Cedimenti di una fondazione superficiale

Cause dei cedimenti (w) di una fondazione superficiale:

- Carichi applicati alla fondazione stessa o a fondazioni adiacenti
  ($\Delta\sigma \rightarrow \Delta\sigma' \rightarrow w$)
- Scavi a cielo aperto o in sotterraneo
  ($\Delta\sigma \rightarrow \Delta\sigma' \rightarrow w$)
- Variazioni della distribuzione di pressioni interstiziali
  ($\Delta u \rightarrow \Delta\sigma' \rightarrow w$)
- Variazioni del grado di saturazione o del contenuto d'acqua
  ($\Delta e \rightarrow w$)
- Vibrazioni ambientali o antropiche, superficiali o profonde
  (def. distorsionali $\Delta\gamma_{hv} \rightarrow \Delta u$; def. di volume $\Delta\varepsilon_v \rightarrow w$)

<u>Fasi dei metodi di calcolo tradizionali</u>

1) Analisi dei carichi in esercizio

2) Calcolo delle tensioni litostatiche

3) Calcolo degli incrementi di tensione totale indotti dai carichi
(tramite la teoria dell'elasticità)

4) Determinazione dei legami costitutivi tensioni:deformazioni:tempo
(avvalendosi di prove di laboratorio per terreni a grana fine
e di prove in sito per terreni a grana grossa)

5) Calcolo e integrazione delle deformazioni, con
determinazione delle aliquote del cedimento
(w_o istantaneo, w_c di consolidazione e w_s viscoso per grana fine
w_o istantaneo e w_s viscoso per grana grossa)

6) Valutazione del decorso nel tempo
(significativa solo per terreni a grana fine)

Strutture di fondazione

Tutte le strutture civili (edifici, ponti, muri, ecc.) sono vincolate al terreno attraverso una "struttura di fondazione", che va opportunamente dimensionata.

Il vincolo terreno, sollecitato attraverso la fondazione, non deve infatti collassare o essere troppo cedevole (cioè, produrre cedimenti incompatibili con la statica e/o la funzionalità della sovrastruttura).

La soluzione del problema richiede tipicamente la valutazione:

– della capacità portante della fondazione;
– **dei cedimenti indotti in condizioni di esercizio.**

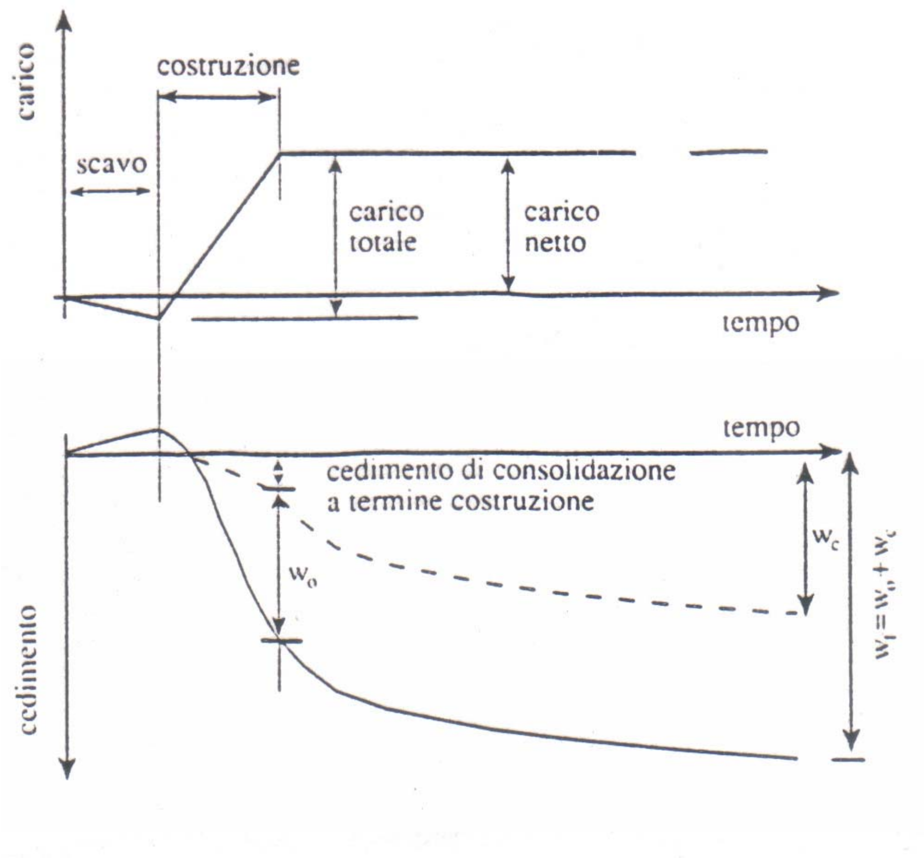
Aliquote del cedimento di una fondazione superficiale

w = cedimento totale (finale, a $t \rightarrow \infty$)

w_0 = cedimento immediato (a $t = 0$)

w_c = cedimento di consolidazione (si sviluppa nel tempo - $t>0$ - per effetto della graduale disspazione delle sovrappressioni interstiziali e della conseguente variazione di tensioni efficaci)

w_s = cedimento secondario (da 'creep', contemporaneo a w_c)

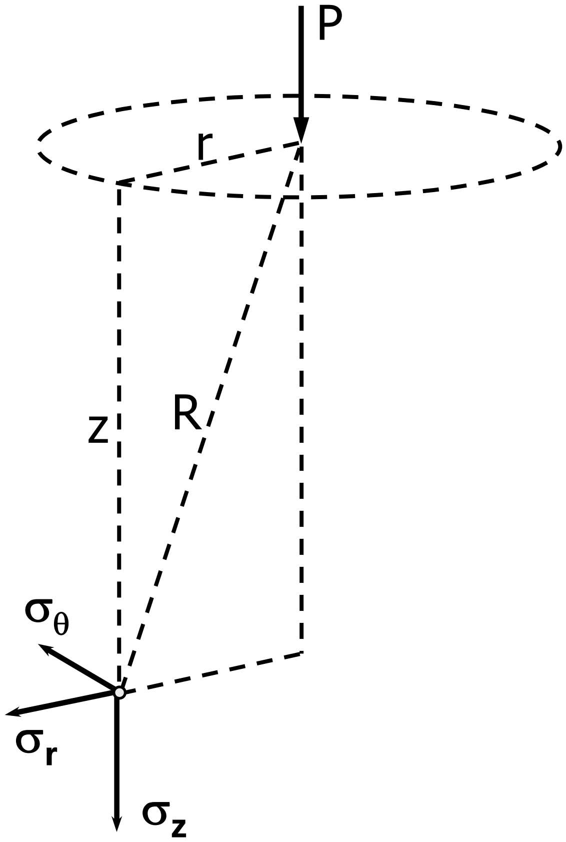


NB: w_s è particolarmente significativo per

- terreni a grana fine organici
- terreni granulari con particelle fragili
  (per es. piroclastici, micacei)

Calcolo degli incrementi di tensione: soluzioni provenienti dalla teoria dell'elasticità

Utilizzando le condizioni di equilibrio, di congruenza e un legame costitutivo è possibile determinare **tensioni** e deformazioni indotte da sollecitazioni esterne.
Nel 1885 il matematico Boussinesq trova la soluzione analitica per un caso di particolare rilievo:
forza verticale concentrata P sulla superficie (orizzontale) di un semispazio costituito da un materiale linearmente elastico, omogeneo ed isotropo.



$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi} \cdot \frac{z^3}{R^5}$$

$$\sigma_r = -\frac{P}{2\pi R^2} \cdot \left[-\frac{3r^2 z}{R^3} + \frac{(1-2\nu)\cdot R}{R+z} \right]$$

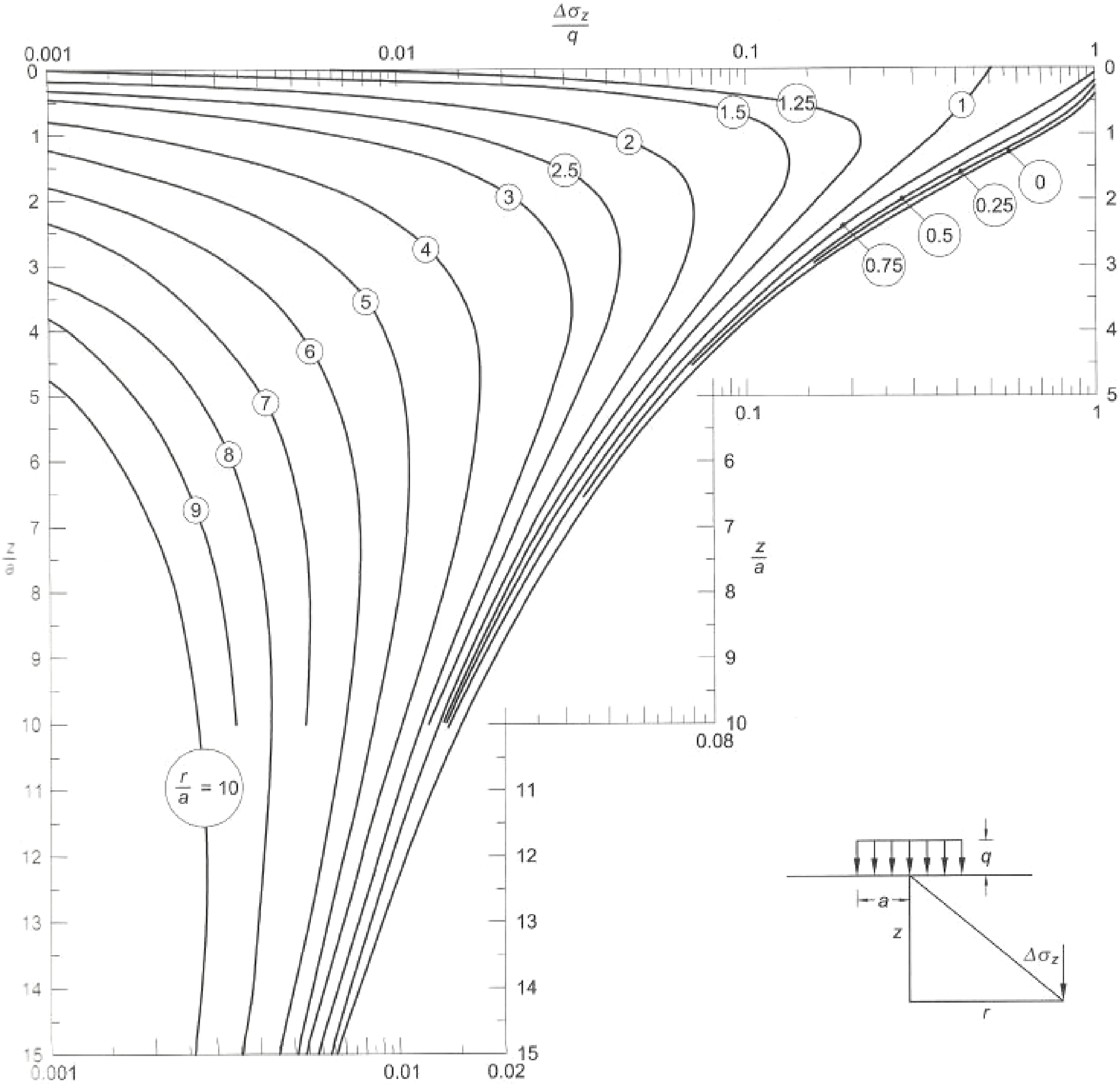
$$\sigma_\theta = -\frac{(1-2\nu)\cdot P}{2\pi R^2} \cdot \left[\frac{z}{R} - \frac{R}{R+z} \right]$$

$$\tau_{rz} = \frac{3P}{2\pi} \cdot \frac{z^2 r}{R^5}$$

con $R^2 = r^2 + z^2$

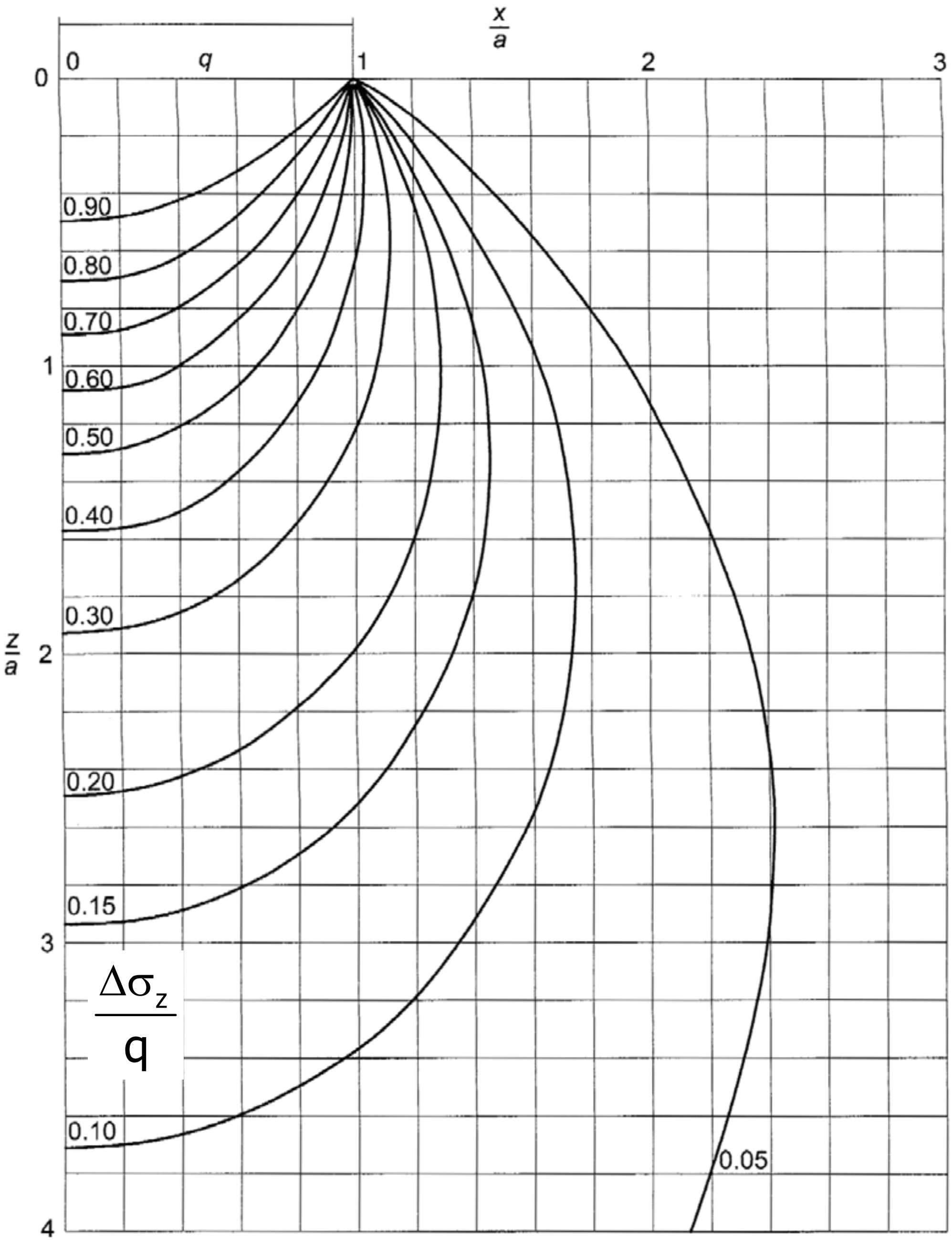
Soluzioni provenienti dalla teoria dell'elasticità

Valori di $\Delta\sigma_z/q$ per un carico uniformemente distribuito con intensità costante q su di un'area circolare di raggio a



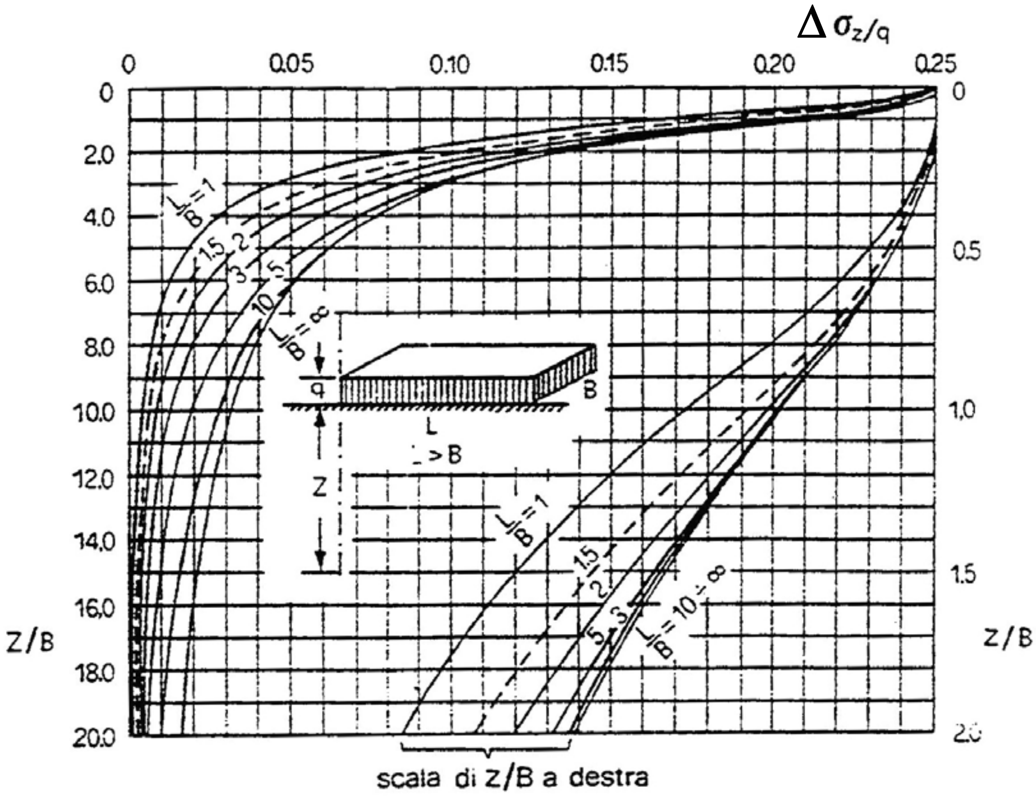
Soluzioni provenienti dalla teoria dell'elasticità

Valori di $\Delta\sigma_z/q$ per un carico uniformemente distribuito con intensità costante q su di un'area circolare di raggio a



Soluzioni provenienti dalla teoria dell'elasticità

Valori di $\Delta\sigma_z/q$ lungo la verticale <u>per uno spigolo</u> di un'area rettangolare di lati B e L sotto un carico uniformemente distribuito di intensità q (Steinbrenner).



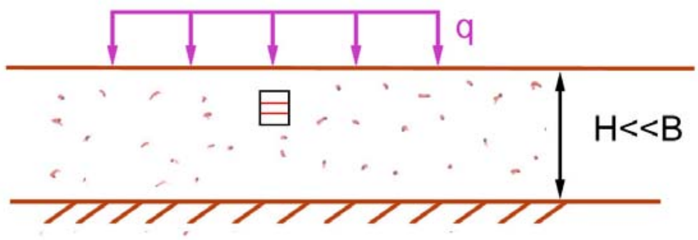
	Valori di $\Delta\sigma_z/q$						
z/B	**L/B = 1.0**	**L/B = 1.5**	**L/B = 2.0**	**L/B = 3.0**	**L/B = 5**	**L/B = 10**	**L/B = ∞**
0.00	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500
0.25	0.2478	0.2482	0.2483	0.2485	0.2485	0.2485	0.2485
0.50	0.2325	0.2378	0.2391	0.2397	0.2398	0.2399	0.2399
0.75	0.2060	0.2182	0.2217	0.2234	0.2239	0.2240	0.2240
1.00	0.1752	0.1936	0.1999	0.2034	0.2044	0.2046	0.2046
1.50	0.1210	0.1451	0.1561	0.1638	0.1665	0.1670	0.1670
2.00	0.0840	0.1071	0.1202	0.1316	0.1363	0.1374	0.1374
3.00	0.0417	0.0612	0.0732	0.0860	0.0959	0.0987	0.0990
4.00	0.0270	0.0383	0.0475	0.0604	0.0712	0.0758	0.0764
6.00	0.0127	0.0185	0.0238	0.0323	0.0431	0.0496	0.0521
8.00	0.0073	0.0107	0.0140	0.0195	0.0283	0.0367	0.0394
10.00	0.0048	0.0070	0.0092	0.0129	0.0198	0.0279	0.0316
15.00	0.0021	0.0031	0.0042	0.0061	0.0097	0.0158	0.0213
20.00	0.0012	0.0018	0.0024	0.0035	0.0057	0.0099	0.0159

Metodo edometrico

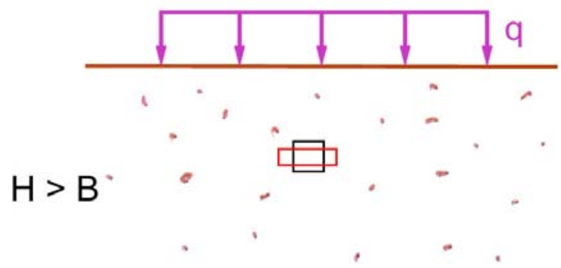
Si assume che le deformazioni avvengano solo in direzione verticale ($\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0 \Rightarrow \varepsilon_v \equiv \varepsilon_z$).

Abbiamo visto che ciò si verifica nello schema monodimensionale (condizioni edometriche, $B/H \rightarrow \infty$).

Tale assunzione, chiaramente, risulta tanto più forzata quanto più B/H è ridotto.



condizioni $\cong$ edometriche



condizioni $\neq$ edometriche

Di conseguenza:

1) il metodo non prevede alcun cedimento inziale:

$$\varepsilon_{z0} \equiv \varepsilon_{v0} = 0 \Rightarrow w_0 = \int_0^H \varepsilon_{z0} dz = 0$$

2) il metodo permette di valutare il cedimento finale:

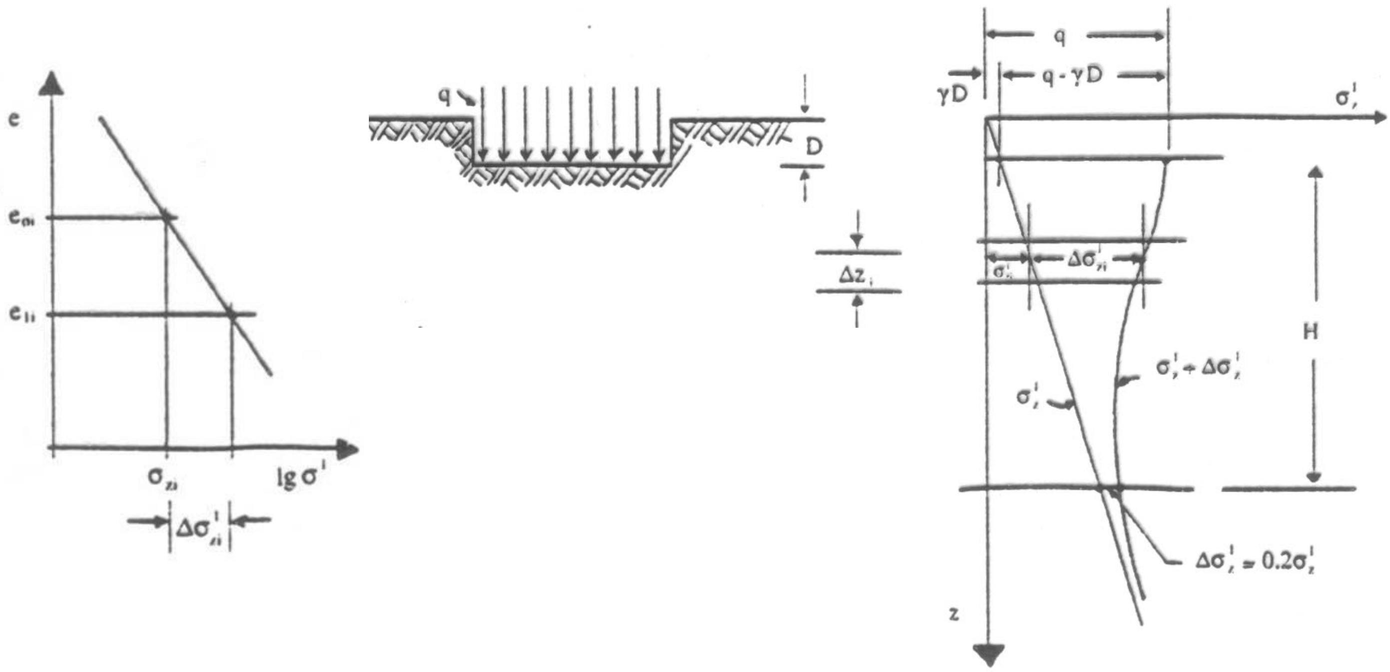
$$w_f = w_{ed} = \int_0^H \varepsilon_z dz \cong \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{z,i} \Delta z_i = \sum_{i=1}^{n} \Delta w_{ed,i}$$

Metodo edometrico

1. **Caratterizzare il sottosuolo con i soli parametri di compressibilità edometrica (indici o moduli)**

   - terreni a grana fine ⟶ prove di compressione edometrica

   - terreni a grana grossa ⟶ prove penetrometriche in sito + correlazioni



2. **Calcolare i soli incrementi di tensione efficace verticale $\Delta\sigma'_z$**

   a fine consolidazione $\Delta\sigma'_z = \Delta\sigma_z$

   teoria dell'elasticità ⟶ calcolo di $\Delta\sigma_z$ indipendente dai parametri E, ν

3. **Calcolare ed integrare le deformazioni verticali ε_z**

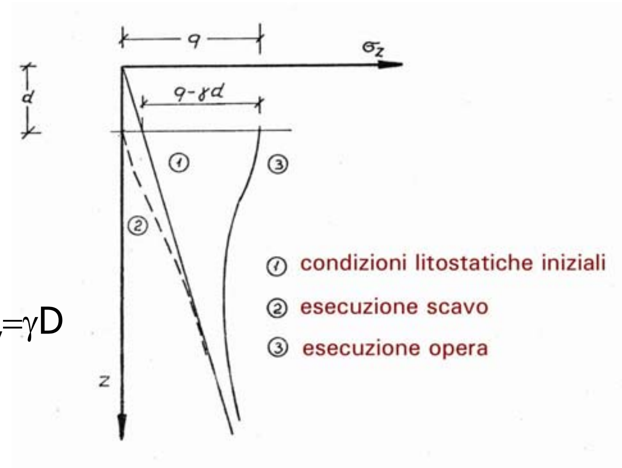
   previa discretizzazione in n strati dello spessore H di sottosuolo deformabile

$$w_{ed} = \int_0^H \varepsilon_z dz \cong \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{z,i}\Delta z_i = \sum_{i=1}^{n} \Delta w_{ed,i}$$

dove $$\Delta w_{ed,i} = \frac{\Delta\sigma'_{z,i}}{E_{ed,i}} \cdot \Delta z_i = \frac{e_{0,i} - e_{1,i}}{1 + e_{0,i}} \cdot \Delta z_i$$

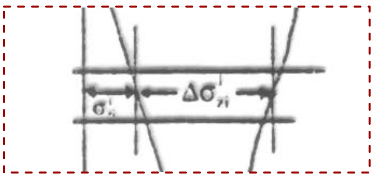
Metodo edometrico

Gli incrementi $\Delta\sigma'_z$ vanno calcolati in base al 'carico netto' $(q - \gamma D)$, ipotizzando che il ciclo di scarico (scavo fino a profondità D) e successivo ricarico sul piano di posa fino a $\sigma_v = \gamma D$ non producano deformazioni.

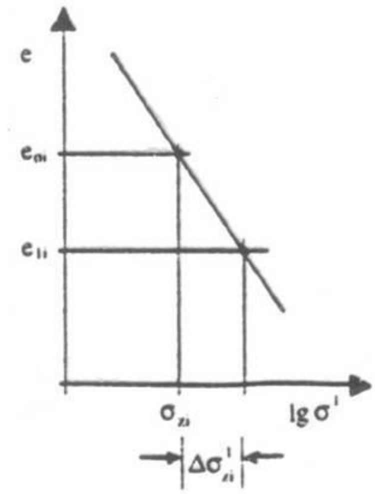


L'aliquota di cedimento Δw_{ed} in ogni strato omogeneo si può calcolare nelle due diverse forme:

a. $$\Delta w_{ed} = \frac{\Delta\sigma'_z}{E_{ed}} \cdot \Delta z$$



E_{ed} = modulo edometrico relativo all'intervallo $\sigma'_{v0} \div \sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_z$



b. $$\Delta w_{ed} = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \cdot \Delta z$$

e_0 = indice dei vuoti precedente all'incremento di carico

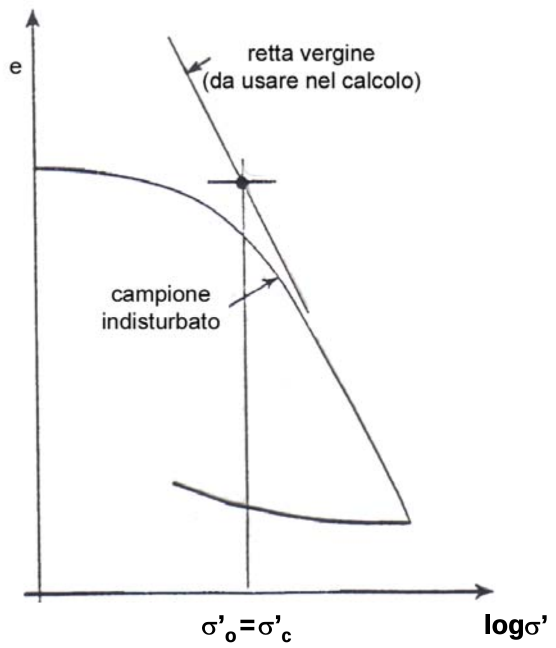
Δe = variazione dell'indice dei vuoti conseguente all'incremento di carico

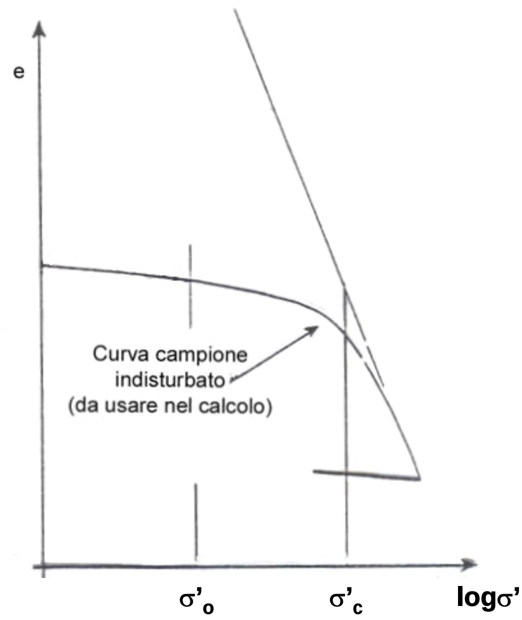
Importanza della storia tensionale nel calcolo dei cedimenti

La variazione di indice dei vuoti Δe va calcolata percorrendo:

la retta vergine
in condizioni di normale consolidazione

la curva di compressione
in condizioni di sovraconsolidazione





$$\Delta e = C_c \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_z}{\sigma'_{v0}}$$

$$\Delta e = C_r \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_z}{\sigma'_{v0}}$$

Se l'incremento $\Delta\sigma'_z$ è tale da rendere normalmente consolidato un terreno inizialmente sovraconsolidato ($\sigma'_{v0} < \sigma'_p$), Δe va calcolato sulla curva di compressione fino a σ'_p e sulla retta vergine oltre σ'_p:

$$\Delta e = C_r \cdot \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}} + C_c \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_z}{\sigma'_p}$$