



PROGETTO DI SOLAIO CON TRAVI COMPOSTE ACCIAIO-CALCESTRUZZO E SOLETTA SU LAMIERA GRECATA COLLABORANTE

Domenico Leone

fare sismica  **APPUNTI**

PROGETTO DI SOLAIO CON TRAVI COMPOSTE ACCIAIO-CALCESTRUZZO E SOLETTA SU LAMIERA GRECATA COLLABORANTE

Domenico Leone

Il Prof. Domenico Leone vanta un'esperienza più che trentennale nel campo della progettazione e realizzazione di strutture metalliche sia in campo industriale che infrastrutturale e civile ed è titolare del laboratorio di "Costruzione dell'Architettura" presso la facoltà di Architettura di Genova in qualità di professore a contratto.

E' consulente di azienda avendo occupato in precedenza il ruolo di Responsabile del settore di progettazione di opere in carpenteria metallica prima presso la Società Italimpianti S.p.A. e successivamente presso le Società SMS-Demag e Paul-Wurth S.p.A.. Ha partecipato alla progettazione di grandi impianti industriali di produzione e trasformazione dell'acciaio e ne ha seguito la realizzazione con le imprese costruttrici e di montaggio acquisendo ampia esperienza in tutti i settori del ciclo di esecuzione di opere metalliche .

Per il suo impegno in campo internazionale vanta ampia conoscenza delle norme di settore utilizzate in varie nazioni con particolare riguardo agli Eurocodici.

Ha esercitato ed esercita tuttora attività formativa in ambito Aziendale, Universitario, Pubblico, Privato e dell'Ordine Professionale.

E' autore di varie pubblicazioni tecniche e dei volumi "Eurocodice 3" edito da Sistemi Editoriali, "Lamiere grecate e pannelli coibentati" edito da Mediasoft s.a.s., "Componenti strutturali in acciaio" e "Elementi di completamento strutturale in acciaio" editi da Wolters Kluwer Italia nonché di numerosi programmi di calcolo automatico, basati sulle direttive europee e nazionali, dedicati sia alla progettazione di strutture in acciaio di impianti industriali che alla progettazione di componenti strutturali e di dettaglio proprie degli edifici civili e delle infrastrutture (pacchetto SAITU edito da Stadata s.r.l.)

La presente pubblicazione è tutelata dalla legge sul diritto d'autore e non può essere divulgata senza il permesso scritto dell'autore.

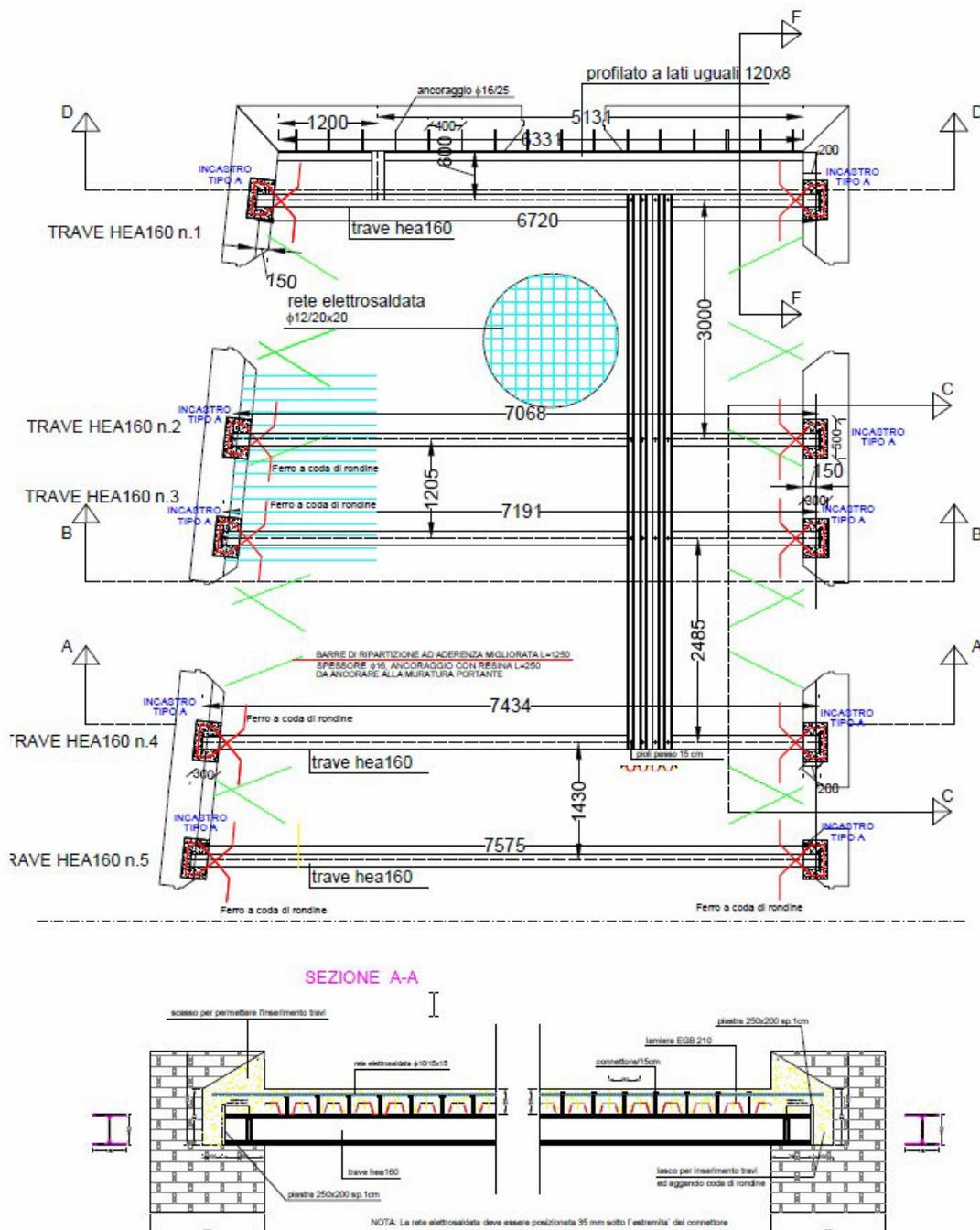
S.T.A. DATA srl
Corso Raffaello, 12 - 10126 Torino
tel. 011 6699345 www.stadata.com

PROGETTO DI SOLAIO CON TRAVI COMPOSTE ACCIAIO-CALCESTRUZZO E SOLETTA SU LAMIERA GRECATA COLLABORANTE

In questo articolo pubblico, con brevi commenti, il calcolo di progetto di un solaio eseguito con travi in acciaio collaboranti con soletta in calcestruzzo eseguita su lamiera grecata disposta trasversalmente alla trave.

Il progetto è stato eseguito dall'Ing. **Pierpaolo Mattiozzi** con l'uso del programma "Travecomp" (www.stadata.com).

Di seguito lo schema in pianta e sezione del solaio :



Descrizione e dati di progetto :

Il solaio è realizzato con travi **HEA 160** in acciaio S 275 disposte ad interasse di 3 m sopra le quali è posata una lamiera grecata disposta trasversalmente all'asse della trave del tipo EGB 210 Marcegaglia con altezza di 55 mm, interasse greche 150 mm e spessore 1 mm. La trave è solidarizzata alla soletta con l'uso di pioli Nelson ad interasse di 150 mm. Lo spessore complessivo della soletta è 120 mm.

Il calcestruzzo della soletta è del tipo R_{ck} 30 con peso specifico 2500 daN/m^3 .

(vedere nota in calce all'articolo)

Il peso complessivo della soletta è pari a $2,3 \text{ kN/m}^2$ comprensivo del peso della trave, lamiera grecata, armatura, e calcestruzzo ed è stato assunto uguale sia per la fase di getto (calcestruzzo bagnato) sia per la fase finale (solaio consolidato).

Per la fase di getto è stato considerato in aggiunta un carico di "costruzione" (accumulo calcestruzzo) pari a 1 kN/m^2 .

Per la fase finale il carico permanente aggiuntivo dovuto al peso proprio del massetto, della pavimentazione, del controsoffitto e delle tamponature interne è stato assunto pari a $0,82 \text{ kN/m}^2$.

Sul solaio di civile abitazione (categoria A) grava un carico variabile definito quasi permanente di 2 kN/m^2 .

La luce di progetto della trave composta è di m 6,72.

In fase di getto è previsto l'uso di **3 puntelli provvisori** disposti a interasse costante di 1,68 m.

Il limite di deformazione del solaio consolidato è stato assunto pari a $L/250$.

Lo schema statico iniziale (fase di getto) è quindi di trave continua su 5 appoggi mentre lo schema statico finale è di trave semplicemente appoggiata con armatura di estremità atta a limitare il fessuramento del calcestruzzo teso.

Di seguito viene riportato il calcolo come eseguito dal programma "Travecomp" con brevi commenti :

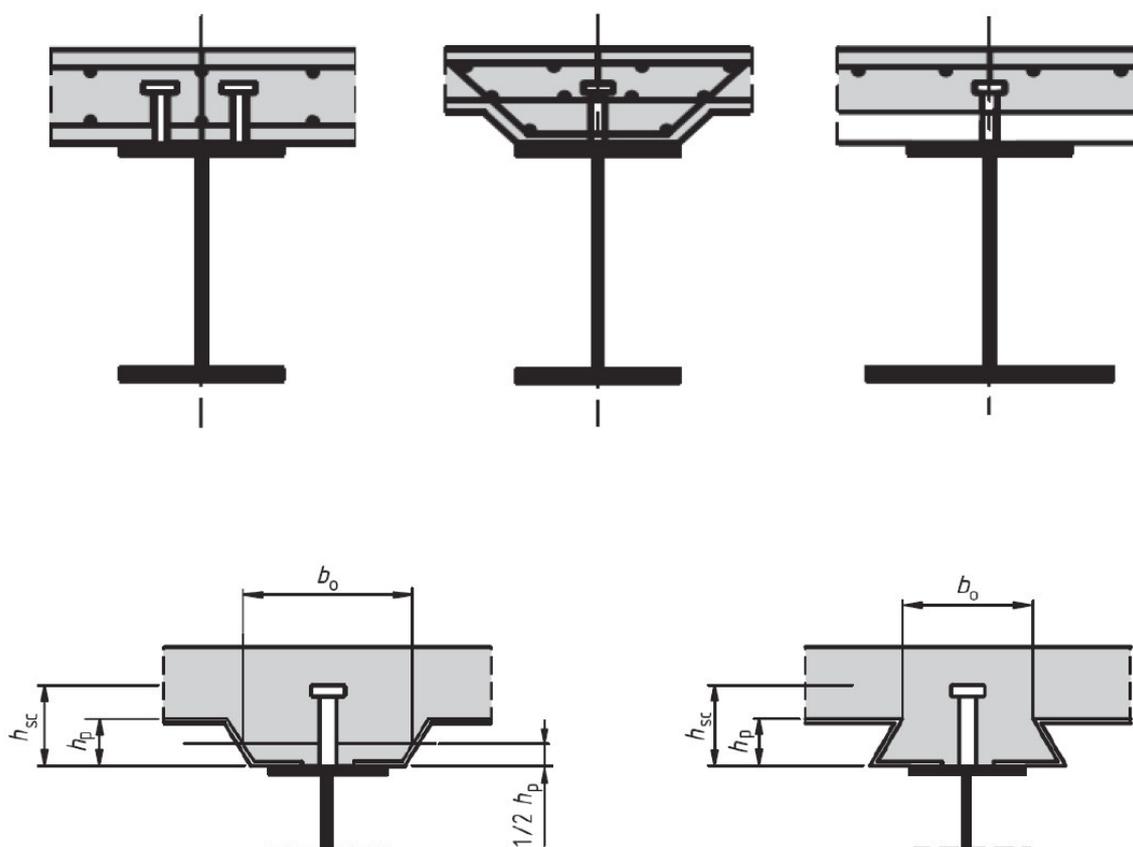
TRAVE COMPOSTA ACCIAIO-CALCESTRUZZO

"TraveComp_B"

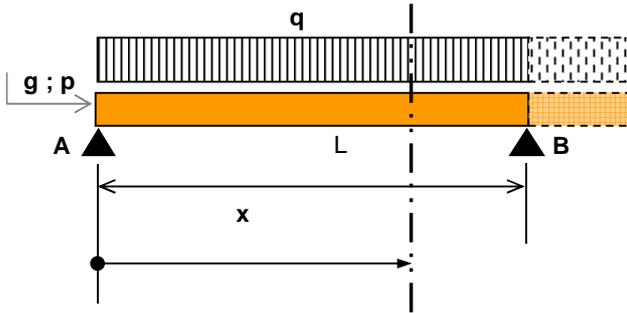
release 2.0

PROGRAMMA PER IL CALCOLO DI SEZIONI APERTE CON SOLETTA COLLABORANTE
VERIFICA IN CONDIZIONI DI INCENDIO
 IN CONFORMITA' ALLE NORME EN 1994-1-1 ; EN 1993-1-5 ; NTC 2008

TRAVE COMPOSTA HEA 160 - soletta grecata trasversale
 Mattiozzi



SCHEMA DI CALCOLO



$S_{Ed} = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot [\psi \cdot Q]$

S.L.U.
 $\gamma_G = 1,3$ $\gamma_Q = 1,5$ $\psi = 1$

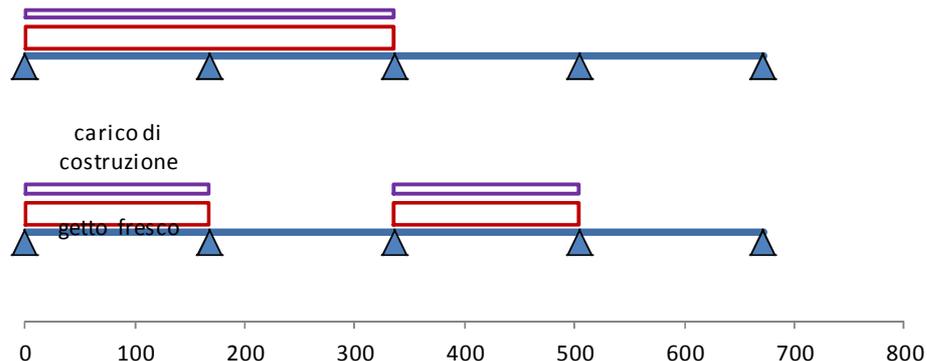
S.L.S.
 $\gamma_G = 1$ $\gamma_Q = 1$ $\psi = 1$

fattore di comb. per azioni variabili per lo S.L.S.
 sovraccarico quasi permanente
 Categoria A $\psi_i = 0,3$

| | | acciaio | calcestruzzo | | |
|---------------------------------|----------------------|---------------|-------------------------|-------------------|---|
| MODULO DI ELASTICITA' | E = | 210000 | 33000 | N/mm ² | |
| LARGHEZZA FASCIA DI CARICO | B = | 3,00 | interasse travi | m | |
| DISTANZA TRA GLI APPOGGI | L = | INIZIALE 1,68 | FINALE 6,72 | m | |
| CARICHI PERMANENTI INIZIALI / m | g = | 2,3 | kN/m ² 10,19 | kN/m | CARICHI AGGIUNTIVI $p \cdot g = 1,00$ kN/m ² |
| CARICHI PERMANENTI FINALI / m | p = | 2,3 | kN/m ² 9,65 | kN/m | $p \cdot p = 0,82$ kN/m ² |
| CARICO VARIABILE UNIFORME / m | q = | 2 | kN/m ² 6,00 | kN/m | |
| FRECCIA AMMISSIBILE | L / f _a = | INIZIALE 500 | FINALE 250 | | |
| SCHEMA STATICO INIZIALE | elemento | continuo | 5 appoggi | | |
| SCHEMA STATICO FINALE | elemento | appoggiato | | | |
| ASCISSA DI RIFERIMENTO max M | X = | iniziale 0,67 | finale 3,36 | m | N° puntelli = 3 |

| SOLLECITAZIONI PER LO STATO LIMITE ULTIMO | | | | | | calcolo automatico | |
|---|-------------------|-------------------------------|----------|------|--------------------------------------|--------------------|------|
| REAZIONI - MOMENTI - TAGLI | | CARICHI INIZIALI | | u.m. | CARICHI FINALI | | u.m. |
| REAZIONE APPOGGIO A | R _A = | 10,35 | | kN | 72,41 | | kN |
| REAZIONE APPOGGIO B | R _B = | 28,41 | | kN | 72,41 | | kN |
| SEZIONE DI RIFERIMENTO | | CAMPATA | APPOGGIO | | CAMPATA | APPOGGIO | |
| MOMENTO FLETTENTE IN X | M _y = | 383 | -470 | kNcm | 12164 | 0 | kNcm |
| TAGLIO A SX. DELLA SEZ. X | T _{sx} = | 3,47 | 14,43 | kN | 0,00 | 72,41 | kN |
| TAGLIO A DX. DELLA SEZ. X | T _{dx} = | 3,47 | 13,98 | kN | 0,00 | 72,41 | kN |
| SOLLECITAZIONI PER TEORIA ELASTICA | | CARICHI PERMANENTI PER S.L.S. | | | CARICHI PERM. E VARIABILI PER S.L.U. | | |
| REAZIONI - MOMENTI - TAGLI | | CARICHI INIZIALI | | u.m. | CARICHI FINALI | | u.m. |
| REAZIONE APPOGGIO A | R _A = | 5,37 | | kN | 66,23 | | kN |
| REAZIONE APPOGGIO B | R _B = | 14,74 | | kN | 66,23 | | kN |
| SEZIONE DI RIFERIMENTO | | CAMPATA | APPOGGIO | | CAMPATA | APPOGGIO | |
| MOMENTO FLETTENTE IN X | M _y = | 198 | -244 | kNcm | 12353 | 0 | kNcm |
| TAGLIO A SX. DELLA SEZ. X | T _{sx} = | 1,78 | 7,49 | kN | 7,29 | 48,28 | kN |
| TAGLIO A DX. DELLA SEZ. X | T _{dx} = | 1,78 | 7,25 | kN | 7,29 | 48,28 | kN |

FASE INIZIALE



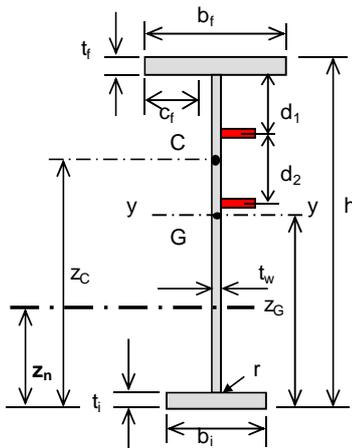
FASE INIZIALE DI COSTRUZIONE - SOLETTA NON COLLABORANTE - SEZIONE IN CAMPATA
 (sezione a I o T simmetrica rispetto al piano di flessione - **piattabanda superiore compressa**)

METODO DI CALCOLO IN ACCORDO CON EN 1994-1-1 ; EN 1993-1-5 ; NTC 2008

| | | | | |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| MATERIALE TRAVE : | acciaio tipo S 275 | EN 10025 | $f_y = 27,50$ kN/cm ² | $\epsilon = 0,92$ |
| TIPO DI SEZIONE : | sezione in profilo laminato | profilo a I o H mono o bi-simmetrico | $\gamma_{M0} = 1,05$ | |

| SOLLECITAZIONI DI PROGETTO : effetti dovuti ai carichi agenti sulla trave (oltre al p.p.) durante la fase di costruzione | Momento flettente : $M_{Ed} =$ kNcm Taglio congruente : $V_{Ed} =$ kN Compress. assiale : $N_{Ed} =$ kN | resistenza | stabilità |
|--|---|-------------|--------------|
| | | 383 | 470 |
| | | 3,47 | 14,43 |
| | | 0 | 0 |

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE (I o T) :



SEZIONE A DOPPIA SIMMETRIA

| | | |
|--|--------------------------------|--------------|
| Altezza totale in campata | $h =$ cm | 15,2 |
| Larghezza piattabanda superiore | $b_f =$ cm | 16 |
| Larghezza piattabanda inferiore | $b_i =$ cm | 16 |
| Spessore anima | $t_w =$ cm | 0,6 |
| Spessore piattabanda superiore | $t_f =$ cm | 0,9 |
| Spessore piattabanda inferiore | $t_i =$ cm | 0,9 |
| Raccordo anima-piattabanda | $r =$ cm | 1,5 |
| Altezza netta dell'anima | $d =$ cm | 13,4 |
| Sporgenza dell'ala superiore | $c_f =$ cm | 6,20 |
| Sporgenza dell'ala inferiore | $c_i =$ cm | 6,20 |
| Area della sezione irrigidita | $A =$ cm ² | 37,38 |
| Posizione asse baricentrico | $z_G =$ cm | 7,60 |
| Posizione asse neutro plastico | $z_n =$ cm | 7,60 |
| Posizione a.n.p. per flessione pura | $d_z =$ cm | 7,60 |
| Posizione centro di taglio | $z_C =$ cm | 7,60 |
| Momento di inerzia max. | $J_y =$ cm ⁴ | 1619 |
| Momento di inerzia min. | $J_z =$ cm ⁴ | 614 |
| Momento di inerzia torsionale | $J_t =$ cm ⁴ | 9 |
| Modulo di res. esterno piattab. sup. | $W_{ys} =$ cm ³ | 213 |
| Modulo di res. esterno piattab. inf. | $W_{yi} =$ cm ³ | 213 |
| Modulo di res. interno piattab. sup. | $W_{yas} =$ cm ³ | 242 |
| Modulo di res. interno piattab. inf. | $W_{yai} =$ cm ³ | 242 |
| Modulo di res. min. = MIN (W_{ys}, W_{yi}) | $W_{el,min} =$ cm ³ | 213 |
| Modulo di resistenza plastico | $W_{pl} =$ cm ³ | 237 |

Anima irrigidita ? **N** N° irrigid. **0** <= 4

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

| | | $d ; d_1$ | d_2 | d_3 | d_4 | | |
|------------------------------------|----------------|---------------|-------|-------|-------|-----------------------------|---------------|
| Larghezza/spessore : Anima | $d/t_w =$ | 17,33 | | | | $\alpha_y =$ | 0,500 |
| Piattabande | $c/t =$ | 6,89 | | | | $\psi_y =$ | -1,000 |
| | $\alpha_d =$ | 0,500 | | | | | |
| asse neutro el. = cm 7,600 | $\phi_d =$ | -1,000 | | | | | |
| | $c_{\psi} =$ | 1,000 | | | | | |
| Limite larghezza/spessore anima : | classe 1 | 66,55 | | | | | |
| | classe 2 | 76,63 | | | | | |
| | classe 3 | 114,63 | | | | | |
| | $k_{\sigma} =$ | | | | | | |
| | | | | | | classe dell'anima | 1 |
| Limite larghezza/spessore piattab. | classe 1 | 8,32 | | | | in cond. di incendio | 1 |
| | classe 2 | 9,24 | | | | | |
| | classe 3 | 12,94 | | | | classe piattabanda | 1 |

CLASSE SEZIONE **1**

Il calcolo che segue non è significativo per una sezione laminata di classe 1 con anima non irrigidita ma viene comunque riportato per completezza di analisi :

AREA EFFICACE DELLE ZONE COMPRESSE - EN 1993-1-5 - NTC 2008

| | | | | | |
|---|-----------------|-----|----------------|------------------|---------|
| Lunghezza della trave tra gli appoggi | L = | 180 | cm | $\alpha = a/b =$ | 13,4328 |
| Distanza tra due punti di nullo del momento | $L_e =$ | 153 | cm | $k = b_0/L_e =$ | 0,0405 |
| Altezza piatto di irrigidimento longitudinale | $h_{s1} =$ | 0 | cm | $\beta =$ | 0,98960 |
| Spessore piatto di irrigidimento longitud. | $t_{s1} =$ | 0 | cm | | |
| Distanza tra irrigidimenti trasversali | a = | 180 | cm | | |
| Altezza e spessore irrigidimenti trasversali | alt. $h_{st} =$ | 0 | sp. $t_{st} =$ | 0 | cm |

condizione da soddisfare per irrigidimenti trasversali rigidi

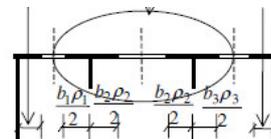
anima $I_{st} = 0 > 2$ } $a/h_w < \sqrt{2} : I_{st} \geq 1,5 h_w^3 t^3 / a^2$
 $d_{eff,1} = 2.15 \cdot \epsilon \cdot t_w + t_{s1} = 13,40$ } $a/h_w \geq \sqrt{2} : I_{st} \geq 0,75 h_w t^3$

Area efficace della zona compressa dell'anima irrigidita : $A_{c,eff} = \rho_c \cdot A_{c,eff,loc} + \sum b_{edge,eff} \cdot t$

$A_{c,eff,loc} = A_{sl,eff} + \sum \rho_{loc} \cdot b_{c,loc} \cdot t = 0,00 \text{ cm}^2$

$A_{sl,eff} = \text{area efficace degli irrigid. longitud.} = 0,00 \text{ cm}^2$

$b_{c,loc} = \text{parte compressa dei sottopannelli} :$



$\rho_c =$ **fattore di riduzione del pannello irrigidito** : $\rho_c = (\rho - \chi_c) \cdot \xi \cdot (2 - \xi) + \chi_c$
 presso-flessione : $\rho_c = 1,00000$ compressione uniforme : $\rho_c = 0,00739$

| | | | | | |
|----------------------------------|---|---------------------|-------|------------|--------|
| parametri per instabilità locale | nel caso di appoggio di estremità rigido : | $\bar{\lambda}_w =$ | 0,280 | c = cm | 79,645 |
| | coeff. per la verifica all'instabilità per taglio : | $\chi_w =$ | 1,200 | $b_f =$ cm | 16,00 |
| | coeff. di rid. per instabilità longit. del pannello : | $\chi_c =$ | 0,007 | $\chi_f =$ | 1,000 |

comportamento come lastra / colonna

fattore di riduzione $\rho = 1,000$ $\phi = 0,51239$
 per anima non irrigidita $\bar{\lambda}_p = 0,17394$ $k_c = 23,92$
 per anima irrigidita (*) $\bar{\lambda}_p = 0,00000$ $\beta_{Ac} = 0$

$\xi = \sigma_{cr,p} / \sigma_{cr,c} - 1$ presso-flessione : $\xi = 1,000$ compressione : $\xi = 0,000$

$\sigma_{cr,c} = \pi^2 \cdot E \cdot t^2 / [12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot a^2]$ per anima non irrigidita $\sigma_{cr,c} = 0,207 \text{ kN/cm}^2$
 $\sigma_{cr,c} = \pi^2 \cdot E \cdot I_{sl,1} / [A_{sl,1} \cdot a^2] \cdot b_c / b_{sl,1}$ per anima irrigidita $\sigma_{cr,c} = 0,000 \text{ kN/cm}^2$
 parametri per calcolo χ_c $\bar{\lambda}_c = 11,529632$ $\phi = 68,155816$ $\beta_{Ac} = 1$

area e inerzia efficace dell'irrigidimento più compresso

$i_w = 0,00$ $A_{sl,1} = 0,0 \text{ cm}^2$ $\delta = \sum A_{sl} / (b \cdot t) = 0,000$
 $y_G = 0,00$ $I_{sl,1} = 0 \text{ cm}^4$ $\gamma = I_{sl} / (b \cdot t^3 / 10,92) = 0,000$
 $y_{G,>3sl} = 0,00$ $I_{sl} = 0,0 \text{ cm}^4$ $e = 0,000 \text{ cm}$
 $e = \text{max. eccentricità baricentrica irrig.-anima}$

| | | | | |
|--|--|--|-------------------|--------------------------|
| (*) tensione critica di instabilità dell'anima irrigidita - (Allegato A) | | $\sigma_{cr,p} =$ | 908,989 | kN/cm ² |
| $\sigma_{cr,p} = k_{\sigma,p} \cdot 19000 \cdot (t/b)^2$ | | $\sigma_{cr,p}$ per n° >=3 irrigidimenti posti ad interasse costante lungo l'anima | $\sigma_{cr,p} =$ | 0,000 kN/cm ² |
| N° irrigid. in zona compressa : 0 | | nota 4 - item A.1 (2) | $k_{\sigma,p} =$ | 0,000 |
| caratteristiche della sezione presso-flessa | | | $\psi =$ | 0,000 |
| $\psi_y = -1,000$ | | $\sigma_{cr,p}$ per n° 1 irrigidimento in zona compressa : item A.2.2 (1) | $\sigma_{cr,p} =$ | 0,000 kN/cm ² |
| $Z_{N,a} = 7,6$ | | | $a_c =$ | 0,000 cm |
| $\psi_{y1} = 0,000$ | | $b_1 =$ | 0,00 cm | $b_c/b_{sl,1} =$ |
| $\psi_{y2} = 0,000$ | | $b_2 =$ | 0,00 cm | |
| $\psi_{y3} = 0,000$ | | $\sigma_{cr,p}$ per n° 2 irrigidimenti in zona compressa : item A.2.2 (2) | $\sigma_{cr,p} =$ | 0,000 kN/cm ² |
| $b_{1,inf} = 0,00$ | | | $a_c =$ | 0,000 cm |
| $b_{2,sup} = 0,00$ | | caso 1 | | |
| $b_{2,inf} = 0,00$ | | caso 2 | | |
| $b_{3,sup} = 0,00$ | | caso 3 | | |
| | | $b_1 =$ | 0,00 | cm |
| | | $b_2 =$ | 0,00 | cm |
| | | $b_c/b_{sl,1} =$ | 0,000 | |

CALCOLO DELL'AREA E DEI MODULI DI RESISTENZA EFFICACI DELLA TRAVE IN ACCIAIO

1) larghezza efficace (bc_f) della piattabanda superiore:

| | | | |
|---|-----------------|---------|-----------------|
| $\lambda p_f = c / tf / [28,4 \cdot \epsilon \cdot (k_{\sigma})^{0,5}]$ | $\lambda p_f =$ | 0,40016 | |
| coeff. di imbozzamento | $k_{\sigma} =$ | 0,43 | |
| fattore di riduzione | $\rho_f =$ | 1 | |
| $c_{eff} = \rho_f \cdot c$ | $c_{eff} =$ | 6,20 | cm |
| larghezza efficace compr. | $b_{f,eff} =$ | 16,00 | cm |
| Area efficace piattab. | $A_{c,eff} =$ | 14,40 | cm ² |

bc_f ; per piattabanda inferiore:
compressione uniforme

| | | |
|-----------------|---------|-----------------|
| $\lambda p_i =$ | 0,40016 | |
| $k_{\sigma} =$ | 0,43 | |
| $\rho_i =$ | 1 | |
| $c_{eff} =$ | 6,2 | cm |
| $b_{i,eff} =$ | 16,00 | cm |
| $A_{c,eff} =$ | 14,40 | cm ² |

2) caratteristiche geometriche della sezione ridotta:

| | | | |
|------------------------------|--------------|---------|-----------------|
| Area efficace sez. ridotta | $A_{r'} =$ | 37,4 | cm ² |
| Posizione baricentro | $z_G' =$ | 7,60 | cm |
| Momento di inerzia | $J_{y_r'} =$ | 1618,54 | cm ⁴ |
| Mod. di res. estr. anima | $W_{yc} =$ | 242 | cm ³ |
| Mod. di res. estr. anima | $W_{yt} =$ | 242 | cm ³ |
| Mod. di res. I° irrigidim. | $W_{y_1} =$ | 0 | cm ³ |
| Mod. di res. II° irrigidim. | $W_{y_2} =$ | 0 | cm ³ |
| Mod. di res. III° irrigidim. | $W_{y_3} =$ | 0 | cm ³ |
| Mod. di res. IV° irrigidim. | $W_{y_4} =$ | 0 | cm ³ |

flangia superiore 213 cm³

3) rapporto tensioni estremità anima e pannelli per sola flessione :

| | | |
|---------------|---------------|----|
| | $\psi_y =$ | -1 |
| I° pannello | $\psi_{y1} =$ | -1 |
| II° pannello | $\psi_{y2} =$ | 0 |
| III° pannello | $\psi_{y3} =$ | 0 |
| IV° pannello | $\psi_{y4} =$ | 0 |

4) larghezza efficace (dw_{eff}) dell'anima per sola flessione y-y :

dw_{eff} per compressione uniforme:

| | I° pann. | II° pann. | III° pann. | IV° pann. | I° pann. | II° pann. | III° pann. | IV° pann. | |
|---|----------------------------------|-----------|------------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|---------|
| coeff. di imbozzamento | $k_{\sigma} =$ | 23,92 | 7,81 | 7,81 | 7,81 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| $\lambda p_w = d / tw / [28,4 \cdot \epsilon \cdot (k_{\sigma})^{0,5}]$ | $\lambda p =$ | 0,17394 | 0 | 0 | 0 | 0,42534 | 0 | 0 | 0 |
| fattore di riduzione | $\rho_w =$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| $dc_{eff} = \rho_w \cdot d$ | $dc_{eff} =$ cm | 6,70 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 13,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| larghezza efficace compr. | $dw_{eff} =$ cm | 6,70 | | | | 13,40 | | | |
| Area efficace anima | $A_{c,eff} =$ cm ² | 8,04 | | | | 8,04 | | | 0,00739 |
| Area efficace irrig. compr. | $A_{st,1,eff} =$ cm ² | 2,41 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $d_{e1s} = dc_{eff} \cdot 2 / (5 - \psi_1)$ | $d_{e1s} =$ cm | 2,68 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,70 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $d_{e1i} = dc_{eff} \cdot (3 - \psi_1) / (5 - \psi_1)$ | $d_{e1i} =$ cm | 4,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,70 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| parte di anima efficace | $d_c =$ cm | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| parte di anima attiva | $d_t =$ cm | 10,72 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,70 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

5) moduli di resistenza efficaci :

area efficace a compressione:

| | | | |
|-------------------------------|---------------|---------|-----------------|
| Area efficace sez. ridotta | $A_{r''} =$ | 36,8 | cm ² |
| Posizione baricentro | $z_G'' =$ | 7,60 | cm |
| Momento di inerzia | $J_{y_r''} =$ | 1592,63 | cm ⁴ |
| Mod. di res. est. piatt. sup. | $W_{ys} =$ | 210 | cm ⁴ |
| Mod. di res. est. piatt. inf. | $W_{yi} =$ | 210 | cm ³ |
| Mod. di res. I° irrigidim. | $W_{y_1} =$ | 0 | cm ³ |
| Mod. di res. II° irrigidim. | $W_{y_2} =$ | 0 | cm ³ |
| Mod. di res. III° irrigidim. | $W_{y_3} =$ | 0 | cm ³ |
| Mod. di res. IV° irrigidim. | $W_{y_4} =$ | 0 | cm ³ |

| | | |
|------------------------------|------|-----------------|
| $A_{eff} =$ | 36,8 | cm ² |
| $z_G'' =$ | 7,60 | cm |
| spostam. asse neutro relativ | | |
| $e_N =$ | 0,00 | cm |

Le caratteristiche geometriche della sezione efficace differiscono di poco da quelle della sezione effettiva perché, nel definire la parte efficace compressa della flangia e dell'anima, non viene tenuto in conto il raggio di raccordo. Essendo la sezione di classe 1 il calcolo precedente non viene utilizzato e la verifica di resistenza è eseguita considerando il modulo di resistenza plastico della sezione.

VERIFICA DI RESISTENZA DELLA TRAVE NELLA FASE DI COSTRUZIONE

| | | | | |
|--|---|---|--|-------------------------|
| Area resistente a taglio : | $A_v = \eta \cdot h_w \cdot t_w$ | $A_v =$ | 11,82 | cm ² |
| Limite di resistenza plastica a taglio : | $V_{pl,Rd} = A_v \cdot (f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0}$ | $V_{pl,Rd} =$ | 179 | kN |
| $V_{Ed,max} < 50\% V_{pl,Rd}$ | $\rho = (2 \cdot V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2$ | $\rho =$ | 0,000 | |
| | | $A_w =$ | 8,04 | cm ² |
| | | $\gamma_{M0} =$ | 1,05 | |
| | | $f_d = f_y / \gamma_{M0} =$ | 26,19 | kN/cm ² |
| Verifica di resistenza per sezione di classe 1 | | | | |
| $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} =$ | 0,000 | $a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A =$ | 0,230 | |
| $r = (1-n) / (1-0,5 \cdot a) =$ | 1,000 | $r =$ | fattore di riduzione | |
| $N_{1,Rd} = 0,25 \cdot N_{pl,Rd} =$ | 245 | $N_{2,Rd} = h_w \cdot t_w \cdot f_d / 2 =$ | 105 | |
| $N_{V,Rd} = A_w \cdot (1-\rho) \cdot f_y$ | | $N_{Ed} < \min(N_{1,Rd}; N_{2,Rd})$ | NO carico assiale | 0,062 -0,062 |
| in assenza di taglio : | $R_{M,N} = M_{Ed} / M_{N,Rd}$ | o | $[N_{Ed}/A + (M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N) / W_y] / f_d =$ | 0,062 < 1 |
| con taglio : cl. >= 3 | $R_{MN,v} = [N_{Ed}/A_{rid,v} + (M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N) / W_{y,rid,v}] / f_d$ | | | |
| con taglio : cl. <= 2 | $M_{NV,Rd} = [W_{pl,y} - v / (4 \cdot t_w) \cdot (\rho \cdot A_w^2 + N_{Ed}^2 / (1-\rho) / f_y^2)] \cdot f_d$ | | $M_{NV,Rd} =$ | ----- kNcm |
| $v =$ | fattore di simmetria | $= 2 \cdot [(1 - (z_G - t_i) / h_w)^2 + ((z_G - t_i) / h_w)^2]$ | $= 1,00000$ | per sez. di classe <= 2 |
| se $V_{z,Ed} > 50\% V_{pl,Rd}$ | resistenza dell'area di taglio ridotta del fattore (1-ρ) | $R_{M,N,v} =$ | ----- | < 1 |

| | |
|-------------------------|---|
| Area efficace ridotta : | caratteristiche sezione efficace ridotta per taglio |
| flangia superiore : | $A_{f1,min.} = 14,40$ cm ² |
| flangia inferiore : | $A_{f1,inf.} = 14,40$ cm ² |
| anima : | $A_w \cdot (1-\rho) = 8,04$ cm ² |
| | $A_{eff,v} =$ 36,84 cm ² |
| | $W_{pl,y,fl} = 206$ cm ³ |
| | $W_{eff,y,pl} =$ 237 cm ³ |
| | $A_r'' = 36,84$ cm ² |
| | $Z_G'' = 7,60$ cm |
| | $J_{yr}'' = 1593$ cm ⁴ |
| | $W_{eff.s} = 210$ cm ³ |
| | $W_{eff.i} = 210$ cm ³ |
| | $W_{eff.min} =$ 210 cm ³ |

Il taglio di progetto è inferiore al 50% della resistenza a taglio e quindi la verifica di resistenza è eseguita in assenza di taglio per sezione di classe <= 2.

Di seguito viene riportata la verifica di stabilità a taglio dell'anima della trave che evidenzia un rapporto tensionale molto basso :

VERIFICA DI STABILITÀ A TAGLIO DELL'ANIMA

Coefficiente di stabilità a taglio per piatti irrigiditi :

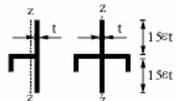
$$\gamma_{M1} = 1,05$$

$$\left. \begin{aligned} k_{\tau} &= 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{tst} & a / h_w &\geq 1 \\ k_{\tau} &= 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{tst} & a / h_w &< 1 \end{aligned} \right\} \alpha = a / h_w = 13,43284$$

$$k_{tst} = 9 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left(\frac{I_{st}}{t^3 h_w} \right)^3} \geq \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{st}}{h_w}}$$

$$\begin{aligned} I_{st1} &= 0 \text{ cm}^4 \\ I_{st} &= 0 \text{ cm}^4 \\ k_{tst} &= 0,00 \\ d_{eff,1} &= 13,40 \text{ cm} \end{aligned}$$

per uno o due irrigidimenti longitudinali e con $\alpha > 3$

$$k_{\tau} = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \frac{I_{st}}{t^3 h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \sqrt[3]{\frac{I_{st}}{t^3 h_w}}$$


$$\begin{aligned} k_{\tau} &= 5,36 \\ k_{\tau i} &= 5,36 \end{aligned}$$

$h_w / t = 22,33 < 55,46$ verifica all'instabilità per taglio non richiesta

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 145,89 \quad V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = 4,24 \text{ kN}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 145,89 \text{ kN} \quad \eta_3 = 0,024 < 1 \quad \eta_3 = 0,024 < 0,5$$

per $\eta_3 > 0,5$ $\eta_4 = \eta_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd}) \cdot (2 \cdot \eta_3 - 1)^2 \leq 1$ $M_{f,Rd} = 5393 \text{ kNcm}$

$$\eta_1 \geq M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd} \quad \eta_1 = 0,870354 \quad \eta_4 = \quad < 1$$

La verifica di stabilità della trave in fase di costruzione è eseguita tenendo conto dei vincoli torsionali posti alle estremità e delle lunghezze libere di inflessione nel piano principale e nel piano laterale pari alla distanza tra i puntelli.

In realtà si potrebbe contare sull'impedimento alla instabilità laterale fornito dal collegamento "discreto" della lamiera grecata alla trave ma a favore di sicurezza questo vincolo può essere trascurato.

Il momento critico di instabilità flessionale è calcolato con le espressioni fornite dalla norma ENV 1993-1-1 APP. F :

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(kL)^2} \left\{ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right\}$$

non viene effettuato il calcolo in base alle NTC 2008 poiché la norma nazionale prevede solo il caso di carico applicato nel baricentro della sezione e non sull'estradosso con distribuzione lineare dei momenti tra i valori di estremità.

RESISTENZA ALL'INSTABILITA' NELLA FASE DI COSTRUZIONE

| | | | | | | | |
|--|--------------------|---|----------|---|-------------|--------------------|-------|
| Distanza effettiva tra i vincoli torsionali : | | L = | 720 | cm | ↳ | vincolo parziale | |
| Lunghezza libera nel piano principale : | | L _y = | 168 | cm | | | |
| Momenti principali di estremità (+;-) | | M _{sy} = | 0 | M _{dy} = | -470 | kNcm | |
| (1) Momento fittizio in campata | M _Q = | 489 | 489 | ΔM = | 724 | kNcm | |
| Diagramma del momento flettente (*): | | (l,p,t,q) = | p | parabolico | | | |
| Fattore di lunghezza effettiva k (0,5-0,7-1) | | k = | 1 | rotazione z-z libera delle estremità | | | |
| Fattore di lunghezza effettiva k _w (0,5-0,7-1) | | k _w = | 1 | distorsione libera delle estremità | | | |
| Fattore di distribuzione momenti estremi : | | ψ = | 0,00 | -1 < ψ < 1 | | | |
| Max. spostamento dell'elemento : | | δx = | 0 | cm (da calcolo E.F. della struttura) | | | |
| nota (1): <i>momento calcolato per trave semplicemente appoggiata</i> | | | | | | | |
| Coeff. di forma (*): | | C1 = | 1,285 | C2 = | 1,56 | C3 = | 0,753 |
| Fattore di momento uniforme equivalente (*): | | β _{My} = | 1,462 | diagr. parabolico | | | |
| β _w = W _{calc} /W _{pl,y} | | β _w = | 1,00 | per sez. di classe 1 | | | |
| β _f = J _{tf} / (J _{tf} +J _{ti}) | | β _f = | 0,50 | k _k = | 0,8 | | |
| z _j = k _k · (2 β _f - 1) · h _s / 2 | | z _j = | 0,00 | cm | | | |
| I _w = β _f · (1-β _f) · J _y · h _s ² warping const. | | I _w = | 31409,66 | cm ⁶ per sezione a I | | | |
| z _g = punto di applicazione del carico | | estradosso | | | | | |
| Momento critico elastico : | | M _{cr} = | 3180 | kNcm | EN 1993-1-1 | | |
| Lunghezza libera nel piano laterale : | | L _z = | 168 | cm | EC3 | | |
| Snellezze effettive per presso-flessione : | | λ _y = | 26 | λ _z = | 41 | λ _{lim} | |
| Snellezze adimensionali corrispondenti : | | λ̄ _y = | 0,294 | λ̄ _z = | 0,477 | < 0,477 | |
| Snellezza per l'instabilità flessio-torsionale : | | λ _{LT} = | 124 | λ ₀ = | 103,999 | | |
| Snellezza adimensionale corrispondente : | | λ̄ _{LT} = | 1,431 | λ̄ _{LT,0} = | 0,4 | | |
| | | | | λ ₀ = | 1,198108 | | |
| Coeff. di imperfezione per presso-flessione : | | α _y = | 0,34 | α _z = | 0,49 | | |
| φ = 0,5 · [1 + α · (λ̄ - 0,2)] + λ̄ ² | | φ _y = | 0,559 | φ _z = | 0,682 | | |
| Coeff. di imperfezione per flessio-torsione : | | α _{LT} = | 0,21 | per sezione laminata | | | |
| φ _{LT} = 0,5 · [1 + α _{LT} · (λ̄ _{LT} - λ̄ _{LT,0})] + β · λ̄ _{LT} ² | | φ _{LT} = | 1,376 | β = | 0,75 | 0,34 | |
| Coeff. di riduzione per presso-flessione : | | χ _y = | 0,966 | χ _z = | 0,856 | | |
| Coeff. di riduzione per flessio-torsione : | | χ _{LT} = | 0,458 | χ _{min} = | 0,856 | | |
| per profili a I o H laminati o saldati : | | χ _{LT} = | 0,458 | φ _{LT} = | 1,443 | item 6.3.2.3 | |
| VERIFICA COL METODO 2 EN 1993-1-1 | | μ _y = | -0,205 | k _y = | 1,000 | k _{yy} = | 0,533 |
| | | μ _{LT} = | -0,045 | k _{LT} = | 1,000 | k _{zy} = | 1,000 |
| fattore di correzione per distribuzione del momento tra i vincoli : | | profilo a I simmetrico | | | | | |
| f = 1 - 0,5 · (1 - k _c) · [1 - 2,0 · (λ̄ _{LT} - 0,8) ²] | | f = | 0,991 | γ _{M1} = | 1,05 | | |
| k _c = 0,910 | | χ _{LT,mod} = χ _{LT} / f = | 0,463 | f _d = f _y / γ _{M1} | 26,19 | kN/cm ² | |

VERIFICA DI STABILITA' PER PRESSO-FLESSIONE

| | | | | |
|--------------|---|-------|-----|------|
| ENV 1993-1-1 | [N _{Ed} / (χ _{min} · A _{calc}) + k _y · (M _{Ed} +N _{Ed} · e _N) / W _{calc}] / f _d = | | | |
| EN 1993-1-1 | [N _{Ed} / (χ _y · A) + k _{yy} · (M _{y,Ed} +N _{Ed} · e _{Ny}) / (χ _{LT} · W _y)] / f _d = | 0,087 | < 1 | OK ! |

VERIFICA DI STABILITA' PER FLESSO-TORSIONE

| | | | | |
|--------------|--|-------|-----|------|
| ENV 1993-1-1 | [N _{Ed} / (χ _z · A _{calc}) + k _{LT} · (M _{Ed} +N _{Ed} · e _N) / (χ _{LT} · W _{calc})] / f _d = | | | |
| EN 1993-1-1 | [N _{Ed} / (χ _z · A) + k _{zy} · (M _{y,Ed} +N _{Ed} · e _{Ny}) / (χ _{LT} · W _y)] / f _d = | 0,164 | < 1 | OK ! |

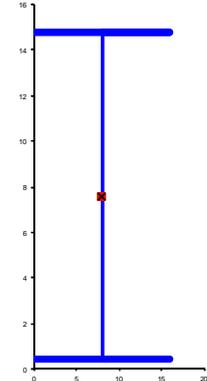
Di seguito è riassunto il calcolo delle caratteristiche geometriche della sezione :

| | |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| COORDINATE DEL BARICENTRO : | COORDINATE CENTRO DI TAGLIO : |
| $y_G = 8,00$ cm | $y_C = 8,00$ cm |
| $z_G = 7,60$ cm | $z_C = 7,60$ cm |

| | |
|---|---------------------------------|
| MOMENTI DI INERZIA DELLA SEZIONE : | $J_y = 1618,54$ cm ⁴ |
| | $J_z = 614,4$ cm ⁴ |
| Momento di inerzia torsionale | $J_t = 8,8$ cm ⁴ |
| Costante di distorsione | $J_w = 31409,7$ cm ⁵ |

LIVELLI DI CALCOLO CARATTERISTICHE RESISTENZIALI :

- LIV. 0 = BORDI DEL PROFILO SUGLI ASSI DI RIFERIMENTO
- LIV. 1 : 5 = LIVELLI DEFINITI DA INPUT LUNGO GLI ASSI Y E Z
- LIV. 6 = LIVELLO BARICENTRICO
- LIV. 7 = DIMENSIONI MASSIME DEL PROFILO
- LIV. 8 = LIVELLO ASSE NEUTRO PLASTICO PER FLESSIONE



MODULI DI RESISTENZA E COEFFICIENTI DI TAGLIO :

| LIV. | hz | by | Wy | Wpl.y | kTz | hy | bz | Wz | Wpl.z | kTy |
|------|-------|---------|-----------------|-----------------|------------------|------|---------|-----------------|-----------------|------------------|
| | cm | cm | cm ³ | cm ³ | cm ⁻² | cm | cm | cm ³ | cm ³ | cm ⁻² |
| 0 | 0 | 0 | 213 | | 0,00E+00 | 0 | 0 | 77 | | 0,00E+00 |
| 1 | 14,3 | 0,6 | 242 | | 1,06E-01 | | | 77 | | 0,00E+00 |
| 2 | 14,30 | 0,6 | 242 | | 1,06E-01 | | | 77 | | 0,00E+00 |
| 3 | 14,30 | 0,6 | 242 | | 1,06E-01 | | | 77 | | 0,00E+00 |
| 4 | 14,30 | 0,6 | 242 | | 1,06E-01 | | | 77 | | 0,00E+00 |
| 5 | 14,30 | 0,6 | 242 | | 1,06E-01 | | | 77 | | 0,00E+00 |
| 6 | 7,60 | 0,6 | ===== | | 1,06E-01 | 8,00 | | ===== | | 0,00E+00 |
| 7 | 15,2 | 0 | 213 | | 0,00E+00 | 16 | 0 | 77 | | 0,00E+00 |
| | Zn | Ac | At | Wpl.y | k / I | Yn | Ac | At | Wpl.z | |
| 8 | 7,60 | 18,69 = | 18,69 | 237 | 0,01033 | 8,00 | 18,70 = | 18,68 | 115 | |

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---|-----------------|-----------------|
| MOMENTI STATICI BARICENTRICI : | | | | | | | COSTANTI SETTORIALI cm⁵ | | |
| | | LIV. 1 | LIV. 2 | LIV. 3 | LIV. 4 | LIV. 5 | LIV. 6 | J _{yw} | J _{zw} |
| M. STAT. Y | Sy = cm ³ | 102,96 | 102,96 | 102,96 | 102,96 | 102,96 | 102,96 | -4669,44 | 12948,3 |
| M. STAT. Z | Sz = cm ³ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 57,60 | | |

Analoga verifica viene eseguita nella sezione di appoggio con i seguenti risultati :

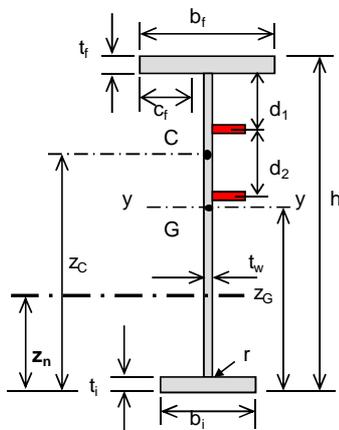
FASE INIZIALE DI COSTRUZIONE - SOLETTA NON COLLABORANTE - SEZIONE SU APPOGGI INTERNI
 (sezione a I o T simmetrica rispetto al piano di flessione - piattabanda inferiore compressa)

METODO DI CALCOLO IN ACCORDO CON EN 1994-1-1 ; EN 1993-1-5 ; NTC 2008

| | | | | |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| MATERIALE TRAVE : | acciaio tipo S 275 | EN 10025 | $f_y = 27,50$ kN/cm ² | $\epsilon = 0,92$ |
| TIPO DI SEZIONE : | sezione in profilo laminato | profilo a I o H mono o bi-simmetrico | $\gamma_{M0} = 1,05$ | |

| SOLLECITAZIONI DI PROGETTO : effetti dovuti ai carichi agenti sulla trave (oltre al p.p.) durante la fase di costruzione | Momento flettente : $M_{Ed} =$ kNcm Taglio congruente : $V_{Ed} =$ kN Compress. assiale : $N_{Ed} =$ kN | resistenza | stabilità |
|--|---|------------|-----------|
| | | 470 | 470 |
| | | 14,43 | 14,43 |
| | | 0 | 0 |

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE (I o T) :



SEZIONE A DOPPIA SIMMETRIA
 (*) riferita alla piattabanda superiore

| | | |
|--|---------------------------------------|-------|
| Altezza tot. della sez. sull'appoggio | h = cm | 15,2 |
| Larghezza piattabanda inferiore | b _i = cm | 16 |
| Larghezza piattabanda superiore | b _f = cm | 16 |
| Spessore anima | t _w = cm | 0,6 |
| Spessore piattabanda inferiore | t _i = cm | 0,9 |
| Spessore piattabanda superiore | t _f = cm | 0,9 |
| Raccordo anima-piattabanda | r = cm | 1,5 |
| Altezza netta dell'anima | d = cm | 13,4 |
| Sporgenza dell'ala inferiore | c _i = cm | 6,20 |
| Sporgenza dell'ala superiore | c _f = cm | 6,20 |
| Area della sezione irrigidita | A = cm ² | 37,38 |
| Posizione asse baricentrico (*) | z _G = cm | 7,60 |
| Posizione asse neutro plastico (*) | z _n = cm | 7,60 |
| Posizione a.n.p. per fless. pura (*) | d ₂ = cm | 7,60 |
| Posizione centro di taglio (*) | z _C = cm | 7,60 |
| Momento di inerzia max. | J _y = cm ⁴ | 1619 |
| Momento di inerzia min. | J _z = cm ⁴ | 614 |
| Momento di inerzia torsionale | J _t = cm ⁴ | 9 |
| Modulo di res. esterno piattab. inf. | W _{yi} = cm ³ | 213 |
| Modulo di res. esterno piattab. sup. | W _{ys} = cm ³ | 213 |
| Modulo di res. interno piattab. inf. | W _{yai} = cm ³ | 242 |
| Modulo di res. interno piattab. sup. | W _{yas} = cm ³ | 242 |
| Modulo di res. min. = MIN (W _{ys} , W _{yi}) | W _{el,min} = cm ³ | 213 |
| Modulo di resistenza plastico | W _{pl} = cm ³ | 237 |

Anima irrigidita ? **N** N° irrigid. **0** <= 4

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

| | | d ; d ₁ | d ₂ | d ₃ | d ₄ | | |
|------------------------------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|--------|
| Larghezza/spessore : Anima | d/t _w = | 17,33 | | | | $\alpha_y =$ | 0,500 |
| Piattabande | c/t = | 6,89 | | | | $\psi_y =$ | -1,000 |
| | $\alpha_d =$ | 0,500 | | | | | |
| asse neutro el. = cm 7,600 | $\phi_d =$ | -1,000 | | | | | |
| | c _ψ = | 1,000 | | | | | |
| Limite larghezza/spessore anima : | classe 1 | 66,55 | | | | | |
| | classe 2 | 76,63 | | | | | |
| | classe 3 | 114,63 | | | | | |
| | k _σ = | | | | | | |
| | | | | | | classe dell'anima | 1 |
| Limite larghezza/spessore piattab. | classe 1 | 8,32 | | | | in cond. di incendio | 1 |
| | classe 2 | 9,24 | | | | | |
| | classe 3 | 12,94 | | | | classe piattabanda | 1 |

CLASSE SEZIONE 1

Si omettono i passaggi per il calcolo della sezione efficace perché non utilizzata.

VERIFICA DI RESISTENZA DELLA TRAVE NELLA FASE DI COSTRUZIONE

| | | | | |
|--|---|-----------------------------|------------------------------------|--------------------|
| Area resistente a taglio : | $A_v = \eta \cdot h_w \cdot t_w$ | $A_v =$ | <input type="text" value="11,82"/> | cm ² |
| Limite di resistenza plastica a taglio : | $V_{pl,Rd} = A_v \cdot (f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0}$ | $V_{pl,Rd} =$ | <input type="text" value="179"/> | kN |
| $V_{Ed,max} < 50\% V_{pl,Rd}$ | $\rho = (2 \cdot V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2$ | $\rho =$ | <input type="text" value="0,000"/> | |
| | | $A_w =$ | <input type="text" value="8,04"/> | cm ² |
| | | $\gamma_{M0} =$ | <input type="text" value="1,05"/> | |
| | | $f_d = f_y / \gamma_{M0} =$ | <input type="text" value="26,19"/> | kN/cm ² |

Verifica di resistenza per sezione di classe

| | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--|------------------------------------|
| $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 0,000$ | $a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A = 0,230$ | $M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_d =$ | <input type="text" value="6196"/> | kNcm |
| $r = (1-n) / (1-0,5 \cdot a) = 1,000$ | $r =$ fattore di riduzione | $M_{N,Rd} = W_y \cdot f_{d,rid} =$ | <input type="text" value="6196"/> | kNcm |
| $N_{1,Rd} = 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 245$ | $N_{2,Rd} = h_w \cdot t_w \cdot f_d / 2 = 105$ | $N_{Ed} \leq N_{v,Rd} (cl \leq 2) =$ | <input type="text" value="0"/> | kN |
| $N_{v,Rd} = A_w \cdot (1-\rho) \cdot f_y$ | $N_{Ed} < \min(N_{1,Rd}; N_{2,Rd})$ | NO carico assiale | <input type="text" value="-0,076"/> | <input type="text" value="0,076"/> |
| in assenza di taglio : $R_{M,N} = M_{Ed} / M_{N,Rd}$ o $[N_{Ed}/A + (M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N) / W_y] / f_d =$ | | | <input type="text" value="0,076"/> | < 1 |
| con taglio : cl. >= 3 $R_{MN,v} = [N_{Ed}/A_{rid,v} + (M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N) / W_{y,rid,v}] / f_d$ | | | | |
| con taglio : cl. <= 2 $M_{NV,Rd} = [W_{pl,y} - v / (4 \cdot t_w) \cdot (\rho \cdot A_w^2 + N_{Ed}^2) / (1-\rho)] \leq M_{N,Rd}$ | | $M_{NV,Rd} =$ | <input type="text" value="-----"/> | kNcm |
| $v =$ fattore di simmetria = $2 \cdot [(1 - (z_G - t_i) / h_w)^2 + ((z_G - t_i) / h_w)^2] = 1,00000$ | | per sez. di classe <= 2 | | |
| se $V_{z,Ed} > 50\% V_{pl,Rd}$ resistenza dell'area di taglio ridotta del fattore (1- ρ) | | $R_{M,N,v} =$ | <input style="border: 1px dashed red;" type="text" value="-----"/> | < 1 |

| | | | | |
|------------------------------------|---|--|--|--|
| Area efficace ridotta : | caratteristiche sezione efficace ridotta per taglio | | | |
| flangia inferiore : $A_{f1,min} =$ | <input type="text" value="14,40"/> cm ² | $A_r =$ | <input type="text" value="36,84"/> cm ² | |
| flangia superiore : $A_{f1,inf} =$ | <input type="text" value="14,40"/> cm ² | $z_G =$ | <input type="text" value="7,60"/> cm | |
| anima : $A_w \cdot (1-\rho) =$ | <input type="text" value="8,04"/> cm ² | $J_{y,r} =$ | <input type="text" value="1593"/> cm ⁴ | |
| | $A_{eff,v} =$ <input style="background-color: yellow;" type="text" value="36,84"/> cm ² | $W_{eff,i} =$ | <input type="text" value="210"/> cm ³ | |
| | $W_{pl,y,fl} =$ | <input type="text" value="206"/> cm ³ | $W_{eff,s} =$ | <input type="text" value="210"/> cm ³ |
| | $W_{eff,y,pl} =$ <input style="background-color: yellow;" type="text" value="237"/> cm ³ | $W_{eff,min} =$ | <input style="background-color: yellow;" type="text" value="210"/> cm ³ | |

VERIFICA DI STABILITA' A TAGLIO DELL'ANIMA

Coefficiente di stabilità a taglio per piatti irrigiditi : $\gamma_{M1} =$

$$\left. \begin{aligned} k_\tau &= 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{tst} & a / h_w &\geq 1 \\ k_\tau &= 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{tst} & a / h_w &< 1 \end{aligned} \right\} \alpha = a / h_w = 13,43284$$

$$k_{tst} = 9 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left(\frac{I_{st}}{t^3 h_w} \right)^3} \geq \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{st}}{h_w}}$$

$$\begin{aligned} I_{sl1} &= 0 \text{ cm}^4 \\ I_{sl} &= 0 \text{ cm}^4 \\ k_{tst} &= 0,00 \\ d_{eff,1} &= 13,40 \text{ cm} \end{aligned}$$

per uno o due irrigidimenti longitudinali e con $\alpha > 3$

$$k_\tau = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \frac{I_{st}}{t^3 h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \sqrt[3]{\frac{I_{st}}{t^3 h_w}}$$

$k_\tau =$
 $k_{\tau i} =$

$h_w / t =$ < **verifica all'instabilità per taglio non richiesta**

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 145,89 \quad V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = 4,23 \text{ kN}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 145,89 \text{ kN} \quad \eta_3 =$$
 < 1 $\eta_3 =$ < 0,5

per $\eta_3 > 0,5$ $\eta_4 = \eta_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{pl,f,Rd}) \cdot (2 \cdot \eta_3 - 1)^2 \leq 1$ $M_{f,Rd} =$ kNcm

$\eta_1 \geq M_{f,Rd} / M_{pl,f,Rd}$ $\eta_1 =$ $\eta_4 =$

Segue la verifica della sezione composta eseguita in campata :

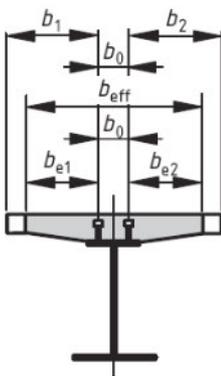
FASE FINALE - TRAVE SOLIDARIZZATA ALLA SOLETTA
resistenza di progetto a flessione - analisi elastica

METODO DI CALCOLO IN ACCORDO CON EN 1994-1-1 ; EN 1993-1-5 ; NTC 2008

| | | | | | | | |
|-----------------------------|---------|------------------------------|------------------------|--------------------------|----|--------------------------|-------|
| CALCESTRUZZO : | normale | classe di densità ρ_c : | normale | $f_{ck} = \text{N/mm}^2$ | 30 | $f_{cd} = \text{N/mm}^2$ | 20,00 |
| peso specifico : $\rho_c =$ | 2450 | kg/m ³ | sezione di riferimento | campata di estremità | | $b_0 = \text{cm}$ | 7,6 |

| | | | | |
|---|---------------------|----------------|------|-------|
| SOLLECITAZIONI DI PROGETTO : effetti dovuti ai carichi di progetto allo S.L.U. agenti sulla sezione mista collaborante | Momento flettente : | $M_{Ed} =$ | kNcm | 12164 |
| | Taglio congruente : | $V_{Ed} =$ | kN | 0,00 |
| | Compress. assiale : | $N_{Ed} =$ | kN | 0 |
| | Taglio massimo : | $V_{Ed,max} =$ | kN | 72,41 |

SEZIONE COMPOSTA

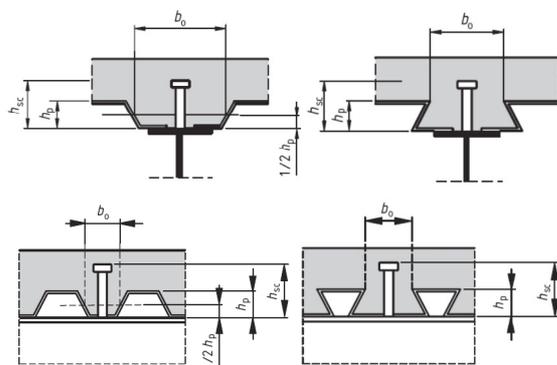


soletta in C.A. e armatura

connettori

| | | | |
|--|------------------------|--|-----|
| spessore soletta | $h_c = \text{cm}$ | 6,5 | |
| altezza raccordo soletta-trave | $h_p = \text{cm}$ | 5,5 | |
| larghezza soletta a sinistra della trave | $b_1 = \text{cm}$ | 150 | |
| larghezza soletta a destra della trave | $b_2 = \text{cm}$ | 150 | |
| area armatura metallica tesa | $A_{sd} = \text{cm}^2$ | 4,62 | |
| largh. fessura $w_k = \text{mm}$ | >0,4 | diam. barre $\phi = \text{mm}$ | 8 |
| distanza armatura da bordo superiore | $d_{sd} = \text{cm}$ | 3 | |
| snervam. $f_s = \text{N/mm}^2$ | 450 | limite snerv. $\alpha_s = \text{N/mm}^2$ | 450 |
| coefficiente di sicurezza armatura | $\gamma_s =$ | 1,15 | |

| | | |
|---------------------------|-----------------------|------|
| altezza pioli | $h_{sc} = \text{cm}$ | 10 |
| diametro pioli | $d = \text{cm}$ | 1,9 |
| tensione di rottura pioli | $f_u = \text{N/mm}^2$ | 450 |
| coefficiente di sicurezza | $\gamma_v =$ | 1,25 |



| | | |
|--|-----------------------|--------|
| lunghezza efficace trave | $L_e = \text{cm}$ | 672 |
| larghezza efficace a sx | $b_{e1} = \text{cm}$ | 84,00 |
| larghezza efficace a dx | $b_{e2} = \text{cm}$ | 84,00 |
| fattore di riduz. b_{e1} su appoggio est. | $\beta_1 =$ | 1,00 |
| fattore di riduz. b_{e2} su appoggio est. | $\beta_2 =$ | 1,00 |
| larghezza efficace : $b_{eff} = \sum \beta_i \cdot b_{ei}$ | $b_{eff} = \text{cm}$ | 168,00 |

| | | |
|-------------------------|-------|----|
| coeff. di omogeneizz. : | $n =$ | 10 |
|-------------------------|-------|----|

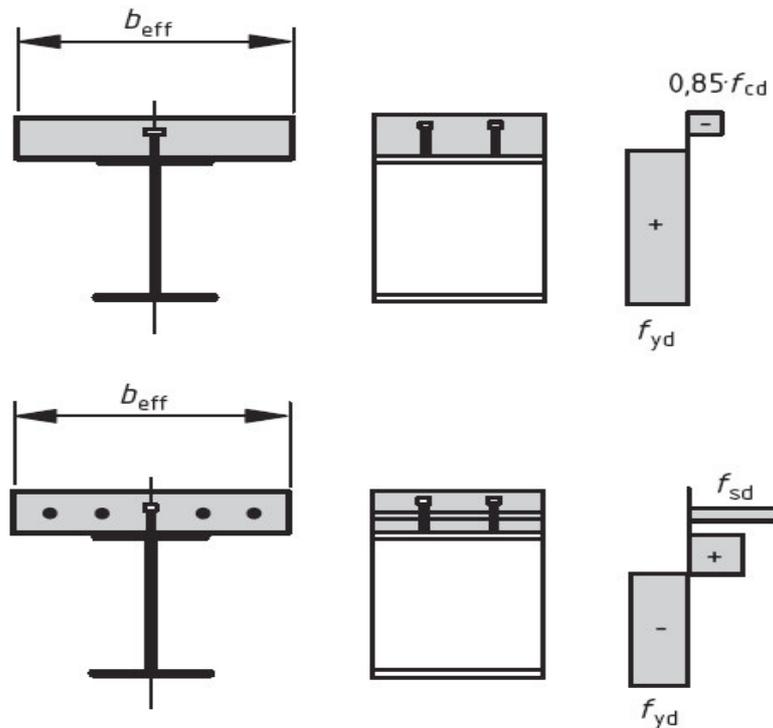
| | | |
|-----------------------------------|---------------------|-------|
| area della soletta | $A_c = \text{cm}^2$ | 1092 |
| posiz. baricentro soletta campata | $z_c = \text{cm}$ | 23,95 |
| mom. di inerzia soletta campata | $J_c = \text{cm}^4$ | 3950 |
| altezza totale sezione campata | $H = \text{cm}$ | 27,2 |

| sezione efficace omogenea in campata | | sezione efficace reagente sugli appoggi | |
|--------------------------------------|----------------------------|---|--|
| area sezione efficace omogenea | $A_{om} = \text{cm}^2$ | 146 | area sezione efficace reagente $A_{om} = \text{cm}^2$ |
| posizione asse neutro sez. reagente | $z_n = \text{cm}$ | 19,83 | posizione asse neutro sez. reagente $z_n = \text{cm}$ |
| momento di inerzia efficace | $J_{om} = \text{cm}^4$ | 9352 | momento di inerzia efficace $J_{om} = \text{cm}^4$ |
| modulo di res. esterno piattab. sup. | $W_{ys} = \text{cm}^3$ | 2022 | modulo di res. esterno piattab. sup. $W_{ys} = \text{cm}^3$ |
| modulo di res. esterno piattab. inf. | $W_{yi} = \text{cm}^3$ | 472 | modulo di res. esterno piattab. inf. $W_{yi} = \text{cm}^3$ |
| modulo di res. esterno soletta C.A. | $W_{y_{cs}} = \text{cm}^3$ | 1268 | modulo di res. armatura metallica $W_{y_{cs}} = \text{cm}^3$ |
| modulo di res. interno soletta C.A. | $W_{y_{ci}} = \text{cm}^3$ | 10694 | modulo di res. interno soletta C.A. $W_{y_{ci}} = \text{cm}^3$ |
| modulo di res. min. trave acciaio | $W_{el,min} = \text{cm}^3$ | 472 | modulo di res. min. trave acciaio $W_{el,min} = \text{cm}^3$ |
| posizione asse neutro plastico | $x_{pl} = \text{cm}$ | 3,43 | posizione asse neutro plastico $x_{pl} = \text{cm}$ |
| modulo di resistenza plastico | $W_{pl} = \text{cm}^3$ | 703 | modulo di resistenza plastico $W_{pl} = \text{cm}^3$ |

| | | | | |
|----------------------------|--|----------------------|---------|---|
| CONNETTORI A TAGLIO | soletta su lamiera grecata trasversale | numero pioli / greca | $n_r =$ | 1 |
|----------------------------|--|----------------------|---------|---|

| | | | |
|--|---|------------|--------------------------|
| resistenza del singolo piolo : | $P_{Rd} = \text{MIN} [(0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2/4) / \gamma_v ; 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5} / \gamma_v]$ | | |
| $\alpha = 0,2 \cdot [h_{sc} / d + 1]$ per $3 \leq h_{sc} / d \leq 4$ | $\alpha = 1$ per $h_{sc} / d > 4$ | $\alpha =$ | |
| $\alpha = 1,00$ | | | |
| k = fattore di riduzione per soletta su lamiera grecata : | $k =$ | 0,791 | k . $P_{Rd} = \text{kN}$ |
| t = spessore lamiera grecata trasversale : | t = mm | 1 | $k_{max} =$ |
| | | | 0,85 |

Nella fase definitiva la trave è semplicemente appoggiata di luce 6,72 m e la soletta su lamiera grecata disposta trasversalmente alla sezione della trave è solidarizzata a quest'ultima con pioli tipo Nelson con le caratteristiche indicate nel foglio di calcolo e disposti in numero di 1 per greca. La resistenza a taglio dei pioli è di **64,62** kN.



Si noti il valore della fessurazione considerata nel calcolo : porre una fessura **> 0,4** mm significa non porre limitazioni alla tensione di snervamento delle barre necessarie sia in corrispondenza delle estremità della trave sia in corrispondenza di appoggi di continuità (ma non in questo caso).

| | | |
|---|------------------------|--|
| area armatura metallica tesa | $A_{sd} = \text{cm}^2$ | 4,62 |
| largh. fessura $w_k = \text{mm}$ | >0,4 | diam. barre $\phi = \text{mm}$ |
| distanza armatura da bordo superiore snervam. $f_s = \text{N/mm}^2$ | 450 | limite snerv. $\sigma_s = \text{N/mm}^2$ |
| | | 450 |

Si noti anche che con un interasse di 3 m tra le travi, la larghezza efficace di progetto della sezione è ridotta a **168** cm

| | | |
|--|-----------------------|---------------|
| larghezza efficace a sx | $b_{e1} = \text{cm}$ | 84,00 |
| larghezza efficace a dx | $b_{e2} = \text{cm}$ | 84,00 |
| fattore di riduz. b_{e1} su appoggio est. | $\beta_1 =$ | 1,00 |
| fattore di riduz. b_{e2} su appoggio est. | $\beta_2 =$ | 1,00 |
| larghezza efficace : $b_{eff} = \sum \beta_i \cdot b_{ei}$ | $b_{eff} = \text{cm}$ | 168,00 |

Segue il calcolo della **sezione efficace omogeneizzata** che nel caso specifico non viene ridotta per sezione di acciaio di classe 1:

AREA E MODULI DI RESISTENZA EFFICACI DELLA TRAVE IN ACCIAIO COLLABORANTE IN CAMPATA

1) larghezza efficace (bc_f) della piattabanda superiore:

| | | |
|--|---------------------------------|------------------------------|
| $\lambda p_i = c / tf / [28,4 \cdot \varepsilon \cdot (k_\sigma)^{0,5}]$ | $\lambda p_i =$ | 0,40016 |
| coeff. di imbozzamento | $k_\sigma =$ | 0,43 |
| fattore di riduzione (*) | $\rho f =$ | 1 |
| $c_{eff} = \rho f \cdot c$ | $c_{eff} =$ | 6,20 cm |
| larghezza efficace compr. | $bf_{eff} =$ | 16,00 cm |
| Area efficace piattab. | $A_{c,eff} =$ | 14,40 cm ² |

(*) collegamento piattabanda-soletta con pioli secondo EN 1994-1-1, 6.6.5.5

2) caratteristiche geometriche della sezione ridotta:

| | | |
|------------------------------|-------------|--------------------------------|
| Area efficace sez. ridotta | $Ar' =$ | 37,4 cm ² |
| Posizione baricentro | $z_G' =$ | 7,60 cm |
| Momento di inerzia | $J_{yr}' =$ | 1618,54 cm ⁴ |
| Mod. di res. estr. anima | $W_{yc} =$ | 242 cm ³ |
| Mod. di res. estr. anima | $W_{yt} =$ | 242 cm ³ |
| Mod. di res. I° irrigidim. | $W_{y1} =$ | 0 cm ³ |
| Mod. di res. II° irrigidim. | $W_{y2} =$ | 0 cm ³ |
| Mod. di res. III° irrigidim. | $W_{y3} =$ | 0 cm ³ |
| Mod. di res. IV° irrigidim. | $W_{y4} =$ | 0 cm ³ |

3) rapporto tensioni estremità anima e pannelli per sola flessione :

| | | |
|---------------|---------------|-----------|
| | $\Psi_y =$ | -1 |
| I° pannello | $\Psi_{y1} =$ | -1 |
| II° pannello | $\Psi_{y2} =$ | 0 |
| III° pannello | $\Psi_{y3} =$ | 0 |
| IV° pannello | $\Psi_{y4} =$ | 0 |

4) larghezza efficace (dw_{eff}) dell'anima per sola flessione y-y :

| | I° pann. | II° pann. | III° pann. | IV° pann. | I° pann. | II° pann. | III° pann. | IV° pann. | |
|--|--|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------------------------------|
| coeff. di imbozzamento | $k_\sigma =$ | 23,92 | 7,81 | 7,81 | 7,81 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| $\lambda p_w = d / tw / [28,4 \cdot \varepsilon \cdot (k_\sigma)^{0,5}]$ | $\lambda p =$ | 0,17394 | 0 | 0 | 0 | 0,42534 | 0 | 0 | 0 |
| fattore di riduzione | $\rho w =$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| $dc_{eff} = \rho w \cdot d$ | $dc_{eff} =$ cm | 6,70 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 13,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| larghezza efficace compr. | $dw_{eff} =$ cm | 6,70 | | | | 13,40 | | | |
| Area efficace anima compr. | $A_{c,eff} =$ cm² | 8,04 | | | | 8,04 | | | $\rho c = 0,00739$ |
| Area efficace irrig. compr. | $A_{st,1,eff} =$ cm ² | 2,41 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $d_{e1s} = dc_{eff} \cdot 2 / (5 - \Psi_1)$ | $d_{e1s} =$ cm | 2,68 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,70 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $d_{e1i} = dc_{eff} \cdot (3 - \Psi_1) / (5 - \Psi_1)$ | $d_{e1i} =$ cm | 4,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,70 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| parte di anima efficace | $d_c =$ cm | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| parte di anima attiva | $d_t =$ cm | 10,72 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,70 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

5) moduli di resistenza efficaci :

| | | |
|-------------------------------|--------------|--------------------------------|
| Area efficace sez. ridotta | $Ar'' =$ | 36,8 cm ² |
| Posizione baricentro | $z_G'' =$ | 7,60 cm |
| Momento di inerzia | $J_{yr}'' =$ | 1592,63 cm ⁴ |
| Mod. di res. est. piatt. sup. | $W_{ys} =$ | 210 cm ⁴ |
| Mod. di res. est. piatt. inf. | $W_{yi} =$ | 210 cm ³ |
| Mod. di res. I° irrigidim. | $W_{y1} =$ | 0 cm ³ |
| Mod. di res. II° irrigidim. | $W_{y2} =$ | 0 cm ³ |
| Mod. di res. III° irrigidim. | $W_{y3} =$ | 0 cm ³ |
| Mod. di res. IV° irrigidim. | $W_{y4} =$ | 0 cm ³ |

bc_i per piattabanda inferiore:
compressione uniforme

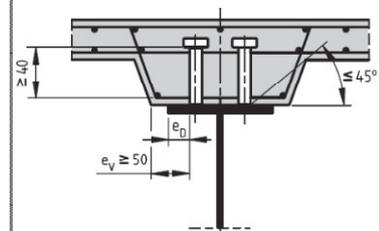
| | |
|-----------------|------------------------------|
| $\lambda p_i =$ | 0,40016 |
| $k_\sigma =$ | 0,43 |
| $\rho i =$ | 1 |
| $c_{eff} =$ | 6,2 cm |
| $bi_{eff} =$ | 16,00 cm |
| $A_{c,eff} =$ | 14,40 cm ² |

(*) distanza pioli lungo la trave

$p_{sc,max} = 12,48$ cm 6.6.5.5 (3)

(*) distanza pioli - bordo trave

$e_{sc,max} = 7,49$ cm 6.6.5.5 (2)



dw_{eff} per compressione uniforme:

area efficace a compressione:

| | | |
|------------------------------|-----------------------------|----------------|
| $A_{eff} =$ | 36,8 cm ² | |
| $z_G'' =$ | 7,60 cm | |
| spostam. asse neutro relativ | $e_N =$ | 0,00 cm |

Di seguito è riportata la verifica della sezione composta in campata per sezione di classe 1 :

ANALISI DELLA TRAVE COMPOSTA OMOGENEA IN CAMPATA

| | | | | |
|--|---|-----------------------------|-------|--------------------|
| Area resistente a taglio : | $A_v = \eta \cdot h_w \cdot t_w$ | $A_v =$ | 11,82 | cm ² |
| Limite di resistenza plastica a taglio : | $V_{pl.Rd} = A_v \cdot (f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0}$ | $V_{pl.Rd} =$ | 179 | kN |
| $V_{Ed,max} < 50\% V_{pl.Rd}$ | $\rho = (2 \cdot V_{Ed} / V_{pl.Rd} - 1)^2$ | $\rho =$ | 0,000 | |
| | | $A_w =$ | 8,04 | cm ² |
| | | $\gamma_{M0} =$ | 1,05 | |
| | | $f_d = f_y / \gamma_{M0} =$ | 26,19 | kN/cm ² |

Verifica di resistenza per sezione di classe 1

| | | | | |
|---|---|------------------------------------|-------|--------|
| $n = N_{Ed} / N_{pl.Rd} = 0,000$ | $a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A = 0,500$ | $M_{pl.Rd} = W_{pl.y} \cdot f_d =$ | 18418 | kNcm |
| $r = (1-n) / (1-0,5 \cdot a) = 1,000$ | $r =$ fattore di riduzione | $M_{N.Rd} = W_y \cdot f_{d,rid} =$ | 18418 | kNcm |
| $N_{1.Rd} = 0,25 \cdot N_{pl.Rd} = 956$ | $N_{2.Rd} = h_w \cdot t_w \cdot f_d / 2 = 105$ | $N_{Ed} \leq N_{V.Rd}$ (cl <= 2) = | 0 | kN |
| $N_{V.Rd} = A_w \cdot (1-\rho) \cdot f_y$ | $N_{Ed} < \min(N_{1.Rd}; N_{2.Rd})$ | NO carico assiale | 0,660 | -0,660 |
| in assenza di taglio : | $R_{M,N} = M_{Ed} / M_{N.Rd} \circ [N_{Ed}/A + (M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N) / W_y] / f_d =$ | | 0,660 | < 1 |
| con taglio : cl. >= 3 | $R_{MN,v} = [N_{Ed}/A_{rid,v} + (M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N) / W_{y,rid,v}] / f_d$ | | | |
| con taglio : cl. <= 2 | $M_{NV.Rd} = [W_{pl,y} - v / (4 \cdot t_w) \cdot \rho \cdot A_w^2 + N_{Ed}^2 / (1-\rho)] \cdot f_d \leq M_{N.Rd}$ | $M_{NV.Rd} =$ | ----- | kNcm |
| $v =$ fattore di simmetria = | $2 \cdot [(1 - (z_G - t_i) / h_w)^2 + ((z_G - t_i) / h_w)^2] = 6,82619$ | per sez. di classe <= 2 | | |
| se $V_{z,Ed} > 50\% V_{pl.Rd}$ | resistenza dell'area di taglio ridotta del fattore (1- ρ) | $R_{M,N,v} =$ | 0,000 | < 1 |

| | |
|------------------------------------|---|
| Area efficace ridotta per taglio : | caratteristiche sezione efficace ridotta per taglio |
| $A_{f1,min.} = 14,40$ | $A_{f1,om} = 123,60$ cm ² |
| $A_{f1,inf.} = 14,40$ | $A_{fi,om} = 14,40$ cm ² |
| $A_w \cdot (1-\rho) = 8,04$ | $A_{r,om} = 8,04$ cm ² |
| $A_{eff,v} = 36,84$ | $A_{eff,v,om} = 146,04$ cm ² |
| | $W_{pl,y,fl} = 206$ cm ³ |
| | $W_{eff,y,pl} = 237$ cm ³ |
| | $A_r'' = 36,84$ |
| | $A_{r,om}'' = 150,22$ cm ² |
| | $z_G'' = 7,60$ |
| | $z_{G,om}'' = 19,27$ cm |
| | $J_{yr}'' = 1593$ |
| | $J_{yr,om}'' = 9395,957$ cm ⁴ |
| | $W_{eff,s} = 210$ |
| | $W_{e,s,om} = 2306$ cm ³ |
| | $W_{eff,i} = 210$ |
| | $W_{e,i,om} = 487$ cm ³ |
| | $W_{eff,min} = 210$ |
| | $W_{e,m,om} = 487$ cm ³ |

Non è richiesta la verifica alla instabilità per taglio in campata sia per il valore nullo del taglio sia perché è soddisfatta la seguente condizione :

$h_w / t = 22,33 < 55,46$ verifica all'instabilità per taglio non richiesta

Tale verifica è invece eseguita nella sezione di appoggio, pur avendo soddisfatto la condizione precedente, con il seguente risultato :

RESISTENZA ALLA INSTABILITA' PER TAGLIO DELL'ANIMA DELLA TRAVE COMPOSTA

Coefficiente di stabilità a taglio per piatti irrigiditi :

$$\gamma_{M1} = \boxed{1,05}$$

$$\left. \begin{aligned} k_{\tau} &= 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{tst} & a / h_w &\geq 1 \\ k_{\tau} &= 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{tst} & a / h_w &< 1 \end{aligned} \right\} \alpha = a / h_w = 13,43284$$

$$k_{tst} = 9 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left(\frac{I_{sl}}{t^3 h_w} \right)^3} \geq \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{h_w}}$$

$$I_{sl1} = 0 \text{ cm}^4$$

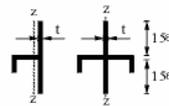
$$I_{sl} = 0 \text{ cm}^4$$

$$k_{tst} = 0,00$$

$$d_{eff,1} = 13,40 \text{ cm}$$

per uno o due irrigidimenti longitudinali e con $\alpha > 3$

$$k_{\tau} = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \frac{I_{st}}{t^3 h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \sqrt[3]{\frac{I_{st}}{t^3 h_w}}$$



$$k_{\tau} = 5,36$$

$$k_{\tau i} = 5,36$$

$$h_w / t = 22,33 < 55,46 \quad \text{verifica all'instabilità per taglio non richiesta}$$

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 145,89 \quad V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = -17,42 \text{ kN}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 145,89 \text{ kN} \quad \eta_3 = \boxed{0,564} < 1$$

$$\eta_3 = \boxed{0,496} < 0,5$$

$$\text{per } \eta_3 > 0,5 \quad \eta_4 = \eta_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{pl,f,Rd}) \cdot (2 \cdot \eta_3 - 1)^2 \leq 1$$

$$M_{f,Rd} = \boxed{5393} \text{ kNcm}$$

$$\eta_1 \geq M_{f,Rd} / M_{pl,f,Rd}$$

$$\eta_1 = 1,963084$$

$$\eta_4 = \boxed{} < 1$$

7.1 Interaction between shear force, bending moment and axial force

(1) Provided that $\bar{\eta}_3$ (see below) does not exceed 0,5, the design resistance to bending moment and axial force need not be reduced to allow for the shear force. If $\bar{\eta}_3$ is more than 0,5 the combined effects of bending and shear in the web of an I or box girder should satisfy:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right) (2\bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \quad \text{for } \bar{\eta}_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \quad (7.1)$$

where $M_{f,Rd}$ is the design plastic moment of resistance of the section consisting of the effective area of the flanges;

$M_{pl,Rd}$ is the design plastic resistance of the cross section consisting of the effective area of the flanges and the fully effective web irrespective of its section class.

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}}$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}}$$

Viene quindi eseguita la verifica della sezione composta con la teoria elastica applicabile a sezioni di qualunque classe :

VERIFICA DELLA SEZIONE COMPOSTA CON LA TEORIA ELASTICA

SEZIONE IN CAMPATA :

| | |
|--|--|
| Esterno piattabanda inferiore trave : | fase iniziale di getto : $R_i =$ 0,030 compress. fase finale consolidata : $R_f =$ -0,671 trazione sovrapposizione degli effetti : $R_{tot} =$ 0,640 < 1 |
| Esterno piattabanda superiore trave : | fase iniziale di getto : $R_i =$ -0,030 trazione fase finale consolidata : $R_f =$ 0,671 compress. sovrapposizione degli effetti : $R_{tot} =$ 0,640 < 1 |
| Esterno soletta in C.A. omogeneizzata : | compressione massima (N/mm ²) : $\sigma_{c,max} =$ 9,74 < 20,00 |
| Stabilità al taglio dell'anima : | fase iniziale di getto : $R_i =$ 0,024 fase finale consolidata : $R_f =$ 0,057 sovrapposizione degli effetti : $R_{tot} =$ 0,081 < 1 |

SEZIONE SULL'APPOGGIO :

| | |
|---|--|
| Stabilità al taglio dell'anima : | fase iniziale di getto : $R_i =$ 0,099 fase finale consolidata : $R_f =$ 0,331 sovrapposizione degli effetti : $R_{tot} =$ 0,430 < 1 |
|---|--|

RESISTENZA AL TAGLIO LONGITUDINALE A COMPLETO RIPRISTINO

SEZIONE IN CAMPATA :

| | | |
|---|--|---|
| braccio di leva della coppia interna : | $z = z_c - z_a$ | $z =$ 17,89 cm |
| forza di taglio longitudinale : | $V_L = M_{bi} (M_{pl,Rd}) / z$ | $V_L =$ 1030 kN |
| numero pioli su metà trave : | $n_p = V_L / (k \cdot P_{Rd})$ | $n_p =$ 16 |
| disposizione dei pioli : singoli | passo per disposizione uniforme $p_{sc} =$ 21,00 cm passo max per stabilità flangia $p_{sc,max} =$ 12,48 cm interasse di progetto $p_{sc,d} =$ 12,48 cm > 5.d | |

La distanza tra i pioli è vincolata dalla stabilità della piattabanda compressa della trave e in ogni caso deve essere compatibile con il passo della greca.

Poiché la sezione è di classe 1 può essere eseguito il calcolo di verifica con la teoria plastica:

6.2 Resistances of cross-sections of beams

6.2.1 Bending resistance

6.2.1.1 General

(1)P The design bending resistance shall be determined by rigid-plastic theory only where the effective composite cross-section is in Class 1 or Class 2 and where pre-stressing by tendons is not used.

(2) Elastic analysis and non-linear theory for bending resistance may be applied to cross-sections of any class.

VERIFICA DELLA SEZIONE COMPOSTA CON LA TEORIA PLASTICA PER CLASSE <= 2

SEZIONE IN CAMPATA :

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|--|--|-------|--------|-------|-------|--------|------------------------------|-------|-------|------------------|
| Sollecitazioni in fase consolidata : | Momento flettente Taglio congruente massimo Compressione assiale | $M_{Ed} =$ $V_{Ed} =$ $N_{Ed} =$ | <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100px;"> <tr><td style="text-align: center;">12164</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0,00</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0</td></tr> </table> <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100px;"> <tr><td style="text-align: center;">3,428</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">17,886</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0,126</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1,000</td></tr> <tr style="background-color: yellow;"><td style="text-align: center;">17510</td></tr> </table> | 12164 | 0,00 | 0 | 3,428 | 17,886 | 0,126 | 1,000 | 17510 | kNcm kN kN |
| 12164 | | | | | | | | | | | | |
| 0,00 | | | | | | | | | | | | |
| 0 | | | | | | | | | | | | |
| 3,428 | | | | | | | | | | | | |
| 17,886 | | | | | | | | | | | | |
| 0,126 | | | | | | | | | | | | |
| 1,000 | | | | | | | | | | | | |
| 17510 | | | | | | | | | | | | |
| Caratteristiche plastiche : | posizione asse neutro plastico braccio di leva rapporto x_{pl} / H fattore di riduzione del $M_{pl,Rd}$ momento resistente plastico | $x_{pl} =$ $z_{pl} =$ $x_{pl} / H =$ $\beta =$ $M_{pl,Rd} =$ | <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100px;"> <tr><td style="text-align: center;">3,428</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">17,886</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0,126</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1,000</td></tr> <tr style="background-color: yellow;"><td style="text-align: center;">17510</td></tr> </table> | 3,428 | 17,886 | 0,126 | 1,000 | 17510 | cm cm cm cm kNcm | | | |
| 3,428 | | | | | | | | | | | | |
| 17,886 | | | | | | | | | | | | |
| 0,126 | | | | | | | | | | | | |
| 1,000 | | | | | | | | | | | | |
| 17510 | | | | | | | | | | | | |
| Verifica di resistenza : | $R_{pl} = M_{Ed} / M_{pl,Rd}$ | $R_{pl} =$ | <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100px;"> <tr style="background-color: #e0ffe0;"><td style="text-align: center;">0,695</td></tr> </table> | 0,695 | < 1 | | | | | | | |
| 0,695 | | | | | | | | | | | | |
| Stabilità al taglio dell'anima : | rapporto tagli ; $\eta_3 = V_{Ed} / V_{b,Rd}$ | $\eta_3 =$ | <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100px;"> <tr><td style="text-align: center;">0,000</td></tr> </table> | 0,000 | < 1 | | | | | | | |
| 0,000 | | | | | | | | | | | | |

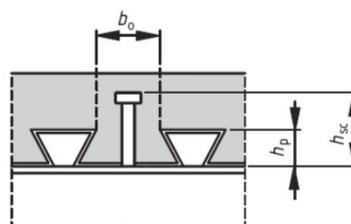
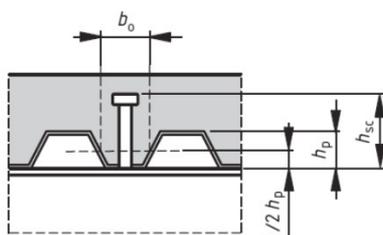
RESISTENZA AL TAGLIO LONGITUDINALE A COMPLETO RIPRISTINO

SEZIONE IN CAMPATA :

| | | | | | |
|--|---|----------------|--|-------|--|
| posizione asse neutro plastico : | $x_{pl} \leq h_s + h_p$ | $x_{pl} =$ | <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100px;"> <tr><td style="text-align: center;">3,43</td></tr> </table> | 3,43 | cm |
| 3,43 | | | | | |
| forza di taglio longitudinale : | $V_L = N_{cf} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot x_{pl}$ | $V_L =$ | <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100px;"> <tr><td style="text-align: center;">979</td></tr> </table> | 979 | kN |
| 979 | | | | | |
| numero pioli su metà trave : | $n_p = V_L / (k \cdot P_{Rd})$ | $n_p =$ | <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100px;"> <tr><td style="text-align: center;">16</td></tr> </table> | 16 | ← █ |
| 16 | | | | | |
| disposizione dei pioli : singoli | passo per disposizione uniforme | $p_{sc} =$ | <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100px;"> <tr><td style="text-align: center;">21,00</td></tr> </table> | 21,00 | cm |
| 21,00 | | | | | |
| | passo max per stabilità flangia | $p_{sc,max} =$ | <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100px;"> <tr><td style="text-align: center;">12,48</td></tr> </table> | 12,48 | cm |
| 12,48 | | | | | |
| | interasse di progetto | $p_{sc,d} =$ | <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100px;"> <tr style="background-color: yellow;"><td style="text-align: center;">12,48</td></tr> </table> | 12,48 | cm > 5.d ▲ |
| 12,48 | | | | | |

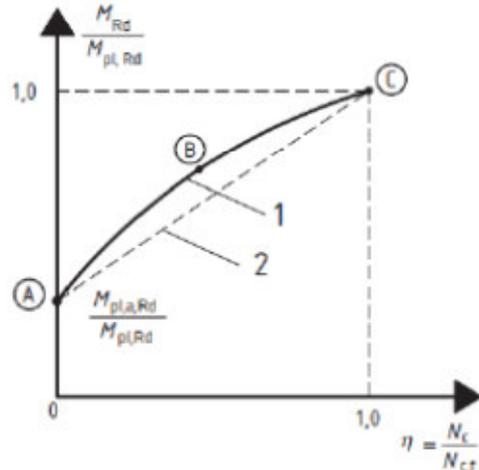
Il numero minimo di pioli calcolati a completo ripristino di resistenza al taglio longitudinale è di 16. Non può essere sfruttata la condizione di parziale ripristino per ridurre il numero dei pioli poiché il rapporto b_0/h_p risulta $7,6 / 5,5 = 1,382 < 2$ pur essendo soddisfatte tutte le altre condizioni necessarie per garantire la **ductilità del collegamento** ovvero :

- Altezza pioli ≥ 76 mm
- Diametro pioli = 19 mm
- Trave bi-simmetrica
- Lamiera grecata continua sulla trave
- 1 solo piolo / greca
- Altezza greca ≤ 60 mm



Il numero dei pioli su metà trave si ridurrebbe a **9** se fosse soddisfatta la condizione di cui sopra (& 6.6.1.2 (3) EN 1994-1-1)

RESISTENZA AL TAGLIO LONGITUDINALE A PARZIALE RIPRISTINO PER CLASSE <= 2



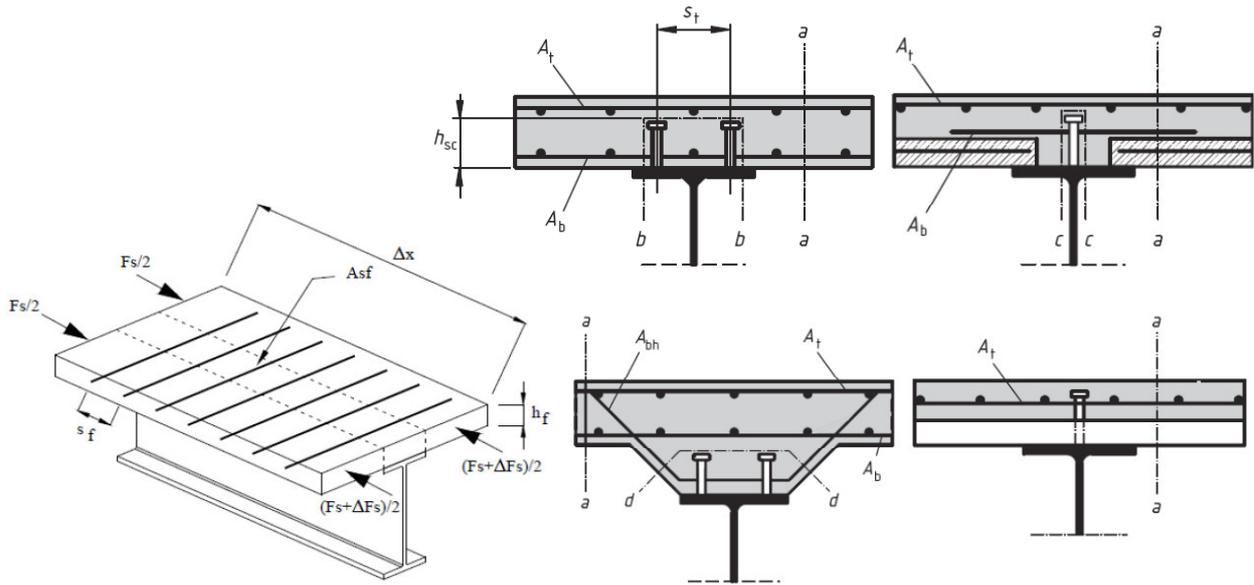
SEZIONE IN CAMPATA :

| | | | |
|--|---|-------------------------------|-------------------------|
| rapporto momenti : | $M_{Ed} / M_{pl,Rd}$ | $R_{Ed} =$ | 0,695 |
| rapporto momenti : | $M_{pl,a,Rd} / M_{pl,Rd}$ | $R_{pl} =$ | 0,354 |
| | $\eta = [(M_{Ed} - M_{pl,a,Rd}) / (M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd})]$ | $\eta =$ | 0,527 |
| | η per flange con area uguale | $\eta_1 =$ | 0,400 |
| | η per $A_{flangia\ inf} = 3 \times A_{flangia\ sup}$ | $\eta_2 =$ | 0,743 |
| limitazione di η | SEZIONE A DOPPIA SIMMETRIA | $\eta \geq$ | 0,400 |
| limitazione per pioli duttili | soletta su lamiera grecata trasv. | $b_0 / h_p =$ | 1,382 ≥ 2 |
| numero minimo pioli su metà trave | $n_f = \eta \cdot n_p$ | $n_f =$ | 7 |
| numero di pioli effettivo su metà trave | $n_{f,e} \geq n_f$ | $n_{f,e} =$ | 9 |
| forza di taglio longitudinale | $N_c = N_{cf} \cdot \eta$ | $\eta =$ | 0,563 |
| condizione di duttilità della connessione | $M_{Rd} / M_{pl,a,Rd} \leq 2,5$ | $N_c =$ | 551 kN |
| | $M_{Rd} = M_{pl,a,Rd} + (M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd}) \cdot \eta$ | $M_{Rd} / M_{pl,a,Rd} =$ | 2,027 $< 2,5$ |
| | | $M_{Rd} =$ | 12561 kNcm |
| disposizione dei pioli : singoli | passo per disposizione uniforme | $p_{sc} =$ | 37,33 cm |
| | passo max per stabilità flangia | $p_{sc,max} =$ | 12,48 cm |
| | interesse di progetto | $p_{sc,d} =$ | 12,48 cm $> 5.d$ |

In ogni caso l'interasse minimo tra i pioli non può essere inferiore a 12,48 cm per garantire la stabilità della piattabanda compressa.

Viene quindi eseguito il calcolo dell'armatura trasversale nella soletta necessaria per garantire il comportamento uniforme al taglio longitudinale.

ARMATURA TRASVERSALE A TAGLIO



SEZIONE IN CAMPATA :

lunghezza fascia di scorrimento

distanza pioli esterni allineati

superficie resistente al taglio longitudinale

contributo della lamiera grecata trasversale

forza di taglio longitudinale

tensione tangenziale sulla superf. di taglio

passo armatura metallica (s_f)

lunghezza della superficie di taglio

sezione min. armatura metallica per u.l.

armatura metallica effettiva per u.l.

posizione armatura trasversale

$$\Delta_x = L_e / 2$$

[\(solo se previsti altrimenti porre 0\)](#)

sezione a-a sulla soletta

sezioni b-b ; c-c ; d-d sui pioli

sezione di area minima

sezione lamiera grecata trasvers.

snervamento di progetto

$$f_{yp,d} = f_{yp} / \gamma_{M0}$$

$$\Delta_x = 336 \text{ cm}$$

$$s_t = 0 \text{ cm}$$

$$A_{sl1} = 4368 \text{ cm}^2$$

$$A_{sl2} = 7678 \text{ cm}^2$$

$$A_{sl} = 4368 \text{ cm}^2$$

$$A_{pe} = \text{cm}^2 / \text{m}$$

$$f_{yp,d} = \text{kN/cm}^2$$

$$N_c = \eta \cdot N_{cf}$$

$$551 \text{ kN}$$

$$v_{Ed} = N_c / A_{sl}$$

$$1,261 \text{ N/mm}^2$$

$$s_f = 15 \text{ cm}$$

$$l_f = 13 \text{ cm}$$

$$A_{sf} / s_f \geq 0,209 \text{ mm}$$

$$A_{sf} / s_f = 0,335 \text{ mm}$$

$$A_{sf} / s_f \geq (v_{Ed} \cdot l_f \cdot A_{pe} \cdot f_{yp,d}) / (f_s / \gamma_s) / 2$$

$$1 \text{ } \Phi \text{ } 8 \text{ } / \text{ } 150$$

livello sup. e inf. soletta

La disposizione di 1 ϕ 8 / 150 mm è sufficiente a garantire la resistenza richiesta.

Viene infine eseguita la verifica di deformazione sia per la fase di getto che per la fase consolidata tenendo conto del diverso fattore di omogeneizzazione per gli effetti nel lungo e nel breve termine. La freccia in fase di getto non è significativa per la disposizione ravvicinata dei puntelli provvisori :

VERIFICA DI DEFORMAZIONE

momento di inerzia della sezione in acciaio

interpolazione tra sezione efficace e sezione lorda della sola trave in acciaio

| | | |
|---------------------|------------------------|---|
| $I_{gr} =$ | 1619 cm ⁴ | momento di inerzia della sezione lorda |
| $I_{\sigma(eff)} =$ | 1593 cm ⁴ | momento di inerzia della sezione efficace |
| $\sigma_{gr} =$ | 9,31 N/mm ² | tensione di compressione max della sezione lorda per lo S.L.S. |
| $\sigma =$ | 9,31 N/mm ² | tensione di compressione max della sezione efficace per lo S.L.S. |

$$I_{fic} = I_{gr} - \frac{\sigma_{gr}}{\sigma} (I_{gr} - I_{\sigma(eff)}) \quad \underline{I_{fic} = 1593 \text{ cm}^4}$$

momento di inerzia della sezione omogenea

(si trascura l'armatura metallica compressa)

coeff. di omogeneizzazione per effetti nel **lungo** termine
 coeff. di omogeneizzazione per effetti nel **breve** termine
 area omogenea per effetti nel **lungo** termine
 area omogenea per effetti nel **breve** termine
 posizione asse neutro per effetti di **lungo** termine
 posizione asse neutro per effetti di **breve** termine
 momento di inerzia per effetti nel **lungo** termine
 momento di inerzia per effetti nel **breve** termine

| | | |
|---------------|--------|-----------------|
| $n_l =$ | 13 | |
| $n_0 =$ | 7 | |
| $A_{om,nl} =$ | 124,06 | cm ² |
| $A_{om,n0} =$ | 198,81 | cm ² |
| $z_{n,nl} =$ | 18,474 | cm |
| $z_{n,n0} =$ | 20,201 | cm |
| $I_{b,nl} =$ | 8771 | cm ⁴ |
| $I_{b,n0} =$ | 10199 | cm ⁴ |

momento di inerzia della sezione con soletta fessurata sull'appoggio

area omogenea completa per effetti nel **lungo** termine
 posizione asse neutro sezione completa per effetti nel **lungo** termine
 momento di inerzia della sezione integra completa " " "
 fattore di riduzione per l'inerzia fessurata
 momento di inerzia sezione fessurata per effetti nel **lungo** termine

| | | |
|----------------|--------|-----------------|
| $A_{omc,nl} =$ | 129,22 | cm ² |
| $z_{nc,nl} =$ | 18,633 | cm |
| $I_{bc,nl} =$ | 8925 | cm ⁴ |
| $\chi_J =$ | 0,35 | |
| $I_{bc} =$ | 3124 | cm ⁴ |
| $I_{bc} =$ | 5948 | cm ⁴ |

momento di inerzia medio

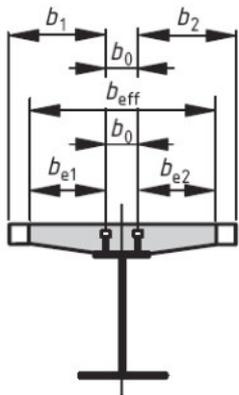
CALCOLO DELLA FRECCIA per carico uniformemente distribuito - elemento continuo su campate uguali combinazione quasi permanente o frequente (effetti nel lungo termine)

| | | | | |
|------------------------------|----------------------------|--------|----------------|---|
| Freccia da calcolo esterno | | mm | | |
| Freccia iniziale | $f_{max,i} =$ | 0,111 | mm = L / 15178 | $< L / 500 = \text{mm} \quad 3,36$ |
| Distanza da "A" | $x_{A \text{ iniziale}} =$ | 0,739 | m | |
| sezione non fessurata | | | | |
| Freccia da calcolo esterno | | mm | | |
| Freccia finale per e.l.t. | $f_{max,f1} =$ | 15,992 | mm | per carichi permanenti e % carico variabile |
| Distanza da "A" | $x_{A \text{ finale}} =$ | 3,360 | m | |
| Freccia totale max. | $f_{max} =$ | 15,992 | mm = L / 420 | $< L / 250 = \text{mm} \quad 26,88$ |

Anche se non richiesto dalla committenza viene di seguito proposto il calcolo di verifica della resistenza del solaio composto in condizioni di incendio standard.

ANALISI IN CONDIZIONI DI INCENDIO : IN ACCORDO CON EN 1994-1-2 ; NTC 2008

| | | | | | | | |
|--|---------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------|
| CALCESTRUZZO : | normale | classe di densità ρ_c : | normale | $f_{ck} = \text{N/mm}^2$ | 30 | $f_{cd} = \text{N/mm}^2$ | 20,00 |
| peso specifico : $\rho_c =$ | 2450 | kg/m^3 | sezione di riferimento | | campata | | $b_0 = \text{cm}$ |
| PROTEZIONE TERMICA | | IN ADERENZA LUNGO IL CONTORNO | | $\rho_p (\text{kg/m}^3)$ | $\lambda_p (\text{W/mK})$ | $C_p (\text{J/kgK})$ | SPESS. (mm) |
| | | cemento e vermic. ad alta densità | | 550 | 0,12 | 1100 | $\eta_{fi} =$ |
| TEMPERATURA E FATT. RIDUZ. f_y PARTI TRAVE | | REI | | Momento flettente : | | $M_{Ed,fi} =$ | kNcm |
| $\theta_{a,i} = ^\circ\text{C}$ | 608 | $k_{y,\theta,i} =$ | 0,452 | R 60 | Taglio congruente : | | $V_{Ed,fi} =$ |
| $\theta_{a,w} = ^\circ\text{C}$ | 608 | $k_{y,\theta,w} =$ | 0,452 | | Compress. assiale : | | $N_{Ed,fi} =$ |
| $\theta_{a,u} = ^\circ\text{C}$ | 619 | $k_{y,\theta,u} =$ | 0,424 | 60 | Taglio massimo : | | $V_{Ed,fi,max} =$ |
| | | | | | | | kN |

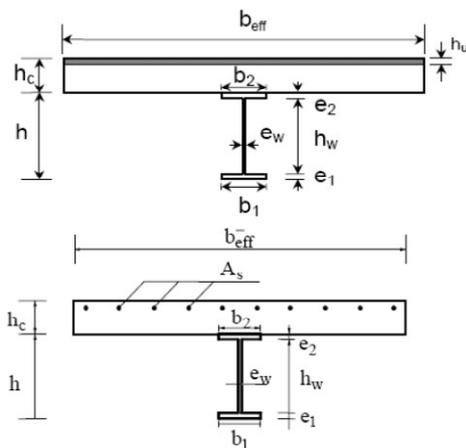


soletta in C.A. e armatura

| | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|------|--|-----------------------------|--------|
| sp. soletta | $h_c = \text{cm}$ | 6,5 | temperat. | $\theta_c = ^\circ\text{C}$ | 248 |
| h raccordo | $h_p = \text{cm}$ | 5,5 | fatt. riduz. | $k_{c,\theta} =$ | 0,9023 |
| largh. a sx. | $b_1 = \text{cm}$ | 150 | h critica | $h_{cr} = \text{cm}$ | 5,00 |
| largh. a dx. | $b_2 = \text{cm}$ | 150 | $h_{cr} \leq h_c - h_u = \text{cm}$ | | 6,37 |
| area armatura metallica tesa | | | $A_{sd} = \text{cm}^2$ | | 4,62 |
| largh. fessura $w_k = \text{mm}$ | | >0,4 | diam. barre $\phi = \text{mm}$ | | 8 |
| distanza armatura da bordo superiore | | | $d_{sd} = \text{cm}$ | | 3 |
| snervam. $f_s = \text{N/mm}^2$ | | 450 | limite snerv. $\sigma_s = \text{N/mm}^2$ | | 450 |
| coefficiente di sicurezza armatura | | | $\gamma_{fi,s} =$ | | 1 |

connettori

| | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------|-----|-----------------------|-----------------------------|--------|
| altezza pioli | $h_{sc} = \text{cm}$ | 10 | temperat. | $\theta_v = ^\circ\text{C}$ | 495 |
| diam. pioli | $d = \text{cm}$ | 1,9 | fatt. riduz. | $k_{u,\theta} =$ | 0,7902 |
| resistenza a rottura dell'acciaio | | | $f_u = \text{N/mm}^2$ | | 450 |
| coefficiente di sicurezza | | | $\gamma_{fi,v} =$ | | 1 |



| | | |
|--|--------------------------|--------|
| lunghezza efficace trave | $L_e = \text{cm}$ | 672 |
| larghezza efficace a sx | $b_{e1} = \text{cm}$ | 84,00 |
| larghezza efficace a dx | $b_{e2} = \text{cm}$ | 84,00 |
| fattore di riduz. b_{e1} su appoggio est. | $\beta_1 =$ | 1,00 |
| fattore di riduz. b_{e2} su appoggio est. | $\beta_2 =$ | 1,00 |
| larghezza efficace : $b_{eff} = \sum \beta_i \cdot b_{ei}$ | $b_{eff} = \text{cm}$ | 168,00 |
| modulo di elasticità min. della trave | $E_{fi} = \text{N/mm}^2$ | 62208 |
| coeff. di omogeneizz. : | $n =$ | 3 4 |
| area della soletta | $A_c = \text{cm}^2$ | 1092 |
| posiz. baricentro soletta campata | $z_c = \text{cm}$ | 23,95 |
| mom. di inerzia soletta campata | $J_c = \text{cm}^4$ | 3950 |
| altezza totale sezione campata | $H = \text{cm}$ | 27,2 |

| sezione efficace omogenea in campata | | sezione efficace reagente sugli appoggi | | |
|--------------------------------------|----------------------------|---|--------------------------------------|----------------------------|
| area sezione efficace omogenea | $A_{om} = \text{cm}^2$ | 310 | area sezione efficace reagente | $A_{om} = \text{cm}^2$ |
| posizione asse neutro sez. reagente | $z_n = \text{cm}$ | 22,01 | posizione asse neutro sez. reagente | $z_n = \text{cm}$ |
| momento di inerzia efficace | $J_{om} = \text{cm}^4$ | 11257 | momento di inerzia efficace | $J_{om} = \text{cm}^4$ |
| modulo di res. esterno piattab. sup. | $W_{ys} = \text{cm}^3$ | 1654 | modulo di res. esterno piattab. sup. | $W_{ys} = \text{cm}^3$ |
| modulo di res. esterno piattab. inf. | $W_{yi} = \text{cm}^3$ | 512 | modulo di res. esterno piattab. inf. | $W_{yi} = \text{cm}^3$ |
| modulo di res. esterno soletta C.A. | $W_{yCS} = \text{cm}^3$ | 2167 | modulo di res. armatura metallica | $W_{yCS} = \text{cm}^3$ |
| modulo di res. interno soletta C.A. | $W_{yCI} = \text{cm}^3$ | 8620 | modulo di res. interno soletta C.A. | $W_{yCI} = \text{cm}^3$ |
| modulo di res. min. trave acciaio | $W_{el,min} = \text{cm}^3$ | 512 | modulo di res. min. trave acciaio | $W_{el,min} = \text{cm}^3$ |
| posizione asse neutro plastico | $x_{pl} = \text{cm}$ | 3,43 | posizione asse neutro plastico | $x_{pl} = \text{cm}$ |
| modulo di resistenza plastico | $W_{pl} = \text{cm}^3$ | 851 | modulo di resistenza plastico | $W_{pl} = \text{cm}^3$ |

W_{pl} nervature 0

CONNETTORI A TAGLIO : soletta su lamiera grecata trasv. numero pioli / greca $n_r =$ 1

resistenza del singolo piolo : $P_{fi,Rd} = \text{MIN} [(0,64 \cdot k_{u,\theta} \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2/4) / \gamma_{fi,v} ; 0,29 \cdot k_{c,\theta} \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5} / \gamma_{fi,v}]$

$\alpha = 0,2 \cdot [h_{sc} / d + 1]$ per $3 \leq h_{sc} / d \leq 4$ $\alpha = 1$ per $h_{sc} / d > 4$ $\alpha =$ 1,00

k = fattore di riduzione per soletta su lamiera grecata : k = 0,791 $k \cdot P_{fi,Rd} = \text{kN}$ 51,07

t = spessore lamiera grecata trasversale : t = mm 1 $k_{max} =$ 0,85

Per la protezione delle travi e della lamiera grecata è stato proposto un rivestimento in aderenza costituito da cemento-vermiculite ad alta densità dello spessore di 8 mm che garantisce una classe REI 60

Le verifiche di resistenza del solaio in analogia con quanto fatto per la condizione normale sono di seguito riportate :

ANALISI DELLA TRAVE COMPOSTA OMOGENEA IN CAMPATA

| | | | | |
|---|---|--|-------|--------------------|
| Area resistente a taglio : | $A_v = \eta \cdot h_w \cdot t_w$ | $A_v =$ | 11,82 | cm ² |
| Limite di resistenza plastica a taglio : | $V_{pl.Rd,fi} = A_v \cdot (f_{y0,w} / 3^{1/2}) / \gamma_{M0,fi}$ | $V_{pl.Rd,fi} =$ | 85 | kN |
| $V_{Ed,fi,max} < 50\% V_{pl.Rd,fi}$ | $\rho = (2 \cdot V_{Ed,fi} / V_{pl.Rd,fi} - 1)^2$ | $\rho =$ | 0,000 | |
| | | $A_w =$ | 8,04 | cm ² |
| Verifica di resistenza per sezione di classe | 1 | $\gamma_{M0,fi} =$ | 1 | |
| | tensione di progetto minima | $f_d = f_{y0,min} / \gamma_{M0,fi}$ | 11,66 | kN/cm ² |
| | tensione di progetto riferita alla flangia inferiore | $f_d = f_{y0,i} / \gamma_{M0,fi}$ | 12,42 | kN/cm ² |
| $n = N_{Ed} / N_{pl.Rd} = 0,000$ | $a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A = 0,500$ | $M_{pl.Rd} = W_{pl,y} \cdot f_d =$ | 9924 | kNcm |
| $r = (1-n) / (1-0,5 \cdot a) = 1,000$ | $r =$ fattore di riduzione | $M_{N.Rd} = W_y \cdot f_{d,rid} =$ | 9924 | kNcm |
| $N_{1.Rd} = 0,25 \cdot N_{pl.Rd} = 903$ | $N_{2.Rd} = h_w \cdot t_w \cdot f_d / 2 = 47$ | $N_{Ed} \leq N_{V.Rd}$ (cl. <= 2) = | 0 | kN |
| $N_{V.Rd} = A_w \cdot (1-\rho) \cdot f_y$ | $N_{Ed} < \min(N_{1.Rd}; N_{2.Rd})$ | NO carico assiale | 0,797 | -0,797 |
| in assenza di taglio : | $R_{M,N} = M_{Ed} / M_{N.Rd}$ | $[N_{Ed}/A + (M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N) / W_y] / f_d =$ | 0,797 | < 1 |
| con taglio : cl. >= 3 | $R_{MN,v} = [N_{Ed}/A_{rid,v} + (M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N) / W_{y,rid,v}] / f_d$ | | | |
| con taglio : cl. <= 2 | $M_{NV.Rd} = [W_{pl,y} \cdot v / (4 \cdot t_w) \cdot \rho \cdot A_w^2 + N_{Ed}^2 / (1-\rho)] \leq M_{N.Rd}$ | $M_{NV.Rd} =$ | ----- | kNcm |
| $v =$ fattore di simmetria = | $2 \cdot [(1 - (z_G - t_i) / h_w)^2 + ((z_G - t_i) / h_w)^2] = 6,82619$ | per sez. di classe <= 2 | | |
| se $V_{z,Ed} > 50\% V_{pl.Rd}$ | resistenza dell'area di taglio ridotta del fattore (1-ρ) | $R_{M,N,v} =$ | 0,000 | < 1 |

| | | | | |
|------------------------------------|---|-----------------|---------------------|---------------------------|
| Area efficace ridotta per taglio : | caratteristiche sezione efficace ridotta per taglio | | | |
| $A_{f1,min} = 14,40$ | $A_{f1,om} = 287,40$ | cm ² | $A_r'' = 36,84$ | $A_r''_{om} = 320,29$ |
| $A_{f1,inf} = 14,40$ | $A_{fi,om} = 14,40$ | cm ² | $z_G'' = 7,60$ | $z_G''_{om} = 21,29$ |
| $A_w \cdot (1-\rho) = 8,04$ | $A_{r,om} = 8,04$ | cm ² | $J_{yr}'' = 1593$ | $J_{yr}''_{om} = 11417,1$ |
| $A_{eff,v} = 36,84$ | $A_{eff,v,om} = 309,84$ | cm ² | $W_{eff,s} = 210$ | $W_{e,s,om} = 1875$ |
| | $W_{pl,y,fi} = 206$ | cm ³ | $W_{eff,i} = 210$ | $W_{e,i,om} = 536$ |
| | $W_{eff,y,pl} = 237$ | cm ³ | $W_{eff,min} = 210$ | $W_{e,m,om} = 536$ |

RESISTENZA ALLA INSTABILITA' PER TAGLIO DELL'ANIMA DELLA TRAVE COMPOSTA

$h_w / t = 22,33 < 55,46$ **verifica all'instabilità per taglio non richiesta**

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 69,18 \quad V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = -18,68 \text{ kN}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 69,18 \text{ kN} \quad \eta_3 = 0,932 < 1 \quad \eta_3 = 0,680 > 0,5$$

per $\eta_3 > 0,5$ $\eta_4 = \eta_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{pl,f,Rd}) \cdot (2 \cdot \eta_3 - 1)^2 \leq 1$ $M_{f,Rd} = 2401$ kNcm

$\eta_1 \geq M_{f,Rd} / M_{pl,f,Rd}$ $\eta_1 = 2,866654$ $\eta_4 = 2,884 < 1$

La verifica di interazione momento-taglio non è soddisfatta e bisognerebbe quindi, a parità di tutte le condizioni, rinforzare l'anima della trave o cambiare profilo oppure aumentare la protezione termica.

Si nota che solo aumentando a 10 mm lo spessore della protezione termica anche questa verifica risulta soddisfatta :

$h_w / t = 22,33 < 55,46$ verifica all'instabilità per taglio non richiesta

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 99,81 \quad V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = -11,81 \text{ kN}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 99,81 \text{ kN} \quad \eta_3 = 0,535 < 1 \quad \eta_3 = 0,472 < 0,5$$

per $\eta_3 > 0,5$ $\eta_4 = \eta_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd}) \cdot (2 \cdot \eta_3 - 1)^2 \leq 1$ $M_{f,Rd} = 3407 \text{ kNcm}$

$\eta_1 \geq M_{f,Rd} / M_{pl.f,Rd}$ $\eta_1 = 2,019906$ $\eta_4 = \quad < 1$

Vengono infine riportate per completezza le verifiche di resistenza con la teoria elastica e plastica per una protezione termica di 10 mm di spessore.

VERIFICA DELLA SEZIONE COMPOSTA CON LA TEORIA ELASTICA

SEZIONE IN CAMPATA :

| | | | | |
|--|---|--------------------|--------|---------|
| Esterno piattabanda inferiore trave : | fase iniziale di getto : | $R_i =$ | 0,030 | |
| | fase finale consolidata : | $R_f =$ | -0,570 | |
| | sovrapposizione degli effetti : | $R_{tot} =$ | 0,540 | < 1 |
| Esterno piattabanda superiore trave : | fase iniziale di getto : | $R_i =$ | -0,030 | |
| | fase finale consolidata : | $R_f =$ | 0,570 | |
| | sovrapposizione degli effetti : | $R_{tot} =$ | 0,540 | < 1 |
| Esterno soletta in C.A. omogeneizzata : | compressione massima (N/mm ²) : | $\sigma_{c,max} =$ | 9,26 | < 20,00 |
| Stabilità al taglio dell'anima : | fase iniziale di getto : | $R_i =$ | 0,024 | |
| | fase finale consolidata : | $R_f =$ | 0,054 | |
| | sovrapposizione degli effetti : | $R_{tot} =$ | 0,078 | < 1 |

SEZIONE SULL'APPOGGIO :

| | | | | |
|---|---------------------------------|-------------|-------|-----|
| Stabilità al taglio dell'anima : | fase iniziale di getto : | $R_i =$ | 0,099 | |
| | fase finale consolidata : | $R_f =$ | 0,314 | |
| | sovrapposizione degli effetti : | $R_{tot} =$ | 0,413 | < 1 |

VERIFICA DELLA SEZIONE COMPOSTA CON LA TEORIA PLASTICA PER CLASSE <= 2

SEZIONE IN CAMPATA :

Sollecitazioni in fase consolidata :

Momento flettente

$$M_{Ed,fi} = \mathbf{7907} \text{ kNcm}$$

Taglio congruente massimo

$$V_{ed,fi} = \mathbf{0,00} \text{ kN}$$

Compressione assiale

$$N_{Ed,fi} = \mathbf{0} \text{ kN}$$

Forza di trazione nella trave

$$T^+ = \mathbf{640,34} \text{ kN}$$

spessore della zona compressa

$$h_u = \mathbf{0,191} \text{ cm}$$

posizione forza di trazione

$$y_T = \mathbf{7,38} \text{ cm}$$

braccio di leva

$$\Delta y = \mathbf{19,73} \text{ cm}$$

rapporto x_{pl} / H

$$x_{pl} / H = \mathbf{0,007}$$

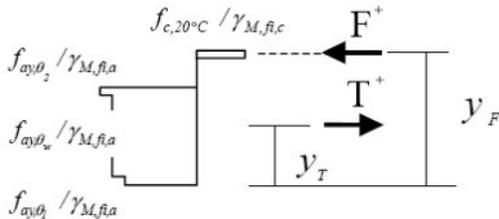
fattore di riduzione del $M_{pl,Rd}$

$$\beta = \mathbf{1,000}$$

momento resistente plastico

$$M_{pl,Rd} = \mathbf{12631} \text{ kNcm}$$

Caratteristiche plastiche :



Verifica di resistenza :

$$R_{pl} = M_{Ed,fi} / M_{pl,Rd}$$

$$R_{pl} = \mathbf{0,626} < 1$$

Stabilità al taglio dell'anima :

rapporto tagli ; $\eta_3 = V_{Ed} / V_{b,Rd}$

$$\eta_3 = \mathbf{0,000} < 1$$

RESISTENZA AL TAGLIO LONGITUDINALE A COMPLETO RIPRISTINO

SEZIONE IN CAMPATA :

posizione asse neutro plastico :

$$x_{pl} \leq h_c + h_p$$

$$x_{pl} = \mathbf{3,43} \text{ cm}$$

forza di taglio longitudinale :

$$V_L = T^+$$

$$V_L = \mathbf{640} \text{ kN}$$

numero pioli su metà trave :

$$n_p = V_L / (k \cdot P_{Rd})$$

$$n_p = \mathbf{12}$$

disposizione dei pioli : singoli

passo per disposizione uniforme

$$p_{sc} = \mathbf{28,00} \text{ cm}$$

passo max per stabilità flangia

$$p_{sc,max} = \mathbf{12,48} \text{ cm}$$

interasse di progetto

$$p_{sc,d} = \mathbf{12,48} \text{ cm} > 5 \cdot d$$

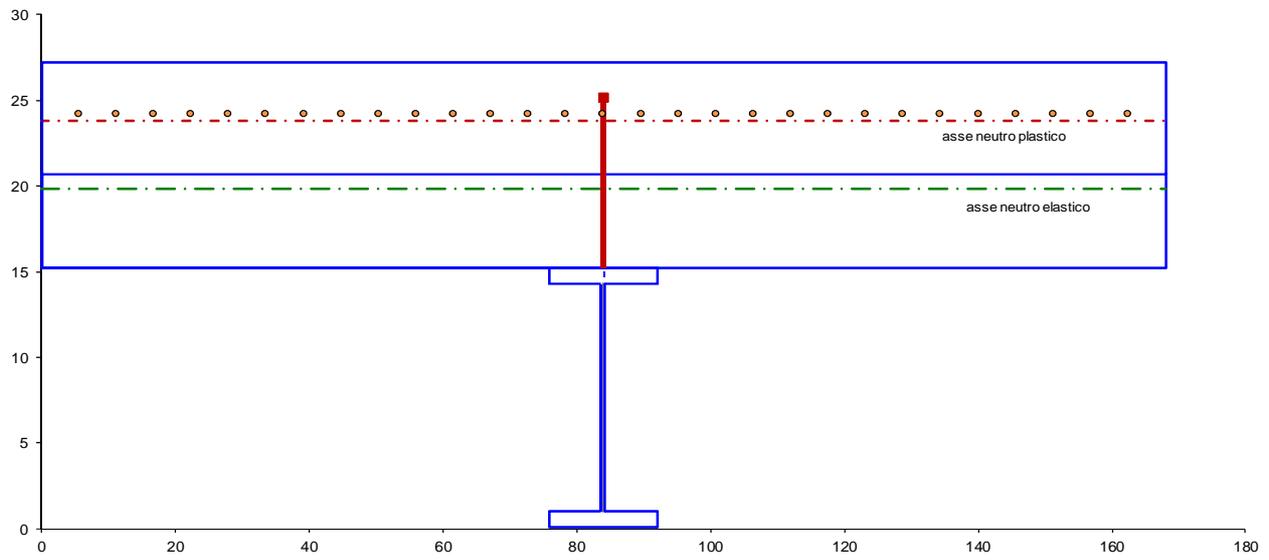
Si noti il minor numero di pioli (12) richiesti su metà trave in condizioni di incendio rispetto a quelli richiesti in condizioni normali (16) ; questa anomalia della norma è stata da me ampiamente trattata, discussa e criticata in un precedente articolo pubblicato su questo sito.

La condizione di parziale ripristino della resistenza al taglio longitudinale non può essere applicata per il mancato rispetto delle condizioni di duttilità del collegamento.

Infine viene riportato il disegno della sezione efficace della soletta come eseguito dal programma "TraveComp"

SEZIONE EFFICACE DELLA TRAVE COMPOSTA

SEZIONE EFFICACE IN CAMPATA



Nota : l'autore del progetto comunica : Si precisa che l'esempio fornito discosta lievemente dal progetto depositato poi al Genio Civile, dove e' stato inserito cls alleggerito e lievemente ottimizzato l'interasse delle travi.