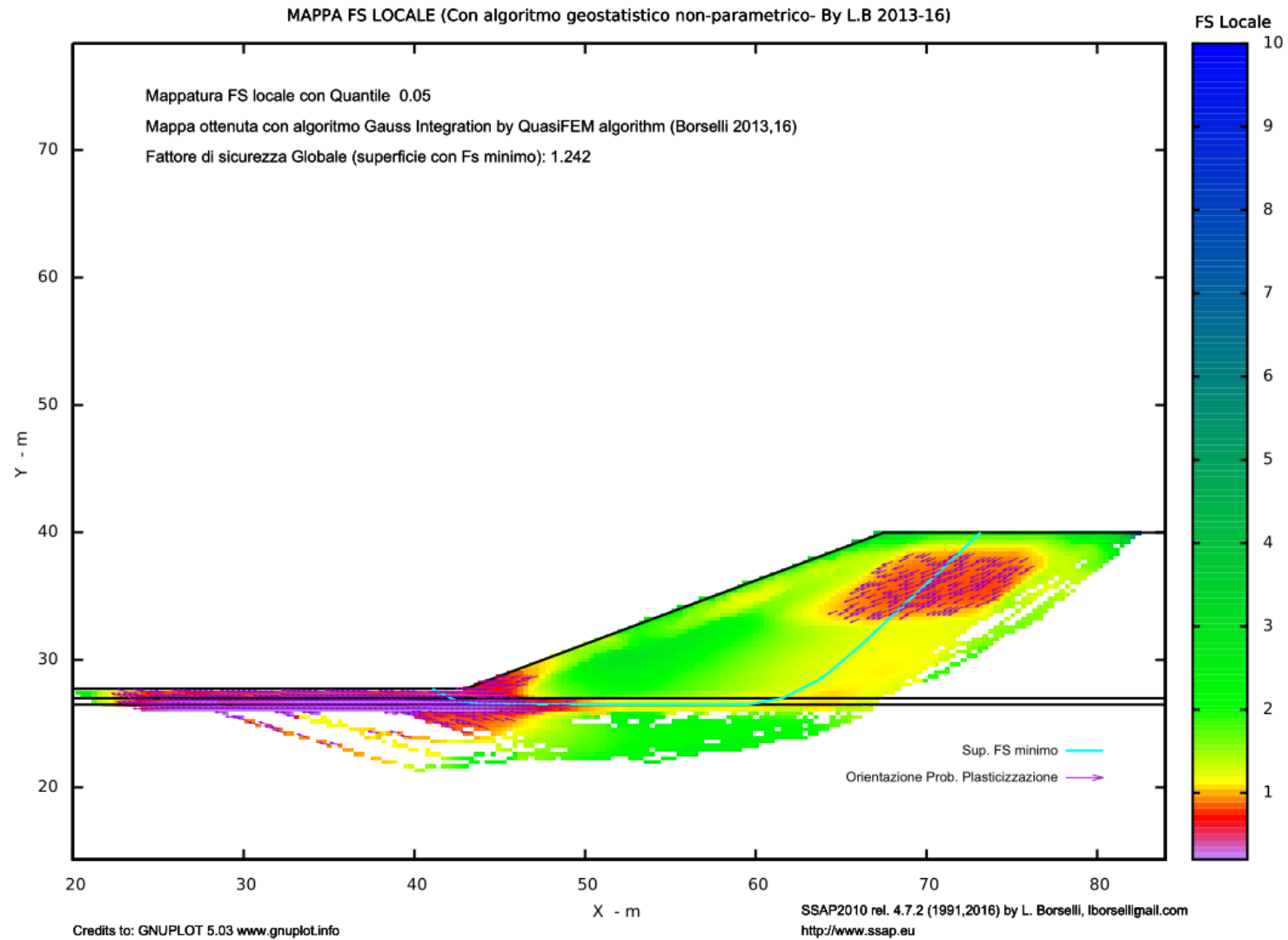


Fig. I.4: Risultato verifica utilizzando motore SNIFF-RANDOM SEARCH con segmenti medi di lunghezza 1m, assenza effetto tension cracks e metodo di calcolo Spencer (1973): mappa del fattore di FS Locale

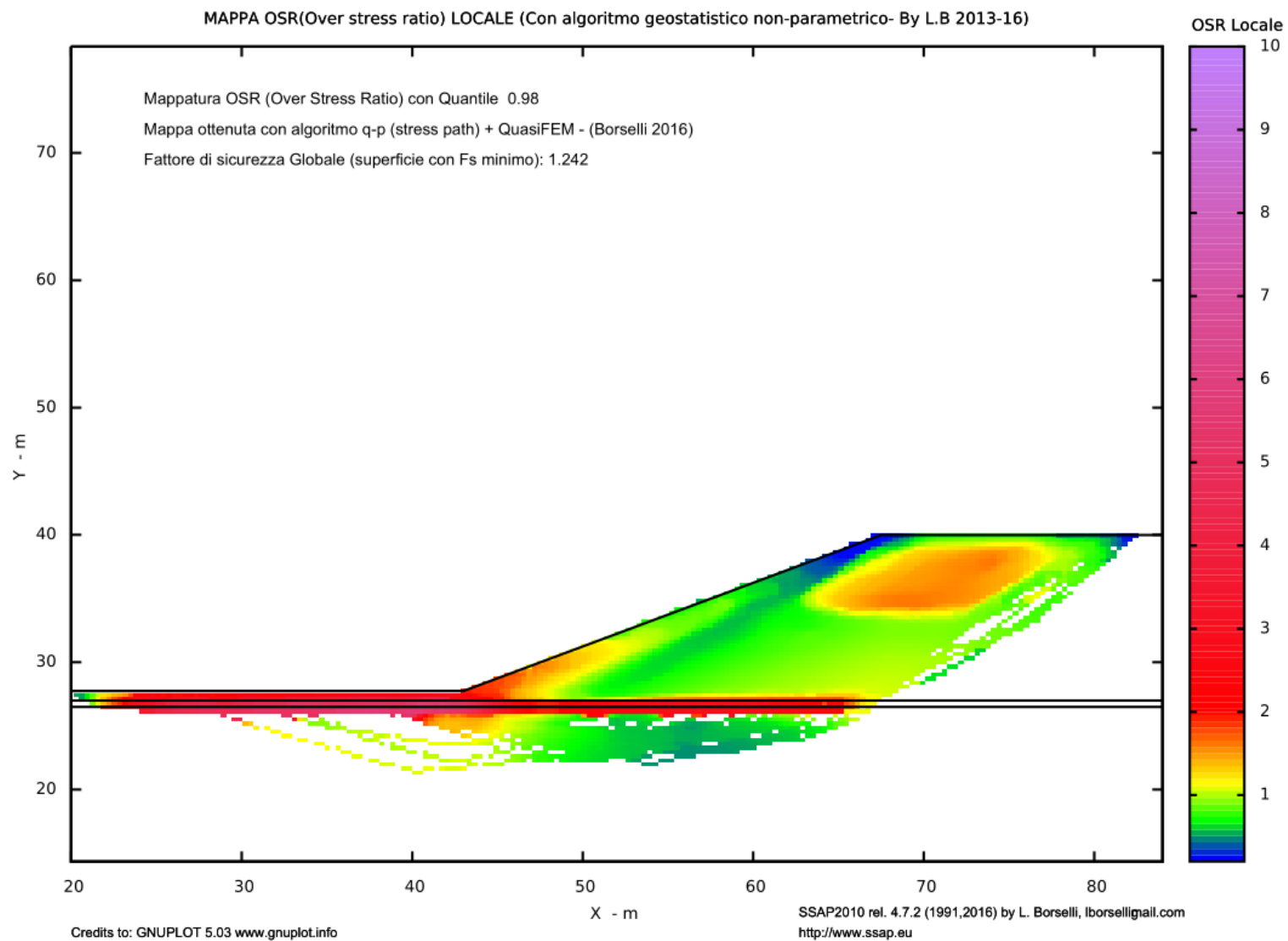


Fig. I.5: Risultato verifica utilizzando motore SNIFF-RANDOM SEARCH con segmenti medi di lunghezza 1m, assenza effetto tension cracks e metodo di calcolo Spencer (1973): mappa del OSR (over stress ratio)

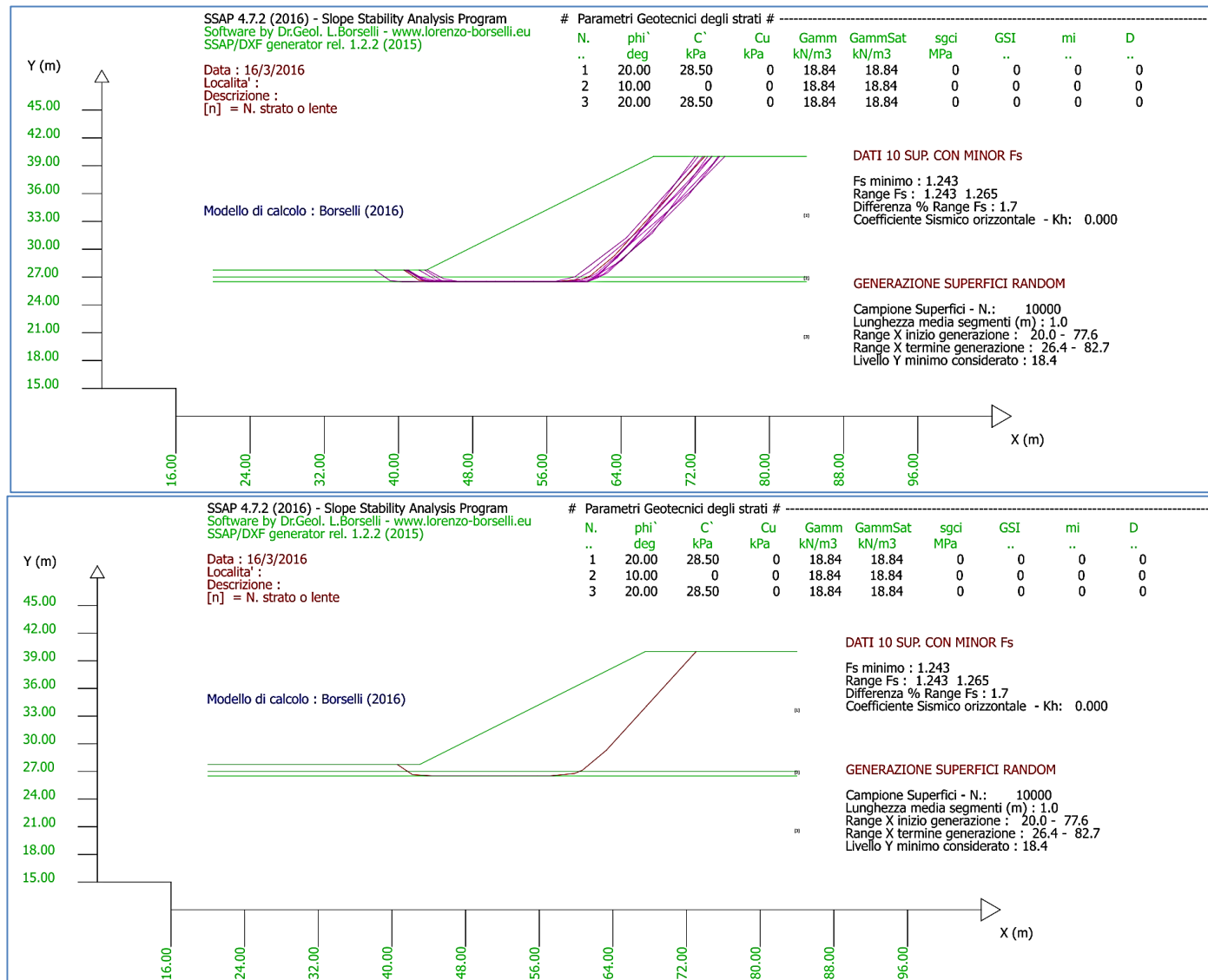


Fig. I.6: Risultato verifica utilizzando motore SNIFF-RANDOM SEARCH con segmenti medi di lunghezza 1m, assenza effetto tension cracks e metodo di calcolo Borselli (2016)

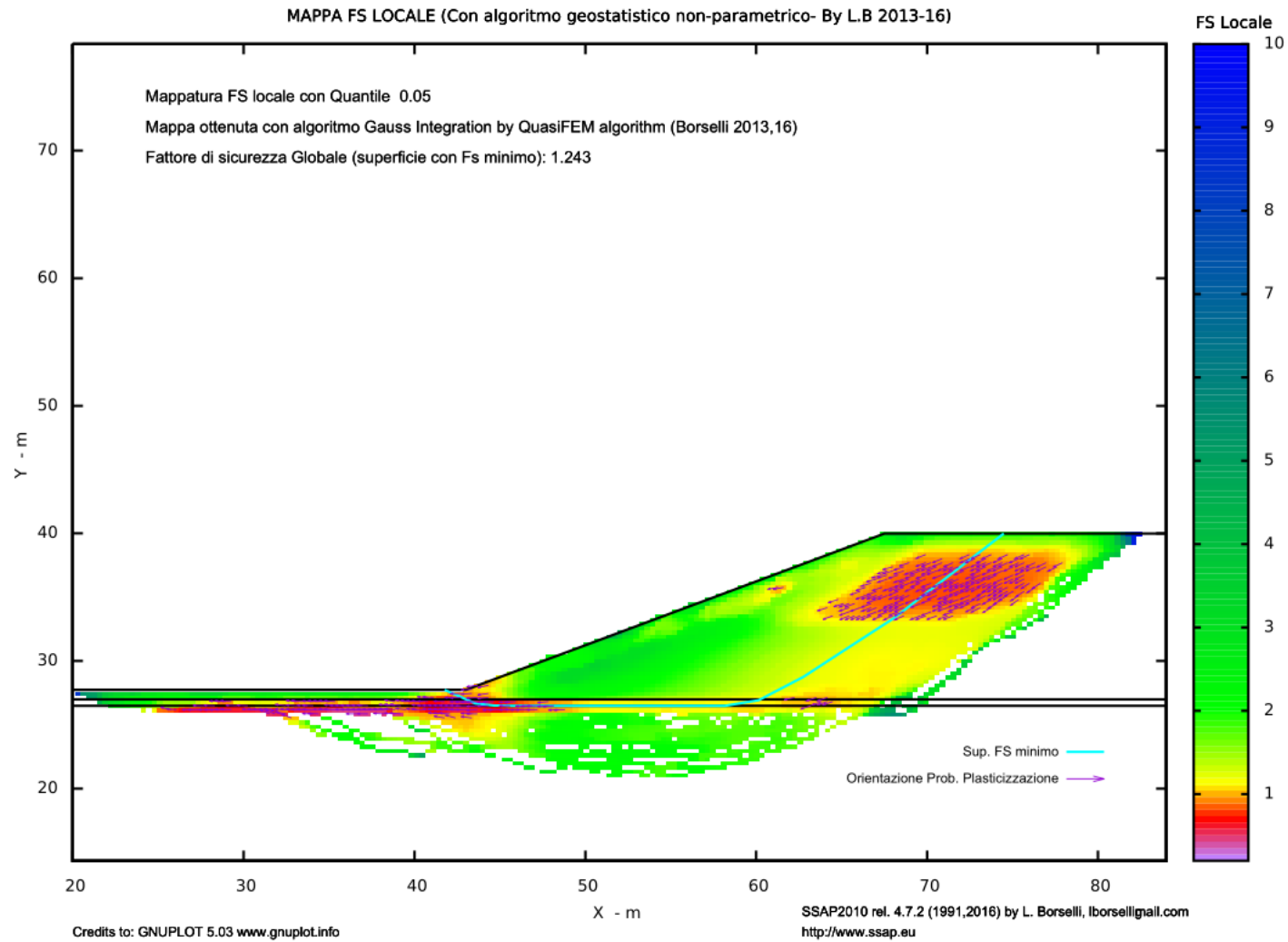


Fig. I.7: Risultato verifica utilizzando motore SNIFF-RANDOM SEARCH con segmenti medi di lunghezza 1m, assenza effetto tension cracks e metodo di calcolo Borselli (2016): mappa del FS locale

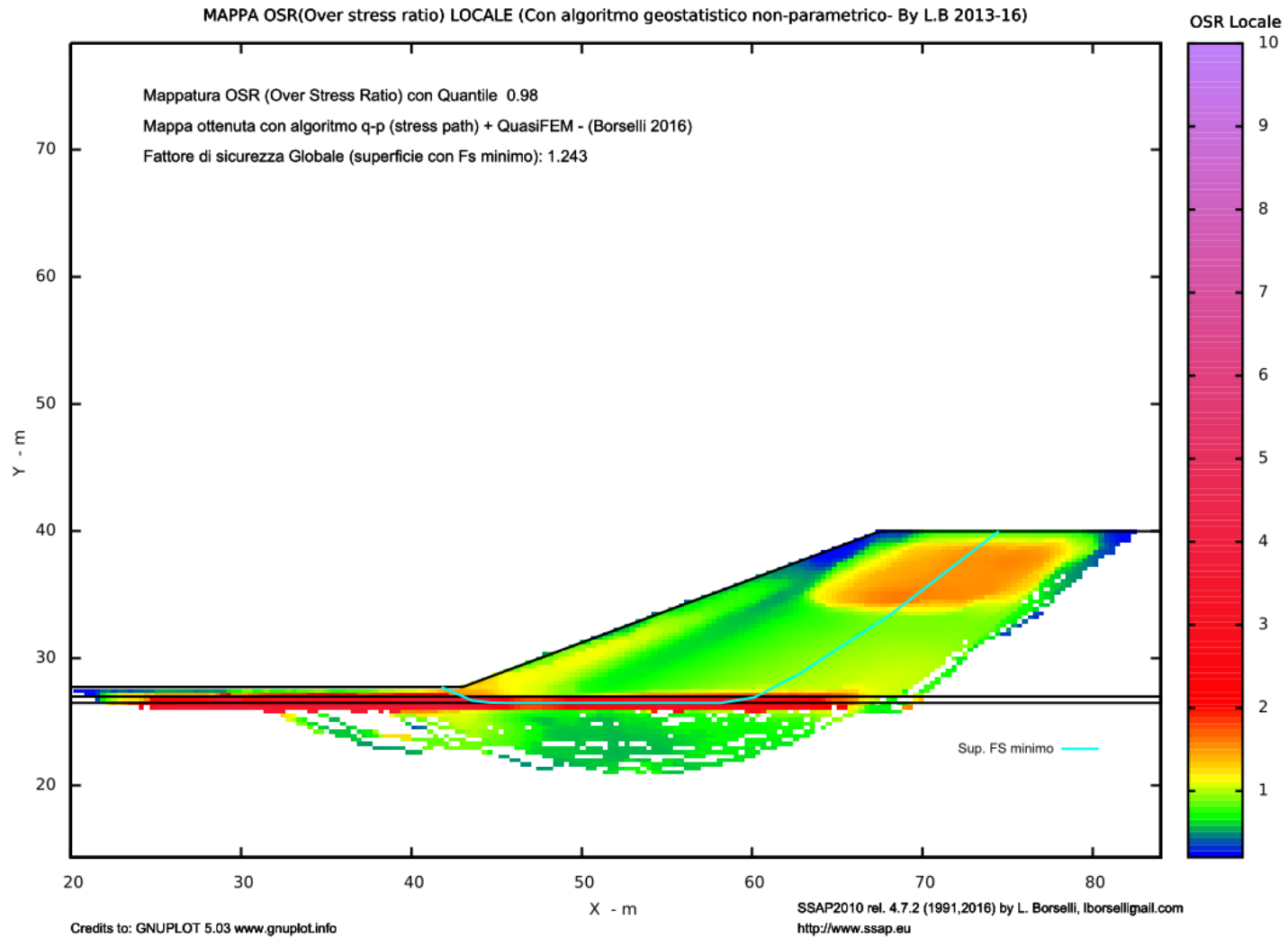


Fig. I.8: Risultato verifica utilizzando motore SNIFF-RANDOM SEARCH con segmenti medi di lunghezza 1m, assenza effetto tension cracks e metodo di calcolo Borselli (2016): mappa del OSR (over stress ratio)

La analisi comparativa dettagliata tra tutti i metodi indicati nella tabella I.1, ha come riferimento la superficie con  $F_s$  minimo indicata nella figura I.6. e come valore di riferimento l' $F_s$  ottenuto con metodo di Spencer (1973), considerato nella letteratura internazionale il miglior compromesso tra semplicità e accuratezza tra i metodi rigorosi. Nella tabella I.2 vengono proposti i risultati in termini di  $F_s$ ,  $\lambda$  e differenza % nel valore di  $F_s$ , rispetto al metodo Spencer.

Dalla analisi comparativa dettagliata presentata nella tabella I.2 si evince come Il nuovo metodo proposto (indicato come Borselli (2016) sia perfettamente sovrapponibile ai metodi del Gruppo I e II e in particolare è rilevante che in tutti i casi abbiamo una differenza molto inferiore al 1% rispetto al metodo Spencer.

## I.5.- CONCLUSIONI

Il nuovo metodo di calcolo rigoroso per le verifiche di stabilità all'equilibrio limite, qui proposto, mostra una eccellente riproducibilità rispetto ai risultati degli altri metodi largamente accettati nella letteratura scientifica internazionale. Il promettente risultato suggerisce che ulteriori studi siano sviluppati aumentando i test comparativi su altri pendii *Benchmark* già noti e utilizzati nella letteratura internazionale. Il nuovo metodo proposto può essere considerato come una evoluzione e generalizzazione dei metodi Morgenstern-Price (1965) e Chen-Morgenstern(1983)

## I.6-BIBLIOGRAFIA

- Chen, Z. Y., & Morgenstern, N. R. (1983). *Extensions to the generalized method of slices for stability analysis*. Canadian Geotechnical Journal, 20(1), 104-119.
- Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil strength and slope stability*. John Wiley & Sons.
- Farias, M. M., & Naylor, D. J. (1998). *Safety analysis using finite elements*. Computers and Geotechnics, 22(2), 165-181.
- Morgenstern, N. R., & Price, V. E. (1965). *The analysis of the stability of general slip surfaces*. Geotechnique, 15(1), 79-93.
- Sarma S.K. (1979). *Stability analysis of embankments and slopes*. Journal of Geotech. Eng. Vol. 105(2):1511-1524.
- Sarma, S. K. (1973). *Stability analysis of embankments and slopes*. Geotechnique, 23(3), 423-433.
- Spencer, E. (1967). *A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces*. Géotechnique, 17(1): 11-26.
- Spencer, E. (1973). *Thrust line criterion in embankment stability analysis*. Geotechnique, 23(1).

## RINGRAZIAMENTI

*Si ringraziano i molti Utenti che con i loro suggerimenti e stimoli e supporto hanno contribuito allo sviluppo del codice SSAP fin dalle sue prime versioni. Ringrazio anticipatamente tutti coloro che vorranno, nel futuro contribuire, con critiche costruttive, suggerimenti e idee. Il risultato sarà l'incremento delle funzionalità e affidabilità di uno strumento già operativo come il software SSAP.*

*Un ringraziamento speciale agli Autori dei seguenti software disponibili in modalità Freeware (libera per tutti gli utenti), che sono attivati e usati da SSAP (nella modalità PORTABLE) per le funzionalità di creazione, visualizzazione di files di dati e grafici:*

<b>Software</b>	<b>Web page</b>	<b>Autore/i</b>
<b>GNU PLOT 5.0.3</b>	<a href="http://www.gnuplot.info">http://www.gnuplot.info</a>	<b>Gnuplot Team</b>
<b>Qcad 3. 12</b>	<a href="http://www.qcad.org">http://www.qcad.org</a>	<b>Qcad.org Team</b>
<b>AkelPad 4.9.7</b>	<a href="http://akelpad.sourceforge.net/en/index.php">http://akelpad.sourceforge.net/en/index.php</a>	<b>Aleksander Shengalts</b>
<b>SumatraPDF3.2</b>	<a href="http://blog.kowalczyk.info/software/sumatrapdf/free-pdf-reader.html">http://blog.kowalczyk.info/software/sumatrapdf/free-pdf-reader.html</a>	<b>Krzysztof Kowalczyk</b>

Lorenzo Borselli

Marzo 2016  
San Luis Potosì, Messico