

# SSAP 2010

*"un passo oltre..."*

**(SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM)**

<http://www.ssap2005.it>



## *Manuale di Riferimento* **Versione 4.0.8 (2012)**

by

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

Gennaio 2012

**\*Ricercatore**

C.N.R – IRPI, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica  
Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino, Firenze, ITALIA

**\*\* Docente di Geotecnica**

Facoltà Di Ingegneria  
Universidad Autonoma de San Luis Potosì.  
San Luis Potosì., Mexico

WEB:

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

E-mails:

[lorenzo.borselli@cnr.it](mailto:lorenzo.borselli@cnr.it)

[lborselli@gmail.com](mailto:lborselli@gmail.com)

## 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 20 anni dall'Autore<sup>1</sup>.*

*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 registrati 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.ssap2005.it>, 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 di 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.***

***E molti Atri...***

L.B.

Dicembre 2011

---

<sup>1</sup> *Nota: Fino al luglio 2011 il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), presso il quale lo scrivente lavora dal 1997 come Ricercatore, non ha mai ufficialmente contribuito a finanziare le ricerche che stanno alla base di questo software. Il software prodotto è da considerarsi un prodotto di ricerca libera dell'autore, che secondo la Costituzione della Repubblica Italiana può essere svolta ( per ora...) in piena libertà da ogni Ricercatore e Cittadino Italiano.*

## **Note sulla versione 4.0.8 di SSAP2010 – Gennaio 2012**

La versione 4.0.8 del Gennaio 2012 contiene, rispetto alla versione 4.0.6 del Luglio 2011 alcune importanti novità:

1. Nuova possibilità di utilizzare un modello di distribuzione della resistenza del tiranti di tipo non lineare, considerando anche la lunghezza variabile della parte libera e di quella cementata del tirante con la possibilità di utilizzare questo nuovo modello anche per micropali inclinati utilizzati in funzione di tirante.
2. Una modifica al formato del file .TIR (dati tiranti) con l'inserimento di un parametro aggiuntivo relativo alla % della lunghezza cementata del tirante;
3. Alcune modifiche nella interfaccia del programmi SSAP e MAKEFILES;
4. Un nuovo sistema di Help Contestuale in linea che permette di posizionarsi automaticamente sulle pagine di questo Manuale;
5. versione aggiornata del Manuale di riferimento con alcune correzioni e integrazioni;

## INDICE

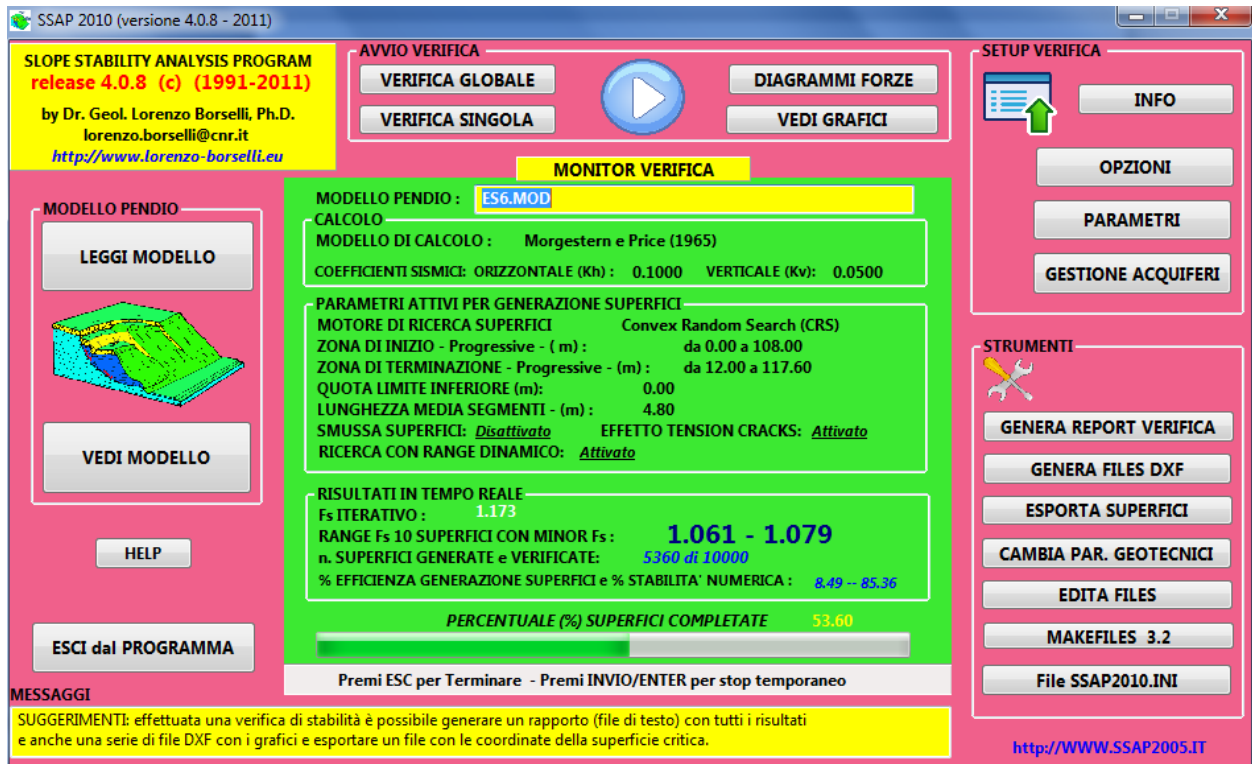
<b>Premessa</b> .....	2
Note sulla versione 4.0.8 di SSAP2010.....	3
<b>CAPITOLO1 - INFORMAZIONI GENERALI SUL PROGRAMMA SSAP</b> .....	8
<b>1.1 INTRODUZIONE</b> .....	8
<b>1.2 CARATTERISTICHE ESSENZIALI DI SSAP 2010 (release 4.0.8 dicembre 2011)</b> ...	9
<b>CAPITOLO 2 - MODELLI di CALCOLO UTILIZZATI</b> .....	13
<b>2.1 INTRODUZIONE</b> .....	13
<b>2.2 GENERALITÀ` SULLE VERIFICHE DI STABILITA`</b> .....	13
<b>2.3 PROCEDURE E METODI DI CALCOLO UTILIZZATI</b> .....	16
2.3.1 - <i>Pendii in falda</i> .....	20
2.3.2 <i>Analisi in presenza di sisma</i> .....	21
<b>2.4 PRESENZA DI SOVRACCARICHI, TIRANTI, OPERE DI SOSTEGNO</b> .....	22
<b>2.4.1 Sovraccarichi</b> .....	22
<b>2.4.2 Opere di sostegno superficiali</b> .....	23
<b>2.4.3 Tiranti</b> .....	24
<b>2.4.4 Geogriglie e Gosintetici e muri in terra meccanicamente rinforzati (MSEW)</b> ...	28
<b>2.4.5 Palificate</b> .....	32
<b>2.5 GENERAZIONE DELLE SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO</b> .....	37
2.5.1 - <i>Random Search</i> .....	39
2.5.2 - <i>Convex Random Search</i> .....	39
2.5.3 - <i>Sniff Random Search</i> .....	40
2.5.4 - <i>Opzione - Range di ricerca dinamico</i> .....	41
2.5.5 - <i>Opzione – effetto tension crack</i> .....	42
2.5.6 - <i>Opzione – smussa superficie di scivolamento</i> .....	42
2.5.7 - <i>Limitazioni nella forma locale delle superfici</i> .....	43
2.5.8 - <i>Lunghezza dei segmenti delle superfici</i> .....	43
<b>2.6 VARIABILITA` LITOLOGICA</b> .....	44
<b>2.7 CALCOLO DI FS</b> .....	45
<b>2.8 PROCEDURA DI ANALISI DEL DEFICIT DI RESISTENZA</b> .....	46
<b>2.9 NOTE SULLA STABILITÀ NUMERICA E PROBLEMI DI CONVERGENZA NEL CALCOLO DI FS</b> .....	47
2.9.1 <b>Distribuzione delle tensioni normali sulla base del concio</b> .....	48
2.9.2 <b>Il fattore RHO in SSAP2010</b> .....	49
2.9.3 <b>Monitoraggio stabilità numerica</b> .....	51
<b>CAPITOLO 3- CONVENZIONI UTILIZZATE NEL PROGRAMMA SSAP</b> .....	53

<b>3.1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2</b>	<b>FILES DATI ED ESTENSIONI AI NOMI DEI FILES.....</b>	<b>53</b>
<b>3.3</b>	<b>RAPPRESENTAZIONE GEOMETRICA MODELLO DEL PENDIO.....</b>	<b>54</b>
3.3.1	Generalità.....	54
3.3.2	Sistema di coordinate cartesiane XY .....	54
3.3.3	Orientazione pendio .....	55
3.3.4	Superfici.....	55
3.3.5	Superfici strati.....	56
3.3.6	Falda .....	58
3.3.7	Sovraccarichi.....	59
3.3.8	Tiranti o ancoraggi .....	59
3.3.9	Geogriglie .....	61
3.3.10	Palificate .....	61
3.3.11	Convenzioni nella numerazione degli strati .....	62
3.3.12	Formato file .DAT .....	63
3.3.13	Formato file .FLD .....	64
3.3.14	Unità di misura .....	64
<b>3.4</b>	<b>RAPPRESENTAZIONE GEOMECCANICA DEL MODELLO DEL PENDIO ....</b>	<b>65</b>
3.4.1	Il formato dei files .GEO .....	65
3.4.1.1	<i>-Criterio di rottura Mohr-Coulomb.....</i>	<i>65</i>
3.4.1.2	<i>-Criterio di rottura Hoek et al. (2002).....</i>	<i>66</i>
3.4.1.3	<i>Combinazione dei criteri di rottura nel file .GEO .....</i>	<i>66</i>
3.4.1.4	<i>Unità di misura nel file .GEO .....</i>	<i>67</i>
3.4.2	Il formato dei files .SVR.....	67
3.4.3	Il formato dei files .TIR.....	67
3.4.4	Il formato dei files .GRD .....	68
3.4.4	Il formato dei files .PIL .....	69
3.4.5	Il formato dei files .MOD .....	69
<b>3.5</b>	<b>FILES DATI PARTICOLARI.....</b>	<b>72</b>
3.5.1	Il formato dei files .SIN .....	72
<b>CAPITOLO 4- CREAZIONE FILES DATI PER SSAP .....</b>		<b>73</b>
<b>4.1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>73</b>
<b>4.2</b>	<b>PROGRAMMA MAKEFILES 3.2 PER LA CREAZIONE DEI FILES DATI.....</b>	<b>73</b>
<b>4.3</b>	<b>TIPI DI FILES DATI .....</b>	<b>78</b>
<b>4.4</b>	<b>CONTROLLO FILES DATI.....</b>	<b>78</b>
<b>4.5</b>	<b>EDITING FILES DATI.....</b>	<b>78</b>
<b>4.6</b>	<b>FILES DATI PARTICOLARI.....</b>	<b>79</b>
4.6.1	<b>- I files *.SIN.....</b>	<b>79</b>

<b>CAPITOLO 5 -DENTRO AL PROGRAMMA SSAP</b> .....	80
<b>5.1 INTRODUZIONE</b> .....	80
<b>5.2STRUMENTI ATTIVABILI DALLA CONSOLE DI COMANDO PRINCIPALE</b> ....	81
<b>MODELLO PENDIO</b> .....	81
<b>HELP</b> .....	81
<b>ESCI PROGRAMMA</b> .....	81
<b>AVVIO VERIFICA</b> .....	82
<b>SETUP VERIFICA</b> .....	85
<b>STRUMENTI</b> .....	96
<b>5.3 SEQUENZA TIPICA DELLE OPERAZIONI CON IL PROGRAMMA SSAP</b> .....	97
<b>CAPITOLO 6 - ESEMPI DI APPLICAZIONE</b> .....	99
<b>6.1 INTRODUZIONE</b> .....	99
<b>6.2 ESEMPI</b> .....	99
<b>6,2.1 Esempio 1</b> .....	99
<b>6.2.2 Esempio 2</b> .....	103
<b>CAPITOLO 7 - OUTPUT GRAFICI E STAMPA</b> .....	109
<b>7.1 Creazione di file DXF</b> .....	109
<b>7.2 Visualizzazione dei grafici durante le varie fasi di lavoro</b> .....	109
<b>CAPITOLO 8 - RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</b> .....	110
<b>8.1 ELENCO DI TESTI A CARATTERE GENERALE</b> .....	110
<b>8.2 ELENCO DI LAVORI A CARATTERE PIU' SPECIALISTICO</b> .....	110
<b>APPENDICE A - CONVERSIONE UNITA' DI MISURA</b> .....	112
<b>FORZA(forza peso)</b> .....	112
<b>PRESSIONE</b> .....	112
<b>PESO DI VOLUME ( o DENSITA' APPARENTE)</b> .....	112
<b>APPENDICE B -ANOMALIE E MESSAGGI di ERRORE</b> .....	113
<b>APPENDICE C -VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA AL TAGLIO DI UNA PALIFICATA SU PENDIO IN FRANA.</b> .....	115
<b>APPENDICE D - APPLICAZIONE DEL CRITERIO DI ROTTURA Hoek Et Al. (2002) NEL CODICE SSAP</b> .....	117
<b>D.1 Introduzione</b> .....	117
<b>D.2 Descrizione del criterio di rottura per la determinazione dei parametri <math>\phi'</math> e <math>c'</math> equivalenti</b> .....	119
<b>D.2.1 Stima del parametro <math>m_i</math></b> .....	122
<b>D.2.2 Stima del parametro GSI</b> .....	122
<b>D.3 Resistenza al taglio di riempimenti di superfici strutturali</b> .....	125
<b>D. 4 Esempio di applicazione del criterio di Hoek et al. (2002)</b> .....	127
<b>D.5 Riferimenti Citati</b> .....	128

<b>APPENDICE E - GESTIONE ACQUIFERI E FLUIDI</b> .....	129
<b>E.1 Introduzione</b> .....	129
<b>E.2 Funzionalità modulo per la gestione degli acquiferi</b> .....	130
<b>E.3 Falde sospese e temporanee</b> .....	131
<b>E.4 Acquiferi confinati</b> .....	132
<b>E.5 Fluidi in pressione</b> .....	133
<b>E.5 Pendii sommersi</b> .....	135
<b>E.6 Uso e Avvertenze</b> .....	136
<b>APPENDICE F - ESEMPIO DI REPORT PRODOTTO DAL PROGRAMMA</b> .....	137
<b>APPENDICE G - NOTE SU INSTALLAZIONE E CONFIGURAZIONE del SOFTWARE</b> .....	149
G.1. CONFIGURAZIONI MINIME HARDWARE E SOFTWARE.....	149
G.2.INSTALLAZIONE .....	149
G.3. OPERAZIONI DI CONFIGURAZIONE (successive alla installazione necessaria per utilizzo di programmi esterni) .....	149
G.4. Descrizione del file SSAP2010.INI.....	150
<b>G.4.1 Browser da utilizzare per visualizzare le pagine HTML del sistema di aiuto         contestuale:</b> .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>G.4.2. Programma di editazione e visualizzazione files di testo (Editor).</b> .....	151
<b>G.4.3 Programmi per la visualizzazione dei files DXF e Visualizzazione di grafici prodotti         dal programma SSAP2010.</b> .....	151
<b>G.4.4 Un Esempio di file SSAP2010.INI</b> .....	152
G.5. NOTE AGGIUNTIVE SULLA CONFIGURAZIONE DI SSAP2010 IN AMBIENTI WINDOWS XP e Vista, WIN 7 .....	153
<b>5.1- MODIFICA LOCALIZZAZIONE ITALIANA PER WINDOWS XP, WIN7</b> .....	153
<b>G.5.1.1 PER WINDOWS XP</b> .....	153
<b>G.5.1.2 PER WINDOWS7</b> .....	155
<b>G.5.2-UBICAZIONE DELLE DIRECTORIES DI INSTALLAZIONE DI SSAP2010,         DEI PROGRAMMI DI VISUALIZZAZIONE GRAFICI ED EDITING, E DELLE         AREE DATI DOVE RISIEDONO I FILES CON IL MODELLO DEL PENDIO</b> .....	157

## 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 almeno due 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 da attività di ricerca svolta nella ricerca di algoritmi che consentono di ottenere una ottimale modellizzazione della configurazione geomeccanica e litostratigrafica dei pendii in terreni sciolti. Infatti, una volta che sia stata realizzata una corretta caratterizzazione geolitologica della scarpata, è necessario, per valutare correttamente il grado di stabilità, anche tenere di conto delle eventuali disomogeneità nella massa del pendio soprattutto nei casi di marcata variabilità delle caratteristiche del terreno.

Le disomogeneità presenti sono generalmente costituite da strati e lenti di materiali aventi diverse caratteristiche geomeccaniche, livelli di falda variabili, topografie irregolari, elementi stabilizzanti (muri, palificate, geogriglie, geosintetici ecc.). Ogni codice di calcolo per la verifica di stabilità dei pendii deve agire contemporaneamente in diverse direzioni per assicurare operazioni di verifica affidabili e capaci di tenere conto di tutti i possibili elementi di discontinuità.



Da un punto di vista geologico tutti gli elementi di discontinuità costituiscono parte caratterizzante di ogni pendio e come tali non possono venire 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 di tempi di calcolo, gli elementi di discontinuità rilevati vengono trascurati o semplificati eccessivamente, con conseguenze sulla attendibilità finale del processo di verifica.

In quest'ottica il codice **SSAP** è stato sviluppato mirando ai seguenti obiettivi:

1. Possibilità di rappresentare adeguatamente tutte le discontinuità presenti nei pendii naturali;
2. Evitare tutte le eccessive assunzioni semplificative sopra stratigrafia, profilo della falda, superfici di scorrimento di forma regolare (circolare, spirale log. ecc.);
3. Seguire gli attuali standard di lavoro e normativi nelle verifiche di stabilità nei pendii in terreni sciolti e ammassi rocciosi fratturati;
4. Tempi di calcolo realistici anche per elaboratori anche di medie capacità;
5. Facilità di uso e interfaccia amichevole, con console a pulsanti, uso del Mouse e un sistema di aiuto contestuale.

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 SSAP 2010 (release 4.0.8 dicembre 2011 )**

**SSAP2010 è il risultato di lungo lavoro di sviluppo iniziato ben 20 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 la diretta evoluzione del codice SSAP2006 , culminata con **la release definitiva SSAP2006 dell'agosto 2007 (versione 3.0.1 e, i successivi aggiornamenti alle versioni 3.03 e 3.04).** La versione 4.0 (SSAP2010) e la release attuale 4.0.8, **costituisce un grande salto di qualità rispetto alle versioni precedenti .**

**Infatti SSAP2010 è un software FREeware, cioè distribuito gratuitamente via web (<http://WWW.SSAP2005.IT>).** 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 una unica versione completa del software SSAP2010 ed è quella disponibile gratuitamente e scaricabile dal sito ufficiale. La ri-distribuzione non è consentita. Il software SSAP20010 non è un software commerciale. La sua distribuzione è senza fini di lucro. Tuttavia anche se SSAP2010 è un software freeware , esso non è un software OPEN-SOURCE. Infatti il codice sorgente rimane nella esclusiva disponibilità del solo autore.**

La continua evoluzione del programma è stata guidata dall'obiettivo di realizzare uno strumento professionale con un elevato livello tecnico e di una facile accessibilità a una fascia la

*più ampia possibile di utenti. Il continuo lavoro di sviluppo, test e verifica degli algoritmi fondamentali e originali che costituiscono il cuore del programma .*

**SSAP2010** è caratterizzato da un codice che permette un funzionamento ottimizzato per spazio e velocità in ambiente Windows XP/ VISTA/Windows 7 e da una interfaccia grafica intuitiva e di semplice utilizzo completamente nuova .

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

**SSAP2010** è caratterizzato dalla presenza di 6 metodi di calcolo rigorosi che operano nell'ambito della metodologia della verifica della stabilità dei pendii mediante il metodo dell'equilibrio limite.

Gli algoritmi base di calcolo, rispetto alle versioni precedenti, sono stati ricodificati interamente utilizzando la notazione unificata di che deriva dall'algoritmo proposto da Zhu et al (2005) per il solo metodo di Morgenstern & Price (1965). In questa versione il metodo di ZHU et al. (2005) è stato ampliato e ulteriormente sviluppato per permettere la applicazione nei più importanti metodi Rigorosi per applicazione del metodo dell'equilibrio limite:

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

La completa ricodifica dei metodi di calcolo è stata eseguita per aggiornare le procedure di verifica a standard più elevato in termini di rigore, affidabilità e interattività con l'utente.

Questi 6 metodi di calcolo rigorosi (3 nuovi metodi aggiuntivi sono presenti nella versione 4.0) 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 delle caratteristiche originali come i 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" (introdotto nella versione 2.8.4) , tutti sviluppati in modo originale dall'autore. Gli algoritmi alla base della ricerca delle superfici sono stati costantemente testati e ottimizzati nel passaggio da SSAP2000 a SSAP 2003, SSAP2004 e SSAP2006, **SSAP2010**. Alcune novità introdotte in questa versione permettono un notevole risparmio di tempo all'utente e una maggiore affidabilità dei risultati dell'analisi numerica condotta.

Il motore di ricerca "sniff random search", esclusiva del programma SSAP, sviluppato a partire dalla versione 2.6, 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. 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, e fornisce risultati paragonabili, e in qualche caso migliori, ai più sofisticati e potenti metodi esistenti, come quelli di minimizzazione multidimensionale, nella ricerca delle superfici critiche. Questo algoritmo originale è stato ulteriormente aggiornato e potenziato nella versione 4.0.8

includendo anche gli strati definiti come ammassi rocciosi (criterio di rottura Hoek..)

**Le altre caratteristiche principali della versione SSAP2010 sono:**

- Interfaccia Windows XP/vista/windows 7 compresi i programmi di utilità **MAKEFILES** e **INIUPDATE**
- Completa verifica di superfici di scivolamento singole definite dall'utente; e calcolo del coefficiente sismico critico (secondo il metodo proposto da sarma(1973) ma applicato anche a gli altri metodi di calcolo (Janbu, spencer...ecc).
- Possibilità di salvare su file i dati della superficie critica con minor FS (su files con estensione .SIN);
- Effettuazione di una analisi particolareggiata che comprende: **il calcolo del Coefficiente Sismico Critico**, come proposto da Sarma (1973), e 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).
- Possibilità di **combinare in uno stesso pendio** sia strati, o lenti, caratterizzati come **terreni sciolti**, sia strati, o lenti, caratterizzati come **ammassi rocciosi fratturati** usando il criterio di rottura di Hoek.(presente dalla versione 2.9.1)
- Possibilità **caratterizzare geomeccanicamente gli ammassi rocciosi fratturati** mediante il **criterio di rottura di Hoek et al. (2002)**, e eseguire verifiche di stabilità allo scivolamento in pendii costituiti, del tutto o in parte, da ammassi rocciosi fratturati.)
- 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).**
- 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.
- **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 Moor-Coulomb o Hoek .**
- Utilizzo delle **strategie computazionali proposte da Zhu et al (2003) per eliminare i problemi di convergenza notoriamente esistenti nel metodo di calcolo di Janbu(1973)\_e in altri metodi.** Questi algoritmi sono stati ulteriormente sviluppati in modo originale, migliorati, testati e resi più affidabili in **SSAP2010**
- **Controllo e correzione automatica dei più comuni errori** che sono a volte presenti nei files di input.
- Considerevole **ottimizzazione degli algoritmi** che stanno alla base dei **motori di ricerca delle superfici.**
- modulo per creare 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.. ecc.);
- La semplificazione dell'**ambiente di lavoro interattivo** e di alcune procedure.
- La **visualizzazione grafica interattiva mediante strumenti CAD** attivabili con un click del mouse.

• *E inoltre ... **Il modulo di gestione degli acquiferi:***

**Una delle più nuove e importanti caratteristiche di SSAP2010** (già sperimentata e sviluppata fino alla nella 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**;*
- ***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 vaso rapido in un bacino artificiale**;*

Le novità introdotte nell **modulo di gestione degli acquiferi**<sup>1</sup> permettono 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;
- comunque il non utilizzo delle nuove funzionalità non altera in alcun modo la risposta, in termini di stabilità, attesa dalle tecniche classiche di verifica.

**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.***

<sup>1</sup> N.B: si consigliano gli utenti che desiderino utilizzare il **modulo di gestione degli acquiferi** di leggere attentamente l'appendice di questo manuale, che ne descrive in dettaglio gli aspetti tecnici e fornisce tutte le avvertenze necessarie.

## CAPITOLO 2 - MODELLI di CALCOLO UTILIZZATI

Opzioni Generali per Verifiche di Stabilità SSAP 4.0.8

Coefficiente sismico orizzontale - Kh

Fs di Progetto richiesto (analisi deficit)

**METODO DI CALCOLO**

- JANBU RIGOROSO - (1973)
- SPENCER - (1973)
- SARMA I - (1973)
- MORGESTERN PRICE - (1965)
- CORREIA - (1988)
- SARMA II - (1979)

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

**CONTROLLO STABILITA' NUMERICA**

% Tolleranza stress normali negativi

0.0 25 50

% Tolleranza RHO=|Fs/Fv| > FS

0.0 50 100

Reimposta Valori Standard

**MOTORE GENERAZIONE E RICERCA SUPERFICI**

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

RANDOM...  
00100101001  
01010010101  
00010101001  
10110101000

**SOLO PER MOTORE SNIFF RANDOM SEARCH**

Steps di scansione

Frequenza di attivazione

**FILTRAGGIO SUPERFICI**

- FILTRARE
- NON FILTRARE

**PRESENZA DI OSTACOLO**

- CON OSTACOLO INTERNO
- SENZA OSTACOLO INTERNO

**RANGE DINAMICO RICERCA SUPERFICI**

- DISATTIVATO
- ATTIVATO

**TIRANTI - ANCORAGGI**

- PASSIVI
- ATTIVI

Distribuzione resistenza

- Rettangolare
- Trapezoidale

**PALIFICATE - Metodo calcolo**

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

**PALIFICATE fattore riduttivo NTC2008**

Fattore di riduzione (Variare da 1 a 10)

**SMUSSA SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO**

- EFFETTO ATTIVATO
- EFFETTO DISATTIVATO

**TENSION CRACKS TESTA PENDIO**

- EFFETTO DISATTIVATO
- EFFETTO ATTIVATO

**FORZE AGGIUNTIVE PER SUPERFICIE SINGOLA**

Forza Ea (alfa Base) - kN/m

Forza Eb (in Testa) - kN/m

OK Annulla

### 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 gruppo sono elencati lavori a carattere più specialistico.

### 2.2 GENERALITÀ SULLLE 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  $F_s$  impiegati si basano sulle tecniche di verifica dette *LIMIT EQUILIBRIUM METHOD* (che di seguito indicheremo sempre come **LEM**), (Duncan 1996; Krahn 2003).

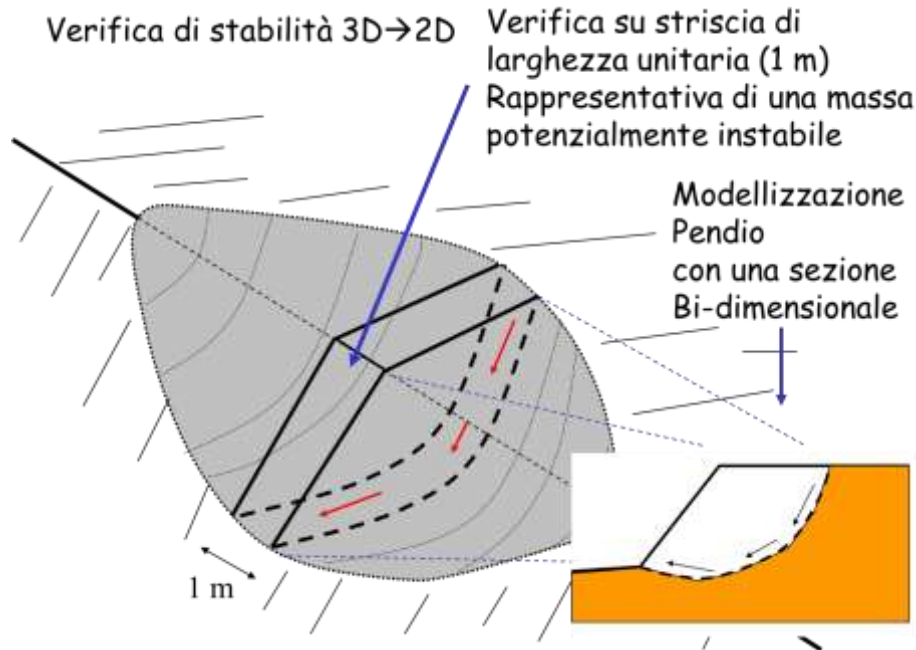


Fig. 2.1

Nei metodi LEM il calcolo di  $F_s$  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  $F_s$  come:

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

Usando ad esempio il criterio di rottura *Mohr-Coulomb*:  $F_s$  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. È 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.

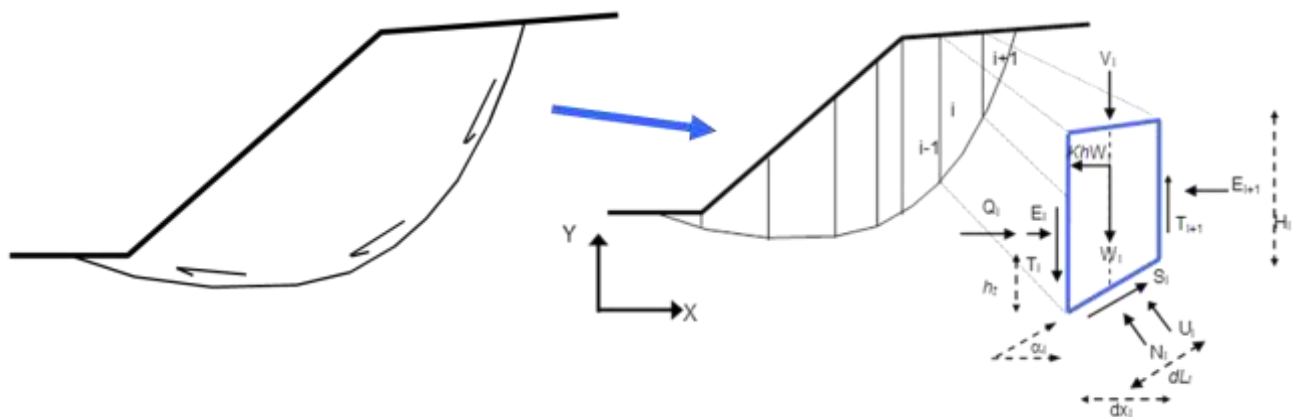


Fig. 2.2

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 concio vengono valutate

singolarmente le forze agenti e resistenti. L'insieme delle forze agenti sul concio singolo è presentato in figura 2.2 . Queste forze sono **W**=Peso del concio, **S**=Forza di taglio mobilitata sulla base del concio, **N**=Forza peso normale alla base del concio, **U**=Forza esercitata dal carico idraulico agente sulla base, **T**=Forza verticale interconcio, **E**=Forza orizzontale interconcio .

**F<sub>s</sub>** può essere determinato mediante gruppi di equazioni per l'equilibrio dei corpi rigidi, ovvero: deve essere Equilibrio alla traslazione nelle direzioni verticali e orizzontali ed 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 **F<sub>s</sub>**. 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 **F<sub>s</sub>** 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 **F<sub>s</sub>** verranno illustrate con maggior dettaglio nella sezione seguente.

### **2.3 PROCEDURE E METODI DI CALCOLO UTILIZZATI**

Nella versione 4.0 di SSAP e successivi aggiornamenti si è implementato un nuovo kernel di calcolo del fattore **F<sub>s</sub>** 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 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. Ovvero 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.



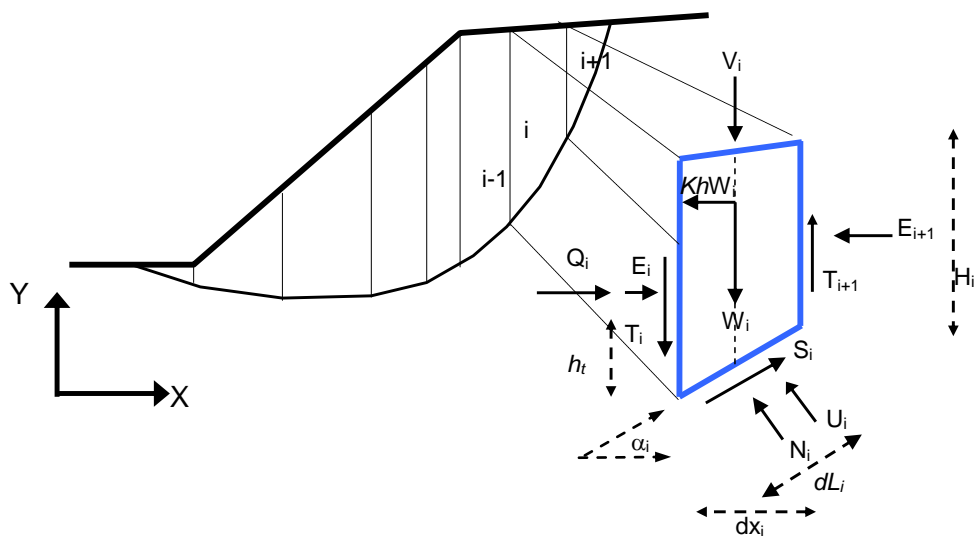


fig. 2.3

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 concio

$H$  = altezza verticale concio

$h_t$  = altezza punto di applicazione forze interconco

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

$\phi'$  = ang. 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 tangenziali 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 assunti per eliminare alcune incognite nel sistema di equazioni che permette di ottenere  $\mathbf{Fs}$ . Tale sistema di due equazioni non lineari (eq. 2.4) è piuttosto complesso e deve essere risolto sempre in modo iterativo, risultando le incognite ( $\mathbf{Fs}$  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  $\mathbf{Fs}$  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  $F_s$  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  $F_s$  e  $\lambda$  calcolati da in iterazioni successive diventa minore di un certo valore assunto (generalmente 0.001). L'algoritmo proposta da Zhu et al. (2005) è illustrato nella figura 2.4.

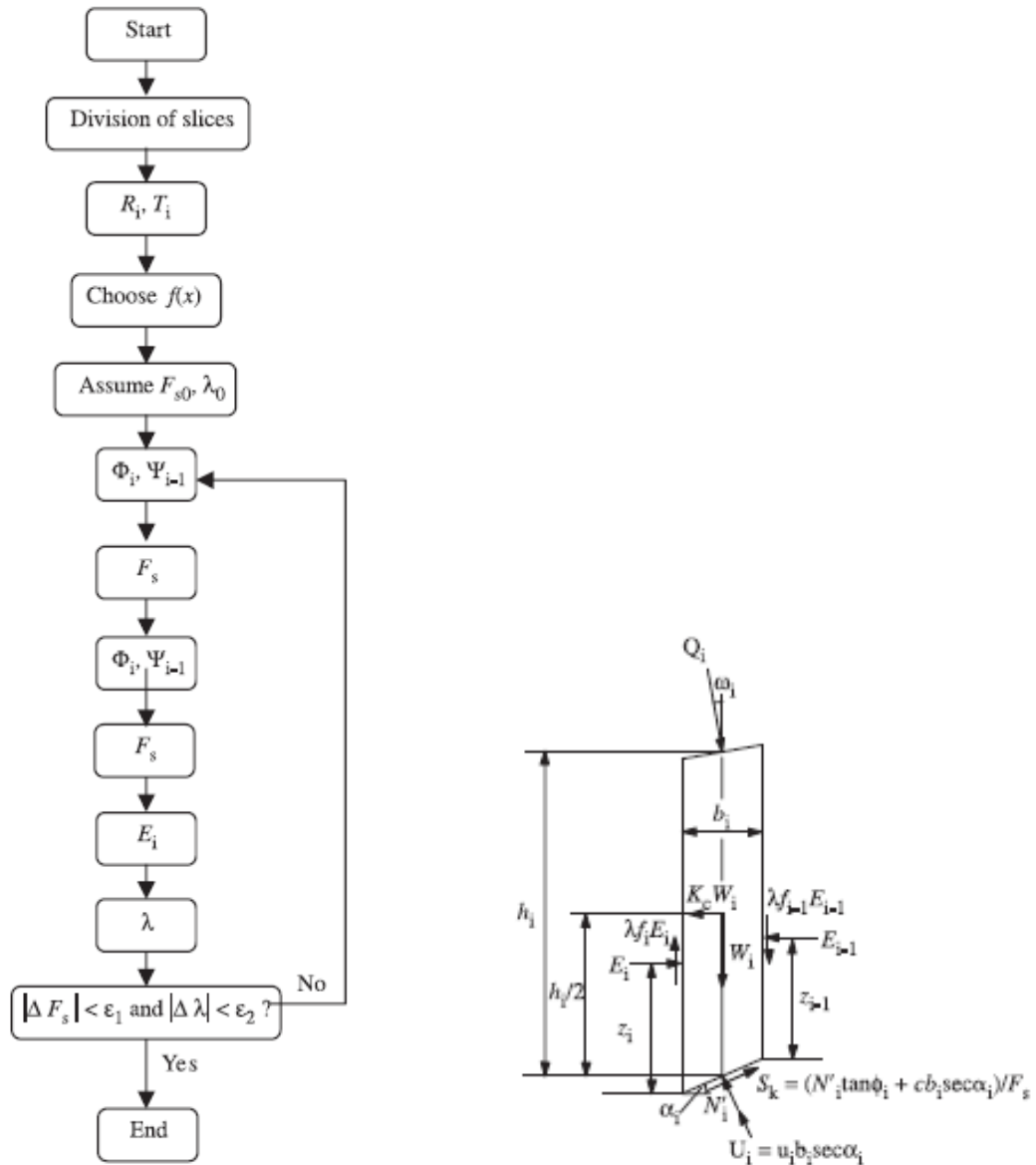


Fig. 2.4

Nell'eq. 2.4,  $F_s$  esprime il rapporto tra forze resistenti e agenti nei confronti del 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  $F_s$ , 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 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  $E(x)$ .

Con la versione 4.0 nel programma SSAP viene utilizzata l'algoritmo iterativo di calcolo di  $F_s$  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  $F_s$  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 affrontate un 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  $\lambda$  e di  $E(x)$ .

Nel **gruppo II** (Sarma II, Morgestern & Price, Correia ) invece  $T(x)$  è sempre espressione sia di  $\lambda$  che di  $f(x)$  e di  $E(x)$ . Un caso particolare è il metodo Correia del gruppo II dove  $\lambda$  non è adimensionale come negli altri casi ma ha la dimensione di una forza distribuita secondo  $f(x)$ .

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 ne di  $\lambda$  ne di  $f(x)$  perché nella sua formulazione originale è garantita 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

<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)	$T(x) = \lambda E(x)$
I	Sarma I (1973)	$T(x) = \lambda \left[ \bar{c}' H(x) + \left( E(x) - P_w(x) \right) \tan \bar{\phi}' \right]$
II	Morgestern & Price (1965)	$T(x) = \lambda f(x) E(x)$
II	Correia (1988)	$T(x) = \lambda f(x)$
II	Sarma II (1979)	$T(x) = \lambda f(x) \left[ \bar{c}' H(x) + \left( E(x) - P_w(x) \right) \tan \bar{\phi}' \right]$
III	Janbu Rigoroso (1973)	$T(x) = E(x) \tan \alpha_t + h_t \frac{dE(x)}{dx} + \dots$

### 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,  $r_{u_j}$  che viene determinato, nel caso generico di un concio costituito da strati di materiali diversi (fig. 2.5):

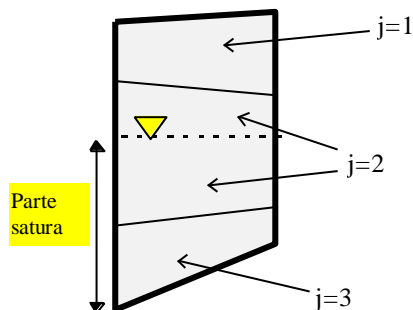


fig. 2.5

$$r_{u_i} = \frac{V_w \gamma_w}{\sum_j V_j \gamma_j} \tag{2.5}$$

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):

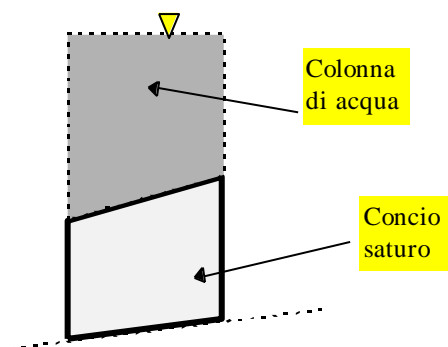


Fig. 2.6

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

dove:

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

### 2.3.2 Analisi in presenza di sisma

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 posizione morfologica 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

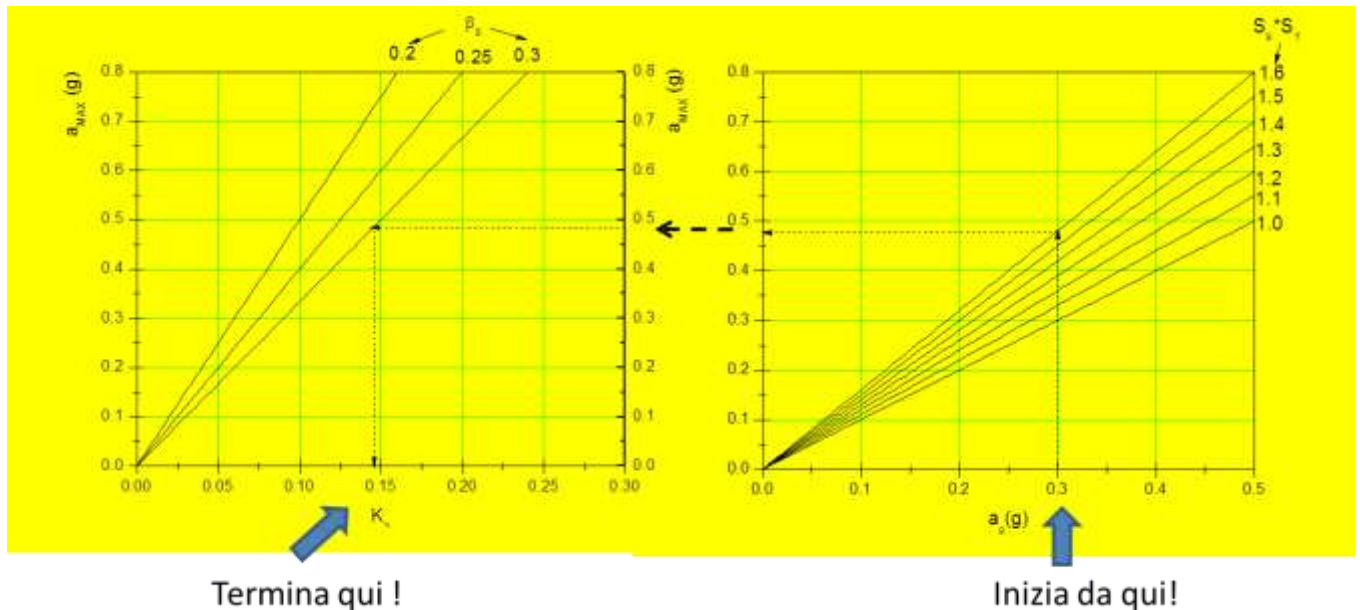


Fig. 2.7

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:

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

L'applicazione del coefficiente sismico, rispetto alle condizioni statiche, riduce il valore del fattore di sicurezza relativo alle condizioni per l'analisi statica.

## 2.4 PRESENZA DI SOVRACCARICHI, TIRANTI, OPERE DI SOSTEGNO.

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.

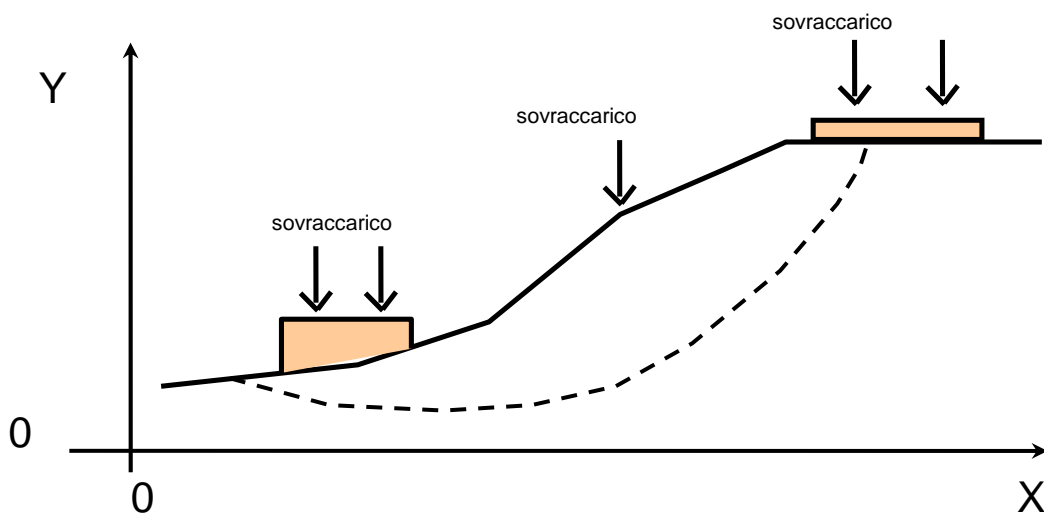


fig. 2.8

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).

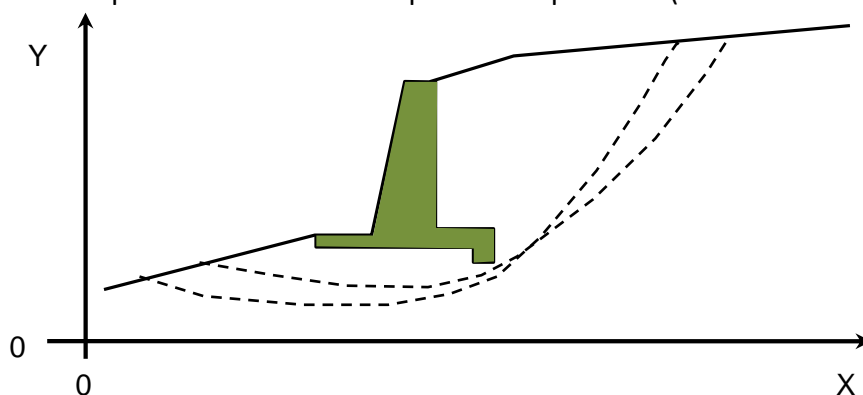


Fig. 2.9a

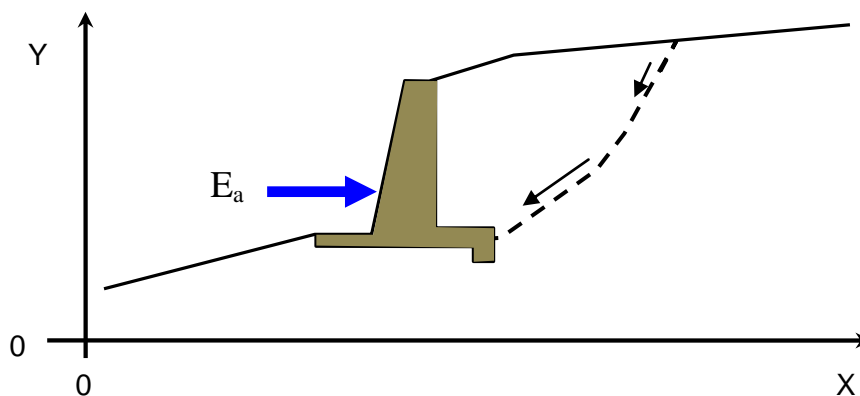


Fig. 2.9b

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).



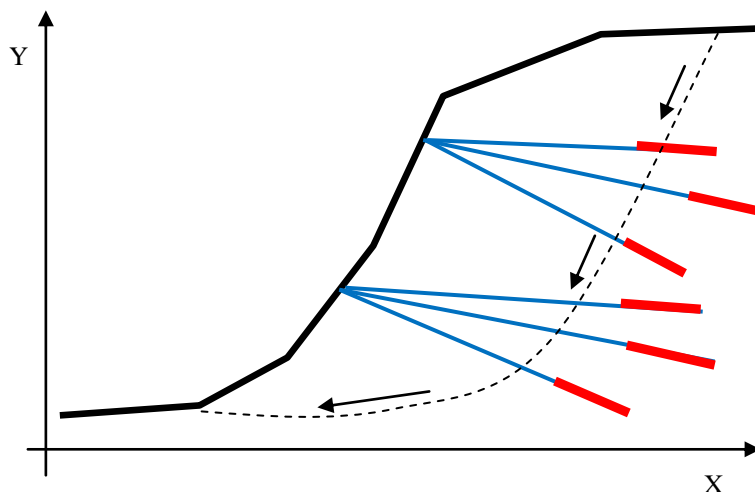


Fig. 2.10

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).

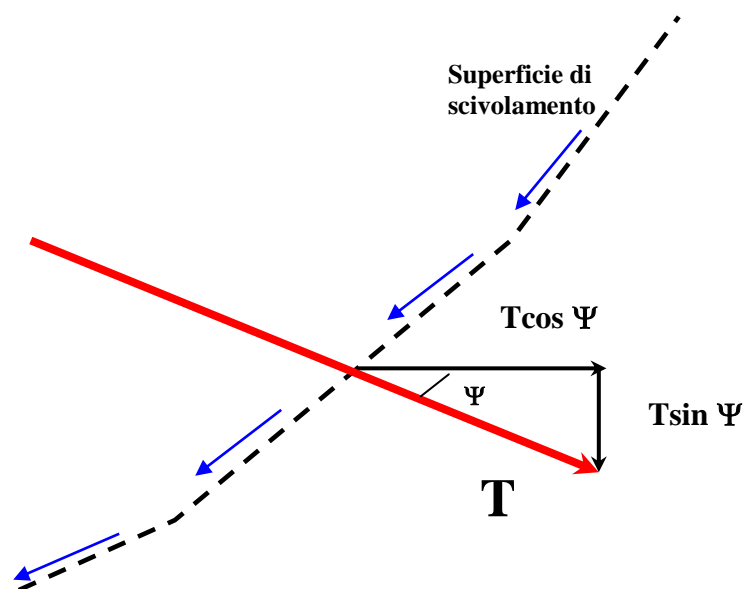


fig. 2.11

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  $F_s$  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 Fs 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 Fs NEGATIVI la relative superficie non verranno mai visualizzate e si otterrà un basso valore di convergenza nel calcolo di Fs.*

Nel caso di un **TIRANTE PASSIVO**  $F_s$  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 risultanti 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.**

#### *Distribuzione delle forze resistenti*

Nella Versione 4.08 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 di un tirante è illustrato nella figura 2.12°. la lunghezza totale del tirante è ripartita in una porzione libera e in una porzione cementata. La forza resistente massima **Tmax** (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 nella zona cementata.

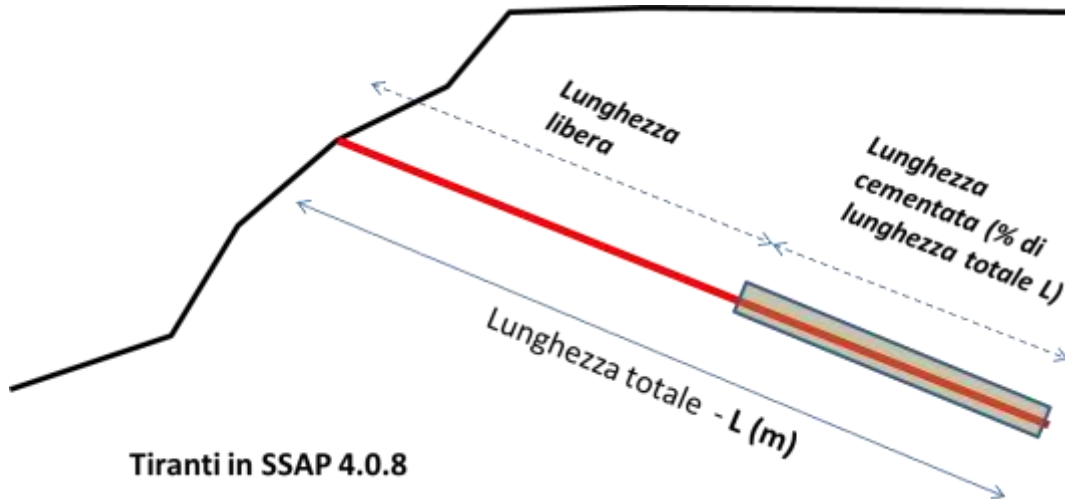


Figura 2.12°

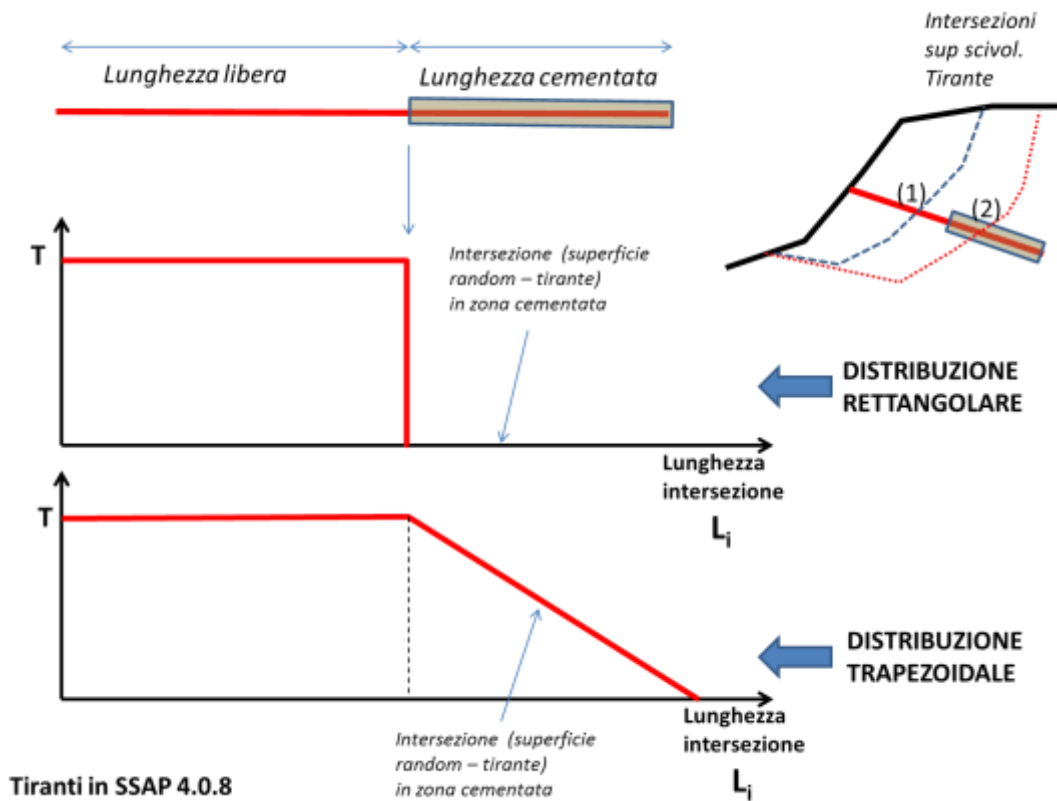


Figura 2.12b

In SSAP 4.0.8 è possibile scegliere il tipo di distribuzione da utilizzare: la classica (rettangolare) o la nuova (trapezoidale) selezionandola tra le opzioni base per i tiranti (vedasi

capitolo 5). Nella versione 4.0.8 è stato inserito un nuovo parametro addizionale: 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 in SSAP 4.0.8 si veda il capitolo 3 di questo manuale.

#### 2.4.4 Geogriglie e Gosintetici 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, 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 (1997). A tale scopo esistono codici di calcolo e programmi specifici che aiutano in questa fase della progettazione come il programma GRID sviluppato dallo stesso autore del codice SSAP.

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.

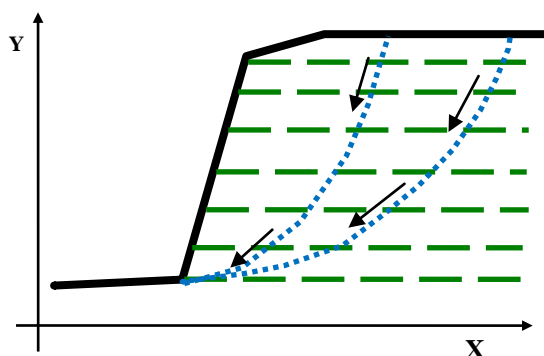


Fig. 2.13

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 sua componenti orizzontale e verticale, rispetto all'angolo *teta* compreso tra la superfici di scivolamento e la geogriglia (fig. 2.14).

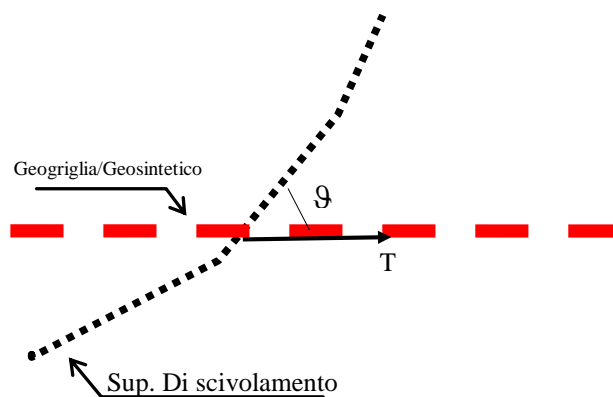


Fig. 2.14

Ciascuna delle geogriglie ha una resistenza a trazione complessiva di progetto  $T$  è 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).

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 (1997):

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

dove:

$f_b$  = coefficiente di interazione suolo/geogriglia-geosintetico; variabile, a seconda di 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 dell'ancoraggio a destra della superficie di scivolamento

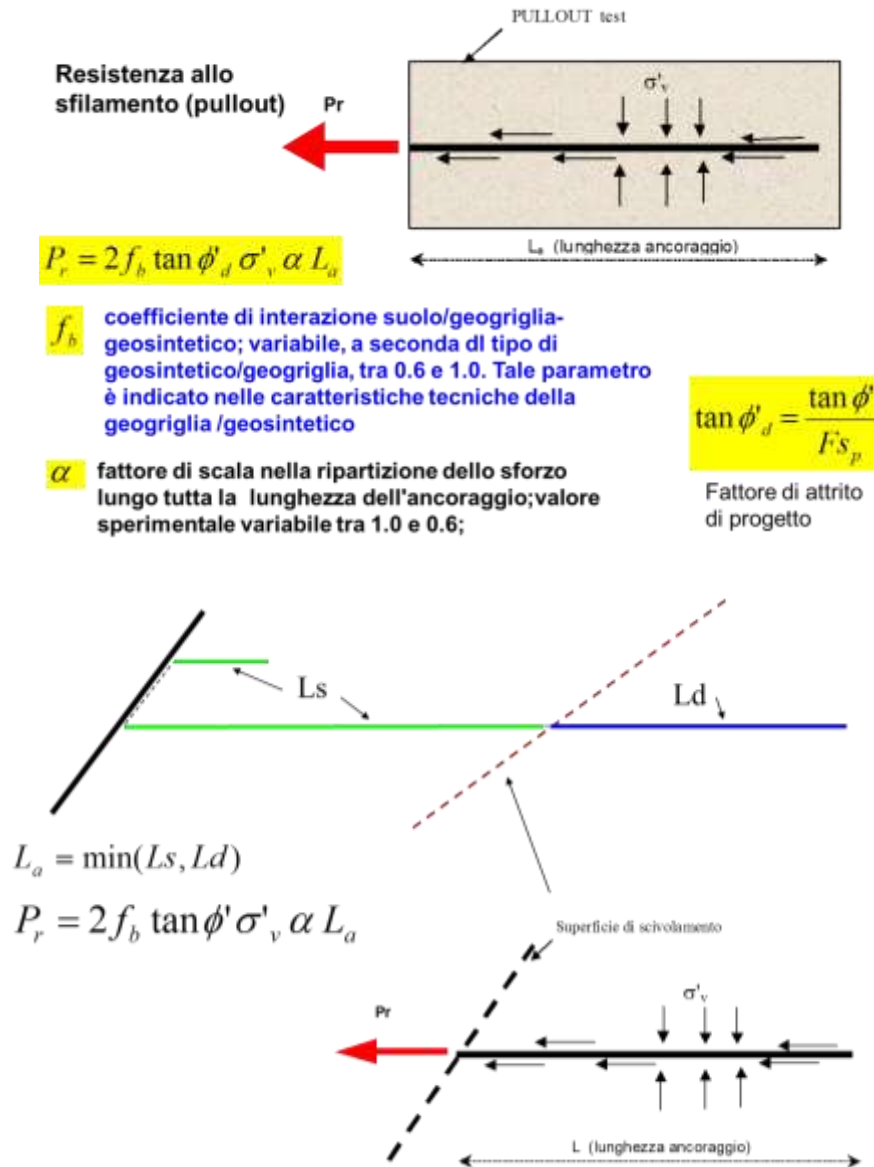


Fig. 2.15

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:

$$L_a = \min(L_s, L_d) \quad (2.13)$$

dove

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

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

Nel caso del valore di  $L_s$  la sua lunghezza minima è pari alla lunghezza del risvolto  $L_w$ , ove questo sia presente 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, **F<sub>s</sub>** 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 equivalente a un tirante passivo orizzontale (Greenwood 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 un 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 a tergo rinforzati con ancoraggi costituiti da geogriglie 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 ultimo 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 manuale SSAP).

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  $P_f$ ) 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.

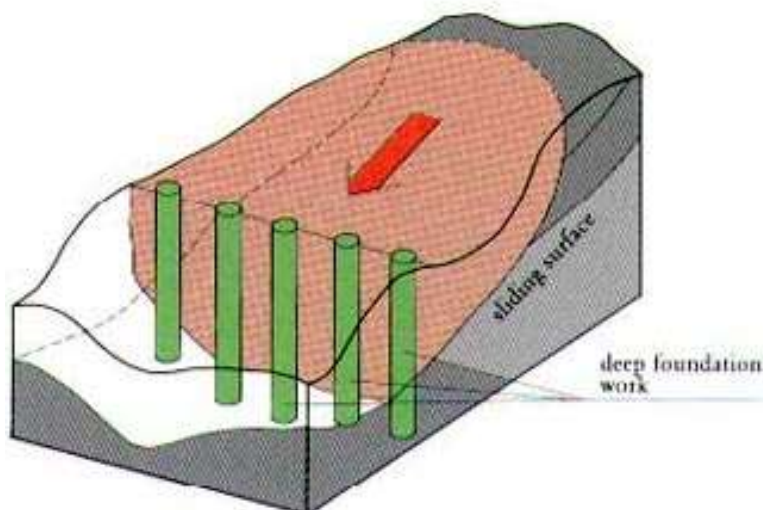


Fig. 2.16

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 interessanti spunti 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 su **Fs**. Tale analisi si basa sulla valutazione in successione di:

1. spinta massima a cui la palificata viene sottoposta per effetto del terreno che si deforma plasticamente all'intorno dei pali.
2. Uso della forza di spinta massima così determinata come forza resistente aggiunta che la palificata è in grado di mobilitare.
3. Calcolo di un nuovo fattore di sicurezza **Fs** che tenga conto di questo effetto aggiuntivo.
4. Nel caso che **Fs** risulti adeguato si effettua successivamente una analisi strutturale alle differenze finite della deformata del palo, dei momenti flettenti e della forza di taglio in funzione della profondità dalla superficie. Questa analisi strutturale (distinta dalla analisi all'equilibrio limite) permette di verificare se tali grandezze sono compatibili con le caratteristiche strutturali dell'opera. In caso contrario l'analisi ai punti 1 2 e 3 viene ripetuta con caratteristiche geometriche della palificata diverse.

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 precedente.
- 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 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).

La forza di reazione massima mobilitata offerta dalla palificata viene calcolata con la metodologia adottata da Ito e Matsui(1981) e successivamente modificata parzialmente da Hassiotis et al. (1997) e da Kumar et Hall (2006) .

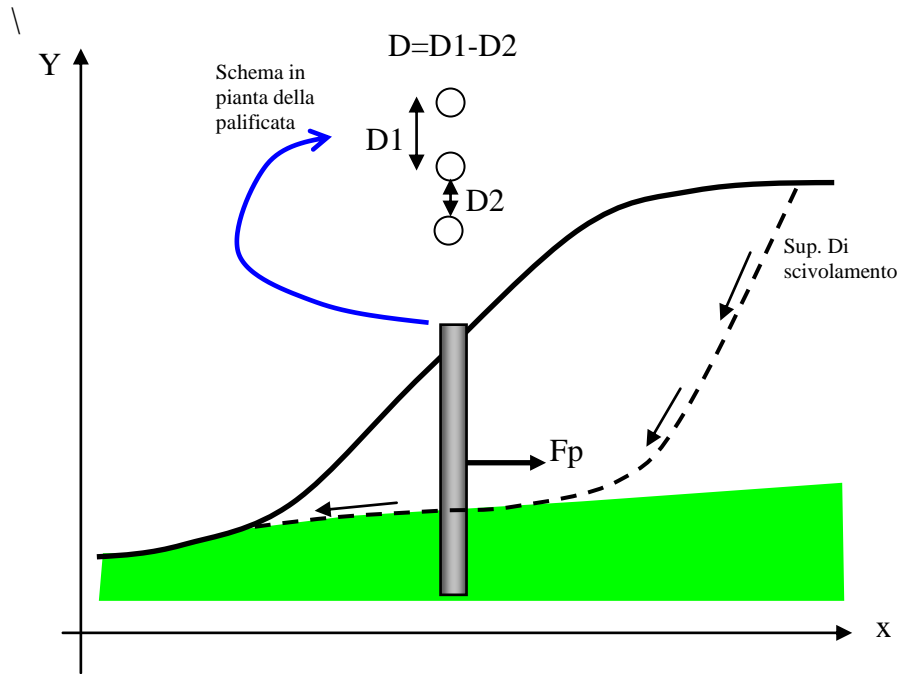


Fig. 2.17

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

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

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)

$\phi$  = angolo di attrito interno medio calcolato fino alla profondità  $z$

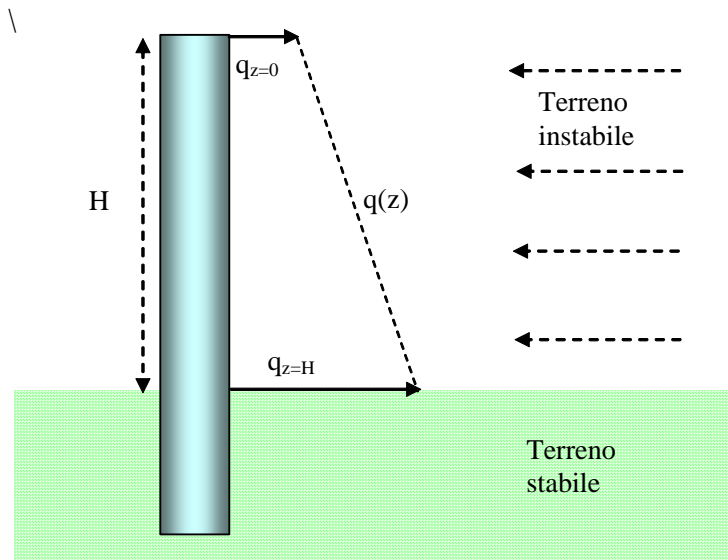


Figura 2.18

La funzione  $q(z)$  ha una distribuzione 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 di spinta totale agente  $F_p$  (kN/m) fino alla superficie di scorrimento, che localmente è profonda  $H$  (fig. 2.18), la eq. (2.16a) deve essere integrata da 0 a  $H$  e successivamente divisa per l'interasse della palificata  $D_1$ :

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

**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. 2.19).

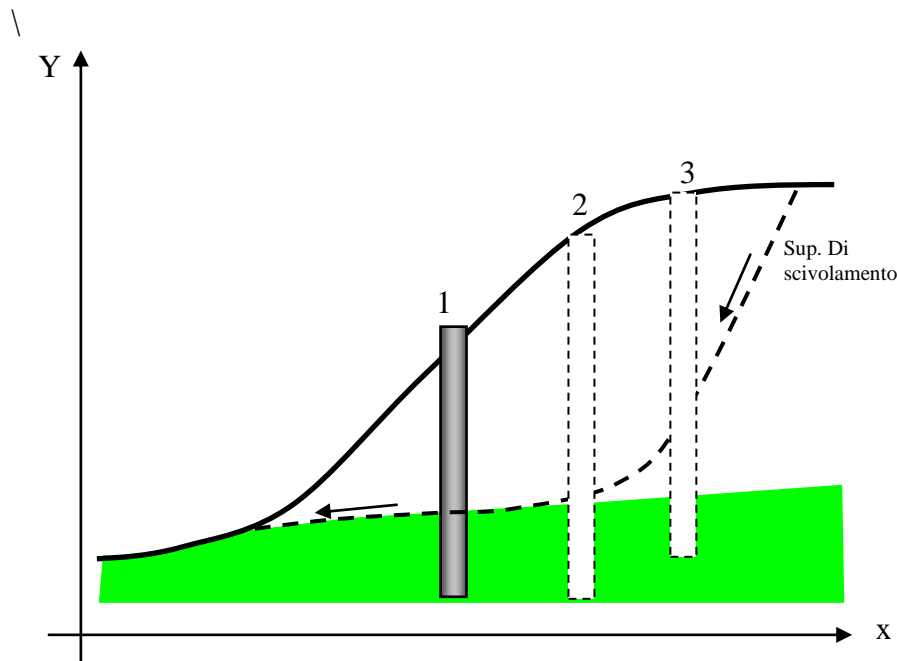


Fig. 2.19

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

$$F_{p_{mob}} = \frac{F_p}{F_s} \quad (2.18)$$

L'uso della eq.2.18 permette di inserire il calcolo di  $F_p$  direttamente nel processo iterativo del calcolo di  $F_s$  e di scarlo dello stesso livello di mobilitazione delle altre forze resistenti nel pendio.

Alla fine forza calcolata con la eq. 2.18 è aggiunta al sistema delle forze resistenti per il calcolo di  $F_s$

Con questo metodo possono essere inserite diverse file di pali, supponendo che non vi sia interazione tra essi, e valutare l'incremento complessivo di  $F_s$  per il pendio.

É tuttavia importante ricordare che:

1. **Nel caso di palificate di lunghezza insufficiente alcune superfici profonde possono ugualmente rendere instabile un pendio.**
2. **La superficie critica trovata per un pendio senza pali di sostegno può non esserlo più in presenza di una palificata.**
3. **Esistono vari criteri di progettazione che suggeriscono le caratteristiche geometriche limite per palificate, paratie di pali e file di fondazioni a Pozzo, oltre il quale gli interventi risultano non economicamente convenienti o comunque sconsigliati.**
4. **E' necessario sempre accoppiare la analisi mediante l'equilibrio limite fino qui descritta con un analisi strutturale, per verificare che gli sforzi mobilitati dalla palificata per incrementare il valore compelsivo di  $F_s$  non mettano in crisi la struttura.**

**È importante considerare che ogni palificata dovrebbe venire inserita nel pendio anche come un elemento resistente al taglio, con forma e geometria propria come un qualsiasi strato o lente. A proposito si veda sia il capitolo 3 di questo manuale, sia l'appendice C, dove è presentato un metodo, suggerito dall'autore, per valutare la resistenza al taglio media di una palificata.**

## 2.5 **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 (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 deve essere assunto preferenzialmente superfici di forma composita in modo da poter verificare anche possibili contatti e zone che non possono essere controllate con corne più semplici, dato il grado di libertà limitato dal vincolo della circolarità.

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 esistono..

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

Per il programma SSAP è stata adottata fino 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. 2.20) 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.

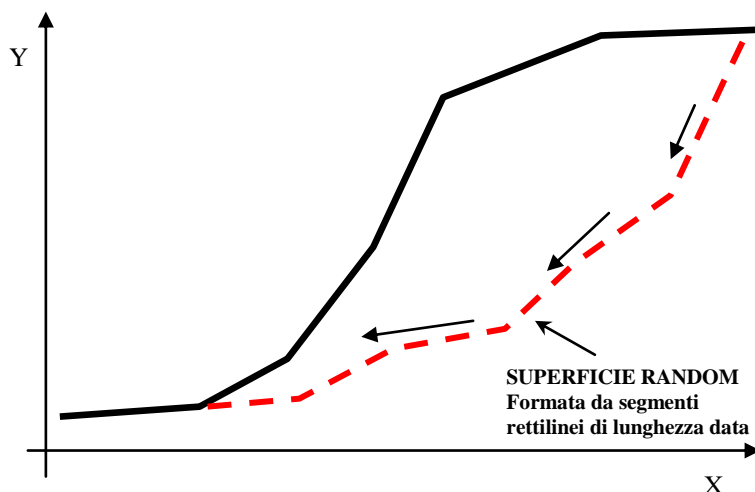


Fig. 2.20

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** (Borselli, 1997- Borselli 2010) SSAP 4.0)

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 soatanziale novità in SSAP 4.0 :

- **Smussatore superfici di scivolamento** (Borselli 2010)
- **Effetto tension crack in testa** (Borselli 2010)
- **Range di ricerca dinamico** (Borselli 2002)

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 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 di seguito descritti con maggior dettaglio.

### 2.5.1 -Random Search

Questa tecnica è la più generale ed è quindi utilizzabile in tutti i casi. È il motore di ricerca più veloce ma che in, alcuni casi, identifica con maggiori difficoltà le superfici con minor  $F_s$ . Il metodo è sicuramente ormai 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-convexe approssimato da segmenti rettilinei della lunghezza prefissata dall'utente o impostata automaticamente del programma (fig. 2.21). 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.

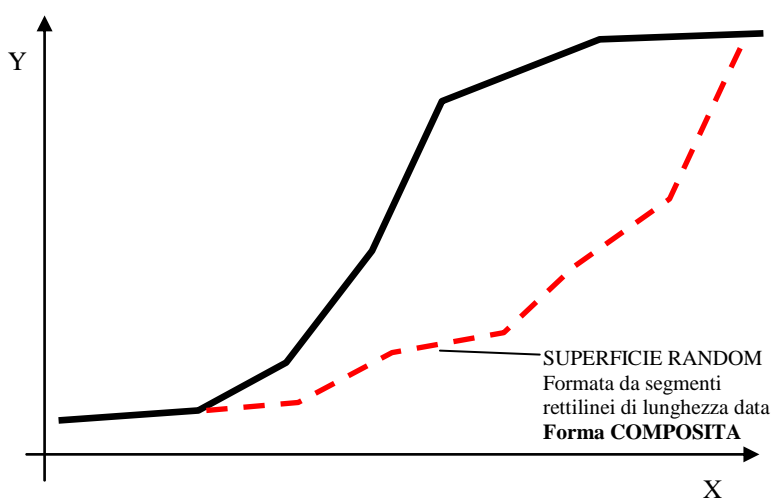


fig. 2.21

### 2.5.2 -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 2.22).

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.

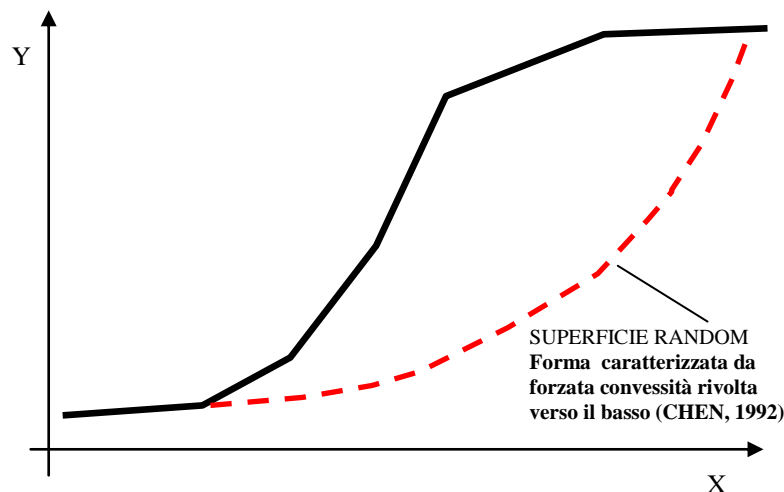


fig. 2.22

### 2.5.3 - Sniff Random Search

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

Il metodo si basa sulla **strategia che tende a massimizzare, durante la generazione di superfici random, il passaggio negli strati che hanno le caratteristiche di resistenza più scadenti.**

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 "*parziale Know-How geomeccanico*".

Nell'esempio in Fig. 2.23 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 estremamente positivi dimostrando 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.



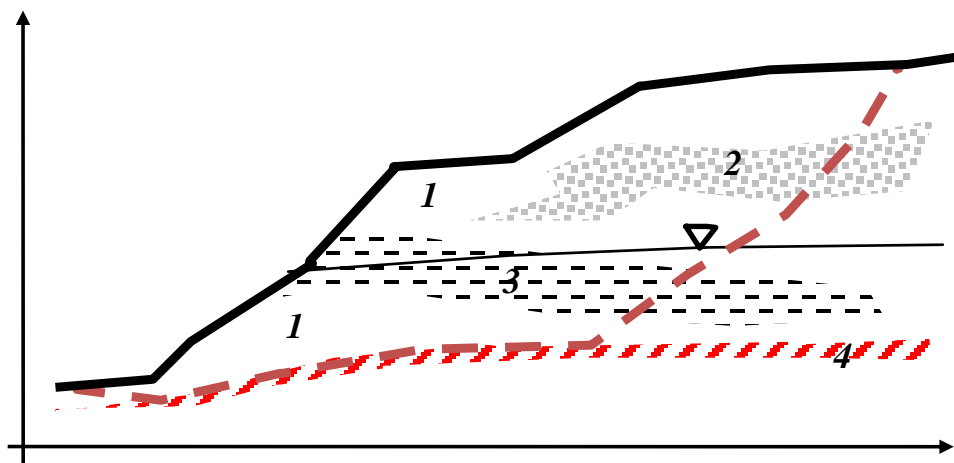


Fig.2.23

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 un numero minore di tentativi. Alcune superfici particolari possono essere individuate in pratica 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  $F_s$ , utilizzati attualmente solo nell'ambito della Ricerca.

**Nella Versione 4.0.6 (luglio 2011) era stata 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 pienamente implementata a partire dalla versione 4.0.8 consente un ulteriore generalizzazione e potenziamento dell'algoritmo che si applica ora con entrambi i criteri di rottura e quindi per suoli e ammassi rocciosi fratturati.**

Indicazioni più dettagliate sull'algoritmo verranno date al capitolo 5 del manuale.

#### 2.5.4 -Opzione - Range di ricerca dinamico

**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.

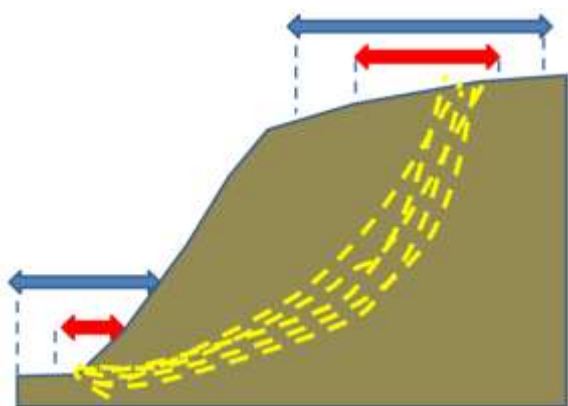


fig. 2.24

Quando l'opzione del **range di ricerca 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. 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 scelta dell'utente nella finestra OPZIONI.

#### 2.5.5 -Opzione – effetto tension crack

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

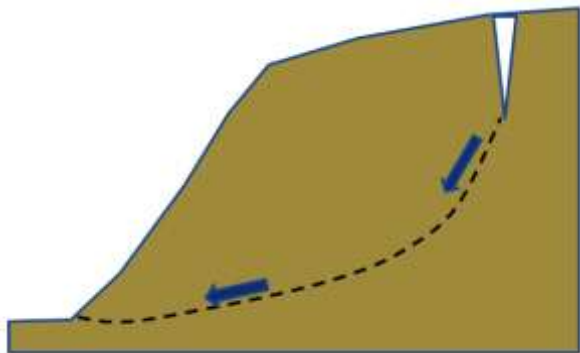


fig. 2.25

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 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

#### 2.5.6 -Opzione – smussa superficie di scivolamento

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

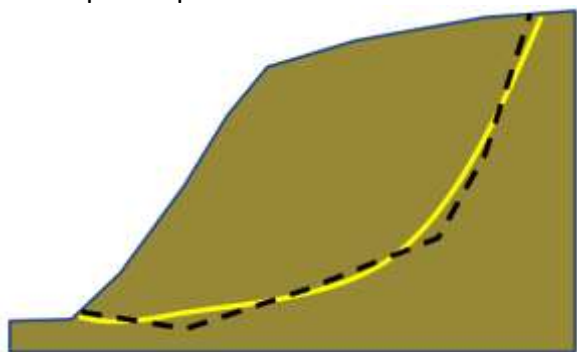


fig. 2.26

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 talvolta irrealistico. Anche se questi

tipi di superfici non sono scartabili a priori, sono comunque meno probabili. Per questo motivo applicando la opzione di smussatura (per default questa opzione 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.

#### 2.5.7 - 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. 2.27).

In pratica ogni inclinazione della superficie di scivolamento deve essere compresa tra i due valori limite indicati nella fig. 2.27. 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  $F_s < 0$  !! **Nella versione SSAP 2010 il controllo viene fatto automaticamente senza necessità di intervento dell'utente.** Questo aspetto innovativo ha incrementato la affidabilità dei risultati e ha liberato l'utente dalla responsabilità (e perdita di tempo) di dover indicare i valori degli angoli limite, prefissati per tutto il pendio

#### 2.5.8 - 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 preimpostato in automatico dal programma ma tale valore potrà essere modificato in seguito in successive verifiche.

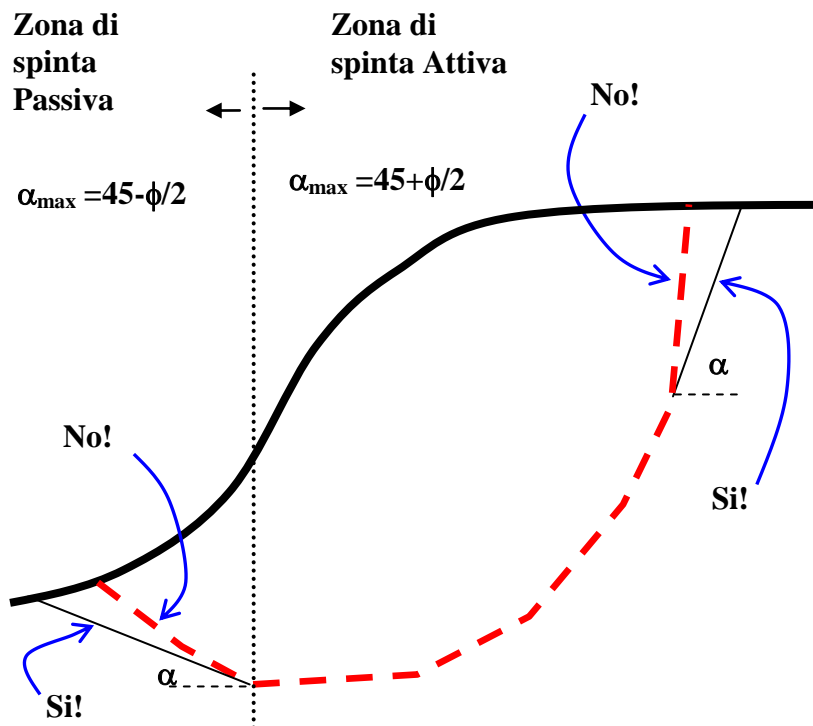


Fig. 2.27

**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 1/15 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: segmenti più corti = più tempo di calcolo.

## 2.6 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 o elementi stabilizzanti (includendo tra questi anche muri, palificate..) 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** , già descritto in precedenza, che **consente di effettuare verifiche nelle condizioni più gravose che sfuggono ai metodi di ricerca usuali.**

## **2.7 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 utilizzate.***

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 **Fs**.

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 **Fs**.

Dopo aver effettuato la ricerca delle 10 superfici con minor Fs è possibile salvare su file a superficie con il minor Fs in assoluto e effettuare alcune analisi aggiuntive che comprendono :

- calcolo del **Coefficiente Sismico Critico** per il quale **FS=1.0**
- 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.

## 2.8 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 un fattore di sicurezza pari a 1.1 .

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)

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:

$$Bilancio = F_{resistente} - F_{SP}F_{agente} \quad (2.19)$$

dove:

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

**$F_{resistente}$**  è la forza totale resistente (kN/m) calcolata per la superficie di scivolamento considerata;

**$F_{agente}$**  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 2.28).

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.

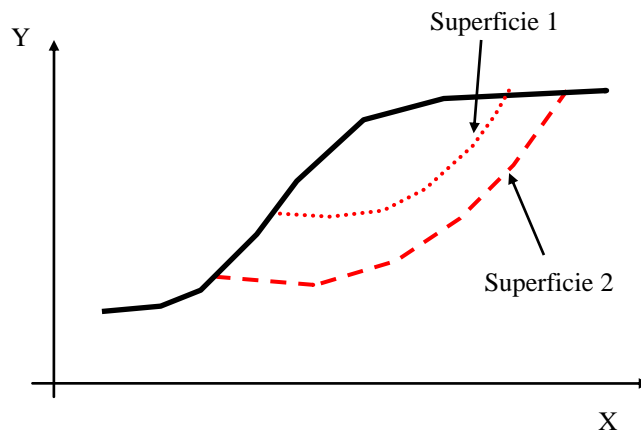


Fig. 2.28

Nell'esempio in figura 2.28 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.

## **2.9 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 precisi i standard dei metodi rigorosi anzi descritti implementati e sviluppati e affinati nel corso della sua storia di sviluppo.

Uno dei punti cruciali è come abbiamo anzi descritto la generazione di superficie 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 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.

Nell versione di SSAP2010 si è cercato, nelle nuove versioni degli algoritmi di calcolo, di tenere conto il più possibile di questi problemi e contemporaneamente di sviluppare delle metodologie per controllarli e per ridurre l'impatto.

Verranno di seguito descritte, tra le tante implementate direttamente in SSAP, le due più importanti ovvero i problemi indotti dalla la distribuzione delle pressioni normali sulla base dei

conci 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 2.29), con degli strumenti messi a disposizione nella interfaccia (figura 2.30) 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).

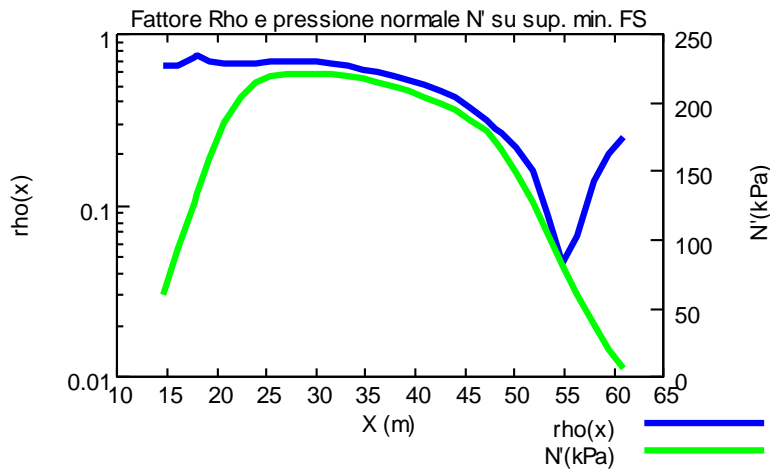


fig. 2.29

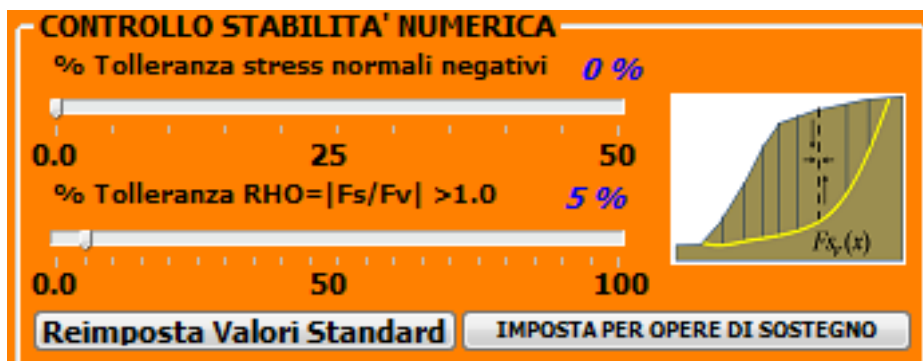


fig. 2.30

### 2.9.1 Distribuzione delle tensioni normali sulla base del conco

Assumendo una potenziale superficie di scorrimento entro un pendio (figura 2.31, 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 conchi 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.



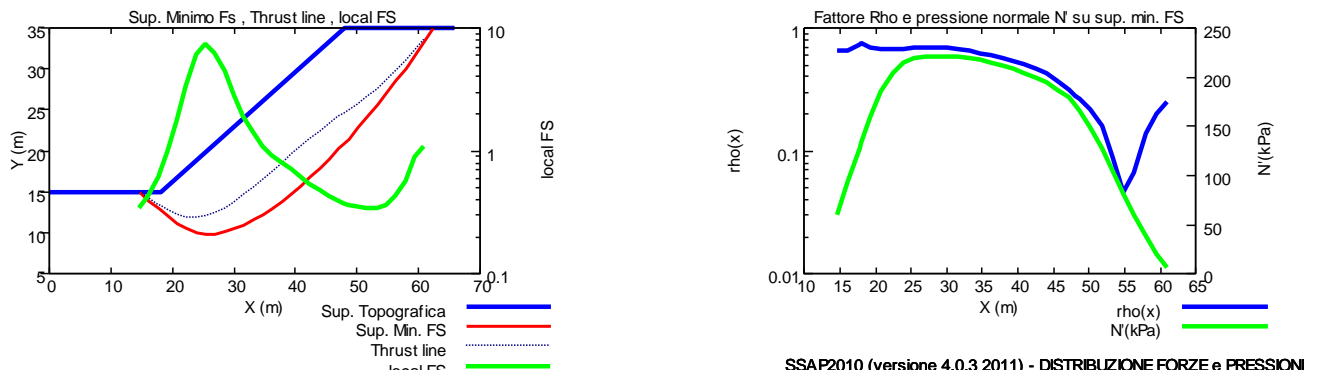


Figura 2.31

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) . Mentre la causa 1 è 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. 2.30 la barra di scorrimento nella finestra Opzioni ). tuttavia in alcuni casi di superficie di scivolamento molto superficiali (corticali) e in falda, è possibile imporre condizioni più rilassate e ad esempio permettere una tolleranza limite al 20 -25%. 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 Fs completo affidabile).

### 2.9.2 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 2.32).

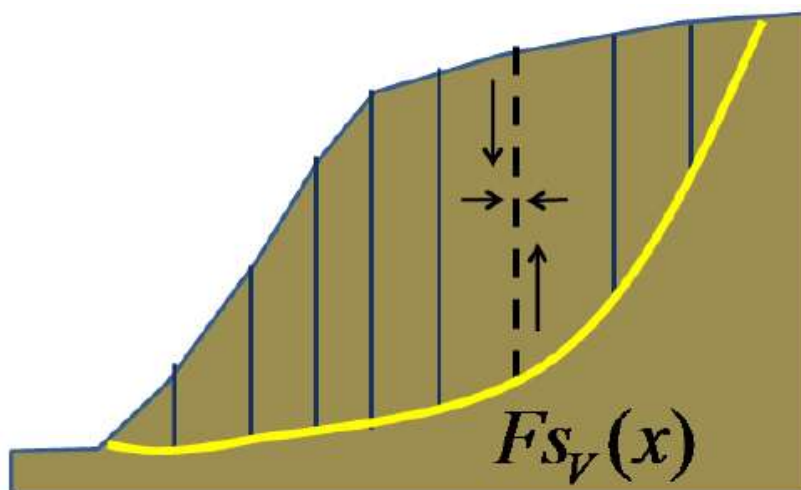


Figura 2.32

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  $FS_v(x)$  inferiore al valore di  $F_s$  globale calcolato sulla superficie di scivolamento che testiamo. Secondo i vari autori una condizione locale di  $FS_v(x) < F_s$  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.

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

$$RHO(x) = \left| \frac{F_s}{FS_v(x)} \right| \quad (2.20)$$

$RHO$  può quindi essere plottato in funzione delle  $X$  (progressive). Vedasi la figura 2.28 che è il riquadro in basso a destra dei diagrammi delle forze e pressioni ricavato da SSAP per la superficie con  $F_s$  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 originali.

In particolare Sarma et Tan (2006) indicano la importanza che debba essere sempre verificato che  $FS_v(x) > 1.0$  in corrispondenza di ogni verticale interconcio. 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:

$$RHO(x) = \left| \frac{F_s}{FS_v(x)} \right| < \psi \quad (2.21a)$$

Dove :

$$\psi = Fs \quad \text{per } Fs > 1.0 \quad (2.21 \text{ b})$$

$$\psi = 1.0 \quad \text{per } Fs \leq 1.0 \quad (2.21 \text{ c})$$

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

Normalmente sono preinpostati da SSAP valori di soglia ammissibili per  $RHO>\psi$  fino al 5%-10% del volume scivolante. Tuttavia dopo ogni verifica è bene controllare nei grafici come in figura 2.29, i valori di  $\rho(x)$  relativi alla superficie individuata con FS minimo. Nell'esempio in figura 2.29 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 2.29.

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  $Fs \ll 1.0$ , 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 interconcorrenti verticali, date le condizioni di estrema instabilità e collasso del pendio.

### 2.9.3 Monitoraggio stabilità numerica

Durante le Verifiche è possibile visualizzare nel monitor centrale della finestra principale (fig. 2.33) 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 23.68%), 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 54.92%).

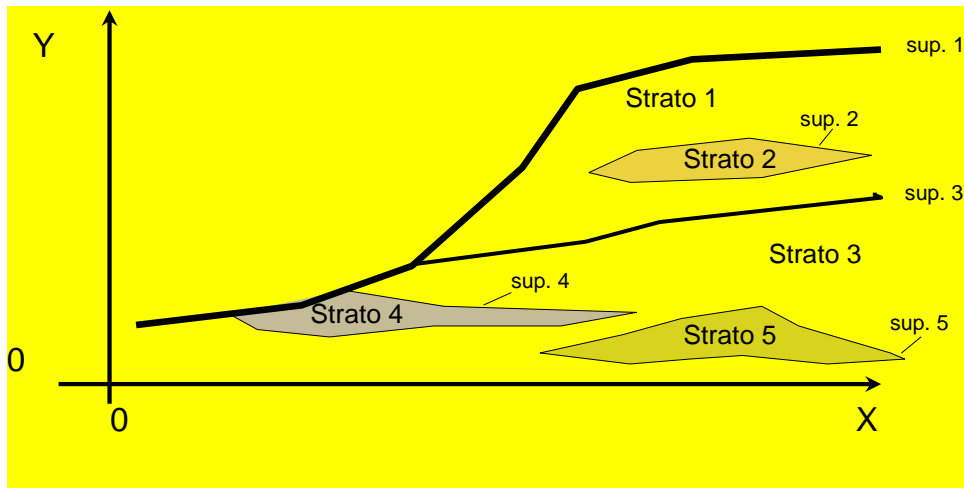


Figura 2.33

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 la analisi verrà automaticamente bloccate e apparirà una finestra con un messaggio esplicativo che suggerisce possibili cause dell'anomalie e possibili rimedi..(vedasi appendice B di questo manuale).

## 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, 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 menù 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
*.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**.

Un 'altro tipo di file dati è stati introdotti a partire dalla versione 2.5 del programma.

<i>Estensione</i>	<i>Tipo di file</i>
<b>*.SIN</b>	Coordinate superficie di scivolamento singola (per verifica su una superficie predefinita dall'utente)

### 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 operazione 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 base del pendio verso sinistra, in basso, in direzione dell'origine del sistema di riferimento usato (fig. 3.2).

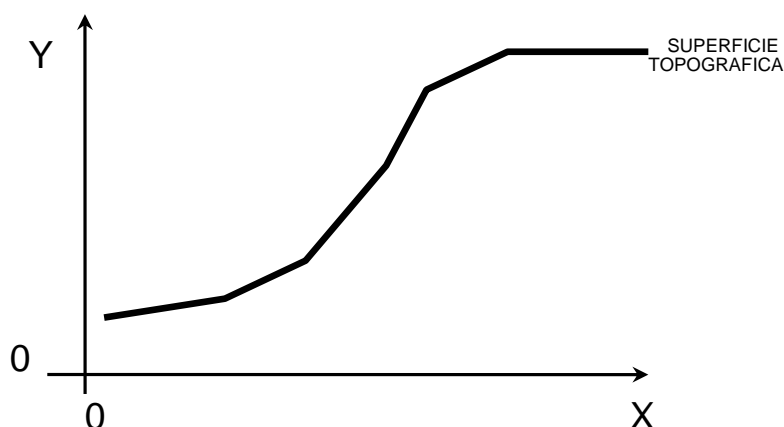


Fig. 3.2

#### 3.3.4 Superfici

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

In figura 3.3 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 3.3 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.

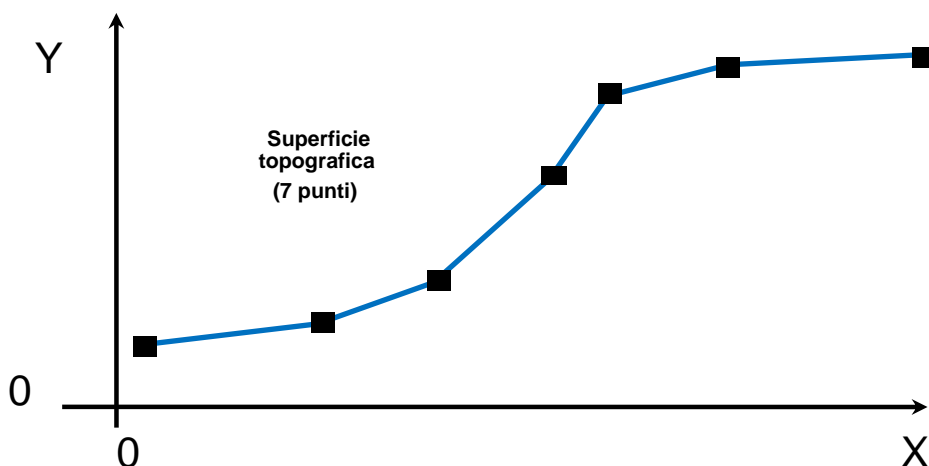


Fig. 3.3

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** dello strato 2 come in figura 3.4.

**N.B: Nel caso di superfici di strati che intersecano il pendio è necessario che il primo punto sia coincidente con un punto a comune con superficie topografica.**



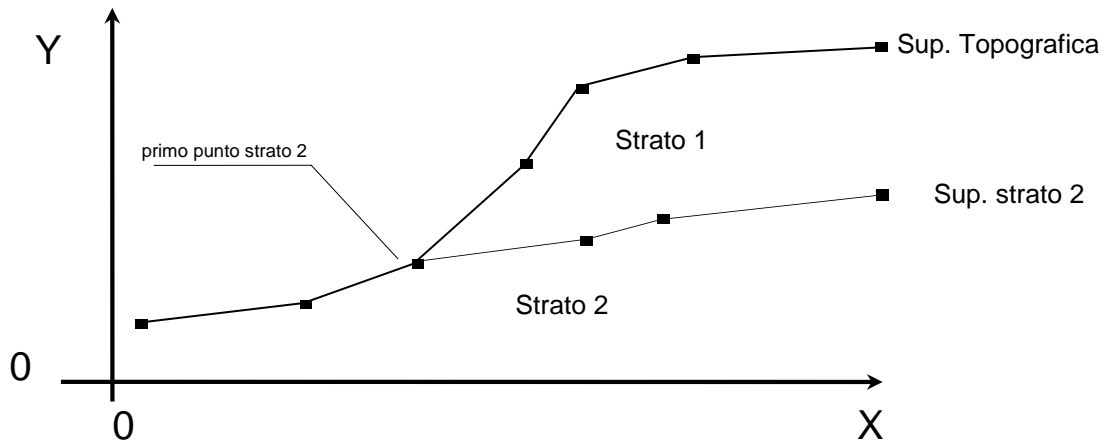


Fig. 3.4

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. Nel caso in cui la lente intresечи 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.

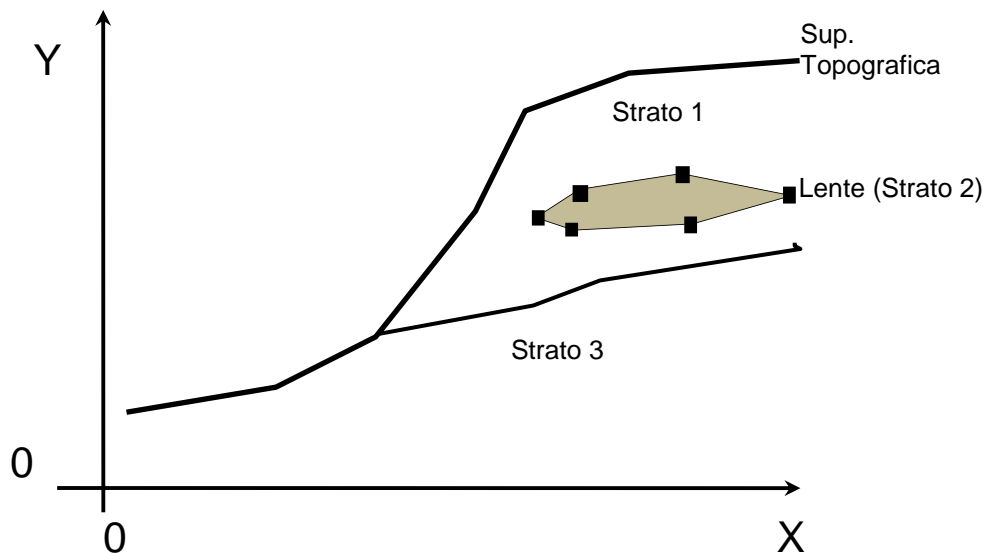


Fig. 3.5

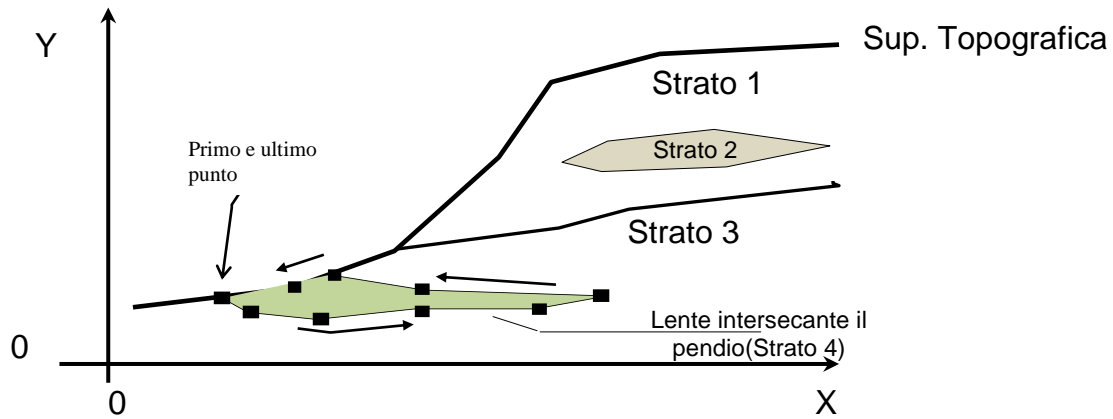


Fig. 3.6

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** 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.

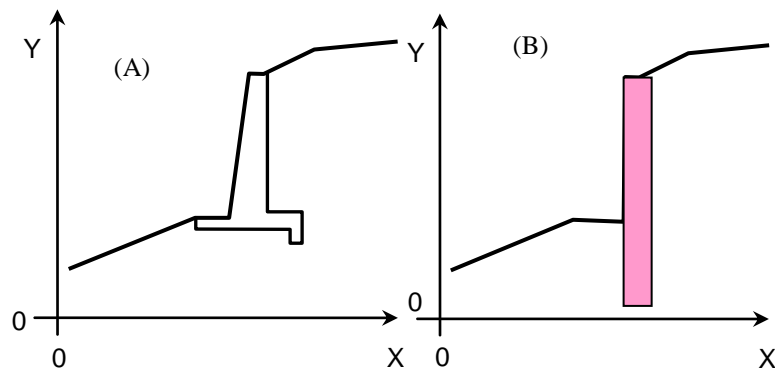


Fig. 3.7

### 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. Il profilo della falda deve essere esteso per tutta la larghezza del pendio e in alcuni casi può sovrapporsi parzialmente alla superficie topografica come nel caso di un pendio sommerso(caso 1).

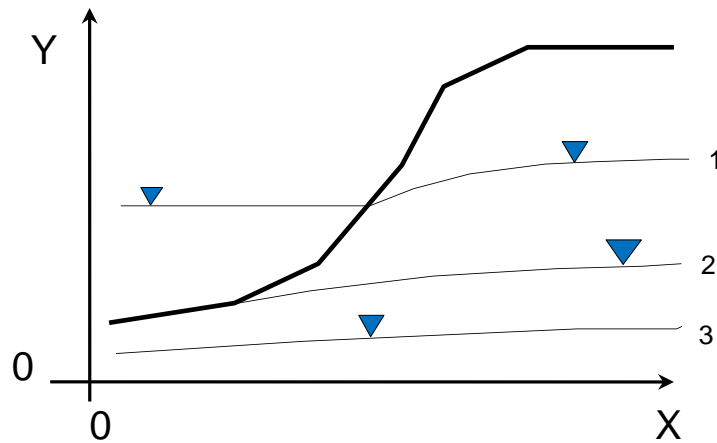


Fig. 3.8

A partire dalla a 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.

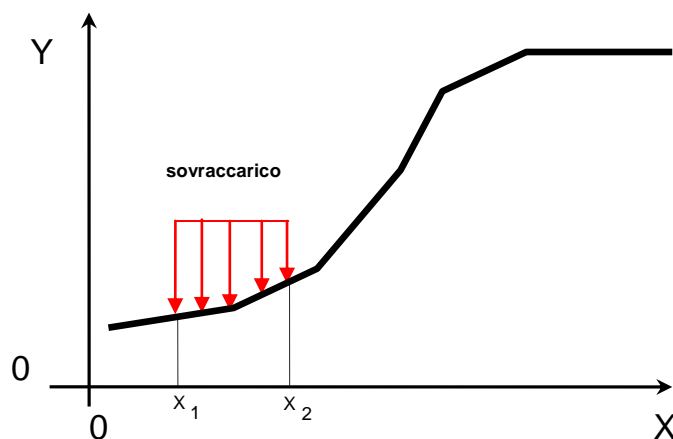


Fig. 3.9

**E' possibile considerare fino ad un massimo di 6 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.

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.

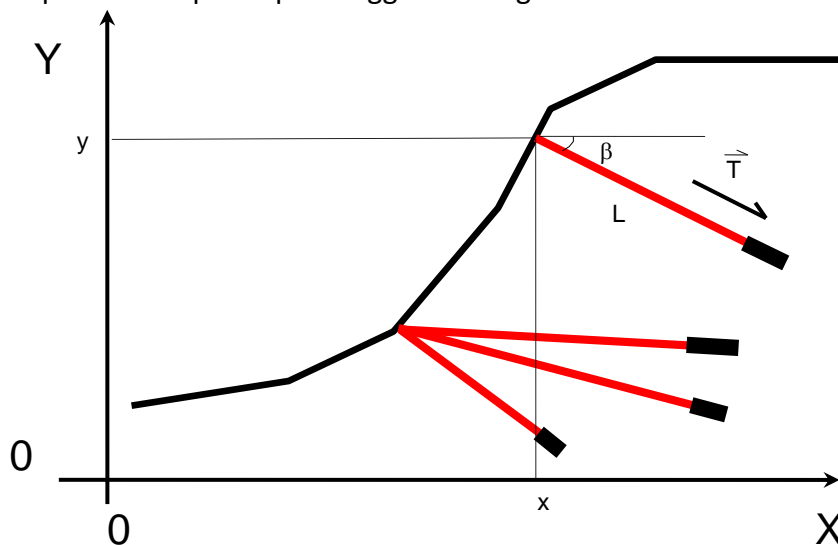


Fig. 3.10

Si ricordi che è previsto un **numero massimo di 20 tiranti che è possibile inserire**

<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).

### 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 Lw</b>	(in m)

**X** ed **Y** sono le coordinate del punto di intersezione della geogriglia con la superficie topografica.

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. Viene indicato nelle caratteristiche tecniche del rinforzo

La lunghezza **Lw** del risolto

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.

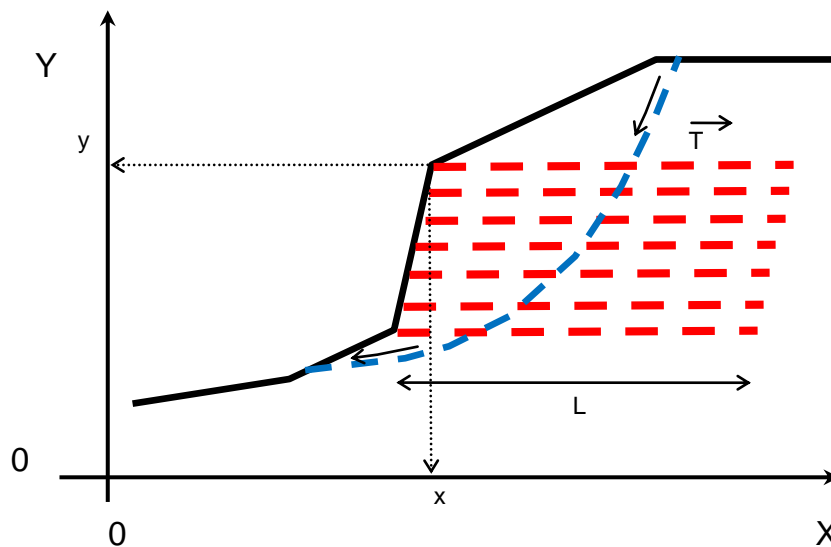


Fig. 3.11

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

### 3.3.10 Palificate

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

<b>X</b>	(m)
<b>Y</b>	(m)
<b>Lunghezza - L</b>	(m)
<b>Diametro - D</b>	(m)
<b>Apertura tra i pali -D2</b>	(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 5.

### 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 immediatamente 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.

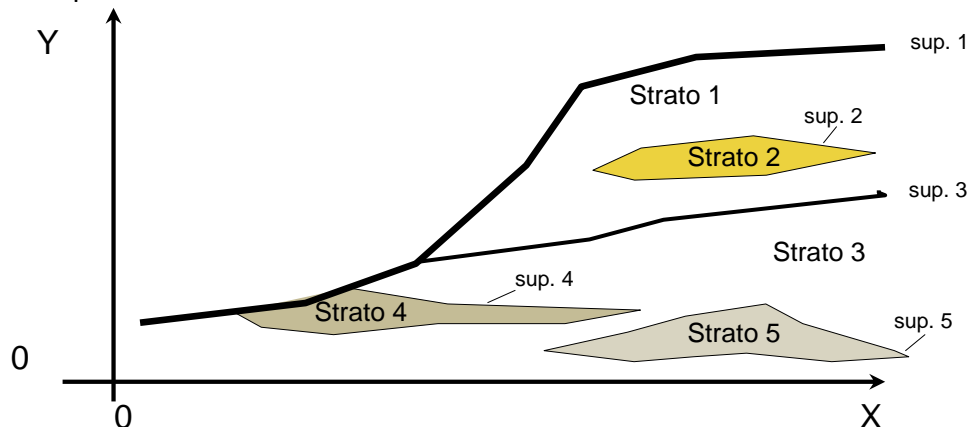


Fig. 3.12

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 della lente deve essere sempre maggiore di tutti gli strati che la lente attraversa!**

Allo scopo si veda la figura 3.13 .

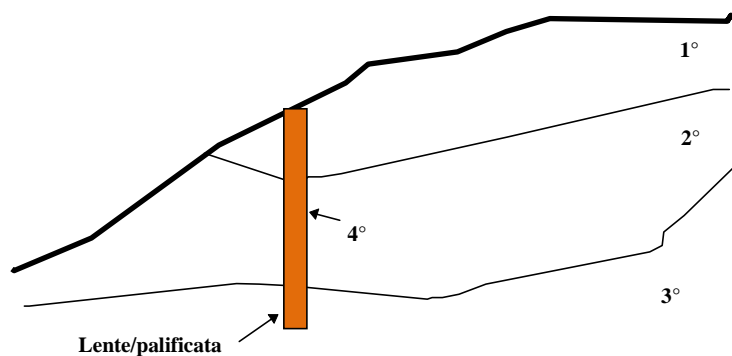


Fig. 3.13

### 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

**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:

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

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

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

**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**.

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.

##### 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 resistenza al taglio coesione in termini di pressione totale (resistenza al taglio in condizioni non drenate)  $C_u$  (in kPa);
- la quarta il peso di volume terreno insaturo fuori falda  $\gamma$  (in kN/m<sup>3</sup>);
- la quinta il peso di volume 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

Sono state utilizzate unità di misura secondo il Sistema Internazionale. Per i fattori di conversione, per passare ad esempio da  $\text{kg/cm}^2$  a  $\text{kPa}$ , 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:

<b>3.00</b>	<b>5.00</b>	<b>100.00</b>
<b>45.00</b>	<b>50.00</b>	<b>60.00</b>
<b>80.00</b>	<b>90.00</b>	<b>70.00</b>

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 6.**

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 20.**

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:

<b>35</b>	<b>25</b>	<b>-20</b>	<b>20</b>	<b>500</b>	<b>20</b>
<b>50</b>	<b>30</b>	<b>-10</b>	<b>20</b>	<b>500</b>	<b>20</b>
<b>60</b>	<b>45</b>	<b>-25</b>	<b>40</b>	<b>500</b>	<b>30</b>
<b>80</b>	<b>55</b>	<b>-40</b>	<b>30</b>	<b>500</b>	<b>40</b>

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.

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....

#### 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:

<b>35</b>	<b>25</b>	<b>8</b>	<b>50</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>1.5</b>
<b>36</b>	<b>26</b>	<b>5</b>	<b>50</b>	<b>0.9</b>	<b>0.8</b>	<b>1.5</b>
<b>37</b>	<b>27</b>	<b>5</b>	<b>50</b>	<b>0.9</b>	<b>0.8</b>	<b>3</b>
<b>38</b>	<b>28</b>	<b>5</b>	<b>50</b>	<b>0.9</b>	<b>0.8</b>	<b>3</b>

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 del rinforzo (indicato nelle caratteristiche tecniche del rinforzo)

Nella **settima colonna** la lunghezza **Lw** del risvolto (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**, **Lw** verranno utilizzati con loro valori standard rispettivamente(0.75, 0.8, 1.5)*

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

<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 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.

### 3.4.4 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 5**.

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

<b>80</b>	<b>25</b>	<b>15.0</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>
<b>105</b>	<b>32</b>	<b>12.0</b>	<b>0.8</b>	<b>1.2</b>
<b>120</b>	<b>45</b>	<b>18.0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>

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.**

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

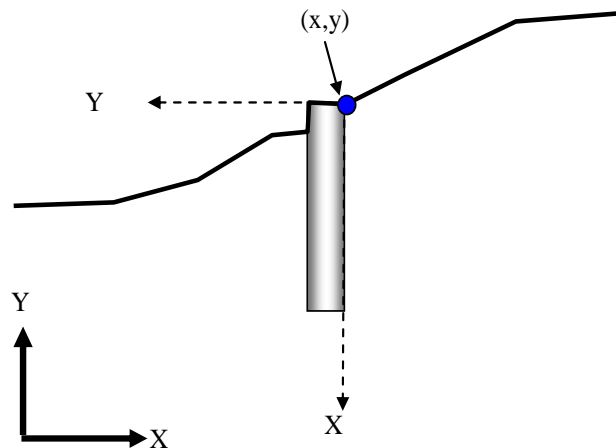


Fig. 3.14

### 3.4.5 Il formato dei files .MOD

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

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

<b>4</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>					

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

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 è 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)

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 parametri 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).

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 seguirà il nome del file .GEO contenente il dati geomeccanici dei vari strati presenti .

Nel caso risultino assenti alcuni dei vari elementi aggiuntivi come sovraccarichi, tiranti o geogriglie, semplicemente si dovrà 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>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** .

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

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

	<b>3</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>						

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

	<b>3</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>						

carichi.svr  
 tiranti.tir  
 griglie.grd  
 pali.pil

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

### **3.5 FILES DATI PARTICOLARI**

#### **3.5.1 Il formato dei 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.

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

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

La parte che contiene le coordinate è 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 valore delle X. La **colonna 2** contiene i valori dell Y.

Ogni riga contiene le coordinate XY di un nodo. Le coordinate devono essere separate da almeno uno spazio vuoto.

Di seguito un esempio di file SIN .

```
#
# pcp.x.sin
#
# x   y
0.0  1.9
3.1  0.1
5.8  1.4
10.4 6.0
```



## 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, progettato appositamente per semplificare le procedure di creazione ed assemblaggio dei files dati

### 4.2 PROGRAMMA MAKEFILES 3.2 PER LA CREAZIONE DEI FILES DATI

Il programma MAKEFILES 3.2 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 sul file **MAKFILES.EXE** (vedi figura precedente).

All'avvio apparirà una console 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 directory dove scrivere e archiviare i files dati prodotti.**

Tale directory 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 directory dove abbiamo i programmi.

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



La directory 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 directory di lavoro e effettuare un'altra sessione di assemblaggio dei dati.

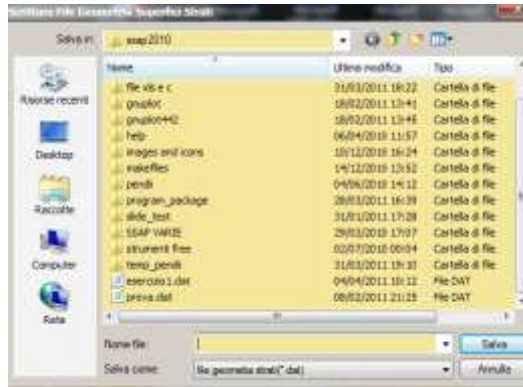
Sul lato sinistro della finestra appaiono una serie di pulsanti corrispondenti ai vari tipi di files. Ognuno dei pulsanti attiva una propria scheda di creazione ed editazione.

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.

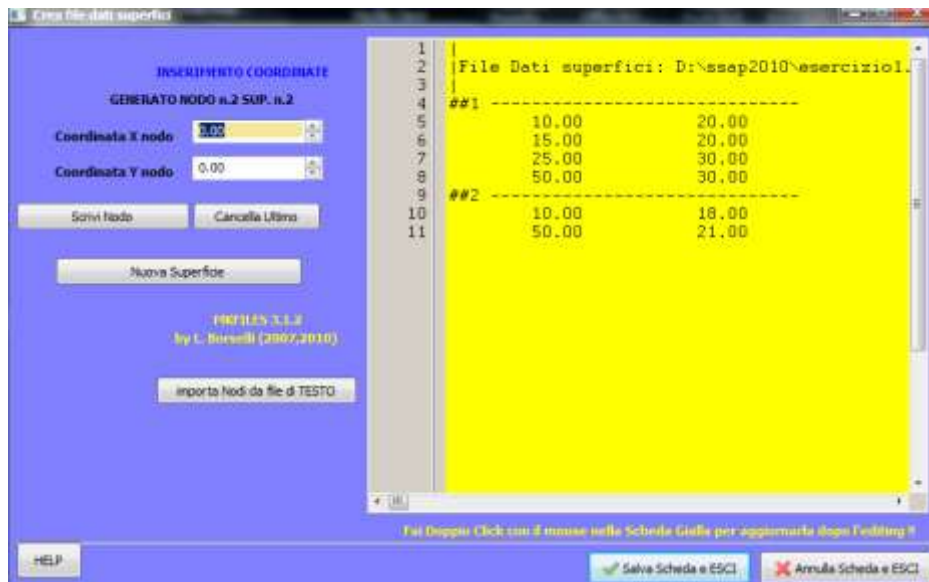
Ad esempio nel caso della costruzione del file SUPERFICI (coordinate della sup. topografica e degli strati), premendo l'apposito bottone nella finestra principale, apparirà una finestra di dialogo dove viene richiesto di indicare il nome di un nuovo file da creare o dove è possibile selezionare un file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

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.

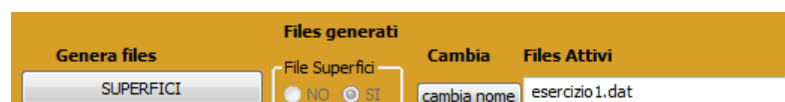


Nell'esempio illustrato in figura nel file esercizio1.dat erano già presenti due superfici (2 strati). A questo punto l'operatore può modificare le coordinate già inserite editandole nella finestra che visualizza in tempo reale il contenuto del file .DAT o aggiungere nuovi nodi allo strato 2 o aggiungere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



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.



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.

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).

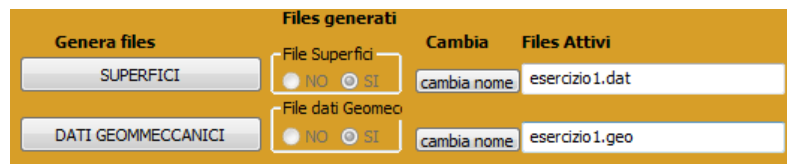
Nel caso della creazione di un nuovo file l'utente deve inserire nelle apposite caselle i

parametri geotecnici e premere il pulsante per aggiungere un nuovo strato.

Il salvataggio della scheda 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.



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



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



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.

Genera files	Files generati	Cambia	Files Attivi
SUPERFICI	File Superfici <input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> SI	cambia nome	esercizio 1.dat
DATI GEOMMECCANICI	File dati Geomec <input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> SI	cambia nome	esercizio 1.geo
FALDA	File Falda <input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> SI	cambia nome	esercizio 1.fid
			<b>Attiva /Disattiva</b> <input checked="" type="checkbox"/> Falda

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.

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

Genera files	Files generati	Cambia	Files Attivi
SUPERFICI	File Superfici <input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> SI	cambia nome	esercizio 1.dat
DATI GEOMMECCANICI	File dati Geomec <input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> SI	cambia nome	esercizio 1.geo
FALDA	File Falda <input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> SI	cambia nome	esercizio 1.fid
SOVRACCARICHI	File Sovraccarichi <input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> SI	cambia nome	prova.svr <input checked="" type="checkbox"/> Sovraccarichi
TIRANTI	File Tiranti <input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> SI	cambia nome	prova.tir <input checked="" type="checkbox"/> Tiranti
GEOGRIGLIE	File Geogriglie <input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> SI	cambia nome	prova.grd <input checked="" type="checkbox"/> Geogriglie
PALI	File Pali <input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> SI	cambia nome	prova.pil <input checked="" type="checkbox"/> Pali

MKFILES 3.1.2  
by L. Borselli (2007,2010)

ASSEMBLA MODELLO

Una volta che la lista dei files è completa premendo il pulsante ASSEMBLA MODELLO è possibile creare in un file .MOD 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.

L'assemblaggio automatico procederà solo se non verranno registrati errori ma la coerenza interna (ad esempio la correttezza delle coordinate XY inserite e i valori di parametri e forze), e il rispetto delle convenzioni esposte nel capitolo 3, dei dati inseriti rimane tuttavia di assoluta responsabilità dell'operatore.

### 4.3 TIPI DI FILES DATI

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

<i>Estensione</i>	<i>Tipo di file</i>
*.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
*.mod	<b>modello pendio (ingloba una lista dei files precedenti)</b>

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

### 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 sparatore 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.

### 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 **GLEDIT.EXE** (programma freeware di utilizzo libero per la editazione di files di testo – programma distribuito nel pacchetto di SSAP2010).

Nel **file di configurazione SSAP2010.INI** può essere indicato il percorso completo e il nomefile del programma di editazione dei file di testo che si vuole utilizzare. (vedasi appendice G : installazione e configurazione di SSAP) per i dettagli sopra la configurazione del file SSAP2010.INI.

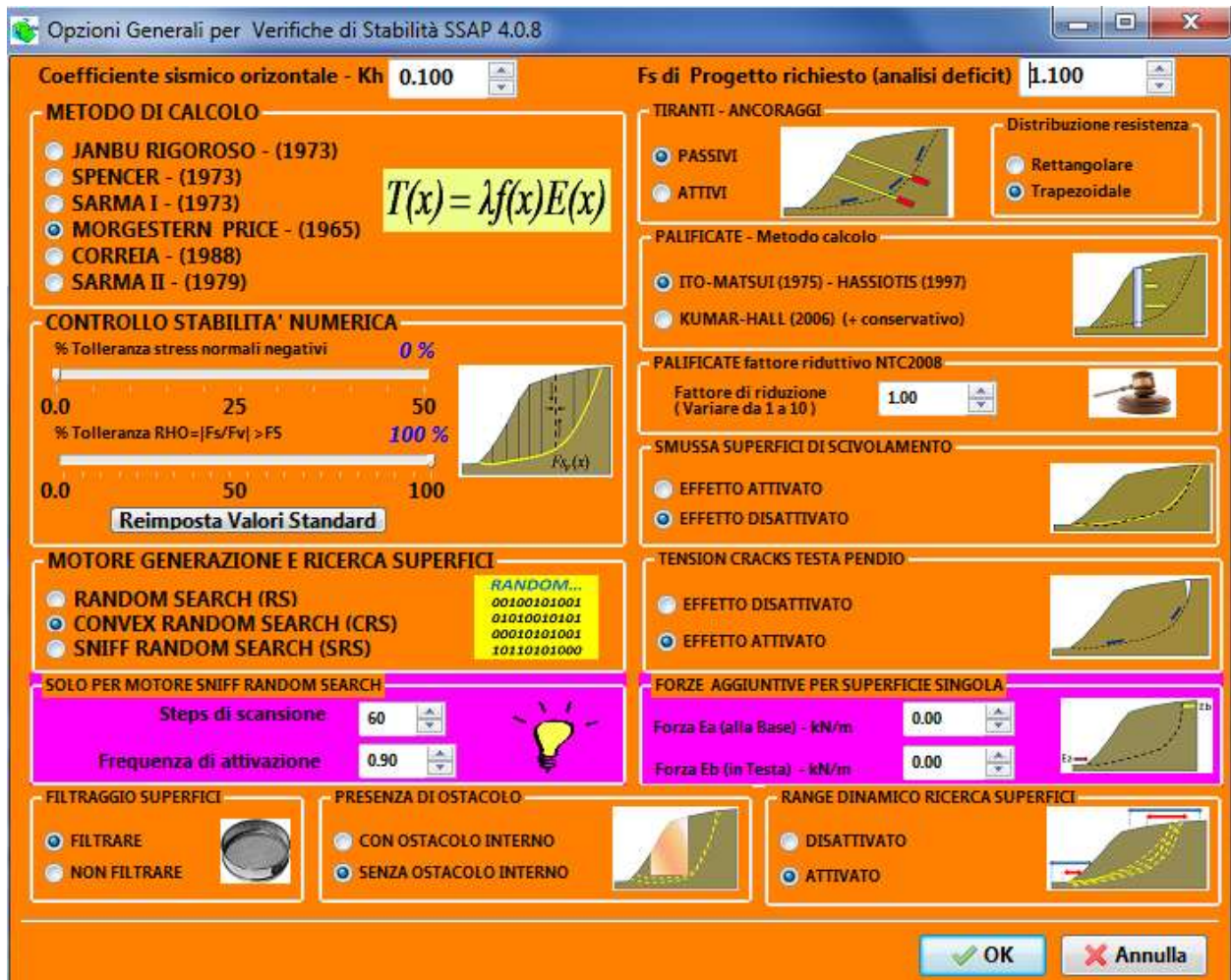
## **4.6 FILES DATI PARTICOLARI**

### **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 GLEDIT che può essere richiamato direttamente dal programma SSAP dal menù utilità. Le convenzioni per i file \*.SIN sono presentate nel capitolo 3.

## CAPITOLO 5 -DENTRO AL PROGRAMMA SSAP



### 5.1 INTRODUZIONE

In questo capitolo verrà trattata in dettaglio la 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 un 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) si 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.

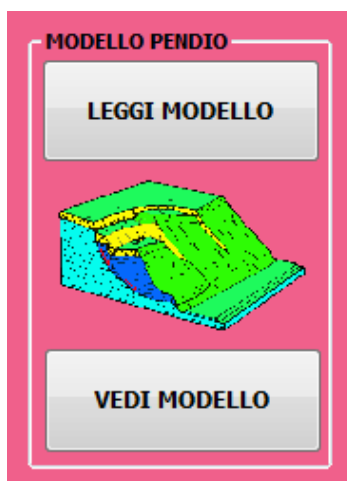


## **5.2STRUMENTI ATTIVABILI DALLA CONSOLE DI COMANDO PRINCIPALE**

Le voci del menù principale sono indicate in grassetto-corsivo, mentre le voci relative ai corrispondenti BOTTONI sono indicate in grassetto con un carattere di dimensione leggermente inferiore.

### **MODELLO PENDIO**

Letture 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



#### **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**

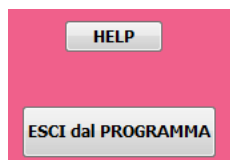
Visualizzazione grafica del modello del pendio caricato in memoria dopo la lettura dei file .MOD e la analisi preliminare dello stesso. Per la visualizzazione viene utilizzato lo strumento di visualizzazione di files autocad DXF configurato come indicato nel capitolo 7.

#### **HELP**

Visualizzazione di questo sistema di Help. .

#### **ESCI PROGRAMMA**

Uscita incondizionata dal programma .



### **AVVIO VERIFICA**

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.



### **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 [Esc] per ritornare al menù principale del programma.. Premendo [Enter/Invio] 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. abbiamo infatti:

- il numero delle superfici random generate con successo e delle quali è stato calcolato il Coefficiente di sicurezza **F<sub>s</sub>** ;
- il valore iterativo di **F<sub>s</sub>**;
- l'intervallo di variazione di **F<sub>s</sub>** delle 10 superfici random alle quali corrispondono i 10 minori valori di **F<sub>s</sub>** 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);

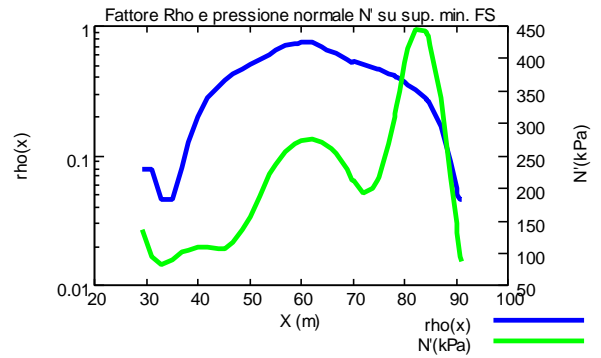
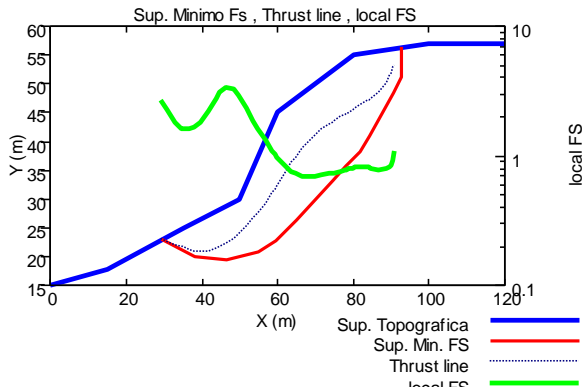
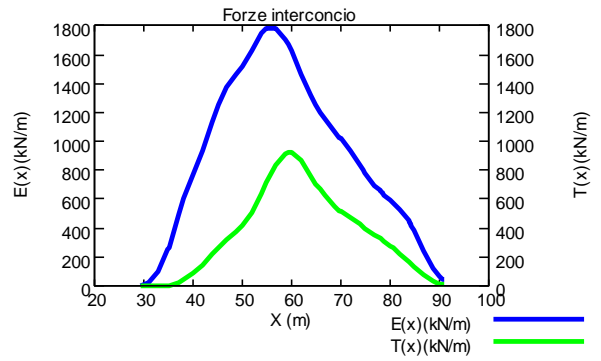
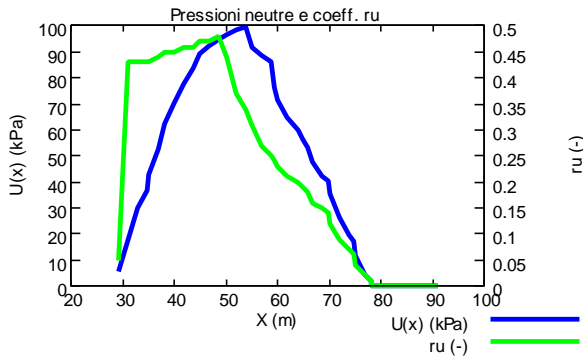
MODELLO PENDIO :	<b>ES6.MOD</b>
CALCOLO	
MODELLO DI CALCOLO :	Morgestern e Price (1965)
COEFFICIENTI SISMICI: ORIZZONTALE (Kh) :	0.1000
VERTICALE (Kv) :	0.0500
PARAMETRI ATTIVI PER GENERAZIONE SUPERFICI	
MOTORE DI RICERCA SUPERFICI	Convex Random Search (CRS)
ZONA DI INIZIO - Progressive - (m) :	da 0.00 a 108.00
ZONA DI TERMINAZIONE - Progressive - (m) :	da 12.00 a 117.60
QUOTA LIMITE INFERIORE (m) :	0.00
LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI - (m) :	4.80
SMUSSA SUPERFICI: <i>Disattivato</i>	EFFETTO TENSION CRACKS: <i>Attivato</i>
RICERCA CON RANGE DINAMICO: <i>Attivato</i>	
RISULTATI IN TEMPO REALE	
F <sub>s</sub> ITERATIVO :	1.173
RANGE F <sub>s</sub> 10 SUPERFICI CON MINOR F <sub>s</sub> :	<b>1.061 - 1.079</b>
n. SUPERFICI GENERATE e VERIFICATE:	5360 di 10000
% EFFICIENZA GENERAZIONE SUPERFICI e % STABILITA' NUMERICA :	8.49 -- 85.36
<b>PERCENTUALE (%) SUPERFICI COMPLETATE</b>	
53.60	
Premi ESC per Terminare - Premi INVIO/ENTER per stop temporaneo	

**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 effettuato la determinazione determinato il coefficiente sismico critico per il quale si ha , per la superficie singola indicata,  $FS=1.0$

**Diagrammi forze**

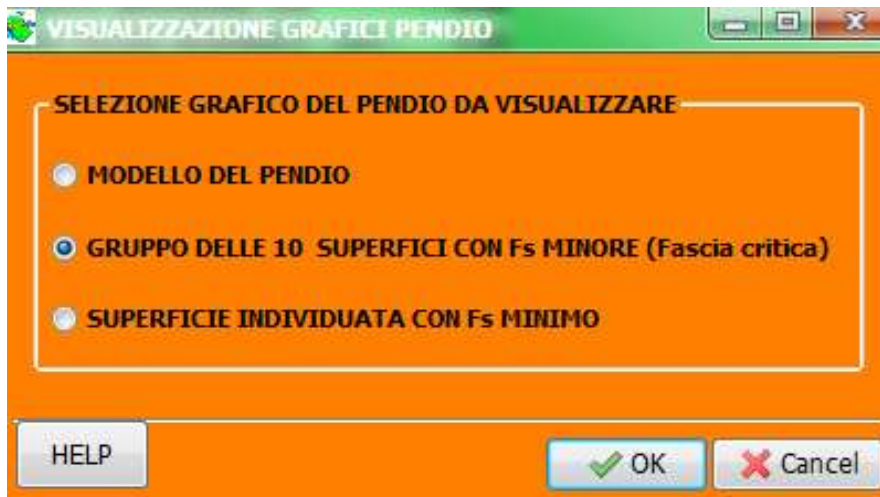
Risulta particolarmente importante visualizzare in modo grafico, dopo aver effettuato un verifica di stabilità, la distribuzione interna delle forze e delle pressioni. Questo permette di evidenziare subito possibili anomalie e eventualmente scartare l'analisi fatta. La possibilità di visualizzare in modo grafico questi risultati è offerta da una nuova procedura attivabile in SSAP 4.0. I diagrammi sono visualizzati in modo combinato in una finestra che è possibile anche stampare e salvare(vedasi pulsante in alto sinistra).

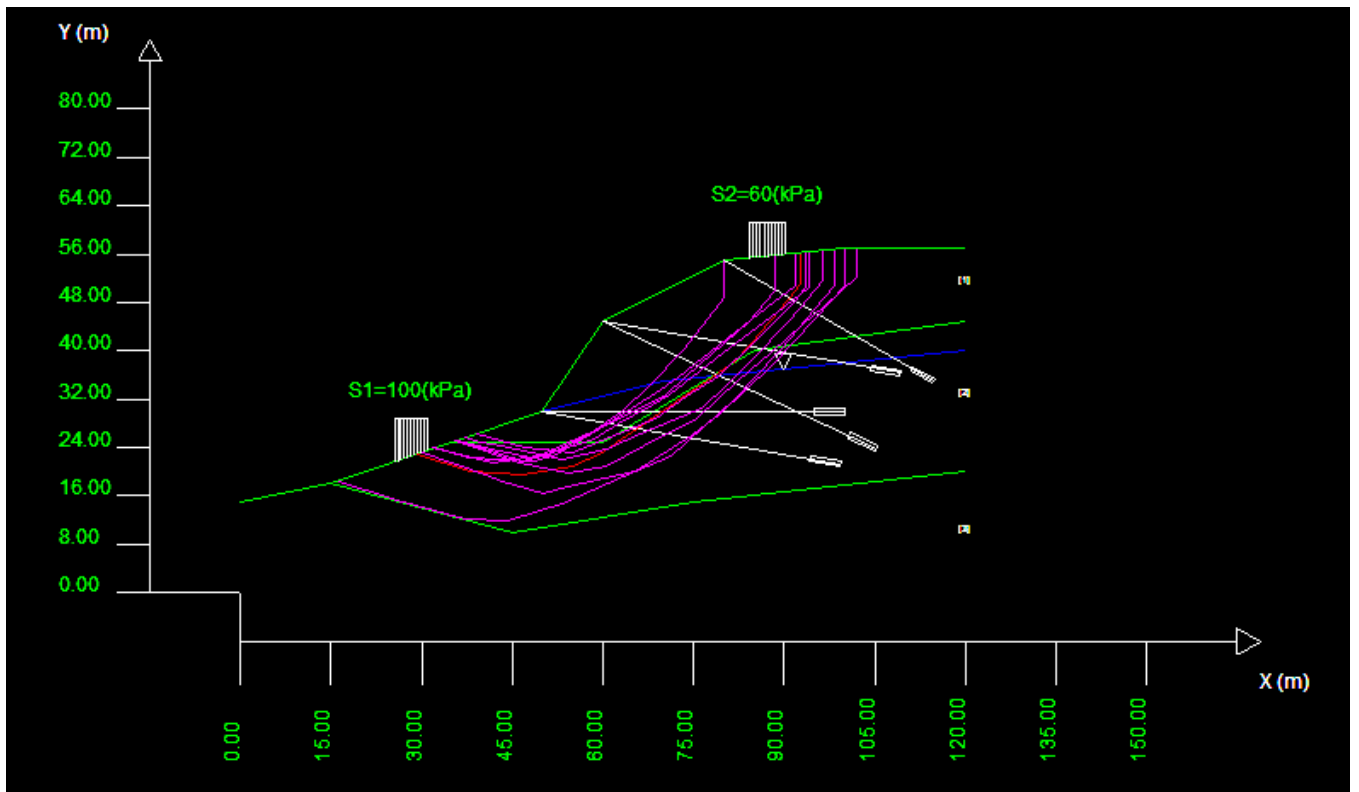
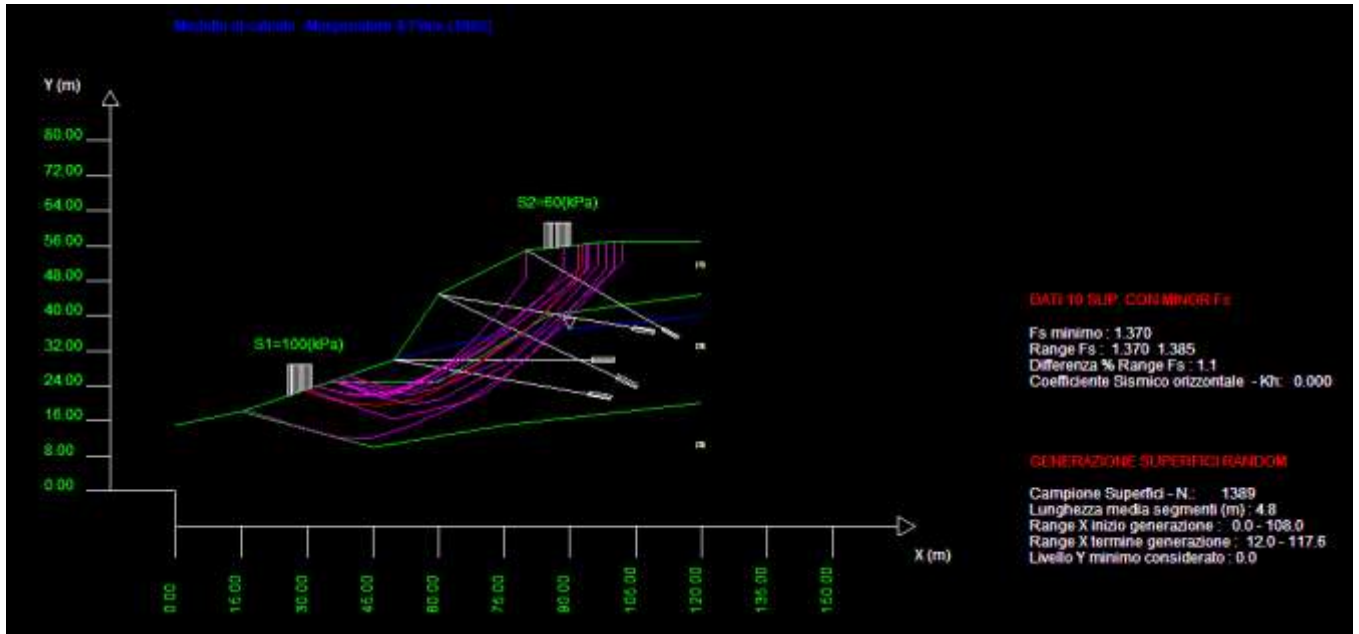


SSAP2010 (versione 4.0.4 2011) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

**Vedi Grafici**

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 i grafici relativi.





### SETUP VERIFICA

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

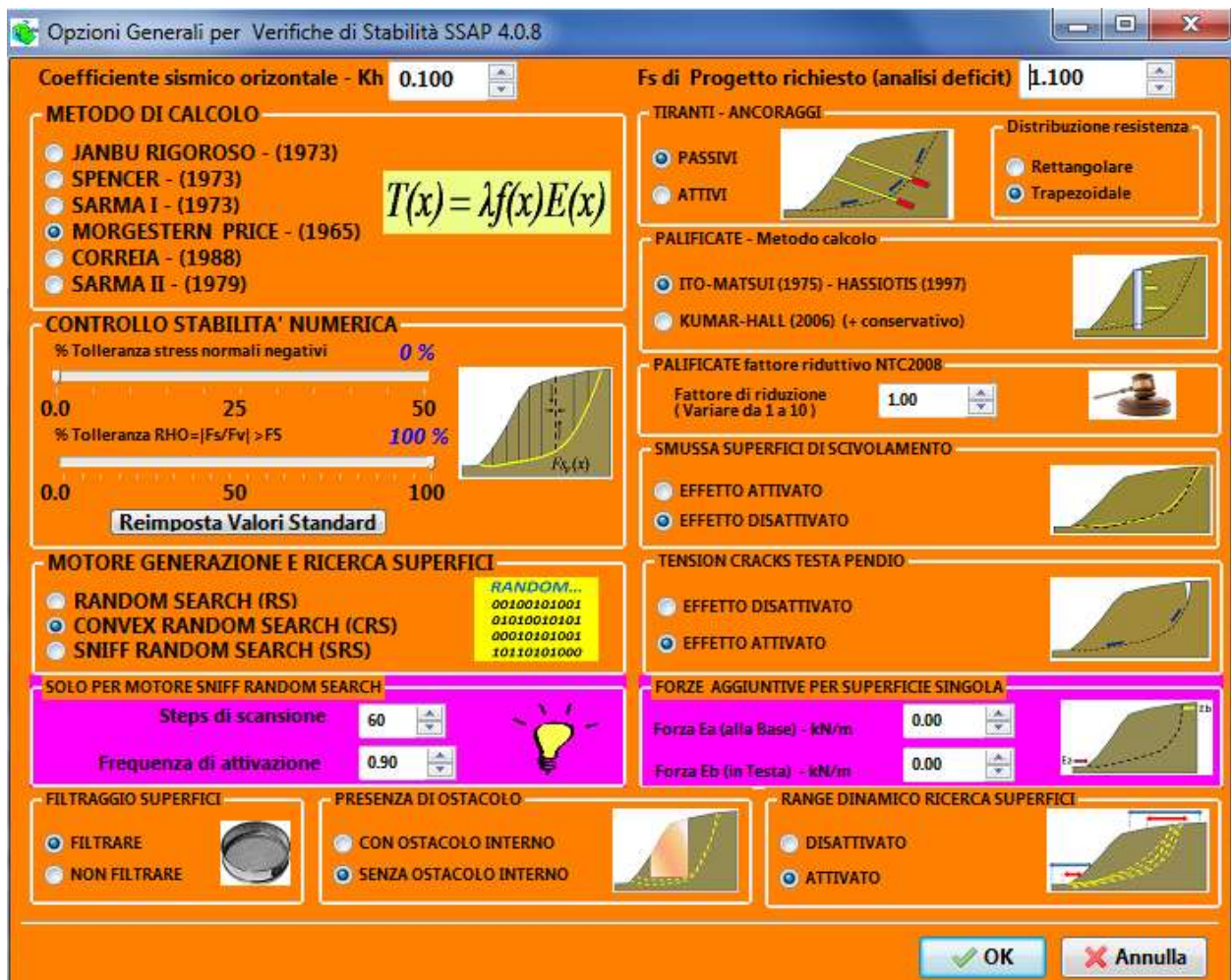


**Info**

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.

**Opzioni**

Indicazione di varie opzioni e parametri da utilizzare durante le verifiche di stabilità



**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.

**Coefficiente sismico orizzontale - Kh** 0.080

**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.

**Fs di Progetto richiesto (analisi deficit)** 1.100

**Metodo di calcolo**

Scegliere uno dei 6 metodi di calcolo rigorosi:

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

Si tenga presente che il metodo **Morgenstern & Price** è utilizzato di default.

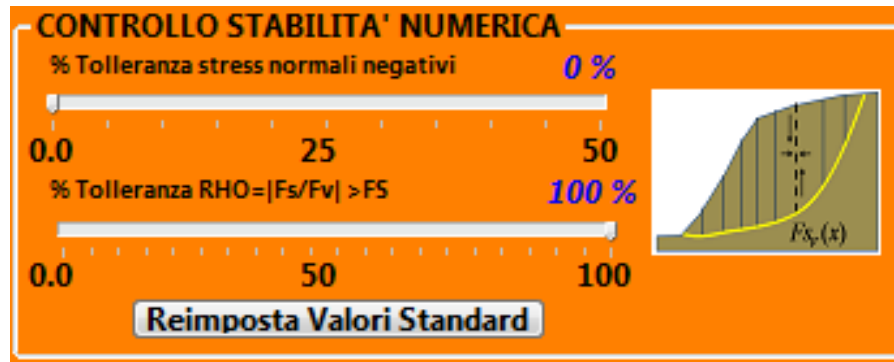
**METODO DI CALCOLO**

- JANBU RIGOROSO - (1973)
- SPENCER - (1973)
- SARMA I - (1973)
- MORGESTERN PRICE - (1965)
- CORREIA - (1988)
- SARMA II - (1979)

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

**Controllo Stabilità Numerica**

Due barre di scorrimento 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

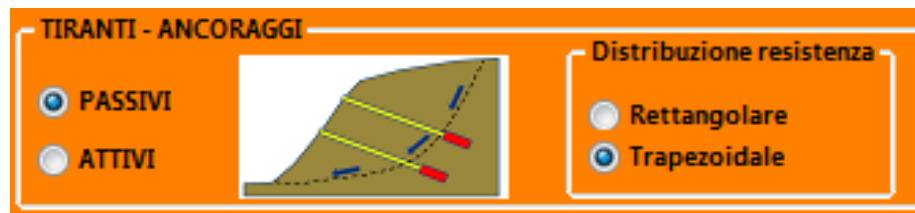


### Tiranti

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.

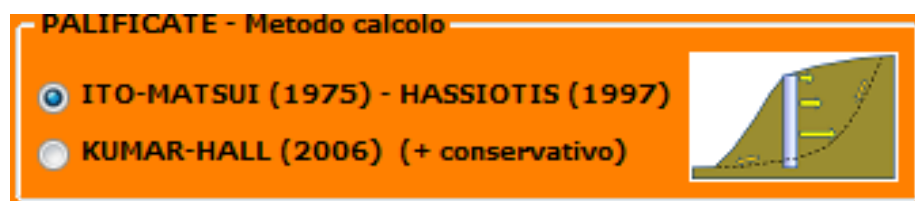
Nella versione 4.0.8 è stata introdotta la possibilità di utilizzare una distribuzione di resistenza di tipo trapezoidale (non lineare e di tipo simile a quella per altre strutture di sostegno come le geogriglie). La condizione standard è una distribuzione rettangolare (lineare .. preimpostata come nelle versioni fino alla 4.0.6)

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).



### Palificate

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)



### Palificate fattore riduttivo NTC 2008

Secondo le norme NTC 2008 questo fattore riduttivo delle azioni stabilizzanti deve essere  $>1.0$  e portato fino al 1.4. Nel nostro caso è comunque possibile elevare questo fattore riduttivo fino a 10. Ciò risulta molto utile nel caso di sovradimensionamento di palificate. In casi di sovradimensionamento viene calcolato una controspinta teorica eccessiva che producendo un eccesso di spinta che contrasta lo scivolamento. Questo causa a volte problemi di

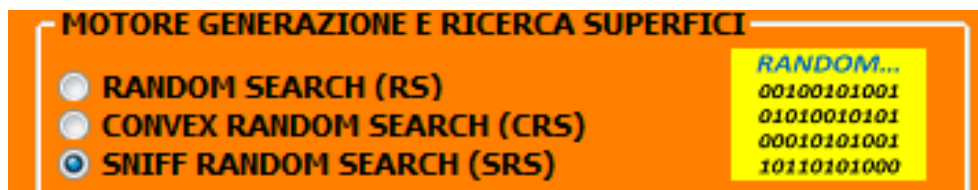


convergenza nei calcoli. L'utente può provare, nel caso di eccessivo rallentamento nei calcoli, in presenza di palificate, ad elevare tale fattore fino a 3, 5 o 10. Se utilizzando un fattore di riduzione elevato si verifica una accelerazione delle prestazioni e si ha un valore di  $F_s$  comunque molto elevati, 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 per i dettagli teorici)



### 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).



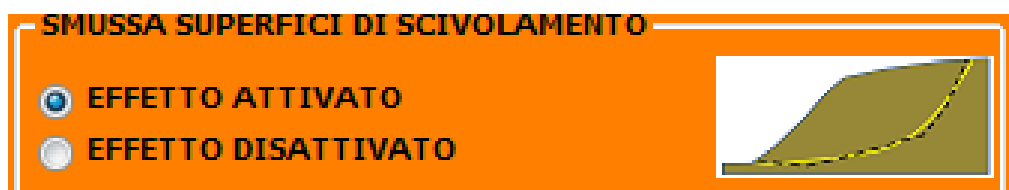
### Solo per motore sniff Random search

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 straterelli molo 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.



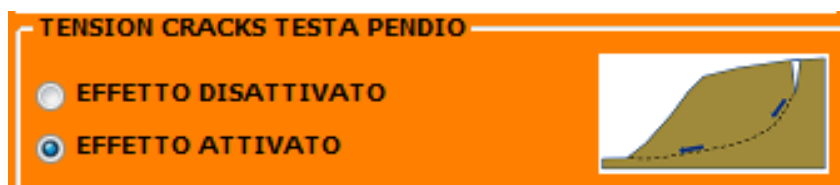
### Smussa Superfici di Scivolamento

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.



### 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 superfici di scivolamento è in testa al pendio intersecato da tratti verticali che manifestano generalmente la precedente presenza 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.



### Range di ricerca dinamico

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 range di ricerca 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. 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.



### 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].



### Filtraggio superfici

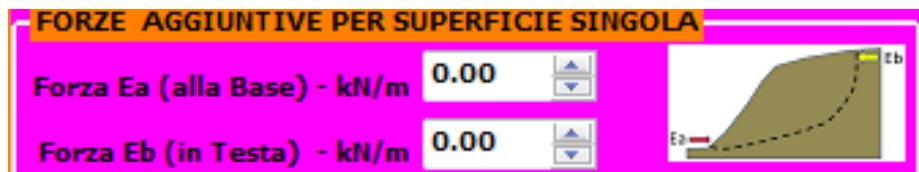
Scegliere se effettuare un filtraggio con eliminazione delle superfici generate con successo che hanno particolari caratteristiche. Ad esempio superfici troppo corte; cioè costituite da soli 2 segmenti. Normalmente all'avvio del programma questa opzione è attivata. La scelta di effettuare il filtraggio 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.



#### 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.



#### Parametri

Viene attivata una finestra di input 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** .

PARAMETRI GEOMETRICI VERIFICHE DI STABILITA'

LUNGHEZZA MEDIA (m) SEGMENTI DELLE SUPERFICIE DI SCIVOLAMENTO 4.80 Riduci a icona

DEFINIZIONE DELLA ZONA DI INIZIO

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

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

QUOTA (Yo) ZONA PROIBITA INFERIORE (m) 0.00

DEFINIZIONE DELLA ZONA DI TERMINAZIONE

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

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

NUMERO MASSIMO SUPERFICIE DA GENERARE 10000

COORDINATE OSTACOLO

XL 0.00 XR 0.00 YB 0.00

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

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

OK Annulla

**Lunghezza dei segmenti da utilizzare**

Indicare la lunghezza **MEDIA** dei segmenti 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 +/- 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

**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.

**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.

**Ordinata zona proibita inferiore**

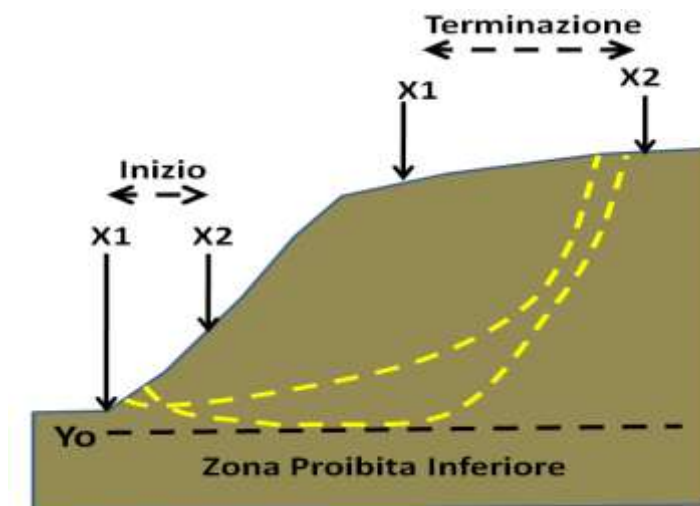
Indicare il valore in coordinate Y del livello minimo considerato per la generazione delle superfici di scorrimento. Se la superficie durante la generazione intersecherà tale livello la generazione stessa verrà abortita e inizierà un'altra generazione di superficie.

**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.

**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.

**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.

**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.

**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.

**ATTENZIONE !**

Il limite destro della zona 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.

**ATTENZIONE !**

Il valore indicato deve essere maggiore del livello della ZONA PROIBITA INFERIORE per la generazione delle superfici di scivolamento. Altrimenti nessuna superficie verrà generata con successo.

## Acquiferi e Fluidi

### Peso unitario fluido

Densità o peso unitario del fluido che si vuole usare. per default il valore è quello dell'acqua, ovvero 9.81 kN/m<sup>3</sup>. 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!

### 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 diminure della distanza dalla superficie.

Valore A=+1 per avere sovrappressione al diminure della distanza dalla superficie.

### Coefficiente K

Costante funzione di dissipazione. K deve assumere valori compresi tra 0.000001 e 0.1

### 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 Uo=0.1 kPa.

### 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.

### 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!.

#### **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!.

### **STRUMENTI**

Selezionando questa voce con il puntatore del mouse o con i tasti cursore apparirà una ulteriore selezione di voci:



#### **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 EDITOR.INI.

Per dettagli relativi alla configurazione del programma editore si vada all'appendice G.

#### **Editazione files**

Il programma di editing utilizzato è il programma indicato nel file EDITOR.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.

#### **Scrittura report**

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 directory 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). Durante la produzione del report viene anche attivata la procedura di analisi del deficit di resistenza. I risultati di questa analisi verranno scritti alla fine del report salvato come file di testo o stampato.

#### **Crea DXF**

Attiva finestra di dialogo con le opzioni per la creazione dei file DXF con le informazioni sul modello del pendio e le superfici critiche. Questa voce è attiva solo al termine di una verifica di stabilità (globale o singola).

#### **Esporta superfici**

Scriva 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.

#### **Makefiles 3.2**

Lancia programma di utilità MAKEFILES.EXE (vedasi capitolo 4).

#### **File SSAP2010.INI**

Lancia programma di utilità INIUPDATE.EXE (vedasi appendice G.)

### **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 siano già stati creati con le specifiche e le convenzioni indicate nel capitolo 2 di questo manuale. La sequenza delle operazioni è indicata seguendo le voci presenti nel menù principale e negli eventuali sottomenù.

- *Caricamento in memoria del file .MOD (pulsante --> **Leggi Modello**);*
- *Visualizzazione grafica del modello del pendio inserito (Pulsante ---> **Vedi Modello**) e successivo ritorno al menù principale;*
- *Inserimento dati relativi a località e data ( Pulsante ---> **Info**);*
- *Inserimento valori coefficiente. sismico , curva fattore correttivo di Janbu, opzione per analisi in presenza di ostacolo (Pulsante ---> **Opzioni**);*
- *Inserimento parametri per generazione delle superfici di scivolamento( Pulsante ---> **Parametri**) o utilizzo dei valori forniti automaticamente;*
- *Esecuzione della verifica di stabilità con i parametri precedentemente impostati (Pulsante ---> **Verifica globale**);*
- *Visualizzazione grafica dei risultati e stampa grafici (Pulsante ---> **Vedi Grafici**);*
- *Stampa e/o salvataggio del report sulle elaborazioni effettuate (Pulsante ---> **Generazione Report**) ;*
- *Successiva verifica di stabilità dopo aver cambiato i parametri di input citati in precedenza, oppure dopo aver caricato un altro file .MOD con i dati di un altro pendio;*
- *Scrittura su file dei dati relativi alla superficie con il minor FS in assoluto(Pulsante ---> **esporta***

- superficie singola);*
- *Analisi particolareggiata della superficie singola con minor  $F_s$  come la determinazione del coefficiente sismico critico e verifica effetti delle forze stabilizzanti/instabilizzanti esterne ( Pulsante ---> | **Verifica singola**);*
- *Stampa e/o salvataggio del report sulle elaborazioni effettuate sulla verifica singola(Pulsante ---> **Generazione Report**);*
- *Uscita dal programma (Pulsante ---> **Esci programma**).*

## 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 directory /PENDII dove è stato installato il programma SSAP è disponibile una lista di pendii di esempio organizzati in varie sotto-directories.

### **6.2 ESEMPI**

N.B.: I grafici riportati negli esempi su questo manuale sono immagini provenienti dai files DXF originali prodotti dal programma.

#### **6,2.1 Esempio 1**

File **ES6.MOD** nella directory **\Pendii\Esempi**

Pendio naturale con tiranti e sovraccarichi distribuiti (ZOOMMARE per vedere i particolari)

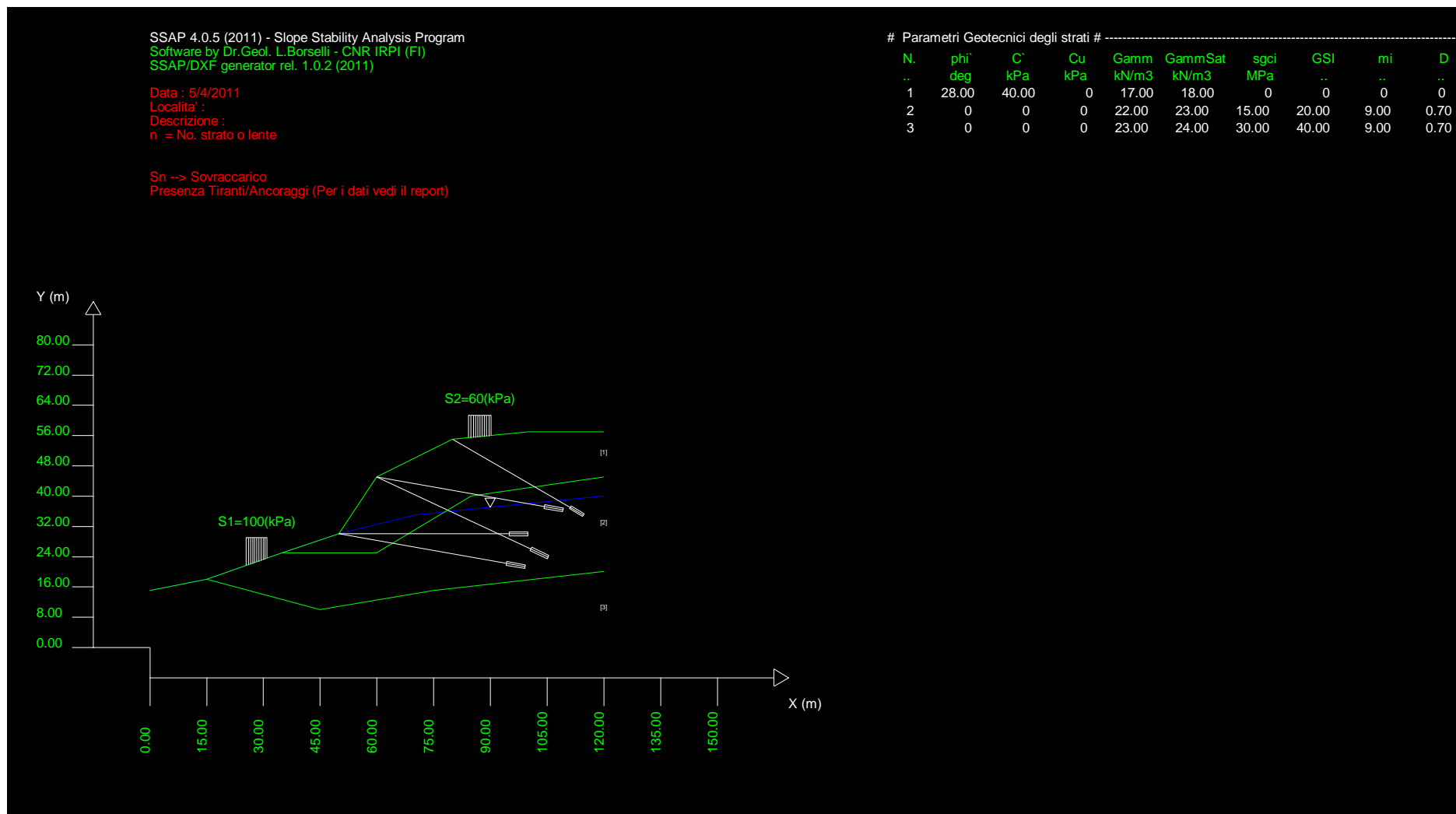


Fig. 6.1 Esempio1: pendio naturale con tiranti e sovraccarichi distribuiti (ZOOMMARE per vedere i particolari).

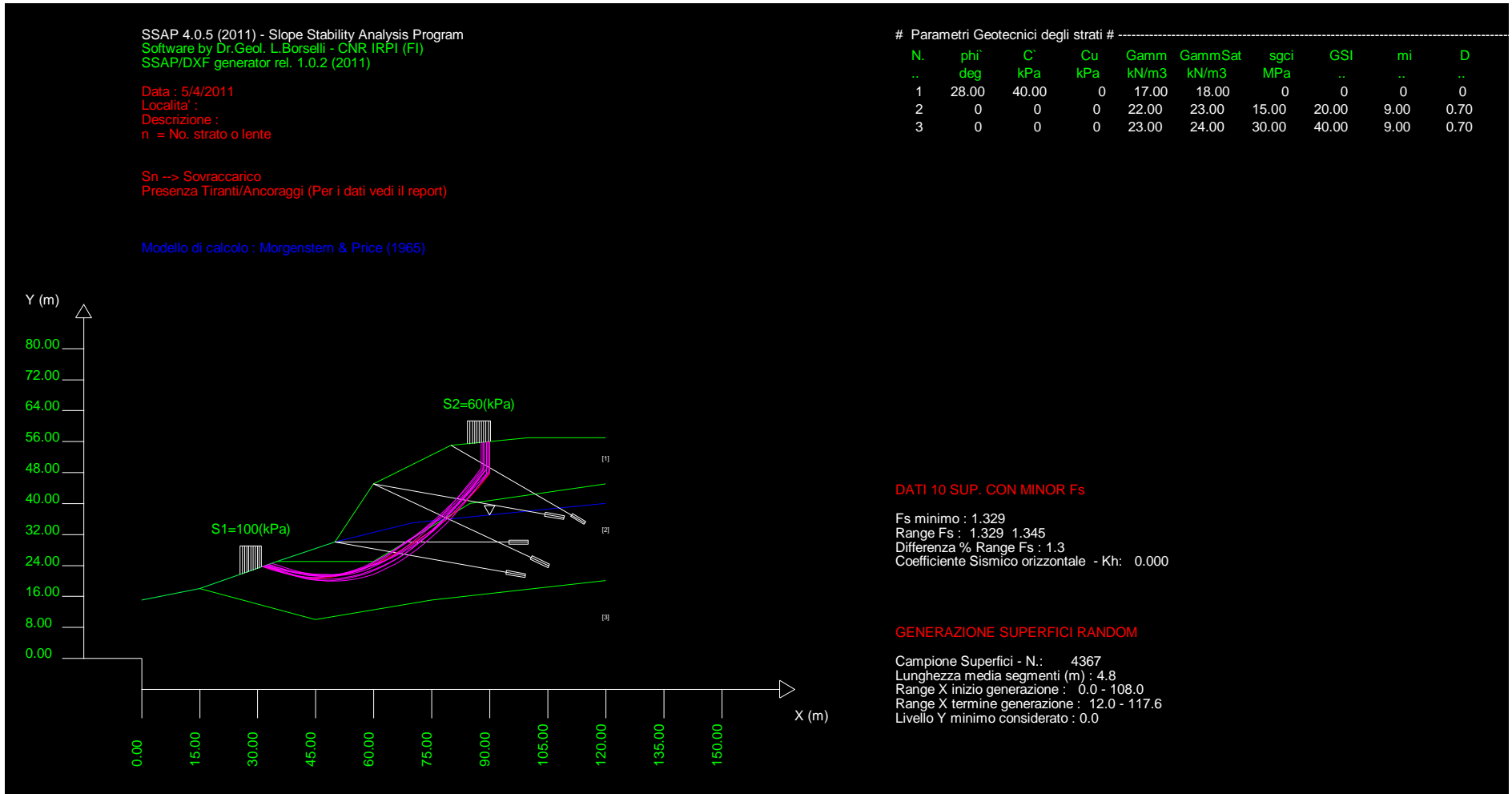


Fig. 6.2: modello pendio e Fascia critica con le dieci superfici con minor Fs. (fs: 1.329-1.345)

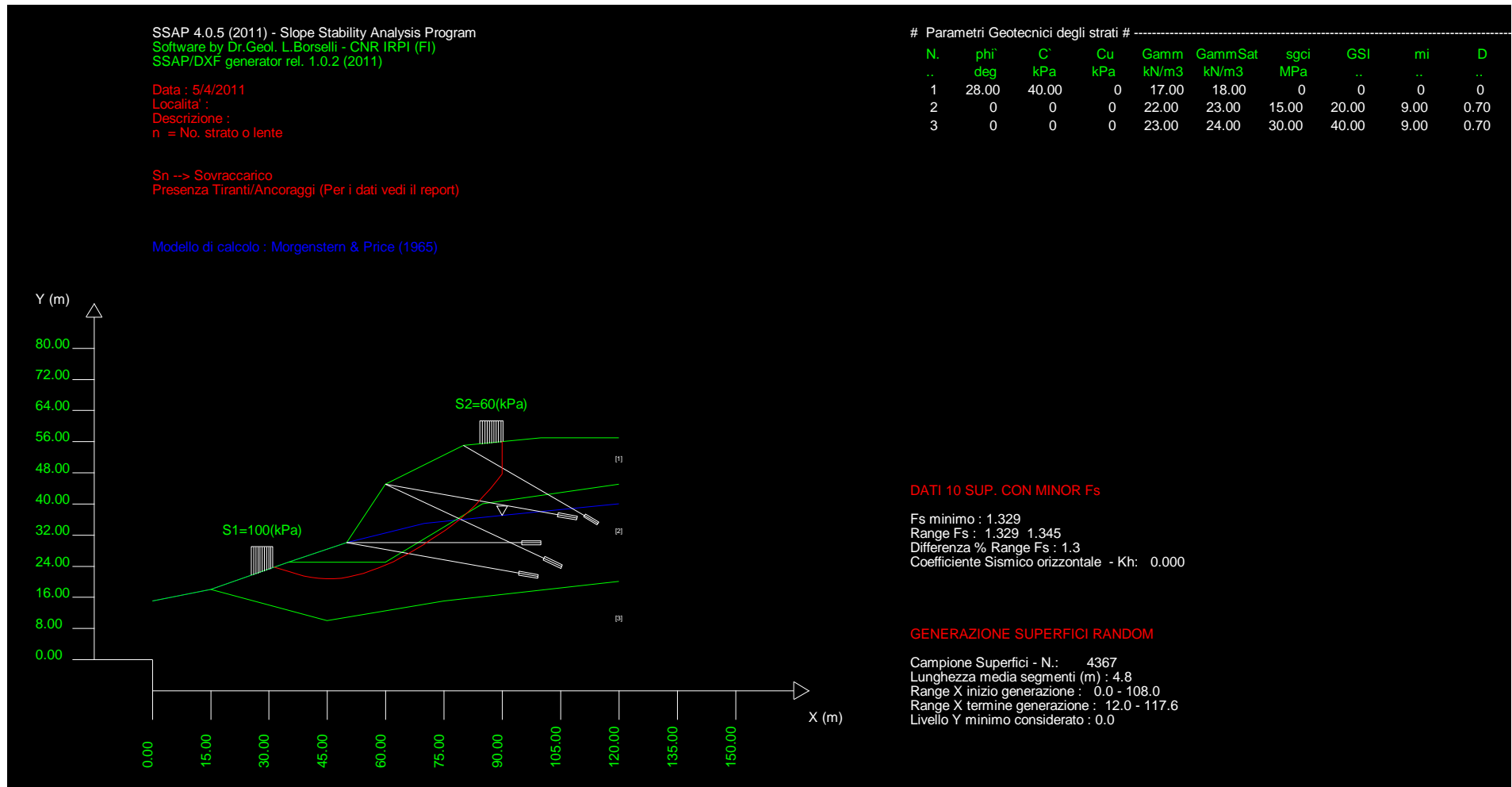


Fig. 6.3: Superficie Critica ; la superficie con minor Fs (1.329)

### 6.2.2 Esempio 2

File **FKCF2.MOD** nella directory `\pendii\benchmar`

Di seguito un esempio di verifica di stabilità di rilevato poggiate su strato a bassa resistenza. Caso critico, utilizzato nella letteratura internazionale, per testare i programmi di verifica di stabilità. 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 la pagina per i dettagli](#)).

Si ricorda che Numerosi altri esempi di applicazione aggiuntivi sono disponibili nella directory Pendii allegato al programma.

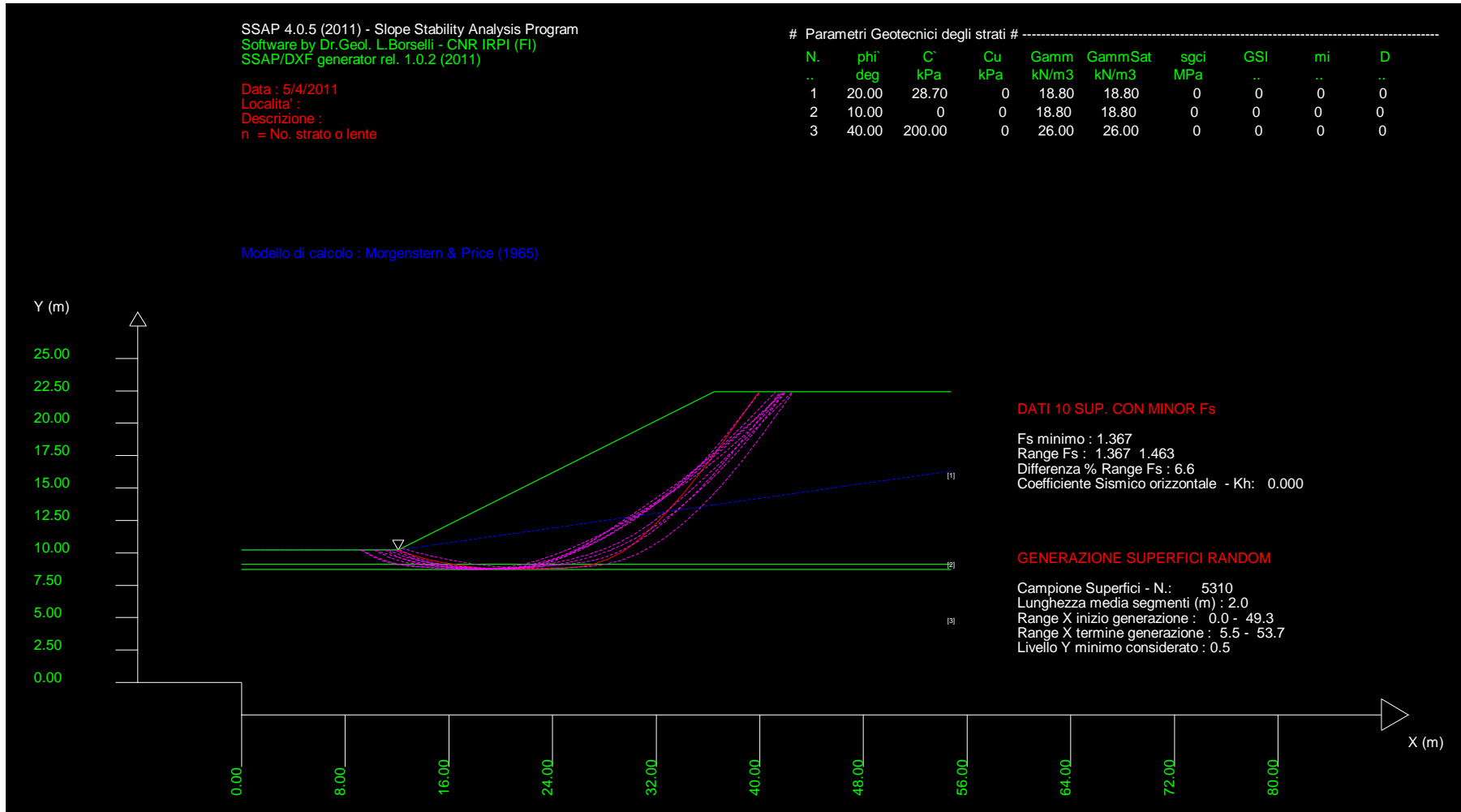


Fig. 6.4 Fascia critica; le dieci superfici con minor Fs ( $F_s > 1.367$ ), utilizzando il motore di ricerca CONVEX RANDOM SEARCH



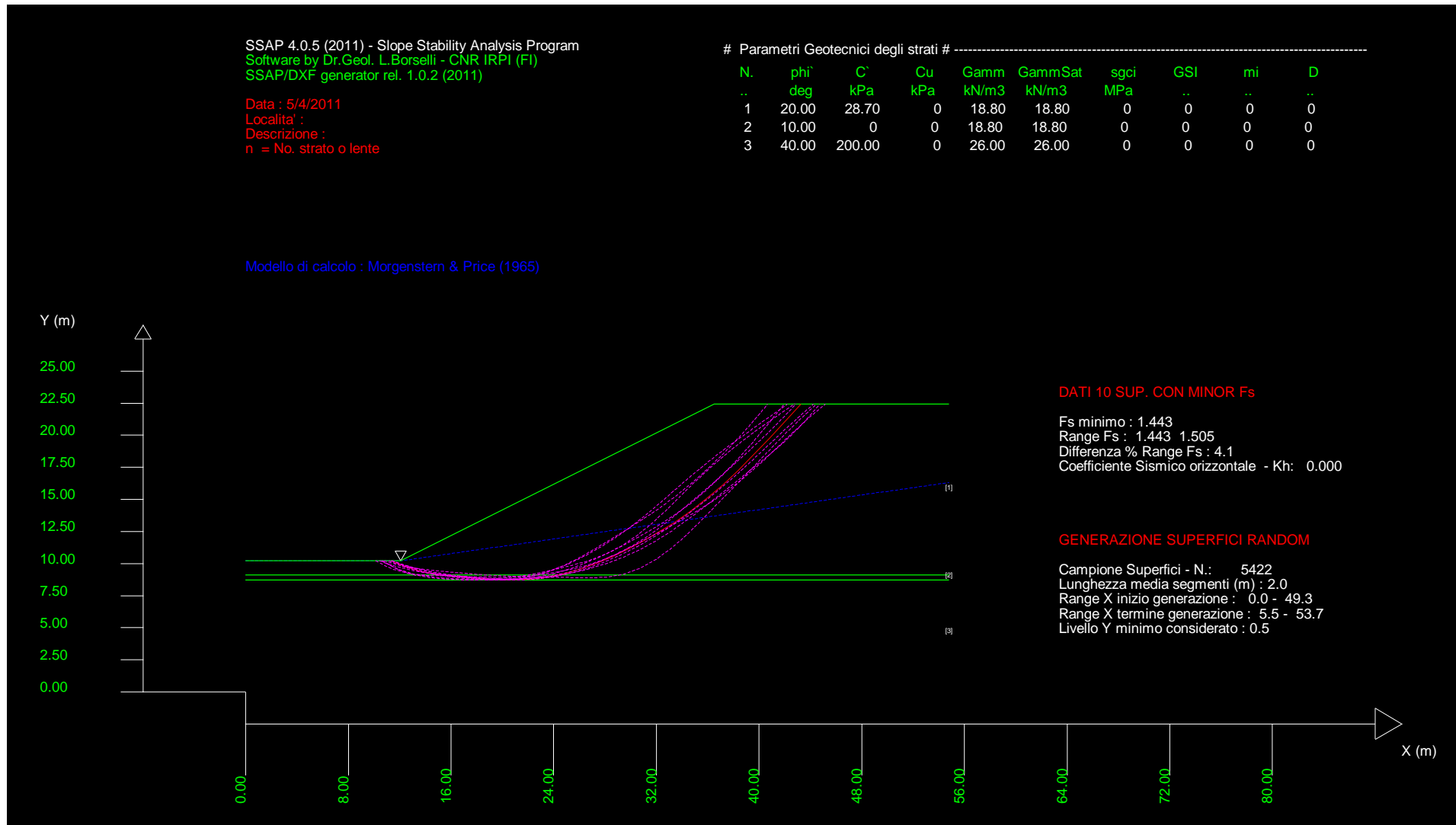


Fig. 6.5 Fascia critica; le dieci superfici con minor Fs ( $F_s > 1.443$ ), utilizzando il motore di ricerca RANDOM SEARCH

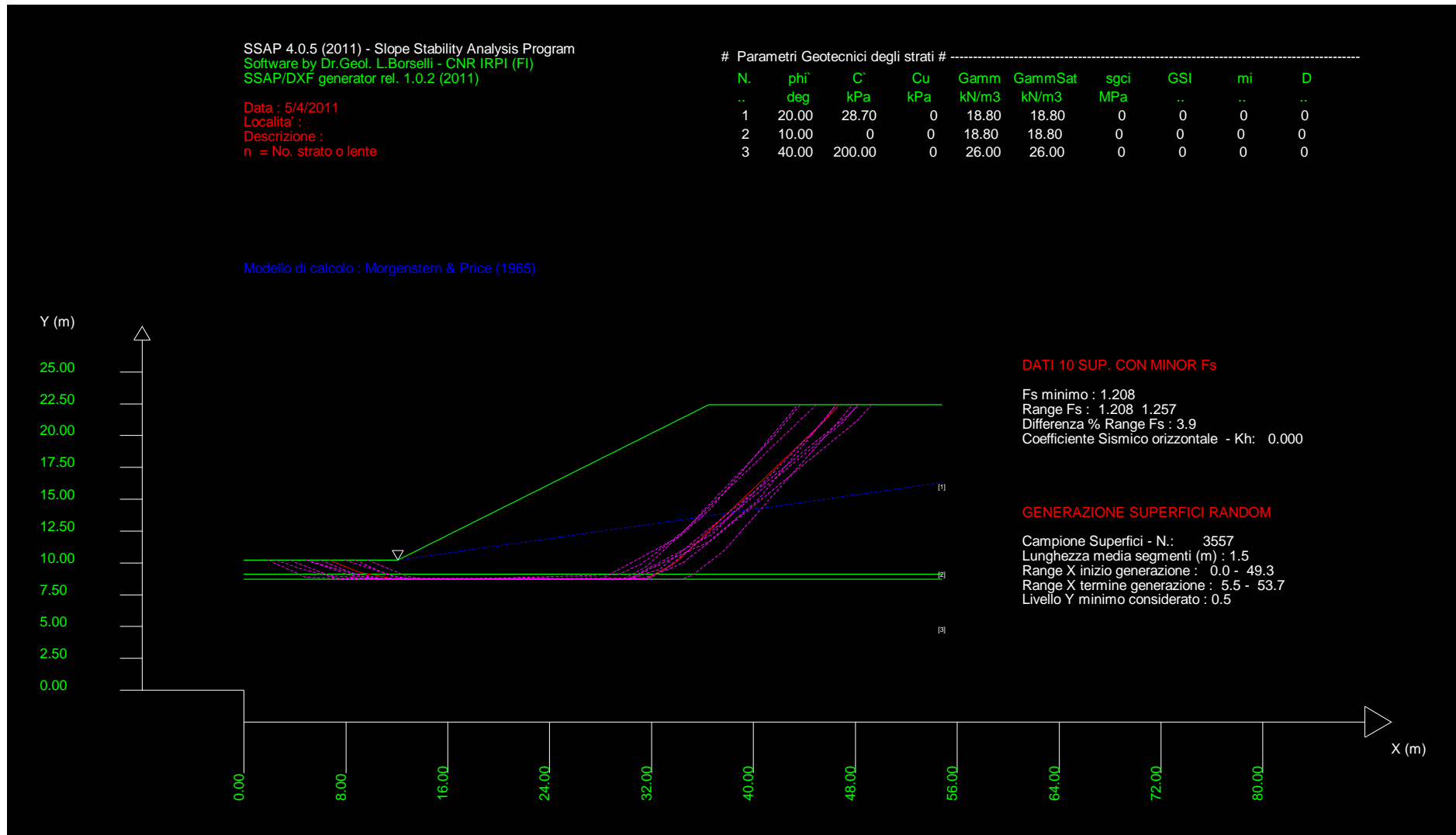


Fig. 6.6 Fascia critica; le dieci superfici con minor Fs (Fs 1.208-1.257) , utilizzando il motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH

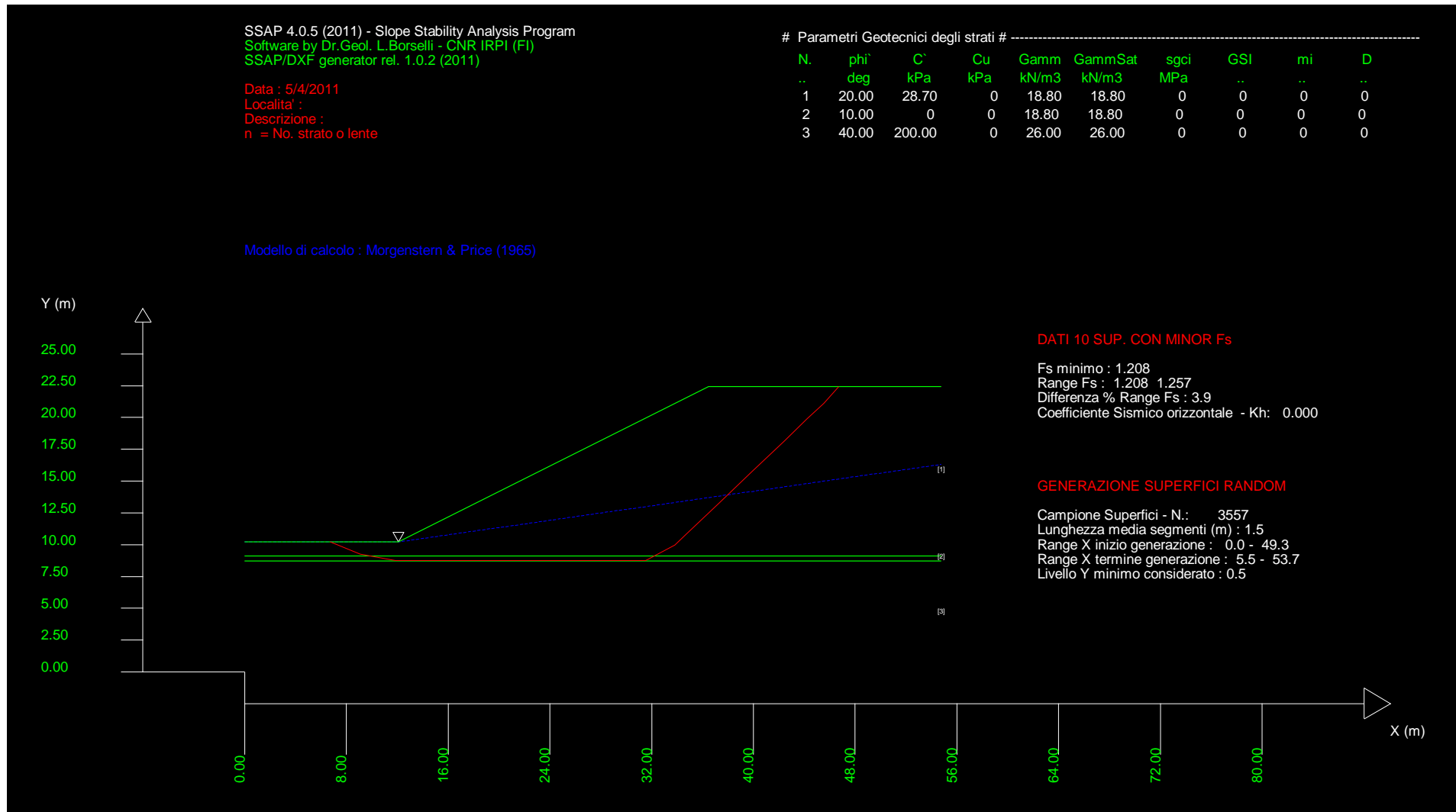
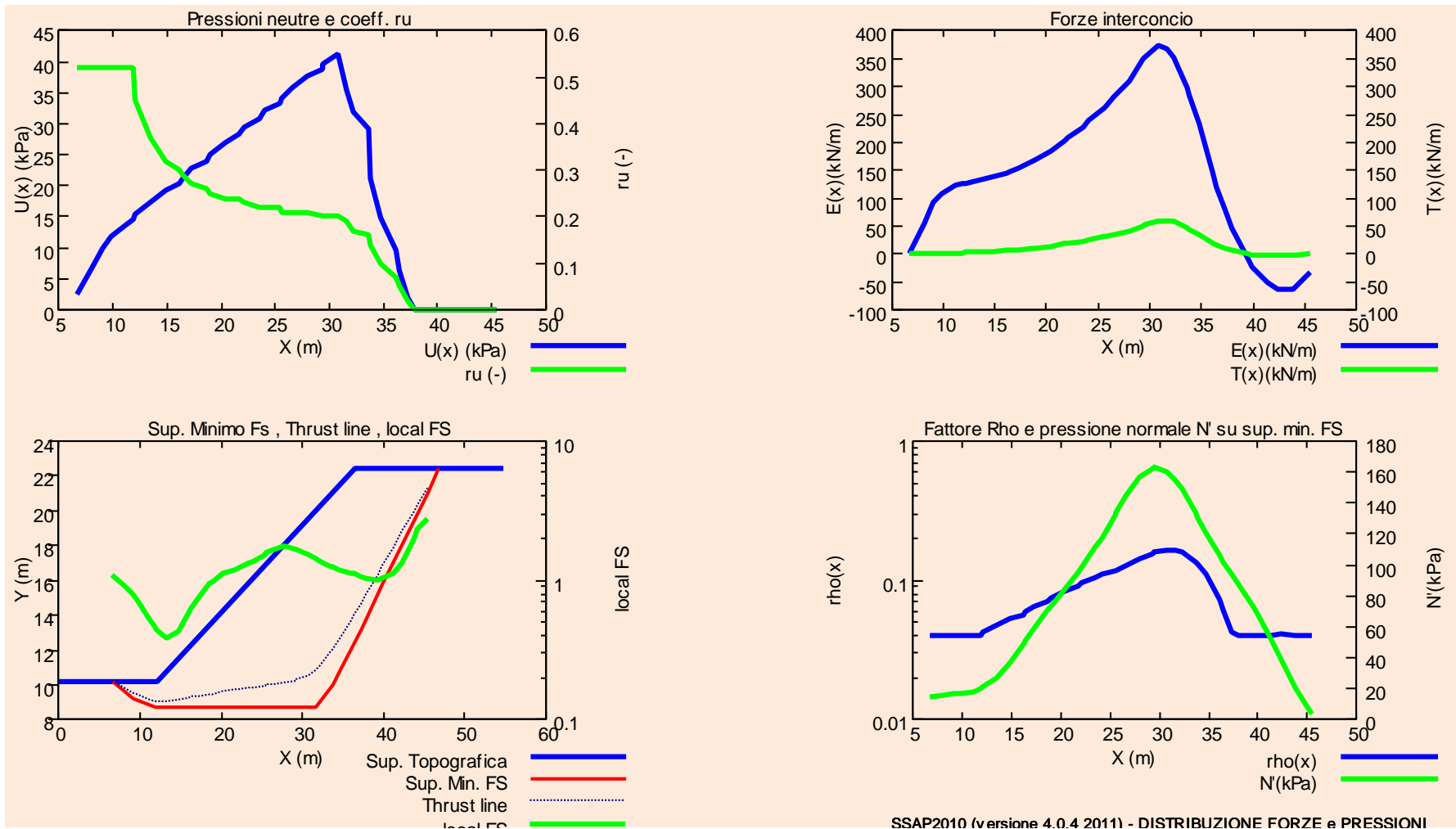


Fig. 6.7 Superficie critica assoluta (Fs 1.202) , utilizzando il motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH



SSAP2010 (versione 4.0.4 2011) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

Fig. 6.8 Superficie critica assoluta (Fs 1.202) distribuzione interna forze e pressioni

## 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.

### **7.2 Visualizzazione dei grafici durante le varie fasi di lavoro**

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.

E' sufficiente disporre di un programma per visualizzare i file DXF e predisporre l'opportuno setup del file SSAP2010.INI che è ubicato nella directory dove risiede il programma SSAP. Il programma di CAD può essere una applicazione completa come AUTOCAD o AUTOCAD LT della Autodesk<sup>(R)</sup> o programmi gratuiti che permettono la visualizzazione rapida e la stampa e la editazione dei file DXF. Ad esempio come **A9CAD** di A9TECH <sup>(R)</sup> disponibile gratuitamente su **<http://www.a9tech.com>**

Alcuni di questi programmi 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 G le informazioni sulla configurazione di SSAP2010 mediante il file **SSAP2010.INI**. (vedasi appendice G per dettagli )

## CAPITOLO 8 - RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

### 8.1 ELENCO DI TESTI A CARATTERE GENERALE

- ABRAMSON L.W. et al. (1996). 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
- 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 Reinhold company. New York.

### 8.2 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.
- 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.
- 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 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. & WRIGHT S.G. (1980) The accuracy of equilibrium methods of slope stability analysis. Engineering Geology, vol. 16 , pp 5-17.
- DUNCAN J. M.,(1996). State of the art : Limit equilibrium and finite-element analysis of slopes. Journal of geotechnical engineering. 122(7): 577-596.
- 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.
- FREDLUND D.G., KRAHN J., PUF AHL 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.
- 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.
- 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.
- ITO T., MATSUI T. (1981). Methods to estimate lateral force acting on stabilizing piles. *Soil and Foundation*. 21:21-37.
- 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 Willey e Sons pp 47-86.
- JEWELL R.A. (1990). Theory of reinforced walls: revised design charts for steep reinforced slopes. In "Reinforced Embankments: teory and pratice" , 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.
- 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 o 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.
- 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) Determiration of critical slope failure surfaces. *Journal of Geotechnical Eng.* Vol. 111 No.2 pp 238- 250.
- 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,, Austalia . 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.
- 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.*, 124~8!, 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. I coefficienti moltiplicativi sono forniti in due versioni: i valori esatti ed i valori approssimati (es. 100 invece di 98.1) che possono essere ugualmente utilizzati senza commettere un errore significativo.

### **FORZA(forza peso)**

	Coefficienti moltiplicativi		
UNITA' non SI	Coefficiente esatto	Coefficiente approssimato	UNITA' SI
kg	9.81	10	N
T	9.81	10	kN

esempio : 2 T = 2 X 10 = 20 kN (kiloNewton)

### **PRESSIONE**

	Coefficienti moltiplicativi		
UNITA' non SI	Coefficiente esatto	Coefficiente approssimato	UNITA' SI
kg/cm <sup>2</sup>	98.1	100	kPa
T/m <sup>2</sup>	9.81	10	kPa

esempio : 2 kg/cm<sup>2</sup> = 2 X 100 = 200 kPa (kiloPascal o kiloNewton/metro<sup>2</sup>)

### **PESO DI VOLUME ( o DENSITA' APPARENTE)**

	Coefficienti moltiplicativi		
UNITA' non SI	Coefficiente esatto	Coefficiente approssimato	UNITA' SI
kg/cm <sup>3</sup>	9.81	10	kN/m <sup>3</sup>
T/m <sup>3</sup>	9.81	10	kN/m <sup>3</sup>

esempio : 2 T/m<sup>3</sup> = 2 X 10 = 20 kN/m<sup>3</sup> (kiloNewton/metro<sup>3</sup>)



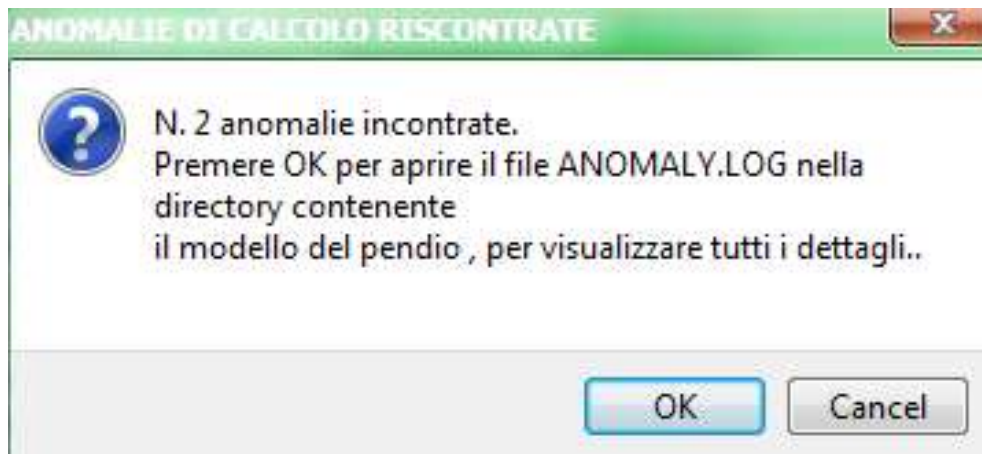
## APPENDICE B -ANOMALIE E MESSAGGI di ERRORE

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.

Questa limitazione è stata imposta per evitare la effettuazione di ulteriori verifiche di stabilità in presenza si alcune situazioni critiche. Il blocco di sicurezza impedisce che possano venire utilizzati risultati di verifiche di stabilità non completamente affidabili.

Di seguito vengono descritte alcune delle anomalie più frequenti che portano al non avvio o al blocco del processo di verifica:

- **Area dati in directory con nome percorso con spazi vuoti**
- **Nomi files contengono spazi vuoti**
- **Anomalie nella individuazione degli strati:**

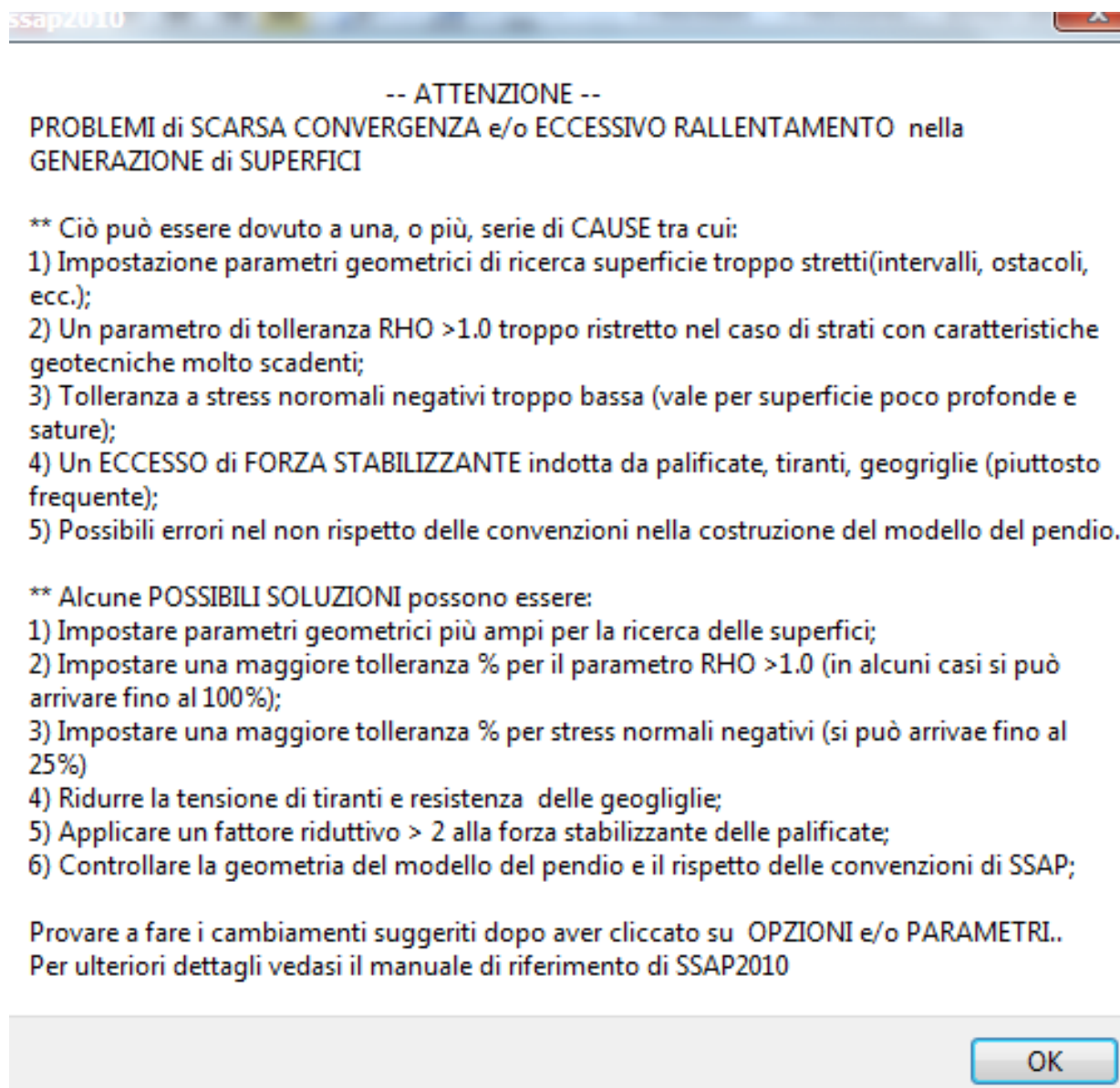


```

Programmer's File Editor - [D:\ssap2010\pendii\BENCHMARK\anomaly.log *]
File Edit Options Template Execute Macro Window Help
[Icons]
SSAP 4.0.5 (2011)
-----
ANOMALIE DI CALCOLO RISCOBRATE DURANTE LA VERIFICA:
Attenzione questa lista di anomalie si riferisce a superfici che non sono state
utilizzate per calcolare FS durante la verifica di stabilita'. La presenza di
queste anomalie non ha permesso di completare il calcolo di Fs per le superfici
dove si e' verificata la anomalia.
Queste infomazioni vengono riportate perchè le anomalie il più delle volte sono
prodotte da errori localizzati nella geometria delle superfici che definiscono
il modello del pendio. Elminando queste anomalie è possibile migliorare la
attendibilita'generale della verifica di stabilita' complessiva.
-----
N:B: il numero di anomalie indicate e' pari al numero di superfici effettive
per le quali il valore di Fs non e' stato calcolato.
-----
Condizione di errore ! - mancata assegnazione strato a un elemento di un Concio
ERRORE Settore CONCIO - coordinate (Xm,Ym)=( 8.2757 , 10.2000) dX= 1.2277
Verticali concio: (sinistra)X1= 7.6619 (destra)X2= 8.8896
-----
Condizione di errore ! - mancata assegnazione strato a un elemento di un Concio
ERRORE Settore CONCIO - coordinate (Xm,Ym)=( 11.8871 , 10.2000) dX= 0.4257
Verticali concio: (sinistra)X1= 11.6743 (destra)X2= 12.1000
-----
Ln 9 Col 51      22      # |wR      |Rec Off|No Wrap|DOS|INS

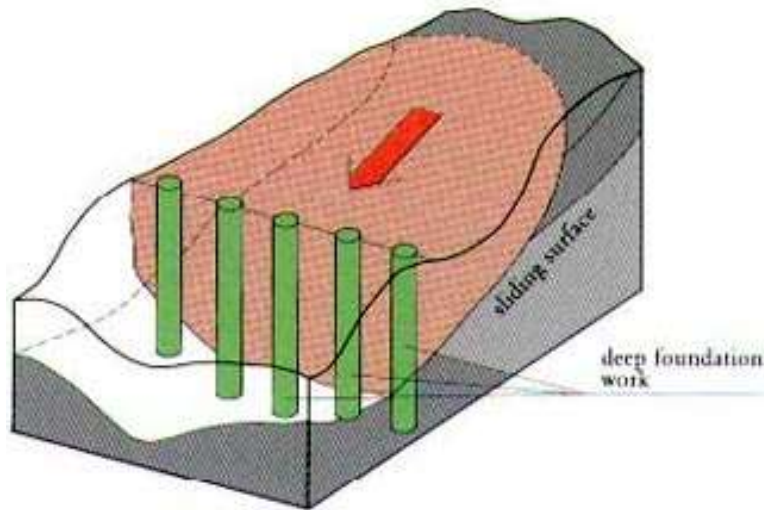
```

- **Anomalia per bassa convergenza o capacità di generare superfici random.** Si veda la figura qui sotto che illustra possibili cause e soluzioni:



## APPENDICE C -VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA AL TAGLIO DI UNA PALIFICATA SU PENDIO IN FRANA.

Questo documento è relativo determinazione del 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



**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 dall'uso delle indicazioni contenute in questo documento.

Per una palificata la resistenza al taglio del calcestruzzo armato deve essere moltiplicato per un fattore geometrico  $\mathcal{E}$  (compreso tra 0 e 2):

$$\tau_p = \frac{\mathcal{E}\tau_c}{F_c} \quad (C.1)$$

dove :

$\tau_p$  = resistenza al taglio della palificata – es.  $C_u$  non drenata equivalente ( kPa)

$\tau_c$  = resistenza al taglio del calcestruzzo armato(Kpa)

$F_c$  = Fattore di sicurezza aggiuntivo ( Variabile tra 1 e 3) che puo essere scelto dal progettista in funzione di vari fattori come: qualità del calcestruzzo, aggressività della falda, invecchiamento del materiale, integrità dei pali

Il fattore geometrico  $\mathcal{E}$  si calcola con la seguente espressione e dipende dalla geometria della palificata:

$$\varepsilon = \frac{\frac{L}{D1} \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2}{DL} \quad (\text{C.2})$$

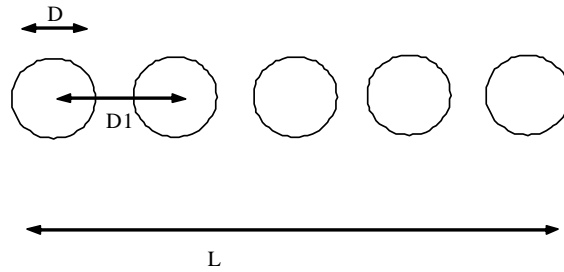
dove :

$\varepsilon$  = fattore moltiplicativo (adimensionale)

D1 = interasse minimo tra i pali (m)

D = diametro dei pali (m)

L = lunghezza della palificata (m)



Nel caso di file di pali sfalsate D1 deve essere considerato sulla proiezione sulla linea parallela alla palificata (in questo caso D1 può essere minore di D)

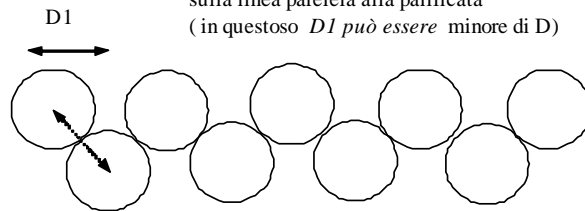


Figura 1: schema di palificata in pianta

Se si ottiene un  $\varepsilon$  maggiore di 1.5 considerare che in effetti si ha come una fila di pali con diametro D maggiorato. **Non usare MAI un  $\varepsilon$  maggiore di 2 !**

## APPENDICE D - APPLICAZIONE DEL CRITERIO DI ROTTURA Hoek Et Al. (2002) 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.





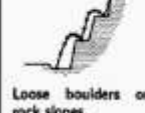
STRUCTURE	TYPICAL PROBLEMS	CRITICAL PARAMETERS	ANALYSIS METHODS	ACCEPTABILITY CRITERIA
 Landslides.	Complex failure along a circular or near circular failure surface involving sliding on faults and other structural features as well as failure of intact materials.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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

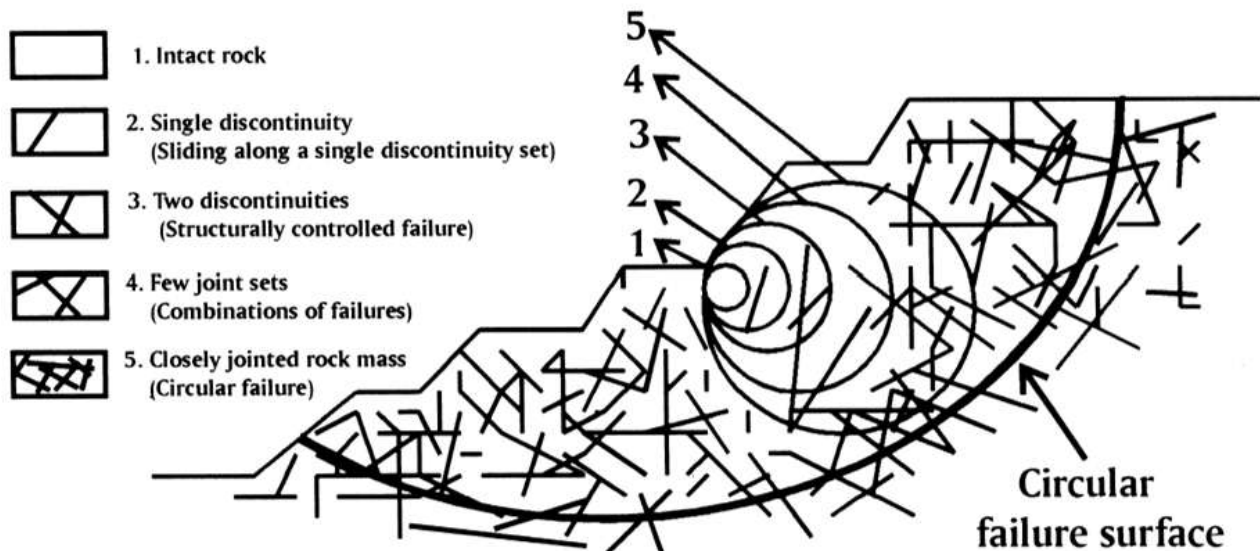


Fig. D2

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.

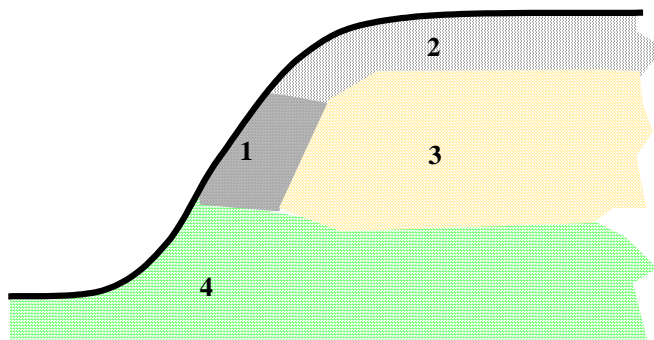


Fig. D.3

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.

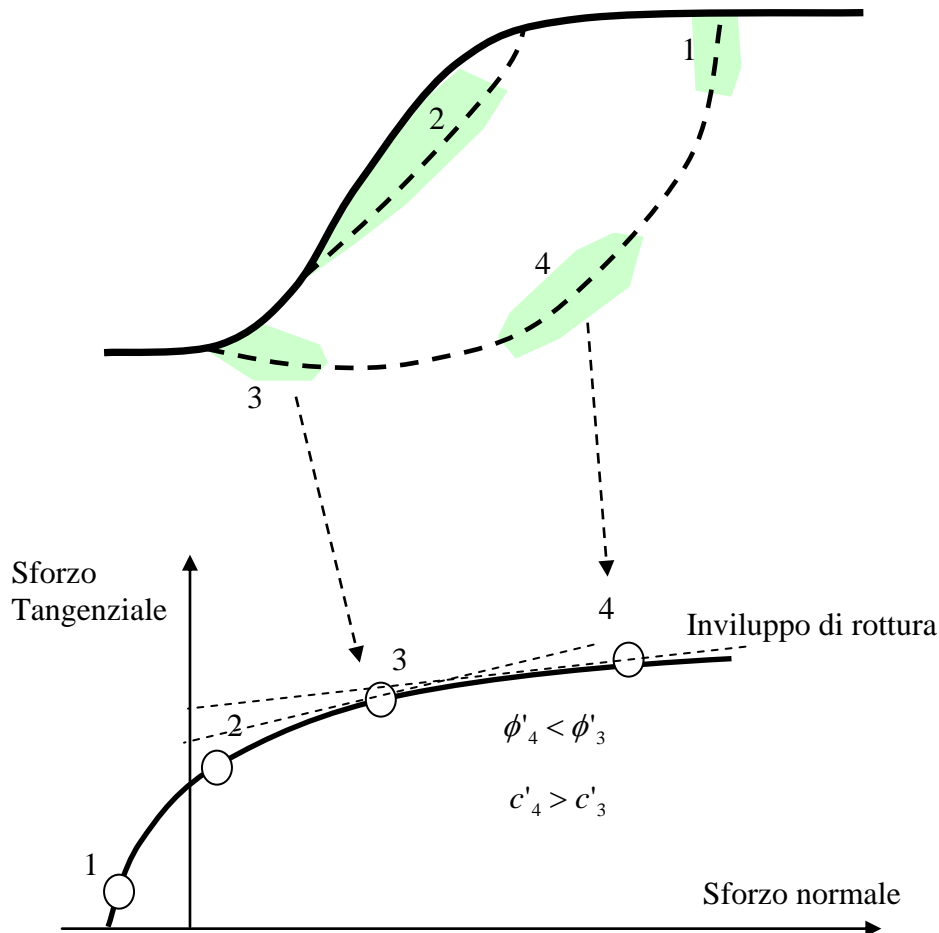


Fig. D.4

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:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right) \quad (D.1)$$



$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad (D.2)$$

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

Successivamente si determinano i parametri  $\phi'$  e  $c'$  equivalenti con le seguenti espressioni:

$$\phi' = \sin^{-1} \left[ \frac{6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right] \quad (D.4)$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} \left[ (1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n} \right] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \left( 6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1} \right) / ((1+a)(2+a))}} \quad (D.5)$$

Dove:

$$\sigma_{3n} = \sigma'_{3\max} / \sigma_{ci} \quad (D.6)$$

$$\frac{\sigma'_{3\max}}{\sigma_{cm}} = 0.72 \left( \frac{\sigma_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91} \quad (D.7)$$

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

Il parametro  $\sigma'_{cm}$  rappresenta la resistenza alla compressione uniaassiale 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 Granodiorite (29 ± 3)	Diorite 25 ± 5		
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal			Porphyries (20 ± 5)	Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	
		Pyroclastic		Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)

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

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

<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,

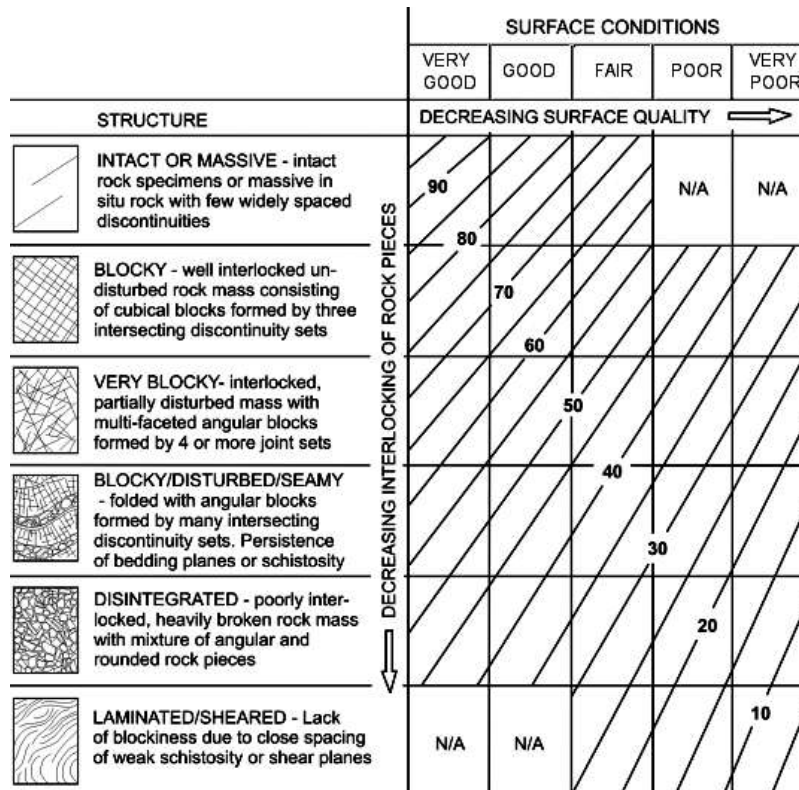


Fig. D.6

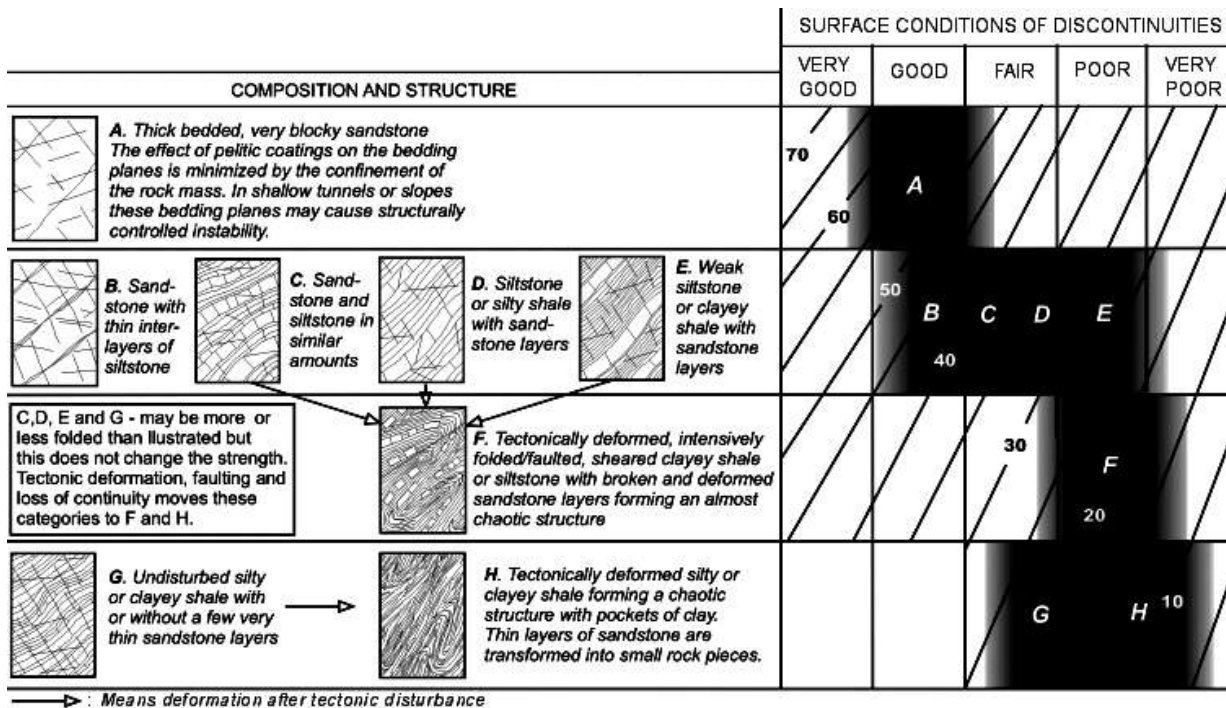


Fig. D.7

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.

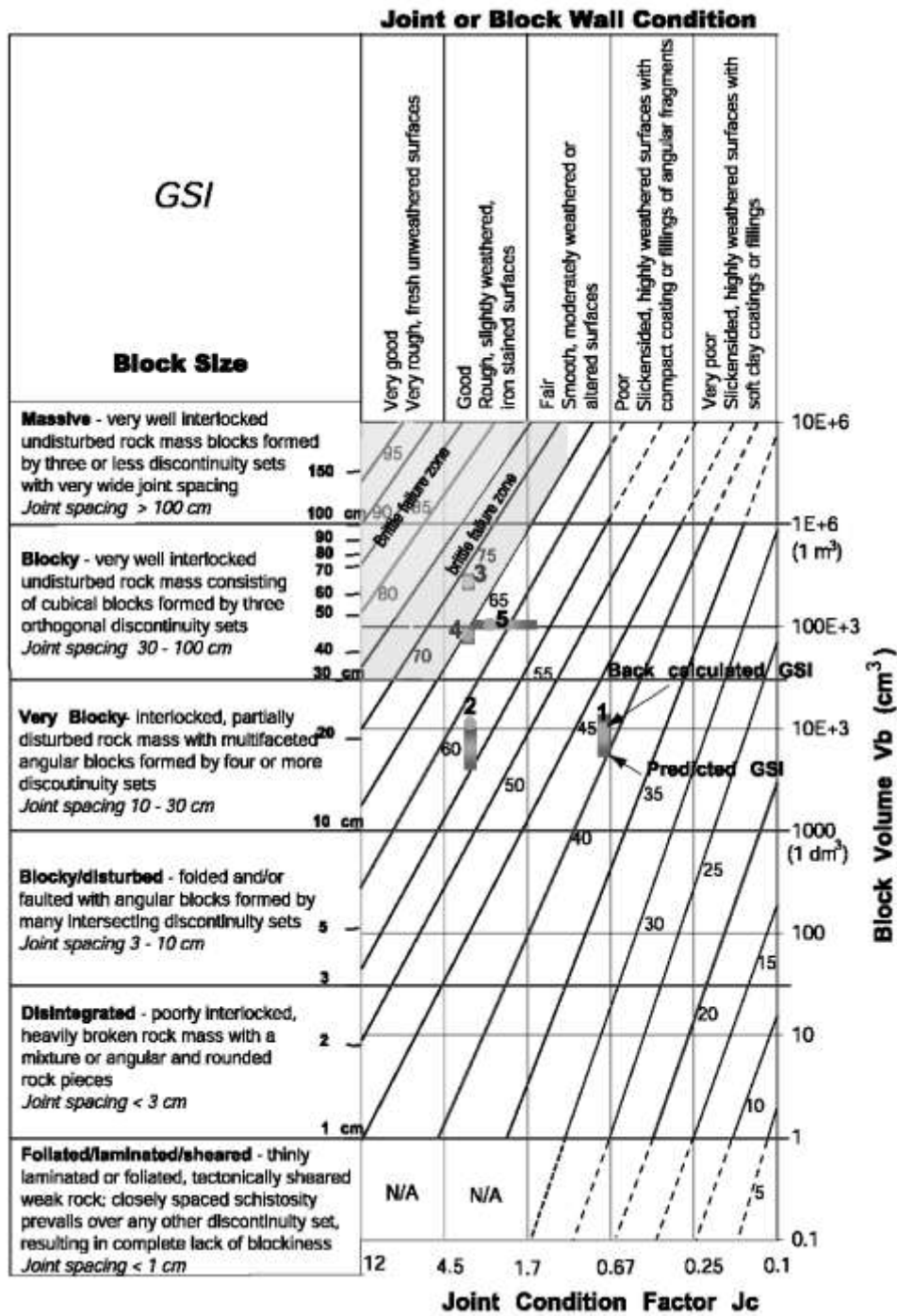


Fig. D.8

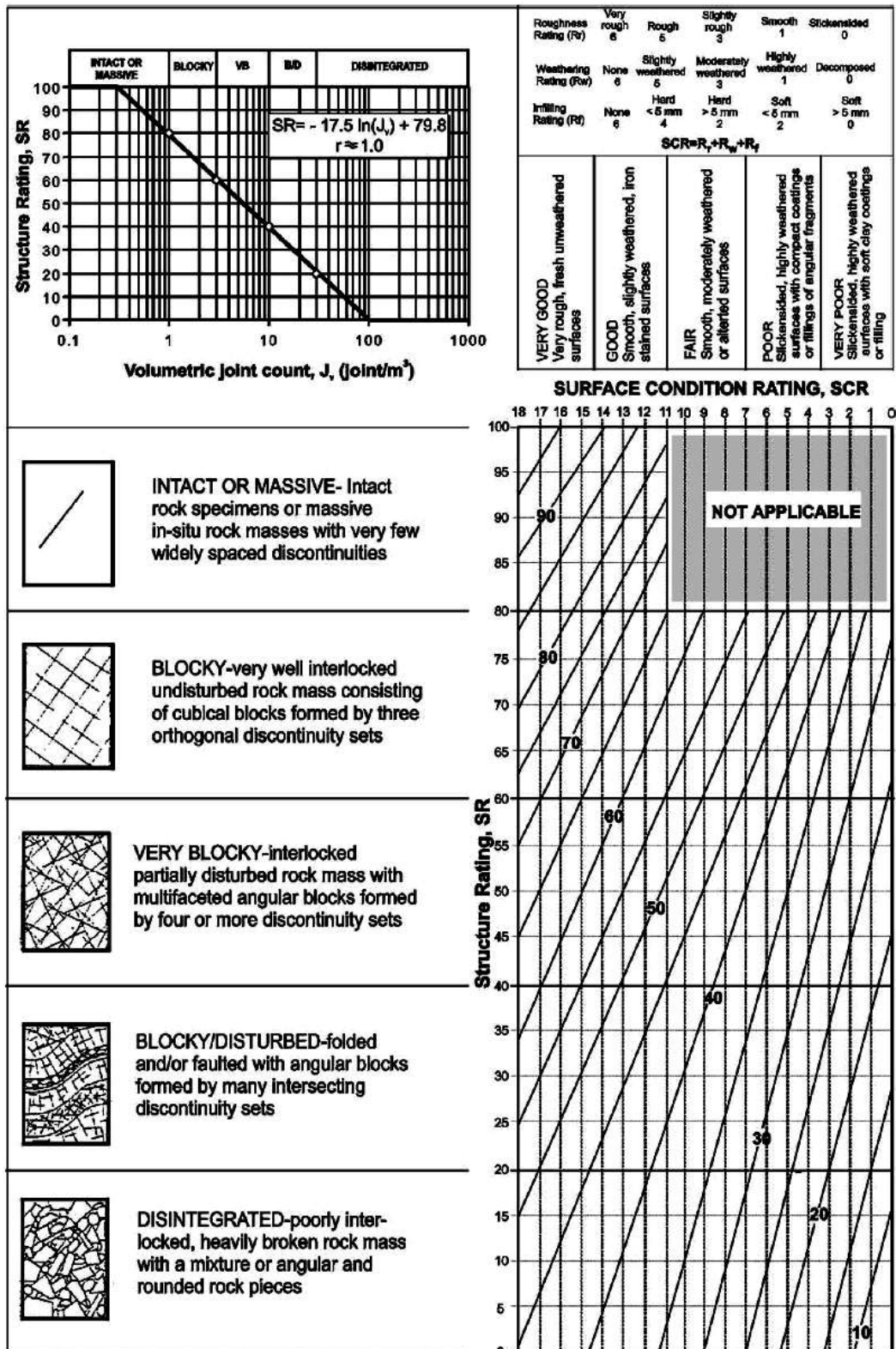


Fig. D.9

### D.3 Resistenza al taglio di riempimenti di superfici strutturali

In alcuni ammassi rocciosi esistono superfici strutturali riempite di materiale che ha 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.

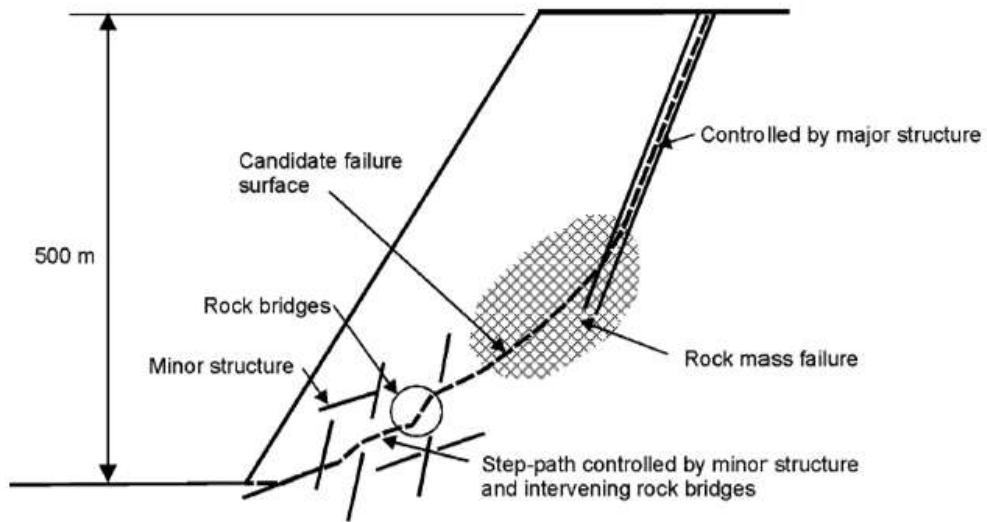


Fig. D.10

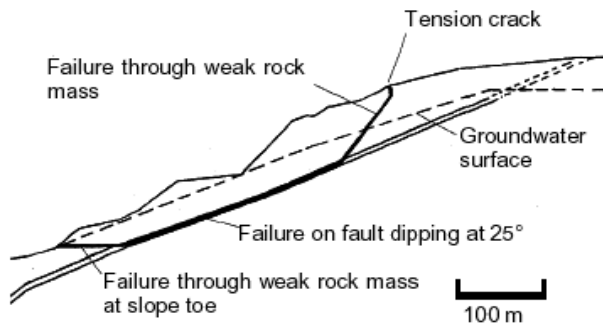


Figure 11.31: Complex slope failure controlled by an outward dipping basal fault and circular failure through the poor quality rock mass overlying the toe of the slope.

Fig. D.11

Rock	Description	Peak $c'$ (MPa)	Peak $\phi^o$	Residual $c'$ (MPa)	Residual $\phi^o$
Basalt	Clayey basaltic breccia, wide variation from clay to basalt content	0.24	42		
Bentonite	Bentonite seam in chalk Thin layers Triaxial tests	0.015 0.09-0.12 0.06-0.1	7.5 12-17 9-13		
Bentonitic shale	Triaxial tests Direct shear tests	0-0.27	8.5-29	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 Stratification surfaces	0.06	32	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, PI = 17%)	0	26.5		
Granite	Clay filled faults Sandy loam fault filling Tectonic shear zone, schistose and broken granites, disintegrated rock and gouge	0-0.1 0.05 0.24	24-45 40 42		
Greywacke	1-2 mm clay in bedding planes			0	21
Limestone	6 mm clay layer 10-20 mm clay fillings <1 mm clay filling	0.1 0.05-0.2	13-14 17-21	0	13
Limestone, marl and lignites	Interbedded lignite layers Lignite/marl contact	0.08 0.1	38 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 0.016-0.02	14 7.5-11.5	0.08	11
Schists, quartzites and siliceous schists	100-15- mm thick clay filling Stratification with thin clay Stratification with thick clay	0.03-0.08 0.61-0.74 0.38	32 41 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 (Hoel et al., 2002).

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

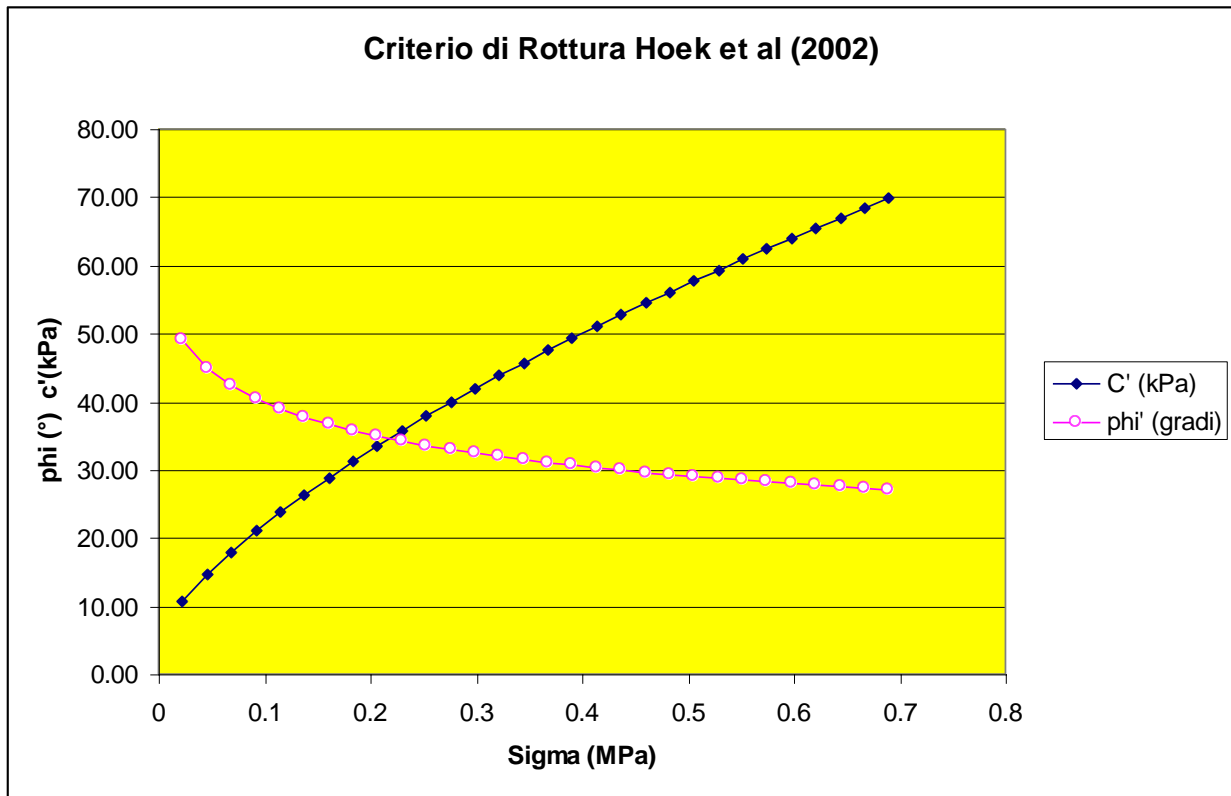


Fig. D.13

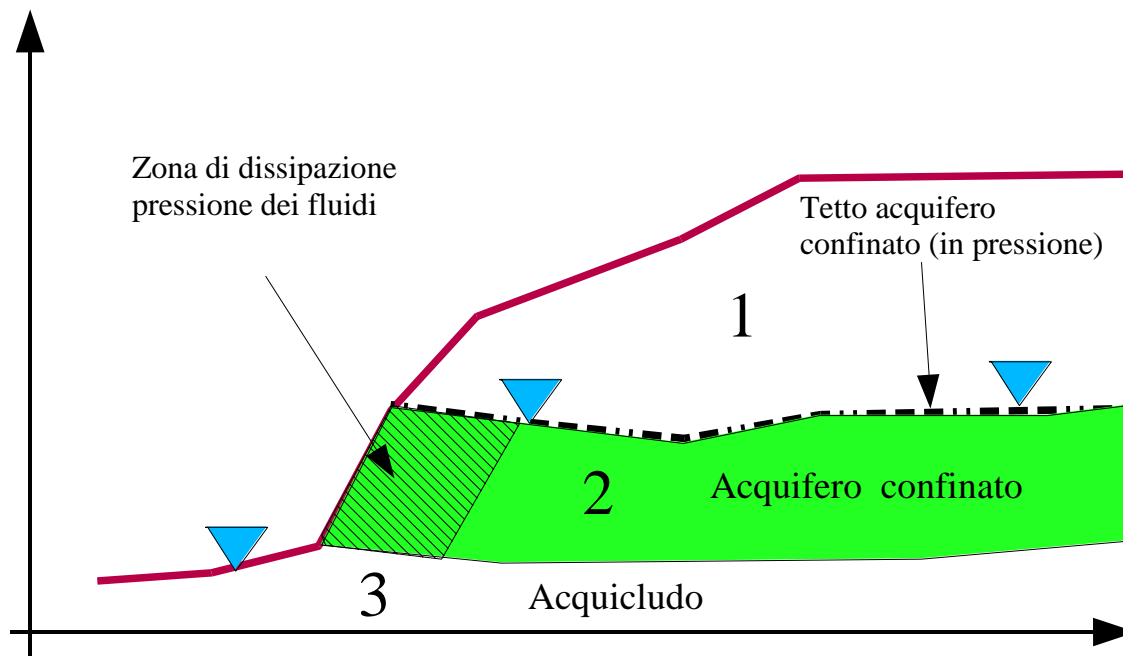
Si noti nella figura D.13 la variazione dei parametri  $\phi'$  e  $c'$  equivalenti all'aumentare della pressione litostatica verticale.

### 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 menù principale **Parametri|Acquiferi e Fluidi**, apparirà una finestra come in figura E.1.

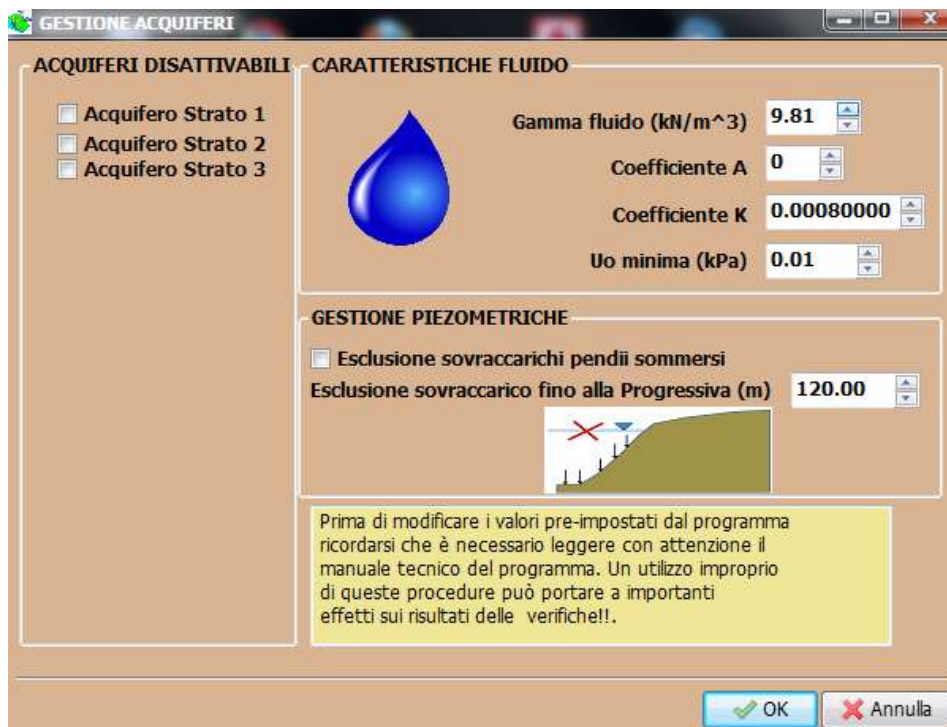


Figura E.1

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 pendo 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.

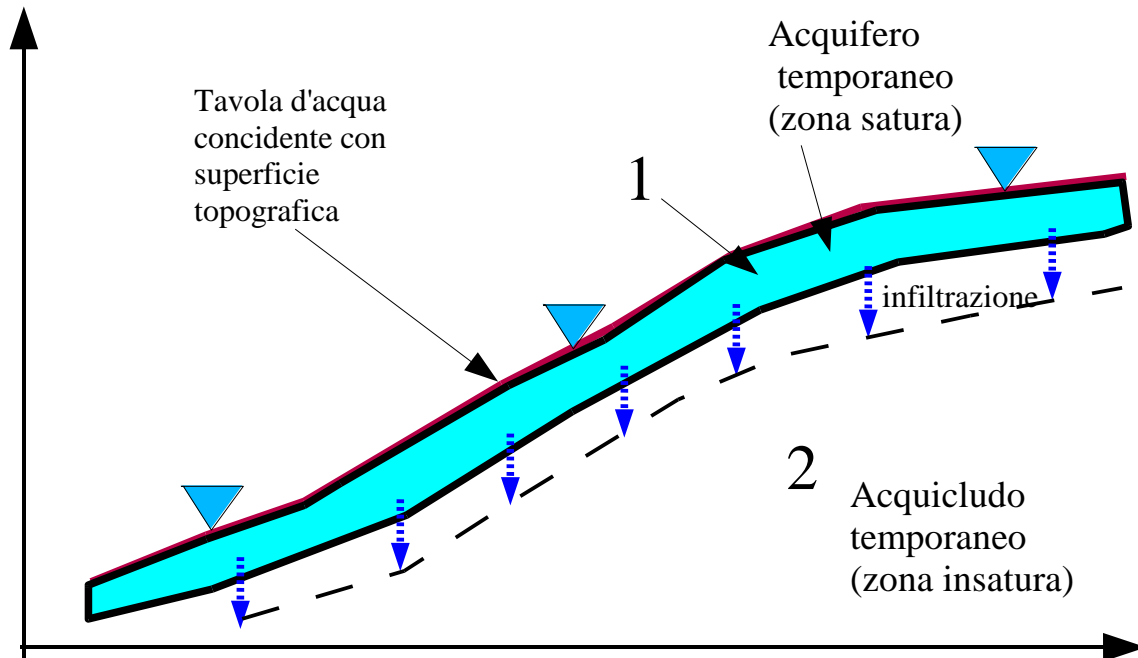


Figura E.2

#### 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.3.

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.3 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 l'esclusione dal calcolo della pressione neutra degli strati 1 e 3 è sufficiente a definire il problema.

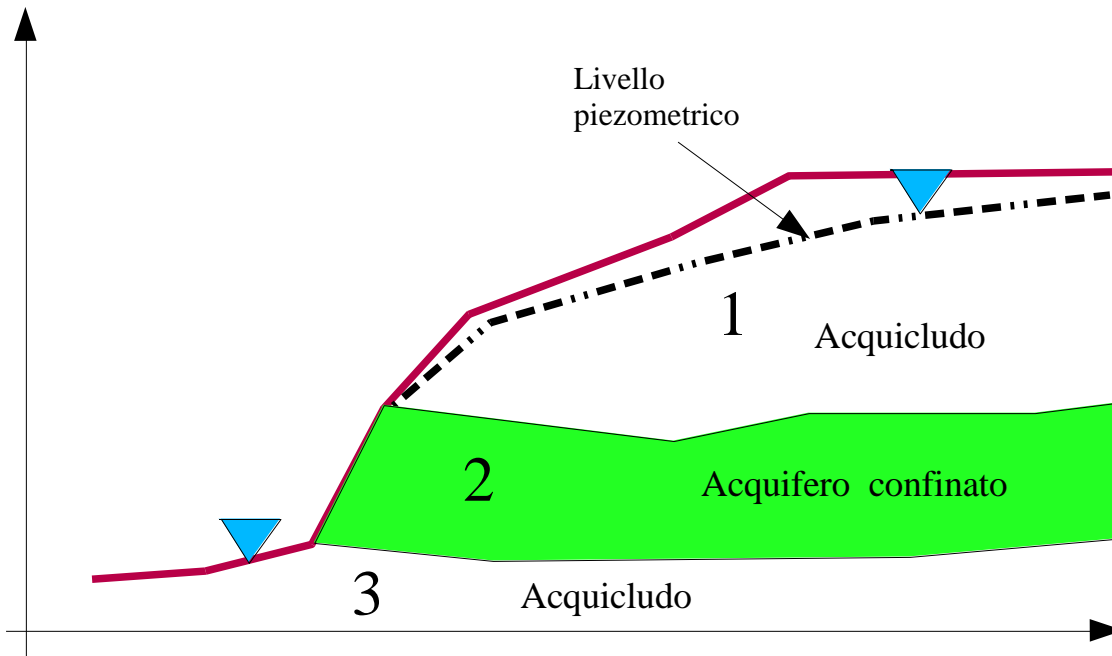


Figura E.3

### 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.

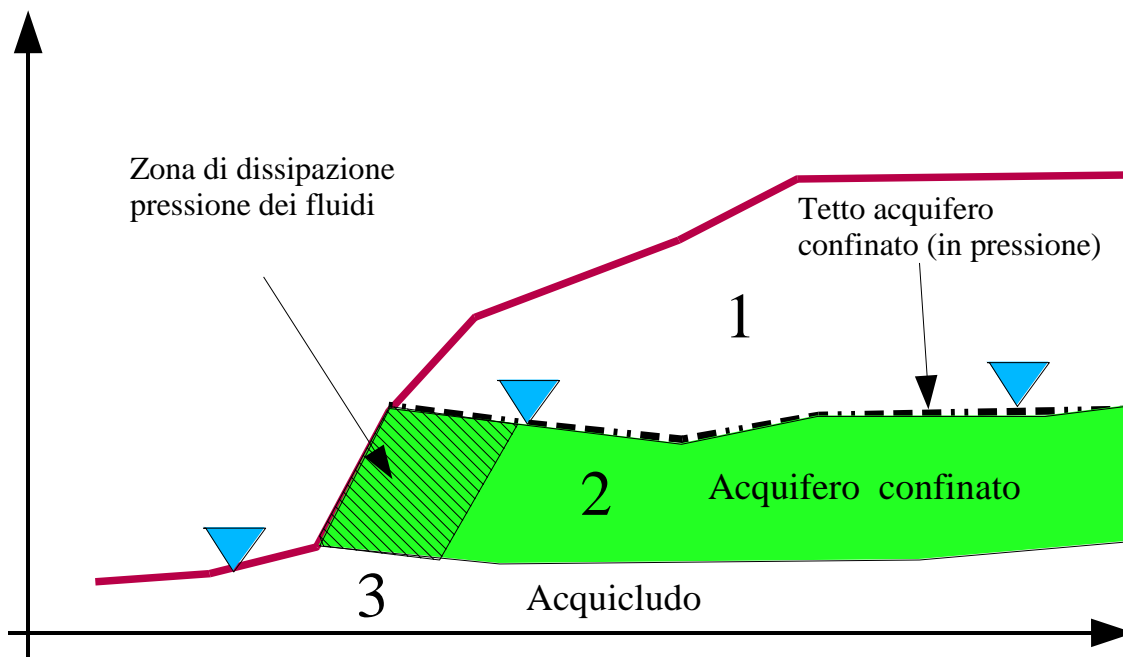


Figura E.4

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.5 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 questi ambienti può essere conveniente abbinare l'uso della funzione di dissipazione a un valore del

<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

peso unitario del fluido maggiore di quello dell'acqua, che è normalmente 9.81.

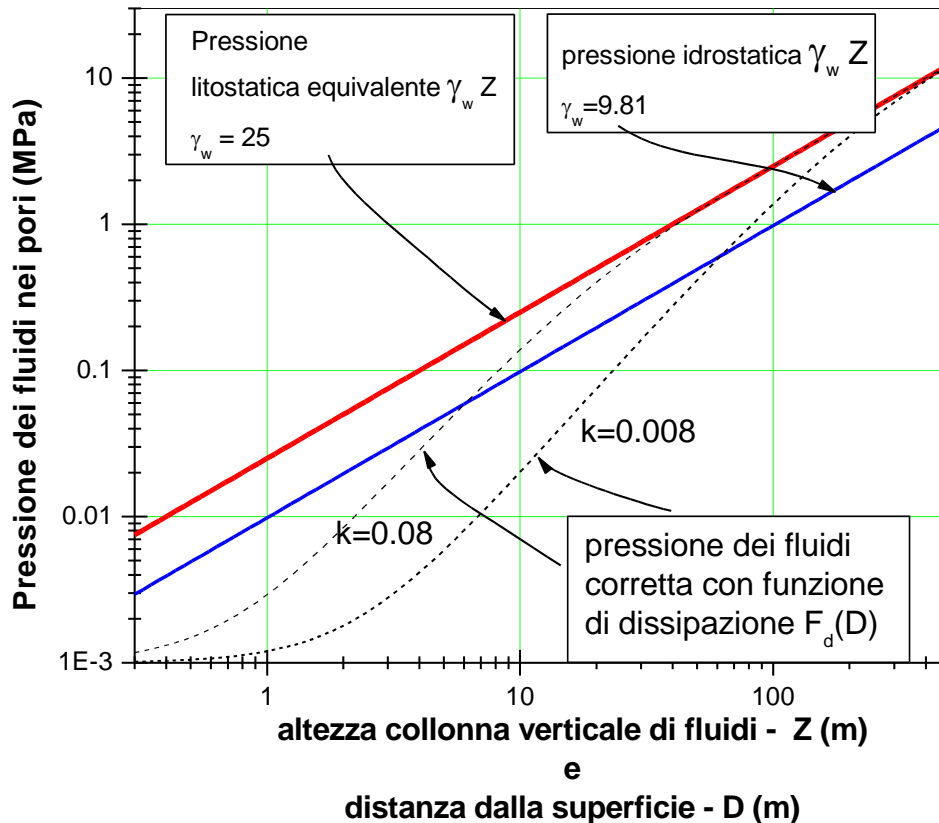


Figura E.5

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.6. 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.7).

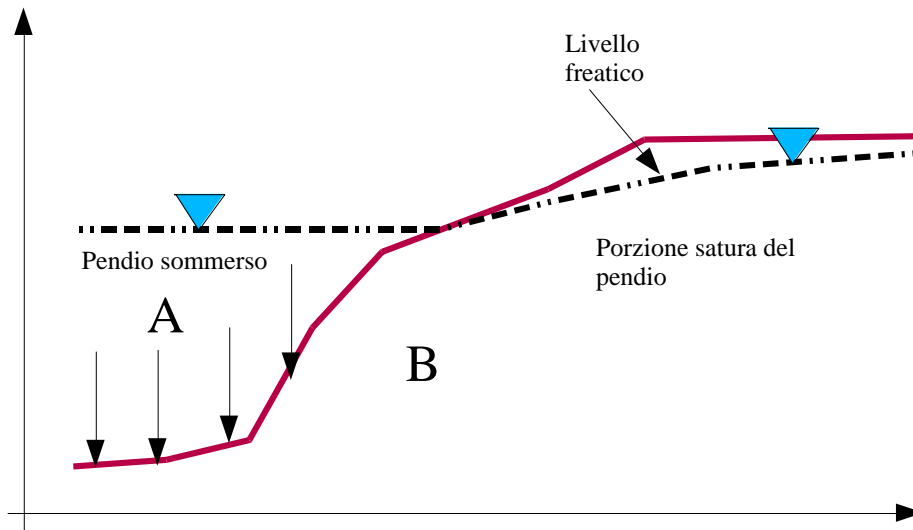


Figura E.6

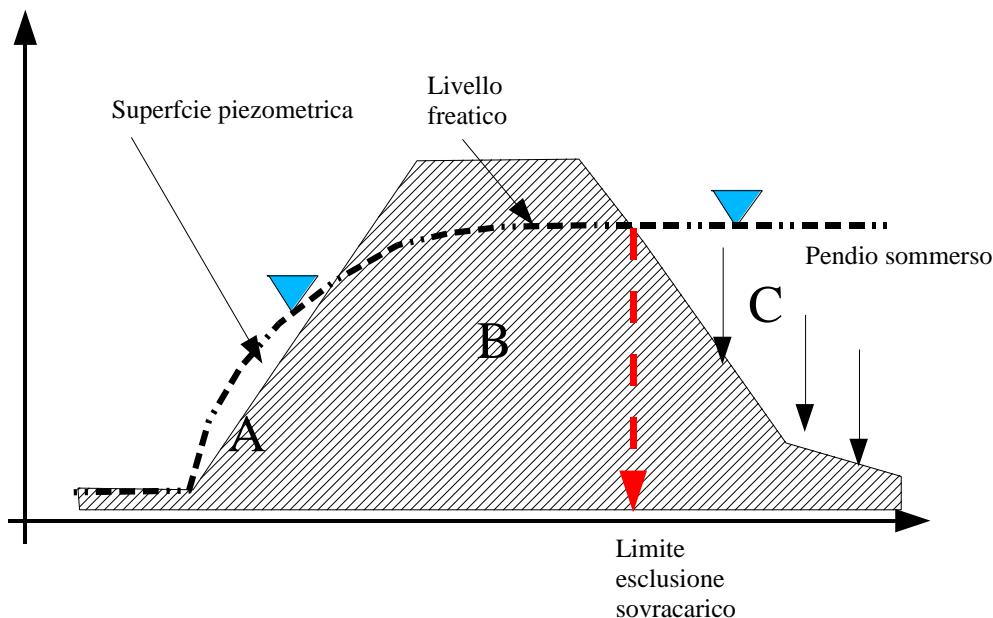


Figura E.7

## 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 perchè 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, come ad ascoltare e trarre profitto da critiche e suggerimenti.



## APPENDICE F - ESEMPIO DI REPORT PRODOTTO DAL PROGRAMMA

**[avvertenza importante]** per riprodurre correttamente la formattazione delle tabelle del rapporto prodotto da SSAP, dopo l'inserimento 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.]

# Report elaborazioni #

-----  
 - SSAP 4.0.5 - Slope Stability Analysis Program -  
 by Dr. Geol. L.Borselli - (1991,2011) CNR-IRPI, Firenze  
 -----

File report: D:\ssap2010\pendii\ESEMPI\xxx.txt

Data: 5/4/2011

Localita' :

Descrizione:

----- 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
0.00	15.00	35.00	25.00	15.00	18.00	-	-
15.00	18.00	60.00	25.00	45.00	10.00	-	-
35.00	25.00	85.00	40.00	75.00	15.00	-	-
50.00	30.00	120.00	45.00	120.00	20.00	-	-
60.00	45.00	-	-	-	-	-	-
80.00	55.00	-	-	-	-	-	-
100.00	57.00	-	-	-	-	-	-
120.00	57.00	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

SUP FALDA

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

\_\_\_\_\_ 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	28.0	40.0	0.0	17.0	18.0	3.262	0.00	0.0	0.0	0.0
STRATO 2	0.0	0.0	0.0	22.0	23.0	10.000	15.00	20.0	9.0	0.7
STRATO 3	0.0	0.0	0.0	23.0	24.0	10.000	30.00	40.0	9.0	0.7

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')  
 ---- Per ammassi Rocciosi - 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)

#### SOVRACCARICHI PRESENTI

##### SOVRACCARICO N.1

carico (Kpa): 100.00  
 posizione da m.: 25.50  
 a m.: 31.00

##### SOVRACCARICO N.2

carico (Kpa): 60.00  
 posizione da m.: 84.30  
 a m.: 90.20

#### TIRANTI/ANCORAGGI PRESENTI

TIPO TIRANTE : Passivo

##### TIRANTE/ANCORAGGIO N.1

Coordinata X Testa (m): 50.00  
 Coordinata Y Testa (m): 30.00  
 Angolo con orizzontale(Gradi): -10.00  
 Lunghezza (m): 50.00  
 Tensione o Forza (KN/m): 500.00

##### TIRANTE/ANCORAGGIO N.2

Coordinata X Testa (m): 50.00  
 Coordinata Y Testa (m): 30.00  
 Angolo con orizzontale(Gradi): 0.00  
 Lunghezza (m): 50.00  
 Tensione o Forza (KN/m): 500.00

##### TIRANTE/ANCORAGGIO N.3

Coordinata X Testa (m): 60.00  
 Coordinata Y Testa (m): 45.00  
 Angolo con orizzontale(Gradi): -25.00  
 Lunghezza (m): 50.00  
 Tensione o Forza (KN/m): 500.00

## TIRANTE/ANCORAGGIO N.4

Coordinata X Testa (m): 60.00  
 Coordinata Y Testa (m): 45.00  
 Angolo con orizzontale(Gradi): -10.00  
 Lunghezza (m): 50.00  
 Tensione o Forza (KN/m): 500.00

## TIRANTE/ANCORAGGIO N.5

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

## ----- INFORMAZIONI GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM -----

## \*\*\* PARAMETRI PER LA GENERAZIONE DELLE SUPERFICI

METODO DI RICERCA: CONVEX RANDOM - Chen (1992)

FILTRAGGIO SUPERFICI : ATTIVATO

COORDINATE X1,X2,Y OSTACOLO : 0.00 0.00 0.00

LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI (m): 4.8 (+/-) 50%

RANGE ASCISSE RANDOM STARTING POINT (Xmin .. Xmax): 0.00 108.00

LIVELLO MINIMO CONSIDERATO (Ymin): 0.00

RANGE ASCISSE AMMESSO PER LA TERMINAZIONE (Xmin .. Xmax): 12.00 117.60

\*\*\* TOTALE SUPERFICI GENERATE : 10000

## ----- INFORMAZIONI PARAMETRI DI CALCOLO -----

METODO DI CALCOLO : MORGENSTERN & PRICE (Morgenstern & Price, 1965)

FORZA ORIZZONTALE ALLA TESTA (kN/m): 0.00

FORZA ORIZZONTALE ALLA BASE (kN/m): 0.00

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kh : 0.000

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kv : 0.000

## ----- RISULTATO FINALE ELABORAZIONI -----

\* DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR Fs \*

Fattore di sicurezza (FS)	1.325	- Min. -	X	Y	Lambda=	0.562
			31.51	23.78		
			33.35	23.13		
			35.19	22.50		
			37.04	21.89		
			38.88	21.34		
			40.73	20.90		
			42.57	20.61		
			44.42	20.47		
			46.26	20.49		
			48.11	20.66		
			49.95	20.98		
			51.80	21.44		
			53.64	21.99		
			55.48	22.63		
			57.33	23.36		
			59.17	24.18		
			61.02	25.11		

62.86	26.13
64.71	27.21
66.55	28.34
68.40	29.52
70.24	30.73
72.09	31.98
73.93	33.26
75.77	34.61
77.62	36.08
79.46	37.72
81.31	39.54
83.15	41.54
85.00	43.71
86.84	46.05
88.69	48.54
88.69	55.87

Fattore di sicurezza (FS)    1.329   - N.2 --    X            Y            Lambda=    0.564

31.57	23.80
33.44	23.20
35.31	22.60
37.18	22.02
39.05	21.51
40.92	21.11
42.79	20.85
44.66	20.75
46.53	20.80
48.40	21.02
50.27	21.39
52.14	21.87
54.00	22.42
55.87	23.02
57.74	23.67
59.61	24.38
61.48	25.14
63.35	25.96
65.22	26.88
67.09	27.90
68.96	29.05
70.83	30.33
72.70	31.72
74.56	33.22
76.43	34.84
78.30	36.57
80.17	38.41
82.04	40.34
83.91	42.38
85.78	44.51
87.65	46.74
89.52	49.06
89.52	55.95

Fattore di sicurezza (FS)    1.331   - N.3 --    X            Y            Lambda=    0.550

31.38	23.73
33.22	23.12

35.06	22.51
36.91	21.92
38.75	21.41
40.59	21.00
42.43	20.74
44.27	20.64
46.11	20.68
47.95	20.89
49.80	21.25
51.64	21.72
53.48	22.29
55.32	22.92
57.16	23.61
59.00	24.39
60.84	25.25
62.69	26.19
64.53	27.18
66.37	28.22
68.21	29.30
70.05	30.43
71.89	31.59
73.74	32.79
75.58	34.06
77.42	35.46
79.26	37.06
81.10	38.88
82.94	40.90
84.78	43.12
86.63	45.54
88.47	48.12
88.47	55.85

Fattore di sicurezza (FS)      1.336   - N.4 --      X      Y      Lambda=    0.566

33.40	24.44
35.24	23.86
37.08	23.29
38.92	22.74
40.77	22.25
42.61	21.87
44.45	21.64
46.29	21.57
48.13	21.65
49.97	21.89
51.81	22.30
53.65	22.82
55.49	23.42
57.33	24.08
59.17	24.79
61.02	25.57
62.86	26.41
64.70	27.32
66.54	28.32
68.38	29.42
70.22	30.65
72.06	31.98
73.90	33.42

75.74 34.96  
 77.58 36.60  
 79.42 38.33  
 81.26 40.12  
 83.11 41.98  
 84.95 43.90  
 86.79 45.88  
 88.63 47.92  
 88.63 55.86

Fattore di sicurezza (FS) 1.337 - N.5 -- X Y Lambda= 0.501

33.36 24.43  
 35.26 23.79  
 37.15 23.15  
 39.05 22.54  
 40.94 21.98  
 42.84 21.52  
 44.73 21.18  
 46.63 20.97  
 48.52 20.89  
 50.42 20.95  
 52.31 21.14  
 54.21 21.45  
 56.10 21.87  
 58.00 22.39  
 59.89 23.02  
 61.79 23.76  
 63.69 24.62  
 65.58 25.59  
 67.48 26.63  
 69.37 27.71  
 71.27 28.81  
 73.16 29.96  
 75.06 31.12  
 76.95 32.31  
 78.85 33.57  
 80.74 34.98  
 82.64 36.59  
 84.53 38.44  
 86.43 40.51  
 88.32 42.80  
 90.22 45.31  
 92.11 48.00  
 92.11 56.21

Fattore di sicurezza (FS) 1.337 - N.6 -- X Y Lambda= 0.548

31.79 23.88  
 33.55 23.23  
 35.32 22.62  
 37.08 22.04  
 38.84 21.52  
 40.61 21.10  
 42.37 20.81  
 44.14 20.65  
 45.90 20.62

47.67	20.73
49.43	20.97
51.20	21.33
52.96	21.79
54.73	22.33
56.49	22.96
58.26	23.69
60.02	24.51
61.79	25.43
63.55	26.43
65.32	27.50
67.08	28.62
68.85	29.81
70.61	31.05
72.38	32.35
74.14	33.72
75.91	35.23
77.67	36.92
79.44	38.81
81.20	40.88
82.96	43.13
84.73	45.57
86.49	48.14
86.49	55.65

Fattore di sicurezza (FS)      1.338    - N.7 --      X      Y      Lambda=    0.550

30.14	23.30
32.06	22.64
33.98	22.02
35.91	21.46
37.83	20.96
39.76	20.54
41.68	20.23
43.60	20.03
45.53	19.94
47.45	19.96
49.37	20.09
51.30	20.35
53.22	20.74
55.15	21.26
57.07	21.92
58.99	22.72
60.92	23.67
62.84	24.75
64.77	25.92
66.69	27.13
68.61	28.37
70.54	29.64
72.46	30.93
74.38	32.24
76.31	33.61
78.23	35.11
80.16	36.80
82.08	38.71
84.00	40.81
85.93	43.10

87.85	45.59
89.78	48.23
89.78	55.98

Fattore di sicurezza (FS)    1.338   - N.8 --    X            Y            Lambda=    0.521

31.71	23.85
33.57	23.26
35.42	22.71
37.28	22.20
39.14	21.75
40.99	21.37
42.85	21.07
44.70	20.85
46.56	20.71
48.42	20.67
50.27	20.71
52.13	20.86
53.99	21.12
55.84	21.50
57.70	21.99
59.55	22.62
61.41	23.37
63.27	24.25
65.12	25.22
66.98	26.27
68.84	27.37
70.69	28.54
72.55	29.76
74.41	31.04
76.26	32.41
78.12	33.95
79.97	35.69
81.83	37.67
83.69	39.87
85.54	42.29
87.40	44.92
89.26	47.72
89.26	55.93

Fattore di sicurezza (FS)    1.340   - N.9 --    X            Y            Lambda=    0.547

32.81	24.23
34.58	23.75
36.35	23.28
38.12	22.83
39.89	22.43
41.66	22.09
43.42	21.85
45.19	21.72
46.96	21.68
48.73	21.74
50.50	21.90
52.27	22.18
54.04	22.56
55.81	23.05
57.58	23.65



59.35	24.38
61.12	25.23
62.89	26.19
64.66	27.23
66.43	28.31
68.20	29.41
69.97	30.54
71.74	31.70
73.51	32.87
75.28	34.11
77.05	35.49
78.82	37.06
80.59	38.86
82.36	40.87
84.13	43.08
85.89	45.50
87.66	48.08
87.66	55.77

Fattore di sicurezza (FS)      1.340   - N.10 --      X            Y            Lambda=    0.571

31.07	23.62
32.90	23.15
34.74	22.67
36.58	22.21
38.41	21.79
40.25	21.45
42.08	21.20
43.92	21.06
45.75	21.02
47.59	21.09
49.42	21.27
51.26	21.57
53.10	22.00
54.93	22.56
56.77	23.26
58.60	24.09
60.44	25.08
62.27	26.19
64.11	27.38
65.94	28.63
67.78	29.90
69.61	31.21
71.45	32.54
73.29	33.89
75.12	35.30
76.96	36.80
78.79	38.46
80.63	40.28
82.46	42.24
84.30	44.36
86.13	46.62
87.97	48.98
87.97	55.80

----- 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	1.325	8388.8	6330.8	1424.9	Surplus
2	1.329	8518.7	6409.0	1468.8	Surplus
3	1.331	8315.6	6247.2	1443.6	Surplus
4	1.336	8021.0	6003.7	1417.0	Surplus
5	1.337	9363.1	7005.3	1657.2	Surplus
6	1.337	8005.8	5986.3	1420.9	Surplus
7	1.338	9177.9	6859.9	1632.0	Surplus
8	1.338	9051.4	6763.5	1611.6	Surplus
9	1.340	8016.7	5984.4	1433.9	Surplus
10	1.340	8148.4	6079.9	1460.5	Surplus

Esito analisi: SURPLUS di RESISTENZA!

Valore minimo di SURPLUS di RESISTENZA (kN/m): 1417.0

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 E DIAGRAMMA DELLE FORZE DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS -----

X	dx	alpha	W	ru	U	phi'	c'/Cu	ht	yt	yt'	E(x)	T(x)	E'	rho(x)	local_FS
(m)	(m)	(°)	(kN/m)	(--)	(kPa)	(°)	(kPa)	(m)	(m)	(--)	(kN/m)	(kN/m)	(kN)	(--)	(-)
31.505	1.845	-19.19	27.31	0.43	5.97	51.51	4.95	0.000	23.777	-0.301	0.000	0.000	-51.298	0.044	2.607
33.350	1.650	-19.03	70.63	0.43	17.27	44.94	7.73	0.193	23.328	-0.287	-63.240	-1.155	-14.733	0.044	2.173
35.000	0.194	-19.03	11.17	0.43	23.20	42.97	8.99	0.365	22.931	-0.271	-47.064	-1.813	36.209	0.110	2.220
35.194	1.845	-18.36	131.46	0.44	29.61	41.62	9.99	0.385	22.884	-0.268	-39.438	-1.630	42.265	0.053	2.231
37.039	1.845	-16.55	176.48	0.45	41.15	39.65	11.69	0.569	22.455	-0.217	91.904	6.694	97.490	0.093	2.366
38.883	1.845	-13.34	217.80	0.46	52.34	38.17	13.19	0.743	22.082	-0.127	289.608	31.983	110.049	0.163	2.533
40.728	1.845	-8.97	253.68	0.46	62.62	37.07	14.44	0.921	21.822	-0.003	494.145	74.003	109.924	0.235	2.731
42.572	1.845	-4.20	283.14	0.47	71.33	36.29	15.40	1.330	21.939	0.129	689.318	132.531	100.432	0.314	3.001
44.417	0.583	0.42	94.61	0.47	76.13	35.93	15.88	1.813	22.287	0.247	859.912	193.722	83.590	0.357	3.254
45.000	1.262	0.42	211.54	0.47	79.08	35.73	16.14	1.963	22.442	0.285	906.873	211.363	77.505	0.383	3.296
46.262	1.845	5.33	322.63	0.48	82.91	35.53	16.42	2.364	22.852	0.366	996.231	245.983	64.133	0.421	3.282
48.106	1.845	9.94	332.53	0.48	85.57	35.47	16.50	2.975	23.635	0.483	1095.327	293.774	43.006	0.461	3.019
49.951	0.049	13.78	8.97	0.49	85.79	35.54	16.40	3.648	24.631	0.596	1161.493	331.139	31.081	0.460	2.581
50.000	1.795	13.78	359.36	0.44	85.85	34.31	18.20	3.666	24.661	0.599	1163.019	332.135	30.907	0.491	2.568
51.795	1.845	16.77	434.53	0.37	84.23	32.47	21.30	4.396	25.831	0.703	1211.849	378.366	23.431	0.499	2.077
53.640	1.845	19.17	496.74	0.32	81.82	31.09	24.01	5.228	27.219	0.800	1246.981	451.816	14.094	0.536	1.620
55.484	1.845	21.48	555.36	0.28	78.57	30.03	26.38	6.147	28.780	0.899	1263.754	536.188	4.684	0.582	1.269
57.329	1.845	24.10	610.07	0.25	74.26	29.20	28.39	7.196	30.554	1.022	1260.870	606.167	-9.535	0.613	1.005
59.174	0.826	26.68	289.96	0.22	70.18	28.75	29.55	8.336	32.519	1.095	1226.988	655.765	-26.962	0.617	0.817
60.000	1.018	26.68	363.29	0.21	68.14	28.55	30.09	8.828	33.427	1.099	1201.979	661.770	-33.087	0.615	0.755
61.018	1.845	28.84	656.80	0.20	63.31	28.61	29.94	9.427	34.537	1.077	1166.273	655.083	-36.273	0.626	0.696
62.863	1.845	30.44	669.61	0.19	57.34	28.64	29.86	10.309	36.436	0.969	1098.277	616.944	-37.716	0.606	0.625
64.707	0.249	31.56	104.77	0.18	53.68	28.68	29.75	10.875	38.086	0.819	1029.629	573.911	-35.411	0.566	0.587
64.956	1.596	31.56	575.15	0.17	50.87	28.66	29.81	10.924	38.287	0.800	1020.931	568.309	-34.574	0.575	0.584
66.552	1.845	32.45	653.62	0.15	45.03	28.68	29.75	11.138	39.481	0.703	970.223	532.361	-28.653	0.553	0.577
68.396	0.733	33.43	267.31	0.14	40.39	28.73	29.62	11.164	40.680	0.598	921.560	498.877	-26.693	0.524	0.583
69.129	0.871	33.43	294.53	0.13	37.70	28.72	29.65	11.104	41.104	0.560	900.917	486.879	-29.813	0.518	0.585
70.000	0.241	33.43	81.05	0.13	35.69	28.71	29.68	10.999	41.573	0.519	873.419	472.239	-33.144	0.507	0.584
70.241	1.845	34.12	612.85	0.11	30.53	28.72	29.64	10.963	41.697	0.508	865.325	468.065	-34.044	0.513	0.583
72.086	1.845	34.78	598.62	0.08	21.57	28.71	29.67	10.591	42.575	0.450	796.255	430.865	-40.500	0.489	0.570
73.930	0.712	36.17	226.90	0.06	15.08	28.79	29.47	10.115	43.380	0.430	717.307	384.955	-45.189	0.454	0.543
74.642	0.358	36.17	113.07	0.05	12.41	28.00	40.00	9.901	43.687	0.433	684.389	365.838	-47.170	0.439	0.530
75.000	0.775	36.17	242.77	0.04	9.58	28.00	40.00	9.795	43.842	0.437	667.383	355.655	-47.825	0.432	0.524
75.775	1.385	38.52	426.25	0.02	3.71	28.00	40.00	9.572	44.186	0.450	630.136	332.454	-48.064	0.414	0.510
77.160	0.459	38.52	138.89	0.00	0.00	28.00	40.00	9.117	44.833	0.487	565.053	288.755	-45.645	0.377	0.491
77.619	0.381	41.57	156.55	0.00	0.00	28.00	40.00	8.978	45.060	0.498	544.248	274.058	-45.014	0.364	0.487
78.000	0.138	41.57	83.57	0.00	0.00	28.00	40.00	8.830	45.249	0.497	527.198	261.868	-44.536	0.353	0.484
78.138	1.325	41.57	431.39	0.00	0.00	28.00	40.00	8.776	45.318	0.496	521.045	257.451	-44.357	0.349	0.483
79.464	0.536	44.69	196.17	0.00	0.00	28.00	40.00	8.238	45.956	0.466	463.623	216.533	-42.120	0.309	0.478

80.000	1.308	44.69	419.29	0.00	0.00	28.00	40.00	7.955	46.203	0.459	441.343	201.254	-40.969	0.295	0.477
81.308	1.351	47.28	360.10	0.00	0.00	28.00	40.00	7.273	46.815	0.492	389.395	167.772	-38.537	0.268	0.482
82.659	0.494	47.28	135.04	0.00	0.00	28.00	40.00	6.559	47.564	0.638	339.987	137.108	-35.625	0.242	0.495
83.153	1.147	49.67	273.95	0.00	0.00	28.00	40.00	6.360	47.899	0.724	322.078	126.754	-37.249	0.233	0.502
84.300	0.697	49.67	203.44	0.00	0.00	28.00	40.00	5.984	48.875	0.993	274.177	102.283	-47.328	0.209	0.517
84.997	0.003	51.78	0.66	0.00	0.00	28.00	40.00	5.925	49.638	1.199	238.778	86.535	-53.818	0.192	0.524
85.000	1.842	51.78	445.81	0.00	0.00	28.00	40.00	5.925	49.641	1.200	238.642	86.477	-53.840	0.192	0.524
86.842	1.845	53.37	376.63	0.00	0.00	28.00	40.00	6.372	52.427	1.841	123.078	41.953	-69.156	0.123	0.420

-----  
 LEGENDA SIMBOLI

X(m) : Ascissa sinistra concio  
 dx(m) : Larghezza concio  
 alpha (°) : Angolo pendenza base concio  
 W(kN/m) : Forza peso concio  
 ru(-) : Coefficiente locale pressione interstiziale  
 U(kPa) : Pressione totale dei pori base concio  
 phi' (°) : Angolo di attrito efficace base concio  
 c'/Cu (kPa) : Coesione efficace / Resistenza al taglio in condizioni non drenate  
 ht(m) : Altezza linea di thrust da nodo sinistro base concio  
 yt(m) : coordinata Y linea di thrust  
 yt' (--) : gradiente pendenza locale linea di thrust  
 E(x) (kN/m) : Forza Normale interconcio  
 T(x) (kN/m) : Forza Tangenziale interconcio  
 E' (kN) : derivata Forza normale interconcio  
 Rho(x) (--) : fattore mobilizzazione resistenza al taglio verticale interconcio ZhU et al.(2003)

-----

CRITERIO DI ROTTURA secondo Hoek (1998,2002)

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

-----

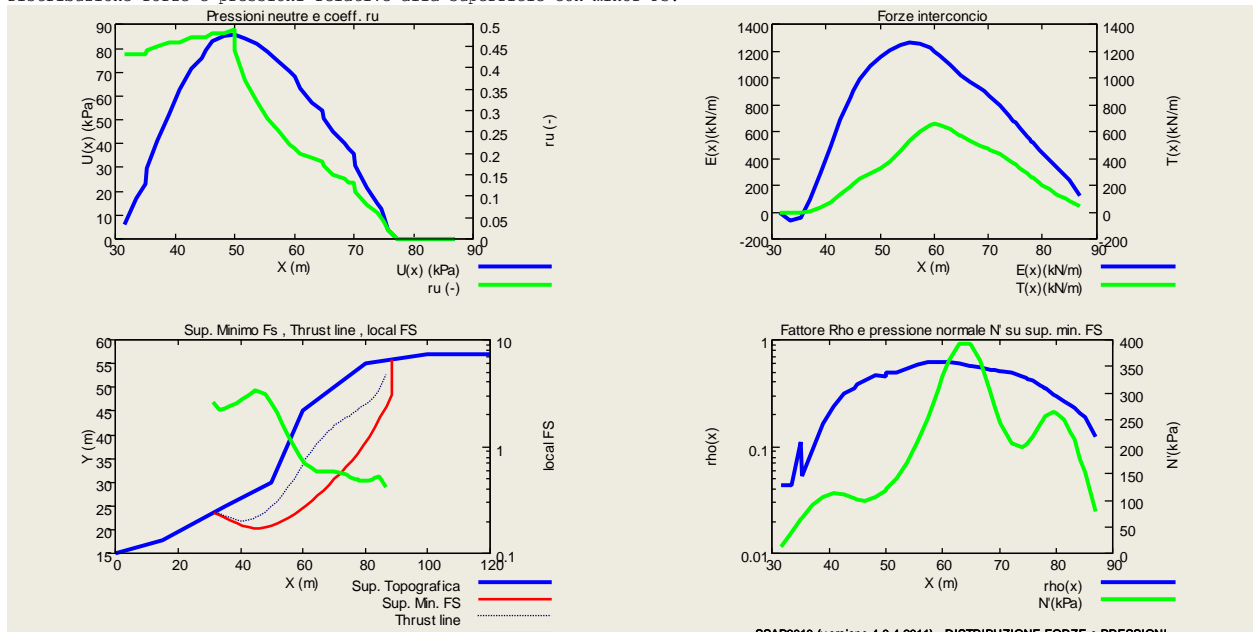
Sigma' (kPa)	Phi' (deg)	c' (kPa)
20.00	45.91	7.20
40.00	41.27	10.27
60.00	38.46	12.88
80.00	36.45	15.20
100.00	34.88	17.33
120.00	33.61	19.32
140.00	32.54	21.18
160.00	31.61	22.95
180.00	30.80	24.63
200.00	30.08	26.25
220.00	29.44	27.81
240.00	28.85	29.31
260.00	28.31	30.76
280.00	27.81	32.17
300.00	27.36	33.54
320.00	26.93	34.88
340.00	26.53	36.18
360.00	26.16	37.45
380.00	25.81	38.69
400.00	25.48	39.91
420.00	25.17	41.10
440.00	24.87	42.27
460.00	24.59	43.42
480.00	24.32	44.55
500.00	24.06	45.65
520.00	23.82	46.74
540.00	23.58	47.82
560.00	23.36	48.87
580.00	23.14	49.91
600.00	22.93	50.94

CRITERIO DI ROTTURA secondo Hoek (1998,2002)

Strato 3 -- Parametri di resistenza al taglio equivalenti dell'ammasso roccioso

Sigma' (kPa)	Phi' (deg)	c' (kPa)
20.00	59.17	45.01
40.00	56.30	49.50
60.00	54.26	54.04
80.00	52.67	58.45
100.00	51.36	62.71
120.00	50.24	66.83
140.00	49.26	70.81
160.00	48.40	74.66
180.00	47.62	78.40
200.00	46.91	82.04
220.00	46.26	85.58
240.00	45.66	89.04
260.00	45.10	92.41
280.00	44.58	95.71
300.00	44.10	98.95
320.00	43.64	102.12
340.00	43.20	105.23
360.00	42.79	108.28
380.00	42.40	111.28
400.00	42.03	114.23
420.00	41.67	117.13
440.00	41.33	119.99
460.00	41.01	122.81
480.00	40.70	125.59
500.00	40.40	128.33
520.00	40.11	131.03
540.00	39.83	133.69
560.00	39.56	136.33
580.00	39.30	138.93
600.00	39.05	141.50

Distribuzione forze e pressioni relative alla superficie con minor Fs.



## APPENDICE G - NOTE SU INSTALLAZIONE E CONFIGURAZIONE del SOFTWARE

### G.1. CONFIGURAZIONI MINIME HARDWARE E SOFTWARE

HARDWARE (configurazione minima consigliata):

- PC-IBM o COMPATIBILI
- SPAZIO LIBERO SU DISCO RIGIDO - 50 Mbyte
- RAM CONVENZIONALE LIBERA 500MB (consigliata 1GB) per windows XP, 2GB per Vista/Windows7
- SISTEMA OPERATIVO: **XP professional/Vista/WINDOWS 7**

### G.2. INSTALLAZIONE

#### **ISTRUZIONI PER LA INSTALLAZIONE**

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

2) **Lanciare il programma di setup che copierà i files necessari in una directory (es. C:\SSAP2010).** ( è possibile indicare una directory diversa di installazione) ma attenzione **per operare correttamente** è necessario che sia SSAP2010, sia il programmi esterno lanciati ogni volta per la visualizzazione dei grafici, sia l'area dati dove sono contenuti i modelli del pendio devono essere in un percorso di directories dove non ci sono spazi vuoti nei nomi. Ad esempio nel caso della directory 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 directories non corretta la attuale versione di SSP non verrà eseguita. Un messaggio di errore avvertirà del problema e darà istruzioni su come risolverlo.. (installare SSAP in una struttura di directory che non contenga spazi vuoti (ovvero un percorso completo che non contenga nomi con spazi vuoti . es. **C:\programmi\ssap2010 .**)

3) **Il file eseguibile del programma SSAP2010 è il file ssap2010.exe**

### G.3. OPERAZIONI DI CONFIGURAZIONE (successive alla installazione necessaria per utilizzo di programmi esterni)

Il programma **SSAP2010** e la utility **MAKEFILES 3. 2**, programma di servizio per la creazione dei files di dati per SSAP2010, fanno uso di software esterno per alcune funzionalità particolari.

Ad esempio per la **visualizzazione dei grafici contenenti il modello del pendio e/o le superficie 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 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 i programmi di editing dati suggeriti).

**E' necessario quidi prima di iniziare ad operare con SSAP configurare il protocollo di comunicazione tra SSAP e i programmi esterni. questa operazione verrà eseguita solo dopo la prima installazione di SSAP**

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 cambiare facilmente le opzioni e le scelte dei vari programmi esterni che sono poi salvate nel file .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)**

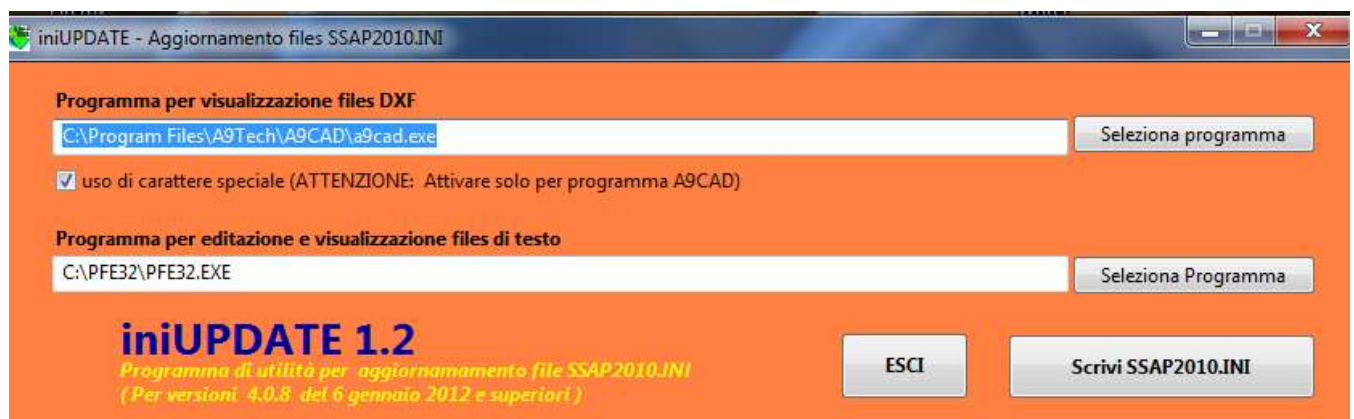


Figura G.1 schermata INIUPDATE.EXE

#### G.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..

**Un esempio di file SSAP2010.INI<sup>1</sup> è il seguente (solo le righe in blu):**

-----

```
[cad]
filename=C:\Programmi\IGC\FreeDWGViewer\BravaFreeDWG.exe
carattere_speciale=
```

```
[editor]
filename=C:\pfe32\pfe32.exe
```

-----

<sup>1</sup> A partire dal Gennaio 2012 i files SSAP2010.INI sono semplificati rispetto alle versioni precedenti e così il programma INIUPDATE.EXE. le versioni precedenti possono essere usate senza problemi. Per aggiornamento delle versioni precedenti è sufficiente lanciare il software INIUPDATE versione 1.2 e salvare il nuovo file SSAP2010.INI che sovrascriverà il precedente.

#### **G.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 vivamente una delle prime due opzioni..

- NOTEPAD installato ogni sistema Windows XP .. Semplice programma editazione di files di testo. Solitamente su Windows il percorso completo del programma è:

***C:\windows\system32\notepad.exe***

In alternativa si possono utilizzare uno dei due programmi di pubblico dominio, gratuiti, come GLEDIT e PFE32 che sono scaricabili dai siti web ufficiali (vedasi area download del sito [www.ssap2005.it](http://www.ssap2005.it)

Installati questi programmi nel vostro PC è sufficiente indicare nel file SSAP2010.INI il percorso completo del file scelto .

- Per il programma GLEDIT ad esempio potrà essere :

***c:\gleditor\gledit.exe***

- Per il programma PFE32 ad esempio potrà essere

***c:\pfe32\pfe32.exe***

ad esempio nella sezione [editor] del file SSAP2010.INI verrà indicato il percorso completo della scelta (in questo caso il programma GLEDIT):

**[editor]**

**filename=C:\gleditor\gledit.exe**

#### **G.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 e AUTOCAD LT della Autodesk .. tuttavia è possibile anche utilizzare programmi più semplici e agili che permettono le medesime funzioni di visualizzazione, editazione e stampa. Ciò non toglie però la possibilità di usare i programmi più noti come AUTOCAD. L'autore di SSAP2010 suggerisce però di utilizzare alcune valide alternative gratuite e senza necessità di licenza commerciale:

- Il **programma A9CAD**, programma Gratuito per la la visualizzazione e editazione di files DXF e DWG scaricabile presso il sito <http://www.a9tech.com> dove è presente anche una versione con maggiori funzionalità, in questo caso a pagamento. Questa versione free-ware è tuttavia molto buona per le funzioni di visualizzazione, stampa (con tutte le opzioni di stampa per stampare in scala), e editazione degli stessi files DXF prodotti dal programma SSAP2010.

- Il programma **FREE DWG VIEWER** prodotto da Brava.com è scaricabile presso il sito <http://www.bravaviewer.com> . Il programma è gratuito premette una visualizzazione rapida e la stampa di files DXF (non la editazione). Versioni più aggiornate o con maggiori funzionalità, a pagamento, possono essere scaricate dal sito ufficiale dalla casa produttrice.

Il programma A9CAD viene solitamente installato sui sistemi windows XP (in italiano) al seguente percorso :

`C:\Programmi\A9Tech\A9CAD\a9cad.exe`

Il programma FREE DWG VIEWER viene solitamente installato sui sistemi windows XP (in italiano) al seguente percorso :

`C:\Programmi\IGC\FreeDWGViewer\BravaFreeDWG.exe`

Quindi, come esempio, nella sezione [cad] del file SSAP2010.INI verrà indicato il percorso completo della scelta (in questa caso il programma FREE DWG VIEWER):

**[cad]**

**filename=C:\Programmi\IGC\FreeDWGViewer\BravaFreeDWG.exe**

**carattere\_speciale=**

**Attenzione !! si noti che nella sezione [cad] del file SSAP2010.INI vi è un campo aggiuntivo chiamato carattere speciale che solitamente è lasciato vuoto. Tuttavia nel caso dell'uso del programma A9CAD è necessario indicare un carattere del tipo # o \* ...(quindi ad esempio si consiglia mettere il **simbolo di cancelletto #**)**

Ad esempio se si desidera utilizzare quest'ultimo programma la sezione [cad] del file INI sarà:

**[cad]**

**filename=C:\Programmi\A9Tech\A9CAD\a9cad.exe**

**carattere\_speciale=#**

#### G.4.3 Un Esempio di file SSAP2010.INI

Alla fine, Secondo le scelte fatte come esempio, il nostro File SSAP2010.INI finale sarà :

-----  
**[cad]**

**filename=C:\Programmi\A9Tech\A9CAD\a9cad.exe**

**carattere\_speciale=#**

**[editor]**

**filename=C:\PFE32\PFE32.exe**  
-----

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.



## G.5. NOTE AGGIUNTIVE SULLA CONFIGURAZIONE DI SSAP2010 IN AMBIENTI WINDOWS XP e Vista, WIN 7

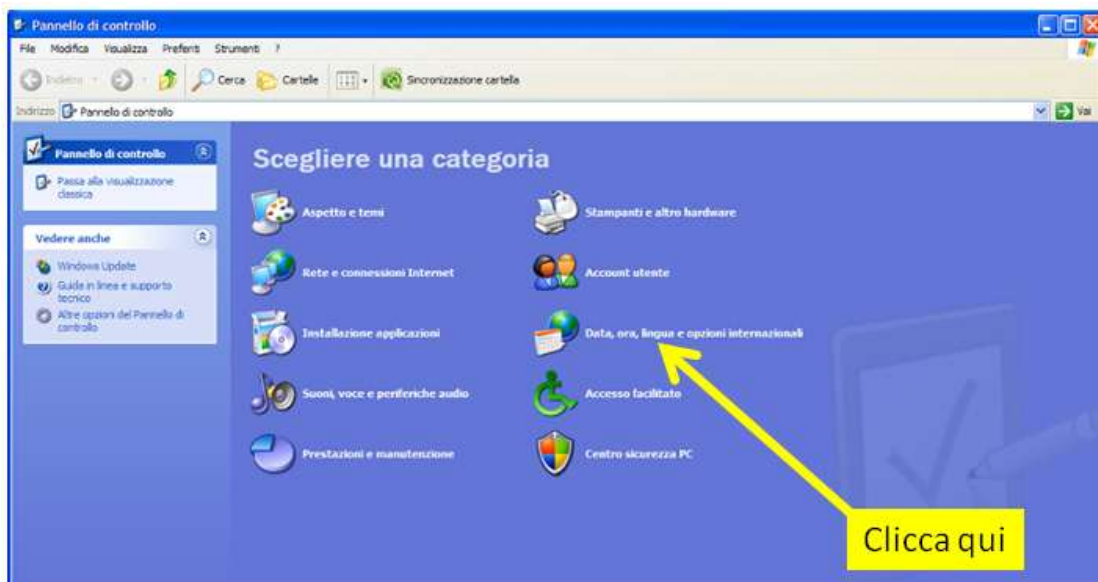
### **5.1- MODIFICA LOCALIZZAZIONE ITALIANA PER WINDOWS XP, WIN7**

Alcuni utenti hanno la necessità di utilizzare come simbolo di separazione delle cifre decimali il punto ( . ) anziché la virgola ( , ). L'utilizzo del punto è comunque la condizione preferenziale, anche se non obbligatoria, in SSAP2010. Tuttavia su ogni sistema windows in italiano la impostazione standard è l'uso della virgola come separatore delle cifre decimali. Bisogna ricordare che in SSAP il formato interno dei dati dei files del modello del pendio utilizza il punto come separatore decimale e che il programma al momento di caricare ogni file di dati controlla se i dati (coordinate X Y, parametri geotecnici... etc.) erroneamente sono stati creati con la virgola come separatore decimale. Nel caso si verifichi questa condizione SSAP sostituirà automaticamente le virgole con il punto e risulterà il file su disco. In questo caso per completare questa operazione con successo è necessario che i files dei dati non siano protetti da scrittura (o meglio in sola lettura come succede quando vengono caricati da CD o DVD o copiati su disco rigido da un altro supporto come CD e DVD)

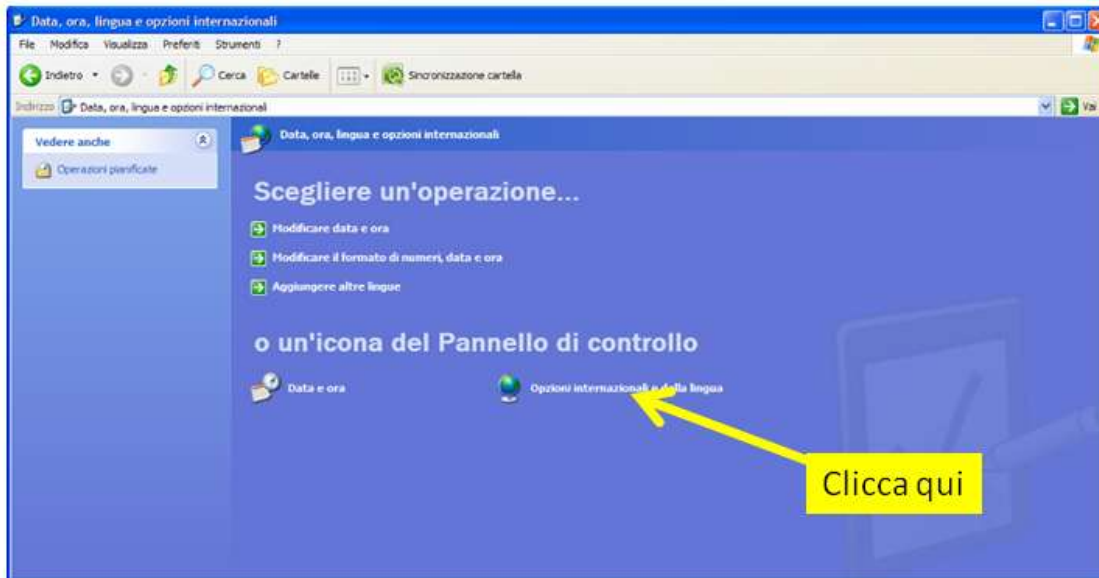
Per operare il cambiamento del simbolo di separatore decimale standard è necessario sui sistemi windows fare quanto segue (esempio tratto da Windows XP) nel caso si voglia utilizzare il punto ( . ) come simbolo di separazione delle cifre decimali e la virgola come simbolo di raggruppamento cifre delle migliaia (*impostazione non standard per la localizzazione italiana ma ideale e consigliata per SSAP dal punto di vista della coerenza del formato interno dei dati da usare*):

#### **G.5.1.1 PER WINDOWS XP**

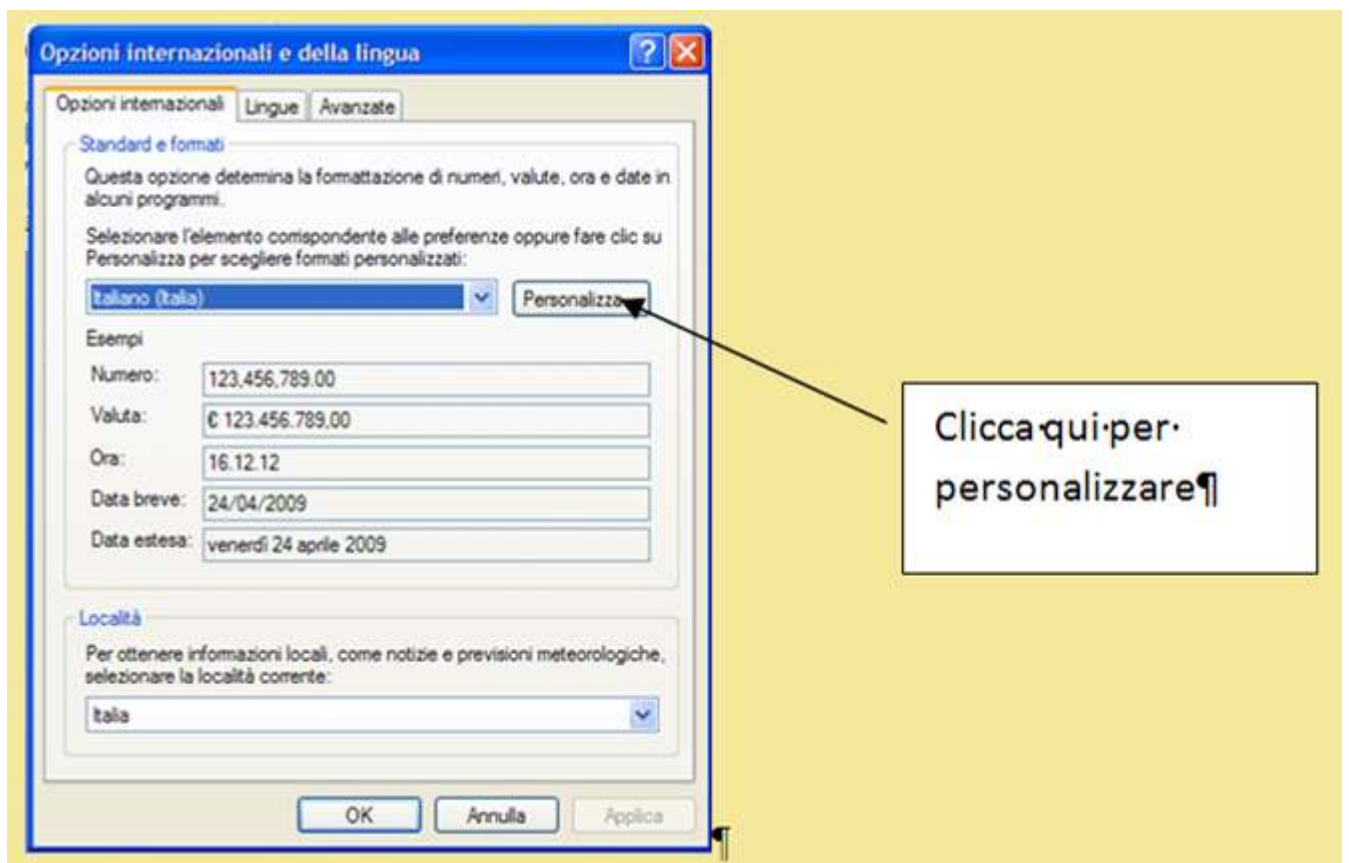
1-cliccare su pannello di controllo e successivamente su **“data, ora, lingua e opzioni internazionali”**



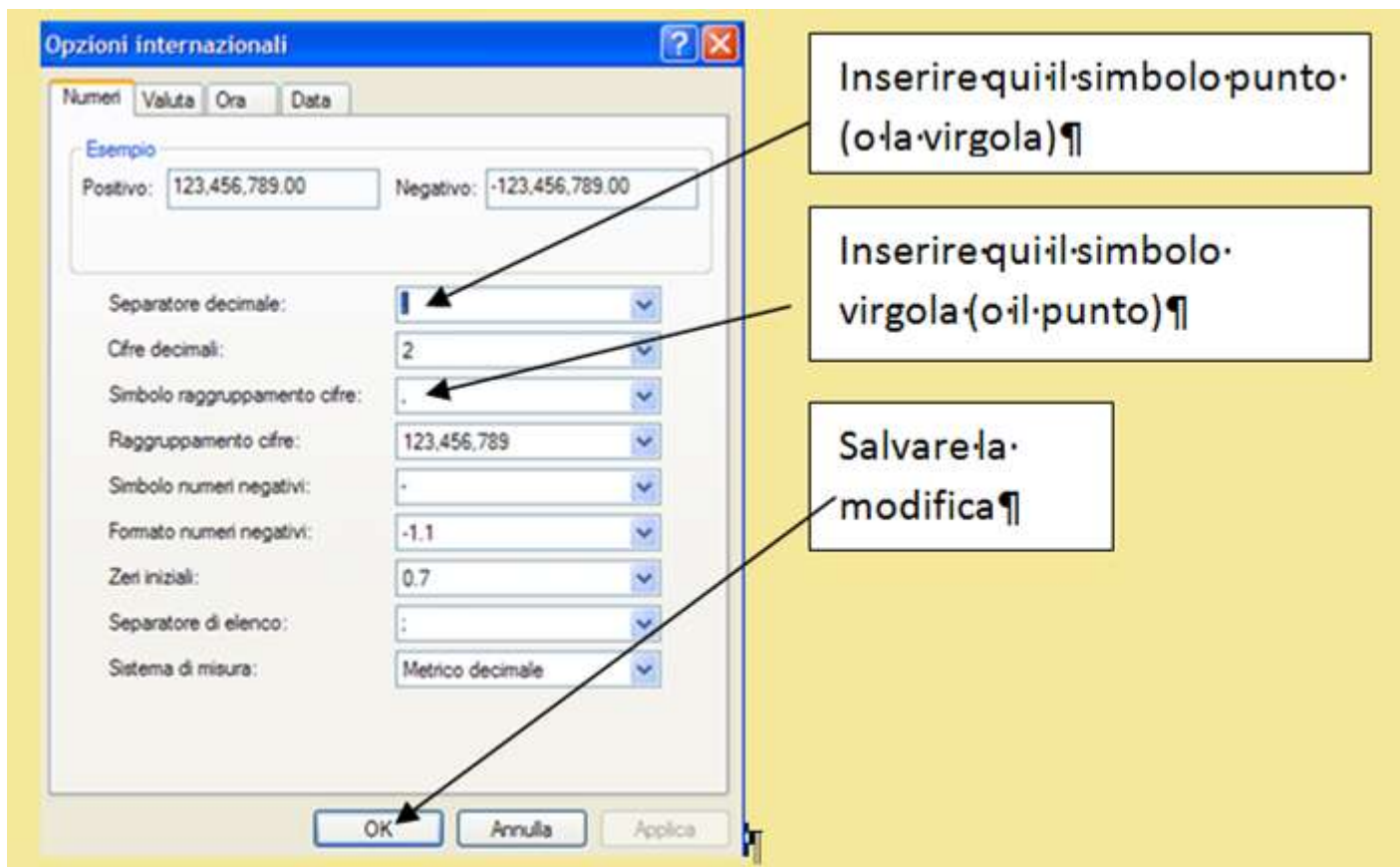
2-Successivamente cliccare su “**opzioni internazionali e della lingua**”



3-Quando viene visualizzata la finestra seguente cliccare su “**personalizza**”.



4-Inserire il punto (o la virgola) nella casella indicata come “**separatore decimale**”

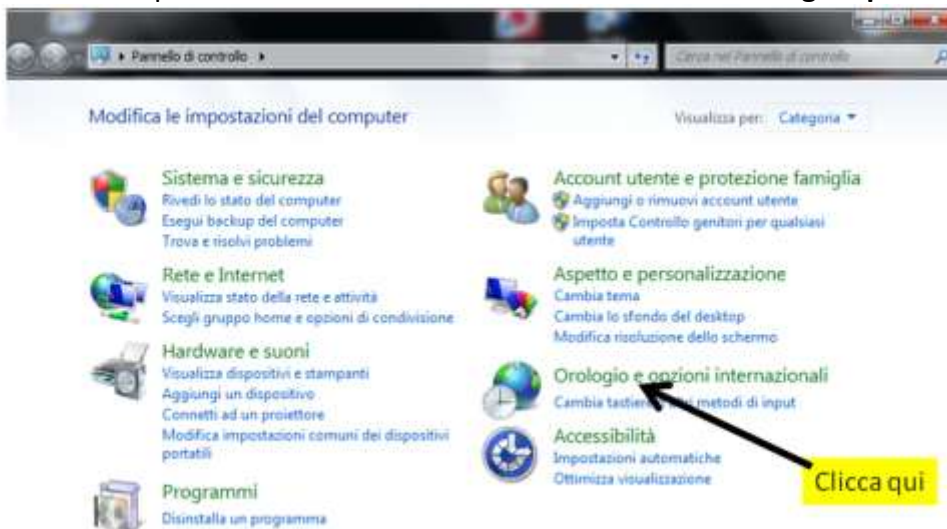


5-E infine salvare le impostazioni cliccando su **“OK”**

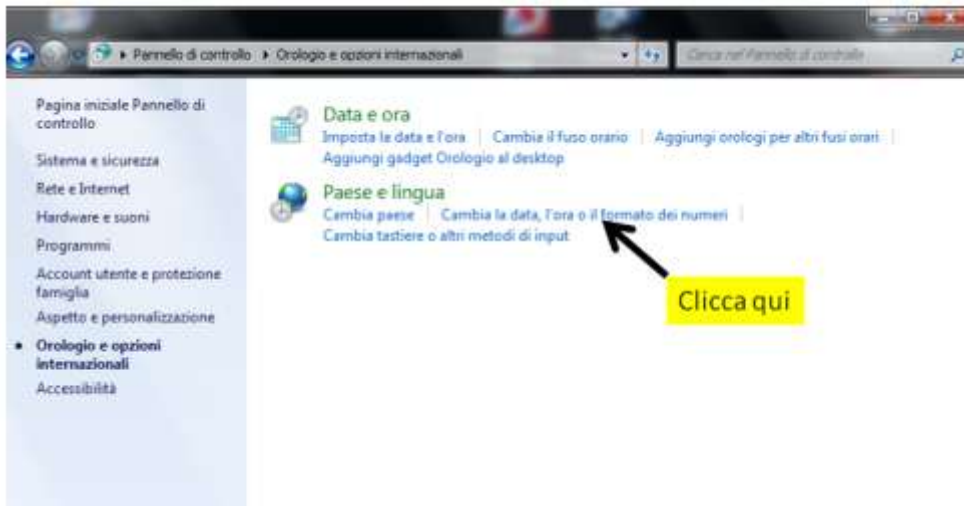
6-Infine avviare ssap2010 che da questo momento utilizzerà le impostazioni indicate

### G.5.1.2 PER WINDOWS 7

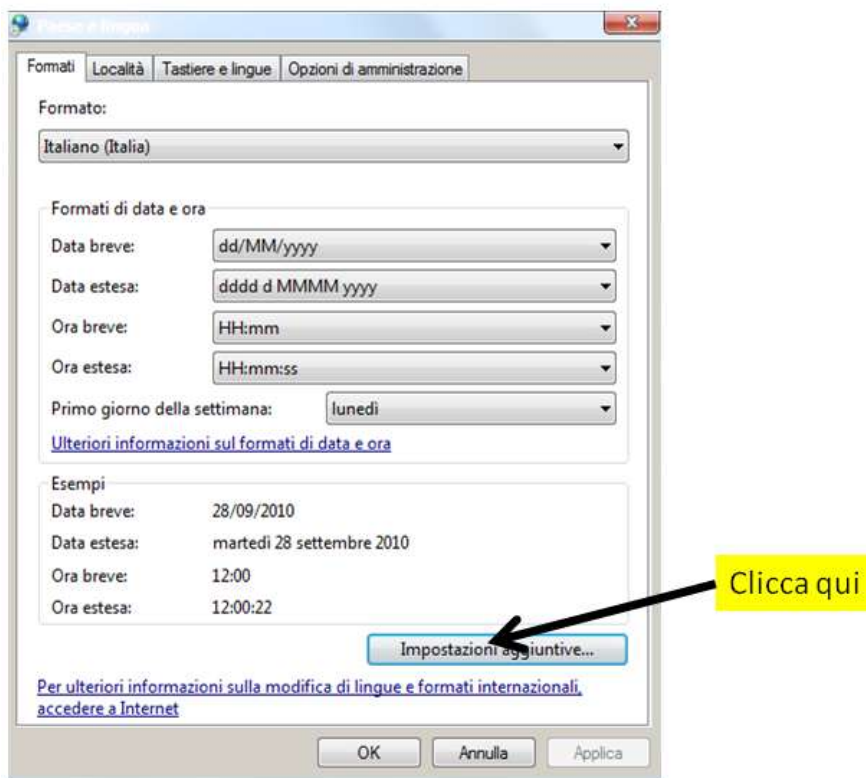
1-cliccare su pannello di controllo e successivamente su **“orologio opzioni internazionali”**



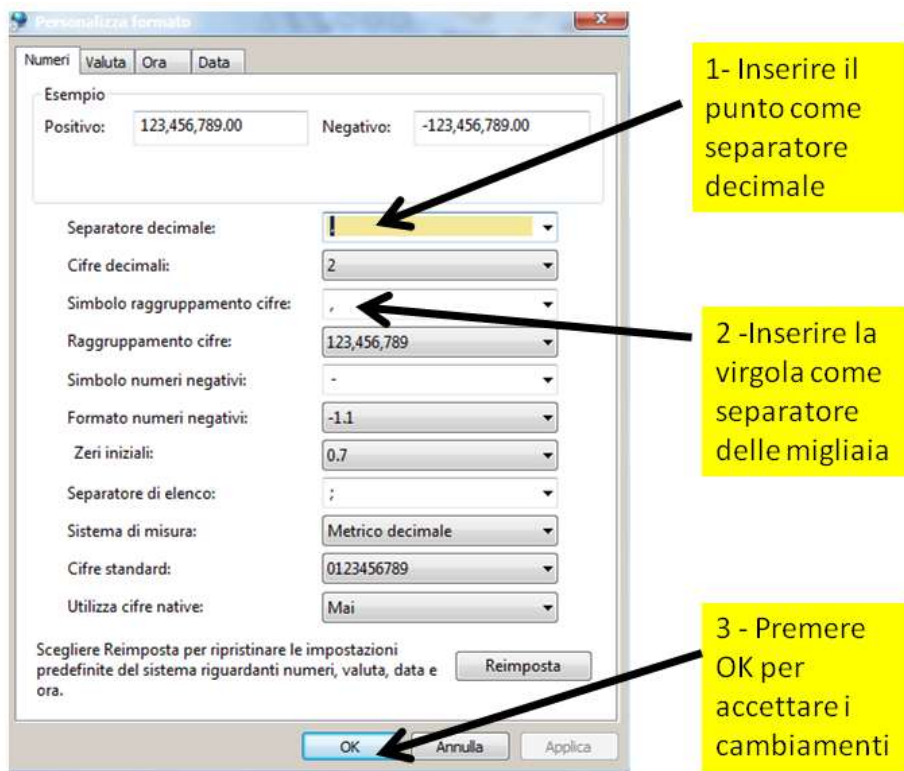
2-Successivamente cliccare su **“cambia la data l'ora o il formato dei numeri”**



3-Quando viene visualizzata la finestra seguente cliccare su **“impostazioni aggiuntive”**.



4-Inserire il punto (o la virgola) nella casella indicata come **“separatore decimale”**



5-E infine salvare le impostazioni cliccando su "OK"

6-Infine avviare ssap2010 che da questo momento utilizzerà le impostazioni indicate

### **G.5.2-UBICAZIONE DELLE DIRECTORIES DI INSTALLAZIONE DI SSAP2010, DEI PROGRAMMI DI VISUALIZZAZIONE GRAFICI ED EDITING, E DELLE AREE DATI DOVE RISIEDONO I FILES CON IL MODELLO DEL PENDIO**

**Per visualizzare correttamente i grafici** è necessario che sia SSAP2010, sia il programma esterno lanciato ogni volta per la visualizzazione dei grafici sia l'area dati dove sono contenuti i modelli del pendio devono essere in un percorso di directories dove non ci sono spazi vuoti nei nomi.

Ad esempio nel caso della directory di installazione del SSAP:

**C: \programmi vari\ssap2010** (è sbagliato !) **C:\programmi\ssap2010** (è corretto)

Nel caso della directory di installazione del programmi di visualizzazione (o di editing) dei dati

**C: \programmi vari\agcad** (è sbagliato) **c:\programmi\agcad** (è corretto)

nel caso della directory dove risiedono i file del modello:

**C:\Documents and Settings\Utente\Desktop\prova** (è sbagliato)

**C:\pendii\prova** (è corretto)

Ad esempio il solo posizionamento della area dati nella directory del desktop di Windows (es. files copiati sul desktop) non permette di lanciare correttamente i programmi accessori di visualizzazione o editing

(es. **C:\Documents and Settings\Utente\Desktop** (contiene come si vede uno più di uno spazio vuoto !!)).

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)

## **Ringraziamenti**

***Si ringraziano i molti Utenti che con i loro suggerimenti e stimoli e supporto hanno contribuito allo sviluppo del codice SSAP fino 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.***

**Lorenzo Borselli**

**12 Dicembre 2011  
San Luis Potosì, Messico**