

**Autostrada A13
Bologna - Padova**

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

Opere di linea

Ponte sul canale Scolo Calcarata (pk 23+991)

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	7
1.2.2	Impalcato	7
1.2.3	Spalle e pile	9
1.3	Normative di riferimento	10
1.4	Condizioni ambientali e classi di esposizione	10
1.5	Caratteristiche materiali	11
1.5.1	Tensioni limite e proprietà di riferimento - Allargamento	11
1.5.2	Tensioni limite e proprietà di riferimento – Impalcato esistente	12
1.5.3	Coefficienti parziali di sicurezza	14
1.6	Software di calcolo	15
1.7	Convenzioni generali	15
2.	Impostazione delle analisi e delle verifiche	17
2.1	Analisi della struttura	17
2.2	Studio interazione impalcato/sottostrutture	21
2.3	Caratteristiche delle sezioni dell'impalcato	21
2.3.1	Impalcato esistente	21
2.3.2	Impalcato nuovo in allargamento	24
3.	Analisi dei carichi	27
3.1	Carichi agenti in fase 1	27
3.1.1	Pesi propri (G_{k1})	27
3.2	Carichi agenti in fase 2	27
3.2.1	Sovraccarichi permanenti (G_{k2})	27
3.3	Carichi agenti in fase 3	28
3.3.1	Carichi mobili (Q_k)	28
3.4	Tabella esplicativa dei carichi agenti	30
4.	Combinazioni di carico	33
4.1	Combinazioni per gli S.L.U. – STR	34
4.2	Combinazioni per gli S.L.E. RARA	34
4.3	Combinazioni per gli S.L.E. FREQUENTE	34
4.4	Combinazioni per gli S.L.E. QUASI PERMANENTE	34
5.	Analisi strutturale impalcato	35
5.1	Generalità	35
5.2	Sollecitazioni	37
5.2.1	Inviluppo S.L.U.	40

5.2.2	Inviluppo S.L.E. (Rara – Frequente - Q. Permanente)	42
5.2.3	Tabella riassuntiva delle sollecitazioni	43
5.2.4	Tabella riassuntiva delle sollecitazioni – Impalcato in allargamento	44
6.	Deformazioni verticali	46
6.1	Deformazioni massime	46
7.	Verifiche delle travi in c.a.p. e dei traversi	47
7.1	Generalità	47
7.2	Verifiche di resistenza S.L.U. per azioni flettenti	50
7.2.1	Impalcato esistente	50
7.2.2	Impalcato nuovo in allargamento	55
7.3	Verifiche S.L.U. per azioni taglianti	56
7.3.1	Impalcato esistente	57
7.3.2	Impalcato nuovo in allargamento	63
7.4	Verifiche tensionali S.L.E.	66
7.4.1	Caratteristiche sezioni di mezzera della trave	66
7.4.2	Tensioni al tiro	69
7.4.3	Tensioni agli S.L.E. (Rara)	71
8.	Verifica della soletta	72
8.1	Generalità	72
8.2	Carichi e combinazioni di carico	73
8.2.1	Effetti locali e globali	73
8.3	Sollecitazioni	74
8.4	Risultati di verifica della soletta	79
8.4.1	Armatore trasversali	79
8.4.2	Risultati	80
9.	Azioni sugli appoggi	82

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 Ponte sul canale "Scolo Calcarata", alla pk 23+991.



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 13.03.0148.0.0, 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 11.1964 – Relazione di calcolo delle travi degli impalcati
- del 11.1964 – Relazione di calcolo delle lastre della soletta
- del 26.09.1964 – Relazione di calcolo delle pile e spalle
- processo verbale di collaudo statico del 30.06.1966
- Elaborato grafico progettuale n. 99, contenente le carpenterie e le armature del manufatto
- del 07.2001 – Misure riflettometriche sui cavi di precompressione

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

Si segnala che, con riferimento alle indagini riflettometriche effettuate nel 2001, si è rilevato un livello di degrado della sezione dei cavi da precompressione che interessa nove unità, di grado 3 (vedi scala esplicativa nel documento di indagine). Non avendo a disposizione informazioni di maggior dettaglio ed essendo semplicemente richiamata nel documento la necessità di controlli successivi, nelle analisi seguenti non si è preso in conto alcuna riduzione delle sezioni teoriche resistenti o delle capacità dei materiali.

Si rimanda alla successiva fase progettuale la pianificazione di una campagna di indagini ad-hoc, al fine di avere un quadro sufficientemente dettagliato ed aggiornato sulle condizioni dell'opera d'arte, in particolare degli acciai. A valle del ricevimento dei risultati sarà necessario validare o eventualmente aggiornare le analisi seguenti e i conseguenti interventi.

1.2 Descrizione generale dell'opera

L'opera esistente è costituita da un manufatto a tre campate isostatiche aventi luce di calcolo pari a 19.38 m ciascuna e lunghezza delle travi 20.03 m circa ed è caratterizzata da una inclinazione tra l'asse autostradale e l'allineamento degli appoggi con angolo planimetrico pari a circa 105°.

La lunghezza complessiva del ponte, da giunto a giunto sulle spalle, è pari a 60 metri circa.

La larghezza complessiva in sezione trasversale è pari a 11.90 m circa per ciascuna carreggiata e, a valle dell'intervento in progetto, vi sarà un incremento della piattaforma pari a mediamente 4.95/5.15 m per le singole carreggiate, inclusi cordoli.

Il manufatto si compone di impalcati realizzati mediante travi prefabbricate affiancate di altezza 1.00 m oltre soletta di spessore circa 0.20 m ad interasse 2.40 m, sostenuti alle estremità da appoggi in neoprene.

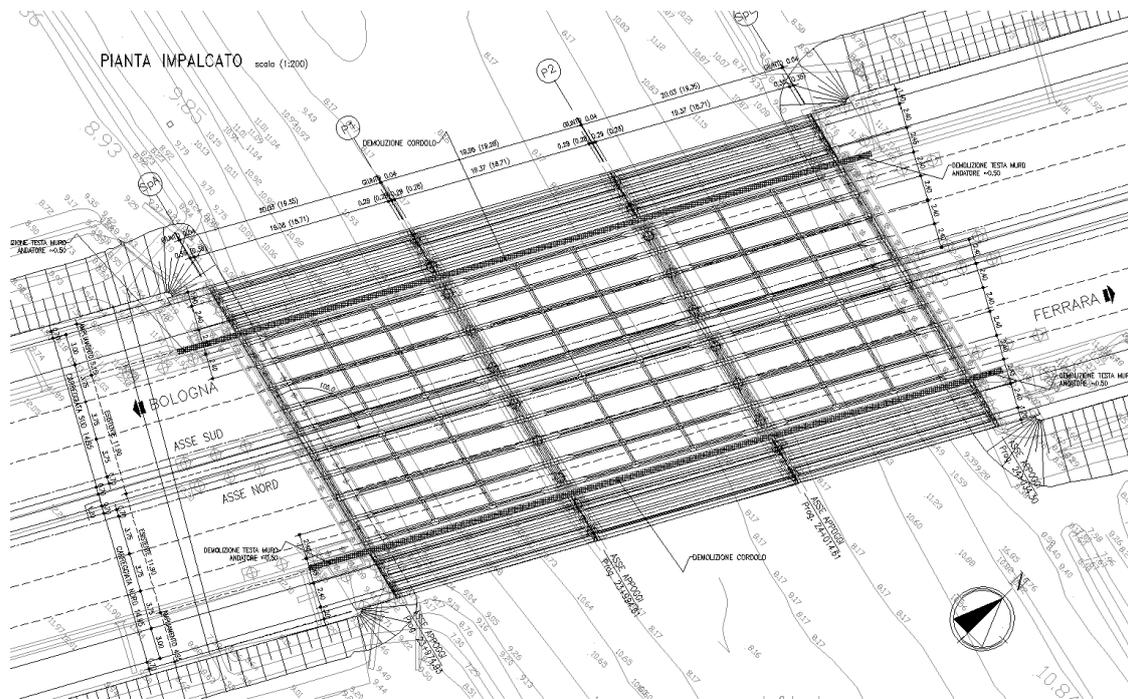
Le spalle sono monolitiche in calcestruzzo armato e si presentano quasi interamente sotto il livello del terreno; le sezioni del paramento sono rettangolari e piene, poggianti su plinti massicci fondati su un sistema di pali di diametro 0.45 m circa e lunghezza 22.00 m circa.

Le pile intermedie hanno struttura snella con tre pali-pila affincati ad interasse 4.15 m, connessi in sommità dal pulvino.

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.

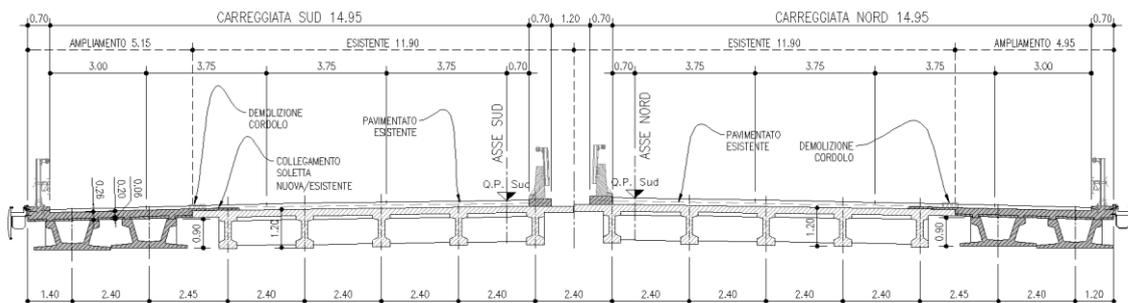
La nuova porzione di impalcato si realizza con travi in cap a sezione aperta che garantiscono buona stabilità in fase di getto e conferiscono rigidità torsionale una volta solidarizzate con la soletta gettata in opera.

La connessione tra la porzione di impalcato esistente e quella in allargamento si realizza attraverso la soletta, con l'ausilio di barre di cucitura ad intradosso e ad estradosso ancorate alla soletta 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 rigidità flessionale longitudinale dell'assieme trave-soletta prossima a quella dell'impalcato esistente.



Pianta impalcato allargato

SEZIONE TRASVERSALE TIPO
IN RETTO scala (1:100)



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 tipo "beam" per le travi in cap e i traversi e elementi bidimensionali tipo "shell" per la soletta, oltre all'adozione di moduli elastici dei materiali differenti tra le strutture esistenti e quelle nuove. 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 coppie di campate indipendenti affiancate, ciascuna delle quali a servizio di una careggiata autostradale, aventi eguale geometria.

Le campate si compongono attualmente di 5 travi prefabbricate ciascuna con sezione a "I" di altezza $H = 1.00$ m e interasse $i = 2.40$ m; la soletta è realizzata con lastre prefabbricate e precomprese affiancate e getto di sutura in opera, aventi uno spessore complessivo strutturale di 0.20 m. Sono presenti quattro traversi

precompressi lungo il loro asse di cui due in asse appoggi. L'allargamento in progetto vede l'affiancamento e solidarizzazione di due travi prefabbricate con sezione ad "U" ed altezza $H_{TRAVE} = 0.90$ m ad interasse $i = 2.40$ m.

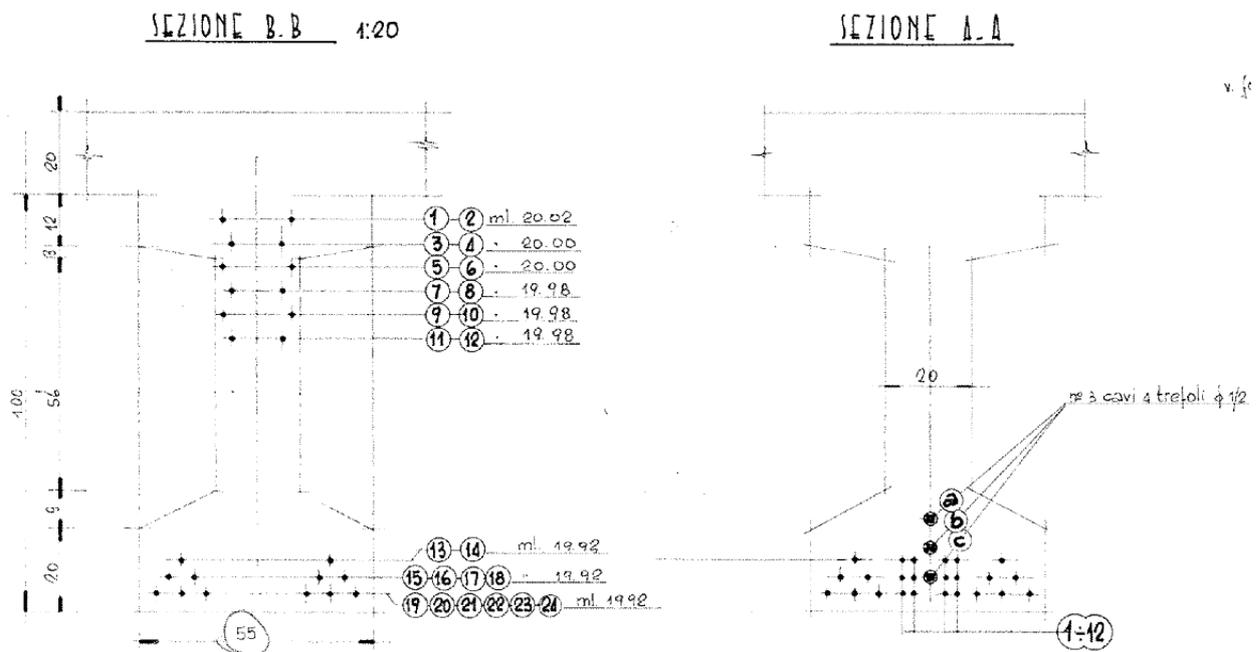
La connessione con l'opera esistente si realizza, lungo l'intero sviluppo della stessa, tramite sezione di sutura in soletta e il posizionamento di barre inghisate ad intradosso e vincolate monoliticamente nel sovrassessore strutturale ad estradosso.

La reciproca connessione trasversale delle nuove travi è garantita, oltre che dalla soletta costituita da getto in opera su predalles prefabbricate, dalla presenza di traversi in asse appoggi.

La soletta in allargamento, di larghezza trasversale media pari a 4.95/5.15 m inclusi cordoli, ha spessore costante pari a complessivi 0.26 m, di cui 0.06 m di predalles.

Le nuove travi sono precomprese in stabilimento con trefoli aderenti.

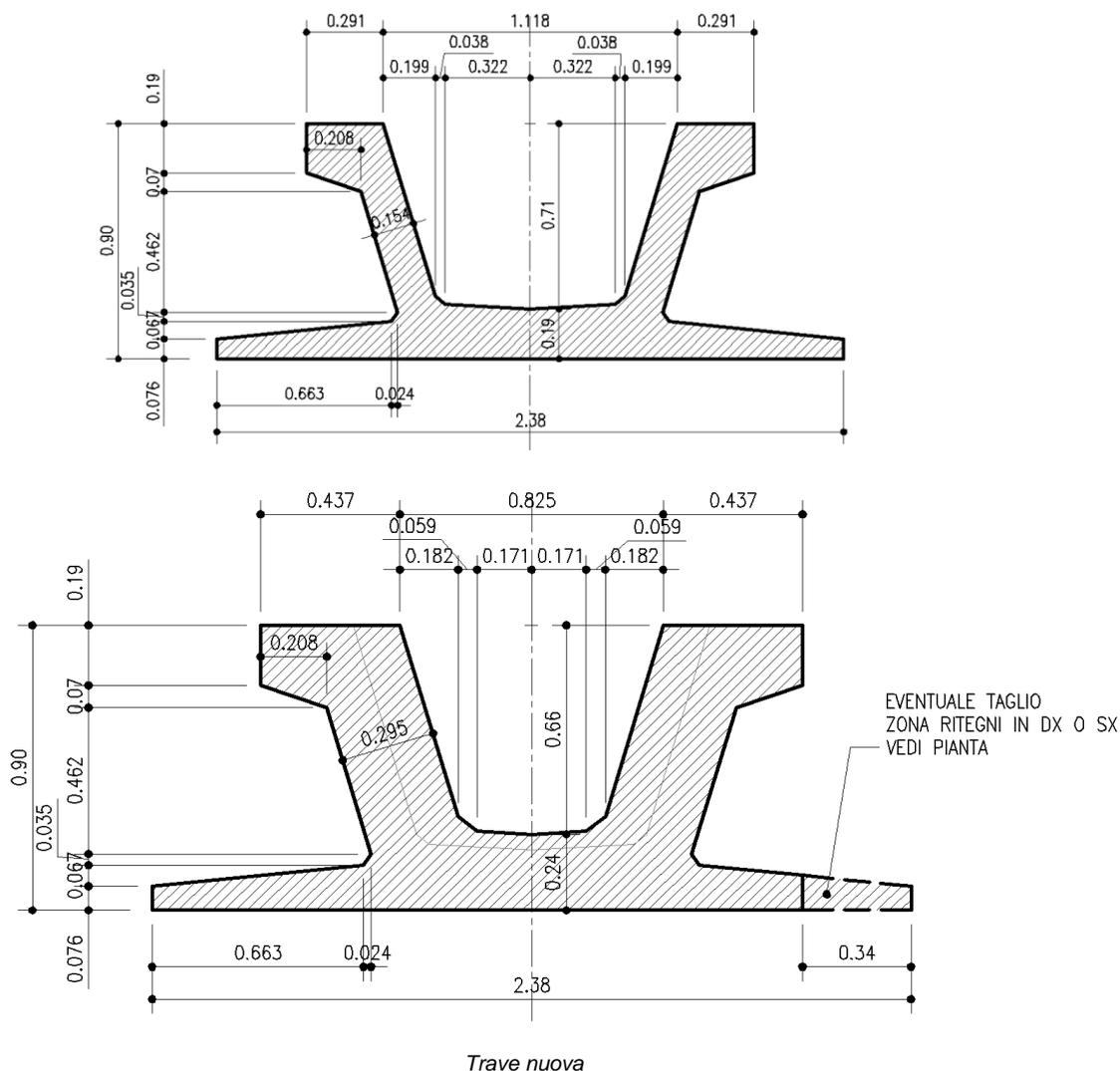
Geometria e armatura di precompressione delle travi esistenti:



Trave – Campate unica

La sezione BB rappresenta l'asse appoggi, la sezione AA la mezzeria. Le travi presentano tracciato dei cavi parabolico a tratti.

Geometria e delle travi aggiuntive per le due carreggiate:

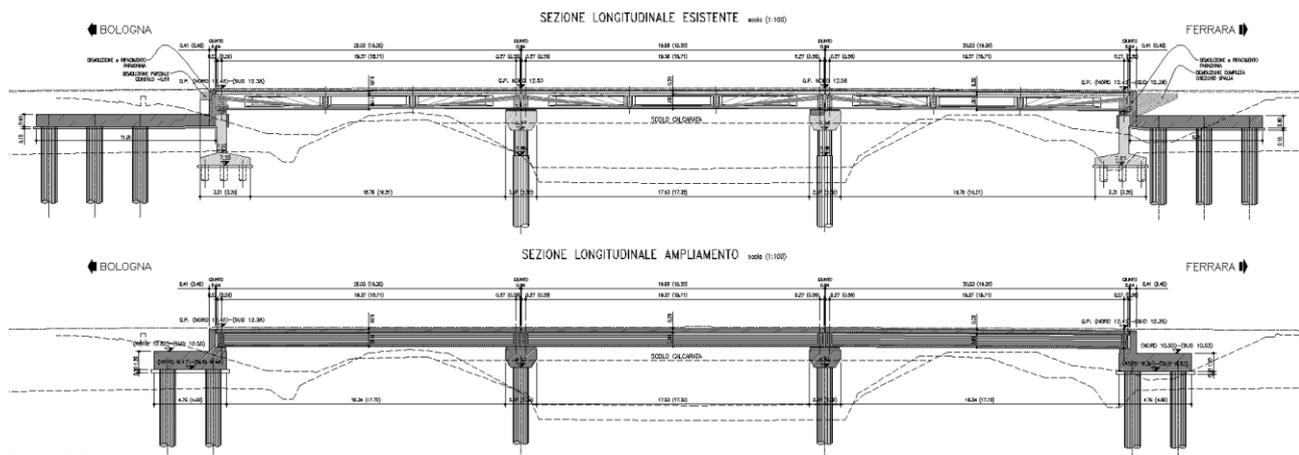


1.2.3 Spalle e pile

Le spalle presentano struttura monolitica in c.a. con paramenti realizzati a sezione rettangolare e spessore costante con l'altezza; l'impianto di fondazione è profondo su pali. Le pile hanno tre fusti circolari affiancati, prosecuzione dei pali di fondazione, con diametro 0.90 m per la parte in elevazione e 1.00 m nel terreno.

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:

Traversi, soletta e cordoli: XF4

Lastre prefabbricate: 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 e traversi	C35/45	35	45	43	3.21	34000
Coppelle	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 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:

Nel tempo la resistenza cubica del calcestruzzo aumenterà fino a raggiungere il valore di almeno 475 kg/cm^2 e pertanto la sollecitazione unitaria massima ammessa risulta

b) Acciaio per la precompressione

Si prevede l'impiego di trefolo a 7 fili $\Phi 1/2''$ aventi carico di rottura (R_r) non inferiore a 180 kg/mm^2 , carico minimo all'1% di allungamento non inferiore a 135 kg/mm^2 .

Esso viene impiegata a tensioni di esercizio non superiori a 105 kg/mm^2 .

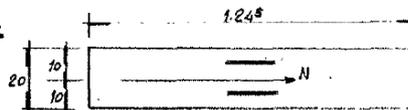
c) Acciaio per le armature secondarie

Si prevede l'impiego di tondo ad aderenza migliorata avente carico di snervamento di 4400 kg/cm^2 e carico di rottura di 6000 kg/cm^2 . Esso viene impiegata al carico di lavoro di 2200 kg/cm^2 .

Campi di soletta

Il massimo momento di campata vale

$2500 \text{ kg} \times \text{m}$ e tende le fibre inferiori.



La lastra è armata con n.20 trefoli

da $1/2''$, pertanto su di una larghezza pari alla metà della lastra

Le indagini hanno restituito i seguenti risultati:

Lotto 1 Bologna-Ferrara

Opera 5: Ponte su scolo Calcarata

Progr.: Km 23+991

Prove su calcestruzzi

Spalle						
Zona	Elemento	Carr.	$R_{po/sci}$ [MPa]	$R_{cm,lab}$ [MPa]	$K_{corr.}$	$R_{c,corr.}$ [MPa]
L1-OP5-4	Spalla B			36,64		
Valori Medi				36,64		

Travi						
Zona	Elemento	Carr.	R_{son} [MPa]	$R_{cm,lab}$ [MPa]	$K_{corr.}$	$R_{c,corr.}$ [MPa]
L1-OP5-1	Tr.1-camp.3	Sud	54,04	41,63	0,77	41,63
L1-OP5-7	Tr.2-camp.3	Sud	49,32			38,00
L1-OP5-8	Tr.4-camp.3	Sud	49,82			38,38
Valori Medi			51,06	41,63	0,77	39,34

Solette						
Zona	Elemento	Carr.	R_{son} [MPa]	$R_{cm,lab}$ [MPa]	$K_{corr.}$	$R_{c,corr.}$ [MPa]
L1-OP5-2	Soletta	Sud		69,21		
Valori Medi				69,21		

Legenda:

- $R_{po/sci}$ 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 5: Ponte su scolo Calcarata

Progr.: Km 23+991

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-OP5-3	Spalla B	0	t.l.	16	322,0	461,0	110,9	375,7	1,23	461,0
L1-OP5-5	Spalla B	0	t.l.	16			101,4	344,8		423,1
L1-OP5-6	Spalla B	0	t.l.	16			100,3	341,1		418,5
Valori Medi							104,2	353,9	1,23	434,2

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
- $f_{t,HB,k}$ Valore di resistenza a trazione correlato

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 prossime. Si segnala che, nelle analisi seguenti, si assumeranno le resistenze caratteristiche degli acciai presenti nelle travi e in soletta desunte dal progetto di archivio, non avendo a disposizione dati specifici dalle indagini.

Caratteristiche dei materiali assunte nelle verifiche:

Travi esistenti

$R_{c,corr}$ (MPa)	$f_{cm,corr}$ (MPa)	$\Delta(f_{cm}-f_{ck})$ (MPa)	f_{ck} (MPa)	Classe equivalente (MPa)	f_{cm} (MPa)
39.34	32.65	8	24.65	C25/30	33

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)
69.21	57.44	8	49.44	C35/45	43

Travi nuove

Classe (-)	f_{ck} (MPa)	f_{cm} (MPa)
C45/55	45	53

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 $\sigma_{AMM} = 2200 \text{ kg/cm}^2$, $f_{yk} = 4400 \text{ kg/cm}^2$

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

tipo	Feb 44 k	
f_{yk}	440 MPa	Snervamento
f_{tk}	- MPa	Rottura a trazione
E_s	210000 MPa	Modulo di Young

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

tipo	Feb 44 k	
f_{yk}	440 MPa	Snervamento
f_{tk}	- MPa	Rottura a trazione
E_s	210000 MPa	Modulo di Young

Acciaio da precompressione (fili adetenti e scorrevoli)

Tipo trefoli	0.5"	
$A_{trefolo}$	92.9 mm ²	area
f_{ptk}	1800 MPa	Tensione caratteristica di rottura
$f_{p(1)k}$	1350 MPa	Tensione caratteristica allo 1% di deformazione
f_{yd}	1390 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 con l'ausilio di lastre prefabbricate. 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.

Le caratteristiche geometriche ed inerziali delle travi principali e dei traversi sono determinate direttamente dal software di calcolo agli E.F. una volta inserita la geometria, ad eccezione della rigidità torsionale delle travi nuove (I_{xx}) calcolata con file a latere per tenere conto dell'effetto irrigidente dato dalla solidarizzazione con la soletta, che genera una sezione a cassoncino chiuso (trave e soletta).

MODELLAZIONE A PIASTRA NERVATA CON SOLETTA ISOTROPA:

L'impalcato viene modellato come piastra nervata composta da travi principali e traversi (elementi beam) aventi la sezione della sola trave in CAP e del traverso (per la parte intradossata) e la soletta è simulata con elementi shell.

La collaborazione tra le travi e la soletta è colta attraverso la connessione tra gli elementi beam (lungo il loro sviluppo longitudinale) e gli elementi shell soprastanti.

Detti elementi shell (soletta) hanno caratteristiche isotrope e sono in grado di agire, secondo la loro reale rigidità, sia in direzione trasversale rispetto all'asse delle travi, ripartendo i carichi esterni e collegando tra loro le travi principali, sia a livello membranale, ricreando, assieme agli elementi "beam" sottostanti, il comportamento dell'insieme trave-soletta collaborante.

Le sollecitazioni flettenti, agenti sull'insieme "trave-soletta collaborante", si ottengono direttamente dal programma agli E.F. sulla base dell'ipotesi di sezione "trave-soletta" auto-equilibrata assialmente (valida in presenza di connessione lineare soletta-trave lungo l'intero sviluppo), quale somma della caratteristica flettente direttamente agente sull'elemento beam e dell'azione assiale moltiplicata per la distanza tra il baricentro della beam e il piano medio della soletta.

L'azione tagliante e torcente significativa è invece quella afferente all'elemento beam.

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 cinque modelli numerici:

Modello (-)	Azioni su impalcato Esistente (-)	Azioni su impalcato Nuovo (-)	Note (-)
Mod1	La struttura "nasce" intera nella configurazione attuale. Travi, traversi e solette hanno le caratteristiche di materiale e geometriche reali. Si considera forfettariamente presente un carico distribuito uniforme pari a 10 cm di pacchetto stradale.	La struttura ha le sole travi in CAP resistenti e sollecitate dal peso proprio e dal peso della soletta non collaborante di competenza (attribuito quale carico di linea determinato preliminarmente).	Per la struttura esistente si assume, per semplicità, la configurazione attuale come quella a demolizioni avvenute (demolizione parziale della soletta nella zona di interfeccia con l'allargamento)
Mod2	Inserisco il peso del getto in calcestruzzo relativo al sovrappessore strutturale, ove previsto. Applico sulla trave prossima alla struttura nuova il carico relativo a metà della larghezza della fascia di sutura.	Attivo la soletta 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 larghezza della fascia di sutura.	
Mod3	Inserisco dei vincoli fittizi a terra "di cerniera lineare" in corrispondenza agli assi delle travi e dei traversi. Attivo interamente la soletta con lo spessore strutturale di fine intervento (eventuale sovrappessore strutturale, dove previsto). Applico il peso proprio sugli elementi shell. Per minimizzare l'azione sulle travi e traversi, attribuisco loro un materiale fittizio con modulo di elasticità basso.	Inserisco dei vincoli a terra "di cerniera lineare" in corrispondenza agli assi delle travi e dei traversi. Attivo interamente la soletta con lo spessore strutturale di fine intervento (inclusa la fascia di sutura). Applico il peso proprio sugli elementi shell. Per minimizzare l'azione sulle travi e traversi, attribuisco loro un materiale fittizio con modulo di elasticità basso.	Tale modello serve per cogliere l'azione del peso proprio della soletta su quest'ultima al fine di poter trattare l'intera analisi dell'impalcato (travi - traversi - soletta) con un unico modello "Base". Si assume quindi l'ipotesi che le coppelle non diano un contributo resistente nei confronti del peso proprio del getto durante la vita di servizio dell'opera.
Mod4	Applico sulla struttura il peso del "delta spessore del pacchetto", al fine di ottenere il valore pieno del carico di progetto. Applico tutti i carichi permanenti portati relativi alla vestizione dell'impalcato (cordoli, barriere...).	Applico sulla struttura lo spessore del pacchetto stradale in progetto. Applico tutti i carichi permanenti portati (cordoli, barriere...). Si attiva la connessione della zona di sutura che collega i due impalcati (esistente e nuovo).	
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.		

Per chiarezza si esplicita quanto riassunto in tabella relativamente al modello n. 3 (Mod3) che, come anticipato, ha lo scopo di cogliere gli effetti sulla sola soletta del peso proprio della stessa. Per ottenere il risultato voluto senza gravare doppiamente le travi in CAP del peso proprio della soletta, in questo modello si inseriscono dei vincoli fittizi sui quali converge il peso del getto, consentendo di coglierne i soli effetti sulla soletta.

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

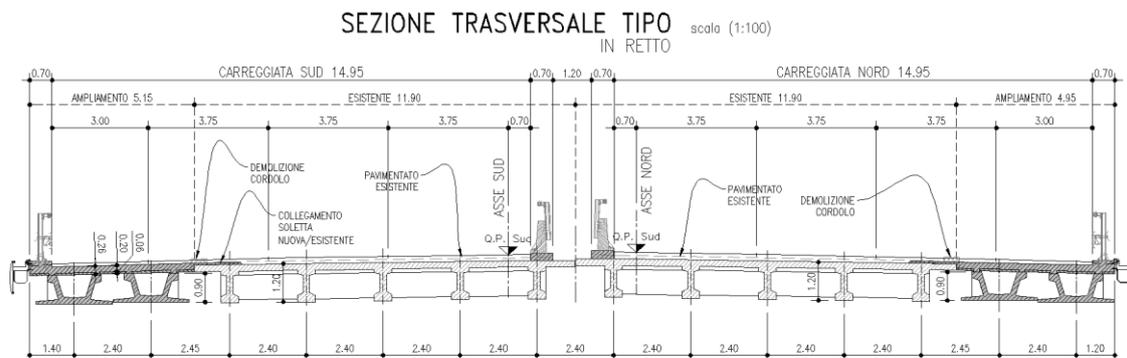
Come anticipato nei capitoli precedenti, lo schema statico caratterizzante la struttura consente di implementare analisi separate per i singoli impalcati e per le sottostrutture, a partire dalla quota dei baggioli verso le fondazioni. Il presente documento dettaglia quanto sviluppato in merito agli impalcati, 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 $L_1 = 19.20$ m circa.

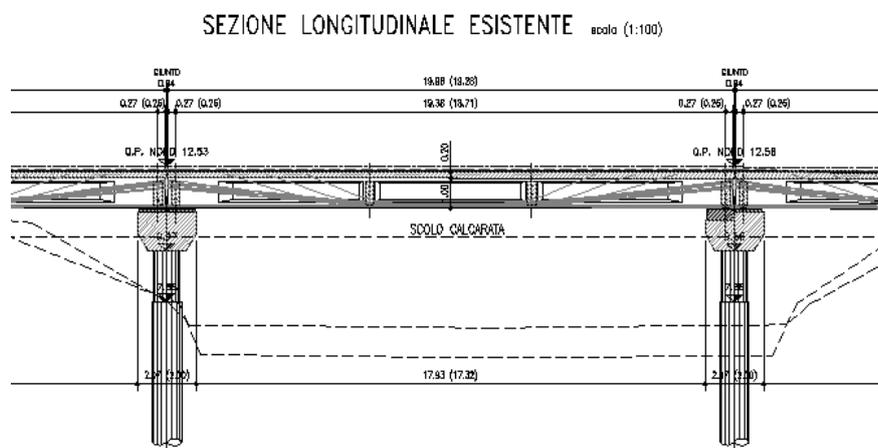
La travi principali presentano medesima altezza e sezione geometrica in entrambe le carreggiate.



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.

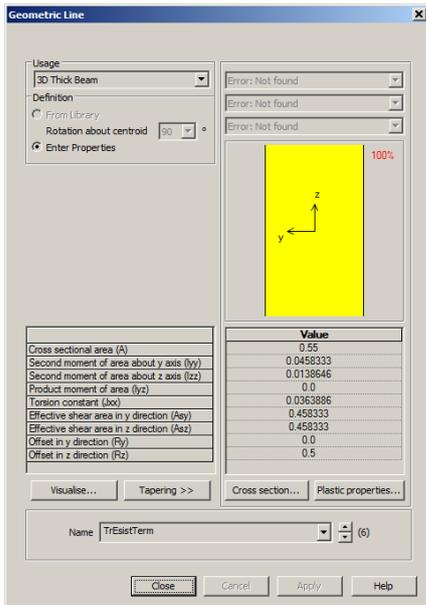
2.3.1.1 Caratteristiche geometriche delle travi e dei traversi

Le analisi vengono implementate assumendo le sezioni lorde degli elementi strutturali principali e secondari al netto della soletta che, nelle fasi in cui risulta attiva, è simulata dall'effetto flessionale e membranale degli elementi tipo "shell".

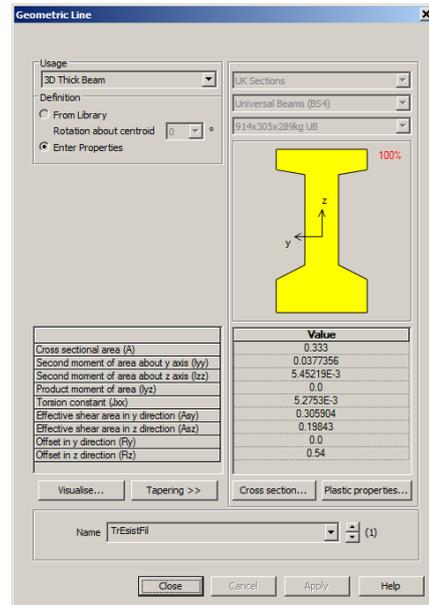
Nelle tabelle seguenti estratte dal database del software agli E.F. le unità di misura utilizzate sono il m, il m², il m³ e il m⁴.

Trave principale:

Le travi principali presentano sezione unica per l'intero sviluppo longitudinale e ringrossi nella parte terminale.



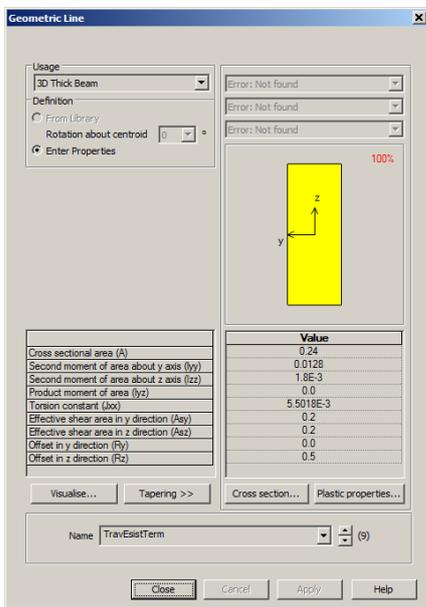
Sezione di estremità



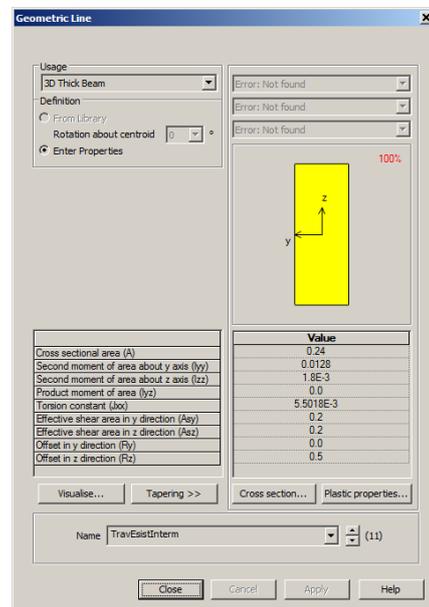
Sezione in campata

Traversi:

Sono presenti quattro traversi per ciascuna campata di cui due allineati con gli assi appoggi. Si ricorda che, con riferimento alla modellazione dettagliata nei paragrafi precedenti, gli elementi “beam” simulano la sola porzione di traverso a partire dalla quota di intradosso della soletta fino al filo inferiore della sezione resistente.



Traverso di estremità

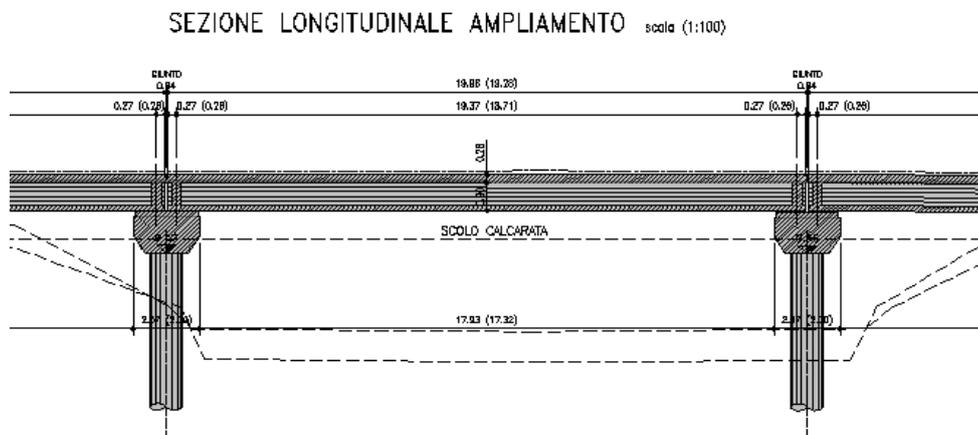


Traverso di campata

La sezione dei traversi è di 0.30 x 0.78 m in corrispondenza all'asse appoggi e 0.30 x 0.78 m in campata e non sono connessi alla soletta.

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 delle travi e dei traversi

Le analisi vengono implementate assumendo le sezioni lorde degli elementi strutturali principali e secondari al netto della soletta che, nelle fasi in cui risulta attiva, è simulata dall'effetto flessionale e membranale degli elementi tipo "shell".

Le caratteristiche inerziali delle sezioni resistenti sono calcolate in automatico dal programma agli EF ad eccezione della rigidità torsionale delle travi nuove che, una volta solidarizzate alla soletta, realizzano una sezione a cassoncino chiuso monocellulare con rigidità torsionale elaborata con apposito foglio di calcolo e inserita a posteriori nel software di calcolo.

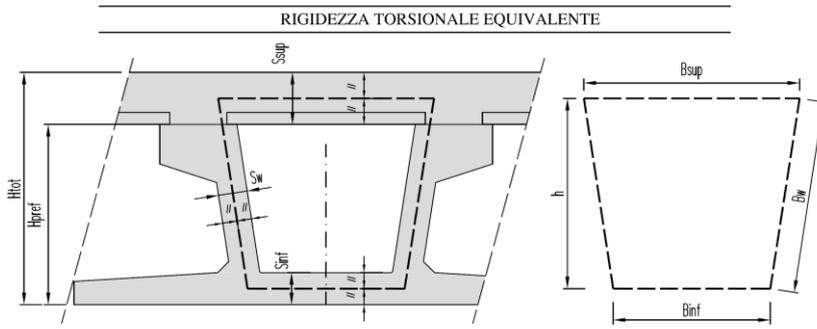
Nelle tabelle seguenti estratte dal database del software agli E.F. le unità di misura utilizzate sono il m, il m², il m³ e il m⁴.

Trave principale:

Le travi principali presentano sezione ringrossata nel tratto terminale.

La rigidità torsionale delle travi nuove con la soletta collaborante è calcolata secondo le formule di letteratura con riferimento a sezioni monocellulari chiuse, tenendo in conto le caratteristiche del calcestruzzo della soletta omogeneizzato a quello della trave in CAP.

Rigidità torsionale equivalente (cassoncini a parete sottile):

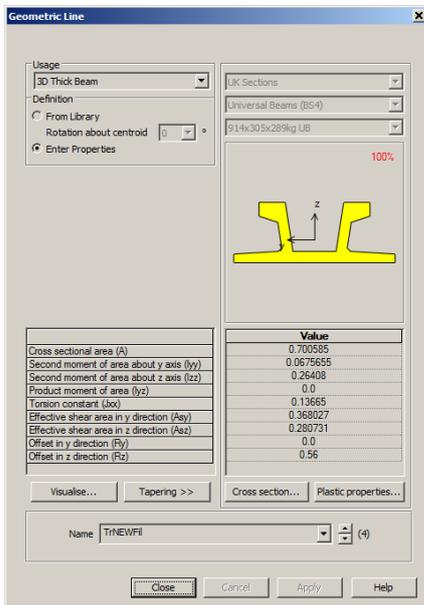


Materiali:

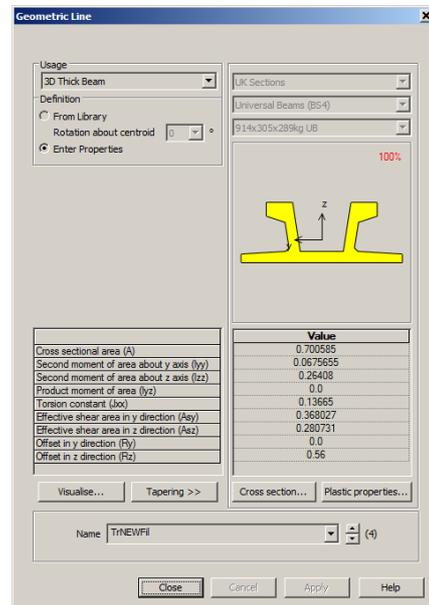
	fck (Mpa)	E (Mpa)	v (-)	G (Mpa)
Trave	45	36283	0.2	15118
Getto soletta-Traversi	35	34077	0.2	14199

Geometria della sezione:

	Soletta			Trave Pref.				Rigidità torsionale	
	S _{SUP} (m)	S* _{SUP} (m)	B _{SUP} (m)	S _{INF} (m)	B _{INF} (m)	S _W (m)	H _{PREF} (m)	K (m ⁴)	K/2 (m ⁴)
H 90	0.26	0.24	1.07	0.16	0.78	0.144	0.9	0.13665	0.06832



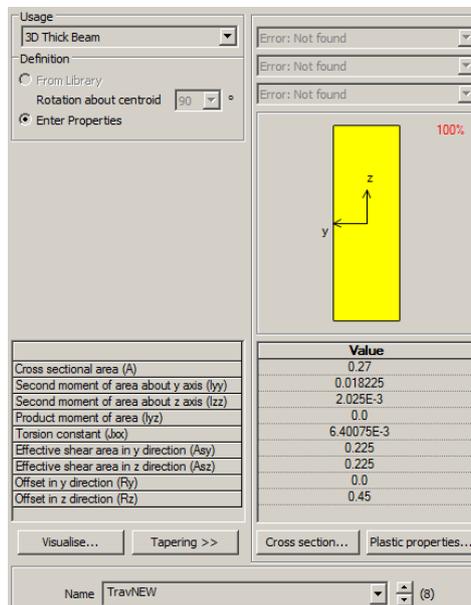
Sezione di estremità



Sezione in campata

Traversi:

Sono presenti due traversi per ciascuna campata allineati con gli assi appoggi. Si ricorda che, con riferimento alla modellazione dettagliata nei paragrafi precedenti, gli elementi “beam” simulano la sola porzione di traverso a partire dalla quota di intradosso della soletta fino al filo inferiore della sezione resistente.



Traverso di estremità

La sezione dei traversi è assunta pari a 0.30 x 0.90 m. Nel modello agli EF si considera l’interazione della porzione gettata in opera con l’ala delle travi prefabbricate che fungono da contenimento inferiore del getto. L’inerzia è quindi determinata assumendo l’altezza pari a quella della trave in CAP (H= 0.90 m). I traversi sono connessi alla soletta.

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, a valle del posizionamento delle predalles e dell'armatura della soletta e 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 e dei traversi, 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/m^3 e con riferimento alla geometria dei singoli elementi.

Sono attivi in questa fase i seguenti carichi principali:

- PP Travi in CAP
- PP Traversi
- 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 Verifica delle travi e dei traversi

Per l'analisi delle strutture principali si effettua la massimizzazione/minimizzazione delle seguenti caratteristiche di sollecitazione:

- Momento flettente nella mezzeria delle travi principali per l'impalcato esistente e per l'allargamento
- Azione tagliante nella sezione di estremità e in quella di fine ringrosso (ove presente) per le travi principali dell'impalcato esistente e dell'allargamento
- Momento flettente nelle sezioni in campata dei traversi dell'impalcato esistente
- Azione verticale sugli appoggi per le travi principali dell'impalcato esistente e dell'allargamento

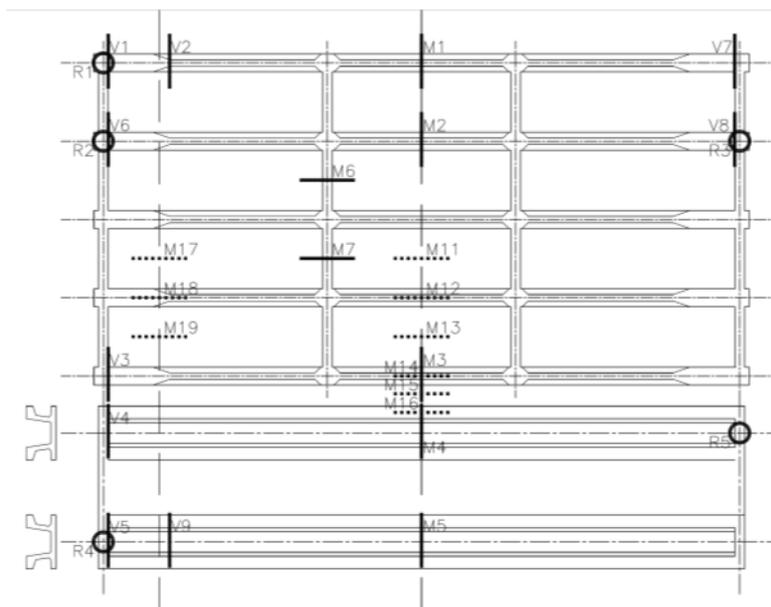
3.3.1.2 Verifiche in soletta

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

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 qualitativo per l'individuazione della dislocazione e dell'orientamento delle sezioni di verifica e degli appoggi indagati.



Sezioni di verifica degli impalcati

Il significato della simbologia adottata è il seguente:

- Mi continua Campionamento della sollecitazione flettente in travi/traversi
- Vi continua Campionamento della sollecitazione tagliante in travi/traversi
- Ri Campionamento della componente verticale negli appoggi
- Mi puntini Campionamento della sollecitazione flettente in soletta

3.4 Tabella esplicitiva 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 implementazione	Nome carico	Nome carico Lusas	b	h	Area	Peso	
		(-)	(-)		(-)	(-)	(m)	(m)	(mq)	(kN/mq)	(kN/m)
PP Esistente	Travi CAP esist_sez filante	TrEsistFil	GK1	M1	TrEsFil	M1_GK1_TrEsFil	-	-	0.3368		8.42
	Travi CAP esist_sez Terminale	TrEsistTerm	GK1	M1	TrEsTerm	M1_GK1_TrEsTerm	-	-	0.56		14.00
	Trave esistente esterna (getto soletta)	TrEsistEsterna	GK1	M1	SolEsTrEst	M1_GK1_SolEsTrEst	2.4	0.2	0.48		12.00
	Trave esistente interna (getto soletta)	TrEsistInterna	GK1	M1	SolEsTrInt	M1_GK1_SolEsTrInt	2.4	0.2	0.48		12.00
	Trave esistente sutura (getto soletta)	TrEsistSutura	GK1	M1	SolEsTrSut	M1_GK1_SolEsTrSut	2.3	0.2	0.46		11.50
	Traversi esistenti_estremità	TravEstrEsist	GK1	M2	TravEsEstr	M2_GK1_TravEsEstr	0.3	0.86	0.258		6.45
	Traversi esistenti_intermedi	TravIntermEsist	GK1	M2	TravEsInt	M2_GK1_TravEsInt	0.3	0.86	0.258		6.45
	Soletta esistente	SolEsist	GK1	M3	SolEs	M3_GK1_SolEs	-	0.2	0.2		5.00
PP Allargamento	Travi CAP nuova_sez filante	TrNEWFil	GK1	M1	TrNFil	M1_GK1_TrNFil	-	-	0.70065		17.52
	Travi CAP nuova_sez Terminale	TrNEWTerm	GK1	M1	TrNTerm	M1_GK1_TrNTerm	-	-	0.70065		17.52
	Trave nuova esterna (getto soletta)	TrNEWEsterna	GK1	M1	SolNEWTrEst	M1_GK1_SolNEWTrEst	2.6	0.26	0.676		16.90
	Trave nuova interna (getto soletta)	TrNEWInterna	GK1	M1	SolNEWTrInt	M1_GK1_SolNEWTrInt	2.4	0.26	0.624		15.60
	Trave nuova sutura (getto soletta)	TrNEWSutura	GK1	M1	SolNEWTrSut	M1_GK1_SolNEWTrSut	2.05	0.26	0.533		13.33
	Traversi nuovi_estremità	TravEstrNEW	GK1	M2	TravNEstr	M2_GK1_TravNEstr	0.3	0.9	0.27		6.75
	Traversi nuovi_intermedi	TravIntermNEW	GK1	M2	TravNInt	M2_GK1_TravNInt	-	-	0		0.00
	Soletta nuova	SolNEW	GK1	M3	SolN	M3_GK1_SolN	-	0.26	0.26		6.50
	PP Soletta sutura	SolSUTURA	GK1	M3	SolSut	M3_GK1_SolSut	-	0.26	0.26		6.50

Carichi da Permanenti Portati:											
	Punto inserimento (-)	Tipologia di carico (-)	Modello di implementazione		Nome carico (-)	b (m)	h (m)	Area (mq)	Peso (kN/mq) (kN/m)		
Perm. portati	Sovrasp. Strutturale soletta esistente*	PuntoPatch	GK1	M2	SovrStrutt	M2_GK1_SovrStrutt	-	0.06	0.06	1.50	
	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	PuntoPatch	GK2	M4	NJ	M4_GK2_NJ	-	-	-	12.40	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Velette	PuntoPatch	GK2	M4	Vel	M4_GK2_Vel	0.05	0.75	0.0375	0.94	
	Barriere metalliche	PuntoPatch	GK2	M4	Barr	M4_GK2_Barr	-	-	-	1.50	
FOA	PuntoPatch	GK2	M4	FOA	M4_GK2_FOA	-	-	-	0.00		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PP Sutura	Trave esistente sutura (getto sutura)	TrEsistSutura	GK1	M2	SolSutTrSut	M2_GK1_SolSutTrSut	-	0.26	0.26	6.50	1.625
	Trave nuova sutura (getto sutura)	TrNEWSutura	GK1	M2	SolSutTrSut	M2_GK1_SolSutTrSut	-	0.26	0.26	6.50	1.625
Carico da Folla:											
	Punto inserimento carico/Nome gruppo (-)	Tipologia di carico (-)	Modello di implementazione		Nome carico (-)	Nomi del Loadcase (-)		Peso (kN/mq) (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.

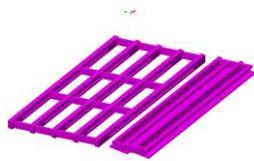
5. Analisi strutturale impalcato

5.1 Generalità

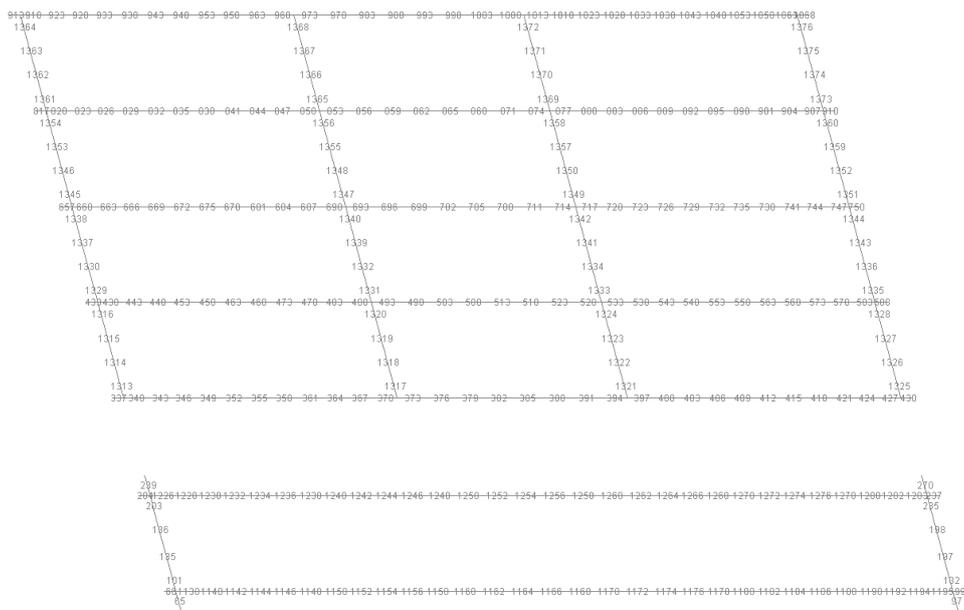
L'impalcato viene modellato come piastra nervata mediante un grigliato di elementi "beam" lineari a due nodi, con vincoli e proprietà geometriche variabili in funzione della fase studiata e del tipo di contributo di carico, vincolato alla soprastante soletta, simulato con elementi shell.

La collaborazione tra la soletta e l'orditura di travi/traversi è garantita da vincoli di interfaccia diffusi linearmente lungo lo sviluppo degli elementi "beam" ove, nella struttura reale, sono presenti i vincoli fisici.

Campata unica $L_{CALCOLO} = 19.37$ m



Grigliato elementi beam



Numerazione degli elementi delle travi/traversi

5.2 Sollecitazioni

A valle dell'analisi strutturale, effettuata per le singole azioni caratteristiche, vengono generati in automatico dal programma di calcolo gli involuipi 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 involuipi 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".

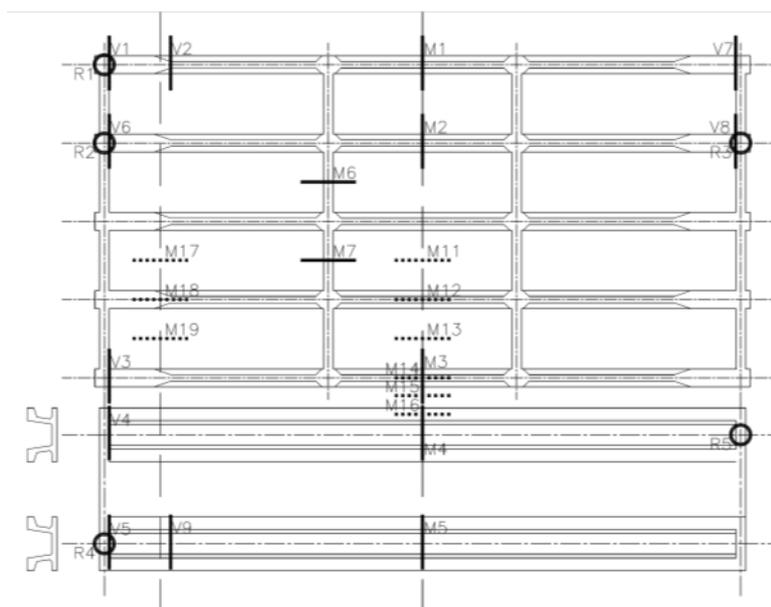
Nel seguito si riportano i diagrammi rappresentativi degli involuipi delle sollecitazioni, rilevati per le varie combinazioni di normativa, per ciascuna famiglia di elementi costituenti l'impalcato. Tutti i valori sono espressi in N e Nm.

Si evidenzia che, avendo individuato a monte dell'analisi gli elementi rappresentativi di ciascuna famiglia (travi principali, traversi, 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.

A seguire si riporta lo schema grafico esplicativo delle sezioni indagate e relative alle travi principali, ai traversi, agli appoggi ed 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. Si rimanda quindi alle immagini tratte dai singoli modelli di calcolo agli EF per la localizzazione specifica delle sezioni indagate.

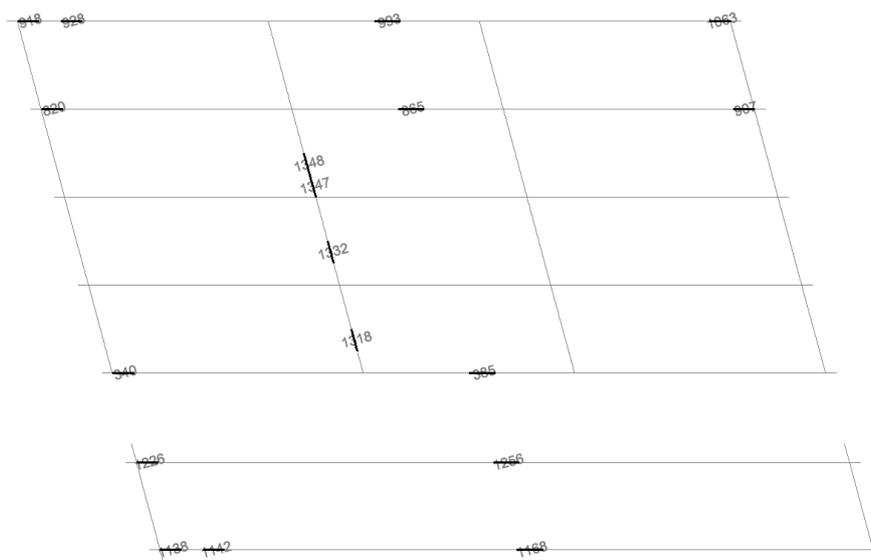


Sezioni di verifica degli impalcati

Le tabelle seguenti palesano la numerazione degli elementi "beam" e dei G.P. (Gauss point) utilizzati per l'estrazione delle sollecitazioni rappresentative sulle travi e sui traversi. Per completezza, oltre alle sezioni indicate nello schema, se ne sono individuate ulteriori due rappresentative delle sollecitazioni agenti sui traversi di campata dell'impalcato esistente in corrispondenza all'intersezione con le travi principali. (MTrCamp – MTrEstr).

Campata unica $L_{CALCOLO} = 19.35$ m

Verifica delle sezioni significative delle travi/traversi:						
	Nome (-)	Oggetto (-)	Nodo (-)	Elemento (-)	G.P (-)	Nome (-)
Travi e traversi	M1	Trave Esist	1049	993	11	M1
	M2	Trave Esist	919	865	11	M2
	M3	Trave Esist	427	385	11	M3
	M4	Trave Nuova	1359	1256	11	M4
	M5	Trave Nuova	1242	1168	11	M5
	M6	Traverso esist	1494	1348	11	M6
	M7	Traverso esist	1466	1332	11	M7
	MTrCamp	Traverso esist - Nodo trave	743	1347	1	MTrCamp
	MTrEstr	Traverso esist - Nodo trave sutura	1441	1318	1	MTrEstr
	V1	App Trave Esist	979	918	11	V1
	V2	Variaz. Sez. Trave Esist	989	928	11	V2
	V3	App Trave Esist	385	340	11	V3
	V4	App Trave Nuova	1317	1226	11	V4
	V5	App Trave Nuova	1200	1138	11	V5
	V6	App Trave Esist	877	820	11	V6
	V7	App Trave Esist	1119	1063	1	V7
	V8	App Trave Esist	961	907	1	V8
	V9	Variaz. Sez. Trave Nuova	1206	1142	11	V9



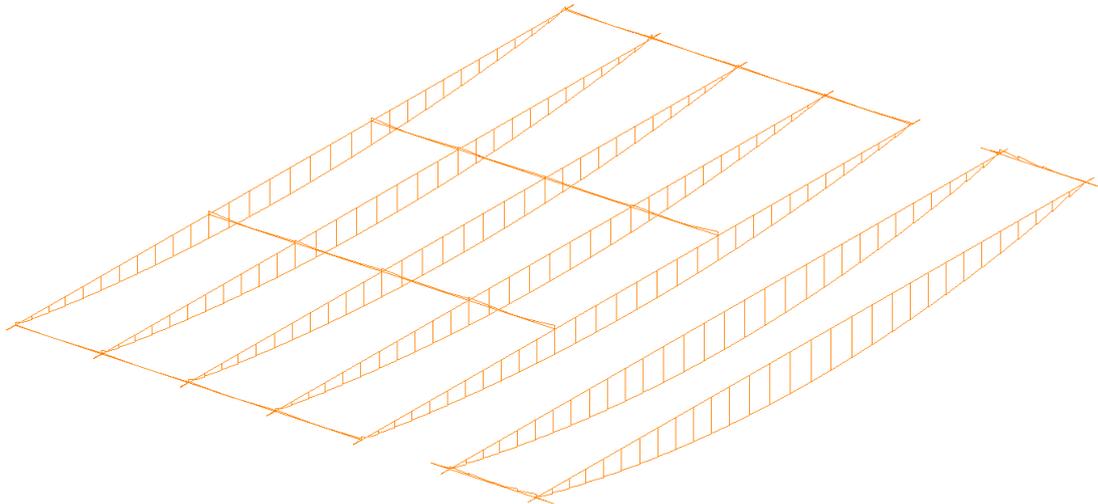
Elementi di verifica – Travi principali e traversi

Di seguito, a titolo esemplificativo, si riportano i grafici con gli involuppi delle max/min sollecitazioni nelle travi e nei traversi.

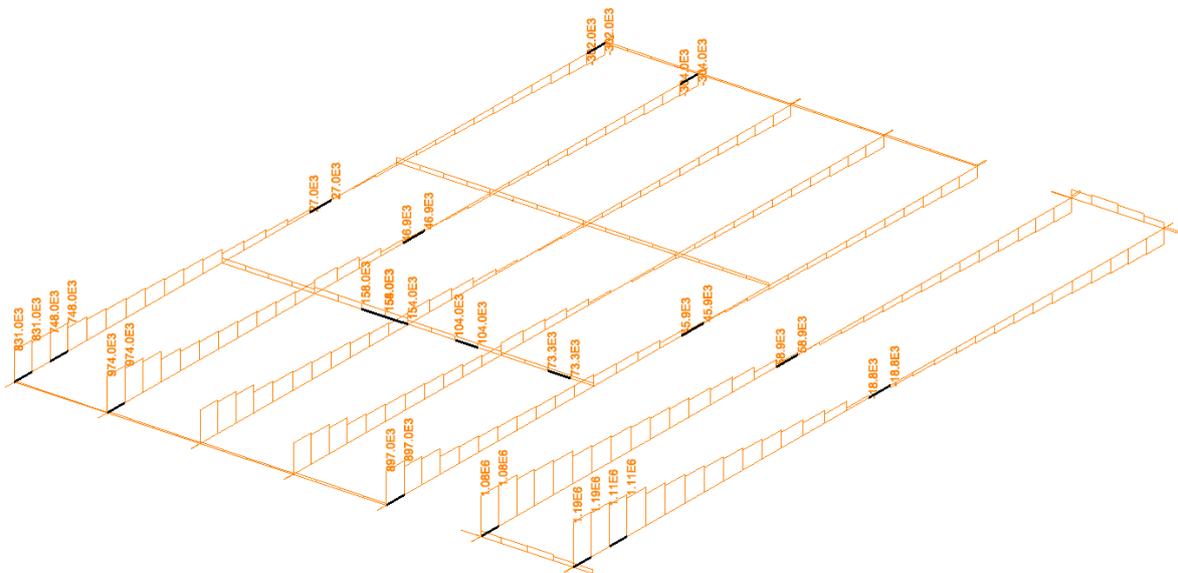
La sollecitazione flettente viene determinata utilizzando l'ipotesi di sezione trave-soletta autoequilibrata assialmente e, quindi, il valore viene determinato a valle dell'analisi agli E.F. combinando opportunamente la componente flettente (agente sull'elemento "beam") con l'azione assiale moltiplicata per il braccio della coppia interna della sezione composta trave-soletta. I relativi grafici restituiscono l'andamento della sollecitazione lungo lo sviluppo delle travi e dei traversi; per il loro valore puntuale si rimanda alle tabelle di dettaglio nei successivi paragrafi.

5.2.1 Involuppo S.L.U.

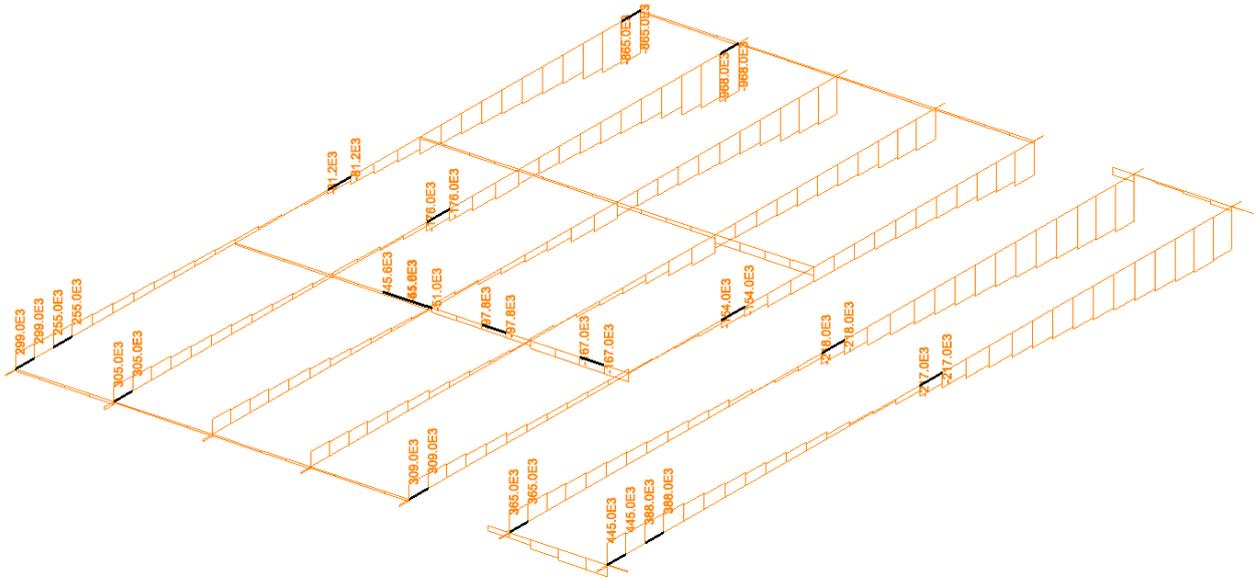
Di seguito, a titolo esemplificativo, si riportano i grafici con gli involuppi delle max/min sollecitazioni flettenti e taglianti nelle travi e nei traversi.



Max/Min Momento flettente - Travi principali e traversi



Max Taglio - Travi principali e traversi

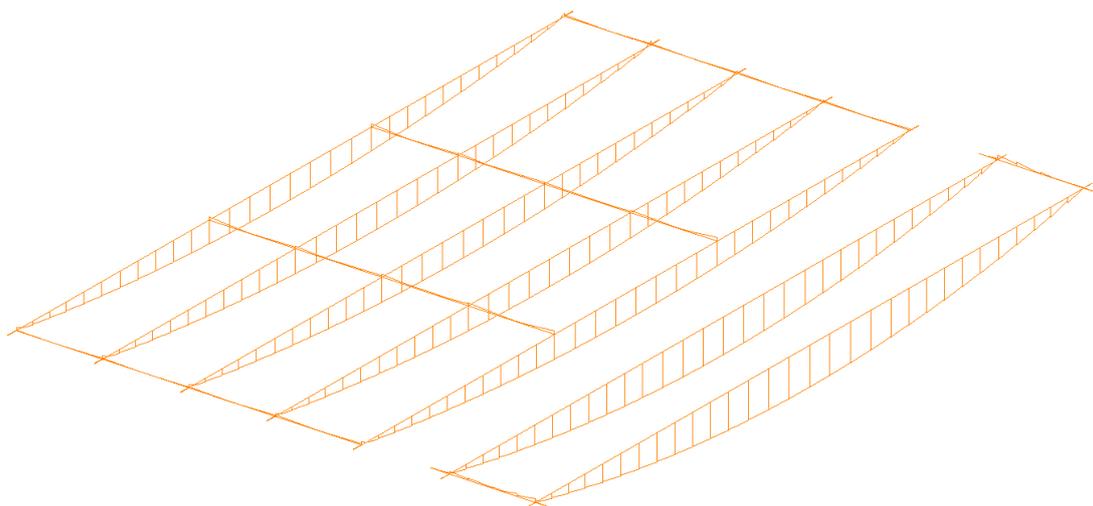


Min Taglio - Travi principali e trasversi

5.2.2 Involuppo S.L.E. (Rara – Frequente - Q. Permanente)

Di seguito, a titolo esemplificativo, si riportano i grafici con gli involuppi delle max/min sollecitazioni flettenti nelle travi e nei traversi.

Per il dettaglio delle sollecitazioni agenti sulle singole sezioni si rimanda alle tabelle riassuntive nel prosieguo nelle quali, oltre al valore complessivo di combinazione, si dettagliano gli addendi attribuibili alle tre principali fasi descritte in precedenza (Fase 1, Fase 2, Fase3).



Max/Min Momento flettente - Travi principali e traversi

Nelle tabelle seguenti si riassumono le massime/minime sollecitazioni flettenti e taglianti, corredate delle concomitanti, che caratterizzano le sezioni di estremità, di fine ringrosso (qualora presente) e di mezzeria delle travi longitudinali, oltre alle sollecitazioni flettenti nei traversi.

5.2.3 Tabella riassuntiva delle sollecitazioni

Sollecitazioni di verifica - Impalcato esistente:										
Sezione	Posizione	Combo	Caratteristica max/min	Sollecitazioni Totali						
				V (kN)	My (kNm)	N (kN)	V (kN)	My (kNm)	N (kN)	
(-)	(-)	(-)	(-)							
Travi principali Esistenti	M1	Campata	SLUFase1	Mmax	-7	-1028	-			
	M1	Campata	SLUFase2	Mmax	-3	-590	-	-11	-1493	-
	M1	Campata	SLUFase3	Mmax	0	125	-			
	M1	Campata	SLUFase1	Mmin	-10	-1388	-			
	M1	Campata	SLUFase2	Mmin	-4	-797	-	-54	-4788	-
	M1	Campata	SLUFase3	Mmin	-40	-2602	-			
	M2	Campata	SLUFase1	Vmax	-7	-1083	-			
	M2	Campata	SLUFase2	Vmax	-3	-543	-	47	-3317	-
	M2	Campata	SLUFase3	Vmax	57	-1690	-			
	M2	Campata	SLUFase1	Vmin	-10	-1388	-			
	M2	Campata	SLUFase2	Vmin	-4	-734	-	-176	-4514	-
	M2	Campata	SLUFase3	Vmin	-163	-2392	-			
	V8	Estremità	SLUFase1	Mmax	-285	-1	-			
	V8	Estremità	SLUFase2	Mmax	-124	-7	-	-881	10	-
	V8	Estremità	SLUFase3	Mmax	-471	19	-			
	V3	Estremità	SLUFase1	Mmin	225	5	-			
	V3	Estremità	SLUFase2	Mmin	84	-5	-	381	-72	-
	V3	Estremità	SLUFase3	Mmin	72	-72	-			
	V6	Estremità	SLUFase1	Vmax	285	2	-			
	V6	Estremità	SLUFase2	Vmax	127	-11	-	974	-24	-
	V6	Estremità	SLUFase3	Vmax	563	-16	-			
	V8	Estremità	SLUFase1	Vmin	-285	-1	-			
	V8	Estremità	SLUFase2	Vmin	-124	-7	-	-968	-26	-
	V8	Estremità	SLUFase3	Vmin	-558	-17	-			
V2	Fine Ringrosso	SLUFase1	Vmin	178	-237	-				
V2	Fine Ringrosso	SLUFase2	Vmin	91	-145	-	255	-373	-	
V2	Fine Ringrosso	SLUFase3	Vmin	-14	9	-				
V2	Fine Ringrosso	SLUFase1	Mmin	240	-320	-				
V2	Fine Ringrosso	SLUFase2	Mmin	123	-196	-	689	-1067	-	
V2	Fine Ringrosso	SLUFase3	Mmin	326	-550	-				
V2	Fine Ringrosso	SLUFase1	Vmax	240	-320	-				
V2	Fine Ringrosso	SLUFase2	Vmax	123	-196	-	748	-1056	-	
V2	Fine Ringrosso	SLUFase3	Vmax	385	-539	-				
V2	Fine Ringrosso	SLUFase1	Vmin	178	-237	-				
V2	Fine Ringrosso	SLUFase2	Vmin	91	-145	-	255	-373	-	
V2	Fine Ringrosso	SLUFase3	Vmin	-14	9	-				
Traversi Esistenti	MTrCamp	Campata	SLUFase1	Mmax	-10	8	-3			
	MTrCamp	Campata	SLUFase2	Mmax	-3	12	-47	-34	68	-242
	MTrCamp	Campata	SLUFase3	Mmax	-20	48	-192			
	MTrCamp	Campata	SLUFase1	Vmax	-8	6	-2			
	MTrCamp	Campata	SLUFase2	Vmax	-2	8	-19	154	-286	898
	MTrCamp	Campata	SLUFase3	Vmax	164	-299	919			
	M6	Campata	SLUFase1	Vmax	-4	-1	-2			
	M6	Campata	SLUFase2	Vmax	-2	5	-19	158	-92	898
	M6	Campata	SLUFase3	Vmax	164	-95	919			
	MTrEstr	Campata	SLUFase1	Vmin	1	-1	-7			
	MTrEstr	Campata	SLUFase2	Vmin	2	3	-24	-167	49	604
	MTrEstr	Campata	SLUFase3	Vmin	-171	47	634			

5.2.4 Tabella riassuntiva delle sollecitazioni – Impalcato in allargamento

SCOLO CALCARATA - Campata - Travi nuove - H 90 interasse 2.40 m										
	Sezione (-)	Posizione (-)	Combo (-)	Caratteristica			Note: (-)	M/V/T Tot (kN-m)		
				max/min (-)	V _(TAGLIO) (kN)	M _{y(M_FLETT)} (kNm)			M _{x(M_TORC)} (kNm)	
Sezioni di Campata	SLE Freq	M4	Campata	SLEFase1	Mmax	-11	-1475	-2		
		M4	Campata	SLEFase2	Mmax	-2	-541	-27		
		M4	Campata	SLEFase3-Freq	Mmax	0	0	0		
		M5	Campata	SLEFase1	Mmin	-13	-1641	-2	M. flettente mezzeria	-3761
		M5	Campata	SLEFase2	Mmin	-9	-593	-22		
		M5	Campata	SLEFase3-Freq	Mmin	-100	-1528	-43		
	SLE Caratt	M4	Campata	SLEFase1	Mmax	-11	-1475	-2		
		M4	Campata	SLEFase2	Mmax	-2	-541	-27		
		M4	Campata	SLEFase3-Caratt	Mmax	0	0	0		
		M5	Campata	SLEFase1	Mmin	-13	-1641	-2	M. flettente mezzeria	-4608
		M5	Campata	SLEFase2	Mmin	-9	-593	-22		
		M5	Campata	SLEFase3-Caratt	Mmin	-139	-2375	-71		
	SLU	M4	Campata	SLUFase1	Mmax	-11	-1475	-2		
		M4	Campata	SLUFase2	Mmax	-2	-541	-27		
		M4	Campata	SLUFase3	Mmax	0	0	0		
		M5	Campata	SLUFase1	Vmin	-18	-2215	-3	M. flettente mezzeria	-6221
		M5	Campata	SLUFase2	Vmin	-12	-800	-30		
		M5	Campata	SLUFase3	Vmin	-188	-3206	-96		
		M4	Campata	SLUFase1	Vmax	-11	-1489	-2		
		M4	Campata	SLUFase2	Vmax	-2	-541	-27		
		M4	Campata	SLUFase3	Vmax	71	-1793	-11		
		M4	Campata	SLUFase1	Vmin	-15	-1979	-2		
		M4	Campata	SLUFase2	Vmin	-2	-731	-37		
		M4	Campata	SLUFase3	Vmin	-201	-3071	-137		
		M4	Campata	SLUFase1	Mxmin	-11	-1489	-2	M. torcente mezzeria	-209
		M4	Campata	SLUFase2	Mxmin	-2	-731	-37		
		M4	Campata	SLUFase3	Mxmin	-138	-2310	-170		
Sezioni di Estremità	SLE Freq	V5	Estremità	SLEFase1	Mmax	328	0	2		
		V5	Estremità	SLEFase2	Mmax	118	13	-48		
		V5	Estremità	SLEFase3-Freq	Mmax	186	13	-63		
		V4	Estremità	SLEFase1	Mmax	297	1	2		
		V4	Estremità	SLEFase2	Mmax	68	-7	-22		
		V4	Estremità	SLEFase3-Freq	Mmax	286	-47	32		
	SLE Caratt	V5	Estremità	SLEFase1	Mmax	328	0	2		
		V5	Estremità	SLEFase2	Mmax	118	13	-48		
		V5	Estremità	SLEFase3-Caratt	Mmax	310	24	-108		
		V4	Estremità	SLEFase1	Mmax	297	1	2		
		V4	Estremità	SLEFase2	Mmax	68	-7	-22		
		V4	Estremità	SLEFase3-Caratt	Mmax	434	-74	54		
	SLU	V5	Estremità	SLUFase1	Mxmin	328	0	2		
		V5	Estremità	SLUFase2	Mxmin	159	17	-64		
		V5	Estremità	SLUFase3	Mxmin	418	32	-145		
		V4	Estremità	SLUFase1	Vmax	401	1	2		
		V4	Estremità	SLUFase2	Vmax	92	-9	-30		
		V4	Estremità	SLUFase3	Vmax	586	-99	72		
		V5	Estremità	SLUFase1	Vmax	442	-1	2	Taglio estremità	1189
		V5	Estremità	SLUFase2	Vmax	159	17	-64		
		V5	Estremità	SLUFase3	Vmax	588	-43	-74		
V4		Estremità	SLUFase1	Vmin	297	1	2			
V4		Estremità	SLUFase2	Vmin	68	-7	-22			
V4		Estremità	SLUFase3	Vmin	0	0	0			
V5		Estremità	SLUFase1	Mxmin	328	0	2	M. torcente estremità	-208	
V5		Estremità	SLUFase2	Mxmin	159	17	-64			
V5		Estremità	SLUFase3	Mxmin	418	32	-145			

Sezioni di Fine Ringrosso	SLE Freq	V9	Fine Ringrosso	SLEFase1	Mmax	288	-373	2		
		V9	Fine Ringrosso	SLEFase2	Mmax	100	-138	-53		
		V9	Fine Ringrosso	SLEFase3-Freq	Mmax	0	0	0		
		V9	Fine Ringrosso	SLEFase1	Mmin	288	-373	2	M. flettente ringrosso	-926
		V9	Fine Ringrosso	SLEFase2	Mmin	100	-138	-53		
		V9	Fine Ringrosso	SLEFase3-Freq	Mmin	243	-415	-12		
	SLE Caratt	V9	Fine Ringrosso	SLEFase1	Mmax	288	-373	2		
		V9	Fine Ringrosso	SLEFase2	Mmax	100	-138	-53		
		V9	Fine Ringrosso	SLEFase3-Caratt	Mmax	0	0	0		
		V9	Fine Ringrosso	SLEFase1	Mmin	288	-373	2	M. flettente ringrosso	-1147
		V9	Fine Ringrosso	SLEFase2	Mmin	100	-138	-53		
		V9	Fine Ringrosso	SLEFase3-Caratt	Mmin	382	-635	-37		
	SLU	V9	Fine Ringrosso	SLUFase1	Vmin	288	-373	2		
		V9	Fine Ringrosso	SLUFase2	Vmin	100	-138	-53		
		V9	Fine Ringrosso	SLUFase3	Vmin	0	0	0		
		V9	Fine Ringrosso	SLUFase1	Mmin	388	-504	3	M. flettente ringrosso	-1548
		V9	Fine Ringrosso	SLUFase2	Mmin	136	-187	-71		
		V9	Fine Ringrosso	SLUFase3	Mmin	516	-857	-49		
		V9	Fine Ringrosso	SLUFase1	Vmax	388	-504	3	Taglio ringrosso	1105
		V9	Fine Ringrosso	SLUFase2	Vmax	136	-187	-71		
		V9	Fine Ringrosso	SLUFase3	Vmax	582	-797	-82		
		V9	Fine Ringrosso	SLUFase1	Vmin	288	-373	2		
		V9	Fine Ringrosso	SLUFase2	Vmin	100	-138	-53		
		V9	Fine Ringrosso	SLUFase3	Vmin	0	0	0		
V9	Fine Ringrosso	SLUFase1	Mxmin	288	-373	2	M. torcente ringrosso	-227		
V9	Fine Ringrosso	SLUFase2	Mxmin	136	-187	-71				
V9	Fine Ringrosso	SLUFase3	Mxmin	388	-514	-158				

Note:

Fase 1: PP della trave e del getto non collaborante della soletta

Fase 2: Carichi permanenti portati

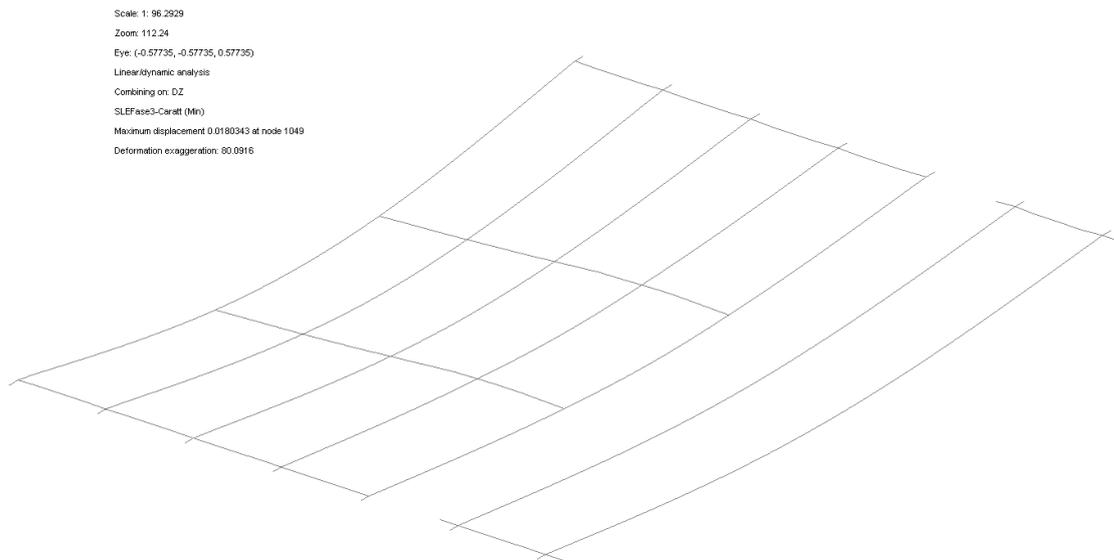
Fase 3: Carichi da traffico

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 - Travi principali e trasversi

Combinazione	Impalcato	δ (mm)	L/δ
SLE Caratteristica Fase 3	L = 19.38 m	18.03	1075

Le deformazioni indotte dal traffico veicolare sono modeste.

7. Verifiche delle travi in c.a.p. e dei traversi

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:

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

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

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	$\leq w_1$

7.2 Verifiche di resistenza S.L.U. per azioni flettenti

La verifica di resistenza in condizioni ultime di una sezione presso-inflessa consiste nel soddisfacimento della seguente disuguaglianza:

$$\gamma = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}(N_{Ed})} \leq 1$$

Nei risultati riassunti di seguito verranno considerati i set di sollecitazioni derivanti dalla massimizzazione/minimizzazione delle sollecitazioni flettenti ($M_{y,max}$ e $M_{y,min}$) e per ciascuna di esse verranno calcolati i momenti resistenti (M_{Rd}) associati all'azione assiale agente e alle caratteristiche geometriche e meccaniche specificate per la sezione in esame. La verifica si considera soddisfatta quando il coefficiente di sicurezza (C.S.) risulta superiore all'unità.

Di seguito si riportano le verifiche condotte in cui si indica con:

N_{Ed} = azione assiale sollecitante espressa in kN

M_{Ed} = azione flettente sollecitante espressa in kNm

M_{Rd} = azione flettente resistente, funzione dell'azione assiale sollecitante, espressa in kNm

C.S. = coefficiente di sicurezza paria al rapporto fra l'azione flettente resistente e quella sollecitante

7.2.1 Impalcato esistente

Campata unica L= 19.20 m – Travi principali

Si è tenuto conto dell'incrudimento dell'acciaio armonico semplificandone il legame elastico-incrudente con una curva equivalente in energia di tipo elastico-perfettamente plastico.

Curva reale caratteristica ($\sigma-\epsilon$)

E_{1_CAVO} (MPa)	f_{yk} (MPa)	f_{tk} (MPa)	ϵ_{uk} (-)	γ_s (-)	$1/\gamma_\epsilon$ (-)
195000	1350	1800	0.06	1.15	0.9

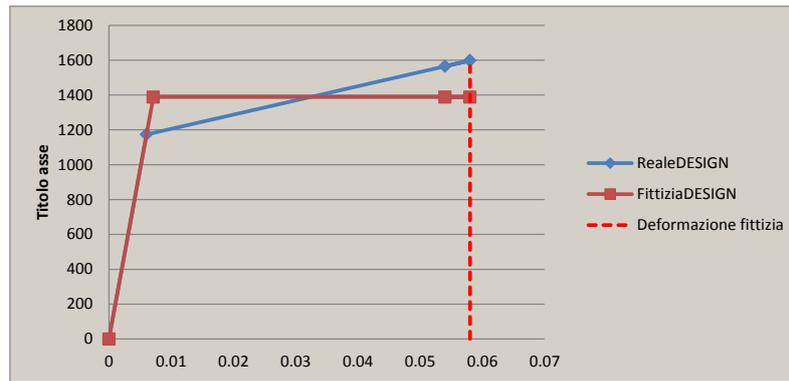
Curva reale di calcolo ($\sigma-\epsilon$)

E_{1_CAVO} (MPa)	E_{2_CAVO} (MPa)	k	f_{yd} (MPa)	ϵ_{yd} (-)	$k*f_{yd}$ (MPa)	ϵ_{ud} (-)
195000	8156	1.33	1174	0.0060	1565	0.054

Curva modificata con equivalenza in energia (alla deformata dell'acciaio nella configurazione ultima della sezione):

Curva $\sigma-\epsilon$ fittizia (Modificata - Elastico-perfettam. plastico)

$\epsilon_{SLU_CALCOLO}$ (-)	E_{1_CAVO} (MPa)	ϵ_{yd} (-)	f_{yd} (MPa)
0.058	195000	0.0071	1388



Verifica C.A. S.L.U. - File: TrEistCamp

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo: Trave esistente campata

N° Vertici: 16 **Zoom** **N° barre:** 4 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	-120	120
2	120	120
3	120	100
4	27.5	100
5	27.5	88
6	10	85

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	3.424778	0	115
2	2.01	0	5
3	1.01	0	20
4	1.01	0	25

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{xEd} 4788 kNm
M_{yEd} 0

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

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Cavo snervato

Materiali
FeB44k C35/45
ε_{su} 67.5 % ε_{c2} 2 %
f_{yd} 373.9 N/mm² ε_{cu} 3.5 %
E_s 200,000 N/mm² f_{cd} 19.83
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
ε_{syd} 1.87 % σ_{c,adm} 13.5
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.8
τ_{cl} 2.257

M_{xRd} 4,953 kNm
σ_c -19.83 N/mm²
σ_s 373.9 N/mm²
ε_c 3.5 %
ε_s 31.49 %
d 115 cm
x 11.5 x/d 0.1
δ 0.7

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

Armatura Precompressione
N° cavi 5 **Zoom**

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	σ _{sp} [MPa]
1	9.29	0	6	1080
2	11.148	0	10	1080
3	5.574	0	14	1080
4	3.716	0	18	1080
5	3.716	0	22	1080

Tipo cavo TrefE sist
ε_{su} 67.5 %
f_{yd} 1,388 N/mm²
E_s/E_c 6
ε_{syd} 6.94 %
σ_{s,adm} 1280 N/mm²

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

Tipo flessione
 Retta Devia

N° rett. 100
Calcola MRd **Dominio M-N**
L₀ 0 cm **Col. modello**

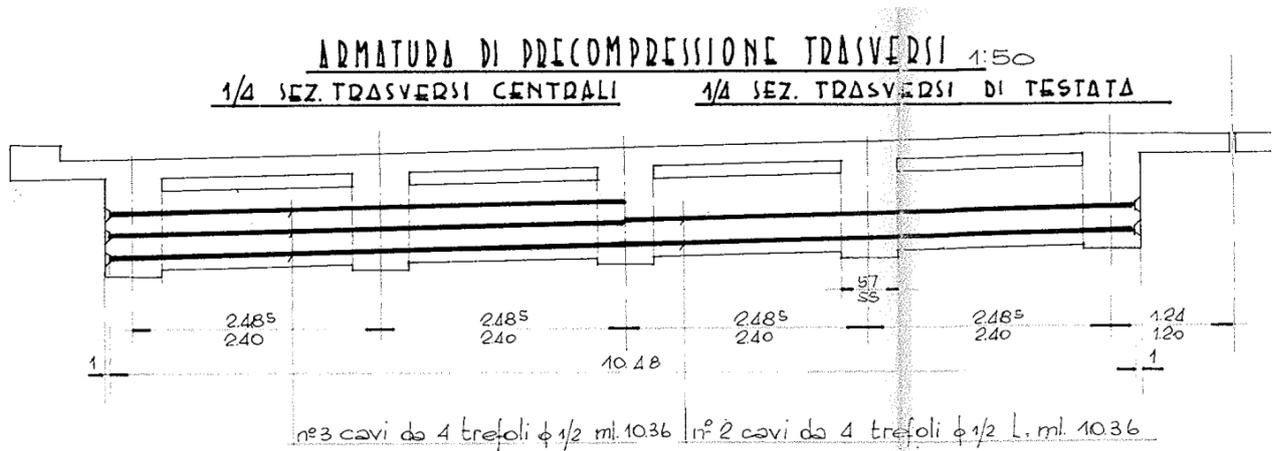
σ_{sp} 1,388 N/mm²
ε_{sp} 36.58 ‰ compresa predef.

Precompresso

Med_{SLU}= 4788 kNm Mrd_{SLU}= 4953 kNm c.s.= 1.03 circa

Si sono assunte le caratteristiche resistenti del calcestruzzo della soletta validate dai risultati delle indagini.

Traversi di campata



Traversi di campata

L'armatura dedicata al traverso, tratta dal progetto di archivio e costituita da cavi di post-tensione, è pari a: $A_{SPREC} = 3$ cavi da 4 trefoli da 0.5" ciascuno, per quanto al traverso di campata che risulta il più sollecitato. I traversi non sono connessi alla soletta.

Sezione traverso precompresso:

$A_{STREFOLO}$ (mmq)	$n_{TREFOLI_TOT}$ (-)	$A_{STREFOLO_TOT}$ (mmq)
93	12	1116

Momento massimo positivo:

$Med_{SLU} = 286 \text{ kNm}$, $Ned_{SLU} = -898 \text{ kN}$ (Trazione) $Mrd_{SLU} = 189 \text{ kNm}$ $c.s. = 0.66$

La verifica non è soddisfatta, occorre rinforzare i traversi. Si prevedono 2 barre integrative $\Phi 26$ ad intradosso.

Verifica C.A. S.L.U. - File: TraversoEsistRinforzato

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

TITOLO: Traverso Esistente - Ponte scolo Calcarata

N° figure elementari: 2 Zoom N° strati barre: 1 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	30	58
2	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.62	68

Armatura Precompressione

N° strati cavi: 3 Zoom

N°	As [cm²]	d [cm]	σ_{sp} [N/mm²]
1	3.72	13	900
2	3.72	41	900
3	3.72	69	900

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} : -898 0 kN
 M_{xEd} : 286 0 kNm
 M_{yEd} : 0 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 2

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Cavo snervato

Materiali

B450C C25/30

ϵ_{su} : 67.5 ‰ ϵ_{c2} : 2 ‰
 f_{yd} : 391.3 N/mm² ϵ_{cu} : 3.5 ‰
 E_s : 200.000 N/mm² f_{cd} : 14.17 N/mm²
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0.8
 ϵ_{syd} : 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$: 9.75 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² f_{co} : 0.6 f_{ct} : 1.829 N/mm²

Metodo di calcolo

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

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N

L_0 : 0 cm Col. modello

Precompresso

Results:

M_{Rd} : 422.6 kNm
 σ_c : -14.17 N/mm²
 σ_s : 391.3 N/mm²
 ϵ_c : 3.5 ‰
 ϵ_s : 8.839 ‰
 d : 69 cm
 x : 19.29 x/d: 0.2796
 δ : 0.7894

Tipo cavo

TrEquivlte

ϵ_{su} : 67.5 ‰
 f_{yd} : 1.205 N/mm²
 E_s/E_c : 6
 ϵ_{syd} : 6.025 ‰
 $\sigma_{s,adm}$: 1050 N/mm²

σ_{sp} : 1.205 N/mm²
 ϵ_{sp} : 13.52 ‰ compressa predef.

$Med_{SLU} = 286 \text{ kNm}$, $Ned_{SLU} = -898 \text{ kN}$ (Trazione) $Mrd_{SLU} = 423 \text{ kNm}$ $c.s. = 1.48$

Momento minimo negativo:

Verifica C.A. S.L.U. - File: TraversoEsist

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO: Traverso Esistente - Ponte scolo Calcarata

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 0 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	30	78

Solllecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} -604 0 kN
M_{xEd} -49 0 kNm
M_{yEd} 0 0

Materiali
TrEsistEqu C25/30

ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 1.372 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 14.17
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
ε_{syd} 6.86 ‰ σ_{c,adm} 9.75
σ_{s,adm} 1050 N/mm² τ_{co} 0.6
τ_{ct} 1.829

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

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Cavo snervato

M_{xRd} -221.8 kN m

σ_c -14.17 N/mm²
σ_s N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s ‰
d 65 cm
x 15.88 x/d 0.2442
δ 0.7453

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

Armatura Precompressione
N° strati cavi: 3 Zoom

N°	As [cm²]	d [cm]	σ _{sp} [N/mm²]
1	3.72	13	900
2	3.72	41	900
3	3.72	69	900

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

Tipo flessione
Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Tipo cavo
TrEsistEqu
ε_{su} 67.5 ‰
f_{yd} 1.248 N/mm²
E_s/E_c 6
ε_{syd} 6.24 ‰
σ_{s,adm} 1050 N/mm²

σ_{sp} 1,248 N/mm²
ε_{sp} 15.33 ‰ compressa predef.

Med_{SLU}= -49 kNm, Ned_{SLU}= -604 kN (Trazione)

Mrd_{SLU}= -222 kNm

c.s.= 4.53

La verifica è soddisfatta.

7.2.2 Impalcato nuovo in allargamento

Campata unica $L_{CALC} = 19.37 \text{ m}$ – Travi principali

Trefoli in acciaio in travi nuove - H90 cm

Φ	A_{TR}	f_{yk}	f_{yd}	f_{uk}	$n_{TOT-TREFOLI}$	σ_{SPI}
(")	(mm ²)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(MPa)
0.6	139	1670	1452	1860	50	1488

$Med_{SLU} = 6221 \text{ kNm}$ $Mrd_{SLU} = 9101 \text{ kNm}$ $c.s. = 1.46$

Si sono assunte le caratteristiche resistenti del calcestruzzo della soletta in quanto la porzione soggetta a compressione è appartenente a ques'ultima.

7.3 Verifiche S.L.U. per azioni taglianti

La verifica di resistenza a taglio in condizioni ultime (SLU-STR) di una sezione in c.a. consiste nel soddisfacimento della seguente disuguaglianza:

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

dove:

V_{Ed} = azione tagliante sollecitante di calcolo, valutata sotto la combinazione SLU-STR;

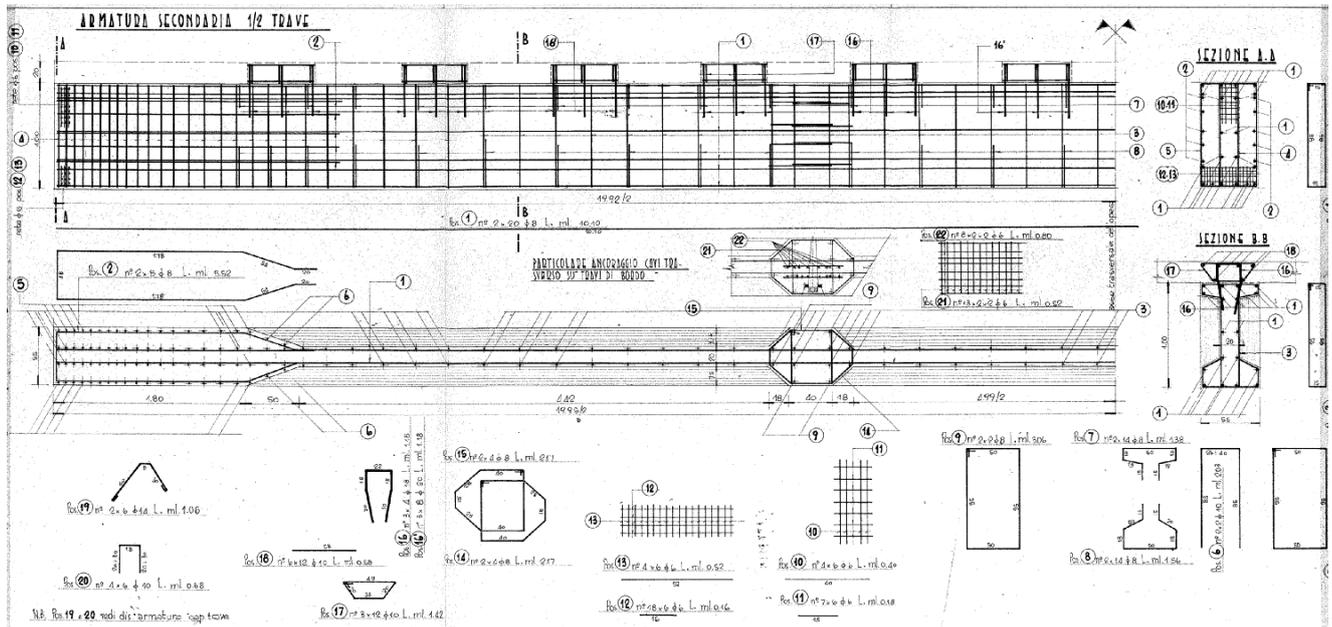
V_{Rd} = azione tagliante resistente.

La resistenza a taglio V_{Rd} viene calcolata con riferimento all'elemento dotato di un'armatura resistente a taglio. La resistenza a taglio è la minima fra la resistenza di calcolo a "taglio trazione", riferita all'armatura dedicata, e quella a "taglio compressione", associata al nucleo in calcestruzzo.

Le caratteristiche dei materiali assunte nelle verifiche a taglio sono quelle proprie delle travi in quanto a queste compete la quasi totalità delle azioni di compressione del traliccio ideale di "Morsh".

7.3.1 Impalcato esistente

Campata unica $L_{CALC} = 19.37$ m



Si identificano tre sezioni significative di verifica al taglio:

- Sezione di appoggio Φ10/15 4 braccia
- Sezione di fine ringrosso (se presente) o a circa 1.00 m da appoggio Φ10/25 (Φ8/40) 2 braccia
- Sezione in campata Φ8/40 2 braccia

La sezione di fine ringrosso si verifica cautelativamente con le staffe identificabili in sezioni appena adiacenti e pari a Φ8/40 2 braccia.

Sezione di appoggio:

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)
32	440	1.15	1.5	0.85	2.12	1.41	18.13	383

Geometria della sezione resistente:

h	bw	c	d
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1200	550	83	1005

A_{SLong} (TESA)				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)
11	12	1140	1140	10	4	314	150	90
		0	1140	0	2	0	0	0
		0		0		0	0	0

Verifica a Taglio:

Sezione priva di armature resistenti a taglio:

N_{Ed}	A_c	σ_{cp}	ρ_i	k	v_{MIN}	V_{Rd}
(kN)	(mm ²)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(kN)
0	660000	0.00	0.0021	1.4460	0.3443	190.36

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)
35	0	0	1.0000	9.07	1035.44	2119.85	1035.44

$V_{edSLU} = 974 \text{ kN}$ $V_{rdSLU} = 1035 \text{ kN}$ c.s.= 1.06

Si è assunta la biella compressa con inclinazione $\theta = 35^\circ$. In progetto non si hanno informazioni relative all'armatura posta al lembo inferiore della trave in prossimità della sezione di appoggio; si sono assunti presenti quindi i trefoli aderenti, necessari per assorbire la componente orizzontale dell'azione tagliante, ottenendo $n_{TREF} = 12$. Si rimanda allo sviluppo del progetto esecutivo la verifica in situ della presenza di tale minima armatura efficace e, qualora non risultasse soddisfatta tale ipotesi, sarebbe necessario prevedere una integrazione ad intradosso trave in prossimità degli appoggi.

Il valore assunto per "c" identifica, cautelativamente, la distanza dal lembo inferiore della trave in CAP del baricentro dei cavi di precompressione.

Sezione di fine ringrosso:

Verifica a taglio-Torsione di elementi in calcestruzzo

(NTC2008; 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)
32	440	1.15	1.5	0.85	2.12	1.41	18.13	383

Geometria della sezione resistente:

h	bw	c	d
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1200	200	83	1005

A_{SLong} (TESA)				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)
11	12	1140	1140	8	2	101	400	90
		0	1140	0	2	0	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)
2126	240000	3.63	0.0057	1.4460	0.3443	201.06

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)
22	2126	3.626667	1.2000	9.07	215.34	683.81	215.34

$V_{edSLU} = (748-256) = 492$ kN $V_{rdSLU} = 215$ kNm c.s.= 0.44 – Necessita rinforzo.

Si è assunta la biella compressa con inclinazione $\theta = 22^\circ$. Il valore assunto per “c” identifica, cautelativamente, la distanza dal lembo inferiore della trave in CAP del baricentro dei cavi di precompressione.

Per la determinazione del taglio agente di competenza delle staffe, si è depurato dal valore di calcolo la componente assorbita dai cavi di precompressione, in virtù della loro inclinazione.

Si sono distinti i fasci i cavi appartenenti al gruppo degli “aderenti” (A) da quelli degli “scorrevoli” (B).

Sezione di fine ringrosso:

Inclinazione trefoli collaboranti al taglio dall'orizzontale:

Trefoli A			Trefoli B			
$Tg(\alpha)$	α	α	α	α		
(-)	(rad)	(grad)	(rad)	(grad)		
0.1011	0.1007	5.7707	0.611	35		
$\sigma_{AMM_TREFOLI}$	Φ_{CAVI}	$\sigma_{CALCOLO_TREFOLI}$	$A_{STREFOLO}$	$n_{A-TR_INCLINATI}$	$n_{B-TR_INCLINATI}$	$n_{TR_ORIZZONTALI}$
(Mpa)	(-)	(Mpa)	(mmq)	(-)	(-)	(-)
1050	0.75	787.5	93	12	4	12
V_{CAVI}	N_{CAVI}					
(kN)	(kN)					
256	1993					

Si è ottenuto $V_{Rd_CAVI} = 256$ kN

Occorre prevedere rinforzo a taglio per l'intera estensione delle travi esistenti, al netto dei ringrossi di estremità.

Si ipotizzano rinforzi con barre verticali integrative e inghisaggio alle estremità nel bulbo inferiore e in soletta; tale soluzione dovrà essere meglio definita in fase di progetto esecutivo con particolare riferimento alle interferenze con i cavi di precompressione esistenti.

Sezione in 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)
32	440	1.15	1.5	0.85	2.12	1.41	18.13	383

Geometria della sezione resistente:

h	bw	c	d
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1200	200	83	1005

A_{SLong} (TESA)				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)
11	12	1140	1140	8	2	101	400	90
		0	1140	0	2	0	0	0
		0	1140	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	240000	0.00	0.0057	1.4460	0.3443	91.69

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	0	0	1.0000	9.07	150.69	710.42	150.69

$V_{edSLU} = 176 \text{ kN}$ $V_{rdSLU} = 151 \text{ kN}$ c.s. = 0.85

Si è assunta la biella compressa con inclinazione $\theta=30^\circ$. Il valore assunto per "c" identifica, cautelativamente, la distanza dal lembo inferiore della trave in CAP del baricentro dei cavi di precompressione.

Occorre rinforzare a taglio; si estende quindi l'intervento di rinforzo al taglio per l'intera lunghezza delle travi prefabbricate, ad esclusione delle porzioni terminali ringrossate. Si rimanda al progetto esecutivo la determinazione di dettaglio dell'armatura integrativa necessaria.

Traversi in campata/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)
32	440	1.15	1.5	0.85	2.12	1.41	18.13	383

Geometria della sezione resistente:

h	bw	c	d
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
780	300	170	549

A_{SLong} (TESA)				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)
10	4	314	314	8	2	101	200	90
		0	0	0	2	0	0	0
		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	234000	0.00	0.0019	1.6036	0.4020	66.22

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)
25	0	0	1.0000	9.07	203.78	514.76	203.78

$V_{edSLU} = 167 \text{ kN}$

$V_{rdSLU} = 204 \text{ kN}$

c.s. = 1.22

Si è assunta la biella compressa con inclinazione $\theta = 25^\circ$.

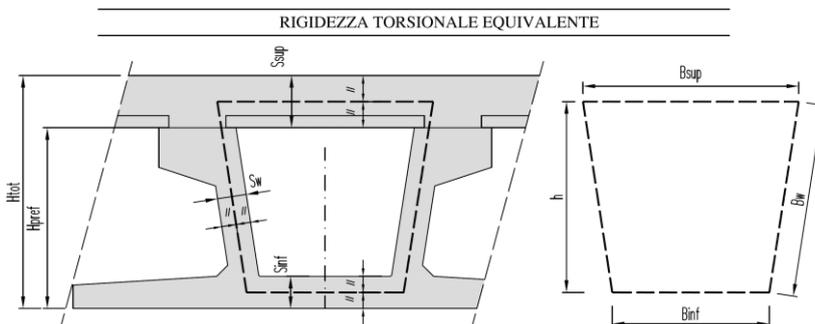
7.3.2 Impalcato nuovo in allargamento

Per la valutazione dell'effetto indotto sulle anime delle travi a cassoncino dal momento torcente e dal taglio, si procede assumendo la resistenza al taglio data dalla larghezza complessiva delle due anime con le relative staffe e si considera, secondo le indicazioni normative, la sezione monocellulare cava resistente a torsione con riferimento allo spessore della crosta resistente pari a quella minore tra i quattro lati del cassoncino.

Si combinano poi gli effetti.

In dettaglio, con riferimento allo schema seguente

Rigidezza torsionale equivalente (cassoncini a parete sottile):



Materiali:

	f _{ck} (Mpa)	E (Mpa)	v (-)	G (Mpa)
Trave	45	36283	0.2	15118
Getto soletta-Traversi	35	34077	0.2	14199

Geometria della sezione:

	Soletta			Trave Pref.				Rigidezza torsionale	
	S _{SUP} (m)	S* _{SUP} (m)	B _{SUP} (m)	S _{INF} (m)	B _{INF} (m)	S _w (m)	H _{PREF} (m)	K (m ⁴)	K/2 (m ⁴)
H=90	0.26	0.24	1.07	0.16	0.78	0.144	0.9	0.13665	0.06832

Campata unica L_{calc} = 19.35m

Si identificano due sezioni rappresentative di verifica al taglio per la stima dell'armatura necessaria:

- Sezione di appoggio
- Sezione di fine ringrosso (se presente) a circa 1.00 m da appoggio

Sezione di appoggio:

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)
45	450	1.15	1.5	0.85	2.66	1.77	25.50	391

Geometria della sezione resistente:

h	bw	c	d
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1130	288	50	972

A_{SLong} (TESA)				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)
20	10	3142	3142	14	2	308	200	90
		0		14	2	308	200	90
		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	325440	0.00	0.0112	1.4536	0.4115	180.49

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	12.75	1255.99	1581.73	1255.99

Verifica ad azioni torcenti (SEZIONE LORDA DEL CASSONCINO TORSIORESISTENTE):

A_{SLong} (TORSIONE)				$A_{S_Torsione}$			
Φ_i	n	A_{Si}	A_{SLong_TOT}	Φ_i	$n_{BRACCIA}$	A_{Si}	passo
(mm)	(-)	(mm ²)	(mm ²)	(mm)	(-)	(mm ²)	(mm)
14	14	2155	2155	10	2	79	200
		0				0	0
		0				0	0

u_m	Ac	u	t	A
(mm)	(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm ²)
3822	1207970	4398	144	912050

T_{Rcd}	T_{Rsd}	T_{Rld}	T_{Rd}	$N_{Rld-TRAZIONE}$
(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kN)
1649.08	334.05	337.72	334.05	519.39

Verifica per sollecitazioni composte (taglio-torsione):

V_{Ed}	T_{Ed}	V_{Rdc}	T_{Rdc}	C.S. VERIF. COMPOSTA
(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)	(-)
1189.00	208.00	1581.73	1649.08	0.88
Ver. CLS soddisfatta				

$V_{edSLU} = 1189kN$ $V_{rdSLU} = 1256 kN$ $T_{edSLU} = 208 kNm$ $T_{rdSLU} = 334 kNm$

c.s. (coefficiente di sfruttamento del CLS) = 0.88

Si è assunta la biella compressa con inclinazione $\theta = 40^\circ$; il massimo valore del taglio e del momento torcente (cautelativamente).

Sezione di fine ringrosso:

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)
45	450	1.15	1.5	0.85	2.66	1.77	25.50	391

Geometria della sezione resistente:

h	bw	c	d
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1130	288	50	972

A_{SLong} (TESA)				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)
20	10	3142	3142	14	2	308	200	90
		0		14	2	308	200	90
		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	325440	0.00	0.0112	1.4536	0.4115	180.49

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	12.75	1255.99	1581.73	1255.99

Verifica ad azioni torcenti (SEZIONE LORDA DEL CASSONCINO TORSIORESISTENTE):

A_{SLong} (TORSIONE)				$A_{S_Torsione}$			
Φ_i	n	A_{Si}	A_{SLong_TOT}	Φ_i	$n_{BRACCIA}$	A_{Si}	passo
(mm)	(-)	(mm ²)	(mm ²)	(mm)	(-)	(mm ²)	(mm)
14	10	1539	1539	10	2	79	250
		0				0	0
		0				0	0

u_m	Ac	u	t	A
(mm)	(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm ²)
3822	1207970	4398	144	912050

T_{Rcd}	T_{Rsd}	T_{Rld}	T_{Rd}	$N_{Rld-TRAZIONE}$
(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kN)
1649.08	267.24	241.23	241.23	566.83

Verifica per sollecitazioni composte (taglio-torsione):

V_{Ed}	T_{Ed}	V_{Rdc}	T_{Rdc}	C.S. VERIF. COMPOSTA
(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)	
1105.00	227.00	1581.73	1649.08	
(-)				
0.84				
Ver. CLS soddisfatta				

$V_{edSLU} = 1105$ kN $V_{rdSLU} = 1256$ kN $T_{edSLU} = 227$ kNm $T_{rdSLU} = 241$ kNm

c.s. (coefficiente di sfruttamento del CLS) = 0.84

Si è assunta la biella compressa con inclinazione $\theta = 40^\circ$; il massimo valore del taglio col concomitante del momento torcente.

7.4 Verifiche tensionali S.L.E.

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		

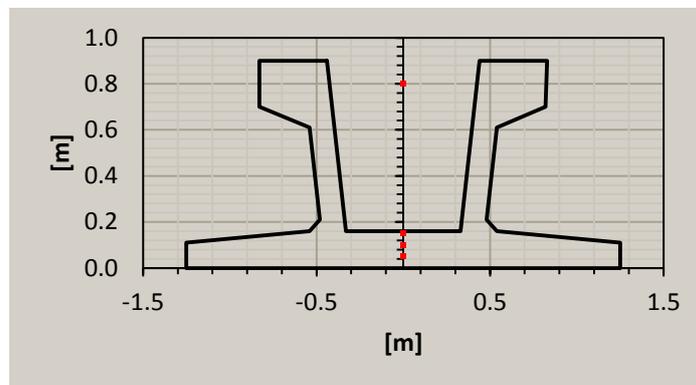
Calcolo forze equivalenti precompressione aderente

$A_{trefolo}$	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%

7.4.1 Caratteristiche sezioni di mezzzeria della trave

Campata unica $L_{CALC} = 19.35$ 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	2.40 m	Larghezza soletta
h	0.26 m	spessore soletta
ϕ_{sup}	12.00 mm	$\phi 12/20$
passo _{sup}	200.00 mm	
$n_{b, sup}$	12.00	
C_{sup}	35.00 mm	
ϕ_{inf}	12.00 mm	$\phi 12/20$
passo _{inf}	200.00 mm	
$n_{b, inf}$	12.00	
C_{inf}	55.00 mm	
$A_{s, sup}$	0.001357 m ²	
$A_{s, inf}$	0.001357 m ²	

Caratteristiche geometriche sezione cls

Ac	0.7076	m ²
ycg	0.3376	m
lxcg	0.0687	m ⁴

Trefoli

Ap	0.0056	m ²
ypg	0.1500	m
lpxg	0.0003	m ⁴

Caratteristiche geometriche sezione cls+trefoli

A	0.7355	m ²	
yg	0.3301	m	
lxg	0.0710	m ⁴	
Wcinf	-0.2150	m ³	modulo di resistenza fibra inferiore trave
Wcsup	0.1245	m ³	modulo di resistenza fibra superiore trave
Wc pg	-0.3619	m ³	modulo di resistenza fibra in corrispondenza del baricentro trefoli
Wpg	-0.3619	m ³	modulo di resistenza del baricentro trefoli
Wp inf	-0.2150	m ³	modulo di resistenza trefoli a quota minima

Caratteristiche geometriche sezione cls+trefoli+soletta

A	1.3407	m ²	
yg	0.6461	m	
lxg	0.2372	m ⁴	
Wcinf	-0.3671	m ³	modulo di resistenza fibra inferiore trave
Wcsup	0.9342	m ³	modulo di resistenza fibra superiore trave
Wc pg	-0.4631	m ³	modulo di resistenza fibra in corrispondenza del baricentro trefoli
Wpg	-0.4631	m ³	modulo di resistenza del baricentro trefoli
Wc sol	0.4615	m ³	modulo di resistenza fibra superiore soletta
Ws sol	0.4953	m ³	modulo di resistenza armatura lenta superiore soletta
Wp inf	-0.3671	m ³	modulo di resistenza trefoli a quota minima

Sezione trefoli

A	0.0069500 m ²
y _g	0.1340000 m
I _{xg}	0.0002748 m ⁴

Sezione omogeneizzata

A	0.73825 m ²		
y _g	0.32911 m		
I _{xg}	0.07115 m ⁴		
e	0.19511 m		
N _{p0}	10341600 N	tiro iniziale	
σ _{p,elastica}	106 Mpa		7.1%
σ _{p,rilassamento}	24 Mpa		1.6%
ΔN _{el}	735653 N	perdita elastica	7.1%
ΔN _{pr}	166854 N	perdita da rilassamento	1.6%
ΔN _{ist}	902506 N	perdita istantanee	8.7%
N _p	9439094 N	tiro al netto delle perdite istantanee	
M _p	1841691 Nm	momento da prec al netto delle perdite istantanee	

Azioni da precompressione

N _p	-9439.09 kN	tiro al netto delle perdite istantanee
M _p	1841.69 kNm	momento da prec al netto delle perdite istantanee

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

Ritiro - calcolo deformazioni da ritiro

R _{bk}	54.22
f _{ck} (MPa)	45
f _{cm} (MPa)	53
f _{cm0} (MPa)	10
RH (%)	80
cls tipo	R
α _{ds1}	6
α _{ds2}	0.11
RH ₀ (%)	100.00
β _{RH}	0.76
ε _{cd,0}	0.00032
k _h	0.92
ε _{ca} (00)	0.00009
h ₀ (mm)	154.00
t _s	30
t (gg)	25550
β _{ds} (t-t _s)	0.997
ε _{cd} (t)	0.00029
β _{as} (t)	1.00000
ε _{ca} (t)	0.000087
ε _s (t-t _s)	3.77E-04

Calcolo coefficienti di viscosità

R _{bk}	54.22
f _{ck} (MPa)	45
f _{cm} (MPa)	53
RH (%)	80
cls tipo	R
h ₀ (mm)	229.00
α ₁	0.75
α ₂	0.92
α ₃	0.81
β _H	711.40
Φ _{RH}	1.15
β(fcm)	2.31
t ₀	2
t (gg)	25550
β(t ₀)	0.801
β _c (t,t ₀)	0.992
Φ ₀	2.117
Φ(t,t ₀)	2.099

Calcolo perdite di precompressione a tempo $t=\infty$

Dati general	trave	soletta
Rck	54.22	42.17
fck	45	35
fc_m	53	43
E_{cm}	36283.19	34077.15
E_c	38097.35	
E_{sp}	195000.00	
n_c	0.94	
n_p	5.42	
n_{s t00}	17.94	
E_s	210000.00	
Φ(t-t₀)	2.10	Coeff. Viscosità
ε_{sh}(t-t_s)	-0.00038	Coeff. Ritiro
χ	0.8	

Le perdite di precompressione differite risultano come di seguito:

	trefoli
σ _{spi}	1488.000
ε _{sh}	-0.00038
α	5.374
Φ(t-t ₀)	2.099
σ _{c,Qp}	-12.122
σ _p	1389.096
A _p	6.950E-03
A _c	1.343E+00
I _c	2.381E-01
Z _{cp}	0.511
f _{ptk}	1860
A Tinf	500000 ore
ρ ₁₀₀₀	2.500
μ	0.800
Δσ _{pr}	-84.474
Δσ _{p,c+s+tr}	-234.610
% Δσ _{p,c+s+tr}	15.767
Sollecitazioni Equivalenti alle perdite di precompressione	
ΔN	1630.54
ΔM	-833.14

7.4.2 Tensioni al tiro

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

Sez. Mezzeria S.L.E. Rara

Calcolo caratteristiche geometrico-statiche della sezione

	A	yg	Jxx	Wcinf	Wcsup	Wcsup sol	Wc pg	Ws sol	Wpg
sezione cas	0.70755	0.33758	0.06872						
sezione cas	1.34341	0.64496	0.23808						
Trefoli	0.00695	0.13400	0.00027						
cassoncino	0.73825	0.32911	0.07115	-0.21620	0.12464		-0.36468		-0.21620
cassoncino-	1.34341	0.64496	0.23808	-0.36914	0.93349	0.46225	-0.46594	0.49595	-0.36914

Sez. Mezz S.L.E. Rara			Step A PPtr+Prec.
	F1 prec.	F1 p.p.	Fine fase 1
N	-9439	0	-9439
M_y	1842	-830	1012
σ_c inf	-21.3	3.8	-17.5
σ_c sup	2.0	-6.7	-4.7
σ_c sup soletta			
σ_s soletta			
σ_c pg	-17.8	2.3	-15.6
σ_s pg	1358.1	12.3	1370.5
σ_s pinf	1242.7	20.8	1263.5

La sezione risulta interamente compressa.

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

Verifica sezione prec. : Sez. Mezz S.L.E. Rara

Riepilogo sollecitazioni di verifica per fasi

Fase	Azione di	sezione	N (kN)	My (kNm)	γ_i
Fase 1	Precompressione	cassoncino	-9439	1842	1.00
Fase 1	Peso proprio trave	cassoncino	0	-830	1.00
Fase 2	Peso soletta	cassoncino	0	-811	1.00
Fase 3	Permanenti	trave+sol	0	-593	1.00
Fase 4	Mobili TS	trave+sol	0	-2375	1.00
Fase 4	Mobili UDL	trave+sol	0	0	1.00
Fase 5	Perdite differite	trave+sol	1627	-831	

Sez. Mezz S.L.E. Rara

	F1 prec.	F1 p.p.	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
N	-9439	0	-9439	0	-9439	0	-9439	1627	-7812	0	-7812
My	1842	-830	1012	-811	201	-593	-392	-831	-1224	-2375	-3599
$\sigma_{c,inf}$	-21.3	3.8	-17.5	3.8	-13.7	1.6	-12.1	3.5	-8.6	6.4	-2.2
$\sigma_{c,sup}$	2.0	-6.7	-4.7	-6.5	-11.2	-0.6	-11.8	0.3	-11.5	-2.5	-14.0
$\sigma_{c,sup,soletta}$						-1.2	-1.2	-0.6	-1.8	-4.9	-6.6
$\sigma_{s,soletta}$						-21.4	-21.4	-8.3	-29.8	-85.9	-115.7
$\sigma_{c,pg}$	-17.8	2.3	-15.6	2.2	-13.3	1.3	-12.1	3.0	-9.1	5.1	-4.0
$\sigma_{s,pg}$	1358.1	12.3	1370.5	12.1	1382.5	6.9	1389.4	-217.8	1171.6	27.6	1199.2
$\sigma_{s,pinf}$	1242.7	20.8	1263.5	20.3	1283.9	8.7	1292.6	-215.3	1077.2	34.9	1112.1

La sezione di calcestruzzo della trave risulta lievemente compressa anche al lembo inferiore, con una massima tensione ($\sigma_{c,inf} = -14.00$ MPa) inferiore a $0.60 \cdot f_{ck} = -27$ MPa. La tensione agente nei cavi di precompressione ($\sigma_{s,pinf} = 1112$ MPa) risulta inferiore allo $0.80 \cdot f_{p(1)k} = 1336$ MPa e quella massima registrata nell'armatura lenta di soletta ($\sigma_{s,soletta} = 116$ MPa) è inferiore a $0.8 \cdot f_{yk} = 360$ MPa.

8. Verifica della soletta

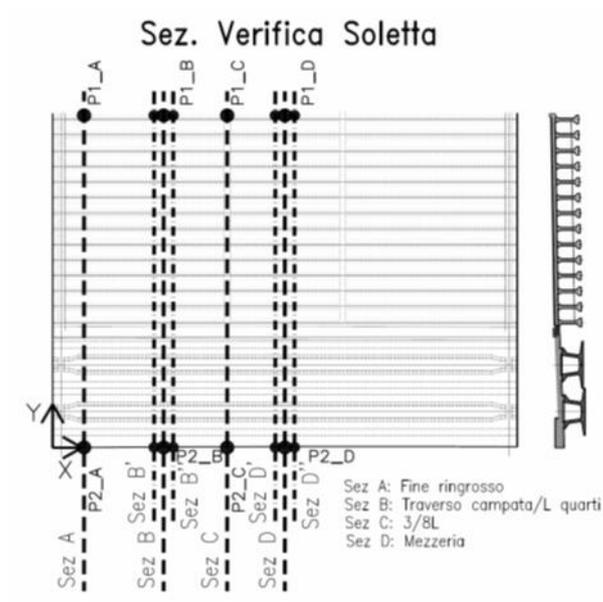
8.1 Generalità

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.

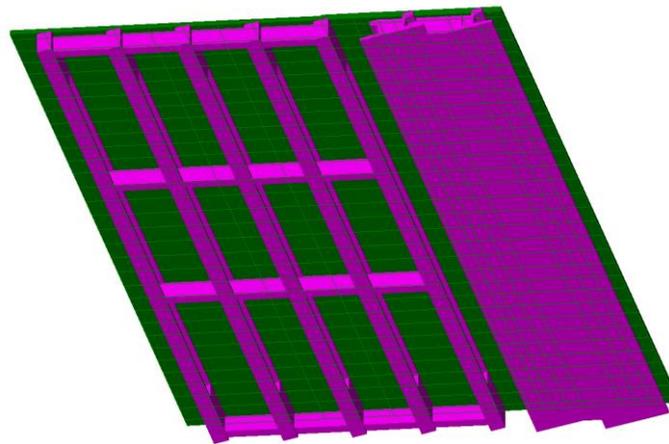
Si evidenzia che, a differenza di quanto avviene nella porzione di impalcato esistente, dove sono presenti traversi in campata ai quali compete la ripartizione dei carichi e la collaborazione tra le travi principali, nella struttura in progetto si prevedono traversi solo in asse appoggi e la ripartizione trasversale è quindi demandata, in toto, alla soletta. La soletta è pure l'unico elemento di cucitura tra l'impalcato esistente e l'allargamento.

In virtù di quanto sopra, si sono individuate sei sezioni di verifica delle sollecitazioni posizionate in metà impalcato in corrispondenza alle aree più sollecitate e in modo da cogliere le sollecitazioni sia in prossimità degli appoggi, sia in campata. La simmetria delle strutture consente di estendere i risultati all'intero impalcato.



Sezioni di verifica

Le figure seguenti riportano le configurazioni dei modelli agli elementi finiti.



Modello agli E.F. – Campata unica L_{calc}= 19.37 m

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 (-)	Ψ _{1,2} (-)	M _{SLU_VENTO} (kNm)	LE-CARATT_VENTO (kNm)			
1.5	0.6	0	0.00	0.00			

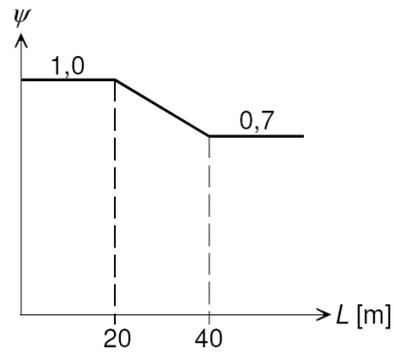
8.2.1 Effetti locali e globali

Le sollecitazioni considerate derivano dalla combinazione di quelle dedotte mediante lo studio della statica locale e globale (EN 1993-2 Annex E). Si fa riferimento all'eurocodice 3 nel quale si prevede il calcolo di un coefficiente di combinazione ψ funzione della luce del ponte da applicare alle sollecitazioni locali o globali che andranno così a sommarsi alle restanti.

La relazione che definisce il coefficiente ψ in funzione della luce della campata è riassunta nella figura seguente.

$$\sigma_{Ed} = \sigma_{loc,d} + \psi \sigma_{glob,d}$$

$$\sigma_{Ed} = \psi \sigma_{loc,d} + \sigma_{glob,d}$$

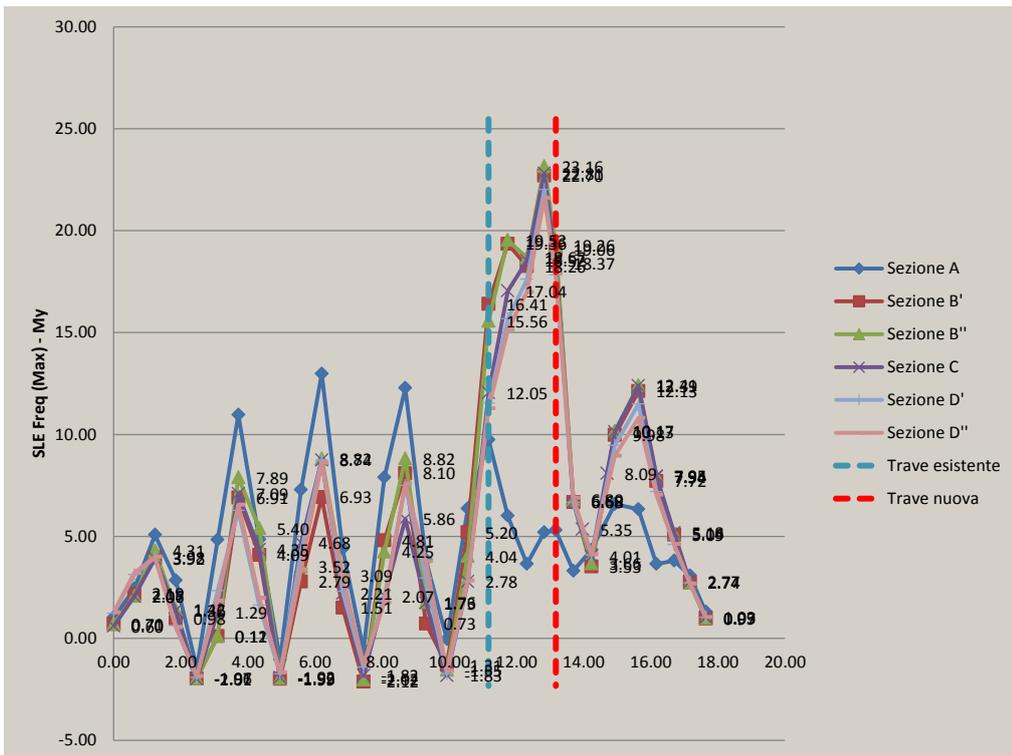
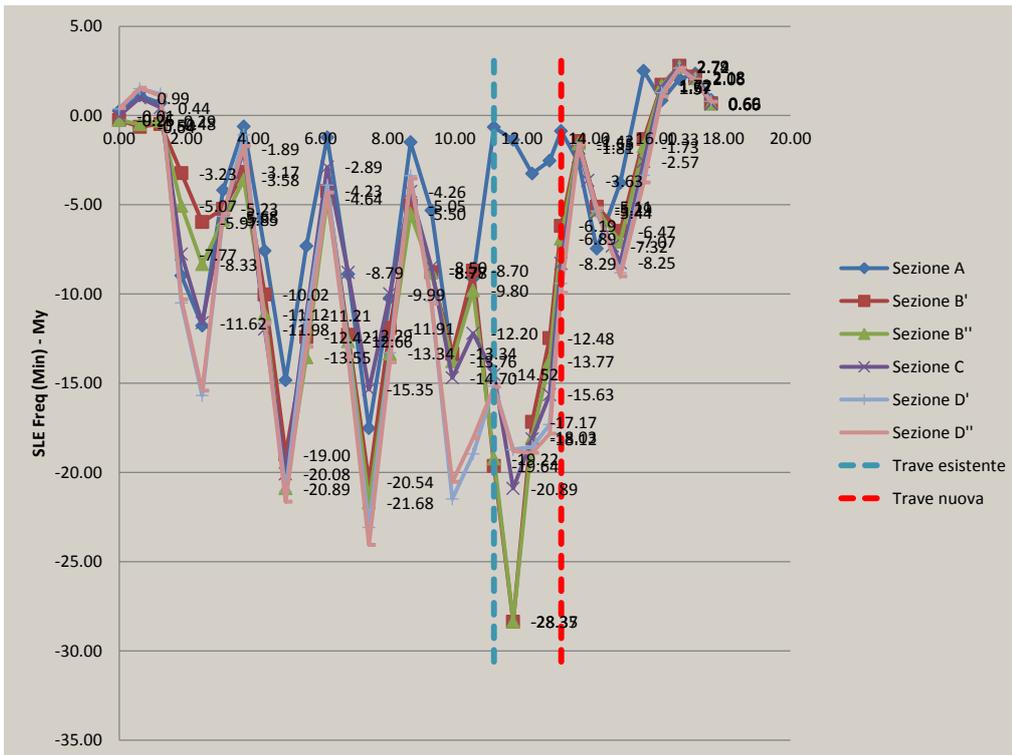


Date le luci in gioco si assume un coefficiente ψ di combinazione degli effetti unitario.

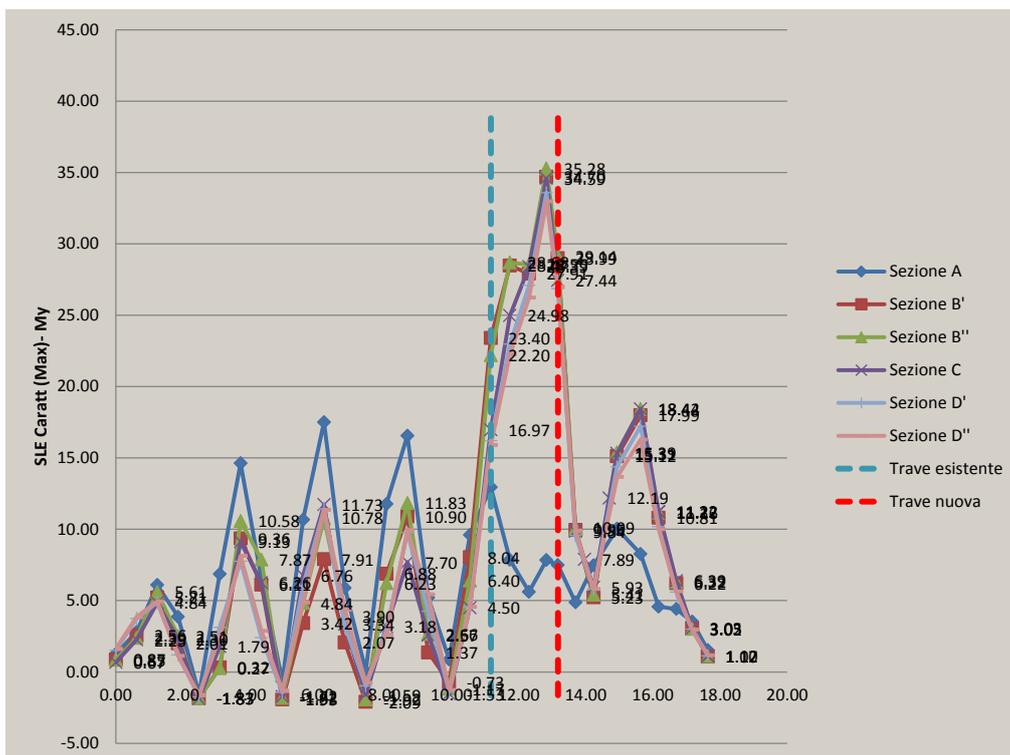
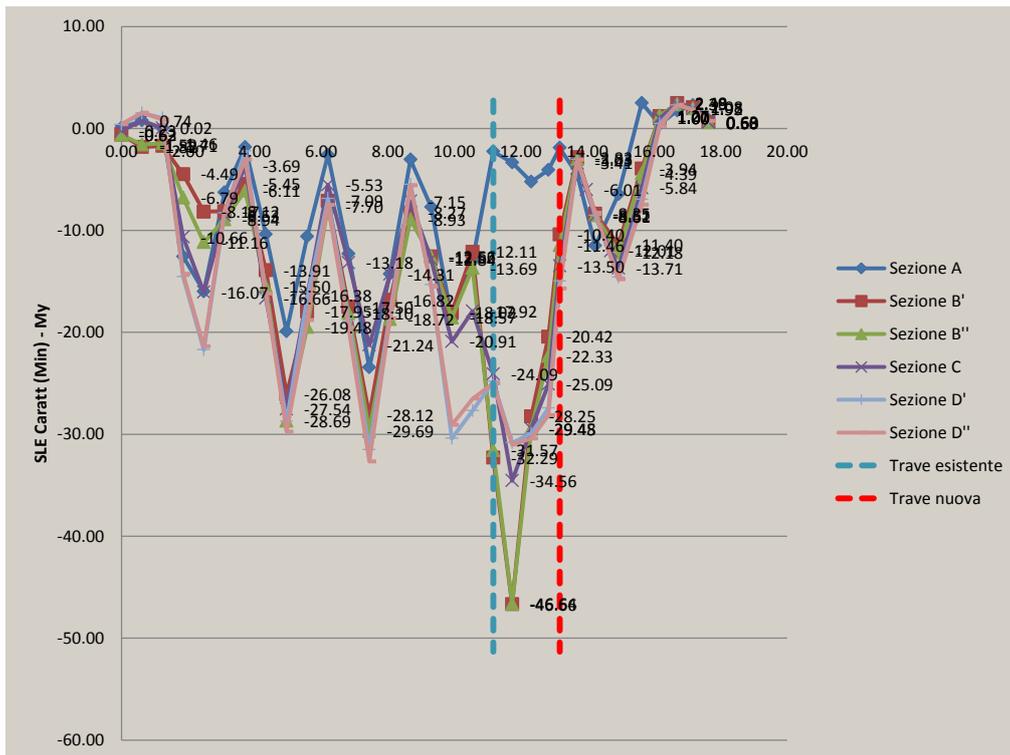
8.3 Sollecitazioni

Di seguito si riportano gli involuipi per $M_{y,max/min}$ (trasversale), e $S_{y,max/min}$ (trasversale) 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.

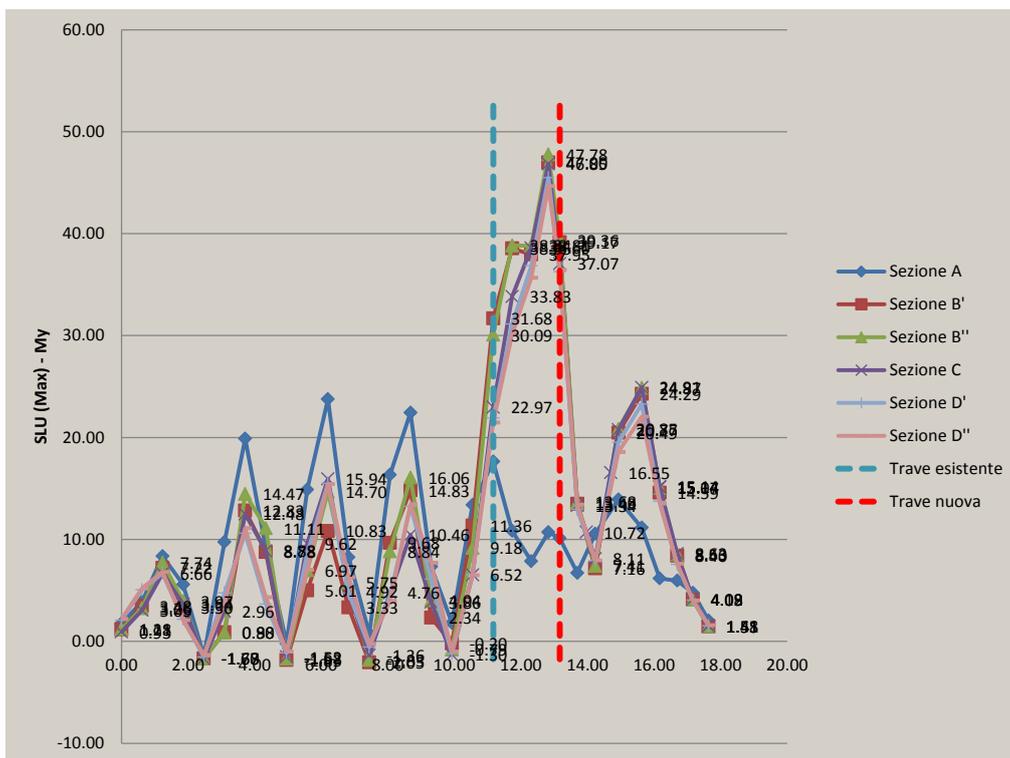
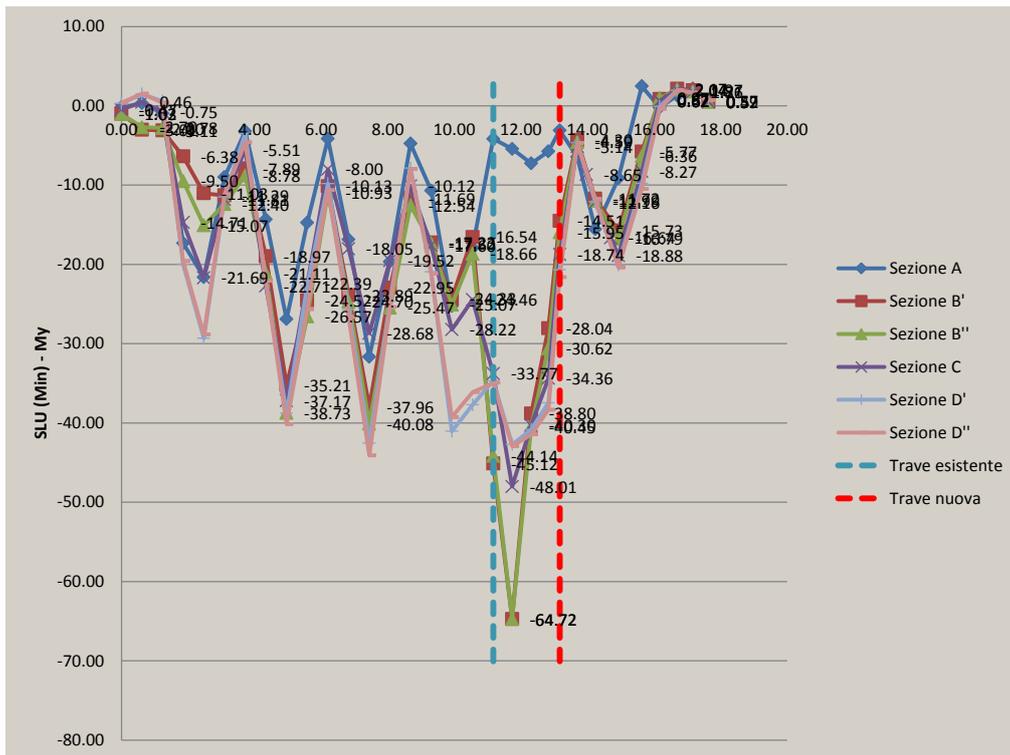
S.L.E. frequente – momenti trasversali



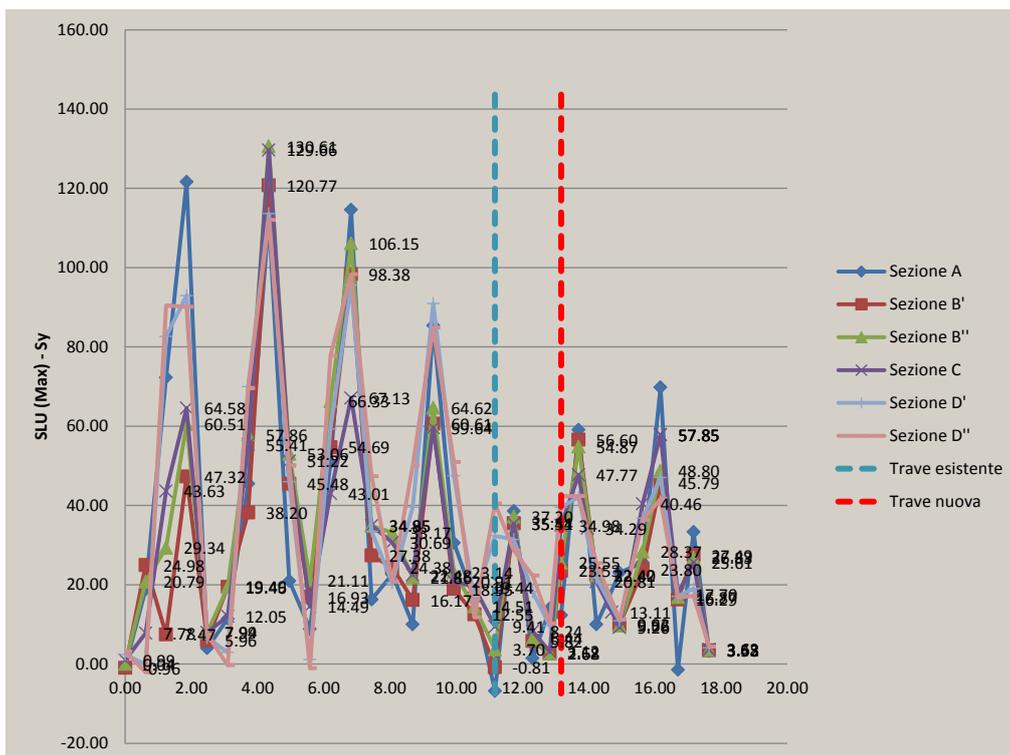
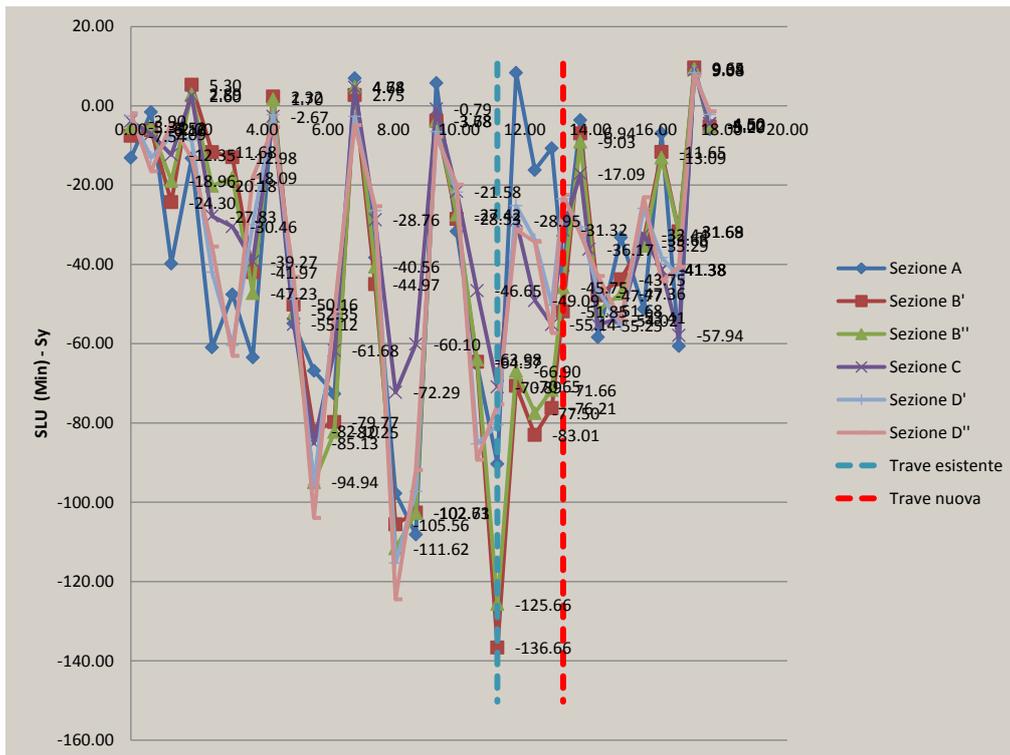
S.L.E. caratteristica – momenti trasversali



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 trasversali

Soletta Esistente				
Armatura lenta		Trefoli precompressi		
Armatura esistente		Armatura esistente		Aggiuntiva sup.
Sup	Inf	Sup	Inf	Sup
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
2.9Φ8/m	2.9Φ8/m	3.26Φ0.5"/m	3.98Φ0.5"/m	–

Soletta nuova - sutura							
Armatura							
Sez. Sutura		Soletta Connessione		Soletta Nuova		Soletta Sbalzo	
Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Φ 24/40	Φ 24/40	Φ 16/20	Φ 16/20	Φ 14/20	Φ 14/20	Φ 14/20	Φ 14/20

8.4.2 Risultati

Sollecitazioni rispetto al sistema di riferimento locale delle armature:

Sollecitazioni di verifica

Sollecitazione Max/Min - SLEFreq (Min) - My					
Minimo					
	Sol. Esistente (kNm/m)	Sez. Sutura (kNm/m)	Soletta di connessione (kNm/m)	Sol. Nuova (kNm/m)	Sol. Sbalzo (kNm/m)
	-30.40	-20.26	-19.11	-9.66	0.70
σ_s (Mpa)	-	-	120	78	-
σ_c (Mpa)	-	-	3.6	2.1	-
w_k (mm)	-	-	0	0	-

Sollecitazione Max/Min - SLEFreq (Max) - My					
Massimo					
	Sol. Esistente (kNm/m)	Sez. Sutura (kNm/m)	Soletta di connessione (kNm/m)	Sol. Nuova (kNm/m)	Sol. Sbalzo (kNm/m)
	20.93	20.00	24.81	13.30	5.55
σ_s (Mpa)	-	-	120	82	-
σ_c (Mpa)	-	-	3.7	2.2	-
w_k (mm)	-	-	0	0	-

Sollecitazione Max/Min - SLECaratt (Min) - My					
Minimo					
	Sol. Esistente (kNm/m)	Sez. Sutura (kNm/m)	Soletta di connessione (kNm/m)	Sol. Nuova (kNm/m)	Sol. Sbalzo (kNm/m)
	-50.00	-32.60	-30.14	-15.87	0.62
σ_s (Mpa)	-	-	189	129	-
σ_c (Mpa)	-	-	5.7	3.4	-
w_k (mm)	-	-	-	-	-

Sollecitazione Max/Min - SLECaratt (Max) - My					
Massimo					
	Sol. Esistente (kNm/m)	Sez. Sutura (kNm/m)	Soletta di connessione (kNm/m)	Sol. Nuova (kNm/m)	Sol. Sbalzo (kNm/m)
	30.74	30.60	37.80	19.76	6.85
σ_s (Mpa)	-	-	184	122	-
σ_c (Mpa)	-	-	5.6	3.3	-
w_k (mm)	-	-	-	-	-

Sollecitazione Max/Min - SLU (Min) - My					
Minimo					
	Sol. Esistente (kNm/m)	Sez. Sutura (kNm/m)	Soletta di connessione (kNm/m)	Sol. Nuova (kNm/m)	Sol. Sbalzo (kNm/m)
	-69.36	-44.42	-41.08	-21.86	0.53
c.s. (-)	1.1	1.46	1.59	2.38	-

Sollecitazione Max/Min - SLU (Max) - My					
Massimo					
	Sol. Esistente (kNm/m)	Sez. Sutura (kNm/m)	Soletta di connessione (kNm/m)	Sol. Nuova (kNm/m)	Sol. Sbalzo (kNm/m)
	41.62	41.59	51.20	26.70	9.24
c.s. (-)	1.55	1.56	1.95	2.97	-

Sollecitazione Max/Min - SLU (Min) - Sy					
Minimo					
	Sol. Esistente (kNm/m)	Sez. Sutura (kNm/m)	Soletta di connessione (kNm/m)	Sol. Nuova (kNm/m)	Sol. Sbalzo (kNm/m)
	-141.47	-85.93	-78.90	-60.38	-62.73
c.s. (-)	1.23	1.37	1.49	1.79	1.73

Sollecitazione Max/Min - SLU (Max) - Sy					
Massimo					
	Sol. Esistente (kNm/m)	Sez. Sutura (kNm/m)	Soletta di connessione (kNm/m)	Sol. Nuova (kNm/m)	Sol. Sbalzo (kNm/m)
	135.20	23.11	43.79	72.27	34.51
c.s. (-)	1.28	5.11	2.68	1.49	3.11

Nelle verifiche si è preso in conto l'effetto della rotazione delle armature nel piano rispetto all'asse delle travi principali.

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.

Azioni verticali massime agenti sugli appoggi:

	Fz (Max)				
	Nodo (-)	SLECaratt-Reaz (kN)	SLEFreq-Reaz (kN)	SLU-Reaz (kN)	SLUFreq-Reaz (kN)
Imp. nuovo	100	1262	994	1704	1341
	133	828	685	1117	924
	242	1055	819	1424	1105
	275	1197	926	1615	1250
Impalcato esistente	380	808	663	1091	895
	472	659	546	889	737
	478	765	635	1033	857
	632	585	486	790	656
	708	794	648	1071	874
	800	697	584	941	788
	872	964	765	1301	1033
	964	925	736	1248	994
	970	717	588	968	794
	1124	755	616	1020	831
Massima Azione verticale Impalcato nuovo					
	SLECaratt-Reaz (kN)	SLEFreq-Reaz (kN)	SLU-Reaz (kN)	SLUFreq-Reaz (kN)	
	1262	994	1704	1341	
Massima Azione verticale Impalcato esistente					
	SLECaratt-Reaz (kN)	SLEFreq-Reaz (kN)	SLU-Reaz (kN)	SLUFreq-Reaz (kN)	
	964	765	1301	1033	