

autostrade // per l'italia

AUTOSTRADA (A13) : BOLOGNA-PADOVA

TRATTO: BOLOGNA – FERRARA

AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA
TRATTO: BOLOGNA ARCOVEGGIO – FERRARA SUD

PROGETTO DEFINITIVO

AU – CORPO AUTOSTRADALE

OPERE D'ARTE MAGGIORI

OP. N°158 – AMPLIAMENTO PONTE FIUME RENO km 26+398

RELAZIONE DI CALCOLO DELL'IMPALCATO

<p>IL PROGETTISTA SPECIALISTICO</p> <p>Ing. Lucio Ferretti Torricelli Ord. Ingg. Brescia N.2188 RESPONSABILE STRUTTURE</p>	<p>IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</p> <p>Ing. Federica Ferrari Ord. Ingg. Milano N. 21082</p>	<p>IL DIRETTORE TECNICO</p> <p>Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496 PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI</p>
--	---	---

CODICE IDENTIFICATIVO														Ordinatore:
RIFERIMENTO PROGETTO				RIFERIMENTO DIRETTORIO					RIFERIMENTO ELABORATO					00
Codice	Commessa	Lotto, Sub-Prog, Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	tipologia	WBS progressivo	PARTE D'OPERA			Tip.	Disciplina	Progressivo	
1	1	1306	00001	P	D	00000	00000	000000	000000	0	STR	0180	--	
														SCALA: -

 <p>gruppo Atlantia</p>	PROJECT MANAGER:				SUPPORTO SPECIALISTICO:				REVISIONE	
	Ing. Federica Ferrari Ord. Ingg. Milano N. 21082								n.	data
	REDATTO:				VERIFICATO:				0	NOVEMBRE 2016
	-				-				1	-
	-				-				2	-
-				-				3	-	
-				-				4	-	

	<p>VISTO DEL COMMITTENTE</p> <p>autostrade // per l'italia</p> <p>IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Antonio Tosi</p>	<p>VISTO DEL CONCEDENTE</p>  <p>Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</p>
--	---	---

**Autostrada A13
Bologna - Padova**

**Progetto Definitivo
Ampliamento alla terza corsia
Tronco: Bologna - Ferrara
Opere d'arte maggiori**

Viadotto Reno

Ampliamento impalcato: Relazione di calcolo

INDICE

1.	Introduzione	4
1.1	Dati di base	5
1.2	Descrizione generale dell'opera	6
1.2.1	Storia	6
1.2.2	Descrizione dell'opera	6
1.2.3	Schema statico	8
1.2.4	Impalcato	8
1.3	Normative di riferimento	9
1.4	Condizioni ambientali e classi di esposizione	10
1.5	Caratteristiche materiali	10
1.5.1	Tensioni limite e proprietà di riferimento - Allargamento	10
1.5.2	Tensioni limite e proprietà di riferimento – Impalcato esistente	11
1.5.3	Coefficienti parziali di sicurezza	13
1.6	Software di calcolo	13
1.7	Convenzioni generali	14
2.	Impostazione delle analisi e delle verifiche	15
2.1	Analisi della struttura	15
2.2	Studio interazione impalcato/sottostrutture	16
2.3	Caratteristiche delle sezioni dell'impalcato	16
2.3.1	Impalcato esistente	16
2.3.2	Impalcato nuovo in allargamento	18
3.	Analisi dei carichi	21
3.1	Carichi Permanenti	21
3.1.1	Pesi propri (G_{k1})	21
3.1.2	Sovraccarichi permanenti (G_{k2})	21
3.2	Carichi Variabili	21
3.2.1	Temperatura (Q_k)	22
3.2.2	Ritiro (Q_k)	22
3.2.1	Vento (Q_k)	22
3.2.2	Traffico (Q_k)	22
4.	Combinazioni di carico	25
4.1	Combinazioni per gli S.L.U. – STR	25
4.2	Combinazioni per gli S.L.E. RARA	26
4.3	Combinazioni per gli S.L.E. FREQUENTE	26

4.4	Combinazioni per gli S.L.E. QUASI PERMANENTE	26
5.	Analisi strutturale impalcato	27
5.1	Generalità	27
5.2	Sollecitazioni	27
5.2.1	Sollecitazioni massime sull'impalcato esistente agli SLU	28
5.2.2	Sollecitazioni massime sull'impalcato nuovo in allargamento agli SLU	30
5.2.3	Sollecitazioni massime sui traversi esistenti agli SLU	32
5.2.4	Sollecitazioni massime sui traversi nuovi agli SLU	34
5.2.5	Sollecitazioni dimensionanti per fenomeni di fatica	36
6.	Verifiche delle travi principali e dei traversi	40
6.1	Generalità sul Calcestruzzo	40
6.2	Generalità sull'Acciaio	41
6.3	Verifiche di resistenza S.L.U. per azioni flettenti	42
6.3.1	Impalcato esistente	42
6.3.2	Impalcato nuovo in allargamento	44
6.4	Verifiche di resistenza S.L.U. per azioni taglianti	47
6.4.1	Impalcato esistente	47
6.4.2	Traversi esistenti	52
6.4.3	Impalcato nuovo in allargamento	53
6.5	Verifiche travi a fatica	55
7.	Verifica della soletta	58
7.1	Generalità	58
7.2	Carichi e combinazioni di carico	59
7.3	Sollecitazioni	59
7.3.1	Stati Limite Ultimi	59
7.3.2	Tabella Riassuntiva delle Sollecitazioni sulla Soletta agli SLU	65
7.3.3	Stati Limite di Esercizio – Combinazione Rara	66
7.3.4	Tabella Riassuntiva delle Sollecitazioni sulla Soletta agli SLE	69
7.4	Risultati di verifica della soletta	69
7.4.1	Verifiche agli SLU	69
7.4.2	Verifiche agli SLE	77
8.	Inghisaggio	80
9.	Azioni sugli appoggi	81

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, in accordo alle disposizioni contenute nelle NTC 2008 e circolari successive.

L'impianto originario dell'autostrada risale agli 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.

Il presente elaborato riporta i calcoli relativi alla verifica della porzione di impalcato esistente e il dimensionamento della porzione in allargamento per l'opera in oggetto (prog. Km 26+398).



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.

Documenti progettuali originali:

- Impalcato in cemento armato precompresso del ponte sul Fiume Reno: Calcoli statici (novembre 1963)
- Ponte sul Fiume Reno: Relazione di calcolo Pile-Spalle e fondazioni relative (6 giugno 1964)
- Collaudo del ponte sul Fiume Reno (6 febbraio 1967)
- Elaborato grafico progettuale opera singolare n. 175, contenente le carpenterie e le armature del manufatto (disegno n. 102, allegato n. 5 al libretto delle misure n. 3)

Documenti concernenti adeguamento funzionale successivo perfezionato negli anni '80:

- Ristrutturazione impalcato: Demolizioni (disegno n. 117, allegato n. 14 al libretto delle misure n. 1)
- Ristrutturazione impalcato: Sollevamenti e appoggi (disegno n. 117, allegato n. 15 al libretto delle misure n. 1)
- Ristrutturazione impalcato: Carpenterie (disegno n. 117, allegato n. 17 al libretto delle misure n. 1)
- Ristrutturazione impalcato: Armature metalliche (disegno n. 117, allegato n. 18 al libretto delle misure n. 1)
- Ristrutturazione impalcato: Adeguamento geometrico della sede (disegno n. 117, allegato n. 19 al libretto delle misure n. 1)

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

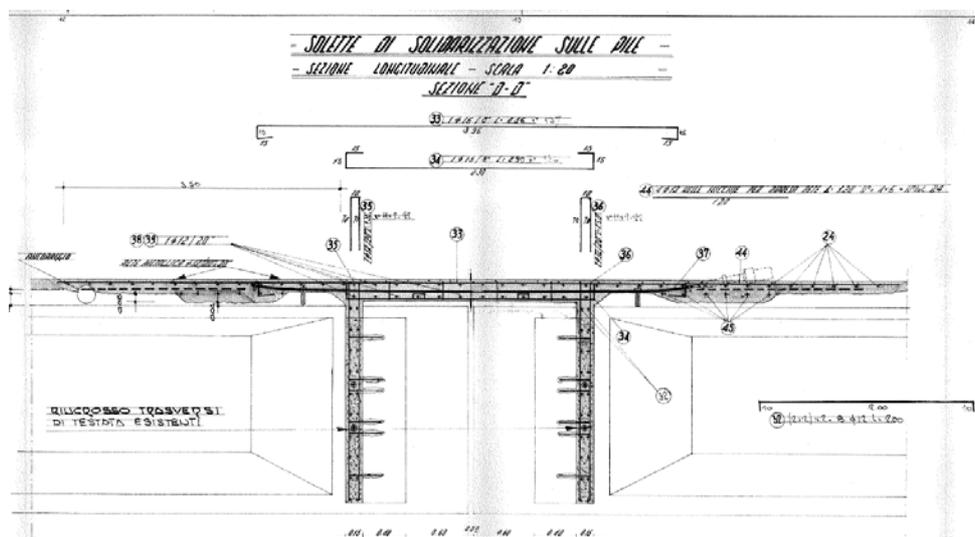
Gli elaborati di progetto originale degli anni '60 forniscono adeguate specifiche circa le caratteristiche delle parti in opera realizzate in termini di carpenterie, armature e caratteristiche dei materiali, nonché pertanto circa le relative prestazioni statiche garantire. L'assenza di disegni di armatura e di calcoli statici di dimensionamento non fornisce informazioni altrettanto esaustive in merito alle travi prefabbricate posate in opera nel corso dell'adeguamento realizzato negli anni '80: per i dimensionamento effettuati nel presente documento, per esse si assumono prestazioni statiche non inferiori a quelle proprie delle travi di progetto originale; per i futuri livelli del presente processo progettuale (Progetto Esecutivo) ci si riserva di procedere ad ulteriori indagini atte a meglio qualificare le membrature in oggetto.

1.2 Descrizione generale dell'opera

1.2.1 Storia

Il progetto originario (anni '60) ha previsto la costruzione di un ponte costituito da 12 campate scollegate e in semplice appoggio sulle pile. Ogni campata era costituita da un unico impalcato ospitante entrambe le vie di corsa, con 7 travi in CAP collegate da 4 traversi (2 agli appoggi e 2 in campata).

Nel successivo intervento di adeguamento funzionale (anni '80) si è scelto di dividere longitudinalmente gli impalcati, demolendo la trave centrale, aggiungendo due nuove travi in CAP laterali ed allungando i traversi esistenti, realizzando in questo modo due impalcati indipendenti (uno per ciascuna via di corsa), ciascuno sorretto da 4 travi. Contestualmente si è scelto di costruire una soletta di solidarizzazione sulle pile per mettere in continuità longitudinale gli impalcati (vedi figura seguente), escludendo solo la pila n.5, nella quale è stato preservato il preesistente giunto; si è altresì proceduto all'ispessimento della sezione corrente di soletta e ad un ispessimento dei traversi.



Dettagli soletta di solidarizzazione in corrispondenza delle pile

L'intervento oggetto di questa relazione ha come scopo l'ampliamento da ambo le parti di ciascuna carreggiata, con allargamento dell'impalcato da realizzarsi utilizzando travi in acciaio.

Data la simmetria del problema, nei dimensionamenti proposti nel presente documento viene considerata una sola carreggiata.

1.2.2 Descrizione dell'opera

Le campate sono uguali tra loro e hanno luce di calcolo pari a 30,95 m e lunghezza di 32,65 m.

La larghezza complessiva della piattaforma di progetto in sezione trasversale è pari a 16,5 m circa per ciascuna carreggiata, dovuta all'ampliamento di 4,75 m (lato esterno) e 1,77 m (lato interno) dell'attuale piattaforma di 10,2 m, oltre a cordoli ed eventuali marciapiedi.

Il manufatto si compone di impalcati realizzati mediante travi prefabbricate affiancate di altezza 1.95 m ed interasse 2.70 m, tutte sostenute alle estremità da isolatori in elastimerico armato. Le spalle e le pile sono costituite da monoliti in calcestruzzo armato.

L'intervento di ampliamento, conseguenza della realizzazione per ciascuna carreggiata della terza corsia autostradale, consiste in un allargamento delle estremità dell'impalcato esistente di 4,75 metri per parte, attraverso la realizzazione di nuove porzioni di impalcato, affiancate a quelli esistenti, costituite da due travi in acciaio di altezza 1,90 m. Inoltre viene aggiunto uno sbalzo di larghezza 1,77 m sul lato interno, demolendo il cordolo esistente e aggiungendo una trave in acciaio, a supporto del nuovo cordolo, di altezza 1,90 m.

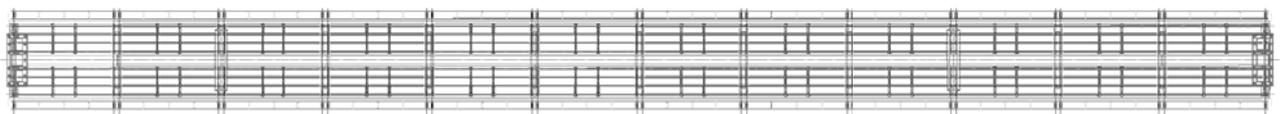
Le nuove porzioni di impalcato si realizzano con travi in acciaio a sezione aperta solidarizzate con traversi in acciaio.

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 rigidezza flessionale longitudinale dell'assieme trave-soletta prossima (e comunque non inferiore) a quella dell'impalcato esistente.

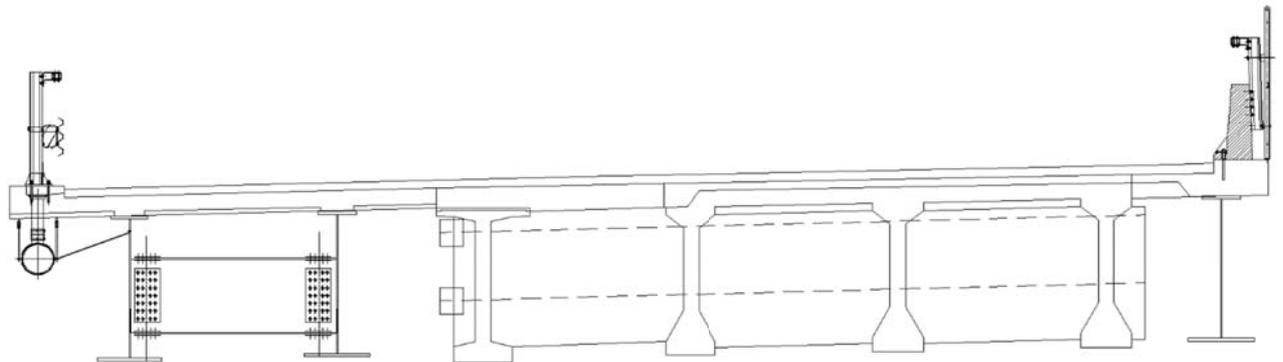
Nelle figure seguenti viene illustrata la geometria dell'opera. Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici dedicati.



Profilo Longitudinale



Pianta impalcato di progetto



Sezione trasversale di progetto

1.2.3 Schema statico

Le analisi vedono la simulazione della reale geometria tridimensionale e della rigidità della struttura, attraverso l'utilizzo di elementi tipo "beam" per le travi e i traversi ed elementi bidimensionali tipo "shell" per la soletta, oltre all'adozione di moduli elastici dei materiali differenti tra le strutture esistenti e quelle nuove.

Per indagare al meglio le sollecitazioni insorgenti sulla soletta di solidarizzazione in corrispondenza delle pile e la sua eventuale funzione di vincolo tra le porzioni di impalcato si è deciso di modellare due campate longitudinalmente collegate dalla porzione di soletta in oggetto.

In merito alle azioni sugli appoggi, la scelta progettuale vede il dimensionamento degli apparecchi con riferimento a tutte le combinazioni di verifica statiche e sismiche di normativa.

Per la trattazione delle elevazioni (spalle e pile) e delle fondazioni si rimanda alle relazioni di calcolo dedicate.

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 (in quanto di pertinenza) di volta in volta indagati sulle singole sezioni.

1.2.4 Impalcato

Il manufatto nel suo insieme è costituito da dodici campate uguali tra loro.

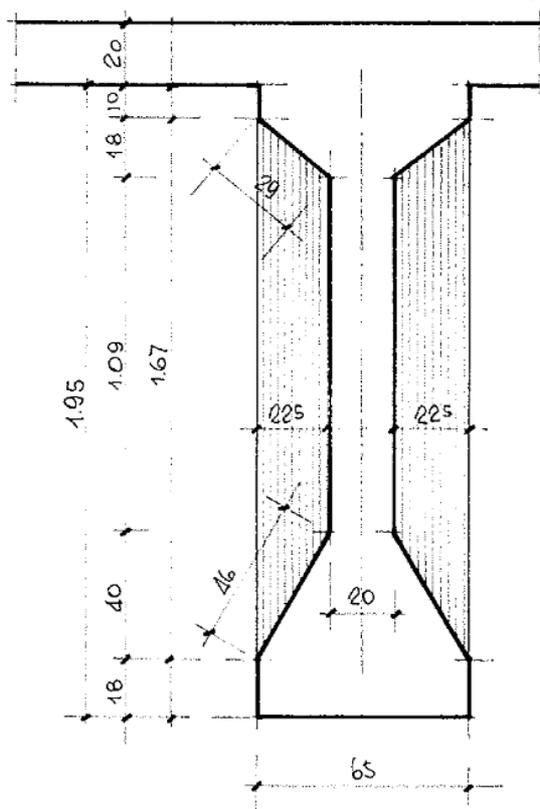
Ogni campata si compone attualmente di 8 travi prefabbricate con sezione a "I" di altezza $H = 1.95$ m e interasse $i = 2.70$ m; la soletta è realizzata con predalles prefabbricate di spessore 0.06 m e getto in opera a realizzare uno spessore complessivo strutturale di 0.30 m. Sono presenti quattro traversi di cui due in asse appoggi. L'allargamento di 4,75 m in progetto vede l'affiancamento e solidarizzazione di due travi con elementi saldati in acciaio, per un'altezza complessiva di $H_{TRAVE} = 1.90$ m. L'allargamento di 1.77 m in progetto vede un'unica trave in acciaio, per un'altezza complessiva di $H_{TRAVE} = 1.90$ 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 sovrappessore 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 pari a 4.75 m oltre cordoli/marciapiedi, ha spessore costante pari a complessivi 0.26 m, di cui 0.06 m di predalles.

Geometria delle travi esistenti originarie:



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

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_{cd}	f_{ctm}	E_{cm}
Soletta e traversi	C35/45	35	45	19,8	3.21	34000
Coppelle	C35/45	35	45	19,8	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 per i profili saldati

Nome	S355 J0W	Fe510	
f_{tk}	510 Mpa	Tensione di rottura	
f_{yk}	355 MPa	Tensione caratteristica di rottura	
f_{yd}	338 MPa	Tensione massima per il calcolo a rottura	
E_s	210000 MPa	Modulo di Young	

Acciaio per pioli Nelson

Tipo	Fe510		
f_{uk}	450 Mpa	Tensione di rottura caratteristica	

f_{yk}	350 MPa	Tensione di snervamento caratteristica
f_{yd}	304 MPa	Tensione di snervamento di progetto
E_s	210000 MPa	Modulo di Young

Bulloni

Tipo	10.9	
f_{yb}	900 MPa	Tensione di snervamento
f_{tb}	1000 MPa	Tensione di rottura
$f_{d,N}$	700 MPa	Tensione di progetto assiale
$f_{d,V}$	495 MPa	Tensione di progetto a taglio
E_s	210000 MPa	Modulo di Young

1.5.2 Tensioni limite e proprietà di riferimento – Impalcato esistente

Di seguito le informazioni tratte dai documenti progettuali di archivio.

Travi prefabbricate:

MATERIALI E SOLLECITAZIONI

Si prevede per il calcestruzzo all'atto della messa in coazione degli elementi prefabbricati una resistenza cubica minima di 414 kg/cm^2 .

La sollecitazione unitaria massima di compressione ammessa risulta quindi di

$$414 \times 0.42 = 174 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$475 \times 0.32 = 152 \text{ kg/cm}^2$$

I valori effettivi corrispondenti sono di 121,5 per le travi e di 137,5 per le solette.

b) Acciaio per la precompressione

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

Esso viene impiegato 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 impiegato al carico di lavoro di 2200 kg/cm^2 .

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, operando comunque in via cautelativa.

Travi originarie

R_{ck} (MPa)	f_{ck} (MPa)	Classe equivalente (MPa)
47.50	39.42	C35/45

Trave aggiuntiva

$R_{c,corr}$ (MPa)	$f_{c,corr}$ (MPa)	$\Delta(f_{cm}-f_{ck})$ (MPa)	f_{ck} (MPa)	Classe equivalente (MPa)
84.93	70.49	8	62.49	C35/45

Soletta

$R_{cm,lab}$ (MPa)	$f_{c,corr}$ (MPa)	$\Delta(f_{cm}-f_{ck})$ (MPa)	f_{ck} (MPa)	Classe equivalente (MPa)
64.85	53.82	8	45.82	C35/45

Relativamente all'armatura nella relazione di calcolo si dichiara una tensione di snervamento delle medesime barre - ad aderenza migliorata - pari a $f_{yk} = 440$ MPa.

Nelle analisi effettuate, a favore di sicurezza, si assumerà un riferimento più cautelativo.

Acciaio in barre per c.a. Tipo Omogeneo (Utilizzato in analisi)

tipo	Omogeneo	
f_{yk}	380 MPa	Snervamento
f_{tk}	- MPa	Rottura a trazione
E_s	210000 MPa	Modulo di Young

Acciaio da precompressione (fili adetenti)

Tipo trefoli	1/2"	
$A_{trefolo}$	92.9 mm ²	area
f_{ptk}	1800 MPa	Tensione caratteristica di rottura
$f_{p(1)k}$	1350 MPa	Tensione caratteristica all'1% di deformazione
f_{yd}	1174 MPa	Tensione massima per il calcolo a rottura
E_s	190000 MPa	Modulo di Young

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, per pioli Nelson e bulloni

γ_s	1.15	resistenza S.L.U.
------------	------	-------------------

riferimenti:

EN 1992-1-1 /NTC 2008

Acciaio per profili saldati

γ_s	1.05	resistenza S.L.U.
------------	------	-------------------

1.6 Software di calcolo

Per l'analisi strutturale dell'impalcato si adotta il metodo degli elementi finiti; si utilizza, a tale fine, il pacchetto software denominato "Straus7".

Per le verifiche delle sezioni miste in calcestruzzo armato e acciaio si svolgono calcoli manuali condotti eventualmente con l'ausilio di fogli di calcolo elettronici, mentre per le strutture in c.a. si utilizza il 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.

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 acciaio 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.

Per l'analisi è stato creato un singolo modello con due campate al fine di studiare le sollecitazioni sul singolo impalcato, le sollecitazioni sulla soletta ed un'eventuale interazione tra i due elementi a livello della porzione di soletta in corrispondenza delle pile.

Il manufatto è rettilineo per tutto il suo sviluppo.

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 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.

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 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 l'introduzione di elementi beam rigidi che collegano puntualmente la soletta a travi e traversi (ove effettivamente collegati).

Detti elementi shell (soletta) hanno caratteristiche isotrope e sono in grado di agire, secondo la loro reale rigidezza, 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'assieme trave-soletta collaborante.

Le sollecitazioni flettenti, agenti sull'assieme "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 lunghezza degli elementi irrigidenti, pari alla distanza tra i baricentri di trave e soletta. L'azione tagliante significativa è invece quella afferente all'elemento beam in oggetto.

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.

In conclusione, la modellazione implementata consente di individuare le 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.

2.2 Studio interazione impalcato/sottostrutture

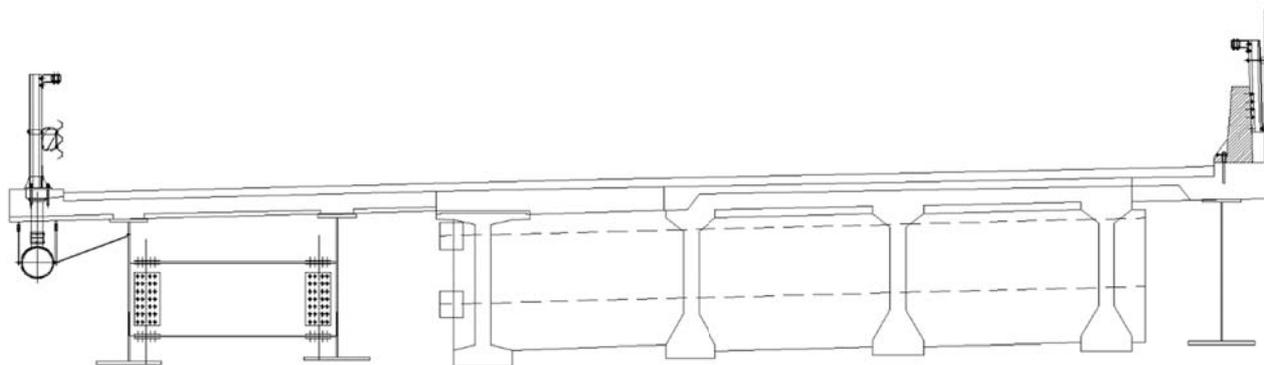
Come anticipato nei capitoli precedenti, lo schema statico caratterizzante la struttura consente di implementare analisi separate per i singoli impalcati e per le sottostrutture, a partire dalla quota dei baggioli verso le fondazioni.

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 si rimanda alle relazioni dedicate.

2.3 Caratteristiche delle sezioni dell'impalcato

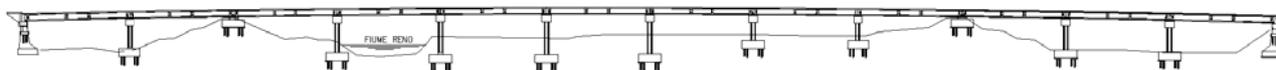
L'opera presenta dodici campate di luce (interasse appoggi) pari a $L = 30,95$ m.



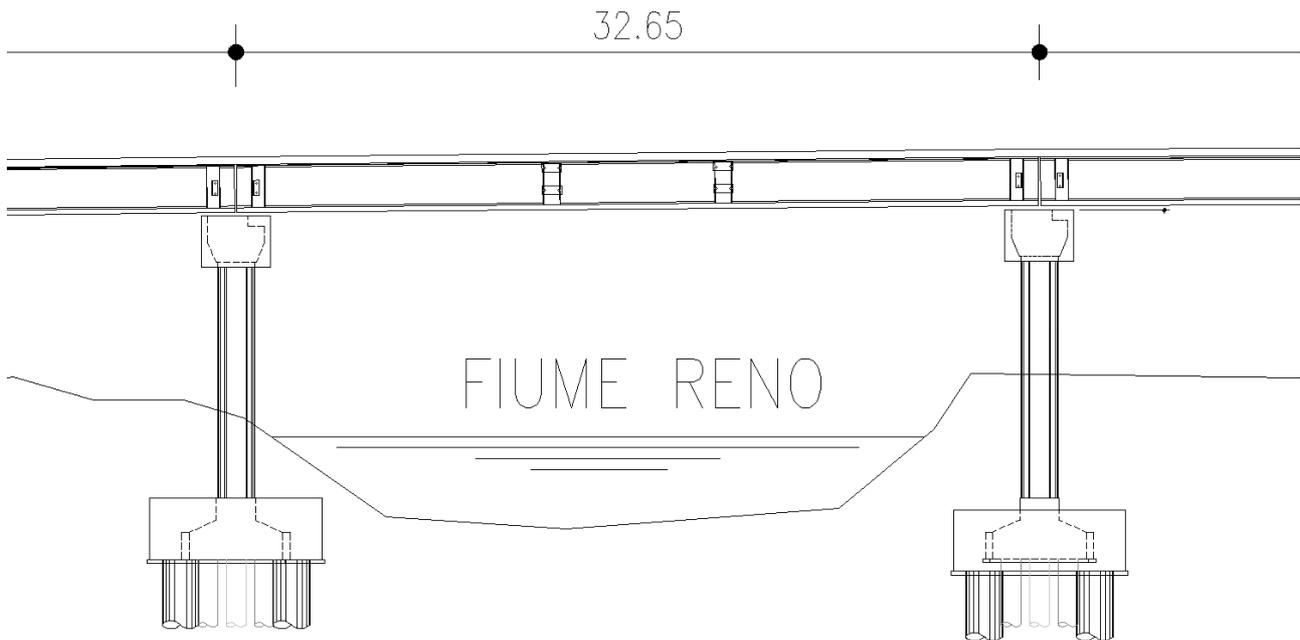
Sezione trasversale di progetto

2.3.1 Impalcato esistente

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



Sezione longitudinale impalcato esistente



Sezione longitudinale Campata Tipo

Le campate non sono tra loro indipendenti e la continuità del piano viario è garantita dalla presenza della soletta di solidarizzazione in corrispondenza delle pile.

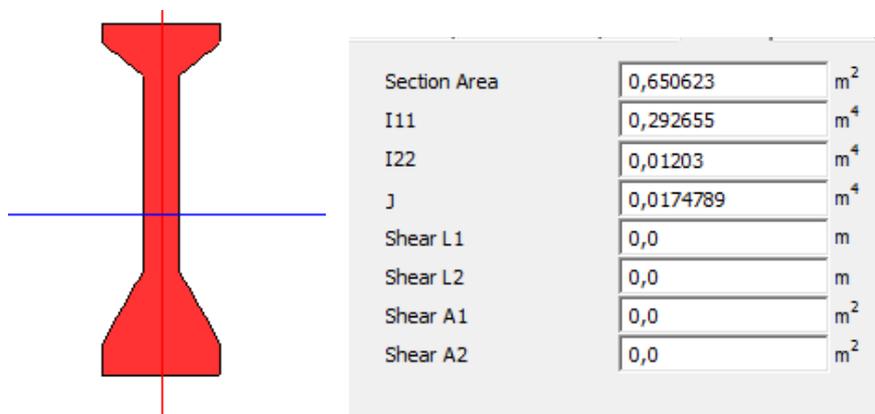
2.3.1.1 Caratteristiche geometriche delle travi e dei traversi

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

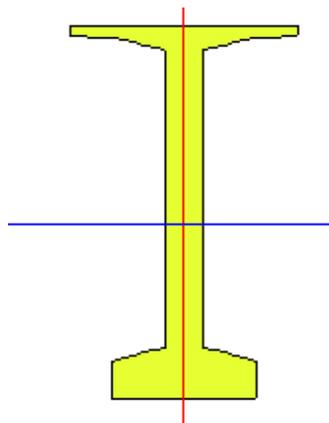
Nelle tabelle seguenti estratte dal database del software agli E.F. le unità di misura utilizzate sono il m, il m², il m³ e il m⁴.

Trave principale:

Le travi in CAP originali presentano un ringrosso fino a 1.30 m dall'asse appoggi:



La trave aggiuntiva presenta sezione filante:



Section Area	0,607579	m ²
I11	0,298619	m ⁴
I22	0,0185119	m ⁴
J	0,00876907	m ⁴
Shear L1	0,0	m
Shear L2	0,0	m
Shear A1	0,0	m ²
Shear A2	0,0	m ²

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.

I traversi nella porzione di impalcato originaria misurano 0.55x1.75 agli appoggi e 0.7x1.75 in campata.

I traversi nella porzione di impalcato aggiuntiva misurano 0.55x1.80 agli appoggi e 0.7x1.80 in campata

2.3.2 Impalcato nuovo in allargamento

Il progetto del nuovo impalcato è stato eseguito in ripristino di rigidità, quindi cercando di mantenere le stesse caratteristiche inerziali dell’impalcato esistente; perciò alcune sezioni progettate, al momento della verifica, potranno risultare ampiamente verificate.

Il nuovo impalcato in allargamento è costituito da due travi per carreggiata solidarizzate da traversi collegati con bullonatura. Sulle ali superiori delle travi sono presenti pioli di tipo Nelson per impedire lo scorrimento fra trave e soletta.

Dove necessario sono state aggiunte piastre per irrigidire l’anima della trave.

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

Le campate non sono tra loro indipendenti e la continuità del piano viario è garantita dalla presenza della soletta di solidarizzazione in corrispondenza delle pile.

2.3.2.1 Caratteristiche geometriche delle travi e dei traversi

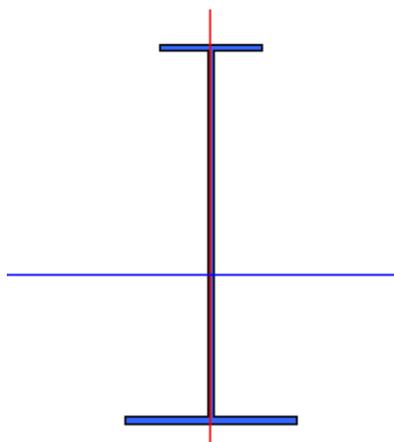
Le analisi vengono implementate assumendo le sezioni lorde degli elementi strutturali principali e secondari al netto della soletta che, nelle fasi in cui risulta attiva, è simulata dall’effetto flessionale e membranale degli elementi tipo “shell”.

Le caratteristiche inerziali delle sezioni resistenti sono calcolate in automatico dal programma agli EF.

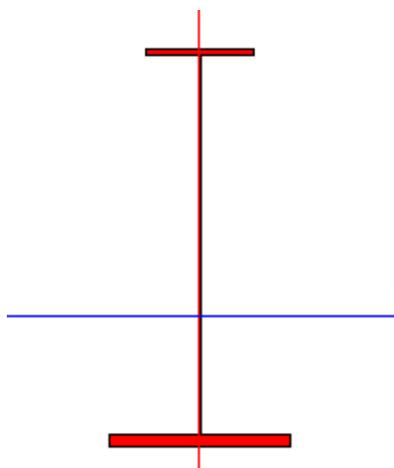
Nelle tabelle seguenti estratte dal database del software agli E.F. le unità di misura utilizzate sono il m, il m², il m³ e il m⁴.

Trave principale:

Le travi principali sono formate da tre piastre unite mediante saldatura a piena penetrazione.

Trave Concio “appoggi”:

Section Area	0,0801	m ²
I11	0,0451246	m ⁴
I22	0,00163528	m ⁴
J	2,493 x 10 ⁻⁵	m ⁴
Shear L1	0,0	m
Shear L2	-0,481739	m
Shear A1	0,0	m ²
Shear A2	0,0	m ²

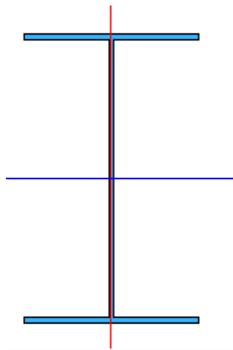
Trave Concio “mezzeria”:

Section Area	0,09108	m ²
I11	0,0500202	m ⁴
I22	0,00233807	m ⁴
J	6,15686 x 10 ⁻⁵	m ⁴
Shear L1	0,0	m
Shear L2	-0,429773	m
Shear A1	0,0	m ²
Shear A2	0,0	m ²

Traversi:

I traversi sono formati da tre piastre unite mediante saldatura a piena penetrazione.

Sono presenti quattro traversi per ciascuna campata laterale e cinque in quella centrale, 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.



Section Area	0,03936	m ²
I11	0,00694285	m ⁴
I22	0,000720328	m ⁴
J	4,51072x 10 ⁻⁶	m ⁴
Shear L1	0,0	m
Shear L2	0,0	m
Shear A1	0,0	m ²
Shear A2	0,0	m ²

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.

3.1 Carichi Permanenti

3.1.1 Pesi propri (G_{k1})

Il peso dei vari elementi strutturali, della soletta, dei traversi e della coppella è stato conteggiato con riferimento ad un peso specifico convenzionale e con riferimento alla geometria dei singoli elementi.

I carichi sono calcolati come agenti sulla singola trave.

- PP Trave c.a.p. esistente originale = 16.15 kN/m
- PP Trave c.a.p. esistente aggiuntiva = 15.19 kN/m
- PP Traversi esistenti originali appoggio = 24.06 kN/m
- PP Traversi esistenti aggiuntivi appoggio = 24.75 kN/m
- PP Traversi esistenti originali in campata = 30.63 kN/m
- PP Traversi esistenti aggiuntivi in campata = 31.50 kN/m
- PP Soletta = 20 kN/m/trave
- PP Travi in acciaio = 7.01 kN/m
- PP Traversi in acciaio = 3.04 kN/m

3.1.2 Sovraccarichi permanenti (G_{k2})

Sono attivi in questa fase i seguenti carichi principali:

- Pacchetto di pavimentazione esistente e nuovo = 3.00 kN/m²
- Barriera = 1.50 kN/m
- New Jersey = 6.20 kN/m
- Cordolo = 4.375 kN/m

3.2 Carichi Variabili

Entrambe le azioni del gradiente termico e ritiro vengono modellate come pre-stress inseriti direttamente come dati nel software.

3.2.1 Temperatura (Q_k)

E' stato tenuto conto delle variazioni giornaliere e stagionali della temperatura esterna che comportano variazioni della distribuzione di temperatura nei singoli elementi strutturali, con un delta di temperatura di 10° C.

Essendo il coefficiente di dilatazione termica differente nelle zone in cui è presente calcestruzzo o profili di acciaio, l'azione del gradiente termico è stata modellata in accordo ai materiali presenti.

In generale, il contributo della temperatura si calcola con una differenza pari a 10°C tramite la formula:

$$\sigma = \alpha \Delta T E_0$$

Dove è presente acciaio il coefficiente di dilatazione termico vale $1,2 \times 10^{-5}$, e quindi si applica un prestress di 3715 kPa, mentre nella sezione di calcestruzzo il coefficiente di dilatazione termico vale 1×10^{-5} e, quindi, viene applicato un prestress di 3096 kPa.

3.2.2 Ritiro (Q_k)

Si tiene conto del ritiro e della viscosità del calcestruzzo in accordo alle NTC 2008.

Dove è stato gettato calcestruzzo in opera si applica una deformazione dovuta all'effetto del ritiro pari a 3×10^{-4} ; tale azione è stata inserita nel modello come un prestress pari a 3096 kPa, calcolata tramite la formula:

$$\sigma = \varepsilon E_\infty$$

3.2.1 Vento (Q_k)

Si calcola il contributo del vento in accordo a EN 1991-1-4:2005(E), capitolo 8.3.2.

La pressione del vento risulta 1,30 kN/m², che si applica da entrambe le parti dell'impalcato per massimizzare ora le azioni sull'acciaio, ora le azioni sul CAP.

Sull'impalcato si applica una forza orizzontale $F = 6.95$ kN/m e un momento $M = 10.18$ kNm/m.

3.2.2 Traffico (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.

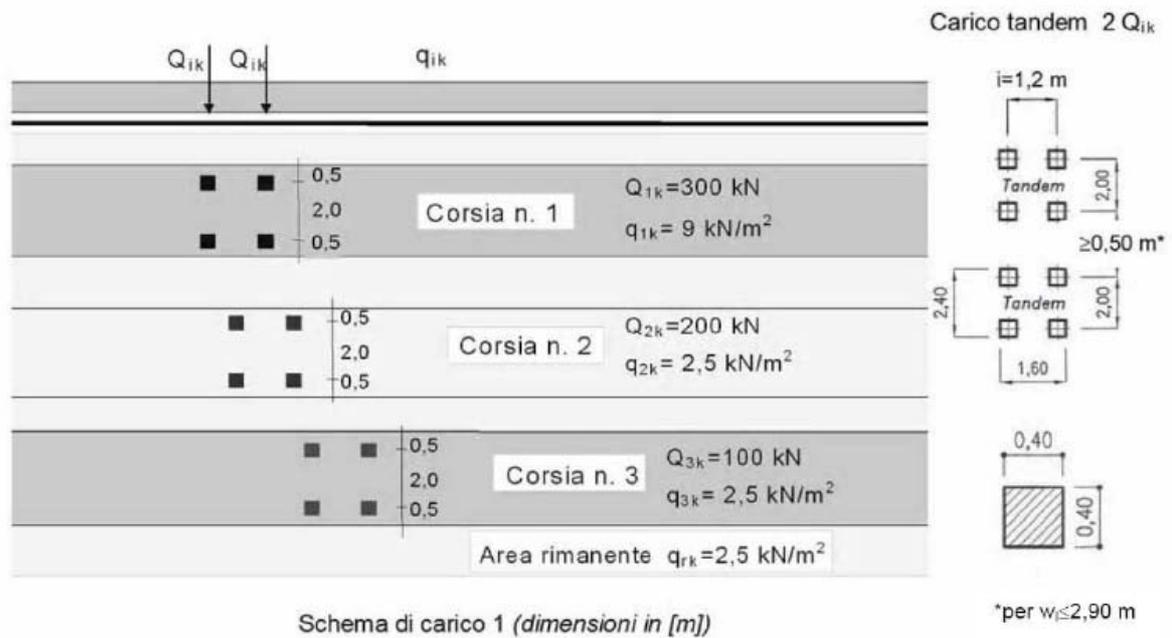
La presenza del carico da traffico viene disposta sull'impalcato in modo tale da massimizzare le linee/superfici di influenza del momento flettente e del taglio nelle travi, nei traversi e in soletta, compresa la porzione di sutura che funge da connessione tra la struttura esistente e quella in progetto.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

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. Non considera il carico da folla perché i cordoli sono occupati interamente da barriere e new jersey.

Modello di Carico

Il modello di carico è formato da carichi concentrati (Q_{ik}) e distribuiti (q_{ik}), posizionati su corsie convenzionali di carico di ampiezza massima pari a 3.00 m, unitamente al carico q_{rk} , 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 considerano i carichi Q_{ik} e q_{ik} , riferendo le rispettive intensità a quanto riportato in tabella.

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

I carichi concentrati si diffondono a 45° fino al piano medio della soletta creando impronte 0,85 x 0,85 m; per cui sono state applicate le seguenti pressioni:

- $q_1 = 0.009$ MPa
- $q_2 = 0.0025$ MPa
- $q_3 = 0.0025$ MPa
- $q_i = 0.0025$ MPa
- $Q_1 = 0.21$ MPa
- $Q_2 = 0.14$ MPa
- $Q_3 = 0.07$ MPa

Il posizionamento dei carichi concentrati e distribuiti viene effettuato mediante una apposita procedura per massimizzare le sollecitazioni.

3.2.2.1 Verifica delle travi e dei traversi

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

- Momento flettente nella mezzeria degli impalcati (esistenti ed ampliamento)
- Taglio all'appoggio degli impalcati (esistenti ed ampliamento)
- Momento flettente in corrispondenza del giunto degli impalcati di ampliamento

3.2.2.2 Verifiche in soletta

Si sono previste solo verifiche mirate ad indagare le sollecitazioni agenti nella zona di sutura e nella zona di solidarizzazione longitudinale degli impalcati, che risultano un punto di particolare criticità in quanto principale connessione tra le porzioni di impalcato.

A favore di sicurezza si effettua la verifica nella sezione dove la soletta ha spessore minore, ovvero lo spessore della soletta nuova.

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 le verifiche vengono condotte con riferimento alle Combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo (Combinazione STR) ed allo Stato Limite di Fatica.

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

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 involuppi delle sollecitazioni volti a massimizzare le caratteristiche di sollecitazione di interesse, che risultano complete dei rispettivi valori concomitanti.

4.1 Combinazioni per gli S.L.U. – STR

I parametri sono i seguenti:

γ_{G1-2}	1.35	coefficiente moltiplicativo sovraccarichi di peso proprio/permanente
γ_{sh}	1.20	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 Q.
$\psi_{01,UDL}$	0.40	coefficiente di combinazione per i carico mobili di tipo q.

4.2 Combinazioni per gli S.L.E. RARA

I parametri sono i seguenti:

ψ_{01TS}	1.00	coefficiente di combinazione per i carico mobili di tipo Q.
ψ_{01UDL}	1.00	coefficiente di combinazione per i carico mobili di tipo q.

4.3 Combinazioni per gli S.L.E. FREQUENTE

I parametri sono i seguenti:

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

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

I parametri sono i seguenti:

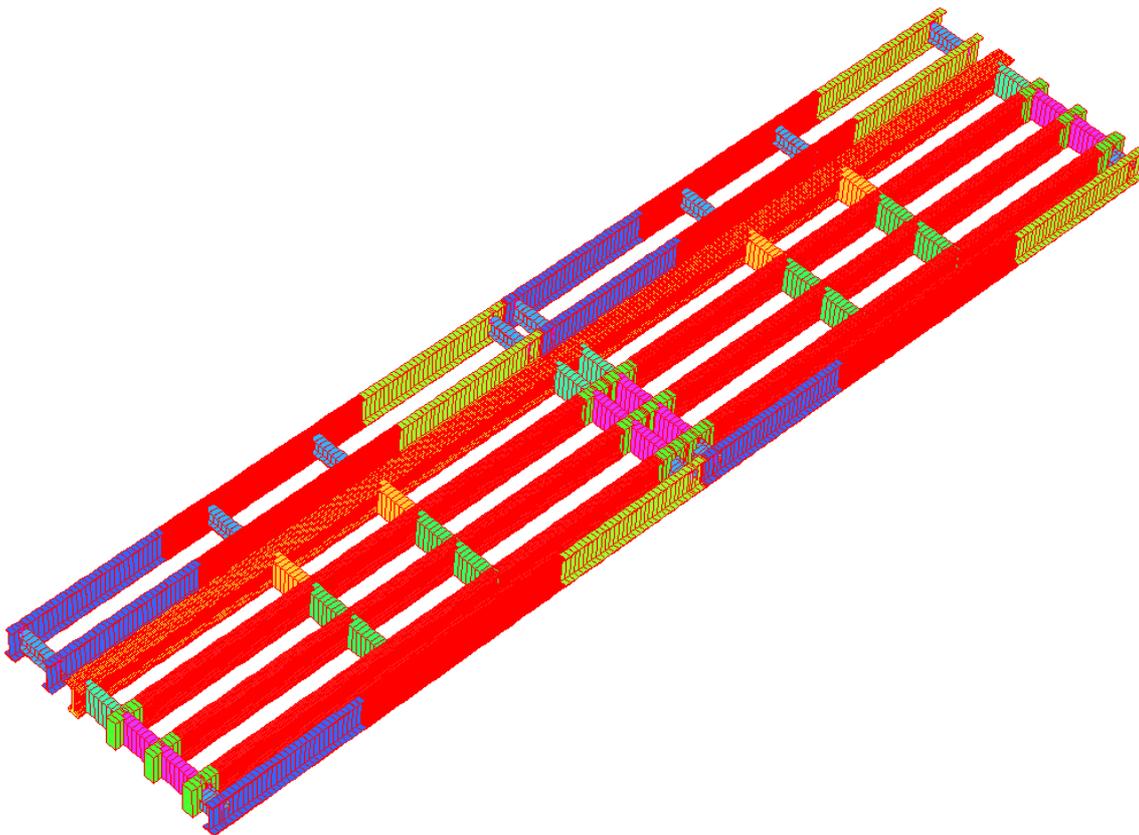
ψ_{21TS}	0.00	coefficiente di combinazione per i carico mobili di tipo Q.
ψ_{21UDL}	0.00	coefficiente di combinazione per i carico mobili di tipo q.

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 opportuni vincoli e proprietà geometriche.

Sono stati inseriti offset per ogni elemento di tipo trave e traverso al fine di rendere il modello più simile possibile alla realtà fisica.



Grigliato elementi beam di due campate

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} e M_{max} .

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

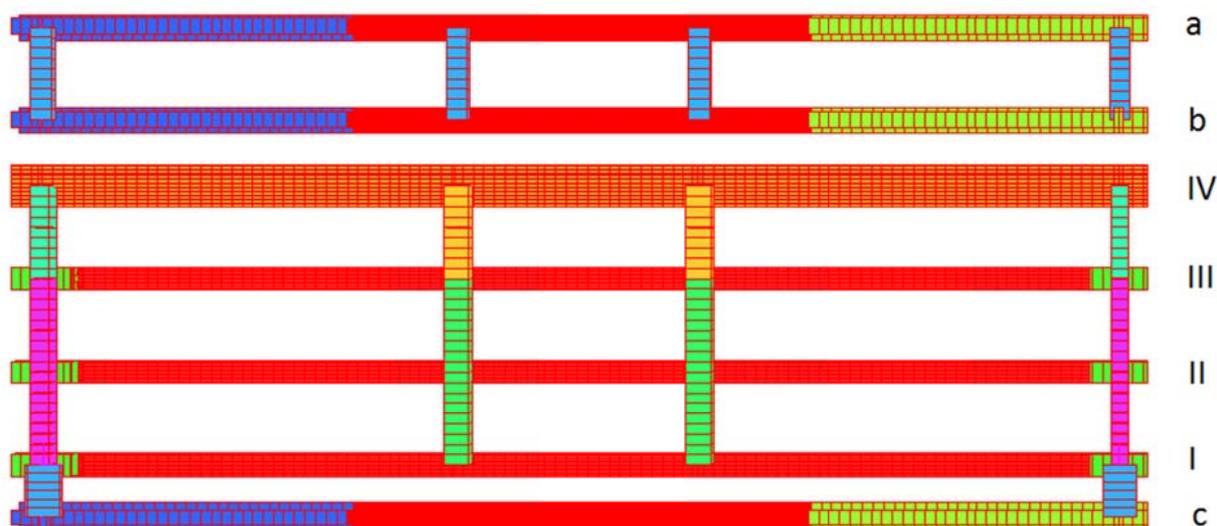
L'analisi strutturale dell'impalcato viene effettuata con riferimento alle rigidzze non fessurate.

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 kN e kNm.

Le sollecitazioni sono calcolate posizionando le colonne di carico in modo tale da massimizzare le sollecitazioni sulle travi più esterne, poiché sono quelle dove le verifiche sono più gravose.

Inoltre, i carichi sono stati posti in modo tale da massimizzare le sollecitazioni in determinate sezioni ritenute le più significative, oggetto di verifica.

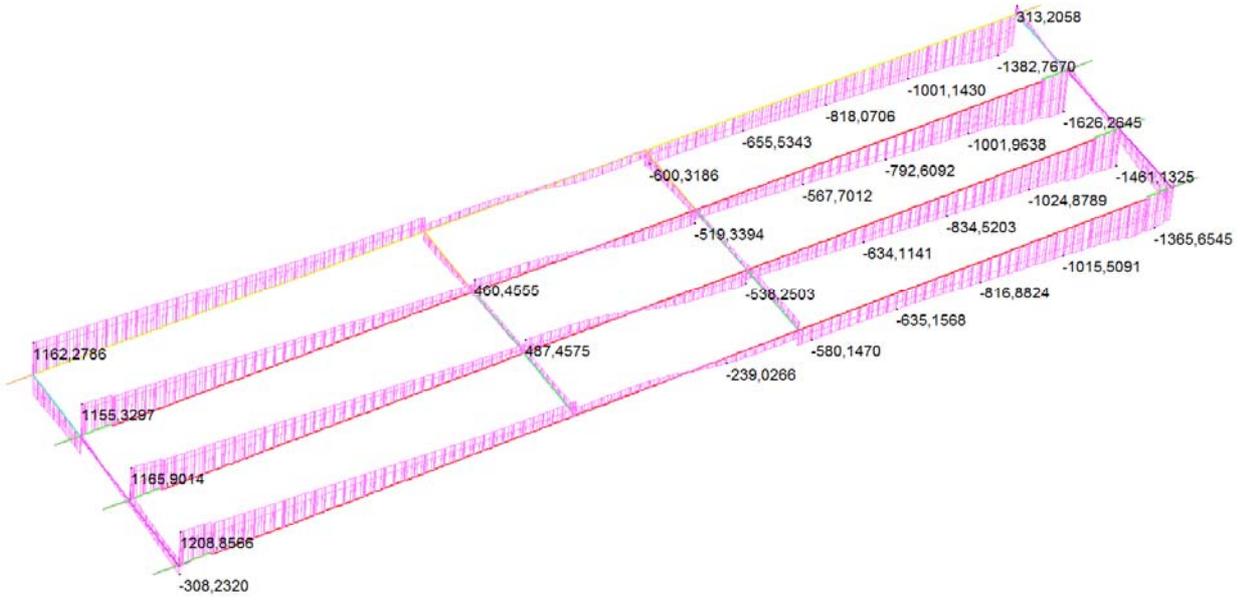
La sollecitazione flettente viene determinata utilizzando l'ipotesi di sezione trave-soletta autoequilibrata assialmente e, quindi, il valore viene determinato a valle dell'analisi agli E.F. combinando opportunamente la componente flettente (agente sull'elemento "beam") con l'azione assiale moltiplicata 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.



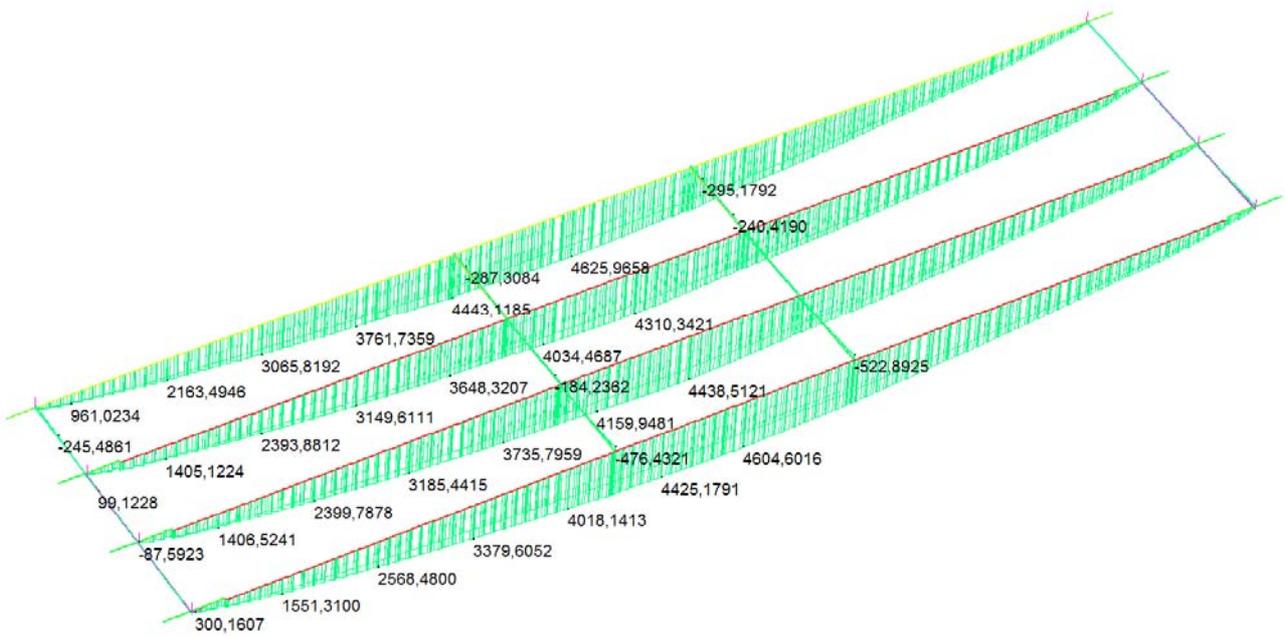
Pianta – nomenclatura delle travi

5.2.1 Sollecitazioni massime sull'impalcato esistente agli SLU

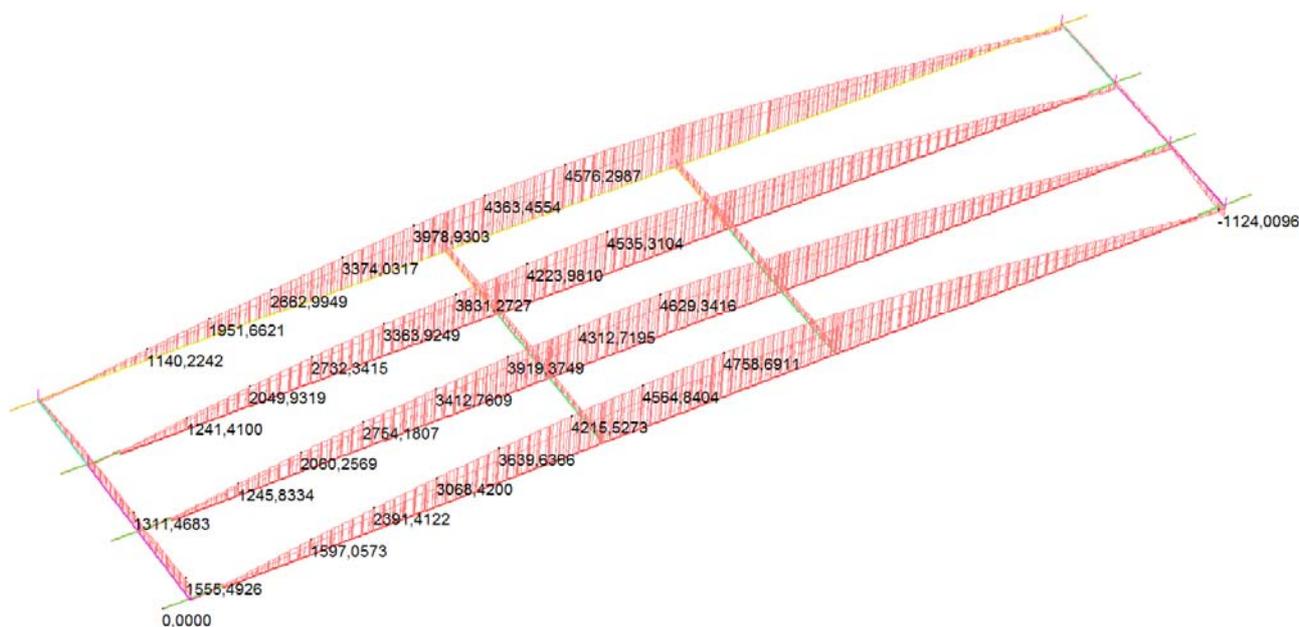
Di seguito sono riportati gli involuipi SLU delle sollecitazioni sulle travi prefabbricate dell'impalcato in CAP. Data la simmetria del modello nello studio delle travi i carichi sono stati posti su una sola campata.



Taglio



Momento flettente



Sforzo normale

In considerazione dei risultati desunti dall'analisi, le sollecitazioni flessionali sulla sezione composta trave+soletta oggetto di verifica risultano pertanto, per ogni trave, nella sezione più sollecitata:

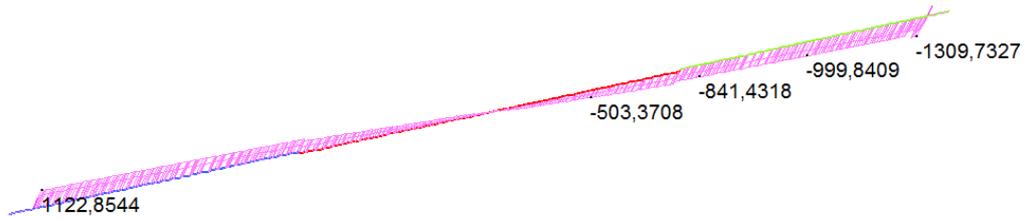
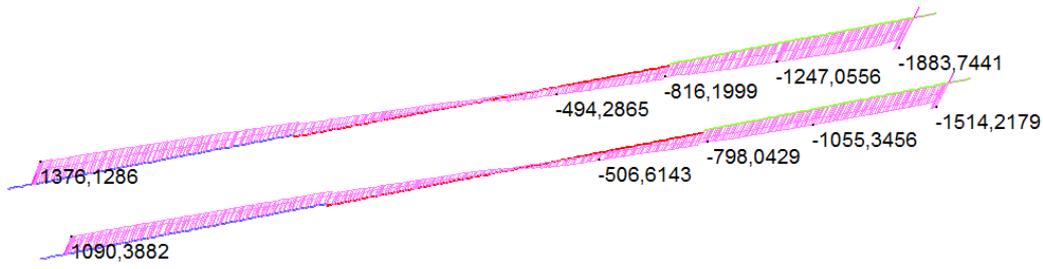
Trave	M [kNm]	N [kN]	Braccio [m]	M sez. composta [kNm]	T [kN]
I	4604	4758	1,21	10361,18	1365
II	4438	4629	1,21	10039,09	1461
III	4310	4535	1,21	9797,35	1626
IV	4625	4576	1,21	10161,96	1382

5.2.2 Sollecitazioni massime sull'impalcato nuovo in allargamento agli SLU

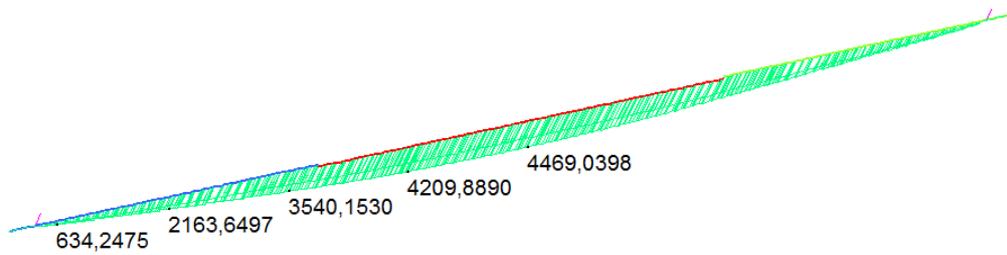
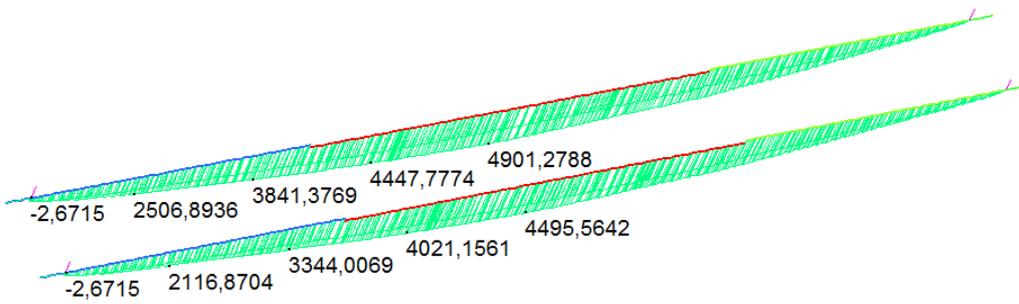
Di seguito si riportano i grafici con gli involucri delle massime sollecitazioni flettenti e taglianti nelle travi di progetto in acciaio. Le configurazioni di carico sono state assunte in maniera tale da massimizzare le sollecitazioni taglianti all'appoggio e le sollecitazioni flessionali in mezzzeria ed in corrispondenza della sezione di giunto fra i conci metallici. Tali sollecitazioni sono state ottenute cercando di massimizzare gli effetti sulla trave di bordo dell'impalcato in allargamento, ovvero posizionando la prima colonna di carico in corrispondenza di tale trave e le altre a fianco.

Tali sollecitazioni sono state calcolate comprendendo tutti i carichi effettivamente presenti sulla struttura, in modo da ottenere la massima sollecitazione sulla trave di bordo dell'impalcato.

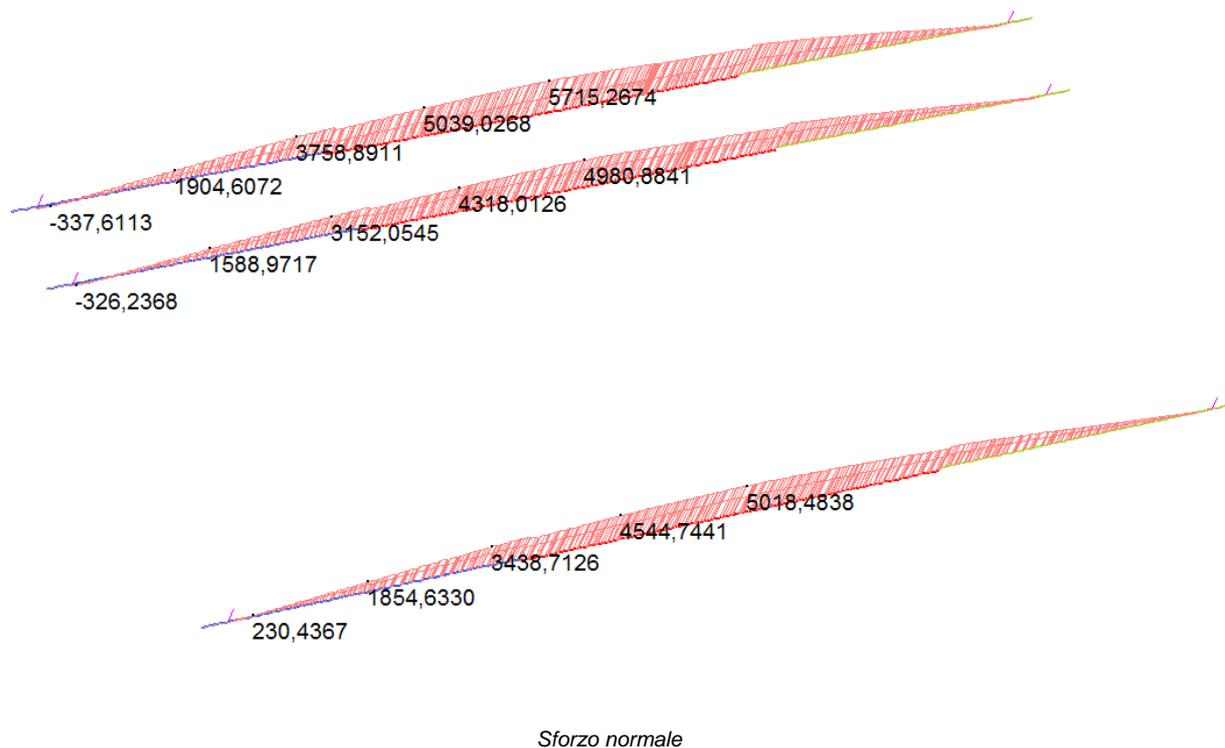
I carichi inseriti sono stati fattorizzati agli SLU, come prescritto dalle NTC 2008.



Taglio



Momento flettente



Si nota come il valore di momento flettente riportato nei grafici sia riferito alla sola trave. Il momento flettente sulla sezione composta trave+soletta viene determinato considerando il contributo aggiuntivo dovuto alla coppia esercitata dalle azioni assiali attinenti alla trave ed alla soletta.

Si riportano in tabella i valori massimi delle sollecitazioni nelle varie sezioni per la trave di bordo più sollecitata.

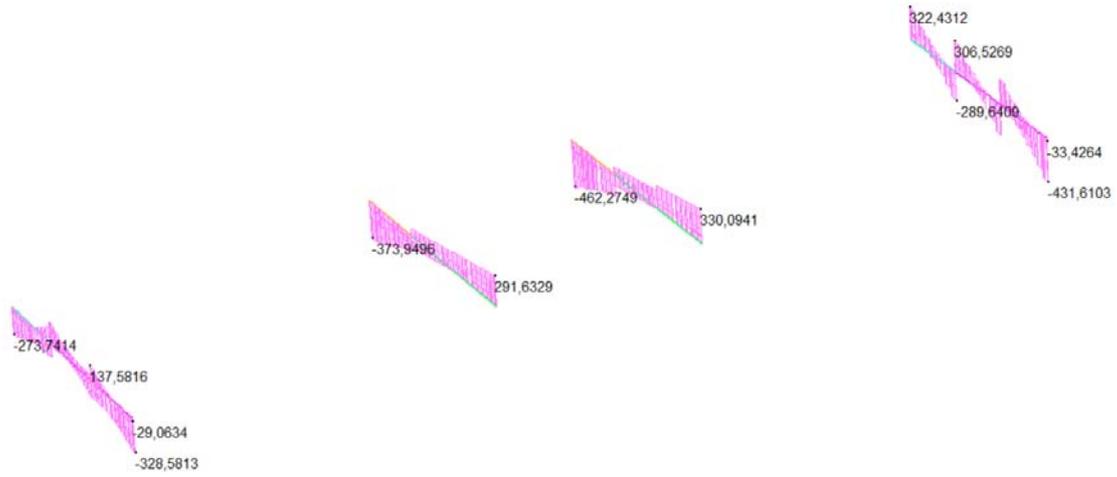
Sezione	M [kNm]	N [kN]	Braccio [m]	M sez. composta [kNm]	T [kN]
mezzeria	4901	5715	1,42	13016,3	
giunto	4473	5168	1,42	11191,4	
appoggio					1883

5.2.3 Sollecitazioni massime sui traversi esistenti agli SLU

Di seguito si riportano i grafici con gli involuipi delle massime sollecitazioni flettenti e taglianti nei traversi esistenti in c.a, ottenuti con le medesime combinazioni di carico utilizzate per massimizzare le sollecitazioni sulle travi.

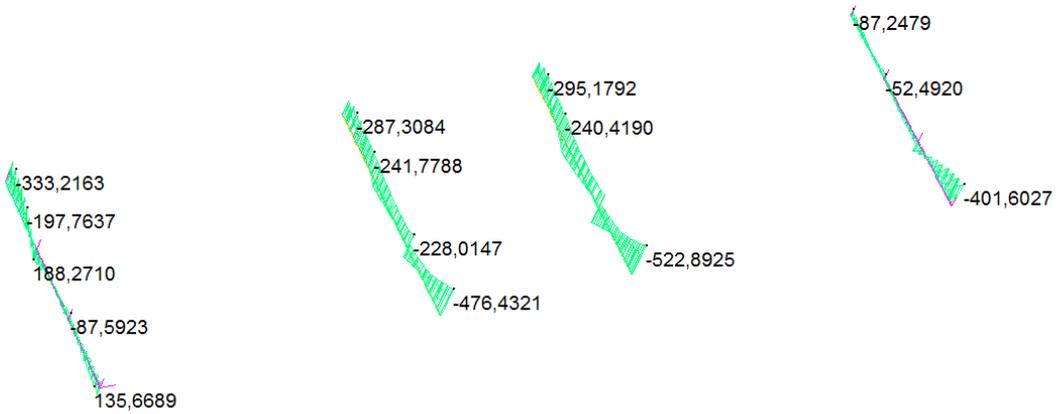
Tali sollecitazioni sono state calcolate comprendendo tutti i carichi effettivamente presenti sulla struttura, in modo da ottenere la massima sollecitazione sulla trave di bordo dell'impalcato.

I carichi inseriti sono stati fattorizzati agli SLU, come prescritti dalle NTC 2008.

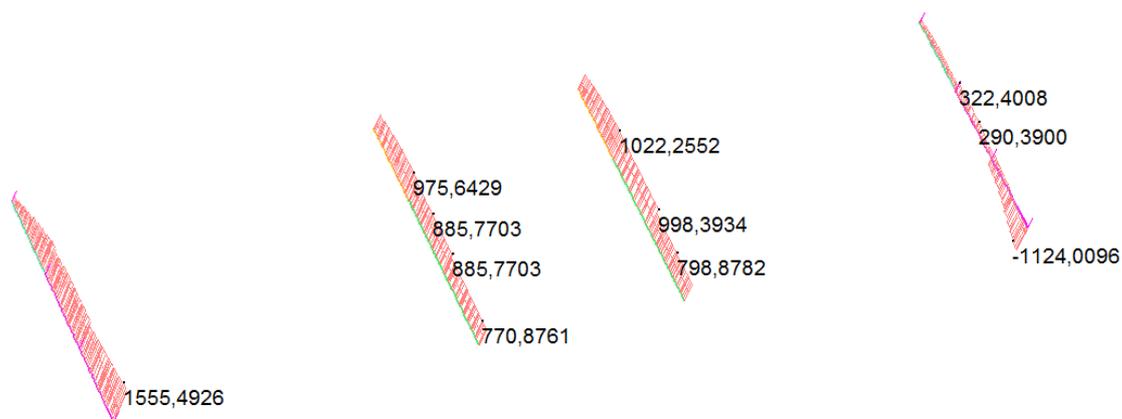


Taglio

Di seguito le massime sollecitazioni per determinazione del massimo momento flettente sul traverso.



Momento flettente



Sforzo normale

Si nota come il valore di momento flettente riportato nei grafici sia riferito alla sola trave. Dove il traverso è in continuità con la soletta si considera il momento flettente sulla sezione composta che viene determinato considerando il contributo aggiuntivo dovuto alla coppia esercitata dalle azioni assiali attinenti alla trave ed alla soletta.

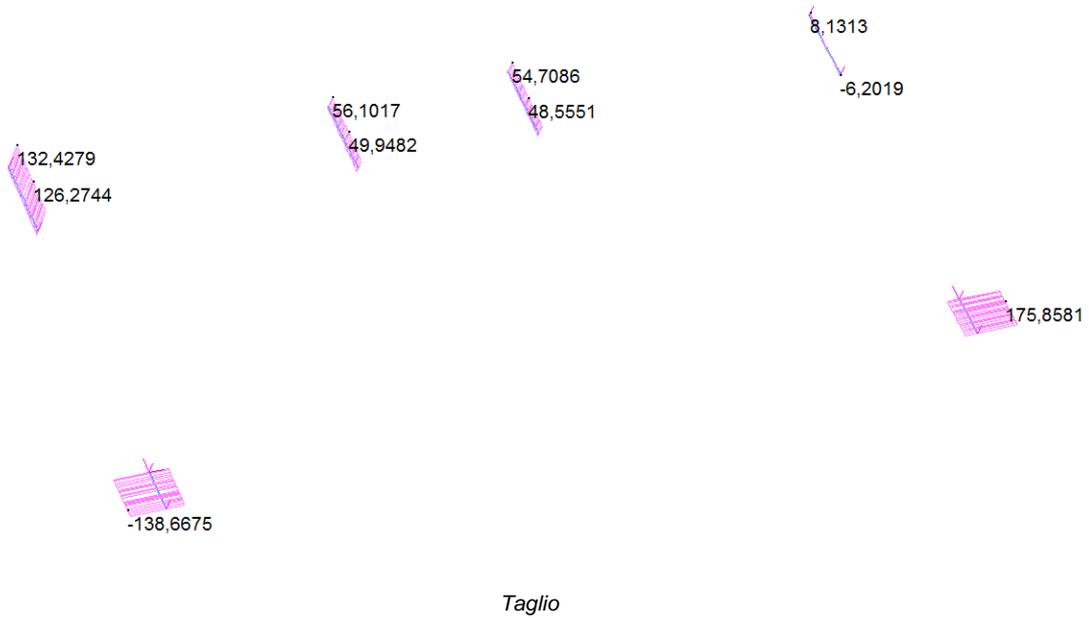
Traverso	M [kNm]	N [kN]	Braccio [m]	M sez. composta [kNm]	T [kN]
Appoggio Originale	153	647	-	-	448
Campata Originale	237	868	-	-	328
Appoggio Aggiuntivo	329	40	1,21	377	319
Campata Aggiuntivo	227	887	1,21	1292	460

5.2.4 Sollecitazioni massime sui traversi nuovi agli SLU

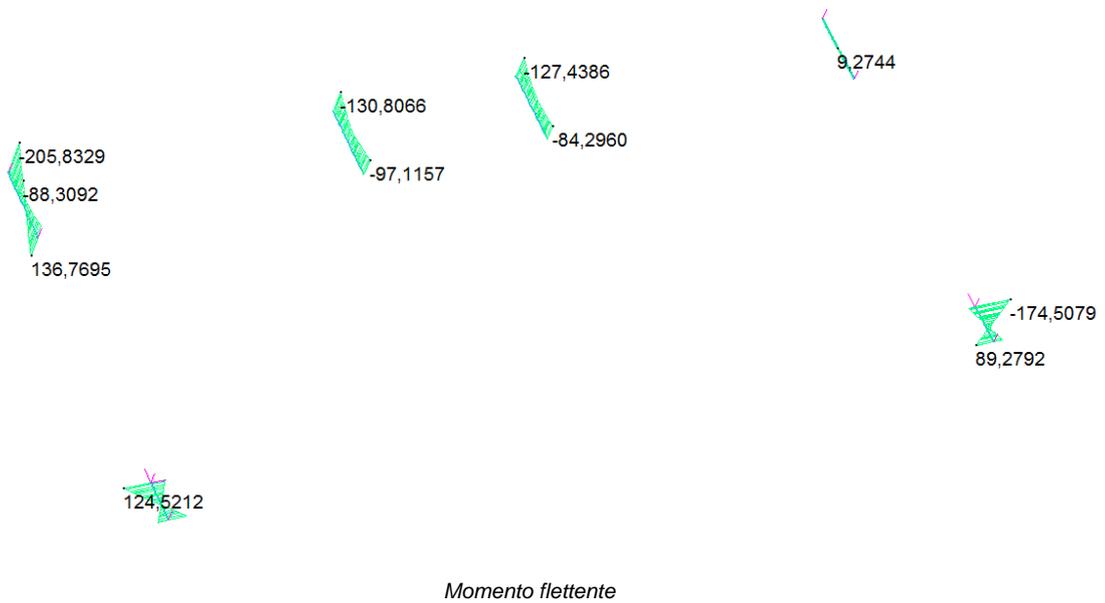
Di seguito si riportano i grafici con gli involuipi delle massime sollecitazioni flettenti e taglianti nei traversi nuovi in acciaio, ottenuti con le medesime combinazioni di carico utilizzate per massimizzare le sollecitazioni sulle travi.

Tali sollecitazioni sono state calcolate comprendendo tutti i carichi effettivamente presenti sulla struttura, in modo da ottenere la massima sollecitazione sulla trave di bordo dell'impalcato.

I carichi inseriti sono stati fattorizzati agli SLU, come prescritti dalle NTC 2008.



Di seguito le massime sollecitazioni per determinazione del massimo momento flettente sul traverso.





Sforzo normale

Traverso	M	N	T
	[kNm]	[kN]	[kN]
	205	40	175

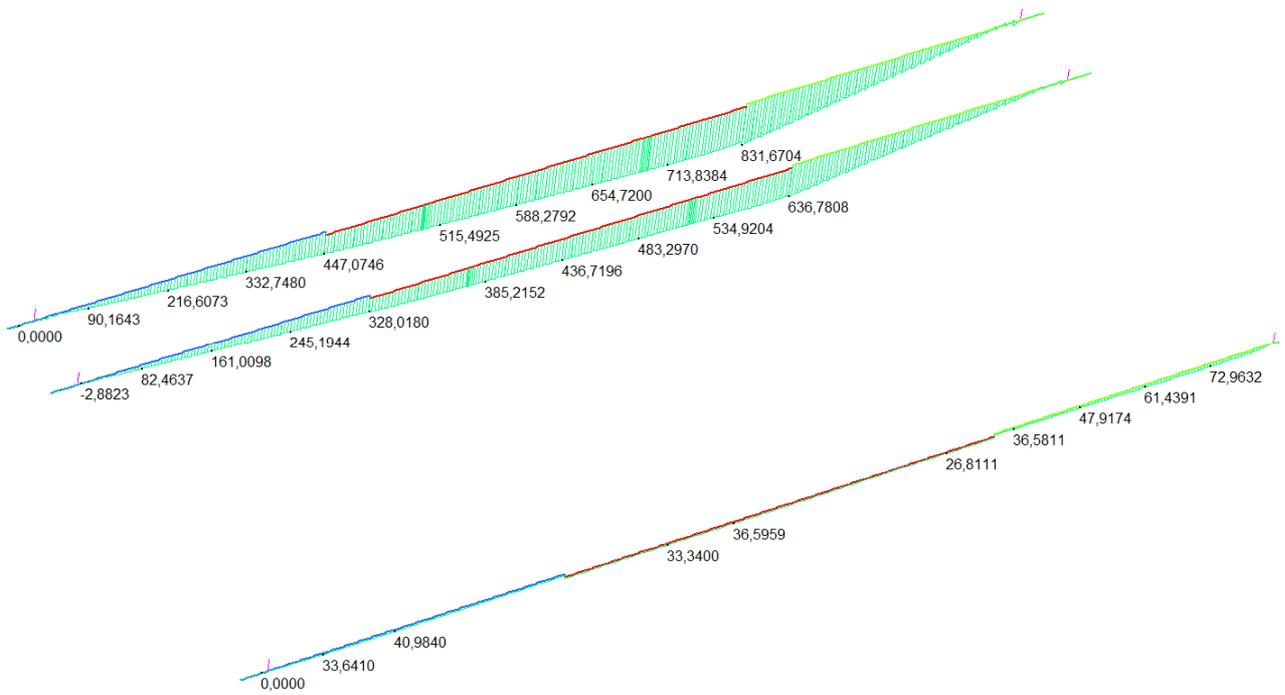
5.2.5 Sollecitazioni dimensionanti per fenomeni di fatica

Di seguito verranno mostrate le sollecitazioni per fenomeni fatica, calcolate in ottemperanza a quanto prescritto dalle NTC 2008.

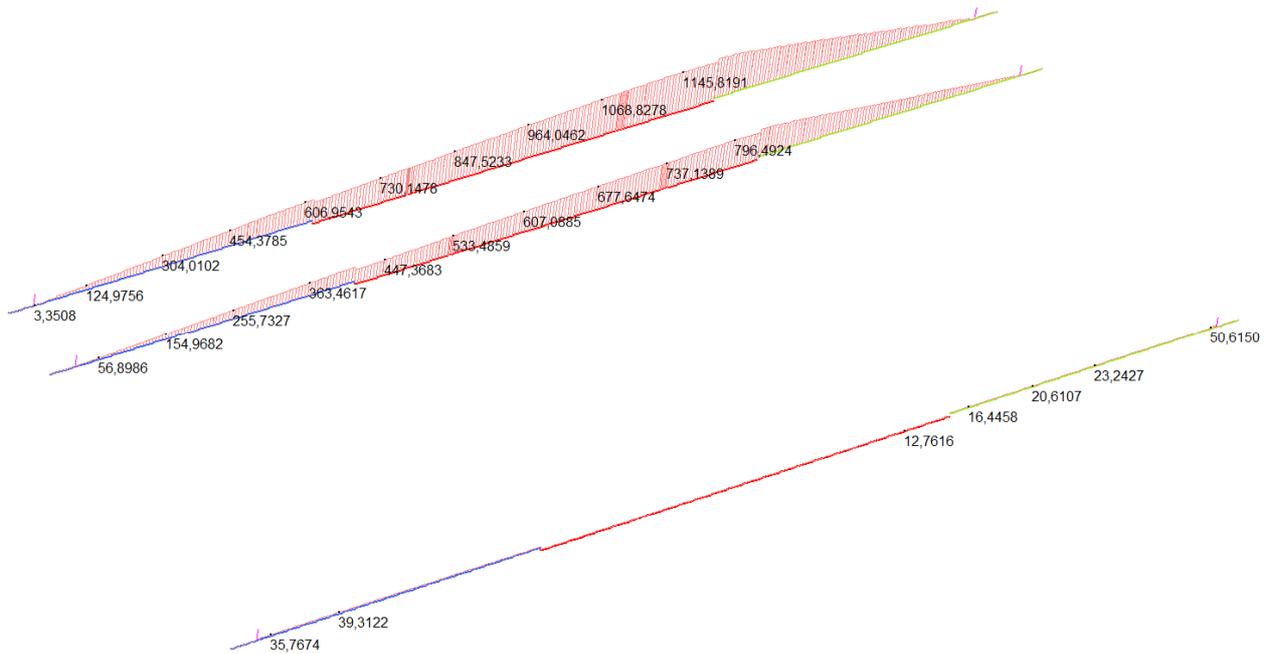
Le sollecitazioni riportate nei grafici seguenti, significative per la determinazione degli stati tensionali pertinenti per fenomeni di fatica, riguardano i soli carichi mobili da traffico e sono state fattorizzate nella combinazioni proprie del modello di carico di fatica 1 per verifiche per vita illimitata, come indicato dalle NTC 2008 al capitolo 5.1.4.3. Inoltre, i carichi sono stati moltiplicati per un coefficiente maggiorativo $\Delta\varphi_{fat}$ legato alla dinamica dei carichi da traffico, compreso fra 1 e 1,3 in funzione della distanza della sezione verificata dall'appoggio.

Le configurazioni di carico sono state assunte in maniera tale da massimizzare le sollecitazioni flessionali in corrispondenza della sezione di giunto fra i conci metallici e nella mezzeria. Tali sollecitazioni sono state ottenute cercando di massimizzare gli effetti sulla trave di bordo dell'impalcato in allargamento, ovvero posizionando la prima colonna di carico in corrispondenza di tale trave e le altre a fianco.

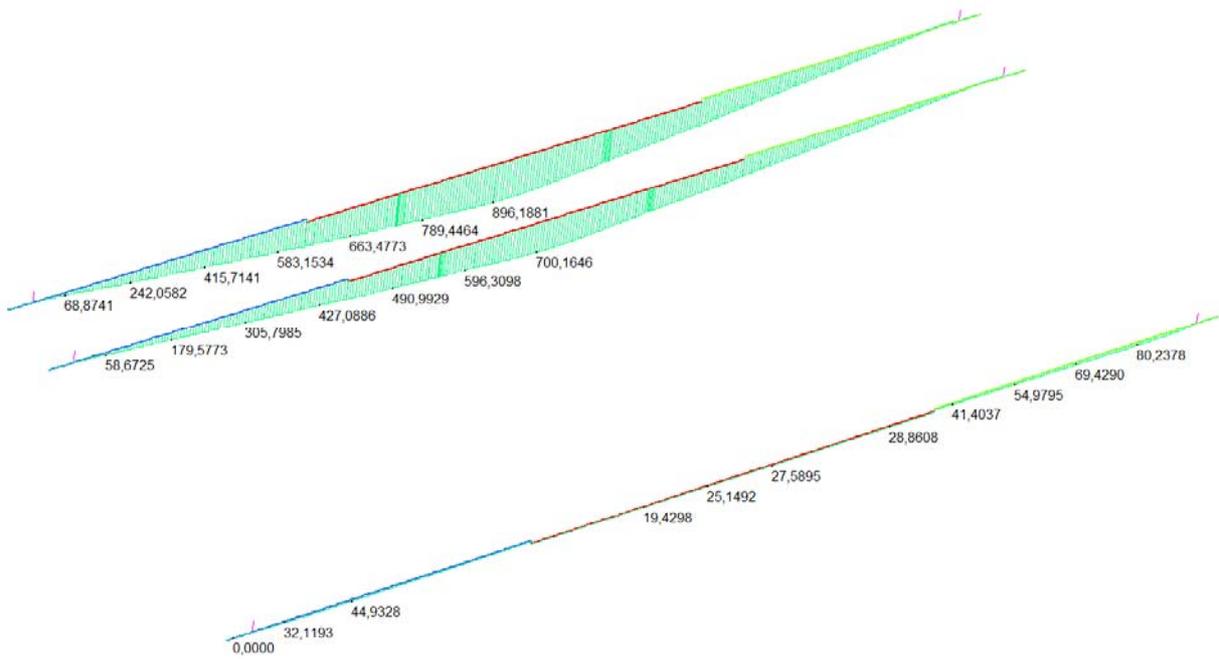
Si nota come il valore di momento flettente riportato nei grafici sia riferito alla sola trave. Il momento flettente sulla sezione composta trave+soletta viene determinato considerando il contributo aggiuntivo dovuto alla coppia esercitata dalle azioni assiali attinenti alla trave ed alla soletta.



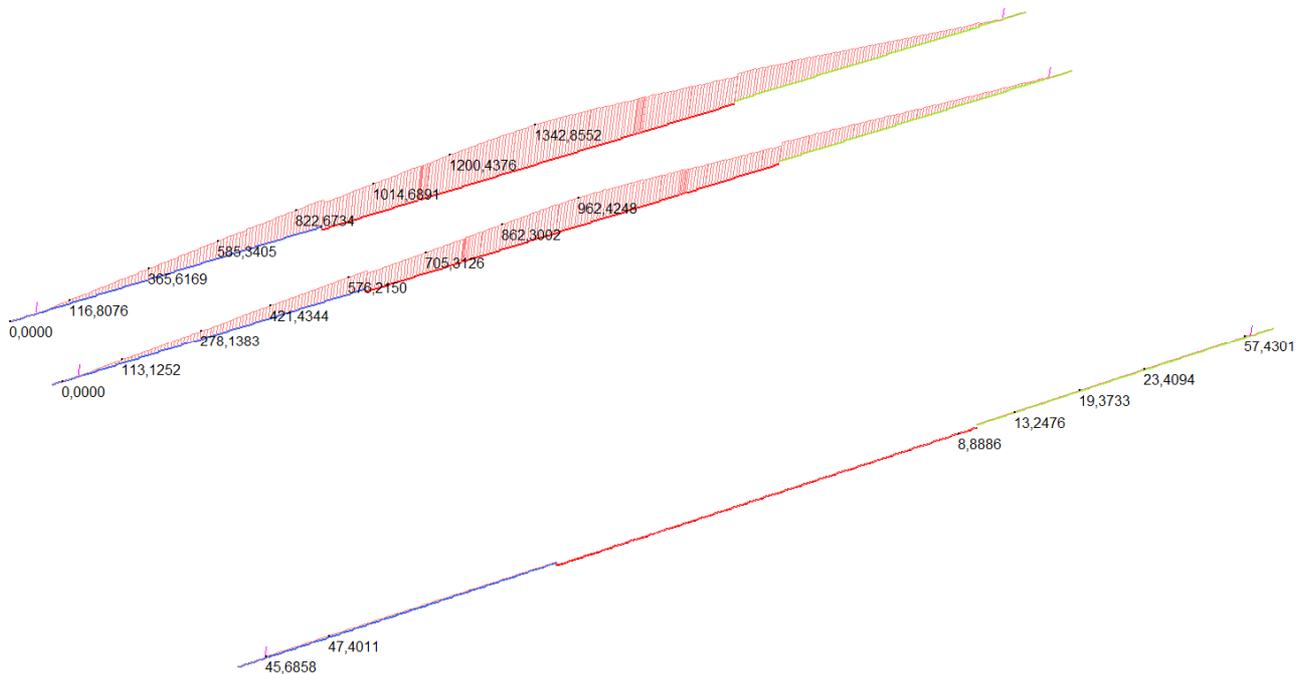
Momento flettente – Configurazione di momento flettente massimo nella sezione di giunto fra i conci



Sforzo normale – Configurazione di momento flettente massimo nella sezione di giunto fra i conci



Momento flettente – Configurazione di momento flettente massimo nella sezione di mezzeria



Sforzo normale – Configurazione di momento flettente massimo nella sezione di mezzeria

In considerazione dei risultati desunti dall'analisi, le sollecitazioni flessionali sulla sezione composta trave+soletta oggetto di verifica risultano pertanto:

Sezione	M trave [kNm]	N trave [kN]	Braccio [m]	M sez. composta [kNm]
Mezzeria	896	1342	1,42	2802
Giunto	831	1136	1,30	2308

6. Verifiche delle travi principali e dei traversi

6.1 Generalità sul Calcestruzzo

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

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;

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;

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

Per la verifica a fessurazione si considerano le condizioni ambientali aggressive che, in accordo con le NTC 08 §4.1.2.2.4.5, per le armature sensibili prevedono un'apertura di fessura inferiore a $w_1 = 0.2$ mm agli stati limite di esercizio frequenti e uno stato limite di decompressione con l'assenza di fessure dovuta a tensioni normali di compressione o al più nulle agli S.L.E. quasi permanente. Per gli S.L.E. frequente il calcolo dell'apertura di fessura viene effettuato nel caso in cui la tensione massima di trazione nella fibra più sollecitata risulti essere superiore a $f_{ctm}/1.2$ (NTC'08 §4.1.2.2.4.1) essendo:

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

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

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

Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
		Sensibile		Poco sensibile	
		Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
Ordinarie	Frequente	Ap. fessure	$\leq w_2$	Ap. fessure	$\leq w_3$
	Quasi permanente	Ap. fessure	$\leq w_1$	Ap. fessure	$\leq w_2$
Aggressive	Frequente	Ap. fessure	$\leq w_1$	Ap. fessure	$\leq w_2$
	Quasi permanente	Decompressione	-	Ap. fessure	$\leq w_1$
Molto aggressive	Frequente	Formazione fessure	-	Ap. fessure	$\leq w_1$
	Quasi permanente	Decompressione	-	Ap. fessure	$\leq w_1$

6.2 Generalità sull'Acciaio

In sede di verifica si riportano, per tutte le sezioni di verifica dell'impalcato, le caratteristiche geometriche ed inerziali della sezione in acciaio omogeneizzata. Si riportano le sollecitazioni flessionali più gravose. Le verifiche vengono condotte con il metodo degli S.L.U.

Con riferimento alla normativa vigente il calcolo delle sollecitazioni viene effettuato con l'analisi elastica lineare. La resistenza della sezione è stata considerata in campo elastico, caratterizzata dal raggiungimento, anche in un solo punto della sezione, della resistenza di progetto nell'acciaio e nel calcestruzzo.

Il valore di calcolo dell'azione tagliante V_{Ed} deve rispettare la condizione

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

dove la resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$ vale

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

dove A_v è l'area resistente a taglio.

Per le sezioni soggette a presso o tenso flessione nel piano delle ali, la resistenza convenzionale di calcolo a flessione retta può essere valutata come:

$$M_{N,z,Rd} = M_{Pl,z,Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{n - a}{1 - a}\right)^2\right]$$

Essendo $M_{Pl,z,Rd}$ il momento resistente plastico a flessione semplice nel piano delle ali, e posto: $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$

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

6.3.1 Impalcato esistente

Le travi in CAP sono uguali tra loro quindi si verifica solamente la più sollecitata.

Le travi in CAP sono presenti 54 trefoli $\Phi \frac{1}{2}$ ", per un'area complessiva pari a 50.16 cm².

Inoltre è presente armatura lenta pari a 20 $\Phi 8$.

Momento sollecitante = 10361,18 kN m.

Titolo: Trave CAP

N° Vertici: 16 **Zoom** **N° barre:** 6 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	18
3	22,5	58
4	22,5	167
5	0	185
6	0	195

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	3,02	32,5	3
2	1,01	32,5	18
3	1,01	32,5	58
4	1,01	32,5	112
5	1,01	32,5	167
6	3,02	32,5	195

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

Armatura Precompressione: **N° cavi:** 1 **Zoom**

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	σ_{sp} [MPa]
1	50,16	32,5	12	1050

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 **0** kN
M_{xEd}: 10000 **0** kNm
M_{yEd}: 0 **0**

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Cavo snervato

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

Tipo flessione: Retta Deviata

Materiali: fyk_380 C35/45

ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 330,4 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} 1,652 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 13,5
 $\sigma_{s,adm}$ 0 N/mm² τ_{co} 0,8
 τ_{c1} 2,257

M_{xRd}: 12.602 kN m
 σ_c -19,83 N/mm²
 σ_s 330,4 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 50,63 ‰
 d 222 cm
 x 14,35 x/d 0,06466
 δ 0,7

Armatura Precompressione: **Tipo cavo:** Trefolo
 ϵ_{su} 67,5 ‰
 f_{yd} 1.174 N/mm²
 E_s/E_c 6
 ϵ_{syd} 5,87 ‰
 $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm²
 σ_{sp} 1.174 N/mm²
 ϵ_{sp} 53,69 ‰ compressa predef.

Calcola MRd **Dominio M-N** **Col. modello** Precompresso

Titolo : Trave CAP IV

N° Vertici 16 **Zoom** **N° barre** 5 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	20
3	28	27
4	28	185
5	-22	192
6	-22	195

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	3,02	37,5	3
2	1,01	37,5	19
3	1,01	37,5	27
4	1,01	37,5	112
5	1,01	37,5	186

Armadura Precompressione
N° cavi 1 **Zoom**

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	σ_{sp} [MPa]
1	50,16	37,5	9	1050

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

Tipologia Cavo: Trefolo

ϵ_{su} 67,5 ‰
 f_{yd} 1.174 N/mm²
 E_s/E_c 6
 ϵ_{syd} 5,87 ‰
 $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm²

Materiali: fyk_380, C35/45
 ϵ_{su} 67,5 ‰, ϵ_{c2} 2 ‰, f_{yd} 330,4 N/mm², ϵ_{cu} 3,5 ‰, E_s 200.000 N/mm², f_{cd} 19,83 N/mm², E_s/E_c 15, f_{cc}/f_{cd} 0,8, ϵ_{syd} 1,652 ‰, $\sigma_{c,adm}$ 13,5 N/mm², $\sigma_{s,adm}$ 0 N/mm², τ_{co} 0,8, τ_{c1} 2,257

Carichi e Sollecitazioni: M_{xRd} 12.764 kNm, σ_c -19,83 N/mm², σ_s 330,4 N/mm², ϵ_c 3,5 ‰, ϵ_s 51,53 ‰, d 222 cm, x 14,12, x/d 0,06361, δ 0,7

Metodo di calcolo: S.L.U.+, S.L.U.-, Metodo n
Tipologia flessione: Retta, Deviata
Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Cavo snervato

Parametri di Progetto: σ_{sp} 1.174 N/mm², ϵ_{sp} 55,29 ‰ compressa predef., N° rett. 100, L_0 0 cm, Col. modello

Precompresso

Le travi in CAP risultano verificate

6.3.1.1 Traversi esistenti originali

Nei traversi di campata sono presenti 6 cavi da 4 trefoli $\Phi \frac{1}{2}$ ", per un'area complessiva pari a 22.296 cm². Sono inoltre presenti 4 $\Phi 8$ a intradosso ed a estradosso.

Titolo : Traverso campata originario

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	70	175

N°	As [cm²]	d [cm]
1	2,01	3
2	2,01	172

Armadura Precompressione
N° strati cavi 1 **Zoom**

N°	As [cm²]	d [cm]	σ_{sp} [MPa]
1	22,296	161,7	1050

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

Tipologia Cavo: Trefolo

ϵ_{su} 67,5 ‰
 f_{yd} 1.174 N/mm²
 E_s/E_c 6
 ϵ_{syd} 5,87 ‰
 $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm²

Materiali: 380, C35/45
 ϵ_{su} 67,5 ‰, ϵ_{c2} 2 ‰, f_{yd} 330,4 N/mm², ϵ_{cu} 3,5 ‰, E_s 200.000 N/mm², f_{cd} 19,83 N/mm², E_s/E_c 15, f_{cc}/f_{cd} 0,8, ϵ_{syd} 1,652 ‰, $\sigma_{c,adm}$ 13,5 N/mm², $\sigma_{s,adm}$ 0 N/mm², τ_{co} 0,8, τ_{c1} 2,257

Carichi e Sollecitazioni: M_{xRd} 4.091 kNm, σ_c -19,83 N/mm², σ_s 330,4 N/mm², ϵ_c 3,5 ‰, ϵ_s 22,37 ‰, d 172 cm, x 23,27, x/d 0,1353

Metodo di calcolo: S.L.U.+, S.L.U.-, Metodo n
Tipologia flessione: Retta, Deviata
Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Cavo snervato

Parametri di Progetto: σ_{sp} 1.174 N/mm², ϵ_{sp} 26,07 ‰ compressa predef., N° rett. 100, L_0 0 cm, Col. modello

Precompresso

Nei traversi di testata sono presenti 2 cavi da 4 trefoli $\Phi \frac{1}{2}$ ". Sono inoltre presenti 4 $\Phi 8$ a intradosso ed a estradosso.

Titolo: Traverso appoggi originario

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	55	175	1	2,01	3
			2	2,01	172

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

Armatura Precompressione:
N° strati cavi: 1 **Zoom**

N°	As [cm²]	d [cm]	σ_{sp} [N/mm²]
1	7,432	161,7	1050

Sollecitazioni:
 S.L.U. Metodo n

N Ed: 0 **0** kN
M xEd: 153 **0** kNm
M yEd: 0 **0**

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

Tipo rottura:
 Lato calcestruzzo - Cavo snervato

Materiali:
 fyk380 C35/45
 ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 330,4 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} 1,652 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 13,5
 $\sigma_{s,adm}$ 0 N/mm² τ_{co} 0,8
 τ_{c1} 2,257

M xRd: 1.487 kN m
 σ_c -19,83 N/mm²
 σ_s 330,4 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 57,74 ‰
 d 172 cm
 x 9,83 x/d 0,05715
 δ 0,7

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

Tipo flessione:
 Retta Deviata

N° rett.: 100
Calcola MRd **Dominio M-N**
L_o 0 **Col. modello**

Precompresso

Tipo cavo: Trefolo
 ϵ_{su} 67,5 ‰
 f_{yd} 1.174 N/mm²
 E_s/E_c 6
 ϵ_{syd} 5,87 ‰
 $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm²

σ_{sp} 1.174 N/mm²
 ϵ_{sp} 59,32 ‰ compresa predef.

La verifica risulta soddisfatta.

6.3.2 Impalcato nuovo in allargamento

Le verifiche sono state effettuate in termini tensionali, confrontando le sollecitazioni massime in ogni fase per ogni tipologia di carico con la tensione massima ammissibile opportunamente fattorizzata per ogni tipo di azione.

Le fasi costruttive considerate sono le seguenti:

- Fase 1 : Peso proprio della struttura
- Fase 2 .1 : Permanenti portati
- Fase 2.2 : Ritiro differenziale trave – soletta
- Fase 3 : Carichi mobili da traffico, variazione termica, vento

6.3.2.1 Sezione di Mezzeria

SEZIONE 1. X=16.325 Mmax (mezzeria ns soll)

(Unità di misura - Forze: N, Lunghezze: mm)

Altezza totale della trave in acciaio: 1900

Ala inferiore : 750 x 60

Spessore anima: 18

Ala superiore : 450 x 30

Soletta : larghezza= 2900 spessore totale= 260

Coppella: appoggio sull'ala= 50 spessore= 60

Tensione da ritiro in soletta (1° fase): 3,09

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

		TRAVE IN ACCIAIO	TRAVE COMPLETA	
			n= 18,0	n= 6,0
Quota baricentro		639,41	1019,26	1381,07
Area		9,1080E+04	1,2447E+05	1,9125E+05
Momento d'inerzia		5,0020E+10	9,9139E+10	1,4606E+11
Intradosso	W	7,8229E+07	9,7265E+07	1,0576E+08
Attacco Anima-Piat.Inf.	W	8,6330E+07	1,0335E+08	1,1056E+08
	C	3,0458E-05	2,4946E-05	2,3126E-05
Baricentro Trave Acciaio	C	3,3814E-05		
Bicentro Trave Compl.	C		2,9587E-05	2,9100E-05
Attacco Anima-Piat.Sup.	W	4,0647E+07	1,1653E+08	2,9873E+08
	C	1,8676E-05	2,5937E-05	2,8282E-05
Estradosso Trave Acciaio	W	3,9680E+07	1,1256E+08	2,8146E+08
(b= 350,00)	C		9,9708E-07	1,3214E-06
Estradosso Soletta	W		1,5643E+09	1,1251E+09

SOLLECITAZIONI

	Fase 1	Fase 2.1	Fase 2.2	Fase 3
Sforzo Normale	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0
Taglio	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0
Momento Flettente	4,410E+9	1,660E+9	6,630E+8	7,040E+9

TENSIONI

		Fase 1	Fase 2.1	Fase 2.2	Fase 3	Totale	Resistenza
Intradosso	σ	56,37	17,07	6,82	66,57	146,82	338,69
Attacco Anima-Piat.Inf.	σ	51,08	16,06	6,42	63,68	137,24	338,69
	τ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	195,14
	σ_{id}	51,08	16,06	6,42	63,68	137,24	338,69
Baricentro trave acciaio	τ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	195,14
Attacco Anima-Piat.Sup.	σ	-108,49	-14,24	-5,69	-23,57	-152,00	-338,69
	τ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	195,14
	σ_{id}	108,49	14,24	5,69	23,57	152,00	338,69
Estradosso Trave Acciaio	σ	-111,14	-14,75	-5,89	-25,01	-156,79	-338,69
(b= 350,0)	τ		0,00	0,00	0,00	0,00	195,14
Estradosso Soletta	σ		-1,06	2,67	-6,26	-7,32	-19,83

6.3.2.2 Sezione di Giunto

SEZIONE 1. X=10,883 Mmax (giunto ns soll)

(Unità di misura - Forze: N, Lunghezze: mm)

Altezza totale della trave in acciaio: 1900

Ala inferiore : 750 x 40

Spessore anima: 20

Ala superiore : 450 x 30

Soletta : larghezza= 2900 spessore totale= 260

Coppella: appoggio sull'ala= 50 spessore= 60

Tensione da ritiro in soletta (1° fase): 3,09

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

		TRAVE IN ACCIAIO	TRAVE COMPLETA	
			n= 18,0	n= 6,0
Quota baricentro		761,55	1142,23	1480,52
Area		8,0100E+04	1,1349E+05	1,8027E+05
Momento d'inerzia		4,5125E+10	8,4705E+10	1,2002E+11
Intradosso	W	5,9253E+07	7,4158E+07	8,1066E+07
Attacco Anima-Piat.Inf.	W	6,2538E+07	7,6849E+07	8,3317E+07
	C	2,4650E-05	1,9873E-05	1,8253E-05
Baricentro Trave Acciaio	C	3,0419E-05		
Bicentro Trave Compl.	C		2,7044E-05	2,6898E-05
Attacco Anima-Piat.Sup.	W	4,0710E+07	1,1639E+08	3,0816E+08
	C	1,6805E-05	2,3918E-05	2,6266E-05
Estradosso Trave Acciaio	W	3,9637E+07	1,1178E+08	2,8612E+08
(b= 350,00)	C		1,0285E-06	1,3709E-06
Estradosso Soletta	W		1,4981E+09	1,0598E+09

SOLLECITAZIONI

	Fase 1	Fase 2.1	Fase 2.2	Fase 3
Sforzo Normale	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0
Taglio	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0
Momento Flettente	3,570E+9	1,400E+9	4,580E+8	5,800E+9

TENSIONI

		Fase 1	Fase 2.1	Fase 2.2	Fase 3	Totale	Resistenza
Intradosso	σ	60,25	18,88	6,18	71,55	156,85	338,69
Attacco Anima-Piat.Inf.	σ	57,09	18,22	5,96	69,61	150,88	338,69
	τ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	195,14
	σ_{id}	57,09	18,22	5,96	69,61	150,88	338,69
Baricentro trave acciaio	τ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	195,14
Attacco Anima-Piat.Sup.	σ	-87,69	-12,03	-3,94	-18,82	-122,48	-338,69
	τ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	195,14
	σ_{id}	87,69	12,03	3,94	18,82	122,48	338,69
Estradosso Trave Acciaio	σ	-90,07	-12,52	-4,10	-20,27	-126,96	-338,69
(b= 350,0)	τ		0,00	0,00	0,00	0,00	195,14

Estradosso Soletta	σ		-0,93	2,78	-5,47	-6,41	-19,83
--------------------	----------	--	-------	------	-------	-------	--------

6.3.2.3 Traversi nuovi

Il momento sollecitante vale 205 kN m.

Il momento è stato calcolato con un modulo di resistenza elastico pari a 0.014 m^3 .

Il momento resistente elastico vale 4692 kN m.

6.4 .Verifiche di resistenza S.L.U. per azioni taglianti

6.4.1 Impalcato esistente

Si eseguono di seguito le verifiche sull'impalcato esistente sia per la trave in cap originaria, sia per quella successivamente aggiunta.

Ai risultati delle sollecitazioni indicati nel capitolo precedente viene sottratto il contributo che assume l'armatura di precompressione inserita, ovvero 248 kN, come indicato nella relazione di calcolo originaria.

Viene, inoltre, inserito come sforzo normale lo sforzo di precompressione, uguale a 5267 kN.

Come sezione resistente si è scelto di utilizzare la sezione composta da trave in cap + soletta.

Per quanto riguarda la trave in cap costruita successivamente, non avendo a disposizione dati più certi, si suppone che abbia come caratteristiche resistenti almeno quelle della trave originaria. Viene, perciò, verificata con la stessa armatura di quest'ultima trave.

Le sezioni oggetto di verifica sono 3:

- 1) Sezione ringrossata
- 2) Sezione di fine ringrosso
- 3) Sezione con staffatura normale

Per la trave in cap aggiunta, che non ha ringrosso, si utilizza per la verifica la sua sezione con l'armatura del ringrosso della trave in cap originaria.

Trave in cap originaria – Sezione 1

Nella sezione da verificare sono disposte staffe $\phi 10/18$ cm a 4 braccia.

V_{sdu}	1376	kN
M_{sdu}	-	kNm
N_{sdu}	0	kN
R_{ck}	45	N/mm^2
f_{ck}	35	N/mm^2
γ_c	1,5	
f_{yk}	380	N/mm^2

bw	65	cm
d	210,00	cm
Asl	0	cm ²
c	5,00	cm
α	90	gradi
α	1,57	rad
θ	21,80	gradi
ctg θ	2,50	
θ imposto	21,80	gradi
Asw	3,14	cm ²
passo staffe	18	cm
f_{cd}	19,833	N/mm ²
$f_{ctd_{0,05}}$	1,467	N/mm ²
f_{yd}	330,435	N/mm ²
σ_{cp}	0,0000	N/mm ²
<i>verifica con armatura resistentata a taglio (staffe)</i>		
V_{Rcd}	4200,688	kN
V_{Rsd}	2723,803	kN
V_{Rd}	2723,803	kN

La sezione risulta verificata.

Trave in cap originaria – Sezione 2

Nella sezione da verificare sono disposte staffe $\phi 10/18$ cm a 2 braccia.

V_{sdu}	1156	kN
M_{sdu}	-	kNm
N_{sdu}	5267	kN
R_{ck}	45	N/mm ²
f_{ck}	35	N/mm ²
γ_c	1,5	
f_{yk}	380	N/mm ²
bw	20	cm
d	210,00	cm
Asl	0	cm ²
c	5,00	cm
α	90	gradi
α	1,57	rad
θ	23,02	gradi
ctg θ	2,35	
θ imposto	-	gradi
Asw	1,58	cm ²
passo staffe	18	cm
f_{cd}	19,833	N/mm ²

$f_{ctd_{0,05}}$	1,467	N/mm ²
f_{yd}	330,435	N/mm ²
σ_{cp}	12,2488	N/mm ²
<i>verifica con armatura resistentata a taglio (staffe)</i>		
V_{Rcd}	1289,971	kN
V_{Rsd}	1289,971	kN
V_{Rd}	1289,971	kN

La sezione risulta verificata.

Trave in cap originaria – Sezione 3

Nella sezione da verificare sono disposte staffe $\phi 10/26$ cm a 2 braccia.

V_{sdu}	795	kN
M_{sdu}	-	kNm
N_{sdu}	5267	kN
R_{ck}	45	N/mm ²
f_{ck}	35	N/mm ²
γ_c	1,5	
f_{yk}	380	N/mm ²
b_w	20	cm
d	210,00	cm
A_{sl}	0	cm ²
c	5,00	cm
α	90	gradi
α	1,57	rad
θ	21,80	gradi
$ctg\theta$	2,50	
$\theta_{imposto}$	21,80	gradi
A_{sw}	1,58	cm ²
passo staffe	26	cm
f_{cd}	19,833	N/mm ²
$f_{ctd_{0,05}}$	1,467	N/mm ²
f_{yd}	330,435	N/mm ²
σ_{cp}	12,2488	N/mm ²
<i>verifica con armatura resistentata a taglio (staffe)</i>		
V_{Rcd}	1235,686	kN
V_{Rsd}	948,860	kN
V_{Rd}	948,860	kN

La sezione risulta verificata.

Trave in cap aggiunta – Sezione 1

Nella sezione da verificare sono disposte staffe $\phi 10/18$ cm a 4 braccia.

V_{sdu}	1132	kN
M_{sdu}	-	kNm
N_{sdu}	0	kN
R_{ck}	45	N/mm ²
f_{ck}	35	N/mm ²
γ_c	1,5	
f_{yk}	380	N/mm ²
b_w	20	cm
d	220,00	cm
A_{sl}	0	cm ²
c	5,00	cm
α	90	gradi
α	1,57	rad
θ	32,62	gradi
$ctg\theta$	1,56	
$\theta_{imposto}$	-	gradi
A_{sw}	3,14	cm ²
passo staffe	18	cm
f_{cd}	19,833	N/mm ²
$f_{ctd_{0,05}}$	1,467	N/mm ²
f_{yd}	330,435	N/mm ²
σ_{cp}	0,0000	N/mm ²
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
V_{Rcd}	1783,075	kN
V_{Rsd}	1783,075	kN
V_{Rd}	1783,075	kN

La sezione risulta verificata.

Trave in cap aggiunta – Sezione 2

Nella sezione da verificare sono disposte staffe $\phi 10/18$ cm a 2 braccia.

V_{sdu}	1082	kN
M_{sdu}	-	kNm
N_{sdu}	5267	kN
R_{ck}	45	N/mm ²
f_{ck}	35	N/mm ²
γ_c	1,5	
f_{yk}	380	N/mm ²
b_w	20	cm
d	220,00	cm
A_{sl}	0	cm ²
c	5,00	cm

α	90	gradi
α	1,57	rad
θ	22,20	gradi
ctg θ	2,45	
θ imposto	-	gradi
Asw	1,58	cm ²
passo staffe	18	cm
f_{cd}	19,833	N/mm ²
fctd _{0,05}	1,467	N/mm ²
f _{yd}	330,435	N/mm ²
σ_{cp}	11,7044	N/mm ²
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
V _{Rcd}	1407,493	kN
V _{Rsd}	1407,493	kN
V _{Rd}	1407,493	kN

La sezione risulta verificata.

Trave in cap aggiunta – Sezione 3

Nella sezione da verificare sono disposte staffe $\phi 10/26$ cm a 2 braccia.

V _{sdu}	812	kN
M _{sdu}	-	kNm
N _{sdu}	5267	kN
R _{ck}	45	N/mm ²
f _{ck}	35	N/mm ²
γ_c	1,5	
f _{yk}	380	N/mm ²
bw	20	cm
d	220,00	cm
Asl	0	cm ²
c	5,00	cm
α	90	gradi
α	1,57	rad
θ	21,80	gradi
ctg θ	2,50	
θ imposto	21,80	gradi
Asw	1,58	cm ²
passo staffe	26	cm
f_{cd}	19,833	N/mm ²
fctd _{0,05}	1,467	N/mm ²
f _{yd}	330,435	N/mm ²
σ_{cp}	11,7044	N/mm ²
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
V _{Rcd}	1387,446	kN

V_{Rsd}	994,044	kN
V_{Rd}	994,044	kN

La sezione risulta verificata.

6.4.2 Traversi esistenti

6.4.2.1 Traverso di campata

Il traverso di campata esistente è armato con staffe $\phi 8/26$ cm a 2 braccia.

V_{sdu}	462	kN
M_{sdu}	-	kNm
N_{sdu}	0	kN
R_{ck}	45	N/mm ²
f_{ck}	35	N/mm ²
γ_c	1,5	
f_{yk}	380	N/mm ²
b_w	70	cm
d	171,00	cm
A_{sl}	0	cm ²
c	4,00	cm
α	90	gradi
α	1,57	rad
θ	21,80	gradi
$ctg\theta$	2,50	
$\theta_{imposto}$	21,80	gradi
A_{sw}	1,01	cm ²
passo staffe	26	cm
f_{cd}	19,833	N/mm ²
$f_{ctd_{0,05}}$	1,467	N/mm ²
f_{yd}	330,435	N/mm ²
σ_{cp}	0,0000	N/mm ²
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
V_{Rcd}	3683,680	kN
V_{Rsd}	493,905	kN
V_{Rd}	493,905	kN

6.4.2.2 Traverso di appoggio

Il traverso di campata esistente è armato con staffe $\phi 8/26$ cm a 2 braccia.

V_{sdu}	328	kN
M_{sdu}	-	kNm

N_{sdu}	0	kN
R_{ck}	45	N/mm^2
f_{ck}	35	N/mm^2
γ_c	1,5	
f_{yk}	380	N/mm^2
b_w	55	cm
d	171,00	cm
A_{sl}	0	cm^2
c	4,00	cm
α	90	gradi
α	1,57	rad
θ	21,80	gradi
$ctg\theta$	2,50	
$\theta_{imposto}$	21,80	gradi
A_{sw}	1,01	cm^2
passo staffe	26	cm
f_{cd}	19,833	N/mm^2
$f_{ctd_{0,05}}$	1,467	N/mm^2
f_{yd}	330,435	N/mm^2
σ_{cp}	0,0000	N/mm^2
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
V_{Rcd}	2894,320	kN
V_{Rsd}	493,905	kN
V_{Rd}	493,905	kN

6.4.3 Impalcato nuovo in allargamento

Anche per l'azione tagliante, le verifiche sono state effettuate in termini tensionali, confrontando la tensione massima sollecitante in ogni fase per ogni tipologia di carico con quella massima ammissibile per azioni taglianti.

6.4.3.1 Sezione di Appoggio

SEZIONE 1. $X=0$ M_{max} (appoggio ns soll)

(Unità di misura - Forze: N, Lunghezze: mm)

Altezza totale della trave in acciaio: 1900

Ala inferiore : 750 x 40

Spessore anima: 20

Ala superiore : 450 x 30

Soletta : larghezza= 2900 spessore totale= 260

Coppella: appoggio sull'ala= 50 spessore= 60

Tensione da ritiro in soletta (1° fase): 3,09

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

		TRAVE IN ACCIAIO	TRAVE COMPLETA	
			n= 18,0	n= 6,0
Quota baricentro		761,55	1142,23	1480,52
Area		8,0100E+04	1,1349E+05	1,8027E+05
Momento d'inerzia		4,5125E+10	8,4705E+10	1,2002E+11
Intradosso	W	5,9253E+07	7,4158E+07	8,1066E+07
Attacco Anima-Piat.Inf.	W	6,2538E+07	7,6849E+07	8,3317E+07
	C	2,4650E-05	1,9873E-05	1,8253E-05
Baricentro Trave Acciaio	C	3,0419E-05		
Bicentro Trave Compl.	C		2,7044E-05	2,6898E-05
Attacco Anima-Piat.Sup.	W	4,0710E+07	1,1639E+08	3,0816E+08
	C	1,6805E-05	2,3918E-05	2,6266E-05
Estradosso Trave Acciaio	W	3,9637E+07	1,1178E+08	2,8612E+08
(b= 350,00)	C		1,0285E-06	1,3709E-06
Estradosso Soletta	W		1,4981E+09	1,0598E+09

SOLLECITAZIONI

	Fase 1	Fase 2.1	Fase 2.2	Fase 3
Sforzo Normale	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0
Taglio	0,000E+0	5,730E+5	2,510E+5	1,055E+6
Momento Flettente	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0

TENSIONI

		Fase 1	Fase 2.1	Fase 2.2	Fase 3	Totale	Resistenz a
Intradosso	σ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	338,69
Attacco Anima-Piat.Inf.	σ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	338,69
	τ	0,00	14,12	6,19	26,01	40,13	195,14
	σ_{id}	0,00	24,46	10,72	45,04	69,51	338,69
Baricentro trave acciaio	τ	0,00	17,43	7,64	32,09	49,52	195,14
Attacco Anima-Piat.Sup.	σ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-338,69
	τ	0,00	9,63	4,22	17,73	27,36	195,14
	σ_{id}	0,00	16,68	7,31	30,71	47,39	338,69
Estradosso Trave Acciaio	σ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-338,69
(b= 350,0)	τ		0,59	0,26	1,45	2,04	195,14
Estradosso Soletta	σ		0,00	3,09	0,00	3,09	-19,83

6.4.3.2 Traversi nuovi

Il taglio sollecitante sui traversi vale 175 kN.

Il taglio resistente vale:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

Dove A_v è la sola area dell'anima.

Quindi il taglio resistente risulta 3123 kN.

6.4.3.3 Verifica pioli

In prossimità degli appoggi si dispongono 4 pioli $\varnothing 19$ h=200 ogni 15 cm.

La forza di scorrimento trave/soletta, derivante da $\tau=2,04$ MPa, risulta, quindi, uguale a

$$T_{sd} = 2,04 \cdot 450 \cdot 150 / 1000 = 137,7 \text{ kN} \quad \text{sull'interasse dei pioli.}$$

Pertanto:

$$P_{Ed} = 137,7 / 4 = 34,425 \text{ kN}$$

La verifica avviene come prescritto dalle NTC 2008 al capitolo 4.3.4.3.1.2. Risulta:

$$P_{Rd,a} = 0,8 \cdot f_t \cdot (\pi d^2 / 4) / \gamma_v = 0,8 \cdot 450 \cdot 283 / 1,25 / 1000 = 81,50 \text{ kN}$$

$$P_{Rd,b} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_c)^{0,5} / \gamma_v = 0,29 \cdot 1,00 \cdot 19^2 \cdot (35 \cdot 34290)^{0,5} / 1,25 / 1000 = 91,75 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \min(P_{Rd,a}, P_{Rd,b}) = 81,50 \text{ kN}$$

I pioli risultano, quindi, verificati.

6.5 Verifiche travi a fatica

E' stata eseguita la verifica a fatica nella sezione di mezzeria e nella sezione di giunto in accordo alla norma al paragrafo 4.2.4.1.4.4 della circolare.

Le sezioni da verificare sono intradosso ed estradosso della trave di acciaio e attacco anima-piattabanda inferiore e superiore, sezione dove la verifica risulta più gravosa essendo la trave saldata in tali punti.

L'unica sollecitazione considerata è quella da carichi mobili, poiché l'unica che comporta un effettivo $\Delta\sigma$.

Nella sezione di giunto saldato fra conci di trave viene considerato il dettaglio con $\Delta\sigma=80$ MPa.

Quindi risulta resistente un $\Delta\sigma= 80 \cdot k / \gamma_F$, dove k vale 0,91 per la piattabanda inferiore e 0,96 per la piattabanda superiore.

Per la sezione di mezzeria si considera il dettaglio con $\Delta\sigma=140$ MPa per le sezioni normali e $\Delta\sigma=100$ MPa per le sezioni saldate.

Sezione di mezzeria:

SEZIONE 1. X=16.325 Mmax (mezzeria ns soll)

(Unità di misura - Forze: N, Lunghezze: mm)

Altezza totale della trave in acciaio: 1900

Ala inferiore : 750 x 60

Spessore anima: 18

Ala superiore : 450 x 30

Soletta : larghezza= 2900 spessore totale= 260

Coppella: appoggio sull'ala= 50 spessore= 60

Tensione da ritiro in soletta (1° fase): 0,00

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

		TRAVE IN ACCIAIO	TRAVE COMPLETA	
			n= 18,0	n= 6,0
Quota baricentro		639,41	1019,26	1381,07
Area		9,1080E+04	1,2447E+05	1,9125E+05
Momento d'inerzia		5,0020E+10	9,9139E+10	1,4606E+11
Intradosso	W	7,8229E+07	9,7265E+07	1,0576E+08
Attacco Anima-Piat.Inf.	W	8,6330E+07	1,0335E+08	1,1056E+08
	C	3,0458E-05	2,4946E-05	2,3126E-05
Baricentro Trave Acciaio	C	3,3814E-05		
Bicentro Trave Compl.	C		2,9587E-05	2,9100E-05
Attacco Anima-Piat.Sup.	W	4,0647E+07	1,1653E+08	2,9873E+08
	C	1,8676E-05	2,5937E-05	2,8282E-05
Estradosso Trave Acciaio	W	3,9680E+07	1,1256E+08	2,8146E+08
(b= 350,00)	C		9,9708E-07	1,3214E-06
Estradosso Soletta	W		1,5643E+09	1,1251E+09

SOLLECITAZIONI

	Pesi strutturali	Carichi perm.	Ritiro	Carichi mobili	Variazioni termiche	Cedimenti differenz.
Sforzo Normale	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0
Taglio	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0
Momento Flettente	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	2,800E+9	0,000E+0	0,000E+0

TENSIONI

		Pesi strutturali	Carichi perm.	Ritiro	Carichi mobili	Variazioni termiche	Cedimenti differenz.	Totale	Resistenza
Intradosso	σ	0,00	0,00	0,00	26,48	0,00	0,00	26,48	103,7
Attacco Anima-Piat.Inf.	σ	0,00	0,00	0,00	25,33	0,00	0,00	25,33	74,07
Attacco Anima-Piat.Sup.	σ	0,00	0,00	0,00	-9,37	0,00	0,00	-9,37	-74,07
Estradosso Trave Acciaio	σ	0,00	0,00	0,00	-9,95	0,00	0,00	-9,95	-103,7

Sezione di giunto:

SEZIONE 1. X=10,883 Mmax (giunto ns soll)

(Unità di misura - Forze: N, Lunghezze: mm)

Altezza totale della trave in acciaio: 1900

Ala inferiore : 750 x 40

Spessore anima: 20

Ala superiore : 450 x 30

Soletta : larghezza= 2900 spessore totale= 260

Coppella: appoggio sull'ala= 50 spessore= 60

Tensione da ritiro in soletta (1° fase): 0,00

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

		TRAVE IN ACCIAIO	TRAVE COMPLETA	
			n= 18,0	n= 6,0
Quota baricentro		761,55	1142,23	1480,52
Area		8,0100E+04	1,1349E+05	1,8027E+05
Momento d'inerzia		4,5125E+10	8,4705E+10	1,2002E+11
Intradosso	W	5,9253E+07	7,4158E+07	8,1066E+07
Attacco Anima-Piat.Inf.	W	6,2538E+07	7,6849E+07	8,3317E+07
	C	2,4650E-05	1,9873E-05	1,8253E-05
Baricentro Trave Acciaio	C	3,0419E-05		
Bicentro Trave Compl.	C		2,7044E-05	2,6898E-05
Attacco Anima-Piat.Sup.	W	4,0710E+07	1,1639E+08	3,0816E+08
	C	1,6805E-05	2,3918E-05	2,6266E-05
Estradosso Trave Acciaio	W	3,9637E+07	1,1178E+08	2,8612E+08
(b= 350,00)	C		1,0285E-06	1,3709E-06
Estradosso Soletta	W		1,4981E+09	1,0598E+09

SOLLECITAZIONI

	Pesi strutturali	Carichi perm.	Ritiro	Carichi mobili	Variazioni termiche	Cedimenti differenz.
Sforzo Normale	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0
Taglio	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0
Momento Flettente	0,000E+0	0,000E+0	0,000E+0	2,310E+9	0,000E+0	0,000E+0

TENSIONI

		Pesi strutturali	Carichi perm.	Ritiro	Carichi mobili	Variazioni termiche	Cedimenti differenz.	Totale	Resistente
Intradosso	σ	0,00	0,00	0,00	28,50	0,00	0,00	28,50	53,92
Attacco Anima-Piat.Inf.	σ	0,00	0,00	0,00	27,73	0,00	0,00	27,73	53,92
Attacco Anima-Piat.Sup.	σ	0,00	0,00	0,00	-7,50	0,00	0,00	-7,50	-57,13
Estradosso Trave Acciaio	σ	0,00	0,00	0,00	-8,07	0,00	0,00	-8,07	-57,13

7. Verifica della soletta

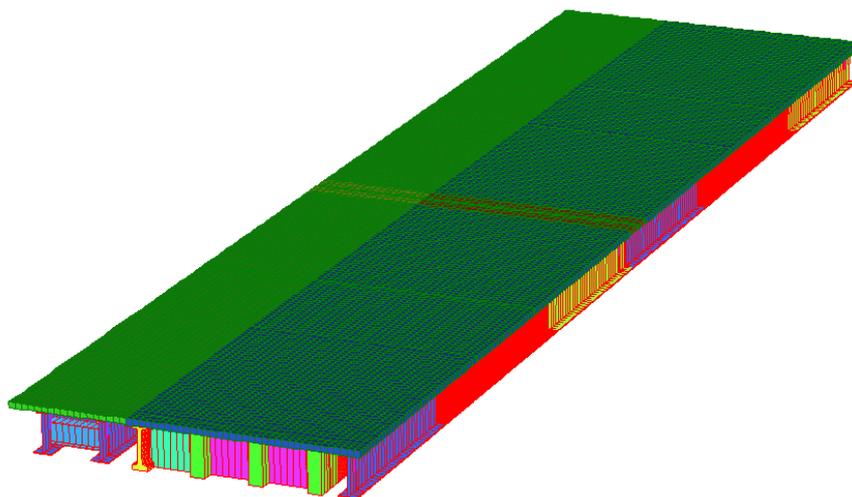
7.1 Generalità

Si analizza il comportamento della soletta lungo l'intero sviluppo longitudinale e trasversale, prendendo in conto le condizioni critiche:

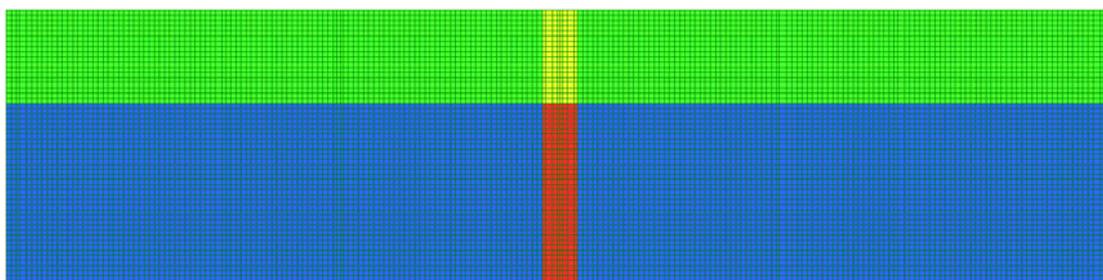
- la “zona di sutura” che garantisce il collegamento tra la porzione attuale e l'ampliamento di 4,75 m;
- la “zona di sutura” che garantisce il collegamento tra la porzione attuale e lo sbalzo di 1,77 m;
- il giunto che solidarizza le campate in senso longitudinale in corrispondenza delle pile.

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.

La soletta è l'unico elemento di cucitura tra l'impalcato esistente e l'allargamento. La sezione critica oggetto di dimensionamento e verifica risulta pertanto quella in corrispondenza della fascia di cucitura, nella quale non risultano presenti i traversi.



Modello agli E.F.



Modello agli E.F. – Vista in pianta

Per la verifica in oggetto i carichi mobili stradali sono stati posizionati in modo da massimizzare gli effetti locali in termini di sollecitazioni flessionali e taglianti:

7.2 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.

Le colonne di carico sono state disposte prima in modo da massimizzare l'azione sulla sutura fra struttura esistente e in ampliamento, posizionando la prima colonna di carico in corrispondenza di tale sezione.

Successivamente, si è scelto di massimizzare l'azione sullo sbalzo laterale, posizionando la colonna di carico principale in corrispondenza di tale sezione.

Infine si è scelto di posizionare le impronte di carico sul giunto di solidarizzazione.

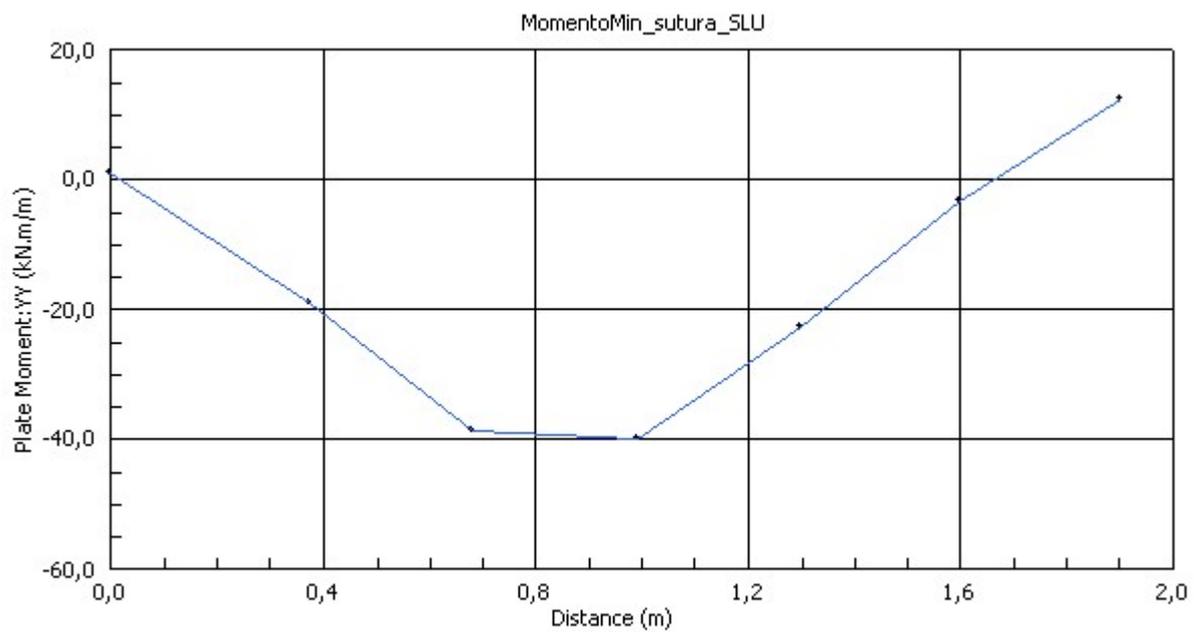
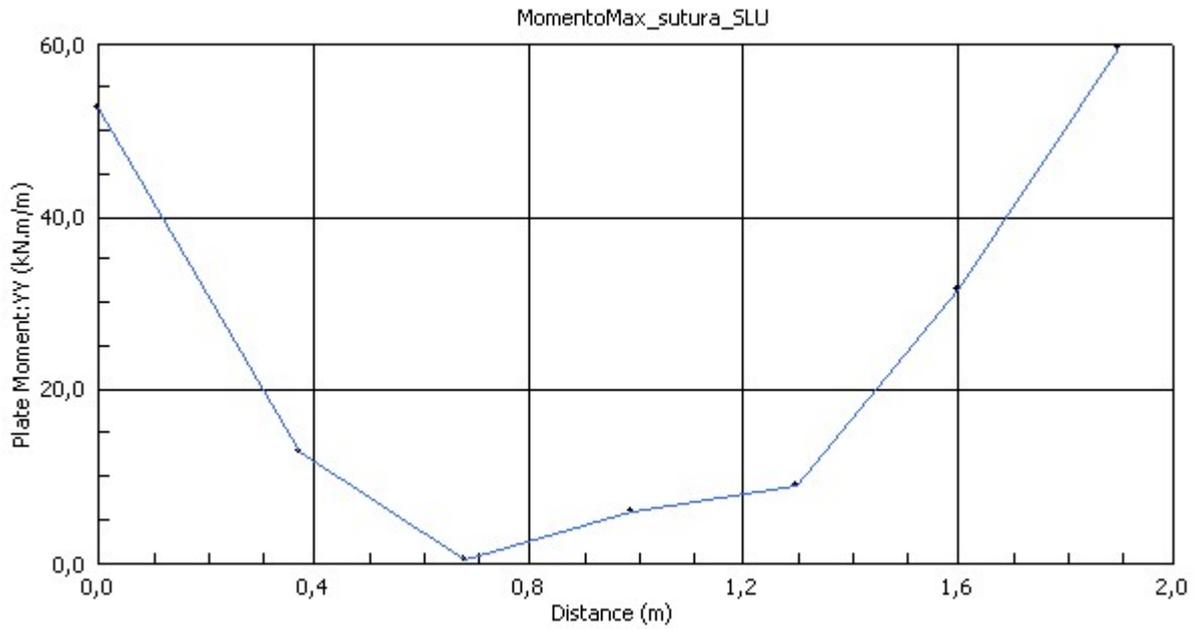
7.3 Sollecitazioni

Di seguito si riportano gli involuppi per azione flettente e tagliante. 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.

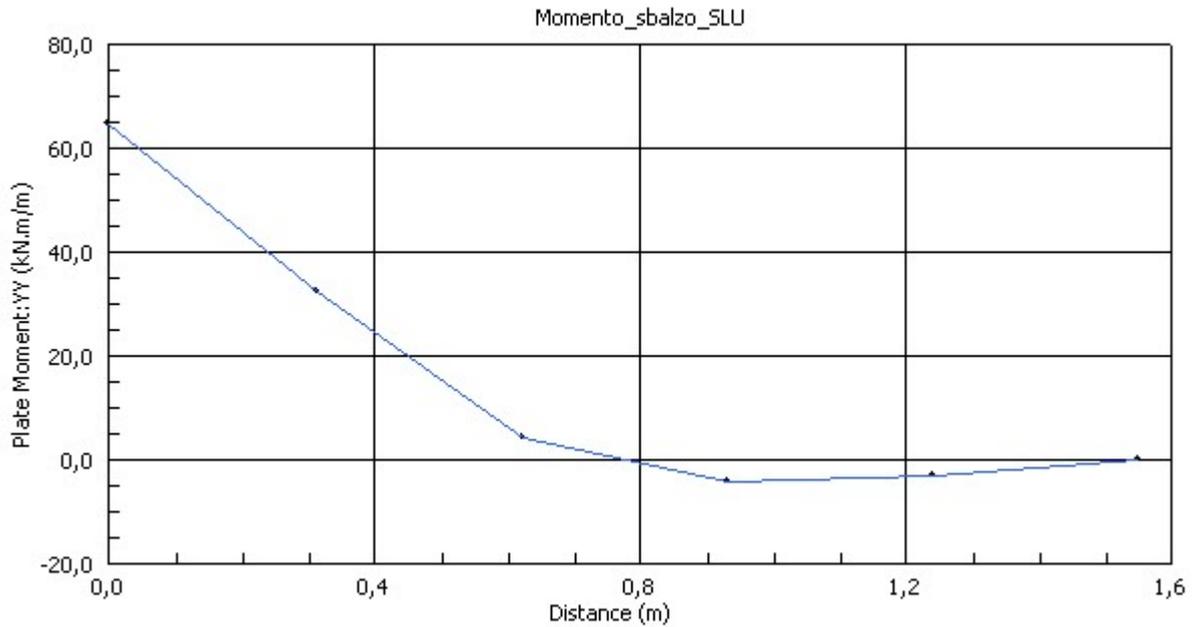
7.3.1 Stati Limite Ultimi

7.3.1.1 Momento

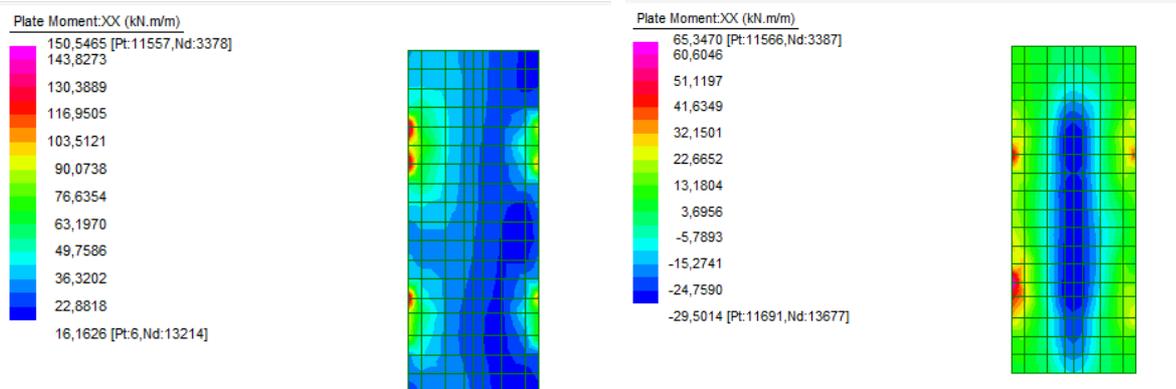
Di seguito si riporta l'involuppo del momento flettente massimo e minimo nella combinazione che massimizza il momento sulla sezione di sutura fra struttura nuova ed esistente.



Di seguito si riporta l'andamento del momento flettente nella combinazione che massimizza il momento sulla sezione di sbalzo.

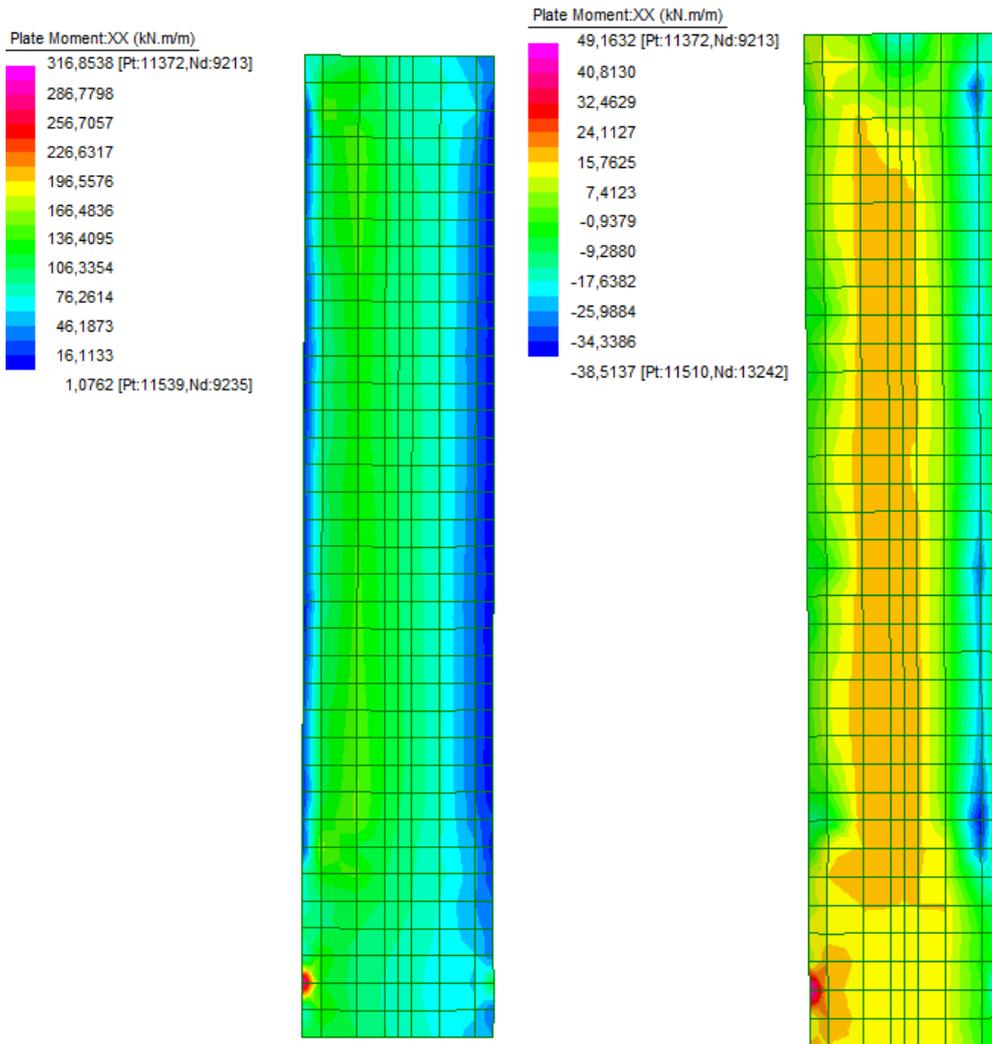


Di seguito si riporta il grafico dell'andamento del momento flettente longitudinale nella combinazione di carico per massimizzare il momento sul giunto di soletta nuovo di progetto in corrispondenza delle pile.

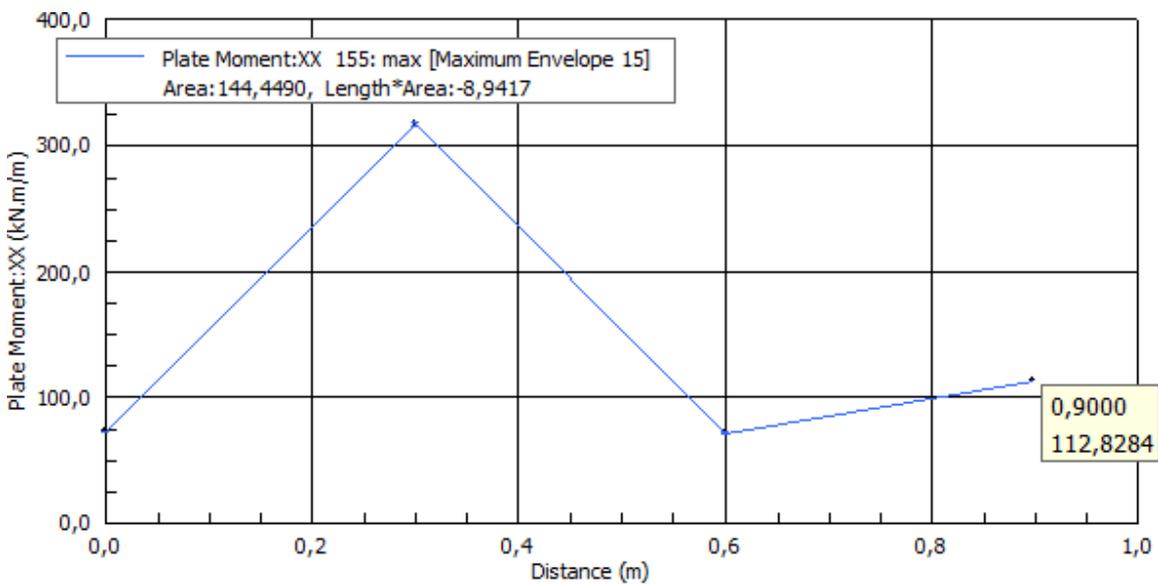


Inviluppo dei massimi e dei minimi di momento flettente

Di seguito si riporta il grafico dell'andamento del momento flettente longitudinale nella combinazione di carico per massimizzare il momento sul giunto di soletta esistente in corrispondenza delle pile.

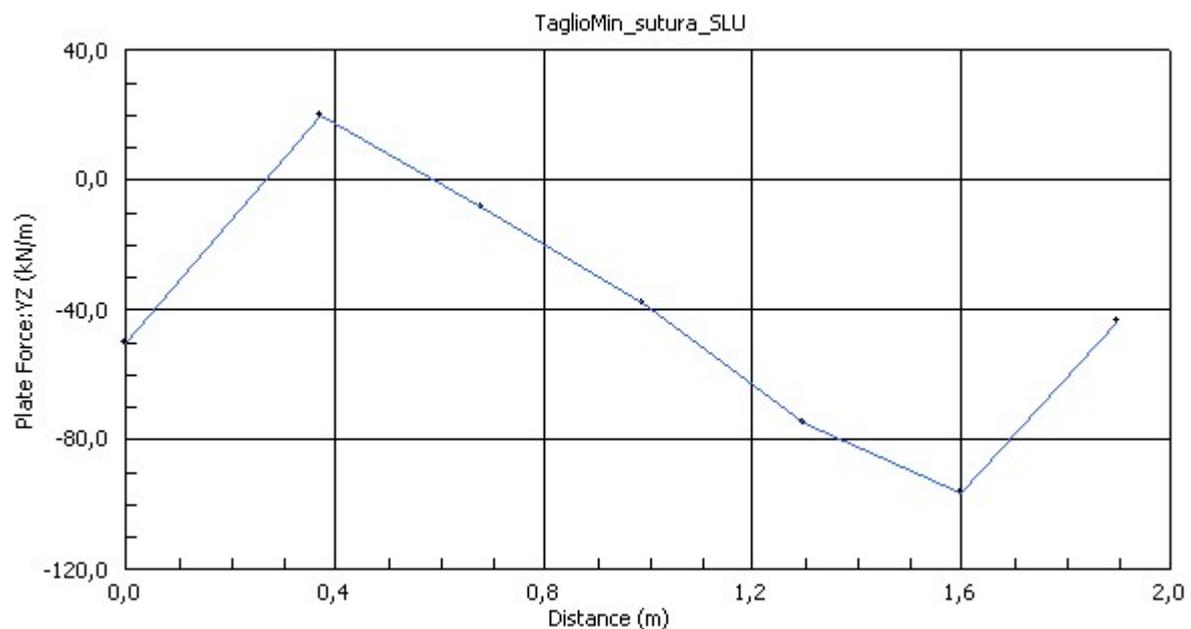
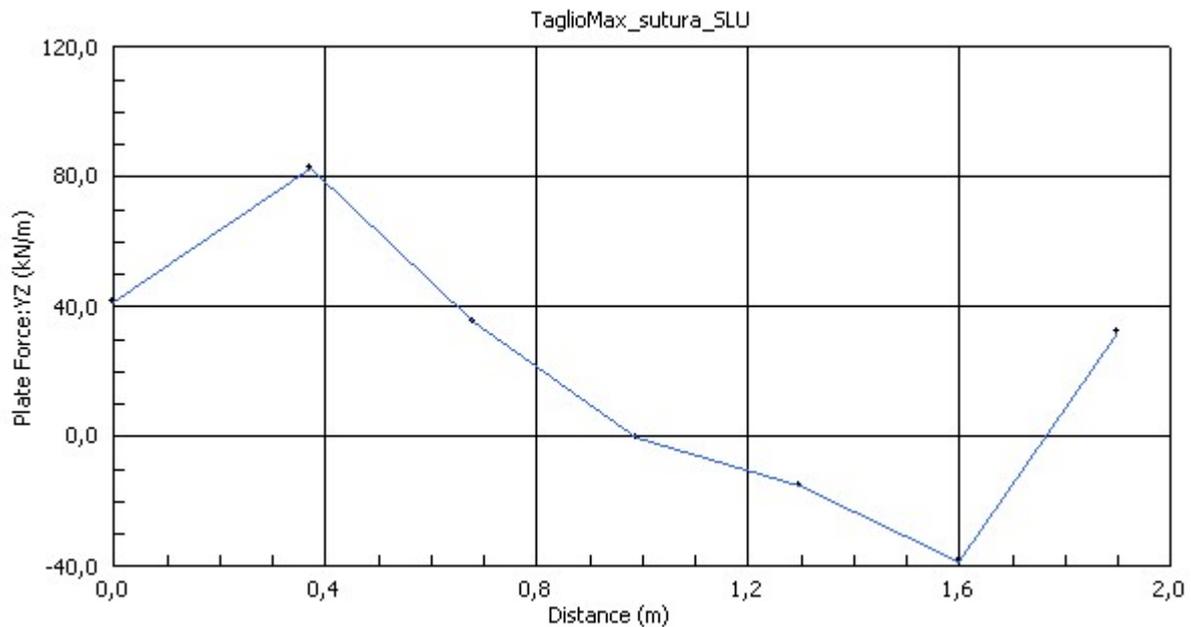


La trave costituisce una singolarita per cui si è mediato il momento su una larghezza pari alla larghezza del ringrosso della trave più due volte il semi spessore della soletta, per un valore totale pari a 0,90 m.

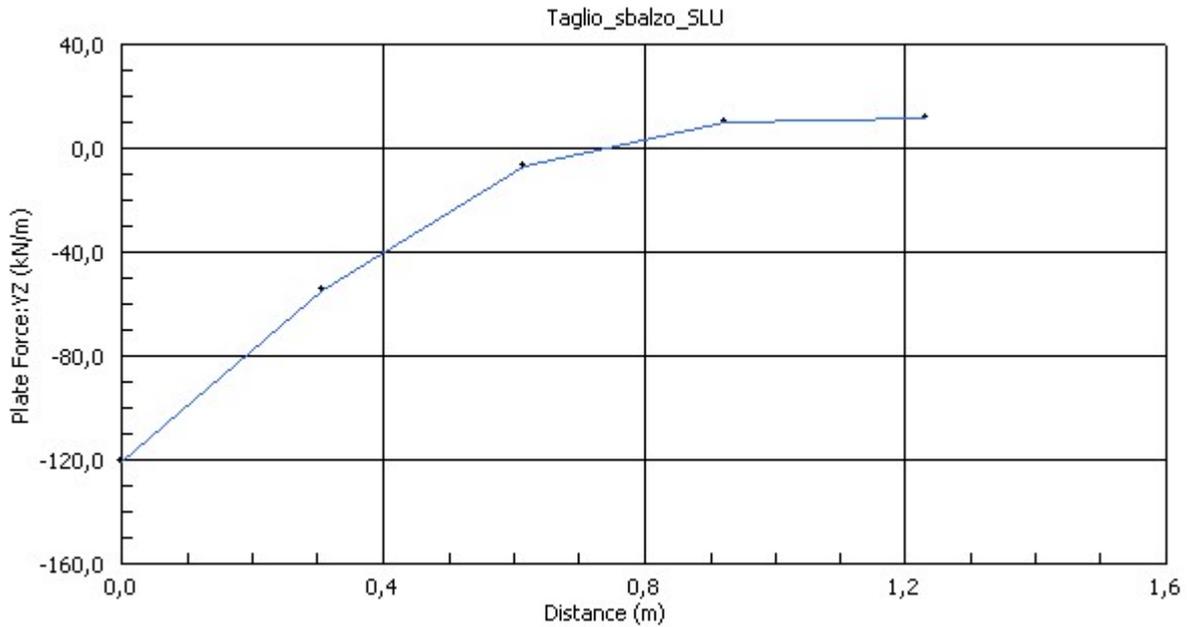


7.3.1.2 Taglio

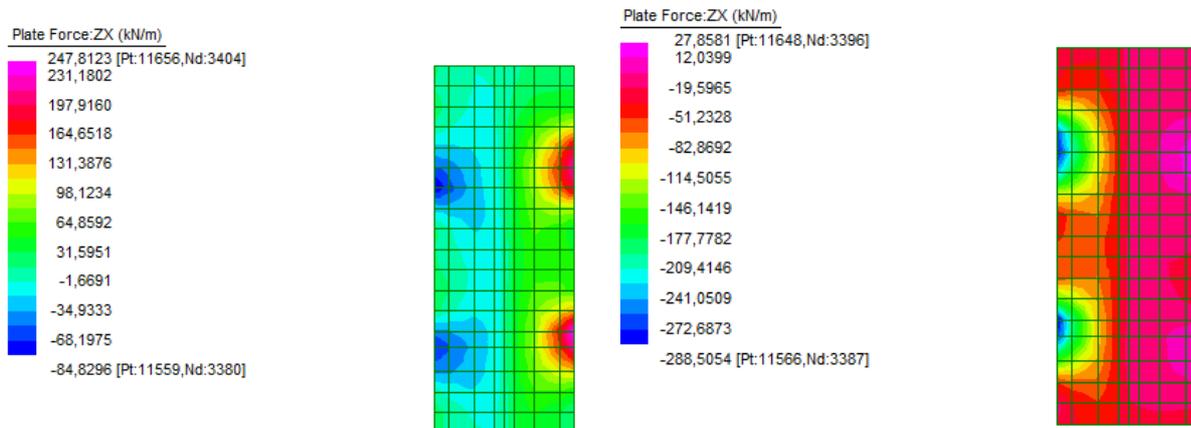
Di seguito si riporta l'involuppo del taglio massimo e minimo sulla sezione di sutura fra struttura nuova ed esistente.



Di seguito si riporta il grafico dell'andamento del taglio sullo sbalzo.

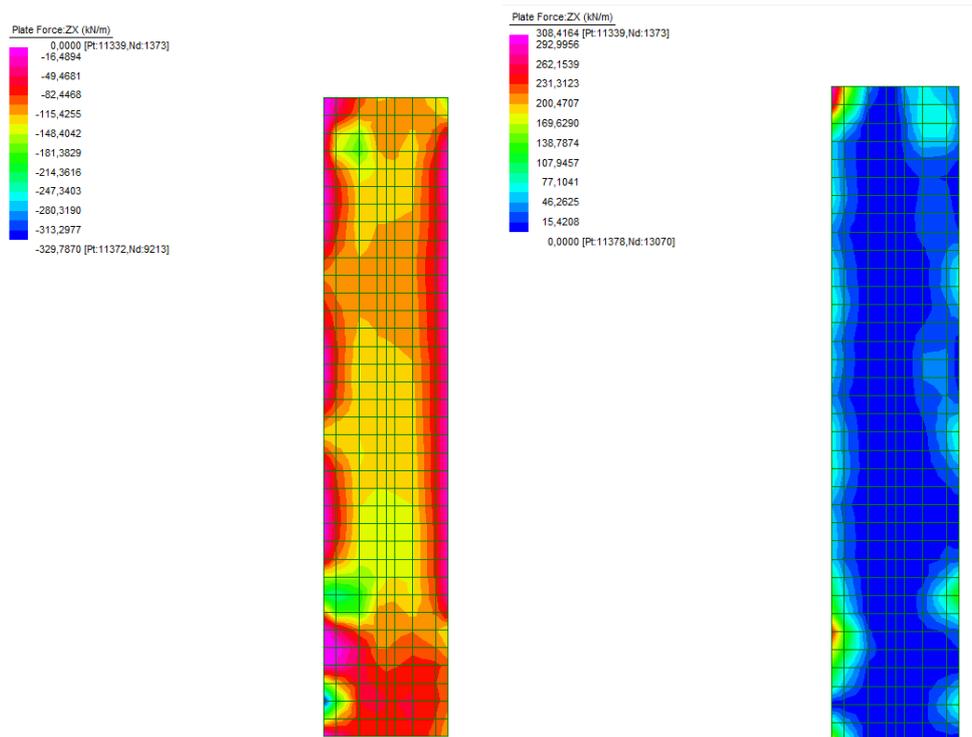


Di seguito si riporta il grafico dell'andamento del taglio sul giunto di soletta nuovo di progetto in corrispondenza delle pile.

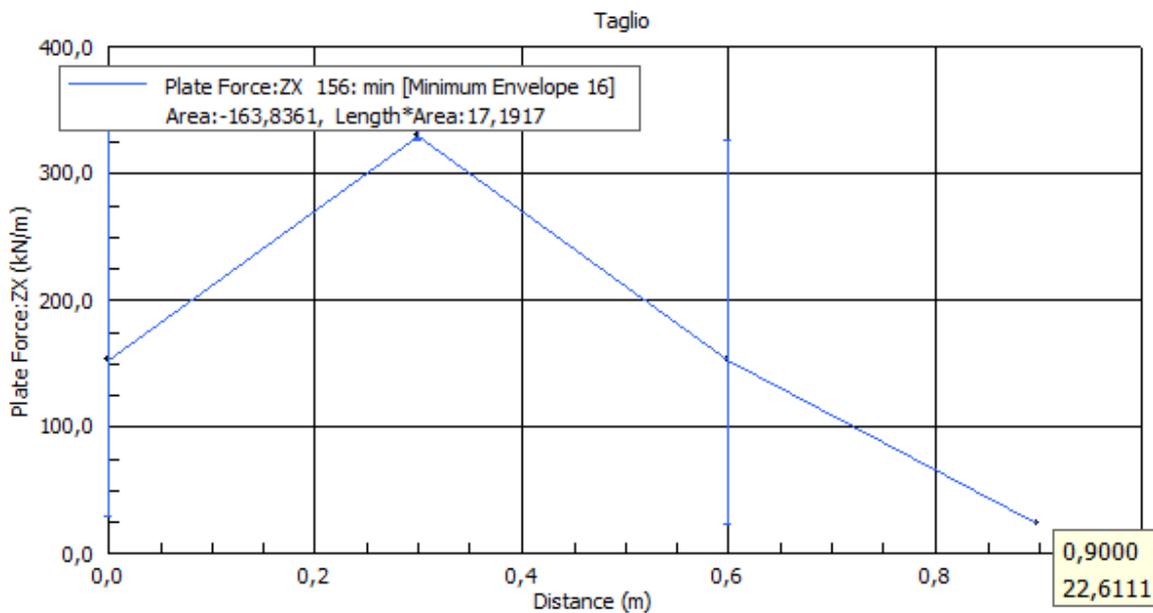


Inviluppo dei massimi e dei minimi di taglio

Di seguito si riporta il grafico dell'andamento del taglio sul giunto di soletta esistente in corrispondenza delle pile.



La trave costituisce una singolarità per cui si è mediato il momento su una larghezza pari alla larghezza del ringrosso della trave più due volte il semi spessore della soletta, per un valore totale pari a 0,90 m.



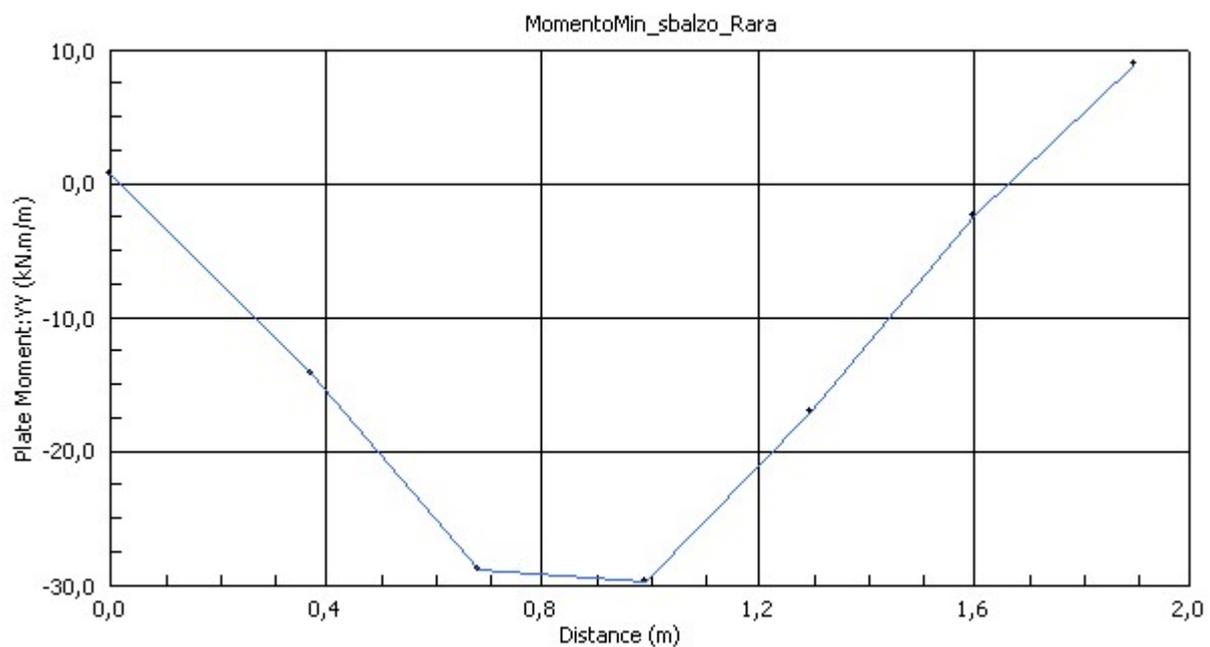
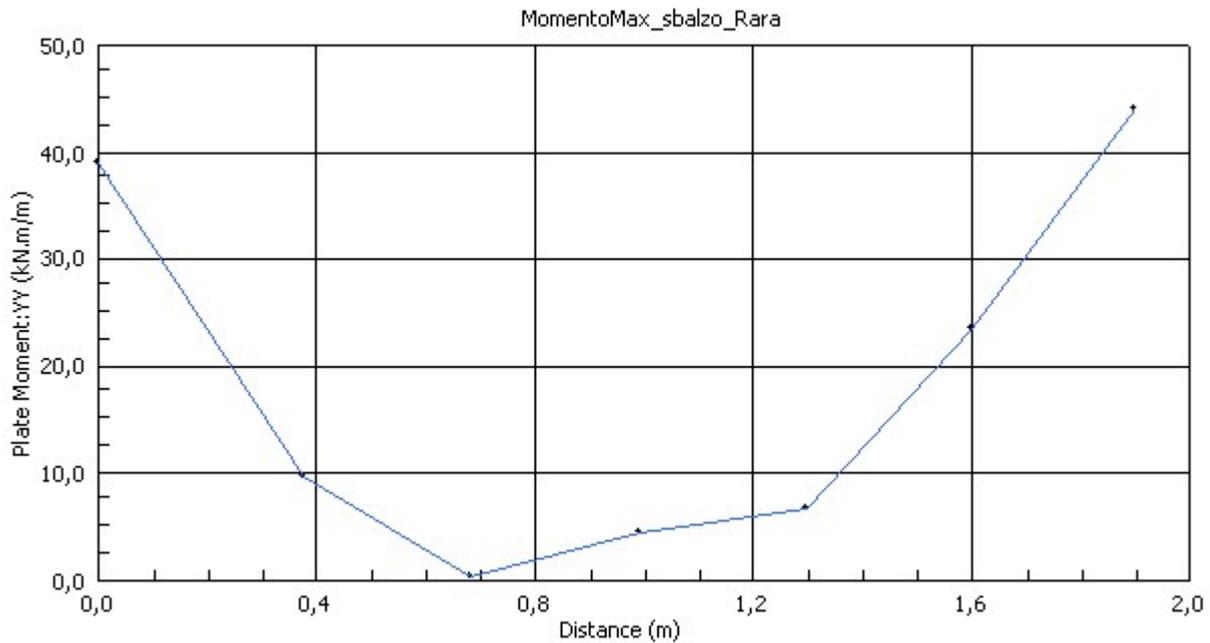
7.3.2 Tabella Riassuntiva delle Sollecitazioni sulla Soletta agli SLU

	M+ [kNm/m]	M- [kNm/m]	T [kN/m]
Zona di sutura	40	-59	96
Sbalzo	4	-64	120

Giunto longitudinale su pile nuovo	151	-29.5	289
Giunto longitudinale su pile esistente	160	-39	182

7.3.3 Stati Limite di Esercizio – Combinazione Rara

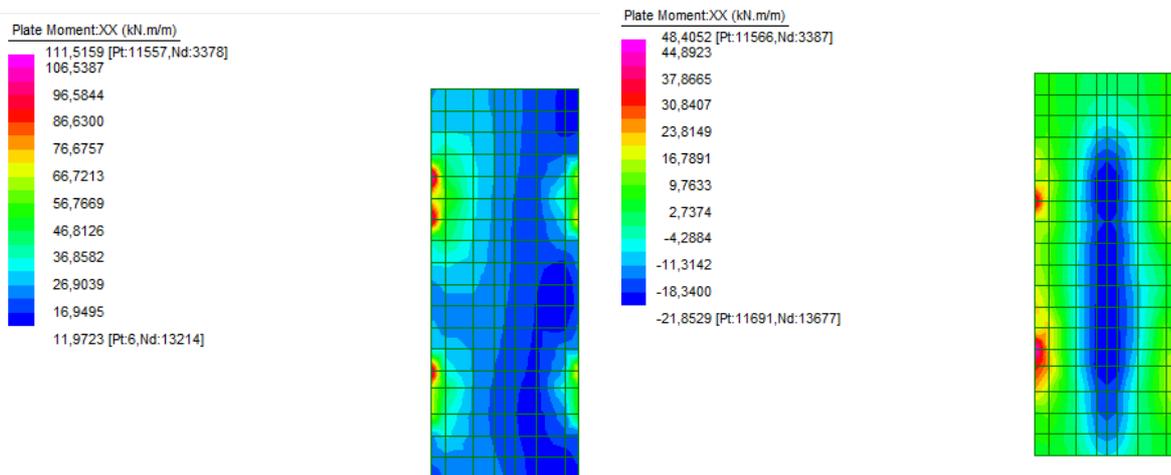
Di seguito si riporta l'involuppo del momento flettente massimo e minimo nella combinazione che massimizza il momento sulla sezione di sutura fra struttura nuova ed esistente.



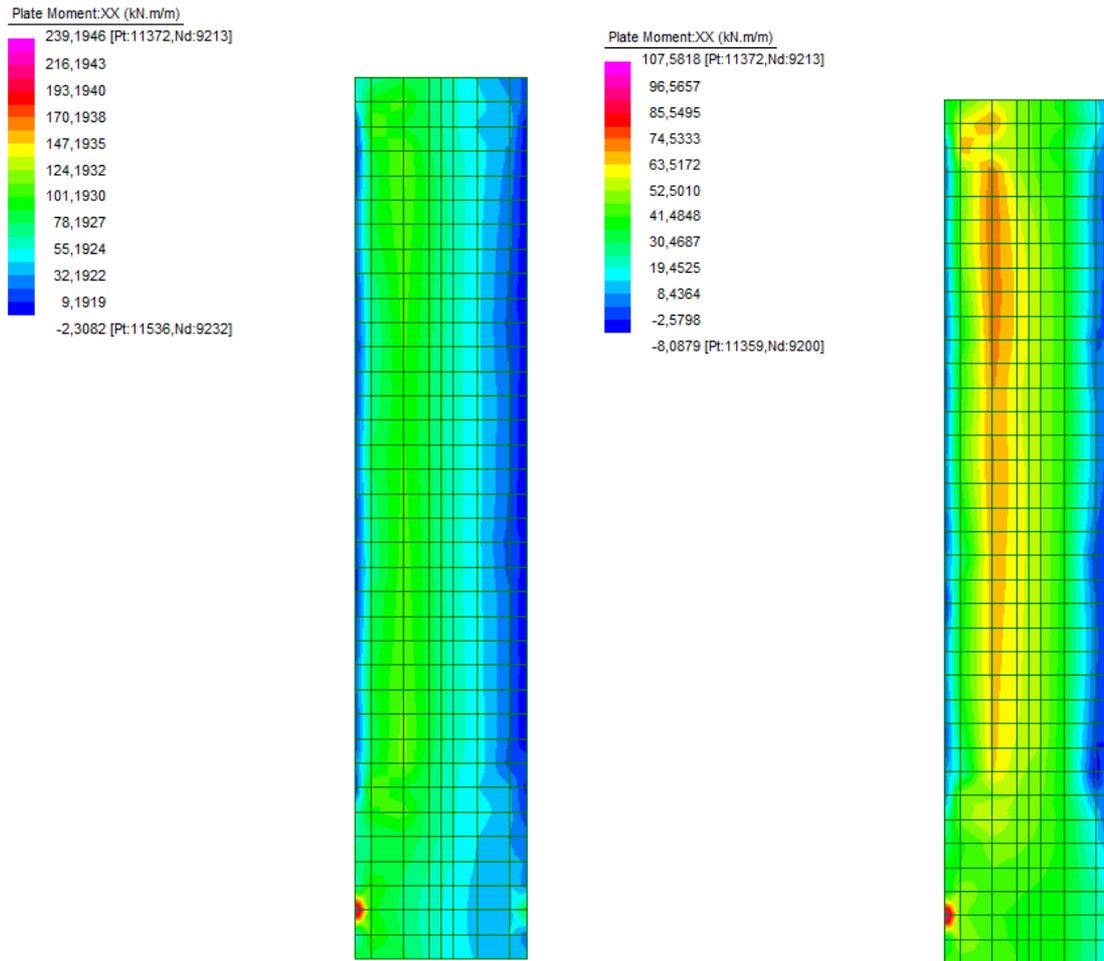
Di seguito si riporta l'andamento del momento flettente nella combinazione che massimizza il momento sulla sezione di sbalzo.



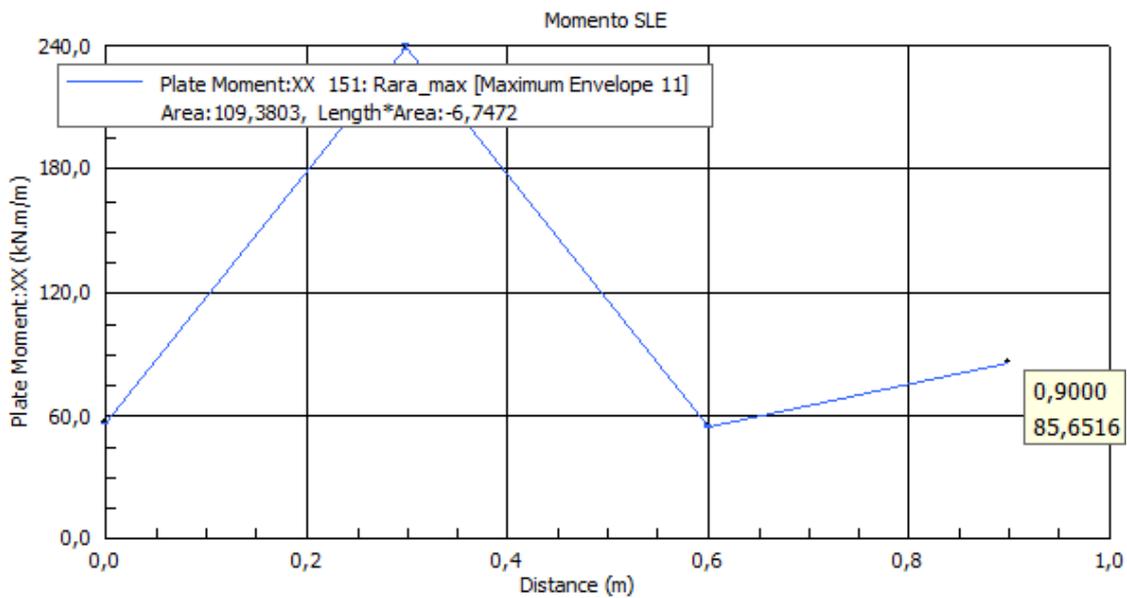
Di seguito si riporta il grafico dell'andamento del taglio sul giunto di soletta nuovo di progetto in corrispondenza delle pile.



Di seguito si riporta il grafico dell'andamento del taglio sul giunto di soletta esistente in corrispondenza delle pile.



La trave costituisce una singolarita per cui si è mediato il momento su una larghezza pari alla larghezza del ringrosso della trave più due volte il semi spessore della soletta, per un valore totale pari a 0,90 m.



7.3.4 Tabella Riassuntiva delle Sollecitazioni sulla Soletta agli SLE

	M+ [kN m]	M- [kN m]
Zona di sutura	29	-44
Sbalzo	3	-47
Giunto nuovo	111	-22
Giunto vecchio	121	-8

7.4 Risultati di verifica della soletta

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

7.4.1 Verifiche agli SLU

7.4.1.1 Momento flettente

Zona di Sutura

Si esegue la verifica della sezione in cui la soletta funge da unico collegamento fra struttura nuova ed esistente. In corrispondenza di tale sezione si considera una sezione resistente costituita dal solo getto, ovvero senza coppella, con altezza $h=20$ cm, e si decide di disporre $\varnothing 20/20$ cm sopra e $\varnothing 18/20$ cm sotto.

Verifica a momento positivo

Titolo: Verifica soletta sutura

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	20	1	15,71	3
			2	12,72	17

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 kN
M_{xEd}: 40 kNm
M_{yEd}: 0

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C35/45

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}: 19,03 ‰
E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0,8 ‰
ε_{syd}: 1,957 ‰ σ_{c,adm}: 13,5 N/mm²
σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0,8 N/mm²
τ_{c1}: 2,257 N/mm²

M_{xRd}: 78,14 kNm
σ_c: -19,83 N/mm²
σ_s: 391,3 N/mm²
ε_c: 3,5 ‰
ε_s: 16,14 ‰
d: 17 cm
x: 3,03 x/d: 0,1782
δ: 0,7

Tipo Sezione: Rettang.re Trapezi
a T Circolare
Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo: S.L.U. Metodo n
Tipo flessione: Retta Deviata
N° rett.: 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀: 0 cm Col. modello
Precompresso

Verifica a momento negativo

Titolo: Verifica soletta sutura

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	20	1	15,71	3
			2	12,72	17

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 0 kN
M_{xEd}: -59 0 kNm
M_{yEd}: 0 0

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

Materiali
B450C C35/45
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}: 19,83
E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0,8
ε_{syd}: 1,957 ‰ σ_{c,adm}: 13,5
σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0,8
τ_{c1}: 2,257

Tipi rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd}: -94,68 kN m

σ_c: -19,83 N/mm²
σ_s: 391,3 N/mm²
ε_c: 3,5 ‰
ε_s: 14,48 ‰
d: 17 cm
x: 3,309 x/d: 0,1947
δ: 0,7

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

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

Precompresso

Si esegue anche la verifica nella sezione dove sono presenti trasversalmente le barre di inghisaggio fra struttura nuova ed esistente, ovvero Ø20/20 cm sopra e Ø26/25 cm sotto.

Titolo: Inghisaggio

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	20	1	15,71	3
			2	21,24	17

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 0 kN
M_{xEd}: 0 -111 kNm
M_{yEd}: 0 0

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

Materiali
B450C C35/45
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}: 19,83
E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0,8
ε_{syd}: 1,957 ‰ σ_{c,adm}: 13,5
σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0,8
τ_{c1}: 2,257

Tipi rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd}: 125 kN m

σ_c: -19,83 N/mm²
σ_s: 391,3 N/mm²
ε_c: 3,5 ‰
ε_s: 12,27 ‰
d: 17 cm
x: 3,773 x/d: 0,2219
δ: 0,7174

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

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

Precompresso

Titolo : Inghisaggio

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15,71	3
2	21,24	17

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

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

N
 N_{Ed} kN
 M_{xEd} kNm
 M_{yEd} kNm

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

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

Materiali

ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} N/mm²
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$ N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} τ_{c1}

M_{xRd} kN m
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c ‰
 ϵ_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.

L_o cm

Precompresso

In tutte le sezioni risulta $MRd > MEd$, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

Sbalzo

Di seguito si esegue la verifica dello sbalzo più sollecitato, ovvero quello dalla parte soprastante alle due travi nuove in acciaio aggiunte. In corrispondenza di tale sezione la soletta è alta $h=20$ cm, e si decide di disporre $\varnothing 20/20$ cm sopra e $\varnothing 18/20$ cm sotto come armatura normale della trave.

Verifica a momento negativo

Titolo: Verifica soletta sbalzo

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	20	1	15,71	3
			2	12,72	21

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

Sollecitazioni:
 S.L.U. Metodo n

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

Materiali:
 B450C C35/45
 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} 19,83
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 13,5
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,8
 τ_{c1} 2,257

Tipologia rottura:
 Lato acciaio - Acciaio snervato

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

Tipologia flessione:
 Retta Deviata

M_{xRd} -109,1 kN m
 σ_c -19,83 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,09 ‰
 ϵ_s 67,5 ‰
 d 17 cm
 x 0,744 x/d 0,04377
 δ 0,7

Parametri:
 N° rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L_0 0 cm Col. modello
 Precompresso

Verifica a momento positivo

Titolo: Verifica soletta sbalzo

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	20	1	15,71	3
			2	12,72	21

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

Sollecitazioni:
 S.L.U. Metodo n

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

Materiali:
 B450C C35/45
 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} 19,83
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 13,5
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,8
 τ_{c1} 2,257

Tipologia rottura:
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipologia flessione:
 Retta Deviata

M_{xRd} 98,05 kN m
 σ_c -19,83 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 20,76 ‰
 d 21 cm
 x 3,03 x/d 0,1443
 δ 0,7

Parametri:
 N° rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L_0 0 cm Col. modello
 Precompresso

In entrambe le sezioni risulta $MRd > MEd$, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

Giunto longitudinale in corrispondenza delle pile nuovo di progetto

Si verifica la soletta in corrispondenza del giunto di solidarizzazione.

La soletta è alta $h=20$ cm. Si dispongono $\varnothing 20/10$ cm all'estradosso e $\varnothing 20/20$ cm all'intradosso.

Verifica a momento positivo

Titolo : Soletta Giunto

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	31,42	3
2	15,71	17

Sollecitazioni
 S.L.U. → Metodo n
 ←

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

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

Materiali
 B450C C35/45
 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} 19,83
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8 ?
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 13,5
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,8
 τ_{c1} 2,257

M_{xRd} 94,61 kN m
 σ_c -19,83 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 15,36 ‰
 d 17 cm
 x 3,155 x/d 0,1856
 δ 0,7

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

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

Verifica a momento negativo

Titolo : Soletta Giunto

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	31,42	3
2	15,71	17

Sollecitazioni
 S.L.U. → Metodo n
 ←

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

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

Materiali
 B450C C35/45
 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} 19,83
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8 ?
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 13,5
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,8
 τ_{c1} 2,257

M_{xRd} -179,6 kN m
 σ_c -19,83 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 8,509 ‰
 d 17 cm
 x 4,955 x/d 0,2915
 δ 0,8043

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

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

La verifica risulta, quindi, soddisfatta.

Giunto longitudinale in corrispondenza delle pile esistente

La soletta qui è alta 25 cm ed è armata con $\Phi 16/8\text{cm}$ a intradosso ed estradosso.

Inoltre sono presenti 8 cavi di precompressione da $\Phi 0,6''$ per ogni trave, per un'area complessiva di $4,12\text{ cm}^2/\text{m}$; da cui si calcola una forza di precompressione pari a 423 kN.

Essendo la sezione simmetrica la verifica vale sia per momento negativo sia positivo.

Titolo: **Soletta vecchia**

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm ²]	d [cm]
1	100	25	1	24,13	3
			2	24,13	22

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

Diagramma:

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: kN
M_{xEd}: kNm
M_{yEd}:

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali:

ε_{su}: ‰ ε_{c2}: ‰
f_{yd}: N/mm² ε_{cu}: ‰
E_s: N/mm² f_{cd}: ‰
E_s/E_c: f_{cc}/f_{cd}: ?
ε_{syd}: ‰ σ_{c,adm}: ‰
σ_{s,adm}: N/mm² τ_{co}: τ_{cl}:

M_{xRd}: kNm

σ_c: N/mm²
σ_s: N/mm²
ε_c: ‰
ε_s: ‰
d: cm
x: x/d:
δ:

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

Tipo flessione:
 Retta Deviata

N° rett.:

Calcola MRd Dominio M-N

L_o: cm Col. modello

Precompresso

7.4.1.2 Taglio

Zona di Sutura

V _{sdu}	96	kN
R _{ck}	45	N/mm ²
f _{ck}	35	N/mm ²
γ _c	1,5	
f _{yk}	450	N/mm ²
bw	100	cm
d	17,00	cm
Asl	15,71	cm ²

c	3,00	cm
f_{cd}	19,833	N/mm ²
$f_{ctd_{0,05}}$	1,467	N/mm ²
f_{yd}	391,304	N/mm ²
σ_{cp}	0,0000	N/mm ²
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
V_{Rd}	129,995	kN

La verifica risulta, quindi, positiva.

Sbalzo

V_{sdu}	120	kN
R_{ck}	45	N/mm ²
f_{ck}	35	N/mm ²
γ_c	1,5	
f_{yk}	450	N/mm ²
bw	100	cm
d	17,00	cm
Asl	15,71	cm ²
c	3,00	cm
f_{cd}	19,833	N/mm ²
$f_{ctd_{0,05}}$	1,467	N/mm ²
f_{yd}	391,304	N/mm ²
σ_{cp}	0,0000	N/mm ²
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
V_{Rd}	129,995	kN

La verifica risulta, quindi, soddisfatta.

Giunto longitudinale in corrispondenza delle pile nuovo di progetto

Per la verifica del giunto si fa affidamento ai ferri del traliccio delle predalle, considerandole come staffe 2Φ10/20.

Dato che la verifica si svolge su 1 m di soletta e i tralici hanno interasse 0,40 m si considerano 2,5 tralici come resistenti.

V_{sdu}	289	kN
M_{sdu}	-	kNm
N_{sdu}	0,0	kN
R_{ck}	45	N/mm ²
f_{ck}	35	N/mm ²

$\gamma_c =$	1,5	
f_{yk}	450	N/mm ²
b_w	100	cm
d	17,00	cm
Asl	31,42	cm ²
c	3,00	cm
α	90	gradi
α	1,57	rad
θ	21,80	gradi
$ctg\theta$	2,50	
$\theta_{imposto}$	21,80	gradi
Asw	3,95	cm ²
passo staffe	20	cm
f_{cd}	19,833	N/mm ²
$f_{ctd_{0,05}}$	1,467	N/mm ²
f_{yd}	391,304	N/mm ²
σ_{cp}	0,0000	N/mm ²
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
V_{Rcd}	523,163	kN
V_{Rsd}	295,627	kN
V_{Rd}	295,627	kN

La verifica risulta, quindi, soddisfatta.

Giunto longitudinale in corrispondenza delle pile esistente

V_{sdu}	182	kN
M_{sdu}	-	kNm
N_{sdu}	423	kN
R_{ck}	45	N/mm ²
f_{ck}	35	N/mm ²
$\gamma_c =$	1,5	
f_{yk}	380	N/mm ²
b_w	100	cm
d	22,00	cm
Asl	24,13	cm ²
c	3,00	cm
α	90	gradi
α	1,57	rad
θ	21,80	gradi
$ctg\theta$	2,50	
$\theta_{imposto}$	21,80	gradi
Asw	1,86	cm ²

passo staffe	50	cm
f_{cd}	19,833	N/mm ²
$f_{ctd,0,05}$	1,467	N/mm ²
f_{yd}	330,435	N/mm ²
σ_{cp}	1,7466	N/mm ²
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
V_{Rd}	231,610	kN

La verifica risulta, quindi, soddisfatta.

7.4.2 Verifiche agli SLE

Di seguito si esegue la verifica tensionale per SLE, come prescritto da NTC

Le tensioni massime ammissibili sono, per la combinazione SLE Rara:

$$\sigma_c = 0,6 \times f_{ck} = 21 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 0,8 \times f_{yk} = 360 \text{ MPa}$$

Zona di Sutura

Titolo: Verifica soletta sutura

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm ²]	d [cm]
1	100	20	1	15,71	3
			2	12,72	17

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

File

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

Verifica

N° iterazioni: 4

Precompresso

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} 0 0 kN
 M_{xEd} 0 -44 kNm
 M_{yEd} 0 0

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

Materiali
 B450C C35/45
 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} 19,83
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 13,5
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,8
 τ_{c1} 2,257

σ_c -7,311 N/mm²
 σ_s 190,5 N/mm²
 ϵ_s 0,9523 ‰
 d 17 cm
 x 6,212 x/d 0,3654
 δ 0,8968

La sezione risulta, quindi, verificata.

Sbalzo

Titolo : Soletta Giunto

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	31,42	3
2	15,71	17

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

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

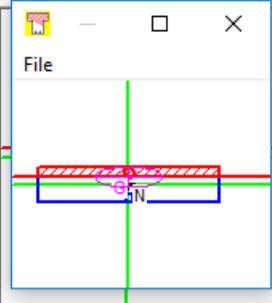
Materiali

ϵ_{su}	67,5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm ²	ϵ_{cu}	3,5 ‰
E_s	200.000 N/mm ²	f_{cd}	19,83
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0,8
ϵ_{syd}	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	13,5
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0,8
		τ_{c1}	2,257

σ_c -3,06 N/mm²
 σ_s 95,57 N/mm²
 ϵ_s 0,4779 ‰
 d 17 cm
 x 5,515 x/d 0,3244
 δ 0,8455

Verifica
 N° iterazioni:

Precompresso



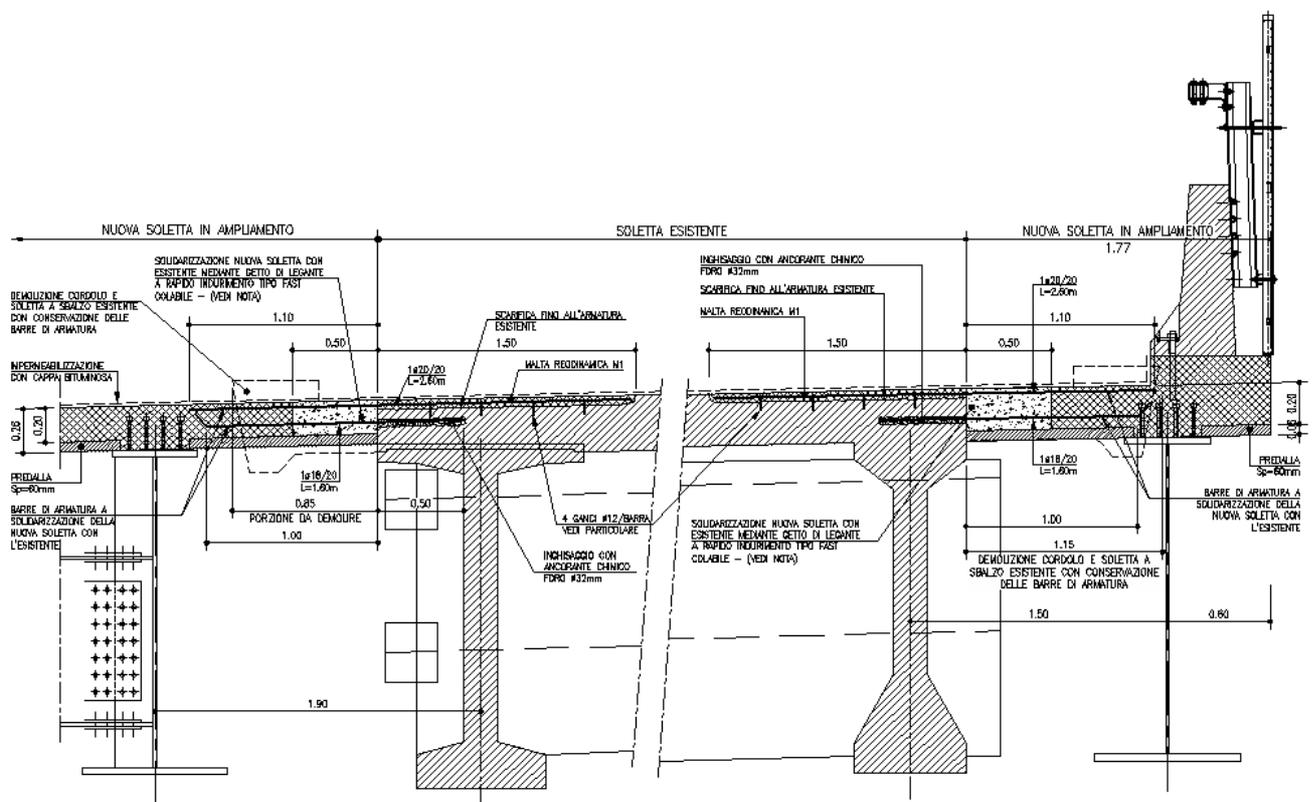
La sezione risulta, quindi, verificata.

8. Inghisaggio

In corrispondenza della sutura fra impalcato nuovo ed esistente è stato effettuato un inghisaggio che permette di collegare la soletta nuova con quella esistente.

Qui è stato demolito il cordolo e la soletta a sbalzo esistenti. Inoltre, è stata effettuata una scarifica di porzioni di soletta tali da poter porre le barre dell'inghisaggio. Tali parti di soletta sono state, poi, ricostruite con l'aggiunta di malta reoplastica e reodinamica.

Infine, è stato effettuato un getto di legante a rapido indurimento per solidarizzare meglio le due parti di soletta.



9. Azioni sugli appoggi

Di seguito i risultati ottenuti in termini di componenti verticali massime agenti sugli appoggi volte a definirne i requisiti prestazionali.

	Reazione max SLU [kN]	Reazione max SLE (rara) [kN]	Reazione max SLV [kN]
Travi esistenti c.a.p.	2111	1569	1408
Travi acciaio	1899	1406	902