

**Autostrada A13
Bologna - Padova**

**Progetto Definitivo
Ampliamento alla terza corsia
Tratto Bologna - Ferrara**

Opere di linea

Sottovia di via Aposazza (pk 1+217)

Relazione di calcolo impalcato

1.	Introduzione	4
1.1	Dati di base	5
1.2	Descrizione generale dell'opera	5
1.2.1	Schema statico	6
1.2.2	Impalcato	7
1.2.3	Spalle	8
1.3	Normative di riferimento	9
1.4	Condizioni ambientali e classi di esposizione	10
1.5	Caratteristiche materiali	10
1.5.1	Tensioni limite e proprietà di riferimento - Allargamento	10
1.5.2	Tensioni limite e proprietà di riferimento – Impalcato esistente	11
1.5.3	Coefficienti parziali di sicurezza	13
1.6	Software di calcolo	14
1.7	Convenzioni generali	14
2.	Impostazione delle analisi e delle verifiche	16
2.1	Analisi della struttura	16
2.2	Studio interazione impalcato/sottostrutture	20
2.3	Caratteristiche delle sezioni dell'impalcato	20
2.3.1	Impalcato esistente	20
2.3.2	Impalcato nuovo in allargamento	21
3.	Analisi dei carichi	23
3.1	Carichi agenti in fase 1	23
3.1.1	Pesi propri (G_{k1})	23
3.2	Carichi agenti in fase 2	23
3.2.1	Sovraccarichi permanenti (G_{k2})	23
3.3	Carichi agenti in fase 3	24
3.3.1	Carichi mobili (Q_k)	24
3.4	Tabella esplicativa dei carichi agenti	26
4.	Combinazioni di carico	28
4.1	Combinazioni per gli S.L.U. – STR	29
4.2	Combinazioni per gli S.L.E. RARA	29
4.3	Combinazioni per gli S.L.E. FREQUENTE	29
4.4	Combinazioni per gli S.L.E. QUASI PERMANENTE	29
5.	Analisi strutturale impalcato	30
5.1	Generalità	30
5.2	Sollecitazioni	31
5.2.1	Inviluppo S.L.U.	32

6.	Deformazioni verticali	36
6.1	Deformazioni massime	36
7.	Verifica dell'impalcato	37
7.1	Generalità	37
8.	Verifica della soletta	40
8.1	Generalità	40
8.2	Carichi e combinazioni di carico	41
8.3	Sollecitazioni	42
8.3.1	Sollecitazioni Longitudinali	42
8.3.2	Sollecitazioni trasversali	47
8.4	Risultati di verifica della soletta	52
8.4.1	Armature	52
8.4.2	Risultati (longitudinali)	54
8.4.3	Armature trasversali	60
8.4.4	Risultati (trasversali)	61
8.5	Verifiche tensionali S.L.E. – travi precomprese	63
8.5.1	Caratteristiche sezioni di mezzera della trave	63
8.5.2	Tensioni al tiro	66
8.5.3	Tensioni agli S.L.E. (Rara)	68
9.	Azioni sugli appoggi	69

1. Introduzione

Nell'ambito dei lavori di ammodernamento della rete autostadale – Autostrada A13 – nel tratto tra Bologna e Ferrara, si prevede l'ampliamento della sede alla terza corsia, con adeguamento delle opere d'arte di linea. L'approccio generale ai ponti e ai viadotti esistenti prevede il mantenimento delle opere d'arte e il loro adeguamento alle attuali normative, sotto le combinazioni delle azioni statiche e sismiche, in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle NTC 2008 e circolari successive.

L'impianto originario dell'autostrada risale alla decade degli anni 1960 e vede la realizzazione di opere d'arte in calcestruzzo armato con diffuso utilizzo di travi in CAP per gli impalcati; spalle e pile massicce in calcestruzzo armato ordinario fondate su pali. Lo schema statico ricorrente è quello delle campate isostatiche su semplici appoggi.

Per opportunità operative si è implementata l'analisi delle strutture esistenti e delle porzioni in allargamento con suddivisione in orizzontale. In dettaglio, si è approntata per ciascuna opera una relazione di calcolo per gli impalcati, una per le spalle e le pile ed una per le verifiche geotecniche delle fondazioni.

Il presente elaborato riporta i calcoli relativi alla verifica della porzione di impalcato esistente e il dimensionamento della porzione in allargamento per il sottovia di via Aposazza alla pk 1+217.



Individuazione dell'opera

1.1 Dati di base

Preliminarmente all'avvio della progettazione è stata condotta una attività di indagine e reperimento dei dati di archivio, complementata da indagini in situ.

In particolare, per l'opera in oggetto, sono a disposizione:

- Scheda anagrafica dell'opera – codifica 13.03.0006.0.0, nella quale si ripercorre la cronistoria delle ispezioni e degli interventi principali effettuati sull'opera. E' inoltre presente una breve descrizione dello stato del manufatto e delle principali criticità

Documenti progettuali originali:

- del 25.06.1964 – Relazione di calcolo – stabilità
- Relazione di calcolo aggiuntiva
- Determinazione degli elementi di calcolo
- processo verbale di collaudo statico del 01.08.1966
- Elaborato grafico progettuale n. 19, contenente le carpenterie e le armature dell'impalcato
- Elaborato grafico progettuale n. 18, contenente le carpenterie e le armature spalle

E' inoltre stata effettuata una campagna di indagini mirata e confermare la geometria dell'opera e a determinare le caratteristiche dei materiali.

1.2 Descrizione generale dell'opera

L'opera esistente è costituita da un manufatto a singola campata avente luce di calcolo pari a 15.50 m e lunghezza complessiva del solettone 15.95 m circa ed è caratterizzata da una inclinazione tra l'asse autostradale e l'allineamento degli appoggi con angolo planimetrico pari a circa 90° circa.

La larghezza complessiva in sezione trasversale è pari a 12.00 m circa per ciascuna carreggiata e, a valle dell'intervento in progetto, vi sarà un incremento simmetrico della piattaforma pari a mediamente 4.95 m per entrambe le carreggiate, inclusi cordoli.

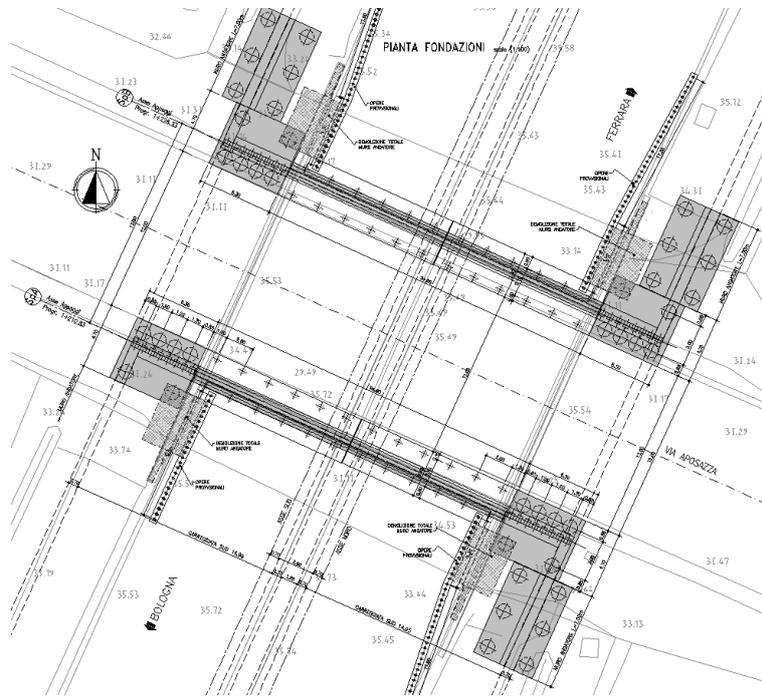
Il manufatto si compone di impalcati realizzati mediante solettone gettato in opera con alleggerimenti circolari longitudinali, di spessore 0.80 m complessivi, con cavi di precompressione longitudinali e sostenuti alle estremità da appoggi in neoprene.

Le spalle sono costituite da monoliti in calcestruzzo armato; le sezioni del paramento sono rettangolari e poggianti su plinti fondati su un sistema di pali di diametro 0.38 m.

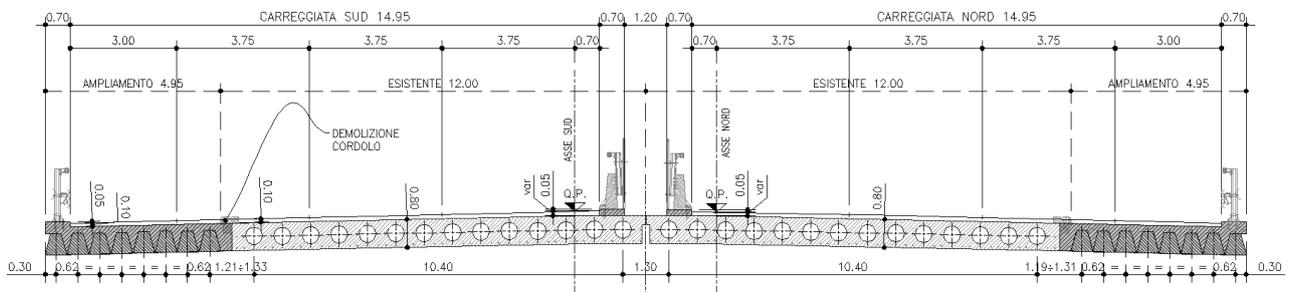
L'allargamento interessa entrambe le carreggiate lato esterno e vede la realizzazione di spalle in calcestruzzo armato su pali, mantenendo i medesimi allineamenti dell'opera attuale.

La nuova porzione di impalcato si realizza, per garantire la miglior similitudine dell'esistente, con travi in cap a sezione compatta di altezza $H=0.60$ m affiancate, che garantiscono buona stabilità in fase di getto e conferiscono rigidità torsionale una volta solidarizzate con la soletta gettata in opera a saturare gli interstizi tra le travi. Si perà poi una connessione trasversale ad intradosso in modo da ottenere, ad opera ultimata, una struttura a piastra continua.

La connessione tra la porzione di impalcato esistente e quella in allargamento si realizza con l'ausilio di barre di cucitura ad intradosso e ad estradosso ancorate al solettone esistente tramite inghisaggi. La scelta della carpenteria delle travi è stata effettuata al fine di garantire buona stabilità in fase di getto della soletta e rigidezza flessionale longitudinale dell'assieme trave-soletta prossima a quella dell'impalcato esistente.



Pianta impalcato allargato



Sezioni trasversali allargate

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici dedicati.

1.2.1 Schema statico

Come anticipato, lo schema statico relativo ai singoli impalcati è quello di semplice appoggio. L'intervento in progetto vede la sostituzione anche degli appoggi esistenti e, qualora necessario, l'adeguamento dei baggioli e il sollevamento dell'impalcato in modo da minimizzare il sovraccarico del pacchetto stradale e del sottofondo indotti dalla livelletta autostradale e dalle nuove pendenze trasversali.

In virtù di quanto sopra e con l'obiettivo di semplificare le analisi garantendo comunque un ottimo grado di dettaglio, si sono implementati modelli di calcolo dedicati alla singola campata e vincolati a terra attraverso link-elastici in grado di simulare il comportamento degli apparecchi di appoggio in elastomero armato.

Le analisi vedono la simulazione della reale geometria tridimensionale e della rigidità della struttura, attraverso l'utilizzo di elementi bidimensionali tipo "shell" per il solettone, oltre all'adozione di moduli elastici dei materiali differenti tra le strutture esistenti e quelle nuove e, per la fase precedente la maturazione del getto di completamento, ortotropi al fine di cogliere la reale direzione di sostegno dei carichi offerta dalle travi affiancate. Sono inoltre state ripercorse le reali fasi realizzative della struttura, in modo da cogliere con ottimo dettaglio le distribuzioni delle azioni e delle deformazioni.

L'effetto della precompressione è stato trattato in fase di verifica sezionale, in virtù dell'assenza di significativi effetti iperstatici indotti dalla precompressione su schemi statici di questo tipo.

Come anticipato, l'organizzazione delle analisi ha portato ad indagare separatamente gli impalcati dalle sottostrutture; nel presente documento non si prendono quindi in conto le sollecitazioni di tipo sismico in quanto non significative su impalcati di questa tipologia.

In merito alle azioni sugli appoggi, la scelta progettuale vede il dimensionamento degli apparecchi con riferimento a tutte le combinazioni di verifica statiche di normativa e l'utilizzo di ritegni sismici longitudinali e trasversali per resistente alle azioni inerziali.

Per la trattazione delle elevazioni (spalle) e delle fondazioni si rimanda alle relazioni di calcolo dedicate, nelle quali si procede anche alle analisi inerenti i dispositivi di ritegno sismico.

La disposizione dei carichi in soletta segue la reale distribuzione degli elementi permanenti che costituiscono la struttura, il pacchetto e gli arredi; i carichi variabili sono invece stati collocati in ottemperanza alle indicazioni di normativa e in modo da massimizzare gli effetti flettenti, taglianti e torcenti di volta in volta indagati sulle singole sezioni, attraverso l'utilizzo di un automatismo presente nel programma di calcolo che utilizza le linee e le superfici di influenza.

1.2.2 Impalcato

Il manufatto vede la presenza di due campate indipendenti affiancate, ciascuna delle quali a servizio di una careggiata autostradale, aventi eguale geometria.

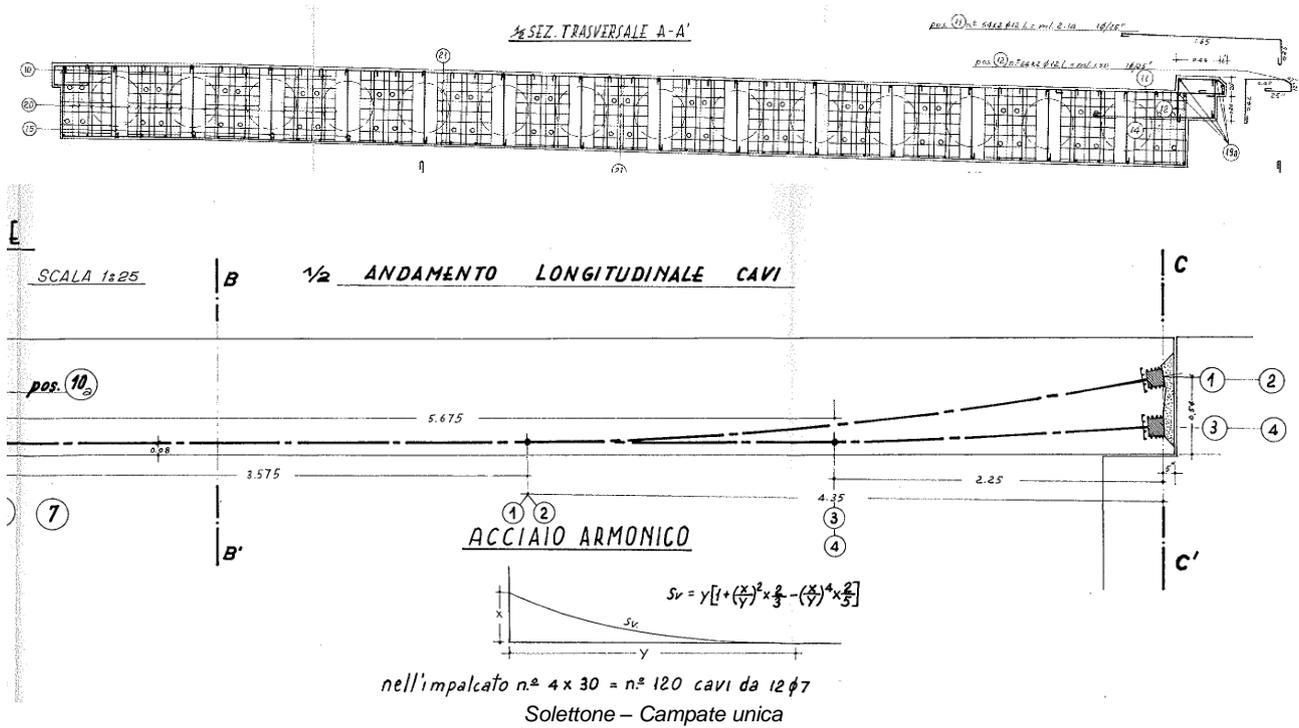
Le campate si compongono attualmente di due solettoni indipendenti con altezza $H = 0.80$ m costante e alleggerita a passo regolare da cavità cilindriche nella porzione di campata. Sono presenti cavi di precompressione con tracciato parabolico a tratti in direzione longitudinale tra i due asse appoggi. L'allargamento in progetto vede l'affiancamento e solidarizzazione di otto travi prefabbricate con sezione compatta ed altezza $H_{TRAVE} = 0.60$ m ad interasse $i = 0.62$ m.

La connessione con l'opera esistente si realizza, lungo l'intero sviluppo della stessa, tramite sezione di sutura in soletta e il posizionamento di barre inghisate ad intradosso e vincolate monoliticamente nel solettone esistente.

La reciproca connessione trasversale delle nuove travi è garantita, oltre che dalla soletta costituita da getto in opera, dalla presenza di apposite barre in acciaio ad alta resistenza ad interasse costante $i = 1.50$ m.

Le nuove travi sono precomprese in stabilimento con trefoli aderenti.

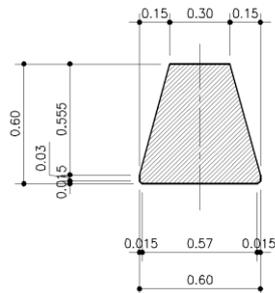
Geometria e armatura di precompressione del solettone esistente:



Il solettone presenta tracciato dei cavi parabolico a tratti.

Geometria e delle travi aggiuntive per le due carreggiate:

SEZIONE TIPO scala (1:20)



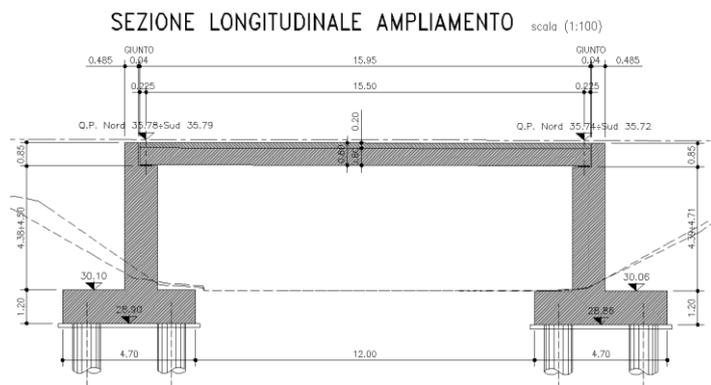
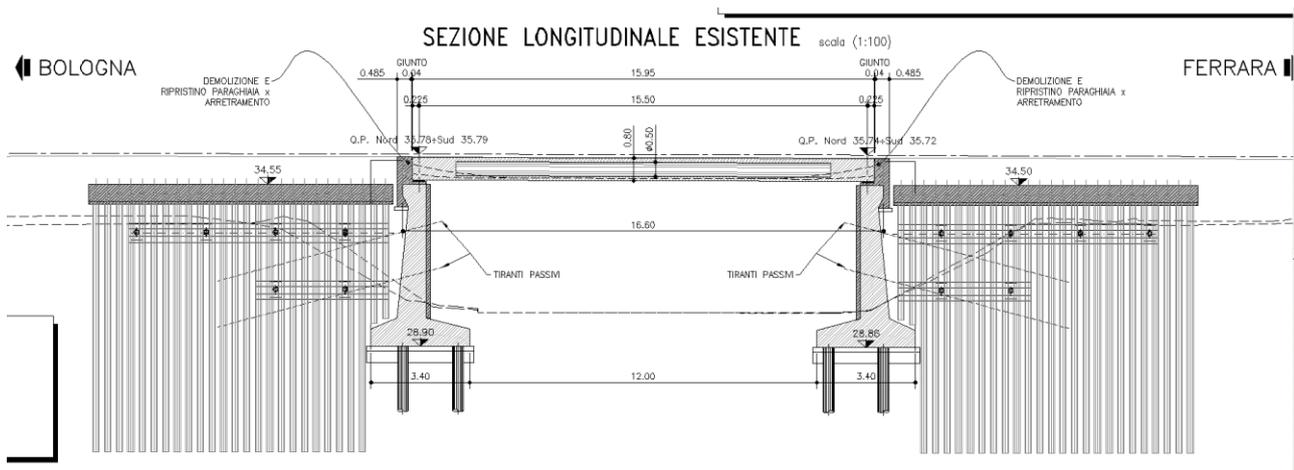
Trave nuova

1.2.3 Spalle

Le spalle presentano struttura monolitica in c.a. con impianto di fondazione profondo su pali.

Nel seguito si riportano per completezza le sezioni longitudinali dell'opera sia relativamente alla struttura esistente, sia in corrispondenza all'allargamento.

Si rimanda alle relazioni dedicate per maggiori dettagli relativi alle caratteristiche delle sottostrutture, alle analisi e alle verifiche pertinenti.



Sezioni longitudinali

1.3 Normative di riferimento

Le analisi strutturali e le relative verifiche vengono eseguite secondo il metodo semi-probabilistico agli Stati Limite in accordo alle disposizioni normative previste dalla vigente normativa italiana e da quella europea (Eurocodici). In particolare, al fine di conseguire un approccio il più unitario possibile relativamente alle prescrizioni ed alle metodologie/criteri di verifica, si è fatto diretto riferimento alle varie parti degli Eurocodici, unitamente ai relativi National Application Documents, verificando puntualmente l'armonizzazione del livello di sicurezza conseguito con quello richiesto dalla vigente normativa nazionale.

In dettaglio si sono prese in esame i seguenti documenti:

D.M. 14 gennaio 2008: Nuove norme tecniche per le costruzioni (indicate nel prosieguo "NTC-08");

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per la Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008;

UNI EN 1990: Basi della progettazione strutturale

UNI EN 1991-1-5: Azioni sulle strutture – Azioni termiche

UNI EN 1991-2: Azioni sulle strutture – Carichi da traffico sui ponti

UNI EN 1992-1-1: Progettazione delle strutture di calcestruzzo - regole generali e regole per gli edifici

UNI EN 1992-2: Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Ponti di calcestruzzo

1.4 Condizioni ambientali e classi di esposizione

Per quanto riguarda le classi di esposizione, si prevede l'alternarsi di cicli di gelo/disgelo, in presenza di agenti disgelanti, per cui, applicheranno le seguenti classi di esposizione:

Soletta e cordoli: XF4

Travi prefabbricate: XC4

Le caratteristiche del calcestruzzo dovranno pertanto rispettare, oltre i requisiti di resistenza indicati al punto seguente, anche i criteri previsti dalla vigente normativa (EN 11104 e EN 206) per quanto riguarda l'esposizione alle classi indicate.

1.5 Caratteristiche materiali

Vengono di seguito elencati i materiali impiegati per la realizzazione dell'opera, unitamente ai rispettivi parametri di riferimento

1.5.1 Tensioni limite e proprietà di riferimento - Allargamento

Calcestruzzo

Elemento	classe	f_{ck}	R_{bk}	f_{cm}	f_{ctm}	E_{cm}
Travi prefabbricate	C45/55	45	55	53	3.79	36000
Soletta	C35/45	35	45	43	3.21	34000

riferimenti:

EN 206

EN 1992-1-1 3.1.2. tab. 3.1

Acciaio in barre per c.a.

tipo	B450C	
f_{yk}	450 MPa	Snervamento
f_{tk}	540 MPa	Rottura a trazione
E_s	210000 MPa	Modulo di Young

riferimenti:

EN 1992-1-1 cap. 3.2 + ann. C

EN 1994-2 cap. 3.2(2)

Acciaio in barre ad alta resistenza

tipo	Nervate	
f_{yk}	950 MPa	Snervamento
f_{tk}	1050 MPa	Rottura a trazione
E_s	210000 MPa	Modulo di Young

Acciaio da precompressione aderente

Tipo trefoli	0.6"	
$A_{trefolo}$	139 mm ²	area
f_{ptk}	1860 MPa	Tensione caratteristica di rottura
$f_{p(1)k}$	1670 MPa	Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale
f_{yd}	1452 MPa	Tensione massima per il calcolo a rottura
σ_{pi}	1488 MPa	Tensione iniziale all'atto della tesatura $\min(0.8f_{ptk}; 0.9f_{p(1)k})$
E_s	195000 MPa	Modulo di Young
ρ_{1000}	2.5 %	Cadute per rilassamento a 1000 ore dopo la messa in tensione
μ	0.8 -	σ_{pi} / f_{ptk}
t		Tempo misurato in ore dalla messa in tensione

riferimenti:

EN 1992-1-1 cap. 3.2 + ann. C

EN 1994-2 cap. 3.2(2)

Cadute per rilassamento: in assenza di dati sperimentali afferenti al lotto considerato, caduta di tensione $\Delta\sigma_{pr}$ per rilassamento al tempo t ad una temperatura di 20°C può assumersi pari al valore calcolato con la seguente formula:

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\Delta\sigma_{pi}} = 0.66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9.1\mu} \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{0.75(1-\mu)} \cdot 10^{-5}$$

1.5.2 Tensioni limite e proprietà di riferimento – Impalcato esistente

Di seguito le informazioni tratte dai documenti progettuali di archivio e dalle indagini in situ.

Travi prefabbricate:

MATERIALI E TASSI DI LAVORO

Calcestruzzo per c.a.p. a 4 q.li di cemento tipo 730

Minima resistenza alla compressione a 28 gg. 232 Kg/cmq.

Minima resistenza al tiro 174 Kg/cmq.

Massima sollecitazione al tiro 174 x 0,42 73 Kg/cmq.

Massima sollecitazione in esercizio 232 x 0,32 74 Kg/cmq.

Sollecitazione di trazione: nulle sia al tiro che in esercizio.

Acciaio di precompressione in fili \emptyset 6 tipo Prebeton di sollecitazione a rottura = 165 Kg/mm².

Massima sollecitazione al tiro = 101 Kg/mm².

Massima sollecitazione in esercizio = 90 Kg/mm².

Ferro per c.a.o. semiduro A.q. 50 con tensione di esercizio di 1600 Kg/cmq.

Apparecchio d'ancoraggio per cavi di precompressione del tipo BBRV/EF.

Apparecchi d'appoggio al Neoprene.

poggio conseguenti al cambiamento dei cavi di precompressione da 2 cavi da 32 Ø 6 a 4 cavi da 12 Ø 7 per nervature. Per il calcolo dei coefficienti di eccentricità si

Le caratteristiche dell'acciaio ordinario sono dichiarate in progetto esse quelle dell'Aq 50, senza ulteriori indicazioni.

Le indagini hanno restituito i seguenti risultati:

Opera 1: Sottovia via Aposazza
 Progr.: Km 1+217

Prove su calcestruzzi

Spalle						
Zona	Elemento	Carr.	R _{po/scl} [MPa]	R _{cm,lab} [MPa]	K _{corr.}	R _{c,corr.} [MPa]
L1-OP1-2	Spalla B		42,66	31,97	0,75	31,97
L1-OP1-6	Spalla A		44,70			33,51
L1-OP1-7	Spalla A		48,41			36,28
Valori Medi			45,26	31,97	0,75	33,92

Solette						
Zona	Elemento	Carr.	R _{son} [MPa]	R _{cm,lab} [MPa]	K _{corr.}	R _{c,corr.} [MPa]
L1-OP1-1	Solettone	Sud	27,73	21,82	0,79	21,82
L1-OP1-8	Solettone	Nord	28,06			22,08
L1-OP1-9	Solettone	Sud	26,65			20,97
Valori Medi			27,48	21,82	0,79	21,62

Legenda:

- R_{po/scl} Resistenza combinata pull-out/sclerometro
- R_{cm,lab} Resistenza cubica media di laboratorio
- K_{corr.} Fattore di correlazione tra prove distruttive e non distruttive
- R_{c,corr.} Resistenza cubica PND correlata

Opera 1: Sottovia via Aposazza
 Progr.: Km 1+217

Prove su barre d'armatura

Spalle										
Zona	Elemento	Carr.	Tipo (a.m./t.l.)	Φ [mm]	f _y [MPa]	f _t [MPa]	HB _{med}	f _{t,HB} [MPa]	K	f _{t,HB,k} [MPa]
L1-OP1-3	Spalla B		t.l.	18	356,0	552,0	135,4	456,3	1,21	552,0
L1-OP1-4	Spalla A		t.l.	18			129,0	435,2		526,5
L1-OP1-5	Spalla A		t.l.	18			130,1	438,9		531,0
Valori Medi							131,5	443,5	1,21	536,5

Legenda:

- HB_{med} Media valore di durezza Brinell
- f_{t,HB} Resistenza acciaio stimata da prove di durezza
- K Fattore di correlazione tra prove distruttive e non distruttive
- f_{t,HB,k} Resistenza a trazione correlata

Con riferimento alla completezza dei dati a disposizione tratti dai documenti progettuali di archivio e visti gli esiti delle prove in situ, si procede nel seguito assumendo un fattore di confidenza FC sui risultati sperimentali pari all'unità e si riconducono le caratteristiche dei materiali stessi alle classi di resistenza da normativa più prossima.

Caratteristiche dei materiali assunte nelle verifiche:

Soletta - traversi esistenti

$R_{c,corr}$ (MPa)	$f_{cm,corr}$ (MPa)	$\Delta(f_{cm}-f_{ck})$ (MPa)	f_{ck} (MPa)	Classe equivalente (MPa)	f_{cm} (MPa)
21.62	17.94	8	9.94	C20/25	28

Soletta - traversi nuovi

Classe (-)	f_{ck} (MPa)	f_{cm} (MPa)
C35/45	35	43

Relativamente all'armatura lenta si identificano le caratteristiche delle barre (negli elaborati progettuali originari) pari a $\sigma_{AMM} = 1600 \text{ kg/cm}^2$, $f_{yk} = 2700 \text{ kg/cm}^2$

Acciaio in barre per c.a. (Travi CAP)

tipo	Aq 50	
f_{yk}	270 MPa	Snervamento
f_{tk}	500 MPa	Rottura a trazione
E_s	210000 MPa	Modulo di Young

Acciaio in barre per c.a. (soletta, traversi, spalle)

tipo	Aq 50	
f_{yk}	270 MPa	Snervamento
f_{tk}	500 MPa	Rottura a trazione
E_s	210000 MPa	Modulo di Young

Acciaio da precompressione (fili aderenti e scorrevoli)

Tipo trefoli	12 Φ 7 mm	
$A_{trefolo}$	462 mm ²	area
f_{ptk}	1650 MPa	Tensione caratteristica di rottura
$f_{p(0.2)k}$	1400 MPa	Tensione caratteristica allo 0.2% di deformazione
f_{yd}	1225 MPa	Tensione massima per il calcolo a rottura
E_s	190000 MPa	Modulo di Young
Per la determinazione di f_{yd} si è preso in conto l'incrudimento dei trefoli		

1.5.3 Coefficienti parziali di sicurezza

Relativamente ai coefficienti parziali dei materiali si fa riferimento, nell'ambito delle rispettive verifiche, a quanto contenuto in tabella.

Calcestruzzo

α_{cc}	0.85	carichi di lunga durata (quando rilevante)
γ_c	1.50	S.L.U.

riferimenti:

EN 1992-1-1 2.4.2.4

Acciaio in barre

γ_s 1.15 resistenza S.L.U.

riferimenti: NTC 2008

1.6 Software di calcolo

Per l'analisi strutturale dell'impalcato e delle sottostrutture si adotta il metodo degli elementi finiti; si utilizza, a tale fine, il pacchetto software denominato "LUSAS (vers. 14.7)", fornito da F.E.A. (U.K.) su piattaforma windows NT. Il pacchetto software comprende pre-post processore grafico interattivo destinato all'input della geometria di base e all'interpretazione dei risultati di output, ed un risolutore ad elementi finiti.

Per le verifiche delle sezioni in calcestruzzo armato precompresso si adotta un foglio di calcolo sviluppato ad hoc in excel, mentre per le strutture in c.a. si utilizza il programma "RC-SEC" versione 2010.4 Rev 192 sviluppato da Geostru oltre al software VcaSLU ver. 7.7 del 30.08.2011, sviluppato dal Prof. Gelfi.

1.7 Convenzioni generali

Nel prosieguo del presente elaborato si adotteranno le notazioni contemplate dalle varie norme EN di riferimento. Le unità di misura sono quelle relative al sistema internazionale, ovvero:

lunghezze: m

forze - coppie: kN

tensioni: MPa

Per quanto riguarda le convenzioni di segno, si considerano, in generale, positive le trazioni.

Convenzioni specifiche verranno riportate nel prosieguo della presente relazione.

Si farà riferimento, di norma, a sistemi di tipo cartesiano ortogonale, in cui, in generale, si ha piano x-y orizzontale, con x posto tangente al tracciato nel punto in esame ed asse z verticale.

In generale, per quanto riguarda le azioni interne nell'impalcato, salvo dove diversamente specificato, si indicherà con:

F_x azione assiale

F_y azione tagliante agente nel piano orizzontale

F_z azione tagliante agente nel piano verticale

M_x momento torcente

M_y momento flettente agente nel piano verticale

M_z momento flettente agente nel piano orizzontale

Le verifiche dell'impalcato verranno eseguite esclusivamente con riferimento alle caratteristiche F_x , F_z , M_y , dal momento che risultano non significativi i contributi F_y , M_x ed M_z .

In particolare, per le sollecitazioni verrà impiegata anche la seguente notazione alternativa:

M (M_f) in luogo di M_y

V in luogo di F_z

T in luogo di M_x

Nell'ambito dell'adozione del sistema di riferimento elementare, si precisa che le azioni flettenti di trave sono da intendersi:

- POSITIVE: se le fibre tese sono rivolte all'estradosso trave
- NEGATIVE: se le fibre tese sono rivolte all'intradosso trave

2. Impostazione delle analisi e delle verifiche

2.1 Analisi della struttura

Le fasi realizzative dell'impalcato prevedono, a valle della preliminare demolizione dei cordoli, della soletta esistente per le porzioni individuate in progetto e della realizzazione delle nuove spalle, il posizionamento delle travi in c.a.p. e la successiva realizzazione della soletta in c.a., gettata in opera. Segue quindi la realizzazione della connessione tra la porzione di impalcato pre-esistente e quella di nuova costruzione e la messa in opera del pacchetto stradale definitivo e degli arredi.

Dal punto di vista dell'analisi strutturale globale, si procede in maniera semplificata a simulare le fasi ora descritte, studiando, per l'impalcato esistente e per quello in allargamento, le fasi di vita riassunte nella tabella riportata di seguito.

La variazione delle caratteristiche geometriche degli elementi strutturali e dei vincoli tra le porzioni costituenti gli impalcati è presa in conto attraverso cinque differenti modelli numerici.

I risultati di ciascuno dei cinque modelli, ognuno dei quali coglie una specifica configurazione della struttura coi relativi vincoli e carichi agenti, vengono sovrapposti linearmente nel modello denominato "base" e combinati secondo le indicazioni di normativa.

Con riferimento a quanto anticipato nei paragrafi precedenti, le strutture in studio sono costituite da impalcati a una campata. Lo schema statico è sempre di semplice appoggio e non vi sono impalcati in curva.

Per la realizzazione delle solette in allargamento e il rinforzo delle esistenti, qualora necessario, si prevede l'utilizzo di calcestruzzo a ritiro compensato.

In virtù di quanto sopra, nello studio degli impalcati si trascurano tutte le azioni agenti nel piano degli stessi, siano esse di origine statica o sismica.

Nei modelli agli E.F. si trascurano inoltre gli effetti di lungo termine, sia in termini di variazione delle caratteristiche dei materiali, sia in termini di coazioni, in quanto gli schemi statici degli impalcati sono tali da non indurre significativi effetti iperstatici.

Le sollecitazioni trasmesse alle sottostrutture e agli appoggi dagli impalcati, in termini di componenti orizzontali statiche e sismiche, si determinano "a parte" con analisi indipendente per i cui dettagli si rimanda alle relazioni relative alle spalle e alle pile, nelle quali sono anche esplicitate le valutazioni relative ai ritegni sismici.

MODELLAZIONE A PIASTRA ORTOTROPA/ISOTROPA:

L'impalcato viene modellato come piastra ortotropa composta elementi beam shell aventi la sezione della sola trave in CAP in prima fase e della soletta monolitica a getto maturato.

Per cogliere la differente inerzia, oltre al relativo peso, offerto dalla differente struttura del solettone esistente e nuovo, aventi alleggerimenti agenti in una sola direzione, si utilizzano materiali isotropi/ortotropi ed altezze equivalenti per gli elementi shell calcolate ad-hoc, per riprodurre la variabilità della rigidità offerta nelle due direzioni nel piano (X-Y) e nelle diverse fasi di vita della struttura.

Le sollecitazioni flettenti e taglianti, agenti sull'assieme "trave-soletta collaborante", si ottengono direttamente dal programma agli E.F.

Con riferimento ai dettami normativi (NTC 2008) in merito alla verifica delle strutture esistenti, nel seguito si considereranno significative le sole combinazioni SLU agli stati limite ultimi.

Per semplicità si ometterà quindi di simulare le fasi realizzative dell'impalcato esistente in quanto, per quest'ultimo, risultano significative le sole caratteristiche di resistenza e sollecitazione relative allo stato limite ultimo citato.

Di seguito si riassumono in forma tabellare le principali assunzioni utilizzate nell'implementazione dei quattro modelli numerici:

Modello (-)	Azioni Esistente (-)	Azioni Nuovo (-)	Note (-)
Mod1	La struttura "nasce" intera nella configurazione attuale. Si considera forfettariamente presente il carico distribuito pari a 10 cm di pacchetto stradale.	La struttura ha le sole travi in CAP resistenti (materiale ortotropo assegnato agli elementi shell) e sollecitate dal peso proprio e dal peso della soletta non collaborante di competenza.	Per la struttura esistente si assume, per semplicità, la configurazione attuale come quella a demolizioni avvenute (demolizione parziale della soletta nella zona di interfaccia con l'allargamento)
Mod2	Applico sulla trave prossima alla struttura nuova il carico relativo a metà della larghezza della fascia di sutura.	Attivo la struttura a piastra isotropa nuova (ad esclusione della fascia di sutura di 50 cm di larghezza), attivo i traversi ed il loro peso. Applico sulla trave prossima alla struttura esistente il carico relativo a metà della	
Mod4	Applico sulla struttura il delta spessore del pacchetto, per avere il carico proprio di progetto. Applica tutti i carichi permanenti portati (cordoli, barriere...).	Applico sulla struttura lo spessore del pacchetto, per avere il carico proprio di progetto. Applico tutti i carichi permanenti portati (cordoli, barriere...). Si attiva la connessione della zona di sutura che collega i due	
Mod5	Analisi sotto l'effetto dei carichi da traffico.	Analisi sotto l'effetto dei carichi da traffico.	Si trascurano le azioni orizzontali statiche e sismiche (frenatura, vento, sisma). Si trascurano gli effetti di temperatura, ritiro...
Base	Si sovrappongono le azioni proprie dei modelli precedenti e si implementano le combinazioni di verifica.		

L'effetto globale del peso proprio della soletta sulle travi e appoggi è affidato al modello n. 02 (Mod.2) nel quale la soletta non è ancora efficace in quanto non "matura".

Si palesa inoltre che:

- Si è adottato, per semplicità e a favore di sicurezza, l'attuale spessore medio del pacchetto stradale sugli impalcati pari a 0.10 m. Lo spessore medio ad intervento effettuato è stato invece assunto di 0.20 m
- L'analisi dell'impalcato sotto l'effetto dei carichi mobili è stata eseguita "a strutture connesse". (schemi di carico 1 - TS ed UDL, folla)
- Le disposizioni di verifica dei carichi variabili sono state individuate attraverso l'ottimizzatore presente nel programma di calcolo agli E.F. (TLO). In particolare, dopo aver individuato le sezioni significative di verifica per ciascuna famiglia di elementi strutturali (le travi principali, i traversi, le solette esistenti e nuove, incluse le fasce di sutura tra le due), si sono associate a ciascuna le caratteristiche di sollecitazione significative da massimizzare/minimizzare. Attraverso il TLO e con procedura basata sulla determinazione delle linee/superfici di influenza, il software ha automaticamente disposto i carichi variabili in modo da ottenere l'effetto più severo di volta in volta ricercato sull'impalcato o sugli appoggi, nel rispetto dei vincoli di normativa.

In conclusione, la modellazione implementata consente di ripercorrere per fasi cronologiche lo sviluppo delle sollecitazioni gravanti sugli elementi strutturali dell'orditura principale e secondaria, oltre che sulla soletta, della porzione di impalcato in allargamento.

Tutti i carichi agenti sulla struttura sono stati attribuiti secondo una suddivisione in Loadcase elementari, valida per ciascun modello. (Mod 1-5).

Ogni singolo modello vede la presenza di due Loadcase, denominati "Mi-GK1", "Mi-GK2".

Al primo si attribuiscono tutti i carichi riconducibili ai pesi propri degli elementi strutturali, al secondo quelli indotti dalla presenza di carichi permanenti portati non strutturali. Nel modello Mod5 si implementa l'analisi dei carichi da folla (M5-Q5) e da traffico veicolare.

A posteriori è quindi ricostruibile l'azione indotta sulla struttura per effetto dei (soli e tutti) pesi propri di elementi strutturali (fase 1), dei (soli e tutti) carichi permanenti non strutturali (fase 2) e dei variabili da traffico (fase 3). Con questi dati è possibile ricostruire le sollecitazioni da attribuire a ciascuno step di costruzione dell'opera per le verifiche tensionali e fessurative nel CAP, nei traversi e in soletta.

Si evidenzia che i singoli modelli numerici (1-5) non sono immediatamente associabili alle tre fasi di vita della struttura (1 - soletta non collaborante, 2- struttura ultimata e azione dei carichi permanenti di lungo periodo, 3 - effetto dei carichi variabili) come sopra riassunte.

2.2 Studio interazione impalcato/sottostrutture

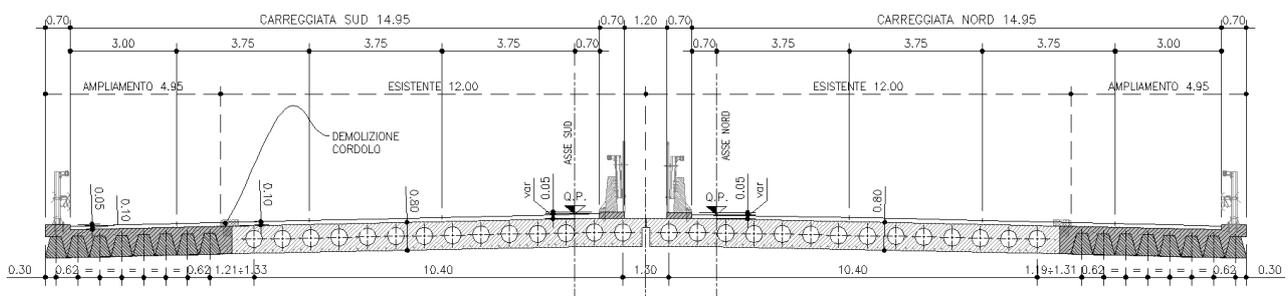
Come anticipato nei capitoli precedenti, lo schema statico caratterizzante la struttura consente di implementare analisi separate per i singoli impalcati e per le sottostrutture, a partire dalla quota dei baggioli verso le fondazioni. Il presente documento dettaglia quanto sviluppato in merito agli impalcati, fino all'individuazione delle sollecitazioni agenti sugli appoggi in termini di componenti verticali.

Per le valutazioni inerenti le strutture sottostanti, a partire dalle azioni orizzontali sugli appoggi (statiche e sismiche) e sui ritegni sismici, sulle spalle, le pile e le fondazioni si rimanda alle relazioni dedicate.

2.3 Caratteristiche delle sezioni dell'impalcato

L'opera presenta una campata di luce (interasse appoggi) pari a $L_1 = 15.50$ m circa.

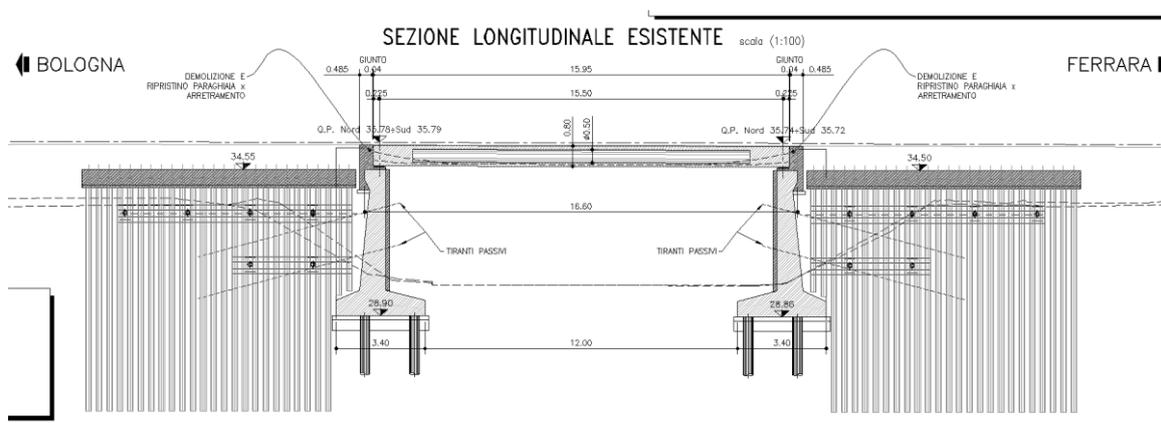
La travi prefabbricate presentano medesima altezza e sezione geometrica in entrambe le carreggiate.



Sezioni trasversali allargate

2.3.1 Impalcato esistente

Le informazioni geometriche e quelle relative alle armature che si utilizzano nelle analisi e nelle verifiche sono tratte dal progetto di archivio.



Profilo longitudinale impalcato esistente

Le carreggiate sono tra loro indipendenti e la continuità del piano viario a monte e a valle dell'opera è garantita dalla presenza di giunti trasversali.

2.3.1.1 Caratteristiche geometriche

Nelle tabelle seguenti estratte dal database del software agli E.F. le unità di misura utilizzate sono il m, il m², il m³ e il m⁴.

Si calcolano altezze equivalenti degli elementi shell per cogliere la reale inerzia delle sezioni del solettone esistente e nuovo:

Struttura esistente:

Momento di inerzia della sezione in direzione longitudinale:
(larghezza modulo di 0.80 m)

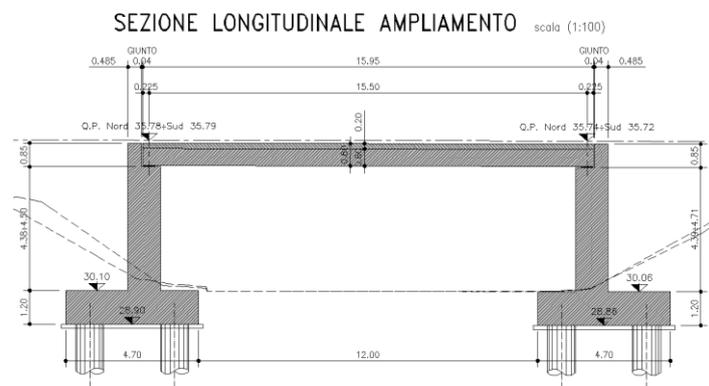
Direzione trasversale					Direzione longitudinale						
I _{LONG}	B	H _{EQUIV}	I _{EQUIV}	ΔI	I _{TRASV_MIN}	B	H _{EQUIV_MIN}	I _{EQUIV}	ΔI	H _{EQUIV_MAX}	H _{EQUIV_MEDIO}
(m ⁴)	(m)	(m)	(m ⁴)	(m ⁴)	(m ⁴)	(m)	(m)	(m ⁴)	(m ⁴)	(m)	(m)
0.0311	0.8	0.77	0.0301572	0.0009428	0.0258	0.8	0.73	0.0255468	0.0002532	0.8	0.76

In Lusas, per la parte alleggerita si assume, per entrambe le direzioni (longitudinale e trasversale), una piastra di spessore:

H _{EQUIV_ALLEGG}	H _{TERMINALE}
(m)	(m)
0.768	0.80

2.3.2 Impalcato nuovo in allargamento

Si rimanda agli elaborati progettuali per maggiori dettagli relativi alle caratteristiche geometriche che si utilizzano nelle analisi e nelle verifiche.



Profilo longitudinale impalcato nuovo

Le carreggiate sono tra loro indipendenti e la continuità del piano viario a monte e a valle dell'opera è garantita dalla presenza di giunti trasversali.

2.3.2.1 Caratteristiche geometriche

Struttura nuova - Modello 1:

Momento di inerzia della sezione in direzione longitudinale, equivalente al momento di inerzia delle sole travi in CAP:
(larghezza modulo di 0.62 m)

		Direzione trasversale						
I_{LONG_TRAVE}	E_{CLS}	EI_{REALE}	B	H_{LUSAS}	I_{LUSAS}	$E_{FITTIZIO}$	EI_{EQUIV}	ΔEI
(m^4)	(kN/mq)	(kNm^2)	(m)	(m)	(m^4)	(kN/mq)	(m^4)	(m^4)
0.0079	38238000	302080	0.62	0.8	0.0264533	11419362	302080.2	0

In Lusas, per la modellazione dell'inerzia delle sole travi, si utilizza una piastra di spessore equivalente ed un materiale ortotropo per eliminare la ripartizione trasversale:

H_{EQUIV_ALLEG}
(m)
0.800

3. Analisi dei carichi

Di seguito si riporta la descrizione dei vari contributi di carico presi in esame ai fini dell'analisi della struttura principale dell'impalcato e della soletta.

Nel seguito si distinguono i singoli carichi agenti in ciascuna delle tre principali fasi che identificano cronologicamente la realizzazione e l'esercizio del manufatto.

Si ricorda che la variazione delle caratteristiche degli impalcati e dei carichi agenti, già descritta ed ottenuta attraverso l'implementazione dei cinque modelli numerici, non si relaziona direttamente con le fasi seguenti ma consente di simularne tutti gli effetti attraverso le combinazioni sviluppate nel modello "Base".

3.1 Carichi agenti in fase 1

Questa fase identifica il momento successivo al varo delle travi prefabbricate, nell'istante immediatamente successivo al completamento del getto della soletta. Si ha quindi l'effetto di tutti i pesi propri degli elementi strutturali senza però che vi sia efficacia della soletta, il cui calcestruzzo deve ancora maturare.

3.1.1 Pesi propri (G_{k1})

Il peso dei vari elementi strutturali prefabbricati in c.a.p., della soletta, dei traversi e della coppella è stato conteggiato con riferimento ad un peso specifico convenzionale di 25.00 kN/m³ e con riferimento alla geometria dei singoli elementi.

Sono attivi in questa fase i seguenti carichi principali:

- PP Travi in CAP
- PP Soletta

3.2 Carichi agenti in fase 2

3.2.1 Sovraccarichi permanenti (G_{k2})

Sono attivi in questa fase i seguenti carichi principali:

- Il sovrappessore strutturale applicato ad estradosso della soletta esistente (ove previsto)
- Il pacchetto di pavimentazione esistente e nuovo
- I cordoli corredati di barriere FOA e/o di sicurezza (ove presenti)
- Gli elementi di arredo dell'opera (velette, canali,...)

3.3 Carichi agenti in fase 3

Come anticipato nei paragrafi precedenti, la presente relazione mira alla verifica e al dimensionamento della sola porzione di struttura afferente agli impalcati. In virtù di questa assunzione e dello schema statico degli impalcati che risulta privo di significativi effetti iperstatici, è possibile trascurare le azioni indotte dalla temperatura e dai carichi agenti in generale con direzione complanare alla soletta (vento, forza centrifuga e frenatura). Queste azioni, necessarie per il corretto dimensionamento dei giunti, degli apparecchi di appoggio e delle sottostrutture, sono trattate con analisi indipendente nelle relazioni di calcolo dedicate alle spalle/pile ed alle fondazione, alle quali si rimanda per maggiori dettagli.

3.3.1 Carichi mobili (Q_k)

Si seguono le disposizioni contenute in EN 1991-2. capp.4/5 + NAD (NTC-08 cap. 5.1.3.3.5) con riferimento a ponti di I categoria.

La presenza del carico da traffico viene disposta sull'impalcato in modo tale da massimizzare le linee/superfici di influenza del momento flettente e del taglio nelle travi, nei traversi e in soletta, compresa la porzione di sutura che funge da connessione tra la struttura esistente e quella in progetto. I sistemi di carico considerati sono quelli previsti dalla normativa e in particolare di tipo TS, UDL, folla concomitante.

In generale, sull'intera larghezza fisica della carreggiata delimitata dai cordoli in c.a., si disporrà il massimo numero di corsie di carico, di larghezza convenzionale pari a 3.00 m, che inducano un incremento dell'effetto agente sulla sezione strutturale in verifica. Si considera inoltre agente, quando penalizzante, un carico da folla di potenza = 2.50 kN/m^2 – Schema 5 (folla compatta). (Ai fini del calcolo delle sollecitazioni nella statica globale si considera il Load Model 1).

Load model 1

Il Load Model 1 è formato da carichi concentrati (TS) e distribuiti (UDL), posizionati su corsie convenzionali di carico di ampiezza massima pari a 3.00 m, unitamente al carico q_{fk} , posizionato rispettivamente sui marciapiedi laterali con il valore proprio di combinazione.

Le corsie verranno denominate secondo le convenzioni di norma, partendo dalla più "pesante" detta "corsia 1".

Ai fini delle verifiche dell'impalcato si considera il carico TS e UDL, riferendo le rispettive intensità a quanto riportato in tabella.

Location	Tandem system TS	UDL system
	Axle loads Q_{ik} (kN)	q_{ik} (or q_{fk}) (kN/m^2)
Lane Number 1	300	9
Lane Number 2	200	2,5
Lane Number 3	100	2,5
Other lanes	0	2,5
Remaining area (q_{fk})	0	2,5

Il posizionamento dei carichi TS e la segmentazione delle stese di carico UDL viene effettuato mediante una apposita procedura automatica (T.L.O.) prevista dal pacchetto ad elementi finiti, che procede a posizionare i carichi, data la posizione delle “kerbs” laterali, sulle superfici di influenza appositamente predisposte.

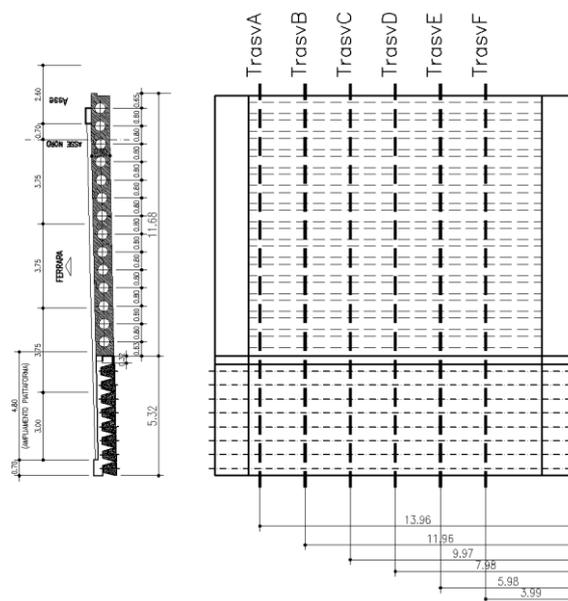
3.3.1.1 Verifiche in soletta

Per l’analisi delle solette si effettua la massimizzazione/minimizzazione delle seguenti caratteristiche di sollecitazione:

- Momento flettente in campata in corrispondenza all’intersezione con le travi principali e a metà della loro distanza reciproca per l’impalcato esistente e nella zona di connessione con la struttura in allargamento
- Momento flettente a circa un ottavo della luce o lungo la sezione di fine ringrosso delle travi (ove presente) in corrispondenza all’intersezione con le travi principali e a metà della loro distanza reciproca, per l’impalcato esistente
- Le sollecitazioni sono colte sia lungo sezioni longitudinali, sia trasversali al solettone

Si sono previste sezioni di verifica mirate ad indagare le sollecitazioni agenti nella zona di sutura che risulta un punto di particolare criticità in quanto principale connessione tra l’impalcato esistente e quello in allargamento e di difficile realizzazione.

Di seguito lo schema per l’individuazione della dislocazione e dell’orientamento delle sezioni di verifica indagate in direzione trasversale.



Sezioni di verifica degli impalcati

Il significato della simbologia adottata è il seguente:

- Vi Campionamento della sollecitazione tagliante in soletta
- Mi Campionamento della sollecitazione flettente in soletta

3.4 Tabella esplicativa dei carichi agenti

Nel seguito si riassumono in forma tabellare i singoli carichi presi in conto in analisi, corredati di nomenclatura, tipologia di carico (pesi propri, permanenti portati e variabili) e modello sul quale sono stati applicati.

Carichi da Peso proprio:		Nome Gruppo elementi (-)	Tipologia di carico (-)	Modello di implementaz	Nome carico (-)	Nome carico Lusas (-)	b (m)	h (m)	Area (mq)	Peso (kN/mq)
PP Esistente	Soletta esistente allegger	SolEsistAllegg	GK1	M1	SolEsAllegg	M1_GK1_SolEsAllegg	-	0.555	0.555	13.88
	Soletta esistente termina	SolEsistTerm	GK1	M1	SolEsTerm	M1_GK1_SolEsTerm	-	0.800	0.800	20.00

Carichi da PP e Permanenti Portati:		Punto inserimento carico/Nome (-)	Tipologia di carico (-)	Modello di implementaz	Nome carico (-)	b (m)	h (m)	Area (mq)	Peso (kN/mq)	Peso (kN/m)
PP Allargamento	Peso equivalente Travi CAP nuove	PuntoPatch	GK1	M1	TrNCAP	M1_GK1_TrNCAP	-	0.447	0.447	12.72
	Soletta nuova	PuntoPatch	GK1	M1	GettoSolN	M1_GK1_GettoSolN	-	0.353	0.353	10.04
	PP Soletta sutura lato soletta nuova	PuntoPatch	GK1	M2	SolSutN	M2_GK1_SolSutN	-	-	-	3.80
	PP Soletta sutura lato soletta esistente	PuntoPatch	GK1	M2	SolSutEsist	M2_GK1_SolSutEsist	-	-	-	3.80
Permanenti portati	Cordolo 1	PuntoPatch	GK2	M4	Cord1	M4_GK2_Cord1	-	0.25	0.25	6.25
	Cordolo 2	PuntoPatch	GK2	M4	Cord2	M4_GK2_Cord2	-	0.25	0.25	6.25
	Pacchetto pavimentazione attuale	PuntoPatch	GK2	M2	PavEsist	M2_GK2_PavEsist	-	0.1	0.1	2.20
	Δs Pacchetto pavimentazione Esistente	PuntoPatch	GK2	M4	DeltaPavEsist	M4_GK2_DeltaPavEsist	-	0.1	0.1	2.20
	Pacchetto pavimentazione definitivo NEW	PuntoPatch	GK2	M4	PavDef	M4_GK2_PavDef	-	0.2	0.2	4.40
	Newjersey CLS 2	PuntoPatch	GK2	M4	NJ2	M4_GK2_NJ2	-	-	-	12.40
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Velette	PuntoPatch	GK2	M4	Vel	M4_GK2_Vel	0.05	0.75	0.0375	0.94
	Newjersey CLS 1	PuntoPatch	GK2	M4	NJ1	M4_GK2_NJ1	-	-	-	12.40
	FOA	PuntoPatch	GK2	M4	FOA	M4_GK2_FOA	-	-	-	0.00

Carico da Folla:	Punto inserimento carico/Nome gruppo (-)	Tipologia di carico (-)	Modello di implementazione	Nome carico (-)	Nomi del Loadcase (-)	Peso (kN/mq)	Peso (kN/m)
Carico da folla sui marciapiedi	PuntoPatch	Q5	M5	Folla	M5_Q5_Folla	M5-Q5	2.50

Il carico variabile indotto dal traffico veicolare viene generato e posizionato direttamente dal programma di calcolo secondo le modalità già descritte in precedenza.

4. Combinazioni di carico

Per la formulazione generale delle combinazioni di carico si rimanda a EN 1990-annex.A2, cap. A2.3, A2.4/.NTC-08 cap. 2.5.3.+ N.A.D..

In particolare, per lo studio dell'impalcato vengono prese in esame le seguenti combinazioni:

- Stato Limite di Esercizio:
 - Combinazione caratteristica o rara
 - Combinazione frequente
 - Combinazione quasi-permanente
- Stato Limite Ultimo:
 - Combinazione STR

Le parti di nuova edificazione saranno sottoposte all'intero set di verifiche agli stati limite ultimi e in esercizio, le porzioni esistenti agli stati limite ultimi.

Più in dettaglio le combinazioni delle azioni da adottare ai fini delle verifiche sono quelle riportate nel prospetto seguente:

- Combinazione fondamentale utilizzata per gli stati limite ultimi (SLU)

$$\gamma_{G1} G_{k1} + \gamma_{G2} G_{k2} + \gamma_{ep} G_{kep} + \gamma_{sh} G_{sh} + \gamma_{q1} (Q_{kTS} + Q_{kUDL}) + \gamma_{q2} \psi_{02} Q_{kT}$$
- Combinazione caratteristica (rara) utilizzata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili

$$G_{k1} + G_{k2} + G_{kep} + G_{sh} + (Q_{kTS} + Q_{kUDL}) + \psi_{02} Q_{k,T}$$
- Combinazione frequente utilizzata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili

$$G_{k1} + G_{k2} + G_{kep} + G_{sh} + (\psi_{11TS} Q_{kTS} + \psi_{11UDL} Q_{kUDL}) + \psi_{22} Q_{kT}$$
- Combinazione quasi permanente (SLE) utilizzata per gli effetti a lungo termine

$$G_{k1} + G_{k2} + G_{kep} + G_{ksett.} + G_{sh} + (\psi_{11TS} Q_{kTS} + \psi_{11UDL} Q_{kUDL}) + \psi_{22} Q_{kT}$$

Per la scelta dei coefficienti “ γ ” e “ ψ ” da adottare nelle suddette combinazioni ci si riferisce a quanto esposto nella stessa UNI EN 1990.

In tutti i casi, ai fini delle verifiche, sono stati elaborati gli involuipi delle sollecitazioni volti a massimizzare/minimizzare le caratteristiche di sollecitazione di interesse, che risultano complete dei rispettivi valori concomitanti.

4.1 Combinazioni per gli S.L.U. – STR

I parametri di scelta nazionale indicati dal N.A.D. sono i seguenti:

γ_{G1-2}	1.00 ÷ 1.35	coefficiente moltiplicativo sovraccarichi di peso proprio/permanente
γ_{sh}	1.00 ÷ 1.35	coefficiente moltiplicativo per gli effetti del ritiro.
γ_{q1}	0.00 ÷ 1.35	coefficiente moltiplicativo per i carichi ad traffico.

La presenza del valore “0” relativa al γ_{fav} indica che l’azione viene considerata solo quando sfavorevole.

$\psi_{01,TS}$	0.75	coefficiente di combinazione per i carico mobili di tipo TS.
$\psi_{01,UDL}$	0.40	coefficiente di combinazione per i carico mobili di tipo UDL.

4.2 Combinazioni per gli S.L.E. RARA

I parametri di scelta nazionale indicati dal N.A.D. sono i seguenti:

ψ_{01TS}	0.75	coefficiente di combinazione per i carico mobili di tipo TS.
ψ_{01UDL}	0.40	coefficiente di combinazione per i carico mobili di tipo UDL.

4.3 Combinazioni per gli S.L.E. FREQUENTE

I parametri di scelta nazionale indicati dal N.A.D. sono i seguenti:

ψ_{11TS}	0.75	coefficiente di combinazione per i carico mobili di tipo TS.
ψ_{11UDL}	0.40	coefficiente di combinazione per i carico mobili di tipo UDL.

4.4 Combinazioni per gli S.L.E. QUASI PERMANENTE

I parametri di scelta nazionale indicati dal N.A.D. sono i seguenti:

ψ_{21TS}	0.00	coefficiente di combinazione per i carico mobili di tipo TS.
ψ_{21UDL}	0.00	coefficiente di combinazione per i carico mobili di tipo UDL.

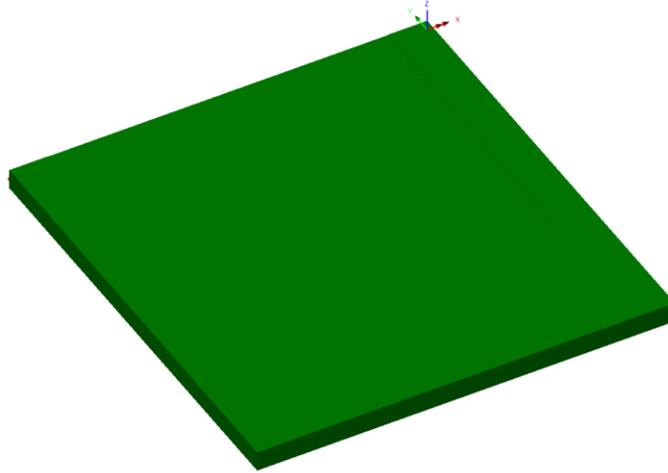
L’influenza sulle verifiche generata dalle caratteristiche reologiche del calcestruzzo, per la porzione di impalcato di nuova edificazione, è presa in conto direttamente in fase di verifica delle travi in CAP non scaturendone, come anticipato nei paragrafi precedenti, significativi effetti iperstatici.

5. Analisi strutturale impalcato

5.1 Generalità

L'impalcato viene modellato come piastra ortotropa mediante elementi "shell", con vincoli e proprietà geometriche variabili in funzione della fase studiata e del tipo di contributo di carico.

Campata unica $L_{CALCOLO} = 15.50\text{ m}$



Solettone elementi shell

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Numerazione degli elementi shell della soletta

5.2 Sollecitazioni

A valle dell'analisi strutturale, effettuata per le singole azioni caratteristiche, vengono generati in automatico dal programma di calcolo gli involuppi e le combinazioni di carico pertinenti ai vari scopi, rispettivamente per V_{max}/V_{min} e M_{max}/M_{min} .

L'effetto delle azioni variabili viene quindi computato attraverso involuppi e combinazioni volti a massimizzare/minimizzare l'azione tagliante V ed il momento flettente M .

L'analisi strutturale dell'impalcato viene effettuata con riferimento alle rigidezze "uncracked".

Nel seguito si riportano i diagrammi rappresentativi degli involuppi delle sollecitazioni, rilevati per le varie combinazioni di normativa, per ciascuna famiglia di elementi costituenti l'impalcato. Tutti i valori sono espressi in N e Nm .

Si evidenzia che, avendo individuato a monte dell'analisi gli elementi rappresentativi di ciascuna famiglia (soletta, appoggi) e la localizzazione delle sezioni significative, le componenti di sollecitazione sono state massimizzate/minimizzate in specifiche posizioni; i risultati ottenuti risultano estendibili agli elementi afferenti alla medesima famiglia.

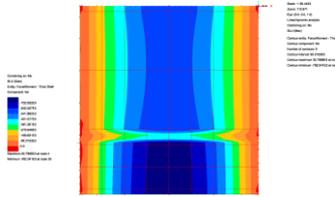
I grafici seguenti, quindi, non palesano le sollecitazioni massime ottenibili, in linea del tutto generale e analizzando tutte le possibili configurazioni di carico, sull'intero impalcato ma restituiscono le sollecitazioni di progetto/verifica in elementi e sezioni rappresentative i cui risultati vengono a posteriori estesi a tutti gli elementi assimilabili per geometria, grado di vincolo e schema di carico.

Vengono omessi i diagrammi non significativi.

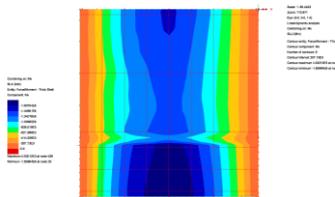
5.2.1 Involuppo S.L.U.

5.2.1.1 Sollecitazioni flettenti

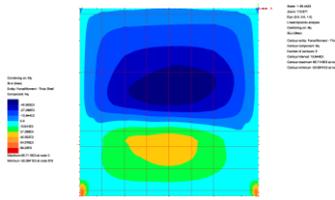
Di seguito si riportano i grafici con gli involuppi delle max/min sollecitazioni flettenti nel solettone.



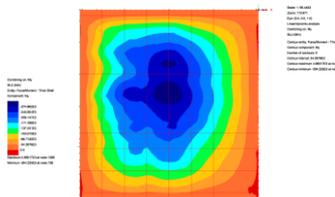
Max flettente - Mx



Min flettente - Mx



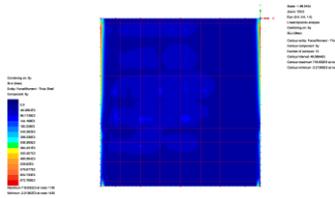
Max flettente - My



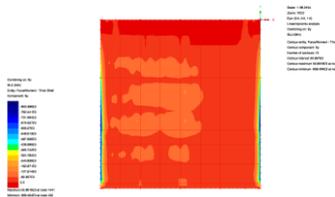
Min flettente - My

5.2.1.2 Sollecitazioni taglianti

Di seguito si riportano i grafici con gli involuipi delle max/min sollecitazioni taglianti nel solettone.



Max tagliante - Sy



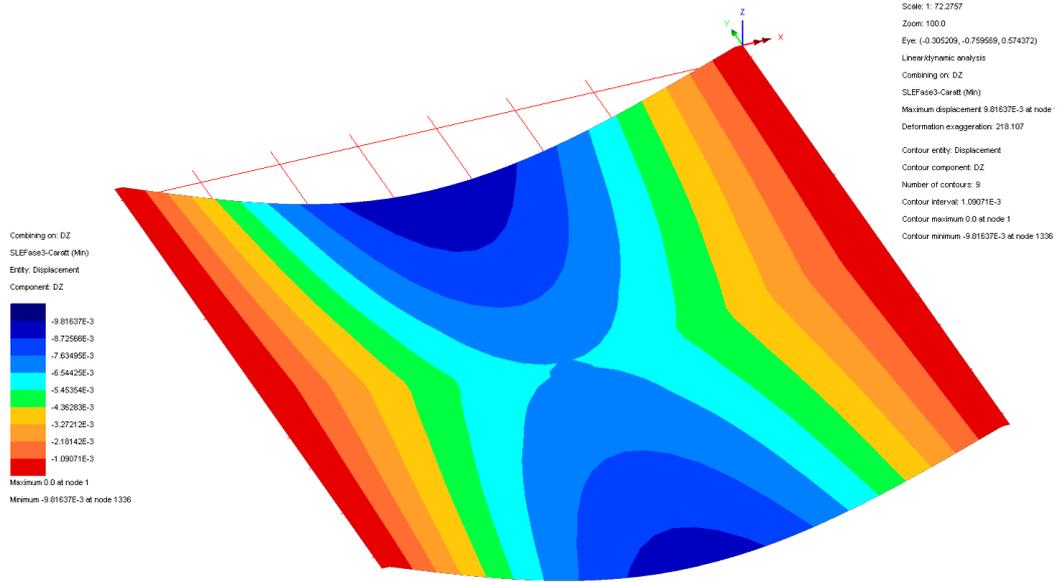
Min tagliante - Sy

6. Deformazioni verticali

6.1 Deformazioni massime

Si riporta di seguito l'involuppo delle configurazioni deformate delle travi principali sotto l'effetto dei carichi da traffico (fase 3)

Carichi variabili da traffico



Deformata verticale massima di Fase 3

Combinazione	Impalcato	δ (mm)	L/ δ
SLE Caratteristica Fase 3	L = 15.50 m	9.81	1580

Le deformazioni indotte dal traffico veicolare sono modeste.

7. Verifica dell'impalcato

7.1 Generalità

Le verifiche di resistenza vengono effettuate allo S.L.U. con riferimento alle massime/minime sollecitazioni flettenti in mezzera e taglianti in corrispondenza alle sezioni di estremità, secondo i criteri contenuti in EN 1992-1-1/1992.2 e in NTC 2008.

Nel primo caso, la verifica di resistenza in condizioni ultime di una sezione presso-inflessa consiste nel soddisfacimento della seguente disuguaglianza:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} (N_{Ed})$$

dove:

M_{Ed} = momento flettente sollecitante di calcolo, valutata sotto la combinazione;

M_{Rd} = momento flettente resistente associato all'azione assiale concomitante N_{Ed} .

In fase di verifica viene definito coefficiente di sicurezza γ il rapporto tra M_{Rd} e M_{Ed} . La verifica di resistenza può quindi ritenersi soddisfatta se risulta $\gamma \geq 1$.

La verifica S.L.U. per azioni taglianti consiste nel soddisfacimento della seguente disuguaglianza:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

dove:

V_{Ed} = azione tagliente sollecitante di calcolo, valutata sotto la combinazione;

V_{Rd} = taglio resistente.

Il contributo resistente al taglio sarà il minimo valore tra quello dato dalla resistenza di calcolo a "taglio trazione", riferita all'armatura trasversale, e quello dato dalla resistenza a "taglio compressione", associata al nucleo in calcestruzzo (EN 1992-1-1 §6.2.3).

$$V_{Rd} = \min\{V_{Rsd}; V_{Rd,max}\}$$

con

$$V_{Rsd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

dove:

A_{sw} = area dell'armatura trasversale a taglio

s = passo delle staffe

z = braccio della coppia interna assunto pari a $z = 0.9 \cdot d$

α = angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave

θ = inclinazione del puntone compresso di calcestruzzo (con $1 \leq \cot \theta \leq 2.5$)

f_{ywd} = tensione di snervamento di progetto dell'armatura a taglio

v_1 = coefficiente di riduzione della resistenza del calcestruzzo fessurato per taglio

α_{cw} = coefficiente che considera l'interazione tra la tensione nel corrente compresso e qualsiasi tensione di compressione assiale

Le verifiche sono condotte considerando le azioni agenti sulla trave più sollecitata come palesato attraverso la modellazione tridimensionale agli E.F.

Per le verifiche a flessione delle travi in CAP viene presa in conto l'armatura di precompressione come desunto dagli elaborati di archivio - per l'impalcato esistente - e viene invece effettuata la progettazione per le travi nuove. A favore di sicurezza si trascura la presenza dell'armatura lenta longitudinale ad intradosso trave.

Per la verifica dei traversi esistenti e per quella a taglio delle travi ci si avvale delle informazioni palesate dagli elaborati di archivio.

Come anticipato nei paragrafi precedenti, è prevista la realizzazione di un sovrappessore strutturale armato sulle solette esistenti che presentano ora uno spessore estremamente modesto ($s_{SOL} = 0.18$ m coppella inclusa). Tale sovrappessore vede la presenza di armature integrative sia longitudinali, sia trasversali e, attraverso la connessione meccanica con la soletta esistente realizzata tramite inghisaggio di spilli a maglia regolare, risulta efficace nei confronti delle sollecitazioni flettenti e taglianti agenti sulle travi e sui traversi.

Nelle verifiche seguenti si prende quindi in conto la configurazione post-intervento e, quindi, si considerano l'effetto benefico del sovrappessore strutturale.

In accordo con le NTC'08 (§4.1.2.2.5.1), per la porzione di impalcato di nuova realizzazione (travi in CAP, traversi e solette) si implementa anche la verifica tensionale agli stati limite di esercizio che verificherà il rispetto delle tensioni limite nel calcestruzzo e nell'acciaio, sia esso ordinario, sia da precompressione.

Per il calcestruzzo di trave

- $\sigma_c < 0.60 \cdot f_{ck} = 0.60 \cdot 45 = 27.0MPa$ per la combinazione caratteristica (SLE rara)
- $\sigma_c < 0.45 \cdot f_{ck} = 0.45 \cdot 45 = 20.2MPa$ per la combinazione SLE quasi permanente

Per l'armatura da precompressione

- $\sigma_{sp} < \begin{cases} 0.90 \cdot f_{p(0.1)k} = 0.90 \cdot 1604 = 1444MPa \\ 0.80 \cdot f_{ptk} = 0.80 \cdot 1860 = 1488MPa \end{cases}$ al tiro
- $\sigma_{sp} < 0.80 \cdot f_{p(1)k} = 0.80 \cdot 1670 = 1336MPa$ per la combinazione caratteristica (SLE rara)

Per il calcestruzzo di soletta

- $\sigma_c < 0.60 \cdot f_{ck} = 0.60 \cdot 35 = 21.0MPa$ per la combinazione caratteristica (SLE rara)
- $\sigma_c < 0.45 \cdot f_{ck} = 0.45 \cdot 35 = 15.8MPa$ per la combinazione SLE quasi permanente

Per l'armatura lenta

- $\sigma_s < 0.80 \cdot f_{yk} = 0.80 \cdot 450 = 360MPa$ per la combinazione caratteristica (SLE rara)

Inoltre per la verifica a fessurazione si considerano le condizioni ambientali aggressive che, in accordo con le NTC'08 §4.1.2.2.4.5, per le armature sensibili prevedono un'apertura di fessura inferiore a $w_1 = 0.2$ mm agli stati limite di esercizio frequenti e uno stato limite di decompressione con l'assenza di fessure dovuta a tensioni normali di compressione o al più nulle agli S.L.E. quasi permanente. Per gli S.L.E. frequente il

calcolo dell'apertura di fessura viene effettuato nel caso in cui la tensione massima di trazione nella fibra più sollecitata risulti essere superiore a $f_{ctm}/1.2$ (NTC'08 §4.1.2.2.4.1) essendo:

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 0.30 \cdot \sqrt[3]{45^2} = 3.79 MPa \quad \text{per C45/55} \quad (\text{NTC'08 §11.2.10.2})$$

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 0.30 \cdot \sqrt[3]{35^2} = 3.21 MPa \quad \text{per C35/45} \quad (\text{NTC'08 §11.2.10.2})$$

Per la verifica degli stati limite di fessurazione si fa riferimento a quanto previsto dalle NTC'08 §4.1.2.2.4.5. In funzione della classe di esposizione delle travi e della soletta (XF4) si considereranno le condizioni ambientali molto aggressive che non prevedono alcuna apertura di fessura agli S.L.E. frequenti e il rispetto della decompressione agli S.L.E. quasi permanenti:

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	$\leq w_1$

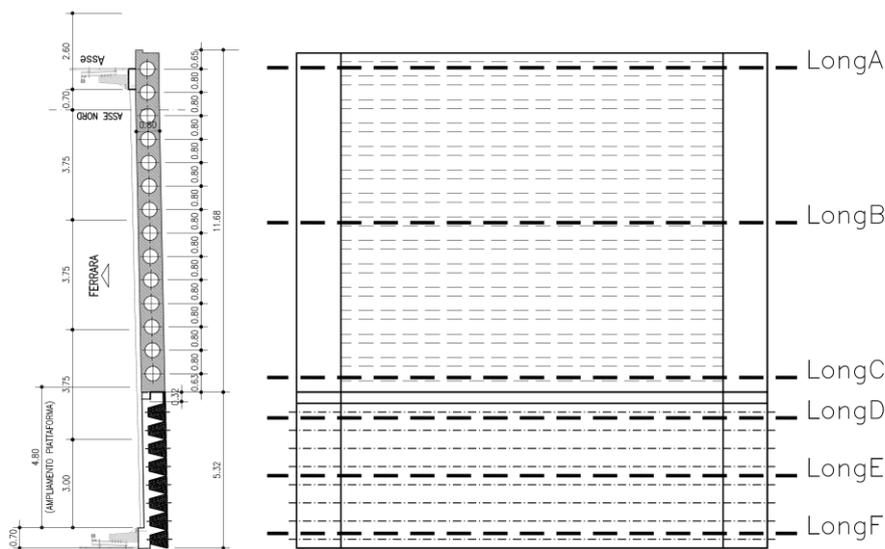
8. Verifica della soletta

8.1 Generalità

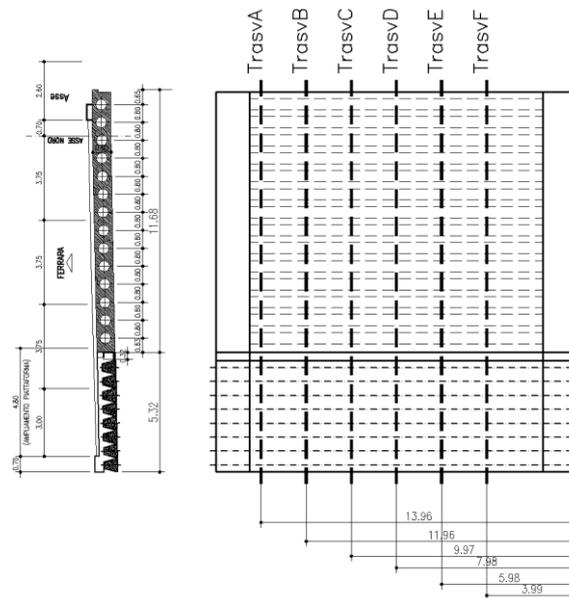
Si analizza il comportamento della soletta lungo l'intero sviluppo longitudinale e trasversale, prendendo in conto sia la porzione esistente, sia quella di nuova edificazione sia la "zona di sutura" che garantisce il collegamento tra la porzione attuale e quella in progetto.

Come anticipato nei paragrafi precedenti, la soletta è modellata attraverso elementi tipo "shell" facenti parte del modello numerico complessivo dell'impalcato. In questo modo è possibile cogliere correttamente le sollecitazioni e le deformazioni indotte dall'azione locale dei carichi e/o dal comportamento globale del sistema travi/soletta.

A seguire si riporta lo schema grafico esplicativo delle sezioni indagate e relative alla soletta, sia per la porzione di impalcato esistente, sia per l'allargamento. Lo schema è da intendersi come rappresentativo per tutti gli impalcati aventi caratteristiche assimilabili; le sezioni sono poi state individuate per ciascuna opera in relazione alla reale geometria.



Sezioni di verifica longitudinali degli impalcati



Sezioni di verifica trasversali degli impalcati

8.2 Carichi e combinazioni di carico

I carichi considerati, le disposizioni sull'impronta delle solette e le combinazioni SLE e SLU sono le medesime descritte nei paragrafi precedenti.

Nel dimensionamento delle armature relative alla porzione di soletta dello sbalzo, a partire dalla connessione con la nuova trave a cassoncino più esterna, si prende in conto anche la sollecitazione flettente indotta dalla eventuale presenza delle barriere FOA.

Tale sollecitazione è stimata secondo quanto di seguito riassunto e viene considerata come addendo aggiuntivo rispetto a quanto determinato attraverso le analisi agli E.F. per la verifica a flessione della sezione di incastro dello sbalzo.

Azione del vento sulle barriere FOA:
(DM 14.01.2008_3.3; circolare esplicativa C3.3.10)

P_{VENTO} (kN/mq)	H_{FOA} (m)	$H_{CALCOLO}$ (m)	i_{FOA} (m)	M_{BASE} (kNm)	L_{SBALZO} (m)	L_{DIFF} (m)	M_{VENTO} (kNm)
2.20	4	0	3	0.00	0.91	1.82	0.00

Si assume il vento concomitante alla massima azione da traffico:

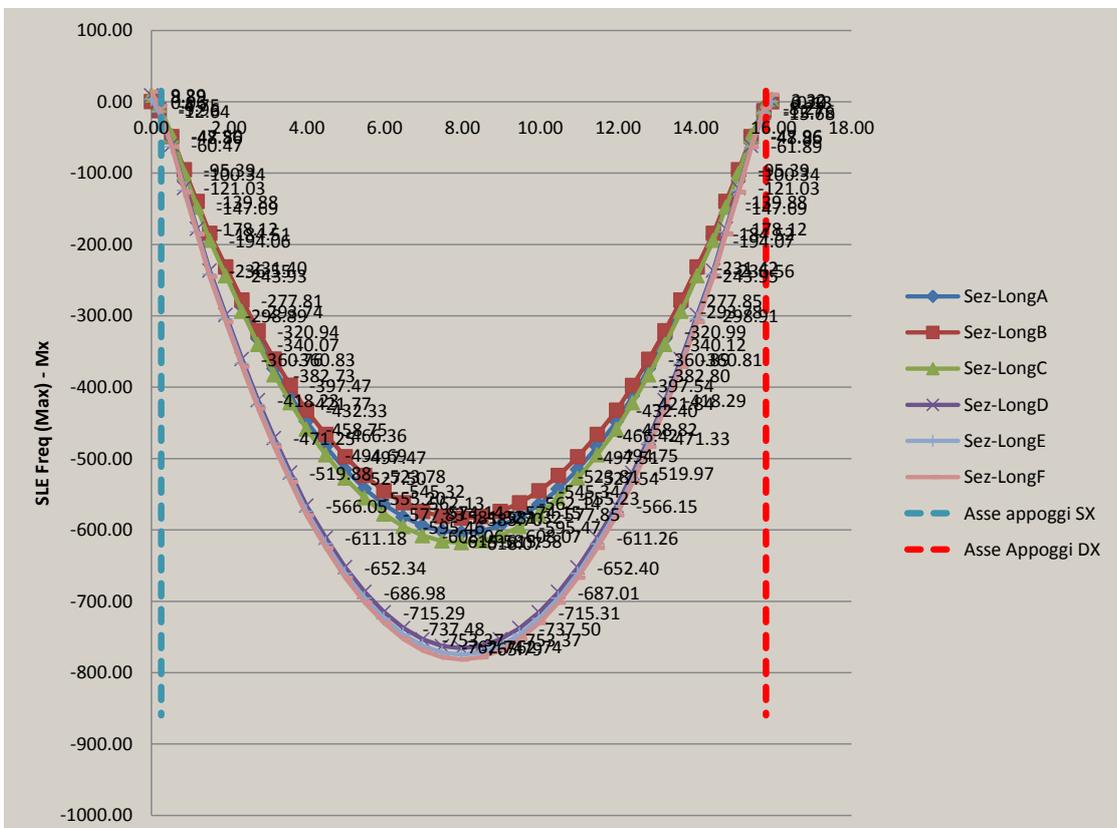
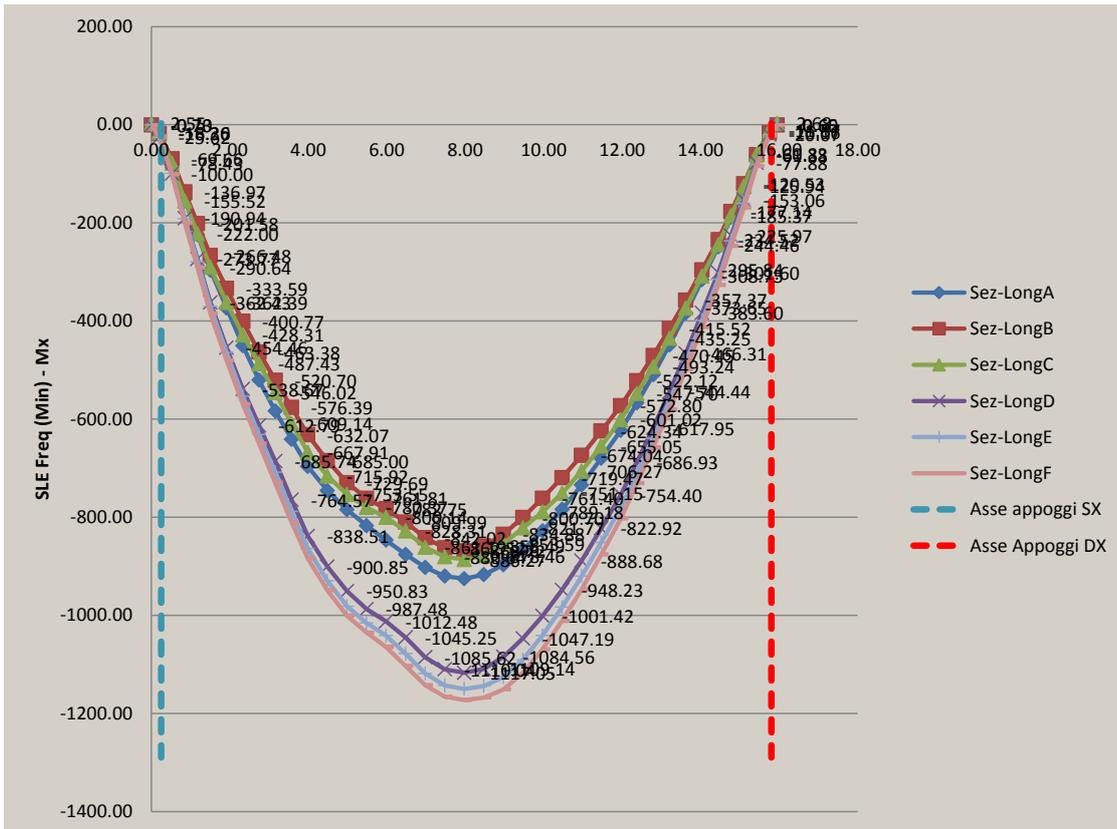
γ_{VENTO}	Ψ_0	$\Psi_{1,2}$	$M_{SLU_VENTO\ LE-CARATT_VENTO}$ (kNm)	$M_{SLU_VENTO\ LE-CARATT_VENTO}$ (kNm)
1.5	0.6	0	0.00	0.00

8.3 Sollecitazioni

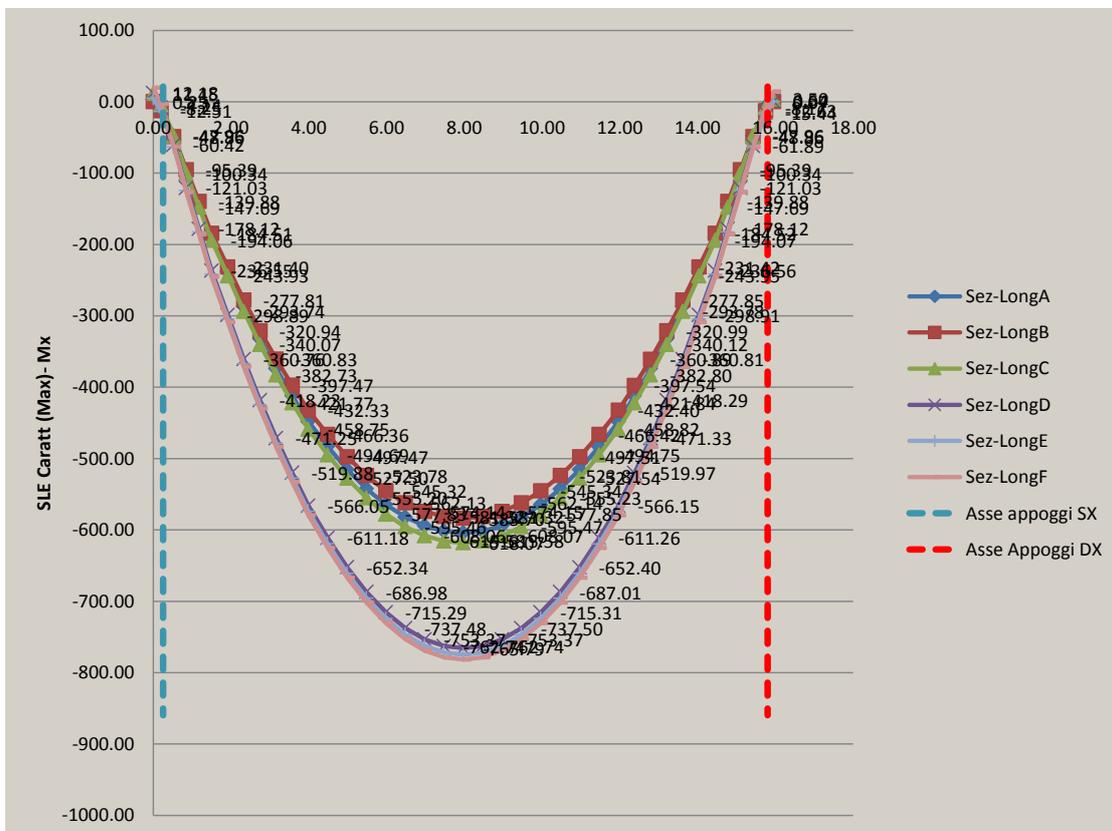
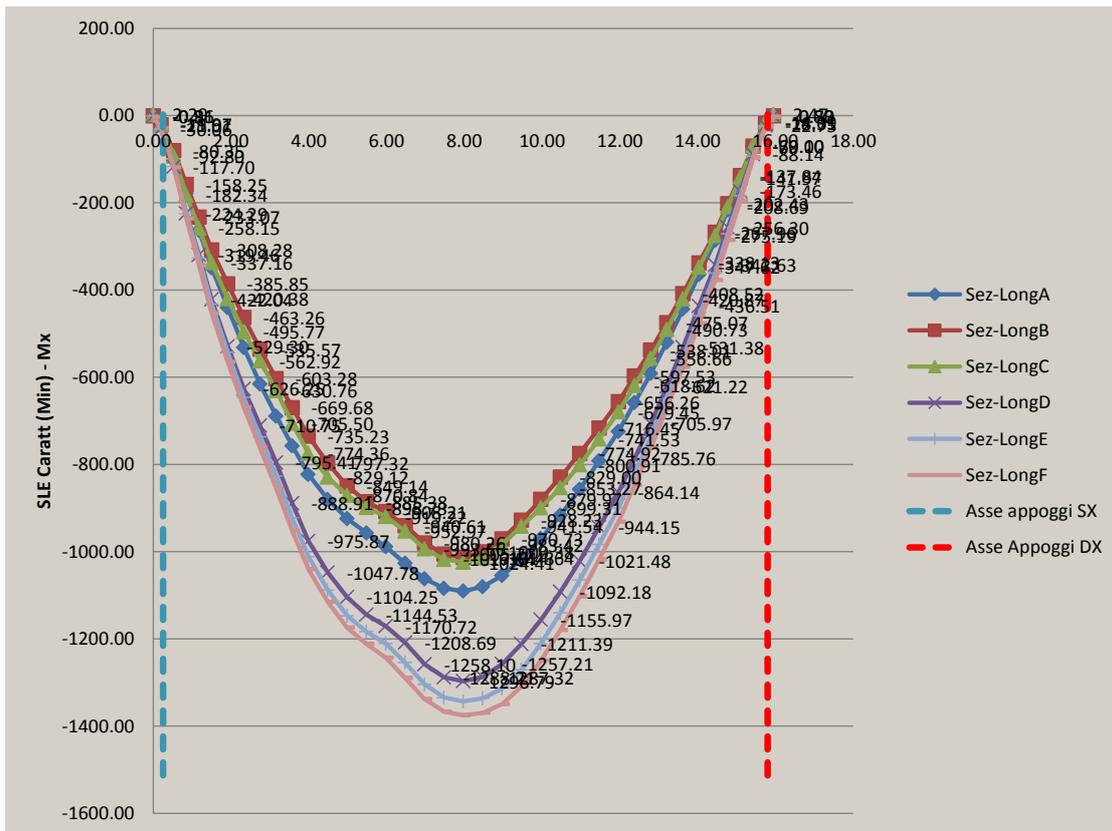
Di seguito si riportano gli involuipi per $M_{y,max/min}$ (trasversale), e $S_{y,max/min}$ (trasversale) e $M_{x,max/min}$ (longitudinale), e $S_{x,max/min}$ (longitudinale) per i tre S.L. considerati. Le analisi prendono in conto il diverso orientamento delle barre di armatura rispetto all'asse di riferimento dell'azione flettente calcolata con l'analisi numerica.

8.3.1 Sollecitazioni Longitudinali

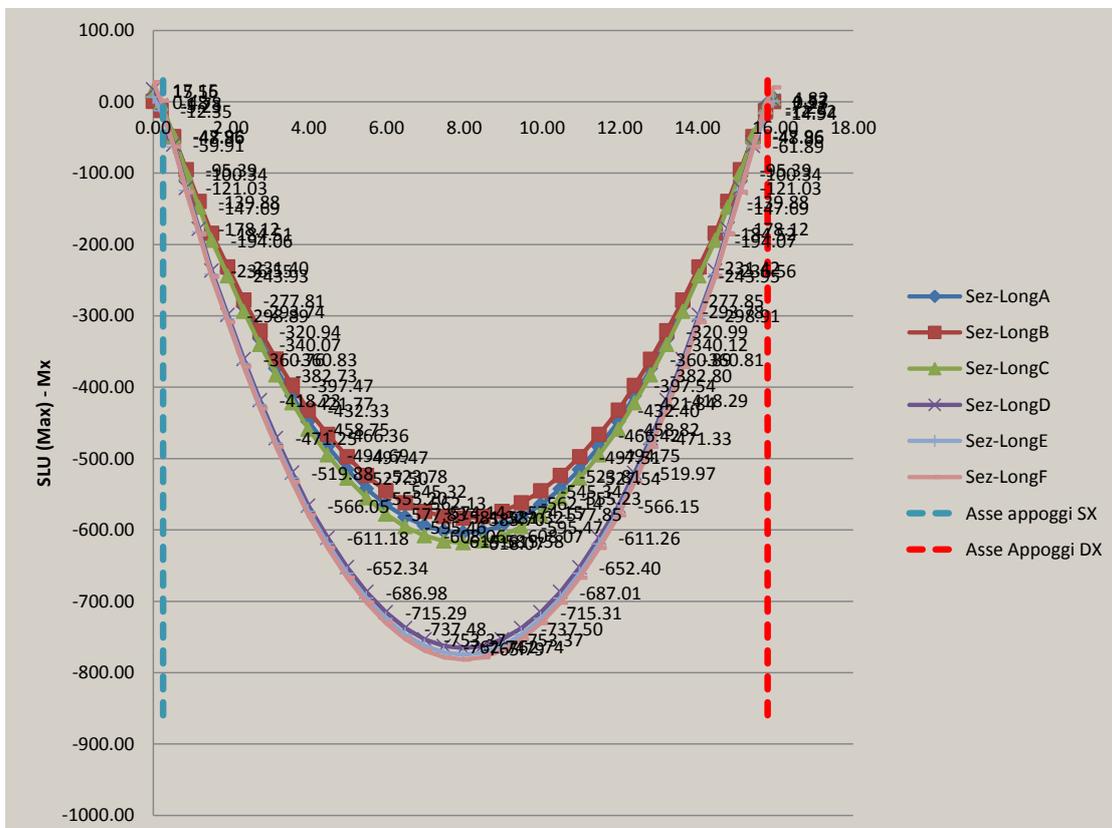
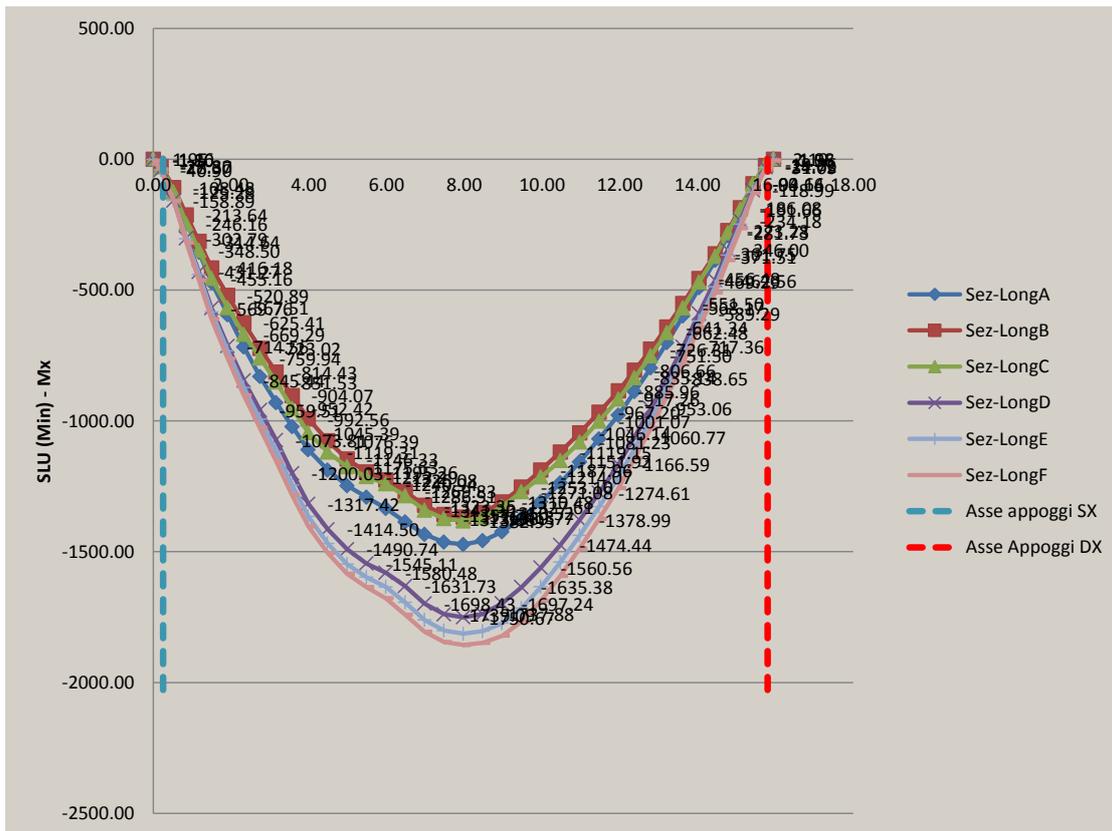
S.L.E. frequente – momenti longitudinali



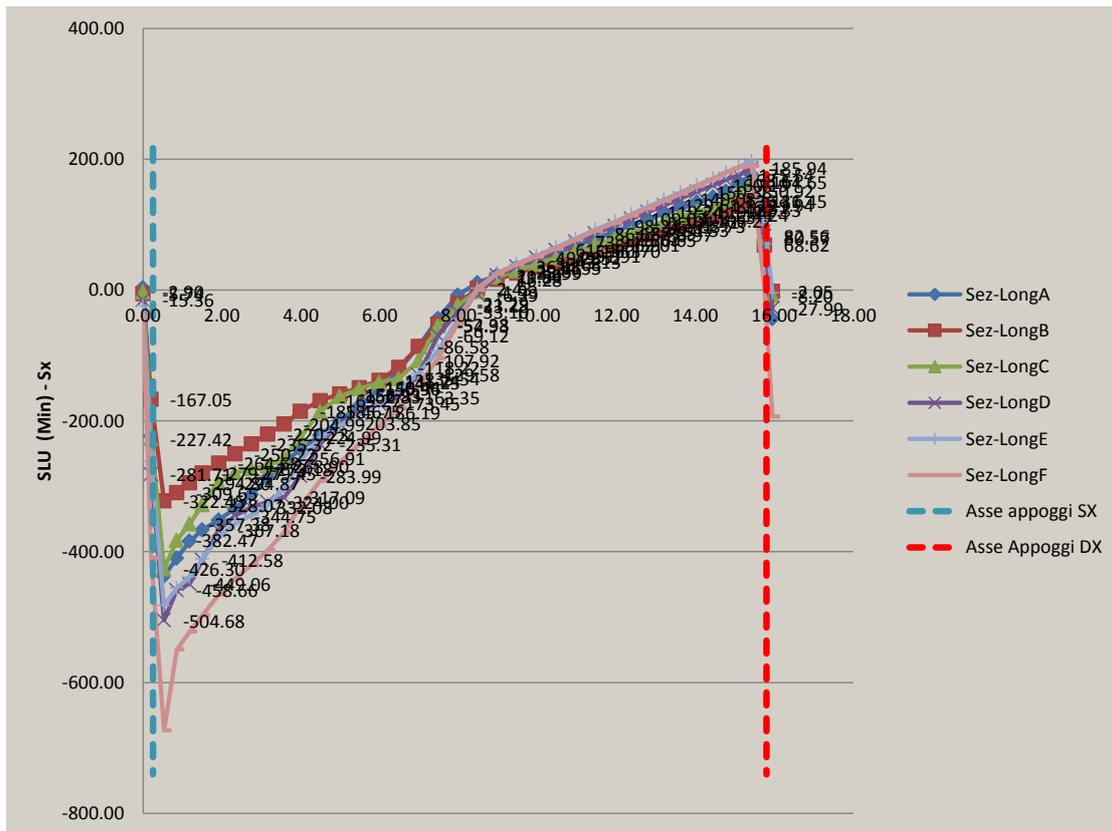
S.L.E. caratteristica – momenti longitudinali



S.L.U. caratteristica – momenti longitudinali

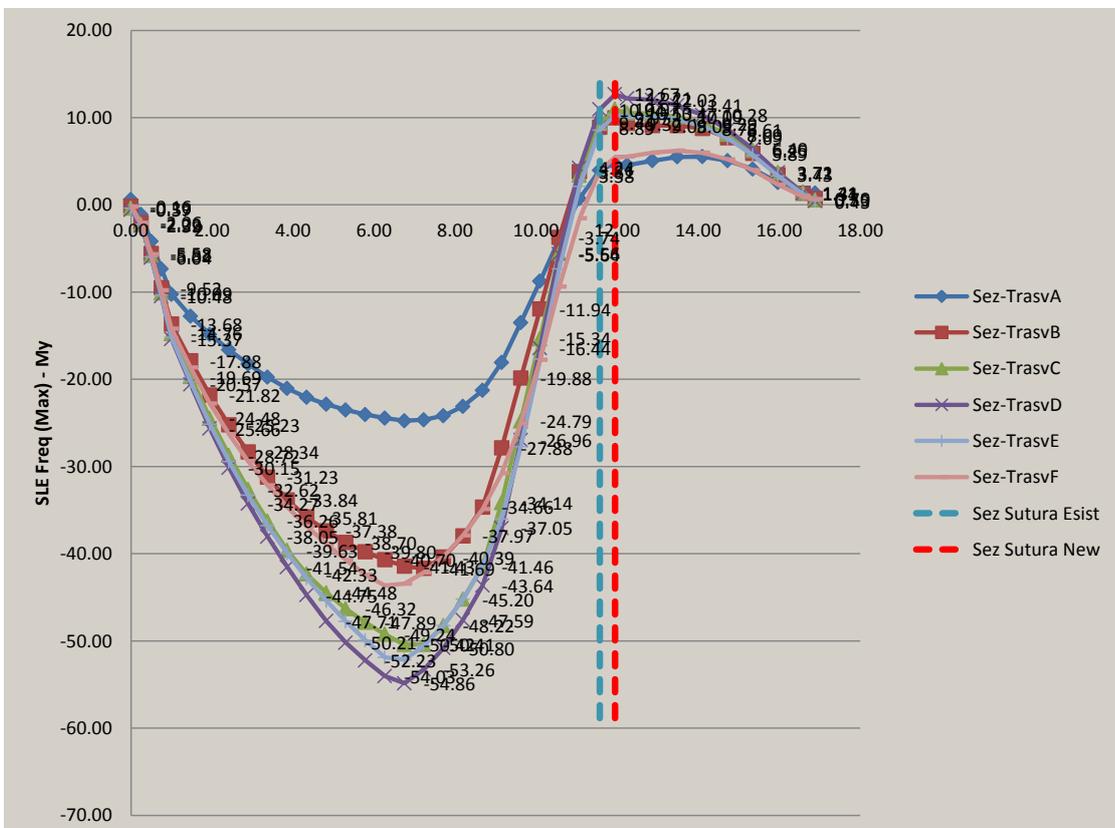
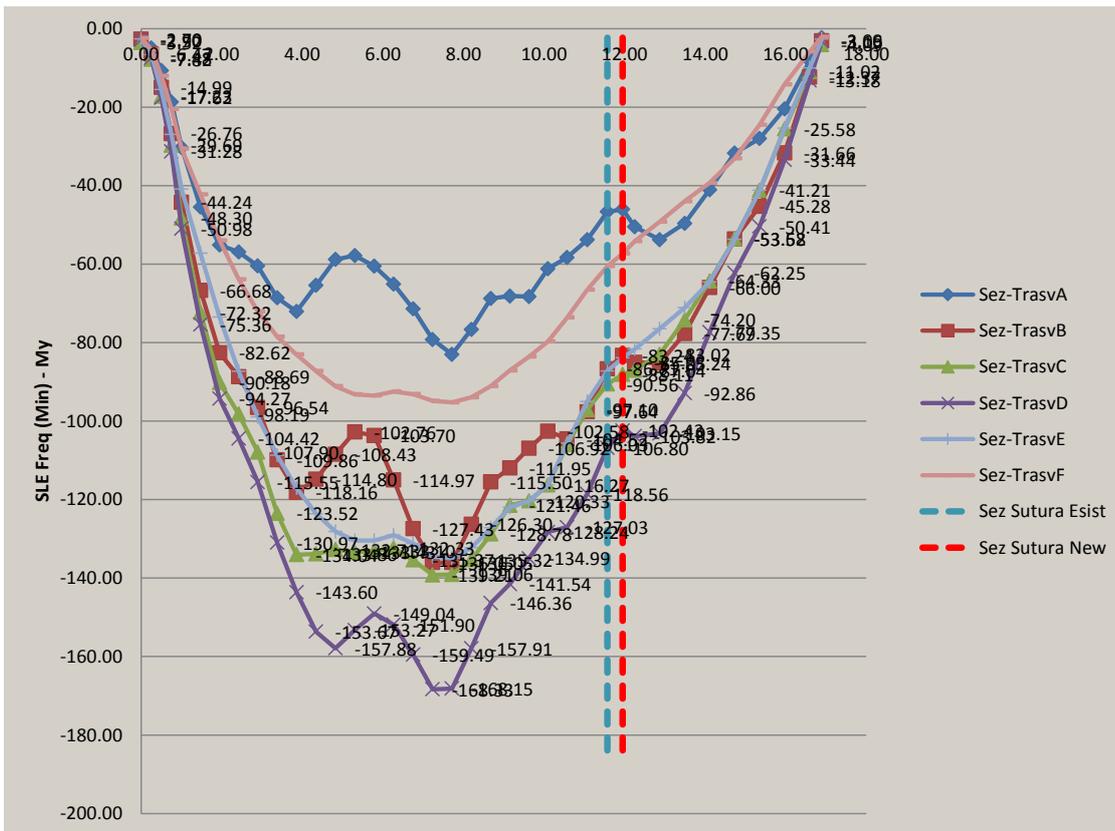


S.L.U. caratteristica – taglio longitudinali

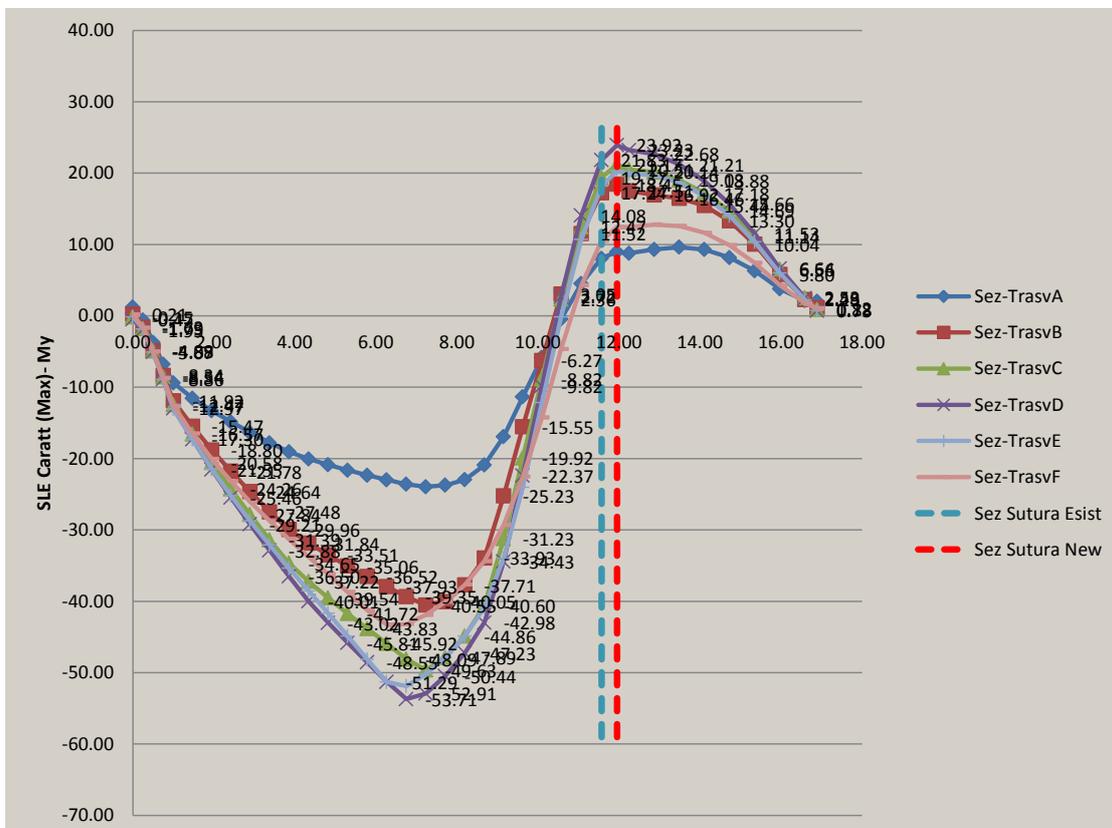
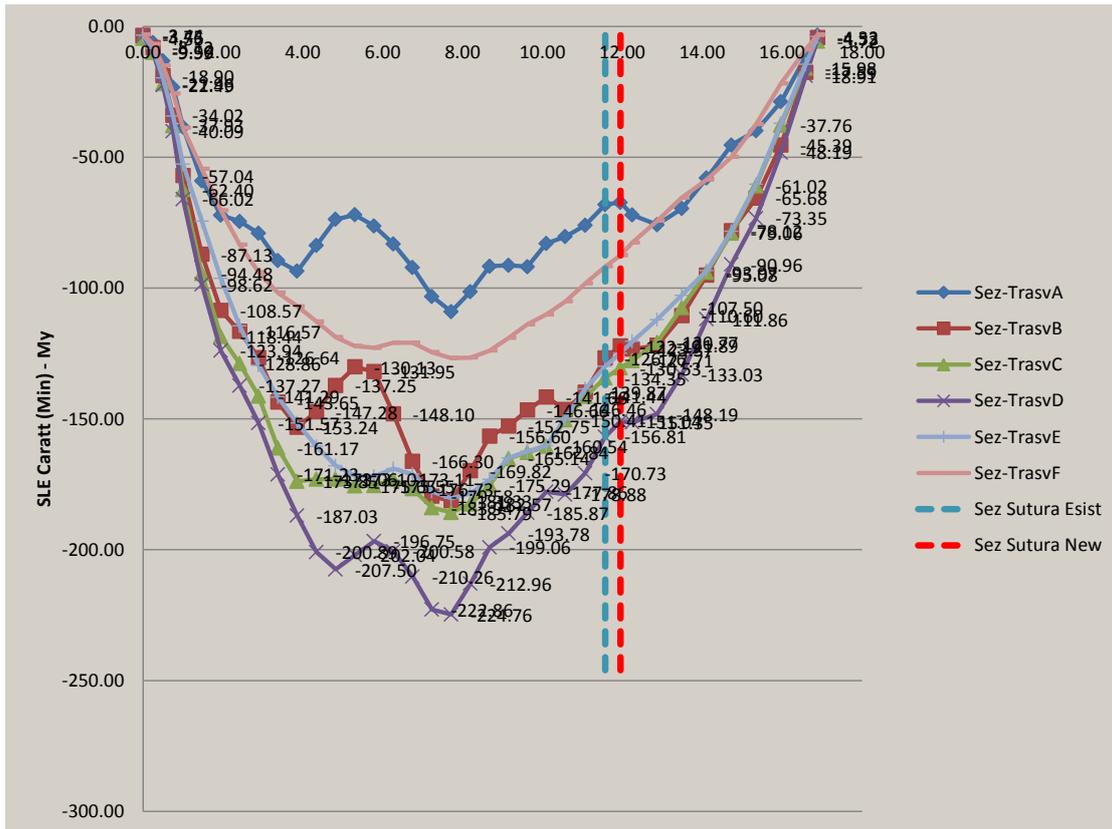


8.3.2 Sollecitazioni trasversali

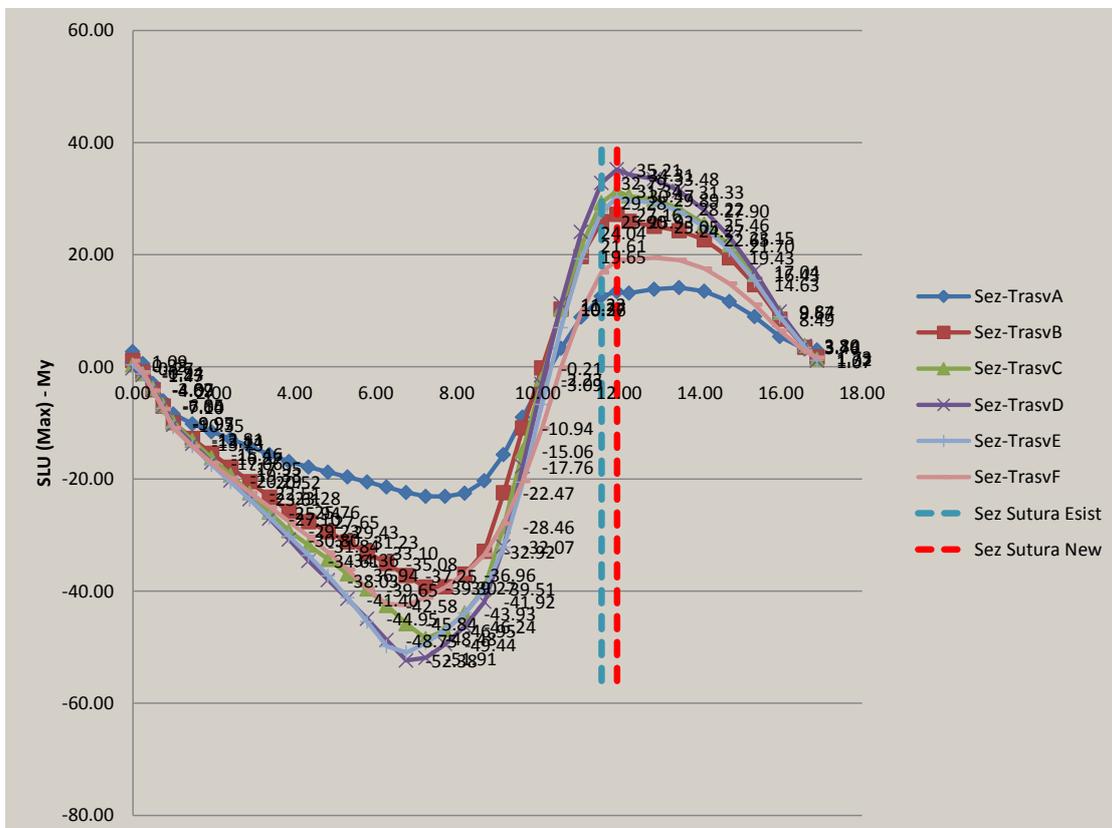
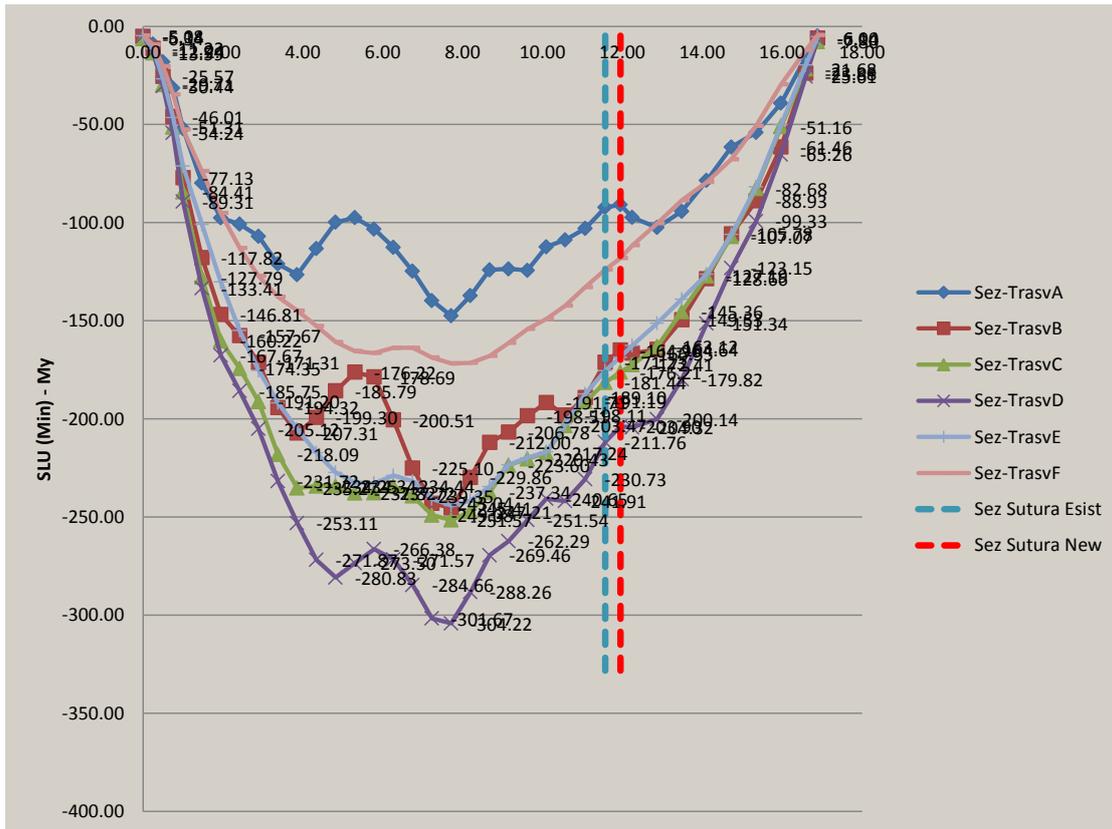
S.L.E. frequente – momenti trasversali



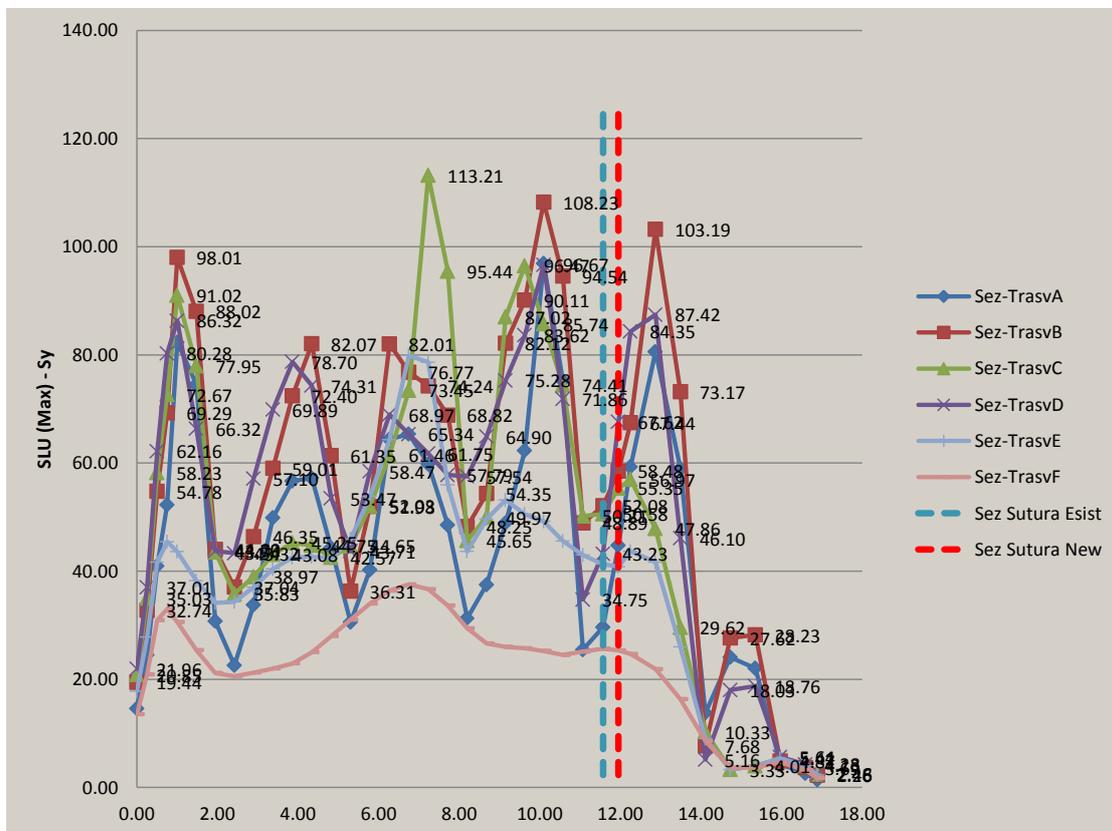
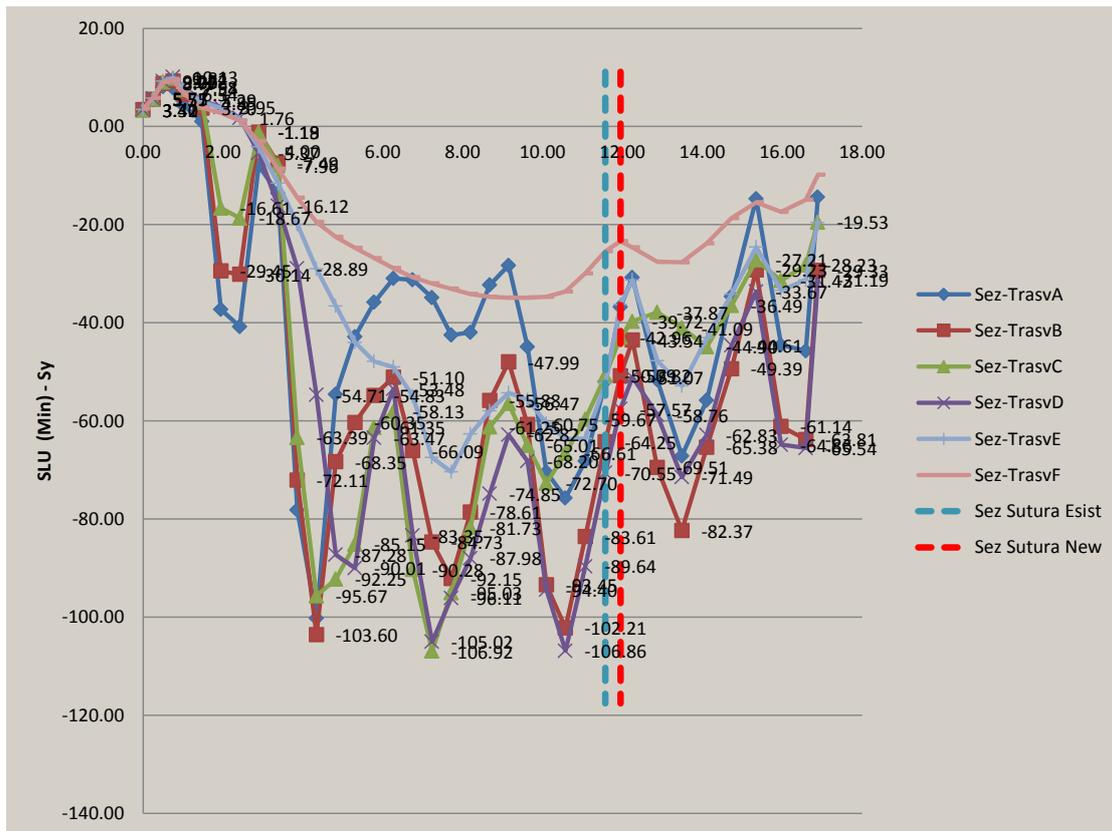
S.L.E. caratteristica – momenti trasversali



S.L.U. caratteristica – momenti trasversali



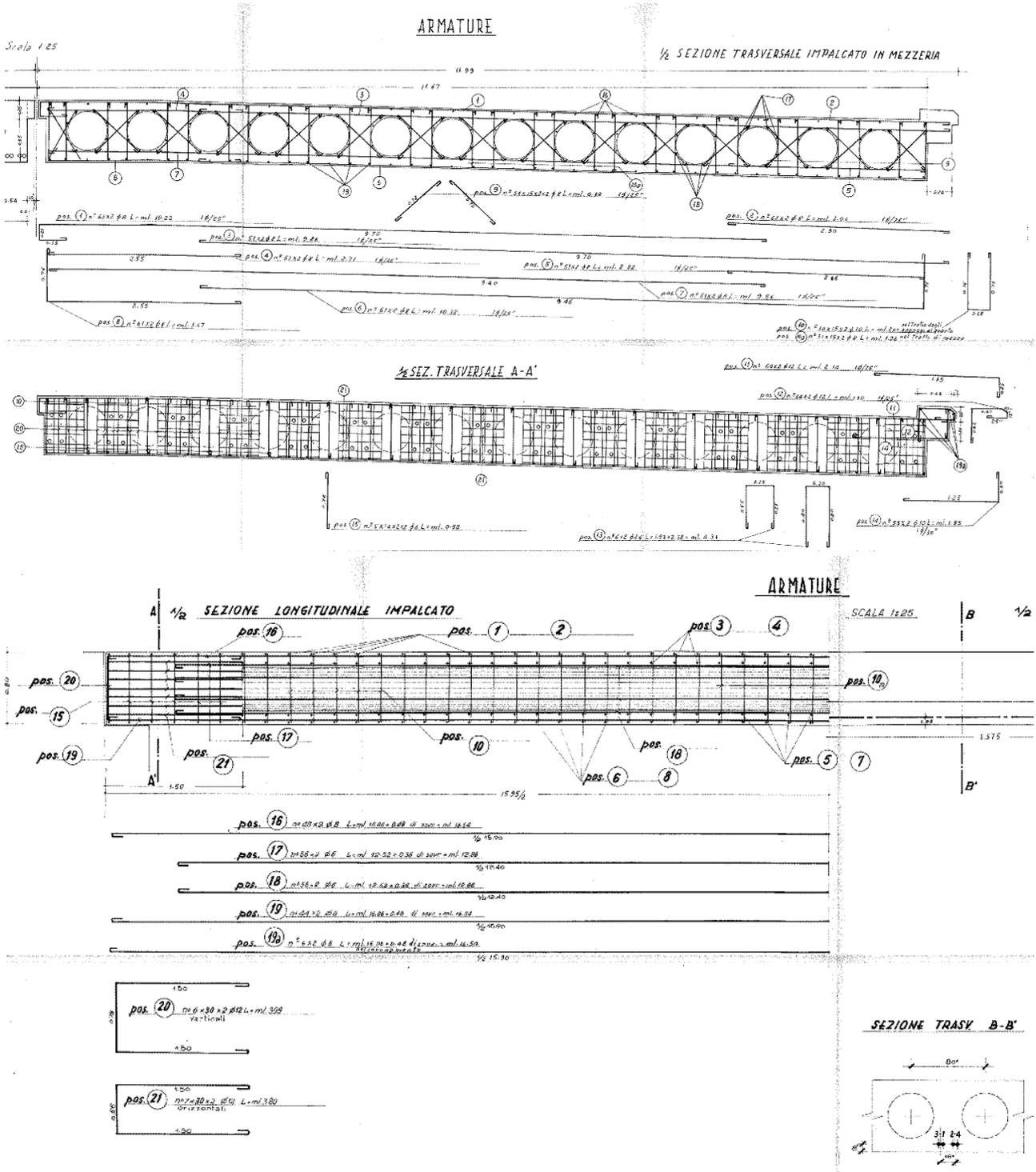
S.L.U. caratteristica – taglio trasversale

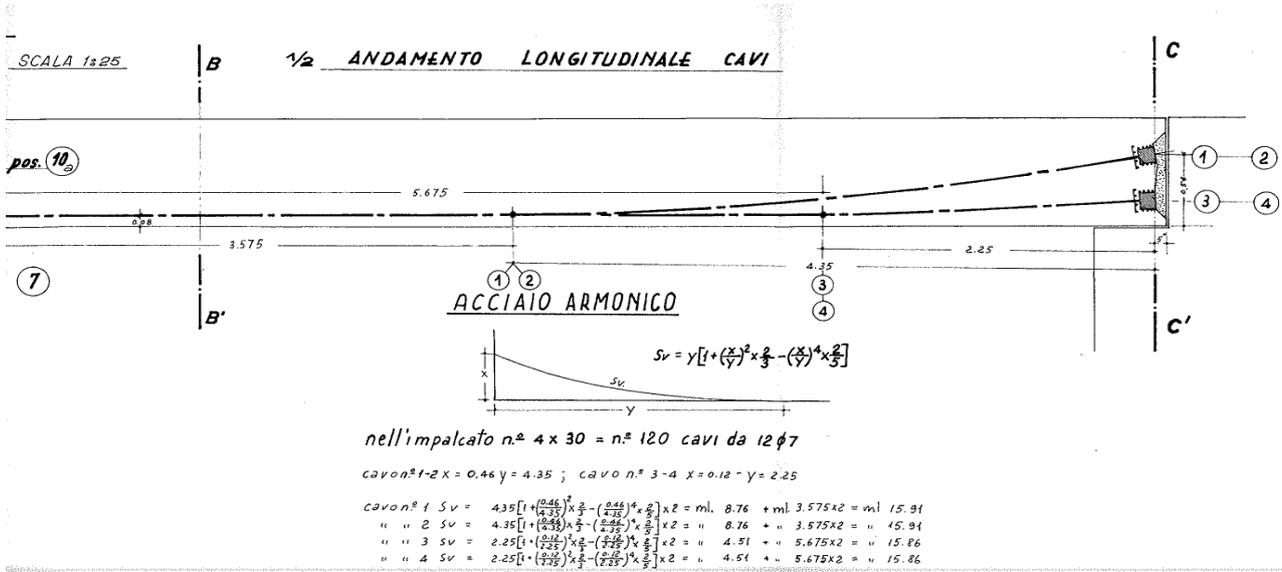


8.4 Risultati di verifica della soletta

Di seguito si riassumono in forma sintetica i risultati delle verifiche effettuate.

8.4.1 Armature





Art. 339 - Acciaio armonico

Cavo n.º	Nome rafia	lunghezza cavi	lunghezza filo	$\phi 7$ Kg./ml.	TOTALE Kg.
1	12 x	15.91	190.92	x 0.302	57.66
2	12 x	15.91	190.92	x 0.302	57.66
3	12 x	15.86	190.32	x 0.302	57.48
4	12 x	15.86	190.32	x 0.302	57.48

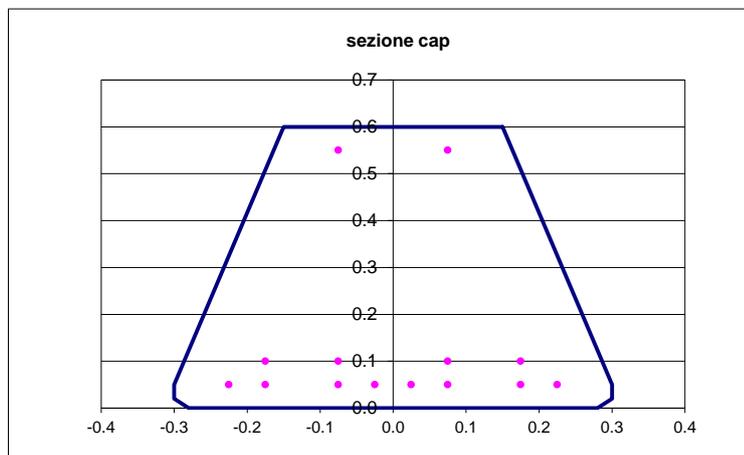
Totale per ogni elemento di solettone Kg. 230.28

Per n.º 30 elementi 230.28 x 30 = Kg. 6908.40

SEZIONE TRASK B-B'

SEZIONE TRASK C-C'

Nelle travi prefabbricate nuove si prevedono 12 trefoli inferiori e 2 trefoli superiori da 139 mmq/cad.



Barre di connessione trasversale ad intradosso $\Phi 32$ mm ad interasse 1.50 m ad alta resistenza.

Armatura a taglio nelle travi prefabbricate costituita da staffe $\Phi 12/20$ a due braccia in campata e $\Phi 14/20$ a due braccia alle estremità.

8.4.2 Risultati (longitudinali)

8.4.2.1 Flessione

Sollecitazione Max/Min - SLU (Min) - Mx					
Minimo					
	Estremità Esist (kNm/m)	Estremità Nuova (kNm/m)	Campata Esistente (kNm/m)	Campata Nuova (kNm/m)	- (kNm/m)
C.S. (-)	-471.28	-611.69	-1472.19	-1856.64	0.00
			1.11	1.32	

Solettone esistente:

The screenshot displays the software interface for the verification of a reinforced concrete slab. The main window is titled 'Verifica C.A. S.L.U. - File: SolettoneEsistente_Mezzeria'. The interface is divided into several panels:

- Titolo:** Solettone Esistente Longitudinale_Mezzeria - Sottovia Aposazza
- N° Vertici:** 30 (Zoom)
- N° barre:** 0 (Zoom)
- Table of Vertices:**

N°	x [cm]	y [cm]
1	-40	80
2	-40	65
3	-33	64
4	-27	62
5	-22	58
6	-18	52
- Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n. N_{Ed}: 0 kN, M_{xEd}: 1178 kNm, M_{yEd}: 0 kNm.
- P.to applicazione N:** Centro, Baricentro cls, Coord.[cm].
- Materiali:** B450C and C20/25. Properties include ϵ_{su} , f_{yd} , E_s/E_c , ϵ_{syd} , $\sigma_{s,adm}$, ϵ_{c2} , ϵ_{cu} , f_{cd} , $\sigma_{c,adm}$, f_{ct1} .
- Metodo di calcolo:** S.L.U. + S.L.U., Metodo n.
- Tipo flessione:** Retta, Deviata.
- Armatura Precompressione:** N° cavi: 1. Table:

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	σ_{sp} [MPa]
1	18.48	0	8	900
- Tipo cavo:** TrEsistEqu. Properties: ϵ_{su} : 67.5%, f_{yd} : 1.225 N/mm², E_s/E_c : 6, ϵ_{syd} : 6.125%, $\sigma_{s,adm}$: 1050 N/mm².
- Calcoli:** σ_c : -11.33 N/mm², σ_s : 0 N/mm², ϵ_c : 3.5‰, ϵ_s : 0‰, d : 72 cm, x : 44.65 cm, x/d : 0.6201, δ : 1.
- Other parameters:** N° rett.: 100, L₀: 0 cm, Col. modello, Precompresso (checked).

Dove il momento resistente è calcolato con riferimento ad un modulo di larghezza 0.80 m tra gli alleggerimenti.

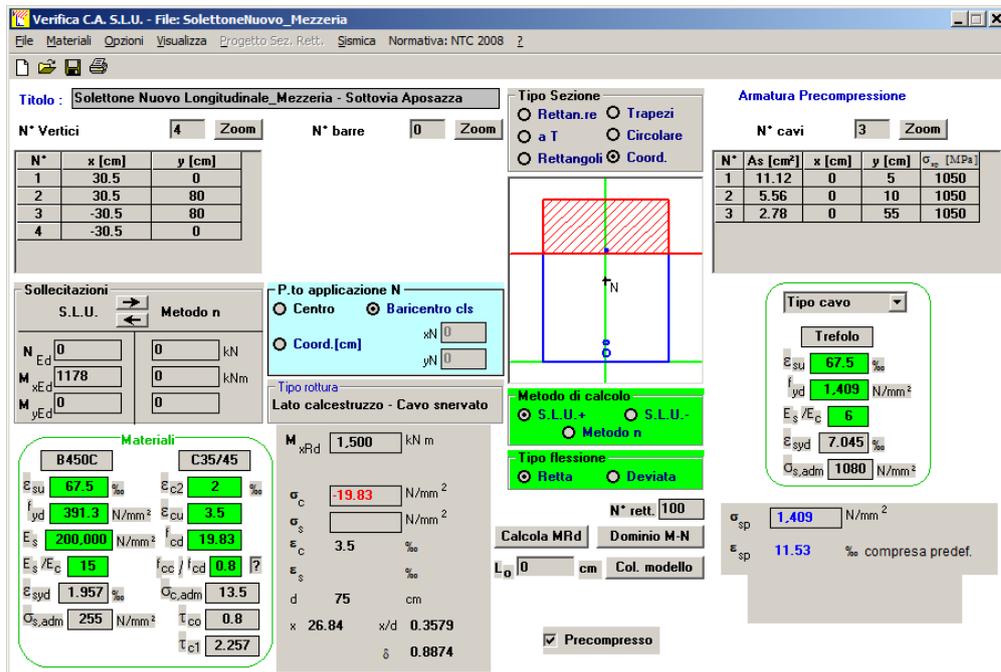
$$M_{Rd} = 1302 \text{ kN}$$

$$B_{Rd} = 0.80 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = 1302 / 0.80 = 1628 \text{ kNm/m}$$

$$c.s. = 1628 / 1472 = 1.11$$

Solettone nuovo:



Dove il momento resistente è calcolato con riferimento ad un modulo prefabbricato di larghezza 0.60 mcomprensivo della porzione di soletta collaborante.

$$M_{Rd}=1500 \text{ kN}$$

$$B_{Rd}= 0.61 \text{ m}$$

$$M_{Rd}= 1500/0.61 = 2459 \text{ kNm/m}$$

$$c.s.= 2459/1857= 1.32$$

8.4.2.2 Taglio

Sollecitazione Max/Min - SLU (Min) - Sx					
Minimo					
	Estremità Esist (kN/m)	Estremità Nuova (kN/m)	Campata Esistente (kN/m)	Campata Nuova (kN/m)	- (kN/m)
c.s. (-)	-437.33	-673.16	-366.64	-497.16	0.00
	1.51	1.13	1.05	1.13	

Solettone esistente - Estremità:**Verifica a taglio-Torsione di elementi in calcestruzzo**

(NTC 2008; 4.1.2.1.3, 4.1.2.1.4)

Caratteristiche materiali:

f_{ck}	f_{yk}	γ_s	γ_c	α_{cc}	f_{ctk}	f_{ctd}	f_{cd}	f_{yd}
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
25	270	1.15	1.5	0.85	1.80	1.20	14.17	235

Geometria della sezione resistente:

h	bw	c	d
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
800	1000	180	620

A_{SLong} (TOTALE)				A_{S_Taglio}				
Φ_i	n	A_{Si}	A_{S_TOT}	Φ_i	$n_{BRACCIA}$	A_{Si}	passo	α
(mm)	(-)	(mm ²)	(mm ²)	(mm)	(-)	(mm ²)	(mm)	(grad)
24.25	4	1847	1847	10	2	157	250	90
0	0	0		6	4	113	250	90
		0				0	0	

Verifica a Taglio:

Sezione priva di armature resistenti a taglio:

N_{Ed}	Ac	σ_{cp}	ρ_i	k	v_{MIN}	V_{Rd}
(kN)	(mm ²)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(kN)
1548	800000	1.94	0.0030	1.5680	0.3436	407.79

Dove il taglio resistente è calcolato con riferimento ad un modulo di larghezza 1.00 m.

$$V_{Rd}=407 \text{ kN}$$

$$B_{Rd}= 1.00 \text{ m}$$

$$V_{Rd}= 407/1.00 = 407 \text{ kN/m}$$

Si considera il contributo resistente offerto dai cavi precompressione inclinati deducendo i dati geometrici dalla relazione di calcolo originaria.

Inclinazione trefoli collaboranti al taglio dall'orizzontale:

Trefoli A		Trefoli B				
$Tg(\alpha)$	α	α	α	α	α	
(-)	(rad)	(grad)	(rad)	(grad)	(grad)	
0.0590	0.0589	3.3765	0.157	9		
$\sigma_{AMM_TREFOLI}$	γ_{CAVI}	$\sigma_{CALCOLO_TREFOLI}$	A_{SCAVO}	$n_{A-TR_INCLINATI}$	$n_{B-TR_INCLINATI}$	$n_{TR_ORIZZONTALI}$
(Mpa)	(-)	(Mpa)	(mmq)	(-)	(-)	(-)
900	0.75	675	462	2	2	0

largh. sezione in oggetto:

$$(m)$$

$$0.8$$

V_{CAVI}	N_{CAVI}
(kN/m)	(kN/m)
168	1548

$$V_{sd}= 437.33 - 168 = 269 \text{ kN/m}$$

$$c.s.= 408/269= 1.51$$

Solettone esistente – Campata:

La sollecitazione utilizzata è quella massima nella porzione di solettone alleggerito dalle forometrie e si ottiene in prossimità della sezione di transizione con la porzione terminale piena.

Verifica a taglio-Torsione di elementi in calcestruzzo

(NTC 2008; 4.1.2.1.3, 4.1.2.1.4)

Caratteristiche materiali:

f_{ck}	f_{yk}	γ_s	γ_c	α_{cc}	f_{ctk}	f_{ctd}	f_{cd}	f_{yd}
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
25	270	1.15	1.5	0.85	1.80	1.20	14.17	235

Geometria della sezione resistente:

h	bw	c	d
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
800	300	80	720

A_{SLong} (TOTALE)				A_{S_Taglio}				
Φ_i	n	A_{Si}	A_{S_TOT}	Φ_i	$n_{BRACCIA}$	A_{Si}	passo	α
(mm)	(-)	(mm ²)	(mm ²)	(mm)	(-)	(mm ²)	(mm)	(grad)
		0		10	2	157	250	90
		0	0	0	0	0	0	0
		0				0	0	

Verifica a Taglio:

Sezione priva di armature resistenti a taglio:

N_{Ed}	AC	σ_{cp}	ρ_i	k	V_{MIN}	V_{Rd}
(kN)	(mm ²)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(kN)
1247	240000	2.83	0.0000	1.5270	0.3302	163.13

Sezione con armature trasversali resistenti a taglio:

θ	N_{Ed}	σ_{cp}	α_c	f_{cd}	V_{Rsd}	V_{Rcd}	V_{Rd}
(grad)	(kN)	(MPa)	(-)	(Mpa)	(kN)	(kN)	(kN)
30	1247	2.833333	1.2000	7.08	165.57	715.51	165.57

Dove il taglio resistente è calcolato con riferimento ad un modulo di larghezza 0.80 m.

$$V_{Rd} = 166 \text{ kN}$$

$$B_{Rd} = 0.80 \text{ m}$$

$$V_{Rd} = 166 / 0.80 = 207 \text{ kN/m}$$

Si considera il contributo resistente offerto dai cavi precompressione inclinati deducendo i dati geometrici dalla relazione di calcolo originaria.

Inclinazione trefoli collaboranti al taglio dall'orizzontale:

Trefoli A		Trefoli B				
$Tg(\alpha)$	α	α	α	α	α	
(-)	(rad)	(grad)	(rad)	(grad)		
0.0590	0.0589	3.3765	0.157	9		
$\sigma_{AMM_TREFOLI}$	γ_{CAVI}	$\sigma_{CALCOLO_TREFOLI}$	A_{SCAVO}	$n_{A-TR_INCLINATI}$	$n_{B-TR_INCLINATI}$	$n_{TR_ORIZZONTALI}$
(Mpa)	(-)	(Mpa)	(mmq)	(-)	(-)	(-)
900	0.75	675	462	2	2	0

largh. sezione in oggetto:

$$(m)$$

$$0.8$$

V_{CAVI}	N_{CAVI}
(kN/m)	(kN/m)
168	1548

$$V_{sd} = 367 - 168 = 199 \text{ kN/m}$$

$$c.s. = 207/199 = 1.045$$

Solettone nuovo - Estremità:

Verifica a taglio-Torsione di elementi in calcestruzzo

(NTC 2008; 4.1.2.1.3, 4.1.2.1.4)

Caratteristiche materiali:

f_{ck}	f_{yk}	γ_s	γ_c	α_{cc}	f_{ctk}	f_{ctd}	f_{cd}	f_{yd}
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
35	440	1.15	1.5	0.85	2.25	1.50	19.83	383

Geometria della sezione resistente:

h	bw	c	d
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
800	620	50	750

A_{SLong} (TOTALE)				A_{S_Taglio}				
Φ_i	n	A_{Si}	A_{S_TOT}	Φ_i	$n_{BRACCIA}$	A_{Si}	passo	α
(mm)	(-)	(mm ²)	(mm ²)	(mm)	(-)	(mm ²)	(mm)	(grad)
0	0	0	0	14	2	308	200	90
0	0	0	0	0	2	0	0	0
		0				0	0	

Verifica a Taglio:

Sezione prive di armature resistenti a taglio:

N_{Ed}	A_c	σ_{cp}	ρ_i	k	V_{MIN}	V_{Rd}
(kN)	(mm ²)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(kN)
0	496000	0.00	0.0000	1.5164	0.3867	179.79

Sezione con armature trasversali resistenti a taglio:

θ	N_{Ed}	σ_{cp}	α_c	f_{cd}	V_{Rsd}	V_{Rcd}	V_{Rd}
(grad)	(kN)	(MPa)	(-)	(Mpa)	(kN)	(kN)	(kN)
40	0	0	1.0000	9.92	473.80	2043.54	473.80

Dove il taglio resistente è calcolato con riferimento ad un modulo di larghezza 0.62 m.

$$V_{Rd} = 474 \text{ kN}$$

$$B_{Rd} = 0.62 \text{ m}$$

$$V_{Rd} = 474/0.62 = 765 \text{ kN/m}$$

$$V_{sd} = 673 \text{ kN/m}$$

$$c.s. = 765/673 = 1.13$$

8.4.2.3

Solettone nuovo - Campata:**Verifica a taglio-Torsione di elementi in calcestruzzo**

(NTC 2008; 4.1.2.1.3, 4.1.2.1.4)

Caratteristiche materiali:

f_{ck}	f_{yk}	γ_s	γ_c	α_{cc}	f_{ctk}	f_{ctd}	f_{cd}	f_{yd}
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
35	440	1.15	1.5	0.85	2.25	1.50	19.83	383

Geometria della sezione resistente:

h	bw	c	d
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
800	620	50	750

A_{SLong} (TOTALE)				A_{S_Taglio}				
Φ_i	n	A_{Si}	A_{S_TOT}	Φ_i	$n_{BRACCIA}$	A_{Si}	passo	α
(mm)	(-)	(mm ²)	(mm ²)	(mm)	(-)	(mm ²)	(mm)	(grad)
0	5	0	0	12	2	226	200	90
0	0	0	0	0	2	0	0	0
		0				0	0	

Verifica a Taglio:

Sezione prive di armature resistenti a taglio:

N_{Ed}	Ac	σ_{cp}	ρ_i	k	v_{MIN}	V_{Rd}
(kN)	(mm ²)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(kN)
0	496000	0.00	0.0000	1.5164	0.3867	179.79

Sezione con armature trasversali resistenti a taglio:

θ	N_{Ed}	σ_{cp}	α_c	f_{cd}	V_{Rsd}	V_{Rcd}	V_{Rd}
(grad)	(kN)	(MPa)	(-)	(Mpa)	(kN)	(kN)	(kN)
40	0	0	1.0000	9.92	348.09	2043.54	348.09

Dove il taglio resistente è calcolato con riferimento ad un modulo di larghezza 0.62 m.

$$V_{Rd}=348\text{kN}$$

$$B_{Rd}= 0.62 \text{ m}$$

$$V_{Rd}= 348/0.62 = 561 \text{ kN/m}$$

$$V_{Sd}= 497 \text{ kN/m}$$

$$c.s.= 561/497= 1.13$$

8.4.3 Armature trasversali

Soletta Esistente - Armatura trasversale		
Armatura lenta		
Armatura esistente		Aggiuntiva
Sup	Inf	Inf
(mm)	(mm)	(mm)
Φ 8/0.25m	Φ 8/0.25m	Fibre FRP

Soletta nuova - sutura			
Armatura			
Sez. Sutura		Soletta Nuova	
Sup	Inf	Sup	Inf
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Φ 26/33	Φ 26/33	Φ 12/20 doppi strato	Φ 32/150 - Alta resistenza

8.4.4 Risultati (trasversali)

Sollecitazioni rispetto al sistema di riferimento locale delle armature:

Sollecitazioni di verifica

Sollecitazione Max/Min - SLEFreq (Min) - My					
Minimo					
	Soletta esistente: (kNm/m)	Sezione di Sutura (kNm/m)	Soletta nuova: (kNm/m)	- (kNm/m)	- (kNm/m)
	-168.33	-106.80	-106.80	0.00	0.00
σ_s (Mpa)	-	-	300		
σ_c (Mpa)	-	-	3.3		
w_k (mm)	-	-	-		

Sollecitazione Max/Min - SLEFreq (Max) - My					
Massimo					
	Soletta esistente: (kNm/m)	Sezione di Sutura (kNm/m)	Soletta nuova: (kNm/m)	- (kNm/m)	- (kNm/m)
	10.94	10.94	12.67	0.00	0.00
σ_s (Mpa)	-	-	20		
σ_c (Mpa)	-	-	0.3		
w_k (mm)	-	-	-		

Sollecitazione Max/Min - SLECaratt (Min) - My					
Minimo					
	Soletta esistente: (kNm/m)	Sezione di Sutura (kNm/m)	Soletta nuova: (kNm/m)	- (kNm/m)	- (kNm/m)
	-224.76	-156.81	-156.81	0.00	0.00
σ_s (Mpa)	-	-	439		
σ_c (Mpa)	-	-	4.8		
w_k (mm)	-	-	-		

Sollecitazione Max/Min - SLECaratt (Max) - My					
Massimo					
	Soletta esistente: (kNm/m)	Sezione di Sutura (kNm/m)	Soletta nuova: (kNm/m)	- (kNm/m)	- (kNm/m)
	21.83	21.83	23.92	0.00	0.00
σ_s (Mpa)	-	-	38		
σ_c (Mpa)	-	-	0.53		
w_k (mm)	-	-	-		

Sollecitazione Max/Min - SLU (Min) - My					
Minimo					
	Soletta esistente: (kNm/m)	Sezione di Sutura (kNm/m)	Soletta nuova: (kNm/m)	- (kNm/m)	- (kNm/m)
	-304.22	-211.76	-211.76	0.00	0.00
c.s. (-)	0.41*	1.93	1.57		

* Occorre rinforzare ad intradosso.

Si prevede l'utilizzo di fibre di carbonio al fine di limitare l'aggravio di peso e ridurre l'impatto sul franco libero inferiore.

$M_{rSLU} = 811 \text{ kNm/m}$; c.s. = 2.67

Per dettagli si rimanda agli elaborati grafici

ZONA 1: Lamelle CFK 200/2000; 90x1.4, tre strisce/metro a doppio strato

Si integra la verifica in una sezione ai quarti della luce per ottimizzare la necessità di rinforzo:

Soletta Esistente - Sezione ai quarti (kNm/m)
-245.00
0.51**

** Occorre rinforzare ad intradosso.

Si prevede l'utilizzo di fibre di carbonio al fine di limitare l'aggravio di peso e ridurre l'impatto sul franco libero inferiore.

$M_{rSLU} = 624 \text{ kNm/m}$; c.s. = 2.55

ZONA 1: Lamelle CFK 200/2000; 100x1.4, due strisce/metro a doppio strato

8.5 Verifiche tensionali S.L.E. – travi precomprese

Per le verifiche si considerano le seguenti caratteristiche dei materiali

Caratteristiche materiali

cls trave		cls soletta		acciaio	
R_{ck}	54.22 MPa	R_{ck}	42.17 MPa	E_s	210000 MPa armatura lenta
f_{ck}	45.00 MPa	f_{ck}	35.00 MPa	E_p	195000 MPa trefoli
γ_c	1.5	γ_c	1.5	ns	5.83 armatura lenta soletta
α_{cc}	0.85	α_{cc}	0.85	np	5.42 acciaio precompresso
f_{cd}	25.50 MPa	f_{cd}	19.83 MPa	nc	0.94 calcestruzzo soletta
E_{cm}	36000.00 MPa	E_{cm}	34000.00 MPa		

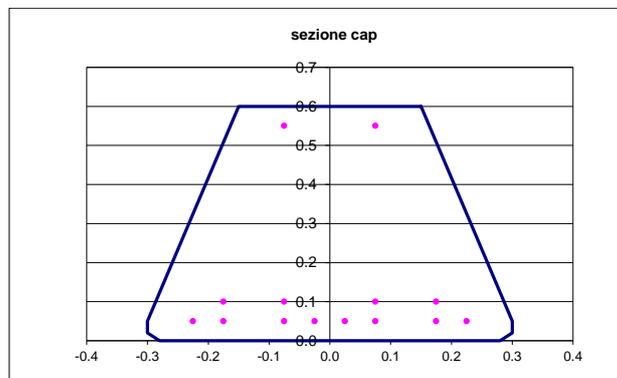
Calcolo forze equivalenti precompressione aderente

$A_{trefolo}$	139 mm ²	Area del trefolo
f_{ptk}	1860 MPa	Tensione caratteristica di rottura
$f_{p(1)k}$	1670 MPa	Tensione caratteristica di snervamento all'1% di deformazione
σ_{spi}	1488 MPa	tensione iniziale
E_p	195000.00 MPa	Modulo elastico dell'acciaio da precompressione
t	72 ore	taglio trefoli
ρ_{1000}	2.500 %	caduta di tensione per rilassamento
μ	0.800	f_{ptk}/σ_{spi}
$\Delta\sigma_{pr}$	24 MPa	1.61%

8.5.1 Caratteristiche sezioni di mezzzeria della trave

Campata unica $L_{CALC} = 15.50$ m

Per la verifica si considerano le seguenti caratteristiche:



Le caratteristiche della soletta presente in fase 2 e 3 sono riportate di seguito:

Dati soletta

b	0.62 m	Larghezza soletta
h	0.20 m	spessore soletta
ϕ_{sup}	12.00 mm	
passo _{sup}	200.00 mm	
$n_{b, sup}$	3.10	
C_{sup}	35.00 mm	
ϕ_{inf}	12.00 mm	
passo _{inf}	200.00 mm	
$n_{b, inf}$	3.10	
C_{inf}	35.00 mm	
$A_{s, sup}$	0.000351 m ²	
$A_{s, inf}$	0.000351 m ²	

Caratteristiche geometriche sezione cls

Ac	0.2771	m ²
ycg	0.2657	m
l _{cxg}	0.0079	m ⁴

Trefoli

Ap	0.0019	m ²
ypg	0.1357	m
l _{pxg}	0.0001	m ⁴

Caratteristiche geometriche sezione cls+trefoli

A	0.2857	m ²	
yg	0.2618	m	
l _{xg}	0.0083	m ⁴	
W _{cinf}	-0.0318	m ³	modulo di resistenza fibra inferiore trave
W _{csup}	0.0246	m ³	modulo di resistenza fibra superiore trave
W _{c pg}	-0.0660	m ³	modulo di resistenza fibra in corrispondenza del baricentro trefoli
W _{pg}	-0.0660	m ³	modulo di resistenza del baricentro trefoli
W _{p inf}	-0.0318	m ³	modulo di resistenza trefoli a quota minima

Caratteristiche geometriche sezione cls+trefoli+soletta

A	0.4069	m ²	
yg	0.3923	m	
l _{xg}	0.0251	m ⁴	
W _{cinf}	-0.0639	m ³	modulo di resistenza fibra inferiore trave
W _{csup}	0.1207	m ³	modulo di resistenza fibra superiore trave
W _{c pg}	-0.0977	m ³	modulo di resistenza fibra in corrispondenza del baricentro trefoli
W _{pg}	-0.0977	m ³	modulo di resistenza del baricentro trefoli
W _{c sol}	0.0615	m ³	modulo di resistenza fibra superiore soletta
W _{s sol}	0.0673	m ³	modulo di resistenza armatura lenta superiore soletta
W _{p inf}	-0.0639	m ³	modulo di resistenza trefoli a quota minima

Calcolo forze equivalenti precompressione aderente

A/trefolo	139 mmq	
f_{ptk}	1860 MPa	
$f_{p(1)k}$	1670 MPa	
σ_{spi}	1488 MPa	
E_p	195000.00 MPa	
taglio trefoli	72 ore	
ρ_{1000}	2.500	
μ	0.800	
$\Delta\sigma_{pr}$	24.008 MPa	1.61%

Sezione trefoli

A	0.0019460 m ²
yg	0.1357143 m
lxg	0.0000566 m ⁴

Sezione omogeneizzata

A	0.28569 m ²	
yg	0.26178 m	
lxg	0.00832 m ⁴	
e	0.12606 m	
N_{p0}	2895648.00 N	
σ_p	84.85744 Mpa	
ΔN_{el}	165132.58 N	
ΔN_{pr}	46718.99 N	
ΔN_{ist}	211851.56 N	7.32%
N_p	2683796.44 N	
M_p	338330.78 Nm	

Azioni da precompressione

N_p	-2683.80 kN
M_p	338.33 kNm

Per il calcolo delle perdite differite legate a ritiro, viscosità e rilassamento si considerano i parametri:

Ritiro - calcolo deformazioni da ritiro

Rbk	55.00
f_{ck} (MPa)	46
f_{cm} (MPa)	54
f_{cm0} (MPa)	10
RH (%)	80
cls tipo	R
α_{ds1}	6
α_{ds2}	0.11
RH ₀ (%)	100.00
β_{RH}	0.76
$\varepsilon_{cd,0}$	0.00031
k_h	0.70
$\varepsilon_{ca}(00)$	0.00009
h_0 (mm)	800.00
t_s	30
t (gg)	25550
$\beta_{ds}(t-t_s)$	0.966
$\varepsilon_{cd}(t)$	0.00021
$\beta_{as}(t)$	1.00000
$\varepsilon_{ca}(t)$	0.000089
$\varepsilon_s(t-t_s)$	3.01E-04

Calcolo coefficienti di viscosità

Rbk	55.00
f_{ck} (MPa)	46
f_{cm} (MPa)	54
RH (%)	80
cls tipo	R
h_0 (mm)	800.00
α_1	0.74
α_2	0.92
α_3	0.81
β_H	1211.55
Φ_{RH}	1.06
$\beta(fcm)$	2.29
t_0	2
t (gg)	25550
$\beta(t_0)$	0.801
$\beta_c(t,t_0)$	0.986
Φ_0	1.956
$\Phi(t,t_0)$	1.929

Calcolo perdite di precompressione a tempo $t=\infty$		
Dati generali	trave	soletta
Rck	55.00	40.00
fck	45.65	33.2
fcm	53.65	41.2
Ecm	36416.11	33642.78
Ec	38236.92	
Esp	195000.00	
nc	0.94	
np	5.42	
ns t00	16.89	
Es	210000.00	
$\Phi(t-t_0)$	1.93	Coeff. Viscosità
$\varepsilon_{sh}(t-t_s)$	-0.00030	Coeff. Ritiro
χ	0.8	

Le perdite di precompressione differite risultano come di seguito:

	trefoli
σ_{spi}	1488.000
ε_{sh}	-0.00030
α	5.355
$\Phi(t-t_0)$	1.929
$\sigma_{c,Qp}$	-7.989
σ_p	1414.511
A_p	1.946E-03
A_c	4.069E-01
l_c	2.507E-02
Z_{cp}	0.257
f_{ptk}	1860
A Tinf	500000 ore
ρ_{1000}	2.500
μ	0.800
$\Delta\sigma_{pr}$	-86.020
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}$	-185.109
$\% \Delta\sigma_{p,c+s+r}$	12.440
Sollecitazioni Equivalenti alle perdite di precompressione	
ΔN	360.22
ΔM	-92.43

8.5.2 Tensioni al tiro

Per il calcolo delle tensioni si considerano le seguenti caratteristiche geometriche:

Sezione mezzeria

Calcolo caratteristiche geometrico-statiche della sezione

	A	yg	Jxx	Wcinf	Wcsup	Wcsup so	Wc pg	Ws sol	Wpg
sezione cassone	0.27710	0.26569	0.00793						
sezione cassone+soletta	0.40690	0.39231	0.02507						
Trefoli	0.00195	0.13571	0.00006						
cassoncino	0.28569	0.26178	0.00832	-0.03179	0.02460		-0.06600		-0.03179
cassoncino+soletta	0.40690	0.39231	0.02507	-0.06391	0.12071	0.06149	-0.09770	0.06727	-0.06391

	Fase 1 prec	Fase 1 pp	Step A PPtr+Precomprex Fine fase 1
N	-2683.80	0.00	-2683.80
My	338.33	-209.00	129.33
σ inf	-20.04	6.58	-13.46
σ sup	4.36	-8.50	-4.14
σ sup soletta			
σ soletta			
σ pg	-14.52	3.17	-11.35
σ s pg	1379.13	17.15	1396.29
σ p inf	1270.60	35.62	1306.21

La sezione risulta interamente compressa.

8.5.3 Tensioni agli S.L.E. (Rara)

Verifica sezione precompressa :

Riepilogo sollecitazioni di verifica per fasi

Fase	Azione di	sezione	N (kN)	My (kNm)	γ_i
Fase 1	Precompressione	cassoncino	-2683.80	338.33	1.00
Fase 1	Peso proprio trave	cassoncino	0.00	-209.00	1.00
Fase 2	Peso soletta	cassoncino	0.00	-166.00	1.00
Fase 3	Permanenti	trave+sol	0.00	-83.00	1.00
Fase 4	Mobili TS	trave+sol	0.00	-396.00	1.00
Fase 4	Mobili UDL	trave+sol	0.00	0.00	1.00
Fase 5	Perdite differite	trave+sol	360.22	-92.43	

Sez. Mezzeria S.L.E. Rara	F1 prec.		Step A PPtr+Prec. Fine fase 1		F2		Step B Step A + P.P. Fine F2		F3		Step C Step B + Perm. Fine F3		Perdite differite		Step C* Step C + Perdite t _{inf} Fine F4		Mobili		Step D Step C* + Mobili Totali finali	
	F1 p.p.																			
N	-2684	0	-2684	0	-2684	0	-2684	0	-2684	0	-2684	360	-2324	0	-2324	0	-2324			
M _y	338	-209	129	-166	-37	-83	-120	-92	-212	-396	-608									
$\sigma_{c,inf}$	-20.0	6.6	-13.5	5.2	-8.2	1.3	-6.9	2.3	-4.6	6.2	1.6									
$\sigma_{c,sup}$	4.4	-8.5	-4.1	-6.7	-10.9	-0.7	-11.6	0.1	-11.5	-3.3	-14.7									
$\sigma_{c,sup,soletta}$						-1.3	-1.3	-0.6	-1.9	-6.1	-7.9									
$\sigma_{s,soletta}$						-20.8	-20.8	-8.3	-29.1	-99.4	-128.5									
$\sigma_{c,pg}$	-14.5	3.2	-11.4	2.5	-8.8	0.8	-8.0	1.8	-6.2	4.1	-2.1									
$\sigma_{s,pg}$	1379.1	17.2	1396.3	13.6	1409.9	4.6	1414.5	-175.2	1239.3	22.0	1261.3									
$\sigma_{s,pinf}$	1270.6	35.6	1306.2	28.3	1334.5	7.0	1341.5	-172.5	1169.1	33.6	1202.6									

La sezione di calcestruzzo della trave risulta lievemente trazionata al lembo inferiore e presenta una massima tensione ($\sigma_{c,sup} = -14.70$ MPa) inferiore a $0.60 \cdot f_{ck} = -27$ MPa. La tensione agente nei cavi di precompressione ($\sigma_{s,pinf} = 1202$ MPa) risulta inferiore allo $0.80 \cdot f_{p(1)k} = 1336$ MPa e quella massima registrata nell'armatura lenta di soletta ($\sigma_{s,soletta} = 128$ MPa) è inferiore a $0.8 \cdot f_{yk} = 360$ MPa.

9. Azioni sugli appoggi

Di seguito i risultati ottenuti in termini di componenti verticali massime agenti sugli appoggi.

Come anticipato nei paragrafi precedenti, l'analisi presente indaga il solo comportamento statico dell'impalcato e, di conseguenza, consente di ottenere le informazioni di seguito riassunte per il dimensionamento degli appoggi.

Le informazioni complementari in termini di azioni orizzontali statiche e sismiche (si ricorda che è prevista la realizzazione di appositi dispositivi di ritenuta sismica) e di spostamenti sono dettagliate nelle relazioni dedicate al progetto delle sottostrutture a cui si rimanda.

Massima Azione verticale Impalcato nuovo			
SLECaratt-Reaz	SLEFreq-Reaz	SLU-Reaz	SLUFreq-Reaz
(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
444	339	601	460
Massima Azione verticale Impalcato esistente			
SLECaratt-Reaz	SLEFreq-Reaz	SLU-Reaz	SLUFreq-Reaz
(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
512	428	693	579