

Foglio 1

- (1) Cosa si intende col termine “valore caratteristico del carico da neve”? (punti -1/+4)
- ☐ 1 il valore del carico da neve che caratterizza una certa regione geografica, anche in funzione dell’altitudine
 - ☐ 2 il valore medio del carico da neve che si può avere durante l’intera vita della struttura
 - ☐ 3 il valore del carico da neve che viene superato solo nel 5% del tempo, durante l’intera vita della struttura
 - ☐ 4 il valore del carico da neve che viene superato solo nel 5% delle strutture, durante tutta la loro vita
 - ☐ 5 il valore del carico da neve che viene superato nel 95% del tempo, durante l’intera vita della struttura

Il valore caratteristico di un carico corrisponde, in generale, al frattile 95% della sua distribuzione, cioè ad un valore tale che nel 95% dei casi il carico è inferiore e che quindi è superato solo nel 5% dei casi. In particolare, parlando di carichi variabili si fa riferimento ad un insieme di strutture ed al massimo carico che ciascuna di essa sopporterà durante l’intera vita; il frattile 95% è quindi riferito alle strutture. La risposta corretta è quindi la numero 4.

.....

Le domande che seguono si riferiscono alla copertura praticabile di un edificio sito in zona collinare, di luce $l = 5.40$ m, che ha peso proprio (ed altri carichi permanenti) $g_k = 3.2$ kN/m² e sulla quale grava un carico da neve $q_{k,neve} = 0.8$ kN/m² ed un carico di categoria A (residenziale) $q_{k,A} = 2.0$ kN/m².

- (2) La normativa richiede di fare due verifiche agli spostamenti verticali, rispettivamente includendo ed escludendo i carichi permanenti. Spiega in che modo, ovvero con quali espressioni, determini il valore del carico da usare per le due verifiche. (punti -1/+4)

Indica le formule utilizzate:

per la prima verifica

$$g_k + \max(q_{1,k} + \psi_{2,0} q_{2,k} ; q_{2,k} + \psi_{1,0} q_{1,k})$$

con $\psi_0 = 0.5$ per la neve e $\psi_0 = 0.7$ per il carico di categoria A

per la seconda verifica

$$\max(q_{1,k} + \psi_{2,0} q_{2,k} ; q_{2,k} + \psi_{1,0} q_{1,k})$$

La verifica agli spostamenti verticali è una verifica allo SLE e viene fatta con riferimento alla combinazione di carico rara (detta anche caratteristica). Questa utilizza i valori caratteristici dei carichi. In presenza di più carichi variabili distinti occorre però prenderne uno (che si indica come *principale*) al 100% e l’altro ridotto di ψ_0 , scegliendo il carico principale in modo da massimizzare l’effetto voluto. In questo caso i due carichi sono entrambi distribuiti e quindi basta fare in modo che il carico complessivo sia massimo.

Ho tolto 2 punti a chi ha considerato la neve come carico principale, 1 punto a chi non ha specificato qual è il carico principale. Ho penalizzato anche chi ha sbagliato il valore di ψ_0 . Infine, ho considerato completamente sbagliato (ed ho quindi dato un punteggio negativo, -1) fare riferimento ai valori di calcolo per SLU.

- (3) E che valore ottieni per la prima verifica (cioè includendo i carichi permanenti)? (punti 0/+3)

$$q = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kN/m}^2$$

Si ha $3.2 + \max(0.8 + 0.7 \times 2.0 ; 2.0 + 0.5 \times 0.8) = 5.60 \text{ kN/m}^2$. In questo caso il carico principale è quello di categoria A.

Ho tolto 1 punto se il valore era prossimo al vero ma non esatto.

- (4) Come determini il valore limite della freccia da usare per le due verifiche? (punti -1/+3)

Indica le formule utilizzate:

per la prima verifica

$$f_{\max} = \frac{l}{250}$$

per la seconda verifica

$$f_{\max} = \frac{l}{300}$$

I limiti sono definiti nel punto 4.2.4.2.1, tabella 4.2.X; i valori sopra riportati sono quelli relativi a coperture praticabili.

- (5) E che valore ottieni per la prima verifica (cioè includendo i carichi variabili)? (punti 0/+3)

$$f_{\max} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$$

Si ha $f_{\max} = \frac{l}{250} = \frac{5400}{250} = 21.6 \text{ mm}$.

Foglio 2

Indica se la presenza di imperfezioni (come ad esempio le tensioni residue) influisce sulla resistenza allo SLU di una sezione: (per ciascuna domanda, punti -1/+2)

- (6) soggetta a trazione ☐ 1 si ☐ 2 no ☐ 3 dipende dalla sezione

Nel caso di aste tese, le imperfezioni possono portare ad una precoce plasticizzazione di alcune fibre e possono quindi influire sul comportamento per valori medio-bassi del carico (verifiche SLE) che non è lineare come previsto in teoria. La resistenza ultima è però data dalla piena plasticizzazione della sezione, che avviene indipendentemente dal fatto che alcune fibre si siano plasticizzate precocemente. La risposta corretta è quindi la numero 2.

- (7) soggetta a compressione ☐ 1 si ☐ 2 no ☐ 3 dipende dalla sezione

Nel caso di aste compresse, la precoce plasticizzazione di alcune fibre indotta dalle imperfezioni può ridurre il carico critico, cosa di cui si tiene conto col coefficiente di imperfezione α . La risposta corretta è quindi la numero 1.

- (8) soggetta a flessione ☐ 1 si ☐ 2 no ☐ 3 dipende dalla sezione

Nel caso di aste inflesse, la precoce plasticizzazione di alcune fibre indotta dalle imperfezioni può influenzare l'instabilità locale della sezione. Ciò avviene però solo per le sezioni che sono state definite di classe 3 e ancor più per quelle di classe 4. La risposta corretta è quindi la numero 3.

.....

Hai a disposizione i profili indicati nella tabella che segue, realizzati in acciaio S235.

	h	b	t _w	t _f	r	A	I _x	W _{el,x}	W _{pl,x}	i _x	I _y	W _{el,y}	W _{pl,y}	i _y
	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm
						×10 ²	×10 ⁴	×10 ³	×10 ³	×10	×10 ⁴	×10 ³	×10 ³	×10
IPE 120	120	64	4.4	6.3	7.0	13.2	317.8	52.96	60.73	4.90	27.67	8.65	13.58	1.45
IPE 140	140	73	4.7	6.9	7.0	16.4	541.2	77.32	88.34	5.74	44.92	12.31	19.25	1.65
IPE 160	160	82	5.0	7.4	9.0	20.1	869.3	108.7	123.9	6.58	68.31	16.66	26.10	1.84
IPE 180	180	91	5.3	8.0	9.0	23.9	1317	146.3	166.4	7.42	100.9	22.16	34.6	2.05
IPE 200	200	100	5.6	8.5	12.0	28.5	1943	194.3	220.6	8.26	142.4	28.47	44.61	2.24
IPE 220	220	110	5.9	9.2	12.0	33.4	2772	252	285.4	9.11	204.9	37.25	58.11	2.48
HE 100 A	96	100	5.0	8.0	12.0	21.2	349.2	72.76	83.01	4.06	133.8	26.76	41.14	2.51
HE 100 B	100	100	6.0	10.0	12.0	26.0	449.5	89.91	104.2	4.16	167.3	33.45	51.42	2.53
HE 120 A	114	120	5.0	8.0	12.0	25.3	606.2	106.3	119.5	4.89	230.9	38.48	58.85	3.02
HE 120 B	120	120	6.5	11.0	12.0	34.0	864.4	144.1	165.2	5.04	317.5	52.92	80.97	3.06
HE 140 A	133	140	5.5	8.5	12.0	31.4	1033	155.4	173.5	5.73	389.3	55.62	84.85	3.52
HE 140 B	140	140	7.0	12.0	12.0	43.0	1509	215.6	245.4	5.93	549.7	78.52	119.8	3.58
HE 160 A	152	160	6.0	9.0	15.0	38.8	1673	220.1	245.1	6.57	615.6	76.95	117.6	3.98
HE 160 B	160	160	8.0	13.0	15.0	54.3	2492	311.5	354.0	6.78	889.2	111.2	170.0	4.05

Devi progettare la sezione di un'asta di lunghezza $l = 1.40$ m, incastrata mediante saldature ad un estremo e libera nell'altro, soggetta ad uno sforzo normale di trazione $N_{Ed} = 540$ kN.

(9) Spiega come procedi

(punti -1/+5)

Indica la sequenza delle operazioni, con formule e valori utilizzati e risultato dei calcoli

$$\text{Deve essere } A \geq \frac{N_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} = \frac{540 \times 10^3}{235 / 1.05} = 2413 \text{ mm}^2$$

Determinata l'area necessaria, scelgo il più piccolo profilo che ha un'area almeno pari a quella richiesta.

Il quesito richiedeva di indicare, oltre alle formule, anche valori utilizzati e risultati del calcolo. Ho penalizzato chi non l'ha fatto.

(10) Quale profilo scegli?

(punti 0/+3)

profilo scelto: _____

I profili che hanno area sufficiente sono quelli a partire da IPE 200 oppure HE 100 B o HE 120 A. Tra questi scelgo il più leggero che è HE 120 A.

Ho assegnato 3 punti a chi ha scelto i profili più leggeri (HE 120 A o HE 100 B o IPE 200), 2 punti a chi ha scelto profili maggiori ma non di molto, 1 punto a chi ha scelto profili ancora più grandi, perché non necessario.

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

(punti 0/+3)

$N_{Rd} =$ _____ kN

La resistenza a trazione si calcola con la formula (di cui quella di progetto è l'inversa)

$$N_{Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 2530 \times \frac{235}{1.05} \times 10^{-3} = 566.2 \text{ kN}$$

Si sono utilizzati i valori relativi al profilo HE 120 A, scelto al punto 10.

Ho accettato anche modesti errori di calcolo, purché non portassero ad una resistenza inferiore a quella richiesta dal progetto (perché in questo caso lo studente se ne sarebbe dovuto accorgere).

Foglio 3

Immagina che la sezione che hai progettato, indicata al punto 10, sia collegata all'estremità mediante bullonatura anziché saldatura e che nella sua sezione vi siano 6 fori di diametro $d_0 = 13 \text{ mm}$ (due in ciascun ala e due nell'anima).

(12) Spiega in che modo calcoli la resistenza ultima della sezione forata (punti -1/+5)

Indica la sequenza delle operazioni, con formule e valori utilizzati e risultato dei calcoli

L'area netta della sezione forata è

$$A_{net} = A - (4 t_f + 2 t_w) d_0 = 2530 - (4 \times 8 + 2 \times 5) \times 13 = 1984 \text{ mm}^2$$

La resistenza della sezione forata è

$$N_{u,Rd} = 0.9 A_{net} \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0.9 \times 1984 \times \frac{360}{1.25} \times 10^{-3} = 514.3 \text{ kN}$$

Il quesito richiedeva di indicare, oltre alle formule, anche valori utilizzati e risultati del calcolo. Ho penalizzato chi non l'ha fatto. Ho penalizzato anche chi non ha spiegato come calcolare l'area della sezione forata o ha sbagliato il numero di bulloni lo spessore degli elementi forati.

(13) Qual è la resistenza ultima della sezione forata? (punti 0/+3) $N_{u,Rd} = \underline{\hspace{2cm}}$ kN

La resistenza è $N_{u,Rd} = 514.3 \text{ kN}$. Si sono utilizzati i valori relativi al profilo HE 120 A, scelto al punto 10.

Per chi aveva commesso un errore (non esagerato) nel calcolo dell'area netta (ed era stato quindi penalizzato per questo al punto precedente), ho assegnato il punteggio pieno se il valore qui riportato è coerente con l'area netta calcolata. Quando non è stato possibile fare questo riscontro, ho dato 0 a chi ha indicato un valore errato.

Indica: (per ciascuna domanda, punti -1/+1)

(14) se l'asta forata è in grado di portare N_{Ed} ☐ 1 si ☐ 2 no

Poiché $N_{u,Rd} = 514.3 \text{ kN} < N_{Ed} = 540 \text{ kN}$ l'asta forata è in grado di portare N_{Ed} (risposta numero 2).

Nel giudicare questa domanda e la successiva mi sono basato esclusivamente della coerenza tra i valori riportati al punto 11 e 13 ed il valore N_{Ed} richiesto.

(15) come è il comportamento dell'asta forata ☐ 1 duttile ☐ 2 fragile

Poiché $N_{u,Rd} = 514.3 \text{ kN} < N_{Rd} = 566.2 \text{ kN}$ il comportamento è fragile (risposta numero 2).

Immagina di dover progettare la stessa asta nel caso in cui lo sforzo normale indicato sia di compressione anziché di trazione.

(16) Spiega come procedi

(punti -1/+7)

Indica la sequenza delle operazioni, con formule e valori utilizzati e risultato dei calcoli

Poiché l'asta è incastrata a un estremo e libera nell'altro la lunghezza libera d'inflessione l_0 è il doppio di l . Assegno un valore di tentativo di χ (provo con $\chi=0.5$) e determino A

$$A \geq \frac{N_{Ed}}{\chi f_y / \gamma_{M0}} = \frac{540 \times 10^3}{0.5 \times 235 / 1.05} = 4826 \text{ mm}^2$$

Provo con un profilo HE, più idoneo per l'instabilità, e scelgo HE 160 B ($A=5430 \text{ mm}^2$, $i_{min}=40.5 \text{ mm}$). La snellezza è

$$\lambda = \frac{l_0}{i_{min}} = \frac{2800}{40.5} = 69.1$$

La snellezza normalizzata è $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{69.1}{93} = 0.743$

La curva da usare per l'instabilità è la c, con $\alpha=0.49$. Calcolo quindi Φ e poi χ

$$\Phi = 0.5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0.909$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0.698$$

Il valore trovato è maggiore di quello previsto e basta quindi un profilo più piccolo. Usando $\chi=0.65$ trovo

$$A \geq \frac{N_{Ed}}{\chi f_y / \gamma_{M0}} = \frac{540 \times 10^3}{0.65 \times 235 / 1.05} = 3712 \text{ mm}^2$$

Provo con un HE 160 A ($A=3880 \text{ mm}^2$, $i_{min}=39.8 \text{ mm}$) e ripeto i calcoli.

Trovo ora $\chi = 0.690$ e ritengo quindi che il profilo vada bene

Ho dosato il punteggio in funzione della completezza della risposta (cioè se erano indicate tutte le formule, nonché i valori di α e l_0 , ma anche della chiarezza con cui si spiegava il procedimento progettuale e le eventuali iterazioni da fare.

(17) Quale profilo scegli? (punti 0/+3)

profilo scelto:

Per le considerazioni nel riquadro, scelgo HE 160 A.

Ho assegnato 3 punti a chi ha scelto i profili più leggeri (HE 160 A o HE 140 B), 2 punti a chi ha scelto profili maggiori ma non di molto, 1 punto a chi ha scelto profili ancora più grandi, perché non necessario.

(18) Qual è la resistenza a compressione del profilo scelto? (punti 0/+3) $N_{b,Rd} =$ kN

$$\text{Si ha } N_{b,Rd} = \chi A \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0.690 \times 3880 \times \frac{235}{1.05} \times 10^{-3} = 598.8 \text{ kN}.$$

Foglio 4

Devi ora progettare la stessa asta nel caso in cui essa sia sollecitata a flessione (nel piano di maggior resistenza) da un momento $M_{Ed} = 40 \text{ kNm}$. Assumi per semplicità che i profili proposti siano tutti di classe 1 o 2 e fai riferimento solo alla verifica di resistenza (SLU).

(19) Spiega come procedi

(punti -1/+5)

Indica la sequenza delle operazioni, con formule e valori utilizzati e risultato dei calcoli

$$\text{Deve essere } W_{pl} \geq \frac{M_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} = \frac{40 \times 10^6}{235 / 1.05} = 178.7 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Determinata il W_{pl} necessario, scelgo il più piccolo profilo che ha un W_{pl} almeno pari a quello richiesto.

Il quesito richiedeva di indicare, oltre alle formule, anche valori utilizzati e risultati del calcolo. Ho penalizzato chi non l'ha fatto.

(20) Quale profilo scegli? (punti 0/+3)

profilo scelto: _____

I profili che hanno W_{pl} sufficiente sono quelli a partire da IPE 200 oppure HE 140 B o HE 160 A. Tra questi scelgo il più leggero, che è IPE 200.

Ho assegnato 3 punti a chi ha scelto i profili più leggeri (IPE 200 o IPE 220), 2 punti a chi ha scelto profili maggiori ma non di molto, 1 punto a chi ha scelto profili ancora più grandi, perché non necessario.

(21) Qual è la resistenza a flessione del profilo scelto? (punti 0/+3) $M_{Rd} =$ _____ kNm

La resistenza a flessione si calcola con la formula (di cui quella di progetto è l'inversa)

$$M_{Rd} = W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 220.6 \times 10^3 \times \frac{235}{1.05} \times 10^{-6} = 49.4 \text{ kNm}$$

Si sono utilizzati i valori relativi al profilo IPE 200, scelto al punto 20.

.....

Hai a disposizione un profilo scatolare quadrato, realizzato saldando piatti in acciaio S235 di spessore $t = 8$ mm e larghezza (al netto della saldatura) $b = 500$ mm. È probabile che, in caso di compressione, ciascun piatto sia soggetto ad instabilità locale. Devi quindi determinare la tensione critica e la larghezza efficace.

(22) Spiega come li calcoli

(punti -1/+6)

Indica la sequenza delle operazioni, con formule e valori utilizzati e risultato dei calcoli

$$\text{Con riferimento a una lastra, si ha } \sigma_{cr} = \frac{k \pi^2 E}{12 (1 - \nu^2) (b/t)^2} \text{ con } k=4 \text{ perché vincolata ai due estremi}$$

$$\frac{b}{t} = \frac{500}{8} = 62.5$$

$$\text{Si ha poi } \bar{\lambda}_p = \frac{b/t}{28.4 \varepsilon \sqrt{k}} \text{ con } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\text{e infine } \rho = \frac{b_{eff}}{b} = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.22}{\bar{\lambda}_p^2}$$

(23) Quanto vale la tensione critica? (punti 0/+3)

$\sigma_{cr} =$ MPa

Con la formula indicata si ha

$$\sigma_{cr} = \frac{k \pi^2 E}{12 (1 - \nu^2) (b/t)^2} = \frac{4 \times 3.14^2 \times 206000}{12 \times (1 - 0.3^2) \times 62.5^2} = 190.7 \text{ MPa}$$

(24) Quanto vale la larghezza efficace? (punti 0/+3)

$b_{eff} =$ mm

Con le formule indicate si ha

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b/t}{28.4 \varepsilon \sqrt{k}} = \frac{62.5}{28.4 \times 1 \times \sqrt{4}} = 1.10$$

$$\rho = \frac{b_{eff}}{b} = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.22}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1.10 - 0.22}{1.10^2} = 0.727$$

e quindi

$$b_{eff} = \rho b = 363.5 \text{ mm}$$