

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



FACOLTA' DI INGEGNERIA

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

(CLASSE DELLE LAUREE IN INGEGNERIA CIVILE ED AMBIENTALE, CLASSE N. L-7)

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA,
GEOTECNICA E AMBIENTALE**

TESI DI LAUREA

PROBLEMI DI INGEGNERIA CIVILE IN TERRENI NON SATURI

Relatori

Ch.mo Prof. Ing. G. Urciuoli
Dott. Ing. Marianna Pirone

Candidate

Claudia Ceratto N49/12
Federica Saviano N49/75

Anno Accademico 2010/2011

Parte I

a cura di Claudia Ceratto

Obiettivo della presentazione

Lo studio della meccanica dei terreni non saturi è indispensabile per

Interpretare

Prevedere

Dissesti

Frane indotte da eventi meteorici e infiltrazioni d'acqua di natura antropica

Collasso strutturale



Contenuti della presentazione

1) I terreni parzialmente saturi:

1.1 Stato (curva caratteristica)

1.2 Influenza della suzione sul comportamento meccanico del terreno

1.3 Collasso strutturale

(comportamento volumetrico)

1.3.1 Dissesti di fondazioni superficiali

1.4 Problemi di rottura

(resistenza a taglio)

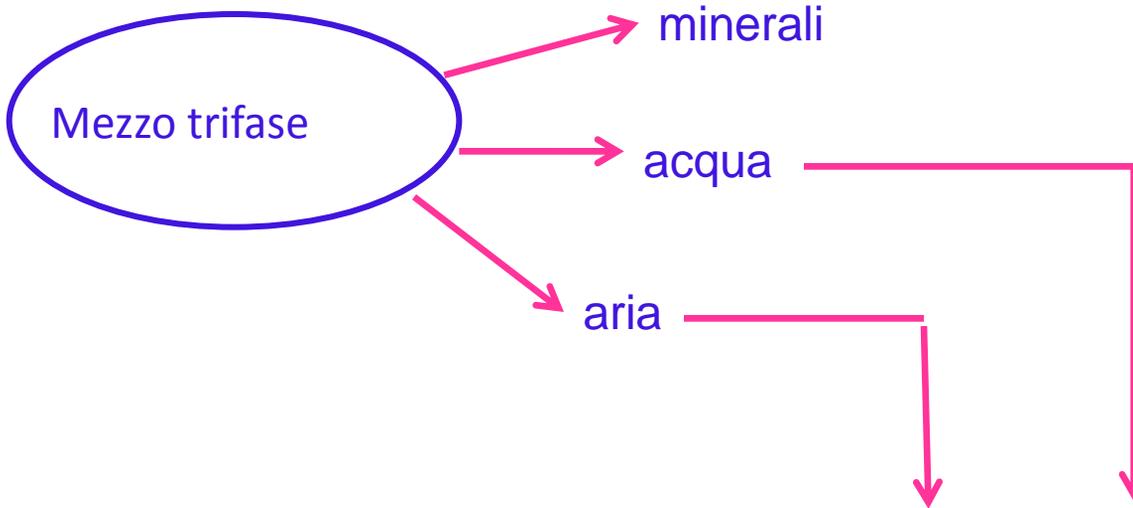
1.4.1 Crollo di opere di sostegno

1.4.2 Instabilità dei pendii

2) Applicazione ad un pendio parzialmente saturo

3) Conclusioni

1) I terreni parzialmente saturi



Le due fasi sono a pressioni diverse, in particolare la pressione dell'aria è maggiore della pressione dell'acqua.

La differenza tra la pressione dell'aria e dell'acqua nei pori è definita suzione di matrice: $s = u_a - u_w$. La differenza tra la tensione normale totale e la pressione dell'aria nei pori è definita tensione netta: $\sigma - u_a$.

La suzione di matrice e la tensione netta sono le due variabili responsabili del comportamento meccanico di tali terreni.

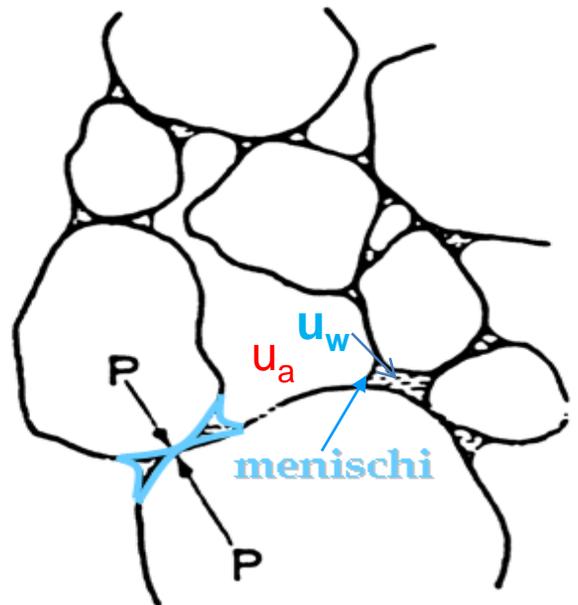


Figura 1

1) I terreni parzialmente saturi

1.1 Stato (curva caratteristica)

CURVA
CARATTERISTICA



Definisce la relazione che esiste tra il contenuto d'acqua nel terreno e la suzione di matrice.

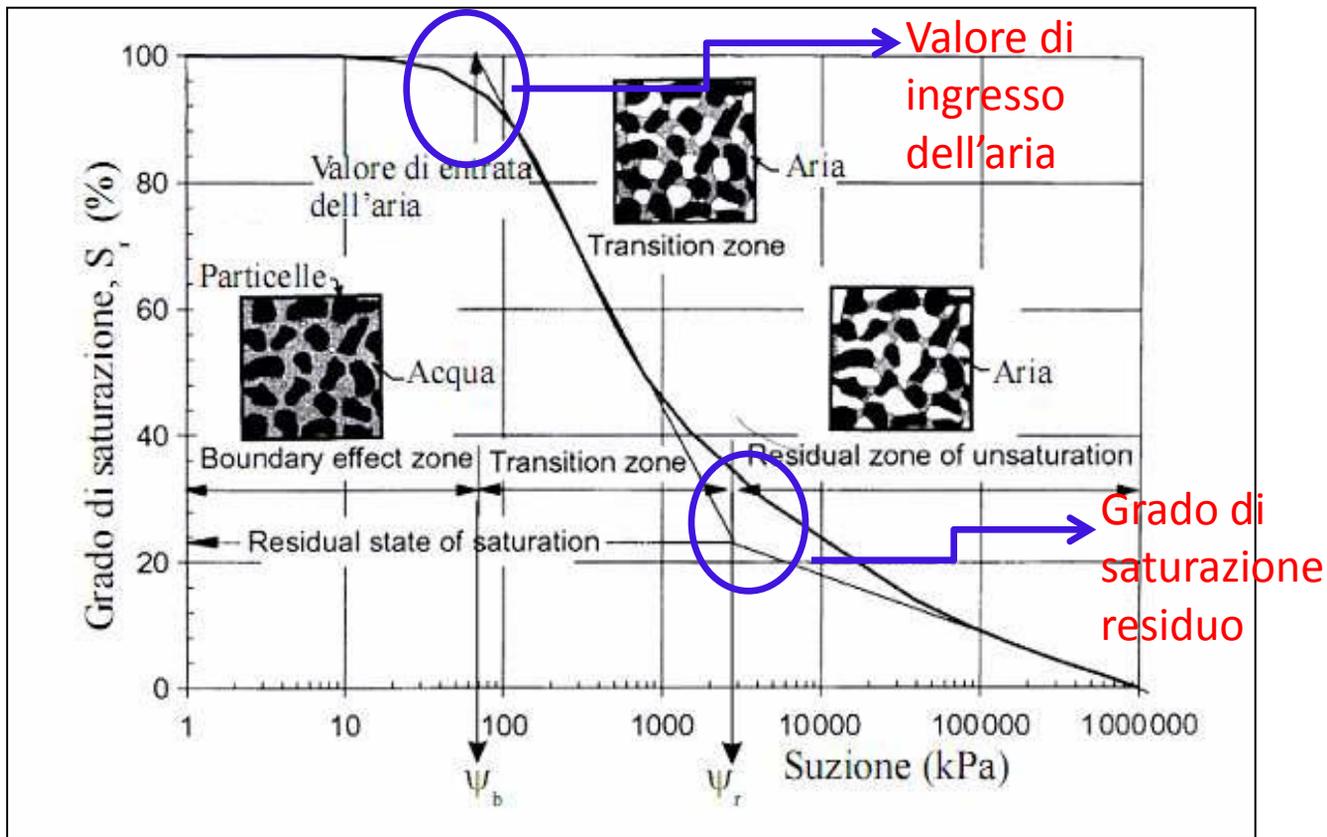


Figura 2



1) I terreni parzialmente saturi

1.2 Influenza della suzione sul comportamento meccanico del terreno non saturo

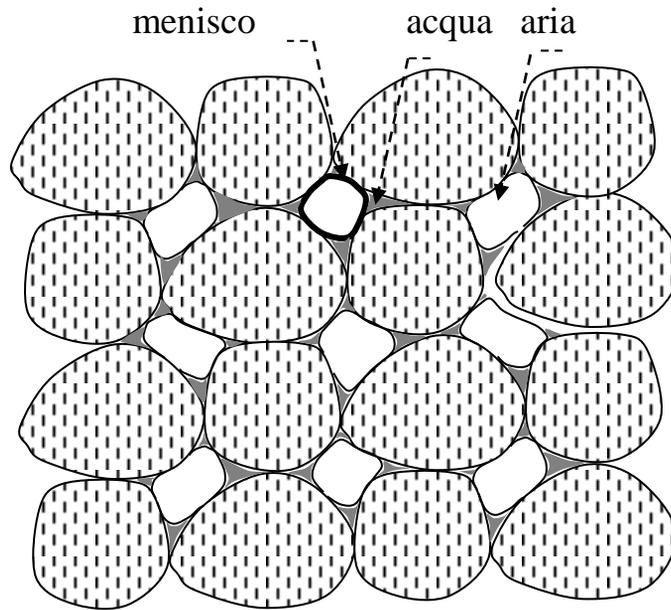


Figura 3

La suzione e la presenza dei menischi contribuiscono a serrare mutuamente le particelle, producendo un incremento dello sforzo di contatto ΔN , responsabile di :

- deformazioni elastiche delle particelle, quindi di una compressione elastica del terreno;
- diminuzione della tendenza allo scorrimento tra le particelle;
- un aumento della resistenza a taglio.

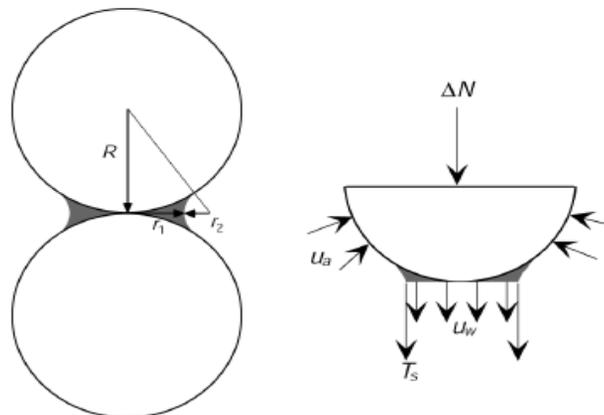


Figura 4

1) I terreni parzialmente saturi

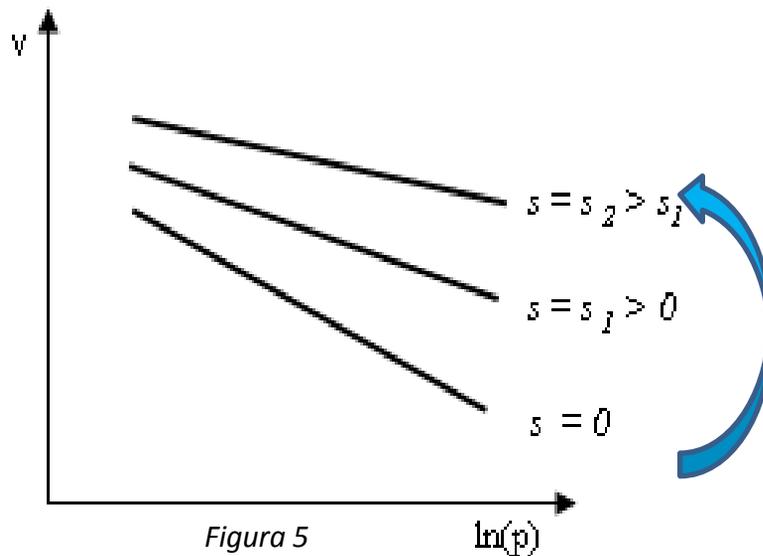
1.3 Collasso strutturale (comportamento volumetrico)

Variazione di
suzione

Variazione di
tensione netta

$$\frac{\Delta V_{vuoti}}{V_0} = \frac{\Delta V_{acqua}}{V_0} + \frac{\Delta V_{aria}}{V_0}$$

Variazione di tensione netta a
suzione costante

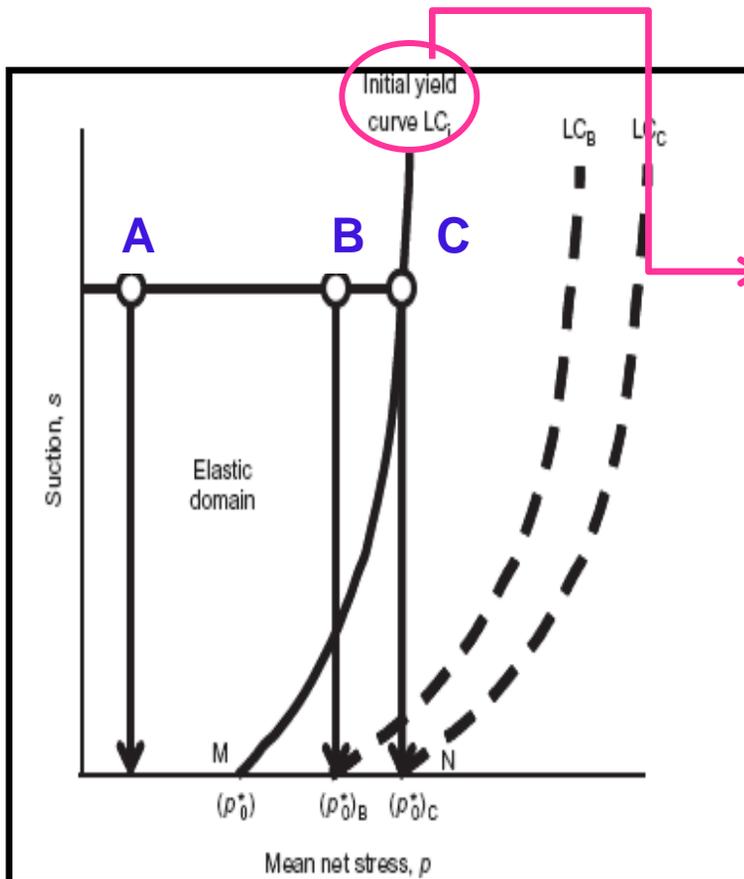


Il comportamento volumetrico per variazione di tensione netta a suzione costante, è indagato tramite prove di compressione isotropa/edometrica a suzione controllata. E' possibile distinguere una retta vergine (comportamento elasto-plastico) e rette di scarico e ricarico (comportamento elastico).

L'andamento più tipico indica che la pendenza, λ , della retta vergine decresce all'aumentare della suzione applicata al provino. Tale pendenza è minore di quella esibita da un provino saturo e ciò è dovuto alla suzione che conferisce al provino parzialmente saturo una maggiore rigidità.

1) I terreni parzialmente saturi

1.3 Collasso strutturale (comportamento volumetrico)



Variazione di suzione a tensione netta costante

LC= Loading collapse, luogo dei punti delle tensioni di preconsolidazione al variare della suzione. Questa curva separa il dominio elastico da quello plastico. Il punto a suzione nulla di tale curva (p^*_o) rappresenta la tensione di preconsolidazione (Alonso,1990).

Figura 6

Percorsi di umidificazione :

- **Percorso A:** genera deformazioni elastiche di espansione
- **Percorso B:** genera deformazioni elastiche di espansione e plastiche di compressione
- **Percorso C:** genera deformazioni plastiche di compressione

Fenomeno del Collasso

1) I terreni parzialmente saturi

1.3.1 Dissesti di fondazioni superficiali

La **fondazione** è quella parte della struttura che trasmette il carico dell'opera al terreno sottostante. La superficie di contatto tra la base della fondazione e il terreno è detta piano di posa (D). In base al rapporto D/B , con B dimensione minima in pianta della fondazione, possiamo classificarle in: profonde ($D/B \gg 1$); intermedie ($D/B > 1$); superficiali ($D/B < 1$).

a) Dissesto in Via Settembrini (Napoli, 2001)

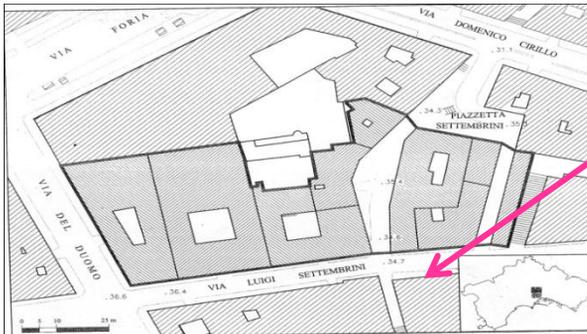


Figura 7

Luogo del dissesto: via Settembrini nelle vicinanze di via del Duomo, Napoli.

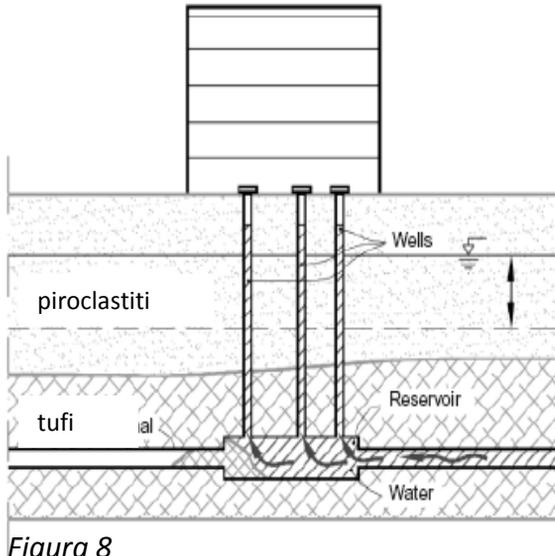


Figura 8

Cause: l'evento piovoso del 15 settembre 2001, con precipitazione di 150 mm, provocò allagamenti e dissesti. Il ramo di un vecchio acquedotto abbandonato per effetto dell'infiltrazione di acque pluviali "andò in pressione".

Effetti: dissesti prodotti da cedimenti per due edifici limitrofi.



Figura 9

1) I terreni parzialmente saturi

1.3.1 Dissesti di fondazioni superficiali

b) Dissesto in Pereira Barreto town (Brasile, 1990)

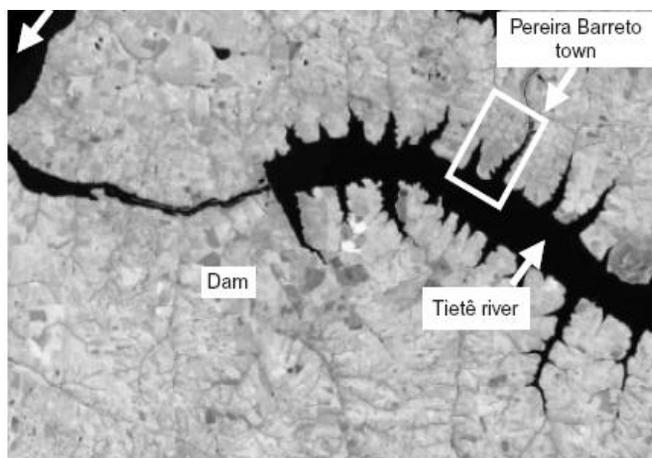


Figura 10

Luogo del dissesto:

La città di Pereira Barreto si trova sulla riva destra del fiume Tietê a nord ovest di Sao Paulo, in Brasile.

Cause:

La costruzione di una diga portò ad un aumento del livello della falda nelle zone limitrofe.

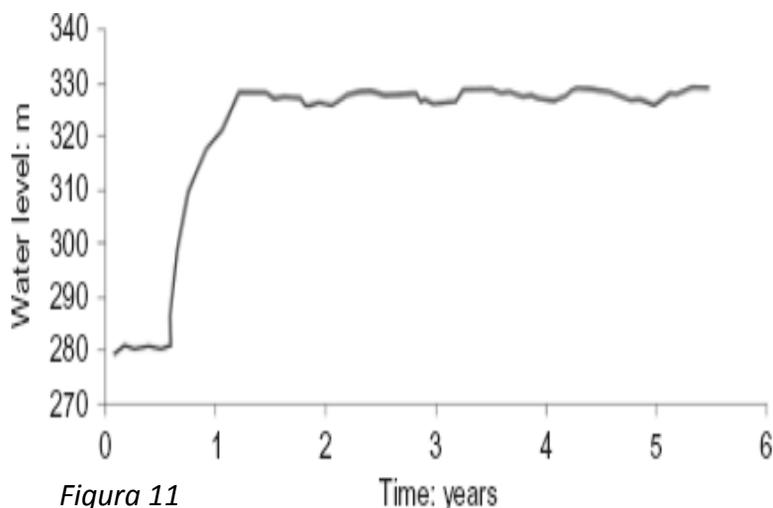


Figura 11

Effetti:

Cedimenti degli edifici fino a 10 cm. L'entità dei cedimenti dipende sia dalla diversa profondità di fondazione che dal profilo stratigrafico del terreno. Si evidenziano comportamenti diversi al variare degli edifici.

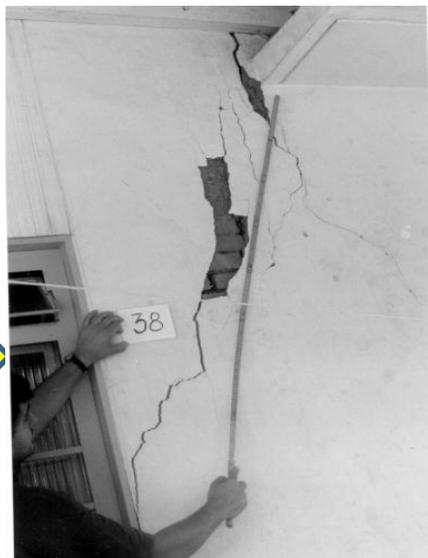
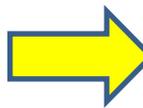


Figura 12

Parte II

a cura di Federica Saviano

1) I terreni parzialmente saturi

1.4 Problemi di rottura (resistenza al taglio)

Estensione del criterio di rottura di Mohr - Coulomb ai terreni non saturi :

$$\tau_{lim} = c' + (\sigma - u_a) \operatorname{tg} \phi' + (u_a - u_w) \operatorname{tg} \phi'_b$$

Approccio alle tensioni totali

ϕ'_b tende a ϕ' per valori bassi della suzione

Coesione apparente c''

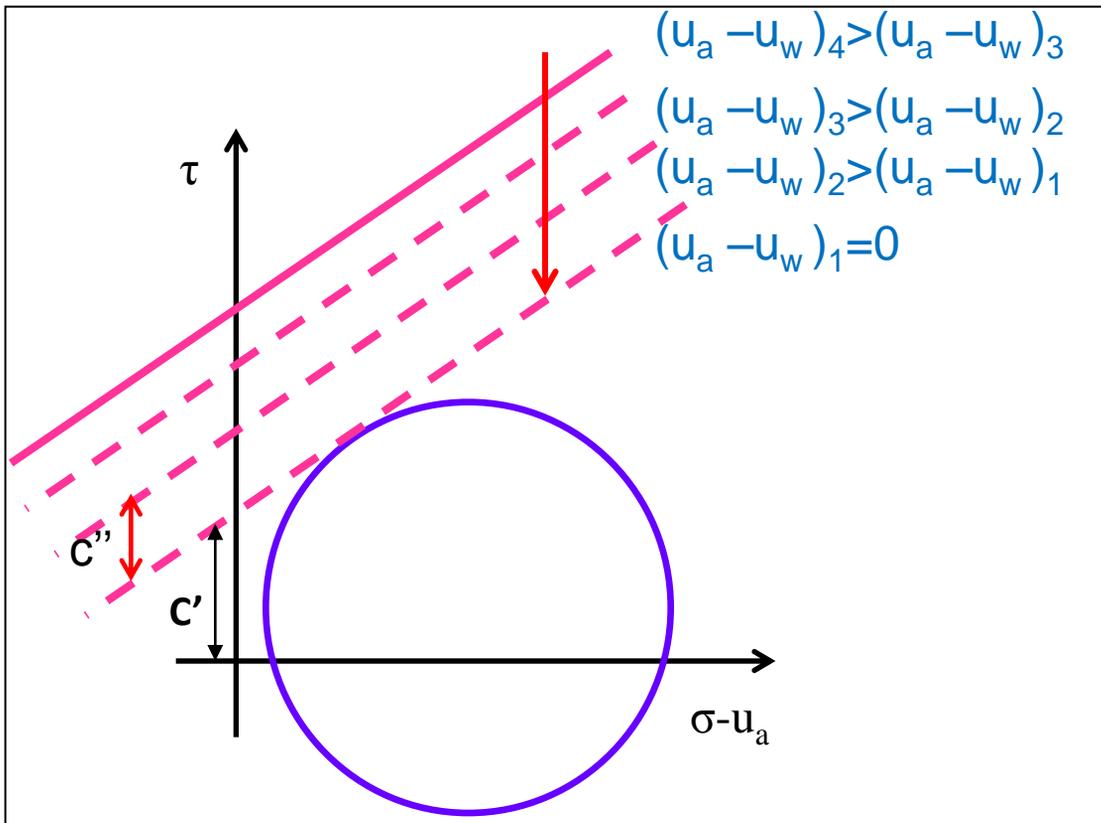


fig. 13

$$\tau_{lim} = c' + (\sigma - u_a) \operatorname{tg} \phi' + Sr(u_a - u_w) \operatorname{tg} \phi'$$

Approccio alla Bishop

1) I terreni parzialmente saturi

1.4.1 Crollo di opere di sostegno

Luogo del dissesto:

Il quartiere di Kwun Lung Lau si trova nella parte ovest della città di Hong Kong, in Cina, dove nel 1994 si sono verificate numerose frane.

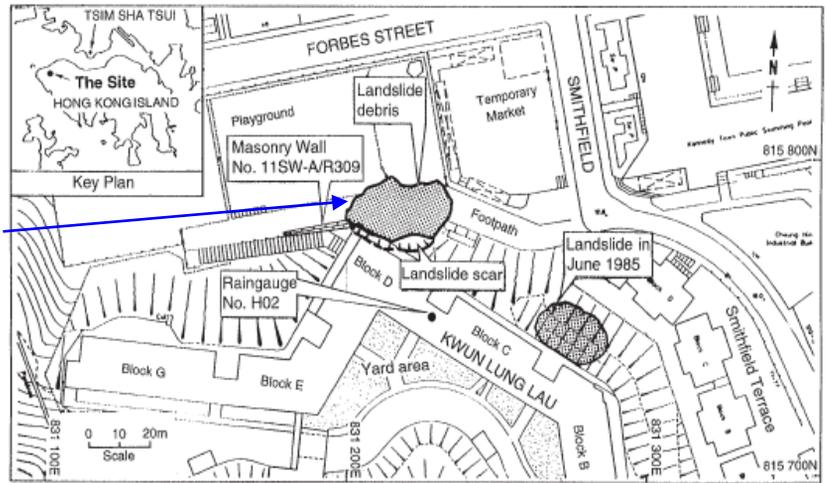


Figura 14

Cause: il 23 luglio 1994 si verificò un evento di pioggia di 547 mm in 48 h. Tale evento insieme ad infiltrazioni di acqua di natura antropica causarono la saturazione del terreno e la conseguente riduzione della resistenza.

Effetti: si verificò il crollo di un muro esistente da oltre 100 anni. Si mobilitarono 1000 m³ di terreno misto a frammenti di muratura ed alberi. Il tutto si depositò sulla strada ai piedi del muro. Questo evento causò 5 morti e 3 feriti.



Figura 15



Figura 16

1) I terreni parzialmente saturi

1.4.2 Instabilità dei pendii

a) Sarno, 5 Maggio 1998

Luogo del dissesto: Il Comune di Sarno, in provincia di Salerno, è situato alle pendici del monte Pizzo d' Alvano ed insieme ai Comuni di Siano, Bracigliano e Quindici, fu interessato nel 1998 da oltre 140 movimenti franosi.

Cause: Nel 1998 si verificò un evento meteorico eccezionale: 140 mm di pioggia in 72 h. Esso provocò la saturazione dei terreni piroclastici e l'annullamento dell'effetto stabilizzante dovuto alla coesione apparente.



Figura 17

Effetti: 1000 m³ di materiale si staccarono dalle pendici del Monte Pizzo d' Alvano trasformandosi in una serie di colate di fango di velocità media di 10 m/s, provocando la distruzione di 170 case, il danneggiamento di altre 450 e 159 vittime.



Figura 18



Figura 19

1) I terreni parzialmente saturi

1.4.2 Instabilità dei pendii

b) Dissesti nella zona dei Camaldoli, Napoli

Luogo dei dissesti: la collina dei Camaldoli, nella zona settentrionale, è caratterizzata dalla presenza di valloni e pareti acclivi lungo i quali si verificano frane medio - piccole tipo scorrimento.

Cause: Queste frane si verificano in aree in cui c'è stato un intervento antropico (allargamento di strade, costruzioni di mulattiere); ciò comporta una modifica della rete di drenaggio superficiale che può aggravare le condizioni di stabilità.

Effetti: I fenomeni di dissesto in tale area, sebbene non siano paragonabili né in termini di volumetrici né in termini di magnitudo ai fenomeni relativi l'area di Sarno, comportano non pochi disagi per la forte urbanizzazione presente nell'area.



Figura 20

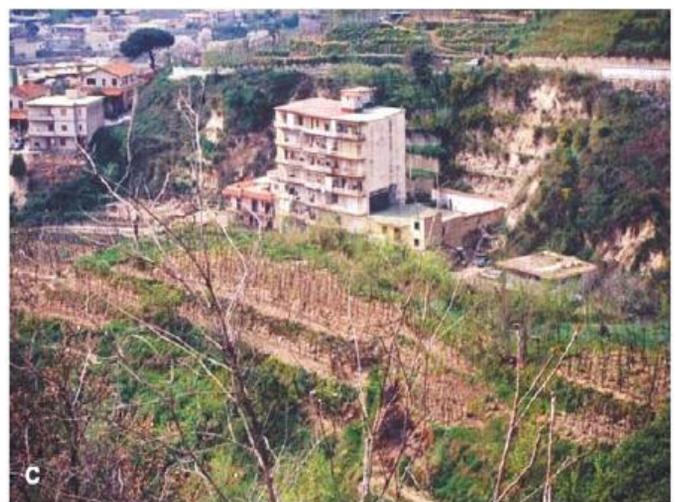


Figura 21

1) I terreni parzialmente saturi

1.4.2 Instabilità dei pendii

c) Brasile : Rio de Janeiro, 7 Novembre 1988

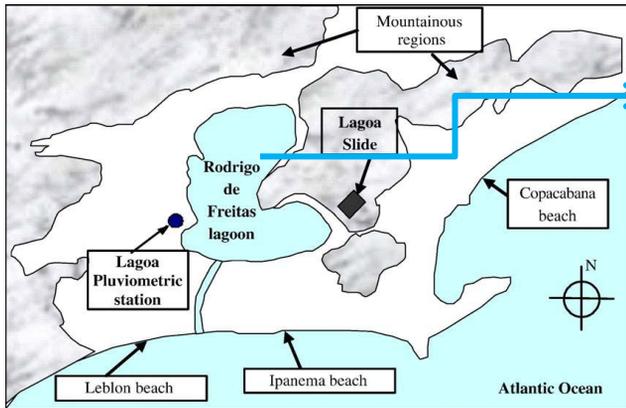


Figura 22

Luogo del dissesto: Rodrigo de Freitas lagoon è una località turistica di Rio de Janeiro che presenta un clima tropicale umido, con piogge distribuite soprattutto nel periodo estivo.

Causa: Nel periodo compreso tra il 17 Ottobre ed il 7 Novembre 1988 si registrarono un totale di 246,3 mm di pioggia. Queste intense piogge innescarono numerose frane, tra cui quella a Rodrigo de Freitas lagoon. L'infiltrazione di acqua piovana e l'ostruzione dei canali di drenaggio provocarono la saturazione dei terreni residuali costituenti il pendio, e la conseguente riduzione della resistenza.



Figura 23

Effetto: I 5000 m³ di terreno mobilitati danneggiarono parecchi edifici nella zona turistica di Copacabana e Ipanema e distrussero alcuni appartamenti della città.

1) I terreni parzialmente saturi

1.4.2 Instabilità dei pendii

d) Hong Kong, Cina

Nella città di Hong Kong eventi piovosi intensi generano frequenti frane; qui anche le frane con periodo di ritorno di due anni sono molto pericolose per la popolazione.

Frana di Sau Mau Ping, 1972:

Un terrapieno di altezza 40 m situato nel quartiere di Sau Mau Ping, con pendenza 1 : 5, non sufficientemente protetto contro l'erosione, si staccò diventando una valanga di fango.

Causa : l' evento di pioggia del 18 Giugno 1972 (con picchi di 100 mm/h) mandò fuori uso la rete di drenaggio.

Effetto: Si verificò una colata di fango che provocò 71 morti e 60 feriti.



Figura 24

Frana di Shum Wan, 1995:

Shum Wan, è una strada situata alle pendici di una collina di pendenza 27°, nella parte meridionale dell'isola di Hong Kong.

Causa: Evento di pioggia intenso del 13 Agosto 1995 .

Effetto: Si verificò il distacco di 26.000 m³ di terra e roccia che invasero 30 m di strada e parte di rilevato autostradale. Ci furono due morti e cinque feriti.



Figura 25

2) Applicazioni ad un pendio parzialmente saturo

- Strumento di analisi - SLOPE (W)/GEOSTUDIO;
- Criterio di resistenza di MOHR-COULOMB esteso ai terreni non saturi;
- Approccio tensionale alla Bishop.

$$\tau_{lim} = c' + (\sigma - u_a) \operatorname{tg}\phi' + S_r (u_a - u_w) \operatorname{tg}\phi'$$

$\phi' = 35^\circ$ → Coesione apparente

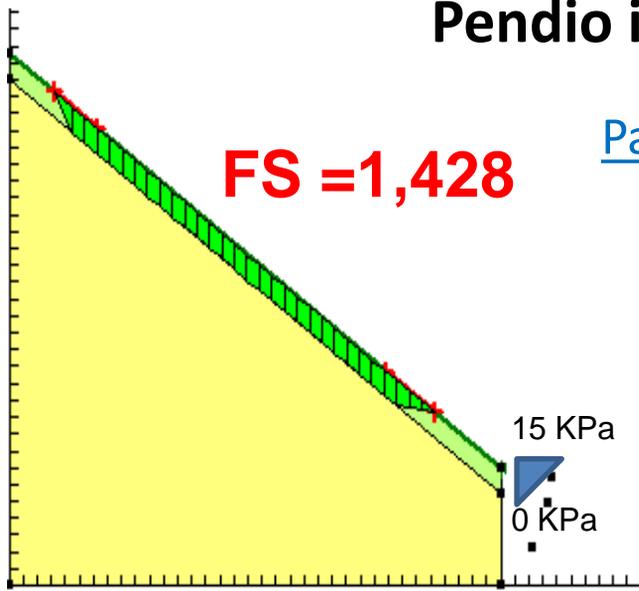
Pendio indefinito

FS = 1,428

Parametri medi del terreno

$$\gamma_m = 12,87 \text{ kN/m}^3$$

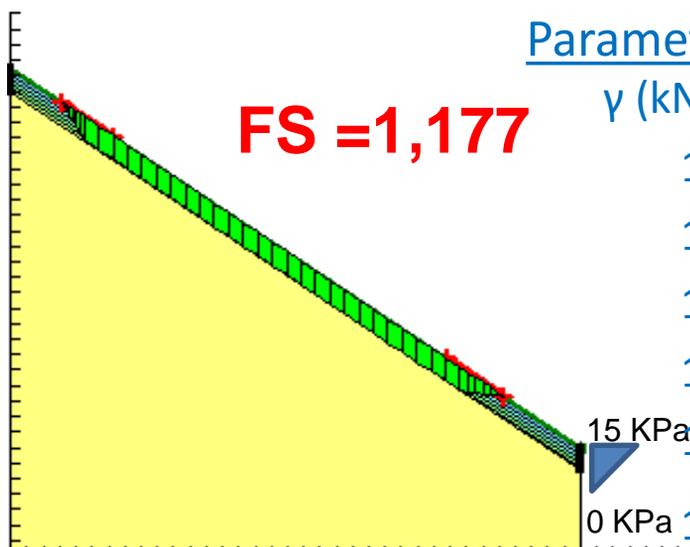
$$c_{app} = 3,19 \text{ kPa}$$



Parametri variabili con la profondità

FS = 1,177

γ (kN/m ³)	c_{app} (kPa)	z (m)
13,41	0,69	-1,375
13,19	1,87	-1,125
12,97	2,80	-0,875
12,79	3,55	-0,625
12,64	4,20	-0,375
12,53	4,79	-0,125



2) Applicazioni ad un pendio parzialmente saturo

- Strumento di analisi - SLOPE (W)/GEOSTUDIO;
- Criterio di resistenza di MOHR-COULOMB esteso ai terreni non saturi;
- Approccio tensionale alla Bishop.

$$\tau_{lim} = c' + (\sigma - u_a) \operatorname{tg}\phi' + S_r (u_a - u_w) \operatorname{tg}\phi'$$

$$\phi' = 37^\circ$$

Coesione apparente

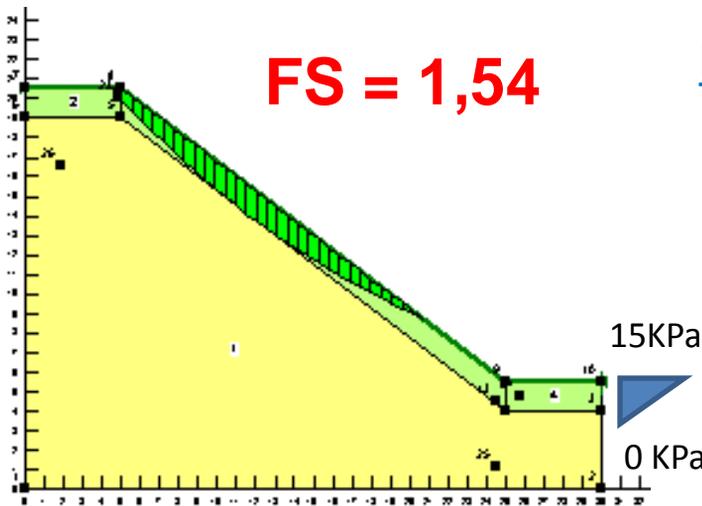
Scarpata

FS = 1,54

Parametri medi del terreno

$$\gamma_m = 12,87 \text{ kN/m}^3$$

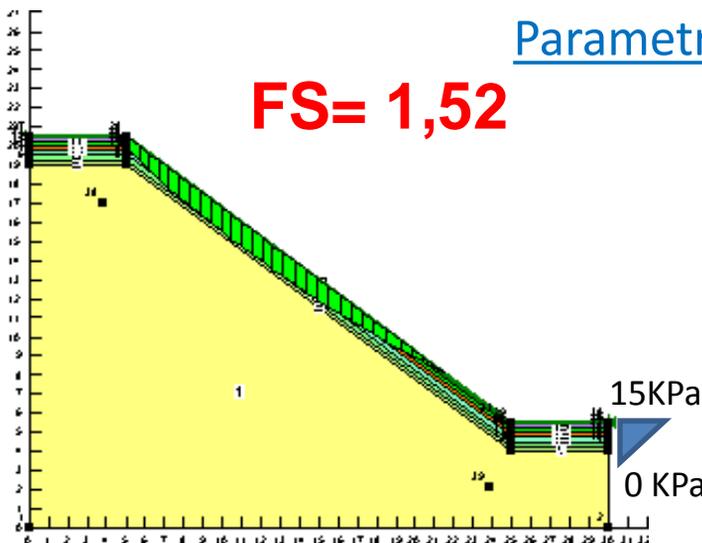
$$c_{app} = 3,44 \text{ KPa}$$



FS = 1,52

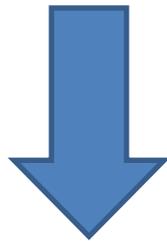
Parametri variabili con la profondità

γ (Kn/m ³)	c_{app} (kPa)	z (m)
13,41	0,74	-1,375
13,19	2,01	-1,125
12,97	3,01	-0,875
12,79	3,83	-0,625
12,64	4,52	-0,375
12,53	5,15	-0,125



3) Conclusioni

- La suzione conferisce ai terreni non saturi valori di rigidezza e di resistenza a taglio maggiori di quelli relativi ai terreni saturi.
- Nei terreni non saturi l'aumento del contenuto d'acqua nel terreno, e quindi la diminuzione di suzione, può produrre dissesti, come:
 - collasso strutturale
 - instabilità dei pendii



La meccanica dei terreni parzialmente saturi è indispensabile per:

- interpretare la causa di una serie di dissesti;
- modellare il comportamento dei terreni non saturi.