

LE NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI D.M. 14 GENNAIO 2008

*Mantova, 9 Maggio 2008
Aula Magna – Facoltà di Ingegneria
Università degli studi di Mantova*

Progettazione geotecnica

Prof. Paolo Simonini



*Dipartimento IMAGE
Università degli studi di Padova
paolo.simonini@unipd.it*



Argomenti trattati

- ▶ *Breve introduzione all'EC7 parti 1 e 2;*
- ▶ *Presentazione dei principi delle NCT capitolo 6 "Progettazione geotecnica"*
- ▶ *La caratterizzazione geotecnica nelle nuove norme*
- ▶ *Applicazione delle nuove norme ai problemi di instabilità idraulica.*

Attuale quadro normativo per la geotecnica

Precedente: D.M. 11.3.1988

EC7 – Geotechnical design

Part 1: General Rules

Part 2: Ground investigation and testing

Nuove norme tecniche per le costruzioni

D.M. 14.01.2008

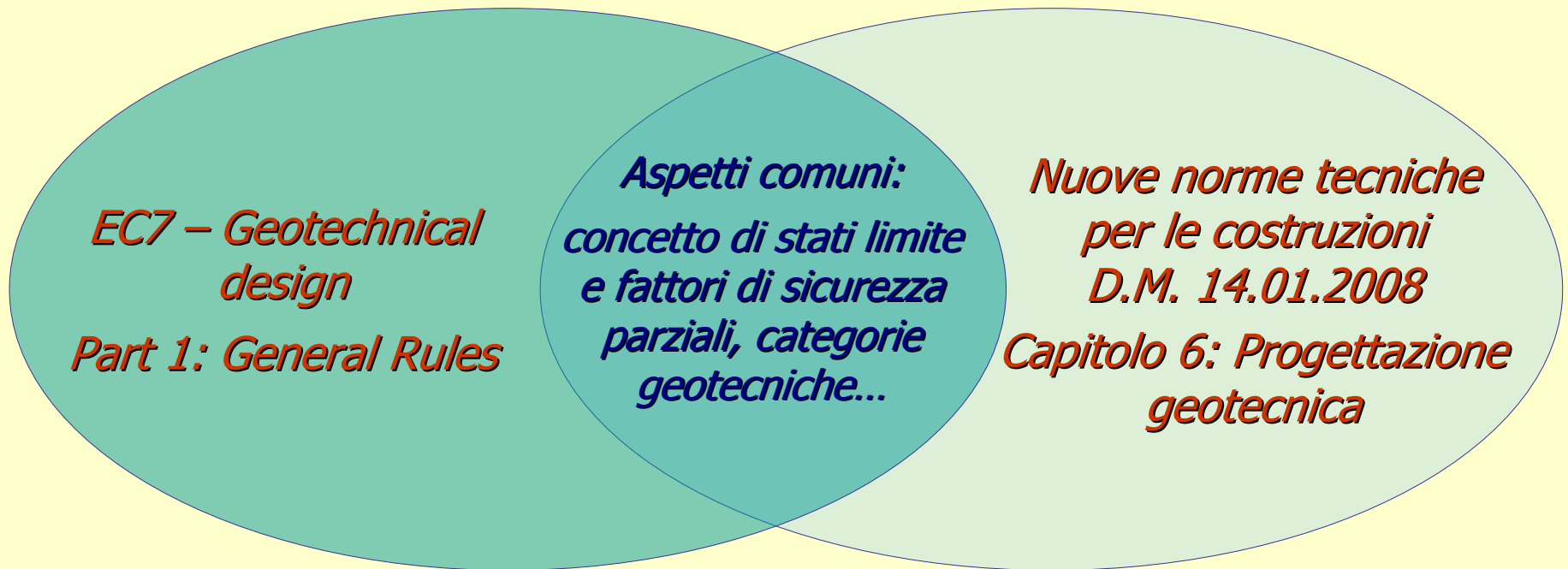
Capitolo 6: Progettazione geotecnica

BOZZA Istruzioni per l'applicazione delle NTC

C.d.M. 07.03.2008

Capitolo C6: Progettazione Geotecnica

EC-7 vs. NTC 2008 cap. 6



EC7 – Parte 1 vs. NTC – Capitolo 6

EC7 – Parte 1

1. Generale
 2. Basi della progettazione geotecnica
 3. Dati geotecnici
 4. Supervisione durante la costruzione, monitoraggio e manutenzione
 5. Colmate, drenaggio, miglioramento e rinforzo
 6. Fondazioni superficiali
 7. Fondazioni su pali
 8. Ancoraggi
 9. Strutture di sostegno
 10. Stabilità idraulica
 11. Stabilità generale
 12. Rilevati
- Appendici A, B, C, D, E F, G, H, J
(A obbligatoria, B-J informative)

NTC – Capitolo 6

- 6.1 Disposizioni Generali
- 6.2 Articolazione del progetto
- 6.3 Stabilità dei pendii naturali
- 6.4 Opere di fondazione
- 6.5 Opere di sostegno
- 6.6 Tiranti di ancoraggio
- 6.7 Opere in sotterraneo
- 6.8 Opere di materiali sciolti e fronti di scavo
- 6.9 Miglioramento e rinforzo
- 6.10 Consolidamento geotecnico di opere esistenti
- 6.11 Discariche controllate di rifiuti e depositi di inerti
- 6.12 Fattibilità di opere su grandi aree

EC7 – Parte 1 - Regole generali

- ❶ La parte 1 fornisce i principi generali per la progettazione con l'approccio agli stati limite, in particolare per il calcolo delle azioni geotecniche sulle strutture e il progetto di elementi strutturali in contatto con il terreno.*
- ❷ Le formule di calcolo sono suggerite solo negli annessi tecnici (i modelli di calcolo in geotecnica differiscono da paese a paese).*
- ❸ L'allegato A è importante perché riporta i fattori di sicurezza parziali per gli stati limiti ultimi (SLU).*

EC7 – Parte 2 - Indagini e prove

1. Generale
2. Pianificazione delle indagini
3. Campionamento delle terre e delle rocce e misure del regime delle pressioni dell'acqua
4. Prove in posto
5. Prove di laboratorio
6. Rapporto di indagine

Allegati A-W

- ❖ *Indica i requisiti essenziali per le attrezzature e le prove, per la preparazione del rapporto di indagine e per la determinazione dei parametri geotecnici di progetto.*
- ❖ *Non concerne la standardizzazione delle prove che è trattata da una specifica commissione (TC341).*

EC7 – Parte 2 - Indagini e prove

- Negli allegati sono illustrati esempi per la determinazione dei parametri (valori derivati = derived values) a partire dalle prove.*
- E' fornito un quadro esauriente dei metodi di interpretazione delle prove in Europa.*
- Alcuni di questi suggerimenti possono servire da guida per utilizzare i modelli di calcolo indicati negli allegati alla Parte 1.*
- La maggior parte dei metodi di calcolo è solo indicata a livello informativo, ma c'è un sostanziale accordo a livello europeo sul loro impiego.*

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6.1.1 OGGETTO DELLE NORME

*Per **progettazione geotecnica** si intende l'insieme di attività che consentono la progettazione e la realizzazione di:*

- costruzioni e parti di costruzioni che interagiscono con il terreno:
 - opere di fondazione;*
 - opere di sostegno;*
 - opere in sotterraneo;*
 - opere e manufatti in materiali sciolti naturali;**
- fronti di scavo*
- miglioramenti e rinforzi dei terreni e degli ammassi rocciosi*
- consolidamenti dei terreni interessanti opere esistenti*

nonché la valutazione:

- della sicurezza dei pendii*
- della fattibilità di opere che hanno riflessi su grandi aree.*

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

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 devono essere esposti in una specifica **relazione geologica**.*
- Le analisi di progetto devono essere basate su **modelli geotecnici** dedotti da **specifiche indagini e prove** che il progettista deve definire*
- Le scelte progettuali, il programma e i risultati delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica ... unitamente ai calcoli ... e alla descrizione delle ... modalità costruttive, devono essere illustrati in una specifica **relazione geotecnica**.*

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6.2 ARTICOLAZIONE DEL PROGETTO

Il progetto delle opere e dei sistemi geotecnici deve articolarsi nelle seguenti fasi:

- 1. caratterizzazione e modellazione geologica del sito;*
- 2. scelta del tipo di opera o d'intervento e programmazione delle indagini geotecniche;*
- 3. caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce e definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo;*
- 4. descrizione delle fasi e delle modalità costruttive;*
- 5. verifiche della sicurezza e delle prestazioni;*
- 6. piani di controllo e monitoraggio.*

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6.2.2 INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

- Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento, interessare un volume significativo di terreno e permettere la definizione del modello geotecnico appropriato per il caso in esame ...*
- **Volume significativo**: parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso.*
- **Modello geotecnico**: schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e delle caratteristiche fisico-meccaniche (modellazione costitutiva) dei geomateriali compresi nel volume significativo ...*
- Il **progettista è responsabile** della definizione del piano delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica.*

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6.2.2 INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

- I **valori caratteristici** delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere ottenuti mediante specifiche **prove di laboratorio su campioni indisturbati** di terreno e attraverso l'interpretazione dei risultati di **prove e misure in sito**.*
- Per valore caratteristico deve intendersi una **stima ragionata e cautelativa** del valore del parametro nello stato limite considerato.*
- Le indagini e le prove devono essere **eseguite e certificate dai laboratori di cui all'art.59 del DPR 6.6.2001, n.380**.*
- Nel caso di interventi di modesta rilevanza in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata sull'esperienza e sulle conoscenze disponibili ...*

Progettazione geotecnica

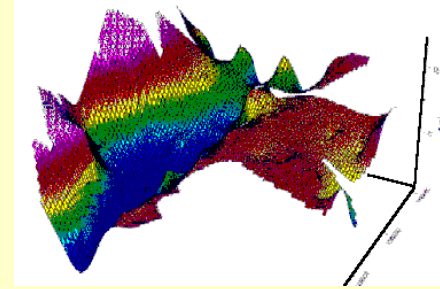
Sondaggi con campionamento



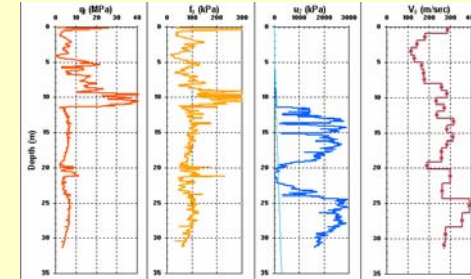
Prove di laboratorio



Indagini geofisiche



Prove in posto



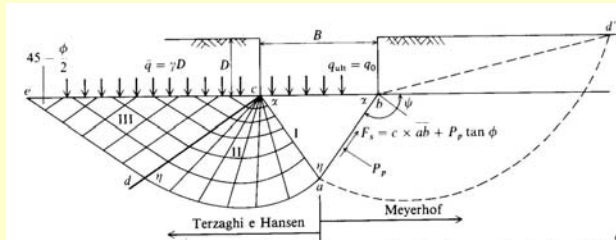
Modello geotecnico

Valutazione dei parametri costitutivi

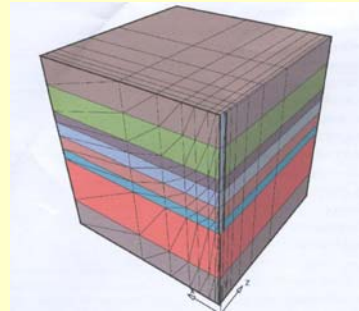
D_{50} , U , γ , e_0 , OCR , K_0 , ν , E , ϕ'
 c' , k , c_v ,

Verifiche della sicurezza e delle prestazioni

Metodi analitici



Metodi numerici



Metodo Osservazionale e/o Monitoraggio

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6.2.3 VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

● *Verifiche di sicurezza agli stati limiti ultimi (SLU) distinti in (NTC §2.6.1 e §6.2.3.2):*

EQU = *perdita di equilibrio di struttura e terreno considerati come corpi rigidi;*

STR = *collasso interno o eccessive deformazioni per la struttura o per gli elementi strutturali;*

GEO = *collasso o eccessive deformazioni del terreno;*

UPL = *sollevamento di struttura e/o terreno per azione delle pressioni interstiziali o di altre forze verticali;*

HYD = *sifonamento o erosione interna del terreno per eccessivo gradiente idraulico.*

● *Analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE)*

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6.2.3 VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

6.2.3.1 Verifiche nei confronti degli stati limiti ultimi (SLU)

$$E_d \leq R_d$$

E_d = Valore di progetto dell'effetto di un'azione

$$E_d = E \left\{ \gamma_F F_{rep}, \frac{X_k}{\gamma_M}, a_d \right\}$$

o

$$E_d = \gamma_E E \left\{ F_{rep}, \frac{X_k}{\gamma_M}, a_d \right\}$$

R_d = Valore di progetto della resistenza

$$R_d = R \left\{ \gamma_F F_{rep}, \frac{X_k}{\gamma_M}, a_d \right\}$$

o

$$R_d = \frac{R}{\gamma_R} \left\{ \gamma_F F_{rep}, X_k, a_d \right\}$$

o

$$R_d = \frac{R}{\gamma_R} \left\{ \gamma_F F_{rep}, \frac{X_k}{\gamma_M}, a_d \right\}$$

a_d = Valore di progetto dei dati geometrici

F_{rep} = Valore rappresentativo di un'azione

X_k = Valore caratteristico di una proprietà del materiale

$\gamma_E, \gamma_F, \gamma_M, \gamma_R$ = Coefficienti di sicurezza parziale per gli effetti delle azioni, per le azioni, per le proprietà del materiale, sulla resistenza

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6.2.3.1.1 AZIONI

- I coefficienti parziali relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I (o Tab. 2.6.I) per gli stati EQU, STR e GEO.*
- Gli stati limiti ultimi idraulici (UPL e HYD) sono trattati separatamente.*
- **Terreno ed acqua costituiscono carichi permanenti** (strutturali) quando contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.*

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

<i>CARICHI</i>	<i>EFFETTO</i>	<i>Coefficiente Parziale</i> γ_F (o γ_E)	<i>EQU</i>	<i>(A1)</i> <i>STR</i>	<i>(A2)</i> <i>GEO</i>
<i>Permanenti</i>	<i>Favorevole</i>	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	<i>Sfavorevole</i>		1,1	1,3	1,0
<i>Permanenti non strutturali</i> ⁽¹⁾	<i>Favorevole</i>	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	<i>Sfavorevole</i>		1,5	1,5	1,3
<i>Variabili</i>	<i>Favorevole</i>	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	<i>Sfavorevole</i>		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6.2.3.1.2 RESISTENZE

Il valore di progetto della resistenza R_d può essere determinato:

- a) in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella Tab. 6.2.II, e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;*
- b) in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R specificati per ciascun tipo di opera;*
- c) sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R specificati per ciascun tipo di opera.*

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (come EC7)

<i>PARAMETRO</i>	<i>GRANDEZZA cui APPLICARE COEFF. PARZ.</i>	<i>COEFFICIENTE PARZIALE γ_M</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_γ	1,0	1,0

Per le rocce il coefficiente parziale γ_{qu} da applicare al valore caratteristico della resistenza a compressione q_u è pari a 1,6.

Nella valutazione della resistenza caratteristica degli ammassi rocciosi e dei terreni a struttura complessa si deve tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità naturali.

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6.2.3.2 Verifica degli stati limite ultimi idraulici

Le opere geotecniche devono essere verificate nei confronti dei possibili stati limite:

- di sollevamento (UPL) di opere interrato (parcheggi sotterranei, gallerie metropolitane, ecc,) o di opere marittime, per effetto dell'azione verticale dell'acqua interstiziale.*
- di sifonamento (HYD), corrispondente alla condizione di annullamento delle tensioni effettive nel terreno per effetto di un moto di filtrazione diretto dal basso verso l'alto.*

In entrambe le verifiche, la valutazione del regime delle pressioni interstiziali deve essere fatta assumendo le condizioni più sfavorevoli e considerando i possibili effetti delle successioni stratigrafiche ...

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

Tabella 6.2.III+IV – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche stati UPL e HYD.

<i>CARICHI</i>	<i>EFFETTO</i>	<i>Coefficiente Parziale</i> γ_F (o γ_E)	<i>UPL</i>	<i>HYD</i>
<i>Permanenti</i>	<i>Favorevole</i>	γ_{G1}	<i>0,9</i>	<i>0,9</i>
	<i>Sfavorevole</i>		<i>1,1</i>	<i>1,3</i>
<i>Permanenti non strutturali</i> ⁽¹⁾	<i>Favorevole</i>	γ_{G2}	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>
	<i>Sfavorevole</i>		<i>1,5</i>	<i>1,5</i>
<i>Variabili</i>	<i>Favorevole</i>	γ_{Qj}	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>
	<i>Sfavorevole</i>		<i>1,5</i>	<i>1,5</i>

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

STATO LIMITE DI SOLLEVAMENTO (UPL)

Il valore di progetto dell'azione instabilizzante $V_{inst,d}$ combinazione di azioni permanenti $G_{inst,d}$ e variabili $Q_{inst,d}$ deve risultare non maggiore della combinazione dei valori di progetto delle azioni stabilizzanti $G_{stb,d}$ e delle resistenze R_d :

$$V_{inst,d} = G_{inst,d} + Q_{inst,d} \leq G_{stb,d} + R_d$$

I coefficienti parziali sulle azioni per UPL sono indicati in Tab. 6.2.III, e sono da associare, in modo opportuno, con quelli relativi ai parametri geotecnici (M2) e alle resistenze (R).

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

STATO LIMITE DI SIFONAMENTO (HYD)

Deve essere verificato che:

$$U_{inst,d} \leq \sigma_{stb,d}$$

con:

$U_{inst,d}$ = valore di progetto della pressione interstiziale instabilizzante

$\sigma_{stb,d}$ = valore di progetto della tensione totale stabilizzante

In Tab. 6.2.IV i sono riportati i coefficienti parziali minimi per il calcolo dei valori di progetto, da applicare in presenza di adeguate conoscenze sul regime delle pressioni interstiziali.

Valori superiori possono essere giustificati tenendo presente della pericolosità del fenomeno in relazione alla natura del terreno nonché dei possibili effetti della condizione di collasso.

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6.2.3.3 Verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE)

- Per le verifiche SLE, il progetto deve esplicitare le prescrizioni relative agli spostamenti compatibili e le prestazioni attese per l'opera stessa. Il grado di approfondimento dell'analisi di interazione terreno-struttura è funzione dell'importanza dell'opera.*
- Per ciascun stato limite di esercizio deve essere:*

$$E_d \leq C_d$$

dove:

E_d = valore di progetto dell'effetto delle azioni

C_d = valore limite prescritto dell'effetto delle azioni.

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6.2.4 IMPIEGO DEL METODO OSSERVAZIONALE

La progettazione può essere basata sul metodo osservazionale nei casi in cui, a causa della particolare complessità della situazione geotecnica e dell'importanza ed impegno dell'opera, dopo estese ed approfondite indagini permangano documentate ragioni di incertezza risolvibili solo in fase costruttiva.

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6.2.4 IMPIEGO DEL METODO OSSERVAZIONALE

Il metodo prevede il seguente procedimento:

- Individuare i limiti di accettabilità dei valori di alcune grandezze rappresentative del comportamento del complesso manufatto-terreno;*
- Dimostrare che la soluzione prescelta rispetta tali limiti;*
- Prevedere soluzioni alternative, congruenti con il progetto, definendo i relativi oneri economici;*
- Programmare un adeguato sistema di monitoraggio in corso d'opera, con i relativi piani di controllo, tale da consentire tempestivamente l'adozione di una delle soluzioni alternative previste, qualora siano raggiunti i limiti indicati.*

NTC – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6.2.5 MONITORAGGIO DEL COMPLESSO OPERA-TERRENO

- Il monitoraggio consiste nell'installazione di un'appropriata strumentazione e nella misura di grandezze fisiche significative - quali spostamenti, tensioni, forze e pressioni interstiziali - prima, durante e/o dopo la costruzione del manufatto.*
- Serve a verificare la corrispondenza tra ipotesi progettuali e comportamenti osservati e controllare la funzionalità dei manufatti nel tempo. Nell'ambito del metodo osservazionale, serve a confermare la validità della soluzione progettuale adottata o, in caso contrario, a individuare la più idonea tra le altre soluzioni previste in progetto.*
- Il programma di monitoraggio deve essere definito nella relazione geotecnica.*

6.3-6.12: Prescrizioni per le singole opere

6.3 Stabilità dei pendii naturali

6.4 Opere di fondazione

6.5 Opere di sostegno

6.6 Tiranti di ancoraggio

6.7 Opere in sotterraneo

6.8 Opere di materiali sciolti e fronti di scavo

6.9 Miglioramento e rinforzo

6.10 Consolidamento geotecnico di opere esistenti

6.11 Discariche controllate di rifiuti e depositi di inerti

6.12 Fattibilità di opere su grandi aree

***Per le verifiche sono considerati gli Approcci 1 e 2.
La loro applicazione è funzione del tipo di opera e di
verifica considerata.***

Definizione del
MODELLO GEOTECNICO
e dei
PARAMETRI COSTITUTIVI

Modello geotecnico e Parametri costitutivi

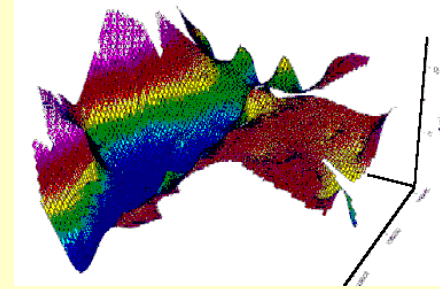
Sondaggi con campionamento



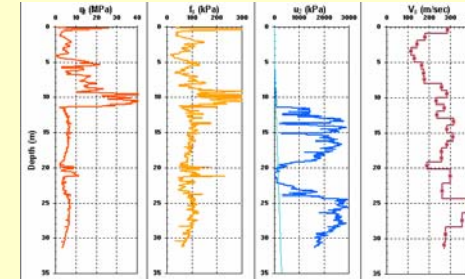
Prove di laboratorio



Indagini geofisiche



Prove in posto



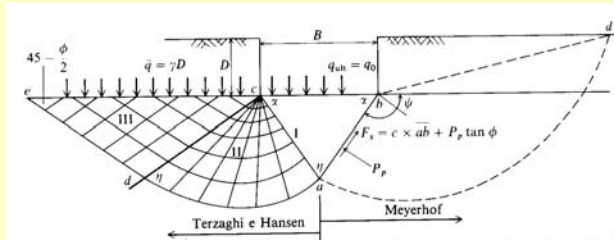
Modello geotecnico

Valutazione dei parametri costitutivi

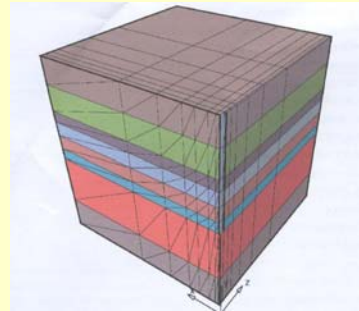
D_{50} , U , γ , e_0 , OCR , K_0
 OCR , ν , E , ϕ' , c' , k , c_v ,

Verifiche della sicurezza e delle prestazioni

Metodi analitici



Metodi numerici



Metodo Osservazionale e/o Monitoraggio

Istruzioni per l'applicazione delle NTC

Tabella C6.2.I Mezzi di indagine e prove geotecniche in sito

Proprietà fisiche e meccaniche	Terreni a grana fine	Prove penetrometriche
		Prove scissometriche
		Prove dilatometriche
		Prove pressiometriche
		Prove di carico su piastra
		Prove di laboratorio
	Terreni a grana grossa	Prove penetrometriche
		Prove di carico su piastra
		Prove di laboratorio
	Rocce	Prove speciali in sito (prove di taglio)
Prove di carico su piastra		
Prove di laboratorio		
Pressione interstiziale	Terreni di qualsiasi tipo	Piezometri
Permeabilità	Terreni a grana fine	Misure piezometriche
		Prove di laboratorio
	Terreni a grana grossa	Prove idrauliche in fori di sondaggio
		Prove di emungimento da pozzi

continua..

Istruzioni per l'applicazione delle NTC

Tabella C6.2.I Mezzi di indagine e prove geotecniche in sito

Verifica di procedimenti tecnologici	Palificate	Prove di carico su pali singoli
		Prove di carico su gruppi di pali
	Impermeabilizzazioni	Prove di permeabilità in sito e misura di altezza piezometrica prima e dopo l'intervento
		Consolidamenti
	Prove di laboratorio	
Indagini di tipo geofisico	In foro con strumentazione in profondità	Cross hole
		Down hole
		Con "suspension logger"
	Senza esecuzioni di fori, con strumentazione in profondità	Penetrometro sismico
		Dilatometro sismico
	Con strumentazione in superficie	Prove SASW
		Prove di rifrazione sismica
Prove di riflessione sismica		

Caratteristiche geotecniche

- *Caratteristiche del deposito:* Morfologia, genesi, profilo stratigrafico, struttura, condizioni ambientali, regime delle pressioni interstiziali ecc.
- *Caratteristiche delle fasi:* Dimensioni, forma, mineralogia e peso specifico delle particelle, chimica del fluido/gas
- *Caratteristiche di stato:* γ , e_0 (n), w_0 , S_r , D_R , K_0 , OCR, ξ_0
- *Caratteristiche meccaniche:* G_0 , ν' , E , E_u , C_c (λ), C_r (κ), C_α , ϕ'_{cv} (M_c), $\phi'_{p'}$, ϕ'_{res} , c' , ψ , c_u
- *Caratteristiche idrauliche:* k , c_v
- *Caratteristiche sismiche:* V_p , V_s , D

EC7–Parte 2: Definizione dei valori derivati

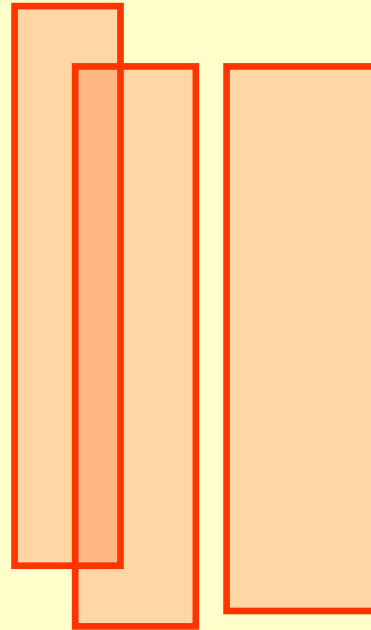
"Derived values of geotechnical parameters and/or coefficients are obtained from test results by theory, correlation or empiricism."

Indagini in posto



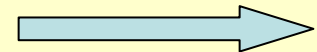
+

Sismica a riflessione,
a rifrazione,
tomografia sismica,
georadar

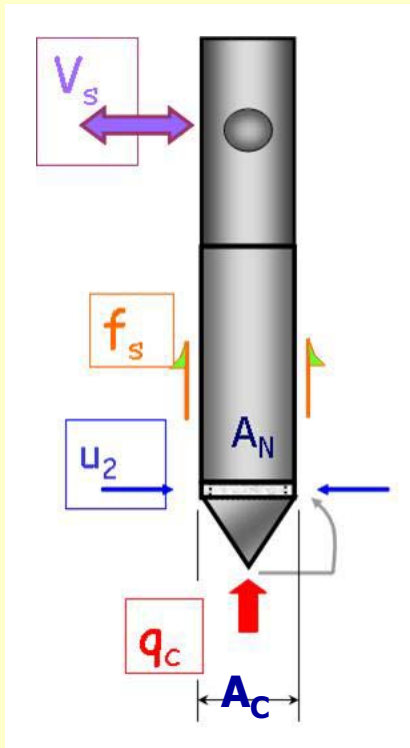


(Mayne, 2006)

Esempio CPT- CPTu - SCPTu



CPT-CPTu-SCPTu



Misure dirette
 $q_c, f_s, (u_2), (V_s)$

Grandezze calcolate
 $q_t = q_c + u_2(1 - A_N/A_C)$
 $R_f = 100 f_s / (q_t - \sigma_{vo})$
 $NCR_v = (q_t - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo}$
 $B_q = \Delta u_2 / (q_t - \sigma_{vo})$

Impiego diretto

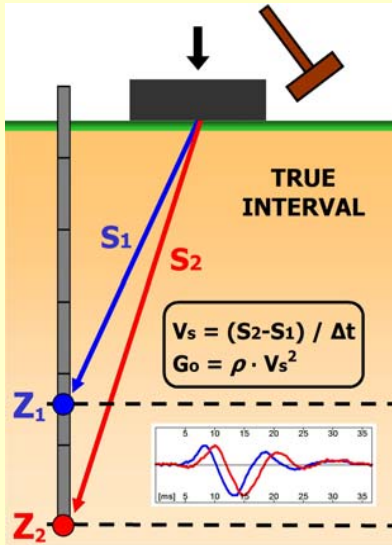
Impiego indiretto

Basato su esperienze in vera grandezza o modellazione fisica

Basato su interpretazioni fisico-meccaniche, empiriche, semiempiriche

Criteri di progetto
funzione delle grandezze misurate
(Fondazioni superficiali e profonde, liquefazione etc.)

Parametri di progetto
funzione delle grandezze misurate
(Analisi statistico - probabilistica)



EC7- Parte 2: parametri derivabili da CPT

Informazioni	CPT/CPTU
Tipo di terreno	C2 F2
Spessore degli strati	C1 F1
Livello di falda	C2
Pressione neutrale	C2 F2
Granulometria	-
Contenuto in acqua	-
Limiti di Atterberg	-
Densità	C2 F2
Resistenza al taglio	C2 F1
Compressibilità	C1 F2
Permeabilità	C3 F2

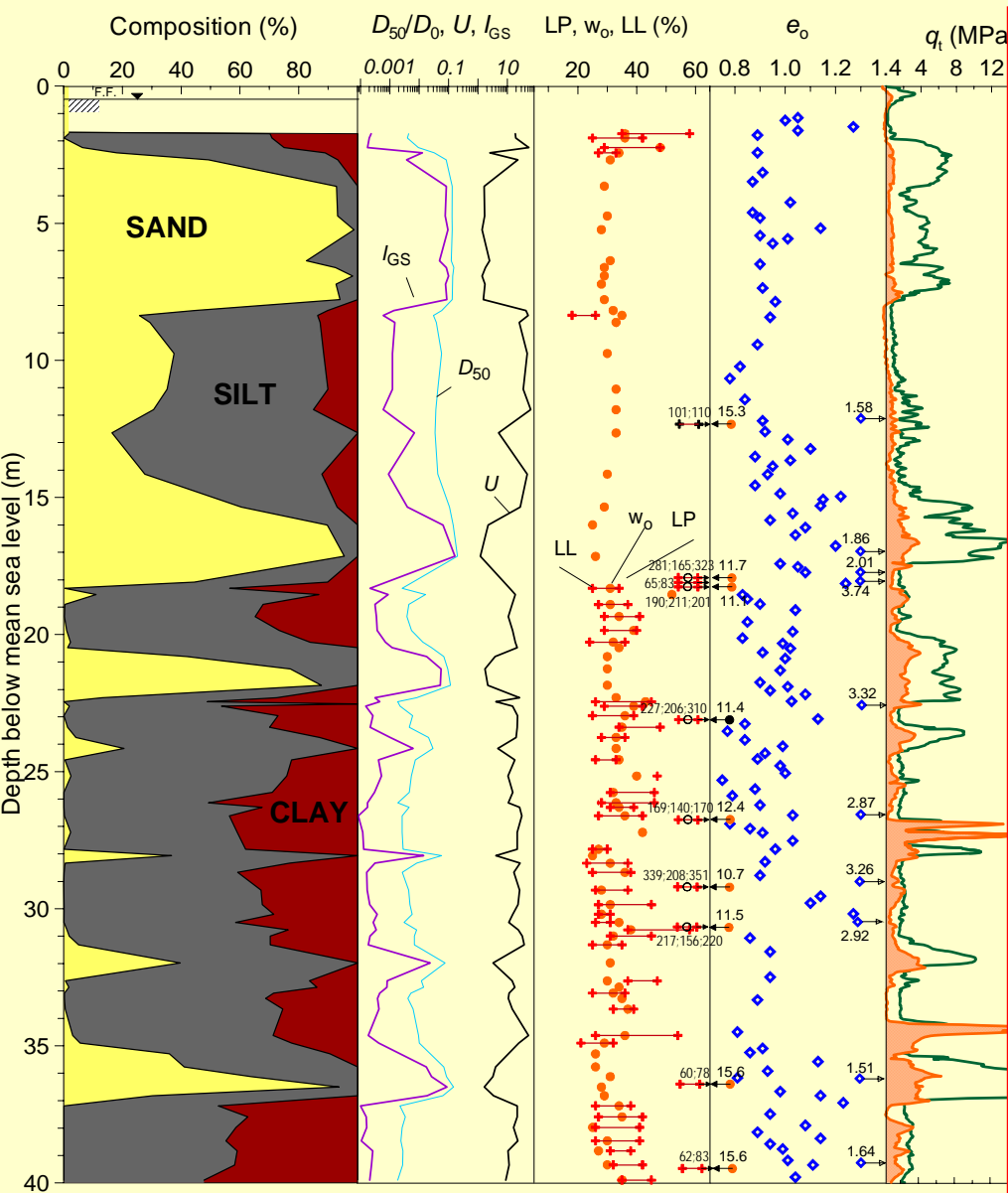
Livello di applicabilità:

Terre a grana grossa: C1=elevata, C2=media, C3=bassa

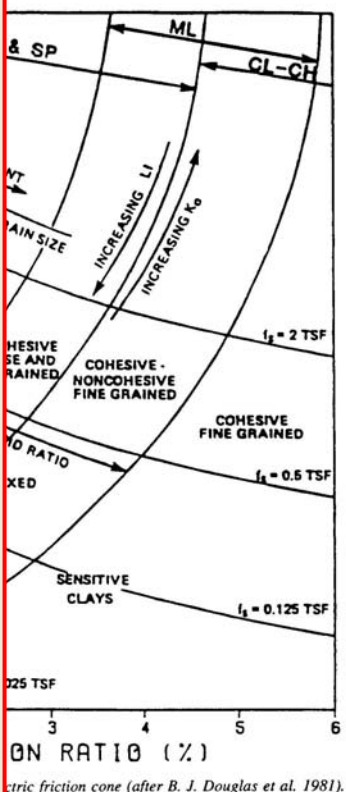
Terre a grana fina: F1=elevata, F2=media, F3 bassa

CPT: Distribuzione granulometrica

Sito sperimentale di Treporti, Laguna di Venezia



9) propongo
probabilistica dei
ato sull'abaco
(1981)



metric friction cone (after B. J. Douglas et al. 1981).

CPT: Angolo di attrito di picco ϕ'_p

***Robertson &
Campanella (1983):***

$$\phi'_p = \arctan \left[0.10 + 0.38 \log \left(\frac{q_t}{\sigma'_{v0}} \right) \right]$$

Sandven et al. (1988)

$$\phi'_p \approx \arctan \left\{ \frac{\ln[0.94 \cdot (q_t / \sigma'_{v0})]}{4.87 + 0.035 \cdot \beta} \right\}$$

$$-30^\circ \leq \beta \leq +20^\circ$$

$$\beta \approx 222^\circ - 37.6^\circ \cdot \ln(G_{\max} / \sigma'_{v0})$$

Salgado et al. (1998)

$$\phi'_p = 17.6^\circ + 11.0 \cdot \log \left[\frac{(q_t / \sigma_{atm})}{(\sigma'_{v0} / \sigma_{atm})^{0.5}} \right]$$

***EC7 Parte 2 - Esempio D.2
(DIN 4092-1:2002)***

$$\phi' = 13.5^\circ \cdot \log(q_c) + 23^\circ$$

***Verifiche per fenomeni di
INSTABILITA' IDRAULICA***

Sollevamento - uplift

a) struttura cava interrata

1. superficie freatica
2. superficie soggetta alla spinta dell'acqua

c) fondo di uno scavo

4. piano campagna originario
5. sabbia
6. argilla
7. ghiaia

Avviene quando le forze verticali dirette verso l'alto, dovute all'azione dell'acqua (pressione idrostatica o pressione di filtrazione), eguagliano le forze peso e di eventuali ancoraggi.

Sollevamento - uplift

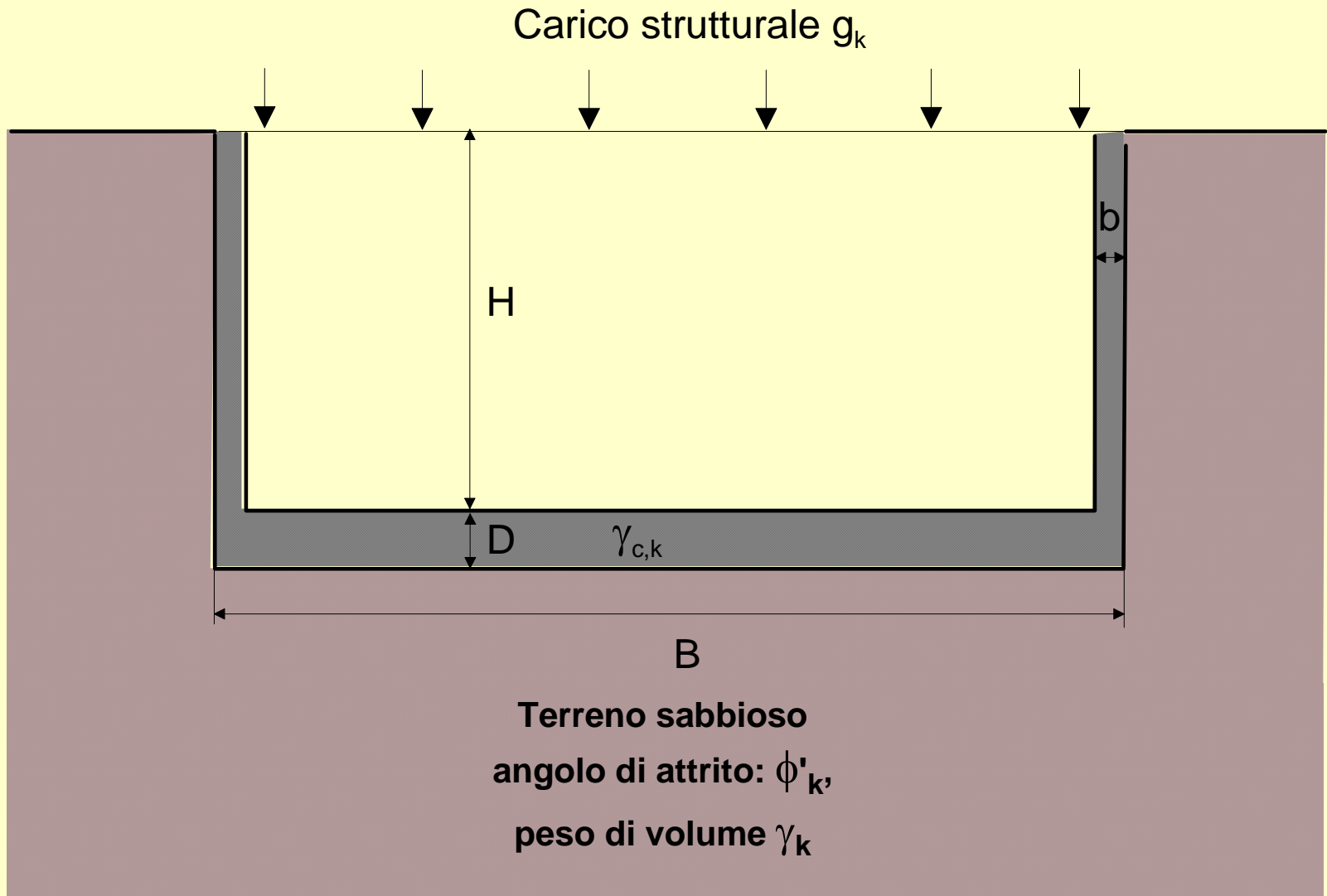
d) scavo con palancolata sotto falda

1. piano del terreno e dell'acqua
2. superficie soggetta alla spinta dell'acqua
5. e 6. sabbia
8. tappo di fondo (jet grouting)

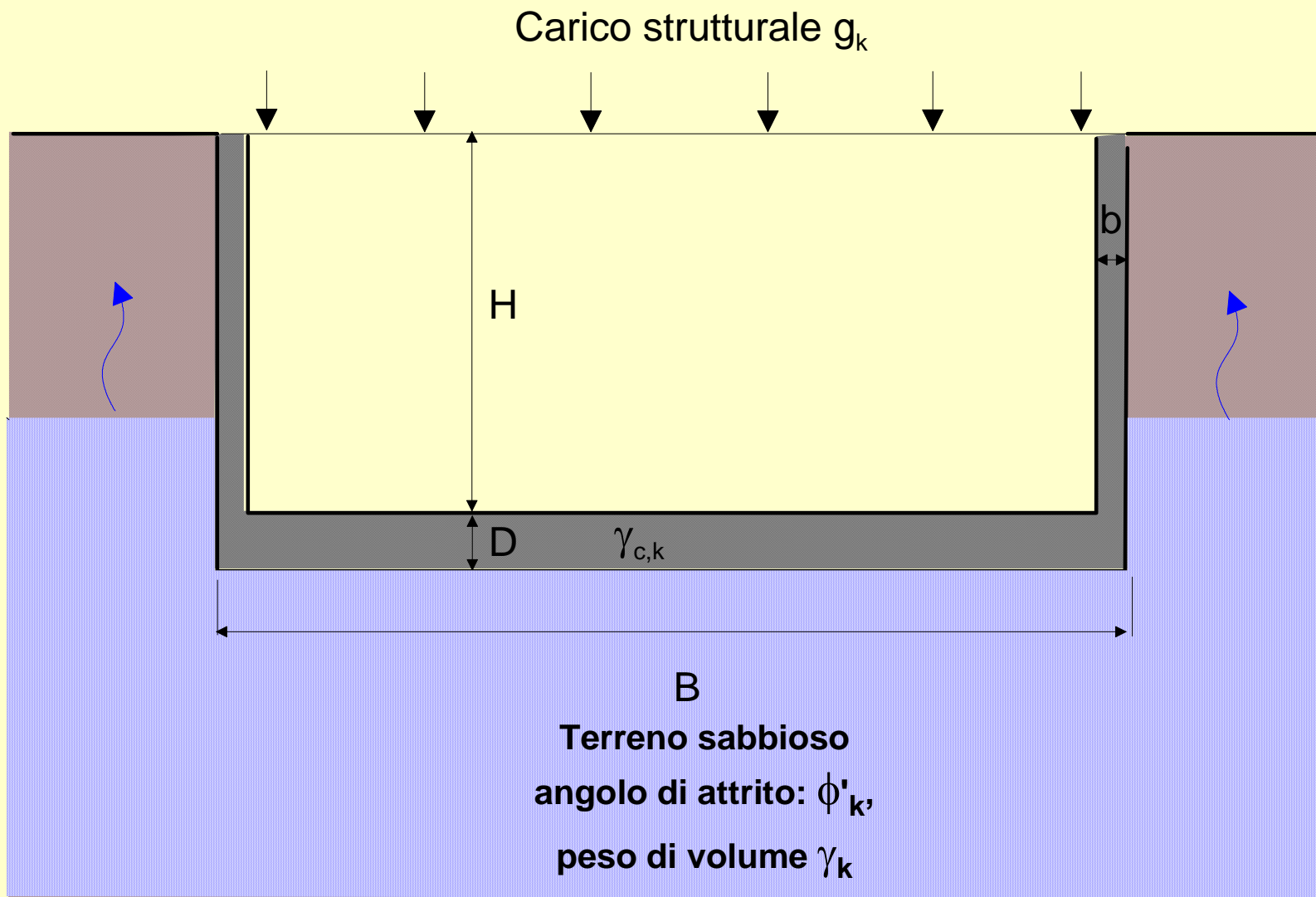
e) struttura ancorata per resistere al sollevamento

1. piano del terreno e dell'acqua
5. sabbia
9. ancoraggio

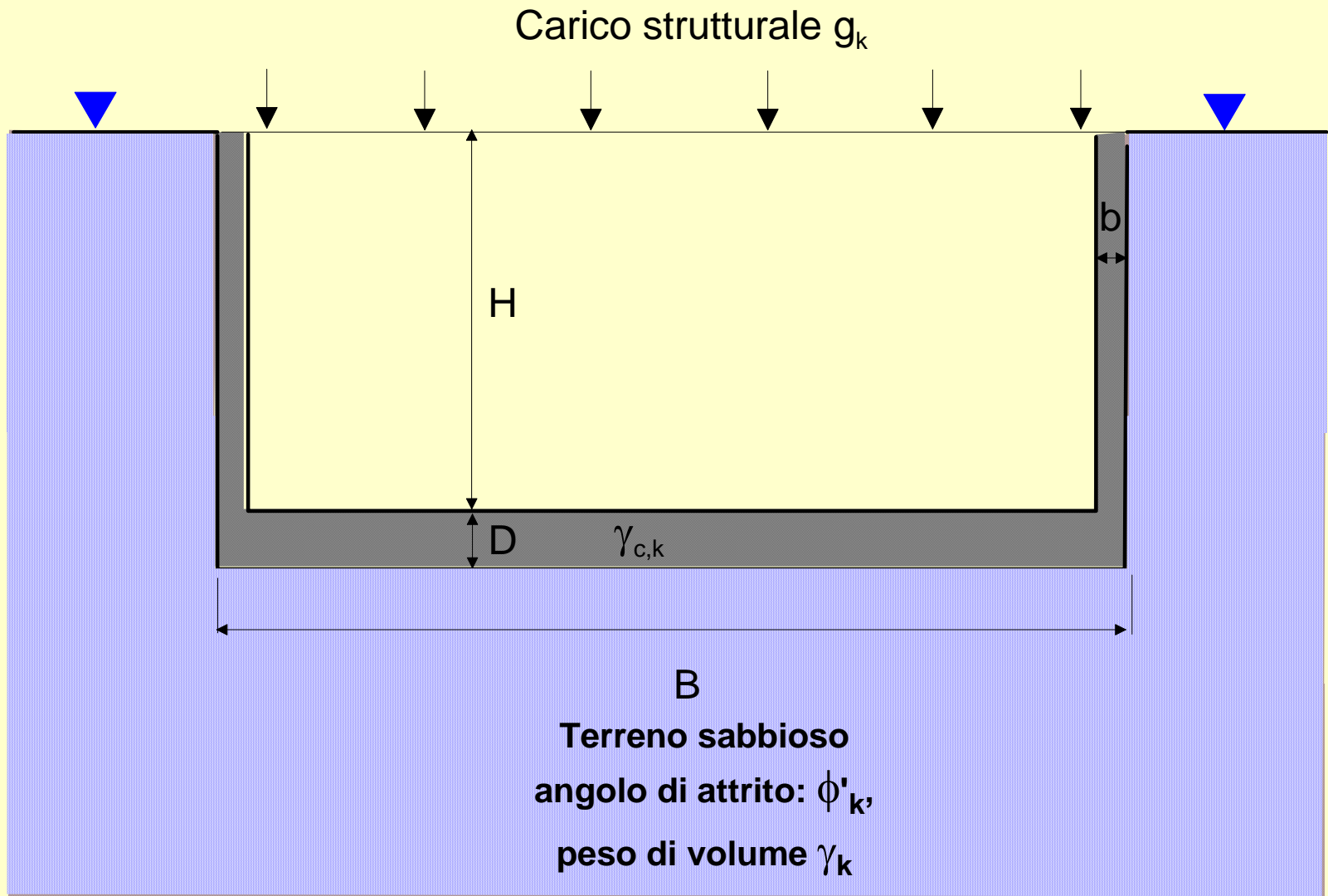
Sollevamento: esempio



Sollevamento



Sollevamento



Sollevamento

La condizione di verifica agli SLU

$$E_d \leq R_d$$

si esplicita in:

$$V_{inst,d} = Q_{inst,d} + G_{inst,d} \leq G_{stb,d} + R_d$$

$Q_{inst,d}$ = forza instabilizzante variabile

$G_{inst,d}$ = forza instabilizzante permanente

$G_{stb,d}$ = forza stabilizzante permanente

R_d = resistenza aggiuntiva

Sollevamento

L'azione dell'acqua è trattata come azione permanente ($\gamma_{G,inst}=1.1$):

$$V_{inst,d} = G_{inst,d} = \gamma_{G,inst} \gamma_w (H + D) B$$

L'azione stabilizzante è data dal peso proprio e dal carico g_k ($\gamma_{G,stb}=0.9$):

$$G_{stb,d} = \gamma_{G,stb} [\gamma_{c,k} (2bH + BD) + g_k B]$$

A $G_{stb,d}$ va sommata la resistenza di attrito lungo le pareti laterali (azione stabilizzante).

$$R_k = 2(H + D) K_k \sigma'_v \tan \delta_k$$

σ'_v = *tensione verticale efficace*

K_k = *coefficiente di spinta, valutato prudenzialmente in condizioni attive*

δ_k = *angolo di attrito relativo parete-terreno = $2/3 \phi'_k$*

Sollevamento

Volendo applicare il fattore parziale $\gamma_M = 1.25$ per ridurre $\tan\phi'_k$ si ha:

$$\phi'_d = \arctan [(\tan\phi'_k) / \gamma_M] \rightarrow K_{ad} \text{ aumenta e } \delta_d \text{ diminuisce}$$

Può risultare che $R_d > R_k$

L'applicazione del fattore parziale sulla tangente dell'angolo di attrito riduce la resistenza allo scorrimento tra parete e terreno, ma, allo stesso tempo, incrementa il coefficiente di spinta e la spinta sulla parete.

Non aumenta il grado di sicurezza complessivo.

Si raccomanda invece di trattare R_k come azione favorevole operando una riduzione di R_k con $1/\gamma_R$: $R_d = R_k / \gamma_R$

La norma non prevede il valore di γ_R per UPL: si suggerisce di assumere $\gamma_M = 1.25$

Sollevamento – Esempio numerico

Dati	Profondità scavo utile, H	5 m
	Larghezza scavo, B	15 m
	Spessore soletta, D	0.6 m
	Spessore parete, b	0.4 m
	Peso di volume terreno, $\gamma_{k,sat}$	20 kN/m ³
	Peso di volume calcestruzzo, $\gamma_{k,c}$	25 kN/m ³
	Sovraccarico strutturale permanente q_k	45 kPa
Azioni ($V_{inst,d}$, $G_{stb,d}$)	Spinta dell'acqua, $V_{inst,k}$	824 kN/m
	Coefficiente parziale azione, $\gamma_{G,inst}$	1.1
	Valore di progetto spinta acqua, $V_{inst,d}$	906 kN/m
	Peso struttura, $G_{1stb,k}$	325 kN/m
	Sovraccarico strutturale, $G_{2stb,k}$	675 kN/m
	Somma carichi stabilizzanti: $G_{1stb,k} + G_{2stb,k}$	1000 kN/m
	Coefficiente parziale azione, $\gamma_{G,stb}$	0.9
Valore di progetto azione stabiliz., $G_{stb,d}$	900 kN/m	

Sollevamento – Esempio numerico

		Valore caratteristico	Valore di progetto
Resistenza (R_d)	Tensione verticale effettiva media, σ'_{vo}	28.5 kPa	28.5 kPa
	Coefficiente parziale parametro, $\gamma_{\phi'}$		1.25
	Angolo di attrito, ϕ'	35 °	29.3 °
	Coefficiente di spinta, K_a	0.24	0.30
	Angolo attriti muro-terreno, δ	23.3 °	19.5 °
	Resistenza di attrito muro-terreno R_k	33.1 kN/m	
	Valore di progetto resistenza $R_d = R_k/\gamma_R$	26.5 kN/m	34.0 kN/m

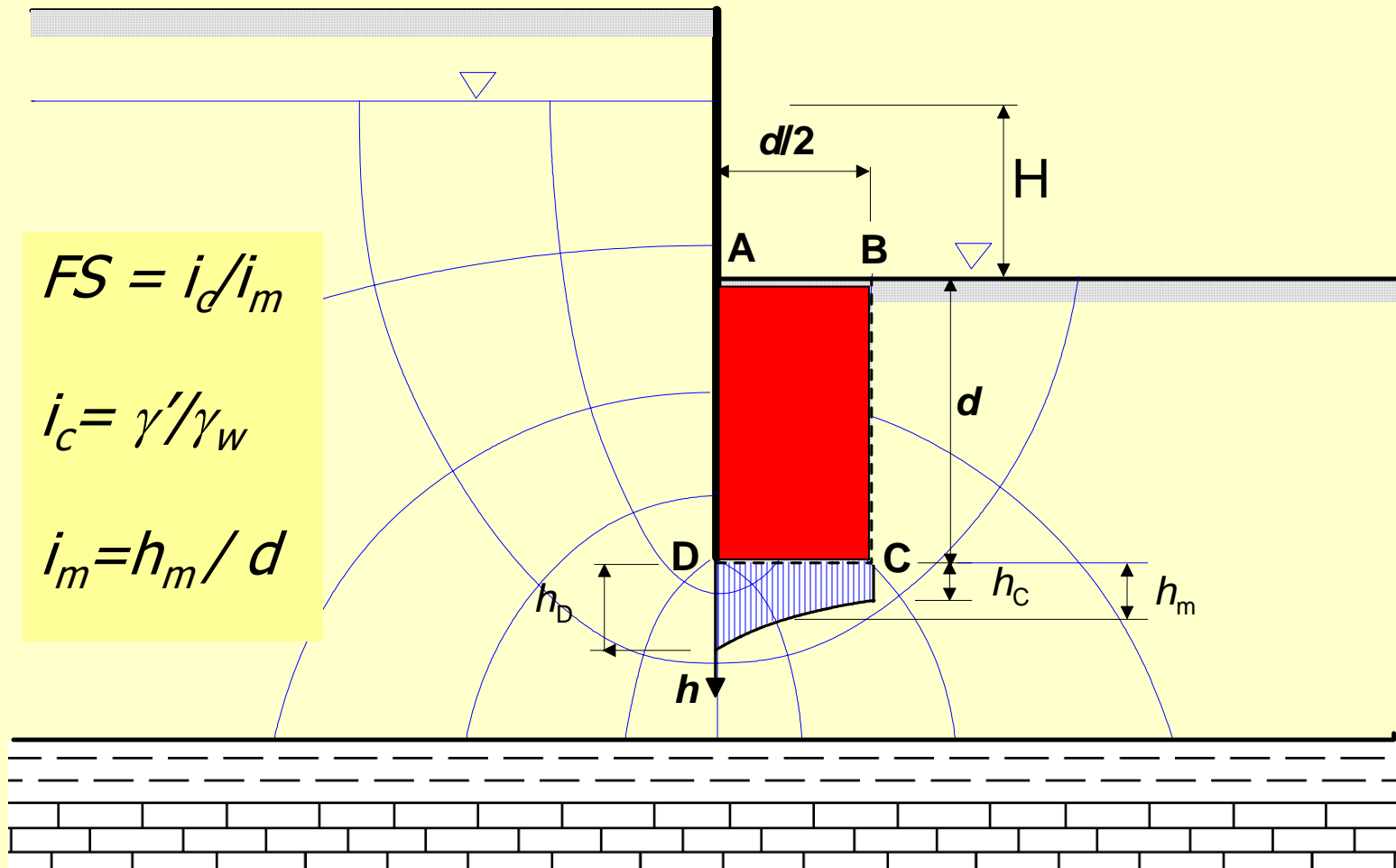
La verifica al sollevamento diventa quindi:

$$V_{inst,d} = 906 \leq G_{stb,d} + R_d = 900 + 26.5 = 927 \text{ kN/m}$$

VERIFICATA

Sifonamento

Approccio tradizionale in termini di tensioni efficaci



Sifonamento

La condizione di verifica agli SLU

$$E_d \leq R_d$$

si esplicita in:

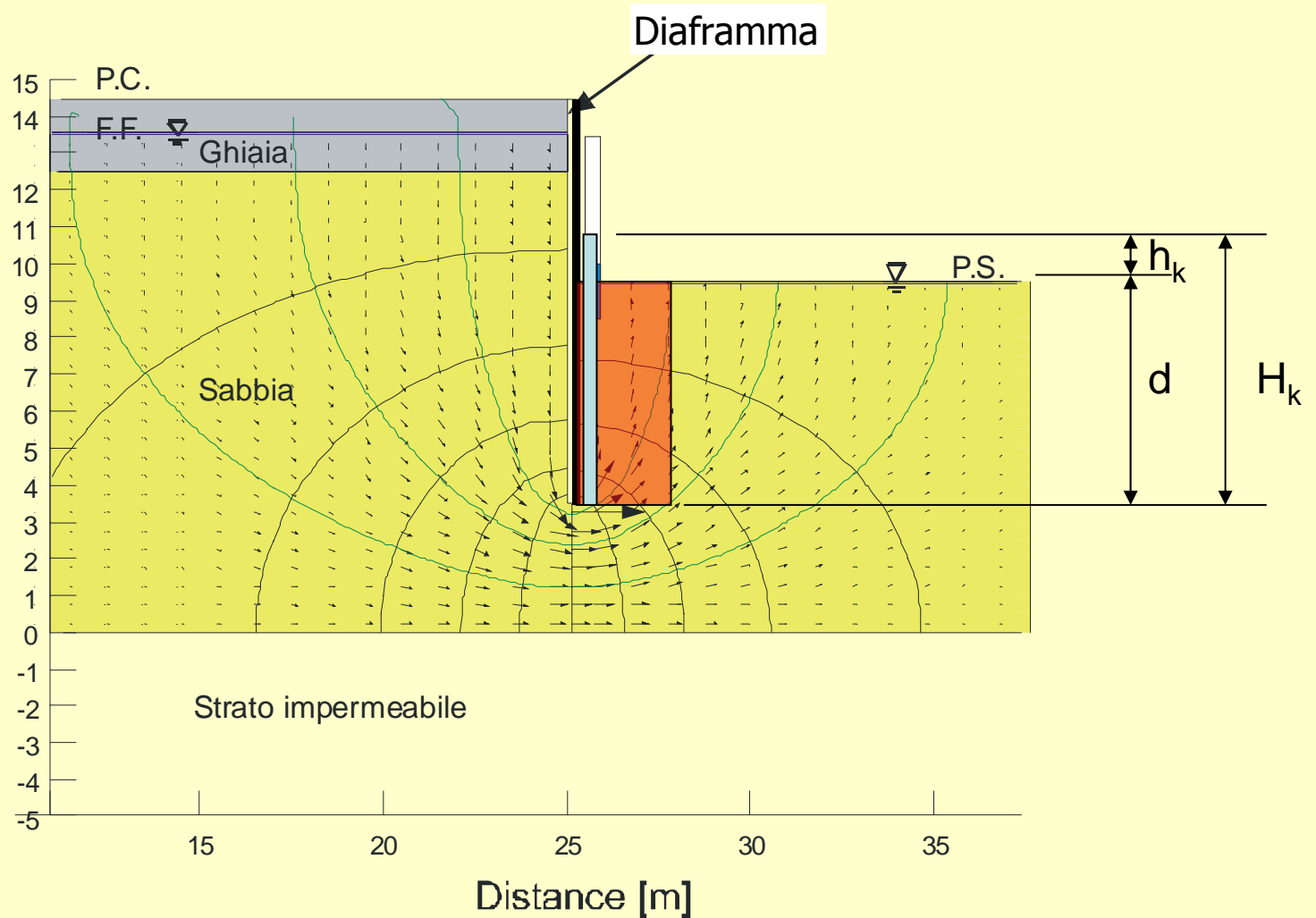
$$u_{inst,d} \leq \sigma_{stb,d}$$

con:

$u_{inst,d}$ = *valore di progetto della pressione dell'acqua instabilizzante*

$\sigma_{stb,d}$ = *valore di progetto della tensione verticale totale stabilizzante*

Sifonamento



Sifonamento

Verifica in termini di tensioni totali:

$$\gamma_{G,inst} (\gamma_w H_k) \leq \gamma_{G,std} (\gamma_{sat,k} d)$$

$$1,3 \gamma_w H_k \leq 0,9 \gamma_{sat,k} d$$

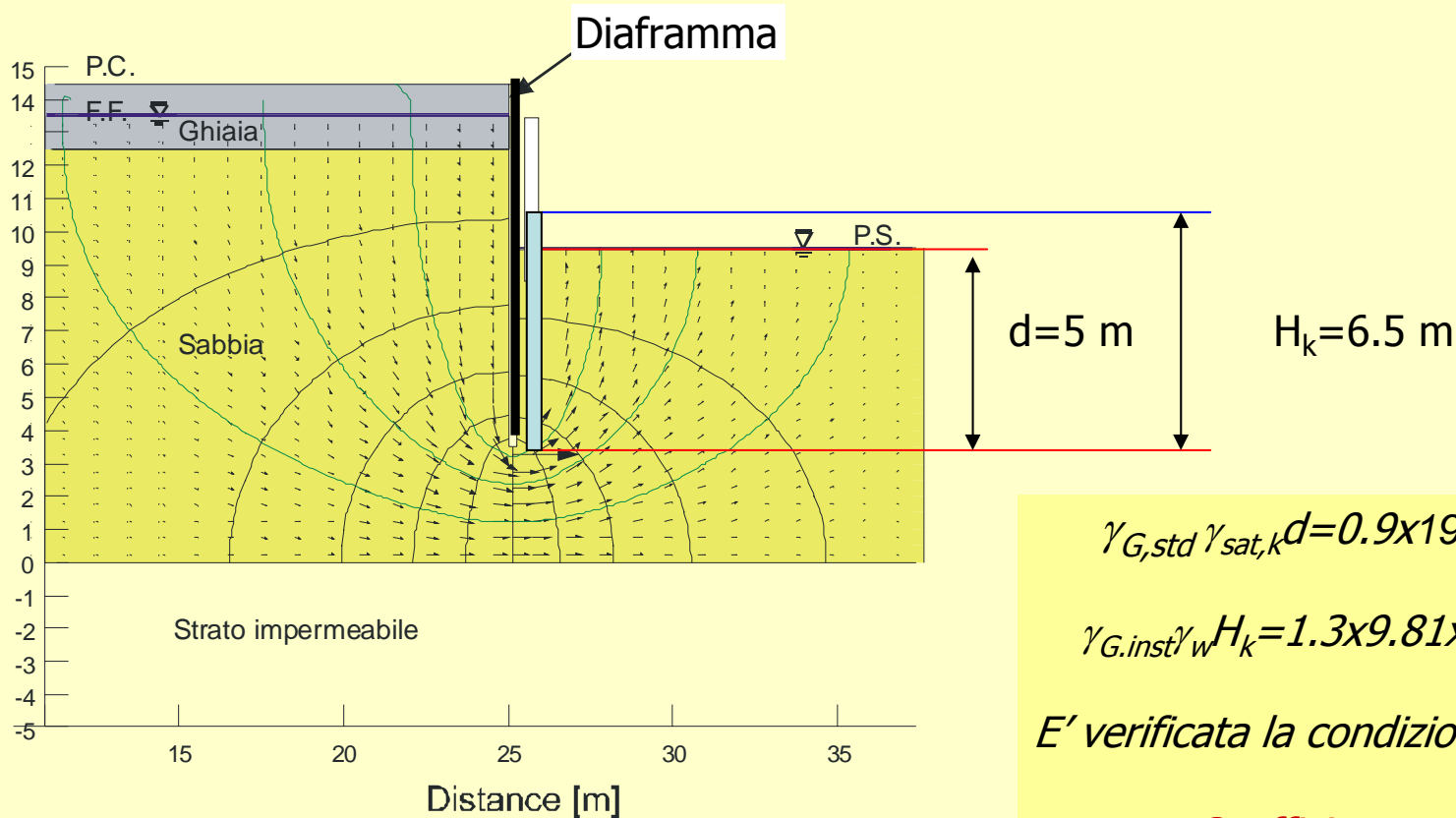
$$\frac{\gamma_{sat,k} \cdot d}{\gamma_w \cdot H_k} \geq 1.4$$

FS=1.4 fattore di sicurezza globale

(per l'EC7 $\gamma_{G,inst} = 1.35$; FS = 1.5)

γ_w =peso specifico dell'acqua; $\gamma_{sat,k}$ =peso di volume del terreno saturo

Sifonamento – esempio numerico



$$\gamma_{G, std} \gamma_{sat, k} d = 0.9 \times 19 \times 5 = 86 \text{ kPa}$$

$$\gamma_{G, inst} \gamma_w H_k = 1.3 \times 9.81 \times 6.5 = 83 \text{ kPa}$$

E' verificata la condizione di sicurezza

Coefficiente globale:

$$FS = (19 \times 5) / (9.81 \times 6.5) = 1.5 \text{ OK}$$

Sifonamento: tensioni totali vs. tensioni efficaci

Verifica in termini di tensioni totali:

$$\gamma_{G,inst} (\gamma_w H_k) \leq \gamma_{G,std} (\gamma_{sat,k} d)$$

$$\gamma_{G,inst} (\gamma_w d + \gamma_w h_k) \leq \gamma_{G,std} (\gamma'_k d + \gamma_w d)$$

Nell'EC7 la verifica $E_d \leq R_d$ impone di accertare entrambe le seguenti condizioni per una colonna di terreno di altezza d :

$$U_{dst,d} \leq \sigma_{stb,d} \quad (2.9a)$$

$$S_{inst,d} \leq G'_{std,d} \quad (2.9b)$$

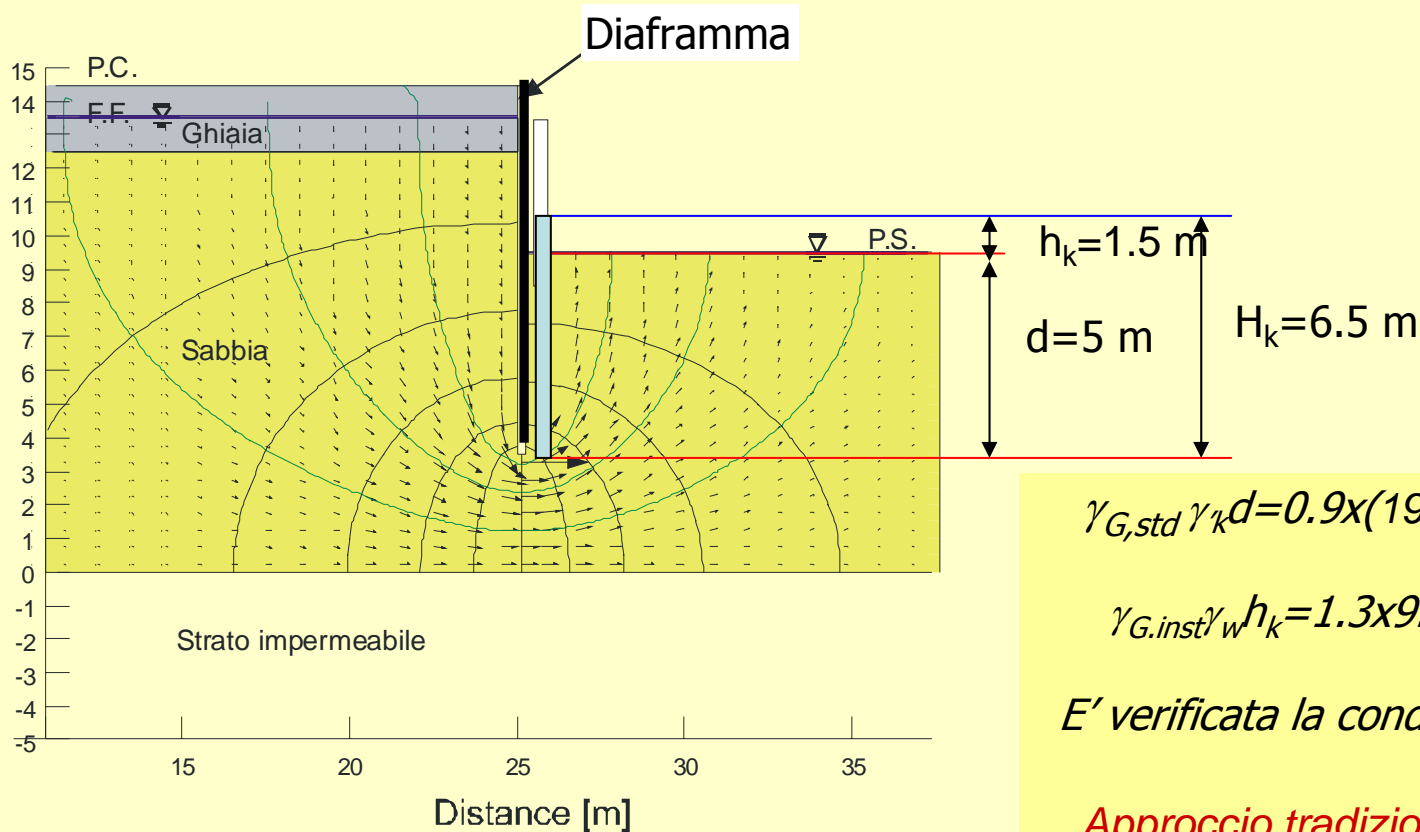
$U_{d,inst}$ = pressione dell'acqua alla base della colonna

$\sigma_{d,stb}$ = tensione verticale totale alla base della colonna

$S_{d,inst}$ = forza di filtrazione nella colonna

$G'_{d,std}$ = peso immerso della colonna

Sifonamento – esempio numerico



$$\gamma_{G, std} \gamma_k d = 0.9 \times (19 - 9.81) \times 5 = 41 \text{ kPa}$$

$$\gamma_{G, inst} \gamma_w h_k = 1.3 \times 9.81 \times 1.5 = 19 \text{ kPa}$$

E' verificata la condizione di sicurezza

Approccio tradizionale: coefficiente globale:

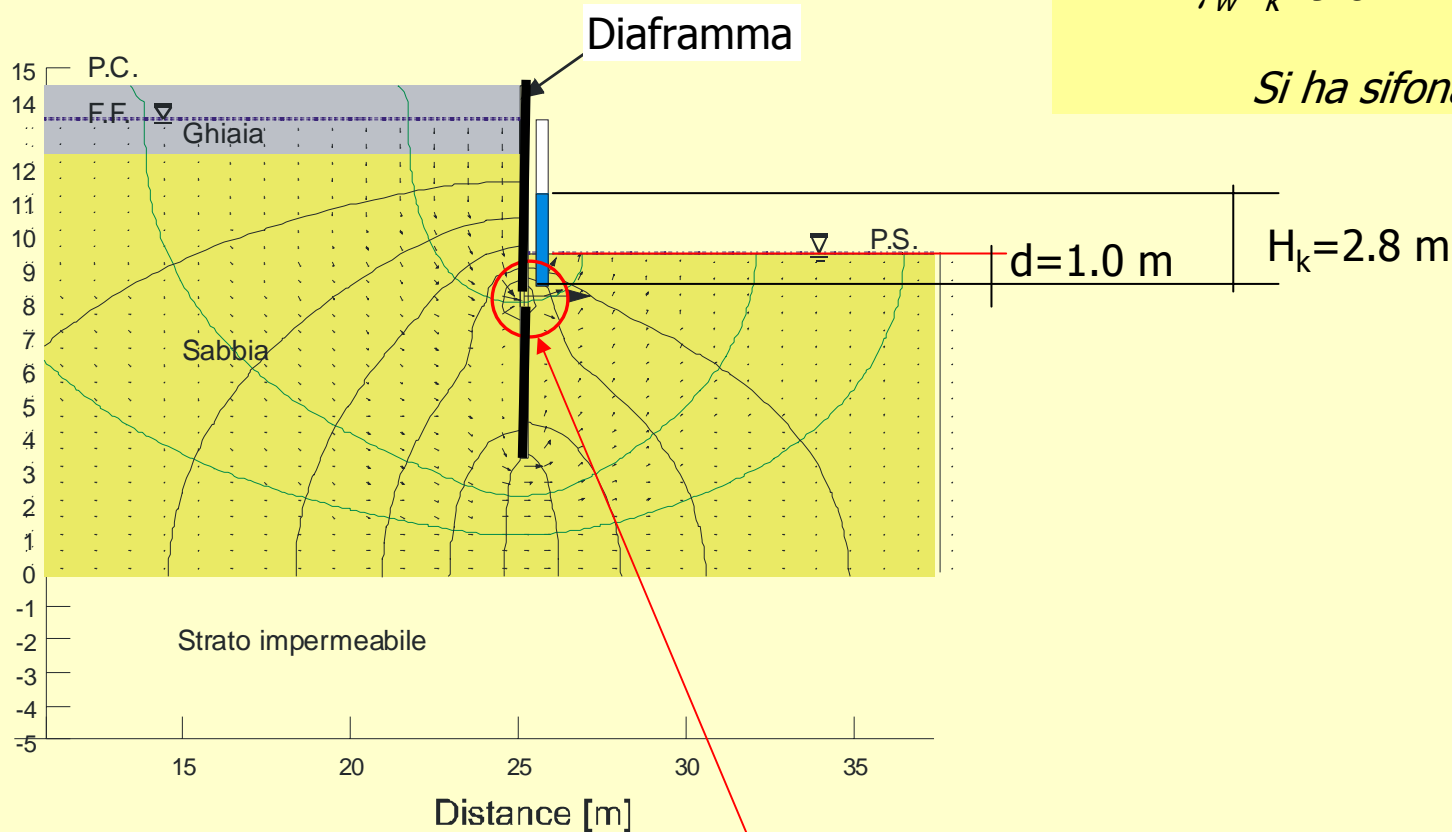
$$FS = [(19 - 9.81) \times 5] / (9.81 \times 1.5) = 3.1 \text{ OK}$$

Sifonamento- Esempio numerico

$$\gamma_{sat,k}d=19 \times 1 = 19 \text{ kPa}$$

$$\gamma_w H_k = 9.81 \times 2.8 = 28 \text{ kPa}$$

Si ha sifonamento



Difetto di costruzione