

Foglio 1

- (1) Quale delle seguenti affermazioni relative alle deformazioni provocate dal ritiro non è giusta? (punti -1/+4)

- ☐ 1 provoca spesso lesioni per trazione nelle travi
- ☐ 2 è tanto maggiore quanto più alta è la quantità di acqua nell'impasto
- ☐ 3 è tanto maggiore quanto più alta è l'umidità dell'ambiente
- ☐ 4 non genera stato tensionale nelle strutture isostatiche
- ☐ 5 è influenzata dal rapporto tra superficie esposta e volume del calcestruzzo

L'unica affermazione non giusta è la numero 3, perché l'umidità dell'ambiente riduce le deformazioni da ritiro (al limite, un calcestruzzo immerso in acqua si espande anziché ritirarsi)

- (2) Quale delle seguenti affermazioni relative alla deformazione massima del calcestruzzo non è giusta? (punti -1/+4)

- ☐ 1 la normativa impone valori di ϵ_{cu} minori di 0.0035 per i calcestruzzi di classe superiore al C50/60
- ☐ 2 in presenza di compressione uniforme occorre far riferimento a ϵ_{c2} e non a ϵ_{cu}
- ☐ 3 la presenza di una buona armatura in compressione aumenta il valore di ϵ_{cu}
- ☐ 4 la presenza di una buona staffatura aumenta il valore di ϵ_{cu}
- ☐ 5 *metti la croce qui se ritieni che tutte le affermazioni precedenti siano corrette*

L'affermazione 3 non è giusta. La presenza di armatura in compressione aumenta la duttilità della sezione perché riduce deformazioni e sollecitazioni nel calcestruzzo, ma non aumenta ϵ_{cu} .

- (3) Qual è la causa principale delle differenze dei risultati ottenuti progettando (per M ed N) sezioni e armature allo SLU anziché alle TA? (punti -1/+4)

- ☐ 1 c'è un risparmio perché allo SLU si fa lavorare il materiale ad una tensione maggiore
- ☐ 2 l'armatura tesa dà un contributo maggiore se si usa lo SLU
- ☐ 3 l'armatura compressa dà un contributo maggiore se si usa lo SLU
- ☐ 4 la non linearità del calcestruzzo, usata allo SLU, consente risparmi
- ☐ 5 *metti la croce qui se ritieni che non vi sia mai una sostanziale differenza*

La principale causa di differenze nel comportamento di una sezione allo SLU anziché TA è il tasso di lavoro dell'armatura compressa, che è molto più alto nel caso di SLU. La risposta giusta è quindi la 3.

Normalmente termini le barre di armatura con una lunghezza di ancoraggio l_b pari a 40 diametri. Indica se nei casi sotto indicati può essere necessaria una lunghezza maggiore (barra SI) oppure no (barra NO). (punti -1/+1 a risposta)

- (4) la barra termina con un ancoraggio con piega a 90° ☐ 1 SI ☐ 2 NO

L'ancoraggio con piega è migliore di quello diritto, quindi la risposta giusta è la 2 (NO).

- (5) la barra è a contatto con un'altra barra ☐ 1 SI ☐ 2 NO

È possibile disporre due barre accostate, ma in questo caso la superficie a contatto col calcestruzzo è minore e quindi occorre un ancoraggio maggiore; quindi la risposta giusta è la 1 (SI).

- (6) la barra lavora ad una tensione inferiore al massimo ☐ 1 SI ☐ 2 NO

Se la barra lavora meno del massimo basta un ancoraggio minore, quindi la risposta giusta è la 2 (NO).

(7) la barra fa parte dell'armatura superiore di una trave emergente ☐ SI ☐ NO

La parte superiore di una trave alta può presentare condizioni di aderenza meno buone, perché la vibratura porta verso l'alto l'acqua e riduce le caratteristiche meccaniche dello strato superiore. In tal caso occorre aumentare l'ancoraggio, quindi la risposta giusta è la 1 (SI).

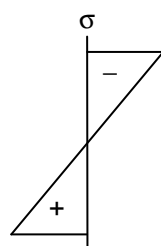
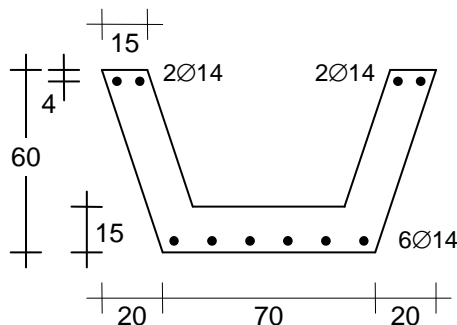
(8) Quale armatura metteresti in un pilastro di sezione 40×70 posto in un edificio in zona non sismica e con vento trascurabile e quindi soggetto sostanzialmente a solo sforzo normale? (punti -1/+4)

- ☒ ☐ 1 8 Ø14 (4 agli spigoli e gli altri sui lati lunghi)
- ☒ ☐ 2 10 Ø14 (4 agli spigoli, uno a metà di ciascun lato corto e gli altri sui lati lunghi)
- ☐ ☐ 3 4 Ø20 e 4 Ø14 (i Ø20 agli spigoli e i Ø14 sui lati lunghi)
- ☐ ☐ 4 4 Ø20 e 6 Ø14 (i Ø20 agli spigoli, un Ø14 a metà di ciascun lato corto e gli altri sui lati lunghi)
- ☐ ☐ 5 8 Ø20 (4 agli spigoli e gli altri sui lati lunghi)

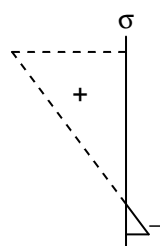
Un criterio generale è mettere le barre a distanza non superiore a circa 25 cm. Di conseguenza occorre, in aggiunta alle barre di spigolo, almeno una barra al centro del lato da 40 cm e due lungo il lato da 70, per un totale di 10 barre. Mettere 10 Ø14 darebbe un'area di acciaio di 15.4 cm² e quindi una percentuale del 5.5%, possibile ma bassa (ho dato a questa 1 punto). È giusto quindi mettere 4 Ø20 e 6 Ø14 e la risposta esatta è la 4.

Foglio 2

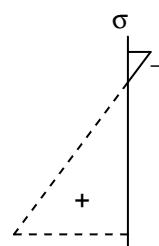
È disegnata qui sotto una sezione in cemento armato (calcestruzzo C25/30, acciaio B450C) e tre possibili diagrammi delle tensioni. Per ciascuno di questi indica a cosa si riferisce.



(A)



(B)



(C)



(9) diagramma A (punti 0/+3)

Modello di comportamento

☐ I stadio

☐ II stadio

Sforzo normale

☐ trazione

☐ compressione

☐ $N = 0$

Momento flettente

(10) diagramma B (punti 0/+3)

Modello di comportamento

☐ I stadio

☐ II stadio

Sforzo normale

☐ trazione

☐ compressione

☐ $N = 0$

Momento flettente

(11) diagramma C (punti 0/+3)

Modello di comportamento

☐ I stadio

☐ II stadio

Sforzo normale

☐ trazione

☐ compressione

☐ $N = 0$

Momento flettente

<input type="checkbox"/> positivo	<input type="checkbox"/> positivo	<input type="checkbox"/> positivo
<input type="checkbox"/> negativo	<input type="checkbox"/> negativo	<input type="checkbox"/> negativo
<input type="checkbox"/> $M = 0$	<input type="checkbox"/> $M = 0$	<input type="checkbox"/> $M = 0$

Nel primo stadio, il baricentro della sezione omogeneizzata non è a metà, ma spostato verso il basso (è a 23.9 cm dal bordo inferiore).

Il diagramma A è con linea continua e si riferisce quindi al *I stadio*. Il punto di nullo è esattamente a metà, ma poiché il baricentro della sezione omogeneizzata è più in basso la parte compressa (superiore) è minore di quella tesa e si ha quindi uno *sforzo normale di trazione*. Le fibre tese sono inferiori e quindi il *momento è positivo*.

Il diagramma B è con linea in parte tratteggiata e si riferisce quindi al *II stadio* (linea tratteggiata dove c'è trazione). L'asse neutro è a soli 10 cm circa dal bordo inferiore. Si nota però che la parte compressa è molto larga e quindi è plausibile che la risultante di compressione uguagli quella di trazione e sia $N=0$ (in effetti facendo il calcolo risulta, per flessione semplice, $x \cong 10$ cm). Le fibre tese sono superiori e quindi il *momento è negativo*.

Il diagramma B è con linea in parte tratteggiata e si riferisce quindi al *II stadio*. L'asse neutro è a soli 10 cm circa dal bordo superiore. La parte compressa è poco ampia e quindi è plausibile che la risultante di compressione sia inferiore a quella di trazione e si abbia quindi uno *sforzo normale di trazione* (in effetti facendo il calcolo risulta, per flessione semplice, $x = 16.8$ cm). Le fibre tese sono inferiori e quindi il *momento è positivo*.

Nota relativa ai punteggi: per ciascuna dei tre diversi aspetti (modello, N ed M) ho dato 1 punto se esatto ed ho tolto 1 punto se errato (tranne alla risposta "trazione" per il diagramma B, che poteva anche essere non del tutto scorretta), ovviamente senza scendere sotto 0 come totale.

- (12) Con riferimento alla sezione sopra indicata, spiega come faresti a valutare *in maniera rigorosa* il momento M_{Rd} (momento resistente allo SLU) *positivo*. (punti 0/+5)

Indica la sequenza delle operazioni, con formule e valori utilizzati

Poiché il momento è positivo e la parte compressa è quella superiore, essa ha una larghezza costante (30 cm) e la sezione è quindi equivalente ad una sezione rettangolare.

La posizione dell'asse neutro si trova con un equilibrio alla traslazione tra

$$N_c = \beta b x f_{cd} \quad N_s = A_s f_{yd} \quad N'_s = A'_s \sigma'_s$$

$$\text{con } \epsilon'_s = \frac{x - c}{x} \epsilon_{cu}$$

L'armatura superiore in questo caso non è snervata. L'equazione di equilibrio diventa di secondo grado (vedi libro per la formula risolutiva).

Una volta trovato x si calcola M_{Rd} con equilibrio alla rotazione (rispetto a un punto qualsiasi).

Nota: il quesito si riferiva alla verifica della sezione con l'armatura indicata in figura. A qualcuno che ha indicato il procedimento di verifica in maniera generale, senza notare che b è costante, ho dato 2 punti. A chi ha indicato il procedimento corretto per b costante, senza però specificare quanto vale b (e senza che lo si deduca dai calcoli), ho dato un punto in meno del massimo (4 punti).

- (13) E quanto vale? (punti 0/+4)



$$M_{Rd} = \boxed{} \text{ kNm}$$

Si ottiene (vedi foglio Excel) $x=6.14$ cm e infine $M_{Rd} = 191.1$ kNm

Foglio 3

- (14) Con riferimento alla sezione indicata nella pagina precedente, spiega come faresti a valutare *in maniera approssimata* allo SLU il massimo momento flettente M_{Rd} *positivo* che la sezione, con adeguata armatura, potrebbe portare. (punti 0/+4)

Indica formule e valori utilizzati

Il massimo momento è dato dalla espressione $M_{Rd} = \frac{b d^2}{r'^2}$

La sezione, compressa superiormente ha $b=30$ cm

Si può usare $r'=0.018$

- (15) E quanto vale? (punti 0/+3)



$M_{Rd} = \underline{\hspace{2cm}}$ kNm

Si ottiene con $r'=0.018$ (vedi foglio Excel) $M_{Rd} = 290.4$ kNm

- (16) Con riferimento alla sezione indicata nella pagina precedente ed al momento M_{Rd} *positivo* indicato al quesito precedente, spiega come faresti a progettare l'armatura tesa necessaria per tale momento flettente. (punti 0/+4)

Indica formule e valori utilizzati

L'armatura tesa è data dalla espressione $A_s = \frac{M}{0.9 d f_{yd}}$

Nota: a chi ha citato l'espressione senza specificare chi sono le grandezze in gioco, se non lo si evince dalle precedenti risposte o dal risultato numerico, ho dato un punto in meno (3 punti).

- (17) E quanto vale? (punti 0/+3)



$A_s = \underline{\hspace{2cm}}$ cm²

Si ottiene, con riferimento al momento sopra indicato, $A_s = 14.7$ cm². Ovviamente nel giudicare il compito ho ricalcolato A_s in base al valore di M fornito.

- (18) Una trave a spessore, di sezione 70×28, con copriferro $c=4$ cm, realizzata con calcestruzzo C25/30 e acciaio B450C, deve portare un momento flettente $M_{Ed}=180$ kNm. Supponendo di aver disposto l'armatura tesa necessaria, spiega come progettare l'area di armatura compressa da disporre. (punti 0/+4)

Indica formule e valori utilizzati

Occorre innanzitutto calcolare il momento flettente che la sezione potrebbe portare a semplice armatura, usando l'espressione

$$M_{Rd(u=0)} = \frac{b d^2}{r'^2} \text{ con } r'=0.0197$$

ed il conseguente $\Delta M = M_{Ed} - M_{Rd(u=0)}$

Si calcola poi la tensione di lavoro dell'armatura compressa, usando l'espressione

$$\epsilon'_s = \frac{x - c}{x} \epsilon_{cu}$$

$$\text{Infine si ha } A'_s = \frac{\Delta M}{(h - 2c) \sigma'_s}$$

Nota: a chi ha citato in maniera incompleta le espressione (ad esempio manca ϵ'_s), se non lo si evince dal risultato numerico, ho dato un punto in me (3 punti).

(19) E quanto vale? (punti 0/+3)



$A'_s = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}^2$

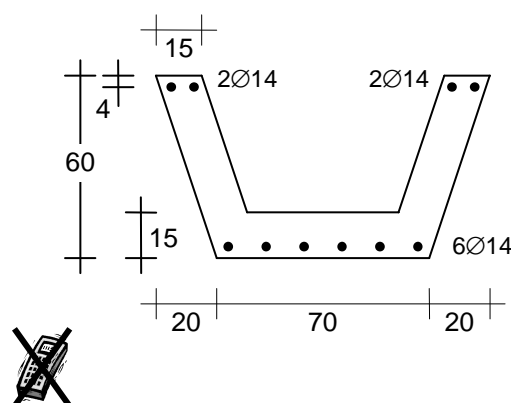
Si ottiene $M_{Rd(u=0)} = 103.9 \text{ kNm}$, $\sigma'_s = 233.3 \text{ MPa}$ e infine $A'_s = 16.3 \text{ cm}^2$.

Nota: a chi, pur con procedimento giusto, ha ottenuto risultati diversi di circa 1 cm^2 ho dato un punto in meno (2 punti).

Foglio 4

Fai riferimento alla sezione disegnata qui a fianco (che è la stessa già vista nelle pagine precedenti), da verificare con il *metodo delle tensioni ammissibili*.

Per le coppie $M-N$ di seguito indicate, ricordando che N positivo indica trazione e che il momento M è valutato rispetto al baricentro della sezione di solo calcestruzzo, indica se la sezione è tutta tesa, parzializzata (compressa superiormente o inferiormente) o tutta compressa.



(20) $N = +1000 \text{ kN}$, $M = -200 \text{ kNm}$

(punti -1/+3)

☐ tutta tesa ☐ parzializzata (compressa sup) ☐ parzializzata (compressa inf) ☐ tutta compressa

Poiché il modello del materiale è quello di II stadio, occorre far riferimento al nocciolo d'inerzia della sezione costituita da solo armature (perché c'è trazione). Il baricentro è un po' spostato verso il basso e gli estremi del nocciolo sono abbastanza vicini alle armature (ma interni, rispetto a queste). I dati forniti corrispondono ad una eccentricità di -20 cm (verso l'alto rispetto al baricentro), che risulta entro il nocciolo. La sezione è quindi tutta tesa (risposta 1). Solo per completezza (ma non era necessario calcolarlo) si aggiunge che il baricentro delle armature dista 24.8 cm dal bordo inferiore e gli estremi di nocciolo 26.2 cm (sup) e 18.4 cm (inf) dal baricentro.

(21) $N = -1000 \text{ kN}$, $M = +200 \text{ kNm}$

(punti -1/+3)

☐ tutta tesa ☐ parzializzata (compressa sup) ☐ parzializzata (compressa inf) ☐ tutta compressa

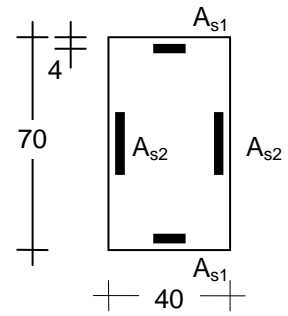
Poiché il modello del materiale è quello di II stadio, occorre far riferimento al nocciolo d'inerzia della sezione costituita da calcestruzzo più armature omogeneizzate (perché c'è compressione). Il baricentro è un po' spostato verso il basso e gli estremi del nocciolo sono circa a $1/6$ di h . I dati forniti corrispondono ad una eccentricità di -20 cm (verso l'alto rispetto al baricentro), che risulta esterno al nocciolo. La sezione è quindi tutta parzializzata e poiché $M > 0$ è compressa sup (risposta 2). Solo per completezza (ma non era necessario calcolarlo) si aggiunge che il baricentro della sezione omogeneizzata dista 24.0 cm dal bordo inferiore e gli estremi di nocciolo 14.5 cm (sup) e 9.7 cm (inf) dal baricentro.

.....

Fai riferimento alla sezione disegnata qui a fianco (con calcestruzzo C25/30 e acciaio B450C), da verificare con il *metodo degli stati limite*.

La sezione è soggetta ad uno sforzo normale di compressione $N_{Ed} = -600$ kN ed ai momenti $M_{Ed,x} = 300$ kNm e $M_{Ed,y} = 120$ kNm. La sezione è stata già verificata per il momento $M_{Ed,y}$ (quello che la sollecita “di piatto”) ed è stata disposta una quantità di armatura A_{s2} tale da sopportare un momento $M_{Rd,y} = 250$ kNm.

Devi progettare l’armatura sul lato corto A_{s1} .



Per farlo devi calcolare preliminarmente le seguenti quantità:

(punti 0/+3 a risposta)

(22) $N_{c,max} =$ kN 

(23) $M_{c,max} =$ kNm 

Si ottiene: $N_{c,max} = 3968$ kN $M_{c,max} = 190.4$ kNm

(24) Spiega come procedi

(punti -1/+5)

Indica la sequenza delle operazioni, con formule e valori utilizzati

L’espressione di verifica a pressoflessione deviata è $\left(\frac{M_{Ed,x(N)}}{M_{Rd,x(N)}} \right)^{1.5} + \left(\frac{M_{Ed,y(N)}}{M_{Rd,y(N)}} \right)^{1.5} \leq 1$

Il primo termine vale 0.33, quindi il secondo è al massimo 0.67, ovvero deve essere

$$M_{Rd,y(N)} = M_{Ed,y(N)} \times 0.67^{1/1.5} = 391.8 \text{ kNm}$$

La sezione 40×70 di solo calcestruzzo può portare un momento che si calcola in funzione di N e vale 176.9 kNm. Il resto (214.8) deve essere portato dall’armatura e calcolato con l’espressione

$$A_{s1} = \frac{\Delta M}{(h - 2c) f_{yd}}$$

Nota: alcuni studenti hanno pensato solo alla pressoflessione retta, calcolando l’armatura con $M_{Ed,y} = 300$ kNm. Se l’hanno spiegato bene, ho dato 3 punti.

(25) E quanto vale A_{s1} ? (punti 0/+4)



$A_{s1} =$ cm²

Si ottiene $A_s = 8.9$ cm².

Nota: alcuni studenti hanno pensato solo alla pressoflessione retta, calcolando l’armatura con $M_{Ed,y} = 300$ kNm. Se l’hanno calcolata bene (ne sarebbero serviti 5.07 cm²), ho dato 2 punti.