

# **STABILITA' DEI PENDII E OPERE DI SOSTEGNO**

**prof. ing. Nunziante Squeglia**

## **4. OPERE GEOTECNICHE Rilevati stradali e arginali**

# ASPETTI PROGETTUALI

- **Idoneità dei materiali**
- **Stabilità dei fianchi**
  - **Influenza del moto di filtrazione**
  - **Verifica al Sifonamento**
- **Calcolo dei cedimenti**
  - **Cedimento massimo e cedimento indotto**
  - **Stima del tempo di consolidazione**
  - **Interventi per accelerare il decorso dei cedimenti**
  - **Monitoraggio dell'opera**

## ASPETTI PROGETTUALI

- **Idoneità dei materiali**

### CLASSIFICAZIONE AASHTO

(AASHTO M 145-82)	Materiali granulari Passante al setaccio n. 200 (0.075 mm) uguale o minore del 35%							Materiali limosi e argillosi Passante al setaccio n. 200 superiore al 35%			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Gruppi di classificazione	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analisi granulometrica % passante al setaccio n. 10 (2 mm) n. 40 (0.425 mm) n. 200 (0.075 mm)	50 max 30 max 15 max	- 50 max 25 max	- 51 min 10 max	- - 35 max	- - 35 max	- - 35 max	- - 35 max	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min
Caratteristiche delle frazioni passanti al n. 40 Limite di liquidità $w_L$ Indice di plasticità $PI$	- 6 max	- 6 max	- N.P.	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min *
Tipi usuali di materiali principali	Frammenti di roccia ghiaia e sabbia		Sabbia fine	Ghiaia limosa o argillosa e sabbia				Terre limose		Terre argillose	
Giudizio per impiego come sottofondo	Da eccellente a buono						Da buono a povero				

\* L'indice di plasticità  $PI$  del sottogruppo A-7-5 è uguale o minore del limite di liquidità  $w_L - 30$ ,  
mentre per il sottogruppo A-7-6  $PI$  è maggiore del limite di liquidità  $w_L - 30$ .

- **Messa in opera dei materiali (compattazione – Proctor)**

# ASPETTI PROGETTUALI

- **Stabilità dei fianchi**
  - **Metodi di analisi per la stabilità dei pendii**

**NB - Specifico per i rilevati arginali**

- **Influenza del moto di filtrazione sulla stabilità**
  - **Moto permanente o moto vario?**
  - **Verifica al sifonamento (Requisiti NTC18)**

# ASPETTI PROGETTUALI

## Calcolo dei cedimenti

- **Cedimento massimo**
- **Cedimento indotto su manufatti adiacenti**
- **Stima del tempo di consolidazione (differenze tra rilevati stradali o arginali)**
- **Interventi per accelerare il decorso dei cedimenti (solo rilevati stradali)**
- **Monitoraggio dell'opera o degli interventi**

# CALCOLO DEI CEDIMENTI

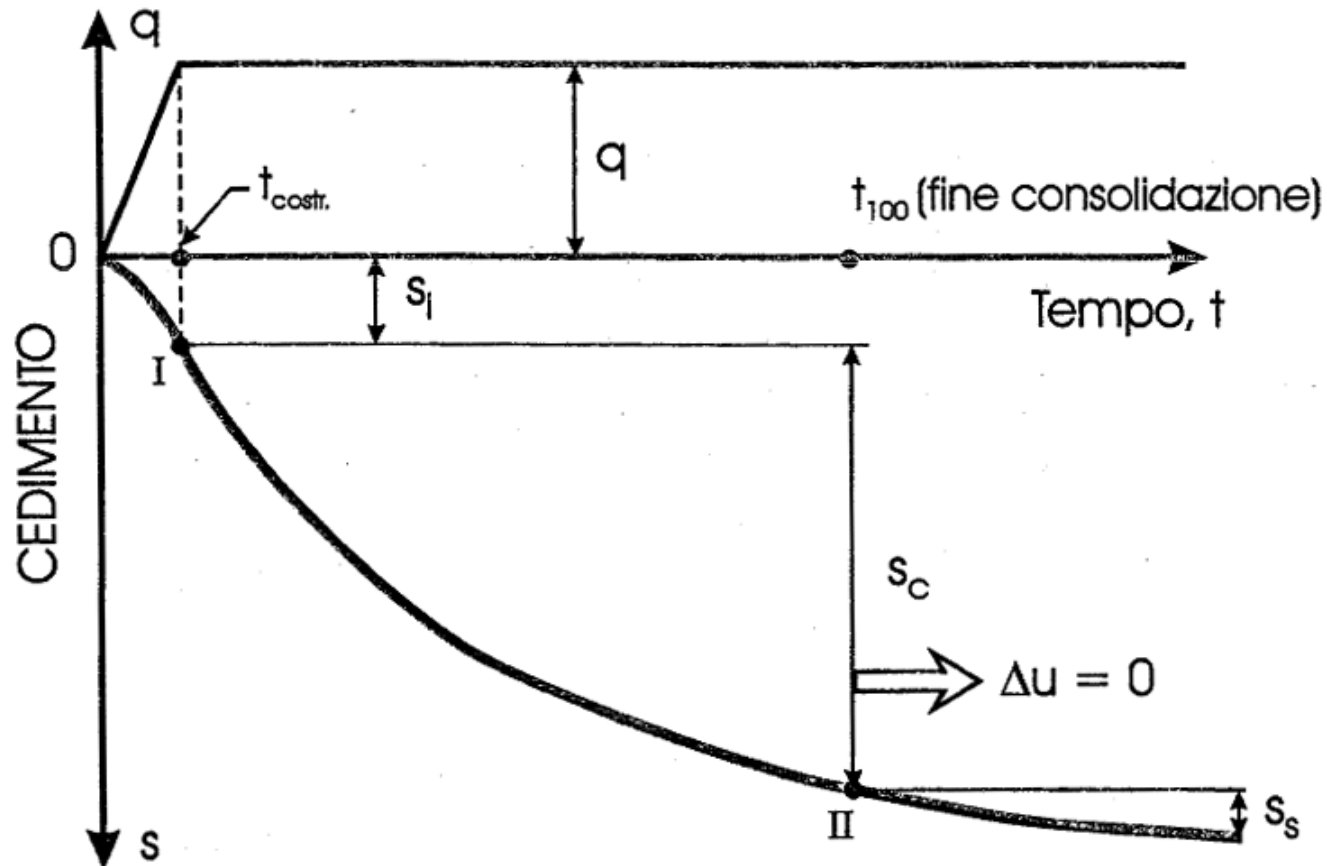
## Nozioni di carattere generale

Cause dei cedimenti del terreno dovute ai **carichi**  
**imposti**:

- distorsione del terreno
- compressione del terreno
- rottura e/o deformazioni dei grani

# CALCOLO DEI CEDIMENTI

## Schema convenzionale



## CALCOLO DEI CEDIMENTI

- $s_0$  cedimento immediato  
 $s_1$  cedimento dovuto alla consolidazione  
 $s_2$  cedimento dovuto a fenomeni viscosi

$$s_{\text{tot}} = s_0 + s_1 + s_2$$

- Sollevamento (rigonfiamento)
- Vibrazioni (apparati meccanici, sisma)



# CALCOLO DEI CEDIMENTI

## REQUISITI ESSENZIALI DI UN PROGETTO

### DISTRIBUZIONE DEI CEDIMENTI NELLO SPAZIO

- CEDIMENTO ASSOLUTO (medio o massimo)
- CEDIMENTI DIFFERENZIALI \*
- CEDIMENTI AL DI FUORI DELL'AREA CARICATA

### DISTRIBUZIONE DEI CEDIMENTI NEL TEMPO

- CEDIMENTO IMMEDIATO ( $s_i$ )\*\*
- CEDIMENTO DI CONSOLIDAZIONE ( $s_c$ )\*\*
- CEDIMENTO SECONDARIO ( $s_s$ )

\* *analisi di interazione terreno – struttura oppure valutazione empirica*

\*\* *distinzione priva di significato nel caso dei terreni a grana grossa*

# CALCOLO DEI CEDIMENTI

## APPROCCI DISPONIBILI

### (terreni a grana fine)

1. Analisi monodimensionale convenzionale (Metodo Edometrico)

$$s_{TF} = s_{ed} = \int_0^H \frac{\Delta\sigma'_z}{E_{ed}} dz = \int_0^H \varepsilon_z dz = \int_0^H \frac{\Delta e}{1+e} dz \quad s_t(t) = U \cdot s_{ed}$$

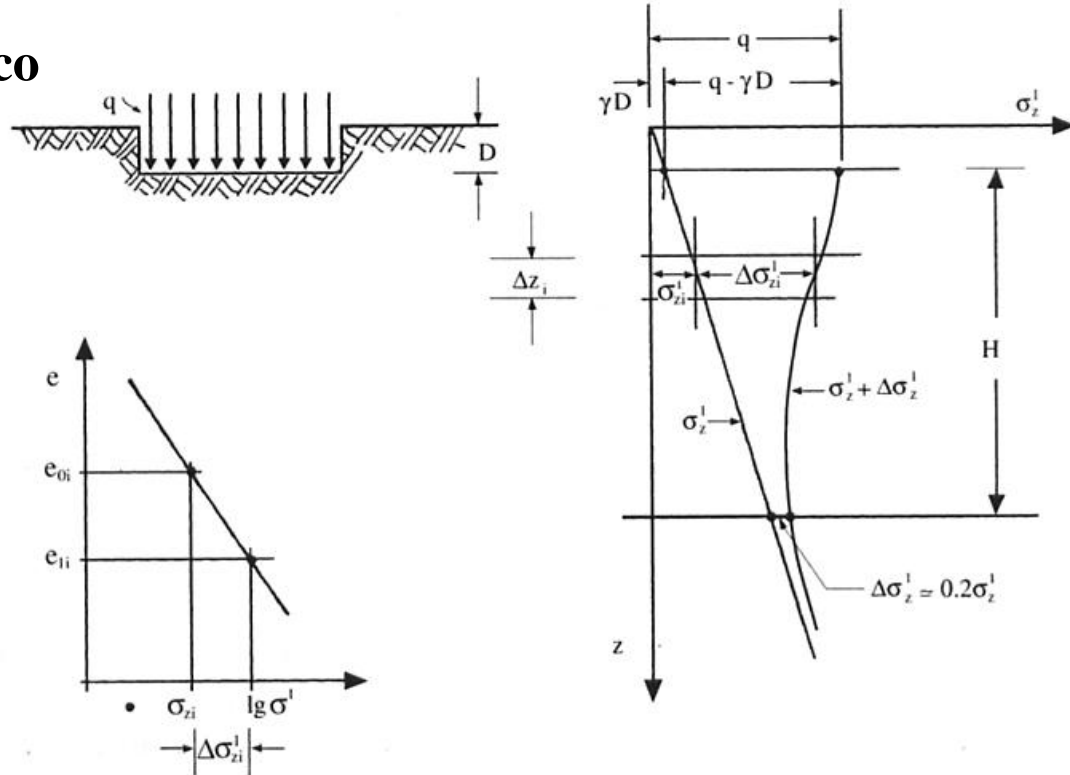
U = grado di consolidazione dalla teoria di consolidazione monodimensionale

2. Metodo di Skempton e Bjerrum (1957)

$$s_{TF} = s_i + \beta s_{ed}; \quad s_t(t) = s_i + U \beta s_{ed}$$

# CALCOLO DEI CEDIMENTI

## Metodo Edometrico

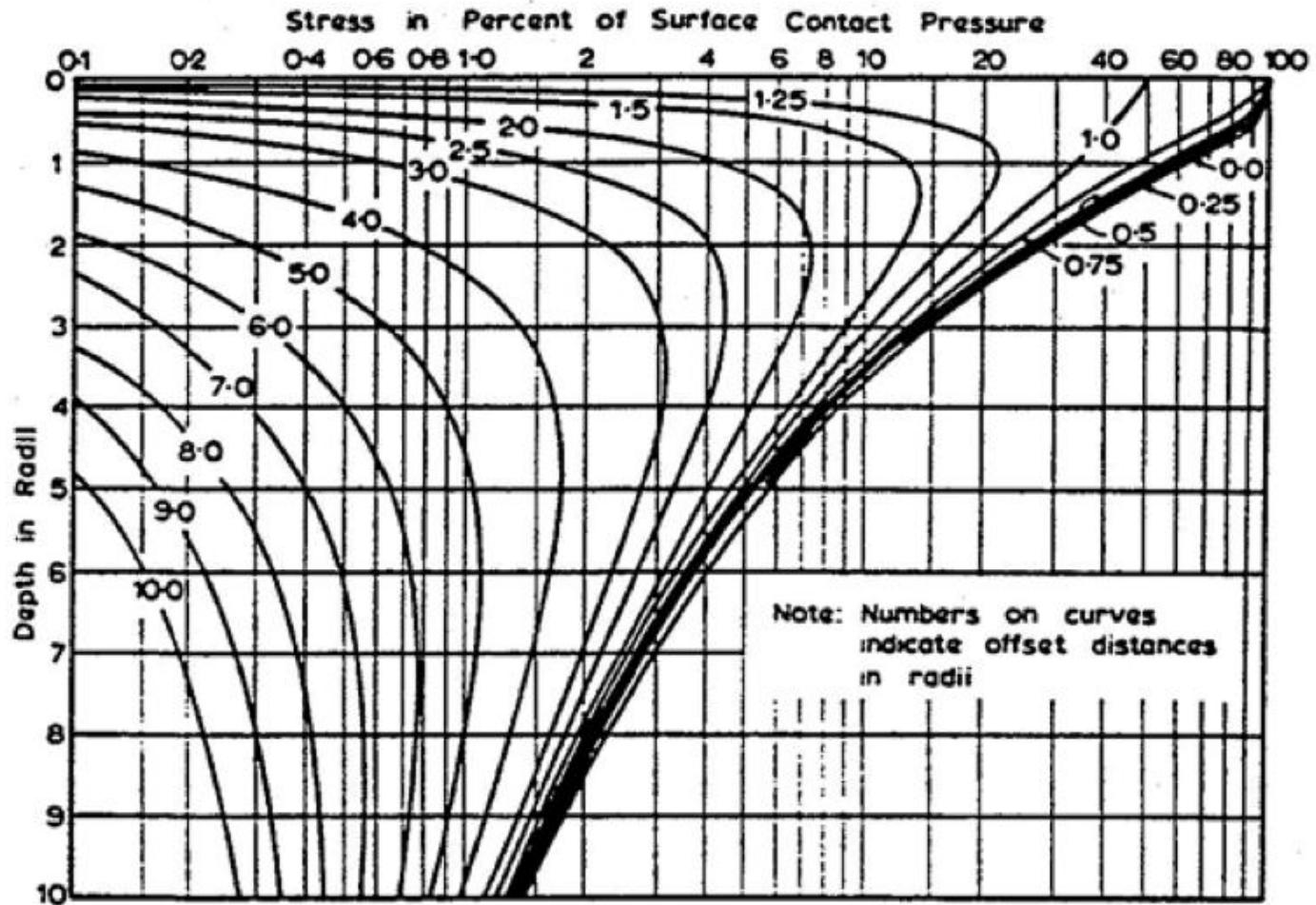


$$\Delta w_{ed_i} = \frac{\Delta \sigma'_{zi}}{E_{ed}} \Delta z_i = \frac{e_{0i} - e_{1i}}{1 + e_{0i}} \Delta z_i$$

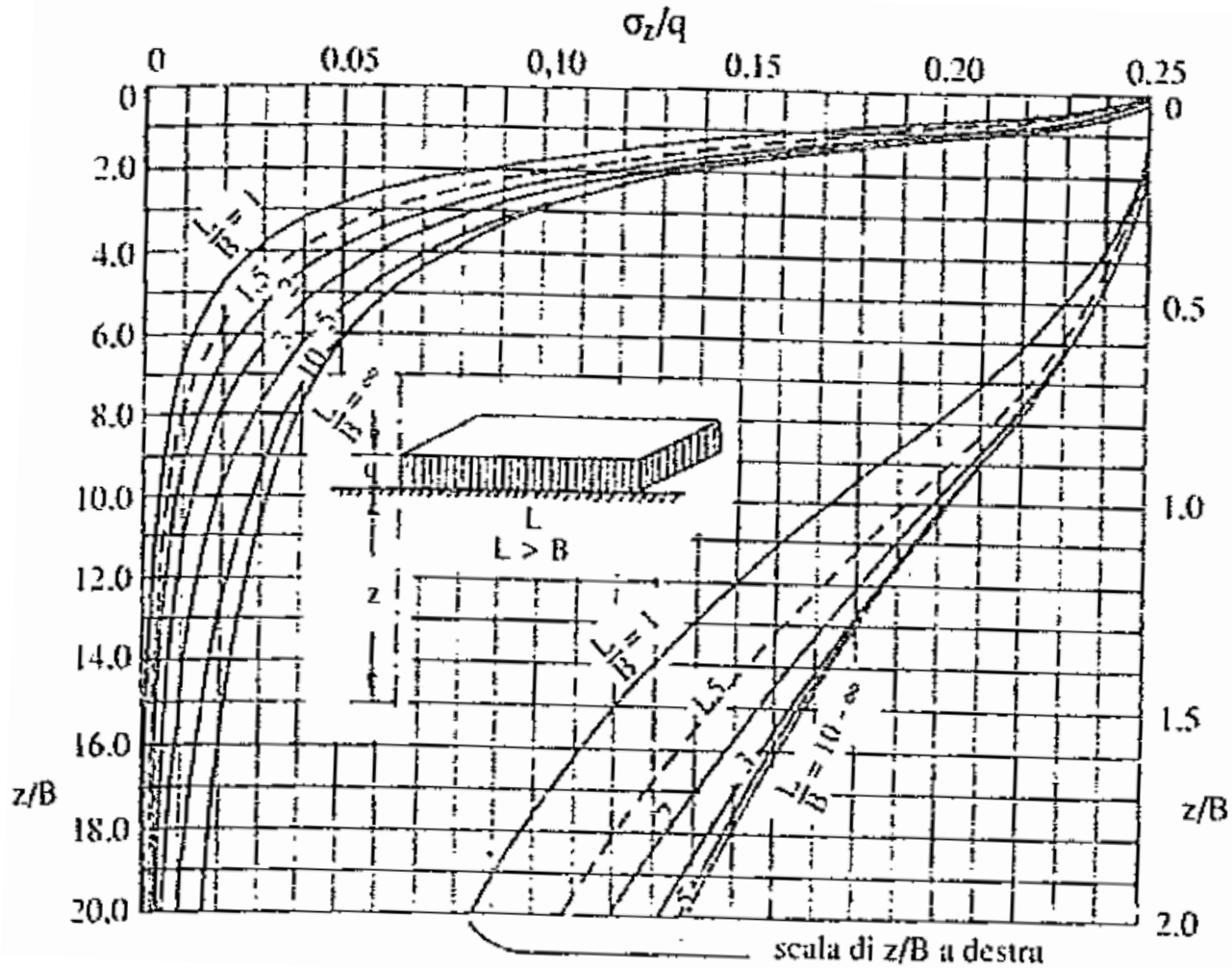
$$w_{ed} = \sum_{z=0}^H \Delta w_{ed_i}$$

Per il calcolo del  $\Delta \sigma'_v$  si ricorre alle soluzioni della teoria dell'elasticità

## CARICO CIRCOLARE



## CARICO RETTANGOLARE



## CARICO RETTANGOLARE

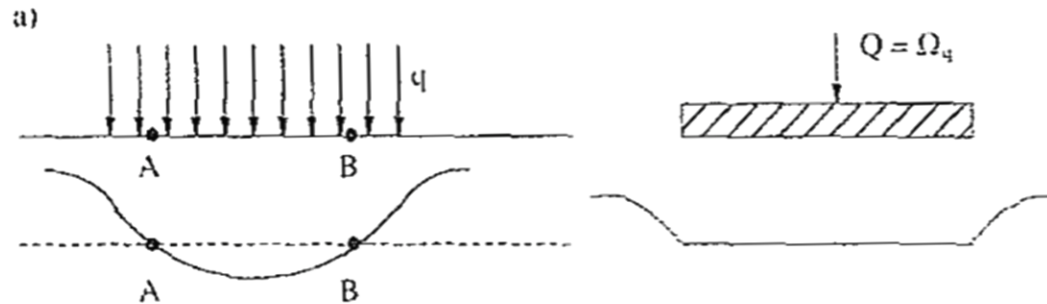
$$S_z = \frac{q}{2\rho} \left[ \arctan \frac{LB}{cz} + \frac{LBz}{c} \left( \frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2} \right) \right]$$

$$m^2 = L^2 + z^2$$

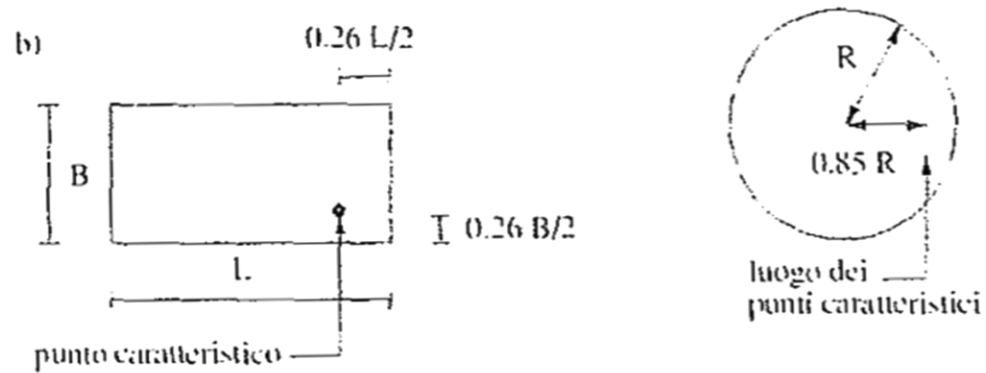
$$n^2 = B^2 + z^2$$

$$c = \sqrt{B^2 + L^2 + z^2}$$

## FONDAZIONE INFINITAMENTE RIGIDA



A, B punti caratteristici



# **CALCOLO DEI CEDIMENTI**

**PER APPLICARE IL  
METODO EDOMETRICO È  
SUFFICIENTE DISPORRE DI  
PROVE EDOMETRICHE**



# CALCOLO DEI CEDIMENTI

Metodo di Skempton e Bjerrum (1957)

$$[\Delta u (t = 0) \leq \Delta \sigma_v]$$

$$s_{TF} = s_i + \beta s_{ed} = s_i + s_c; \quad s_t(t) = s_i + U \beta s_c$$

$s_i$  = cedimento immediato dalla teoria dell'elasticità

$\beta$  = correzione del cedimento edometrico per tenere conto che  $\Delta u (t = 0) < \Delta \sigma_v$

Il coefficiente correttivo  $\beta$  dipende dalla storia tensionale del deposito, dalla geometria del problema e dalla rigidità della fondazione

# CALCOLO DEI CEDIMENTI

Metodo di Skempton e Bjerrum (1957)

Cedimento immediato  $s_i$   
(teoria dell'elasticità)

$$s_i = \frac{qB}{E_u} I_1 I_2$$

**$E_u$  da prove TX CIU ( $CK_0U$ )  
o prove geofisiche**

# CALCOLO DEI CEDIMENTI

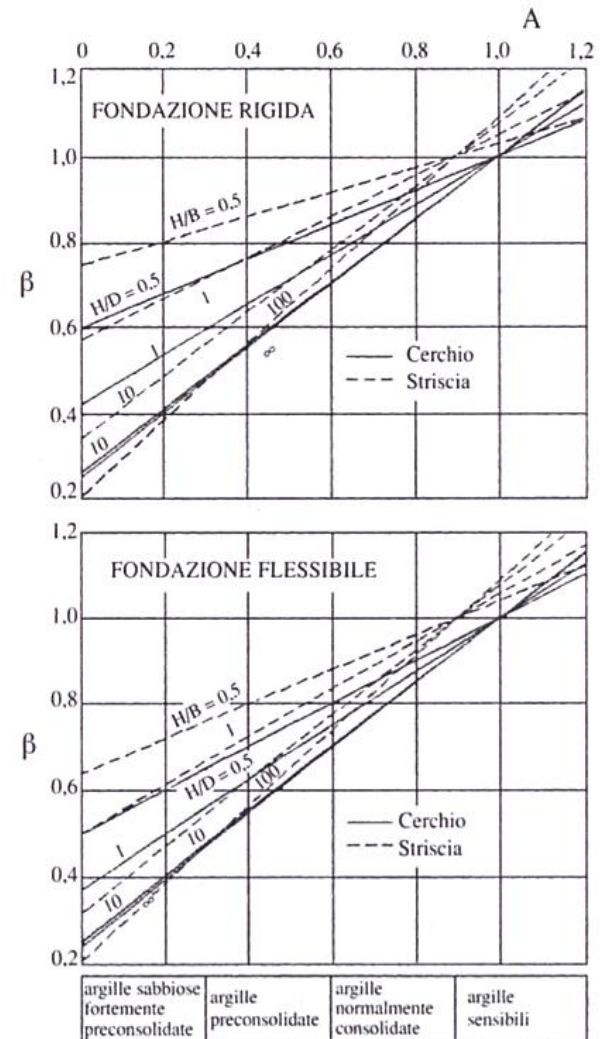
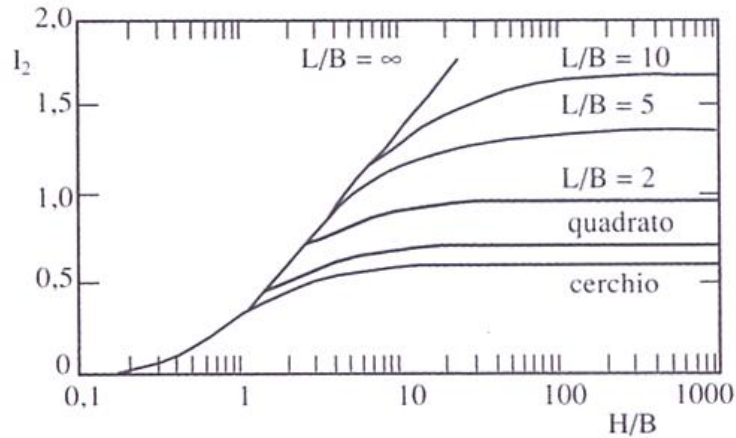
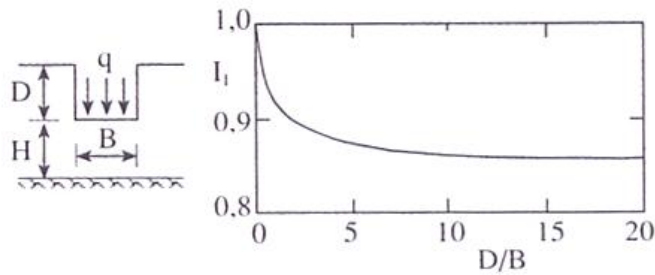
Metodo di Skempton e Bjerrum (1957)

Cedimento di consolidazione  $s_c$

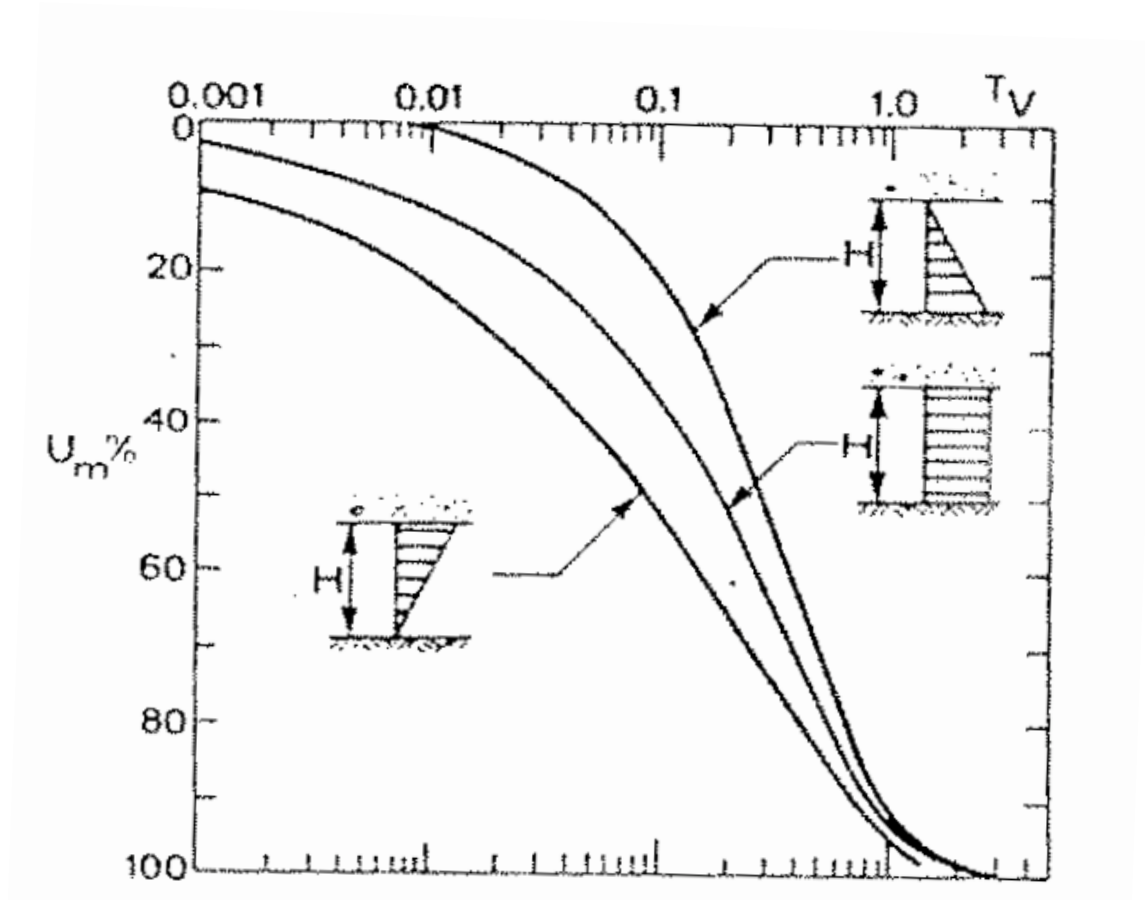
$$s_c = \beta \cdot s_{ed}$$

$\beta$  dipende dal valore della  $A$  di Skempton,  
dalla geometria del sistema e  
dalla rigidità della fondazione

# CALCOLO DEI CEDIMENTI



# CALCOLO DEI CEDIMENTI



# CALCOLO DEI CEDIMENTI

**PER APPLICARE IL METODO  
DI SKEMPTON E BJERRUM È  
NECESSARIO DISPORRE DI  
PROVE EDOMETRICHE E  
PROVE TRIASSIALI  
CONSOLIDATE – NON  
DRENATE**

# CALCOLO DEI CEDIMENTI

## INDICAZIONI PRATICHE

Padfield & Sharrock (1983)

**Argille sovraconsolidate**

$$s_i = (0.5 \div 0.6) \cdot s_{ed}$$

$$s_c = (0.4 \div 0.5) \cdot s_{ed}$$

$$s_{tot} = s_{ed}$$

**Argille normalmente consolidate**

$$s_i = 0.1 \cdot s_{ed}$$

$$s_c = s_{ed}$$

$$s_{tot} = 1.1 \cdot s_{ed}$$

# CALCOLO DEI CEDIMENTI

## APPROCCI CLASSICI (terreni a grana grossa)

1. Metodo di Burland & Burbidge (1985), basato su prove SPT
2. Metodo di Schmertmann (1970), basato su prove CPT
3. “Metodo” di Terzaghi & Peck (1948), basato su prove SPT



# CALCOLO DEI CEDIMENTI

Metodo di BURLAND & BURBIDGE (1985)

$$s = f_s f_H f_t \left[ \sigma'_{v0} B^{0.7} \frac{I_c}{3} + (q' - \sigma'_{v0}) B^{0.7} I_c \right]$$

$q'$  = pressione efficace lorda, espressa in kPa

$\sigma'_{v0}$  = tensione efficace agente alla quota di imposta della fondazione in kPa

$B$  = larghezza della fondazione in m

$$I_c = \frac{1.706}{N_{AV}^{1.4}}$$

$$f_H = \frac{H}{Z} \left( 2 - \frac{H}{Z} \right) \quad f_s = \left( \frac{1.25 \frac{L}{B}}{\frac{L}{B} + 0.25} \right)^2 \quad f_t = 1 + R_3 + R \log \frac{t}{3}$$

$t$  = tempo espresso in anni  $R_3 = 0.3 - 0.7$   $R = 0.2 - 0.8$

# CALCOLO DEI CEDIMENTI

## Metodo di Schmertmann (1970)

$$s = C_1 C_2 \Delta q' \sum_0^H \frac{I_z \Delta z}{E'}$$

$\Delta q'$  = pressione efficace netta

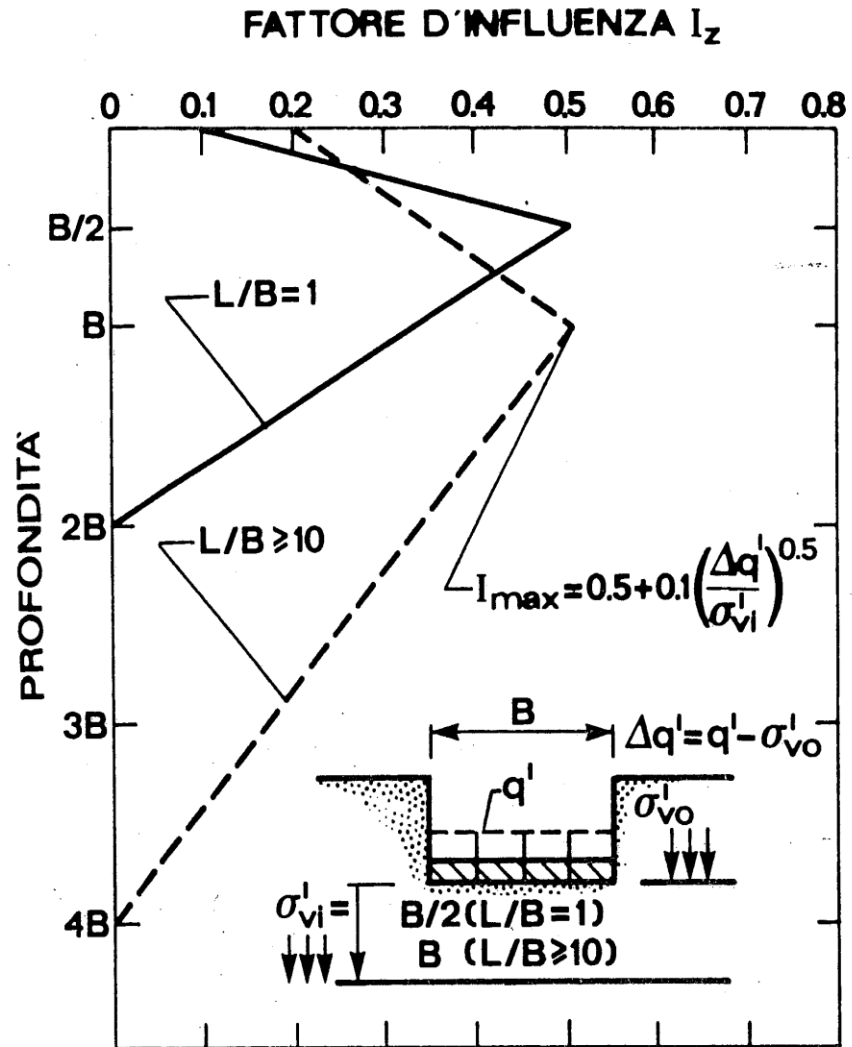
$\sigma'_{v0}$  = tensione verticale efficace agente alla quota di imposta della fondazione

$C_1$  = coefficiente di approfondimento  $(1 - 0.5 \sigma'_{v0} / \Delta q')$

$C_2$  = coeff. del cedimento secondario  $(1 + 0.2 \log t / 0.1)$

$E'$  =  $2.5 q_c$  oppure  $3.5 q_c$  per cerchio o striscia

# Metodo di Schmertmann (1970)

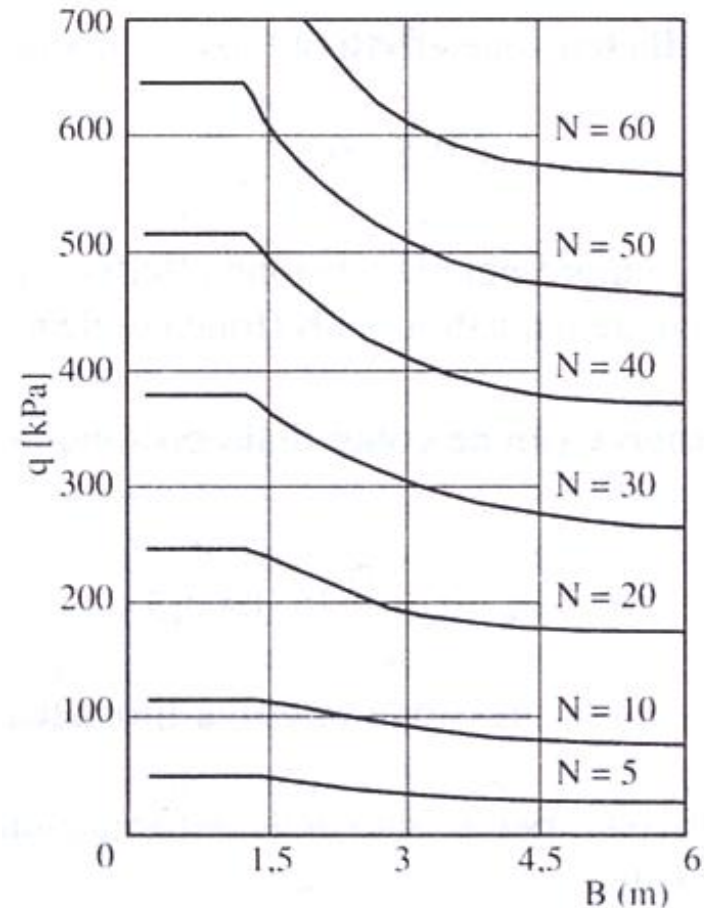


# Metodo di Terzaghi & Peck (1948)

**N** valore medio tra  
le profondità **D** e  
**D+B**

**Correzione per  
sabbie fini o  
limose sotto falda**

$$N_{\text{corr}} = 15 + 0.5(N_{\text{SPT}} - 15)$$



## **AMMISSIBILITÀ (EC7) Strutture di Categoria II**

**Cedimento massimo accettabile (SLE) 50 mm**

**Rotazioni relative accettabili (SLE) per strutture intelaiate o muratura di mattoni comprese tra 0.0005 e 0.0033**

**Rotazione relativa massima (SLU) pari a 0.0066**

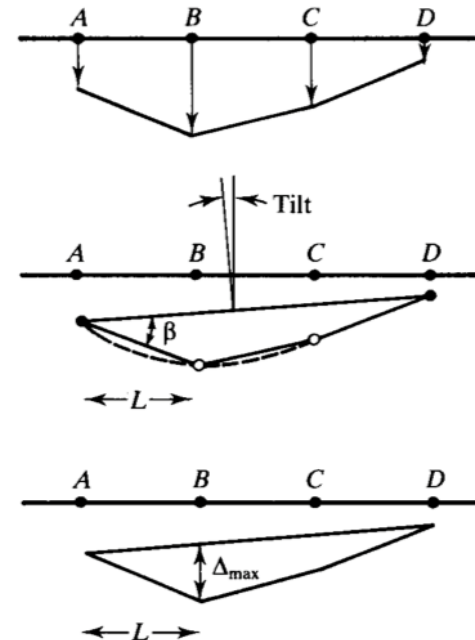
**Se l'inflessione è verso l'alto i valori precedenti vanno dimezzati**

# STRUTTURE IN MURATURA

## (BURLAND E WROTH, 1974)

$\Delta / L$	$L_{\text{tot}} / H$
$2 \cdot 10^{-4}$	1
$4 \cdot 10^{-4}$	5

H = altezza  
edificio



# PONTI

(WILLYE, 1999)

SLE: cedimento di 5 – 10 cm

SLU: cedimento 20 cm

Spostamento in testa massimo 5 cm

# ROTAZIONI RELATIVE AMMISSIBILI DELLE STRUTTURE

- Strutture isostatiche, muri di sostegno 1/150
- Telai aperti in C.A. ed in acciaio 1/250
- Idem C.S. ma presenza dei carri-ponte 1/300
- Telai in C.A. ed in acciaio con tamponamenti 1/500
- Spalle dei ponti 1/500
- Fondazioni di macchine sensibili ai cedimenti 1/750
- Muri portanti in mattoni 1/1000