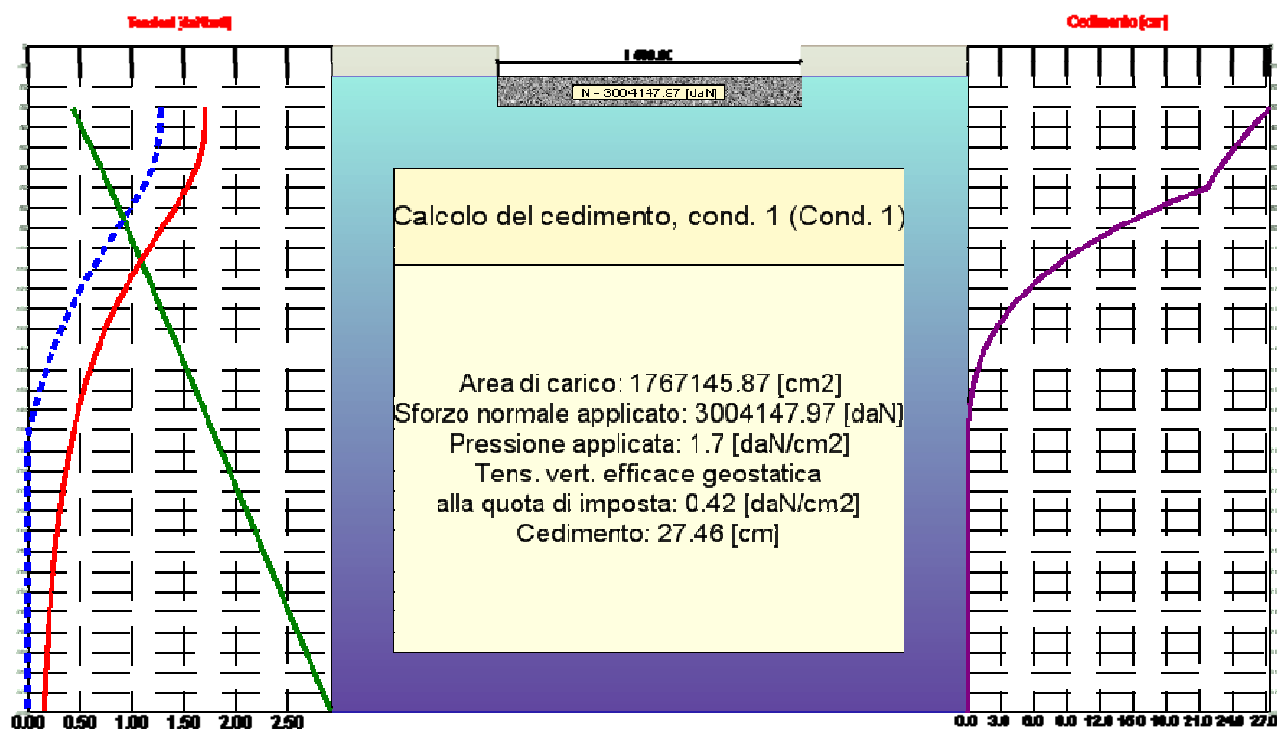


**IS ProGeo**

**CEDOEDO**



# MANUALE UTENTE

## *Indice*

<b>IS CEDOEDO</b>	<b>3</b>
<b>1.1      Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>1.2      Teoria</b>	<b>3</b>
1.2.1    Prove edometriche	3
1.2.1.1    Preconsolidazione	4
1.2.1.2    Compressibilità	4
1.2.2    Calcolo della tensione verticale	6
1.2.2.1    Calcolo dell'incremento di pressione dovuto al carico	6
1.2.2.2    Calcolo della pressione geostatica e del carico unitario netto	7
1.2.3    Calcolo del cedimento	7
<b>1.3      Utilizzo del programma</b>	<b>8</b>
<b>1.4      Inserimento dei dati</b>	<b>9</b>
<b>1.5      Scelta del metodo di calcolo</b>	<b>9</b>
<b>1.6      Risultati del calcolo</b>	<b>9</b>

# IS CedoEdo

## 1.1 Introduzione

**IS CedoEdo** è il modulo per il calcolo dei cedimenti edometrici.

Il programma segue il metodo monodimensionale proposto da Terzaghi (1943), utilizzato soprattutto nel caso di terreni coesivi. Per le argille tenere si ottiene il cedimento di consolidazione, mentre quello immediato è un ulteriore 10% di questa stima. Nel caso di argille consistenti si ottiene il cedimento totale e quello immediato risulta compreso tra 1/3 e 2/3 del valore stimato.

Viene considerata una fondazione di impronta rettangolare avente dimensioni da assegnare e carico uniformemente distribuito; quindi il programma valuta i cedimenti edometrici in un terreno la cui stratigrafia è definita dall'utente.

Il calcolo può essere effettuato utilizzando il coefficiente di compressibilità del terreno oppure gli indici o i rapporti di compressione e di ricomprensione.

## 1.2 Teoria

Per valutare i cedimenti di fondazioni in terreni coesivi si ricorre usualmente al metodo monodimensionale di Terzaghi (1943), che consiste nel suddividere il cuneo di terreno interessato dall'incremento di carico in una serie di strisce, nel calcolare la deformazione verticale al centro di ogni striscia, ed infine del sommare i valori così ottenuti per ottenere il cedimento totale.

Questo approccio, di natura prevalentemente empirica, è caratterizzato da una notevole semplicità di impiego e da un'elevata affidabilità, tanto da essere largamente diffuso nella pratica.

Il procedimento si articola principalmente in due fasi, la valutazione delle tensioni verticali indotte al di sotto della fondazione, ed il calcolo del cedimento alle varie quote con riferimento ai parametri di deformabilità del terreno ricavati da prove edometriche.

L'intera procedura può essere riassunta in forma schematica come segue:

- si calcola il valore del “carico unitario netto”  $q(z)$ , come differenza fra l'incremento di tensione verticale dovuto alla fondazione alla generica quota  $z$  e la tensione geostatica corrispondente alla quota di imposta della stessa. Il valore numerico di  $q(z)$  è lo stesso sia in tensioni efficaci che in tensioni totali.
- si divide il volume di terreno interessato dalla compressione, dovuta alla fondazione, in una serie di “strisce” di altezza  $h_i$ .
- In mezzeria di ciascuna striscia, date le caratteristiche di deformabilità del terreno (ricavate in condizioni monodimensionali, edometriche), il valore della tensione efficace geostatica e di quella di preconsolidazione, si calcola la deformazione corrispondente ad un incremento di carico pari a  $q(z)$ .
- La deformazione ottenuta al centro di ciascuna striscia viene moltiplicata per l'altezza della stessa per ottenere il valore del cedimento corrispondente.
- Si sommano i cedimenti di tutte le strisce considerate per ottenere il cedimento totale.

### 1.2.1 Prove edometriche

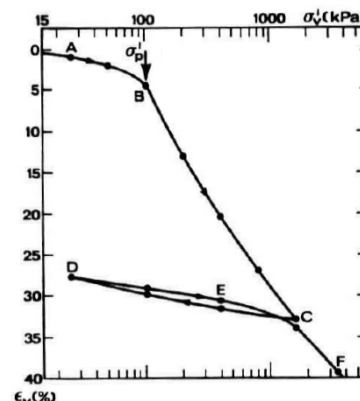
Una prova edometrica consiste nella riproduzione in ambiente controllato delle condizioni di consolidazione monodimensionale. Un provino di terreno, di dimensioni contenute, è contenuto da un anello rigido che ne impedisce le deformazioni laterali, e confinato superiormente ed inferiormente fra due pietre porose. Vengono applicati degli incrementi di carico verticali con progressione geometrica, attendendo il raggiungimento della tensione di consolidazione fra un gradino ed il successivo. Soprattutto nel caso di terreni scarsamente permeabili, lo sviluppo delle deformazioni conseguenti all'incremento di carico richiede un tempo considerevole, di solito non inferiore alle 24 ore, durante le quali si misura l'evoluzione delle deformazioni verticali.

Le curve tracciate descrivono l'andamento dei cedimenti nel tempo, in genere sono distinte in due tratti, corrispondenti al processo di consolidazione primaria (espulsione dell'acqua dai pori) e secondaria.

La curva sforzi – deformazioni complessiva del provino, cioè riassuntiva dei risultati ottenuti per tutti i gradini di carico, è costruita considerando la deformazione corrispondente al solo cedimento primario.

Genericamente, in tale curva si distinguono diversi tratti caratteristici del comportamento meccanico dei terreni:

- Un tratto di ricomprensione, caratterizzato da modesta compressibilità e comportamento elastico non lineare (tratto AB in figura).
- Un tratto di compressione, caratterizzato da compressibilità notevolmente maggiore e comportamento prevalentemente plastico (tratto BC in figura).
- Eventuali tratti di scarico – ricarico, evidenti solo se durante la prova si è proceduto ad eseguire una sequenza di gradini con carichi via via decrescenti (tratto CD e DE in figura).



### 1.2.1.1 Preconsolidazione

Un'importante indicazione del comportamento del terreno, ricavabile dalla curva sforzi – deformazioni precedentemente descritta, consiste nel valore della pressione di preconsolidazione  $\sigma'_p$ , corrispondente al livello di tensione verticale a cui si registra un netto cambiamento nel comportamento del terreno.

Il raggiungimento di  $\sigma'_p$  segna il passaggio dal campo delle “piccole” deformazioni a quello di deformazioni decisamente maggiori e di natura prevalentemente plastica, perciò la corretta stima del valore di  $\sigma'_p$  e della situazione iniziale del terreno ( $\sigma'_{v0}$ ), ha grande influenza sulla previsione dei cedimenti che può sviluppare una struttura.

Confrontando il valore di  $\sigma'_p$  con la tensione verticale efficace attualmente presente  $\sigma'_{v0}$ , è possibile definire il grado di sovraconsolidazione del terreno, definito come:

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

Un terreno si dice sovraconsolidato se il valore di OCR che gli compete è maggiore di 1, mentre un valore pari all'unità indica che il terreno è normalconsolidato.

### 1.2.1.2 Compressibilità

La curva sforzi deformazioni complessiva mette in luce il legame fra la tensione verticale imposta al provino, nei vari gradini di carico, e la deformazione verticale, stimata come variazione di altezza rispetto al valore iniziale. Spesso a quest'ultima grandezza si sostituisce la variazione dell'indice dei vuoti, cui è legata da una relazione semplice per via del fatto che le deformazioni laterali sono impedita.

Considerando che l'indice dei vuoti è definito dal rapporto fra il volume dei vuoti (acqua + aria), rispetto a quello della fase solida, si ottengono le seguenti relazioni:

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

$$e = \frac{V_v}{V_s} \Rightarrow V_s = \frac{V}{1+e}$$

$$\Delta e = \frac{\Delta V_v}{V_s} = (1+e_0) \frac{H-H_0}{H_0} = (1+e_0) \frac{-\Delta H}{H_0} \Rightarrow \frac{\Delta H}{H_0} = -\frac{\Delta e}{1+e_0}$$

$$\varepsilon_v = \frac{e_0 - e}{1+e_0}$$

Il rapporto fra sforzi e deformazioni, nel piano  $\varepsilon_v - \sigma'_v$ , può essere espresso nei modi seguenti:

- coefficiente di compressibilità  $m_v = \frac{\Delta \varepsilon_v}{\Delta \sigma'_v}$
- indice di compressibilità  $a_v = -\frac{\Delta e}{\Delta \sigma'_v}$
- modulo di deformazione edometrica  $M = \frac{1}{m_v} = \frac{\Delta \sigma'_v}{\Delta \varepsilon_v}$

Il valore di  $m_v$  dipende da  $\sigma_v$ , perché il legame sforzi deformazioni non è lineare. Per questo motivo, per il calcolo della deformazione, è necessario utilizzare il valore di  $m_v$  corrispondente al livello tensionale raggiunto.

Una notevole semplificazione si ottiene riportando la curva sforzi deformazioni in un piano semilogaritmico ( $\varepsilon_v - \log \sigma'_v$  oppure  $e - \log \sigma'_v$ ), in cui si evidenzia come il tratto precedente al raggiungimento della  $\sigma'_p$  (ricomprensione) e quello successivo (compressione) siano approssimabili con due segmenti rettilinei, di cui è possibile misurare l'inclinazione. Analogamente è possibile procedere per i tratti di scarico e ricarico (rigonfiamento).

Si definiscono in tal modo il seguenti parametri, nel piano  $e - \log \sigma'_v$ :

- indice di ricomprensione  $c_r = \frac{-\Delta e}{\Delta \log(\sigma'_v)}$
- indice di compressione  $c_c = \frac{-\Delta e}{\Delta \log(\sigma'_v)}$
- indice di rigonfiamento  $c_s = \frac{-\Delta e}{\Delta \log(\sigma'_v)}$

ed i seguenti, nel piano  $\varepsilon_v - \log \sigma'_v$ :

- rapporto di ricomprensione  $RR = \frac{\Delta \varepsilon_v}{\Delta \log(\sigma'_v)} = \frac{c_r}{1+e_0}$
- rapporto di compressione  $CR = \frac{\Delta \varepsilon_v}{\Delta \log(\sigma'_v)} = \frac{c_c}{1+e_0}$
- rapporto di rigonfiamento  $SR = \frac{\Delta \varepsilon_v}{\Delta \log(\sigma'_v)} = \frac{c_s}{1+e_0}$

Diversamente da  $m_v$ , il cui valore ha validità locale, cioè in un ristretto intorno del valore tensionale per cui è calcolato, per via dell'andamento marcatamente non lineare della curva sforzi deformazioni nel piano  $\varepsilon_v - \sigma'_v$ , il valore degli "indici" e dei "rapporti" può essere assunto costante per significativi intervalli di tensione. Questo semplifica il calcolo delle deformazione conseguente ad un incremento di tensione imposto. Si possono ancora ricavare le seguenti relazioni:

$$m_v = \frac{d\varepsilon_v}{d\sigma'_v} = \frac{d\varepsilon_v}{d(\log \sigma'_v)} \frac{d(\log \sigma'_v)}{d\sigma'_v} = CR \frac{d(\log \sigma'_v)}{d\sigma'_v} = CR \frac{d\left(\frac{\ln \sigma'_v}{\ln 10}\right)}{d\sigma'_v} =$$

$$= \frac{CR}{2.3} \frac{1}{\sigma'_v} \frac{d\sigma'_v}{d\sigma'_v} = 0.435 \frac{CR}{\sigma'_v} = 0.435 \frac{c_c}{\sigma'_v(1+e_0)}$$

## 1.2.2 Calcolo della tensione verticale

### 1.2.2.1 Calcolo dell'incremento di pressione dovuto al carico

Il calcolo dell'incremento di tensione verticale dovuta ad una fondazione rettangolare viene eseguito ricorrendo alla teoria dell'elasticità, con riferimento alla soluzione data da Boussinesq (1885).

In particolare, è possibile ricavare il valore della tensione verticale, indotta al di sotto di uno spigolo di un'area di carico rettangolare caricata uniformemente, facendo riferimento alla formula seguente:

$$\sigma_{q,z} = \frac{q}{2\pi} \left[ \arctg \left( \frac{ab}{z\sqrt{a^2+b^2+z^2}} \right) + \left( \frac{1}{a^2+z^2} + \frac{1}{b^2+z^2} \right) \frac{abz}{\sqrt{a^2+b^2+z^2}} \right]$$

$a, b$  con  $a < b$ , sono le dimensioni della piastra di carico

$q$  è il valore del carico distribuito

Facendo ricorso alla sovrapposizione degli effetti, è possibile valutare la tensione verticale al di sotto di un punto qualunque della fondazione.

Nel caso di fondazione circolare, si ricorre alla seguente formulazione:

$$\sigma_{q,z} = q \left[ 1 - \left( \frac{1}{1 + \left( \frac{R}{z} \right)^2} \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$R$  è il raggio della piastra di carico

$q$  è il valore del carico distribuito

In entrambi i casi (fondazione rettangolare o circolare), il programma valuta l'incremento di carico lungo la verticale al centro della fondazione, cioè nella posizione più sfavorevole.

### 1.2.2.2 Calcolo della pressione geostatica e del carico unitario netto

Il calcolo della tensione verticale geostatica totale alla quota  $z$  viene eseguito sommando i pesi di volume degli strati di terreno sovrastanti. Viene sempre utilizzato il peso di volume secco del terreno, salvo per i tratti sotto falda, per cui si utilizza il peso di volume del terreno saturo. La pressione verticale geostatica efficace è ottenuta sottraendo la pressione idrostatica dalla pressione verticale geostatica totale.

Il carico unitario netto, cioè l'aumento di tensione verticale efficace, è definito come la differenza fra l'incremento di pressione alla quota  $z$ , dovuto al carico, e la pressione verticale geostatica efficace alla quota di imposta del carico (piano di posa della fondazione).

$$q'(z) = \sigma'_{q,z} - \sigma'_{v0,zfond}$$

La tensione verticale di preconsolidazione, è calcolata moltiplicando la tensione verticale efficace geostatica per il grado di preconsolidazione (OCR) del terreno.

### 1.2.3 Calcolo del cedimento

Per un strato di terreno di modesto spessore, in cui siano noti la tensione geostatica attuale  $\sigma'_{v0}$ , il valore di OCR (e quindi di  $\sigma'_p$ ), ed i parametri di deformabilità, (indici o rapporti di compressione), è possibile calcolare la variazione di altezza conseguente all'applicazione di un sovraccarico verticale  $\Delta\sigma'_v$  distinguendo fra i tre seguenti casi:

- Strato sovraconsolidato per cui  $\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v \leq \sigma'_p$

$$\Delta H = H_0 \cdot RR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v}{\sigma'_{v0}}$$

- Strato sovraconsolidato per cui  $\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v > \sigma'_p$

$$\Delta H = H_0 \left( RR \cdot \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}} + CR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v}{\sigma'_p} \right)$$

- Strato normalconsolidato  $\sigma'_{v0} = \sigma'_p$

$$\Delta H = H_0 \cdot CR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v}{\sigma'_{v0}}$$

Il cedimento totale di uno strato è dato dalla sommatoria degli abbassamenti degli “straterelli” in cui è suddiviso.

### 1.3 Utilizzo del programma

L'introduzione dei dati è semplice ed immediata. L'ambiente di lavoro ha la tipica interfaccia dell'ambiente Windows<sup>®</sup> e quando **IS CedoEdo** viene avviato, appare una finestra come quella illustrata di seguito in Figura 1.1.

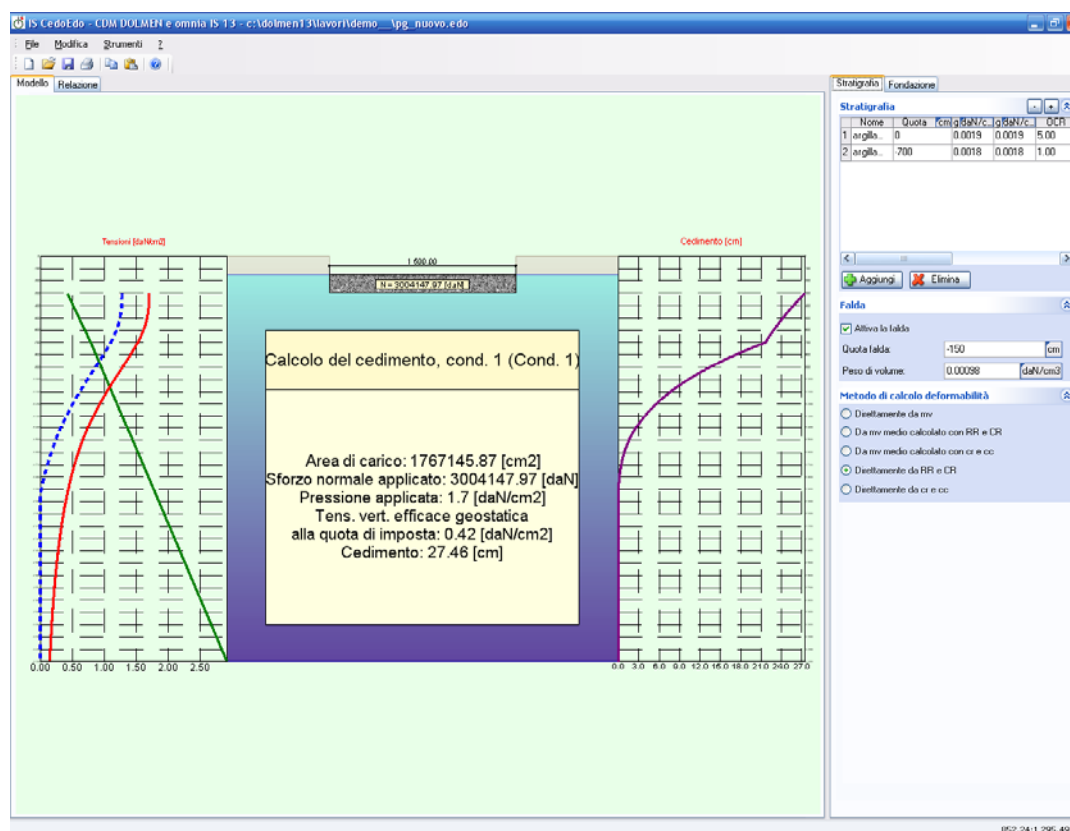


Figura 1. 1 Pagina principale di IS Cedo Edo

È possibile utilizzare i seguenti elementi e metodi dell'interfaccia:

- **menu a tendina (o menu principale):** è l'elemento classico dell'ambiente Windows, e dà accesso alle possibilità offerte dal programma. Sono riportate le voci: *File* e *?*. Sotto la dicitura *File* si trovano i comandi relativi all'apertura e salvataggio del file (*Nuovo*, *Apri*, *Salva con nome*, *Salva* e *Esci*) ed alla creazione della relazione di calcolo (*Crea relazione*). Infine da *?* si accede all'aiuto in linea: *Manuale utenti* e *Contatti*.
- **pannello laterale:** riassume le caratteristiche dei principali elementi del modello, e permette la modifica o l'introduzione diretta dei dati.
- **tasto centrale del mouse:** può essere utilizzato per muoversi agevolmente sull'area di disegno, in particolare il *doppio click* gestisce la funzione ottimizza e centra l'immagine all'interno della finestra, il *click trascinando il mouse* permette di spostare la parte dell'immagine su cui si trova il puntatore nella zona voluta della finestra e la *rotazione della rotella* consente di ingrandire e rimpicciolire il disegno a seconda della direzione della rotazione.

## 1.4 Inserimento dei dati

Per quanto riguarda l'inserimento dei dati occorre indicare il numero di stati presenti e per ciascuno di essi fornire una breve descrizione, il peso per unità di volume secco e saturo, il grado di sovraconsolidazione OCR.

Se è presente la falda bisogna spuntare la casella accanto alla scritta "Falda attiva alla quota:" ed indicare accanto la quota corrispondente.

Sempre nel pannello laterale, si trova la parte dedicata alla fondazione ed al carico, di cui occorre indicare:

**Quota piano di posa:** quota a cui si trova la base della fondazione

**Tipo e dimensioni della fondazione.**

**Nome della condizione di carico.**

**Forza verticale della condizione di carico (N):** entità della tensione normale

## 1.5 Scelta del metodo di calcolo

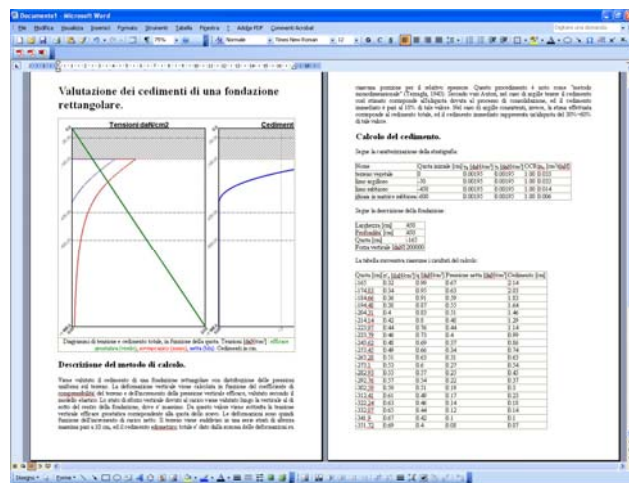
Per scegliere il metodo con cui effettuare il calcolo bisogna spuntare la casella accanto ad una delle tre proposte:

1. Da coefficiente di compressibilità  $m_v$
2. Da  $m_v$  medio calcolato con  $RR$  e  $CR$
3. Da  $m_v$  medio calcolato con  $c_r$  e  $c_c$
4. Da rapporto di ricompressione  $RR$  e rapporto di compressione  $CR$
5. Da indice di ricompressione  $c_r$  ed indice di compressione  $c_c$

Nel primo caso si assume che la compressibilità del terreno sia indipendente dallo stato tensionale, ipotesi che nella maggiorparte dei casi conduce ad un'eccessiva approssimazione nei risultati, se non si sceglie opportunamente il valore tenendo conto dell'intervallo tensionale significativo per il problema in esame. Le scelte restanti valutano invece la compressibilità del terreno in funzione dello stato tensionale, utilizzando gli "indici" o i "rapporti" di compressione.

## 1.6 Risultati del calcolo

Ultimato l'inserimento dei dati si possono visualizzare i risultati, ossia i cedimenti edometrici della fondazione superficiale. Questi vengono rappresentati sull'immagine principale in funzione della profondità accanto all'andamento delle tensioni.



Si può, quindi, passare alla fase di creazione della relazione accedendo dal menu principale alle voci **File** e **Crea relazione**. **IS CedoEdo** crea una relazione di calcolo sintetica, ma estremamente completa, in formato HTML (.html). Nella relazione sono riportati i dati introdotti ed i risultati ottenuti.