

**S.S. 398 "Via Val di Cornia"**  
Bretella di collegamento tra l'Autostrada Tirrenica A12  
e il Porto di Piombino  
LOTTO 1 - Svincolo di Geodetica-Gagno

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. **FI2**

**PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA**

**IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:**  
Dott. Ing. Nando Granieri  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

**IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:**  
**MANDATARIA:**

 **Sintagma**

 **GEOTECHNICAL DESIGN GROUP**

 **ICARIA**  
società di ingegneria

Dott.Ing. N.Granieri  
Dott.Arch. N.Kamenicky  
Dott.Ing. V.Truffini  
Dott.Arch. A.Bracchini  
Dott.Ing. F.Durastanti  
Dott.Geol. G.Cerquiglini  
Geom. S.Scopetta  
Dott.Ing. L.Sbrenna  
Dott.Ing. E.Sellari  
Dott.Ing. E.Bartolucci  
Dott.Ing. L.Dinelli  
Dott.Ing. L.Nani  
Dott.Ing. F.Pambianco  
Dott. Agr. F.Berti Nulli

Dott. Ing. D.Carlaccini  
Dott. Ing. S.Sacconi  
Dott. Ing. G.Cordua  
Dott. Ing. V.De Gori  
Dott. Ing. C.Consorti  
Dott. Ing. F.Dominici

Dott. Ing. V.Rotisciani  
Dott. Ing. F.Macchioni  
Geom. C.Vischini  
Dott. Ing. V.Piunno  
Dott. Ing. G.Pulli  
Geom. C.Sugaroni

**IL PROGETTISTA:**

Dott. Ing. Luca Nani  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A2445

**IL GEOLOGO:**

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini  
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

**IL R.U.P.**

Dott. Ing. Antonio Scalamandrè

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

Dott. Ing. Filippo Pambianco  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

PROTOCOLLO

DATA

MARZO 2019



**OPERE D'ARTE MAGGIORI**  
**VIADOTTO CORNIA 1 (ferrovia)**  
Relazione tecnica e di calcolo impalcato

CODICE PROGETTO

NOME FILE

T00-VI01-STR-RE02

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

**DPFI12 E 1801**

CODICE ELAB.

**T00VI01STRRE02**

**A**

-

**A**

Emissione

*E.Ricci*

*E.Bartolucci*

*N.Granieri*

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	8
3	METODI DI CALCOLO E CRITERI DI VERIFICA.....	9
3.1	VERIFICHE DI RESISTENZA AGLI STATI LIMITE ULTIMI.....	9
3.1.1	Stato limite di resistenza.....	9
3.2	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO .....	9
3.2.1	Fessurazione.....	9
3.2.2	Tensioni di esercizio.....	12
4	MATERIALI.....	13
5	ANALISI DEI CARICHI.....	15
5.1	PESO PROPRIO DELL'IMPALCATO .....	15
5.2	SOVRACCARICO PERMANENTE.....	15
5.3	CEDIMENTI DIFFERENZIALI .....	16
5.4	VARIAZIONI TERMICHE.....	16
5.5	CARICHI MOBILI.....	17
5.6	URTO DEL VEICOLO IN SVIO.....	19
5.7	PRECOMPRESSIONE .....	20
5.8	EFFETTO DELLA VISCOSITÀ E DEL RITIRO.....	21
5.9	ALTRE AZIONI.....	21
6	COMBINAZIONI DELLE AZIONI .....	22
7	CALCOLO DEGLI EFFETTI GLOBALI.....	25

7.1	DESCRIZIONE DELLE FASI COSTRUTTIVE DI CALCOLO.....	28
7.2	SOLLECITAZIONI E TENSIONI IN FASE COSTRUTTIVA (T=0 E T=∞) – VERIFICHE SLE-QP.....	29
7.3	SOLLECITAZIONI E TENSIONI IN ESERCIZIO – VERIFICHE SLE-K.....	41
7.4	VERIFICHE SLU PER FLESSIONE.....	41
7.5	VERIFICHE SLU PER TAGLIO-TORSIONE.....	55
8	CALCOLO DEGLI EFFETTI LOCALI.....	58
8.1	ANALISI.....	58
8.2	SEZIONE S1.....	62
8.3	SEZIONE S2.....	64
8.4	SEZIONE S3.....	67
8.5	SEZIONE S4.....	70
8.6	SEZIONE S5.....	72

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Profilo longitudinale .....	4
Figura 2 – Sezione trasversale impalcato .....	5
Figura 3 – Fasi costruttive e adozione carro di varo.....	6
Figura 4 – Schema appoggi.....	7
Figura 5 – Descrizione del modello di carico 1 – da NTC2018.....	18
Figura 6 – Disposizione trasversale dei carichi mobili .....	19
Figura 7 – Schema di carico per azioni di urto del veicolo in svio .....	19
Figura 8 - Layout cavi .....	20
Figura 9 - Tabella cavi .....	21
Figura 10 – Diagramma momenti flettenti su schemi statici 37+5x46+37m e 37+2x46+37m .....	25
Figura 11 – Modello agli elementi finiti per fasi costruttive .....	26
Figura 12 – Modello agli elementi finiti per azioni di esercizio .....	27
Figura 13 – Sezioni caratteristiche per verifica effetti locali.....	58
Figura 14 – Modello di calcolo effetti locali.....	58
Figura 15 – Diagrammi delle sollecitazioni N, V, M da peso proprio.....	59
Figura 16 – Diagrammi delle sollecitazioni N, V, M da permanenti portati.....	59
Figura 17 – Diagrammi delle sollecitazioni N, V, M da variazione termica differenziale.....	60
Figura 18 – Diagrammi delle sollecitazioni N, V, M da carichi mobili.....	60
Figura 19 – Diagrammi delle sollecitazioni N, V, M da urto di veicolo in svio .....	61

## 1 PREMESSA

Nel presente fascicolo si espongono i calcoli di dimensionamento degli impalcato del Viadotto Cornia 1, rientrante nell'ambito del Lotto 1 della S.S. 398 "Via Val di Cornia", Bretella di collegamento tra l'Autostrada Tirrenica A12 ed il porto di Piombino.

Per quanto riguarda il calcolo delle sottostrutture e il calcolo geotecnico dei pali si rimanda alle specifiche relazioni allegate al presente progetto.

Il viadotto presenta due carreggiate distinte e separate, ciascuna delle quali costituita da due impalcato continui di luce rispettivamente  $37+5 \times 46+37$ m e  $37+2 \times 46+37$ m, per un totale di 471.8m, intesa come distanza tra gli assi appoggi delle due spalle.

Le spalle sono di tipo a mensola, le pile con sezione piena e le fondazioni di tipo indiretto su pali di grande diametro  $\varnothing 1200$ .

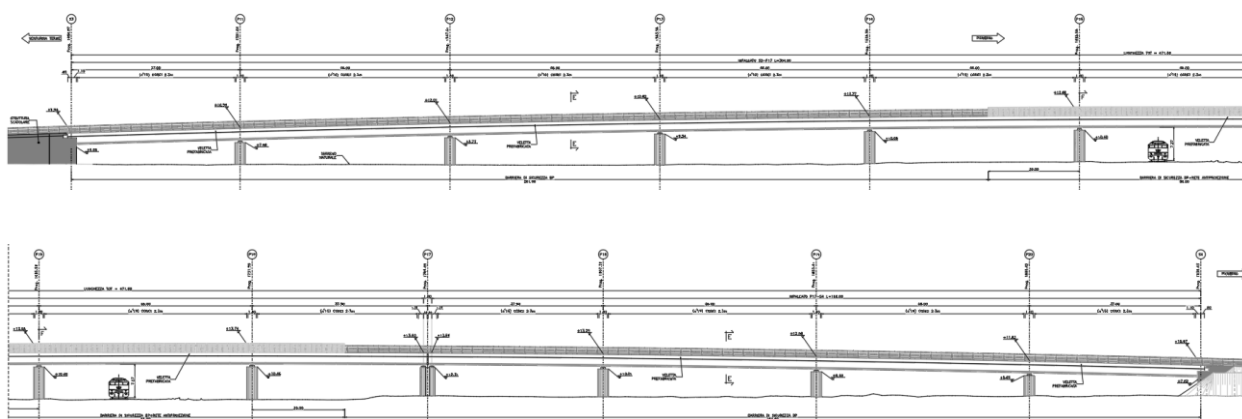


Figura 1 – Profilo longitudinale

L'impalcato è realizzato con conci prefabbricati di larghezza pari a 11.25m, altezza 2.40m e lunghezza pari a 2.30m, 1.90m per i conci di estremità e 1.80m per i conci intermedi in corrispondenza degli appoggi. Completano l'impalcato 2 conci di sutura per ciascuna campata da realizzare in opera dello spessore di 0.25 m.

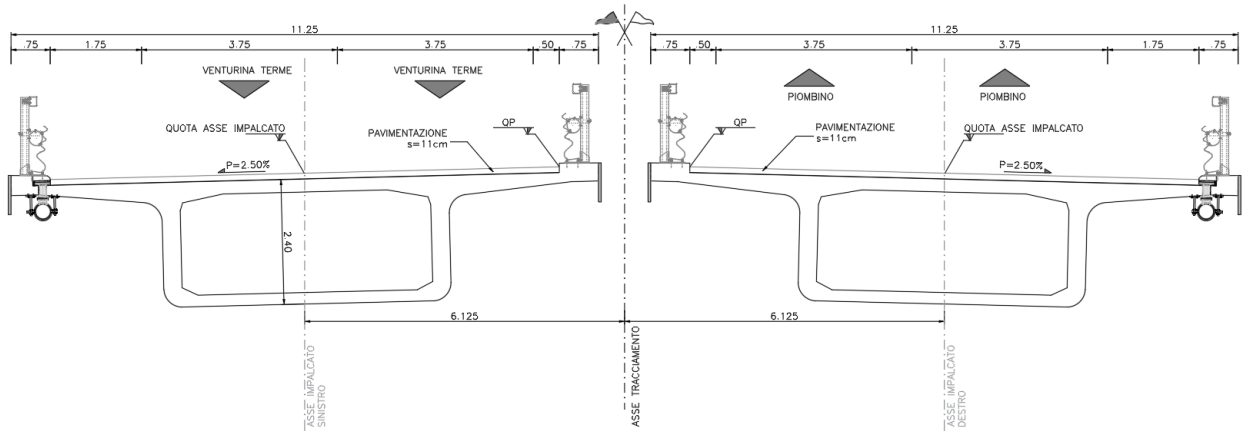


Figura 2 – Sezione trasversale impalcato

La metodologia di esecuzione consiste nel sistema span by span e prevede l'adozione di un carro di varo. La precompressione dei conci è di tipo esterna: la geometria di cavi, deviatori e ancoraggi è stata studiata al fine di consentire in modo agevole la sostituzione degli stessi durante la vita utile dell'opera. I cavi sono costituiti da trefoli da 0.6" in numero pari a 22 o 27 trefoli.

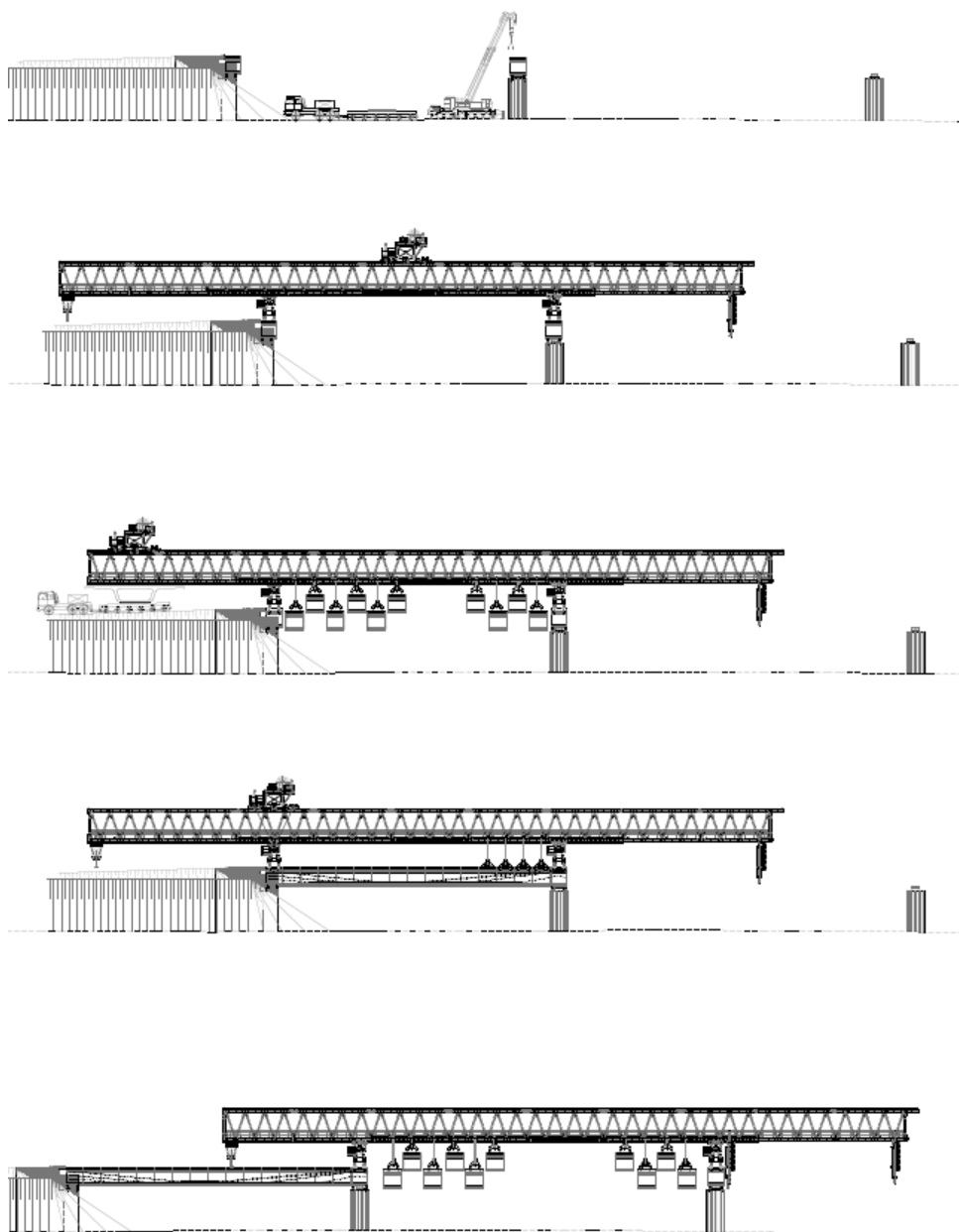


Figura 3 – Fasi costruttive e adozione carro di varo

Il sistema di vincolo tra impalcato e sottostrutture prevede l'adozione di isolatori sismici elastomerici ad alto smorzamento (smorzamento equivalente pari a  $\xi=10\%$ ) per garantire il totale isolamento tra i due sottosistemi; si rimanda al capitolo sulla protezione sismica per ulteriori indicazioni.

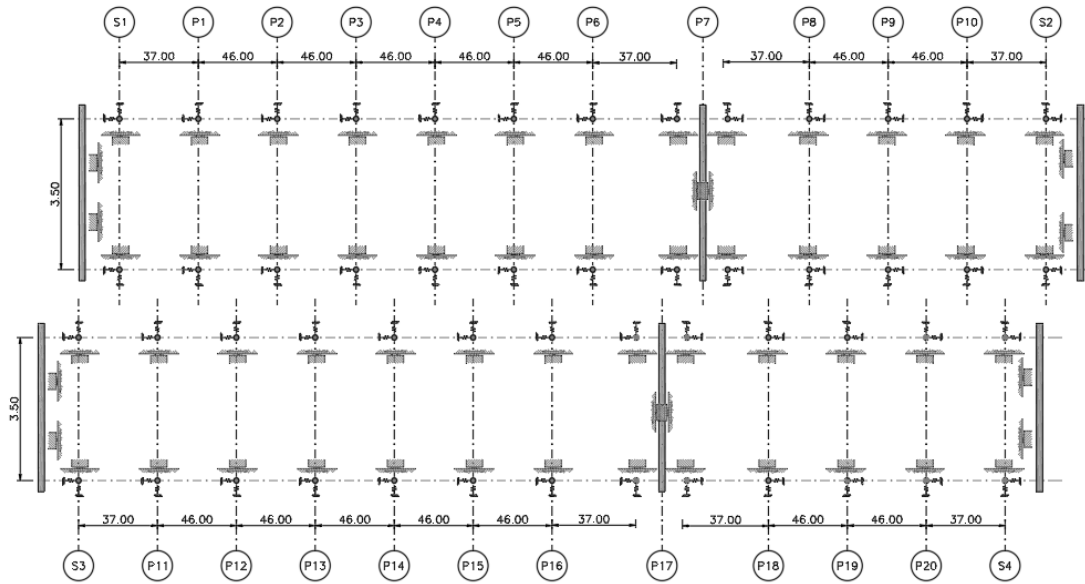


Figura 4 – Schema appoggi

La vita nominale di progetto  $V_N$ , intesa come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali, è assunta pari a 50 anni.

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, si assume per l'opera in progetto una classe d'uso IV.



## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il progetto del manufatto è stato redatto nel rispetto delle vigenti Normative; si citano in particolare le seguenti:

- [N1] D.M. del 17 gennaio 2018: Norme tecniche per le costruzioni;
- [N2] Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni";
- [N3] EC 1-1-5: Azioni sulle strutture; Azioni in generale – Azioni termiche
- [N4] EC 2-1-1: Progettazione delle strutture di calcestruzzo; Regole generali e regole per gli edifici;
- [N5] EC 2-2: Progettazione delle strutture di calcestruzzo; Ponti di calcestruzzo – Progettazione e dettagli costruttivi;
- [N6] EC 8-1: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica; Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici;
- [N7] EC 8-2: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica; Ponti.

### 3 METODI DI CALCOLO E CRITERI DI VERIFICA

I calcoli strutturali sono redatti in osservanza delle normative vigenti, con particolare riferimento al DECRETO MINISTERIALE del 17 gennaio 2018 "NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI", nel seguito brevemente NTC2018.

Il calcolo delle sollecitazioni è condotto in campo elastico lineare, utilizzando la teoria della Scienza delle Costruzioni.

Le verifiche sono eseguite con il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite. Si effettuano le seguenti verifiche:

- Stato Limite Ultimo (SLU) - verifiche di resistenza;
- Stato Limite di Esercizio (SLE) - verifiche dello stato tensionale dei diversi elementi strutturali in combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni;
- Stato Limite di Esercizio (SLE) - verifiche di fessurazione in combinazioni frequente e quasi permanente delle azioni;

Laddove non diversamente specificato, le unità di misura adottate per azioni e sollecitazioni sono i kN per le forze e i kN m per i momenti; l'unità di misura per le tensioni è il MPa ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ); inoltre si assumono positivi gli sforzi/tensioni normali di trazione e i momenti che tendono le fibre inferiori.

#### 3.1 VERIFICHE DI RESISTENZA AGLI STATI LIMITE ULTIMI

##### 3.1.1 Stato limite di resistenza

La sicurezza strutturale nei confronti degli stati limite ultimi è verificata confrontando la capacità di progetto in termini di resistenza  $R_d$ , funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali che la compongono, con il corrispondente valore di progetto della domanda  $E_d$ , funzione dei valori di progetto delle azioni.

Le verifiche di resistenza a pressoflessione sono svolte secondo quanto indicato al paragrafo 4.1.2.3.4.2 di [N1].

Le verifiche di resistenza a taglio seguono il paragrafo 4.1.2.3.5 di [N1].

#### 3.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

##### 3.2.1 Fessurazione

Definizione degli stati limite di fessurazione

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

- stato limite di decompressione nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0;
- stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

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

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

- $w_1 = 0,2$  mm
- $w_2 = 0,3$  mm
- $w_3 = 0,4$  mm

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

#### Condizioni ambientali

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

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

Nel caso in esame si considera l'opera in condizioni ambientali aggressive.

#### Scelta degli stati limite di fessurazione

Nella tabella sottostante sono indicate le prestazioni richieste per le diverse combinazioni delle azioni a seconda delle condizioni ambientali e della tipologia di armatura.

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

Stato limite di apertura delle fessure

Il valore caratteristico di calcolo di apertura delle fessure ( $w_d$ ) non deve superare i valori nominali  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ , secondo quanto riportato nella Tabella sopra riportata.

Il valore caratteristico di calcolo è dato da:

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

dove  $w_m$  rappresenta l'ampiezza media delle fessure.

L'ampiezza media delle fessure  $w_m$  è calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura  $\varepsilon_{sm}$  per la distanza media tra le fessure  $\Delta_{sm}$ :

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

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

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

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

Pertanto, per le armature delle sottostrutture delle opere oggetto di verifica, si assumono i seguenti limiti di apertura delle fessure:

SLE-QP  $w_d \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$

SLE-F  $w_d \leq w_2 = 0.3 \text{ mm}$ .

Cautelativamente si garantisce lo stato limite di decompressione in corrispondenza della combinazione frequente delle azioni

### 3.2.2 Tensioni di esercizio

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

La massima tensione di compressione del calcestruzzo  $\sigma_{c,max}$ , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\begin{aligned}\sigma_{c,max} &< 0,60 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica} \\ \sigma_{c,max} &< 0,45 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente.}\end{aligned}$$

La tensione massima,  $\sigma_{s,max}$ , per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica delle azioni deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_{s,max} < 0,8 f_{yk}$$

Per gli acciai da precompressione le tensioni iniziali devono rispettare le seguenti limitazioni:

$$\sigma_{spi} < 0,85 f_{p(0.1)k} \quad \sigma_{spi} < 0,75 f_{ptk}$$

Ammettendo una sovratensione non superiore a  $0,05 f_{p(0.1)k}$ .

## 4 MATERIALI

È previsto l'impiego dei materiali di seguito descritti. Per maggiori informazioni si rinvia all'elaborato specifico.

### ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

Tipo	B450C
<i>Caratteristiche dell'acciaio</i>	
$f_{yk}$ = tensione caratteristica di snervamento	450 [MPa]
<i>Resistenze di calcolo</i>	
$f_{yd}$ = resistenza di progetto	391 [MPa]
$\gamma_s$ = coefficiente parziale sicurezza dell'acciaio	1.15
$E_s$ = modulo elastico	210000 [MPa]

### ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO PRECOMPRESSO - TREFOLI

Trefoli stabilizzati da 0.6" Classe 2 - Trefolo stabilizzato	1670/1860
<i>Caratteristiche dell'acciaio</i>	
$f_{ptk}$ = tensione caratteristica di rottura	1860 [MPa]
$f_{p(1)k}$ = tensione caratteristica all'1% di deformazione totale	1670 [MPa]
<i>Resistenze di calcolo</i>	
$f_{pyd}$ = resistenza di progetto	1452 [MPa]
$\gamma_s$ = coefficiente parziale sicurezza dell'acciaio	1.15
$E_s$ = modulo elastico	195000 [MPa]

*Sistemi di precompressione a cavi post tesi secondo Linee Guida di benessere Tecnico Europeo ETAG 013*

### ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO PRECOMPRESSO - BARRE TIPO DYWIDAG

<i>Caratteristiche dell'acciaio</i>	
$f_{ptk}$ = tensione caratteristica di rottura	1030 [MPa]
$f_{p(1)k}$ = tensione caratteristica all'1% di deformazione totale	835 [MPa]
<i>Resistenze di calcolo</i>	
$f_{pyd}$ = resistenza di progetto	726 [MPa]
$\gamma_s$ = coefficiente parziale sicurezza dell'acciaio	1.15
$E_s$ = modulo elastico	200000 [MPa]

### CALCESTRUZZO PER CONCI PREFABBRICATI

Classe di resistenza	C40/50
<i>Caratteristiche del calcestruzzo</i>	
$R_{ck}$ = resistenza caratteristica cubica	50 [MPa]
$f_{ck}$ = resistenza caratteristica cilindrica	42 [MPa]
$f_{cm}$ = resistenza cilindrica media	49.5 [MPa]
$f_{ctm}$ = resistenza media a trazione semplice	3.6 [MPa]
$f'_{ctm}$ = resistenza media a trazione per flessione	4.3 [MPa]
$f_{ctk}$ = resistenza caratteristica a trazione	2.5 [MPa]
$f_{bk}$ = resistenza tangenziale caratteristica di aderenza	5.7 [MPa]
$f^*_{bk}$ = resistenza tangenziale caratteristica di aderenza in zona tesa	3.8 [MPa]
$E_{cm}$ = modulo elastico istantaneo	35547 [MPa]
$\alpha$ = coefficiente di dilatazione termica	1.0E-05 [°C <sup>-1</sup> ]
<i>Resistenze di calcolo</i>	
$f_{cd}$ = resistenza di calcolo a compressione	23.5 [MPa]
$\alpha_{CC}$ = coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	0.85
$\gamma_C$ = coefficiente parziale sicurezza del calcestruzzo	1.50
$f_{ctd}$ = resistenza di calcolo a trazione	1.7 [MPa]
$\gamma_C$ = coefficiente parziale sicurezza del calcestruzzo	1.50
$f_{bd}$ = resistenza tangenziale di aderenza di calcolo	3.8 [MPa]
$f^*_{bd}$ = resistenza tangenziale di aderenza di calcolo in zona tesa	2.5 [MPa]
$\gamma_C$ = coefficiente parziale sicurezza del calcestruzzo	1.50

## 5 ANALISI DEI CARICHI

Si riporta nel seguito una descrizione dei carichi considerati per il dimensionamento delle strutture in oggetto.

### 5.1 PESO PROPRIO DELL'IMPALCATO

Concio di campata

$$q_{trave} = \gamma_{cls} \cdot Acc = 25 \cdot 5.71 = 142.8 \text{ kN/m}$$

$\gamma_{cls}$  = peso del calcestruzzo per unità di volume

A = area della sezione corrente dell'impalcato

Concio in appoggio

$$q_{trave} = \gamma_{cls} \cdot Aca = 25 \cdot 13.88 = 347.0 \text{ kN/m}$$

$\gamma_{cls}$  = peso del calcestruzzo per unità di volume

Aca = area della sezione di appoggio dell'impalcato

Deviatori

$$P_{dev} = \gamma_{cls} \cdot V_{dev} = 25 \cdot 2.202 \cdot 0.80 = 44.0 \text{ kN/m}$$

$\gamma_{cls}$  = peso del calcestruzzo per unità di volume

$V_{dev}$  = volume del singolo deviatore (cautelativamente inclusivo del volume dei fori)

Nella mezzeria delle campate intermedie si hanno dei deviatori di lunghezza pari a 0.40m, cui corrisponde un peso pari alla metà di quello su valutato =  $P_{dev}/2$ .

### 5.2 SOVRACCARICO PERMANENTE

Il sovraccarico permanente è costituito dal peso del getto dei cordoli, dalla pavimentazione, dalle barriere di sicurezza e dai servizi.

	n	L/A	s	$\gamma$	$\gamma$	
	[ ]	[m/m <sup>2</sup> ]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m]	[kN/m]
Pavimentazione		9.75	0.11	24		25.08
Cordoli	2	0.75	0.19	25		7.13



Barriere	2				1.5	3
Rete antiproiezione	2				1	2
Servizi	2				1	2
Velette	2	0.75	0.06	25		2.25
<b>Pesi Propri Non Strutturali</b>					<b>G<sub>2</sub></b>	<b>42.12</b>

### 5.3 Cedimenti differenziali

Nella valutazione delle sollecitazioni, si applicano in corrispondenza dei vincoli i cedimenti differenziali che nascono per effetto dei carichi permanenti portati, dei carichi mobili e delle variazioni termiche differenziali.

Si assume che i cedimenti siano di tipo istantaneo e che eventuali cedimenti che nascono per effetto dei pesi propri strutturali possano essere recuperati tramite regolazioni durante il varo dell'impalcato.

TABLE: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F3_min	F3_max	Npali	Nmax	Nmin	alpha	wmax	wmin
P1	G2+Q1+0.6Q7	Combination	Min F3	1622	4255	9	473	180	0.0213	10.1	3.8
P2	G2+Q1+0.6Q7	Combination	Min F3	1650	4286	9	476	183	0.0215	10.2	3.9
P3	G2+Q1+0.6Q7	Combination	Min F3	1622	4255	9	473	180	0.0213	10.1	3.8
P4	G2+Q1+0.6Q7	Combination	Min F3	376	1919	9	213	42	0.0212	4.5	0.9
S1	G2+Q1+0.6Q7	Combination	Min F3	376	1919	12	160	31	0.0199	3.2	0.6

*forze in kN, spostamenti in mm*

I cedimenti vengono applicati secondo una configurazione che ne massimizzi gli effetti. Si assume una estrapolazione lineare per valutarne l'entità in combinazione ultima delle azioni.

### 5.4 VARIAZIONI TERMICHE

Si assume una differenza di temperatura pari a  $10 \times 0.7 = 7^\circ\text{C}$  nel caso di estradosso più caldo dell'intradosso e  $5^\circ\text{C}$  nel caso di intradosso più caldo dell'estradosso, come da indicazioni dell'Eurocodice 1-1-5 [N3].

Tipo di impalcato	Parte superiore più calda della parte inferiore	Parte inferiore più calda della parte superiore
	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)
Tipo 1: Impalcato di acciaio	18	13
Tipo 2: Impalcato a struttura composta	15	18
Tipo 3: Impalcato di calcestruzzo: - trave scatolare di calcestruzzo	10	5
- trave di calcestruzzo	15	8
- piastra di calcestruzzo	15	8

Ponti stradali, pedonali e ferroviari						
Spessore della superficie	Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3	
	Parte superiore più calda della parte inferiore	Parte inferiore più calda della parte superiore	Parte superiore più calda della parte inferiore	Parte inferiore più calda della parte superiore	Parte superiore più calda della parte inferiore	Parte inferiore più calda della parte superiore
[mm]	$k_{sur}$	$k_{sur}$	$k_{sur}$	$k_{sur}$	$k_{sur}$	$k_{sur}$
Non rivestito	0,7	0,9	0,9	1,0	0,8	1,1
Impermeabilizzato <sup>1)</sup>	1,6	0,6	1,1	0,9	1,5	1,0
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,7	1,2	1,0	1,0	0,7	1,0
150	0,7	1,2	1,0	1,0	0,5	1,0
Massicciata (ballast) (750 mm)	0,6	1,4	0,8	1,2	0,6	1,0

Per il dimensionamento dei giunti, oltre agli spostamenti originati dal sisma e agli spostamenti dovuti ai fenomeni lenti, si considera una variazione termica uniforme di  $\pm 20^\circ\text{C}$  su tutte le strutture.

## 5.5 Carichi mobili

L'analisi dei carichi mobili viene effettuata in accordo alle indicazioni del decreto ministeriale del 14 gennaio 2018 [N1].

La sede stradale è composta da una piattaforma bitumata da 9.75m e da due cordoli non carrabili di 0.75m di larghezza ciascuno, per un totale di 11.25 m. La larghezza delle corsie convenzionali è pari a 3.00m, per un totale di tre corsie e una zona rimanente di larghezza pari a  $9.75 - 3 \times 3.00 = 0.75\text{m}$ , disposte in modo da indurre le più sfavorevoli condizioni di progetto.

Le azioni variabili da traffico, comprensive degli effetti dinamici, sono definite dallo schema di carico 1, descritto nel seguito:

- corsia n.1 costituita da un automezzo convenzionale  $Q_{1k}$  di 600 kN dotato di 2 assi di 2 ruote ciascuno, distanti 1.20 m in senso longitudinale e con interasse delle ruote in senso trasversale di 2.00 m e un carico ripartito  $q_{1k}$  di 9 kN/m<sup>2</sup>;
- corsia n.2, analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 400 kN (automezzo convenzionale  $Q_{2k}$ ) e 2.5 kN/m<sup>2</sup> (carico ripartito  $q_{2k}$ );
- corsia n.3, analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 200 kN (automezzo convenzionale  $Q_{3k}$ ) e 2.5 kN/m<sup>2</sup> (carico ripartito  $q_{3k}$ );
- zona rimanente, occupata da una colonna di carico  $q_{Rk} = 2.5$  kN/m<sup>2</sup> nella zona di carreggiata non impegnata dai carichi precedenti.

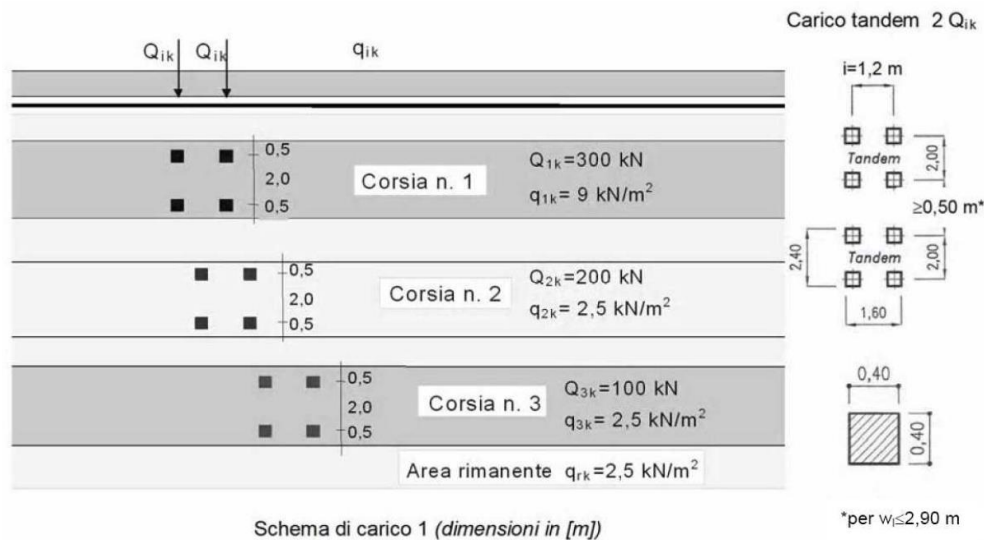


Figura 5 – Descrizione del modello di carico 1 – da NTC2018

Sono stati considerati i carichi mobili previsti dalla vigente normativa per ponti di prima categoria, disposti nella configurazione che massimizza le sollecitazioni sull'impalcato.

VI01 - RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO IMPALCATO

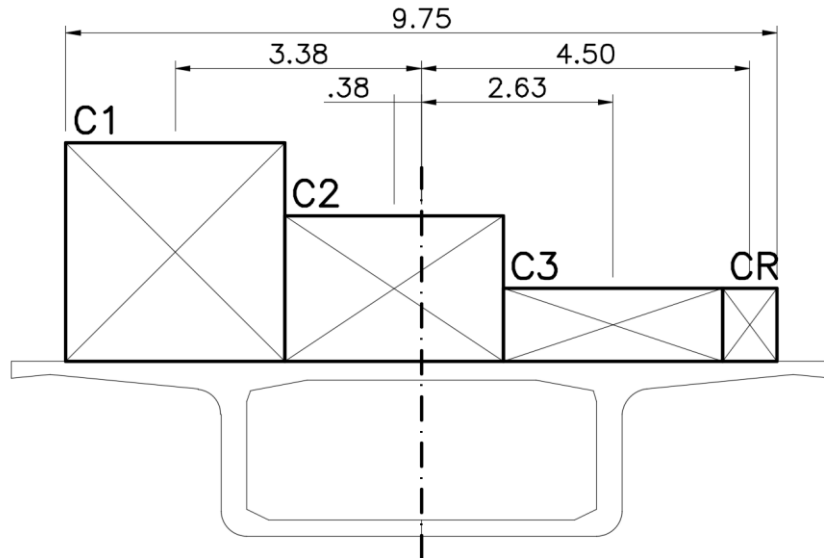


Figura 6 – Disposizione trasversale dei carichi mobili

### 5.6 URTO DEL VEICOLO IN SVIO

Si tiene conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione di 100 kN, in accordo al paragrafo 3.6.3.3.2 di [N1]. Essa è considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 1.0m sopra il livello del piano di marcia. Cautelativamente si adotta la distribuzione riportata nella seguente figura, dove le forze sono applicate su linee di lunghezza pari a 0.5m.

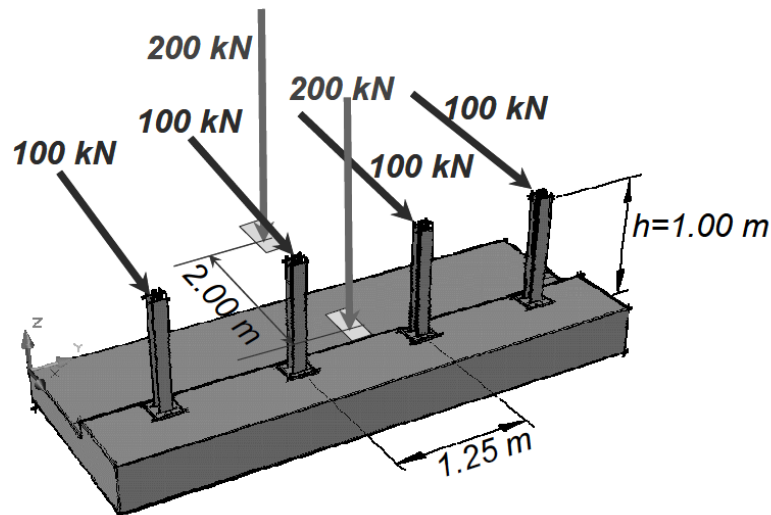


Figura 7 – Schema di carico per azioni di urto del veicolo in svio

Questa condizione di carico eccezionale non risulta significativa per il dimensionamento e la verifica dell'impalcato.

### 5.7 PRECOMPRESSIONE

Come successivamente descritto nel paragrafo del "Calcolo degli Effetti Globali", le forze di precompressione sono state applicate mediante l'ausilio degli elementi tipo "tendon".

I dati di calcolo dell'azione di precompressione sono i seguenti:

Precompressione post-tesa con cavi esterni da 22 o 27 trefoli 0.6" in acciaio armonico  $f_{ptk}/f_{p01k}=1860/1670$  con:

- $A_t = 140 \text{ mm}^2/\text{trefolo}$ ;
- Tensione di tesatura al martinetto 1400 MPa;
- $\mu = 0.24$ , coefficiente di attrito tra armatura e guaina;
- $w = 5 \text{ mm}$ , rientro dei cunei nullo;
- Rilassamento di classe 2 secondo CEB-FIB (basso rilassamento);
- $E=195000 \text{ MPa}$ ;

Seguo uno schema e una tabella riepilogativa dei diversi cavi adottati per l'impalcato.

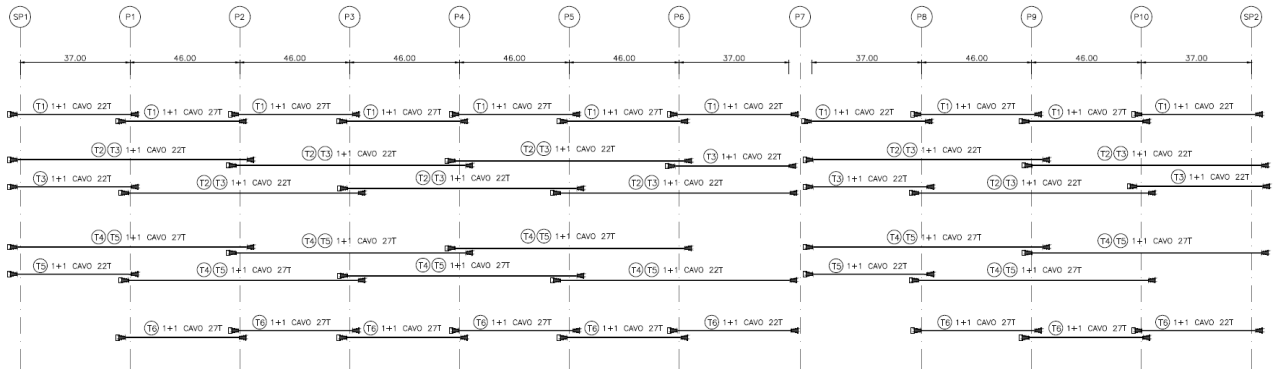


Figura 8 - Layout cavi

CAVO	CARATTERISTICHE [m]		NUMERO CAVI		
	n° Trefoli	Lunghezza	ASSE SX	ASSE DX	TOTALE
T1	22	40	8	8	16
T1	27	50	14	14	28
T2/T3	22	95	18	18	36
T3	22	40	8	8	16
T4/T5	27	95	18	18	36
T5	22	40	4	4	8
T6	22	40	4	4	8

Figura 9 - Tabella cavi

## 5.8 EFFETTO DELLA VISCOSITÀ E DEL RITIRO

Il calcolo degli effetti di ritiro e viscosità del calcestruzzo sono stati automaticamente calcolati dal programma in base ai seguenti parametri di calcolo:

- UR = 75%, umidità relativa
- $h_0 = 0.348$  m, dimensione fittizia dell'elemento
- $\beta_{sc} = 5$ , coefficiente di ritiro
- $t_s = 7$ gg, età calcestruzzo inizio ritiro

## 5.9 ALTRE AZIONI

Per il dimensionamento dell'impalcato trascurabili e quindi non saranno portati in conto, gli effetti delle azioni di Vento, Frenatura, Attrito ai vincoli, Centrifuga e azioni Sismiche, per le quali si rimanda alla relazione di calcolo delle sottostrutture.

## 6 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Nelle seguenti tabelle si riportano i fattori moltiplicativi dei valori caratteristici delle azioni nelle varie combinazioni allo stato limite di esercizio e allo stato limite ultimo. Tali fattori sono dati dal prodotto del coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma$  per il coefficiente di combinazione  $\psi$ .

### Azioni permanenti

- g1 = peso proprio delle strutture  
g2 = carichi permanenti portati

### Azioni variabili

- q1 = carichi mobili  
q3 = azione longitudinale di frenamento o di accelerazione  
q4 = azione centrifuga  
q5 = azione del vento  
q6 = azione sismica  
q7 = resistenze parassite dei vincoli  
q8 = urto di veicoli in svio

### Distorsioni

- $\epsilon$ 1 = precompressione  
 $\epsilon$ 2 = effetti reologici (ritiro, viscosità e rilassamento)  
 $\epsilon$ 3 = variazioni termiche  
 $\epsilon$ 4 = cedimenti vincolari

### STATO LIMITE ESERCIZIO

#### COMBINAZIONE CARATTERISTICA

	g1	g2	q1		q3	q4	q5	q6	q7	q8	$\epsilon$ 1	$\epsilon$ 2	$\epsilon$ 3	$\epsilon$ 4	
			TS	UDL	Folla										
K1	1	1	1	1	0.5	0	0	0.6	0	1	0	1	1	0.6	1
K2	1	1	0.75	0.4	0.5	0	0	1	0	1	0	1	1	0.6	1
K3	1	1	0.75	0.4	0.5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
K4	1	1	0.75	0.4	0.5	1	0	0.6	0	1	0	1	1	0.6	1
K5	1	1	0.75	0.4	0.5	0	1	0.6	0	1	0	1	1	0.6	1

COMBINAZIONE FREQUENTE

	g1	g2	TS	q1 UDL	Folla	q3	q4	q5	q6	q7	q8	ε1	ε2	ε3	ε4
F1	1	1	0.75	0.4	0.5	0	0	0	0	1	0	1	1	0.5	1
F2	1	1	0	0	0	0	0	0.2	0	1	0	1	1	0.5	1
F3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0.6	1

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

	g1	g2	TS	q1 UDL	Folla	q3	q4	q5	q6	q7	q8	ε1	ε2	ε3	ε4
QP1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0.5	1

STATO LIMITE ULTIMO

COMBINAZIONE FONDAMENTALE

	g1	g2	TS	q1 UDL	Folla	q3	q4	q5	q6	q7	q8	ε1	ε2	ε3	ε4
U1	1.35	1.35	1.35	1.35	0.68	0	0	0.9	0	1.5	0	1	1.2	0.7	1.2
U2	1.35	1.35	1.01	0.54	0.68	0	0	1.5	0	1.5	0	1	1.2	0.7	1.2
U3	1.35	1.35	1.01	0.54	0.68	0	0	0	0	0	0	1	1.2	1.2	1.2
U4	1.35	1.35	1.01	0.54	0.68	1.35	0	0.9	0	1.5	0	1	1.2	0.7	1.2
U5	1.35	1.35	1.01	0.54	0.68	0	1.35	0.9	0	1.5	0	1	1.2	0.7	1.2

COMBINAZIONE SISMICA

	g1	g2	TS	q1 UDL	Folla	q3	q4	q5	q6	q7	q8	ε1	ε2	ε3	ε4
S1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0.5	1



COMBINAZIONE ECCEZIONALE

	g1	g2	q1			q3	q4	q5	q6	q7	q8	ε1	ε2	ε3	ε4
			TS	UDL	Folla										
E1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0.5	1

Si osserva che, ai fini del dimensionamento delle strutture principali dell'impalcato, risultano maggiormente significative le combinazioni in cui si assumono i carichi mobili come azioni variabili dominanti.

L'urto da traffico veicolare è stato considerato in combinazione eccezionale delle azioni; alla forza orizzontale d'urto su sicurvia è stato associato il carico mobile, posizionato in adiacenza al sicurvia stesso e disposto nella posizione più gravosa.

## 7 CALCOLO DEGLI EFFETTI GLOBALI

L'analisi delle sollecitazioni globali della struttura durante la fase costruttiva nonché il calcolo degli effetti viscosi nel tempo per effetto dei carichi permanenti sono stati eseguiti mediante il programma di calcolo agli elementi finiti SAP 2000 NL della CSI.

Per semplicità di analisi, si studia l'impalcato avente luci pari a 37+2x46+37m. I risultati si ritengono validi anche per l'impalcato con maggior numero di campate (37+5x46+37m), essendo trascurabili le variazioni di sollecitazioni sulle campate intermedie aggiuntive.

Al fine di dimostrare tale assunzione, si riporta il diagramma delle sollecitazioni flettenti per un carico uniformemente distribuito di valore unitario sui due schemi statici.

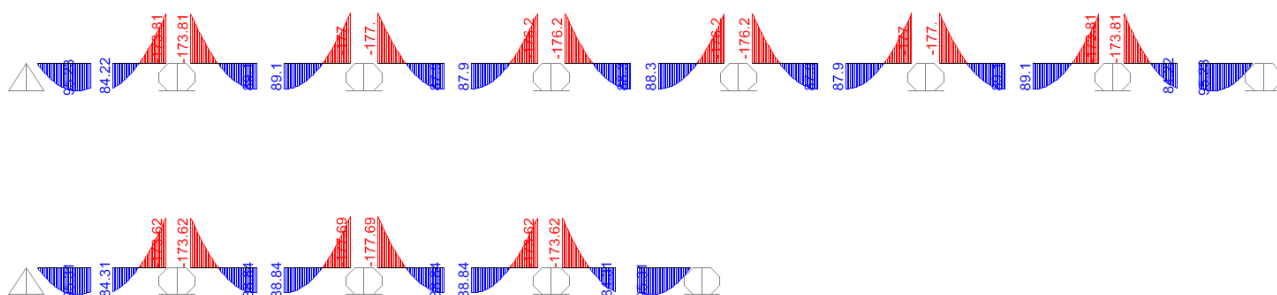


Figura 10 – Diagramma momenti flettenti su schemi statici 37+5x46+37m e 37+2x46+37m

Segue la valutazione delle differenze relative percentuali.

Schema	M1+	M12-	M2+	M23-	M3+	M34-
<b>37+2x46+37</b>	95.31	173.62	88.84	177.69	88.84	
<b>37+5x46+37</b>	95.23	173.81	89.1	177	87.9	176.2
<b>diff. rel. %</b>	-0.1%	0.1%	0.3%	-0.4%	-1.1%	-0.8%

Le sollecitazioni in fase costruttiva per conci sono state calcolate mediante il modulo "Incremental Construction Sequence Modeling and Loading"; il programma di calcolo consente di simulare l'effettiva faticistica di esecuzione della struttura, di modellare la precompressione esterna comprensiva delle cadute per attrito mediante gli elementi "Tendon" e di calcolare i fenomeni di evoluzione viscosa, di ritiro del calcestruzzo e di rilassamento dell'acciaio armonico.

Il modello di calcolo, nel suo complesso, contiene i seguenti elementi:

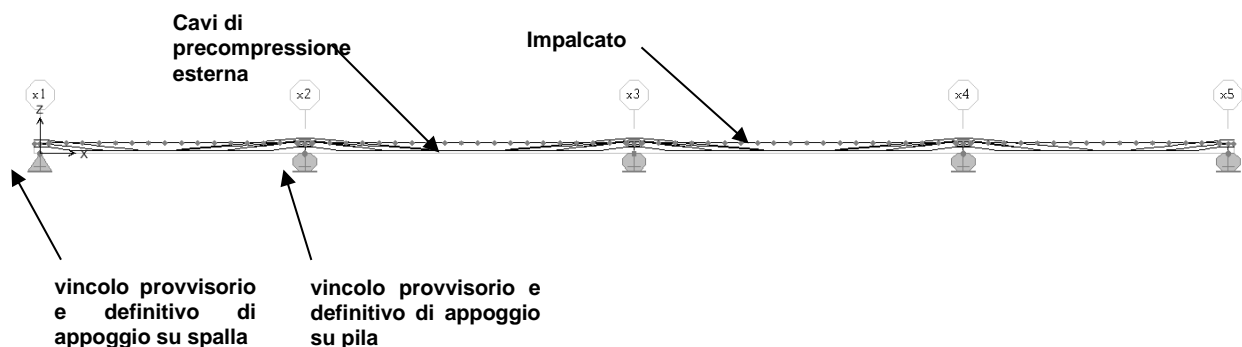


Figura 11 – Modello agli elementi finiti per fasi costruttive

Il modello comprende complessivamente:

- 96 elementi frame per la modellazione dell'impalcato, degli appoggi provvisori e definitivi;
- 13 elementi tendon;
- 105 nodi.

Le caratteristiche inerziali degli elementi frame adottati nel modello sono le seguenti:

TABLE: Frame Section Properties 01 - General										
SectionName	Material	Shape	t3	t2	Area	TorsConst	I33	I22	AS2	AS3
Text	Text	Text	m	m	m2	m4	m4	m4	m2	m2
CA	C40/50	General	2.4	11.25	13.8758	18.3	7.5648	59.6806	10.8	11.1
CC	C40/50	General	2.4	11.25	5.7128	8.82	4.6533	42.8766	1.68	4.02
R	R	Rectangular	0.5	0.3	0.15	0.002817371	0.003125	0.001125	0.125	0.125

Le sezioni tipo R rappresentano i bracci rigidi di collegamento tra l'asse baricentrico impalcato e la quota d'appoggio.

Le caratteristiche dei materiali adottate sono le seguenti:

TABLE: Material Properties 02 - Basic Mechanical Properties						
Material	UnitWeight	UnitMass	E1	G12	U12	A1
Text	KN/m3	KN-s2/m4	KN/m2	KN/m2	Unitless	1/C
Trefoli	77.0	7.85	195000000			0.000012
C40/50	25	2.549290481	35000000	14583333	0.2	0.00001
R	0	0	1E+12	3.84615E+11	0.3	0.00001

Le caratteristiche dei materiali dipendenti dal tempo (ritiro, viscosità e rilassamento) sono state precedentemente definite, Par. 4.

Il modello di calcolo, per il calcolo delle sollecitazioni in esercizio, è analogo a quello descritto precedentemente per l'analisi delle fasi costruttive nella condizione statica a trave continua di fine costruzione.

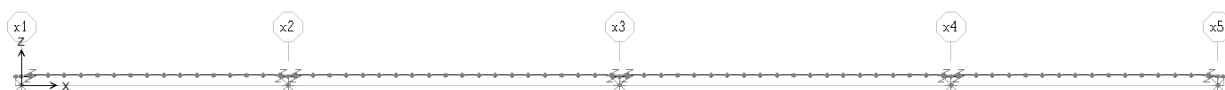


Figura 12 – Modello agli elementi finiti per azioni di esercizio

Il modulo di calcolo "bridge" del programma di calcolo Sap2000 NL utilizzato prevede automaticamente a scegliere lo schema di carico e a posizionare i carichi lungo il viadotto in modo da rendere massima o minima ciascuna delle 6 caratteristiche di sollecitazione (N, Tv, Th, Mt, Mh, Mv) e fornendo per ciascun massimo o minimo i valori congruenti delle 5 restanti.

## 7.1 DESCRIZIONE DELLE FASI COSTRUTTIVE DI CALCOLO

La denominazione degli steps di calcolo e la temporizzazione della fasistica di esecuzione ipotizzata è la seguente:

TABLE: Case - Static 5 - Nonlinear Stage Definitions				
Case	Stage	Duration	Output	Comment
Text	Unitless	Unitless	Yes/No	Text
C1_ST_1	1	3	No	Varo conci di testa campata 1
C1_ST_2noP	1	3	No	Sospensione conci campata 1
C1_ST_2	1	0	No	Esecuzione precompressione campata 1
C2_ST_1	1	3	No	Varo conci di testa campata 2
C2_ST_2noP	1	3	No	Sospensione conci campata 2
C2_ST_2	1	0	No	Esecuzione precompressione campata 2
C3_ST_1	1	3	No	Varo conci di testa campata 3
C3_ST_2noP	1	3	No	Sospensione conci campata 3
C3_ST_2	1	0	No	Esecuzione precompressione campata 3
C4_ST_1	1	3	No	Varo conci di testa campata 4
C4_ST_2noP	1	3	No	Sospensione conci campata 4
C4_ST_2	1	0	No	Esecuzione precompressione campata 4
VI_ST_1	1	30	No	Esecuzione finiture
VI_ST_2	1	18000	No	Effetti reologici a 50 anni

## 7.2 SOLLECITAZIONI E TENSIONI IN FASE COSTRUTTIVA ( $T=0$ E $T=\infty$ ) – VERIFICHE SLE-QP

Nel presente paragrafo si riportano le sollecitazioni e tensioni relative alla fase costruttiva ovvero, in base alla fasistica precedentemente definita, le macrofasi che vanno dalla C1\_ST\_1 alla C4\_ST\_2; si riportano inoltre le sollecitazioni e le tensioni per la condizione di carico permanente ad inizio esercizio (fase VI\_ST\_1) e a tempo infinito (fase VI\_ST\_2).

Per ciascuna fase indicata si riportano i diagrammi di sollecitazione (N, M, T) e le tensioni normali ( $\sigma_{sup}, \sigma_{inf}$ ).

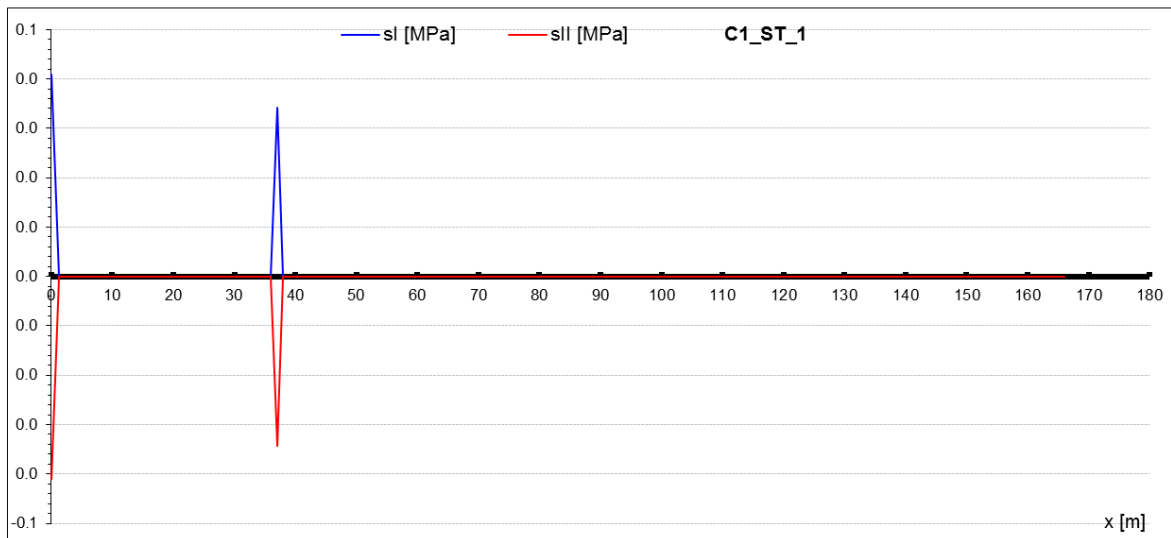
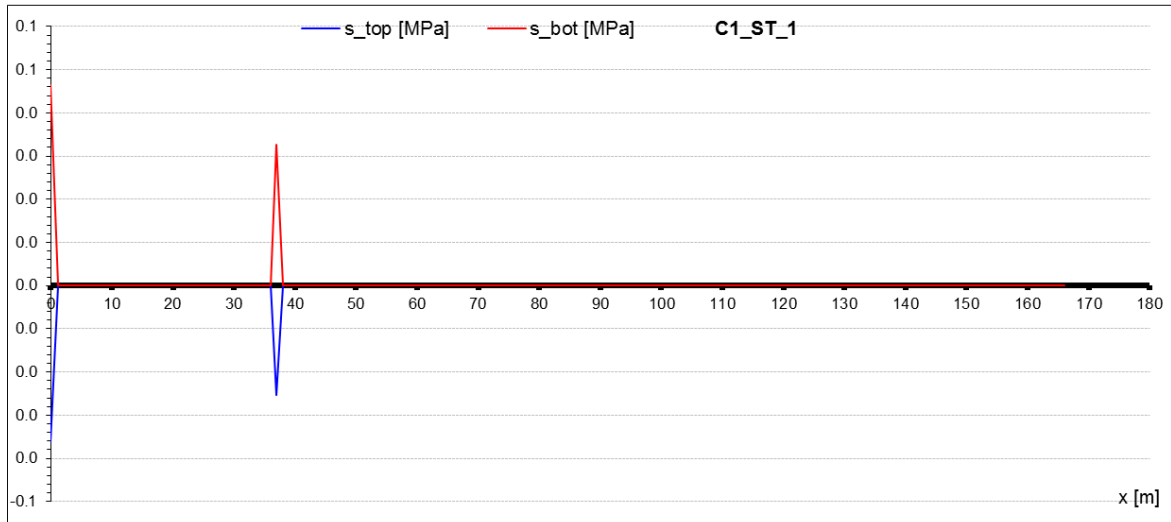
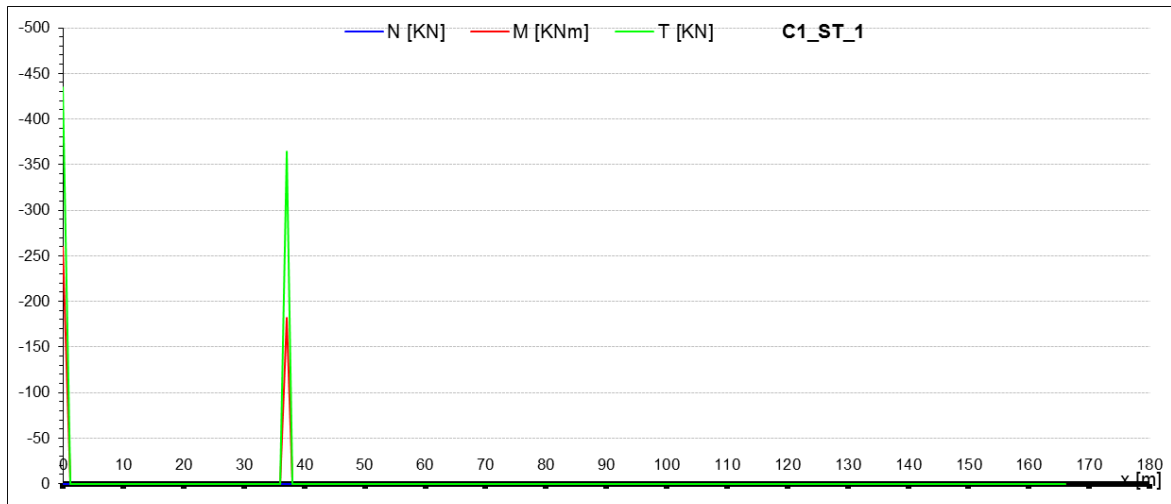
La convenzione adottata per i segni delle sollecitazioni e tensioni prevede che siano:

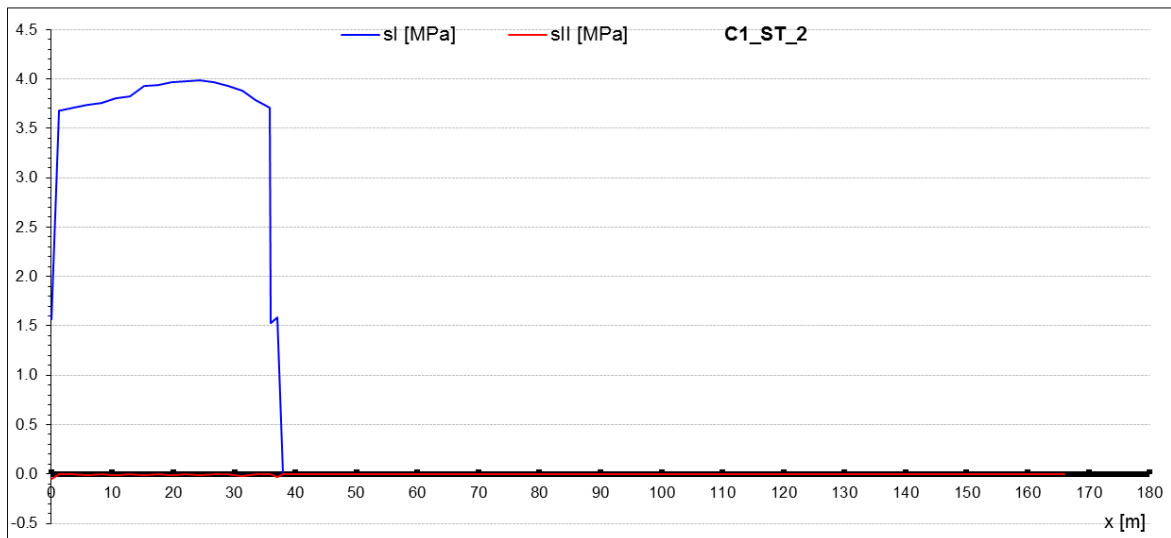
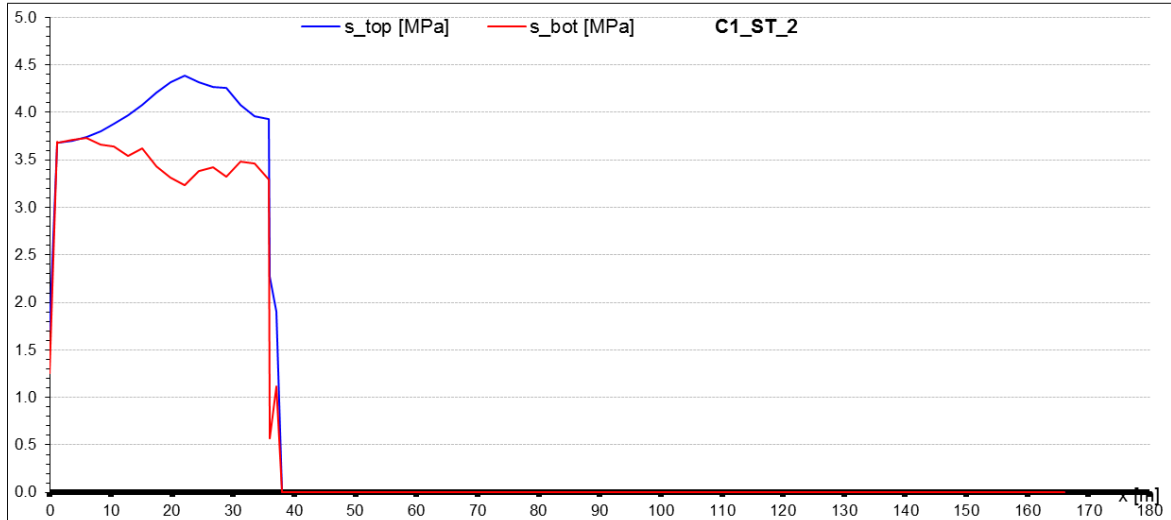
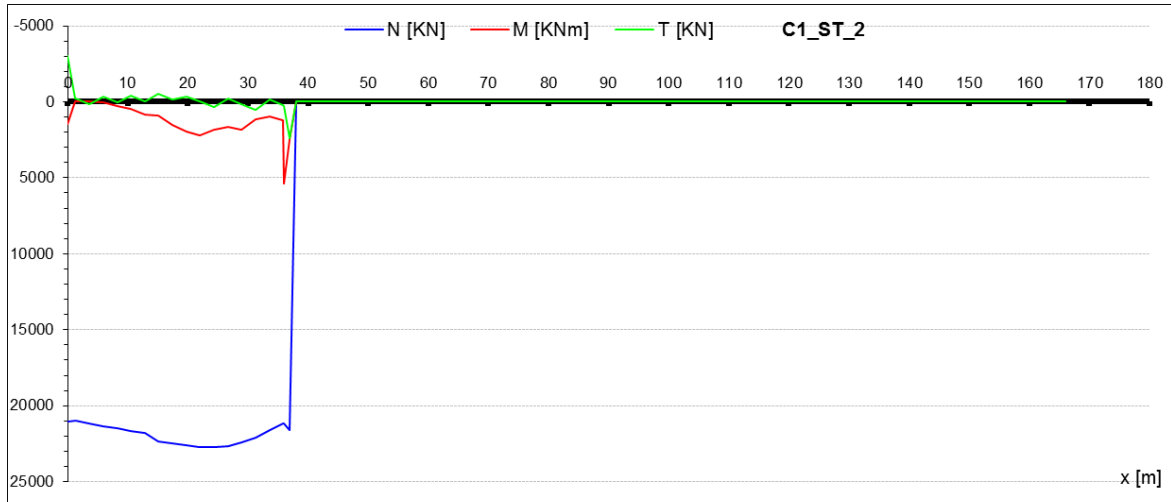
- positivi gli sforzi normali di compressione N [KN];
- positivi i momenti flettenti che tendono le fibre inferiori M [KNm];
- positive le tensioni normali di compressione  $\sigma$  [MPa];

Le corrispondenze tra il nome delle caratteristiche di sollecitazione adottate dal programma EF e quelle adottate nei successivi diagrammi sono:

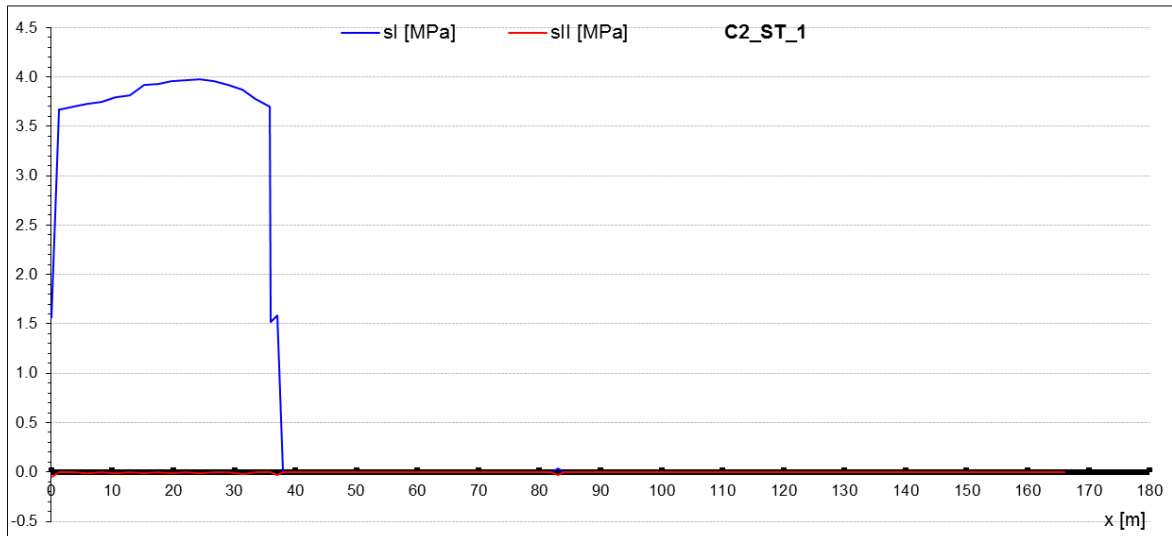
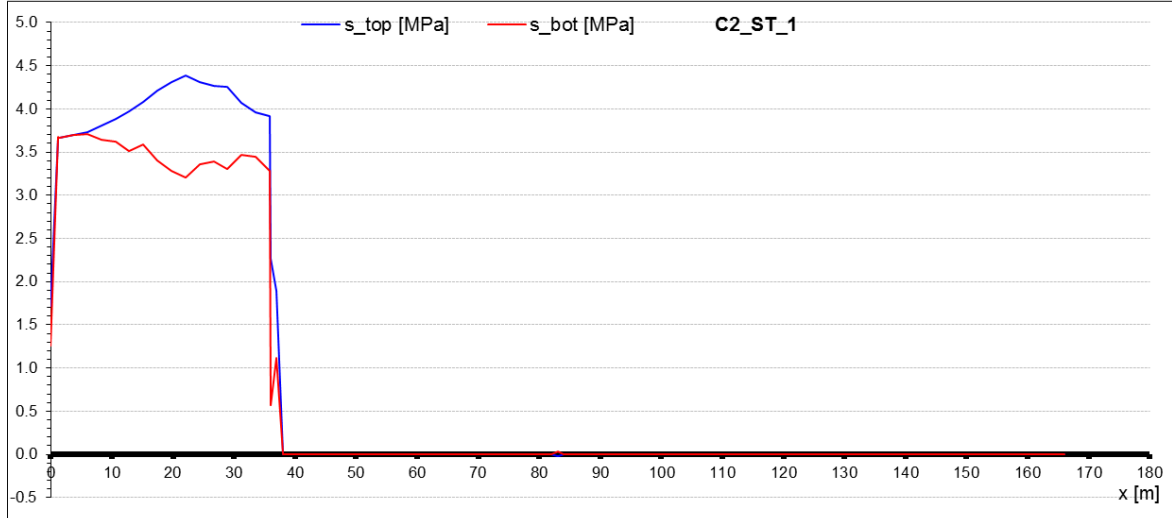
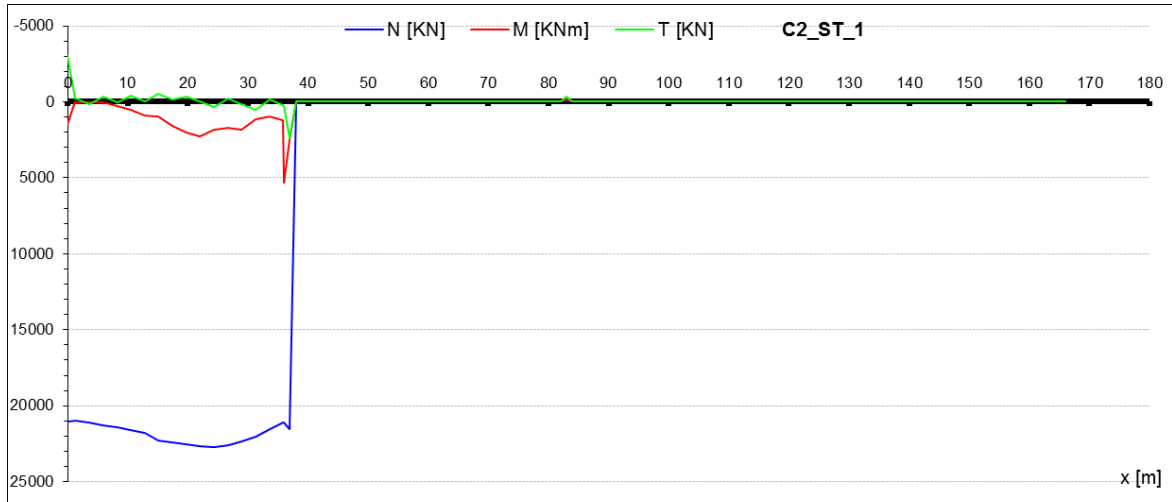
- T = V22 = taglio nel piano verticale
- M = M33 = momento flettente nel piano verticale
- N = P = sforzo normale

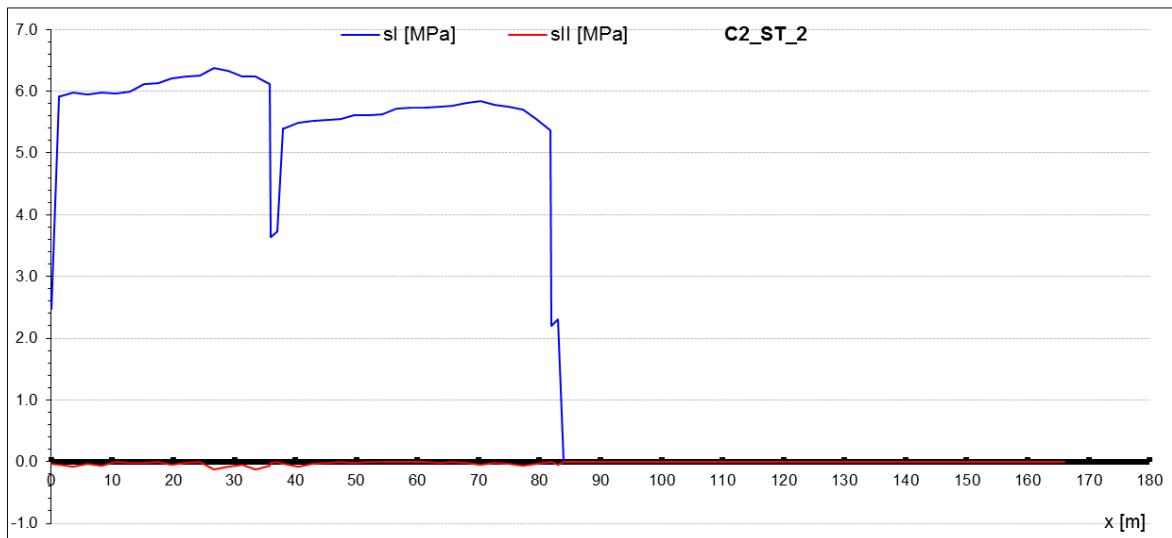
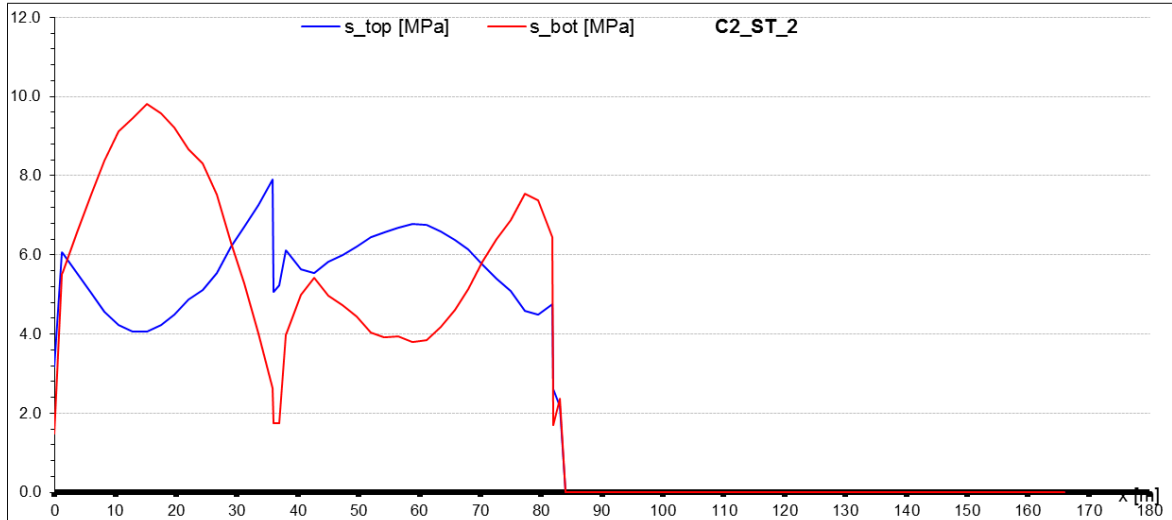
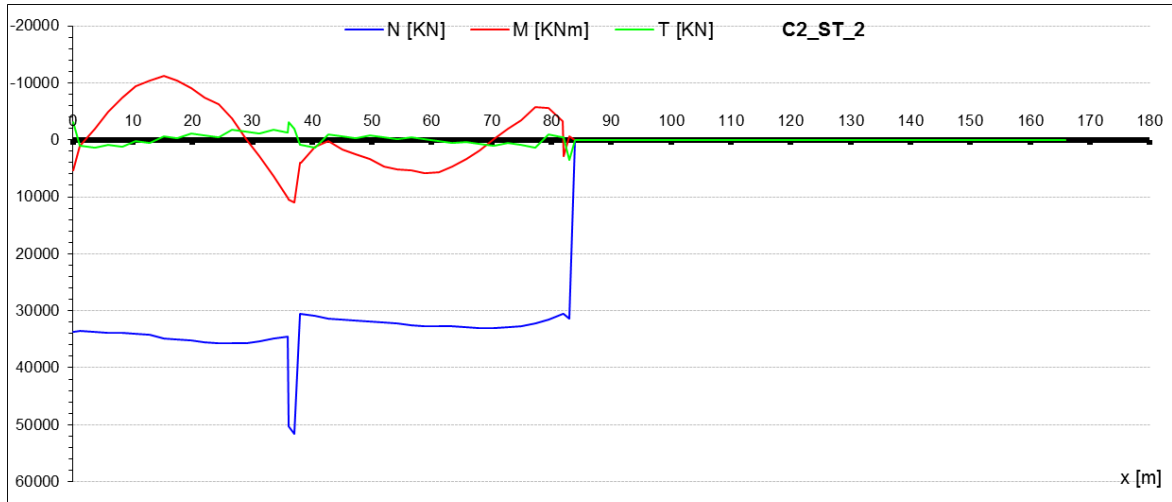
I diagrammi si riferiscono all'intero impalcato; le ascisse hanno origine in asse al primo appoggio e crescono positivamente in direzione della spalla 2.

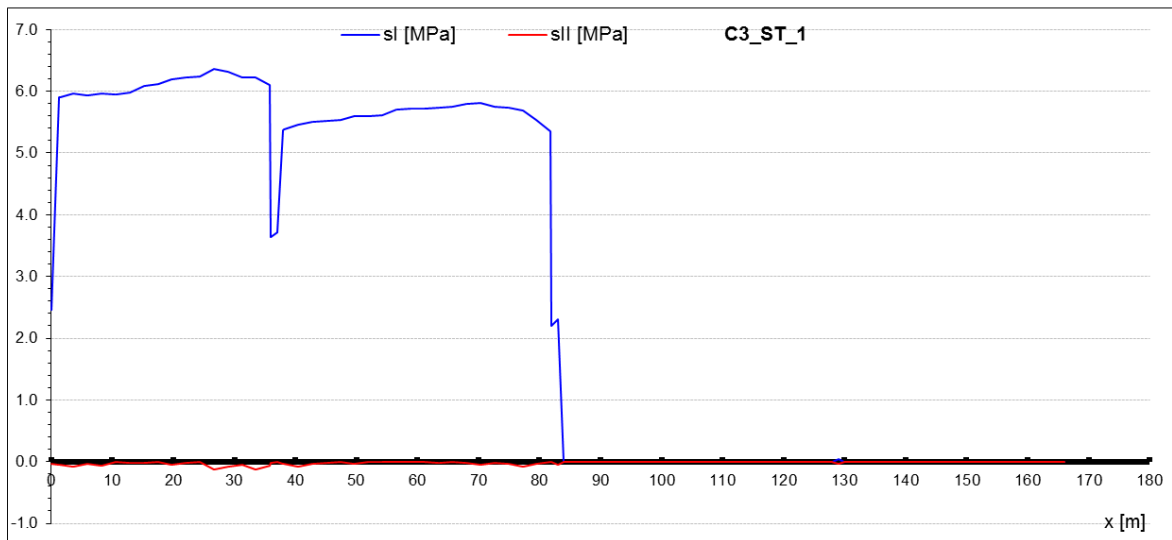
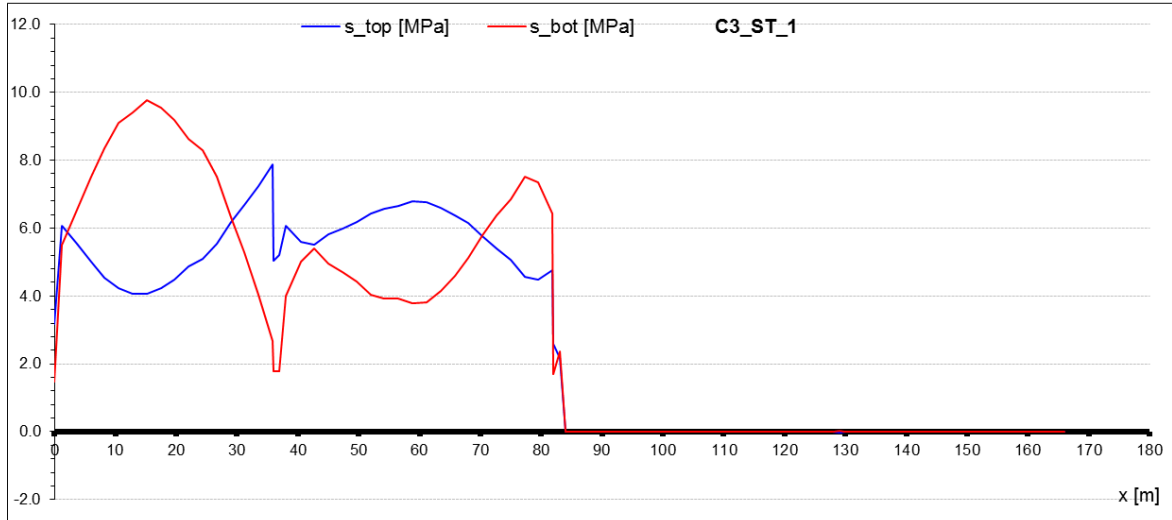
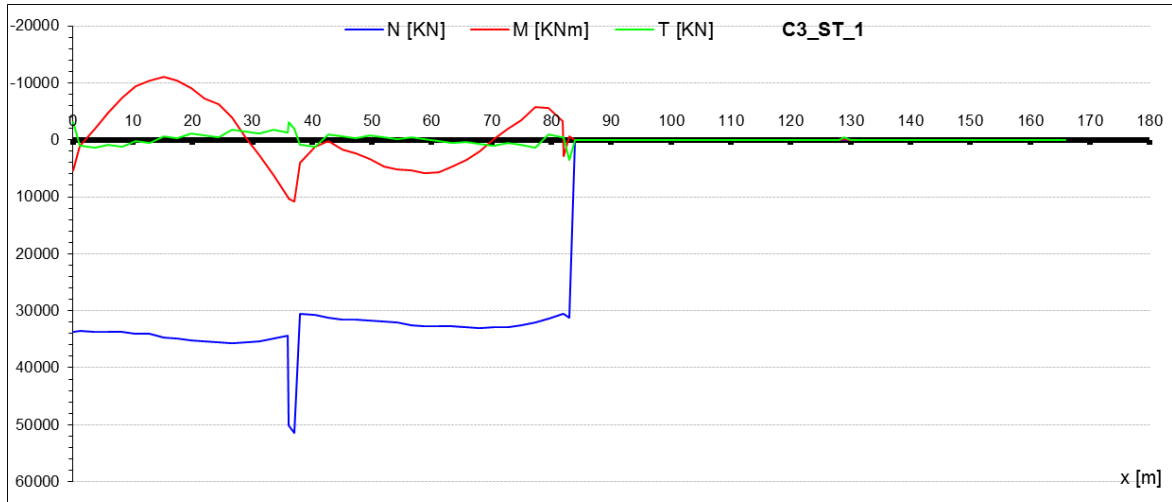


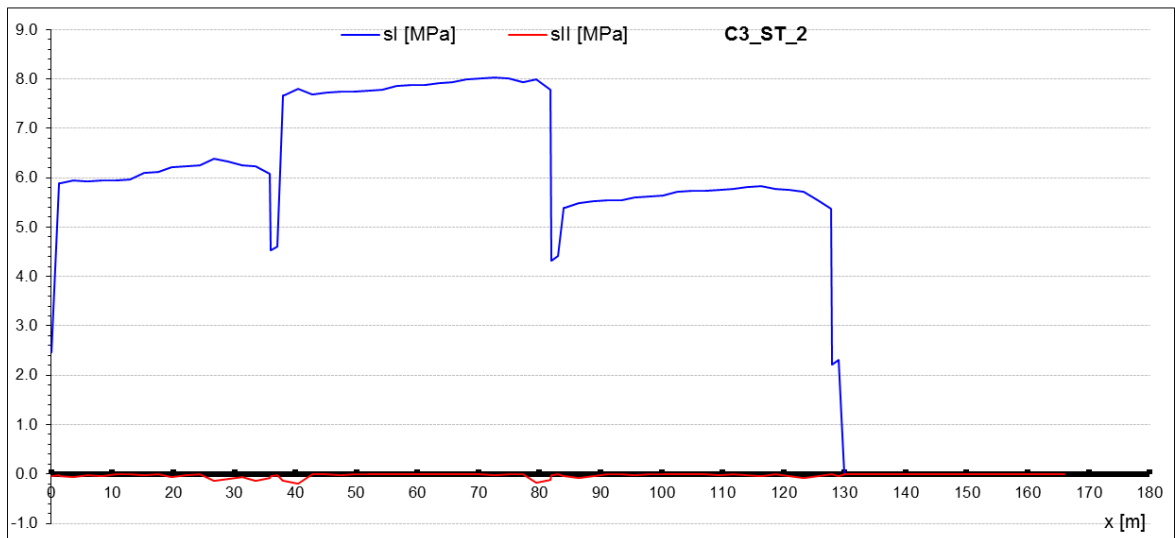
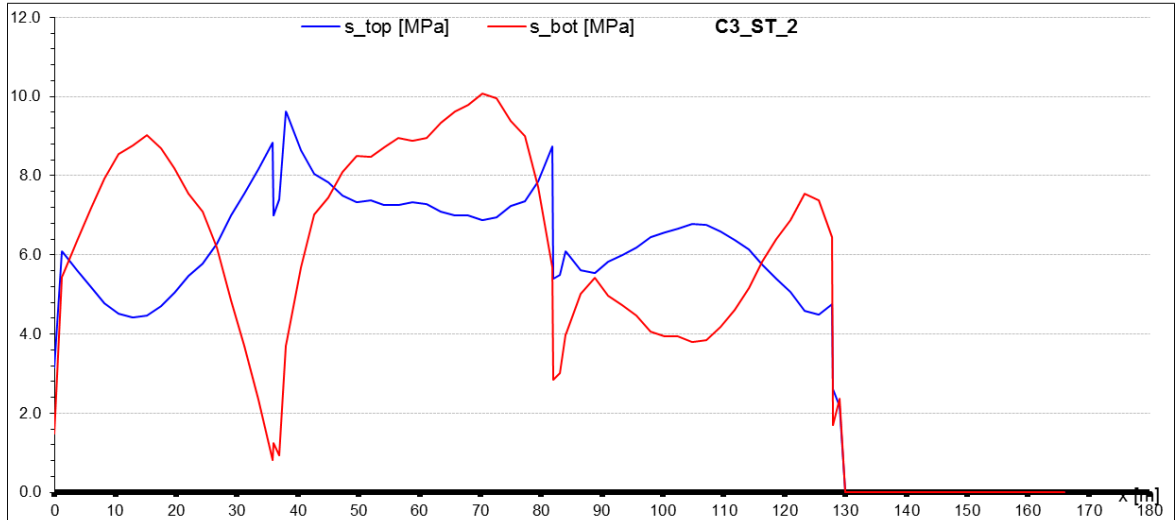
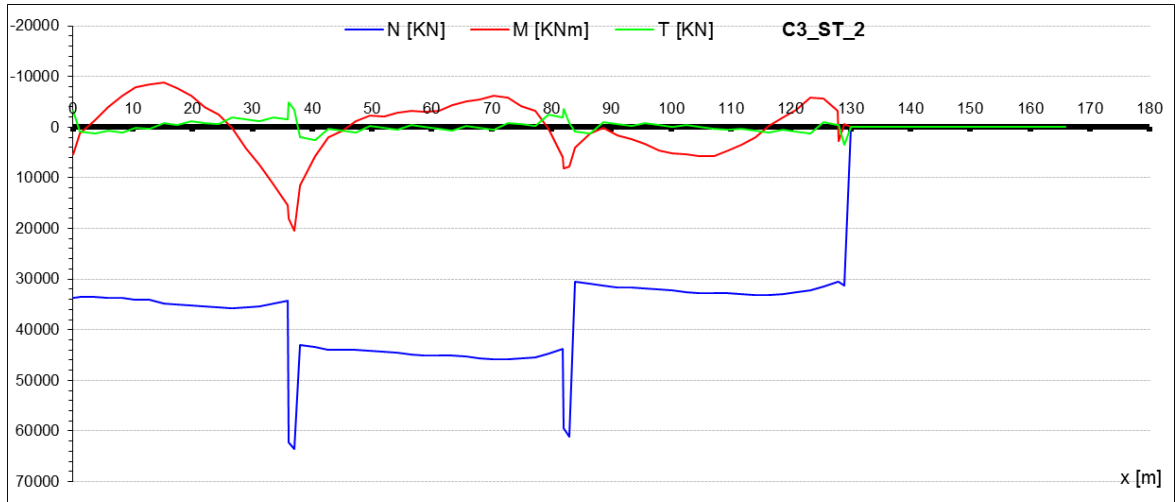


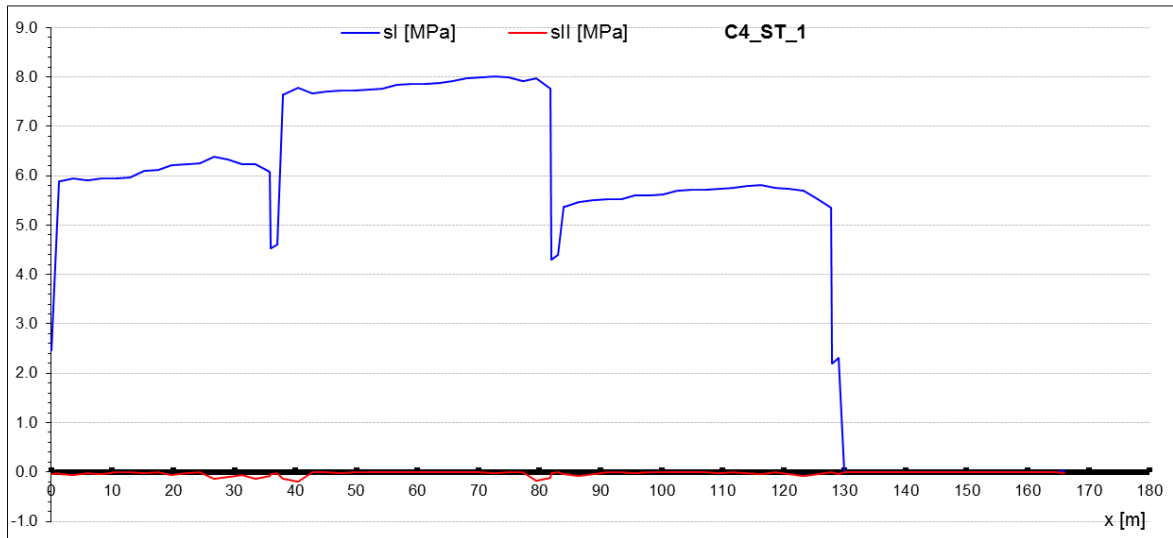
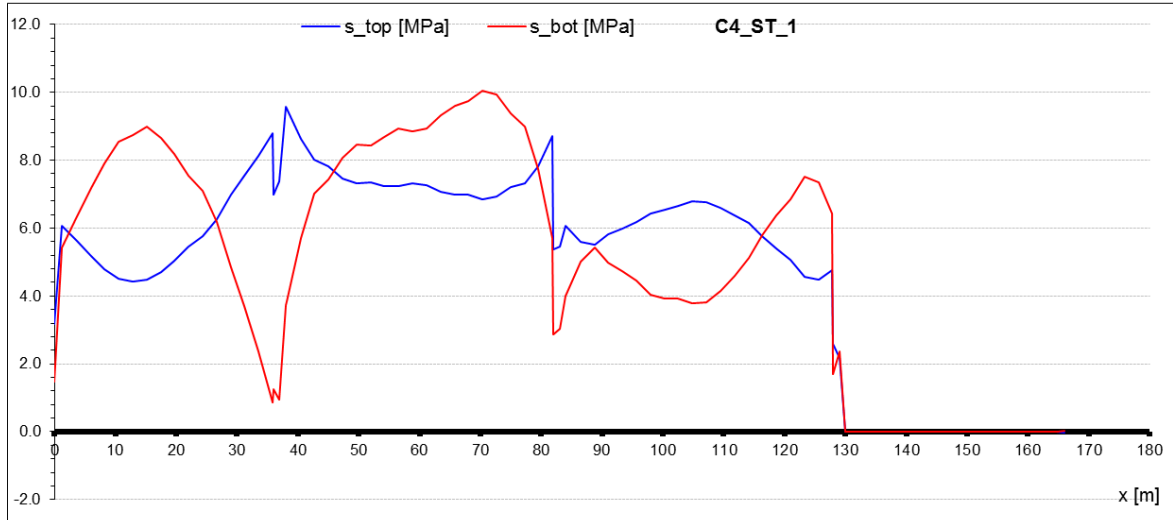
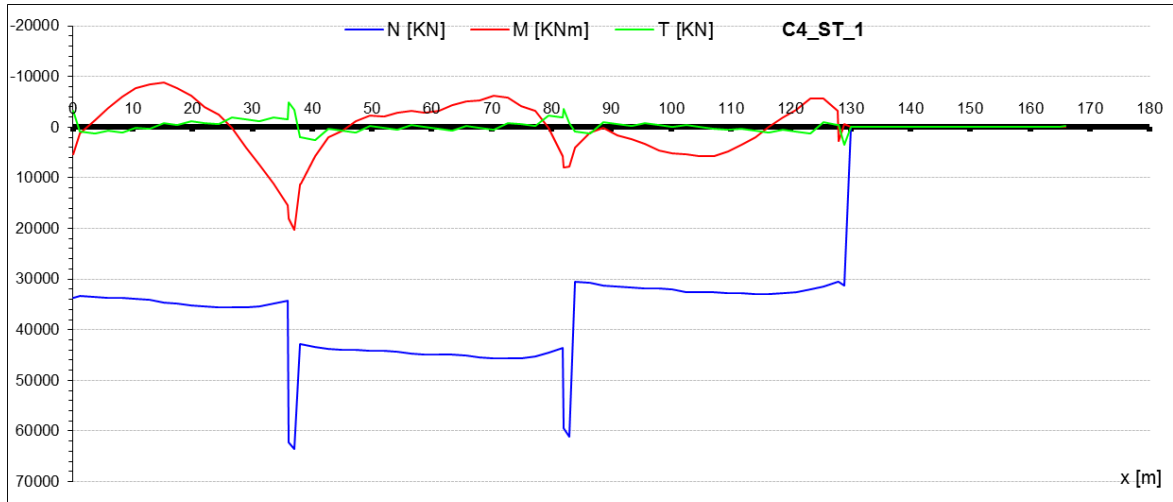


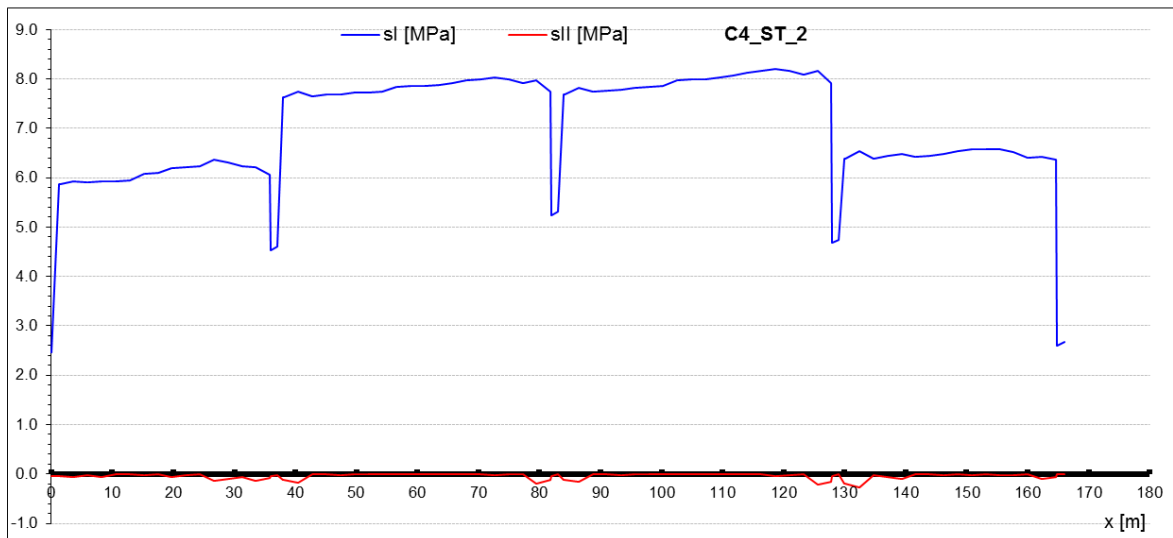
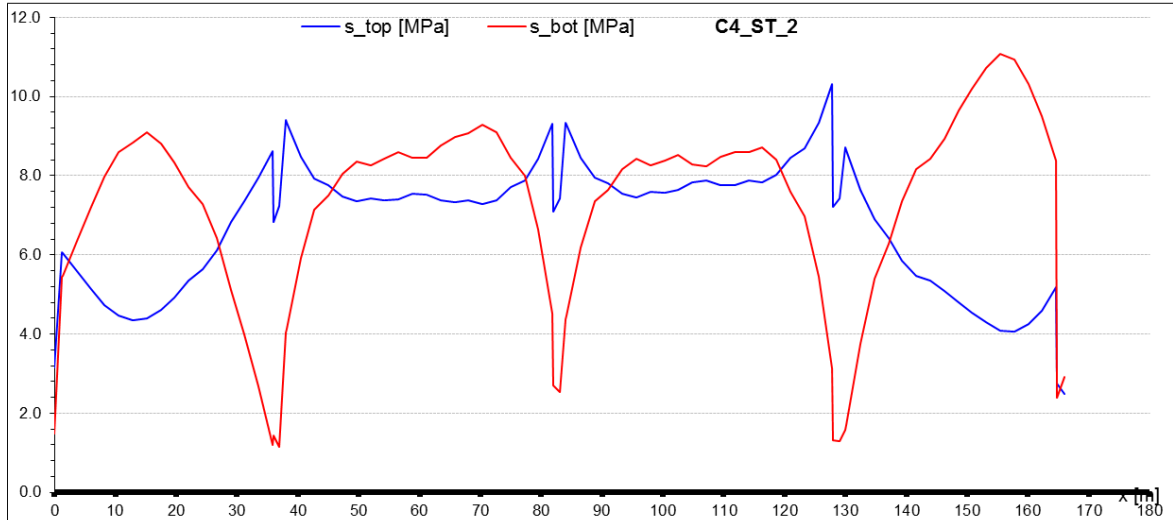
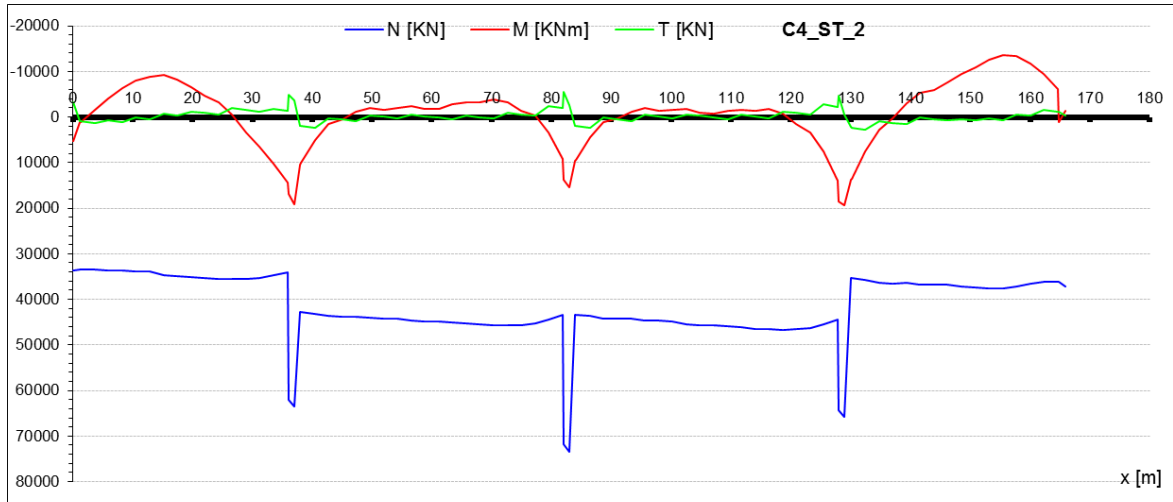




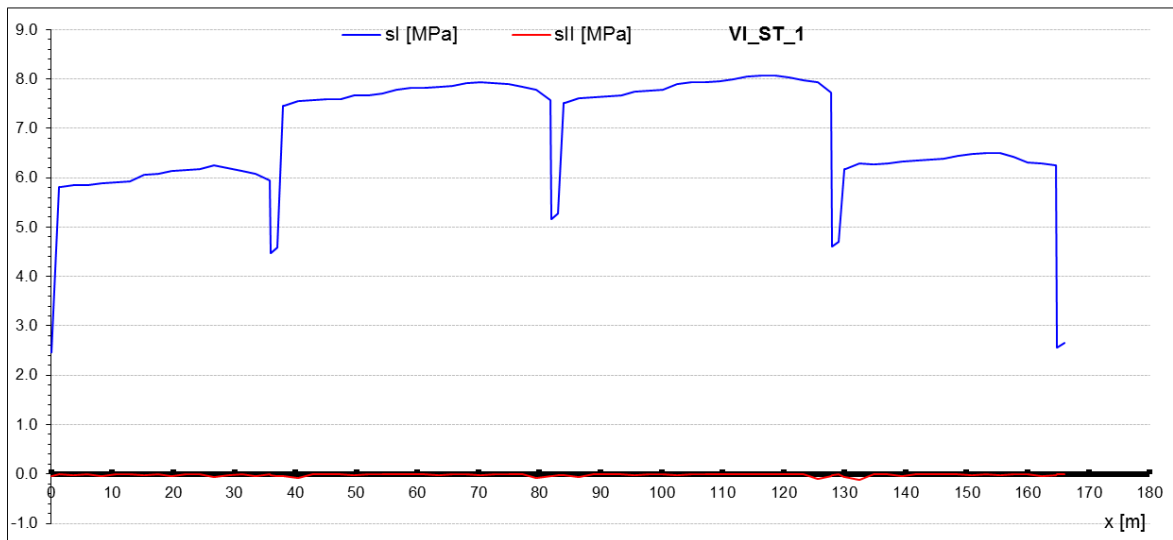
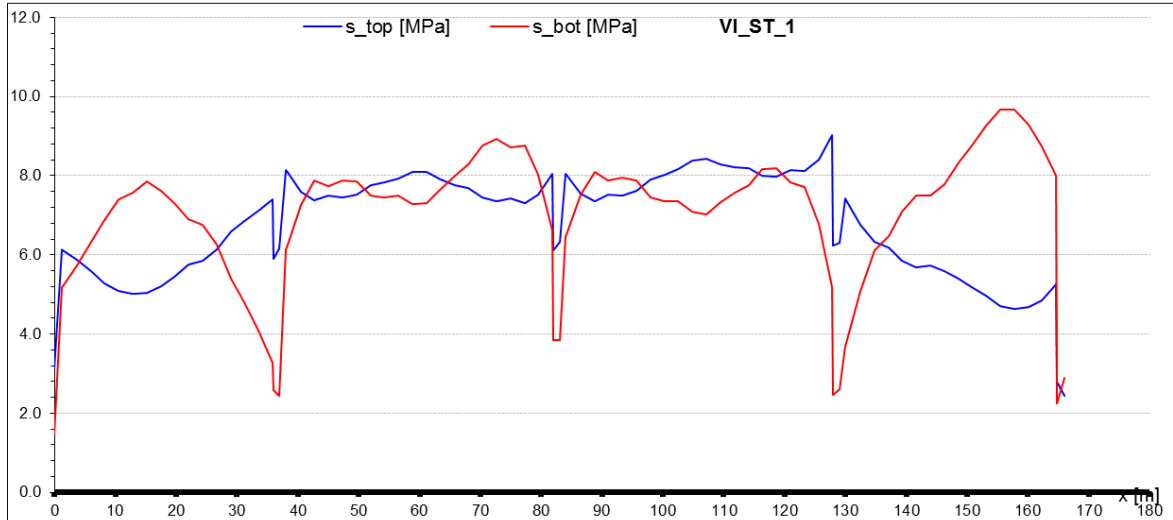
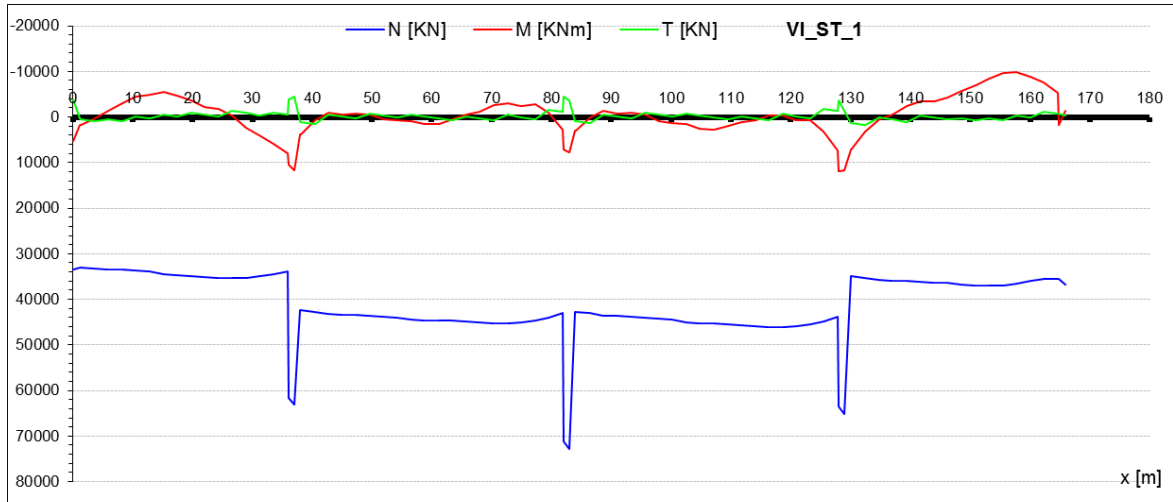


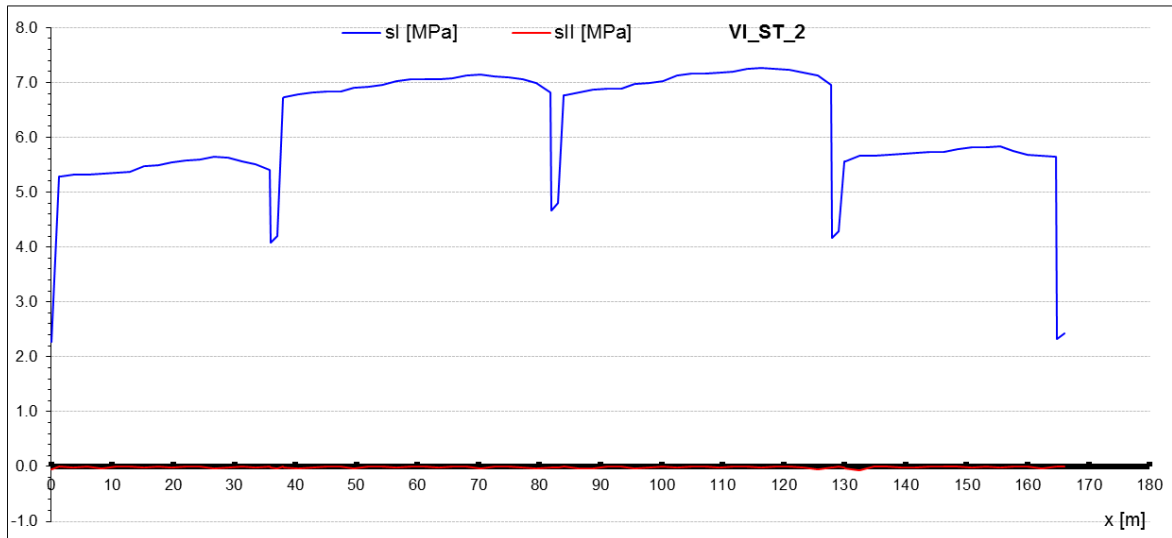
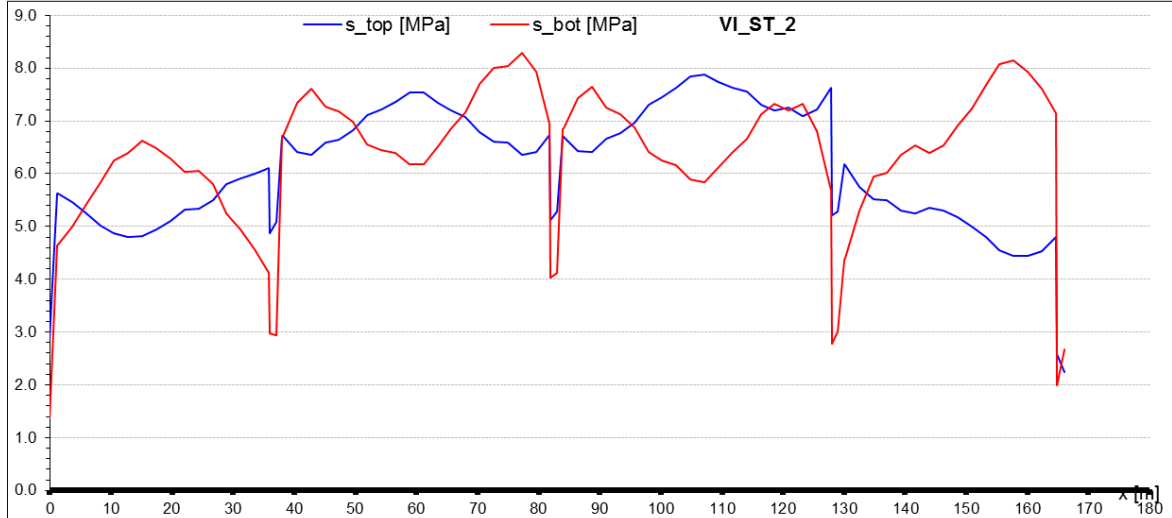
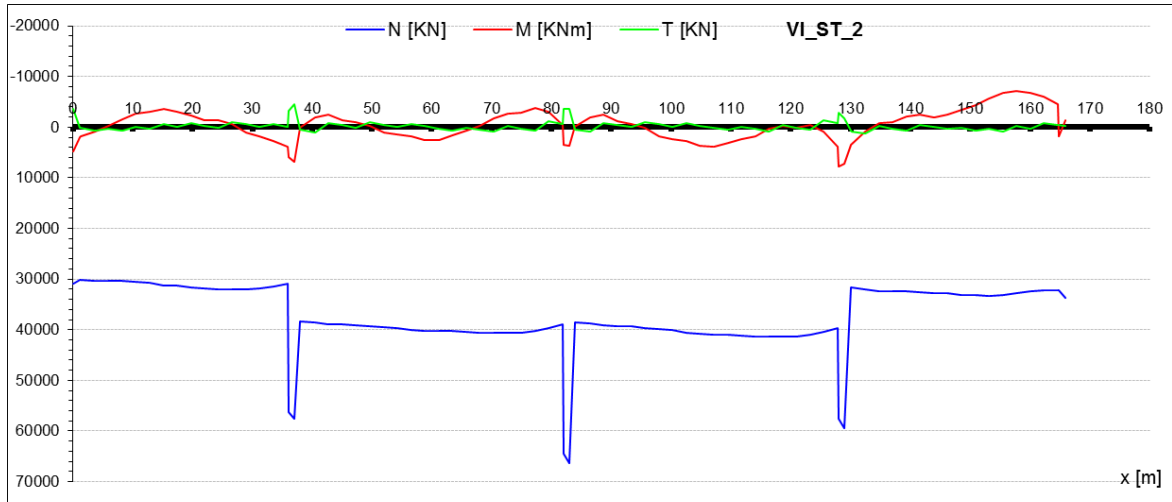






VI01 - RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO IMPALCATO



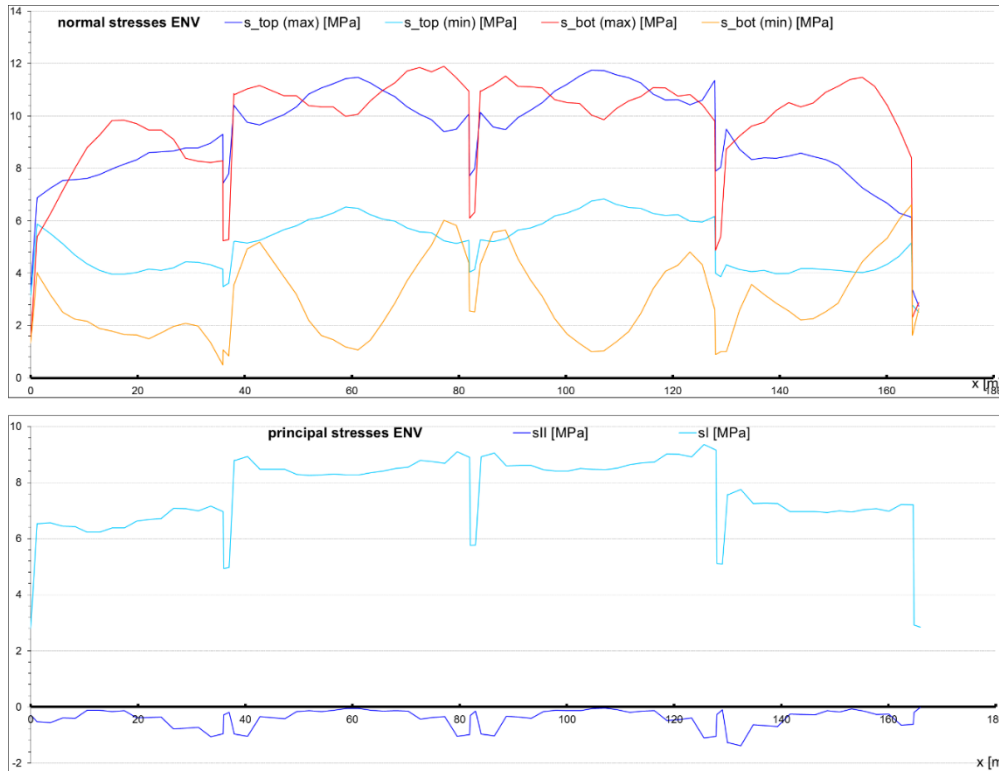




Dai diagrammi riportati risulta che:

- la massima tensione di compressione vale  $\sigma_c = 11.5$  MPa e si manifesta in fase C4-ST\_2 al lembo inferiore della mezzeria della campata di riva. Tale valore è inferiore al limite pari  $0.6 f_{ck} = 0.6 \times 40 = 24$  MPa;
- l'impalcato risulta essere sempre compresso;
- in condizione quasi permanente la massima tensione di compressione è pari a 9.9 MPa e si manifesta in fase VI-ST\_1 al lembo inferiore della mezzeria della campata di riva. Tale valore è inferiore al limite pari  $0.45 f_{ck} = 0.45 \times 40 = 18$  MPa.

### 7.3 SOLLECITAZIONI E TENSIONI IN ESERCIZIO – VERIFICHE SLE-K



Dai diagrammi riportati risulta che:

- la massima tensione di compressione vale  $\sigma_c = 11.9$  MPa e si manifesta al lembo inferiore dell'appoggio intermedio. Tale valore è inferiore al limite pari  $0.6 f_{ck} = 0.6 \times 40 = 24$  MPa;
- l'impalcato risulta avere tensioni normali all'asse dell'impalcato sempre di compressione e tensioni principali di trazione non maggiori di 1 MPa.

### 7.4 VERIFICHE SLU PER FLESSIONE

La sezione reagente è quella del cassone, si considera la sezione priva di armature.

La precompressione esterna è assimilata ad un agente sollecitante esterno. Si ipotizza un aumento di tensione dall'effettiva precompressione fino alla tensione allo stato limite ultimo pari a  $\Delta\sigma_{p,SLU} = 100$  MPa, in accordo al Par. 5.8.10 dell'EC2-1-1 [N4].

Le sollecitazioni di calcolo comprendono le seguenti azioni:

- peso proprio;

- precompressione esterna, calcolata come sopra;
- ritiro + viscosità + rilassamento + cedimenti vincolari;
- carichi permanenti portati;
- variazioni termiche differenziali;
- carichi mobili.

Si riportano a seguire le verifiche a rottura per la sezione di impalcato, eseguite secondo le ipotesi sopra definite e per le seguenti sezioni di verifica:

**Sezione Corrente**  
**Posizione Appoggio spalla 1**  
**Frame F2**  
**Station 0**

Azioni di calcolo		N [kN]	M [kNm]	V [kN]	T [kN]	$\gamma$
Peso proprio	G1	733	2705	-2184	0	1.35
Precompressione esterna	PE	35585	-957	3208	0	1.07
Viscosità+ritiro+rilassamento+ced	E2	3119	13	-223	0	1.2
Permanenti portati	G2	274	609	-521	0	1.35
Variazioni termiche differenziali	E3	0	-140	-164	0	0.72
Carichi mobili	Q1	0	1974	-1652	387	1.35
<b>Sollecitazioni di progetto SLU</b>		<b>33022</b>	<b>6028</b>	<b>-2831</b>	<b>523</b>	

**Sezione Corrente**  
**Posizione Mezzeria prima campata**  
**Frame F10**  
**Station 0**

Azioni di calcolo		N [kN]	M [kNm]	V [kN]	T [kN]	$\gamma$
Peso proprio	G1	1223	18340	334	0	1.35
Precompressione esterna	PE	37071	27056	-712	0	1.07

Viscosità+ritiro+rilassamento+ced	E2	3422	1540	121	0	1.2
Permanenti portati	G2	187	3499	159	0	1.35
Variazioni termiche differenziali	E3	0	2866	117	0	0.72
Carichi mobili	Q1	0	13960	-348	523	1.35

<b>Sollecitazioni di progetto SLU</b>		<b>33709</b>	<b>23253</b>	<b>-338</b>	<b>706</b>	
---------------------------------------	--	--------------	--------------	-------------	------------	--

Sezione      Corrente  
 Posizione    Appoggio pila 1  
 Frame        F21  
 Station      0

Azioni di calcolo		N [kN]	M	V [kN]	T	$\gamma$
			[kNm]		[kN]	
Peso proprio	G1	919	14921	-3393	0	1.35
Precompressione esterna	PE	46906	27367	5586	0	1.07
Viscosità+ritiro+rilassamento+ced	E2	4438	-4563	-542	0	1.2
Permanenti portati	G2	480	-6526	-933	0	1.35
Variazioni termiche differenziali	E3	0	-4313	-29	0	0.72
Carichi mobili	Q1	0	-9775	-1570	-723	1.35

<b>Sollecitazioni di progetto SLU</b>		<b>43041</b>	<b>21409</b>	<b>-2646</b>	<b>-977</b>	
---------------------------------------	--	--------------	--------------	--------------	-------------	--

Sezione      Corrente  
 Posizione    Mezzeria seconda campata  
 Frame        F32  
 Station      0

Azioni di calcolo		N [kN]	M	V [kN]	T	$\gamma$
			[kNm]		[kN]	
Peso proprio	G1	1595	22771	187	0	1.35
Precompressione esterna	PE	48584	25496	-3	0	1.07
Viscosità+ritiro+rilassamento+ced	E2	4673	881	-14	0	1.2
Permanenti portati	G2	367	3335	52	0	1.35
Variazioni termiche differenziali	E3	0	5098	41	0	0.72
Carichi mobili	Q1	0	14335	482	-515	1.35

Sollecitazioni di progetto SLU -  
43797    32005    983    -695

Sezione    Corrente  
 Posizione    Appoggio pila 2  
 Frame    F44  
 Station    0

Azioni di calcolo		N [kN]	M [kNm]	V [kN]	T [kN]	$\gamma$
Peso proprio	G1	526	15378	-3499	0	1.35
Precompressione esterna	PE	47228	27505	5664	0	1.07
Viscosità+ritiro+rilassamento+ced	E2	4574	-3928	-527	0	1.2
Permanenti portati	G2	833	-6843	-982	0	1.35
Variazioni termiche differenziali	E3	0	-3036	-41	0	0.72
Carichi mobili	Q1	0	10769	-776	1825	1.35
<b>Sollecitazioni di progetto SLU</b>		<b>43277</b>	<b>21967</b>	<b>-1690</b>	<b>2464</b>	

Sezione    Corrente  
 Posizione    Mezzeria terza campata  
 Frame    F54  
 Station    0

Azioni di calcolo		N [kN]	M [kNm]	V [kN]	T [kN]	$\gamma$
Peso proprio	G1	952	24695	-306	0	1.35
Precompressione esterna	PE	49055	26881	43	0	1.07
Viscosità+ritiro+rilassamento+ced	E2	4753	919	17	0	1.2
Permanenti portati	G2	841	3795	-50	0	1.35
Variazioni termiche differenziali	E3	0	5098	29	0	0.72
Carichi mobili	Q1	0	14335	-482	515	1.35
<b>Sollecitazioni di progetto SLU</b>		<b>44433</b>	<b>33786</b>	<b>-1045</b>	<b>695</b>	

Sezione    Corrente

**Posizione** Appoggio pila 3  
**Frame** F67  
**Station** 0

Azioni di calcolo		N [kN]	M [kNm]	V [kN]	T [kN]	$\gamma$
Peso proprio	G1	0	-9618	-2968	0	1.35
		-				
Precompressione esterna	PE	37518	25377	5469	0	1.07
Viscosità+ritiro+rilassamento+ced	E2	3417	-4630	-559	0	1.2
Permanenti portati	G2	1056	-6711	-1037	0	1.35
Variazioni termiche differenziali	E3	0	-4225	-117	0	0.72
		-				
Carichi mobili	Q1	0	10571	-745	1473	1.35
		-				
<b>Sollecitazioni di progetto SLU</b>		<b>34670</b>	<b>17724</b>	<b>-1307</b>	<b>1988</b>	

**Sezione** Corrente  
**Posizione** Mezzeria quarta campata  
**Frame** F76  
**Station** 0

Azioni di calcolo		N [kN]	M [kNm]	V [kN]	T [kN]	$\gamma$
Peso proprio	G1	0	19628	-186	0	1.35
		-				
Precompressione esterna	PE	38975	30342	662	0	1.07
Viscosità+ritiro+rilassamento+ced	E2	3812	1946	-123	0	1.2
Permanenti portati	G2	1439	4802	-162	0	1.35
Variazioni termiche differenziali	E3	0	2867	164	0	0.72
		-				
Carichi mobili	Q1	0	13961	348	-523	1.35
		-				
<b>Sollecitazioni di progetto SLU</b>		<b>35240</b>	<b>23719</b>	<b>680</b>	<b>-706</b>	

**Sezione** Corrente  
**Posizione** Appoggio spalla 2  
**Frame** F83  
**Station** 0.15

VI01 - RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO IMPALCATO

Azioni di calcolo			N [kN]	M [kNm]	V [kN]	T [kN]	$\gamma$
Peso proprio	G1		0	2847	2251	0	1.35
			-				
Precompressione esterna	PE		38260	-8394	-3683	0	1.07
Viscosità+ritiro+rilassamento+ced	E2		3518	706	276	0	1.2
Permanenti portati	G2		1143	878	618	0	1.35
Variazioni termiche differenziali	E3		0	197	164	0	0.72
Carichi mobili	Q1		0	1982	1652	-387	1.35
			-				
<b>Sollecitazioni di progetto SLU</b>			<b>35227</b>	<b>-300</b>	<b>2607</b>	<b>-523</b>	

Sezione Piena  
Posizione Appoggio pila 1  
Frame F20  
Station 0

Azioni di calcolo			N [kN]	M [kNm]	V [kN]	T [kN]	$\gamma$
Peso proprio	G1		1191	18612	-3686	0	1.35
			-				
Precompressione esterna	PE		67726	40536	-50	0	1.07
Viscosità+ritiro+rilassamento+ced	E2		5787	-5724	-2	0	1.2
Permanenti portati	G2		487	-7513	-906	0	1.35
Variazioni termiche differenziali	E3		0	-4342	-29	0	0.72
			-				
Carichi mobili	Q1		0	11345	-1570	-723	1.35
			-				
<b>Sollecitazioni di progetto SLU</b>			<b>63352</b>	<b>17149</b>	<b>-8396</b>	<b>-977</b>	

Sezione Piena  
Posizione Appoggio pila 2  
Frame F43  
Station 0

Azioni di calcolo			N [kN]	M [kNm]	V [kN]	T [kN]	$\gamma$
Peso proprio	G1		1063	19090	-3873	0	1.35
			-				

Precompressione esterna	PE	79494	38194	1282	0	1.07
Viscosità+ritiro+rilassamento+ced	E2	7068	-4882	-82	0	1.2
Permanenti portati	G2	970	-7875	-919	0	1.35
Variazioni termiche differenziali	E3	0	-3007	-41	0	0.72
Carichi mobili	Q1	0	11722	-1007	1640	1.35
<b>Sollecitazioni di progetto SLU</b>		<b>73944</b>	<b>19330</b>	<b>-6582</b>	<b>2215</b>	

Sezione Piena  
Posizione Appoggio pila 3  
Frame F66  
Station 0

Azioni di calcolo		N [kN]	M [kNm]	V [kN]	T [kN]	$\gamma$
Peso proprio	G1	423	12752	-3383	0	1.35
Precompressione esterna	PE	70128	35072	3276	0	1.07
Viscosità+ritiro+rilassamento+ced	E2	6098	-5555	-353	0	1.2
Permanenti portati	G2	1306	-7847	-975	0	1.35
Variazioni termiche differenziali	E3	0	-4342	-117	0	0.72
Carichi mobili	Q1	0	11345	-825	1744	1.35
<b>Sollecitazioni di progetto SLU</b>		<b>65484</b>	<b>15340</b>	<b>-3996</b>	<b>2354</b>	

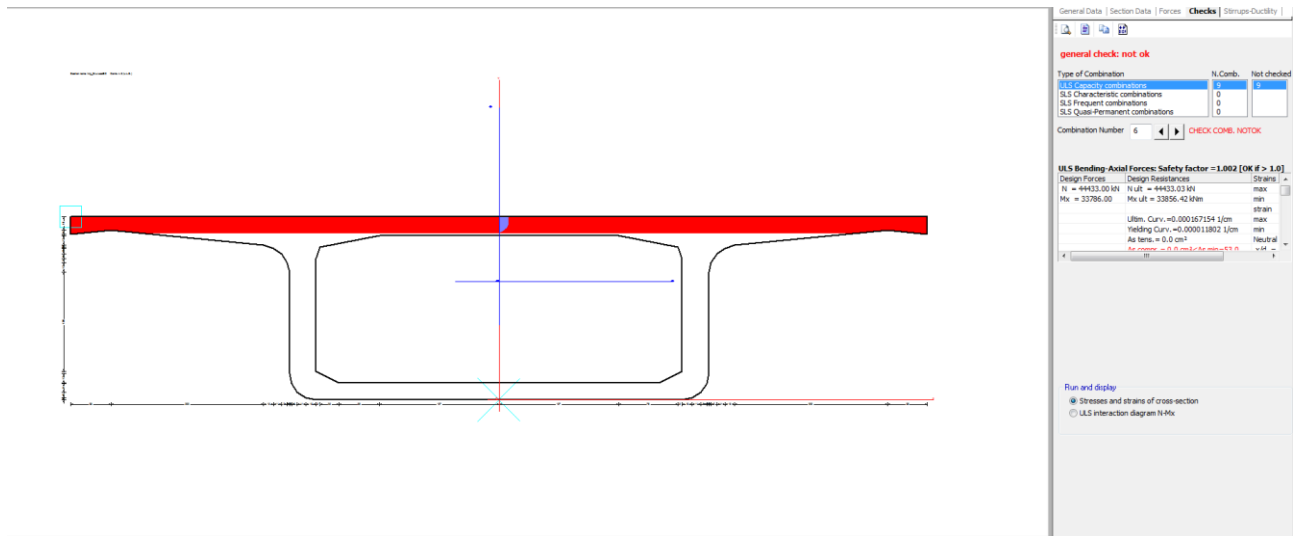
Riepilogo Sollecitazioni SLU

	Sezione	Frame	N [kN]	M [kNm]	V [kN]	T [kN]
1	Corrente	F2	-33022	6028	-2831	523
2	Corrente	F10	-33709	23253	-338	706
3	Corrente	F21	-43041	-21409	-2646	-977
4	Corrente	F32	-43797	32005	983	-695
5	Corrente	F44	-43277	-21967	-1690	-2464
6	Corrente	F54	-44433	33786	-1045	695
7	Corrente	F67	-34670	-17724	-1307	-1988



VI01 - RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO IMPALCATO

8	Corrente	F76	-35240	23719	680	-706
9	Corrente	F83	-35227	-300	2607	-523
1	Piena	F20	-63352	-17149	-8396	-977
2	Piena	F43	-73944	-19330	-6582	-2215
3	Piena	F66	-65484	-15340	-3996	-2354



**GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION**  
 Section Name: Imp\_SLU.secEC

Section description: Beam  
 Section type: EC2/EC8  
 Reference code: EC2/EC8  
 Exposure Class: XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)  
 Stress path: Constant axial force force to achieve bending ULS  
 Type of bending: Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)  
 Reference of assigned forces: Principal axes y,y of inertia

**MATERIALS DATA**

CONCRETE - Class: C35/45  
 Design compressive strength fcd: 23.3 MPa  
 Shear reduced compressive strenght v1\*fcd: 12.0 MPa (6.9)EC2  
 Coeff. Alfa\_cc: 1.00 (3.15) EC2  
 Strain at max strength ec2: 0.0020  
 Ultimate strain ecu: 0.0035  
 Compression diagram stress-strain: Parabola-Rectangle  
 Mean Elastic Modulus Ecm: 34077.1 MPa  
 Mean tensile strength fctm: 3.2 MPa

STEEL - Longitudinal Bars: B450C  
 Characteristic yield stress fyk: 450.00 MPa  
 Tensile strength ftk: 540.0 MPa  
 Design yield stress fyd: 391.3 MPa  
 Design strength ftd: 391.3 MPa

Design ultimate strain esu:	0.068	
Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
Stirrups:	B500A	
Characteristic yield stress fyk:	500.00	MPa
Tensile strength ftk:	540.0	MPa
Design yield stress fyd:	434.8	MPa
Design strength ftd:	434.8	MPa
Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa

**GEOMETRIC DATA OF REGIONS IN CONCRETE SECTION**

**REGION N. 1**

Shape of Region: Polygonal  
Concrete Class: C35/45

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-240.0	0.0
2	-253.4	2.7
3	-264.7	10.3
4	-272.3	21.6
5	-275.0	35.0
6	-275.0	167.3
7	-278.4	180.1
8	-285.8	191.0
9	-296.4	198.7
10	-309.0	202.4
11	-509.5	222.0
12	-562.5	217.0
13	-562.5	240.0
14	562.5	240.0
15	562.5	217.0
16	509.5	222.0
17	309.0	202.4
18	296.4	198.7
19	285.8	191.0
20	278.4	180.1
21	275.0	167.4
22	275.0	35.0
23	272.3	21.6
24	264.7	10.3
25	253.4	2.7
26	240.0	0.0
27	0.0	0.0

**REGION N. 2**

Shape of Region: Empty polygonal  
Concrete Class: C35/45

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-210.0	22.0
2	-240.0	37.0
3	-240.0	185.0
4	-235.0	200.0
5	-157.0	215.0
6	157.0	215.0
7	235.0	200.0

8	240.0	185.0
9	240.0	37.0
10	210.0	22.0
11	0.0	22.0

**DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS**

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	0.0	0.0	1

**ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION**

Comb.N.	N d	Design bending force [kNm] around X axis of reference system	
		Mx d	Vy d
1	33022.00	6028.00	0.00
2	33709.00	23253.00	0.00
3	43041.00	21409.00	0.00
4	43797.00	32005.00	0.00
5	43277.00	21967.00	0.00
6	44433.00	33786.00	0.00
7	34670.00	17724.00	0.00
8	35240.00	23719.00	0.00
9	35227.00	300.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

**Checks OK for all assigned combinations**

Min edge cover of longitudinal bars:	-0.1	cm
Min distance between longitudinal bars:	100000.0	cm

**ULTIMATE LIMIT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS**

Check	Result of check
N	Design axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
Mx	Design bending moment [kNm] around x axis principal of inerzia
N ult	Axial force capacity [kN] (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis principal of inertia
S.F.	Safety Factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult, My ult) to (N, Mx, My). Check OK if ratio >=1.00
As Tension	Area [cm²] of bars in tension (beam section). Min area for code is shown between brackets [eq.(9.1N) EC2]

Comb.N.	Check	N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	As Tension
1	OK	33022.00	6028.00	33021.77	25898.13	4.296	0.0(0.0)
2	OK	33709.00	23253.00	33708.84	26391.75	1.135	0.0(0.0)
3	OK	43041.00	21409.00	43040.98	32912.78	1.537	0.0(0.0)
4	OK	43797.00	32005.00	43796.87	33426.05	1.044	0.0(0.0)
5	OK	43277.00	21967.00	43276.86	33072.98	1.506	0.0(0.0)
6	OK	44433.00	33786.00	44433.03	33856.42	1.002	0.0(0.0)
7	OK	34670.00	17724.00	34669.81	27079.01	1.528	0.0(0.0)
8	OK	35240.00	23719.00	35239.82	27484.71	1.159	0.0(0.0)
9	OK	35227.00	300.00	35227.20	27475.73	91.463	0.0(0.0)

**ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES**

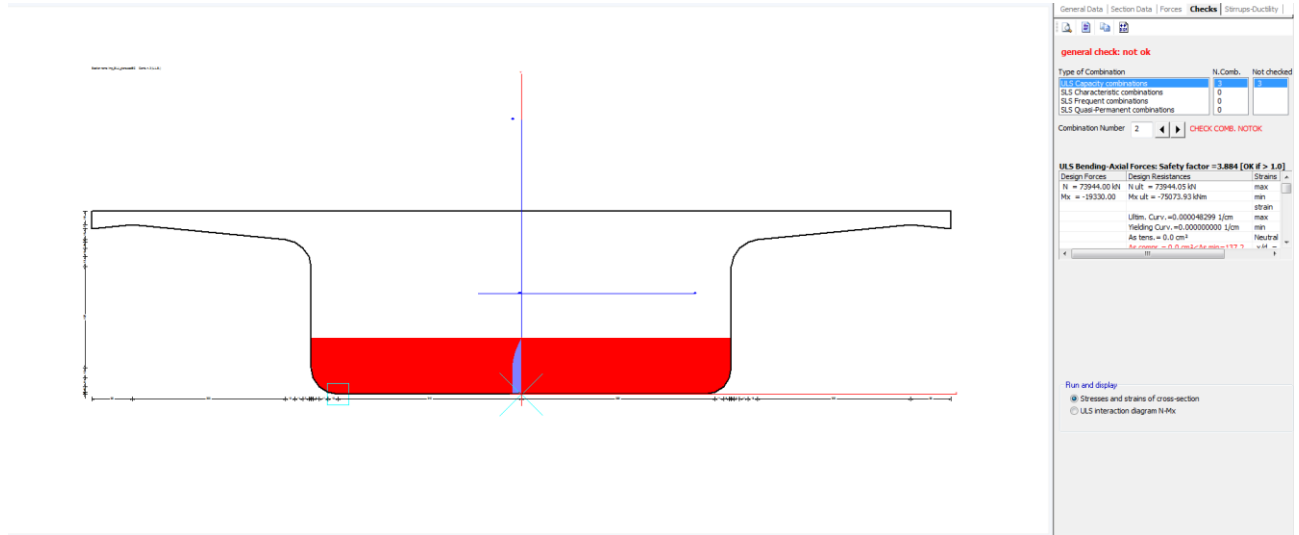
ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at $ec/2$ of depth (if $ec^* > 0$ then the section is all compressed)
Xc max	X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
Yc max	Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Xs max	X-coordinate [cm] of bar in wich is es max
Ys max	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)
Xs min	X-coordinate [cm] of bar in wich is es min
Ys min	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min

Comb.N.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.01967	-562.5	240.0	-0.05056	0.0	0.0	-0.05056	0.0	0.0
2	0.00350	-0.01919	-562.5	240.0	-0.04945	0.0	0.0	-0.04945	0.0	0.0
3	0.00350	-0.01426	-562.5	240.0	-0.03794	0.0	0.0	-0.03794	0.0	0.0
4	0.00350	-0.01395	-562.5	240.0	-0.03721	0.0	0.0	-0.03721	0.0	0.0
5	0.00350	-0.01416	-562.5	240.0	-0.03771	0.0	0.0	-0.03771	0.0	0.0
6	0.00350	-0.01369	-562.5	240.0	-0.03662	0.0	0.0	-0.03662	0.0	0.0
7	0.00350	-0.01856	-562.5	240.0	-0.04798	0.0	0.0	-0.04798	0.0	0.0
8	0.00350	-0.01821	-562.5	240.0	-0.04716	0.0	0.0	-0.04716	0.0	0.0
9	0.00350	-0.01822	-562.5	240.0	-0.04718	0.0	0.0	-0.04718	0.0	0.0

**ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION**

a, b, c	Coeff. a, b, c in neutral axis equation: $aX+bY+c=0$ reference X,Y,O
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]

Comb.N.	a	b	c	x/d	D
1	0.000000000	0.000225268	-0.050564232	0.065	0.700
2	0.000000000	0.000220641	-0.049453926	0.066	0.700
3	0.000000000	0.000172647	-0.037935276	0.084	0.700
4	0.000000000	0.000169634	-0.037212238	0.086	0.700
5	0.000000000	0.000171720	-0.037712803	0.085	0.700
6	0.000000000	0.000167154	-0.036616917	0.087	0.700
7	0.000000000	0.000214500	-0.047980042	0.068	0.700
8	0.000000000	0.000211076	-0.047158127	0.069	0.700
9	0.000000000	0.000211153	-0.047176666	0.069	0.700



**GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION**  
 Section Name: Imp\_SLU\_piena.secEC

Section description:  
 Section type: Beam  
 Reference code: EC2/EC8  
 Exposure Class: XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)  
 Stress path: Constant axial force force to achieve bending ULS  
 Type of bending: Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)  
 Reference of assigned forces: Principal axes y,y of inertia

**MATERIALS DATA**

CONCRETE -	Class:	C35/45
	Design compressive strength fcd:	23.3 MPa
	Shear reduced compressive strenght v1*fcd:	12.0 MPa (6.9)EC2
	Coeff. Alfa_cc:	1.00 (3.15) EC2
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean Elastic Modulus Ecm:	34077.1 MPa
	Mean tensile strength fctm:	3.2 MPa
STEEL -	Longitudinal Bars:	B450C
	Characteristic yield stress fyk:	450.00 MPa
	Tensile strength ftk:	540.0 MPa
	Design yield stress fyd:	391.3 MPa
	Design strength ftd:	391.3 MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068
	Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa
	Stirrups:	B500A
	Characteristic yield stress fyk:	500.00 MPa
	Tensile strength ftk:	540.0 MPa
	Design yield stress fyd:	434.8 MPa
	Design strength ftd:	434.8 MPa
	Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa

**GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION**

Shape of Region:	Polygonal	
Concrete Class:	C35/45	
Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-240.0	0.0
2	-253.4	2.7
3	-264.7	10.3
4	-272.3	21.6
5	-275.0	35.0
6	-275.0	167.3
7	-278.4	180.1
8	-285.8	191.0
9	-296.4	198.7
10	-309.0	202.4
11	-509.5	222.0
12	-562.5	217.0
13	-562.5	240.0
14	562.5	240.0
15	562.5	217.0
16	509.5	222.0
17	309.0	202.4
18	296.4	198.7
19	285.8	191.0
20	278.4	180.1
21	275.0	167.4
22	275.0	35.0
23	272.3	21.6
24	264.7	10.3
25	253.4	2.7
26	240.0	0.0
27	0.0	0.0

**DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS**

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	0.0	0.0	1

**ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION**

Comb.N.	N d	Design bending force [kNm] around X axis of reference system	
		Mx d	Vy d
1	63352.00	-17149.00	0.00
2	73944.00	-19330.00	0.00
3	65484.00	-15340.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

Checks OK for all assigned combinations

Min edge cover of longitudinal bars: -0.1 cm  
 Min distance between longitudinal bars: 100000.0 cm

**ULTIMATE LIMIT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS**

Check Result of check  
 N Design axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)  
 Mx Design bending moment [kNm] around x axis principal of inerzia  
 N ult Axial force capacity [kN] (+ if compressive)  
 Mx ult Bending moment capacity [kNm] around x axis principal of inertia  
 S.F. Safety Factor = vectorial ratio of (N ult,Mx ult,My ult) to (N,Mx,My). Check OK if ratio >=1.00  
 As Tension Area [cm²] of bars in tension (beam section). Min area for code is shown between brackets [eq.(9.1N) EC2]

Comb.N.	Check	N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	As Tension
1	OK	63352.00	-17149.00	63351.83	-67021.69	3.908	0.0(0.0)
2	OK	73944.00	-19330.00	73944.05	-75073.93	3.884	0.0(0.0)
3	OK	65484.00	-15340.00	65484.25	-68714.94	4.480	0.0(0.0)

**ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES**

ec max Ultimate compressive strain in concrete  
 ec\* Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec\*>0 then the section is all compressed)  
 Xc max X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max  
 Yc max Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max  
 es max Max strain in steel bars (+ if compressive)  
 Xs max X-coordinate [cm] of bar in wich is es max  
 Ys max Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max  
 es min Min strain in steel bars (+ if compressive)  
 Xs min X-coordinate [cm] of bar in wich is es min  
 Ys min Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min

Comb.N.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.00228	-240.0	0.0	0.00350	0.0	0.0	0.00350	0.0	0.0
2	0.00350	-0.00147	-240.0	0.0	0.00350	0.0	0.0	0.00350	0.0	0.0
3	0.00350	-0.00210	-240.0	0.0	0.00350	0.0	0.0	0.00350	0.0	0.0

**ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION**

a, b, c Coeff. a, b, c in neutral axis equation: aX+bY+c=0 reference X,Y,O  
 x/d Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section  
 D Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]

Comb.N.	a	b	c	x/d	D
1	0.000000000	-0.000056205	0.0035000002118763955432340.0001.000		
2	0.000000000	-0.000048299	0.0035000002465621141152790.0001.000		
3	0.000000000	-0.000054412	0.0035000002188581395025140.0001.000		

1) x/d > 0.450 = max allowed value x/d for redistribution of bending in eq.(5.10)EC2 (D=1)

## 7.5 VERIFICHE SLU PER TAGLIO-TORSIONE

Si eseguono le verifiche a taglio torsione in corrispondenza della sezione piena e della sezione corrente caratterizzate dalle massime sollecitazioni.

### Riepilogo Sollecitazioni SLU

	Sezione	Frame	N [kN]	M [kNm]	V [kN]	T [kN]	V <sub>w(v+t)</sub> [kN]
1	Corrente	F2	-33022	6028	-2831	523	1466
2	Corrente	F21	-43041	-15518	-3259	-20	1632
3	Corrente	F44	-43277	-14689	-3420	-62	1716
4	Corrente	F67	-34670	-11742	-2853	568	1481
5	Corrente	F83	-35227	-300	2607	-523	1354
6	Piena	F20	-63352	-11871	-9009	-20	4507
7	Piena	F43	-73944	-13544	-8001	-62	4010
8	Piena	F66	-65484	-8735	-5637	435	2885

### RESISTENZA A TAGLIO – SEZIONE PIENA

Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

larghezza sezione	b <sub>w</sub>	[mm]	2250
altezza sezione	h	[mm]	2400
altezza utile sezione	d	[mm]	2040
armatura longitudinale	A <sub>sl</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	2413
rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ <sub>l</sub>		0.001
	k		1.31
	v <sub>min</sub>	[MPa]	0.34
tensione media di compressione nella sezione	σ <sub>cp</sub>	[MPa]	4.57
resistenza caratteristica cilindrica	f <sub>ck</sub>	[MPa]	42
resistenza a taglio	V <sub>Rd</sub>	[kN]	4701
sforzo di taglio massimo	V <sub>Ed</sub>	[kN]	4507

verificato

### Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

larghezza sezione	b <sub>w</sub>	[mm]	2250
altezza sezione	h	[mm]	2400



altezza utile sezione	d	[mm]	2040
numero armature trasversali	n° Ø		5
diametro armature trasversali	Ø	[mm]	20
interasse armature trasversali	s	[mm]	150
area dell'armatura trasversale a taglio	A <sub>sw</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	1571
resistenza di progetto	f <sub>yd</sub>	[MPa]	435
resistenza a compressione del cls	f <sub>cd</sub>	[MPa]	23.5
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	α	[DEG]	90
	ctg θ		1.0
	θ	[DEG]	45
tensione di compressione calcestruzzo	σ <sub>cp</sub>	[MPa]	4.57
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	α <sub>c</sub>		1.19
resistenza a taglio trazione	V <sub>Rsd</sub>	[kN]	8359
resistenza a compressione del cls ridotta	f <sub>cd'</sub>	[MPa]	11.8
resistenza a taglio compressione	V <sub>Rcd</sub>	[kN]	29002
resistenza a taglio	V <sub>Rd</sub>	[kN]	8359
sforzo di taglio massimo	V <sub>Ed</sub>	[kN]	4507

verificato

<b>RESISTENZA A TAGLIO - SEZIONE CORRENTE</b>			
<b>Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio</b>			
$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$			
larghezza sezione	$b_w$	[mm]	350
altezza sezione	$h$	[mm]	2400
altezza utile sezione	$d$	[mm]	2040
armatura longitudinale	$A_{sl}$	[mm <sup>2</sup> ]	2413
rapporto geometrico di armatura longitudinale	$\rho_l$		0.003
	$k$		1.31
	$v_{min}$	[MPa]	0.34
tensione media di compressione nella sezione	$\sigma_{cp}$	[MPa]	5.78
resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck}$	[MPa]	42
resistenza a taglio	$V_{Rd}$	[kN]	<b>890</b>
sforzo di taglio massimo	$V_{Ed}$	[kN]	<b>1716</b>
<b>non verificato, inserire armatura specifica a taglio</b>			
<b>Elementi con armature trasversali resistenti a taglio</b>			
larghezza sezione	$b_w$	[mm]	350
altezza sezione	$h$	[mm]	2400
altezza utile sezione	$d$	[mm]	2040
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		2
diametro armature trasversali	$\emptyset$	[mm]	16
interasse armature trasversali	$s$	[mm]	150
area dell'armatura trasversale a taglio	$A_{sw}$	[mm <sup>2</sup> ]	402
resistenza di progetto	$f_{yd}$	[MPa]	435
resistenza a compressione del cls	$f_{cd}$	[MPa]	23.5
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	$\alpha$	[DEG]	90
	$ctg \theta$		1.0
	$\theta$	[DEG]	45
tensione di compressione calcestruzzo	$\sigma_{cp}$	[MPa]	5.78
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	$\alpha_c$		1.25
resistenza a taglio trazione	$V_{Rsd}$	[kN]	2140
resistenza a compressione del cls ridotta	$f_{cd}'$	[MPa]	11.8
resistenza a taglio compressione	$V_{Rcd}$	[kN]	4707
resistenza a taglio	$V_{Rd}$	[kN]	<b>2140</b>
sforzo di taglio massimo	$V_{Ed}$	[kN]	<b>1716</b>
			<b>verificato</b>

Area anima/metro =  $A_{sw}$  2680 mm<sup>2</sup>/m

## 8 CALCOLO DEGLI EFFETTI LOCALI

### 8.1 Analisi

Nel calcolo degli effetti locali si assume una variazione termica lineare tra esterno ed interno cassone pari a  $\pm 15^{\circ}\text{C}$ .

Nella valutazione degli effetti del *tandem system* si considera una larghezza collaborante pari a 5.20m per il calcolo delle sollecitazioni flettenti e 2.90m per il calcolo delle sollecitazioni taglianti.

Per l'urto del veicolo in svio si applica un forza pari 100kN e un momento pari a  $100 \times (1 + .11 + .25/2) = 123.5\text{kNm}$ . Si dividono cautelativamente tali azioni per l'interasse dei montanti, assunto pari a 1.25m.

Nella seguente figura sono riportate le sezioni di verifica.

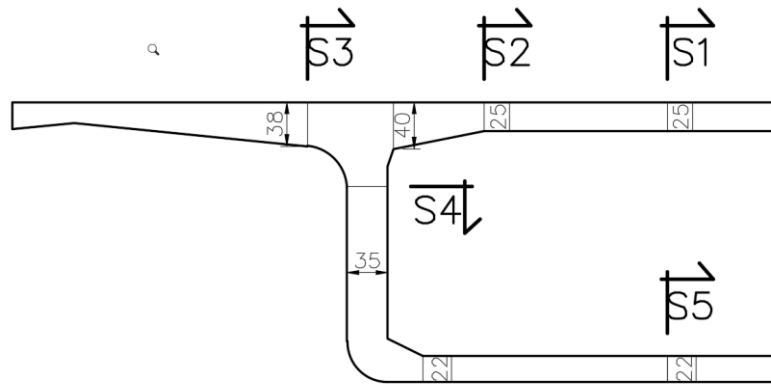


Figura 13 – Sezioni caratteristiche per verifica effetti locali

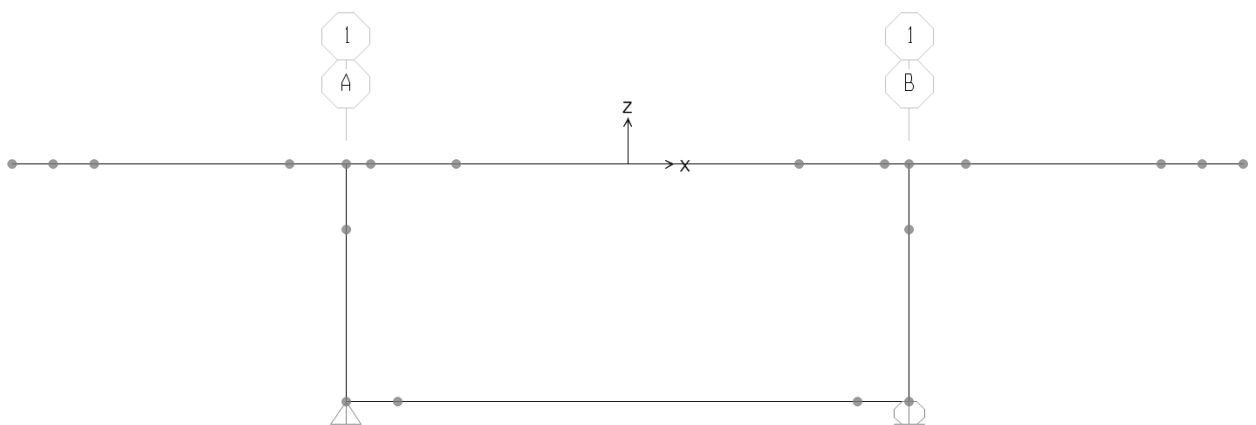


Figura 14 – Modello di calcolo effetti locali

VI01 - RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO IMPALCATO

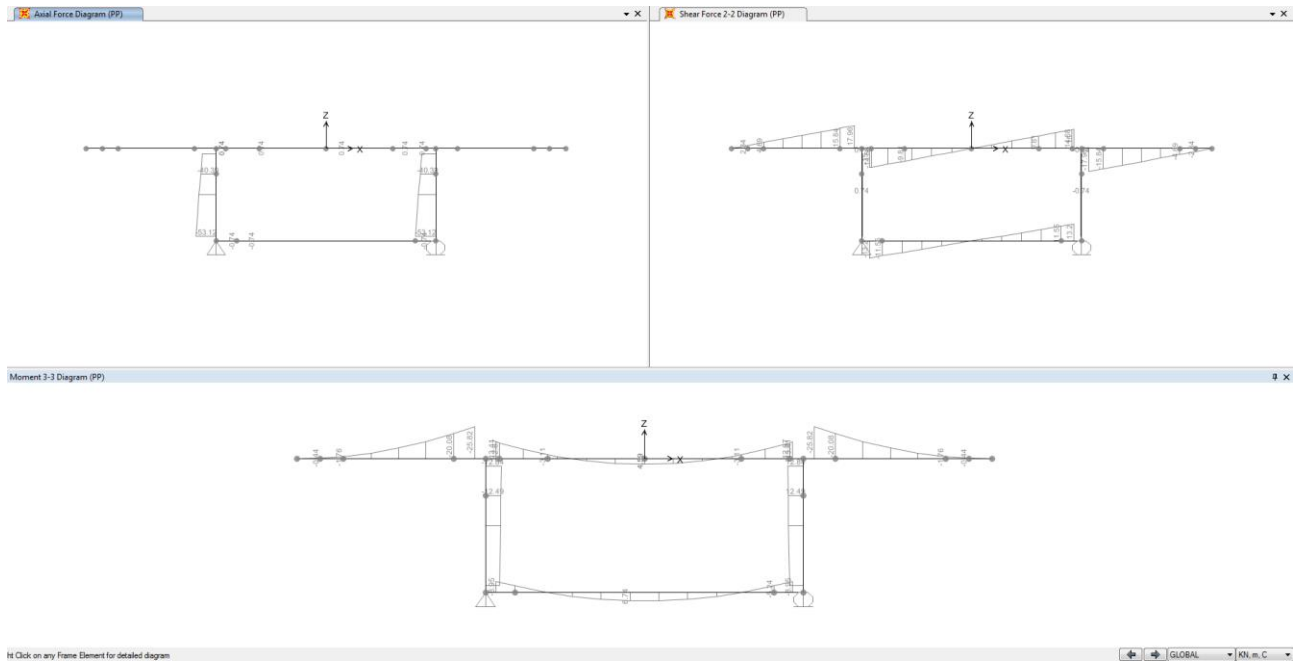


Figura 15 – Diagrammi delle sollecitazioni N, V, M da peso proprio

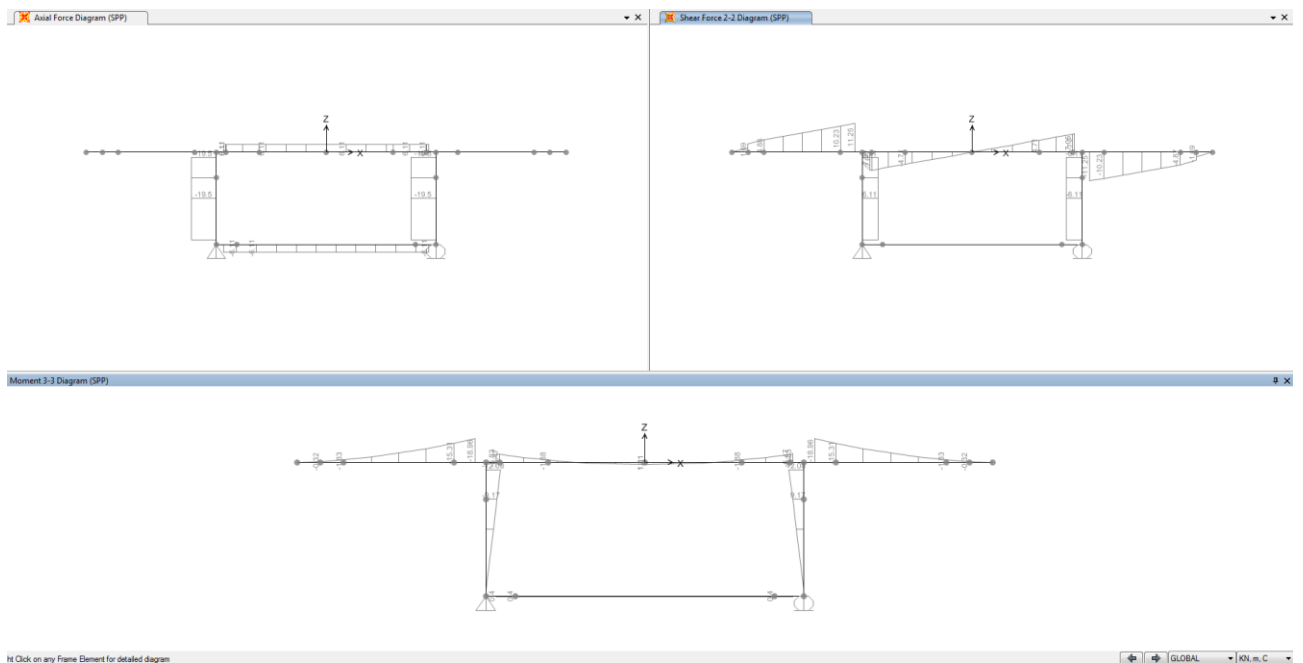


Figura 16 – Diagrammi delle sollecitazioni N, V, M da permanenti portati

VI01 - RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO IMPALCATO

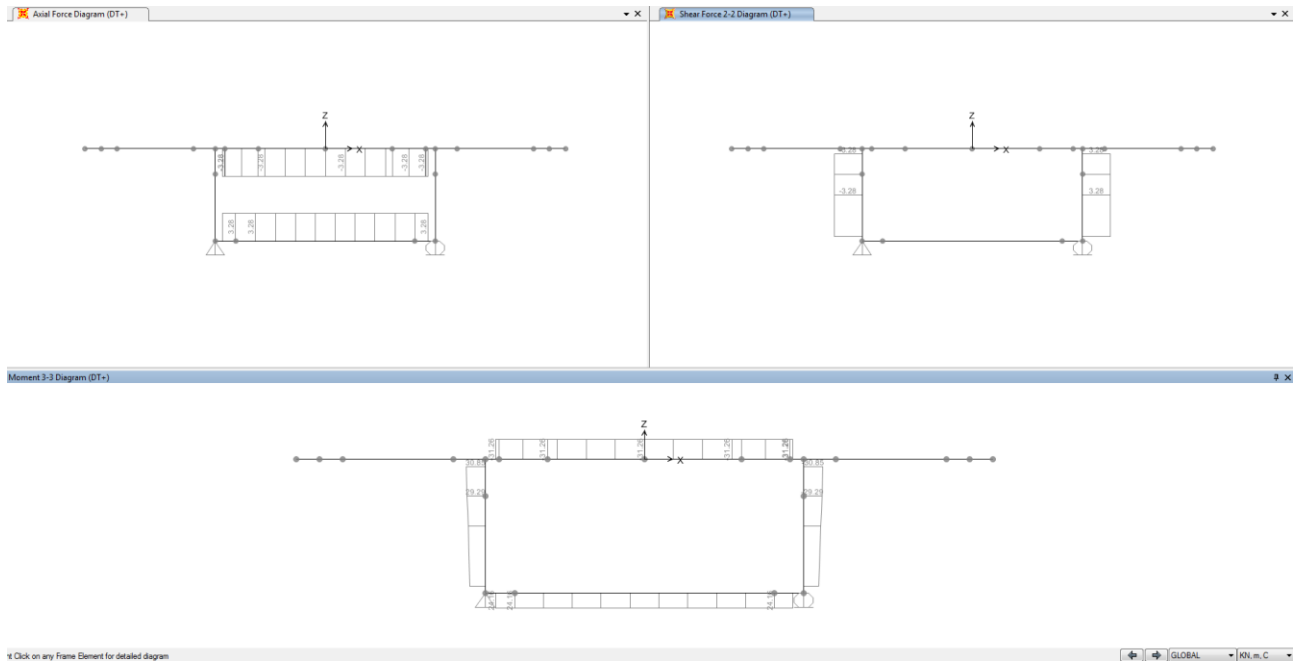


Figura 17 – Diagrammi delle sollecitazioni N, V, M da variazione termica differenziale

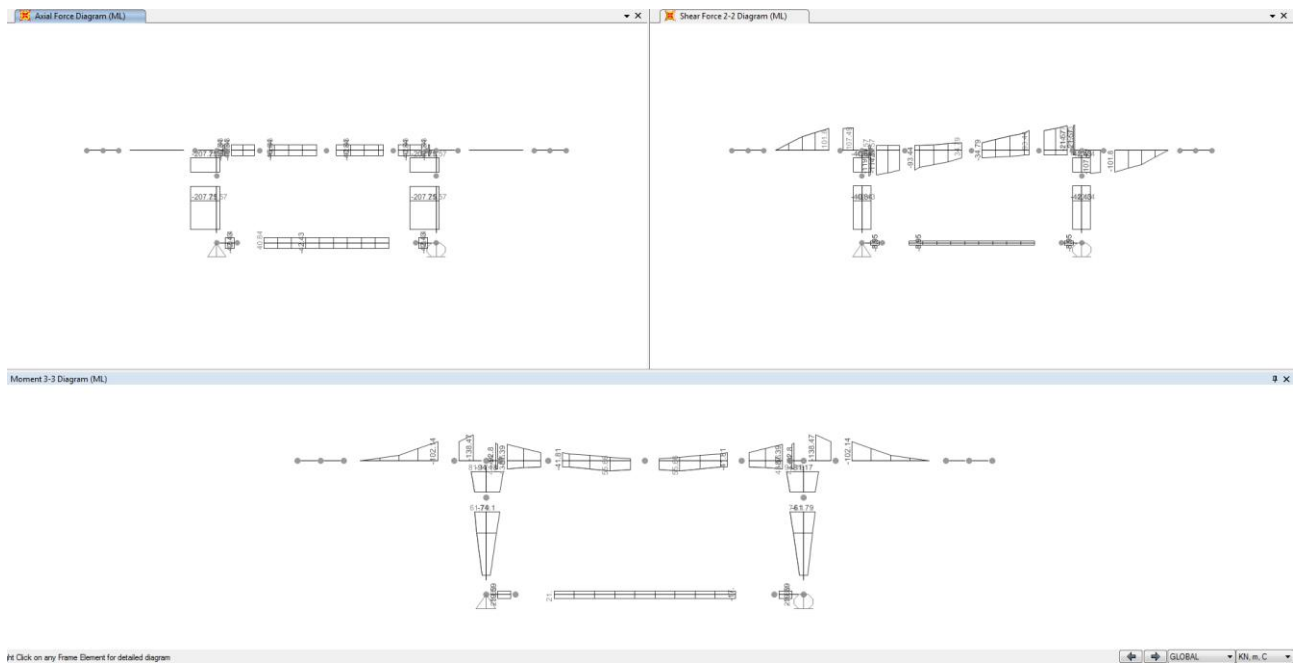


Figura 18 – Diagrammi delle sollecitazioni N, V, M da carichi mobili

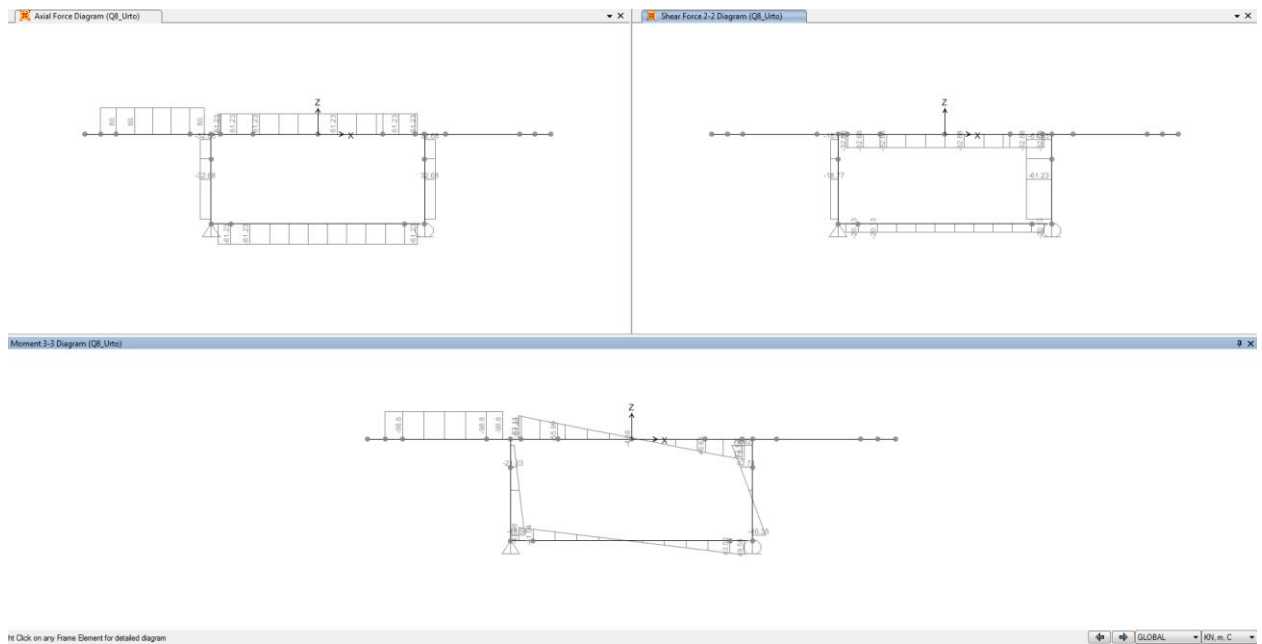


Figura 19 – Diagrammi delle sollecitazioni N, V, M da urto di veicolo in svio

Seguono le verifiche di resistenza a presso-flessione e taglio allo SLU e di fessurazione allo SLE-F.

8.2 Sezione S1

Armatura superiore Ø20/15

Armatura inferiore Ø20/15 + Ø16/30

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

**N° figure elementari**  **Zoom** **N° strati barre**  **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	25

N°	As [cm²]	d [cm]
1	20.95	4.5
2	20.95	20.5
3	5.88	17.7

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

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

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

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

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

**Materiali**  
 B450C  C40/50  
 $\epsilon_{su}$  67.5 %  $\epsilon_{c2}$  2 %  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 %  
 $E_s$  200 000 N/mm²  $f_{cd}$  22.67  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 ?  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 %  $\sigma_{c,adm}$  14.75  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.8667  
 $\tau_{c1}$  2.4

**M<sub>xRd</sub>**  kN m  
 $\sigma_c$   N/mm²  
 $\sigma_s$   N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 %  
 $\epsilon_s$  11.4 %  
 d 20.5 cm  
 x 4.817 w/d 0.235  
 $\delta$  0.7337

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

**Sollecitazioni**

N.	N [kN]	M [kNm]
1	-69	105

Aggiunge

Valori Infiltrisci punti

<b>VERIFICHE A FESSURAZIONE</b>		
<b>Elemento strutturale: SOLETTA</b>		<b>combo: SLE-F</b>
<b>Stato limite di apertura delle fessure</b>		
<b>Sollecitazioni di verifica</b>		
$N_{Ed}$ = sforzo normale		-40.0 [kN]
$M_{Ed}$ = momento flettente		63.0 [kNm]
<b>Calcolo della distanza massima tra le fessure</b>		
$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure		182 [mm]
$c$ = copriferro		35 [mm]
$s$ = interasse barre tese		100 [mm]
$\phi$ = diametro della barra		19 [mm]
$k_1$ = coefficiente di aderenza del cls alla barra		0.8
$k_2$ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni		0.5
$k_3$ =		3.4
$k_4$ =		0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$		0.0506
$A_s$ = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$		2765 [mm <sup>2</sup> ]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$		54655 [mm <sup>2</sup> ]
$b$ =		1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =		55 [mm]
<b>Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura</b>		
$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ( $\geq 0.6 \sigma_s / E_s$ )		0.00039
$0.6 \sigma_s / E_s =$		0.00039
$\sigma_s$ = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata		134.9 [MPa]
$f_{ctm}$ = resistenza media a trazione		3.60 [MPa]
$E_s$ = modulo di elasticità normale dell'acciaio		206000 [MPa]
$E_{cm}$ = modulo di elasticità normale del calcestruzzo		35547 [MPa]
$\alpha_e$ = rapporto $E_s/E_{cm}$		5.8
$k_t$ = coefficiente di sollecitazione		0.6
<b>Verifica dell'apertura delle fessure</b>		
$w_d = \varepsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure		<b>0.07</b> [mm]
$w$ = valore limite di apertura delle fessure		<b>0.30</b> [mm]
		<b>verificato</b>



8.3 Sezione S2

Armatura superiore  $\varnothing 20/15 + \varnothing 20/30$

Armatura inferiore  $\varnothing 20/15$

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

**N° figure elementari**  **Zoom** **N° strati barre**  **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	25

N°	As [cm²]	d [cm]
1	20.95	4.5
2	20.95	20.5
3	10.46	7.7

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

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

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

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

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

**Materiali**  
 B450C  C40/50  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200 000 N/mm²  $f_{cd}$  22.67  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  14.75  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.8667  
 $\tau_{c1}$  2.4

**M<sub>xRd</sub>** -200.3 kN m  
 $\sigma_c$  -22.67 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  10.25 ‰  
 d 20.5 cm  
 $\rho$  5.219  $\rho/d$  0.2546  
 $\delta$  0.7582

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

**Sollecitazioni**

N.	N [kN]	M [kNm]
1	-69	-86

Aggiunge

Valori Infiltrisci punti

<b>RESISTENZA A TAGLIO</b>			
<b>Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio</b>			
$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$			
larghezza sezione	$b_w$	[mm]	1000
altezza sezione	$h$	[mm]	250
altezza utile sezione	$d$	[mm]	205
armatura longitudinale	$A_{sl}$	[mm <sup>2</sup> ]	3142
rapporto geometrico di armatura longitudinale	$\rho_l$		0.015
	$k$		1.99
	$v_{min}$	[MPa]	0.63
tensione media di compressione nella sezione	$\sigma_{cp}$	[MPa]	0.00
resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck}$	[MPa]	42
resistenza a taglio	$V_{Rd}$	[kN]	<b>195</b>
sforzo di taglio massimo	$V_{Ed}$	[kN]	<b>224</b>
<b>non verificato, inserire armatura specifica a taglio</b>			
<b>Elementi con armature trasversali resistenti a taglio</b>			
larghezza sezione	$b_w$	[mm]	1000
altezza sezione	$h$	[mm]	250
altezza utile sezione	$d$	[mm]	205
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		6.67
diametro armature trasversali	$\emptyset$	[mm]	12
interasse armature trasversali	$s$	[mm]	150
area dell'armatura trasversale a taglio	$A_{sw}$	[mm <sup>2</sup> ]	754
resistenza di progetto	$f_{yd}$	[MPa]	435
resistenza a compressione del cls	$f_{cd}$	[MPa]	23.5
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	$\alpha$	[DEG]	90
	$ctg \theta$		1.0
	$\theta$	[DEG]	45
tensione di compressione calcestruzzo	$\sigma_{cp}$	[MPa]	0.00
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	$\alpha_c$		1.00
resistenza a taglio trazione	$V_{Rsd}$	[kN]	403
resistenza a compressione del cls ridotta	$f_{cd}'$	[MPa]	11.8
resistenza a taglio compressione	$V_{Rcd}$	[kN]	1085
resistenza a taglio	$V_{Rd}$	[kN]	<b>403</b>
sforzo di taglio massimo	$V_{Ed}$	[kN]	<b>224</b>
			<b>verificato</b>

<b>VERIFICHE A FESSURAZIONE</b>	
<b>Elemento strutturale: SOLETTA</b>	<b>combo: SLE-F</b>
<b>Stato limite di apertura delle fessure</b>	
<b>Sollecitazioni di verifica</b>	
$N_{Ed}$ = sforzo normale	-40.0 [kN]
$M_{Ed}$ = momento flettente	53.0 [kNm]
<b>Calcolo della distanza massima tra le fessure</b>	
$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	177 [mm]
$c$ = copriferro	35 [mm]
$s$ = interasse barre tese	100 [mm]
$\phi$ = diametro della barra	20 [mm]
$k_1$ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
$k_2$ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
$k_3$ =	3.4
$k_4$ =	0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.0590
$A_s$ = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	3142 [mm <sup>2</sup> ]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	53248 [mm <sup>2</sup> ]
$b$ =	1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =	53 [mm]
<b>Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura</b>	
$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ( $\geq 0.6 \sigma_s / E_s$ )	0.00030
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00030
$\sigma_s$ = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	101.3 [MPa]
$f_{ctm}$ = resistenza media a trazione	3.60 [MPa]
$E_s$ = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
$E_{cm}$ = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	35547 [MPa]
$\alpha_e$ = rapporto $E_s/E_{cm}$	5.8
$k_t$ = coefficiente di sollecitazione	0.6
<b>Verifica dell'apertura delle fessure</b>	
$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	<b>0.05</b> [mm]
$w$ = valore limite di apertura delle fessure	<b>0.30</b> [mm]
	<b>verificato</b>

8.4 Sezione S3

Armatura superiore Ø20/15 + Ø20/30

Armatura inferiore Ø16/15

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

**N° figure elementari**  **Zoom** **N° strati barre**  **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	38

N°	As [cm²]	d [cm]
1	20.95	4.5
2	13.41	33.5
3	10.46	7.7

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

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

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

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

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

**Materiali**  
 B450C  C40/50  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200 000 N/mm²  $f_{cd}$  22.67 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  14.75 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.8667  
 $\tau_{c1}$  2.4

**M<sub>xRd</sub>** -354 kN m  
 $\sigma_c$  -22.67 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  18.2 ‰  
 d 33.5 cm  
 x 5.402 x/d 0.1613  
 $\delta$  0.7

**Metodo n**  
 N° rett. 100  
   
 $L_o$  0 cm   
 Precompresso

**Sollecitazioni**

N.	N [kN]	M [kNm]
1	-80	-282.2

<b>RESISTENZA A TAGLIO</b>			
<b>Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio</b>			
$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$			
larghezza sezione	$b_w$	[mm]	1000
altezza sezione	$h$	[mm]	380
altezza utile sezione	$d$	[mm]	335
armatura longitudinale	$A_{sl}$	[mm <sup>2</sup> ]	3142
rapporto geometrico di armatura longitudinale	$\rho_l$		0.009
	$k$		1.77
	$v_{\min}$	[MPa]	0.53
tensione media di compressione nella sezione	$\sigma_{cp}$	[MPa]	0.00
resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck}$	[MPa]	42
resistenza a taglio	$V_{Rd}$	[kN]	<b>241</b>
sforzo di taglio massimo	$V_{Ed}$	[kN]	<b>287</b>
<b>non verificato, inserire armatura specifica a taglio</b>			
<b>Elementi con armature trasversali resistenti a taglio</b>			
larghezza sezione	$b_w$	[mm]	1000
altezza sezione	$h$	[mm]	380
altezza utile sezione	$d$	[mm]	335
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		6.67
diametro armature trasversali	$\emptyset$	[mm]	12
interasse armature trasversali	$s$	[mm]	150
area dell'armatura trasversale a taglio	$A_{sw}$	[mm <sup>2</sup> ]	754
resistenza di progetto	$f_{yd}$	[MPa]	435
resistenza a compressione del cls	$f_{cd}$	[MPa]	23.5
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	$\alpha$	[DEG]	90
	$\text{ctg } \theta$		1.0
	$\theta$	[DEG]	45
tensione di compressione calcestruzzo	$\sigma_{cp}$	[MPa]	0.00
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	$\alpha_c$		1.00
resistenza a taglio trazione	$V_{Rsd}$	[kN]	659
resistenza a compressione del cls ridotta	$f_{cd}'$	[MPa]	11.8
resistenza a taglio compressione	$V_{Rcd}$	[kN]	1773
resistenza a taglio	$V_{Rd}$	[kN]	<b>659</b>
sforzo di taglio massimo	$V_{Ed}$	[kN]	<b>287</b>
			<b>verificato</b>

<b>VERIFICHE A FESSURAZIONE</b>	
<b>Elemento strutturale: SOLETTA</b>	<b>combo: SLE-F</b>
<b>Stato limite di apertura delle fessure</b>	
<b>Sollecitazioni di verifica</b>	
$N_{Ed}$ = sforzo normale	0.0 [kN]
$M_{Ed}$ = momento flettente	112.0 [kNm]
<b>Calcolo della distanza massima tra le fessure</b>	
$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	212 [mm]
$c$ = copriferro	35 [mm]
$s$ = interasse barre tese	100 [mm]
$\phi$ = diametro della barra	20 [mm]
$k_1$ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
$k_2$ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
$k_3$ =	3.4
$k_4$ =	0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.0367
$A_s$ = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	3142 [mm <sup>2</sup> ]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	85710 [mm <sup>2</sup> ]
$b$ =	1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =	86 [mm]
<b>Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura</b>	
$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff})/\rho_{eff}]/E_s$ ( $\geq 0.6 \sigma_s/E_s$ )	0.00035
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00035
$\sigma_s$ = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	121.7 [MPa]
$f_{ctm}$ = resistenza media a trazione	3.60 [MPa]
$E_s$ = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
$E_{cm}$ = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	35547 [MPa]
$\alpha_e$ = rapporto $E_s/E_{cm}$	5.8
$k_t$ = coefficiente di sollecitazione	0.6
<b>Verifica dell'apertura delle fessure</b>	
$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	<b>0.08</b> [mm]
$w$ = valore limite di apertura delle fessure	<b>0.30</b> [mm]
	<b>verificato</b>

8.5 Sezione S4

Armatura tesa Ø20/15

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

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	20.95	31

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 52 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 150 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 0

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

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

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

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

**Materiali**  
 B450C C40/50  
 ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200 000 N/mm² f<sub>cd</sub> 22.67 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 14.75 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.8667  
 τ<sub>c1</sub> 2.4

M<sub>xRd</sub> 246 kNm  
 σ<sub>c</sub> -22.67 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 19.36 ‰  
 d 31 cm  
 x 4.746 x/d 0.1531  
 δ 0.7

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

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

**Sollecitazioni**

N.	N [kN]	M [kNm]
1	52	150

Aggiunge

Valori Infiltrisci punti

Nota: le armature derivanti dal calcolo degli effetti locali sono sommate a quelle derivanti dal calcolo degli effetti globali. In particolare l'armatura minima per soddisfare le verifiche locali è 1220mm<sup>2</sup>/m, l'armatura minima per le verifiche a taglio-torsione è 2680 mm<sup>2</sup>/m, da cui  
 1220+2680 = 3900 mm<sup>2</sup>/m < 6283 mm<sup>2</sup>/m presente, costituita da 3 Ø20/150mm.

<b>VERIFICHE A FESSURAZIONE</b>		
<b>Elemento strutturale: PARETE</b>		<b>combo: SLE-F</b>
<b>Stato limite di apertura delle fessure</b>		
<b>Sollecitazioni di verifica</b>		
N <sub>Ed</sub> = sforzo normale		44.0 [kN]
M <sub>Ed</sub> = momento flettente		92.0 [kNm]
<b>Calcolo della distanza massima tra le fessure</b>		
$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff} =$ distanza massima tra le fessure		255 [mm]
c = copriferro		35 [mm]
s = interasse barre tese		150 [mm]
$\phi$ = diametro della barra		20 [mm]
k <sub>1</sub> = coefficiente di aderenza del cls alla barra		0.8
k <sub>2</sub> = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni		0.5
k <sub>3</sub> =		3.4
k <sub>4</sub> =		0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$		0.0250
A <sub>s</sub> = area della sezione di acciaio nell'area A <sub>c,eff</sub>		2095 [mm <sup>2</sup> ]
A <sub>c,eff</sub> = b h <sub>c,eff</sub>		83892 [mm <sup>2</sup> ]
b =		1000 [mm]
h <sub>c,eff</sub> =		84 [mm]
<b>Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura</b>		
$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ( $\geq 0.6 \sigma_s / E_s$ )		0.00045
0.6 $\sigma_s / E_s =$		0.00045
$\sigma_s$ = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata		153.1 [MPa]
f <sub>ctm</sub> = resistenza media a trazione		3.60 [MPa]
E <sub>s</sub> = modulo di elasticità normale dell'acciaio		206000 [MPa]
E <sub>cm</sub> = modulo di elasticità normale del calcestruzzo		35547 [MPa]
$\alpha_e =$ rapporto E <sub>s</sub> /E <sub>cm</sub>		5.8
k <sub>t</sub> = coefficiente di sollecitazione		0.6
<b>Verifica dell'apertura delle fessure</b>		
w <sub>d</sub> = $\epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure		0.11 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure		0.30 [mm]
		<b>verificato</b>



8.6 SEZIONE S5

Armatura superiore Ø16/15

Armatura inferiore Ø16/15

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

**N° figure elementari**  **Zoom** **N° strati barre**  **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	22

N°	As [cm²]	d [cm]
1	13.41	4.5
2	13.41	17.5

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

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

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

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

**Materiali**  
 B450C  C40/50  
 $\epsilon_{su}$  67.5 %  $\epsilon_{c2}$  2 %  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 %  
 $E_s$  200 000 N/mm²  $f_{cd}$  22.67  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 ?  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 %  $\sigma_{c,adm}$  14.75  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.8667  
 $\tau_{c1}$  2.4

$M_{xRd}$  85.2 kNm  
 $\sigma_c$  -22.67 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 %  
 $\epsilon_s$  13.05 %  
 $d$  17.5 cm  
 $x$  3.701  $x/d$  0.2115  
 $\delta$  0.7043

**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
 $L_0$   cm **Col. modello**  
 Precompresso

**Sollecitazioni**

N.	N [kN]	M [kNm]
1	-48	55

Aggiunge

Valori  Infiltrisci punti

<b>VERIFICHE A FESSURAZIONE</b>		
<b>Elemento strutturale: CONTROSOLETTA</b>	<b>combo: SLE-F</b>	
<b>Stato limite di apertura delle fessure</b>		
<b>Sollecitazioni di verifica</b>		
$N_{Ed}$ = sforzo normale	-25.0	[kN]
$M_{Ed}$ = momento flettente	35.0	[kNm]
<b>Calcolo della distanza massima tra le fessure</b>		
$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	226	[mm]
$c$ = copriferro	35	[mm]
$s$ = interasse barre tese	150	[mm]
$\phi$ = diametro della barra	16	[mm]
$k_1$ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8	
$k_2$ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5	
$k_3$ =	3.4	
$k_4$ =	0.425	
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.0255	
$A_s$ = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	1341	[mm <sup>2</sup> ]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	52628	[mm <sup>2</sup> ]
$b$ =	1000	[mm]
$h_{c,eff}$ =	53	[mm]
<b>Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura</b>		
$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff})/\rho_{eff}]/E_s$ ( $\geq 0.6 \sigma_s/E_s$ )	0.00053	
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00053	
$\sigma_s$ = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	182.9	[MPa]
$f_{ctm}$ = resistenza media a trazione	3.60	[MPa]
$E_s$ = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000	[MPa]
$E_{cm}$ = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	35547	[MPa]
$\alpha_e$ = rapporto $E_s/E_{cm}$	5.8	
$k_t$ = coefficiente di sollecitazione	0.6	
<b>Verifica dell'apertura delle fessure</b>		
$w_d = \varepsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.12	[mm]
$w$ = valore limite di apertura delle fessure	0.30	[mm]
		<b>verificato</b>