



Laboratorio autorizzato dal Min. Infrastrutture e Trasporti
Prove e controlli su materiali e prodotti da costruzione,
terre e rocce, in sito ed in laboratorio

LE PROVE DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

Le opere di fondazione sono elementi strutturali che trasferiscono i carichi delle strutture verticali al terreno o alla roccia di fondazione con lo scopo di ottenere una diffusione delle sollecitazioni nel sottosuolo compatibile con le sue caratteristiche di resistenza. La scelta del tipo di fondazione viene effettuata in funzione dell'entità e della distribuzione dei carichi oltre che della natura del terreno definite tramite analisi preliminari, indagini in sito e prove di laboratorio.

Le fasi progettuali di un'opera di fondazione si possono sintetizzare come segue:

- definizione del modello geologico preliminare;
- programmazione ed esecuzione delle indagini dirette e indirette;
- conferma del modello geologico;
- esecuzione delle prove di laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce di fondazione;
- definizione del modello geotecnico;
- verifica della sicurezza e delle prestazioni dell'opera progettata;
- stesura dei piani di controllo e monitoraggio.

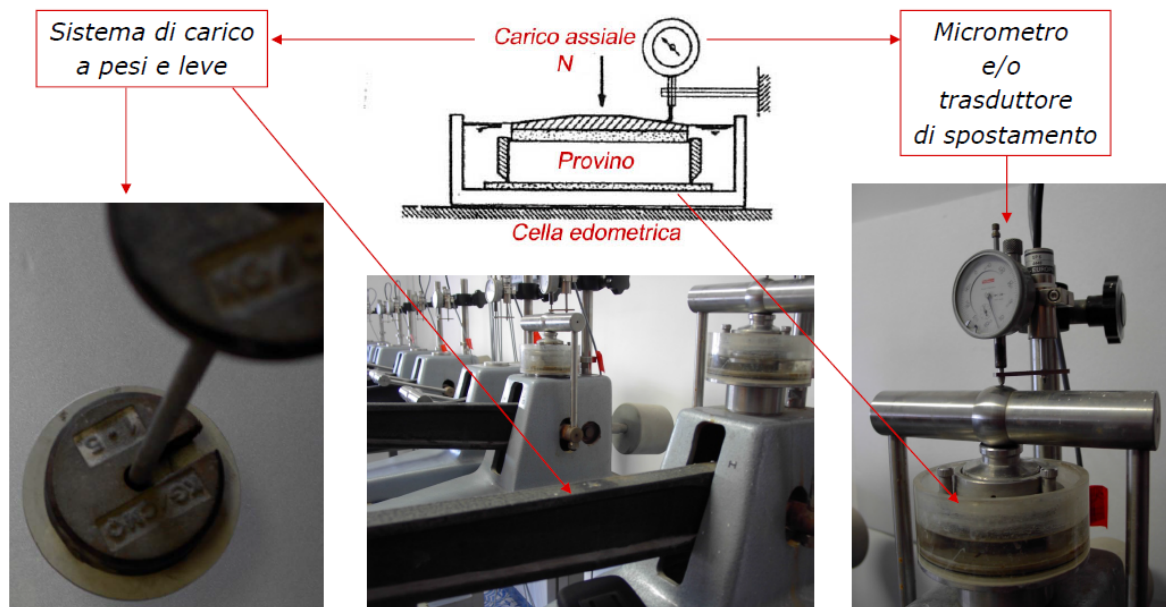
Le prove di compressione edometrica consentono di:

- determinare la relazione tensione-deformazione che caratterizza le proprietà di compressibilità e di rigonfiamento per effetto di variazioni di stato tensionale effettivo in condizioni monodimensionali (edometriche, o di deformazione trasversale impedita);
- determinare le caratteristiche che governano la variabilità di tali deformazioni nel tempo, per effetto dei fenomeni di consolidazione primaria e secondaria;
- ricostruire la storia tensionale del deposito naturale da cui è stato prelevato il campione.

Nella cella edometrica un provino cilindrico di terreno, confinato lateralmente entro le pareti rigide di un anello metallico, è sottoposto ad una sollecitazione vertical in condizioni di deformazioni trasversali impedita (condizioni di compressione di tipo K_0).

Il rapporto tra altezza H e diametro D del provino deve essere basso in modo che le tensioni verticali σ_v siano uniformi. L'altezza H ridotta consente di minimizzare gli attriti tra la superficie laterale del provino e l'anello di confinamento, e di ridurre i tempi di consolidazione. Il rapporto tra l'altezza H ed il diametro nominale massimo delle particelle, d_{max} , deve risultare sufficientemente elevato per ridurre al minimo gli effetti scala dovuti alla dimensione dei grani.

Prima di dare inizio alla prova si misurano le dimensioni dell'anello ed il peso umido del provino. Mediante un sistema di pesi, si applicano successivi incrementi e decrementi di tensione verticale σ_v , variabili secondo una progressione geometrica. La fase di scarico si effettua con un numero di gradini pari almeno alla metà di quelli relativi alla fase di carico. Le condizioni di drenaggio libero in direzione verticale sono consentite dalla presenza di carta da filtro e pietre porose sulle basi inferiore e superiore del provino.



Durante ogni incremento di carico, applicato secondo una progressione geometrica, i cedimenti verticali w del provino vengono misurati mediante un micrometro o un trasduttore di spostamento. Al termine della prova la **curva di consolidazione** ottenuta rappresenta il valore del cedimento totale cumulato nel tempo. Ogni incremento è mantenuto costante al fine di consentire il completo sviluppo della **consolidazione primaria** e per garantire la completa dissipazione delle sovrappressioni neutre u ($\Delta u(t) \rightarrow 0$) in modo che la variazione delle tensioni totali corrisponda a quella delle tensioni efficaci ($\Delta \sigma_v \rightarrow \Delta \sigma'_v$). *In genere per terreni fini sono sufficienti 24 h di applicazione del carico prima di procedere ad un ulteriore incremento.*

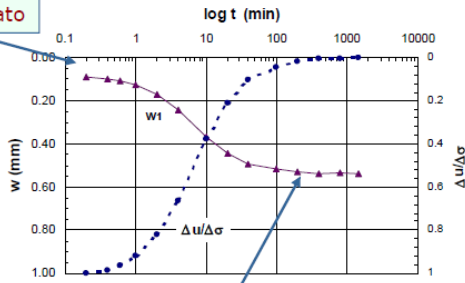
Al termine della prova il provino, dopo essere stato rimosso con cura dall'alloggiamento dell'edometro, viene pesato ed essiccato in stufa a 110° per la misura del suo peso secco.

Per effetto di ciascun incremento di carico, la curva cedimenti-tempi sperimentale è caratterizzata dalla presenza di tre diverse tipologie di cedimento:

- **cedimento immediato W_0** dovuto a svariate concause sperimentali (deformabilità finita del sistema di applicazione dei carichi, non perfetta saturazione del provino e degli elementi drenanti, etc.);
- **cedimento da consolidazione primaria W_c** in cui deformazioni di volume e cedimenti sono associati a dissipazioni di sovrappressioni neutre Δu (Terzaghi 1923);
- **cedimento da consolidazione secondaria W_s** associato a deformazioni di volume che avvengono indipendentemente dalla variazione nel tempo della pressione neutra e che sono dovute a deformazioni viscosi dei granuli, dei contatti interparticellari in terreni molto plastici, o a rottura progressiva degli elementi nei terreni a grana grossa con particelle fragili.

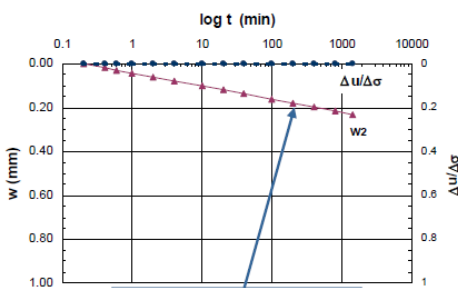
Cedimento immediato

Consolidazione primaria: deformazioni di volume associate a dissipazioni di Δu



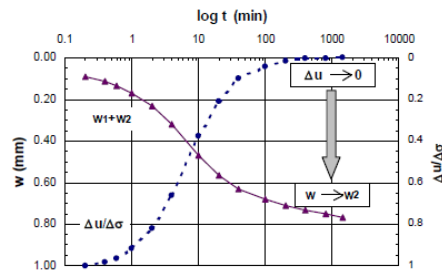
Cedimento da consolidazione primaria

+



Cedimento secondario

=



Curva di consolidazione sperimentale da 'depurare' per ottenere il coefficiente di consolidazione verticale c_v

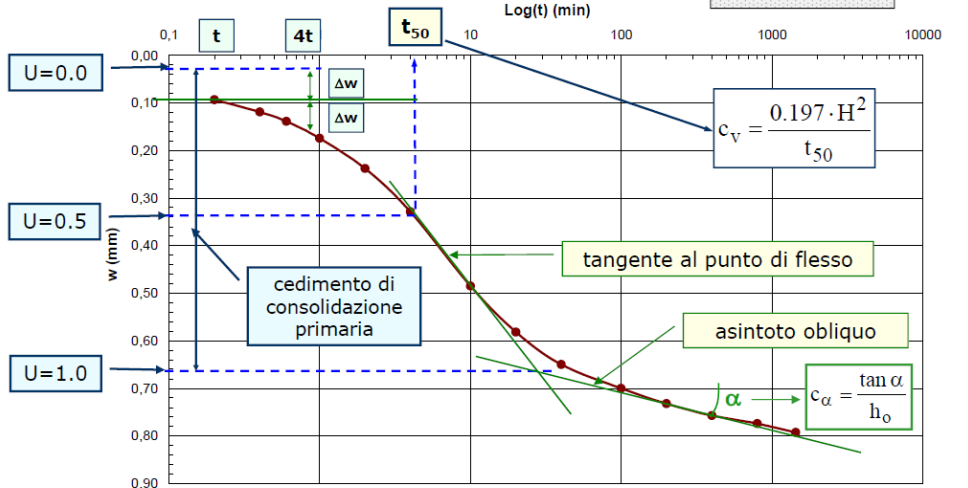
Consolidazione secondaria: deformazioni viscosi dello scheletro solido a $\sigma' = \text{cost.}$ (si manifestano visibilmente quando $\Delta u \rightarrow 0$)

La **curva di consolidazione sperimentale** è caratterizzata dalla coesistenza dei diversi fenomeni deformativi. Per il calcolo del coefficiente di consolidazione verticale C_v è necessario eliminare gli effetti dell'assestamento iniziale, W_0 e quelli dell'aliquota di cedimento variabile nel tempo dovuta agli effetti secondari. La più diffusa procedura di interpretazione della curva cedimenti-tempo è il **metodo di Casagrande** con cui è possibile determinare il coefficiente C_v , l'aliquota W_c del cedimento totale dovuta al fenomeno di consolidazione idrodinamico ed il coefficiente di consolidazione secondaria, C_α . Un altro metodo è il metodo di Taylor con cui però non è possibile determinare il coefficiente C_α . Poichè la misura di σ_h e Δu è possibile solo utilizzando apparecchiature avanzate, la prova edometrica non consente di determinare il **percorso delle tensioni efficaci**.

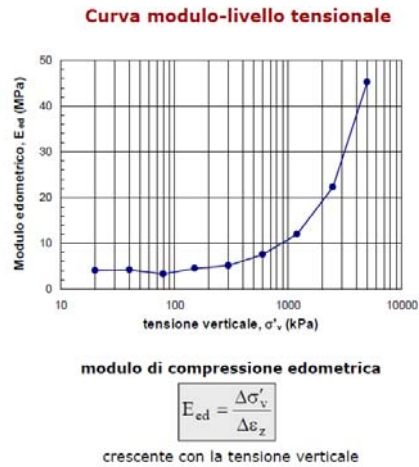
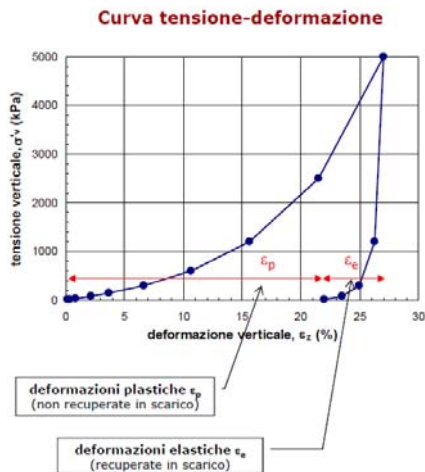
Metodo di Casagrande

Principio: depurare la $w(t)$ sperimentale della 'testa' e della 'coda' per estrarne

- cedimento di consolidazione primaria, w_c
- coefficiente di consolidazione primaria, c_v (cfr Teoria della cons.)
- coefficiente di consolidazione secondaria, c_α



La relazione tra tensione effettiva σ'_v e deformazione verticale ε_z è deducibile esprimendo quest'ultima in funzione dei cedimenti cumulati per ogni incremento di carico. Se rappresentata nel piano $\sigma'_v : \varepsilon_z$ si evidenzia un comportamento tenso-deformativo di tipo non reversibile, con deformazioni totali costituite da un'aliquota plastica non recuperabile, e da una elastica, recuperabile allo scarico. Il **modulo di compressione edometrica secante** E_{ed} ($\Delta\sigma'_v / \Delta\varepsilon$) è crescente con σ'_v salvo, generalmente, un breve tratto iniziale.

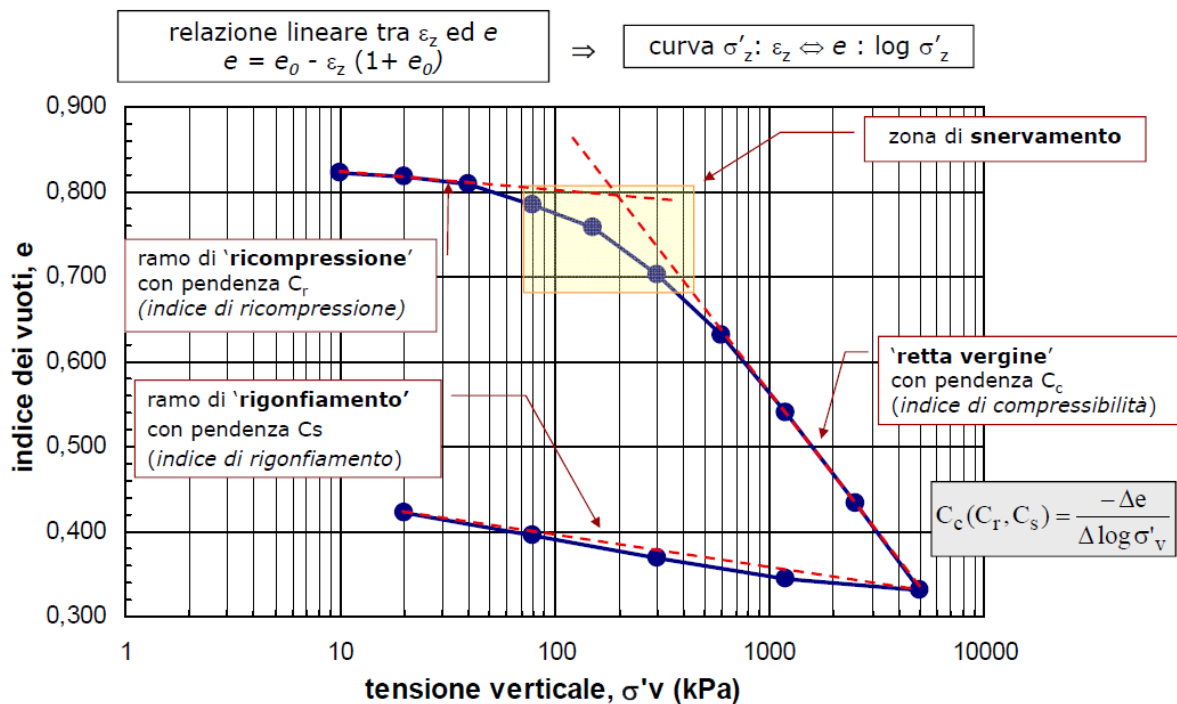


Per ottenere una rappresentazione più conveniente ai fini dell'analisi della **storia tensionale del deposito e del calcolo dei cedimenti**, I risultati della prova si riportano anche nel piano $e:\sigma'_v$, in scala semilogaritmica, grazie alla relazione lineare esistente tra deformazioni ed indice dei vuoti. La **curva di compressibilità** si presenta così caratterizzata da:

- un **primo tratto di ricomprensione** con pendenza relativamente modesta fino al raggiungimento di una tensione di snervamento σ'_{vy} . Applicando uno scarico tensionale in questo tratto, le deformazioni risultano quasi completamente reversibili;
- un secondo tratto, oltre σ'_{vy} , in cui la pendenza aumenta sensibilmente poichè le deformazioni plastiche prevalgono su quelle elastiche. Il tratto lineare con pendenza massima, da individuare con almeno tre punti allineati della curva, si definisce **curva di normal-consolidazione**;
- un **terzo tratto di rigonfiamento** con pendenza prossima a quella del tratto di ricomprensione in cui le deformazioni risultano praticamente irreversibili.

Si possono quindi individuare tre parametri che rappresentano la pendenza delle rette in cui le curve vengono linearizzate nei vari tratti:

- **indice di ricomprensione CR** lungo il ramo di ricarico iniziale
- **indice di compressibilità CC** lungo la retta di normal-consolidazione
- **indice di rigonfiamento CS** lungo i rami di scarico ed eventuale ricarico



La tabella seguente riassume le informazioni desumibili da una prova edometrica:

Parametro	ricavato da	mediante
coefficiente consolidazione primaria, c_v (cm ² /s)	curve di consolidazione (w:log t)	$c_v = \frac{T_x H^2}{t_x}$
coeff. consolidazione secondaria, c_α (%/min)		$c_\alpha = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta \log t}$
modulo edometrico, E_{ed} (MPa)	curva tensione-deformazione ($\sigma'_v: \varepsilon_z$)	$E_{ed} = \frac{\Delta \sigma'_v}{\Delta \varepsilon_z}$
coefficiente di permeabilità, k (cm/s)	c_v e E_{ed}	$k = \frac{c_v \gamma_w}{E_{ed}}$
tensione di snervamento, σ'_{vy} (kPa)	curva di compressibilità (e:log σ'_v)	metodi vari (p. es. Casagrande)
indice di ricomprensione, C_r		$C_r = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma'_v} \quad (\sigma'_v < \sigma'_{vy})$
indice di compressibilità, C_c		$C_c = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma'_v} \quad (\sigma'_v > \sigma'_{vy})$
indice di rigonfiamento, C_s		$C_s = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma'_v} \quad (\text{in scarico})$

Sul certificato di prova saranno riportate le seguenti informazioni generali:

- identificazione del campione
- descrizione del campione
- profondità, posizione e orientamento del provino all'interno del campione
- identificazione dell'apparecchiatura
- dimensioni iniziali del provino
- contenuto d'acqua iniziale, peso di volume umido e secco
- pressione di rigonfiamento (se misurata)
- grafico della curva di compressibilità, rappresentando in scala lineare o logaritmica la tensione applicata in funzione della variabile prescelta per la deformazione
- temperatura di esecuzione della prova

e le seguenti informazioni aggiuntive:

- metodo di preparazione del provino
- indice dei vuoti e grado di saturazione iniziali,
- peso specifico dei grani
- curve di consolidazione (cedimenti in funzione del logaritmo o della radice quadrata del tempo) per ogni incremento di carico
- parametri di compressibilità e rigonfiamento
- coefficiente di consolidazione c_v e metodo usato per la determinazione
- temperatura di correzione del coefficiente c_v
- coefficiente di compressione secondaria
- tensione di sovraconsolidazione