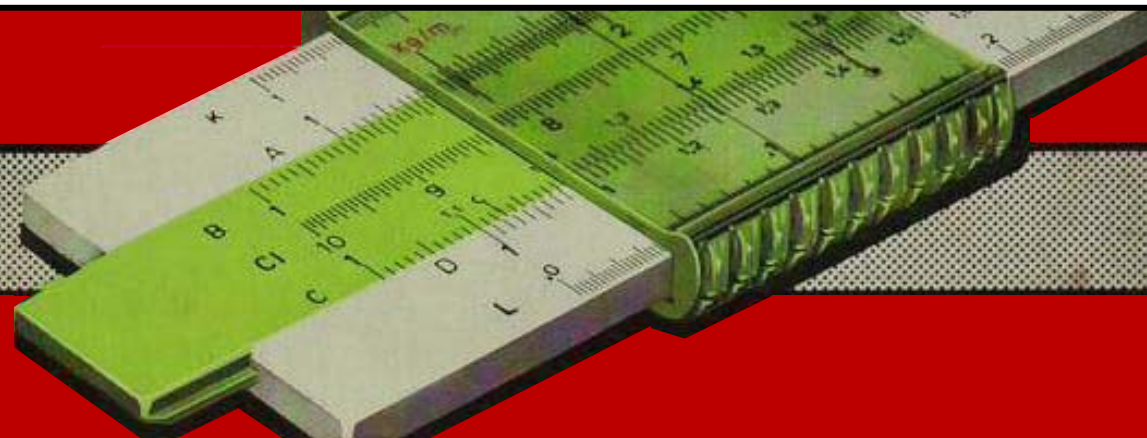


NESTLER



Regolo calcolatore per cemento armato
NESTLER n° 0439 system Jakob

Istruzioni d'uso a cura dell'ing. Alessandro Manni

Premessa

Il regolo calcolatore Nestler n° 0439 System Jakob è un interessante regolo per il calcolo del cemento armato che circolò fra gli anni '50 e la prima metà degli anni '70 del secolo scorso.

Di questo regolo, del quale non dispongo delle istruzioni, non mi risulta siano disponibili copie delle istruzioni originali sui vari siti internet specializzati né, a mio modesto parere, ciò che su di esso si trova sulla letteratura specializzata è adeguato per illustrarne chiaramente l'uso. Ho pensato quindi di sopperire a questa carenza, pensando di fare cosa gradita ai tanti appassionati che ancora collezionano e, come me, utilizzano il regolo calcolatore.

Sarò grato a quanti vorranno segnalare eventuali errori nel testo, ovvero integrazioni o comunque suggerimenti utili.

Alessandro Manni

manni.a@katamail.com

Descrizione del regolo

Il regolo Nestler n° 0439 offre, oltre a tutti i vantaggi di un normale regolo calcolatore (sistema Rietz), la possibilità di risolvere i problemi che si incontrano nelle costruzioni in cemento armato senza dover far uso di tabelle speciali.

Oltre alle consuete operazioni eseguibili con un normale regolo, è dunque possibile calcolare sezioni in cemento armato con armatura semplice o doppia a flessione semplice o composta, per qualsiasi tensione dell'acciaio, peculiarità tipica di questo regolo.

Il recto del regolo presenta, oltre alle normali scale K, A, B, C e D, il cui uso si intende noto, le scale speciali per il calcolo delle sezioni inflesse in cemento armato $\gamma^*_h(m)$ e $R(F_e)$ – che coincide con la normale scala dei reciproci **CI** (fig. 1 e 2)

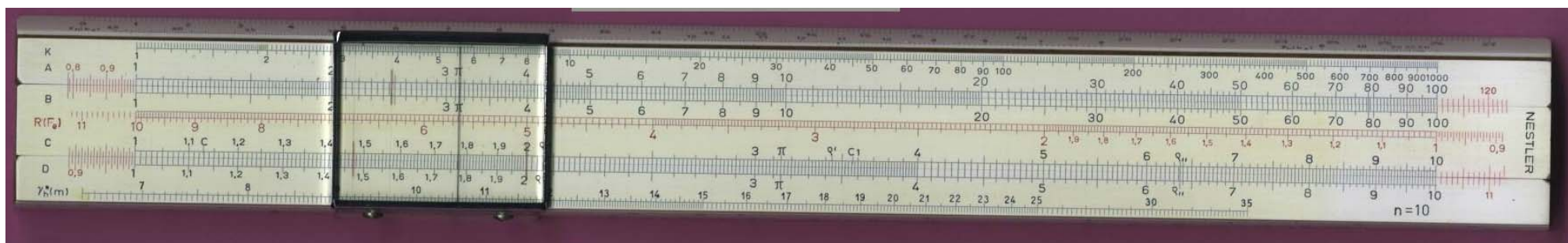


fig. 1

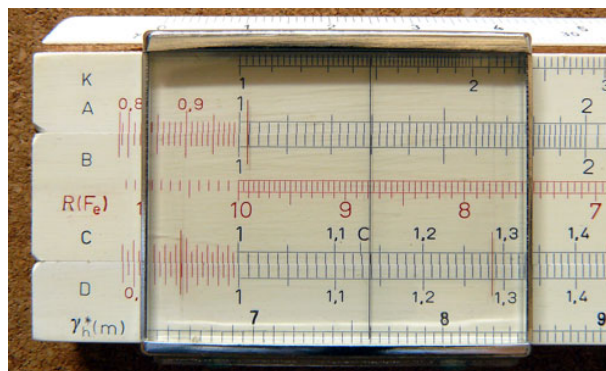


fig. 2

Il fianco superiore del regolo presenta le scale $\gamma_h(k_x)$ sulla sinistra (fig. 3) e $\gamma_h(k_z)$ sulla destra;



fig. 3

il fianco inferiore presenta la scala $\gamma_h(k_f)$ organizzata su due livelli (fig. 4 e 5).

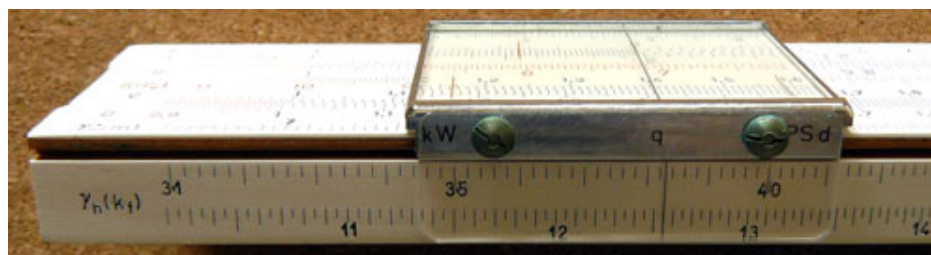


fig.4

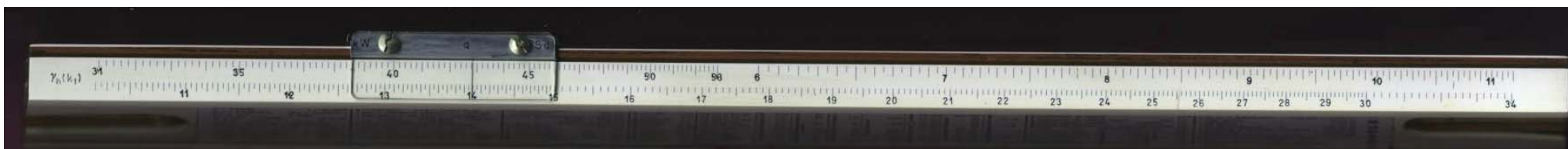


fig. 5

Il retro dello scorrevole presenta le usuali scale trigonometriche S, ST e T, da usarsi con le consuete modalità tipiche dei regoli Rietz.

Il cursore del regolo dispone dei consueti indici per il calcolo di sezioni e pesi di barre in acciaio in funzione del diametro, il cui uso si considera noto.

Principi generali del calcolo

La suddivisione delle scale speciali del regolo è costruita con riferimento ai principi classici della scienza delle costruzioni in campo elastico e, precisamente:

1. proporzionalità fra deformazioni e sforzi applicati;
2. ripartizione lineare delle tensioni, dal ch  discende il principio di conservazione delle sezioni piane (Navier) e la proporzionalità delle tensioni alla loro distanza dall'asse neutro (De Saint-Venant);
3. trascurabilità della resistenza a trazione del calcestruzzo.

Lo svolgimento dei calcoli segue il metodo delle tensioni ammissibili, considerando un coefficiente di omogeneizzazione $n = 10$ ⁽¹⁾. E' comunque possibile effettuare calcoli con qualsiasi valore del coefficiente di omogeneizzazione; al riguardo si veda l'esempio 8 delle presenti istruzioni.

Negli esempi che seguiranno sono state adottate le seguenti simbologie ed unit  di misura:

M	Momento flettente	[kgm]
N	Sforzo normale	[kg]
b	Larghezza della sezione	[cm]
h	Altezza di calcolo della sezione ($h = H - h'$)	[cm]
h'	Distanza fra baricentro dell'armatura tesa e intradosso della trave	[cm]
H	Altezza totale della sezione, ovvero spessore della soletta collaborante nelle travi a T	[cm]
x	Posizione dell'asse neutro rispetto all'estradosso della sezione	[cm]
σ_f	Tensione di trazione nell'acciaio	[kg/cm ²]
σ_b	Tensione di compressione nel calcestruzzo	[kg/cm ²]
F_e	Sezione di armatura metallica tesa	[cm ²]
F'_e	Sezione di armatura metallica compressa	[cm ²]

⁽¹⁾ A differenza del modulo elastico dell'acciaio, che pu  essere considerato costante e pari a 2.100.000 kg/cm², il modulo elastico del calcestruzzo   in realt  variabile, dipendendo essenzialmente dalla sua maturazione e dalla sua resistenza caratteristica a compressione. Usare valori alti del coefficiente di omogeneizzazione $n = E_a/E_b$ equivale, almeno in teoria, a considerare calcestruzzi di basso modulo, pertanto di resistenza bassa, il ch  si tradurrebbe in maggiori quantitativi di acciaio a parit  di sezione e di sollecitazioni, come pure in deformazioni maggiori e, conseguentemente, in peggiori condizioni di fessurazione. Ci  indurrebbe a fare uso di coefficienti di omogeneizzazione bassi. Tuttavia occorre osservare che il modulo elastico del calcestruzzo cala al crescere della tensione (dal momento che, in realt , il calcestruzzo non segue perfettamente la legge di Hooke); per garantire l'attendibilit  del metodo delle tensioni ammissibili (che valuta uno stato tensionale interno) nei confronti della sicurezza esterna della struttura (che valuta l'entit  dei carichi rispetto al carico ammissibile), occorre allora fare riferimento al valore del modulo di elasticit  che il calcestruzzo assume non in esercizio, bens  in corrispondenza della sua tensione di rottura, che   assai pi  basso al valore del modulo elastico in esercizio. Ci  giustifica perch  le normative pi  recenti che hanno utilizzato il metodo delle tensioni ammissibili hanno fatto riferimento a $n = 15$, considerando un valore medio del modulo $E_b = 140.000 \text{ Kg/cm}^2$.

Principio di funzionamento

Le quattro scale speciali per il calcolo del cemento armato sono concepite con le seguenti finalità:

- $\gamma_h(k_f)$ fornisce il valore del parametro k_f per il calcolo dell'armatura tesa F_e secondo la relazione
$$F_e = \frac{b \times h}{k_f}$$
- $\gamma_h^*(m)$ fornisce il valore del parametro m per il calcolo del rapporto fra le tensioni ⁽²⁾
$$m = \frac{\sigma_f}{\sigma_b}$$
- $\gamma_h(k_x)$ fornisce il valore del parametro k_x per il calcolo dell'asse neutro
$$x = k_x \times h$$
- $\gamma_h(k_z)$ fornisce il valore del parametro k_z per il calcolo del braccio della coppia interna
$$z = k_z \times h$$

Il funzionamento del regolo è basato sulla seguente relazione per il calcolo a flessione:

$$\gamma_h = h \times \sqrt{\frac{b \times \sigma_f}{M}}$$

Le letture dei parametri γ_h , k_x , k_z , k_f e m sono tutte effettuate sulla scala D entro i seguenti campi di variabilità ⁽³⁾:

γ_h	–	campo di variabilità fra 6 e 53 ⁽⁴⁾	(es. D 1.45 si legge $\gamma_h = 14.5$; D 8.4 si legge $\gamma_h = 8.4$; D 4.5 si legge $\gamma_h = 45$)
m	–	campo di variabilità fra 10 e 100	(es. D 3.45 si legge $m = 34.5$)
k_x	–	campo di variabilità fra 0.1 e 1	(es. D 3.45 si legge $k_x = 0.345$)
k_z	–	campo di variabilità fra 0.1 e 1	(es. D 9.15 si legge $k_z = 0.915$)
k_f	–	$\left\{ \begin{array}{l} \text{campo di variabilità fra 10 e 100} \\ \text{campo di variabilità fra 100 e 1000}^{(5)} \\ \text{campo di variabilità fra 1000 e 10000} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{se } \gamma_h \text{ è impostato sulla scala da 6 a 11.2} \\ \text{se } \gamma_h \text{ è impostato sulla scala da 10.2 a 34} \\ \text{se } \gamma_h \text{ è impostato sulla scala da 31 a 53} \end{array} \right.$ (es. D 2.36 si legge $k_f = 23.6$) (es. D 2.36 si legge $k_f = 236$) (es. D 2.36 si legge $k_f = 2360$)

⁽²⁾ Si presti attenzione a non confondere il coefficiente m , che esprime il rapporto fra le *tensioni* di acciaio e calcestruzzo, con il coefficiente di omogeneizzazione n , che esprime il rapporto fra i *moduli elastici* di acciaio e calcestruzzo.

⁽³⁾ A condizione, ovviamente, che si adottino unità di misura coerenti.

⁽⁴⁾ Per interpretare la corretta lettura di γ_h è sufficiente osservare il campo di variabilità della scala $\gamma_h(k_f)$

⁽⁵⁾ La quasi totalità dei casi che si presenteranno nella usuale pratica si andranno a collocare in questo campo di variabilità. I casi in cui γ_h è superiore a 30 o inferiore a 11 portano solitamente a sezioni sovradimensionate, mentre i casi in cui γ_h è inferiore a 11 portano solitamente a sezioni sottodimensionate (fatta eccezione per il calcolo delle solette, che è effettuato a metro lineare).

La tensione dell'acciaio σ_f viene impostata sulla scala fissa A, con le stesse regole adottate per il calcolo delle radici, pertanto i valori delle usuali tensioni, comprese fra 1000 e 2600 kg/cm^2 , troveranno posto nella sezione della scala fra 10 e 100.

Il momento flettente M e la larghezza della sezione b si impostano sulla scala B, adottando anche in questo caso le regole di impostazione per il calcolo delle radici. Ad esempio, $M = 3600 \text{ kgm}$ si imposterà su B 36, $M = 16500 \text{ kgm}$ si imposterà su B 1.65, $b = 30 \text{ cm}$ si imposterà su B 30 etc. ⁽⁶⁾

L'altezza utile della sezione h si imposta sulla scala C.

Flessione semplice

Il regolo è impostato in modo che il calcolo più semplice sia quello che prevede come dati di ingresso i valori di σ_f , M , b , h , in modo da determinare direttamente il valore di γ_h e, di qui, tutti gli altri parametri.

Noto γ_h , impostando il suo valore su ognuna delle scale speciali si leggerà il corrispondente valore dei parametri k_x , k_z , k_f e m sulla scala D.

Nel caso in cui la sezione da calcolare debba avere armatura metallica disposta sia in zona tesa che in zona compressa, si calcolano preliminarmente il Momento flettente M_{amm} e l'area di acciaio F_e^* che corrispondono alla sezione nota nell'ipotesi di armatura semplice. Si calcola poi il Momento flettente residuo $\Delta M = M - M_{amm}$ e l'armatura aggiuntiva ΔF_e che deve assorbire interamente il momento residuo ΔM . Detta c la distanza fra i baricentri delle armature tese e compressa ($c = h - h'$), l'armatura aggiuntiva Δf_e vale:

$$\Delta F_e = \frac{\Delta M}{\sigma_f \times c} \quad \text{quindi,} \quad F_e = F_e^* + \Delta F_e$$

Nota F_e , l'armatura F'_e si trova con la semplice proporzione: $F'_e = \Delta F_e \times \frac{h - x}{x - h'}$.

La tensione nell'armatura compressa vale: $\sigma'_f = n \times \sigma_b \times \frac{x - h'}{x}$

Nota la tensione nell'armatura compressa, è possibile calcolare F'_e anche facendo riferimento a ΔM con la relazione: $F'_e = \frac{\Delta M}{c \times \sigma'_f}$

⁽⁶⁾ Si osservi che l'impostazione del momento flettente in kgm o in $kgcm$ è la medesima: è per questo motivo che, negli esempi che seguiranno, per semplicità si indicherà sempre il momento flettente M in kgm , anziché in $kgcm$, come invece la coerenza con le unità di misura adottate per le altre grandezze che entrano nella formula che esprime il parametro γ_h richiederebbe.

Flessione composta

Per calcolare le dimensioni di una sezione rettangolare sollecitata a flessione composta, si determina il momento di trasporto

$$M_u = M + N \times u \quad \text{se } N \text{ è di compressione}$$

$$M_u = M - N \times u \quad \text{se } N \text{ è di trazione}$$

essendo u la distanza fra il baricentro della sezione e il baricentro dell'armatura tesa ($u = H/2 - h'$).

Si calcola la sezione a flessione semplice sollecitata dal momento di trasporto M_u e, dalla sezione di armatura F_e^* ad esso riferita, si detrae (in caso di compressione) o si somma (in caso di trazione) la quantità N / σ_f .

Nel caso di armatura doppia, la sezione F_e' resta immutata.

Esempio 1: **sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura semplice**

dati: $M = 3600 \text{ kgm}$
 $b = 25 \text{ cm}$
 $h = 50 \text{ cm}$
 $\sigma_f = 1400 \text{ kg/cm}^2$

incognite: σ_b, F_e, x

Collocare B 100 al disotto di A 14 (per $\sigma_f = 1400 \text{ kg/cm}^2$) e portare la linea di fede del cursore su B 25 (per $b = 25 \text{ cm}$); quindi muovere lo scorrevole fino a portare B 36 (per $M = 3600 \text{ kgm}$) sotto la linea di fede.

In corrispondenza di C 5 (per $h = 50 \text{ cm}$) si legge su D il valore $\gamma_h = 15.55$

Impostando questo valore sulle scale $\gamma^*_h(m)$, $\gamma_h(k_x)$, $\gamma_h(k_z)$ e $\gamma_h(k_f)$ leggeremo rispettivamente, sempre sulla scala D:

Per $\gamma^*_h(m) = 15.55$	$m = 28.6$	quindi:	$\sigma_b = 1400 / 28.6$	$= 49 \text{ kg/cm}^2$
Per $\gamma_h(k_x) = 15.55$	$k_x = 0.276$	quindi:	$x = 50 \times 0.28$	$= 12.9 \text{ cm}$
Per $\gamma_h(k_z) = 15.55$	$k_z = 0.915$	quindi:	$z = 50 \times 0.915$	$= 45.7 \text{ cm}$
Per $\gamma_h(k_f) = 15.55$	$k_f = 221$	quindi:	$F_e = 25 \times 50 / 221$	$= 5.65 \text{ cm}^2$

I risultati possono essere letti direttamente sulle scale del regolo, senza effettuare le operazioni illustrate sopra, procedendo così:

Calcolo di σ_b : porre C1 su D 1.4 (per $\sigma_f = 1400 \text{ kg/cm}^2$), impostare sulla scala $\gamma^*_h(m)$ il valore $\gamma_h = 15.55$ e leggere sulla scala **R(F_e)** $\sigma_b = 49 \text{ kg/cm}^2$

Calcolo di x : impostare col cursore sulla scala $\gamma_h(k_x)$ il valore $\gamma_h = 15.55$, spostare lo scorrevole fino a portare **R(F_e)** 5 (per $h = 50 \text{ cm}$) sotto la linea di fede del cursore. In corrispondenza di C 1 si leggerà sulla scala D il valore $x = 12.9 \text{ cm}$.

Calcolo di z : impostare col cursore sulla scala $\gamma_h(k_z)$ il valore $\gamma_h = 15.55$, spostare lo scorrevole fino a portare **R(F_e)** 5 (per $h = 50 \text{ cm}$) sotto la linea di fede del cursore. In corrispondenza di C 1 si leggerà sulla scala D il valore $z = 45.7 \text{ cm}$.

Calcolo di F_e : porre C1 su D 1.25 (per $b \times h = 1250 \text{ cm}^2$), impostare sulla scala $\gamma_h(k_f)$ il valore $\gamma_h = 15.55$ e leggere sulla scala **R(F_e)** $F_e = 5.65 \text{ cm}^2$

Esempio 2: **sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura semplice**

dati: $M = 4800 \text{ kgm}$
 $b = 25 \text{ cm}$
 $h = 46 \text{ cm}$
 $\sigma_f = 1800 \text{ kg/cm}^2$

incognite: σ_b, F_e, x

Collocare B 100 al disotto di A 18 (per $\sigma_f = 1800 \text{ kg/cm}^2$) e portare la linea di fede del cursore su B 25 (per $b = 25 \text{ cm}$); quindi muovere lo scorrevole fino a portare B 48 (per $M = 4800 \text{ kgm}$) sotto la linea di fede.

In corrispondenza di C 4.6 (per $h = 46 \text{ cm}$) si legge su D il valore $\gamma_h = 14.1$

Impostando questo valore sulle scale $\gamma^*_h(m)$, $\gamma_h(k_x)$, $\gamma_h(k_z)$ e $\gamma_h(k_f)$ leggeremo rispettivamente, sempre sulla scala D:

Per $\gamma^*_h(m) = 14.1$	$m = 25.4$	quindi:	$\sigma_b = 1800 / 25.4$	$= 71 \text{ kg/cm}^2$
Per $\gamma_h(k_x) = 14.1$	$k_x = 0.282$	quindi:	$x = 46 \times 0.282$	$= 13.0 \text{ cm}$
Per $\gamma_h(k_z) = 14.1$	$k_z = 0.905$	quindi:	$z = 46 \times 0.905$	$= 41.6 \text{ cm}$
Per $\gamma_h(k_f) = 14.1$	$k_f = 180$	quindi:	$F_e = 25 \times 46 / 180$	$= 6.39 \text{ cm}^2$

I risultati possono essere letti direttamente sulle scale del regolo, senza effettuare le operazioni illustrate sopra, procedendo così:

Calcolo di σ_b : porre C1 su D 1.8 (per $\sigma_f = 1800 \text{ kg/cm}^2$), impostare sulla scala $\gamma^*_h(m)$ il valore $\gamma_h = 14.1$ e leggere sulla scala **R(F_e)** $\sigma_b = 71 \text{ kg/cm}^2$

Calcolo di x : impostare col cursore sulla scala $\gamma_h(k_x)$ il valore $\gamma_h = 14.1$, spostare lo scorrevole fino a portare **R(F_e)** 4.6 (per $h = 46 \text{ cm}$) sotto la linea di fede del cursore. In corrispondenza di C 1 si leggerà sulla scala D il valore $x = 13.0 \text{ cm}$.

Calcolo di z : impostare col cursore sulla scala $\gamma_h(k_z)$ il valore $\gamma_h = 14.1$, spostare lo scorrevole fino a portare **R(F_e)** 4.6 (per $h = 46 \text{ cm}$) sotto la linea di fede del cursore. In corrispondenza di C 1 si leggerà sulla scala D il valore $z = 41.6 \text{ cm}$.

Calcolo di F_e : porre C1 su D 1.15 (per $b \times h = 1150 \text{ cm}^2$), impostare sulla scala $\gamma_h(k_f)$ il valore $\gamma_h = 14.1$ e leggere sulla scala **R(F_e)** $F_e = 6.39 \text{ cm}^2$

Esempio 3: sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura semplice

dati: $M = 45000 \text{ kgm}$
 $b = 40 \text{ cm}$
 $h = 80 \text{ cm}$
 $\sigma_f = 1100 \text{ kg/cm}^2$

incognite: σ_b, F_e, x

Collocare B 100 al disotto di A 11 (per $\sigma_f = 1100 \text{ kg/cm}^2$) e portare la linea di fede del cursore su B 40 (per $b = 40 \text{ cm}$); quindi muovere lo scorrevole fino a portare B 4.5 (per $M = 45000 \text{ kgm}$) sotto la linea di fede.

In corrispondenza di C 8 (per $h = 80 \text{ cm}$) si legge su D il valore $\gamma_h = 7.9$ ⁽⁷⁾

Impostando questo valore sulle scale $\gamma^*_h(m)$, $\gamma_h(k_x)$, $\gamma_h(k_z)$ e $\gamma_h(k_f)$ leggeremo rispettivamente, sempre sulla scala D:

Per $\gamma^*_h(m) = 7.9$ $m = 12.1$ quindi: $\sigma_b = 1100 / 12.1 = 91.5 \text{ kg/cm}^2$

Per $\gamma_h(k_x) = 7.9$ $k_x = 0.455$ quindi: $x = 80 \times 0.455 = 36.4 \text{ cm}$

Per $\gamma_h(k_z) = 7.9$ $k_z = 0.85$ quindi: $z = 80 \times 0.85 = 68.0 \text{ cm}$

Per $\gamma_h(k_f) = 7.9$ $k_f = 53$ quindi: $F_e = 40 \times 80 / 53 = 60.4 \text{ cm}^2$

I risultati possono essere letti direttamente sulle scale del regolo, senza effettuare le operazioni illustrate sopra, procedendo così:

Calcolo di σ_b : porre C1 su D 1.1 (per $\sigma_f = 1100 \text{ kg/cm}^2$), impostare sulla scala $\gamma^*_h(m)$ il valore $\gamma_h = 7.9$ e leggere sulla scala **R(F_e)** $\sigma_b = 91.5 \text{ kg/cm}^2$

Calcolo di x : impostare col cursore sulla scala $\gamma_h(k_x)$ il valore $\gamma_h = 7.9$, spostare lo scorrevole fino a portare **R(F_e)** 8 (per $h = 80 \text{ cm}$) sotto la linea di fede del cursore. In corrispondenza di C 1 si leggerà sulla scala D il valore $x = 36.4 \text{ cm}$.

Calcolo di z : impostare col cursore sulla scala $\gamma_h(k_z)$ il valore $\gamma_h = 7.9$, spostare lo scorrevole fino a portare **R(F_e)** 8 (per $h = 80 \text{ cm}$) sotto la linea di fede del cursore. In corrispondenza di C 1 si leggerà sulla scala D il valore $z = 68.0 \text{ cm}$.

Calcolo di F_e : porre C1 su D 3.2 (per $b \times h = 3200 \text{ cm}^2$), impostare sulla scala $\gamma_h(k_f)$ il valore $\gamma_h = 7.9$ e leggere sulla scala **R(F_e)** $F_e = 60.4 \text{ cm}^2$

⁽⁷⁾ Per leggere correttamente il valore della lettura del coefficiente γ_h basta osservare il campo di variabilità della scala $\gamma_h(k_f)$. In casi dubbi, si può sempre applicare la formula

$\gamma_h = h \times \sqrt{\frac{b \times \sigma_f}{M}}$ facendo attenzione ad utilizzare unità di misura dimensionalmente coerenti (nel caso dell'esempio, quindi, impostando M in kgcm – vedi nota 5).

Esempio 4: sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura semplice

dati: $h = 40 \text{ cm}$
 $b = 20 \text{ cm}$
 $\sigma_b = 50 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_f = 1500 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_f/\sigma_b = 1500 / 50 = 30.$

incognite: M, F_e, x

Si colloca il cursore su D 30 e si legge il corrispondente valore $\gamma = 16.2$ sulla scala $\gamma^*_{h(m)}$.

Impostando con il cursore $\gamma = 16.2$ sulla scala $\gamma_h(k_f)$, si leggerà sulla scala D: $k_f = 241$, quindi: $F_e = 40 \times 20 / 241 = 3.32 \text{ cm}^2$

Impostando con il cursore $\gamma = 16.2$ sulla scala $\gamma_h(k_x)$, si leggerà sulla scala D: $k_x = 0.249$, quindi: $x = 40 \times 0.249 = 9.95 \text{ cm}$

Si porti ora B 100 sotto a A 15 (per $\sigma_f = 1500 \text{ kg/cm}^2$), poi si porti il cursore su B 20 (per $b = 20 \text{ cm}$) e si muova lo scorrevole fino a portare C 4 (per $h = 40 \text{ cm}$) su D 16.2. Il valore letto su B in corrispondenza della linea di fede del cursore sarà il valore cercato di $M = 1820 \text{ kgm}$.

Esempio 5: sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura semplice

dati: $M = 4850 \text{ kgm}$
 $b = 25 \text{ cm}$
 $h = 48 \text{ cm}$
 $F_e = 6.65 \text{ cm}^2$

incognite: σ_f, σ_b

Effettuare la moltiplicazione $b \times h$ con le scale D e CI (= $R(F_e)$). L'origine C 1 verrà così a trovarsi su D 1.2 ⁽⁸⁾. Portando il cursore su $R(F_e)$ 6.65 (per $F_e = 6.65 \text{ cm}^2$), si legge sotto la linea di fede del cursore, sulla scala $\gamma_h(k_f)$, il valore $\gamma = 14.1$ ⁽⁹⁾. Si porti a far coincidere C 4.8 (per $h = 48 \text{ cm}$) con D 1.41 e si porti il cursore su B 48.5 (per $M = 4850 \text{ kgm}$), quindi si muova lo scorrevole fino a portare sotto la linea di fede del cursore B 25 (per $b = 25 \text{ cm}$). In corrispondenza di B 100 si leggerà allora A 16.7, che indica $\sigma_f = 1670 \text{ kg/cm}^2$.

Portando il cursore su $\gamma^*_{h(m)}$ 14.1, si legge su D il valore $m = 25.4$ e dividendo il valore trovato in precedenza della tensione nell'acciaio $\sigma_f = 1670 \text{ kg/cm}^2$ per tale valore di m , troveremo B 6.55, che corrisponde a $\sigma_b = 66 \text{ kg/cm}^2$.

⁽⁸⁾ Se si fosse operata diversamente la moltiplicazione, si porti l'origine C 1 sul risultato D 1.2.

⁽⁹⁾ Se F_e fosse stato pari a 66.5 cm^2 , avremmo utilizzato per la lettura la scala $\gamma_h(k_f)$ superiore, quindi avremmo letto $\gamma = 43.1$

Esempio 6: sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura semplice

dati: $M = 1000 \text{ kgm}$
 $b = 39 \text{ cm}$
 $h = 80 \text{ cm}$
 $\sigma_f = 1000 \text{ kg/cm}^2$

incognite: σ_b, F_e, x *(l'esercizio è volutamente paradossale per illustrare come risolvere i dubbi che possono insorgere in casi limite sugli ordini di grandezza delle letture)*

Collocare B 100 al disotto di A 10 (per $\sigma_f = 1000 \text{ kg/cm}^2$) e portare la linea di fede del cursore su B 39 (per $b = 39 \text{ cm}$); quindi muovere lo scorrevole fino a portare B 10 (per $M = 1000 \text{ kgm}$) sotto la linea di fede. In corrispondenza di C 8 (per $h = 80 \text{ cm}$) si legge su D il valore 5.

Il fatto che sulla scala $\gamma_h(k_f)$ non sia presente il valore 5 già di per sé indica che la lettura corretta sia $\gamma_h = 50$. Ciò è comunque confermato dal fatto che, calcolando il parametro γ_h con la formula generale (facendo attenzione ad utilizzare unità dimensionali omogenee) risulta:

$$\gamma_h = h \times \sqrt{\frac{b \times \sigma_f}{M}} = 80 \times \sqrt{\frac{39 \times 1000}{100000}} = 50$$

Impostando questo valore sulle scale $\gamma_h(k_z)$ e $\gamma_h(k_f)$, che sono le uniche a comprendere tale valore, leggeremo rispettivamente, sempre sulla scala D:

Per $\gamma_h(k_z) = 50$ $k_z = 0.971$ quindi: $z = 80 \times 0.971 = 77.7 \text{ cm}$
Per $\gamma_h(k_f) = 50$ $k_f = 2430$ quindi: $F_e = 39 \times 80 / 2430 = 1.29 \text{ cm}^2$

Se si calcola F_e sulla scala dei reciproci $R(F_e)$ come visto negli esempi precedenti, porre C10 su D 3.12 (per $b \times h = 3120 \text{ cm}^2$), impostare sulla scala $\gamma_h(k_f)$ il valore $\gamma_h = 50$ e leggere sulla scala $R(F_e)$ $F_e = 1.285 \text{ cm}^2$. Anche in questo caso si potrebbe avere il dubbio sulla corretto ordine di grandezza della lettura di F_e , ma l'applicazione della formula generale vista poco sopra, come pure la verifica dell'equilibrio alla rotazione rispetto al baricentro della zona compressa, fugano ogni dubbio:

$$\sigma_f \times F_e \times z = M \longrightarrow F_e = \frac{M}{\sigma_f \times z} = \frac{100000}{1000 \times 77.7} = 1.287 \text{ cm}^2$$

Il valore di x può essere trovato applicando la relazione $z = (h - x/3) \rightarrow x = 3(h - z) = 3(80 - 77.7) = 6.9 \text{ cm}$

Il valore di σ_b può essere trovato verificando l'equilibrio alla rotazione rispetto al baricentro dell'armatura tesa:

$$\sigma_b \times b \times \frac{x}{2} \times z = M \longrightarrow \sigma_b = \frac{2 \times M}{b \times x} = \frac{200000}{39 \times 6.9 \times 77.7} = 9.6 \text{ kg/cm}^2$$

Esempio 7: soletta sottoposta a flessione semplice – armatura semplice

dati: $M = 2600 \text{ kgm}$
 $\sigma_b = 50 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_f = 1600 \text{ kg/cm}^2$

incognite: h, x, F_e

Le solette sono generalmente calcolate per strisce di un metro di larghezza, quindi $b = 100 \text{ cm}$.

Si calcola preliminarmente con le scale C e D il rapporto σ_f/σ_b , che vale $1600 / 50 = 32$ e, collocato il cursore in corrispondenza di questo risultato, si legge sulla scala $\gamma^*_h(m)$ il valore $\gamma = 17.1$.

Si colloca B 26 (per $M = 2600 \text{ kgm}$) al disotto di A 16 (per $\sigma_f = 1600 \text{ kg/cm}^2$) e, in corrispondenza di D 17.1, si legge su C il valore $h = 21.8 \text{ cm}$.

Si porti ora C 1 su D 2.18, quindi si porti la linea di fede del cursore su $\gamma_h(k_f)$ 17.1: sulla scala $R(F_e)$ si legge il valore $F_e = 8.10 \text{ cm}^2/\text{m}$.

Portando la linea di fede del cursore in corrispondenza di $\gamma_h(k_x)$ 17.1, si legge su D il valore 2.37, quindi risulterà $x = 21.8 \times 0.237 = 5.17 \text{ cm}$

Esempio 8: sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura semplice – $n \neq 10$

dati: $M = 11200 \text{ kgm}$
 $b = 28 \text{ cm}$
 $\sigma_f = 2400 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2$

incognite: h, F_e, x

Si voglia effettuare il calcolo adottando un coefficiente di omogeneizzazione $n \neq 10$: si calcola innanzi tutto il rapporto $\beta = n / 10$

Il calcolo prosegue semplicemente riferendolo alla tensione $\sigma^*_f = 2400 / \beta$. Allo stesso modo si dovrà dividere per β il valore trovato F^*_e dell'armatura.

I valori trovati per h, x, z restano immutati. Con i metodi noti si ottiene dunque:

Per $n = 15$:	$\sigma^*_f = 1600 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma^*_f/\sigma_b = 20.0 \rightarrow$	$\gamma^*_h = 11.6;$	$h = 58.0 \text{ cm};$	$x = 19.4 \text{ cm};$	$F^*_e = 13.5 \text{ cm}^2 \rightarrow$	$F_e = 13.5 / 1.5 = 9.00 \text{ cm}^2$
Per $n = 12$:	$\sigma^*_f = 2000 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma^*_f/\sigma_b = 25.0 \rightarrow$	$\gamma^*_h = 13.9;$	$h = 62.2 \text{ cm};$	$x = 17.8 \text{ cm};$	$F^*_e = 10.0 \text{ cm}^2 \rightarrow$	$F_e = 10.0 / 1.2 = 8.35 \text{ cm}^2$
Per $n = 11$:	$\sigma^*_f = 2182 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma^*_f/\sigma_b = 27.3 \rightarrow$	$\gamma^*_h = 14.95;$	$h = 64.2 \text{ cm};$	$x = 17.2 \text{ cm};$	$F^*_e = 8.85 \text{ cm}^2 \rightarrow$	$F_e = 8.85 / 1.1 = 8.05 \text{ cm}^2$
Per $n = 10$:		$\sigma_f/\sigma_b = 30.0 \rightarrow$	$\gamma^*_h = 16.2;$	$h = 66.0 \text{ cm};$	$x = 16.5 \text{ cm};$	$F_e = 7.67 \text{ cm}^2$	
Per $n = 9$:	$\sigma^*_f = 2667 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma^*_f/\sigma_b = 33.3 \rightarrow$	$\gamma^*_h = 17.7;$	$h = 68.5 \text{ cm};$	$x = 15.8 \text{ cm};$	$F^*_e = 6.65 \text{ cm}^2 \rightarrow$	$F_e = 6.65 / 0.9 = 7.40 \text{ cm}^2$
Per $n = 8$:	$\sigma^*_f = 3000 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma^*_f/\sigma_b = 37.5 \rightarrow$	$\gamma^*_h = 19.6;$	$h = 71.5 \text{ cm};$	$x = 15.0 \text{ cm};$	$F^*_e = 5.60 \text{ cm}^2 \rightarrow$	$F_e = 5.60 / 0.8 = 7.00 \text{ cm}^2$

Esempio 9: **sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura doppia**

dati:

$$\begin{aligned} M &= 3200 \text{ kgm} \\ h &= 36 \text{ cm} \\ h' &= 4 \text{ cm} \\ b &= 25 \text{ cm} \\ \sigma_f &= 1400 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_b &= 60 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_f/\sigma_b = 23.3 \end{aligned}$$

incognite: x, F_e, F'_e

Si calcolano preliminarmente il Momento flettente M_{amm} e l'area di acciaio F_e^* che corrispondono alla sezione nota nell'ipotesi di armatura semplice (Es. 4). Si colloca quindi il cursore su D 2.33 (per $\sigma_e/\sigma_b = 23.3$) e si legge il corrispondente valore $\gamma_h = 13.15$ sulla scala $\gamma_h^*(m)$.

Impostando con il cursore $\gamma_h = 13.15$ sulla scala $\gamma_h(k_x)$ e portando **R(F_e)** 3.6 (per $h = 36 \text{ cm}$) sotto la linea di fede del cursore, in corrispondenza di C 1 si leggerà sulla scala D il valore $x = 10.8 \text{ cm}$.

Ponendo poi C10 su D 9 (per $b \times h = 900 \text{ cm}^2$), si imposta sulla scala $\gamma_h(k_t)$ il valore $\gamma_h = 13.15$ e si legge sulla scala **R(F_e)** $F_e^* = 5.78 \text{ cm}^2$

Si porti ora B 100 sotto a A 14 (per $\sigma_f = 1400 \text{ kg/cm}^2$), poi si porti il cursore su B 25 (per $b = 25 \text{ cm}$) e si muova lo scorrevole fino a portare C 3.6 (per $h = 36 \text{ cm}$) su D 13.15. Il valore letto su B in corrispondenza della linea di fede del cursore sarà il valore cercato di $M_{amm} = 2620 \text{ kgm}$.

Il Momento flettente residuo vale: $\Delta M = 3200 - 2620 = 580 \text{ kgm}$

La distanza fra i baricentri delle armature tese e compressa vale $c = h - h' = 32 \text{ cm}$, quindi l'armatura aggiuntiva ΔF_e , che deve assorbire interamente il momento residuo ΔM , vale:

$$\Delta f_e = \frac{58000}{1400 \times 32} = 1.29 \text{ cm}^2 \quad \text{Quindi, } F_e = F_e^* + \Delta F_e = 5.78 + 1.29 = 7.07 \text{ cm}^2$$

Nota F_e , l'armatura F'_e si trova con la semplice proporzione: $F'_e = \Delta F_e \times \frac{h - x}{x - h'} = 1.29 \times \frac{36 - 10.8}{10.8 - 4} = 4.8 \text{ cm}^2$

La tensione nell'armatura compressa vale: $\sigma'_f = n \times \sigma_b \times \frac{x - h'}{x} = 10 \times 60 \times \frac{10.8 - 4}{10.8} = 377 \text{ kg/cm}^2$

Nota la tensione σ'_f , è possibile calcolare F'_e anche facendo riferimento a ΔM con la relazione: $F'_e = \frac{\Delta M}{c \times \sigma'_f} = \frac{58000}{32 \times 377} = 4.8 \text{ cm}^2$

Esempio 10: sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura doppia – $n = 15$

dati:

$$\begin{aligned} M &= 3200 \text{ kgm} \\ h &= 36 \text{ cm} \\ h' &= 4 \text{ cm} \\ b &= 25 \text{ cm} \\ \sigma_f &= 1500 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_b &= 50 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

incognite: x, F_e, F'_e

Volendo calcolare per un diverso valore del coefficiente di omogeneizzazione n , si opera in analogia a quanto visto al precedente es. 9, riferendosi alla tensione dell'acciaio $\sigma^*_f = \sigma_f / \beta$, con $\beta = n / 10$. I valori che si troveranno dal calcolo per le armature metalliche dovranno essere divisi per il coefficiente β . Il valore trovato della tensione nelle armature compresse dovrà invece essere moltiplicato per il coefficiente β .

$$\sigma^*_f = 1500 / 1.5 = 1000 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma^*_f / \sigma_b = 20.0$$

Si calcolano preliminarmente il Momento flettente M_{amm} e l'area di acciaio F^*_e che corrispondono alla sezione nota nell'ipotesi di armatura semplice (Es. 4). Si colloca quindi il cursore su D 2.0 (per $\sigma^*_f / \sigma_b = 20.0$) e si legge il corrispondente valore $\gamma_h = 11.6$ sulla scala $\gamma^*_h(m)$ ⁽¹⁰⁾.

Impostando con il cursore $\gamma_h = 11.6$ sulla scala $\gamma_h(k_s)$ e portando $R(F_e)$ 3.6 (per $h = 36 \text{ cm}$) sotto la linea di fede del cursore, in corrispondenza di C 1 si leggerà sulla scala D il valore $x = 12.00 \text{ cm}$.

Ponendo poi C10 su D 9 (per $b \times h = 900 \text{ cm}^2$), si imposta sulla scala $\gamma_h(k_t)$ il valore $\gamma_h = 11.6$ e si legge sulla scala $R(F_e)$ $F^*_e = 7.5 \text{ cm}^2$

Si porti ora B 100 sotto A 10 (per $\sigma^*_f = 1000 \text{ kg/cm}^2$), poi si porti il cursore su B 25 (per $b = 25 \text{ cm}$) e si muova lo scorrevole fino a portare C 3.6 (per $h = 36 \text{ cm}$) su D 11.6. In corrispondenza della linea di fede del cursore leggiamo su B: $M_{amm} = 2400 \text{ kgm}$. Sarà allora: $\Delta M = 3200 - 2400 = 800 \text{ kgm}$

$c = h - h' = 32 \text{ cm}$, quindi l'armatura aggiuntiva ΔF_e , che deve assorbire interamente il momento residuo ΔM , vale:

$$\Delta F_e = \frac{80000}{1000 \times 32} = 2.50 \text{ cm}^2 \quad \text{Quindi, } F_e = (F^*_e + \Delta F_e) / \beta = (7.5 + 2.5) / 1.5 = 6.67 \text{ cm}^2 \quad F'_e = \frac{\left(\Delta F_e \times \frac{h-x}{x-h'} \right)}{\beta} = \frac{\left(2.50 \times \frac{36-12.0}{12.0-4} \right)}{1.5} = 5.0 \text{ cm}^2$$

$$\sigma'_f = n \times \sigma_b \times \frac{x-h'}{x} \times \beta = 10 \times 50 \times \frac{12.0-4}{12.0} \times 1.5 = 500 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Nota } \sigma'_f \text{ sarà anche } F'_e = \frac{\Delta M}{c \times \sigma'_f} = \frac{80000}{32 \times 500} = 5.0 \text{ cm}^2$$

⁽¹⁰⁾ Si osservi che se calcoliamo γ_h con la formula di pag. 7, troveremmo $\gamma^*_h = 12.32 > \gamma_h = 11.6$. In generale, ogni volta che $\gamma^*_h > \gamma_h$ occorre predisporre armatura doppia.

Esempio 11: sezione rettangolare sottoposta a pressoflessione – armatura semplice

dati:

$$\begin{aligned}M &= 6110 \text{ kgm} \\N &= 12000 \text{ kg} \\b &= 25 \text{ cm} \\H &= 60 \text{ cm} \\h' &= 3 \text{ cm} \rightarrow h = 57 \text{ cm}; \quad u = H/2 - h' = 27 \text{ cm} \\\sigma_f &= 1400 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

incognite: σ_b, F_e, x

Si calcola in prima istanza il valore di $M_u = M + N \times u = 6110 + 12000 \times 0.27 = 9350 \text{ kgm}$

Quindi si calcola la sezione come visto negli esempi 1, 2, 3 per tale valore di M_u .

Collocare quindi B 100 al disotto di A 14 (per $\sigma_f = 1400 \text{ kg/cm}^2$) e portare la linea di fede del cursore su B 25 (per $b = 25 \text{ cm}$); quindi muovere lo scorrevole fino a portare B 93.5 (per $M = 9350 \text{ kgm}$) sotto la linea di fede.

In corrispondenza di C 5.7 (per $h = 57 \text{ cm}$) si legge su D il valore $\gamma_h = 11.03$

Impostando questo valore sulle scale $\gamma^*_h(m)$, $\gamma_h(k_x)$, $\gamma_h(k_z)$ e $\gamma_h(k_f)$ leggeremo rispettivamente, sempre sulla scala D:

Per $\gamma^*_h(m) = 11.03$	$m = 18.7$	quindi:	$\sigma_b = 1400 / 18.7$	$= 75 \text{ kg/cm}^2$
Per $\gamma_h(k_x) = 11.03$	$k_x = 0.348$	quindi:	$x = 57 \times 0.348$	$= 19.9 \text{ cm}$
Per $\gamma_h(k_z) = 11.03$	$k_z = 0.885$	quindi:	$z = 57 \times 0.885$	$= 50.5 \text{ cm}$
Per $\gamma_h(k_f) = 11.03$	$k_f = 107.5$	quindi:	$F^*_e = 25 \times 57 / 107.5$	$= 13.25 \text{ cm}^2 \rightarrow F_e = F^*_e - N / \sigma_e = 13.25 - 12000 / 1400 = 4.7 \text{ cm}^2$

Esempio 12: sezione rettangolare sottoposta a pressoflessione – armatura doppia

dati:

$$\begin{aligned}M &= 15000 \text{ kgm} \\N &= 4000 \text{ kg} \\H &= 60 \text{ cm} \\h' &= 3 \text{ cm} \rightarrow h = 57 \text{ cm}; \quad u = H/2 - h' = 27 \text{ cm} \\b &= 30 \text{ cm} \\\sigma_f &= 1800 \text{ kg/cm}^2 \\\sigma_b &= 80 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_f/\sigma_b = 22.5\end{aligned}$$

incognite: x, F_e, F'_e

Si calcola in prima istanza il valore di $M_u = M + N \times u = 15000 + 4000 \times 0.27 = 16080 \text{ kgm}$

Analogamente a quanto già visto nell'esempio 9, si calcolano poi il Momento flettente M_{amm} e l'area di acciaio F_e^* che corrispondono alla sezione nota nell'ipotesi di armatura semplice. Posto il cursore su D 2.25 (per $\sigma_f/\sigma_b = 22.5$), si legge il corrispondente valore $\gamma = 12.77$ sulla scala $\gamma^*(m)$.

Impostando con il cursore $\gamma = 12.77$ sulla scala $\gamma_h(k_x)$ e portando $R(F_e)$ 5.7 (per $h = 57 \text{ cm}$) sotto la linea di fede del cursore, in corrispondenza di C 1 si leggerà sulla scala D il valore $x = 17.55 \text{ cm}$.

Ponendo poi C1 su D 1.71 (per $b \times h = 1710 \text{ cm}^2$), si imposta sulla scala $\gamma_h(k_f)$ il valore $\gamma_h = 12.77$ e si legge sulla scala $R(F_e)$ $F_e^* = 11.70 \text{ cm}^2$

Si porti ora B 100 sotto a A 18 (per $\sigma_f = 1800 \text{ kg/cm}^2$), poi si porti il cursore su B 30 (per $b = 30 \text{ cm}$) e si muova lo scorrevole fino a portare C 5.7 (per $h = 57 \text{ cm}$) su D 12.77. Il valore letto su B in corrispondenza della linea di fede del cursore sarà il valore cercato di $M_{amm} = 10750 \text{ kgm}$.

Il Momento flettente residuo vale: $\Delta M = 16080 - 10750 = 5330 \text{ kgm}$

La distanza fra i baricentri delle armature tese e compressa vale $c = h - h' = 54 \text{ cm}$, quindi l'armatura aggiuntiva ΔF_e , che deve assorbire interamente il momento residuo ΔM , vale: $\Delta F_e = \frac{533000}{1800 \times 54} = 5.5 \text{ cm}^2$ Quindi, $F_e = F_e^* + \Delta F_e - 4000 / 1800 = 11.70 + 5.5 - 2.2 = 15.0 \text{ cm}^2$

Nota F_e , l'armatura F'_e si trova con la semplice proporzione: $F'_e = \Delta F_e \times \frac{h - x}{x - h'} = 5.48 \times \frac{57.0 - 17.55}{17.55 - 3.0} = 14.9 \text{ cm}^2$

La tensione nell'armatura compressa vale: $\sigma'_f = n \times \sigma_b \times \frac{x - h'}{x} = 10 \times 80 \times \frac{17.55 - 3.0}{17.55} = 663 \text{ kg/cm}^2$

Nota la tensione σ'_f , è possibile calcolare F'_e anche facendo riferimento a ΔM con la relazione: $F'_e = \frac{\Delta M}{c \times \sigma'_f} = \frac{533000}{54 \times 663} = 14.9 \text{ cm}^2$

Esempio 13: sezione rettangolare sottoposta a pressoflessione – armatura doppia

dati:

$$\begin{aligned}M &= 4600 \text{ kgm} \\N &= 5500 \text{ kg} \\H &= 40 \text{ cm} \\h' &= 4 \text{ cm} \rightarrow h = 36 \text{ cm}; \quad u = H/2 - h' = 16 \text{ cm} \\b &= 20 \text{ cm} \\\sigma_f &= 1400 \text{ kg/cm}^2 \\\sigma_b &= 70 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_f/\sigma_b = 20.0\end{aligned}$$

incognite: x, F_e, F'_e

Si calcola in prima istanza il valore di $M_u = M + N \times u = 4600 + 5500 \times 0.16 = 5480 \text{ kgm}$

Analogamente a quanto già visto nell'esempio 9, si calcolano poi il Momento flettente M_{amm} e l'area di acciaio F_e^* che corrispondono alla sezione nota nell'ipotesi di armatura semplice. Si colloca quindi il cursore su D 2.0 (per $\sigma_f/\sigma_b = 20$) e si legge il corrispondente valore $\gamma = 11.62$ sulla scala $\gamma^*_h(m)$.

Impostando con il cursore $\gamma = 11.62$ sulla scala $\gamma_h(k_x)$ e portando $R(F_e)$ 3.6 (per $h = 36 \text{ cm}$) sotto la linea di fede del cursore, in corrispondenza di C 1 si leggerà sulla scala D il valore $x = 12.0 \text{ cm}$.

Ponendo poi C10 su D 7.2 (per $b \times h = 720 \text{ cm}^2$), si imposta sulla scala $\gamma_h(k_f)$ il valore $\gamma_h = 11.62$ e si legge sulla scala $R(F_e)$ $F_e^* = 6.00 \text{ cm}^2$

Si porti ora B 100 sotto a A 14 (per $\sigma_f = 1400 \text{ kg/cm}^2$), poi si porti il cursore su B 20 (per $b = 20 \text{ cm}$) e si muova lo scorrevole fino a portare C 3.6 (per $h = 36 \text{ cm}$) su D 11.62. Il valore letto su B in corrispondenza della linea di fede del cursore sarà il valore cercato di $M_{amm} = 2700 \text{ kgm}$.

Il Momento flettente residuo vale: $\Delta M = 5480 - 2700 = 2780 \text{ kgm}$

La distanza fra i baricentri delle armature tese e compressa vale $c = h - h' = 32 \text{ cm}$, quindi l'armatura aggiuntiva ΔF_e , che deve assorbire interamente il momento residuo ΔM , vale: $\Delta F_e = \frac{278000}{1400 \times 32} = 6.21 \text{ cm}^2$ Quindi, $F_e = F_e^* + \Delta F_e - 5500 / 1400 = 6.00 + 6.21 - 3.91 = 8.3 \text{ cm}^2$

Nota F_e , l'armatura F'_e si trova con la semplice proporzione: $F'_e = \Delta F_e \times \frac{h - x}{x - h'} = 6.21 \times \frac{36.0 - 12.0}{12.0 - 4.0} = 18.6 \text{ cm}^2$

La tensione nell'armatura compressa vale: $\sigma'_f = n \times \sigma_b \times \frac{x - h'}{x} = 10 \times 70 \times \frac{12.0 - 4.0}{12.0} = 467 \text{ kg/cm}^2$

Nota la tensione σ'_f , è possibile calcolare F'_e anche facendo riferimento a ΔM con la relazione: $F'_e = \frac{\Delta M}{c \times \sigma'_f} = \frac{278000}{32 \times 467} = 18.6 \text{ cm}^2$

Esempio 14: sezione rettangolare sottoposta a tensoflessione – armatura doppia

Verifichiamo la stessa sezione dell'esempio precedente, invertendo il verso dello sforzo normale, che diventa così sforzo di trazione.

Si calcola anche in questo caso prima di tutto il valore di M_u , facendo attenzione al fatto che, trattandosi di tensoflessione, il segno dello sforzo normale è da considerarsi negativo.

$$M_u = M - N \times u = 4600 - 5500 \times 0.16 = 3720 \text{ kgm}$$

Identicamente a come già visto nel caso precedente, calcoliamo il Momento flettente e l'area di acciaio che corrispondono alla sezione nota nell'ipotesi di armatura semplice, trovando nuovamente $x = 12.0$, $M_{amm} = 2700 \text{ kgm}$ e $F_e^* = 6.00 \text{ cm}^2$.

Il Momento flettente residuo vale: $\Delta M = 3720 - 2700 = 1020 \text{ kgm}$

La distanza fra i baricentri delle armature tese e compressa vale $c = h - h' = 32 \text{ cm}$, quindi l'armatura aggiuntiva ΔF_e , che deve assorbire interamente il momento residuo ΔM , vale:

$$\Delta F_e = \frac{102000}{1400 \times 32} = 2.28 \text{ cm}^2$$

Trattandosi di tensoflessione, sarà $F_e = F_e^* + \Delta F_e + N/\sigma_f = 6.00 + 2.28 + 5500/1400 = 12.21 \text{ cm}^2$

La tensione nell'armatura compressa vale:

$$\sigma'_f = n \times \sigma_b \times \frac{x - h'}{x} = 10 \times 70 \times \frac{12.0 - 4.0}{12.0} = 467 \text{ kg/cm}^2$$

L'armatura compressa vale:

$$F'_e = \frac{\Delta M}{c \times \sigma'_f} = \frac{102000}{32 \times 467} = 6.83 \text{ cm}^2$$

INDICE

Premessa	pag. 2
Descrizione del regolo	pag. 3
Principi generali del calcolo	pag. 5
Principio di funzionamento	pag. 6
Flessione semplice	pag. 7
Flessione composta	pag. 8
Esempio 1: sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura semplice	pag. 9
Esempio 2: sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura semplice	pag. 10
Esempio 3: sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura semplice	pag. 11
Esempio 4: sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura semplice	pag. 12
Esempio 5: sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura semplice	pag. 12
Esempio 6: sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura semplice	pag. 13
Esempio 7: soletta sottoposta a flessione semplice	pag. 14
Esempio 8: sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura semplice – $n \neq 10$	pag. 14
Esempio 9: sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura doppia	pag. 15
Esempio 10: sezione rettangolare sottoposta a flessione semplice – armatura doppia – $n = 15$	pag. 16
Esempio 11: sezione rettangolare sottoposta a pressoflessione – armatura semplice	pag. 17
Esempio 12: sezione rettangolare sottoposta a pressoflessione – armatura doppia	pag. 18
Esempio 13: sezione rettangolare sottoposta a pressoflessione – armatura doppia	pag. 19
Esempio 14: sezione rettangolare sottoposta a tensoflessione – armatura doppia	pag. 20