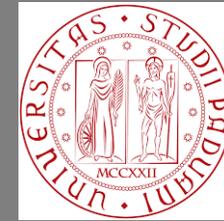




Provincia autonoma di Trento



PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Lezioni teoriche

Trento, 27 settembre 2024



Prof.ssa Ing. Simonetta Cola

Università degli Studi di Padova

Prof.ssa Ing. Lucia Simeoni

Università degli Studi di Trento

mattina

1. Principi della meccanica delle terre

2. Ruolo delle prove nella progettazione geotecnica

3. Principali prove di laboratorio per la caratterizzazione meccanica

4. Identificazione e classificazione

pomeriggio

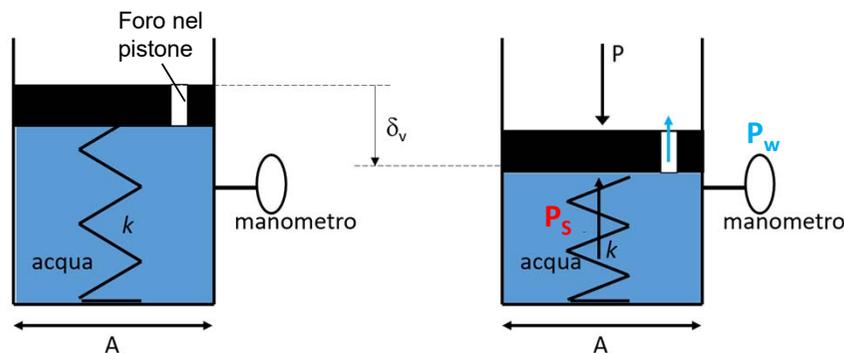
5. Consolidazione e compressibilità monodimensionale

6. Resistenza al taglio nei terreni a grana grossa e a grana fine

A seguire, **Confronto sui temi trattati**

Consolidazione e Compressibilità monodimensionale

Cosa intendiamo?



Si analizzano con la **Prova edometrica** ideata per studiare la compressione monodimensionale o compressione a espansione laterale impedita

Consolidazione:

Fenomeno transitorio che descrive lo sviluppo di $\Delta\sigma'_{ij}(t)$ e quindi $\Delta\delta_v(t)$

Dipende sia dalla permeabilità che dalla compressibilità

Compressione:

Variazione del volume (Δe o $\Delta\varepsilon$ o $\Delta\delta_v$) associato a $\Delta\sigma'_{ij}$ senza alcun riferimento al tempo necessario affinché tale variazione possa prodursi.

Dipende solo dalla compressibilità dello scheletro solido

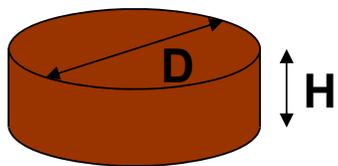
Consolidazione e compressibilità monodimensionale

La prova edometrica: finalità e provino

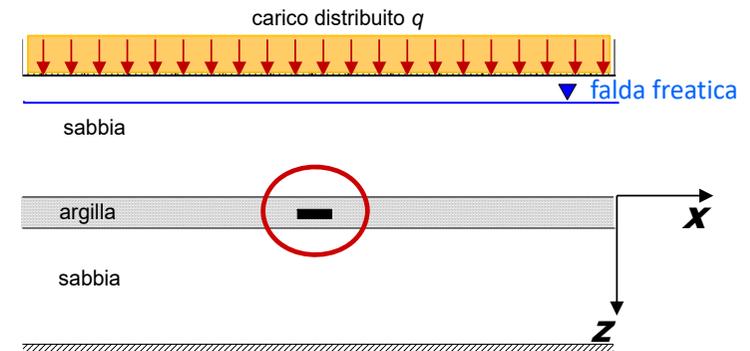


- Indagare il comportamento deformativo in condizioni di espansione laterale impedita
- Indagare l'effetto idro-meccanico accoppiato sul comportamento deformativo del terreno
- Indagare la storia tensionale del terreno
- **Determinare i parametri per il calcolo dell'entità ed evoluzione dei cedimenti nel tempo**

Provino edometrico

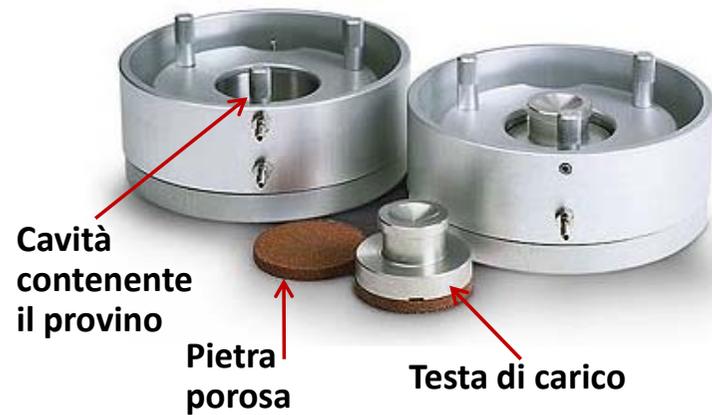
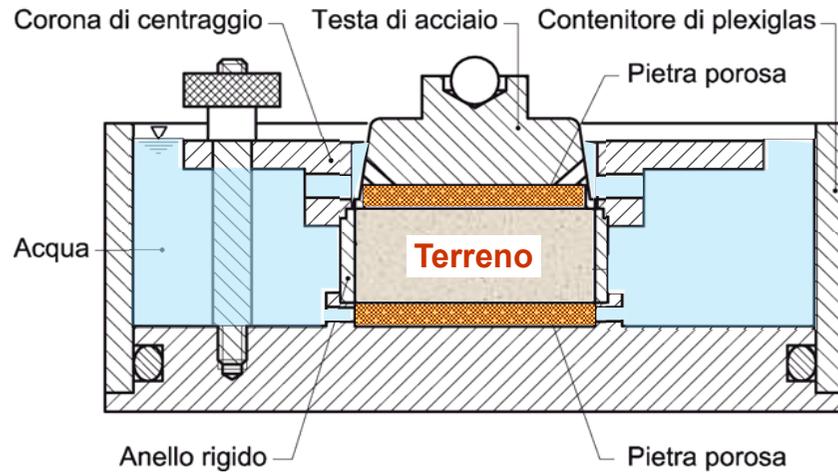


- Diametro $D \geq 35$ mm
- Altezza $H \geq 12$ mm
- Rapporto $D/H \geq 2.5$
- **Il diametro medio della particella di terreno più grande $\leq 1/5 H$**
- **La prova si esegue su provini di terreno indisturbato**

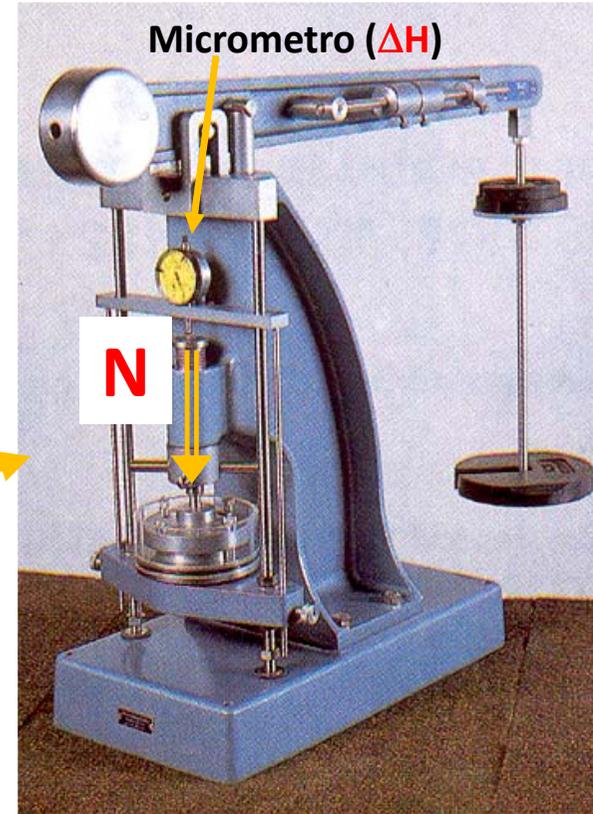


Consolidazione e compressibilità monodimensionale

La prova edometrica: apparecchiatura



Si posiziona nel sistema di carico



Sistema di carico verticale a leva

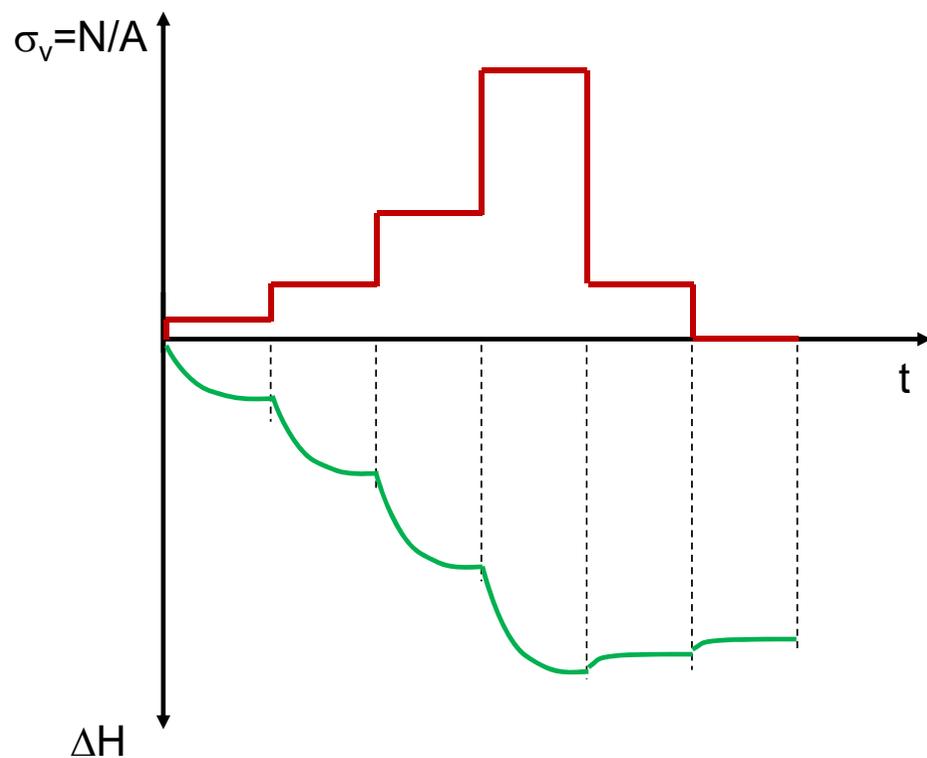
Consolidazione e compressibilità monodimensionale

La prova edometrica: esecuzione

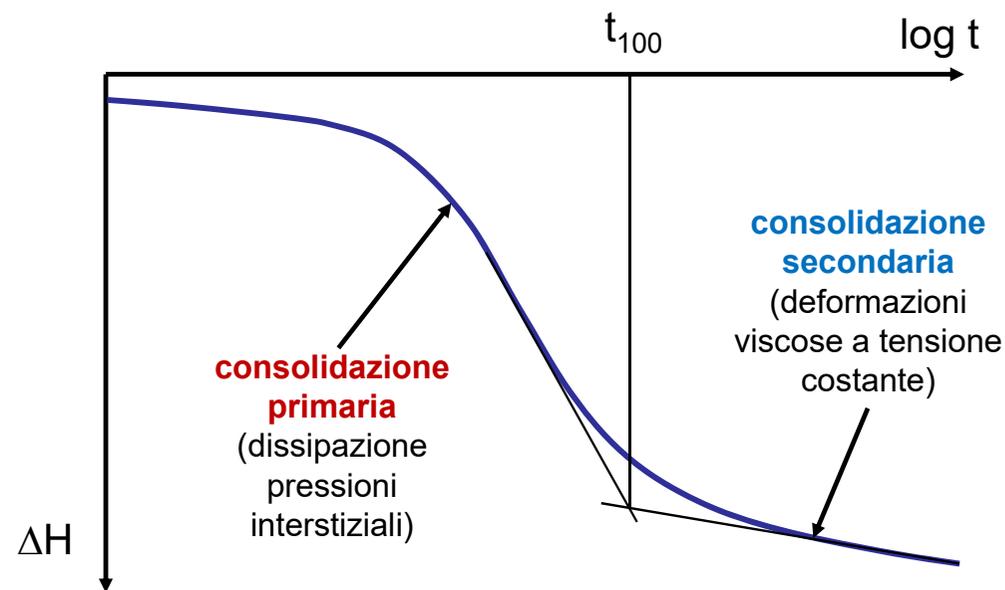


Sequenza di carico e scarico

1. n gradini di carico verticale N



2. Ogni carico N è mantenuto fino a completa dissipazione delle sovrappressioni interstiziali

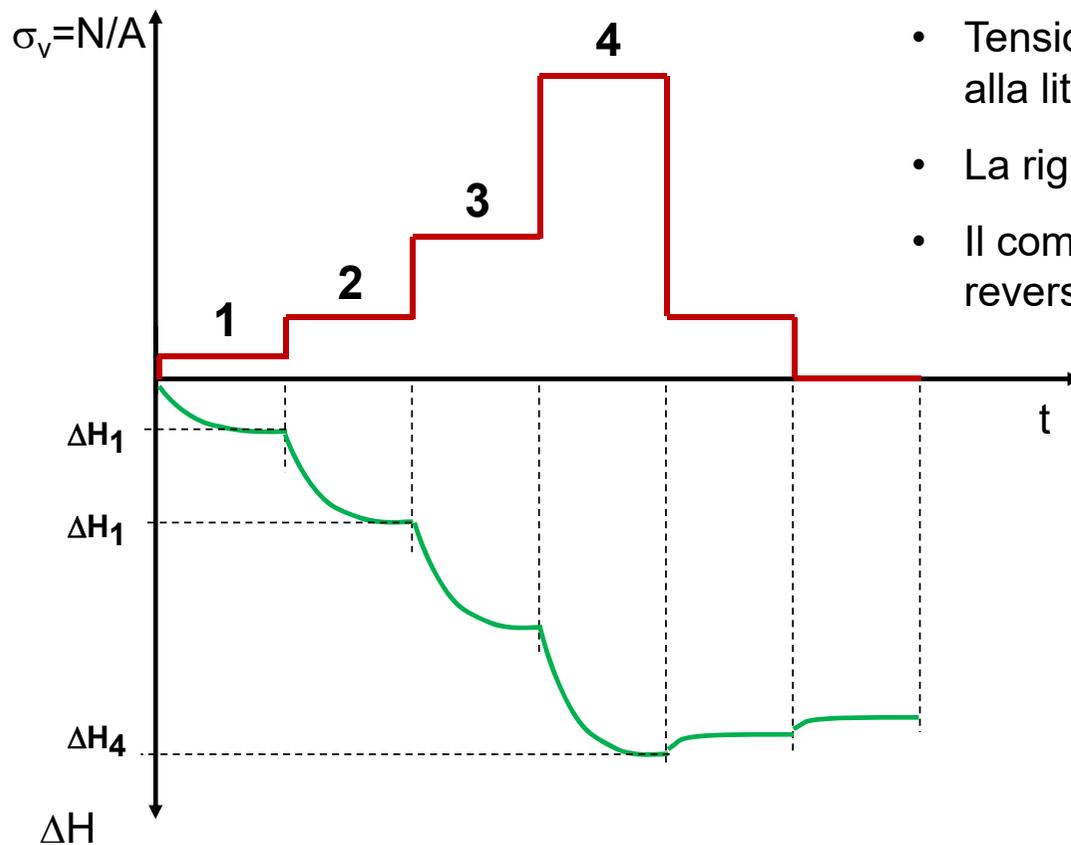


Consolidazione e compressibilità monodimensionale

La curva edometrica o di compressione



1. Gradini di carico



- Il carico N (\rightarrow la tensione verticale $\sigma_v = N/A$) è raddoppiato in carico (es. $\sigma_{v2} = 2\sigma_{v1}$) e ridotto di un quarto in scarico
- Tensioni che vanno almeno dalla tensione litostatica (σ'_{v0}) alla litostatica + incremento dato dall'opera
- La rigidezza del terreno aumenta con la tensione verticale
- Il comportamento volumetrico non è completamente reversibile (elastico + plastico)

Dai ΔH_i a fine gradino di carico si ricava:

- Deformazione verticale, ε_v

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta H}{H_0}$$

- Indice dei vuoti, e

$$e = \frac{V_v}{V_s} = e_0 - \varepsilon_v(1 + e_0)$$

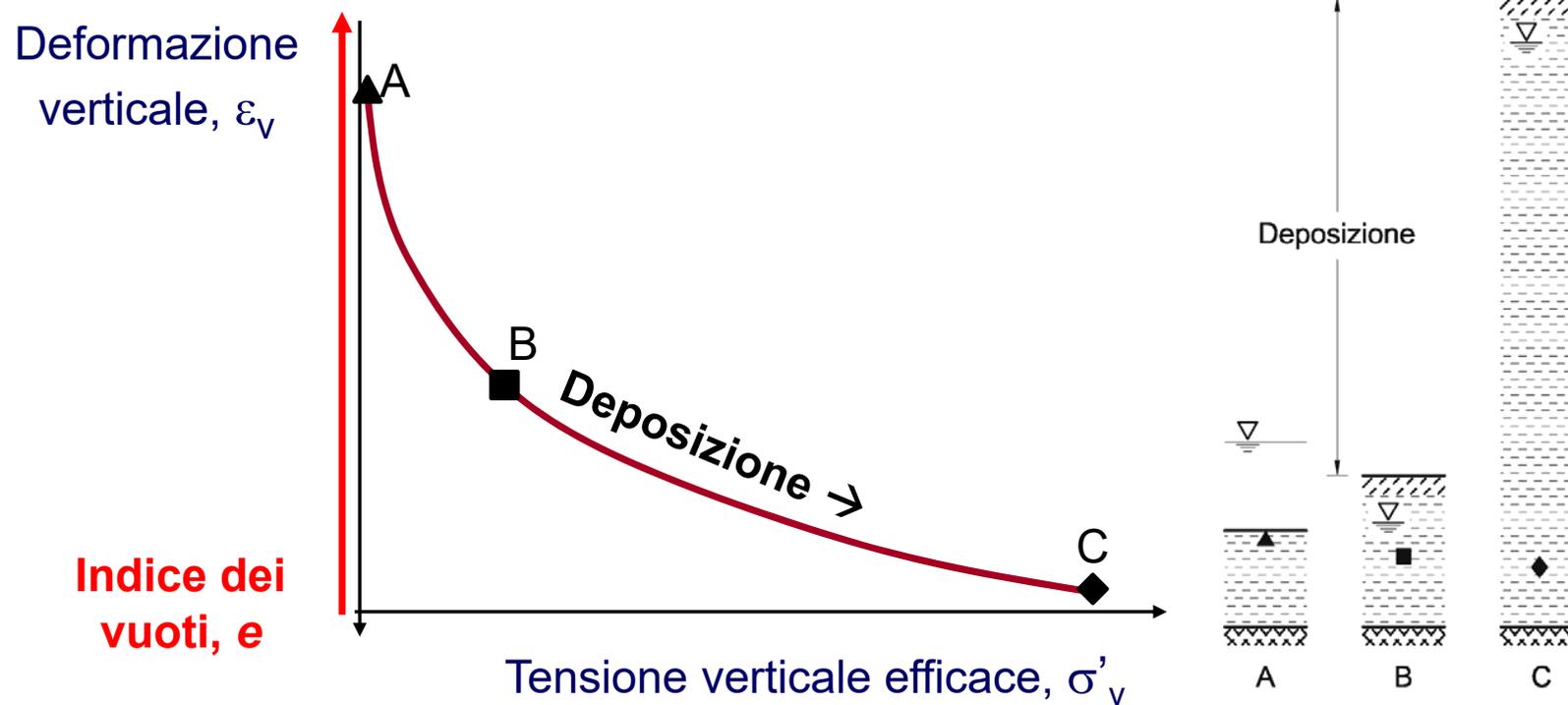
Consolidazione e compressibilità monodimensionale

La curva edometrica o di compressione monodimensionale



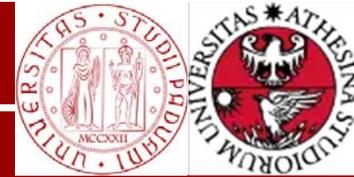
Curva sforzi – deformazioni (o indice dei vuoti) da prova edometrica

Se ho un campione di terreno molto liquido e carico
posso simulare la deposizione in sito

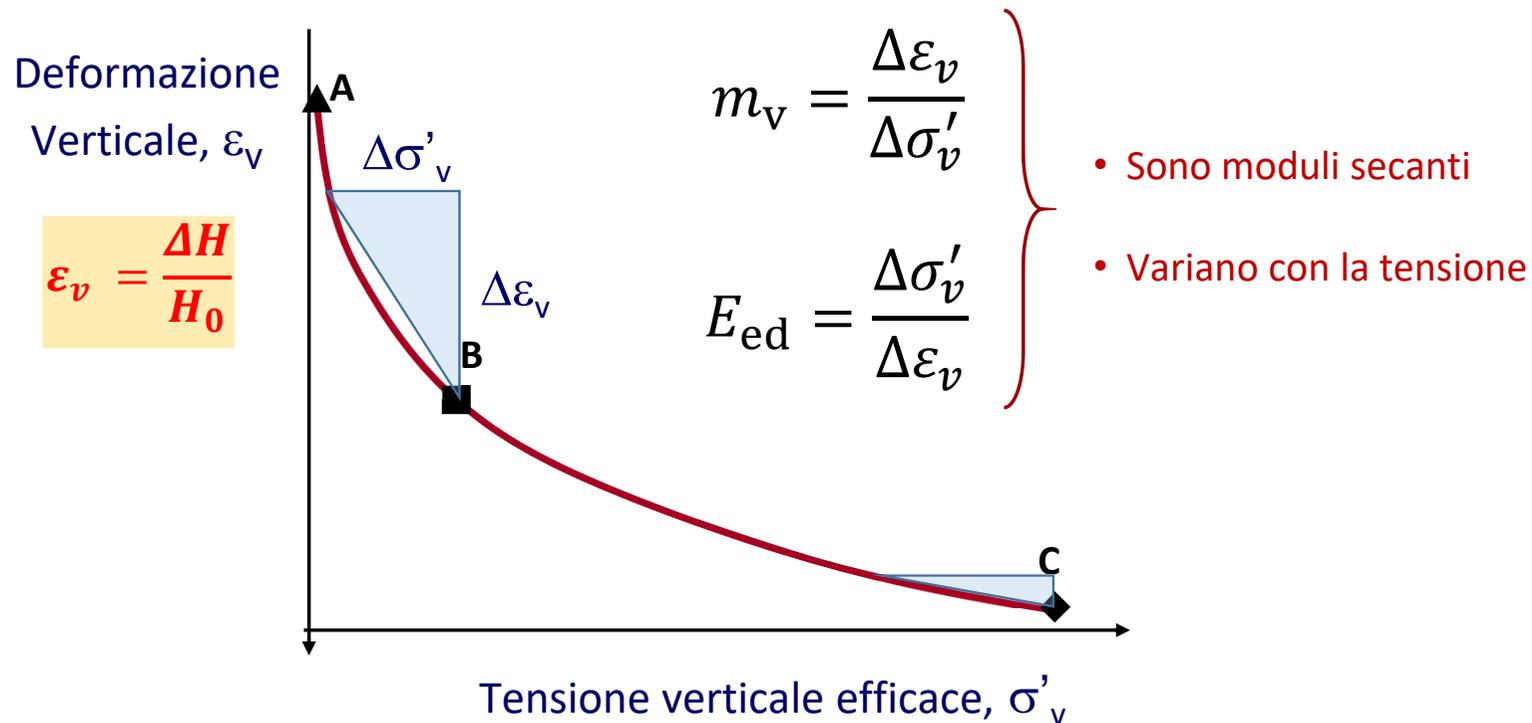


Consolidazione e compressibilità monodimensionale

La curva edometrica o di compressibilità monodimensionale

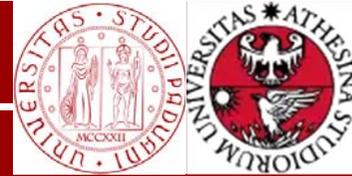


Curva sforzi – deformazioni da prova edometrica

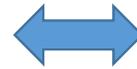


Consolidazione e compressibilità monodimensionale

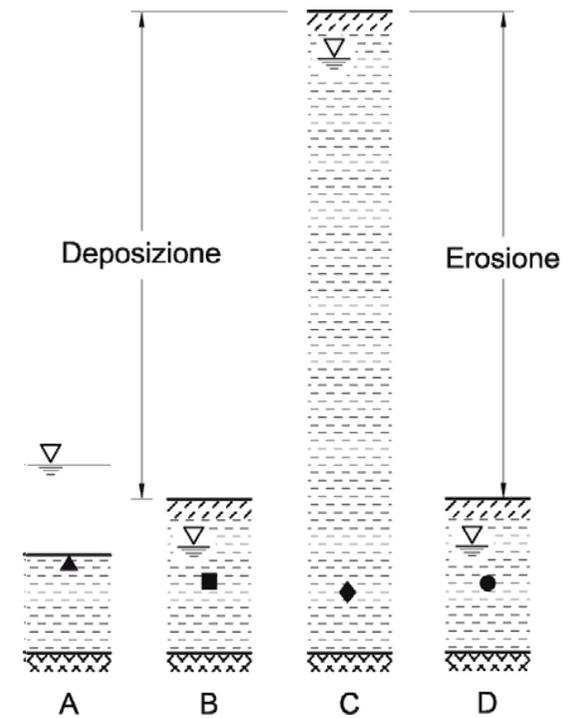
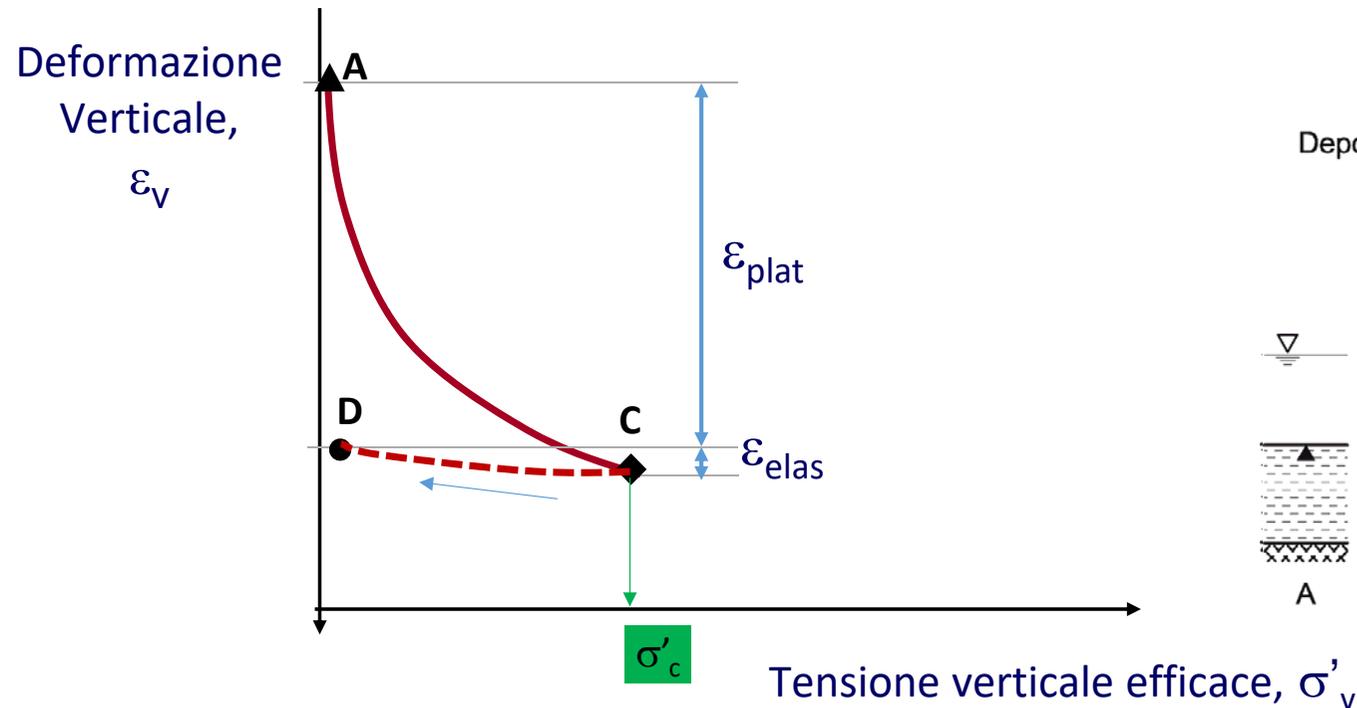
La curva edometrica o di compressibilità monodimensionale



Elasticità



Plasticità

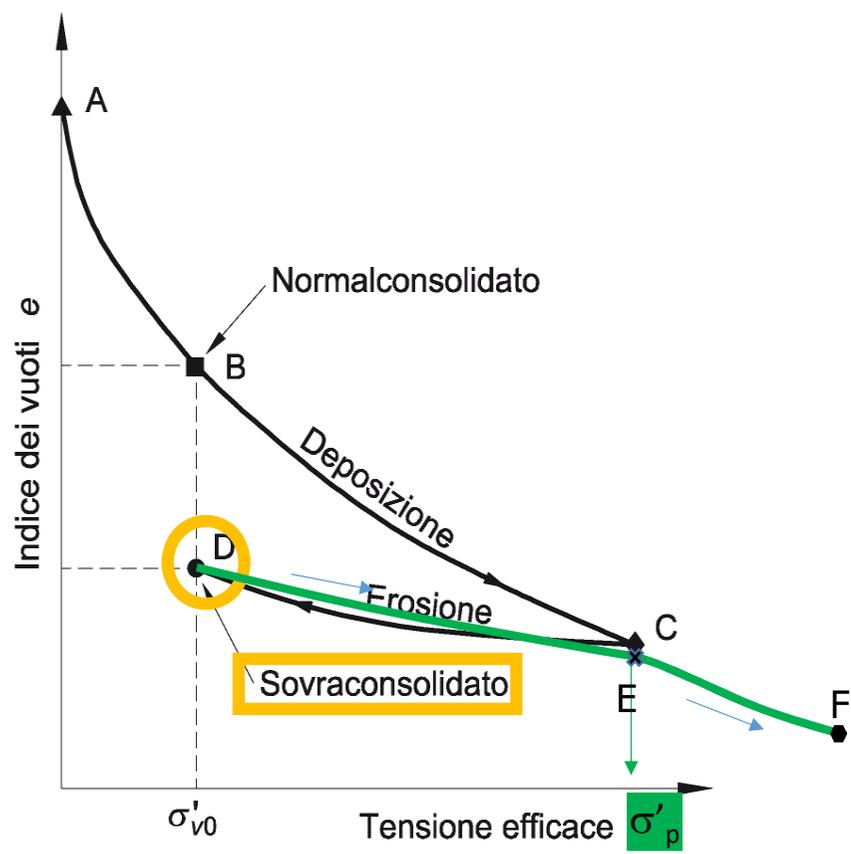


Consolidazione e compressibilità monodimensionale

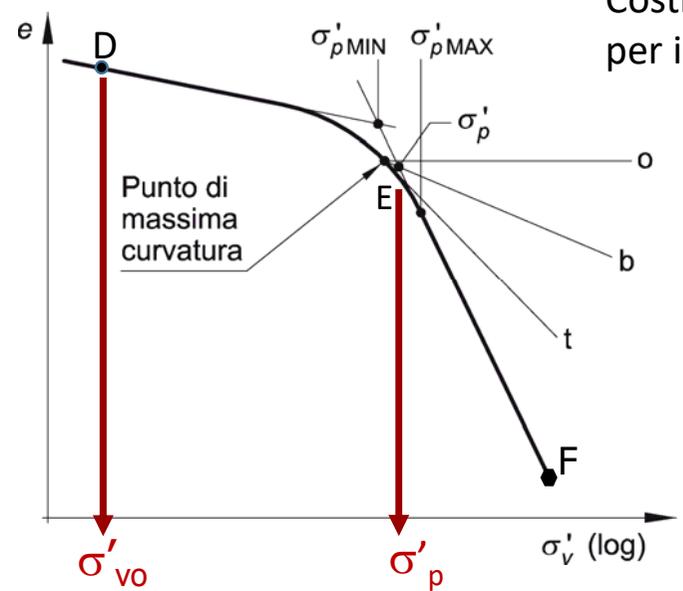
Il grado di sovraconsolidazione



Elasticità ↔ Plasticità



Costruzione di Casagrande per individuare σ'_p



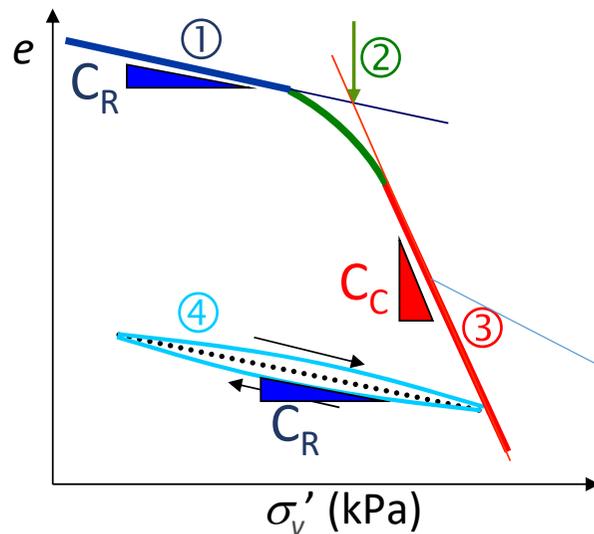
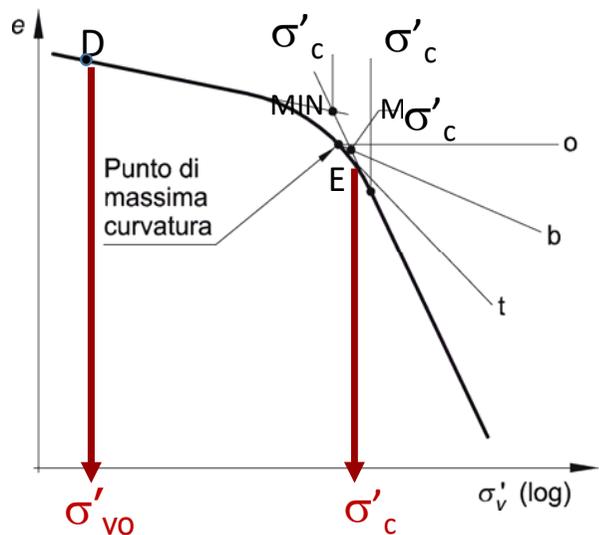
- Tensione di preconsolidazione σ'_p

- Grado di sovraconsolidazione:

$$OCR = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}}$$

Consolidazione e compressibilità monodimensionale

I parametri di compressibilità

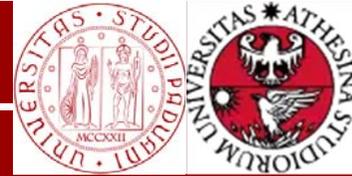


**SONO
COSTANTI**

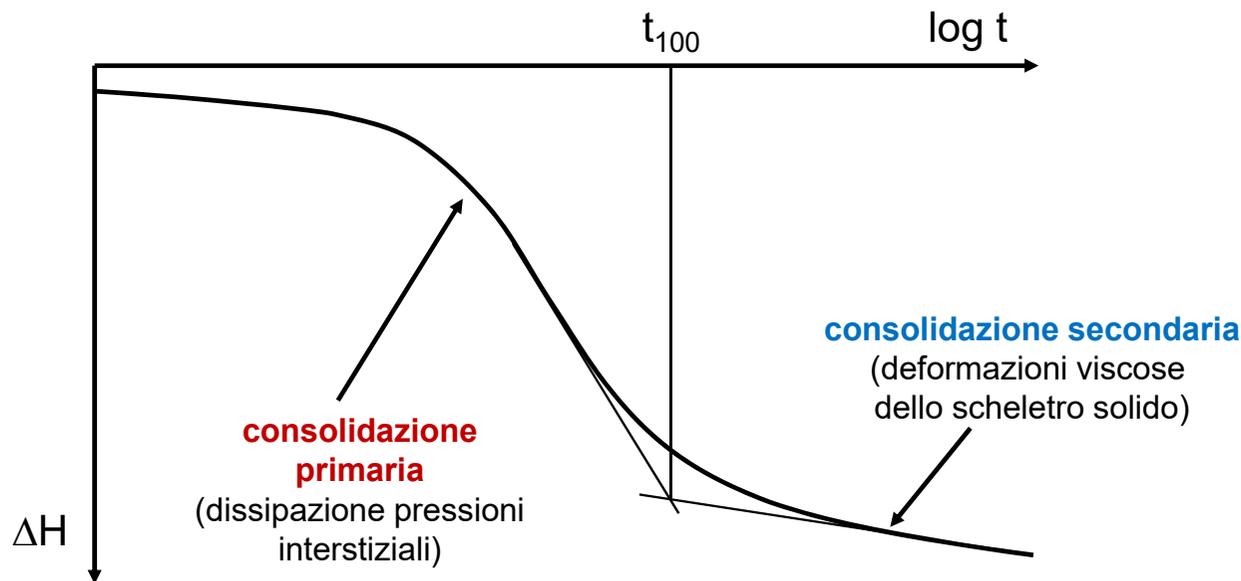
| | INDICI | RAPPORTI |
|--|---|---|
| DI RICOMPRESIONE (tratto di ricarico) (1) | $C_R = -\frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma_v'}$ | $RR = \frac{\Delta \varepsilon_v}{\Delta \log \sigma_v'} = \frac{C_R}{1 + e_o}$ |
| DI COMPRESIONE (tratto di carico) (3) | $C_C = -\frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma_v'}$ | $CR = \frac{\Delta \varepsilon_v}{\Delta \log \sigma_v'} = \frac{C_C}{1 + e_o}$ |

Consolidazione e compressibilità monodimensionale

La prova edometrica: esecuzione



A passi di carico



Consolidazione primaria: dissipazione delle pressioni interstiziali ($u > 0$)

Consolidazione secondaria: deformazioni viscosse (a tensione costante $u \cong 0$)

Teoria della consolidazione unidimensionale

$$c_v \frac{\partial^2 (u_0 + \Delta u)}{\partial z^2} = \frac{\partial (u_0 + \Delta u)}{\partial t}$$



$$c_v \frac{\partial^2 \Delta u}{\partial z^2} = \frac{\partial \Delta u}{\partial t}$$

u_0 è la pressione dell'acqua interstiziale ante applicazione carico in condizioni stazionarie
 Δu la sovrappressione interstiziale

$$c_v = \frac{E_{ed} k}{\gamma_w} = \text{coefficiente di consolidazione verticale}$$

Ipotesi:

- 1) mezzo poroso saturo
- 2) fluido incompressibile
- 3) solido incompressibile
- 4) conducibilità idraulica k costante
- 5) legame lineare sforzi-deformazioni (E_{ed} costante)

In cui:

- E_{ed} = modulo edometrico
 k = conducibilità idraulica
 γ_w = peso dell'unità di volume del fluido

Consolidazione e compressibilità monodimensionale

Come descriviamo il processo di consolidazione?



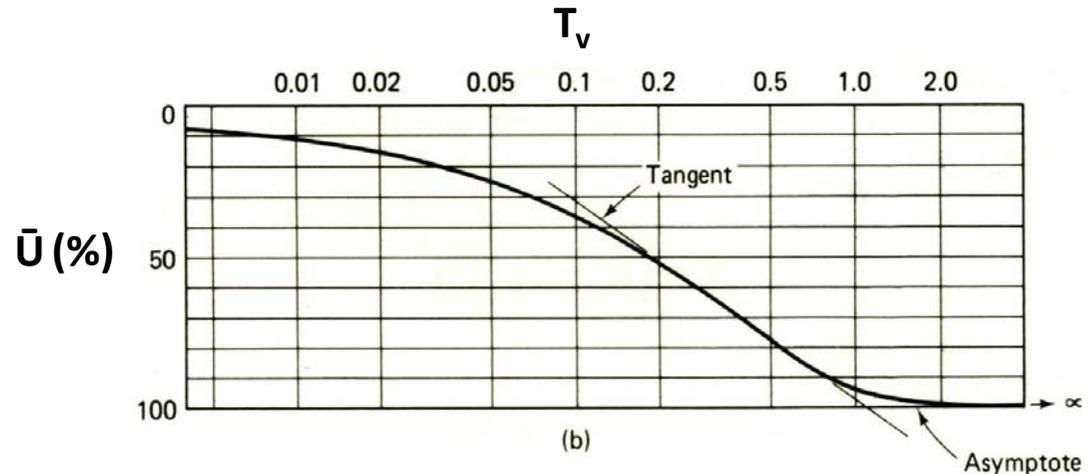
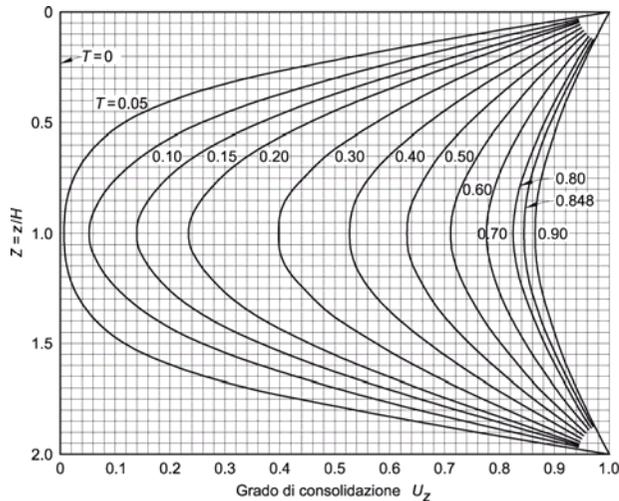
Teoria della consolidazione unidimensionale

La soluzione dell'equazione della consolidazione è usualmente rappresentata utilizzando il **grado di consolidazione U puntuale** (adimensionale) o il **grado di consolidazione medio \bar{U}** :

$$U(z, t) = \frac{u_0 - u(z, t)}{u_0}$$

$$\bar{U} = \frac{1}{2H} \int_0^{2H} U(z, t) dz = \frac{s(t)}{s_c}$$

s_c = cedimento a fine consolidazione



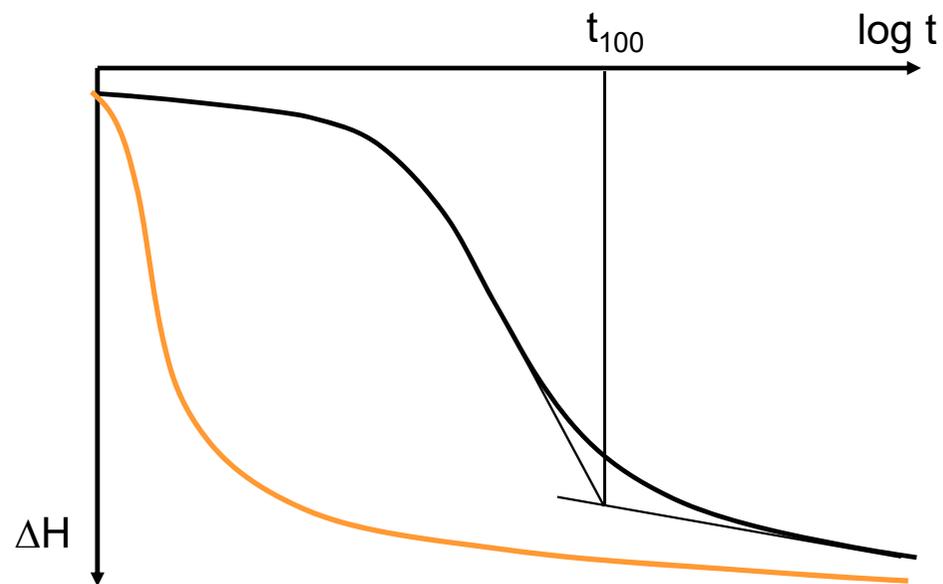
Consolidazione e compressibilità monodimensionale

Come si ricava e quanto vale il coefficiente di consolidazione?

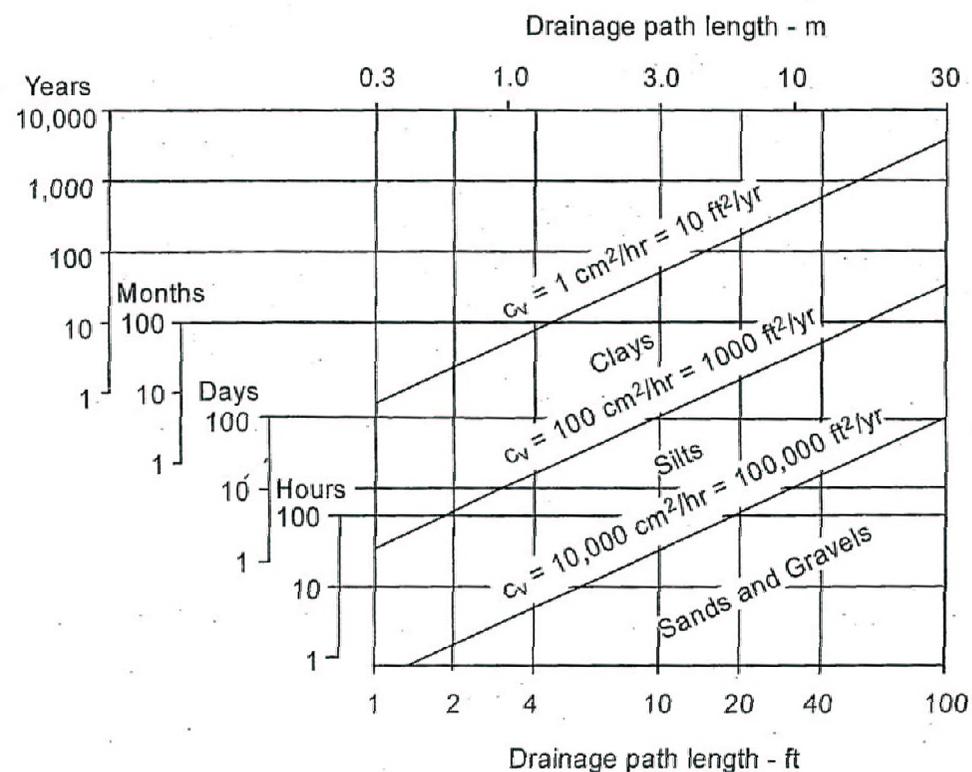


c_v si determina con:

- 1) metodo di Casagrande
- 2) metodo di Taylor
(più adatto alle situazioni in cui non si vede il ginocchio)

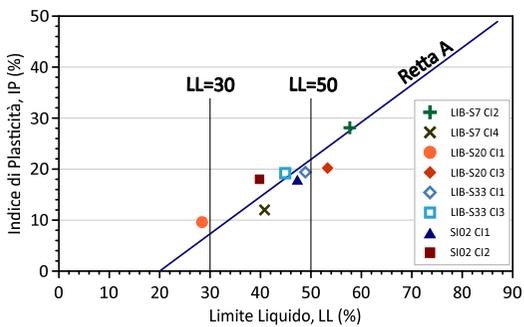


Valori indicativi

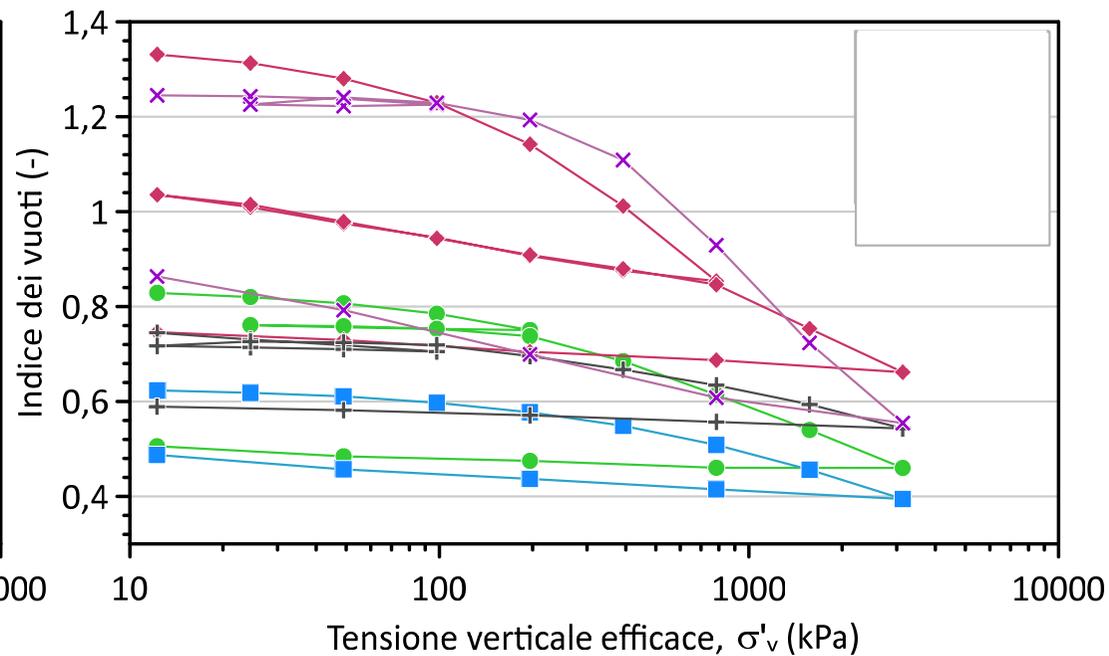
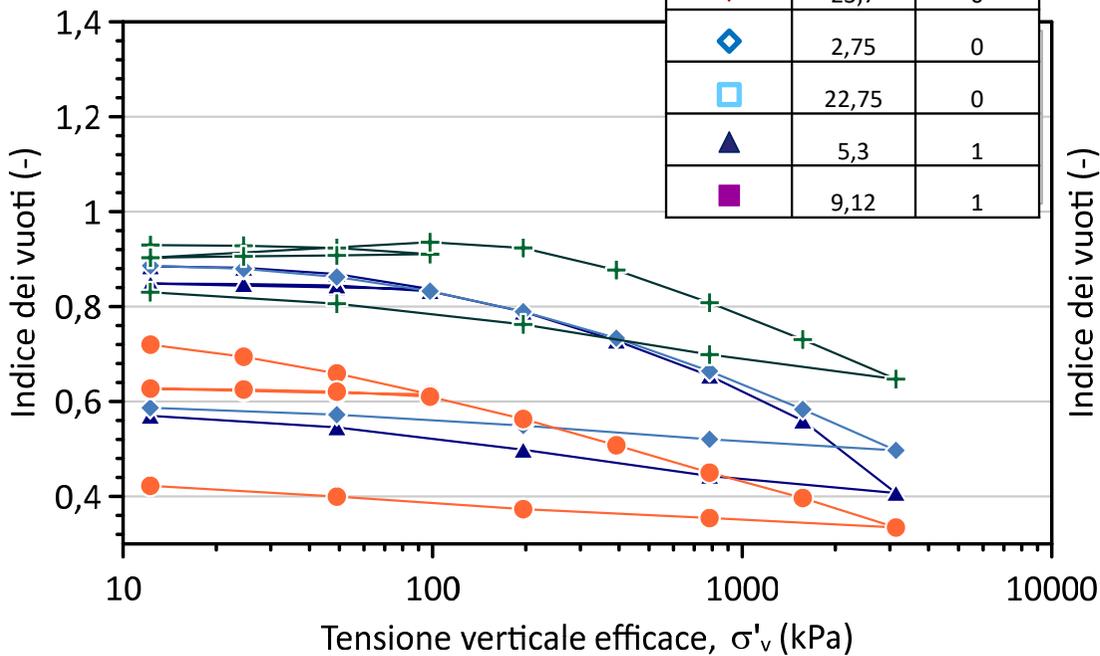


1° ESEMPIO

Curve di compressione

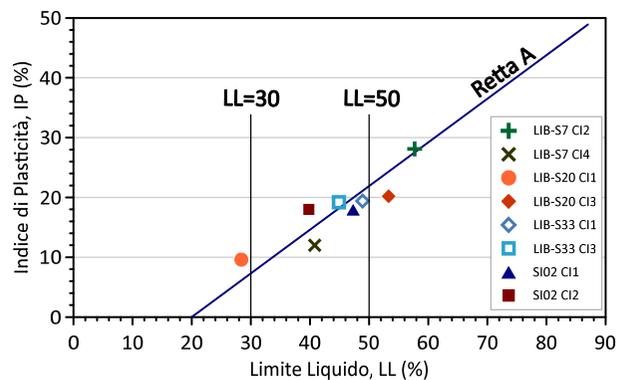


| Campione | Profondità (m) | Profondità falda (m) |
|----------|----------------|----------------------|
| + | 3,75 | 1 |
| x | 16,25 | 1 |
| + | 16,75 | 1 |
| o | 5,7 | 0 |
| ♦ | 23,7 | 0 |
| ◇ | 2,75 | 0 |
| □ | 22,75 | 0 |
| ▲ | 5,3 | 1 |
| ■ | 9,12 | 1 |



1° ESEMPIO

Determinazione della tensione di preconsolidazione



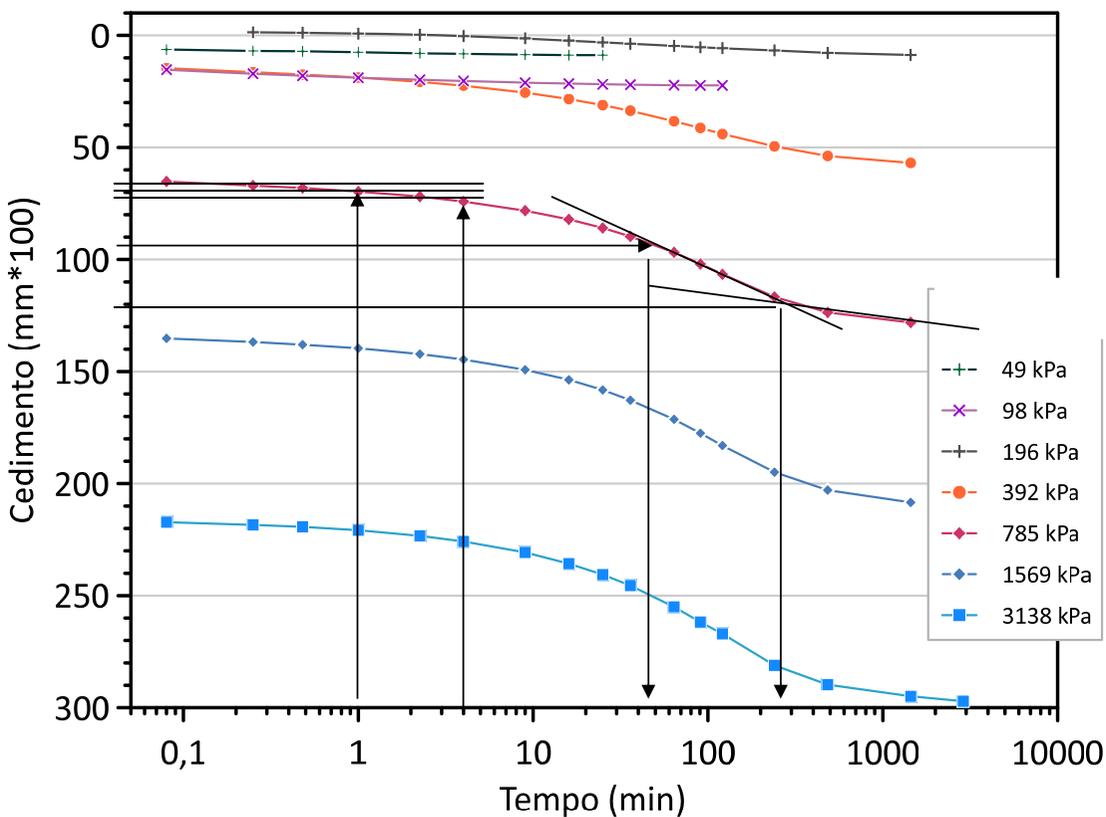
| Campione | Profondità (m) | Profondità falda (m) | σ'_p (kPa) | | | | σ'_p media (kPa) | σ'_{v0} (kPa) | OCR min | OCR max |
|----------|----------------|----------------------|-------------------|-----------------------|------------------|------------|-------------------------|----------------------|---------|---------|
| | | | Casagrande | Sridharan et al. 1991 | Butterfield 1979 | Janbu 1969 | | | | |
| + | 3,75 | 1 | 310 | 360 | 290 | 250 | 302,5 | 46,1 | 5,42 | 7,80 |
| x | 16,25 | 1 | 390 | 370 | 380 | 150 | 322,5 | 151,0 | 0,99 | 2,58 |
| + | 16,75 | 1 | 315 | 500 | 500 | ND | 438,3 | 155,4 | 2,03 | 3,22 |
| o | 5,7 | 0 | 69 | 210 | 80 | 150 | 127,3 | 55,2 | 1,45 | 3,80 |
| d | 23,7 | 0 | 190 | 175 | 150 | NO | 171,7 | 206,0 | 0,73 | 0,92 |
| ◇ | 2,75 | 0 | 225 | 225 | 225 | 90 | 191,3 | 26,6 | 3,38 | 8,44 |
| □ | 22,75 | 0 | 350 | 410 | 350 | NO | 370,0 | 197,7 | 1,77 | 2,07 |
| ▲ | 5,3 | 1 | 500 | 600 | 500 | 100 | 425,0 | 61,2 | 1,63 | 9,81 |
| ■ | 9,12 | 1 | 180 | 250 | 180 | ND | 203,3 | 98,2 | 1,83 | 2,55 |

1° ESEMPIO

Determinacio cv con metodo Casagrande



| Limite liquido | Limite plastico | Indice plastico | Percentuale argilla |
|----------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| % | % | % | % |
| 57,7 | 29,6 | 28,1 | 67,2 |



$t_{50}=48'$

$s_{50}=0.92 \text{ mm}$

$$c_v = \frac{T_{v,50} \left(\frac{H - s_{50}}{2} \right)^2}{t_{50}} =$$

$$\frac{0.197 \left(\frac{20 - 0.92}{2} \right)^2}{48 * 60} =$$

$$0.0074 \text{ mm}^2/\text{s} * (3600/100) =$$

$$0,27 \text{ cm}^2/\text{hr}$$

2° ESEMPIO: Sito sperimentale di Treporti (VE)

Rilevato sperimentale

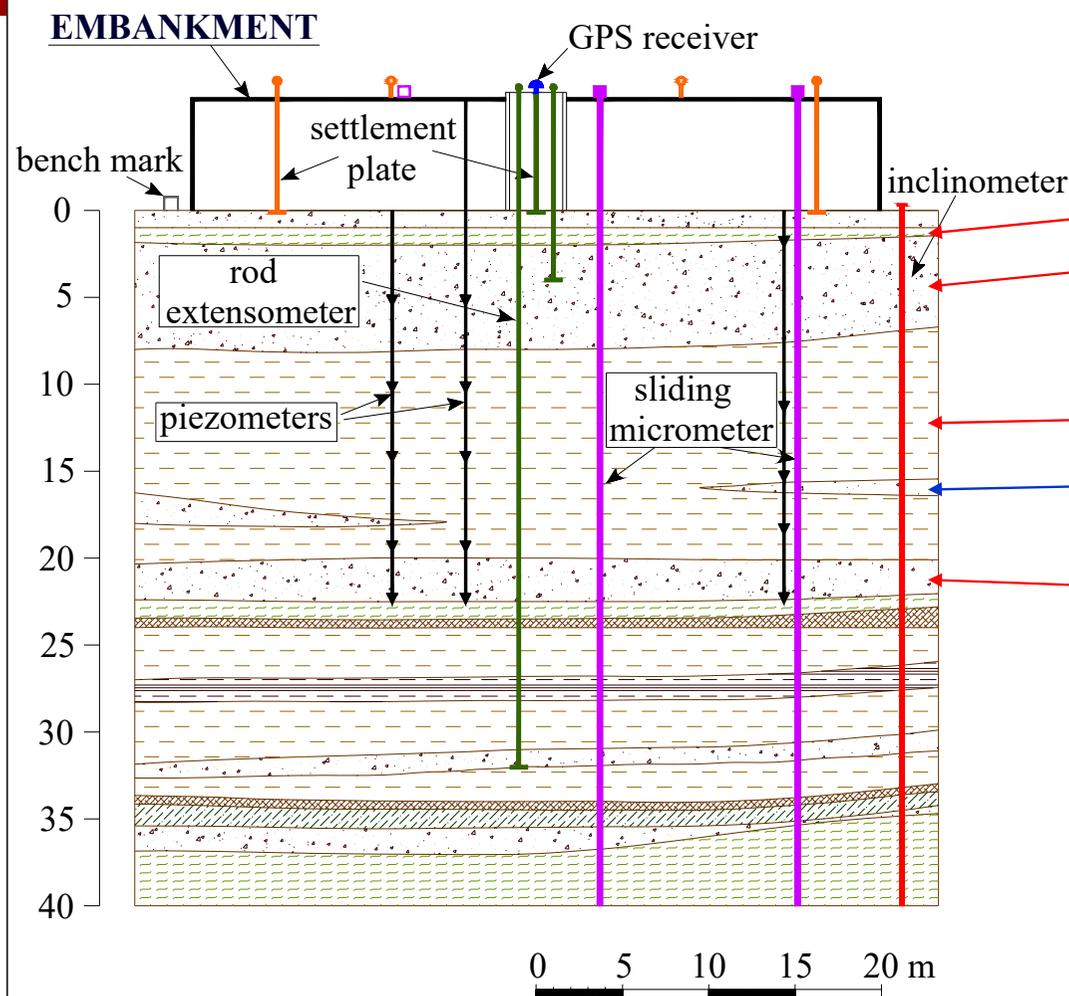


2° ESEMPIO: Site sperimentale di Treporti (VE)

Stratigrafia



SECTION N-S



Transmitted load ≈ 105 kPa

LAYER A – SOFT SILTY CLAY

LAYER B- MEDIUM FINE SILTY SAND

LAYER C – SANDY SILT

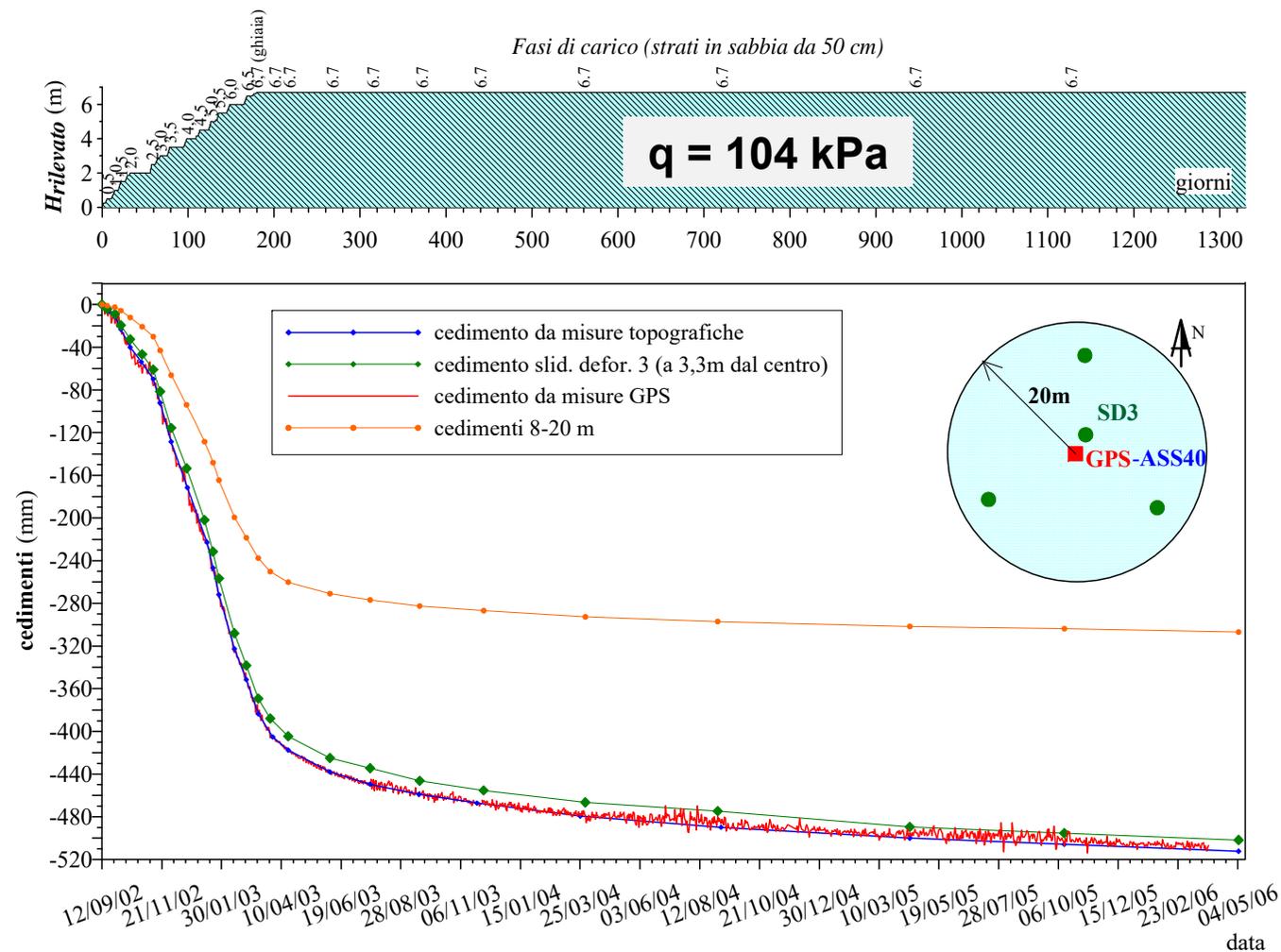
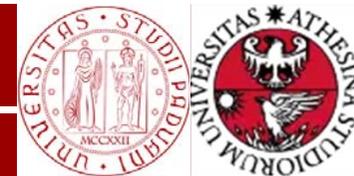
SAND LAMINATION

LAYER D – MEDIUM FINE SILTY SAND

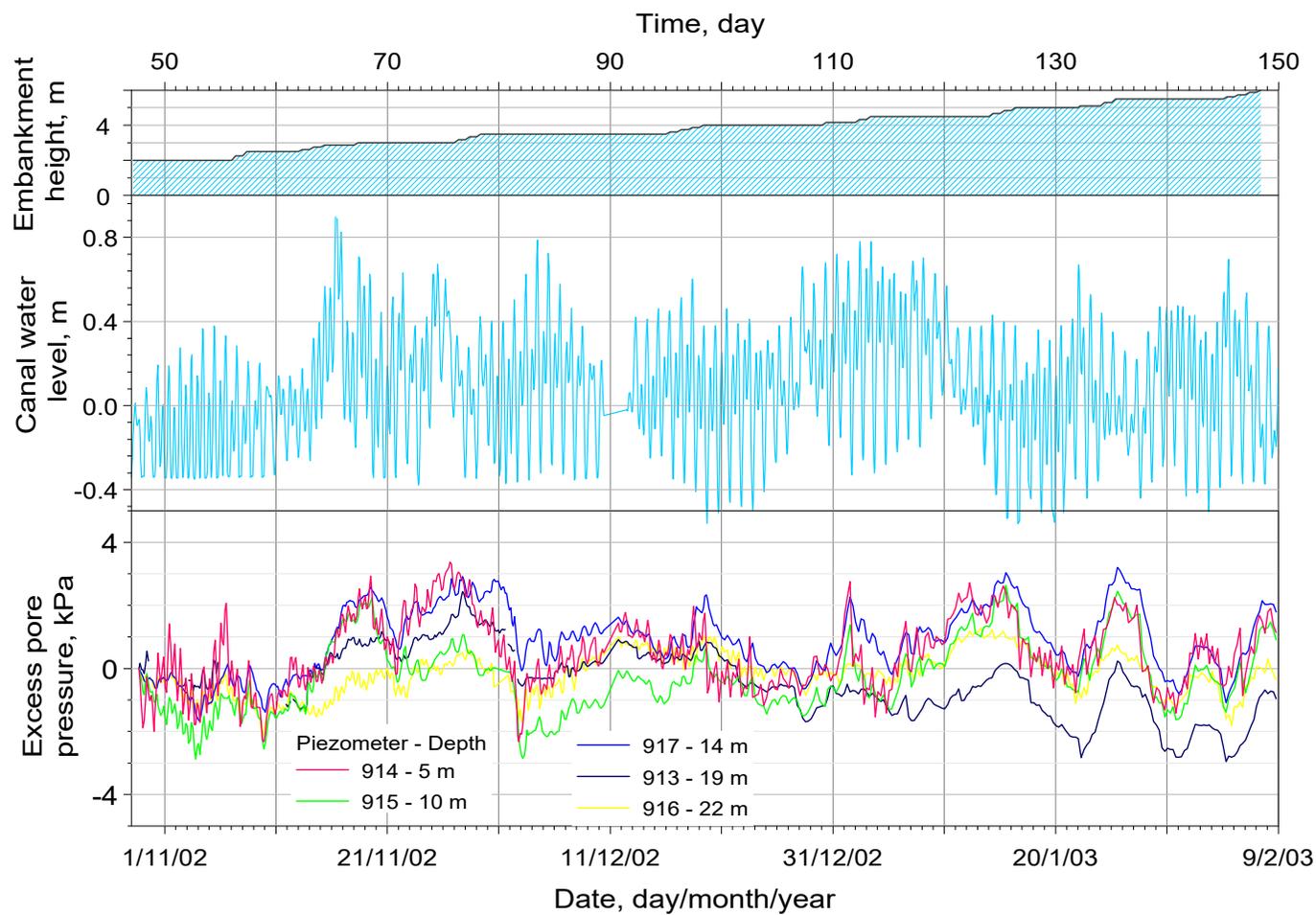
-  clayey silt
-  silty clay
-  clay

2° ESEMPIO: Sito sperimentale di Treporti (VE)

Cedimenti durante e dopo la costruzione



2° ESEMPIO: Sito sperimentale di Treporti (VE)

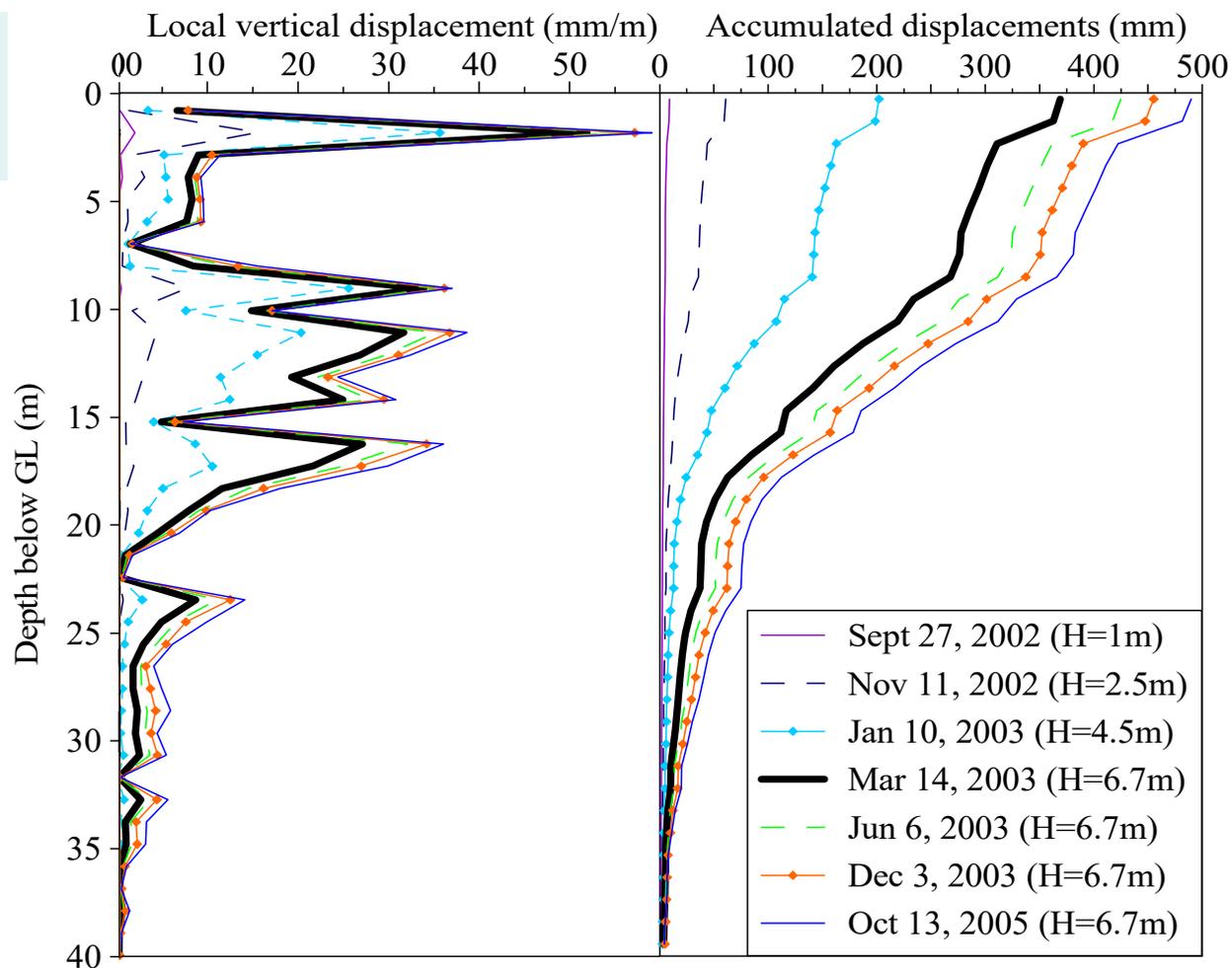


2° ESEMPIO: Sito sperimentale di Treporti (VE)

Deformazione dei singoli strati



Abbassamenti
misurati metro per
metro sotto il centro



2° ESEMPIO: Sito sperimentale di Treporti (VE)

Comportamento a scarico

