

Verifica Trave SLU D.M. 2008 CAP.7

1.Caratteristiche dei materiali impiegati

Classe di resistenza del calcestruzzo	C25/30	N/mm ²
Tipo Acciaio	Fe B450C	
Modulo elastico dell'acciaio	E _s 210000	

2.Dimensioni della trave e della sezione

Larghezza della sezione	B	300	[mm]
Altezza della sezione	H	600	[mm]
Lunghezza della trave	L	6	[m]
Spessore copriferro	d'	30	[mm]
Altezza utile	d	560	[mm]

Rck	30	N/mm ²
fctm	2,56	N/mm ²
fctk	1,79	N/mm ²
fbd	2,69	N/mm ²
fck	24,90	N/mm ²
gcd	16,60	N/mm ²
fyd	391,30	N/mm ²

3.Classe di duttilità

Classe di duttilità alta CD"A"

4.Sollecitazioni e pesi gravanti sulla trave in valore assoluto

momento appoggio sx.	inf	150,0	[kNm]
	sup	160,0	[kNm]
momento campata	max	232,0	[kNm]
momento appoggio dx	inf	150,0	[kNm]
	sup	180,0	[kNm]

Carico permanente strutturale	G ₁	20,00	[kN/m]
Carico permanente nonstrutturale	G ₂	10,00	[kN/m]
Carico variabile	Q _k	12,84	[kN/m]

5.Limitazione geometrica della trave B/H ≥0,25; B ≥ 200 mm: verificato

6.Lunghezza della zona critica: CD A 900 [mm]

7.Progetto a flessione

zona di calcolo		Msd	As,min	INPUT										PER LA ZONA CRITICA
				barre		barre		barre		As	Mrd	Mrd ≥ Msd	1,4/fyk ≤ ρ ≤ ρcomp + 3,5/fyk	ρcomp ≥ 0,5 ρ
				n°	φ	n°	φ	n°	φ	mm²	kNm			
appoggio sx.	inf	150,00	760,58	2	16	3	16	0	0	1005,31	198,26	verificato	verificato	verificato
	sup	160,00	811,29	2	16	3	16	1	14	1159,25	228,62	verificato		
campata	max	232,00	1176,37	2	16	4	18	0	0	1420,00	280,05	verificato	verificato	verificato
appoggio dx	inf	150,00	760,58	2	16	3	16	0	0	1005,31	198,26	verificato	verificato	verificato
	sup	180,00	912,70	2	16	3	16	1	14	1159,25	228,62	verificato		
				CORRENTE		INTEGRATIVA		INTEGRATIVA						

• L'armatura superiore, disposta per il momento negativo alle estremità delle travi, deve essere contenuta, **per almeno il 75%, entro la larghezza dell'anima** e comunque, per le sezioni a T o ad L, entro una fascia di soletta pari rispettivamente alla **larghezza del pilastro, od alla larghezza del pilastro aumentata di 2 volte lo spessore della soletta da ciascun lato del pilastro**, a seconda che nel nodo manchi o sia presente una trave ortogonale.

• **Almeno ¼ della suddetta armatura deve essere mantenuta per tutta la lunghezza della trave.**

Le armature longitudinali delle travi, sia superiori che inferiori, devono attraversare, di regola, i nodi senza ancorarsi o giuntarsi per sovrapposizione in essi.

Definizione della fascia di soletta ove disporre almeno il 75% dell'armatura superiore.

$$b_{eff} = \begin{cases} -b_{pil} \\ -b_{pil} + 4h_{sol} \end{cases}$$

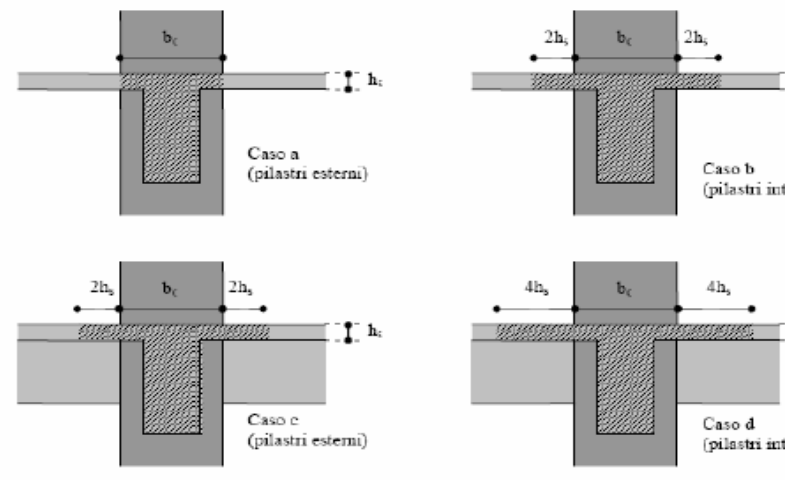


Figura 7.4.1 – Larghezza collaborante della trave.

8.Lunghezze di ancoraggio

Lunghezza di ancoraggio		
barra		l _a (m)
φ	14	0,51
φ	16	0,58
φ	18	0,66
φ	20	0,73
φ	22	0,80

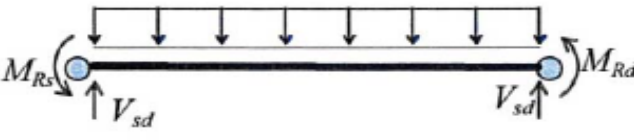
9.Progetto a Taglio

γ _{rd}	1,2	CD A
-----------------	-----	------

Lunghezza e carico Trave	L [m]	G _k [kN]	Q _k [kN]
	6	30,00	12,84

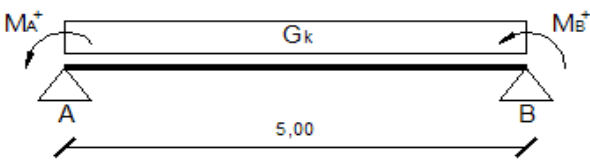
Momenti resistenti della Trave	Appoggio Sinistro		Appoggio Destro	
	Mr,sup [kNm]	Mr,inf [kNm]	Mr,sup [kNm]	Mr,inf [kNm]
	228,62	198,26	228,62	198,26

9.1 Taglio sollecitante secondo la gerarchia delle resistenze


$$V_{sd} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{Rs} + M_{Rd}}{l} \pm \frac{(G_k + [0.3 Q_k])l}{2}$$
$$V_{rd} \geq V_{sd} \quad \begin{matrix} \gamma_{Rd} = 1.2 & \text{CDA} \\ \gamma_{Rd} = 1.0 & \text{CDB} \end{matrix}$$

PRIMA COMBINAZIONE

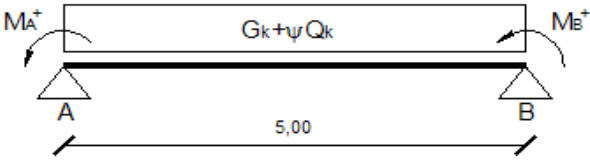
V_{Ed,A}
175,38 kN



V_{Ed,B}
-4,62 kN

SECONDA COMBINAZIONE

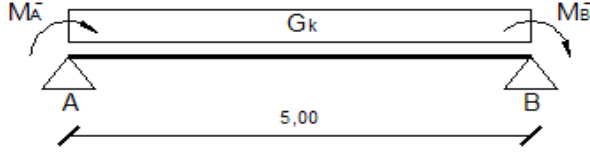
V_{Ed,A}
186,93 kN



V_{Ed,B}
-16,18 kN

TERZA COMBINAZIONE

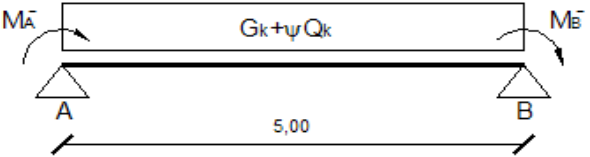
V_{Ed,A}
-46,86 kN



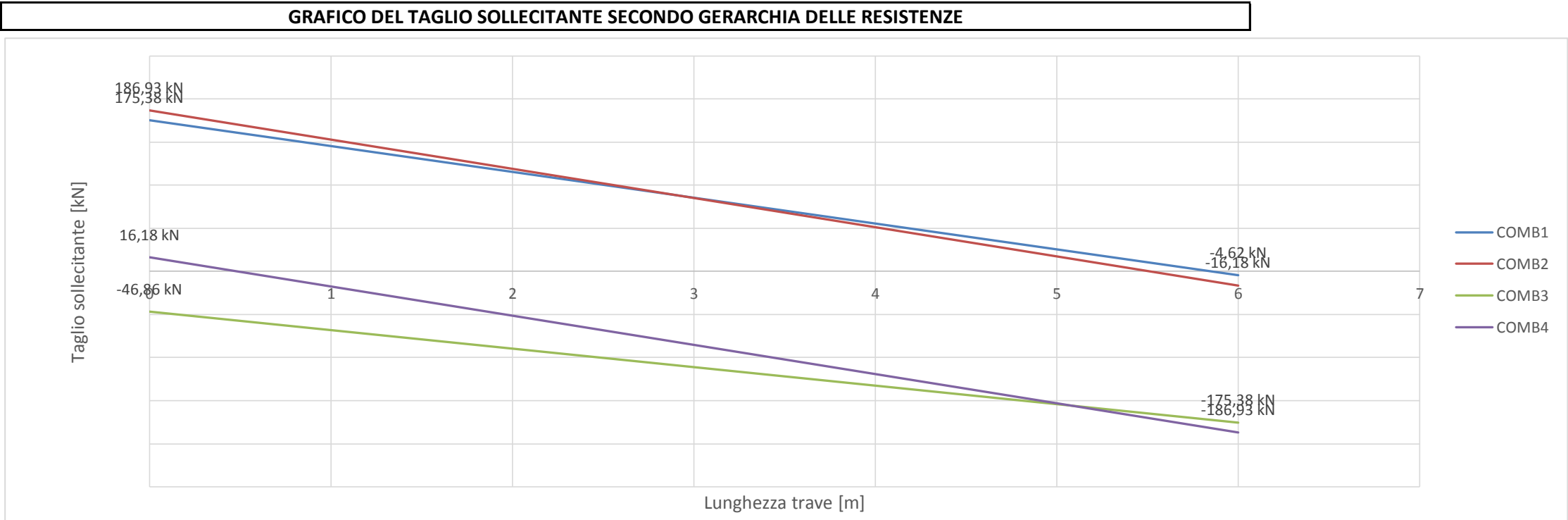
V_{Ed,B}
-175,38 kN

QUARTA COMBINAZIONE

V_{Ed,A}
16,18 kN



V_{Ed,B}
-186,93 kN



Taglio sollecitante valori massimi			
Vsd A+	Vsd A-	Vsd B+	Vsd B-
186,93	-46,86	-4,62	-186,93

9.2 Verifica sulle sollecitazioni taglianti

Travi – Verifiche di resistenza – flessione

• Se nelle zone critiche il rapporto tra il taglio minimo e quello massimo risulta inferiore a -0,5, e se il maggiore tra i valori assoluti dei due tagli supera il valore:

$$V_{Rt} = \left(2 - \left| \frac{V_{Ed, min}}{V_{Ed, max}} \right| \right) \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$$

dove b_w è la larghezza dell'anima della trave e d è l'altezza utile della sua sezione, allora nel piano verticale di inflessione della trave devono essere disposti due ordini di armature diagonali, l'uno inclinato di +45° e l'altro di -45° rispetto all'asse della trave.

APPOGGIO A		
Vsd A-/Vsd A+	0,25	verificato
VR1	4147	verificato

NON OCCORRE ARMATURA SAGOMATA

APPOGGIO B		
Vsd B-/Vsd B+	0,02	verificato
VR1	4682	verificato

NON OCCORRE ARMATURA SAGOMATA

9.3 Progetto dell'armatura

*Il progetto dell'armatura sagomata non è integrato

9.3.1 Progetto dell'armatura in zona critica

INPUT			Ved [kN]	ϑ	cotan(ϑ) di calcolo	VERIFICA VRtd<VRcd	CHECK COLLASSO	VRtd (kN)	verifica VED<VRsd	Verifica limiti di armatura in ZONA CRITICA
staffe (ϕ)	n. braccia	PASSO (cm)								
8	2	8	186,93	0,179	1,0	0,48	COLLASSO LATO ACCIAIO	247,83	verificato	verificato

9.3.2 Progetto dell'armatura fuori dalla zona critica

Armatura trasversale minima fuori zona critica			
Ast ≤ 1,5 B	45,0	cm	verificato
0,8 d	44,8	cm	
3 staffe/metro	33,3	cm	

INPUT			Ved [kN]	ϑ	cotan(ϑ) di calcolo	VERIFICA VRtd<VRcd	CHECK COLLASSO	VRtd (kN)	verifica VED<VRsd	Verifica limiti di armatura
staffe (ϕ)	n. braccia	PASSO (cm)								
8	2	25	130,85	0,124	2,5	0,49	COLLASSO LATO ACCIAIO	619,58	verificato	verificato

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z f_{yd} (\cot \vartheta + \cot \alpha) \sin \alpha}$$

$$V_{Rd max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} \frac{1}{\cot \vartheta + \tan \vartheta}$$

$$\vartheta = \frac{1}{2} \arcsin \frac{2 V_{Ed}}{\alpha_{cw} v_1 0.85 f_{cd} b_w z}$$

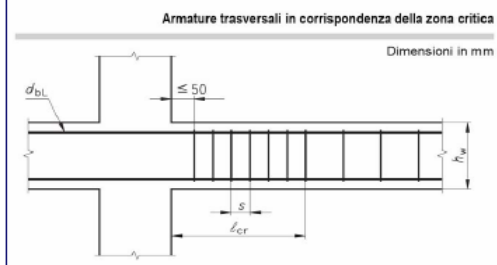
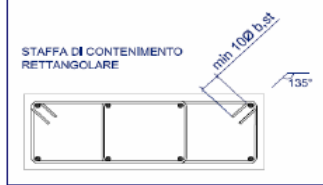
Travi – Limitazioni di armatura trasversale

Nelle zone critiche devono essere previste staffe di contenimento.
La prima staffa di contenimento deve distare non più di 50 mm dalla sezione a filo pilastro.
Le successive devono essere disposte ad un passo non superiore alla minore tra le grandezze seguenti:

$$s_{staffe} = \min \left\{ \begin{array}{l} - 1/4 \text{ dell'altezza utile della sezione trasversale } h_w; \\ - 175 \text{ mm per CD "A" e } 225 \text{ mm per CD "B";} \\ - 6 \Phi_{min} A_{S, LONG} \text{ Per CD "A" e } 8 \Phi_{min} A_{S, LONG} \text{ per CD "B";} \\ \text{N.B. Le armature longitudinali sono quelle considerate ai fini delle verifiche.} \\ - 24 \Phi A_{S, staffe} \text{ armature trasversali.} \end{array} \right.$$

Per staffa di contenimento si intende una staffa rettangolare, circolare o a spirale, di diametro minimo 6 mm, con ganci a 135° prolungati per almeno 10 diametri alle due estremità.

I ganci devono essere assicurati alle barre longitudinali.

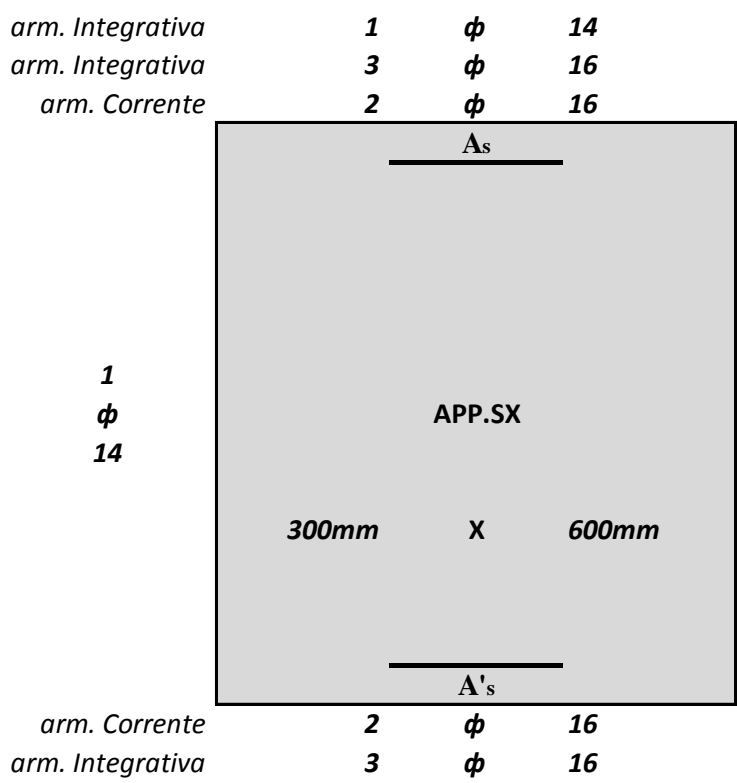


10. Traslazione del momento flettente

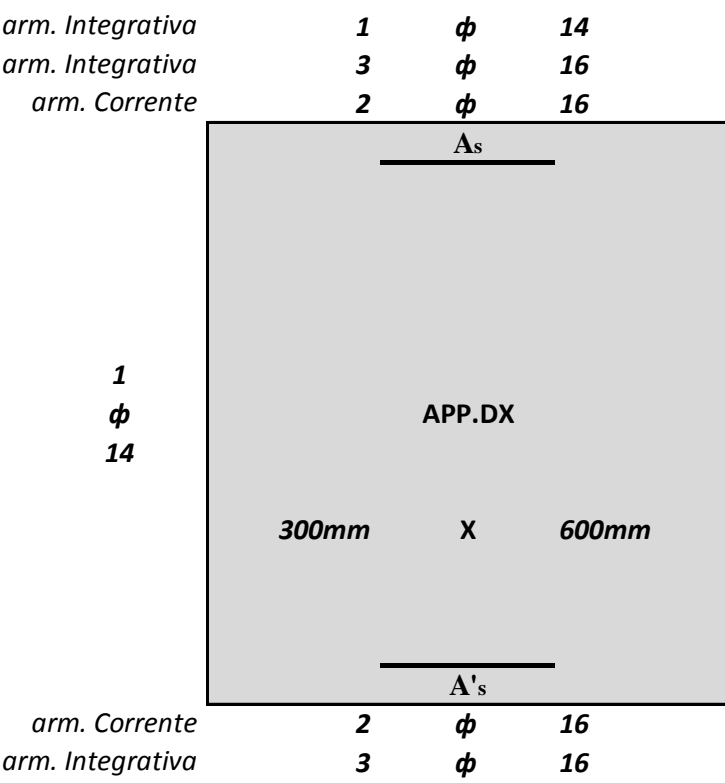
La traslazione del momento flettente è dovuta alla fessurazione della trave, si deve predisporre un'armatura extra per assorbire questa sollecitazione di trazione. In genere questi sforzi si possono attribuire alle barre di parete

As, par mm²	input Ferri		As mm²	
	n°	ϕ		
239	2	14	308	verificato

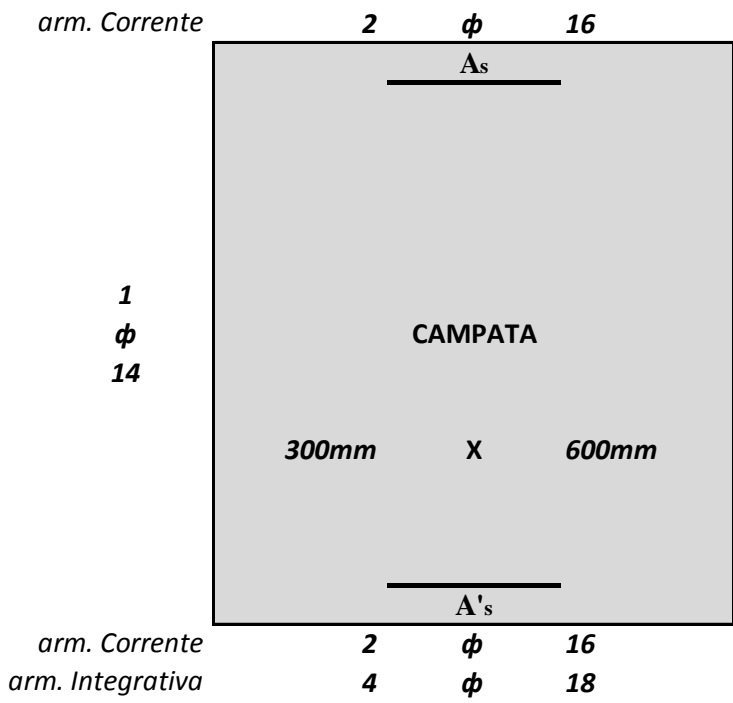
11. Disposizione Armatura



staffa: ϕ 8 / 8cm 2 braccia



staffa ϕ 8 / 8cm 2 braccia



staffa: ϕ 8 / 25cm 2 braccia

Verifica Trave SLE D.M. 2008 CAP.4 (§ 4.1.2.2)

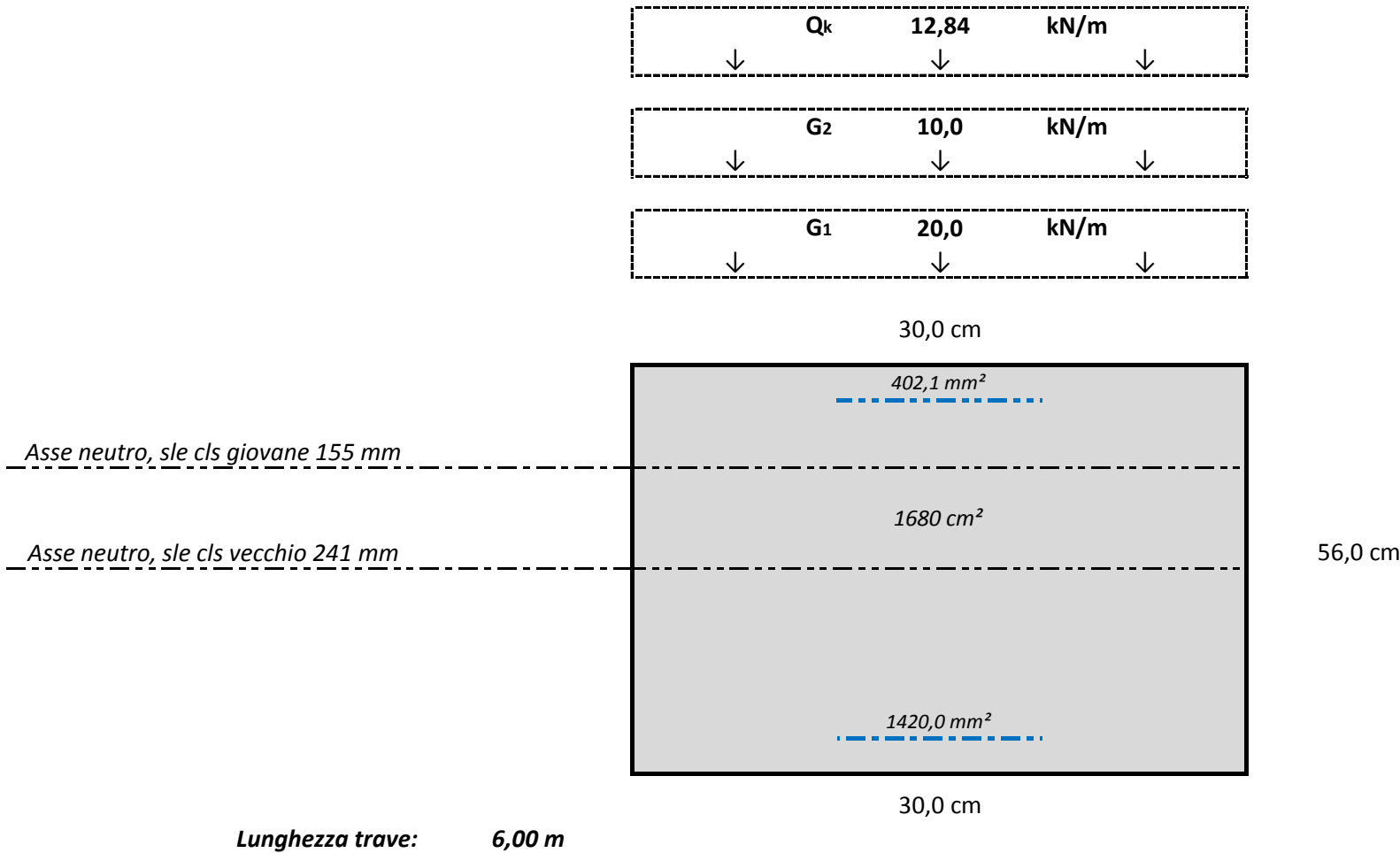
1-Momenti sollecitanti per le varie combinazioni per la sezione di mezzeria

Med combinazione caratteristica	166,00	kN/m ²
Med combinazione frequente	149,00	kN/m ²
Med combinazione quasi permanente	134,00	kN/m ²
La condizione ambientale è:	aggressiva	

2-Ferri utilizzati per la sezione di mezzeria

Armatura Superiore	φ 16				As, inserita
	2				402,1 mm ²
Armatura Inferiore	φ 16	φ 18	φ 0	As, inserita	
	2	4	0	1420,0 mm ²	

3-Resoconto dati inseriti



Rck	30	N/mm ²
f _{ctm}	2,56	N/mm ²
f _{ctk}	1,79	N/mm ²
f _{bd}	2,69	N/mm ²
f _{ck}	24,90	N/mm ²
f _{cd}	16,60	N/mm ²
f _{yd}	391,30	N/mm ²

4-Verifiche allo stato limite di esercizio

Si effettuano le seguenti verifiche, per la sezione di mezzeria:

- I-Verifica di deformabilità
- II-Verifica delle tensioni di esercizio
- III-Verifica di fessurazione

4.1-Sezione Totalmente Reagente

Calcestruzzo nuovo, sezione totalmente reagente	n	6,7	-
	x	310	mm
	E _c	31447	Mpa
	J ₁	625310	cm ⁴
	W ₁	2020	cm ³
	P _{sle carat.}	42,84	kN/m
	M _{ed}	166,00	kNm
	M _{cr}	66,09	kNm
	f ₁	3,7	mm
	f	3,7	mm
	f _{max}	24,0	mm
	f ≤ f _{max}	verificato 1/250	
	σ _c	-8,22	Mpa
	σ _c ≤ 0,6 f _{ck}	VERIFICATO	
	σ _s	-46,17	Mpa
LA SEZIONE SI FESSURA (STADIO 2)			

4.2-Verifiche per il calcestruzzo Giovane, in combinazione caratteristica

Calcestruzzo nuovo	n	6,7	-
	P,sle carat.	42,84	kN/m
	M _{ed}	166,00	kNm
	J ₁	625310	cm ⁴
	M _{cr}	66,09	kNm
	x	155	mm
	d,virt	451	mm
	A _{s,virt}	402	mm ²
	E _c	31447	Mpa
	J ₂	204748	cm ⁴
	f ₁	3,7	mm
	f ₂	11,2	mm
	f	10,0	mm
	f _{max}	24	mm
	f ≤ f _{max}	verificato 1/250	
	σ _c	-12,56	Mpa
	σ _c ≤ 0,6 f _{ck}	VERIFICATO	
	σ _s	224,72	Mpa
	σ _s ≤ 0,8 f _{yk}	VERIFICATO	
	LA SEZIONE SI FESSURA (STADIO 2)		
FESSURAZIONE IMPOSTA NELLA SEZIONE GIOVANE:		NO	

4.2-Verifiche per il calcestruzzo Giovane, in combinazione frequente

Calcestruzzo nuovo	n	6,7	-
	P _{sle freq}	36,42	kN/m
	M _{ed}	149,00	kNm
	J ₁	625310	cm ⁴
	M _{cr}	66,09	kNm
	x	155	mm
	d _{virt}	451	mm
	A _{s, virt}	402	mm ²
	E _c	31447	Mpa
	J ₂	204748	cm ⁴
	σ _c	-11,27	Mpa
	σ _s	201,71	Mpa
	w _k	0,13	mm
	w _{lim}	0,30	mm
	w _k ≤ w _{lim}	VERIFICATO	
LA SEZIONE SI FESSURA (STADIO 2)			
FESSURAZIONE IMPOSTA NELLA SEZIONE GIOVANE:		NO	

4.3-Verifiche per il calcestruzzo Vecchio, in combinazione quasi permanente

Calcestruzzo vecchio	n	22,7	-
	P,sle quas. Perm	33,85	kN/m
	M _{ed}	134,00	kNm
	J ₁	625310	cm ⁴
	M _{cr}	66,09	kNm
	x	241	mm
	d,virt	451	mm
	A _{s,virt}	1822	mm ²
	E _{c,vec}	9249	Mpa
	J ₂	529600	cm ⁴
	f ₁	9,9	mm
	f ₂	11,7	mm
	f	11,4	mm
	f _{max}	24	mm
	f ≤ f _{max}	verificato 1/250	
	σ c,nuovo	-10,14	Mpa
	σ c ≤ 0,45 f _{ck}	VERIFICATO	
	σ s, nuovo	181,40	Mpa
	σ s ≤ 0,8 f _{yk}	VERIFICATO	
	w _k	0,11	mm
	w _{lim}	0,20	mm
	w _k ≤ w _{lim}	VERIFICATO	
LA SEZIONE SI FESSURA (STADIO 2)			
FESSURAZIONE IMPOSTA NELLA SEZIONE VECCHIA:		NO	

4.4-Cenni Teorici

Si riportano le verifiche condotte per ogni stato limite di esercizio, in particolare:

- Combinazione Rara:** Verifica alle tensioni e Verifica alle frecce istantanee;
- Combinazione Frequente:** Verifica all'apertura delle lesioni;
- Combinazione Quasi Permanente:** Verifica alle tensioni, Verifica all'apertura delle lesioni e Verifica delle frecce differite.

Si riportano anche valori tensionali di interesse progettuale e i valori del momento d'inerzia di tutte le sezioni in relazione allo stadio di esercizio, per la combinazione rara. La verifica delle tensioni consiste nel confrontare le tensioni che si attingono nei materiali in condizioni di esercizio con i valori limite fissati dalla normativa per contenere i fenomeni di microfessurazione e di viscosità nel calcestruzzo compresso e lo snervamento dell'acciaio. Al fine di preservare la durabilità strutturale nelle condizioni ambientali maggiormente onerose le NTC prescrivono che la massima tensione di compressione nel calcestruzzo debba rispettare:

combinazione rara $\sigma_{c,max} \leq 0,60 f_{ck}$

combinazione quasi permanente $\sigma_{c,max} \leq 0,45 f_{ck}$

Per quanto attiene la massima trazione nell'acciaio:

$\sigma_s \leq 0,80 f_{yk}$

Le massime tensioni sono state calcolate con la teoria elastica. Il calcolo tecnico dell'apertura delle fessure viene eseguito per la combinazione frequente e quasi permanente. Il valore di calcolo dell'apertura delle fessure wd può essere ottenuto con l'espressione:

$$w_d = \varepsilon_{sm} \Delta_{smax}$$
$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} (1 + \alpha_s \rho_{eff})}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Si fa l'ipotesi che l'armatura sia disposta con una spaziatura non superiore a 5(c + φ/2), in cui il diametro nel caso fossero presenti tondi diversi, è stabilito attraverso una media pesata.

$$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\Phi}{\rho_{eff}}$$

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w _d	Stato limite	w _d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	≤ w ₂	ap. fessure	≤ w ₃
		quasi permanente	ap. fessure	≤ w ₁	ap. fessure	≤ w ₂
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	≤ w ₁	ap. fessure	≤ w ₂
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤ w ₁
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	≤ w ₁
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤ w ₁

w ₁	0,2 mm
w ₂	0,3 mm
w ₃	0,4 mm

Dall' EC2 2004, La freccia massima si calcola:

$$f = f_1 \beta \left(\frac{M_{cr}}{M_{sd}} \right)^2 + f_2 \left[1 - \beta \left(\frac{M_{cr}}{M_{sd}} \right)^2 \right]$$

f₁ è la freccia massima calcolata per la trave appoggiata nella condizione di sezione totalmente reagente, stadio 1. Nell'ipotesi che il calcestruzzo sia giovane
f₂ è la freccia massima calcolata per la trave appoggiata nella condizione di sezione parzializzata, stadio 2. Nell'ipotesi che il calcestruzzo sia giovane

$$f_1 = \frac{5}{384} \frac{q l^4}{E_c J_1} \quad f_2 = \frac{5}{384} \frac{q l^4}{E_c J_2} \quad M_{cr} = \frac{1,2 f_{ctm} J_1}{h - x}$$

M_{cr} è il momento di prima fessurazione si calcola con la teoria elastica una volta attinta la tensione massima a trazione del calcestruzzo maggiorata del 20% .

β è un coefficiente che tiene conto dei carichi di lunga durata (vale 1 per carichi di breve durata e 0,5 per carichi di lunga durata o ciclici).

Nel caso di mensola la freccia massima si calcola con la stessa relazione considerando però il doppio della lunghezza dello sbalzo.

Lo stesso calcolo viene eseguito considerando i fenomeni lenti del calcestruzzo, aggiornando il modulo elastico con il coefficiente di viscosità. Questa verifica è condotta per lo stato limite di esercizio quasi permanente.

$$E_{c,eff} = \frac{E_c}{1 + \varphi} \quad \varphi = 2.4$$

La verifica è soddisfatta se il rapporto freccia luce è minore di 1/250.

x Indica la posizione dell'asse neutro, mentre J rappresenta il momento d'inerzia della sezione.

I pedici 1 e 2 indicano rispettivamente sezione reagente e parzializzata.

n è il coefficiente di omogeneizzazione della sezione.