



Fondazione
Ordine degli Ingegneri
Provincia di Roma



Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Roma

Scavi Provvisionali a Cielo Aperto: teoria, aspetti normativi ed applicazioni

***Normativa Tecnica di Riferimento NTC2018
Soluzioni Tipologiche***

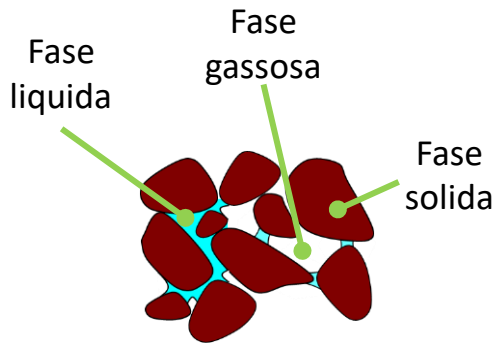
*Ing. Livia Adinolfi
Progettista Geotecnico*

*Ing. Piero Bongio
Technical Authority
Direzione Tecnica
Geologia & Geotecnica*

Roma, 20 Maggio 2025

Terreni

Terreno è un **sistema multifase** costituito da uno scheletro di particelle solide (fase solida), i cui vuoti sono riempiti da liquidi e gas. Le particelle non sono cementate tra loro e se esiste qualche legame tra loro ha entità ben di versa da quelli che legano i minerali di una roccia. Le particelle di un terreno possono essere separate le une dalle altre attraverso una semplice azione meccanica, come, ad esempio, l'agitazione in acqua.



Le dimensioni dei grani variano in un intervallo molto ampio:

ARGILLE: $d \leq 2 \mu\text{m}$
LIMI: $2 \mu\text{m} < d \leq 0,06 \text{ mm}$

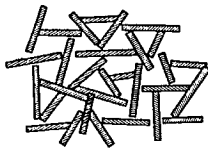
→ Terreni Coesivi

SABBIE: $0,06 \text{ mm} < d \leq 2 \text{ mm}$
GHIAIE: $2 \text{ mm} < d \leq 60 \text{ mm}$
CIOTTOLI: $d > 60 \text{ mm}$

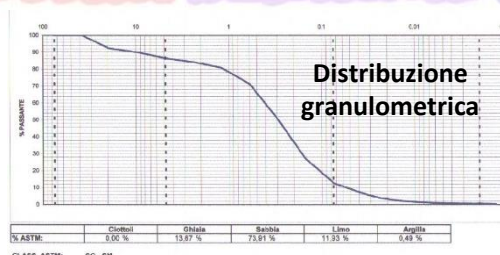
→ Terreni Granulari

Argilla

(Composizione Chimica)



Sabbia



Grado di
Addensamento



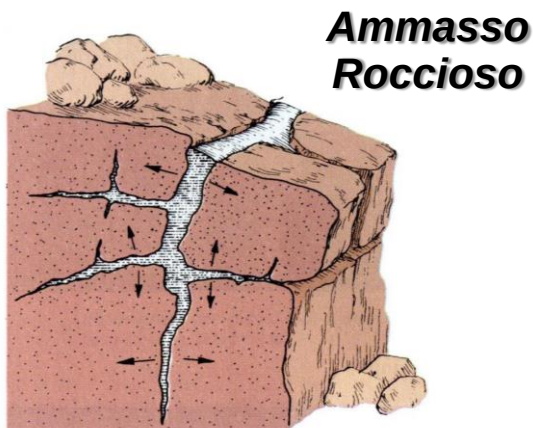
SABBIA SCIOLTA



SABBIA Densa

Terreni e Rocce

Roccia è un aggregato naturale di minerali



Ammasso Roccioso è costituito da:

- matrice lapidea
- discontinuità
- eventuale materiale di riempimento delle discontinuità

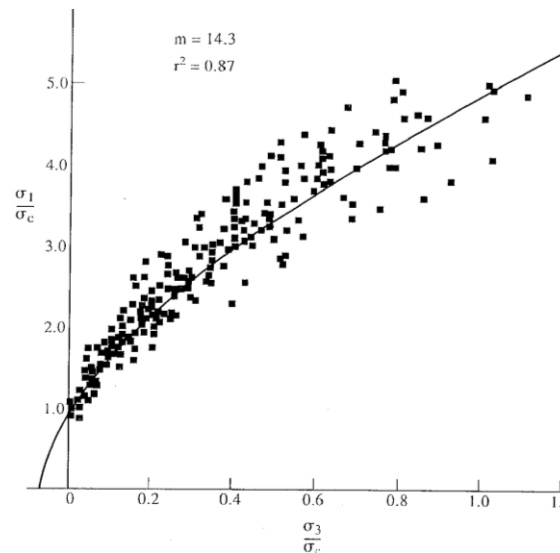
HOEK-BROWN FAILURE CRITERION – 2002 EDITION

Evert Hoek
Consulting Engineer, Vancouver, Canada

Carlos Carranza-Torres
Itasca Consulting Group Inc., Minneapolis, USA

Brent Corkum
Rocscience Inc., Toronto, Canada

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$



$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right] \quad (12)$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} \left[(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n} \right] \left(s + m_b\sigma'_{3n} \right)^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \left(6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1} \right) / ((1+a)(2+a))}} \quad (13)$$

where $\sigma_{3n} = \sigma'_{3\max} / \sigma_{ci}$

NORMATVA TECNICA di RIFERIMENTO

Normativa Tecnica di Riferimento



CAPITOLO 6.

PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6.1. DISPOSIZIONI GENERALI

6.1.1. OGGETTO DELLE NORME

Il presente capitolo riguarda gli aspetti geotecnici della progettazione e della esecuzione di opere ed interventi che interagiscono con il terreno ed in particolare tratta di :

- opere di fondazione;
- opere di sostegno;
- opere in sotterraneo;
- opere e manufatti di materiali sciolti naturali o di provenienza diversa;
- **fronti di scavo;**
- consolidamento;
- miglioramento e rinforzo dei terreni e degli ammassi rocciosi;
- consolidamento di opere esistenti.



N. 8

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI

DECRETO 17 gennaio 2018.

Aggiornamento delle «Norme tecniche per
le costruzioni».



Il presente capitolo riguarda, altresì, la sicurezza dei pendii naturali e la fattibilità di interventi che hanno riflessi su grandi aree.

6.1.2. PRESCRIZIONI GENERALI

Le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. I risultati dello studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica, dedotti da specifiche indagini, devono essere esposti in una specifica relazione geologica di cui al § 6.2.1.

Le analisi di progetto devono essere basate su modelli geotecnici dedotti da specifiche indagini definite dal progettista in base alla tipologia dell'opera o dell'intervento e alle previste modalità esecutive.

Le scelte progettuali, il programma e i risultati delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica di cui al § 6.2.2, unitamente alle analisi per il dimensionamento geotecnico delle opere e alla descrizione delle fasi e modalità costruttive devono essere illustrati in una specifica relazione geotecnica.

Normativa Tecnica di Riferimento

CAPITOLO 6.

PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6.2. ARTICOLAZIONE DEL PROGETTO

Il progetto delle opere e degli interventi si articola nelle seguenti fasi:

1. caratterizzazione e modellazione **geologica del sito;**
2. scelta del tipo di opera o di intervento e programmazione delle **indagini geotecniche;**
3. **caratterizzazione** fisico-meccanica dei terreni e delle rocce presenti nel volume significativo e **definizione dei modelli geotecnici** di sottosuolo (cfr. § 3.2.2);
4. definizione delle **fasi** e delle modalità costruttive;
5. verifiche della sicurezza e delle prestazioni
6. programmazione delle attività di controllo e **monitoraggio.**



NTC2018

N. 8

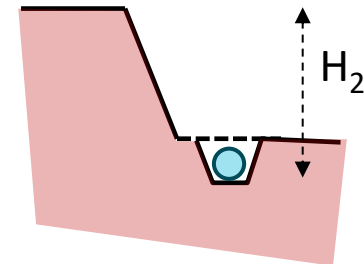
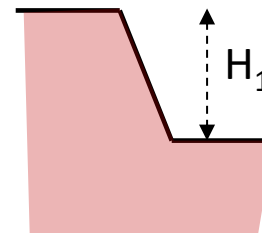
MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI

DECRETO 17 gennaio 2018.

Aggiornamento delle «Norme tecniche per
le costruzioni».



**Ogni fase deve essere oggetto
di verifica di sicurezza**



$$H_2 > H_1$$

Normativa Tecnica di Riferimento



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI

DECRETO 17 gennaio 2018.

Aggiornamento delle «Norme tecniche per
le costruzioni».

NTC2018



6.8. OPERE DI MATERIALI SCIOLTI E FRONTI DI SCAVO

Le presenti norme si applicano ai manufatti di materiali sciolti, quali rilevati, argini di difesa per fiumi, canali e litorali, rinfianchi, rinterri, terrapieni e colmate, **scavi** per la formazione di piazzali e/o **trincee**. Le norme si applicano, inoltre, alle opere e alle parti di opere di materiali sciolti con specifiche funzioni di drenaggio, filtro, transizione, fondazione, tenuta, protezione ed altre. Gli sbarramenti di ritenuta idraulica di materiali sciolti sono oggetto di normativa specifica.



*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Servizio Tecnico Centrale*

CIRCOLARE APPLICATIVA DELLE NUOVE
NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI
APPROVATE CON D.M. 17 GENNAIO 2018

**Circolare
Applicativa
NTC2018**

C6.8.6 FRONTI DI SCAVO

I fronti di scavo indicati nella norma cui si riferiscono le presenti istruzioni attengono ad esempio a scavi di fondazioni, trincee stradali o ferroviarie, canali, ecc.

Normativa Tecnica di Riferimento

6.8.6. FRONTI DI SCAVO

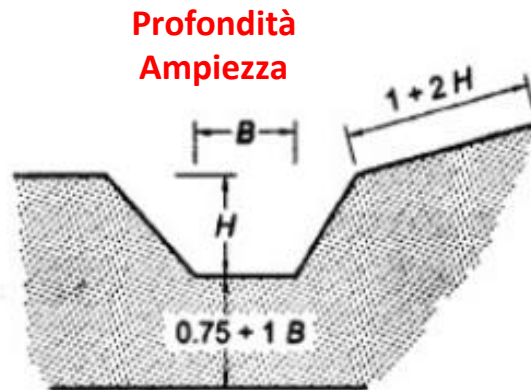
NTC2018



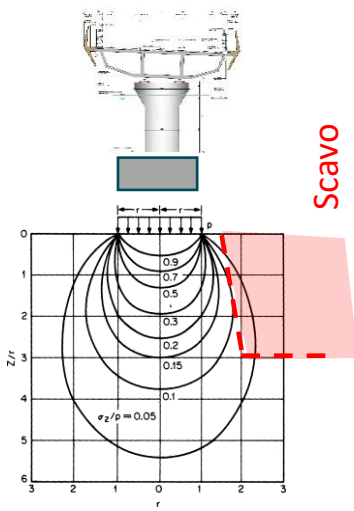
6.8.6.1 INDAGINI GEOTECNICHE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Ferme restando le prescrizioni di carattere generale di cui al § 6.2.2, le **indagini** geotecniche devono inoltre tener conto della profondità, dell'ampiezza, della destinazione e del carattere permanente o provvisorio dello scavo.

**Raccomandazioni sulla
programmazione ed
esecuzione delle indagini
geognostiche
AGI, giugno 1977**



Per “**volume geotecnico significativo di sottosuolo**”, si intende quella porzione di terreno che interagisce in modo apprezzabile con lo scavo ed è delimitabile in base agli effetti meccanici e idraulici indotti dallo scavo stesso. L'intervento di scavo può generare diversi effetti nel sottosuolo: variazioni dello stato tensionale (scarichi tensionali).



Per scavi in falda si deve tenere in considerazione la possibilità di fenomeni di sifonamento alla base dello scavo e di cedimenti nelle aree limitrofe.

In presenza di strutture limitrofe allo scavo da realizzare, si dovrà tenere in considerazione la possibile interferenza dei bulbi di pressione connesse alla presenza delle strutture limitrofe.

Normativa Tecnica di Riferimento

6.8.6. FRONTI DI SCAVO

NTC2018



6.8.6.2 CRITERI GENERALI DI PROGETTO E VERIFICHE DI SICUREZZA

Il progetto deve definire un profilo di scavo tale che risultino rispettate le prescrizioni di cui al § 6.2.4 e la verifica di sicurezza deve essere condotta con modalità analoga a quella indicata per i manufatti di materiali sciolti.

Nel caso di scavi realizzati su pendio, deve essere verificata l'influenza dello scavo sulle condizioni di stabilità generale del pendio stesso.

Il progetto deve tener conto dell'esistenza di opere e sovraccarichi in prossimità dello scavo, deve esaminare l'influenza dello scavo sul regime delle pressioni interstiziali e deve garantire la stabilità e la funzionalità delle costruzioni preesistenti nell'area interessata dallo scavo.

Per scavi in trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di personale, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista una struttura di sostegno delle pareti di scavo. Le verifiche devono essere svolte nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) e nei confronti degli stati limite di servizio (SLE), quando pertinenti.

Le azioni dovute al terreno, all'acqua e ai sovraccarichi anche transitori devono essere calcolate in modo da pervenire, di volta in volta, alle condizioni più sfavorevoli.

Le ipotesi per il calcolo delle azioni del terreno e delle sollecitazioni della struttura di sostegno devono essere giustificate portando in conto la deformabilità relativa del terreno-struttura di sostegno, le modalità esecutive dello scavo, le caratteristiche meccaniche del terreno e il tempo di permanenza dello scavo.

**Circolare Applicativa
NTC2018**



C6.8.6.2 CRITERI GENERALI DI PROGETTO E VERIFICHE DI SICUREZZA

Le verifiche di sicurezza si intendono soddisfatte se la condizione (6.2.1) delle NTC risulta soddisfatta per tutti i possibili cinematismi di collasso. Bisogna quindi ricercare la condizione di minimo per il rapporto Rd/Ed . Le verifiche devono essere effettuate utilizzando l'Approccio 1 con riferimento alla Combinazione 2 dei coefficienti parziali di cui al § 6.8.2 delle NTC.

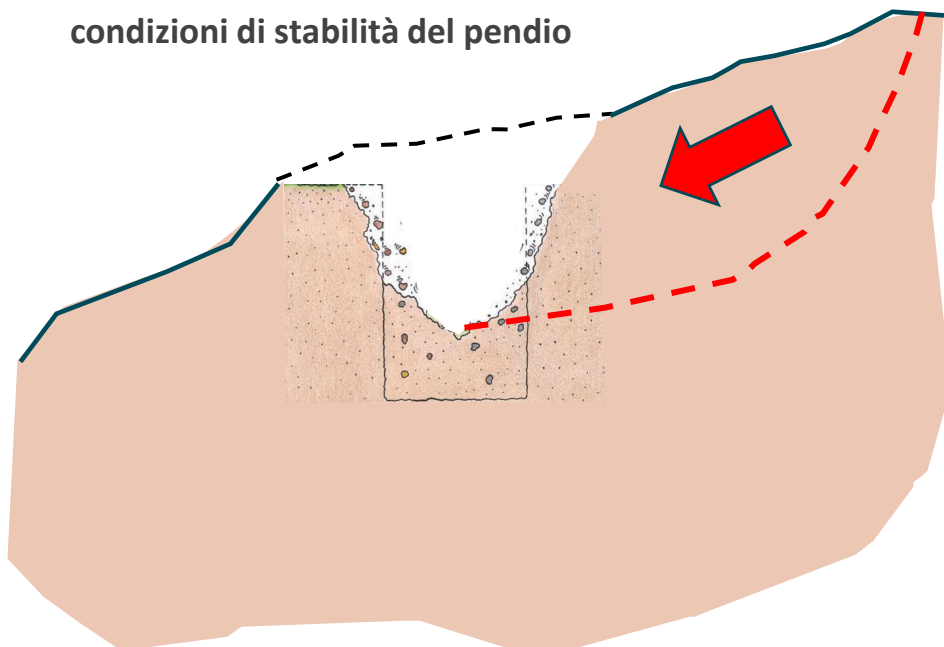
Normativa Tecnica di Riferimento

6.8.6. FRONTI DI SCAVO

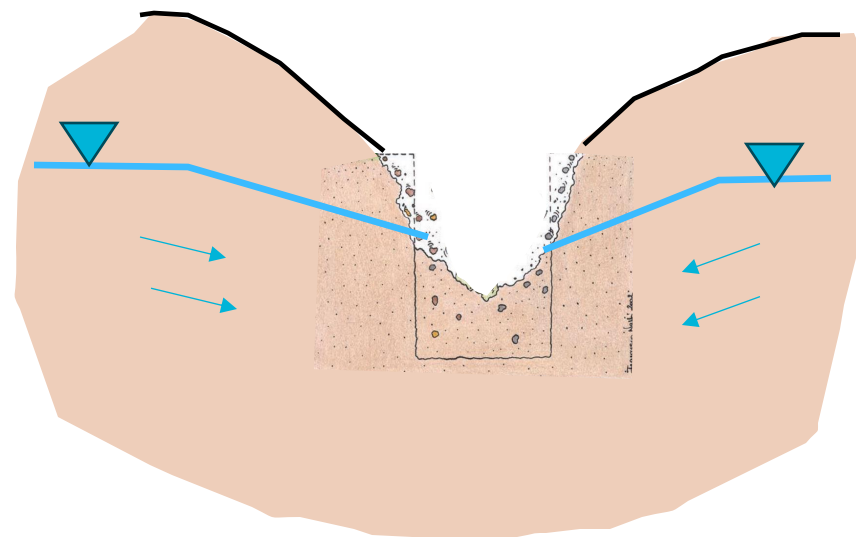
NTC2018



Influenza dello scavo nelle
condizioni di stabilità del pendio



Influenza dello scavo sul regime
delle pressioni interstiziali



Normativa Tecnica di Riferimento

6.8.6. FRONTI DI SCAVO

NTC2018



Influenza di sovraccarichi sulle condizioni
di stabilità del fronte di scavo

(Sovraccarico Permanente)

Azione
SFAVOREVOLE
 $\gamma_F = 1.0$ (A2)



Smarino

(Sovraccarico Accidentale)

Azione Variabile
SFAVOREVOLE
 $\gamma_F = 1.3$ (A2)



Mezzi di cantiere

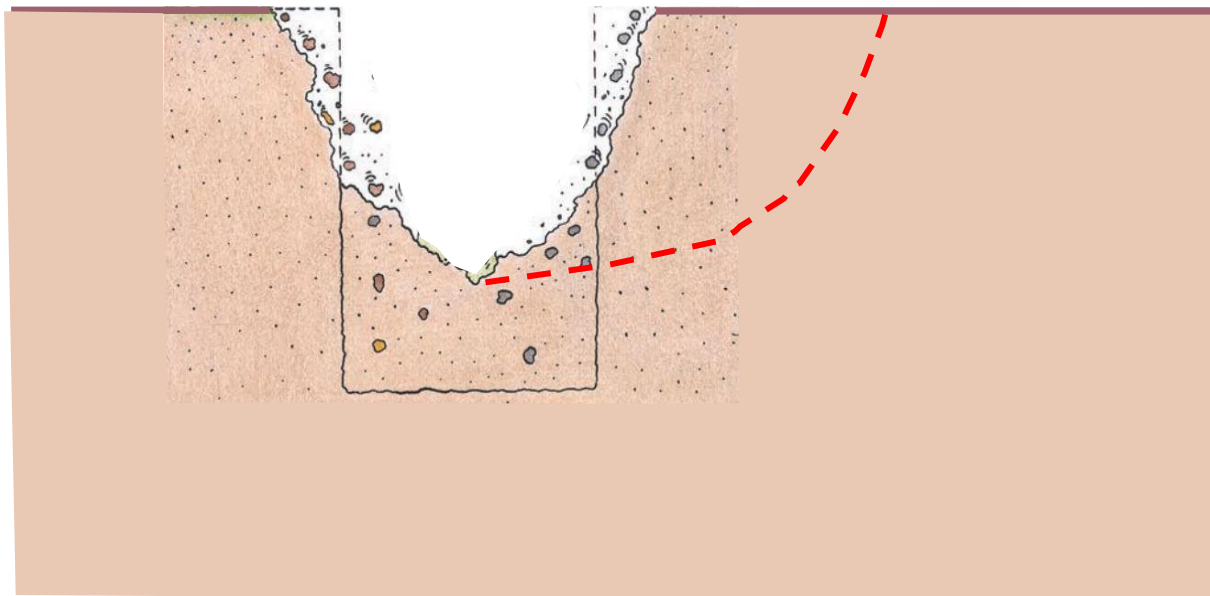
Traffico
Veicolare



(Sovraccarico Accidentale)

Azione Variabile
SFAVOREVOLE
 $\gamma_F = 1.3$ (A2)

Distanza
dal ciglio
 d

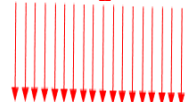
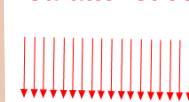


Sovraccarico Accidentale
Mezzi di Cantiere Ordinari

$q_k = 20$ kPa
Valore
Caratteristico

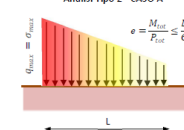
$q_d = 26$ kPa
Valore di
Progetto

Carichi
Variabili
Sfavorevoli
 $\gamma_F = 1.30$

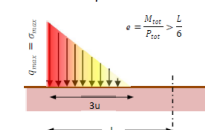


Sovraccarico Accidentale
Mezzi di Cantiere Straordinari

Analisi Tipo 2 - CASO A



Analisi Tipo 2 - CASO B



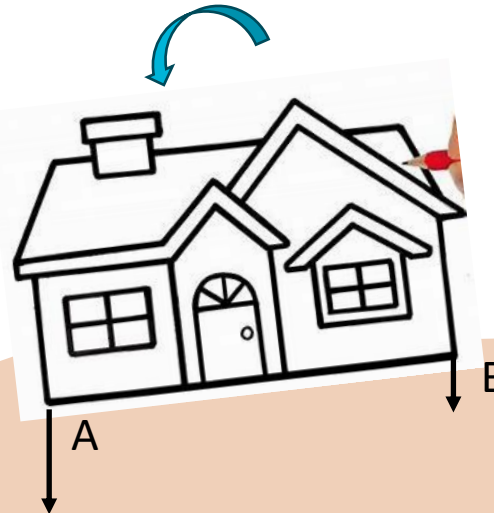
Normativa Tecnica di Riferimento

6.8.6. FRONTI DI SCAVO

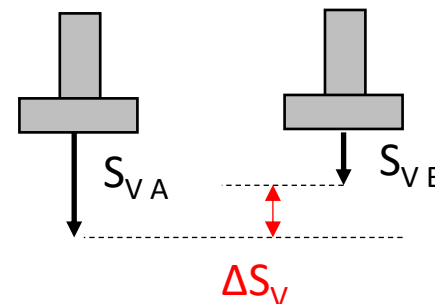
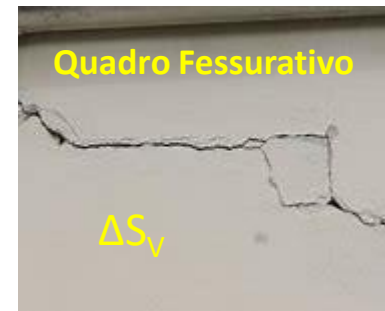
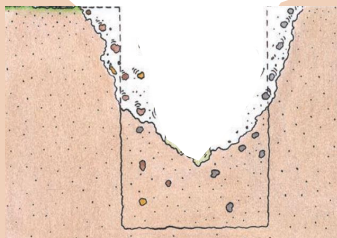
NTC2018



IL Progetto dello Scavo deve tener conto
della presenza di costruzioni esistenti
nell'area interessata dallo scavo



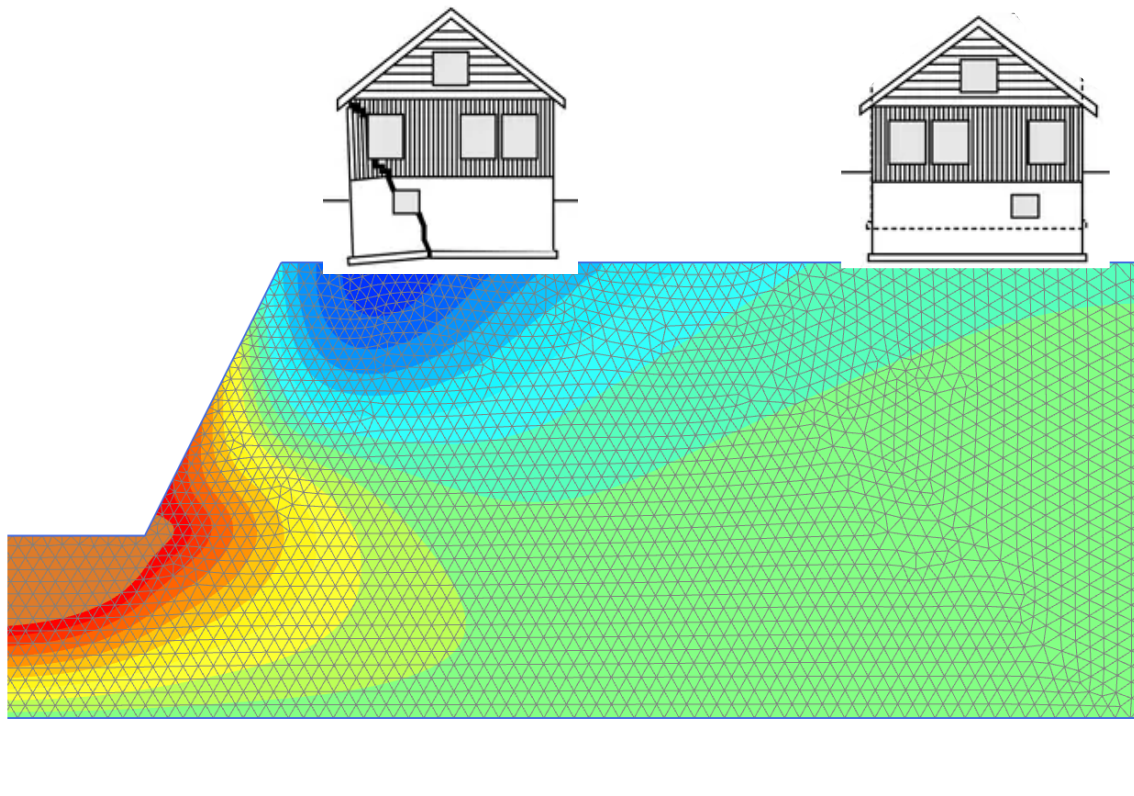
Occorre Garantire Stabilità e
Funzionalità alle costruzioni
esistenti



Normativa Tecnica di Riferimento

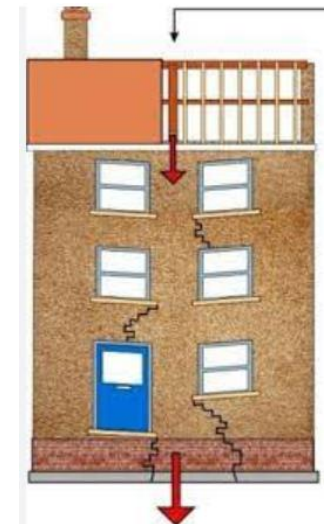
6.8.6. FRONTI DI SCAVO

NTC2018



Occorre Garantire
Stabilità e Funzionalità
alle costruzioni esistenti

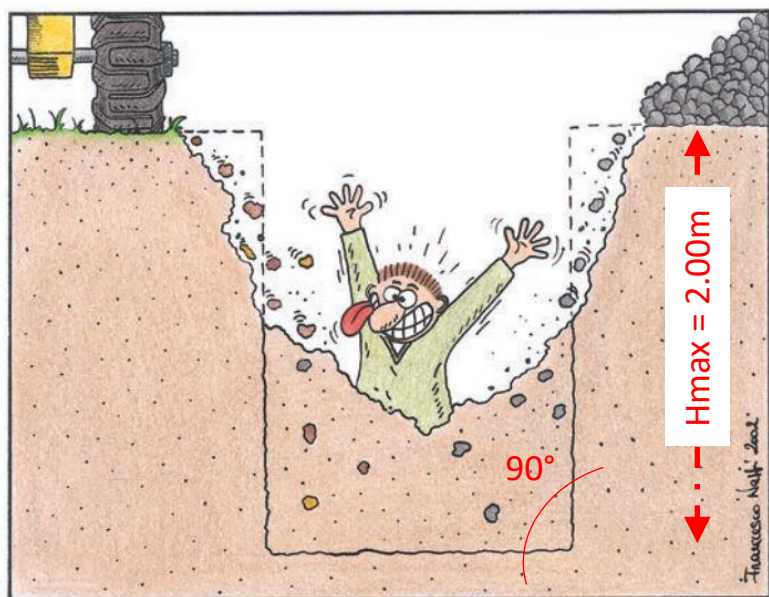
IL Progetto dello Scavo
deve tener conto della
presenza di
costruzioni esistenti
nell'area interessata
dallo scavo



Normativa Tecnica di Riferimento

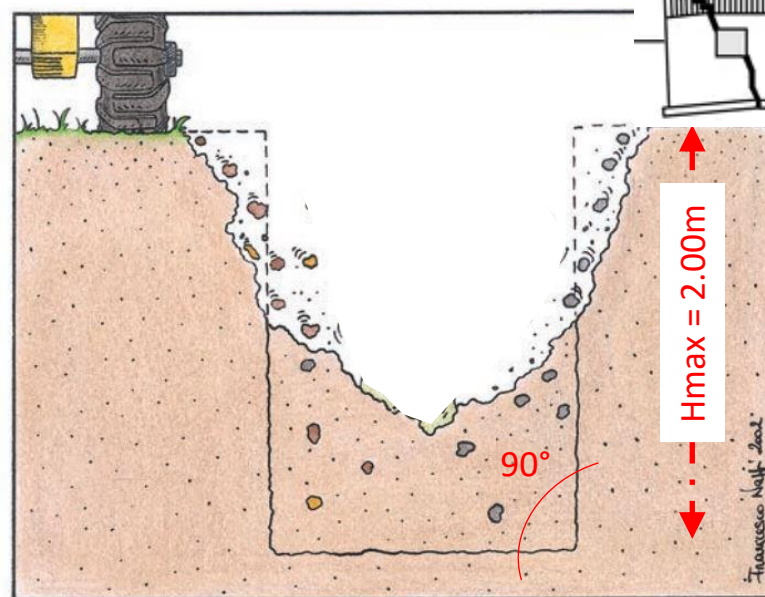
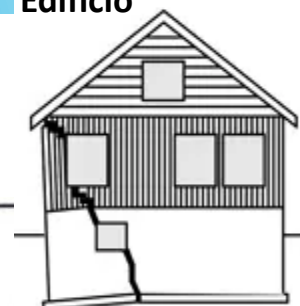
6.8.6. FRONTI DI SCAVO

NTC2018



Analisi SLE (stima
cedimenti e
spostamenti)

Edificio



Per scavi in trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di personale, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista una struttura di sostegno delle pareti di scavo. Le verifiche devono essere svolte nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) e nei confronti degli stati limite di servizio (SLE), quando pertinenti.

Normativa Tecnica di Riferimento: Verifiche di Stabilità

6.8.2. VERIFICHE DI SICUREZZA (SLU)

Deve risultare rispettata la condizione [6.2.1], verificando che non si raggiunga una condizione di stato limite ultimo con i valori di progetto delle azioni e dei parametri geotecnici.

Le verifiche devono essere effettuate secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.



Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

Coefficiente Parziale di Sicurezza

$$\gamma_R = 1.10$$

La stabilità globale dell'insieme manufatto-terreno di fondazione deve essere studiata nelle condizioni corrispondenti alle diverse fasi costruttive, al termine della costruzione e in esercizio.

Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2)



Tab. 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tab. 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coazione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Carichi Variabili

Sfavorevoli

$$\gamma_F = 1.30$$

Carichi Permanenti

$$\gamma_F = 1.00$$

(terreno, acqua)

Terreno

M2

→ Parametri Fattorizzati

parametri geotecnici di progetto fattorizzati

$$\tan \varphi_d = \tan \varphi_k / \gamma_{\varphi'}$$

$$c'_d = c'_k / \gamma_{c'}$$

$$c_{ud} = c_{uk} / \gamma_{cu}$$

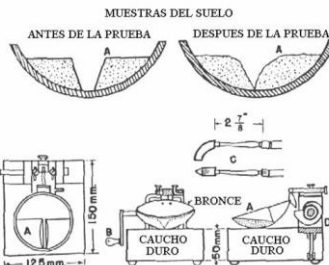
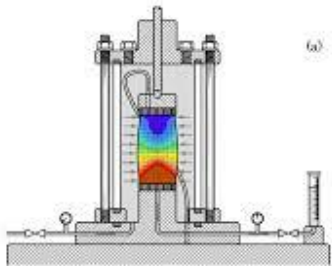
$$\text{ove } \gamma_{\varphi'} = 1.25 \text{ e } \gamma_{c'} = 1.25 \text{ e } \gamma_{cu} = 1.40$$



Normativa Tecnica di Riferimento



SI

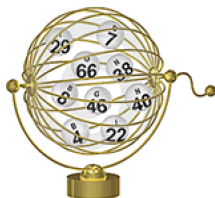
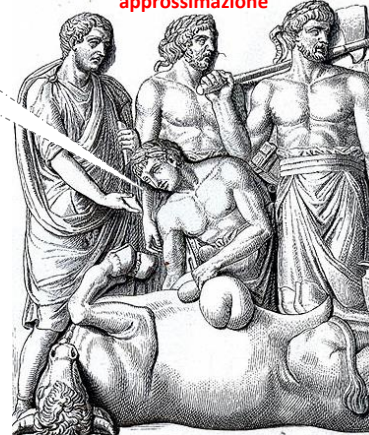


NO



$c' = 10 \text{ kPa}$
 $\phi' = 25^\circ$
 $C_u = 125 \text{ kPa}$

superficialità
approssimazione
improvvisazione



Considerazioni sui valori caratteristici da assegnare ai parametri geotecnici (§ 6.2.2 delle NTC2018):

I valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere ottenuti mediante specifiche **prove di laboratorio** su campioni di terreno e attraverso l'interpretazione dei risultati di **prove e misure in sito**.

ELEVATA INCERTEZZA SULLA DEFINIZIONE DEI VALORI DA ATTRIBUIRE AI PARAMETRI GEOTECNICI

Per **valore caratteristico** di un parametro geotecnico deve intendersi una **stima ragionata** e **cautelativa** del valore del parametro nello stato limite considerato.

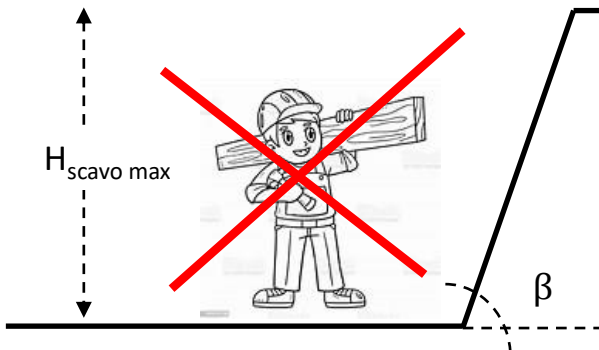
È responsabilità del **Progettista** la definizione del piano delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica.



CONDIZIONI NON DRENATE
e
CONDIZIONI DRENATE

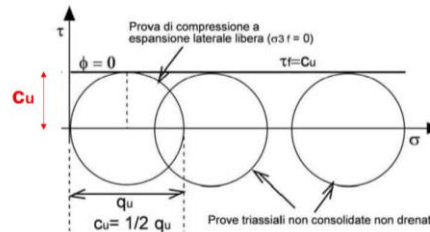
Order-of-magnitude values for permeability k, based on description of soil and USCS [m/s]				
10^0	10^{-2}	10^{-5}	10^{-9}	10^{-11}
Clean gravel GW, GP	Clean gravel and sand mixtures GW, GP, SW, SP, GM	Sand-silt mixtures SM, SL, SC	Clays	

VERIFICHE CONDIZIONI NON DRENATE E DRENATE



Condizioni NON DRENATE

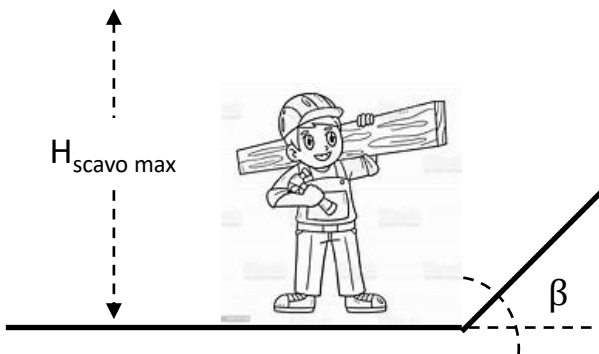
- Terreni a bassa permeabilità (es. argille)
- Tempi di apertura ridotti (filosofia dell' APRI-CHIUDI)
- Esempio: Trincea drenante



Parametri di
Resistenza

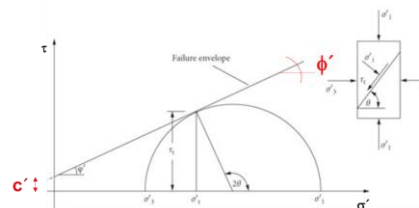


Cu_k



Condizioni DRENATE

- Terreni a elevata permeabilità (es. sabbie e ghiaie)
- Tempi di apertura elevati
- Esempio: scavi per realizzazione fondazioni



Parametri di
Resistenza c'_k
 ϕ'_k

Materiali Coesivi: Condizione Non Drenata e Drenata

TEMPO

Condizione NON Drenata



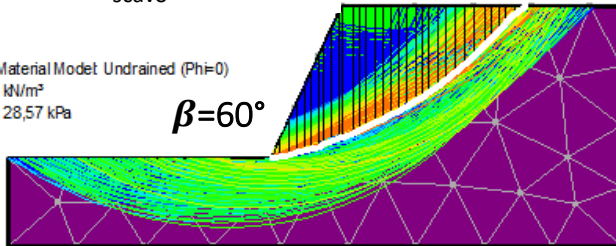
$$\frac{2.096}{\left(\frac{R_{M2}}{E_d}\right)_{MIN}} > 1.1$$

$$\tau = c_u$$



$H_{scavo} = 3.5m$

Name: Terreno
Slope Stability Material Model Undrained (Phi=0)
Unit Weight: 20 kN/m³
Total Cohesion: 28.57 kPa



Coesione NON Drenata $c_{uk} = 40 \text{ kPa}$

parametri geotecnici di progetto fattorizzati

$$c_{ud} = c_{uk} / \gamma_{cu}$$

$$\gamma_{cu} = 1.40$$

$$c_{ud} = 40 \text{ kPa} / 1.40 = 28.57 \text{ kPa}$$

Condizione Drenata

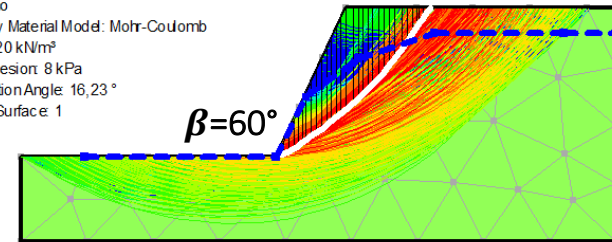
$$\tau = c' + (\sigma_n - u) \cdot \tan \phi'$$

$$\frac{0.836}{\left(\frac{R_{M2}}{E_d}\right)_{MIN}} < 1.1$$



$H_{scavo} = 3.5m$

Name: Terreno
Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Effective Cohesion: 8 kPa
Effective Friction Angle: 16.23 °
Piezometric Surface: 1



Intercetta di Coesione $c'_k = 10 \text{ kPa}$

Angolo d'Attrito $\phi'_k = 20^\circ$

parametri geotecnici di progetto fattorizzati

$$c'_d = c'_k / \gamma_{c'}$$

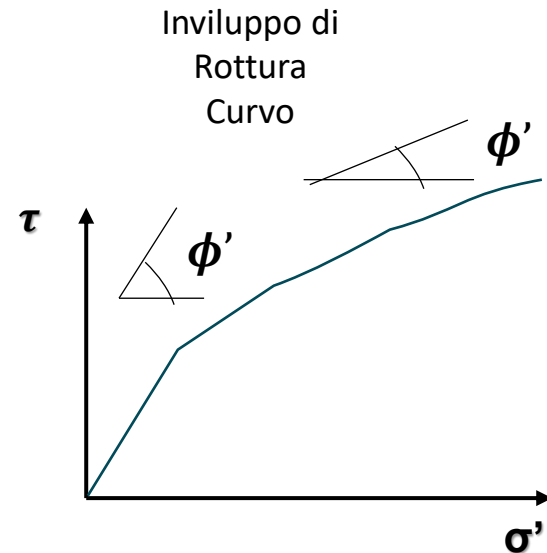
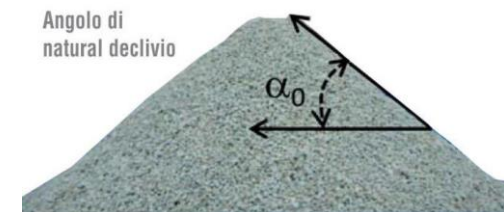
$$\tan \phi_d = \tan \phi_k / \gamma_{\phi'}$$

$$\text{ove } \gamma_{\phi'} = 1.25 \text{ e } \gamma_{c'} = 1.25$$

Intercetta di Coesione $c'_d = 8 \text{ kPa}$

Angolo d'Attrito $\phi'_d = 16.23^\circ$

Per i materiali granulari le verifiche vanno svolte in riferimento alle condizioni drenata (alta permeabilità)

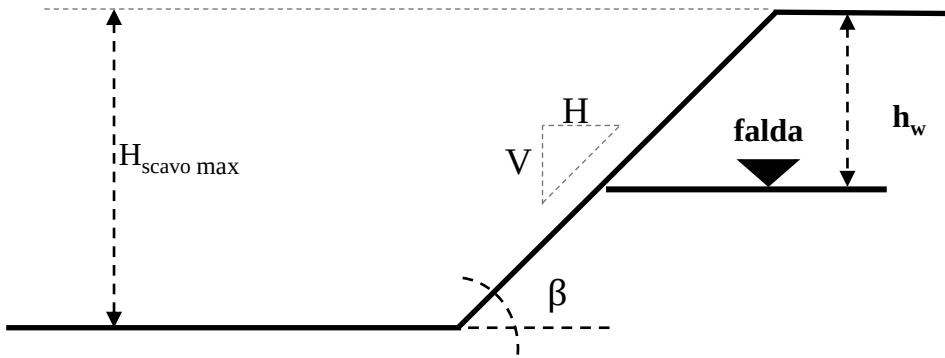


$$\alpha_2 < \phi'_k$$

VERIFICHE CONDIZIONI NON DRENATE E DRENATE

Condizioni DRENATE:

Terreni a elevata permeabilità (es. sabbie e ghiaie)
Tempi di apertura elevati
Esempio: scavi per realizzazione fondazioni

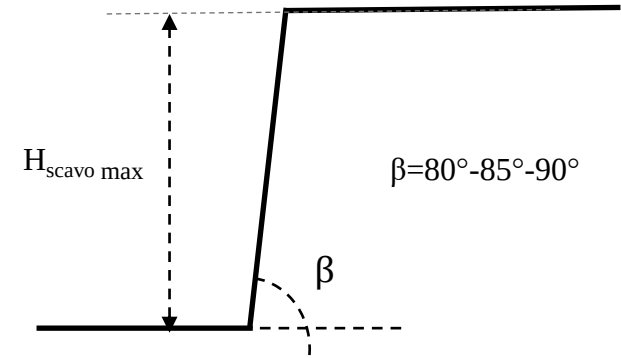


1 H : 1 V
($\beta=45.0^\circ$)
3 H : 2.5 V
($\beta=39.8^\circ$)
3 H : 2 V
($\beta=33.7^\circ$)
2 H : 1 V
($\beta=26.6^\circ$)

$\gamma = 20 \text{ (kN/m}^3\text{)}$
Parametri di resistenza di M-C
 $\phi=36^\circ \div 18^\circ$ (decrementi di 2°)
 $c'=0 - 5 - 10 \text{ kPa}$
Combinazione: A2+M2+R2
Regime idrostatico stazionario

Condizioni NON DRENATE:

Terreni a bassa permeabilità (es. limi e argille)
Tempi di apertura MOLTO RIDOTTI
Assenza di personale sul fondo scavo
Esempio: scavi per realizzazione fondazioni



$\gamma = 19-22 \text{ (kN/m}^3\text{)}$
Parametri di resistenza di M-C
 $c_u = 20-45 \text{ kPa}$
Combinazione: A2+M2+R2

Metodologia di analisi

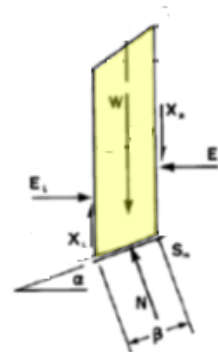
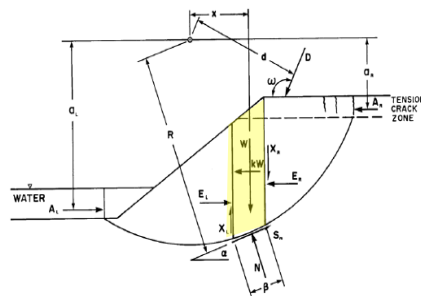
Analisi di Stabilità: Metodi Equilibrio Limite

I metodi dell'equilibrio limite sono quelli più largamente utilizzati nelle analisi di stabilità, non solo per la relativa **semplicità** che s'incontra nella loro applicazione, ma anche perché forniscono **risultati soddisfacenti**.

I metodi dell'equilibrio limite sono molto «**versatili**», infatti, essi possono essere applicati a pendii di forma complessa, costituiti da materiali diversi e soggetti alle più svariate condizioni idrauliche, di carico e consentono in maniera semplice di modellare le azioni trasmesse al pendio dalla strutture che interagiscono con esso. Tali metodi si basano sul **criterio di rottura di Mohr-Coulomb** e sono applicabili per materiali geologici a **comportamento tenso-deformativo di tipo rigido-plastico**.

Nei metodi dell'equilibrio limite, si assegna a priori una superficie di scorrimento ipotetica. La forma della superficie di scorrimento può essere piana, circolare, curvilinea, mistilinea, ecc.. L'analisi di stabilità della porzione di pendio compresa tra la superficie di scivolamento e la superficie topografica avviene applicando ad essa le equazioni di equilibrio fornite dalla statica. Si ammette che in condizioni di equilibrio limite (rottura incipiente), la resistenza al taglio mobilitata lungo la superficie di scorrimento, reale o supposta, sia pari alla massima resistenza al taglio mobilitabile lungo la medesima superficie. Richiamando la definizione di fattore di sicurezza introdotta in precedenza è facile verificare come in condizioni di equilibrio limite tale parametro assuma valore unitario.

Lo scopo dell'analisi di stabilità consiste nell'individuare, fra tutte le possibili superfici di rottura, quella caratterizzata da un fattore di sicurezza minimo, vale a dire la superficie lungo la quale più probabilmente si registrerà la rottura per taglio delle formazioni coinvolte.



Prima Approssimazione

Superficie circolare

7,663888; 18,378232 m

1.016

Centro

Raggio

Name: Cumulo
Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Effective Cohesion: 0 kPa
Effective Friction Angle: 20,46 °

Name: Terreno
Slope Stability Material Model: Unclained (Phi=0)
Unit Weight: 20 kN/m³
Total Cohesion: 21,43 kPa



Analisi di Stabilità: Metodi Equilibrio Limite

Carichi Variabili
Sfavorevoli
 $\gamma_F = 1.30$

Carichi Permanenti
 $\gamma_F = 1.00$

Terreno

M2 → Parametri Fattorizzati

(Sovraccarico Accidentale)
Azione Variabile
SFAVOREVOLE
 $\gamma_F = 1.3$ (A2)



parametri geotecnici di progetto
fattorizzati

$$\tan \varphi_d = \tan \varphi_k / \gamma_\varphi$$

$$c'_d = c'_k / \gamma_{c'}$$

ove $\gamma_{\varphi} = 1.25$ e $\gamma_{c'} = 1.25$ (set M2)

$$c_{ud} = c_{uk} / \gamma_{cu}$$

ove $\gamma_{cu} = 1.40$ (set M2)

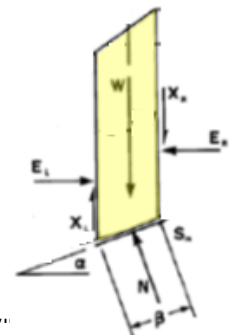
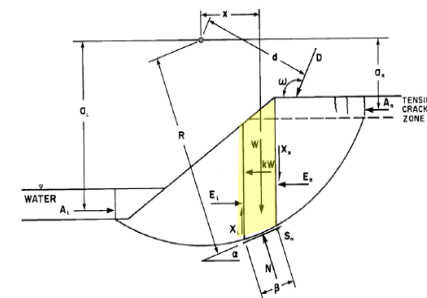
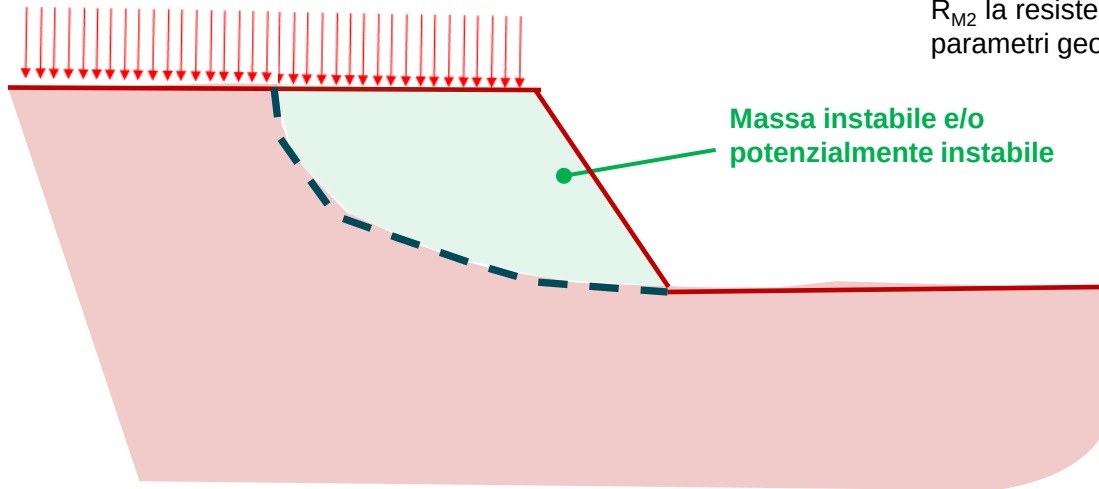
Approccio 1 - Combinazione 2: (A2+M2+R2)

$$\frac{R_d}{E_d} = \frac{\frac{1}{\gamma_R} \cdot R_{M2}}{E_d} \geq 1 \quad \longrightarrow \quad \left(\frac{R_{M2}}{E_d} \right)_{MIN} \geq \gamma_R = 1.1^{(*)}$$

Coefficiente parziale	(R2)
γ_R	1.1

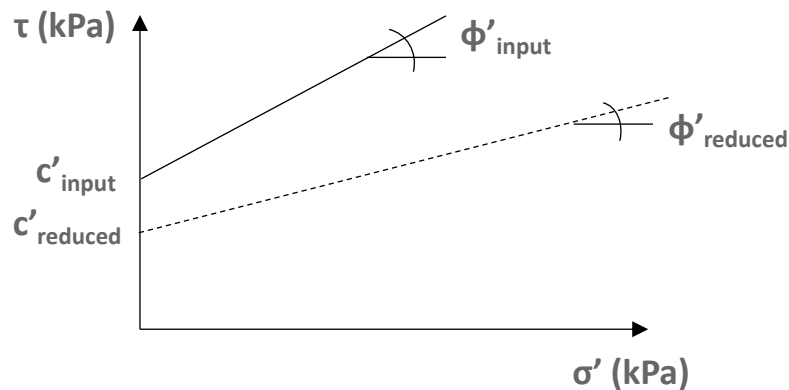
(*) Tabella – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere in materiali sciolti e di fronti di scavo (Tab. 6.8.I delle NTC2008)

R_{M2} la resistenza globale di progetto (calcolata in riferimento ai parametri geotecnici fattorizzati) e E_d le azioni di progetto



Analisi di Stabilità: Metodi FEM – Approccio c- ϕ Reduction

Condizione Drenata



$$\sum Msf = \frac{\tan \phi'_{input}}{\tan \phi'_{reduced}} = \frac{c'_{input}}{c'_{reduced}}$$

Approccio 1 - Combinazione 2: (A2+M2+R2)

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

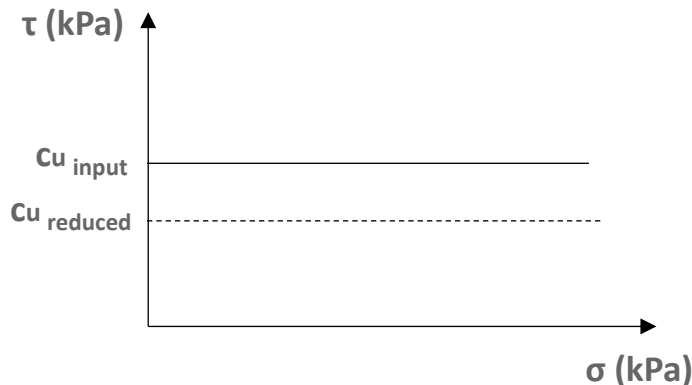
Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

$$\gamma_{\phi'} = \gamma_{c'} = 1.25 \text{ e } \gamma_R = 1.10$$

$$\sum Msf_{MIN} = \gamma_{terreno} \cdot \gamma_R = 1.25 \cdot 1.1 = 1.375$$

Condizione NON Drenata



$$\sum Msf = \frac{c_{uinput}}{c_{ureduced}}$$

Approccio 1 - Combinazione 2: (A2+M2+R2)

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

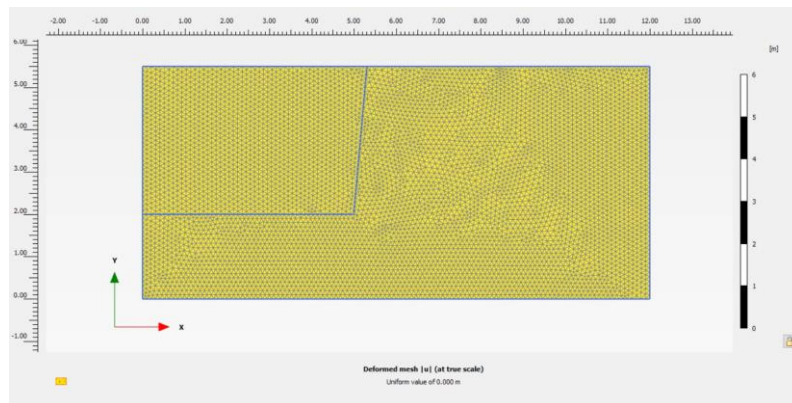
COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

$$\gamma_{cu} = 1.40 \text{ e } \gamma_R = 1.10$$

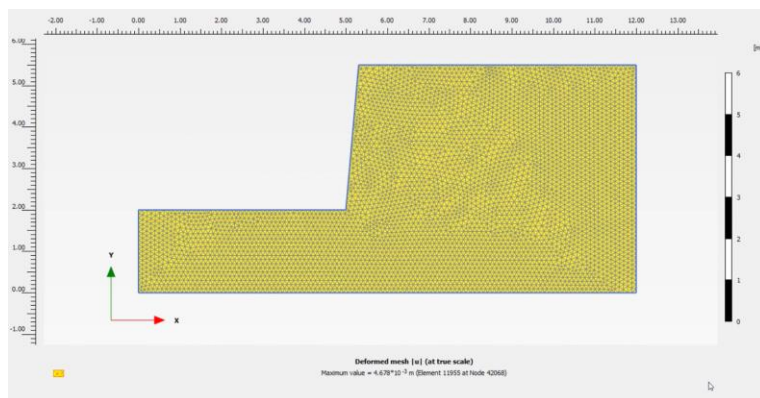
$$\sum Msf_{MIN} = \gamma_{terreno} \cdot \gamma_R = 1.40 \cdot 1.1 = 1.54$$

Analisi di Stabilità: Metodi FEM

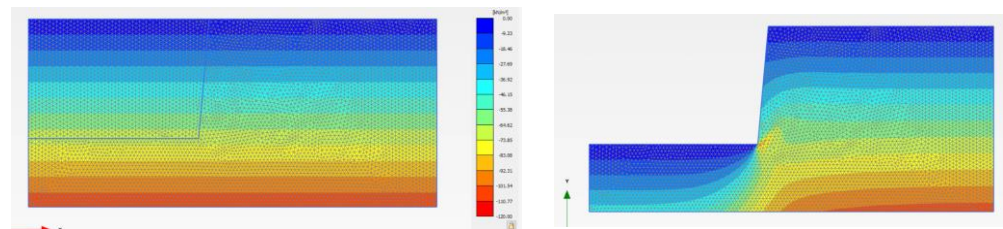
Ante Intervento



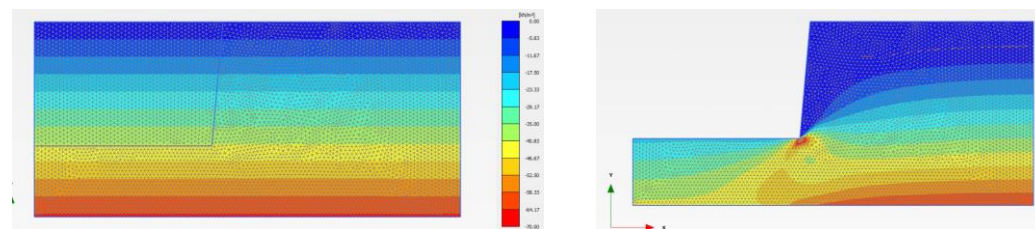
Post Intervento



Sforzo Verticale

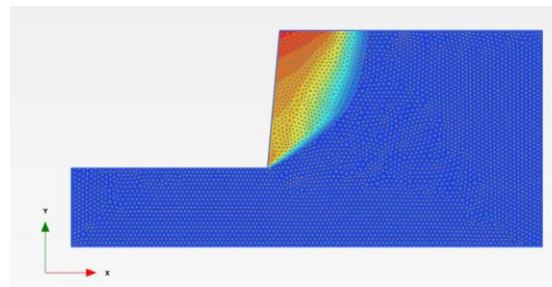


Sforzo Orizzontale



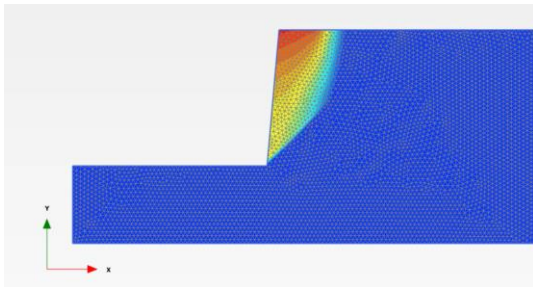
Condizione NON Drenata

$$\sum Msf_{MIN} = \gamma_{terreno} \cdot \gamma_R = 1.32 < 1.54$$



Condizione Drenata

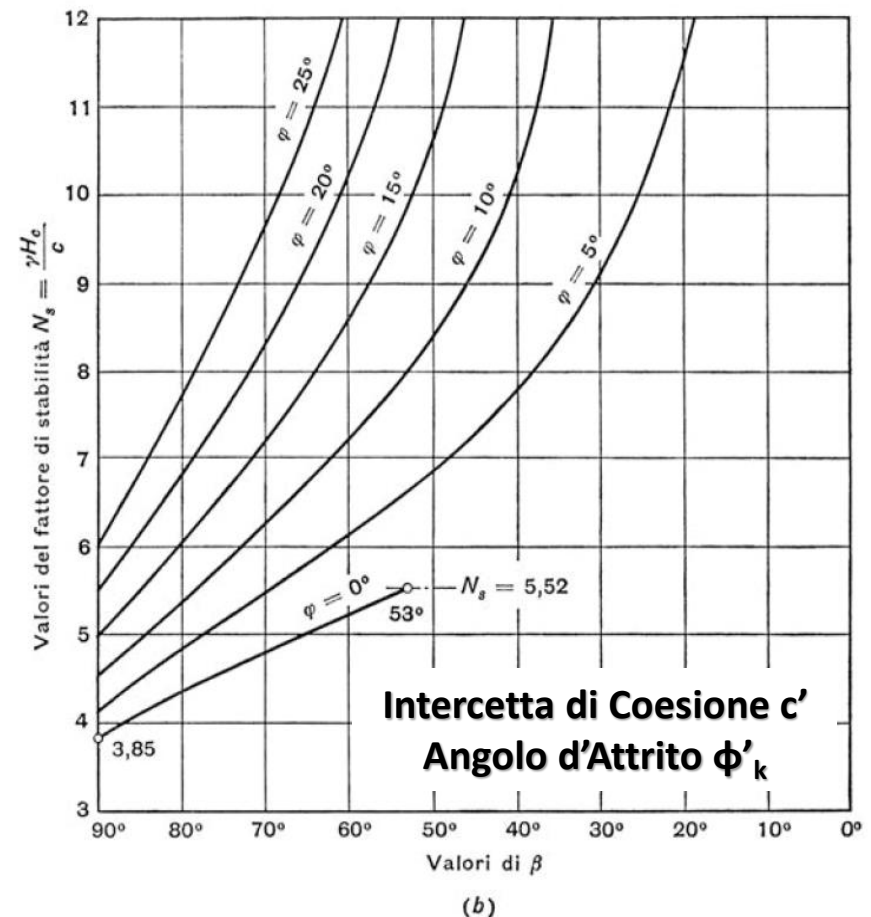
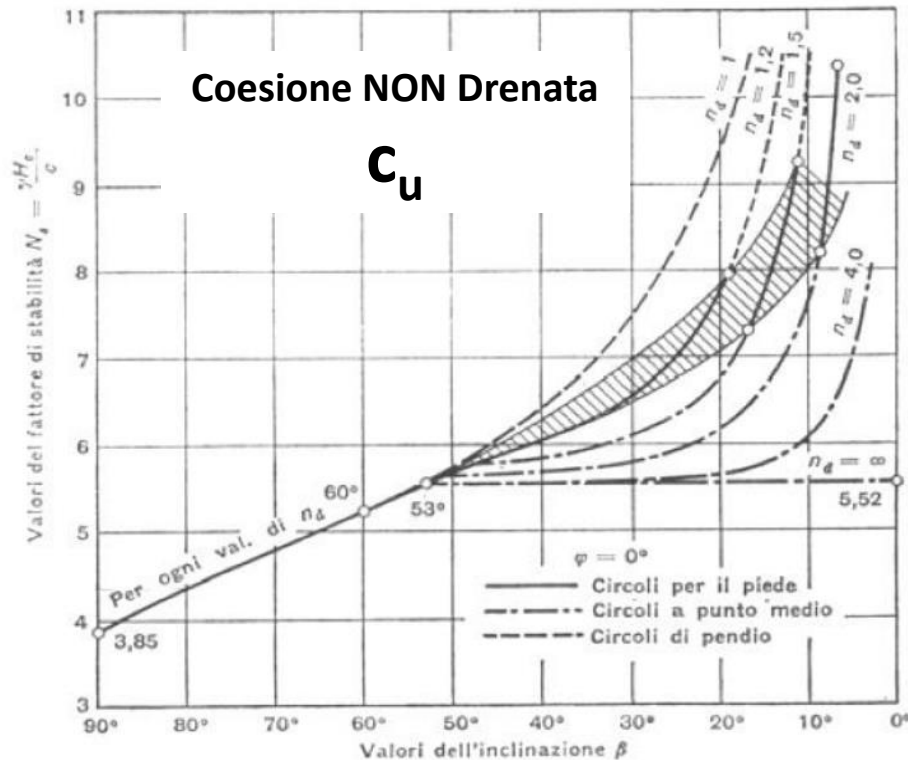
$$\sum Msf_{MIN} = \gamma_{terreno} \cdot \gamma_R = 1.24 < 1.375$$



CARTE DI STABILITA': Stima Altezza Critica

Noti i parametri di resistenza al taglio del terreno, in funzione dell'inclinazione della scarpata è possibile stimare l'altezza critica H_c , vale a dire l'altezza massima per la quale il terreno è stabile.

Attenzione: nella stima di H_c non vi sono le marginalità di sicurezza imposte dalle NTC2018



CONDIZIONI NON DRENATE SOLUZIONI TIPOLOGICHE

Stima Altezza Critica

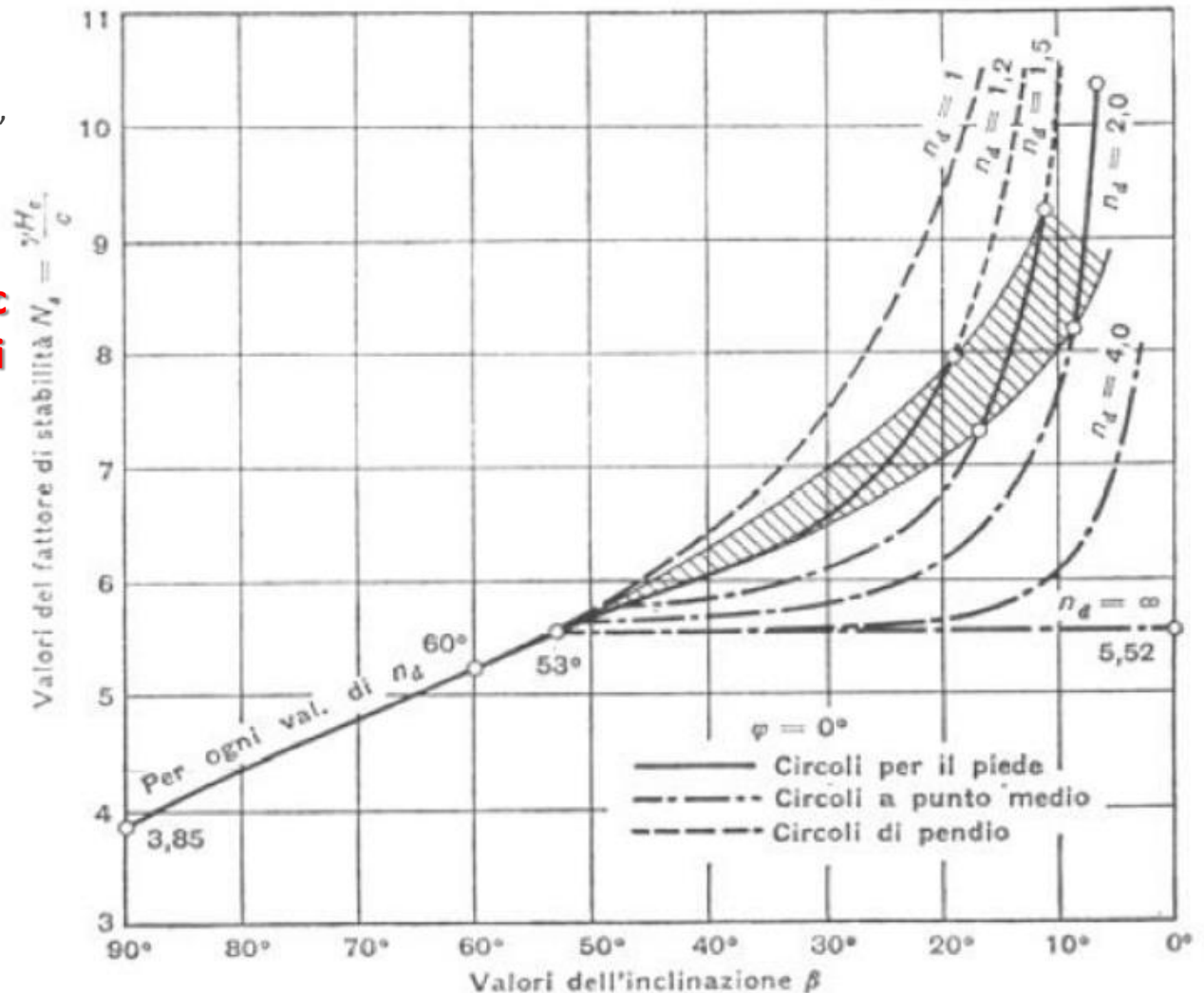
Noti i parametri di resistenza al taglio del terreno, in funzione dell'inclinazione della scarpata è possibile stimare l'altezza critica H_c , vale a dire l'altezza massima per la quale il terreno è stabile.

Attenzione: nella stima di H_c non vi sono le marginalità di sicurezza imposte dalle NTC2018



Coesione NON Drenata

c_u

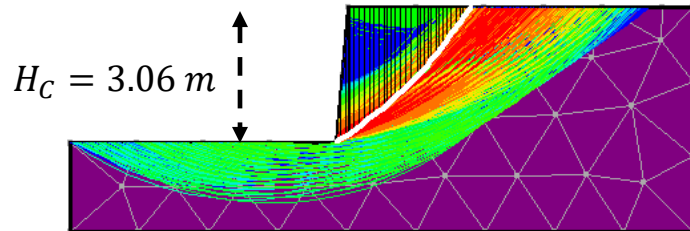


Stima Altezza Critica: SCAVI BREVE DURATA in TERRENI COESIVI

1.009
 ≈ 1.00

$$N_s = \frac{H_c \cdot \gamma}{c_u k}$$

Name: Terreno
Slope Stability Material Model: Undrained (Phi=0)
Unit Weight: 20 kN/m³
Total Cohesion: 15 kPa



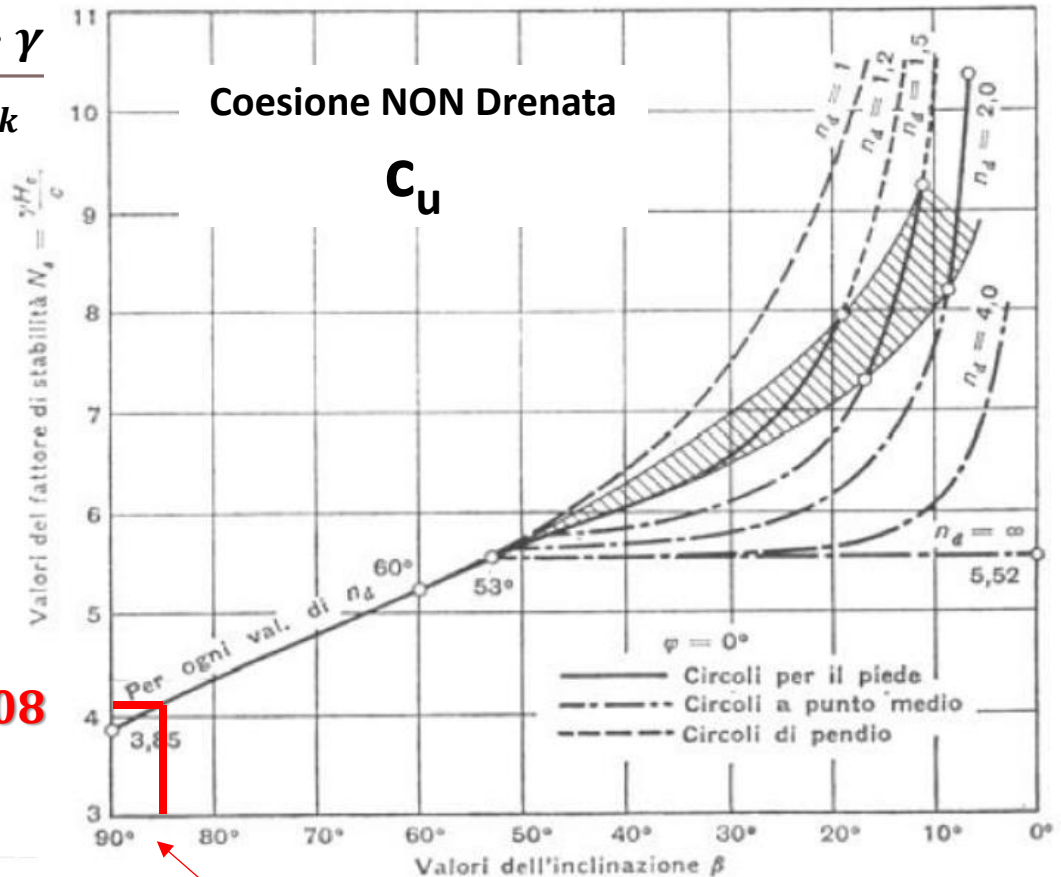
$$c_u k = 15 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$H_c = \frac{N_s \cdot c_u k}{\gamma} = 3.06 \text{ m}$$

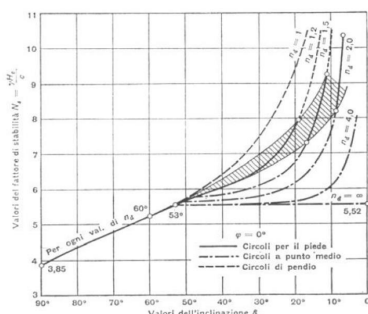
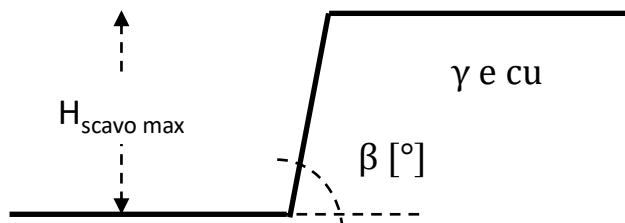
$$N_s = 4.08$$

Attenzione: nella stima di H_c non
vi sono le marginalità di sicurezza
imposte dalle NTC2018



Condizioni NON Drenate: Stima Altezza Massima di Progetto

Schema Geometrico



NTC2018

Approccio 1
Combinazione 2
(A2+M2+R2)

M2

Coefficiente Parziale di
Sicurezza
 $\gamma_R = 1.10$

parametri geotecnici di
progetto fattorizzati

$$c_{ud} = c_{uk} / \gamma_{cu}$$

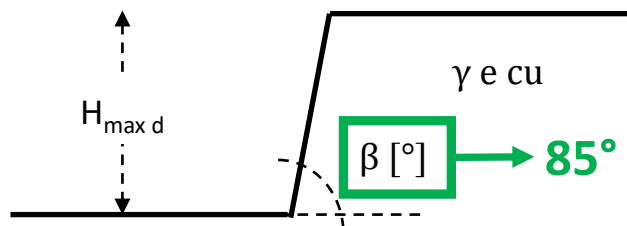
$$\gamma_{cu} = 1.40$$

TABELLA 1

Norm. Rif. NTC2018			β (°)		
$\gamma_R = 1,1$			90	85	80
$\gamma_{cu} = 1,4$					
$H_{max} = 5$ m			N_s (-)		
c_{uk}	c_{ud}	γ	3,85	4,08	4,30
(kPa)	(kPa)	(kN/m ³)	Altezza di scavo massima di Progetto $H_{scavo\ max}$ (m)		
20	14,29	19	2,50	2,50	2,50
20	14,29	20	2,00	2,50	2,50
20	14,29	21	2,00	2,00	2,50
20	14,29	22	2,00	2,00	2,00
25	17,86	19	3,00	3,00	3,50
25	17,86	20	3,00	3,00	3,00
25	17,86	21	2,50	3,00	3,00
25	17,86	22	2,50	2,50	3,00
30	21,43	19	3,50	4,00	4,00
30	21,43	20	3,50	3,50	4,00
30	21,43	21	3,00	3,50	3,50
30	21,43	22	3,00	3,50	3,50
35	25,00	19	4,50	4,50	5,00
35	25,00	20	4,00	4,50	4,50
35	25,00	21	4,00	4,00	4,50
35	25,00	22	3,50	4,00	4,00
40	28,57	19	5,00	5,00	5,00
40	28,57	20	5,00	5,00	5,00
40	28,57	21	4,50	5,00	5,00
40	28,57	22	4,00	4,50	5,00
45	32,14	19	5,00	5,00	5,00
45	32,14	20	5,00	5,00	5,00
45	32,14	21	5,00	5,00	5,00
45	32,14	22	5,00	5,00	5,00

Condizioni NON Drenate: Stima Altezza Massima di Progetto

ESEMPIO



Dalla Relazione Geotecnica per il
terreno di interesse

Peso Specifico
 $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

Coesione NON DRENATA
Valore Caratteristico
 $c_{uk} = 20 \text{ kPa}$

Coefficiente Parziale di
Sicurezza
 $\gamma_R = 1.10$

parametri geotecnici di
progetto fattorizzati
 $c_{ud} = c_{uk} / \gamma_{cu}$
 $\gamma_{cu} = 1.40$

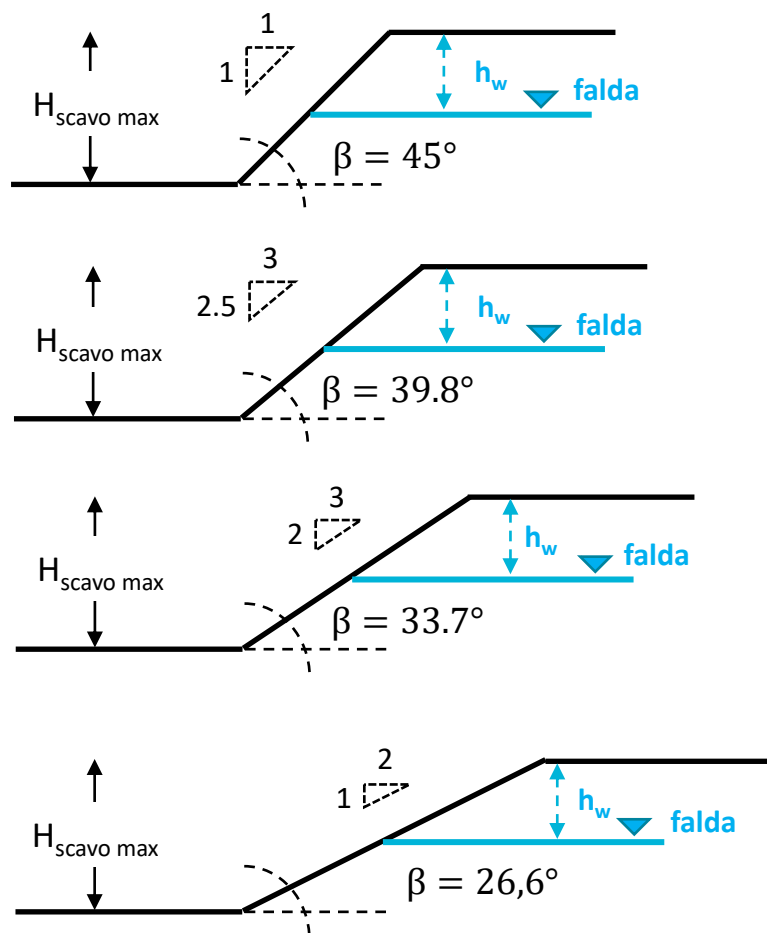
$$H_{scavo \max} = 2.50 \text{ m}$$

SCAVI BREVE DURATA
in TERRENI COESIVI

Norm. Rif. NTC2018			β (°)		
$\gamma_R = 1,1$			90	85	80
$\gamma_{cu} = 1,4$					
$H_{\max} = 5 \text{ m}$				N_s (-)	
c_{uk}	c_{ud}	γ	3,85	4,08	4,30
(kPa)	(kPa)	(kN/m ³)	Altezza di scavo massima di Progetto Hscavo max (m)		
20	14,29	19	2,50	2,50	2,50
20	14,29	20	2,00	2,50	2,50
20	14,29	21	2,00	2,00	2,50
20	14,29	22	2,00	2,00	2,00
25	17,86	19	3,00	3,00	3,50
25	17,86	20	3,00	3,00	3,00
25	17,86	21	2,50	3,00	3,00
25	17,86	22	2,50	2,50	3,00
30	21,43	19	3,50	4,00	4,00
30	21,43	20	3,50	3,50	4,00
30	21,43	21	3,00	3,50	3,50
30	21,43	22	3,00	3,50	3,50
35	25,00	19	4,50	4,50	5,00
35	25,00	20	4,00	4,50	4,50
35	25,00	21	4,00	4,00	4,50
35	25,00	22	3,50	4,00	4,00
40	28,57	19	5,00	5,00	5,00
40	28,57	20	5,00	5,00	5,00
40	28,57	21	4,50	5,00	5,00
40	28,57	22	4,00	4,50	5,00
45	32,14	19	5,00	5,00	5,00
45	32,14	20	5,00	5,00	5,00
45	32,14	21	5,00	5,00	5,00
45	32,14	22	5,00	5,00	5,00

CONDIZIONI DRENATE SOLUZIONI TOPOLOGICHE

Verifiche di Stabilità a lungo termine – Condizioni Drenate



Variabilità delle grandezze in gioco

Inclinazione della scarpata (fronte di scavo)

- H:1 V:1
- H:3 V:2.5
- H:3 V:2
- H:2 V:1

Intercetta di coesione c'_k (kPa)

- $c'_k = 0$ kPa
- $c'_k = 5$ kPa
- $c'_k = 10$ kPa

Livello piezometrico h_w (soggiacenza da pc)

- $h_w = 0.0$ m
- $h_w = 0.5$ m
- $h_w = 1.0$ m
- $h_w = 1.5$ m
- $h_w = 2.0$ m
- $h_w = 2.5$ m
- $h_w = 3.0$ m
- $h_w = 3.5$ m
- $h_w = 4.0$ m
- $h_w = 4.5$ m
- $h_w = 5.0$ m
- $h_w = 5.5$ m
- $h_w = 6.0$ m

Angolo d'attrito ϕ'_k (°)

- $\phi'_k = 18^\circ$
- $\phi'_k = 20^\circ$
- $\phi'_k = 22^\circ$
- $\phi'_k = 24^\circ$
- $\phi'_k = 26^\circ$
- $\phi'_k = 28^\circ$
- $\phi'_k = 30^\circ$
- $\phi'_k = 32^\circ$
- $\phi'_k = 34^\circ$
- $\phi'_k = 36^\circ$

1560

Oltre 20,000 analisi

Determinazione altezza
massima di scavo $H_{scavo\ max}$

Assenza di mezzi di cantiere e/o sovraccarichi

Piano Campagna Orizzontale

$\gamma = 20 \text{ (kN/m}^3\text{)}$

A2+M2+R2

$\tan \Phi_d = \tan \Phi_k / \gamma_{\Phi}$

$c'_d = c'_k / \gamma_c$

$\gamma_{\Phi}=1.25 \text{ e } \gamma_c=1.25$

Regime idrostatico stazionario

Coefficiente Parziale di Sicurezza $\gamma_R=1.10$

- Profondità della superficie di scorrimento $> 0,5 - 0,6\text{m}$
- Volume potenzialmente instabile $> 0,5 - 0,75\text{ m}^3$

Altezza Massima di Scavo (rispetto marginalità di sicurezza NTC2018)

TABELLA 2a

Coefficiente
Parziale di
Sicurezza
 $\gamma_R=1.10$

$$\tan \varphi_d = \tan \varphi_k / \gamma_\varphi$$

$$c'_d = c'_k / \gamma_{c'}$$

$$\gamma_\varphi = 1.25 \text{ e } \gamma_{c'} = 1.25$$

Angolo d'Attrito ϕ' (°)



NTC2018

Intercetta di Coesione (kPa)

	Scarpa	36°				34°				32°				30°				28°			
		H:1V:1	H:3V:2.5	H:3V:2	H:2V:1	H:1V:1	H:3V:2.5	H:3V:2	H:2V:1	H:1V:1	H:3V:2.5	H:3V:2	H:2V:1	H:1V:1	H:3V:2.5	H:3V:2	H:2V:1	H:1V:1	H:3V:2.5	H:3V:2	H:2V:1
0 kPa	hw = 0.0 m	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 0.5 m	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 1.0 m	N.V.	1.00	1.00	1.00	N.V.	N.V.	1.00	1.00	N.V.	N.V.	N.V.	1.00	N.V.	N.V.	N.V.	1.00	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 1.5 m	1.00	1.00	1.25	1.75	N.V.	N.V.	1.00	1.50	N.V.	N.V.	N.V.	1.50	N.V.	N.V.	N.V.	1.25	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 2.0 m	1.00	1.00	1.25	2.25	N.V.	1.00	1.00	2.00	N.V.	N.V.	N.V.	1.75	N.V.	N.V.	N.V.	1.25	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 2.5 m	1.00	1.00	1.25	2.75	N.V.	1.00	1.00	2.75	N.V.	N.V.	N.V.	1.75	N.V.	N.V.	N.V.	1.25	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 3.0 m	1.00	1.00	1.25	3.25	N.V.	1.00	1.00	3.00	N.V.	N.V.	N.V.	1.75	N.V.	N.V.	N.V.	1.25	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 3.5 m	1.00	1.00	1.25	3.75	N.V.	1.00	1.00	3.75	N.V.	N.V.	N.V.	1.75	N.V.	N.V.	N.V.	1.25	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 4.0 m	1.00	1.00	1.25	4.25	N.V.	1.00	1.00	4.25	N.V.	N.V.	N.V.	1.75	N.V.	N.V.	N.V.	1.25	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 4.5 m	1.00	1.00	1.25	4.75	N.V.	1.00	1.00	4.25	N.V.	N.V.	N.V.	1.75	N.V.	N.V.	N.V.	1.25	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
5 kPa	hw = 5.0 m	1.00	1.00	1.25	5.00	N.V.	1.00	1.00	4.25	N.V.	N.V.	N.V.	1.75	N.V.	N.V.	N.V.	1.25	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 5.5 m	1.00	1.00	1.25	5.00	N.V.	1.00	1.00	4.25	N.V.	N.V.	N.V.	1.75	N.V.	N.V.	N.V.	1.25	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 6.0 m	1.00	1.00	1.25	5.00	N.V.	1.00	1.00	4.25	N.V.	N.V.	N.V.	1.75	N.V.	N.V.	N.V.	1.25	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 0.0 m	1.50	1.75	2.50	3.75	1.50	1.75	2.25	3.25	1.50	1.75	2.25	3.00	1.50	1.50	2.00	2.75	1.25	1.50	2.00	2.50
	hw = 0.5 m	2.00	2.25	2.75	4.25	1.75	2.00	2.50	3.75	1.75	2.00	2.50	3.50	1.75	2.00	2.25	3.00	1.75	1.75	2.25	2.75
	hw = 1.0 m	2.25	2.50	3.25	4.50	2.25	2.50	3.00	4.25	2.00	2.25	2.75	3.75	2.00	2.25	2.75	3.50	2.00	2.25	2.50	3.25
	hw = 1.5 m	2.75	3.00	4.00	5.00	2.50	2.75	3.50	4.50	2.50	2.75	3.25	4.25	2.25	2.50	3.00	4.00	2.25	2.50	2.75	3.50
	hw = 2.0 m	3.00	3.50	4.00	5.00	3.00	3.25	3.75	5.00	2.75	3.00	3.75	4.75	2.75	3.00	3.50	4.25	2.50	2.75	3.25	4.00
	hw = 2.5 m	3.50	3.75	4.50	5.00	3.25	3.75	4.25	5.00	3.00	3.50	4.00	5.00	3.00	3.25	3.75	4.75	2.75	3.00	3.50	4.50
	hw = 3.0 m	3.75	4.25	5.00	5.00	3.75	4.00	4.75	5.00	3.25	3.75	4.50	5.00	3.25	3.75	4.25	5.00	3.00	3.50	4.00	5.00
10 kPa	hw = 3.5 m	4.25	4.50	5.00	5.00	4.00	4.50	5.00	5.00	3.75	4.25	5.00	5.00	3.50	4.00	4.75	5.00	3.00	3.75	4.25	5.00
	hw = 4.0 m	4.50	5.00	5.00	5.00	4.00	4.75	5.00	5.00	3.75	4.50	5.00	5.00	3.50	4.25	5.00	5.00	3.00	3.75	4.75	5.00
	hw = 4.5 m	4.75	5.00	5.00	5.00	4.50	5.00	5.00	5.00	3.75	5.00	5.00	5.00	3.50	4.50	5.00	5.00	3.00	3.75	5.00	5.00
	hw = 5.0 m	5.00	5.00	5.00	5.00	4.50	5.00	5.00	5.00	3.75	5.00	5.00	5.00	3.50	4.50	5.00	5.00	3.00	3.75	5.00	5.00
	hw = 5.5 m	5.00	5.00	5.00	5.00	4.50	5.00	5.00	5.00	3.75	5.00	5.00	5.00	3.50	4.50	5.00	5.00	3.00	3.75	5.00	5.00
	hw = 6.0 m	5.00	5.00	5.00	5.00	4.50	5.00	5.00	5.00	3.75	5.00	5.00	5.00	3.50	4.50	5.00	5.00	3.00	3.75	5.00	5.00
	hw = 0.0 m	3.25	3.75	5.00	5.00	3.25	3.75	5.00	5.00	3.00	3.50	4.50	5.00	3.00	3.25	4.25	5.00	2.75	3.25	4.00	5.00
	hw = 0.5 m	3.50	4.00	5.00	5.00	3.50	4.00	5.00	5.00	3.25	3.75	4.75	5.00	3.25	3.75	4.50	5.00	3.00	3.50	4.25	5.00
	hw = 1.0 m	3.75	4.50	5.00	5.00	3.75	4.25	5.00	5.00	3.50	4.00	5.00	5.00	3.50	4.00	4.75	5.00	3.25	3.75	4.50	5.00
	hw = 1.5 m	4.25	4.75	5.00	5.00	4.00	4.75	5.00	5.00	4.00	4.50	5.00	5.00	3.75	4.25	5.00	5.00	3.75	4.00	4.75	5.00

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

PC
orizzontale

Assenza di Mezzi di Cantiere

Assenza di Smarino in prossimità del ciglio

Altezza Massima di Scavo (rispetto marginalità di sicurezza NTC2018)

TABELLA 2b

Coefficiente
Parziale di
Sicurezza
 $\gamma_R=1.10$

$$\tan \varphi_d = \tan \varphi_k / \gamma_{\varphi'}$$

$$c'_d = c'_k / \gamma_{c'}$$

$$\gamma_{\varphi'}=1.25 \text{ e } \gamma_{c'}=1.25$$

Angolo d'Attrito ϕ' (°)



NTC2018

Intercetta di Coesione (kPa)	Scarpa	26°				24°				22°				20°				18°			
		H:1V:1	H:3V:2.5	H:3V:2	H:2V:1	H:1V:1	H:3V:2.5	H:3V:2	H:2V:1	H:1V:1	H:3V:2.5	H:3V:2	H:2V:1	H:1V:1	H:3V:2.5	H:3V:2	H:2V:1	H:1V:1	H:3V:2.5	H:3V:2	H:2V:1
0 kPa	hw = 0.0 m	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 0.5 m	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 1.0 m	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 1.5 m	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 2.0 m	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 2.5 m	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 3.0 m	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 3.5 m	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 4.0 m	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 4.5 m	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
5 kPa	hw = 5.0 m	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 5.5 m	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 6.0 m	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
	hw = 0.0 m	1.25	1.50	1.75	2.50	1.25	1.50	1.75	2.25	1.25	1.50	1.75	2.00	1.25	1.25	1.50	2.00	1.25	1.25	1.50	1.75
	hw = 0.5 m	1.50	1.75	2.00	2.75	1.50	1.75	2.00	2.50	1.50	1.50	2.00	2.25	1.50	1.50	1.75	2.25	1.25	1.50	1.50	2.00
	hw = 1.0 m	1.75	2.00	2.25	3.00	1.75	2.00	2.25	2.75	1.75	1.75	2.00	2.50	1.75	1.75	2.00	2.50	1.50	1.75	1.75	2.25
	hw = 1.5 m	2.25	2.25	2.75	3.25	2.00	2.50	2.50	3.00	2.00	2.00	2.50	2.75	1.75	2.00	2.25	2.75	1.75	2.00	1.75	2.50
	hw = 2.0 m	2.50	2.75	3.00	3.75	2.25	2.50	2.75	3.50	2.25	2.25	2.75	3.25	2.00	2.25	2.50	3.00	1.75	2.00	2.25	2.75
	hw = 2.5 m	2.50	3.00	3.25	4.00	2.50	2.75	3.25	3.75	2.25	2.50	3.00	3.50	2.00	2.50	2.75	3.25	1.75	2.25	2.50	3.00
	hw = 3.0 m	2.75	3.25	3.75	4.50	2.50	3.00	3.50	4.25	2.25	2.75	3.25	3.75	2.00	2.50	3.00	3.50	1.75	2.25	2.75	3.25
	hw = 3.5 m	2.75	3.50	4.00	5.00	2.50	3.00	4.00	4.50	2.25	2.75	3.50	4.25	2.00	2.50	3.00	3.75	1.75	2.25	2.75	3.50
	hw = 4.0 m	2.75	3.50	4.25	5.00	2.50	3.00	4.25	4.75	2.25	2.75	3.50	4.50	2.00	2.50	3.00	4.00	1.75	2.25	2.75	3.75
	hw = 4.5 m	2.75	3.50	4.75	5.00	2.50	3.00	4.25	5.00	2.25	2.75	3.50	4.75	2.00	2.50	3.00	4.50	1.75	2.25	2.75	4.00
	hw = 5.0 m	2.75	3.50	5.00	5.00	2.50	3.00	5.00	5.00	2.25	2.75	3.50	5.00	2.00	2.50	3.00	4.75	1.75	2.25	2.75	4.00
	hw = 5.5 m	2.75	3.50	5.00	5.00	2.50	3.00	5.00	5.00	2.25	2.75	3.50	5.00	2.00	2.50	3.00	4.75	1.75	2.25	2.75	4.00
	hw = 6.0 m	2.75	3.50	5.00	5.00	2.50	3.00	5.00	5.00	2.25	2.75	3.50	5.00	2.00	2.50	3.00	4.75	1.75	2.25	2.75	4.00
10 kPa	hw = 0.0 m	2.75	3.00	3.75	5.00	2.75	3.00	3.50	4.50	3.00	3.00	3.50	4.25	3.00	2.75	3.25	4.00	2.50	2.75	3.00	3.75
	hw = 0.5 m	3.00	3.25	4.00	5.00	3.00	3.25	3.75	4.75	3.00	3.00	3.50	4.50	3.00	3.00	3.50	4.25	2.75	3.00	3.25	4.00
	hw = 1.0 m	3.25	3.75	4.25	5.00	3.25	3.50	4.00	5.00	3.00	3.25	3.75	4.75	3.00	3.25	3.75	4.50	2.75	3.25	3.50	4.00
	hw = 1.5 m	3.75	4.00	4.50	5.00	3.50	3.75	4.25	5.00	3.25	3.50	4.00	5.00	3.25	3.50	4.00	4.50	3.00	3.50	3.75	4.25
	hw = 2.0 m	4.00	4.25	4.75	5.00	3.75	4.00	4.50	5.00	3.50	3.75	4.25	5.00	3.25	3.75	4.00	4.75	3.25	3.75	3.75	4.50
	hw = 2.5 m	4.25	4.50	5.00	5.00	4.00	4.25	5.00	5.00	3.75	4.00	4.50	5.00	3.50	3.75	4.25	5.00	3.50	3.75	4.00	4.75
	hw = 3.0 m	4.50	4.75	5.00	5.00	4.25	4.50	5.00	5.00	4.00	4.25	5.00	5.00	3.75	4.00	4.50	5.00	3.50	3.75	4.25	5.00
	hw = 3.5 m	5.00	5.00	5.00	5.00	4.75	4.75	5.00	5.00	4.00	4.50	5.00	5.00	4.00	4.25	4.75	5.00	3.75	4.00	4.50	5.00
	hw = 4.0 m	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.00	4.75	5.00	5.00	4.25	4.50	5.00	5.00	3.75	4.25	4.75	5.00
	hw = 4.5 m	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.50	5.00	5.00	5.00	4.25	4.75	5.00	5.00	3.75	4.50	5.00	5.00
	hw = 5.0 m	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.50	5.00	5.00	5.00	4.25	5.00	5.00	5.00	3.75	4.50	5.00	5.00
	hw = 5.5 m	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.50	5.00	5.00	5.00	4.25	5.00	5.00	5.00	3.75	4.50	5.00	5.00
	hw = 6.0 m	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.50	5.00	5.00	5.00	4.25	5.00	5.00	5.00	3.75	4.50	5.00	5.00

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

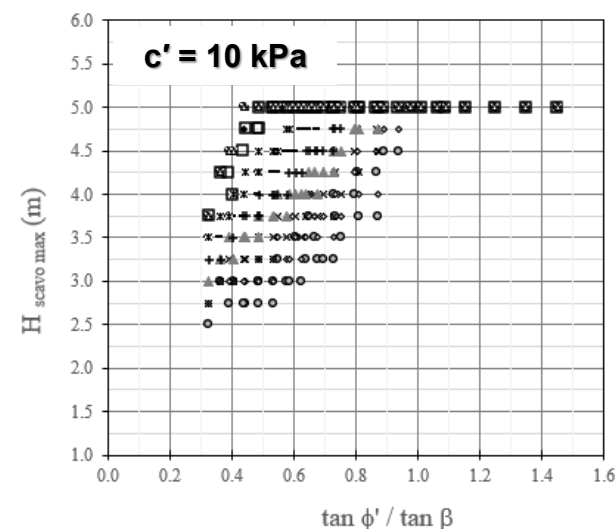
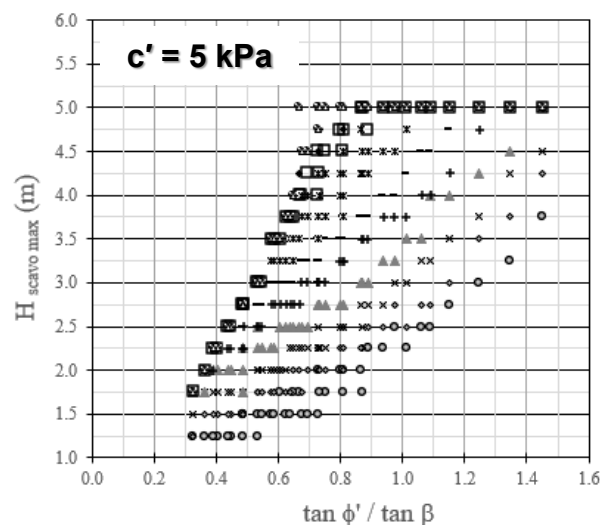
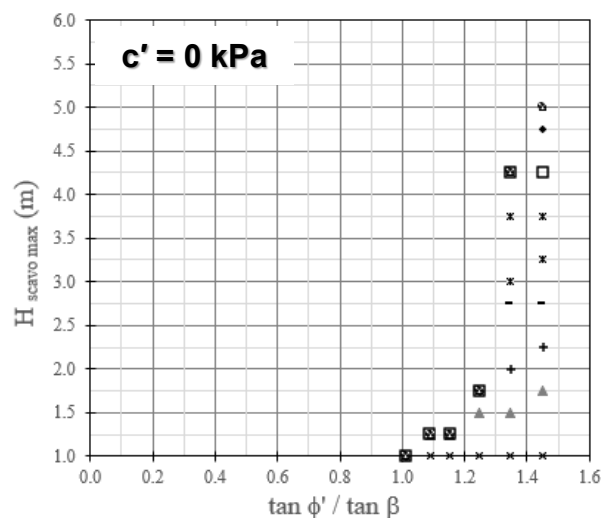
PC
orizzontale

Assenza di Mezzi di Cantiere

Assenza di Smarino in prossimità del ciglio

Altezza Massima di Scavo (rispetto marginalità di sicurezza NTC2018)

• hw=0m ♦ hw=0.5m × hw=1m ▲ hw=1.5m + hw=2m - hw=2.5m × hw=3m × hw=3.5m □ hw=4m ♦ hw=4.5m ○ hw=5m ▽ hw=5.5m ▲ hw=6m



Conclusioni Intuitive:

c' = 0 kPa → Esistono Poche Soluzioni Verificate e solo per $\phi' > \beta$

c' ≠ 0 kPa → Esistono Soluzioni Verificate anche per $\phi' < \beta$

→ se ϕ' e $\beta = \text{cost}$, $\tan \phi' / \tan \beta \uparrow$ a parità di hw $H_{scavo\ max} \uparrow$

→ se $\tan \phi' / \tan \beta = \text{cost}$, se hw $\downarrow$ (falda si avvicina a PC) $H_{scavo\ max} \downarrow$

→ se $c' \uparrow$, $H_{scavo\ max} \uparrow$ a parità di $\tan \phi' / \tan \beta$ e hw

*CONSIDERAZIONI SULLA
DISTANZA TRA MEZZI DI
CANTIERE E SMARINO E
CIGLIO DELLA SCARPATA*

Simulazione Effetti Mezzi di Cantiere e Smarino

Mezzi di
Cantiere



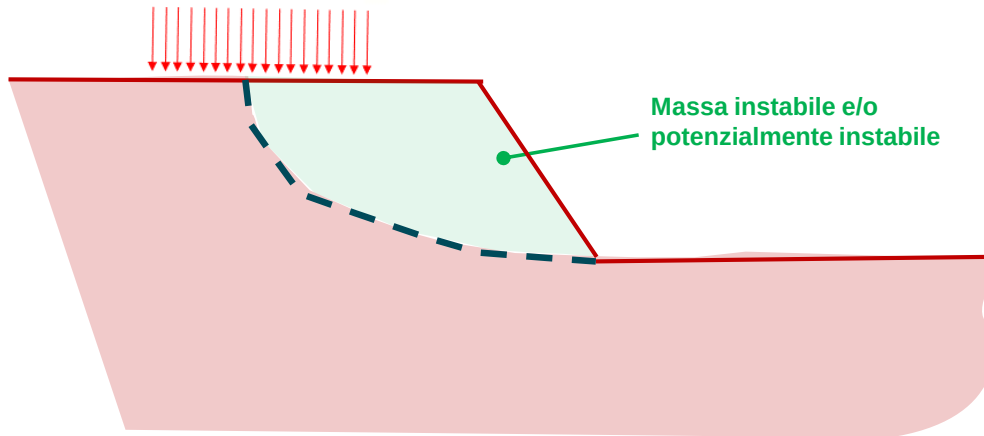
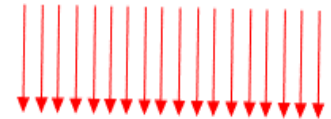
(Sovraccarico Accidentale)
Azione Variabile
SFAVOREVOLE
 $\gamma_F = 1.3$ (A2)

$q_k = 20 \text{ kPa}$

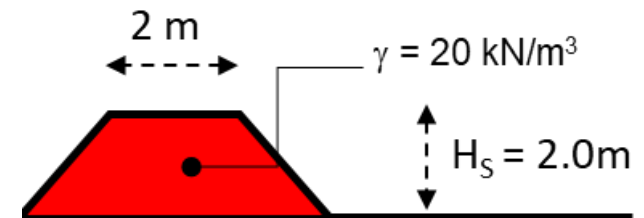


Carichi Variabili
Sfavorevoli
 $\gamma_F = 1.30$

$q_d = 26 \text{ kPa}$



Smarino



Carichi non ordinari: ANALISI SPECIFICHE

6.2.3. FASI E MODALITA' COSTRUTTIVE

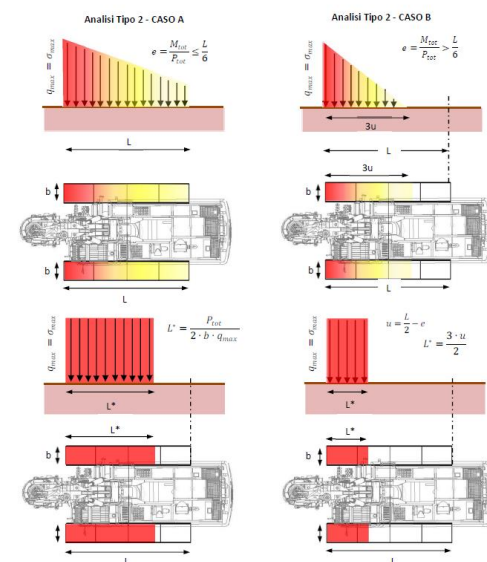
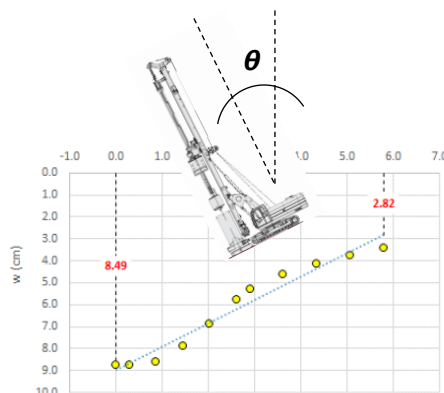
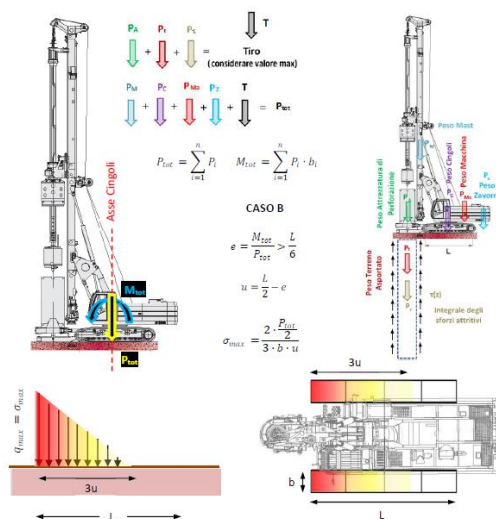
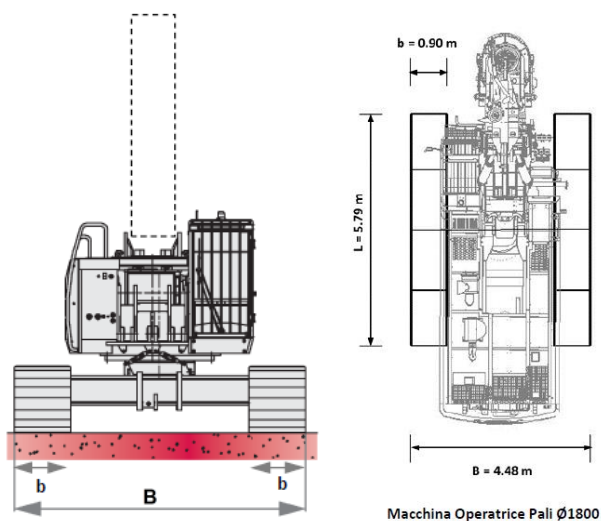
Nel progetto devono essere individuate le diverse fasi esecutive per definire eventuali specifiche condizioni geotecniche anche a carattere temporaneo che possono verificarsi nel corso dei lavori. Queste fasi dovranno essere oggetto di specifiche analisi da condurre con i criteri e le procedure riportati nelle presenti norme.

Tabella 9 – Macchine Operatrici per Pali Trivellati: Valori Limite
Dimensioni delle Aree di Impronta dei Cingoli
e distanza dei bordi esterni dei cingoli in assetto da lavoro

Diametro dei PALI Ø (mm)	Dimensioni Area di Impronta dei Singoli Cingoli (")		Distanza bordi esterni cingoli in assetto di lavoro B ⁽¹⁾ (m)
	Larghezza b (m)	Lunghezza L (m)	
1800	≥ 0.90	≥ 5.79	≥ 4.48

Tabella 10 – Caratteristiche delle macchine operatrici impiegate nelle analisi svolte

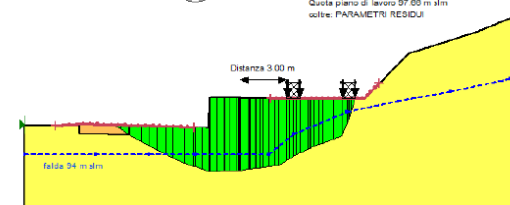
Diametro dei PALI Ø (mm)	Caratteristiche Geometriche dei Singoli Cingoli		Carico "operativo" della macchina in condizione di lavoro Q _{lav} (") (ton)	Massima pressione media q _{m-max} (kPa)	Massima pressione media q _{max} (") (kPa)
	Larghezza b (m)	Lunghezza L (m)			
1800	0.90	5.79	98	131	521



$$\frac{R_{M2}}{E_d} \cong 1.111$$

1.111

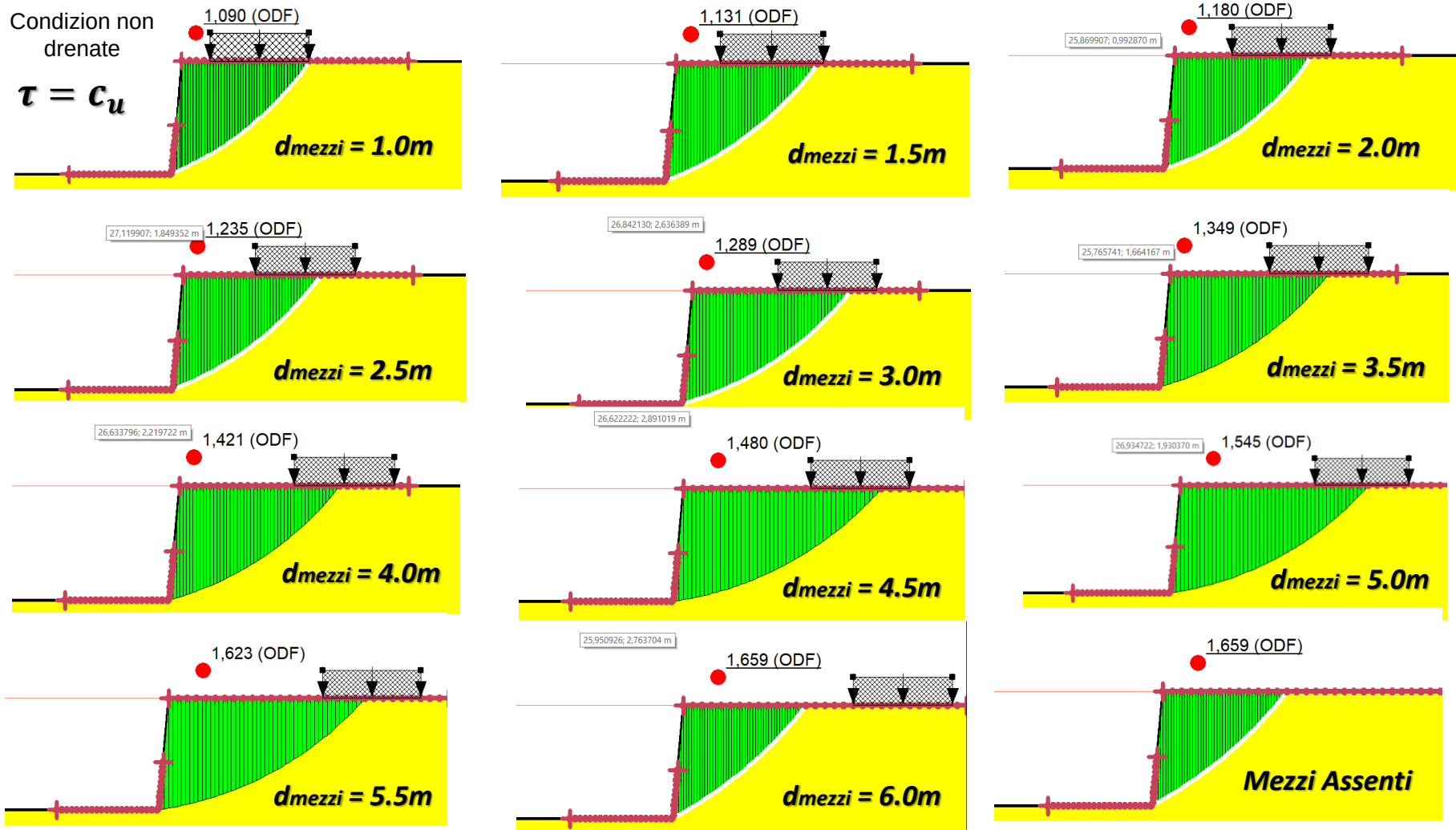
DATI:
Macchine Operatrici Ø1800mm
Quota piano di lavoro 97.00 m s.l.m.
oltre: PARAMETRI RESIDUI



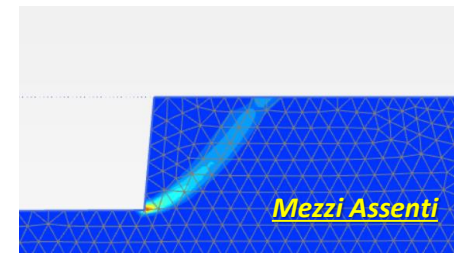
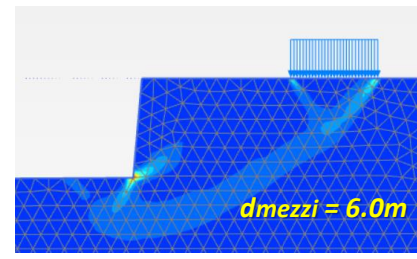
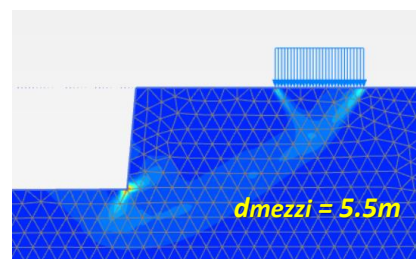
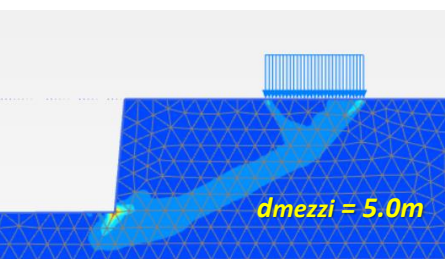
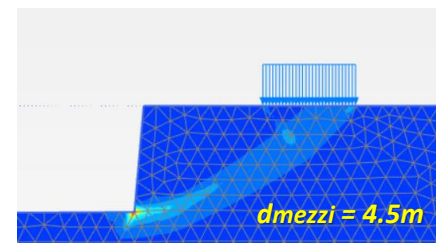
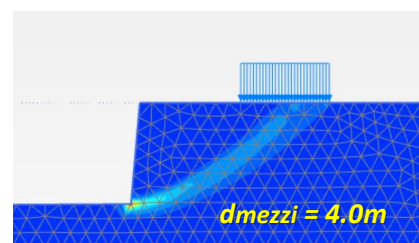
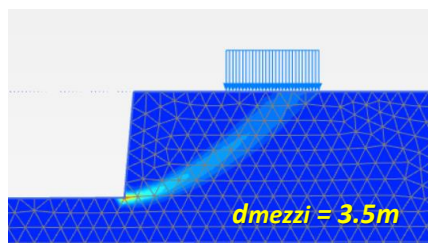
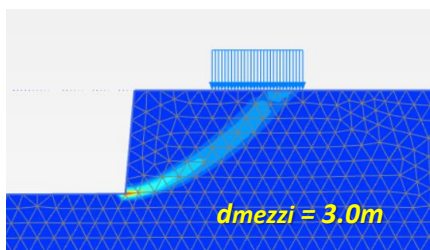
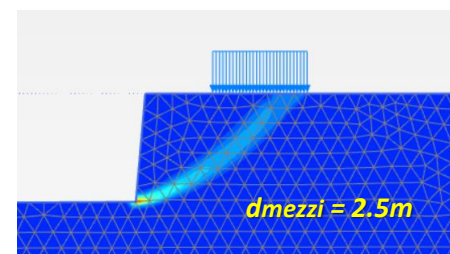
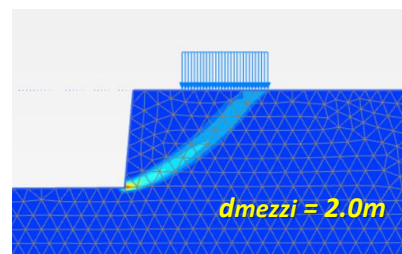
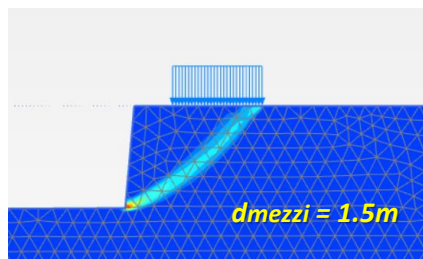
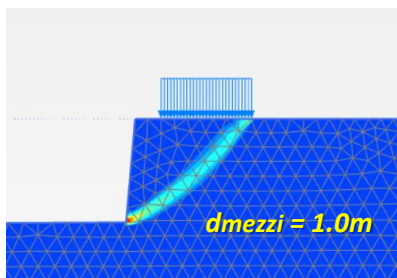
DISTANZA DEI MEZZI DI CANTIERE DAL CIGLIO SCARPATA

Condizion non drenate

$$\tau = c_u$$



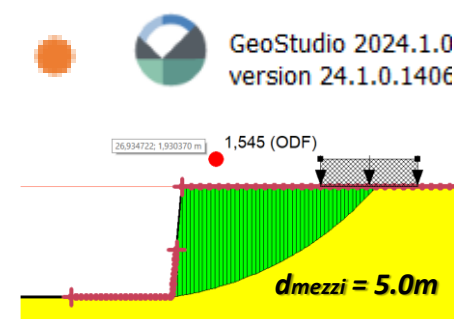
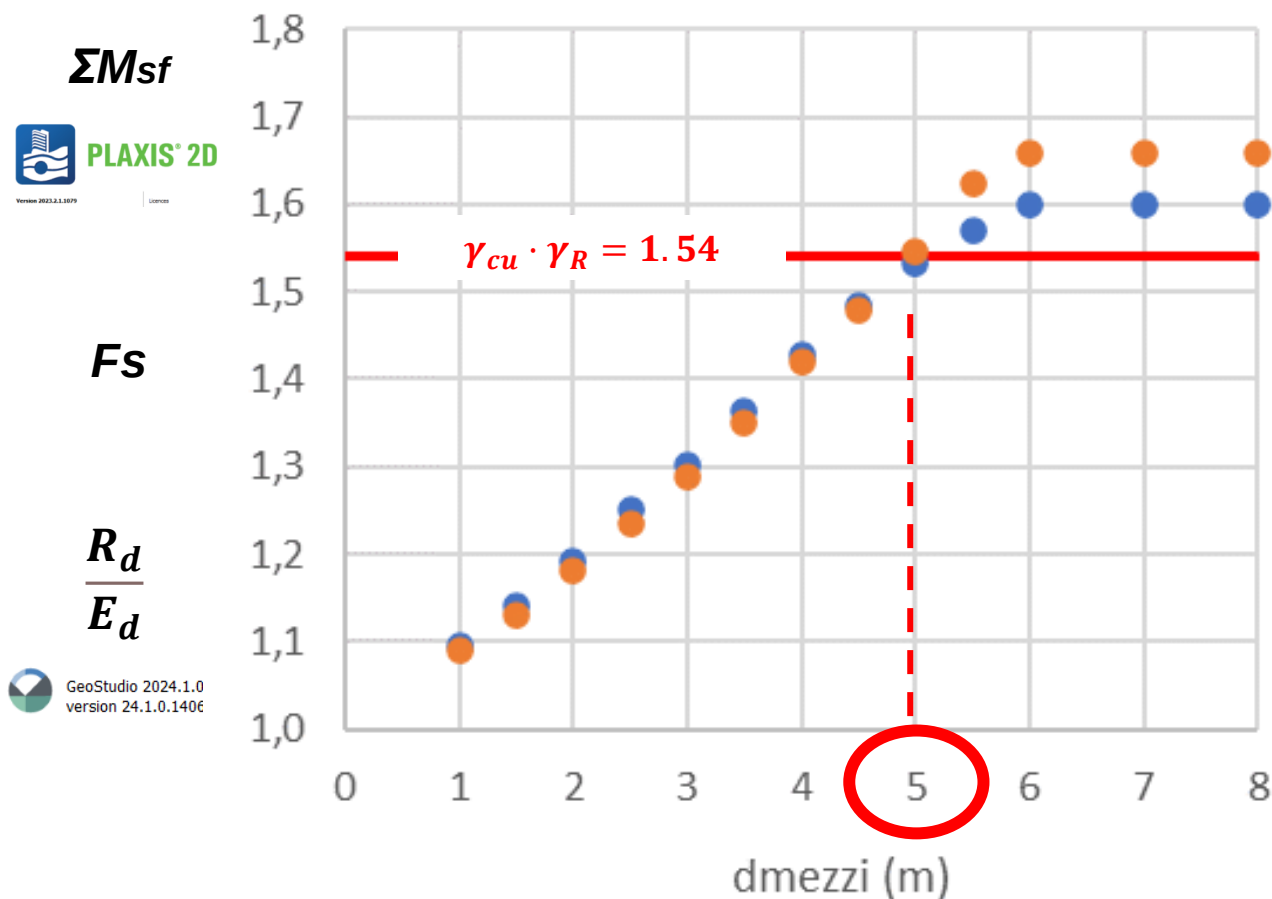
DISTANZA DEI MEZZI DI CANTIERE DAL CIGLIO SCARPATA



Condizion non
drenate

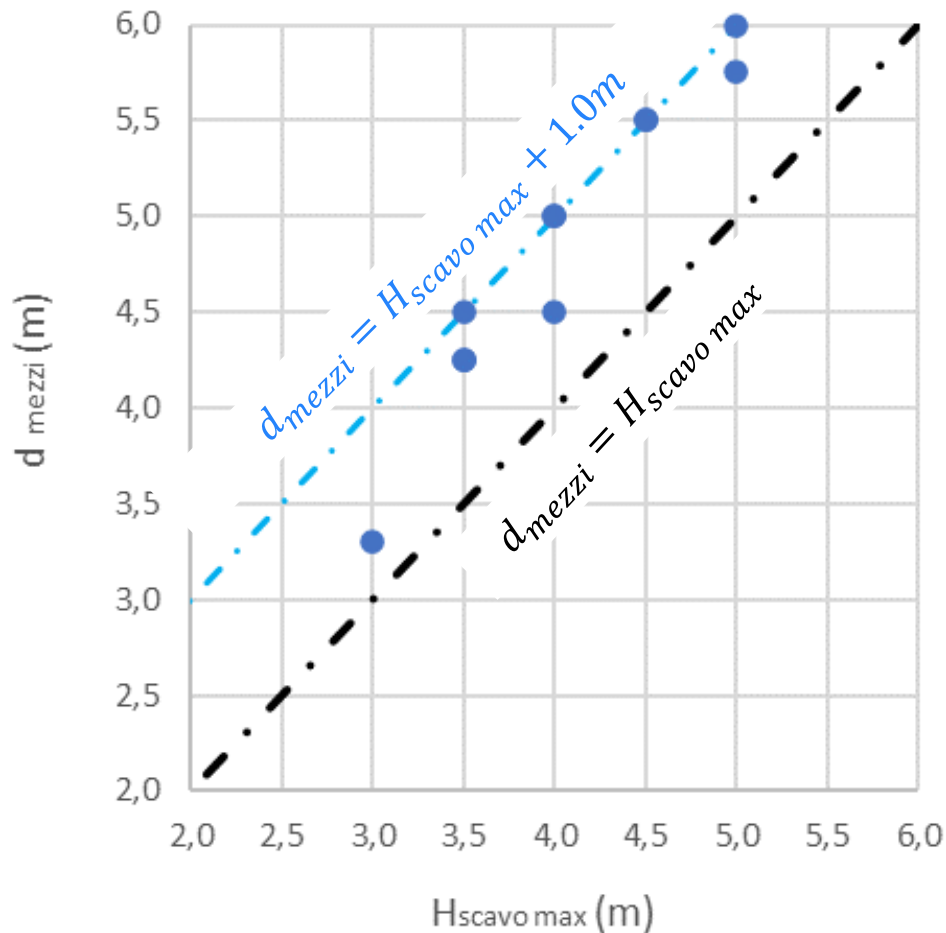
$$\tau = c_u$$

DISTANZA DEI MEZZI DI CANTIERE DAL CIGLIO SCARPATA



DISTANZA DEI MEZZI DI CANTIERE DAL CIGLIO SCARPATA

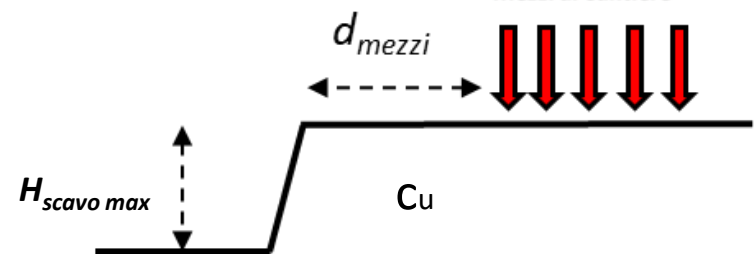
GeoStudio 2024.1.0
version 24.1.0.1406 (



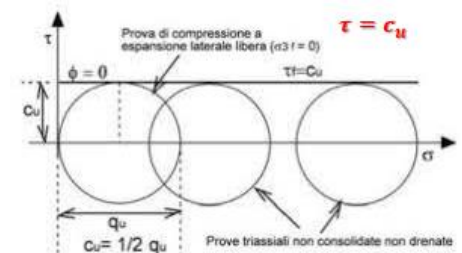
$$d_{mezzi} = H_{scavo\ max} + 1.0m$$



Sovraccarico Accidentale:
Mezzi di Cantiere



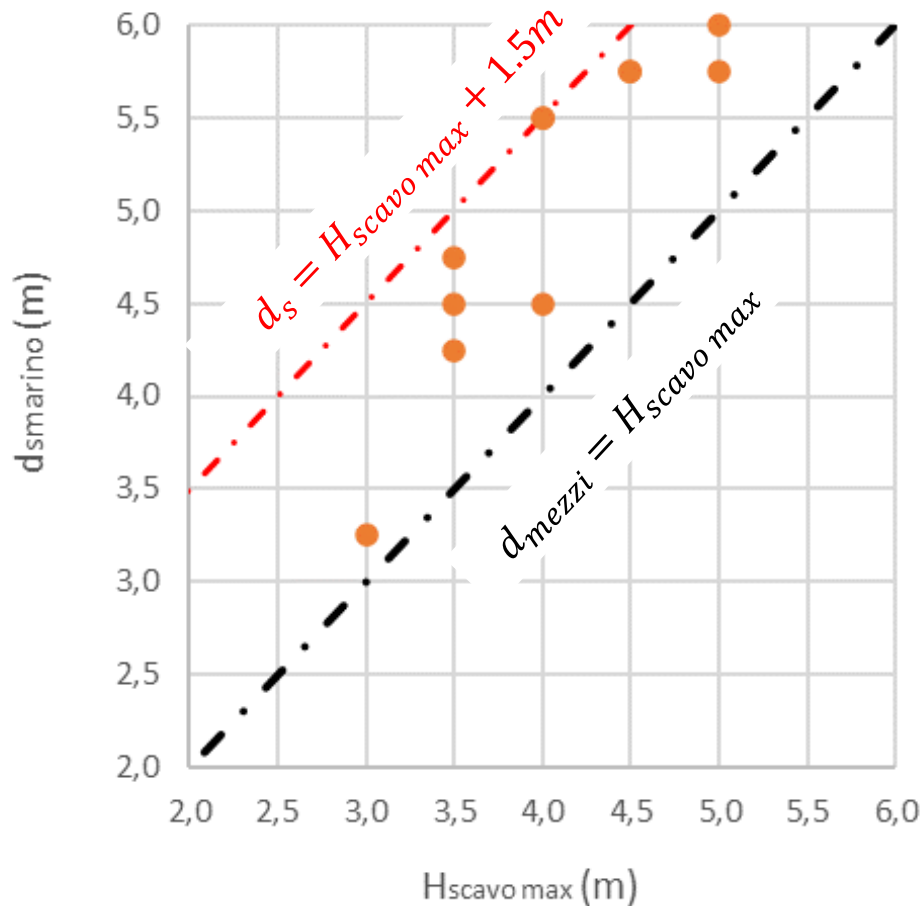
condizioni non drenate



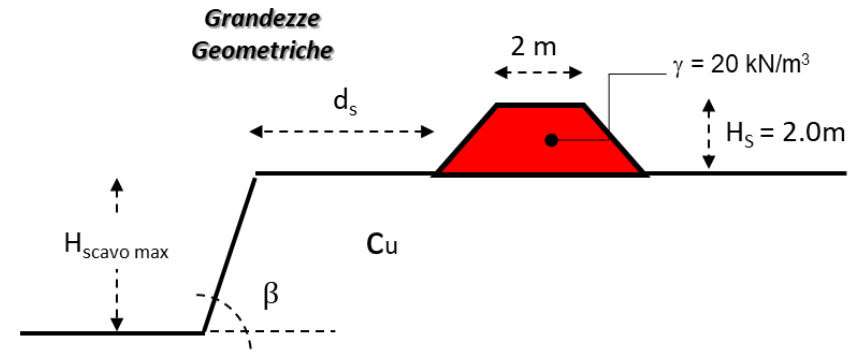
DISTANZA DEI MEZZI DI CANTIERE DAL CIGLIO SCARPATA



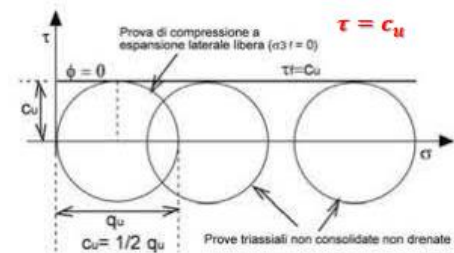
GeoStudio 2024.1.0
version 24.1.0.1406 (



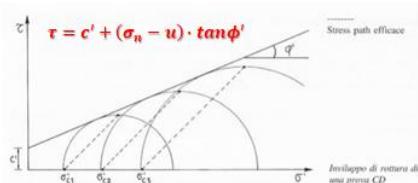
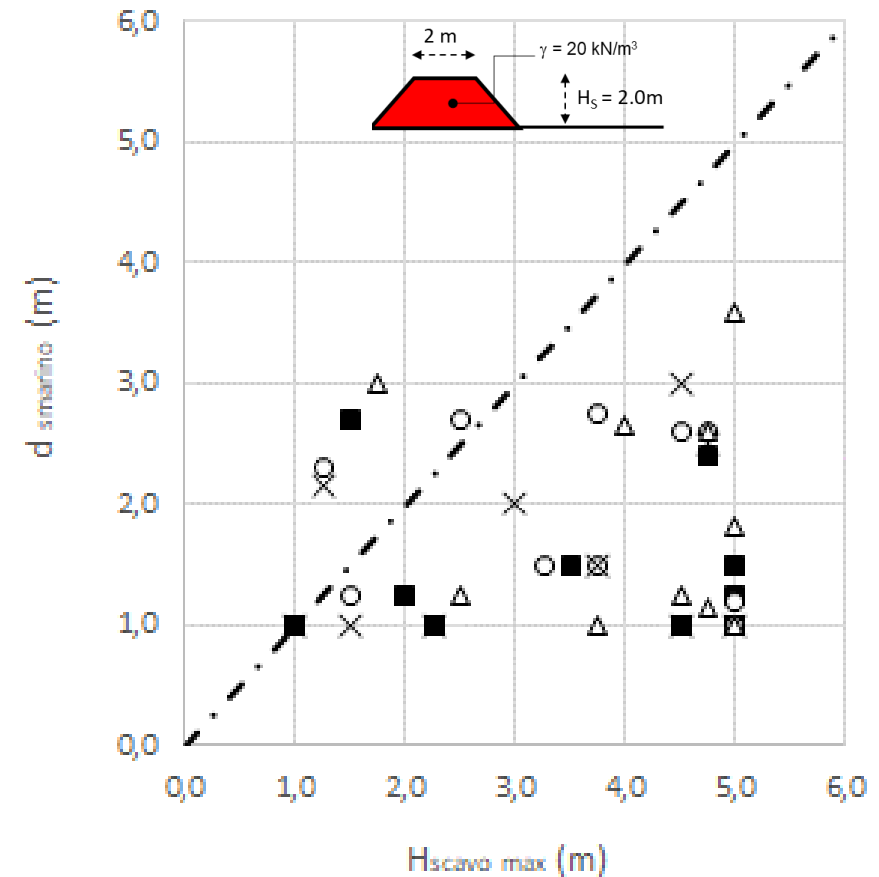
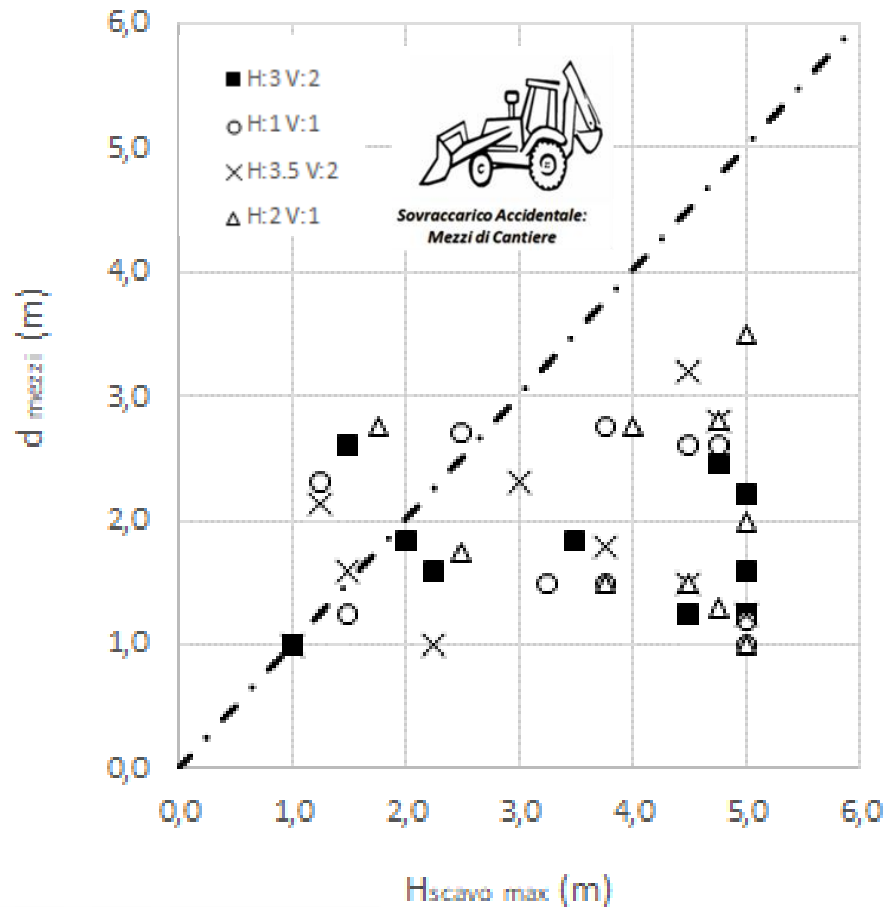
$$d_s = H_{scavo\ max} + 1.5m$$



condizioni non drenate



Condizioni Drenate: distanza mezzi di cantiere e smarino dal ciglio

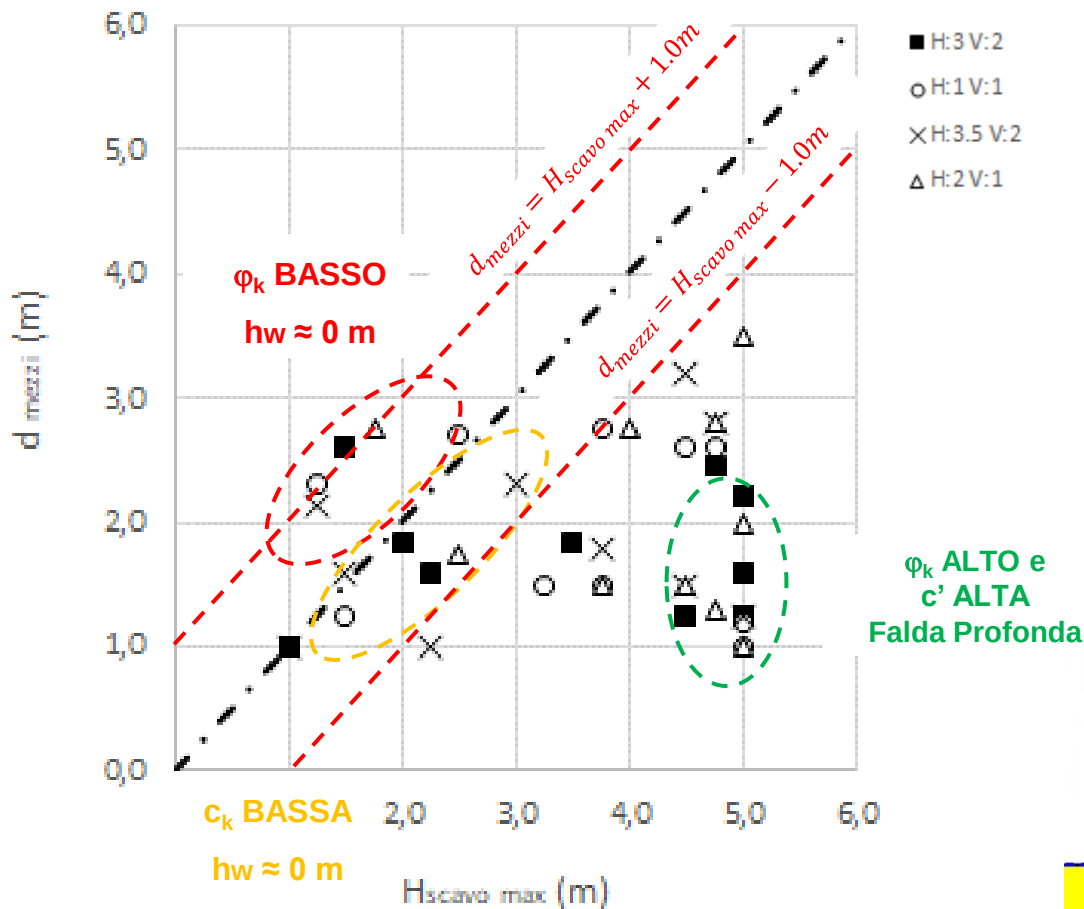


condizioni
drenate

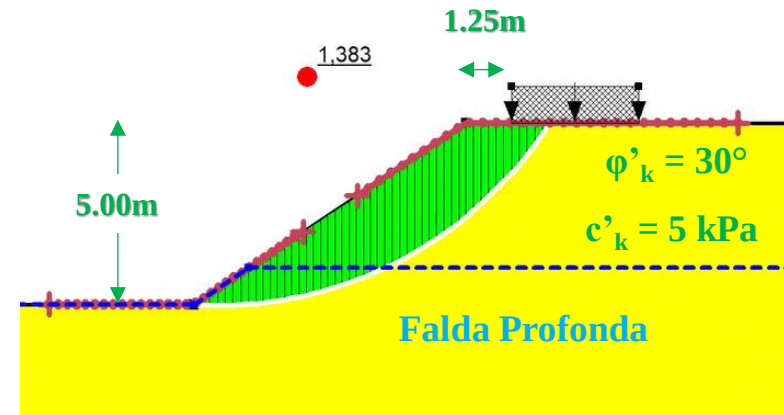
Difficile trovare
una regola

Campione 40 analisi

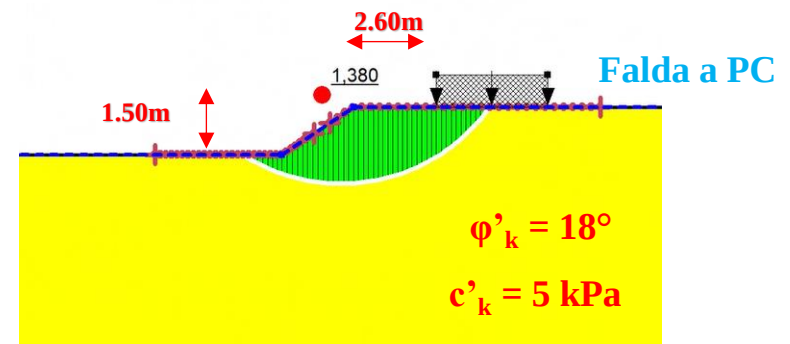
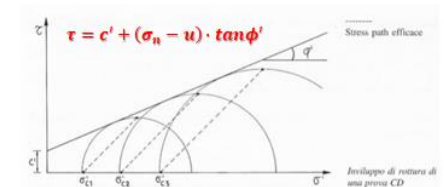
Condizioni Drenate: distanza mezzi di cantiere dal ciglio



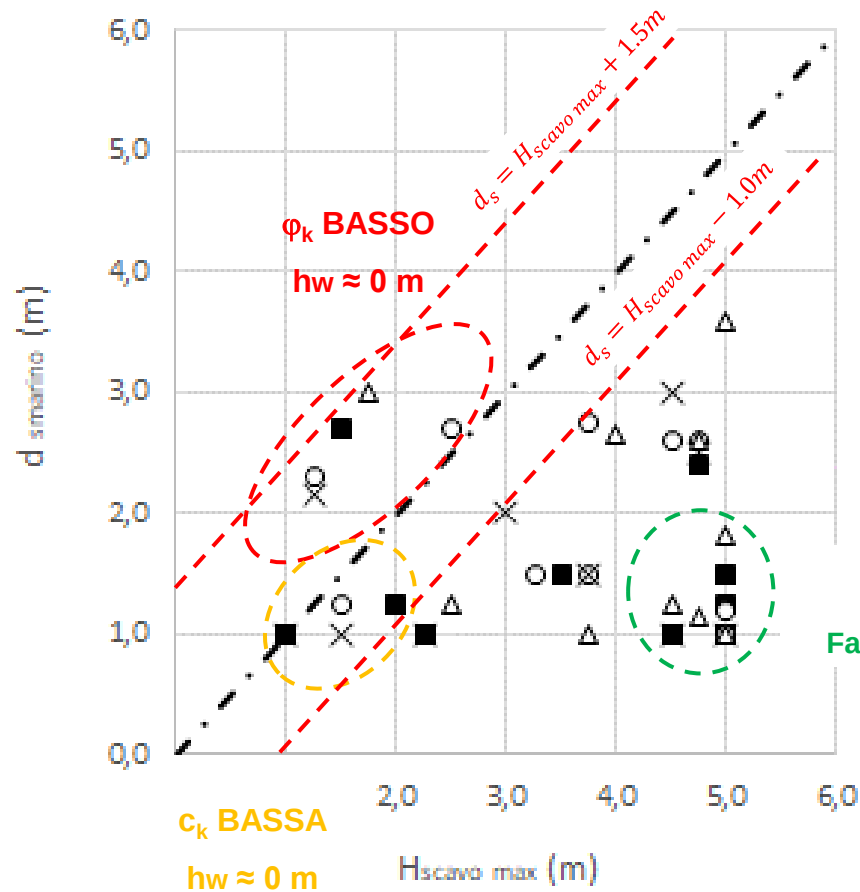
Difficile trovare
una regola



condizioni
drenate

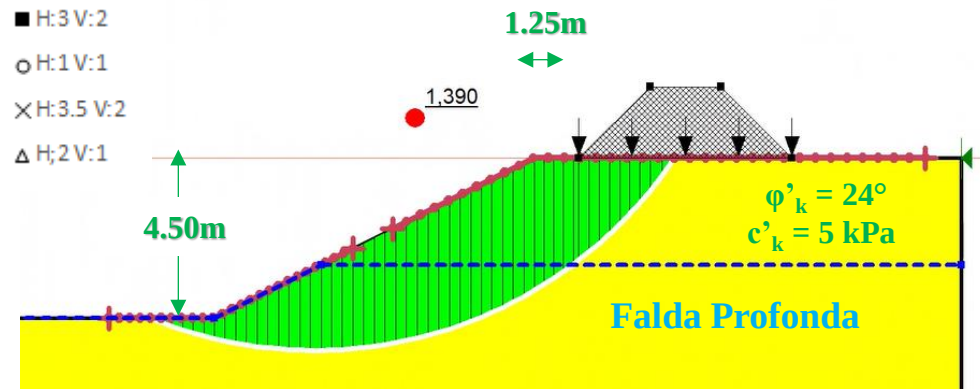


Condizioni Drenate: distanza smarino dal ciglio scarpata

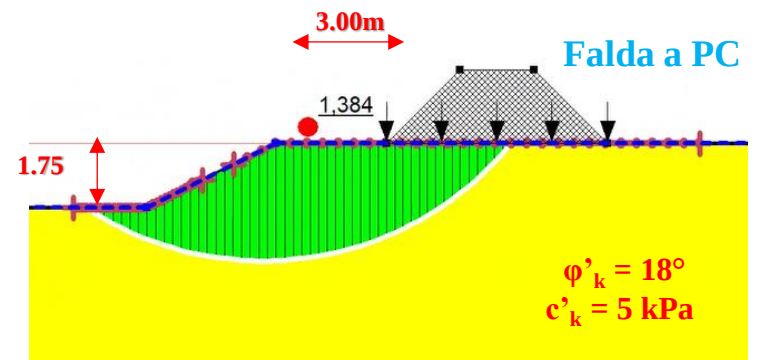
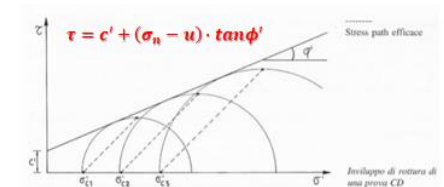


Difficile trovare
una regola

ϕ_k ALTO e
 c' ALTA
Falda Profonda

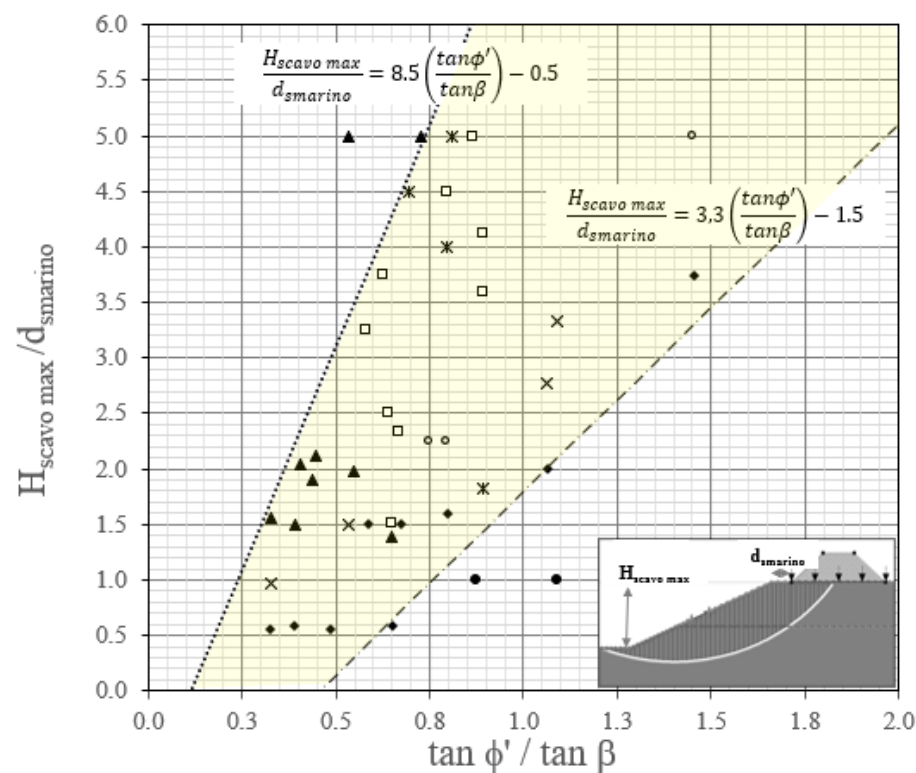
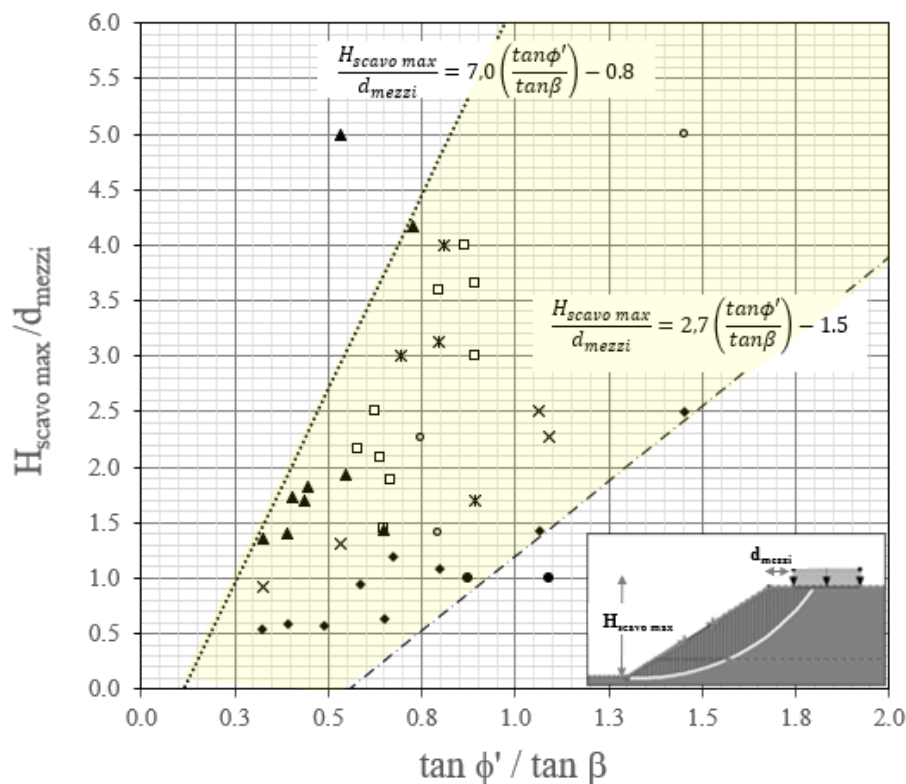


condizioni
drenate



Condizioni Drenate: distanza smarino e mezzi dal ciglio scarpata

- ◆ c'=5 kPa falda piano campagna
- × c'=10 kPa falda piano campagna
- c'=0 kPa falda fondo scavo
- c'=5 kPa falda profondità intermedia
- × c'=10 kPa falda profondità intermedia
- c'=5 kPa falda profonda / fondo scavo
- ▲ c'=10 kPa falda profonda / fondo scavo



*EFFETTI DELL'APPLICAZIONE
DELLA NORMATVA
&
Margini di Sicurezza*

Stima Altezza Critica e Altezza Massima di Progetto

SCAVI BREVE DURATA
in TERRENI COESIVI

ALTEZZA CRITICA

$$c_{uk} = 15 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$H_c = \frac{N_s \cdot c_{uk}}{\gamma} = 3.06 \text{ m}$$

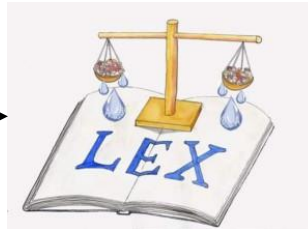
**Riduzione
Altezza di Scavo
 $\Delta H = 1.07 \text{ m}$**

**Approccio 1
Combinazione 2
(A2+M2+R2)**

Coefficiente Parziale di
Sicurezza
 $\gamma_R = 1.10$

Sicurezza

NTC2018



parametri geotecnici di
progetto fattorizzati

$$c_{ud} = c_{uk} / \gamma_{cu}$$

$$\gamma_{cu} = 1.40$$

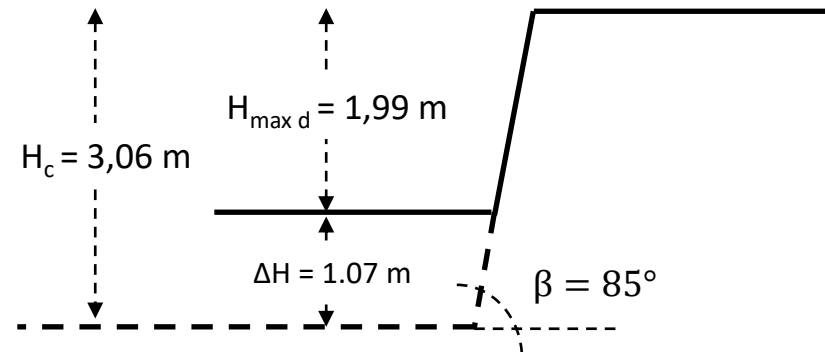
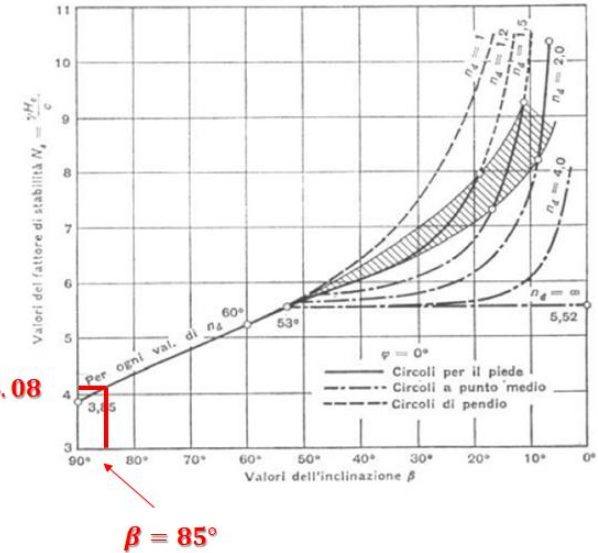
ALTEZZA MASSIMA DI PROGETTO

$$c_{ud} = \frac{c_{uk}}{\gamma_{cu}} = \frac{15 \text{ kPa}}{1.4} = 10.71 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

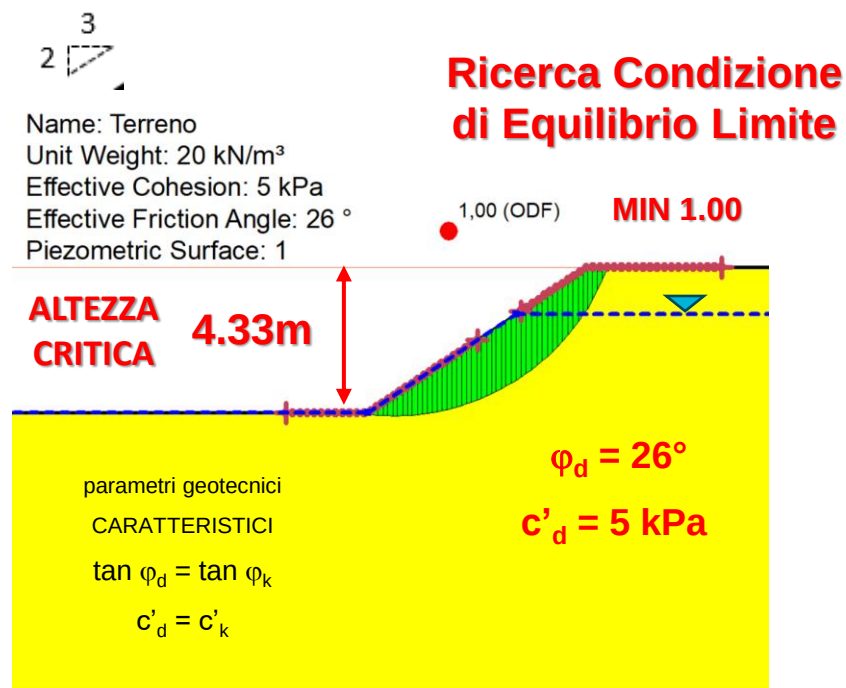
$$H_{scavo \text{ max}} = \frac{\left[\frac{N_s \cdot c_{ud}}{\gamma} \right]}{\gamma_R} = 1.99 \text{ m}$$

$$N_s = 4.08$$



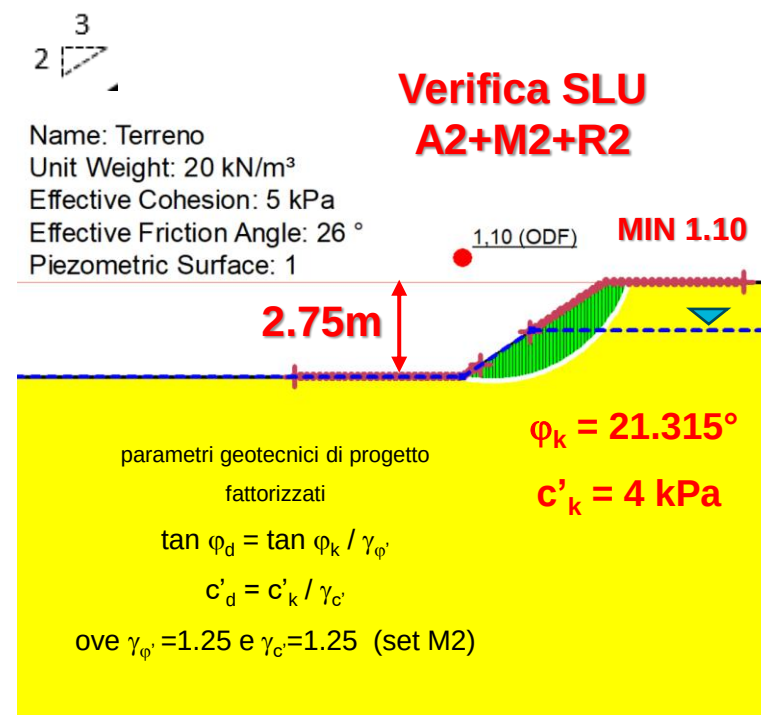
M2 → Parametri Fattorizzati

Condizioni Drenate: Applicazione Normativa NTC2018



Coefficienti parziali per i parametri
geotecnici del terreno

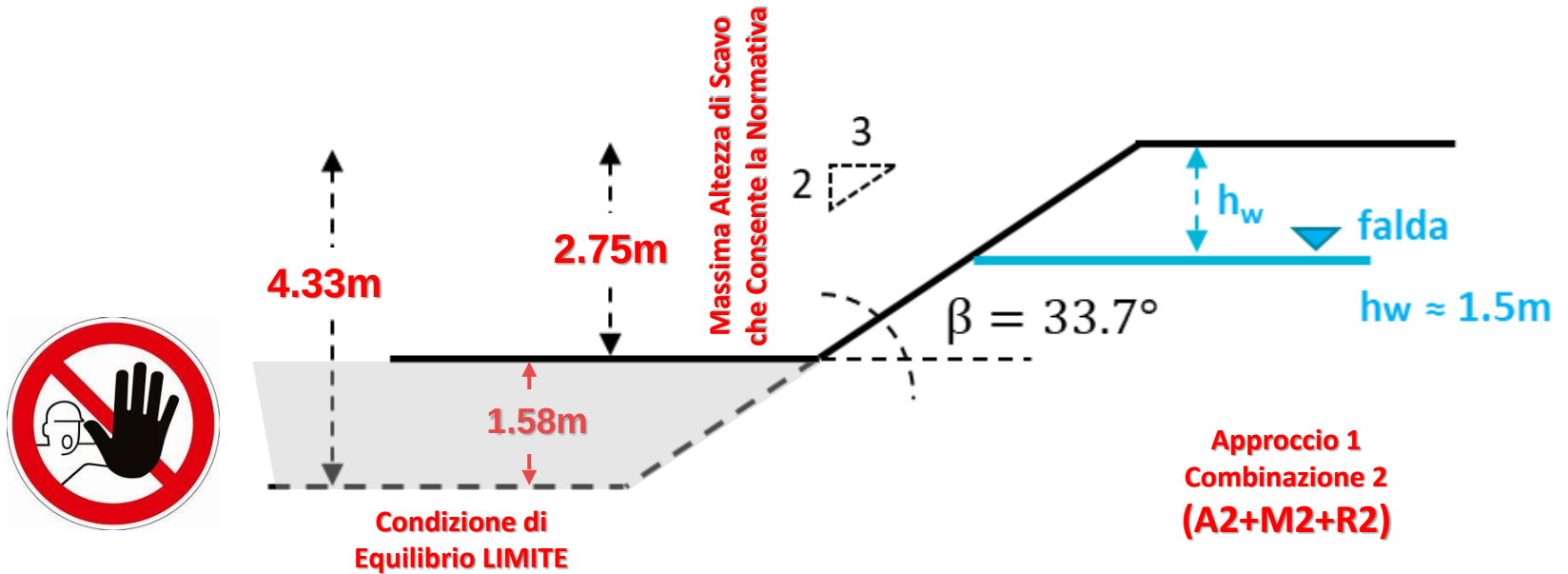
Material Parameters	
Effective Cohesion:	1
Effective Coefficient of Friction:	1
Undrained Strength:	1
Shear Strength (Other Models):	1



Coefficienti parziali per i parametri
geotecnici del terreno

Material Parameters	
Effective Cohesion:	1,25
Effective Coefficient of Friction:	1,25
Undrained Strength:	1,4
Shear Strength (Other Models):	1

Condizioni Drenate: Applicazione Normativa NTC2018



**Approccio 1
Combinazione 2
(A2+M2+R2)**

Coefficiente Parziale di
Sicurezza
 $\gamma_R = 1.10$

M2 $\Rightarrow$ Parametri Fattorizzati

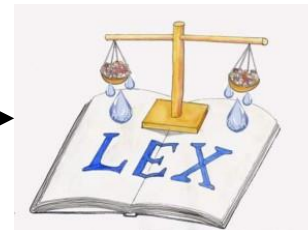
$$\tan \varphi_d = \tan \varphi_k / \gamma_{\varphi'}$$

$$c'_d = c'_k / \gamma_{c'}$$

ove $\gamma_{\varphi'} = 1.25$ e $\gamma_{c'} = 1.25$ (set M2)

Riduzione
Altezza di Scavo
 $\Delta H = 1.58 \text{ m}$

Sicurezza



Condizioni Drenate: Applicazione Normativa NTC2018

Ricerca Condizione di Equilibrio Limite

Name: Terreno
Unit Weight: 20 kN/m³
Effective Cohesion: 5 kPa
Effective Friction Angle: 26 °
Piezometric Surface: 1

MIN 1.00

1.00 (ODF)

2.75m

$\phi_d = 26^\circ$
 $c'_d = 5 \text{ kPa}$

parametri geotecnici
CARATTERISTICI
 $\tan \phi_d = \tan \phi_k$
 $c'_d = c'_k$

$$\beta = 57^\circ$$

Verifica SLU A2+M2+R2

Name: Terreno
Unit Weight: 20 kN/m³
Effective Cohesion: 5 kPa
Effective Friction Angle: 26 °
Piezometric Surface: 1

MIN 1.10

1.10 (ODF)

2.75m

$\phi_k = 21.315^\circ$
 $c'_k = 4 \text{ kPa}$

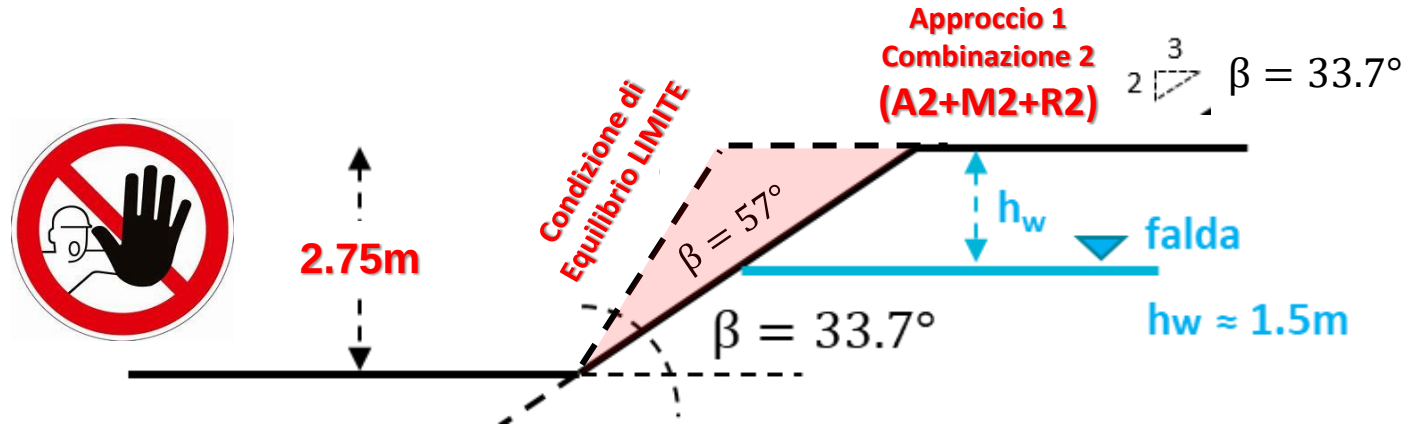
parametri geotecnici di progetto
fattorizzati
 $\tan \phi_d = \tan \phi_k / \gamma_\phi$
 $c'_d = c'_k / \gamma_c$
ove $\gamma_\phi = 1.25$ e $\gamma_c = 1.25$ (set M2)

$$\beta = 33.7^\circ$$

$$\Delta\beta \approx 23^\circ$$

Condizioni Drenate: Applicazione Normativa NTC2018

Name: Terreno
Unit Weight: 20 kN/m³
Effective Cohesion: 5 kPa
Effective Friction Angle: 26 °



Approccio 1
Combinazione 2
(A2+M2+R2)

Approccio 1
Combinazione 2
(A2+M2+R2)

Coefficiente Parziale di
Sicurezza
 $\gamma_R = 1.10$

M2 → Parametri Fattorizzati

$$\tan \varphi_d = \tan \varphi_k / \gamma_{\varphi'}$$

$$c'_d = c'_k / \gamma_{c'}$$

ove $\gamma_{\varphi'} = 1.25$ e $\gamma_{c'} = 1.25$ (set M2)

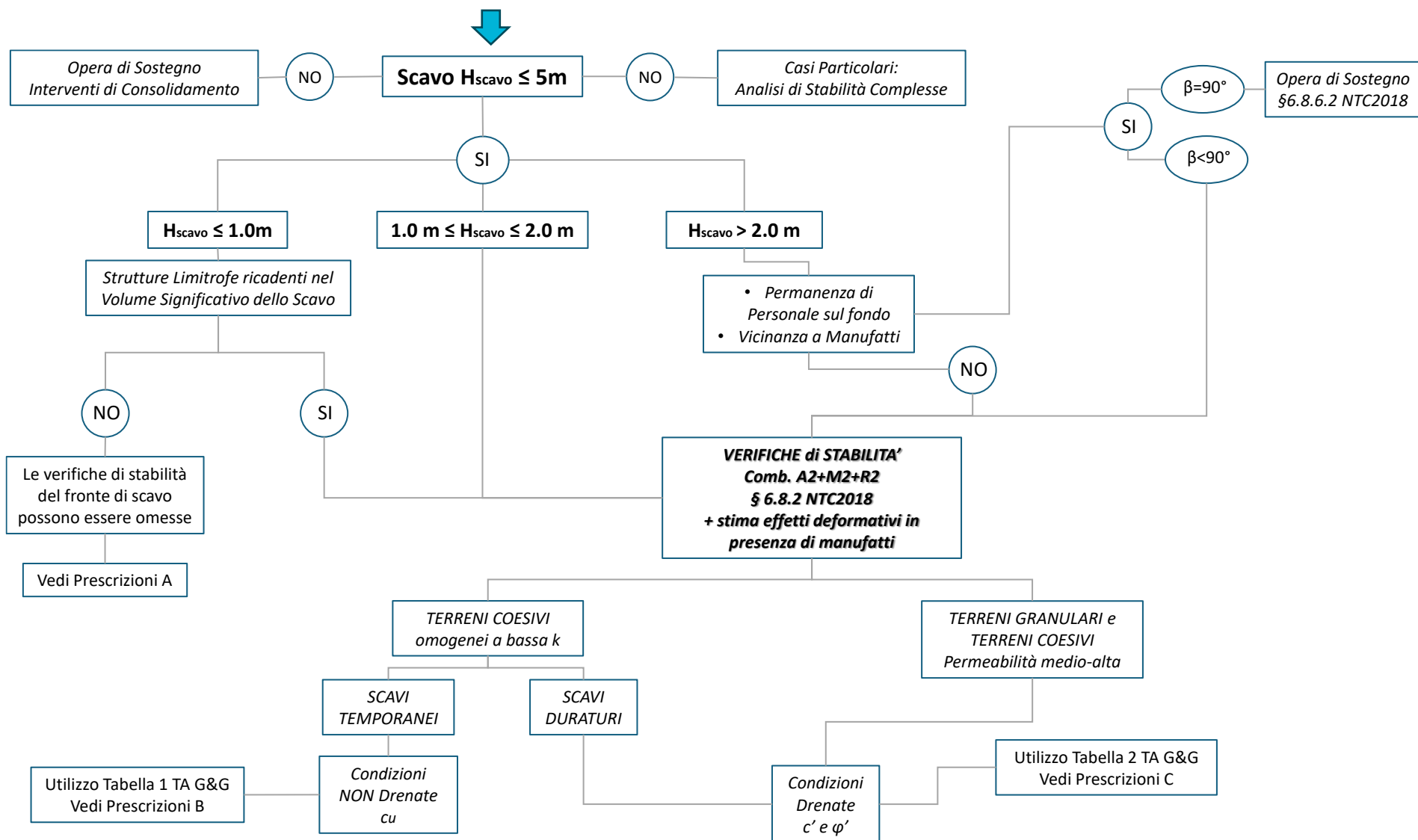
Riduzione
Pendenza del fronte di scavo
 $\Delta\beta \approx 23^\circ$

Sicurezza →



FLUSSO OPERATIVO

SCAVI A CIELO APERTO: SCHEMA DI FLUSSO



CONDIZIONI AL CONTORNO

PRESENZA DI PERSONALE SUL FONDO

SI ☐

NO ☐

PRESENZA DI MANUFATTI IN PROSSIMITA'

SI ☐

NO ☐

GEOMETRIA

ALTEZZA MASSIMA DI SCAVO

H_{max} (m)

PENDENZA

β [°]

GEOTECNICA

FORMAZIONE COINVOLTA

ROCCIA ☐
TERRENO GRANULARE ☐
TERRENO COESIVO ☐

Nome Unità:
xxxxxxxxxx

CONDIZIONE DI CALCOLO

DRENATA ☐

NON DRENATA ☐

COESIONE NON DRENATA

c_u (kPa)

INTERCETTA DI COESIONE

c' (kPa)

ANGOLO D'ATTRITO

Φ' (°)

PESO SPECIFICO

γ (kN/m³)

PERMEABILITA'

k (m/s)

FALDA

d_w (m)

PIEZOMETRICA

Presente ☐

Assente ☐

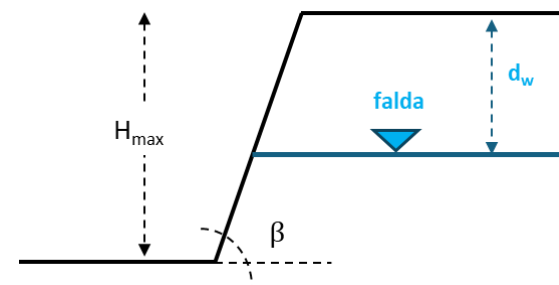
DeWatering

Presente ☐

Assente ☐

SCAVI A CIELO APERTO: TABELLA RIASSUNTIVA

*Tutte informazioni desumibili
dagli elaborati di Progetto.
Sono solo organizzate in forma tabellare per
agevolarne la consultazione*



SCAVI A CIELO APERTO: SCHEMA DI FLUSSO – Prescrizioni A

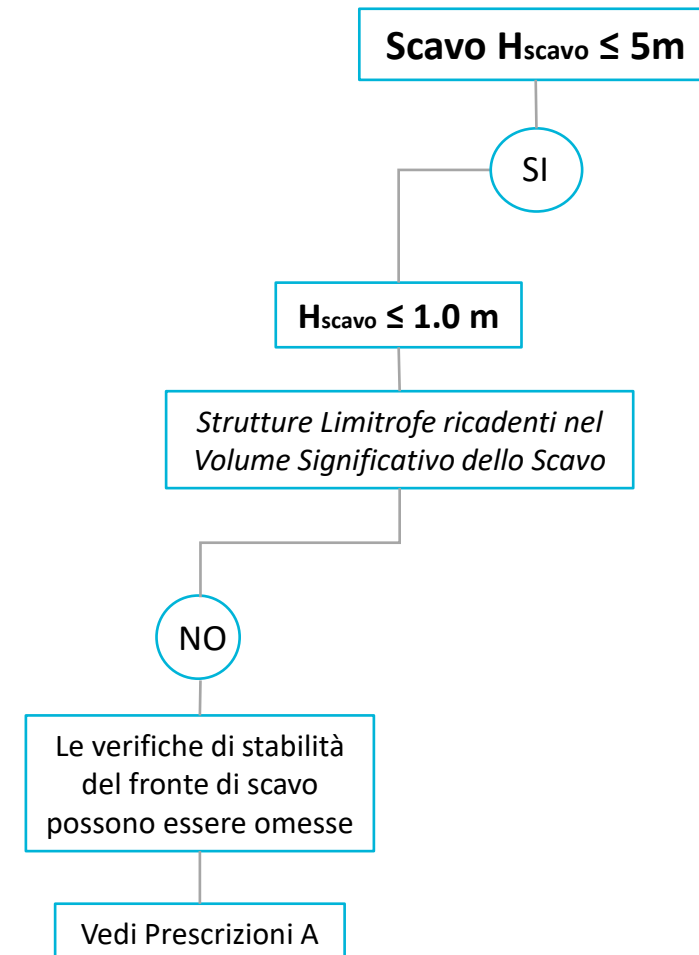
**Salvo specifiche e più dettagliate indicazioni progettuali, si adotta:
SCAVO CON $\beta = 45^\circ$ (SCARPA H:1 V:1)**

All'atto di apertura degli scavi, risulta strettamente necessario verificare:

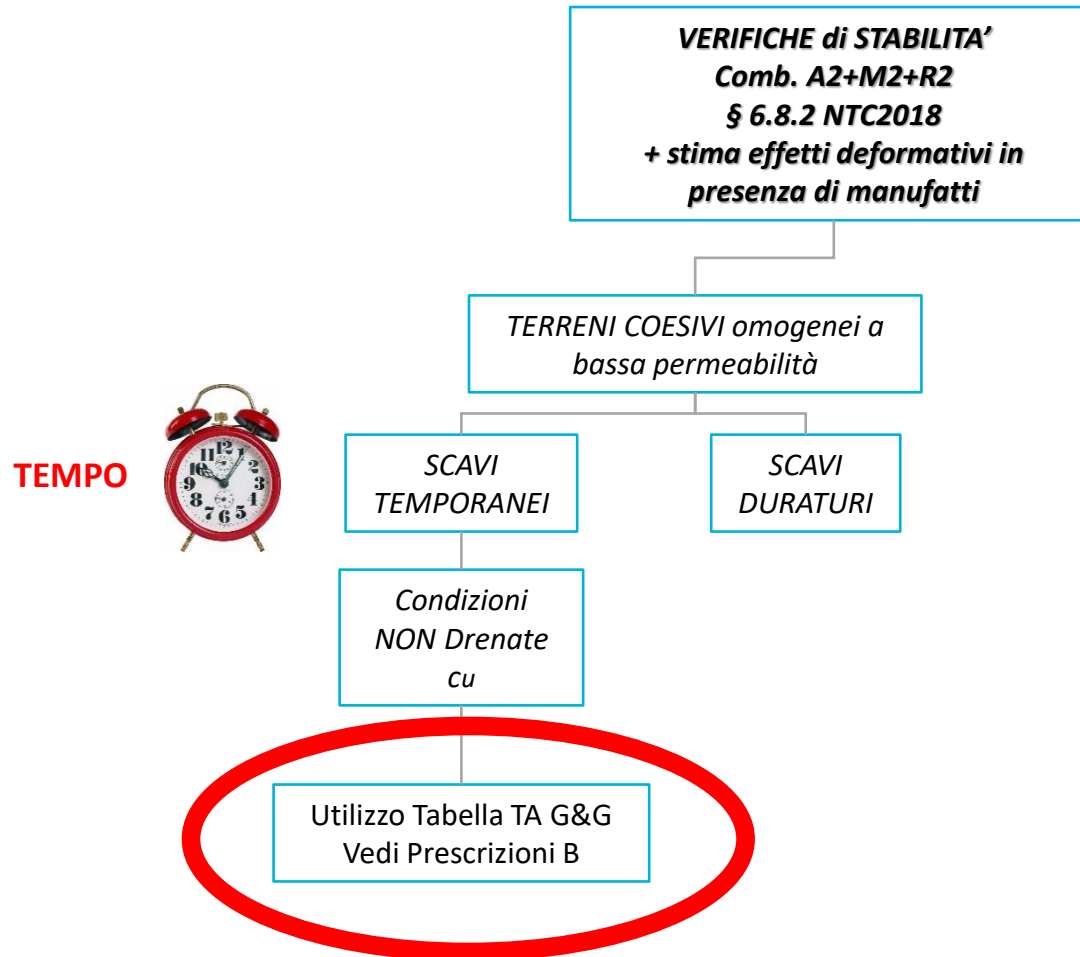
- lo scenario stratigrafico sia caratterizzato da condizioni di uniformità e omogeneità;
- le pendenze dei fronti di scavo previste in progetto siano rispettate;
- Presenza di falda
- controllare tavola Interferenze

AVVERTENZE

- A) RISPETTARE LE INDICAZIONI SULLA DISTANZA DELLO SMARINO DAL CIGLIÒ DELLO SCAVO – tavola 1
- B) RISPETTARE LE INDICAZIONI SULLA DISTANZA DEI MEZZI DI CANTIERE DAL CIGLIÒ DELLO SCAVO – tavola 2
- C) In CASO DI PIOGGE INTENSE E DURATURE VALUTARE LA SOSPENSIONE LAVORI



SCAVI A CIELO APERTO: SCHEMA DI FLUSSO – Prescrizioni B



SCAVI A CIELO APERTO: SCHEMA DI FLUSSO – Prescrizioni B

- *Verificare che la profondità di scavo non sia maggiore dell'altezza massima di calcolo H_{scavo} riportata in RELAZIONE*
- *Verificare che la pendenza delle scarpate non sia maggiore di quella prevista sulle tavole di Progetto*
- *Verificare che le condizioni stratigrafiche e al contorno sia coerenti con la Tabella Riassuntiva*

All'atto di apertura degli scavi, risulta strettamente necessario verificare:

- **Verificare Presenza di fenomeni di filtrazione**
- **Verificare che non vi siano straterelli/lenti di materiali drenanti (sabbie, ghiaie)**
- **Durata dei lavori limitata**
- Assenza di fenomeni locali di instabilità
- Controllare tavola Interferenze

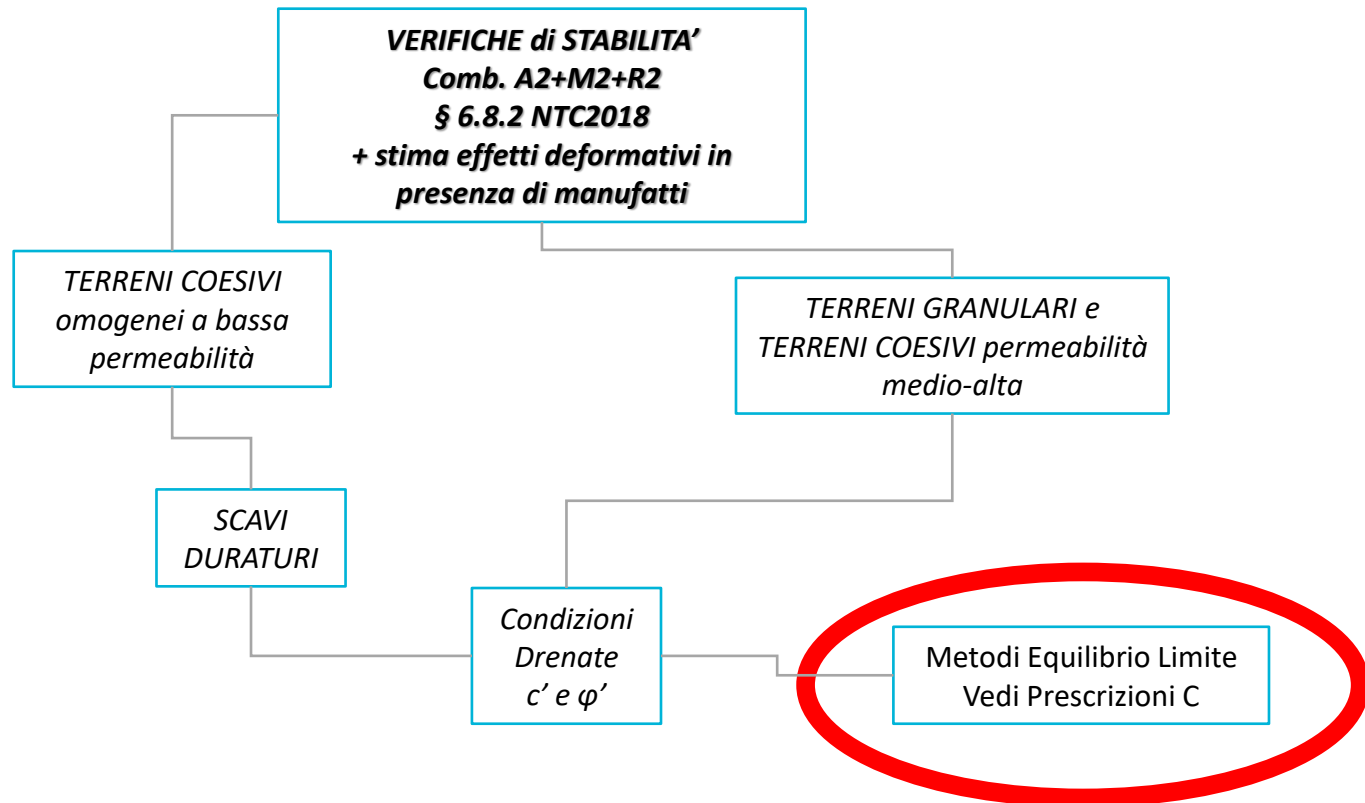
AVVERTENZE

A) RISPETTARE LE INDICAZIONI SULLA DISTANZA DELLO SMARINO DAL CIGLIÒ DELLO SCAVO – tavola 1

B) RISPETTARE LE INDICAZIONI SULLA DISTANZA DEI MEZZI DI CANTIERE DAL CIGLIÒ DELLO SCAVO – tavola 2

C) In CASO DI PIOGGE INTENSE E DURATURE VALUTARE LA SOSPENSIONE LAVORI

SCAVI A CIELO APERTO: SCHEMA DI FLUSSO – Prescrizioni C



SCAVI A CIELO APERTO: SCHEMA DI FLUSSO – Prescrizioni C

- *Verificare che la profondità di scavo non sia maggiore dell'altezza massima di calcolo H_{scavo} riportata in RELAZIONE*
- *Verificare che la pendenza delle scarpate non sia maggiore di quella prevista sulle tavole di Progetto*
- *Verificare che le condizioni stratigrafiche e al contorno sia coerenti con la Tabella Riassuntiva*

All'atto di apertura degli scavi, risulta strettamente necessario verificare:

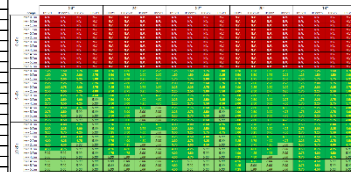
- **Verificare Presenza di fenomeni di filtrazione**
- Assenza di fenomeni locali di instabilità
- Controllare tavola Interferenze

AVVERTENZE

A) RISPETTARE LE INDICAZIONI SULLA DISTANZA DELLO SMARINO DAL CIGLIÒ DELLO SCAVO – tavola 1

B) RISPETTARE LE INDICAZIONI SULLA DISTANZA DEI MEZZI DI CANTIERE DAL CIGLIÒ DELLO SCAVO – tavola 2

C) In CASO DI PIOGGE INTENSE E DURATURE VALUTARE LA SOSPENSIONE LAVORI





GRAZIE per l'ATTENZIONE

*Ing. Livia Adinolfi
Progettista Geotecnico*

*Ing. Piero Bongio
Technical Authority
Direzione Tecnica
Geologia & Geotecnica*

Roma, 20 Maggio 2025