

MIDAS/Civil 6.3.5.

EFFETTI DELLE DEFORMAZIONI
SUL CALCESTRUZZO
DIPENDENTI DAL TEMPO

Effetti delle deformazioni sul calcestruzzo dipendenti dal tempo

1. Variazione del modulo elastico rispetto al tempo

All'interno del programma sono implementati i seguenti codici legati alla variazione del modulo elastico nel tempo:

1. ACI
2. CEB-FIB
3. Ohzagi

L'inserimento di tali modelli avviene in modo semplice richiamando:

Model-> Properties -> Time Dependent Material (Comp. Strength)...

Ad esempio per quanto riguarda il modello del CEB-FIB, modello su cui si basa l'EC2¹, si ha:

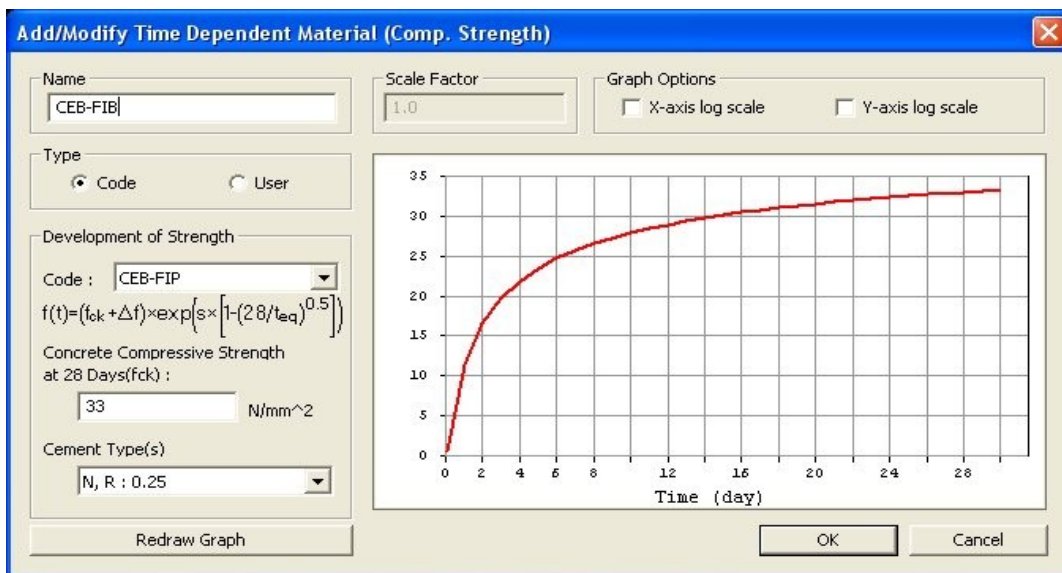


Figura 1: Modello CEB-FIB implementato nel MIDAS/Civil

Vengono inseriti all'interno del modello solo i valori richiesti per tale funzione

1 Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo, ENV 1992-1-1

dal CEB-FIB quali:

1. resistenza caratteristica media (f_{cm}):

$$f_{cm} = f_{ck} + \Delta f \text{ per il CEB-FIB 1990 } \Delta f = 8 \text{ MPa};$$

2. il tipo di cemento utilizzato (s):

- 0,20 per cementi di rapido indurimento e alta resistenza, *RS*;
- 0,25 per cementi normali e di rapido indurimento, *N, R*;
- 0,38 per cementi con un lento indurimento, *SL*.

La formulazione nell'EC2 per quanto riguarda la resistenza a compressione nel tempo è:

$$f_{cm}(t) = \exp \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{0,5} \right] \right\} \cdot f_{cm}$$

esattamente identica a quella utilizzata da MIDAS/Civil.

In questo modo si osserva nel grafico la Variazione della resistenza a compressione del calcestruzzo. Questo non ci deve trarre in inganno, infatti gli stessi parametri per il CEB-FIB, vengono utilizzati per valutare la variazione del modulo elastico nel tempo. Infatti, come si può osservare nell'esempio, il calcolo, utilizzando la costruzione a fasi, è un calcolo elastico, cioè MIDAS/Civil calcola il modulo elastico istantaneo al momento dell'applicazione del carico e lo utilizza per il calcolo delle deformazioni, senza considerare il fatto che il nostro elemento sia soggetto ad uno sforzo maggiore rispetto a quello di resistenza.

La variazione del modulo elastico nel tempo rispetto al CEB-FIB 1990 è definita come:

$$E_c(t) = \left[\exp \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{0,5} \right] \right\} \right]^{0,5} \cdot E_c$$

si può osservare che l'espressione è funzione degli stessi parametri della variazione della resistenza a compressione e in più è funzione del modulo elastico calcolato a 28 giorni.

1.1. Esempio in MIDAS/Civil (variazione_modulo_elastico.mcb)

Consideriamo una trave semplicemente appoggiata con un carico assiale.

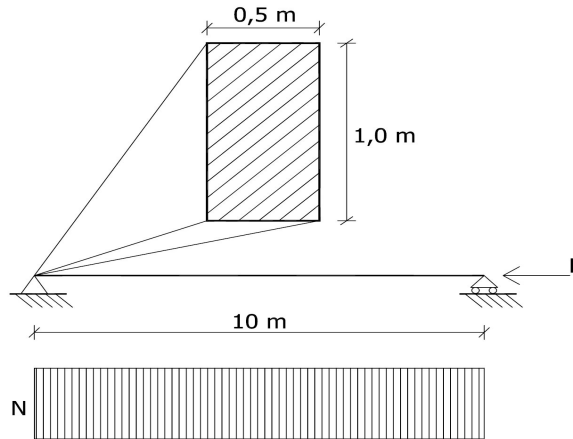


Figura 2: Trave cerniera appoggio, con il solo carico assiale

La forza F pari a 10 kN viene applicata prima a 10 giorni e poi successivamente a 20 giorni.

Senza considerare la variazione nel tempo del modulo elastico e utilizzando una classe di calcestruzzo C25/30 si ottiene che:

$$E_c = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{cm}} = 30471 \text{ MPa}$$

La deformazione elastica è uguale nei due momenti ed è pari a:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \frac{N}{E A} = 6,563 \text{ E} - 07$$

per cui uno spostamento finale è:

$$\Delta l = 2 \cdot \varepsilon \cdot l = 1,3127 \text{ E} - 02 \text{ mm}$$

che è lo stesso risultato che si può visualizzare nel file relativo alla variazione del modulo elastico nel tempo per quanto riguarda l'elemento 1.

Se ora consideriamo il modello del CEB-FIB con la variazione del modulo elastico otteniamo il modulo elastico a 10 giorni pari a :

$$E_c(10 \text{ g}) = 29425,5 \text{ MPa}$$

mentre al ventesimo giorno pari a:

$$E_c(20 \text{ g}) = 31284,6 \text{ MPa} .$$

Da cui i valori ε_1 e ε_2 sono diversi e calcolati sempre con la formula di De

Saint Venant si ottiene che;

$$\varepsilon_1 = 6,7968 E-07 \text{ e } \varepsilon_2 = 6,3929 E-07 .$$

Con il MIDAS/Civil, si implementa, come spiegato precedentemente, il modello del CEB-FIB e si risolve l'analisi facendo una costruzione a fasi successive, in modo tale da poter differenziare temporalmente l'applicazione dei due carichi.

Si può osservare che nel file variazione_modulo_elastico.mcb l'elemento 2 ha esattamente i valori calcolati con la formulazione del CEB-FIB.

Per cui si ottiene:

$$\Delta l(10 \text{ g}) = \varepsilon_1 \cdot l = 6,7968 E-03 ;$$

$$\Delta l(20 \text{ g}) = \varepsilon_2 \cdot l = 6,3929 E-03 ;$$

$$\Delta l(\text{tot}) = \Delta l(10 \text{ g}) + \Delta l(20 \text{ g}) = 1,319 E-02$$

Valutando il valore della resistenza della sezione di calcestruzzo si ottiene che:

$$\text{a 10 giorni } f_{sd} = \frac{F}{A} = 20 \text{ N/mm}^2 > f_{cm} = 27,89 \text{ N/mm}^2 ;$$

$$\text{a 20 giorni } f_{sd} = \frac{F}{A} = 40 \text{ N/mm}^2 < f_{cm} = 31,52 \text{ N/mm}^2 .$$

Come si voleva osservare la resistenza caratteristica media è minore di quella sollecitante, per cui, come si voleva dimostrare, la variazione del modulo di compressione del calcestruzzo nel tempo, serve solo per valutare la variazione del modulo elastico.

2. Ritiro e Viscosità

Per quanto riguarda il ritiro e la viscosità, i modelli implementati in MIDAS/Civil sono:

1. CEB-FIB
2. ACI
3. PCA

L'inserimento di tali modelli avviene in modo semplice richiamando:

Model-> Properties -> Time Dependent Material (Creep/Shrinkage)

Ad esempio per il modello del CEB-FIB 1990 (vedi nota 1) si ha:

The screenshot shows a dialog box titled "Add/Modify Time Dependent Material (Creep / Shrinkage)". It contains the following fields and options:

- Name:
- Code:
- CEB
 - Compressive strength of concrete at the age of 28 days : N/mm²
 - Relative Humidity of ambient environment (40 - 99) : %
 - Notational size of member : mm
 - $h = 2 * A_c / u$ (A_c : Section Area, u : Perimeter in contact with atmosphere)
 - Type of cement
 - Rapid hardening high strength cement (RS)
 - Normal or rapid hardening cement (N, R)
 - Slowly hardening cement (SL)
 - Age of concrete at the beginning of shrinkage : day

Buttons at the bottom: Show Result..., OK, Cancel, Apply

Figura 3: Interfaccia dove si inseriscono i valori necessari per il calcolo della funzione di ritiro in funzione del tempo

Il ritiro e la viscosità sono funzione di semplici parametri quali:

1. resistenza caratteristica (f_{ck});
2. umidità relativa (RH);
3. dimensione nominale dell'elemento (h);
4. il tipo di cemento utilizzato (s);
5. l'età in cui inizia il ritiro.

Come si osserva nella *figura 3* la dimensione nominale dell'elemento è stata definita uguale a 1. Calcolandola con la formula dell'EC2 si ottiene:

$$h = \frac{2 \cdot A_c}{u} = 333,3.$$

In MIDAS/Civil per non calcolare il valore di h si utilizza la funzione **Change Element Dependent Material Property...** che calcola in modo automatico o per inserimento manuale il valore della dimensione nominale dell'elemento.

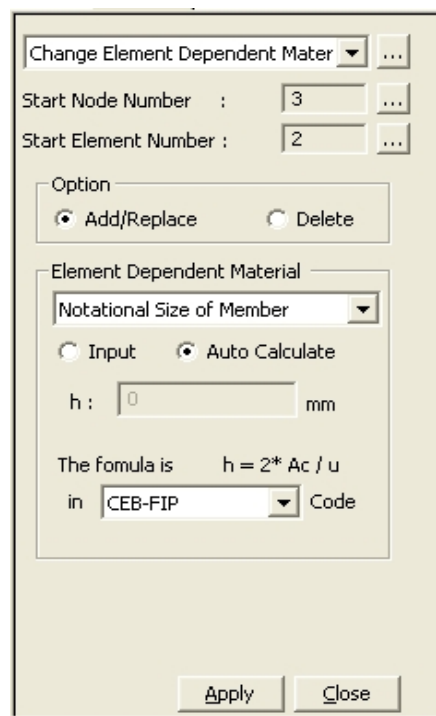


Figura 4: Interfaccia grafica per il calcolo di h

Per quanto riguarda il **ritiro** l'EC2 utilizza la seguente formula:

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = [160 + 10\beta_{sc}(9 - f_{cm})] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} \cdot \left[\frac{t - t_s}{0,035 h^2 + t - t_s} \right]^{0.5}$$

dove:

β_{sc} è il coefficiente che dipende dal tipo di cemento:

- 4 per cementi a indurimento lento, *SL*;
- 5 per cementi normali o a rapido indurimento, *N,R*;
- 8 per cementi a rapido indurimento e alta resistenza, *RS*;

β_{RH} definito come:

$$\beta_{RH} = \begin{cases} -1,55 \cdot \beta_{sRH} & \text{per } 40 \% \leq RH \leq 99 \% \\ +0,25 & \text{per } RH \geq 99 \% \end{cases}$$

con:

$$\beta_{sRH} = 1 - \left[\frac{RH}{100} \right]^3$$

Cliccando sull'icona [**Show Result...**], si visualizza la deformazione dovuta al ritiro e copiando i risultati visualizzati in un foglio di calcolo e sovrapponendo le due curve, si osserva che i risultati sono perfettamente coincidenti e valutando la differenza percentuale delle due formulazioni è praticamente coincidente allo 0%.

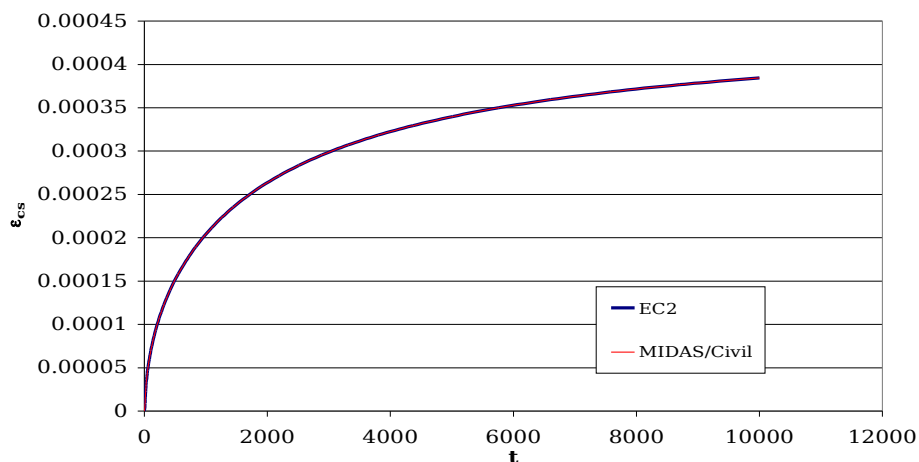


Grafico 1: Sovrapposizione della funzione $\varepsilon_{cs}(t, t_0)$

2.1. Esempio in MIDAS/Civil (ritiro.mcb)

Considerando una trave semplicemente appoggiata con f_{ck} uguale a 25 MPa, umidità relativa dell'ambiente pari a 70%, cemento di tipo normale (N,R), età del calcestruzzo in cui inizia il ritiro pari a 3 giorni e dimensione nominale dell'elemento h uguale a 333,33.

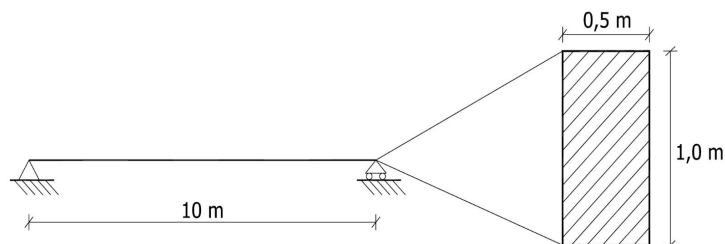


Figura 5: Trave appoggio cerniera senza nessun carico applicato

Calcolando con l'EC2 e MIDAS/Civil si osservano i seguenti risultati:

t [giorni]	Δl calcolato [mm]	Δl MIDAS [mm]
10	0.00000	0.00000
11	-0.07266	-0.07266
12	-0.10274	-0.10274
13	-0.12582	-0.12582
14	-0.14526	-0.14526
15	-0.16239	-0.16239
16	-0.17786	-0.17786
17	-0.19209	-0.19209
18	-0.20533	-0.20533
19	-0.21775	-0.21775
20	-0.22950	-0.22950
10020	-3.84578	-3.84578

Tabella 1: Valori dell'accorciamento dovuti al ritiro

Nel programma MIDAS/Civil si sono considerate 2 fasi di costruzione, una lunga 10 giorni suddivisa in 9 step da 1 giorno l'uno e la rimanente con durata 10000 giorni.

Per quanto riguarda la **viscosità** l'EC2 utilizza la seguente formula:

$$\phi(t, t_0) = \left[1 + \frac{1 - RH/100}{0,10 \sqrt[3]{h}} \right] \cdot \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} \cdot \frac{1}{0,1 + (t_0)^{0,20}} \cdot \left[\frac{(t - t_0)}{\beta_H + t - t_0} \right]^{0,3}$$

dove:

β_H definito come:

$$\beta_H = 1,5 \left[1 + (0,012 RH)^{1,8} \right] \cdot h + 250 \leq 1500$$

Cliccando sull'icona [**Show Result...**], si visualizza il coefficiente di viscosità e confrontandoli in un foglio di calcolo con quelli calcolati attraverso la formula del CEB-FIB 1990 si ottiene una differenza percentuale praticamente coincidente allo 0%.

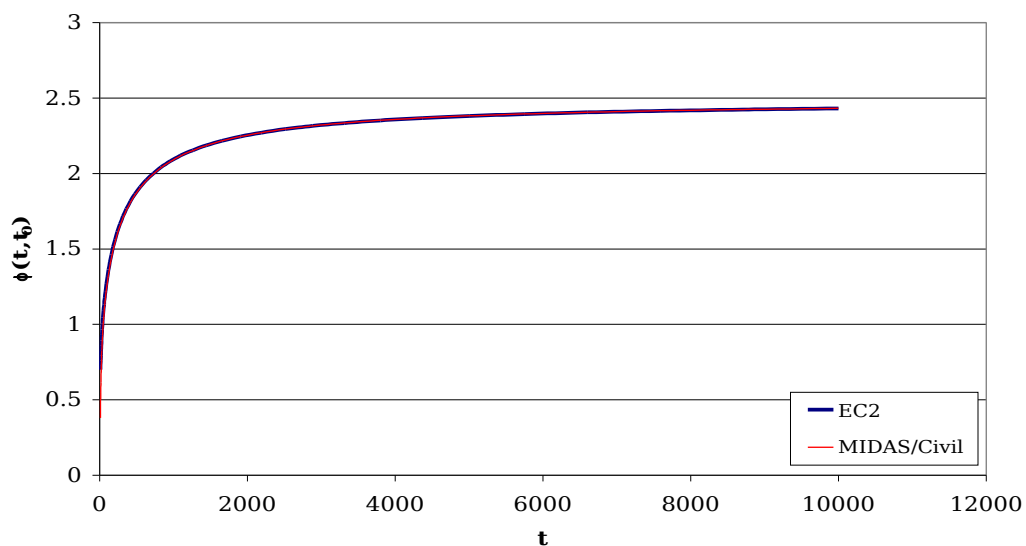


Grafico 2: Confronto tra i coefficienti di viscosità

2.2. Esempio in MIDAS/Civil (*viscosita.mcb*)

Si è schematizzata come nel caso del ritiro una trave semplicemente appoggiata, lunga 10 m con sezione $0,5 \times 1\text{ m}$, con una forza assiale F pari a 5000 kN applicata al lato del carrello.

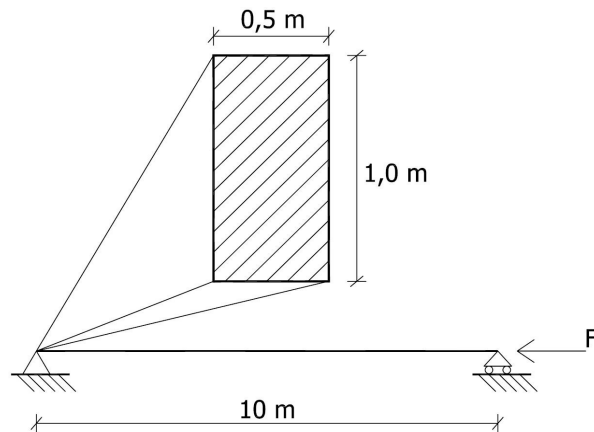


Figura 6: Trave semplicemente appoggiata con forza orizzontale applicata

Si considera il valore della viscosità di un calcestruzzo giovane, età di maturazione pari a 10 giorni, con modulo elastico costante (C25/30).

Per quanto riguarda la deformazione elastica dovuta alla forza F si applica la formula di De Saint Venant si ottiene:

$$\varepsilon = \frac{N}{E A} = 3,2817 E-04$$

da cui si ottiene un accorciamento pari a:

$$\Delta L = \varepsilon \cdot L = 3,2817\text{ mm}$$

Questo valore è praticamente identico a quello calcolato con MIDAS/Civil pari a $-3,2818\text{ mm}$

Per il calcolo con il programma MIDAS/Civil si utilizza l'analisi con la costruzione a fasi dove, come per l'esempio del ritiro, si suddivide in 2 fasi.

Una di durata 10 giorni suddivisa in 9 step da 1 giorno l'uno e la rimanente con durata 10000 giorni.

<i>t</i> [giorni]	Δl calcolato [mm]	Δl MIDAS [mm]	differenza [%]
0	0	0	0
1	1,110026	-0,876125	0,210717
2	1,366073	-1,267521	0,072142
3	1,542172	-1,475551	0,043200
4	1,680531	-1,611545	0,041050
5	1,796187	-1,716884	0,044151
6	1,896436	-1,807170	0,047071
7	1,985431	-1,888490	0,048826
8	2,065786	-1,963397	0,049564
9	2,139262	-2,033112	0,049620
10	2,207113	-2,098341	0,049282
10010	7,980994	-7,563151	0,052355