

[Clic per tutti gli appunti](#) (AUTOMAZIONE – TRATTAMENTI TERMICI ACCIAIO – SCIENZA delle COSTRUZIONI...)



[e-mail per suggerimenti](#)

[Clic qui](#) – PRIMA PAGINA APPUNTI ACCIAIO

3.3.2- Aste composte calastrellate

UNI ENV 1993-1-1 / NTC circolare 2009

Sono aste composte da profilati tradizionali, denominati correnti, uniti da elementi paralleli tra loro e normali ad uno dei loro assi.

La funzione dei calastrelli è di conferire rigidità all'asta composta, per limitare l'inflexione laterale prodotta dai carichi assiali.

Il rinforzo è eseguito rispetto all'asse debole $z-z$, ed è ottenuto ponendo normali ad esso gli assi dei calastrelli.

Se i correnti non fossero collegati tra loro dai calastrelli, per effetto del carico assiale, assumerebbero un'unica deformazione di tipo sinusoidale, dipendente dal tipo di vincoli agli estremi, che fungono da condizioni al contorno dell'equazione differenziale che li caratterizzano.

Nell'asta calastrellata, per effetto del carico assiale, il singolo corrente subisce deformazioni locali di sbandamento laterale tra due calastrelli successivi e dipendenti dalla rigidità indotta da questi nella sezione di giunzione.

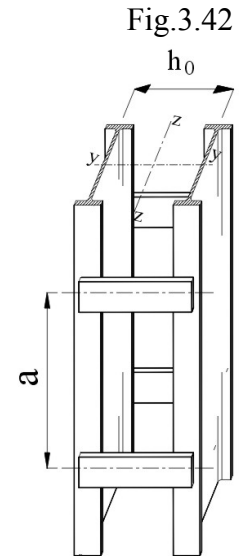


Fig.3.43

Nelle due metà del passo, a cavallo di un calastrello, si producono sul montante due deformazioni δ , uguali e in senso opposto, che determinano sforzi di taglio, sulle rispettive sezioni di esso.

Nella normativa NTC, integrata dalla G.V. n° 47, lo sforzo di taglio di progetto V_{Ed} nei campi estremi è espresso dalla formula già utilizzata nelle aste composte tralicciate:

$$V_{Ed} = \pi \cdot \frac{M_{Ed}}{L} \quad (3.54)$$

dove L è la lunghezza dell'intera asta.

Il momento di progetto M_{Ed} è espresso dalla stessa formula utilizzata per le aste tralicciate:

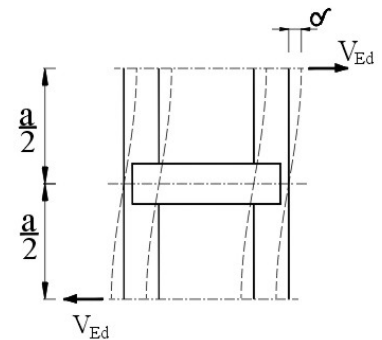
$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} \cdot e_0 + M_{Ed}^I}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_V}} \quad (3.55)$$

Dove:

N_{ed} forza normale di progetto dell'asta composta;

e_0 eccentricità – imperfezione;

$$e_0 = \frac{L}{500}$$



M_{Ed}^I valore massimo del momento flettente agente in mezzeria dell'asta composta;

S_v rigidezza a taglio equivalente dell'asta composta calastrellata, fornita dalla espressione della colonna (4) della tabella Tab.3.4.I qui di seguito riportata

$$\frac{24 E J_c}{a^2 \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot J_c \cdot h_0}{n \cdot J_v \cdot a} \right]} \leq \frac{2 \pi^2 \cdot E J_c}{a^2} \quad (3.56)$$

Tab.3.4.I
(Tabella C4.2.II normativa NTC)

schema dell'asta composta	(1)	(2)	(3)	(4)
S_v rigidezza a taglio	$\frac{n \cdot E A_d \cdot a \cdot h_0^2}{d^3}$	$\frac{n \cdot E A_d \cdot a \cdot h_0^2}{2 \cdot d^3}$	$\frac{n E A_d \cdot a \cdot h_0^2}{d^2 \left[1 + \frac{A_d \cdot h_0^3}{A_v \cdot d^3} \right]}$	$\frac{24 E J_c}{a^2 \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot J_c \cdot h_0}{n \cdot J_v \cdot a} \right]} \leq \frac{2 \pi^2 \cdot E J_c}{a^2}$

Con

I_C momento d'inerzia della sezione del corrente rispetto all'asse normale al piano dei calastrelli. Nella figura (3.42) è l'asse z del profilato I;

a distanza tra gli assi di due calastrelli successivi;

J_v momento d'inerzia del calastrello;

h_0 distanza tra i baricentri dei correnti

n numero di piani di calastrellatura

N_{cr} Carico critico euleriano dell'asta composta

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{eff}}{L^2} \quad (3.57)$$

dove J_{eff} è il momento d'inerzia effettivo dell'asta composta;

$$J_{eff} = 0,5 \cdot A_C \cdot h_0^2 + 2 \cdot \mu \cdot J_C \quad (3.58)$$

con

A_C area della sezione di un corrente;

μ coefficiente di efficienza dipendente dalla snellezza λ dell'asta composta.

È definita snellezza λ dell'asta calastrellata il rapporto:

$$\lambda = \frac{L}{i_0} \quad (3.59)$$

con

$$i_0 = \sqrt{\frac{J_0}{2 \cdot A_C}} \quad (3.60)$$

dove J_0 è il momento d'inerzia dell'asta calastrellata, espressa dalla (3.58) ponendo in essa $\mu = 1$. Si ha:

$$J_0 = 0,5 \cdot h_0^2 + 2 \cdot J_C$$

sostituendo nella (3.60) si ha:

$$i_0 = \sqrt{\frac{0,5 \cdot h_0^2 \cdot A_C + 2 \cdot J_C}{2 \cdot A_C}}$$

sostituendo nella (3.59) si ha:

$$\lambda = L \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot A_C}{0,5 \cdot h_0^2 \cdot A_C + 2 \cdot J_C}} \quad (3.61)$$

A seconda dei valori di λ si hanno i diversi valori di μ da sostituire nella (3.58) per determinare il momento d'inerzia effettivo J_{eff}

λ	μ
$\lambda \leq 75$	$\mu = 1$
$75 < \lambda \leq 150$	$\mu = 2 - \frac{\lambda}{75}$
$\lambda > 150$	$\mu = 0$

3.3.2.1- Sollecitazioni sui correnti e sui calastrelli dell'asta composta

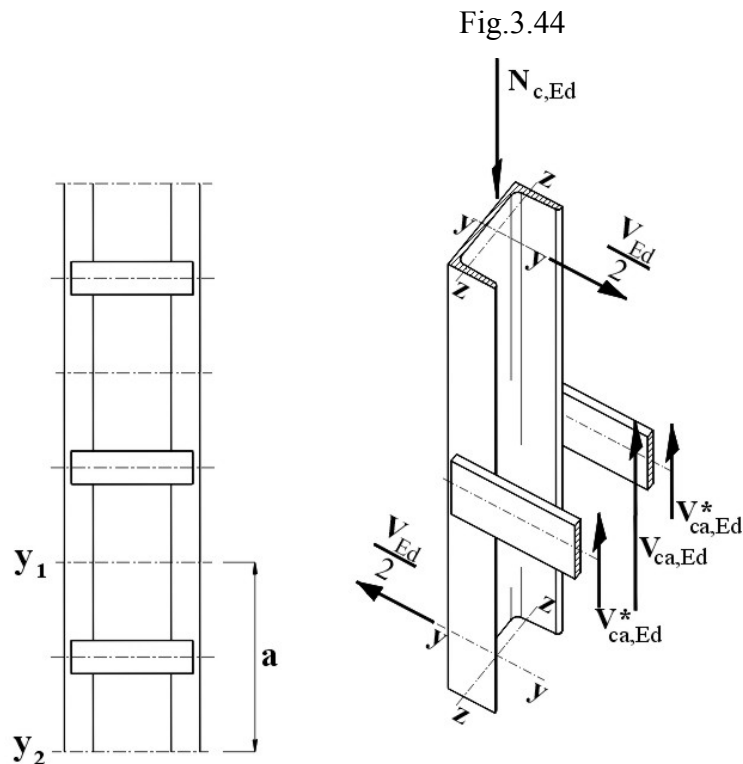
Sforzo normale di progetto $N_{C,Ed}$ sul corrente

È dato dalla espressione già precedentemente considerata nello studio delle sollecitazioni sulle aste composte (3.41)

$$N_{C,Ed} = 0,5 \cdot N_{Ed} + \frac{M_{Ed} \cdot h_0 \cdot A_C}{2 \cdot J_{eff}} \quad (3.62)$$

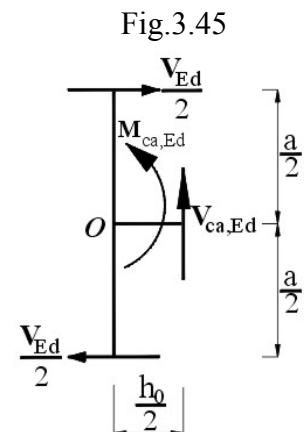
con i termini dell'espressione già definiti

3.3.2.1.1- Distribuzione delle forze e momenti tra correnti e calastrelli



In un campo estremo, nelle due sezioni $y_1 - y_2$ del corrente a cavallo del punto di giunzione con gli n , calastrelli, pari al numero di piani di calastrellatura. (2 nella figura), lo sforzo di taglio complessivo V_{Ed} sui due correnti è espresso dalla (3.54). Su un corrente lo sforzo di taglio è $\frac{V_{Ed}}{2}$. Questo determina uno sforzo complessivo di taglio coniugato $V_{ca,Ed}$ sulle sezioni di mezzera degli n calastrelli.

Lo sforzo di taglio totale $V_{ca,Ed}$ sulle sezioni degli n calastrelli, (generalmente 1 o 2), determina un momento $M_{ca,Ed}$, rispetto al nodo "O", che equilibra la coppia degli sforzi di taglio $\frac{V_{Ed}}{2}$, agenti sulle sezioni $y_1 - y_2$ del corrente.



Per l'equilibrio si ha:

$$V_{ca,Ed} \cdot \frac{h_0}{2} - \frac{V_{Ed}}{2} \cdot a = 0$$

$$V_{ca,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot a}{h_0} \quad (3.63)$$

Lo sforzo di taglio totale $V_{ca,Ed}$ si scarica sulle sezioni dei calastrelli posti negli n piani di calastrellatura, collegati al corrente tra le sezioni $y_1 - y_2$ di un campo estremo.

Sulla sezione di mezzeria di un calastrello si ha lo sforzo di taglio $V_{ca,Ed}^*$.

$$V_{ca,Ed}^* = \frac{V_{Ed} \cdot a}{n \cdot h_0} \quad (3.64)$$

3.3.2.1.2- Momento flettente massimo su un singolo calastrello

Il momento massimo sul calastrello si ha sulla sezione nel nodo "O" di giunzione con il corrente. Si ha:

$$M_{ca,Ed}^* = V_{ca,Ed}^* \cdot \frac{h_0}{2}$$

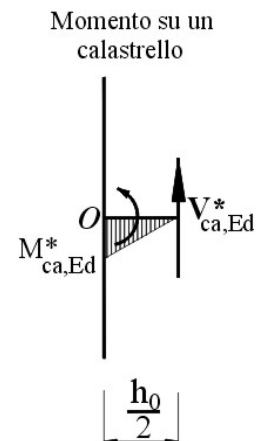
sostituendo la (3.64) si ha:

$$M_{ca,Ed}^* = \frac{V_{Ed} \cdot a}{n \cdot h_0} \cdot \frac{h_0}{2}$$

momento massimo sul singolo calastrello:

$$M_{ca,Ed}^* = \frac{V_{Ed} \cdot a}{2 \cdot n} \quad (3.65)$$

Fig.3,46



3.3.2.1.3- Momento flettente massimo sugli n calastrelli dei piani di calastrellatura

Il momento massimo, sulle sezioni degli n calastrelli, nel nodo di giunzione con il corrente è:

$$M_{ca,Ed} = n \cdot M_{ca,Ed}^*$$

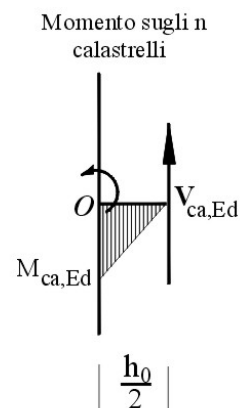
sostituendo la (3.65) si ha:

$$M_{ca,Ed} = n \cdot \frac{V_{Ed} \cdot a}{2 \cdot n}$$

$$M_{ca,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot a}{2} \quad (3.66)$$

Ovviamente si ha anche:

Fig.3.47



$$M_{ca,Ed} = V_{ca,Ed} \cdot \frac{h_0}{2} \quad (3.66.a)$$

infatti, sostituendo a $V_{ca,Ed}$ la (3.63)

$$M_{ca,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot a}{h_0} \cdot \frac{h_0}{2}$$

si ottiene la espressione (3.66)

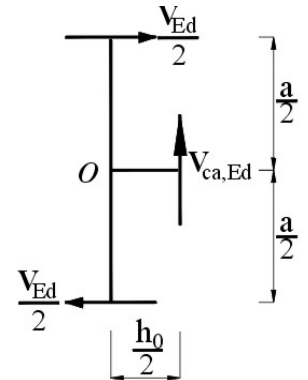
$$M_{ca,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot a}{2} \quad (3.66)$$

3.3.2.1.4- *Momento flettente massimo sul corrente in corrispondenza del nodo O*

Fig.3,48

Sul nodo "O" di giunzione degli n calastrelli con il corrente, si hanno diversi momenti nelle sezioni dei rami che convergono sul nodo: il momento $M_{ca,Ed}$ trasmesso dagli n calastrelli, due momenti $M_{c,Ed}$ trasmessi dai due rami del corrente convergenti sul nodo

Dalla rappresentazione schematica di figura (Fig.3.48) della giunzione "O" tra il corrente e i calastrelli degli n piani di calastrellatura, si ricava il momento massimo sulla sezione del corrente in "O":

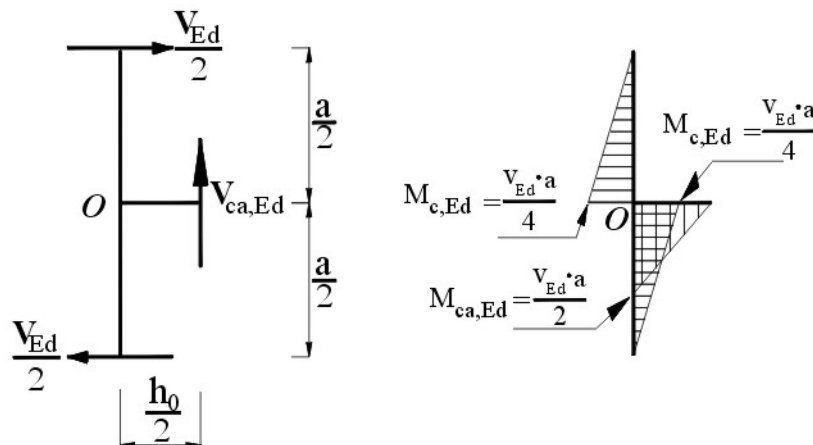


$$M_{c,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot a}{2} \quad (3.67)$$

$$M_{c,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot a}{4}$$

Da quanto esposto, sul nodo di giunzione "O", tra il corrente e gli n calastrelli nei rispettivi piani di calastrellatura, si ha una distribuzione dei momenti come indicato in figura (Fig.3.49):

Fig.3.49



Per l'equilibrio del nodo "O" si ha:

$$\sum M = M_{ca,Ed} - M_{c,Ed} - M_{c,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot a}{2} - \frac{V_{Ed} \cdot a}{4} - \frac{V_{Ed} \cdot a}{4} = 0$$

Riunendo le espressioni che interesseranno i calcoli di verifica:

sforzo normale su un corrente $\frac{N_{Ed}}{2}$

sforzo di taglio su un campo estremo $V_{Ed} = \pi \cdot \frac{M_{Ed}}{L}$ (3.54)

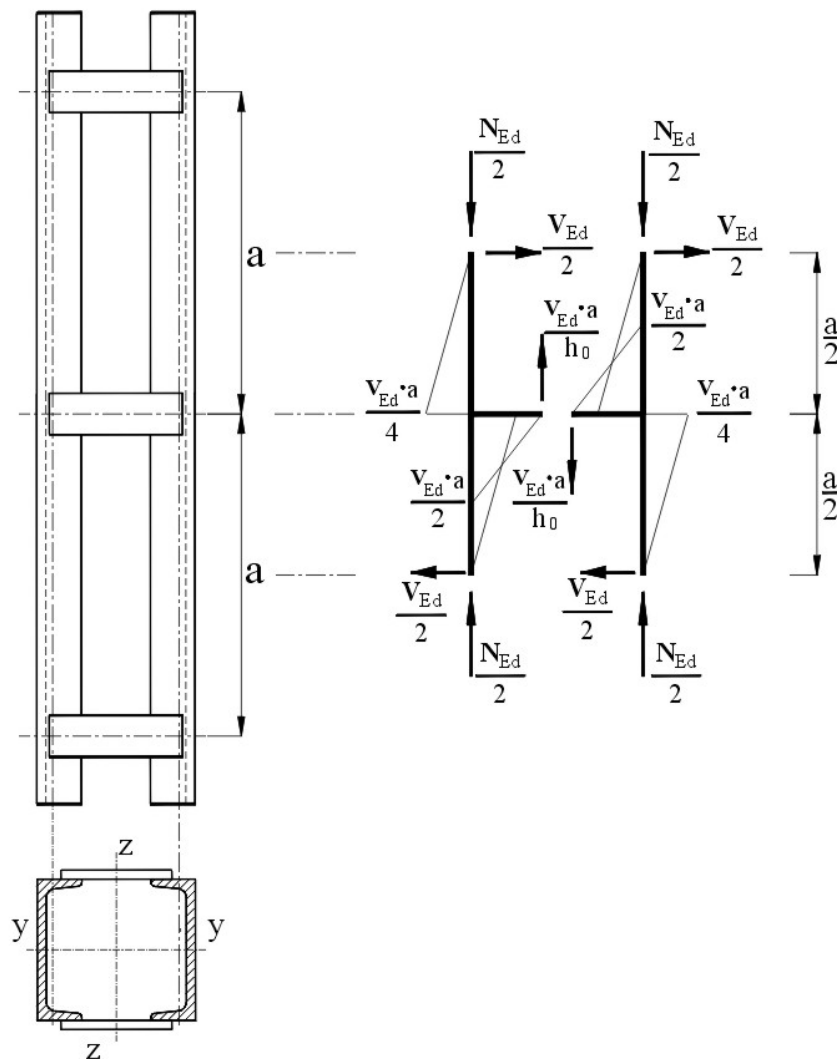
sforzo di taglio su un corrente $\frac{V_{Ed}}{2}$

sforzo di taglio su un calastrolo $V_{ca,Ed}^* = \frac{V_{Ed} \cdot a}{n \cdot h_0}$ (3.64)

Momento max. su un calastrolo $M_{ca,Ed}^* = \frac{V_{Ed} \cdot a}{2 \cdot n}$ (3.65)

Momento max. sul corrente $M_{c,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot a}{h_0}$ (3.67)

Fig.49a



3.3.2.2- Verifiche di resistenza

3.3.2.2.1- Verifica del corrente

I piani calastrellati sono paralleli all'asse forte $y-y$ (sezione dei calastrelli perpendicolari ad esso), in modo da ottenere una struttura rinforzata rispetto all'asse debole del singolo corrente.

La verifica all'inflessione laterale del singolo corrente va eseguita, sia rispetto all'asse forte $y-y$ per l'intera lunghezza del corrente, sia all'asse debole $z-z$ per la lunghezza del corrente compreso tra due calastrelli, e riferito ad un campo estremo.

3.3.2.2.1.1- Verifica del corrente rispetto all'asse forte $y-y$

La verifica all'instabilità laterale del singolo corrente, rispetto all'asse forte $y-y$, è eseguita con la lunghezza di libera inflessione, pari a quella intera L tra i suoi estremi se incernierati o $\beta \cdot L$ negli altri casi.

Per la verifiche deve risultare:

$$\frac{N_{C,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

con $N_{C,Rd}$, sforzo normale di progetto dato dalla (3.62)

$$N_{C,Ed} = 0,5 \cdot N_{Ed} + \frac{M_{Ed} \cdot h_0 \cdot A_C}{2 \cdot J_{eff}}$$

Sforzo resistente:

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A_c \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

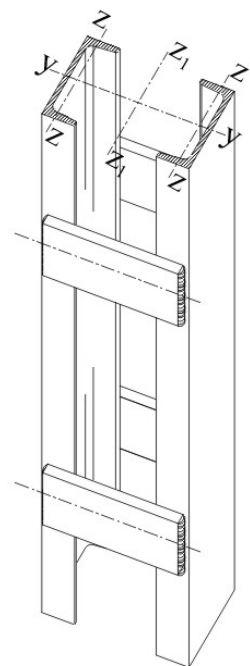
dove, come noto:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_p} \quad \left\{ \begin{array}{l} \lambda_y = \frac{\beta \cdot L}{i_y} \\ \lambda_p = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} \end{array} \right.$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right]$$

Fig.3.50



3.3.2.2.1.2- Verifica del corrente rispetto all'asse debole $z-z$

La verifica del corrente rispetto all'asse debole $z-z$ si esegue per una lunghezza di libera inflessione pari al passo "a": distanza tra gli assi di due calastrelli successivi, nei quali il corrente risulta vincolato.

Si ha una sollecitazione di presso-flessione e si trascura l'effetto del taglio (praticamente con sollecitazione ininfluente).

Si possono utilizzare i metodi A o B di cui alla normativa riportata nella Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, e trattati nella terza parte di quest'opera.

Così con il metodo A, per la verifica deve risultare:

$$\frac{N_{c,Ed}}{\chi_{min} \frac{f_{yk} \cdot A}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,eq,Ed}}{\frac{f_{yk} \cdot W_z}{\gamma_{M1}} \left(1 - \frac{N_{c,Ed}}{N_{cr,z}} \right)} \leq 1 \quad (3.68)$$

dove

$M_{z,eq,Ed}$ - è il momento equivalente, che per l'andamento rettilineo che si ha nel tratto pari al passo a del corrente è espresso dalla relazione (punto 7.3.1.1 già trattato):

$$M_{z,eq,Ed} = 0,6 \cdot M_a - 0,4 \cdot M_b \geq 0,4 \cdot M_a \quad (3.69)$$

con

$$|M_a| \geq |M_b|$$

nel caso in esame, del campo estremo del corrente di lunghezza pari al passo a , il momento varia linearmente tra i valori estremi, uguali di grandezza e di segno:

$$M_a = M_b = M_{c,Ed}$$

Considerando il segno di riferimento per i momenti (per comodità) antiorario, si ottiene per la (3.69) il momento equivalente:

$$M_{z,eq,Ed} = 0,6 \cdot M_a - 0,4 \cdot M_a$$

$$M_{z,eq,Ed} = 0,2 \cdot M_a \quad \text{risulta} \quad M_{z,eq,Ed} < 0,4 \cdot M_a$$

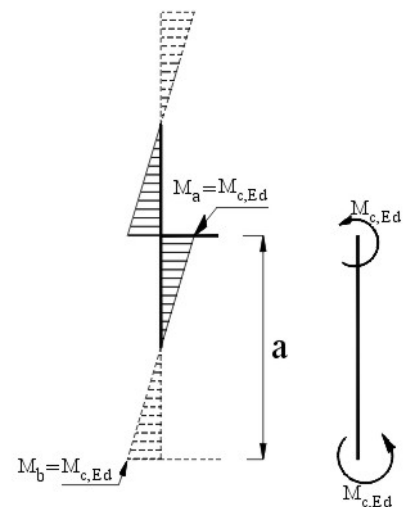
si assume quindi per il momento equivalente di calcolo :

$$M_{z,eq,Ed} = 0,4 \cdot M_a \quad \text{dove} \quad M_a = M_{c,Ed} \quad \text{si ha}$$

$$M_{z,eq,Ed} = 0,4 \cdot M_{c,Ed} \quad (3.70)$$

$N_{c,Ed}$ - è il carico equivalente sul corrente

Fig.3.51



$$N_{c,Ed} = 0,5 \cdot N_{Ed} + \frac{M_{Ed} \cdot h_0 \cdot A_C}{2 \cdot J_{eff}}$$

N_{Ed} - è il carico di progetto sull'asta composta

$N_{cr,z}$ - è il carico critico euleriano

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_z}{a^2}$$

e, come noto si ha:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_p} \quad \left\{ \begin{array}{l} \lambda_z = \frac{\beta \cdot L}{i_z} \\ \lambda_p = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} \end{array} \right.$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right]$$

3.3.2.2.2- Verifica dei calastrelli

In un campo estremo dell'asta calastrellata il singolo calastrello è sollecitato a flessione e taglio. I parametri caratteristici interessanti le verifiche sono stati espressi dalle (3.54), (3.64), (3.65), (3.67).

Lo sforzo di taglio è espresso da:

$$V_{ca,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot a}{2 \cdot n} \quad (3.71)$$

dove:

V_{Ed} è lo sforzo di taglio di progetto sull'asta calastrellata in un campo estremo

$$V_{Ed} = \pi \cdot \frac{M_{Ed}}{L} \quad (3.72)$$

n è il numero dei piani calastrellati

a passo della calastrellatura

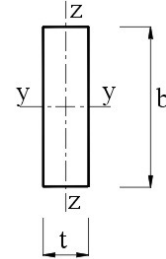
Il momento flettente max. sul singolo calastrello è espresso da:

$$M_{ca,Ed}^* = \frac{V_{Ed} \cdot a}{2 \cdot n} \quad (3.73)$$

Per la verifica occorre accertare se la sollecitazione a taglio si possa trascurare rispetto a quella di flessione, in genere preponderante.

Per il controllo si procede, come già esposto nello specifico capitolo trattato, che, qui, viene richiamato.

Fig.3.52



- Si determina la resistenza di calcolo al taglio:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad (3.74)$$

- Non si considera, nella verifica, l'influenza del taglio se risulta:

$$V_{ca,Ed}^* \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad (3.75)$$

- Se la condizione (3.75) non è verificata occorre tener conto, oltre alla sollecitazione di flessione, anche quella a taglio.

Ciò può essere ottenuto considerando una resistenza alla sollecitazione di flessione, con una tensione caratteristica di snervamento f'_{yk} ridotta:

$$f'_{yk} = (1 - \rho) \cdot f_{yk} \quad (3.76)$$

con:

$$\rho = \left[\frac{2 \cdot V_{ca,Ed}^*}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2$$

- Si calcola il momento resistente di calcolo:

$$M_{c,Rd} = \frac{f'_{yk} \cdot W_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{(1 - \rho) \cdot f_{yk} \cdot W_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.77)$$

per una sezione rettangolare il modulo di resistenza elastico è:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot t \cdot b^2$$

valido per tutte le classiche sezioni 1,2,3

- Determinato il momento max. di calcolo

$$M_{ca,Ed}^* = \frac{V_{Ed} \cdot a}{2 \cdot n}$$

- Per la verifica deve risultare:

$$\frac{M_{ca,Ed}^*}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Notare

Nel caso che sia soddisfatta la (3.73) e il taglio sia ininfluenza si pone nella (3.77) $\rho = 0$

Raccomandazioni EC3 – UNI 1993

- Devono essere previsto un calastrello per ciascuna estremità delle membratura
- Si raccomanda che siano previsti calastrelli nei punti intermedi della membratura, ove sono applicati carichi o dove sono previsti ritegni laterali
- Si raccomanda che calastrelli siano introdotti per dividere la lunghezza della membratura in almeno 3 campi. Devono esserci almeno 3 campi fra i punti che sono considerati vincolati lateralmente nel piano dei calastrelli. Si raccomanda che, per quanto possibile, i calastrelli intermedi siano intervallati e dimensionati uniformemente per tutta la lunghezza della membratura
- Qualora si dispongano piani paralleli di calastrelli, si raccomanda che i calastrelli in ciascun piano siano posizionati in modo opposto a quelli dell'altro piano.
- Quando la rigidezza a taglio S_v è valutata trascurando la flessibilità dei calastrelli stessi, si raccomanda che la larghezza di un calastrello di estremità lungo la membratura non sia inferiore a h_0 e la larghezza di un calastrello intermedio non sia minore di $0,5 \cdot h_0$, dove h_0 è la distanza fra i baricentri dei correnti.
- Si raccomanda che ad eccezione del caso in cui la flessibilità dei calastrelli sia specificamente tenuta in considerazione nella valutazione di S_v , i calastrelli soddisfino pure alla relazione:

$$\frac{n \cdot J_v}{h_0} \geq 10 \cdot \frac{J_C}{a}$$

dove come noto:

- n numero dei piani calastrellati;
- J_v momento d'inerzia nel piano di un calastrello;
- J_C momento d'inerzia nel piano di un corrente;
- h_0 distanza tra i baricentri dei correnti;
- a passo: distanza tra gli assi dei calastrelli.

Esempio 3

Dimensionamento di un'asta composta calastrellata

Una colonna di una struttura, incastrata alla base e con semincastro all'altra estremità, è soggetta ad un carico assiale permanente $G_1 = 25 \text{ kN}$ e un carico variabile $Q_1 = 35 \text{ kN}$.

Inoltre, la colonna è sottoposta in mezzeria ad un momento max. di progetto di $M'_{Ed} = 9 \text{ kN} \cdot \text{m}$

La colonna è costruita con due profilati $\left[\quad \right]$ calastrellati.

L'altezza geometrica della colonna è $L = 600 \text{ cm}$

Dati:

Carico permanente	$G_1 = 25 \text{ kN}$
Carico variabile	$Q_1 = 35 \text{ kN}$
Momento max. di progetto	$M'_{Ed} = 9 \text{ kN} \cdot \text{m}$
Altezza della colonna	$L = 600 \text{ cm}$
Acciaio S 275	$f_{yk} = 27,5 \text{ kN} / \text{cm}^2$

-----o-----

Si scelgono due profilati ad U 120x55 serie normale, calastrellati, con distanza 150 mm tra le superfici esterne.

Parametri del profilato

$A_C = 17,0 \text{ cm}$	$i_y = 4,63 \text{ cm}$
$b = 55 \text{ mm}$	$i_z = 1,59 \text{ cm}$
$h = 120 \text{ mm}$	$J_y = 364 \text{ cm}^4$
$e_z = 16,1 \text{ mm}$	$J_z = 43,1 \text{ cm}^4$
$r = 9 \text{ mm}$	$d = 82 \text{ mm}$
$t_w = 7 \text{ mm}$	$t_f = 9 \text{ mm}$
$W_{y,el} = 60,7 \text{ cm}^3$	$W_{z,el} = 11,1 \text{ cm}^3$

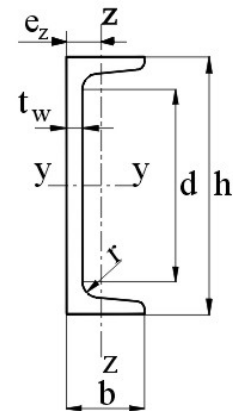


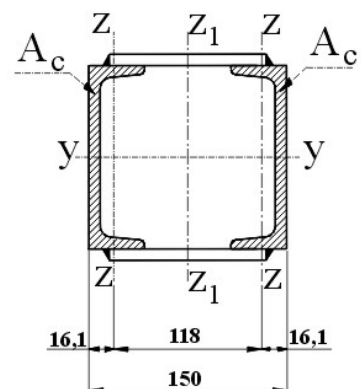
Fig.3.54

Distanza h_0 tra gli assi baricentrici $z-z$ dei due profilati uniti da calastrelli.

$$h_0 = 150 - 2 \cdot e_z$$

$$h_0 = 150 - 2 \cdot 16,1$$

$$h_0 = 118 \text{ mm} = 11,8 \text{ cm}$$



Classe della sezione a compressione

Classe parte interna

$$\text{Classe 1} \quad \frac{C}{t} \leq 33\varepsilon$$

$$\text{Classe 2} \quad \frac{C}{t} \leq 38\varepsilon$$

$$\text{Classe 3} \quad \frac{C}{t} \leq 42\varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$

sostituendo si ha:

$$\text{Classe 1} \quad \frac{C}{t} \leq 33 \cdot 0,92 \quad \frac{C}{t} \leq 30,36$$

$$\text{Classe 2} \quad \frac{C}{t} \leq 38 \cdot 0,92 \quad \frac{C}{t} \leq 34,96$$

$$\text{Classe 3} \quad \frac{C}{t} \leq 42 \cdot 0,92 \quad \frac{C}{t} \leq 38,64$$

Per il profilato in esame si ha:

$$C = d = 82 \text{ mm} \quad t_w = 7 \text{ mm}$$

$$\frac{C}{t} = \frac{82}{7} = 11,71$$

$$\frac{C}{t} = 11,71 < 30,36$$

La parte interna del profilato è di classe 1

Classe parte esterna

$$\text{Classe 1} \quad \frac{C}{t} \leq 9\varepsilon$$

$$\text{Classe 2} \quad \frac{C}{t} \leq 10\varepsilon$$

$$\text{Classe 3} \quad \frac{C}{t} \leq 14\varepsilon$$

Per $\varepsilon = 0,92$ si ha:

$$\text{Classe 1} \quad \frac{C}{t} \leq 9 \cdot 0,92 \quad \frac{C}{t} \leq 8,28$$

Fig.3,55

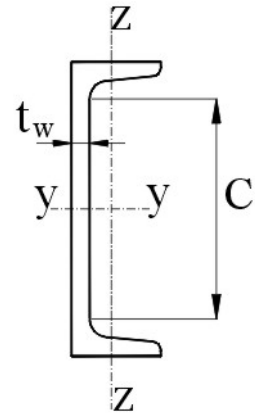
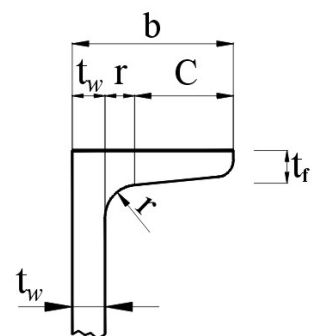


Fig. 3.56



$$\begin{array}{ll} \text{Classe 2} & \frac{C}{t} \leq 10 \cdot 0,92 & \frac{C}{t} \leq 9,2 \\ \text{Classe 3} & \frac{C}{t} \leq 14 \cdot 92 & \frac{C}{t} \leq 12,88 \end{array}$$

Per il profilato in esame si ha:

$$C = b - t_w - r \quad C = 55 - 7 - 9$$

$$C = 39 \text{ mm}$$

$$t = t_f = 9 \text{ mm}$$

$$\frac{C}{t} = \frac{39}{9} = 4,33 < 8,28$$

La sezione della parte esterna del profilato è di classe 1

Il profilato nei riguardi della compressione è di classe 1

Forza normale N_{Ed} di progetto sull'asta composta

Lo sforzo normale di progetto N_{Ed} è dato dalla combinazione del carico permanente con quello variabile secondo i coefficienti parziali della azioni γ_F nelle verifiche SLU di tipo STR.

$$N_{Ed} = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{Q1} \cdot Q_1$$

con:

$$\gamma_{G1} = 1,3$$

$$\gamma_{Q1} = 1,5$$

$$N_{Ed} = 1,3 \cdot 25 + 1,5 \cdot 35$$


$$N_{Ed} = 85 \text{ kN} \quad (e3.1)$$

Momento massimo di progetto M'_{Ed} nella mezzeria dell'asta

È un dato iniziale dell'esempio in oggetto

$$M'_{Ed} = 9 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (e3.2)$$

Scelta dei calastrelli

Si impiegano piatti  100x8 di lunghezza 125 mm (125x100x8) per i calastrelli intermedi, mentre i calastrelli di estremità hanno larghezza 120 mm

Sono così rispettate le raccomandazioni della normativa EC3 – UNI 1993: risulta:

$$\text{Larghezza del calastrello intermedio:} \quad b = 100 > \frac{h_0}{2} = 59 \text{ mm}$$

$$\text{Larghezza del calastrello di estremità:} \quad b = 120 > h_0 = 118 \text{ mm}$$

Distanza degli assi dei calastrelli:

$$a = 50 \text{ mm}$$

Secondo EC3- UNI 1993 è raccomandato che sia verificata la relazione:

$$\frac{n \cdot J_v}{h_0} \geq 10 \cdot \frac{J_C}{a} \quad (e3.3)$$

si ha:

Numero dei piani di calastrellatura

$$n = 2$$

Distanza tra i baricentri dei correnti

$$h_0 = 11,8 \text{ cm}$$

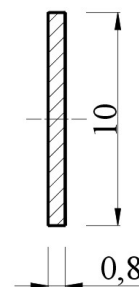
Momento d'inerzia nel piano di un corrente

$$J_C = J_z = 43,1 \text{ cm}^4$$

Momento d'inerzia nel piano di un calastrello

$$J_V = \frac{I}{12} \cdot 0,8 \cdot 10^3$$

$$J_V = 66,6 \text{ cm}^4 \quad (e3.3.a)$$



Risulta:

$$\frac{n \cdot J_v}{h_0} = \frac{2 \cdot 66,6}{11,8}$$

$$\frac{n \cdot J_v}{h_0} = 11,28 \quad (e3.3.b)$$

$$10 \cdot \frac{J_C}{a} = 10 \cdot \frac{43,1}{50}$$

$$10 \cdot \frac{J_C}{a} = 8,62 \quad (e3.3.c)$$

Confrontando la (e3.3.b) con la (e3.3.c), si verifica che è rispettata la raccomandazione (e3.3)

Sforzo su un montante

$$N_{c,Ed} = 0,5 \cdot N_{Ed} + \frac{M_{Ed} \cdot h_0 \cdot A_C}{2 \cdot J_{eff}} \quad (e3.4)$$

con

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} \cdot e_0 + M_{Ed}^I}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_V}} \quad (e3.5)$$

dove:

$$N_{Ed} = 85 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^I = 9 \text{ kN} \cdot \text{m} = 900 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Eccentricità e_0

$$e_0 = \frac{L}{500} \qquad e_0 = \frac{600}{500}$$

$$e_0 = 1,2 \text{ cm} \qquad (e3.6)$$

Carico critico euleriano dell'asta composta

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{eff}}{L^2} \qquad (e3.7)$$

dove J_{eff} è il momento d'inerzia effettivo dell'asta composta;

$$J_{eff} = 0,5 \cdot A_C \cdot h_0^2 + 2 \cdot \mu \cdot J_C \qquad (e3.8)$$

Con

A_C area della sezione di un corrente;

J_C momento di inerzia della sezione di corrente rispetto all'asse z

μ coefficiente di efficienza dipendente dalla snellezza λ dell'asta composta, calcolata con un momento d'inerzia effettivo ottenuto dalla (e3.8) con $\mu = 1$.

λ	μ
$\lambda \leq 75$	$\mu = 1$
$75 < \lambda \leq 150$	$\mu = 2 - \frac{\lambda}{75}$
$\lambda > 150$	$\mu = 0$

Snellezza dell'asta calastrellata, calcolata con $\mu = 1$

$$\lambda = L \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot A_C}{0,5 \cdot h_0^2 \cdot A_C + 2 \cdot J_C}}$$

$$\lambda = 600 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 17}{0,5 \cdot h_0 \cdot A_C + 2 \cdot J_C}}$$

$$\lambda = 98 > 75$$

dalla tabella si ha:

$$\mu = 2 - \frac{\lambda}{75} \quad \mu = 2 - \frac{98}{75}$$

$$\mu = 0,69 \quad (e3.9)$$

Sostituendo nella (e3.8):

$$J_{eff} = 0,5 \cdot A_C \cdot h_0^2 + 2 \cdot \mu \cdot J_C \quad J_{eff} = 0,5 \cdot 17 \cdot 11,8^2 + 2 \cdot 0,69 \cdot 43,1$$

$$J_{eff} = 1243 \text{ cm}^4 \quad (e3.10)$$

Sostituendo nella (e3.7):

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{eff}}{L^2} \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 43,1}{600^2}$$

$$N_{cr} = 715 \text{ kN} \quad (e3.10)$$

Rigidezza a taglio S_V

Dalla tabella Tab.3.4.I n.4 si ha:

$$S_V = \frac{24 E J_c}{a^2 \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot J_c \cdot h_0}{n \cdot J_v \cdot a} \right]} \leq \frac{2 \pi^2 \cdot E J_c}{a^2} \quad (e3.11)$$

$$S_V = \frac{24 E J_c}{a^2 \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot J_c \cdot h_0}{n \cdot J_v \cdot a} \right]} = \frac{24 \cdot 21000 \cdot 43,1}{50^2 \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot 43,1 \cdot 11,8}{2 \cdot 66,6 \cdot 50} \right]}$$

$$S_V = 7538 \quad (e3.12)$$

La limitazione sul valore di S_V espressa dal secondo membro della (e3.11) è:

$$\frac{2 \pi^2 \cdot E J_c}{a^2} = \frac{2 \pi^2 \cdot 21000 \cdot 43,1}{50^2} = 7146 \text{ kN}$$

Risulta:

$$S_V = 7538 \text{ kN} > 7146 \text{ kN}$$

La rigidezza di calcolo, cautelativamente, non deve superare la limitazione espressa nella (e3.11)

Si pone quindi:

$$S_V = 7146 \text{ kN} \quad (e3.12)$$

Sostituendo la (e3.10) e la (e3.12) nella (e3.5) si calcola il momento di progetto M_{Ed}

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} \cdot e_0 + M_{Ed}^I}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_V}} \quad M_{Ed} = \frac{85 \cdot 1.2 + 900}{1 - \frac{85}{715} - \frac{85}{7146}}$$

$$M_{Ed} = 1152 \text{ kN} \cdot \text{cm} \quad (e3.13)$$

Si può ora determinare lo sforzo normale sul corrente $N_{c,Ed}$

$$N_{Ed} = 85 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1152 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$h_0 = 11,8 \text{ cm}$$

$$A_C = 17 \text{ cm}^2$$

$$J_{eff} = 1243 \text{ cm}^4$$

$$N_{c,Ed} = 0,5 \cdot N_{Ed} + \frac{M_{Ed} \cdot h_0 \cdot A_C}{2 \cdot J_{eff}} \quad N_{c,Ed} = 0,5 \cdot 85 + \frac{1152 \cdot 11,8 \cdot 17}{2 \cdot 1243}$$

$$N_{c,Ed} = 135 \text{ kN} \quad (e3.14)$$

Verifica del corrente

Deve risultare:

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \quad (e3.15)$$

dove $N_{b,Rd}$ è la resistenza all'instabilità laterale.

Occorre eseguire due verifiche all'instabilità laterale per compressione. Una rispetto all'asse forte y , dove la lunghezza di libera inflessione è l'intera lunghezza L del corrente; l'altra verifica va eseguita rispetto all'asse debole z , dove la lunghezza di libera inflessione è il passo a , distanza tra gli assi di due calastrelli successivi, che fungono da vincoli all'instabilità laterale.

Resistenza all'instabilità rispetto all'asse forte y

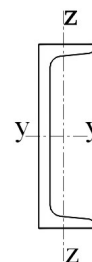
$$A_C = 17 \text{ cm}^2$$

$$i_y = 4,63 \text{ cm}$$

Resistenza all'instabilità

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A_C \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} \quad (e3.16)$$

con il fattore di riduzione χ_y :



$$\lambda_y = \frac{I}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} \quad (e3.17)$$

la snellezza adimensionale $\bar{\lambda}_y$ è calcolata con lunghezza di libera inflessione pari a quella $L = 600 \text{ cm}$ dell'intero corrente.

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_p} \quad \left\{ \begin{array}{l} \lambda_y = \frac{\beta \cdot L}{i_y} \\ \lambda_p = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} \end{array} \right.$$

Cautelativamente è posto $\beta = 1$

$$\lambda_y = \frac{L}{i_y} \qquad \lambda_y = \frac{600}{4,63} \qquad \lambda_y = 130$$

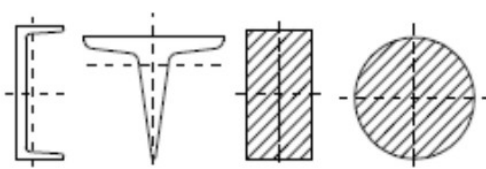
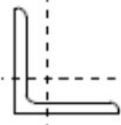
$$\lambda_p = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} \qquad \lambda_p = \pi \cdot \sqrt{\frac{21000}{27,5}} \qquad \lambda_p = 87$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_p} \qquad \bar{\lambda}_y = \frac{130}{87}$$

$$\bar{\lambda}_y = 1,49 \qquad (e3.18)$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] \qquad (e3.19)$$

Tabella 4.2.VI Curve d'instabilità per varie tipologie di sezioni e classi d'acciaio, per elementi compressi.

	Sezione trasversale	Limiti	Inflessione intorno all'asse	Curva di instabilità	
				S235, S275, S355, S420	S460
Sezioni piene, ad U e T			qualunque	c	c
Sezioni ad L			qualunque	b	b
Curva di instabilità	a ₀	a	b	c	d
Fattore di imperfezione α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Il fattore di imperfezione α si ricava dalla Tabella 4.2.VI. Per il profilato a C è indicata la curva di instabilità "c"

Nelle ultime due righe della stessa tabella, in corrispondenza della curva "c" è indicato il valore di α i:

$$\alpha = 0,49$$

Sostituendo nella (e3.19):

$$\Phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right]$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (1,49 - 0,2) + 1,49^2 \right]$$

$$\Phi_y = 1,93 \quad (e3.20)$$

Sostituendo nella (e3.17)

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} \quad \chi_y = \frac{1}{1,93 + \sqrt{1,93^2 - 1,49^2}}$$

$$\chi_y = 0,316 \quad (e3.21)$$

Infine, sostituendo nella (e3.16), si ha la resistenza all'instabilità laterale rispetto all'asse forte $N_{b,Rd}$

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A_c \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 0,316 \cdot \frac{A17 \cdot 27,5}{1,05}$$

$$N_{b,Rd} = 140,6 \text{ kN} \quad (e3.22)$$

Verifica

$$\frac{N_{C,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{135}{140,6} \leq 1 \quad (e3.23)$$

Il corrente è verificato all'instabilità laterale rispetto all'asse forte y

Resistenza all'instabilità rispetto all'asse debole z

Rispetto all'asse debole il corrente deve essere verificato a flessione compressione, calcolata con una lunghezza di libera inflessione pari alla distanza "a" tra gli assi dei calastrelli, che fungono da vincoli di estremità.

Sforzo di taglio V_{Ed}

$$V_{Ed} = \pi \cdot \frac{M_{Ed}}{L} \quad V_{Ed} = \pi \cdot \frac{1152}{600}$$

$$V_{Ed} = 6 \text{ kN} \quad (e3.24)$$

Occorre verificare se è possibile trascurare l'effetto del taglio.

Sul corrente agisce uno sforzo di taglio $V_{C,Ed}$ di progetto:

$$V_{C,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{6}{2}$$

$$V_{C,Ed} = 3 \text{ kN} \quad (e3.25)$$

L'area A_v resistente a taglio, nella direzione normale all'anima è, praticamente, quella delle ali:

$$A_v = A - h \cdot t_w \quad A_v = 17 - 12 \cdot 0,7$$

$$A_v = 8,6 \text{ cm}^2$$

La resistenza al taglio è:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad V_{c,Rd} = \frac{8,6 \cdot 27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,05}$$

$$V_{c,Rd} = 130 \text{ kN} \quad (e3.26)$$

Risulta:

$$V_{C,Rd} < \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

lo sforzo di taglio $V_{C,Rd}$ sul corrente è inferiore alla metà della resistenza al taglio $\frac{V_{c,Rd}}{2}$; quindi si può trascurare la sollecitazione al taglio rispetto alle altre.

Fig.3.59

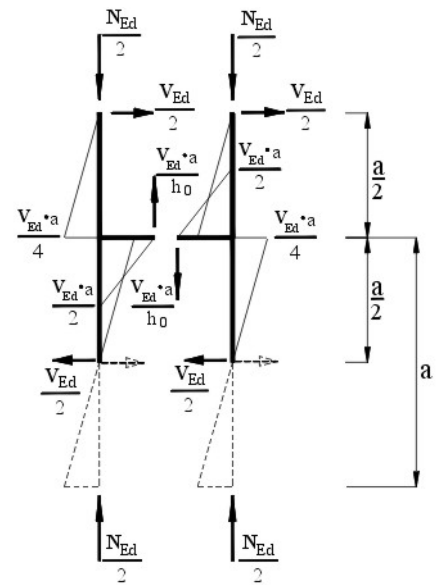
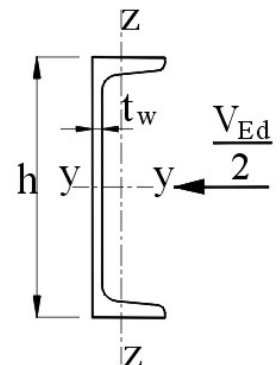


Fig.3.60



Verifica a presso flessione

Viene utilizzato, per esercizio, il metodo A, norme NTC (precedentemente, in un altro esempio si è impiegato il metodo B)

$$\chi_z \frac{N_{C,Ed}}{A_C \cdot f_{yk}} + \frac{M_{z,eq,Ed}}{W_z \cdot f_{yk} \cdot \left(1 - \frac{N_{C,Ed}}{N_{cr}}\right)} \leq 1 \quad (e3.27)$$

dove:

$$N_{C,Ed} = 135 \text{ kN}$$

$$A_C = 17 \text{ cm}^2$$

$$W_{z,el} = 11,1 \text{ cm}^3$$

Momento equivalente $M_{z,eq,Ed}$

Per l'andamento rettilineo del momento tra i due calastrelli, quello equivalente $M_{z,eq,Ed}$ è espresso dalla relazione:

$$M_{z,eq,Ed} = 0,6 \cdot M_a - 0,4 \cdot M_b \geq 0,4 \cdot M_a \quad (e3.28)$$

dove M_a, M_b sono i momenti agli estremi, con:

$$|M_a| \geq |M_b|$$

Nel caso già esaminato (Fig.3.59) si ha:

$$M_a = M_b = M_{C,Ed}$$

con:

$$M_{C,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot a}{4} \quad M_{C,Ed} = \frac{6 \cdot 50}{4}$$

$$M_{C,Ed} = 75 \text{ kN} \cdot \text{cm} \quad (e3.29)$$

risultando $M_a = M_b = M_{C,Ed}$ con lo stesso segno l'espressione del momento equivalente diviene:

$$M_{z,eq,Ed} = 0,6 \cdot M_a - 0,4 \cdot M_a = 0,2 \cdot M_a = 0,2 \cdot M_{C,Ed}$$

non potendo utilizzare nel calcolo momenti equivalenti inferiori a $0,4 \cdot M_a$, si pone:

$$M_{z,eq,Ed} = 0,4 \cdot M_a = 0,4 \cdot M_{C,Ed}$$

$$M_{z,eq,Ed} = 0,4 \cdot 75$$

$$M_{z,eq,Ed} = 30 \text{ kN} \cdot \text{cm} \quad (e3.30)$$

Coefficiente di riduzione χ_z

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} \quad (e3.31)$$

con:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_p} \quad \left\{ \begin{array}{l} \lambda_z = \frac{\beta \cdot l}{i_z} \\ \lambda_p = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} \end{array} \right.$$

posto:

$$\beta = 1$$

lunghezza di libera inflessione $l = a$

$$\lambda_z = \frac{a}{i_z} \quad \lambda_z = \frac{50}{1,59} \quad \lambda_z = 31$$

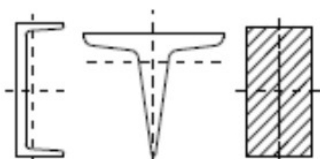
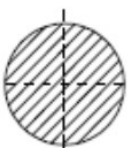
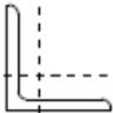
$$\lambda_p = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} \quad \lambda_p = \pi \cdot \sqrt{\frac{21000}{27,5}} \quad \lambda_p = 87$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_p} \quad \bar{\lambda}_z = \frac{31}{87}$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,35 \quad (e3.32)$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] \quad (e3.33)$$

Tabella 4.2.VI Curve d'instabilità per varie tipologie di sezioni e classi d'acciaio, per elementi compressi.

	Sezione trasversale	Limiti	Inflessione intorno all'asse	Curva di instabilità	
				S235, S275, S355, S420	S460
Sezioni piene, ad U e T			qualunque	c	c
Sezioni ad L			qualunque	b	b
Curva di instabilità	a ₀	a	b	c	d
Fattore di imperfezione α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Il fattore di imperfezione α si ricava dalla Tabella 4.2.VI,. Per il profilato a C è indicata la curva di instabilità "c"

Nelle ultime due righe della stessa tabella, in corrispondenza della curva "c" è indicato il valore di:

$$\alpha = 0,49$$

Sostituendo nella (e3.33):

$$\Phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] \quad \Phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (0,35 - 0,2) + 0,35^2 \right]$$

$$\Phi_z = 0,6 \quad (e3.34)$$

sostituendo la (e3.32 e la (e3.34) nella (e3.31) si ha:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} \quad \chi_z = \frac{1}{0,6 + \sqrt{0,6^2 - 0,49^2}}$$

$$\chi_z = 1,087 \quad (e3.35)$$

Carico critico euleriano N_{cr}

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_z}{a^2} \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 43,1}{50^2}$$

$$N_{cr} = 3573 \text{ kN} \quad (e3.36)$$

Verifica

Si ha:

$$N_{C,Ed} = 135 \text{ kN}$$

$$A_C = 17 \text{ cm}^2$$

$$W_{z,el} = 11,1 \text{ cm}^3$$

$$\chi_z = 1,087$$

$$M_{z,eq,Ed} = 30 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$N_{cr} = 3573 \text{ kN}$$

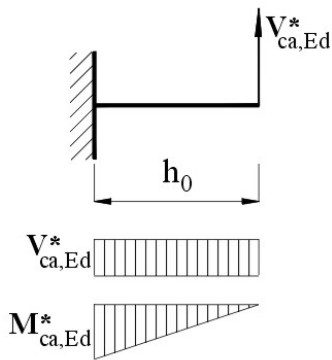
Sostituendo nella (e3.27) e utilizzando il modulo di resistenza elastico, valido per tutte le classi di sezione:

$$\text{deve essere:} \quad \chi_z \frac{N_{C,Ed}}{A_C \cdot f_{yk}} + \frac{M_{z,eq,Ed}}{W_{z,el} \cdot f_{yk} \cdot \left(1 - \frac{N_{C,Ed}}{N_{cr}} \right)} \leq 1$$

$$1,09 \frac{17 \cdot 27,5}{1,05} + \frac{30}{11,1 \cdot 27,5 \cdot \left(1 - \frac{135}{3573} \right)} = 0,453 \leq 1$$

La limitazione è soddisfatta e quindi la verifica è positiva.

Verifica calastrelli



Sono sollecitati a flessione e taglio

Sforzo di taglio di progetto su un calastrello:

$$V_{ca,Ed}^* = \frac{V_{Ed} \cdot a}{n \cdot h_0} \quad (e3.37)$$

dove n sono i piani di castrellatura: $n = 2$ nell'asta composta in oggetto.

Momento di progetto su un calastrello:

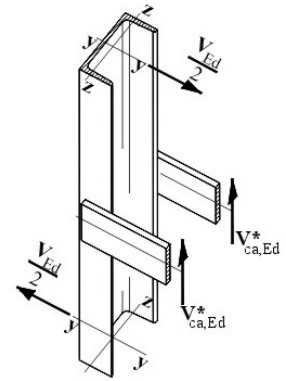
$$M_{ca,Ed}^* = \frac{V_{Ed} \cdot a}{2 \cdot n} \quad (e3.38)$$

Nell'asta calastrellata in oggetto si ha:

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= 6 \text{ kN} \\ n &= 2 \\ a &= 50 \text{ cm} \\ h_0 &= 11,8 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$V_{ca,Ed}^* = \frac{V_{Ed} \cdot a}{n \cdot h_0} \quad V_{ca,Ed}^* = \frac{6 \cdot 50}{2 \cdot 11,8}$$

$$V_{ca,Ed}^* = 13,8 \text{ kN} \quad (e3.39)$$



Momento max. di progetto su un calastrello è dato dall'espressione (e3.38):

$$M_{ca,Ed}^* = \frac{V_{Ed} \cdot a}{2 \cdot n} \quad M_{ca,Ed}^* = \frac{6 \cdot 50}{2 \cdot 2}$$

$$M_{ca,Ed}^* = 75 \text{ kN} \quad (e3.40)$$

Occorre verificare se si può trascurare la sollecitazione a taglio

Sezione resistente:

$$\begin{aligned} A_V &= h \cdot t & A_V &= 10 \cdot 0,8 \\ A_V &= 8 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Resistenza di calcolo al taglio:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_V \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad V_{c,Rd} = \frac{8 \cdot 27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,05}$$

$$V_{c,Rd} = 120 \text{ kN}$$

La metà della resistenza a taglio è:

$$\frac{V_{c,Rd}^*}{2} = \frac{120}{2}$$

$$\frac{V_{c,Rd}^*}{2} = 60 \text{ kN} \quad (e3.41)$$

confrontando la (e3.39) con la (e3.41), risulta:

$$V_{ca,Ed}^* < \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

quindi si può trascurare la sollecitazione a taglio ed eseguire la verifica a flessione.

Verifica a flessione del calastrello

Momento resistente

$$M_{c,Rd} = \frac{W_y \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

considerando il modulo di resistenza elastico applicabile a tutte le classi di sezione 1,2,3 (risulta più severa rispetto alla classi 1,2), si ha.

$$W_{y,el} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \quad W_{y,el} = \frac{1}{6} \cdot 0,8 \cdot 10^2$$

$$W_{y,el} = 13,3 \text{ cm}^3$$

quindi:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_y \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad M_{c,Rd} = \frac{13,3 \cdot 27,5}{1,05}$$

$$M_{c,Rd} = 348 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Verifica

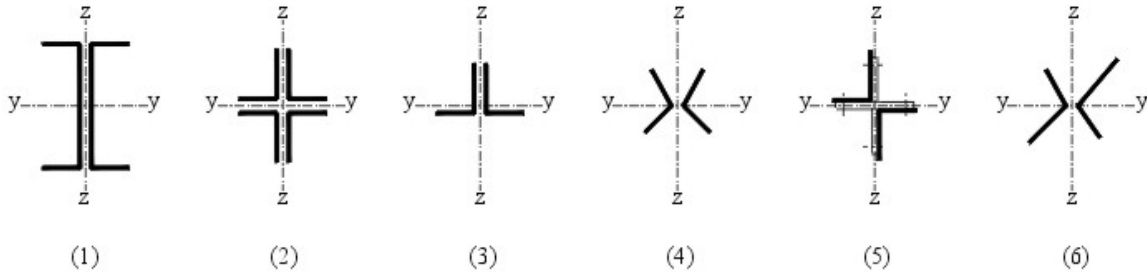
$$\frac{M_{ca,Ed}^*}{M_{c,Rd}} = \frac{75}{348} < 1$$

Calastrello verificato

3.3.3- Aste composte da elementi ravvicinati, con calastrelli o imbottiture

Si considerano profilati, come rappresentati in figura Fig.3.63, collegati con calastrelli o imbottiture, posti a distanze pari alle piastre di collegamento e non più di tre volte lo spessore dei profilati stessi.

Fig.3.63



Tipologie di aste composte costituite da elementi ravvicinati

Dalla tabella C4.2.III Disposizione delle imbottiture di connessione tra i profili

Tipo di asta composta	Spaziatura max. tra i collegamenti ^(*)
Tipo (1), (2), (3), o (4) collegati con imbottiture bullonate o saldate	$15 i_{min}$
Tipo (5) o (6) collegati con coppie di calastrelli	$70 i_{min}$
(*) La distanza è misurata tra i centri di due collegamenti successivi e i_{min} è il raggio d'inerzia minimo del singolo profilo costituente l'asta	

Se le imbottiture o calastrelli sono posti con interassi non superiori a quelli indicati nella tabella C4.2.III, nella verifica si può trascurare l'effetto delle deformazioni al taglio.

In tal caso, infatti, considerando prossimo a zero lo scorrimento medio γ_m , risulta molto elevata la rigidezza al taglio:

$$\text{per } \gamma_m \rightarrow 0 \text{ risulta } S_V = \frac{V}{\gamma_m} \rightarrow \infty$$

Ne viene che il carico critico $N_{Co,cr}$ dell'asta composta risulta:

$$N_{Co,cr} = \frac{I}{\frac{1}{N_{cr}} + \frac{1}{S_V}}$$

$$\text{per } S_V \rightarrow \infty \quad N_{Co,cr} = \frac{I}{\frac{1}{N_{cr}} + \frac{1}{\infty}}$$

$$N_{Co,cr} = N_{cr}$$

Il carico critico $N_{Co,cr}$ dell'asta composta coincide con quello euleriano N_{cr} che si ha in un'asta semplice.

L'asta composta può essere verificata come un'asta semplice con snellezze calcolate secondo gli assi dell'ellisse principale d'inerzia y, z .

Nel caso di aste composte di angolari a lati disuguali, tipo (6) di Fig.3.63, l'instabilità attorno all'asse y

Può essere verificata considerando il raggio d'inerzia:

$$i_y = \frac{i_0}{1,15}$$

dove i_0 è il raggio d'inerzia minimo dell'asta composta.

Nel caso in cui le aste non soddisfino le condizioni della tabella C4.2.III è possibile determinare un'appropriata snellezza equivalente dell'asta ricorrendo a normative di comprovata validità.

3.3.3.1- Snellezza equivalente di un'asta composta da elementi ravvicinati

Interessa determinare la snellezza equivalente rispetto all'asse $z-z$ che non taglia i due profilati. Rispetto all'asse $y-y$, intersecante i profilati, la snellezza si calcola come per le aste semplici:

$$\lambda_y = \frac{l_0}{i_y}$$

Come si è già evidenziato, nel caso che si trascuri l'effetto del taglio, considerando la rigidità al taglio S_V molto elevata, il carico critico $N_{Co,cr}$ attorno all'asse $z-z$ coincide con quello euleriano N_{cr} , come per un'asta semplice:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_z}{l_0^2}$$

dove J_z è il momento d'inerzia dei due correnti rispetto all'asse z .

La tensione critica è:

$$\sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{A}$$

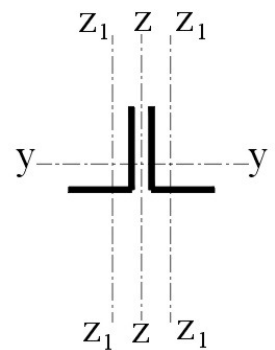
con A area dei due correnti:

$$A = 2 \cdot A_I$$

sostituendo

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_z}{l_0^2 \cdot A} \quad \text{con} \quad \frac{J_z}{A} = i_z^2$$

Fig.3.64



$$\sigma_{cr} = \pi^2 \cdot E \cdot \left(\frac{i_z}{l_0} \right)^2 \quad \text{con} \quad \lambda_z = \frac{l_0}{i_z}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_z^2} \quad (3.78)$$

L'espressione (3.78) è la tensione critica euleriana di un'asta semplice.

Nel punto 3.3.2.1 si è determinata l'espressione $N_{Co,cr}$ del carico critico di un'asta composta (formula 3.29)

$$N_{Co,cr} = \frac{N_{cr}}{1 + \frac{\chi}{G \cdot A} \cdot N_{cr}}$$

la tensione critica $\sigma_{Co,cr}$ è:

$$\sigma_{Co,cr} = \frac{N_{Co,cr}}{A} \quad \text{con} \quad A = 2 \cdot A_1$$

Dove A_1 è l'area della singola asta

$$\sigma_{Co,cr} = \frac{N_{cr}}{A} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{\chi}{G} \cdot \frac{N_{cr}}{A} \right)} \quad \sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{A} \quad \sigma_{Co,cr} = \sigma_{cr} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{\chi}{G} \cdot \sigma_{cr} \right)}$$

sostituendo la (3.78) si ha:

$$\sigma_{Co,cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_z^2} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{\chi}{G} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_z^2} \right)}$$

$$\sigma_{Co,cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_z^2 + \frac{\chi}{G} \cdot \pi^2 E} \quad (3.79)$$

Confrontando l'espressione (3.79) del carico unitario critico dall'asta composta con quello (3.78) euleriano dell'asta semplice si può arrivare alla seguente conclusione.

La verifica alla instabilità laterale dell'asta composta con elementi ravvicinati si può eseguire con gli stessi procedimenti utilizzati per un'asta semplice, avente una snellezza equivalente λ_{zeq} , il cui quadrato, posto al denominatore del carico critico unitario (3.79), è fornito dall'espressione.

$$\lambda_{zeq}^2 = \lambda_z^2 + \frac{\chi}{G} \cdot \pi^2 E$$

da cui

$$\lambda_{zeq} = \sqrt{\lambda_z^2 + \frac{\chi}{G} \cdot \pi^2 E} \quad (3.80)$$

Tenendo conto di quanto esposto nel punto 3.2, riguardante le instabilità delle aste composte, si rammenta che la rigidezza al taglio S_V , coefficiente di proporzionalità tra lo sforzo di taglio V e lo scorrimento unitario medio γ_{med} è dato, nel punto citato, dalla espressione (3.8):

$$S_V = \frac{G \cdot A}{\chi}$$

da cui si ha:

$$\frac{\chi}{G} = \frac{A}{S_V}$$

sostituendo nella (3.80)

$$\lambda_{zeq} = \sqrt{\lambda_z^2 + \frac{\pi^2 E \cdot A}{S_V}} \quad (3.81)$$

con:

λ_z snellezza rispetto all'asse z dei due correnti considerati come fossero rigidamente collegati

$$\lambda_z = \frac{l_0}{i_z}$$

A Area della sezione dei due correnti:

$$A = 2 \cdot A_I$$

S_V rigidezza a taglio dell'asta composta.

Si può quindi scrivere, per la tensione critica delle aste composte, una espressione simile a quella delle aste semplici:

$$\sigma_{Co,cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_{zeq}^2} \quad (3.80.a)$$

con λ_{zeq} data dalla (3.81)

3.3.3.2- Rigidezza a taglio S_V e snellezza equivalente λ_{zeq} rispetto al momento d'inerzia minimo J_I del corrente

In una sollecitazione a carico di punta, i due montanti, in assenza di imbottitura o calastrelli, subirebbero un'unica deformazione di tipi sinusoidale tra gli estremi vincolati.

Con la presenza di vincoli, costituiti da calastrelli o imbottiture, si hanno tra questi, nella lunghezza l_I deformazioni locali δ .

La deformazione massima δ_{max} del singolo corrente si ha alla mezzeria della distanza l_1 tra due piastre di imbottitura successive (o calastrelli) ed è proporzionale allo sforzo di taglio $\frac{V_{Ed}}{2}$

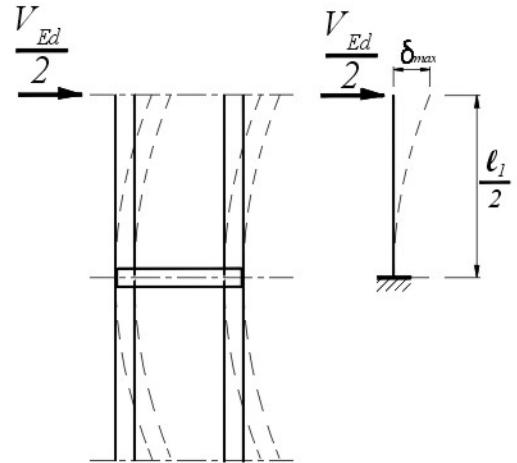
Occorre puntualizzare che la deformazione locale δ , di sbandamento laterale per carico di punta del singolo corrente, avviene attorno all'asse più debole con momento d'inerzia minimo, indicato qui con J_1 (nei manuali tecnici, spesso con J_n).

Fig.3.65

Schematizzando la deformazione δ_{max} come la freccia che provocherebbe la forza $\frac{V_{Ed}}{2}$ posta all'estremità di un'asta di lunghezza $\frac{l_1}{2}$ e incastrata alla base (condizione più onerosa), si ha:

$$\delta_{max} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\frac{V_{Ed}}{2} \cdot \left(\frac{l_1}{2}\right)^3}{E \cdot J_1}$$

$$\delta_{max} = \frac{1}{48} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot l_1^3}{E \cdot J_1} \quad (3.82)$$



Lo scorrimento unitario medio è approssimativamente:

$$\gamma_m = \frac{\delta_{max}}{\frac{l_1}{2}} \quad \gamma_m = \delta_{max} \cdot \frac{2}{l_1}$$

sostituendo la (3.82):

$$\gamma_m = \frac{1}{48} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot l_1^3}{E \cdot J_1} \cdot \frac{2}{l_1}$$

$$\gamma_m = \frac{1}{24} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot l_1^2}{E \cdot J_1} \quad (3.83)$$

Lo scorrimento unitario medio γ_m è comune ai due correnti e quindi all'intera asta composta

La rigidezza al taglio S_V dell'asta composta è il coefficiente di proporzionalità tra lo sforzo di taglio V_{Ed} e lo scorrimento unitario medio:

$$S_V = \frac{V_{Ed}}{\gamma_m}$$

sostituendo la (3.83) si ha:

$$S_V = V_{Ed} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot J_1}{V_{Ed} \cdot l_1^2}$$

$$S_V = \frac{24 \cdot E J_1}{l_1^2} \quad (3.84)$$

Sostituendo l'espressione (3.84) della rigidezza a taglio nella (3.81) si ottiene la formula della snellezza equivalente λ_{zeq} , calcolata rispetto al momento d'inerzia minimo J_1 del corrente:

$$\lambda_{zeq} = \sqrt{\lambda_z^2 + \frac{\pi^2 E \cdot A}{24 \cdot E J_1} \cdot \frac{l_1^2}{l_1^2}}$$

con $A = 2 \cdot A_1$ sezione dei due correnti

$$\lambda_{zeq} = \sqrt{\lambda_z^2 + \frac{\pi^2 \cdot 2 A_1 \cdot l_1^2}{24 \cdot J_1}} \quad \lambda_{zeq} = \sqrt{\lambda_z^2 + \frac{\pi^2}{12} \cdot l_1^2 \cdot \frac{A_1}{J_1}}$$

ma

$$\frac{J_1}{A_1} = i_1^2 \quad \text{è il quadrato del raggio d'inerzia minimo di un corrente: } i_1 = i_{min} = i_n$$

$$\lambda_{zeq} = \sqrt{\lambda_z^2 + \frac{\pi^2}{12} \cdot l_1^2 \cdot \frac{1}{i_1^2}} \quad \lambda_{zeq} = \sqrt{\lambda_z^2 + \frac{\pi^2}{12} \cdot \left(\frac{l_1}{i_1}\right)^2}$$

ma

$$\frac{l_1}{i_1} = \lambda_1 \quad \text{è la snellezza di un corrente nel tratto } l_1 \text{ tra due piastre di imbottitura, e calcolata con il raggio d'inerzia minimo del profilato di un corrente } i_1 = i_{min} = i_n$$

$$\frac{\pi^2}{12} = 0,82 \cong 1$$

sostituendo si ha:

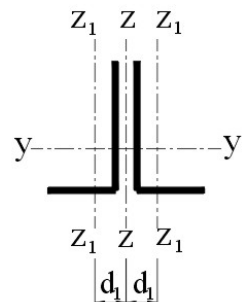
Snellezza equivalente

$$\lambda_{zeq} = \sqrt{\lambda_z^2 + \lambda_1^2} \quad (3.85)$$

dove

λ_z è la snellezza dell'asta composta rispetto al suo asse baricentrico z come se i due correnti fossero rigidamente collegati, costituenti un'unica sezione con momento d'inerzia:

Fig.3.66



$$J_z = 2 \cdot J_{z_1} + 2 \cdot A_1 \cdot d_1^2$$

con

$$\lambda_z = \frac{\beta \cdot L}{i_z} \quad i_z = \sqrt{\frac{J_z}{2 \cdot A_1}}$$

J_{z_1} momento d'inerzia della sezione di un corrente rispetto al suo asse z_1

A_1 sezione di un corrente

L lunghezza dell'asta composta

d_1 distanza dell'asse z_1 di un corrente rispetto all'asse baricentrico z dell'asta composta

i_z raggio d'inerzia della sezione della sezione composta rispetto all'asse z

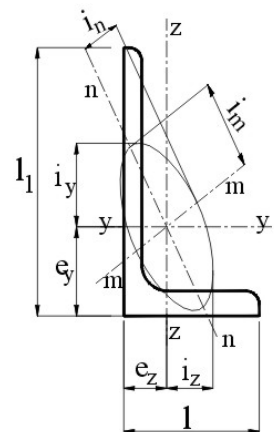
λ_l snellezza di un corrente del tratto l_1 tra due imbottiture successive, calcolate con il raggio d'inerzia minimo $i_l = i_{min} = i_n$

$$\lambda_l = \frac{l_1}{i_l}$$

l_1 distanza tra due imbottiture successive

i_l raggio d'inerzia minimo della sezione di un corrente $i_l = i_{min} = i_n$, corrispondente al semiasse inferiore dell'ellisse centrale d'inerzia.

Fig.3.66



Esempio 4**Dimensionamento a carico di punta di asta composta con imbottitura**

Si assume come esempio il dimensionamento della diagonale 8-7 del portale di controventatura, considerato nell'esempio precedente (del punto 3.1) riguardante le strutture a maglie triangolari.

Nella schematizzazione statica più onerosa la diagonale risulta un puntone con uno sforzo di compressione dato dall'espressione:

$$N_{8-7} = 1,21 \cdot F$$

dove F è la spinta orizzontale da equilibrare.

Si effettua il dimensionamento della diagonale per una spinta di progetto:

$$F_{Ed} = 115 \text{ kN}$$

Si ha così, sulla diagonale, un carico assiale di compressione di progetto:

$$N_{Ed} = N_{8-7} = 1,21 \cdot 115$$

$$N_{Ed} = 139 \text{ kN}$$

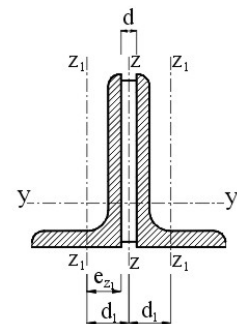
Dati di progetto:

Carico assiale	$N_{Ed} = 139 \text{ kN}$
Lunghezza diagonale	$l = 175 \text{ cm}$

Si sceglie un'asta con imbottitura, composta da due profilati ad L $\text{L } 50 \times 75 \times 6$ con $d = 8 \text{ mm}$

Caratteristiche del corrente:

$l = 175 \text{ cm}$	$A_l = 7,18 \text{ cm}^2$
$J_{z_1} = 14,4 \text{ cm}^4$	$e_{z_1} = 1,21 \text{ cm}$
$J_{y_1} = 40,5 \text{ cm}^4$	$d = 0,8 \text{ cm}$
$i_l = i_n = 1,08 \text{ cm}$	



Distanza d_1 dell'asse z_1 del corrente dall'asse z baricentrico dell'asta composta.

$$d_1 = e_{z_1} + \frac{d}{2} \qquad d_1 = 1,21 + \frac{0,8}{2}$$

$$d_1 = 1,61 \text{ cm}$$

Verifica all'inflessione laterale rispetto all'asse z

Momento d'inerzia J_z della sezione dei due correnti rispetto al loro asse baricentrico z

$$J_z = 2 \cdot J_{z_1} + 2 \cdot A_1 \cdot d_1^2 \qquad J_z = 2 \cdot 14,4 + 2 \cdot 7,18 \cdot 1,61^2$$

$$J_z = 66 \text{ cm}^4 \qquad (e4.1)$$

Raggio d'inerzia i_z

$$i_z = \sqrt{\frac{J_z}{2 \cdot A_1}} \qquad i_z = \sqrt{\frac{66}{2 \cdot 7,18}}$$

$$i_z = 2,14 \text{ cm} \qquad (e4.2)$$

Snellezza λ_z

$$\lambda_z = \beta \cdot \frac{l}{i_z} \qquad \beta = 1 \qquad \lambda_z = \frac{175}{2,14}$$

$$\lambda_z = 82 \qquad (e4.3)$$

Distanza tra le imbottiture

La lunghezza della diagonale $l = 175 \text{ mm}$ è divisa in 4 parti. La lunghezza tra due imbottiture successive è:

$$l_1 = \frac{175}{4} \qquad l_1 \cong 44 \text{ cm}$$

risulta:

$$l_1 > 15 \cdot i_{\min} = 16,2 \text{ cm} \qquad (\text{Tabella C4.2.III})$$

quindi nella verifica occorre considerare la snellezza equivalente che tiene conto dell'effetto del taglio.

$$\lambda_{zeq} = \sqrt{\lambda_z^2 + \lambda_1^2}$$

snellezza locale λ_1

$$\lambda_1 = \frac{l_1}{i_{\min}} \qquad \lambda_1 = \frac{44}{1,08}$$

$$\lambda_1 = 41 \qquad (e4.4)$$

$$\lambda_{zeq} = \sqrt{\lambda_z^2 + \lambda_1^2} \qquad \lambda_{zeq} = \sqrt{82^2 + 41^2}$$

$$\lambda_{zeq} = 91,6 \qquad (e4.5)$$

Resistenza all'instabilità dell'asta composta

$$N_{b,Rd} = \chi_{zeq} \cdot \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

con $A = 2 \cdot A_I$

Coefficiente di riduzione

$$\chi_{zeq} = \frac{1}{\Phi_{zeq} + \sqrt{\Phi_{zeq}^2 - \bar{\lambda}_{zeq}^2}}$$

con:

$$\bar{\lambda}_{zeq} = \frac{\lambda_{zeq}}{\lambda_p}$$

$$\lambda_p = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} \quad \lambda_p = \pi \cdot \sqrt{\frac{21000}{27,5}}$$

$$\lambda_p = 87 \quad (e4.6)$$

$$\bar{\lambda}_{zeq} = \frac{\lambda_{zeq}}{\lambda_p} \quad \bar{\lambda}_{zeq} = \frac{91,6}{87}$$

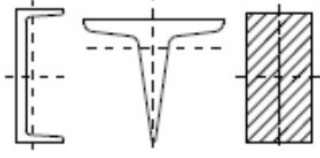
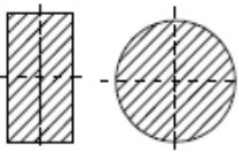
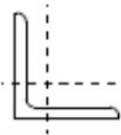
$$\bar{\lambda}_{zeq} = 0,1,06 \quad (e4.7)$$

Coefficiente Φ_{zeq}

$$\Phi_{zeq} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{zeq} - 0,2) + \bar{\lambda}_{zeq}^2 \right]$$

Il fattore di imperfezione α si ricava dalla Tabella 4.2.VI, qui di seguito riportata. Per il profilato a L è indicata la curva di instabilità "b"

Tabella 4.2.VI Curve d'instabilità per varie tipologie di sezioni e classi d'acciaio, per elementi compressi.

Sezione trasversale	Limiti	Inflessione intorno all'asse	Curva di instabilità		
			S235, S275, S355, S420	S460	
Sezioni piene, ad U e T 		qualunque	c	c	
Sezioni ad L 		qualunque	b	b	
Curva di instabilità	a ₀	a	b	c	d
Fattore di imperfezione α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Nelle ultime due righe della stessa tabella, in corrispondenza della curva "b" è indicato il valore di:

$$\alpha = 0,34$$

$$\Phi_{zeq} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{zeq} - 0,2) + \bar{\lambda}_{zeq}^2 \right] \quad \Phi_{zeq} = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (1,06 - 0,2) + 1,06^2 \right]$$

$$\Phi_{zeq} = 1,49 \quad (e4.8)$$

Coefficiente di riduzione

$$\chi_{zeq} = \frac{1}{\Phi_{zeq} + \sqrt{\Phi_{zeq}^2 - \bar{\lambda}_{zeq}^2}} \quad \chi_{zeq} = \frac{1}{1,49 + \sqrt{1,49^2 - 1,06^2}}$$

$$\chi_{zeq} = 0,39 \quad (e4.9)$$

Resistenza all'instabilità

Acciaio S275 $f_{yk} = 27,5 \text{ kN/cm}^2$
 $A = 2 \cdot A_1$

$$N_{b,Rd} = \chi_{zeq} \cdot \frac{2 A_1 \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = 0,39 \cdot \frac{2 \cdot 7,18 \cdot 27,5}{1,05}$$

$$N_{b,Rd} = 146 \text{ kN}$$

Verifica di instabilità attorno all'asse z

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{139}{146} < 1$$

Verifica positiva

Verifica di instabilità attorno all'asse y

La stabilità attorno all'asse y è sicuramente verificata, essendo:

$$i_y = 2,37 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{175}{2,37} = 73,8 < \lambda_{zeq} = 82$$

SEGUE →



Indietro...

[Clic per la pagina precedente](#)



Avanti...

[Clic per proseguire](#)



Indietro...

[Clic per tutti i file IV parte](#)