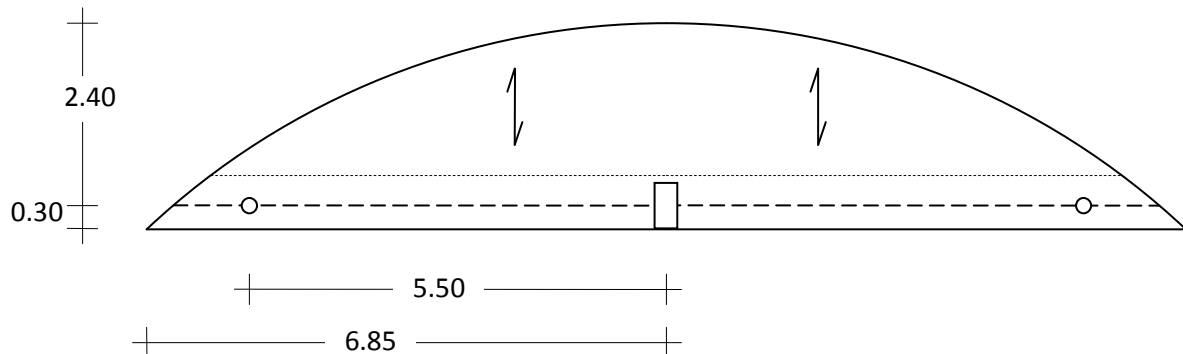


Cognome

Nome

Matricola

Devi progettare la pensilina la cui carpenteria è mostrata nella figura qui sotto.



La pensilina è sostenuta da tre pilastri, alti 4.00 m. Quello centrale è in cemento armato e deve avere una sezione 30×60, orientato come in figura. Gli altri due sono a sezione tubolare in acciaio e sono collegati in maniera tale da poter trasmettere solo una forza assiale. La trave che sostiene la copertura della pensilina deve essere a spessore ed il committente richiede che la sua larghezza sia 60 cm o al massimo 70 cm. In figura è mostrata la linea d'asse della trave e, con linea sottile con tratteggio molto corto, il limite estremo della sua larghezza. La parte di pensilina che esce a sbalzo dalla trave deve essere realizzata come un normale solaio alleggerito da laterizi. Puoi assumere che il valore caratteristico del suo peso proprio e degli altri carichi permanenti compiutamente definiti sia 4.0 kN/m^2 . Il committente richiede che tu consideri un carico variabile con valore caratteristico pari a 1.6 kN/m^2 . Per come è posizionata la pensilina non devi tener conto di altri carichi (né vento né azione sismica). Il committente gradirebbe inoltre che lo spessore della copertura (trave e sbalzo) sia il minore possibile, compatibilmente con le esigenze di resistenza della struttura.

Sviluppa il progetto della trave a spessore e del pilastro in c.a. (non quello dello sbalzo) evidenziando chiaramente i diversi passi che seguono.

Per ciascun passo è indicato, tra parentesi quadre, il massimo punteggio che verrò assegnato (in totale, il massimo punteggio è 100). Nel valutare il punteggio terrò conto anche della chiarezza di esposizione e di quanto sei ordinato nel presentare il lavoro svolto.

- 1) Determina i valori (caratteristici e di calcolo) dei carichi permanenti e variabili, verticali e torsionali, agenti sulla trave. Se un carico ha entità non costante lungo l'asse della trave ma intendi assimilarlo, per semplicità di calcolo, ad un carico uniforme, spiega chiaramente quale valore assumi e perché. [12]

Nota: in questa fase puoi considerare un valore approssimato come peso della trave, purché spieghi come lo valuti.

- 2) Disegna lo schema geometrico complessivo di trave e pilastro in c.a., tenendo conto del vincolo che può essere costituito dai pilastri in acciaio. Indica le diverse condizioni di carico che occorrerebbe risolvere e commentane l'importanza, indicando se massimizzano il valore di una caratteristica di sollecitazione (quale e in qualche sezione?). [8]

- 3) Probabilmente troverai più comodo utilizzare uno schema geometrico più semplice, che consideri separatamente trave e pilastro. Spiega quale schema utilizzerai per la trave e quale schema (con quali azioni) per il pilastro. Indica se questo modello semplificato trascura qualcosa e spiega perché ritieni possibile trascurarlo. [8]

- 4) Anche per quanto riguarda le diverse combinazioni di carico, può essere comodo considerarne una sola, che sia in generale la più gravosa. Indica quindi quale combinazione di carico consideri. Spiega cosa stai trascurando in questo modo e perché lo ritieni trascurabile, oppure in che modo ne terrai conto in maniera approssimata. [8]

- 5) Risolvi lo schema di carico che hai previsto per la trave e indica con chiarezza il diagramma ed i valori più significativi delle diverse caratteristiche di sollecitazione. [12]
- 6) Facendo riferimento alle sezioni che maggiormente ti preoccupano, dimensiona in maniera definitiva la sezione trasversale della trave. [12]
Nota: una volta decisa la sezione giudica (dandone chiara motivazione) se è necessario ripetere il calcolo o se puoi continuare ad usare i risultati ottenuti.
- 7) Calcola l'area di armatura longitudinale e trasversale necessaria nelle sezioni più significative della trave, evidenziando anche in che modo definisci la lunghezza delle barre o dei tratti in cui disporre una certa staffatura. [12]
- 8) Disegna (con schizzi a mano libera ma abbastanza proporzionati) le tavole esecutive della trave che manderesti in cantiere (quindi solo sezioni longitudinali e trasversali e distinta delle armature, non diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione o diagrammi resistenti). Ricordati di quotare le barre ed i tratti di infittimento delle staffe. [8]
- 9) Indica le caratteristiche di sollecitazione che prevedi per il pilastro e progettane l'armatura. Disegna una sezione del pilastro con l'armatura disposta e indica le staffe previste. [12]
- 10) Esprimi un giudizio (qualitativo e/o quantitativo) sulla accettabilità del progetto da te fatto ai fini degli stati limite di esercizio (fessurazione, deformazione, tensioni in esercizio). [8]

Svolgimento

- 1) Determina i valori (caratteristici e di calcolo) dei carichi permanenti e variabili, verticali e torsionali, agenti sulla trave. Se un carico ha entità non costante lungo l'asse della trave ma intendi assimilarlo, per semplicità di calcolo, ad un carico uniforme, spiega chiaramente quale valore assumi e perché.

[12]

Nota: in questa fase puoi considerare un valore approssimato come peso della trave, purché spieghi come lo valuti.

La valutazione dei carichi sulla trave è in sé molto semplice, perché la trave porta lo sbalzo (che dà carico verticale e carico torcente) oltre che se stessa.

Il peso proprio può essere stimato in maniera approssimata. Io avrei pensato ad una trave 70×30, che pesa 5.25 kN/m, ma avrei ridotto tale valore per avere il maggior peso rispetto al solaio. In verità il peso proprio del solaio non è indicato (il valore fornito nel testo include massetto, ecc.) ed io ho quindi immaginato un peso proprio di 2.5 kN/m² ed ho usato $q_k = 3.5$ kN/m, $q_d = 4.55$ kN/m.

Lo sbalzo ha luce variabile e quindi il carico varia da punto a punto. Anche se sarebbe possibile tenerne conto in maniera rigorosa, io preferisco considerare un carico (verticale e torcente) uniforme. Nella parte di trave che esce a sbalzo oltre il pilastrino in acciaio il carico è molto piccolo e quindi lo considero a parte.

Carico sulla campata

Lo sbalzo varia da un minimo di 70 cm circa ad un massimo di 240 cm. Poiché varia con legge non lineare non è corretto prendere direttamente la media di tali valori; inoltre il carico torcente varia col quadrato della luce dello sbalzo e questo ancor di più rende scorretto fare la media. Io ho preferito considerare anche il punto in mezzzeria della campata, in corrispondenza del quale lo sbalzo misura circa 200 cm, ed ho fatto la media pesata dei valori agli estremi e in mezzzeria (con media pesata intendo che ho contato due volte il valore in mezzzeria).

Avrei così, per quanto riguarda il carico verticale

$$l_{media} = \frac{70 + 2 \times 200 + 240}{4} = 177.5 \text{ cm}$$

e per quanto riguarda il carico torcente

$$l_{media} = \sqrt{\frac{70^2 + 2 \times 200^2 + 240^2}{4}} = 188.7 \text{ cm}$$

Più semplice e sostanzialmente corretto potrebbe essere considerare i due terzi del tratto variabile, cioè

$$l_{media} = 70 + \frac{2}{3} (240 - 70) = 183.3 \text{ cm}$$

o forfetariamente i tre quarti della luce massima

$$l_{media} = \frac{3}{4} 240 = 180 \text{ cm}$$

Con il mio criterio io ho ottenuto

$$g_d = 13.78 \text{ kN/m} \quad g_d + q_d = 18.04 \text{ kN/m} \quad t_d = 13.54 \text{ kNm/m}$$

che ho approssimato per eccesso a

$$g_d = 14.0 \text{ kN/m} \quad g_d + q_d = 18.5 \text{ kN/m} \quad t_d = 14.0 \text{ kNm/m}$$

Carico sul tratto che esce a sbalzo oltre il pilastrino in acciaio

Qui lo sbalzo praticamente non c'è più. Io ho considerato

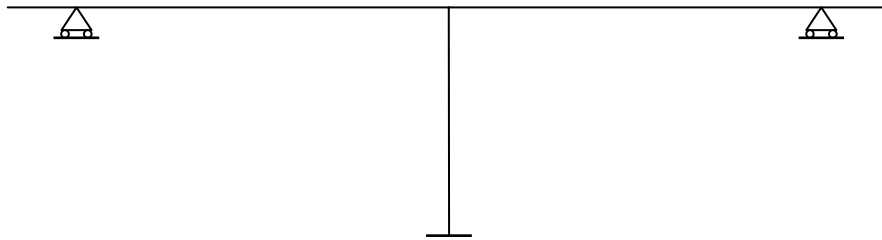
$$g_d = 6.5 \text{ kN/m} \quad g_d + q_d = 7.5 \text{ kN/m} \quad t_d = 1.0 \text{ kNm/m}$$

Nota: volendo essere ancora più rigorosi, nel valutare il carico torcente si dovrebbe detrarre il valore del momento (di segno opposto) prodotto dalla parte di trave che si trova nella parte inferiore rispetto all'asse. Non l'ho fatto perché lo ritengo trascurabile.

- 2) Disegna lo schema geometrico complessivo di trave e pilastro in c.a., tenendo conto del vincolo che può essere costituito dai pilastri in acciaio. Indica le diverse condizioni di carico che occorrerebbe risolvere e commentane l'importanza, indicando se massimizzano il valore di una caratteristica di sollecitazione (quale e in qualche sezione?).

[8]

A rigore, lo schema che si dovrebbe utilizzare è quello qui sotto indicato; lo sbalzo ha una luce pari a 1.00 m (misurato in corrispondenza all'asse della trave). I pilastri in acciaio sono assimilabili ad un pendolo, ovvero ad un carrello, che può reagire con una forza verticale ma non con coppie, in nessun piano (e quindi è un vincolo per i carichi verticali, ma non per quelli torcenti).

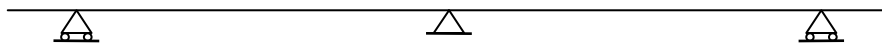


Le diverse condizioni di carico possono essere ottenute disponendo opportunamente i carichi variabili. Per quanto riguarda i carichi verticali, mettere i carichi variabili a scacchiera fornisce i massimi momenti flettenti positivi, metterli nelle campate adiacenti al pilastro centrale rende massimo il momento negativo su quell'appoggio. Il massimo momento negativo nello sbalzo si ottiene mettendovi il carico massimo e questo già avviene con le combinazioni a scacchiera. Si noti che non ha senso considerare schemi limite di incastro, perché i pilastri in acciaio non possono assorbire momento flettente e quindi non possono fungere da incastri (lo schema limite di incastro si riferisce al caso di pilastri rigidi rispetto alla trave). Per quanto riguarda i carichi torcenti, la situazione più gravosa è sempre quando sono presenti i carichi massimi. Per il pilastro, carichi verticali nella combinazione non simmetrici generano momento flettente che lo sollecita nel piano debole; i carichi torcenti generano invece momento flettente nel piano forte.

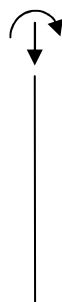
- 3) Probabilmente troverai più comodo utilizzare uno schema geometrico più semplice, che considera separatamente trave e pilastro. Spiega quale schema utilizzerai per la trave e quale schema (con quali azioni) per il pilastro. Indica se questo modello semplificato trascura qualcosa e spiega perché ritieni possibile trascurarlo.

[8]

Il pilastro interviene quando sono presenti carichi verticali disposti in maniera non simmetrica. Ragionando col metodo di Cross, si avrebbe uno squilibrio tra momento d'incastro a destra e a sinistra, che andrebbe in parte al pilastro. L'aliquota del pilastro non sarà comunque alta, perché è messo di piatto. Si può quindi per semplicità studiare la trave, soggetta ai carichi verticali, con uno schema di trave continua.



In questo modo si trascura il modesto contributo del pilastro. Per quanto riguarda i carichi torcenti la trave deve essere considerata come due mensole distinte, vincolate dal pilastro centrale, perché i pilastri in acciaio non possono assorbire momento.



Il pilastro può essere analizzato come una mensola soggetto ad una forza assiale (la reazione dell'appoggio centrale della trave) ed una coppia nel piano forte (dovuta al carico torcente sulla trave) ed eventualmente una coppia nel piano debole (dovuta alla condizione di carico dissimetrica; questa coppia può essere valutata col metodo di Cross, nello schema globale).

- 4) Anche per quanto riguarda le diverse combinazioni di carico, può essere comodo considerare una sola, che sia in generale la più gravosa. Indica quindi quale combinazione di carico consideri. Spiega cosa stai trascurando in questo modo e perché lo ritieni trascurabile, oppure in che modo ne terrai conto in maniera approssimata. [8]

La combinazione di carico più gravosa, dal punto di vista carichi verticali, è quella che prevede il carico variabile presente nelle campate adiacenti al pilastro centrale. In tal modo si valuta il massimo momento flettente all'appoggio centrale ed il massimo taglio. Si trascura il possibile incremento di momento positivo in campata, che può essere colti incrementando un po' il valore che esce dal calcolo o utilizzando un valore forfetario, ad esempio (in questo caso) $q l^2 / 14$. Si trascura anche il momento trasversale (cioè nel piano debole) nel pilastro, che potrebbe essere valutato dallo schema generale col metodo di Cross, ma che forse può essere trascurato perché il carico variabile, che potrebbe generarlo, è modesto.

Per quanto riguarda il carico torcente, è sicuramente più gravoso considerarlo sempre presente. In realtà, comunque, nella parte di trave che esce a sbalzo dal pilastro in acciaio non vi è praticamente carico torcente, quindi il calcolo può limitarsi alle campate.

- 5) Risolvi lo schema di carico che hai previsto per la trave e indica con chiarezza il diagramma ed i valori più significativi delle diverse caratteristiche di sollecitazione. [12]

Data la simmetria, lo schema di trave continua ha l'appoggio centrale che non ruota e può essere quindi considerato come un incastro (ovvero, ragionando con Cross, i momenti d'incastro a destra e sinistra sono uguali e non c'è niente da ripartire). Il momento sullo sbalzo è

$$M_{sb} = \frac{q l^2}{2} = \frac{6.5 \times 1^2}{2} = -3.3 \text{ kNm}$$

ed il momento sull'appoggio centrale

$$M_C = \frac{q l^2}{8} - \frac{M_{sb}}{2} = \frac{18.5 \times 5.5^2}{8} - \frac{3.3}{2} = -68.3 \text{ kNm}$$

Stimo approssimativamente il momento in campata come

$$M_{cam} = \frac{q l^2}{14} = \frac{18.5 \times 5.5^2}{14} = 40.0 \text{ kNm}$$

Il taglio in corrispondenza dell'appoggio centrale può essere valutato come

$$V_C = \frac{q l}{2} + \frac{M_C - M_{sb}}{l} = \frac{18.5 \times 5.5}{2} + \frac{68.3 - 3.3}{5.5} = 62.7 \text{ kN}$$

oppure, essendo lo sbalzo molto corto, con un coefficiente di continuità forfetario ovvero come

$$V_C = 1.2 \frac{q l}{2} = 61.1 \text{ kN}$$

Il momento torcente massimo in corrispondenza dell'appoggio centrale, essendo lo schema dal punto di torsionale una mensola (e considerando torsionalmente scarico il piccolo sbalzo dal pilastro in acciaio) vale

$$T_C = t l = 14 \times 5.50 = 77.0 \text{ kNm}$$

Per quanto riguarda la verifica a taglio potrei far riferimento ad una sezione posta a distanza d dal filo pilastro ed anche per quanto riguarda la torsione potrei guardare a filo pilastro o anche un po' oltre. Ho comunque preferito non ridurre i valori trovati e quindi farò riferimento a questi nelle verifiche.

- 6) Facendo riferimento alle sezioni che maggiormente ti preoccupano, dimensiona in maniera definitiva la sezione trasversale della trave. [12]

Nota: una volta decisa la sezione giudica (dandone chiara motivazione) se è necessario ripetere il calcolo o se puoi continuare ad usare i risultati ottenuti.

La sezione di trave più sollecitata è indubbiamente quella di estremità in corrispondenza al pilastro centrale. Per essa si ha

$$M_{Ed} = -68.3 \text{ kNm} \quad V_{Ed} = 62.7 \text{ kN} \quad T_{Ed} = 77.0 \text{ kNm}$$

La caratteristica che più mi preoccupa è in questo caso la torsione. Dimensionerò quindi la sezione in base a questa, per poi verificarla a V - T e a M .

Anche se ero già partito dall'idea di una sezione 70×30 , provo a seguire una impostazione di progetto anziché di verifica. Ritengo che possa essere $t \cong 10 \text{ cm}$ e $\cot \theta = 2$ (in questo caso non di più, perché il committente non vuole una sezione troppo alta). Si ha

$$A_{k,nec} = \frac{T_{Ed}}{2 v f_{cd} t} \frac{1 + \cot^2 \theta}{\cot \theta} = \frac{77.0 \times 10^3}{2 \times 0.5 \times 14.17 \times 10} \frac{1 + 2^2}{2} = 1359 \text{ cm}^2$$

Volendo avere una larghezza di 70 cm , sarebbe $b_k = 60 \text{ cm}$ e quindi

$$a_k = \frac{A_{k,nec}}{b_k} = \frac{1359}{60} = 22.6 \text{ cm}$$

Provo quindi con una sezione 70×32 , valutando se può andar bene e quale sia il valore di $\cot \theta$ necessario. Si ha

$$t = \frac{A}{u} = \frac{70 \times 32}{2 \times (70 + 32)} = 10.98 \text{ cm}$$

$$A_k = (70 - 10.98) \times (32 - 10.98) = 1241 \text{ cm}^2$$

$$u_k = 2 [(70 - 10.98) + (32 - 10.98)] = 160 \text{ cm}$$

Si ha

$$T_{Rd,max} = 2 v f_{cd} A_k t \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} = 2 \times 0.5 \times 14.17 \times 1241 \times 10.98 \times 10^{-3} \times \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} = 193.1 \times \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} \text{ kNm}$$

Si otterrebbe $V_{Rd,max} = V_{Ed}$ con $\cot \theta = 2.01$. La sezione può quindi andare bene, ma bisogna controllarla per la contemporanea presenza di taglio.

Si ha

$$V_{Rd,max} = v_1 f_{cd} b z \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} = 0.5 \times 14.17 \times 70 \times 0.9 \times 28 \times 10^{-1} \times \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} = 1249.8 \times \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} \text{ kN}$$

La condizione di verifica è

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} \leq 1$$

ovvero

$$\frac{62.7}{1249.8} + \frac{77.0}{193.1} \leq \frac{1 + \cot^2 \theta}{\cot \theta}$$

che porta a

$$\cot \theta \leq 1.60$$

Un tale valore di $\cot \theta$ è più basso di quello che usualmente suggerisco, ma lo accetto con l'intento di limitare l'altezza della sezione secondo quanto richiesto dal committente.

Per la sezione si ha inoltre

$$M_{Rd(u=0)} = \frac{b d^2}{r^2} = \frac{0.70 \times 0.28^2}{0.0197^2} = 141.4 \text{ kNm}$$

La sezione sta quindi bene a flessione e non ha bisogno di armatura in compressione.

- 7) Calcola l'area di armatura longitudinale e trasversale necessaria nelle sezioni più significative della trave, evidenziando anche in che modo definisci la lunghezza delle barre o dei tratti in cui disporre una certa staffatura.

Faccio riferimento sempre all'estremo della campata in prossimità dell'appoggio centrale. In questa sezione l'area di armatura a flessione (superiore) deve essere

$$A_s = \frac{M}{0.9 d f_{yd}} = \frac{68.3 \times 10}{0.9 \times 0.28 \times 391.3} = 6.93 \text{ cm}^2$$

Non occorre armatura in compressione perché $M_{Ed} < M_{Rd(u=0)}$.

Per il taglio occorrono staffe che posso valutare usando $\cot \theta = 1.6$ (valore massimo consentito per la resistenza della sezione)

$$A_{st,V} = \frac{V s}{0.9 d f_{yd} \cot \theta} = \frac{62.7 \times 100 \times 10}{0.9 \times 28 \times 391.3 \cot \theta} = \frac{6.36}{\cot \theta} \text{ cm}^2 / \text{m} = 3.97 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

valore che deve essere diviso per il numero di bracci della staffa.

Per la torsione, sempre usando $\cot \theta = 1.6$, si trova

$$A_{st,T} = \frac{T s}{2 A_k f_{yd} \cot \theta} = \frac{77.0 \times 100 \times 1000}{2 \times 1241 \times 391.3 \cot \theta} = \frac{7.93}{\cot \theta} \text{ cm}^2 / \text{m} = 4.96 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Se si vogliono usare staffe a 4 bracci si ha

$$A_{st} = \frac{A_{st,V}}{4} + A_{st,T} = \frac{3.97}{4} + 4.96 = 5.95 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

quindi non bastano staffe $\varnothing 8/10$. Potrei disporre, almeno nella parte di estremità della trave, staffe $\varnothing 8/7.5$ ($6.67 \text{ cm}^2/\text{m}$) per poi ridurle a $\varnothing 8/15$. In questo modo userei in realtà un valore di $\cot \theta$ più basso

$$\cot \theta = 1.6 \times \frac{5.95}{6.67} = 1.43$$

Posso quindi calcolare le armature di parete (per V) e longitudinali (per T) con tale valore. Si ha

$$A_{par,V} = \frac{V \cot \theta}{2 f_{yd}} = \frac{62.7 \times 1.43 \times 10}{2 \times 391.3} = 1.15 \text{ cm}^2$$

$$A_{lon,T} = \frac{T u_k \cot \theta}{2 A_k f_{yd}} = \frac{77.0 \times 160 \times 1.43 \times 1000}{2 \times 1241 \times 391.3} = 18.16 \text{ cm}^2$$

L'armatura longitudinale per torsione deve essere ripartita tra i lati. Poiché la trave è molto larga e bassa, potrebbe essere messa sostanzialmente solo nei lati inferiore e superiore (9.08 cm^2 per ciascun lato). In questo modo si metterebbero in totale

$6.93 + 9.08 = 16.01 \text{ cm}^2$ superiormente

9.08 cm^2 inferiormente (armatura che va abbondantemente bene anche in mezzeria)

Penso quindi di disporre

inferiormente 2 $\varnothing 14 + 2 \varnothing 20$, per tutta la campata (incluso il piccolo sbalzo dal pilastro in acciaio)

superiormente 2 $\varnothing 14 + 2 \varnothing 20$, per tutta la campata (incluso il piccolo sbalzo dal pilastro in acciaio)

altri 3 $\varnothing 20$ aggiuntivi sull'appoggio, che lavorino per circa un quarto della campata (poiché oltre T si è dimezzato ed M circa annullato)

Le staffe (a quattro bracci) saranno $\varnothing 8/7.5$ per un tratto pari a 120 cm dal filo pilastro (perché a quella distanza ormai T e V si sono circa dimezzati) e poi $\varnothing 8/15$.

Potrei aggiungere come ferri di parete 1 $\varnothing 14$ a metà di ciascun braccio della staffa.

Nota: in effetti disponendo staffe a 4 bracci avrei potuto pensare che i bracci interni lavorano per il taglio e quelli esterni per la torsione. Forse questo mi avrebbe consentito di ridurre un po' l'armatura, usando $\varnothing 8/10$ anziché $\varnothing 8/7.5$.

- 8) Disegna (con schizzi a mano libera ma abbastanza proporzionati) le tavole esecutive della trave che manderesti in cantiere (quindi solo sezioni longitudinali e trasversali e distinta delle armature, non diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione o diagrammi resistenti). Ricordati di quotare le barre ed i tratti di infittimento delle staffe.

Non riporto per ora lo schizzo, solo per motivi tecnici. Spero che la descrizione fatta sopra si a sufficiente.

- 9) Indica le caratteristiche di sollecitazione che prevedi per il pilastro e progettane l'armatura. Disegna una sezione del pilastro con l'armatura disposta e indica le staffe previste. [12]

Il pilastro è soggetto ad uno sforzo normale pari al doppio del taglio massimo, cioè

$$N_{Ed} = 2 \times 62.7 = 125.4 \text{ kN di compressione}$$

e ad un momento flettente pari al doppio del momento torcente massimo

$$M_{Ed} = 2 \times 77.0 = 154.0 \text{ kNm, nel piano forte.}$$

Lo sforzo normale è molto piccolo, quindi si può progettare l'armatura a flessione semplice. Si ha in tal caso

$$A_s = \frac{M}{0.9 d f_{yd}} = \frac{154.03 \times 10}{0.9 \times 0.56 \times 391.3} = 7.81 \text{ cm}^2$$

Questa armatura potrebbe essere disposta solo dal lato teso, ma io preferisco metterla da entrambi i lati.

Se si fosse voluto fare il conto pensando al contributo dello sforzo normale, avrei calcolato

$$N_{c,max} = b h f_{cd} = 30 \times 70 \times 14.17 \times 10^{-1} = 2550.6 \text{ kN}$$

$$M_{c,max} = 0.12 b h^2 f_{cd} = 0.12 \times 30 \times 70^2 \times 14.17 \times 10^{-3} = 183.6 \text{ kNm}$$

$$v N_{c,max} = 0.48 \times 2550.6 = 1224.3 \text{ kN}$$

$$M_{c(N)} = M_{c,max} \left[1 - \left(\frac{N_{Ed} + v N_{c,max}}{v N_{c,max}} \right)^2 \right] = 183.6 \times \left[1 - \left(\frac{-125.4 + 1224.3}{1224.3} \right)^2 \right] = 35.7 \text{ kNm}$$

e quindi

$$\Delta M = M_{Ed} - M_{c(N)} = 154.0 - 35.7 = 118.3 \text{ kNm}$$

$$A_s = \frac{\Delta M}{(d - c) f_{yd}} = \frac{118.3 \times 10}{0.52 \times 391.3} = 5.81 \text{ cm}^2$$

In ogni caso io disporrei in totale 4 Ø20 (uno per ciascuno spigolo) e 6 Ø14 (uno al centro di ciascun lato corto, due in ciascun lato lungo), con staffe Ø8/20 a doppio braccio.

- 10) Esprimi un giudizio (qualitativo e/o quantitativo) sulla accettabilità del progetto da te fatto ai fini degli stati limite di esercizio (fessurazione, deformazione, tensioni in esercizio). [8]

Per la fessurazione, i minimi di armatura sono abbondantemente superati (inutile controllarlo). Dovrei controllare se il diametro delle barre usate e/o la distanza tra le barre rispetta i limiti indicati dalla normativa. Ritengo che ciò avvenga, visto che ho almeno 4 barre in 70 cm ovvero, tolto anche il copriferro, circa 20 cm di distanza tra le barre. Inoltre il tasso di lavoro delle barre in esercizio dovrebbe essere abbastanza basso. Un controllo è comunque opportuno. Sicuramente non ho problemi di deformazione, visto l'elevato spessore della pensilina che rispetta ampiamente i limiti per gli sbalzi (l/h è pari a 7.5 e lo sbalzo è poco sollecitato).

Anche per le tensioni in esercizio ritengo di stare molto bene, non avendo esigenze di armatura in compressione per flessione e non avendo fatto alcuna ridistribuzione. Anche qui comunque un controllo sarebbe utile per conferma.