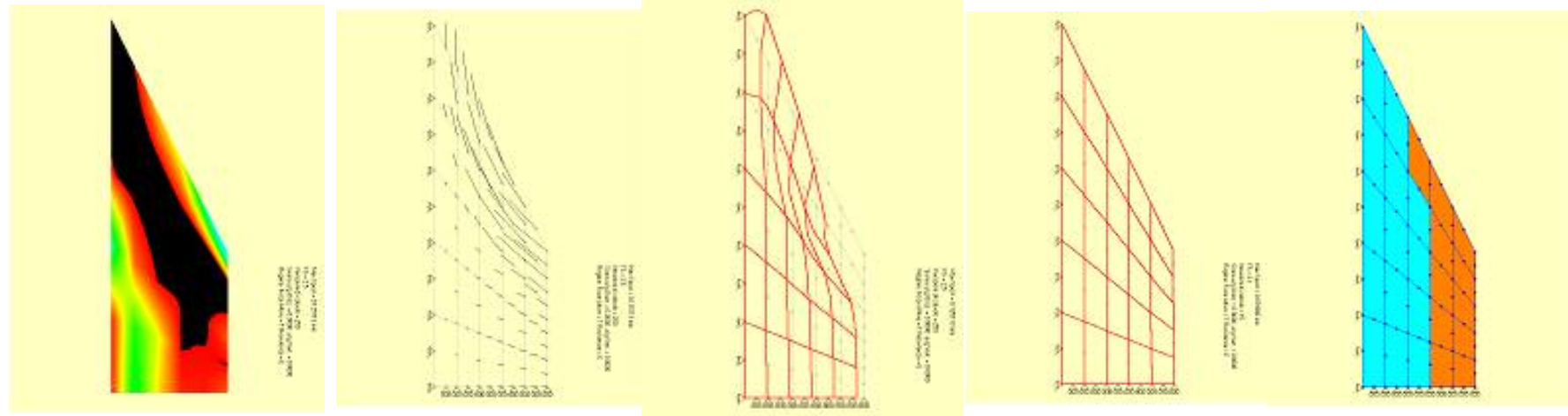
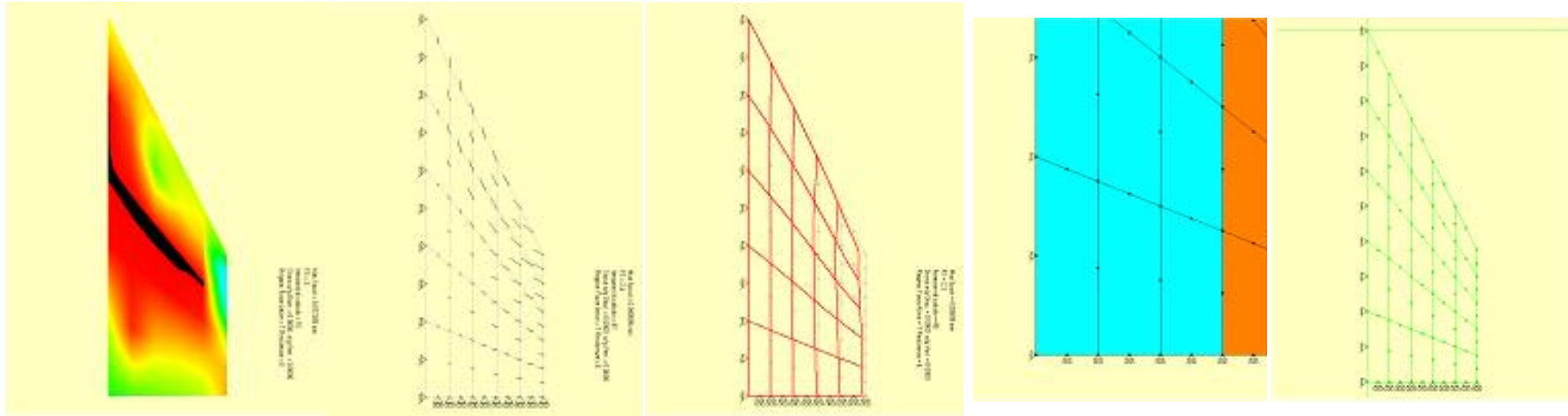


# FEA – Slope – A Finite Element Analysis of Slopes



## FEA Slope 1.0 – 2007

Perché un algoritmo F.E.M.?

L'evoluzione delle teorie e degli strumenti di calcolo automatizzato ha permesso ormai da decenni di introdurre le tecnologie numeriche agli Elementi Finiti (in grado di definire soluzioni *esatte* a tutti gli effetti) anche nella trattazione dei problemi della Geotecnica.

Le soluzioni approssimate garantite dai tradizionali metodi "semplificati" sono da considerare semplici valutazioni di confidenza rispetto alle moderne soluzioni numeriche, giustificate molto più da una vera e propria inerzia culturale che da reali limiti computazionali.

Basti pensare che la stragrande maggioranza dei metodi di calcolo approssimati considera unicamente superfici di rottura del pendio circolari, mentre l'unico metodo che considera superfici qualsiasi non è in grado di determinare, salvo reiterare una serie teoricamente infinita di tentativi, quella di minore resistenza.

Tenuto conto del fatto che l'input dei dati necessari al calcolo agli Elementi Finiti è agli effetti pratici definibile quanto quello per i metodi tradizionali, la differenza sostanziale si traduce nella reale volontà da parte dell'Utente di cogliere una netta e sperimentata innovazione.

### **IL METODO AGLI ELEMENTI FINITI (F.E.M.)**

FEA – Slope è un innovativo programma per l'analisi di stabilità dei pendii basato su un sofisticato algoritmo di Analisi agli Elementi Finiti (F.E.A.).

Il pendio viene schematizzato in elementi piani a otto nodi, dotati ciascuno di caratteristiche geometriche e geotecniche peculiari.

Le caratteristiche geotecniche sono definite in termini di coesione, attrito interno, dilatanza, coefficienti di Poisson e modulo di Young.

Il modello geotecnico del terreno in fase di rottura del pendio comporta una funzione di superamento del collasso di tipo non associato, interpretata secondo una teoria di comportamento visco - plastico.

L'analisi geotecnica di collasso è condotta secondo il criterio di Mohr – Coulomb generalizzato e fornisce tutta una serie di importanti dati di output:

- il coefficiente di sicurezza contro la "rottura" del pendio
- la geometria esatta del movimento franoso, con ricostruzione puntuale del fenomeno di scivolamento (superfici complesse e soprattutto non aprioristicamente lineari / circolari)
- la possibilità di prevedere in modo incrementale i movimenti di avvicinamento al collasso del pendio, con possibilità di riscontro qualitativo / quantitativo in sito mediante strumentazione geotecnica
- una tomografia della funzione di collasso secondo il criterio di Mohr – Coulomb, con individuazione delle masse di terreno soggette a instabilizzazione già nelle prime fasi del processo franoso.

La geometria del problema è definita mediante l'input assistito di punti, elementi quadrangolari singoli o intere sottomesh di elementi finiti.

Le condizioni della falda freatica vengono introdotte sia tenendo conto della saturazione dei terreni, sia considerando il regime di sforzi (totali / efficaci) da considerare nella soluzione del problema.

L'analisi sismica è condotta con possibilità di inserire campi di accelerazioni orizzontali in eventuale contemporaneità con accelerazioni verticali, queste ultime dirette sia verso il basso sia verso l'alto. In questo modo vengono puntualmente ottemperate le più recenti Normative sia Nazionali che Comunitarie.

L'approccio computerizzato è implementato in ambiente MS Windows e richiama la parametrizzazione usuale per questo genere di problemi. Per ogni tipo di suolo sono considerati i tradizionali parametri di resistenza al taglio e quelli di deformabilità e dilatanza tipici dell'analisi agli Elementi Finiti, mediante finestre di dialogo chiare e sintetiche.

Alle basilari funzioni di input e salvataggio, si affiancano funzioni di interrogazione degli Elementi Finiti, valutazione preliminare della mesh di calcolo, modifica delle condizioni sia intrinseche (parametrizzazione, falda), sia esterne e al contorno (vincoli, sisma).

La manualistica di riferimento riporta in maniera chiara e operativa le modalità con le quali ricavare tutti i parametri geotecnici necessari. Sono indicati per la caratterizzazione gli usuali metodi geognostici: sondaggi geotecnici, prove penetrometriche in suoli granulari e prove di laboratorio sulle argille.

L'algoritmo risolutivo è di tipo iterativo.

In una prima fase si verifica la stabilità del pendio nelle condizioni "iniziali" risultanti dai dati geotecnici e di campagna.

Successivamente i dati di resistenza dei terreni vengono divisi per una serie di coefficienti di sicurezza, via via crescenti, ripetendo il calcolo F.E.M. fino a quando, a causa della diminuzione introdotta dal coefficiente di sicurezza in uso in quel preciso step di calcolo, il pendio non risulta più stabile.

Il collasso del pendio nel suo insieme risulta dal collasso di una sommatoria sufficientemente estesa di singoli elementi.

Ogni volta che un singolo elemento di terreno collassa perché le sue riserve di resistenza al taglio sono insufficienti, una parte di sforzi viene ridistribuita agli elementi vicini. Questi elementi potrebbero reggere l'incremento di sollecitazione oppure collassare a loro volta. Nel secondo caso, anch'essi ridistribuiscono al contorno le sollecitazioni in eccesso, e il calcolo di stabilità viene ripetuto per l'intero pendio.

Nel caso in cui le ripetizioni successive (iterazioni) del calcolo portino infine ad una situazione complessivamente stabilizzata, il pendio viene considerato stabile per quel preciso coefficiente di sicurezza applicato alla coesione e all'attrito interno. Si passa quindi ad incrementare il coefficiente di sicurezza (quindi a diminuire coesione e attrito interno di calcolo) e si ripetono i passaggi dell'analisi F.E.M. Il coefficiente riduttivo viene applicato alla coesione  $C$  ed alla tangente dell'angolo di attrito interno  $\phi$ .

Il pendio si considera complessivamente collassato quando dopo un congruo numero di iterazioni (suggerite 250) le calcolazioni non convergono, ovvero la redistribuzione delle sollecitazioni al collasso non ha termine.

Il coefficiente di sicurezza  $F_s$  immediatamente precedente al collasso è quindi assunto come quello effettivo del pendio.

## **AMBIENTE DI SVILUPPO E CARATTERISTICHE DELL'HARDWARE**

FEA Slope è concepito per l'utilizzo in ambiente Windows (Windows 98, ME, XP, Vista).

L'installazione avviene con una procedura guidata ed è protetta con una chiave hardware USB.

E' necessario un computer con processore Pentium IV o superiore ad almeno 1.6 GHz, 1 GB di memoria Ram, porta USB e (consigliabile) una scheda grafica.

Autore:

**Dr. Ing. Angelo Silvio Rabuffetti – 20136 Milano - Via Trincea delle Frasche, 2**

Distribuzione:

**BOVIAR S.R.L. – 80026 Casoria (Na) - Via G. Puccini, 12/A - 20020 Lainate (Mi) – Via Rho, 56**

# FEA – SLOPE – A Finite Element Analysis of Slopes

