

ITINERARIO RAGUSA-CATANIA

Collegamento viario compreso tra lo Svincolo della S.S. 514 "di Chiaramonte"
con la S.S. 115 e lo Svincolo della S.S. 194 "Ragusana"

LOTTO 1 - Dallo svincolo n. 1 sulla S.S. 115 (compreso) allo svincolo n. 3 sulla S.P. 5 (escluso)

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **PA895**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GP INGEGNERIA - COOPROGETTI -GDG - ICARIA - OMNISERVICE

PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri

Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351



IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Marco Leonardi

Ordine dei Geologi della Regione Lazio n° 1541

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Ambrogio Signorelli

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n° A35111

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Luigi Mupo

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



Dott. Ing. N.Granieri
Dott. Ing. F.Durastanti
Dott. Ing. V.Truffini
Dott. Arch. A.Bracchini
Dott. Ing. L.Nani

Dott. Ing. M.Abram
Dott. Ing. F.Pambianco
Dott. Ing. M.Briganti Botta
Dott. Ing. L.Gagliardini
Dott. Geol. G.Cerquiglioni

MANDANTI:



Dott. Ing. G.Guiducci
Dott. Ing. A.Signorelli
Dott. Ing. E.Moscattelli
Dott. Ing. A.Bela

Dott. Ing. G.Lucibello
Dott. Arch. G.Guastella
Dott. Geol. M.Leonardi
Dott. Ing. G.Parente



Dott. Arch. E.A.E.Crimi
Dott. Ing. M.Panfilii
Dott. Arch. P.Ghirelli
Dott. Ing. D.Pelle

Dott. Ing. L.Ragnacci
Dott. Arch. A.Strati
Archeol. M.G.Liseno



Dott. Ing. D.Carlaccini
Dott. Ing. S.Sacconi
Dott. Ing. C.Consorti

Dott. Ing. F.Aloe
Dott. Ing. A.Salvemini



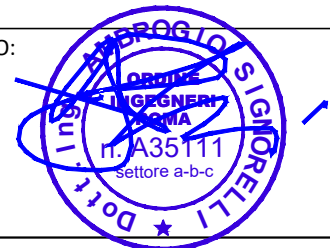
Dott. Ing. V.Rotisciani
Dott. Ing. G.Pulli
Dott. Ing. F.Macchioni

Dott. Ing. G.Verini Supplizi
Dott. Ing. V.Piunno
Geom. C.Sugaroni



Dott. Ing. P.Agnello

IL RESPONSABILE DI PROGETTO:



**OPERE D'ARTE MINORI
ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751
Relazione tecnica e di calcolo - impalcato**

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

L O 4 0 8 Z E 2 1 0 1

NOME FILE

T01TM25STRRE01B

REVISIONE

SCALA:

CODICE ELAB.

T 0 1 T M 2 5 S T R R E 0 1

B

-

D

C

B

A

REV.

DESCRIZIONE

REVISIONE A SEGUITO DI RAPPORTO DI VERIFICA

EMISSIONE

NOVEMBRE 2021

GIUGNO 2021

M. Toreno

M. Toreno

A. Signorelli

A. Signorelli

N. Granieri

N. Granieri

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DESCRIZIONE OPERA	5
3	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	7
4	MATERIALI	8
5	CRITERI DI CALCOLO E VERIFICA	10
6	AZIONI DI CALCOLO.....	12
6.1	PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA (G1)	12
6.2	CARICHI PERMANENTI PORTATI (G2)	12
6.3	AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO (Q1)	12
6.4	AZIONI DI FRENAMENTO (Q3)	14
6.5	AZIONE VARIABILE DEL VENTO (Q5).....	14
6.6	URTO DEI VEICOLI IN SVIO.....	15
6.7	AZIONE SISMICA (E)	16
6.7.1	Spettri di risposta	18
6.8	EFFETTI REOLOGICI (E2).....	19
6.9	VARIAZIONI TERMICHE (E3).....	19
7	COMBINAZIONE DELLE AZIONI	20
8	ANALISI STRUTTURALE	22
8.1	SOFTWARE DI CALCOLO	22
8.2	METODOLOGIA DI ANALISI.....	23
8.2.1	Analisi in condizioni Non-Sismiche.....	23
8.2.2	Analisi Sismica.....	24
8.3	GEOMETRIA DEL MODELLO DI CALCOLO	24
8.3.1	Vincoli interni.....	25

9	FASI COSTRUTTIVE E DI CALCOLO IMPALCATO	26
9.1	FASI COSTRUTTIVE	26
9.2	FASI DI CALCOLO	26
10	DATI DIMENSIONALI PER VERIFICHE ALLO SLU	27
10.1	ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE TRAVI	27
10.2	CARATTERISTICHE DELLE SEZIONI	29
10.2.1	Trave isolata	29
10.2.2	Sezione ideale omogeneizzata	29
10.2.3	Sezione mista trave + soletta	30
11	CADUTE DI TENSIONE	32
11.1	CADUTE PER RITIRO CALCESTRUZZO	32
11.1.1	Ritiro per essiccamento	32
11.1.2	Ritiro autogeno	33
11.2	CADUTE PER VICOSITA'	35
11.2.1	determinazione del coefficiente di viscosità	37
11.3	CADUTE PER EFFETTO TERMICO	37
11.4	CADUTE PER RILASSAMENTO ACCIAIO	38
11.5	CADUTE TOTALI	39
12	CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI NELLE VARIE FASI PER TRAVE DI BORDO	40
13	VERIFICHE TRAVI IN ESERCIZIO E ALLO SLU	42
13.1	PRECOMPRESSIONE E CADUTE DI TENSIONE	42
13.1.1	Fase 1: verifiche all'atto del rilascio	42
13.1.2	Fase 2: Getti in opera	42
13.1.3	Fase 3: Carichi permanenti portati	44
13.1.4	Riassunto cadute di tensioni acciaio precompressione	45

13.2 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER SFORZO NORMALE E FLESSIONE	47
13.2.1 Verifiche a pressoflessione per momento positivo	48
13.3 VERIFICHE ALLO SLU PER SOLLECITAZIONI TAGLIANTI E TORCENTI	50
13.4 VERIFICA DELLO SCORRIMENTO TRAVE – SOLETTA	53
13.5 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO	55
13.5.1 Verifiche in combinazione frequente	56
13.5.2 Verifiche in combinazione quasi permanente	58
13.5.3 Verifiche in combinazione rara	59
14 VERIFICA DELLA SOLETTA	60
14.1 VERIFICA DELLE PREDALLE	60
14.2 VERIFICA DELLA SOLETTA NELLE FASI SUCCESSIVE	63
14.2.1 Verifica campi interni soletta	63
14.2.2 Verifica sbalzo	66
14.2.3 Verifica cordolo per urto veicolo in svio	68
15 VERIFICA SISTEMA DI ISOLAMENTO PER AZIONI SISMICHE	70
15.1 ISOLATORI ELASTOMERICI	70
15.1.1 Azioni sugli isolatori elastomerici	70
15.1.2 Verifica massimi spostamenti allo SLC	70
15.2 GIUNTI DI DILATAZIONE IN GOMMA ARMATA	71
16 AZIONI DALL'IMPALCATO ALLE SPALLE	72
16.1 VERIFICA DEI BAGGIOLI	72

1 PREMESSA

La presente relazione illustra l'analisi e le verifiche strutturali effettuate per la progettazione dell'impalcato e degli appoggi dell'attraversamento idraulico al km 12+750 del lotto 1, previsto nell'ambito dei lavori di collegamento Ragusa-Catania: ammodernamento a n° 4 corsie della S.S. 514 "Di Chiaromonte" e della S.S. 194 Ragusana dallo svincolo con la S.S. 115 allo svincolo con la S.S. 114.

2 DESCRIZIONE OPERA

L'attraversamento idraulico in oggetto, presenta due impalcati con una larghezza di carrabile di 9.75m e due cordoli da 0.75m per una larghezza complessiva di 11.25m. L'opera in progetto prevede la realizzazione di un impalcato in semplice appoggio di lunghezza pari a 32m (oltre il retrotrave), vincolato in corrispondenza delle spalle. La sezione longitudinale della carreggiata sinistra è riportata nella seguente figura.

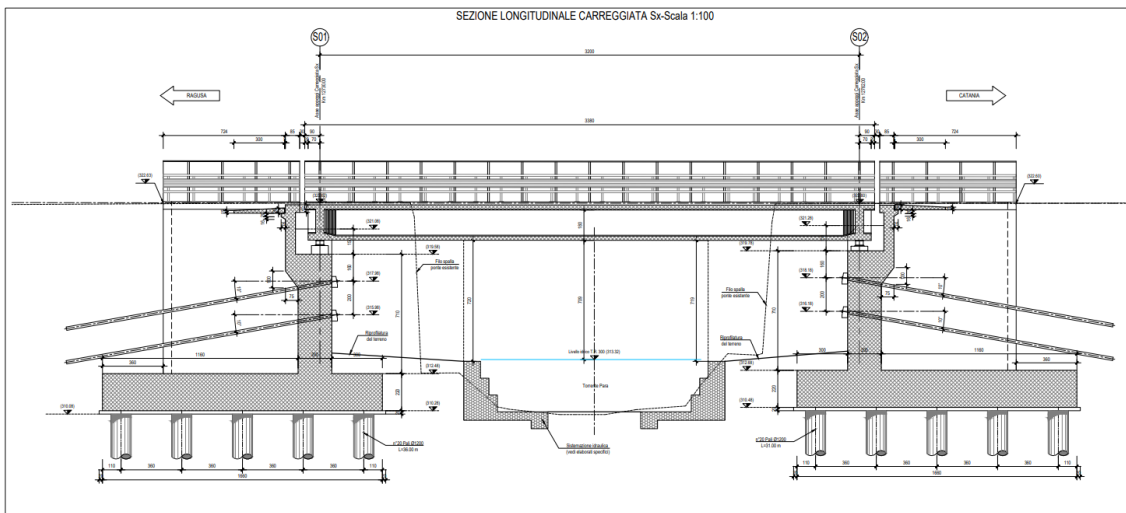


Figura 2.1: Sezione longitudinale carreggiata sinistra

La soluzione strutturale adottata prevede, per l'impalcato, l'impiego di 4 travi a "V" in calcestruzzo armato precompresso con pre-tensione, di altezza pari a 1.80 m collegate tra loro mediante soletta collaborante e traversi gettati in opera. Le travi prefabbricate hanno interasse trasversale di 2.50 m e lunghezza complessiva di 32.00m.

La soletta, di spessore complessivo pari a 25cm, è gettata in opera su predalle da 5cm alle estremità dell'impalcato (per consentire il getto dello sbalzo). Sono presenti due traversi di testata in c.a. gettati in opera con spessore pari a 50 cm ed altezza di circa 1.35m.

La geometria della sezione trasversale dell'impalcato è riportata nella seguente figura:

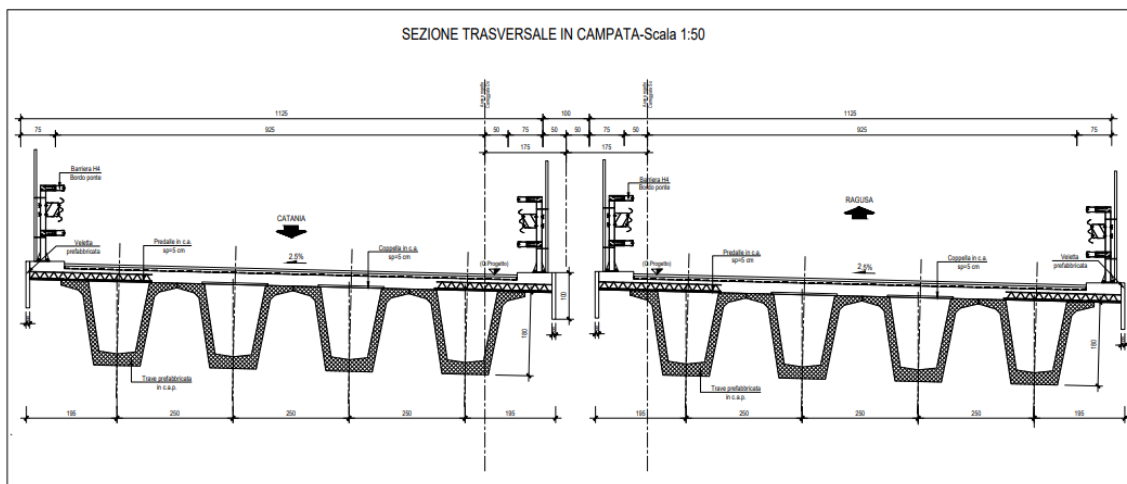


Figura 2.2: Sezione trasversale in campata

L'impalcato è isolato sismicamente mediante isolatori elastomerici in numero di 1 sotto ogni trave. Le caratteristiche dei dispositivi sono riportate allo specifico paragrafo e nello specifico elaborato.

Lo schema di vincolo è riportato nella seguente figura.

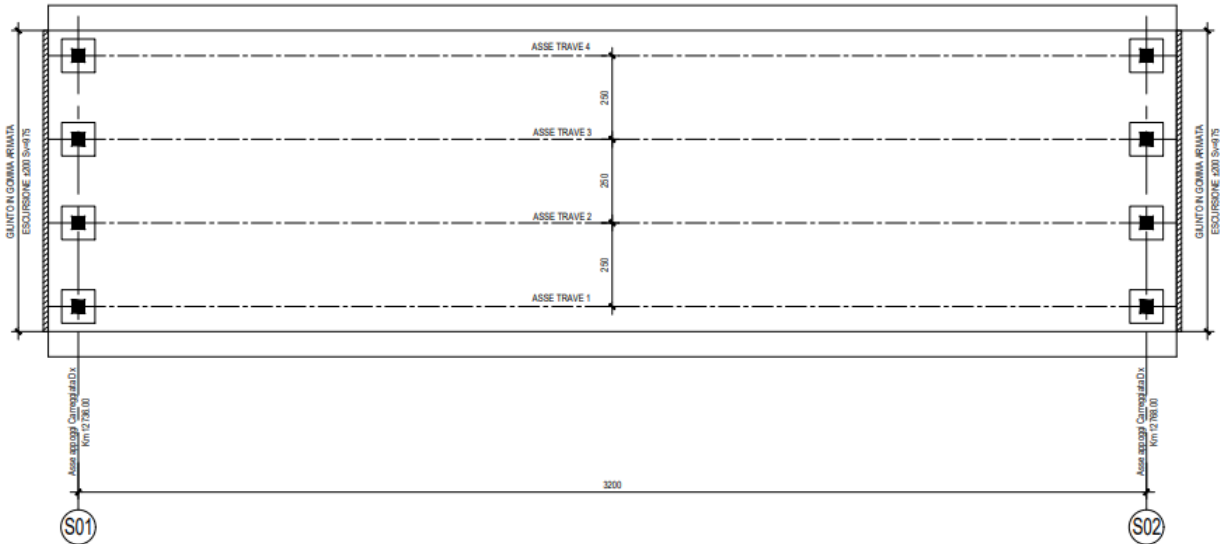


Figura 2.3: Schema di vincolo singolo impalcato

3 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Il principale riferimento normativo da considerare per lo studio e l'analisi di strutture è il D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" che fornisce i criteri generali che regolano il processo di conoscenza e valutazione della sicurezza.

Per la definizione del numero di prove e rilievi, anche per scopi diversi dalla verifica sismica, si possono prendere in considerazione i criteri forniti da:

- Circolare n.617 del 2 Febbraio 2009 Ministero Infrastrutture e Trasporti, Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni";
- UNI EN 1992-1-1:2015: "Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici";
- UNI EN 1992-2:2006: "Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi"
- UNI EN 1998-2:2011: "Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 2: Ponti";
- EN1998-3, Eurocodice 8, Progettazione sismica delle strutture, Parte 3, Valutazione e rinforzo degli edifici.
- Linee Guida per il monitoraggio, la valutazione della sicurezza strutturale e la classificazione del rischio dei ponti esistenti – CSLLPP, 2020;
- Valutazione e consolidamento sismico dei ponti esistenti – Pinto P.E., Lupoi A., Franchin P. Iuss Press 2009;
- ANAS, Quaderni Tecnici – Quaderno tecnico 1 – Valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo;
- AASHTO, The Manual for Bridge Evaluation, 3rd Edition, 2018;

4 MATERIALI

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

Calcestruzzo Travi in c.a.p.

$R_{ck} \geq 55$ MPa; (C45/55)	
$f_{ck} = 0.83 \times 55 = 45.65$ MPa	resistenza cilindrica caratteristica
$f_{cd} = 0.85 \times 45.65 / 1.50 = 25.868$ MPa	resistenza di calcolo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 53.65$ MPa	resistenza media cilindrica
$f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 3.83$ MPa	resistenza media a trazione assiale
$f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 2.68$ MPa	resistenza a trazione
$f_{ctm} = 1.2 \times f_{ctm} = 4.60$ MPa	resistenza media a trazione per flessione
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.79$ MPa	resistenza a trazione di calcolo
$E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 36416$ MPa	modulo elastico istantaneo
$\gamma_{cls} = 25.0$ kN/mc	peso per unità di volume

Calcestruzzo soletta e trasversi

$R_{ck} \geq 40$ MPa; (C32/40)	
$f_{ck} = 0.83 \times 40 = 33.2$ MPa	resistenza cilindrica caratteristica
$f_{cd} = 0.85 \times 33.2 / 1.50 = 18.81$ MPa	resistenza di calcolo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 41.2$ MPa	resistenza media cilindrica
$f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 3.10$ MPa	resistenza media a trazione assiale
$f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 2.17$ MPa	resistenza a trazione
$f_{ctm} = 1.2 \times f_{ctm} = 3.72$ MPa	resistenza media a trazione per flessione
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.45$ MPa	resistenza a trazione di calcolo
$E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 33643$ MPa	modulo elastico istantaneo

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 apparente
$A_p = 1,39$ cmq	sezione utile nominale
$A_p = 1,39$ cmq	tensione massima in esercizio
$\sigma_p = 1336$ MPa	tensione di tiro

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:

$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} = 540 \text{ MPa}$	tensione caratteristica di rottura
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.3 \text{ MPa}$	tensione di calcolo
$E_s = 210000 \text{ MPa}$	modulo elastico
$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 1.863 \text{ ‰}$	deformazione di snervamento ultima
$\varepsilon_{uk} = (A_{gt})_k = 7.5 \text{ ‰}$	deformazione uniforme caratteristica
$\varepsilon_{ud} = 0.9 \times \varepsilon_{uk} = 6.75 \text{ ‰}$	deformazione uniforme ultima
$\gamma_s = 78.5 \text{ kN/mc}$	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. 14/01/2008.

Le verifiche delle sezioni in c.a. sono state condotte sulla base delle prescrizioni contenute nel D.M. 14/01/2008.

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 4.1.2.1.4.2 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):

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S = 391,3 \text{ MPa}$$

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 è indicata 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 $w_d = 1,7 w_m = 1,7 (\epsilon_{sm} \epsilon_{sm}) < w_d$

Per il calcolo di ϵ_{sm} e ϵ_{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.

6 AZIONI DI CALCOLO

Nel presente paragrafo si illustrano i carichi considerati nel progetto dell'opera, calcolata come ponte di prima categoria in base alla vigente normativa sui ponti stradali.

6.1 PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA (G1)

Sono considerati i seguenti pesi specifici dei materiali:

- calcestruzzo armato: $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$

6.2 CARICHI PERMANENTI PORTATI (G2)

Binder e strato di usura:

- peso dell'unità di volume: $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$
- spessore: $s = 0.11 \text{ m}$

risulta un carico di 2.64 kN/m^2 si assume un peso pari a 3.00 kN/m^2 .

Cordoli:

- peso dell'unità di volume: $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$
- larghezza: $L = 0.75 \text{ m}$
- spessore: $s = 0.16 \text{ m}$

risulta un carico di 3.00 kN/m per ciascun cordolo

Guardrail, parapetti ed elementi di bordo:

- peso delle barriere integrate:

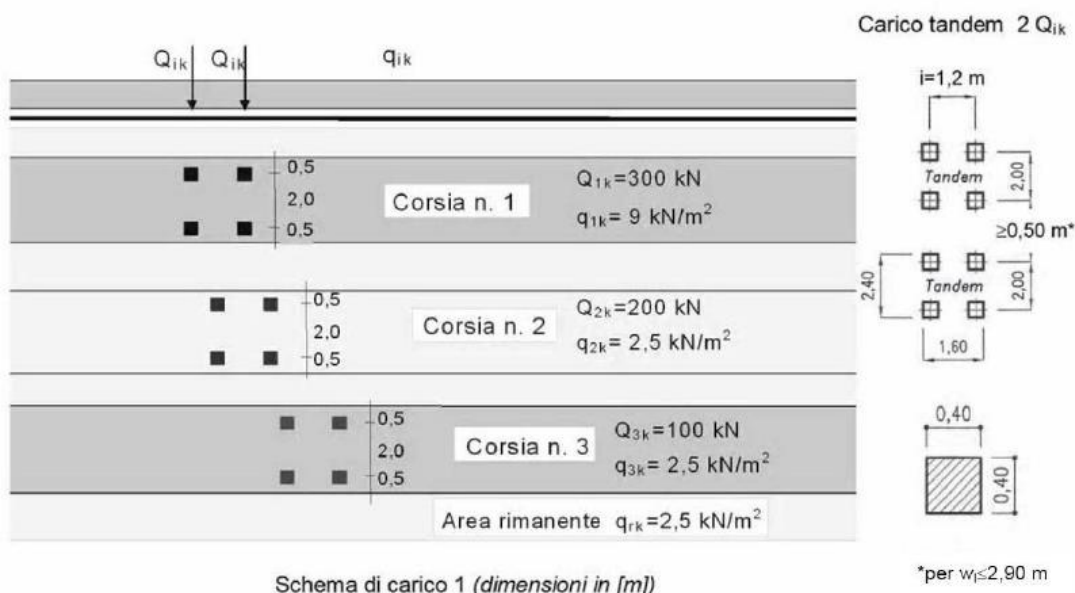
in assenza di valutazioni specifiche il peso lineare della barriera è assunto pari a 1.50 kN/m , mentre la rete antiproiezione integrata è valutata in ragione di 0.25 kN/m^2 ; per un'altezza di 2.00 m ; si ottiene un peso a metro lineare di 0.50 kN/m . La somma di entrambe i contributi è pari a 2.00 kN/m .

- peso della veletta prefabbricata: 2.00 kN/m

6.3 AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO (Q1)

I carichi mobili agenti sull'impalcato sono definiti al § 5.1.3.3 del D.M. 14/01/08 e vanno posizionati in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli ai fini della verifica delle nervature.

Si fa riferimento allo Schema di Carico 1 per la verifiche globali.



La larghezza della carreggiata ($w = 9.25\text{m} > 6.00$ m) è tale da dover considerare tre corsie da 3.00 m ciascuna in base a quanto indicato nella Tabella 5.1.I del D.M. 14/01/08.

Tabella 5.1.I - Numero e Larghezza delle corsie

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	$w - (3,00 \times n_l)$

L'area rimanente è variabile larga $w_r = 9.25 - 9 = 0.5\text{m}$

Per i ponti di 1ª Categoria si considerano le seguenti intensità dei carichi:

Intensità dei carichi Q_{ik} e q_{ik} per le diverse corsie

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

Corsia n.1:

$$q_{1\text{distr}} = q_{1k} \times w_1 = 9.00 \times 3.00 = 27.0 \text{ kN/m}$$

carico uniformemente distribuito

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

2 file di carico tandem

Corsia n.2:

$$q_{2distr} = q_{2k} \times w_2 = 2.50 \times 3.00 = 7.50 \text{ kN/m} \quad \text{carico uniformemente distribuito}$$

$$Q_{2tan} = 2 \times Q_{2k} = 2 \times 200 = 400 \text{ kN} \quad \text{2 file di carico tandem}$$

Corsia n.3:

$$q_{3distr} = q_{3k} \times w_3 = 2.50 \times 3.00 = 7.50 \text{ kN/m} \quad \text{carico uniformemente distribuito}$$

$$Q_{3tan} = 2 \times Q_{3k} = 2 \times 100 = 200 \text{ kN} \quad \text{2 file di carico tandem}$$

Area rimanente

$$q_r = q_{rk} \times w_r = 2.50 \times l_{a.r.} = \text{min: } 1.25 \text{ kN/m carico uniformemente distribuito}$$

SCHEMA 2: utilizzato per le sole verifiche locali. Esso è costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare (di larghezza 0.60 m e lunghezza 0.35 m) e con asse longitudinale posto nella posizione più gravosa.

La disposizione delle corsie nella carreggiata è scelta in modo da ottenere la situazione più gravosa. Gli schemi di carico sono applicati longitudinalmente come suggerito dalle linee di influenza in modo da ottenere l'effetto più sfavorevole nelle sezioni di verifica considerate.

6.4 AZIONI DI FRENAMENTO (Q3)

La forza di frenamento o accelerazione è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n.1 e per i ponti di 1ª categoria è uguale a:

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

$$Q_3 = 0,6 \cdot (2 \cdot 300) + 0,10 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 32 = 446,4 \text{ kN}$$

6.5 AZIONE VARIABILE DEL VENTO (Q5)

L'azione del vento è valutata, in termini di pressione, attraverso la seguente espressione (fornita dal D. Min. 14/01/2008): $p = q_b \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$.

In funzione della regione su cui sorge l'opera (Sicilia) si assume che la zona geografica di riferimento sia la "4" ed in relazione alla posizione geografica e topografica dell'opera, si adotta la classe di rugosità D ("Aree prive di ostacoli"). Da ciò discende un'esposizione del sito al vento di II categoria per cui si ottengono:

Altitudine sul livello del mare:	$a_s =$	245 m s.l.m.
Zona di riferimento:		4
Altitudine di riferimento sul livello del mare:	$a_0 =$	500 m s.l.m.
Velocità di riferimento base:	$v_{b,0} =$	28 m/s
Parametro funzione della zona:	$k_a =$	0.020 1/s
Velocità di riferimento:	$v_b =$	28.00 m/s
Pressione cinematica di riferimento:	$q_b =$	0.49 kN/m²
Coefficiente di topografia:	$c_t =$	1.00
Categoria di esposizione:		II
Altezza dal suolo del punto considerato:	$z =$	10.00 m
Parametro funzione della classe di esposizione:	$k_r =$	0.19
Altezza di riferimento:	$z_0 =$	0.05 m
Altezza minima:	$z_{min} =$	4.00 m
Coefficiente di esposizione:	$c_e =$	2.35
Coefficiente di forma:	$c_p =$	1.00
Coefficiente dinamico:	$c_d =$	1.00

Pertanto l'azione del vento è valutabile come un carico orizzontale uniforme di $p=1.15\text{kN/m}^2$ diretto ortogonalmente all'asse longitudinale del ponte, agente sulla proiezione, nel piano verticale, delle superfici direttamente investite dal vento. La superficie dei carichi transitanti sul ponte esposta al vento è assimilata ad una parete rettangolare continua di altezza costante pari a 3.00 m, dalla pavimentazione stradale.

6.6 URTO DEI VEICOLI IN SVIO

In base a quanto indicato dalle NTC2008 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. Questa forza viene applicata su una linea lunga 0,5 m.

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).

Inoltre, in base a quanto riportato nel quaderno Tecnico ANAS N.4 "Interventi di ripristino delle condizioni di sicurezza di cordoli e barriere bordo ponte" nel progetto strutturale si dovrà tener conto delle forze causate da collisioni sugli elementi di sicurezza attraverso il sistema di forze equivalenti rappresentato nella figura successiva.

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO KM 12+751 - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

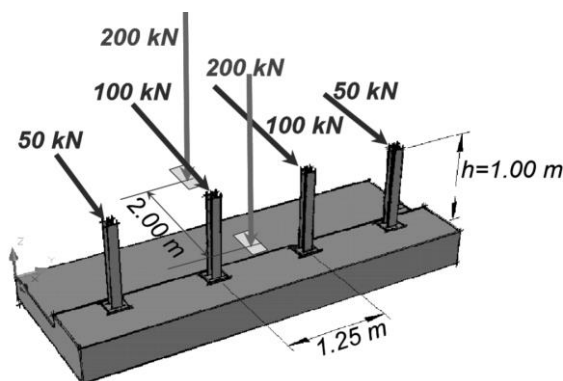


Figura 6.12- Sistema di forze equivalenti per condizioni di progetto ordinarie.

Esso risulta idoneo a rappresentare le azioni equivalenti alle forze di collisione, riferite a condizioni ordinarie della strada e delle barriere, con particolare riferimento alle connessioni tra queste e la struttura.

6.7 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. 2008, da cui scaturisce un coefficiente d'uso $CU = 2$.

L'azione sismica di progetto è definita per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV). 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.

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.

Latitudine: 37°.0391 Longitudine: 14°.6567								
Stato limite	V_N [anni]	C_U	V_R [anni]	T_R [anni]	a_g [g]	F_0	F_V	T_C^* [s]
SLO	50	2	100	60	0.064	2.505	0.855	0.270
SLD	50	2	100	101	0.092	2.416	0.989	0.286
SLV	50	2	100	949	0.335	2.356	1.842	0.456
SLC	50	2	100	1950	0.481	2.347	2.197	0.518

Tabella 6.1: Parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto

In quest'ultima V_N è la vita nominale dell'opera; C_U è il coefficiente relativo alla classe d'uso; V_R è il periodo di riferimento per l'azione sismica; 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 amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; F_V è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione verticale; 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.

Categoria suolo = C								
Stato limite	Suolo	S_S	S_T	S	C_C	T_B	T_C	T_D
SLO	C	1.50	1.00	1.50	1.617	0.146	0.437	1.856
SLD	C	1.50	1.00	1.50	1.588	0.151	0.454	1.967
SLV	C	1.23	1.00	1.23	1.361	0.207	0.620	2.942
SLC	C	1.02	1.00	1.02	1.304	0.225	0.676	3.523

Tabella 6.2: 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.

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

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \quad \text{se } T_B \leq T \leq T_C$$

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

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

6.7.1 Spettri di risposta

Per la presente opera è stata effettuata un'analisi di Risposta Sismica Locale (RSL) la cui trattazione è riportata nella specifica relazione sismica.

A seguire si riportano i grafici degli spettri orizzontali normalizzati utilizzati per l'analisi sismica dell'opera a seguito delle considerazioni effettuate nell'analisi RSL.

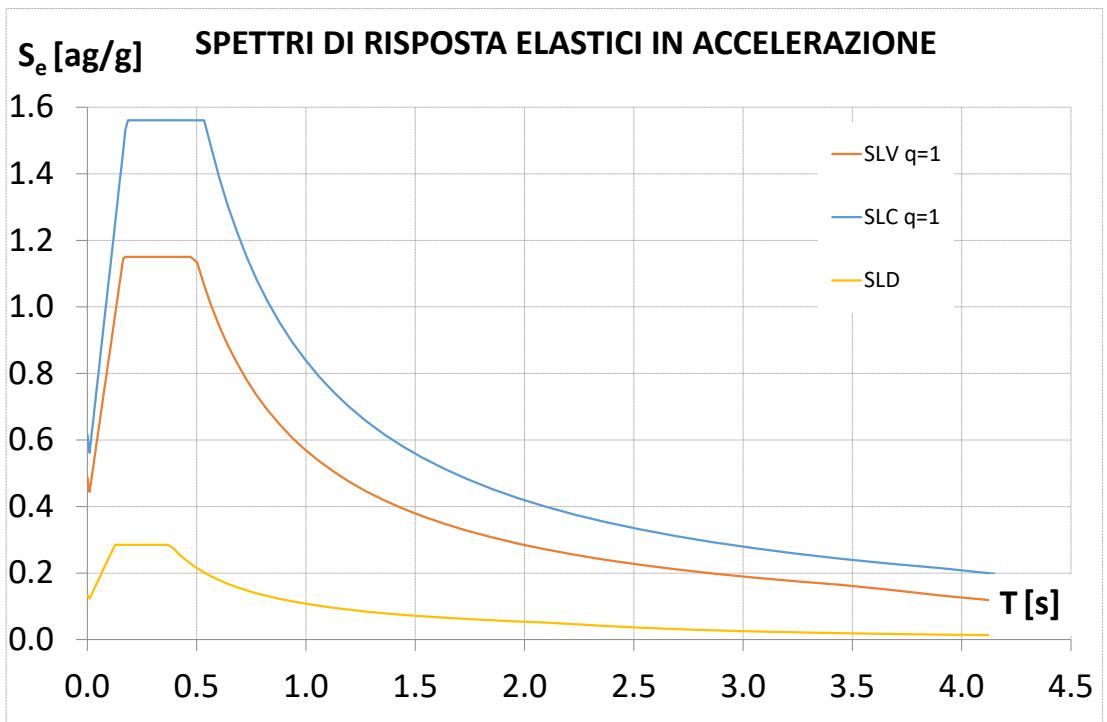


Figura 6.3: Spettri elastici accelerazione orizzontale

Ai fini dell'analisi del sistema di isolamento, si considerano i precedenti spettri smorzati di un valore del 15%

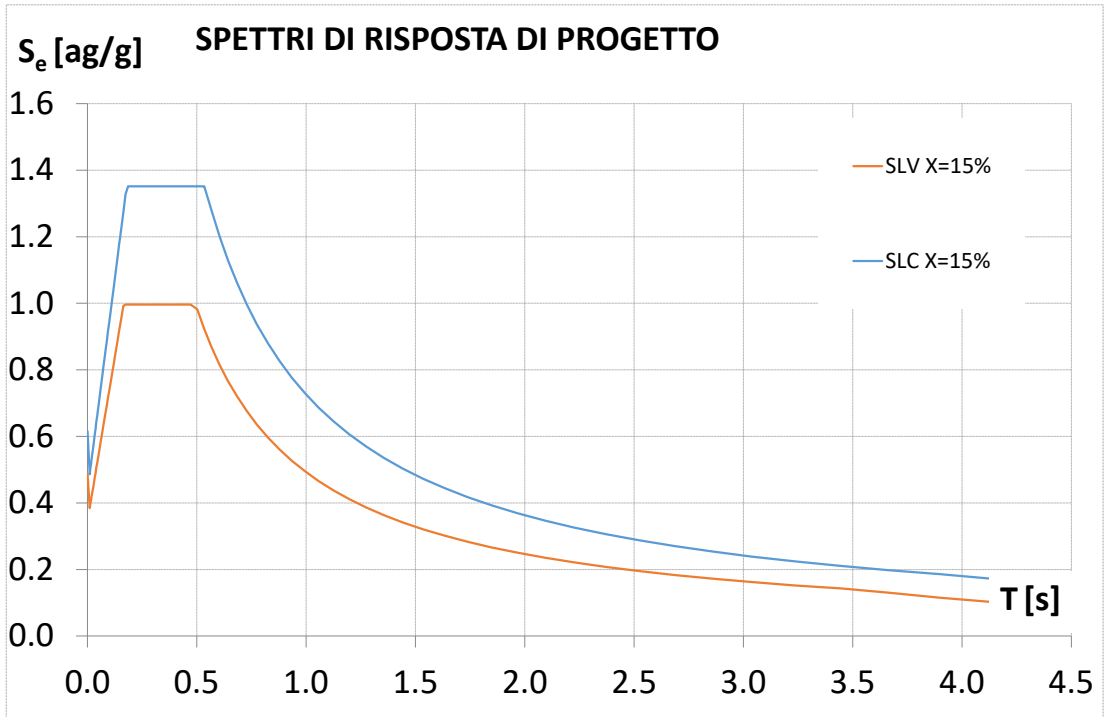


Figura 6.4: Spettri di risposta smorzati (15%)

6.8 EFFETTI REOLOGICI (E2)

Si rimanda al successivo paragrafo 11 della presente relazione. Ai fini delle verifiche strutturali si considerano inoltre gli effetti della viscosità dopo il raggiungimento della configurazione finale di esercizio per i carichi permanenti (peso proprio e precompressione).

6.9 VARIAZIONI TERMICHE (E3)

Ai fini della verifica del sistema di appoggio, si considera una variazione termica uniforme pari a 28°C

7 COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite si sono considerate le seguenti combinazioni delle azioni (si veda D.M. 14.01.2008 §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

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

La combinazione direzionale dell'azione sismica è stata effettuata sulla base delle seguenti formule:

$$E = E_x \pm 0.3E_y \pm 0.3E_z \quad \text{combinazione "SISMA TRASVERSALE"}$$

$$E = E_y \pm 0.3E_x \pm 0.3E_z \quad \text{combinazione "SISMA LONGITUDINALE"}$$

$$E = E_z \pm 0.3E_x \pm 0.3E_y \quad \text{combinazione "SISMA VERTICALE"}$$

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

γ_j = coefficienti parziali di sicurezza

ψ_{ij} = coefficiente di combinazione delle azioni variabili

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

Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	γ_{e1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

I coefficienti di combinazione ψ_{0j} sono riportati nella tabella seguente (Estratto tabella 5.1.VI) .

Tabella 5.1.VI - Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 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
	5	0,0	0,0	0,0
Vento q_s	Vento a ponte scarico	0,6	0,2	0,0
	SLU e SLE			
	Esecuzione	0,8	----	0,0
Neve q_s	Vento a ponte carico	0,6		
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Temperatura	esecuzione	0,8	0,6	0,5
	T_k	0,6	0,6	0,5

8 ANALISI STRUTTURALE

Le fasi di realizzazione dell'impalcato del viadotto possono essere così descritte:

In una prima fase le travi in c.a.p., in semplice appoggio sono soggette solo agli effetti del peso proprio e della precompressione.

Dopo verranno gettati i trasversi di testata e successivamente, dopo la presa del calcestruzzo dei trasversi, verrà effettuato il getto della soletta e dei cordoli per poi concludere con l'arredo dell'impalcato.

Per tener conto delle varie fasi costruttive sono stati implementati più modelli di calcolo.

Un primo modello (Mod. Fase 1) analizza l'impalcato con le travi appoggiate e considera i carichi di peso proprio delle travi e gli effetti della precompressione. Successivamente, sempre sullo stesso modello si determinano le sollecitazioni nella trave per effetto del getto della soletta.

Infine per effettuare l'analisi per sovraccarichi permanenti, per carichi variabili da traffico per cedimenti differenziali e variazioni termiche, nonché degli effetti della viscosità a tempo infinito viene implementato un ulteriore modello (Mod. Fase 2).

Il calcolo delle sollecitazioni derivanti dall'impalcato e agenti sulle sottostrutture è stato effettuato con il programma agli elementi finiti SAP2000 schematizzando l'impalcato nella sua configurazione reale di trave in semplice appoggio.

Per valutare gli effetti dell'azione sismica sulle strutture di impalcato, nel modello di fase 2 si aggiungono gli isolatori elastomerici modellati con elementi link ai quali è assegnata un valore specifico di rigidezza laterale e verticale di seguito definita nello specifico paragrafo di analisi sismica.

8.1 SOFTWARE 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.

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"

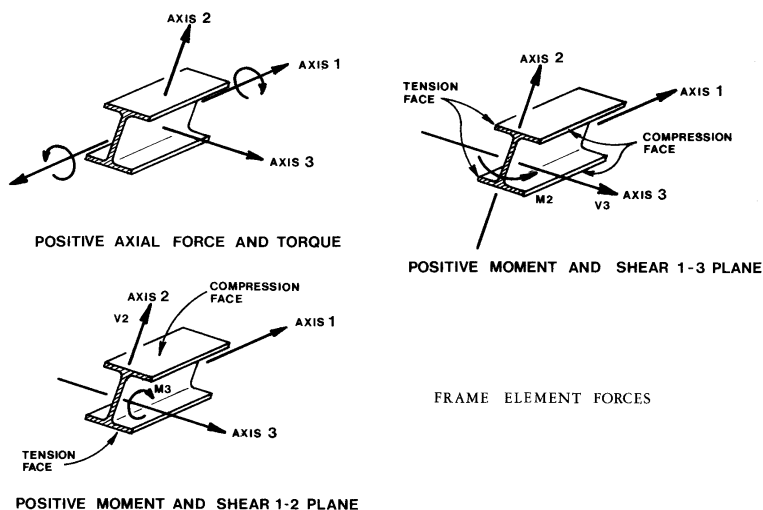
I modelli numerici fanno riferimento ad un comportamento generale spaziale o piano a seconda dei gradi di libertà imposti ai nodi della struttura.

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 e 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.



I dati significativi di input ed output dei modelli sono riportati in appendice.

8.2 METODOLOGIA DI ANALISI

8.2.1 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.

8.2.2 Analisi Sismica

L'analisi dinamica lineare con spettro di risposta è la metodologia di analisi adottata per valutare i benefici apportati dagli interventi proposti (descritti successivamente) sia in termini di sollecitazioni agli elementi strutturali sia in termini di spostamento del sistema di isolamento. Nella fattispecie essa consiste:

- nella determinazione dei modi di vibrare della costruzione (analisi modale);
- nel calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati;
- nella combinazione di questi effetti.

8.3 GEOMETRIA DEL MODELLO DI CALCOLO

Il modello di calcolo che consiste nel solo impalcato e del sistema di vincolo, 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 le travi e l'estradosso muro frontale spalle sono state modellate mediante link rigidi e link elastici che vanno a modellare in particolare il comportamento meccanico degli apparecchi di appoggio.

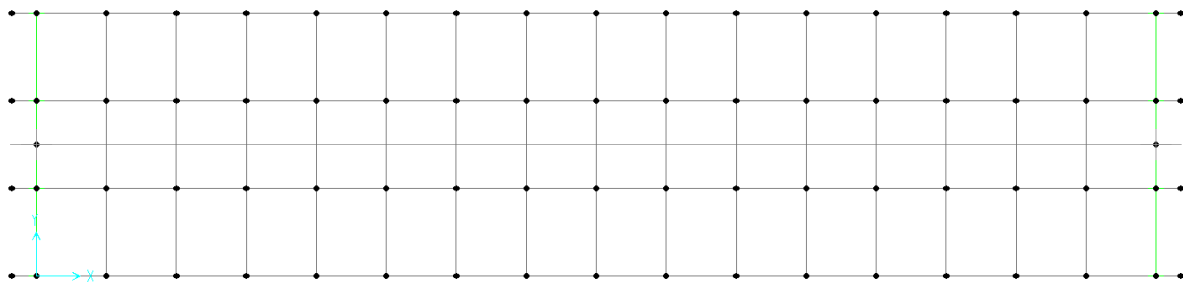


Figura 8.1: vista in pianta modello di calcolo impalcato

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO KM 12+751 - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

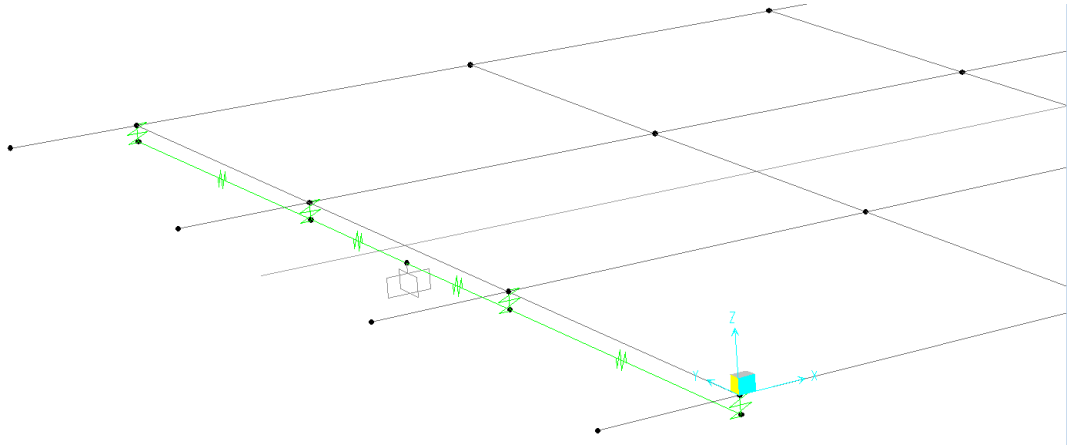


Figura 8.2: Modello FEM: Modellazione sistema isolamento - spalla

8.3.1 Vincoli interni

I dispositivi elastomerici di isolamento sismico sono stati modellati secondo quanto riportato di seguito.

- I dispositivi antisismici costituiti da isolatori elastomerici sono modellati mediante impiego di elementi link del tipo "linear". Al singolo dispositivo sono stati assegnati i seguenti valori di rigidezza verticale ed orizzontale determinati sulla base delle esigenze di avere una riduzione delle azioni sismiche trasmesse alle sottostrutture e una capacità di spostamento orizzontale compatibile con l'opera.

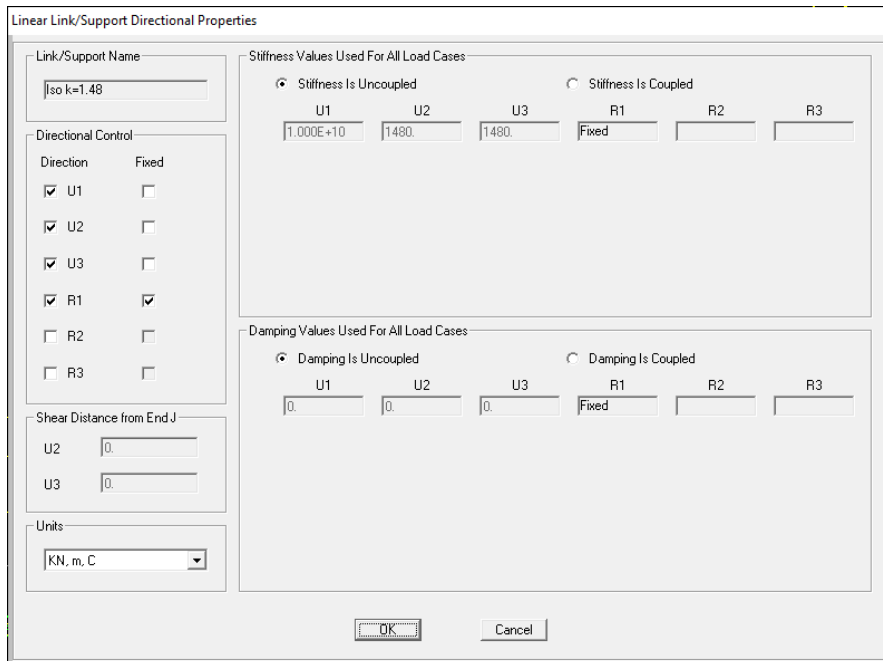


Figura 8.3: Modellazione dispositivi di isolamento

9 FASI COSTRUTTIVE E DI CALCOLO IMPALCATO

9.1 FASI COSTRUTTIVE

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

Fase	Operazione
1	Posa in opera delle travi
2	Getto trasversi
3	Getto della soletta
4	Pavimentazione e finiture

9.2 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
1	Trave isolata	0	Precompressione
		0	Peso proprio trave
		45	Cadute di tensione lente
2	Trave isolata	45	Getto trasversi
		60	Cadute di tensione lente
	Trave isolata	60	Getto soletta
3	Sezione mista	>60	Carichi permanenti portati
		>60	Carichi variabili
		∞	Cadute di tensione lente

10 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.

TRAVI						
Lunghezza campata					21.00	m
Tipologia travi						
Lunghezza trave					22.00	m
Altezza trave					0.80	m
Larghezza alla base					185.0	cm
Larghezza superiore					119.5	cm
Numero di anime per trave					2	
Larghezza di ciascuna anima per la sezione corrente					25.0	cm
Larghezza di ciascuna anima per la sezione di testata					25.0	cm
Spessore soletta inferiore trave					18.0	cm

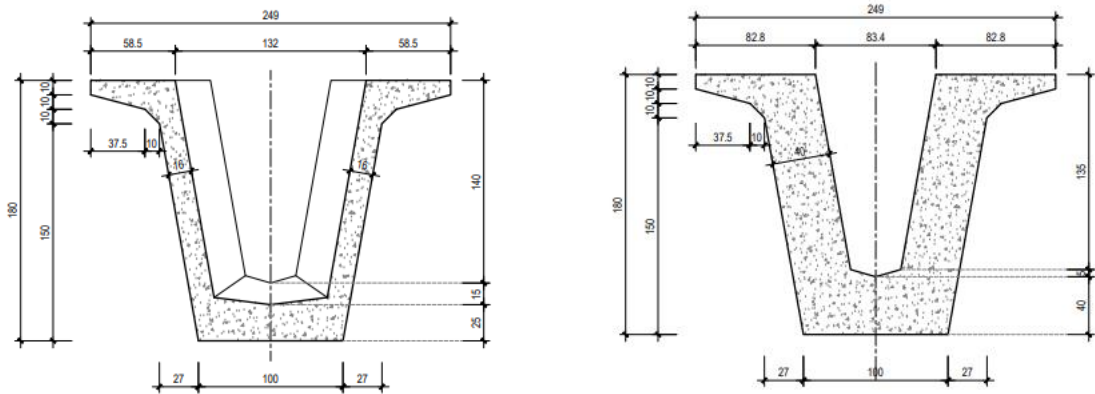


Figura 10.1: Sezione trasversale trave in c.a.p. sezione corrente ed in appoggio

10.1 ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE TRAVI

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

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO KM 12+751 - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

σ_{pi} =	1400	MPa	
$f_{p(1)k}$ =	1670.00	MPa	Tens. Caratt all'1% di def. tot.
$\sigma_{p,es}$ =	1336.00	MPa	Tensione massima in esercizio
A_s =	1.39	cmq	Area 1 Trefolo $\phi 0,6''$
Armature di precompressione			
Strato	n_{tr}	d_{tr} [cm]	A_u [cm ²]
6	2	174.0	1.39
5	0	28.0	1.39
4	8	21.0	1.39
3	14	16.0	1.39
2	14	11.0	1.39
1	14	6.0	1.39
TOT	52		
n_{tr} =	Numero di trefoli dello strato		
d_{tr} =	Distanza dei trefoli dal lembo inferiore		
A_u =	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 (SP1)	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10 (Mezz)	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19 (SP2)
6	174.0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	28.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	21.0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	8	8	8	8	0	0	0	0	0	0
3	16.0	0	0	0	0	0	0	14	14	14	14	14	14	14	0	0	0	0	0	0
2	11.0	6	6	6	6	8	14	14	14	14	14	14	14	14	8	6	6	6	6	6
1	6.0	6	6	6	6	10	14	14	14	14	14	14	14	14	10	6	6	6	6	6
tot. tr.		14	14	14	14	20	30	52	52	52	52	52	52	52	30	20	14	14	14	14
y_{spi} =		32.14	32.14	32.14	32.14	24.80	19.53	18.81	18.81	18.81	18.81	18.81	18.81	18.81	19.53	24.80	32.14	32.14	32.14	32.14
I_{sp} =		85477	85477	85477	85477	86013	87223	97108	97108	97108	97108	97108	97108	97108	87223	86013	85477	85477	85477	85477

Caratteristiche geometriche delle armature di precompressione							
$x_{test. teste}$ [m]	Sez.	$x_{baric. pile}$ [m]	n_t	A_{tp} [cm ²]	S_{sp} [cm ³]	I_{sp} [cm ⁴]	y_{spi} [cm]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	14	19.46	625.50	85477	32.14
0.70	S2	0.00	14	19.46	625.50	85477	32.14
1.00	S3	0.30	14	19.46	625.50	85477	32.14
2.00	S4	1.30	14	19.46	625.50	85477	32.14
3.00	S5	2.30	20	27.80	689.44	86013	24.80
5.00	S6	4.30	30	41.70	814.54	87223	19.53
7.00	S7	6.30	52	72.28	1359.42	97108	18.81
10.00	S8	9.30	52	72.28	1359.42	97108	18.81
13.00	S9	12.30	52	72.28	1359.42	97108	18.81
16.70	S10 (Mezz)	16.00	52	72.28	1359.42	97108	18.81
20.40	S11	19.70	52	72.28	1359.42	97108	18.81
23.40	S12	22.70	52	72.28	1359.42	97108	18.81
26.40	S13	25.70	52	72.28	1359.42	97108	18.81
28.40	S14	27.70	30	41.70	814.54	87223	19.53
30.40	S15	29.70	20	27.80	689.44	86013	24.80
31.40	S16	30.70	14	19.46	625.50	85477	32.14
32.40	S17	31.70	14	19.46	625.50	85477	32.14
32.70	S18	32.00	14	19.46	625.50	85477	32.14
33.40	S19 (SP2)	32.70	14	19.46	625.50	85477	32.14

n_t =	Numero di trefoli attivi
A_{tp} =	Area dei trefoli
S_{sp} =	Momento statico dell'armatura rispetto al lembo inferiore
I_{sp} =	Momento d'inerzia dell'armatura rispetto al lembo inferiore
y_{spi} =	Distanza del baricentro trefoli dal lembo inferiore

10.2 CARATTERISTICHE DELLE SEZIONI

10.2.1 Trave isolata

Caratteristiche geometriche delle sezioni della trave isolata							
X _{test. trave} [m]	Sez.	X _{asse app} [m]	A _C [m ²]	S _{ci} [m ³]	I _{ci} [m ⁴]	I _{co} [m ⁴]	Y _{Gi} [m]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	1.7200	1.5917	2.0158	0.5429	0.9254
0.70	S2	0.00	1.7200	1.5917	2.0158	0.5429	0.9254
1.00	S3	0.30	1.7200	1.5917	2.0158	0.5429	0.9254
2.00	S4	1.30	0.9300	0.7998	1.0578	0.3700	0.8600
3.00	S5	2.30	0.9300	0.7998	1.0578	0.3700	0.8600
5.00	S6	4.30	0.9300	0.7998	1.0578	0.3700	0.8600
7.00	S7	6.30	0.9300	0.7998	1.0578	0.3700	0.8600
10.00	S8	9.30	0.9300	0.7998	1.0578	0.3700	0.8600
13.00	S9	12.30	0.9300	0.7998	1.0578	0.3700	0.8600
16.70	S10 (Mezz)	16.00	0.9300	0.7998	1.0578	0.3700	0.8600
20.40	S11	19.70	0.9300	0.7998	1.0578	0.3700	0.8600
23.40	S12	22.70	0.9300	0.7998	1.0578	0.3700	0.8600
26.40	S13	25.70	0.9300	0.7998	1.0578	0.3700	0.8600
28.40	S14	27.70	0.9300	0.7998	1.0578	0.3700	0.8600
30.40	S15	29.70	0.9300	0.7998	1.0578	0.3700	0.8600
31.40	S16	30.70	0.9300	0.7998	1.0578	0.3700	0.8600
32.40	S17	31.70	1.7200	1.5917	2.0158	0.5429	0.9254
32.70	S18	32.00	1.7200	1.5917	2.0158	0.5429	0.9254
33.40	S19 (SP2)	32.70	1.7200	1.5917	2.0158	0.5429	0.9254
	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					

10.2.2 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				
ω _p =	5.35		Coeff. di omogeneizzazione acciaio di precompressione				
ω _s =	5.77		Coeff. di omogeneizzazione acciaio ordinario				

Caratteristiche Geometriche Sezione Ideale Omogeneizzata												
X _{test. trave} [m]	Sez.	X _{asse pila} [m]	A ₁ [m ²]	S _{1i} [m ³]	I _{1i} [m ⁴]	I ₁₀ [m ⁴]	Y _{1s} [m]	Y _{1i} [m]	Y _{1p} [m]	W _{1s} [m ³]	W _{1i} [m ³]	W _{1p} [m ³]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	1.7333	1.5948	2.0196	0.5521	0.880	-0.920	-0.599	0.6275	-0.6001	-0.9222
0.70	S2	0.00	1.7333	1.5948	2.0196	0.5521	0.880	-0.920	-0.599	0.6275	-0.6001	-0.9222
1.00	S3	0.30	1.7333	1.5948	2.0196	0.5521	0.880	-0.920	-0.599	0.6275	-0.6001	-0.9222
2.00	S4	1.30	0.9433	0.8030	1.0616	0.3781	0.949	-0.851	-0.530	0.3985	-0.4441	-0.7136
3.00	S5	2.30	0.9469	0.8032	1.0616	0.3803	0.952	-0.848	-0.600	0.3995	-0.4483	-0.6335
5.00	S6	4.30	0.9530	0.8038	1.0617	0.3837	0.957	-0.843	-0.648	0.4011	-0.4549	-0.5920
7.00	S7	6.30	0.9663	0.8062	1.0621	0.3895	0.966	-0.834	-0.646	0.4034	-0.4669	-0.6028
10.00	S8	9.30	0.9663	0.8062	1.0621	0.3895	0.966	-0.834	-0.646	0.4034	-0.4669	-0.6028
13.00	S9	12.30	0.9663	0.8062	1.0621	0.3895	0.966	-0.834	-0.646	0.4034	-0.4669	-0.6028
16.70	S10 (Mezz)	16.00	0.9663	0.8062	1.0621	0.3895	0.966	-0.834	-0.646	0.4034	-0.4669	-0.6028
20.40	S11	19.70	0.9663	0.8062	1.0621	0.3895	0.966	-0.834	-0.646	0.4034	-0.4669	-0.6028
23.40	S12	22.70	0.9663	0.8062	1.0621	0.3895	0.966	-0.834	-0.646	0.4034	-0.4669	-0.6028
26.40	S13	25.70	0.9663	0.8062	1.0621	0.3895	0.966	-0.834	-0.646	0.4034	-0.4669	-0.6028
28.40	S14	27.70	0.9530	0.8038	1.0617	0.3837	0.957	-0.843	-0.648	0.4011	-0.4549	-0.5920
30.40	S15	29.70	0.9469	0.8032	1.0616	0.3803	0.952	-0.848	-0.600	0.3995	-0.4483	-0.6335
31.40	S16	30.70	0.9433	0.8030	1.0616	0.3781	0.949	-0.851	-0.530	0.3985	-0.4441	-0.7136
32.40	S17	31.70	1.7333	1.5948	2.0196	0.5521	0.880	-0.920	-0.599	0.6275	-0.6001	-0.9222
32.70	S18	32.00	1.7333	1.5948	2.0196	0.5521	0.880	-0.920	-0.599	0.6275	-0.6001	-0.9222
33.40	S19 (SP2)	32.70	1.7333	1.5948	2.0196	0.5521	0.880	-0.920	-0.599	0.6275	-0.6001	-0.9222

A₁ = Area sezione ideale omogeneizzata

S_{1i} = Momento statico rispetto al lembo inferiore

I_{1i} = Momento di inerzia rispetto al lembo inferiore

I₁₀ = 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

10.2.3 Sezione mista trave + soletta

SEZIONE MISTA TRAVE + SOLETTA			
CLS Sol.	C32/40		
f _{ck,sol} =	33.2	MPa	Resistenza a compressione cilindrica caratteristica del cls soletta
E _{c,sol} =	33643	MPa	Modulo di elasticità del calcestruzzo della soletta
n _c =	0.924		Coefficiente di omogeneizzazione dei calcestruzzi
L _{imp} =	11.25	m	Larghezza impalcato (fuori tutto)
n° _{tr} =	4		Numero travi
i _{tr} =	2.50	m	Interasse travi
S _{sol} =	0.20	m	Spessore della soletta
S _{pred} =	0.05	m	Spessore dalla

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO KM 12+751 - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

Caratteristiche della sezione mista della trave di bordo															
X _{test. trave} [m]	Sez.	X _{asse pila} [m]	A ₂ [m ²]	S _{2i} [m ³]	I _{2i} [m ⁴]	I ₂₀ [m ⁴]	Y _{2s, sol} [m]	Y _{2s} [m]	Y _{2i} [m]	Y _{2p} [m]	W _{2ss} [m ³]	W _{2si} [m ³]	W _{2ts} [m ³]	W _{2ti} [m ³]	W _{2p} [m ³]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	2.3214	2.7504	4.27500	1.01649	0.865	0.615	-1.185	-0.863	1.2717	1.7884	1.6522	-0.8580	-1.1774
0.70	S2	0.00	2.3418	2.7808	4.33298	1.03090	0.863	0.613	-1.187	-0.866	1.2937	1.8217	1.6830	-0.8682	-1.1904
1.00	S3	0.30	2.3418	2.7808	4.33298	1.03090	0.863	0.613	-1.187	-0.866	1.2937	1.8217	1.6830	-0.8682	-1.1904
2.00	S4	1.30	1.5518	1.9889	3.37496	0.82582	0.768	0.518	-1.282	-0.960	1.1634	1.7246	1.5933	-0.6443	-0.8600
3.00	S5	2.30	1.5554	1.9892	3.37498	0.83109	0.771	0.521	-1.279	-1.031	1.1666	1.7262	1.5948	-0.6499	-0.8062
5.00	S6	4.30	1.5537	1.9742	3.34391	0.83549	0.779	0.529	-1.271	-1.075	1.1604	1.7084	1.5783	-0.6575	-0.7770
7.00	S7	6.30	1.5592	1.9621	3.31753	0.84849	0.792	0.542	-1.258	-1.070	1.1602	1.6957	1.5666	-0.6743	-0.7928
10.00	S8	9.30	1.5592	1.9621	3.31753	0.84849	0.792	0.542	-1.258	-1.070	1.1602	1.6957	1.5666	-0.6743	-0.7928
13.00	S9	12.30	1.5592	1.9621	3.31753	0.84849	0.792	0.542	-1.258	-1.070	1.1602	1.6957	1.5666	-0.6743	-0.7928
16.70	S10(Mezz)	16.00	1.5592	1.9621	3.31753	0.84849	0.792	0.542	-1.258	-1.070	1.1602	1.6957	1.5666	-0.6743	-0.7928
20.40	S11	19.70	1.5592	1.9621	3.31753	0.84849	0.792	0.542	-1.258	-1.070	1.1602	1.6957	1.5666	-0.6743	-0.7928
23.40	S12	22.70	1.5592	1.9621	3.31753	0.84849	0.792	0.542	-1.258	-1.070	1.1602	1.6957	1.5666	-0.6743	-0.7928
26.40	S13	25.70	1.5592	1.9621	3.31753	0.84849	0.792	0.542	-1.258	-1.070	1.1602	1.6957	1.5666	-0.6743	-0.7928
28.40	S14	27.70	1.5537	1.9742	3.34391	0.83549	0.779	0.529	-1.271	-1.075	1.1604	1.7084	1.5783	-0.6575	-0.7770
30.40	S15	29.70	1.5554	1.9892	3.37498	0.83109	0.771	0.521	-1.279	-1.031	1.1666	1.7262	1.5948	-0.6499	-0.8062
31.40	S16	30.70	1.5518	1.9889	3.37496	0.82582	0.768	0.518	-1.282	-0.960	1.1634	1.7246	1.5933	-0.6443	-0.8600
32.40	S17	31.70	2.3418	2.7808	4.33298	1.03090	0.863	0.613	-1.187	-0.866	1.2937	1.8217	1.6830	-0.8682	-1.1904
32.70	S18	32.00	2.3418	2.7808	4.33298	1.03090	0.863	0.613	-1.187	-0.866	1.2937	1.8217	1.6830	-0.8682	-1.1904
33.40	S19 (SP2)	32.70	2.3262	2.7508	4.27504	1.02222	0.867	0.617	-1.183	-0.861	1.2755	1.7919	1.6554	-0.8645	-1.1871

11 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 08 e alla norma UNI EN 1992-1-1.

11.1 CADUTE PER RITIRO CALCESTRUZZO

I valori della deformazione totale da ritiro ε_{cs} sono dati da:

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

dove ε_{cd} è la deformazione da ritiro per essiccamento e ε_{ca} è la deformazione da ritiro autogeno.

11.1.1 Ritiro per essiccamento

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

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

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

dove:

f_{cm} è la resistenza media a compressione (N/mm²);

$f_{cm0} = 10$ N/mm²;

α_{ds1} è un coefficiente dipendente dal tipo di cemento;

α_{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:

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

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
≥ 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;

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.

11.1.2 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 =	54.2 MPa	Resistenza cubica caratteristica
fck =	45.0 MPa	Resistenza cilindrica caratteristica
E _{c,m} =	36280 MPa	Modulo elastico del cls
A _c =	935880 mmq	Area della sezione in cls
u =	11041 mm	Perimetro della sezione in cls esposto all'aria
h ₀ =	169.5 mm	dimensione fittizia h ₀ = 2A _c /u
k _h =	0.896	parametro funzione di h ₀ secondo la Tab. 11.2.Vb
RH =	70 %	Umidità Relativa ambientale
t ₀ =	3 gg	Tempo di messa di carico
Deformazione per ritiro a tempo infinito		
β _{RH} =	1.02	
f _{cm} =	53.0 MPa	resistenza media cilindrica a compressione
f _{cm0} =	10.0 MPa	
Classe:	N	Classe del cemento (UNI EN 1992-1)
α _{ds1} =	4.00	coefficiente dipendente dal tipo di cemento
α _{ds2} =	0.12	coefficiente dipendente dal tipo di cemento
ε _{cd,0} =	-0.302 ‰	Deformazione da ritiro per essiccamento
ε _{cd} =	-0.271 ‰	Valore medio a t=∞ della deformazione per ritiro da essiccamento
ε _{ca} =	-0.087 ‰	Valore medio a t=∞ della deformazione per ritiro autogeno
ε _{cs} =	-0.358 ‰	Valore medio a t=∞ della deformazione per ritiro (totale)
Deformazione per ritiro a tempo t _s		
t _s =	60 gg	
β _{ds} (t,t _s) =	0.405	Coefficiente del ritiro da essiccamento dipendente dall'età del calcestruzzo
β _{as} (t) =	0.788	Coefficiente del ritiro autogeno dipendente dal tempo
ε _{cd} (t _s) =	-0.110 ‰	Valore medio a t=t _s della deformazione per ritiro da essiccamento
ε _{ca} (t _s) =	-0.069 ‰	Valore medio a t=t _s della deformazione per ritiro autogeno
ε _{cs} (t _s) =	-0.179 ‰	Valore medio a t=t _s della deformazione per ritiro (totale)

11.2 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:

φ_0 è il coefficiente nominale di viscosità ed è valutato mediante:

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

φ_{RH} 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 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;

β_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

α 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 Δt_i ;

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

11.2.1 determinazione del coefficiente di viscosità

Calcolo del coefficiente di viscosità $\phi(t, t_0)$			
Rck =	54.2 MPa	Resistenza cubica caratteristica	
fck =	45.0 MPa	Resistenza cilindrica caratteristica	
fcm =	53.0 MPa	Resistenza media cilindrica	
A _c =	935880 mmq	Area della sezione in cls	
u =	11041 mm	Perimetro della sezione in cls esposto all'aria	
h ₀ =	169.5 mm	dimensione fittizia	$h_0 = 2A_c/u$
RH =	70 %	Umidità Relativa	
t ₀ =	2.44 gg	Tempo di messa di carico (stagionatura del cls all'atto della precompressione)	
t-t ₀ =	60 gg		
α_1 =	0.748	coeff. di influenza della resistenza del cls	
α_2 =	0.920	coeff. di influenza della resistenza del cls	
ϕ_{RH} =	1.294	coeff. dell'effetto dell' RH sul coeff. nominale di viscosità	
$\beta(f_{cm})$ =	2.308	coeff. di influenza della resistenza del cls sul coeff. nominale di viscosità	
$\beta(t_0)$ =	0.772	coeff. dell'effetto dell'età del cls al momento di applicazione del carico sul coeff. nominale di viscosità	
ϕ_0 =	2.30	coefficiente nominale di viscosità (a tempo infinito)	
Calcolo del coefficiente di evoluzione della viscosità nel tempo dopo l'applicazione del carico $\beta_c(t, t_0)$			
α_3 =	0.81	coeff. di influenza della resistenza del cls	
β_H =	468.5	coeff. che dipende da RH e da h ₀	
$\beta_c(t, t_0)$ =	0.521	coeff. di evoluzione della viscosità nel tempo dopo l'applicazione del carico	
Calcolo del coefficiente di viscosità $\phi(t, t_0)$ dopo 60 gg dall'applicazione del carico			
$\phi(t, t_0)$ =	1.20	52.1%	
Viscosità residua			
$\phi(t_{\infty}-t)$ =	1.10	47.9%	

11.3 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;
 α_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 ⁻¹	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	ΔT tra la T_{max} e T_0
$\Delta\sigma_{p0} =$	39.0 MPa	Caduta per effetto termico

11.4 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;
 σ_{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;
 ρ_{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.

11.5 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:

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

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 ;

ε_{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;

$\Delta\sigma_{pr}$ 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.

12 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.

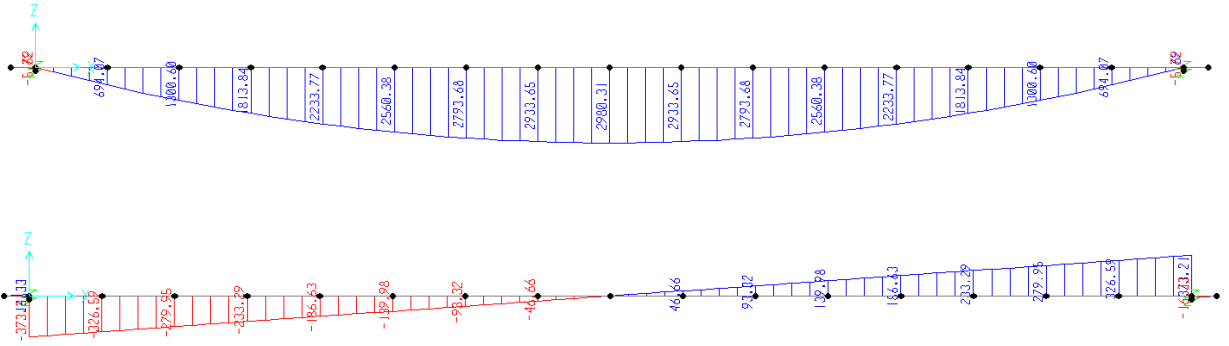


Figura 12.1: Momento flettente e taglio peso proprio

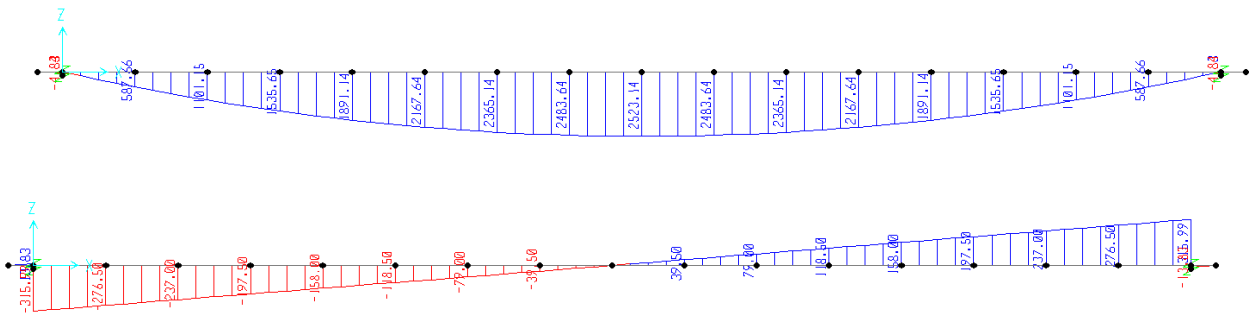


Figura 12.2 Momento flettente e taglio getto soletta

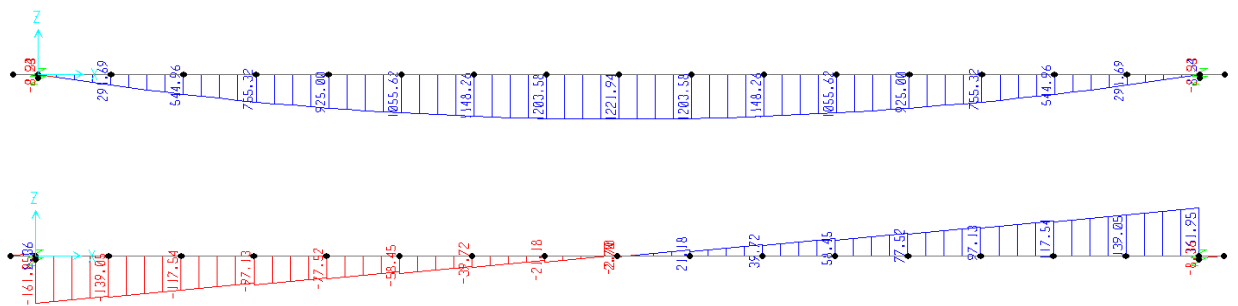


Figura 12.3 Momento flettente e taglio G2

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO KM 12+751 - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

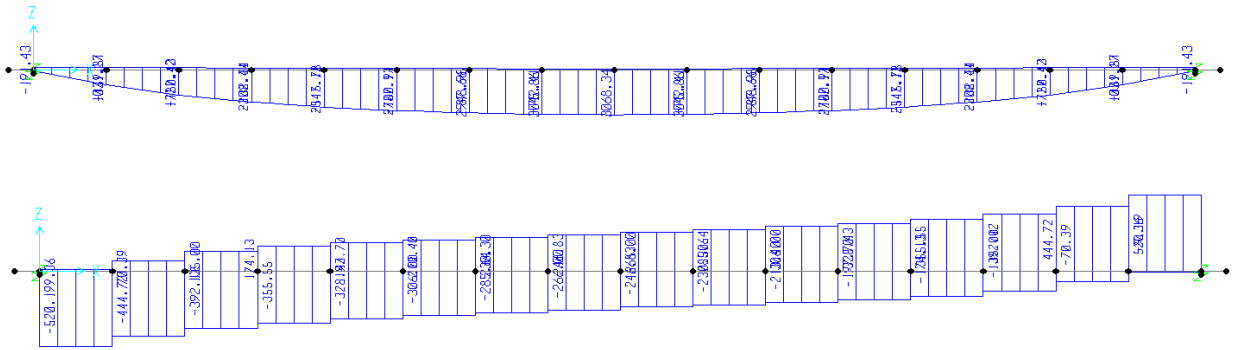


Figura 12.4 Momento flettente e taglio carichi mobili tandem

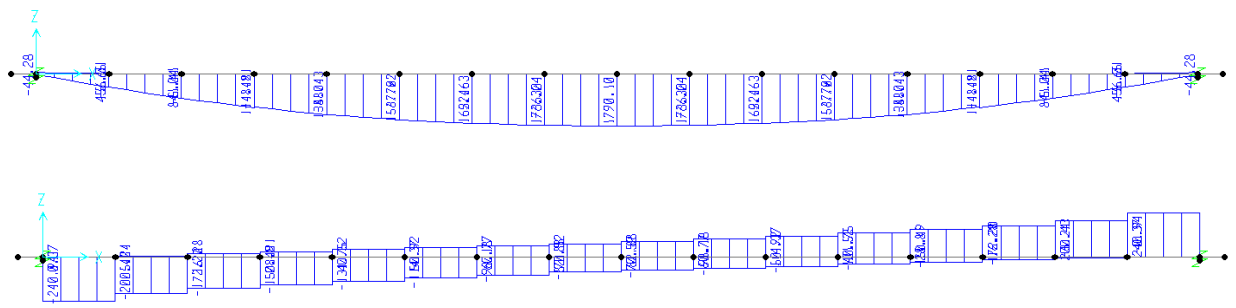


Figura 12.5 Momento flettente e taglio carichi mobili distribuiti

13 VERIFICHE TRAVI IN ESERCIZIO E ALLO SLU

13.1 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.

13.1.1 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															
$x_{test, trave}$ [m]	Sez.	$x_{asse\ pila}$ [m]	P_0 [kN]	M_{p0} [kNm]	σ_{p0ts} [MPa]	σ_{p0ti} [MPa]	σ_{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]	$\sigma_{ti, pi}$ [MPa]	
0.00	S1 (SP1)	-0.70	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.70	S2	0.00	2724.4	-1631.1	-1.03	4.29	3.34	-5.7	-0.01	0.01	0.01	-1.04	4.30	3.35	
1.00	S3	0.30	2724.4	-1443.4	-0.73	6.14	4.91	104.5	0.26	-0.24	-0.15	-0.47	5.90	4.76	
2.00	S4	1.30	3892.0	-2336.3	-1.74	9.32	7.80	459.1	1.15	-1.02	-0.72	-0.59	8.30	7.07	
3.00	S5	2.30	5838.0	-3783.8	-3.31	14.44	12.52	790.3	1.97	-1.74	-1.33	-1.34	12.71	11.18	
5.00	S6	4.30	10119.2	-6539.2	-5.74	24.48	21.32	1382.8	3.43	-2.96	-2.29	-2.31	21.52	19.03	
7.00	S7	6.30	10119.2	-6539.2	-5.74	24.48	21.32	1882.0	4.67	-4.03	-3.12	-1.07	20.45	18.20	
10.00	S8	9.30	10119.2	-6539.2	-5.74	24.48	21.32	2455.0	6.09	-5.26	-4.07	0.35	19.22	17.25	
13.00	S9	12.30	10119.2	-6539.2	-5.74	24.48	21.32	2819.0	6.99	-6.04	-4.68	1.25	18.44	16.64	
16.70	S10 (Mezz)	16.00	10119.2	-6539.2	-5.74	24.48	21.32	2980.0	7.39	-6.38	-4.94	1.65	18.10	16.38	
20.40	S11	19.70	10119.2	-6539.2	-5.74	24.48	21.32	2819.0	6.99	-6.04	-4.68	1.25	18.44	16.64	
23.40	S12	22.70	10119.2	-6539.2	-5.74	24.48	21.32	2455.0	6.09	-5.26	-4.07	0.35	19.22	17.25	
26.40	S13	25.70	10119.2	-6539.2	-5.74	24.48	21.32	1882.0	4.67	-4.03	-3.12	-1.07	20.45	18.20	
28.40	S14	27.70	10119.2	-6539.2	-5.74	24.48	21.32	1382.8	3.43	-2.96	-2.29	-2.31	21.52	19.03	
30.40	S15	29.70	5838.0	-3783.8	-3.31	14.44	12.52	790.3	1.97	-1.74	-1.33	-1.34	12.71	11.18	
31.40	S16	30.70	3892.0	-2336.3	-1.74	9.32	7.80	459.1	1.15	-1.02	-0.72	-0.59	8.30	7.07	
32.40	S17	31.70	2724.4	-1443.4	-0.73	6.14	4.91	104.5	0.26	-0.24	-0.15	-0.47	5.90	4.76	
32.70	S18	32.00	2724.4	-1631.1	-1.03	4.29	3.34	-5.7	-0.01	0.01	0.01	-1.04	4.30	3.35	
33.40	S19 (SP2)	32.70	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Per tutte le sezioni risulta $\sigma_t < f_{ctm}/1.2$. La verifica è soddisfatta

13.1.2 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 45 e 60 gg.

Tensioni dovute al getto soletta sulla trave di bordo									
$x_{test.trave}$ [m]	Sez.	$x_{asse.pila}$ [m]	M_{g1} [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]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	-0.16	-0.12
0.70	S2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.66	2.75	2.14
1.00	S3	0.30	88.48	0.14	-0.15	-0.10	-0.65	3.66	2.89
2.00	S4	1.30	388.68	0.98	-0.88	-0.54	1.43	3.90	3.46
3.00	S5	2.30	669.12	1.67	-1.49	-1.06	2.02	5.49	5.01
5.00	S6	4.30	1170.73	2.92	-2.57	-1.98	3.30	7.76	7.28
7.00	S7	6.30	1593.00	3.95	-3.41	-2.64	3.44	14.62	13.45
10.00	S8	9.30	2079.00	5.15	-4.45	-3.45	6.05	12.43	11.77
13.00	S9	12.30	2387.00	5.92	-5.11	-3.96	7.70	11.05	10.70
16.70	S10(Mezz)	16.00	2523.00	6.25	-5.40	-4.19	8.43	10.43	10.23
20.40	S11	19.70	2387.00	5.92	-5.11	-3.96	7.70	11.05	10.70
23.40	S12	22.70	2079.00	5.15	-4.45	-3.45	6.05	12.43	11.77
26.40	S13	25.70	1593.00	3.95	-3.41	-2.64	3.44	14.62	13.45
28.40	S14	27.70	1170.72	2.92	-2.57	-1.98	3.30	7.76	7.28
30.40	S15	29.70	669.12	1.67	-1.49	-1.06	2.02	5.49	5.01
31.40	S16	30.70	388.68	0.98	-0.88	-0.54	1.43	3.90	3.46
32.40	S17	31.70	88.48	0.14	-0.15	-0.10	-0.65	3.66	2.89
32.70	S18	32.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.66	2.75	2.14
33.40	S19 (SP2)	32.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	-0.16	-0.12

Tensioni risultanti al giorno : 60										
$x_{test.trave}$ [m]	Sez.	$x_{asse.pila}$ [m]	Δ_2P [kN]	Δ_2M_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]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	-10.95	6.56	0.00	-0.02	-0.01	0.04	-0.17	-0.14
0.70	S2	0.00	-13.07	7.83	0.00	-0.02	-0.02	-0.66	2.73	2.12
1.00	S3	0.30	-13.78	8.25	0.01	-0.02	-0.02	-0.64	3.64	2.87
2.00	S4	1.30	-14.30	7.58	0.00	-0.03	-0.03	1.44	3.87	3.43
3.00	S5	2.30	-22.49	13.50	0.01	-0.05	-0.05	2.03	5.44	4.97
5.00	S6	4.30	-38.25	24.79	0.02	-0.09	-0.08	3.33	7.67	7.20
7.00	S7	6.30	-87.43	56.50	0.05	-0.21	-0.18	3.49	14.40	13.26
10.00	S8	9.30	-81.82	52.87	0.05	-0.20	-0.17	6.10	12.23	11.59
13.00	S9	12.30	-78.26	50.57	0.04	-0.19	-0.16	7.75	10.86	10.53
16.70	S10(Mezz)	16.00	-76.69	49.56	0.04	-0.19	-0.16	8.48	10.25	10.06
20.40	S11	19.70	-78.26	50.57	0.04	-0.19	-0.16	7.75	10.86	10.53
23.40	S12	22.70	-81.82	52.87	0.05	-0.20	-0.17	6.10	12.23	11.59
26.40	S13	25.70	-87.43	56.50	0.05	-0.21	-0.18	3.49	14.40	13.26
28.40	S14	27.70	-38.25	24.79	0.02	-0.09	-0.08	3.33	7.67	7.20
30.40	S15	29.70	-22.49	13.50	0.01	-0.05	-0.05	2.03	5.44	4.97
31.40	S16	30.70	-14.30	7.58	0.00	-0.03	-0.03	1.44	3.87	3.43
32.40	S17	31.70	-13.78	8.25	0.01	-0.02	-0.02	-0.64	3.64	2.87
32.70	S18	32.00	-13.07	7.83	0.00	-0.02	-0.02	-0.66	2.73	2.12
33.40	S19 (SP2)	32.70	-10.95	6.56	0.00	-0.02	-0.01	0.04	-0.17	-0.14

13.1.3 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													
X _{test.trave} [m]	Sez.	X _{asse pila} [m]	M _{g2} [kNm]	Δσ _{g2ss} [MPa]	Δσ _{g2si} [MPa]	Δσ _{g2ts} [MPa]	Δσ _{g2ti} [MPa]	Δσ _{g2pi} [MPa]	σ _{ss,3l} [MPa]	σ _{si,3l} [MPa]	σ _{ts,3l} [MPa]	σ _{ti,3l} [MPa]	σ _{i,3pl} [MPa]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	-0.17	-0.14
0.70	S2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.66	2.73	2.12
1.00	S3	0.30	39.35	0.03	0.02	0.02	-0.05	-0.03	0.03	0.02	-0.62	3.59	2.84
2.00	S4	1.30	191.75	0.16	0.11	0.12	-0.30	-0.22	0.16	0.11	1.56	3.57	3.21
3.00	S5	2.30	331.56	0.28	0.19	0.21	-0.51	-0.41	0.28	0.19	2.24	4.93	4.56
5.00	S6	4.30	578.48	0.50	0.34	0.37	-0.88	-0.74	0.50	0.34	3.69	6.79	6.45
7.00	S7	6.30	782.86	0.67	0.46	0.50	-1.16	-0.99	0.67	0.46	3.99	13.24	12.28
10.00	S8	9.30	1014.79	0.87	0.60	0.65	-1.50	-1.28	0.87	0.60	6.74	10.73	10.31
13.00	S9	12.30	1159.02	1.00	0.68	0.74	-1.72	-1.46	1.00	0.68	8.49	9.14	9.07
16.70	S10 (Mezz)	16.00	1221.93	1.05	0.72	0.78	-1.81	-1.54	1.05	0.72	9.26	8.44	8.52
20.40	S11	19.70	1159.02	1.00	0.68	0.74	-1.72	-1.46	1.00	0.68	8.49	9.14	9.07
23.40	S12	22.70	1014.49	0.87	0.60	0.65	-1.50	-1.28	0.87	0.60	6.74	10.73	10.31
26.40	S13	25.70	782.86	0.67	0.46	0.50	-1.16	-0.99	0.67	0.46	3.99	13.24	12.28
28.40	S14	27.70	578.48	0.50	0.34	0.37	-0.88	-0.74	0.50	0.34	3.69	6.79	6.45
30.40	S15	29.70	331.56	0.28	0.19	0.21	-0.51	-0.41	0.28	0.19	2.24	4.93	4.56
31.40	S16	30.70	191.75	0.16	0.11	0.12	-0.30	-0.22	0.16	0.11	1.56	3.57	3.21
32.40	S17	31.70	39.35	0.03	0.02	0.02	-0.05	-0.03	0.03	0.02	-0.62	3.59	2.84
32.70	S18	32.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.66	2.73	2.12
33.40	S19 (SP2)	32.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	-0.17	-0.14

X _{test.trave} [m]	Sez.	X _{asse pila} [m]	Cadute di tensione dal giorno 60		a tempo infinito		(terza quota delle cadute di tensione)			
			Δε _{cs} ‰	Δσ _{cs} [MPa]	Δσ _{pr} [MPa]	Δφ	Δσ _{creep} [MPa]	ΣΔσ [MPa]	Denom	Δσ _{p,c+t+r} [MPa]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	0.179	34.91	45.69	1.190	0.00	80.60	1.01	79.89
0.70	S2	0.00	0.179	34.91	45.69	1.190	21.33	101.92	1.01	101.04
1.00	S3	0.30	0.179	34.91	45.69	1.190	29.54	110.13	1.01	109.19
2.00	S4	1.30	0.179	34.91	45.69	1.190	40.18	120.78	1.01	119.22
3.00	S5	2.30	0.179	34.91	45.69	1.190	61.91	142.50	1.02	139.89
5.00	S6	4.30	0.179	34.91	45.69	1.190	103.90	184.49	1.03	179.46
7.00	S7	6.30	0.179	34.91	45.69	1.190	92.83	173.43	1.05	165.41
10.00	S8	9.30	0.179	34.91	45.69	1.190	79.77	160.37	1.05	152.95
13.00	S9	12.30	0.179	34.91	45.69	1.190	71.51	152.10	1.05	145.07
16.70	S10 (Mezz)	16.00	0.179	34.91	45.69	1.190	67.86	148.46	1.05	141.60
20.40	S11	19.70	0.179	34.91	45.69	1.190	71.51	152.10	1.05	145.07
23.40	S12	22.70	0.179	34.91	45.69	1.190	79.78	160.37	1.05	152.96
26.40	S13	25.70	0.179	34.91	45.69	1.190	92.83	173.43	1.05	165.41
28.40	S14	27.70	0.179	34.91	45.69	1.190	103.90	184.49	1.03	179.46
30.40	S15	29.70	0.179	34.91	45.69	1.190	61.91	142.50	1.02	139.89
31.40	S16	30.70	0.179	34.91	45.69	1.190	40.18	120.78	1.01	119.22
32.40	S17	31.70	0.179	34.91	45.69	1.190	29.54	110.13	1.01	109.19
32.70	S18	32.00	0.179	34.91	45.69	1.190	21.33	101.92	1.01	101.04
33.40	S19 (SP2)	32.70	0.179	34.91	45.69	1.190	0.00	80.60	1.01	79.90

Tensioni dovute al ritiro differenziale trave soletta										
$x_{\text{test.trave}}$ [m]	Sez.	$x_{\text{asse pila}}$ [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]	
0.00	S1 (SP1)	-0.70	930	515.00	0.81	0.69	0.71	-0.20	-0.04	
0.70	S2	0.00	930	515.00	0.80	0.68	0.70	-0.20	-0.04	
1.00	S3	0.30	930	515.00	0.80	0.68	0.70	-0.20	-0.04	
2.00	S4	1.30	930	515.00	1.04	0.90	0.92	-0.20	0.00	
3.00	S5	2.30	930	515.00	1.04	0.90	0.92	-0.19	-0.04	
5.00	S6	4.30	930	515.00	1.04	0.90	0.92	-0.18	-0.06	
7.00	S7	6.30	930	515.00	1.04	0.90	0.93	-0.17	-0.05	
10.00	S8	9.30	930	515.00	1.04	0.90	0.93	-0.17	-0.05	
13.00	S9	12.30	930	515.00	1.04	0.90	0.93	-0.17	-0.09	
16.70	S10(Mezz)	16.00	930	515.00	1.04	0.90	0.93	-0.17	-0.09	
20.40	S11	19.70	930	515.00	1.04	0.90	0.93	-0.17	-0.09	
23.40	S12	22.70	930	515.00	1.04	0.90	0.93	-0.17	-0.05	
26.40	S13	25.70	930	515.00	1.04	0.90	0.93	-0.17	-0.05	
28.40	S14	27.70	930	515.00	1.04	0.90	0.92	-0.18	-0.06	
30.40	S15	29.70	930	515.00	1.04	0.90	0.92	-0.19	-0.04	
31.40	S16	30.70	930	515.00	1.04	0.90	0.92	-0.20	0.00	
32.40	S17	31.70	930	515.00	0.80	0.68	0.70	-0.20	-0.04	
32.70	S18	32.00	930	515.00	0.80	0.68	0.70	-0.20	-0.04	
33.40	S19 (SP2)	32.70	930	511.00	0.80	0.68	0.71	-0.19	-0.03	

Tensioni dovute ai permanenti a tempo infinito															
$x_{\text{test.trave}}$ [m]	Sez.	$x_{\text{asse pila}}$ [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]	σ_{3Gf} [MPa]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	-155.48	134.23	0.04	0.01	0.01	-0.22	-0.18	0.04	0.01	0.06	-0.40	-0.32	-0.10
0.70	S2	0.00	-196.63	170.29	0.05	0.01	0.02	-0.28	-0.23	0.05	0.01	-0.64	2.45	1.90	0.41
1.00	S3	0.30	-212.47	184.01	0.05	0.01	0.02	-0.30	-0.25	0.08	0.03	-0.60	3.29	2.60	0.72
2.00	S4	1.30	-231.99	222.77	0.04	-0.02	-0.01	-0.50	-0.41	0.21	0.09	1.55	3.07	2.80	1.99
3.00	S5	2.30	-388.88	400.89	0.09	-0.02	0.00	-0.87	-0.75	0.38	0.17	2.24	4.06	3.81	2.77
5.00	S6	4.30	-748.33	804.67	0.21	-0.01	0.03	-1.71	-1.52	0.71	0.33	3.72	5.08	4.94	4.12
7.00	S7	6.30	-1195.59	1279.63	0.34	-0.01	0.05	-2.66	-2.38	1.01	0.45	4.04	10.58	9.90	6.01
10.00	S8	9.30	-1105.56	1183.27	0.31	-0.01	0.05	-2.46	-2.20	1.19	0.59	6.79	8.27	8.11	7.23
13.00	S9	12.30	-1048.59	1122.30	0.29	-0.01	0.04	-2.34	-2.09	1.29	0.67	8.53	6.80	6.98	8.01
16.70	S10(Mezz)	16.00	-1023.46	1095.40	0.29	-0.01	0.04	-2.28	-2.04	1.34	0.71	9.30	6.16	6.48	8.35
20.40	S11	19.70	-1048.59	1122.30	0.29	-0.01	0.04	-2.34	-2.09	1.29	0.67	8.53	6.80	6.98	8.01
23.40	S12	22.70	-1105.57	1183.29	0.31	-0.01	0.05	-2.46	-2.20	1.19	0.59	6.79	8.27	8.11	7.23
26.40	S13	25.70	-1195.59	1279.63	0.34	-0.01	0.05	-2.66	-2.38	1.01	0.45	4.04	10.58	9.90	6.01
28.40	S14	27.70	-748.33	804.67	0.21	-0.01	0.03	-1.71	-1.52	0.71	0.33	3.72	5.08	4.94	4.12
30.40	S15	29.70	-388.88	400.89	0.09	-0.02	0.00	-0.87	-0.75	0.38	0.17	2.24	4.06	3.81	2.77
31.40	S16	30.70	-231.99	222.77	0.04	-0.02	-0.01	-0.50	-0.41	0.21	0.09	1.55	3.07	2.80	1.99
32.40	S17	31.70	-212.47	184.01	0.05	0.01	0.02	-0.30	-0.25	0.08	0.03	-0.60	3.29	2.60	0.72
32.70	S18	32.00	-196.63	170.29	0.05	0.01	0.02	-0.28	-0.23	0.05	0.01	-0.64	2.45	1.89	0.41
33.40	S19 (SP2)	32.70	-155.48	133.88	0.04	0.01	0.01	-0.22	-0.18	0.04	0.01	0.06	-0.40	-0.32	-0.10

13.1.4 Riassunto cadute di tensioni acciaio precompressione

Si riportano di seguito i valori di sforzo normale e momento flettente di precompressione a tempo infinito, somma delle cadute parziali delle tre fasi.

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO KM 12+751 - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

$x_{\text{test.trave}}$ [m]	Sez.	$x_{\text{asse pila}}$ [m]	$\Delta\sigma_{p,\text{lente}}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{p,\text{ist.}}$ [MPa]	$\Sigma\Delta\sigma_p$ [MPa]	$\sigma_{p,\text{fin}}$ [MPa]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	-136.79	0.00	-136.79	-136.79
0.70	S2	0.00	-172.33	-12.27	-184.60	773.42
1.00	S3	0.30	-185.82	-16.88	-202.70	1165.90
2.00	S4	1.30	-201.74	-22.85	-224.59	1175.41
3.00	S5	2.30	-234.45	-35.08	-269.53	1130.47
5.00	S6	4.30	-292.03	-54.52	-346.55	1053.45
7.00	S7	6.30	-315.91	-97.45	-413.35	986.65
10.00	S8	9.30	-297.81	-92.36	-390.17	1009.83
13.00	S9	12.30	-286.34	-89.13	-375.47	1024.53
16.70	S10 (Mezz)	16.00	-281.28	-87.69	-368.98	1031.02
20.40	S11	19.70	-286.34	-89.13	-375.47	1024.53
23.40	S12	22.70	-297.81	-92.36	-390.17	1009.83
26.40	S13	25.70	-315.91	-97.45	-413.35	986.65
28.40	S14	27.70	-292.03	-54.52	-346.55	1053.45
30.40	S15	29.70	-234.45	-35.08	-269.53	1130.47
31.40	S16	30.70	-201.74	-22.85	-224.59	1175.41
32.40	S17	31.70	-185.82	-16.88	-202.70	1165.89
32.70	S18	32.00	-172.33	-12.27	-184.60	773.42
33.40	S19 (SP2)	32.70	-136.79	0.00	-136.79	-136.79

13.2 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER SFORZO NORMALE E FLESSIONE

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										
$x_{\text{test.trave}}$ [m]	Sez.	$x_{\text{asse pila}}$ [m]	M_{G0} [kNm]	M_{G1} [kNm]	$M_{G2} + M_{\text{rapp}}$ [kNm]	$M_{Q,\text{tan}}$ [kNm]	$M_{Q,\text{distr}}$ [kNm]	N_{rd} [kN]	M_{rd} [kNm]	M^+_v [kNm]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	930.0	515.0	0.00
0.70	S2	0.00	-5.7	0.0	0.0	0.00	0.00	930.0	515.0	0.00
1.00	S3	0.30	104.5	88.5	39.4	195.70	89.71	930.0	515.0	0.00
2.00	S4	1.30	459.1	388.7	191.8	687.21	305.18	930.0	515.0	0.00
3.00	S5	2.30	790.3	669.1	331.6	1135.29	510.11	930.0	515.0	0.00
5.00	S6	4.30	1382.8	1170.7	578.5	1798.53	884.19	930.0	515.0	0.00
7.00	S7	6.30	1882.0	1593.0	782.9	2258.51	1181.93	930.0	515.0	0.00
10.00	S8	9.30	2455.0	2079.0	1014.8	2702.98	1504.17	930.0	515.0	0.00
13.00	S9	12.30	2819.0	2387.0	1159.0	2962.7	1702.55	930.0	515.0	0.00
16.70	S10 (Mezz)	16.00	2980.0	2523.0	1221.9	3068.3	1790.00	930.0	515.0	0.00
20.40	S11	19.70	2819.0	2387.0	1159.0	2962.7	1702.6	930.0	515.0	0.00
23.40	S12	22.70	2455.0	2079.0	1014.5	2703.0	1504.2	930.0	515.0	0.00
26.40	S13	25.70	1882.0	1593.0	782.9	2258.5	1181.9	930.0	515.0	0.00
28.40	S14	27.70	1382.8	1170.7	578.5	1798.5	884.2	930.0	515.0	0.00
30.40	S15	29.70	790.3	669.1	331.6	1135.3	510.1	930.0	515.0	0.00
31.40	S16	30.70	459.1	388.7	191.8	687.2	305.2	930.0	515.0	0.00
32.40	S17	31.70	104.5	88.5	39.4	195.7	89.7	930.0	515.0	0.00
32.70	S18	32.00	-5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	515.0	0.00
33.40	S19 (SP2)	32.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	511.0	0.00
Coeff. SLU			1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.2	1

Verifica sezioni a momento positivo - Valori sollecitazione allo SLU												
$x_{\text{test.trave}}$ [m]	Sez.	$x_{\text{asse pila}}$ [m]	M_{G0} [kNm]	M_{G1} [kNm]	$M_{G2} + M_{\text{rapp}}$ [kNm]	$M_{Q,\text{tan}}$ [kNm]	$M_{Q,\text{distr}}$ [kNm]	N_{rd} [kN]	M_{rd} [kNm]	M^+_v [kNm]	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1116.0	618.0	0.0	1116.0	618.0
0.70	S2	0.00	-7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1116.0	618.0	0.0	1116.0	610.3
1.00	S3	0.30	141.1	119.4	53.1	264.2	121.1	1116.0	618.0	0.0	1116.0	1317.0
2.00	S4	1.30	619.7	524.7	258.9	927.7	412.0	1116.0	618.0	0.0	1116.0	3361.1
3.00	S5	2.30	1066.9	903.3	447.6	1532.6	688.6	1116.0	618.0	0.0	1116.0	5257.1
5.00	S6	4.30	1866.8	1580.5	780.9	2428.0	1193.7	1116.0	618.0	0.0	1116.0	8467.9
7.00	S7	6.30	2540.7	2150.6	1056.9	3049.0	1595.6	1116.0	618.0	0.0	1116.0	11010.7
10.00	S8	9.30	3314.3	2806.7	1370.0	3649.0	2030.6	1116.0	618.0	0.0	1116.0	13788.5
13.00	S9	12.30	3805.7	3222.5	1564.7	3999.6	2298.4	1116.0	618.0	0.0	1116.0	15508.9
16.70	S10 (Mezz)	16.00	4023.0	3406.1	1649.6	4142.2	2416.5	1116.0	618.0	0.0	1116.0	16255.4
20.40	S11	19.70	3805.7	3222.5	1564.7	3999.6	2298.4	1116.0	618.0	0.0	1116.0	15508.9
23.40	S12	22.70	3314.3	2806.7	1369.6	3649.0	2030.6	1116.0	618.0	0.0	1116.0	13788.1
26.40	S13	25.70	2540.7	2150.6	1056.9	3049.0	1595.6	1116.0	618.0	0.0	1116.0	11010.7
28.40	S14	27.70	1866.8	1580.5	780.9	2428.0	1193.7	1116.0	618.0	0.0	1116.0	8467.9
30.40	S15	29.70	1066.9	903.3	447.6	1532.6	688.6	1116.0	618.0	0.0	1116.0	5257.1
31.40	S16	30.70	619.8	524.7	258.9	927.7	412.0	1116.0	618.0	0.0	1116.0	3361.1
32.40	S17	31.70	141.1	119.4	53.1	264.2	121.1	1116.0	618.0	0.0	1116.0	1316.9
32.70	S18	32.00	-7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1116.0	618.0	0.0	1116.0	610.3
33.40	S19 (SP2)	32.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1116.0	613.2	0.0	1116.0	613.2

13.2.1 Verifiche a pressoflessione per momento positivo

Si riportano di seguito le verifiche strutturali delle sezioni per momento positivo. Per tutte le sezioni si considera la presenza di armatura di soletta (sup - inf) $\phi 12/20$ cm.

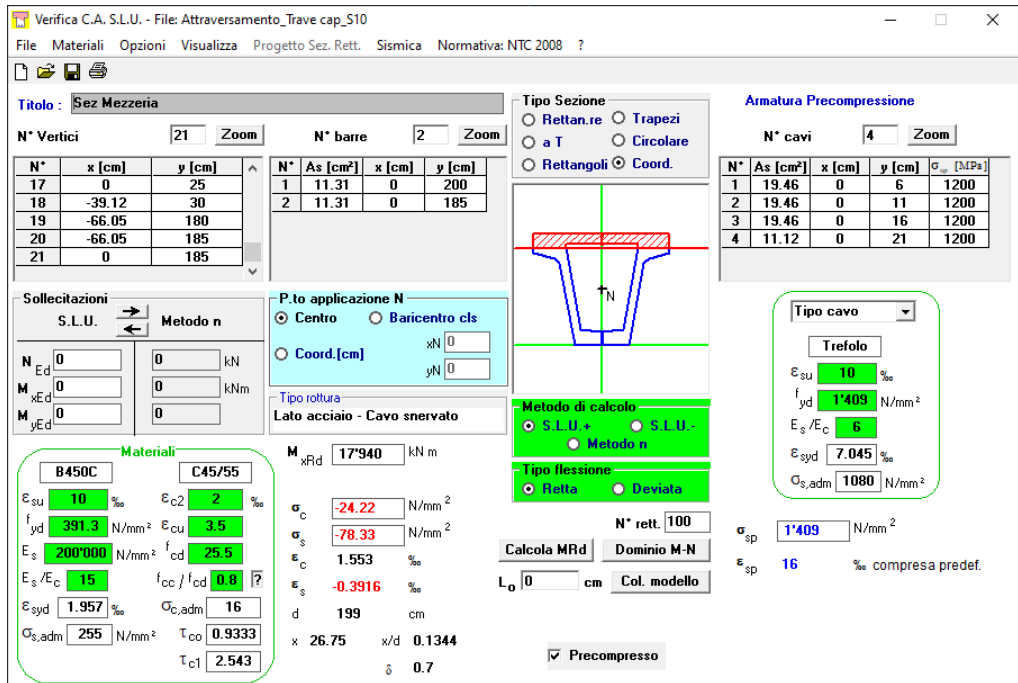


Figura 13.1: Verifica a rottura sezioni S10-S9-S8-S7

Il momento flettente agente M_{sd} è minore del momento flettente resistente $M_{rd} \rightarrow 16255 \text{ kNm} < 17940 \text{ kNm} \rightarrow$ Verifica soddisfatta.

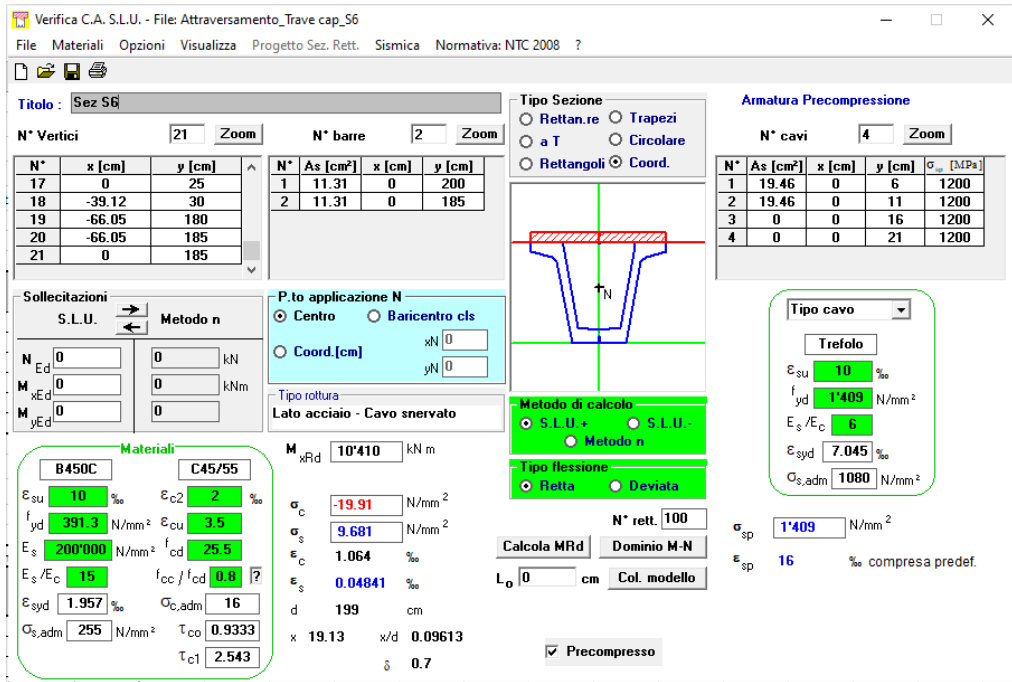


Figura 13.2: Verifica a rottura sezione S6

Il momento flettente agente M_{sd} è minore del momento flettente resistente $M_{rd} \rightarrow 8467 \text{ kNm} < 10410 \text{ kNm} \rightarrow$ Verifica soddisfatta.

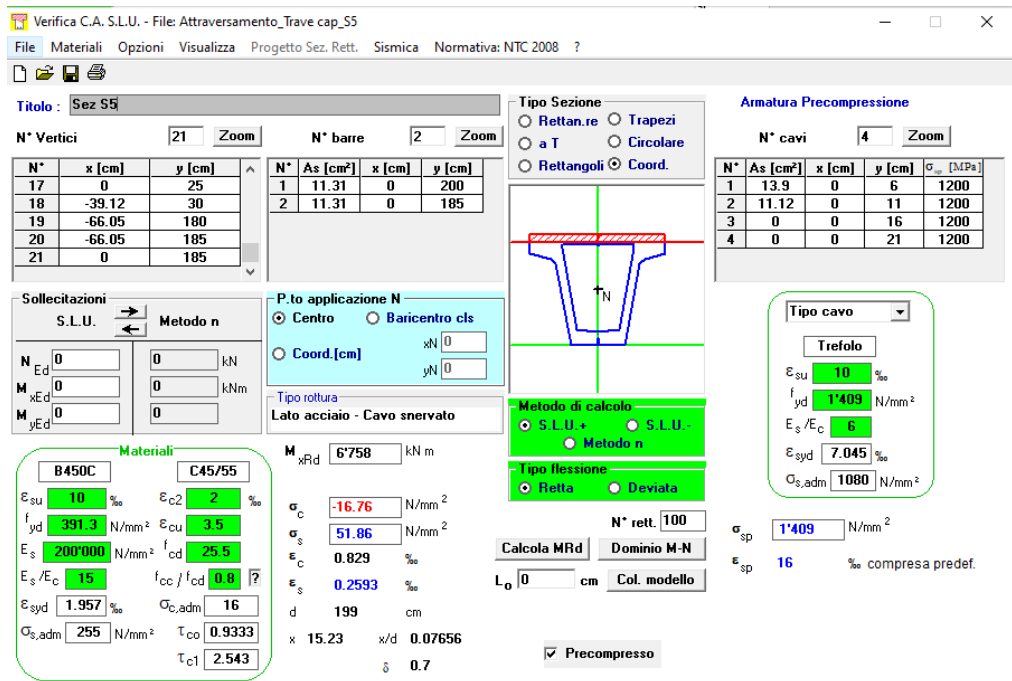


Figura 13.3: Verifica a rottura sezione S5

Il momento flettente agente M_{sd} è minore del momento flettente resistente $M_{rd} \rightarrow 5257 \text{ kNm} < 6758 \text{ kNm} \rightarrow$ Verifica soddisfatta.

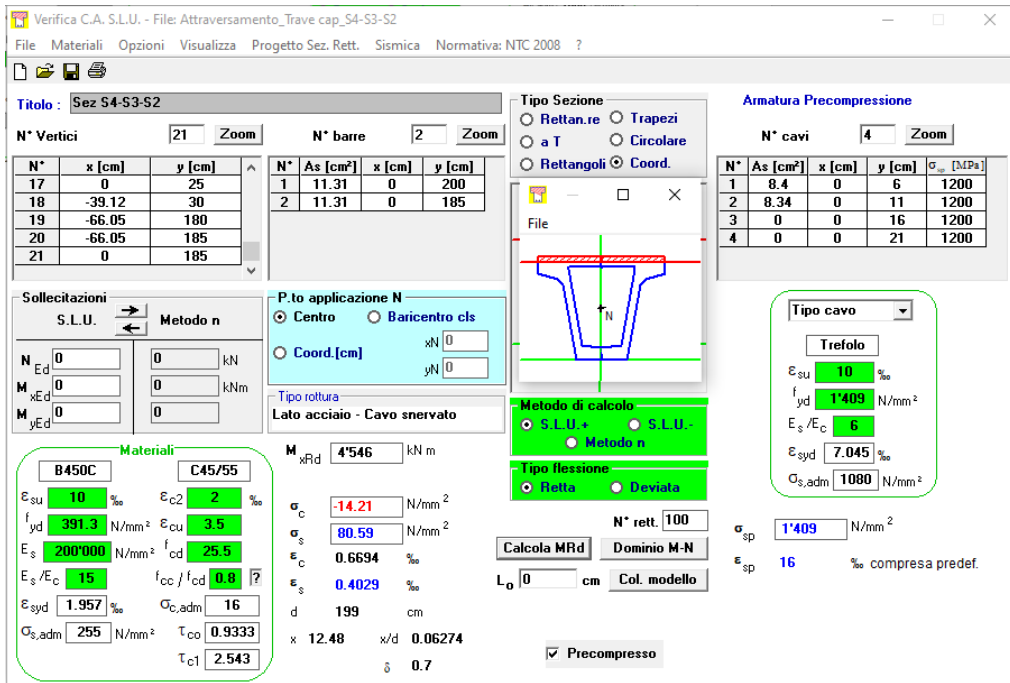


Figura 13.4: Verifica a rottura sezioni S4-S3-S2

Il momento flettente agente M_{sd} è minore del momento flettente resistente $M_{rd} \rightarrow 3361 \text{ kNm} < 4546 \text{ kNm} \rightarrow$ Verifica soddisfatta.

Tutte le verifiche a pressoflessione sono soddisfatte.

13.3 VERIFICHE ALLO SLU PER SOLLECITAZIONI TAGLIANTI E TORCENTI

VERIFICHE ALLO SLU		VERIFICHE ALLO SLU PER SOLLECITAZIONI TAGLIANTI E TORCENTI	
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	
$f_{ywd} =$	391.30	resistenza di calcolo delle armature a taglio	
$n_w =$	2.00	numero delle anime della sezione	
$u_m =$	6.11	perimetro medio del nucleo resistente	

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO KM 12+751 - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

Caratteristiche travi e armature a taglio - Singola nervatura trave												
X _{test.trave} [m]	Sez.	X _{asse pila} [m]	ctgθ	σ _{cp} [MPa]	α _c	b _w [cm]	bracci [-]	φ [mm]	ρ [cm]	A _{sw} /s [cm ² /m]	d [cm]	Ω [m ²]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	1.00	0.00	1.00	40	2	14	10	30.79	180	2.20
0.70	S2	0.00	1.00	0.00	1.00	40	2	14	10	30.79	180	2.20
1.00	S3	0.30	1.00	1.31	1.05	16	2	14	10	30.79	180	2.20
2.00	S4	1.30	2.00	2.42	1.09	16	2	12	10	22.62	180	2.20
3.00	S5	2.30	2.00	3.32	1.13	16	2	12	10	22.62	180	2.20
5.00	S6	4.30	2.00	4.61	1.18	16	2	12	10	22.62	180	2.20
7.00	S7	6.30	2.00	7.38	1.25	16	2	12	20	11.31	180	2.20
10.00	S8	9.30	2.00	7.51	1.25	16	2	12	20	11.31	180	2.20
13.00	S9	12.30	2.00	7.30	1.25	16	2	12	20	11.31	180	2.20
16.70	S10(Mezz)	16.00	2.00	7.36	1.25	16	2	12	20	11.31	180	2.20
20.40	S11	19.70	2.00	7.30	1.25	16	2	12	20	11.31	180	2.20
23.40	S12	22.70	2.00	7.51	1.25	16	2	12	20	11.31	180	2.20
26.40	S13	25.70	2.00	7.38	1.25	16	2	12	20	11.31	180	2.20
28.40	S14	27.70	2.00	4.61	1.18	16	2	12	10	22.62	180	2.20
30.40	S15	29.70	2.00	3.32	1.13	16	2	12	10	22.62	180	2.20
31.40	S16	30.70	2.00	2.42	1.09	16	2	12	10	22.62	180	2.20
32.40	S17	31.70	1.00	1.31	1.05	16	2	14	10	30.79	180	2.20
32.70	S18	32.00	1.00	0.00	1.00	40	2	14	10	30.79	180	2.20
33.40	S19 (SP2)	32.70	1.00	0.00	1.00	40	2	14	10	30.79	180	2.20

Verifica sezioni - Valori caratteristici di sollecitazione									
X _{test.trave} [m]	Sez.	X _{asse pila} [m]	V _{G0} [kN]	V _{G1} [kN]	V _{G2} [kN]	V _{rapp} [kN]	V _{Q,tan} [kN]	V _{Q,distr} [kN]	V _{vis} [kN]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.70	S2	0.00	372.97	315.79	161.83	0.00	520.19	240.94	0.00
1.00	S3	0.30	366.00	310.07	158.37	0.00	520.19	240.94	0.00
2.00	S4	1.30	342.88	290.31	146.43	0.00	520.19	240.94	0.00
3.00	S5	2.30	319.59	270.57	135.46	0.00	444.72	200.43	0.00
5.00	S6	4.30	272.94	231.07	113.95	0.00	392.11	172.20	0.00
7.00	S7	6.30	226.29	191.57	93.54	0.00	355.55	150.49	0.00
10.00	S8	9.30	156.30	132.32	61.99	0.00	328.43	131.74	0.00
13.00	S9	12.30	86.31	73.07	36.14	0.00	285.64	98.18	0.00
16.70	S10(Mezz)	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	266.04	82.88	0.00
20.40	S11	19.70	86.31	73.07	36.14	0.00	285.64	98.18	0.00
23.40	S12	22.70	156.30	132.32	61.99	0.00	328.43	131.74	0.00
26.40	S13	25.70	226.29	191.57	93.54	0.00	355.55	150.49	0.00
28.40	S14	27.70	272.94	231.07	113.95	0.00	392.11	172.20	0.00
30.40	S15	29.70	319.59	270.57	135.46	0.00	444.72	200.43	0.00
31.40	S16	30.70	342.88	290.31	146.43	0.00	520.19	240.94	0.00
32.40	S17	31.70	366.00	310.07	158.37	0.00	520.19	240.94	0.00
32.70	S18	32.00	372.97	315.79	161.83	0.00	520.19	240.94	0.00
33.40	S19 (SP2)	32.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Coeff. SLU		1.35	1.35	1.5	1.35	1.35	1.35	1

Verifica sezioni - Valori sollecitazioni allo SLU										
X _{test.trave} [m]	Sez.	X _{asse pila} [m]	V _{G0} [kN]	V _{G1} [kN]	V _{G2} [kN]	V _{rapp} [kN]	V _{Q,tan} [kN]	V _{Q,distr} [kN]	V _{vis} [kN]	V _{Ed} [kN]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.70	S2	0.00	503.51	426.32	242.75	0.00	702.26	325.27	0.00	2200.10
1.00	S3	0.30	494.10	418.59	237.56	0.00	702.26	325.27	0.00	2177.77
2.00	S4	1.30	462.89	391.92	219.65	0.00	702.26	325.27	0.00	2101.98
3.00	S5	2.30	431.45	365.27	203.19	0.00	600.37	270.58	0.00	1870.86
5.00	S6	4.30	368.47	311.94	170.93	0.00	529.35	232.47	0.00	1613.16
7.00	S7	6.30	305.49	258.62	140.31	0.00	479.99	203.16	0.00	1387.58
10.00	S8	9.30	211.01	178.63	92.99	0.00	443.38	177.85	0.00	1103.85
13.00	S9	12.30	116.52	98.64	54.21	0.00	385.61	132.54	0.00	787.53
16.70	S10(Mezz)	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	359.15	111.89	0.00	471.04
20.40	S11	19.70	116.52	98.64	54.21	0.00	385.61	132.54	0.00	787.53
23.40	S12	22.70	211.01	178.63	92.99	0.00	443.38	177.85	0.00	1103.85
26.40	S13	25.70	305.49	258.62	140.31	0.00	479.99	203.16	0.00	1387.58
28.40	S14	27.70	368.47	311.94	170.93	0.00	529.35	232.47	0.00	1613.16
30.40	S15	29.70	431.45	365.27	203.19	0.00	600.37	270.58	0.00	1870.86
31.40	S16	30.70	462.89	391.92	219.65	0.00	702.26	325.27	0.00	2101.98
32.40	S17	31.70	494.10	418.59	237.56	0.00	702.26	325.27	0.00	2177.78
32.70	S18	32.00	503.51	426.32	242.75	0.00	702.26	325.27	0.00	2200.10
33.40	S19 (SP2)	32.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

X _{test.trave} [m]	Sez.	X _{asse pila} [m]	z [cm]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Ed} [kN]	V _{Ed} /V _{Rd}
0.00	S1 (SP1)	-0.70	162.00	8381.34	3903.33	3903.33	0.00	0.00
0.70	S2	0.00	162.00	8381.34	3903.33	3903.33	2200.10	0.56
1.00	S3	0.30	162.00	3522.18	3903.33	3522.18	2177.77	0.62
2.00	S4	1.30	162.00	2933.44	5735.51	2933.44	2101.98	0.72
3.00	S5	2.30	162.00	3026.14	5735.51	3026.14	1870.86	0.62
5.00	S6	4.30	162.00	3159.97	5735.51	3159.97	1613.16	0.51
7.00	S7	6.30	162.00	3352.54	2867.76	2867.76	1387.58	0.48
10.00	S8	9.30	162.00	3352.54	2867.76	2867.76	1103.85	0.38
13.00	S9	12.30	162.00	3352.54	2867.76	2867.76	787.53	0.27
16.70	S10(Mezz)	16.00	162.00	3352.54	2867.76	2867.76	471.04	0.16
20.40	S11	19.70	162.00	3352.54	2867.76	2867.76	787.53	0.27
23.40	S12	22.70	162.00	3352.54	2867.76	2867.76	1103.85	0.38
26.40	S13	25.70	162.00	3352.54	2867.76	2867.76	1387.58	0.48
28.40	S14	27.70	162.00	3159.97	5735.51	3159.97	1613.16	0.51
30.40	S15	29.70	162.00	3026.14	5735.51	3026.14	1870.86	0.62
31.40	S16	30.70	162.00	2933.44	5735.51	2933.44	2101.98	0.72
32.40	S17	31.70	162.00	3522.18	3903.33	3522.18	2177.78	0.62
32.70	S18	32.00	162.00	8381.34	3903.33	3903.33	2200.10	0.56
33.40	S19 (SP2)	32.70	162.00	8381.34	3903.33	3903.33	0.00	0.00

Le verifiche a taglio sono soddisfatte in tutte le sezioni.

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO KM 12+751 - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

Verifica combinata taglio e torsione - Valori complessivi armature trasversali														
$x_{test, trave}$ [m]	Sez.	$x_{asse\ pila}$ [m]	z [cm]	V_{Ed} [kN]	$T_{Q, tan}$ [kNm]	$T_{Q, distr}$ [kNm]	T_{G2} [kNm]	T_{Ed} [kNm]	V_{Rcd} [kN]	T_{Rcd} [kNm]	k_{VT}	$A_{sw, V}$ [cm ² /m]	$A_{sw, T}$ [cm ² /m]	$A_{sw, min}$ [cm ² /m]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	162.00	0.0	0.0	0.0		0.0	8381.3	11382.1	0.00	0.00	0.0	0.00
0.70	S2	0.00	162.00	2200.1	222.0	160.4		516.3	8381.3	11382.1	0.31	34.71	3.0	37.71
1.00	S3	0.30	162.00	2177.8	222.0	222.0		599.4	3522.2	4552.8	0.75	34.35	3.5	37.84
2.00	S4	1.30	162.00	2102.0	222.0	222.0		599.4	2933.4	3642.3	0.88	16.58	1.7	18.32
3.00	S5	2.30	162.00	1870.9	216.5	163.6		513.0	3026.1	3642.3	0.76	14.76	1.5	16.25
5.00	S6	4.30	162.00	1613.2	200.3	156.9		482.3	3160.0	3642.3	0.64	12.72	1.4	14.12
7.00	S7	6.30	162.00	1387.6	177.9	140.5		429.8	3352.5	3642.3	0.53	10.94	1.2	12.19
10.00	S8	9.30	162.00	1103.9	152.2	116.5		362.7	3352.5	3642.3	0.43	8.71	1.1	9.76
13.00	S9	12.30	162.00	787.5	101.6	56.0		212.8	3352.5	3642.3	0.29	6.21	0.6	6.83
16.70	S10 (Mezz)	16.00	162.00	471.0	84.0	31.1		155.5	3352.5	3642.3	0.18	3.72	0.5	4.17
20.40	S11	19.70	162.00	787.5	101.6	56.0		212.8	3352.5	3642.3	0.29	6.21	0.6	6.83
23.40	S12	22.70	162.00	1103.9	152.2	116.5		362.7	3352.5	3642.3	0.43	8.71	1.1	9.76
26.40	S13	25.70	162.00	1387.6	177.9	140.5		429.8	3352.5	3642.3	0.53	10.94	1.2	12.19
28.40	S14	27.70	162.00	1613.2	200.3	156.9		482.2	3160.0	3642.3	0.64	12.72	1.4	14.12
30.40	S15	29.70	162.00	1870.9	216.5	163.6		513.1	3026.1	3642.3	0.76	14.76	1.5	16.25
31.40	S16	30.70	162.00	2102.0	222.0	222.0		599.4	2933.4	3642.3	0.88	16.58	1.7	18.32
32.40	S17	31.70	162.00	2177.8	222.0	222.0		599.4	3522.2	4552.8	0.75	34.35	3.5	37.84
32.70	S18	32.00	162.00	2200.1	222.0	160.4		516.2	8381.3	11382.1	0.31	34.71	3.0	37.70
33.40	S19 (SP2)	32.70	162.00	0.0	0.0	0.0		0.0	8381.3	11382.1	0.00	0.00	0.0	0.00
	K_{VT} =	verifica combinata a taglio e torsione												
	$A_{sw, V}$ =	area complessiva minima armature per solo taglio												
	$A_{sw, T}$ =	area complessiva minima armature trasversali per sola torsione												
	$A_{sw, min}$ =	area complessiva minima armature trasversali per taglio e torsione												
	$A_{sw, min}$ =	area complessiva minima armature longitudinali per torsione												

13.4 VERIFICA DELLO SCORRIMENTO TRAVE – SOLETTA

Si riportano di seguito la verifica delle tensioni tangenziali all'interfaccia trave-soletta.

VERIFICA DELLO SCORRIMENTO TRA TRAVE E SOLETTA				
Parametri adottati per le verifiche a scorrimento trave-soletta				
c =	0.35			parametro dipendente dalla scabrezza dell'interfaccia
μ =	0.60			parametro dipendente dalla scabrezza dell'interfaccia
f_{ctd} =	-1.45	MPa		resistenza di calcolo a trazione del cls della soletta
f_{ywd} =	391.30	MPa		resistenza di calcolo delle armature a taglio

Calcolo della tensione tangenziale dovuta allo scorrimento									
$x_{\text{test.trave}}$ [m]	Sez.	$x_{\text{asse pila}}$ [m]	V_{scorr} [kN]	A_{sol} [m ²]	$d_{\text{Gsol,0}}$ [m]	S_{sol} [m ³]	I_0 [m ⁴]	$2 \times b_{\text{sol}}$ [m]	τ_{VEd} [MPa]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	0.00	0.722	0.740	0.534269	1.01649	1.00	0.00
0.70	S2	0.00	1270.27	0.722	0.738	0.5323207	1.03090	1.00	0.66
1.00	S3	0.30	1265.08	0.722	0.738	0.5323207	1.03090	1.00	0.65
2.00	S4	1.30	1247.17	0.722	0.643	0.4643191	0.82582	1.00	0.70
3.00	S5	2.30	1074.14	0.722	0.646	0.4663498	0.83109	1.00	0.60
5.00	S6	4.30	932.74	0.722	0.654	0.4722997	0.83549	1.00	0.53
7.00	S7	6.30	823.46	0.722	0.667	0.4811424	0.84849	1.00	0.47
10.00	S8	9.30	714.21	0.722	0.667	0.4811424	0.84849	1.00	0.40
13.00	S9	12.30	572.37	0.722	0.667	0.4814125	0.84821	1.00	0.32
16.70	S10(Mezz)	16.00	471.04	0.722	0.667	0.4814125	0.84821	1.00	0.27
20.40	S11	19.70	572.37	0.722	0.667	0.4814125	0.84821	1.00	0.32
23.40	S12	22.70	714.21	0.722	0.667	0.4811424	0.84849	1.00	0.40
26.40	S13	25.70	823.46	0.722	0.667	0.4811424	0.84849	1.00	0.47
28.40	S14	27.70	932.74	0.722	0.654	0.4722997	0.83549	1.00	0.53
30.40	S15	29.70	1074.14	0.722	0.646	0.4663498	0.83109	1.00	0.60
31.40	S16	30.70	1247.17	0.722	0.643	0.4643191	0.82582	1.00	0.70
32.40	S17	31.70	1265.08	0.722	0.738	0.5323207	1.03090	1.00	0.65
32.70	S18	32.00	1270.27	0.722	0.738	0.5323207	1.03090	1.00	0.66
33.40	S19 (SP2)	32.70	0.00	0.722	0.742	0.5358967	1.02222	1.00	0.00

Calcolo della tensione tangenziale dovuta alla torsione						
$x_{\text{test.trave}}$ [m]	Sez.	$x_{\text{asse pila}}$ [m]	M_{tors} [kNm]	Ω [m ²]	b_{sol} [m]	τ_{VEd} [MPa]
0.00	S1 (SP1)	-0.70				
0.70	S2	0.00	516.29	2.200	0.500	0.23
1.00	S3	0.30	599.40	2.200	0.500	0.27
2.00	S4	1.30	599.40	2.200	0.500	0.27
3.00	S5	2.30	513.03	2.200	0.500	0.23
5.00	S6	4.30	482.30	2.200	0.500	0.22
7.00	S7	6.30	429.80	2.200	0.500	0.20
10.00	S8	9.30	362.73	2.200	0.500	0.16
13.00	S9	12.30	212.80	2.200	0.500	0.10
16.70	S10(Mezz)	16.00	155.45	2.200	0.500	0.07
20.40	S11	19.70	212.76	2.200	0.500	0.10
23.40	S12	22.70	362.75	2.200	0.500	0.16
26.40	S13	25.70	429.84	2.200	0.500	0.20
28.40	S14	27.70	482.22	2.200	0.500	0.22
30.40	S15	29.70	513.14	2.200	0.500	0.23
31.40	S16	30.70	599.40	2.200	0.500	0.27
32.40	S17	31.70	599.40	2.200	0.500	0.27
32.70	S18	32.00	516.24	2.200	0.500	0.23
33.40	S19 (SP2)	32.70				

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO KM 12+751 - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

Calcolo della tensione tangenziale ultima di contatto per ciascuna anima																
X _{test.trave} [m]	Sez.	X _{asse.pila} [m]	b _{sol} [cm]	A _{sup} [cm ² /m]	braccia [-]	φ ₁ [mm]	p ₁ [cm]	A _{conn} [cm ² /m]	ρ [adim]	α [°]	sen α [adim]	cos α [adim]	σ _n [MPa]	τ _{Rd} [MPa]	τ _{Ed} [MPa]	τ _{Ed} /τ _{Rd} [adim]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	50.00	5000	2	14	10	30.79	0.006158	90	1.00	0.00	0.0	1.95	0.00	0.00
0.70	S2	0.00	50.00	5000	2	14	10	30.79	0.006158	90	1.00	0.00	0.0	1.95	0.89	0.46
1.00	S3	0.30	50.00	5000	2	14	10	30.79	0.006158	90	1.00	0.00	0.0	1.95	0.93	0.47
2.00	S4	1.30	50.00	5000	2	12	10	22.62	0.004524	90	1.00	0.00	0.0	1.57	0.97	0.62
3.00	S5	2.30	50.00	5000	2	12	10	22.62	0.004524	90	1.00	0.00	0.0	1.57	0.84	0.53
5.00	S6	4.30	50.00	5000	2	12	10	22.62	0.004524	90	1.00	0.00	0.0	1.57	0.75	0.48
7.00	S7	6.30	50.00	5000	2	12	20	11.31	0.002262	90	1.00	0.00	0.0	1.04	0.66	0.64
10.00	S8	9.30	50.00	5000	2	12	20	11.31	0.002262	90	1.00	0.00	0.0	1.04	0.57	0.55
13.00	S9	12.30	50.00	5000	2	12	20	11.31	0.002262	90	1.00	0.00	0.0	1.04	0.42	0.41
16.70	S10 (Mezz)	16.00	50.00	5000	2	12	20	11.31	0.002262	90	1.00	0.00	0.0	1.04	0.34	0.33
20.40	S11	19.70	50.00	5000	2	12	20	11.31	0.002262	90	1.00	0.00	0.0	1.04	0.42	0.41
23.40	S12	22.70	50.00	5000	2	12	20	11.31	0.002262	90	1.00	0.00	0.0	1.04	0.57	0.55
26.40	S13	25.70	50.00	5000	2	12	20	11.31	0.002262	90	1.00	0.00	0.0	1.04	0.66	0.64
28.40	S14	27.70	50.00	5000	2	12	10	22.62	0.004524	90	1.00	0.00	0.0	1.57	0.75	0.48
30.40	S15	29.70	50.00	5000	2	12	10	22.62	0.004524	90	1.00	0.00	0.0	1.57	0.84	0.53
31.40	S16	30.70	50.00	5000	2	12	10	22.62	0.004524	90	1.00	0.00	0.0	1.57	0.97	0.62
32.40	S17	31.70	50.00	5000	2	14	10	30.79	0.006158	90	1.00	0.00	0.0	1.95	0.93	0.47
32.70	S18	32.00	50.00	5000	2	14	10	30.79	0.006158	91	1.00	-0.02	0.0	1.91	0.89	0.47
33.40	S19 (SP2)	32.70	50.00	5000	2	14	10	30.79	0.006158	92	1.00	-0.03	0.0	1.87	0.00	0.00
	b _{sol} =	Larghezza di contatto, per ciascuna anima														
	A _{sup} =	Area di contatto per metro di lunghezza, per ciascuna anima														
	A _{conn} =	Area dei connettori adottati, per metro di lunghezza														
	ρ =	rapporto A _{conn} /A _{sup}														
	α =	Angolo medio dei connettori rispetto la superficie di contatto														
	σ _n =	Tensione normale all'interfaccia														
	τ _{Rd} =	Tensione tangenziale ultima di contatto														

Le verifiche a scorrimento (verifica delle tensioni ultime di contatto) sono soddisfatte in tutte le sezioni.

13.5 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Si verifica:

Combinazione rara:

$$\sigma_c < 0.6 f_{ck} = \sigma_c < 19.92 \text{ MPa (soletta); } \sigma_c < 27.39 \text{ MPa (trave);}$$

$$\sigma_{tc} < 3.19 \text{ MPa (trave)}$$

Combinazione quasi permanente:

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

$$\sigma_t < f_{ct}/1.2 = \sigma_t < 2.58 \text{ MPa (soletta, se maggiore verifica a fessurazione)}$$

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

Combinazione frequente:

$$\sigma_t < f_{ct}/1.2 = \sigma_t < 2.58 \text{ MPa (soletta, se maggiore verifica a fessurazione)}$$

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

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

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO KM 12+751 - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

SLE - Verifica sezioni a momento positivo - Valori caratteristici di sollecitazione												
$x_{\text{test.trave}}$ [m]	Sez.	$x_{\text{asse pila}}$ [m]	M_{G0} [kNm]	M_{G1} [kNm]	$M_{G2} + M_{Rapp}$ [kNm]	$N_{p,fin}$ [kN]	$M_{p,fin}$ [kNm]	N_{rd} [kN]	M_{rd} [kNm]	$M_{Q,tan}$ [kNm]	$M_{Q,distr}$ [kNm]	M^+_v [kNm]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
0.70	S2	0.00	-5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
1.00	S3	0.30	104.5	88.5	39.4	2268.8	-1358.4	930.0	515.0	195.7	89.7	0.0
2.00	S4	1.30	459.1	388.7	191.8	2287.3	-1211.9	930.0	515.0	687.2	305.2	0.0
3.00	S5	2.30	790.3	669.1	331.6	3142.7	-1886.5	930.0	515.0	1135.3	510.1	0.0
5.00	S6	4.30	1382.8	1170.7	578.5	4392.9	-2847.2	930.0	515.0	1798.5	884.2	0.0
7.00	S7	6.30	1882.0	1593.0	782.9	7131.5	-4608.5	930.0	515.0	2258.5	1181.9	0.0
10.00	S8	9.30	2455.0	2079.0	1014.8	7260.0	-4691.5	930.0	515.0	2703.0	1504.2	0.0
13.00	S9	12.30	2819.0	2387.0	1159.0	7049.6	-4985.2	930.0	515.0	2962.7	1702.6	0.0
16.70	S10(Mezz)	16.00	2980.0	2523.0	1221.9	7098.9	-5020.0	930.0	515.0	3068.3	1790.0	0.0
20.40	S11	19.70	2819.0	2387.0	1159.0	7049.6	-4985.2	930.0	515.0	2962.7	1702.6	0.0
23.40	S12	22.70	2455.0	2079.0	1014.5	7260.0	-4691.5	930.0	515.0	2703.0	1504.2	0.0
26.40	S13	25.70	1882.0	1593.0	782.9	7131.5	-4608.5	930.0	515.0	2258.5	1181.9	0.0
28.40	S14	27.70	1382.8	1170.7	578.5	4392.9	-2847.2	930.0	515.0	1798.5	884.2	0.0
30.40	S15	29.70	790.3	669.1	331.6	3142.7	-1886.5	930.0	515.0	1135.3	510.1	0.0
31.40	S16	30.70	459.1	388.7	191.8	2287.3	-1211.9	930.0	515.0	687.2	305.2	0.0
32.40	S17	31.70	104.5	88.5	39.4	2268.8	-1358.4	930.0	515.0	195.7	89.7	0.0
32.70	S18	32.00	-5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
33.40	S19 (SP2)	32.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	511.0	0.0	0.0	0.0

13.5.1 Verifiche in combinazione frequente

Verifica sezioni a momento positivo - Valori di sollecitazione in combinazione frequente												
$x_{\text{test.trave}}$ [m]	Sez.	$x_{\text{asse pila}}$ [m]	M_{G0} [kNm]	M_{G1} [kNm]	$M_{G2} + M_{Rapp}$ [kNm]	$N_{p,fin}$ [kN]	$M_{p,fin}$ [kNm]	N_{rd} [kN]	M_{rd} [kNm]	$M_{Q,tan}$ [kNm]	$M_{Q,distr}$ [kNm]	M^+_v [kNm]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
0.70	S2	0.00	-5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
1.00	S3	0.30	104.5	88.5	39.4	2268.8	-1358.4	930.0	515.0	146.8	35.9	0.0
2.00	S4	1.30	459.1	388.7	191.8	2287.3	-1211.9	930.0	515.0	515.4	122.1	0.0
3.00	S5	2.30	790.3	669.1	331.6	3142.7	-1886.5	930.0	515.0	851.5	204.0	0.0
5.00	S6	4.30	1382.8	1170.7	578.5	4392.9	-2847.2	930.0	515.0	1348.9	353.7	0.0
7.00	S7	6.30	1882.0	1593.0	782.9	7131.5	-4608.5	930.0	515.0	1693.9	472.8	0.0
10.00	S8	9.30	2455.0	2079.0	1014.8	7260.0	-4691.5	930.0	515.0	2027.2	601.7	0.0
13.00	S9	12.30	2819.0	2387.0	1159.0	7049.6	-4985.2	930.0	515.0	2222.0	681.0	0.0
16.70	S10(Mezz)	16.00	2980.0	2523.0	1221.9	7098.9	-5020.0	930.0	515.0	2301.2	716.0	0.0
20.40	S11	19.70	2819.0	2387.0	1159.0	7049.6	-4985.2	930.0	515.0	2222.0	681.0	0.0
23.40	S12	22.70	2455.0	2079.0	1014.5	7260.0	-4691.5	930.0	515.0	2027.2	601.7	0.0
26.40	S13	25.70	1882.0	1593.0	782.9	7131.5	-4608.5	930.0	515.0	1693.9	472.8	0.0
28.40	S14	27.70	1382.8	1170.7	578.5	4392.9	-2847.2	930.0	515.0	1348.9	353.7	0.0
30.40	S15	29.70	790.3	669.1	331.6	3142.7	-1886.5	930.0	515.0	851.5	204.0	0.0
31.40	S16	30.70	459.1	388.7	191.8	2287.3	-1211.9	930.0	515.0	515.4	122.1	0.0
32.40	S17	31.70	104.5	88.5	39.4	2268.8	-1358.4	930.0	515.0	146.8	35.9	0.0
32.70	S18	32.00	-5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
33.40	S19 (SP2)	32.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	511.0	0.0	0.0	0.0

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO KM 12+751 - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

Verifica sezioni a momento positivo																
X _{test. trave} [m]	Sez.	X _{asse pila} [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 ^{3f} freq. [kN]	M ^{3f} freq. [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]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	0.04	0.01	0.06	-0.40	930.0	515.0	-0.49	-0.61	0.71	-0.20	-0.45	-0.60	0.77	-0.60
0.70	S2	0.00	0.05	0.01	-0.64	2.45	930.0	515.0	-0.50	-0.61	0.70	-0.20	-0.45	-0.60	0.06	2.25
1.00	S3	0.30	0.08	0.03	-0.60	3.29	930.0	697.7	-0.36	-0.51	0.81	-0.41	-0.28	-0.48	0.21	2.88
2.00	S4	1.30	0.21	0.09	1.55	3.07	930.0	1152.5	0.30	-0.03	1.32	-1.19	0.50	0.06	2.87	1.89
3.00	S5	2.30	0.38	0.17	2.24	4.06	930.0	1570.5	0.65	0.21	1.58	-1.82	1.03	0.39	3.82	2.24
5.00	S6	4.30	0.71	0.33	3.72	5.08	930.0	2217.6	1.22	0.60	2.00	-2.77	1.93	0.93	5.72	2.31
7.00	S7	6.30	1.01	0.45	4.04	10.58	930.0	2681.7	1.61	0.88	2.31	-3.38	2.62	1.33	6.35	7.20
10.00	S8	9.30	1.20	0.59	6.79	8.18	930.0	3143.9	2.01	1.16	2.60	-4.07	3.21	1.74	9.39	4.11
13.00	S9	12.30	1.34	0.71	7.47	7.01	930.0	3418.0	2.25	1.32	2.78	-4.47	3.59	2.03	10.25	2.54
16.70	S10 (Mezz)	16.00	1.39	0.75	8.23	6.37	930.0	3532.2	2.35	1.39	2.85	-4.64	3.74	2.14	11.09	1.73
20.40	S11	19.70	1.34	0.71	7.47	7.01	930.0	3418.0	2.25	1.32	2.78	-4.47	3.59	2.03	10.25	2.54
23.40	S12	22.70	1.20	0.59	6.79	8.18	930.0	3143.9	2.01	1.16	2.60	-4.07	3.21	1.74	9.39	4.11
26.40	S13	25.70	1.01	0.45	4.04	10.58	930.0	2681.7	1.61	0.88	2.31	-3.38	2.62	1.33	6.35	7.20
28.40	S14	27.70	0.71	0.33	3.72	5.08	930.0	2217.6	1.22	0.60	2.00	-2.77	1.93	0.93	5.72	2.31
30.40	S15	29.70	0.38	0.17	2.24	4.06	930.0	1570.5	0.65	0.21	1.58	-1.82	1.03	0.39	3.82	2.24
31.40	S16	30.70	0.21	0.09	1.55	3.07	930.0	1152.5	0.30	-0.03	1.32	-1.19	0.50	0.06	2.87	1.89
32.40	S17	31.70	0.08	0.03	-0.60	3.29	930.0	697.7	-0.36	-0.51	0.81	-0.41	-0.28	-0.48	0.21	2.88
32.70	S18	32.00	0.05	0.01	-0.64	2.45	930.0	515.0	-0.50	-0.61	0.70	-0.20	-0.45	-0.60	0.06	2.25
33.40	S19 (SP2)	32.70	0.04	0.01	0.06	-0.40	930.0	511.0	-0.49	-0.61	0.71	-0.19	-0.46	-0.60	0.76	-0.59

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.

13.5.2 Verifiche in combinazione quasi permanente

Verifica sezioni a momento positivo - Valori di sollecitazione in combinazione quasi permanente												
X _{test.trave} [m]	Sez.	X _{asse.pila} [m]	M _{G0} [kNm]	M _{G1} [kNm]	M _{G2} + M _{Rapp} [kNm]	N _{p,fin} [kN]	M _{p,fin} [kNm]	N _{rd} [kN]	M _{rd} [kNm]	M _{Q,tan} [kNm]	M _{Q,distr} [kNm]	M _v ⁺ [kNm]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
0.70	S2	0.00	-5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
1.00	S3	0.30	104.5	88.5	39.4	2268.8	-1358.4	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
2.00	S4	1.30	459.1	388.7	191.8	2287.3	-1211.9	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
3.00	S5	2.30	790.3	669.1	331.6	3142.7	-1886.5	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
5.00	S6	4.30	1382.8	1170.7	578.5	4392.9	-2847.2	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
7.00	S7	6.30	1882.0	1593.0	782.9	7131.5	-4608.5	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
10.00	S8	9.30	2455.0	2079.0	1014.8	7260.0	-4691.5	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
13.00	S9	12.30	2819.0	2387.0	1159.0	7049.6	-4985.2	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
16.70	S10(Mezz)	16.00	2980.0	2523.0	1221.9	7098.9	-5020.0	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
20.40	S11	19.70	2819.0	2387.0	1159.0	7049.6	-4985.2	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
23.40	S12	22.70	2455.0	2079.0	1014.5	7260.0	-4691.5	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
26.40	S13	25.70	1882.0	1593.0	782.9	7131.5	-4608.5	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
28.40	S14	27.70	1382.8	1170.7	578.5	4392.9	-2847.2	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
30.40	S15	29.70	790.3	669.1	331.6	3142.7	-1886.5	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
31.40	S16	30.70	459.1	388.7	191.8	2287.3	-1211.9	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
32.40	S17	31.70	104.5	88.5	39.4	2268.8	-1358.4	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
32.70	S18	32.00	-5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
33.40	S19 (SP2)	32.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	511.0	0.0	0.0	0.0

Verifica sezioni a momento positivo																	
X _{test.trave} [m]	Sez.	X _{asse.pila} [m]	Tensioni prima e seconda fase				N ^{3f} _{q.p.}		Tensioni terza fase				Tensioni finali				
			σ _{ss,q.p.} [MPa]	σ _{si,q.p.} [MPa]	σ _{ts,q.p.} [MPa]	σ _{ti,q.p.} [MPa]	N ^{3f} _{q.p.} [kN]	M ^{3f} _{q.p.} [kNm]	σ _{ss,q.p.} [MPa]	σ _{si,q.p.} [MPa]	σ _{ts,q.p.} [MPa]	σ _{ti,q.p.} [MPa]	σ _{ss,q.p.} [MPa]	σ _{si,q.p.} [MPa]	σ _{ts,q.p.} [MPa]	σ _{ti,q.p.} [MPa]	
0.00	S1 (SP1)	-0.70															
0.70	S2	0.00	0.05	0.01	-0.64	2.45	930.0	515.0	-0.50	-0.61	0.70	-0.20	-0.45	-0.60	0.06	2.25	
1.00	S3	0.30	0.08	0.03	-0.60	3.29	930.0	515.0	-0.50	-0.61	0.70	-0.20	-0.42	-0.58	0.10	3.09	
2.00	S4	1.30	0.21	0.09	1.55	3.07	930.0	515.0	-0.25	-0.40	0.92	-0.20	-0.05	-0.31	2.47	2.87	
3.00	S5	2.30	0.38	0.17	2.24	4.06	930.0	515.0	-0.25	-0.40	0.92	-0.19	0.12	-0.22	3.16	3.87	
5.00	S6	4.30	0.71	0.33	3.72	5.08	930.0	515.0	-0.25	-0.39	0.92	-0.18	0.46	-0.07	4.64	4.90	
7.00	S7	6.30	1.01	0.45	4.04	10.58	930.0	515.0	-0.25	-0.39	0.93	-0.17	0.76	0.06	4.97	10.41	
10.00	S8	9.30	1.20	0.59	6.79	8.18	930.0	515.0	-0.25	-0.39	0.93	-0.17	0.94	0.19	7.72	8.01	
13.00	S9	12.30	1.34	0.71	7.47	7.01	930.0	515.0	-0.25	-0.39	0.93	-0.17	1.09	0.32	8.39	6.84	
16.70	S10(Mezz)	16.00	1.39	0.75	8.23	6.37	930.0	515.0	-0.25	-0.39	0.93	-0.17	1.14	0.35	9.16	6.20	
20.40	S11	19.70	1.34	0.71	7.47	7.01	930.0	515.0	-0.25	-0.39	0.93	-0.17	1.09	0.32	8.39	6.84	
23.40	S12	22.70	1.20	0.59	6.79	8.18	930.0	515.0	-0.25	-0.39	0.93	-0.17	0.94	0.19	7.72	8.01	
26.40	S13	25.70	1.01	0.45	4.04	10.58	930.0	515.0	-0.25	-0.39	0.93	-0.17	0.76	0.06	4.97	10.41	
28.40	S14	27.70	0.71	0.33	3.72	5.08	930.0	515.0	-0.25	-0.39	0.92	-0.18	0.46	-0.07	4.64	4.90	
30.40	S15	29.70	0.38	0.17	2.24	4.06	930.0	515.0	-0.25	-0.40	0.92	-0.19	0.12	-0.22	3.16	3.87	
31.40	S16	30.70	0.21	0.09	1.55	3.07	930.0	515.0	-0.25	-0.40	0.92	-0.20	-0.05	-0.31	2.47	2.87	
32.40	S17	31.70	0.08	0.03	-0.60	3.29	930.0	515.0	-0.50	-0.61	0.70	-0.20	-0.42	-0.58	0.10	3.09	
32.70	S18	32.00	0.05	0.01	-0.64	2.45	930.0	515.0	-0.50	-0.61	0.70	-0.20	-0.45	-0.60	0.06	2.25	
33.40	S19 (SP2)	32.70															

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.

13.5.3 Verifiche in combinazione rara

Verifica sezioni a momento positivo - Valori di sollecitazione in combinazione rara												
$x_{\text{test.trave}}$ [m]	Sez.	$x_{\text{asse pila}}$ [m]	M_{G0} [kNm]	M_{G1} [kNm]	$M_{G2} + M_{Rapp}$ [kNm]	$N_{p,fin}$ [kN]	$M_{p,fin}$ [kNm]	N_{rd} [kN]	M_{rd} [kNm]	$M_{Q,tan}$ [kNm]	$M_{Q,distr}$ [kNm]	M_v^* [kNm]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
0.70	S2	0.00	-5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
1.00	S3	0.30	104.5	88.5	39.4	2268.8	-1358.4	930.0	515.0	195.7	89.7	0.0
2.00	S4	1.30	459.1	388.7	191.8	2287.3	-1211.9	930.0	515.0	687.2	305.2	0.0
3.00	S5	2.30	790.3	669.1	331.6	3142.7	-1886.5	930.0	515.0	1135.3	510.1	0.0
5.00	S6	4.30	1382.8	1170.7	578.5	4392.9	-2847.2	930.0	515.0	1798.5	884.2	0.0
7.00	S7	6.30	1882.0	1593.0	782.9	7131.5	-4608.5	930.0	515.0	2258.5	1181.9	0.0
10.00	S8	9.30	2455.0	2079.0	1014.8	7260.0	-4691.5	930.0	515.0	2703.0	1504.2	0.0
13.00	S9	12.30	2819.0	2387.0	1159.0	7049.6	-4985.2	930.0	515.0	2962.7	1702.6	0.0
16.70	S10 (Mezz)	16.00	2980.0	2523.0	1221.9	7098.9	-5020.0	930.0	515.0	3068.3	1790.0	0.0
20.40	S11	19.70	2819.0	2387.0	1159.0	7049.6	-4985.2	930.0	515.0	2962.7	1702.6	0.0
23.40	S12	22.70	2455.0	2079.0	1014.5	7260.0	-4691.5	930.0	515.0	2703.0	1504.2	0.0
26.40	S13	25.70	1882.0	1593.0	782.9	7131.5	-4608.5	930.0	515.0	2258.5	1181.9	0.0
28.40	S14	27.70	1382.8	1170.7	578.5	4392.9	-2847.2	930.0	515.0	1798.5	884.2	0.0
30.40	S15	29.70	790.3	669.1	331.6	3142.7	-1886.5	930.0	515.0	1135.3	510.1	0.0
31.40	S16	30.70	459.1	388.7	191.8	2287.3	-1211.9	930.0	515.0	687.2	305.2	0.0
32.40	S17	31.70	104.5	88.5	39.4	2268.8	-1358.4	930.0	515.0	195.7	89.7	0.0
32.70	S18	32.00	-5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	515.0	0.0	0.0	0.0
33.40	S19 (SP2)	32.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	930.0	511.0	0.0	0.0	0.0

Verifica sezioni a momento positivo																
$x_{\text{test.trave}}$ [m]	Sez.	$x_{\text{asse pila}}$ [m]	Tensioni prima e seconda fase				$N_{\text{rara}}^{\text{3f}}$ [kN]	$M_{\text{rara}}^{\text{3f}}$ [kNm]	Tensioni terza fase				Tensioni finali			
			$\sigma_{ss,rara}$ [MPa]	$\sigma_{sl,rara}$ [MPa]	$\sigma_{ts,rara}$ [MPa]	$\sigma_{ti,rara}$ [MPa]			$\sigma_{ss,rara}$ [MPa]	$\sigma_{sl,rara}$ [MPa]	$\sigma_{ts,rara}$ [MPa]	$\sigma_{ti,rara}$ [MPa]	$\sigma_{ss,rara}$ [MPa]	$\sigma_{sl,rara}$ [MPa]	$\sigma_{ts,rara}$ [MPa]	$\sigma_{ti,rara}$ [MPa]
0.00	S1 (SP1)	-0.70	0.04	0.01	0.06	-0.40	930.0	515.0	-0.49	-0.61	0.71	-0.20	-0.45	-0.60	0.77	-0.60
0.70	S2	0.00	0.05	0.01	-0.64	2.45	930.0	515.0	-0.50	-0.61	0.70	-0.20	-0.45	-0.60	0.06	2.25
1.00	S3	0.30	0.08	0.03	-0.60	3.29	930.0	800.4	-0.28	-0.46	0.87	-0.52	-0.20	-0.43	0.27	2.76
2.00	S4	1.30	0.21	0.09	1.55	3.07	930.0	1507.4	0.60	0.18	1.55	-1.74	0.81	0.27	3.09	1.33
3.00	S5	2.30	0.38	0.17	2.24	4.06	930.0	2160.4	1.16	0.56	1.95	-2.73	1.53	0.73	4.19	1.33
5.00	S6	4.30	0.71	0.33	3.72	5.08	930.0	3197.7	2.06	1.18	2.62	-4.26	2.77	1.50	6.34	0.82
7.00	S7	6.30	1.01	0.45	4.04	10.58	930.0	3955.4	2.71	1.64	3.12	-5.27	3.72	2.08	7.16	5.31
10.00	S8	9.30	1.20	0.59	6.79	8.18	930.0	4722.2	3.37	2.09	3.61	-6.41	4.57	2.67	10.40	1.77
13.00	S9	12.30	1.34	0.71	7.47	7.01	930.0	5180.2	3.77	2.36	3.91	-7.09	5.11	3.07	11.37	-0.08
16.70	S10 (Mezz)	16.00	1.39	0.75	8.23	6.37	930.0	5373.3	3.94	2.47	4.03	-7.37	5.33	3.22	12.27	-1.00
20.40	S11	19.70	1.34	0.71	7.47	7.01	930.0	5180.3	3.77	2.36	3.91	-7.09	5.11	3.07	11.37	-0.08
23.40	S12	22.70	1.20	0.59	6.79	8.18	930.0	4722.2	3.37	2.09	3.61	-6.41	4.57	2.67	10.40	1.77
26.40	S13	25.70	1.01	0.45	4.04	10.58	930.0	3955.4	2.71	1.64	3.12	-5.27	3.72	2.08	7.16	5.31
28.40	S14	27.70	0.71	0.33	3.72	5.08	930.0	3197.7	2.06	1.18	2.62	-4.26	2.77	1.50	6.34	0.82
30.40	S15	29.70	0.38	0.17	2.24	4.06	930.0	2160.4	1.16	0.56	1.95	-2.73	1.53	0.73	4.19	1.33
31.40	S16	30.70	0.21	0.09	1.55	3.07	930.0	1507.4	0.60	0.18	1.55	-1.74	0.81	0.27	3.09	1.33
32.40	S17	31.70	0.08	0.03	-0.60	3.29	930.0	800.4	-0.28	-0.46	0.87	-0.52	-0.20	-0.43	0.27	2.76
32.70	S18	32.00	0.05	0.01	-0.64	2.45	930.0	515.0	-0.50	-0.61	0.70	-0.20	-0.45	-0.60	0.06	2.25
33.40	S19 (SP2)	32.70	0.04	0.01	0.06	-0.40	930.0	511.0	-0.49	-0.61	0.71	-0.19	-0.46	-0.60	0.76	-0.59

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

14 VERIFICA DELLA SOLETTA

Si riportano di seguito le verifiche della soletta di impalcato.

La soletta presenta spessore totale di 25cm, ed è realizzata mediante impiego di predala tralicciata di spessore di 5cm e di successivo getto di cls classe C32/40 di spessore 20cm.

La soletta è armata sia trasversalmente con barre che $\varnothing 12/20$ cm superiori e inferiori e longitudinalmente con barre $\varnothing 12/20$ cm superiori e inferiori.

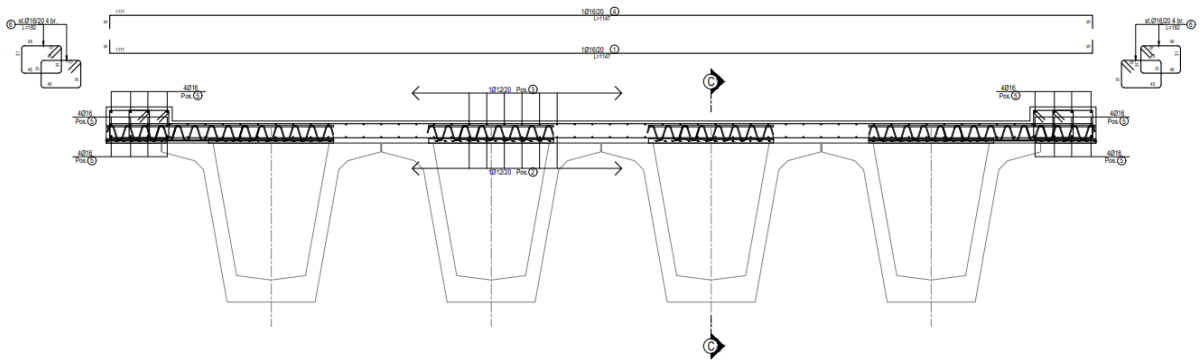


Figura 14.1 Sezione trasversale soletta

14.1 VERIFICA DELLE PREDALLE

Si riporta di seguito la verifica delle predalle per il campo intermedio "tra le anime delle travi" e delle predalle in corrispondenza dello sbalzo. Durante la fase di getto, la predalle deve essere in grado di sostenere oltre al peso proprio, il peso del conglomerato cementizio allo stato fluido e l'eventuale peso delle maestranze sull'impalcato. Con riferimento alle sezioni di sbalzo, ai fini di impedire il ribaltamento della predalle verso l'esterno, è necessario effettuare prima il getto dei campi interni. La predalla presenta larghezza standard di 2.40m, traliccio elettrosaldato "standard" di altezza 16.5cm, correnti inferiori $\varnothing 8$, corrente superiore $\varnothing 12$ e diagonali $\varnothing 7.2$.

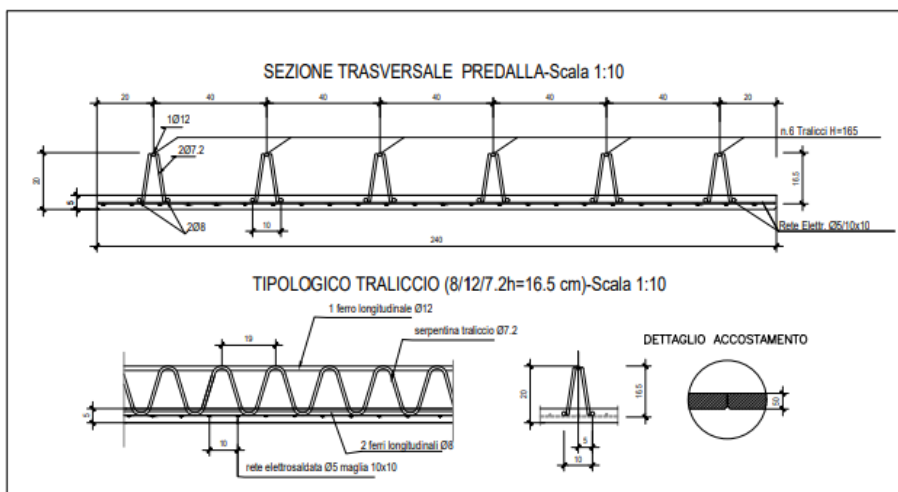


Figura 14.2 Tipologico predalla

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO KM 12+751 - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

VERIFICA PREDALLES CAMPATA					CARATTERISTICHE TRALICCIO					
					f_{yk}	450	N/mm ²			
					E	2100000	kg/cm ²			
DATI					γ_{M0}	1.15				
Luce della campata	L	=	1.40	m	γ_{M1}	1.15				
Spessore soletta cls	Ss	=	0.25	m	ϕ	12	N°	A [cm ²]	I [cm ⁴]	
Spessore fondello cls	Sf	=	0.05	m	ϕ_s	12	1	1.13	0.102	
Interasse trasversale tralicci	i	=	0.40	m	ds	7.2	2	0.81	0.0132	
Altezza totale traliccio (esterno - esterno)	h_t	=	0.175	m	ϕ_i	8	2	1.01		
Altezza efficace dei correnti (asse - asse)	h_{eff}	=	0.161	m	$\phi_{i,agg}$			0.00		
Lunghezza tra due tralicci successivi	l	=	20.00	cm						
Interasse trasversale dei correnti inferiori	it_d	=	10.00	cm						
Larghezza predalles	B_{pred}	=	2.40	m						
n°tralicci per predalle	n°t	=	6							
SOLLECITAZIONI AGENTI										
Coefficiente combinazione SLU	γ	=	1.35							
			tot dalla	1 tral.						
Carico uniformemente distribuito	q	=	24.30	4.05	kN/m					
Sovraccarico in fase di getto	q	=	3.24	0.54	kN/m					
Carico uniformemente distribuito totale	q	=	27.54	4.59	kN/m					
Momento flettente	M	=	6.75	1.12	kNm					
Taglio	V	=	17.0	2.84	kN					
Sforzo normale (di traz/compr nei correnti) M/h _{eff}	N	=±		6.98	kN					
CORRENTE INFERIORE										
Area del corrente inferiore	A_{inf}	=	1.01	cm ²						
Tensione nella singola barra (trazione)	σ_s	=	-69.5	N/mm ²						
Resistenza di calcolo a trazione $N_{t,Rd}$	$N_{t,Rd}$	=	39.3	kN						
$N/N_{t,Rd} < 1$	$N/N_{t,Rd}$	=	0.18	OK						
CORRENTE SUPERIORE										
Area del corrente superiore	A_{sup}	=	1.13	cm ²						
Tensione nella barra (compressione)	σ_s	=	61.8	N/mm ²						
Resistenza di calcolo a compressione $N_{c,Rd}$	$N_{c,Rd}$	=	44.26	kN						
$N/N_{c,Rd} < 1$	$N/N_{c,Rd}$	=	0.158	OK						
STABILITA' CORR. SUP.										
Coefficiente di vincolo β_v	β_v	=	0.9							
Lunghezza tra due tralicci successivi	l	=	20.00	cm						
Lunghezza libera d'inflessione $l_0 = l \cdot \beta$	l_0	=	18.00	cm						
N critico euleriano	N_{cr}	=	65.11	kN						
Snellezza adimensionale	λ_{ad}	=	0.88							
Fattore di imperfezione	α_i	=	0.49							
coefficiente ϕ	ϕ	=	1.06							
Coefficiente χ	χ	=	0.610							
Coefficiente gamma M1	γ_{M1}	=	1.15							
RESISTENZA INSTABILITA' ASTA COMPRESSA $N_{b,Rd}$	$N_{b,Rd}$	=	26.98	kN						
$N/N_{b,Rd} < 1$	$N/N_{b,Rd}$	=	0.259	OK						
DIAGONALI										
Area dei diagonali	A_{inf}	=	0.81	cm ²						
Angolo asta del diagonale sulla vista trasversale	α	=	17.3	deg						
Angolo asta del diagonale sulla vista longitudinale	β	=	31.8	deg						
Sforzo normale nel singolo diagonale (Compressione)	N	=	1.75	kN						
Tensione nella singola barra (compressione)	σ_s	=	42.9	N/mm ²						
Resistenza di calcolo a compressione $N_{c,Rd}$	$N_{c,Rd}$	=	15.93	kN	1 dia.					
$N/N_{c,Rd} < 1$	$N/N_{c,Rd}$	=	0.110	OK						
STABILITA'										
Coefficiente di vincolo β_v	β_v	=	1							
Lunghezza del diagonale	l	=	19.60	cm						
Lunghezza libera d'inflessione $l_0 = l \cdot \beta$	l_0	=	19.60	cm						
N critico euleriano	N_{cr}	=	7.12	kN						
Snellezza adimensionale	λ_{ad}	=	1.60							
Fattore di imperfezione	α_i	=	0.49							
coefficiente ϕ	ϕ	=	2.13							
Coefficiente χ	χ	=	0.283							
Coefficiente gamma M1	γ_{M1}	=	1.15							
RESISTENZA INSTABILITA' ASTA COMPRESSA $N_{b,Rd}$	$N_{b,Rd}$	=	4.51	kN						
$N/N_{b,Rd} < 1$	$N/N_{b,Rd}$	=	0.388	OK						

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO KM 12+751 - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

VERIFICA PREDALLES SBALZO				CARATTERISTICHE TRALICCIO			
DATI				f_{yk}	450	N/mm ²	
Luce dello sbalzo	L	=	0.70	E	2100000	kg/cm ²	
Spessore soletta ds	Ss	=	0.20	γ_{M0}	1.15		
Spessore fondello ds	Sf	=	0.05	γ_{M1}	1.15		
Interasse trasversale tralicci	i	=	0.40	ϕ	N°	A [cm ²]	I [cm ⁴]
Altezza totale traliccio (esterno - esterno)	h _t	=	0.175	ϕ_s	12	1	1.13
Altezza efficace dei correnti (asse - asse)	h _{eff}	=	0.161	ds	7.2	2	0.81
Lunghezza tra due tralicci successivi	l	=	20.00	ϕ_l	8	2	1.01
Interasse trasversale dei correnti inferiori	it _{ci}	=	10.00				0.040
Larghezza predalles	B _{pred}	=	2.40				
n° tralicci per predalle	n°t	=	6				
SOLLECITAZIONI AGENTI							
Coefficiente combinazione SLU	γ	=	1.35				
			tot dalla	1 tral.			
Carico uniformemente distribuito	q	=	20.25	3.38	kN/m		
Sovraccarico in fase di getto	q	=	3.24	0.54	kN/m		
Carico uniformemente distribuito totale	q	=	23.49	3.92	kN/m		
MOMENTO FLETTENTE	M	=	5.76	0.96	kNm		
TAGLIO	V	=	14.2	2.36	kN		
SFORZO NORMALE (di traz/compr nei correnti) M/h _{eff}	N	=		5.96	kN		
CORRENTE INFERIORE COMPRESSO							
AREA DEL CORRENTE INFERIORE	A _{inf}	=	1.01	cm ²			
Coefficiente di vincolo β_v	β_v	=	0.9				
Lunghezza tra due tralicci successivi	l	=	20.00	cm			
Lunghezza libera d'inflessione l ₀ =l* β	l ₀	=	18	cm			
RAGGIO D'INERZIA	i	=	0.20	cm			
SNELLEZZA	λ	=	90.00				
Resistenza di calcolo a compressione N _{c,Rd}	N _{c,Rd}	=	39.34	kN			
N/N _{c,Rd} <1	N/N _{c,Rd}	=	0.151	OK			
STABILITA'							
N critico euleriano	N _{cr}	=	25.72	kN			
Snellezza adimensionale	λ_{ad}	=	1.33				
Fattore di imperfezione	α_i	=	0.49				
coefficiente ϕ	ϕ	=	1.66				
Coefficiente χ	χ	=	0.378				
Coefficiente gamma M1	γ_{M1}	=	1.15				
RESISTENZA INSTABILITA' ASTA COMPRESSA N _{b,Rd}	N _{b,Rd}	=	14.87	kN			
N/N _{b,Rd} <1	N/N _{b,Rd}	=	0.40	OK			
CORRENTE SUPERIORE TESO							
AREA DEL CORRENTE SUPERIORE	A _{sup}	=	1.13	cm ²			
Tensione nella barra (trazione)	σ	=	52.68	N/mm ²			
Resistenza di calcolo a trazione N _{t,Rd}	N _{t,Rd}	=	44.26	kN			
N/N _{t,Rd} <1	N/N _{t,Rd}	=	0.13	OK			
DIAGONALI							
AREA DEI DIAGONALI	A _{inf}	=	0.81	cm ²			
ANGOLO ASTA DEL DIAGONALE SULLA VISTA TRASVERSALE	α	=	17.3	deg			
ANGOLO ASTA DEL DIAGONALE SULLA VISTA LONGITUDINALE	β	=	31.8	deg			
SFORZO NORMALE NEL SINGOLO DIAGONALE (Compressione)	N	=	1.46	kN			
Tensione nella singola barra (compressione)	σ_s	=	35.8	N/mm ²			
Resistenza di calcolo a compressione N _{c,Rd}	N _{c,Rd}	=	15.93	kN			
N/N _{c,Rd} <1	N/N _{c,Rd}	=	0.091	OK			
STABILITA'							
Coefficiente di vincolo β_v	β_v	=	1				
Lunghezza del diagonale	l	=	19.60	cm			
Lunghezza libera d'inflessione l ₀ =l* β	l ₀	=	19.60	cm			
N critico euleriano	N _{cr}	=	7.12	kN			
Snellezza adimensionale	λ_{ad}	=	1.60				
Fattore di imperfezione	α_i	=	0.49				
coefficiente ϕ	ϕ	=	2.13				
Coefficiente χ	χ	=	0.283				
Coefficiente gamma M1	γ_{M1}	=	1.15				
RESISTENZA INSTABILITA' ASTA COMPRESSA N _{b,Rd}	N _{b,Rd}	=	4.51	kN			
N/N _{b,Rd} <1	N/N _{b,Rd}	=	0.323	OK			

14.2 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 app – app per la determinazione del massimo momento flettente in mezzzeria, e schema di trave inc – inc per la determinazione del massimo momento flettente.

14.2.1 Verifica campi interni 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				
Geometria				
Luce di calcolo		$L_c =$	1.52	m
Spessore soletta		$S_{p_{sol}} =$	0.25	m
Copriferro		$c =$	0.035	m
Spessore pavimentazione		$S_{p_{pav}} =$	0.11	m
Pesi unitari				
Peso cls soletta		$q_{cls} =$	25.0	kN/mc
Peso pavimentazione		$q_{pav} =$	24.0	kN/mc
Schema di carico 2 NTC 2018				
Carico impronta concentr.		$q_1 =$	200.00	kN
Dim. trasv. impronta		$l_{tr,i} =$	0.60	m
Dim. long. impronta		$l_{ln,i} =$	0.35	m
Diffusione impronta a metà soletta				
Dff. trasv. impronta		$L_{tr,i} =$	1.07	m
Diff. long. impronta		$L_{ln,i} =$	1.58	m
Area impronta su soletta		$A_i =$	1.69	m ²
Pressione impronta su soletta				
		$Pr_{sol} =$	118.30	kN/m ²

Sollecitazioni SLU					
	Schema trave appoggiata			8	
Sezione in mezzzeria	M ⁺	γ	M ⁺ _{Ed}		
	[kNm/m]		[kNm/m]		
Peso soletta	1.81	1.35	2.44		
Pavimentazione	0.76	1.50	1.14		
Ruota di carico	31.17	1.35	42.08		
Tot. Slu			45.66		
	Schema a trave incastrata				
Sezione all'incastro	M ⁻	V	γ	M ⁻ _{Ed}	V _{Ed}
	[kNm/m]	[kN/m]		[kNm/m]	[kN/m]
Peso soletta	-1.20	4.75	1.35	-1.62	6.41
Pavimentazione	-0.51	2.01	1.50	-0.76	3.01
Ruota di carico	-30.74	105.82	1.35	-41.49	142.86
Tot. Slu				-43.88	152.28

Sollecitazioni SLE							
		Combin. Rara		Comb. Frequente		Comb. Q.P.	
Sezione in mezzzeria	M ⁺	γ	M ⁺ _{Ed}	γ	M ⁺ _{Ed}	γ	M ⁺ _{Ed}
	[kNm/m]		[kNm/m]		[kNm/m]		[kNm/m]
Peso soletta	1.81	1.00	1.81	1.00	1.81	1.00	1.81
Pavimentazione	0.76	1.00	0.76	1.00	0.76	1.00	0.76
Ruota di carico	31.17	1.00	31.17	0.75	23.38	0.00	0.00
Tot. Sle			33.74		25.95		2.57
		Combin. Rara		Comb. Frequente		Comb. Q.P.	
Sezione all'incastro	M ⁻	γ	M ⁻ _{Ed}	γ	M ⁻ _{Ed}	γ	M ⁻ _{Ed}
	[kNm/m]		[kNm/m]		[kNm/m]		[kNm/m]
Peso soletta	-1.20	1.00	-1.20	1.00	-1.20	1.00	-1.20
Pavimentazione	-0.51	1.00	-0.51	1.00	-0.51	1.00	-0.51
Ruota di carico	-30.74	1.00	-30.74	0.75	-23.05	0.00	0.00
Tot. Sle			-32.45		-24.76		-1.71

Si riporta di seguito la determinazione del momento resistente della sezione di mezzzeria, in corrispondenza del massimo e minimo spessore di cls.

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO KM 12+751 - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

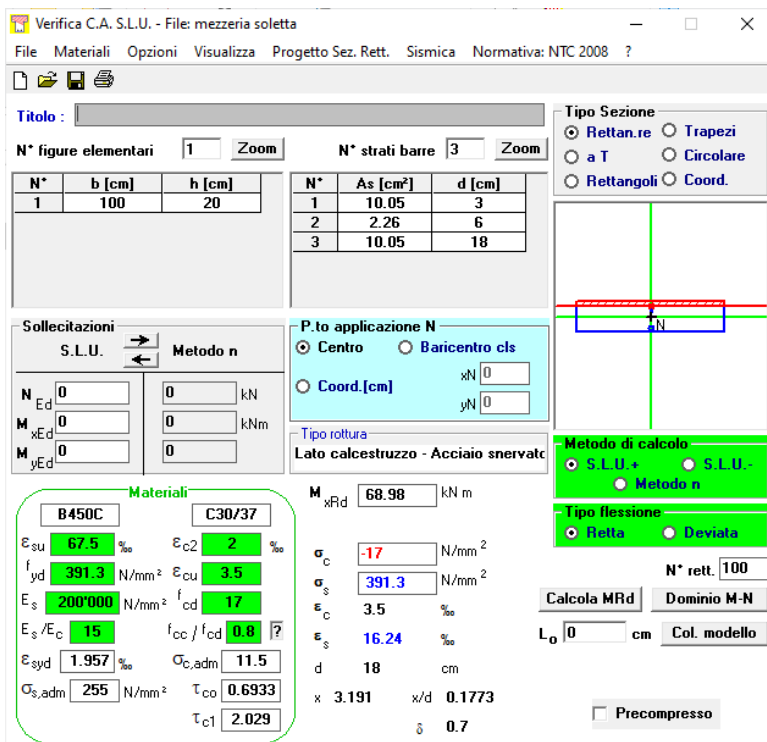


Figura 14.3 Momento resistente (M+) soletta

Il momento flettente agente M_{sd} è minore del momento resistente M_{rd} della soletta ignorando il contributo della predelle in termini altezza resistente. → 45.66kNm < 68.96 kNm → Verifica soddisfatta.

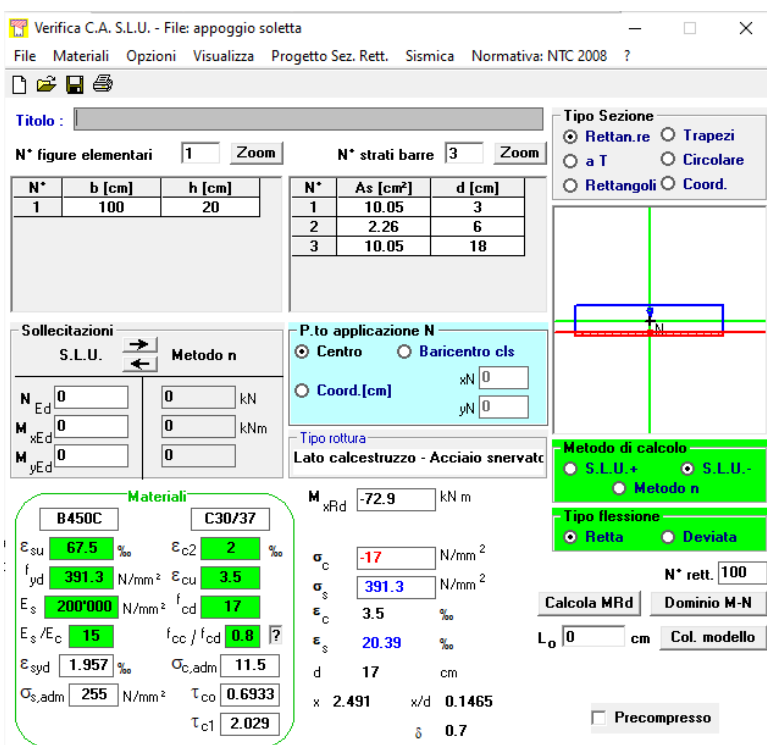


Figura 14.4 Momento resistente (M-) soletta

Il momento flettente agente M_{sd} è minore del momento resistente $M_{rd} \rightarrow 43.88 \text{ kNm} < 72.9 \text{ kNm} \rightarrow$ Verifica soddisfatta.

Per la determinazione della resistenza a taglio si fa riferimento alle formulazioni delle NTC 2008 con riferimento ad "elementi armati a taglio" considerando il contributo delle diagonali del traliccio della predalle considerando un'altezza ridotta della sezione. Le diagonali sono $\varnothing 7.2$ passo 20cm, in numero di 5 bracci totali per metro di larghezza.

SEZIONE					
b_w	=	100	cm		
h	=	20	cm		
c	=	3	cm		
d	=	$h-c$	=	17	cm
MATERIALI					
f_{ywd}	=	391.30	MPa		
R_{ck}	=	40.00	MPa		
γ_c	=	1.5			
f_{ck}	=	$0.83 \times R_{ck}$	=	33.20	MPa
f_{cd}	=	$0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$	=	18.81	MPa
ARMATURE A TAGLIO					
\varnothing_{st}	=	7.2			
bracci	=	2.5			
\varnothing_{st2}	=	7.2			
bracci	=	2.5			
passo	=	20	cm		
(A_{sw} / s)	=	10.179	cm^2 / m		
α	=	70	°		(90° staffe verticali)
ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO					
Armatura trasversale		$\cot(\theta) = 2.50$	$(\theta) = 21.80$		
$V_{Rsd} =$	164.00 (KN)	$0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{ywd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$			
$V_{Rcd} =$	568.54 (KN)	$0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$			
$V_{Rd} =$	164.00 (KN)	$\min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$			

Il taglio agente V_{sd} è minore del taglio resistente V_{rd} della soletta $\rightarrow 152 \text{ kN} < 164 \text{ kN} \rightarrow$ Verifica soddisfatta.

14.2.2 Verifica sbalzo

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.

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO KM 12+751 - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

VERIFICA SOLETTA SBALZI TRASVERSALI									
				x	H				
Geometria				[m]	[m]				
Soletta all'estremità				0	0.250				
Soletta incastro sbalzo				0.950	0.250				
Carichi Permanenti							Sollec. Caratt. su Sez. di Verifica		
Elemento	γ [kN/mc]	Lungh.tv [m]	H _{med.} [m]	P _{uni} [kN/m]	X _G dal bordo [m]	d _{sez.ver} [m]	V [KN]	M [KN m]	N [KN]
Soletta	25.0	0.950	0.250	5.94	0.475	0.475	0.00	0.00	0
Cordolo	25.0	0.750	0.16	3.00	0.375	0.575	3.00	-1.73	0
Paviment.	24.0	0.200	0.11	0.53	0.850	0.100	0.53	-0.05	0
Barriera+Re	-	-	-	2.00	0.300	0.650	2.00	-1.30	0
Parapetto	-	-	-	0.00	0.100	0.850	0.00	0.00	0
Veletta	-	-	-	1.00	-0.040	0.990	1.00	-0.99	0
Collettore	-	-	-	0.00	2.100	-1.150	0.00	0.00	0

Schema di carico 1 NTC 2018			
Carico singola impronta		q =	150.00 kN
Dim. trasv. impronta		l _{tr,i} =	0.40 m
Dim. long. Impronta		l _{n,i} =	0.40 m
Diffusione verticale impronta a metà soletta (45°)			
Diff. trasv. impronta		l _{tr,i} =	0.870 m
Diff. long. impronta Sez. corrente		l _{n,i,corr.} =	2.070 m
Diff. long. impronta Sez. di giunto		l _{n,i,giunto} =	1.835 m
Schema di carico 2 NTC 2018			
Carico singola impronta		q =	200.00 kN
Dim. trasv. impronta		l _{tr,i} =	0.60 m
Dim. long. Impronta		l _{n,i} =	0.35 m
Diffusione verticale impronta a metà soletta (45°)			
Diff. trasv. impronta		l _{tr,i} =	1.070 m
Diff. long. Impronta Sez. corrente		l _{n,i,corr.} =	0.820 m
Diff. long. Impronta Sez. di giunto		l _{n,i,giunto} =	0.585 m

Carichi Accidentali - Sezione Corrente							Sollec. Caratt. su Sez. di Verifica		
		Ang. diff. [°]	dist. Inc. [m]	diff.TV [m]	Rapp. [-]	Forza [KN]	V [KN]	M [KN m]	N [KN]
Q ₁	Sch1_Impr.Ext.	45.00	0.218	2.505	0.50	300.00	59.88	-13.02	0
Q ₁	Sch1_Impr.Int.	45.00	-1.783	0.723	0.00	300.00	0.00	0.00	0
q ₁	Sch1_Distr.						1.80	-0.18	0
Q ₁	Sch2_Impr.Ext.	45.00	0.218	1.255	0.41	200.0	64.79	-14.09	0
Q ₁	Sch2_Impr.Int.	45.00	-1.783	-0.428	0.00	200.0	0.00	0.00	0
Q ₁	Folla		-0.225				0.00	0.00	0
A _d	Urto	45.00	0.650	5.050		300.0	0	-73.37	-59.41

		V [KN]	M [KNm]	N [KN]
COMB. SLU	Sch1	92.08	-23.32	0.00
	Sch2	96.28	-24.51	0.00
	Ad	71.96	-91.67	-59.41

		M [KNm]	N [KN]
COMB. SLE	Rara-Sch1	-17.27	0.00
	Freq.-Sch1	-13.91	0.00
	Rara-Sch2	-18.16	0.00
	Freq.-Sch2	-14.64	0.00
	Q.P.	-4.07	0.00

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

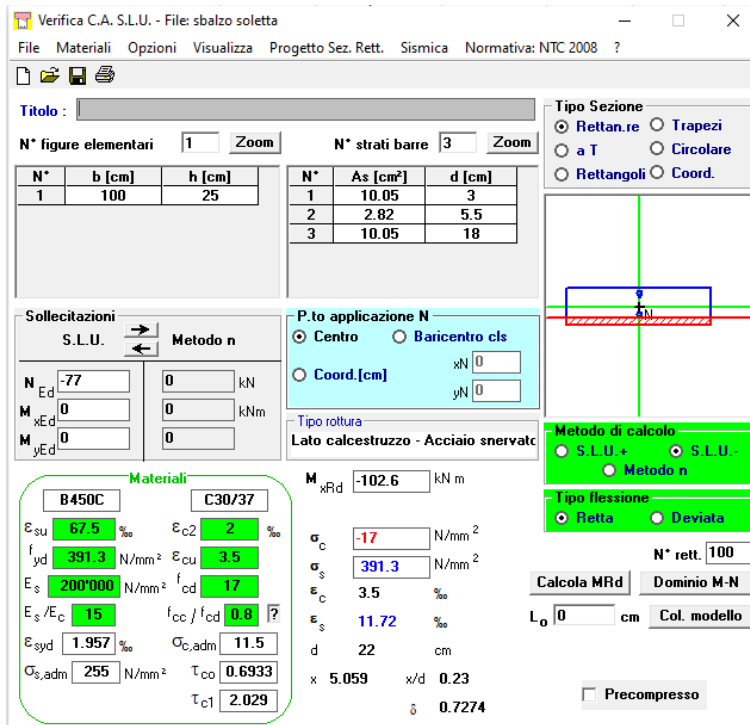


Figura 14.5 Momento resistente (M-) sbalzo soletta

Il momento flettente agente M_{sd} è minore del momento resistente M_{rd} → $91.67\text{kNm} < 102.6\text{kNm}$ → Verifica soddisfatta.

Il taglio agente V_{sd} è minore del taglio resistente V_{rd} della soletta → $96.28\text{kN} < 160\text{kN}$ → Verifica soddisfatta. Per la resistenza a taglio si fa riferimento a quanto precedentemente determinato per il campo intermedio.

14.2.3 Verifica cordolo per urto veicolo in svio

La verifica è svolta secondo quanto riportato nei quaderni tecnici anas e prevede l'azione di urto su 4 montanti ad interasse di 1.25m ($50+100+100+50 = 300\text{kN}$)

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

Si prende come riferimento la singola forza massima sul montante più caricato (100kN).

L'urto è modellato come una forza di intensità $F=100$ kN applicata alla barriera ad un'altezza $h = 1$ m dalla sommità del cordolo. Per la determinazione delle sollecitazioni agenti all'altezza h va sommata l'altezza del cordolo pari a 18cm (si considera il cordolo di maggiore altezza). Risulta pertanto un'altezza complessiva pari a 1.18m.

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

- $F = 100$ kN
- $M = F \cdot h = 118$ kNm

Cautelativamente, si assume che il momento flettente sia assorbito mediante un meccanismo puntone-tirante a cui concorrono le staffe (tirante) del cordolo ed il calcestruzzo (puntone).

Con riferimento ad una porzione di cordolo larga 60cm, si verifica che il momento ribaltante esterno sia minore del momento resistente calcolato con riferimento al suddetto meccanismo.

Si considerano solo 3 barre $\phi 16$ (solo 3 bracci delle staffe ricadenti nei 60cm considerati) e risulta:

$$T \cdot b = A_f \cdot \sigma_f \cdot b = 3 \cdot 2.01 \cdot 391.3 \cdot 0.65 = 153 \text{ kNm} > F \cdot h = 118 \text{ kNm} \rightarrow \text{Verifica soddisfatta}$$

Si effettua la verifica a taglio (all'interfaccia getto soletta – getto cordolo) considerando i (restanti) bracci delle staffe che risultano non impegnate dalla flessione e trascurando il contributo del cls.

Cautelativamente si trascura la resistenza a taglio del cls all'interfaccia getto cordolo – soletta.

Sempre con riferimento ad una porzione di cordolo larga 60cm si ha: $(3+3+3\phi 16)$

$$V_{Rsd} = (A_f \cdot f_{yd}) / \text{rad}q(3) = 9 \times 2.01 \times 391.3 / 1.73 = 409 \text{ kN} > F=100 \text{ kN} \rightarrow \text{Verifica soddisfatta.}$$

15 VERIFICA SISTEMA DI ISOLAMENTO PER AZIONI SISMICHE

Si riportano di seguito le verifiche del sistema di isolamento e dei giunti per effetto delle azioni sismiche.

Per la verifica del sistema di isolamento si fa riferimento alla combinazione delle azioni allo SLC, mentre per la verifica dei giunti si fa riferimento alla combinazione SLV

15.1 ISOLATORI ELASTOMERICI

Si riportano di seguito le rigidezze degli isolatori impiegati nel modello di calcolo. Gli isolatori elastomerici devono avere uno smorzamento viscoso equivalente pari al 15% ed una rigidezza orizzontale allo SLC pari a 1.48 kN/mm. E' previsto l'impiego degli isolatori elastomerici per tutte le travi.

15.1.1 Azioni sugli isolatori elastomerici

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva dei massimi carichi assiali sugli isolatori elastomerici per effetto delle combinazioni sismiche SLC e SLU

	N_{max} (SLC) [kN]	N_{max} (SLU) [kN]	N_{min} (SLU) [kN]
	900	2500	1150

15.1.2 Verifica massimi spostamenti allo SLC

Si riporta di seguito tabella riassuntiva dei massimi spostamenti in combinazione SLC agenti sui dispositivi elastomerici dell'attraversamento idraulico

Isolatori elastomerici	
L [m]	33
Δt [°C]	28
d [mm]	6
Spostamento longitudinale max da ritiro [mm]	
Spostamento massimo sismico allo SLV [mm] = [Ex]	190
Spostamento massimo sismico allo SLV [mm] = [Ey]	189
Spostamento massimo sismico allo SLC [mm] = [Ex]	279
Spostamento massimo sismico allo SLC [mm] = [Ey]	278
Spostamento massimo di verifica dell'isolatore [mm] = dEd (spostamento sismico SLC + 50% spostamento termico + eventuali spostamenti da ritiro, fluage, etc.)	<u>293</u>

Figura 15.1 Tabella spostamenti isolatori

Lo spostamento massimo in combinazione SLC da garantire, è posto pari a 295mm.

In corrispondenza delle spalle deve essere garantito un varco di almeno 30cm.

15.2 GIUNTI DI DILATAZIONE IN GOMMA ARMATA

Si riporta di seguito in forma tabellare la determinazione dei massimi spostamenti longitudinali e trasversali per i giunti di impalcato.

Giunti		
	SP1	SP2
d Δt [mm]	6	6
Inclinazione giunto rispetto asse x globale [°]	90	90
Spostamento massimo sismico allo SLV [mm] = [Ex] (lettura X globale)	189	189
Spostamento massimo sismico allo SLV [mm] = [Ex] (lettura y globale)	0.00	0.00
Spostamento massimo sismico giunto allo SLV [mm] = [Ex + 50% spostamento termico] (Longitudinale locale sul giunto)	192	192
Spostamento massimo sismico allo SLV [mm] = [Ey] (lettura Y globale)	189	189
Spostamento massimo sismico allo SLV [mm] = [Ey] (lettura X globale)	0	0
Spostamento massimo sismico giunto allo SLV [mm] = [Ey] (trasversale locale sul giunto)	189	189

Figura 15.2 Determinazione massimi spostamenti giunti in gomma armata

Si impiegheranno pertanto giunti in gomma armata con prestazioni almeno di:
Spalla1 e spalla 2: Longitudinale 380mm (±190) – Trasversale 380mm (±190)

16 AZIONI DALL'IMPALCATO ALLE SPALLE

Si riportano nella tabella di seguito le azioni (caratteristiche) trasmesse dall'impalcato alle spalle. Queste ultime sono sollecitate in modo identico, pertanto la tabella è da ritenersi valida per entrambe le spalle. Le azioni sono intese al baricentro degli appoggi e la direzione longitudinale è da intendersi l

OutputCase	StepType	F1 = Taglio long.	F2 = taglio trasv.	F3 = carico vert.	M1 = momento trasv.	M2 = momento long.
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
G1+G2		0	0	3503	0	0
SLV_Ex+0.3Ey	Max	1119	335	0	0	0
SLV_Ex+0.3Ey	Min	-1119	-335	0	0	0
SLV_0.3Ex+Ey	Max	336	1118	0	0	0
SLV_0.3Ex+Ey	Min	-336	-1118	0	0	0
OutputCase	StepType	F1 = Taglio long.	F2 = taglio trasv.	F3 = carico vert.	M1 = momento trasv.	M2 = momento long.
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
Tan	Max	0	0	1306	3221	0
Tan	Min	0	0	-15	-2206	0
dist	Max	0	0	807	1649	0
dist	Min	0	0	0	-1578	0

16.1 VERIFICA DEI BAGGIOLI

Seppur poco sollecitati si riportano di seguito le verifiche dei baggioli di spalla.

La verifica è condotta con riferimento al baggiolo più alto (circa 50cm) soggetto all'azione tagliante allo SLC.

La verifica è svolta con riferimento alle formulazioni per elementi tozzi. Le dimensioni considerate sono 1x1m in pianta con altezza 50cm.

Il baggiolo è armato con barre $\varnothing 16/15$ cm in entrambe le direzioni e staffe $\varnothing 16/10$ cm orizzontali.

Dall'analisi sismica risulta agente un taglio massimo allo SLC di 415kN.

Si riporta la verifica in forma tabellare.

La verifica è soddisfatta.

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO KM 12+751 - RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

Materiali					
cls	classe				
		$f_{cd} =$	18.81	MPa	
acciaio		$f_{yd} =$	391.30	MPa	
Geometria					
altezza	H =	1.00	m		
copriferro	c =	0.05	m		
alt. utile	d =	0.95	m		
dist. parete	a =	0.50	m		
l. mens.	l =	0.69	m		
Largh.	b =	1.00	m		
tan ψ	tan $\psi =$	1.377			
	$\lambda =$	0.726			
Armatura					
Presenza di staffe?	y/n		y		
	c =	1.5			
			Primo strato		Secondo strato
numero ferri		6.0			0
diametro		16	mm		30 mm
area		12.06	cmq		0.00 cmq
Area Tot.		12.06	cmq		
Carichi applicati					
Carico verticale	$P_{Ed} =$	415.0	kN		
Carico Orizzontale	$H_{Ed} =$	0.0	kN		
Carico Armatura	$R_{S_{Ed}} =$	301	kN		
Carico Biella cls	$R_{C_{Ed}} =$	513	kN		
Resistenza Ultima dell'acciaio					
		$P_{rs} =$	650	kN	$P_{rs} / P_{Ed} =$ 1.57
Resistenza Ultima della biella di cls					
		$P_{rc} =$	7019	kN	$P_{rc} / R_{cEd} =$ 13.68

Figura 16.1 Verifica baggioli