SOLETTA SU LAMIERA GRECATA

(Revisione 23-01-2006)

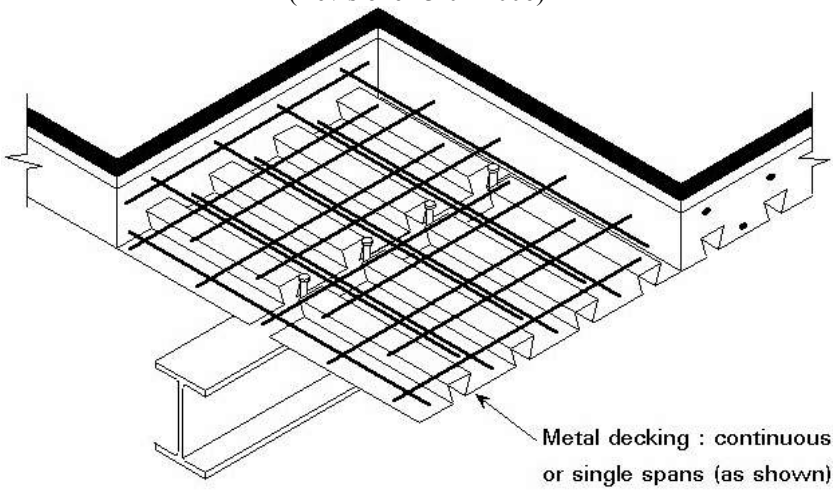


Fig. 1

I solai composti in acciaio-calcestruzzo sono costituiti da una lamiera grecata di acciaio su cui viene eseguito un getto di calcestruzzo normale o alleggerito. La lamiera ha la funzione di cassero durante la costruzione e costituisce parte o tutta l'armatura longitudinale dopo l'indurimento del calcestruzzo. Poiché non è sufficiente la semplice adesione chimica fra la lamiera e il calcestruzzo, sono previste opportune lavorazioni superficiali o particolari sagome per garantire l'aderenza fra acciaio e calcestruzzo (Fig. 2).

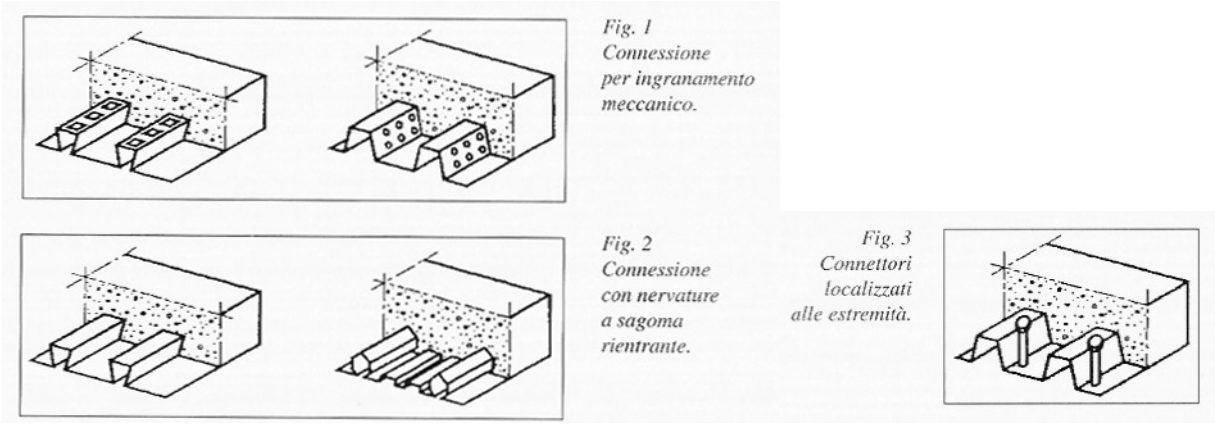


Fig. 2

Altre caratteristiche:

- leggerezza e riduzione degli ingombri
- velocità di realizzazione
- facilità di taglio e scarsa suscettibilità a problemi di tolleranze
- facilità nella realizzazione di aperture per il passaggio degli impianti

Gli spessori della lamiera variano tra 0.7 e 1.5 mm mentre le altezze tra 40 e 80mm.

Normative: CNR 10016/2000 – Eurocodice 3 parte 1.3 – Eurocodice 4

ESEMPIO DI CALCOLO

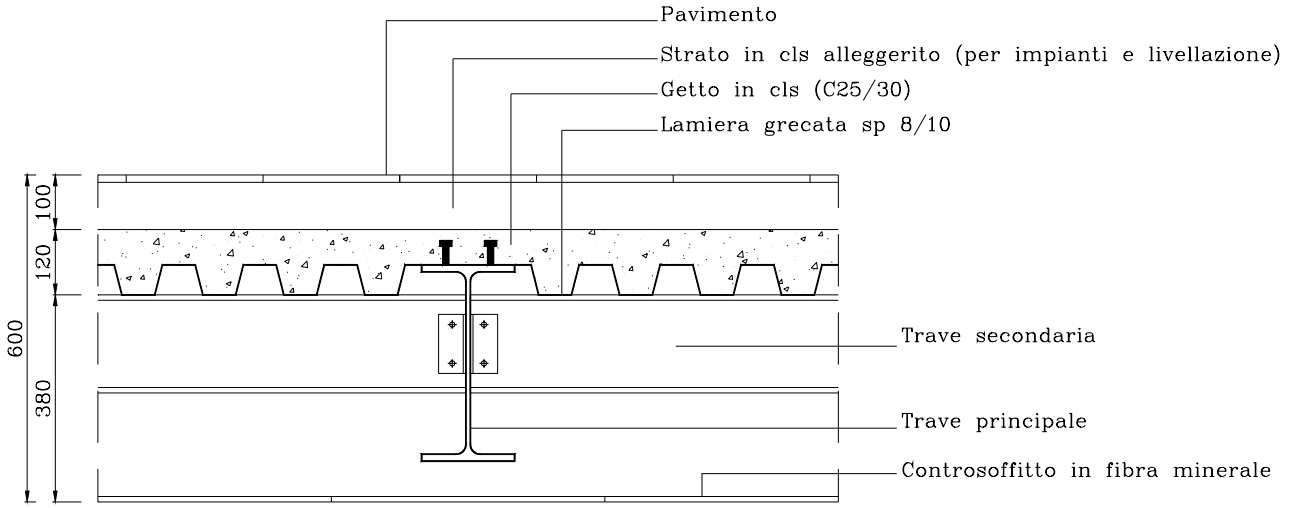


Fig. 3

ANALISI DEI CARICHI

Soletta	2.4 kN/m^2
Getto di completamento	1.4 kN/m^2
Pavimento	0.4 kN/m^2
Impianti	0.1 kN/m^2
Controsoffitto	0.06 kNm^2
Tramezze	0.80 kN/m^2
Totale permanenti	5.15 kN /m^2
Variabili	2.00 kN /m^2
Totale	**7.15** kN **/m^2**

Questo esempio non privilegia la scelta della leggerezza. In una tipica struttura ad uso uffici si possono adottare scelte differenti per contenere il carico permanente:

- facendo passare gli impianti sopra la controsoffittatura (forando eventualmente i profili) si può diminuire sensibilmente la caldana
- si possono scegliere divisori in carton-gesso anziché in mattoni forati e pavimento in materiale plastico

Si adotta una lamiera di tipo HI-BOND con spessore 8/10, caratteristiche geometriche di figura 4 e snervamento f_y = 320 N/mm^2. Il calcestruzzo è di classe C 25/30 (f_{ck}=25, R_{ck}=30 Mpa). La lamiera è continua su quattro appoggi (travi secondarie) con luci di 2.5 m (Fig. 5).

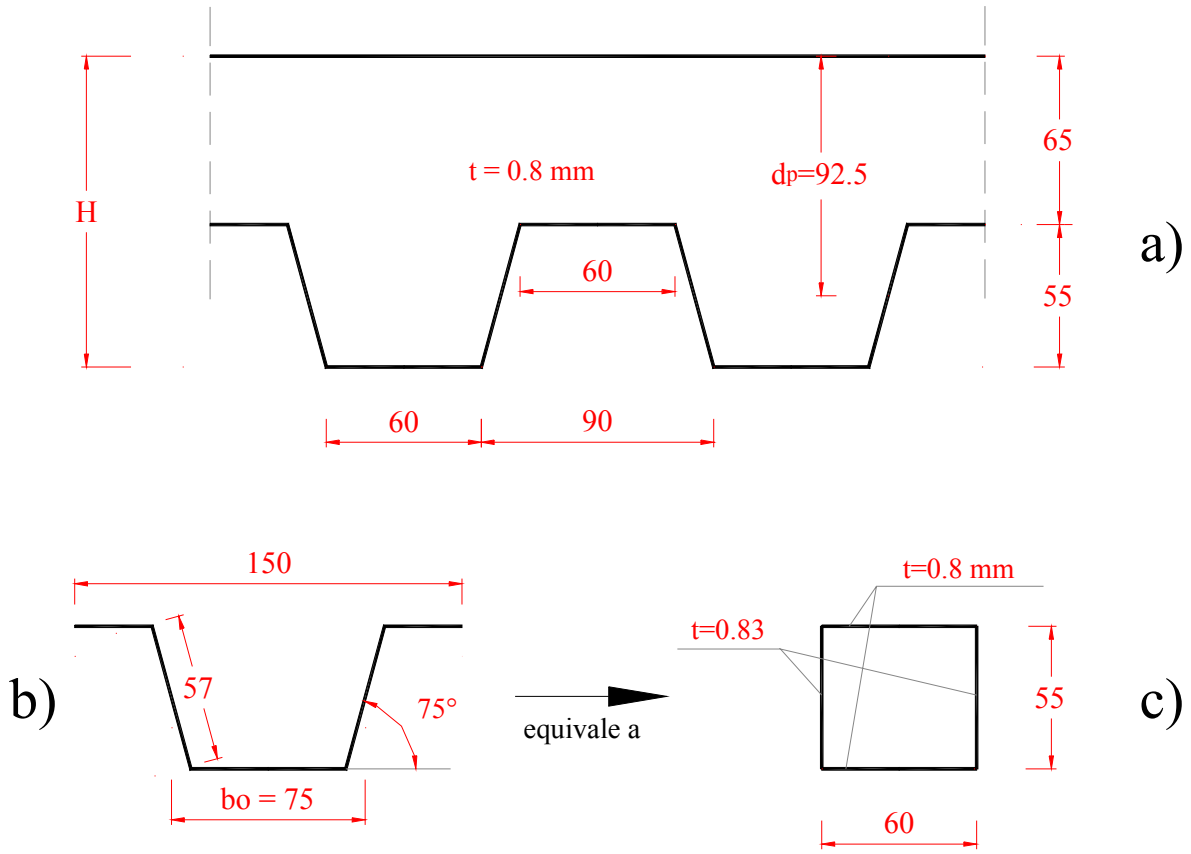


Fig. 4

Caratteristiche statiche

La nervatura, con larghezza di 150 mm (v. Fig. 4b), può essere assimilata alla sezione scatolare di figura 4c) con spessore delle anime t=0.8/sen75°=0.83 mm.

Si ha quindi:

$A_1 = 2\ (60 \cdot 0.8 + 55 \cdot 0.83) = 187\ mm^2$

$I_1 = 2\ (60 \cdot 0.8 \cdot 27.5^2 + 1/12 \cdot 0.83 \cdot 55^3) = 95615\ mm^4$

$W_1 = 95615/27.5 = 3476\ mm^3$

Per metro di lamiera si hanno le seguenti proprietà della sezione lorda della lamiera grecata:

$A_a = A_1 \cdot 1000/150 = 1247\ mm^2$

$I = 637433\ mm^4$

$W = 23173\ mm^3$

I[a] FASE: Getto del calcestruzzo

In questa fase la lamiera costituisce il cassero (non è prevista puntellazione) ed è soggetta al peso proprio, al peso del getto (2.4 kN/m^2) e al peso dei mezzi d'opera di 1.5 kN/m^2 (EC4 #7.3.2). Si deve considerare la posizione più sfavorevole dei carichi sulla trave continua. Si considera il peso proprio della lamiera compreso nel peso del getto.

Verifica allo stato limite ultimo

$$q_d = 1.35 \cdot 2.4 + 1.5 \cdot 1.5 = 5.49 \text{ kN/m} \quad \text{(per metro di larghezza)}$$

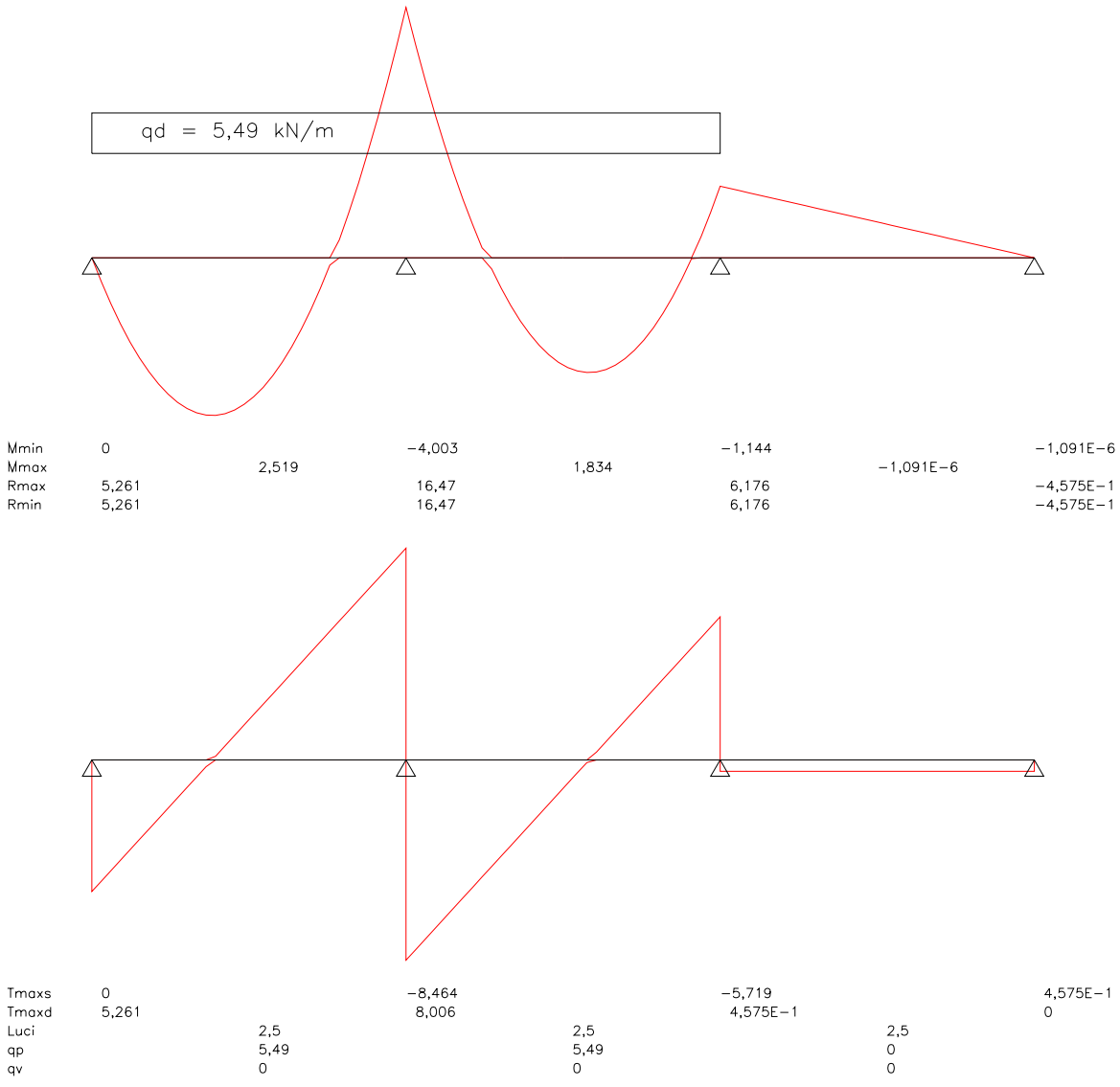


Fig. 5

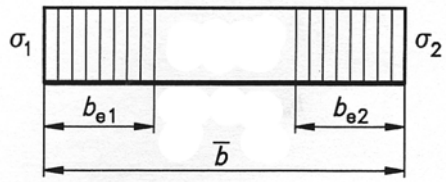
Verifica a flessione

Il momento massimo si ha sull'appoggio intermedio con le prime due campate caricate (v. figura):

$$M_{S,d} = -4.003 \text{ kNm/m}$$

Trattandosi di sezione di classe 4, le verifiche allo stato limite ultimo vanno eseguite sulla sezione efficace (EC3 #5.3.5).

Prospetto 5.3.2 - Elementi compressi interni

Distribuzione delle tensioni (compressione positiva)	Larghezza efficace b_{eff}
	ψ = + 1: $b_{eff} = \rho \bar{b}$; $b_{e1} = 0{,}5\ b_{eff}$; $b_{e2} = 0{,}5\ b_{eff}$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	+ 1
Coefficiente di imbozzamento k_σ	4,0

Fig. 6

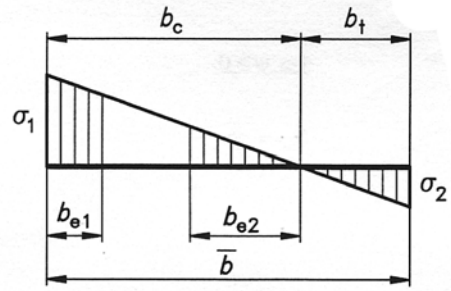
Per la flangia compressa si ha (Fig. 6):

$$\psi = +1 \qquad k_\sigma = 4.0$$

$$\sigma_{cr} = k_\sigma \frac{189800}{(b/t)^2} = 4.0 \frac{189800}{(60/0.8)^2} = 135\ N/mm^2$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{320}{135}} = 1.54 \quad \rightarrow \quad \rho = \frac{(\bar{\lambda}_p - 0.22)}{\bar{\lambda}_p^{\,2}} = 0.56$$

$$b_{eff} = \rho\, \bar{b} = 0.56 \cdot 60 = 34\ mm$$

	ψ < 0: $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b}/(1-\psi)$; $b_{e1} = 0{,}4\ b_{eff}$; $b_{e2} = 0{,}6\ b_{eff}$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	-1
Coefficiente di imbozzamento k_σ	23,9

Fig. 7

Per le anime (da considerare con spessore 0.8 e lunghezza 57 mm come da figura 4b) si ha (Fig. 7):

$$\psi = -1 \qquad k_\sigma = 23.9$$

$$\sigma_{cr} = k_\sigma \frac{189800}{(b/t)^2} = 23.9 \frac{189800}{(57/0.8)^2} = 893\ N/mm^2$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{320}{893}} = 0.599 < 0.673 \quad \rightarrow \quad \rho = 1$$

$$b_{eff} = \bar{b} = 57\ mm$$

La sezione efficace è quindi assimilabile a quella di figura 8 e si ha per ogni nervatura:

$A_{1,eff} = 164$ $y_{G,sup} = 30.9$ $I_{1,eff} = 74357$

$W_{1,inf} = 3091$ $W_{1,sup} = 2403$

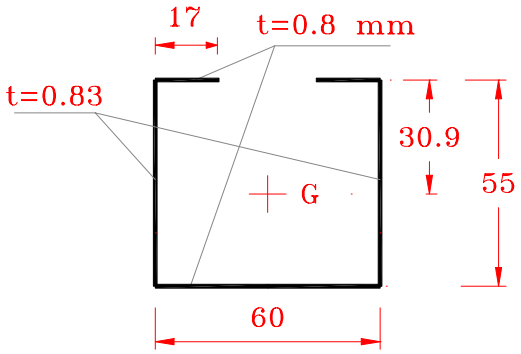


Fig. 8 – Sezione efficace

e per metro di larghezza:

$W_{eff} = W_{sup} = 2403 \cdot 1000/150 = 16020\ mm^3/m$

Il momento resistente è pertanto:

$M_{Rd} = W_{eff}\ f_y/\gamma_{M0} = 16020 \cdot 320/1.1 \cdot 10^{-6} = 4.66\ kNm/m > M_{Sd}$ O.K.

Verifica a taglio EC3 #5.4.6

Taglio massimo:

$V_{Sd} = 8.46$ kN/m

Il taglio è portato dalle anime, come in una trave a doppio T. In un metro di larghezza si hanno 13.3 anime. Le anime sono inclinate e quindi il taglio andrebbe scomposto nelle loro direzioni. In modo equivalente si può considerare la proiezione verticale delle anime:

area di taglio: $A_V = 13.3 \cdot 55 \cdot 0.8 = 585$ mm^2

taglio resistente: $V_{pl,Rd} = A_V(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0} = 585 \cdot 185/1.1 \cdot 10^{-3} = 98.4$ kN >> V_{Sd}

Si dovrebbe anche verificare la resistenza all'instabilità per taglio essendo:

$d/tw = 57/0.8 = 71 > 69\,\varepsilon = 69 \cdot (235/f_y)^{0.5} = 59$

Dato il valore elevato di $V_{pl,Rd}$, la verifica è superflua.

Verifica allo stato limite di servizio

Per il calcolo della freccia si considera la trave continua soggetta al peso del calcestruzzo (2.4kN/m) su tutte le campate. Si usa il momento d'inerzia lordo I = 637433 mm^4. La freccia massima si ha nelle campate laterali:

$\delta_1 = 4.8$ mm = L/520 << L/180 (EC4 #7.5.2)

La freccia è anche inferiore al limite di 20 mm oltre il quale si deve tener conto del carico aggiuntivo dovuto all'accumulo di calcestruzzo.

II^a FASE: Soletta collaborante

Dopo la maturazione, il calcestruzzo collabora con la lamiera grecata. La soletta si comporta come una trave composta e ne costituisce l'armatura tesa. Per la verifica allo stato limite ultimo si può utilizzare lo schema statico di trave continua solo se si dispone una sufficiente armatura al negativo. Poiché la posa di tale armatura è onerosa per la difficoltà di mantenerla nella corretta posizione e poiché la sezione compressa di calcestruzzo al negativo è ridotta a causa della forma seghettata, si preferisce solitamente progettare la soletta composta con lo schema di semplice appoggio. Si deve comunque posare l'armatura minima pari allo 0.2% (EC4 #7.6.2.1) per contenere la fessurazione:

$A_{s,min} = 0.2 \cdot 6.5 = 1.3$ cm^2/m

E' sufficiente una rete elettrosaldata ϕ 6 20x20 (1.41 cm^2/m).

Verifica allo stato limite ultimo

$q_{Sd} = 1.35 \cdot 5.15 + 1.5 \cdot 2.00 = 9.95$ kN/m

$M_{Sd} = 9.95 \cdot 2.5^2/8 = 7.77$ kNm

$V_{Sd} = 9.95 \cdot 2.5/2 = 12.4$ kN

Verifica a flessione

Resistenza a compressione della soletta di calcestruzzo:

$R_c = b \cdot h_c \cdot 0.85 \cdot f_{ck}/\gamma_c = 1000 \cdot 65 \cdot 0.85 \cdot 25 \cdot 10^{-3}/1.5 = 921$ kN/m

Resistenza a trazione della lamiera di acciaio:

$R_a = A_a \cdot f_y / \gamma_a = 1247 \cdot 320 \cdot 10^{-3}/1.10 = 363$ kN

$R_a < R_c \rightarrow$ l'asse neutro taglia la soletta. La resistenza a flessione è governata dall'acciaio.

Altezza calcestruzzo compresso (posizione dell'asse neutro per l'equilibrio alla traslazione):

$x = R_a/R_c \cdot h_c = 25.6$ mm

$d_p = (h_a/2 + h_c) = 92.5$ mm (altezza utile – Fig. 4)

$M_{pl.Rd} = R_a \cdot (d_p - x/2) = 363 \cdot (92.5 - 25.6/2) \cdot 10^{-3} = 28.9$ kNm

$M_{pl.Rd} > M_{sd} \rightarrow$ OK

Verifica a taglio

La resistenza a taglio è affidata alla soletta di cls.

Resistenza a taglio per nervatura (EC4 7.6.1.5):

$V_{V,Rd} = b_o \, d_p \, \tau_{Rd} \, k_V \, (1.2 + 40 \, \rho)$

$b_o = 75$ mm (Fig. 4b)

$d_p = 92.5$ mm

$\tau_{Rd} = 0.25 \, f_{ctk} / \gamma_c = 0.25 \cdot 1.8/1.5 = 0.30$ N/mm^2

$k_V = (1.6 - d_p) = 1.6 – 0.0925 = 1.51$ (d_p in metri = altezza utile v. Figg. 4 e 9)

$V_{V,Rd} = 75 \cdot 92.5 \cdot 0.30 \cdot 1.51 \cdot 1.2 = 3772$ N/nervatura

$V_{Rd} = 3.772 \cdot 1000/150 = 25.1$ kN/m > V_{Sd} O.K.

Resistenza allo scorrimento

L'EC4 al #7.6.1.3 indica il metodo empirico "m-k" che in pratica non è applicabile perché i produttori non forniscono per ora i valori sperimentali dei parametri m e k. Non è nemmeno applicabile il metodo indicato nell'appendice E perché anche in questo caso i produttori non forniscono i valori sperimentali dell'aderenza $\tau_{u,Rd}$. Ci si deve quindi fidare delle portate ammissibili indicate nei cataloghi, oppure inserire i connettori alle estremità (Fig. 2). In questo caso, normato al #7.6.1.4 dell'EC4, si deve verificare, oltre alla resistenza del piolo come per le travi composte, anche la resistenza a rifollamento della lamiera che, soggetta al tiro R_a= 363 kN/m, tende a rifollare in corrispondenza del piolo. Questa verifica è molto gravosa. Nel nostro caso si avrebbe con un piolo ϕ19 ogni nervatura:

$P_{pb,Rd} = k_\varphi \, d_{d0} \, t \, f_y/\gamma_{ap} = 4 \cdot 20.9 \cdot 0.8 \cdot 320/1.1 \cdot 10^{-3} = 19.4$ kN/nervatura

mentre il piolo dovrebbe sopportare il carico $R_a \cdot 150/1000 = 54.5$ kN.

Verifica allo stato limite di servizio

Secondo EC4 #7.6.2.2 (3) la freccia δ_1, dovuta al peso del calcestruzzo fresco, non viene inclusa nella verifica della soletta composta.

In genere per solette non particolarmente snelle ($L/d_p = 2500/92.5 = 27 < 32$) la verifica di deformazione è sempre soddisfatta.

Si considera la trave continua con momento d'inerzia pari alla media dei valori per sezione fessurata e non fessurata e un valore medio del coefficiente di omogeneizzazione per lungo e breve termine (EC4 #7.6.2.2 (5)). Assumiamo n=15.

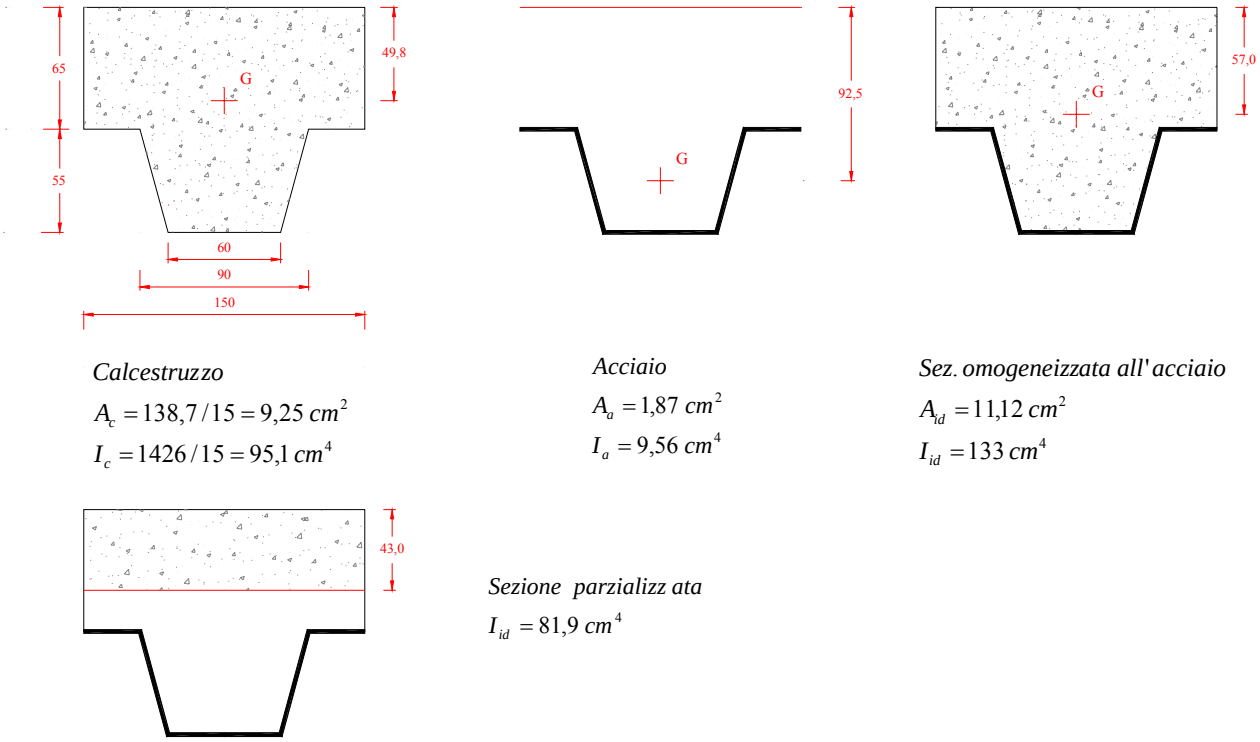
In figura 9 è illustrato il calcolo delle caratteristiche statiche della sezione di una nervatura.

Si noti che il calcolo può essere eseguito con un programma per c.a. discretizzando la lamiera in più strati. Nella figura 10 è illustrato il calcolo con il programma VcaSlu dividendo l'area della lamiera in tre strati corrispondenti alle due ali e alle anime. La verifica a flessione è eseguita per il momento

$M = 7.15 \cdot 2.5^2/8 \cdot 150/1000 = 0.838$ kNm

dovuto al carico di esercizio (7.15) applicato alla singola nervatura.

In figura 11 sono mostrate le caratteristiche statiche della sezione parzializzata, ottenute dal menu opzioni del programma VcaSlu. Si noti che i valori sono omogeneizzati al calcestruzzo e quindi vanno divisi per 15 per un confronto (1194/15=79.6 contro 81.9 del calcolo esatto).



Calcestruzzo

$A_c = 138{,}7/15 = 9{,}25\ cm^2$

$I_c = 1426/15 = 95{,}1\ cm^4$

Acciaio

$A_a = 1{,}87\ cm^2$

$I_a = 9{,}56\ cm^4$

Sez. omogeneizzata all'acciaio

$A_{id} = 11{,}12\ cm^2$

$I_{id} = 133\ cm^4$

Sezione parzializz ata

$I_{id} = 81{,}9\ cm^4$

Fig. 9 – Caratteristiche sezione interamente reagente e parzializzata con n=15

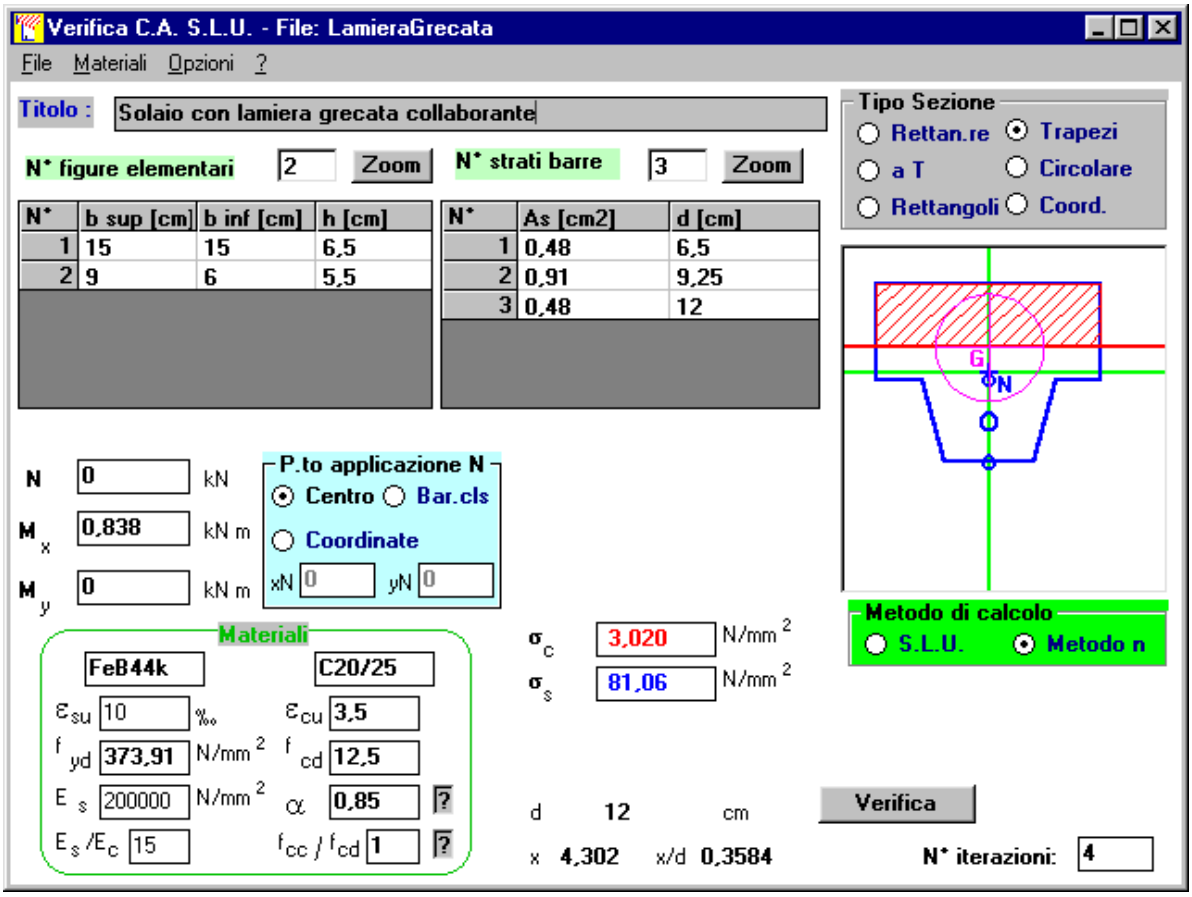


Fig. 10 – Schematizzazione come sezione in c.a.

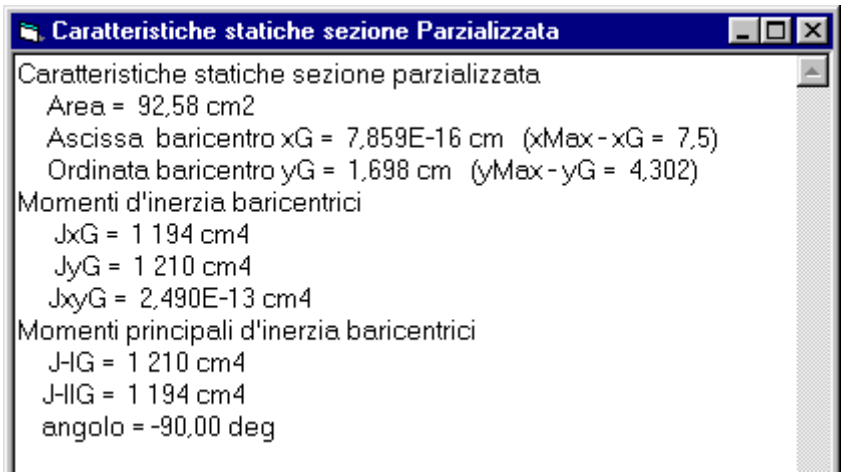


Fig. 11 – Caratteristiche statiche da VcaSlu

La freccia va quindi calcolata con il momento d'inerzia per unità di larghezza della soletta:

$I = (133 + 81.9)/2 \cdot 1000/150 = 716\ cm^4/m$

Per semplicità ed a favore di sicurezza, la freccia viene calcolata per vincoli di semplice appoggio:

$q_S = 7.15 - 2.40 = 4.75\ kN/m$ (carico permanente portato e variabile)

$$\delta_2 = \frac{5}{384}\frac{q_S L^4}{E_a I} = \frac{5}{384}\frac{4.75 \cdot 2500^4}{210000 \cdot 7160000} = 1.6\ mm << L/350 = 7.1\ mm$$

La verifica è ampiamente soddisfatta.