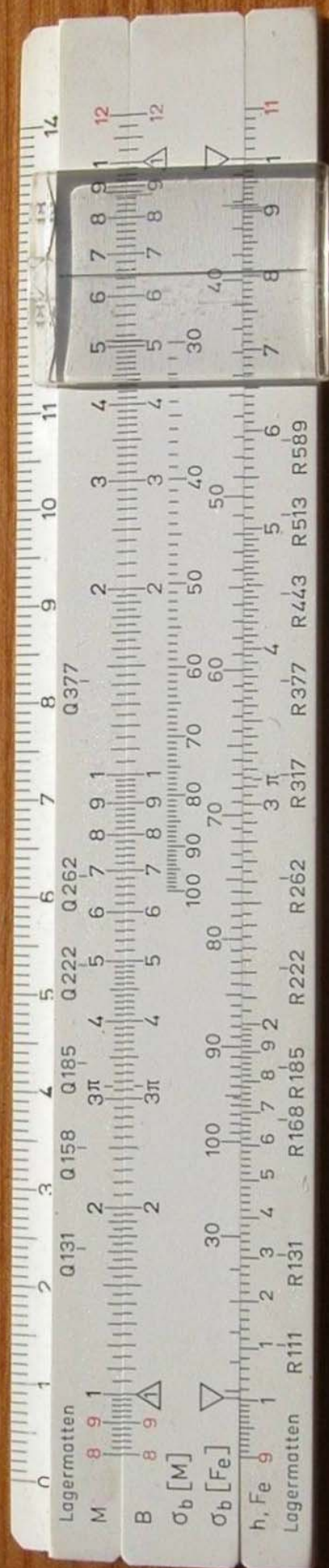


ISTRUZIONI PER L'USO DEL REGOLO

ARISTO

80136 BAUSTAHLGEWEBE
per il calcolo del
cemento armato

a cura dell'ing. Alessandro Manni



Premessa:

L' **Aristo 80136 - BAUSTAHLGeweBE** è un interessante regolo tascabile per il calcolo di sezioni in calcestruzzo armato con reti elettrosaldate che circolò fra gli anni '60 e gli anni '70. Si tratta di un regolo del quale, purtroppo, non risultano disponibili copie delle istruzioni dettagliate originali (Dr. 216) cui fa riferimento l'istruzione sintetica (Dr. 217) che veniva allegata al regolo e che è riportata in Appendice B, la cui riproduzione mi è stata gentilmente fornita dal dr. Karl-Heinz Degmeyer, che qui voglio ringraziare.

La conoscenza di altri regoli per cemento armato di analogo funzionamento, come pure l'extrapolazione dell'esempio citato hanno consentito di pervenire ad un insieme di istruzioni che spero possa essere di aiuto ai tanti appassionati che ancora oggi collezionano e, come il sottoscritto, utilizzano questo affascinante strumento di calcolo.

Ho dunque cercato di coordinare tutto il materiale disponibile e di fornire anche il mio personale contributo per fornire una guida completa espressamente concepita per il modello 80136 BaustahlgeWebe, in grado di illustrarne con adeguati esempi tutte le funzionalità.

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

In questa sede è doveroso ringraziare l'amico Matteo Munari che, donandomi un esemplare di questo interessante regolo, mi ha spinto ad approfondirne la conoscenza; a lui si deve anche la riproduzione della fondamentale tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione α^2 riportata in fig. 2, senza la cui conoscenza sarebbe risultato impossibile comprendere il pieno funzionamento di questo regolo: grazie, Matteo!

Alessandro Manni

manni.a@katamail.com

Principi generali

Questo regolo fu espressamente prodotto per la ditta Bau-Stahlgewebe GmbH di Düsseldorf ed è concepito per la progettazione di sezioni armate con reti elettrosaldate⁽¹⁾, per le quali le norme DIN 1045 prescrivevano l'uso esclusivo di acciaio tipo ST IV, con $\sigma_{amm} = 2800 \text{ kg/cm}^2$ oppure $\sigma_{amm} = 2400 \text{ kg/cm}^2$. Il metodo utilizzato è quello delle tensioni ammissibili, considerando un coefficiente di omogeneizzazione $n = 15$ ⁽²⁾.

Il calcolo viene effettuato:

1. utilizzando le normali scale A, B, C, D⁽³⁾ e facendo ricorso ai coefficienti k_h e k_e riportati nelle tabelle sul retro del regolo in funzione dei valori di tensione σ_e e σ_b ⁽⁴⁾ (fig. 1 e 2).

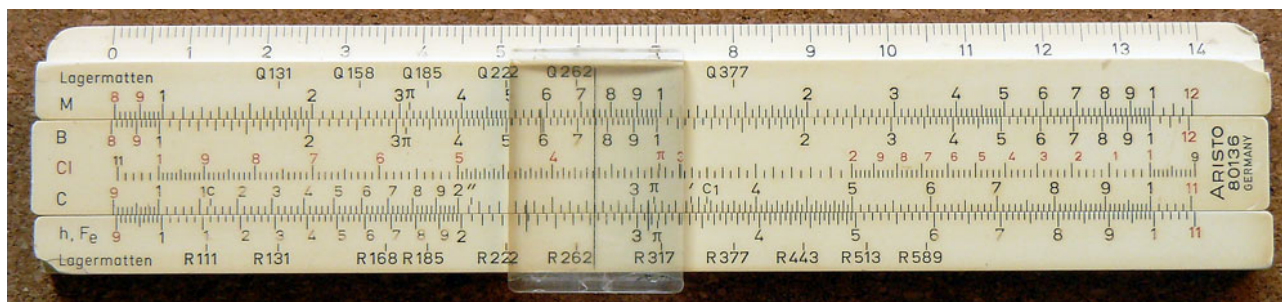


fig. 1

Tab. 44

BSIG-	Q-Lagermatten								R-Lagermatten											
Typ	92	131	158	185	222	262	377		92	111	131	168	185	222	262	317	377	443	513	589
f_e	l	0,92	1,31	1,58	1,85	2,22	2,62	3,77	0,92	1,11	1,31	1,68	1,85	2,22	2,62	3,17	3,77	4,43	5,13	5,89
	q	0,92	1,31	1,58	1,88	2,21	2,57	3,78	0,56							0,66	0,78	0,95	1,13	1,33

Bau-Stahlgewebe
GmbH
Düsseldorf

$$h = k_h \cdot \sqrt{M : b} \quad k_h = h : \sqrt{M : b} \quad F_e = k_e \cdot M : h$$

M in Mpm
h in cm
b in m
F_e in cm²

k_h	σ_e	σ_b	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	k_h
			22,4	17,4	14,2	12,2	10,7	9,6	8,8	8,0	7,5	7,0	
k_e	2,8		37	38	39				40		41		

k_e	σ_e	σ_b	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	k_e
			21,2	16,4	13,5	11,6	10,2	9,2	8,4	7,7	7,2	6,7	
	2,4		44	45	46	47	48	49					

fig. 2

2. utilizzando le scale speciali sul recto dello scorrevole, concepite per il calcolo con $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$ (fig. 3).

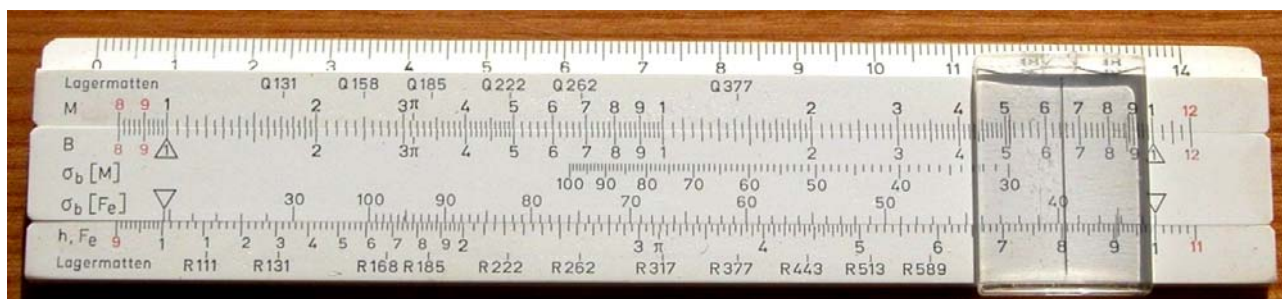


fig. 3

¹ Lagermatten, in tedesco.

² E' comunque piuttosto semplice operare anche con valori differenti di n: sarà sufficiente riferirsi ad un valore del momento flettente M' pari a $M \times 15/n$ e a moltiplicare per il medesimo parametro di amplificazione il valore trovato delle armature metalliche.

³ L'uso delle scale normali si ritiene noto. Nell'Aristo 80136 la scala A è indicata come M, mentre la scala C è indicata come $\sigma_b[F_e]$, stante la loro funzione associata all'uso delle scale speciali.

⁴ Il pedice "e" sta per eisen = ferro; il pedice "b" sta per beton = calcestruzzo

Sia che il calcolo venga effettuato utilizzando i coefficienti tabellari, sia che sfrutti le scale speciali, il principio è il medesimo e si fonda sulle seguenti relazioni tipiche:

$$h = k_h \cdot \sqrt{\frac{M}{b}} \qquad F_e = k_e \cdot \frac{M}{h}$$

Nella normale pratica per la quale questo regolo fu concepito, si operava prevalentemente con acciaio tipo ST IV (con $\sigma_{amm} = 2800 \text{ kg/cm}^2$) e calcestruzzo tipo Bn 225⁽⁵⁾ (con $\sigma_{amm} = 80 \text{ kg/cm}^2$); le incognite del problema erano generalmente la tensione nel calcestruzzo σ_b e il quantitativo di acciaio per metro lineare F_e . Ciò giustifica l'uso di una speciale tabella, valida appunto per $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$ e $\sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2$, che veniva fornita con il regolo (fig. 4) e che consente di determinare il coefficiente di amplificazione α dell'armatura F_e nel caso in cui la tensione del calcestruzzo risulti, in prima battuta, superiore a quella ammissibile. L'incremento dell'armatura così determinato garantisce il rientro della tensione del calcestruzzo entro i limiti ammissibili (80 kg/cm^2). Nella tabella si entra con il valore calcolato della tensione del calcestruzzo σ_b (nomogramma centrale), in corrispondenza del quale si legge il valore del coefficiente di amplificazione α^2 sul nomogramma inferiore e il corrispondente valore della tensione ridotta dell'acciaio sul nomogramma superiore. Poichè i calcoli per la determinazione dell'armatura metallica sono impostati sulla scala inferiore del fisso, i valori di α^2 letti sulla tabella devono essere impostati sulla scala B dello scorrevole, così da ottenere il valore di amplificazione α per il quale moltiplicare F_e sulla scala inferiore dello scorrevole⁽⁶⁾.

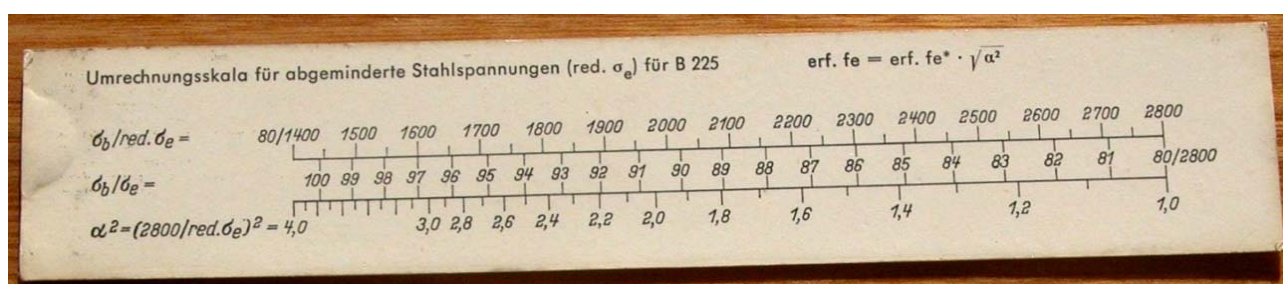


fig. 4

⁵ Le norme DIN 1045 designavano le seguenti classi di calcestruzzo:

Bn 150	per strutture semplici e poco sollecitate, senza pericolo di corrosione, anche per fondazioni, ma non per membrature sottili;
Bn 250	per costruzioni normali;
Bn 350, Bn 450	per strutture fortemente sollecitate, ponti ed altri manufatti speciali, per prefabbricati e per costruzioni precomprese di ogni tipo;
Bn 550	per calcestruzzo gettato in sito per strutture soggette a sollecitazioni particolarmente elevate, non troppo sottili; ponti ed altri manufatti speciali, per prefabbricati e per costruzioni importanti in cemento armato precompresso.

Esistevano anche classi di resistenza superiori, fino a Bn 800, il cui utilizzo era subordinato ad una licenza speciale dell'Ispettorato tedesco per i lavori edili e per le quali erano necessari controlli particolarmente severi e frequenti. Classi di questo tipo erano richieste, ad esempio, per le traversine ferroviarie.

⁶ La scelta di riportare coefficienti α^2 laddove il fattore di amplificazione è α è dovuta al fatto che lo scorrevole, nella sezione riportante le scale speciali, è privo della scala C, per cui risulta comodo utilizzare la scala quadratica B per effettuare la moltiplicazione $F_e \times \alpha$, anzichè dover girare lo scorrevole.

La tabella riprodotta in fig. 4 presenta coefficienti α^2 frutto di approssimazioni piuttosto grossolane. In appendice A sono riportate tabelle con un maggior livello di precisione per $\sigma_b/\sigma_e = 80/2800$ e per $\sigma_b/\sigma_e = 60/2400$

Il regolo presenta sul dorso anche due tabelle per il dimensionamento delle reti elettrosaldate a maglia quadrata (Q-Lagermatten) e a maglia rettangolare (R-Lagermatten) presenti sul mercato tedesco all'epoca di produzione del regolo (anni '60 – '70)⁽⁷⁾. Queste tabelle presentano, in funzione del tipo di rete, i quantitativi di acciaio in cm^2/m in direzione principale (l) e secondaria (q) (fig. 2).

Collocando il cursore in corrispondenza degli indici riportanti il tipo di rete collocati sul fisso del regolo⁽⁸⁾, è possibile leggere sulla scala D il corrispondente valore di acciaio in cm^2/m in direzione principale (fig. 1 e 3).

---000---

Negli esempi che seguiranno, si è seguita la convenzione di indicare le impostazioni/letture con la codifica $\boxed{AA} \text{ nn}$, dove \boxed{AA} è il nome della scala riportato sul regolo e nn è il valore di impostazione/lettura sulla relativa scala \boxed{AA} .

- Es. $\boxed{M} 56$ significa impostare/leggere il valore 56 sulla scala superiore del fisso M;
 $\boxed{B} 25$ significa impostare/leggere il valore 25 sulla scala superiore dello scorrevole B;
 $\boxed{\sigma_b[M]} 80$ significa impostare/leggere il valore 80 sulla scala centrale dello scorrevole $\sigma_b[M]$;
 $\boxed{\sigma_b[F_e]} 60$ significa impostare/leggere il valore 60 sulla scala inferiore dello scorrevole $\sigma_b[F_e]$;
 $\boxed{h,F_e} 4.5$ significa impostare/leggere il valore 4.5 sulla scala inferiore del fisso h,F_e ;

Legenda:	M	momento flettente
	b	larghezza della sezione
	h	altezza utile della sezione
	h'	copriferro
	F_e	armatura della sezione per metro lineare
	f_e	armatura della sezione
	x	posizione dell'asse neutro rispetto al lembo compresso della sezione
	σ_b	tensione di compressione nel calcestruzzo
	σ_e	tensione di trazione nell'acciaio

⁷ Il numero identificativo della rete indica la quantità di acciaio per metro lineare nella direzione principale della rete.

⁸ In alto sono riportati gli indici per reti a maglia quadrata tipo Q131, Q158, Q185, Q222, Q262, Q377; in basso sono riportati gli indici per reti a maglia rettangolare tipo R111, R131, R168, R185, R222, R262, R317, R377, R443, R513, R589.

Il calcolo con l'impiego dei coefficienti tabellari

Il calcolo viene effettuato utilizzando le normali scale del regolo, senza la necessità di scale speciali, per mezzo dei coefficienti tabellari riportati sul dorso del regolo (fig. 4) che, tuttavia, sono limitati ai soli casi di acciaio avente tensione ammissibile $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$ oppure $\sigma_e = 2400 \text{ kg/cm}^2$.

Le tabelle sono concepite in funzione delle seguenti unità di misura:

Momento flettente	M	in tm;
larghezza della sezione	b	in m;
altezza della sezione	h	in cm;
Armatura della sezione	F_e	in cm^2 ;

Con il metodo tabellare possono essere risolti ovviamente sia problemi di verifica che di progettazione.

Non sono richieste particolari convenzioni per l'impostazione dei dati, tuttavia è evidente l'importanza di mantenere una coerenza di base fra unità di misura adottate e corretta collocazione sulle scale.

esempio 1 – Armatura semplice

dati: $M = 2000 \text{ kgm} = 2 \text{ tm}$
 $b = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$
 $h = 16 \text{ cm}$
 $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$ si cerchino σ_b e F_e

Si usa la formula $k_h = \frac{15}{\sqrt{\frac{2}{1}}} = 10.6$

Mettendo in opposizione $\boxed{h, F_e}$ 1.6 (per $h = 156 \text{ cm}$) con \boxed{B} 2.0 (per $M = 2 \text{ tm}$) e operando la divisione, si trova sulla scala h, F_e , in corrispondenza di \boxed{C} 1, il valore $k_h = 11.3$

Sulla tabella per $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$, in corrispondenza di $k_h = 11.3$, interpolando linearmente troviamo $\sigma_b = 66 \text{ kg/cm}^2$ e $k_e = 39$.

L'armatura metallica sarà allora $F_e = 39 \cdot \frac{2}{16} = 4.90 \text{ cm}^2/\text{m}$.

Fra la serie di indici posti all'estremità inferiore del corpo del regolo, il primo indice utile a destra della linea di fede del cursore designa una rete tipo R513.

esempio 2 – Armatura semplice

dati: $M = 2000 \text{ kgm} = 2 \text{ tm}$
 $b = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$
 $\sigma_b = 60 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_e = 2400 \text{ kg/cm}^2$ si cerchino h e F_e

Sulla tabella per $\sigma_e = 2400 \text{ kg/cm}^2$, in corrispondenza di $\sigma_b = 60 \text{ kg/cm}^2$ leggiamo $k_h = 11.6$, $k_e = 46$.

Si usa la formula: $h = 11.6 \cdot \sqrt{\frac{2}{1}} = 16.4 \text{ cm}$

Mettendo in opposizione $\boxed{h, F_e}$ 1.16 con \boxed{B} 1, sotto a \boxed{B} 2.0 si trova sulla scala h, F_e il valore $h = 16.4$

L'armatura metallica sarà allora $F_e = 46 \cdot \frac{2}{16.4} = 5.6 \text{ cm}^2/\text{m}$. Si adotteranno quindi reti tipo R589.

esempio 3 – Armatura semplice

dati: $M = 4000 \text{ kgm} = 4 \text{ tm}$
 $b = 30 \text{ cm} = 0.3 \text{ m}$
 $h = 40 \text{ cm}$
 $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$ si cerchino σ_b e f_e

Mettendo in opposizione \boxed{M} 40 (per $M = 4 \text{ tm}$) con \boxed{b} 3 (per $b = 0.3 \text{ m}$) e collocando il cursore su \boxed{b} 1 si opera la divisione M/b . Si sposti lo scorrevole in modo da portare \boxed{C} 4.0 sotto la linea di fede del cursore, poi si porti il cursore su \boxed{C} 10, quindi si porti lo scorrevole in posizione neutra, così da leggere sulla scala C_i il risultato dell'operazione, che è $k_h = 10.95$.

Sulla tabella per $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$, in corrispondenza di $k_h = 10.95$, interpolando linearmente troviamo $\sigma_b = 69 \text{ kg/cm}^2$ e $k_e = 39$.

$$\text{L'armatura metallica sarà allora } f_e = 39 \cdot \frac{4}{40} = 3.90 \text{ cm}^2$$

esempio 4 – Armatura semplice

dati: $M = 5600 \text{ kgm} = 5.6 \text{ tm}$
 $b = 35 \text{ cm} = 0.35 \text{ m}$
 $\sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$ si cerchino h e f_e

Sulla tabella per $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$, in corrispondenza di $\sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2$ leggiamo $k_h = 9.6$, $k_e = 40$.

$$\text{Si usa la formula: } h = 9.6 \cdot \sqrt{\frac{5.6}{0.35}} = 38.4 \text{ cm}$$

Mettendo in opposizione \boxed{M} 56 con \boxed{b} 3.5 e collocando il cursore su \boxed{b} 1 si opera la divisione M/b . Si sposti lo scorrevole in modo da portare $\boxed{C_i}$ 9.6 sotto la linea di fede del cursore: in corrispondenza di \boxed{C} 1 si leggerà sulla scala h, F_e il valore cercato $h = 38.4 \text{ cm}$.

$$\text{L'armatura metallica sarà allora } f_e = 40 \cdot \frac{5.6}{38.4} = 5.85 \text{ cm}^2$$

esempio 5 – Armatura semplice

dati: $b = 30 \text{ cm} = 0.3 \text{ m}$
 $h = 45 \text{ cm}$
 $\sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$ si cerchino M e f_e

$$\text{Dalle formule note, si ricava: } M = \left(\frac{h}{k_h} \right)^2 \cdot b$$

Sulla tabella per $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$, in corrispondenza di $\sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2$ leggiamo $k_h = 10.7$, $k_e = 39$.

Mettendo in opposizione $\boxed{h, F_e}$ 4.5 con \boxed{C} 1.07, si leggerà sulla scala M , in corrispondenza di \boxed{b} 3, il valore del momento flettente $M = 5250 \text{ kgm}$.

$$\text{L'armatura metallica sarà allora } f_e = 39 \cdot \frac{5.25}{45} = 4.55 \text{ cm}^2$$

esempio 6 – Armatura doppia

$$\begin{aligned}\text{dati: } M &= 6500 \text{ kgm} = 6.5 \text{ tm} \\ b &= 30 \text{ cm} = 0.3 \text{ m} \\ h &= 45 \text{ cm} \\ h' &= 5 \text{ cm} \\ \sigma_b &= 70 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_e &= 2800 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

si cerchino M e f_e

Si determini innanzi tutto il momento flettente M^* e l'area di acciaio f_{es} corrispondenti alla sezione data nell'ipotesi di armatura semplice, operando come si è fatto nell'esempio 5.

Anche in questo caso, sulla tabella per $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$, in corrispondenza di $\sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2$ leggiamo $k_h = 10.7$, $k_e = 39$ e, come prima, troveremo $M^* = 5250 \text{ kgm}$ e $F_{es} = 4.55 \text{ cm}^2$.

Il momento flettente residuo vale:

$$\Delta M = 6500 - 5250 = 1250 \text{ kgm}$$

La distanza fra i baricentri delle armature tese e compressa vale $c = h - h' = 40 \text{ cm}$, quindi l'armatura aggiuntiva Δf_e , che deve assorbire interamente il momento residuo ΔM , vale:

$$\Delta f_e = \frac{125000}{2800 \times 40} = 1.12 \text{ cm}^2 \rightarrow f_e = f_{es} + \Delta f_e = 4.55 + 1.12 = 5.67 \text{ cm}^2$$

Per determinare l'area di acciaio compresso f_e' occorre conoscere la distanza dell'asse neutro dal bordo compresso nell'ipotesi di sezione con armatura semplice. Il regolo non dispone di scale specifiche, ma essendo noto il valore di h è possibile utilizzare la seguente formula:

$$x = \frac{n\sigma_b}{\sigma_e + n\sigma_b} \times h = \frac{15 \times 70}{2800 + 15 \times 70} \times 45 = 12.3 \text{ cm}$$

Nota f_e , l'armatura f_e' si trova allora con la semplice proporzione:

$$f_e' = \Delta f_e \times \frac{h - x}{x - h'} = 1.12 \times \frac{45 - 12.3}{12.3 - 5} = 5.0 \text{ cm}^2$$

Il calcolo con l'impiego delle scale speciali

Le scale speciali del regolo Aristo 80136 sono impostate per una tensione ammissibile dell'acciaio pari a $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$.

La scala superiore del fisso (normalmente A, ma sull'Aristo 80136 indicata come M), serve per l'impostazione/lettura dei momenti flettenti in kgm. Se M è composto da un numero dispari di cifre intere, si imposta sulla porzione di sinistra della scala (da 1 a 10); se invece è composto da un numero pari di cifre intere, si imposta sulla porzione di scala di destra (da 10 a 100).

Sulla scala superiore B dello scorrevole si imposta la larghezza della sezione in cm, con le stesse regole viste per l'impostazione di M.

Le scale M e B appena viste corrispondono alle scale A e B di un normale regolo.

Lo scorrevole presenta una scala centrale ($\sigma_b[M]$) per l'impostazione/lettura delle tensioni nel calcestruzzo in kg/cm^2 in funzione del rapporto M/b e dell'altezza h, secondo la relazione:

$$h = k_h \cdot \sqrt{\frac{M}{b}}$$

La scala inferiore dello scorrevole, ($\sigma_b[F_e]$) è invece concepita per l'impostazione/lettura delle tensioni nel calcestruzzo in kg/cm^2 in funzione del rapporto M/h e della sezione di armatura F_e , secondo la relazione:

$$F_e = k_e \cdot \frac{M}{h}$$

La scala inferiore del fisso (normalmente D, ma sull'Aristo 80136 indicata come h, F_e), serve per l'impostazione/lettura delle altezze in cm e delle sezioni di acciaio in cm^2/m . Il campo di validità di tale scala è da 10 a 100 cm per la lettura delle altezze h e da 0 a 10 cm^2/m per la lettura delle sezioni di armatura.

Impostando il rapporto M/B sulle scale M e B, vengono messe in relazione diretta l'altezza della sezione h sulla scala h, F_e e la tensione del calcestruzzo sulla scala $\sigma_b[M]$. Note altezza h e tensione σ_b , impostando quest'ultimo valore sulla scala $\sigma_b[F_e]$ in corrispondenza del valore dell'altezza h sulla scala h, F_e , è possibile trovare il valore dell'armatura metallica F_e sulla scala h, F_e in corrispondenza dell'indice ∇ della scala $\sigma_b[F_e]$. Nel caso in cui la sezione abbia larghezza diversa da 100 cm, il valore effettivo f_e dell'armatura cercata si troverà moltiplicando F_e per la larghezza della sezione⁽⁹⁾.

⁹ Il regolo è stato studiato per il dimensionamento di sezioni armate con reti elettrosaldate, quindi prevalentemente per solette, per le quali il calcolo avviene a metro lineare di sezione.

esempio 7 – Armatura semplice

dati: $M = 2000 \text{ kgm}$
 $b = 100 \text{ cm}$
 $h = 15.4 \text{ cm}$
 $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$ si cerchino σ_b e F_e

Si imposta \boxed{B} 100 in corrispondenza di \boxed{M} 20 (per $M = 2000 \text{ kgm}$), poi si porta il cursore su $\boxed{h, F_e}$ 1.54 (per $h = 15.4 \text{ cm}$) e si legge il valore della corrispondente tensione nel calcestruzzo $\sigma_b = 69 \text{ kg/cm}^2$ sulla scala centrale dello scorrevole $\sigma_b[M]$. Si sposta allora lo scorrevole fino a portare $\boxed{\sigma_b[F_e]}$ 69 sotto la linea di fede del cursore e si legge il valore dell'armatura metallica $F_e = 5.12 \text{ cm}^2/\text{m}$ sulla scala h, F_e in corrispondenza dell'indice ∇ della scala $\sigma_b[F_e]$. E' pertanto possibile utilizzare reti tipo R513.

esempio 8 – Armatura semplice

dati: $M = 2000 \text{ kgm}$
 $b = 100 \text{ cm}$
 $\sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$ si cerchino h e F_e

Si imposta \boxed{B} 100 in corrispondenza di \boxed{M} 20 (per $M = 2000 \text{ kgm}$), poi si porta il cursore su $\boxed{\sigma_b[M]}$ 80 e si legge il valore della corrispondente altezza (13.6 cm) sulla scala h, F_e del fisso. Si sposta allora lo scorrevole fino a portare il valore $\boxed{\sigma_b[F_e]}$ 80 sotto la linea di fede del cursore e si legge il valore dell'armatura metallica $F_e = 5.84 \text{ cm}^2/\text{m}$ sulla scala h, F_e in corrispondenza dell'indice ∇ della scala $\sigma_b[F_e]$. E' pertanto possibile utilizzare reti tipo R589.

esempio 9 – Armatura semplice

dati: $M = 2000 \text{ kgm}$
 $b = 100 \text{ cm}$
 $h = 12.2 \text{ cm}$
 $\text{cls.} = \text{Bn 225 } (\sigma_{amm} = 80 \text{ kg/cm}^2)$
 $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$ si cerchino σ_b e F_e

Si opera nella stessa maniera già vista nell'esempio 7, trovando $\sigma_b = 92 \text{ kg/cm}^2$ e $F_e = 6.60 \text{ cm}^2$.

Nel caso in esame viene dunque superata la massima tensione ammissibile per il cemento B225, pari a 80 kg/cm^2 , pertanto occorre operare un incremento di armatura, così da ridurre la tensione nell'acciaio e, conseguentemente, ridurre la tensione nel calcestruzzo entro i limiti consentiti. A tale riguardo si utilizza la tabella speciale di fig. 4.

Su tale tabella, in corrispondenza del valore 92 del nomogramma centrale, si legge sul nomogramma inferiore il valore $\alpha^2 = 2.2$. Moltiplicando l'area di acciaio trovata per α , la tensione del calcestruzzo sarà riportata al valore ammissibile di 80 kg/cm^2 , mentre il valore della tensione nell'acciaio calerà al valore letto sul nomogramma superiore, vale a dire $\sigma_e = 1890 \text{ kg/cm}^2$

Portando il cursore sul valore precedentemente letto per l'armatura metallica sulla scala h, F_e (6.60 cm^2) e portando sotto la linea di fede l'inizio della scala B, in corrispondenza di \boxed{B} 2.2 si leggerà sulla scala h, F_e il valore cercato dell'armatura metallica:

$$F_e^+ = F_e \cdot \sqrt{\alpha^2} = 6.60 \cdot \sqrt{2.2} = 9.80 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad (10)$$

Si rende quindi necessario armare con reti in doppio strato. Dividendo quindi per 2 il valore trovato di F_e^+ , il primo indice utile a destra della linea di fede del cursore designa una rete tipo R513.

¹⁰ Più correttamente, confrontando le tabelle in Appendice A, risulterebbe $\alpha^2 = 2.28$, $\sigma_e = 1894 \text{ kg/cm}^2$ e $F_e^+ = 9.95 \text{ cm}^2$. Si veda anche al precedente nota 6.

esempio 10 – Armatura semplice

dati: $M = 6400 \text{ kgm}$
 $b = 20 \text{ cm}$
 $h = 50 \text{ cm}$
 $\text{cls.} = \text{Bn 225 } (\sigma_{\text{badm}} = 80 \text{ kg/cm}^2)$
 $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$ si cerchino σ_b e F_e

Si imposta $\boxed{20}$ in corrispondenza di $\boxed{64}$ (per $M = 6400 \text{ kgm}$), poi si porta il cursore su $\boxed{h, F_e} 5$ (per $h = 50 \text{ cm}$) e si legge il valore della corrispondente tensione nel calcestruzzo (89 kg/cm^2) sulla scala centrale dello scorrevole $\sigma_b[M]$. Si sposta allora lo scorrevole fino a portare il valore $\boxed{\sigma_b[F_e]} 89$ sotto la linea di fede del cursore. In questo caso la lettura cade a sinistra del cursore, pertanto si legge il valore dell'armatura metallica $F_e = 25.7 \text{ cm}^2/\text{m}$ sulla scala h, F_e in corrispondenza dell'indice ∇ di sinistra della scala $\sigma_b[F_e]$. Il valore dell'armatura metallica effettiva vale dunque

$$f_e = F_e \times b = 25.7 \times 0.20 = 5.14 \text{ cm}^2$$

Anche in questo caso viene superata la massima tensione ammissibile per il cemento B225, pari a 80 kg/cm^2 , pertanto occorre incrementare l'armatura come visto nel caso precedente.

Entrando dunque nella tabella di fig. 4 con il valore $\sigma_b = 89$ letto sul nomogramma centrale, si legge sul nomogramma inferiore il valore $\alpha^2 = 1.8$, mentre sul nomogramma superiore si legge il valore $\sigma_e = 2090 \text{ kg/cm}^2$

Portando il cursore sul valore precedentemente letto per l'armatura metallica sulla scala h, F_e (5.15 cm^2) e portando sotto la linea di fede l'inizio della scala B, in corrispondenza di $\boxed{1.8}$ si leggerà sulla scala h, F_e il valore cercato dell'armatura metallica $f_e' = 6.90 \text{ cm}^2$ ⁽¹¹⁾.

esempio 11 – Armatura semplice

dati: $M = 2000 \text{ kgm}$
 $b = 100 \text{ cm}$
 $h = 15 \text{ cm}$
 $\sigma_e = 2400 \text{ kg/cm}^2$ si cerchino σ_b e F_e

Benchè le scale speciali del regolo Aristo 80136 siano dimensionate per $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$, con l'aiuto delle tabelle poste sul dorso del regolo è possibile dimensionare sezioni anche per $\sigma_e = 2400 \text{ kg/cm}^2$.

Come visto nell'esempio 7, per $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$ troviamo $\sigma_b = 71 \text{ kg/cm}^2$ e $F_e = 5.24 \text{ cm}^2/\text{m}$.

Dovendo dimensionare con tensione dell'acciaio limitata a 2400 kg/cm^2 , è sufficiente moltiplicare l'area di armatura trovata per il rapporto fra i coefficienti $k_{e(2.4)} / k_{e(2.8)}$ riportati sul dorso del regolo in funzione del rapporto σ_e / σ_b . Nel caso in esame, $\sigma_e / \sigma_b = 2800 / 71 \approx 40 \rightarrow k_{e(2.4)} = 45, k_{e(2.8)} = 38$.

L'armatura cercata sarà dunque $F_e = 5.24 \times 45 / 38 = 6.20 \text{ cm}^2/\text{m}$.

La corrispondente tensione nel calcestruzzo è pari alla tensione calcolata in precedenza moltiplicata per il rapporto fra i coefficienti $k_{h(2.4)} / k_{h(2.8)}$ corrispondenti al rapporto noto σ_e / σ_b . Nel caso in esame, $\sigma_e / \sigma_b \approx 40 \rightarrow k_{h(2.4)} = 16.4, k_{h(2.8)} = 17.4$, quindi:

$$\sigma_b = 71 \times 16.4 / 17.4 = 67 \text{ kg/cm}^2$$

¹¹ Analogamente a quanto osservato nella precedente nota 10, confrontando le tabelle in Appendice A, risulterebbe $\alpha^2 = 1.89, \sigma_e = 2070 \text{ kg/cm}^2$ e $F_e' = 7.04 \text{ cm}^2$. Si veda anche al precedente nota 6.

esempio 12 – Armatura semplice

dati: $M = 5600 \text{ kgm}$
 $b = 35 \text{ cm}$
 $\sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$ si cerchino h e f_e

Si imposta $\boxed{B} 35$ in corrispondenza di $\boxed{M} 56$ (per $M = 5600 \text{ kgm}$), poi si porta il cursore su $\boxed{\sigma_b[M]} 80$ e si legge il valore della corrispondente altezza (38.5 cm) sulla scala h, F_e del fisso. Si sposta allora lo scorrevole fino a portare il valore $\boxed{\sigma_b[F_e]} 80$ sotto la linea di fede del cursore e si legge il valore dell'armatura metallica $F_e = 16.5 \text{ cm}^2/\text{m}$ sulla scala h, F_e in corrispondenza dell'indice ∇ di sinistra della scala $\sigma_b[F_e]$. Il valore dell'armatura metallica effettiva vale dunque:

$$f_e = F_e \times b = 16.5 \times 0.35 = 5.78 \text{ cm}^2$$

esempio 13 – Armatura semplice

dati: $b = 30 \text{ cm}$
 $h = 45 \text{ cm}$
 $\sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$ si cerchino M e f_e

Si imposta $\boxed{h, F_e} 4.5$ (per $h = 45 \text{ cm}$) in corrispondenza di $\boxed{\sigma_b[M]} 70$ poi, in corrispondenza di $\boxed{B} 30$ si legge sulla scala M il valore cercato di $M = 5250 \text{ kgm}$. Spostando poi lo scorrevole fino a far sovrapporre al valore $\boxed{h, F_e} 4.5$ (per $h = 45 \text{ cm}$) il valore $\boxed{\sigma_b[F_e]} 70$, si legge il valore dell'armatura metallica per metro lineare $F_e = 15.3 \text{ cm}^2/\text{m}$ sulla scala h, F_e in corrispondenza dell'indice ∇ di sinistra della scala $\sigma_b[F_e]$. Il valore dell'armatura metallica effettiva vale dunque:

$$f_e = F_e \times b = 15.3 \times 0.30 = 4.59 \text{ cm}^2$$

esempio 14 – Armatura doppia

dati: $M = 6500 \text{ kgm}$
 $b = 30 \text{ cm}$
 $h = 45 \text{ cm}$
 $h' = 5 \text{ cm}$
 $\sigma_b = 65 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_e = 2800 \text{ kg/cm}^2$ si cerchino M e f_e

Si determini innanzi tutto il momento flettente M^* e l'area di acciaio f_{es} corrispondenti alla sezione data nell'ipotesi di armatura semplice, operando come si è fatto nell'esempio 13. Troveremo:

$M^* = 4650 \text{ kgm}$ e $f_{es} = 4.05 \text{ cm}^2$. Il momento flettente residuo vale: $\Delta M = 6500 - 4650 = 1850 \text{ kgm}$.

La distanza fra i baricentri delle armature tese e compressa vale $c = h - h' = 40 \text{ cm}$, quindi l'armatura aggiuntiva Δf_e , che deve assorbire interamente il momento residuo ΔM , vale:

$$\Delta f_e = \frac{185000}{2800 \times 40} = 1.65 \text{ cm}^2 \rightarrow f_e = f_{es} + \Delta f_e = 4.05 + 1.65 = 5.70 \text{ cm}^2$$

Per determinare l'area di acciaio compresso f_e' occorre conoscere la distanza dell'asse neutro dal bordo compresso nell'ipotesi di sezione con armatura semplice. Come si è visto nell'es. 6, troviamo:

$$x = \frac{n\sigma_b}{\sigma_e + n\sigma_b} \times h = \frac{15 \times 65}{2800 + 15 \times 65} \times 45 = 11.6 \text{ cm}$$

L'armatura f_e' si trova con la proporzione: $f_e' = \Delta f_e \times \frac{h - x}{x - h'} = 1.65 \times \frac{45 - 11.6}{11.6 - 5} = 8.35 \text{ cm}^2$

APPENDICE A

Coefficienti di amplificazione α^2

$\sigma_b/\sigma_e = 60/2400$

σ_b (kg/cm ²)	α^2	σ_e (kg/cm ²)
60	1.00	2400
60.5	1.05	2343
61	1.11	2282
61.5	1.17	2226
62	1.22	2182
62.5	1.29	2125
63	1.35	2079
63.5	1.41	2037
64	1.48	1991
64.5	1.55	1947
65	1.62	1907
65.5	1.70	1864
66	1.78	1824
66.5	1.86	1786
67	1.94	1751
67.5	2.03	1714
68	2.11	1683
68.5	2.20	1650
69	2.30	1615
69.5	2.39	1586
70	2.49	1556
70.5	2.60	1524
71	2.70	1497
71.5	2.81	1469
72	2.92	1443
72.5	3.04	1416
73	3.16	1390
73.5	3.28	1366
74	3.40	1343
74.5	3.53	1320
75	3.66	1297
75.5	3.80	1275
76	3.94	1253
76.5	4.08	1233
77	4.23	1212
77.5	4.38	1192
78	4.53	1173
78.5	4.69	1154
79	4.85	1136
79.5	5.02	1118
80	5.19	1101
80.5	5.37	1083
81	5.55	1067
82	5.92	1035
83	6.31	1004

$\sigma_b/\sigma_e = 80/2800$

σ_b (kg/cm ²)	α^2	σ_e (kg/cm ²)
80	1.00	2800
80.5	1.04	2747
81	1.08	2698
81.5	1.12	2652
82	1.16	2608
82.5	1.21	2557
83	1.25	2517
83.5	1.30	2471
84	1.35	2427
84.5	1.39	2394
85	1.44	2354
85.5	1.49	2316
86	1.54	2280
86.5	1.60	2239
87	1.65	2207
87.5	1.71	2170
88	1.77	2135
88.5	1.83	2102
89	1.89	2070
89.5	1.95	2039
90	2.01	2010
90.5	2.08	1978
91	2.14	1952
91.5	2.21	1922
92	2.28	1894
92.5	2.35	1868
93	2.42	1842
93.5	2.50	1814
94	2.57	1790
94.5	2.65	1765
95	2.73	1740
95.5	2.81	1717
96	2.90	1691
96.5	2.98	1670
97	3.07	1647
97.5	3.16	1624
98	3.25	1603
98.5	3.34	1583
99	3.43	1563
99.5	3.53	1542
100	3.63	1522
101	3.83	1484
102	4.04	1447
103	4.26	1412
104	4.48	1379

APPENDICE B

Oltre alla tabella riportata in fig. 4, il regolo era corredato con l'esempio di impostazione qui riprodotto, la cui fotografia è stata gentilmente resa disponibile dal dr. Karl-Heinz Degmeyr.

Kurze Bemessungsanleitung für den BAUSTAHLGEWEBE-Taschenrechnerstab (ausführliche Anleitung siehe Dr. 216)			
<p>Gegeben: Beton B 225 Bewehrung BAUSTAHLGEWEBE (zul. $\sigma_b = 2800 \text{ kp/cm}^2$) $M = 2000 \text{ kpm}$ $h = 12,2 \text{ cm}$ (für zweilagige Bewehrung) $\sigma_b^*/\sigma_b^* = (92) / (2800)^{1)}$ $\text{erf. } f_e^* = 6,60 \text{ cm}^2/\text{m}$ $\sigma_b/\text{red. } \sigma_b = 80/1890$ $\text{erf. } f_e = \text{erf. } f_e^* \cdot \sqrt{\sigma_b}$ $= 6,60 \cdot \sqrt{2,2} = 9,80 \text{ cm}^2/\text{m}$</p>	1	2000 (=M)	2
	92 (= σ_b^*)		92 (= σ_b^*)
	12,2 (= h)		12,2
3		2,2 (= α^2)	
	6,60	9,80 (= $\text{erf. } f_e$)	6,60 (= $\text{erf. } f_e^*$)
<p>¹⁾ Die für B 225 höchstzulässige Betondruckspannung von 80 kp/cm^2 ist bei diesem Spannungsverhältnis überschritten. Es muß daher mit einer abgeminderten Stahlspannung unter Einhaltung der höchstzulässigen Betondruckspannung bemessen werden. Die abgeminderte Stahlspannung und der Erhöhungsfaktor für das erf. f_e läßt sich mit der auf der Rückseite abgebildeten Umrechnungsskala ermitteln bzw. errechnen.</p>			

Dr. 217
12-65-10

la traduzione dell'opuscolo è la seguente:

Istruzioni sintetiche per l'uso del regolo tascabile BAUSTAHLGEWEBE

(per istruzioni dettagliate si veda il documento Dr. 216)

classe di calcestruzzo: Bn 225

armature metalliche: BAUSTAHLGEWEBE ($\sigma_{f adm} = 2800 \text{ kg/cm}^2$)

M = 2000 kgm

h = 12.2 cm (per armatura a doppio strato)

$$\sigma_b^* / \sigma_e^* = 92 / 2800^{(*)}$$

$$f_e^* = 6.60 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$f_e = f_e^* \cdot \sqrt{\alpha^2} = 6.60 \cdot \sqrt{2.2} = 9.80 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$\sigma_b / \sigma_e \text{ ridotta} = 80 / 1890$$

(*) Viene superata la massima tensione ammissibile per il cemento B225, pari a 80 kg/cm². Occorre quindi che si adotti una tensione ridotta nell'acciaio in modo che non si superi la tensione ammissibile massima nel calcestruzzo. La tensione ridotta nell'acciaio ed il corrispondente valore del fattore di Af possono essere trovati con la scala di conversione sul dorso del regolo⁽¹²⁾.

¹² In realtà, il dorso del regolo riporta le tabelle di fig. 2. La scala cui fa riferimento il testo è quella riprodotta in fig. 4