



NUMERO 106

# IL GEOLOGO

PERIODICO UFFICIALE



ORDINE DEI GEOLOGI  
DELLA TOSCANA

**Il Punto - Editoriale**

**Nota a cura del coordinatore di redazione**

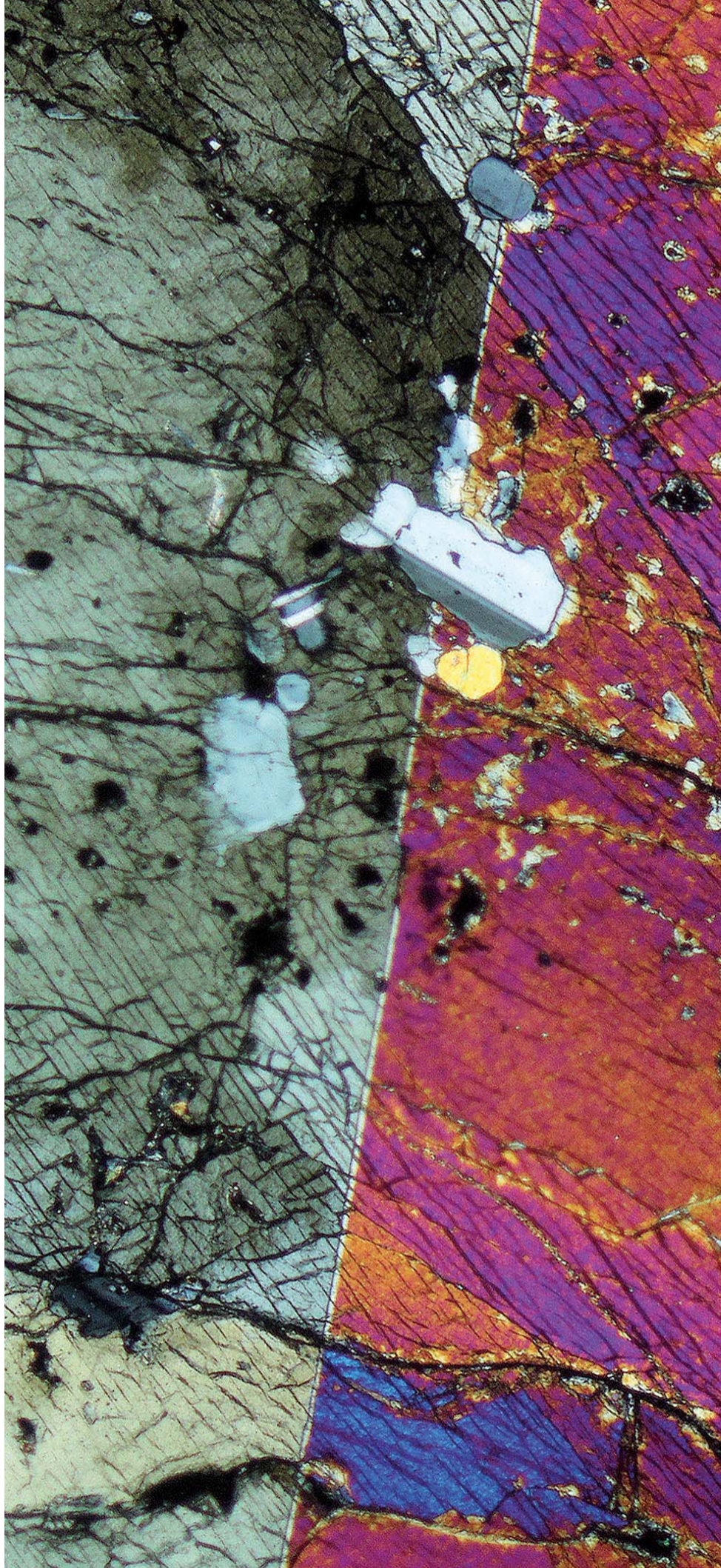
**L'alluvione lampo di San Polo in Chianti (FI) del 8 maggio 2018:  
un esempio di evento meteo intenso difficile da catturare**

**SSAP2010, "un passo oltre..."**

**Software di uso libero (freeware) per le verifiche di stabilità  
all'equilibrio limite (LEM) nei pendii naturali e artificiali,  
con metodi rigorosi e avanzati**

**La radioattività**

**Il geologo negli appalti di progettazione**





**DR. GEOL. LORENZO  
BORSELLI, PH.D.<sup>1</sup>**



**DR. ING. LUCIA GRECO<sup>2</sup>**



**DR. GEOL. PAOLO PETRI<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> DOCENTE DI GEOTECNICA ED ENGINEERING GEOLOGY - FACOLTÀ DI INGEGNERIA / ISTITUTO DI GEOLOGIA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÌ (UASLP), AV. DR. MANUEL NAVA 5, C.P. 78240 SAN LUIS POTOSÌ, S.L.P. - MESSICO  
E-MAIL: LBORSELLI@GMAIL.COM LORENZO.BORSELLI@UASLP.MX WEB: WWW.LORENZO-BORSELLI.EU

<sup>2</sup> LIBERO PROFESSIONISTA, BARI, ITALIA - E-MAIL: LUGRECO10@GMAIL.COM

<sup>3</sup> LIBERO PROFESSIONISTA, LA SPEZIA, ITALIA - E-MAIL: PAOLOPETRI@LOGICADELTERRITORIO.COM

# SSAP2010, “un passo oltre..”

## Software di uso libero (freeware) per le verifiche di stabilità all’equilibrio limite (LEM) nei pendii naturali e artificiali, con metodi rigorosi e avanzati

### 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 (analisi di scenario). Le successive verifiche vengono quindi realizzate, una volta note le caratteristiche lito-stratigrafiche, idrogeologiche, geomeccaniche del pendio, attraverso l'utilizzo di procedure di calcolo generalmente lunghe, ripetitive e talvolta assai complesse.*

*Per questo motivo, ormai da più di tre decenni, trovano largo impiego in questo campo codici di calcolo automatico che consentono di ridurre tempi e costi di questo processo di analisi permettendo di ottenere, con velocità ed efficienza, risultati più attendibili. Attualmente, esistono numerosi software per la verifica di stabilità dei pendii (per lo più software commerciali) usati da professionisti e ricercatori in tutto il mondo. Nell'ambito di essi è disponibile per la comunità tecnica scientifica italiana il codice SSAP (SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM), che è ormai un consolidato strumento applicativo che consente di dare un consistente supporto sia nelle attività progettuali riguardanti manufatti di sostegno di opere in terra, che in quelle inerenti la valutazione della stabilità dei pendii. Il software*

*SSAP è completamente gratuito, ovvero distribuito per un uso libero senza limitazioni.*

*Questo articolo è indirizzato a coloro che sono interessati ad avere una panoramica completa del Software SSAP, non solo delle caratteristiche e funzionalità della sua versione attuale (versione 4.9.6) ma anche della sua storia, alle motivazioni che hanno portato al suo sviluppo e al progetto di divulgazione no profit che è attivo da 8 anni..*

### La storia e gli obiettivi di SSAP

*SSAP2010 è il risultato di lungo lavoro di sviluppo iniziato ben 27 anni fa che ha visto la collaborazione di moltissimi utenti che hanno dato un notevole contributo allo stesso attraverso critiche costruttive e suggerimenti. La presente versione è il frutto di una evoluzione continua di un codice sorgente totalmente originale, scritto interamente dall'autore nel lontano 1991, culminata con la versione 4.0 (SSAP2010) nel dicembre 2010. La versione attuale SSAP2010 rel. 4.9.6 (2018) costituisce un ulteriore passo in avanti in attesa della futura versione 5.0 bilingue (italiano-inglese) che è pianificata per fine 2018.*

*Il Programma SSAP nasce dall'attività di ricerca svolta nello sviluppo di algoritmi che consentono di ottenere una ottimale modellizzazione della configurazione geomeccanica e litostratigrafica dei pendii in terreni sciolti. Infatti, per valutare correttamente il grado di*

stabilità di un pendio, oltre che eseguire una corretta caratterizzazione geologica dell'area, è necessario tener conto delle eventuali disomogeneità presenti nella massa del pendio, soprattutto nei casi di marcata variabilità delle caratteristiche del terreno, quali ad esempio disomogeneità costituite da strati e lenti di materiali aventi diverse caratteristiche geomeccaniche, livelli di falda variabili, topografie irregolari, elementi stabilizzanti (muri, palificate, tiranti, geogriglie, geosintetici ecc.).

Da un punto di vista geologico infatti tutti gli elementi di discontinuità costituiscono parte caratterizzante del pendio e come tali non possono essere trascurati a priori da operazioni di eccessiva generalizzazione del profilo stratigrafico e geomeccanico ricavato da campagne geognostiche. Talvolta invece occorre che per deficienze insite nei codici di calcolo esistenti o a causa dei tempi di calcolo, gli elementi di discontinuità rilevati vengono trascurati o semplificati eccessivamente, con conseguenze sulla attendibilità finale del processo di verifica.

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

1. **Possibilità di rappresentare adeguatamente tutte le discontinuità presenti nei pendii naturali o artificiali.**
2. **Evitare tutte le eccessive assunzioni semplificative sulla stratigrafia, sul profilo della falda, sulle superfici di scorrimento.**
3. **Implementare diversi tipi di criteri di rottura per terreni e ammassi rocciosi fessurati con la possibilità' di combinazioni di questi in uno stesso pendio.**
4. **Seguire gli attuali standard di lavoro e le normative nelle verifiche di stabilità nei pendii in terreni sciolti e ammassi rocciosi fratturati (NTC2018);**
5. **Implementare nel software una serie di strumenti di calcolo tra i più avanzati e originali nell'ambito dei modelli di calcolo per le verifiche all'equilibrio limite con metodi rigorosi. Includendo la possibilità di integrare strutture di rinforzo e stabilizzazione (muri, gabbionate, terre armate, tiranti e chiodi, palificate, reti in aderenza... etc.).**

6. **Uno strumento utilizzabile per la importazione dati da file AUTOCAD (DXF) e l'assemblaggio facilitato dei modelli del pendio con e senza strutture**
7. **Conseguire tempi di calcolo realistici anche per elaboratori anche di medie capacità.**

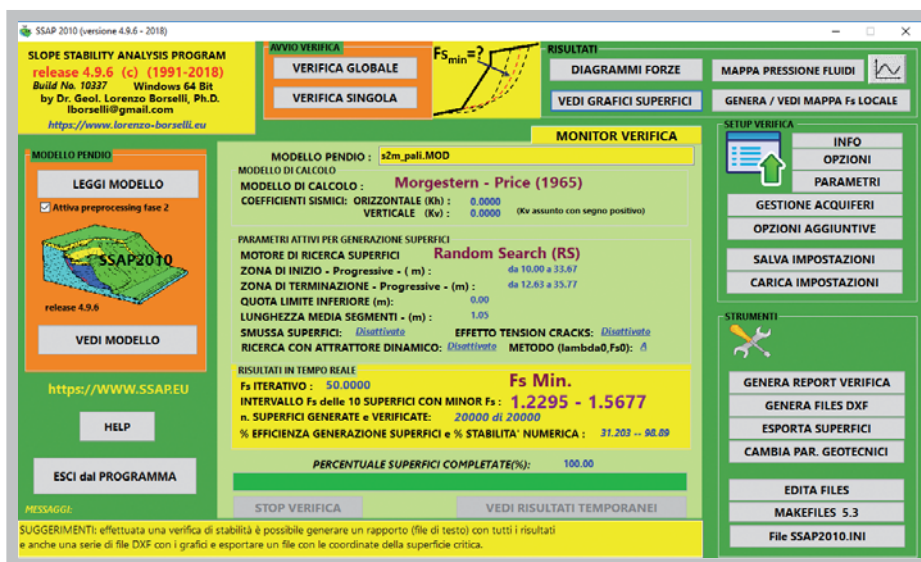
## Caratteristiche del Software

La versione attuale di SSAP2010 è caratterizzata da una interfaccia semplice e intuitiva costituita da un'unica finestra grafica principale, dalla quale si accede a tutte le funzioni del programma (Fig. 1), compresi alcuni programmi di utilità che vengono forniti dal pacchetto e da un codice che permette un funzionamento ottimizzato per spazio e velocità in ambiente **Windows 7,8x,10** (Figure 1, 2, 3) ottimizzata per i PC con le architetture multiprocessori 64 bit più moderni.

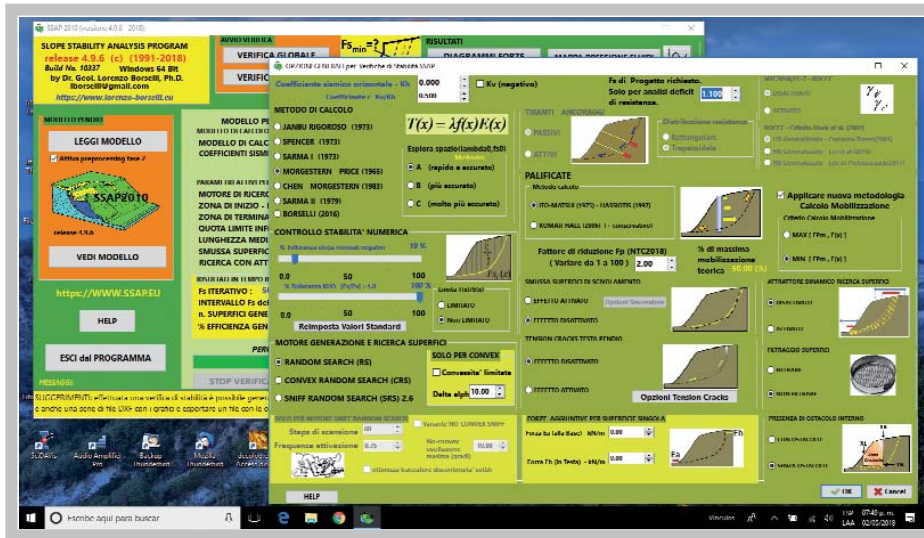
Questo lavoro di ottimizzazione è stato finalizzato alla realizzazione di un software più affidabile e veloce che potesse garantire i migliori standard a progettisti, tecnici, ricercatori e studenti, con un costo pari a zero.

Altre caratteristiche sono la distribuzione anche in una versione "portable", il che significa che non è necessaria nessuna procedura di configurazione successiva alla installazione automatica e che può essere installato anche in una chiave USB, per garantire, mantenendo la piena funzionalità, la massima portabilità e mobilità e la interazione con vari software Freeware che sono distribuiti nel pacchetto e già preinstallati. Attraverso questo gruppo di softwares è possibile gestire la visualizzazione grafica dei risultati, la edizione e modifica dei files di dati, l'assemblaggio dei file di dati che definiscono il modello del pendio da verificare (Figure. 1, 2, 3, 4 e 5). SSAP include inoltre:

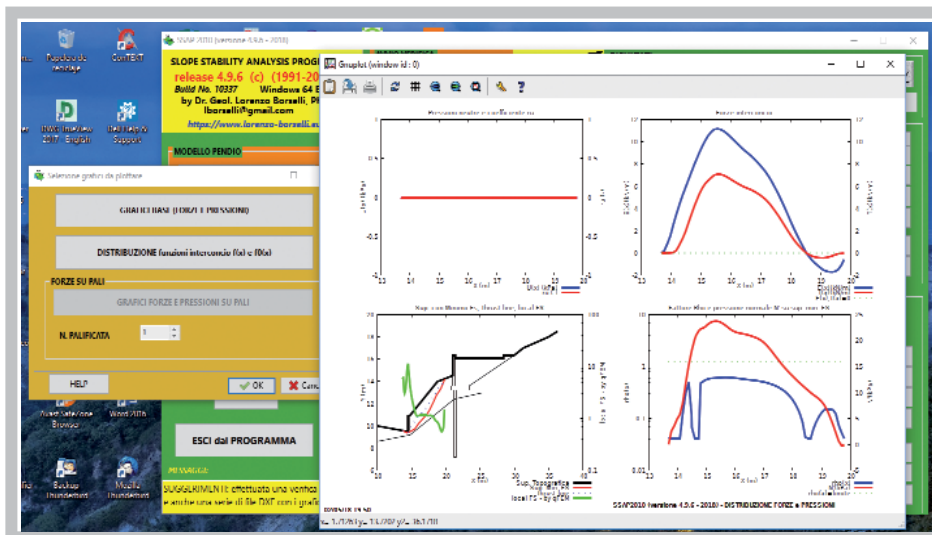
- **La presenza di 7 metodi di calcolo rigorosi** che operano nell'ambito della metodologia delle verifiche di stabilità dei pendii mediante il metodo dell'equilibrio limite. Gli algoritmi base per il calcolo utilizzano una notazione unificata che deriva dall'algoritmo proposto da Zhu et al (2005) per il solo metodo di Morgenstern &



◀ **Figura 1**  
Finestra principale  
SSAP2010 – versione 4.9.6  
(2018).



◀ **Figura 2**  
Interfaccia utente  
SSAP2010 – versione 4.9.6  
(2018): finestra opzioni  
generali.



◀ **Figura 3**  
Output grafico  
distribuzione interna di  
forze e pressioni.

Price (1965). Il metodo di ZHU et al. (2005) è stato ampliato e ulteriormente sviluppato dall'autore per permettere la applicazione con i più importanti metodi rigorosi per applicazione del metodo dell'equilibrio limite (Fig. 2 finestra opzioni):

- Janbu rigoroso(1973);
- Spencer (1973)
- Sarma I (1973);
- Morgenstern & Price (1965);
- Correia (1988)
- Sarma II (1979)
- Borselli(2016)
- Possibilità di caratterizzare geomeccanicamente gli ammassi rocciosi fratturati mediante il criterio di rottura di Hoek et al. (2002,2006), e eseguire verifiche di stabilità allo scivolamento in pendii costituiti, del tutto o in parte, da ammassi rocciosi fratturati. Il criterio di rottura Hoek et al. è da questa versione presente in una modalità completamente non lineare seguendo, tra gli altri, l' algoritmo proposto di Carranza-Torres (2004), incentrato con l'obbiettivo della stima dei valori di  $c'$  e  $\phi'$  equivalenti locali che

seguono la curva di inviluppo non lineare nel grafico (tau-sigma). Tutti i nuovi metodi proposti sono un'importante sviluppo della metodologia approssimata originale proposta da Hoek et al. (2002). Questi metodi sono presenti in pochissimi software commerciali pur essendo gli unici veri strumenti che fino ad adesso esistono per la stima dei valori locali di resistenza al taglio in un ammasso roccioso considerato isotropo (per la scala considerata. vedasi la appendice D di questo manuale per dettagli).

- Possibilità di integrare il criterio di rottura JRC (Barton & Bandis, 1990, Barton, 2013), non lineare, con il criterio Hoek –GSI in uno stesso masso roccioso caratterizzato da discontinuità orientate.
- 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-GSI (o GSI+BARTON JRC), entrambi in modalità non lineare.
- La possibilità di inserire direttamente strutture di sostegno tipo palificate e valutare l'incremento del fattore di sicurezza indotto, attraverso un modello di

**calcolo e progettazione derivato da quello Ito e Matsui(1981) e Hassiotis et al (1997), Kumar & Hall (2006).** A questa si aggiunge una **innovativa e originale procedura per il calcolo automatico della forza di reazione effettivamente mobilizzata dalla palificata, integrata nel metodo di calcolo per la risoluzione rigoroso del valore di  $F_s$  (Fig. 2 finestra opzioni).**

- La Implementazione un metodo completo e rigoroso per considerare la **resistenza offerta da sistemi di Tiranti (attivi e passivi) e con distribuzione di resistenza lineare o non lineare** (Fig. 2 finestra opzioni).
- La Implementazione un metodo completo e rigoroso per considerare la **resistenza offerta da sistemi di geogriglie/geosintetici**, con particolare riferimento all'effetto di **resistenza al pullout**.
- La possibilità di analisi particolareggiate che comprendono il **calcolo del coefficiente Sismico Critico**, come proposto da Sarma (1973), la possibilità di verificare l'effetto di forze stabilizzanti alla base del pendio (muro di sostegno o palificata) o destabilizzanti in testa al pendio (tension Craks riempite di acqua) (Fig. 2 finestra opzioni).
- **Mappe a colori del Fattore FS locale e dell' OSR (Over stress Ratio).** Ogni mappa di  $F_s$  locale è una mappa a colori di un campo scalare (Valori di  $F_s$  o OSR) locali che possono essere generati secondo diversi algoritmi ora presenti nella Versione 4.9.6 dopo circa 5 anni di fase sperimentale. I 4 tipi di nuove mappe a colori tutte basate su un innovativo sistema quasi-FEM sono:
  1. mappa – qFEM con algoritmo quasi Gauss integration e analisi geostatistica non parametrica, basato su sistema FEM di Schofield & p. Wroth(1968) e Griffith al. 1999 (vedasi figura 1.3).
  2. mappa – SRM con algoritmo quasi Gauss integration e geostatistica non parametrica basato su sistema Strength Reduction Method(SRM), (Bing et al. 2014, Borselli, 2017).
  3. mappa –OSR (Over stress ratio) con algoritmo quasi Gauss integration e geostatistica non parametrica basato su sistema FEM di Farias & Naylor a 1998.
  4. mappa –LEM, basata sulla assegnazione di un valore costante di  $F_s$  lungo ogni superficie, secondo le convenzioni del Limit Equilibrium Method (LEM).
- La possibilità di una completa **verifica di superfici di scivolamento singole, definite dall'utente e permette il calcolo del coefficiente sismico critico (secondo il metodo proposta da Sarma(1973) applicato anche agli altri metodi di calcolo (Janbu, Spencer...ecc)** (Fig. 1 finestra principale).
- **Metodo degli spostamenti semiprobabilistico** (Biondi et al. 2011) applicato per analisi in condizione dinamica posteriormente a verifiche su superfici singole.
- **La realizzazione di un controllo stringente, in modo automatico, affinché nessuna parte delle superfici soggette a verifica violi, in base alla propria geometria locale, il principio di rottura di Mohr-Coulomb o Hoek (Hoek et al. 2002).**
- **Verifiche in condizione di liquefazione post-simica dei terreni con la metodologia di Olson & Stark (2003).**

SSAP2010 fondamentalmente è dotato di un sistema molto avanzato di motori di generazione di superfici di scivolamento di forma generica, sviluppati in modo originale dall'autore. Tutte le superfici generate saranno di

forma generica compatibile con lo scivolamento, **quindi non vincolate a priori con una forma particolare come quella circolare.** In particolare SSAP presenta:

- **TRE MOTORI DI RICERCA DIVERSI PER LA RICERCA DELLE SUPERFICI CON MINOR  $F_s$ ,** (Fig. 2 finestra opzioni). I motori di ricerca sono basati su una tecnica numerica molto avanzata e utilizzata nelle tecniche di simulazione di processi fisici: la cosiddetta tecnica Montecarlo. La applicazione di questa tecnica alla generazione di superfici da verificare con metodo all'equilibrio limite fu sviluppata originalmente agli inizi degli anni 80 da Siegel et al. (1981). Questa metodologia è stata poi implementata da alcuni programmi commerciali e ancora oggi è utilizzata. Tuttavia essa non è mai stata veramente ottimizzata e resa veramente fruibile per un uso moderno e integrata con metodi rigorosi. La suddetta è stata implementata in tre diversi motori di generazione e ricerca.
  - **Motore RANDOM SEARCH** ottimizzato, basato sul lavoro di Siegel et al. (1981)
  - **Motore CONVEX RANDOM SEARCH**, derivato da CHEN (1992) e ottimizzato.
  - **Motore SNIFF RANDOM SEARCH.** Questo è il **metodo più innovativo e originale ma anche il più versatile e potente** tra quelli impiegati del programma. Sviluppato in modo originale dall'autore, si basa sulla strategia che tende a **massimizzare, durante la generazione di superfici random, il passaggio negli strati che hanno le caratteristiche di resistenza più scadenti** (ora nella versione 2.6)
- **L'ALGORITMO SMUSSATURA SUPERFICI.** Con questa variante è possibile **smussare, completamente a posteriori, qualunque superficie generata con qualsiasi motore di generazione random utilizzato.**
- **L'ALGORITMO RANGE DINAMICO** può essere applicato ai tre motori di ricerca anzi descritti. L'analisi delle superfici porta a **delimitare progressivamente una zona critica.**
- **IL GENERATORE DI TENSION CRACKS.** In suoli con  $C' > 0$  dove è tipico lo **sviluppo di forze di trazione fino a una certa profondità critica  $Z_0$ .**

Gli algoritmi alla base della ricerca delle superfici sono stati costantemente testati e ottimizzati nel corso degli anni. Alcune novità e ottimizzazioni introdotte nelle ultime versioni permettono un notevole risparmio di tempo all'utente e una maggiore affidabilità dei risultati dell'analisi numerica condotte.

Oltre alla originalità degli algoritmi di generazione e ricerca di superfici di potenziale scivolamento con minor  $F_s$ , sono implementate in SSAP **numerose strategie computazionali** assolutamente originali. Queste tecniche sono state messe a punto per mitigare o eliminare del tutto i più frequenti problemi che si verificano nel calcolo numerico delle soluzioni (es. il valore finale di  $F_s$ ) quando si lavora con metodi all'equilibrio limite rigorosi. **Questo è uno di punti di maggiore innovazione rispetto ai software, anche commerciali, presenti attualmente sul mercato. Queste strategie computazionali sono uno dei cuori del programma SSAP2010.**

Da sottolineare anche la presenza del 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 lavorare con falde in pressione (es. modello di Borselli et al. 2011), acquiferi sospesi, eseguire simulazioni con svasso rapido nel caso di pendii sommersi, escludere dal calcolo delle pressioni neutre alcuni strati, cambiare il peso unitario del fluido.

**Si rimandano i lettori interessati a una descrizione più dettagliata delle caratteristiche del software i seguenti collegamenti su WEB:**

- **Caratteristiche del software:**  
<https://www.ssap.eu/caratteristiche.html>
- **Manuale di riferimento del software:**  
[https://www.ssap.eu/manuale\\_ssap2010.pdf](https://www.ssap.eu/manuale_ssap2010.pdf)

**Licenza del software**

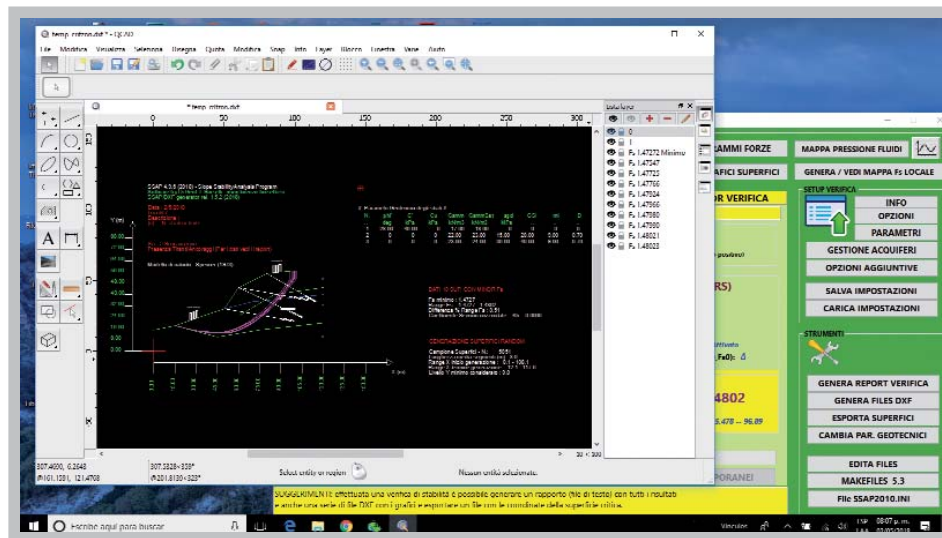
SSAP2010 è un software **FREWARE**, cioè distribuito gratuitamente via web: <https://WWW.SSAP.EU>. La licenza d'uso consente agli utenti un uso illimitato del software con la possibilità di scaricare da web tutti i futuri aggiornamenti.

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

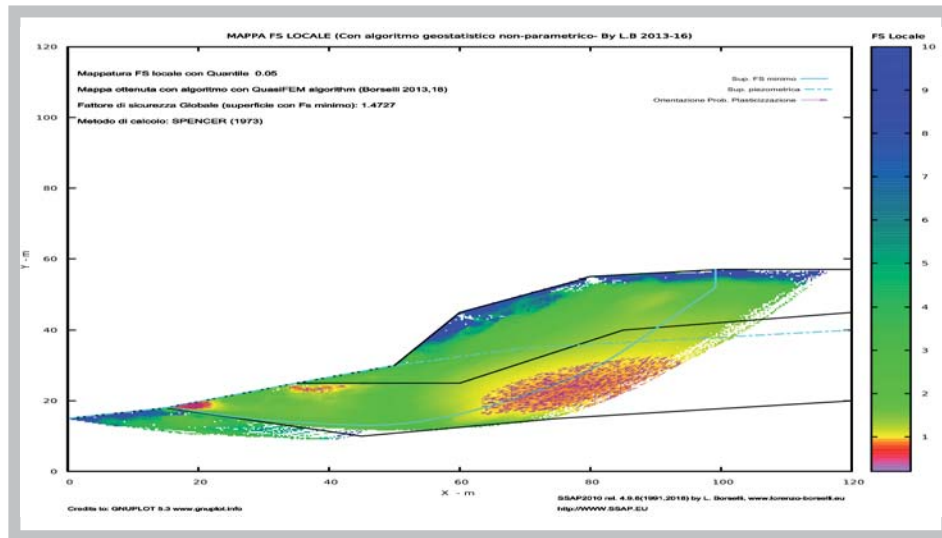
Il software SSAP2010 non è un software commerciale e la sua distribuzione è senza fini di lucro. Tuttavia anche se è un software freeware, esso non è un software OPEN-SOURCE. Infatti il codice sorgente rimane nella esclusiva disponibilità del solo autore. (vedasi Licenza d'uso freeware: <https://www.ssap.eu/ssap2010licence.pdf>)

**Requisiti di sistema hardware e sistema operativo**

- **HARDWARE (configurazione minima):**
- **PC: desktop, notebook con processori 64bit**
- **SPAZIO LIBERO SU DISCO RIGIDO – 400 Mbyte**
- **RAM CONVENZIONALE LIBERA: minima consigliate 6GB per Windows 7,8x,10**
- **Risoluzione minima della scheda grafica e schermo: 1024x768(importante !!! per i netbook)**
- **SISTEMA OPERATIVO: WINDOWS 7,8x,10**



◀ **Figura 4**  
Output grafico in formato DXF visualizzato con software QCAD lanciato automaticamente da SSAP.



◀ **Figura 5**  
Procedura per la generazione Mappa a colori del valore di Fs locale – SSAP versione 4.9.6 (2018).

### Esempio di applicazione

Di seguito un esempio di verifica di stabilità di un pendio con due strutture di sostegno tipo muro in calcestruzzo, uno dei quali è fondato su una palificata (diametro pali 0.3 m, interasse 1.1 m e lunghezza 6 m) incastrata nello strato 5, che ha caratteristiche di alta resistenza meccanica (figura 6.A). Lo strato superficiale (strato 1) ha invece caratteristiche di media resistenza. A monte della struttura di maggiori dimensioni vi è una porzione di riempimento con caratteristiche scadenti, ma questa è contenuta dal muro a mensola con fondazioni su pali. Occorre evidenziare che questo esempio ha una elevata complessità di verifica soprattutto a causa della discontinuità molto irregolare tra lo strato 1 e lo strato 5 (fig. 6.A e 6.B) ma anche per la presenza della palificata e della sua azione di reazione e stabilizzazione della parte di pendio a monte e che tale azione non avviene solo per una semplice effetto di incremento della resistenza al taglio del sistema palo- terreno, ma anche per una complessa azione di reazione e contropinta, modellizzata con il modello derivato di Ito e Matsui (1981) ed implementato in una forma moderna e originale in SSAP.

In casi come questo inoltre, l'adozione di motori di ricerca classici, come superfici circolari o a forzata convessità, non permette la corretta identificazione della zona di maggiore criticità del pendio. Inoltre, l'adozione di metodi di calcolo di Fs semplificati (Fellenius, Bishop, Janbu semplificato) non garantisce un valore affidabile di FS finale. Questo perché i metodi semplificati trascurano le complesse interazioni delle forze interconco e la loro distribuzione interna, portando così ad un risultato intrinsecamente non affidabile, soprattutto quando si ha una certa complessità stratigrafica e la azione di forze stabilizzanti prodotta da strutture (palificate, tiranti, geogriglie).

La presenza di una discontinuità stratigrafica irregolare di strutture rendono invece essenziale l'impiego di una strategia di ricerca più complessa di quelle tradizionali

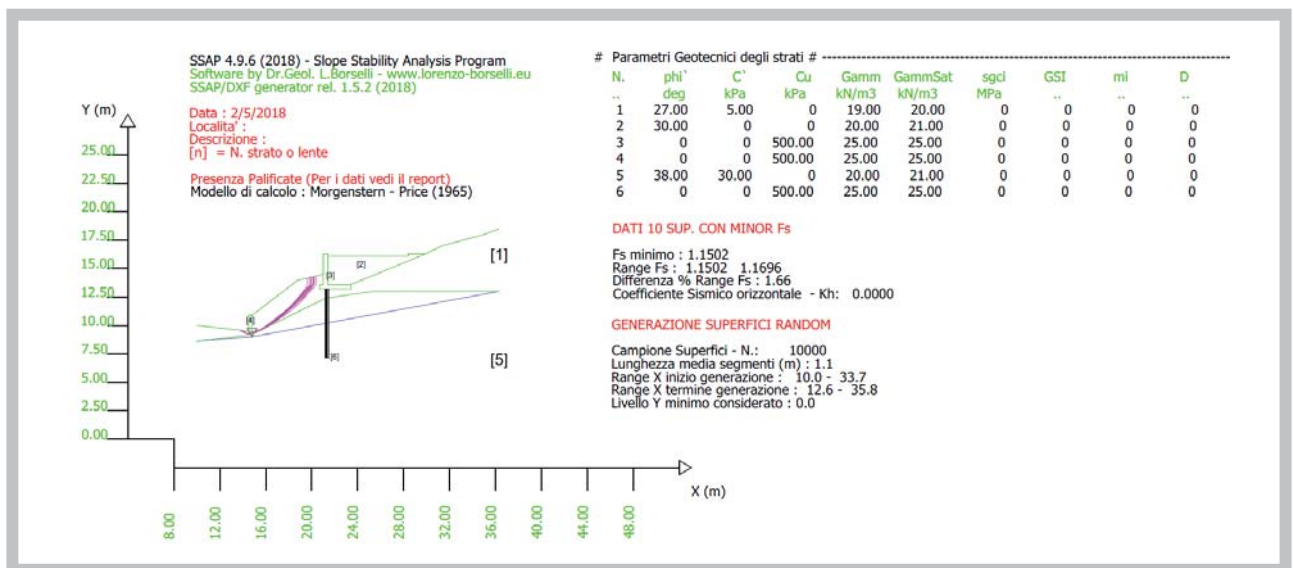
come quella garantita dall'utilizzo del motore SNIFF RANDOM SEARCH, implementato in SSAP2010.

Nella figura 6.A è rappresentato uno dei risultati della verifica, ovvero una fascia critica, costituita dalle 10 superfici con minore FS in assoluto (Fs 1.150-1.169), tra tutte quelle generate automaticamente e verificate. Tale fascia, con maggiore criticità nel pendio, passa sotto la struttura a valle. In questo caso nessuna delle superfici risulta assolutamente circolare ed il risultato è stato ottenuto utilizzando il motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH, con smussatore di superfici attivato.

Nel valutare le superfici che attraversano la struttura più a monte (muro e palificata superiore) si vede come il motore SNIFF RANDOM permette di identificare meglio le condizioni di effettiva maggiore stabilità locale che considera l'effetto di contropinta della palificata. In figura 6.B è presentata la Fascia critica con le dieci superfici con minor Fs tra quelle che attraversano la struttura a monte (Fs 2.370-2.481).

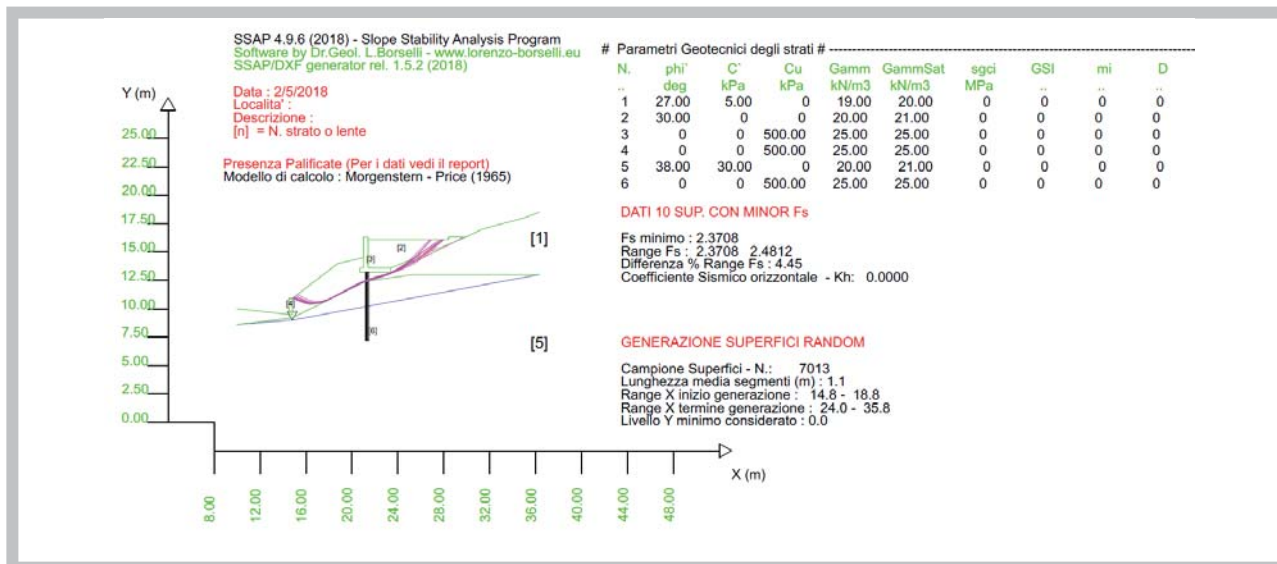
Nella figura 6.C viene visualizzata la distribuzione delle forze e pressioni interne della superficie critica della figura (Fs 2.370) e si può verificare l'effetto stabilizzante delle strutture attraverso la distribuzione delle forze interconco a monte della palificata. Si noti la distribuzione delle forze, delle pressioni normali alla superficie e del fattore di sicurezza locale influenzati dalla presenza della opera di sostegno (Muro più palificata).

Nella Figura 6.D viene visualizzata la fascia critica costituita dalle le dieci superfici con minor Fs tra quelle che attraversano la struttura a monte (Fs 2.868-3.102). In questo caso si è utilizzato il motore di ricerca CONVEX RANDOM SEARCH con smussatore di superfici attivato. Da notare che le superfici non sono circolari, anzi seguono la discontinuità tra gli strati 1 e 5 ed altresì la differenza con la figura 6B. Infatti il motore di ricerca CONVEX non è in grado di ottenere lo stesso risultato dello SNIFF SEARCH, anche se con un numero doppio di superfici generate. Questo perché questo motore di ricerca non è progettato per valutare le differenze di resistenza al taglio che



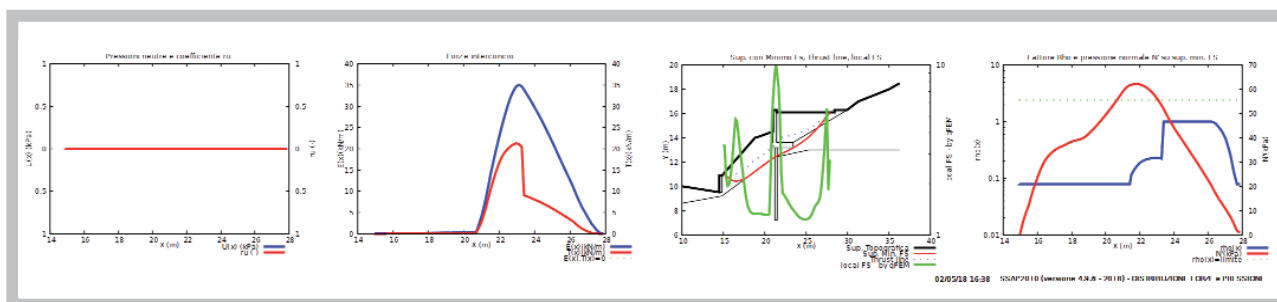
▲ Figura 6A

Fascia critica; le dieci superfici con minor Fs in assoluto (Fs 1.150-1.169), utilizzando il motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH. (Per dettagli vedasi il testo).



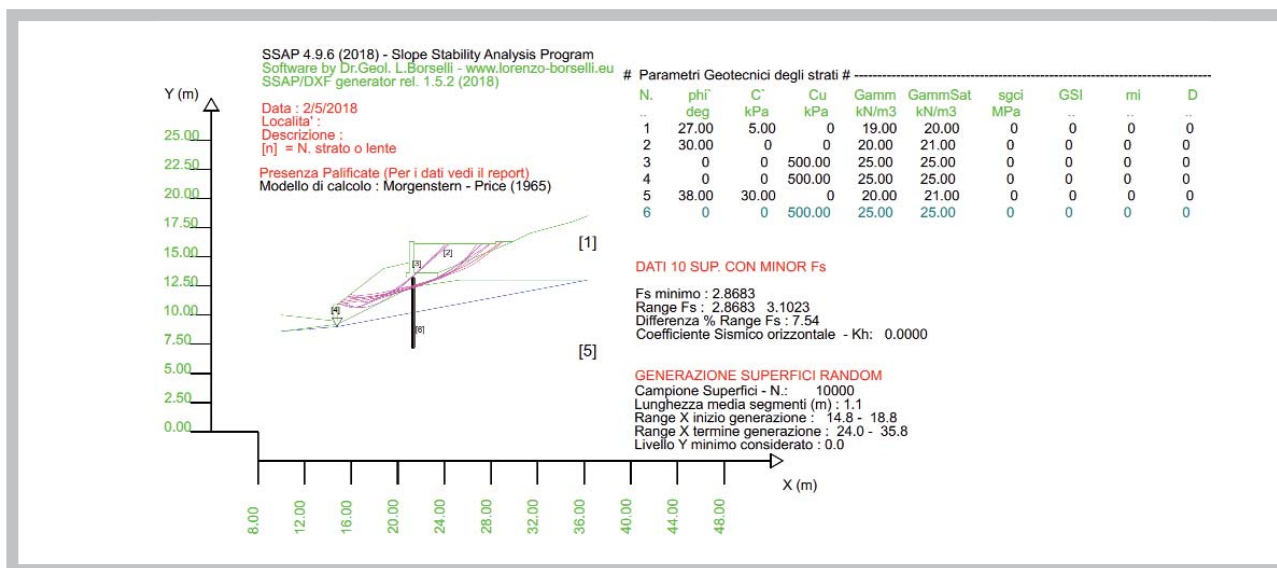
▲ Figura 6B

Fascia critica; le dieci superfici con minor Fs tra quelle che attraversano la struttura a monte (Fs 2.370-2.481), utilizzando il motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH. (Per dettagli vedasi il testo)



▲ Figura 6C

Distribuzione interna delle forze e delle pressioni relative alla superficie critica della figura (Fs 2.370). Per dettagli vedasi il testo).



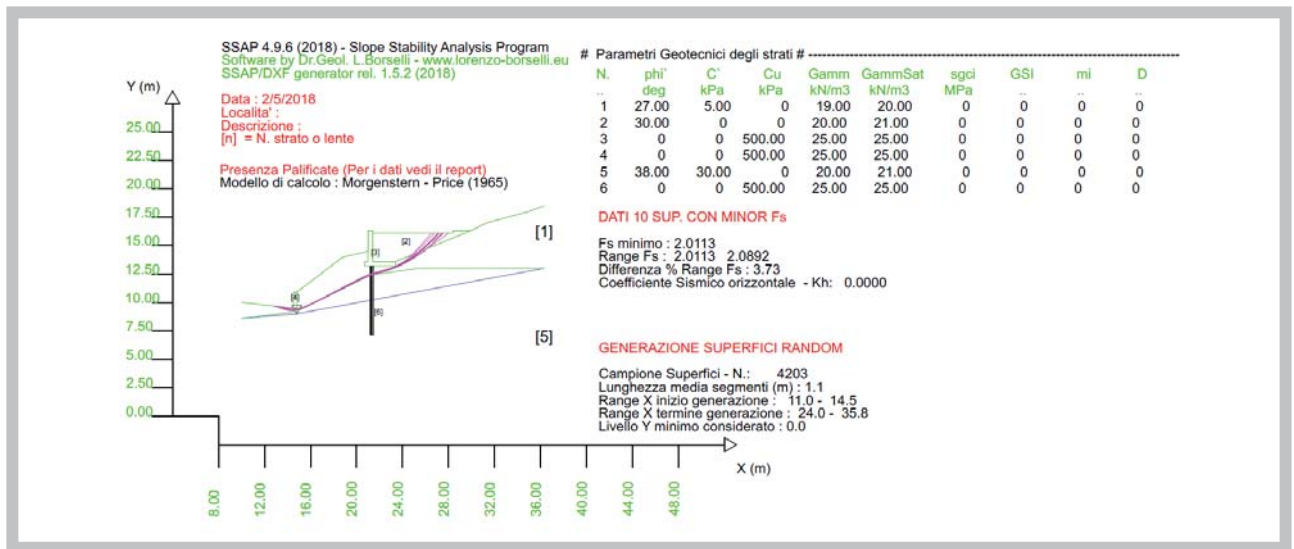
▲ Figura 6D

Fascia critica; le dieci superfici con minor Fs tra quelle che attraversano la struttura a monte (Fs 2.868-3.102), utilizzando il motore di ricerca CONVEX RANDOM SEARCH. (Per dettagli vedasi il testo).



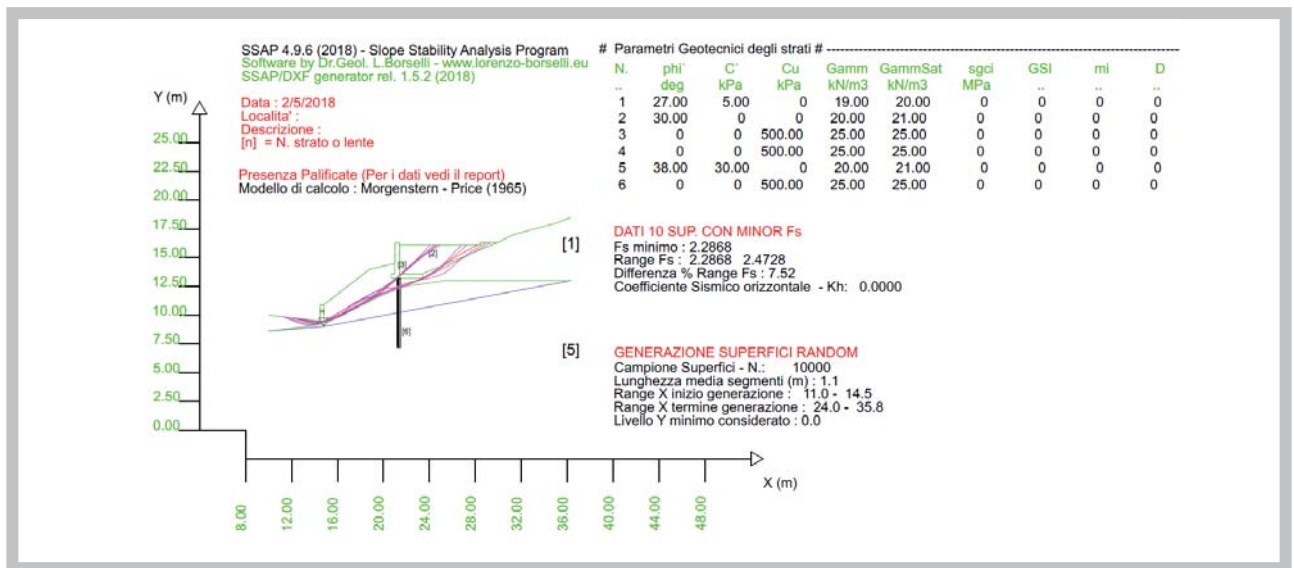
esistono tra due o più strati adiacenti, come invece fa il motore SNIFF RANDOM SEARCH.  
 Le figure 6.E e 6.F mostrano il risultato di una ricerca di superfici casuali compatibili con lo scivolamento, che però attraversano entrambe le strutture presenti a valle e a monte. Anche in questo caso appare evidente che il motore SNIFF RANDOM SEARCH (Figura 6.E, Fs 2.011-2.089) manifesta un rendimento migliore se comparato con il classico algoritmo RANDOM SEARCH, che invece realizza una ricerca puramente casuale dentro il pendio (Figura 6.F, Fs 2.286-2.472.). Da evidenziare che il risultato in figura 6.E è stato ottenuto generando solamente poco più di 4000 superfici con il motore SNIFF RANDOM SEARCH, mentre il risultato in figura 6.F è stato ottenuto generando però 10000 superfici con il motore RANDOM SEARCH.

Nella figura 6.G è mostrato il risultato di un'analisi assolutamente originale presente in SSAP. Ovvero una mappa a colori del valore di FS locale. La mappa è stata generata con un campionamento casuale generando 10000 superfici con il motore RANDOM SEARCH effettuando una ricerca generale su tutto il pendio. I risultati sono immagazzinati in memoria del programma (si tratta di alcuni milioni di valori puntuali di Fs) e poi analizzati con un algoritmo geostatistico non-parametrico- probabilistico, e infine restituiti con una mappa raster a colori (in formato PDF). In essa si vede come la presenza di strutture ha localmente un effetto considerevole nel contenere comunque potenziali criticità locali, dove l'FS locale assume valori piuttosto bassi.



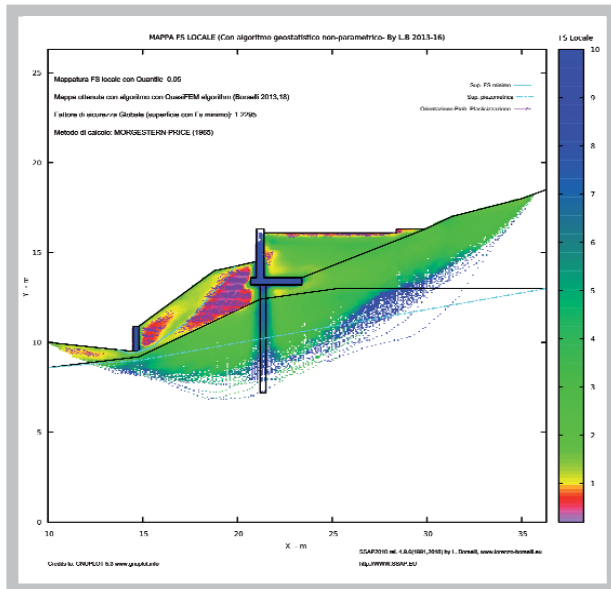
▲ Figura 6E

Fascia critica: le dieci superfici con minor Fs tra quelle che attraversano entrambe le strutture (Fs 2.011-2.089), utilizzando il motore di ricerca SNIFF RANDOM SEARCH e solo 1000 superfici generate. (Per dettagli vedasi il testo).



▲ Figura 6F

Fascia critica: le dieci superfici con minor Fs tra quelle che attraversano entrambe le strutture (Fs 2.286-2.472), utilizzando il motore di ricerca RANDOM SEARCH classico generando però 10000 superfici. (Per dettagli vedasi il testo).



▲ **Figura 6G**

Mappa a colori del valore di FS locale prodotta con la nuova procedura presente in SSAP 4.9.6. (Per dettagli vedasi il testo).

La possibilità di generare questo tipo di mappe in pochi secondi, rappresenta un elemento aggiuntivo e originale in SSAP, che aiuta nella valutazione delle condizioni di stabilità e nella pianificazione di interventi volti alla sicurezza. Questo tipo di mappe permette infatti di visualizzare una quantità di informazioni molto importanti e usualmente non ottenibili nella maggior parte dei programmi, anche di quelli commerciali. Tra queste la possibilità di identificare le aree dove è possibile che si generino fenomeni di rottura progressiva.

In questo esempio risulta evidente come la parte bassa del pendio necessita di un incremento di rinforzo (ad esempio inserendo una palificata o un muro in terra rinforzata) per bloccare potenziali criticità. E' inoltre da notare che in esso non siano stati considerati l'effetto sismico e un potenziale incremento del livello di falda o la possibilità di generare una falda temporanea nello strato 1. Considerando queste condizioni aggiuntive il fattore di sicurezza globale e locale si abbasserebbe ulteriormente. Per questa ragione il pendio oggetto di studio non potrà dirsi sufficientemente sicuro finché non verrà integrata una struttura di rinforzo ulteriore a valle, adeguatamente progettata per garantire la sicurezza in condizioni sismiche e idrologiche estreme.

Esempi aggiuntivi sono presentati nel capitolo 6 del manuale di riferimento di SSAP (<https://www.ssap.eu/manuale2010.pdf>).

## Corsi apc e progetto di divulgazione no profit

Lo sviluppo del programma SSAP è dal 2010 associato a un programma di didattica e divulgazione a carattere no-profit. Questa attività di didattica e divulgazione in Italia è stata possibile grazie al contributo di una serie di entità pubbliche e no-profit che hanno organizzato numerosi

corsi e seminari sul software SSAP (vedasi tabella alla pagina <https://www.ssap.eu/corsi.html>). I costi dei corsi sono stati coperti da una limitata quota di iscrizione, ricevuta e gestita dall'ente organizzatore. I corsi sono stati tenuti dall'autore del programma e dai responsabili italiani del progetto di divulgazione. Questa politica interamente No-Profit (i docenti non percepiscono un onorario per la didattica) contraddistingue il Software SSAP anche dal punto di vista della didattica e divulgazione. I colleghi **Dr. Ing. Lucia Greco** ([lugreco10@gmail.com](mailto:lugreco10@gmail.com)) di Bari, e il **Dr. Geol. Paolo Petri** ([paolopetri@geo-logica.net](mailto:paolopetri@geo-logica.net)) di La Spezia, sono i responsabili in Italia del Progetto di Didattica e Divulgazione di SSAP. Maggiori dettagli sono indicati alla pagina <https://www.ssap.eu/corsi.html>

## Conclusioni

Il software SSAP presenta molte originalità e peculiarità rispetto a numerosi softwares commerciali ed il fatto che sia uno strumento gratuito e di uso libero non è certamente la principale tra queste.

Tali peculiarità sono infatti nel cuore di calcolo del programma, ovvero nell'insieme degli algoritmi impiegati per risolvere problemi di verifiche di stabilità all'equilibrio Limite (metodi LEM) nella configurazione più complessa e rigorosa. Un cuore di calcolo che è concreto, affidabile, veloce e rigoroso.

Ricordiamo che i metodi all'equilibrio limite sono una metodologia che si è andata evolvendo negli ultimi 90 anni. Pensati in origine per svolgere calcoli semplificati e veloci, questi metodi si sono evoluti negli ultimi decenni per essere impiegati su calcolatori sempre più potenti, per svolgere verifiche su modelli di pendio sempre più complessi. Tuttavia mentre la capacità di elaborazione è cresciuta nei decenni con ritmi esponenziali, la maggior parte dei softwares, commerciali e non, è rimasta ancorata a metodologie che, anche se tecnicamente corrette, sono da considerarsi ormai obsolete, come quella di verificare superfici esclusivamente di forma circolari. I passi in avanti della ricerca su questo specifico aspetto, realizzati negli anni 80 e 90 del XX secolo, come la possibilità di generare campioni rappresentativi di superfici di forma generica per testare la stabilità globale di un pendio, sono stati implementati in alcuni softwares ben conosciuti. Tuttavia questo non ha, in pratica, fino ad oggi realizzato un rilevante mutamento nella metodologia impiegata nelle verifiche di stabilità dei pendii. Probabilmente anche perché a livello didattico, nella maggior parte delle università, ancora oggi si prediligono percorsi didattici che sono ancora ancorati a metodologie certamente ben collaudate ma ancorate a tecniche di 40 anni fa. Gli strumenti per fare un passo oltre in questa direzione ora esistono, e alcuni sono pure gratuiti. Il SSAP vuol essere a tal proposito un passo oltre. Infatti implementa una articolata serie di strumenti molto avanzati che permettono di esplorare un pendio generando una serie di superfici di forma generica (e quindi non vincolata a forme predefinite come la circolare) fino a identificare non solo la superficie più critica in assoluto (fattore FS più basso) ma anche fasce e zone con maggiore criticità del pendio. I motori di generazione e ricerca RANDOM di SSAP, ovvero una serie di algoritmi che sono come un secondo cuore di calcolo, sono un elemento ulteriormente innovativo. Alcuni di

questi algoritmi come lo SNIFF RANDOM SEARCH sono uno strumento totalmente originale. Il calcolo del fattore di sicurezza (FS) associato a un pendio viene svolto poi non solo usando esclusivamente metodi di calcolo rigorosi riconosciuti tra i più affidabili già da 40 anni, ma implementando una serie numerosa di strategie computazionali e algoritmi che incrementano la affidabilità dei risultati eliminando o mitigando alcuni delle più conosciute problematiche nel calcolo di FS su pendii complessi, con e senza opere di rinforzo.

La interfaccia grafica amichevole di SSAP nonché una serie di strumenti e software ausiliari già preinstallati e di uso libero, completano le possibilità operative del programma a cui è associato un manuale di oltre 400 pagine, con teoria, esempi di applicazione e video didattici disponibili sul un sito web dedicato.

SSAP2010 è il frutto della Ricerca italiana e può oggi essere liberamente, senza costi, utilizzato a da tutti e a beneficio della comunità. Esso di fatto non ha un unico autore. Molti utenti negli ultimi 20 anni hanno infatti contribuito con le loro osservazioni e suggerimenti, incentivando così il suo sviluppo. Questo costante e crescente coinvolgimento ha prodotto molte idee nuove che sono state testate e alla fine impiegate. Associato a SSAP esiste da alcuni anni uno sperimentato modello di didattica e divulgazione no profit. Infatti un risultato della ricerca non serve a niente se non coesistono iniziative per divulgarlo. Senza queste azioni associate, il progresso infatti non si realizza.

Ad oggi a livello mondiale non esiste un software equivalente al SSAP, con questo grado di innovazione, di uso totalmente libero, documentato e disponibile per tutti.

## Web Links utili

Sito ufficiale software SSAP: <https://www.ssap.eu/corsi.html>  
 Manuale SSAP2010 (format PDF): <https://www.ssap.eu/manuale/ssap2010.pdf>  
 Licenza d'uso freeware: <https://www.ssap.eu/ssap2010licence.pdf>  
 Progetto No Profit per didattica e divulgazione SSAP:  
<https://www.ssap.eu/corsi.html>  
 Sito personale autore SSAP: <https://www.lorenzo-borselli.eu/>  
 Esempi di applicazione (da P.P.A.A.) del software SSAP disponibili sul WEB  
<https://www.ssap.eu/onweb.html>  
 Canale WEB dedicato su YOUTUBE con video didattici (canale: Lorenzo Borselli)  
[https://www.youtube.com/channel/UCcOmf\\_OHXWIDr9oXyS6X7fw](https://www.youtube.com/channel/UCcOmf_OHXWIDr9oXyS6X7fw)

## Bibliografia

- BARTON, N. (2013). *Shear strength criteria for rock, rock joints, rockfill and rock masses: Problems and some solutions. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 5(4), 249-261.
- BARTON, N. and BANDIS, S.C. (1990). *Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice. International Symposium on Rock Joints. Loen 1990. Proceedings*, pp. 603-610, 1990.
- BORSELLI L. (2018). "SSAP 4.9.6 – SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM". MANUALE DI RIFERIMENTO. DEL CODICE SSAP Versione 4.9.6 <https://www.ssap.eu/manuale/ssap2010.pdf>. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28883.68643>
- BORSELLI L. 2013. *Advanced 2D Slope stability Analysis by LEM by SSAP software: a full freeware tool for teaching and scientific community. IN "ICL Landslide Teaching Tools". KyojiSassa, Bin He, MauriMcSaveney, Osamu Nagai (EDS.). International Consortium on Landslides (ICL). PP. 428. ISBN: 978-4-9903382-2-0.*
- BORSELLI L., 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 (esempio applicazione ssap in stabilità edificio vulcanico attivo).
- BRUNETTI M.T., GUZZETTI F., CARDINALI M., FIORUCCI F., SANTANGELO M., MANCINELLI P., KOMATSU G., BORSELLI L., *Analysis of a new geomorphological inventory of landslides in Valles Marineris, Mars, Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 405: 156-168, ISSN 0012-821X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2014.08.025>, (esempio applicazione SSAP su Marte).
- CARRANZA-TORRES C. (2004). *Some comments on the application of the Hoek-Brown failure criterion for intact rock and rock masses to the solution of tunnel and slope problems. In: Barla G, Barla M, editors, MIR 2004 – X Conference on rock and engineering mechanics, Torino, Italy, Patron Editore, Bologna; 24-25 November 2004. p. 285-326. [Chapter 10].*
- CHOWDHURY R., FLENTJE P.; BHATTACHARYA G. (2009). *Geotechnical Slope Analysis. CRC-Press ISBN: 978-0-415-46974-6*, pp 762.
- CORRELA, R. M. (1988). "A Limit Equilibrium Method of Slope Stability Analysis." *Proc. 5th Int. Symp. Landslides. Lausanne. 1:595-598.*
- DUNCAN J. M., (1996). *State of the art: Limit equilibrium and finite-element analysis of slopes. Journal of geotechnical engineering*. 122(7): 577-596.
- 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., & DIEDERICHS, M. S. (2006). *Empirical estimation of rock mass modulus. International journal of rock mechanics and mining sciences*, 43(2), 203-215.
- 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.*
- ITO T., MATSUI T. (1981). *Methods to estimate lateral force acting on stabilizing piles. Soil and Foundation*. 21(1):21-37 <http://ci.nii.ac.jp/ognavi?name=nels&lang=en&type=pdf&id=ART0005363351>.
- JANBU N. (1973) *Slope stability computations. The embankment dam Engineering Casagrande Volume. John Wiley e Sons pp 47-86.*
- KRAHN, J. (2003). "The 2001 R.M. Hardy lecture; the limits of limit equilibrium analysis." *Can. Geotech. J.*, 40, 643-660.
- MORGESTERN N.R. & PRICE V.E. (1965) *The analysis of the stability of general slip surfaces. Geotechnique*, 15, pp 70-93.
- SARMA S.K. (1979). *Stability analysis of embankments and slopes. Journal of Geotech. Eng. Vol. 105(2):1511-1524.*
- SARMA, S. K. (1973). *Stability analysis of embankments and slopes. Geotechnique* 23, No. 3, 423-433
- 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.
- 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 Morgenstern-Price method. Can. Geotech. J.* 42: 272-278.

**TECNA**  
 snc di Moretti Dr. Giuliano & C.

**ANISIG**  
 Associazione Nazionale  
 Ingegneri Specializzati  
 in Indagini Geognostiche

**CQOP SOA**  
 CONSORZIO QUANTITATIVI OPERAZIONI  
 OS 21 : I OS 20-B : I  
 Attestazione : 47737 / 10 / 00

**CSI CERT**  
 ISO 9001

Via Achille Grandi, 51 - 52100 AREZZO - tel **0575 323501**, fax **0575 1979797**, cell: **335 1020000**, e-mail: **tecna@geognostica.it**  
 AUTORIZZAZIONE MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI AD EFFETTUARE E CERTIFICARE PROVE GEOTECNICHE SUI TERRENI N. 4542 DEL 13/04/2012

Perforazioni a carotaggio continuo e distruzione di nucleo  
 Prelievo campioni indisturbati  
 Prove permeabilità Lefranc  
 Prove permeabilità Lugeon  
 Pozzi per acqua  
 Installazione tubi piezometrici  
 Installazione tubi inclinometrici e down-hole

Numero Verde  
**800 102000**

Prove scissometriche VBT  
 Prove penetrometriche dinamiche SPT e DPSH  
 Prove Penetrometriche statiche CPT, CPTE, CPTU  
 Prove con dilatometro piatto Marchetti DMT  
 Carotaggio continuo di tipo ambientale  
 Micropali e pali di sottofondazione  
 Tiranti a trefoli ed in barre, ancoraggi