

## SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA

Viabilità Est di Lucca comprendente i collegamenti  
tra Ponte a Moriano ed i caselli dell'autostrada A11  
del Frizzone e di Lucca Est - 1° Stralcio

### PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

**I PROGETTISTI:**

*Ing. Vincenzo Marzi*  
*Ordine Ing. di Bari n. 3594*

*Ing. Giuseppe Danilo Malgeri*  
*Ordine Ing. di Roma n. A34610*

*Geol. Serena Majetta*  
*Ordine Geologi del Lazio n. 928*

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE**

*Geom. Fabio Quondam*

**VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :**

*Ing. Achille Devitofranceschi*

PROTOCOLLO

DATA

### OPERE D'ARTE MINORI TOMBINI SCATOLARI RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

CODICE PROGETTO		NOME FILE			REVISIONE	
PROGETTO                  LIV. PROG.                  N. PROG. <b>LO601A</b> <b>D</b> <b>1601</b>		<b>T00TM00STRRE01A</b>				
		CODICE ELAB. <b>T00TM00STRRE01</b>			<b>A</b>	
D						
C						
B						
A	EMISSIONE		SETT. 2018			
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	



## Indice

<b>1 Premessa</b>	<b>3</b>
<b>2 Descrizione dell'opera</b>	<b>4</b>
<b>3 Normativa di riferimento</b>	<b>6</b>
<b>4 Caratteristiche dei materiali</b>	<b>7</b>
<b>5 Caratteristiche geometriche e carichi</b>	<b>8</b>
<b>6 Azioni provenienti dai carichi mobili</b>	<b>11</b>
6.1 Carichi variabili da traffico (q1) .....	11
6.2 Ripartizione trasversale dei carichi mobili .....	13
6.3 Ripartizione trasversale CdC1 Mmax .....	14
<b>7 Criteri di verifica</b>	<b>22</b>
7.1 Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi .....	22
7.2 Verifiche agli stati limite di esercizio.....	22
<b>8 Modello di calcolo</b>	<b>25</b>
8.1 Programma di calcolo.....	25
8.2 Modellazione Strutturale .....	25
8.3 Schema di calcolo .....	26
<b>9 Combinazioni di carico</b>	<b>27</b>
<b>10 Sollecitazioni di calcolo</b>	<b>29</b>
10.1 Stato Limite Ultimo .....	29
10.2 Stato limite di Esercizio frequente .....	30
10.3 Stato limite di Esercizio Quasi Permanente .....	31
10.4 Sezioni di verifica.....	32
<b>11 Verifiche</b>	<b>33</b>
11.1 Verifica trave di copertura .....	33
11.2 Verifica sezione S4.....	49
11.3 Verifica sezione S4.....	53

11.4 Verifica sezione S7 .....56

## 1 Premessa

La presente relazione ha per oggetto le verifiche strutturali degli scatolari idraulici:

- Scolare idraulico 10.00x2.60 m, Via della Madonnina alla progressiva pk 0+131,58
- Scolare idraulico 7.00x2,30 m Rio Arpino alla progressiva pk 2+975,00
- Scolare idraulico 7.00x2.25 m Rio Frizzone alla progressiva pk 3+120,00

nell'ambito del progetto per la realizzazione del nuovo Sistema tangenziale di Lucca, Viabilità EST, comprendente i collegamenti tra Ponte a Moriano ed i caselli dell'autostrada A11 del Frizzone e di Lucca EST. 1° stralcio funzionale.

Nella seguente relazione di calcolo verrà riportata la verifica dello scolare di luce maggiore che ha dimensioni interne pari a 10.00 x 2.60 m. La soletta superiore di spessori di 60 cm è costituita da travi prefabbricate a U precomprese di altezza pari a 45 cm e getto in opera della di seconda fase di 15 cm; la fondazione e i piedritti sono rispettivamente di spessore 80 cm e di 70 cm. Si è considerato uno spessore della pavimentazione pari a 10 cm e un ricoprimento di 40 cm.

Nella presente relazione è stato analizzato un concio elementare di trave in C.A.P. di ampiezza pari a 1,20 m, poiché la strada interseca l'asse dello scolare secondo un angolo di circa 53°, è stata effettuando una ripartizione dei carichi mobili che considera la posizione del carico e la mutua influenza tra le travi.

Il calcolo è stato effettuato mediante un modello matematico agli elementi finiti, i cui carichi in input sono ottenuti da fogli elettronici riportati alle pagine seguenti; il modello viene quindi risolto numericamente tramite codice di calcolo CSI BRIDGE versione 17.9.1, a vantaggio di sicurezza non sono stati considerati carichi verticali agenti sulla soletta di fondo, se non il peso proprio della soletta medesima.

Nel seguito sono presentate le caratteristiche generali e geometriche dell'opera.

Inoltre sono definite le modalità di calcolo, i risultati delle analisi delle sollecitazioni e le verifiche degli elementi strutturali.

## 2 Descrizione dell'opera

L'opera ha una lunghezza complessiva di 28,50 m; piedritti, soletta superiore e soletta di fondazione hanno spessore rispettivamente pari a 60, 80, 70 cm. Si riporta di seguito uno stralcio planimetrico e le sezioni dell'opera in oggetto.

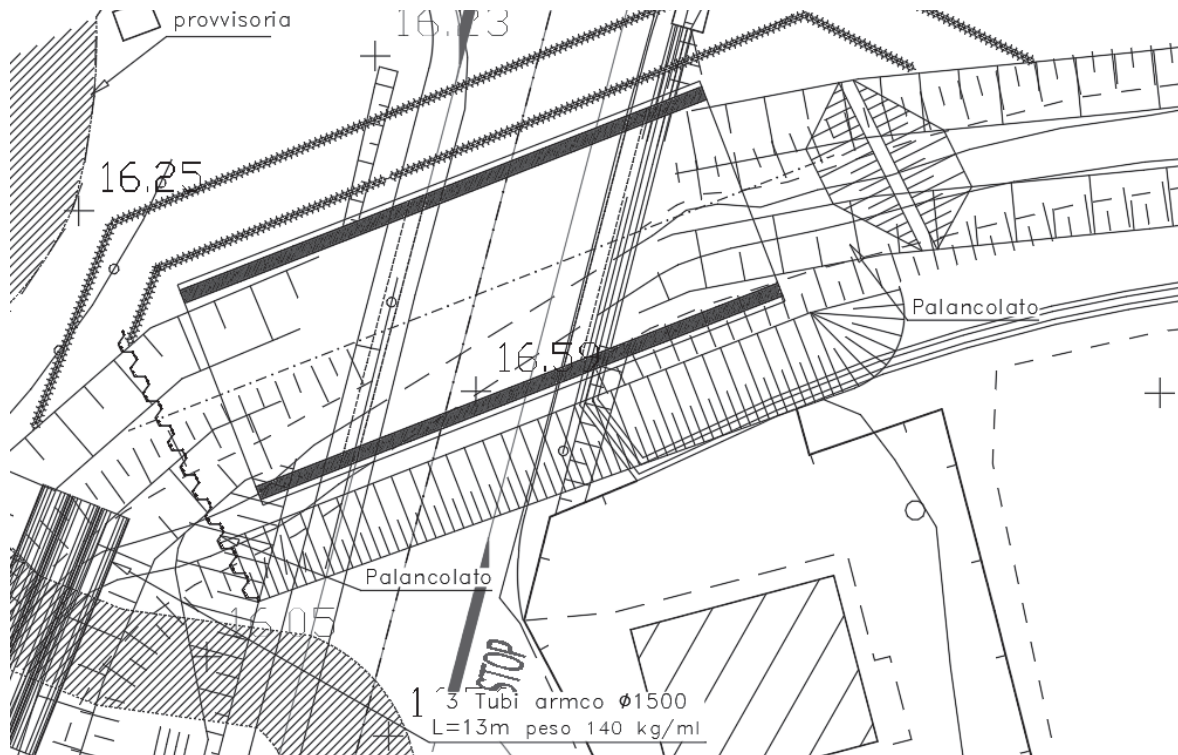


Figura 1: Planimetria di progetto

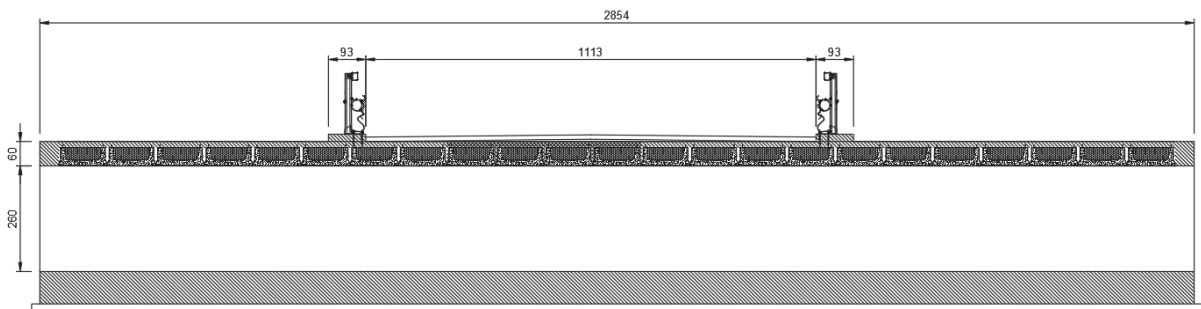


Figura 2: Sezione Longitudinale

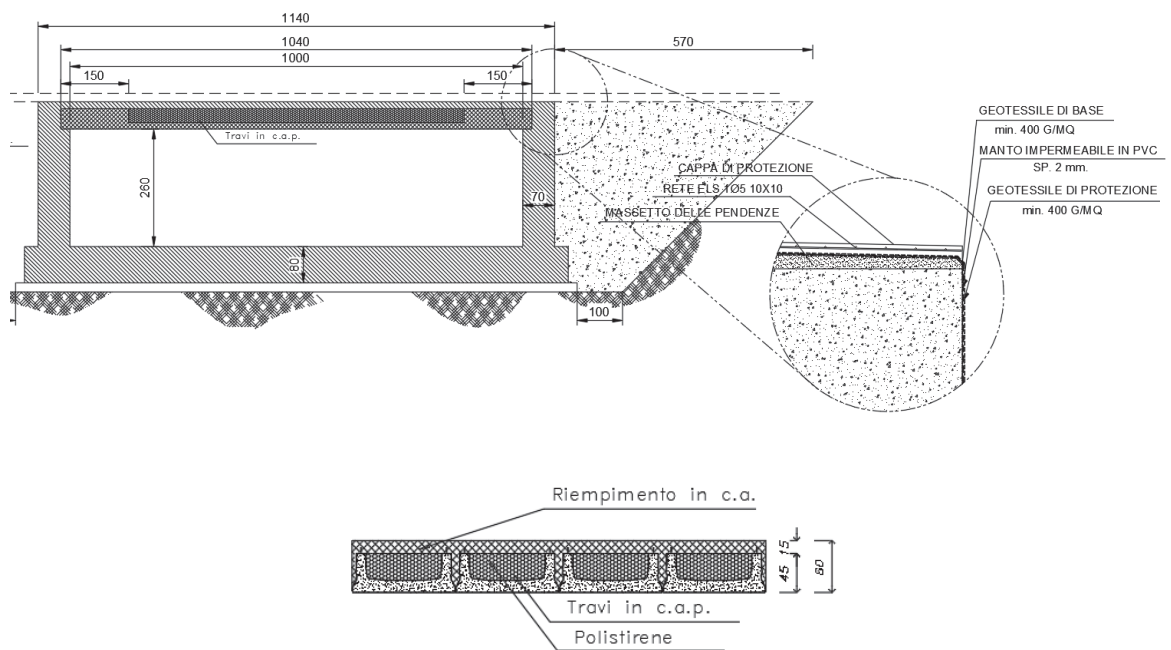


Figura 3: Sezione Trasversale Tombino e trave precompressa

### **3 Normativa di riferimento**

**D.M. 17 gennaio 2018:**

Testo unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni.

**UNI EN 1992-1:**

– Progettazione delle strutture di calcestruzzo.



## 4 Caratteristiche dei materiali

### CALCESTRUZZO

Classe di resistenza calcestruzzo	C28/35			
Caratteristiche del calcestruzzo				
resistenza caratteristica cubica	$R_{ck}$	35	[MPa]	
resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck}$	29.1	[MPa]	
resistenza cilindrica media	$f_{cm}$	37.1	[MPa]	
resistenza media a trazione semplice	$f_{ctm}$	2.8	[MPa]	
resistenza caratteristica a trazione (fratt. 5%)	$f_{ctk}$	2.0	[MPa]	
modulo elastico istantaneo	$E_{cm}$	32 588	[MPa]	
Resistenze di calcolo				COEFFICIENTI
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd}$	16.5	[MPa]	$\gamma_c = 1.5$
resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd}$	1.3	[MPa]	$\alpha_{cc} = 0.85$
coefficiente di espansione termica lineare	$a$	1.00E-05	[°C <sup>-1</sup> ]	

### ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

Tipo di acciaio	B450C			
Caratteristiche del calcestruzzo				
tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	450	[MPa]	
tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$	540	[MPa]	
Resistenze di calcolo				COEFFICIENTI
resistenza di progetto	$f_{yd}$	391.3	[MPa]	$\gamma_s = 1.15$
modulo elastico	$E_s$	206000	[MPa]	

Per il calcestruzzo armato si assume  $g_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$

## 5 Caratteristiche geometriche e carichi

### Ricoprimento

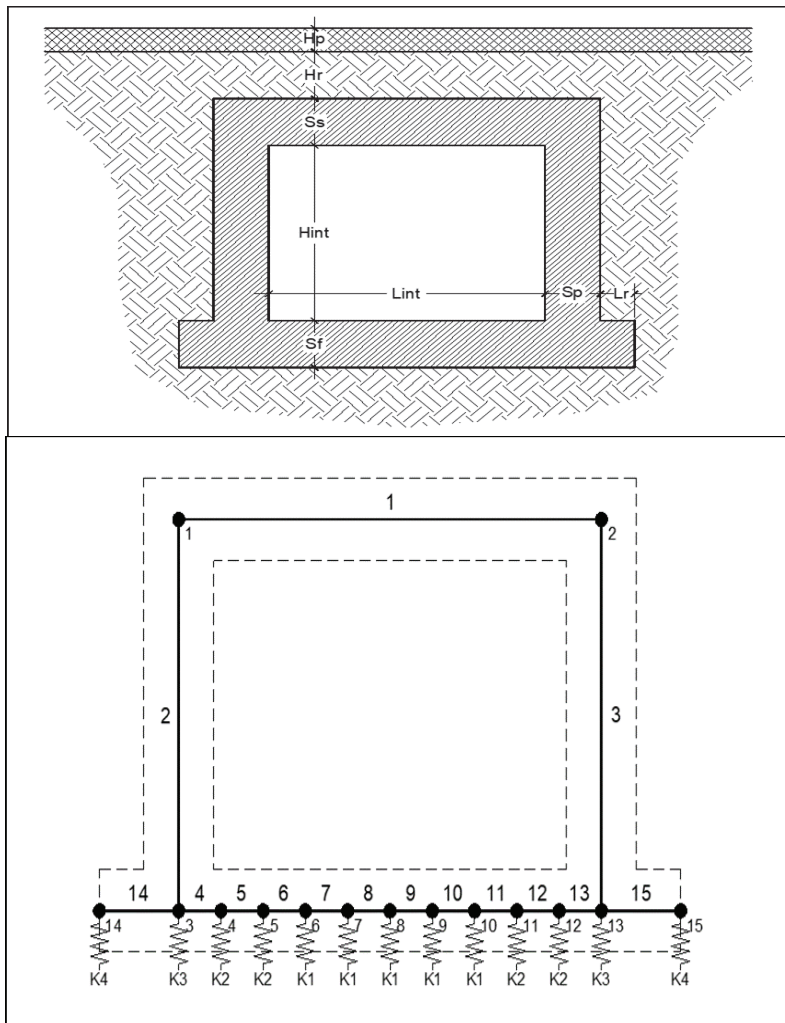
Spessore pacchetto stradale	Hp	0,15	m
Spessore del rinterro	Hr	0,40	m

### Geometria

Spessore soletta superiore	Ss	0,60	m
Spessore soletta di fondazione	Sf	0,80	m
Spessore piedritti	Sp	0,70	m
Altezza netta	Hint	2,60	m
Larghezza netta	Lint	10,00	m
Lunghezza risvolti sol. inf.	Lr	0,30	m

### Rigidezze molle

Interasse molle	i	$(0,70/2 + 10,00 + 0,70/2) / 10 =$	1,07	m
Molle centrali	K1	$40000 \cdot 1,07 =$	42.800	kN/m
Molle intermedie	K2	$1.5 \cdot 40000 \cdot 1,07 =$	64.200	kN/m
Molle laterali	K3	$2.0 \cdot 40000 \cdot (1,07/2 + 0,70/2) =$	70.800	kN/m
Molle risvolto	K4	$1.5 \cdot 40000 \cdot 0,30 =$	18.000	kN/m



**Carichi permanenti**

Soletta superiore

Peso pacchetto stradale  
Peso del rinterro  
Totale

Ps	$0,15 \cdot 24 =$	3,60	kN/m <sup>2</sup>
Pr	$0,40 \cdot 18 =$	7,20	kN/m <sup>2</sup>
		<b>10,80</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

Risvolti soletta inferiore

Peso pacchetto stradale  
Peso del rinterro  
Totale

Ps	$0,15 \cdot 24 =$	3,60	kN/m <sup>2</sup>
Pr	$(0,40+0,60+2,60) \cdot 18 =$	64,80	kN/m <sup>2</sup>
		<b>68,40</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

**Carichi accidentali sulla copertura**

Tandem

Ldiffusione x

1,60 m

Ldiffusione y

2,40 m

Impronta di carico x

Ld1  $1,60 + 2 \cdot (0,15+0,40+0,60/2) =$

3,30 m

Impronta di carico y

Ld2  $2,40 + 2 \cdot (0,15+0,40+0,60/2) =$

4,10 m

Impronta sull'impalcato

$3,30 \cdot 4,10 =$

13,53 m<sup>2</sup>

carico q1 (totale)

600 kN

carico q1 (ripartito)

Q<sub>1k</sub>  $600 / 13,53 =$

**44,35 kN/m<sup>2</sup>**

Carico distribuito

Ld3  $3,00 + 2 \cdot (0,15+0,40+0,60/2) =$

4,70 m

q<sub>1k</sub>  $9,00 \cdot (3,00 / 4,70) =$

**5,74 kN/m<sup>2</sup>**

**Frenamento q3**

q3

q3  $180 < 0,6(2Q_{1k}) + 0,10q_{1k} \cdot w \cdot L < 900$  kN

**83,14 kN/m**

**Azione termica**

Variazione termica uniforme

ΔT<sub>U</sub>

15 °

Variazione termica a farfalla

ΔT<sub>F</sub>

5 °

Variazione termica uniforme di calcolo

ΔT<sub>U\*</sub>  $15 / 3 =$

5 °

Variazione termica a farfalla di calcolo

ΔT<sub>F\*</sub>  $5 / 3 =$

1,67 °

**Ritiro** (applicato alla soletta superiore)

ΔT<sub>R</sub>

-15 °

**Spinta del terreno**

K0

$1 - \text{sen}(30^\circ) =$

0,500

Spinta alla quota di estradosso sol. sup.

p1  $0,500 \cdot 10,80 =$

5,40 kN/m<sup>2</sup>

Spinta in asse sol. sup.

p2  $0,500 \cdot (10,80 + 18 \cdot 0,60/2) =$

**8,10 kN/m<sup>2</sup>**

Spinta in asse sol. inf.

p3  $0,500 \cdot [10,80 + 18 \cdot (0,60/2+2,60+0,80/2)] =$

**37,80 kN/m<sup>2</sup>**

Spinta alla quota di intradosso sol. inf.

p4  $0,500 \cdot [10,80 + 18 \cdot (0,60/2+2,60+0,80)] =$

41,40 kN/m<sup>2</sup>

Spinta semispessore sol. sup.

F1  $(5,40+8,10)/2 \cdot 0,60/2$

**2,03 kN/m**

Spinta semispessore sol. inf.

F2  $(37,80+41,40)/2 \cdot 0,80/2$

**15,84 kN/m**

**Spinta del carico accidentale**

Spinta dovuta al q1

p  $0,500 \cdot (44,35+5,74) =$

**25,05 kN/m<sup>2</sup>**

**Sisma orizzontale**

Stato limite		Salvaguardia della vita - SLU -	SLV	
Vita nominale	Vr		50	anni
Classe d'uso	Cu		III	
accelerazione orizzontale	ag/g		0,147	
amplificazione spettrale	Fo		2,376	
Categoria sottosuolo		A, B, C, D, E	C	
Coeff. Amplificazione stratigrafica	Ss		1,490	
Coeff. Amplificazione topografica	St		1	
Coefficiente S	S = Ss · St		1,490	
accelerazione orizzontale max	amax/g = ag/g · S		0,219	
Fattore di struttura	q		1,00	
Forza orizz. sul s. di cop. dovuta a perm+0.2acc.	FHS	$0,219 \cdot (0,60 \cdot 25 + 10,80 + 0.2 \cdot 19,42) / 1,00 =$	<b>6,50</b>	<b>kN/ m<sup>2</sup></b>
Forza orizz. sui piedritti	FHp	$0,219 \cdot (0,70 \cdot 25) / 1,00 =$	<b>3,83</b>	<b>kN/ m<sup>2</sup></b>

**Spinta del terreno in fase sismica**

Coefficiente sismico orizzontale	kh	= amax/g	0,219	
Coefficiente sismico verticale	kv	= ±0.5 · kh	0,110	
Risultante della spinta sismica	ΔSE	= ΔpE · H	69,4	kN/m
Pressione risultante	ΔpE	= (amax/g) · γ · (Hint+Ss+Sf+Hr)	<b>17,4</b>	<b>kN/ m<sup>2</sup></b>

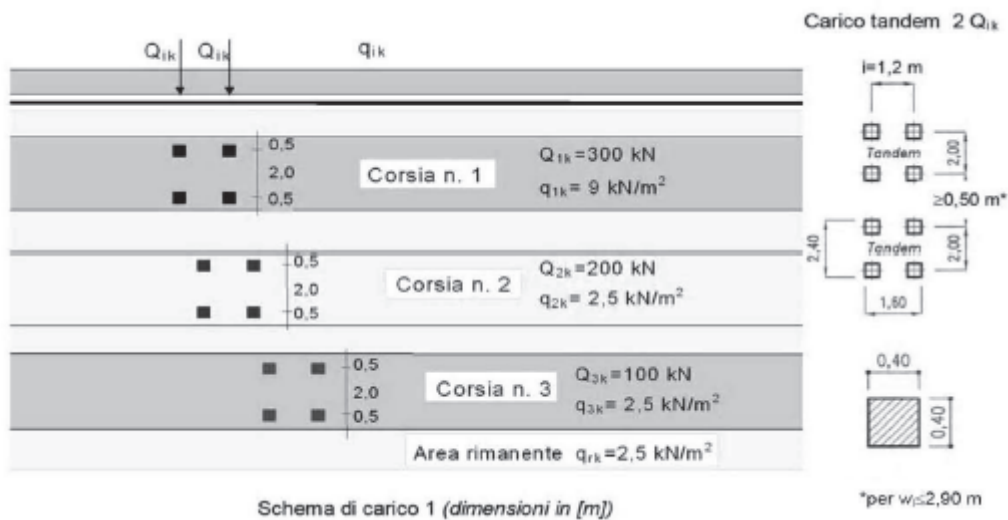
<i>Formule errate</i>		
ΔSE	= (amax/g) · γ · (Hint+Ss+Sf) <sup>2</sup>	76,3
ΔpE	= ΔSE / H	<b>18,8</b>

## 6 Azioni provenienti dai carichi mobili

### 6.1 Carichi variabili da traffico (q<sub>1</sub>)

L'analisi dei carichi mobili viene effettuata in accordo alle indicazioni del D.M. 17 gennaio 2018.

Si considerano le azioni da traffico dello Schema di Carico 1, le cui caratteristiche sono riportate nella figura e tabella seguenti, estratte dalle NTC:



Tab. 5.1.II - Intensità dei carichi  $Q_{ik}$  e  $q_{ik}$  per le diverse corsie

Posizione	Carico asse $Q_{ik}$ [kN]	$q_{ik}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Corsia Numero 1	300	9,00
Corsia Numero 2	200	2,50
Corsia Numero 3	100	2,50
Altre corsie	0,00	2,50

Tutti i carichi descritti s'intendono comprensivi degli effetti dinamici.

#### Disposizione dei carichi mobili

La disposizione dei carichi ed il numero delle corsie sulla superficie carrabile saranno volta per volta quelli che determinano le condizioni più sfavorevoli di sollecitazione per la mebratura e sezione considerata.

Di seguito si riporta la disposizione dei carichi da traffico che massimizza rispettivamente:

- momento flettente in mezzeria (CdC1 Mmax);
- taglio all'appoggio (CdC2 Vmax);
- taglio a fine getto di riempimento in testata (CdC3 Vmax fine getto).

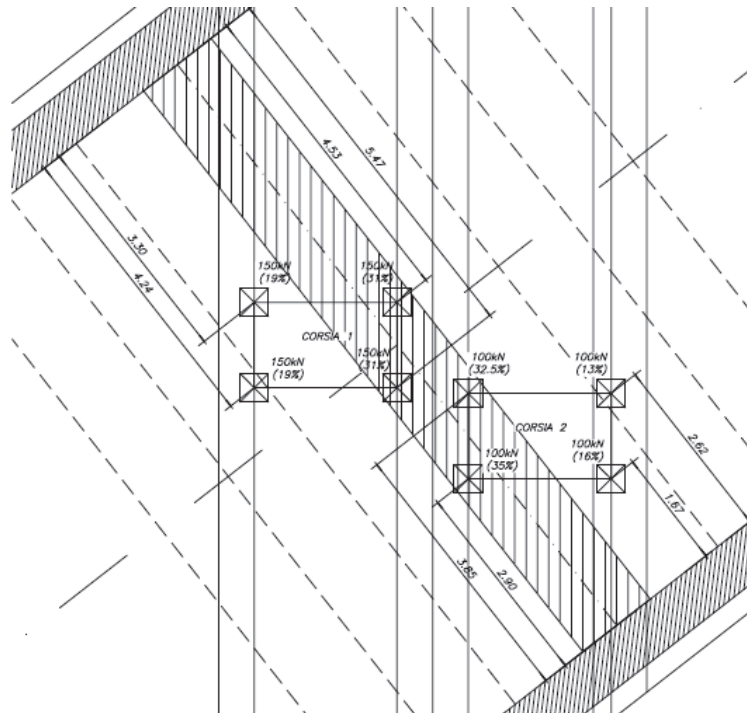


Figura 4: Disposizione carichi da traffico per verifica a flessione in mezzeria (CdC1)

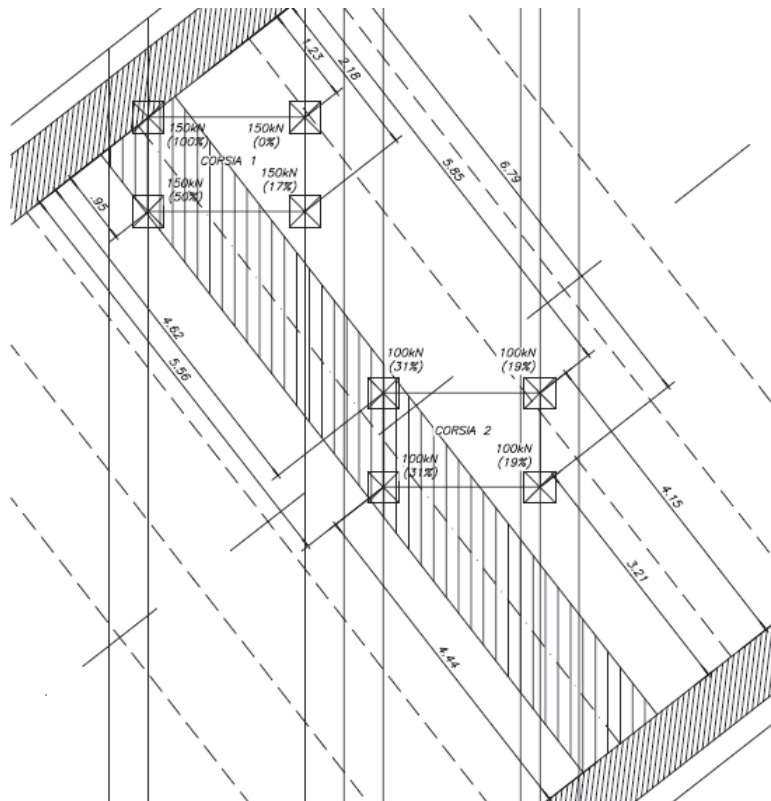


Figura 5: Disposizione carichi da traffico per verifica a taglio all'appoggio (CdC2)

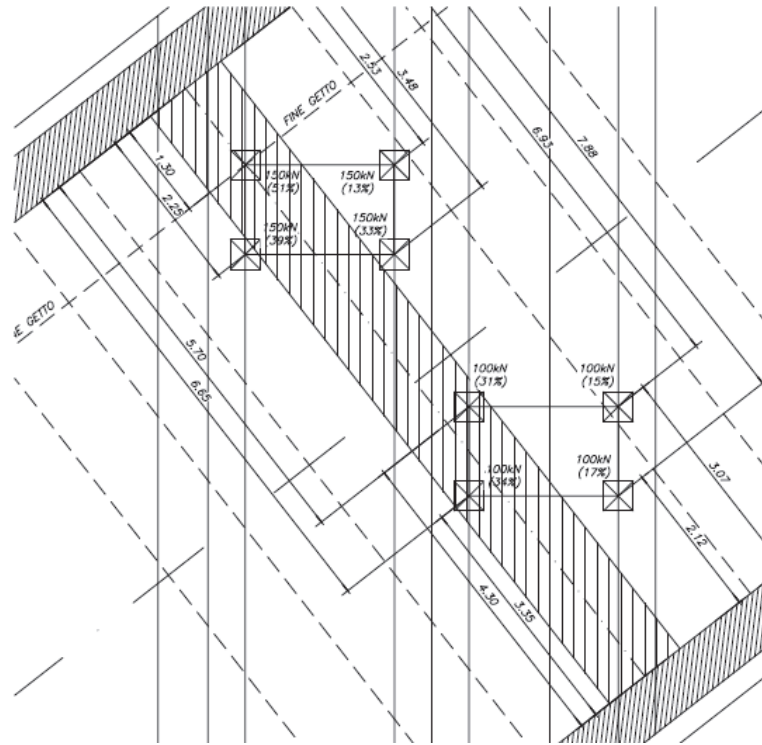


Figura 6: Disposizione carichi da traffico per verifica a taglio a fine getto (CdC3)

## 6.2 Ripartizione trasversale dei carichi mobili

L'aliquota di carico effettivamente agente sulla trave oggetto di verifica è determinata sulla base della distribuzione trasversale dei carichi valida per elementi modulari di larghezza pari a 1.20m dotati di chiavi di taglio laterali. Nel caso di carico concentrato in mezzeria ( $l/x = 2$ ), si considera il seguente schema pratico:

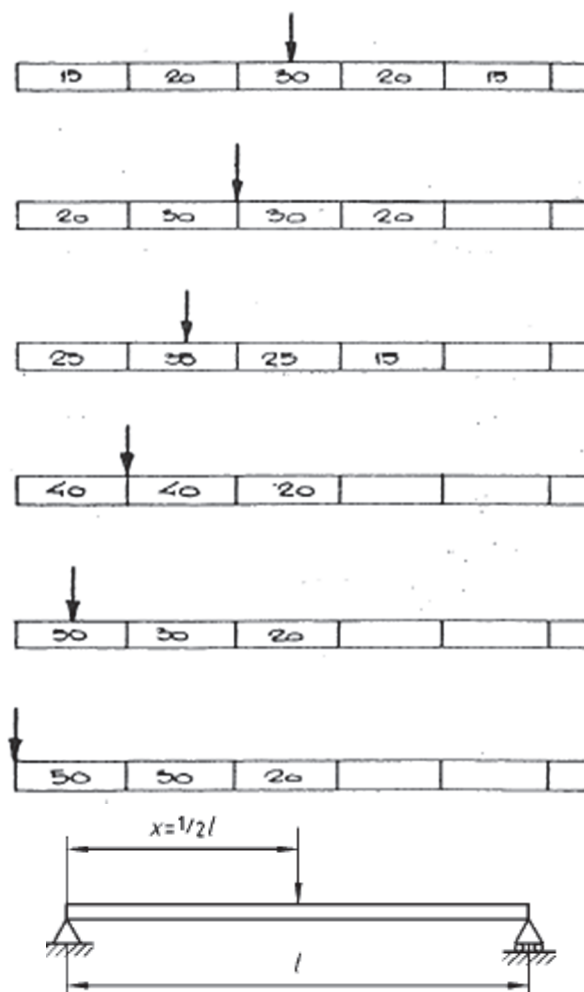


Figura 7: Schema di ripartizione trasversale per carico concentrato in mezzeria

Per carichi concentrati prossimi all'appoggio ( $l/x > 20$ ), l'aliquota di carico sulla trave direttamente caricata è assunta pari al 100%. Per valori di  $l/x$  compresi tra 2 e 20, la percentuale di carico è ricavata per interpolazione lineare.

I carichi da traffico uniformemente distribuiti sono applicati semplicemente in funzione dell'estensione delle aree di carico delle diverse corsie convenzionali sulla trave in esame.

A seguire si riporta la ripartizione dei carichi concentrati per i tre casi di carico precedentemente individuati ed i relativi schemi statici di calcolo.

### 6.3 Ripartizione trasversale CdC1 Mmax

#### *Ripartizione trasversale carichi concentrati Corsia 1*

Numero carico	n	1
Luce di calcolo	l	cm 1020
Distanza carico dall'appoggio	x	cm 340
Posizione relativa carico	$l/x$	3,00
Intensità carico concentrato	P	kN 150
Posizione trave (vedi figura)		4



Schema di carico (vedi figura)		1
<b>Aliquota carico su trave</b>	%	<b>18,9</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub> kN</b>	<b>28,3</b>
Numero carico	n	2
Luce di calcolo	l cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x cm	434
Posizione relativa carico	l/x	2,35
Intensità carico concentrato	P kN	150
Posizione trave (vedi figura)		4
Schema di carico (vedi figura)		2
<b>Aliquota carico su trave</b>	%	<b>18,6</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub> kN</b>	<b>28,0</b>
Numero carico	n	3
Luce di calcolo	l cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x cm	463
Posizione relativa carico	l/x	2,20
Intensità carico concentrato	P kN	150
Posizione trave (vedi figura)		3
Schema di carico (vedi figura)		1
<b>Aliquota carico su trave</b>	%	<b>30,8</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub> kN</b>	<b>46,2</b>
Numero carico	n	4
Luce di calcolo	l cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x cm	463
Posizione relativa carico	l/x	2,20
Intensità carico concentrato	P kN	150
Posizione trave (vedi figura)		3
Schema di carico (vedi figura)		1
<b>Aliquota carico su trave</b>	%	<b>30,8</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub> kN</b>	<b>46,2</b>
<b><i>Ripartizione trasversale carichi concentrati Corsia 2</i></b>		
Numero carico	n	5
Luce di calcolo	l cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x cm	395
Posizione relativa carico	l/x	2,58
Intensità carico concentrato	P kN	100
Posizione trave (vedi figura)		3
Schema di carico (vedi figura)		1
<b>Aliquota carico su trave</b>	%	<b>32,3</b>

**Carico equivalente su trave** **P<sub>eq</sub> kN 32,3**

Numero carico	n		6
Luce di calcolo	l	cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x	cm	300
Posizione relativa carico	l/x		3,40
Intensità carico concentrato	P	kN	100
Posizione trave (vedi figura)			3
Schema di carico (vedi figura)			1

**Aliquota carico su trave** **% 35,4**

**Carico equivalente su trave** **P<sub>eq</sub> kN 35,4**

Numero carico	n		7
Luce di calcolo	l	cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x	cm	272
Posizione relativa carico	l/x		3,75
Intensità carico concentrato	P	kN	100
Posizione trave (vedi figura)			4
Schema di carico (vedi figura)			2

**Aliquota carico su trave** **% 13,2**

**Carico equivalente su trave** **P<sub>eq</sub> kN 13,2**

Numero carico	n		8
Luce di calcolo	l	cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x	cm	177
Posizione relativa carico	l/x		5,76
Intensità carico concentrato	P	kN	100
Posizione trave (vedi figura)			4
Schema di carico (vedi figura)			1

**Aliquota carico su trave** **% 15,8**

**Carico equivalente su trave** **P<sub>eq</sub> kN 15,8**

• **Ripartizione trasversale CdC2 Vmax**

**Ripartizione trasversale carichi concentrati Corsia 1**

Numero carico	n		1
Luce di calcolo	l	cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x	cm	10
Posizione relativa carico	l/x		102,00
Intensità carico concentrato	P	kN	150
Posizione trave (vedi figura)			3
Schema di carico (vedi figura)			1
<b>Aliquota carico su trave</b>	<b>%</b>		<b>100,0</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub> kN</b>		<b>150,0</b>

Numero carico	n	2
Luce di calcolo	l cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x cm	105
Posizione relativa carico	l/x	9,71
Intensità carico concentrato	P kN	150
Posizione trave (vedi figura)		3
Schema di carico (vedi figura)		2
<b>Aliquota carico su trave</b>	%	<b>50,0</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub> kN</b>	<b>75,0</b>

Numero carico	n	3
Luce di calcolo	l cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x cm	133
Posizione relativa carico	l/x	7,67
Intensità carico concentrato	P kN	150
Posizione trave (vedi figura)		4
Schema di carico (vedi figura)		2
<b>Aliquota carico su trave</b>	%	<b>0,0</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub> kN</b>	<b>0,0</b>

Numero carico	n	4
Luce di calcolo	l cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x cm	228
Posizione relativa carico	l/x	4,47
Intensità carico concentrato	P kN	150
Posizione trave (vedi figura)		4
Schema di carico (vedi figura)		1
<b>Aliquota carico su trave</b>	%	<b>17,3</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub> kN</b>	<b>25,9</b>

***Ripartizione trasversale carichi concentrati Corsia 2***

Numero carico	n	5
Luce di calcolo	l cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x cm	472
Posizione relativa carico	l/x	2,16
Intensità carico concentrato	P kN	100
Posizione trave (vedi figura)		3
Schema di carico (vedi figura)		1
<b>Aliquota carico su trave</b>	%	<b>30,6</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub> kN</b>	<b>30,6</b>

Numero carico	n	6
---------------	---	---

Luce di calcolo	l	cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x	cm	454
Posizione relativa carico	l/x		2,25
Intensità carico concentrato	P	kN	100
Posizione trave (vedi figura)			3
Schema di carico (vedi figura)			1
<b>Aliquota carico su trave</b>	%		<b>31,0</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub></b>	<b>kN</b>	<b>31,0</b>

Numero carico	n		7
Luce di calcolo	l	cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x	cm	425
Posizione relativa carico	l/x		2,40
Intensità carico concentrato	P	kN	100
Posizione trave (vedi figura)			4
Schema di carico (vedi figura)			2
<b>Aliquota carico su trave</b>	%		<b>18,4</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub></b>	<b>kN</b>	<b>18,4</b>

Numero carico	n		8
Luce di calcolo	l	cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x	cm	331
Posizione relativa carico	l/x		3,08
Intensità carico concentrato	P	kN	100
Posizione trave (vedi figura)			4
Schema di carico (vedi figura)			1
<b>Aliquota carico su trave</b>	%		<b>18,8</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub></b>	<b>kN</b>	<b>18,8</b>

- **Ripartizione trasversale CdC3 Vmax fine getto**

***Ripartizione trasversale carichi concentrati Corsia 1***

Numero carico	n		1
Luce di calcolo	l	cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x	cm	140
Posizione relativa carico	l/x		7,29
Intensità carico concentrato	P	kN	150
Posizione trave (vedi figura)			3
Schema di carico (vedi figura)			1
<b>Aliquota carico su trave</b>	%		<b>50,6</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub></b>	<b>kN</b>	<b>75,8</b>

Numero carico	n		2
Luce di calcolo	l	cm	1020

Distanza carico dall'appoggio	x	cm	235
Posizione relativa carico	l/x		4,34
Intensità carico concentrato	P	kN	150
Posizione trave (vedi figura)			3
Schema di carico (vedi figura)			2
<b>Aliquota carico su trave</b>	%		<b>39,1</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub></b>	<b>kN</b>	<b>58,7</b>

Numero carico	n		3
Luce di calcolo	l	cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x	cm	263
Posizione relativa carico	l/x		3,88
Intensità carico concentrato	P	kN	150
Posizione trave (vedi figura)			4
Schema di carico (vedi figura)			2
<b>Aliquota carico su trave</b>	%		<b>12,7</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub></b>	<b>kN</b>	<b>19,0</b>

Numero carico	n		4
Luce di calcolo	l	cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x	cm	358
Posizione relativa carico	l/x		2,85
Intensità carico concentrato	P	kN	150
Posizione trave (vedi figura)			3
Schema di carico (vedi figura)			2
<b>Aliquota carico su trave</b>	%		<b>33,3</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub></b>	<b>kN</b>	<b>50,0</b>

***Ripartizione trasversale carichi concentrati Corsia 2***

Numero carico	n		1
Luce di calcolo	l	cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x	cm	440
Posizione relativa carico	l/x		2,32
Intensità carico concentrato	P	kN	100
Posizione trave (vedi figura)			3
Schema di carico (vedi figura)			1
<b>Aliquota carico su trave</b>	%		<b>31,2</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub></b>	<b>kN</b>	<b>31,2</b>

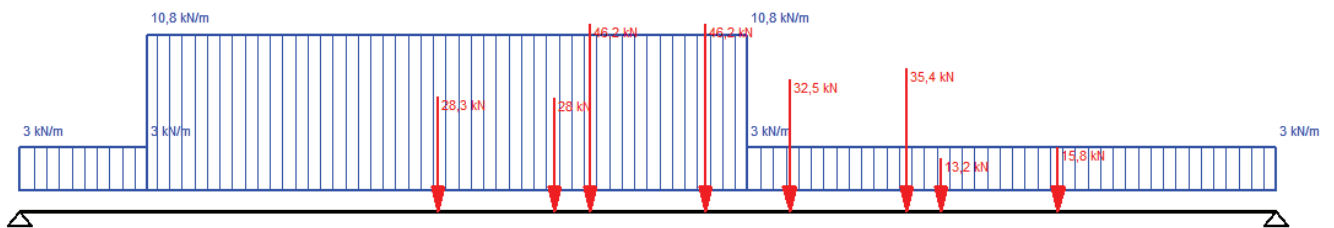
Numero carico	n		2
Luce di calcolo	l	cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x	cm	345
Posizione relativa carico	l/x		2,96

Intensità carico concentrato	P	kN	100
Posizione trave (vedi figura)			3
Schema di carico (vedi figura)			1
<b>Aliquota carico su trave</b>	%		<b>33,7</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub></b>	<b>kN</b>	<b>33,7</b>

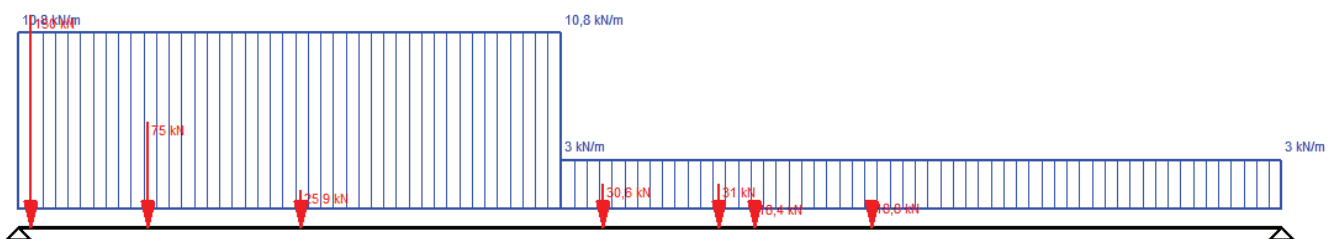
Numero carico	n		3
Luce di calcolo	l	cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x	cm	317
Posizione relativa carico	l/x		3,22
Intensità carico concentrato	P	kN	100
Posizione trave (vedi figura)			4
Schema di carico (vedi figura)			2
<b>Aliquota carico su trave</b>	%		<b>15,3</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub></b>	<b>kN</b>	<b>15,3</b>

Numero carico	n		4
Luce di calcolo	l	cm	1020
Distanza carico dall'appoggio	x	cm	222
Posizione relativa carico	l/x		4,59
Intensità carico concentrato	P	kN	100
Posizione trave (vedi figura)			4
Schema di carico (vedi figura)			1
<b>Aliquota carico su trave</b>	%		<b>17,1</b>
<b>Carico equivalente su trave</b>	<b>P<sub>eq</sub></b>	<b>kN</b>	<b>17,1</b>

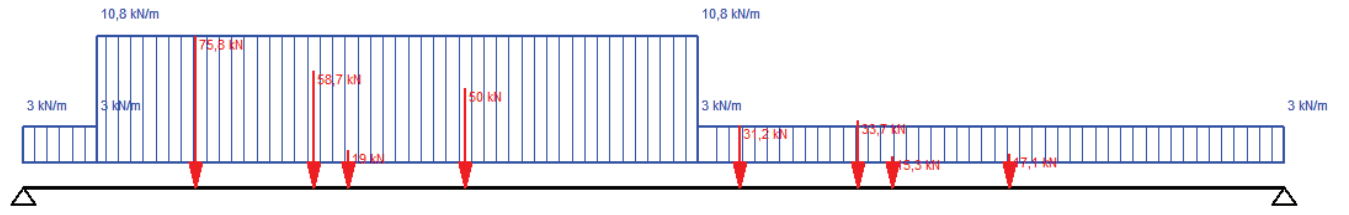
• Schema statico CdC1 Mmax



• Schema statico CdC2 Vmax



• Schema statico CdC3 Vmax fine getto



## 7 Criteri di verifica

### 7.1 Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi

Si è verificato che il valore di progetto degli effetti delle azioni, ovvero delle sollecitazioni, sia minore dei corrispondenti valori resistenti per le sezioni di progetto.

La verifica di resistenza delle sezioni nei vari elementi strutturali, viene condotta tenendo conto delle condizioni più gravose che si individuano dall'involuppo delle sollecitazioni agenti nelle diverse combinazioni di carico.

Le combinazioni e i coefficienti moltiplicativi delle singole azioni vengono definiti in base a quanto indicato nel D.M. 14 gennaio 2008.

Per quanto riguarda le verifiche a taglio ultimo, si è fatto riferimento al paragrafo 4.1.2.1.3 "Resistenza nei confronti di sollecitazioni taglienti" del D.M. 14 gennaio 2008.

### 7.2 Verifiche agli stati limite di esercizio

Definizione degli stati limite di fessurazione

In ordine di severità crescente si distinguono i seguenti stati limite:

stato limite di decompressione nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0;

stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_t = \frac{f_{ctm}}{1,2}$$

stato limite di apertura delle fessure nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0,3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione.



**Condizioni ambientali**

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella tabella seguente:

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Nel caso in esame si considera l'opera sottoposta a condizioni ordinarie.

**Scelta degli stati limite di fessurazione**

Nella tabella sottostante sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

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

**Stato limite di apertura delle fessure**

Il valore caratteristico di calcolo di apertura delle fessure (w<sub>d</sub>) non deve superare i valori nominali w<sub>1</sub>, w<sub>2</sub>, w<sub>3</sub> secondo quanto riportato nella Tabella sopra riportata.

Il valore caratteristico di calcolo è data da:

$$w_d = 1,70 \cdot w_m$$

dove w<sub>m</sub> rappresenta l'ampiezza media delle fessure.

L'ampiezza media delle fessure w<sub>m</sub> è calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura ε<sub>sm</sub> per la distanza media tra le fessure Δ<sub>sm</sub>:

$$w_m = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{sm}$$

Per il calcolo di  $\varepsilon_{sm}$  e  $\Delta_{sm}$  vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.  $\varepsilon_{sm}$  può essere calcolato tenendo conto dell'effetto del "tension stiffening" nel rispetto della limitazione:

$$\varepsilon_{sm} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

con  $\sigma_s$  tensione nell'acciaio dell'armatura tesa (per sezione fessurata) nelle condizioni di carico considerate ed  $E_s$  è il modulo elastico dell'acciaio.

## **8 Modello di calcolo**

### **8.1 Programma di calcolo**

L'analisi è stata effettuata per elementi finiti attraverso l'ausilio del programma di calcolo "SAP2000".

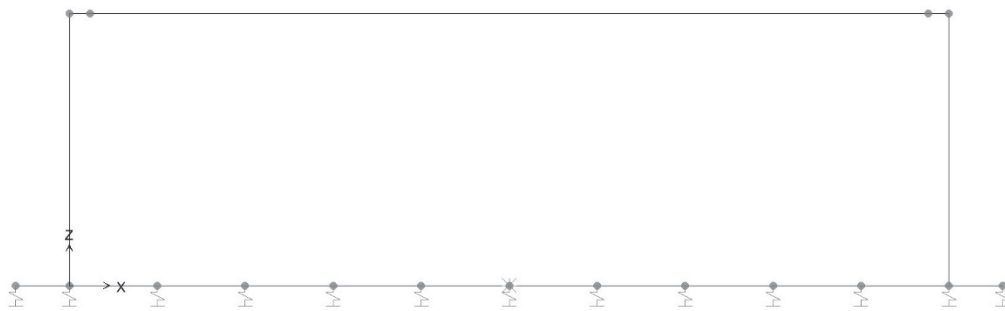
### **8.2 Modellazione Strutturale**

Il modello di calcolo attraverso il quale è stata analizzata la struttura e schematizzato da un telaio rettangolare costituito da elementi monodimensionali.

La soletta di fondazione è vincolata su un letto di molle alla Winkler agenti in direzione verticale ed orizzontale, la soletta di copertura essendo costituita da travi in C.A.P. con getto di completamento superiore è stata modellata prevedendo il rilascio delle sollecitazioni flettenti agli appoggi.

### 8.3 Schema di calcolo

Il modello di calcolo è realizzato mediante elementi “frame” monodimensionali a cui sono assegnate le caratteristiche geometriche e di materiale relativi della struttura:



**Figura 8: Schema modello di calcolo**

## 9 Combinazioni di carico

Di seguito si riportano le combinazioni di carico utilizzate:

PERM	Q1k-M	Q1k-T	Q2	Q3	SPTSX	SPTDX	SPACCSX	SPACCDX	TERM	RITIRO	SISMAH	SPSDX
1,35	1,35	0	1,35	0	1,00	1,00	0	0	0,72	0	0	0
1,35	0	1,35	1,35	0	1,00	1,00	0	0	0,72	0	0	0
1,35	1,35	0	1,35	0	1,35	1,35	1,35	1,35	0,72	0	0	0
1,35	0	1,35	1,35	0	1,35	1,35	1,35	1,35	0,72	0	0	0
1,35	1,35	0	1,35	0	1,00	1,35	0	1,35	0,72	0	0	0
1,35	0	1,35	1,35	0	1,00	1,35	0	1,35	0,72	0	0	0
1,35	0	0	0	0	1,35	1,35	1,35	1,35	0,72	0	0	0
1,35	0	0	0	0	1,00	1,35	0	1,35	0,72	0	0	0
1,35	1,35	0	1,35	0	1,00	1,00	0	0	-0,72	1,2	0	0
1,35	0	1,35	1,35	0	1,00	1,00	0	0	-0,72	1,2	0	0
1,35	1,35	0	1,35	0	1,35	1,35	1,35	1,35	-0,72	1,2	0	0
1,35	0	1,35	1,35	0	1,35	1,35	1,35	1,35	-0,72	1,2	0	0
1,35	1,35	0	1,35	0	1,00	1,35	0	1,35	-0,72	1,2	0	0
1,35	0	1,35	1,35	0	1,00	1,35	0	1,35	-0,72	1,2	0	0
1,35	0	0	0	0	1,35	1,35	1,35	1,35	-0,72	1,2	0	0
1,35	0	0	0	0	1,00	1,35	0	1,35	-0,72	1,2	0	0
1,35	1,01	0	0,54	0	1,00	1,00	0	0	1,2	0	0	0
1,35	0	1,01	0,54	0	1,00	1,00	0	0	1,2	0	0	0
1,35	1,01	0	0,54	0	1,35	1,35	1,0125	1,0125	1,2	0	0	0
1,35	0	1,01	0,54	0	1,35	1,35	1,0125	1,0125	1,2	0	0	0
1,35	1,01	0	0,54	0	1,00	1,35	0	1,0125	1,2	0	0	0
1,35	0	1,01	0,54	0	1,00	1,35	0	1,0125	1,2	0	0	0
1,35	0	0	0	0	1,35	1,35	1,0125	1,0125	1,2	0	0	0
1,35	0	0	0	0	1,00	1,35	0	1,0125	1,2	0	0	0
1,35	1,01	0	0,54	0	1,00	1,00	0	0	-1,2	1,2	0	0
1,35	0	1,01	0,54	0	1,00	1,00	0	0	-1,2	1,2	0	0
1,35	1,01	0	0,54	0	1,35	1,35	1,0125	1,0125	-1,2	1,2	0	0
1,35	0	1,01	0,54	0	1,35	1,35	1,0125	1,0125	-1,2	1,2	0	0
1,35	1,01	0	0,54	0	1,00	1,35	0	1,0125	-1,2	1,2	0	0
1,35	0	1,01	0,54	0	1,00	1,35	0	1,0125	-1,2	1,2	0	0
1,35	0	0	0	0	1,35	1,35	1,0125	1,0125	-1,2	1,2	0	0
1,35	0	0	0	0	1,00	1,35	0	1,0125	-1,2	1,2	0	0
1,35	1,01	0	0,54	1,35	1,00	1,00	0	0	0,72	0	0	0
1,35	0	1,01	0,54	1,35	1,00	1,00	0	0	0,72	0	0	0
1,35	1,01	0	0,54	1,35	1,35	1,35	1,01	1,01	0,72	0	0	0
1,35	0	1,01	0,54	1,35	1,35	1,35	1,01	1,01	0,72	0	0	0
1,35	1,01	0	0,54	1,35	1,00	1,35	0	1,01	0,72	0	0	0
1,35	0	1,01	0,54	1,35	1,00	1,35	0	1,01	0,72	0	0	0
1,35	1,01	0	0,54	1,35	1,00	1,00	0	0	-0,72	1,2	0	0
1,35	0	1,01	0,54	1,35	1,00	1,00	0	0	-0,72	1,2	0	0
1,35	1,01	0	0,54	1,35	1,35	1,35	1,01	1,01	-0,72	1,2	0	0
1,35	0	1,01	0,54	1,35	1,35	1,35	1,01	1,01	-0,72	1,2	0	0
1,35	1,01	0	0,54	1,35	1,00	1,35	0	1,01	-0,72	1,2	0	0
1,35	0	1,01	0,54	1,35	1,00	1,35	0	1,01	-0,72	1,2	0	0

1,35	1,01	0	0,54	0	1,00	1,00	0	0	1,2	0	0	0
1,35	0	1,01	0,54	0	1,00	1,00	0	0	1,2	0	0	0
1,35	1,01	0	0,54	0	1,35	1,35	1,01	1,01	1,2	0	0	0
1,35	0	1,01	0,54	0	1,35	1,35	1,01	1,01	1,2	0	0	0
1,35	1,01	0	0,54	0	1,00	1,35	0	1,01	1,2	0	0	0
1,35	0	1,01	0,54	0	1,00	1,35	0	1,01	1,2	0	0	0
1,35	1,01	0	0,54	0	1,00	1,00	0	0	-1,2	1,2	0	0
1,35	0	1,01	0,54	0	1,00	1,00	0	0	-1,2	1,2	0	0
1,35	1,01	0	0,54	0	1,35	1,35	1,01	1,01	-1,2	1,2	0	0
1,35	0	1,01	0,54	0	1,35	1,35	1,01	1,01	-1,2	1,2	0	0
1,35	1,01	0	0,54	0	1,00	1,35	0	1,01	-1,2	1,2	0	0
1,35	0	1,01	0,54	0	1,00	1,35	0	1,01	-1,2	1,2	0	0
1	0,2	0	0,2	0	0,7	1	0	0	0,5	0	1	1
1	0,2	0	0,2	0	0,7	1	0	0	-0,5	1	1	1
1	0	0	0	0	0,7	0,7	0	0	0,5	0	0	0
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0,5	0	0	0
1	0	0	0	0	0,7	1	0	0	0,5	0	0	0
1	0	0	0	0	0,7	0,7	0	0	-0,5	1	0	0
1	0	0	0	0	1	1	0	0	-0,5	1	0	0
1	0	0	0	0	0,7	1	0	0	-0,5	1	0	0
1	0,75	0	0,4	0	0,7	0,7	0	0	0,5	0	0	0
1	0	0,75	0,4	0	0,7	0,7	0	0	0,5	0	0	0
1	0,75	0	0,4	0	1	1	0,75	0,75	0,5	0	0	0
1	0	0,75	0,4	0	1	1	0,75	0,75	0,5	0	0	0
1	0,75	0	0,4	0	0,7	1	0	0,75	0,5	0	0	0
1	0	0,75	0,4	0	0,7	1	0	0,75	0,5	0	0	0
1	0	0	0	0	1	1	0,75	0,75	0,5	0	0	0
1	0	0	0	0	0,7	1	0	0,75	0,5	0	0	0
1	0,75	0	0,4	0	0,7	0,7	0	0	-0,5	1	0	0
1	0	0,75	0,4	0	0,7	0,7	0	0	-0,5	1	0	0
1	0,75	0	0,4	0	1	1	0,75	0,75	-0,5	1	0	0
1	0	0,75	0,4	0	1	1	0,75	0,75	-0,5	1	0	0
1	0,75	0	0,4	0	0,7	1	0	0,75	-0,5	1	0	0
1	0	0,75	0,4	0	0,7	1	0	0,75	-0,5	1	0	0
1	0	0	0	0	1	1	0,75	0,75	-0,5	1	0	0
1	0	0	0	0	0,7	1	0	0,75	-0,5	1	0	0

## 10 Sollecitazioni di calcolo

### 10.1 Stato Limite Ultimo

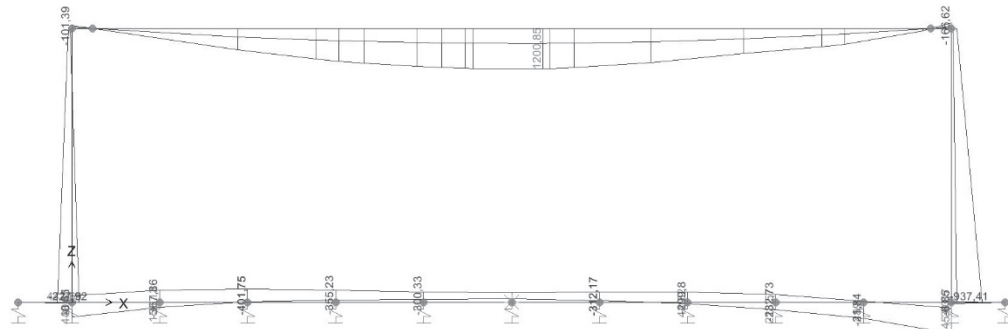


Figura 9: M<sub>Ed\_SLU</sub>

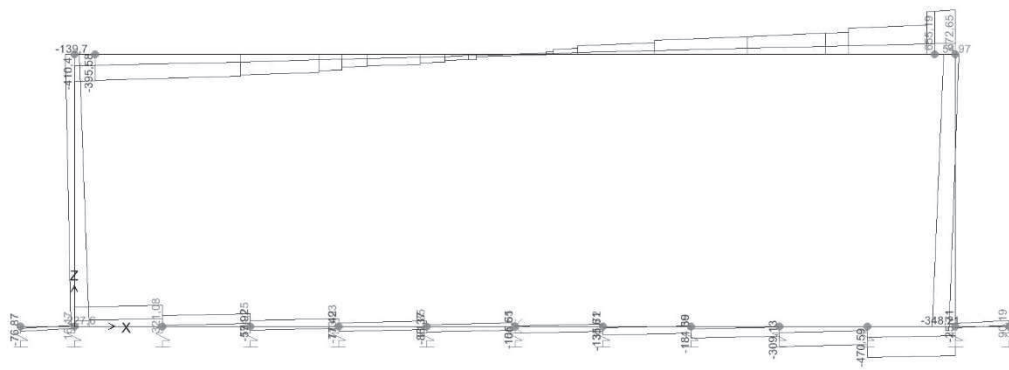


Figura 10: V<sub>E</sub>

## 10.2 Stato limite di Esercizio frequente

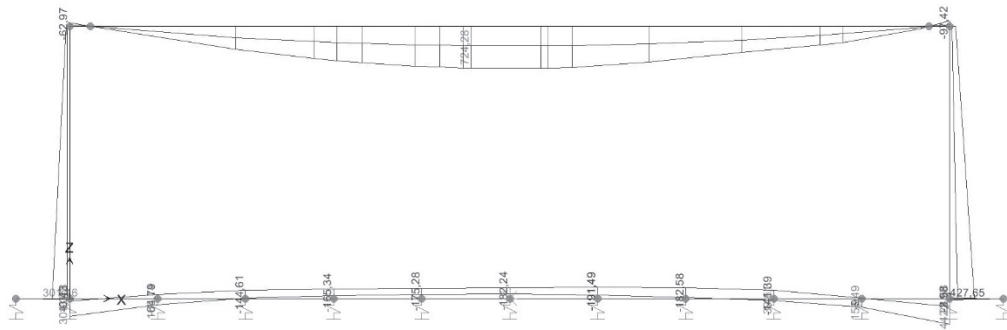


Figura 11:  $M_{Ed\_SLEF}$

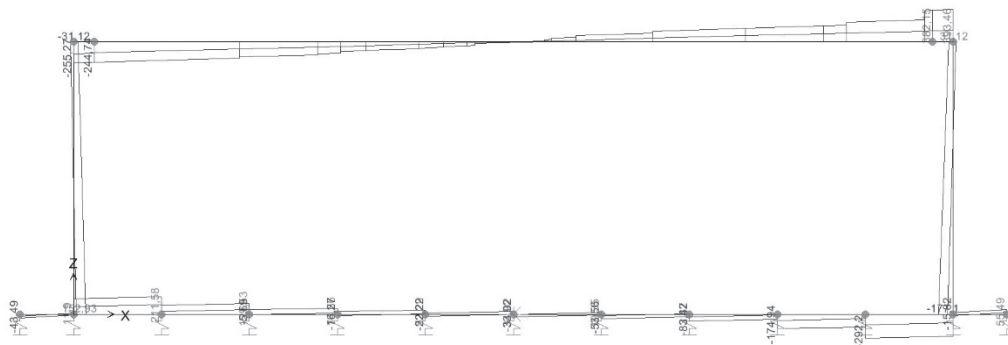


Figura 12:  $V_{Ed\_SLEF}$



### 10.3 Stato limite di Esercizio Quasi Permanente

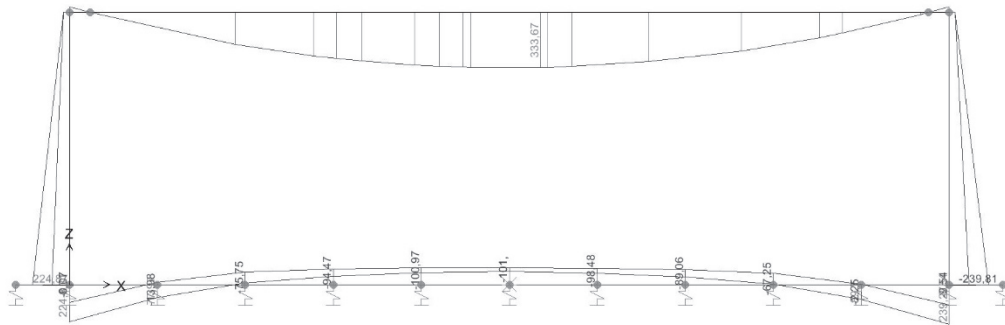


Figura 13: M<sub>Ed,SLEQP</sub>

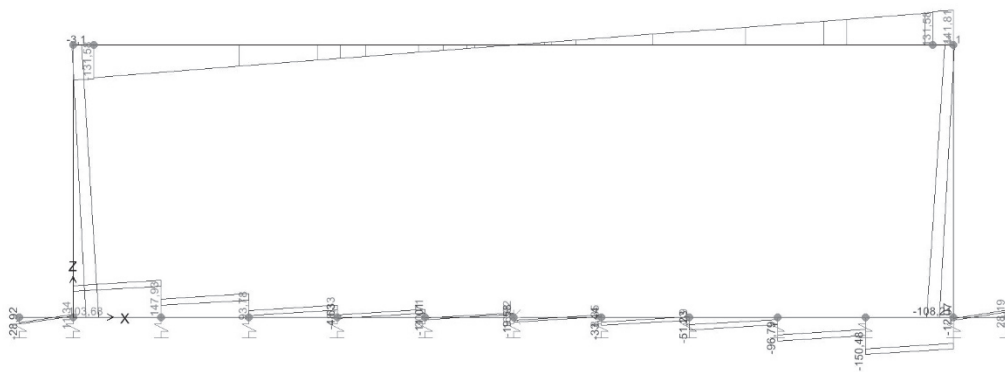


Figura 14: V<sub>Ed,SLEQP</sub>

10.4 Sezioni di verifica

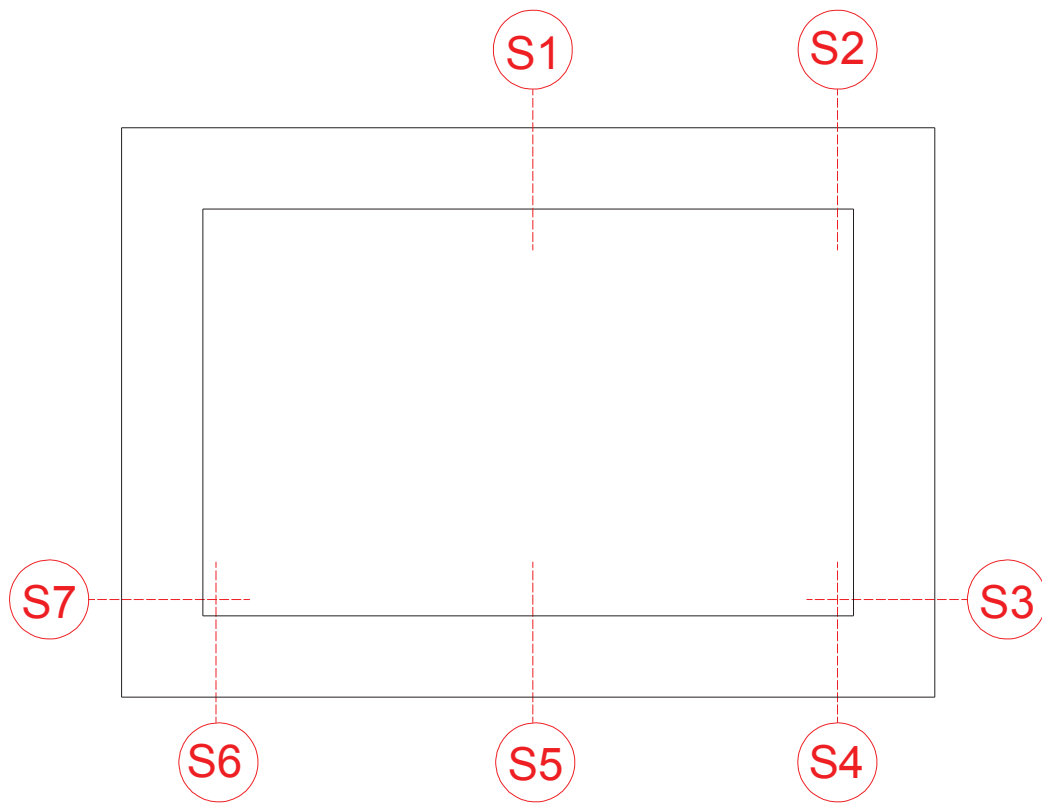


Figura 15: Sezioni di verifica

SEZ	SLU		SLE_F		SLE_QP	
	$V_{Ed,max}$ [kN]	$M_{Ed,max}$ [kNm]	$V_{Ed,max}$ [kN]	$M_{Ed,max}$ [kNm]	$V_{Ed,max}$ [kN]	$M_{Ed,max}$ [kNm]
1	0	1027	0	612	0	181
2	533	0	312	0	71	0
3	348	-937	177	-427	108	-240
4	442	937	292	442	150	240
5	0	-402	0	-191	0	-95
6	321	448	211	305	148	225
7	227	441	152	302	104	225

## 11 Verifiche

Di seguito si riportano le verifiche strutturali della trave in C.A.P. e le verifiche allo stato limite ultimo e di esercizio delle sezioni S4-S5-S7.

### 11.1 Verifica trave di copertura

Le travi prefabbricate in c.a.p., precomprese con il sistema a cavi aderenti ad andamento rettilineo, hanno sezione trasversale ad "U" di altezza 45cm, con soprastante soletta collaborante in c.a. dello spessore di 15cm.

Le lastre poggiano direttamente sulle sottostrutture mediante l'interposizione di appositi appoggi a striscia in neoprene.

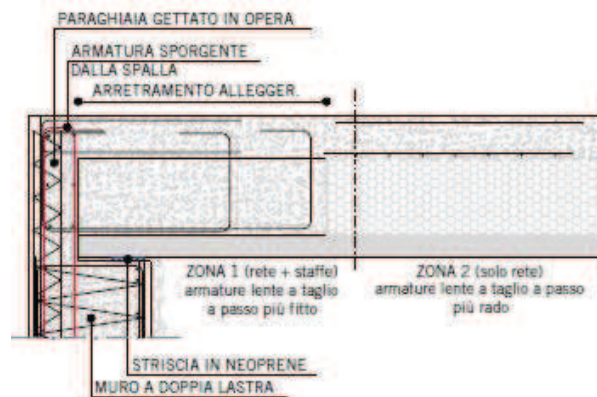


Figura 16: Schema grafico del dettaglio di appoggio

Per il calcolo di verifica delle travi in c.a.p. si fa riferimento alle seguenti fasi:

- Fase iniziale

Si verifica sulla pista di precompressione dopo l'applicazione della precompressione (taglio dei trefoli).

In questa fase la trave si comporta come elemento semplicemente appoggiato alle estremità soggetto al peso proprio ed alla precompressione.

- Fase I (al getto soletta)

Si verifica dopo il varo delle travi e dopo il getto di completamento in testata (zona senza alleggerimento) e della soletta superiore, ma prima del suo indurimento.

In questa fase la trave prefabbricata si comporta come un elemento semplicemente appoggiato alle estremità soggetto al peso proprio ed al peso dei getti.

La sezione resistente in questa fase è quella della sola trave.

- Fase II (in esercizio)

Si verifica dopo l'indurimento della soletta e l'applicazione dei sovraccarichi permanenti ed accidentali.

La sezione resistente in questa fase è quella mista nella quale si considera collaborante una striscia di soletta pari all'interasse delle travi stesse (120cm) opportunamente omogeneizzata, ed i getti di completamento anch'essi omogeneizzati (a vantaggio di sicurezza il getto di riempimento in testata è considerato solamente nella verifica a taglio).

Lo schema statico previsto è di elemento semplicemente appoggiato alle estremità.

**Verifica trave in C.A.P. H45+15**

**Caratteristiche dei materiali**

<b>Calcestruzzo trave - in esercizio</b>	
Resistenza caratt. cubica a 28gg	Rck 55 N/mm2
Resistenza caratt. cilindrica a 28gg	fck 45 N/mm2
Resistenza media a trazione assiale a 28gg	fctm 3,80 N/mm2
Resistenza media a trazione per flessione a 28gg	fcfm 4,55 N/mm2
Modulo elastico a 28gg	Ecm 36283 N/mm2
<b>Calcestruzzo trave - allo sbanco</b>	
Resistenza caratt. cubica allo sbanco	Rckj 40 N/mm2
Resistenza caratt. cilindrica allo sbanco	fckj 33,2 N/mm2
Resistenza media a trazione assiale allo sbanco	fctmj 3,10 N/mm2
Resistenza media a trazione per flessione allo sbanco	fcfmj 3,72 N/mm2
Modulo elastico allo sbanco	Ecmj 33643 N/mm2
<b>Calcestruzzo trave - al trasporto</b>	
Resistenza caratt. cubica al trasporto	Rckj 40 N/mm2
Resistenza caratt. cilindrica al trasporto	fckj 33,2 N/mm2
Resistenza media a trazione assiale al trasporto	fctmj 3,10 N/mm2
Resistenza media a trazione per flessione al trasporto	fcfmj 3,72 N/mm2
Modulo elastico al trasporto	Ecmj 33643 N/mm2
<b>Calcestruzzo soletta</b>	
Resistenza caratt. cubica a 28gg	Rck 35 N/mm2
Resistenza caratt. cilindrica a 28gg	fck 29,05 N/mm2
Modulo elastico a 28gg	Ecm 32588 N/mm2
Coefficiente di omogeneizzazione della soletta	n* 0,900
<b>Armatura di precompressione</b>	
Trefoli stabilizzati a basso rilassamento	fptk 1860 N/mm2
	fp(1)k 1670 N/mm2
	Ep 200 kN/mm2
	n 5,51
Coefficiente di omogeneizzazione delle armature	
<b>Armatura lenta</b>	
Acciaio B450C	fyk 450 N/mm2

**Tensioni limite in fase iniziale e negli SLE**

Calcolo eseguito secondo		NTC 08
Condizioni ambientali		aggressive
<b>In fase iniziale</b>		
Trave: calcestruzzo in compressione	$\sigma_c < 0,6$ fckj	19,92 N/mm2
Trave: calcestruzzo in trazione	$\sigma_{ct} < 1$ fctmj	3,72 N/mm2
Acciaio di precompressione	$\sigma_{po} < 0,8$ fptk	1488 N/mm2
Acciaio ordinario	$\sigma_s < 215$	N/mm2
<b>Al trasporto</b>		
Trave: calcestruzzo in compressione	$\sigma_c < 0,6$ fckj	19,92 N/mm2
Trave: calcestruzzo in trazione	$\sigma_{ct} < 1$ fctmj	3,72 N/mm2
Acciaio di precompressione	$\sigma_{po} < 0,8$ fptk	1488 N/mm2
Acciaio ordinario	$\sigma_s < 0,8$ fyk	360 N/mm2
<b>In fase di esercizio</b>		
Trave: cls in compressione - combinazione caratt. (rara)	$\sigma_c < 0,6$ fck	27,00 N/mm2
Trave: cls in compressione - combinazione quasi perm.	$\sigma_c < 0,45$ fck	20,25 N/mm2
Trave: cls in trazione - combinazione caratt. (rara)	$\sigma_{ct} < 0,83$ fctm	3,16 N/mm2
Trave: cls in trazione - combinazione quasi perm.	$\sigma_{ct} < 0,00$ fctm	0,00 N/mm2
Soletta: cls in compressione - combinazione caratt. (rara)	$\sigma_c < 0,6$ fck	17,43 N/mm2
Soletta: cls in compressione - combinazione quasi perm.	$\sigma_c < 0,45$ fck	13,07 N/mm2
Acciaio di precompressione - combinazione caratt. (rara)	$\sigma_{po} < 0,8$ fp(1)k	1336 N/mm2

**Resistenze di calcolo per gli SLU**

Coefficiente di sicurezza parziale per cls trave	$\gamma_c$	1,4
Trave: cls in compressione	fcd	27,32 N/mm2
Trave: resistenza caratt. a trazione	fctk	2,66 N/mm2
Trave: cls in trazione	fctd	1,90 N/mm2
Coefficiente di sicurezza parziale per cls soletta	$\gamma_c$	1,5
Soletta: cls in compressione	fcd,s	16,46 N/mm2
Soletta: cls in trazione	fctd,s	1,32
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	$\gamma_s$	1,15
Acciaio di precompressione	fpd	1452,17 N/mm2
Acciaio ordinario	fyd	391,30 N/mm2

**Coefficienti per combinazione delle azioni**

Peso	Peso Permanente	Permanente	Variable dominante	Variable non dominante
------	-----------------	------------	--------------------	------------------------

proprio trave	proprio soletta	solo trave	trave+soletta								
$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_{Q1}$	$\psi_{01}$	$\psi_{11}$	$\psi_{21}$	$\gamma_{Q2}$	$\psi_{02}$	$\psi_{12}$	$\psi_{22}$
1,35	1,35	1,5	1,5	1,35	0,75	0,75	0	1,5	0,6	0,2	0

Carichi uniformemente distribuiti

Peso trave - testata	Peso trave - mezzeria	Peso pro-prio soletta	Permanente solo trave	Permanente trave+soletta	Variabile dominante	Var. non dominante
583	583	450	0	360	0	0
(daN/m)	(daN/m)	(daN/m)	(daN/m)	(daN/m)	(daN/m)	(daN/m)

Schema statico su due appoggi

Lunghezza trave Lt	10,4	m
Retrotrave sinistro R <sub>sx</sub>	0,1	m
Retrotrave destro R <sub>dx</sub>	0,1	m
<b>Luce di calcolo L<sub>c</sub></b>	<b>10,2</b>	<b>m</b>

Momento flettente - calcolo statico

Sezione da testata sx	Sezione di calcolo	M peso trave	M peso soletta	M perm. solo trave	M perm. trave+soletta	M var. dominante	M var. non dominante	M comb. quasi perm.	M comb. frequente	M comb. rara	M comb. SLU	Msdg SLU	Msdq SLU
(m)	(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0,1	0	0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	-0,1							0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	1,4	35,9	27,7		22,2	333,0		85,8	335,6	418,8	568,7	85,9	482,8
	-0,1							0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	-0,1							0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	-0,1							0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	-0,1							0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	-0,1							0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	-0,1							0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>5,2</b>	<b>5,1</b>	<b>75,8</b>	<b>58,5</b>		<b>46,8</b>	<b>574,5</b>		<b>181,2</b>	<b>612,0</b>	<b>755,7</b>	<b>1027,2</b>	<b>181,4</b>	<b>845,8</b>

Taglio - calcolo statico

Sezione da testata sx	Sezione di calcolo	V peso trave	V peso soletta	V perm. solo trave	V perm. trave+soletta	V var. dominante	V var. non dominante	V comb. quasi perm.	V comb. frequente	V comb. rara	V comb. SLU	Vsdg SLU	Vsdq SLU
(m)	(m)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
0,1	0	29,7	23,0		18,4	322,1		71,0	312,6	393,1	533,5	71,1	462,4
	-0,1							0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	1,4	21,6	16,7		13,3	145,2		51,5	160,4	196,7	267,6	51,6	216,0
	-0,1							0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	-0,1							0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	-0,1							0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	-0,1							0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	-0,1							0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	-0,1							0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>5,2</b>	<b>5,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

**Sezione in mezzeria**

**Sezione a 5,2 m dalla testata della trave (sezione in mezzeria)**

Coefficiente moltiplicativo della lunghezza di trasmissione calcolato  $\beta$  67  
 Coefficiente moltiplicativo della lunghezza di trasmissione assunto  $\beta$  65  
 Lunghezza di trasmissione Lpt 988 mm  
 La sezione si considera precompressa

Momento flettente

per peso proprio trave	Mgo	75,8	kNm
per peso proprio soletta	Mgs	58,5	kNm
per carico permanente portato da sola trave	Mg1	0,0	kNm
per carico permanente portato da trave + soletta	Mg2	46,8	kNm
per carico variabile dominante	Mq1	574,5	kNm
per carico variabile secondario	Mq2	0,0	kNm

**Determinazione della forza di precompressione**

**Trefoli inferiori**

	n° trefoli	y (mm)	$\Phi$	area (mm <sup>2</sup> )	d(mm)	nAy	nA
fila 1	14	70	6/10	139	15,2	136220	1946
fila 2			1/2	0	0	0	0
fila 3			1/2	0	0	0	0
fila 4			1/2	0	0	0	0
fila 5			1/2	0	0	0	0
fila 6			1/2	0	0	0	0
fila 7			1/2	0	0	0	0
fila 8			1/2	0	0	0	0
<b>Totale</b>	<b>14</b>			<b>1946</b>		<b>136220</b>	<b>1946</b>

**Trefoli superiori**

fila 1	2	400	1/2	93	12,5	74400	186
fila 2			1/2	0	0	0	0
<b>Totale</b>	<b>2</b>			<b>186</b>		<b>74400</b>	<b>186</b>

Area trefoli inferiori	Ap,inf	1946	mm <sup>2</sup>
Area trefoli superiori	Ap,sup	186	mm <sup>2</sup>
Area totale trefoli utilizzati	Ap	2132	mm <sup>2</sup>
Distanza baricentro trefoli inferiori da intradosso trave	yp,inf	70,00	mm
Distanza baricentro trefoli superiori da intradosso trave	yp,sup	400,00	mm
Distanza del cavo risultante da intradosso trave	yp	98,79	mm

**Tesatura iniziale trefoli**  $\sigma_{po,max}$  1488 N/mm<sup>2</sup>  $\sigma_{po}$  1400 N/mm<sup>2</sup>

Perdita al martinetto (rilassamento a 120 ore)  $\Delta\sigma$  -21,00 N/mm<sup>2</sup>

Caduta di tensione per perdita al martinetto  $\sigma_{po}$  1379,00 N/mm<sup>2</sup>

Tensione di precompressione iniziale  $\alpha = Lx/Lpt$  100,0%

Aliquota di precompressione efficace No 2940,03 kN

Forza di precompressione iniziale No,eff 2940,03 kN

Forza di precompressione iniziale efficace

**Armatura lenta longitudinale**

**Ferri inferiori**

	n° ferri	c (mm)	$\Phi$	area (mm <sup>2</sup> )
fila 1	4	50	12	452,16
fila 2				0
<b>Totale</b>	<b>4</b>			<b>452,16</b>

Distanza del baricentro dell'armatura inferiore da intradosso trave	ys	50,00	mm
Area totale armatura lenta inferiore	As	452,16	mm <sup>2</sup>

**Ferri superiori**

	n° ferri	c' (mm)	$\Phi$	area (mm <sup>2</sup> )
fila 1	2	50	12	226,08
fila 2				0
<b>Totale</b>	<b>2</b>			<b>226,08</b>

Distanza del baricentro dell'armatura superiore da intradosso trave	y's	400,00	mm
---	-----	--------	----

Area totale armatura lenta superiore A's 226,08 mm<sup>2</sup>

**Verifica al tiro**

Verifica della trave all'atto della precompressione. In tale fase agiscono la precompressione e il peso proprio della trave.

*Entità geometriche sezione (solo trave) con trefoli omogeneizzati*

Altezza trave	h	450,00	mm
Trascurare il contributo dell'armatura lenta		SI	
Coefficiente di omogeneizzazione delle armature	n	6	
Area	Ai	248992	mm <sup>2</sup>
		3,31E+0	
Momento statico	Si	7	mm <sup>3</sup>
		3,29E+0	
Momento d'inerzia	Ji	9	mm <sup>4</sup>
Distanza baricentro da intradosso trave	yi	133,11	mm
Distanza baricentro da estradosso trave	ye	316,89	mm
Eccentricità del cavo risultante dal baricentro	ep	34,32	mm
Distanza del cavo risultante da estradosso trave	dp	351,21	mm

*Cadute di tensione immediate*

Forza di precompressione iniziale	No	-2940,03	kN
Momento dovuto alla precompressione Mpo = No x ep	Mpo	-100,90	kNm
Caduta di tensione per accorciamento elastico del cls	Δσp	-72,41	N/mm <sup>2</sup>
Caduta di tiro	ΔPp	-154,39	kN
Caduta di tiro percentuale		5,25%	
Tiro in fase iniziale (a cadute immediate avvenute)	No	-2785,64	kN
Momento dovuto alla precompressione	Mpo	-95,60	kNm

<b>Tensione nell'acciaio di precompressione</b>	σpo,max	1488	N/mm <sup>2</sup>	<b>σpo</b>	<b>1306,59</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
---	---------	------	-------------------	------------	----------------	-------------------------

<b>Tensione nel calcestruzzo</b>						
<b>per peso proprio</b>				σe	-7,30	N/mm <sup>2</sup>
				σi	3,06	N/mm <sup>2</sup>
<b>per precompressione</b>				σe	-1,99	N/mm <sup>2</sup>
				σi	-15,05	N/mm <sup>2</sup>

<b>complessivamente</b>	σct,max	3,72	N/mm <sup>2</sup>	<b>σe</b>	<b>-9,28</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
	σc,max	-19,92	N/mm <sup>2</sup>	<b>σi</b>	<b>-11,99</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>

**Armature superiori atte ad assorbire le trazioni nel conglomerato**

Tensione massima di trazione senza aggiunta di armatura sussidiaria	0,05 fckj	1,66	N/mm <sup>2</sup>
Ampiezza della zona tesa dal bordo superiore	yt	0,00	mm
Altezza della flangia della trave	hf	0,00	mm
Larghezza della flangia della trave	bf	220,00	mm
Tensione nel lembo inferiore della flangia	σf,j	#DIV/0!	N/mm <sup>2</sup>
Componente di trazione nella flangia	Tf	#DIV/0!	N
Larghezza dell'anima della trave	bw	220	mm
Componente di trazione nell'anima	Tw	#DIV/0!	N
Armatura lenta occorrente	As	#DIV/0!	cm <sup>2</sup>
Armatura lenta minima di normativa	As,min	2,36	cm <sup>2</sup>
Armatura lenta disposta	As,eff	2,26	cm <sup>2</sup>
		#DIV/0!	
al tasso di		215	N/mm <sup>2</sup>

**Verifica in esercizio**

Verifica della struttura composta in esercizio sotto l'azione dei carichi permanenti + variabili.

*Entità geometriche sezione (trave+soletta) con trefoli omogeneizzati*

Altezza trave + soletta	h+hs	600	mm
Coefficiente di omogeneizzazione delle armature	n	6	
Area	Ai	410992	mm <sup>2</sup>
Momento statico	Si	1,18E+08	mm <sup>3</sup>
Momento d'inerzia	Ji	1,87E+10	mm <sup>4</sup>
Distanza baricentro da intradosso trave	yi	287,58	mm
Distanza baricentro da estradosso trave	ye	162,42	mm
Distanza baricentro da estradosso soletta	yse	312,42	mm
Eccentricità del cavo risultante dal baricentro	ep	188,79	mm
Distanza del cavo risultante da estradosso soletta	dp	501,21	mm

*Caduta di tensione per viscosità*

Area sezione (solo trave)		Ac	236200	mm <sup>2</sup>
Perimetro della sezione		u	3300	mm
Perimetro della sezione esposto all'aria		u*	1200	mm
Dimensione fittizia dell'elemento		ho	393,67	mm
Umidità ambientale relativa in cui è avvenuta la maturazione		RH	70	%
Resistenza media a compressione del cls a 28 gg		f <sub>cm</sub>	53	MPa
Coefficienti per f <sub>cm</sub> > 35 Mpa		α1	0,748	
		α2	0,920	
		α3	0,813	
		φRH	1,202	
		βH	793,66	
		β(f <sub>cm</sub> )	2,308	
Coefficienti per umidità relativa		t	20833	gg
		t <sub>0</sub>	2	gg
		α	1	
Coefficiente per effetto della resistenza del cls		t <sub>0,eff</sub>	6,19	gg
Età del cls, in giorni, al momento considerato		β(t <sub>0</sub> )	0,649	
Età del cls, in giorni, al momento dell'applicazione del carico		φ <sub>0</sub>	1,802	
Esponente che dipende dal tipo di cemento		βc(t,t <sub>0</sub> )	0,989	
Età del cls, in giorni, all'applicazione del carico modificata per tipo di cemento		φ(t,t <sub>0</sub> )	1,78	
Coefficiente per età del cls al momento dell'applicazione del carico		σ <sub>c</sub> (t <sub>0</sub> )	-11,39	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente nominale di viscosità		0,45 f <sub>ck</sub> (t <sub>0</sub> )	-14,94	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente per evoluzione della viscosità nel tempo		kσ	0,277	
Coefficiente di viscosità calcolato		φk(t <sub>0</sub> ,t)	1,78	
Tensione nel cls a livello del cavo risultante al tempo t <sub>0</sub> di applicazione del carico		φ	1,80	
Limite tensionale per il calcolo della viscosità non lineare			quasi perm.	
Rapporto tensioni-resistenza kσ		σ <sub>cg</sub>	0,79	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente teorico di viscosità non lineare		σ <sub>cg,s</sub>	0,61	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di viscosità assunto		σ <sub>cp</sub>	-12,18	N/mm <sup>2</sup>
Quota dei carichi considerata		σ <sub>cg1</sub>	0,00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione nel calcestruzzo a livello del cavo risultante		σ <sub>cg2</sub>	0,47	N/mm <sup>2</sup>
per peso proprio trave		σ <sub>cq1</sub>	0,00	N/mm <sup>2</sup>
per peso proprio soletta		σ <sub>cq2</sub>	0,00	N/mm <sup>2</sup>
per precompressione		σ <sub>c</sub>	-10,31	N/mm <sup>2</sup>
per carico permanente portato da sola trave		Δσ <sub>pv</sub>	-111,36	N/mm <sup>2</sup>
per carico permanente portato da trave + soletta				
per aliquota del carico variabile dominante				
per aliquota del carico variabile non dominante				
complessivamente				
<b>Caduta di tensione per viscosità</b>	8,52%			

*Caduta di tensione per ritiro*

Coefficienti dipendenti dal tipo di cemento		ads1	6	
		ads2	0,11	
Coefficiente per umidità relativa		βRH	1,018	
Valore di kh per interpolazione lineare		kh	0,73	
Età del cls, in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento		t <sub>s</sub>	1	gg
		βds(t,t <sub>s</sub> )	0,985	
		ε <sub>cd0</sub>	0,000425	
Deformazione per ritiro da essiccamento		ε <sub>cd</sub> (t)	0,000304	
		β <sub>as</sub> (t)	1,000	
Deformazione per ritiro autogeno		ε <sub>ca</sub> (t)	0,000087	
Deformazione totale da ritiro calcolata		ε <sub>cs</sub> (t)	0,000392	
Deformazione totale da ritiro assunta		ε <sub>cs</sub>	0,0004	
<b>Caduta di tensione per ritiro</b>	6,12%	Δσ <sub>ps</sub>	-80,00	N/mm <sup>2</sup>

*Caduta di tensione per rilassamento*

Calcolo eseguito secondo			NTC 08 - EC2	
Tempo trascorso dalla messa in tensione dei trefoli (espresso in ore)		t	500000	ore
Perdita di tensione nei trefoli per rilassamento valutata dopo 1000 ore			2,5	%
		σ <sub>po</sub> /f <sub>ptk</sub>	0,70	
		Δσ <sub>r</sub> *	251,1	N/mm <sup>2</sup>
<b>Caduta di tensione per rilassamento</b>	3,94%	Δσ <sub>r</sub>	-51,53	N/mm <sup>2</sup>

*Caduta differita complessiva*

Calcolo eseguito secondo			NTC 08 - EC2	
Caduta di tensione per ritiro e viscosità	14,65%	Δσ <sub>ssf</sub>	-191,36	N/mm <sup>2</sup>
Caduta di tensione per rilassamento ridotta	2,50%	Δσ <sub>r,r</sub>	-32,67	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di riduzione delle perdite di tensione secondo EC 2		Ω	1,14	
<b>Caduta di tensione complessiva per fenomeni differiti</b>		Δσ <sub>p</sub>	-203,20	N/mm <sup>2</sup>



Caduta di tiro complessiva per fenomeni differiti	$\Delta P_p$	-433,22	kN
Coefficiente di riduzione per effetti differiti calcolato	$\Delta$	0,16	
Tiro finale (a cadute differite avvenute)	$P_p$	-2352,42	kN
Momento dovuto alla precompressione	$M_p$	-80,73	kNm
Tensione nell'acciaio di precompressione	$\sigma_p$	1103,39	N/mm <sup>2</sup>

*Ritiro differenziale trave - soletta*

Considerare ritiro differenziale trave-soletta			
Deformazione da ritiro soletta	$\epsilon_r$	0,0003	
Percentuale di ritiro esaurito dalla trave al getto della soletta		50	%
Ritiro della trave ancora da scontare	$\epsilon_{r,res}$	0,0002	
Ritiro differenziale	$\Delta r$	0,0001	
Diminuzione fittizia di temperatura della soletta	$-\Delta T$	10	°C
Modulo elastico soletta	$E_{cs}$	32588	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di viscosità per riduzione modulo elastico	$\phi$	2,00	
Modulo elastico soletta ridotto per fluage	$E_{cs}^*$	10863	N/mm <sup>2</sup>
Area soletta	$A_{cs}$	180000	mm <sup>2</sup>
Forza di trazione sulla soletta dovuta all'accorciamento impedito	$F_r$	195,53	kN
Forza di compressione sulla sezione composta	$N_r$	-195,53	kN
Distanza tra baricentro soletta e baricentro sezione composta	$e$	237,42	mm
Momento flettente sulla sezione composta	$M_r$	46,42	kNm

**Tensioni nel calcestruzzo - trave**

<b>per peso proprio (trave + soletta)</b>				$\sigma_e$	-12,93	N/mm <sup>2</sup>
area e moduli di resistenza solo trave				$\sigma_i$	5,43	N/mm <sup>2</sup>
<b>per precompressione</b>				$\sigma_e$	-1,99	N/mm <sup>2</sup>
area e moduli di resistenza solo trave				$\sigma_i$	-15,05	N/mm <sup>2</sup>
<b>per cadute tensioni precompressione</b>				$\sigma_e$	0,34	N/mm <sup>2</sup>
area e moduli di resistenza sezione composta				$\sigma_i$	2,31	N/mm <sup>2</sup>
<b>per carico permanente portato da sola trave</b>				$\sigma_e$	0,00	N/mm <sup>2</sup>
area e moduli di resistenza solo trave				$\sigma_i$	0,00	N/mm <sup>2</sup>
<b>per carico permanente portato da trave + soletta</b>				$\sigma_e$	-0,41	N/mm <sup>2</sup>
area e moduli di resistenza sezione composta				$\sigma_i$	0,72	N/mm <sup>2</sup>
<b>per carico variabile dominante</b>				$\sigma_e$	-4,99	N/mm <sup>2</sup>
area e moduli di resistenza sezione composta				$\sigma_i$	8,84	N/mm <sup>2</sup>
<b>per carico variabile secondario</b>				$\sigma_e$	0,00	N/mm <sup>2</sup>
area e moduli di resistenza sezione composta				$\sigma_i$	0,00	N/mm <sup>2</sup>
<b>per ritiro differenziale trave - soletta</b>				$\sigma_e$	-0,88	N/mm <sup>2</sup>
area e moduli di resistenza sezione composta				$\sigma_i$	0,24	N/mm <sup>2</sup>
<b>al getto della soletta</b>				$\sigma_e$	-14,57	N/mm <sup>2</sup>
				$\sigma_i$	-7,31	N/mm <sup>2</sup>
<b>"a vuoto"</b>				$\sigma_e$	-15,86	N/mm <sup>2</sup>
				$\sigma_i$	-6,35	N/mm <sup>2</sup>
<b>comb. rara</b>	$\sigma_{c,max}$	-27,00	N/mm <sup>2</sup>	<b><math>\sigma_e</math></b>	<b>-20,85</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
	$\sigma_{ct,max}$	3,16	N/mm <sup>2</sup>	<b><math>\sigma_i</math></b>	<b>2,49</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
<b>comb. frequente</b>				$\sigma_e$	-19,60	N/mm <sup>2</sup>
				$\sigma_i$	0,28	N/mm <sup>2</sup>
<b>comb. quasi perm.</b>	$\sigma_{c,max}$	-20,25	N/mm <sup>2</sup>	<b><math>\sigma_e</math></b>	<b>-15,86</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
	$\sigma_{ct,max}$	0,00	N/mm <sup>2</sup>	<b><math>\sigma_i</math></b>	<b>-6,35</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>

**Armature inferiori atte ad assorbire le trazioni nel conglomerato in comb. Rara**

Tensione massima di trazione senza senza aggiunta di armatura sussidiaria	0,03 f <sub>ck</sub>	1,35	N/mm <sup>2</sup>
Ampiezza della zona tesa dal bordo inferiore	y <sub>t</sub>	48,06	mm
Altezza della flangia inferiore della trave	h <sub>fi</sub>	140,00	mm
Larghezza della flangia inferiore della trave	b <sub>fi</sub>	1200,00	mm
Tensione nel lembo superiore della flangia	σ <sub>f,s</sub>	-4,77	N/mm <sup>2</sup>

Componente di trazione nella flangia				Tf	71891	N
Larghezza dell'anima della trave				bw	220	mm
Componente di trazione nell'anima				Tw	0	N
Armatura lenta occorrente	al tasso di	175	N/mm2	As	4,11	cm2
Armatura lenta minima di normativa				As,min	2,36	cm2
Armatura lenta disposta				As,eff	4,52	cm2
					OK	

**Armature superiori atte ad assorbire le trazioni nel conglomerato in comb. Rara**

Tensione massima di trazione senza senza aggiunta di armatura sussidiaria				0,03 fck	1,35	N/mm2
Ampiezza della zona tesa dal bordo superiore				yt	0,00	mm
Altezza della flangia della trave				hf	0,00	mm
Larghezza della flangia della trave				bf	220,00	mm
Tensione nel lembo inferiore della flangia				σf,i	#DIV/0!	N/mm2
Componente di trazione nella flangia				Tf	#DIV/0!	N
Larghezza dell'anima della trave				bw	220	mm
Componente di trazione nell'anima				Tw	#DIV/0!	N
Armatura lenta occorrente	al tasso di	175	N/mm2	As	#DIV/0!	cm2
Armatura lenta minima di normativa				As,min	2,36	cm2
Armatura lenta disposta				As,eff	2,26	cm2
					#DIV/0!	

**Tensioni nel calcestruzzo - soletta**

<b>per cadute tensioni precompressione</b>						
area e moduli di resistenza sezione composta				σe	-0,28	N/mm2
				σi	0,31	N/mm2
<b>per carico permanente portato da trave + soletta</b>						
area e moduli di resistenza sezione composta				σe	-0,70	N/mm2
				σi	-0,37	N/mm2
<b>per carico variabile dominante</b>						
area e moduli di resistenza sezione composta				σe	-8,65	N/mm2
				σi	-4,49	N/mm2
<b>per carico variabile secondario</b>						
area e moduli di resistenza sezione composta				σe	0,00	N/mm2
				σi	0,00	N/mm2
<b>per ritiro differenziale trave - soletta</b>						
area e moduli di resistenza sezione composta				σe	-0,04	N/mm2
				σi	0,29	N/mm2
<b>"a vuoto"</b>						
				σe	-1,03	N/mm2
				σi	0,24	N/mm2
<b>comb. rara</b>	σc,max	-17,43	N/mm2	<b>σe</b>	<b>-9,67</b>	<b>N/mm2</b>
				<b>σi</b>	<b>-4,26</b>	<b>N/mm2</b>
<b>comb. frequente</b>				σe	-7,51	N/mm2
				σi	-3,13	N/mm2
<b>comb. quasi perm.</b>	σc,max	-13,07	N/mm2	<b>σe</b>	<b>-1,03</b>	<b>N/mm2</b>
				<b>σi</b>	<b>0,24</b>	<b>N/mm2</b>

**Tensione nell'acciaio di precompressione**

<b>per precompressione</b>						
area e moduli di resistenza solo trave				σp	1103,39	N/mm2
<b>per peso proprio (trave + soletta)</b>						
area e moduli di resistenza solo trave				σc	1,40	N/mm2
<b>per carico permanente portato da sola trave</b>						
area e moduli di resistenza solo trave				σc	0,00	N/mm2
<b>per carico permanente portato da trave + soletta</b>						
area e moduli di resistenza sezione composta				σc	0,47	N/mm2
<b>per carico variabile dominante</b>						
area e moduli di resistenza sezione composta				σc	5,80	N/mm2
<b>per carico variabile secondario</b>						
area e moduli di resistenza sezione composta				σc	0,00	N/mm2

<b>per ritiro differenziale trave - soletta</b>		σc	-0,01	N/mm2
area e moduli di resistenza sezione composta				
<b>comb. rara</b>	σp,max	1336	N/mm2	<b>σp 1149,41 N/mm2</b>

**Verifica a flessione allo SLU**

<i>Resistenze di calcolo per gli SLU</i>				
Calcestruzzo in compressione	fcd	27,32	N/mm2	
Acciaio ordinario	fyd	391,30	N/mm2	
Acciaio di precompressione	fpv	1452,17	N/mm2	
	fpu	1617,39	N/mm2	
	fpv/fpu	0,90		
<i>Armatura lenta inferiore</i>				
Trascurare il contributo dell'armatura lenta inferiore				<input type="text" value="SI"/>
Area dell'armatura lenta inferiore	As	0,00	mm2	
Armatura tesa minima di normativa	As,min	125,40	mm2	
Distanza dell'armatura da intradosso trave	ys	50,00	mm	
<i>Armatura lenta superiore</i>				
Trascurare il contributo dell'armatura lenta superiore				<input type="text" value="SI"/>
Area dell'armatura lenta superiore	A's	0,00	mm2	
Distanza dell'armatura da estradosso trave	h-y's	50,00	mm	
<i>Armatura di precompressione</i>				
Area dei trefoli inferiori	Ap,inf	1946,00	mm2	
Distanza baricentro trefoli inferiori da intradosso trave	yp,inf	70,00	mm	
Area dei trefoli superiori	Ap,sup	186,00	mm2	
Distanza baricentro trefoli superiori da intradosso trave	yp,sup	400,00	mm	
Area dell'armatura di precompressione	Apv	2132,00	mm2	
Distanza del cavo risultante da intradosso trave	yp	98,79	mm	
<i>Caratteristiche geometriche trave + soletta</i>				
Altezza della trave	h	450	mm	
Larghezza dell'anima della trave	bw	220,00	mm	
Larghezza della flangia della trave	b	220,00	mm	
Larghezza della soletta omogeneizzata	bs	723,02	mm	
Altezza della flangia della trave	hf	0,00	mm	
Altezza della soletta	hs	150,00	mm	
Distanza dei trefoli inferiori dalla fibra compressa estrema	dp	530,00	mm	
Distanza dei trefoli superiori dalla fibra compressa estrema	d'p	200,00	mm	
Distanza dell'armatura lenta inferiore dalla fibra compressa estrema	ds	550,00	mm	
Distanza dell'armatura lenta superiore dalla fibra compressa estrema	d's	200,00	mm	
<i>Verifica secondo NTC08 - Stato di deformazione imposto</i>				
<b>Deformazione nel calcestruzzo</b>	<b>εc</b>	<b>-3,500</b>	<b>%</b>	
<b>Deformazione nell'armatura lenta inferiore</b>	<b>εs</b>	<b>5,968</b>	<b>%</b>	
Posizione dell'asse neutro	yn	203,31	mm	
Altezza dello stress block	0,8 yn	162,64	mm	
Deformazione nell'armatura lenta superiore	ε's	-0,06	%	
Deformazione nell'armatura di precompressione superiore	ε'p1	-0,06	%	
Deformazione nell'armatura di precompressione inferiore	ε'p1	5,624	%	
Tensione nell'armatura di precompressione a cadute esaurite	σp,predef.	1103,39	N/mm2	
Predeformazione nell'armatura di precompressione	ε'p0	5,517	%	
Deformazione totale nell'armatura di precompressione superiore	ε'p,tot	5,460	%	
<b>Deformazione totale nell'armatura di precompressione inferiore</b>	<b>ε'p,tot</b>	<b>11,141</b>	<b>%</b>	
Deformazione allo snervamento dell'armatura lenta	εsd	1,957	%	
Deformazione ultima dell'armatura lenta	εsu	<input type="text" value="67,500"/>	<b>%</b>	
Deformazione allo snervamento dell'armatura di precompressione	εpd	7,261	%	
Deformazione ultima dell'armatura di precompressione	εpu	<input type="text" value="31,500"/>	<b>%</b>	
<i>Cavo snervato</i>				
Componente di sollecitazione nella soletta	Cs	-2963,10	kN	
Braccio di Cs rispetto all'intradosso trave	zs	525,00	mm	
Componente di sollecitazione nella flangia	Cf	0,00	kN	
Braccio di Cf rispetto all'intradosso trave	zf	450,00	mm	
Componente di sollecitazione nell'anima	Cw	-76,01	kN	
Braccio di Cw rispetto all'intradosso trave	zw	443,68	mm	
Tensione nell'armatura lenta superiore	σ's	-11,38	N/mm2	
Tensione nell'armatura lenta inferiore	σs	391,30	N/mm2	
Tensione nell'armatura di precompressione inferiore	σp	1452,17	N/mm2	
Tensione nei trefoli inf. compatibile con l'ancoraggio	σp,eff	1452,17	N/mm2	

Tensione nell'armatura di precompressione superiore	$\sigma'p$	1092,00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione nei trefoli sup. compatibile con l'ancoraggio	$\sigma'p,eff$	1092,00	N/mm <sup>2</sup>
Componente di sollecitazione nell'armatura lenta superiore	F's	0,00	kN
Componente di sollecitazione nell'armatura lenta inferiore	Fs	0,00	kN
Componente di sollecitazione nell'armatura di precompressione inferiore	Fp	2825,93	kN
Componente di sollecitazione nell'armatura di precompressione superiore	F'p	203,11	kN
<b>Equilibrio alla traslazione</b>	<b>C+F=0</b>	<b>-10,06</b>	<b>kN</b>
<b>Momento resistente della sezione</b>	<b>Mrd</b>	<b>1310,29</b>	<b>KNm</b>
<b>Momento sollecitante traslato</b>	<b>Msd</b>	<b>1027,16</b>	<b>kNm</b>
<b>Fattore di sicurezza</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>0,78</b>	<b>&lt;1</b>

**Sezione all' appoggio**

**Sezione a** **0,1 m** **dalla testata della trave**

Coefficiente moltiplicativo della lunghezza di trasmissione	$\beta$	65	
Lunghezza di trasmissione	Lpt	988	mm
Lunghezza di ancoraggio allo SLU	Lbpd	1694,8	mm
La sezione si considera		non precompressa	
Distanza baricentro trefoli inferiori da intradosso trave	yp	70,00	mm
Distanza baricentro armatura lenta inferiore da intradosso trave	ys	50,00	mm
<b>Baricentro equivalente dei due tipi di armatura da intrad. trave</b>	<b>ys,eq</b>	<b>67,92</b>	<b>mm</b>
Braccio della coppia interna - sezione solo trave	z=0,9d	343,87	mm
Braccio della coppia interna - sezione composta	z'=0,9d	478,87	mm
Momento allo SLU	Msd	0,00	kNm
Taglio allo SLU			
Riduzione del taglio per elementi ad altezza variabile		NO	
Inclinazione del lembo superiore della trave	$\beta$	0 °	
	tg $\beta$	0,0000	
per inclinazione della trave Vh=-M/z tg $\beta$	Vh	0,00	kN
taglio cond. di carico I (peso trave + peso soletta + perm. solo trave)	Vsdg	71,12	kN
taglio cond. di carico II (permanenti + variabili)	Vsdq	462,38	kN
taglio totale	Vsd	533,50	kN
taglio totale ridotto	Vsd,r	533,50	kN
<i>Traslazione del diagramma del momento flettente</i>			
Cotangente di $\theta$ imposta	cot $\theta$	1,50	
Lunghezza di traslazione - sezione solo trave	a1	0,258	m
Lunghezza di traslazione - sezione composta	a'1	0,359	m
<b>Momento totale allo SLU traslato</b>	<b>Msd(V)</b>	<b>191,61</b>	<b>kNm</b>

**Verifica a flessione allo SLU**

<i>Resistenze di calcolo per gli SLU</i>			
Calcestruzzo in compressione	fcd	27,32	N/mm2
Acciaio ordinario	fyd	391,30	N/mm2
Acciaio di precompressione	fpy	1452,17	N/mm2
	fpu	1617,39	N/mm2
	fpy/fpu	0,90	
<i>Armatura lenta inferiore</i>			
Trascurare il contributo dell'armatura lenta inferiore		NO	
Area dell'armatura lenta inferiore	As	678,24	mm2
Armatura tesa minima di normativa	As,min	126,09	mm2
Distanza dell'armatura da intradosso trave	ys	50,00	mm
<i>Armatura lenta superiore</i>			
Trascurare il contributo dell'armatura lenta superiore		NO	
Area dell'armatura lenta superiore	A's	226,08	mm2
Distanza dell'armatura da estradosso trave	h-y's	50,00	mm
<i>Armatura di precompressione</i>			
Area dei trefoli inferiori	Ap,inf	1390,00	mm2
Distanza baricentro trefoli inferiori da intradosso trave	yp,inf	70,00	mm
Area dei trefoli superiori	Ap,sup	186,00	mm2
Distanza baricentro trefoli superiori da intradosso trave	yp,sup	400,00	mm
Area dell'armatura di precompressione	Aps	1576,00	mm2
Distanza del cavo risultante da intradosso trave	yp	108,95	mm
<i>Caratteristiche geometriche trave + soletta</i>			
Altezza della trave	h	450	mm
Larghezza dell'anima della trave	bw	220,00	mm
Larghezza della flangia della trave	b	220,00	mm
Larghezza della soletta omogeneizzata	bs	723,02	mm
Altezza della flangia della trave	hf	0,00	mm
Altezza della soletta	hs	150,00	mm
Distanza dei trefoli inferiori dalla fibra compressa estrema	dp	530,00	mm
Distanza dei trefoli superiori dalla fibra compressa estrema	d'p	200,00	mm
Distanza dell'armatura lenta inferiore dalla fibra compressa estrema	ds	550,00	mm
Distanza dell'armatura lenta superiore dalla fibra compressa estrema	d's	200,00	mm

*Verifica secondo NTC08 - Stato di deformazione imposto*

<b>Deformazione nel calcestruzzo</b>	$\epsilon_c$	-1,931	%
<b>Deformazione nell'armatura lenta inferiore</b>	$\epsilon_s$	32,400	%
Posizione dell'asse neutro	yn	30,94	mm

Altezza dello stress block	0,8 yn	24,75	mm
Deformazione nell'armatura lenta superiore	ε's	10,55	‰
Deformazione nell'armatura di precompressione superiore	ε'p1	10,55	‰
Deformazione nell'armatura di precompressione inferiore	εp1	31,152	‰
Tensione nell'armatura di precompressione a cadute esaurite	σp,predef.	52,57	N/mm2
Predeformazione nell'armatura di precompressione	εp0	0,263	‰
Deformazione totale nell'armatura di precompressione superiore	ε'p,tot	10,816	‰
<b>Deformazione totale nell'armatura di precompressione inferiore</b>	<b>εp,tot</b>	<b>31,414</b>	<b>‰</b>
Deformazione allo snervamento dell'armatura lenta	εsd	1,957	‰
Deformazione ultima dell'armatura lenta	εsu	67,500	‰
Deformazione allo snervamento dell'armatura di precompressione	εpd	7,261	‰
Deformazione ultima dell'armatura di precompressione	εpu	31,500	‰
<b>Cavo snervato</b>			
Componente di sollecitazione nella soletta	Cs	-488,90	kN
Braccio di Cs rispetto all'intradosso trave	zs	587,63	mm
Componente di sollecitazione nella flangia	Cf	0,00	kN
Braccio di Cf rispetto all'intradosso trave	zf	512,63	mm
Componente di sollecitazione nell'anima	Cw	0,00	kN
Braccio di Cw rispetto all'intradosso trave	zw	512,63	mm
Tensione nell'armatura lenta superiore	σ's	391,30	N/mm2
Tensione nell'armatura lenta inferiore	σs	391,30	N/mm2
Tensione nell'armatura di precompressione inferiore	σp	1452,17	N/mm2
Tensione nei trefoli inf. compatibile con l'ancoraggio	σp,eff	85,68	N/mm2
Tensione nell'armatura di precompressione superiore	σ'p	1452,17	N/mm2
Tensione nei trefoli sup. compatibile con l'ancoraggio	σ'p,eff	85,68	N/mm2
Componente di sollecitazione nell'armatura lenta superiore	F's	88,47	kN
Componente di sollecitazione nell'armatura lenta inferiore	Fs	265,40	kN
Componente di sollecitazione nell'armatura di precompressione inferiore	Fp	119,10	kN
Componente di sollecitazione nell'armatura di precompressione superiore	F'p	15,94	kN
<b>Equilibrio alla traslazione</b>	<b>C+F=0</b>	<b>0,00</b>	<b>kN</b>
<b>Momento resistente della sezione</b>	<b>Mrd</b>	<b>223,92</b>	<b>KNm</b>
<b>Momento sollecitante traslato</b>	<b>Msd</b>	<b>191,61</b>	<b>kNm</b>
<b>Fattore di sicurezza</b>	<b>α</b>	<b>0,86</b>	<b>&lt;1</b>

**Verifica a taglio - Elementi con armature trasversali resistenti a taglio**

Larghezza anima	bw	220	mm
Diametro delle staffe	Φsw	12	mm
Numero di braccia	nb	2	
Passo delle staffe	s	10	cm
Zona di appoggio o in prossimità di carichi concentrati		SI	
Diametro minimo dell'armatura longitudinale	Φl,min	14	mm
Passo massimo delle staffe	s,max	16,8	cm
Tensione media di compressione	σcp	0,00	N/mm2
Resistenza a compressione del calcestruzzo	fcd	27,32	N/mm2
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	f'cd	13,66	N/mm2
Coefficiente maggiorativo per precompressione calcolato	αc	1,00	
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	Asw	226,08	mm2
	Asw / s	2,261	mm2/mm
Area minima dell'armatura a taglio con il passo imposto	Asw,min	33	mm2
Cotangente di θ calcolata	cotθ	1,55	
Cotangente di θ (1<cotθ<2,5)	cotθ	1,55	
<b>Cotangente di θ imposta</b>	<b>cotθ</b>	<b>1,50</b>	
Trascurare resistenza a taglio della sezione non armata trasversalmente		SI	

*Verifica al getto della soletta*

Altezza trave	h	450,00	mm
Baricentro equivalente delle armature inferiori da intradosso trave	ys,eq	67,92	mm
Braccio della coppia interna - sezione solo trave	z	343,87	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)	Vrsd	456,31	kN
Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)	Vrzd	476,98	kN
Taglio sollecitante cond. di carico I	Vsdg	71,12	kN
Taglio sollecitante ridotto cond. di carico I	Vsdg,r	71,12	kN
Resistenza a taglio della sezione non armata trasversalmente	Vrd,c	0,0	kN
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	Vrd,s	456,3	kN
Resistenza massima a taglio della trave	Vrd,max	516,7	kN
<b>Resistenza a taglio della sezione</b>	<b>Vrd</b>	<b>456,3</b>	<b>kN</b>
<b>Fattore di sicurezza</b>	<b>α</b>	<b>0,16</b>	

Verifica in esercizio

Altezza trave + soletta	h+hs	600,00	mm
Baricentro equivalente delle armature inferiori da intradosso trave	ys,eq	67,92	mm
Braccio della coppia interna - sezione composta	z'	478,87	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)	Vrsd	635,46	kN
Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)	Vrcd	664,24	kN
Taglio sollecitante totale	Vsd	533,5	kN
Taglio sollecitante totale ridotto	Vsd,r	533,5	kN
Resistenza a taglio della sezione non armata trasversalmente	Vrd,c	0,0	kN
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	Vrd,s	635,5	kN
Resistenza massima a taglio della trave	Vrd,max	719,6	kN
<b>Resistenza a taglio della sezione</b>	<b>Vrd</b>	<b>635,5</b>	<b>kN</b>
<b>Fattore di sicurezza</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>0,84</b>	

Azione tagliante nell'interfaccia tra calcestruzzi gettati in tempi diversi

Larghezza dell'interfaccia	bi	1100	mm
Momento d'inerzia della sezione composta	Ji	1,85E+10	mm <sup>4</sup>
Momento statico della soletta rispetto all'asse neutro della sezione composta	S*	3,75E+07	mm <sup>4</sup>
Taglio di seconda fase	Vsdq	462,38	kN
<b>Tensione tangenziale all'interfaccia</b>	<b>ved</b>	<b>0,851</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
Tipo di superficie all'interfaccia		scabra	
Presenza di fatica o carichi dinamici		NO	
Fattore di scabrezza c	c	0,45	
Resistenza di progetto a trazione del cls in opera	fctd	1,32	N/mm <sup>3</sup>
Fattore di scabrezza $\mu$	$\mu$	0,7	
Diametro staffe emergenti	$\Phi_{sw}$	12	mm
Numero di braccia	nb	2	
Passo delle staffe	s	10	cm
Area di armatura che attraversa l'interfaccia	As	226,08	mm <sup>2</sup>
Area del giunto	Ai	110000	mm <sup>2</sup>
Percentuale di armatura che attraversa l'interfaccia	$\rho = A_s/A_i$	0,002055	
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f <sub>yd</sub>	391,30	N/mm <sup>2</sup>
<b>Resistenza di progetto a taglio all'interfaccia</b>	<b>vrd</b>	<b>1,158</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Fattore di sicurezza</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>0,73</b>	

Verifica delle tensioni di spalling

Tensione nell'acciaio di precompressione (al rilascio)	$\sigma_{po}$	1326,48	N/mm <sup>2</sup>
Area dell'armatura pretesa	A <sub>p</sub>	1576	mm <sup>2</sup>
Larghezza dell'anima della sezione	b <sub>w</sub>	220	mm
Eccentricità del cavo risultante dal baricentro	e <sub>p</sub>	25,02	mm
Estremo inferiore del nocciolo d'inerzia	w <sub>i</sub>	42,28	mm
Altezza della trave	h	450	mm
Rapporto di eccentricità (e <sub>p</sub> -w <sub>i</sub> )/h	a <sub>e</sub>	0,000	
Limite inferiore della lunghezza di trasmissione per aderenza	L <sub>pt1</sub> = 0,8*L <sub>pt</sub>	790,4	mm
<b>Tensione di spalling</b>	<b><math>\sigma_{sp}</math></b>	<b>1,42</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Limite tensione di spalling</b>	<b>f<sub>ctkj</sub></b>	<b>2,17</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
<i>Armatura per effetti di spalling</i>			
<b>Area di armatura per spalling necessaria (tasso di lavoro di 160 N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>s,sl min</sub></b>	<b>4,61</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
Diametro dei ferri per spalling	$\Phi$	0	
Numero dei ferri per spalling	n	4	
Area di armatura verticale per spalling	A <sub>s,sl</sub>	0,00	cm <sup>2</sup>

Rientro trefoli in testata

Limite superiore della lunghezza di trasmissione per aderenza	L <sub>pt2</sub> = 1,2*L <sub>pt</sub>	118,56	cm
Tensione di precompressione nell'armatura subito dopo il rilascio	$\sigma_{po}$	1326,48	N/mm <sup>2</sup>
<b>Rientro medio</b>	<b><math>\Delta L_o</math></b>	<b>3,1</b>	<b>mm</b>
<b>Rientro max</b>	<b>1,3*<math>\Delta L_o</math></b>	<b>4,1</b>	<b>mm</b>

Sezione a fine getto in opera

Sezione a 1,5 m dalla testata della trave

Coefficiente moltiplicativo della lunghezza di trasmissione	$\beta$	65	
Lunghezza di trasmissione	Lpt	988	mm
Lunghezza di ancoraggio allo SLU	Lbpd	1694,8	mm
La sezione si considera			precompressa
Distanza baricentro trefoli inferiori da intradosso trave	yp	70,00	mm
Distanza baricentro armatura lenta inferiore da intradosso trave	ys	50,00	mm
<b>Baricentro equivalente dei due tipi di armatura da intrad. trave</b>	<b>ys,eq</b>	<b>70,00</b>	<b>mm</b>
Braccio della coppia interna - sezione solo trave	z=0,9d	342,00	mm
Braccio della coppia interna - sezione composta	z'=0,9d	477,00	mm
Momento allo SLU	Msd	568,72	kNm
Taglio allo SLU			
Riduzione del taglio per elementi ad altezza variabile		<input type="text" value="NO"/>	
Inclinazione del lembo superiore della trave	$\beta$	<input type="text" value="0"/>	°
	tg $\beta$	0,0000	
per inclinazione della trave Vh=-M/z tg $\beta$	Vh	0,00	kN
taglio cond. di carico I (peso trave + peso soletta + perm. solo trave)	Vsdq	51,60	kN
taglio cond. di carico II (permanenti + variabili)	Vsdq	216,00	kN
taglio totale	Vsd	267,60	kN
taglio totale ridotto	Vsd,r	267,60	kN
<i>Traslazione del diagramma del momento flettente</i>			
Cotangente di $\theta$ imposta	cot $\theta$	<input type="text" value="1,50"/>	
Lunghezza di traslazione - sezione solo trave	a'l	0,257	m
Lunghezza di traslazione - sezione composta	a'l	0,358	m
<b>Momento totale allo SLU traslato</b>	<b>Msd(V)</b>	<b>664,45</b>	<b>kNm</b>

**Verifica a flessione allo SLU**

<i>Resistenze di calcolo per gli SLU</i>			
Calcestruzzo in compressione	fcd	27,32	N/mm2
Acciaio ordinario	fyd	391,30	N/mm2
Acciaio di precompressione	fpy	1452,17	N/mm2
	fpu	1617,39	N/mm2
	fpy/fpu	0,90	
<i>Armatura lenta inferiore</i>			
Trascurare il contributo dell'armatura lenta inferiore		<input type="text" value="SI"/>	
Area dell'armatura lenta inferiore	As	0,00	mm2
Armatura tesa minima di normativa	As,min	125,40	mm2
Distanza dell'armatura da intradosso trave	ys	50,00	mm
<i>Armatura lenta superiore</i>			
Trascurare il contributo dell'armatura lenta superiore		<input type="text" value="SI"/>	
Area dell'armatura lenta superiore	A's	0,00	mm2
Distanza dell'armatura da estradosso trave	h-y's	50,00	mm
<i>Armatura di precompressione</i>			
Area dei trefoli inferiori	Ap,inf	1946,00	mm2
Distanza baricentro trefoli inferiori da intradosso trave	yp,inf	70,00	mm
Area dei trefoli superiori	Ap,sup	186,00	mm2
Distanza baricentro trefoli superiori da intradosso trave	yp,sup	400,00	mm
Area dell'armatura di precompressione	Aps	2132,00	mm2
Distanza del cavo risultante da intradosso trave	yp	98,79	mm
<i>Caratteristiche geometriche trave + soletta</i>			
Altezza della trave	h	450	mm
Larghezza dell'anima della trave	bw	220,00	mm
Larghezza della flangia della trave	b	220,00	mm
Larghezza della soletta omogeneizzata	bs	723,02	mm
Altezza della flangia della trave	hf	0,00	mm
Altezza della soletta	hs	150,00	mm
Distanza dei trefoli inferiori dalla fibra compressa estrema	dp	530,00	mm
Distanza dei trefoli superiori dalla fibra compressa estrema	d'p	200,00	mm
Distanza dell'armatura lenta inferiore dalla fibra compressa estrema	ds	550,00	mm
Distanza dell'armatura lenta superiore dalla fibra compressa estrema	d's	200,00	mm

*Verifica secondo NTC08 - Stato di deformazione imposto*

<b>Deformazione nel calcestruzzo</b>	$\epsilon_c$	<input type="text" value="-3,500"/>	%
<b>Deformazione nell'armatura lenta inferiore</b>	$\epsilon_s$	<input type="text" value="7,663"/>	%
Posizione dell'asse neutro	yn	172,44	mm
Altezza dello stress block	0,8 yn	137,95	mm
Deformazione nell'armatura lenta superiore	$\epsilon'_s$	0,56	%
Deformazione nell'armatura di precompressione superiore	$\epsilon'_{p1}$	0,56	%



Deformazione nell'armatura di precompressione inferiore	$\epsilon_{p1}$	7,258	%
Tensione nell'armatura di precompressione a cadute esaurite	$\sigma_{p,predef.}$	1092,09	N/mm <sup>2</sup>
Predeformazione nell'armatura di precompressione	$\epsilon_{p0}$	5,460	%
Deformazione totale nell'armatura di precompressione superiore	$\epsilon'_{p,tot}$	6,020	%
<b>Deformazione totale nell'armatura di precompressione inferiore</b>	<b><math>\epsilon_{p,tot}</math></b>	<b>12,718</b>	<b>%</b>
Deformazione allo snervamento dell'armatura lenta	$\epsilon_{sd}$	1,957	%
Deformazione ultima dell'armatura lenta	$\epsilon_{su}$	67,500	%
Deformazione allo snervamento dell'armatura di precompressione	$\epsilon_{pd}$	7,261	%
Deformazione ultima dell'armatura di precompressione	$\epsilon_{pu}$	31,500	%
<b>Cavo snervato</b>			
Componente di sollecitazione nella soletta	$C_s$	-2725,06	kN
Braccio di $C_s$ rispetto all'intradosso trave	$z_s$	531,03	mm
Componente di sollecitazione nella flangia	$C_f$	0,00	kN
Braccio di $C_f$ rispetto all'intradosso trave	$z_f$	456,03	mm
Componente di sollecitazione nell'anima	$C_w$	0,00	kN
Braccio di $C_w$ rispetto all'intradosso trave	$z_w$	456,03	mm
Tensione nell'armatura lenta superiore	$\sigma'_s$	111,89	N/mm <sup>2</sup>
Tensione nell'armatura lenta inferiore	$\sigma_s$	391,30	N/mm <sup>2</sup>
Tensione nell'armatura di precompressione inferiore	$\sigma_p$	1452,17	N/mm <sup>2</sup>
Tensione nei trefoli inf. compatibile con l'ancoraggio	$\sigma_{p,eff}$	1285,26	N/mm <sup>2</sup>
Tensione nell'armatura di precompressione superiore	$\sigma'_p$	1203,98	N/mm <sup>2</sup>
Tensione nei trefoli sup. compatibile con l'ancoraggio	$\sigma'_{p,eff}$	1203,98	N/mm <sup>2</sup>
Componente di sollecitazione nell'armatura lenta superiore	$F'_s$	0,00	kN
Componente di sollecitazione nell'armatura lenta inferiore	$F_s$	0,00	kN
Componente di sollecitazione nell'armatura di precompressione inferiore	$F_p$	2501,12	kN
Componente di sollecitazione nell'armatura di precompressione superiore	$F'_p$	223,94	kN
<b>Equilibrio alla traslazione</b>	<b><math>C+F=0</math></b>	<b>0,00</b>	<b>kN</b>
<b>Momento resistente della sezione</b>	<b>Mrd</b>	<b>1182,42</b>	<b>kNm</b>
<b>Momento sollecitante traslato</b>	<b>Msd</b>	<b>664,45</b>	<b>kNm</b>
<b>Fattore di sicurezza</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>0,56</b>	<b>&lt;1</b>

**Verifica a taglio - Elementi con armature trasversali resistenti a taglio**

Larghezza anima	$b_w$	220	mm
Diametro delle staffe	$\Phi_{sw}$	10	mm
Numero di braccia	$n_b$	2	
Passo delle staffe	$s$	10	cm
Zona di appoggio o in prossimità di carichi concentrati	$\Phi_{l,min}$	NO	
Diametro minimo dell'armatura longitudinale	$\Phi_{l,min}$	14	mm
Passo massimo delle staffe	$s_{,max}$	33,3	cm
Tensione media di compressione	$\sigma_{cp}$	9,35	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione del calcestruzzo	$f_{cd}$	27,32	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	$f'_{cd}$	13,66	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente maggiorativo per precompressione calcolato	$\alpha_c$	1,25	
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	<u><math>s_t \cdot f_{i10/20} + r_{ete} f_{i10/20}</math></u>	$A_{sw}$	157 mm <sup>2</sup>
		$A_{sw} / s$	1,570 mm <sup>2</sup> /mm
Area minima dell'armatura a taglio con il passo imposto		$A_{sw,min}$	33 mm <sup>2</sup>
Cotangente di $\theta$ calcolata	$\cot\theta$	2,26	
Cotangente di $\theta$ ( $1 < \cot\theta < 2,5$ )	$\cot\theta$	2,26	
<b>Cotangente di <math>\theta</math> imposta</b>	<b><math>\cot\theta</math></b>	<b>1,50</b>	
Trascurare resistenza a taglio della sezione non armata trasversalmente		SI	

*Verifica al getto della soletta*

Altezza trave	$h$	450,00	mm
Baricentro equivalente delle armature inferiori da intradosso trave	$y_{s,eq}$	70,00	mm
Braccio della coppia interna - sezione solo trave	$z$	342,00	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)	$V_{r,sd}$	315,16	kN
Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)	$V_{r,cd}$	592,98	kN
Taglio sollecitante cond. di carico I	$V_{sdg}$	51,60	kN
Taglio sollecitante ridotto cond. di carico I	$V_{sdg,r}$	51,60	kN
Resistenza a taglio della sezione non armata trasversalmente	$V_{r,d,c}$	0,0	kN
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	$V_{r,d,s}$	315,2	kN
Resistenza massima a taglio della trave	$V_{r,max}$	513,9	kN
<b>Resistenza a taglio della sezione</b>	<b>Vrd</b>	<b>315,2</b>	<b>kN</b>
<b>Fattore di sicurezza</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>0,16</b>	

*Verifica in esercizio*

Altezza trave + soletta	$h+h_s$	600,00	mm
Baricentro equivalente delle armature inferiori da intradosso trave	$y_{s,eq}$	70,00	mm

Braccio della coppia interna - sezione composta	z'	477,00	mm
Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)	V <sub>rsd</sub>	439,57	kN
Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)	V <sub>rcd</sub>	827,05	kN
Taglio sollecitante totale	V <sub>sd</sub>	267,6	kN
Taglio sollecitante totale ridotto	V <sub>sd,r</sub>	267,6	kN
Resistenza a taglio della sezione non armata trasversalmente	V <sub>rd,c</sub>	0,0	kN
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V <sub>rd,s</sub>	439,6	kN
Resistenza massima a taglio della trave	V <sub>rd,max</sub>	716,8	kN
<b>Resistenza a taglio della sezione</b>	<b>V<sub>rd</sub></b>	<b>439,6</b>	<b>kN</b>
<b>Fattore di sicurezza</b>	<b>α</b>	<b>0,61</b>	

**Azione tagliante nell'interfaccia tra calcestruzzi gettati in tempi diversi**

Larghezza dell'interfaccia	b <sub>i</sub>	220	mm
Momento d'inerzia della sezione composta	J <sub>i</sub>	1,87E+10	mm <sup>4</sup>
Momento statico della soletta rispetto all'asse neutro della sezione composta	S*	3,75E+07	mm <sup>4</sup>
Taglio di seconda fase	V <sub>sdq</sub>	216,00	kN
<b>Tensione tangenziale all'interfaccia</b>	<b>ved</b>	<b>1,969</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
Tipo di superficie all'interfaccia	scabra		
Presenza di fatica o carichi dinamici	NO		
Fattore di scabrezza c	c	0,45	
Resistenza di progetto a trazione del cls in opera	f <sub>ctd</sub>	1,32	N/mm <sup>2</sup>
Fattore di scabrezza μ	μ	0,7	
Diametro staffe emergenti	Φ <sub>sw</sub>	10	mm
Numero di braccia	n <sub>b</sub>	2	
Passo delle staffe	s	10	cm
Area di armatura che attraversa l'interfaccia	A <sub>s</sub>	157	mm <sup>2</sup>
Area del giunto	A <sub>i</sub>	22000	mm <sup>2</sup>
Percentuale di armatura che attraversa l'interfaccia	ρ = A <sub>s</sub> /A <sub>i</sub>	0,007136	
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f <sub>yd</sub>	391,30	N/mm <sup>2</sup>
<b>Resistenza di progetto a taglio all'interfaccia</b>	<b>v<sub>rd</sub></b>	<b>2,550</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Fattore di sicurezza</b>	<b>α</b>	<b>0,77</b>	

11.2 Verifica sezione S4

In seguito si riporta la verifica allo SLU, la verifica a taglio e le verifiche di fessurazione della sezione 4

**Titolo :** SEZIONE 4

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	80

N°	As [cm²]	d [cm]
1	42,47	5
2	42,47	75

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>xEd</sub>  kNm  
 M<sub>yEd</sub>  kNm

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN   
 yN

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

**Materiali**

$\epsilon_{su}$ <input type="text" value="67,5"/> ‰	$\epsilon_{c2}$ <input type="text" value="2"/> ‰
$f_{yd}$ <input type="text" value="391,3"/> N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ <input type="text" value="3,5"/> ‰
$E_s$ <input type="text" value="200.000"/> N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ <input type="text" value="17"/> ‰
$E_s/E_c$ <input type="text" value="15"/>	$f_{cc}/f_{cd}$ <input type="text" value="0,8"/> ?
$\epsilon_{syd}$ <input type="text" value="1,957"/> ‰	$\sigma_{c,adm}$ <input type="text" value="11,5"/>
$\sigma_{s,adm}$ <input type="text" value="255"/> N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ <input type="text" value="0,6933"/>
	$\tau_{c1}$ <input type="text" value="2,029"/>

**Lato calcestruzzo - Acciaio snervato**  
 Tipo rottura

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 $\delta$

**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
 L<sub>0</sub>  cm **Col. modello**  
 Precompresso

La verifica risulta soddisfatta utilizzando 1 $\bar{\bar{2}}$ 26 /12.5 superiormente e inferiormente

<b>SEZIONE RETTANGOLARE</b>			
<b>Verifica a taglio</b>			
<b>Elementi con armature trasversali resistenti a taglio</b>			
larghezza sezione	$b_w$	[mm]	1000
altezza sezione	$h$	[mm]	800
altezza utile sezione	$d$	[mm]	750
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		5
diámetro armature trasversali	$\emptyset$	[mm]	12
interasse armature trasversali	$s$	[mm]	300
area dell'armatura trasversale	$A_{sw}$	[mm <sup>2</sup> ]	565
resistenza di progetto	$f_{y,d}$	[MPa]	391
resistenza a compressione del cls	$f_{cd}$	[MPa]	14,1
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	$\alpha$	[DEG]	90
	$\cot \theta$		1,0
angolo di inclinazione puntone compresso rispetto asse trave	$\theta$	[DEG]	45
tensione di compressione calcestruzzo	$\sigma_{cp}$	[MPa]	0,00
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	$\alpha_c$		1,00
resistenza a taglio trazione	$V_{Rsd}$	[kN]	498
resistenza a compressione del cls ridotta	$f_{cd}'$	[MPa]	7,1
resistenza a taglio compressione	$V_{Rcd}$	[kN]	2381
resistenza a taglio	$V_{Rd}$	[kN]	<b>498</b>
sforzo di taglio massimo	$V_{Ed}$	[kN]	<b>442</b>
			<b>verificato</b>

<b>VERIFICHE A FESSURAZIONE</b>		
<b>Elemento strutturale: SEZIONE 4</b>	<b>combo: SLE-F</b>	
<b><i>Stato limite di apertura delle fessure</i></b>		
<b><i>Sollecitazioni di verifica</i></b>		
$N_{Ed}$ = sforzo normale	0,0	[kN]
$M_{Ed}$ = momento flettente	442,0	[kNm]
<b><i>Calcolo della distanza massima tra le fessure</i></b>		
$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	334	[mm]
c = copriferro	50	[mm]
s = interasse barre tese	125	[mm]
$\phi$ = diametro della barra	26	[mm]
$k_1$ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0,8	
$k_2$ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0,5	
$k_3$ =	3,4	
$k_4$ =	0,425	
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0,0270	
$A_s$ = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	4247	[mm <sup>2</sup> ]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	157500	[mm <sup>2</sup> ]
b =	1000	[mm]
$h_{c,eff}$ =	158	[mm]
<b><i>Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura</i></b>		
$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff})/\rho_{eff}]/E_s$ ( $\geq 0.6 \sigma_s/E_s$ )	0,00045	
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0,00045	
$\sigma_s$ = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	155,9	[MPa]
$f_{ctm}$ = resistenza media a trazione	2,83	[MPa]
$E_s$ = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000	[MPa]
$E_{cm}$ = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	32588	[MPa]
$\alpha_e$ = rapporto $E_s/E_{cm}$	6,3	
$k_t$ = coefficiente di sollecitazione	0,6	
<b><i>Verifica dell'apertura delle fessure</i></b>		
$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0,15	[mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.3	[mm]
		<b>verificato</b>

<b>VERIFICHE A FESSURAZIONE</b>		
<b>Elemento strutturale: SEZIONE 4</b>		<b>combo: SLE-QP</b>
<b>Stato limite di apertura delle fessure</b>		
<b>Sollecitazioni di verifica</b>		
$N_{Ed}$ = sforzo normale		0,0 [kN]
$M_{Ed}$ = momento flettente		240,0 [kNm]
<b>Calcolo della distanza massima tra le fessure</b>		
$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure		334 [mm]
c = copriferro		50 [mm]
s = interasse barre tese		125 [mm]
$\phi$ = diametro della barra		26 [mm]
$k_1$ = coefficiente di aderenza del cls alla barra		0,8
$k_2$ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni		0,5
$k_3$ =		3,4
$k_4$ =		0,425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$		0,0270
$A_s$ = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$		4247 [mm <sup>2</sup> ]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$		157500 [mm <sup>2</sup> ]
b =		1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =		158 [mm]
<b>Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura</b>		
$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff})/\rho_{eff}]/E_s$ ( $\geq 0.6 \sigma_s/E_s$ )		0,00025
$0.6 \sigma_s / E_s =$		0,00025
$\sigma_s$ = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata		84,6 [MPa]
$f_{ctm}$ = resistenza media a trazione		2,83 [MPa]
$E_s$ = modulo di elasticità normale dell'acciaio		206000 [MPa]
$E_{cm}$ = modulo di elasticità normale del calcestruzzo		32588 [MPa]
$\alpha_e =$ rapporto $E_s/E_{cm}$		6,3
$k_t$ = coefficiente di sollecitazione		0,6
<b>Verifica dell'apertura delle fessure</b>		
$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure		<b>0,08</b> [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure		<b>0.2</b> [mm]
		<b>verificato</b>

11.3 Verifica sezione S5

In seguito si riporta la verifica allo SLU, le verifiche di fessurazione della sezione 5

**Titolo:** SEZIONE 5

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	80

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26,55	5
2	26,55	75

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

**Materiali**  
 B450C  C30/37

$\epsilon_{su}$ 67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 391,3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰
$E_s$ 200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 17
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0,8
$\epsilon_{syd}$ 1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 11,5
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0,6933
	$\tau_{c1}$ 2,029

**M** xRd -747,8 kN m

$\sigma_c$  -17 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$  391,3 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_c$  3,5 ‰

$\epsilon_s$  42,11 ‰

d 75 cm

x 5,756 x/d 0,07675

$\delta$  0,7

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

La verifica risulta soddisfatta utilizzando 12/26 /20 superiormente e inferiormente

<b>VERIFICHE A FESSURAZIONE</b>		
<b>Elemento strutturale: SEZIONE 5</b>		<b>combo: SLE-F</b>
<b><i>Stato limite di apertura delle fessure</i></b>		
<b><i>Sollecitazioni di verifica</i></b>		
$N_{Ed}$ = sforzo normale		0,0 [kN]
$M_{Ed}$ = momento flettente		191,0 [kNm]
<b><i>Calcolo della distanza massima tra le fessure</i></b>		
$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure		432 [mm]
c = copriferro		50 [mm]
s = interasse barre tese		200 [mm]
$\phi$ = diametro della barra		26 [mm]
$k_1$ = coefficiente di aderenza del cls alla barra		0,8
$k_2$ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni		0,5
$k_3$ =		3,4
$k_4$ =		0,425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$		0,0169
$A_s$ = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$		2655 [mm <sup>2</sup> ]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$		157500 [mm <sup>2</sup> ]
b =		1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =		158 [mm]
<b><i>Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura</i></b>		
$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ( $\geq 0.6 \sigma_s / E_s$ )		0,00031
$0.6 \sigma_s / E_s =$		0,00031
$\sigma_s$ = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata		106,6 [MPa]
$f_{ctm}$ = resistenza media a trazione		2,83 [MPa]
$E_s$ = modulo di elasticità normale dell'acciaio		206000 [MPa]
$E_{cm}$ = modulo di elasticità normale del calcestruzzo		32588 [MPa]
$\alpha_e$ = rapporto $E_s/E_{cm}$		6,3
$k_t$ = coefficiente di sollecitazione		0,6
<b><i>Verifica dell'apertura delle fessure</i></b>		
$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure		<b>0,13</b> [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure		<b>0.3</b> [mm]
		<b>verificato</b>



<b>VERIFICHE A FESSURAZIONE</b>		
<b>Elemento strutturale: SEZIONE 5</b>		<b>combo: SLE-QP</b>
<b>Stato limite di apertura delle fessure</b>		
<b>Sollecitazioni di verifica</b>		
$N_{Ed}$ = sforzo normale		0,0 [kN]
$M_{Ed}$ = momento flettente		95,0 [kNm]
<b>Calcolo della distanza massima tra le fessure</b>		
$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure		432 [mm]
$c$ = copriferro		50 [mm]
$s$ = interasse barre tese		200 [mm]
$\phi$ = diametro della barra		26 [mm]
$k_1$ = coefficiente di aderenza del cls alla barra		0,8
$k_2$ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni		0,5
$k_3$ =		3,4
$k_4$ =		0,425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$		0,0169
$A_s$ = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$		2655 [mm <sup>2</sup> ]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$		157500 [mm <sup>2</sup> ]
$b$ =		1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =		158 [mm]
<b>Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura</b>		
$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff})/\rho_{eff}]/E_s$ ( $\geq 0.6 \sigma_s/E_s$ )		0,00015
$0.6 \sigma_s / E_s =$		0,00015
$\sigma_s$ = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata		53,0 [MPa]
$f_{ctm}$ = resistenza media a trazione		2,83 [MPa]
$E_s$ = modulo di elasticità normale dell'acciaio		206000 [MPa]
$E_{cm}$ = modulo di elasticità normale del calcestruzzo		32588 [MPa]
$\alpha_e$ = rapporto $E_s/E_{cm}$		6,3
$k_t$ = coefficiente di sollecitazione		0,6
<b>Verifica dell'apertura delle fessure</b>		
$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure		<b>0,07</b> [mm]
$w$ = valore limite di apertura delle fessure		<b>0.2</b> [mm]
		<b>verificato</b>

11.4 Verifica sezione S7

In seguito si riporta la verifica allo SLU, la verifica a taglio e le verifiche di fessurazione della sezione 7

**Titolo:** SEZIONE 7

**N° strati barre:** 2 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	70

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26,55	5
2	26,55	65

**Tipo Sezione:**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni:**  
 S.L.U.  Metodo n

**P.to applicazione N:**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Metodo di calcolo:**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione:**  
 Retta  Deviata

**Materiali:**  
**B450C** **C30/37**  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  17  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11,5  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,6933  
 $\tau_{c1}$  2,029

**M<sub>xRd</sub>** 643,9 kN m  
 $\sigma_c$  -17 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  36,01 ‰  
d 65 cm  
x 5,758 x/d 0,08858  
 $\delta$  0,7

**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
**L<sub>0</sub>** 0 cm **Col. modello**  
 Precompresso

La verifica risulta soddisfatta utilizzando 1ϕ26 /20 superiormente e inferiormente

SEZIONE RETTANGOLARE			
Verifica a taglio			
Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio			
$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$			
larghezza sezione	$b_w$	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	700
altezza utile sezione	d	[mm]	650
armatura longitudinale	$A_{sl}$	[mm²]	2655
rapporto geometrico di armatura longitudinale	$\rho_l$		0,004
	k		1,555
	$v_{min}$	[MPa]	0,339
tensione media di compressione nella sezione	$\sigma_{cp}$	[MPa]	0,00
resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck}$	[MPa]	25
resistenza a taglio	$V_{Rd}$	[kN]	263
sforzo di taglio massimo	$V_{Ed}$	[kN]	227
			<b>verificato</b>

<b>VERIFICHE A FESSURAZIONE</b>		
<b>Elemento strutturale: SEZIONE 7</b>	<b>combo: SLE-F</b>	
<b>Stato limite di apertura delle fessure</b>		
<b>Sollecitazioni di verifica</b>		
$N_{Ed}$ = sforzo normale	0,0	[kN]
$M_{Ed}$ = momento flettente	302,0	[kNm]
<b>Calcolo della distanza massima tra le fessure</b>		
$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	432	[mm]
c = copriferro	50	[mm]
s = interasse barre tese	200	[mm]
$\phi$ = diametro della barra	26	[mm]
$k_1$ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0,8	
$k_2$ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0,5	
$k_3$ =	3,4	
$k_4$ =	0,425	
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0,0169	
$A_s$ = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	2655	[mm <sup>2</sup> ]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	157500	[mm <sup>2</sup> ]
b =	1000	[mm]
$h_{c,eff}$ =	158	[mm]
<b>Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura</b>		
$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ( $\geq 0.6 \sigma_s / E_s$ )	0,00057	
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0,00057	
$\sigma_s$ = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	196,5	[MPa]
$f_{ctm}$ = resistenza media a trazione	2,83	[MPa]
$E_s$ = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000	[MPa]
$E_{cm}$ = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	32588	[MPa]
$\alpha_e$ = rapporto $E_s/E_{cm}$	6,3	
$k_t$ = coefficiente di sollecitazione	0,6	
<b>Verifica dell'apertura delle fessure</b>		
$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0,25	[mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0,3	[mm]
		<b>verificato</b>

<b>VERIFICHE A FESSURAZIONE</b>	
<b>Elemento strutturale: SEZIONE 7</b>	<b>combo: SLE-QP</b>
<b>Stato limite di apertura delle fessure</b>	
<b>Sollecitazioni di verifica</b>	
$N_{Ed}$ = sforzo normale	0,0 [kN]
$M_{Ed}$ = momento flettente	225,0 [kNm]
<b>Calcolo della distanza massima tra le fessure</b>	
$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	432 [mm]
c = copriferro	50 [mm]
s = interasse barre tese	200 [mm]
$\phi$ = diametro della barra	26 [mm]
$k_1$ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0,8
$k_2$ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0,5
$k_3$ =	3,4
$k_4$ =	0,425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0,0169
$A_s$ = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	2655 [mm <sup>2</sup> ]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	157500 [mm <sup>2</sup> ]
b =	1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =	158 [mm]
<b>Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura</b>	
$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ( $\geq 0.6 \sigma_s / E_s$ )	0,00043
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0,00043
$\sigma_s$ = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	146,4 [MPa]
$f_{ctm}$ = resistenza media a trazione	2,83 [MPa]
$E_s$ = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
$E_{cm}$ = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	32588 [MPa]
$\alpha_e$ = rapporto $E_s / E_{cm}$	6,3
$k_t$ = coefficiente di sollecitazione	0,6
<b>Verifica dell'apertura delle fessure</b>	
$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	<b>0,18</b> [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	<b>0.2</b> [mm]
<b>verificato</b>	