Spoleto, 6-7 aprile 2018

RISPOSTA SISMICA LOCALE

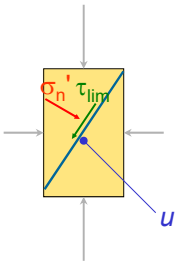
Luigi Callisto

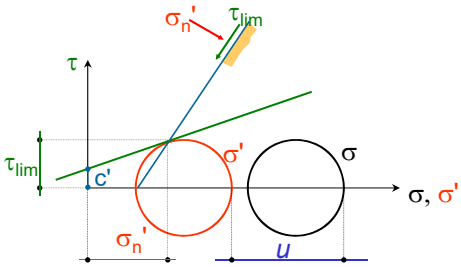
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

liquefazione

liquefazione

riduzione della resistenza al taglio per effetto di incrementi di pressione interstiziale prodotti dal sisma

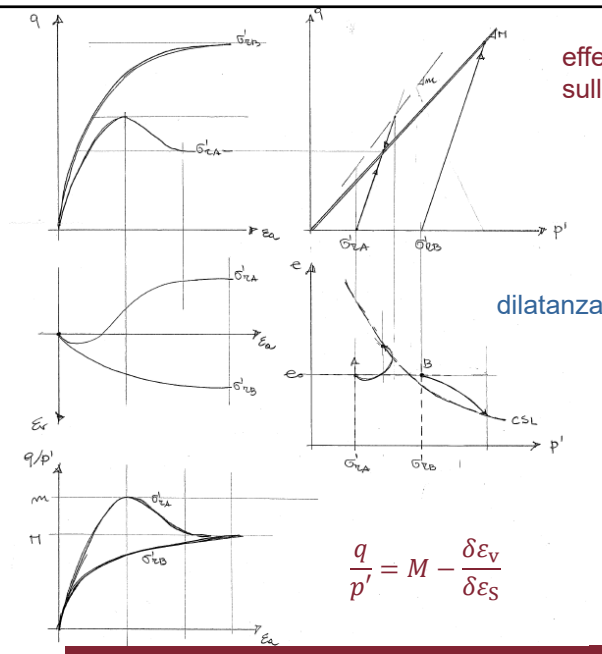




τ_{lim} = c' + σ' tan φ' = c' + [σ – u] tan φ'

possibile incremento $\Delta u \rightarrow$ riduzione della resistenza

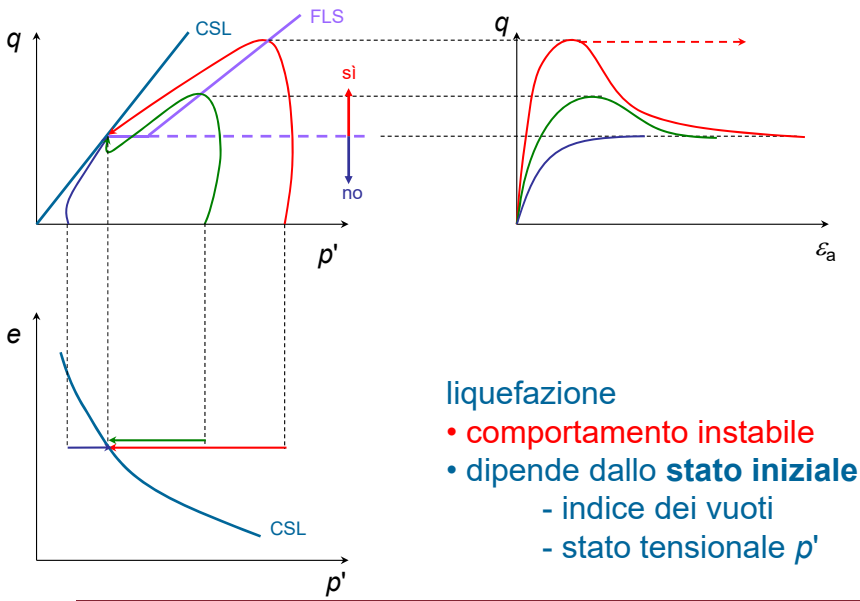
τ_{lim} = c' + [σ – (u_0 + Δu)] tan φ'



effetto della dilatanza sulla resistenza

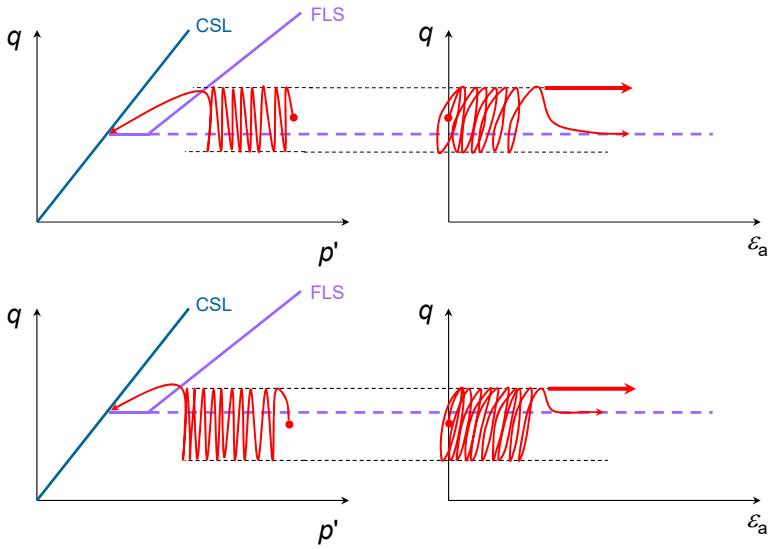
dilatanza → stato: *e*, *p'*

$$\frac{q}{p'} = M - \frac{\delta\varepsilon_v}{\delta\varepsilon_S}$$

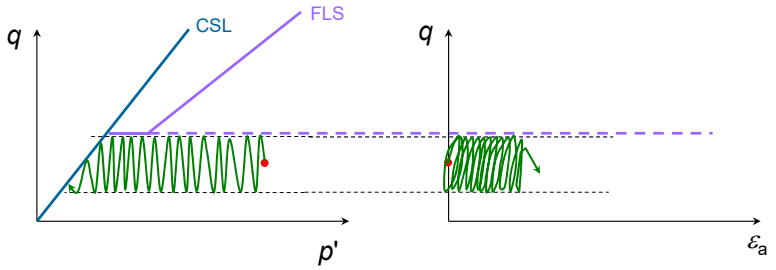


liquefazione
- comportamento instabile
- dipende dallo **stato iniziale:**
  - indice dei vuoti
  - stato tensionale *p'*

condizioni cicliche
comportamento instabile → liquefazione (*flow liquefaction*)

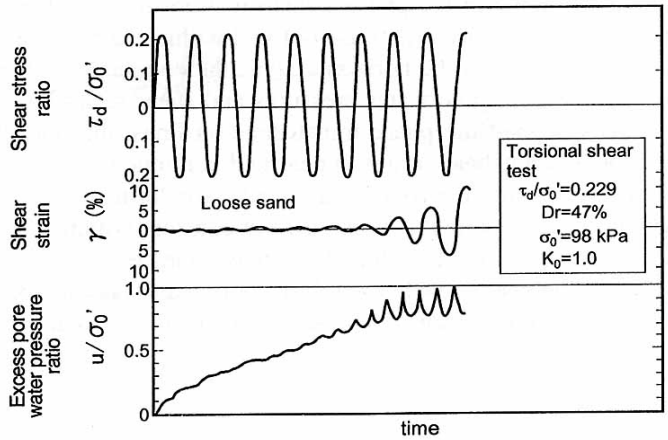


condizioni cicliche
comportamento stabile → mobilità ciclica



- valore iniziale di *q*
- ampiezza della sollecitazione ciclica

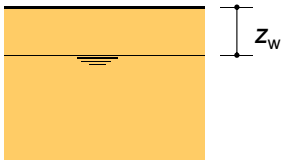
liquefazione in una prova torsionale ciclica



Christchurch (2011) – M = 6.3

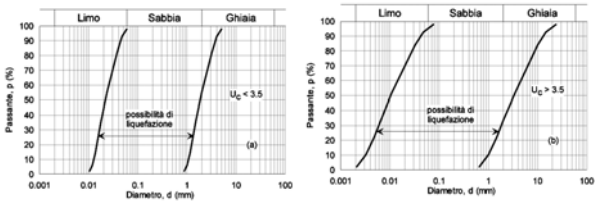
Izmit (1999) – M = 7.6

verifica liquefazione: motivi di esclusione



FC = % passante al setaccio 0.074 mm

- a_{max} < 0.1 g
- z_w > 15m
- a_{max} < 0.15 g e:
  FC >20 % con I_P > 10 %
  FC >25 % con N_1 > 20
  FC > 5 % con N_1 > 25
- granulometria



$Uc = d_{60}/d_{10}$

liquefazione: metodi di analisi

coefficiente di sicurezza $F_L = \frac{\tau_{lim}}{\tau} = \frac{\tau_{lim}/\sigma'_{v0}}{\tau/\sigma'_{v0}} = \frac{CRR}{CRS}$

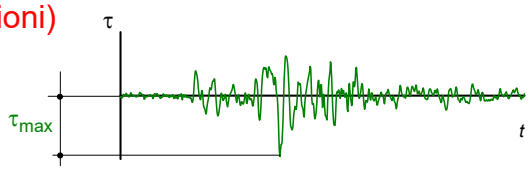
CRS = *Cyclic Stress Ratio*
rapporto di sollecitazione ciclica
(carico sismico)

CRR = *Cyclic Resistance Ratio*
resistenza ciclica

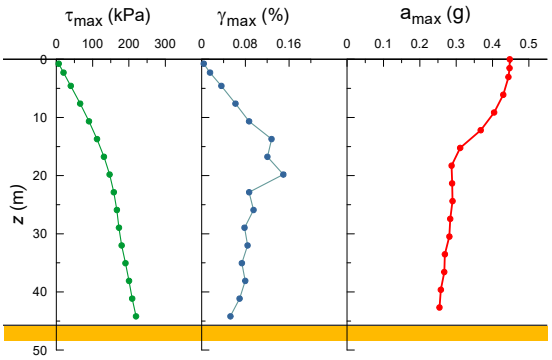
il coefficiente di sicurezza è valutato in un punto

valutazione di *CRS* (azioni)

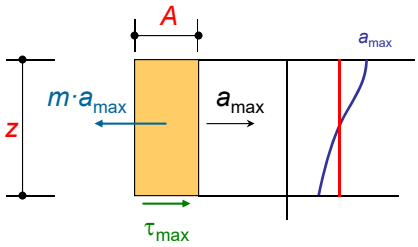
$$CRS = \frac{\tau}{\sigma'_{v0}} = \frac{0.65\tau_{max}}{\sigma'_{v0}}$$



$\tau_{max} \rightarrow$ da analisi di risposta sismica



valutazione semplificata

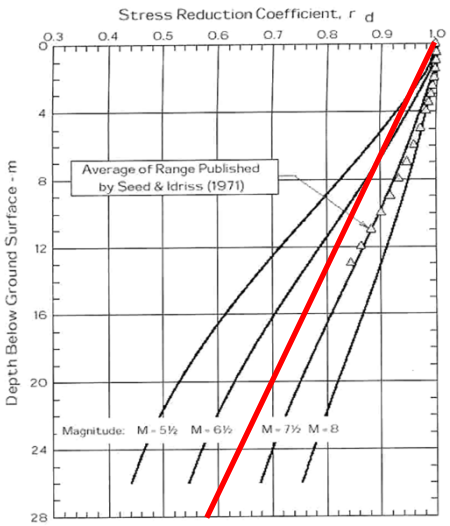


$$\tau_{max} A = m \cdot a_{max}$$

$$\tau_{max} = \frac{m \cdot a_{max}}{A} = \rho \cdot A \cdot z \frac{a_{max}}{A} = \frac{\gamma}{g} \cdot z \cdot a_{max}$$

$$\tau_{max} = \sigma_v \frac{a_{max}}{g} \cdot r_d$$

$r_d = 1 - 0.015\, z$



Idriss e Golesorkhi (1997)

valutazione di *CRR* (resistenza)

prove in sito

correlazioni empiriche di *CRR* con i risultati di
- prove SPT
- prove CPT
- misura di v_s

forniscono $CRR_{7.5}$ (per un sisma di riferimento con $M = 7.5$)

correzione per $M \neq 7.5$

Magnitude Scaling Factor

$MSF = 6.9\, e^{-M/4} - 0.058$

$CRR_M = CRR_{7.5} \times MSF$

oppure:

$CSR_{7.5} = CSR_M / MSF$

per $M < 7.5$ è $MSF > 1$ incrementa la resistenza o riduce l'azione

Prove SPT

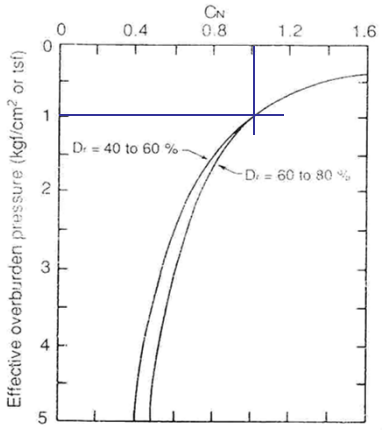
$N_1 = N_{SPT}\, C_N$

C_N fattore correttivo per lo stato tensionale efficace

es:

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v}\right)^{0.784-0.0768\sqrt{N_1}}$$

Idriss & Boulanger 2004



altre correzioni

$C_E\, C_B\, C_R\, C_S$

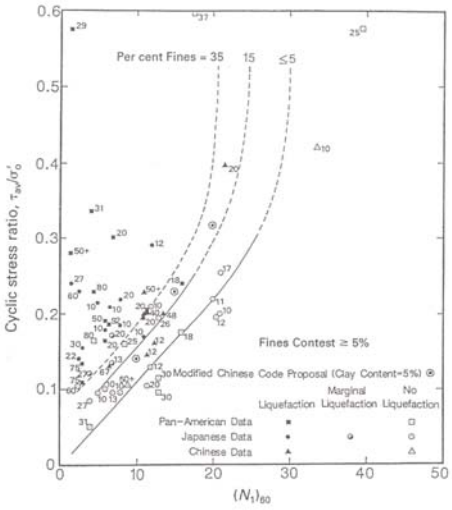
C_E= ER x 100 /60 rendimento energetico ≈ 1 → $(N_1)_{60}$

C_B foro di sondaggio	1.0-1.15
C_R asta	0.75-1.0
C_S attrezzo campionatore	1.0-1.3

abachi per la resistenza alla liquefazione - prova SPT ottenuti per M = 7.5

Seed et al. 1985

Fc = % passante al setaccio ASTM200 (0.0074 mm)

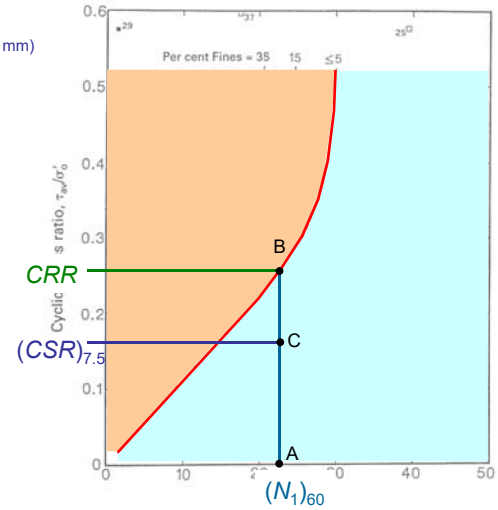


abachi per la resistenza alla liquefazione - prova SPT

ottenuti per M = 7.5

Seed et al. 1985

Fc = % passante al setaccio ASTM200 (0.0074 mm)



valutazione del coefficiente di sicurezza

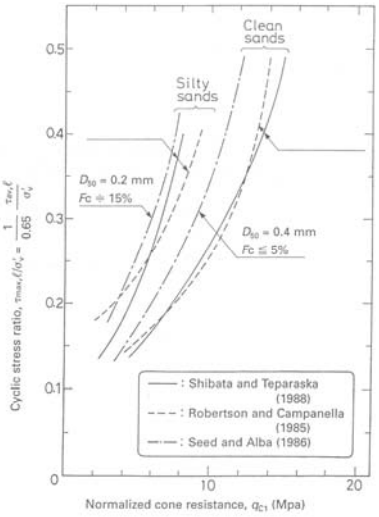
$$F = \frac{AB}{AC}$$

abachi per la resistenza alla liquefazione - prova CPT

$$q_{c1} = q_c \, C_N$$

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v}\right)^{1.338-0.294(q_{c1})^{0.264}}$$

Idriss & Boulanger 2004

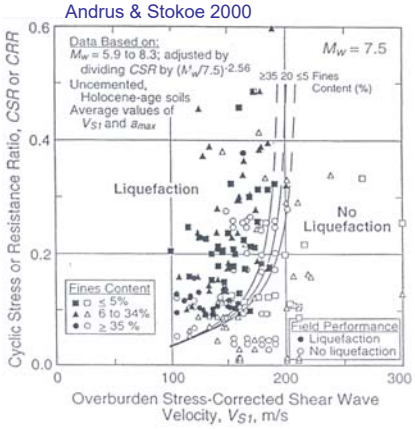


abachi per la resistenza alla liquefazione - v_s

$$v_{s1} = v_s \, C_v$$

$$C_v = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.25}$$

Andrus & Stokoe 2000



problemi:

- V_s non correlata con la resistenza
- determinazioni non standard (es. V_{sH})

indice del potenziale di liquefazione

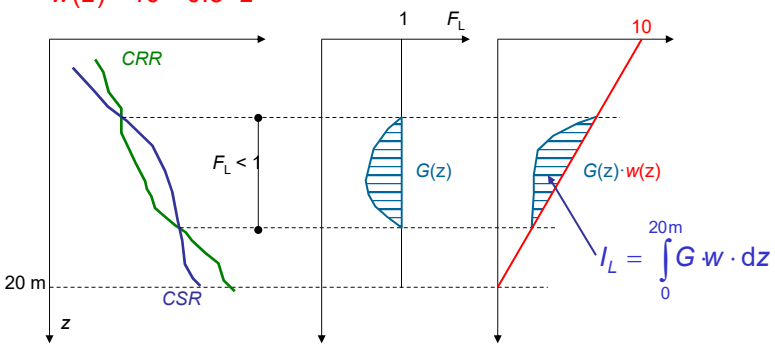
$$I_L = \int_0^{20m} G(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

$G(z) = 1 - F_L$ se $F_L < 1$

$G(z) = 0$ se $F_L > 1$

I_L	potenziale
0-5	basso
5-15	elevato
> 15	molto elevato

$$w(z) = 10 - 0.5 \cdot z$$

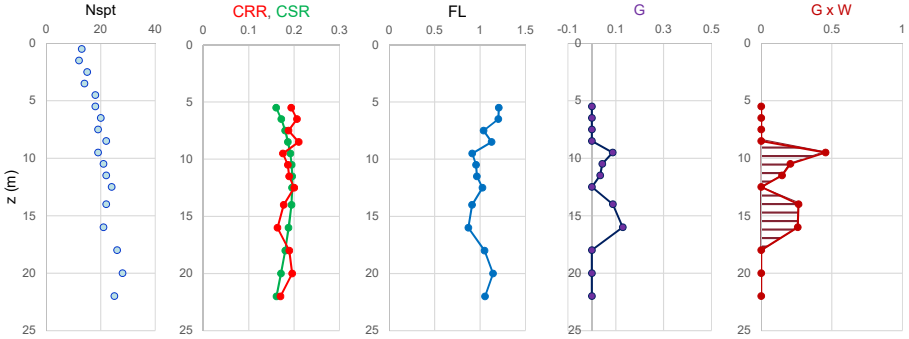


indice del potenziale di liquefazione

I_L	potenziale
0-5	basso
5-15	elevato
> 15	molto elevato

$$I_L = \int_0^{20m} G(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

I_L = 1.85



modelli non lineari
sviluppo di sovrappressioni interstiziali

$$\frac{\Delta\overline{\varepsilon_v}}{\gamma} = C_1 \times e^{-C_2 \frac{\varepsilon_v}{\gamma}}$$

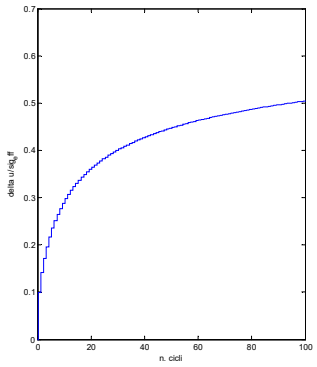
Byrne (1991)

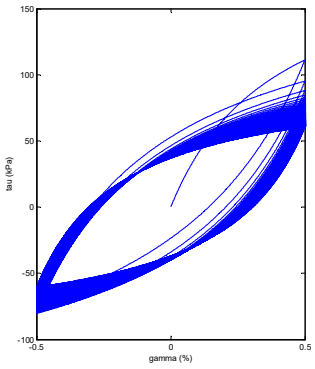
$$C_1 = 7600 \times D_R^{-2.5}$$

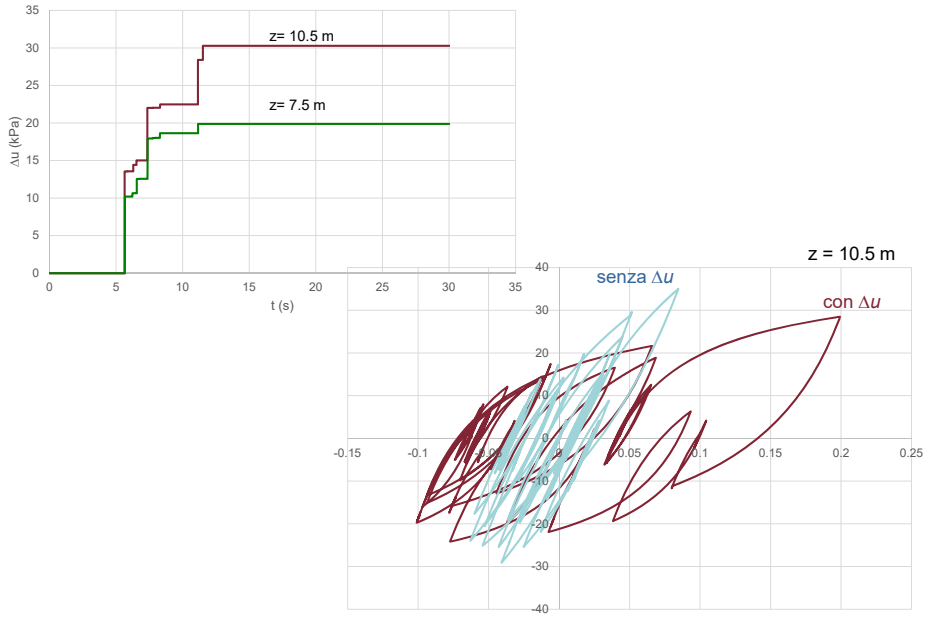
$$C_2 = 0.4/C_1$$

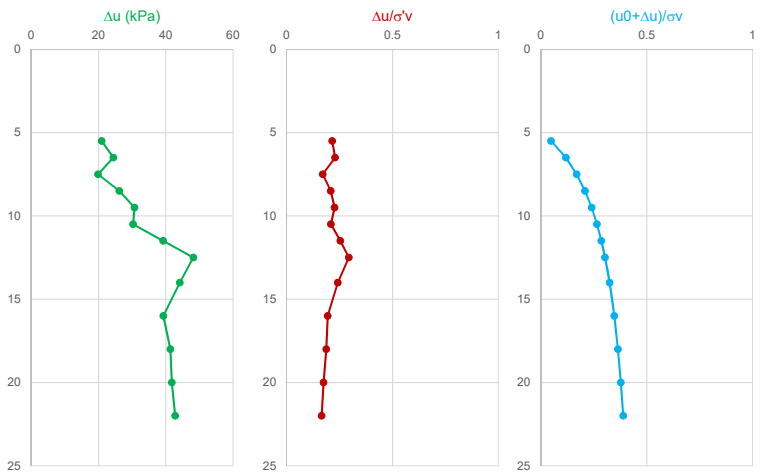
$$\Delta u = K \times \Delta\overline{\varepsilon_v}$$

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$$

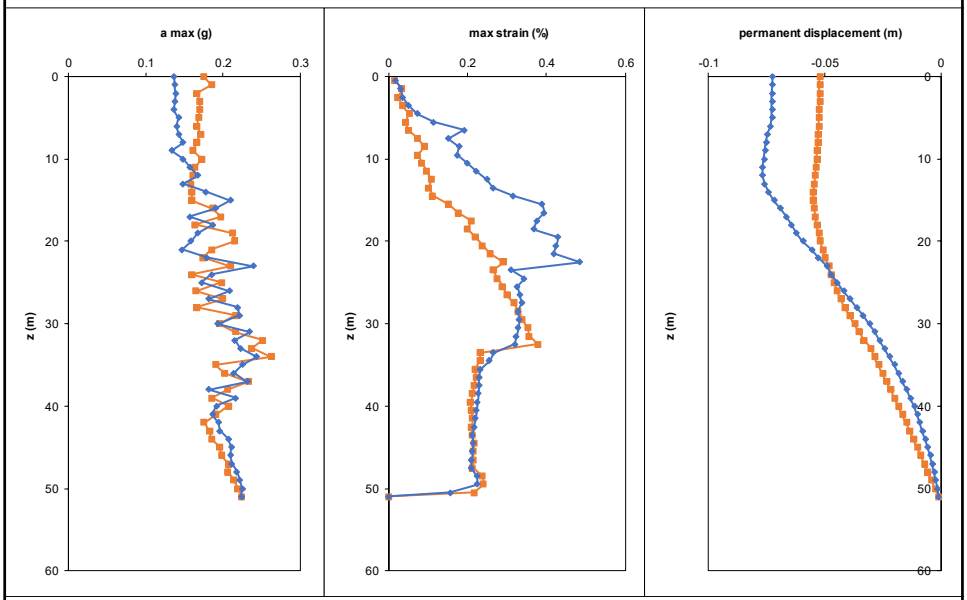


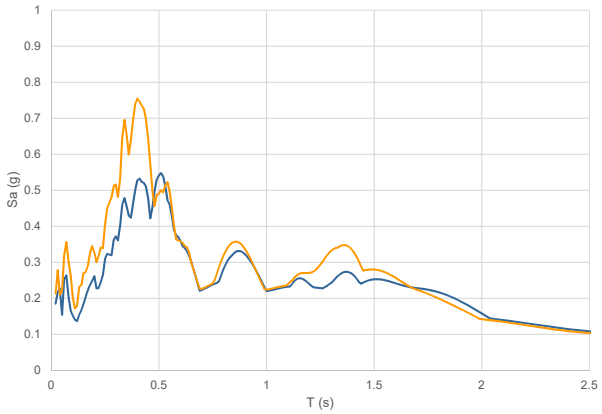
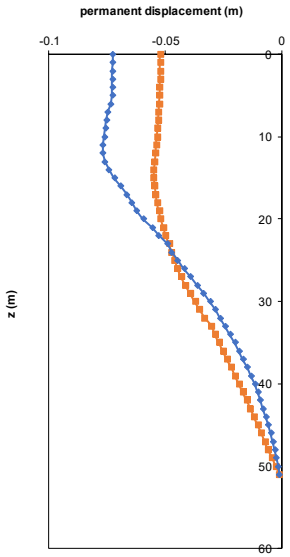



z= 10.5 m
z= 7.5 m
Δu (kPa)
t (s)
z = 10.5 m
senza Δu
con Δu


Δu (kPa)
Δu/σ'v
(u0+Δu)/σv

Arcelik



Arcelik

effetto della generazione di sovrappressioni interstiziali