

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
“FEDERICO II”



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

Abstract

**PROBLEMI DI STABILITA' DEI FRONTI DI SCAVO
NELL'AREA ARCHEOLOGICA DI POMPEI**

Relatore

Ch.mo Prof. Gianfranco Urciuoli

Candidata

Ivana Fiore

Correlatore

Dott. Ing. Marianna Pirone

Matricola

M67000233

Anno Accademico 2015/2016

Abstract

L'elaborato di tesi ha per oggetto la messa in sicurezza dei fronti di scavo e la mitigazione del rischio idrogeologico delle Regioni I-III-IV-V-IX del sito archeologico di Pompei.

I versanti si configurano come fronti di scavo, con altezze variabili da 0 a oltre 6 metri. Essi risultano frequentemente contenuti dai manufatti antichi, i cui spessori ed altezze appaiono non sempre sufficienti ad espletare l'azione di contenimento richiesta.

In tale contesto si inserisce il lavoro sviluppato nella presente tesi. Sono state analizzate le condizioni di stabilità nello stato di fatto di 17 sezioni ricadenti in alcune aree; inoltre, laddove necessario, sono state avanzate ipotesi di intervento, basate essenzialmente sul rimodellamento dei versanti nel rispetto dei vincoli archeologici.

Le analisi di stabilità sono state effettuate con:

1. il metodo all'equilibrio limite globale Geoslope 2004, adottando per il terreno un modello costitutivo rigido perfettamente plastico;
2. il software agli elementi finiti Plaxis, mediante un modello lineare elastico perfettamente plastico, adottando lo stato tensionale alla Bishop per terreni non saturi.

1. I TERRENI PARZIALMENTE SATURI

Un terreno parzialmente saturo è un mezzo trifase, in quanto costituito da una fase liquida, una solida e una gassosa.

In condizione di parziale saturazione, i pori del terreno contengono in parte aria, in parte acqua, in genere a pressioni diverse fra loro. Ciò è possibile in quanto i due mezzi sono separati da sottili membrane dette menischi che, essendo in grado di sostenere sforzi di trazione, consentono che la pressione dell'aria, u_a , possa essere maggiore della pressione dell'acqua, u_w . Tale differenza è detta suzione di matrice s : $s = u_a - u_w$

Bishop nel 1959 estese il Principio delle Tensioni Efficaci di Terzaghi ai terreni parzialmente saturi:

$$\sigma'_{ij} = (\sigma_{ij} - u_a) + \chi(u_a - u_w)$$

Dove σ' è la tensione efficace, σ è la tensione totale, u_a è la pressione dell'aria, u_w è la pressione dell'acqua, $(u_a - u_w)$ è la suzione di matrice, $(\sigma_{ij} - u_a)$ rappresenta la tensione netta e χ è una proprietà del materiale che dipende dal grado di saturazione (S_r), e può assumere valori compresi tra 0, nel caso in cui $S_r = 0$, ed 1, se $S_r = 1$.

Nel caso di un terreno parzialmente saturo la presenza dell'acqua di porosità e dei menischi produce un incremento degli sforzi normali agenti tra i grani e quindi un aumento della resistenza allo scorrimento.

Fredlund ha proposto un'equazione che rappresenta l'estensione del criterio di Mohr-Coulomb alla condizione di parziale saturazione:

$$\tau = c' + (\sigma - u_a)\tan\varphi' + (u_a - u_w)\tan\varphi'_b$$

in cui:

c' e φ' rappresentano la coesione e l'angolo d'attrito drenati, φ'_b è l'angolo d'attrito che descrive il contributo di resistenza a taglio dovuto alla suzione, per $(\sigma - u_a)$ costante.

2. IL CASO IN ESAME

L'area degli scavi archeologici, situata nel comune di Pompei, occupa una superficie di circa 66 ettari. In figura 1 è riportata la planimetria in cui è evidenziato l'ambito di intervento che investe sostanzialmente una quota parte delle Regiones I, III, IV, V e IX dell'area archeologica di Pompei.

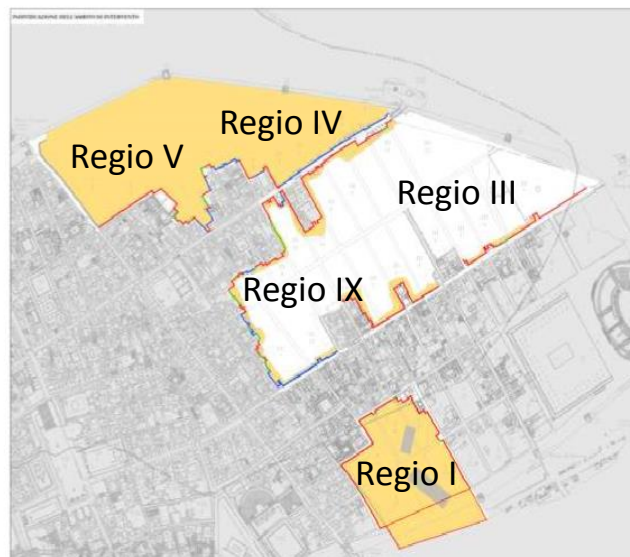


Figura 1- Planimetria dell'area di intervento

Le aree e gli immobili interessati dall'intervento sono costituiti da:

- fronti di scavo: rappresentano il confine tra aree scavate e non scavate e sono costituiti da elevati murari (antichi e moderni) e versanti naturali (pendii perimetrali delle aree non scavate);

- pianori: sono le aree, con andamento tendenzialmente pianeggiante, ancora non scavate ed interne al sito archeologico.

L'analisi delle colonne stratigrafiche disponibili, delle prove SPT in foro, delle analisi condotte su campioni indisturbati e su campioni rimaneggiati ha permesso di definire il modello di sottosuolo utilizzato per il calcolo.

Nella seguente tabella viene riepilogata la caratterizzazione geomeccanica dei complessi litotecnici.

	Complesso A	Complesso C	Complesso D	Complesso B	Complesso A*
Litologia	Suoli	Flussi piroclastici	Pomici e lapilli	Riporti	Paleosuoli
coesione media c (kPa)	4,8	8,0	0,0	6,3	4,8
angolo d'attrito medio ϕ (°)	30,0	35,0	40,0	32,5	30,0
peso di volume saturo γ (kN/m³)	21,0	14,0	11,0	16,0	16,5

Tabella 2- Caratterizzazione geomeccanica dei complessi

La condizione di parziale saturazione è stata considerata inglobando l'effetto meccanico della suzione nella coesione apparente; quindi la coesione assegnata al complesso delle piroclastiti è da intendersi come somma di due contributi: coesione reale (2kPa) e coesione apparente (6 kPa).

I rilievi e le indagini condotti hanno evidenziato una serie di criticità:

- le pendenze sono talvolta elevate;
- ruscellamento dai pianori superiori ed erosione superficiale;
- infiltrazione dell'acqua alle spalle dei muri.

Al fine di ricondurre lo studio dei fronti di scavo a una caratterizzazione significativa delle situazioni in essere sono state selezionate 17 sezioni che meglio descrivono le condizioni nello stato di fatto dei fronti di scavo nelle diverse Regioni.

3. ANALISI DI STABILITA': SLOPE/W

Le prime analisi di stabilità sono state condotte con il software di calcolo Slope/w della suite Geostudio, basato sui metodi dell'equilibrio limite globale; esse hanno consentito la valutazione della stabilità globale delle scarpate, attraverso la ricerca della superficie di scorrimento cui compete il coefficiente di sicurezza globale minimo.

Il modello costitutivo adoperato per ciascun litotipo è di tipo rigido perfettamente plastico e le analisi sono state eseguite sia in condizioni statiche che sismiche col metodo pseudo-statico. Per tutte le sezioni in esame le analisi sono verificate.

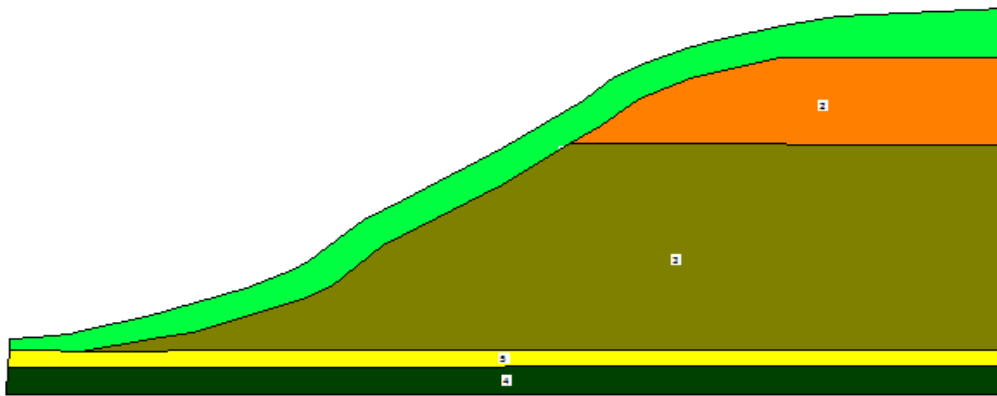


Figura 3- Schema di calcolo sezione n°1

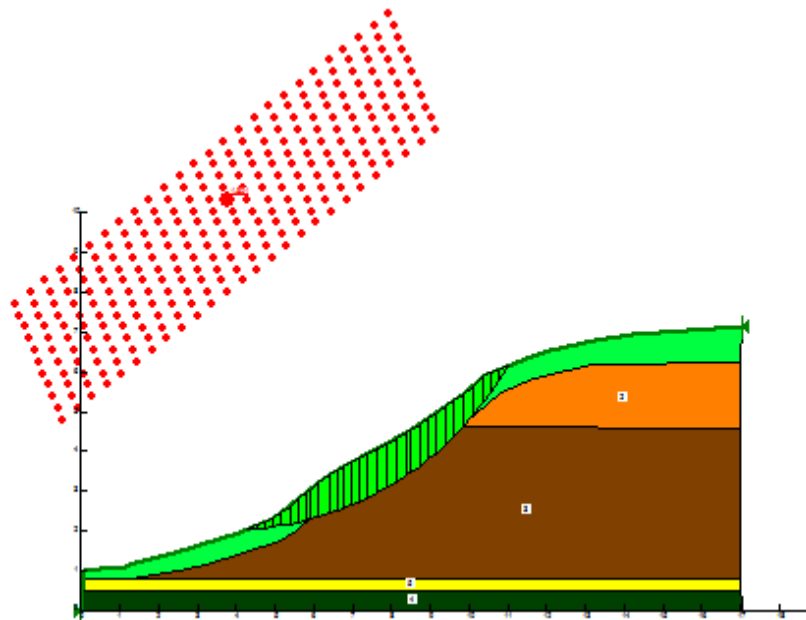


Figura 4- Superficie di scorrimento sezione n°1 (FS=1,8)

Da queste analisi non sono emerse particolari criticità; però la necessità di intervento nasce sia dall'esigenza di garantire un sufficiente margine di sicurezza onde evitare la riduzione del contributo meccanico della suzione, che dalla necessità di far fronte al problema delle spinte

idrostatiche elevate che si vengono a generare a tergo degli elevati murari, per effetto dell'infiltrazione dell'acqua.

Eseguite le verifiche nello stato di fatto, sono state avanzate delle ipotesi di intervento, basate essenzialmente sulla riprofilatura del pendio.

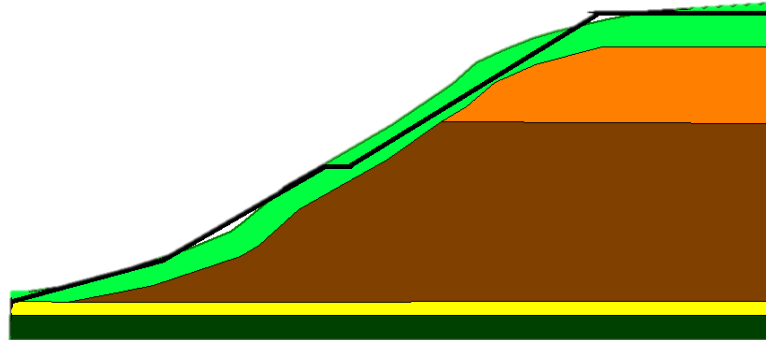


Figura 5- Riprofilatura prevista per la sezione n°1

4. ANALISI DI STABILITA': PLAXIS

Le stesse sezioni sono state esaminate con PLAXIS 2D, codice di calcolo agli elementi finiti. PLAXIS ha permesso di analizzare, non solo le condizioni di rottura per verificare se i risultati fossero compatibili con quelli ottenuti mediante SLOPE/W, ma anche la risposta dei terreni ai fenomeni di filtrazione, attraverso l'applicazione di due eventi di pioggia tipici del Napoletano, di diversa intensità.

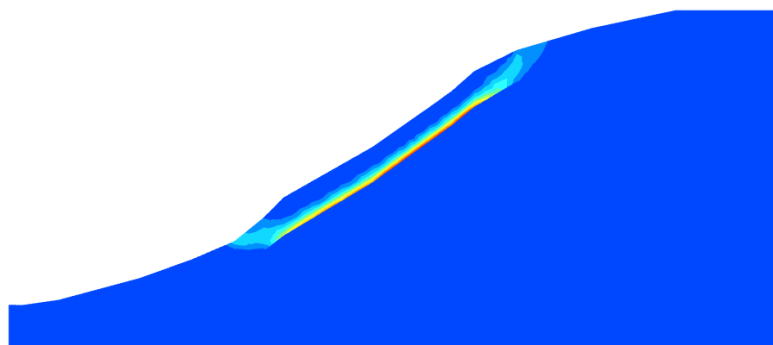


Figura 6- Superficie di scorrimento relativa allo stato di fatto (FS=1,82)

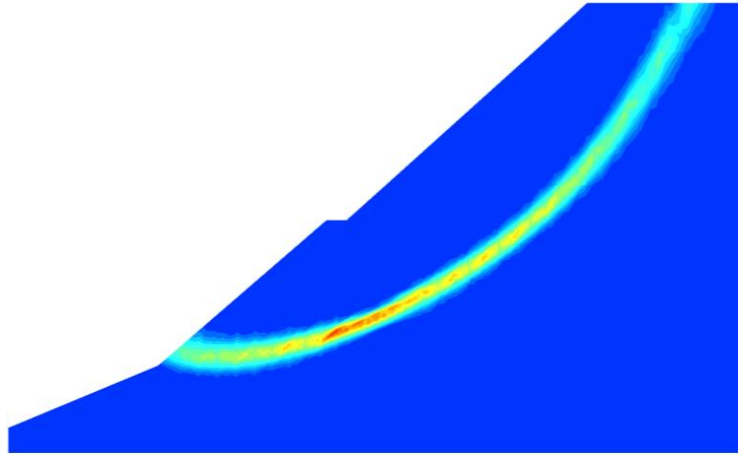


Figura 7- Superficie di scorrimento relativa allo stato di progetto (FS=1,99)

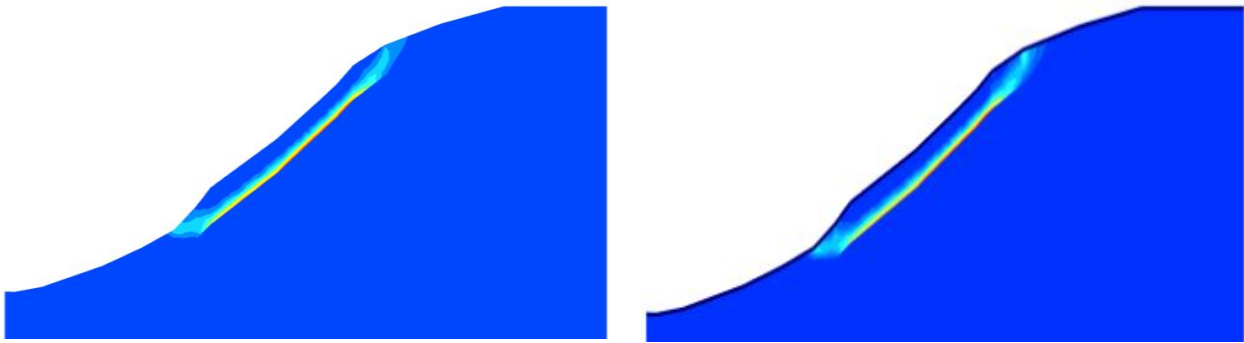


Figura 8- Superficie di scorrimento in seguito alle due storie di pioggia

In particolare durante le precipitazioni sono state analizzate le suzioni all'interno del volume di terreno:



Figura 9- Suzione al termine dell'evento di pioggia meno gravoso

5. CONCLUSIONI

- Dal confronto dei risultati delle analisi di stabilità eseguite con i due metodi è emerso che, sebbene i due codici di calcolo utilizzino due leggi costitutive diverse per schematizzare il materiale (rigido-plastico in SLOPE/W e lineare-elastico perfettamente plastico in PLAXIS), il coefficiente di sicurezza e la superficie di scorrimento sono in buona sostanza confrontabili sia nello stato di fatto che nello stato di progetto.

- Dalle analisi effettuate si evince che i fronti sono stabili. Quindi il sottosuolo non risente delle piogge applicate in termini di resistenza meccanica.

I terreni rispondono molto lentamente ai processi di filtrazione, infatti lo spessore di terreno interessato dalla riduzione di suzione, conseguente alle piogge, è alquanto ridotto.

- Un elemento di criticità che però bisogna evidenziare è rappresentato dall'infiltrazione alle spalle degli elevati murari.

Si tratta dei muri delle antiche domus che, in seguito alle campagne di scavi, sono emersi, assolvendo alla funzione di muri di sostegno.

Il problema è che spesso questi muri non riescono ad espletare l'azione di contenimento delle spinte idrostatiche.

Nasce quindi la necessità di intervenire con dei sistemi poco invasivi e facilmente reversibili.