

Nuova S.S.195 "Sulcitana" Tratto Cagliari - Pula  
Collegamento con la S.S.130 e aeroporto di Cagliari Elmas  
Opera Connessa Nord

**PROGETTO DEFINITIVO**

PROGETTAZIONE: RTI GPI-IRD-SAIM-HYPRO

<p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Marco Leonardi</i></p> <p>Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1541</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111 settore a-b-c</p> <p><i>Ing. Paolo Orsini</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 13817</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p> <p><i>Ing. Vincenzo Secreti</i> Ordine Ingegneri Provincia di Crotone n. 412</p>	<p>GRUPPO DI PROGETTAZIONE (Mandatario)</p> <p><b>GPI INGEGNERIA</b> GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p><b>IRD</b> IRD ENGINEERING</p> <p><b>SAIM</b> Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p> <p><b>HYpro</b> srl</p> <p>(Mandante)</p> <p>(Mandante)</p> <p>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):</p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035</p>
<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111</p>	<p>VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Michele Coghe</i></p>	<p>(Mandante)</p> <p>(Mandante)</p>

OPERE D'ARTE MAGGIORI  
PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA – CASIC RAMO B  
RELAZIONE DI CALCOLO – Impalcato

<p>CODICE PROGETTO</p> <p>PROGETTO      LIV.      ANNO</p> <p><b>DPCA0150</b>    <b>D</b>    <b>23</b></p>	<p>NOME FILE</p> <p style="text-align: center;">P00VI05STRRE01_A</p> <p>CODICE ELAB.    <b>P00VI05STRRE01</b></p>	<p>REVISIONE</p> <p style="text-align: center;"><b>A</b></p>	<p>SCALA</p> <p style="text-align: center;">-</p>
D			
C			
B			
A	Emissione	Giugno '23	Toreno
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO
			VERIFICATO
			APPROVATO

## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>DESCRIZIONE OPERA.....</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>MATERIALI.....</b>	<b>8</b>
<b>5.</b>	<b>CRITERI DI CALCOLO E VERIFICA.....</b>	<b>10</b>
<b>6.</b>	<b>ANALISI STRUTTURALE E FASI DI CALCOLO.....</b>	<b>12</b>
6.1.	FASI DI CALCOLO.....	12
6.2.	PROGRAMMA DI CALCOLO.....	12
<b>7.</b>	<b>CARICHI DI PROGETTO.....</b>	<b>14</b>
7.1.	ELENCO DELLE CONDIZIONI ELEMENTARI DI CARICO.....	14
7.2.	CRITERI PER LA VALUTAZIONE DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA.....	14
7.2.1.	<i>Carichi permanenti.....</i>	<i>14</i>
7.2.2.	<i>Ritiro e viscosità del calcestruzzo.....</i>	<i>14</i>
7.2.3.	<i>Azioni dei carichi variabili.....</i>	<i>14</i>
7.2.4.	<i>Effetto dinamico dei carichi mobili.....</i>	<i>14</i>
7.2.5.	<i>Ritiro e viscosità del calcestruzzo.....</i>	<i>14</i>
7.2.6.	<i>Azioni del vento.....</i>	<i>15</i>
<b>8.</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI.....</b>	<b>15</b>
8.1.	PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA (G1).....	15
8.2.	CARICHI PERMANENTI PORTATI (G2).....	15
8.3.	EFFETTO DEL RITIRO DEL CALCESTRUZZO ( $\epsilon_2$ ).....	16
8.4.	CEDIMENTI VINCOLARI ( $\epsilon_4$ ).....	17
8.5.	AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO (Q1).....	18
8.6.	AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO O DI ACCELERAZIONE (Q3).....	21
8.7.	AZIONE CENTRIFUGA (Q4).....	21
8.8.	AZIONE DEL VENTO (Q5).....	22
8.9.	VARIAZIONI TERMICHE (Q7).....	25
8.9.1.	<i>Variazione termica uniforme (stagionale).....</i>	<i>25</i>
8.9.2.	<i>Variazione termica differenziale (giornaliera).....</i>	<i>27</i>
8.10.	AZIONI SUI PARAPETTI E URTO DEL VEICOLO IN SVIO (Q8).....	27
8.11.	AZIONE SISMICA (E).....	28

<b>9. COMBINAZIONI DELLE AZIONI.....</b>	<b>32</b>
9.1. METODOLOGIA DI ANALISI.....	34
9.1.1. <i>Analisi in condizioni Non-Sismiche</i> .....	34
9.1.2. <i>Analisi Sismica</i> .....	34
<b>10. MODELLAZIONE DELL'IMPALCATO.....</b>	<b>35</b>
10.1. FASI COSTRUTTIVE.....	35
10.2. FASI DI CALCOLO.....	35
10.3. GEOMETRIA DEL MODELLO DI CALCOLO.....	35
10.4. DATI DIMENSIONALI PER VERIFICHE ALLO SLU.....	36
10.5. CADUTE DI TENSIONE.....	37
10.5.1. <i>Cadute per ritiro calcestruzzo</i> .....	37
10.5.2. <i>Ritiro per essiccamento</i> .....	37
10.5.3. <i>Ritiro autogeno</i> .....	38
10.5.4. <i>Cadute per vicosita'</i> .....	39
10.5.5. <i>Determinazione del coefficiente di viscosità</i> .....	40
10.5.6. <i>Cadute per effetto termico</i> .....	41
10.5.7. <i>Cadute per rilassamento acciaio</i> .....	42
10.5.8. <i>Cadute totali</i> .....	42
10.6. ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE TRAVI.....	43
10.7. CARATTERISTICHE DELLE SEZIONI.....	46
10.7.1. <i>Trave isolata</i> .....	46
10.7.2. <i>Sezione ideale omogeneizzata</i> .....	46
10.7.3. <i>Sezione mista trave + soletta</i> .....	47
10.7.4. <i>Caratteristiche delle sollecitazioni nelle varie fasi per trave di bordo</i> .....	48
<b>11. VERIFICHE TRAVI.....</b>	<b>50</b>
11.1. PRECOMPRESSIONE E CADUTE DI TENSIONE.....	50
11.1.1. <i>Fase 1: verifiche all'atto del rilascio</i> .....	50
11.1.2. <i>Fase 2: Getti in opera</i> .....	51
11.1.3. <i>Fase 3: Carichi permanenti portati</i> .....	52
11.1.4. <i>Riassunto cadute di tensioni acciaio precompressione</i> .....	53
11.1.5. <i>Verifica della tensione della precompressione in esercizio</i> .....	54
11.2. VERIFICHE AGLI SLU.....	54
11.3. VERIFICHE AGLI SLE.....	58
11.3.1. <i>Verifiche in combinazione frequente</i> .....	58

11.3.2. Verifiche in combinazione quasi permanente.....	59
11.3.3. Verifiche in combinazione rara.....	60
<b>12. VERIFICA DELLA SOLETTA.....</b>	<b>61</b>
12.1. GEOMETRIA DELLA SOLETTA.....	61
12.2. VERIFICA DELLE LASTRE IN FASE DI GETTO.....	61
12.3. VERIFICA DELLA SOLETTA NELLE FASI SUCCESSIVE.....	65
12.3.1. Verifica dei campi interni soletta.....	65
12.3.2. Verifica dello sbalzo.....	75
12.3.3. Verifica cordolo per l'urto del veicolo in svio.....	81
<b>13. APPOGGI E GIUNTI.....</b>	<b>83</b>
13.1. APPOGGI.....	83
13.1.1. Azioni sugli appoggi.....	83
13.2. Giunti.....	83

## 1. **PREMESSA**

La presente relazione di progetto definitivo è inerente al calcolo e alle verifiche dell'impalcato del ponte su canale Imboi in corrispondenza del ramo B dello svincolo Capoterra - Casic che ricade tra le opere previste nella realizzazione della SS 195 "Sulcitana" e, in particolare, dell'Opera connessa Nord, costituita dal tronco "Nuovo svincolo Casic – Dorsale Consortile" (km 10+200) – punto intermedio del tronco 106-107 (km 5+216) località Santu Inesu.

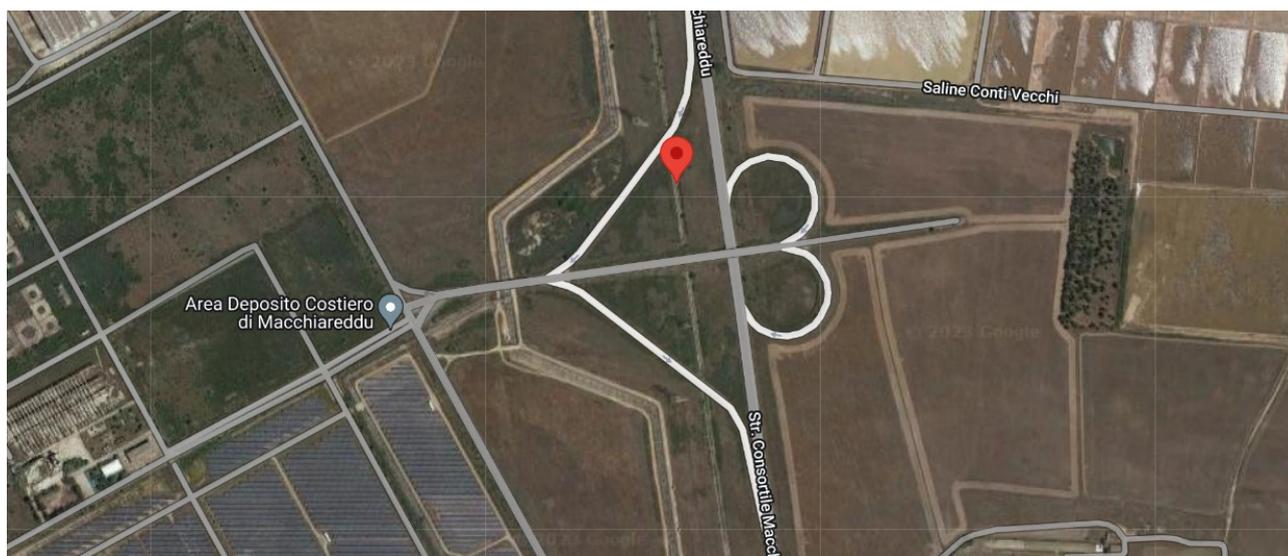


Figura 1.1: Ubicazione dell'opera

## 2. **DESCRIZIONE OPERA**

Il nuovo ponte è posto alle coordinate (WGS84) Latitudine 39.20862, Longitudine 9.00190 e presenta un'unica campata con impalcato in c.a.p. avente luce pari a 20.6 m.

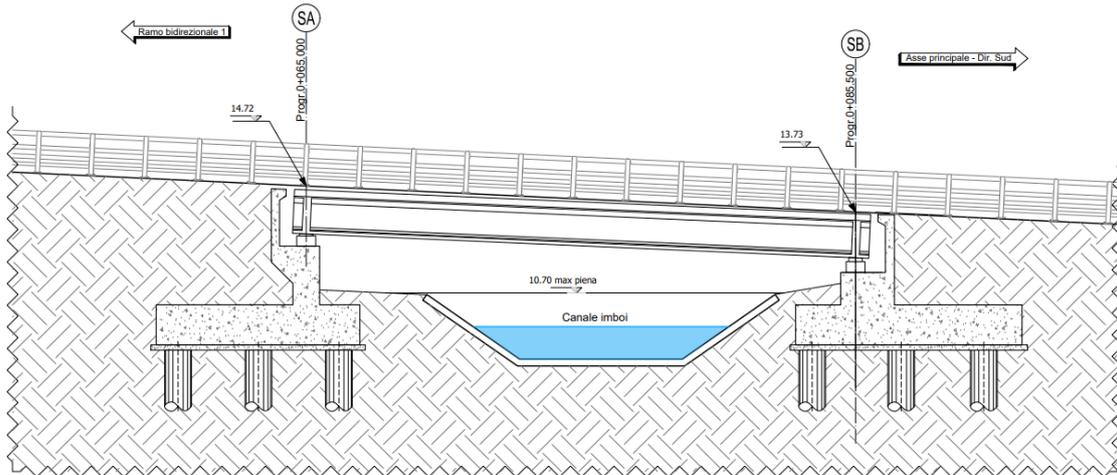
L'opera è composta da un'unica carreggiata su un impalcato di larghezza pari a 8.80m complessivi, di cui 7.30m carrabili più cordoli da 0.75; l'impalcato è composto da 4 travi in c.a.p. pretese (a fili aderenti), traversi in c.a. in corrispondenza degli appoggi e soletta gettata in opera. La soletta è formata da predalle prefabbricate di spessore pari a 5.0 cm sulle quali viene effettuato un getto in opera di spessore pari a 20.0 cm; lo spessore totale della soletta è quindi pari a 25.0 cm.

L'arredo stradale è composto da una pavimentazione di spessore pari a 11 cm, due velette in c.a. e barriere in acciaio montate sui cordoli.

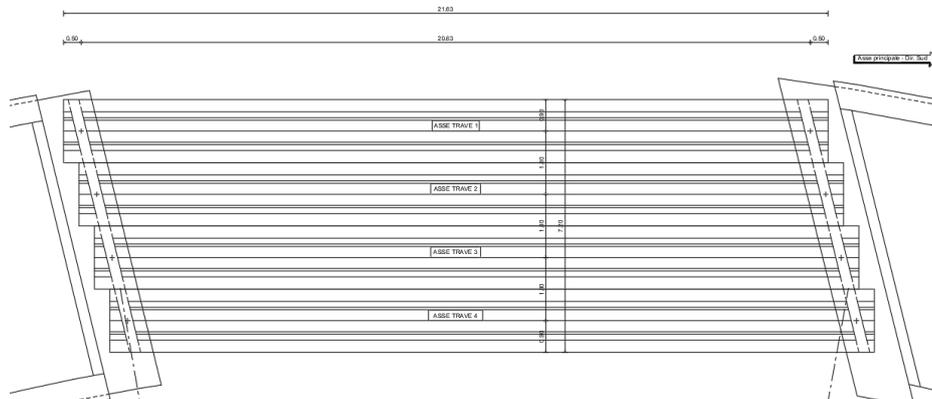
Le due spalle sono della tipologia di muro a mensola in c.a. composto da muro frontale e paraghiaia e muri andatori.

Le fondazioni delle spalle sono indirette con platea su pali aventi diametro  $\phi 1000$ .

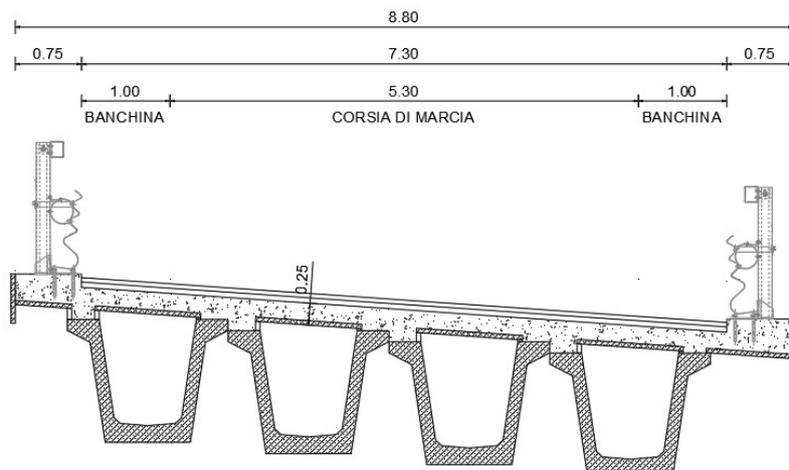
**OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO**



**Figura 2.2: Prospetto dell'opera**



**Figura 2.3: Pianta travi**



**Figura 2.4: Sezione dell'impalcato**

Si prevede l'utilizzo di apparecchi d'appoggio del tipo fissi, multidirezionali e monodirezionali tali da realizzare uno schema in semplice appoggio in direzione longitudinale e garantire allo stesso tipo la

PROGETTAZIONE ATI:

possibilità di escursione termica in direzione trasversale. Si rimanda agli specifici elaborati per le specifiche caratteristiche dei dispositivi.

Lo schema di vincolo è riportato nella seguente figura.

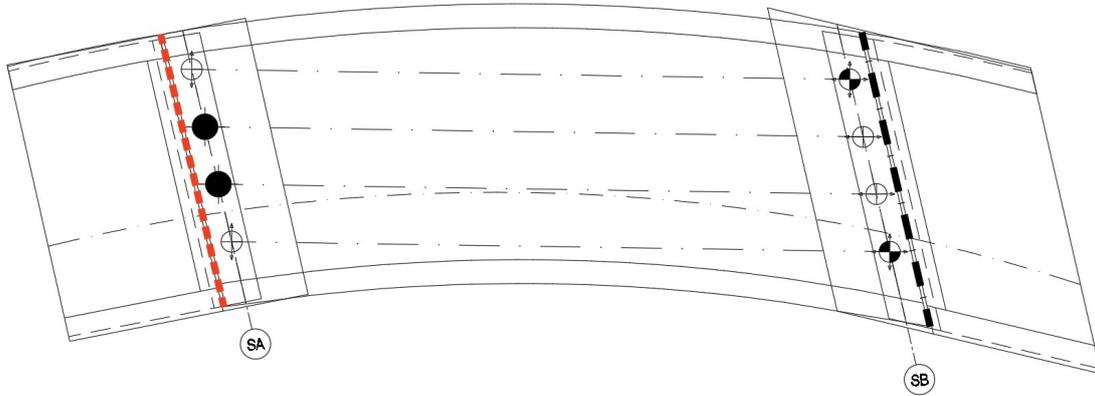


Figura 2.5: Schema di vincolo

### **3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO**

Il progetto e la verifica delle strutture sono stati svolti nel rispetto delle seguenti norme:

- D.M. 17.01.2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni".
- Circolare n° 7 del 21/01/2019 Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 17/01/2018.
- UNI EN 1991-1-4:2005 - EUROCODICE 1 Parte 1-4 - "Azioni in generale - Azioni del vento" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1991-1-5:2004 - EUROCODICE 1 Parte 1-5 - "Azioni in generale - Azioni termiche" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1992-1-1:2005 - EUROCODICE 2 Parte 1-1 - "Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Regole generali e regole per gli edifici" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1992-2:2006. EUROCODICE 2. Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi
- UNI EN 1998-1:2005. EUROCODICE 8. Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- UNI EN 1998-2:2009. EUROCODICE 8. Parte 2: Ponti

PROGETTAZIONE ATI:

#### 4. MATERIALI

Al fine delle verifiche strutturali verranno utilizzati i parametri relativi ai materiali di seguito indicati:

##### Calcestruzzo soletta

$R_{ck} \geq 45 \text{ MPa}; (C35/45)$

$f_{ck} = 0.83 \times 45 = 37.35 \text{ MPa}$

$f_{cd} = 0.85 \times 37.35 / 1.50 = 21.17 \text{ MPa}$

$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 45.35 \text{ MPa}$

$f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 3.35 \text{ MPa}$

$f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 2.35 \text{ MPa}$

$f_{cfm} = 1.2 \times f_{ctm} = 4.02 \text{ MPa}$

$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.56 \text{ MPa}$

$E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 34625.49 \text{ MPa}$

S4

XC4+XS1

16 mm

0.5

340 kg/m<sup>3</sup>

40 mm

resistenza cilindrica caratteristica

resistenza di calcolo

resistenza media cilindrica

resistenza media a trazione assiale

resistenza a trazione

resistenza media a trazione per flessione

resistenza a trazione di calcolo

modulo elastico istantaneo

Classe di consistenza Slump

Classe di esposizione

Dimensione Max aggregati

Rapporto Max A/C

Contenuto Min. cemento

Copriferro

##### Calcestruzzo predalle

$R_{ck} \geq 45 \text{ MPa}; (C35/45)$

$f_{ck} = 0.83 \times 45 = 37.35 \text{ MPa}$

$f_{cd} = 0.85 \times 37.35 / 1.50 = 21.17 \text{ MPa}$

$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 45.35 \text{ MPa}$

$f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 3.35 \text{ MPa}$

$f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 2.35 \text{ MPa}$

$f_{cfm} = 1.2 \times f_{ctm} = 4.02 \text{ MPa}$

$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.56 \text{ MPa}$

$E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 34625.49 \text{ MPa}$

S4

XC3+XS1

16 mm

0.5

340 kg/m<sup>3</sup>

35 mm

resistenza cilindrica caratteristica

resistenza di calcolo

resistenza media cilindrica

resistenza media a trazione assiale

resistenza a trazione

resistenza media a trazione per flessione

resistenza a trazione di calcolo

modulo elastico istantaneo

Classe di consistenza Slump

Classe di esposizione

Dimensione Max aggregati

Rapporto Max A/C

Contenuto Min. cemento

Copriferro

##### Calcestruzzo Travi in c.a.p.

$R_{ck} \geq 55 \text{ MPa}; (C45/55)$

$f_{ck} = 0.83 \times 55 = 45.65 \text{ MPa}$

$f_{cd} = 0.85 \times 45.65 / 1.50 = 25.868 \text{ MPa}$

$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 53.65 \text{ MPa}$

$f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 3.83 \text{ MPa}$

$f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 2.68 \text{ MPa}$

$f_{cfm} = 1.2 \times f_{ctm} = 4.60 \text{ MPa}$

$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.79 \text{ MPa}$

$E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 36416.11 \text{ MPa}$

$\gamma_{cls} = 25.0 \text{ kN/m}^3$

S4

resistenza cilindrica caratteristica

resistenza di calcolo

resistenza media cilindrica

resistenza media a trazione assiale

resistenza a trazione

resistenza media a trazione per flessione

resistenza a trazione di calcolo

modulo elastico istantaneo

peso per unità di volume

Classe di consistenza Slump

PROGETTAZIONE ATI:

XC4+XS1	Classe di esposizione
16 mm	Dimensione Max aggregati
0.5	Rapporto Max A/C
340 kg/m <sup>3</sup>	Contenuto Min. cemento
35 mm	Copriferro per acciaio ordinario
45mm	Copriferro per acciaio da precompressione

### Acciaio di precompressione

Trefoli  $\phi 0.6''$  in acciaio armonico stabilizzato a basso rilassamento

$f_{ptk} = 1860$ MPa	tensione caratteristica di rottura
$f_{p(1)k} = 1670$ MPa	tensione caratteristica all'1% di deformazione sotto carico
$E_a = 195000$ MPa	modulo elastico
$A_p = 1.39$ cm <sup>2</sup>	sezione utile nominale

### Acciaio in barre ad aderenza migliorata

Si utilizzano barre ad aderenza migliorata tipo B450C controllato in stabilimento, pertanto nei calcoli statici saranno assunti i seguenti parametri:

$f_{yk} = 450$ MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} = 540$ MPa	tensione caratteristica di rottura
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.3$ MPa	tensione di calcolo
$E_s = 210000$ MPa	modulo elastico
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 1.863$ ‰	deformazione di snervamento ultima
$\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k = 7.5$ %	deformazione uniforme caratteristica
$\epsilon_{ud} = 0.9 \times \epsilon_{uk} = 6.75$ %	deformazione uniforme ultima
$\gamma_s = 78.5$ kN/mc	peso per unità di volume

## 5. CRITERI DI CALCOLO E VERIFICA

Il calcolo delle sollecitazioni è stato effettuato considerando le azioni sui ponti stradali secondo quanto indicato al paragrafo 5.1.3. del D.M. 17/01/2018.

Le verifiche delle sezioni in c.a. sono state condotte sulla base delle prescrizioni contenute nel D.M. 17/01/2018.

### Stato Limite Ultimo

Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo (punto 4.1.2.1.1.1 delle NTC):

$$f_{cd} = \gamma_{cc} * f_{ck} / \gamma_C$$

$\gamma_{cc} = 0,85$  Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata

$\gamma_C = 1,5$  Coefficiente parziale di sicurezza relative al calcestruzzo

Resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo (punto 4.1.2.1.1.2 delle NTC):

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C$$

$$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm}$$

Tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio (punto 4.1.2.1.1.4 delle NTC):

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

con  $\gamma_s = 1,15$  Coefficiente di sicurezza parziale dell'acciaio

### Stato Limite di esercizio

Tensione max di compressione - Comb. rara

$$\sigma_c < 0.60 f_{ck}$$

Tensione max di compressione - Comb. quasi permanente

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck}$$

Tensione massima di trazione dell'acciaio

$$\sigma_s < 0.80 f_{yk}$$

### Stati limite di fessurazione

Le classi di esposizione dei vari calcestruzzi sono indicate nelle tabelle materiali inserite sugli elaborati grafici.

In base a tali classi le condizioni ambientali rientrano in una delle seguenti tre categorie:

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

Lo stato limite di fessurazione viene determinato attraverso la seguente tabella:

Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
		Sensibile		Poco sensibile	
		Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
	quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
	quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
	quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Con:

$$W_1 = 0.2\text{mm}$$

$$W_2 = 0.3\text{mm}$$

$$W_3 = 0.4\text{mm}$$

La verifica a fessurazione è soddisfatta se  $w_d = 1,7 w_m = 1,7 (\epsilon_{sm} \Delta_{sm}) < (W_1, W_2, W_3)$

Per il calcolo di  $\epsilon_{sm}$  e  $\Delta_{sm}$  vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica. La verifica dell'ampiezza di fessurazione può anche essere condotta senza calcolo diretto, limitando la tensione di trazione nell'armatura, valutata nella sezione parzializzata per la combinazione di carico pertinente, ad un massimo correlato al diametro delle barre ed alla loro spaziatura; a tal scopo si veda C4.1.2.2.4.6., Tab C4.1.II e Tab C4.1.III.

PROGETTAZIONE ATI:

## 6. ANALISI STRUTTURALE E FASI DI CALCOLO

### 6.1. FASI DI CALCOLO

Gli impalcati da ponte in generale sono strutture per le quali le fasi realizzative hanno una forte influenza sul comportamento della struttura e vanno dunque necessariamente tenute in considerazione nell'analisi strutturale; pertanto, gli effetti (sollecitazioni, deformazioni, ecc.) prodotti da ciascuna categoria di azioni applicata all'impalcato vengono calcolati considerando:

**Configurazione 0:** Travi in stabilimento all'atto del taglio dei cavi da precompressione e successiva posa in opera:

In tale fase agiscono solo la precompressione data dai cavi e il peso proprio. Vengono computate le perdite di tensione istantanee. La sezione resistente è quella della sola trave.

**Configurazione 1:** Getto in opera della soletta e applicazione dei carichi permanenti portati. La sezione resistente è costituita dalla trave in CAP inizialmente, poi da quella omogeneizzata trave+soletta. Viene utilizzata per valutare gli effetti delle seguenti azioni permanenti:

- $g_1$  peso proprio del getto della soletta
- $g_2$  carichi permanenti portati (pavimentazione, sicurvia, cordoli, parapetti, ecc.)

**Configurazione 2:** Fase di esercizio. La sezione resistente è costituita dalla sezione composta trave in cap + soletta.

Viene utilizzata per valutare gli effetti delle seguenti azioni variabili e del ritiro:

- $\epsilon_r$  Effetti del ritiro differenziale della soletta
- $q_1$  carichi mobili
- $q_2$  effetto dinamico dei carichi mobili
- $q_3$  frenatura
- $q_5$  azione del vento
- $q_7$  variazioni termiche differenziali
- $q_8$  azioni sui parapetti e urto di veicolo in svio
- E azione sismica

### 6.2. PROGRAMMA DI CALCOLO

In base a quanto esposto al paragrafo precedente, per una corretta analisi dell'impalcato è stato necessario implementare due diversi modelli di calcolo.

L'analisi della struttura è stata eseguita impiegando il software di calcolo automatico Sap2000 della Computers and Structures, Inc.

Nel seguito si riportano le caratteristiche generali del codice di calcolo utilizzato, nonché i dati generali sul modello realizzato comprensivi di numerazione di nodi ed aste.

Le unità di misura, ove non espressamente indicate, sono le seguenti:

- lunghezze: m
- forze: kN
- coppie: kN-m
- temperature: °C
- tempo: sec

Una descrizione completa ed esauriente del programma, con il campo di applicazione, le informazioni sui fondamenti teorici e sui metodi di calcolo numerico usati possono essere consultati nella guida in linea del codice di calcolo.

PROGETTAZIONE ATI:

In sintesi, si riportano gli elementi di valutazione del codice forniti dal distributore del programma, necessari alla formulazione del grado di affidabilità del codice richiesto al progettista utilizzatore, secondo quanto prescritto dalla CNR-10024/86 "Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo".

I modelli numerici fanno riferimento ad un comportamento generale spaziale o piano a seconda dei gradi di libertà imposti ai nodi della struttura.

Ogni modello è riferito ad uno spazio fisso individuato da un sistema di riferimento globale nel quale sono da leggersi le coordinate di tutti i nodi della struttura.

Per ogni singola asta è poi considerato un sistema di riferimento locale, che assume l'asse "1" dell'asta orientato dal "primo nodo" (nodo I) al "secondo nodo" (nodo J) (essendo tali i nodi di definizione dell'asta. L'asse "3" viene definito (per direzione e verso) per ogni asta nella dichiarazione dei nodi della stessa e il suo significato fisico rispetto alla terna locale è indicato in figura. L'asse "2" (con il verso opportuno) completa la terna locale definita secondo la "regola della mano destra"

Il programma SAP presenta i chiari capitoli d'ingresso dati che vengono di seguito indicati:

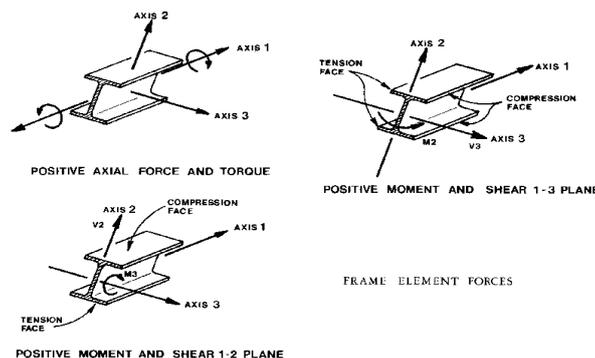
**JOINTS** Specifica le coordinate dei nodi del modello. È da precisare come sia possibile fare uso di subroutines di generazione automatica.

**RESTRAINTS** Specifica i gradi di libertà inattivi dei nodi del modello (0 = attivo, 1 = inattivo).

**SPRINGS** Specifica le caratteristiche di elasticità dei supporti se non considerati vincoli rigidi.

**FRAME** Specifica le caratteristiche meccaniche di ogni asta ed i carichi ripartiti o concentrati lungo le stesse. Specifica inoltre le aste che costituiscono la struttura, assegnando ad ognuna il nodo di inizio (start) e di fine (end) nonché gli altri dati necessari ai fini della individuazione del sistema di riferimento locale. È da precisare come sia possibile fare uso di subroutines di generazione automatica.

**LOADS** Specifica i carichi concentrati nei nodi della struttura.



Le travi principali sono state modellate con elementi di tipo frame. Le sezioni assegnate alle travi sono quelle relative alla sezione composta con soletta collaborante e omogeneizzata tenendo conto dei diversi coefficienti di omogeneizzazione in base ai vari tipi di carico (di breve o lunga durata).

## **7. CARICHI DI PROGETTO**

### **7.1. ELENCO DELLE CONDIZIONI ELEMENTARI DI CARICO**

L'impalcato è sottoposto alle azioni indotte da:

- g<sub>1</sub> peso proprio delle strutture: acciaio-cl. di soletta
- g<sub>2</sub> carichi permanenti portati: pavimentazione, velette, guardrail, marciapiedi e parapetto
- ε<sub>2</sub> ritiro del calcestruzzo
- ε<sub>3</sub> effetti viscosi del calcestruzzo
- ε<sub>4</sub> cedimenti vincolari
- q<sub>1</sub> carichi mobili
- q<sub>2</sub> effetto dinamico dei carichi mobili
- q<sub>3</sub> azione di frenamento
- q<sub>5</sub> azione del vento
- q<sub>7</sub> azioni della temperatura
- q<sub>8</sub> azioni sui parapetti e urto di veicolo in svio

Tali azioni saranno combinate secondo le prescrizioni delle normative vigenti.

### **7.2. CRITERI PER LA VALUTAZIONE DELLE AZIONI SULLA STRUTTURA**

#### **7.2.1. CARICHI PERMANENTI**

I carichi permanenti sono costituiti dai pesi propri delle strutture portanti e delle sovrastrutture. Essi sono valutati moltiplicando il volume calcolato geometricamente per i pesi specifici dei materiali

#### **7.2.2. RITIRO E VISCOSITÀ DEL CALCESTRUZZO**

Il calcolo degli effetti del ritiro del calcestruzzo e della viscosità deve essere effettuato in accordo al carattere ed all'intensità di tali distorsioni definiti ai §11.2.10.6 e §11.2.10.7 delle NTC2018.

#### **7.2.3. AZIONI DEI CARICHI VARIABILI**

I carichi accidentali agenti sull'impalcato sono definiti dalle NTC 2018 e vanno posizionati in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli ai fini della valutazione della resistenza e stabilità degli elementi dell'impalcato (travi, soletta, traversi).

#### **7.2.4. EFFETTO DINAMICO DEI CARICHI MOBILI**

Il coefficiente di incremento dinamico addizionale da applicare alle azioni indotte dai carichi mobili è valutato secondo NTC 2018: per l'analisi globale dell'impalcato e nell'ipotesi di pavimentazione di media rugosità si assume  $q_2 = 1$ ; effetti locali in prossimità di interruzioni della continuità strutturale della soletta che possono richiedere l'adozione di coefficienti superiori all'unità verranno eventualmente analizzati in sede di verifica della soletta.

#### **7.2.5. RITIRO E VISCOSITÀ DEL CALCESTRUZZO**

Le azioni indotte da queste azioni e dall'interazione tra esse sono valutate secondo le più recenti indicazioni contenute nella norma EC4 (vedere verifica delle sezioni) e nella bibliografia specialistica.

### 7.2.6. AZIONI DEL VENTO

Le azioni del vento sono valutate calcolando la pressione cinetica di riferimento  $q_{ref}$  secondo le indicazioni contenute nelle NTC 2018, da applicarsi alla sagoma trasversale del ponte a ponte scarico ed a ponte carico tenendo conto dell'ingombro dei carichi accidentali presenti.

## 8. ANALISI DEI CARICHI

### 8.1. PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA (G1)

Si riportano in forma tabellare i valori dei carichi elementari.

elemento	Calcolo peso	P [kN/m]
4 travi	4 x 25 x 0.634	63.4
<b>Totale G1travi</b>		<b>63.4</b>

elemento	Calcolo peso	P [kN/m]
soletta + predalles	25 x (0.25 x 8.80)	55.0
<b>Totale G1soletta</b>		<b>55.0</b>

elemento	Calcolo peso	P [kN]
2 x Traversi in appoggio	2 x 25 x 0.3 x (7.85)	117.8
<b>Totale G1traversi</b>		<b>117.8</b>

### 8.2. CARICHI PERMANENTI PORTATI (G2)

I valori unitari caratteristici dell'impalcato sono riassunti nella seguente tabella.

elemento	dimensioni	P [kN/m]
Cordolo sinistro	25.0 x (0.75 x 0.16)	3.08
Barriera sx + idraulica	-	2.0
Pavimentazione	24.0 x (0.11 x 7.30)	26.3
Barriera dx	-	1.5
Velette	2 x 1.0	2.0
Cordolo destro	25.0 x (0.75 x 0.22)	4.10
<b>Totale G2</b>		<b>38.96</b>

Si considera una ripartizione sulle travi d'impalcato in base ad un'analisi trasversale:

PROGETTAZIONE ATI:

OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

carico	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4
	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
G <sub>1</sub>	32.74	26.97	26.97	32.74
G <sub>2</sub>	20.20	0.21	-0.50	19.19

### 8.3. EFFETTO DEL RITIRO DEL CALCESTRUZZO (ε<sub>2</sub>)

Si riporta di seguito il ritiro a tempo infinito per la soletta.

Calcolo della Deformazione per ritiro		
Rck =	45.0 MPa	Resistenza cubica caratteristica
fck =	37.4 MPa	Resistenza cilindrica caratteristica
E <sub>cm</sub> =	34625 MPa	Modulo elastico del cls
A <sub>c</sub> =	1760000 mm <sup>2</sup>	Area della sezione in cls
u =	9200 mm	Perimetro della sezione in cls esposto all'aria
h <sub>0</sub> =	382.6 mm	dimensione fittizia h <sub>0</sub> = 2A <sub>c</sub> /u
k <sub>sp</sub> =	0.73	parametro funzione di h <sub>0</sub> secondo la Tab. 11.2.Vb
RH =	60 %	Umidità Relativa ambientale
Deformazione per ritiro a tempo infinito		
β <sub>RH</sub> =	1.22	coefficiente dipendente dall'umidità relativa
f <sub>cm</sub> =	45.4 MPa	resistenza media cilindrica a compressione
f <sub>cm0</sub> =	10.0 MPa	
Classe:	N	Classe del cemento (UNI EN 1992-1)
α <sub>ds1</sub> =	4.00	coefficiente dipendente dal tipo di cemento
α <sub>ds2</sub> =	0.12	coefficiente dipendente dal tipo di cemento
ε <sub>cd,0</sub> =	-0.396 ‰	Deformazione da ritiro per essiccamento
ε <sub>cd</sub> =	-0.289 ‰	Valore medio a t=∞ della deformazione per ritiro da essiccamento
ε <sub>ca</sub> =	-0.068 ‰	Valore medio a t=∞ della deformazione per ritiro autogeno
ε <sub>cs</sub> =	-0.357 ‰	Valore medio a t=∞ della deformazione per ritiro (totale)

Il ritiro che deve ancora scontare la trave all'atto del getto della soletta è pari a: ε<sub>rit,tr</sub> = 0.318 ‰ (si veda il calcolo delle cadute di tensione delle travi nello specifico capitolo).

A seguire si calcolano le sollecitazioni dovute al ritiro differenziale trave-soletta:

Differenza di deformazione dovuta al ritiro tra trave e soletta					
Δε (t <sub>∞</sub> , t <sub>0</sub> ) :	-0.357	-	-0.318	=	-0.039 ‰
	E =	34625	MPa		
	φ =	2.217			
	E <sub>t∞</sub> = E / (1+φ) =	10762.7	MPa		
	σ <sub>rit</sub> = E <sub>t∞</sub> x Δε =	-0.422	MPa		
A <sub>sol</sub> =	1760000	mm			
N <sub>rit</sub> =	-743.0	kN			
e =	0.465	m			
M <sub>rit</sub> =	-345.5	kNm			
n° travi	4				
N <sub>rit</sub> =	-185.8	kN	Ritiro sulle singole travi		
M <sub>rit</sub> =	-86.4	kNm			

PROGETTAZIONE ATI:

#### 8.4. CEDIMENTI VINCOLARI (ε4)

Lo schema vincolare del nuovo impalcato è tale da rendere trascurabile l'effetto dei cedimenti vincolari delle sottostrutture (schema a trave appoggiata).

PROGETTAZIONE ATI:

### 8.5. AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO (Q1)

I carichi mobili agenti sull'impalcato sono definiti al § 5.1.3.3 del D.M. 17.01.2018 e vanno posizionati in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli ai fini della verifica delle sottostrutture e degli apparecchi di appoggio. Si fa riferimento allo Schema di Carico 1 (Figura 8.6) per le verifiche globali.

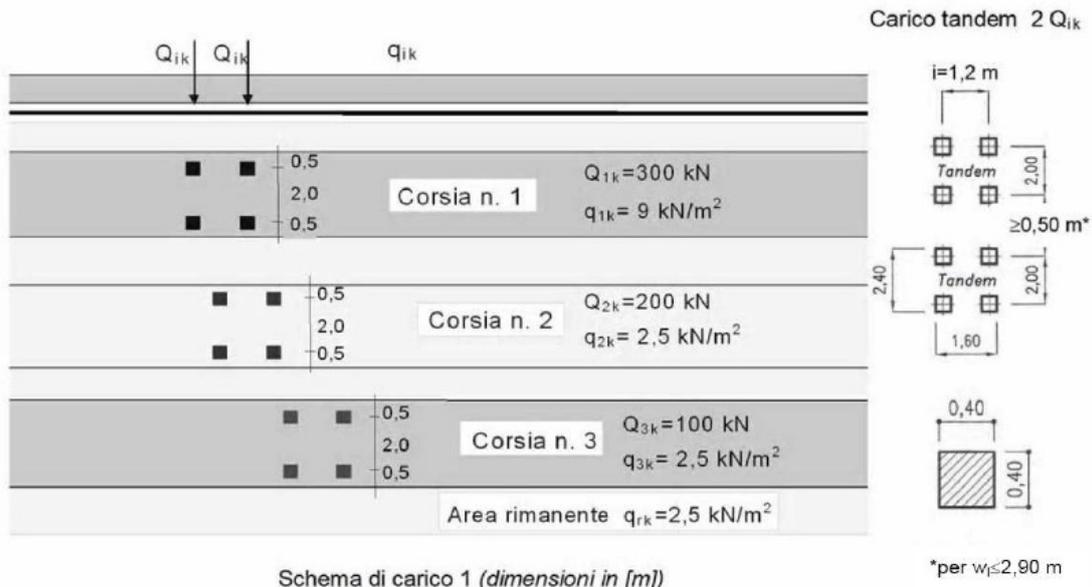


Figura 8.6 Schema di carico 1

La larghezza della carreggiata è pari a  $w = 7.3$  m; il numero delle corsie di carico convenzionali considerate ai fini del calcolo dell'impalcato e delle sottostrutture è definito in base a quanto riportato nella Tabella 5.1.I del D.M. 17/01/18:

Larghezza di carreggiata "w"	Numero di corsie convenzionali	Larghezza di una corsia convenzionale [m]	Larghezza della zona rimanente [m]
$w < 5,40$ m	$n_l = 1$	3,00	$(w-3,00)$
$5,4 \leq w < 6,0$ m	$n_l = 2$	$w/2$	0
$6,0 \text{ m} \leq w$	$n_l = \text{Int}(w/3)$	3,00	$w - (3,00 \times n_l)$

Figura 8.7 Criteri per la definizione del numero e della larghezza delle corsie convenzionali per l'applicazione dei carichi da traffico

Al fine di ottenere gli effetti più gravosi in termini di reazioni vincolari, sollecitazioni e deformazioni, sono state considerate differenti disposizioni dei carichi sia in senso trasversale che longitudinale. Per i ponti si considerano i carichi variabili caratteristici riportati nella figura successiva.

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

Figura 8.8 Valori caratteristici dei carichi mobili (Schema di carico 1)

Per ciascuna corsia si ha:

**Corsia n.1:**

$$q_{1distr} = q_{1k} \times w_1 = 9.00 \times 3.00 = 27 \text{ kN/m}$$

carico uniformemente distribuito

$$Q_{1tan} = 2 \times Q_{1k} = 2 \times 300 = 600 \text{ kN}$$

carico su 2 assi tandem

**Corsia n.2:**

$$q_{2distr} = q_{2k} \times w_2 = 2.50 \times 3.0 = 7.5 \text{ kN/m}$$

carico uniformemente distribuito

$$Q_{2tan} = 2 \times Q_{2k} = 2 \times 200 = 400 \text{ kN}$$

carico su 2 assi tandem

**Aree rimanenti:**

$$q_{rim} = q_{rk} \times w_r = 2.50 \times 1.3 = 3.25 \text{ kN/m}$$

carico uniformemente distribuito

La disposizione e la numerazione delle corsie viene determinata in modo da indurre le più sfavorevoli condizioni di progetto. Per ogni singola verifica il numero di corsie da considerare caricate, la loro disposizione sulla carreggiata e la loro numerazione vengono scelte in modo che gli effetti della disposizione dei carichi risultino i più sfavorevoli. La corsia che, caricata, dà l'effetto più sfavorevole è numerata come Corsia 1; la corsia che dà il successivo effetto più sfavorevole è numerata come Corsia 2, ecc.

*Schema di carico 5:* Si considera per la folla compatta un carico uniformemente distribuito comprensivo degli effetti dinamici pari a 5.0 kN/mq (il valore di combinazione è invece di 2.5 kN/mq) applicato sul cordolo pedonabile.



Schema di carico 5

Figura 8.7 Schema di carico 5

Per tale opera non sono previsti marciapiedi pedonabili e pertanto il carico dovuto alla folla è nullo.

Ai fini del calcolo delle strutture secondarie dell'impalcato si considera, se più gravoso, il carico associato allo Schema 2, disposto nel modo più sfavorevole e supposto viaggiante in direzione longitudinale.

*Schema di Carico 2:* è costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare, di larghezza 0,60 m ed altezza 0,35 m. Questo schema va

PROGETTAZIONE ATI:

considerato autonomamente con asse longitudinale nella posizione più gravosa ed è da assumere a riferimento solo per verifiche locali. Qualora sia più gravoso si considererà il peso di una singola ruota di 200 kN.

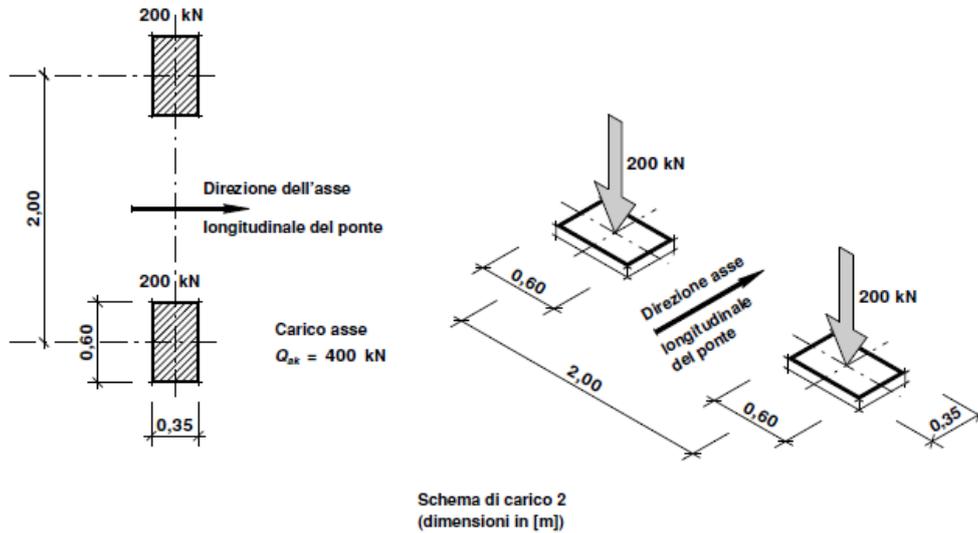


Figura 6.9 Schema di Carico 2

### 8.6. AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO O DI ACCELERAZIONE (Q3)

In base a quanto indicato al § 5.1.3.5 del D.M. 17.01.2018 la forza di frenamento o di accelerazione  $Q_3$  è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è pari a:

$$180 \text{ kN} \leq Q_3 = 0,6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0,10 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN}$$

$$Q_3 = 0.6 \times (2 \times 300) + 0.10 \times 9.0 \times 3 \times 22.0 = 419.4 \text{ kN}$$

essendo  $w_1$  la larghezza della corsia e  $L$  la lunghezza della zona caricata.

La forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia, è assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata e include gli effetti di interazione.

### 8.7. AZIONE CENTRIFUGA (Q4)

In base a quanto indicato al § 5.1.3.6 del D.M. 17.01.2018 nei ponti con asse curvo di raggio  $R$  (in metri) l'azione centrifuga corrispondente ad ogni colonna di carico si valuta convenzionalmente come indicato in Figura 6.10

Raggio di curvatura $R$ (m)	$Q_4$ (kN)
$R < 200$	$0,2 \cdot Q_v$
$200 \leq R < 1500$	$40 \cdot Q_v / R$
$R \geq 1500$	0
$Q_v = \sum Q_{ik}$ = carico totale degli assi tandem dello schema di carico 1.	

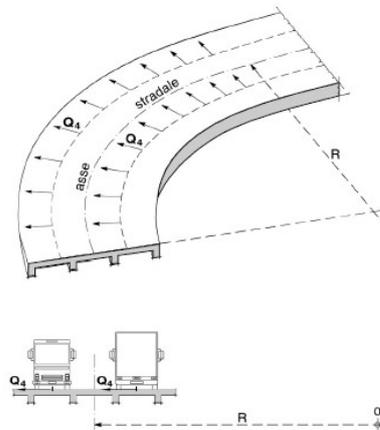


Figura 6.10 Schema per il calcolo dell'azione centrifuga

Il carico  $Q_4$ , applicato a livello della pavimentazione, agisce in direzione normale all'asse del ponte.

Nel caso in esame l'opera è in curva con raggio  $R = 60$  m e pertanto, nel caso in esame, l'azione centrifuga risulta pari a:

$$Q_4 = 0.2 \times (600+400) = 200.0 \text{ kN}$$

PROGETTAZIONE ATI:

### 8.8. AZIONE DEL VENTO (Q5)

L'azione del vento è valutata, in termini di pressione, attraverso la seguente espressione (fornita dal D.M. 17/01/2018):  $p=q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$ .

Calcolo della pressione cinetica di riferimento

5) Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
5	28	750	0.015

$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])	22
---	----

$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$
$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m

$v_b$ (velocità di riferimento [m/s])	28
---------------------------------------	----

<p><math>p</math> (pressione del vento [N/mq]) = <math>q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d</math></p> <p><math>q_b</math> (pressione cinetica di riferimento [N/mq])</p> <p><math>c_e</math> (coefficiente di esposizione)</p> <p><math>c_p</math> (coefficiente di forma)</p> <p><math>c_d</math> (coefficiente dinamico)</p>
--

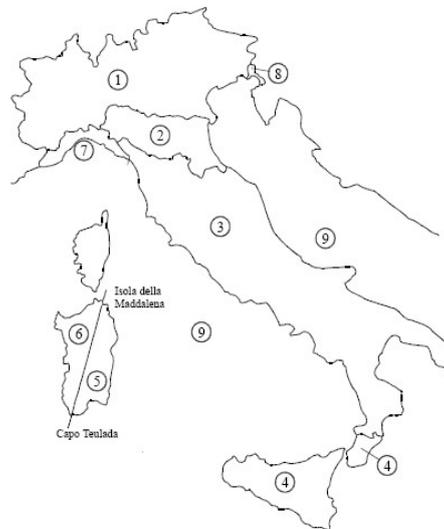


Figura 3.3.1 – Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

#### Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/mc})$$

$q_b$ [N/mq]	490.00
--------------	--------

#### Coefficiente di forma

E' il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

#### Coefficiente dinamico

Esso può essere assunto autelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

#### Calcolo del coefficiente di esposizione

PROGETTAZIONE ATI:

**OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO**

D) Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,....)

Categoria di esposizione

ZONE 1,2,3,4,5						
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

ZONA 6					
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

ZONE 7,8			
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*
* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7			

ZONA 9		
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

Z altezza edif. [m]	Zona	Classe di rugosità	a <sub>s</sub> [m]
12	5	D	22

Cat. Esposiz.	k <sub>r</sub>	z <sub>0</sub> [m]	z <sub>min</sub> [m]	c <sub>t</sub>
II	0.19	0.05	4	1

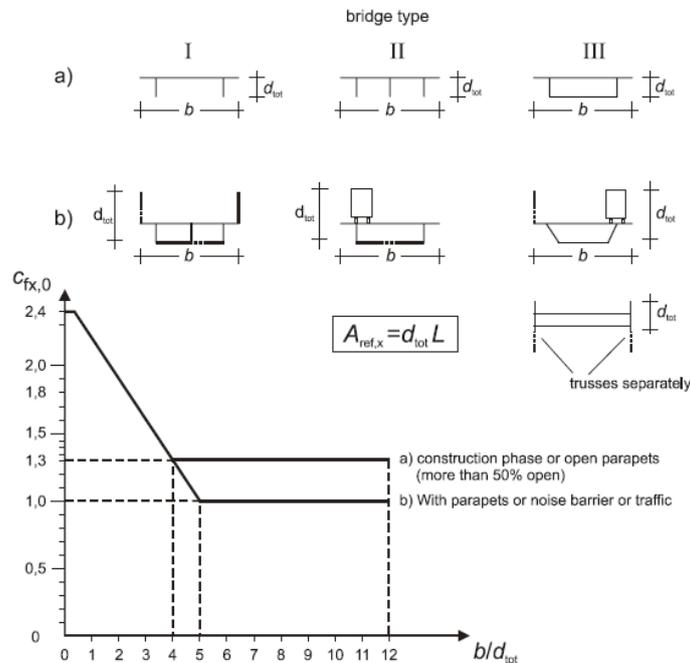
$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

c <sub>e</sub>	2.47
----------------	------

La pressione del vento a meno del coefficiente di forma vale: 1209.96 N/mq (1.2099 kN/mq)

Calcolo del coefficiente di forma per le forze orizzontali sull'impalcato (EN1991 Part 1-4):



PROGETTAZIONE ATI:

**OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO**

coefficiente di forma per forze orizzontali			
su impalcato a PC x Eurocodice (caso b)			
Larghezza trasversale imp	b	[m]	8.80
Altezza di pressione del vento	$d_{tot}$	[m]	4.80
-	$b/d_{tot}$	[-]	1.83
coefficiente di forma per forze orizzontali	$c_p = c_{fx,0}$	[-]	1.99

coefficiente di forma per forze orizzontali			
su impalcato a PS x Eurocodice (caso a)			
Larghezza trasversale imp	b	[m]	8.80
Altezza di pressione del vento	$d_{tot}$	[m]	1.87
-	$b/d_{tot}$	[-]	4.7
coefficiente di forma per forze orizzontali	$c_p = c_{fx,0}$	[-]	1.30

Si riportano a seguire i parametri ottenuti per il calcolo della pressione del vento sull'impalcato:

Pressione del vento su impalcato			
Pressione cinetica di riferimento	$q_b$	[N/mq]	490
Coefficiente di esposizione	$c_e$	[-]	2.47
Pressione cinetica di picco	$p = q_b \times c_e$	[kN/mq]	1.210
Coefficiente di forma per forze orizzontali su impalcato	$c_p$	[-]	1.99
Coefficiente di forma per forze verticali su impalcato	$c_p (\pm)$	[-]	0.90
Coefficiente di forma per forze su sottostrutture	$c_p$	[-]	1.20
Coefficiente dinamico	$c_d$	[-]	1.00
Pressione per forze orizzontali su impalcato a PC	$p_f$	[kN/mq]	2.403
Pressione per forze orizzontali su impalcato a PS	$p_f$	[kN/mq]	1.573
Pressione per forze verticali su impalcato	$p_f (\pm)$	[kN/mq]	1.089
Pressione per forze su sottostrutture	$p_f$	[kN/mq]	1.452

A seguire si riportano le azioni assegnate al modello di calcolo:

Azione del vento su impalcato - EN1991 PART 1-4						
Forze orizzontali e verticali su ponte carico e scarico			q5		m	Himp.
			[kN/m]	[m]	[kN*m/m]	[m]
Forza orizzontale unitaria vento a P	+Y	q5,pc	11.533	1.700	19.606	1.80
Forza orizzontale unitaria vento a P	-Y	q5,ps	-2.94	0.00	0.00	
Forza verticale unitaria vento	$\pm Z$	q5,Vert ( $\pm$ )	9.59	2.20	21.09	

PROGETTAZIONE ATI:

## 8.9. VARIAZIONI TERMICHE (Q7)

La condizione vincolare è tale da permettere una libera deformazione dell'impalcato sotto effetti termici. Non vi saranno sollecitazioni derivate, ma l'azione termica viene calcolata e applicata al modello di calcolo influenzando al dimensionamento di appoggi e giunti in termini di spostamenti.

### 8.9.1. VARIAZIONE TERMICA UNIFORME (STAGIONALE)

La variazione termica uniforme viene calcolata in base a quanto indicato al §3.5.2 NTC2018 e relativa circolare (circ.21/01/2019) al §C5.1.4.5 che fanno riferimento all'eurocodice EC1-1-5 al §6.1.3.

Si considera una quota pari a:

$$a_s = 22 \text{ m s.l.m.}$$

	<b>Zona I</b> Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino-Alto Adige, Veneto, Friuli-Venezia Giulia, Emilia Romagna:	$T_{\min} = -15 - 4 \cdot a_s / 1000$ [3.5.1]	$T_{\max} = 42 - 6 \cdot a_s / 1000$ [3.5.2]
	<b>Zona II</b> Liguria, Toscana, Umbria, Lazio, Sardegna, Campania, Basilicata:	$T_{\min} = -8 - 6 \cdot a_s / 1000$ [3.5.3]	$T_{\max} = 42 - 2 \cdot a_s / 1000$ [3.5.4]
	<b>Zona III</b> Marche, Abruzzo, Molise, Puglia:	$T_{\min} = -8 - 7 \cdot a_s / 1000$ [3.5.5]	$T_{\max} = 42 - 0.3 \cdot a_s / 1000$ [3.5.6]
	<b>Zona IV</b> Calabria, Sicilia:	$T_{\min} = -2 - 9 \cdot a_s / 1000$ [3.5.7]	$T_{\max} = 42 - 2 \cdot a_s / 1000$ [3.5.8]

Temperatura dell'aria esterna:

$T_{\max}$	$T_{\min}$
42.0	-8.1

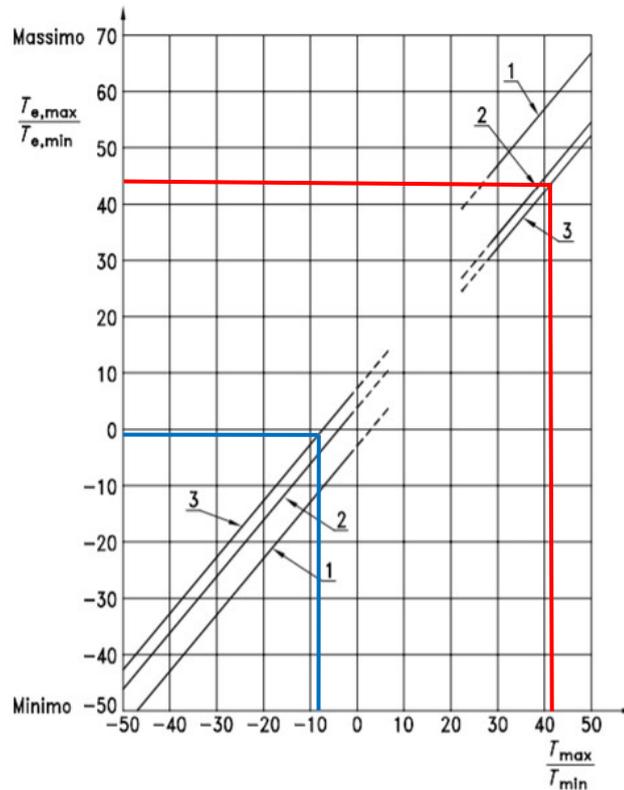
#### Gruppi di impalcati di ponte

P(1) Un impalcato di un ponte deve essere considerato appartenente ad uno dei seguenti gruppi di sovrastrutture:

- Gruppo 1 Impalcati di ponti di acciaio su profili di acciaio scatolari, travi reticolari o travi pareti;
- Gruppo 2 Impalcati di ponti di calcestruzzo su profili di acciaio scatolari, travi reticolari o travi parete;
- Gruppo 3 Solette o impalcati di calcestruzzo su travi o travi parete di calcestruzzo.

Possiamo così ottenere la temperatura effettiva dell'opera

OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO



Temperatura effettiva dell'opera:

$T_{max}$	$T_{min}$
44	-1

Tenendo conto di una  $t_0=15^\circ$  secondo il paragrafo 3.5.3 delle NTC si ottengono i valori caratteristici della variazione termica uniforme:

$\Delta T_{N,con}$	$\Delta T_{N,exp}$
16	29

I valori di calcolo si ottengono poi:

$\Delta T_0 = 5^\circ\text{C}$ per strutture di c.a., c.a.p. e acciaio/cls	Installazione con la misurazione accurata della temperatura della struttura e con prerogolazione per effetti termici a fine costruzione.
$\Delta T_0 = 5^\circ\text{C}$ per strutture di acciaio	
$\Delta T_0 = 10^\circ\text{C}$ per strutture di c.a., c.a.p. e acciaio/cls	Installazione con la stima della temperatura della struttura e con prerogolazione per effetti termici a fine costruzione. Per stima della temperatura della struttura si intende la valutazione secondo quanto indicato nel Capitolo 6 delle UNI EN 1991-1-5 con una accurata misura della temperatura dell'aria esterna.
$\Delta T_0 = 15^\circ\text{C}$ per strutture di acciaio	
$\Delta T_0 = 20^\circ\text{C}$ per strutture di c.a., c.a.p. e acciaio/cls	Installazione senza alcuna prerogolazione per effetti termici.
$\Delta T_0 = 30^\circ\text{C}$ per strutture di acciaio	

$\Delta T_0$	$\Delta T_{N,con,d}$	$\Delta T_{N,exp,d}$
10	26	39

PROGETTAZIONE ATI:

### 8.9.2. VARIAZIONE TERMICA DIFFERENZIALE (GIORNALIERA)

Si considera una variazione termica differenziale tra intradosso ed estradosso della sezione type 3: concrete box girder, pari a  $\Delta T = \pm 10^\circ\text{C}$ , assumendo il valore maggiore tra l'escursione massima tra estate e inverno fornita dall'eurocodice:

Type of Deck	Top warmer than bottom	Bottom warmer than top
	$\Delta T_{M,heat} (^\circ\text{C})$	$\Delta T_{M,cool} (^\circ\text{C})$
Type 1: Steel deck	18	13
Type 2: Composite deck	15	18
Type 3: Concrete deck: - concrete box girder - concrete beam - concrete slab	10 15 15	5 8 8

NOTE 1: The values given in the table represent upper bound values of the linearly varying temperature difference component for representative sample of bridge geometries.

NOTE 2: The values given in the table are based on a depth of surfacing of 50 mm for road and railway bridges. For other depths of surfacing these values should be multiplied by the factor  $k_{sur}$ . Recommended values for the factor  $k_{sur}$  is given in Table 6.2.

Il massimo spostamento dovuto all'azione termica che dovrà essere tenuto in conto per il dimensionamento di giunti ed apparecchi di appoggio sarà quindi:

$$\varepsilon_{\Delta T} = \Delta T \times \alpha = \pm 10 \times 1 \times 10^{-5} = \pm 1 \times 10^{-4}$$

### 8.10. AZIONI SUI PARAPETTI E URTO DEL VEICOLO IN SVIO (Q8)

In base a quanto indicato dalle NTC2018 si tiene conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione di 100 kN. Essa viene considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 100 mm sotto la sommità dell'elemento o 1,0 m sopra il livello del piano di marcia, a seconda di quale valore sia più piccolo. Per la verifica si considera una combinazione di carico eccezionale nella quale al carico orizzontale applicato al sicurvia si associa un carico verticale isolato pari ad una ruota del secondo schema di carico (200 kN su un'impronta 0.35 x 0.60 m).

### 8.11. AZIONE SISMICA (E)

L'opera in oggetto è progettata per una vita nominale  $V_N$  pari a 50 anni e considerando una classe d'uso IV ("Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico") ai sensi del D.M. 2018, da cui scaturisce un coefficiente d'uso  $C_U = 2.0$ .

L'azione sismica di progetto è definita per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e per lo Stato Limite del Collasso (SLC). Il periodo di ritorno di quest'ultima - in funzione della vita utile, della classe d'uso, del tipo di costruzione e dello stato limite di riferimento (prima definiti) è di 949 anni per SLV e 1950 anni per SLC.

Essa, conformemente a quanto prescritto dalle Nuove Norme Tecniche, è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base del sito su cui l'opera insiste. Tale pericolosità sismica è descritta, in termini geografici e temporali attraverso i valori di accelerazione orizzontale di picco  $a_g$  (attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale) e le espressioni che definiscono le ordinate del relativo spettro di risposta elastico in accelerazione  $S_e(T)$  in corrispondenza del punto del reticolo che individua la posizione geografica dell'opera con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR.

In particolare, la forma spettrale prevista dalla normativa è definita, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

$a_g$ , accelerazione orizzontale massima del terreno

$F_0$ , valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

$T_c^*$ , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I suddetti parametri sono calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il punto caratterizzante la posizione dell'opera, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

In particolare, si può notare come  $F_0$  descriva la pericolosità sismica locale del sito su cui l'opera insiste. Infatti, da quest'ultimo, attraverso le espressioni fornite dalla normativa, sono valutati i valori d'amplificazione stratigrafica e topografica. Nella tabella seguente sono riassunti i valori dei parametri assunti per l'opera in oggetto.

Parametri di pericolosità sismica					
Stato limite	$T_r$ [anni]	$a_g/g$ [-]	$T_c^*$ [s]	$F_0$ [-]	$F_v$ [-]
SLO	60	0.025	0.299	2.67	0.57
SLD	101	0.031	0.307	2.730	0.65
SLV	949	0.060	0.371	2.88	0.95
SLC	1950	0.071	0.393	2.98	1.07

Tabella 8.11: Parametri per la definizione dell'azione sismica

In quest'ultima  $V_N$  è la vita nominale dell'opera;  $T_R$  è il periodo di ritorno associato alla probabilità di non superamento dello stato limite della salvaguardia della vita;  $a_g$  è la massima accelerazione riferita a quella di gravità attesa sul sito su suolo di riferimento;  $F_0$  è il valore massimo del fattore di

PROGETTAZIONE ATI:

amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;  $T_C^*$  è il periodo, espresso in secondi, corrispondente alla fine del tratto orizzontale dello spettro su suolo di riferimento.

Lo spettro di risposta elastico per la descrizione della componente orizzontale del moto sismico è costruito a partire dai parametri riassunti nella tabella seguente.

Stato limite	Suolo	$S_S$	$S_T$	S	$C_c$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
SLO	B	1.2	1	1.2	1.40	0.14	0.42	1.700
SLD	B	1.2	1	1.2	1.39	0.14	0.43	1.724
SLV	B	1.2	1	1.2	1.34	0.17	0.50	1.840
SLC	B	1.2	1	1.2	1.33	0.17	0.52	1.884

**Tabella 8.12: Parametri per la definizione dello spettro elastico orizzontale**

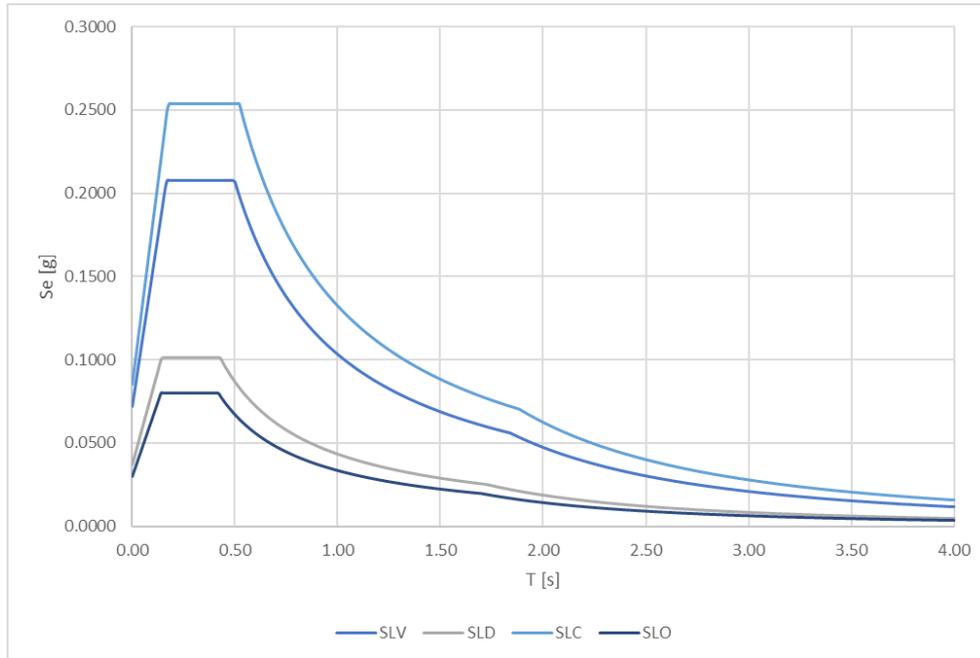
In quest'ultima  $S_S$  ed  $S_T$  sono rispettivamente i fattori di amplificazione stratigrafica e topografica concorrenti alla determinazione del fattore di amplificazione S;  $C_c$  è il coefficiente che modifica il valore del periodo  $T_C^*$ ;  $T_B$  è il periodo, espresso in secondi, corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro della componente orizzontale;  $T_C$  è il periodo, espresso in secondi, corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro della componente orizzontale;  $T_D$  è il periodo, espresso in secondi, corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro della componente orizzontale. Tale spettro è descritto dalle espressioni seguenti.

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad 0 \leq T \leq T_B$$

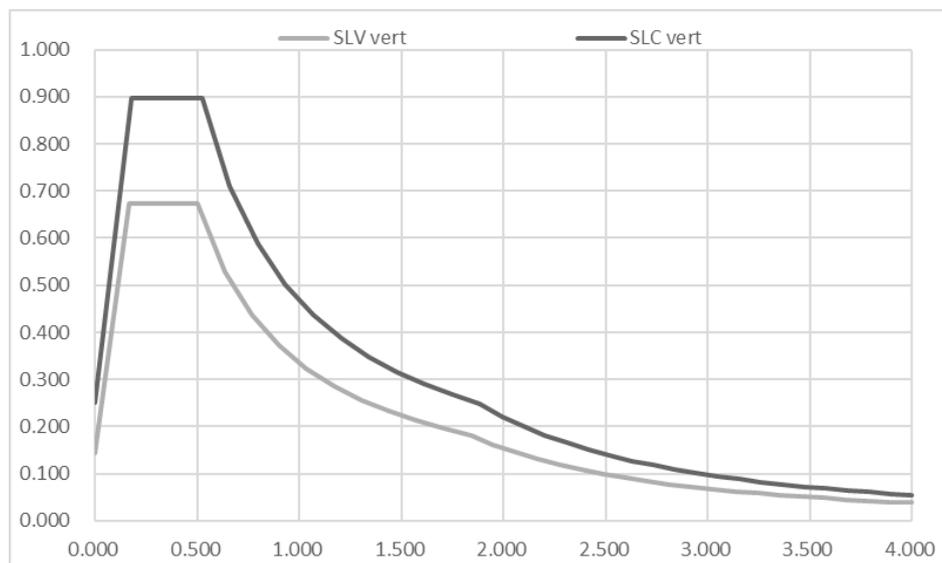
$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \frac{T_C}{T} \quad T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \quad T_D \leq T$$



**Figura 8.13: Spettri di risposta elastici**



**Figura 8.14: Spettri di risposta verticali**

PROGETTAZIONE ATI:

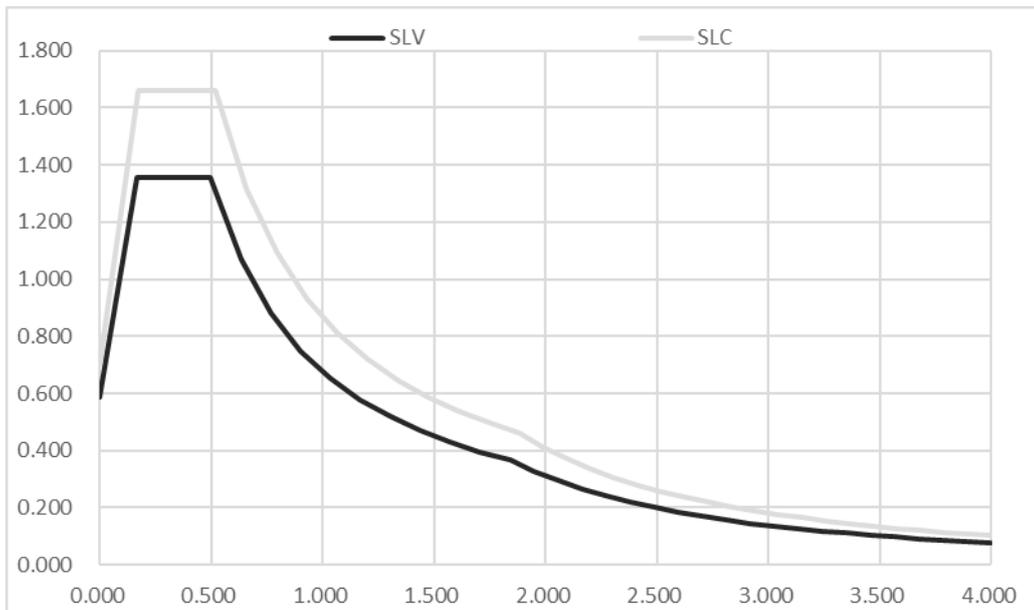


Figura 8.15: Spettri di risposta  $q=1.5 [m/s^2 - s]$

PROGETTAZIONE ATI:

## 9. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite si sono considerate le seguenti combinazioni delle azioni (si veda D.M. 17.01.2018 §2.5.3):

Combinazione fondamentale per gli SLU

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (rara) per gli SLE irreversibili

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione frequente per gli SLE reversibili

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente per gli SLE a lungo termine

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione sismica

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

$G_1$  = peso proprio di tutti gli elementi strutturali

$G_2$  = peso proprio di tutti gli elementi non strutturali

$P$  = eventuale pretensione o precompressione

$Q_{kj}$  = azioni variabili

$\gamma_j$  = coefficienti parziali di sicurezza

$\psi_{ij}$  = coefficiente di combinazione delle azioni variabili

I coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_j$  da utilizzare sono riportati nella tabella seguente (Estratto tabella 5.1.V) nella colonna "A1 STR".

**OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO**

Tab. 5.1.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti $g_1$ e $g_3$	favorevoli	$\gamma_{G1}$ e $\gamma_{G3}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup> $g_2$	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

I coefficienti di combinazione  $\Psi_{0j}$  sono riportati nella tabella seguente:

Tab. 5.1.VI - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente $\Psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\Psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\Psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

## 9.1. METODOLOGIA DI ANALISI

### 9.1.1. ANALISI IN CONDIZIONI NON-SISMICHE

Le analisi svolte in condizioni non sismiche sono tutte di tipo statico lineare. L'analisi per carichi mobili è stata svolta in automatico dal software impiegando la teoria delle linee di influenza e ricavando l'involuppo delle sollecitazioni sugli elementi strutturali.

I risultati delle analisi in termini di distribuzioni delle sollecitazioni sono riportati nei paragrafi di verifica dei singoli elementi strutturali.

### 9.1.2. ANALISI SISMICA

Nelle verifiche riguardanti l'impalcato l'azione sismica non è determinante. Viene comunque presa in conto per la determinazione degli spostamenti massimi degli appoggi mobili tramite un'analisi spettrale come definito nel capitolo precedente.

## 10. MODELLAZIONE DELL'IMPALCATO

### 10.1. FASI COSTRUTTIVE

Nella realizzazione dell'impalcato si dovrà procedere secondo le fasi costruttive indicate nella tabella successiva.

Fase	Operazione
0	Posa in opera delle travi
1	Getto soletta e $g_2$
2	Esercizio viadotto

### 10.2. FASI DI CALCOLO

La tabella seguente riassume le diverse fasi di calcolo, indicando per ciascuna di esse le rispettive azioni con i corrispondenti tempi, e specificando la sezione resistente su cui agiscono le suddette azioni.

FASE	SEZIONE RESISTENTE	TEMPO giorni	AZIONE
0	Trave isolata	0	Precompressione
		0	Peso proprio trave
		60	Cadute di tensione lente
1	Trave isolata	60	Getto trasversi
		100	Cadute di tensione lente
	Sezione mista	100	Getto soletta
2	Sezione mista	>100	Carichi permanenti portati
		>100	Carichi variabili
		$\infty$	Cadute di tensione lente

### 10.3. GEOMETRIA DEL MODELLO DI CALCOLO

Il modello di calcolo è stato realizzato impiegando esclusivamente elementi frame per la modellazione delle varie parti strutturali (travi, traversi, soletta).

La struttura dell'impalcato in particolare è stata modellata a graticcio tenendo conto della presenza delle fasce di soletta e dei traversi che contribuiscono alla ripartizione trasversale dei carichi tra le travi di impalcato.

Le connessioni tra gli elementi sono state modellate ove necessario mediante link rigidi; sono inoltre stati utilizzati link elastici che vanno a modellare in particolare il comportamento meccanico degli apparecchi di appoggio.

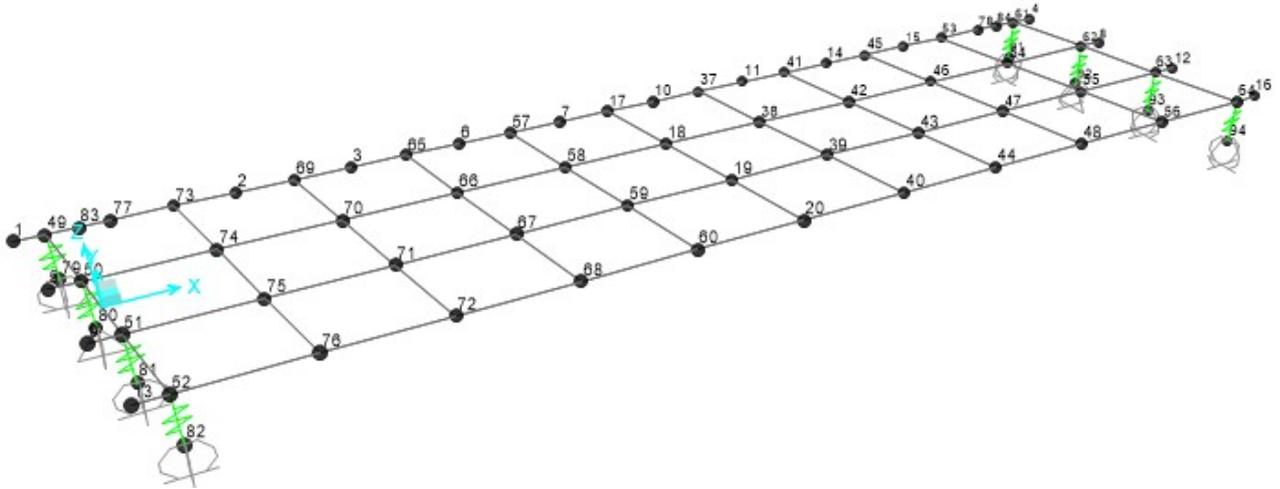


Figura 10.16: Vista del modello di calcolo impalcato

#### 10.4. DATI DIMENSIONALI PER VERIFICHE ALLO SLU

Si riportano di seguito le verifiche delle travi in c.a.p. per effetto delle combinazioni dei carichi allo SLU. La geometria della trave è raffigurata in Figura 10.17.

##### TRAVI

Luce campata	20.60	m
Tipologia travi	V	
Lunghezza trave	21.60	m
Retro-Trave	0.50	m
Altezza trave	1.40	m
Larghezza alla base	96.4	cm
Larghezza superiore	180	cm
Numero di anime per trave	2	
Larghezza di ciascuna anima per la sezione corrente	14.0	cm

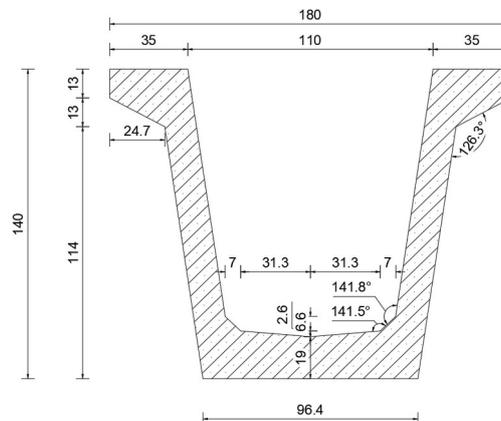


Figura 10.17: Sezione trasversale trave in c.a.p.

PROGETTAZIONE ATI:

## 10.5. CADUTE DI TENSIONE

L'analisi della variabilità della precompressione nelle fasi previste viene condotta tenendo conto dei fenomeni di ritiro e viscosità nel calcestruzzo e di rilassamento nell'acciaio in conformità alle NTC 18 e alla norma UNI EN 1992-1-1.

### 10.5.1. CADUTE PER RITIRO CALCESTRUZZO

I valori della deformazione totale da ritiro  $\varepsilon_{CS}$  sono dati da:

$$\varepsilon_{CS} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

dove  $\varepsilon_{cd}$  è la deformazione da ritiro per essiccamento e  $\varepsilon_{ca}$  è la deformazione da ritiro autogeno.

### 10.5.2. RITIRO PER ESSICCAMENTO

La deformazione di base dovuta a ritiro per essiccamento  $\varepsilon_{cd,0}$  è calcolata con le espressioni:

$$\varepsilon_{cd,0} = 0.85 \left[ (220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp \left( -\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}} \right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH}$$

$$\beta_{RH} = 1.55 \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right]$$

dove:

$f_{cm}$  è la resistenza media a compressione (N/mm<sup>2</sup>);

$f_{cm0} = 10$  N/mm<sup>2</sup>;

$\alpha_{ds1}$  è un coefficiente dipendente dal tipo di cemento;

$\alpha_{ds2}$  è un coefficiente dipendente dal tipo di cemento;

$RH$  è l'umidità relativa ambientale (in percentuale);

$RH_0 = 100\%$ .

Lo sviluppo del ritiro per essiccamento nel tempo è regolato dalla:

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0}$$

dove:  $k_h$  è un coefficiente che dipende dalla dimensione convenzionale  $h_0$  secondo il seguente prospetto (prospetto 3.3 della norma UNI):

$h_0$	$k_h$
100	1,0
200	0,85
300	0,75
$\geq 500$	0,70

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}}$$

dove:

$t$  è l'età del calcestruzzo, espressa in giorni, al momento considerato;

PROGETTAZIONE ATI:

$t_s$  è l'età del calcestruzzo (in giorni) all'inizio del ritiro per essiccamento;  
 $h_0$  è la dimensione convenzionale (in millimetri) della sezione trasversale =  $2A_c/u$   
dove:  
 $A_c$  è l'area della sezione trasversale di calcestruzzo;  
 $u$  è il perimetro della parte di sezione trasversale esposta ad essiccamento.

Il tempo  $t_s$  di inizio del ritiro per essiccamento coincide con la fine della maturazione

### 10.5.3. RITIRO AUTOGENO

La deformazione da ritiro autogeno è data da:

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty)$$

dove:

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2.5 (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6}$$

e

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2 t^{0.5})$$

Calcolo della Deformazione per ritiro			
Rck =	55.0 MPa	Resistenza cubica caratteristica	
fck =	45.7 MPa	Resistenza cilindrica caratteristica	
Ec,m =	36416 MPa	Modulo elastico del ds	
Ac =	634000 mmq	Area della sezione in cls	
u =	4088 mm	Perimetro della sezione in ds esposto all'aria	
h0 =	310.2 mm	dimensione fittizia h0 = 2Ac/u	
kh =	0.75	parametro funzione di h0 secondo la Tab. 11.2.Vb	
t0 =	3 gg	Tempo di messa di carico	
Deformazione per ritiro a tempo infinito			
βRH =	1.22	coefficiente dipendente dall'umidità relativa	
fcm =	53.7 MPa	resistenza media cilindrica a compressione	
fcm0 =	10.0 MPa		
Classe:	R	Classe del cemento (UNI EN 1992-1)	
αcl1 =	6.00	coefficiente dipendente dal tipo di cemento	
αcl2 =	0.11	coefficiente dipendente dal tipo di cemento	
εca,0 =	-0.504 ‰	Deformazione da ritiro per essiccamento	
εca =	-0.377 ‰	Valore medio a t=∞ della deformazione per ritiro da essiccamento	
εca =	-0.089 ‰	Valore medio a t=∞ della deformazione per ritiro autogeno	
εca =	<b>-0.465 ‰</b>	<b>Valore medio a t=∞ della deformazione per ritiro (totale)</b>	
Deformazione per ritiro a tempo ts			
ts =	60 gg	tempo	
βat(t,ts) =	0.207	Coefficiente del ritiro da essiccamento dipendente dall'età del calcestruzzo	
βat(t) =	0.788	Coefficiente del ritiro autogeno dipendente dal tempo	
εca(t,ts) =	-0.078 ‰	Valore medio al tempo ts della deformazione per ritiro da essiccamento	
εca(t,ts) =	-0.0702 ‰	Valore medio al tempo ts della deformazione per ritiro autogeno	
εca(t,ts) =	<b>-0.147 ‰</b>	<b>Valore medio al tempo ts della deformazione per ritiro (totale)</b>	

Deformazione per ritiro a tempo $t_s$							
$t_s =$	100 gg	tempo					
$\beta_{ds}(t, t_s) =$	0.304	Coefficiente del ritiro da essiccamento dipendente dall'età del calcestruzzo					
$\beta_{rs}(t) =$	0.865	Coefficiente del ritiro autogeneo dipendente dal tempo					
$\varepsilon_{cd}(t_s) =$	-0.114 ‰	Valore medio al tempo $t_s$ della deformazione per ritiro da essiccamento					
$\varepsilon_{ca}(t_s) =$	-0.0771 ‰	Valore medio al tempo $t_s$ della deformazione per ritiro autogeneo					
$\varepsilon_{cs}(t_s) =$	-0.191 ‰	Valore medio al tempo $t_s$ della deformazione per ritiro (totale)					

#### 10.5.4. CADUTE PER VICOSITA'

Il coefficiente di viscosità  $\varphi(t, t_0)$  è calcolato con la relazione:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0)$$

dove:

$\varphi_0$  è il coefficiente nominale di viscosità ed è valutato mediante:

$$\varphi_0 = \varphi_{PH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0)$$

$\varphi_{PH}$  è un coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'umidità relativa sul coefficiente nominale di viscosità:

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH / 100}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \quad \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ N/mm}^2$$

$$\varphi_{RH} = \left[ 1 + \frac{1 - RH / 100}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \quad \text{per } f_{cm} > 35 \text{ N/mm}^2$$

$RH$  è l'umidità ambientale relativa, in percentuale;

$\beta(f_{cm})$  è un coefficiente che tiene conto dell'effetto della resistenza del calcestruzzo sul coefficiente nominale di viscosità:

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}}$$

$f_{cm}$  è la resistenza media a compressione del calcestruzzo, in  $\text{N/mm}^2$ , all'età di 28 giorni;

$\beta(t_0)$  è un coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'età del calcestruzzo al momento dell'applicazione del carico sul coefficiente nominale di viscosità:

$$\beta(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})}$$

$h_0$  è la dimensione fittizia dell'elemento, in millimetri, dove:

$$h_0 = \frac{2 A_c}{u}$$

$A_c$  è l'area della sezione trasversale;

$u$  è il perimetro dell'elemento a contatto con l'atmosfera;

$\beta_c(t, t_0)$  è un coefficiente atto a descrivere l'evoluzione della viscosità nel tempo dopo l'applicazione del carico e può essere valutato con la seguente espressione:

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{\beta_H + t - t_0} \right]^{0.3}$$

$t$  è l'età del calcestruzzo, in giorni, al momento considerato;

$t_0$  è l'età del calcestruzzo, in giorni, al momento dell'applicazione del carico;  
 $t - t_0$  è la durata non corretta del carico, in giorni;  
 $\beta_H$  è un coefficiente dipendente dall'umidità relativa ( $RH$  in %) e dalla dimensione fittizia dell'elemento ( $h_0$  in millimetri). È calcolato nel modo seguente:

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \leq 1500 \quad \text{per } f_{cm} \leq 35$$

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3 \quad \text{per } f_{cm} > 35$$

$\alpha_{1/2/3}$  sono coefficienti atti a prendere in conto l'influenza della resistenza del calcestruzzo:

$$\alpha_1 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0.7} \quad \alpha_2 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0.2} \quad \alpha_3 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0.5}$$

L'effetto del tipo di cemento sul coefficiente di viscosità del calcestruzzo viene considerato modificando l'età del carico  $t_0$  secondo la seguente espressione:

$$t_0^* = t_{0,T} \cdot \left( \frac{9}{2 + t_{0,T}^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5$$

dove:

$t_{0,T}$  è l'età del calcestruzzo, in giorni, al momento dell'applicazione del carico, corretta in funzione della temperatura secondo l'espressione

$\alpha$  è un esponente che dipende dal tipo di cemento.

L'effetto di temperature elevate o ridotte comprese nell'intervallo 0-80 °C sulla maturazione del calcestruzzo viene preso in conto correggendo l'età del calcestruzzo con la seguente espressione:

$$t_T = \sum_{i=1}^n e^{-(4000 / [273 + T(\Delta t_i)] - 13.65)} \cdot \Delta t_i$$

dove:

$t_T$  è l'età del calcestruzzo, corretta in funzione della temperatura, che sostituisce  $t$  nelle corrispondenti espressioni;

$T(t_i)$  è la temperatura, in gradi centigradi, durante il periodo di tempo  $\Delta t_i$ ;

$t_i$  è il numero di giorni in cui risulta prevalente la temperatura  $T$ .

### 10.5.5. DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI VISCOSITÀ

Calcolo del coefficiente di viscosità $\phi(t, t_0)$							
Rck =	55.0 MPa	Resistenza cubica caratteristica					
fck =	45.7 MPa	Resistenza cilindrica caratteristica					
fcm =	53.7 MPa	Resistenza media cilindrica					
A <sub>c</sub> =	641000 mmq	Area della sezione in cls					
u =	4088 mm	Perimetro della sezione in cls esposto all'aria					
h <sub>0</sub> =	313.6 mm	dimensione fittizia h <sub>0</sub> = 2A <sub>c</sub> /u					
RH =	60 %	Umidità Relativa					
t <sub>0</sub> =	3.0 gg	Tempo di messa di carico (stagionatura del cls all'atto della precompressione)					
t =	60 gg	Tempo di calcolo della viscosità					

Effetto del tipo di cemento sul coefficiente di viscosità			
Classe:	R	Classe del cemento	(UNI EN 1992-1)
$\alpha =$	1		
Ciclo termico di maturazione forzata			
	$\Delta t_i$	$T_i$	$\Delta t_{eq}$
Fase	[h]	[°C]	[h]
1	3	20	3.00
2	3	40	7.18
3	6	60	30.92
4	4	40	9.57
5	8	20	8.00
6	0	20	0.00
t =	24	h	t <sub>T</sub> = 58.67 h
t <sub>0</sub> =	1	gg	t <sub>0,T</sub> = 2.44 gg
t* <sub>0</sub> =	6.91	gg	Stagionatura del cls corretta in base al tipo di cemento
Calcolo del coefficiente nominale di viscosità $\phi_0$			
$\beta(t_0) =$	0.636	coeff. dell'effetto dell'età del cls al momento di applicazione del carico sul coeff. nominale di viscosità	
$\phi_0 =$	1.924	coefficiente nominale di viscosità (a tempo infinito)	
Calcolo del coefficiente di viscosità $\phi(t, t_0)$ dopo 60 gg dall'applicazione del carico			
$\beta_c(t, t_0) =$	0.472	coefficiente di evoluzione della viscosità nel tempo dopo l'applicazione del carico	
$\phi(t, t_0) =$	0.908		
Calcolo del coefficiente di viscosità $\phi(t, t_0)$ dopo 100 gg dall'applicazione del carico			
$\beta_c(t, t_0) =$	0.541	coefficiente di evoluzione della viscosità nel tempo dopo l'applicazione del carico	
$\phi(t, t_0) =$	1.042		

### 10.5.6. CADUTE PER EFFETTO TERMICO

Per effetto della maturazione a vapore, la diminuzione di tensione nelle armature da precompressione e la dilatazione impedita del calcestruzzo dovute alla temperatura, inducono una specifica caduta termica  $\Delta\sigma_{p\theta}$  che è valutata con l'espressione:

$$\Delta\sigma_{p\theta} = 0.5 E_p \alpha_c (T_{max} - T_0)$$

dove:

$E_p$  è il modulo di elasticità delle armature di precompressione;

$\alpha_c$  è il coefficiente di dilatazione termica lineare del calcestruzzo;

$T_{max} - T_0$  è la differenza tra la temperatura massima e quella iniziale del calcestruzzo a contatto delle armature di precompressione, in gradi centigradi.

$E_p =$	195000 MPa	Modulo elastico delle armature di precompressione
$\alpha_c =$	0.00001 °C <sup>-1</sup>	coefficiente di dilatazione termica del cls
$T_0 =$	20 °C	Temperatura iniziale del cls a contatto delle armature di precompressione
$T_{max} =$	60 °C	Temperatura massima del cls a contatto delle armature di precompressione
$T_{max} - T_0 =$	40 °C	$\Delta T$ tra la $T_{max}$ e $T_0$
$\Delta\sigma_{p\theta} =$	39.0 MPa	Caduta per effetto termico

### 10.5.7. CADUTE PER RILASSAMENTO ACCIAIO

Il rapporto della variazione della tensione di precompressione sulla tensione di precompressione iniziale è determinato applicando la seguente espressione, valida per acciaio di classe 2 (fili o trefoli a basso rilassamento):

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 0.66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9.1\mu} \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{0.75(1-\mu)} \cdot 10^{-3} \quad (3.29)$$

dove:

$\Delta\sigma_{pr}$  è il valore assoluto delle perdite per rilassamento;

$\sigma_{pi}$  è la massima tensione di trazione applicata al cavo meno le perdite immediate che si verificano durante il procedimento di messa in tensione;

$t$  è il tempo dopo la messa in tensione (in ore);

$\mu = \sigma_{pi} / f_{pk}$ , dove  $f_{pk}$  è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'acciaio da precompressione;

$\rho_{1000}$  è il valore della perdita per rilassamento a 1000 h dopo la messa in tensione e a una temperatura media di 20 °C.

Per tener conto degli effetti del trattamento termico previsto sulle perdite di precompressione dovute al rilassamento dell'acciaio, nella funzione rilassamento-tempo precedente si aggiunge un tempo equivalente  $t_{eq}$  al tempo dopo la tesatura. Il tempo equivalente è valutato con l'espressione seguente:

$$t_{eq} = \frac{1.14(T_{max} - 20)}{T_{max} - 20} \sum_{i=1}^n (T_{(\Delta t_i)} - 20) \Delta t_i$$

dove:

$t_{eq}$  è il tempo equivalente (in ore);

$T(t_i)$  è la temperatura (in gradi centigradi) durante l'intervallo di tempo  $t_i$ ;

$T_{max}$  è la temperatura massima (in gradi centigradi) durante il trattamento termico.

### 10.5.8. CADUTE TOTALI

Per tener conto dell'interazione tra rilassamento nell'acciaio e ritiro e viscosità nel calcestruzzo, la perdita di tensione nell'acciaio è valutata localmente in base alla seguente espressione:

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = \frac{\varepsilon_{cs} E_p + 0.8\Delta\sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} \phi(t, t_0) \cdot \sigma_{c,Qp}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{A_c}{I_c} z_{cp}^2\right) [1 + 0.8\phi(t, t_0)]}$$

dove:

$\Delta\sigma_{p,c+s+r}$  è il valore assoluto della variazione di tensione nelle armature dovuta a viscosità, ritiro e rilassamento al livello  $y$ , all'istante  $t$ ;

$\varepsilon_{cs}$  è la deformazione per ritiro in valore assoluto;

$E_p$  è il modulo di elasticità dell'acciaio da precompressione;

$E_{cm}$  è il modulo di elasticità del calcestruzzo;

PROGETTAZIONE ATI:

- $\Delta\sigma_{pr}$  è il valore assoluto della variazione di tensione per effetto del rilassamento dell'acciaio da precompressione.
- $\varphi(t, t_0)$  è il coefficiente di viscosità all'istante  $t$  con applicazione del carico all'istante  $t_0$ ;
- $\sigma_{c,QP}$  è la tensione nel calcestruzzo adiacente alle armature, dovuta a peso proprio, precompressione iniziale e ad altre azioni quasi-permanenti ove presenti.
- $A_p$  è l'area di tutte le armature di precompressione al livello  $y$ ;
- $A_c$  è l'area della sezione di calcestruzzo;
- $I_c$  è il momento d'inerzia della sezione di calcestruzzo;
- $z_{cp}$  è la distanza tra il baricentro della sezione di calcestruzzo e le armature.

### 10.6. ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE TRAVI

Si riportano di seguito le caratteristiche generali dell'armatura di precompressione.

$\sigma_{pi} =$	1450	MPa	Tens. Iniziale alla tesaura	
$f_{p(1)k} =$	1670	MPa	Tens. Caratt all'1% di def. tot.	
$\sigma_{p,\infty} =$	1336	MPa	Tensione massima in esercizio	
$A_s =$	1.39	cmq	Area 1 Trefolo da:	0.6"

Strato	$n_{tr}$	$d_{tr}$ [cm]	$A_{tr}$ [cm <sup>2</sup> ]
6	2	135.0	1.39
5	0	0.0	1.39
4	0	21.0	1.39
3	0	16.0	1.39
2	12	11.0	1.39
1	16	6.0	1.39
TOT	30		
$n_{tr} =$	Numero di trefoli dello strato		
$d_{tr} =$	Distanza dei trefoli dal lembo inferiore		
$A_{tr} =$	Area di ciascun trefolo dello strato		

Si riportano di seguito le caratteristiche dell'armatura di precompressione per le varie sezioni di verifica.

Strato	x/y	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10(Mezz)
6	135.0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	11.0	2	2	6	6	6	12	12	12	12	12
1	6.0	4	4	4	8	8	16	16	16	16	16
tot. tr.		8	8	12	16	16	30	30	30	30	30
$y_{spi} =$		39.50	39.50	30.00	24.00	24.00	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60
$I_{sp} =$		51202	51202	51875	52075	52075	53484	53484	53484	53484	53484

**OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO**

Caratteristiche geometriche delle armature di precompressione						
Sez.	$x_{asse\ pila}$ [m]	$n_t$	$A_{sp}$ [cm <sup>2</sup> ]	$S_{sp}$ [cm <sup>3</sup> ]	$I_{sp}$ [cm <sup>4</sup> ]	$Y_{spi}$ [cm]
S1	-0.50	8	11.12	439.24	51202	39.50
S2	0.00	8	11.12	439.24	51202	39.50
S3	0.52	12	16.68	500.40	51875	30.00
S4	1.03	16	22.24	533.76	52075	24.00
S5	2.06	16	22.24	533.76	52075	24.00
S6	3.09	30	41.70	692.22	53484	16.60
S7	4.12	30	41.70	692.22	53484	16.60
S8	5.15	30	41.70	692.22	53484	16.60
S9	6.18	30	41.70	692.22	53484	16.60
S10(Mezz)	10.30	30	41.70	692.22	53484	16.60

Sez.	$x_{asse\ pila}$ [m]	$\sigma_{pi0}$ [MPa]	$A_{sp}$ [cm <sup>2</sup> ]	$Y_{1p}$ [cm]	$P_0$ [kN]	$M_{P0}$ [kNm]
S1	-0.50	0	11.12	-24.19	0	0
S2	0.00	1026	16.68	-33.50	1712	-573
S3	0.52	1450	22.24	-39.28	3225	-1267
S4	1.03	1450	22.24	-39.28	3225	-1267
S5	2.06	1450	41.70	-45.97	6047	-2779
S6	3.09	1450	41.70	-45.97	6047	-2779
S7	4.12	1450	41.70	-45.97	6047	-2779
S8	5.15	1450	41.70	-45.97	6047	-2779
S9	6.18	1450	41.70	-45.97	6047	-2779
S10(Mezz)	10.30	1450	41.70	-45.97	6047	-2779

**ARMATURE ORDINARIE**

$p_{ss} =$	0.20	m	Passo delle armature superiori correnti in soletta			
$p_{is} =$	0.20	m	Passo delle armature inferiori correnti in soletta			
$c =$	5.00	cm	Copri ferro armature in soletta (asse armatura)			
Dettaglio armature ordinarie Trave di bordo						
Strato	$n_s$	$\phi$ [mm]	$d$ [cm]	$x_1$ [m]	$x_2$ [m]	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]
7	12.4	0	160	0.00	0.00	0.00
6	12.4	0	146	0.00	0.00	0.00
5	12.4	12	160	0.00	21.60	13.98
4	12.4	12	146	0.00	21.60	13.98
3	0	0	0	10.8	10.8	0
2	0	8	12	0	21.60	0.00
1	10	8	5	0	21.60	5.03
$n_s =$	Numero ferri dello strato					
$\phi =$	Diametro dei ferri dello strato					
$d =$	Distanza dal lembo inferiore					
$x_1 =$	Ascissa iniziale dalla testa trave					
$x_2 =$	Ascissa finale dalla testa trave					
$A_s =$	Area totale dello strato					

PROGETTAZIONE ATI:

**OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO**

Parametri adottati per le verifiche a taglio e torsione									
$ctg\alpha =$	0.00	inclinazione dell'armatura trasversale rispetto asse trave							
$f_{cd} =$	25.87	resistenza di calcolo a compressione del cls							
$\nu =$	0.50	coefficiente riduttivo per cls fessurato a taglio							
$f'_{cd} =$	12.93	resistenza di calcolo corretta del cls							
$f_{ywd} =$	391.3	resistenza di calcolo delle armature a taglio							
$n_w =$	2.00	numero delle anime della sezione							
$u_m =$	4.99	perimetro medio del nucleo resistente							
Caratteristiche travi e armature a taglio - Singola nervatura trave									
Sez.	$x_{asse\ pila}$ [m]	$ctg\theta$	$\sigma_{cp}$ [MPa]	$\alpha_c$	$b_w$ [cm]	bracci	$\phi$ [mm]	$\rho$ [cm]	$A_{sw}/s$ [cm <sup>2</sup> /m]
S1	-0.50	1.00	0.00	1.00	14	2	14	10.0	30.79
S2	0.00	1.00	0.85	1.03	14	2	14	10.0	30.79
S3	0.52	1.00	2.95	1.11	14	2	14	10.0	30.79
S4	1.03	1.00	4.04	1.16	14	2	14	10.0	30.79
S5	2.06	2.00	3.93	1.15	14	2	12	10.0	22.62
S6	3.09	2.00	6.77	1.25	14	2	12	10.0	22.62
S7	4.12	2.00	6.82	1.25	14	2	12	20.0	11.31
S8	5.15	2.00	6.86	1.25	14	2	12	20.0	11.31
S9	6.18	2.00	6.89	1.25	14	2	12	20.0	11.31
S10(Mezz)	10.30	2.00	6.95	1.25	14	2	12	20.0	11.31

PROGETTAZIONE ATI:

## 10.7. CARATTERISTICHE DELLE SEZIONI

### 10.7.1. TRAVE ISOLATA

Caratteristiche geometriche delle sezioni della trave isolata						
Sez.	$x_{asse\ app}$ [m]	$A_C$ [m <sup>2</sup> ]	$S_{ci}$ [m <sup>3</sup> ]	$I_{ci}$ [m <sup>4</sup> ]	$I_{CO}$ [m <sup>4</sup> ]	$Y_{Gi}$ [m]
S1	-0.50	0.634	0.4064	0.4075	0.1470	0.641
S2	0.00	0.634	0.4064	0.4075	0.1470	0.641
S3	0.52	0.634	0.4064	0.4075	0.1470	0.641
S4	1.03	0.634	0.4064	0.4075	0.1470	0.641
S5	2.06	0.634	0.4064	0.4075	0.1470	0.641
S6	3.09	0.634	0.4064	0.4075	0.1470	0.641
S7	4.12	0.634	0.4064	0.4075	0.1470	0.641
S8	5.15	0.634	0.4064	0.4075	0.1470	0.641
S9	6.18	0.634	0.4064	0.4075	0.1470	0.641
S10(Mezz)	10.30	0.634	0.4064	0.4075	0.1470	0.641

$A_C =$	Area
$S_{ci} =$	Momento statico rispetto al lembo inferiore trave
$I_{ci} =$	Momento di Inerzia rispetto al lembo inferiore trave
$I_{CO} =$	Momento di Inerzia baricentrico
$Y_{Gi} =$	Distanza del baricentro rispetto al lembo inferiore trave

### 10.7.2. SEZIONE IDEALE OMOGENEIZZATA

SEZIONE IDEALE OMOGENEIZZATA			
	CLS Trave	C45/55	
$f_{ck, tr} =$	45.65	MPa	Resistenza a compressione cilindrica caratteristica del cls travi
$E_{cm} =$	36416	MPa	Modulo di elasticità del calcestruzzo delle travi
$E_s =$	210000	MPa	Modulo di elasticità dell'armatura ordinaria
$E_p =$	195000	MPa	Modulo di elasticità dell'armatura di precompressione
$\omega_p =$	5.35		Coeff. di omogeneizzazione acciaio di precompressione
$\omega_s =$	5.77		Coeff. di omogeneizzazione acciaio ordinario

Caratteristiche Geometriche Sezione Ideale Omogeneizzata											
Sez.	$x_{asse\ app}$ [m]	$A_1$ [m <sup>2</sup> ]	$S_{1i}$ [m <sup>3</sup> ]	$I_{1i}$ [m <sup>4</sup> ]	$I_{10}$ [m <sup>4</sup> ]	$Y_{1s}$ [m]	$Y_{1i}$ [m]	$Y_{1p}$ [m]	$W_{1s}$ [m <sup>3</sup> ]	$W_{1i}$ [m <sup>3</sup> ]	$W_{1p}$ [m <sup>3</sup> ]
S1	-0.50	0.6412	0.4084	0.4097	0.1496	0.763	-0.637	-0.242	0.1960	-0.2349	-0.6183
S2	0.00	0.6412	0.4084	0.4097	0.1496	0.763	-0.637	-0.242	0.1960	-0.2349	-0.6183
S3	0.52	0.6437	0.4087	0.4098	0.1503	0.765	-0.635	-0.335	0.1964	-0.2367	-0.4486
S4	1.03	0.6461	0.4088	0.4098	0.1511	0.767	-0.633	-0.393	0.1969	-0.2387	-0.3846
S5	2.06	0.6461	0.4088	0.4098	0.1511	0.767	-0.633	-0.393	0.1969	-0.2387	-0.3846
S6	3.09	0.6546	0.4095	0.4098	0.1536	0.774	-0.626	-0.460	0.1984	-0.2455	-0.3342
S7	4.12	0.6546	0.4095	0.4098	0.1536	0.774	-0.626	-0.460	0.1984	-0.2455	-0.3342
S8	5.15	0.6546	0.4095	0.4098	0.1536	0.774	-0.626	-0.460	0.1984	-0.2455	-0.3342
S9	6.18	0.6546	0.4095	0.4098	0.1536	0.774	-0.626	-0.460	0.1984	-0.2455	-0.3342
S10(Mezz)	10.30	0.6546	0.4095	0.4098	0.1536	0.774	-0.626	-0.460	0.1984	-0.2455	-0.3342

PROGETTAZIONE ATI:

**OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO**

$A_1 =$	Area sezione ideale omogeneizzata				
$S_{1i} =$	Momento statico rispetto al lembo inferiore				
$I_{1i} =$	Momento di inerzia rispetto al lembo inferiore				
$I_{10} =$	Momento di inerzia baricentrico				
$y_{1s} =$	distanza lembo superiore trave dal baricentro trave				
$y_{1i} =$	distanza lembo inferiore trave dal baricentro trave				
$y_{1p} =$	distanza baricentro armature di precompressione dal baricentro trave				
$W_{1s} =$	Modulo di resistenza rispetto al lembo superiore trave				
$W_{1i} =$	Modulo di resistenza rispetto al lembo inferiore trave				
$W_{1p} =$	Modulo di resistenza rispetto al baricentro armature da precompressione				

**10.7.3. SEZIONE MISTA TRAVE + SOLETTA**

SEZIONE MISTA TRAVE + SOLETTA									
CLS Sol.	C35/45								
$f_{ck, sol} =$	37.35	MPa	Resistenza a compressione cilindrica caratteristica del cls soletta						
$E_{c, sol} =$	34625	MPa	Modulo di elasticità del calcestruzzo della soletta						
$n_c =$	0.951		Coefficiente di omogeneizzazione dei calcestruzzi						
$L_{imp} =$	8.80	m	Larghezza impalcato (fuori tutto)						
$n^{\circ}_{tr} =$	4		Numero travi						
$i_{tr} =$	1.80	m	Interasse travi						
$S_{sol} =$	0.20	m	Spessore della soletta						
$S_{pred} =$	0.05	m	Spessore dalla						

Caratteristiche della Sezione di solo calcestruzzo						
Sez.	$x_{asse\ app.}$ [m]	$A_{2c}$ [m <sup>2</sup> ]	$S_{2ci}$ [m <sup>3</sup> ]	$I_{2ci}$ [m <sup>4</sup> ]	$I_{2c0}$ [m <sup>4</sup> ]	$y_{2ci}$ [m]
S1	-0.50	1.1284	1.1728	1.5970	0.37818244	1.039
S2	0.00	1.1284	1.1728	1.5970	0.37818244	1.039
S3	0.52	1.1284	1.1728	1.5970	0.37818244	1.039
S4	1.03	1.1284	1.1728	1.5970	0.37818244	1.039
S5	2.06	1.1284	1.1728	1.5970	0.37818244	1.039
S6	3.09	1.1284	1.1728	1.5970	0.37818244	1.039
S7	4.12	1.1284	1.1728	1.5970	0.37818244	1.039
S8	5.15	1.1284	1.1728	1.5970	0.37818244	1.039
S9	6.18	1.1284	1.1728	1.5970	0.37818244	1.039
S10(Mezz)	10.30	1.1284	1.1728	1.5970	0.37818244	1.039

$A_{2c} =$	Area				
$S_{2ci} =$	Momento Statico rispetto al lembo inferiore				
$I_{2ci} =$	Momento di inerzia rispetto al lembo inferiore				
$I_{2c0} =$	Momento di inerzia baricentrico				
$y_{2ci} =$	Distanza del baricentro dal lembo inferiore trave				

PROGETTAZIONE ATI:

**10.7.4. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI NELLE VARIE FASI PER TRAVE DI BORDO**

Si riportano di seguito le caratteristiche delle sollecitazioni in termini di momento flettente M e taglio V relative alla trave maggiormente sollecitata.

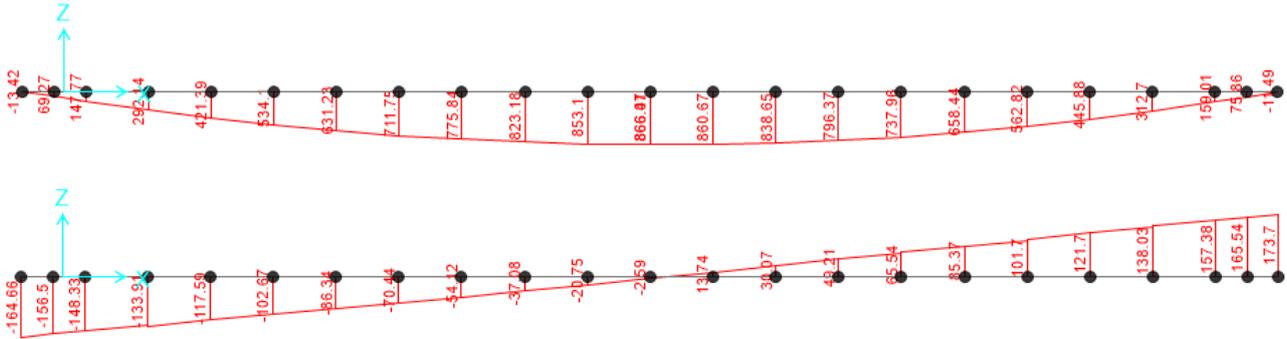


Figura 10.18: Momento flettente e taglio peso proprio trave

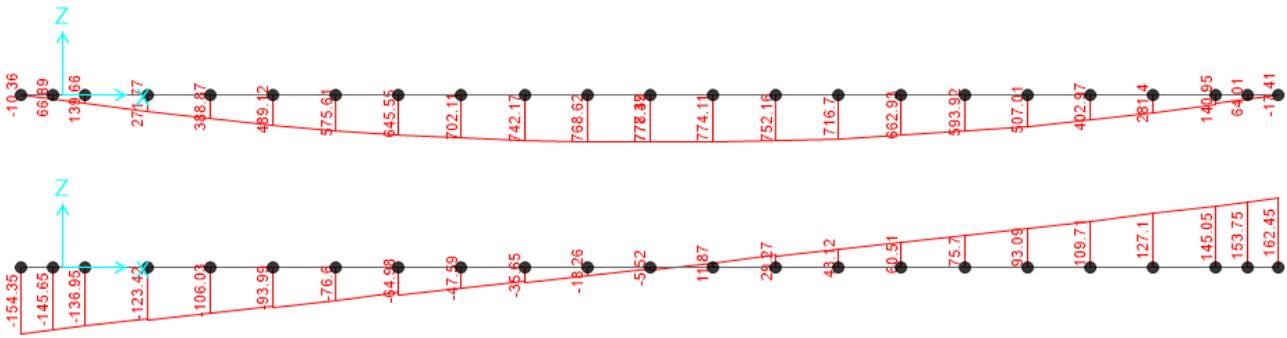


Figura 10.19 Momento flettente e taglio getto soletta

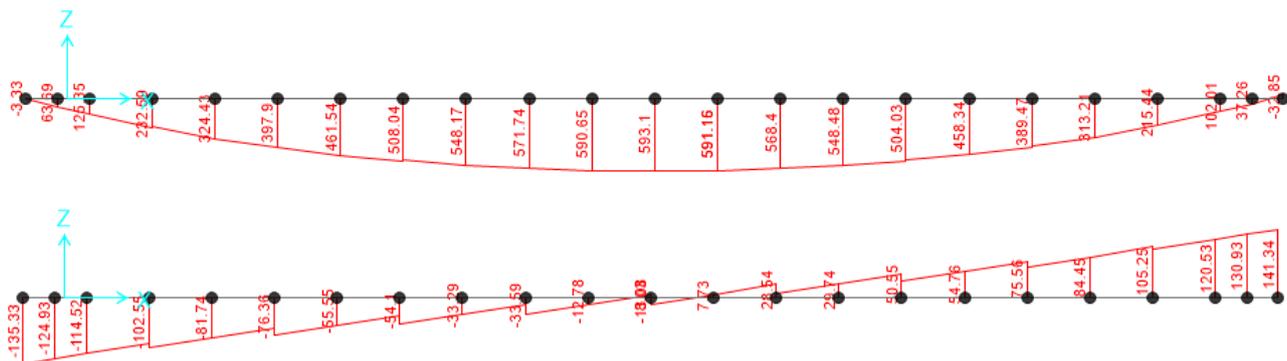


Figura 10.20 Momento flettente e taglio G2

PROGETTAZIONE ATI:

OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

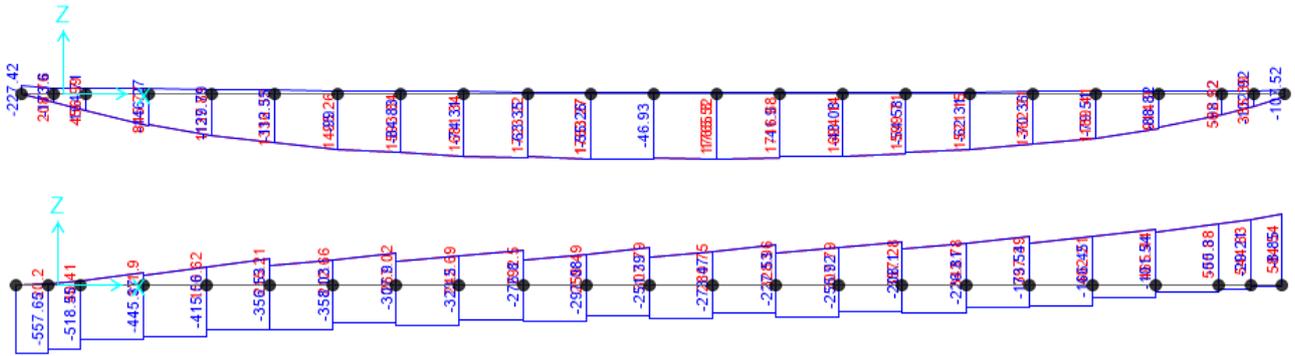


Figura 10.21 Momento flettente e taglio carichi mobili tandem

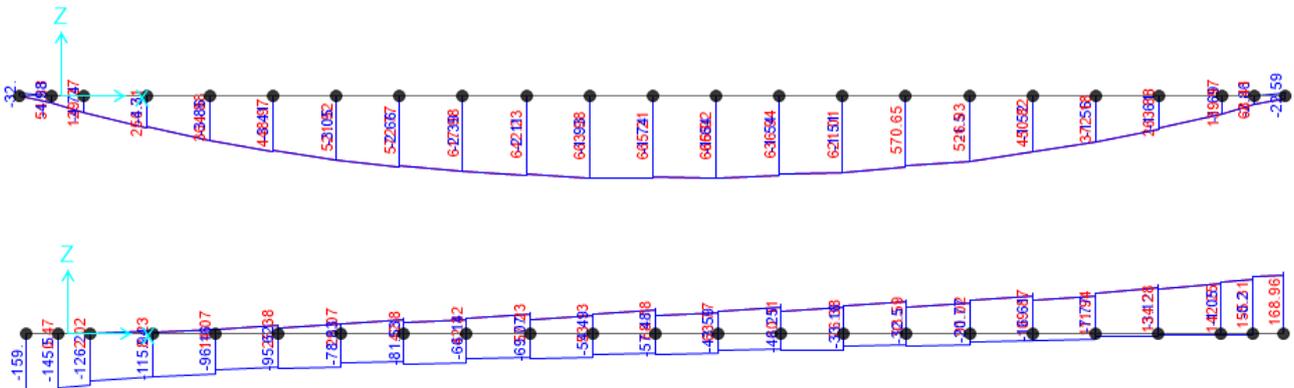


Figura 10.22 Momento flettente e taglio carichi mobili distribuiti

PROGETTAZIONE ATI:

## 11. VERIFICHE TRAVI

### 11.1. PRECOMPRESSIONE E CADUTE DI TENSIONE

Nei paragrafi che seguono sono calcolate le precompressioni iniziali e valutate le cadute di tensione nelle diverse fasi di calcolo considerate.

#### 11.1.1. FASE 1: VERIFICHE ALL'ATTO DEL RILASCIO

Per le verifiche all'atto del rilascio si considerano i valori di sforzo normale e momento flettente dovuti alla precompressione determinati con una lunghezza di trasmissione della precompressione pari al valore inferiore di  $l_{pt}$  ed assumendo che all'estremità delle guaine i corrispondenti cavi siano attivi (condizioni che massimizzano i valori delle tensioni di trazione al lembo teso e compressione al lembo compresso).

Si considerano i soli effetti di precompressione e peso proprio. Sezione resistente trave isolata.

Verifica delle condizioni iniziali													
Sez.	$x_{asse\ app.}$ [m]	$P_0$ [kN]	$M_{p0}$ [kNm]	$\sigma_{p0ts}$ [MPa]	$\sigma_{p0ti}$ [MPa]	$\sigma_{p0pi}$ [MPa]	$M_{g0}$ [kNm]	$\Delta\sigma_{g0ts}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{g0ti}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{g0pi}$ [MPa]	$\sigma_{ts,li}$ [MPa]	$\sigma_{ti,li}$ [MPa]	$\sigma_{i,pi}$ [MPa]
S1	-0.50	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S2	0.00	1712.1	-573.5	-0.26	5.08	3.94	-13.4	-0.07	0.06	0.03	-0.33	5.14	3.97
S3	0.52	2418.6	-810.1	-0.37	7.18	5.56	69.3	0.35	-0.29	-0.15	-0.01	6.89	5.41
S4	1.03	2418.6	-810.1	-0.37	7.18	5.56	147.8	0.75	-0.62	-0.33	0.39	6.56	5.23
S5	2.06	2418.6	-1111.7	-1.91	8.22	7.02	291.9	1.47	-1.19	-0.87	-0.44	7.03	6.15
S6	3.09	6046.5	-2779.3	-4.77	20.56	17.55	421.4	2.12	-1.72	-1.26	-2.65	18.84	16.29
S7	4.12	6046.5	-2779.3	-4.77	20.56	17.55	533.9	2.69	-2.17	-1.60	-2.08	18.38	15.96
S8	5.15	6046.5	-2779.3	-4.77	20.56	17.55	631.2	3.18	-2.57	-1.89	-1.59	17.99	15.67
S9	6.18	6046.5	-2779.3	-4.77	20.56	17.55	711.7	3.59	-2.90	-2.13	-1.19	17.66	15.42
S10(Mezz)	10.30	6046.5	-2779.3	-4.77	20.56	17.55	866.4	4.37	-3.53	-2.59	-0.41	17.03	14.96

Per tutte le sezioni risulta

- $\sigma_t > f_{ctm}/1.2 = -2.79$  MPa La verifica è soddisfatta
- $\sigma_c < 0,7 \times f_{ck} = 26.15$  MPa La verifica è soddisfatta

Cadute di tensione al giorno 60									
Sez.	$x_{asse\ app.}$ [m]	$\epsilon_{cs}$ ‰	$\Delta\sigma_{cs}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{pr}$ [MPa]	$\phi$	$\Delta\sigma_{creep}$ [MPa]	$\Sigma\Delta\sigma$ [MPa]	Denom	$\Delta\sigma_{p,c+s+r}$ [MPa]
S1	-0.50	0.147	28.67	24.76	0.908	0.00	53.43	1.02	52.37
S2	0.00	0.147	28.67	24.76	0.908	7.32	60.75	1.02	59.55
S3	0.52	0.147	28.67	24.76	0.908	25.16	78.59	1.04	75.90
S4	1.03	0.147	28.67	24.76	0.908	25.45	78.87	1.04	76.17
S5	2.06	0.147	28.67	24.76	0.908	23.89	77.31	1.04	74.66
S6	3.09	0.147	28.67	24.76	0.908	79.22	132.65	1.11	119.29
S7	4.12	0.147	28.67	24.76	0.908	77.58	131.01	1.11	117.82
S8	5.15	0.147	28.67	24.76	0.908	76.17	129.59	1.11	116.55
S9	6.18	0.147	28.67	24.76	0.908	75.00	128.42	1.11	115.50
S10(Mezz)	10.30	0.147	28.67	24.76	0.908	72.75	126.17	1.11	113.47

**OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO**

Tensioni risultanti al giorno : 60									
Sez.	x <sub>asse app.</sub> [m]	$\Delta_1 P$ [kN]	$\Delta_1 M_p$ [kNm]	$\Delta_1 \sigma_{ts,p}$ [MPa]	$\Delta_1 \sigma_{ti,p}$ [MPa]	$\Delta_1 \sigma_{pi,p}$ [MPa]	$\sigma_{ts,1f}$ [MPa]	$\sigma_{ti,1f}$ [MPa]	$\sigma_{pi,1f}$ [MPa]
S1	-0.50	-58.24	14.09	-0.02	-0.15	-0.11	-0.02	-0.15	-0.11
S2	0.00	-66.22	16.02	-0.02	-0.17	-0.13	0.16	1.86	1.38
S3	0.52	-126.60	42.40	0.02	-0.38	-0.29	0.02	6.21	4.88
S4	1.03	-127.05	42.56	0.02	-0.38	-0.29	0.40	6.18	4.94
S5	2.06	-124.54	41.71	0.02	-0.37	-0.29	1.14	5.58	4.63
S6	3.09	-497.46	228.66	0.39	-1.69	-1.44	-2.26	17.15	14.85
S7	4.12	-491.32	225.84	0.39	-1.67	-1.43	-1.69	16.71	14.53
S8	5.15	-486.01	223.40	0.38	-1.65	-1.41	-1.21	16.33	14.25
S9	6.18	-481.62	221.38	0.38	-1.64	-1.40	-0.81	16.02	14.03
S10(Mezz)	10.30	-473.18	217.50	0.37	-1.61	-1.37	-0.03	15.42	13.59

**11.1.2. FASE 2: GETTI IN OPERA**

Si determinano nel seguito le tensioni dovute al getto in opera della soletta e si valuta l'aliquota di cadute di tensione tra 60 e 100 gg.

Tensioni dovute al getto soletta sulla trave di bordo								
Sez.	x <sub>asse app.</sub> [m]	M <sub>g1</sub> [kNm]	$\Delta \sigma_{g1ts}$ [MPa]	$\Delta \sigma_{g1ti}$ [MPa]	$\Delta \sigma_{g1pi}$ [MPa]	$\sigma_{s,2ts}$ [MPa]	$\sigma_{i,2ti}$ [MPa]	$\sigma_{i,2pi}$ [MPa]
S1	-0.50	0.0	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.15	-0.11
S2	0.00	-10.4	-0.05	0.04	0.02	0.10	1.90	1.39
S3	0.52	66.9	0.34	-0.28	-0.15	0.36	5.93	4.74
S4	1.03	139.7	0.71	-0.59	-0.31	1.12	5.59	4.63
S5	2.06	270.7	1.38	-1.14	-0.60	2.52	4.43	4.02
S6	3.09	388.9	1.96	-1.58	-1.16	-0.30	15.57	13.69
S7	4.12	487.8	2.46	-1.99	-1.46	0.77	14.73	13.07
S8	5.15	575.6	2.90	-2.34	-1.72	1.69	13.99	12.53
S9	6.18	644.1	3.25	-2.62	-1.93	2.44	13.40	12.10
S10(Mezz)	10.30	777.4	3.92	-3.17	-2.33	3.89	12.25	11.26

Cadute di tensione dal giorno 60 al giorno 100 (seconda quota delle cadute di tension)									
Sez.	x <sub>asse app.</sub> [m]	$\Delta \epsilon_{cs}$ ‰	$\Delta \sigma_{cs}$ [MPa]	$\Delta \sigma_{pr}$ [MPa]	$\Delta \phi$	$\Delta \sigma_{creep}$ [MPa]	$\Sigma \Delta \sigma$ [MPa]	Denom	$\Delta \sigma_{p,c+s+r}$ [MPa]
S1	-0.50	0.044	8.58	2.40	0.134	0.00	10.98	1.01	10.84
S2	0.00	0.044	8.58	2.40	0.134	1.09	12.07	1.01	11.92
S3	0.52	0.044	8.58	2.40	0.134	3.61	14.59	1.02	14.26
S4	1.03	0.044	8.58	2.40	0.134	3.53	14.51	1.02	14.19
S5	2.06	0.044	8.58	2.40	0.134	3.09	14.07	1.02	13.76
S6	3.09	0.044	8.58	2.40	0.134	10.86	21.84	1.07	20.37
S7	4.12	0.044	8.58	2.40	0.134	10.40	21.38	1.07	19.95
S8	5.15	0.044	8.58	2.40	0.134	10.00	20.98	1.07	19.58
S9	6.18	0.044	8.58	2.40	0.134	9.68	20.66	1.07	19.28
S10(Mezz)	10.30	0.044	8.58	2.40	0.134	9.07	20.05	1.07	18.70

PROGETTAZIONE ATI:

Tensioni risultanti al giorno : 100									
Sez.	X <sub>asse app.</sub> [m]	$\Delta_2 P$ [kN]	$\Delta_2 M_p$ [kNm]	$\Delta_2 \sigma_{ts,p}$ [MPa]	$\Delta_2 \sigma_{ti,p}$ [MPa]	$\Delta_2 \sigma_{pi,p}$ [MPa]	$\sigma_{ts,2f}$ [MPa]	$\sigma_{ti,2f}$ [MPa]	$\sigma_{pi,2f}$ [MPa]
S1	-0.50	-12.05	2.92	0.00	-0.03	-0.02	-0.02	-0.18	-0.14
S2	0.00	-13.25	3.21	0.00	-0.03	-0.03	0.10	1.87	1.37
S3	0.52	-23.79	7.97	0.00	-0.07	-0.05	0.36	5.86	4.68
S4	1.03	-23.67	7.93	0.00	-0.07	-0.05	1.12	5.52	4.58
S5	2.06	-22.95	7.69	0.00	-0.07	-0.05	2.52	4.37	3.97
S6	3.09	-84.96	39.05	0.07	-0.29	-0.25	-0.23	15.28	13.44
S7	4.12	-83.19	38.24	0.07	-0.28	-0.24	0.83	14.44	12.83
S8	5.15	-81.65	37.53	0.06	-0.28	-0.24	1.76	13.71	12.30
S9	6.18	-80.40	36.96	0.06	-0.27	-0.23	2.51	13.12	11.87
S10(Mezz)	10.30	-78.00	35.85	0.06	-0.27	-0.23	3.95	11.99	11.04

### 11.1.3. FASE 3: CARICHI PERMANENTI PORTATI

Nella terza fase si considerano le cadute che si sviluppano dall'applicazione dei carichi permanenti portati fino a tempo infinito. Le cadute della terza fase sono scontate sulla sezione mista trave - soletta.

Tensioni dovute ai carichi permanenti portati sulla trave di bordo												
Sez.	X <sub>asse app.</sub> [m]	M <sub>g2</sub> [kNm]	$\Delta \sigma_{g2ss}$ [MPa]	$\Delta \sigma_{g2si}$ [MPa]	$\Delta \sigma_{g2ts}$ [MPa]	$\Delta \sigma_{g2ti}$ [MPa]	$\Delta \sigma_{g2pi}$ [MPa]	$\sigma_{s,3i}$ [MPa]	$\sigma_{i,3i}$ [MPa]	$\sigma_{ts,3i}$ [MPa]	$\sigma_{ti,3i}$ [MPa]	$\sigma_{pi,3i}$ [MPa]
S1	-0.50	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.18	-0.14
S2	0.00	-3.3	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.10	1.87	1.37
S3	0.52	63.7	0.10	0.06	0.06	-0.17	-0.12	0.10	0.06	0.42	5.69	4.56
S4	1.03	125.3	0.19	0.11	0.12	-0.33	-0.24	0.19	0.11	1.24	5.18	4.34
S5	2.06	229.5	0.34	0.20	0.21	-0.61	-0.44	0.34	0.20	2.73	3.75	3.53
S6	3.09	324.4	0.48	0.29	0.30	-0.84	-0.70	0.48	0.29	0.07	14.44	12.74
S7	4.12	393.6	0.58	0.35	0.37	-1.01	-0.85	0.58	0.35	1.20	13.43	11.98
S8	5.15	461.5	0.68	0.41	0.43	-1.19	-1.00	0.68	0.41	2.19	12.52	11.30
S9	6.18	503.2	0.74	0.44	0.47	-1.30	-1.09	0.74	0.44	2.97	11.83	10.78
S10(Mezz)	10.30	588.4	0.87	0.52	0.55	-1.52	-1.27	0.87	0.52	4.49	10.47	9.76

Sez.	X <sub>asse app.</sub> [m]	Cadute di tensione dal giorno 100		a tempo infinito (terza quota delle cadute di tensione)						
		$\Delta \epsilon_{cs}$ ‰	$\Delta \sigma_{cs}$ [MPa]	$\Delta \sigma_{pr}$ [MPa]	$\Delta \phi$	$\Delta \sigma_{creep}$ [MPa]	$\Sigma \Delta \sigma$ [MPa]	Denom	$\Delta \sigma_{p,c+s+r}$ [MPa]	
S1	-0.50	0.274	53.43	44.24	0.882	0.00	97.67	1.01	96.81	
S2	0.00	0.274	53.43	44.24	0.882	18.85	116.52	1.01	115.50	
S3	0.52	0.274	53.43	44.24	0.882	24.27	121.94	1.01	120.35	
S4	1.03	0.274	53.43	44.24	0.882	22.13	119.80	1.01	118.23	
S5	2.06	0.274	53.43	44.24	0.882	24.13	121.80	1.01	120.21	
S6	3.09	0.274	53.43	44.24	0.882	68.14	165.81	1.03	160.55	
S7	4.12	0.274	53.43	44.24	0.882	64.45	162.12	1.03	156.98	
S8	5.15	0.274	53.43	44.24	0.882	61.14	158.81	1.03	153.77	
S9	6.18	0.274	53.43	44.24	0.882	58.61	156.28	1.03	151.32	
S10(Mezz)	10.30	0.274	53.43	44.24	0.882	53.67	151.34	1.03	146.54	

PROGETTAZIONE ATI:

**OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO**

Tensioni dovute ai permanenti a tempo infinito														
Sez.	$x_{asse\ app.}$ [m]	$\Delta_3 P$ [kN]	$\Delta_3 M_p$ [kNm]	$\Delta_3 \sigma_{ss,p}$ [MPa]	$\Delta_3 \sigma_{si,p}$ [MPa]	$\Delta_3 \sigma_{ts,p}$ [MPa]	$\Delta_3 \sigma_{ti,p}$ [MPa]	$\Delta_3 \sigma_{pi,p}$ [MPa]	$\sigma_{ss,3f}$ [MPa]	$\sigma_{si,3f}$ [MPa]	$\sigma_{ts,3f}$ [MPa]	$\sigma_{ti,3f}$ [MPa]	$\sigma_{pi,3f}$ [MPa]	$\sigma_{3Gf}$ [MPa]
S1	-0.50	-107.66	69.68	0.01	-0.03	-0.03	-0.28	-0.21	0.01	-0.03	-0.05	-0.46	-0.35	-0.16
S2	0.00	-128.43	82.86	0.01	-0.04	-0.03	-0.33	-0.25	0.01	-0.04	0.06	1.54	1.12	0.44
S3	0.52	-200.74	148.19	0.05	-0.04	-0.04	-0.57	-0.46	0.14	0.01	0.39	5.12	4.10	1.61
S4	1.03	-197.21	145.59	0.05	-0.04	-0.04	-0.56	-0.45	0.23	0.07	1.20	4.62	3.89	2.09
S5	2.06	-200.51	148.02	0.05	-0.04	-0.04	-0.57	-0.45	0.39	0.16	2.70	3.18	3.08	2.82
S6	3.09	-669.50	577.92	0.28	-0.07	-0.04	-2.07	-1.83	0.76	0.22	0.03	12.38	10.91	3.30
S7	4.12	-654.59	565.04	0.27	-0.06	-0.04	-2.02	-1.78	0.85	0.28	1.16	11.41	10.19	3.87
S8	5.15	-641.23	553.51	0.27	-0.06	-0.04	-1.98	-1.75	0.95	0.34	2.15	10.54	9.55	4.37
S9	6.18	-631.01	544.69	0.26	-0.06	-0.04	-1.95	-1.72	1.01	0.38	2.94	9.88	9.06	4.77
S10(Mezz)	10.30	-611.06	527.47	0.25	-0.06	-0.04	-1.89	-1.67	1.12	0.46	4.46	8.59	8.10	5.55

Tensioni dovute al ritiro differenziale trave soletta								
Sez.	$x_{asse\ app.}$ [m]	$N_{rd}$ [kN]	$M_{rd}$ [kNm]	$\Delta\sigma_{rd,ss}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{rd,si}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{rd,ts}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{rd,ti}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{rd,pi}$ [MPa]
S1	-0.50	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S2	0.00	186	86	0.29	0.24	0.24	-0.07	0.02
S3	0.52	186	86	0.29	0.24	0.24	-0.07	0.00
S4	1.03	186	86	0.29	0.24	0.24	-0.07	0.00
S5	2.06	186	86	0.29	0.24	0.24	-0.07	0.00
S6	3.09	186	86	0.29	0.24	0.24	-0.06	-0.03
S7	4.12	186	86	0.29	0.24	0.24	-0.06	-0.03
S8	5.15	186	86	0.29	0.24	0.24	-0.06	-0.03
S9	6.18	186	86	0.29	0.24	0.24	-0.06	-0.03
S10(Mezz)	10.30	186	86	0.29	0.24	0.24	-0.06	-0.03

#### 11.1.4. RIASSUNTO CADUTE DI TENSIONI ACCIAIO PRECOMPRESSIONE

Si riportano di seguito le variazioni di tensione della precompressione a seguito delle cadute di tensioni nelle tre fasi.

Sez.	$x_{asse\ app.}$ [m]	$\sigma_{pi0}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{pi}$ [MPa]	$\sigma_{pi}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{pii}$ [MPa]	$\sigma_{pii}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{piii}$ [MPa]	$\sigma_{piii}$ [MPa]
S1	-0.50	0.0	-52.4	-52.4	-10.8	-63.2	-96.8	-160.0
S2	0.00	684.3	-59.6	624.7	-11.9	612.8	-115.5	497.3
S3	0.52	1389.1	-75.9	1313.2	-14.3	1299.0	-120.3	1178.6
S4	1.03	1450.0	-76.2	1373.8	-14.2	1359.6	-118.2	1241.4
S5	2.06	1450.0	-74.7	1375.3	-13.8	1361.6	-120.2	1241.4
S6	3.09	1450.0	-119.3	1330.7	-20.4	1310.3	-160.6	1149.8
S7	4.12	1450.0	-117.8	1332.2	-20.0	1312.2	-157.0	1155.3
S8	5.15	1450.0	-116.5	1333.5	-19.6	1313.9	-153.8	1160.1
S9	6.18	1450.0	-115.5	1334.5	-19.3	1315.2	-151.3	1163.9
S10(Mezz)	10.30	1450.0	-113.5	1336.5	-18.7	1317.8	-146.5	1171.3

### 11.1.5. VERIFICA DELLA TENSIONE DELLA PRECOMPRESSIONE IN ESERCIZIO

Si riportano di seguito le verifiche dei valori delle tensioni in esercizio della precompressione:

Sez.	$x_{asse\ app.}$ [m]	$\Delta\sigma_{p,lente}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{p,ist.}$ [MPa]	$\Sigma\Delta\sigma_p$ [MPa]	$\sigma_{p,fin}$ [MPa]
S1	-0.50	-160.03	0.00	-160.03	-160.03
S2	0.00	-186.97	-8.06	-195.03	489.27
S3	0.52	-210.51	-27.71	-238.22	1150.91
S4	1.03	-208.59	-28.03	-236.62	1213.38
S5	2.06	-208.63	-26.31	-234.94	1215.06
S6	3.09	-300.22	-87.25	-387.47	1062.53
S7	4.12	-294.75	-85.44	-380.19	1069.81
S8	5.15	-289.90	-83.89	-373.79	1076.21
S9	6.18	-286.10	-82.60	-368.69	1081.31
S10(Mezz)	10.30	-278.71	-80.12	-358.83	1091.17

Per tutte le sezioni, la tensione finale della precompressione risulta inferiore alla tensione massima in esercizio essendo:

- $\sigma_{p,fin} < \sigma_{p,\infty} = 0.8 \times f_{p(1)k} = 0.8 \times 1670 = 1336 \text{ MPa}$  La verifica è soddisfatta

### 11.2. VERIFICHE AGLI SLU

Si riportano i valori caratteristici delle sollecitazioni di verifica e di seguito i loro valori combinati allo SLU:

Verifica sezioni a momento positivo - Valori caratteristici di sollecitazione								
Sez.	$x_{asse\ app.}$ [m]	$M_{G0}$ [kNm]	$M_{G1}$ [kNm]	$M_{G2}$ [kNm]	$M_{Q,tan}$ [kNm]	$M_{Q,distr}$ [kNm]	$N_{rd}$ [kN]	$M_{rd}$ [kNm]
S1	-0.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S2	0.00	-13.4	-10.4	-3.3	0.5	0.0	185.8	86.4
S3	0.52	69.3	66.9	63.7	208.8	54.8	185.8	86.4
S4	1.03	147.8	139.7	125.3	457.0	129.3	185.8	86.4
S5	2.06	291.9	270.7	229.5	836.7	252.1	185.8	86.4
S6	3.09	421.4	388.9	324.4	1137.8	364.9	185.8	86.4
S7	4.12	533.9	487.8	393.6	1322.6	442.4	185.8	86.4
S8	5.15	631.2	575.6	461.5	1495.3	521.9	185.8	86.4
S9	6.18	711.7	644.1	503.2	1578.4	565.1	185.8	86.4
S10(Mezz)	10.30	866.4	777.4	588.4	1746.1	657.3	185.8	86.4

Verifica sezioni a momento positivo - Valori sollecitazione allo SLU										
Sez.	X <sub>asse app.</sub> [m]	M <sub>G0</sub> [kNm]	M <sub>G1</sub> [kNm]	M <sub>G2</sub> [kNm]	M <sub>Q,tan</sub> [kNm]	M <sub>Q,distr</sub> [kNm]	N <sub>rd</sub> [kN]	M <sub>rd</sub> [kNm]	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]
S1	-0.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S2	0.00	-18.1	-14.0	-4.5	0.7	0.0	223.0	103.7	223.0	67.8
S3	0.52	93.6	90.3	86.0	281.9	74.0	223.0	103.7	223.0	729.4
S4	1.03	199.5	188.6	169.2	617.0	174.5	223.0	103.7	223.0	1452.4
S5	2.06	394.1	365.4	309.8	1129.5	340.4	223.0	103.7	223.0	2642.9
S6	3.09	568.9	525.0	437.9	1536.0	492.6	223.0	103.7	223.0	3664.1
S7	4.12	720.8	658.5	531.4	1785.5	597.3	223.0	103.7	223.0	4397.1
S8	5.15	852.1	777.1	623.0	2018.7	704.6	223.0	103.7	223.0	5079.1
S9	6.18	960.8	869.5	679.3	2130.8	762.9	223.0	103.7	223.0	5507.0
S10(Mezz)	10.30	1169.6	1049.5	794.3	2357.2	887.3	223.0	103.7	223.0	6361.7

Si riportano di seguito le verifiche strutturali per la sezione di mezzeria. Si considera la presenza di armatura di soletta (sup - inf)  $\phi 12/20$ cm.

**Titolo:** Trave CAP - Verifica a Rottura Sezione di Mezzeria

**N° Vertici:** 20 **N° barre:** 3

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	13.98	0	160
2	13.98	0	146
3	5.03	0	5

**Materiali:** B450C, C45/55

**Verifica a rottura sezioni di mezzeria**

Figura 11.23: Verifica a rottura sezioni di mezzeria

$M_{Rd} = 9057 \text{ kNm} > 6361.7 \text{ kNm} = M_{Sd} \rightarrow$  Verifica soddisfatta.

### Verifiche allo slt per sollecitazioni taglianti

Parametri adottati per le verifiche a taglio e torsione	
$ctg\alpha =$	0.00 inclinazione dell'armatura trasversale rispetto asse trave
$f_{cd} =$	25.87 resistenza di calcolo a compressione del cls
$v =$	0.50 coefficiente riduttivo per cls fessurato a taglio
$f'_{cd} =$	12.93 resistenza di calcolo corretta del cls
$f_{ywd} =$	391.3 resistenza di calcolo delle armature a taglio
$n_w =$	2.00 numero delle anime della sezione
$u_m =$	4.99 perimetro medio del nucleo resistente

#### Caratteristiche travi e armature a taglio - Singola nervatura trave

Sez.	$x_{asse\ app.}$ [m]	$ctg\theta$	$\sigma_{cp}$ [MPa]	$\alpha_c$	$b_w$ [cm]	bracci [-]	$\phi$ [mm]	$p$ [cm]	$A_{sw}/s$ [cm <sup>2</sup> /m]
S1	-0.50	1.00	0.00	1.00	14	2	14	10.0	30.79
S2	0.00	1.00	0.85	1.03	14	2	14	10.0	30.79
S3	0.52	1.00	2.98	1.12	14	2	14	10.0	30.79
S4	1.03	1.00	3.14	1.12	14	2	14	10.0	30.79
S5	2.06	2.00	3.15	1.12	14	2	12	10.0	22.62
S6	3.09	2.00	6.77	1.25	14	2	12	10.0	22.62
S7	4.12	2.00	6.82	1.25	14	2	12	20.0	11.31
S8	5.15	2.00	6.86	1.25	14	2	12	20.0	11.31
S9	6.18	2.00	6.89	1.25	14	2	12	20.0	11.31
S10(Mezz)	10.30	2.00	6.95	1.25	14	2	12	20.0	11.31

#### Verifica sezioni - Valori caratteristici di sollecitazione

Sez.	$x_{asse\ app.}$ [m]	$V_{G0}$ [kN]	$V_{G1}$ [kN]	$V_{G2}$ [kN]	$V_{Q,tan}$ [kN]	$V_{Q,distr}$ [kN]
S1	-0.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S2	0.00	164.7	154.3	135.3	557.7	159.0
S3	0.52	156.5	145.7	124.9	518.6	145.5
S4	1.03	148.3	137.0	114.5	445.4	126.2
S5	2.06	133.9	123.4	102.5	415.1	115.9
S6	3.09	117.6	106.0	81.7	356.5	96.2
S7	4.12	102.7	94.0	76.4	358.0	95.6
S8	5.15	86.3	76.6	55.5	307.9	78.8
S9	6.18	70.4	65.0	54.1	323.5	81.5
S10(Mezz)	10.30	2.6	5.5	13.1	273.5	57.5

#### Verifica sezioni - Valori sollecitazioni allo SLU

Sez.	$x_{asse\ app.}$ [m]	$V_{G0}$ [kN]	$V_{G1}$ [kN]	$V_{G2}$ [kN]	$V_{Q,tan}$ [kN]	$V_{Q,distr}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]
S1	-0.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S2	0.00	222.3	208.3	182.7	752.9	214.6	1580.8
S3	0.52	211.3	196.7	168.6	700.1	196.4	1473.1
S4	1.03	200.2	185.0	154.6	601.3	170.4	1311.4
S5	2.06	180.8	166.6	138.4	560.4	156.5	1202.6
S6	3.09	158.8	143.1	110.3	481.3	129.8	1023.3
S7	4.12	138.6	126.9	103.1	483.3	129.1	981.1
S8	5.15	116.5	103.4	74.9	415.7	106.4	816.9
S9	6.18	95.0	87.8	73.0	436.7	110.1	802.6
S10(Mezz)	10.30	3.5	7.4	17.7	369.2	77.6	475.4

PROGETTAZIONE ATI:

Si esegue la verifica a taglio per la sezione di appoggio:

<b>Resistenza di calcolo a "taglio trazione"</b>		$V_{Rsd} = 0,90 * d * A_{sw} / s * f_{yd} * (ctg a + ctg j) * \sin a$					
	$V_{Rsd} =$	3373.2	kN				
<b>Resistenza di calcolo a "taglio compressione"</b>		$V_{Rcd} = 0,90 * d * b_w * a_c * f'_{cd} * (ctg a + ctg q) / (1 + ctg^2 j)$					
	$V_{Rcd} =$	2618.4	kN				
	<b>Resistenza a Taglio</b>	$V_{Rd} =$	<b>2618.4</b>	<b>kN</b>	>	<b>1580.8</b>	= $V_{Ed}$
<b>Esito Verifica</b>		<b>Verifica soddisfatta</b>				$V_{Rd}/V_{Ed} =$	<b>1.66</b>

### 11.3. VERIFICHE AGLI SLE

Si verifica:

Combinazione rara:

$$\sigma_c < 0.6 f_{ck} = \sigma_c < 22.41 \text{ MPa (soletta);}$$

$$\sigma_c < 27.39 \text{ Mpa (trave);}$$

$$\sigma_{tc} < f_{ctm}/1.2 = \sigma_{tc} < 3.19 \text{ MPa (trave)}$$

Combinazione quasi permanente:

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} = \sigma_c < 20.54 \text{ Mpa (trave)}$$

$$\sigma_t < f_{ctm}/1.2 = \sigma_t < 2.79 \text{ MPa (soletta, se maggiore verifica a fessurazione)}$$

$$\sigma_t < 0 = \text{assenza trazioni lembi trave}$$

Combinazione frequente:

$$\sigma_t < f_{ctm}/1.2 = \sigma_t < 2.79 \text{ MPa (soletta, se maggiore verifica a fessurazione)}$$

$$\sigma_t < f_{ctm}/1.2 = \sigma_t < 3.19 \text{ MPa (trave)}$$

Nelle tabelle seguenti sono riportate le tensioni finali nel calcestruzzo ai lembi superiore e inferiore della trave e al lembo superiore e inferiore della soletta, nelle combinazioni di carico rara, frequente e quasi permanente.

SLE - Verifica sezioni a momento positivo - Valori caratteristici di sollecitazione										
Sez.	$x_{asse\ pila}$ [m]	$M_{G0}$ [kNm]	$M_{G1}$ [kNm]	$M_{G2}$ [kNm]	$N_{p,fin}$ [kN]	$M_{p,fin}$ [kNm]	$N_{rd}$ [kN]	$M_{rd}$ [kNm]	$M_{Q,tan}$ [kNm]	$M_{Q,distr}$ [kNm]
S1	-0.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S2	0.00	-13.4	-10.4	-3.3	544.1	-131.6	185.8	86.4	0.5	0.0
S3	0.52	69.3	66.9	63.7	1919.7	-643.0	185.8	86.4	208.8	54.8
S4	1.03	147.8	139.7	125.3	2023.9	-677.9	185.8	86.4	457.0	129.3
S5	2.06	291.9	270.7	229.5	2026.7	-678.9	185.8	86.4	836.7	252.1
S6	3.09	421.4	388.9	324.4	4430.8	-2036.6	185.8	86.4	1137.8	364.9
S7	4.12	533.9	487.8	393.6	4461.1	-2050.6	185.8	86.4	1322.6	442.4
S8	5.15	631.2	575.6	461.5	4487.8	-2062.9	185.8	86.4	1495.3	521.9
S9	6.18	711.7	644.1	503.2	4509.1	-2072.6	185.8	86.4	1578.4	565.1
S10(Mezz)	10.30	866.4	777.4	588.4	4550.2	-2091.5	185.8	86.4	1746.1	657.3

#### 11.3.1. VERIFICHE IN COMBINAZIONE FREQUENTE

Verifica sezioni a momento positivo - Valori di sollecitazione in combinazione frequente										
Sez.	$x_{asse\ pila}$ [m]	$M_{G0}$ [kNm]	$M_{G1}$ [kNm]	$M_{G2}$ [kNm]	$N_{p,fin}$ [kN]	$M_{p,fin}$ [kNm]	$N_{rd}$ [kN]	$M_{rd}$ [kNm]	$M_{Q,tan}$ [kNm]	$M_{Q,distr}$ [kNm]
S1	-0.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S2	0.00	-13.4	-10.4	-3.3	544.1	-131.6	185.8	86.4	0.4	0.0
S3	0.52	69.3	66.9	63.7	1919.7	-643.0	185.8	86.4	156.6	21.9
S4	1.03	147.8	139.7	125.3	2023.9	-677.9	185.8	86.4	342.8	51.7
S5	2.06	291.9	270.7	229.5	2026.7	-678.9	185.8	86.4	627.5	100.9
S6	3.09	421.4	388.9	324.4	4430.8	-2036.6	185.8	86.4	853.4	146.0
S7	4.12	533.9	487.8	393.6	4461.1	-2050.6	185.8	86.4	992.0	177.0
S8	5.15	631.2	575.6	461.5	4487.8	-2062.9	185.8	86.4	1121.5	208.8
S9	6.18	711.7	644.1	503.2	4509.1	-2072.6	185.8	86.4	1183.8	226.0
S10(Mezz)	10.30	866.4	777.4	588.4	4550.2	-2091.5	185.8	86.4	1309.6	262.9

PROGETTAZIONE ATI:

Verifica sezioni a momento positivo															
Sez.	X <sub>asse pila</sub> [m]	Tensioni prima e seconda fase						Tensioni terza fase				Tensioni finali			
		$\sigma_{ss, freq.}$ [MPa]	$\sigma_{si, freq.}$ [MPa]	$\sigma_{ts, freq.}$ [MPa]	$\sigma_{ti, freq.}$ [MPa]	$N_{freq.}^{3f}$ [kN]	$M_{freq.}^{3f}$ [kNm]	$\sigma_{ss, freq.}$ [MPa]	$\sigma_{si, freq.}$ [MPa]	$\sigma_{ts, freq.}$ [MPa]	$\sigma_{ti, freq.}$ [MPa]	$\sigma_{ss, freq.}$ [MPa]	$\sigma_{si, freq.}$ [MPa]	$\sigma_{ts, freq.}$ [MPa]	$\sigma_{ti, freq.}$ [MPa]
S1	-0.50	0.01	-0.03	-0.05	-0.46	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.03	-0.05	-0.46
S2	0.00	0.01	-0.04	0.06	1.54	185.8	86.8	-0.04	-0.09	0.24	-0.07	-0.03	-0.13	0.30	1.47
S3	0.52	0.14	0.01	0.39	5.12	185.8	264.9	0.23	0.07	0.41	-0.55	0.37	0.08	0.79	4.57
S4	1.03	0.23	0.07	1.20	4.62	185.8	480.9	0.55	0.26	0.61	-1.12	0.78	0.32	1.81	3.50
S5	2.06	0.39	0.16	2.70	3.18	185.8	814.8	1.05	0.55	0.92	-2.01	1.44	0.71	3.61	1.17
S6	3.09	0.76	0.22	0.03	12.38	185.8	1085.7	1.43	0.79	1.17	-2.64	2.19	1.01	1.20	9.74
S7	4.12	0.85	0.28	1.16	11.41	185.8	1255.3	1.69	0.94	1.33	-3.08	2.54	1.22	2.48	8.33
S8	5.15	0.95	0.34	2.15	10.54	185.8	1416.6	1.92	1.08	1.48	-3.49	2.87	1.43	3.62	7.05
S9	6.18	1.01	0.38	2.94	9.88	185.8	1496.2	2.04	1.15	1.55	-3.70	3.05	1.53	4.48	6.18
S10(Mezz)	10.30	1.12	0.46	4.46	8.59	185.8	1658.9	2.28	1.29	1.70	-4.12	3.41	1.75	6.16	4.47

Per tutte le sezioni le tensioni non eccedono i valori limite di compressione e trazione. Le verifiche sono soddisfatte. Inoltre, essendo la tensione di trazione inferiore al limite indicato, non sono necessarie verifiche a fessurazione.

### 11.3.2. VERIFICHE IN COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Verifica sezioni a momento positivo - Valori di sollecitazione in combinazione quasi permanente											
Sez.	X <sub>asse pila</sub> [m]	M <sub>G0</sub> [kNm]	M <sub>G1</sub> [kNm]	M <sub>G2</sub> [kNm]	N <sub>p, fin</sub> [kN]	M <sub>p, fin</sub> [kNm]	N <sub>rd</sub> [kN]	M <sub>rd</sub> [kNm]	M <sub>O, tan</sub> [kNm]	M <sub>O, distr</sub> [kNm]	
S1	-0.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
S2	0.00	-13.4	-10.4	-3.3	544.1	-131.6	185.8	86.4	0.0	0.0	
S3	0.52	69.3	66.9	63.7	1919.7	-643.0	185.8	86.4	0.0	0.0	
S4	1.03	147.8	139.7	125.3	2023.9	-677.9	185.8	86.4	0.0	0.0	
S5	2.06	291.9	270.7	229.5	2026.7	-678.9	185.8	86.4	0.0	0.0	
S6	3.09	421.4	388.9	324.4	4430.8	-2036.6	185.8	86.4	0.0	0.0	
S7	4.12	533.9	487.8	393.6	4461.1	-2050.6	185.8	86.4	0.0	0.0	
S8	5.15	631.2	575.6	461.5	4487.8	-2062.9	185.8	86.4	0.0	0.0	
S9	6.18	711.7	644.1	503.2	4509.1	-2072.6	185.8	86.4	0.0	0.0	
S10(Mezz)	10.30	866.4	777.4	588.4	4550.2	-2091.5	185.8	86.4	0.0	0.0	

Verifica sezioni a momento positivo															
Sez.	X <sub>asse pila</sub> [m]	Tensioni prima e seconda fase						Tensioni terza fase				Tensioni finali			
		$\sigma_{ss, q.p.}$ [MPa]	$\sigma_{si, q.p.}$ [MPa]	$\sigma_{ts, q.p.}$ [MPa]	$\sigma_{ti, q.p.}$ [MPa]	$N_{q.p.}^{3f}$ [kN]	$M_{q.p.}^{3f}$ [kNm]	$\sigma_{ss, q.p.}$ [MPa]	$\sigma_{si, q.p.}$ [MPa]	$\sigma_{ts, q.p.}$ [MPa]	$\sigma_{ti, q.p.}$ [MPa]	$\sigma_{ss, q.p.}$ [MPa]	$\sigma_{si, q.p.}$ [MPa]	$\sigma_{ts, q.p.}$ [MPa]	$\sigma_{ti, q.p.}$ [MPa]
S1	-0.50														
S2	0.00	0.01	-0.04	0.06	1.54	185.8	86.4	-0.04	-0.09	0.24	-0.07	-0.03	-0.13	0.30	1.47
S3	0.52	0.14	0.01	0.39	5.12	185.8	86.4	-0.04	-0.09	0.24	-0.07	0.10	-0.08	0.63	5.05
S4	1.03	0.23	0.07	1.20	4.62	185.8	86.4	-0.04	-0.09	0.24	-0.07	0.19	-0.02	1.44	4.56
S5	2.06	0.39	0.16	2.70	3.18	185.8	86.4	-0.04	-0.09	0.24	-0.07	0.35	0.07	2.94	3.12
S6	3.09	0.76	0.22	0.03	12.38	185.8	86.4	-0.04	-0.09	0.24	-0.06	0.72	0.13	0.27	12.31
S7	4.12	0.85	0.28	1.16	11.41	185.8	86.4	-0.04	-0.09	0.24	-0.06	0.81	0.19	1.40	11.35
S8	5.15	0.95	0.34	2.15	10.54	185.8	86.4	-0.04	-0.09	0.24	-0.06	0.91	0.25	2.39	10.48
S9	6.18	1.01	0.38	2.94	9.88	185.8	86.4	-0.04	-0.09	0.24	-0.06	0.96	0.29	3.18	9.82
S10(Mezz)	10.30	1.12	0.46	4.46	8.59	185.8	86.4	-0.04	-0.09	0.24	-0.06	1.08	0.37	4.70	8.52

Per tutte le sezioni le tensioni non eccedono i valori limite di compressione e trazione. Le verifiche sono soddisfatte. Inoltre, essendo la tensione di trazione inferiore al limite indicato, non sono necessarie verifiche a fessurazione.

### 11.3.3. VERIFICHE IN COMBINAZIONE RARA

Verifica sezioni a momento positivo - Valori di sollecitazione in combinazione rara										
Sez.	$x_{\text{asse pila}}$ [m]	$M_{G0}$ [kNm]	$M_{G1}$ [kNm]	$M_{G2}$ [kNm]	$N_{p,fin}$ [kN]	$M_{p,fin}$ [kNm]	$N_{rd}$ [kN]	$M_{rd}$ [kNm]	$M_{Q,tan}$ [kNm]	$M_{Q,distr}$ [kNm]
S1	-0.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S2	0.00	-13.4	-10.4	-3.3	544.1	-131.6	185.8	86.4	0.5	0.0
S3	0.52	69.3	66.9	63.7	1919.7	-643.0	185.8	86.4	208.8	54.8
S4	1.03	147.8	139.7	125.3	2023.9	-677.9	185.8	86.4	457.0	129.3
S5	2.06	291.9	270.7	229.5	2026.7	-678.9	185.8	86.4	836.7	252.1
S6	3.09	421.4	388.9	324.4	4430.8	-2036.6	185.8	86.4	1137.8	364.9
S7	4.12	533.9	487.8	393.6	4461.1	-2050.6	185.8	86.4	1322.6	442.4
S8	5.15	631.2	575.6	461.5	4487.8	-2062.9	185.8	86.4	1495.3	521.9
S9	6.18	711.7	644.1	503.2	4509.1	-2072.6	185.8	86.4	1578.4	565.1
S10(Mezz)	10.30	866.4	777.4	588.4	4550.2	-2091.5	185.8	86.4	1746.1	657.3

Verifica sezioni a momento positivo															
Sez.	$x_{\text{asse pila}}$ [m]	Tensioni prima e seconda fase						Tensioni terza fase				Tensioni finali			
		$\sigma_{ss,rara}$ [MPa]	$\sigma_{si,rara}$ [MPa]	$\sigma_{ts,rara}$ [MPa]	$\sigma_{ti,rara}$ [MPa]	$N_{rara}^{3f}$ [kN]	$M_{rara}^{3f}$ [kNm]	$\sigma_{ss,rara}$ [MPa]	$\sigma_{si,rara}$ [MPa]	$\sigma_{ts,rara}$ [MPa]	$\sigma_{ti,rara}$ [MPa]	$\sigma_{ss,rara}$ [MPa]	$\sigma_{si,rara}$ [MPa]	$\sigma_{ts,rara}$ [MPa]	$\sigma_{ti,rara}$ [MPa]
S1	-0.50	0.01	-0.03	-0.05	-0.46	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.03	-0.05	-0.46
S2	0.00	0.01	-0.04	0.06	1.54	185.8	86.9	-0.04	-0.09	0.24	-0.07	-0.03	-0.13	0.30	1.47
S3	0.52	0.14	0.01	0.39	5.12	185.8	350.0	0.35	0.14	0.49	-0.77	0.50	0.15	0.87	4.35
S4	1.03	0.23	0.07	1.20	4.62	185.8	672.7	0.84	0.43	0.79	-1.63	1.07	0.49	1.99	2.99
S5	2.06	0.39	0.16	2.70	3.18	185.8	1175.2	1.59	0.87	1.25	-2.97	1.98	1.03	3.95	0.21
S6	3.09	0.76	0.22	0.03	12.38	185.8	1589.1	2.18	1.23	1.64	-3.94	2.94	1.45	1.67	8.44
S7	4.12	0.85	0.28	1.16	11.41	185.8	1851.4	2.57	1.46	1.88	-4.61	3.42	1.75	3.04	6.80
S8	5.15	0.95	0.34	2.15	10.54	185.8	2103.6	2.94	1.69	2.11	-5.26	3.89	2.03	4.26	5.28
S9	6.18	1.01	0.38	2.94	9.88	185.8	2229.9	3.13	1.80	2.23	-5.59	4.13	2.18	5.17	4.29
S10(Mezz)	10.30	1.12	0.46	4.46	8.59	185.8	2489.8	3.51	2.03	2.47	-6.26	4.63	2.49	6.93	2.33

Per tutte le sezioni le tensioni non eccedono i valori limite. Le verifiche sono soddisfatte.

## 12. VERIFICA DELLA SOLETTA

Si prevede l'impiego di soletta in c.a. di spessore costante di 20cm gettata su predalles prefabbricate il cui fondello in calcestruzzo ha spessore 5cm, per un totale di 25cm totali; sono previsti tralicci realizzati in acciaio B450C disposti con interasse 0.4m.

L'intera soletta è armata sia superiormente che inferiormente con  $1\phi 16/20''$ ; è inoltre presente armatura superiore aggiuntiva  $1\phi 24/20''$  in corrispondenza delle sezioni di incastro degli sbalzi.

### 12.1. GEOMETRIA DELLA SOLETTA

La soletta ha uno spessore di  $20+5 = 25$ cm su una larghezza di impalcato di 8.80m con cordoli di 0,75m. L'altezza dei cordoli è di 22cm. L'interasse superiore fra le travi è pari a 1.80m con sbalzi esterni di lunghezza variabile (max  $l=1.45$ m).

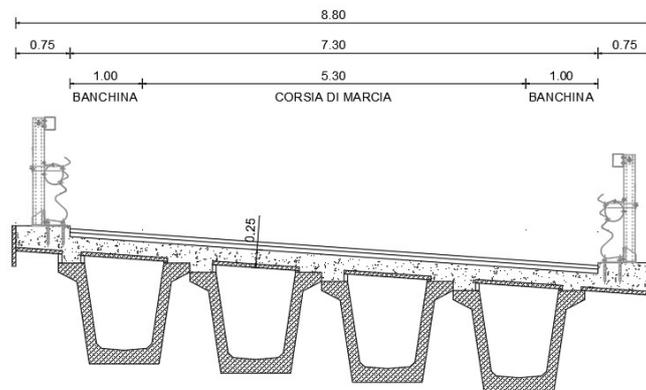


Figura 12.24 Geometria della soletta

### 12.2. VERIFICA DELLE LASTRE IN FASE DI GETTO

Le predalles prefabbricate sono composte da un fondello in calcestruzzo con spessore pari a 5.0 cm armati con tralicci in acciaio B450C disposti con interasse 0.4m; la larghezza di ogni singola predalla è di 2.4m. Per i dettagli costruttivi si faccia riferimento agli specifici elaborati.

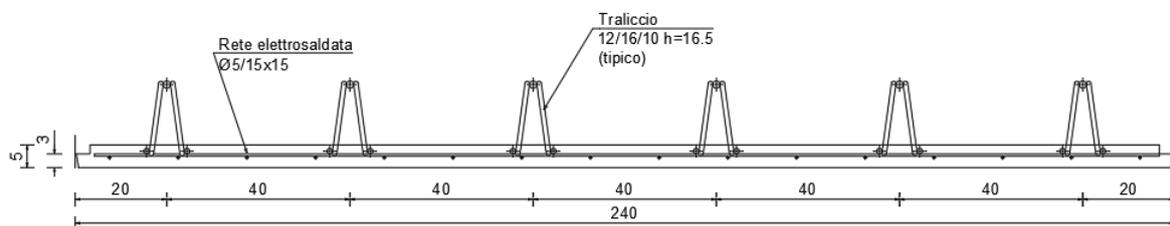


Figura 12.25 Sezione trasversale tipologica della predalla

Il corrente inferiore del traliccio è costituito da 2 barre  $\phi 12$  mentre il corrente superiore è costituito da una barra  $\phi 16$ ; le aste di parete diagonali del traliccio sono costituite da barre  $\phi 10$ .

Di seguito si riporta un particolare del traliccio:

OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

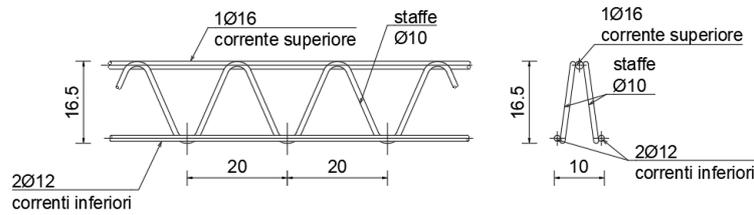


Figura 12.26 Sezione tipologica traliccio

Per la verifica delle lastre durante la fase di getto, oltre al peso del getto di calcestruzzo fresco, si considera un carico accidentale di 2.0 kN/m<sup>2</sup> che simula la presenza di operai e/o accumulo locale di materiale.

Di seguito sono riportati i dettagli del calcolo delle verifiche delle predalles durante la fase di getto in corrispondenza dei campi intermedi (in campata) e sugli sbalzi.

VERIFICA PREDALLES CAMPATA				
<b>DATI</b>				
LUCE DELLA CAMPATA	L =	1.25	m	
SPESSORE SOLETTA CLS	Ss =	0.20	m	
SPESSORE FONDELLO CLS	Sf =	0.05	m	
INTERASSE TRASVERSALE TRALICCI	i =	0.40	m	
Altezza efficace dei correnti (asse - asse)	h <sub>eff</sub> =	0.165	m	
Passo diagonali (dir. LN al traliccio)	l =	20.00	cm	
Interasse trasversale dei correnti inferiori	it <sub>cl</sub> =	10.00	cm	
Larghezza predalle	B <sub>pred</sub> =	2.4	m	
n° tralici per predalle	n°tral. =	6		
Carichi accidentali di getto	q <sub>acc</sub> =	2.00	kN/mq	
<b>SOLLECITAZIONI AGENTI</b>				
COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DEI CARICHI G	γ <sub>G</sub> =	1.35		
COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DEI CARICHI q	γ <sub>q</sub> =	1.35		

PROGETTAZIONE ATI:

OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

sollecitazioni agli SLU su singolo traliccio					
Carico uniformemente distribuito	$q_{G+q}$	=	4.46	kN	
MOMENTO FLETTENTE	M	=	0.87	kNm	
TAGLIO	V	=	2.78	kN	
SFORZO NORMALE (di traz/compr nei correnti) $M/h_{eff}$	N	=±	5.27	kN	
<b>VERIFICHE AGLI SLU</b>					
<b>CORRENTE INFERIORE</b>					
AREA DEL CORRENTE INFERIORE	$A_{inf}$	=	2.26	cm <sup>2</sup>	
Tensione nella singola barra (trazione)	$\sigma_s$	=	-23.3	N/mm <sup>2</sup>	
Resistenza di calcolo a trazione $N_{t,Rd}$	$N_{t,Rd}$	=	96.9	kN	
$N/N_{t,Rd} < 1$	$N/N_{t,Rd}$	=	<b>0.05</b>		verifica soddisfatta
<b>CORRENTE SUPERIORE</b>					
AREA DEL CORRENTE SUPERIORE	$A_{sup}$	=	2.01	cm <sup>2</sup>	
Tensione nella barra (compressione)	$\sigma_s$	=	26.2	N/mm <sup>2</sup>	
Resistenza di calcolo a compressione $N_{c,Rd}$	$N_{c,Rd}$	=	86.17	kN	
$N/N_{c,Rd} < 1$	$N/N_{c,Rd}$	=	<b>0.061</b>		verifica soddisfatta
<b>STABILITA' CORR. SUP.</b>					
Coefficiente di vincolo $\beta_v$	$\beta_v$	=	<b>1</b>		
Lunghezza tra due tralici successivi	l	=	20.00	cm	
Lunghezza libera d'inflexione $l_0 = l * \beta$	$l_0$	=	20.00	cm	
N critico euleriano	$N_{cr}$	=	166.69	kN	
Snellezza adimensionale	$\lambda_{ad}$	=	0.74		
Fattore di imperfezione	$\alpha_i$	=	<b>0.49</b>		
coefficiente $\phi$	$\phi$	=	0.90		
Coefficiente $\chi$	$\chi$	=	0.702		
Coefficiente gamma M1	$\gamma_{M1}$	=	1.10		
RESISTENZA INSTABILITA' ASTA COMPRESSA $N_{b,Rd}$	$N_{b,Rd}$	=	57.73	kN	
$N/N_{b,Rd} < 1$	$N/N_{b,Rd}$	=	<b>0.091</b>		verifica soddisfatta
<b>DIAGONALI</b>					
AREA DEI DIAGONALI	$A_{dia}$	=	1.57	cm <sup>2</sup>	
ANGOLO ASTA DEL DIAGONALE SULLA VISTA TRASVERSALE	$\alpha$	=	17.4	deg	0.303 rad
ANGOLO ASTA DEL DIAGONALE SULLA VISTA LONGITUDINALE	$\beta$	=	34.7	deg	0.606 rad
SFORZO NORMALE NEL SINGOLO DIAGONALE (Compressione)	N	=	1.77	kN	< 11.57
Tensione nella singola barra (compressione)	$\sigma_s$	=	22.6	N/mm <sup>2</sup>	
Resistenza di calcolo a compressione $N_{c,Rd}$	$N_{c,Rd}$	=	33.66	kN	singolo diagonale
$N/N_{c,Rd} < 1$	$N/N_{c,Rd}$	=	<b>0.053</b>		verifica soddisfatta
<b>STABILITA'</b>					
Coefficiente di vincolo $\beta_v$	$\beta_v$	=	<b>0.9</b>		
Lunghezza del diagonale	l	=	19.93	cm	
Lunghezza libera d'inflexione $l_0 = l * \beta$	$l_0$	=	17.94	cm	
N critico euleriano	$N_{cr}$	=	31.62	kN	
Snellezza adimensionale	$\lambda_{ad}$	=	1.06		
Fattore di imperfezione	$\alpha_i$	=	<b>0.49</b>		Tab 4.2.VI NTC2008
coefficiente $\phi$	$\phi$	=	1.27		
Coefficiente $\chi$	$\chi$	=	0.507		
Coefficiente gamma M1	$\gamma_{M1}$	=	1.10		
RESISTENZA INSTABILITA' ASTA COMPRESSA $N_{b,Rd}$	$N_{b,Rd}$	=	16.30	kN	
$N/N_{b,Rd} < 1$	$N/N_{b,Rd}$	=	<b>0.109</b>		verifica soddisfatta
Portata residua dei diagonal	$N_{res}$	=	14.5	kN	/singolo diagonale
	$V_{res}$	=	22.8	kN	/traliccio
	$V_{res}$	=	<b>57.0</b>	kN/m	/metro

Le verifiche nei campi intermedi risultano soddisfatte.

PROGETTAZIONE ATI:

OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

VERIFICA PREDALLES SBALZO				
<b>DATI</b>				
LUCE DELLO SBALZO	L =	1.45	m	
SPESSORE SOLETTA CLS	S <sub>s</sub> =	0.20	m	
SPESSORE FONDELLO CLS	S <sub>f</sub> =	0.05	m	
INTERASSE TRASVERSALE DEL SINGOLO TRALICCIO	i =	0.40	m	
Altezza efficaci dei correnti (asse - asse)	h <sub>eff</sub> =	0.165	m	
Lunghezza tra due tralici successivi	l =	20.0	cm	
Interasse trasversale dei correnti inferiori	i <sub>cl</sub> =	12.0	cm	
Larghezza predalle	B <sub>pred</sub> =	2.4	m	
n° tralici per predalle	n°tral. =	6		
Peso veletta all'estremità della predalle	p <sub>vel.</sub> =	1.00	kN/m	
Carichi accidentali in fase di getto	q <sub>acc</sub> =	2.00	kN/mq	
<b>SOLLECITAZIONI AGENTI</b>				
COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DEI CARICHI G	γ <sub>G</sub> =	1.35		
COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DEI CARICHI q	γ <sub>q</sub> =	1.35		
sollecitazioni agli SLU su singolo traliccio				
Carico uniformemente distribuito	q <sub>solhacc</sub> =	4.46	kN	
Carico concentrato	q <sub>vel.</sub> =	0.54	kN	
MOMENTO FLETTENTE	M =	5.47	kNm	
TAGLIO	T =	7.00	kN	
SFORZO NORMALE (di traz/compr nei correnti) M/h <sub>eff</sub>	N =	33.13	kN	
<b>CORRENTE INFERIORE COMPRESSO</b>				
AREA DEL CORRENTE INFERIORE	A <sub>inf</sub> =	2.26	cm <sup>2</sup>	
Coefficiente di vincolo β <sub>v</sub>	β <sub>v</sub> =	0.9		
Lunghezza tra due tralici successivi	l =	20.00	cm	
Lunghezza libera d'inflexione l <sub>0</sub> =l*β	l <sub>0</sub> =	18	cm	i=RADQ(l/A)
RAGGIO D'INERZIA	i =	0.30	cm	
SNELLEZZA	λ =	60.00		
Resistenza di calcolo a compressione N <sub>c,Rd</sub>	N <sub>c,Rd</sub> =	96.94	kN	
<b>N/N<sub>c,Rd</sub> &lt;1</b>	<b>N/N<sub>c,Rd</sub> =</b>	<b>0.342</b>		<b>verifica soddisfatta</b>
<b>STABILITA'</b>				
N critico euleriano	N <sub>cr</sub> =	130.23	kN	
Snellezza adimensionale	λ <sub>ad</sub> =	0.88		
Fattore di imperfezione	α <sub>i</sub> =	0.49		Tab 4.2.VI NTC2008
coefficiente φ	φ =	1.06		
Coefficiente χ	χ =	0.610		
Coefficiente gamma M1	γ <sub>M1</sub> =	1.1		
RESISTENZA INSTABILITA' ASTA COMPRESSA N <sub>b,Rd</sub>	N <sub>b,Rd</sub> =	56.41	kN	
<b>N/N<sub>b,Rd</sub> &lt;1</b>	<b>N/N<sub>b,Rd</sub> =</b>	<b>0.59</b>		<b>verifica soddisfatta</b>
<b>CORRENTE SUPERIORE TESO</b>				
AREA DEL CORRENTE SUPERIORE	A <sub>sup</sub> =	2.01	cm <sup>2</sup>	
Tensione nella barra (trazione)	σ =	164.77	N/mm <sup>2</sup>	
Resistenza di calcolo a trazione N <sub>L,Rd</sub>	N <sub>L,Rd</sub> =	86.17	kN	
<b>N/N<sub>L,Rd</sub> &lt;1</b>	<b>N/N<sub>L,Rd</sub> =</b>	<b>0.38</b>		<b>verifica soddisfatta</b>
<b>DIAGONALI</b>				
AREA DEI DIAGONALI	A <sub>di</sub> =	1.57	cm <sup>2</sup>	
ANGOLO ASTA DEL DIAGONALE SULLA VISTA TRASVERSALE	α =	20.8	deg	0.364 rad
ANGOLO ASTA DEL DIAGONALE SULLA VISTA LONGITUDINALE	β =	34.7	deg	0.606 rad
SFORZO NORMALE NEL SINGOLO DIAGONALE (Compressione)	N =	4.56	kN	
Tensione nella singola barra (compressione)	σ <sub>s</sub> =	58.0	N/mm <sup>2</sup>	
Resistenza di calcolo a compressione N <sub>c,Rd</sub>	N <sub>c,Rd</sub> =	33.66	kN	singolo diagonale
<b>N/N<sub>c,Rd</sub> &lt;1</b>	<b>N/N<sub>c,Rd</sub> =</b>	<b>0.135</b>		<b>verifica soddisfatta</b>
<b>STABILITA'</b>				
Coefficiente di vincolo β <sub>v</sub>	β <sub>v</sub> =	1		
Lunghezza del diagonale	l =	20.21	cm	
Lunghezza libera d'inflexione l <sub>0</sub> =l*β	l <sub>0</sub> =	20.21	cm	
N critico euleriano	N <sub>cr</sub> =	24.92	kN	
Snellezza adimensionale	λ <sub>ad</sub> =	1.68		
Fattore di imperfezione	α <sub>i</sub> =	0.49		Tab 4.2.VI NTC2008
coefficiente φ	φ =	2.28		
Coefficiente χ	χ =	0.262		
Coefficiente gamma M1	γ <sub>M1</sub> =	1.10		
RESISTENZA INSTABILITA' ASTA COMPRESSA N <sub>b,Rd</sub>	N <sub>b,Rd</sub> =	16.82	kN	
<b>N/N<sub>b,Rd</sub> &lt;1</b>	<b>N/N<sub>b,Rd</sub> =</b>	<b>0.271</b>		<b>verifica soddisfatta</b>
Portata residua dei diagonal	N <sub>res</sub> =	12.3	kN	/singolo diagonale
	V <sub>res</sub> =	18.8	kN	/traliccio
	V <sub>res</sub> =	47.1	kN/m	

Le verifiche degli sbalzi risultano soddisfatte.

PROGETTAZIONE ATI:

### 12.3. VERIFICA DELLA SOLETTA NELLE FASI SUCCESSIVE

La verifica della soletta è svolta determinando le massime sollecitazioni agenti in campata e in appoggio considerando due differenti schemi di calcolo. Schema di trave appoggiata alle due estremità per la determinazione del massimo momento flettente positivo in mezzeria, e schema di trave incastrata alle due estremità per la determinazione del massimo momento flettente negativo all'appoggio.

#### 12.3.1. VERIFICA DEI CAMPI INTERNI SOLETTA

##### 12.3.1.1. Sollecitazioni sulla soletta

La verifica della soletta è svolta determinando le massime sollecitazioni agenti in campata e in appoggio considerando due differenti schemi di calcolo.

VERIFICA SOLETTA CAMPI INTERNI				
<b>Geometria</b>				
Luce di calcolo	Lc =	1.35	m	
Spessore soletta	Sp <sub>sol</sub> =	0.200	m	
Spessore pavimentazione	Sp <sub>pav</sub> =	0.110	m	
<b>Pesi unitari</b>				
Peso cls soletta	q <sub>cls</sub> =	25.0	kN/mc	
Peso pavimentazione	q <sub>pav</sub> =	24.0	kN/mc	
<b>Schema di carico 2 NTC 2018</b>				
Carico impronta concentr.	q1 =	200.00	kN	
Dim. trasv. impronta	l <sub>tr,i</sub> =	0.60	m	
Dim. long. impronta	l <sub>ln,i</sub> =	0.35	m	
<b>Diffusione impronta a metà soletta</b>				
Dff. trasv. impronta	L <sub>tr,i</sub> =	1.02	m	
Diff. long. impronta	L <sub>ln,i</sub> =	1.45	m	
Area impronta su soletta	A <sub>i</sub> =	1.47	mq	
<b>Pressione impronta su soletta</b>				
	Pr <sub>sol</sub> =	135.69	kN/mq	

OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

Sollecitazioni SLU							
Schema trave appoggiata							
Sezione in mezzzeria	M <sup>+</sup>	γ	M <sup>+</sup> <sub>Ed</sub>				
	[kNm/m]		[kNm/m]				
Peso soletta	1.14	1.35	1.54				
Pavimentazione	0.60	1.35	0.81				
Ruota di carico	29.07	1.35	39.24				
<b>Tot. Slu</b>			<b>41.59</b>				
Schema a trave incastrata							
Sezione all'incastro	M <sup>-</sup>	V	γ	M <sup>-</sup> <sub>Ed</sub>	V <sub>Ed</sub>		
	[kNm/m]	[kN/m]		[kNm/m]	[kN/m]		
Peso soletta	-0.76	3.38	1.35	-1.03	4.56		
Pavimentazione	-0.40	1.78	1.35	-0.54	2.41		
Ruota di carico	-26.76	69.5	1.35	-36.13	93.85		
<b>Tot. Slu</b>				<b>-37.70</b>	<b>100.82</b>		
Sollecitazioni SLE							
Combin. Rara							
Sezione in mezzzeria	M <sup>+</sup>	γ	M <sup>+</sup> <sub>Ed</sub>	γ	M <sup>+</sup> <sub>Ed</sub>	γ	M <sup>+</sup> <sub>Ed</sub>
	[kNm/m]		[kNm/m]		[kNm/m]		[kNm/m]
Peso soletta	1.14	1.00	1.14	1.00	1.14	1.00	1.14
Pavimentazione	0.60	1.00	0.60	1.00	0.60	1.00	0.60
Ruota di carico	29.07	1.00	29.07	0.75	21.80	0.00	0.00
<b>Tot. Sle</b>			<b>30.81</b>		<b>23.54</b>		<b>1.74</b>
Combin. Rara							
Sezione all'incastro	M <sup>-</sup>	γ	M <sup>-</sup> <sub>Ed</sub>	γ	M <sup>-</sup> <sub>Ed</sub>	γ	M <sup>-</sup> <sub>Ed</sub>
	[kNm/m]		[kNm/m]		[kNm/m]		[kNm/m]
Peso soletta	-0.76	1.00	-0.76	1.00	-0.76	1.00	-0.76
Pavimentazione	-0.40	1.00	-0.40	1.00	-0.40	1.00	-0.40
Ruota di carico	-26.76	1.00	-26.76	0.75	-20.07	0.00	0.00
<b>Tot. Sle</b>			<b>-27.92</b>		<b>-21.23</b>		<b>-1.16</b>

### 12.3.1.2. Verifiche agli SLU

Si riporta di seguito la verifica a flessione dei campi interni di soletta.

L'armatura superiore nei campi interni è composta da 5 φ16 /ml; l'armatura inferiore da 5 φ16 /ml.

OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

Titolo : \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	5
2	10.05	19

Tipologia Sezione:  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.  
 DXF

File

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

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviate

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

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

M-curvatura

Precompresso

Materiali: B450C C35/45

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  19.83  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  13.5  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.8  
 $\tau_{c1}$  2.257

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

Tipologia rottura:  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

$M_{xRd}$  75.95 kNm  
 $\sigma_c$  -19.83 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  13.94 ‰  
 d 19 cm  
 $x$  3.813  $x/d$  0.2007  
 $\delta$  0.7

Figura 14.27 Momento resistente M+ soletta

Il momento flettente agente  $M_{sd}$  è minore del momento resistente  $M_{rd}$  della soletta ignorando il contributo della predella in termini altezza resistente.  $\rightarrow 41.59\text{kNm} < 75.95\text{ kNm} \rightarrow$  Verifica soddisfatta.

Titolo : \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	5
2	10.05	19

Tipologia Sezione:  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.  
 DXF

File

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

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviate

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

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

M-curvatura

Precompresso

Materiali: B450C C35/45

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  19.83  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  13.5  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.8  
 $\tau_{c1}$  2.257

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

Tipologia rottura:  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

$M_{xRd}$  -56 kNm  
 $\sigma_c$  -19.83 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  35.74 ‰  
 d 15 cm  
 $x$  1.338  $x/d$  0.0892  
 $\delta$  0.7

Figura 14.28 Momento resistente M- soletta

Il momento flettente agente  $M_{sd}$  è minore del momento resistente  $M_{rd} \rightarrow 37.7\text{kNm} < 56.0\text{ kNm} \rightarrow$  Verifica soddisfatta.

PROGETTAZIONE ATI:

Si riporta di seguito la verifica a taglio

Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio						
<b>Resistenza a taglio</b>						
	$K = 1 + (200/d)^{1/2}$	$k =$	2.000	$\leq 2$		
	$\rho_l = A_{s1}/(b_w \cdot x \cdot d)$	$\rho_l =$	0.0066	$\leq 0.02$		
	Tens. media compr. sez. $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c$	$S_{cp} =$	0.000	MPa	$\leq 0,2 f_{cd} =$	4.23 MPa
	$v_{min} = 0,035 \times K^{1,5} \times f_{ck}^{0,5}$	$v_{min} =$	0.605	MPa		
	$V_{Rd}$	$V_{Rd} =$	106.2	kN		
	$V_{Rd,min} = (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	$V_{Rd,min} =$	92.0	kN		
	<b>Resistenza a Taglio</b>	$V_{Rd} =$	<b>106.2</b>	<b>kN</b>	<b>&gt;</b>	<b>100.8 = V<sub>Ed</sub></b>

A vantaggio di sicurezza si è trascurato il contributo dovuto al taglio resistente residuo dei tralicci delle predalle.

Verifica soddisfatta.

### 12.3.1.1. Verifiche agli SLE – limitazione delle tensioni

Le verifiche sono soddisfatte se sono rispettati i seguenti limiti di tensioni nel cls e nell'acciaio, e di apertura delle fessure.

La massima tensione di compressione del calcestruzzo  $\sigma_c$ , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0.60 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica (rara) } = 22.41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente } = 16.81 \text{ MPa}$$

La massima tensione di trazione nell'acciaio  $\sigma_s$ , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0.8 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$$

Titolo : \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	20	1	10.05	5
			2	10.05	19

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

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

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

Materiali  
B450C C35/45  
ε<sub>su</sub>  % ε<sub>c2</sub>  %  
f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  %  
E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  %  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
ε<sub>syd</sub>  % σ<sub>c,adm</sub>  %  
σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  %  
τ<sub>c1</sub>  %

σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>s</sub>  %  
d  cm  
x  x/d   
δ

Verifica  
N° iterazioni:

Precompresso

#### Verifica a flessione M+ combinazione rara

La verifica risulta soddisfatta

OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	5
2	10.05	19

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

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

**Verifica**  
 N° iterazioni:   
 Precompresso

**Materiali**

B450C	C35/45
$\epsilon_{su}$ 67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 391.3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$ 3.5 ‰
$E_s$ 200'000 N/mm²	$f_{cd}$ 19.83
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0.8
$\epsilon_{syd}$ 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 13.5
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	$\tau_{co}$ 0.8
	$\tau_{c1}$ 2.257

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

$\sigma_c$  -5.917 N/mm²  
 $\sigma_s$  203.4 N/mm²  
 $\epsilon_s$  1.017 ‰  
 d 15 cm  
 x 4.557 x/d 0.3038  
 $\delta$  0.8197

Verifica a flessione M- combinazione rara

La verifica risulta soddisfatta

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	5
2	10.05	19

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

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

**Verifica**  
 N° iterazioni:   
 Precompresso

**Materiali**

B450C	C35/45
$\epsilon_{su}$ 67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 391.3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$ 3.5 ‰
$E_s$ 200'000 N/mm²	$f_{cd}$ 19.83
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0.8
$\epsilon_{syd}$ 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 13.5
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	$\tau_{co}$ 0.8
	$\tau_{c1}$ 2.257

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

$\sigma_c$  -4.31 N/mm²  
 $\sigma_s$  139.7 N/mm²  
 $\epsilon_s$  0.6986 ‰  
 d 19 cm  
 x 6.01 x/d 0.3163  
 $\delta$  0.8354

Tensioni materiali nella combinazione frequente per M+

PROGETTAZIONE ATI:



OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

Titolo : \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom      N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	5
2	10.05	19

Sollecitazioni  
S.L.U.    Metodo n

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

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

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

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

Verifica  
N° iterazioni:   
 Precompresso

Materiali

B450C		C35/45	
E <sub>su</sub>	67.5 ‰	E <sub>c2</sub>	2 ‰
f <sub>yd</sub>	391.3 N/mm²	E <sub>cu</sub>	3.5 ‰
E <sub>s</sub>	200'000 N/mm²	f <sub>cd</sub>	19.83
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	15	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub>	0.8
E <sub>syd</sub>	1.957 ‰	σ <sub>c,adm</sub>	13.5
σ <sub>s,adm</sub>	255 N/mm²	τ <sub>co</sub>	0.8
		τ <sub>c1</sub>	2.257

σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x     x/d   
δ

La verifica risulta soddisfatta

### 12.3.1.2. Verifiche agli SLE – fessurazione

Condizioni ambientali:

- XC4+XS1 - con cls C35/45 per la soletta → condizioni aggressive

Tipo Armatura: Poco sensibile

**Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali**

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

**Tabella 4.1.IV – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione**

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

$w_1, w_2, w_3$  sono definiti al § 4.1.2.2.4.1, il valore di calcolo  $w_d$ , è definito al § 4.1.2.2.4.6.

La soletta prevede quindi un limite di ampiezza delle fessure:

- QP:  $W_1 = 0.2\text{mm}$
- FREQ:  $W_2 = 0.3\text{mm}$

La verifica dell'ampiezza di fessurazione può anche essere condotta senza calcolo diretto, limitando la tensione di trazione nell'armatura, valutata nella sezione parzializzata per la combinazione di carico pertinente, ad un massimo correlato al diametro delle barre ed alla loro spaziatura; a tal scopo si veda C4.1.2.2.4.6., Tab C4.1.II e Tab C4.1.III.

Si effettua la verifica a fessurazione per la combinazione frequente (M-) che fornisce la massima trazione nelle barre di armatura:

OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

Geometria della sezione	
Altezza della sezione	
Larghezza della sezione	
Altezza utile della sezione	
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	
Ricoprimento dell'armatura	
<u>Armatura tesa ordinaria</u>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	
<u>Armatura tesa di infittimento</u>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	

Caratteristiche dei materiali	
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	$f_{ck}$ 37.35 [MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	$f_{ctm}$ 3.4 [MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	$E_{cm}$ 34625 [MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	$f_{yk}$ 450 [MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	$E_s$ 210000 [MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE	
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	$\sigma_s$ 154.7 [MPa]
Asse neutro della sezione	$x$ 45.57 [mm]
Tipo e durata dei carichi applicati	Lunga
Coefficiente di omogeneizzazione	$\alpha_e$ 6.06 [-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	$A_s$ 1005 [mm <sup>2</sup> ]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$ 125000 [mm <sup>2</sup> ] $A_{c,eff.2}$ 51477 [mm <sup>2</sup> ] $A_{c,eff.3}$ 100000 [mm <sup>2</sup> ] $A_{c,eff.min}$ 51477 [mm <sup>2</sup> ]

Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$ 0.01953 [-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$ 3.4 [MPa]
Fattore di durata del carico	$k_t$ 0.4 [-]
<b>Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cis</b>	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{min}$ 0.000442 [-] $[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{calc.}$ 0.000371 [-] <b><math>[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]</math> 0.000442 [-]</b>

Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	$s$ 200 [mm]
Diametro equivalente delle barre	$\phi_{eq}$ 16.00 [mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$ 240 [mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	$k_1$ 0.800 [-] $k_2$ 0.500 [-] $k_3$ 3.400 [-] $k_4$ 0.425 [-]
<b>Distanza massima tra le fessure</b>	$s_{r,max.1}$ 275 [mm] $s_{r,max.2}$ 201 [mm] <b><math>s_{r,max}</math> 275 [mm]</b>

Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$ 0.30 [mm]
<b>Ampiezza delle fessure (di calcolo)</b>	<b><math>w_k</math> 0.12 [mm]</b>

$$w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

La verifica risulta soddisfatta.

Date i bassi valori tensionali ottenuti nella combinazione quasi permanente le verifiche a fessurazione per tale combinazione sono ampiamente soddisfatte.

PROGETTAZIONE ATI:

## 12.3.2. VERIFICA DELLO SBALZO

### 12.3.2.1. Sollecitazioni sulla soletta

La verifica dello sbalzo è svolta determinando le sollecitazioni agenti sullo sbalzo per effetto dei carichi G, carichi accidentati da traffico Q e dei carichi dovuto all'urto veicolo in svio. Non si considerano i pesi propri della soletta in quanto il getto viene effettuato su predalles.

Geometria							Sollec. Caratt. su Sez. di Verifica		
							V	M	N
							[KN]	[KN m]	[KN]
				x	H				
				[m]	[m]				
				0	0.200				
				1.700	0.200				
Carichi Permanenti							Sollec. Caratt. su Sez. di Verifica		
	$\gamma$	Lungh.tv	H <sub>med.</sub>	P <sub>uni</sub>	X <sub>G</sub> dal bordo	d <sub>sez,ver</sub>	V	M	N
Elemento	[kN/mc]	[m]	[m]	[kN/m]	[m]	[m]	[KN]	[KN m]	[KN]
Soletta	25.0	1.700	0.200	8.50	0.850	0.850	0.00	0.00	0
Cordolo	25.0	0.750	0.20	3.75	0.375	1.325	3.75	-4.97	0
Paviment.	24.0	0.950	0.15	3.42	1.225	0.475	3.42	-1.62	0
Barriera	-	-	-	1.50	0.350	1.350	1.50	-2.03	0
Parapetto	-	-	-	0.00	0.100	1.600	0.00	0.00	0
Veletta	-	-	-	1.00	-0.025	1.725	1.00	-1.73	0
Collettore	-	-	-	0.50	0.350	1.350	0.50	-0.68	0

Schema di carico 1 NTC 2018			
Carico singola impronta		q =	150.00 kN
Dim. trasv. impronta		l <sub>tr,i</sub> =	0.40 m
Dim. long. Impronta		l <sub>ln,i</sub> =	0.40 m
Diffusione verticale impronta a metà soletta (45°)			
Diff. trasv. impronta		l <sub>tr,i</sub> =	0.820 m
Diff. long. impronta Sez. corrente		l <sub>ln,i,corr.</sub> =	2.020 m
Schema di carico 2 NTC 2018			
Carico singola impronta		q =	200.00 kN
Dim. trasv. impronta		l <sub>tr,i</sub> =	0.60 m
Dim. long. Impronta		l <sub>ln,i</sub> =	0.35 m
Diffusione verticale impronta a metà soletta (45°)			
Diff trasv impronta		l <sub>tr,i</sub> =	1.020 m
Diff. long Impronta Sez. corrente		l <sub>ln,i,corr.</sub> =	0.770 m

Carichi Accidentali - Sezione Corrente							Sollec. Caratt. su Sez. di Verifica		
		Ang. diff.	dist. Inc.	diff.TV	Rapp.	Forza	V	M	N
		[°]	[m]	[m]	[-]	[KN]	[KN]	[KN m]	[KN]
Q <sub>1</sub>	Sch1_Impr.Ext.	45.00	0.500	3.220	1.00	300.00	93.17	-46.58	0
Q <sub>1</sub>	Sch1_Impr.Int.	45.00	-1.500	0.930	0.00	300.00	0.00	0.00	0
q <sub>1</sub>	Sch1_Distr.						6.30	-2.21	0
Q <sub>1</sub>	Sch2_Impr.Ext.	45.00	0.455	1.880	0.89	200.0	94.91	-43.18	0
Q <sub>1</sub>	Sch2_Impr.Int.	45.00	-1.545	-0.265	0.00	200.0	0.00	0.00	0
Q <sub>1</sub>	Folla		0.275				0.00	0.00	0
A <sub>d</sub>	Urto	45.00	1.100	5.950		300.0	0	-61.01	-50.42

		V [KN]	M [KNm]	N [KN]
<b>COMB. SLU</b>	Sch1	146.39	-77.69	0.00
	Sch2	140.24	-70.12	0.00
	Ad	104.83	-113.38	-50.42

		M [KNm]	N [KN]
<b>COMB. SLE</b>	Rara-Sch1	-57.55	0.00
	Freq.-Sch1	-44.58	0.00
	Rara-Sch2	-51.94	0.00
	Freq.-Sch2	-41.14	0.00
	Q.P.	-8.76	0.00

### 12.3.2.2. Verifiche agli SLU

Si riporta di seguito la verifica a tenso-flessione dello sbalzo.

L'armatura superiore in corrispondenza dello sbalzo è composta da 5  $\phi$ 16 /ml + 5  $\phi$ 24 /ml;  
l'armatura inferiore da 5  $\phi$ 16 /ml.



A vantaggio di sicurezza si è trascurato il contributo dovuto al taglio resistente residuo dei tralicci delle pedalle.

Verifica soddisfatta.

### 12.3.2.3. Verifiche agli SLE – limitazione delle tensioni

Le verifiche sono soddisfatte se sono rispettati i seguenti limiti di tensioni nel cls e nell'acciaio, e di apertura delle fessure.

La massima tensione di compressione del calcestruzzo  $\sigma_c$ , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0.60 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica (rara) } = 22.41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente } = 16.81 \text{ MPa}$$

La massima tensione di trazione nell'acciaio  $\sigma_s$ , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0.8 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$$

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom      N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	32.67	5
2	10.05	19

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

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

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

**Materiali**  
 B450C    C35/45

$\epsilon_{su}$ 67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 391.3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$ 3.5 ‰
$E_s$ 200'000 N/mm²	$f_{cd}$ 19.83
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0.8
$\epsilon_{syd}$ 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 13.5
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	$\tau_{co}$ 0.8
	$\tau_{c1}$ 2.257

$\sigma_c$  -8.893 N/mm²  
 $\sigma_s$  136.4 N/mm²

$\epsilon_s$  0.6822 ‰  
 d 15 cm  
 x 7.416    x/d 0.4944  
 $\delta$  1

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

**Verifica**  
 N° iterazioni:

Precompresso

Verifica a flessione combinazione rara

La verifica risulta soddisfatta

OPERE D'ARTE MAGGIORI- PONTE SU CANALE IMBOI SVINCOLO CAPOTERRA - CASIC RAMO B -  
CASIC- RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	20	1	32.67	5
			2	10.05	19

**Tipologia Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.  
 DXF

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

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 -44.58 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 0

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

**Materiali**  
 B450C C35/45  
 E<sub>su</sub> 67.5 ‰ E<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² E<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 19.83 ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 E<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 13.5  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.8  
 τ<sub>c1</sub> 2.257

σ<sub>c</sub> -6.889 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 105.7 N/mm²  
 ε<sub>s</sub> 0.5284 ‰  
 d 15 cm  
 x 7.416 x/d 0.4944  
 δ 1

Verifica N° iterazioni:

Precompresso

Tensioni materiali nella combinazione frequente

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	20	1	32.67	5
			2	10.05	19

**Tipologia Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.  
 DXF

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

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 -8.76 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 0

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

**Materiali**  
 B450C C35/45  
 E<sub>su</sub> 67.5 ‰ E<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² E<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 19.83 ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 E<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 13.5  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.8  
 τ<sub>c1</sub> 2.257

σ<sub>c</sub> -1.354 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 20.77 N/mm²  
 ε<sub>s</sub> 0.1038 ‰  
 d 15 cm  
 x 7.416 x/d 0.4944  
 δ 1

Verifica N° iterazioni:

Precompresso

Verifica a flessione combinazione quasi-permanente

La verifica risulta soddisfatta

PROGETTAZIONE ATI:

### 12.3.2.4. Verifiche agli SLE – fessurazione

Condizioni ambientali:

- XC4+XS1 - con cls C35/45 per la soletta → condizioni aggressive

Tipo Armatura: Poco sensibile

**Tabella 4.1.III** – Descrizione delle condizioni ambientali

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

**Tabella 4.1.IV** – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

$w_1, w_2, w_3$  sono definiti al § 4.1.2.2.4.1, il valore di calcolo  $w_d$ , è definito al § 4.1.2.2.4.6.

La soletta prevede quindi un limite di ampiezza delle fessure:

- QP:  $W_1 = 0.2\text{mm}$
- FREQ:  $W_2 = 0.3\text{mm}$

La verifica dell'ampiezza di fessurazione può anche essere condotta senza calcolo diretto, limitando la tensione di trazione nell'armatura, valutata nella sezione parzializzata per la combinazione di carico pertinente, ad un massimo correlato al diametro delle barre ed alla loro spaziatura; a tal scopo si veda C4.1.2.2.4.6., Tab C4.1.II e Tab C4.1.III.

Date i bassi valori tensionali ottenuti nelle combinazioni frequente e quasi permanente le verifiche a fessurazione sono ampiamente soddisfatte.

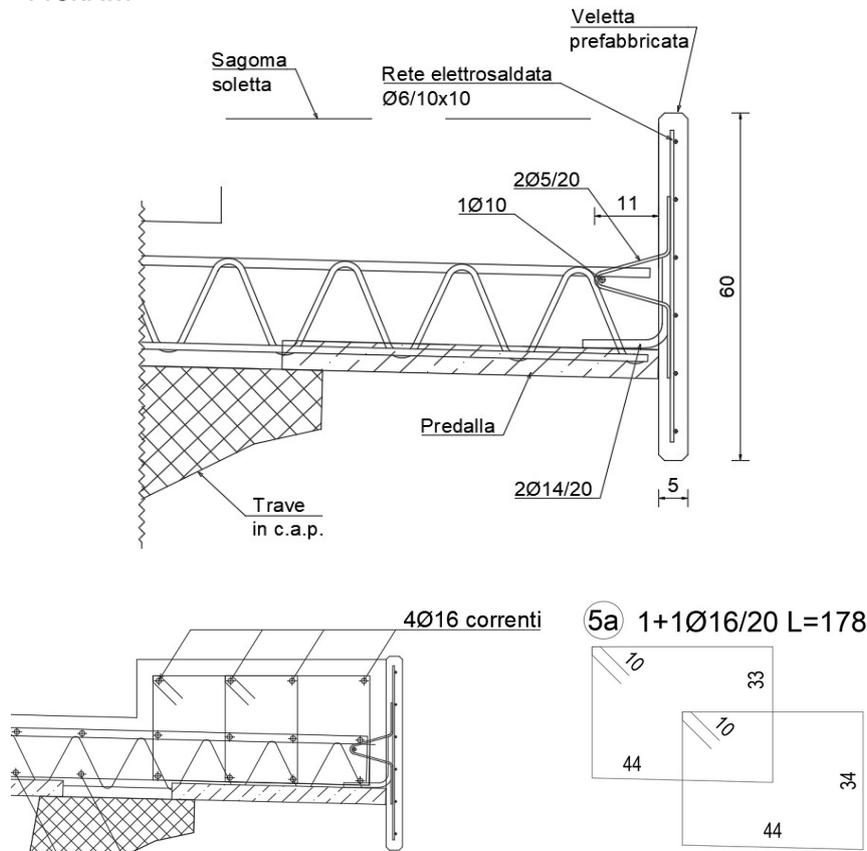
**12.3.3. VERIFICA CORDOLO PER L'URTO DEL VEICOLO IN SVIO**

Il cordolo ha una larghezza di 75cm e su di esso viene fissata la barriera guard rail. Il cordolo è armato con staffe  $\phi 16/20$ cm a 4 bracci.

L'urto è modellato come una forza di intensità  $F=100$ kN applicata alla barriera ad un'altezza (dall'estradosso soletta)  $h=1.00+0.15$ m = 1.15m.

Per effetto della forza  $F$ , in corrispondenza della sezione di interfaccia cordolo - soletta, si avranno le seguenti sollecitazioni taglianti e flettenti:

- $F = 100$ kN
- $M = F \cdot h = 115$ kNm



**Figura 12.30 Armatura cordolo**

Il cordolo sarà sollecitato a strappo da una forza di taglio ed a momento flettente dato dall'eccentricità (braccio) della stessa. Si verifica quindi la sezione orizzontale d'interfaccia cordolo-soletta data dalla ripresa del getto, considerando l'azione di taglio assorbita dai soli bracci interni, mentre a momento cautelativamente si considerano i soli due esterni come resistenti.

Cautelativamente si fa riferimento ad una porzione di cordolo di 80cm (diffusione a 45° nel piano verticale) in cui vi saranno 4 bracci di staffe. Considerando inoltre 5cm di copriferro per lato, si avrà un braccio massimo di 65cm:

$$T \cdot b = A_f \cdot \sigma_f \cdot b = (4 \cdot 2.01) \cdot 39.13 \cdot 0.65 = 204.6 \text{ kNm} > F \cdot h = 115 \text{ kNm} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

PROGETTAZIONE ATI:

Si effettua quindi la verifica a taglio (all'interfaccia getto soletta – getto cordolo) considerando i (restanti) bracci delle staffe che risultano non impegnati dalla flessione.

Sempre con riferimento ad una porzione di cordolo considerata si ha:

$$V_{Rsd} > (A_f \cdot f_{yd}) / \sqrt{3} = 2 \cdot 4 \cdot 201 \cdot 391.3 / 1.73 = 363.4 \text{ kN} > F = 100 \text{ kN} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

### 13. APPOGGI E GIUNTI

Si riportano di seguito le tipologie adottate per gli appoggi e i giunti, il loro schema in pianta e l'indicazione delle massime sollecitazioni e/o spostamenti per il loro dimensionamento.

#### 13.1. APPOGGI

Si prevede l'utilizzo di apparecchi d'appoggio del tipo fissi, multidirezionali e monodirezionali tali da realizzare uno schema in semplice appoggio in direzione longitudinale e garantire allo stesso tipo la possibilità di escursione termica in direzione trasversale. Lo schema di vincolo è riportato nella seguente figura.

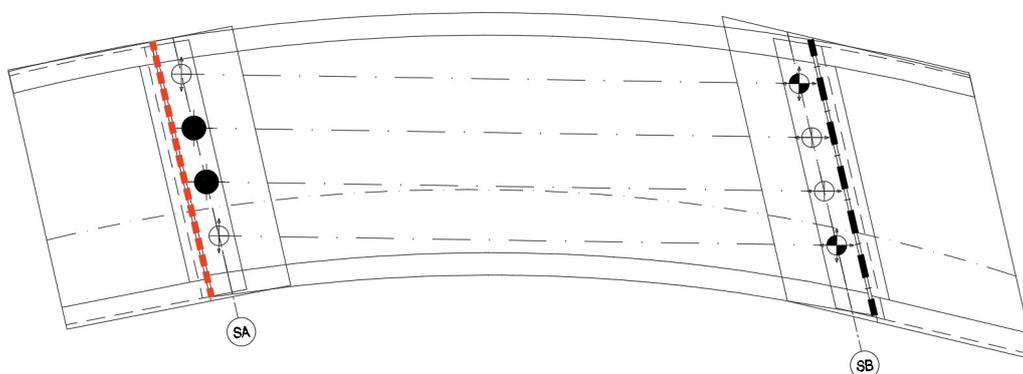


Figura 2.31: Schema di vincolo

Si rimanda agli specifici elaborati per le specifiche caratteristiche dei dispositivi.

##### 13.1.1. AZIONI SUGLI APPOGGI

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva dei massimi carichi assiali sugli appoggi per effetto delle combinazioni agli SLU e simiche.

tipologia appoggio		$N_{slu}$	$N_{sisma}$	$V_{x,slu}$	$V_{y,slu}$	$V_{x,sisma}$	$V_{y,sisma}$	$d_{x,sisma}$
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]
UT	Unidir. TV	2000	800	150	0	150	0	±10
F	Fisso	2000	800	150	150	150	150	0
UL	Unidir. LN	2000	800	0	150	0	150	±20
M	Multidirezionale	2000	800	0	0	0	0	±20

#### 13.2. GIUNTI

Si riporta di seguito il calcolo per la determinazione della variazione di lunghezza massima longitudinale per i giunti di impalcato dovuti all'azione termica:

$$d_L = \alpha \times \Delta T \times L = 1 \times 10^{-5} \times 39 \times 20.9 = 8.2 \text{ mm}$$

Con:

$\alpha$ : coefficiente di dilatazione termica del cls;

PROGETTAZIONE ATI:

$\Delta T$ : massima variazione di temperatura di progetto;  
L: distanza iniziale dei due giunti.

Agli SLU, si ha:

$$d_{L,SLU} = 1.50 \times d_L = 1.50 \times 8.2 = 12.2 \text{ mm}$$

Dato lo schema vincolare, si predispone:

- Spalla SA: giunto di sottopavimentazione
- Spalla SB: giunto in gomma armata con  $S = 50\text{mm} (\pm 25\text{mm})$