

SIGMAc SOFT - programmi di calcolo strutturale

PROCEDURA FINDLIM

TEST CASES

La procedura FindLim calcola i momenti flettenti ultimi di una sezione in c.a. composta da una sezione poligonale qualsiasi in materiale la cui curva tensioni-deformazioni è quella tipica del calcestruzzo (parabola-rettangolo), e armature puntiformi. Queste ultime sono costituite da materiali la cui curva tensioni-deformazioni è quella tipica dell'acciaio (fase perfettamente elastica-fase perfettamente plastica), e possono essere di 2 tipi distinti, di cui uno può essere presollecitato (precompressione).

La procedura FindLim è utilizzata dai moduli della collana ENG:

1. TCAP
2. PRELIM
3. TLIM

Vengono qui riportati alcuni casi di test della procedura.
Documento stampato il 24 marzo 2015.

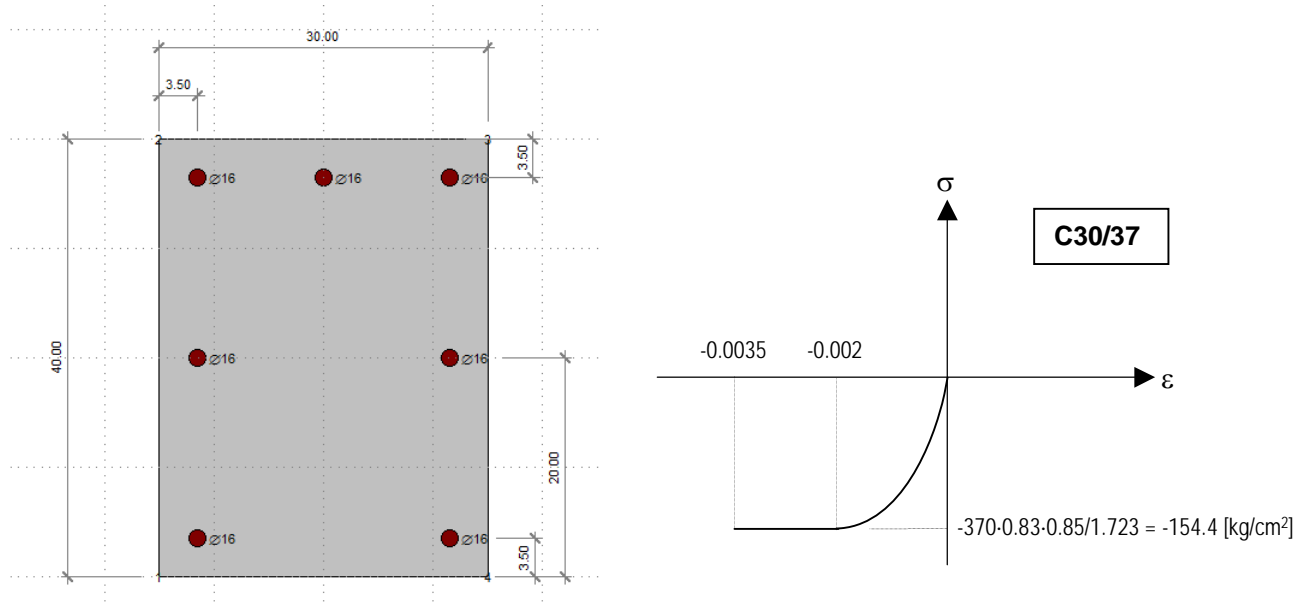
TC FINDLIM 1 - Pila da ponte ferroviario

<omissis>

TC FINDLIM 2 Pensilina – sezione alla base

Si studia una sezione rettangolare in cemento armato con armatura dissimmetrica. Il calcolo per il confronto dei risultati della procedura FindLim viene condotto con dei programmi alternativi, tra cui la procedura LIMD di SIGMAc SOFT che sfrutta un algoritmo basato su un approccio totalmente diverso al problema, e rappresenta quindi un valido termine di paragone.

Viene inoltre eseguito lo stesso calcolo con un programma molto diffuso ed utilizzato in Italia.



Il calcestruzzo della sezione è classe Rck 350, con tensione di rottura cubica pari a 350 kg/cm^2 . Utilizzando il classico diagramma parabola-rettangolo la tensione di calcolo f_{cd} risulta pari a -154.4 kg/cm^2 ; nel programma viene impostato un calcestruzzo C30/37 imponendo un coefficiente di sicurezza del materiale pari a 1.723 in modo da arrivare ad un valore corretto di f_{cd} .

Per quanto riguarda l'acciaio è un FeB44K per cui $f_{yd} = 4400 / 1.15 = 3826 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$. Nel programma viene impostato B450C con opportuno coefficiente di sicurezza per avere il precalcolato f_{yd} .

Flessione semplice: $N=0$

Calcolo eseguito con procedura **LIMD**:

$M_{XR+} = 1032369 \text{ [daN-cm]}$ *valore di confronto*

$M_{XR-} = -789470 \text{ [daN-cm]}$ *valore di confronto*

Calcolo eseguito con **FindLim**

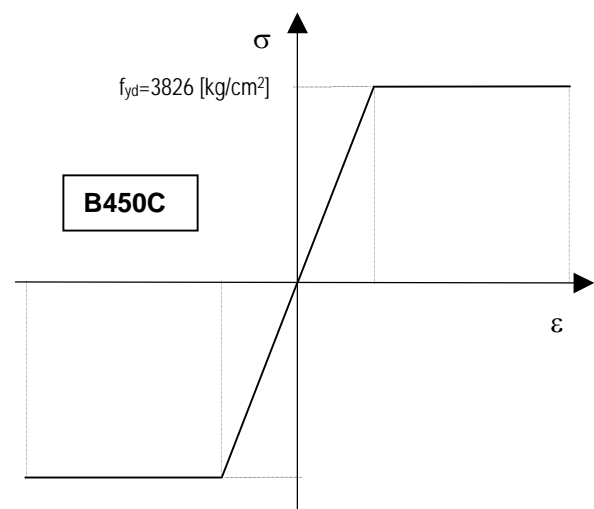
$M_{XR+} = 1028643 \text{ [daN-cm]}$ tende le fibre superiori

$M_{XR-} = -784171 \text{ [daN-cm]}$ tende le fibre inferiori

Calcolo eseguito con procedura **VCASLU** ing. Gelfi

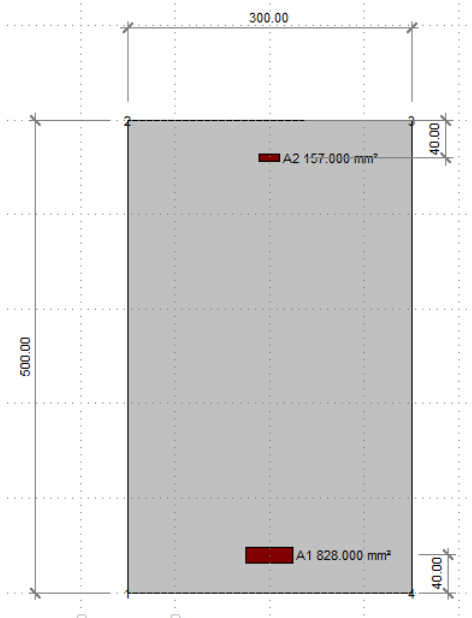
$M_{XR+} = 1033000 \text{ [daN-cm]}$

$M_{XR-} = -788100 \text{ [daN-cm]}$

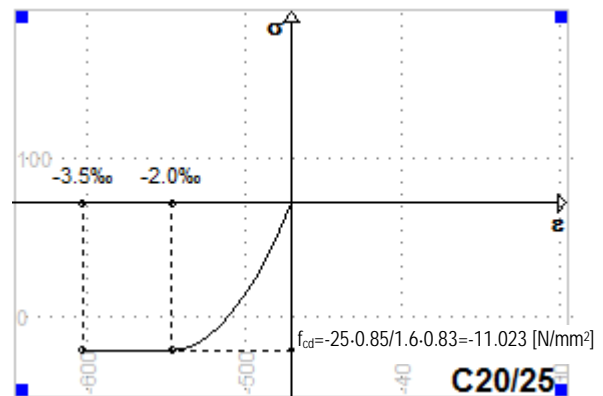


TC FINDLIM 3 – Bibliografia: NOR 6.4.1

Viene eseguito un confronto con l'esempio NOR 6.4.1 di *Biasioli, Debernardi, Marro "EC2-ESEMPI DI CALCOLO" Edizioni Keope 1993*. Sezione in c.a. con armatura dissimmetrica in flessione semplice e retta.

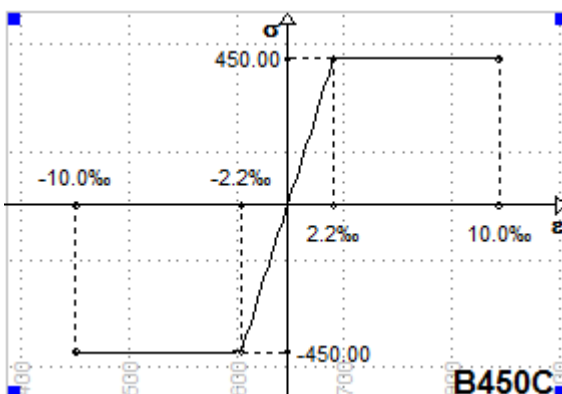


Legge costitutiva del calcestruzzo:



dove è stato assunto un coefficiente di sicurezza dei materiali pari a 1.6.

Legge costitutiva dell'acciaio:



Per riprodurre il valore di snervamento utilizzato nell'esempio di riferimento pari a 430 [N/mm²], viene inserito un coefficiente di sicurezza del materiale pari a 1.2 anziché 1.15:

$$f_{yd} = 430 / 1.15 = 373.9 \cong 450 / 1.2 = 375$$

Nell'esempio di riferimento il momento ultimo in flessione semplice retta che tende le fibre inferiori risulta:

$$M_{Rd} = -130.1 \text{ [KN}\cdot\text{m]} \text{ valore di confronto}$$

e l'asse neutro risulta posizionato a

$$\xi = 0.225 \rightarrow X = 0.225 \cdot 460 = 103.5 \text{ mm dal lembo sup.}$$

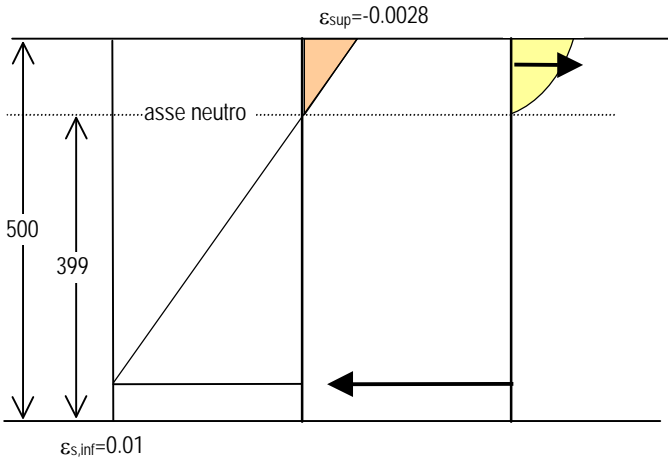
$$\rightarrow 396.5 \text{ mm dal lembo inf. sezione valore di confronto}$$

La procedura FindLim fornisce:

$$M_{Rd} = -130.3 \text{ [KN}\cdot\text{m]}$$

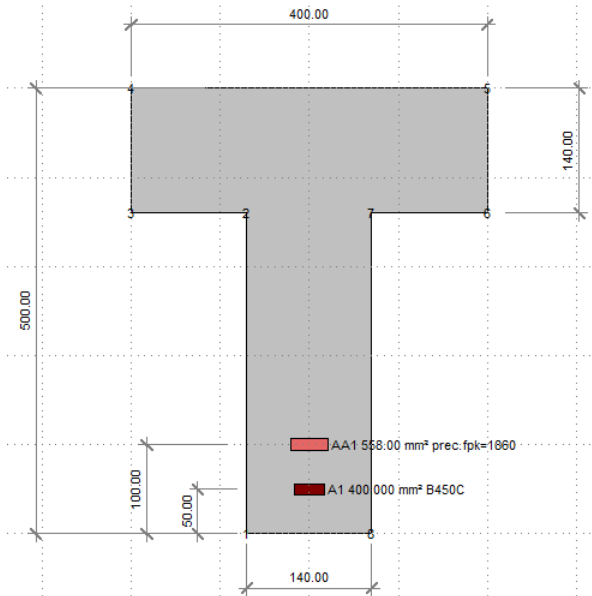
con asse neutro posizionato a 399 [mm] dal bordo inferiore della sezione.

La sezione si rompe per strappamento dell'acciaio che raggiunge la deformazione limite $\varepsilon = 0.01$, mentre il calcestruzzo ha la massima compressione $\varepsilon = -0.0028$ al lembo superiore; quest'ultimo si trova alla massima tensione di compressione pari a f_{cd} .



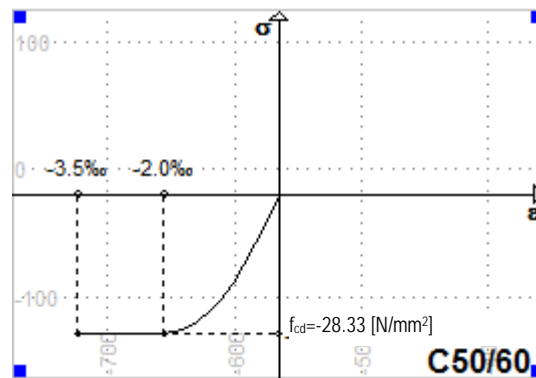
TC FINDLIM 4 – Bibliografia: AICAP 1.7.3.3

Nella pubblicazione AICAP 2006 *GUIDA ALL'EC2*, vol.1, par. 7.3.3, è riportato un calcolo del momento di rottura di una sezione a T con 2 tipi di armature al lembo teso.

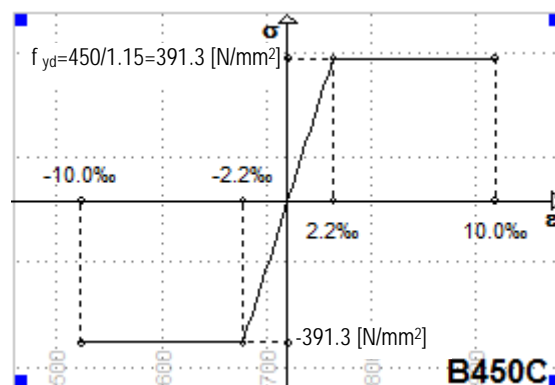
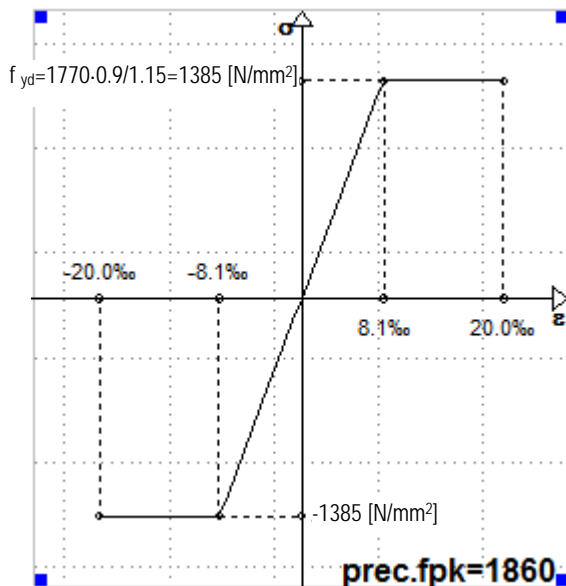


A 100 mm dalla base della sezione, alta 500 mm, si considera concentrata un'area di acciaio armonico da precompresso di 558 mm², più in basso, a 50 mm dal bordo, un'area in acciaio tipo B450 pari a 400 mm². L'ala superiore è larga 400 mm, ed ha uno spessore di 140.

Il calcestruzzo è descritto meccanicamente dalla seguente curva parabola-rettangolo:



mentre per gli acciai:



Il testo riporta un calcolo approssimato eseguito con lo stress block per la determinazione della risultante delle compressioni nell'ala della sezione. Con queste ipotesi si ha:

$$M_{Rd} = -344.4 \text{ [KN}\cdot\text{m]} \text{ valore di confronto}$$

Il segno negativo per il momento che tende le fibre inferiori della sezione è la conseguenza della scelta delle convenzioni di segno per le sollecitazioni agenti.

L'asse neutro è stato calcolato a 102.5 [mm] dal lembo superiore della sezione, cioè 397.5 [mm] dal lembo inferiore *valore di confronto*.

Con il modulo PRELIM, utilizzando la procedura FindLim, si ottiene:

$$M_{Rd} = 339.54 \text{ [KN}\cdot\text{m]}$$

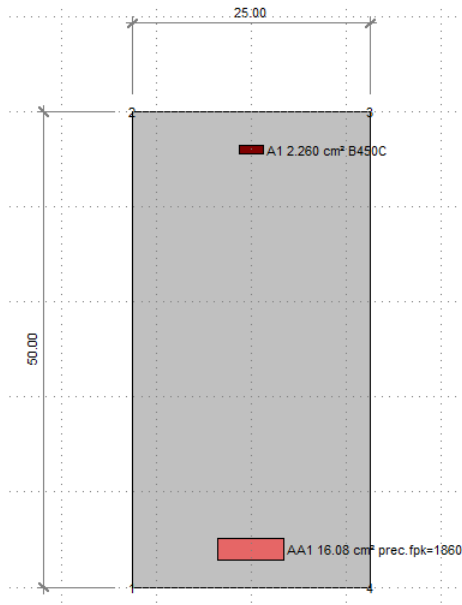
La rottura della sezione avviene per strappamento dell'acciaio, mentre il lembo superiore di calcestruzzo si trova alla deformazione di compressione $\varepsilon = -0.00305$. L'asse neutro dista dal bordo inferiore della sezione 394.77 [mm].

L'acciaio da precompressione utilizzato ha la tensione di snervamento a 1860 [N/mm²]; per ottenere la f_{yd} indicata nell'esempio di riferimento viene perciò utilizzato un coefficiente di sicurezza del materiale pari a 1.21

La presollecitazione dell'acciaio da precompressione viene assunta pari a 0, come è l'ipotesi del calcolo di confronto.

TC FINDLIM 6 – Sezione precompressa/1

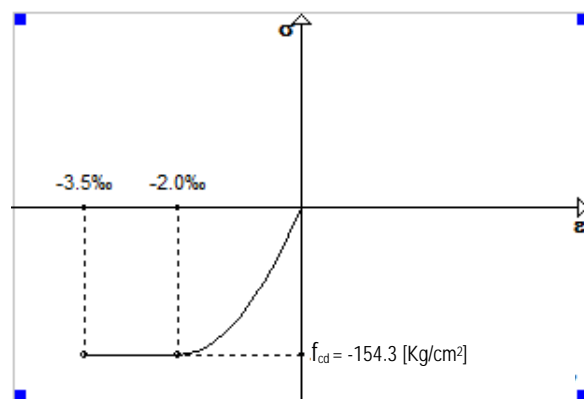
Si analizza una sezione rettangolare armata con una armatura inferiore in acciaio da precompressione ma non pretesata ed una superiore in acciaio lento per c.a.. Il successivo test case n. 7 analizza questa stessa sezione ma con l’armatura da precompressione pretesata.



L’armatura inferiore ha baricentro posizionato a 4 cm dal fondo della sezione, mentre quella superiore è a 4 cm dal lembo superiore.

Il calcestruzzo ha una resistenza caratteristica cubica di 350 [Kg/cm²] e perciò una resistenza di calcolo

$$f_{cd} = -350 \cdot 0.83 \cdot 0.85 / 1.6 = 154.3 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

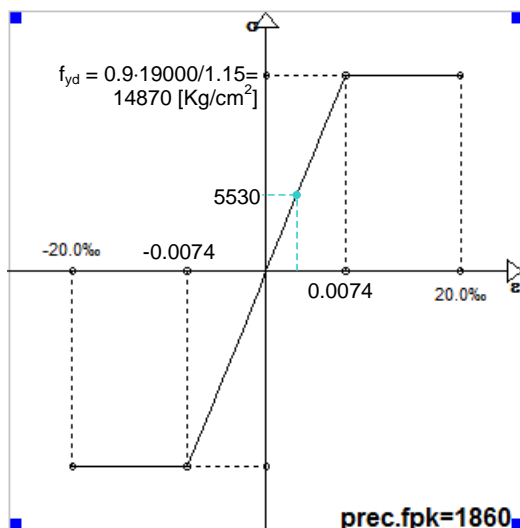
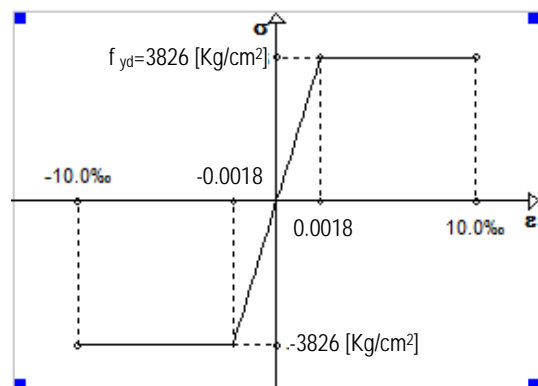


Nel calcolo alternativo di questo esempio si considera l’effettiva distribuzione di tensioni generata dal diagramma sopra riportato, con il vantaggio computazionale rappresentata dalla larghezza costante della sezione. L’integrale del tratto parabolico, sulla curva σ - ϵ , vale $0.00133 \cdot f_{cd}$ ed il centro delle pressioni del tratto parabolico è posizionato a 0.625 dell’altezza del tratto stesso.

Per l’acciaio lento dell’armatura superiore si assume la legge perfettamente elastica – perfettamente plastica con:

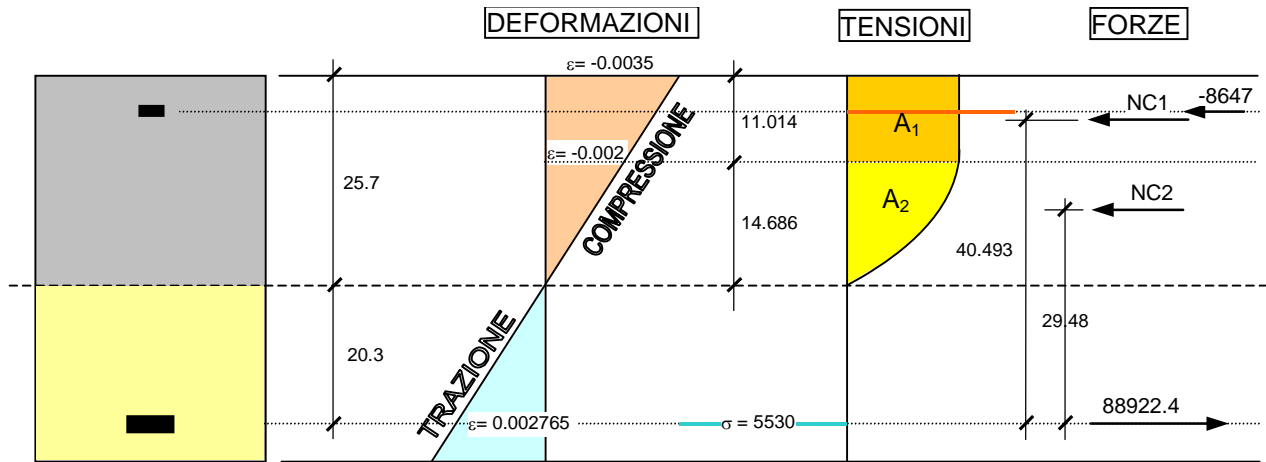
$$f_{yd} = 4400 / 1.15 = 3826 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

L’acciaio da precompressione si comporta secondo la curva indicata di seguito.



Poichè si vuole valutare il momento flettente positivo (che tende le fibre inferiori) ultimo della sezione in assenza di sforzo normale, si cerca per tentativi una posizione dell’asse neutro tale che, portando al limite deformativo o la sezione di calcestruzzo o le armature, si abbia $N=0$.

Procedendo per iterazioni si individua una situazione molto prossima all’equilibrio della sezione, con asse neutro posizionato a **25.7 cm dal bordo superiore** *valore di confronto:*



in cui

$$NC1 = -154.3 \cdot 25 \cdot 11.014 = -42486.5$$

$$NC2 = -37767.5$$

e

$$N_{tot} = -88901 + 88922.4 = 21.4 \text{ [Kg]} \approx 0$$

Con riferimento alla figura precedente si ha perciò:

$$M_{Rd} = 8647 \cdot 42 + 42486.5 \cdot 40.493 + 37767.5 \cdot 29.48 = 363174 + 1720406 + 1113386 = 3196966 \text{ [Kg-cm]} \text{ valore di confronto}$$

Con il modulo PRELIM, utilizzando la procedura FindLim, si ottiene:

$$M_{Rd} = -3209537 \text{ [Kg-cm]}$$

La rottura della sezione avviene per schiacciamento del calcestruzzo; l'acciaio inferiore si trova alla deformazione di trazione $\varepsilon=0.00273$. L'asse neutro è interno alla sezione e dista dal bordo inferiore 24.15 [cm], cioè a 25.85 [cm] dal bordo superiore.

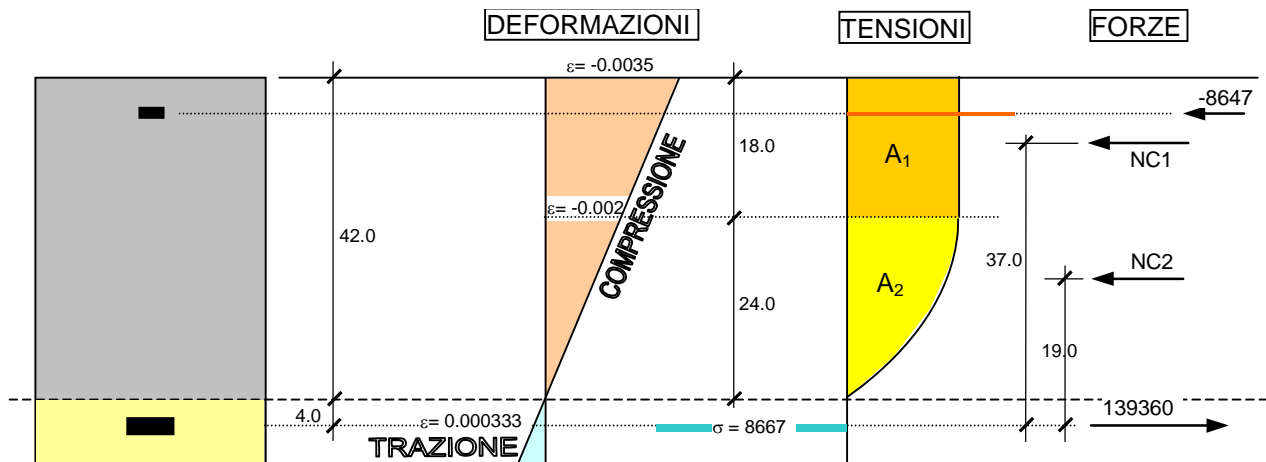
TC FINDLIM 7 – Sezione precompressa/2

La stessa sezione di TC FINDLIM 6 viene analizzata considerando l'armatura inferiore pretesata ad una deformazione $\varepsilon=0.004$, corrispondente ad una tensione $\sigma=8000$ [Kg/cm²]. L'armatura superiore è invece "lenta", non presollecitata.

Le curve dei materiali sono le stesse del test precedente.

Mentre nel test precedente la sezione, portata alla rottura, aveva l'armatura inferiore poco sollecitata rispetto alla resistenza ultima dell'acciaio da precompressione, in questo test la presollecitazione consente di sfruttare maggiormente il materiale, espandendo di conseguenza verso il basso la zona compressa di calcestruzzo. Ciò porta ad un aumento del momento ultimo della sezione in virtù delle più grandi forze interne sviluppate.

Adottando lo stesso procedimento di ricerca per tentativi della posizione dell'asse neutro, si determina la seguente configurazione deformativa con asse neutro posizionato a 42 cm dal bordo superiore della sezione:



in cui

$$NC1 = -154.3 \cdot 25 \cdot 18 = -69435$$

$$NC2 = -0.00133/0.002 \cdot 154.3 \cdot 25 \cdot 24 = -61720$$

e

$$N_{tot} = -139802 + 139360 = 442 \text{ [Kg]} \approx 0$$

Con riferimento alla figura precedente si ha perciò:

$$M_{Rd} = 8647 \cdot 42 + 69435 \cdot 37 + 61720 \cdot 19 = 363174 + 2569095 + 1172680 = 4104949 \text{ [Kg-cm] valore di confronto}$$

Con il modulo PRELIM, utilizzando la procedura FindLim, si ottiene:

$$M_{Rd} = -4118440 \text{ [Kg-cm]}$$

La rottura della sezione avviene per schiacciamento del calcestruzzo al lembo superiore e l'acciaio inferiore si trova alla deformazione di trazione $\varepsilon=0.0043$. L'asse neutro è interno alla sezione e dista dal bordo inferiore 7.64 [cm], cioè a 42.36 [cm] dal bordo superiore.