

Foglio 1

- (1) Quando si usa il coefficiente ψ_2 ? (punti -1/+4)
- ☐ 1 nelle verifiche allo SLU, per ridurre i carichi permanenti non strutturali
 - ☐ 2 nelle verifiche allo SLU, per ridurre i carichi variabili (ad esclusione di quello principale)
 - ☐ 3 nelle verifiche allo SLE, per ridurre i carichi permanenti nella combinazione “quasi permanente”
 - ☐ 4 nelle verifiche allo SLE, per ridurre tutti i carichi variabili nella combinazione “quasi permanente”
 - ☐ 5 nelle verifiche allo SLE, per ridurre i carichi variabili (ad esclusione di quello principale) nella combinazione “rara”

La risposta corretta è la numero 4. Il coefficiente ψ_2 si usa per ottenere il valore quasi permanente dei carichi variabili (che può essere considerato pari al valor medio durante la vita della struttura).

- (2) Oltre agli acciai più comuni (S235, S275, S355) è possibile usare altri tipi, meno comuni, come l'acciaio S460 M/ML. Quali sono le sue resistenze a snervamento f_y e ultima f_u , per spessori inferiori a 40 mm? (punti -1/+4)
- ☐ 1 $f_y = 240 \text{ MPa}, f_u = 460 \text{ MPa}$
 - ☐ 2 $f_y = 310 \text{ MPa}, f_u = 460 \text{ MPa}$
 - ☐ 3 $f_y = 430 \text{ MPa}, f_u = 530 \text{ MPa}$
 - ☐ 4 $f_y = 460 \text{ MPa}, f_u = 540 \text{ MPa}$
 - ☐ 5 $f_y = 460 \text{ MPa}, f_u = 720 \text{ MPa}$

Anche senza consultare la normativa, si dovrebbe sapere che nella sigla S460 il numero corrisponde alla tensione di snervamento del materiale f_y . Se poi si ricorda che per acciai a bassa resistenza f_u è abbastanza più grande di f_y , ma al crescere della resistenza questa differenza si riduce, si può dedurre che la risposta corretta è la numero 4.

- (3) Quale di questi profili ha una larghezza dell'ala pari a 300 mm? (punti -1/+3)
- ☐ 1 IPE 300
 - ☐ 2 IPE 500
 - ☐ 3 HE 300 M
 - ☐ 4 HE 1000 B
 - ☐ 5 nessuno dei profili citati

Confesso che questa domanda è un po' ingannevole. Tenzialmente, per i profili IPE la larghezza è la metà dell'altezza. Si possono scartare quindi i due profili IPE 300 e IPE 500. Per gli HE B la larghezza è tendenzialmente uguale all'altezza. Il profilo HE 300 M essendo della serie pesante ha un'altezza e una larghezza di poco superiori a 300 mm. La regola citata non vale però per i profili con altezza notevole, e tutti gli HE B superiori a 300 hanno una larghezza pari a 300 mm. La risposta corretta è la numero 4.

Ho comunque dato 1 punto a chi ha indicato il profilo HE 300 M e 0 punti a chi ha dato la risposta 5.

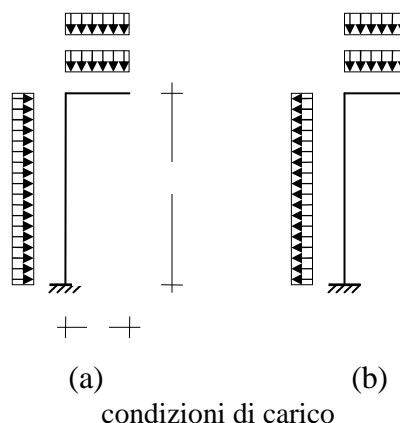
La struttura di una pensilina è schematizzata qui a fianco.

I carichi agenti sono: il peso proprio strutturale con valore caratteristico $g_k = 12.0 \text{ kN/m}$; la neve per quota inferiore a 500 m con valore caratteristico $q_{1k} = 4.8 \text{ kN/m}$; il vento con valore caratteristico $q_{2k} = 3.0 \text{ kN/m}$.

Le dimensioni sono: $l_1 = 2.00 \text{ m}$; $l_2 = 6.00 \text{ m}$.

Le domande che seguono si riferiscono alla verifica allo SLU del punto al piede del pilastro, indicato con la lettera A.

Nota: nella realtà si sarebbero dovuti considerare altri carichi, ad esempio il vento sulla tettoia, ma i quesiti devono essere risolti con i soli carichi indicati.



- (4) Con riferimento alla condizione di carico (a), vento verso destra, indica i valori che utilizzi per i tre carichi (incluso eventuali coefficienti γ e ψ) per ottenere il momento massimo al piede del pilastro (verifica SLU). (punti -1/+4)

$$g_d = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kN/m} \quad q_{1d} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kN/m} \quad q_{2d} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kN/m}$$

Il carico da neve provoca un momento in A pari a $q_1 l_1^2/2$, mentre il carico da vento provoca un momento in A pari a $q_2 l_2^2/2$. Se considerati come secondari, i rispettivi valori di ψ_0 sono 0.5 e 0.6. Visti i valori dei carichi e delle luci, risulta nettamente più gravoso il vento. I tre carichi si ottengono quindi come di seguito indicato. Peso proprio: valore caratteristico per $\gamma_g = 1.3$ (e quindi 15.6 kN/m). Carico da neve: valore caratteristico per $\gamma_q = 1.5$ per $\psi_0 = 0.5$ (e quindi 3.6 kN/m). Carico da vento: valore caratteristico per $\gamma_q = 1.5$ (e quindi 4.5 kN/m).

Ho dato 1 punto a chi ha indicato due valori corretti su tre, -1 punto a chi ha sbagliato più di un valore.

- (5) E che valore del momento flettente ottieni? (punti 0/+3) $M_{Ed} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kNm}$

Facendo il calcolo si ottiene $M_{Ed} = 119.4 \text{ kNm}$.

Ho dato 2 punti a chi, pur sbagliando al punto precedente, ha indicato un valore coerente con i carichi. Ho accettato discordanze minime sul valore, ho tolto 1 punto nel caso di discordanze modeste ma non minime.

- (6) Con riferimento alla condizione di carico (b), vento verso sinistra, indica i valori che utilizzi per i tre carichi (incluso eventuali coefficienti γ e ψ) per ottenere il momento massimo al piede del pilastro (verifica SLU). (punti -1/+4)

In questo caso il carico da vento provoca momento flettente di segno opposto a quello degli altri carichi, che anche in questo caso è nettamente prevalente. Di conseguenza si devono prendere i valori minimi degli altri carichi. I tre carichi si ottengono quindi come di seguito indicato. Peso proprio: valore caratteristico per $\gamma_g = 1.0$ (e quindi 12.0 kN/m). Carico da neve: assente (e quindi 0.0 kN/m). Carico da vento: valore caratteristico per $\gamma_q = 1.5$ (e quindi 4.5 kN/m).

- (7) E che valore del momento flettente ottieni? (punti 0/+3) $M_{Ed} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kNm}$

Facendo il calcolo si ottiene $M_{Ed} = 57.0 \text{ kNm}$. Volendo, si potrebbe aggiungere un segno meno per evidenziare che è di verso opposto a quello calcolato al punto 5.

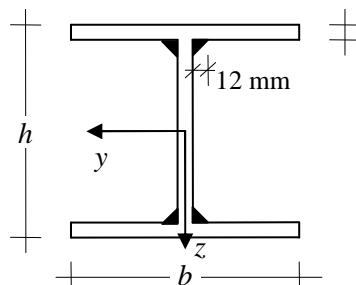
Foglio 2

Per i quesiti riportati in questa pagina devi fare riferimento alla sezione qui a fianco indicata, realizzata saldando ali ed anima ottenuti da un piatto di spessore t .

Il piatto è di acciaio S355.

Le dimensioni note sono $b = 160 \text{ mm}$ e $h = 200 \text{ mm}$.

Lo spessore t dovrà essere definito di volta in volta.



La sezione deve essere usata per un'asta di lunghezza $l = 4.50 \text{ m}$, incernierata ai due estremi e soggetta ad uno sforzo normale di trazione $N_{Ed} = 440 \text{ kN}$. Devi progettare lo spessore t .

(8) Come primo passo per determinare N_{Rd} devi calcolare il valore necessario per che cosa? (punti -1/+3)

☐ 1 A

☐ 2 I_y

☐ 3 I_z

☐ 4 $W_{y,el}$

☐ 5 $W_{y,pl}$

Ovviamente, la prima cosa da fare è calcolare l'area necessaria. La risposta corretta è quindi la numero 1.

(9) E che valore trovi? (precisa anche l'unità di misura usata)

(punti 0/+3)

Si ha

$$A \geq \frac{N_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{440 \times 10^3 \times 1.05}{355} = 1301.4 \text{ mm}^2$$

(10) In definitiva, quale tra questi spessori scegli?

(punti -1/+4)

☐ 1 $t = 3 \text{ mm}$

☐ 2 $t = 4 \text{ mm}$

☐ 3 $t = 5 \text{ mm}$

☐ 4 $t = 6 \text{ mm}$

☐ 5 $t = 8 \text{ mm}$

Si ha $A = (2b + h - 2t)t$.

In prima approssimazione

$$t = \frac{A}{2b + h} = \frac{1301.4}{2 \times 160 + 200} = 2.5 \text{ mm}.$$

Dovrò usare uno spessore di 3 mm. La risposta corretta è quindi la numero 1.

(11) Qual è la resistenza a trazione del profilo così definito?

(punti 0/+3)

$$N_{pl,Rd} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kN}$$

Si ha

$$A = (2b + h - 2t)t = 1542 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1542 \times \frac{355}{1.05} \times 10^{-3} = 521.3 \text{ kN}$$

Ho dato 2 punti a chi, pur sbagliando al punto precedente, ha indicato un valore coerente con lo spessore scelto. Ho accettato discordanze minime sul valore, ho tolto 1 punto nel caso di discordanze modeste ma non minime.

(12) Nel determinare la resistenza della sezione sei stato condizionato dalle imperfezioni (tensioni residue, asse non perfettamente rettilineo)?

(punti -1/+2)

☐ 1 sì

☐ 2 no

Le imperfezioni possono portare ad una precoce plasticizzazione, che però non condiziona la risposta ultima. La risposta corretta è quindi la numero 2.

(13) Ai fini dello sforzo normale di trazione, a quale classe appartiene la sezione ottenuta?

(punti -1/+3)

☐ 1 prima

☐ 2 seconda

☐ 3 terza

☐ 4 quarta

☐ 5 la domanda non ha senso

Le sezioni sono classificate in base agli effetti dell'instabilità locale delle parti compresse. Non ha senso parlarne nel caso di sezione tutta tesa. La risposta corretta è quindi la numero 5.

- (14) Il collegamento a cerniera all'estremità dell'asta deve essere realizzato mediante bulloni, con diametro del foro pari a 19 mm. Quanti fori puoi fare al massimo nella sezione, senza renderne il comportamento fragile? (punti -1/+4)

☐ 1 nessuno ☐ 2 1 ☐ 3 2 ☐ 4 3 ☐ 5 4

Il comportamento diventa fragile se

$$N_{u,Rd} < N_{pl,Rd} \text{ ovvero se } \frac{A_{net}}{A} < \frac{f_y / \gamma_{M0}}{0.9 f_u / \gamma_{M2}}.$$

Tale rapporto per un acciaio S355 vale $\frac{355/1.05}{0.9 \times 510/1.25} = 0.921$.

Quindi per evitare un comportamento fragile l'area dei fori deve essere minore di $(1 - 0.921) \times 1542 = 122.2 \text{ mm}^2$. Poiché lo spessore è 3 mm, la larghezza totale dei fori deve essere inferiore a $122.2/3 = 40.7 \text{ mm}$. Si possono fare solo 2 fori da 19 mm. La risposta corretta è quindi la numero 3.

- (15) Facendo il numero di fori sopra indicato, qual è la resistenza ultima della sezione forata? (punti 0/+3)

$$N_{u,Rd} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kN}$$

La resistenza ultima della sezione forata, con due fori da 19 mm, è

$$N_{u,Rd} = 0.9 A_{net} \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0.9 \times (1542 - 2 \times 19 \times 3) \times \frac{510}{1.25} \times 10^{-3} = 524.4 \text{ kN}$$

Ho dato 2 punti a chi, pur sbagliando al punto precedente, ha indicato un valore coerente con lo spessore scelto. Ho accettato discordanze minime sul valore, ho tolto 1 punto nel caso di discordanze modeste ma non minime.

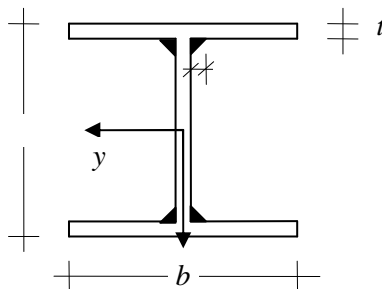
Foglio 3

Anche per i quesiti riportati in questa pagina devi fare riferimento alla sezione precedentemente definita, che si riporta per comodità qui a fianco, realizzata saldando ali ed anima ottenuti da un piatto di spessore t .

Il piatto è di acciaio S355.

Le dimensioni note sono $b = 160 \text{ mm}$ e $h = 200 \text{ mm}$.

Lo spessore t dovrà essere definito di volta in volta.



La sezione deve essere usata per la stessa asta di lunghezza $l = 4.50 \text{ m}$, incernierata ai due estremi, che ora è soggetta ad uno sforzo normale di compressione (anziché trazione) $N_{Ed} = 440 \text{ kN}$. Devi progettare lo spessore t .

- (16) Assegna, a occhio, un valore dello spessore di primo tentativo. Puoi fare questa scelta basandoti sui risultati ottenuti nella pagina precedente, ma non pretendo che tu trovi subito il valore esatto, chiedo solo un valore che sia logico (punti -1/+2)

☐ 1 $t = 4 \text{ mm}$ ☐ 2 $t = 6 \text{ mm}$ ☐ 3 $t = 8 \text{ mm}$ ☐ 4 $t = 10 \text{ mm}$ ☐ 5 $t = 12 \text{ mm}$

Il fatto che lo sforzo normale sia ora di compressione anziché di trazione è penalizzante, per la possibile instabilità dell'asta. L'asta è abbastanza lunga, rispetto alla sezione, e quindi si può immaginare che il coefficiente χ sia inferiore a 0.5. Io quindi prenderei uno spessore più che raddoppiato rispetto al caso della trazione, ad esempio 8 mm. La mia risposta sarebbe quindi la 3.

Ho dato 0 punti a chi ha indicato lo stesso spessore che per la trazione, 2 punti a chi ha dato un valore che mi sembra possibile (nel caso mostrato, alle risposte 3 e 4), 1 punto a chi ha indicato un valore che, pur se maggiore di quello della trazione, mi sembrava troppo piccolo oppure quando il valore mi sembrava troppo grande.

- (17) Come primo passo per determinare N_{Rd} devi calcolare il valore necessario per che cosa? (punti -1/+3)

☐ 1 I_y ☐ 2 i_{min} ☐ 3 $W_{y,el}$ ☐ 4 $W_{y,pl}$ ☐ 5 $W_{z,pl}$

Per tener conto dell'instabilità devo valutare la snellezza dell'asta, che dipende dal raggio d'inerzia minimo (questo a sua volta dipende da A ed I_z , che però non sono indicati tra le possibilità). La risposta corretta è quindi la numero 2.

- (18) Che valore trovi, con lo spessore scelto? (precisa anche l'unità di misura usata) (punti 0/+3)

=

Assumendo uno spessore $t=8 \text{ mm}$, si ha

$$A = (2b + h - 2t)t = 4032 \text{ mm}^2$$

$$I_z = 2 \frac{t b^3}{12} + \frac{(h - 2t)t^3}{12} = 5469184 \text{ mm}^3$$

$$i_{min} = i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 36.83 \text{ mm}$$

Ovviamente per ciascuno la valutazione è stata fatta a partire dallo spessore scelto.

Ho accettato discordanze minime sul valore, ho tolto 1 punto nel caso di discordanze modeste ma non minime.

- (19) Quanto vale il parametro χ ? (punti 0/+4)

$\chi =$

La snellezza dell'asta è

$$\lambda = \frac{l_0}{i_{min}} = \frac{4500}{36.83} = 122.2$$

Il valore di riferimento λ_1 vale

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3.14 \sqrt{\frac{206000}{355}} = 75.7$$

e quindi $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = 1.615$.

La curva di instabilità da considerare è la c. Quindi

$\alpha = 0.49$, $\Phi = 2.15$ e infine $\chi = 0.280$

Ho accettato discordanze minime sul valore, ho tolto 1 punto nel caso di discordanze modeste ma non minime. In caso di modesti errori al punto precedente, ho controllato la coerenza con i valori precedenti.

(20) Qual è la resistenza a compressione dell'asta con il profilo scelto? (punti 0/+3)

$N_{b,Rd} = \underline{\hspace{2cm}}$ kN

La resistenza a compressione è

$$N_{b,Rd} = \chi A \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 381.9 \text{ kN}$$

Si può notare che questo valore è inferiore rispetto alla sollecitazione ($N_{Ed} = 440$ kN). Quindi si dovrebbe aumentare, ma non di molto lo spessore.

Ho accettato discordanze minime sul valore, ho tolto 1 punto nel caso di discordanze modeste ma non minime. In caso di modesti errori al punto precedente, ho controllato la coerenza con i valori precedenti.

(21) Ai fini dello sforzo normale di compressione, a quale classe appartiene la sezione scelta? (punti -1/+4)

- ☐ 1 prima ☐ 2 seconda ☐ 3 terza ☐ 4 quarta
☐ 5 la domanda non ha senso

L'elemento più condizionante ai fini della classificazione è l'ala, o meglio la mezza ala. Indicando con a_1 la dimensione della saldatura ed avendo assunto uno spessore $t=8$ mm, la sua dimensione c è

$$c = \frac{b-t}{2} - a_1 = \frac{160-8}{2} - 12 = 64 \text{ mm}$$

ed il rapporto c/t vale 8.0. I limiti di separazione tra le classi sono 9 ϵ , 10 ϵ e 14 ϵ . Essendo

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.814$$

i limiti sono 7.3, 8.1 e 10.4. Il profilo andrebbe quindi classificato come di classe 2. Faccio però notare che ai fini pratici le classi 1, 2 e 3 sono equivalenti.

(22) Nel determinare la resistenza dell'asta sei stato condizionato dalle imperfezioni (tensioni residue, asse non perfettamente rettilineo)? (punti -1/+2)

- ☐ 1 sì ☐ 2 no

La precoce plasticizzazione, che può essere provocata dalle imperfezioni, condiziona l'instabilità di un'asta reale. La risposta corretta è quindi la numero 1.

(23) Sulla base dei calcoli già fatti, senza ripeterli, decidi quale ritieni debba essere definitivamente lo spessore (punti -1/+4)

- ☐ 1 $t = 4$ mm ☐ 2 $t = 6$ mm ☐ 3 $t = 8$ mm ☐ 4 $t = 10$ mm ☐ 5 $t = 12$ mm

Con uno spessore di 8 mm si è trovata una resistenza di 381.9 kN, di poco inferiore ai 440 kN di sollecitazione. Occorre quindi aumentare lo spessore, ma di poco. La dimensione immediatamente

superiore è 10 mm, che si ritiene accettabile (il calcolo dà infatti una resistenza di 476.9 kN). La risposta corretta è quindi la numero 4.

Ho assegnato 1 punto a chi ha indicato il valore immediatamente inferiore o superiore a quello esatto.

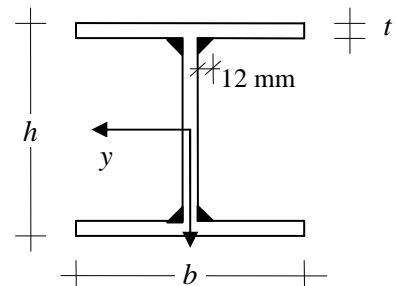
Foglio 4

Anche per i quesiti riportati in questa pagina devi fare riferimento alla sezione precedentemente definita, che si riporta per comodità qui a fianco, realizzata saldando ali ed anima ottenuti da un piatto di spessore t .

Il piatto è di acciaio S355.

Le dimensioni note sono $b = 160$ mm e $h = 200$ mm.

Lo spessore t dovrà essere definito di volta in volta.



Devi ora progettare la stessa asta nel caso in cui essa sia sollecitata a flessione nel piano di minor resistenza da un momento $M_{z,Ed} = 40$ kNm. Per semplicità fai riferimento solo alla verifica di resistenza (SLU).

- (24) Assegna, a occhio, un valore dello spessore di primo tentativo. Tieni presente che in questo caso puoi determinarlo facilmente con buona precisione, per questo prevedo un punteggio più alto se riesci a trovarlo subito (punti -1/+6)

[1] $t = 4$ mm [2] $t = 6$ mm [3] $t = 8$ mm [4] $t = 10$ mm [5] $t = 12$ mm

Il momento flettente M_z è portato sostanzialmente dalle due ali, ma ciascuna di queste sarà per metà tesa e per metà compressa. Le risultanti di trazione e compressione saranno quindi sostanzialmente a metà della mezza ala, cioè distanti dal bordo (sinistro o destro) $160/4 = 40$ mm. Il braccio delle forze di trazione e compressione sarà quindi circa 80 mm. Dividendo il momento per il braccio si trova che la trazione/compressione deve essere $40/0.080 = 500$ kN. Questa forza è portata da un'area pari a quella delle due mezza ali, cioè $160 t$. Si ha quindi

$$160 t \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 500 \text{ kN} \text{ e quindi } t = \frac{500 \times 10^3 \times 1.05}{160 \times 355} = 9.24 \text{ mm}.$$

Lo spessore da usare è quindi 10 mm, cioè quello indicato dalla risposta numero 4.

Ho dato 6 punti a chi ha indicato esattamente la risposta, 3 punti a chi ha dato valori vicini, 1 punto a chi ha dato i valori più lontani (non ho voluto penalizzare nessuno).

- (25) Come primo passo per determinare $M_{z,Rd}$ devi calcolare il valore necessario per che cosa? (punti -1/+3)

[1] A [2] I_y [3] $W_{y,pl}$ [4] $W_{z,el}$ [5] $W_{z,pl}$

Occorre calcolare il $W_{z,pl}$ (plastico perché salvo successive valutazioni ritengo che la sezione sia di classe 1 o 2). La risposta corretta è quindi la numero 5.

- (26) Che valore trovi, con lo spessore scelto? (precisa anche l'unità di misura usata) (punti 0/+3)

=

La sezione si può scomporre in più rettangoli. In generale, per un rettangolo di base b e altezza h si ha $W_{pl} = b h^2 / 4$. Per la sezione in esame è

$$W_{z,pl} = 2 t b^2 / 4 + (h - 2 t) t^2 / 4 = 132500 \text{ mm}^3$$

Ho accettato discordanze minime sul valore, ho tolto 1 punto nel caso di discordanze modeste ma non minime.

(27) Qual è la resistenza a flessione del profilo (in caso di piena plasticizzazione)? (punti 0/+3)

$$M_{z,pl,Rd} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kNm}$$

Il momento resistente è

$$M_{z,pl,Rd} = W_{z,pl} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 132500 \times \frac{355}{1.05} \times 10^{-6} = 44.8 \text{ kNm}$$

Ho accettato discordanze minime sul valore, ho tolto 1 punto nel caso di discordanze modeste ma non minime. In caso di modesti errori al punto precedente, ho controllato la coerenza con i valori precedenti.

(28) Ai fini del momento flettente nell'asse debole M_z , a quale classe appartiene la sezione ottenuta? (punti -1/+4)

- ☐ 1 prima ☐ 2 seconda ☐ 3 terza ☐ 4 quarta
☐ 5 la domanda non ha senso

Come già detto, per il momento M_z l'ala è per metà tesa e metà compressa. Indicando con a_1 la dimensione della saldatura ed avendo assunto uno spessore $t=10$ mm, la dimensione c della mezza ala è

$$c = \frac{b-t}{2} - a_1 = \frac{160-10}{2} - 12 = 63 \text{ mm}$$

ed il rapporto c/t vale 6.3. I limiti di separazione tra le classi sono 9 ε, 10 ε e 14 ε. Essendo

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.814$$

i limiti sono 7.3, 8.1 e 10.4. Il profilo deve quindi essere classificato come di classe 1.

(29) Nel determinare la resistenza della sezione sei stato condizionato dalle imperfezioni (tensioni residue, asse non perfettamente rettilineo)? (punti -1/+2)

- ☐ 1 sì ☐ 2 no

Le imperfezioni possono portare ad una precoce plasticizzazione, che però non condiziona la risposta ultima. La risposta corretta è quindi la numero 2.

(30) Sulla base dei calcoli già fatti, senza ripeterli, decidi quale ritieni debba essere definitivamente lo spessore (punti -1/+4)

- ☐ 1 $t = 4$ mm ☐ 2 $t = 6$ mm ☐ 3 $t = 8$ mm ☐ 4 $t = 10$ mm ☐ 5 $t = 12$ mm

Il risultato ottenuto mostra che la scelta iniziale, $t=10$ mm, è soddisfacente. La risposta corretta è quindi la numero 4.